

福岡県における確率的地域間産業連関分析

平成 31 (2019) 年 3 月

公益財団法人 アジア成長研究所

まえがき

公益財団法人アジア成長研究所は、東南アジア諸国を含む東アジア諸国の経済社会発展に関する諸問題を研究し、関連する諸事業を実施し、その研究成果を地元行政や経済界で利用していただくことを目的としています。グローバル化という大きな潮流の中で、東アジア諸国においては貿易構造、またそれぞれの企業においては国際的生産体制の再編が行われております。その一方で、グローバル化が地元経済に与える影響も日増しに高まっていくことが予想されます。そのため、東アジア諸国の研究を進めると同時に国内ならびに地元経済の動向についても研究していく必要が生じております。

本調査報告書は、このような地元経済の動向を把握する目的で、平成 30 年度は研究プロジェクト「福岡県における確率的地域間産業連関分析」を実施しました。研究代表者のこれまでの研究成果を踏まえたうえで、産業連関分析に確率モデルを導入し、予測可能性に一定の幅を設けることによって、将来予測の参考値を提案しています。また、本プロジェクトにおいては、確率モデルとして、乱数発生によるモンテカルロ実験を多用し、研究の独自性を高めてまいりました。

本報告書が、地元北部九州経済の動向を知るための資料として、地元の発展にいささかなりとも貢献できることを願うものであります。

平成 31 (2019) 年 3 月

研究代表者 坂本 博

要旨

本調査報告書は3章から成り立っている（全文坂本が執筆）。

本調査報告書は、地元の福岡県とその他の都道府県（残りの日本）の2地域からなる地域間産業連関表を用いて、産業連関分析の主要パラメータである投入係数を確率的に変化させ、それに伴う経済効果の影響を分析したものである。確率的な変化は、乱数発生によるモンテカルロ実験によって行われた。また、ここでは、正規乱数に限らず、より複雑な乱数発生を設定し、結果の可能性の複雑さを表現した。

第1章では、13産業部門から構成される表をもとに、過去の産業連関表から計算した標準偏差を用いて、投入係数の確率的変動の実験を試みた。投入係数の標準偏差が非常に小さなものだったので、生産高や価格の変動は比較的小さなものとなった。ただし、産業間とシミュレーションパターンにおいて若干の違いも見られた。そして、鉱業、製造業、電気・ガス・水道、情報通信といった産業における変動が比較的大きいことが分かった。

第2章では、第1章の結果より、情報通信（ICT）産業が有望な産業分野であることが判明したため、情報通信産業の生産性向上による地域と産業への波及効果を分析した。ここでは、生産性向上の不確実性を実現するためのモンテカルロ実験が行われた。そして、正規確率だけではなく、二項確率を用いて、極端な生産性向上を実現させた。情報通信産業の生産性向上により、生産高と価格の両方が上昇することが判明した。また、比較的高い頻度で生産性向上が実現するにもかかわらず、必ずしも革命的な上昇ではないことも判明した。これは、福岡県の経済規模がそれほど大きなものではないうえに、情報通信産業のみ生産性の向上が起きるといった設定によるものと思われる。生産性のより極端な改善が必要かもしれないと同時に、ICT革命だけでは、マクロ経済に大きな影響を与える現象にはならないということも分かった。

第3章では、容易に計測できない、自然災害による経済への悪影響を、産業連関分析をさらに精密化させたCGEモデルを用いて分析した。ここでは、被害の発生可能性として、二項分布による乱数を発生させ、被害の大きさにおいては、一様分布による乱数を発生させて分析した。被害の規模が大きいほど、経済への悪影響が大きくなるが、被害の発生に地域的、産業的なムラがあると経済への影響の標準偏差が大きくなる。また、ここでは、被害規模を比較的大きく設定した。もちろん、福岡経済への悪影響は比較的大きくなったが、日本経済への影響は小さいものにとどまった。また、実際に起こった熊本地震の被害推計と比較しても、第3章の被害規模の想定が大きなものであることが分かった。

目次

まえがき

第1章 産業構造の変化と地域間産業連関	1
1. はじめに	1
2. モデル	1
3. データとシミュレーション	3
4. 結果	4
5. この章のまとめ	6
第2章 新技術開発と地域間産業連関	22
1. はじめに	22
2. モデル, データとシミュレーション	22
3. 結果	25
4. この章のまとめ	25
第3章 自然災害と地域経済：確率的応用一般均衡分析	30
1. はじめに	30
2. モデル	30
3. データとシミュレーション	37
4. 結果	38
4. 1 データベースに基づくシミュレーション	38
4. 2 地域への応用	39
5. この章のまとめ	41
6. 本報告全体のまとめ	42
参考文献	50

執筆者一覧

坂本 博

公益財団法人 アジア成長研究所 准教授

第1章, 第2章, 第3章執筆

1. 産業構造の変化と地域間産業連関

1. はじめに

産業連関分析は、経済的ショックが発生したときの経済的影響を測定するためのツールの1つとして長年使用されてきた (Miller and Blair, 2009)。その基本情報としての産業連関表は、産業間の取引構造が詳細に示されているといった長所を持つものの、表の作成・編集には膨大な時間を要する。したがって、産業連関表は数年に1回の頻度で公表される。しかしながら、これでは比較的新しいデータを用いた分析は不可能である。そのため、元のデータに基づいていくつかの新しいデータを追加し、比較的新しい年の表を推計することで、この問題を解決しようとするのが考えられる。

産業連関表は、通常、1カ国または1地域で編集されている。しかし、経済は1つの国、1つの地域では決して完結しない。国外および地域外の取引情報、すなわち、貿易情報が必要である。このために、地域間産業連関表の作成の必要性が生じる。これにより、ある地域のある産業から別の地域の別の産業への取引が明らかになる。しかし、このような取引情報を収集することは非常に困難であり、ただでさえ困難な編集作業をさらに困難にさせる。

いずれにせよ、産業連関分析を行うためには、膨大な統計量を必要とする産業連関表が必要である。本章では、産業連関表におけるデータ収集の難易度に対し、この困難さを補う方法を提案する。ここでは、産業構造の変動が確率的に行われていると仮定する。これはデータの精度をあやふやなものとし、データに幅を持たせることで、逆に結果の可能性または精度を高めていこうとするものである²。次に、確率的に推定された産業連関表の下で産業連関分析を行う。具体的には、産業連関分析に必要な投入係数が確率的に変動し、変動する投入係数の下で波及効果が推定される。また、産業構造の確率的変動はモンテカルロ実験によって行われる。なお、ケーススタディとして、福岡県とその他の都道府県の2つの地域からなる地域間産業連関表を使用する。また、波及効果も変動するため、変動幅の大きさが研究の焦点となる。

2. モデル

よく知られているように、産業連関分析は2つの基本モデル、すなわち数量モデルと価格モデルから成り立つ。数量モデルは $X = (I - A)^{-1}F$ である。ここで、 A は投入係数の行

¹ 本章は、12th World Congress of Regional Science Association International (Birla Institute of Technology & Science: the K K Birla Goa Campus, Goa, India), 2018年5月31日(木)にて、執筆者自らが報告した“Industrial Structural Changes and Regional Spillover Effects: Using the Interregional Input-Output Table in Japan”をもとに構成されている。

² 少しわかりにくい書き方だが、例えば、推計された係数が0.5であるのと、0.4~0.6までの範囲にあるとでは、後者のほうが正しいと考えられる可能性が高まるということである。

列、 X と F はそれぞれ、金額ベースの生産高と最終需要のベクトルである³。価格モデルは $P = (I - A')^{-1}V$ である。ここで、 A' は A の転置行列であり、 P と V は価格と付加価値のベクトルである。よって、数量モデルは需要側、価格モデルは供給側ともいえる⁴。そして、これら2つのモデルの1つ(得てして数量モデルが多い)を複雑に分解することによって、さまざまな分析が開発される。本章では、2つのモデルそれぞれの産業構造の変化を分析する。産業連関分析で用いられる逆行列は、Excelなどで簡単に計算できる。ただし、この研究の目的はモンテカルロ実験にあるため、測定結果をより簡単に整理するために別のソフトウェアを使用する⁵。したがって、各モデルを逆行列に展開する前の形式に戻す。

$$\begin{aligned}
 X_{r,i} \cdot x_{r,i} = & \sum_s \sum_j \alpha_{s,r,i,j}^A \cdot X_{s,j} \cdot x_{s,j} + \sum_s \sum_d \alpha_{s,r,i,d}^F \cdot f_{s,d} \\
 & + \alpha_{r,i}^E \cdot e - \alpha_{r,i}^M \cdot X_{r,i} \cdot x_{r,i} + ex_{r,i}
 \end{aligned}
 \tag{1-1}$$

これがいわゆる数量モデルである。生産財需要($X \cdot x$)は、中間財需要 $A \cdot X \cdot x$ ($\alpha \cdot X \cdot x$)、最終需要 f 、輸出 e 、および輸入(生産財の関数)からなる。 ex は、表の需給バランスを整えるための調整項である。 α は各需要に対するパラメータであり、データベースから推計される(カリブレーション)。いうまでもなく、 α^A は投入係数であり、この係数はモンテカルロ実験によって変動する。注意すべき点として、左辺が($X \cdot x$)と表記されていることである。 X はインデックスで内生変数となり、 x はデータから得られた数値を持つ外生変数である。具体的には、 x は固定生産高であり、 X が変動するとシミュレーション後の生産高は $X \cdot x$ の形で計算される。したがって、初期均衡解において、 X は1である。なお、各変数の右下の添え字 r と s は地域を表し、 i と j は産業を表し、 d は需要項目を表し、 v は付加価値項目を表す。

$$P_{r,i} = \sum_s \sum_j \alpha_{r,s,j,i}^A \cdot P_{s,j} + \sum_v \alpha_{r,v,i}^V
 \tag{1-2}$$

