

TCER Working Paper Series

マクロデータを用いた計量経済学的接近法 -生産性測定を題材として-

Econometric Approach using Macroeconomic Data

清水千弘
Chihiro Shimizu

新井優太
Yuta Arai

2024年 1月

Working Paper J-27

<https://www.tcer.or.jp/wp/pdf/j27.pdf>



公益財団法人東京経済研究センター
〒102-0072 東京都千代田区飯田橋1-7-10-703

©2024 by Chihiro Shimizu and Yuta Arai.

All rights reserved. Short sections of text, not to exceed two paragraphs, may be quoted without explicit permission provided that full credit, including ©notice, is given to the source.

概要

マクロデータを用いた計量経済モデルは、様々な形で進化してきている。しかし、実際のモデル構築において分析者は、データの取得、加工、必要とされる変数の推計、作成などをしなければ、モデルの推計を行うことができない。そして、推計モデルを構築し、推計プログラムを作成し、モデルを推計していく。推計結果を評価した結果(validation)がふさわしくない場合には、データを見直し、モデルを再構築して、推計プログラムを修正して、モデル推計を再度行う。さらに、モデルが推計された後には、それを評価・議論をし、最終的に論文を書き上げていく。本稿では、Diewert, Nomura and Shimizu(2024)を題材として、一連の推計の中で利用された、データの整備、加工、推計手順などを整理し、汎用的なプログラム言語で再現し、網羅的に整理する。さらに、推計された結果の解釈やこのような広い意味での研究技術、研究リソースを公開していくことで、今後のマクロデータを用いた計量分析、特に生産性の測定に関する研究を進める大学院生や、これから本分野の研究を始める研究者に対して、一定の指針を示す。

清水千弘
東京経済研究センター (TCER) 及び
一橋大学
ソーシャル・データサイエンス研究科
東京都国立市中 2-1
c.shimizu@r.hit-u.ac.jp

新井優太
麗澤大学
経済学部
千葉県柏市光ヶ丘 2-1-1
yuarai20@reitaku-u.ac.jp

Abstract

Econometric models that utilize macroeconomic data have undergone significant evolution. In the actual process of model construction, analysts must first acquire and process the data, calculate and create the necessary variables, among other tasks, to develop the model. Subsequently, the estimation model is constructed, a program is created, and the model is estimated. If the validation results for the estimation are unsatisfactory, the data are reviewed, the model is rebuilt, the estimation program is modified, and the model estimation is repeated. Following the estimation of the model, it undergoes evaluation and discussion, culminating in the writing of the research paper. This paper focuses on the work of Diewert, Nomura, and Shimizu (2024), organizing the data preparation, processing, and estimation procedures employed in a series of estimations. These procedures are meticulously reproduced using a general-purpose programming language. Additionally, we interpret the estimation results and offer insights into research techniques and resources, serving as valuable guidance for new researchers, including graduate students, embarking on future econometric analysis using macro data, particularly in the realm of productivity measurement. Our aim is to provide a roadmap for researchers entering this field in the future.

Chihiro Shimizu
TCER
and
Hitotsubashi University
School of Social Data Science
2-1 Naka, Kunitachi, Tokyo, 186-8601
c.shimizu@r.hit-u.ac.jp

Yuta Arai
Reitaku University
Department of Economics
2-1-1 Hikarigaoka, Kashiwa, Chiba, 277-8686
yuarai20@reitaku-u.ac.jp

マクロデータを用いた計量経済学的接近法 -生産性測定を題材として-*

新井優太(麗澤大学)[†]・清水千弘(一橋大学)[‡]

要旨

マクロデータを用いた計量経済モデルは、様々な形で進化してきている。しかし、実際のモデル構築において分析者は、データの取得、加工、必要とされる変数の推計、作成などをしなければ、モデルの推計を行うことができない。そして、推計モデルを構築し、推計プログラムを作成し、モデルを推計していく。推計結果を評価した結果(validation)がふさわしくない場合には、データを見直し、モデルを再構築して、推計プログラムを修正して、モデル推計を再度行う。さらに、モデルが推計された後には、それを評価・議論をし、最終的に論文を書き上げていく。本稿では、Diewert, Nomura and Shimizu(2024)を題材として、一連の推計の中で利用された、データの整備、加工、推計手順などを整理し、汎用的なプログラム言語で再現し、網羅的に整理する。さらに、推計された結果の解釈やこのような広い意味での研究技術、研究リソースを公開していくことで、今後のマクロデータを用いた計量分析、特に生産性の測定に関する研究を進める大学院生や、これから本分野の研究を始める研究者に対して、一定の指針を示す。

キーワード

Total Factor Productivity growth, terms of trade, GDP functions, land input, exact index numbers, nonparametric estimation of technology, gross versus net output, real income.

Journal of Economic Literature Classification Code

C43, C82, D24, D31, F14, I30

* 本稿は、Diewert, E, K. Nomura and C. Shimizu (2024), “Improving the SNA: Alternative Measures of Output, Input, Income and Productivity for China”. Review of Income and Wealth, online を日本語に翻訳するとともに、一連の分析手続きを、公開するものである。同論文では、分析手続きは Shazam によって推計されたが、それを汎用的な R プログラムに変換するとともに、一連の推計手続きの中で留意すべき点を解説した。本稿の執筆にあたり、一橋大学ソーシャル・データサイエンス研究科 馬場弘樹氏、西颯人氏には、原稿に目を通していただき、多くの示唆をいただいた。ここに記して御礼を申し上げます。なお、本稿では、付論 B に Diewert, Nomura and Shimizu (2024)の付論 B として公開されているデータ、付論 C で R プログラムを公開している。本研究で用いたすべてのデータの利用を希望する場合は、nomura@sanken.keio.ac.jp に連絡していただきたい。

[†] 麗澤大学経済学部・助教

[‡] 一橋大学大学院ソーシャル・データサイエンス研究科・教授

1. はじめに

現実の経済活動は、多種多様な財やサービス、建物、機械、設備などから構成されている。その一方で、家計の所得や保有資産、企業の建物や設備などの資本ストックには大きな格差が存在する。現実世界の経済活動を写像するために、物価指数(CPI など)や数量指数(GDP など)といった経済統計が開発され、そのような公的統計をもとに、経済の状況を把握し、経済シミュレーション、予測などが行われている。さらに、マクロ経済分析においては、経済モデルを開発し、多数の集計統計・マクロ経済統計を組み合わせることで経済のダイナミズムを分析することで、現実世界の理解に貢献している。

経済モデルを推計していくためには、分析にふさわしいデータを収集することから始めないといけない。このデータの選択または収集は、実は研究者にとって最も重要に能力の一つであるといっても良い。マイクロデータを用いた実証研究においては、そのデータの重要性が高く評価され、そのデータの特異性が評価されることで学術誌に掲載されていくこともある。一方、マクロデータを用いた研究においては、一般的には、政府機関などが中心になって公表している集計データ、いわゆるマクロデータを用いることが一般的である。そのような中では、公開されている多数のデータの中から、最適なデータを選択しなければならない。また、経済モデル構築の中で、モデルに対応したデータを入手できないこともしばしば直面する。データが入手できない場合には、データを新しく推計・加工をしなければならない。また、統計データが信頼できるというわけではない。データの集計や基礎データの収集の誤差や歪みが存在するために、そのデータの性質や作成手順などを正しく理解することが重要であることは言うまでもない。

例を挙げれば、マクロ経済モデルにおいて、経済成長の測定や生産性の測定において欠かすことができない国内総生産(GDP)、それを測定する国民経済計算体系(SNA)においても、多くの課題が指摘されている。⁴また、名目値と実質値への変換にはデフレータが必要となるが、そのデフレータの測定においても、測定されている経済活動に対応して測定していくことは極めて困難であることから、各国において改善が続けられている。⁵

国内総生産(GDP)については、近年の Beyond GDP を取り巻く一連の議論からも明らかなように、技術進歩や豊かさの計測をめぐることは、主に生産量を計測する目的で作られた GDP では、人々の生活の質の改善に伴う豊かさ(Well-being)や、枯渇する資源への対応など環境面が評価できないのではないかという問題が提起されている。そのような中で、新しい指標の開発が進められようとしている。また、伝統的には家計内生産の取り扱いなど、現在の勘定体系では捕捉できていない対象の扱いを巡っても議論が続けられている。

このような測定を取り巻く課題を理解しつつも、マクロ経済モデルを構築していく上では、入手可能なデータ群の中から、モデルに最も対応したデータを選択していくことが要請される。さらには、実際のデータには、集計誤差が含まれていたり、四半期、年次ともに、大きくばらついてしまうことが多いために、統計的モデルの推計では、何らかのフィルターを用いて平滑化をしたりすること多い。また、必要な集計量が存在しないときには、入手可能なデータを加工して新しい統計量を作成したり、公表されている集計量を分解して、より詳細な統計を計算したりしながら、モデルを推計していく。

データを用いた研究を実施していく中では、a)リサーチトピックを確定し、仮説を設定した上で、b)リサーチデザインを行い、c)理論モデルと推計モデルを開発し、モデルに応じて d)必要とされるデータを収集・加工または作成し、はじめて e)モデルの推計を行うことができる。このモデルの推計には、推計プログラムを作成

⁴ 野村浩二編著(2023)では、日本の GDP に関する測定上の課題を網羅的に整理している。

⁵ 例えば、建設部門のデフレータにおいては、SNA 体系測定されている建設投資額とデフレータとは一致しない問題に直面している。詳細は、Higo et al(2023)を参照されたい。

しなければならない。推計プログラムには、さまざまな言語やソフトウェアがあるため、その特徴を理解したうえで、ふさわしい言語、ソフトウェアを選択する。⁶また、推計された結果を f) 評価し、その結果と理論モデルや経験値と比較したうえで適合するまで、推計を繰り返し行う。この時にはデータを再取得、作成しなければならないことも多い。さらに、推計ができた後に、g) 推計結果を議論し、h) 論文を執筆していく。経済学分野において、研究論文を執筆していく中では、それぞれの過程で研究を進めるうえでの技術や専門性が要求されることになる。⁷

本稿では、Diewert, Nomura and Shimizu(2024)を題材として、一連の推計の中で利用されてきたデータの入手方法からデータの加工方法、推計手順などを整理し、汎用的なプログラム言語で再現し、それを公開することで、今後の生産性の測定に関する研究、広い意味でのマクロデータを用いた計量経済分析を行う大学院生やこれから本分野の研究を始める研究者に対して、その出発点となるように、研究のリソースを公開することを目的とする。

2. Diewert, Nomura and Shimizu(2024)論文

Diewert, Nomura and Shimizu(2024)では、マクロ集計データを用いた全要素生産性(TFP: Total Factor Productivity)の推定から出発し、Diewert and Morrison (1986)、Kohli (1990)、Diewert and Lawrence (2006)が提案したモデルを用いて、実質総所得を説明要因に分解している。さらに、Diewert and Fox (2018)により提案されたモデルで、実質総所得をノンパラメトリック法によって、TFP 成長率を技術進歩と非効率項に分解している。通常、TFP 成長率は技術進歩の指標と考えられるが、ある国で不況が発生すると、簡単に売却できない固定要因が存在するため、TFP は必ずマイナスになる。Diewert and Fox (2018)では、非効率性を考慮することの重要性を指摘する。つまり、技術進歩が後退することはないが、非効率性が高まることで、残差として計算される TFP 成長率がマイナスになることを説明しているのである。さらに、実質純所得に対する TFP も推計している。ここで重要となるのが、TFP の測定においては、ユーザーコストと総投資を用いる代わりに、待機サービス価格と、期末資本ストックと期首資本ストックの差を用いている点である。

期末資本ストックと期首資本ストックの差を考慮するという点は、測定すべき所得をどのようにとらえるのかという問題となる。ここでは、土地をも考慮しているという点に特徴を持つ。

現行の国内総生産(GDP)、それを測定する国民経済計算体系(SNA)における問題点として、Diewert, Nomura and Shimizu(2024)は減価償却費の扱いの問題と、キャピタル・ゲイン、またはロスの扱いについて指摘している。減価償却費が一般に考えられている「所得」の一部でないことは明らかである。しかし、生産部門で使用される資産のキャピタル・ゲインやキャピタル・ロスを国内生産者が生み出す所得の一部として含めることは、議論の余地がある。生産に使用される資産のキャピタル・ゲインやキャピタル・ロスはボラティリティが大きいために、それを所得の測定対象とすることについて、統計作成当局や多くの専門家は反対してきた。しかし、所得測定にキャピタル・ゲインを含めることは、経済学では長い歴史がある。

Marshall は基本的に、会計期間中に生産単位が生み出す名目所得を、その期間のキャッシュフローに期末資本ストックから期首資本ストックを差し引いたものと定義した(Alfred Marshall (1920, p. 62))。この残余は、利払いと純粋利潤に分解される。この残余に、労働への支払いと政府への納税を加え、会計期間中に生産

⁶ 近年では、R などの汎用的な言語が開発され、ライブラリなどが充実してくる中で、おおよその統計モデルの推計、統計量の計算はできるようになってきている。古くは、Fortran や C++, R の前身となる S 言語、汎用プログラムソフトとして、SAS、SPSS と限定されたものしか利用できなかったが、1990 年代に入ると Shazam、TSP が普及し、さらに Gauss、Matlab、EViews、Stata といったソフトウェアが登場してきた。近年では Python などにも利用されている。

⁷ このような一連の手続きは、研究方法(Research Methods)という分野が確立されており、大学・大学院の講義として提供されている場合もある。一橋大学大学院ソーシャル・データサイエンス研究科では、統計分析発展(実践)として講義が提供されている(2024 年時点)。

単位が生み出した名目所得の有用な尺度を得る。本稿の第 6 節では、基本的にこの名目所得の定義を使用して、中国経済の生産部門が生み出す名目所得を測定する。

また、Haig は Marshall の定義をさらに一步進め、2 つの時点で受け取った所得が同じ購買力を持つとは限らないことを認識した(Robert Haig (1921,p.7))。彼は、名目所得を実質所得に変換するための「正しい」デフレーターを見つけることは、極めて重要であるということ認識していた。

国内総生産(または付加価値)の名目的な尺度は、実際の取引価格だけで計算することができる、つまりデータのインプット、つまり推計は限定的であるということから、GDP という概念が広く普及されることになったといっても良い。Hicks は、生産高とそれに対応する投入量または所得の正味尺度を支持する一方で、GDP または GNP の使用を支持する一連の議論には問題が存在していることは理解していた。例えば、減価償却費などは、実際の取引を反映したものではなく、まだ売却されていない資産の価値の変動を推定したものである。国民経済計算においては、減価償却控除前の国民総生産で表すことが慣例となっていること理由であると言える(John R. Hicks (1973, p. 155))。

そのため、Hicks は、GNP の定義に在庫の価値の変化を含めることは、会計期間の開始時と終了時に生産単位が保有する在庫の価値を推定し、適切な物価指数でデフレートし、実質在庫の変化を形成するために差分を取る必要があるため、新しく統計を作成しなければならないことを指摘した。

Diewert, Nomura and Shimizu(2024)は、アジア生産性機構(APO)と慶應義塾大学によって開発された、1970 年から 2020 年までの中華人民共和国に関する生産性データベース(APDB)を用いて、国民所得の理論的なグロスとネットの尺度の違いを説明している。APDB は、農地、工業用地、商業用地、住宅用地の 4 種類の土地を含む 16 種類の資本ストックの価格と量(または数量)の情報を持っている。そのため、土地または資本の変化分が計算することができるのである。また、土地を生産要素として考慮し、TFP が測定することができるのである。

一般的に公表されている各国の集計データは、土地の価格と数量に関する全国的なデータが不足している。このような土地に関するデータの欠如は、おそらく、土地は生産においてさほど重要なではないという考えや、市場不動産価格を土地と構造物の構成要素に分解することが困難であることが一因であろう。また、土地の面積は一定であることを考えると、固定的な要素として捉えた場合には、生産関数の推計においては、その投入として資本と労働だけを考慮するという考え方が支配的である。しかし、面積は一定であったとしても、土地利用は産業構造の変化に応じて変動していくことになる。つまり、土地総面積が一定であっても、さまざまなカテゴリーの土地の量が時間とともに変化しているのである。このような土地利用の変化は、各国が作成する GDP の指標に現れるべきだと考える。このような変化は、GDP の指標に現れる在庫の変化に完全に類似している。

実際の推計において、GDP に土地利用の変化を加えても、その推計に大きな変化はない。しかし、生産部門が使用する土地ストックのキャピタル・ゲインを追加した場合には、純国内生産(NDP)または純所得の推計値は、対応する GDP 推計値と大きく異なることになる。多くの先進国では過去 20 年間に地価が大幅に上昇した。こうした上昇は、経済の生産部門で生み出される所得の増加につながるが、GDP の国別推計には現れていない。このため、国家統計局が NDP の補足的な指標を作成する必要があるともいえる。

3. 変数の作成 :ユーザーコストを例として

マクロモデルを構築していく上で、単純に公開されている統計データを利用することが一般的であるが、特定の概念に基づき、加工統計を作ることもある。例えば、TFP の測定には様々なものがある。Diewert, Nomura and Shimizu(2024)では Jorgenson (1963), Jorgenson and Griliches (1967, 1972), Christensen and

Jorgenson (1969), Jorgenson (1989)によって提案された手法を用いて、TFP の測定を行う際には、「ユーザーコスト」と呼ばれる統計量をいかに構築するかが重要となる。

ここで、TFP を測定するために必要なユーザーコストの概念と計算方法を説明する。R プログラム(付論 C-1:macro01_usercost)とデータ読み込むデータ TableA1A2.csv, TableA3.csv, TableA5A6.csv, tax.csv, TableB3_labour.csv, ivestmentprice.csv)をご覧いただきたい。それぞれのファイルに格納されているデータを表 1 にまとめた。

表 1. ファイル名とデータの対応

ファイル名	格納データ
TableA1A2.csv	16 種類の資本ストックに関する価格指数と数量指数
TableA3.csv	16 種類の資本ストックに関する減価償却率
TableA5A6.csv	産出に関する価格指数と数量指数
TableB3_labour.csv	労働力に関する価格指数と数量指数
tax.csv	16 種類の資本に関する固定資産税率
investmentprice.csv	16 種類の資本に関する投資価格

今回の計算では多くの変数が現れるため、最初に主要なものについてその表記を整理しておく。まず、生産要素に関するものとして、16 種類の資本ストックがある。16 種類の内訳は(1) IT ハードウェア、(2) 通信機器、(3) 輸送機器、(4) その他の機械設備、(5) 住宅用構造物、(6) 非住宅用建物、(7) その他の構造物、(8) 耕作資産、(9) 研究開発、(10) コンピュータ・ソフトウェア、(11) その他の無形資産、(12) 在庫の純増加の 12 種類、土地については(13) 農地、(14) 工業用地、(15) 商業用地、(16) 住宅用地である。この 16 種類の資本ストックに関する t 年の価格指数と数量指数をそれぞれ $n = 1, \dots, 16$ として P_{kn}^t, Q_{kn}^t と表す。また、生産要素として労働に関する価格指数と数量指数も扱う。これらは P_L^t, Q_L^t と表す。

続いて産出側についてである。こちらについては、最終消費、政府支出、民間投資、輸出、輸入の 5 種類があり、それぞれの t 年における価格指数と数量指数は最終消費(P_C^t, Q_C^t)、政府支出(P_G^t, Q_G^t)、民間投資(P_I^t, Q_I^t)、輸出(P_X^t, Q_X^t)、輸入($P_M^t, -Q_M^t$)と表す。さらに民間投資については、16 種類の資本に対する投資価格と投資数量が存在し、 $n = 1, \dots, 16$ について P_{In}^t, Q_{In}^t と表す。

本節の冒頭で述べたある資本のユーザーコスト(U_n^t)とは、資本の経済的な使用価値の減価である。例えば、工場などの建造物の資本を考えると分かりやすいであろう。 t 年の期初に 1000 万円の建物があるとして、そこで1年間生産活動を行ったとする。そして期末にはまだこの建物に 900 万円の価値があるとする。すると、この 1 年間で使用したこの建物の価格としては、期初の価格すべてではなく、期末の価格との差額である 100 万円と考える方が自然である(不動産であれば家賃、機械装置であればレンタル料に該当する)。

いま、 t 年における資本 n の期初における価格を P_{kn}^t とする。経済測定においては、市場で取引された価格によって測定すべきという原則がある。その原則に従えば、市場で取引された価格として測定することになるが、その場合には、この資本を t 年に使用し、期末に売却すると考えれば良い。期初におけるこの資本の価値と期末の価値の差は、次式のように計算できる。

$$P_{kn}^t - (1 + r^t)^{-1}(1 - \delta_n^t)P_{kn}^{t+1} \dots (1)$$

ここで、 δ_n^t は資本 n の t 年における減価償却率であり、 r^t は t 年における資本コストである。いま(1)式において、資本のインフレ率を

$$(1 + i_n^t) = P_{Kn}^{t+1}/P_{Kn}^t \cdots (2)$$

とすると、(1)式は次のように書き直すことができる。

$$P_{Kn}^t - (1 + r^t)^{-1}(1 - \delta_n^t)P_{Kn}^{t+1} = (1 + r^t)^{-1}[(1 + r^t) - (1 + i_n^t)(1 - \delta_n^t)]P_{Kn}^t \cdots (3)$$

ここでは、ユーザーコスト(U_n^t)を定義するために、(3)式に $(1 + r^t)$ を乗じた

$$U_n^t = (1 + r^t)P_{Kn}^t - (1 + i_n^t)(1 - \delta_n^t)P_{Kn}^t \cdots (4)$$

を資本 n の t 年目におけるユーザーコスト(U_n^t)であると考えことにする。

簡単にこの式について説明をしておく。もし企業が t 年において価格 P_{Kn}^t の資本 n を購入する場合、購入に必要な資金を投資家などから調達する。そのため、資本金 n の購入に必要な費用は P_{Kn}^t ではなく、投資家に支払わなければならない利子 r^t も含まれるので、この資本の購入に必要な費用は P_{Kn}^t ではなく、 $(1 + r^t)P_{Kn}^t$ となる。この利子 r^t のことを「資本コスト」と呼ぶ。これが(4)式右辺の第1項である。続いて、期初では P_{Kn}^t という価格であったとしても、期末には減価によって $(1 - \delta_n^t)P_{Kn}^t$ と価格が下落する。一方で、世界情勢などの影響によってはある特定の資本の価格が上昇する事も考えられる(例えば、機械装置であれば半導体不足によるグラフィックボードの高騰などが発生する)。このインフレ率を $(1 + i_n^t) = P_{Kn}^{t+1}/P_{Kn}^t$ とすれば、期末の価格は期初の価格に減価の効果とインフレの効果をかけあわせた $(1 + i_n^t)(1 - \delta_n^t)P_{Kn}^t$ となる。これが(4)式右辺の第2項の意味であり、(4)式全体としては期初における資本の購入に必要な価格から期末における価格を引いたものになっている。

また、一般的に多くの国では土地などに対して固定資産税がかかるので、資本 n の購入に必要な費用は投資家に支払わなければならない利子に加えて、この固定資産税も加味しなければならない。そのため、いま資本 n の t 年における固定資産税を τ_n^t とすると、(4)式のユーザーコスト(U_n^t)は次のように書き換えられる。

$$U_n^t = (1 + r^t + \tau_n^t)P_{Kn}^t - (1 + i_n^t)(1 - \delta_n^t)P_{Kn}^t \cdots (5)$$

本節では、(5)式で計算されるユーザーコストを用いて、生産要素の投入に関わる総合的な指数を計算したい。⁸しかし、このユーザーコストを計算するためには、先に求めなければならない要素がいくつか存在する。

まず1つ目は減価率 δ_n^t である。減価率 δ_n^t の計算は、ユーザーコストの計算において、最も困難な推計対象の一つである。その推計については、Jorgensonの方法に基づいて求める。Jorgensonは、 t 年における資本 n の期末の資本数量 Q_{Kn}^{t+1} を、資本 n の対応する期初の資本数量 Q_{Kn}^t と次のように対応付けている。

$$Q_{Kn}^{t+1} = (1 - \delta_n^t)Q_{Kn}^t + Q_{In}^t \cdots (6)$$

ここで、 Q_{In}^t は t 年における資本 n の投資数量である。ただし、12番目の資本(在庫の純増加)と13番目から16番目の土地に関する資本については減価が生じないので、減価償却率 δ_n^t は0である。

⁸ 具体的な計算手続きをRプログラムと合わせて、「macro01_usercost」で解説している。。

ところが、(6)式に基づいて減価率を計算すると、資本(12)の在庫純増加については図 1 に示すように、0 に近くなっていない年も存在する。また資本(1)の IT ソフトウェアについても、時折急な変動が見られるが、減価率が急に変動することは考えにくい。そこで、資本(1)の減価率については局所的な重み付けを行った散布図平滑化(Locally Weighted Scatterplot Smoothing ; LOWESS)によって平滑化することを考える。

LOWESS は、各データ点を中心に局所的な重みを付けながら回帰を行い、データ全体になめらかな曲線を当てはめる手法である。簡単な計算手順を次の通りである。

- (1)あるデータ点を中心とした範囲を定義する。
- (2)範囲内の各データ点に対して重みを割り当てる。この重みは範囲中心のデータ点ほど大きく、離れるほど小さくなる
- (3)重み付きのデータに対して回帰モデル(一般的には多項式回帰)を実行し、中心点の予測値を求める。
- (4)これを全てのデータ点に対して実行する。

この計算は R の場合、次のように `lowess()` 関数を用いることで実行できる。

`lowess(x,y,f)`

`lowess` 関数の引数にある x は、散布図に用いたデータの x 座標の値であり、 y は y 座標の値である。また、 f は上記の手順 1 にある範囲を指定するパラメータであり、”範囲=データ数 $\times f$ ”として求まる。そのため、 f の値は 0~1 の間の値を取り、 f の値が小さいほど各データ点の近傍のみが寄与するため、細かい変動が残り、 f の値を大きくすると局所的な変動はなくなり、全体として平滑化されることになる。 $f=0.15$ として平滑化した減価率 δ_1^* を図 1 と表 2 に示す。⁹

図を見るとわかるように、 δ_1^t よりも δ_1^{t*} の方が平滑化されているとわかる。そのため、 δ_1^t ではなく δ_1^{t*} を用いることにした。ただし、資本(1)の減価率を δ_1^t から δ_1^{t*} に変更してしまうと、(6)式を満たさなくなってしまう。そこで整合性を取るために、(6)式を用いて資本(1)の数量 Q_{k1}^t を再構築した。

続いて、資本(12)についても修正をおこなう。資本(12)の減価率を 0 とすれば、(6)式より資本(12)の投資に対する数量データは $Q_{k12}^t = Q_{k12}^{t+1} - Q_{k12}^t$ として計算できる。また、この変更に対応させるよう、投資価格データ P_{i12}^t については、期末の在庫価格 P_{k12}^{t+1} を用いる必要がある。つまり、 $P_{i12}^t = P_{k12}^{t+1}$ とする。

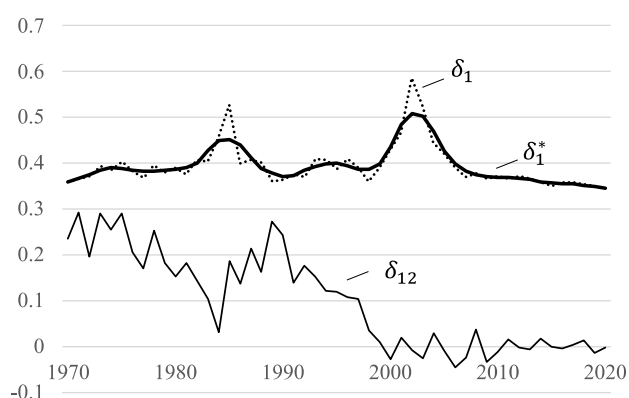


図1. Jorgenson の方法によって計算された資産(1),(12)の減価率

⁹ 実際の推計においては、 f の値をいくつに設定したらよいのかという問題に直面する。強く平滑化してしまうと、元の値の変化をとらえきれなくなってしまう。弱すぎると各観測値の変動が大きな状態が残ってしまう。実際の計算では、試行錯誤しながら分析者の感覚と照らして決定していくことになる。

表 2. 平滑化前後の減価率比較

Year	δ_1^t	δ_1^{t*}	Year	δ_1^t	δ_1^{t*}
1970	0.359	0.358	1996	0.409	0.394
1971	0.366	0.367	1997	0.390	0.387
1972	0.372	0.375	1998	0.361	0.387
1973	0.393	0.384	1999	0.389	0.399
1974	0.385	0.390	2000	0.428	0.436
1975	0.402	0.388	2001	0.466	0.485
1976	0.382	0.385	2002	0.585	0.509
1977	0.368	0.383	2003	0.524	0.503
1978	0.396	0.383	2004	0.445	0.468
1979	0.380	0.385	2005	0.421	0.425
1980	0.390	0.386	2006	0.391	0.398
1981	0.375	0.390	2007	0.370	0.382
1982	0.408	0.401	2008	0.378	0.374
1983	0.403	0.428	2009	0.365	0.371
1984	0.456	0.450	2010	0.373	0.369
1985	0.526	0.452	2011	0.366	0.369
1986	0.400	0.440	2012	0.371	0.367
1987	0.406	0.411	2013	0.366	0.364
1988	0.401	0.388	2014	0.357	0.359
1989	0.360	0.378	2015	0.350	0.356
1990	0.364	0.370	2016	0.357	0.355
1991	0.375	0.373	2017	0.358	0.355
1992	0.369	0.384	2018	0.354	0.352
1993	0.410	0.393	2019	0.350	0.349
1994	0.408	0.399	2020	0.344	0.345
1995	0.388	0.401			

最後に、改めて(12)式を用いて各資本の数量データ Q_{kn}^t を再構築する。Diewert,Nomura and Shimizu(2024)の TableA3 に掲載されている減価率 δ_n^t を用いて、(6)式を満たすように計算された P_{kn}^t, Q_{kn}^t は Diewert,Nomura and Shimizu(2024)の TableA1,TableA2 に掲載されている。また、各資産に対する投資数量 Q_{in}^t は Diewert,Nomura and Shimizu(2024)には掲載されていないものの、(6)式より

$$Q_{in}^t = Q_{kn}^{t+1} - (1 - \delta_n^t)Q_{kn}^t \cdots (6')$$

であるから、 δ_n^t と Q_{kn}^t, Q_{kn}^{t+1} を(6)式に代入することで、各資本に対する投資数量 Q_{in}^t を逆算することができる。ただし、土地についての投資数量 Q_{in}^t ($n = 13, \dots, 16$)は減価率が0であるから $Q_{in}^t = Q_{kn}^{t+1} - Q_{kn}^t$ である。以下では、このように計算された P_{kn}^t, Q_{kn}^t を用いていくつかの指数の作成を行っていく。

まず、使用するデータサイズを削減するために、16 種類の投入に関する資本を 5 種類の資産に集約する。集約の分類としては(1)IT ハードウェア、(2)通信機器、(3)輸送機器、(4)その他の機械設備を機械装置(KM)として集約、(5)住宅用構造物、(6)非住宅用構造物、(7)その他の構造物を構造物(KS)として集約、(8)工作資産、(9)研究開発、(10)コンピュータ・ソフトウェア、(11)その他の無形資産をその他の資本(KO)として集約、(12)在庫資本(KI)として、(13)農地、(14)工業用地、(15)商業用地、(16)住宅用地を土地資産(KL)として集約する。集約を行う際には、それぞれの連鎖価格指数 $P_{KL}, P_{KS}, P_{KO}, P_{KI}, P_{KM}$ と連鎖数量指数を $Q_{KL}, Q_{KS}, Q_{KO}, Q_{KI}, Q_{KM}$ を作成する。

ここで、集約のための価格指数と数量指数の作成方法を解説する。集約の方法としてはTörnqvistの方法を用いて連鎖指数を作成した。例えば、機械装置の連鎖価格指数については

$$P_{KM}^t = P_{KM}^{t-1} \times \sum_{n=1}^4 (s_{t+1} + s_t) \ln \left(\frac{P_{kn}^{t+1}}{P_{kn}^t} \right) \cdots (7)$$

として計算できる。ただし $P_{KM}^1 = 1$ であり、 $s_t = \frac{P_{kn}^t Q_{kn}^t}{\sum_{n=1}^4 P_{kn}^t Q_{kn}^t}$ である。

また数量指数については、各資本についての価格指数 P_{kn}^t と数量指数 Q_{kn}^t の積の和 $\sum_{n=1}^4 P_{kn}^t Q_{kn}^t$ が、集約後の価格指数 P_{KM}^t と数量指数 Q_{KM}^t の積に等しいことから、

$$\sum_{n=1}^4 P_{kn}^t Q_{kn}^t = P_{KM}^t Q_{KM}^t \cdots (8)$$

より

$$Q_{KM}^t = \sum_{n=1}^4 P_{kn}^t Q_{kn}^t / P_{KM}^t \cdots (8')$$

として計算できる。これらの値を表 3 に示す。¹⁰

土地資本についての価格指数 P_{ML}^t の伸びが著しく、1970 年から 2021 年にかけて 309 倍と非常に高騰している。次いで伸びているのが構造物 P_{MS}^t であるが、それでも 10.6 倍程度である。

表 3. 5種類に集約した資本の価格指数と数量指数

Year	P_{KM}^t	P_{KS}^t	P_{KO}^t	P_{KI}^t	P_{KL}^t	Q_{KM}^t	Q_{KS}^t	Q_{KO}^t	Q_{KI}^t	Q_{KL}^t
1970	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.092	0.208	0.012	0.048	0.221
1971	0.995	1.016	0.994	1.005	1.059	0.106	0.226	0.013	0.057	0.221

¹⁰ 大本の値は Diewert, Nomura and Shimizu(2024)の TableA4 に掲載されている。

1972	0.974	1.022	1.014	1.013	1.107	0.119	0.249	0.015	0.062	0.222
1973	0.990	1.063	1.084	1.014	1.158	0.131	0.273	0.016	0.066	0.223
1974	1.007	1.064	1.055	1.015	1.207	0.143	0.296	0.017	0.071	0.223
1975	0.977	1.075	1.150	1.018	1.255	0.154	0.325	0.018	0.071	0.224
1976	0.975	1.088	1.230	1.015	1.288	0.171	0.359	0.020	0.069	0.225
1977	0.971	1.100	1.297	1.020	1.315	0.181	0.389	0.020	0.067	0.226
1978	0.980	1.116	1.319	1.016	1.378	0.189	0.427	0.021	0.074	0.227
1979	0.995	1.142	1.374	1.037	1.497	0.203	0.468	0.022	0.085	0.228
1980	0.996	1.221	1.357	1.112	1.663	0.209	0.518	0.024	0.099	0.228
1981	1.001	1.250	1.369	1.157	1.866	0.211	0.577	0.025	0.108	0.229
1982	1.006	1.287	1.399	1.192	2.083	0.206	0.638	0.026	0.112	0.230
1983	0.986	1.352	1.340	1.204	2.339	0.209	0.703	0.027	0.112	0.231
1984	1.001	1.433	1.368	1.223	2.644	0.218	0.769	0.030	0.119	0.232
1985	1.036	1.549	1.474	1.266	2.973	0.239	0.846	0.033	0.145	0.234
1986	1.082	1.690	1.557	1.361	3.356	0.279	0.934	0.037	0.176	0.235
1987	1.098	1.812	1.584	1.471	3.826	0.324	1.022	0.042	0.200	0.236
1988	1.210	2.047	1.765	1.571	4.400	0.383	1.115	0.046	0.210	0.237
1989	1.309	2.192	1.955	1.800	5.088	0.447	1.220	0.051	0.244	0.238
1990	1.430	2.344	2.160	1.892	5.859	0.475	1.309	0.054	0.283	0.239
1991	1.528	2.571	2.220	2.016	6.910	0.494	1.389	0.056	0.310	0.240
1992	1.687	3.007	2.400	2.087	8.163	0.526	1.476	0.061	0.368	0.241
1993	1.983	3.958	2.785	2.183	9.946	0.595	1.602	0.065	0.413	0.242
1994	2.129	4.369	2.979	2.445	11.895	0.713	1.755	0.072	0.440	0.243
1995	2.239	4.576	3.195	3.065	14.638	0.849	1.931	0.080	0.476	0.244
1996	2.250	4.806	3.321	3.477	16.871	0.970	2.150	0.089	0.535	0.245
1997	2.225	4.947	3.265	3.631	19.056	1.097	2.381	0.099	0.595	0.245
1998	2.197	4.953	3.083	3.618	21.092	1.260	2.621	0.113	0.633	0.246
1999	2.136	4.960	2.992	3.459	23.220	1.449	2.875	0.125	0.658	0.247
2000	2.092	5.010	3.017	3.383	25.797	1.654	3.153	0.141	0.694	0.247
2001	2.081	5.087	3.140	3.441	28.877	1.892	3.460	0.161	0.742	0.248
2002	2.046	5.198	2.967	3.447	32.301	2.172	3.796	0.184	0.795	0.248
2003	2.005	5.427	3.089	3.443	36.196	2.526	4.164	0.218	0.841	0.251
2004	2.013	5.884	3.264	3.569	41.005	3.028	4.589	0.252	0.915	0.254
2005	2.026	6.211	3.377	3.910	47.982	3.647	5.076	0.291	0.984	0.257

2006	2.055	6.463	3.486	4.071	57.152	4.440	5.561	0.336	1.036	0.260
2007	2.061	6.881	3.469	4.212	68.109	5.360	6.079	0.390	1.145	0.263
2008	2.086	7.480	3.415	4.476	81.954	6.490	6.668	0.459	1.330	0.266
2009	2.057	7.208	3.312	4.805	96.899	7.827	7.293	0.574	1.495	0.279
2010	2.074	7.561	3.483	4.564	110.285	9.565	8.161	0.741	1.664	0.291
2011	2.115	8.260	3.633	4.911	122.750	11.642	9.105	0.934	1.905	0.300
2012	2.110	8.394	3.586	5.230	135.600	13.444	10.261	1.143	2.138	0.306
2013	2.096	8.418	3.612	5.202	149.006	15.630	11.432	1.398	2.348	0.309
2014	2.087	8.466	3.627	5.163	166.493	17.581	12.807	1.675	2.581	0.313
2015	2.066	8.236	3.628	5.072	189.311	19.225	14.325	1.955	2.787	0.313
2016	2.052	8.187	3.775	4.827	213.409	20.475	15.960	2.239	2.953	0.317
2017	2.064	8.841	3.828	4.776	236.026	22.052	17.627	2.501	3.133	0.320
2018	2.087	9.477	3.892	5.004	256.964	23.933	19.338	2.767	3.314	0.337
2019	2.094	9.746	3.877	5.154	274.751	25.931	21.163	3.068	3.439	0.351
2020	2.086	9.722	3.836	5.201	291.895	27.703	23.080	3.417	3.566	0.352
2021	2.104	10.529	3.867	5.167	308.677	29.061	25.034	3.767	3.751	0.352

注)この出力は、付論 C の 102 ページの推計結果として出力されたものである

また、ここで求めた価格指数と数量指数を掛け合わせることで、それぞれの資産に対する価値指数を計算する事ができる。たとえば、機械装置に関する価値指数は $V_{KM}^t = P_{KM}^t Q_{KM}^t$ となる。さらに、16 種類の資本に関する価値指数の合計と、5 種類に集約した資本の価値指数の合計はどちらも等しくなるため

$$V_K^t = \sum_{n=1}^{16} V_{Kn}^t = \sum_{n=1}^{16} P_{Kn}^t Q_{Kn}^t = V_{KM}^t + V_{KS}^t + V_{KO}^t + V_{KI}^t + V_{KL}^t \cdots (9)$$

が成り立つ。5 種類の集約した資本をさらに集約することで、資本ストック全体に対する価格と数量の指数を P_K^t, Q_K^t として計算し、 $V_K^t = P_K^t Q_K^t$ とする。そして、5種類に集約した各資本の価値指数を資本ストック全体の価値 V_K^t で割った資本割合を $S_{KM}, S_{KS}, S_{KO}, S_{KI}, S_{KL}$ とする。これらを表 4 にまとめる。

1970 年と 1971 年においては土地資本の割合 S_{KL}^t が最も高いものの、その後は共通して構造物資本 S_{KS}^t の割合が最も高くなる。一方で、その他資本の割合が S_{KO}^t は最も低い。

表 4. 資本ストックに対する総合的な指数と各集約資本の全資本に占める割合

Year	V_K	P_K	Q_K	S_{KM}	S_{KS}	S_{KO}	S_{KI}	S_{KL}
1970	0.581	1.000	0.581	0.158	0.359	0.021	0.083	0.380
1971	0.641	1.027	0.624	0.165	0.359	0.021	0.089	0.366
1972	0.694	1.043	0.665	0.168	0.366	0.022	0.090	0.354
1973	0.761	1.080	0.705	0.170	0.381	0.023	0.088	0.339

1974	0.818	1.098	0.745	0.176	0.385	0.022	0.088	0.330
1975	0.875	1.113	0.786	0.172	0.399	0.024	0.083	0.322
1976	0.941	1.129	0.833	0.177	0.415	0.026	0.074	0.308
1977	0.995	1.143	0.871	0.176	0.430	0.027	0.068	0.298
1978	1.078	1.168	0.923	0.172	0.442	0.026	0.070	0.290
1979	1.196	1.215	0.985	0.169	0.447	0.026	0.073	0.285
1980	1.362	1.296	1.051	0.153	0.465	0.024	0.081	0.279
1981	1.518	1.359	1.117	0.139	0.475	0.023	0.082	0.282
1982	1.677	1.428	1.175	0.124	0.490	0.022	0.079	0.286
1983	1.869	1.509	1.239	0.111	0.508	0.020	0.072	0.289
1984	2.121	1.616	1.313	0.103	0.520	0.019	0.069	0.290
1985	2.485	1.753	1.418	0.100	0.527	0.020	0.074	0.279
1986	2.966	1.918	1.546	0.102	0.532	0.020	0.081	0.266
1987	3.469	2.078	1.670	0.103	0.534	0.019	0.085	0.260
1988	4.199	2.341	1.794	0.111	0.543	0.019	0.078	0.248
1989	5.008	2.573	1.946	0.117	0.534	0.020	0.088	0.242
1990	5.798	2.806	2.067	0.117	0.529	0.020	0.092	0.241
1991	6.733	3.111	2.164	0.112	0.530	0.019	0.093	0.246
1992	8.205	3.577	2.293	0.108	0.541	0.018	0.094	0.239
1993	11.006	4.470	2.462	0.107	0.576	0.017	0.082	0.218
1994	13.363	5.009	2.668	0.114	0.574	0.016	0.081	0.216
1995	16.022	5.524	2.901	0.119	0.552	0.016	0.091	0.223
1996	18.799	5.933	3.168	0.116	0.550	0.016	0.099	0.220
1997	21.378	6.209	3.443	0.114	0.551	0.015	0.101	0.219
1998	23.576	6.336	3.721	0.117	0.551	0.015	0.097	0.220
1999	25.737	6.426	4.005	0.120	0.554	0.014	0.088	0.223
2000	28.406	6.588	4.312	0.122	0.556	0.015	0.083	0.225
2001	31.748	6.824	4.653	0.124	0.554	0.016	0.080	0.225
2002	35.474	7.062	5.023	0.125	0.556	0.015	0.077	0.226
2003	40.315	7.408	5.442	0.126	0.560	0.017	0.072	0.225
2004	47.596	8.003	5.947	0.128	0.567	0.017	0.069	0.219
2005	56.064	8.606	6.514	0.132	0.562	0.018	0.069	0.220
2006	65.326	9.198	7.102	0.140	0.550	0.018	0.065	0.228
2007	76.975	9.935	7.748	0.144	0.543	0.018	0.063	0.233

2008	92.734	10.912	8.498	0.146	0.538	0.017	0.064	0.235
2009	104.815	11.178	9.377	0.154	0.501	0.018	0.069	0.258
2010	123.832	11.826	10.471	0.160	0.498	0.021	0.061	0.259
2011	149.447	12.812	11.664	0.165	0.503	0.023	0.063	0.247
2012	171.299	13.278	12.901	0.166	0.503	0.024	0.065	0.242
2013	192.270	13.585	14.153	0.170	0.501	0.026	0.064	0.239
2014	216.568	13.975	15.496	0.169	0.501	0.028	0.062	0.240
2015	238.228	14.186	16.793	0.167	0.495	0.030	0.059	0.249
2016	263.007	14.540	18.088	0.160	0.497	0.032	0.054	0.257
2017	301.398	15.522	19.418	0.151	0.517	0.032	0.050	0.251
2018	347.126	16.514	21.020	0.144	0.528	0.031	0.048	0.249
2019	386.722	17.073	22.651	0.140	0.533	0.031	0.046	0.250
2020	416.504	17.301	24.073	0.139	0.539	0.031	0.045	0.246
2021	467.299	18.343	25.476	0.131	0.564	0.031	0.041	0.232

注)この出力は、付論 C の 102 ページの推計結果として出力されたものである

次に 16 種類の資本への投資価格 P_{ln}^t と投資数量 Q_{ln}^t を用いて、Törnqvistの方法によって資本投資に対する総合的な価格指数 P_I^t と数量指数 Q_I^t を作成する。各資本についての投資数量 Q_{ln}^t は(6')式によって逆算できた。投資価格 P_{ln}^t のデータは表 5 に示す。

表 5. 資本投資の価格指数

Year	P_{I1}^t	P_{I2}^t	P_{I3}^t	P_{I4}^t	P_{I5}^t	P_{I6}^t	P_{I7}^t	P_{I8}^t	P_{I9}^t	P_{I10}^t	P_{I11}^t
1970	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
1971	0.960	0.943	0.993	0.996	1.012	1.009	1.043	0.923	1.065	0.949	1.078
1972	0.874	0.894	0.990	0.972	1.022	0.997	1.043	0.895	1.134	0.900	1.153
1973	0.753	0.820	0.965	0.994	1.073	1.011	1.053	0.954	1.215	0.838	1.218
1974	0.756	0.730	0.891	1.024	1.058	1.034	1.114	0.863	1.247	0.682	1.249
1975	0.698	0.707	0.956	0.981	1.060	1.055	1.159	0.974	1.329	0.655	1.354
1976	0.763	0.688	0.960	0.978	1.076	1.062	1.167	1.026	1.437	0.646	1.513
1977	0.753	0.660	0.933	0.977	1.089	1.069	1.181	1.091	1.508	0.625	1.613
1978	0.662	0.634	0.937	0.988	1.098	1.082	1.224	1.043	1.593	0.606	1.710
1979	0.586	0.632	0.936	1.006	1.130	1.099	1.239	1.086	1.659	0.619	1.744
1980	0.452	0.595	0.891	1.015	1.207	1.169	1.333	1.018	1.686	0.592	1.760
1981	0.382	0.578	0.897	1.020	1.224	1.207	1.391	0.979	1.742	0.598	1.862
1982	0.338	0.562	0.902	1.026	1.261	1.239	1.436	0.999	1.781	0.610	1.890

1983	0.296	0.532	0.870	1.009	1.326	1.299	1.506	0.934	1.724	0.588	1.864
1984	0.277	0.527	0.877	1.025	1.405	1.378	1.595	0.943	1.770	0.592	1.908
1985	0.276	0.532	0.902	1.063	1.523	1.490	1.715	1.050	1.881	0.607	1.978
1986	0.272	0.532	0.942	1.111	1.667	1.619	1.867	1.074	2.021	0.627	2.095
1987	0.251	0.520	0.945	1.132	1.801	1.721	1.989	1.071	2.078	0.644	2.164
1988	0.247	0.548	1.034	1.252	2.037	1.943	2.246	1.178	2.334	0.712	2.404
1989	0.259	0.579	1.092	1.362	2.189	2.077	2.394	1.326	2.567	0.740	2.722
1990	0.275	0.618	1.172	1.496	2.339	2.222	2.561	1.437	2.889	0.773	2.966
1991	0.279	0.638	1.226	1.607	2.565	2.439	2.810	1.351	3.145	0.816	3.170
1992	0.293	0.694	1.359	1.774	3.008	2.846	3.278	1.422	3.474	0.848	3.551
1993	0.306	0.810	1.594	2.089	4.001	3.715	4.282	1.496	4.280	1.006	4.302
1994	0.318	0.860	1.694	2.250	4.439	4.077	4.718	1.589	4.596	1.080	4.676
1995	0.302	0.891	1.779	2.370	4.631	4.288	4.948	1.725	4.887	1.154	4.962
1996	0.267	0.839	1.801	2.384	4.866	4.504	5.193	1.858	4.960	1.151	5.021
1997	0.245	0.783	1.788	2.362	5.025	4.619	5.341	1.803	4.964	1.109	4.979
1998	0.236	0.740	1.767	2.336	5.020	4.606	5.381	1.611	4.910	1.082	4.965
1999	0.225	0.677	1.721	2.277	5.040	4.601	5.384	1.531	4.856	1.055	4.913
2000	0.211	0.635	1.674	2.239	5.111	4.541	5.521	1.575	4.849	1.029	4.878
2001	0.180	0.604	1.679	2.231	5.208	4.596	5.597	1.724	4.873	1.013	4.923
2002	0.162	0.563	1.672	2.197	5.416	4.655	5.645	1.523	4.862	0.986	4.934
2003	0.138	0.522	1.650	2.166	5.725	4.781	5.889	1.687	4.897	0.948	4.940
2004	0.122	0.504	1.672	2.186	6.263	5.120	6.384	1.872	5.026	0.945	5.051
2005	0.109	0.489	1.695	2.213	6.792	5.409	6.531	1.997	5.118	0.938	5.123
2006	0.103	0.475	1.725	2.260	7.227	5.626	6.628	2.086	5.276	0.941	5.211
2007	0.099	0.452	1.739	2.277	7.820	5.953	6.963	2.032	5.330	0.932	5.249
2008	0.090	0.438	1.769	2.319	8.375	6.226	7.947	1.830	5.477	0.932	5.316
2009	0.078	0.413	1.773	2.292	8.086	5.997	7.644	1.837	5.225	0.897	5.288
2010	0.074	0.389	1.810	2.314	8.454	6.294	8.042	2.069	5.407	0.892	5.397
2011	0.071	0.367	1.857	2.369	9.137	6.987	8.756	2.201	5.641	0.900	5.629
2012	0.067	0.340	1.855	2.373	9.244	7.103	8.930	2.145	5.633	0.876	5.604
2013	0.066	0.336	1.867	2.345	9.305	7.122	8.928	2.364	5.540	0.842	5.509
2014	0.066	0.338	1.863	2.331	9.397	7.127	8.984	2.508	5.519	0.815	5.477
2015	0.068	0.340	1.847	2.302	9.145	6.924	8.749	2.773	5.398	0.783	5.373
2016	0.064	0.331	1.830	2.294	9.096	6.885	8.689	3.381	5.381	0.778	5.415

2017	0.065	0.330	1.839	2.309	9.837	7.424	9.385	3.528	5.474	0.772	5.463
2018	0.065	0.323	1.854	2.341	10.542	7.952	10.071	3.630	5.624	0.769	5.558
2019	0.064	0.320	1.857	2.353	10.798	8.182	10.378	3.604	5.647	0.759	5.574
2020	0.063	0.315	1.857	2.342	10.840	8.127	10.350	3.238	5.599	0.770	5.613

そして P_I^t, Q_I^t の用意ができれば、生産物に関する 4 種類のデータである民間消費(P_C^t, Q_C^t)、政府支出(P_G^t, Q_G^t)、輸出(P_X^t, Q_X^t)、輸入($P_M^t, -Q_M^t$)を用いて、生産者価格での国内総生産(GDP)の価格指数 P_Y^t および数量指数 Q_Y^t を計算する。これら $P_C^t, Q_C^t, P_G^t, Q_G^t, P_X^t, Q_X^t, P_M^t, Q_M^t$ については、Diewert, Nomura and Shimizu(2024)の TableA5, A6 に掲載されている。これによって、総生産額を V_Y^t とすれば、 $V_Y^t = P_Y^t Q_Y^t$ として求めることができる。これらの値を表 6 に示す。¹¹

表 6. 産出側に関して計算したいくつかの指数

Year	P_I^t	Q_I^t	V_Y	P_Y^t	Q_Y^t	Year	P_I^t	Q_I^t	V_Y	P_Y^t	Q_Y^t
1970	1.000	0.066	0.236	1.000	0.236	1996	3.759	0.665	6.879	4.947	1.390
1971	1.006	0.067	0.252	1.023	0.246	1997	3.808	0.688	7.656	5.076	1.508
1972	1.001	0.070	0.267	1.041	0.257	1998	3.780	0.767	8.324	5.074	1.640
1973	1.028	0.072	0.283	1.071	0.265	1999	3.745	0.821	8.920	5.049	1.767
1974	1.037	0.076	0.294	1.091	0.269	2000	3.744	0.920	10.013	5.159	1.941
1975	1.039	0.086	0.316	1.113	0.283	2001	3.772	1.035	10.905	5.289	2.062
1976	1.049	0.085	0.322	1.125	0.286	2002	3.788	1.194	11.861	5.243	2.262
1977	1.057	0.097	0.355	1.154	0.308	2003	3.860	1.457	13.263	5.345	2.481
1978	1.073	0.112	0.395	1.193	0.331	2004	4.067	1.671	15.235	5.666	2.689
1979	1.102	0.121	0.443	1.257	0.353	2005	4.212	1.845	17.628	5.939	2.968
1980	1.152	0.124	0.495	1.324	0.374	2006	4.342	2.106	20.954	6.326	3.312
1981	1.178	0.120	0.527	1.364	0.386	2007	4.512	2.498	25.326	6.702	3.779
1982	1.208	0.129	0.579	1.409	0.411	2008	4.767	3.034	30.257	7.079	4.274
1983	1.245	0.146	0.654	1.454	0.449	2009	4.683	3.680	33.493	7.092	4.723
1984	1.304	0.191	0.791	1.524	0.519	2010	4.858	4.173	38.903	7.419	5.244
1985	1.395	0.232	0.941	1.673	0.562	2011	5.158	4.521	45.123	8.005	5.637
1986	1.501	0.240	1.070	1.771	0.604	2012	5.194	4.860	49.648	8.221	6.039
1987	1.578	0.248	1.232	1.886	0.654	2013	5.192	5.425	54.902	8.388	6.546
1988	1.771	0.303	1.531	2.051	0.746	2014	5.197	5.640	58.811	8.545	6.883
1989	1.899	0.273	1.676	2.260	0.742	2015	5.091	5.991	64.071	8.761	7.313
1990	2.045	0.252	1.862	2.481	0.751	2016	5.076	6.407	69.580	8.964	7.762

