

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 11 日現在

機関番号：33918

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K00687

研究課題名(和文) 環境技術評価のための多部門動学的一般均衡モデルの開発

研究課題名(英文) Dynamic multi-sector general equilibrium modeling for environmental technology assessment

研究代表者

西村 一彦 (NISHIMURA, Kazuhiko)

日本福祉大学・経済学部・教授

研究者番号：00351081

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：産業部門レベルの生産を2入力の混合プロセスの連なりとしてモデル化した。混合プロセスの入れ子順序は、経済全体の生産ネットワークに潜在的に固定化されている自己相似な階層構造に注目し、産業連関構造の三角化を用いて特定した。各混合プロセスの代替弾力性と、各産業部門のヒックス中立生産性成長は、各単位費用関数間の変数(価格)のフィードバックが、2時点で観測されている投入産出行列(コストシェア構造)を再現するようにカリブレードを行った。この一般均衡モデルに対し人工的な生産性ショックを与えたところ、集計的変動のヘビーテールやシナジー効果といった従来のイノベーション波及のモデルでは現れない特徴が確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

イノベーション、貿易、環境など、さまざまな政策の評価(費用便益分析)を行う際には、生産技術の相互関係にわたる波及効果を定量的に捉える一般均衡モデルが用いられる。波及効果は一般均衡モデルの中核をなす生産関数の要素代替性に左右されるため、より実態に即した生産関数を用いることが求められる。従来の多要素の生産関数では、要素代替性についての先見的な指定、あるいは要素の集約を余儀なくされてきたが、本研究で開発した生産関数では、多要素かつ実態に即した要素代替性を捉えることが可能となった。

研究成果の概要(英文)：We model sectoral production by cascading binary compounding processes. The sequence of processes is discovered in a self-similar hierarchical structure stylized in the economy-wide networks of production. Nested substitution elasticities and Hicks-neutral productivity growth are measured such that the general equilibrium feedbacks between all sectoral unit cost functions replicate the transformation of networks observed as a set of two temporally distant input-output coefficient matrices. We examine this system of unit cost functions to determine how idiosyncratic sectoral productivity shocks propagate into aggregate macroeconomic fluctuations in light of potential network transformation. Additionally, we study how sectoral productivity increments propagate into the dynamic general equilibrium, thereby allowing network transformation and ultimately producing social benefits.

研究分野：社会システム工学

キーワード：カスケード型CES集計関数

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

環境保全技術などの新技術の導入に際して、社会経済的波及効果を評価し、導入の社会的是非を検討することは重要である。しかし、その主たる分析ツールである一般均衡モデルについては、とくに肝心の生産モデル（生産関数）において非常に単純化された形状を用いることを余儀なくされてきた。トランスログ型（対数二次形式）はフレキシブルではあるが、イノベーション波及研究であつた規模（生産要素数で400程度）での計量経済学的な推計は困難であり、具体的には、新技術が導入された場合に生じる価格変化に対して、生産要素の代替が一切起きないとするレオンチェフ型、またはあらゆる生産要素間の代替の弾力性を1に固定するコブダグラス型が用いられている。しかし、これらの生産関数の形式は現実を反映しているとはいえ、結果として、波及効果の評価の信頼性を損なうおそれがある。

2. 研究の目的

要素間の代替弾力性を固定しない、フレキシブル且つ実際に計量経済学的に推計可能な、生産関数（集計関数）の形式を開発し、その性質を明らかにすることを目的とする。また、技術導入を生産性の変化として捉えた場合の技術構造に対する波及を定量的に補足するフレームワークを構築する。

3. 研究の方法

コストシェア構造の変化に注目する。多入力（代替弾力性があらゆる要素間で1に固定されている）コブダグラス型集計関数からなる多部門一般均衡モデルにおいては、価格変化に対してちょうど価額が一定となるような要素代替が起きることから、生産性の波及過程においてコストシェア構造に変化が起きないということがいえる。これは産業連関表の投入産出係数が、生産性の変化が実際には経時的に起きているにもかかわらず、不変であることを意味する。しかしながら実際にはコストシェア構造は経時的に変化しており、これは実際の集計関数がコブダグラス型ではないことを示唆していることになる。