³ $A = Zx^{-1}$ 、ここで、 Z は金額ベースによる産業間の売上の行列、 x は対角線に沿ったベクトル X の要素をもつ対角行列である。

⁴ この議論は、Leontiefモデルに基づいている(Leontief, 1936, 1941, 1986)。なお、供給側を定量的に扱うモデルとして、Ghosh(1958)は直接産出係数($B = x^{-1}Z$)を用いたモデルを提案している。

⁵ このモデルは、GAMS(General Algebraic Modeling System)を用いて計算している(以下の章も同様)。ここでは、最適化問題を解くためのソルバー(CONOPT)を使用しているが、本章で書かれた方程式は最適化問題ではないので、プログラムコードには架空の最適化問題を設定している。

表 1-1 産業分類

	産業
a001	農林水産業
i002	鉱業
i003	製造業
i004	建設
s005	電力・ガス・水道
s006	商業
s007	金融・保険
s008	不動産
s009	運輸・郵便
s010	情報通信
s011	公務
s012	サービス
s013	分類不明

(出所) 福岡県地域間産業連関表(表 2-1, 表 3-2, 表 3-3 も同様)

これがいわゆる価格モデルであり、逆行列に展開される前の数学的表現である。式から分かるように、これら 2 つの式は独立しており、共通の外生の投入係数 α^A を持つ。したがって、それぞれが独立の問題と見なすことができる。ただし、本章では、計算量を節約するために、2 つの独立した方程式を 1 つのプログラムで計算している。

3. データとシミュレーション

ここでは、福岡県の地域間産業連関表のデータを使用する。この表は、福岡県(以下、「*fp*」と表記することがある)とその他の都道府県(以下、「*op*」と表記することがある)の 2 つの地域で構成されている。現在、1995 年、2000 年、2005 年、2011 年の表が利用可能であるが、各表の産業部門数は異なる(それぞれ 37, 37, 39, 42 の産業部門)。一方で、より多くの産業部門が統合された 13 の産業部門の表も同時に公表されているので、本章ではこれらの 13 部門の表を使用する(表 1-1)。

次に、産業構造の変動について説明する。産業構造の変動は、産業連関表の投入係数の変化に起因すると考えられる。投入係数は産業連関分析の重要な部分であるため、数量モデルと価格モデルの解、すなわち波及効果は、この係数を変更することによって変化することが予想される。

ところで、2 地域による地域間産業連関表の場合、投入係数は地域によって 4 つに分割することができる(*fp* から *fp*, *fp* から *op*, *op* から *fp*, *op* から *op*)。そこで、本章では福岡県の投入係数を中心に 5 つのモンテカルロ実験パターンを設定した。モンテカルロ実験では、乱数を発生させて投入係数に変動を与える。乱数は、平均 1 の正規分布に従う。ただし、標準偏差は必ずしも同じではない。ここでは、1995 年、2000 年、2005 年、2011 年の各表の投入係数から計算された標準偏差を用いる(4 つのデータポイントによる計算)。なお、対象とする投入係数として、最新の 2011 年の表を使用する。つまり、2011 年表の

表 1-2 モンテカルロ実験

	実験方法	投入係数
シミュレーション1	全ての投入係数が不確実	fp to fp , fp to op , op to fp , op to op
シミュレーション2	福岡県内の投入係数が不確実	fp to fp
シミュレーション3	福岡県内および移出の投入係数が不確実	fp to fp , fp to op
シミュレーション4	福岡県内および移入の投入係数が不確実	fp to fp , op to fp
シミュレーション5	福岡県内および移出と移入の投入係数が不確実	fp to fp , fp to op , op to fp
シミュレーション6	全ての投入係数が不確実 (2つの乱数を掛け合わせる)	fp to fp , fp to op , op to fp , op to op
シミュレーション7	福岡県内の投入係数が不確実 (2つの乱数を掛け合わせる)	fp to fp
シミュレーション8	福岡県内および移出の投入係数が不確実 (2つの乱数を掛け合わせる)	fp to fp , fp to op
シミュレーション9	福岡県内および移入の投入係数が不確実 (2つの乱数を掛け合わせる)	fp to fp , op to fp
シミュレーション10	福岡県内および移出と移入の投入係数が不確実 (2つの乱数を掛け合わせる)	fp to fp , fp to op , op to fp

(注) 平均が1で、表1-3から表1-6に示された標準偏差に基づいて正規乱数を発生させる。シミュレーション6以降は、正規乱数を2つ発生させ、それを掛け合わせてより複雑な不確実性を持つ実験を試みている。

(出所) 著者作成 (表2-2, 表3-5も同様)

投入係数の一部 (全体) に正規乱数を掛けて実験を行った。さらに、より複雑な乱数を設定するため、正規乱数を2回発生させ、それらを投入係数を掛けて実験を行った。したがって、5つの地域パターンに合わせて合計10個の実験パターンを設定した (表1-2)。

4. 結果

表1-3から表1-6は、モンテカルロ実験に使用された標準偏差を示す。計算方法は、前述の4つのデータポイント間の投入係数の標準偏差である。小数点以下4桁目が四捨五入されており、計算上かなり小さな標準偏差の結果が出ても0 (0.0000) として扱われる。標準偏差が0の場合、投入係数は変動しない。場所によっては0.0000と表示され、これらの投入産出の組み合わせでは投入係数は変化しない。また、標準偏差自体もそれほど大きなものではない。したがって、1995年から2011年の期間中の産業構造の変化はそれほど大きくなかったことが考えられる。同時に、これから示すモンテカルロ実験の結果も、生産高と価格の極端な変動はないと予想される。

結果の詳細を説明する前に、モンテカルロ実験全体の結果を紹介する。表1-7は、すべてのモンテカルロ実験における地域ごとの生産高 ($X \cdot x$) の変化をまとめたものである。乱数はそれぞれ500回発生させた。この表には、各地域における生産高の最大値、最小値、

平均値、および標準偏差が示されている。いうまでもなく、投入係数に平均が1の乱数を掛け合わすので、生産高の平均値は1.000000に近くなる。したがって、ここでは、各シミュレーションおよび各地域における最大値、最小値および標準偏差の違いを比較する。

シミュレーション1において、福岡県の実産高の変動幅は、0.6%から-0.6%の非常に小さな差となった。他県では、その変動は1.4%から-1.3%とそれほど大きくなかったが、福岡県よりも大きいことが分かった。日本全体(以下、「jp」と表記することがある)では、変動幅は他県よりもわずかに小さい。標準偏差は福岡県で0.2362%、他県で0.4960%、日本で0.4853%であった。同様に、変動幅は決して大きくなく、産業構造の変動はそれほど大きくないと考えられる。シミュレーション2からシミュレーション5のそれぞれにおいて、他県と他県間の投入係数は変動しない。この場合、他県の実産高の変動は極めて小さくなる(標準偏差で0.0027%から0.0141%)。また、福岡県と他県(46都道府県)では経済規模の差があるため、国内の実産高の変動は非常に小さい(標準偏差で0.0073%から0.0154%)。また、他県の変動がないため、福岡県の実産高の変動もシミュレーション1よりも小さくなっている(標準偏差で0.1347%から0.1378%)。ただし、シミュレーション3とシミュレーション5では、他県と日本の標準偏差がシミュレーション2とシミュレーション4よりも大きくなっている。シミュレーション3とシミュレーション5では、他県から福岡県への投入係数が変動する設定である。他県での生産は、福岡県の他県からの輸入需要の影響を若干受けていることが分かる。

シミュレーション6からシミュレーション10は、シミュレーション1からシミュレーション5に対し、乱数発生方法がより複雑な構造となっている。これにより、生産高の変動幅が大きくなっていることが分かる。例えば、シミュレーション6の標準偏差は、それぞれ0.3354%、0.6824%、および0.6679%である。他のシミュレーションも同様である。乱数発生をより複雑にすることで、より複雑な結果の可能性を生み出すことに成功した。

表1-8から表1-17は、それぞれのシミュレーションパターンによるモンテカルロ実験の結果を示したものである。この表には、各地域・各産業の実産高($X \cdot x$)と価格(P)の最大値、最小値、平均値、および標準偏差が示されている。

シミュレーション1において、福岡県の場合、標準偏差の大きい産業部門として、鉱業があげられる(fp-i002, 生産高1.7945%, 価格1.5554%)。製造業の価格変動が比較的大きく(fp-i003, 生産高0.5780%, 価格1.2177%), より極端なのは電気・ガス・水道であった(fp-i005, 生産高0.1910%, 価格1.0987%)。一方、ICT(情報通信技術)をはじめとする情報通信も比較的大きい(fp-s010, 生産高0.7300%, 価格0.7737%)。なお、次章との関連もかねて、各々の表における福岡県の情報通信の結果に色を付けている。

他県の場合、鉱業は生産高の変動が大きく価格の変動が小さい(op-i002, 生産高2.8089%, 価格0.4665%)。逆に、電気・ガス・水道は価格の変動が大きく、生産高の変動が小さい(op-s005, 生産高0.4432%, 価格2.6202%)。製造業においては、生産高と価格の両方が比較的大きく(op-i003, 生産高1.2250%, 価格1.6638%), その次に変動が大きな産業として農業