¹¹ これらについての元の値は Diewert, Nomura and Shimizu(2024)の TableA5, A6, B3 に掲載されている。

1991	2.205	0.315	2.235	2.689	0.831	2017	5.337	7.458	80.830	9.379	8.618
1992	2.494	0.374	2.679	2.915	0.919	2018	5.595	7.827	88.593	9.789	9.050
1993	3.118	0.450	3.477	3.408	1.020	2019	5.703	7.540	93.106	10.176	9.150
1994	3.432	0.525	4.567	3.924	1.164	2020	5.687	7.759	97.162	10.470	9.280
1995	3.625	0.607	5.818	4.537	1.282						

注)この出力は、付論 C の 103 ページの推計結果として出力されたものである

続けて、 t 年における総生産価値 V_Y^t を(5)式で定義されるユーザーコストを使って表現する事を考える。いま労働の価格指数と数量指数をそれぞれ P_L^t, Q_L^t とすれば、総生産額は労働による収益 $V_L^t = P_L^t Q_L^t$ とユーザーコスト U_n^t に対応する資産の数量指数 Q_{Kn}^t をかけあわせたものの和が、生産要素の総額に等しくなる。これは、産出の面から見た総額と等しくなるので次式が成り立つ。

$$V_Y^t = V_L^t + U_n^t Q_n^t = V_L^t + \sum_{n=1}^{16} [(1+r^t + \tau_n^t)P_{Kn}^t - (1+i_n^t)(1-\delta_n^t)P_{Kn}^t]Q_{Kn}^t \cdots (10)$$

(10)式において、資本ストックのインフレ率 i_n^t は(2)式で計算でき(表 7)、減価率 δ_n^t はデータが与えられているから、固定資産税 τ_n^t として表 8 に掲載したものをを用いれば、資本コスト r^t 以外はすべて既知である。

表 7. インフレ率

Year	i_1^t	i_2^t	i_3^t	i_4^t	i_5^t	i_6^t	i_7^t	i_8^t
1970	-0.040	-0.057	-0.007	-0.004	0.012	0.009	0.043	-0.077
1971	-0.091	-0.051	-0.003	-0.024	0.010	-0.012	0.000	-0.030
1972	-0.139	-0.084	-0.025	0.023	0.050	0.014	0.010	0.066
1973	0.005	-0.110	-0.077	0.030	-0.014	0.023	0.058	-0.095
1974	-0.077	-0.032	0.073	-0.042	0.002	0.020	0.040	0.129
1975	0.092	-0.027	0.004	-0.003	0.015	0.007	0.007	0.053
1976	-0.012	-0.041	-0.028	-0.001	0.012	0.007	0.012	0.063
1977	-0.121	-0.039	0.004	0.011	0.008	0.012	0.036	-0.044
1978	-0.115	-0.003	-0.001	0.018	0.029	0.016	0.012	0.041
1979	-0.229	-0.059	-0.048	0.009	0.068	0.064	0.076	-0.063
1980	-0.155	-0.029	0.007	0.005	0.014	0.033	0.044	-0.038
1981	-0.115	-0.028	0.006	0.006	0.030	0.027	0.032	0.020
1982	-0.124	-0.053	-0.035	-0.017	0.052	0.048	0.049	-0.065
1983	-0.064	-0.009	0.008	0.016	0.060	0.061	0.059	0.010
1984	-0.004	0.009	0.029	0.037	0.084	0.081	0.075	0.113
1985	-0.014	0.000	0.044	0.045	0.095	0.087	0.089	0.023
1986	-0.077	-0.023	0.003	0.019	0.080	0.063	0.065	-0.003

1987	-0.016	0.054	0.094	0.106	0.131	0.129	0.129	0.100
1988	0.049	0.057	0.056	0.088	0.075	0.069	0.066	0.126
1989	0.062	0.067	0.073	0.098	0.069	0.070	0.070	0.084
1990	0.015	0.032	0.046	0.074	0.097	0.098	0.097	-0.060
1991	0.050	0.088	0.108	0.104	0.173	0.167	0.167	0.053
1992	0.044	0.167	0.173	0.178	0.330	0.305	0.306	0.052
1993	0.039	0.062	0.063	0.077	0.109	0.097	0.102	0.062
1994	-0.050	0.036	0.050	0.053	0.043	0.052	0.049	0.086
1995	-0.116	-0.058	0.012	0.006	0.051	0.050	0.050	0.077
1996	-0.082	-0.067	-0.007	-0.009	0.033	0.026	0.028	-0.030
1997	-0.037	-0.055	-0.012	-0.011	-0.001	-0.003	0.007	-0.106
1998	-0.047	-0.085	-0.026	-0.025	0.004	-0.001	0.001	-0.050
1999	-0.062	-0.062	-0.027	-0.017	0.014	-0.013	0.025	0.029
2000	-0.147	-0.049	0.003	-0.004	0.019	0.012	0.014	0.095
2001	-0.100	-0.066	-0.004	-0.015	0.040	0.013	0.009	-0.117
2002	-0.148	-0.074	-0.013	-0.014	0.057	0.027	0.043	0.108
2003	-0.116	-0.034	0.013	0.009	0.094	0.071	0.084	0.110
2004	-0.107	-0.030	0.014	0.012	0.084	0.056	0.023	0.067
2005	-0.055	-0.029	0.018	0.021	0.064	0.040	0.015	0.045
2006	-0.039	-0.048	0.008	0.008	0.082	0.058	0.051	-0.026
2007	-0.091	-0.031	0.017	0.018	0.071	0.046	0.141	-0.099
2008	-0.133	-0.057	0.002	-0.012	-0.035	-0.037	-0.038	0.004
2009	-0.051	-0.058	0.021	0.010	0.046	0.050	0.052	0.126
2010	-0.041	-0.057	0.026	0.024	0.081	0.110	0.089	0.064
2011	-0.056	-0.074	-0.001	0.002	0.012	0.017	0.020	-0.025
2012	-0.015	-0.012	0.006	-0.012	0.007	0.003	0.000	0.102
2013	0.000	0.006	-0.002	-0.006	0.010	0.001	0.006	0.061
2014	0.030	0.006	-0.009	-0.012	-0.027	-0.028	-0.026	0.106
2015	-0.059	-0.026	-0.009	-0.003	-0.005	-0.006	-0.007	0.219
2016	0.016	-0.003	0.005	0.007	0.081	0.078	0.080	0.043
2017	0.000	-0.021	0.008	0.014	0.072	0.071	0.073	0.029
2018	-0.015	-0.009	0.002	0.005	0.024	0.029	0.030	-0.007
2019	-0.016	-0.016	0.000	-0.005	0.004	-0.007	-0.003	-0.102
2020	0.000	0.000	0.001	0.013	0.083	0.083	0.083	0.008

Year	i_9^t	i_{10}^t	i_{11}^t	i_{12}^t	i_{13}^t	i_{14}^t	i_{15}^t	i_{16}^t
1970	0.065	-0.051	0.078	0.005	0.051	0.117	0.117	0.051
1971	0.065	-0.053	0.070	0.008	0.036	0.105	0.105	0.036
1972	0.071	-0.068	0.057	0.001	0.036	0.103	0.103	0.036
1973	0.026	-0.186	0.025	0.001	0.033	0.101	0.101	0.033
1974	0.066	-0.040	0.085	0.003	0.029	0.091	0.091	0.029
1975	0.081	-0.015	0.117	-0.003	0.010	0.111	0.111	0.010
1976	0.049	-0.031	0.066	0.005	-0.005	0.137	0.137	-0.005
1977	0.056	-0.030	0.060	-0.004	0.020	0.161	0.161	0.020
1978	0.041	0.021	0.020	0.021	0.064	0.165	0.165	0.064
1979	0.016	-0.044	0.009	0.072	0.098	0.154	0.154	0.098
1980	0.033	0.010	0.058	0.040	0.113	0.148	0.148	0.113
1981	0.022	0.018	0.015	0.030	0.098	0.169	0.169	0.098
1982	-0.032	-0.034	-0.014	0.010	0.094	0.203	0.203	0.094
1983	0.027	0.005	0.024	0.016	0.095	0.219	0.219	0.095
1984	0.063	0.025	0.037	0.035	0.085	0.213	0.213	0.085
1985	0.074	0.035	0.059	0.075	0.085	0.217	0.217	0.085
1986	0.028	0.027	0.033	0.081	0.099	0.214	0.214	0.099
1987	0.123	0.106	0.111	0.068	0.115	0.207	0.207	0.115
1988	0.100	0.039	0.132	0.146	0.127	0.200	0.200	0.127
1989	0.125	0.045	0.090	0.051	0.116	0.178	0.207	0.124
1990	0.089	0.056	0.069	0.066	0.122	0.348	0.203	0.101
1991	0.105	0.039	0.120	0.035	0.115	0.266	0.272	0.102
1992	0.232	0.186	0.211	0.046	0.170	0.286	0.354	0.108
1993	0.074	0.074	0.087	0.120	0.208	0.253	0.268	0.099
1994	0.063	0.068	0.061	0.254	0.212	0.193	0.014	0.440
1995	0.015	-0.002	0.012	0.134	0.183	0.111	0.075	0.221
1996	0.001	-0.036	-0.008	0.044	0.138	0.028	0.046	0.239
1997	-0.011	-0.024	-0.003	-0.004	0.091	-0.017	0.051	0.204
1998	-0.011	-0.026	-0.010	-0.044	0.056	-0.002	0.087	0.161
1999	-0.001	-0.024	-0.007	-0.022	0.044	0.055	0.129	0.137
2000	0.005	-0.016	0.009	0.017	0.050	0.133	0.145	0.116
2001	-0.002	-0.027	0.002	0.002	0.070	0.196	0.134	0.090
2002	0.007	-0.039	0.001	-0.001	0.102	0.200	0.128	0.087

2003	0.026	-0.003	0.023	0.037	0.118	0.177	0.124	0.118
2004	0.018	-0.008	0.014	0.096	0.128	0.232	0.142	0.156
2005	0.031	0.004	0.017	0.041	0.147	0.304	0.153	0.152
2006	0.010	-0.010	0.007	0.035	0.154	0.265	0.164	0.163
2007	0.028	0.000	0.013	0.063	0.143	0.192	0.204	0.217
2008	-0.046	-0.038	-0.005	0.074	0.147	0.139	0.202	0.207
2009	0.035	-0.006	0.020	-0.050	0.155	0.078	0.162	0.164
2010	0.043	0.009	0.043	0.076	0.151	0.030	0.136	0.150
2011	-0.001	-0.027	-0.004	0.065	0.139	0.030	0.114	0.139
2012	-0.017	-0.039	-0.017	-0.005	0.125	0.048	0.085	0.129
2013	-0.004	-0.032	-0.006	-0.007	0.105	0.053	0.089	0.163
2014	-0.022	-0.039	-0.019	-0.018	0.085	0.049	0.118	0.189
2015	-0.003	-0.006	0.008	-0.048	0.073	0.035	0.143	0.163
2016	0.017	-0.008	0.009	-0.011	0.071	0.020	0.153	0.122
2017	0.027	-0.004	0.017	0.048	0.079	0.028	0.152	0.084
2018	0.004	-0.013	0.003	0.030	0.090	0.059	0.142	0.041
2019	-0.009	0.014	0.007	0.009	0.084	0.056	0.124	0.034
2020	0.008	0.008	0.008	-0.007	0.079	0.057	0.110	0.029

注)この出力は、付論 C の 103 ページの推計結果として出力されたものである

表 8. 固定資産税(表未掲載の資本については 0)

Year	τ_5^t	τ_6^t	τ_{14}^t	τ_{15}^t	τ_{15}^t	Year	τ_5^t	τ_6^t	τ_{14}^t	τ_{15}^t	τ_{15}^t
1970	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1996	0.001	0.001	0.002	0.003	0.002
1971	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1997	0.002	0.002	0.002	0.003	0.002
1972	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1998	0.002	0.002	0.002	0.003	0.002
1973	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1999	0.002	0.002	0.001	0.003	0.002
1974	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2000	0.002	0.002	0.001	0.003	0.002
1975	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2001	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002
1976	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2002	0.002	0.002	0.001	0.003	0.002
1977	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2003	0.002	0.002	0.002	0.003	0.002
1978	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2004	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003
1979	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2005	0.002	0.003	0.002	0.004	0.003
1980	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2006	0.003	0.003	0.002	0.004	0.003
1981	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2007	0.003	0.003	0.003	0.006	0.005

1982	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2008	0.003	0.003	0.006	0.010	0.006
1983	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2009	0.004	0.004	0.007	0.009	0.006
1984	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2010	0.004	0.004	0.006	0.011	0.008
1985	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2011	0.005	0.005	0.007	0.012	0.009
1986	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2012	0.005	0.005	0.009	0.014	0.010
1987	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	2013	0.006	0.006	0.009	0.014	0.011
1988	0.001	0.001	0.002	0.003	0.002	2014	0.006	0.006	0.010	0.015	0.011
1989	0.001	0.001	0.002	0.003	0.003	2015	0.006	0.006	0.009	0.013	0.010
1990	0.001	0.001	0.002	0.003	0.002	2016	0.006	0.006	0.008	0.011	0.009
1991	0.001	0.001	0.002	0.003	0.002	2017	0.005	0.005	0.007	0.010	0.009
1992	0.001	0.001	0.002	0.003	0.002	2018	0.005	0.005	0.006	0.009	0.007
1993	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	2019	0.005	0.005	0.005	0.008	0.007
1994	0.001	0.001	0.002	0.004	0.002	2020	0.005	0.005	0.005	0.007	0.006
1995	0.001	0.001	0.002	0.003	0.002						

そのため、(10)式を次のように変形することで、資本コスト r^t を求めることができる。

$$r^t = \left(V_Y^t - V_L^t - \sum_{n=1}^{16} [(1 + \tau_n^t)P_{kn}^t Q_{kn}^t - (1 + i_n^t)(1 - \delta_n^t)P_{kn}^t Q_{kn}^t] \right) / V_K^t \cdots (10')$$

(10')式を用いて計算した資本コスト r^t を図2に示す。

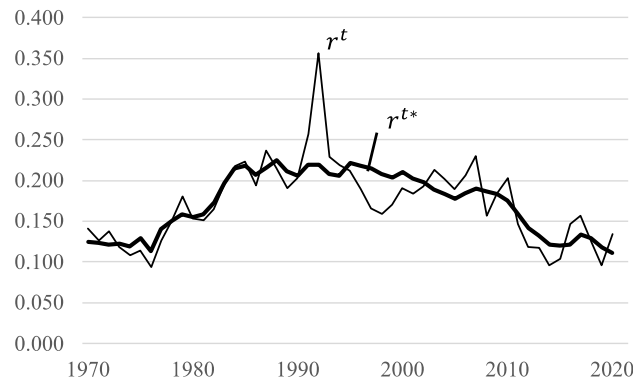


図2. 推定された資本ストック

図をみるとわかるように、(10)式を用いて計算した資本ストック r^t はボラティリティが大きい。これを使って、16種類の資本についてユーザーコストを計算すると、資本(12)～資本(16)におけるユーザーコストの一部がマイナスになってしまう(表9)。実際、1994年における U_{12}^t の値をはじめとして、 $U_{13}^t \sim U_{16}^t$ の何時点かにおいて負のユーザーコストが観測できる。ユーザーコスト、つまり費用が負になることは理論的に考えにくい。(5)式に基づき実際のデータで計算された値が負になってしまうことを、われわれは「ネガティブ・ユーザーコスト問題」と呼んでいる。

資本コストのボラティリティは、(2)式で定義されるインフレ率のボラティリティに大きく依存している。この計算がユーザーコストを計算するうえで最も重要になる。そこで、資本コスト r^t の計算に、平滑化したインフレ率 i_h^t を用いる。この際、平滑化の方法として2つの方法がある。1つは、過去10年～15年の平均のインフレ率を使用する方法、もう1つは、減価率を平滑化したのと同様に LOWESS によって平滑化を行う方法がある。

ここでは、LOWESS によって平滑化したインフレ率($f=0.4$ として平滑化を実行した)を用いて資本コスト r^t を再度計算する(これを r^{t*} とおく)。このようにして得られた資本コスト r^{t*} は、前掲した図2に資本コスト r^t と共に示してある。¹² また、数値については表 10 に示す。1992 年における急激な変動がなくなり、平滑化されていることがわかる。

表 9. ユーザーコスト

Year	U_1^t	U_2^t	U_3^t	U_4^t	U_5^t	U_6^t	U_7^t	U_8^t
1970	0.525	0.476	0.307	0.279	0.167	0.189	0.117	0.386
1971	0.529	0.434	0.285	0.278	0.156	0.195	0.151	0.309
1972	0.523	0.444	0.311	0.241	0.130	0.180	0.153	0.238
1973	0.375	0.412	0.328	0.220	0.181	0.154	0.083	0.359
1974	0.412	0.324	0.183	0.281	0.152	0.151	0.097	0.160
1975	0.312	0.320	0.257	0.243	0.145	0.173	0.146	0.245
1976	0.370	0.301	0.271	0.227	0.139	0.163	0.128	0.236
1977	0.439	0.301	0.257	0.238	0.169	0.182	0.128	0.370
1978	0.400	0.296	0.288	0.259	0.175	0.207	0.191	0.310
1979	0.414	0.328	0.349	0.300	0.171	0.194	0.153	0.446
1980	0.287	0.279	0.266	0.278	0.213	0.208	0.171	0.371
1981	0.233	0.265	0.266	0.276	0.197	0.222	0.194	0.308
1982	0.216	0.285	0.312	0.312	0.192	0.217	0.194	0.400
1983	0.195	0.273	0.297	0.309	0.230	0.250	0.232	0.346
1984	0.186	0.293	0.310	0.322	0.244	0.272	0.258	0.296
1985	0.189	0.309	0.327	0.337	0.259	0.294	0.265	0.417
1986	0.184	0.284	0.338	0.348	0.262	0.314	0.282	0.420
1987	0.165	0.279	0.303	0.317	0.267	0.296	0.254	0.373
1988	0.142	0.273	0.342	0.345	0.374	0.404	0.381	0.361
1989	0.137	0.250	0.308	0.321	0.361	0.382	0.340	0.405
1990	0.155	0.288	0.371	0.400	0.351	0.378	0.327	0.626
1991	0.167	0.316	0.400	0.484	0.349	0.400	0.334	0.551
1992	0.209	0.393	0.504	0.594	0.233	0.359	0.244	0.713

¹² Diewert, Nomura and Shimizu(2024)の Table1 に元の値が掲載されている

1993	0.183	0.438	0.574	0.626	0.665	0.734	0.645	0.563
1994	0.206	0.475	0.599	0.702	0.980	0.948	0.917	0.554
1995	0.206	0.534	0.645	0.812	0.947	0.964	0.912	0.591
1996	0.169	0.475	0.647	0.804	0.990	1.035	0.968	0.758
1997	0.141	0.426	0.599	0.734	1.044	1.050	0.949	0.801
1998	0.136	0.388	0.602	0.760	1.018	1.040	0.992	0.633
1999	0.136	0.360	0.599	0.729	0.995	1.114	0.888	0.514
2000	0.150	0.370	0.575	0.732	1.081	1.078	1.078	0.472
2001	0.130	0.352	0.583	0.736	0.965	1.055	1.082	0.801
2002	0.126	0.324	0.614	0.743	0.966	1.051	0.952	0.451
2003	0.107	0.292	0.611	0.741	0.940	0.988	0.888	0.525
2004	0.089	0.269	0.596	0.716	1.009	1.060	1.260	0.617
2005	0.070	0.252	0.581	0.684	1.144	1.142	1.267	0.667
2006	0.065	0.258	0.631	0.764	1.216	1.184	1.159	0.850
2007	0.066	0.250	0.664	0.803	1.589	1.466	0.764	1.000
2008	0.055	0.219	0.579	0.717	1.969	1.592	1.726	0.648
2009	0.046	0.217	0.594	0.720	1.464	1.182	1.155	0.522
2010	0.044	0.212	0.633	0.742	1.420	1.005	1.079	0.722
2011	0.039	0.183	0.575	0.659	1.619	1.339	1.271	0.780
2012	0.033	0.146	0.515	0.624	1.433	1.263	1.225	0.471
2013	0.032	0.138	0.521	0.597	1.411	1.271	1.153	0.582
2014	0.029	0.129	0.482	0.551	1.545	1.315	1.250	0.462
2015	0.034	0.139	0.490	0.542	1.393	1.187	1.128	0.266
2016	0.031	0.145	0.545	0.622	1.019	0.926	0.748	0.952
2017	0.033	0.153	0.562	0.636	1.287	1.126	0.972	1.067
2018	0.032	0.136	0.516	0.586	1.514	1.262	1.135	1.091
2019	0.029	0.126	0.462	0.538	1.450	1.336	1.206	1.264
2020	0.030	0.131	0.530	0.586	1.044	0.950	0.733	0.970
Year	U_9^t	U_{10}^t	U_{11}^t	U_{12}^t	U_{13}^t	U_{14}^t	U_{15}^t	U_{16}^t
1970	0.279	0.585	0.423	0.136	0.090	0.024	0.024	0.090
1971	0.278	0.552	0.438	0.119	0.095	0.024	0.024	0.095
1972	0.299	0.548	0.477	0.139	0.111	0.043	0.043	0.111
1973	0.338	0.552	0.504	0.119	0.096	0.023	0.023	0.096
1974	0.297	0.397	0.449	0.107	0.093	0.026	0.026	0.093

1975	0.309	0.370	0.471	0.120	0.125	0.005	0.005	0.125
1976	0.336	0.355	0.530	0.090	0.119	-0.079	-0.079	0.119
1977	0.392	0.364	0.623	0.133	0.128	-0.072	-0.072	0.128
1978	0.474	0.352	0.774	0.132	0.106	-0.034	-0.034	0.106
1979	0.579	0.400	0.847	0.112	0.108	0.075	0.075	0.108
1980	0.519	0.355	0.743	0.125	0.058	0.016	0.016	0.058
1981	0.544	0.350	0.812	0.140	0.084	-0.069	-0.069	0.084
1982	0.661	0.380	0.920	0.185	0.125	-0.164	-0.164	0.125
1983	0.612	0.373	0.926	0.215	0.189	-0.128	-0.128	0.189
1984	0.623	0.389	1.002	0.223	0.279	0.030	0.030	0.279
1985	0.652	0.403	1.060	0.188	0.316	0.048	0.048	0.316
1986	0.715	0.405	1.095	0.154	0.234	-0.184	-0.184	0.234
1987	0.658	0.414	1.113	0.248	0.331	0.341	0.341	0.331
1988	0.731	0.465	1.127	0.109	0.267	0.246	0.249	0.274
1989	0.684	0.457	1.215	0.251	0.255	0.233	-0.222	0.235
1990	0.890	0.483	1.386	0.260	0.309	-2.780	0.046	0.400
1991	1.102	0.555	1.565	0.448	0.610	-0.196	-0.288	0.668
1992	1.197	0.583	1.933	0.647	0.887	2.391	0.158	1.167
1993	1.488	0.618	2.212	0.239	0.121	-0.944	-1.518	0.685
1994	1.595	0.678	2.445	-0.085	0.045	1.493	10.883	-1.242
1995	1.855	0.755	2.679	0.237	0.233	6.543	7.412	-0.056
1996	1.838	0.749	2.655	0.504	0.494	11.509	8.336	-0.477
1997	1.787	0.685	2.484	0.616	0.833	13.377	7.018	-0.444
1998	1.732	0.657	2.476	0.734	1.231	11.578	4.652	-0.012
1999	1.739	0.643	2.481	0.664	1.592	8.268	2.940	0.593
2000	1.832	0.644	2.510	0.587	1.872	4.455	3.751	1.516
2001	1.835	0.635	2.527	0.626	1.580	-0.922	4.601	2.092
2002	1.849	0.649	2.603	0.670	1.357	-0.537	6.779	2.581
2003	1.885	0.620	2.810	0.608	1.562	4.670	10.360	2.542
2004	1.921	0.612	2.973	0.380	1.364	-3.973	7.970	1.416
2005	1.841	0.589	3.061	0.580	0.876	-19.836	5.878	1.358
2006	2.075	0.611	3.263	0.699	1.257	-13.081	7.803	1.805
2007	2.150	0.627	3.322	0.707	2.398	12.033	6.310	0.804
2008	2.131	0.604	2.845	0.374	0.327	8.418	-8.253	-2.403

2009	1.851	0.598	2.853	1.126	1.053	44.942	8.754	1.718
2010	1.971	0.602	2.875	0.581	2.174	76.826	25.432	4.713
2011	1.934	0.577	2.733	0.402	0.352	54.494	16.602	1.454
2012	1.843	0.545	2.657	0.650	-0.340	36.008	19.781	0.071
2013	1.741	0.511	2.546	0.649	0.760	35.171	19.205	-3.960
2014	1.673	0.472	2.432	0.584	0.730	28.240	-4.107	-10.993
2015	1.597	0.439	2.306	0.774	2.309	41.212	-13.917	-7.760
2016	1.726	0.458	2.560	0.759	5.919	73.175	3.192	6.288
2017	1.769	0.457	2.588	0.523	6.636	75.152	10.800	16.839
2018	1.734	0.433	2.465	0.474	3.119	40.681	-6.384	20.298
2019	1.635	0.393	2.280	0.446	1.153	26.804	-19.106	15.693
2020	1.762	0.424	2.496	0.732	5.892	51.955	33.326	26.498

注)この出力は、付論 C の 104 ページの推計結果として出力されたものである

表 10. 平滑化前後の資本コスト比較

Year	r^t	r^{t*}	Year	r^t	r^{t*}	Year	r^t	r^{t*}	Year	r^t	r^{t*}
1970	0.141	0.124	1983	0.194	0.197	1996	0.189	0.219	2009	0.184	0.183
1971	0.126	0.124	1984	0.218	0.215	1997	0.166	0.215	2010	0.203	0.176
1972	0.138	0.121	1985	0.223	0.219	1998	0.159	0.208	2011	0.147	0.159
1973	0.118	0.122	1986	0.194	0.207	1999	0.170	0.204	2012	0.119	0.142
1974	0.109	0.120	1987	0.237	0.216	2000	0.191	0.211	2013	0.117	0.132
1975	0.115	0.129	1988	0.215	0.225	2001	0.184	0.202	2014	0.095	0.121
1976	0.093	0.114	1989	0.190	0.212	2002	0.193	0.198	2015	0.104	0.120
1977	0.126	0.140	1990	0.203	0.206	2003	0.213	0.189	2016	0.147	0.121
1978	0.150	0.151	1991	0.257	0.220	2004	0.202	0.183	2017	0.157	0.134
1979	0.180	0.158	1992	0.356	0.219	2005	0.189	0.178	2018	0.125	0.129
1980	0.153	0.155	1993	0.229	0.208	2006	0.206	0.185	2019	0.096	0.118
1981	0.151	0.158	1994	0.219	0.206	2007	0.231	0.190	2020	0.134	0.111
1982	0.165	0.173	1995	0.212	0.221	2008	0.157	0.187			

注)この出力は、付論 C の 105 ページの推計結果として出力されたものである

表 11. 平滑化した資本コストを用いて計算したユーザーコスト

Year	U_1^t	U_2^t	U_3^t	U_4^t	U_5^t	U_6^t	U_7^t	U_8^t
1970	0.513	0.469	0.296	0.264	0.159	0.183	0.125	0.311

1971	0.503	0.441	0.290	0.259	0.157	0.180	0.127	0.287
1972	0.465	0.415	0.283	0.247	0.153	0.172	0.122	0.273
1973	0.410	0.386	0.278	0.252	0.158	0.171	0.122	0.289
1974	0.416	0.343	0.255	0.255	0.149	0.169	0.123	0.260
1975	0.391	0.341	0.281	0.254	0.155	0.177	0.135	0.300
1976	0.415	0.317	0.273	0.244	0.148	0.169	0.127	0.306
1977	0.431	0.311	0.278	0.257	0.164	0.183	0.145	0.340
1978	0.386	0.311	0.291	0.270	0.172	0.192	0.159	0.338
1979	0.348	0.302	0.292	0.278	0.181	0.198	0.166	0.357
1980	0.267	0.279	0.271	0.273	0.182	0.201	0.169	0.330
1981	0.228	0.266	0.272	0.273	0.183	0.207	0.177	0.319
1982	0.209	0.274	0.284	0.284	0.197	0.221	0.194	0.340
1983	0.196	0.273	0.293	0.298	0.229	0.254	0.230	0.340
1984	0.193	0.294	0.311	0.318	0.256	0.284	0.260	0.361
1985	0.192	0.303	0.332	0.330	0.271	0.299	0.272	0.406
1986	0.180	0.275	0.320	0.328	0.265	0.297	0.264	0.401
1987	0.160	0.277	0.319	0.337	0.285	0.316	0.279	0.402
1988	0.153	0.286	0.354	0.379	0.334	0.367	0.328	0.449
1989	0.153	0.275	0.346	0.384	0.324	0.362	0.315	0.472
1990	0.159	0.289	0.362	0.410	0.336	0.378	0.325	0.506
1991	0.166	0.317	0.407	0.475	0.425	0.468	0.417	0.512
1992	0.179	0.364	0.455	0.530	0.497	0.545	0.483	0.537
1993	0.187	0.443	0.559	0.620	0.653	0.701	0.617	0.568
1994	0.197	0.479	0.590	0.685	0.751	0.801	0.713	0.609
1995	0.194	0.508	0.629	0.768	0.875	0.931	0.846	0.684
1996	0.171	0.469	0.649	0.794	0.959	1.021	0.936	0.738
1997	0.157	0.447	0.639	0.784	0.978	1.038	0.953	0.704
1998	0.151	0.397	0.631	0.799	1.012	1.073	1.007	0.620
1999	0.146	0.373	0.607	0.760	0.986	1.055	0.990	0.576
2000	0.147	0.381	0.608	0.766	1.047	1.089	1.071	0.602
2001	0.132	0.357	0.607	0.749	1.036	1.075	1.048	0.646
2002	0.122	0.318	0.602	0.729	1.054	1.070	1.031	0.571
2003	0.102	0.285	0.586	0.707	1.062	1.060	1.025	0.609
2004	0.085	0.266	0.577	0.694	1.108	1.081	1.045	0.648

2005	0.071	0.253	0.578	0.694	1.165	1.111	1.035	0.671
2006	0.065	0.246	0.594	0.722	1.294	1.183	1.086	0.704
2007	0.061	0.235	0.607	0.739	1.463	1.290	1.189	0.690
2008	0.054	0.227	0.622	0.754	1.601	1.369	1.384	0.646
2009	0.046	0.211	0.611	0.728	1.508	1.279	1.276	0.638
2010	0.043	0.195	0.611	0.718	1.557	1.308	1.293	0.689
2011	0.039	0.177	0.586	0.686	1.556	1.349	1.276	0.671
2012	0.036	0.157	0.559	0.649	1.422	1.250	1.145	0.615
2013	0.034	0.151	0.538	0.614	1.354	1.183	1.056	0.649
2014	0.033	0.145	0.510	0.580	1.253	1.101	0.960	0.659
2015	0.033	0.143	0.500	0.566	1.206	1.056	0.924	0.723
2016	0.031	0.140	0.503	0.572	1.215	1.054	0.928	0.888
2017	0.032	0.143	0.530	0.605	1.420	1.222	1.116	0.974
2018	0.031	0.137	0.527	0.601	1.456	1.259	1.138	0.999
2019	0.030	0.130	0.505	0.576	1.362	1.196	1.051	0.970
2020	0.028	0.124	0.492	0.553	1.273	1.118	0.966	0.868
Year	U_9^t	U_{10}^t	U_{11}^t	U_{12}^t	U_{13}^t	U_{14}^t	U_{15}^t	U_{16}^t
1970	0.259	0.587	0.407	0.129	0.106	0.035	0.035	0.106
1971	0.275	0.562	0.433	0.126	0.106	0.030	0.030	0.106
1972	0.289	0.533	0.448	0.121	0.102	0.020	0.020	0.102
1973	0.312	0.496	0.475	0.119	0.100	0.013	0.013	0.100
1974	0.322	0.410	0.483	0.113	0.094	-0.001	-0.001	0.094
1975	0.360	0.391	0.546	0.120	0.102	0.001	0.001	0.102
1976	0.367	0.371	0.575	0.101	0.078	-0.041	-0.041	0.078
1977	0.427	0.374	0.658	0.125	0.103	-0.008	-0.008	0.103
1978	0.474	0.368	0.745	0.132	0.112	-0.003	-0.003	0.112
1979	0.510	0.376	0.769	0.139	0.122	-0.007	-0.007	0.122
1980	0.513	0.361	0.765	0.139	0.120	-0.047	-0.047	0.120
1981	0.529	0.359	0.790	0.142	0.128	-0.071	-0.071	0.128
1982	0.563	0.369	0.859	0.156	0.154	-0.053	-0.050	0.154
1983	0.585	0.371	0.901	0.179	0.200	0.017	0.028	0.201
1984	0.628	0.388	0.977	0.199	0.244	0.084	0.106	0.248
1985	0.661	0.401	1.051	0.206	0.260	0.066	0.101	0.268
1986	0.670	0.409	1.075	0.199	0.238	-0.105	-0.047	0.249

1987	0.692	0.422	1.121	0.220	0.270	-0.078	0.022	0.281
1988	0.786	0.468	1.236	0.238	0.308	0.044	0.205	0.319
1989	0.822	0.470	1.288	0.237	0.280	-0.108	0.135	0.276
1990	0.906	0.487	1.371	0.232	0.273	-0.069	0.228	0.243
1991	1.042	0.520	1.536	0.275	0.355	0.592	0.869	0.284
1992	1.166	0.535	1.777	0.291	0.395	1.198	1.423	0.275
1993	1.412	0.616	2.177	0.293	0.410	1.592	1.813	0.217
1994	1.545	0.685	2.393	0.341	0.509	2.509	2.758	0.218
1995	1.754	0.749	2.602	0.494	0.775	4.535	4.025	0.428
1996	1.816	0.748	2.639	0.571	0.931	5.373	4.655	0.498
1997	1.851	0.718	2.613	0.599	1.060	5.655	5.145	0.582
1998	1.830	0.694	2.608	0.587	1.112	5.268	5.449	0.620
1999	1.826	0.668	2.569	0.562	1.161	4.886	5.924	0.693
2000	1.899	0.662	2.603	0.591	1.344	5.426	7.250	0.995
2001	1.878	0.647	2.600	0.588	1.312	4.927	7.129	1.010
2002	1.868	0.642	2.608	0.587	1.340	4.850	6.969	1.119
2003	1.836	0.604	2.739	0.559	1.289	4.090	6.067	1.087
2004	1.859	0.597	2.893	0.551	1.241	3.446	5.327	1.080
2005	1.865	0.589	3.026	0.574	1.186	3.433	5.087	1.076
2006	1.957	0.593	3.143	0.616	1.397	6.833	6.934	1.437
2007	2.010	0.597	3.123	0.661	1.675	12.858	9.795	1.847
2008	2.051	0.621	2.960	0.696	1.770	19.213	12.170	1.939
2009	1.958	0.602	2.891	0.744	1.943	26.657	13.808	1.981
2010	1.979	0.589	2.852	0.689	2.060	31.615	14.364	1.932
2011	1.972	0.584	2.767	0.680	1.805	32.918	11.243	1.197
2012	1.874	0.554	2.704	0.647	1.440	31.623	6.950	0.819
2013	1.785	0.516	2.589	0.607	1.378	33.333	4.516	1.085
2014	1.696	0.481	2.485	0.560	1.155	34.389	0.773	1.257
2015	1.650	0.453	2.401	0.560	1.618	39.777	0.876	2.880
2016	1.649	0.439	2.439	0.555	2.333	45.634	2.355	5.607
2017	1.749	0.440	2.508	0.623	4.093	57.235	12.441	11.112
2018	1.763	0.433	2.485	0.641	4.522	59.453	11.188	13.145
2019	1.711	0.418	2.415	0.617	4.480	59.927	3.365	13.839
2020	1.659	0.411	2.382	0.600	4.799	62.614	-2.742	15.506

注)この出力は、付論 C の 106 ページの推計結果として出力されたものである

ただし、この平滑化した資本コスト r^{t*} を用いても、負のユーザーコストを完全になくすことはできなかった(図3)。¹³しかしここでは、そのままデータとして用いることとした。その理由として、もしも土地資産が非常に流動性の高い資産であれば、負のユーザーコストを持つ資産は、投資家が迅速に買い上げ、負のユーザーコストを排除するように働くはずである。ところが、土地資産は流動性が低く、また、取引コストも大きい。そのため、土地の買い手がおらずに、負のユーザーコストが発生する可能性があるためである。すべてのユーザーコストを表11に示す。1994年に存在していた U_{12}^t の負のユーザーコストはなくなっているものの、 U_{14}^t, U_{15}^t については未だ負のユーザーコストが残っている。

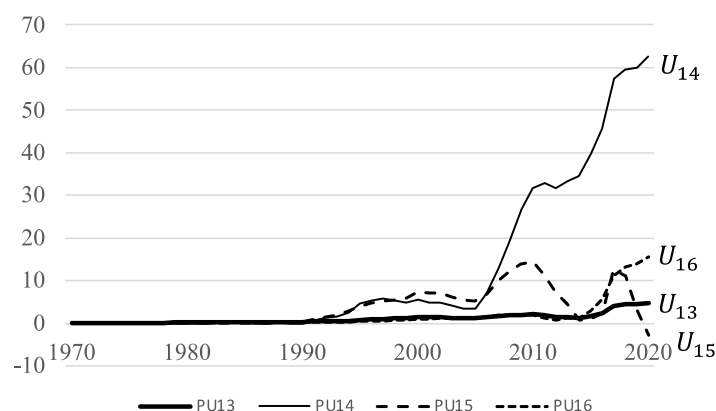


図3. 平滑化した資本コスト r^{t*} を用いて計算したユーザーコスト

本節の最後に、得られたユーザーコスト $U_1^t, \dots, U_{16}^t$ と対応する数量指数 $Q_{K1}^t, \dots, Q_{K16}^t$ を用いて、5種類に集約した資本の価格指数と数量指数をそれぞれ機械装置(P_{UM}^t, Q_{UM}^t)、構造物(P_{US}^t, Q_{US}^t)、その他資産(P_{UO}^t, Q_{UO}^t)、在庫(P_{UI}^t, Q_{UI}^t)、土地(P_{UL}^t, Q_{UL}^t)としてTörnqvistの方法を用いて作成する。ただし、一部のユーザーコストには負の値が含まれているため、(7)式における価格の比率の対数をとる計算ができない。そこで、価格と数量の役割を入れ替えることによって先に価格指数を計算し、その後で(8)式の関係式を用いて価格指数を計算する。これらの値を表12に示す。

そうして得られた5種類の集約資本に関する指数に加えて、労働に関する価格指数 P_L^t と数量指数 Q_L^t を用いることで、 t 年における生産要素の投入に関する総合的な価格指数と数量指数 P_Z^t, Q_Z^t を計算することができる。この結果と表6に掲載した産出に関して計算した総合的な指数を表13に示す。

表を見るとわかるように、2016年から2017年にかけて、土地資本の価格指数 P_{UL}^t についてかなり急激な変動が見られる。他の資本についてはこのような急な変動は見られない。また、土地のユーザーコストには負の値を取るものがあつたものの、集約した P_{UL}^t については、負のユーザーコストは見られない。

表12. ユーザーコストを用いて資本を集約した価格指数と数量指数

Year	P_{UM}^t	P_{US}^t	P_{UO}^t	P_{UI}^t	P_{UL}^t	Q_{UM}^t	Q_{US}^t	Q_{UO}^t	Q_{UI}^t	Q_{UL}^t
1970	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.025	0.033	0.003	0.006	0.021
1971	0.981	0.991	0.985	0.976	0.990	0.029	0.036	0.004	0.007	0.022

¹³ 元の値は Diewert, Nomura and Shimizu(2024)の TableA8 に掲載されている。

1972	0.939	0.960	0.987	0.939	0.938	0.032	0.039	0.004	0.008	0.022
1973	0.953	0.981	1.052	0.922	0.915	0.035	0.043	0.005	0.009	0.022
1974	0.950	0.940	1.019	0.878	0.843	0.038	0.047	0.005	0.009	0.022
1975	0.958	0.988	1.154	0.927	0.912	0.042	0.051	0.005	0.009	0.022
1976	0.922	0.942	1.176	0.781	0.646	0.046	0.056	0.006	0.009	0.022
1977	0.968	1.040	1.340	0.970	0.917	0.049	0.061	0.006	0.009	0.022
1978	1.014	1.102	1.422	1.024	1.003	0.051	0.067	0.006	0.010	0.022
1979	1.041	1.153	1.518	1.076	1.085	0.055	0.074	0.006	0.011	0.022
1980	1.012	1.162	1.480	1.079	1.018	0.057	0.081	0.007	0.013	0.022
1981	1.011	1.184	1.492	1.096	1.053	0.057	0.091	0.007	0.014	0.022
1982	1.052	1.274	1.587	1.208	1.311	0.056	0.100	0.008	0.014	0.022
1983	1.099	1.485	1.627	1.390	1.831	0.057	0.110	0.008	0.015	0.022
1984	1.171	1.667	1.739	1.545	2.342	0.059	0.121	0.009	0.015	0.023
1985	1.222	1.756	1.871	1.599	2.504	0.065	0.133	0.010	0.019	0.023
1986	1.204	1.720	1.880	1.541	2.114	0.077	0.147	0.011	0.023	0.023
1987	1.226	1.837	1.921	1.703	2.465	0.090	0.161	0.012	0.026	0.023
1988	1.372	2.149	2.166	1.844	3.009	0.107	0.175	0.014	0.027	0.023
1989	1.377	2.091	2.261	1.837	2.494	0.125	0.192	0.015	0.031	0.023
1990	1.464	2.168	2.453	1.796	2.324	0.132	0.206	0.016	0.037	0.023
1991	1.683	2.738	2.664	2.131	3.619	0.138	0.218	0.017	0.040	0.023
1992	1.876	3.189	2.883	2.256	4.386	0.147	0.232	0.019	0.048	0.023
1993	2.218	4.130	3.305	2.266	4.507	0.166	0.252	0.020	0.053	0.023
1994	2.420	4.749	3.596	2.640	5.908	0.201	0.276	0.023	0.057	0.023
1995	2.670	5.558	4.040	3.828	10.099	0.241	0.304	0.026	0.061	0.024
1996	2.743	6.109	4.233	4.422	11.849	0.277	0.338	0.029	0.069	0.024
1997	2.699	6.221	4.152	4.642	13.172	0.314	0.374	0.032	0.077	0.024
1998	2.708	6.476	3.897	4.549	13.452	0.362	0.412	0.037	0.082	0.024
1999	2.583	6.346	3.754	4.356	14.085	0.416	0.452	0.041	0.085	0.024
2000	2.601	6.715	3.874	4.575	17.803	0.475	0.496	0.046	0.090	0.024
2001	2.541	6.616	3.949	4.552	17.424	0.550	0.545	0.053	0.096	0.024
2002	2.464	6.617	3.751	4.548	18.101	0.640	0.598	0.061	0.103	0.024
2003	2.360	6.604	3.772	4.331	16.664	0.759	0.656	0.072	0.109	0.024
2004	2.290	6.790	3.875	4.264	15.602	0.926	0.723	0.084	0.118	0.025
2005	2.254	6.962	3.921	4.442	15.324	1.125	0.801	0.097	0.127	0.025
2006	2.305	7.497	4.079	4.771	21.941	1.375	0.878	0.114	0.134	0.025

2007	2.334	8.294	4.111	5.121	31.593	1.661	0.960	0.134	0.148	0.025
2008	2.354	9.158	4.109	5.387	38.628	2.005	1.053	0.160	0.172	0.026
2009	2.261	8.545	3.972	5.763	45.725	2.413	1.152	0.202	0.193	0.027
2010	2.224	8.744	4.034	5.336	49.586	2.942	1.290	0.264	0.215	0.028
2011	2.120	8.797	3.988	5.266	43.048	3.577	1.439	0.338	0.246	0.030
2012	2.001	8.035	3.767	5.012	36.119	4.130	1.622	0.424	0.276	0.030
2013	1.905	7.558	3.628	4.705	37.406	4.805	1.808	0.535	0.303	0.031
2014	1.803	6.971	3.463	4.336	36.430	5.406	2.025	0.662	0.333	0.031
2015	1.765	6.701	3.384	4.338	51.648	5.909	2.265	0.798	0.360	0.031
2016	1.775	6.719	3.442	4.295	75.531	6.288	2.523	0.941	0.381	0.032
2017	1.872	7.899	3.567	4.826	128.966	6.772	2.786	1.074	0.405	0.032
2018	1.856	8.102	3.559	4.963	143.273	7.349	3.055	1.210	0.428	0.034
2019	1.779	7.593	3.443	4.781	142.405	7.958	3.342	1.362	0.444	0.035
2020	1.714	7.059	3.345	4.646	151.085	8.495	3.644	1.538	0.460	0.035

注)この出力は、付論 C の 109 ページの推計結果として出力されたものである

(10)式で示したように、産出側と投入側での総額は等しくなるので、 $V_Y^t = V_Z^t$ となるはずであり、実際にこの2つは同じ値と取っていることがわかる。

表 13. 産出側での総合的な指数と投入側での総合的な指数

Year	V_Y^t	P_Y^t	Q_Y^t	V_Z^t	P_Z^t	Q_Z^t
1970	0.236	1.000	0.236	0.236	1.000	0.236
1971	0.252	1.023	0.246	0.252	1.001	0.252
1972	0.267	1.041	0.257	0.267	1.018	0.263
1973	0.283	1.071	0.265	0.283	1.026	0.276
1974	0.294	1.091	0.269	0.294	1.013	0.290
1975	0.316	1.113	0.283	0.316	1.038	0.304
1976	0.322	1.125	0.286	0.322	1.007	0.320
1977	0.355	1.154	0.308	0.355	1.068	0.332
1978	0.395	1.193	0.331	0.395	1.137	0.347
1979	0.443	1.257	0.353	0.443	1.211	0.366
1980	0.495	1.324	0.374	0.495	1.285	0.385
1981	0.527	1.364	0.386	0.527	1.302	0.405
1982	0.579	1.409	0.411	0.579	1.365	0.424
1983	0.654	1.454	0.449	0.654	1.478	0.442

1984	0.791	1.524	0.519	0.791	1.681	0.470
1985	0.941	1.673	0.562	0.941	1.862	0.505
1986	1.070	1.771	0.604	1.070	1.970	0.543
1987	1.232	1.886	0.654	1.232	2.127	0.579
1988	1.531	2.051	0.746	1.531	2.477	0.618
1989	1.676	2.260	0.742	1.676	2.569	0.652
1990	1.862	2.481	0.751	1.862	2.735	0.681
1991	2.235	2.689	0.831	2.235	3.161	0.707
1992	2.679	2.915	0.919	2.679	3.598	0.745
1993	3.477	3.408	1.020	3.477	4.380	0.794
1994	4.567	3.924	1.164	4.567	5.416	0.843
1995	5.818	4.537	1.282	5.818	6.452	0.902
1996	6.879	4.947	1.390	6.879	7.100	0.969
1997	7.656	5.076	1.508	7.656	7.407	1.034
1998	8.324	5.074	1.640	8.324	7.610	1.094
1999	8.920	5.049	1.767	8.920	7.657	1.165
2000	10.013	5.159	1.941	10.013	8.014	1.249
2001	10.905	5.289	2.062	10.905	8.145	1.339
2002	11.861	5.243	2.262	11.861	8.299	1.429
2003	13.263	5.345	2.481	13.263	8.614	1.540
2004	15.235	5.666	2.689	15.235	9.141	1.667
2005	17.628	5.939	2.968	17.628	9.620	1.833
2006	20.954	6.326	3.312	20.954	10.716	1.955
2007	25.326	6.702	3.779	25.326	12.267	2.065
2008	30.257	7.079	4.274	30.257	13.755	2.200
2009	33.493	7.092	4.723	33.493	14.121	2.372
2010	38.903	7.419	5.244	38.903	14.561	2.672
2011	45.123	8.005	5.637	45.123	15.411	2.928
2012	49.648	8.221	6.039	49.648	15.714	3.160
2013	54.902	8.388	6.546	54.902	16.138	3.402
2014	58.811	8.545	6.883	58.811	16.386	3.589
2015	64.071	8.761	7.313	64.071	17.197	3.726
2016	69.580	8.964	7.762	69.580	17.838	3.901
2017	80.830	9.379	8.618	80.830	19.955	4.051

2018	88.593	9.789	9.050	88.593	20.916	4.236
2019	93.106	10.176	9.150	93.106	21.183	4.395
2020	97.162	10.470	9.280	97.162	21.255	4.571

注)この出力は、付論 C の 110 ページの推計結果として出力されたものである

これによって、産出側からみた総合的な価格指数・数量指数と、投入側からみた総合的な価格指数と数量指数を計算する事ができた。次節では、これらを用いて TFP の推計を行う。

4. TFP の推計

この節における実際の計算方法については、「付論 C-2 macro02_TFP」をご覧ください。

ここでは、 t 年における全要素生産性の定義を Jorgenson and Griliches (1967) に従って、生産量指数 Q_Y^t を投入量指数 Q_Z^t で割ったものとして定義されたとする：

$$TFP^t \equiv Q_Y^t / Q_Z^t \dots (11)$$

ここで生産量指数 Q_Y^t は、第 4 節で民間消費、政府支出、民間投資、輸出、輸入を用いて Törnqvist の方法によって集計された指数であり、 Q_Z^t は第 4 節の最後に集計した生産要素の投入に関する数量指数である。

また、 t 年目の TFP 成長率を TFP_G^t とすると、これは以下のように定義される：

$$TFP_G^t \equiv TFP^t / TFP^{t-1} \dots (12)$$

推計された TFP を図 4 に示す。¹⁴また、 TFP^t と TFP_G^t 数値を表 14 に示す。

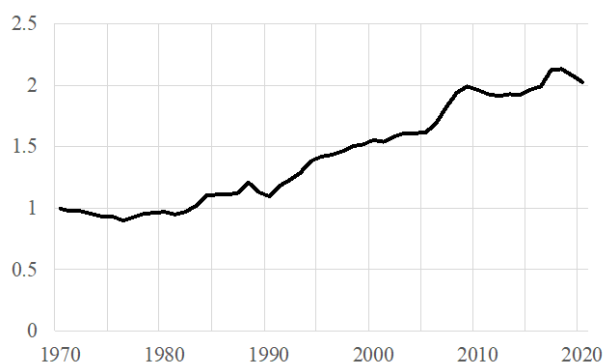


図 4. 中国の推計された TFP

表 14. TFP^t と TFP_G^t

Year	TFP^t	TFP_G^t	Year	TFP^t	TFP_G^t	Year	TFP^t	TFP_G^t	Year	TFP^t	TFP_G^t
1970	1.000	0.000	1983	1.017	0.953	1996	1.435	0.991	2009	1.991	0.976
1971	0.978	1.022	1984	1.103	0.922	1997	1.459	0.984	2010	1.963	1.014

¹⁴ 数値は Diewert, Nomura and Shimizu (2024) の Table2 に掲載されている。

1972	0.978	1.000	1985	1.113	0.991	1998	1.500	0.973	2011	1.925	1.019
1973	0.958	1.021	1986	1.112	1.001	1999	1.517	0.989	2012	1.911	1.007
1974	0.928	1.031	1987	1.128	0.986	2000	1.554	0.976	2013	1.924	0.993
1975	0.932	0.996	1988	1.208	0.934	2001	1.540	1.009	2014	1.918	1.003
1976	0.895	1.042	1989	1.137	1.062	2002	1.583	0.973	2015	1.963	0.977
1977	0.926	0.967	1990	1.103	1.031	2003	1.611	0.982	2016	1.990	0.986
1978	0.953	0.972	1991	1.176	0.938	2004	1.613	0.999	2017	2.128	0.935
1979	0.964	0.989	1992	1.234	0.952	2005	1.620	0.996	2018	2.137	0.996
1980	0.971	0.993	1993	1.285	0.961	2006	1.694	0.956	2019	2.082	1.026
1981	0.954	1.018	1994	1.380	0.931	2007	1.830	0.925	2020	2.030	1.025
1982	0.969	0.985	1995	1.422	0.971	2008	1.943	0.942			

注)この出力は、付論 C の 111 ページの推計結果として出力されたものである

中国の TFP は 1970～1983 年頃まで 1 を下回ったものの、その後は上昇し、2009 年頃には 2 近くまで水準が上昇した。その後、2020 年頃からは低下する傾向にあるものの、これは COVID-19 による影響であろう。

5. 実質総所得の分解

この節における実際の計算方法については、「付論 C-3 macro03_realincome」をご覧ください。

本節では、第 3 節で求めた総生産額 V_Y^t を総所得とみなして、技術進歩、産出の変化、投入の変化の要因に分解していく。

第 3 節で求めた総生産額 V_Y^t は、1970 年を基準とした各年の価格を用いて計算しているため、名目の総生産額に対応している。ここからは t 年における実質の総生産額を用いるため、総生産額 V_Y^t を民間消費の価格指数 P_C^t で割ることによって実質総生産額を求める。また、名目の総産出額と名目の総投入額も等しくなるので、 $V_Y^t/P_C^t = V_Z^t/P_C^t$ である。

この後の計算を進めていくに当たって、各種指数の表記を簡略化するために、価格と数量に関する新しい表記を定義する。具体的には、 t 年における実質の生産に対する価格ベクトル p^t 、投入価格ベクトル w^t を次のようにおく。

$$\left\{ \begin{array}{l} p^t \equiv [p_1^t, \dots, p_5^t] \equiv \frac{1}{P_C^t} [P_C^t, P_G^t, P_I^t, P_X^t, P_M^t] \\ w^t \equiv [w_1^t, w_2^t, w_3^t, w_4^t, w_5^t] \equiv \frac{1}{P_C^t} [P_L^t, P_{UM}^t, P_{US}^t, P_{UO}^t, P_{UI}^t, P_{UL}^t] \end{array} \right. \dots (13)$$

ここで、価格ベクトル p に現れる P の添字として、C は民間消費、G は政府支出、I は民間投資、X は輸出、M は輸入を表しており、価格ベクトル w に現れる P の添字として L は労働を表しており、UM、US、UO、UI、UL はユーザーコストを用いて資本の集約を行った機械装置、構造物、他資産、在庫の純増加、土地資産である。また、実質価格を民間消費価格 P_C^t で割ることによって求めている。