本研究では、具体例として日本のコストシェア構造（投入産出係数表）を用い、観測されるコストシェア構造の変化を内生化するような集計関数の開発を行った。また、新たに開発した集計関数（カスケード型CES集計関数）の代替弾力性に関する性質の分析については理論的な接近を行い、応用に関してはモンテカルロ法などのシミュレーションによる接近を行った。

4. 研究成果

（1）カスケード型CES集計関数の推定方法

まず、カスケード型とは（2）で述べる要素投入順序にしたがって集計関数が2要素集計の連なりとしてモデル化されていることを意味する。ここでは要素投入順序を所与とする。要素投入順序のはじめの2要素については、便宜的に、どの産業部門においても最初に労働、次いで資本とする。これら2つの根源的生産要素から最初のコンパウンド（合成財）が収穫一定のCES集計関数により生産される。2要素のCES集計関数の推定は、1階条件を勘案すると対数コストシェア比（被説明変数）を対数価格比（説明変数）に回帰する単純回帰分析で行うことができる。最初のコンパウンドの集計価格あるいは集計量は、1段目のCES集計関数の予測値あるいはサトウ・ヴァルティア指数によって求められる。次に、第3の生産要素のコストシェアと件の2要素のコストシェアの合計との比の対数を、2要素の集計価格と第3の生産要素価格との比の対数に回帰する回帰分析により、2段階のカスケード型CES集計関数のパラメータ（代替弾力性およびシェアパラメータ）が推定できる。同様の操作を繰り返すことにより、N段階のパラメータ全てを推定することができる。

ある特定の産業について、カスケードの各段階における回帰分析を行うことを考えると、コストシェアの時系列方向にある程度のサンプルサイズが必要になる。日本の産業連関表については、名目および実質価格による接続産業連関表が約400産業部門にわたり公表されている。この接続産業連関表は技術イノベーション評価については最低限の産業分類となっている一方、時系列方向のサンプルサイズは高々3時点である。このことに鑑み、本研究では、通常回帰分析ではなく、2点のみによる2点回帰を用いてパラメータを求めた。2点回帰は計量経済的な推定とは必ずしもいえないが、当然ながら2点を必ず通過するという特徴がある。これはすなわち、2時点の状態（価格に対するコストシェア）を完全に復元するようなパラメータが得られる、ということが出来る。このようなパラメータを2点推定パラメータあるいは再現パラメータと呼ぶ。再現パラメータは集計関数の凹性を必ずしも担保できるものではないが、2時点の状態を再現できるという観点から、2時点の投入産出係数行列の変化を内生化するものとして、本研究では主要な役割を果たすことになった。

（2）要素投入順序の推定方法

要素投入順序は、生産ネットワーク構造（産業部門にわたる投入要素コストシェア構造）のフラクタリティに注目して導出した。生産ネットワーク構造のフラクタリティは、いかなる生産過程も結局2つの入力の合成の重ね合わせである、という考え方に基づいて生産ネットワーク全体をみた場合、どのような規模の視点で見ても、インシデンス行列（jプロセスにi入力があるなら1、ないなら0とする行列）が三角形になる、という性質をさす。産業連関表がとらえる規

模の生産ネットワーク構造の三角性をとらえるにあたり、インシデンス行列の横和と縦和の比の分布をみた。もし完全な三角形であるなら、この分布はベキ分布となるからである。はたして、右図のように、2005年産業連関表のインシデンス行列は三角性がみられ、生産プロセスの順序は、横和と縦和の比の順位になる