(op-a001, 生産高 0.7483%, 価格 0.7581%) と情報通信があげられる (op-s010, 生産高 0.6426%, 価格は 0.7072%)。なお, 分類不明 (fp-s013 と op-s013) も比較的大きな変動が見られるが, 産業分類の性質上, ここでは取り上げないことにする。

シミュレーション 2 からシミュレーション 5 は, 表 1-7 の結果の傾向とほぼ同じである。他県における変動はかなり小さい。福岡県の実産高の変動は, 鉱業で高いものの, 次に高いのが情報通信となっている。価格の変動については, 電気・ガス・水道が比較的大きい。一方, 製造業では, シミュレーション 3, シミュレーション 5 の価格変動が大きい。この傾向は, 乱数発生がより複雑なシミュレーション 6 からシミュレーション 10 においても同様であった。

このように, 変動は産業によって異なることが分かった。しかし, 日本の場合, 資源の豊富な国ではないので, 鉱業は盛んではない。したがって, 鉱業の変動が大きくても, 日本経済への影響は小さいといえる。製造業も GDP の 20~25%程度で, それほど重要な産業ではない。一方, 電気・ガス・水道の比較的大きな価格変動は, 消費に影響を与える可能性がある。これらの産業部門と比較してあまり変動は見られないが, ICT をはじめとする情報通信は将来的に重要な産業になることが予想される。ICT 革命が盛んに行われているといわれており, 今後も大きく成長することが予想される。

5. この章のまとめ

本章では, 産業連関表および産業連関分析におけるデータ整備の困難さを補うために, モンテカルロ実験により投入係数を変化させ, 生産高と価格の変動を分析した。ケーススタディとして, 福岡県とその他の都道府県 (残りの日本) の 2 地域からなる地域間産業連関表を用いた。実験に用いた投入係数の標準偏差は過去の産業連関表に依存するため, その変動は比較的小さなものとなった。ただし, 産業間とシミュレーションパターンにおいて若干の違いも見られた。そして, 鉱業, 製造業, 電気・ガス・水道, 情報通信における変動は比較的大きいことが分かった。特に, ICT をはじめとする情報通信は有望な産業分野であるため, 今後の動向に注意を払う必要があるだろう。

表 1-3 標準偏差 (1)

	fp-a001	fp-i002	fp-i003	fp-i004	fp-s005	fp-s006	fp-s007
fp-a001	0.0028	0.0006	0.0009	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000
fp-i002	0.0000	0.0006	0.0073	0.0014	0.0461	0.0000	0.0000
fp-i003	0.0082	0.0010	0.0204	0.0028	0.0027	0.0013	0.0007
fp-i004	0.0014	0.0005	0.0010	0.0005	0.0020	0.0002	0.0005
fp-s005	0.0014	0.0099	0.0027	0.0006	0.0123	0.0025	0.0005
fp-s006	0.0148	0.0107	0.0194	0.0209	0.0105	0.0062	0.0018
fp-s007	0.0095	0.0141	0.0029	0.0019	0.0043	0.0145	0.0142
fp-s008	0.0014	0.0017	0.0006	0.0010	0.0013	0.0039	0.0024
fp-s009	0.0041	0.0517	0.0029	0.0030	0.0012	0.0012	0.0047
fp-s010	0.0012	0.0015	0.0011	0.0021	0.0068	0.0064	0.0144
fp-s011	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
fp-s012	0.0037	0.0054	0.0081	0.0104	0.0050	0.0081	0.0123
fp-s013	0.0032	0.0042	0.0021	0.0050	0.0004	0.0008	0.0015
op-a001	0.0060	0.0004	0.0016	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000
op-i002	0.0000	0.0005	0.0035	0.0007	0.0323	0.0000	0.0000
op-i003	0.0141	0.0085	0.0241	0.0129	0.0094	0.0016	0.0022
op-i004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
op-s005	0.0011	0.0020	0.0014	0.0004	0.0101	0.0020	0.0004
op-s006	0.0150	0.0065	0.0118	0.0179	0.0042	0.0051	0.0016
op-s007	0.0025	0.0034	0.0010	0.0007	0.0021	0.0047	0.0067
op-s008	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0001
op-s009	0.0011	0.0106	0.0009	0.0010	0.0008	0.0015	0.0010
op-s010	0.0002	0.0005	0.0004	0.0006	0.0016	0.0021	0.0031
op-s011	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
op-s012	0.0012	0.0015	0.0019	0.0046	0.0036	0.0031	0.0038
op-s013	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

(出所) 著者計算 (特に断りのない限り以下同様)

表 1-4 標準偏差 (2)

	fp-s008	fp-s009	fp-s010	fp-s011	fp-s012	fp-s013
fp-a001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000
fp-i002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
fp-i003	0.0002	0.0036	0.0062	0.0028	0.0010	0.0091
fp-i004	0.0039	0.0013	0.0026	0.0022	0.0007	0.0000
fp-s005	0.0008	0.0020	0.0022	0.0103	0.0027	0.0053
fp-s006	0.0002	0.0117	0.0071	0.0049	0.0154	0.0084
fp-s007	0.0114	0.0118	0.0069	0.0152	0.0067	0.2126
fp-s008	0.0090	0.0032	0.0024	0.0004	0.0021	0.0062
fp-s009	0.0002	0.0103	0.0022	0.0024	0.0008	0.0085
fp-s010	0.0015	0.0015	0.0368	0.0060	0.0057	0.0094
fp-s011	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0814
fp-s012	0.0067	0.0068	0.0133	0.0133	0.0072	0.0227
fp-s013	0.0016	0.0013	0.0027	0.0291	0.0022	0.0000
op-a001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000
op-i002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
op-i003	0.0003	0.0156	0.0080	0.0084	0.0087	0.0116
op-i004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
op-s005	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007	0.0015	0.0006
op-s006	0.0005	0.0066	0.0030	0.0032	0.0104	0.0021
op-s007	0.0036	0.0043	0.0012	0.0018	0.0022	0.0121
op-s008	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000	0.0001	0.0001
op-s009	0.0001	0.0025	0.0004	0.0009	0.0005	0.0017
op-s010	0.0002	0.0008	0.0058	0.0020	0.0023	0.0015
op-s011	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
op-s012	0.0017	0.0044	0.0066	0.0030	0.0030	0.0013
op-s013	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000

表 1-5 標準偏差 (3)

	op-a001	op-i002	op-i003	op-i004	op-s005	op-s006	op-s007
fp-a001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
fp-i002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000
fp-i003	0.0004	0.0001	0.0011	0.0005	0.0003	0.0001	0.0001
fp-i004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
fp-s005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
fp-s006	0.0006	0.0003	0.0006	0.0008	0.0002	0.0003	0.0001
fp-s007	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
fp-s008	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
fp-s009	0.0001	0.0002	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001	0.0001
fp-s010	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001	0.0001
fp-s011	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
fp-s012	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
fp-s013	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
op-a001	0.0062	0.0002	0.0023	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000
op-i002	0.0000	0.0004	0.0164	0.0012	0.0848	0.0000	0.0000
op-i003	0.0225	0.0114	0.0192	0.0070	0.0126	0.0019	0.0022
op-i004	0.0010	0.0007	0.0003	0.0005	0.0013	0.0005	0.0009
op-s005	0.0023	0.0052	0.0009	0.0007	0.0218	0.0046	0.0002
op-s006	0.0050	0.0040	0.0013	0.0025	0.0030	0.0033	0.0006
op-s007	0.0121	0.0125	0.0032	0.0017	0.0049	0.0161	0.0178
op-s008	0.0008	0.0008	0.0007	0.0008	0.0012	0.0042	0.0023
op-s009	0.0030	0.0122	0.0013	0.0044	0.0037	0.0031	0.0062
op-s010	0.0011	0.0028	0.0022	0.0026	0.0077	0.0093	0.0188
op-s011	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
op-s012	0.0056	0.0115	0.0044	0.0101	0.0111	0.0091	0.0095
op-s013	0.0031	0.0030	0.0018	0.0049	0.0009	0.0005	0.0015

表 1-6 標準偏差 (4)

	op-s008	op-s009	op-s010	op-s011	op-s012	op-s013
fp-a001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
fp-i002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
fp-i003	0.0000	0.0009	0.0002	0.0002	0.0003	0.0001
fp-i004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
fp-s005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
fp-s006	0.0000	0.0003	0.0002	0.0001	0.0004	0.0002
fp-s007	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
fp-s008	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
fp-s009	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003
fp-s010	0.0000	0.0000	0.0005	0.0001	0.0001	0.0001
fp-s011	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
fp-s012	0.0000	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001
fp-s013	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
op-a001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000
op-i002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
op-i003	0.0002	0.0133	0.0161	0.0129	0.0052	0.0052
op-i004	0.0041	0.0020	0.0020	0.0022	0.0002	0.0000
op-s005	0.0011	0.0020	0.0021	0.0078	0.0017	0.0019
op-s006	0.0003	0.0034	0.0050	0.0021	0.0017	0.0021
op-s007	0.0102	0.0169	0.0064	0.0166	0.0078	0.2128
op-s008	0.0067	0.0026	0.0040	0.0004	0.0023	0.0138
op-s009	0.0001	0.0048	0.0020	0.0013	0.0010	0.0199
op-s010	0.0012	0.0022	0.0320	0.0085	0.0103	0.0149
op-s011	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0739
op-s012	0.0052	0.0041	0.0170	0.0154	0.0090	0.0116
op-s013	0.0017	0.0014	0.0021	0.0072	0.0011	0.0000

表 1-7 モンテカルロ実験の結果 (シミュレーション 1 から 10)