次に、 t 年の生産数量ベクトル y^t と投入数量 z^t ををそれぞれ次のように定義する。

$$\begin{cases} y^t \equiv [y_1^t, \dots, y_t^t] \equiv [Q_C^t, Q_G^t, Q_I^t, Q_X^t, -Q_M^t] \\ z^t \equiv [z_1^t, \dots, z_6^t] \equiv [Q_L^t, Q_{UM}^t, Q_{US}^t, Q_{UO}^t, Q_{UL}^t, Q_{UL}^t] \end{cases} \dots (14)$$

t 年における実質所得を RI^t とすると、これは前述したように総生産額 V_Y^t を消費 P_C^t で割ったものになるので、定義式(13),(14)を用いると $RI^t \equiv V_Y^t/P_C^t = p^t \cdot y^t = V_Z^t/P_C^t = w^t \cdot z^t$ と書くことができる。

また、 V_Y^t と RI^t を図 5 に、それぞれの数値を表 15 に示す。¹⁵

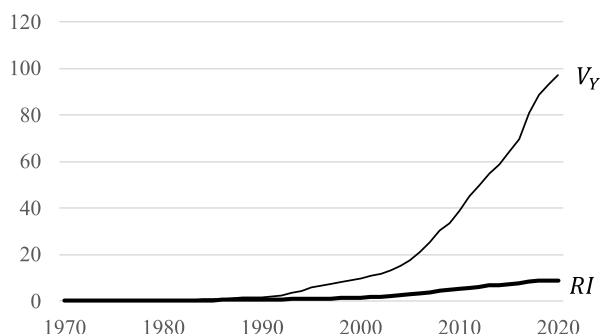


図 5. 名目 GDP と実質総所得の比較

表 15. 名目 GDP と実質総所得の数値

Year	V_Y^t	RI^t	Year	V_Y^t	RI^t	Year	V_Y^t	RI^t	Year	V_Y^t	RI^t
1970	0.236	0.236	1983	0.420	0.420	1996	1.204	1.204	2009	5.047	5.047
1971	0.243	0.243	1984	0.488	0.488	1997	1.290	1.290	2010	5.556	5.556
1972	0.252	0.252	1985	0.523	0.523	1998	1.400	1.400	2011	5.905	5.905
1973	0.260	0.260	1986	0.561	0.561	1999	1.488	1.488	2012	6.342	6.342
1974	0.262	0.262	1987	0.598	0.598	2000	1.621	1.621	2013	6.814	6.814
1975	0.274	0.274	1988	0.643	0.643	2001	1.746	1.746	2014	6.997	6.997
1976	0.274	0.274	1989	0.630	0.630	2002	1.994	1.994	2015	7.422	7.422
1977	0.293	0.293	1990	0.659	0.659	2003	2.253	2.253	2016	7.663	7.663
1978	0.316	0.316	1991	0.740	0.740	2004	2.542	2.542	2017	8.506	8.506
1979	0.334	0.334	1992	0.853	0.853	2005	2.939	2.939	2018	9.020	9.020
1980	0.354	0.354	1993	0.983	0.983	2006	3.296	3.296	2019	8.910	8.910
1981	0.362	0.362	1994	1.106	1.106	2007	3.916	3.916	2020	8.874	8.874
1982	0.385	0.385	1995	1.137	1.137	2008	4.501	4.501			

注)この出力は、付論 C の 112 ページの推計結果として出力されたものである

¹⁵ RI^t については Diewert, Nomura and Shimizu(2024)の TableB4 に掲載されている。

図を見るとわかるように 1990 年頃まで、 V_Y と RI は同じような振る舞いをしているものの、それ以降、 V_Y の伸びに比べて RI の伸びのほうが緩やかになっている。これは、1990 年以降に中国ではインフレ傾向にあることを示している。

また、 $t - 1$ 年から t 年への実質所得成長率を RI_G^t とし、これを次のように定義する。

$$RI_G^t \equiv p^t \cdot y^t / p^{t-1} \cdot y^{t-1} \dots (15)$$

これを図 6 と表 16 に示す。

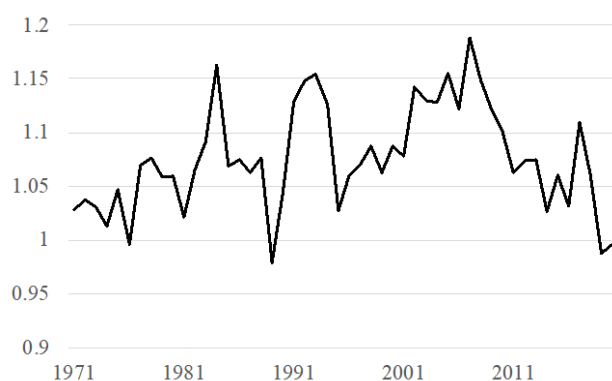


図 6. 実質所得成長率

表 16. 実質所得成長率

Year	RI_G^t	Year	RI_G^t	Year	RI_G^t	Year	RI_G^t
1971	1.033	1984	1.162	1997	1.071	2010	1.101
1972	1.034	1985	1.071	1998	1.086	2011	1.063
1973	1.032	1986	1.074	1999	1.063	2012	1.074
1974	1.011	1987	1.065	2000	1.089	2013	1.074
1975	1.045	1988	1.076	2001	1.077	2014	1.027
1976	1.000	1989	0.980	2002	1.142	2015	1.061
1977	1.068	1990	1.045	2003	1.130	2016	1.032
1978	1.078	1991	1.123	2004	1.128	2017	1.110
1979	1.059	1992	1.153	2005	1.156	2018	1.060
1980	1.061	1993	1.153	2006	1.122	2019	0.988
1981	1.022	1994	1.125	2007	1.188	2020	0.996
1982	1.062	1995	1.028	2008	1.149		
1983	1.092	1996	1.059	2009	1.121		

注)この出力は、付論 C の 113 ページの推計結果として出力されたものである

1989 年、2019 年、2020 年においては成長率が1を下回っているものの、それ以外では1を上回っており、基本的に中国では所得が伸び続けているとわかる。実質所得成長率についての平均値を計算すると 1.076 であり、平均して 7.6%伸びているとわかる。

いま、定義式(13),(14)を用いて t 年における産出価格を Törnqvist の方法で指数化したものを $P_T(p^{t-1}, p^t, y^{t-1}, y^t)$ とし、投入数量について指数化したものを $Q_T(w^{t-1}, w^t, z^{t-1}, z^t)$ として、それぞれの自然対数をとったものを以下のように定義する。

$$\ln P_T(p^{t-1}, p^t, y^{t-1}, y^t) \equiv \sum_{n=1}^5 \frac{1}{2} [(p_n^t y_n^t / p^t \cdot y^t) + (p_n^{t-1} y_n^{t-1} / p^{t-1} \cdot y^{t-1})] \ln(p_n^t / p_n^{t-1}) \dots (16)$$

$$\ln Q_T(w^{t-1}, w^t, z^{t-1}, z^t) \equiv \sum_{n=1}^5 \frac{1}{2} [(w_n^t z_n^t / w^t \cdot z^t) + (w_n^{t-1} z_n^{t-1} / w^{t-1} \cdot z^{t-1})] \ln(z_n^t / z_n^{t-1}) \dots (17)$$

そして、(16)式の $\sum$ の中に現れる $\frac{1}{2} [(p_n^t y_n^t / p^t \cdot y^t) + (p_n^{t-1} y_n^{t-1} / p^{t-1} \cdot y^{t-1})] \ln(p_n^t / p_n^{t-1})$ を実質産出価格の変動に対する要因 n の寄与係数として次のように定義する。

$$\ln \alpha_n^t \equiv \frac{1}{2} [(p_n^t y_n^t / p^t \cdot y^t) + (p_n^{t-1} y_n^{t-1} / p^{t-1} \cdot y^{t-1})] \ln(p_n^t / p_n^{t-1}) \dots (18)$$

また同様に、(17)式における $\frac{1}{2} [(w_n^t z_n^t / w^t \cdot z^t) + (w_n^{t-1} z_n^{t-1} / w^{t-1} \cdot z^{t-1})] \ln(z_n^t / z_n^{t-1})$ を投入物 n からの寄与係数として次のように定義する。

$$\ln \beta_n^t \equiv \frac{1}{2} [(w_n^t z_n^t / w^t \cdot z^t) + (w_n^{t-1} z_n^{t-1} / w^{t-1} \cdot z^{t-1})] \ln(z_n^t / z_n^{t-1}) \dots (19)$$

ここで、(16)式と(18)式を比較すると、 t 年の産出価格における産出物 n の寄与係数 α_n^t の積は Törnqvist の方法で作成した生産価格に対する指数に等しいことがわかる。

$$P_T(p^{t-1}, p^t, y^{t-1}, y^t) = \prod_{n=1}^5 \alpha_n^t \dots (20)$$

同様に、投入量についても

$$Q_T(w^{t-1}, w^t, z^{t-1}, z^t) = \prod_{n=1}^6 \beta_n^t \dots (21)$$

となる。

ここで、 t 年目の生産性成長率 τ^t を、(15)式で定義した実質所得成長率を(16),(17)式で定義した産出価格指数と投入数量指数で割ったものとして定義する。

$$\tau^t \equiv p^t \cdot y^t / [p^{t-1} \cdot y^{t-1} P_T(p^{t-1}, p^t, y^{t-1}, y^t) Q_T(w^{t-1}, w^t, z^{t-1}, z^t)] \dots (22)$$

これを用いると、実質所得成長率 RI_G^t は

$$\begin{aligned}
RI_G^t &= \tau P_T(p^{t-1}, p^t, y^{t-1}, y^t) Q_T(w^{t-1}, w^t, z^{t-1}, z^t) \\
&= \tau^t \left(\prod_{n=1}^5 \alpha_n^t \right) \left(\prod_{n=1}^6 \beta_n^t \right) \quad \dots (23)
\end{aligned}$$

と書き直すことができる。ここで計算した α_n^t, β_n^t を表 17 に示す。¹⁶

表 17. 算出に係る寄与係数の一覧

Year	α_1^t	α_2^t	α_3^t	α_4^t	α_5^t	β_1^t	β_2^t	β_3^t	β_4^t	β_5^t	β_6^t
1971	1.000	0.996	0.992	0.998	1.002	1.034	1.016	1.012	1.002	1.004	1.000
1972	1.000	0.998	0.992	0.999	1.002	1.012	1.013	1.013	1.002	1.002	1.000
1973	1.000	0.999	1.000	1.000	1.003	1.023	1.011	1.013	1.001	1.002	1.000
1974	1.000	0.996	0.995	1.001	1.001	1.023	1.011	1.012	1.001	1.002	1.000
1975	1.000	0.999	0.993	0.997	1.003	1.021	1.010	1.015	1.001	1.000	1.000
1976	1.000	0.994	0.997	0.998	1.001	1.021	1.013	1.016	1.002	0.999	1.000
1977	1.000	1.001	0.993	0.999	1.001	1.016	1.007	1.014	1.001	0.999	1.000
1978	1.000	1.005	0.995	1.001	1.001	1.019	1.006	1.017	1.001	1.002	1.000
1979	1.000	1.001	0.990	0.999	1.003	1.021	1.009	1.017	1.001	1.004	1.000
1980	1.000	1.002	0.998	0.999	1.001	1.023	1.004	1.020	1.001	1.004	1.000
1981	1.000	0.997	0.995	0.998	1.000	1.023	1.001	1.021	1.001	1.002	1.000
1982	1.000	1.000	0.998	0.999	1.001	1.027	0.998	1.022	1.001	1.001	1.000
1983	1.000	1.002	0.999	1.001	0.997	1.015	1.002	1.023	1.001	1.000	1.000
1984	1.000	1.010	1.001	1.005	0.989	1.032	1.004	1.023	1.002	1.002	1.000
1985	1.000	1.004	0.988	1.007	0.989	1.031	1.009	1.024	1.002	1.006	1.000
1986	1.000	1.003	1.005	1.026	0.966	1.026	1.014	1.024	1.002	1.006	1.000
1987	1.000	1.002	0.991	1.003	0.989	1.023	1.013	1.022	1.002	1.004	1.000
1988	1.000	1.000	0.991	0.975	0.975	1.024	1.016	1.021	1.002	1.002	1.000
1989	1.000	0.996	0.986	0.973	1.032	1.010	1.016	1.022	1.002	1.005	1.000
1990	1.000	1.001	1.004	1.038	0.991	1.013	1.006	1.017	1.001	1.005	1.000
1991	1.000	1.005	1.003	1.006	1.000	1.014	1.004	1.015	1.001	1.003	1.000
1992	1.000	1.013	1.028	0.996	1.005	1.020	1.007	1.017	1.002	1.007	1.000
1993	1.000	1.011	1.040	0.960	1.029	1.022	1.013	1.024	1.002	1.004	1.000
1994	1.000	1.012	0.977	1.062	0.939	1.009	1.020	1.027	1.002	1.002	1.000
1995	1.000	0.994	0.940	0.955	1.046	1.015	1.020	1.028	1.002	1.003	1.000

¹⁶ Diewert, Nomura and Shimizu(2024)の TableB5 に掲載されている。

1996	1.000	0.998	0.973	0.959	1.048	1.018	1.015	1.032	1.002	1.005	1.000
1997	1.000	1.002	0.991	0.977	1.018	1.013	1.014	1.031	1.002	1.005	1.000
1998	1.000	1.003	0.997	0.979	1.020	1.005	1.016	1.031	1.002	1.003	1.000
1999	1.000	1.002	0.994	1.000	0.992	1.013	1.017	1.030	1.002	1.002	1.000
2000	1.000	1.000	0.990	1.011	0.991	1.019	1.016	1.031	1.002	1.002	1.000
2001	1.000	1.005	0.999	0.998	1.012	1.015	1.018	1.031	1.003	1.003	1.000
2002	1.000	1.013	1.020	1.019	0.990	1.009	1.020	1.031	1.003	1.003	1.000
2003	1.000	1.013	1.012	1.030	0.976	1.015	1.023	1.031	1.003	1.002	1.000
2004	1.000	1.012	1.015	1.045	0.970	1.014	1.028	1.032	1.003	1.003	1.000
2005	1.000	1.010	1.015	1.030	0.991	1.029	1.028	1.033	1.003	1.002	1.000
2006	1.000	1.010	0.988	0.989	1.019	1.001	1.030	1.029	1.003	1.002	1.000
2007	1.000	1.023	1.009	1.010	0.998	0.991	1.029	1.028	1.003	1.003	1.000
2008	1.000	1.014	1.008	0.995	1.000	0.996	1.030	1.030	1.004	1.005	1.000
2009	1.000	1.010	0.998	0.969	1.039	1.007	1.030	1.028	1.005	1.004	1.002
2010	1.000	1.000	0.991	1.014	0.986	1.042	1.033	1.034	1.007	1.003	1.002
2011	1.000	1.004	0.986	0.979	1.020	1.015	1.033	1.032	1.007	1.004	1.001
2012	1.000	1.008	0.991	0.986	1.017	1.009	1.024	1.033	1.007	1.003	1.001
2013	1.000	1.005	0.985	0.983	1.018	1.010	1.026	1.028	1.008	1.003	1.000
2014	1.000	1.003	0.979	0.972	1.023	0.996	1.020	1.028	1.008	1.002	1.000
2015	1.000	1.006	0.977	0.982	1.034	0.987	1.015	1.027	1.008	1.002	1.000
2016	1.000	0.998	0.975	0.983	1.017	1.001	1.010	1.026	1.007	1.001	1.000
2017	1.000	1.005	1.002	0.999	0.994	0.992	1.012	1.026	1.006	1.001	1.000
2018	1.000	1.006	1.007	0.999	0.998	0.997	1.013	1.026	1.006	1.001	1.003
2019	1.000	1.001	0.980	0.994	1.002	0.991	1.012	1.025	1.006	1.001	1.002
2020	1.000	0.997	0.978	0.992	1.016	0.999	1.010	1.023	1.006	1.001	1.000

注)この出力は、付論 C の 114 ページの推計結果として出力されたものである

この式は、 t 年における実質所得成長を TFP 成長率、産出価格に関する寄与係数、投入数量に関する寄与係数に分解している。すると、単に実質所得の伸びの前年比を見るよりも、分解した各要素の伸びを水準に換算すること方が有用である。そこで、 t 年における実質所得の水準を TFP 水準の指数 TFP^t 、産出価格に関する寄与の水準 A_n^t 、投入に関する寄与の水準 B_n^t で表す。 $TFP^t, \alpha_n^t, \beta_n^t$ を用いて TFP^t, A_n^t, B_n^t を定義する。これは、Kohli (1990) によって提案され、Kohli (1991、2003、2004a、2004b) および Fox and Kohli (1998) で広く使用されている。

$$TFP^{1970} = 1, TFP^t = TFP^{t-1} \times TFP_G^t \dots (24)$$

$$A_n^{1970} = 1, A_n^t = A_n^{t-1} \times \alpha_n^t \dots (25)$$

$$B_n^{1970} = 1, B_n^t = B_n^{t-1} \times \beta_n^t \dots (26)$$

この表記を用いると

$$\frac{RI^t}{RI^{1970}} = TFP^t A_2^t A_3^t A_4^t A_5^t B_1^t B_2^t B_3^t B_4^t B_5^t B_6^t \dots (27)$$

のように、1970 年に対する t 年の実質所得の水準と、技術、実質産出価格、投入量の関係を分解して表現することができる。

分解した各係数と TFP を図 7 に示す。また、分解によって得られた各水準を表 18 に示す。¹⁷

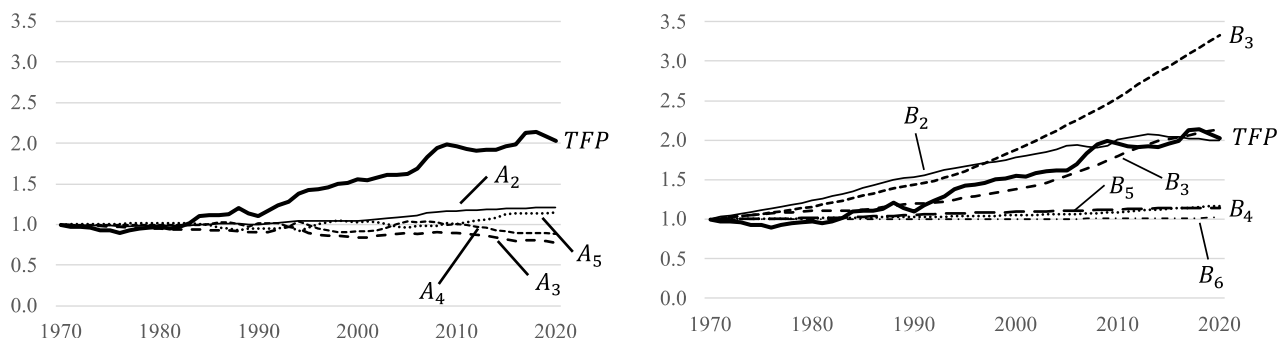


図 7. 左:産出に関する各要因の係数と TFP、右:投入に関する各要因と TFP

表 18. 分解によって得られた水準の一覧

Year	TFP^t	A_2^t	A_3^t	A_4^t	A_5^t	B_1^t	B_2^t	B_3^t	B_4^t	B_5^t	B_6^t
1970	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
1971	0.978	0.996	0.992	0.998	1.002	1.034	1.016	1.012	1.002	1.004	1.000
1972	0.978	0.994	0.984	0.997	1.004	1.046	1.029	1.025	1.003	1.007	1.000
1973	0.958	0.993	0.984	0.997	1.007	1.071	1.040	1.039	1.004	1.009	1.001
1974	0.928	0.989	0.979	0.998	1.007	1.095	1.052	1.051	1.005	1.011	1.001
1975	0.932	0.989	0.973	0.996	1.010	1.118	1.062	1.067	1.007	1.011	1.001
1976	0.895	0.983	0.970	0.994	1.011	1.141	1.076	1.084	1.008	1.010	1.001
1977	0.926	0.984	0.963	0.993	1.012	1.160	1.084	1.099	1.009	1.009	1.001
1978	0.953	0.988	0.958	0.994	1.012	1.182	1.091	1.118	1.010	1.012	1.002
1979	0.964	0.989	0.949	0.993	1.016	1.206	1.101	1.137	1.011	1.015	1.002
1980	0.971	0.991	0.947	0.992	1.017	1.234	1.105	1.160	1.012	1.020	1.002
1981	0.954	0.988	0.942	0.990	1.017	1.262	1.107	1.184	1.014	1.022	1.002
1982	0.969	0.988	0.940	0.989	1.018	1.296	1.104	1.210	1.014	1.023	1.002
1983	1.017	0.990	0.940	0.990	1.015	1.315	1.106	1.238	1.015	1.023	1.003

¹⁷ 分解によって得られた各水準は Diewert, Nomura and Shimizu(2024)の TableB6 に掲載されている。

1984	1.103	1.001	0.941	0.995	1.004	1.358	1.110	1.267	1.017	1.025	1.003
1985	1.113	1.004	0.929	1.002	0.993	1.400	1.120	1.297	1.019	1.031	1.003
1986	1.112	1.007	0.934	1.029	0.960	1.436	1.136	1.329	1.022	1.038	1.003
1987	1.128	1.009	0.926	1.032	0.949	1.469	1.151	1.357	1.024	1.042	1.004
1988	1.208	1.009	0.917	1.006	0.926	1.504	1.169	1.386	1.026	1.044	1.004
1989	1.137	1.005	0.905	0.978	0.955	1.518	1.188	1.417	1.029	1.049	1.004
1990	1.102	1.006	0.908	1.015	0.946	1.538	1.195	1.441	1.030	1.055	1.004
1991	1.176	1.011	0.910	1.021	0.946	1.560	1.200	1.463	1.031	1.058	1.004
1992	1.234	1.025	0.936	1.017	0.951	1.592	1.208	1.487	1.033	1.066	1.004
1993	1.285	1.035	0.974	0.976	0.979	1.626	1.224	1.523	1.035	1.070	1.004
1994	1.381	1.048	0.951	1.037	0.919	1.641	1.249	1.564	1.037	1.073	1.005
1995	1.422	1.042	0.894	0.990	0.961	1.665	1.273	1.608	1.039	1.076	1.005
1996	1.435	1.040	0.870	0.950	1.007	1.695	1.293	1.660	1.041	1.081	1.005
1997	1.459	1.042	0.862	0.929	1.025	1.717	1.311	1.712	1.043	1.086	1.005
1998	1.500	1.045	0.860	0.909	1.046	1.725	1.333	1.764	1.045	1.089	1.005
1999	1.517	1.047	0.854	0.908	1.037	1.748	1.355	1.818	1.047	1.091	1.005
2000	1.554	1.047	0.845	0.918	1.027	1.782	1.377	1.873	1.050	1.093	1.005
2001	1.540	1.052	0.844	0.917	1.040	1.808	1.403	1.932	1.052	1.096	1.005
2002	1.583	1.065	0.861	0.934	1.029	1.825	1.431	1.992	1.055	1.099	1.005
2003	1.612	1.079	0.871	0.962	1.005	1.853	1.464	2.054	1.058	1.102	1.006
2004	1.613	1.092	0.884	1.005	0.974	1.879	1.504	2.121	1.062	1.105	1.006
2005	1.620	1.103	0.898	1.036	0.966	1.934	1.546	2.191	1.065	1.108	1.006
2006	1.694	1.114	0.887	1.024	0.984	1.936	1.593	2.255	1.069	1.109	1.007
2007	1.830	1.140	0.895	1.034	0.982	1.918	1.639	2.319	1.073	1.113	1.007
2008	1.943	1.156	0.902	1.028	0.982	1.911	1.687	2.388	1.077	1.118	1.007
2009	1.991	1.167	0.900	0.997	1.021	1.925	1.738	2.455	1.083	1.122	1.009
2010	1.963	1.167	0.892	1.011	1.007	2.006	1.796	2.537	1.090	1.126	1.011
2011	1.925	1.172	0.879	0.990	1.027	2.036	1.856	2.618	1.098	1.130	1.012
2012	1.912	1.181	0.872	0.977	1.045	2.054	1.901	2.705	1.106	1.134	1.013
2013	1.924	1.187	0.859	0.960	1.063	2.075	1.950	2.780	1.114	1.137	1.013
2014	1.918	1.190	0.841	0.934	1.088	2.066	1.988	2.859	1.123	1.139	1.014
2015	1.963	1.198	0.822	0.917	1.125	2.038	2.018	2.936	1.132	1.142	1.014
2016	1.990	1.196	0.801	0.901	1.143	2.040	2.038	3.013	1.140	1.143	1.014
2017	2.128	1.201	0.803	0.900	1.136	2.025	2.062	3.091	1.147	1.145	1.014

2018	2.137	1.208	0.809	0.899	1.134	2.018	2.089	3.171	1.154	1.146	1.017
2019	2.082	1.210	0.792	0.894	1.137	2.000	2.114	3.250	1.161	1.147	1.020
2020	2.030	1.206	0.775	0.886	1.154	1.998	2.135	3.327	1.168	1.148	1.020

注)この出力は、付論 C の 115 ページの推計結果として出力されたものである

図 7 を見るとわかるように、実質所得を要因分解したところ、最終的に大きな影響を持っている要因は B_3 :(構造物)、TFP、 B_2 :(機械装置)、 B_1 :(労働)であることがわかる。TFP は 1980 年代はじめ頃まで負の値になっているが、これは文化大革命などの歴史的な背景に起因している可能性がある。また、労働に関する寄与については、ここ 10 年ほど減少していることもわかる。これは中国の人口減少が、労働投入量の減少に繋がっていると考えられる。もっとも寄与が大きいのは構造物によるものであるが、中国の人口減少は遠からず構造物需要の鈍化に繋がっていくであろう。TFP からの寄与も近年低下している。

6. 実質総所得のノンパラメトリック分解

この節における実際の計算方法については、「付論 C-4 macro04_nonpara」をご覧ください。

この節では、前節とは異なった方法で分解していく。ここでは、

- ある経済の総生産可能集合の近似値は、過去の生産と投入ベクトルの定数倍を使用することによって形成することができる
- コスト制約付き付加価値関数は、効率性、産出価格変化、投入価格変化、投入量変化、技術変化の指標を形成するために使用することができる。

という2つの重要な考え方に基づいて、分解の方法について説明していく。

ここで改めて、生産と投入に関するベクトルの表記、産出価格ベクトル p^t , 産出数量ベクトル y^t , 投入価格ベクトル w^t , 投入数量ベクトル x^t を定義する。これらのベクトルはそれぞれ

$$\begin{aligned}
 p^t &\equiv \frac{1}{P_C^t} [P_C^t, P_G^t, P_I^t, P_X^t, P_M^t], \\
 w^t &\equiv \frac{1}{P_C^t} [P_L^t, P_{UM}^t, P_{US}^t, P_{UO}^t, P_{UL}^t, P_{UL}^t], \\
 y^t &\equiv [Q_C^t, Q_G^t, Q_I^t, Q_X^t, -Q_M^t], \\
 x^t &\equiv [Q_L^t, Q_{UM}^t, Q_{US}^t, Q_{UO}^t, Q_{UL}^t, Q_{UL}^t]
 \end{aligned}$$

のように、各価格指数と数量指数をまとめたものとして表す。 $P_C^t, P_G^t, P_I^t, P_X^t, P_M^t$ と $Q_C^t, Q_G^t, Q_I^t, Q_X^t, Q_M^t$ は民間消費、政府支出、民間投資、輸出、輸入に関する価格指数と数量指数に対応している。また、 $P_L^t, P_{UM}^t, P_{US}^t, P_{UO}^t, P_{UL}^t$ と $Q_L^t, Q_{UM}^t, Q_{US}^t, Q_{UO}^t, Q_{UL}^t$ は労働についての価格指数と数量指数、それから、機械装置、構造物、その他構造物、在庫、土地についてのユーザーコストを用いて集約した価格指数と数量指数である。

Diewert and Fox(2018)で行われている方法での仮定は、 t 年におけるある一国の技術について、ある t 年における生産と投入のベクトルの組み合わせは、過去 s 年における生産と投入のベクトルを定数倍することによって構成できるとするものである。いま、結果として得られる t 年の生産可能集合を S^t と書くことにする。するとこれは、

$$\begin{aligned}
 S^1 &\equiv \{(y, x): y = \lambda y^1, x = \lambda x^1; \lambda \geq 0\}, \\
 S^2 &\equiv \{(y, x): y = \lambda_1 y^1, x = \lambda_1 x^1; \lambda_1 \geq 0, y = \lambda_2 y^2, x = \lambda_2 x^2; \lambda_2 \geq 0\}
 \end{aligned}$$

$$\vdots$$

$$S^t \equiv \{(y, x): y = \lambda_s y^s, x = \lambda_s x^s; \lambda_s \geq 0, s = 1, 2, 3, \dots, t\}$$

のように書ける。上式において、上付きの添字は時間に関する添字を表している。

ここで、前述の生産可能集合 S^t と生産価格ベクトル p 、と投入価格ベクトル w 、投入量に関するベクトル x を用いて、 t 年におけるコスト制約付き付加価値関数 $R^t(p, w, x)$ を次のように定義する。¹⁸

$$\begin{aligned} R^t(p, w, x) &\equiv \max_{y, z} \{p \cdot y: (y, z) \in S^t; w \cdot z \leq w \cdot x\} \\ &= \max_s \{(p \cdot y^s)(w \cdot x)/(w \cdot x^s): s = 1, 2, \dots, t\} \\ &= w \cdot x \max_s \{p \cdot y^s / w \cdot x^s: s = 1, 2, \dots, t\} \quad \dots (28) \end{aligned}$$

つまり、 t 年における生産可能集合 S^t 、名目産出価格 P 、名目投入価格 W 、投入コスト $W \cdot z$ が $W \cdot x$ を超えないという制約のもとで、生産者が産出量ベクトル y と投入量ベクトル z を選択し、総生産 $P \cdot y$ を最大化すると仮定する。¹⁹つまり、制約条件として $W \cdot z \leq W \cdot x$ が課される。いま、(28)式中の価格ベクトル p, w は、 P_C^t で割っているため実質価格ベクトルになっているが、そのまま名目価格ベクトル (P, W) のかわりに使用する。その理由として、生産者が(28)式で定義される制約付きの最大化問題を解く場合、この問題に対する (y^*, z^*) という解は、産出と投入の名目価格 P^t, W^t を対応する実質価格 $p^t = P^t/P_C^t$ と $w^t = W^t/P_C^t$ に置き換えた同じ問題を解くことによって得られるためである。

では実際に、どのようにして t 年のコスト制約付き付加価値関数を計算するかというと、 $p \cdot y^s / w \cdot x^s$ を $s = 1, 2, \dots, t$ について計算し、最も大きい $p \cdot y^s / w \cdot x^s$ を採用する、という非常に単純な計算をすれば良い。たとえば $R^t(p^t, w^t, x^t)$ は R で次のように計算できる。

```
R0 <- matrix(0, ncol=dim(W)[1], nrow=dim(W)[1])
for(tt in 1:dim(W)[1]){
  for(ss in 1:tt){
    R0[tt,ss] <- sum(W[tt,]*X[tt,])*sum(P[tt,]*Y[ss,])/sum(W[tt,]*X[ss,])
  }
}
R0 <- apply(R0, 1, max)
```

いま、上記のプログラム例ではコスト制約付き付加価値関数を $R0$ 、産出価格ベクトル p^t を $P[tt,]$ 、産出数量ベクトル y^t を $Y[tt,]$ 、投入価格ベクトル w^t を $W[tt,]$ 、投入数量ベクトル x^t を $X[tt,]$ としている。手順は次の通りである。

- (1). 1 行目にて、投入価格ベクトル W の行数($\dim(W)[1]$)を取得し、これを行数と列数としたすべての要素が 0 である行列 $R0$ を作成する。なお、投入価格ベクトル W の行数は用いるデータの時系列の長さに対応している。
- (2). 時系列の長さの分だけ繰り返し処理を行う、for 文を設定する。このとき、計算時点を表す変数を tt としている。

¹⁸ コスト制約付き付加価値関数とその性質については、Diewert and Fox (2018)で詳しく説明されており、文献への参照もある。これは Diewert (1983)の貿易制約付き付加価値関数の改名である。

¹⁹ 名目価格と実質価格を区別するために、名目価格を大文字での表記としている。

- (3). (28)式における s について 1 から t まで計算を行うための for 文を設定する。このとき、 s についての計算時点を表す変数を ss と設定している。
- (4). (28)式の計算を実行する。このとき、時点 t における計算は行列 R の tt 行目に代入され、 s での計算結果は tt 行 ss 列に代入される。
- (5). (28)式において $(p^t \cdot y^s)/(w^t \cdot x^s)$ が最大値をとるとき、 $(w^t \cdot x^t) \times (p^t \cdot y^s)/(w^t \cdot x^s)$ も最大値をとる。つまり手順 4 で計算した各行についての最大値のみを取得すれば良い。これを `apply(R0,1,max)` によって計算する。`apply` 関数は、いまの場合指定したデータ($R0$)の、行方向(1)²⁰に対して、最大値を取得する関数(`max`)を適用する。

または、次のようにしても計算できる。

```
R0 <- rep(0, dim(W)[1])
for(tt in 1:dim(W)[1]){
  for(ss in 1:tt){
    R0[tt] <- max(R0[tt],sum(W[tt,]*X[tt,])*sum(P[tt,]*Y[ss,])/sum(W[tt,]*X[ss,]))
  }
}
```

こちらについても手順を示すと次のようになる。

- (1). 時系列の長さ分の要素が全て 0 であるベクトル $R0$ を作成する
- (2). 先程と同じ
- (3). 先程と同じ
- (4). 時点 t における計算について、 s 番目の時点の計算 $(w^t \cdot x^t) \times (p^t \cdot y^s)/(w^t \cdot x^s)$ の結果と、 $R0$ に代入されている値を比較し、大きい方を $R0$ に代入する。 $R0$ の要素は最初全て 0 になっているので、 $s=1$ において、かならず $(w^t \cdot x^t) \times (p^t \cdot y^s)/(w^t \cdot x^s)$ の計算結果が代入される。その後、毎回大小比較が行われ、最終的に最も大きな $(w^t \cdot x^t) \times (p^t \cdot y^s)/(w^t \cdot x^s)$ が残る。

当然、どちらの方法で計算を行っても同じ結果になる。

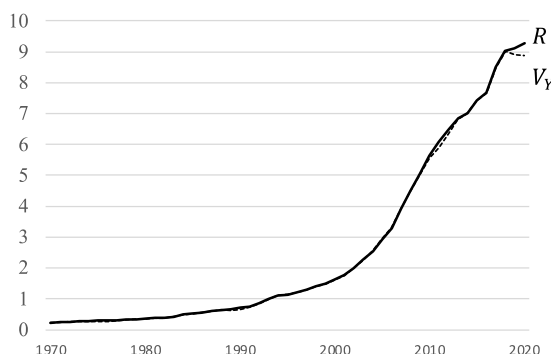


図 8. 実際の総生産額とコスト制約付き付加価値関数の比較

²⁰ 列方向に対して関数を適用したい場合は 2 を指定する。

このようにして計算したコスト制約付き付加価値関数 $R^t(p^t, w^t, x^t)$ と総生産額 $p^t \cdot y^t = V_Y^t$ を図 8 と表 19 に示す。もし、生産が付加価値効率的でない場合、 $p^t \cdot y^t < R^t(p^t, w^t, x^t)$ であり、付加価値効率的である場合、 $p^t \cdot y^t = R^t(p^t, w^t, x^t)$ となるので、必ず $R^t(p^t, w^t, x^t) \geq p^t \cdot y^t = V_Y^t$ となるはずである。実際、図 8 や表 19 を見るとわかるように、コスト制約付き付加価値関数 R は実際の総生産額と等しいかそれ以上になっている。2019 年と 2020 年で V_Y が R^t を大きく下回っているのは、COVID-19 の影響だと考えられる。

表 19. 実際の総生産額とコスト制約付き付加価値関数の数値

Year	V_Y^t	R^t	Year	V_Y^t	R^t	Year	V_Y^t	R^t	Year	V_Y^t	R^t
1970	0.236	0.236	1983	0.420	0.420	1996	1.204	1.204	2009	5.047	5.047
1971	0.243	0.249	1984	0.488	0.488	1997	1.290	1.290	2010	5.556	5.635
1972	0.252	0.257	1985	0.523	0.523	1998	1.400	1.400	2011	5.905	6.074
1973	0.260	0.271	1986	0.561	0.561	1999	1.488	1.488	2012	6.342	6.497
1974	0.262	0.282	1987	0.598	0.598	2000	1.621	1.621	2013	6.814	6.840
1975	0.274	0.294	1988	0.643	0.643	2001	1.746	1.760	2014	6.997	7.003
1976	0.274	0.307	1989	0.630	0.668	2002	1.994	1.994	2015	7.422	7.422
1977	0.293	0.317	1990	0.659	0.715	2003	2.253	2.253	2016	7.663	7.663
1978	0.316	0.331	1991	0.740	0.754	2004	2.542	2.542	2017	8.506	8.506
1979	0.334	0.345	1992	0.853	0.853	2005	2.939	2.939	2018	9.020	9.020
1980	0.354	0.361	1993	0.983	0.983	2006	3.296	3.296	2019	8.910	9.124
1981	0.362	0.376	1994	1.106	1.106	2007	3.916	3.916	2020	8.874	9.280
1982	0.385	0.393	1995	1.137	1.137	2008	4.501	4.501			

注)この出力は、付論 C の 117 ページの推計結果として出力されたものである

(28)式で定義されるコスト制約付き付加価値関数を用い、 $t - 1$ 年目から t 年目までの実質 GDP 成長率 $p^t \cdot y^t / p^{t-1} \cdot y^{t-1}$ を様々な要因に分解する事ができる。ここでは説明要因として

- 効率性の変化
- 実質生産価格の変動
- 投入量の変化
- 実質投入価格の変化
- 技術進歩

に分解することを考える。

そのために、(28)式で定義されるコスト制約付き付加価値関数を用いて、上記の説明要因を定義していく。まず、Balk(1998, p.143)に倣って、 t 年の付加価値効率 e^t を次のように定義する。

$$e^t \equiv p^t \cdot y^t / R^t(p^t, w^t, x^t) \leq 1 \cdots (29)$$

ここで、(28)式から、 $R^t(p^t, w^t, x^t)$ は必ず $p^t \cdot y^t = V_Y^t$ 以上になるので、(29)式の不等式が導かれる。したがって、もし $e^t = 1$ であれば、 t 年における生産は効率的であり、もし $e^t < 1$ であれば、 t 年における生産は非効率的であることを意味する。得られた付加価値効率を図 9 に示す。

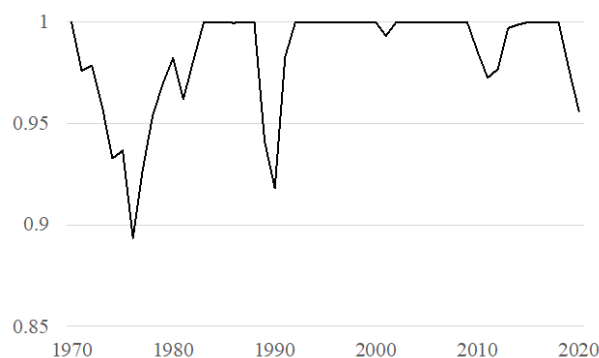


図 9. 付加価値効率

付加価値効率をみると 51 年中 24 年で非効率であり、そのうちの半分以上が 1971 年から 1982 年に集中している。この期間については文化大革命などの歴史的な背景によるものが原因ではないかと考えられる。また、2019 年から 2020 年についても非効率であるが、これは COVID-19 の影響であろう。

付加価値効率を用いて、その変化率 ε^t を表す指標を次のように定義する。

$$\varepsilon^t = e^t / e^{t-1} = [p^t \cdot y^t / R^t(p^t, w^t, x^t)] / [p^{t-1} \cdot y^{t-1} / R^{t-1}(p^{t-1}, w^{t-1}, x^{t-1})] \dots (30)$$

すると、 $\varepsilon^t > 1$ であれば、実質付加価値効率は $t - 1$ 年から t 年で向上しているのに対し、 $\varepsilon^t < 1$ であれば低下していることになる。(30)式に現れる $R^{t-1}(p^{t-1}, w^{t-1}, x^{t-1})$ は先程計算したコスト制約付き付加価値関数 $R^t(p^t, w^t, x^t)$ について 1 時点分のラグを取ったものである。得られた結果を付加価値効率 e^t とともに表 20 に示す。

表 20. 付加価値効率と付加価値効率の変化率

Year	ε^t	e^t	Year	ε^t	e^t	Year	ε^t	e^t	Year	ε^t	e^t
1970	1.000	1.000	1983	1.021	1.000	1996	1.000	1.000	2009	1.000	1.000
1971	0.978	0.978	1984	1.000	1.000	1997	1.000	1.000	2010	0.986	0.986
1972	1.001	0.979	1985	1.000	1.000	1998	1.000	1.000	2011	0.986	0.972
1973	0.979	0.958	1986	1.000	1.000	1999	1.000	1.000	2012	1.004	0.976
1974	0.970	0.930	1987	1.000	1.000	2000	1.000	1.000	2013	1.021	0.996
1975	1.004	0.933	1988	1.000	1.000	2001	0.992	0.992	2014	1.003	0.999
1976	0.956	0.892	1989	0.943	0.943	2002	1.008	1.000	2015	1.001	1.000
1977	1.035	0.924	1990	0.976	0.921	2003	1.000	1.000	2016	1.000	1.000
1978	1.032	0.953	1991	1.065	0.981	2004	1.000	1.000	2017	1.000	1.000
1979	1.016	0.968	1992	1.019	1.000	2005	1.000	1.000	2018	1.000	1.000
1980	1.015	0.982	1993	1.000	1.000	2006	1.000	1.000	2019	0.977	0.977
1981	0.981	0.963	1994	1.000	1.000	2007	1.000	1.000	2020	0.979	0.956
1982	1.016	0.979	1995	1.000	1.000	2008	1.000	1.000			

注)この出力は、付論 C の 117 ページの推計結果として出力されたものである

つぎに、 $t-1$ 年から t 年までの実質生産価格変化のノンパラメトリックな指標の定義である。Konüs(1939)の真の生計費指数の分析の例に倣えば、実質生産価格指数の系列から2つの特別なケースを抽出することは自然である。1つは α_L^t で、 $t-1$ 年目の技術を使用し、基準投入価格と投入量として $t-1$ 年目の実質投入価格 w^{t-1} と投入量 x^{t-1} を用いる場合(これは Laspeyres 型の実質産出価格指数に対応する)であり、もう一つは α_P^t で、 t 年目の技術を使用し、投入価格と投入量として t 年目の実質投入価格と投入量 w^t と x^t を用いるもの(これは Paasche 型の実質産出価格指数に対応する)である。次に、これら2つの指数の幾何平均をとることによって、実質生産価格変動の全体的な指標 α^t を定義する。これらの指数は以下のように定義される:

$$\alpha_L^t \equiv R^{t-1}(p^t, w^{t-1}, x^{t-1})/R^{t-1}(p^{t-1}, w^{t-1}, x^{t-1}) \dots (31)$$

$$\alpha_P^t \equiv R^t(p^t, w^t, x^t)/R^t(p^{t-1}, w^t, x^t) \dots (32)$$

$$\alpha^t \equiv [\alpha_L^t \alpha_P^t]^{1/2} \dots (33)$$

(31)式の分母に現れる $R^{t-1}(p^{t-1}, w^{t-1}, x^{t-1})$ は前述の通り、先程計算したコスト制約付き付加価値関数 $R^t(p^t, w^t, x^t)$ の1時点分ラグを取ったものであるが、分子に現れる $R^{t-1}(p^t, w^{t-1}, x^{t-1})$ は $R^t(p^t, w^t, x^t)$ とは異なるので、新たに計算しなければならない。基本的には $R^t(p^t, w^t, x^t)$ と同じように計算すればよいのだが、注意が必要な点もあるため、ここでも実際のプログラム例を示しながら計算手順を説明する。以下のプログラムでは、 $R^{t-1}(p^t, w^{t-1}, x^{t-1})$ を R1 という変数名で計算している。

```
R1 <- matrix(0, ncol=(dim(W)[1]), nrow=(dim(W)[1]-1))
for(tt in 2:(dim(W)[1])){
  for(ss in 1:(tt-1)){
    R1[tt-1,ss] <- sum(W[tt-1,]*X[tt-1,])*sum(P[tt,]*Y[ss,])/sum(W[tt-1,]*X[ss,])
  }
}
R1 <- apply(R1, 1, max)
alphan <- c(1, R1/R0[-length(R0)])
```

R0 の計算との大きな違いの1つ目は時点に関する繰り返しの範囲を1からではなく2からにしていること(2行目)、2つ目は時点 s についての範囲を1から $t-1$ にしている点である。まず1つ目の理由について説明する。 $R^{t-1}(p^t, w^{t-1}, x^{t-1})$ を見るとわかるように、産出価格ベクトル p の時点と投入価格ベクトル w 、投入数量ベクトル x の時点が異なる。そのため、実際に計算する場合、tt の範囲を1からにしてしまうと $W[tt-1,], X[tt-1,]$ の値が存在しないため、エラーになってしまう。続いて2つ目の理由は、(28)式をみるとわかるように、 s が取りうる範囲は R^t の時間に関する添字までだからである。いま、 $R^{t-1}(p^t, w^{t-1}, x^{t-1})$ の R に関する時点の添字は $t-1$ なので、 s の取りうる範囲は $1 \sim t-1$ となる。これ以降で現れるコスト制約付き付加価値関数についても、同様の点に注意しながら計算をすれば良い。また、このようにして計算された R1 は R0 よりも1時点分短いデータになる。 α_L^t を計算する際には、コスト制約付き付加価値関数 $R^t(p^t, w^t, x^t)$ の1時点ラグを取った $R^{t-1}(p^t, w^{t-1}, x^{t-1})$ で割れば良いので、最後に $R1/R0[-length(R0)]$ という計算を行っている。 $length(R0)$ はコスト制約付き付加価値関数 $R^t(p^t, w^t, x^t)$ の長さ(時点数)であり、 $R0[-length(R0)]$ とすることによって、最後の時点の値が除外され、R1と同じ長さになり、かつ、R0の1時点ラグを取ったものに相当する。

ここで、コスト制約付き付加価値関数を用いて(33)式によって計算された Fisher 型の指数と、 p^t, y^t を用いて直接計算した Fisher 指数は全く異なるのであろうか？ $A^{1970} = 1$ として $A^t = A^{t-1} \times \alpha^t$ によって計算した連鎖指数と、 p^t, y^t を用いて直接計算した連鎖 Fisher 指数 P_{CF}^t を図 10 に示す。²¹

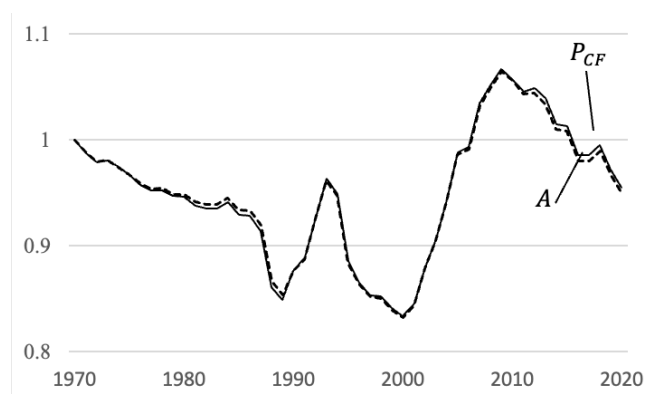


図 10. A と P_{CF} の比較

連鎖 Fisher 指数 P_{CF}^t は、(A-3)式と(A-4)式の幾何平均 $P_{CF}^t = (P_{CL}^t P_{CP}^t)^{1/2}$ として計算することができる。これらを R で計算する場合、次のようにすれば良い。

```
PLCH <- 1
PPCH <- 1
for(tt in 2:dim(P)[1]){
  PLCH <- c(PLCH, PLCH[tt-1]*sum(P[tt,]*Y[tt-1,])/sum(P[tt-1,]*Y[tt-1,]))
  PPCH <- c(PPCH, PPCH[tt-1]*sum(P[tt,]*Y[tt,])/sum(P[tt-1,]*Y[tt,]))
}
PF <- (PLCH*PPCH)^0.5
```

4 行目と 5 行目が(A-3)式と(A-4)式に対応している。PLCH が連鎖 Laspeyres 指数、PPCH が連鎖 Paasche 指数である。また、得られた結果を表 21 に示す。

図 10 を見るとわかるように、若干の違いは存在するものの、(33)式に基づいて計算した累積指数 A^t と直接計算した連鎖 Fisher 指数 P_{CF} は非常に近い値を取っていることがわかる。つまり、 A と P_{CF} はほぼ同じものを計算していることになる。

表 21. 基準投入価格に関する指数一覧

Year	A^t	P_{CF}^t	α^t	α_L^t	α_P^t	Year	A^t	P_{CF}^t	α^t	α_L^t	α_P^t
1970	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1996	0.863	0.865	0.977	0.976	0.977
1971	0.988	0.988	0.988	0.988	0.988	1997	0.852	0.854	0.987	0.988	0.986
1972	0.980	0.979	0.991	0.991	0.991	1998	0.851	0.852	0.998	0.998	0.998
1973	0.981	0.981	1.001	1.001	1.001	1999	0.840	0.841	0.987	0.987	0.987
1974	0.974	0.975	0.993	0.993	0.993	2000	0.832	0.834	0.991	0.992	0.991

²¹ ここで計算した A^t は、のちの(52)式(53)式で計算しているものと等しい。

1975	0.967	0.967	0.993	0.993	0.993	2001	0.844	0.846	1.014	1.014	1.014
1976	0.959	0.958	0.992	0.992	0.992	2002	0.878	0.880	1.041	1.040	1.042
1977	0.954	0.952	0.995	0.995	0.995	2003	0.905	0.907	1.030	1.030	1.030
1978	0.954	0.953	1.000	1.000	1.000	2004	0.942	0.944	1.041	1.041	1.041
1979	0.948	0.947	0.994	0.994	0.994	2005	0.986	0.988	1.047	1.046	1.048
1980	0.948	0.947	1.000	1.000	1.000	2006	0.991	0.994	1.005	1.006	1.005
1981	0.942	0.938	0.993	0.993	0.993	2007	1.033	1.035	1.041	1.042	1.040
1982	0.939	0.936	0.998	0.998	0.998	2008	1.049	1.052	1.016	1.016	1.016
1983	0.939	0.935	1.000	1.001	0.999	2009	1.065	1.067	1.015	1.014	1.016
1984	0.945	0.941	1.006	1.007	1.006	2010	1.056	1.058	0.992	0.992	0.992
1985	0.934	0.930	0.988	0.990	0.985	2011	1.043	1.046	0.988	0.988	0.988
1986	0.933	0.929	0.999	0.999	1.000	2012	1.044	1.049	1.001	1.001	1.001
1987	0.920	0.914	0.985	0.985	0.986	2013	1.034	1.039	0.990	0.990	0.990
1988	0.866	0.861	0.942	0.941	0.943	2014	1.010	1.015	0.977	0.976	0.977
1989	0.853	0.849	0.985	0.985	0.985	2015	1.008	1.013	0.998	0.998	0.998
1990	0.876	0.877	1.027	1.027	1.027	2016	0.981	0.986	0.973	0.972	0.973
1991	0.887	0.889	1.012	1.012	1.012	2017	0.980	0.985	1.000	1.000	1.000
1992	0.926	0.927	1.043	1.042	1.044	2018	0.990	0.995	1.010	1.010	1.010
1993	0.961	0.963	1.039	1.037	1.041	2019	0.967	0.972	0.977	0.977	0.977
1994	0.947	0.949	0.985	0.981	0.990	2020	0.949	0.955	0.982	0.982	0.982
1995	0.884	0.886	0.933	0.935	0.932						

注)この出力は、付論 C の 118 ページの推計結果として出力されたものである

次に、投入量の変化に関する 2 つの自然な指標は、Laspeyres と Paasche の投入量指数である。 t 年目の指数を β_L^t および β_P^t とする。この場合も、これら 2 つの指数の幾何平均を取るのが自然であり、これによって Fisher 投入量指数 β^t が計算できる。これらの指数は以下のように定義される：

$$\beta_L^t \equiv w^{t-1} \cdot x^t / w^{t-1} \cdot x^{t-1} \dots (34)$$

$$\beta_P^t \equiv w^t \cdot x^t / w^t \cdot x^{t-1} \dots (35)$$

$$\beta^t \equiv [\beta_L^t \beta_P^t]^{1/2} \dots (36)$$

これら計算を計算する場合、前述の連鎖 Fisher 指数を計算するプログラムを参考にすれば良い。得られた結果を表 22 に示す。

表 22. 投入量の変化に関する指数

Year	β^t	β_L^t	β_P^t	Year	β^t	β_L^t	β_P^t
1970	1.000	1.000	1.000	1996	1.074	1.075	1.074

1971	1.069	1.069	1.069	1997	1.067	1.068	1.066
1972	1.043	1.044	1.043	1998	1.058	1.058	1.058
1973	1.052	1.052	1.052	1999	1.065	1.066	1.064
1974	1.050	1.050	1.050	2000	1.072	1.073	1.072
1975	1.048	1.048	1.048	2001	1.072	1.072	1.071
1976	1.052	1.052	1.052	2002	1.067	1.068	1.067
1977	1.039	1.039	1.039	2003	1.077	1.079	1.076
1978	1.046	1.046	1.046	2004	1.083	1.084	1.081
1979	1.054	1.054	1.053	2005	1.099	1.100	1.099
1980	1.053	1.053	1.053	2006	1.067	1.069	1.065
1981	1.050	1.050	1.050	2007	1.056	1.059	1.053
1982	1.049	1.049	1.049	2008	1.065	1.068	1.063
1983	1.042	1.041	1.042	2009	1.078	1.080	1.076
1984	1.064	1.064	1.064	2010	1.126	1.127	1.126
1985	1.074	1.074	1.073	2011	1.096	1.098	1.093
1986	1.075	1.076	1.074	2012	1.079	1.082	1.076
1987	1.066	1.067	1.066	2013	1.077	1.079	1.074
1988	1.067	1.067	1.066	2014	1.055	1.058	1.052
1989	1.056	1.057	1.055	2015	1.038	1.040	1.036
1990	1.044	1.044	1.043	2016	1.047	1.048	1.046
1991	1.039	1.038	1.039	2017	1.038	1.038	1.039
1992	1.053	1.053	1.052	2018	1.046	1.046	1.045
1993	1.066	1.066	1.066	2019	1.038	1.040	1.036
1994	1.062	1.064	1.060	2020	1.040	1.041	1.039
1995	1.069	1.070	1.069				