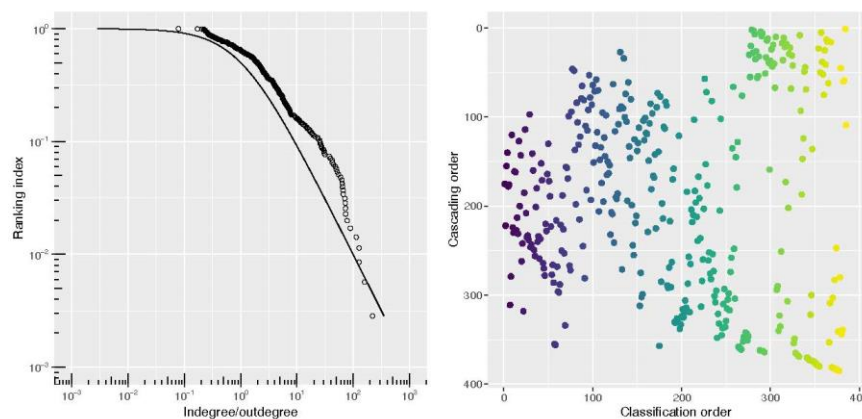


Figure 8: Left: Open dots correspond to the CCDF of indegree/outdegree values of the 2005 input-output incidence matrix of Japan. The solid line is the CCDF of indegree/outdegree values of a perfectly triangular incidence matrix. Right: Low indegree/outdegree values correspond to upstream (at the top) of a stream order. The classification order is based on Colin Clark's primary (1-32), secondary (33-263), and tertiary (264-385) classifications.

ことから、この図より産業連関表の部門分類レベルの合成順序（カスケード順序と呼ぶ）が明らかになる。前項(1)のカスケード型CES集計関数の推定は、カスケード順序に沿って行った。

(3) 代替弾力性の評価

カスケード型CES集計関数の推定パラメータは入力間の代替弾力性そのものではなく、ある入力とそのネストまでの合成入力

Table 2: AUES of a CCES function ($N = 4$).

	4	3	2	1	0
4	-	$1 - \gamma_4$	$1 - \gamma_4$	$1 - \gamma_4$	$1 - \gamma_4$
3	$1 - \gamma_4$	-	η_3	η_3	η_3
2	$1 - \gamma_4$	η_3	-	η_2	η_2
1	$1 - \gamma_4$	η_3	η_2	-	η_1
0	$1 - \gamma_4$	η_3	η_2	η_1	-

Table 3: MES of a CCES function ($N = 4$).

	4	3	2	1	0
4	-	η_{43}	η_{42}	η_{41}	η_{40}
3	$1 - \gamma_4$	-	η_{32}	η_{31}	η_{30}
2	$1 - \gamma_4$	$1 - \gamma_3$	-	η_{21}	η_{20}
1	$1 - \gamma_4$	$1 - \gamma_3$	$1 - \gamma_2$	-	$1 - \gamma_1$
0	$1 - \gamma_4$	$1 - \gamma_3$	$1 - \gamma_2$	$1 - \gamma_1$	-

力同士の代替弾力性である。入力間の代替弾力性については、アレン-ウザワ形式とモリシマ形式の2つの定義がある。これらの定義にしたがい5入力間の代替弾力性を評価した結果を表にしたものを示す。代替弾力性が同じ値とする入力の組合せは同色で示されている。

(4) 正当指数に関する知見

ある集計関数に対し2時点の価格と(意思決定後の)数量から、パラメータの特定を行うことなく、出力の比が決めることができる場合、その比は当該集計関数の正当指数(exact index)であるという。トルンクビスト指数はトランスログ型の、サトウヴァルティア指数は2入力CES型の正当指数である。ただし、多入力サトウヴァルティア指数は、必ずしも多入力CES型の正当指数ではない。本研究で得られた知見は、カスケード型サトウヴァルティア指数は、カスケード型CES集計関数の正当指数である、ということである。

(5) 応用研究(生産ネットワーク変化をともしなう生産性波及)

ある生産部門で生産性ショックが生じた場合、当該生産物の価格変化がもたらされ、それを生産要素とする生産プロセスで(相対要素価格の変化のため)要素代替が生じることになる。このとき、集計関数がレオンチェフ型ならば要素代替は起きず、コブダグラス型ならば要素代替は起きるが、価額が一定に保存されるためコストシェア構造(生産ネットワークとも呼ばれる)も一定に保たれる。先行研究においては、コブダグラス型を前提に各生産部門に生産性ショックが生じた場合に、一定に保たれるコストシェア構造にわたる波及効果を通じてどのような集計的ショック(GDPに対するショック)が生じるのかといった分析がなされてきた。コブダグラス型の場合、生産性波及はコストシェア構造に影響を及ぼさないため、レオンチェフ逆行列による集計が相当するが、カスケード型CES集計関数を用いる場合には、コストシェア構造に対する波及も加味する収束計算によって集計的ショックの評価を行うことになる。