		最大	最小	平均	標準偏差
シミュレーション1	fp	1.006340	0.994058	1.000085	0.002362
	op	1.013927	0.986967	1.000049	0.004960
	jp	1.013646	0.987218	1.000050	0.004853
シミュレーション2	fp	1.003867	0.995891	0.999985	0.001367
	op	1.000083	0.999913	0.999999	0.000027
	jp	1.000217	0.999771	0.999998	0.000074
シミュレーション3	fp	1.004355	0.996211	0.999957	0.001347
	op	1.000476	0.999557	0.999994	0.000141
	jp	1.000570	0.999548	0.999993	0.000154
シミュレーション4	fp	1.004260	0.996092	0.999955	0.001351
	op	1.000084	0.999923	0.999999	0.000027
	jp	1.000232	0.999789	0.999997	0.000073
シミュレーション5	fp	1.004364	0.996116	1.000009	0.001378
	op	1.000416	0.999555	0.999992	0.000137
	jp	1.000447	0.999542	0.999993	0.000150
シミュレーション6	fp	1.011087	0.991947	1.000069	0.003354
	op	1.023376	0.980478	1.000083	0.006824
	jp	1.022846	0.980954	1.000082	0.006679
シミュレーション7	fp	1.006776	0.995001	0.999935	0.001980
	op	1.000133	0.999886	0.999999	0.000040
	jp	1.000358	0.999713	0.999997	0.000107
シミュレーション8	fp	1.006727	0.994857	0.999970	0.002044
	op	1.000627	0.999457	0.999995	0.000198
	jp	1.000636	0.999355	0.999995	0.000221
シミュレーション9	fp	1.006708	0.994681	0.999969	0.002053
	op	1.000135	0.999879	0.999999	0.000041
	jp	1.000359	0.999695	0.999998	0.000111
シミュレーション10	fp	1.006722	0.994516	1.000069	0.002074
	op	1.000670	0.999458	1.000009	0.000203
	jp	1.000640	0.999429	1.000011	0.000221

表 1-8 モンテカルロ実験の結果 (シミュレーション 1)

	生産高				価格			
	最大	最小	平均	標準偏差	最大	最小	平均	標準偏差
fp-a001	1.014650	0.986637	1.000044	0.004682	1.014325	0.987946	1.000024	0.004555
fp-i002	1.068112	0.952206	1.001444	0.017945	1.051410	0.957741	1.000724	0.015454
fp-i003	1.016583	0.983750	1.000034	0.005780	1.036542	0.969222	0.999887	0.012177
fp-i004	1.000898	0.998990	1.000034	0.000350	1.015624	0.987880	1.000007	0.005058
fp-s005	1.006303	0.995151	1.000025	0.001910	1.031041	0.965937	1.001012	0.010987
fp-s006	1.006402	0.992981	1.000025	0.002317	1.004599	0.996682	1.000039	0.001308
fp-s007	1.007415	0.992969	1.000069	0.002768	1.005620	0.993307	0.999998	0.001886
fp-s008	1.001385	0.998590	1.000013	0.000525	1.002978	0.997365	1.000024	0.000996
fp-s009	1.005917	0.994915	1.000075	0.002125	1.012840	0.989683	1.000129	0.004006
fp-s010	1.021828	0.979906	1.000984	0.007300	1.023602	0.979730	1.000920	0.007737
fp-s011	1.004901	0.995799	1.000096	0.001638	1.011656	0.991247	1.000136	0.003256
fp-s012	1.003933	0.996344	1.000061	0.001291	1.007624	0.992543	1.000110	0.002594
fp-s013	1.034037	0.966716	0.999684	0.009950	1.021474	0.980850	1.000378	0.007622
op-a001	1.021678	0.976281	1.000057	0.007483	1.024154	0.976746	0.999996	0.007581
op-i002	1.073108	0.922344	0.999261	0.028089	1.014162	0.987670	1.000045	0.004665
op-i003	1.034878	0.963765	1.000011	0.012250	1.048246	0.955943	1.000055	0.016638
op-i004	1.001731	0.998242	1.000008	0.000622	1.018128	0.984995	1.000126	0.005718
op-s005	1.013447	0.986964	1.000043	0.004432	1.068000	0.916122	0.999330	0.026202
op-s006	1.006879	0.993627	1.000016	0.002437	1.004760	0.995785	1.000046	0.001746
op-s007	1.009360	0.991379	0.999931	0.002845	1.008951	0.992639	1.000037	0.002610
op-s008	1.001604	0.998686	1.000033	0.000485	1.003641	0.997100	1.000011	0.001055
op-s009	1.008668	0.992126	1.000006	0.002890	1.016186	0.988585	0.999987	0.004254
op-s010	1.022690	0.979883	1.000210	0.006426	1.016948	0.978340	1.000390	0.007072
op-s011	1.007016	0.993376	1.000056	0.002327	1.009694	0.992390	1.000143	0.002666
op-s012	1.006209	0.994865	1.000120	0.002056	1.010441	0.991869	1.000003	0.003160
op-s013	1.010704	0.990159	1.000047	0.003751	1.059746	0.943553	1.000529	0.019046

表 1-9 モンテカルロ実験の結果 (シミュレーション 2)

	生産高				価格			
	最大	最小	平均	標準偏差	最大	最小	平均	標準偏差
fp-a001	1.004765	0.994995	0.999924	0.001430	1.002804	0.997006	1.000008	0.000846
fp-i002	1.047731	0.941273	1.000740	0.017069	1.043617	0.957000	1.000535	0.014886
fp-i003	1.011732	0.987837	0.999787	0.003669	1.014806	0.985690	0.999835	0.004353
fp-i004	1.000728	0.999297	1.000008	0.000255	1.004081	0.995855	1.000052	0.001315
fp-s005	1.004854	0.994627	0.999982	0.001514	1.029259	0.972658	1.000562	0.009566
fp-s006	1.002310	0.997326	0.999995	0.000817	1.002299	0.997545	1.000032	0.000721
fp-s007	1.008122	0.993309	0.999936	0.002708	1.004837	0.994072	0.999990	0.001781
fp-s008	1.001193	0.998797	1.000026	0.000442	1.002415	0.997174	0.999995	0.000869
fp-s009	1.002884	0.996658	0.999940	0.001112	1.004091	0.996323	0.999945	0.001303
fp-s010	1.016438	0.979824	1.000536	0.006799	1.017820	0.981024	1.000439	0.007233
fp-s011	1.005308	0.995192	1.000186	0.001668	1.006628	0.992962	1.000063	0.002496
fp-s012	1.003421	0.996010	1.000070	0.001157	1.002581	0.997832	1.000051	0.000839
fp-s013	1.025436	0.966890	0.999771	0.009018	1.020904	0.977218	1.000803	0.007599
op-a001	1.000237	0.999754	0.999996	0.000076	1.000164	0.999841	0.999998	0.000049
op-i002	1.000201	0.999790	0.999997	0.000065	1.000084	0.999911	0.999999	0.000027
op-i003	1.000179	0.999814	0.999997	0.000057	1.000313	0.999698	0.999997	0.000093
op-i004	1.000010	0.999989	1.000000	0.000003	1.000182	0.999823	0.999998	0.000055
op-s005	1.000097	0.999899	0.999999	0.000032	1.000104	0.999902	0.999999	0.000031
op-s006	1.000077	0.999918	0.999999	0.000026	1.000038	0.999961	1.000000	0.000012
op-s007	1.000024	0.999975	1.000000	0.000008	1.000039	0.999961	1.000000	0.000012
op-s008	1.000009	0.999991	1.000000	0.000003	1.000017	0.999983	1.000000	0.000005
op-s009	1.000061	0.999938	0.999999	0.000019	1.000099	0.999901	0.999999	0.000031
op-s010	1.000030	0.999968	1.000000	0.000011	1.000062	0.999940	1.000000	0.000020
op-s011	1.000002	0.999998	1.000000	0.000001	1.000057	0.999944	1.000000	0.000018
op-s012	1.000030	0.999968	1.000000	0.000010	1.000094	0.999909	0.999999	0.000029
op-s013	1.000068	0.999929	0.999999	0.000022	1.000086	0.999915	0.999999	0.000026

表 1-10 モンテカルロ実験の結果 (シミュレーション 3)