注)この出力は、付論 C の 118 ページの推計結果として出力されたものである

つぎに、実質の投入価格が $t-1$ 年から t 年に変化する際のコスト付き付加価値への影響を測定する指数について考える。つまり、 $R^s(p, w^t, x)/R^s(p, w^{t-1}, x)$ によって表される変化である。いま(28)式より、 $R^s(p, w, x)$ は w に対して 0 次斉次である。そのため、 $R^s(p, w^t, x)/R^s(p, w^{t-1}, x)$ をそのまま投入価格指数として解釈することはできない。実際、もしも投入物が 1 つだけの場合、 $R^s(p, w^t, x)/R^s(p, w^{t-1}, x) = 1$ となり、この投入価格変化の指標は単一の投入物の価格変化とは無関係となってしまう。一方、多くの主要な投入がある場合には、 $R^s(p, w^t, x)/R^s(p, w^{t-1}, x)$ を、「相対的な入力価格の変化によって誘発される、生産で使用される主要な入力の相対的な割合の変化」または「生産で使用される入力ミックスの変化の影響」を測定するものとして解釈することができる。これまで通り、この場合における 2 つのケースを考えると、1 つめは、 t 年におけるコスト制約付き付加価値関数と $t-1$ 年における価格ベクトル p^{t-1} と数量ベクトル x^{t-1} を用いるケー

ス。2つ目は、 $t-1$ 年におけるコスト制約付き付加価値関数と t 年における価格ベクトルと数量ベクトル p^t, x^t を用いるケースである。また、これらの幾何平均を取る。得られた結果を表 23 に示す。

$$\gamma_1^t \equiv R^t(p^{t-1}, w^t, x^t)/R^t(p^{t-1}, w^{t-1}, x^t) \dots (37)$$

$$\gamma_2^t \equiv R^{t-1}(p^t, w^t, x^{t-1})/R^{t-1}(p^t, w^{t-1}, x^{t-1}) \dots (38)$$

$$\gamma^t \equiv [\gamma_1^t \gamma_2^t]^{1/2} \dots (39)$$

ここで、(37)式に現れる分子と(38)式に現れる分母は、それぞれ(31)式と(33)式においてすでに計算しているので、ここで新しく計算する必要があるのは、 $R^t(p^{t-1}, w^{t-1}, x^t)$ と $R^{t-1}(p^t, w^t, x^{t-1})$ となる。最終的に得られた結果を表 23 に示す。

表 23. 入力ミックスの変化に対する指数

Year	γ^t	γ_1^t	γ_2^t	Year	γ^t	γ_1^t	γ_2^t
1970	1.000	1.000	1.000	1996	1.000	1.000	1.000
1971	1.000	1.000	1.000	1997	1.000	1.000	1.000
1972	0.999	0.998	0.999	1998	1.000	1.000	1.000
1973	1.001	1.001	1.001	1999	1.000	1.000	1.000
1974	1.000	1.000	1.000	2000	1.000	1.000	1.000
1975	1.000	1.000	1.000	2001	0.999	0.999	1.000
1976	1.002	1.002	1.002	2002	0.999	1.000	0.999
1977	0.999	0.999	0.999	2003	1.000	1.000	1.000
1978	0.998	0.998	0.998	2004	1.000	0.999	1.000
1979	0.996	0.996	0.996	2005	1.000	1.000	1.000
1980	0.992	0.992	0.992	2006	1.000	1.000	1.000
1981	1.000	1.000	0.999	2007	1.000	1.000	1.000
1982	0.999	0.999	0.999	2008	1.000	1.000	1.000
1983	1.000	1.000	1.001	2009	1.000	1.000	1.000
1984	1.000	1.000	1.000	2010	0.999	0.999	1.000
1985	1.000	1.000	1.000	2011	0.996	0.993	0.998
1986	0.999	0.998	0.999	2012	0.990	0.988	0.993
1987	0.999	1.000	0.999	2013	0.987	0.985	0.989
1988	1.000	1.000	1.000	2014	0.994	0.991	0.996
1989	0.999	0.998	1.000	2015	1.000	1.000	1.000
1990	0.999	0.999	0.999	2016	1.000	1.000	1.000
1991	1.003	1.003	1.002	2017	1.000	1.000	1.000
1992	1.000	1.000	0.999	2018	1.000	1.000	1.000

1993	1.000	1.000	1.000	2019	0.998	0.996	1.000
1994	1.000	1.000	1.000	2020	0.996	0.995	0.997
1995	1.000	1.000	1.000				

注)この出力は、付論 C の 118 ページの推計結果として出力されたものである

最後に、 $t-1$ 年から t 年への技術的進歩の指標を定義するためにも、コスト制約付き付加価値関数を使用する。今回は、技術進歩を測定したいので、 p, w, x を一定に保ち、技術のみを $t-1$ 年の技術から t 年の技術に変更すれば良い。つまり、 $R^t(p, w, x)/R^{t-1}(p, w, x)$ の形をしている。²² $t-1$ 年から t 年への技術進歩がある場合、生産可能集合は $t-1$ 年の集合よりも t 年の集合の方が大きくなる。したがって、 $R^t(p, w, x)$ は $R^{t-1}(p, w, x)$ と等しいかそれ以上になり、技術進歩の指標も 1 以上になる。そして、技術進歩の指標が 1 未満になることはない。

ここで、技術進歩についても Laspeyres 型の指標 τ_p^t と Paasche 型の指標 τ_L^t を考える。ただし、Laspeyres 型の場合には t 年の投入量ベクトル x^t と $t-1$ 年の産出価格ベクトルと投入価格ベクトル p^{t-1}, w^{t-1} を用い、Paasche 型の場合には、 $t-1$ 年の投入量ベクトル x^{t-1} と t 年における産出価格ベクトルと投入価格ベクトル p^t, w^t を用いる。そして、 t 年における平均的な技術変化の指標として Laspeyres 型と Paasche 型の幾何平均を用いる。

$$\tau_L^t \equiv R^t(p^{t-1}, w^{t-1}, x^t)/R^{t-1}(p^{t-1}, w^{t-1}, x^t) \dots (40)$$

$$\tau_p^t \equiv R^t(p^t, w^t, x^{t-1})/R^{t-1}(p^t, w^t, x^{t-1}) \dots (41)$$

$$\tau^t \equiv [\tau_L^t \tau_p^t]^{1/2} \dots (42)$$

(40)式における分子と(41)式における分母は(37)式と(38)式ですでに計算している。そのため、ここで新しく計算する必要があるのは $R^{t-1}(p^{t-1}, w^{t-1}, x^t)$ と $R^t(p^t, w^t, x^{t-1})$ である。得られた結果を表 24 に示す。

表 24. 技術進歩に関する指数

Year	τ^t	τ_L^t	τ_p^t	Year	τ^t	τ_L^t	τ_p^t
1970	1.000	1.000	1.000	1996	1.009	1.009	1.010
1971	1.000	1.000	1.000	1997	1.017	1.018	1.016
1972	1.000	1.000	1.000	1998	1.028	1.028	1.028
1973	1.000	1.000	1.000	1999	1.011	1.011	1.012
1974	1.000	1.000	1.000	2000	1.024	1.024	1.024
1975	1.000	1.000	1.000	2001	1.000	1.000	1.000
1976	1.000	1.000	1.000	2002	1.020	1.018	1.022
1977	1.000	1.000	1.000	2003	1.018	1.017	1.019
1978	1.000	1.000	1.000	2004	1.001	1.000	1.003
1979	1.000	1.000	1.000	2005	1.004	1.003	1.006

²² これらの技術進歩の指標は、Diewert and Morrison (1986, p. 662)によって国の GDP 関数を使用して定義された。この特殊なケースは、Diewert (1983, p. 1063)によって定義されている。Balk (1998, p. 99)もこの定義を使用し、Balk (1998, p. 58)は Salter (1960)の例に倣って、同様の技術進歩指数族を定義するために共通のコスト関数を使用した。

1980	1.000	1.000	1.000	2006	1.046	1.044	1.047
1981	1.000	1.000	1.000	2007	1.081	1.078	1.083
1982	1.000	1.000	1.000	2008	1.062	1.059	1.064
1983	1.027	1.028	1.025	2009	1.025	1.022	1.028
1984	1.085	1.085	1.084	2010	1.000	1.000	1.000
1985	1.009	1.011	1.007	2011	1.000	1.000	1.000
1986	1.001	1.000	1.001	2012	1.000	1.000	1.000
1987	1.014	1.012	1.015	2013	1.000	1.000	1.000
1988	1.071	1.069	1.073	2014	1.000	1.000	1.000
1989	1.000	1.000	1.000	2015	1.023	1.021	1.026
1990	1.000	1.000	1.000	2016	1.014	1.013	1.015
1991	1.000	1.000	1.000	2017	1.069	1.069	1.069
1992	1.030	1.028	1.031	2018	1.004	1.004	1.005
1993	1.041	1.039	1.043	2019	1.000	1.000	1.000
1994	1.075	1.068	1.082	2020	1.000	1.000	1.000
1995	1.030	1.031	1.029				

注)この出力は、付論 C の 119 ページの推計結果として出力されたものである

最後に、前節同様に実質総所得成長率 RI_G^t を次のように定義する。

$$RI_G^t \equiv p^t \cdot y^t / p^{t-1} \cdot y^{t-1} \dots (43)$$

すると、Diewert and Fox (2018)では次のような分解が厳密になり立つことを示している。

$$RI_G^t = \varepsilon^t \alpha^t \beta^t \gamma^t \tau^t \dots (44)$$

(44)式に現れる各要素については、Diewert, Nomura and Shimizu(2024)の Table3 に掲載されている。

$t - 1$ 年から t 年の経済における TFP 成長の新たな指標は、Jorgenson and Griliches (1967) に従って産出成長の指標を投入成長の指標で割ったものとして定義することができる。産出成長の適切な指標は、実質総所得成長を実質生産価格の変動 α^t で除したものである。また、投入成長の適切な指標は β^t である。したがって、ノンパラメトリックな t 年における TFP 成長率 $NTFP_G^t$ を以下のように定義する：

$$NTFP_G^t \equiv \{[p^t \cdot y^t / p^{t-1} \cdot y^{t-1}] / \alpha^t\} / \beta^t = \varepsilon^t \gamma^t \tau^t \dots (45)$$

(45)式より $t - 1$ 年から t 年へのノンパラメトリックな TFP 成長率 $NTFP_G^t$ は、 t 年における効率性変化 ε^t 、投入指数 γ^t 、技術進歩の指標 τ^t の積に等しいことがわかる。TFP 成長率のノンパラメトリック指標である $NTFP_G^t$ と第 4 節でもとめた TFP_G^t を図 11 と表 25 に示す。

図を見るとわかるように、 TFP_G と $NTFP_G$ の間にはほとんど差がなく、図において区別できないほど重なっていることがわかる。

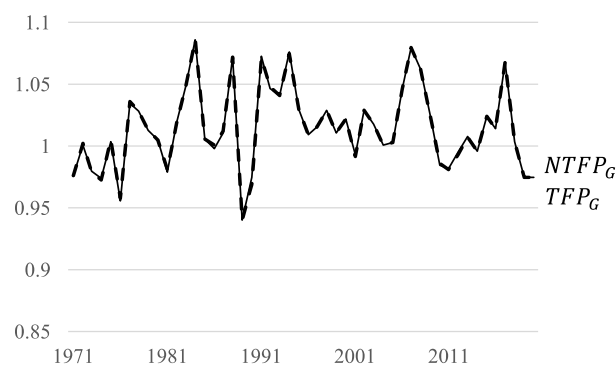


図 11. TFP_G と $NTFP_G$ の比較

表 25. TFP_G と $NTFP_G$ の数値

Year	TFP_G^t	$NTFP_G^t$	Year	TFP_G^t	$NTFP_G^t$	Year	TFP_G^t	$NTFP_G^t$	Year	TFP_G^t	$NTFP_G^t$
1971	0.978	0.978	1984	1.085	1.085	1997	1.017	1.017	2010	0.986	0.985
1972	1.000	1.000	1985	1.009	1.009	1998	1.028	1.028	2011	0.981	0.982
1973	0.980	0.980	1986	0.999	0.999	1999	1.011	1.011	2012	0.993	0.994
1974	0.969	0.970	1987	1.014	1.013	2000	1.024	1.024	2013	1.006	1.007
1975	1.004	1.004	1988	1.071	1.071	2001	0.991	0.992	2014	0.997	0.997
1976	0.960	0.958	1989	0.941	0.942	2002	1.028	1.028	2015	1.023	1.024
1977	1.035	1.034	1990	0.969	0.975	2003	1.018	1.018	2016	1.014	1.014
1978	1.029	1.030	1991	1.067	1.068	2004	1.001	1.001	2017	1.069	1.069
1979	1.012	1.012	1992	1.049	1.050	2005	1.004	1.004	2018	1.004	1.004
1980	1.007	1.007	1993	1.041	1.041	2006	1.046	1.046	2019	0.974	0.975
1981	0.982	0.980	1994	1.075	1.075	2007	1.080	1.081	2020	0.975	0.975
1982	1.016	1.015	1995	1.030	1.030	2008	1.062	1.062			
1983	1.050	1.049	1996	1.009	1.009	2009	1.025	1.025			

注)この出力は、付論 C の 119 ページの推計結果として出力されたものである

また、分解した各要因を図 12 に示す。図を見るとわかるように、説明要因として最も大きいのは、投入量の変化 β^t であり、年平均を計算すると 6.13%にもなる。入力ミックスの変化 γ^t はほぼ 1 であるが、所々で 1 を下回っている。年平均を計算すると 0.999 であり、全期間を通じて GDP 成長率へのマイナスの寄与が非常に小さいことを示している。また技術進歩 τ^t については、年平均を計算すると 1.64%であり、投入量の変化 β^t について大きい。²³効率 e^t が 1 を下回る場合、 τ^t は 1 に等しく、これは技術進歩がないことを示す。逆に、技術進歩が 1 より大きい場合、効率 e^t は 1 に等しい。

²³ これらの平均値は、読み込んでいるデータの都合上、桁落ちなどの影響により論文の掲載値は若干異なる。

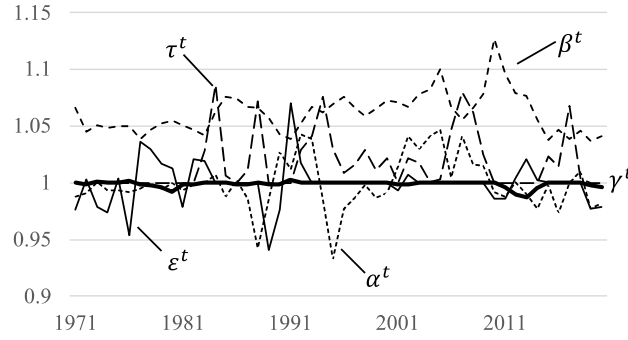


図 12. 各説明要因

次に、第 5 節の分解時と同様に Kohli (1990) に倣って水準での分解を求める。そのために

$$E^{1970} \equiv 1, A^{1970} \equiv 1, B^{1970} \equiv 1, C^{1970} \equiv 1, T^{1970} \equiv 1 \dots (46)$$

として、再帰的に

$$E^t \equiv \epsilon^t E^{t-1}, A^t \equiv \alpha^t A^{t-1}, B^t \equiv \beta^t B^{t-1}, C^t \equiv \gamma^t C^{t-1}, T^t \equiv \tau^t T^{t-1} \dots (47)$$

を定義する。上記の定義を用いると、 t 年に観測された実質 GDP または実質総所得 R_t^t の 1970 年の水準に対する分解は以下ようになる：

$$R_t^t / R^{1970} \equiv p^t \cdot y^t / p^{1970} \cdot y^{1970} = A^t B^t C^t E^t T^t \dots (48)$$

この分解によって得られた各水準は Diewert, Nomura and Shimizu (2023) の Table B7 に掲載されている。

また、 t 年における $NFTP^t$ の水準を次のように定義する。

$$NFTP^{1970} \equiv 1; NFTP^t \equiv (NFTP_G^t)(NFTP_G^{t-1}) \dots (49)$$

ここで、 $NFTP_G^t$ は (45) 式で定義されているので、(46) 式と (47) 式を用いるとノンパラメトリックな TFP の水準分解は

$$NFTP^t = [p^t \cdot y^t / p^1 \cdot y^1] / [A^t B^t] = C^t E^t T^t \dots (50)$$

となる。 $NFTP$ と C^t, E^t, T^t を図 13 と表 26 に示す。

図 13 の最上部の破線は技術の水準 T^t がプロットされている。最終的に技術水準 T^t は 2.25 に達している。技術水準 T^t の下にある実線は $NFTP^t$ 水準を示している。効率水準 E^t は、1970 年から 1982 年まではほぼ $NFTP^t$ の実線と一致しており、その後はほとんどの期間で 1 の水準に近くにいる。しかし、その後 1989 年から 1991 年と 2019 年から 2020 年にかけて顕著な低下がみられる。また、 E^t が 1 を下回ると、 $NFTP^t$ も T^t を下回る様子が見て取れる。入力ミックス C^t は期間全体で 1 の水準に非常に近いが、期間中、徐々に減少している。

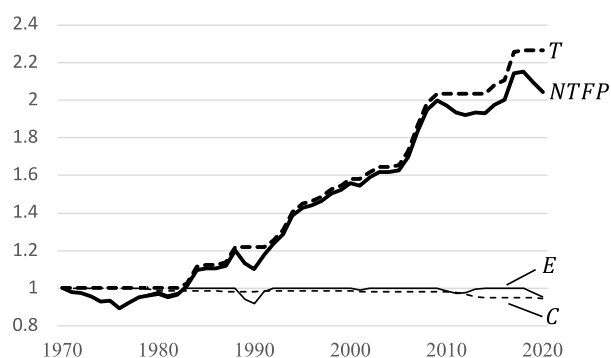


図 13. NTFP の説明要因への分解

表 26. NTFP の説明要因

Year	E^t	C^t	T^t	$NTFP^t$	Year	E^t	C^t	T^t	$NTFP^t$
1970	1.000	1.000	1.000	1.000	1996	1.000	0.984	1.462	1.440
1971	0.978	1.000	1.000	0.978	1997	1.000	0.984	1.487	1.464
1972	0.979	0.999	1.000	0.977	1998	1.000	0.984	1.528	1.505
1973	0.958	0.999	1.000	0.957	1999	1.000	0.984	1.546	1.522
1974	0.930	0.999	1.000	0.929	2000	1.000	0.984	1.583	1.559
1975	0.933	0.999	1.000	0.932	2001	0.992	0.984	1.583	1.545
1976	0.892	1.001	1.000	0.893	2002	1.000	0.983	1.616	1.589
1977	0.924	1.000	1.000	0.924	2003	1.000	0.983	1.645	1.617
1978	0.953	0.999	1.000	0.952	2004	1.000	0.983	1.647	1.619
1979	0.968	0.995	1.000	0.963	2005	1.000	0.983	1.654	1.626
1980	0.982	0.987	1.000	0.970	2006	1.000	0.983	1.729	1.700
1981	0.963	0.986	1.000	0.950	2007	1.000	0.983	1.869	1.837
1982	0.979	0.986	1.000	0.965	2008	1.000	0.983	1.984	1.950
1983	1.000	0.986	1.027	1.012	2009	1.000	0.983	2.033	1.998
1984	1.000	0.986	1.113	1.098	2010	0.986	0.982	2.033	1.969
1985	1.000	0.986	1.124	1.108	2011	0.972	0.978	2.033	1.933
1986	1.000	0.985	1.124	1.107	2012	0.976	0.968	2.033	1.922
1987	1.000	0.984	1.140	1.121	2013	0.996	0.956	2.033	1.936
1988	1.000	0.984	1.221	1.201	2014	0.999	0.950	2.033	1.930
1989	0.943	0.983	1.221	1.132	2015	1.000	0.950	2.080	1.976
1990	0.921	0.982	1.221	1.104	2016	1.000	0.950	2.109	2.003
1991	0.981	0.985	1.221	1.179	2017	1.000	0.950	2.254	2.142
1992	1.000	0.984	1.257	1.237	2018	1.000	0.950	2.264	2.151

1993	1.000	0.984	1.309	1.288	2019	0.977	0.948	2.264	2.096
1994	1.000	0.984	1.407	1.385	2020	0.956	0.944	2.264	2.044
1995	1.000	0.984	1.449	1.427					

注)この出力は、付論 C の 119 ページの推計結果として出力されたものである

本節と第 5 節で説明した分解では、いずれも TFP 成長の測定においてほとんど同じ結果を導く。しかし、ノンパラメトリックな方法の利点は、TFP 成長を 3 つの異なる要因:(1) 技術進歩の変化、(2) 効率の変化、(3) 入力ミックスの変化、に分解できることにある。この最後の要因(γ^t)は通常非常に小さい。

7. 純所得成長の計算と分解

この節における実際の計算方法については、「付論 C-5 macro05_netincome」をご覧ください。また、この節では、これまでの計算結果と比較することも多く、これまでの計算結果として多くのデータも読み込むため、用いるデータファイルの一覧について整理しておく。

表 27. 本節で用いるデータ一覧

ファイル名	格納データ
macro05_01.csv	第4節で使った産出に関する価格指数と数量指数
macro05_02.csv	第4節で使った16種類の資本ストックの価格指数と数量指数
inflationrate.csv	第4節で計算した平滑化したインフレ率
tax.csv	固定資産税
TableB3_labour.csv	労働力に関する価格指数と数量指数
capitalcost.csv	第4節で計算した平滑化した資本コスト
TFP.csv	第5節で計算したTFP
OLDVY.csv	第5節で計算した産出についての総合的な価格指数と数量指数
nonparasec7.csv	第7節で求めたノンパラメトリック分解
nonparalevelsec7.csv	第8節で求めたノンパラメトリック分解の水準

これまでは、16 種類の資本を投入物としてのみ取り扱ってきた。ところが Edgar O. Edwards and Philip W. Bell (1961, pp. 71–72)で「企業は生産要素または投入が流れ込み、生産物が流れ出る容器としてみるができる。企業が指定された期間内に作業できる投入の合計には、前の期間から継承されたものと、現在の期間中に新たに取得したものが含まれる。同じ期間の企業の生産の合計には、現在販売している生産の量と、次の活動期間に企業に受け継がれる投入の量が含まれる。」と書かれているように、企業の生産活動において資本は投入物としても生産物としても現れる。

また、John R. Hicks (1961, p. 23)でも「生産プロセスは時間の経過の中で見ることが必要であり、始まりと終わりがある。期間の開始時点では、初期資本ストックがある。ここに労働のフローインプットが適用され、そこから消費と呼ばれるフローアウトプットが現れる。その後、期間の終わりには残存する資本ストックがある。もしインプットが投入されるものであり、アウトプットが生産されるものであり、期間の生産が孤立して考えられるなら、機関の開始時点における資本ストックはインプットになる。これは労働のフローインプットに対するストック・イ

ンプットであり、さらに、期間の終了時における資本ストックはアウトプットであり、消費財のフローアウトプットに対応するストック・アウトプットとなる。入力と出力は両方ともストックとフローの要素を持っており、資本は入力としても出力としても現れる。」

Hicks, Edwards, Bell は明らかに同じ生産モデルを考えている。具体的には、各会計期間において事業部門は、前期から引き継いだ資本ストックと仕掛品に、当期に購入した「フロー」投入（労働力、材料、サービスなど）を組み合わせ、当期の「フロー」生産物を生産する。これとともに、当期の観点からは生産物とみなされるが、次期においては投入物とみなされる、期末償却資本ストックの構成要素を生産する、というモデルである。

本節では上記のようなより現実的なモデルを定義し、第5節、第6節と同様に構成要素の分解を行っていく。

第3節では、生産に関する項目を使って、総生産額 V_Y^t を次のように計算した。

$$V_Y^t = P_C^t Q_C^t + P_G^t Q_G^t + P_I^t Q_I^t + P_X^t Q_X^t - P_M^t Q_M^t$$

しかしここでの考え方は、生産物の中から総投資 $P_I^t Q_I^t$ を消去し、その代わりに、期末の資本ストックの価値 $\sum_{n=1}^{16} P_{Kn}^{t+1} Q_{Kn}^{t+1}$ から期初の資本ストックの価値 $\sum_{n=1}^{16} P_{Kn}^t Q_{Kn}^t$ を差し引いた名目純投資額に対応する項を入れる。

つまり、価値総額を

$$P_C^t Q_C^t + P_G^t Q_G^t + P_X^t Q_X^t - P_M^t Q_M^t + \sum_{n=1}^{16} P_{Kn}^{t+1} Q_{Kn}^{t+1} - \sum_{n=1}^{16} P_{Kn}^t Q_{Kn}^t$$

として考える。

そこで、新しく純投資の集計を次のように行う。

$$V_I^{t*} \equiv \sum_{n=1}^{16} P_{Kn}^{t+1} Q_{Kn}^{t+1} - \sum_{n=1}^{16} P_{Kn}^t Q_{Kn}^t = \sum_{n=1}^{16} (1 + i_n^t) P_{Kn}^t Q_{Kn}^{t+1} - \sum_{n=1}^{16} P_{Kn}^t Q_{Kn}^t \dots (51)$$

2 つめの式変形には(2)式を用いた。

t 年におけるこの純投資額に対応する価格指数は P_I^{t*} とすると、これは(51)式の右辺に現れる構成要素のTörnqvist価格指数として計算できる。ただし、 Q_{Kn}^{t+1} はプラスの符号で計算式に入り、 Q_{Kn}^t はマイナスの符号で計算式に入る。数量指数を Q_I^{t*} とすると、これは V_I^{t*}/P_I^{t*} によって計算することができる。得られた結果を表28に示す。

表 28. 純投資額に対応する価格指数と数量指数

Year	P_I^{t*}	Q_I^{t*}	V_I^{t*}	Year	P_I^{t*}	Q_I^{t*}	V_I^{t*}
1970	1.000	0.049	0.049	1996	11.927	0.270	3.225
1971	1.066	0.049	0.052	1997	11.945	0.283	3.381
1972	1.130	0.049	0.055	1998	11.672	0.297	3.464
1973	1.227	0.049	0.060	1999	11.391	0.320	3.642
1974	1.317	0.050	0.066	2000	11.327	0.350	3.967

1975	1.405	0.056	0.079	2001	11.534	0.379	4.371
1976	1.503	0.049	0.074	2002	11.944	0.420	5.022
1977	1.602	0.061	0.098	2003	12.636	0.486	6.144
1978	1.711	0.070	0.119	2004	13.788	0.540	7.450
1979	1.848	0.074	0.137	2005	14.933	0.573	8.561
1980	2.097	0.076	0.160	2006	16.019	0.631	10.100
1981	2.336	0.074	0.172	2007	17.175	0.719	12.344
1982	2.608	0.080	0.208	2008	18.663	0.825	15.389
1983	2.934	0.088	0.258	2009	19.007	0.989	18.797
1984	3.317	0.107	0.356	2010	19.792	1.082	21.423
1985	3.774	0.124	0.467	2011	21.027	1.140	23.978
1986	4.325	0.127	0.548	2012	21.468	1.185	25.440
1987	4.874	0.132	0.645	2013	21.605	1.283	27.711
1988	5.666	0.151	0.853	2014	21.822	1.300	28.379
1989	6.340	0.143	0.904	2015	21.674	1.351	29.273
1990	6.919	0.138	0.957	2016	21.801	1.412	30.791
1991	7.577	0.157	1.191	2017	23.066	1.634	37.701
1992	8.461	0.181	1.530	2018	24.319	1.695	41.222
1993	10.215	0.205	2.091	2019	24.836	1.591	39.511
1994	10.980	0.228	2.499	2020	24.772	1.610	39.873
1995	11.587	0.256	2.964				

注)この出力は、付論 C の 122 ページの推計結果として出力されたものである

このようにして P_I^{t*}, Q_I^{t*} が求まれば、 t 年における純総生産額は

$$V_Y^{t*} \equiv P_C^t Q_C^t + P_G^t Q_G^t + P_I^{t*} Q_I^{t*} + P_X^t Q_X^t - P_M^t Q_M^t \cdots (52)$$

と定義できる。この純生産額の t 年における価格指数は P_Y^{t*} であり、これは(52)式に現れる $P_C^t, Q_C^t, P_G^t, Q_G^t, P_I^{t*}, Q_I^{t*}, P_X^t, Q_X^t, P_M^t, Q_M^t$ を用いたTörnqvistの価格指数として計算できる。このとき、輸入の数量 Q_M^t はマイナスの符号で指数式に入る。また数量指数 Q_Y^{t*} については、 V_Y^{t*}/P_Y^{t*} で定義される。ここで得られた $V_Y^{t*}, P_Y^{t*}, Q_Y^{t*}$ と第3節で得られた V_Y^t, P_Y^t, Q_Y^t との比較を図14と表29に示す。

図を見るとわかるように、生産額 V_Y^t, V_Y^{t*} はどちらも大きく変わらない。ところが、価格指数 P_Y^t, P_Y^{t*} と数量指数 Q_Y^t, Q_Y^{t*} は大きく異なる。たとえば、純生産数量指数 Q_Y^{t*} は総生産数量指数 Q_Y^t よりも伸びが緩やかである。これは、第3節で計算した総生産量 Q_Y^t には減価償却が含まれているためである。一方で、価格については逆の関係にある。そのため、価格と数量をかけることで求まる産出額は、純投入を使った場合も、総投入を使った場合もほぼ等しくなる。

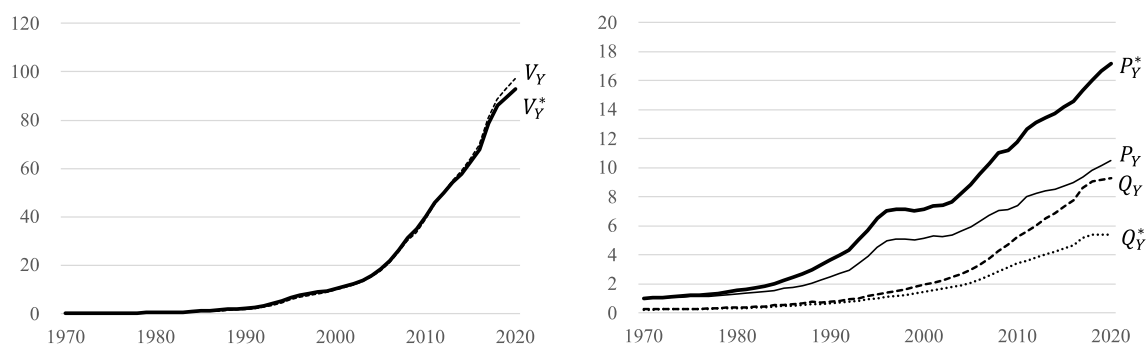


図 14. (左)純投資を使った純総生産額 V_Y^{t*} 、(右)純投資を使った価格指数 P_Y^{t*} と数量指数 Q_Y^{t*}

表 29. 純投資と総投資で得られる各指数の比較

Year	P_Y^{t*}	Q_Y^{t*}	V_Y^{t*}	P_Y^t	Q_Y^t	V_Y^t
1970	1.000	0.219	0.219	1.000	0.236	0.236
1971	1.038	0.227	0.236	1.023	0.246	0.252
1972	1.072	0.235	0.252	1.041	0.257	0.267
1973	1.117	0.241	0.269	1.071	0.265	0.283
1974	1.155	0.243	0.281	1.091	0.269	0.294
1975	1.197	0.255	0.305	1.113	0.283	0.316
1976	1.228	0.250	0.307	1.125	0.286	0.322
1977	1.278	0.274	0.350	1.154	0.308	0.355
1978	1.342	0.294	0.394	1.193	0.331	0.395
1979	1.435	0.312	0.448	1.257	0.353	0.443
1980	1.550	0.331	0.513	1.324	0.374	0.495
1981	1.640	0.340	0.558	1.364	0.386	0.527
1982	1.739	0.363	0.632	1.409	0.411	0.579
1983	1.849	0.395	0.730	1.454	0.449	0.654
1984	1.995	0.450	0.898	1.524	0.519	0.791
1985	2.239	0.484	1.084	1.673	0.562	0.941
1986	2.441	0.515	1.258	1.771	0.604	1.070
1987	2.673	0.556	1.486	1.886	0.654	1.232
1988	2.970	0.622	1.847	2.051	0.746	1.531
1989	3.319	0.621	2.061	2.260	0.742	1.676
1990	3.652	0.631	2.305	2.481	0.751	1.862
1991	3.980	0.686	2.731	2.689	0.831	2.235
1992	4.323	0.758	3.277	2.915	0.919	2.679

1993	5.028	0.828	4.165	3.408	1.020	3.477
1994	5.684	0.926	5.265	3.924	1.164	4.567
1995	6.496	1.013	6.581	4.537	1.282	5.818
1996	7.024	1.083	7.604	4.947	1.390	6.879
1997	7.164	1.175	8.418	5.076	1.508	7.656
1998	7.113	1.249	8.886	5.074	1.640	8.324
1999	7.034	1.349	9.488	5.049	1.767	8.920
2000	7.164	1.470	10.534	5.159	1.941	10.013
2001	7.369	1.543	11.372	5.289	2.062	10.905
2002	7.399	1.671	12.361	5.243	2.262	11.861
2003	7.664	1.798	13.782	5.345	2.481	13.263
2004	8.254	1.925	15.888	5.666	2.689	15.235
2005	8.828	2.087	18.421	5.939	2.968	17.628
2006	9.566	2.291	21.912	6.326	3.312	20.954
2007	10.273	2.570	26.399	6.702	3.779	25.326
2008	11.000	2.835	31.183	7.079	4.274	30.257
2009	11.218	3.125	35.060	7.092	4.723	33.493
2010	11.754	3.408	40.055	7.419	5.244	38.903
2011	12.683	3.610	45.785	8.005	5.637	45.123
2012	13.116	3.800	49.842	8.221	6.039	49.648
2013	13.428	4.055	54.444	8.388	6.546	54.902
2014	13.744	4.211	57.875	8.545	6.883	58.811
2015	14.198	4.426	62.844	8.761	7.313	64.071
2016	14.595	4.649	67.847	8.964	7.762	69.580
2017	15.313	5.141	78.730	9.379	8.618	80.830
2018	16.023	5.369	86.023	9.789	9.050	88.593
2019	16.682	5.372	89.619	10.176	9.150	93.106
2020	17.188	5.405	92.903	10.470	9.280	97.162

注)この出力は、付論 C の 122 ページの推計結果として出力されたものである

また、投入の側からは、総生産額を次のように計算した。

$$V_Y^t = P_L^t Q_L^t + \sum_n [(1 + r^t + \tau_n^t) P_{Kn}^t - (1 + i_n^t)(1 - \delta_n^t) P_{Kn}^t] Q_{Kn}^t$$

こちらについても、生産サイドで総投資を純投資で置き換えた形に対応させるよう、資本ストックに該当する項について修正を行う必要がある。労働に関する部分はそのまま問題ないが、資本に関する部分を、資本の使用に対する直接および暗黙の利息支払いの価値に基づく待機サービスの価値に置き換える必要がある。²⁴これを式として表すと次のようになる。

$$P_C^t Q_C^t + P_G^t Q_G^t + P_X^t Q_X^t - P_M^t Q_M^t + \sum_{n=1}^{16} P_{Kn}^{t+1} Q_{Kn}^{t+1} - \sum_{n=1}^{16} P_{Kn}^t Q_{Kn}^t \\ = P_L^t Q_L^t + \sum_{n=1}^{16} P_{Kn}^t (r^{t**} + \tau_n^t) Q_{Kn}^t \cdots (53)$$

(53)式において、 τ_n^t は資本 n の固定資産税であり、 r^{t**} はここで新たに求めなければならない資本コストである。第3節で考えたのと同様に、期末における資本の価格は、 t 年の資本 n に対するインフレ率を i_n^t として

$$P_{Kn}^{t+1} = (1 + i_n^t) P_{Kn}^t \cdots (54)$$

という予測価格になるとする。すると、 τ_n^t がわかっていれば(54)式を(53)式に代入することによって、 r^{t**} を求めることができる。第3節で求めた資本コストとともに図15と表30に示す。

表 30. 再推計した資本コスト

Year	r^{t*}	r^{t**}	Year	r^{t*}	r^{t**}	Year	r^{t*}	r^{t**}	Year	r^{t*}	r^{t**}
1970	0.124	0.124	1983	0.197	0.202	1996	0.219	0.225	2009	0.183	0.188
1971	0.124	0.124	1984	0.215	0.221	1997	0.215	0.221	2010	0.176	0.179
1972	0.121	0.122	1985	0.219	0.226	1998	0.208	0.213	2011	0.159	0.162
1973	0.122	0.123	1986	0.207	0.215	1999	0.204	0.208	2012	0.142	0.145
1974	0.120	0.121	1987	0.216	0.225	2000	0.211	0.214	2013	0.132	0.135
1975	0.129	0.130	1988	0.225	0.234	2001	0.202	0.205	2014	0.121	0.124
1976	0.114	0.116	1989	0.212	0.220	2002	0.198	0.201	2015	0.120	0.123
1977	0.140	0.143	1990	0.206	0.213	2003	0.189	0.192	2016	0.121	0.124
1978	0.151	0.153	1991	0.220	0.228	2004	0.183	0.185	2017	0.134	0.137
1979	0.158	0.160	1992	0.219	0.228	2005	0.178	0.181	2018	0.129	0.132
1980	0.155	0.158	1993	0.208	0.216	2006	0.185	0.188	2019	0.118	0.120
1981	0.158	0.162	1994	0.206	0.213	2007	0.190	0.193	2020	0.111	0.114
1982	0.173	0.177	1995	0.221	0.228	2008	0.187	0.190			

注)この出力は、付論 C の 122 ページの推計結果として出力されたものである

図をみるとわかるように、ここで求めた資本コスト r^{t**} と第3節で求めた資本コスト r^{t*} は大きく変わらないものの、若干違いが生じている。

²⁴ この式に関する詳細は Diewert and Fox (2023)を参照されたい。

次に、第 3 節ではユーザーコストを用いたが、この新しいモデルでは、 t 年におけるユーザーコスト U_n^t を、次のように定義される t 年の待機サービスコスト P_{Wn}^t に置き換えられる。

$$P_{Wn}^t \equiv (r^{t**} + \tau_n^t)P_{Kn}^t \cdots (55)$$

得られた待機サービスコストを表 31 に示す。

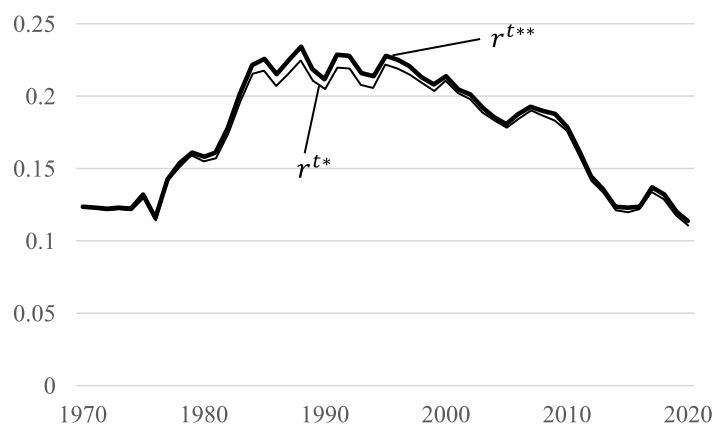


図 15. 資本コストの比較

表 31. 待機サービスコスト

Year	P_{W1}^t	P_{W2}^t	P_{W3}^t	P_{W4}^t	P_{W5}^t	P_{W6}^t	P_{W7}^t	P_{W8}^t
1970	0.124	0.124	0.124	0.124	0.124	0.124	0.124	0.124
1971	0.119	0.117	0.123	0.124	0.126	0.125	0.129	0.114
1972	0.106	0.109	0.121	0.118	0.125	0.122	0.127	0.109
1973	0.092	0.101	0.119	0.122	0.132	0.124	0.129	0.117
1974	0.091	0.088	0.108	0.124	0.128	0.125	0.135	0.104
1975	0.091	0.092	0.125	0.128	0.138	0.137	0.151	0.127
1976	0.088	0.079	0.111	0.113	0.124	0.123	0.135	0.119
1977	0.107	0.094	0.133	0.139	0.155	0.152	0.168	0.156
1978	0.101	0.097	0.144	0.151	0.168	0.166	0.188	0.160
1979	0.094	0.101	0.150	0.161	0.181	0.176	0.199	0.174
1980	0.072	0.094	0.141	0.161	0.191	0.185	0.211	0.161
1981	0.062	0.094	0.145	0.165	0.198	0.196	0.225	0.159
1982	0.060	0.100	0.160	0.182	0.224	0.220	0.255	0.177
1983	0.060	0.107	0.175	0.203	0.267	0.262	0.304	0.188
1984	0.061	0.117	0.194	0.227	0.311	0.305	0.353	0.209
1985	0.062	0.120	0.204	0.240	0.344	0.337	0.388	0.237

1986	0.058	0.114	0.202	0.238	0.358	0.348	0.401	0.231
1987	0.056	0.117	0.213	0.255	0.407	0.389	0.448	0.241
1988	0.058	0.128	0.242	0.293	0.479	0.457	0.526	0.276
1989	0.057	0.127	0.240	0.300	0.484	0.460	0.527	0.292
1990	0.059	0.132	0.250	0.319	0.501	0.476	0.546	0.306
1991	0.064	0.145	0.279	0.366	0.587	0.558	0.640	0.308
1992	0.067	0.158	0.309	0.404	0.688	0.651	0.746	0.324
1993	0.066	0.175	0.345	0.452	0.869	0.807	0.926	0.324
1994	0.068	0.183	0.361	0.480	0.952	0.874	1.007	0.339
1995	0.069	0.203	0.406	0.541	1.062	0.984	1.129	0.393
1996	0.060	0.189	0.406	0.537	1.104	1.022	1.171	0.419
1997	0.054	0.173	0.395	0.521	1.118	1.027	1.179	0.398
1998	0.050	0.158	0.377	0.498	1.079	0.990	1.147	0.343
1999	0.047	0.141	0.357	0.473	1.056	0.964	1.118	0.318
2000	0.045	0.136	0.358	0.479	1.103	0.980	1.180	0.337
2001	0.037	0.124	0.343	0.456	1.076	0.950	1.145	0.353
2002	0.032	0.113	0.335	0.441	1.098	0.944	1.132	0.305
2003	0.026	0.100	0.316	0.415	1.111	0.928	1.129	0.324
2004	0.023	0.093	0.310	0.405	1.176	0.961	1.184	0.347
2005	0.020	0.088	0.307	0.400	1.245	0.992	1.181	0.361
2006	0.019	0.089	0.323	0.424	1.375	1.071	1.243	0.391
2007	0.019	0.087	0.336	0.440	1.532	1.167	1.344	0.392
2008	0.017	0.083	0.336	0.441	1.617	1.202	1.510	0.348
2009	0.015	0.078	0.333	0.431	1.550	1.149	1.437	0.345
2010	0.013	0.070	0.324	0.414	1.551	1.154	1.440	0.370
2011	0.012	0.060	0.302	0.385	1.527	1.167	1.422	0.357
2012	0.010	0.049	0.269	0.344	1.391	1.069	1.295	0.311
2013	0.009	0.046	0.253	0.318	1.314	1.006	1.209	0.320
2014	0.008	0.042	0.231	0.289	1.221	0.927	1.113	0.311
2015	0.008	0.042	0.227	0.283	1.177	0.891	1.074	0.341
2016	0.008	0.041	0.227	0.284	1.179	0.892	1.076	0.419
2017	0.009	0.045	0.252	0.317	1.403	1.059	1.288	0.484
2018	0.009	0.043	0.245	0.309	1.450	1.094	1.331	0.480
2019	0.008	0.039	0.224	0.283	1.359	1.030	1.250	0.434

2020	0.007	0.036	0.211	0.266	1.287	0.965	1.177	0.368
Year	P_{W9}^t	P_{W10}^t	P_{W11}^t	P_{W12}^t	P_{W13}^t	P_{W14}^t	P_{W15}^t	P_{W6}^t
1970	0.124	0.124	0.124	0.124	0.124	0.124	0.124	0.124
1971	0.132	0.118	0.134	0.125	0.130	0.139	0.139	0.130
1972	0.138	0.110	0.141	0.123	0.133	0.150	0.150	0.133
1973	0.149	0.103	0.150	0.125	0.139	0.167	0.167	0.139
1974	0.151	0.082	0.151	0.123	0.141	0.181	0.181	0.141
1975	0.173	0.085	0.177	0.133	0.156	0.213	0.213	0.156
1976	0.166	0.075	0.175	0.117	0.140	0.210	0.210	0.140
1977	0.215	0.089	0.230	0.145	0.172	0.295	0.295	0.172
1978	0.244	0.093	0.262	0.156	0.188	0.368	0.368	0.188
1979	0.266	0.099	0.280	0.166	0.210	0.448	0.448	0.210
1980	0.267	0.094	0.279	0.176	0.227	0.510	0.510	0.227
1981	0.282	0.097	0.302	0.187	0.259	0.600	0.600	0.259
1982	0.316	0.108	0.335	0.211	0.311	0.767	0.767	0.311
1983	0.348	0.119	0.376	0.243	0.387	1.049	1.049	0.387
1984	0.392	0.131	0.422	0.271	0.465	1.404	1.404	0.465
1985	0.425	0.137	0.447	0.286	0.516	1.739	1.739	0.516
1986	0.434	0.135	0.450	0.292	0.532	2.010	2.010	0.532
1987	0.468	0.145	0.487	0.331	0.613	2.560	2.560	0.613
1988	0.547	0.167	0.563	0.368	0.711	3.245	3.248	0.718
1989	0.565	0.163	0.599	0.396	0.753	3.657	3.679	0.762
1990	0.616	0.165	0.632	0.403	0.814	4.167	4.293	0.828
1991	0.717	0.186	0.723	0.459	0.976	5.997	5.520	0.974
1992	0.791	0.193	0.809	0.475	1.087	7.601	7.023	1.074
1993	0.926	0.218	0.931	0.472	1.209	9.280	9.001	1.129
1994	0.980	0.230	0.998	0.522	1.440	11.479	11.341	1.226
1995	1.115	0.263	1.132	0.699	1.866	14.619	12.252	1.882
1996	1.118	0.259	1.132	0.784	2.183	16.038	13.000	2.270
1997	1.096	0.245	1.099	0.802	2.433	16.148	13.301	2.752
1998	1.046	0.231	1.058	0.771	2.561	15.335	13.515	3.198
1999	1.008	0.219	1.020	0.718	2.637	14.878	14.310	3.623
2000	1.037	0.220	1.043	0.723	2.835	16.155	16.624	4.240
2001	0.997	0.207	1.007	0.704	2.848	17.527	18.206	4.523

2002	0.975	0.198	0.990	0.691	2.988	20.580	20.279	4.840
2003	0.939	0.182	0.947	0.660	3.149	23.660	21.947	5.041
2004	0.932	0.175	0.937	0.662	3.404	26.971	23.878	5.462
2005	0.926	0.169	0.927	0.707	3.744	32.471	26.714	6.162
2006	0.989	0.176	0.977	0.763	4.453	43.803	31.928	7.375
2007	1.029	0.180	1.013	0.813	5.287	57.227	38.618	8.886
2008	1.041	0.177	1.010	0.850	5.948	68.209	46.644	10.716
2009	0.982	0.169	0.994	0.903	6.748	77.433	55.397	12.823
2010	0.968	0.160	0.966	0.817	7.421	79.048	61.940	14.413
2011	0.916	0.146	0.914	0.798	7.748	74.582	64.670	15.181
2012	0.817	0.127	0.813	0.759	7.883	69.811	65.666	15.677
2013	0.750	0.114	0.746	0.704	8.282	68.802	67.142	16.610
2014	0.684	0.101	0.678	0.639	8.368	66.935	67.507	17.816
2015	0.663	0.096	0.660	0.623	8.999	69.284	74.050	20.838
2016	0.667	0.096	0.671	0.598	9.740	71.505	84.230	24.402
2017	0.751	0.106	0.749	0.655	11.557	79.711	105.706	29.997
2018	0.743	0.102	0.734	0.661	12.006	78.556	117.085	31.031
2019	0.680	0.091	0.671	0.621	11.930	75.690	121.761	29.439
2020	0.637	0.088	0.638	0.592	12.212	75.516	128.720	28.645

注)この出力は、付論 C の 123 ページの推計結果として出力されたものである

今回のデータでは、図15 に示す通り r^{t**} が正なので待機サービスコスト P_{Wn}^t も正になる。そのため、第 3 節で生じたような負のユーザーコストが発生したような問題は生じない。以下では、第 3 節で行ったように 16 種類の資本を 5 種類の総合資本に集約する。ただし、ユーザーコストではなく、(55)式で計算した待機サービスコストを用いる。これらの集約した待機サービスコストと数量を $P_{WM}^t, P_{WS}^t, P_{WO}^t, P_{WI}^t, P_{WL}^t$ 、および $Q_{WM}^t, Q_{WS}^t, Q_{WO}^t, Q_{WI}^t, Q_{WL}^t$ と表す。²⁵得られた指数を表 32 に示す。

表 32. 集約した待機サービスコスト

Year	P_{WM}^t	P_{WS}^t	P_{WO}^t	P_{WI}^t	P_{WL}^t	Q_{WM}^t	Q_{WS}^t	Q_{WO}^t	Q_{WI}^t	Q_{WL}^t
1970	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.011	0.026	0.001	0.006	0.027
1971	0.993	1.013	0.992	1.003	1.057	0.013	0.028	0.002	0.007	0.028
1972	0.955	1.002	0.995	0.993	1.086	0.015	0.031	0.002	0.008	0.028
1973	0.979	1.051	1.072	1.003	1.145	0.016	0.034	0.002	0.008	0.028

²⁵ 資産ごとの待機サービスコストは Diewert, Nomura and Shimizu(2024)に掲載されていないものの、これら集約後の価格指数と数量指数は Table4,5 に掲載されている。

1974	0.979	1.033	1.025	0.986	1.173	0.018	0.037	0.002	0.009	0.028
1975	1.025	1.127	1.206	1.067	1.315	0.019	0.040	0.002	0.009	0.028
1976	0.906	1.011	1.144	0.944	1.198	0.021	0.045	0.002	0.009	0.028
1977	1.114	1.262	1.488	1.170	1.509	0.022	0.048	0.003	0.008	0.028
1978	1.209	1.377	1.628	1.253	1.700	0.024	0.053	0.003	0.009	0.028
1979	1.285	1.474	1.773	1.338	1.932	0.025	0.058	0.003	0.011	0.028
1980	1.269	1.555	1.728	1.417	2.119	0.026	0.064	0.003	0.012	0.028
1981	1.305	1.630	1.786	1.509	2.432	0.026	0.072	0.003	0.013	0.028
1982	1.435	1.837	1.996	1.701	2.971	0.026	0.079	0.003	0.014	0.029
1983	1.600	2.193	2.174	1.953	3.794	0.026	0.087	0.003	0.014	0.029
1984	1.781	2.551	2.436	2.177	4.707	0.027	0.096	0.004	0.015	0.029
1985	1.884	2.817	2.681	2.302	5.405	0.030	0.105	0.004	0.018	0.029
1986	1.868	2.922	2.689	2.351	5.796	0.035	0.116	0.005	0.022	0.029
1987	1.988	3.292	2.868	2.663	6.932	0.040	0.127	0.005	0.025	0.029
1988	2.281	3.871	3.326	2.961	8.370	0.048	0.139	0.006	0.026	0.029
1989	2.318	3.897	3.463	3.189	9.109	0.056	0.152	0.006	0.030	0.030
1990	2.453	4.035	3.705	3.246	10.144	0.059	0.163	0.007	0.035	0.030
1991	2.801	4.730	4.070	3.697	12.783	0.061	0.173	0.007	0.039	0.030
1992	3.091	5.527	4.398	3.824	15.104	0.065	0.183	0.008	0.046	0.030
1993	3.451	6.910	4.847	3.800	17.460	0.074	0.199	0.008	0.051	0.030
1994	3.654	7.528	5.113	4.197	20.650	0.089	0.218	0.009	0.055	0.030
1995	4.108	8.433	5.863	5.625	27.096	0.106	0.240	0.010	0.059	0.030
1996	4.080	8.758	6.024	6.308	30.842	0.121	0.267	0.011	0.066	0.030
1997	3.951	8.833	5.800	6.450	34.105	0.136	0.296	0.012	0.074	0.031
1998	3.765	8.543	5.286	6.203	36.453	0.157	0.326	0.014	0.079	0.031
1999	3.567	8.342	4.999	5.779	39.104	0.180	0.357	0.015	0.082	0.031
2000	3.597	8.675	5.189	5.819	44.706	0.206	0.392	0.018	0.086	0.031
2001	3.423	8.431	5.167	5.664	47.883	0.235	0.430	0.020	0.092	0.031
2002	3.301	8.454	4.788	5.563	52.590	0.270	0.472	0.023	0.099	0.031
2003	3.092	8.444	4.767	5.313	56.478	0.314	0.517	0.027	0.104	0.031
2004	3.002	8.855	4.870	5.325	61.982	0.377	0.570	0.031	0.114	0.032
2005	2.946	9.127	4.914	5.691	70.859	0.454	0.631	0.036	0.122	0.032
2006	3.099	9.854	5.260	6.143	87.548	0.552	0.691	0.042	0.129	0.032
2007	3.199	10.802	5.386	6.542	107.999	0.667	0.755	0.048	0.142	0.033

2008	3.186	11.564	5.219	6.843	129.373	0.807	0.828	0.057	0.165	0.033
2009	3.109	11.048	5.009	7.269	151.824	0.974	0.906	0.071	0.186	0.035
2010	2.985	11.071	5.016	6.574	165.684	1.190	1.013	0.092	0.207	0.036
2011	2.762	11.002	4.746	6.417	168.991	1.448	1.131	0.116	0.237	0.037
2012	2.461	10.039	4.184	6.104	169.427	1.672	1.274	0.142	0.266	0.038
2013	2.282	9.433	3.935	5.668	174.927	1.944	1.419	0.174	0.292	0.038
2014	2.078	8.709	3.613	5.145	180.361	2.187	1.590	0.208	0.321	0.039
2015	2.040	8.393	3.584	5.011	201.832	2.391	1.778	0.243	0.346	0.039
2016	2.044	8.406	3.762	4.812	228.168	2.547	1.980	0.278	0.367	0.039
2017	2.277	10.017	4.225	5.272	276.234	2.743	2.187	0.311	0.389	0.040
2018	2.217	10.350	4.137	5.321	287.840	2.977	2.398	0.344	0.412	0.042
2019	2.027	9.723	3.757	4.995	280.474	3.225	2.624	0.381	0.427	0.044
2020	1.908	9.153	3.511	4.760	280.555	3.446	2.861	0.425	0.443	0.044