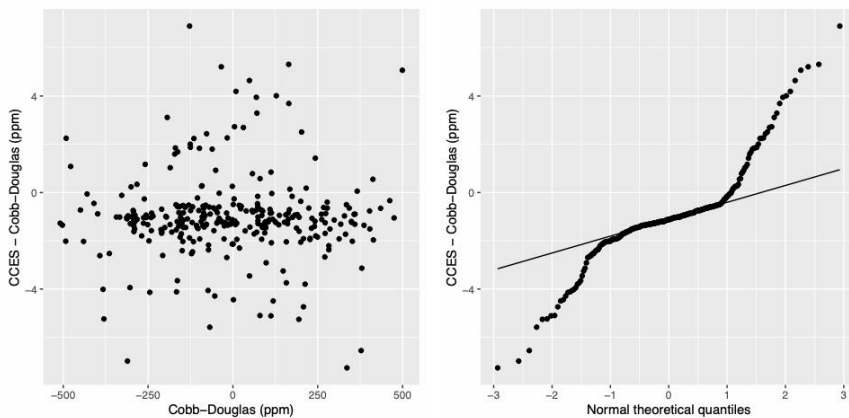


Figure 4: Left: Differences in the simulated aggregate fluctuations between restoring CCES and Cobb-Douglas economies against the simulated aggregate fluctuations of the Cobb-Douglas economy. Right: QQ-plot of the distribution of the vertical axis variable indicating its non-normality. The volatility of artificial productivity growth shocks is 10% per year or 1068 ppm per hour.

比較対象としてコブダグラス型を考えると、生産性ショックが(対数)正規分布(幾何ブラウ

ン運動)に従う場合、集計的ショックも(レオンチェフ逆行列は線形結合であることから)正規分布にしたがうため、QQプロットは一直線上に並ぶことになる。一方、カスケード型CES集計関数の場合には、集計ショックは(非線形性により)QQプロットから外れ、ファットテールが生じることがわかる(図参照)

(6) 応用研究(生産性のシナジー効果)

異なる生産部門で同時に生じる生産性変化に対する波及効果を考えるとき、コブダグラス経済(すべての生産部門の集計関数が代替弾力性1のコブダグラス型)においては、レオンチェフ逆行列による線形的評価になるため、同時に複数生産部門で同時に生じる生産性の波及効果(Aとする)は、個々の生産性波及効果の和(Bとする)に等しいということができる。この場合、シナジー(相乗効果)はゼロである。他方、カスケード型CES集計関数からなる経済においては、AとBは必ずしも等しくなく、シナジーが生じることになる。このことはレオンチェフ型の集計関数にも言えることである。図はカスケード型CES経済(左)とレオンチェフ型経済(右)のシナジー効果(A-B)を表している。

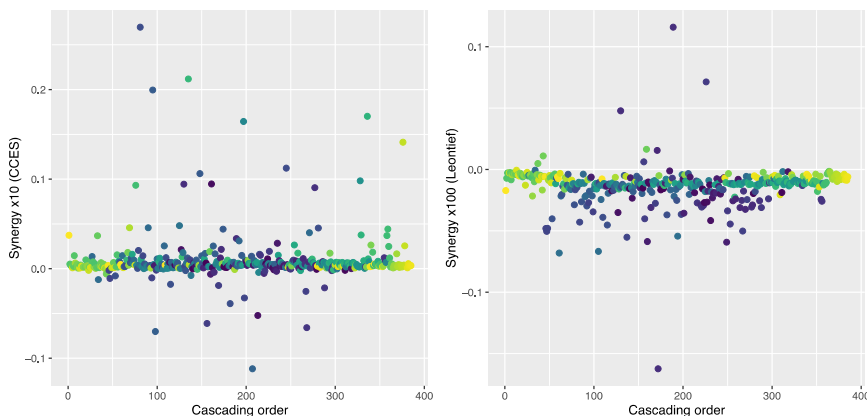


Figure 5: Left: Synergy (defined as (47)) of sectoral unit productivity imposition in terms of log price reduction in the restoring CCES economy. Right: Synergy effect in the Leontief economy.