	生産高				価格			
	最大	最小	平均	標準偏差	最大	最小	平均	標準偏差
fp-a001	1.004365	0.995826	0.999970	0.001434	1.007426	0.993684	1.000011	0.002674
fp-i002	1.071106	0.941268	1.001506	0.017818	1.055992	0.951227	1.001113	0.014302
fp-i003	1.011556	0.989102	0.999855	0.003691	1.034606	0.968775	0.999561	0.010077
fp-i004	1.000733	0.999270	0.999994	0.000266	1.010670	0.990648	1.000014	0.003022
fp-s005	1.004827	0.995683	0.999904	0.001484	1.034976	0.972213	1.001183	0.010364
fp-s006	1.002304	0.997306	0.999963	0.000840	1.002849	0.997357	1.000017	0.000800
fp-s007	1.007094	0.993303	0.999965	0.002581	1.004507	0.994097	0.999979	0.001726
fp-s008	1.001357	0.998667	1.000008	0.000445	1.002474	0.997415	0.999947	0.000894
fp-s009	1.003999	0.996595	0.999958	0.001151	1.007926	0.993749	1.000151	0.002580
fp-s010	1.022346	0.976826	1.000114	0.006962	1.025012	0.978751	0.999945	0.007463
fp-s011	1.004369	0.996175	1.000060	0.001582	1.009110	0.992264	0.999967	0.002676
fp-s012	1.003443	0.996283	1.000024	0.001157	1.003983	0.995143	1.000009	0.001380
fp-s013	1.032955	0.966893	0.999188	0.009750	1.020376	0.982634	1.000276	0.007212
op-a001	1.000767	0.999295	0.999990	0.000222	1.000398	0.999652	0.999996	0.000114
op-i002	1.001026	0.999226	0.999994	0.000295	1.000207	0.999822	0.999998	0.000062
op-i003	1.001150	0.998882	0.999984	0.000351	1.000748	0.999337	0.999991	0.000215
op-i004	1.000054	0.999951	0.999999	0.000016	1.000444	0.999612	0.999995	0.000127
op-s005	1.000372	0.999672	0.999995	0.000107	1.000240	0.999787	0.999998	0.000069
op-s006	1.000317	0.999732	1.000000	0.000085	1.000096	0.999920	0.999999	0.000027
op-s007	1.000112	0.999902	0.999999	0.000033	1.000096	0.999920	0.999999	0.000027
op-s008	1.000040	0.999967	1.000000	0.000011	1.000043	0.999963	1.000000	0.000012
op-s009	1.000281	0.999750	0.999997	0.000080	1.000243	0.999789	0.999997	0.000070
op-s010	1.000137	0.999883	0.999999	0.000038	1.000151	0.999875	0.999998	0.000041
op-s011	1.000010	0.999991	1.000000	0.000003	1.000140	0.999879	0.999998	0.000040
op-s012	1.000143	0.999871	0.999998	0.000042	1.000231	0.999800	0.999997	0.000065
op-s013	1.000355	0.999680	0.999996	0.000103	1.000209	0.999820	0.999998	0.000060

表 1-11 モンテカルロ実験の結果 (シミュレーション 4)

	生産高				価格			
	最大	最小	平均	標準偏差	最大	最小	平均	標準偏差
fp-a001	1.004381	0.995806	0.999969	0.001435	1.002808	0.997005	1.000033	0.000840
fp-i002	1.071318	0.941256	1.001500	0.017827	1.056452	0.952493	1.001086	0.014115
fp-i003	1.011945	0.988725	0.999844	0.003699	1.014183	0.988649	0.999941	0.004397
fp-i004	1.000739	0.999263	0.999993	0.000266	1.004391	0.996196	1.000060	0.001312
fp-s005	1.004785	0.995655	0.999903	0.001485	1.030987	0.970969	1.000974	0.009859
fp-s006	1.002392	0.997320	0.999971	0.000834	1.002303	0.997516	1.000007	0.000757
fp-s007	1.007111	0.993296	0.999965	0.002581	1.004312	0.994072	0.999980	0.001698
fp-s008	1.001337	0.998668	1.000008	0.000444	1.002796	0.997174	0.999947	0.000882
fp-s009	1.004004	0.996574	0.999958	0.001151	1.004093	0.995902	0.999976	0.001371
fp-s010	1.022324	0.976859	1.000115	0.006962	1.024944	0.978691	0.999932	0.007455
fp-s011	1.004369	0.996175	1.000060	0.001582	1.008807	0.992962	0.999950	0.002598
fp-s012	1.003483	0.996299	1.000024	0.001158	1.002485	0.996833	1.000003	0.000880
fp-s013	1.032948	0.966899	0.999188	0.009750	1.020905	0.982410	1.000251	0.007170
op-a001	1.000245	0.999775	0.999997	0.000076	1.000159	0.999858	0.999999	0.000050
op-i002	1.000205	0.999815	0.999997	0.000065	1.000084	0.999922	0.999999	0.000027
op-i003	1.000183	0.999833	0.999998	0.000058	1.000323	0.999713	0.999998	0.000096
op-i004	1.000011	0.999990	1.000000	0.000003	1.000178	0.999844	0.999999	0.000056
op-s005	1.000100	0.999907	0.999999	0.000032	1.000099	0.999910	1.000000	0.000031
op-s006	1.000081	0.999927	0.999999	0.000026	1.000039	0.999963	1.000000	0.000012
op-s007	1.000025	0.999977	1.000000	0.000008	1.000040	0.999963	1.000000	0.000012
op-s008	1.000009	0.999992	1.000000	0.000003	1.000017	0.999984	1.000000	0.000005
op-s009	1.000061	0.999944	0.999999	0.000019	1.000098	0.999910	1.000000	0.000031
op-s010	1.000034	0.999972	1.000000	0.000010	1.000064	0.999941	1.000000	0.000020
op-s011	1.000002	0.999998	1.000000	0.000001	1.000056	0.999949	1.000000	0.000018
op-s012	1.000032	0.999972	1.000000	0.000010	1.000092	0.999916	1.000000	0.000029
op-s013	1.000069	0.999937	0.999999	0.000022	1.000083	0.999923	1.000000	0.000027

表 1-12 モンテカルロ実験の結果 (シミュレーション 5)

	生産高				価格			
	最大	最小	平均	標準偏差	最大	最小	平均	標準偏差
fp-a001	1.004795	0.996229	0.999969	0.001453	1.007357	0.991311	0.999979	0.002605
fp-i002	1.071398	0.949608	1.000945	0.018515	1.055994	0.957931	1.000643	0.014896
fp-i003	1.011520	0.990464	0.999872	0.003707	1.028085	0.968767	0.999381	0.009911
fp-i004	1.000723	0.999270	1.000017	0.000257	1.007797	0.990646	1.000043	0.002883
fp-s005	1.003976	0.996209	1.000032	0.001550	1.034980	0.971051	1.000685	0.010688
fp-s006	1.002595	0.997491	1.000055	0.000852	1.002544	0.998051	1.000065	0.000789
fp-s007	1.007282	0.993592	1.000132	0.002605	1.006091	0.994174	1.000089	0.001737
fp-s008	1.001358	0.998507	1.000015	0.000477	1.002850	0.997415	1.000021	0.000876
fp-s009	1.003975	0.996695	1.000037	0.001158	1.009022	0.994133	1.000140	0.002511
fp-s010	1.023916	0.977083	1.000281	0.007334	1.025010	0.977632	1.000150	0.007684
fp-s011	1.004629	0.995081	1.000061	0.001668	1.009016	0.992057	0.999957	0.002805
fp-s012	1.003908	0.997137	1.000074	0.001165	1.004537	0.996237	1.000067	0.001362
fp-s013	1.032874	0.966880	0.999245	0.009781	1.019881	0.977462	1.000343	0.007468
op-a001	1.000675	0.999306	0.999987	0.000216	1.000326	0.999644	0.999994	0.000112
op-i002	1.000975	0.999239	0.999982	0.000283	1.000172	0.999819	0.999997	0.000060
op-i003	1.001043	0.998881	0.999980	0.000342	1.000622	0.999317	0.999988	0.000212
op-i004	1.000046	0.999951	0.999999	0.000015	1.000364	0.999606	0.999993	0.000124
op-s005	1.000314	0.999669	0.999994	0.000103	1.000199	0.999783	0.999997	0.000068
op-s006	1.000227	0.999782	0.999998	0.000083	1.000076	0.999918	0.999999	0.000026
op-s007	1.000095	0.999901	0.999998	0.000032	1.000076	0.999918	0.999999	0.000026
op-s008	1.000031	0.999967	0.999999	0.000011	1.000034	0.999963	0.999999	0.000012
op-s009	1.000236	0.999748	0.999996	0.000078	1.000197	0.999786	0.999997	0.000068
op-s010	1.000101	0.999882	0.999998	0.000037	1.000118	0.999872	0.999998	0.000040
op-s011	1.000009	0.999991	1.000000	0.000003	1.000114	0.999877	0.999998	0.000039
op-s012	1.000125	0.999870	0.999998	0.000040	1.000185	0.999795	0.999997	0.000064
op-s013	1.000301	0.999678	0.999994	0.000100	1.000170	0.999816	0.999997	0.000058

表 1-13 モンテカルロ実験の結果 (シミュレーション 6)

	生産高				価格			
	最大	最小	平均	標準偏差	最大	最小	平均	標準偏差
fp-a001	1.021491	0.983086	1.000131	0.006418	1.020275	0.983333	0.999987	0.006287
fp-i002	1.077346	0.930214	1.002169	0.026522	1.059813	0.946433	0.999990	0.021134
fp-i003	1.026125	0.978713	1.000252	0.008114	1.051954	0.950310	1.000215	0.017673
fp-i004	1.001226	0.998698	0.999975	0.000485	1.020620	0.978032	0.999973	0.007042
fp-s005	1.008389	0.992608	1.000152	0.002681	1.055680	0.956055	1.000970	0.016427
fp-s006	1.010041	0.991299	1.000097	0.003273	1.006373	0.994536	0.999958	0.001956
fp-s007	1.013916	0.985188	0.999730	0.003821	1.010073	0.991795	1.000028	0.002710
fp-s008	1.002335	0.997899	1.000007	0.000737	1.004282	0.995830	0.999899	0.001339
fp-s009	1.010325	0.991058	1.000132	0.002969	1.016367	0.982852	0.999763	0.005721
fp-s010	1.040087	0.970197	1.000076	0.010738	1.040474	0.968746	0.999978	0.011139
fp-s011	1.007739	0.993763	1.000102	0.002346	1.011238	0.988235	1.000074	0.004302
fp-s012	1.005892	0.994479	0.999884	0.001850	1.011779	0.990149	0.999782	0.003722
fp-s013	1.039505	0.965186	1.000248	0.012554	1.034757	0.968566	1.000538	0.010665
op-a001	1.032293	0.972463	1.000123	0.010393	1.033355	0.972422	1.000378	0.010707
op-i002	1.121950	0.896009	0.996681	0.038970	1.026505	0.975980	0.999673	0.007134
op-i003	1.058610	0.952382	1.000280	0.016877	1.078915	0.937793	1.000299	0.023024
op-i004	1.002371	0.997236	1.000025	0.000858	1.026499	0.979265	1.000363	0.007758
op-s005	1.025655	0.979916	1.000274	0.006488	1.123890	0.905922	0.996483	0.037127
op-s006	1.010510	0.990893	1.000057	0.003343	1.008577	0.992653	1.000007	0.002501
op-s007	1.010632	0.989217	1.000124	0.004022	1.009701	0.990646	0.999893	0.003382
op-s008	1.002468	0.998241	1.000025	0.000706	1.004337	0.995510	0.999992	0.001501
op-s009	1.012503	0.989343	1.000115	0.003942	1.023307	0.984250	1.000051	0.005954
op-s010	1.028890	0.971595	0.999653	0.008843	1.028587	0.961446	0.999434	0.010384
op-s011	1.009580	0.991313	1.000103	0.003159	1.011441	0.990474	0.999797	0.003637
op-s012	1.008055	0.992078	0.999929	0.002767	1.014143	0.987041	0.999831	0.004396
op-s013	1.016187	0.986432	1.000031	0.005149	1.074718	0.930684	1.000895	0.026066