注)この出力は、付論 C の 124 ページの推計結果として出力されたものである

最後に、 t 年の総合的な投入についての価格指数 P_Z^{t*} と数量指数 Q_Z^{t*} を、 $P_{WM}^t, P_{WS}^t, P_{WO}^t, P_{WI}^t, P_{WL}^t$ と $Q_{WM}^t, Q_{WS}^t, Q_{WO}^t, Q_{WI}^t, Q_{WL}^t$ および P_L^t, Q_L^t を用いて集計する。得られた結果を表 33 に示す。

表 33. 投入に関する総合的な指数

Year	V_Z^{t*}	P_Z^{t*}	Q_Z^{t*}	Year	V_Z^{t*}	P_Z^{t*}	Q_Z^{t*}
1970	0.219	1.000	0.219	1996	7.604	9.489	0.801
1971	0.236	1.015	0.233	1997	8.418	9.909	0.849
1972	0.252	1.049	0.241	1998	8.886	9.967	0.892
1973	0.269	1.069	0.252	1999	9.488	10.083	0.941
1974	0.281	1.070	0.263	2000	10.534	10.540	0.999
1975	0.305	1.114	0.274	2001	11.372	10.738	1.059
1976	0.307	1.077	0.286	2002	12.361	11.070	1.117
1977	0.350	1.184	0.295	2003	13.782	11.620	1.186
1978	0.394	1.278	0.308	2004	15.888	12.575	1.263
1979	0.448	1.385	0.323	2005	18.421	13.480	1.367
1980	0.513	1.509	0.340	2006	21.912	15.267	1.435
1981	0.558	1.566	0.357	2007	26.399	17.667	1.494
1982	0.632	1.689	0.374	2008	31.183	19.873	1.569
1983	0.730	1.876	0.389	2009	35.060	20.979	1.671
1984	0.898	2.177	0.412	2010	40.055	21.645	1.851

1985	1.084	2.460	0.441	2011	45.785	22.979	1.992
1986	1.258	2.671	0.471	2012	49.842	23.534	2.118
1987	1.486	2.974	0.500	2013	54.444	24.297	2.241
1988	1.847	3.490	0.529	2014	57.875	24.838	2.330
1989	2.061	3.700	0.557	2015	62.844	26.324	2.387
1990	2.305	3.963	0.581	2016	67.847	27.391	2.477
1991	2.731	4.527	0.603	2017	78.730	30.892	2.549
1992	3.277	5.171	0.634	2018	86.023	32.443	2.652
1993	4.165	6.199	0.672	2019	89.619	32.771	2.735
1994	5.265	7.436	0.708	2020	92.903	32.933	2.821
1995	6.581	8.764	0.751				

注)この出力は、付論 C の 125 ページの推計結果として出力されたものである

純投入を使って計算した産出数量 Q_Y^{t*} を、投入数量 Q_Z^{t*} で割ることによって、TFP を次のように定義する。

$$TFP^{t*} \equiv Q_Y^{t*}/Q_Z^{t*} \dots (56)$$

また、TFP 成長率は

$$TFP_G^{t*} \equiv TFP^{t*}/TFP^{t-1*} \dots (57)$$

である。このようにして計算した TFP を第 4 節で計算したものと比較する(図 16)。²⁶また、TFP の数値を表 34 に示す。 TFP^{t*} の水準は、最終的に 1.916 であり、 TFP^t の最終水準よりもやや低くなった。

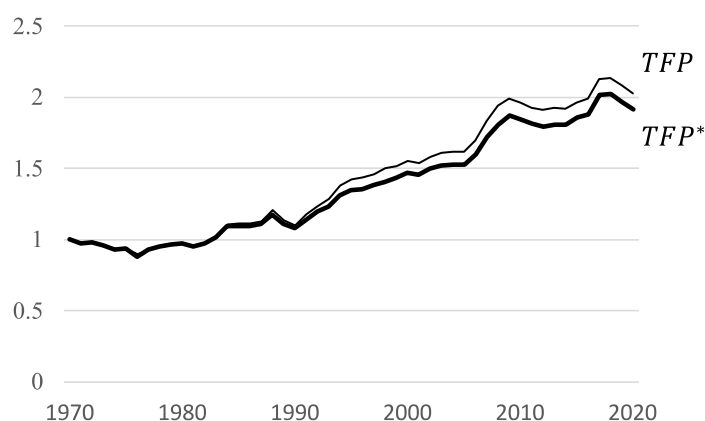


図 16. TFP^* と TFP の比較

続けて、第 5 節でおこなった総所得の指数分解をここでも適用する。各寄与係数の数値を表 35 に、水準に変換した結果を図 17 と表 36 に示す。²⁷

²⁶ Diewert, Nomura and Shimizu(2024)では Table7 に数値が掲載されている。

²⁷ 数値は Diewert, Nomura and Shimizu(2024)の Table8 に掲載されている。

表 34. TFP の比較

Year	TFP^{t*}	TFP^t	Year	TFP^{t*}	TFP^t	Year	TFP^{t*}	TFP^t	Year	TFP^{t*}	TFP^t
1970	1.000	1.000	1983	1.014	1.012	1996	1.351	1.440	2009	1.870	1.998
1971	0.978	0.978	1984	1.091	1.098	1997	1.383	1.464	2010	1.841	1.969
1972	0.979	0.977	1985	1.099	1.108	1998	1.401	1.505	2011	1.812	1.933
1973	0.957	0.957	1986	1.094	1.107	1999	1.433	1.522	2012	1.794	1.922
1974	0.927	0.929	1987	1.112	1.121	2000	1.471	1.559	2013	1.809	1.936
1975	0.930	0.932	1988	1.175	1.201	2001	1.457	1.545	2014	1.807	1.930
1976	0.877	0.893	1989	1.115	1.132	2002	1.496	1.589	2015	1.854	1.976
1977	0.926	0.924	1990	1.085	1.104	2003	1.516	1.617	2016	1.877	2.003
1978	0.953	0.952	1991	1.137	1.179	2004	1.524	1.619	2017	2.017	2.142
1979	0.965	0.963	1992	1.196	1.237	2005	1.527	1.626	2018	2.025	2.151
1980	0.974	0.970	1993	1.233	1.288	2006	1.596	1.700	2019	1.964	2.096
1981	0.955	0.950	1994	1.308	1.385	2007	1.720	1.837	2020	1.916	2.044
1982	0.971	0.965	1995	1.349	1.427	2008	1.807	1.950			

注)この出力は、付論 C の 125 ページの推計結果として出力されたものである

表 35. 各寄与係数の値

Year	α_2^t	α_3^t	α_4^t	α_5^t	β_1^t	β_2^t	β_3^t	β_4^t	β_5^t	β_6^t
1970	0.995	1.006	0.998	1.003	1.036	1.008	1.010	1.001	1.005	1.000
1971	0.998	1.007	0.999	1.002	1.013	1.007	1.012	1.001	1.002	1.000
1972	0.999	1.012	1.000	1.003	1.025	1.005	1.012	1.001	1.002	1.000
1973	0.996	1.010	1.001	1.001	1.024	1.005	1.011	1.000	1.002	1.000
1974	0.999	1.009	0.997	1.003	1.022	1.005	1.013	1.001	1.000	1.000
1975	0.994	1.012	0.998	1.001	1.022	1.006	1.015	1.001	0.999	1.000
1976	1.001	1.009	0.999	1.001	1.017	1.004	1.013	1.000	0.999	1.000
1977	1.005	1.010	1.001	1.001	1.019	1.003	1.017	1.000	1.003	1.000
1978	1.001	1.006	0.999	1.003	1.021	1.005	1.017	1.001	1.004	1.000
1979	1.002	1.023	0.999	1.001	1.023	1.002	1.020	1.001	1.005	1.000
1980	0.997	1.021	0.998	1.000	1.022	1.001	1.022	1.001	1.003	1.000
1981	1.000	1.024	0.999	1.001	1.025	0.999	1.023	1.000	1.001	1.000
1982	1.002	1.030	1.001	0.997	1.013	1.001	1.024	1.001	1.000	1.001
1983	1.009	1.031	1.005	0.991	1.029	1.002	1.024	1.001	1.002	1.001

1984	1.003	1.010	1.006	0.991	1.027	1.005	1.026	1.001	1.007	1.001
1985	1.003	1.035	1.022	0.971	1.022	1.008	1.027	1.001	1.008	1.001
1986	1.001	1.018	1.002	0.991	1.019	1.008	1.025	1.001	1.005	1.001
1987	1.000	1.003	0.979	0.979	1.020	1.010	1.025	1.001	1.002	1.001
1988	0.996	1.001	0.977	1.026	1.008	1.009	1.026	1.001	1.007	1.001
1989	1.001	1.011	1.030	0.992	1.011	1.004	1.020	1.001	1.007	1.001
1990	1.004	1.010	1.005	1.000	1.012	1.003	1.017	1.001	1.005	1.001
1991	1.011	1.033	0.996	1.004	1.016	1.004	1.019	1.001	1.009	1.001
1992	1.009	1.035	0.967	1.024	1.018	1.008	1.026	1.001	1.006	1.001
1993	1.010	0.960	1.053	0.948	1.008	1.011	1.030	1.001	1.003	1.001
1994	0.994	0.928	0.961	1.040	1.013	1.011	1.030	1.001	1.004	1.001
1995	0.999	0.965	0.964	1.043	1.016	1.009	1.034	1.001	1.006	1.000
1996	1.002	0.985	0.979	1.016	1.012	1.008	1.032	1.001	1.006	1.000
1997	1.003	0.990	0.980	1.019	1.005	1.009	1.030	1.001	1.003	1.000
1998	1.002	0.987	1.000	0.992	1.012	1.009	1.029	1.001	1.002	1.000
1999	1.000	0.986	1.010	0.991	1.018	1.009	1.030	1.001	1.003	1.000
2000	1.005	1.003	0.998	1.011	1.014	1.010	1.030	1.001	1.003	1.000
2001	1.012	1.034	1.018	0.990	1.009	1.010	1.030	1.001	1.003	1.000
2002	1.012	1.029	1.029	0.977	1.015	1.011	1.030	1.002	1.002	1.002
2003	1.012	1.032	1.043	0.971	1.013	1.013	1.031	1.001	1.003	1.001
2004	1.009	1.038	1.029	0.992	1.028	1.013	1.032	1.001	1.003	1.001
2005	1.010	1.006	0.989	1.018	1.001	1.015	1.029	1.001	1.002	1.002
2006	1.022	1.025	1.009	0.998	0.991	1.015	1.028	1.001	1.004	1.002
2007	1.013	1.022	0.995	1.000	0.996	1.016	1.029	1.002	1.005	1.001
2008	1.010	1.016	0.970	1.038	1.007	1.016	1.027	1.002	1.004	1.007
2009	1.000	0.993	1.014	0.987	1.040	1.018	1.032	1.003	1.004	1.006
2010	1.004	0.986	0.980	1.019	1.015	1.017	1.031	1.003	1.005	1.004
2011	1.008	0.998	0.987	1.017	1.008	1.012	1.032	1.002	1.004	1.003
2012	1.005	0.989	0.983	1.018	1.011	1.012	1.027	1.002	1.003	1.001
2013	1.003	0.984	0.972	1.023	0.996	1.009	1.028	1.002	1.003	1.002
2014	1.007	0.984	0.982	1.035	0.986	1.007	1.027	1.002	1.002	1.000
2015	0.998	0.980	0.983	1.017	1.001	1.005	1.026	1.002	1.002	1.002
2016	1.005	1.005	0.999	0.994	0.992	1.006	1.026	1.002	1.002	1.001
2017	1.006	1.010	0.999	0.998	0.997	1.006	1.027	1.002	1.001	1.007

2018	1.001	0.981	0.993	1.002	0.991	1.006	1.026	1.002	1.001	1.006
2019	0.997	0.979	0.991	1.016	0.999	1.005	1.025	1.002	1.001	1.000

注)この出力は、付論 C の 127 ページの推計結果として出力されたものである

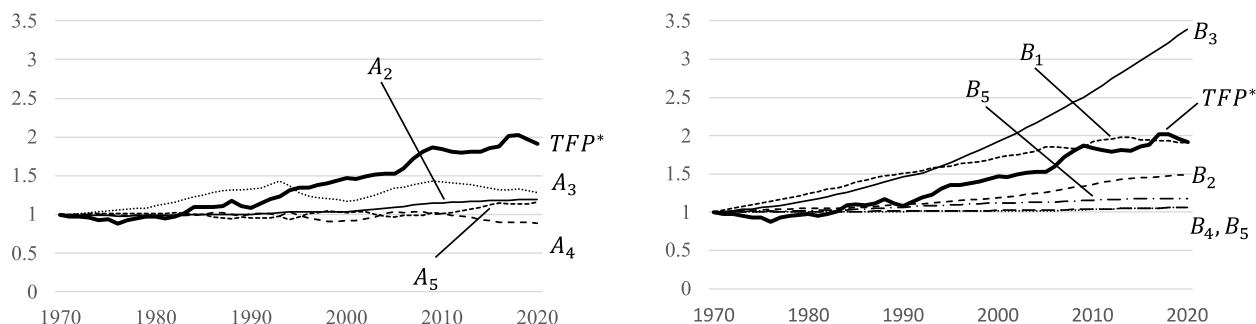


図 17. 純総生産額に対する指数分解の結果

実質純収益成長を説明する主要な要因は、(i) B_3 (構造の待機サービス)、(ii) B_1 (労働サービス)、(iii) TFP 成長、(iv) B_2 (M&E 待機サービス)、および(v) A_3 (実質純投資価格)であった。 B_5 (在庫の待機サービス)は実質所得成長へ小さいながらも確実に寄与を与えている。 A_4 (実質輸出価格)はサンプル期間のほとんどの後半で 1 未満になり、実質輸出価格の低下が実質収益成長を引き下げていることがわかる。ただし、この負の影響は、2010 年代初頭以降の A_5 (実質輸入価格)の上昇によって相殺され、中国経済に対しては無視できるほどの対外取引効果になっている。いくつかの実質の収入成長を説明する要因が変わったものの、全体の成長率はほぼ同じになった。

表 36. 分解して得られた各水準の値

Year	TFP^t	A_2^t	A_3^t	A_4^t	A_5^t	B_1^t	B_2^t	B_3^t	B_4^t	B_5^t	B_6^t
1970	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
1971	0.978	0.995	1.006	0.998	1.003	1.036	1.008	1.010	1.001	1.005	1.000
1972	0.979	0.994	1.013	0.997	1.004	1.049	1.015	1.022	1.001	1.007	1.001
1973	0.957	0.993	1.026	0.997	1.007	1.075	1.020	1.034	1.002	1.009	1.001
1974	0.927	0.989	1.037	0.998	1.008	1.101	1.025	1.045	1.003	1.011	1.001
1975	0.930	0.988	1.046	0.995	1.011	1.125	1.030	1.059	1.003	1.012	1.002
1976	0.877	0.982	1.059	0.994	1.012	1.150	1.037	1.075	1.004	1.011	1.002
1977	0.926	0.983	1.068	0.993	1.013	1.169	1.041	1.089	1.004	1.010	1.003
1978	0.953	0.987	1.078	0.994	1.013	1.191	1.044	1.107	1.005	1.013	1.003
1979	0.965	0.988	1.084	0.993	1.017	1.216	1.050	1.127	1.005	1.017	1.004
1980	0.974	0.990	1.110	0.991	1.018	1.243	1.052	1.149	1.006	1.022	1.004
1981	0.955	0.987	1.133	0.990	1.018	1.270	1.053	1.174	1.006	1.025	1.004
1982	0.971	0.987	1.161	0.989	1.019	1.302	1.051	1.200	1.007	1.027	1.005

1983	1.014	0.989	1.195	0.990	1.016	1.320	1.052	1.229	1.007	1.027	1.005
1984	1.091	0.998	1.233	0.995	1.006	1.357	1.054	1.259	1.008	1.029	1.006
1985	1.099	1.002	1.245	1.001	0.997	1.394	1.059	1.292	1.009	1.036	1.007
1986	1.094	1.004	1.288	1.023	0.967	1.425	1.068	1.328	1.010	1.044	1.008
1987	1.112	1.006	1.311	1.026	0.959	1.452	1.076	1.361	1.012	1.050	1.008
1988	1.175	1.006	1.315	1.004	0.939	1.481	1.087	1.395	1.013	1.052	1.009
1989	1.115	1.002	1.316	0.982	0.964	1.492	1.097	1.432	1.014	1.059	1.010
1990	1.085	1.003	1.331	1.011	0.956	1.508	1.101	1.461	1.014	1.067	1.010
1991	1.137	1.007	1.345	1.017	0.956	1.526	1.104	1.487	1.015	1.072	1.011
1992	1.196	1.018	1.389	1.013	0.960	1.551	1.108	1.514	1.015	1.082	1.011
1993	1.233	1.027	1.437	0.979	0.983	1.579	1.116	1.554	1.016	1.088	1.012
1994	1.308	1.038	1.380	1.031	0.932	1.591	1.129	1.601	1.017	1.091	1.012
1995	1.349	1.032	1.281	0.991	0.969	1.611	1.142	1.649	1.018	1.095	1.013
1996	1.351	1.031	1.237	0.955	1.011	1.637	1.152	1.704	1.019	1.102	1.013
1997	1.383	1.032	1.218	0.935	1.027	1.656	1.161	1.759	1.020	1.109	1.014
1998	1.401	1.035	1.206	0.916	1.046	1.664	1.171	1.812	1.021	1.112	1.014
1999	1.433	1.037	1.191	0.916	1.038	1.684	1.182	1.865	1.022	1.115	1.014
2000	1.471	1.037	1.175	0.926	1.028	1.715	1.193	1.921	1.023	1.118	1.015
2001	1.457	1.042	1.178	0.924	1.040	1.739	1.204	1.979	1.024	1.121	1.015
2002	1.496	1.055	1.218	0.940	1.030	1.755	1.216	2.039	1.025	1.125	1.015
2003	1.516	1.067	1.253	0.967	1.006	1.780	1.230	2.100	1.027	1.127	1.017
2004	1.524	1.080	1.293	1.009	0.977	1.804	1.245	2.166	1.028	1.131	1.018
2005	1.527	1.090	1.342	1.039	0.969	1.855	1.262	2.236	1.030	1.134	1.020
2006	1.596	1.101	1.349	1.027	0.986	1.857	1.281	2.300	1.031	1.136	1.021
2007	1.720	1.125	1.383	1.037	0.985	1.841	1.300	2.364	1.033	1.140	1.023
2008	1.807	1.140	1.412	1.032	0.985	1.834	1.321	2.433	1.034	1.146	1.024
2009	1.870	1.152	1.435	1.001	1.022	1.847	1.342	2.498	1.037	1.151	1.031
2010	1.841	1.151	1.425	1.015	1.008	1.922	1.366	2.579	1.040	1.156	1.038
2011	1.812	1.156	1.405	0.994	1.028	1.950	1.389	2.658	1.042	1.161	1.043
2012	1.794	1.165	1.402	0.981	1.046	1.967	1.407	2.743	1.045	1.166	1.045
2013	1.809	1.171	1.386	0.964	1.065	1.988	1.424	2.818	1.048	1.169	1.046
2014	1.807	1.174	1.364	0.937	1.089	1.979	1.438	2.897	1.050	1.172	1.048
2015	1.854	1.181	1.343	0.920	1.127	1.952	1.448	2.975	1.052	1.175	1.048
2016	1.877	1.179	1.315	0.904	1.146	1.953	1.455	3.053	1.054	1.177	1.050

2017	2.017	1.185	1.322	0.903	1.139	1.938	1.463	3.134	1.056	1.178	1.051
2018	2.025	1.192	1.335	0.902	1.137	1.932	1.472	3.217	1.058	1.180	1.059
2019	1.964	1.194	1.310	0.896	1.139	1.914	1.481	3.301	1.060	1.181	1.065
2020	1.916	1.190	1.282	0.889	1.158	1.912	1.488	3.383	1.062	1.182	1.065

注)この出力は、付論 C の 128 ページの推計結果として出力されたものである

次に、純生産価格と純生産数量を用いて、第 7 節で行ったノンパラメトリック TFP 分解を行う。 t 年のノンパラメトリック TFP 水準を $NTFP_G^{t*}$ 、対応する t 年の成長率を $NTFP_G^{t*}$ とし、効率性の変化を ε^{t*} 、産出価格に関する要因を α^{t*} 、投入量に関する要因を β^{t*} 、入力ミックスによる要因を γ^{t*} 、技術進歩に関する要因を τ^{t*} として

$$NTFP_G^{t*} \equiv \varepsilon^{t*} \gamma^{t*} \tau^{t*} \dots (58)$$

と分解する。ノンパラメトリック分解によって得られた各要因を図 18 と表 37 にまとめて示す。²⁸

表 37. 各要因の数値

Year	$NTFP_G^{t*}$	TFP_G^t	α^{t*}	α^t	β^{t*}	β^t	γ^{t*}	γ^t	ε^{t*}	ε^t	τ^{t*}	τ^t
1970	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
1971	0.977	0.978	1.003	0.988	1.061	1.069	1.000	1.000	0.977	0.978	1.000	1.000
1972	1.000	1.001	1.007	0.991	1.035	1.043	0.999	0.999	1.001	1.001	1.000	1.000
1973	0.977	0.978	1.015	1.001	1.046	1.052	1.000	1.001	0.977	0.979	1.000	1.000
1974	0.968	0.969	1.009	0.993	1.044	1.050	0.999	1.000	0.969	0.970	1.000	1.000
1975	1.003	1.004	1.009	0.993	1.042	1.048	1.001	1.000	1.003	1.004	1.000	1.000
1976	0.940	0.943	1.007	0.992	1.043	1.052	0.996	1.002	0.944	0.956	1.000	1.000
1977	1.056	1.056	1.010	0.995	1.034	1.039	1.006	0.999	1.049	1.035	1.000	1.000
1978	1.031	1.029	1.014	1.000	1.043	1.046	0.999	0.998	1.032	1.032	1.000	1.000
1979	1.015	1.013	1.007	0.994	1.049	1.054	0.997	0.996	1.019	1.016	1.000	1.000
1980	1.010	1.008	1.024	1.000	1.051	1.053	0.994	0.992	1.016	1.015	1.000	1.000
1981	0.979	0.981	1.019	0.993	1.049	1.050	0.996	1.000	0.983	0.981	1.000	1.000
1982	1.017	1.017	1.025	0.998	1.049	1.049	0.998	0.999	1.018	1.016	1.000	1.000
1983	1.044	1.045	1.030	1.000	1.040	1.042	1.000	1.000	1.017	1.021	1.027	1.027
1984	1.076	1.076	1.036	1.006	1.060	1.064	1.000	1.000	1.000	1.000	1.076	1.085
1985	1.007	1.007	1.010	0.988	1.069	1.074	1.000	1.000	1.000	1.000	1.007	1.009
1986	0.998	0.996	1.027	0.999	1.069	1.075	0.999	0.999	0.999	1.000	1.000	1.001
1987	1.016	1.017	1.013	0.985	1.061	1.066	1.000	0.999	1.001	1.000	1.015	1.014
1988	1.056	1.056	0.962	0.942	1.059	1.067	1.000	1.000	1.000	1.000	1.056	1.071

²⁸ Diewert, Nomura and Shimizu (2024) の Table 9 に数値は掲載されている。

1989	0.949	0.949	1.000	0.985	1.053	1.056	0.999	0.999	0.950	0.943	1.000	1.000
1990	0.978	0.974	1.031	1.027	1.044	1.044	0.998	0.999	0.979	0.976	1.000	1.000
1991	1.049	1.048	1.019	1.012	1.038	1.039	1.000	1.003	1.049	1.065	1.000	1.000
1992	1.051	1.052	1.045	1.043	1.050	1.053	0.999	1.000	1.026	1.019	1.025	1.030
1993	1.031	1.031	1.033	1.039	1.060	1.066	1.000	1.000	1.000	1.000	1.031	1.041
1994	1.062	1.061	0.968	0.985	1.054	1.062	1.000	1.000	1.000	1.000	1.062	1.075
1995	1.031	1.031	0.922	0.933	1.061	1.069	1.000	1.000	1.000	1.000	1.031	1.030
1996	1.001	1.001	0.968	0.977	1.067	1.074	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001	1.009
1997	1.024	1.024	0.981	0.987	1.060	1.067	1.000	1.000	1.000	1.000	1.024	1.017
1998	1.013	1.013	0.992	0.998	1.050	1.058	1.000	1.000	1.000	1.000	1.013	1.028
1999	1.023	1.023	0.981	0.987	1.055	1.065	1.000	1.000	1.000	1.000	1.023	1.011
2000	1.026	1.026	0.988	0.991	1.062	1.072	1.000	1.000	1.000	1.000	1.026	1.024
2001	0.991	0.991	1.017	1.014	1.060	1.072	0.999	0.999	0.992	0.992	1.000	1.000
2002	1.027	1.027	1.054	1.041	1.054	1.067	0.999	0.999	1.008	1.008	1.019	1.020
2003	1.013	1.013	1.046	1.030	1.062	1.077	1.000	1.000	1.000	1.000	1.013	1.018
2004	1.005	1.005	1.058	1.041	1.065	1.083	1.000	1.000	1.000	1.000	1.005	1.001
2005	1.002	1.002	1.069	1.047	1.082	1.099	1.000	1.000	1.000	1.000	1.002	1.004
2006	1.045	1.045	1.023	1.005	1.050	1.067	1.000	1.000	1.000	1.000	1.045	1.046
2007	1.077	1.078	1.056	1.041	1.041	1.056	1.000	1.000	1.000	1.000	1.077	1.081
2008	1.051	1.051	1.030	1.016	1.050	1.065	1.000	1.000	1.000	1.000	1.051	1.062
2009	1.035	1.035	1.033	1.015	1.065	1.078	1.000	1.000	1.000	1.000	1.035	1.025
2010	0.984	0.985	0.993	0.992	1.107	1.126	0.999	0.999	0.985	0.986	1.000	1.000
2011	0.985	0.984	0.988	0.988	1.077	1.096	0.997	0.996	0.988	0.986	1.000	1.000
2012	0.992	0.990	1.007	1.001	1.063	1.079	0.991	0.990	1.001	1.004	1.000	1.000
2013	1.010	1.008	0.993	0.990	1.058	1.077	0.989	0.987	1.021	1.021	1.000	1.000
2014	0.999	0.999	0.981	0.977	1.040	1.055	0.994	0.994	1.004	1.003	1.001	1.000
2015	1.026	1.026	1.006	0.998	1.025	1.038	1.000	1.000	1.000	1.001	1.026	1.023
2016	1.012	1.012	0.977	0.973	1.038	1.047	1.000	1.000	1.000	1.000	1.012	1.014
2017	1.075	1.075	1.003	1.000	1.029	1.038	1.000	1.000	1.000	1.000	1.075	1.069
2018	1.004	1.004	1.012	1.010	1.040	1.046	1.000	1.000	1.000	1.000	1.004	1.004
2019	0.971	0.970	0.978	0.977	1.031	1.038	0.998	0.998	0.973	0.977	1.000	1.000
2020	0.976	0.975	0.983	0.982	1.032	1.040	0.996	0.996	0.980	0.979	1.000	1.000

注)この出力は、付論 C の 131 ページの推計結果として出力されたものである

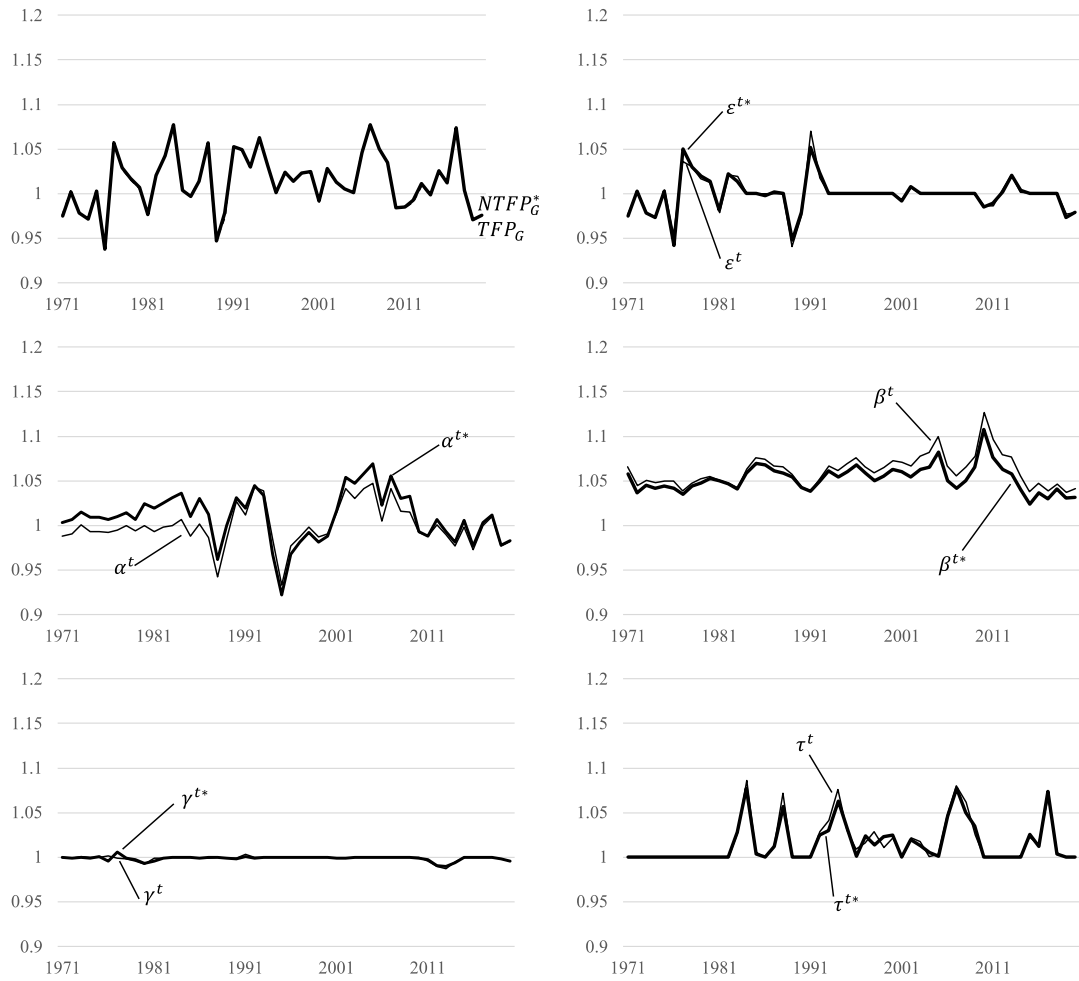


図 18. 総所得成長率と純所得成長率の分解要因比較

図を見るとわかるように、 TFP_G と $NTFP_G^*$ にはほとんど違いがない事がわかる。産出価格要因 α^t, α^{t*} は大きく異なり、多くの年において α^{t*} の方が α^t よりも大きい。この理由として、純所得に対するモデルでは資産の評価が含まれているが、総所得のモデルには含まれていないためである。また、投入量要因 β^t, β^{t*} も異なる。これは、第 6 節では労働を除く 5 種類の投入資本についてユーザーコストを用いて連鎖 Fisher を計算していたが、ここではユーザーコストのかわりに待機サービス価格を用いているためである。一方で、効率性要因 $\varepsilon^t, \varepsilon^{t*}$ 、入力ミックス要因 γ^t, γ^{t*} 、技術進歩要因 τ^t, τ^{t*} についてはそう大きな違いがない。技術進歩 τ^t, τ^{t*} については、1983 年頃まで 1、つまり、技術進歩は見られなかったことを意味する。

各係数について細かく見ていくと、投入成長 β^{t*} の平均は年率 5.15%で、これは注目すべきことである。入力ミックス成長要因 γ^{t*} は平均して 0.999 であり、サンプル期間全体で GDP 成長への小さな負の寄与を示している。純産出に対する技術進歩 τ^{t*} の平均 1.54%で、これも良好であるといえる。²⁹

続けて Kohli (1990)の例に従って、観察された実質純生産の水準($p^t \cdot y^t$)について、サンプルの最初の年(1970 年)の観測値($p^{1970} \cdot y^{1970}$)に対する水準分解を行う。第 7 節と同様に、実質純生産 RI^{t*} について 1970 年を基準として

$$RI^{t*}/RI^{1970*} = p^t \cdot y^t / p^{1970} \cdot y^{1970} = A^{t*} B^{t*} C^{t*} E^{t*} T^{t*} \dots (59)$$

²⁹ これらの数値は読み込んでいるデータの都合上、Diewert, Nomura and Shimizu (2024)に掲載されている数値とは若干異なる。

と分解する。ここで、 $A^{t*}, B^{t*}, C^{t*}, E^{t*}, T^{t*}$ は

$$A^{t*} = A^{t-1*} \alpha^{t*}, B^{t*} = B^{t-1*} \beta^{t*}, C^{t*} = C^{t-1*} \gamma^{t*}, E^{t*} = E^{t-1*} \varepsilon^{t*}, T^{t*} = T^{t-1*} \tau^{t*} \dots (60)$$

である。また、第 7 節で説明したように TFP を $NTFP^{t*}$ とおくと、これは

$$NTFP^{t*} = [p^t \cdot y^t / p^{1970} \cdot y^{1970}] / [A^{t*} B^{t*}] = C^{t*} E^{t*} T^{t*} \dots (61)$$

と分解できる。分解した結果を図 20 と表 38 に示す。³⁰

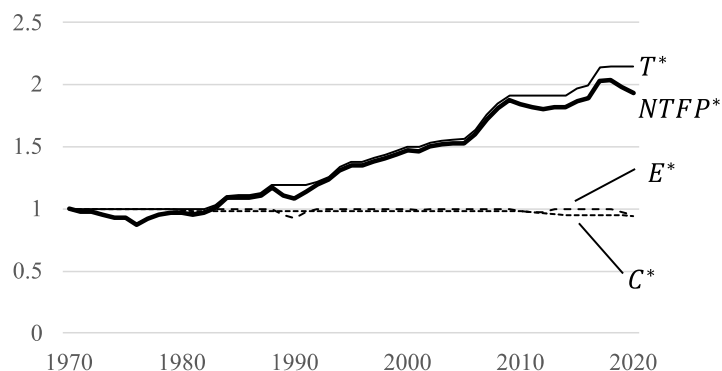


図 20. NTFP の Kohli 分解の結果

表 38. NTFP の Kohli 分解の結果

Year	E^{t*}	C^{t*}	T^{t*}	$NTFP^{t*}$	Year	E^{t*}	C^{t*}	T^{t*}	$NTFP^{t*}$
1970	1.000	1.000	1.000	1.000	1996	1.000	0.980	1.383	1.355
1971	0.977	1.000	1.000	0.977	1997	1.000	0.980	1.416	1.388
1972	0.978	0.999	1.000	0.977	1998	1.000	0.980	1.434	1.406
1973	0.956	0.999	1.000	0.955	1999	1.000	0.980	1.467	1.438
1974	0.926	0.998	1.000	0.924	2000	1.000	0.980	1.506	1.476
1975	0.929	0.998	1.000	0.927	2001	0.992	0.979	1.506	1.463
1976	0.877	0.995	1.000	0.872	2002	1.000	0.979	1.535	1.502
1977	0.920	1.001	1.000	0.921	2003	1.000	0.979	1.555	1.522
1978	0.949	1.000	1.000	0.949	2004	1.000	0.979	1.563	1.530
1979	0.967	0.997	1.000	0.963	2005	1.000	0.979	1.566	1.533
1980	0.983	0.990	1.000	0.973	2006	1.000	0.979	1.637	1.602
1981	0.966	0.986	1.000	0.952	2007	1.000	0.979	1.764	1.726
1982	0.983	0.985	1.000	0.968	2008	1.000	0.979	1.853	1.814

³⁰ 数値は Diewert, Nomura and Shimizu (2024) の Table B10 に掲載されている。

1983	1.000	0.984	1.027	1.011	2009	1.000	0.979	1.918	1.877
1984	1.000	0.984	1.104	1.087	2010	0.985	0.978	1.918	1.848
1985	1.000	0.984	1.112	1.095	2011	0.974	0.975	1.918	1.820
1986	0.999	0.983	1.112	1.092	2012	0.975	0.966	1.918	1.806
1987	1.000	0.983	1.129	1.110	2013	0.996	0.956	1.918	1.825
1988	1.000	0.983	1.193	1.173	2014	1.000	0.950	1.919	1.824
1989	0.950	0.982	1.193	1.113	2015	1.000	0.950	1.969	1.871
1990	0.930	0.980	1.193	1.088	2016	1.000	0.950	1.993	1.894
1991	0.975	0.981	1.193	1.141	2017	1.000	0.950	2.143	2.036
1992	1.000	0.980	1.223	1.199	2018	1.000	0.950	2.150	2.043
1993	1.000	0.980	1.261	1.236	2019	0.973	0.949	2.150	1.984
1994	1.000	0.980	1.339	1.313	2020	0.953	0.945	2.150	1.936
1995	1.000	0.980	1.381	1.354					

注)この出力は、付論 C の 131 ページの推計結果として出力されたものである

8. 結論

経済分野において、多くの研究で計量経済学的な接近法が積極的に利用されるようになってきた。構築されたモデルを検証したり、推計されたモデルを用いたシミュレーションをしたり、予測をしたりするなど、経済モデルまたはデータは様々な形で利用されている。しかし、実際のモデルの構築においては、データの取得、再推計、加工などの手続きが要請される。そして、モデルを構築し、推計プログラムを作成し、実際にモデルを推計していくなかでは、研究者は様々な困難に直面する。必要とするデータがなかったり、推計された結果が、理論が示す符号と逆転してしまったり、信頼できる結果を得ることができなかったりする。また、データが収集できたとしても、直接にそのまま利用できないことも多く、加工が必要になってくることもある。また、推計したいモデルの推計プログラムを構築することにも、一定の障壁が存在する。

本稿は、マクロデータを用いた推計を事例として、大学院生をはじめとする新しい研究者が、当該分野に参入していく中でぶつかる可能性のある障壁を乗り越えるための一助となるように、Diewert, Nomura and Shimizu(2024)を題材として、一連の推計の中で利用された、データの整備、加工、推計手順などを整理し、汎用的なプログラム言語で再現し、できる限りの研究資源と情報を公開することを目的とした。

本稿のきっかけとなった論文の著者の一人であるブリティッシュ・コロンビア大学の Erwin Diewert 氏は、経済測定分野における第一人者の一人であるといっても良い。同教授が経済測定の研究分野に参入したきっかけとして、アメリカ経済学会の会長も務めた元ハーバード大学教授ツヴィ・グリリカス氏の助言があったという。1970 年代にシカゴ大学で Flexible functional form の研究をしていた Diewert 氏が米国のデータを用いて生産関数を推計している中で、理論が示す符号とは異なる推計結果が出た。その際に、グリリカス教授から、「どうしてデータの精度を疑わないのか」という指摘があったという。その助言が、Diewert 教授が経済測定の研究に参入したきっかけになったという。

筆者の一人である清水が 1990 年代初頭に計量経済分析を開始した際には、マクロデータといえども電子データは限定的であり、利用できるプログラム言語が Fortran や C++ が中心である中で、R の前身となる S 言語が登場するとともに、汎用プログラムソフトとして、SAS、SPSS と限定されたものしか利用できなかった。そ

のような中で、本研究で利用した Shazam がブリティッシュ・コロンビア大学の研究チームによって開発されるとともに、時系列分析では TSP が利用できるようになった。その後、Gauss, Matlab, EViews, Stata といったソフトウェアが登場してくる中で、計量分析に関する研究・教育環境は一変した。

しかし、近年のような、計算機の性能が飛躍的に向上し、統計・計量経済モデルの汎用プログラムが普及してきた中においても、研究を推進していく中では、依然として、いくつかの障壁が残されている。推計をしていく中で設定しないといけない初期値などの数値設定など、分析者が判断をしないといけないことも多い。また、必要とするデータがない場合には、分析者が加工したり、推計したりしなければならない。

そのような意味で、一つの学術論文を書き上げる中で、研究ノートに記載されていた分析上での判断や工夫を公開することで、初学者に対して参考になるものと判断した。

また、GDP のような経済分析で最も大切な統計量であったとしても、完全なものではない。また、生産性の測定においても、改善の余地が大きい。例えば、既存の TFP 推計や多くのマクロ経済モデルの問題は、土地を無視していることである。この欠落の理由としては、以下の点が考えられる：

- 現行の SNA は、土地利用の変化について、フロー勘定であり大きな役割を割り当てておらず、その結果、ほとんどの国は、土地利用のカテゴリー別に分類された土地の価格と数量に関するデータを収集・公表していない。
- 市場で観察可能な不動産の取引価格は、土地と構造物(建物)に合計値であるが、それを土地と構造物の価格と数量に分解することは難しい。
- 商業用地や工業用地の取引は少ないために、価格指数を推計することが困難である。
- 多くのマクロ経済学者は、土地の総ストックは一定であるため、土地は経済成長にあまり寄与しないと考えられている。しかし、土地を土地利用のさまざまなカテゴリーに細分化すると、土地利用が時間の経過とともに大きく変化することがわかる。一般に、経済が発展していく過程の中で、農地は宅地へと転用されるし、宅地も住宅用地だけでなく、事業用地、工業用地と産業構造の変化に応じて一国全体の土地の総ストックのシェアは大きく変化していく。

土地の扱いは一つの事例に過ぎないものの、研究者がマクロ経済分析で利用している集計量としてのマクロ変数は、集計過程でも取引価格の収集過程でも、さらにはその推計の概念の枠組みにおいても、誤差や歪みを持つ。

計量経済学的な接近法は、今後も進化をし続けていくことは確実である。経済理論・モデルもまた追時的に改善が続けられていく。分析者は、そのような進化と併せて利用可能なデータの集計手法、データの発生プロセスにも注意を払いながら、データ分析をしていくことが求められるのである。

本稿が、マクロ計量分析、生産性分析の研究者の一助になれば幸いである。

参考文献

- Balk, B. M. (1998). *Industrial Price, Quantity and Productivity Indices*, Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Christensen, L. R. and D. W. Jorgenson (1969). "The Measurement of U.S. Real Capital Input, 1929–1967," *Review of Income and Wealth* 15, 293–320.
- Diewert, W. E. (1983). "The Theory of the Output Price Index and the Measurement of Real Output Change," pp. 1049–1113 in *Price Level Measurement*, W. E. Diewert and C. Montmarquette (eds.), Ottawa: Statistics Canada.
- Diewert, W. E. and K. J. Fox (2018). "Decomposing Value Added Growth over Sectors into Explanatory Factors," Chapter 19 in *The Oxford Handbook of Productivity Analysis*, Emile Grifell-Tatje, C.A. Knox Lovell and Robin C. Sickles (eds.), Oxford: Oxford University Press, 625–661.
- Diewert, W. E. and K. J. Fox (2023). "Alternative Output, Input and Income Concepts for the Production Accounts," *Journal of Productivity Analysis*, forthcoming.
- Diewert, W. E. and D. Lawrence (2006). *Measuring the Contributions of Productivity and Terms of Trade to Australia's Economic Welfare*, Consultancy Report to the Productivity Commission, Australian Government, Canberra, March.
- Diewert, W. E. and C. J. Morrison (1986). "Adjusting Output and Productivity Indexes for Changes in the Terms of Trade," *The Economic Journal* 96, 659–679.
- Diewert, W. E., K. Nomura and C. Shimizu (2024), "Improving the SNA: Alternative Measures of Output, Input, Income and Productivity for China". *Review of Income and Wealth*, online.
- Edwards, E. O. and P. W. Bell (1961). *The Theory and Measurement of Business Income*, Berkeley: University of California Press.
- Fox, K. J. and U. Kohli (1998). "GDP Growth, Terms of Trade Effects and Total Factor Productivity," *Journal of International Trade and Economic Development* 7, 87–110.
- Haig, R. M. (1921). "The Concept of Income," pp. 1–28 in *The Federal Income Tax*. R. M. Haig (eds.), New York: Columbia University Press.
- Hicks, J. R. (1961). "The Measurement of Capital in Relation to the Measurement of Other Economic Aggregates," pp. 18–31 in *The Theory of Capital*, F.A. Lutz and D.C. Hague (eds.), London: Macmillan.
- Hicks, J. R. (1973). *Capital and Time: A Neo-Austrian Theory*, Oxford: Clarendon Press.
- Higo, M., Y. Saita, C. Shimizu, and Y. Tachi (2023), "Constructing a Building Price Index Using Big Data from the Administrative Sector--A Method for Estimating an Output-type Building Price Index Using Individual Data from the Statistics of Building Starts," *Journal of Official Statistics*, 39(2), 229–251.
- Jorgenson, D. W. (1963). "Capital Theory and Investment Behaviour," *American Economic Review* 53 (2), 247–259.
- Jorgenson, D. W. (1989). "Capital as a Factor of Production," pp. 1–35 in *Technology and Capital Formation*, D. W. Jorgenson and R. Landau (eds.), Cambridge MA: The MIT Press.
- Jorgenson, D. W. and Z. Griliches (1967). "The Explanation of Productivity Change," *The Review of Economic Studies* 34, 249–283.
- Jorgenson, D. W. and Z. Griliches (1972). "Issues in Growth Accounting: A Reply to Edward F. Denison," *Survey of Current Business* 52 (4), Part II (May), 65–94.
- Kohli, U. (1990). "Growth Accounting in the Open Economy: Parametric and Nonparametric Estimates," *Journal of Economic and Social Measurement* 16, 125–136.
- Kohli, U. (1991). *Technology, Duality and Foreign Trade: The GNP Function Approach to Modelling Imports and Exports*, Ann Arbor: University of Michigan Press.

- Kohli, U. (2003). “Growth Accounting in the Open Economy: International Comparisons,” *International Review of Economics and Finance* 12, 417–435.
- Kohli, U. (2004a). “An Implicit Törnqvist Index of Real GDP,” *Journal of Productivity Analysis* 21, 337–353.
- Kohli, U. (2004b). “Real GDP, Real Domestic Income and Terms of Trade Changes,” *Journal of International Economics* 62, 83–106.
- Konüs, A. A. (1939). “The Problem of the True Index of the Cost of Living,” *Econometrica* 7, 10–29.
- Marshall, A. (1920). *Principles of Economics*, 8th Edition, London: McMillan. (First Edition; 1890).
- Salter, W. E. G. (1960). *Productivity and Technical Change*, Cambridge U.K.: Cambridge University Press.
- 野村浩二編著(2023),『GDP～生産構造の変化をどう捉えるか～』経済分析 207 号, 内閣府経済社会総合研究所.

付論として、

「付論 A. マクロデータの入手」として、データの収集方法を、「付論 B. 分析用データ」として、教材として活用した Diewert, Nomura and Shimizu (2024)で公開されている分析用データを、「付論 C. 推計プログラム」として、汎用のプログラム言語である R により再現された推計用のプログラムを整理した。

付論 A. マクロデータの入手

国別の生産性を測定しようとした場合には、データの収集から始めなければならない。生産に関するマクロの集計データを取得しようとした場合には、多くのデータ源が存在している。代表的なものとして、各国のデータは、

- 国際連合: Und Nations, UN
- 世界銀行: World Bank
- OECD

があり、日本については

- e-stat
- JIP(RIETI)

などがある。

紹介したウェブページごとに、日本について取得可能なデータ項目を表 A-1にまとめた。

表 A-1. ウェブページごとの取得可能な項目

	GDP		労働者数		資本	
	GDP	Type of Expenditure	労働者数	総報酬額	土地	その他の資本
UN	○	○	×	×	×	×
World Bank	○	○	○	○	×	×
OECD	○	○	○	○	×	×
e-Stat	○	○	○	○	○	○
JIP	○	○	○	○	○	○

UN, World Bank, OECD については、様々な国についてのデータが取得可能な一方で、一国についての詳細なデータを取得することはできない。その一方で、e-Stat や JIP データベースでは日本のデータしか取得できないものの、詳細なデータを取得することができる。なお、表 1 では e-Stat と JIP データベースで取得可能なデータに違いがないように見えるが、JIP データベースのほうが e-Stat よりも詳細な分類のデータを取得可能である。

だがそれでも、土地資本に関するデータの取得は難しい。そのため、Diewert, Nomura and Shimizu(2024) で使用されている APDB のようなものが必要となる。

また、本稿の一連の議論の中で、各種指数算式が登場してくる。これらはある時点 t における N 個の財の価格ベクトルと数量ベクトルをそれぞれ p^t, q^t として、価格指数であれば次のように計算できる。

$$\text{Laspeyres: } P_L^t = \frac{p^t \cdot q^1}{p^1 \cdot q^1} \cdots \quad (\text{A-1})$$

$$\text{Paasche: } P_P^t = \frac{p^t \cdot q^t}{p^1 \cdot q^t} \cdots \quad (\text{A-2})$$

また、これらの連鎖指数は次のように計算できる。

$$\text{Laspeyres: } P_{CL}^t = P_{CL}^{t-1} \times \frac{p^t \cdot q^{t-1}}{p^{t-1} \cdot q^{t-1}} \cdots (A-3)$$

$$\text{Paasche: } P_{CP}^t = P_{CP}^{t-1} \frac{p^t \cdot q^t}{p^{t-1} \cdot q^t} \cdots (A-4)$$

ただし、 $P_{CL}^1 = P_{CP}^1 = 1$ である。例えば Laspeyres 算式の場合には、(A-1)式をみるとわかるように、各財の数量ベクトル q^1 を固定したまま計算される。ところが、実際には世の中の消費構造は年々変化するため、基準年から時間が経過するに従って計算される指数は実態から乖離してしまう。例えば、景気が悪く価格の安い商品が好まれるような場合には、そのような財の購入数量が増えるはずである。ところが、指数計算に用いられる数量ベクトルは基準時点のものに固定されているため、安い財の購入数量が増える効果が反映されずに過少評価されてしまうというバイアスが生じる。一方で Paasche 算式では逆のバイアスが生じる。

そこで、これらのバイアスを抑制した Fisher 算式やTörnqvist算式を用いる方が理想的である。これらはそれぞれ次のように計算される。

$$\text{Fisher: } P_F^t = \sqrt{P_L^t \times P_P^t} \cdots (A-5)$$

$$\text{Törnqvist: } P_T^t = \sum_{n=1}^N (s_{t+1} + s_t) \ln \left(\frac{p_n^{t+1}}{p_n^t} \right) \cdots (A-6)$$

ここで、(6)式において $s_t = \frac{p_n^t q_n^t}{p^t \cdot q^t}$ である。本論文では主にTörnqvist算式による方法で指数の計算を進める。

以下では、マクロデータを入手する際によく用いられる代表的なウェブサイトについて、その入手方法を紹介する。

国際連合:United Nations, UN

まず国連のウェブサイト³¹から GDP を始めとした、主要な統計を入手することができる。



図 A-1. 国連のウェブサイト

図中枠線より「Data」→「National Accounts Main Aggregates」と選択することで、図 A-2 のようなページが開かれる。

³¹ <https://unstats.un.org/UNSDWebsite/>



National Accounts - Analysis of Main Aggregates (AMA)



図 A-2. National Accounts Main Aggregates からの遷移画面

ここで、図中枠線の「Data Selection」をクリックし、日本の名目 GDP を全年について取得したい場合には、図 A-3 のように設定し、図中枠線の「Send request」をクリックすれば指定したデータが表示される。

Basic Data Selection

Multiple year/country selection available.

図 A-3. 必要項目の設定方法と抽出方法

一般的に、GDP には各時点時点の価格で集計された名目 GDP と、ある時点での価格を使って集計された実質 GDP の2種類がある。図 A-3 中では、“GDP, at current prices – National currency”となっているため、名目 GDP に対応している。もし実質 GDP を取得したい場合には、たとえば“GDP, at constant 2015 prices – National currency”などにすればよい。表示されたデータは Excel 形式や CSV 形式でダウンロード可能である。

世界銀行: World Bank

続けて、World Bank である。World Bank では World Bank Open Data³²よりダウンロードが可能である。

図 A-4. World Bank Open Data のトップページ

ここでは、図中枠線の検索ウィンドウに「GDP」などのキーワードを入力し、表示された候補の中から該当するものを選択すれば良い。いま、「GDP(Current LCU)」を選択し、さらに「Japan」を追加したとする。すると、図 A-5 のようなグラフが表示される。

ここで、「GDP(current LCU)」となっているのは名目 GDP を意味している。なお、LCU とは Local Currency Unit の略で現地通貨を意味する。表示されたデータは、図中枠線部分より必要に応じて Excel 形式や CSV 形式でダウンロード可能である。

³² <https://data.worldbank.org/>



図 A-5. World Bank のデータダウンロード画面

OECD

GDP データに対して、より詳細なデータが必要な場合は、OECD のウェブサイトを利用するのが良い。OECD では、主要な統計を集計しており、OECD Statistics³³にて公開している。ただし、詳細な情報が取得可能なのは OECD 加盟国のみであり、国によっては整備されておらず取得できるデータにはばらつきがある。OECD Statistics にアクセスすると、図 A-6 のようなウェブページが表示される。

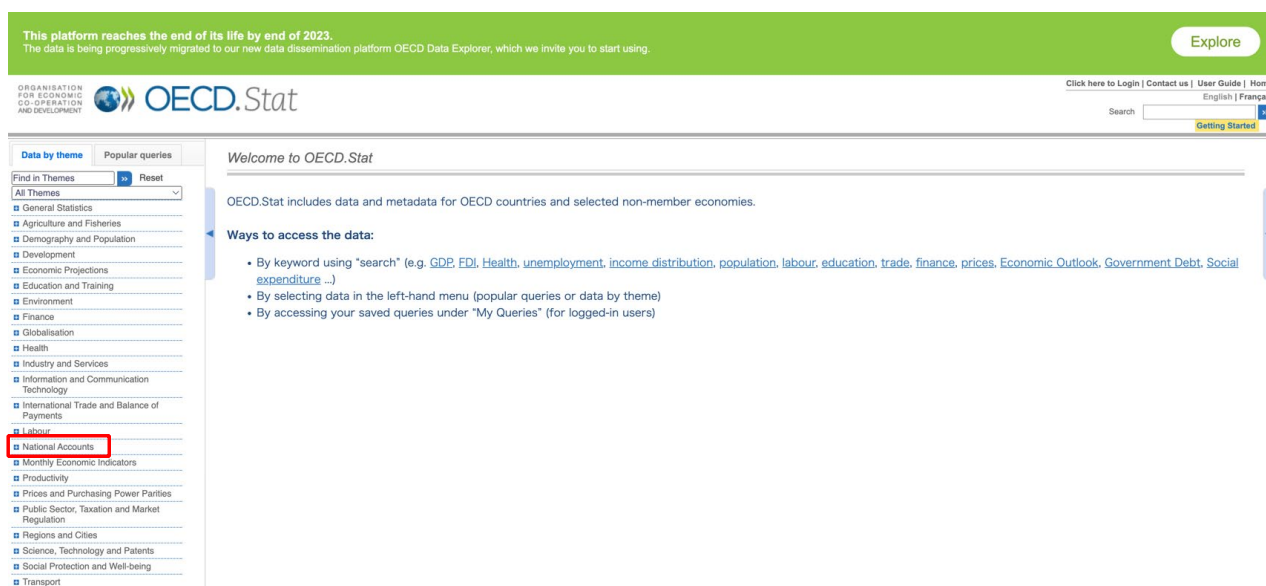


図 A-6. OECD Statistics のトップ画面

³³ <https://stats.oecd.org/>

ここでは、GDP データのダウンロード方法を例として紹介する。図 A-6 枠線部から「National Accounts」→「Main Aggregates」→「1.Gross domestic product(GDP)」→「1.Gross domestic product(GDP)」と選択していくと図 A-7 のように Australia の GDP に関するデータが表示される。

1. Gross domestic product (GDP) ⁰

Customise **Export** My Queries

The present publication presents time series which extend beyond the date of the United Kingdom's withdrawal from the European Union on February 1st, 2020. In order to maintain consistency over time, the "European Union" aggregate presented here includes the UK for the entire time series. Interested readers may refer to the [Eurostat website](#) for further information on Eurostat's plans for disseminating EU aggregates and to the [Eurostat database](#) for the actual series. ²

Please refer to the dataset [Gross domestic product \(GDP\), 2019 archive](#) to access longer time series based on the methodology prior to the 2019 benchmark revisions.