(7) 応用研究(動学的一般均衡モデル)

生産面の他に、代表消費者の間接効用関数の推定を行った。推定式は対数消費シェアに対数価格を回帰する回帰式によって推定を行った。実際にはパネルデータに対する固定効果として効用関数の代替弾力性を推定した。説明変数が価格であるため内生性の問題が生じるが、これについては生産面のモデル推定で副

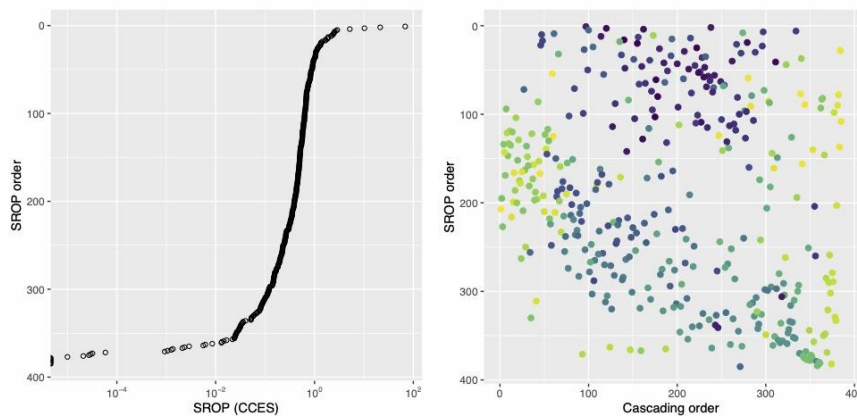


Figure 6: Left: SROP (defined as (46)) for all sectors. Right: Correspondences between SROP order and cascading order.

次的に得られる各産業部門2時点間の生産性増(カスケード型サトウヴァルティア指数)を操作変数として用いた。結果として、代替弾力性はゼロ(レオンチェフ型)と有意に推計された。間接効用関数とカスケード型CES集計関数による生産経済のモデルを合体することにより、動学的一般均衡モデルを構築した。応用事例として、各生産部門に(同金額価値の)基準生産性増を(同時でなく個別に)与え、間接効用関数から社会厚生を計測し、社会厚生に対する生産性の評価を行った。結果は図(右)に示されたとおりである。横軸はカスケード順序であり、色が濃いほど(1次2次3次産業の並び順である)産業連関表の部門分類順の先頭、色が薄いほど後方に位置する。この図によれば、カスケード順序の上位(上流)から下位(下流)に行くにしたがって波及効果が小さく、1次産業は波及効果が比較的大きいということができる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kim Jiyoung, Nakano Satoshi, Nishimura Kazuhiko	4. 巻 2
2. 論文標題 Bilateral multifactor CES general equilibrium with state-replicating Armington elasticities	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Asia-Pacific Journal of Regional Science	6. 最初と最後の頁 431 ~ 452
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s41685-017-0068-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Nakano Satoshi, Nishimura Kazuhiko	4. 巻 512
2. 論文標題 Structural propagation in a production network with restoring substitution elasticities	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physica A: Statistical Mechanics and its Applications	6. 最初と最後の頁 986 ~ 999
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physa.2018.08.110	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kim Jiyoung, Nakano Satoshi, Nishimura Kazuhiko	4. 巻 63
2. 論文標題 Multifactor CES general equilibrium: Models and applications	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Economic Modelling	6. 最初と最後の頁 115 ~ 127
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.econmod.2017.01.024	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nakano S and Nishimuraka K	4. 巻 xx
2. 論文標題 Productivity Propagation with Networks Transformation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Macroeconomics	6. 最初と最後の頁 xxx-xxx
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmacro.2020.103216	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 金志映、中野諭、西村一彦
2. 発表標題 多部門多要素生産関数と生産性
3. 学会等名 環太平洋産業連関分析学会（国際学会）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Satoshi Nakano and Kazuhiko Nishimura
2. 発表標題 Structural propagation in a production network with restoring substitution elasticities
3. 学会等名 International Input-Output Association, Glasgow 2019（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoshi Nakano and Kazuhiko Nishimura
2. 発表標題 Productivity propagation with networks transformation
3. 学会等名 PAPAIOS（国際学会）
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	金 志映 (KIM Jiyoung) (00760779)	岡山大学・社会文化科学研究科・特任助教 (15301)	