表 1-14 モンテカルロ実験の結果 (シミュレーション 7)

	生産高				価格			
	最大	最小	平均	標準偏差	最大	最小	平均	標準偏差
fp-a001	1.007916	0.993970	0.999954	0.002128	1.003442	0.996701	0.999998	0.001201
fp-i002	1.080259	0.911115	0.998482	0.026013	1.062197	0.934403	0.999872	0.020873
fp-i003	1.018753	0.983992	0.999851	0.005462	1.021981	0.981654	0.999826	0.006439
fp-i004	1.001095	0.999080	0.999991	0.000379	1.004867	0.993110	0.999955	0.001788
fp-s005	1.006468	0.994381	0.999982	0.002080	1.042381	0.954960	0.999087	0.014508
fp-s006	1.004460	0.996606	1.000022	0.001239	1.003682	0.997259	1.000032	0.001040
fp-s007	1.013846	0.986590	0.999889	0.003657	1.007445	0.993984	0.999764	0.002274
fp-s008	1.002152	0.998181	1.000016	0.000651	1.003156	0.997018	0.999973	0.001187
fp-s009	1.004554	0.995763	1.000019	0.001694	1.005910	0.992647	0.999948	0.001867
fp-s010	1.038667	0.958733	1.000275	0.010890	1.037633	0.957357	1.000075	0.011351
fp-s011	1.007028	0.994396	0.999943	0.002379	1.013561	0.988581	0.999662	0.003555
fp-s012	1.004484	0.995348	0.999890	0.001562	1.003622	0.996908	0.999959	0.001233
fp-s013	1.041287	0.963341	0.999378	0.012931	1.033786	0.974187	0.999932	0.010807
op-a001	1.000382	0.999672	0.999997	0.000112	1.000250	0.999802	0.999998	0.000073
op-i002	1.000331	0.999718	0.999997	0.000096	1.000132	0.999902	0.999999	0.000040
op-i003	1.000287	0.999753	0.999997	0.000085	1.000470	0.999620	0.999996	0.000138
op-i004	1.000017	0.999986	1.000000	0.000005	1.000277	0.999780	0.999998	0.000081
op-s005	1.000157	0.999866	0.999998	0.000047	1.000149	0.999885	0.999999	0.000045
op-s006	1.000125	0.999892	0.999999	0.000038	1.000057	0.999956	1.000000	0.000018
op-s007	1.000040	0.999966	1.000000	0.000012	1.000057	0.999955	1.000000	0.000018
op-s008	1.000014	0.999988	1.000000	0.000004	1.000026	0.999980	1.000000	0.000008
op-s009	1.000096	0.999919	0.999999	0.000029	1.000152	0.999882	0.999999	0.000045
op-s010	1.000056	0.999965	1.000000	0.000015	1.000099	0.999928	0.999999	0.000029
op-s011	1.000003	0.999997	1.000000	0.000001	1.000086	0.999934	0.999999	0.000026
op-s012	1.000049	0.999961	1.000000	0.000015	1.000142	0.999890	0.999999	0.000042
op-s013	1.000109	0.999907	0.999999	0.000033	1.000128	0.999904	0.999999	0.000039

表 1-15 モンテカルロ実験の結果 (シミュレーション 8)

	生産高				価格			
	最大	最小	平均	標準偏差	最大	最小	平均	標準偏差
fp-a001	1.008000	0.993633	0.999970	0.002214	1.011620	0.989796	1.000095	0.003498
fp-i002	1.080369	0.930941	0.999910	0.025541	1.055603	0.945806	1.000251	0.020566
fp-i003	1.018836	0.983665	0.999938	0.005642	1.040858	0.955902	0.999769	0.014492
fp-i004	1.000993	0.998897	0.999979	0.000373	1.012663	0.987195	1.000149	0.004107
fp-s005	1.008178	0.994385	1.000130	0.002185	1.049577	0.958025	0.999794	0.015112
fp-s006	1.004414	0.996418	1.000022	0.001253	1.003507	0.995788	1.000011	0.001143
fp-s007	1.013819	0.989285	0.999824	0.003708	1.007498	0.993739	0.999875	0.002284
fp-s008	1.001940	0.998050	0.999975	0.000621	1.003524	0.996603	0.999937	0.001200
fp-s009	1.005207	0.995757	1.000049	0.001758	1.010105	0.989893	0.999844	0.003488
fp-s010	1.038682	0.973347	1.000466	0.010565	1.041937	0.970813	1.000144	0.011091
fp-s011	1.009197	0.993796	1.000035	0.002435	1.011336	0.988289	0.999871	0.003699
fp-s012	1.004117	0.994919	0.999856	0.001596	1.005599	0.995199	0.999826	0.001841
fp-s013	1.041259	0.965611	0.999995	0.013325	1.041484	0.971080	1.000162	0.010980
op-a001	1.000931	0.999058	0.999993	0.000314	1.000467	0.999516	0.999997	0.000163
op-i002	1.001281	0.998858	0.999988	0.000410	1.000256	0.999760	0.999998	0.000088
op-i003	1.001570	0.998654	0.999988	0.000492	1.000879	0.999078	0.999995	0.000309
op-i004	1.000069	0.999940	1.000000	0.000022	1.000518	0.999464	0.999997	0.000182
op-s005	1.000450	0.999586	0.999997	0.000153	1.000288	0.999720	0.999998	0.000100
op-s006	1.000346	0.999684	0.999999	0.000121	1.000107	0.999894	0.999999	0.000039
op-s007	1.000145	0.999878	0.999999	0.000047	1.000105	0.999897	0.999999	0.000038
op-s008	1.000048	0.999957	1.000000	0.000016	1.000048	0.999951	1.000000	0.000017
op-s009	1.000345	0.999700	0.999997	0.000113	1.000287	0.999714	0.999998	0.000100
op-s010	1.000149	0.999860	0.999999	0.000053	1.000161	0.999840	0.999999	0.000059
op-s011	1.000013	0.999988	1.000000	0.000004	1.000160	0.999838	0.999999	0.000057
op-s012	1.000181	0.999843	0.999999	0.000059	1.000263	0.999729	0.999998	0.000094
op-s013	1.000454	0.999604	0.999997	0.000144	1.000240	0.999760	0.999998	0.000086

表 1-16 モンテカルロ実験の結果 (シミュレーション 9)

	生産高				価格			
	最大	最小	平均	標準偏差	最大	最小	平均	標準偏差
fp-a001	1.008019	0.993561	0.999970	0.002216	1.004420	0.996699	1.000031	0.001250
fp-i002	1.080507	0.930593	0.999907	0.025550	1.058319	0.945100	1.000296	0.020461
fp-i003	1.019022	0.982921	0.999932	0.005672	1.022923	0.981629	0.999966	0.006645
fp-i004	1.001003	0.998922	0.999979	0.000373	1.006022	0.994457	1.000032	0.001796
fp-s005	1.008293	0.994377	1.000129	0.002188	1.044124	0.961769	0.999889	0.014275
fp-s006	1.004415	0.996715	1.000028	0.001239	1.003501	0.996597	1.000028	0.001065
fp-s007	1.013797	0.989262	0.999824	0.003709	1.007445	0.994154	0.999898	0.002265
fp-s008	1.001942	0.998054	0.999975	0.000620	1.003315	0.996589	0.999938	0.001183
fp-s009	1.005229	0.995753	1.000050	0.001759	1.006229	0.992640	0.999938	0.001879
fp-s010	1.038743	0.973279	1.000465	0.010566	1.041257	0.971589	1.000165	0.011092
fp-s011	1.009198	0.993796	1.000035	0.002435	1.010984	0.988576	0.999866	0.003565
fp-s012	1.004120	0.994920	0.999856	0.001596	1.003620	0.996737	0.999936	0.001226
fp-s013	1.041242	0.965575	0.999995	0.013328	1.041527	0.971239	1.000130	0.010963
op-a001	1.000387	0.999650	0.999998	0.000117	1.000251	0.999783	1.000000	0.000076
op-i002	1.000335	0.999700	0.999999	0.000100	1.000134	0.999895	1.000000	0.000042
op-i003	1.000291	0.999737	0.999999	0.000088	1.000484	0.999560	0.999999	0.000146
op-i004	1.000017	0.999985	1.000000	0.000005	1.000274	0.999765	1.000000	0.000086
op-s005	1.000159	0.999857	0.999999	0.000049	1.000151	0.999873	1.000000	0.000048
op-s006	1.000127	0.999885	0.999999	0.000039	1.000058	0.999953	1.000000	0.000019
op-s007	1.000040	0.999964	1.000000	0.000012	1.000057	0.999952	1.000000	0.000019
op-s008	1.000014	0.999988	1.000000	0.000004	1.000026	0.999979	1.000000	0.000008
op-s009	1.000097	0.999914	1.000000	0.000030	1.000154	0.999872	1.000000	0.000047
op-s010	1.000055	0.999963	1.000000	0.000016	1.000096	0.999924	1.000000	0.000030
op-s011	1.000003	0.999997	1.000000	0.000001	1.000087	0.999928	1.000000	0.000027
op-s012	1.000049	0.999958	1.000000	0.000015	1.000144	0.999881	1.000000	0.000044
op-s013	1.000110	0.999901	0.999999	0.000034	1.000130	0.999895	1.000000	0.000040