Country	Australia						
Measure	C: Current prices						
Unit	Australian Dollar, Millions						
Year	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
B1_GA: Gross domestic product (output approach)	1 759 378.0	1 844 528.0	1 950 042.0	1 984 598.0	2 088 901.0	2 333 221.0	2 561 228.0
B1_G_P119: Gross value added at basic prices, excluding FISIM	1 637 630.0	1 718 288.0	1 821 534.0	1 858 747.0	1 951 756.0	2 180 676.0	2 406 811.0
B1G: Gross value added at basic prices, total activity	1 637 630.0	1 718 288.0	1 821 534.0	1 858 747.0	1 951 756.0	2 180 676.0	2 406 811.0
B1GVA: Agriculture, forestry and fishing (ISIC rev4)	47 573.0	45 322.0	41 206.0	39 876.0	48 050.0	62 426.0	61 044.0
B1GVB_E: Industry, including energy (ISIC rev4)	279 574.0	303 350.0	348 822.0	361 906.0	385 576.0	487 533.0	530 332.0
B1GVC: of which: Manufacturing (ISIC rev4)	102 042.0	106 493.0	109 112.0	111 536.0	115 298.0	125 827.0	138 018.0

図 A-7. GDP データの表示画面

収集したい国、または年度の GDP を表示させるためには、図中枠線①の「Country」や「Year」をクリックすることで国や年度を変更できる。また、「Measure」から名目 GDP や実質 GDP の選択が可能である。たとえば実質 GDP を取得したい場合には、「Measure」を「VOB:Constant prices, OECD base year」などにすればよい。

必要なデータの選択ができれば、図中枠線②の「Export」より、Excel 形式や CSV 形式などでダウンロード可能である。

OECD から GDP データをダウンロードした場合、GDP の値に加えて民間最終消費支出や政府支出、輸出入額なども取得可能である。

e-Stat

最後に、日本についての詳細なデータであれば、e-Stat³⁴を利用するのが良い。e-Stat は日本の統計が閲覧できる政府統計ポータルサイトである。GDP に関するデータだけでなく、国勢調査を始めとした多くの公的統計データを公開している。e-Stat では、図 A-8 のトップページの検索ウィンドウにキーワードを入力することでデータを検索できる。

図 A-8 中枠線の検索ウィンドウに「GDP」とキーワードを入力し、検索ボタンをクリックすると、図 A-9 のような検索結果が表示される。

ここでは、図 A-9 上から2つ目の国民経済計算を選択する。すると、図 A-10 のような国民経済計算のデータ分類が表示される。

もし、四半期ごとの GDP が知りたいのであれば「四半期別 GDP 速報」を選択すれば良い。ここでは、これまでと同様に年次の GDP をダウンロードするため、「国民経済計算年次推計」のファイルをクリックする。過去に公開されたものから、最近公開されたものまですべて表示されるので、公開日が最新の、「フロー編」→「年次」をクリックする。すると、データセットの一覧が表示されるので、「4. 主要系列表」にある国内総生産の 카테고리から必要なファイルをダウンロードすれば良い。

³⁴ <https://www.e-stat.go.jp/>



図 A-8. e-Stat のトップ画面

政府統計コード	政府統計名	概要
00350650	法人企業統計調査附帯調査 四半期別GDP速報（1次速報）のための一部項目早期調査	詳細
00100409	国民経済計算	詳細
00100408	地方公共団体消費状況等調査	詳細
00200544	サービス産業動向調査	詳細
00100407	民間非営利団体実態調査	詳細
00500001	農業・食料関連産業の経済計算	詳細

図 A-9. GDP の検索結果

国民経済計算	データベース	件数 更新日	ファイル	件数 更新日	概要
四半期別GDP速報		9,568件 2023-12-08		10,756件 2023-12-08	
国民経済計算年次推計		4,953件 2023-10-12		2,485件 2023-01-31	
民間企業資本ストック				274件 2016-09-30	

図 A-10. 国民経済計算のデータ分類一覧

付論 B. 分析用データ

Diewert, Nomura and Shimizu(2024)の「APPENDIX B: TABLES FOR THE MAIN TEXT」から転載した。

Table B1: Values for Five Capital Stock Components and their Shares in Total Value

Year	V_K^t	V_{KM}^t	V_{KS}^t	V_{KO}^t	V_{KI}^t	V_{KL}^t	s_{KM}^t	s_{KS}^t	s_{KO}^t	s_{KI}^t	s_{KL}^t
1970	0.581	0.092	0.208	0.012	0.048	0.221	0.158	0.359	0.021	0.083	0.380
1971	0.641	0.106	0.230	0.013	0.057	0.235	0.165	0.359	0.021	0.089	0.366
1972	0.694	0.116	0.254	0.015	0.062	0.246	0.168	0.366	0.022	0.090	0.355
1973	0.762	0.129	0.290	0.017	0.067	0.258	0.170	0.381	0.023	0.088	0.339
1974	0.818	0.144	0.315	0.018	0.072	0.270	0.176	0.385	0.022	0.088	0.330
1975	0.875	0.151	0.349	0.021	0.073	0.282	0.173	0.399	0.024	0.083	0.322
1976	0.941	0.167	0.390	0.024	0.070	0.290	0.177	0.415	0.026	0.074	0.308
1977	0.995	0.175	0.428	0.027	0.068	0.297	0.176	0.430	0.027	0.068	0.298
1978	1.078	0.186	0.477	0.028	0.075	0.312	0.172	0.442	0.026	0.070	0.290
1979	1.196	0.202	0.535	0.031	0.088	0.341	0.169	0.447	0.026	0.073	0.285
1980	1.362	0.208	0.633	0.032	0.110	0.380	0.153	0.465	0.024	0.081	0.279
1981	1.518	0.211	0.721	0.034	0.125	0.427	0.139	0.475	0.023	0.082	0.282
1982	1.677	0.208	0.821	0.036	0.133	0.479	0.124	0.490	0.022	0.079	0.286
1983	1.869	0.207	0.950	0.037	0.135	0.540	0.111	0.508	0.020	0.072	0.289
1984	2.121	0.218	1.103	0.041	0.146	0.614	0.103	0.520	0.019	0.069	0.290
1985	2.485	0.248	1.311	0.049	0.183	0.694	0.100	0.528	0.020	0.074	0.279
1986	2.966	0.302	1.579	0.058	0.239	0.788	0.102	0.532	0.020	0.081	0.266
1987	3.469	0.356	1.851	0.066	0.294	0.903	0.103	0.534	0.019	0.085	0.260
1988	4.199	0.464	2.282	0.082	0.329	1.042	0.111	0.543	0.020	0.078	0.248
1989	5.008	0.586	2.674	0.100	0.439	1.210	0.117	0.534	0.020	0.088	0.242
1990	5.798	0.679	3.069	0.116	0.536	1.399	0.117	0.529	0.020	0.092	0.241
1991	6.733	0.755	3.572	0.125	0.626	1.656	0.112	0.531	0.019	0.093	0.246
1992	8.205	0.887	4.440	0.146	0.769	1.964	0.108	0.541	0.018	0.094	0.239
1993	11.007	1.180	6.341	0.182	0.900	2.403	0.107	0.576	0.017	0.082	0.218
1994	13.363	1.518	7.667	0.214	1.077	2.887	0.114	0.574	0.016	0.081	0.216
1995	16.022	1.900	8.837	0.257	1.459	3.569	0.119	0.552	0.016	0.091	0.223
1996	18.800	2.182	10.335	0.296	1.859	4.128	0.116	0.550	0.016	0.099	0.220
1997	21.379	2.442	11.778	0.323	2.159	4.677	0.114	0.551	0.015	0.101	0.219
1998	23.575	2.767	12.981	0.347	2.288	5.192	0.117	0.551	0.015	0.097	0.220
1999	25.738	3.096	14.261	0.373	2.277	5.730	0.120	0.554	0.015	0.089	0.223
2000	28.406	3.460	15.797	0.425	2.348	6.377	0.122	0.556	0.015	0.083	0.225
2001	31.747	3.937	17.601	0.506	2.553	7.150	0.124	0.554	0.016	0.080	0.225
2002	35.474	4.444	19.730	0.547	2.740	8.013	0.125	0.556	0.015	0.077	0.226
2003	40.315	5.065	22.594	0.673	2.894	9.089	0.126	0.560	0.017	0.072	0.225
2004	47.599	6.098	27.000	0.823	3.265	10.414	0.128	0.567	0.017	0.069	0.219
2005	56.066	7.389	31.524	0.982	3.847	12.324	0.132	0.562	0.018	0.069	0.220
2006	65.330	9.128	35.945	1.173	4.217	14.868	0.140	0.550	0.018	0.065	0.228
2007	76.976	11.050	41.827	1.351	4.822	17.926	0.144	0.543	0.018	0.063	0.233
2008	92.734	13.535	49.883	1.568	5.951	21.796	0.146	0.538	0.017	0.064	0.235
2009	104.810	16.095	52.563	1.899	7.184	27.070	0.154	0.502	0.018	0.069	0.258
2010	123.836	19.837	61.705	2.581	7.596	32.117	0.160	0.498	0.021	0.061	0.259
2011	149.449	24.631	75.208	3.394	9.356	36.860	0.165	0.503	0.023	0.063	0.247
2012	171.296	28.368	86.129	4.100	11.181	41.518	0.166	0.503	0.024	0.065	0.242
2013	192.268	32.764	96.234	5.051	12.215	46.004	0.170	0.501	0.026	0.064	0.239
2014	216.569	36.694	108.417	6.077	13.327	52.056	0.169	0.501	0.028	0.062	0.240
2015	238.226	39.719	117.986	7.095	14.138	59.289	0.167	0.495	0.030	0.059	0.249

2016	263.010	42.018	130.661	8.456	14.252	67.623	0.160	0.497	0.032	0.054	0.257
2017	301.390	45.513	155.831	9.576	14.964	75.507	0.151	0.517	0.032	0.050	0.251
2018	347.133	49.941	183.281	10.773	16.581	86.558	0.144	0.528	0.031	0.048	0.249
2019	386.731	54.298	206.256	11.892	17.724	96.560	0.140	0.533	0.031	0.046	0.250
2020	416.497	57.793	224.388	13.111	18.548	102.657	0.139	0.539	0.032	0.045	0.247
2021	467.303	61.147	263.580	14.569	19.384	108.623	0.131	0.564	0.031	0.042	0.232
Mean	77.674	11.438	40.862	2.110	4.343	18.920	0.139	0.506	0.021	0.075	0.260

Table B2: Output and Labour Aggregates, Capital Stock Aggregates, and Capital Output Ratios

Year	P_Y^t	P_I^t	P_L^t	P_K^t	Q_Y^t	Q_I^t	Q_L^t	Q_K^t	V_Y^t	V_I^t	V_L^t	KY^t	VKY^t
1970	1.000	1.000	1.000	1.000	0.236	0.066	0.147	0.581	0.236	0.066	0.147	2.462	2.462
1971	1.024	1.006	1.010	1.027	0.246	0.067	0.155	0.624	0.251	0.068	0.156	2.540	2.548
1972	1.041	1.001	1.062	1.043	0.257	0.070	0.158	0.665	0.268	0.070	0.168	2.586	2.591
1973	1.071	1.028	1.069	1.080	0.265	0.072	0.164	0.705	0.283	0.074	0.175	2.666	2.687
1974	1.092	1.037	1.072	1.098	0.270	0.076	0.170	0.745	0.295	0.079	0.182	2.762	2.779
1975	1.113	1.039	1.084	1.113	0.285	0.086	0.176	0.786	0.317	0.089	0.191	2.763	2.763
1976	1.125	1.049	1.092	1.129	0.286	0.085	0.182	0.833	0.322	0.089	0.198	2.912	2.922
1977	1.154	1.057	1.111	1.143	0.308	0.097	0.187	0.871	0.355	0.103	0.208	2.828	2.802
1978	1.193	1.073	1.185	1.168	0.331	0.112	0.193	0.923	0.395	0.120	0.229	2.786	2.728
1979	1.257	1.102	1.280	1.215	0.353	0.121	0.200	0.985	0.444	0.133	0.255	2.790	2.697
1980	1.323	1.152	1.429	1.296	0.374	0.124	0.208	1.051	0.495	0.143	0.297	2.809	2.752
1981	1.365	1.178	1.446	1.359	0.386	0.120	0.216	1.117	0.526	0.141	0.313	2.896	2.884
1982	1.409	1.208	1.479	1.428	0.412	0.129	0.226	1.175	0.580	0.155	0.334	2.854	2.892
1983	1.454	1.245	1.521	1.509	0.450	0.145	0.232	1.239	0.654	0.181	0.353	2.754	2.859
1984	1.524	1.304	1.741	1.616	0.519	0.191	0.246	1.313	0.792	0.249	0.428	2.528	2.679
1985	1.673	1.395	2.010	1.753	0.562	0.232	0.260	1.418	0.941	0.323	0.523	2.522	2.642
1986	1.772	1.501	2.284	1.919	0.604	0.240	0.272	1.546	1.071	0.360	0.621	2.558	2.770
1987	1.886	1.578	2.485	2.078	0.653	0.248	0.283	1.670	1.231	0.392	0.704	2.558	2.818
1988	2.051	1.771	2.912	2.341	0.746	0.303	0.295	1.794	1.529	0.537	0.858	2.406	2.746
1989	2.260	1.899	3.179	2.573	0.741	0.273	0.300	1.947	1.674	0.519	0.955	2.629	2.993
1990	2.481	2.045	3.464	2.805	0.749	0.251	0.307	2.067	1.858	0.514	1.064	2.761	3.121
1991	2.689	2.205	3.781	3.111	0.834	0.315	0.315	2.165	2.241	0.695	1.193	2.597	3.005
1992	2.915	2.494	4.283	3.577	0.918	0.373	0.327	2.294	2.676	0.931	1.399	2.499	3.066
1993	3.408	3.118	5.207	4.470	1.020	0.450	0.341	2.463	3.476	1.403	1.776	2.415	3.167
1994	3.924	3.431	6.920	5.008	1.165	0.524	0.347	2.668	4.570	1.799	2.402	2.291	2.924
1995	4.537	3.624	8.154	5.524	1.282	0.607	0.357	2.901	5.818	2.200	2.907	2.262	2.754
1996	4.947	3.758	9.048	5.933	1.392	0.666	0.370	3.169	6.885	2.503	3.350	2.276	2.730
1997	5.076	3.808	9.677	6.209	1.508	0.688	0.380	3.443	7.654	2.621	3.673	2.284	2.793
1998	5.074	3.779	9.995	6.336	1.642	0.768	0.384	3.721	8.331	2.904	3.837	2.266	2.830
1999	5.048	3.744	10.419	6.426	1.768	0.822	0.395	4.005	8.926	3.077	4.112	2.265	2.884
2000	5.159	3.743	10.752	6.588	1.940	0.920	0.412	4.312	10.006	3.443	4.432	2.223	2.839
2001	5.289	3.772	11.369	6.823	2.062	1.035	0.426	4.653	10.907	3.905	4.843	2.256	2.911
2002	5.243	3.787	11.959	7.062	2.263	1.195	0.435	5.023	11.867	4.525	5.198	2.219	2.989
2003	5.345	3.860	13.325	7.408	2.483	1.459	0.450	5.442	13.270	5.630	5.995	2.192	3.038
2004	5.667	4.067	15.076	8.003	2.689	1.671	0.464	5.947	15.241	6.795	6.989	2.212	3.123
2005	5.939	4.212	16.587	8.606	2.967	1.845	0.494	6.515	17.624	7.771	8.198	2.195	3.181

2006	6.327	4.342	19.297	9.198	3.313	2.107	0.495	7.102	20.957	9.148	9.545	2.144	3.117
2007	6.702	4.512	23.473	9.935	3.780	2.498	0.485	7.748	25.330	11.269	11.388	2.050	3.039
2008	7.079	4.766	27.709	10.912	4.275	3.035	0.481	8.499	30.263	14.463	13.333	1.988	3.064
2009	7.092	4.682	30.771	11.177	4.722	3.678	0.489	9.377	33.484	17.220	15.044	1.986	3.130
2010	7.419	4.858	32.584	11.826	5.245	4.176	0.536	10.472	38.912	20.284	17.476	1.997	3.183
2011	8.005	5.158	37.848	12.812	5.638	4.524	0.554	11.665	45.132	23.333	20.964	2.069	3.311
2012	8.221	5.194	43.034	13.278	6.041	4.863	0.564	12.901	49.667	25.261	24.262	2.136	3.449
2013	8.387	5.192	47.859	13.585	6.549	5.430	0.576	14.154	54.928	28.191	27.542	2.161	3.500
2014	8.545	5.197	52.664	13.975	6.887	5.646	0.571	15.497	58.844	29.341	30.069	2.250	3.680
2015	8.761	5.091	58.596	14.186	7.317	5.995	0.556	16.793	64.101	30.519	32.566	2.295	3.716
2016	8.965	5.076	61.386	14.540	7.763	6.410	0.557	18.089	69.589	32.537	34.159	2.330	3.780
2017	9.379	5.336	66.109	15.521	8.615	7.452	0.548	19.419	80.793	39.768	36.244	2.254	3.730
2018	9.789	5.595	71.559	16.514	9.047	7.818	0.544	21.021	88.559	43.743	38.958	2.324	3.920
2019	10.176	5.703	78.310	17.072	9.146	7.535	0.533	22.652	93.065	42.972	41.717	2.477	4.156
2020	10.470	5.687	83.210	17.301	9.275	7.750	0.532	24.074	97.109	44.079	44.287	2.596	4.289

Table B3: TFP Growth, Output and Input Aggregates, and Input Shares of Gross Output

Year	TFP _G ^t	V _Y ^t	V _L ^t	V _U ^t	s _L ^t	s _U ^t	s _S ^t	s _O ^t	s _I ^t	s _U ^t
1970	1.000	0.236	0.147	0.089	0.625	0.104	0.139	0.015	0.026	0.091
1971	0.976	0.251	0.156	0.095	0.622	0.111	0.140	0.015	0.028	0.084
1972	1.002	0.268	0.168	0.099	0.628	0.113	0.140	0.016	0.028	0.076
1973	0.979	0.283	0.175	0.108	0.619	0.118	0.149	0.017	0.028	0.070
1974	0.973	0.295	0.182	0.113	0.618	0.125	0.150	0.017	0.028	0.064
1975	1.005	0.317	0.191	0.126	0.602	0.126	0.161	0.019	0.027	0.064
1976	0.958	0.322	0.198	0.124	0.616	0.132	0.165	0.021	0.022	0.044
1977	1.036	0.355	0.208	0.148	0.584	0.133	0.180	0.022	0.024	0.057
1978	1.028	0.395	0.229	0.167	0.579	0.131	0.187	0.022	0.025	0.056
1979	1.013	0.444	0.255	0.188	0.576	0.129	0.192	0.022	0.027	0.055
1980	1.005	0.495	0.297	0.198	0.600	0.115	0.191	0.020	0.028	0.046
1981	0.981	0.526	0.313	0.213	0.595	0.110	0.203	0.021	0.029	0.044
1982	1.020	0.580	0.334	0.246	0.576	0.102	0.221	0.021	0.030	0.051
1983	1.048	0.654	0.353	0.301	0.540	0.096	0.251	0.020	0.031	0.063
1984	1.086	0.792	0.428	0.364	0.540	0.088	0.255	0.019	0.030	0.067
1985	1.006	0.941	0.523	0.417	0.556	0.085	0.248	0.019	0.032	0.060
1986	1.001	1.071	0.621	0.450	0.580	0.087	0.236	0.019	0.033	0.045
1987	1.012	1.231	0.704	0.527	0.572	0.089	0.239	0.019	0.036	0.046
1988	1.072	1.529	0.858	0.671	0.561	0.096	0.246	0.020	0.033	0.045
1989	0.940	1.674	0.955	0.719	0.571	0.102	0.239	0.021	0.034	0.034
1990	0.969	1.858	1.064	0.794	0.573	0.104	0.239	0.022	0.035	0.028
1991	1.071	2.241	1.193	1.048	0.532	0.104	0.267	0.021	0.038	0.038
1992	1.048	2.676	1.399	1.277	0.523	0.103	0.276	0.020	0.040	0.038
1993	1.041	3.476	1.776	1.700	0.511	0.106	0.299	0.019	0.035	0.030
1994	1.075	4.570	2.402	2.168	0.526	0.107	0.287	0.018	0.033	0.031
1995	1.030	5.818	2.907	2.911	0.500	0.111	0.290	0.018	0.041	0.041
1996	1.009	6.885	3.350	3.535	0.487	0.110	0.301	0.018	0.044	0.041
1997	1.016	7.654	3.673	3.981	0.480	0.111	0.305	0.017	0.047	0.041
1998	1.029	8.331	3.837	4.494	0.461	0.118	0.321	0.017	0.045	0.039
1999	1.011	8.926	4.112	4.814	0.461	0.121	0.322	0.017	0.042	0.038

2000	1.022	10.006	4.432	5.573	0.443	0.124	0.332	0.018	0.041	0.043
2001	0.992	10.907	4.843	6.064	0.444	0.128	0.331	0.019	0.040	0.038
2002	1.029	11.867	5.198	6.669	0.438	0.133	0.334	0.019	0.039	0.037
2003	1.018	13.270	5.995	7.275	0.452	0.135	0.327	0.020	0.035	0.031
2004	1.001	15.241	6.989	8.251	0.459	0.139	0.323	0.021	0.033	0.025
2005	1.003	17.624	8.198	9.427	0.465	0.144	0.316	0.022	0.032	0.021
2006	1.047	20.957	9.545	11.413	0.455	0.151	0.314	0.022	0.031	0.026
2007	1.080	25.330	11.388	13.943	0.450	0.153	0.314	0.022	0.030	0.032
2008	1.062	30.263	13.333	16.931	0.441	0.156	0.319	0.022	0.031	0.033
2009	1.025	33.484	15.044	18.440	0.449	0.163	0.294	0.024	0.033	0.037
2010	0.986	38.912	17.476	21.436	0.449	0.168	0.290	0.027	0.029	0.036
2011	0.981	45.132	20.964	24.168	0.465	0.168	0.281	0.030	0.029	0.028
2012	0.993	49.667	24.262	25.405	0.489	0.166	0.263	0.032	0.028	0.022
2013	1.007	54.928	27.542	27.386	0.501	0.167	0.249	0.035	0.026	0.021
2014	0.996	58.844	30.069	28.775	0.511	0.166	0.240	0.039	0.025	0.019
2015	1.024	64.101	32.566	31.535	0.508	0.163	0.237	0.042	0.024	0.025
2016	1.014	69.589	34.159	35.431	0.491	0.160	0.244	0.047	0.024	0.035
2017	1.068	80.793	36.244	44.549	0.449	0.157	0.272	0.047	0.024	0.051
2018	1.004	88.559	38.958	49.601	0.440	0.154	0.279	0.049	0.024	0.055
2019	0.975	93.065	41.717	51.348	0.448	0.152	0.273	0.050	0.023	0.054
2020	0.975	97.109	44.287	52.822	0.456	0.150	0.264	0.053	0.022	0.055
Mean	1.015	19.505	9.141	10.363	0.520	0.127	0.254	0.024	0.031	0.044

Table B4: Gross Real Income, Real Output Prices, and Real Input Prices

Year	RI^t	p₂^t	p₃^t	p₄^t	p₅^t	w₁^t	w₂^t	w₃^t	w₄^t	w₅^t	w₆^t
1970	0.236	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
1971	0.243	0.963	0.971	0.923	0.927	0.975	0.943	0.951	0.950	0.936	0.947
1972	0.252	0.948	0.941	0.903	0.883	0.999	0.882	0.901	0.929	0.882	0.880
1973	0.259	0.943	0.941	0.905	0.831	0.979	0.871	0.899	0.966	0.844	0.839
1974	0.263	0.910	0.925	0.928	0.820	0.957	0.852	0.847	0.916	0.793	0.768
1975	0.275	0.905	0.903	0.882	0.787	0.942	0.836	0.866	1.009	0.815	0.808
1976	0.274	0.859	0.893	0.850	0.771	0.929	0.787	0.805	1.003	0.668	0.554
1977	0.293	0.866	0.873	0.833	0.760	0.917	0.800	0.862	1.110	0.805	0.764
1978	0.316	0.900	0.857	0.850	0.752	0.946	0.811	0.882	1.138	0.820	0.804
1979	0.334	0.905	0.830	0.836	0.711	0.965	0.785	0.872	1.149	0.815	0.827
1980	0.354	0.922	0.824	0.817	0.699	1.022	0.723	0.831	1.059	0.771	0.726
1981	0.362	0.901	0.810	0.798	0.701	0.994	0.692	0.811	1.024	0.749	0.713
1982	0.385	0.898	0.803	0.792	0.690	0.983	0.700	0.850	1.057	0.807	0.881
1983	0.421	0.916	0.801	0.800	0.721	0.978	0.707	0.957	1.049	0.896	1.183
1984	0.489	0.990	0.805	0.852	0.813	1.075	0.725	1.034	1.077	0.958	1.458
1985	0.522	1.018	0.775	0.916	0.881	1.116	0.677	0.975	1.039	0.886	1.385
1986	0.561	1.040	0.787	1.153	1.090	1.197	0.632	0.904	0.988	0.810	1.116
1987	0.597	1.052	0.765	1.180	1.169	1.205	0.594	0.888	0.932	0.823	1.187
1988	0.642	1.055	0.744	0.979	1.380	1.223	0.576	0.903	0.910	0.774	1.262
1989	0.629	1.020	0.714	0.792	1.121	1.195	0.515	0.783	0.849	0.686	0.922
1990	0.657	1.028	0.723	1.008	1.192	1.225	0.516	0.762	0.867	0.631	0.807
1991	0.742	1.068	0.730	1.042	1.193	1.251	0.558	0.910	0.883	0.708	1.212
1992	0.852	1.171	0.794	1.019	1.158	1.363	0.597	1.014	0.919	0.717	1.395
1993	0.983	1.258	0.882	0.817	1.000	1.472	0.627	1.168	0.934	0.639	1.268

1994	1.107	1.367	0.831	1.077	1.319	1.676	0.586	1.152	0.873	0.641	1.439
1995	1.137	1.308	0.709	0.899	1.098	1.594	0.522	1.089	0.791	0.750	1.985
1996	1.206	1.293	0.658	0.751	0.884	1.584	0.480	1.073	0.742	0.774	2.075
1997	1.289	1.310	0.641	0.677	0.808	1.630	0.454	1.050	0.700	0.782	2.218
1998	1.402	1.336	0.636	0.614	0.723	1.682	0.456	1.093	0.656	0.766	2.272
1999	1.489	1.350	0.625	0.613	0.757	1.739	0.432	1.062	0.628	0.728	2.359
2000	1.620	1.353	0.606	0.643	0.792	1.741	0.420	1.087	0.628	0.740	2.872
2001	1.746	1.394	0.604	0.638	0.751	1.820	0.406	1.062	0.633	0.729	2.790
2002	1.995	1.503	0.637	0.687	0.785	2.011	0.414	1.116	0.632	0.765	3.055
2003	2.254	1.623	0.656	0.760	0.858	2.264	0.401	1.125	0.642	0.736	2.834
2004	2.543	1.752	0.679	0.865	0.943	2.515	0.382	1.135	0.647	0.713	2.622
2005	2.938	1.866	0.702	0.934	0.966	2.765	0.375	1.161	0.655	0.739	2.541
2006	3.297	1.994	0.683	0.908	0.917	3.036	0.362	1.183	0.642	0.751	3.458
2007	3.917	2.311	0.698	0.930	0.921	3.630	0.361	1.284	0.637	0.792	4.889
2008	4.502	2.526	0.709	0.918	0.921	4.122	0.350	1.364	0.613	0.801	5.746
2009	5.046	2.699	0.706	0.834	0.800	4.637	0.340	1.289	0.600	0.869	6.900
2010	5.557	2.693	0.694	0.875	0.843	4.653	0.317	1.251	0.577	0.761	7.058
2011	5.907	2.760	0.675	0.819	0.787	4.954	0.278	1.153	0.522	0.689	5.627
2012	6.345	2.891	0.664	0.783	0.741	5.497	0.255	1.030	0.482	0.641	4.628
2013	6.818	2.980	0.644	0.738	0.693	5.940	0.236	0.942	0.451	0.585	4.672
2014	7.001	3.026	0.618	0.668	0.635	6.266	0.215	0.832	0.413	0.516	4.338
2015	7.426	3.140	0.590	0.622	0.550	6.788	0.205	0.778	0.393	0.503	6.010
2016	7.664	3.107	0.559	0.577	0.507	6.760	0.195	0.742	0.380	0.473	8.347
2017	8.502	3.191	0.562	0.575	0.523	6.957	0.197	0.831	0.375	0.507	13.556
2018	9.016	3.304	0.570	0.571	0.528	7.285	0.189	0.825	0.363	0.505	14.575
2019	8.906	3.328	0.546	0.554	0.522	7.494	0.170	0.727	0.329	0.457	13.630
2020	8.869	3.277	0.519	0.532	0.480	7.600	0.157	0.644	0.306	0.424	13.791

Table B5: Gross Real Income Growth, Real Output Price, and Input Growth Contribution Factors

Year	RI _G ^t	TFP _G ^t	α_2^t	α_3^t	α_4^t	α_5^t	β_1^t	β_2^t	β_3^t	β_4^t	β_5^t	β_6^t
1971	1.028	0.976	0.996	0.992	0.998	1.002	1.031	1.016	1.012	1.002	1.005	1.000
1972	1.038	1.002	0.998	0.992	0.999	1.002	1.014	1.013	1.013	1.002	1.002	1.000
1973	1.031	0.979	1.000	1.000	1.000	1.003	1.022	1.011	1.013	1.001	1.002	1.000
1974	1.013	0.973	0.996	0.995	1.001	1.001	1.021	1.011	1.012	1.001	1.002	1.000
1975	1.047	1.005	0.999	0.993	0.997	1.003	1.023	1.010	1.015	1.001	1.000	1.000
1976	0.996	0.958	0.994	0.997	0.998	1.001	1.019	1.013	1.016	1.002	0.999	1.000
1977	1.070	1.036	1.001	0.994	0.999	1.001	1.017	1.008	1.014	1.001	0.999	1.000
1978	1.077	1.028	1.005	0.995	1.001	1.001	1.019	1.006	1.017	1.001	1.003	1.000
1979	1.059	1.013	1.001	0.990	0.999	1.004	1.020	1.009	1.018	1.001	1.004	1.000
1980	1.060	1.005	1.002	0.998	0.999	1.001	1.025	1.004	1.020	1.001	1.004	1.000
1981	1.021	0.981	0.997	0.995	0.998	1.000	1.024	1.001	1.021	1.001	1.003	1.000
1982	1.065	1.020	1.000	0.998	0.999	1.001	1.025	0.998	1.022	1.001	1.001	1.000
1983	1.092	1.048	1.003	1.000	1.001	0.997	1.015	1.002	1.023	1.001	1.000	1.000
1984	1.162	1.086	1.011	1.002	1.005	0.989	1.031	1.004	1.023	1.002	1.002	1.000
1985	1.069	1.006	1.004	0.988	1.007	0.989	1.033	1.009	1.024	1.002	1.006	1.000
1986	1.074	1.001	1.003	1.005	1.026	0.966	1.025	1.014	1.024	1.002	1.006	1.000
1987	1.063	1.012	1.002	0.991	1.003	0.989	1.024	1.013	1.022	1.002	1.004	1.000
1988	1.076	1.072	1.000	0.991	0.975	0.975	1.023	1.016	1.021	1.002	1.002	1.000

1989	0.979	0.940	0.996	0.987	0.973	1.032	1.011	1.016	1.022	1.002	1.005	1.000
1990	1.044	0.969	1.001	1.004	1.038	0.991	1.013	1.006	1.017	1.001	1.005	1.000
1991	1.129	1.071	1.005	1.003	1.006	1.000	1.015	1.004	1.015	1.001	1.003	1.000
1992	1.149	1.048	1.013	1.028	0.996	1.006	1.019	1.007	1.017	1.002	1.007	1.000
1993	1.154	1.041	1.011	1.040	0.960	1.029	1.023	1.013	1.024	1.002	1.004	1.000
1994	1.126	1.075	1.012	0.977	1.062	0.939	1.009	1.020	1.027	1.002	1.002	1.000
1995	1.027	1.030	0.994	0.940	0.955	1.046	1.014	1.020	1.028	1.002	1.003	1.000
1996	1.060	1.009	0.998	0.973	0.960	1.048	1.019	1.015	1.032	1.002	1.005	1.000
1997	1.069	1.016	1.002	0.991	0.977	1.018	1.012	1.014	1.031	1.002	1.005	1.000
1998	1.087	1.029	1.003	0.997	0.979	1.020	1.005	1.016	1.031	1.002	1.003	1.000
1999	1.063	1.011	1.002	0.994	1.000	0.992	1.013	1.017	1.030	1.002	1.002	1.000
2000	1.088	1.022	1.000	0.990	1.011	0.991	1.020	1.017	1.031	1.002	1.002	1.000
2001	1.078	0.992	1.005	0.999	0.998	1.012	1.015	1.018	1.031	1.003	1.003	1.000
2002	1.143	1.029	1.013	1.020	1.019	0.990	1.009	1.020	1.031	1.003	1.003	1.000
2003	1.130	1.018	1.013	1.012	1.030	0.976	1.016	1.023	1.031	1.003	1.002	1.000
2004	1.128	1.001	1.012	1.015	1.045	0.970	1.014	1.028	1.032	1.003	1.003	1.000
2005	1.155	1.003	1.010	1.015	1.030	0.992	1.030	1.028	1.033	1.003	1.002	1.000
2006	1.122	1.047	1.010	0.988	0.989	1.019	1.000	1.030	1.029	1.004	1.002	1.000
2007	1.188	1.080	1.023	1.009	1.010	0.998	0.991	1.029	1.029	1.004	1.003	1.000
2008	1.149	1.062	1.014	1.008	0.995	1.000	0.996	1.030	1.030	1.004	1.005	1.000
2009	1.121	1.025	1.010	0.998	0.969	1.039	1.007	1.030	1.028	1.005	1.004	1.002
2010	1.101	0.986	1.000	0.991	1.014	0.986	1.043	1.033	1.034	1.007	1.003	1.002
2011	1.063	0.981	1.004	0.986	0.980	1.020	1.015	1.033	1.032	1.007	1.004	1.001
2012	1.074	0.993	1.008	0.991	0.986	1.017	1.009	1.024	1.033	1.007	1.003	1.001
2013	1.075	1.007	1.005	0.985	0.983	1.018	1.010	1.026	1.028	1.008	1.003	1.000
2014	1.027	0.996	1.003	0.979	0.972	1.023	0.996	1.020	1.028	1.008	1.002	1.000
2015	1.061	1.024	1.006	0.977	0.982	1.034	0.986	1.015	1.027	1.008	1.002	1.000
2016	1.032	1.014	0.998	0.975	0.983	1.017	1.001	1.010	1.026	1.007	1.001	1.000
2017	1.109	1.068	1.005	1.002	0.999	0.994	0.993	1.012	1.026	1.006	1.001	1.000
2018	1.061	1.004	1.006	1.007	0.999	0.998	0.997	1.013	1.026	1.006	1.001	1.003
2019	0.988	0.975	1.001	0.980	0.994	1.002	0.990	1.012	1.025	1.006	1.001	1.002
2020	0.996	0.975	0.997	0.978	0.992	1.016	1.000	1.010	1.023	1.006	1.001	1.000
Mean	1.076	1.015	1.004	0.995	0.998	1.003	1.014	1.015	1.024	1.003	1.003	1.000

Table B6: Decomposition for Real Gross Income Growth in China

Year	RI ^t /RI ¹⁹⁷⁰	TFP ^t	A ₂ ^t	A ₃ ^t	A ₄ ^t	A ₅ ^t	B ₁ ^t	B ₂ ^t	B ₃ ^t	B ₄ ^t	B ₅ ^t	B ₆ ^t
1970	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
1971	1.028	0.976	0.996	0.992	0.998	1.002	1.031	1.016	1.012	1.002	1.004	1.000
1972	1.066	0.978	0.994	0.984	0.997	1.004	1.045	1.029	1.025	1.003	1.007	1.000
1973	1.099	0.957	0.993	0.984	0.997	1.006	1.069	1.040	1.039	1.004	1.009	1.001
1974	1.113	0.932	0.989	0.979	0.998	1.007	1.091	1.052	1.051	1.005	1.011	1.001
1975	1.166	0.936	0.989	0.973	0.996	1.010	1.116	1.062	1.067	1.007	1.011	1.001
1976	1.161	0.896	0.983	0.970	0.994	1.011	1.137	1.076	1.084	1.008	1.010	1.001
1977	1.242	0.928	0.984	0.964	0.993	1.012	1.157	1.084	1.099	1.009	1.009	1.001
1978	1.337	0.954	0.988	0.958	0.994	1.012	1.179	1.091	1.118	1.010	1.012	1.002
1979	1.416	0.966	0.989	0.949	0.993	1.016	1.202	1.101	1.137	1.011	1.015	1.002
1980	1.500	0.971	0.991	0.947	0.992	1.017	1.232	1.105	1.160	1.012	1.020	1.002
1981	1.532	0.952	0.988	0.942	0.990	1.017	1.261	1.107	1.184	1.014	1.022	1.002
1982	1.632	0.971	0.988	0.940	0.989	1.018	1.293	1.104	1.210	1.014	1.023	1.002

1983	1.782	1.018	0.990	0.940	0.990	1.015	1.312	1.106	1.238	1.016	1.023	1.003
1984	2.071	1.105	1.001	0.941	0.995	1.004	1.354	1.110	1.267	1.017	1.025	1.003
1985	2.214	1.112	1.005	0.929	1.002	0.993	1.398	1.120	1.297	1.019	1.031	1.003
1986	2.378	1.113	1.007	0.934	1.029	0.959	1.432	1.136	1.329	1.022	1.038	1.003
1987	2.529	1.126	1.009	0.926	1.032	0.949	1.466	1.151	1.358	1.024	1.042	1.004
1988	2.722	1.207	1.009	0.917	1.006	0.925	1.500	1.170	1.386	1.026	1.044	1.004
1989	2.665	1.135	1.005	0.905	0.978	0.955	1.516	1.188	1.417	1.029	1.049	1.004
1990	2.783	1.100	1.006	0.908	1.015	0.946	1.535	1.195	1.441	1.030	1.055	1.004
1991	3.142	1.178	1.011	0.910	1.021	0.946	1.558	1.200	1.463	1.031	1.058	1.004
1992	3.608	1.234	1.025	0.936	1.017	0.951	1.587	1.208	1.487	1.033	1.066	1.004
1993	4.164	1.285	1.036	0.974	0.976	0.979	1.623	1.224	1.522	1.035	1.070	1.004
1994	4.690	1.382	1.048	0.951	1.037	0.919	1.638	1.249	1.564	1.037	1.072	1.005
1995	4.819	1.423	1.042	0.894	0.990	0.961	1.660	1.274	1.608	1.039	1.076	1.005
1996	5.108	1.437	1.040	0.870	0.950	1.007	1.692	1.293	1.660	1.041	1.081	1.005
1997	5.462	1.460	1.042	0.862	0.929	1.025	1.712	1.311	1.712	1.043	1.086	1.005
1998	5.939	1.502	1.045	0.860	0.909	1.046	1.721	1.333	1.764	1.045	1.089	1.005
1999	6.311	1.519	1.047	0.854	0.908	1.037	1.744	1.355	1.818	1.047	1.091	1.005
2000	6.863	1.552	1.047	0.845	0.918	1.027	1.778	1.377	1.873	1.050	1.093	1.005
2001	7.399	1.541	1.052	0.844	0.917	1.040	1.804	1.403	1.932	1.052	1.096	1.005
2002	8.454	1.584	1.066	0.861	0.934	1.029	1.820	1.431	1.993	1.055	1.099	1.006
2003	9.551	1.613	1.079	0.871	0.962	1.004	1.848	1.464	2.055	1.058	1.102	1.006
2004	10.773	1.614	1.092	0.884	1.005	0.974	1.874	1.504	2.121	1.062	1.105	1.006
2005	12.447	1.619	1.103	0.898	1.035	0.966	1.930	1.546	2.191	1.065	1.108	1.006
2006	13.969	1.695	1.114	0.887	1.024	0.983	1.931	1.593	2.255	1.069	1.109	1.007
2007	16.595	1.831	1.140	0.895	1.034	0.982	1.914	1.639	2.320	1.073	1.113	1.007
2008	19.075	1.943	1.156	0.902	1.028	0.982	1.907	1.688	2.388	1.077	1.118	1.007
2009	21.380	1.991	1.168	0.900	0.997	1.020	1.921	1.738	2.455	1.083	1.122	1.009
2010	23.545	1.963	1.167	0.892	1.011	1.007	2.002	1.796	2.538	1.090	1.126	1.011
2011	25.027	1.926	1.172	0.880	0.990	1.027	2.032	1.856	2.618	1.098	1.130	1.012
2012	26.882	1.913	1.181	0.872	0.977	1.044	2.049	1.901	2.705	1.106	1.134	1.013
2013	28.886	1.926	1.187	0.859	0.960	1.063	2.070	1.950	2.781	1.114	1.137	1.013
2014	29.663	1.919	1.190	0.841	0.934	1.088	2.062	1.989	2.859	1.123	1.139	1.014
2015	31.465	1.964	1.198	0.822	0.917	1.124	2.034	2.018	2.937	1.132	1.142	1.014
2016	32.471	1.991	1.196	0.801	0.901	1.143	2.035	2.038	3.014	1.140	1.143	1.014
2017	36.022	2.126	1.201	0.803	0.900	1.136	2.021	2.062	3.092	1.147	1.145	1.014
2018	38.202	2.135	1.208	0.809	0.899	1.134	2.014	2.089	3.172	1.154	1.146	1.017
2019	37.732	2.081	1.210	0.793	0.894	1.136	1.995	2.114	3.251	1.161	1.147	1.020
2020	37.578	2.029	1.207	0.775	0.886	1.154	1.994	2.135	3.327	1.168	1.148	1.020

Table B7: Nonparametric Decomposition of Real GDP Growth Relative to the 1970 Level

Year	RI ^t /RI ¹⁹⁷⁰	A ^t	B ^t	C ^t	E ^t	T ^t	NTPP ^t
1970	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
1971	1.028	0.988	1.066	1.000	0.976	1.000	0.976
1972	1.066	0.979	1.114	0.999	0.979	1.000	0.977
1973	1.099	0.981	1.171	0.999	0.958	1.000	0.958
1974	1.114	0.974	1.227	0.999	0.933	1.000	0.932
1975	1.166	0.967	1.288	0.999	0.937	1.000	0.936
1976	1.161	0.959	1.353	1.001	0.894	1.000	0.895
1977	1.242	0.954	1.406	1.000	0.926	1.000	0.926
1978	1.337	0.954	1.472	0.999	0.954	1.000	0.953

1979	1.416	0.948	1.549	0.995	0.970	1.000	0.965
1980	1.501	0.948	1.633	0.987	0.982	1.000	0.969
1981	1.532	0.941	1.717	0.986	0.962	1.000	0.949
1982	1.632	0.939	1.797	0.985	0.982	1.000	0.967
1983	1.782	0.939	1.872	0.986	1.000	1.028	1.013
1984	2.071	0.945	1.991	0.986	1.000	1.117	1.101
1985	2.214	0.934	2.142	0.986	1.000	1.123	1.107
1986	2.378	0.935	2.301	0.985	1.000	1.123	1.105
1987	2.529	0.922	2.455	0.984	1.000	1.135	1.117
1988	2.722	0.869	2.616	0.984	1.000	1.217	1.198
1989	2.665	0.856	2.765	0.983	0.941	1.217	1.126
1990	2.783	0.879	2.884	0.982	0.918	1.217	1.098
1991	3.142	0.890	2.998	0.985	0.983	1.217	1.178
1992	3.608	0.928	3.152	0.984	1.000	1.253	1.234
1993	4.164	0.964	3.364	0.984	1.000	1.304	1.284
1994	4.690	0.950	3.572	0.984	1.000	1.404	1.382
1995	4.819	0.887	3.817	0.984	1.000	1.447	1.424
1996	5.109	0.866	4.106	0.984	1.000	1.460	1.437
1997	5.462	0.855	4.377	0.984	1.000	1.484	1.460
1998	5.939	0.853	4.633	0.984	1.000	1.526	1.502
1999	6.311	0.842	4.933	0.984	1.000	1.543	1.519
2000	6.863	0.835	5.294	0.984	1.000	1.578	1.553
2001	7.400	0.846	5.672	0.984	0.993	1.578	1.542
2002	8.454	0.881	6.053	0.983	1.000	1.613	1.586
2003	9.551	0.907	6.522	0.983	1.000	1.642	1.614
2004	10.773	0.945	7.059	0.983	1.000	1.644	1.615
2005	12.447	0.989	7.766	0.983	1.000	1.649	1.620
2006	13.969	0.995	8.282	0.983	1.000	1.726	1.696
2007	16.595	1.036	8.750	0.983	1.000	1.864	1.832
2008	19.075	1.052	9.323	0.983	1.000	1.978	1.944
2009	21.380	1.068	10.049	0.983	1.000	2.027	1.992
2010	23.545	1.059	11.324	0.982	0.986	2.027	1.963
2011	25.027	1.047	12.405	0.978	0.973	2.027	1.928
2012	26.882	1.048	13.386	0.968	0.977	2.027	1.917
2013	28.886	1.037	14.410	0.956	0.997	2.027	1.932
2014	29.663	1.013	15.210	0.951	0.999	2.027	1.925
2015	31.465	1.011	15.786	0.951	1.000	2.074	1.971
2016	32.471	0.984	16.524	0.951	1.000	2.102	1.998
2017	36.023	0.983	17.171	0.951	1.000	2.245	2.134
2018	38.202	0.993	17.957	0.951	1.000	2.254	2.143
2019	37.732	0.970	18.622	0.949	0.977	2.254	2.090
2020	37.578	0.952	19.376	0.945	0.956	2.254	2.037

Table B8: Net Real Income, Real Net Output Prices, and Real Net Input Prices

Year	RI ^{t*}	p ₂ ^{t*}	p ₃ ^{t*}	p ₄ ^{t*}	p ₅ ^{t*}	w ₁ ^{t*}	w ₂ ^{t*}	w ₃ ^{t*}	w ₄ ^{t*}	w ₅ ^{t*}	w ₆ ^{t*}
1970	0.220	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
1971	0.227	0.963	1.029	0.923	0.927	0.975	0.952	0.972	0.951	0.961	1.014
1972	0.238	0.948	1.062	0.903	0.883	0.999	0.897	0.941	0.935	0.933	1.020
1973	0.246	0.943	1.124	0.905	0.831	0.979	0.897	0.963	0.982	0.918	1.049
1974	0.252	0.910	1.175	0.928	0.820	0.957	0.883	0.933	0.925	0.891	1.059

1975	0.266	0.905	1.221	0.882	0.787	0.942	0.900	0.989	1.059	0.937	1.155
1976	0.262	0.859	1.279	0.850	0.771	0.929	0.774	0.864	0.977	0.806	1.023
1977	0.289	0.866	1.322	0.833	0.760	0.917	0.924	1.047	1.234	0.971	1.251
1978	0.315	0.900	1.367	0.850	0.752	0.947	0.968	1.101	1.302	1.003	1.360
1979	0.338	0.905	1.392	0.836	0.711	0.965	0.972	1.115	1.342	1.013	1.462
1980	0.367	0.922	1.500	0.817	0.699	1.022	0.907	1.111	1.235	1.012	1.514
1981	0.383	0.901	1.605	0.798	0.701	0.994	0.892	1.114	1.221	1.031	1.663
1982	0.420	0.898	1.732	0.792	0.690	0.983	0.957	1.224	1.331	1.134	1.981
1983	0.470	0.916	1.887	0.800	0.721	0.979	1.030	1.413	1.400	1.258	2.443
1984	0.555	0.990	2.048	0.852	0.813	1.075	1.103	1.580	1.508	1.349	2.915
1985	0.602	1.018	2.096	0.916	0.881	1.117	1.045	1.562	1.486	1.276	2.997
1986	0.660	1.040	2.268	1.153	1.090	1.197	0.981	1.534	1.412	1.234	3.043
1987	0.720	1.052	2.363	1.180	1.170	1.205	0.961	1.593	1.387	1.289	3.354
1988	0.775	1.055	2.380	0.979	1.380	1.223	0.957	1.625	1.396	1.243	3.514
1989	0.774	1.020	2.383	0.792	1.121	1.195	0.868	1.459	1.297	1.194	3.412
1990	0.813	1.028	2.446	1.008	1.192	1.225	0.864	1.421	1.305	1.143	3.574
1991	0.906	1.068	2.507	1.042	1.193	1.251	0.929	1.569	1.350	1.227	4.241
1992	1.042	1.171	2.693	1.019	1.158	1.363	0.983	1.758	1.399	1.216	4.805
1993	1.177	1.258	2.889	0.817	1.000	1.472	0.975	1.952	1.369	1.073	4.931
1994	1.276	1.367	2.660	1.077	1.319	1.676	0.886	1.825	1.240	1.018	5.007
1995	1.287	1.308	2.265	0.899	1.098	1.594	0.804	1.651	1.148	1.101	5.304
1996	1.332	1.293	2.088	0.751	0.884	1.584	0.714	1.533	1.055	1.104	5.400
1997	1.417	1.310	2.012	0.677	0.808	1.630	0.665	1.487	0.976	1.086	5.743
1998	1.496	1.336	1.964	0.614	0.723	1.682	0.634	1.438	0.890	1.045	6.138
1999	1.584	1.350	1.901	0.613	0.757	1.739	0.596	1.393	0.835	0.965	6.531
2000	1.705	1.353	1.834	0.643	0.793	1.741	0.582	1.403	0.839	0.941	7.228
2001	1.821	1.394	1.847	0.638	0.751	1.820	0.548	1.349	0.827	0.907	7.665
2002	2.079	1.503	2.008	0.687	0.785	2.011	0.555	1.423	0.805	0.936	8.849
2003	2.342	1.623	2.146	0.760	0.858	2.264	0.525	1.435	0.810	0.903	9.595
2004	2.652	1.752	2.300	0.865	0.943	2.515	0.502	1.479	0.813	0.890	10.352
2005	3.070	1.866	2.489	0.934	0.966	2.765	0.491	1.520	0.818	0.948	11.797
2006	3.447	1.994	2.520	0.908	0.917	3.036	0.488	1.550	0.827	0.966	13.774
2007	4.083	2.311	2.656	0.930	0.921	3.630	0.495	1.670	0.833	1.012	16.698
2008	4.640	2.526	2.776	0.918	0.921	4.122	0.474	1.720	0.776	1.018	19.240
2009	5.284	2.699	2.864	0.834	0.800	4.637	0.468	1.665	0.755	1.095	22.881
2010	5.720	2.693	2.826	0.875	0.843	4.653	0.426	1.579	0.716	0.938	23.637
2011	5.991	2.760	2.752	0.819	0.787	4.954	0.361	1.439	0.621	0.840	22.105
2012	6.368	2.891	2.742	0.783	0.741	5.497	0.314	1.283	0.535	0.780	21.649
2013	6.758	2.980	2.682	0.739	0.693	5.940	0.284	1.172	0.489	0.704	21.729
2014	6.886	3.026	2.596	0.668	0.635	6.266	0.247	1.036	0.430	0.612	21.455
2015	7.283	3.140	2.511	0.622	0.550	6.789	0.237	0.973	0.416	0.581	23.397
2016	7.472	3.107	2.401	0.577	0.507	6.760	0.225	0.926	0.415	0.530	25.144
2017	8.285	3.191	2.427	0.575	0.523	6.957	0.239	1.053	0.444	0.554	29.047
2018	8.760	3.304	2.476	0.571	0.528	7.286	0.226	1.053	0.421	0.541	29.287
2019	8.574	3.328	2.377	0.554	0.522	7.494	0.194	0.930	0.359	0.478	26.833
2020	8.485	3.277	2.262	0.532	0.480	7.600	0.174	0.835	0.320	0.435	25.608

Table B9: Net Real Income Growth and Real Output Price and Input Growth Contribution Factors