表 1-17 モンテカルロ実験の結果 (シミュレーション 10)

	生産高				価格			
	最大	最小	平均	標準偏差	最大	最小	平均	標準偏差
fp-a001	1.007294	0.993620	1.000126	0.002221	1.009216	0.990133	1.000060	0.003486
fp-i002	1.077613	0.910971	0.998856	0.025704	1.078393	0.941351	0.998840	0.021628
fp-i003	1.018717	0.983652	1.000288	0.005763	1.045756	0.961033	1.000783	0.014436
fp-i004	1.000998	0.998899	0.999997	0.000375	1.015474	0.988520	1.000345	0.004037
fp-s005	1.008390	0.993275	1.000153	0.002196	1.049581	0.952914	0.999249	0.015104
fp-s006	1.003218	0.996754	1.000093	0.001196	1.003371	0.996682	0.999956	0.001120
fp-s007	1.013791	0.986389	0.999684	0.003839	1.006061	0.993924	0.999892	0.002404
fp-s008	1.001731	0.998051	0.999960	0.000591	1.003067	0.996580	0.999869	0.001196
fp-s009	1.005215	0.995270	1.000038	0.001736	1.010047	0.988759	0.999947	0.003482
fp-s010	1.033082	0.958702	0.999908	0.010462	1.027395	0.957640	1.000031	0.010915
fp-s011	1.007741	0.993724	1.000119	0.002343	1.012993	0.991266	1.000341	0.003734
fp-s012	1.004082	0.995829	0.999888	0.001566	1.005248	0.995199	0.999915	0.001883
fp-s013	1.041230	0.964671	1.001204	0.013405	1.034944	0.971438	1.000561	0.010751
op-a001	1.000948	0.999215	1.000016	0.000318	1.000501	0.999557	1.000008	0.000162
op-i002	1.001436	0.998985	1.000019	0.000421	1.000273	0.999763	1.000004	0.000087
op-i003	1.001651	0.998655	1.000021	0.000505	1.000922	0.999167	1.000015	0.000309
op-i004	1.000075	0.999940	1.000001	0.000023	1.000554	0.999511	1.000009	0.000181
op-s005	1.000478	0.999606	1.000008	0.000155	1.000313	0.999731	1.000004	0.000099
op-s006	1.000420	0.999684	1.000009	0.000128	1.000120	0.999897	1.000002	0.000039
op-s007	1.000151	0.999878	1.000003	0.000048	1.000118	0.999901	1.000002	0.000038
op-s008	1.000055	0.999957	1.000001	0.000016	1.000053	0.999954	1.000001	0.000017
op-s009	1.000377	0.999701	1.000006	0.000116	1.000311	0.999728	1.000005	0.000100
op-s010	1.000183	0.999860	1.000003	0.000054	1.000181	0.999850	1.000003	0.000059
op-s011	1.000014	0.999988	1.000000	0.000004	1.000175	0.999848	1.000003	0.000057
op-s012	1.000195	0.999843	1.000003	0.000060	1.000283	0.999748	1.000004	0.000093
op-s013	1.000492	0.999605	1.000007	0.000148	1.000263	0.999772	1.000004	0.000085

2. 新技術開発と地域間産業連関⁶

1. はじめに

前章では、産業連関表および産業連関分析におけるデータ整備の困難さを補うために、福岡県とその他の都道府県（残りの日本）の2地域からなる地域間産業連関表を用いて、モンテカルロ実験により投入係数を変化させ、生産高と価格の変動を分析した。その中で、将来的に注目すべき産業として、情報通信を取り上げた（前章の fp-s010）。最近の経済活動において、競争力と生産性を高めるために ICT（情報通信技術）を利用するケースが増えている。そのための研究開発が活発に行われている。ICT 産業の需要が拡大したときに他の産業や他の地域への影響を分析することは重要な問題だと考えられる。そこで本章では、前章と同様に福岡県の地域間産業連関表を用いて、ICT 産業の発展による経済効果を分析する。

既存の表から経済効果を測定するのは簡単なので、本章ではいくつかの新しい仮定を導入する。1 つは、前章と同様に投入係数が確率的に変動するという仮定を置く。産業連関表は特定の時期の経済活動に基づいて作成されているため、普遍性に欠けるといった問題が存在し、これを補う方法として、同様の仮定を設ける。もう 1 つは、ICT 開発の成果が確率的に発生するといった仮定である。これは生産性の向上が突然起こることを意味する。ここでは、産業連関分析に、上記 2 つの確率的要素を加えて、モンテカルロ実験を行うことにする。

2. モデル、データとシミュレーション

モデルは、前章と同様である。同様に、数量モデルと価格モデルの両方を用いる。

次に、データについて、ここでも同様に、福岡県の地域間産業連関表のデータを使用する。この表は、福岡県（以下、「fp」と表記することがある）とその他の都道府県（以下、「op」と表記することがある）の2つの地域で構成されている。現在、1995年、2000年、2005年、2011年の表が利用可能であるが、本章では2011年表を用いる。2011年表の産業部門数は42であり、産業間での変動を細かく分析するために、42部門すべての情報を用いる。表2-1が産業分類である。その中で、本章で対象とする情報通信（ICT産業）は、s031に該当する。

第3に、産業構造の変動について、前章と同様に、産業構造の変動は、産業連関表の投入係数の変化に起因すると仮定する。投入係数は産業連関分析の重要な部分であるため、数量モデルと価格モデルの解、すなわち波及効果は、この係数を変更することによって変化することが予想される。

⁶ 本章は、58th European Regional Science Association Congress (University College of Cork, Cork, Ireland), 2018年8月31日(金)にて、執筆者自らが報告した“Improvement of Productivity and Regional Spillover Effect: Using the Interregional Input-Output Table in Japan”をもとに構成されている。

表 2-1 産業分類

	産業		産業
a001	農業	i022	その他の製造工業製品
a002	林業	i023	建設
a003	漁業	s024	電力・ガス・熱供給
i004	鉱業	s025	水道
i005	飲食料品	s026	廃棄物処理
i006	繊維製品	s027	商業
i007	パルプ・紙・木製品	s028	金融・保険
i008	化学製品	s029	不動産
i009	石油・石炭製品	s030	運輸・郵便
i010	プラスチック・ゴム	s031	情報通信
i011	窯業・土石製品	s032	公務
i012	鉄鋼	s033	教育・研究
i013	非鉄金属	s034	医療・福祉
i014	金属製品	s035	その他の非営利団体サービス
i015	はん用機械	s036	対事業所サービス
i016	生産用機械	s037	宿泊業
i017	業務用機械	s038	飲食サービス
i018	電子部品	s039	娯楽サービス
i019	電気機械	s040	その他の対個人サービス
i020	情報・通信機器	s041	事務用品
i021	輸送機械	s042	分類不明

表 2-2 モンテカルロ実験

		他の投入係数	("fp", "fp", "s031", j) と ("op", "fp", "s031", j)
シミュレーション1	ベースケース	$1+N(0, 0.05)$	$1+N(0, 0.05)$
シミュレーション2	小さな効果	$1+N(0, 0.05)$	$1+N(0, 0.05) + B(1, 0.50) \times 0.10$
シミュレーション3	大きな効果	$1+N(0, 0.05)$	$1+N(0, 0.05) + B(1, 0.10) \times 0.50$
シミュレーション4	大きな効果と小さな効果	$1+N(0, 0.05)$	$1+N(0, 0.05) + B(1, 0.50) \times 0.10 + B(1, 0.10) \times 0.50$

(注) $N(0, 0.05)$ は平均 0, 標準偏差 0.05 の正規分布, $B(1, 0.10)$ は 0.10 の確率で 1 を示す二項分布に従う乱数を発生させる。

また, 2 地域による地域間産業連関表の場合, 投入係数は地域によって 4 つに分割することができる (fp から fp , fp から op , op から fp , op から op)。本章は福岡県の情報通信産業の生産性向上による波及効果を分析するため, 福岡県内における投入係数と, 福岡県から県外への投入係数を中心に変動を与える。

モンテカルロ実験では, まず, 正規乱数を発生させて投入係数に変動を与える。乱数は, 平均 1, 標準偏差 0.05 の正規分布に従う。前章では, 過去の産業連関表の情報に基づき標準偏差を設定したが, 標準偏差自体が非常に小さな値だったので, 本章では, 一律 5% に統一し, すべての地域の投入係数に適用した (シミュレーション 1)。