Year	RI_G^{t*}	TFP_G^{t*}	α_2^{t*}	α_3^{t*}	α_4^{t*}	α_5^{t*}	β_1^{t*}	β_2^{t*}	β_3^{t*}	β_4^{t*}	β_5^{t*}	β_6^{t*}
------	-------------	--------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------

1971	1.034	0.976	0.995	1.006	0.998	1.003	1.033	1.008	1.010	1.001	1.005	1.000
1972	1.046	1.003	0.998	1.007	0.999	1.002	1.015	1.007	1.012	1.001	1.002	1.000
1973	1.037	0.978	0.999	1.013	1.000	1.003	1.024	1.005	1.012	1.001	1.002	1.000
1974	1.021	0.972	0.996	1.010	1.001	1.001	1.022	1.006	1.011	1.001	1.002	1.000
1975	1.057	1.004	0.999	1.009	0.997	1.003	1.024	1.005	1.014	1.001	1.000	1.001
1976	0.984	0.940	0.994	1.012	0.998	1.001	1.020	1.007	1.015	1.001	0.999	1.000
1977	1.105	1.058	1.001	1.009	0.999	1.001	1.018	1.004	1.013	1.000	0.999	1.000
1978	1.089	1.027	1.005	1.010	1.001	1.001	1.019	1.003	1.017	1.000	1.003	1.000
1979	1.073	1.015	1.001	1.006	0.999	1.004	1.020	1.005	1.018	1.001	1.004	1.001
1980	1.086	1.006	1.002	1.023	0.999	1.001	1.024	1.002	1.020	1.001	1.005	1.000
1981	1.045	0.979	0.997	1.021	0.998	1.000	1.023	1.001	1.022	1.001	1.003	1.000
1982	1.096	1.021	1.000	1.025	1.000	1.001	1.023	0.999	1.023	1.000	1.001	1.001
1983	1.118	1.043	1.002	1.030	1.001	0.997	1.014	1.001	1.024	1.001	1.000	1.001
1984	1.181	1.077	1.009	1.031	1.005	0.991	1.028	1.002	1.025	1.001	1.002	1.001
1985	1.085	1.004	1.003	1.010	1.006	0.991	1.028	1.005	1.026	1.001	1.007	1.001
1986	1.096	0.997	1.003	1.035	1.023	0.971	1.021	1.008	1.027	1.001	1.008	1.001
1987	1.091	1.015	1.001	1.018	1.003	0.991	1.020	1.008	1.025	1.001	1.005	1.001
1988	1.077	1.057	1.000	1.003	0.979	0.979	1.019	1.010	1.025	1.001	1.002	1.001
1989	0.998	0.947	0.996	1.001	0.977	1.026	1.009	1.009	1.026	1.001	1.007	1.001
1990	1.051	0.974	1.001	1.011	1.030	0.992	1.010	1.004	1.020	1.001	1.007	1.001
1991	1.114	1.052	1.004	1.011	1.005	1.000	1.012	1.003	1.017	1.001	1.005	1.001
1992	1.151	1.050	1.011	1.033	0.996	1.005	1.015	1.004	1.019	1.001	1.009	1.001
1993	1.130	1.030	1.009	1.035	0.967	1.024	1.019	1.008	1.026	1.001	1.006	1.001
1994	1.084	1.062	1.011	0.960	1.053	0.948	1.008	1.011	1.030	1.001	1.003	1.001
1995	1.008	1.031	0.995	0.929	0.961	1.040	1.012	1.011	1.030	1.001	1.004	1.001
1996	1.035	1.001	0.999	0.965	0.964	1.043	1.017	1.009	1.034	1.001	1.006	1.000
1997	1.064	1.024	1.002	0.985	0.979	1.016	1.011	1.008	1.032	1.001	1.006	1.000
1998	1.056	1.014	1.003	0.991	0.980	1.019	1.005	1.009	1.030	1.001	1.004	1.000
1999	1.059	1.023	1.002	0.988	1.000	0.992	1.012	1.010	1.030	1.001	1.002	1.000
2000	1.076	1.025	1.000	0.986	1.010	0.991	1.019	1.009	1.030	1.001	1.003	1.000
2001	1.068	0.991	1.005	1.003	0.998	1.012	1.014	1.010	1.030	1.001	1.003	1.000
2002	1.142	1.027	1.012	1.034	1.018	0.990	1.009	1.010	1.030	1.001	1.003	1.000
2003	1.126	1.013	1.012	1.029	1.029	0.977	1.015	1.011	1.030	1.002	1.002	1.002
2004	1.133	1.005	1.012	1.032	1.044	0.971	1.013	1.013	1.031	1.001	1.003	1.001
2005	1.158	1.001	1.009	1.038	1.029	0.992	1.029	1.014	1.032	1.001	1.003	1.001
2006	1.123	1.046	1.010	1.006	0.989	1.018	1.000	1.015	1.029	1.001	1.002	1.002
2007	1.185	1.077	1.022	1.025	1.009	0.998	0.992	1.015	1.028	1.002	1.004	1.002
2008	1.136	1.051	1.013	1.022	0.995	1.000	0.997	1.016	1.029	1.002	1.005	1.001
2009	1.139	1.035	1.010	1.016	0.970	1.038	1.007	1.016	1.027	1.002	1.004	1.007
2010	1.082	0.984	1.000	0.993	1.014	0.987	1.041	1.018	1.032	1.003	1.004	1.006
2011	1.048	0.984	1.004	0.986	0.980	1.019	1.015	1.017	1.031	1.003	1.005	1.004
2012	1.063	0.991	1.008	0.998	0.987	1.017	1.008	1.012	1.032	1.002	1.004	1.003
2013	1.061	1.009	1.005	0.989	0.983	1.018	1.010	1.012	1.028	1.003	1.003	1.001
2014	1.019	0.998	1.003	0.984	0.972	1.023	0.996	1.010	1.028	1.002	1.003	1.002
2015	1.058	1.026	1.007	0.984	0.982	1.035	0.986	1.007	1.027	1.002	1.002	1.000
2016	1.026	1.012	0.998	0.980	0.983	1.017	1.001	1.005	1.026	1.002	1.002	1.002
2017	1.109	1.074	1.005	1.005	0.999	0.994	0.993	1.006	1.026	1.002	1.002	1.001
2018	1.057	1.004	1.006	1.010	0.999	0.998	0.997	1.006	1.027	1.002	1.001	1.007
2019	0.979	0.970	1.001	0.981	0.994	1.002	0.990	1.006	1.026	1.002	1.001	1.006
2020	0.990	0.975	0.997	0.979	0.991	1.016	1.000	1.005	1.025	1.002	1.001	1.000
Mean	1.077	1.014	1.004	1.005	0.998	1.003	1.013	1.008	1.025	1.001	1.003	1.001

Table B10: Nonparametric Decomposition of Real NDP Growth Relative to the 1970 Level

Year	RI^{t*}/RI^{1970*}	A^{t*}	B^{t*}	C^{t*}	E^{t*}	T^{t*}	NTFP^{t*}
1970	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
1971	1.034	1.003	1.058	1.000	0.975	1.000	0.975
1972	1.081	1.009	1.097	0.999	0.978	1.000	0.977
1973	1.121	1.025	1.146	0.999	0.956	1.000	0.955
1974	1.145	1.033	1.193	0.998	0.930	1.000	0.928
1975	1.211	1.043	1.246	0.999	0.933	1.000	0.932
1976	1.191	1.050	1.298	0.995	0.878	1.000	0.874
1977	1.315	1.061	1.343	1.001	0.922	1.000	0.923
1978	1.433	1.075	1.402	1.000	0.950	1.000	0.950
1979	1.537	1.083	1.470	0.997	0.969	1.000	0.966
1980	1.669	1.108	1.548	0.990	0.983	1.000	0.973
1981	1.745	1.129	1.625	0.986	0.965	1.000	0.951
1982	1.912	1.157	1.702	0.985	0.986	1.000	0.971
1983	2.138	1.193	1.771	0.985	1.000	1.028	1.013
1984	2.526	1.235	1.876	0.985	1.000	1.107	1.090
1985	2.742	1.247	2.008	0.985	1.000	1.112	1.095
1986	3.005	1.285	2.144	0.984	0.998	1.112	1.091
1987	3.277	1.302	2.275	0.983	1.000	1.125	1.106
1988	3.529	1.253	2.408	0.983	1.000	1.190	1.170
1989	3.522	1.253	2.537	0.982	0.948	1.190	1.108
1990	3.703	1.291	2.647	0.981	0.928	1.190	1.084
1991	4.123	1.316	2.748	0.981	0.977	1.190	1.140
1992	4.745	1.375	2.884	0.981	1.000	1.220	1.197
1993	5.359	1.421	3.059	0.981	1.000	1.257	1.233
1994	5.810	1.375	3.223	0.981	1.000	1.337	1.311
1995	5.857	1.269	3.416	0.981	1.000	1.379	1.352
1996	6.063	1.228	3.649	0.980	1.000	1.380	1.353
1997	6.451	1.205	3.865	0.980	1.000	1.413	1.385
1998	6.809	1.195	4.059	0.980	1.000	1.432	1.404
1999	7.209	1.172	4.282	0.980	1.000	1.465	1.436
2000	7.760	1.158	4.551	0.980	1.000	1.502	1.472
2001	8.289	1.178	4.822	0.980	0.992	1.502	1.460
2002	9.463	1.242	5.082	0.979	1.000	1.532	1.500
2003	10.659	1.300	5.399	0.979	1.000	1.552	1.519
2004	12.071	1.375	5.751	0.979	1.000	1.560	1.527
2005	13.973	1.469	6.223	0.979	1.000	1.562	1.529
2006	15.690	1.502	6.533	0.979	1.000	1.634	1.599
2007	18.585	1.586	6.804	0.979	1.000	1.760	1.723
2008	21.119	1.633	7.146	0.979	1.000	1.849	1.809
2009	24.053	1.688	7.609	0.979	1.000	1.914	1.873
2010	26.035	1.676	8.429	0.978	0.985	1.914	1.843
2011	27.270	1.656	9.072	0.975	0.973	1.914	1.816
2012	28.985	1.668	9.643	0.966	0.975	1.914	1.803
2013	30.764	1.656	10.200	0.956	0.996	1.914	1.822
2014	31.345	1.624	10.612	0.950	1.000	1.915	1.819
2015	33.150	1.633	10.871	0.950	1.000	1.965	1.868

2016	34.012	1.596	11.276	0.950	1.000	1.989	1.890
2017	37.711	1.600	11.610	0.950	1.000	2.137	2.031
2018	39.874	1.620	12.081	0.950	1.000	2.145	2.038
2019	39.029	1.584	12.452	0.949	0.973	2.145	1.979
2020	38.625	1.557	12.851	0.945	0.953	2.145	1.931

付論 C. 推計プログラム

C-1: macro01_usercost

```
#####  
#Section4:ユーザーコストの計算  
#macro01.R  
#####  
#作業フォルダの設定  
setwd("C:/data")  
#必要なデータの読み込み  
df1 <- read.csv("./TableA1A2.csv")  
df2 <- read.csv("./TableA3.csv")  
df3 <- read.csv("./TableA5A6.csv")  
df4 <- read.csv("./tax.csv")  
df5 <- read.csv("./TableB3_labour.csv")  
df6 <- read.csv("./investmentprice.csv")  
#データフレームの各列名を直接変数名として作成  
#attach 関数をうまく活用することによって簡略化することも可能  
#投入側  
#資本ストックの期初価格  
PK1 <- df1$PK1  
PK2 <- df1$PK2  
PK3 <- df1$PK3  
PK4 <- df1$PK4  
PK5 <- df1$PK5  
PK6 <- df1$PK6  
PK7 <- df1$PK7  
PK8 <- df1$PK8  
PK9 <- df1$PK9  
PK10 <- df1$PK10  
PK11 <- df1$PK11  
PK12 <- df1$PK12  
PK13 <- df1$PK13  
PK14 <- df1$PK14  
PK15 <- df1$PK15  
PK16 <- df1$PK16  
#資本ストックの期初数量  
QK1 <- df1$QK1/100  
QK2 <- df1$QK2/100  
QK3 <- df1$QK3/100  
QK4 <- df1$QK4/100  
QK5 <- df1$QK5/100  
QK6 <- df1$QK6/100  
QK7 <- df1$QK7/100  
QK8 <- df1$QK8/100  
QK9 <- df1$QK9/100  
QK10 <- df1$QK10/100  
QK11 <- df1$QK11/100  
QK12 <- df1$QK12/100  
QK13 <- df1$QK13/100  
QK14 <- df1$QK14/100  
QK15 <- df1$QK15/100  
QK16 <- df1$QK16/100  
#労働価格と数量  
PL <- df5$PL  
QL <- df5$QL
```

#減価率

```
D1 <- df2$D1
D2 <- df2$D2
D3 <- df2$D3
D4 <- df2$D4
D5 <- df2$D5
D6 <- df2$D6
D7 <- df2$D7
D8 <- df2$D8
D9 <- df2$D9
D10 <- df2$D10
D11 <- df2$D11
D12 <- df2$D12
D13 <- df2$D13
D14 <- df2$D14
D15 <- df2$D15
D16 <- df2$D16
```

#産出側

#最終消費

```
PC <- df3$PC
QC <- df3$QC
```

#政府支出

```
PG <- df3$PG
QG <- df3$QG
```

#民間投資

```
PI <- df3$PI
QI <- df3$QI
```

#輸出

```
PX <- df3$PX
QX <- df3$QX
```

#輸入

```
PM <- df3$PM
QM <- df3$QM
```

#個別資本の投資価格

```
PI1 <- df6$PI1
PI2 <- df6$PI2
PI3 <- df6$PI3
PI4 <- df6$PI4
PI5 <- df6$PI5
PI6 <- df6$PI6
PI7 <- df6$PI7
PI8 <- df6$PI8
PI9 <- df6$PI9
PI10 <- df6$PI10
PI11 <- df6$PI11
PI12 <- df6$PI12
PI13 <- df6$PI13
PI14 <- df6$PI14
PI15 <- df6$PI15
PI16 <- df6$PI16
```

#(6)式にならって資本投資数量を計算: $Q_{kn}^{t+1} = (1 - \delta_n^t)Q_{kn}^t + Q_{ln}^t \cdots (6)$

```
QI1 <- QK1[-1]-(1-D1)*QK1[-length(QK1)]
QI2 <- QK2[-1]-(1-D2)*QK2[-length(QK1)]
QI3 <- QK3[-1]-(1-D3)*QK3[-length(QK1)]
QI4 <- QK4[-1]-(1-D4)*QK4[-length(QK1)]
```

```

QI5 <- QK5[-1]-(1-D5)*QK5[-length(QK1)]
QI6 <- QK6[-1]-(1-D6)*QK6[-length(QK1)]
QI7 <- QK7[-1]-(1-D7)*QK7[-length(QK1)]
QI8 <- QK8[-1]-(1-D8)*QK8[-length(QK1)]
QI9 <- QK9[-1]-(1-D9)*QK9[-length(QK1)]
QI10 <- QK10[-1]-(1-D10)*QK10[-length(QK1)]
QI11 <- QK11[-1]-(1-D11)*QK11[-length(QK1)]
QI12 <- QK12[-1]-(1-D12)*QK12[-length(QK1)]
QI13 <- QK13[-1]-(1-D13)*QK13[-length(QK1)]
QI14 <- QK14[-1]-(1-D14)*QK14[-length(QK1)]
QI15 <- QK15[-1]-(1-D15)*QK15[-length(QK1)]
QI16 <- QK16[-1]-(1-D16)*QK16[-length(QK1)]

```

#固定資産税

```

TR1 <- df4$TR1
TR2 <- df4$TR2
TR3 <- df4$TR3
TR4 <- df4$TR4
TR5 <- df4$TR5
TR6 <- df4$TR6
TR7 <- df4$TR7
TR8 <- df4$TR8
TR9 <- df4$TR9
TR10 <- df4$TR10
TR11 <- df4$TR11
TR12 <- df4$TR12
TR13 <- df4$TR13
TR14 <- df4$TR14
TR15 <- df4$TR15
TR16 <- df4$TR16

```

#(7)式を用いて 16 種類の資本を 5 種類に集約:

$$\#P_{KM}^t = P_{KM}^{t-1} \times \sum_{n=1}^4 (s_{t+1} + s_t) \ln \left(\frac{P_{Kn}^{t+1}}{P_{Kn}^t} \right) \dots (7)$$

#機械装置について

```

p <- cbind(PK1,PK2,PK3,PK4)#価格ベクトルの作成
q <- cbind(QK1,QK2,QK3,QK4)#数量ベクトルの作成
TT <- dim(p)[1]#時系列の長さの設定
NN <- dim(p)[2]#集約する資産の種類数を設定
PKM <- 1#t=1 の指数を 1 に設定

```

#繰り返し処理によって各時点における(7)式の

$$\#\sum_{n=1}^4 (s_{t+1} + s_t) \ln \left(\frac{P_{Kn}^{t+1}}{P_{Kn}^t} \right)$$

#に対応する箇所を計算

```

for(tt in 1:(TT-1)){
  tmp <- 0
  s0 <- sum(p[tt,]*q[tt,])
  s1 <- sum(p[tt+1,]*q[tt+1,])
  for(ii in 1:NN){
    tmp <- tmp + 0.5*(p[tt+1,ii]*q[tt+1,ii]/s1+p[tt,ii]*q[tt,ii]/s0)*log(p[tt+1,ii]/p[tt,ii])
  }
  PKM <- c(PKM,exp(tmp))
}

```

#cumprod 関数で累積積を計算することで

#(7)式の連鎖価格指数を計算

```
PKM <- cumprod(PKM)
```

#価格指数の計算終了

```

#(8')式によって数量指数を計算:  $Q_{KM}^t = \sum_{n=1}^4 P_{Kn}^t Q_{Kn}^t / P_{KM}^t \cdots (8')$ 
QKM <- apply(p*q,1,sum)/PKM
VKM <- PKM * QKM
#機械装置について計算終了
#以下同様にして他資産についても計算していく
#構造物
p <- cbind(PK5,PK6,PK7)
q <- cbind(QK5,QK6,QK7)
TT <- dim(p)[1]
NN <- dim(p)[2]
PKS <- 1
for(tt in 1:(TT-1)){
  tmp <- 0
  s0 <- sum(p[tt,]*q[tt,])
  s1 <- sum(p[tt+1,]*q[tt+1,])
  for(ii in 1:NN){
    tmp <- tmp + 0.5*(p[tt+1,ii]*q[tt+1,ii]/s1+p[tt,ii]*q[tt,ii]/s0)*log(p[tt+1,ii]/p[tt,ii])
  }
  PKS <- c(PKS,exp(tmp))
}
PKS <- cumprod(PKS)
QKS <- apply(p*q,1,sum)/PKS
VKS <- PKS * QKS
#その他の資本
p <- cbind(PK8,PK9,PK10,PK11)
q <- cbind(QK8,QK9,QK10,QK11)
TT <- dim(p)[1]
NN <- dim(p)[2]
PKO <- 1
for(tt in 1:(TT-1)){
  tmp <- 0
  s0 <- sum(p[tt,]*q[tt,])
  s1 <- sum(p[tt+1,]*q[tt+1,])
  for(ii in 1:NN){
    tmp <- tmp + 0.5*(p[tt+1,ii]*q[tt+1,ii]/s1+p[tt,ii]*q[tt,ii]/s0)*log(p[tt+1,ii]/p[tt,ii])
  }
  PKO <- c(PKO,exp(tmp))
}
PKO <- cumprod(PKO)
QKO <- apply(p*q,1,sum)/PKO
VKO <- PKO * QKO
#在庫
PKI <- PK12
QKI <- QK12
VKI <- PKI*QKI
#土地
p <- cbind(PK13,PK14,PK15,PK16)
q <- cbind(QK13,QK14,QK15,QK16)
TT <- dim(p)[1]
NN <- dim(p)[2]
PKL <- 1
for(tt in 1:(TT-1)){
  tmp <- 0
  s0 <- sum(p[tt,]*q[tt,])
  s1 <- sum(p[tt+1,]*q[tt+1,])
  for(ii in 1:NN){

```

```

    tmp <- tmp + 0.5*(p[tt+1,ii]*q[tt+1,ii]/s1+p[tt,ii]*q[tt,ii]/s0)*log(p[tt+1,ii]/p[tt,ii])
  }
  PKL <- c(PKL,exp(tmp))
}
PKL <- cumprod(PKL)
QKL <- apply(p*q,1,sum)/PKL
VKL <- PKL * QKL
# 表 3 の出力
print(cbind(1970:2021,PKM,PKS,PKO,PKI,PKL,QKM,QKS,QKO,QKI,QKL))

##資本ストックの合計額
VK <- VKM+VKS+VKO+VKI+VKL

##集約した資本の割合
SKM <- VKM / VK
SKS <- VKS / VK
SKO <- VKO / VK
SKI <- VKI / VK
SKL <- VKL / VK
#表 4 の出力
print(cbind(1970:2021,VK,SKM,SKS,SKO,SKI,SKL))

##
#*(7)式と(8)式を用いて資本投資についての総合的な価格指数と数量指数の作成
# $P_{KM}^t = P_{KM}^{t-1} \times \sum_{n=1}^4 (s_{t+1} + s_t) \ln \left( \frac{P_{Kn}^{t+1}}{P_{Kn}^t} \right) \dots (7)$ 
# $Q_{KM}^t = \sum_{n=1}^4 P_{Kn}^t Q_{Kn}^t / P_{KM}^t \dots (8')$ 
p <- cbind(PI1,PI2,PI3,PI4,PI5,PI6,PI7,PI8,PI9,PI10,PI11,PI12,PI13,PI14,PI15,PI16)
q <- cbind(QI1,QI2,QI3,QI4,QI5,QI6,QI7,QI8,QI9,QI10,QI11,QI12,QI13,QI14,QI15,QI16)
TT <- dim(p)[1]
NN <- dim(p)[2]
PI <- 1
for(tt in 1:(TT-1)){
  tmp <- 0
  s0 <- sum(p[tt,]*q[tt,])
  s1 <- sum(p[tt+1,]*q[tt+1,])
  for(ii in 1:NN){
    tmp <- tmp + 0.5*(p[tt+1,ii]*q[tt+1,ii]/s1+p[tt,ii]*q[tt,ii]/s0)*log(p[tt+1,ii]/p[tt,ii])
  }
  PI <- c(PI,exp(tmp))
}
PI <- cumprod(PI)
QI <- apply(p*q,1,sum)/PI
VI <- PI * QI

```

##*(7)式と(8)式を用いて総産出についての価格指数と数量指数の作成

$P_{KM}^t = P_{KM}^{t-1} \times \sum_{n=1}^4 (s_{t+1} + s_t) \ln \left(\frac{P_{Kn}^{t+1}}{P_{Kn}^t} \right) \dots (7)$

$Q_{KM}^t = \sum_{n=1}^4 P_{Kn}^t Q_{Kn}^t / P_{KM}^t \dots (8')$

```

p <- cbind(PC,PG,PI1,PI2,PI3,PI4,PI5,PI6,PI7,PI8,PI9,PI10,PI11,PI12,PI13,PI14,PI15,PI16,PX,PM)
q <- cbind(QC,QG,QI1,QI2,QI3,QI4,QI5,QI6,QI7,QI8,QI9,QI10,QI11,QI12,QI13,QI14,QI15,QI16,QX,QM)
TT <- dim(p)[1]
NN <- dim(p)[2]
PY <- 1
for(tt in 1:(TT-1)){

```

```

tmp <- 0
s0 <- sum(p[tt,]*q[tt,])
s1 <- sum(p[tt+1,]*q[tt+1,])
for(ii in 1:NN){
  tmp <- tmp + 0.5*(p[tt+1,ii]*q[tt+1,ii]/s1+p[tt,ii]*q[tt,ii]/s0)*log(p[tt+1,ii]/p[tt,ii])
}
PY <- c(PY,exp(tmp))
}
PY <- cumprod(PY)
QY <- apply(p*q,1,sum)/PY
VY <- PY*QY
#表 6 の出力
print(cbind(1970:2020,PI,QI,VI,PY,QY,VY))

```

#(2)式を用いて資本コストの計算に必要な資産ごとインフレ率の計算:

$(1 + i_n^t) = P_{kn}^{t+1}/P_{kn}^t \rightarrow i_n^t = P_{kn}^{t+1}/P_{kn}^t - 1$

```

TT <- length(PK1)
IK1 <- PK1[-1]/PK1[-TT]-1
IK2 <- PK2[-1]/PK2[-TT]-1
IK3 <- PK3[-1]/PK3[-TT]-1
IK4 <- PK4[-1]/PK4[-TT]-1
IK5 <- PK5[-1]/PK5[-TT]-1
IK6 <- PK6[-1]/PK6[-TT]-1
IK7 <- PK7[-1]/PK7[-TT]-1
IK8 <- PK8[-1]/PK8[-TT]-1
IK9 <- PK9[-1]/PK9[-TT]-1
IK10 <- PK10[-1]/PK10[-TT]-1
IK11 <- PK11[-1]/PK11[-TT]-1
IK12 <- PK12[-1]/PK12[-TT]-1
IK13 <- PK13[-1]/PK13[-TT]-1
IK14 <- PK14[-1]/PK14[-TT]-1
IK15 <- PK15[-1]/PK15[-TT]-1
IK16 <- PK16[-1]/PK16[-TT]-1

```

#表 7 の出力

```
print(cbind(1970:2020,IK1, IK2, IK3, IK4, IK5, IK6, IK7, IK8, IK9, IK10, IK11, IK12, IK13, IK14, IK15, IK16))
```

#*インフレ率のボラティリティは非常に大きい事がわかる

#*(10')式に基づいて資本コストを計算する

$r^t = (V_Y^t - V_L^t - \sum_{n=1}^{16} [(1 + \tau_n^t)P_{kn}^t Q_{kn}^t - (1 + i_n^t)(1 - \delta_n^t)P_{kn}^t Q_{kn}^t])/V_K^t \dots (10')$

V_L^t を計算

```
VL <- PL*QL
```

$V_Y^t - V_L^t$ を計算

```
GPROF <- VY - VL
```

```
TT <- length(TR1)
```

$[(1 + \tau_n^t)P_{kn}^t Q_{kn}^t - (1 + i_n^t)(1 - \delta_n^t)P_{kn}^t Q_{kn}^t]$ を計算

```

DVK1 <- ((1+TR1)-(1-D1)*(1+IK1))*((PK1*QK1)[1:TT])
DVK2 <- ((1+TR2)-(1-D2)*(1+IK2))*((PK2*QK2)[1:TT])
DVK3 <- ((1+TR3)-(1-D3)*(1+IK3))*((PK3*QK3)[1:TT])
DVK4 <- ((1+TR4)-(1-D4)*(1+IK4))*((PK4*QK4)[1:TT])
DVK5 <- ((1+TR5)-(1-D5)*(1+IK5))*((PK5*QK5)[1:TT])
DVK6 <- ((1+TR6)-(1-D6)*(1+IK6))*((PK6*QK6)[1:TT])
DVK7 <- ((1+TR7)-(1-D7)*(1+IK7))*((PK7*QK7)[1:TT])
DVK8 <- ((1+TR8)-(1-D8)*(1+IK8))*((PK8*QK8)[1:TT])
DVK9 <- ((1+TR9)-(1-D9)*(1+IK9))*((PK9*QK9)[1:TT])
DVK10 <- ((1+TR10)-(1-D10)*(1+IK10))*((PK10*QK10)[1:TT])
DVK11 <- ((1+TR11)-(1-D11)*(1+IK11))*((PK11*QK11)[1:TT])

```

```

DVK12 <- ((1+TR12)-(1-D12)*(1+IK12))*((PK12*QK12)[1:TT])
DVK13 <- ((1+TR13)-(1-D13)*(1+IK13))*((PK13*QK13)[1:TT])
DVK14 <- ((1+TR14)-(1-D14)*(1+IK14))*((PK14*QK14)[1:TT])
DVK15 <- ((1+TR15)-(1-D15)*(1+IK15))*((PK15*QK15)[1:TT])
DVK16 <- ((1+TR16)-(1-D16)*(1+IK16))*((PK16*QK16)[1:TT])
# $\sum_{n=1}^{16}[(1+\tau_n^t)P_{Kn}^tQ_{Kn}^t - (1+i_n^t)(1-\delta_n^t)P_{Kn}^tQ_{Kn}^t]$ を計算
DVK <-
DVK1+DVK2+DVK3+DVK4+DVK5+DVK6+DVK7+DVK8+DVK9+DVK10+DVK11+DVK12+DVK13+DVK
14+DVK15+DVK16
R <- (GPROF-DVK)/VK[1:TT]
ROLD <- R

```

#*資本コストを用いて(5)式のユーザーコストを計算する

$U_n^t = (1+r^t + \tau_n^t)P_{Kn}^t - (1+i_n^t)(1-\delta_n^t)P_{Kn}^t \dots (5)$

```

TT <- length(PK1)
PU1 <- PK1[-TT]*((1+R+TR1)-(1+IK1)*(1-D1))
PU2 <- PK2[-TT]*((1+R+TR2)-(1+IK2)*(1-D2))
PU3 <- PK3[-TT]*((1+R+TR3)-(1+IK3)*(1-D3))
PU4 <- PK4[-TT]*((1+R+TR4)-(1+IK4)*(1-D4))
PU5 <- PK5[-TT]*((1+R+TR5)-(1+IK5)*(1-D5))
PU6 <- PK6[-TT]*((1+R+TR6)-(1+IK6)*(1-D6))
PU7 <- PK7[-TT]*((1+R+TR7)-(1+IK7)*(1-D7))
PU8 <- PK8[-TT]*((1+R+TR8)-(1+IK8)*(1-D8))
PU9 <- PK9[-TT]*((1+R+TR9)-(1+IK9)*(1-D9))
PU10 <- PK10[-TT]*((1+R+TR10)-(1+IK10)*(1-D10))
PU11 <- PK11[-TT]*((1+R+TR11)-(1+IK11)*(1-D11))
PU12 <- PK12[-TT]*((1+R+TR12)-(1+IK12)*(1-D12))
PU13 <- PK13[-TT]*((1+R+TR13)-(1+IK13)*(1-D13))
PU14 <- PK14[-TT]*((1+R+TR14)-(1+IK14)*(1-D14))
PU15 <- PK15[-TT]*((1+R+TR15)-(1+IK15)*(1-D15))
PU16 <- PK16[-TT]*((1+R+TR16)-(1+IK16)*(1-D16))
#表 9 の出力
print(data.frame(1970:2020,PU1,PU2,PU3,PU4,PU5,PU6,PU7,PU8,PU9,PU10,PU11,PU12,PU13,PU14,PU15,PU
16))
summary(data.frame(PU1,PU2,PU3,PU4,PU5,PU6,PU7,PU8,PU9,PU10,PU11,PU12,PU13,PU14,PU15,PU16))

```

#PU12-PU16 についてのユーザーコストに負の値が存在する

#lowess によってインフレ率を平滑化する

#lowess 関数を用いる

#使用法は lowess(x,y,f)で x が横軸となる変数、y が縦軸となる変数

#f が平滑化区間を指定するパラメータで lowess(x,y,f)\$y のように\$y をつけることで

#平滑化した数値を取得できる

```

PIK1 <- lowess(1970:2020,IK1,f=0.4,iter=0)$y
PIK2 <- lowess(1970:2020,IK2,f=0.4,iter=0)$y
PIK3 <- lowess(1970:2020,IK3,f=0.4,iter=0)$y
PIK4 <- lowess(1970:2020,IK4,f=0.4,iter=0)$y
PIK5 <- lowess(1970:2020,IK5,f=0.4,iter=0)$y
PIK6 <- lowess(1970:2020,IK6,f=0.4,iter=0)$y
PIK7 <- lowess(1970:2020,IK7,f=0.4,iter=0)$y
PIK8 <- lowess(1970:2020,IK8,f=0.4,iter=0)$y
PIK9 <- lowess(1970:2020,IK9,f=0.4,iter=0)$y
PIK10 <- lowess(1970:2020,IK10,f=0.4,iter=0)$y
PIK11 <- lowess(1970:2020,IK11,f=0.4,iter=0)$y
PIK12 <- lowess(1970:2020,IK12,f=0.4,iter=0)$y
PIK13 <- lowess(1970:2020,IK13,f=0.4,iter=0)$y
PIK14 <- lowess(1970:2020,IK14,f=0.4,iter=0)$y

```

```

PIK15 <- lowess(1970:2020,IK15,f=0.4,iter=0)$y
PIK16 <- lowess(1970:2020,IK16,f=0.4,iter=0)$y
print(cbind(PIK1,PIK2,PIK3,PIK4,PIK5,PIK6,PIK7,PIK8,PIK9,PIK10,PIK11,PIK12,PIK13,PIK14,PIK15,PIK16)
)
summary(data.frame(PIK1,PIK2,PIK3,PIK4,PIK5,PIK6,PIK7,PIK8,PIK9,PIK10,PIK11,PIK12,PIK13,PIK14,PIK15,PIK16))
#
#既存のインフレ率を平滑化したインフレ率で置き換える
IK1 <- PIK1
IK2 <- PIK2
IK3 <- PIK3
IK4 <- PIK4
IK5 <- PIK5
IK6 <- PIK6
IK7 <- PIK7
IK8 <- PIK8
IK9 <- PIK9
IK10 <- PIK10
IK11 <- PIK11
IK12 <- PIK12
IK13 <- PIK13
IK14 <- PIK14
IK15 <- PIK15
IK16 <- PIK16
summary(data.frame(IK1,IK2,IK3,IK4,IK5,IK6,IK7,IK8,IK9,IK10,IK11,IK12,IK13,IK14,IK15,IK16))

#改めて資本コストを計算する
# $r^t = (V_Y^t - V_L^t - \sum_{n=1}^{16} [(1 + \tau_n^t)P_{Kn}^t Q_{Kn}^t - (1 + i_n^t)(1 - \delta_n^t)P_{Kn}^t Q_{Kn}^t]) / V_K^t \cdots (10')$ 
TT <- length(TR1)
DVK1 <- ((1+TR1)-(1-D1)*(1+IK1))*((PK1*QK1)[1:TT])
DVK2 <- ((1+TR2)-(1-D2)*(1+IK2))*((PK2*QK2)[1:TT])
DVK3 <- ((1+TR3)-(1-D3)*(1+IK3))*((PK3*QK3)[1:TT])
DVK4 <- ((1+TR4)-(1-D4)*(1+IK4))*((PK4*QK4)[1:TT])
DVK5 <- ((1+TR5)-(1-D5)*(1+IK5))*((PK5*QK5)[1:TT])
DVK6 <- ((1+TR6)-(1-D6)*(1+IK6))*((PK6*QK6)[1:TT])
DVK7 <- ((1+TR7)-(1-D7)*(1+IK7))*((PK7*QK7)[1:TT])
DVK8 <- ((1+TR8)-(1-D8)*(1+IK8))*((PK8*QK8)[1:TT])
DVK9 <- ((1+TR9)-(1-D9)*(1+IK9))*((PK9*QK9)[1:TT])
DVK10 <- ((1+TR10)-(1-D10)*(1+IK10))*((PK10*QK10)[1:TT])
DVK11 <- ((1+TR11)-(1-D11)*(1+IK11))*((PK11*QK11)[1:TT])
DVK12 <- ((1+TR12)-(1-D12)*(1+IK12))*((PK12*QK12)[1:TT])
DVK13 <- ((1+TR13)-(1-D13)*(1+IK13))*((PK13*QK13)[1:TT])
DVK14 <- ((1+TR14)-(1-D14)*(1+IK14))*((PK14*QK14)[1:TT])
DVK15 <- ((1+TR15)-(1-D15)*(1+IK15))*((PK15*QK15)[1:TT])
DVK16 <- ((1+TR16)-(1-D16)*(1+IK16))*((PK16*QK16)[1:TT])
DVK <-
DVK1+DVK2+DVK3+DVK4+DVK5+DVK6+DVK7+DVK8+DVK9+DVK10+DVK11+DVK12+DVK13+DVK14+DVK15+DVK16
R <- (GPROF-DVK)/VK[1:TT]
#表 10 の出力
print(cbind(ROLD,R))
#(5)式のユーザーコストを改めて計算
# $U_n^t = (1 + r^t + \tau_n^t)P_{Kn}^t - (1 + i_n^t)(1 - \delta_n^t)P_{Kn}^t \cdots (5)$ 
TT <- length(R)
PU1 <- PK1[1:TT]*((1+R+TR1)-(1+IK1)*(1-D1))
PU2 <- PK2[1:TT]*((1+R+TR2)-(1+IK2)*(1-D2))

```

```

PU3 <- PK3[1:TT]*((1+R+TR3)-(1+IK3)*(1-D3))
PU4 <- PK4[1:TT]*((1+R+TR4)-(1+IK4)*(1-D4))
PU5 <- PK5[1:TT]*((1+R+TR5)-(1+IK5)*(1-D5))
PU6 <- PK6[1:TT]*((1+R+TR6)-(1+IK6)*(1-D6))
PU7 <- PK7[1:TT]*((1+R+TR7)-(1+IK7)*(1-D7))
PU8 <- PK8[1:TT]*((1+R+TR8)-(1+IK8)*(1-D8))
PU9 <- PK9[1:TT]*((1+R+TR9)-(1+IK9)*(1-D9))
PU10 <- PK10[1:TT]*((1+R+TR10)-(1+IK10)*(1-D10))
PU11 <- PK11[1:TT]*((1+R+TR11)-(1+IK11)*(1-D11))
PU12 <- PK12[1:TT]*((1+R+TR12)-(1+IK12)*(1-D12))
PU13 <- PK13[1:TT]*((1+R+TR13)-(1+IK13)*(1-D13))
PU14 <- PK14[1:TT]*((1+R+TR14)-(1+IK14)*(1-D14))
PU15 <- PK15[1:TT]*((1+R+TR15)-(1+IK15)*(1-D15))
PU16 <- PK16[1:TT]*((1+R+TR16)-(1+IK16)*(1-D16))
#表 11 の出力
print(data.frame(1970:2020,PU1,PU2,PU3,PU4,PU5,PU6,PU7,PU8,PU9,PU10,PU11,PU12,PU13,PU14,PU15,PU
16))
summary(data.frame(PU1,PU2,PU3,PU4,PU5,PU6,PU7,PU8,PU9,PU10,PU11,PU12,PU13,PU14,PU15,PU16))
#ユーザーコストを使った各資産の価値額を計算
VU1 <- PU1*QK1[1:TT]
VU2 <- PU2*QK2[1:TT]
VU3 <- PU3*QK3[1:TT]
VU4 <- PU4*QK4[1:TT]
VU5 <- PU5*QK5[1:TT]
VU6 <- PU6*QK6[1:TT]
VU7 <- PU7*QK7[1:TT]
VU8 <- PU8*QK8[1:TT]
VU9 <- PU9*QK9[1:TT]
VU10 <- PU10*QK10[1:TT]
VU11 <- PU11*QK11[1:TT]
VU12 <- PU12*QK12[1:TT]
VU13 <- PU13*QK13[1:TT]
VU14 <- PU14*QK14[1:TT]
VU15 <- PU15*QK15[1:TT]
VU16 <- PU16*QK16[1:TT]
#総価値額を計算
VU <- VU1+VU2+VU3+VU4+VU5+VU6+VU7+VU8+VU9+VU10+VU11+VU12+VU13+VU14+VU15+VU16
print(cbind(VU,VU1, VU2,VU3, VU4, VU5, VU6, VU7, VU8, VU9, VU10, VU11, VU12, VU13, VU14, VU15,
VU16))
#ユーザーコストと資本ストックの数量を用いて資本ストックに対する総合的な価格指数
#と数量指数を計算する
##重要##
#ユーザーコストに負の値が含まれているので(13)式における計算の自然対数 ln の中身を計算することができな
い:
$$P_{KM}^t = P_{KM}^{t-1} \times \sum_{n=1}^4 (s_{t+1} + s_t) \ln \left( \frac{P_{Kn}^{t+1}}{P_{Kn}^t} \right) \dots (7)$$

#そこで、これまでとは p,q の役割を入れ替え、先に数量指数を計算し、その後(8)式の関係性を用いて価格指数
を計算する:
$$Q_{KM}^t = \sum_{n=1}^4 P_{Kn}^t Q_{Kn}^t / P_{KM}^t \dots (8')$$

#これまでとは異なり変数 q に価格に対応するユーザーコストを入れる
q <- cbind(PU1,PU2,PU3,PU4,PU5,PU6,PU7,PU8,PU9,PU10,PU11,PU12,PU13,PU14,PU15,PU16)
#これまでとは異なり変数 p に数量に対応する値を入れる
p <- cbind(QK1,QK2,QK3,QK4,QK5,QK6,QK7,QK8,QK9,QK10,QK11,QK12,QK13,QK14,QK15,QK16)[1:TT,]
TT <- dim(p)[1]
NN <- dim(p)[2]
#これまでとは異なり先に数量指数を計算する
QKU <- 1

```

```

for(tt in 1:(TT-1)){
  tmp <- 0
  s0 <- sum(p[tt,]*q[tt,])
  s1 <- sum(p[tt+1,]*q[tt+1,])
  for(ii in 1:NN){
    tmp <- tmp + 0.5*(p[tt+1,ii]*q[tt+1,ii]/s1+p[tt,ii]*q[tt,ii]/s0)*log(p[tt+1,ii]/p[tt,ii])
  }
  QKU <- c(QKU,exp(tmp))
}
QKU <- cumprod(QKU)
#数量指数を使って価格指数を計算
PKU <- apply(p*q,1,sum)/QKU
VKU <- PKU * QKU
#最初の時点の価格指数が 1 になるように規格化
CON <- PKU[1]
PKU <- PKU/CON
QKU <- QKU*CON
#先程は(13),(14')式により期初の資産ストック価格を用い 16 種類の資産を 5 種類に集約した
#今回は期初資本ストック価格の代わりにユーザーコストを使って 16 種類→5 種類に集約
#ここでも価格と数量の役割を入れ替えて計算を実行する
# $P_{KM}^t = P_{KM}^{t-1} \times \sum_{n=1}^4 (s_{t+1} + s_t) \ln \left( \frac{P_{Kn}^{t+1}}{P_{Kn}^t} \right) \dots (7)$ 
# $Q_{KM}^t = \sum_{n=1}^4 P_{Kn}^t Q_{Kn}^t / P_{KM}^t \dots (8')$ 
##機械設備
q <- cbind(PU1,PU2,PU3,PU4)
TT <- dim(q)[1]
NN <- dim(q)[2]
p <- cbind(QK1,QK2,QK3,QK4)[1:TT,]
QUM <- 1
for(tt in 1:(TT-1)){
  tmp <- 0
  s0 <- sum(p[tt,]*q[tt,])
  s1 <- sum(p[tt+1,]*q[tt+1,])
  for(ii in 1:NN){
    tmp <- tmp + 0.5*(p[tt+1,ii]*q[tt+1,ii]/s1+p[tt,ii]*q[tt,ii]/s0)*log(p[tt+1,ii]/p[tt,ii])
  }
  QUM <- c(QUM,exp(tmp))
}
QUM <- cumprod(QUM)
PUM <- apply(p*q,1,sum)/QUM
VUM <- PUM * QUM
#構造物
q <- cbind(PU5,PU6,PU7)
TT <- dim(q)[1]
NN <- dim(q)[2]
p <- cbind(QK5,QK6,QK7)[1:TT,]
QUS <- 1
for(tt in 1:(TT-1)){
  tmp <- 0
  s0 <- sum(p[tt,]*q[tt,])
  s1 <- sum(p[tt+1,]*q[tt+1,])
  for(ii in 1:NN){
    tmp <- tmp + 0.5*(p[tt+1,ii]*q[tt+1,ii]/s1+p[tt,ii]*q[tt,ii]/s0)*log(p[tt+1,ii]/p[tt,ii])
  }
  QUS <- c(QUS,exp(tmp))
}

```

```

QUS <- cumprod(QUS)
PUS <- apply(p*q,1,sum)/QUS
VUS <- PUS * QUS
#その他資本
q <- cbind(PU8,PU9,PU10,PU11)
TT <- dim(q)[1]
NN <- dim(q)[2]
p <- cbind(QK8,QK9,QK10,QK11)[1:TT,]
QUO <- 1
for(tt in 1:(TT-1)){
  tmp <- 0
  s0 <- sum(p[tt,]*q[tt,])
  s1 <- sum(p[tt+1,]*q[tt+1,])
  for(ii in 1:NN){
    tmp <- tmp + 0.5*(p[tt+1,ii]*q[tt+1,ii]/s1+p[tt,ii]*q[tt,ii]/s0)*log(p[tt+1,ii]/p[tt,ii])
  }
  QUO <- c(QUO,exp(tmp))
}
QUO <- cumprod(QUO)
PUO <- apply(p*q,1,sum)/QUO
VUO <- PUO * QUO
#在庫
TT <- length(QK12)
PUI <- PU12
QUI <- QK12[-TT]
VUI <- PUI*QUI
#*土地
q <- cbind(PU13,PU14,PU15,PU16)
TT <- dim(q)[1]
NN <- dim(q)[2]
p <- cbind(QK13,QK14,QK15,QK16)[1:TT,]
QUL <- 1
for(tt in 1:(TT-1)){
  tmp <- 0
  s0 <- sum(p[tt,]*q[tt,])
  s1 <- sum(p[tt+1,]*q[tt+1,])
  for(ii in 1:NN){
    tmp <- tmp + 0.5*(p[tt+1,ii]*q[tt+1,ii]/s1+p[tt,ii]*q[tt,ii]/s0)*log(p[tt+1,ii]/p[tt,ii])
  }
  QUL <- c(QUL,exp(tmp))
}
QUL <- cumprod(QUL)
PUL <- apply(p*q,1,sum)/QUL
VUL <- PUL * QUL
#最初の価格指数が 1 になるように規格化
CON <- PUM[1]
PUM <- PUM / CON
QUM <- QUM * CON
CON <- PUS[1]
PUS <- PUS / CON
QUS <- QUS * CON
CON <- PUO[1]
PUO <- PUO / CON
QUO <- QUO * CON
CON <- PUI[1]
PUI <- PUI / CON

```

```

QUI <- QUI * CON
CON <- PUL[1]
PUL <- PUL / CON
QUL <- QUL * CON
#表 12 の出力
print(cbind(1970 :2020,PUM,PUS,PUO,PUI,PUL,QUM,QUS,QUO,QUI,QUL))
#*
#*
#*5 種類を資本ストックの総合的な指数へ集約
#ここでも p と q の役割入れ替えたまま計算している
#基本となる計算式はこれまでと同じ(7),(8')

$$\#P_{KM}^t = P_{KM}^{t-1} \times \sum_{n=1}^4 (s_{t+1} + s_t) \ln \left( \frac{P_{Kn}^{t+1}}{P_{Kn}^t} \right) \cdots (7)$$


$$\#Q_{KM}^t = \sum_{n=1}^4 P_{Kn}^t Q_{Kn}^t / P_{KM}^t \cdots (8')$$


q <- cbind(PUM,PUS,PUO,PUI,PUL)
p <- cbind(QUM,QUS,QUO,QUI,QUL)
TT <- dim(p)[1]
NN <- dim(p)[2]
QKU <- 1
for(tt in 1:(TT-1)){
  tmp <- 0
  s0 <- sum(p[tt,]*q[tt,])
  s1 <- sum(p[tt+1,]*q[tt+1,])
  for(ii in 1:NN){
    tmp <- tmp + 0.5*(p[tt+1,ii]*q[tt+1,ii]/s1+p[tt,ii]*q[tt,ii]/s0)*log(p[tt+1,ii]/p[tt,ii])
  }
  QKU <- c(QKU,exp(tmp))
}
QKU <- cumprod(QKU)
PKU <- apply(p*q,1,sum)/QKU
VKU <- PKU * QKU
#最初の時点の価格指数が 1 になるように規格化
C <- PKU[1]
PKU <- PKU/C
QKU <- QKU*C
VKU <- PKU*QKU
#労働に関しても追加し生産要素についての総合的な指数を作成
#基本となる計算式はこれまでとおなじ(7),(8')

$$\#P_{KM}^t = P_{KM}^{t-1} \times \sum_{n=1}^4 (s_{t+1} + s_t) \ln \left( \frac{P_{Kn}^{t+1}}{P_{Kn}^t} \right) \cdots (7)$$


$$\#Q_{KM}^t = \sum_{n=1}^4 P_{Kn}^t Q_{Kn}^t / P_{KM}^t \cdots (8')$$


q <- cbind(PL,PUM,PUS,PUO,PUI,PUL)
p <- cbind(QL,QUM,QUS,QUO,QUI,QUL)
TT <- dim(p)[1]
NN <- dim(p)[2]
QZ <- 1
for(tt in 1:(TT-1)){
  tmp <- 0
  s0 <- sum(p[tt,]*q[tt,])
  s1 <- sum(p[tt+1,]*q[tt+1,])
  for(ii in 1:NN){
    tmp <- tmp + 0.5*(p[tt+1,ii]*q[tt+1,ii]/s1+p[tt,ii]*q[tt,ii]/s0)*log(p[tt+1,ii]/p[tt,ii])
  }
  QZ <- c(QZ,exp(tmp))
}

```

```

}
QZ <- cumprod(QZ)
PZ <- apply(p*q,1,sum)/QZ
VZ <- PZ * QZ
#最初の時点の価格指数が 1 になるように規格化
C <- PZ[1]
PZ <- PZ/C
QZ <- QZ*C
VZ <- PZ*QZ
#表 13 を出力
print(cbind(VY,PY,QY,VZ,PZ,QZ))

```

C-2: macro02_TFP

```
#####  
#Section5:TFP の計算  
#macro02.R  
#####  
#作業フォルダの設定  
setwd("C:/data")  
#前節で計算した QY,QZ の読み込み  
df <- read.csv("./macro02.csv")  
#(11)式に従って TFP を計算: $TFP^t \equiv Q_Y^t / Q_Z^t \dots (11)$   
TFP <- df$QY / df$QZ  
#(11)式に従って TFP を計算: $TFP_G^t \equiv TFP^t / TFP^{t-1} \dots (12)$   
PROD_G <- c(0,TFP[-length(TFP)]/TFP[-1])  
#表 14 を出力  
print(cbind(1970:2020,TFP,PROD_G))
```

C-3: macro03_realincome

```
#####
#Section5:realincome
#macro03.R
#####
#作業フォルダの設定
setwd("C:/data")
#ユーザーコストを用いて計算したと集約した資本の価格指数と数量指数、産出側の価格指数と数量指数の読み込み
df <- read.csv("./macro03.csv")
#attach でデータフレームの各列を直接指定できるようにする
attach(df)
#価格については民間消費の価格指数 $P_C^t$ で割ることによって実質化する
OLDVY <- PC*QC+PG*QG+PI*QI+PX*QX+PM*QM
PG <- PG / PC
PI <- PI / PC
PX <- PX / PC
PM <- PM / PC
PL <- PL / PC
PUM <- PUM / PC
PUS <- PUS / PC
PUO <- PUO / PC
PUI <- PUI / PC
PUL <- PUL / PC
PCOLD <- PC
PC <- PC / PC
#(19)式、(20)式のようにベクトルを作成する
# 
$$\begin{cases} p^t \equiv [p_1^t, \dots, p_5^t] \equiv \frac{1}{P_C^t} [P_C^t, P_G^t, P_I^t, P_X^t, P_M^t] \\ w^t \equiv [w_1^t, w_2^t, w_3^t, w_4^t, w_5^t] \equiv \frac{1}{P_C^t} [P_L^t, P_{UM}^t, P_{US}^t, P_{UO}^t, P_{UI}^t, P_{UL}^t] \end{cases} \dots (13)$$

# 
$$\begin{cases} y^t \equiv [y_1^t, \dots, y_6^t] \equiv [Q_C^t, Q_G^t, Q_I^t, Q_X^t, -Q_M^t] \\ z^t \equiv [z_1^t, \dots, z_6^t] \equiv [Q_L^t, Q_{UM}^t, Q_{US}^t, Q_{UO}^t, Q_{UI}^t, Q_{UL}^t] \end{cases} \dots (14)$$

p <- cbind(PC,PG,PI,PX,PM)
w <- cbind(PL,PUM,PUS,PUO,PUI,PUL)
y <- cbind(QC,QG,QI,QX,QM)
z <- cbind(QL,QUM,QUS,QUO,QUI,QUL)

VY <- apply(p*y,1,sum)
VZ <- apply(w*z,1,sum)
#VY と VZ は等しくなるはずだが、出力された値を読み込んだことによる誤差が生じていることも考えられる
#そこで、VY と VZ が等しくなるように次のように規格化を行う
PC <- (VZ-PG*QG-PI*QI-PX*QX-PM*QM)/QC
CON <- PC[1]
PC <- PC/CON
QC <- QC*CON
#実質所得を計算する: $RI^t \equiv V_Y^t/P_C^t = p^t \cdot y^t = V_Z^t/P_C^t = w^t \cdot z^t$ 
RI <- apply(p*y,1,sum)
#表 15の出力
print(cbind(1970:2020,OLDVY,RI))
RIOLD <- RI
#(29)式の分解を行いたい
# $RI_G^t = \tau P_T(p^{t-1}, p^t, y^{t-1}, y^t) Q_T(w^{t-1}, w^t, z^{t-1}, z^t)$ 
# 
$$= \tau^t (\prod_{n=1}^5 \alpha_n^t) (\prod_{n=1}^6 \beta_n^t) \dots (23)$$

#そのためには(24)式、(25)式の計算が必要
```

```

#ln  $\alpha_n^t \equiv \frac{1}{2}[(p_n^t y_n^t / p^t \cdot y^t) + (p_n^{t-1} y_n^{t-1} / p^{t-1} \cdot y^{t-1})] \ln(p_n^t / p_n^{t-1}) \dots (18)$ 
#ln  $\beta_n^t \equiv \frac{1}{2}[(w_n^t z_n^t / w^t \cdot z^t) + (w_n^{t-1} z_n^{t-1} / w^{t-1} \cdot z^{t-1})] \ln(z_n^t / z_n^{t-1}) \dots (19)$ 
#(20)式において  $p^t \cdot y^t$  は RI として計算しているので
# $p^{t-1} \cdot y^{t-1}$  に対応するものを LRI として計算する
TT <- length(RI)
LRI <- RI[-TT]
#また例えば(18)式中の  $p_n^{t-1} y_n^{t-1}$  を計算するために、LRI と同様に最後の時点を削った
#1 時点短い時系列を計算する
#(19)式の  $w_n^{t-1} z_n^{t-1}$  も同様に処理している
LPC <- PC[-TT]
LQC <- QC[-TT]
LPG <- PG[-TT]
LQG <- QG[-TT]
LPI <- PI[-TT]
LQI <- QI[-TT]
LPX <- PX[-TT]
LQX <- QX[-TT]
LPM <- PM[-TT]
LQM <- QM[-TT]
LPL <- PL[-TT]
LQL <- QL[-TT]
LPUM <- PUM[-TT]
LQUM <- QUM[-TT]
LPUS <- PUS[-TT]
LQUS <- QUS[-TT]
LPUO <- PUO[-TT]
LQUO <- QUO[-TT]
LPUI <- PUI[-TT]
LQUI <- QUI[-TT]
LPUL <- PUL[-TT]
LQUL <- QUL[-TT]
#(16)式を用いて実質所得成長率を計算
# $RI_G^t \equiv p^t \cdot y^t / p^{t-1} \cdot y^{t-1} \dots (16)$ 
RLINK <- RI[-1]/LRI
#表 16 の出力
print(cbind(1971:2020,RLINK))
#(18)式、(19)式の計算を実行
#ln  $\alpha_n^t \equiv \frac{1}{2}[(p_n^t y_n^t / p^t \cdot y^t) + (p_n^{t-1} y_n^{t-1} / p^{t-1} \cdot y^{t-1})] \ln(p_n^t / p_n^{t-1}) \dots (18)$ 
#ln  $\beta_n^t \equiv \frac{1}{2}[(w_n^t z_n^t / w^t \cdot z^t) + (w_n^{t-1} z_n^{t-1} / w^{t-1} \cdot z^{t-1})] \ln(z_n^t / z_n^{t-1}) \dots (19)$ 
#一番最初の計算では  $p_1^t y_1^t / p^t \cdot y^t$  が (PC[-1]*QC[-1])/RI[-1]
# $p_n^{t-1} y_n^{t-1} / p^{t-1} \cdot y^{t-1}$  が (LPC*LQC)/LRI
#の計算に対応している
#PC[-1]とすることで最初の時点を削った 1 時点短い時系列ができるので LPC とお互い 1 時点ずれた時系列同士になっている
# $\alpha_1$ 
LLPC <- (0.5*(((PC[-1]*QC[-1])/RI[-1])+((LPC*LQC)/LRI))*(log(PC[-1]/LPC))))
PCLINK <- exp(LLPC)
# $\alpha_2$ 
LLPG <- (0.5*(((PG[-1]*QG[-1])/RI[-1])+((LPG*LQG)/LRI))*(log(PG[-1]/LPG))))
PGLINK <- exp(LLPG)
# $\alpha_3$ 
LLPI <- (0.5*(((PI[-1]*QI[-1])/RI[-1])+((LPI*LQI)/LRI))*(log(PI[-1]/LPI))))
PILINK <- exp(LLPI)

```

```

# $\alpha_4$ 
LLPX <- (0.5*(((PX[-1]*QX[-1])/RI[-1])+((LPX*LQX)/LRI))*(log(PX[-1]/LPX)))
PXLINK <- exp(LLPX)
# $\alpha_5$ 
LLPM <- (0.5*(((PM[-1]*QM[-1])/RI[-1])+((LPM*LQM)/LRI))*(log(PM[-1]/LPM)))
PMLINK <- exp(LLPM)
# $\beta_1$ 
LLQL <- 0.5*(((PL[-1]*QL[-1])/RI[-1])+((LPL*LQL)/LRI))*(log(QL[-1]/LQL)))
QLLINK <- exp(LLQL)
# $\beta_2$ 
LLQUM <- 0.5*(((PUM[-1]*QUM[-1])/RI[-1])+((LPUM*LQUM)/LRI))*(log(QUM[-1]/LQUM)))
QUMLINK <- exp(LLQUM)
# $\beta_3$ 
LLQUS <- 0.5*(((PUS[-1]*QUS[-1])/RI[-1])+((LPUS*LQUS)/LRI))*(log(QUS[-1]/LQUS)))
QUSLINK <- exp(LLQUS)
# $\beta_4$ 
LLQUO <- 0.5*(((PUO[-1]*QUO[-1])/RI[-1])+((LPUO*LQUO)/LRI))*(log(QUO[-1]/LQUO)))
QUOLINK <- exp(LLQUO)
# $\beta_5$ 
LLQUI <- 0.5*(((PUI[-1]*QUI[-1])/RI[-1])+((LPUI*LQUI)/LRI))*(log(QUI[-1]/LQUI)))
QUILINK <- exp(LLQUI)
# $\beta_6$ 
LLQUL <- 0.5*(((PUL[-1]*QUL[-1])/RI[-1])+((LPUL*LQUL)/LRI))*(log(QUL[-1]/LQUL)))
QULLINK <- exp(LLQUL)
#表 17 の出力
print(cbind(1971:2020,PCLINK, PGLINK, PILINK, PXLINK, PMLINK,QLLINK,QUMLINK,QUSLINK,
QUOLINK,QUILINK,QULLINK))
#(23)式より TFP 成長率 $\tau_t$ を計算する
# $RI_G^t = \tau^t (\prod_{n=1}^5 \alpha_n^t) (\prod_{n=1}^6 \beta_n^t) \cdots (23)$ 
#これは
# $\tau^t = RI_G^t / (\prod_{n=1}^5 \alpha_n^t) (\prod_{n=1}^6 \beta_n^t)$ 
#と計算できる
TLINK <- RLINK /
(PCLINK*PGLINK*PILINK*PXLINK*PMLINK*QLLINK*QUMLINK*QUSLINK*QUOLINK*QUILINK*QU
LLINK)
PTLINK <- PXLINK*PMLINK
summary(data.frame(RLINK,TLINK,PGLINK,PILINK,PXLINK,PMLINK,QLLINK,QUMLINK,QUSLINK,QUO
LINK,QUILINK,QULLINK,PTLINK))
#(27)式を用いた分解
# $\frac{RI^t}{RI^{1970}} = TFP^t A_2^t A_3^t A_4^t A_5^t B_1^t B_2^t B_3^t B_4^t B_5^t B_6^t$ 
#ここで(24)式～(26)式より各水準の最初の時点をもとに設定
RIL <- 1
TFP <- 1
CC <- 1
GG <- 1
II <- 1
XX <- 1
MM <- 1
TT <- 1
LL <- 1
KM <- 1
KS <- 1
KO <- 1
KI <- 1
KL <- 1

```

```

TTT <- length(RLINK)
#ここで(24)式～(26)式を用いて累積積を計算
# $TFP^{1970} = 1, TFP^t = TFP^{t-1} \times TFP_G^t \dots (24)$ 
# $A_n^{1970} = 1, A_n^t = A_n^{t-1} \times \alpha_n^t \dots (25)$ 
# $B_n^{1970} = 1, B_n^t = B_n^{t-1} \times \beta_n^t \dots (26)$ 
for(tt in 1:TTT){
  RIL <- c(RIL,RIL[tt]*RLINK[tt])
  TFP <- c(TFP,TFP[tt]*TLINK[tt])
  CC <- c(CC,CC[tt]*PCLINK[tt])
  GG <- c(GG,GG[tt]*PGLINK[tt])
  II <- c(II,II[tt]*PILINK[tt])
  XX <- c(XX,XX[tt]*PXLINK[tt])
  MM <- c(MM,MM[tt]*PMLINK[tt])
  TT <- c(TT,TT[tt]*PTLINK[tt])
  LL <- c(LL,LL[tt]*QLLINK[tt])
  KM <- c(KM,KM[tt]*QUMLINK[tt])
  KS <- c(KS,KS[tt]*QUSLINK[tt])
  KO <- c(KO,KO[tt]*QUOLINK[tt])
  KI <- c(KI,KI[tt]*QUILINK[tt])
  KL <- c(KL,KL[tt]*QULLINK[tt])
}
#表 18 の出力
print(cbind(1970:2020,TFP,GG,II,XX,MM,LL,KM,KS,KO,KI,KL))

```

C-4:macro04_nonpara

```
#####
#Section6:Nonparametric
#macro04.R
#####
#作業フォルダの設定
setwd("C:/data")
#ユーザーコストを用いて計算したと集約した資本の価格指数と数量指数、産出側の価格指数と数量指数の読み込み
df <- read.csv("./macro03.csv")
#attach でデータフレームの各列を直接指定できるようにする
attach(df)
#価格については民間消費の価格指数 $P_C^t$ で割ることによって実質化する
PG <- PG / PC
PI <- PI / PC
PX <- PX / PC
PM <- PM / PC
PL <- PL / PC
PUM <- PUM / PC
PUS <- PUS / PC
PUO <- PUO / PC
PUI <- PUI / PC
PUL <- PUL / PC
PCOLD <- PC
PC <- PC / PC
#(19)式、(20)式のようにベクトルを作成する
# 
$$\begin{cases} p^t \equiv [p_1^t, \dots, p_5^t] \equiv \frac{1}{P_C^t} [P_C^t, P_G^t, P_I^t, P_X^t, P_M^t] \\ w^t \equiv [w_1^t, w_2^t, w_3^t, w_4^t, w_5^t] \equiv \frac{1}{P_C^t} [P_L^t, P_{UM}^t, P_{US}^t, P_{UO}^t, P_{UI}^t, P_{UL}^t] \end{cases} \dots (13)$$

# 
$$\begin{cases} y^t \equiv [y_1^t, \dots, y_t^t] \equiv [Q_C^t, Q_G^t, Q_I^t, Q_X^t, -Q_M^t] \\ z^t \equiv [z_1^t, \dots, z_6^t] \equiv [Q_L^t, Q_{UM}^t, Q_{US}^t, Q_{UO}^t, Q_{UI}^t, Q_{UL}^t] \end{cases} \dots (14)$$

P <- cbind(PC,PG,PI,PX,PM)
W <- cbind(PL,PUM,PUS,PUO,PUI,PUL)
Y <- cbind(QC,QG,QI,QX,QM)
X <- cbind(QL,QUM,QUS,QUO,QUI,QUL)
VY <- apply(Y*P,1,sum)
VZ <- apply(X*W,1,sum)
#VY と VZ は等しくなるはずだが、出力された値を読み込んだことによる誤差が生じていることも考えられる
#そこで、VY と VZ が等しくなるように次のように規格化を行う
PC <- (VZ-PG*QG-PI*QI-PX*QX-PM*QM)/QC
CON <- PC[1]
PC <- PC/CON
QC <- QC*CON

#(28)式による付加価値関数の計算
# $R^t(p, w, x) \equiv w \cdot x \max_s \{p \cdot y^s / w \cdot x^s : s = 1, 2, \dots, t\}$  ... (28)
##重要##計算手順の考え方
# R0 という行列を用意しておく
#行数と列数は計算する時点数
#時点 t の計算結果が tt 行目に格納されるように処理を進める
#つまり、ss に関する for 文の計算結果を横方向にためていく
#全ての時点について計算し終わったら最後に
# apply(R0,1,max)によって各行ごとに最大値をとってくる
```

```

#この処理によって最大化の計算を実現している
R0 <- matrix(0,ncol=dim(W)[1],nrow=dim(W)[1])
for(tt in 1:dim(W)[1]){
  for(ss in 1:tt){
    R0[tt,ss] <- sum(W[tt,]*X[tt,])*sum(P[tt,]*Y[ss,])/sum(W[tt,]*X[ss,])
  }
}
R0 <- apply(R0,1,max)
#表 19 の出力
print(data.frame(1970:2020,VY,R0))
summary(data.frame(VZ,VY,R0))
#(29)式で付加価値効率を計算: $e^t \equiv p^t \cdot y^t / R^t(p^t, w^t, x^t) \leq 1 \dots (29)$ 
E <- VY / R0
#付加価値効率の変化率を(30)式によって計算:
 $\# \varepsilon^t = e^t / e^{t-1} = [p^t \cdot y^t / R^t(p^t, w^t, x^t)] / [p^{t-1} \cdot y^{t-1} / R^{t-1}(p^{t-1}, w^{t-1}, x^{t-1})] \dots (30)$ 
E <- NULL
for(tt in 1:length(R0)){
  tmp <- sum(P[tt,]*Y[tt,]/R0[tt])
  E <- c(E,tmp)
}
epsilon <- c(1,E[-1]/E[-length(E)])
#表 20 の出力
print(cbind(1970:2020,epsilon,E))
#(31)式～(33)式で生産価格変化について計算
 $\# \alpha_L^t \equiv R^{t-1}(p^t, w^{t-1}, x^{t-1}) / R^{t-1}(p^{t-1}, w^{t-1}, x^{t-1}) \dots (31) \rightarrow$  分子を新しく計算する
 $\# \alpha_P^t \equiv R^t(p^t, w^t, x^t) / R^t(p^{t-1}, w^t, x^t) \dots (32) \rightarrow$  分母を新しく計算する
 $\# \alpha^t \equiv [\alpha_L^t \alpha_P^t]^{1/2} \dots (33)$ 
R1 <- matrix(0,ncol=(dim(W)[1]),nrow=(dim(W)[1]-1))
for(tt in 2:(dim(W)[1])){
  for(ss in 1:(tt-1)){
    R1[tt-1,ss] <- sum(W[tt-1,]*X[tt-1,])*sum(P[tt,]*Y[ss,])/sum(W[tt-1,]*X[ss,])
  }
}
R1 <- apply(R1,1,max)
alphal <- c(1,R1/R0[-length(R0)])
alphal <- alphal/alphal[1]
R2 <- matrix(0,ncol=(dim(W)[1]),nrow=(dim(W)[1]-1))
for(tt in 2:(dim(W)[1])){
  for(ss in 1:tt){
    R2[tt-1,ss] <- sum(W[tt,]*X[tt,])*sum(P[tt-1,]*Y[ss,])/sum(W[tt,]*X[ss,])
  }
}
R2 <- apply(R2,1,max)
alphap <- c(1,R0[-1]/R2)
alpha <- sqrt(alphal*alphap)
#(46)式(47)式による水準の計算
A <- cumprod(alpha)
#Fisher 指数の計算
PLCH <- 1
PPCH <- 1
for(tt in 2:dim(P)[1]){
  PLCH <- c(PLCH,PLCH[tt-1]*sum(P[tt,]*Y[tt-1,])/sum(P[tt-1,]*Y[tt-1,]))
  PPCH <- c(PPCH,PPCH[tt-1]*sum(P[tt,]*Y[tt,])/sum(P[tt-1,]*Y[tt,]))
}
PF <- (PLCH*PPCH)^0.5

```

#表 21 の出力

```
print(cbind(1970:2020,A,PF,alpha,alphal,alphap))
summary(data.frame(A,alpha,alphal,alphap))
#投入量変化に関する計算
 $\beta_L^t \equiv w^{t-1} \cdot x^t / w^{t-1} \cdot x^{t-1} \dots (34)$ 
 $\beta_P^t \equiv w^t \cdot x^t / w^t \cdot x^{t-1} \dots (35)$ 
 $\beta^t \equiv [\beta_L^t \beta_P^t]^{1/2} \dots (36)$ 
#ふつうに Laspeyres 指数と Paasche 指数を計算すれば良い
betal <- 1
betap <- 1
for(tt in 2:dim(P)[1]){
  betal <- c(betal,sum(W[tt-1,]*X[tt,])/sum(W[tt-1,]*X[tt-1,]))
  betap <- c(betap,sum(W[tt,]*X[tt,])/sum(W[tt,]*X[tt-1,]))
}
beta <- (betal*betap)^(1/2)
#(46)式(47)式による水準の計算
```

B <- cumprod(beta)

#表 22 の出力

```
print(cbind(1970:2020,beta,betal,betap))
#入力ミックスの変化
 $\gamma_1^t \equiv R^t(p^{t-1}, w^t, x^t) / R^t(p^{t-1}, w^{t-1}, x^t) \dots (37)$ 
#→分母を新しく計算する。分子は先程計算した R2
 $\gamma_2^t \equiv R^{t-1}(p^t, w^t, x^{t-1}) / R^{t-1}(p^t, w^{t-1}, x^{t-1}) \dots (38)$ 
#→分子を新しく計算する。分母は先程計算した R1
 $\gamma^t \equiv [\gamma_1^t \gamma_2^t]^{1/2} \dots (39)$ 
R3 <- matrix(0,ncol=(dim(W)[1]),nrow=(dim(W)[1]-1))
for(tt in 2:(dim(W)[1])){
  for(ss in 1:tt){
    R3[tt-1,ss] <- sum(W[tt-1,]*X[tt,])*sum(P[tt-1,]*Y[ss,])/sum(W[tt-1,]*X[ss,])
  }
}
R3 <- apply(R3,1,max)
gammal <- c(1,R2 / R3)
R4 <- matrix(0,ncol=(dim(W)[1]-1),nrow=(dim(W)[1]-1))
for(tt in 2:(dim(W)[1])){
  for(ss in 1:(tt-1)){
    R4[tt-1,ss] <- sum(W[tt,]*X[tt-1,])*sum(P[tt,]*Y[ss,])/sum(W[tt,]*X[ss,])
  }
}
R4 <- apply(R4,1,max)
gammap <- c(1,R4/R1)
gamma <- (gammal*gammap)^(1/2)
#(46)式(47)式による水準の計算
```

C <- cumprod(gamma)

#表 23 の出力

```
print(cbind(1970:2020,gamma,gammal,gammap))
#技術進歩の計算
 $\tau_L^t \equiv R^t(p^{t-1}, w^{t-1}, x^t) / R^{t-1}(p^{t-1}, w^{t-1}, x^t) \dots (40)$ 
#→分母を新しく計算する。分子は先程計算した R3
 $\tau_P^t \equiv R^t(p^t, w^t, x^{t-1}) / R^{t-1}(p^t, w^t, x^{t-1}) \dots (41)$ 
#→分子を新しく計算する。分母は先程計算した R4
 $\tau^t \equiv [\tau_L^t \tau_P^t]^{1/2} \dots (42)$ 
R5 <- matrix(0,ncol=(dim(W)[1]-1),nrow=(dim(W)[1]-1))
for(tt in 1:(dim(W)[1]-1)){
  for(ss in 1:tt){
```

```

    R5[tt,ss] <- sum(W[tt,]*X[tt+1,])*sum(P[tt,]*Y[ss,])/sum(W[tt,]*X[ss,])
  }
}
R5 <- apply(R5,1,max)
taul <- c(1,R3/R5)
R6 <- matrix(0,ncol=(dim(W)[1]),nrow=(dim(W)[1]-1))
for(tt in 2:(dim(W)[1])){
  for(ss in 1:tt){
    R6[tt-1,ss] <- sum(W[tt,]*X[tt-1,])*sum(P[tt,]*Y[ss,])/sum(W[tt,]*X[ss,])
  }
}
R6 <- apply(R6,1,max)
taup <- c(1,R6/R4)
tau <- (taul*taup)^(1/2)
#(46)式(47)式による水準の計算
TT <- cumprod(tau)
#表 24 の出力
print(cbind(1970:2020,tau,taul,taup))
#(43)式を用いて所得成長率を計算

$$\#RI_G^t \equiv p^t \cdot y^t / p^{t-1} \cdot y^{t-1} \dots (43)$$

VYG <- c(1,VY[-1]/VY[-length(VY)])
#(46)式による分解
#NTFPG
PRODG <- VYG / (alpha*beta)
print(cbind(PRODG,epsilon,tau,gamma,alpha,beta,E))
CON <- VY[1]
V <- VY / CON
EC <- cumprod(epsilon)
#前節で計算した TFP を読み込む
TFP <- read.csv("./TFP.csv")
TFP <- TFP$TFP
TFPG <- TFP[-1]/TFP[-length(TFP)]
#表 25 の出力
print(cbind(1971:2020,TFPG,PRODG[-1]))
#NTFPG の累積積を求めることで NTFP を求める
PROD <- cumprod(PRODG)
#表 26 の出力
print(cbind(1970:2020,EC,C,TT,PROD))

```

C-5:macro05_netoincome

```
#####  
#Section8:Netincome  
#macro05.R  
#####  
#作業フォルダの設定  
setwd("C:/data")  
#PC,PG,PI,PX,PM,QC,QG,QI,QX,QM の読み込み  
df1 <- read.csv("./macro05_01.csv")  
#PK1～PK16,QK1～QK16 の読み込み  
df2 <- read.csv("./macro05_02.csv")  
#平滑化したインフレ率の読み込み  
df3 <- read.csv("./inflationrate.csv")  
#固定資産税の読み込み  
df4 <- read.csv("./tax.csv")  
#労働データの読み込み  
df5 <- read.csv("./TableB3_labour.csv")  
#資本コストデータの読み込み  
df6 <- read.csv("./capitalcost.csv")  
#TFP データの読み込み  
df7 <- read.csv("./TFP.csv")  
#4 節で計算した VY,PY,QY の読み込み  
df8 <- read.csv("./OLDVY.csv")  
#7 節で計算したノンパラの要因を読み込み  
df9 <- read.csv("./nonparasec7.csv")  
df10<- read.csv("./nonparalevelsec7.csv")  
#attach でデータフレームの各列を直接指定できるようにする  
attach(df1)  
attach(df2)  
attach(df3)  
attach(df4)  
attach(df5)  
attach(df6)  
attach(df7)  
attach(df8)  
attach(df9)  
attach(df10)  
#(53)式  
# $P_C^t Q_C^t + P_G^t Q_G^t + P_X^t Q_X^t - P_M^t Q_M^t + \sum_{n=1}^{16} P_{Kn}^{t+1} Q_{Kn}^{t+1} - \sum_{n=1}^{16} P_{Kn}^t Q_{Kn}^t$   
# $= P_L^t Q_L^t + \sum_{n=1}^{16} P_{Kn}^t (r^{t**} + \tau_n^t) Q_{Kn}^t \dots (53)$   
#の左辺における  
# $\sum_{n=1}^{16} P_{Kn}^{t+1} Q_{Kn}^{t+1}$   
#を計算するため、16 種類の資本ストックの数量対して時点を 1 ずらした  
#(期末時点における数量に対応する)変数を作成する。  
LQK1 <- QK1[-1]  
LQK2 <- QK2[-1]  
LQK3 <- QK3[-1]  
LQK4 <- QK4[-1]  
LQK5 <- QK5[-1]  
LQK6 <- QK6[-1]  
LQK7 <- QK7[-1]  
LQK8 <- QK8[-1]  
LQK9 <- QK9[-1]  
LQK10 <- QK10[-1]  
LQK11 <- QK11[-1]
```

```

LQK12 <- QK12[-1]
LQK13 <- QK13[-1]
LQK14 <- QK14[-1]
LQK15 <- QK15[-1]
LQK16 <- QK16[-1]
#価格についても同様
LPK1 <- (1+IK1)*PK1[-length(PK1)]
LPK2 <- (1+IK2)*PK2[-length(PK2)]
LPK3 <- (1+IK3)*PK3[-length(PK3)]
LPK4 <- (1+IK4)*PK4[-length(PK4)]
LPK5 <- (1+IK5)*PK5[-length(PK5)]
LPK6 <- (1+IK6)*PK6[-length(PK6)]
LPK7 <- (1+IK7)*PK7[-length(PK7)]
LPK8 <- (1+IK8)*PK8[-length(PK8)]
LPK9 <- (1+IK9)*PK9[-length(PK9)]
LPK10 <- (1+IK10)*PK10[-length(PK10)]
LPK11 <- (1+IK11)*PK11[-length(PK11)]
LPK12 <- (1+IK12)*PK12[-length(PK12)]
LPK13 <- (1+IK13)*PK13[-length(PK13)]
LPK14 <- (1+IK14)*PK14[-length(PK14)]
LPK15 <- (1+IK15)*PK15[-length(PK15)]
LPK16 <- (1+IK16)*PK16[-length(PK16)]
#既存の PI,QI,VI を保存しておく
PIOLD <- PI
QIOLD <- QI
VIOLD <- PI*QI
#(53)式における

$$\# \sum_{n=1}^{16} P_{Kn}^{t+1} Q_{Kn}^{t+1} - \sum_{n=1}^{16} P_{Kn}^t Q_{Kn}^t$$

#で表される「純投資」に対応する総合的な資本投資の価格指数と数量指数を
#Törnqvistの方法によって計算する
p1 <- cbind(PK1,PK2,PK3,PK4,PK5,PK6,PK7,PK8,PK9,PK10,PK11,PK12,PK13,PK14,PK15,PK16)
p2 <-
cbind(LP1,LP2,LP3,LP4,LP5,LP6,LP7,LP8,LP9,LP10,LP11,LP12,LP13,LP14,LP15,LP
K16)
TT <- dim(p2)[1]
p1 <- p1[1:TT,]
q1 <-
cbind(QK1,QK2,QK3,QK4,QK5,QK6,QK7,QK8,QK9,QK10,QK11,QK12,QK13,QK14,QK15,QK16)[1:TT,]
q2 <-
cbind(LQK1,LQK2,LQK3,LQK4,LQK5,LQK6,LQK7,LQK8,LQK9,LQK10,LQK11,LQK12,LQK13,LQK14,LQK
15,LQK16)
p <- cbind(p1,p2)
q <- cbind(-q1,q2)
NN <- dim(p)[2]
PI <- 1
for(tt in 1:(TT-1)){
  tmp <- 0
  s0 <- sum(p[tt,]*q[tt,])
  s1 <- sum(p[tt+1,]*q[tt+1,])
  for(ii in 1:NN){
    tmp <- tmp + 0.5*(p[tt+1,ii]*q[tt+1,ii]/s1+p[tt,ii]*q[tt,ii]/s0)*log(p[tt+1,ii]/p[tt,ii])
  }
  PI <- c(PI,exp(tmp))
}
PI <- cumprod(PI)
QI <- apply(p*q,1,sum)/PI

```

```

VI <- PI * QI
#表 28 の出力
print(cbind(1970:2020,PI,QI,VI))
#産出側において純投資を用いた総合的な指数の集約
p <- cbind(PC,PG,PI,PX,PM)
q <- cbind(QC,QG,QI,QX,QM)
TT <- dim(p)[1]
NN <- dim(p)[2]
PY <- 1
for(tt in 1:(TT-1)){
  tmp <- 0
  s0 <- sum(p[tt,]*q[tt,])
  s1 <- sum(p[tt+1,]*q[tt+1,])
  for(ii in 1:NN){
    tmp <- tmp + 0.5*(p[tt+1,ii]*q[tt+1,ii]/s1+p[tt,ii]*q[tt,ii]/s0)*log(p[tt+1,ii]/p[tt,ii])
  }
  PY <- c(PY,exp(tmp))
}
PY <- cumprod(PY)
QY <- apply(p*q,1,sum)/PY
VY <- PY * QY
#表 29 の出力
print(cbind(1970:2020,PY,QY,VY,OLDPY,OLDQY,OLDVY))
#資本コストの再計算
# $r^t = (V_Y^t - V_L^t - \sum_{n=1}^{16} [(1 + \tau_n^t) P_{kn}^t Q_{kn}^t - (1 + i_n^t)(1 - \delta_n^t) P_{kn}^t Q_{kn}^t]) / V_K^t \cdots (10')$ 
VY <- PC*QC+PG*QG+PI*QI+PX*QX+PM*QM
VL <- PL*QL
VK1 <- PK1*QK1
VK2 <- PK2*QK2
VK3 <- PK3*QK3
VK4 <- PK4*QK4
VK5 <- PK5*QK5
VK6 <- PK6*QK6
VK7 <- PK7*QK7
VK8 <- PK8*QK8
VK9 <- PK9*QK9
VK10 <- PK10*QK10
VK11 <- PK11*QK11
VK12 <- PK12*QK12
VK13 <- PK13*QK13
VK14 <- PK14*QK14
VK15 <- PK15*QK15
VK16 <- PK16*QK16
VK <- VK1+VK2+VK3+VK4+VK5+VK6+VK7+VK8+VK9+VK10+VK11+VK12+VK13+VK14+VK15+VK16
TT <- length(VK1)-1
KTAX <-
TR1*VK1[1:TT]+TR2*VK2[1:TT]+TR3*VK3[1:TT]+TR4*VK4[1:TT]+TR5*VK5[1:TT]+TR6*VK6[1:TT]+TR
7*VK7[1:TT]+TR8*VK8[1:TT]+TR9*VK9[1:TT]
KTAX <-
KTAX+TR10*VK10[1:TT]+TR11*VK11[1:TT]+TR12*VK12[1:TT]+TR13*VK13[1:TT]+TR14*VK14[1:TT]+T
R15*VK15[1:TT]+TR16*VK16[1:TT]
#新しい資本コストの計算
R <- (VY-VL-KTAX)/VK[1:TT]
#表 30 の出力
print(cbind(1970:2020,ROLD,R))
#(55)式を用いて待機サービスコストを計算する

```

$\#P_{Wn}^t \equiv (r^{t**} + \tau_n^t)P_{Kn}^t \dots (55)$

```
TT <- length(PK1)-1
PW1 <- (R+TR1)*PK1[1:TT]
PW2 <- (R+TR2)*PK2[1:TT]
PW3 <- (R+TR3)*PK3[1:TT]
PW4 <- (R+TR4)*PK4[1:TT]
PW5 <- (R+TR5)*PK5[1:TT]
PW6 <- (R+TR6)*PK6[1:TT]
PW7 <- (R+TR7)*PK7[1:TT]
PW8 <- (R+TR8)*PK8[1:TT]
PW9 <- (R+TR9)*PK9[1:TT]
PW10 <- (R+TR10)*PK10[1:TT]
PW11 <- (R+TR11)*PK11[1:TT]
PW12 <- (R+TR12)*PK12[1:TT]
PW13 <- (R+TR13)*PK13[1:TT]
PW14 <- (R+TR14)*PK14[1:TT]
PW15 <- (R+TR15)*PK15[1:TT]
PW16 <- (R+TR16)*PK16[1:TT]
```

#表 31 の出力

```
print(cbind(1970:2020,PW1, PW2, PW3, PW4, PW5, PW6, PW7, PW8, PW9, PW10, PW11, PW12, PW13,
PW14, PW15, PW16))
```

#待機サービスコストを用いて 16 種類の資本ストックを 5 種類に集約する

#機械設備

```
q <- cbind(PW1,PW2,PW3,PW4)
p <- cbind(QK1,QK2,QK3,QK4)[1:TT,]
NN <- dim(p)[2]
QWM <- 1
for(tt in 1:(TT-1)){
  tmp <- 0
  s0 <- sum(p[tt,]*q[tt,])
  s1 <- sum(p[tt+1,]*q[tt+1,])
  for(ii in 1:NN){
    tmp <- tmp + 0.5*(p[tt+1,ii]*q[tt+1,ii]/s1+p[tt,ii]*q[tt,ii]/s0)*log(p[tt+1,ii]/p[tt,ii])
  }
  QWM <- c(QWM,exp(tmp))
}
QWM <- cumprod(QWM)
PWM <- apply(p*q,1,sum)/QWM
VWM <- PWM * QWM
CON <- PWM[1]
PWM <- PWM / CON
QWM <- QWM * CON
#構造物
q <- cbind(PW5,PW6,PW7)
p <- cbind(QK5,QK6,QK7)[1:TT,]
NN <- dim(p)[2]
QWS <- 1
for(tt in 1:(TT-1)){
  tmp <- 0
  s0 <- sum(p[tt,]*q[tt,])
  s1 <- sum(p[tt+1,]*q[tt+1,])
  for(ii in 1:NN){
    tmp <- tmp + 0.5*(p[tt+1,ii]*q[tt+1,ii]/s1+p[tt,ii]*q[tt,ii]/s0)*log(p[tt+1,ii]/p[tt,ii])
  }
  QWS <- c(QWS,exp(tmp))
}
```

```

QWS <- cumprod(QWS)
PWS <- apply(p*q,1,sum)/QWS
VWS <- PWS * QWS
CON <- PWS[1]
PWS <- PWS / CON
QWS <- QWS * CON
#その他資本
q <- cbind(PW8,PW9,PW10,PW11)
p <- cbind(QK8,QK9,QK10,QK11)[1:TT,]
NN <- dim(p)[2]
QWO <- 1
for(tt in 1:(TT-1)){
  tmp <- 0
  s0 <- sum(p[tt,]*q[tt,])
  s1 <- sum(p[tt+1,]*q[tt+1,])
  for(ii in 1:NN){
    tmp <- tmp + 0.5*(p[tt+1,ii]*q[tt+1,ii]/s1+p[tt,ii]*q[tt,ii]/s0)*log(p[tt+1,ii]/p[tt,ii])
  }
  QWO <- c(QWO,exp(tmp))
}
QWO <- cumprod(QWO)
PWO <- apply(p*q,1,sum)/QWO
VWO <- PWO * QWO
CON <- PWO[1]
PWO <- PWO / CON
QWO <- QWO * CON
#在庫
PWI <- PW12
QWI <- QK12[1:TT]
VWI <- PWI*QWI
CON <- PWI[1]
PWI <- PWI / CON
QWI <- QWI * CON
#土地
q <- cbind(PW13,PW14,PW15,PW16)
p <- cbind(QK13,QK14,QK15,QK16)[1:TT,]
NN <- dim(p)[2]
QWL <- 1
for(tt in 1:(TT-1)){
  tmp <- 0
  s0 <- sum(p[tt,]*q[tt,])
  s1 <- sum(p[tt+1,]*q[tt+1,])
  for(ii in 1:NN){
    tmp <- tmp + 0.5*(p[tt+1,ii]*q[tt+1,ii]/s1+p[tt,ii]*q[tt,ii]/s0)*log(p[tt+1,ii]/p[tt,ii])
  }
  QWL <- c(QWL,exp(tmp))
}
QWL <- cumprod(QWL)
PWL <- apply(p*q,1,sum)/QWL
VWL <- PWL * QWL
CON <- PWL[1]
PWL <- PWL / CON
QWL <- QWL * CON
CHECK <- VY-VL-VWM-VWS-VWO-VWI-VWL
#表 32 の出力
print(cbind(1970:2020,PWM,PWS,PWO,PWI,PWL,QWM,QWS,QWO,QWI,QWL))

```

#投入側における総合的な指数の計算

```
q <- cbind(PL,PWM,PWS,PWO,PWI,PWL)
p <- cbind(QL,QWM,QWS,QWO,QWI,QWL)
TT <- dim(p)[1]
NN <- dim(p)[2]
QZ <- 1
for(tt in 1:(TT-1)){
  tmp <- 0
  s0 <- sum(p[tt,]*q[tt,])
  s1 <- sum(p[tt+1,]*q[tt+1,])
  for(ii in 1:NN){
    tmp <- tmp + 0.5*(p[tt+1,ii]*q[tt+1,ii]/s1+p[tt,ii]*q[tt,ii]/s0)*log(p[tt+1,ii]/p[tt,ii])
  }
  QZ <- c(QZ,exp(tmp))
}
QZ <- cumprod(QZ)
PZ <- apply(p*q,l,sum)/QZ
VZ <- PZ * QZ
CON <- PZ[1]
PZ <- PZ / CON
QZ <- QZ * CON
VZ <- PZ * QZ
```

#表 33 の出力

```
print(cbind(1970:2020,VZ,PZ,QZ))
```

#(56)式で TFP を計算する

$TFP^{t*} \equiv Q_Y^{t*}/Q_Z^{t*} \dots (56)$

```
TFPN <- QY/QZ
```

#表 34 の出力

```
print(cbind(1970:2020,TFPN,TFP))
```

#5 節と同様の分解を行っていく

#消費価格で割ることによって実質価格化する。

```
PG <- PG / PC
PI <- PI / PC
PX <- PX / PC
PM <- PM / PC
PL <- PL / PC
PWM <- PWM / PC
PWS <- PWS / PC
PWO <- PWO / PC
PWI <- PWI / PC
PWL <- PWL / PC
PCOLD <- PC
PC <- PC / PC
```

#(23)式の分解を行いたい

$RI_G^t = \tau P_T(p^{t-1}, p^t, y^{t-1}, y^t) Q_T(w^{t-1}, w^t, z^{t-1}, z^t)$
 # $= \tau^t (\prod_{n=1}^5 \alpha_n^t) (\prod_{n=1}^6 \beta_n^t) \dots (23)$

#そのためには(24)式、(25)式の計算が必要

$\ln \alpha_n^t \equiv \frac{1}{2} [(p_n^t y_n^t / p^t \cdot y^t) + (p_n^{t-1} y_n^{t-1} / p^{t-1} \cdot y^{t-1})] \ln(p_n^t / p_n^{t-1}) \dots (18)$

$\ln \beta_n^t \equiv \frac{1}{2} [(w_n^t z_n^t / w^t \cdot z^t) + (w_n^{t-1} z_n^{t-1} / w^{t-1} \cdot z^{t-1})] \ln(z_n^t / z_n^{t-1}) \dots (19)$

#(18)式において $p^t \cdot y^t$ は RI として計算しているので

$p^{t-1} \cdot y^{t-1}$ に対応するものを LRI として計算する

```
RI <- PC*QC+PG*QG+PI*QI+PX*QX+PM*QM
TT <- length(RI)
LRI <- RI[-TT]
```

#また例えば(18)式中の $p_n^{t-1}y_n^{t-1}$ を計算するために、LRI と同様に最後の時点を削った

#1 時点短い時系列を計算する

#(19)式の $w_n^{t-1}z_n^{t-1}$ も同様に処理している

```
LPC <- PC[-TT]
LQC <- QC[-TT]
LPG <- PG[-TT]
LQG <- QG[-TT]
LPI <- PI[-TT]
LQI <- QI[-TT]
LPX <- PX[-TT]
LQX <- QX[-TT]
LPM <- PM[-TT]
LQM <- QM[-TT]
LPL <- PL[-TT]
LQL <- QL[-TT]
LPWM <- PWM[-TT]
LQWM <- QWM[-TT]
LPWS <- PWS[-TT]
LQWS <- QWS[-TT]
LPWO <- PWO[-TT]
LQWO <- QWO[-TT]
LPWI <- PWI[-TT]
LQWI <- QWI[-TT]
LPWL <- PWL[-TT]
LQWL <- QWL[-TT]
```

#(15)式を用いて実質所得成長率を計算

$RI_G^t \equiv p^t \cdot y^t / p^{t-1} \cdot y^{t-1} \dots$ (15)

```
RLINK <- RI[-1]/LRI
```

#(18)式、(19)式の計算を実行

$\ln \alpha_n^t \equiv \frac{1}{2} [(p_n^t y_n^t / p^t \cdot y^t) + (p_n^{t-1} y_n^{t-1} / p^{t-1} \cdot y^{t-1})] \ln(p_n^t / p_n^{t-1}) \dots$ (18)

$\ln \beta_n^t \equiv \frac{1}{2} [(w_n^t z_n^t / w^t \cdot z^t) + (w_n^{t-1} z_n^{t-1} / w^{t-1} \cdot z^{t-1})] \ln(z_n^t / z_n^{t-1}) \dots$ (19)

#一番最初の計算では $p_1^t y_1^t / p^t \cdot y^t$ が(PC[-1]*QC[-1])/RI[-1]

$p_n^{t-1} y_n^{t-1} / p^{t-1} \cdot y^{t-1}$ が(LPC*LQC)/LRI

#の計算に対応している

#PC[-1]とすることで最初の時点を削った 1 時点短い時系列ができるので LPC とお互い 1 時点ずれた時系列同士になっている

α_1

```
LLPC <- (0.5*(((PC[-1]*QC[-1])/RI[-1])+((LPC*LQC)/LRI))*(log(PC[-1]/LPC)))
```

```
PCLINK <- exp(LLPC)
```

α_2

```
LLPG <- (0.5*(((PG[-1]*QG[-1])/RI[-1])+((LPG*LQG)/LRI))*(log(PG[-1]/LPG)))
```

```
PGLINK <- exp(LLPG)
```

α_3

```
LLPI <- (0.5*(((PI[-1]*QI[-1])/RI[-1])+((LPI*LQI)/LRI))*(log(PI[-1]/LPI)))
```

```
PILINK <- exp(LLPI)
```

α_4

```
LLPX <- (0.5*(((PX[-1]*QX[-1])/RI[-1])+((LPX*LQX)/LRI))*(log(PX[-1]/LPX)))
```

```
PXLINK <- exp(LLPX)
```

α_5

```
LLPM <- (0.5*(((PM[-1]*QM[-1])/RI[-1])+((LPM*LQM)/LRI))*(log(PM[-1]/LPM)))
```

```
PMLINK <- exp(LLPM)
```

β_1

```
LLQL <- 0.5*(((PL[-1]*QL[-1])/RI[-1])+((LPL*LQL)/LRI))*(log(QL[-1]/LQL)))
```

```
QLLINK <- exp(LLQL)
```

```

#β2
LLQWM <- 0.5*(((PWM[-1]*QWM[-1])/RI[-1])+((LPWM*LQWM)/LRI))*(log(QWM[-1]/LQWM))
QWMLINK <- exp(LLQWM)
#β3
LLQWS <- 0.5*(((PWS[-1]*QWS[-1])/RI[-1])+((LPWS*LQWS)/LRI))*(log(QWS[-1]/LQWS))
QWSLINK <- exp(LLQWS)
#β4
LLQWO <- 0.5*(((PWO[-1]*QWO[-1])/RI[-1])+((LPWO*LQWO)/LRI))*(log(QWO[-1]/LQWO))
QWOLINK <- exp(LLQWO)
#β5
LLQWI <- 0.5*(((PWI[-1]*QWI[-1])/RI[-1])+((LPWI*LQWI)/LRI))*(log(QWI[-1]/LQWI))
QWILINK <- exp(LLQWI)
#β6
LLQWL <- 0.5*(((PWL[-1]*QWL[-1])/RI[-1])+((LPWL*LQWL)/LRI))*(log(QWL[-1]/LQWL))
QWLLINK <- exp(LLQWL)
#(23)式より TFP 成長率τtを計算する
#RIGt = τt(Πn=15 αnt)(Πn=16 βnt) ... (23)
#これは
#τt = RIGt / (Πn=15 αnt)(Πn=16 βnt)
#と計算できる
TLINK <- RLINK /
(PCLINK*PGLINK*PILINK*PXLINK*PMLINK*QLLINK*QWMLINK*QWSLINK*QWOLINK*QWILINK*
QWLLINK)
PTLINK <- PXLINK*PMLINK
#表 35 の出力
print(data.frame(1971:2020,PGLINK,PILINK,PXLINK,PMLINK,QLLINK,QWMLINK,QWSLINK,QWOLINK,
QWILINK,QWLLINK))
#(27)式を用いた分解
# $\frac{RI^t}{RI^{1970}} = TFP^t A_2^t A_3^t A_4^t A_5^t B_1^t B_2^t B_3^t B_4^t B_5^t B_6^t$ 
#ここで(24)式～(26)式より各水準の最初の時点をもとに設定
RIL <- 1
TFP <- 1
CC <- 1
GG <- 1
II <- 1
XX <- 1
MM <- 1
TT <- 1
LL <- 1
KM <- 1
KS <- 1
KO <- 1
KI <- 1
KL <- 1
TTT <- length(RLINK)
#ここで(24)式～(26)式を用いて累積積を計算
#TFP1970 = 1, TFPt = TFPt-1 × TFPGt ... (24)
#An1970 = 1, Ant = Ant-1 × αnt ... (25)
#Bn1970 = 1, Bnt = Bnt-1 × βnt ... (26)
for(tt in 1:TTT){
  RIL <- c(RIL,RIL[tt]*RLINK[tt])
  TFP <- c(TFP,TFP[tt]*TLINK[tt])
  CC <- c(CC,CC[tt]*PCLINK[tt])
  GG <- c(GG,GG[tt]*PGLINK[tt])
  II <- c(II,II[tt]*PILINK[tt])

```

```

XX <- c(XX,XX[tt]*PXLINK[tt])
MM <- c(MM,MM[tt]*PMLINK[tt])
TT <- c(TT,TT[tt]*PTLINK[tt])
LL <- c(LL,LL[tt]*QLLINK[tt])
KM <- c(KM,KM[tt]*QWMLINK[tt])
KS <- c(KS,KS[tt]*QWSLINK[tt])
KO <- c(KO,KO[tt]*QWOLINK[tt])
KI <- c(KI,KI[tt]*QWILINK[tt])
KL <- c(KL,KL[tt]*QWLLINK[tt])
}
#表 36 の出力
print(cbind(1970:2020,TFP,GG,II,XX,MM,LL,KM,KS,KO,KI,KL))
#ノンパラメトリック分解
#(13)式、(14)式のようにベクトルを作成する
# 
$$\begin{cases} p^t \equiv [p_1^t, \dots, p_5^t] \equiv \frac{1}{p_C^t} [P_C^t, P_G^t, P_I^t, P_X^t, P_M^t] \\ w^t \equiv [w_1^t, w_2^t, w_3^t, w_4^t, w_5^t] \equiv \frac{1}{p_C^t} [P_L^t, P_{UM}^t, P_{US}^t, P_{UO}^t, P_{UI}^t, P_{UL}^t] \end{cases} \dots (13)$$

# 
$$\begin{cases} y^t \equiv [y_1^t, \dots, y_t^t] \equiv [Q_C^t, Q_G^t, Q_I^t, Q_X^t, -Q_M^t] \\ z^t \equiv [z_1^t, \dots, z_t^t] \equiv [Q_L^t, Q_{UM}^t, Q_{US}^t, Q_{UO}^t, Q_{UI}^t, Q_{UL}^t] \end{cases} \dots (14)$$

P <- cbind(PC,PG,PI,PX,PM)
#ここでは待機コストによって求めた指数を使う
W <- cbind(PL,PWM,PWS,PWO,PWI,PWL)
Y <- cbind(QC,QG,QI,QX,QM)
#ここでは待機コストによって求めた指数を使う
X <- cbind(QL,QWM,QWS,QWO,QWI,QWL)
VY <- apply(Y*P,1,sum)
VZ <- apply(X*W,1,sum)

#(28)式による付加価値関数の計算
#
$$R^t(p, w, x) \equiv w \cdot x \max_s \{p \cdot y^s / w \cdot x^s : s = 1, 2, \dots, t\} \dots (28)$$

##重要##計算手順の考え方
# R0 という行列を用意しておく
#行数と列数は計算する時点数
#時点 t の計算結果が tt 行目に格納されるように処理を進める
#つまり、ss に関する for 文の計算結果を横方向にためていく
#全ての時点について計算し終わったら最後に
# apply(R0,1,max)によって各行ごとに最大値をとってくる
#この処理によって最大化の計算を実現している
R0 <- matrix(0,ncol=dim(W)[1],nrow=dim(W)[1])
for(tt in 1:dim(W)[1]){
  for(ss in 1:tt){
    R0[tt,ss] <- sum(W[tt,]*X[tt,])*sum(P[tt,]*Y[ss,])/sum(W[tt,]*X[ss,])
  }
}
R0 <- apply(R0,1,max)
print(data.frame(VY,R0))
summary(data.frame(VZ,VY,R0))
print(data.frame(VZ,VY,R0))
#(29)式で付加価値効率を計算:
$$e^t \equiv p^t \cdot y^t / R^t(p^t, w^t, x^t) \leq 1 \dots (29)$$

E <- VY / R0
#付加価値効率の変化率を(30)式によって計算:
#
$$\varepsilon^t = e^t / e^{t-1} = [p^t \cdot y^t / R^t(p^t, w^t, x^t)] / [p^{t-1} \cdot y^{t-1} / R^{t-1}(p^{t-1}, w^{t-1}, x^{t-1})] \dots (30)$$

E <- NULL
for(tt in 1:length(R0)){

```

```

tmp <- sum(P[tt,]*Y[tt,]/R0[tt])
E <- c(E,tmp)
}
epsilon <- c(1,E[-1]/E[-length(E)])
print(cbind(epsilon,E))
#(31)式～(33)式で生産価格変化について計算
 $\alpha_L^t \equiv R^{t-1}(p^t, w^{t-1}, x^{t-1})/R^{t-1}(p^{t-1}, w^{t-1}, x^{t-1}) \dots$  (31) → 分子を新しく計算する
 $\alpha_P^t \equiv R^t(p^t, w^t, x^t)/R^t(p^{t-1}, w^t, x^t) \dots$  (32) → 分母を新しく計算する
 $\alpha^t \equiv [\alpha_L^t \alpha_P^t]^{1/2} \dots$  (33)
R1 <- matrix(0,ncol=(dim(W)[1]),nrow=(dim(W)[1]-1))
for(tt in 2:(dim(W)[1])){
  for(ss in 1:(tt-1)){
    R1[tt-1,ss] <- sum(W[tt-1,]*X[tt-1,])*sum(P[tt,]*Y[ss,])/sum(W[tt-1,]*X[ss,])
  }
}
R1 <- apply(R1,1,max)
alphal <- c(1,R1/R0[-length(R0)])
alphal <- alphal/alphal[1]
R2 <- matrix(0,ncol=(dim(W)[1]),nrow=(dim(W)[1]-1))
for(tt in 2:(dim(W)[1])){
  for(ss in 1:tt){
    R2[tt-1,ss] <- sum(W[tt,]*X[tt,])*sum(P[tt-1,]*Y[ss,])/sum(W[tt,]*X[ss,])
  }
}
R2 <- apply(R2,1,max)
alphap <- c(1,R0[-1]/R2)
alphap <- sqrt(alphal*alphap)
#(46)式(47)式による水準の計算
A <- cumprod(alpha)
#Fisher 指数の計算
PLCH <- 1
PPCH <- 1
for(tt in 2:dim(P)[1]){
  PLCH <- c(PLCH,PLCH[tt-1]*sum(P[tt,]*Y[tt-1,])/sum(P[tt-1,]*Y[tt-1,]))
  PPCH <- c(PPCH,PPCH[tt-1]*sum(P[tt,]*Y[tt,])/sum(P[tt-1,]*Y[tt,]))
}
PF <- (PLCH*PPCH)^0.5
print(cbind(A,PF,alpha,alphal,alphap))
summary(data.frame(A,alpha,alphal,alphap))
#投入量変化に関する計算
 $\beta_L^t \equiv w^{t-1} \cdot x^t / w^{t-1} \cdot x^{t-1} \dots$  (34)
 $\beta_P^t \equiv w^t \cdot x^t / w^t \cdot x^{t-1} \dots$  (35)
 $\beta^t \equiv [\beta_L^t \beta_P^t]^{1/2} \dots$  (36)
#ふつうに Laspeyres 指数と Paasche 指数を計算すれば良い
betal <- 1
betap <- 1
for(tt in 2:dim(P)[1]){
  betal <- c(betal,sum(W[tt-1,]*X[tt,])/sum(W[tt-1,]*X[tt-1,]))
  betap <- c(betap,sum(W[tt,]*X[tt,])/sum(W[tt,]*X[tt-1,]))
}
beta <- (betal*betap)^(1/2)
#(46)式(47)式による水準の計算
B <- cumprod(beta)
print(cbind(B,beta,betal,betap))
#入力ミックスの変化

```

```

# $\gamma_1^t \equiv R^t(p^{t-1}, w^t, x^t)/R^t(p^{t-1}, w^{t-1}, x^t) \dots (37)$ 
#→分母を新しく計算する。分子は先程計算した R2
# $\gamma_2^t \equiv R^{t-1}(p^t, w^t, x^{t-1})/R^{t-1}(p^t, w^{t-1}, x^{t-1}) \dots (38)$ 
#→分子を新しく計算する。分母は先程計算した R1
# $\gamma^t \equiv [\gamma_1^t \gamma_2^t]^{1/2} \dots (39)$ 
R3 <- matrix(0,ncol=(dim(W)[1]),nrow=(dim(W)[1]-1))
for(tt in 2:(dim(W)[1])){
  for(ss in 1:tt){
    R3[tt-1,ss] <- sum(W[tt-1,]*X[tt,])*sum(P[tt-1,]*Y[ss,])/sum(W[tt-1,]*X[ss,])
  }
}
R3 <- apply(R3,1,max)
gammal <- c(1,R2 / R3)
R4 <- matrix(0,ncol=(dim(W)[1]-1),nrow=(dim(W)[1]-1))
for(tt in 2:(dim(W)[1])){
  for(ss in 1:(tt-1)){
    R4[tt-1,ss] <- sum(W[tt,]*X[tt-1,])*sum(P[tt,]*Y[ss,])/sum(W[tt,]*X[ss,])
  }
}
R4 <- apply(R4,1,max)
gammap <- c(1,R4/R1)
gamma <- (gammal*gammap)^(1/2)
#(46)式(47)式による水準の計算
C <- cumprod(gamma)
print(cbind(C,gamma,gammal,gammap))
#技術進歩の計算
# $\tau_L^t \equiv R^t(p^{t-1}, w^{t-1}, x^t)/R^{t-1}(p^{t-1}, w^{t-1}, x^t) \dots (40)$ 
#→分母を新しく計算する。分子は先程計算した R3
# $\tau_P^t \equiv R^t(p^t, w^t, x^{t-1})/R^{t-1}(p^t, w^t, x^{t-1}) \dots (41)$ 
#→分子を新しく計算する。分母は先程計算した R4
# $\tau^t \equiv [\tau_L^t \tau_P^t]^{1/2} \dots (42)$ 
R5 <- matrix(0,ncol=(dim(W)[1]-1),nrow=(dim(W)[1]-1))
for(tt in 1:(dim(W)[1]-1)){
  for(ss in 1:tt){
    R5[tt,ss] <- sum(W[tt,]*X[tt+1,])*sum(P[tt,]*Y[ss,])/sum(W[tt,]*X[ss,])
  }
}
R5 <- apply(R5,1,max)
taul <- c(1,R3/R5)
R6 <- matrix(0,ncol=(dim(W)[1]),nrow=(dim(W)[1]-1))
for(tt in 2:(dim(W)[1])){
  for(ss in 1:tt){
    R6[tt-1,ss] <- sum(W[tt,]*X[tt-1,])*sum(P[tt,]*Y[ss,])/sum(W[tt,]*X[ss,])
  }
}
R6 <- apply(R6,1,max)
taup <- c(1,R6/R4)
tau <- (taul*taup)^(1/2)
#(46)式(47)式による水準の計算
TT <- cumprod(tau)
print(cbind(TT,tau,taul,taup))
#(43)式を用いて所得成長率を計算
# $RI_G^t \equiv p^t \cdot y^t / p^{t-1} \cdot y^{t-1} \dots (43)$ 
VYG <- c(1,VY[-1]/VY[-length(VY)])
#(46)式による分解

```

```

#NTFPG
PRODG <- VYG / (alpha*beta)
#表 37 を出力
print(cbind(1970:2020,PRODG,c(1,TFP[-1]/TFP[-
length(TFP)]),alpha,OLDalpha,beta,OLDbeta,gamma,OLDgamma,epsilon,OLDepsi
lon,tau,OLDtau))
EC <- cumprod(epsilon)
#表 38 の出力
print(cbind(1970:2020,EC,C,TT,cumprod(PRODG)))

```