表 2-3 モンテカルロ実験の結果（シミュレーション 1 から 4）

		最大	最小	平均	標準偏差
シミュレーション1	fp	1.016423	0.988342	1.000184	0.004161
	op	1.017109	0.988841	1.000050	0.004546
	jp	1.017044	0.989011	1.000055	0.004463
シミュレーション2	fp	1.021098	0.990069	1.002483	0.004780
	op	1.017109	0.988867	1.000062	0.004546
	jp	1.017044	0.989198	1.000148	0.004463
シミュレーション3	fp	1.040683	0.988342	1.002731	0.008847
	op	1.017253	0.988841	1.000064	0.004549
	jp	1.018083	0.989011	1.000158	0.004494
シミュレーション4	fp	1.040683	0.990069	1.005091	0.009354
	op	1.017253	0.988867	1.000076	0.004549
	jp	1.018083	0.989198	1.000254	0.004494

次に、福岡県の情報通信産業の生産性向上を確率的に表現する。生産性向上は、地道な活動を要するも、努力と成果が比例的ではない。ある日突然生産性が向上するものと考えられる。そのため、ある確率で生産性が向上すると考える。なお、生産性向上は、投入係数の上昇によって行われるものと仮定する。これは、産業連関分析の要が投入係数にあるため、投入係数およびそこから計算されるレオンチェフ逆行列が何らかの変化を持たない限り、分析は単純なものとなる⁷。また、逆行列を用いているため、投入係数の数字が大きいくほど、波及効果が大きくなる⁸。ここでは、情報通信産業の投入係数がある確率で上昇するように仮定する。上昇幅は 10%と 50%で、上昇確率は 10%上昇の時は 50%、50%上昇の時は 10%とする。すなわち、50%の確率で投入係数が 10%上昇し、10%の確率で投入係数が 50%上昇する⁹。ただし、この間にも、もともとの 5%の変動が与えられているので、投入係数が必ずしも 50%上昇するわけではない。また、2 種類の上昇が同時に行われる可能性も考えられる。そこで、生産性向上のシミュレーションを 3 種類設定する。1 つは、情報通信産業の投入係数が 50%の確率で 10%上昇した場合である（シミュレーション 2）。次は、投入係数が 10%の確率で 50%上昇した場合である（シミュレーション 3）。そして、これら両方が実現した場合である（シミュレーション 4）。本章では、ベースケースのシミュレーションと合わせて、4 つのシミュレーションを分析する（表 2-2）。

⁷ 各統計部門が公表する産業連関表には、逆行列表もあわせて公表されており、通常的需求増大に伴う波及効果は、公表された表から容易に計算できる。実践的に、波及効果を金額で表示することが多く見受けられるが、効果は、需要規模に対して線形であるため、効果の割合だけが重要になる。

⁸ 投入係数は、中間財 / (中間財 + 付加価値) で計算される。投入係数が高いということは、中間財比率が高いということになるが、逆にいえば、付加価値比率が低いともいえる。GDP が付加価値の総和であることを鑑みた時、投入係数が高いことが必ずしも望ましい状態であるとはいえない。

⁹ ここでは、上昇確率としてかなり高い値を設定した。研究開発で、新製品などが開発、発明される確率は非常に低いだろう。よって、より精度の高い結果をもたらすためには、上昇確率を低くする必要がある。しかしながら、このような措置をとれば、実験回数を増やす必要があるため、実験の効率化を図るため、上昇確率を高くしている。

3. 結果

表 2-3 は、各地域における生産高 ($X \cdot x$) の変化の最大値、最小値、平均値および標準偏差を 4 つのシミュレーションで比較したものである。乱数は、前章と同様に 500 回発生させた。ここでは、5%の不確実性のほかに、極端な生産性の向上を仮定しているため、生産高の平均値も上昇する。これに伴い、標準偏差も上昇する。福岡県の場合、最大約 4% の生産高の上昇が見込まれる。ただし、表でもわかるように、最大値はシミュレーション 3 とシミュレーション 4 で同じである。2 種類の生産性の向上が同時に発生する可能性を考えているが、今回の実験結果においては、5%の不確実性の部分で、マイナスであったため、シミュレーション 3 とシミュレーション 4 の最大値が同じになったと考えられる。しかしながら、両者の結果の違いは、平均値や標準偏差の違いに見られ、いずれも、シミュレーション 4 のほうが大きい (平均値は 1.002731 と 1.005091、標準偏差は 0.008847 と 0.009354)。他県および全国への影響については、生産性向上の可能性が高まるにつれて、平均値が若干上昇するが、標準偏差への影響はほとんどない。

表 2-4 から表 2-7 は、2 地域 42 産業における、生産高 ($X \cdot x$) および価格 (P) の変化の平均値を 4 つのシミュレーションで比較したものである。シミュレーションを通じて分かったことは、極端な生産性の向上により、すべての地域と産業で生産高と価格の両方の平均値が上昇していることである。また、生産高の変化は価格の変化よりも大きいことも分かった。生産性が向上した福岡県の情報通信産業 (s031) について、生産高の平均は、0.0% (シミュレーション 1)、3.9% (シミュレーション 2)、4.3% (シミュレーション 3)、8.3% (シミュレーション 4) であった。価格の平均は、0.1% (シミュレーション 1)、1.1% (シミュレーション 2)、1.3% (シミュレーション 3)、2.4% (シミュレーション 4) であった。

4. この章のまとめ

本章では、将来の経済成長のカギとなるであろう情報通信 (ICT) 産業に着目し、情報通信産業の生産性向上による地域と産業への波及効果を分析したものである。前章と同様に福岡県の地域間産業連関表を使用し、生産性の不確実性を実現するためのモンテカルロ実験を行った。モンテカルロ実験においては、正規確率だけではなく、二項確率を用いて、極端な生産性向上を実現させた。

情報通信産業の生産性向上により、生産高と価格の両方が上昇することが判明した。比較的高い頻度で生産性向上が実現するにもかかわらず、必ずしも革命的な上昇ではないことも判明した。これは、福岡県の経済規模がそれほど大きなものではないうえに、情報通信産業だけ生産性の向上が起きるといった設定によるものと思われる。生産性のより極端な改善が必要かもしれないと同時に、ICT 革命だけでは、マクロ経済に大きな影響を与える現象にはならないとも考えることができるだろう。

表 2-4 モンテカルロ実験の結果（福岡県の生産高の平均）

	シミュレーション1	シミュレーション2	シミュレーション3	シミュレーション4
a001	1.000034	1.000056	1.000058	1.000080
a002	1.001179	1.001348	1.001366	1.001539
a003	0.998756	0.998758	0.998758	0.998761
i004	0.999892	1.000287	1.000331	1.000737
i005	1.000004	1.000006	1.000006	1.000007
i006	0.999930	1.000198	1.000227	1.000502
i007	0.999307	1.000670	1.000822	1.002221
i008	0.999072	0.999150	0.999158	0.999238
i009	0.999236	0.999495	0.999524	0.999790
i010	1.001304	1.001515	1.001538	1.001755
i011	1.000461	1.000551	1.000562	1.000654
i012	1.000721	1.000749	1.000753	1.000782
i013	1.000937	1.001037	1.001049	1.001152
i014	0.999138	0.999275	0.999290	0.999430
i015	1.000012	1.000051	1.000056	1.000096
i016	1.000159	1.000186	1.000190	1.000218
i017	1.000202	1.000392	1.000415	1.000610
i018	1.000571	1.000738	1.000755	1.000926
i019	1.000370	1.000404	1.000408	1.000443
i020	0.999579	0.999704	0.999718	0.999846
i021	1.000800	1.000823	1.000826	1.000849
i022	0.999922	1.001643	1.001841	1.003607
i023	1.000033	1.000390	1.000431	1.000797
s024	1.000117	1.000920	1.001012	1.001836
s025	0.999846	1.000743	1.000844	1.001766
s026	0.999128	1.000702	1.000869	1.002484
s027	0.999881	0.999976	0.999987	1.000085
s028	0.999249	0.999854	0.999920	1.000541
s029	1.000117	1.000763	1.000839	1.001502
s030	1.000215	1.001038	1.001123	1.001969
s031	1.000271	1.039241	1.043365	1.083360
s032	0.999989	1.000026	1.000031	1.000070
s033	1.000220	1.001072	1.001173	1.002049
s034	0.999993	1.000008	1.000010	1.000025
s035	1.000070	1.000622	1.000686	1.001253
s036	1.001136	1.004844	1.005277	1.009083
s037	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000
s038	1.000028	1.000029	1.000029	1.000030
s039	1.000255	1.001245	1.001348	1.002364
s040	1.000101	1.000294	1.000314	1.000513
s041	0.998225	1.001019	1.001334	1.004203
s042	1.000565	1.002469	1.002704	1.004659

表 2-5 モンテカルロ実験の結果（他県の生産高の平均）

	シミュレーション1	シミュレーション2	シミュレーション3	シミュレーション4
a001	1.001167	1.001169	1.001169	1.001171
a002	1.001827	1.001862	1.001866	1.001902
a003	1.000768	1.000770	1.000770	1.000772
i004	0.997578	0.997601	0.997603	0.997626
i005	0.999168	0.999168	0.999168	0.999168
i006	0.999375	0.999388	0.999389	0.999402
i007	1.000651	1.000733	1.000742	1.000827
i008	1.000250	1.000265	1.000267	1.000282
i009	1.001415	1.001437	1.001440	1.001462
i010	1.000523	1.000556	1.000560	1.000594
i011	0.999363	0.999374	0.999376	0.999388
i012	0.999290	0.999300	0.999301	0.999310
i013	0.999284	0.999293	0.999294	0.999303
i014	0.999518	0.999531	0.999533	0.999546
i015	0.999937	0.999944	0.999945	0.999952
i016	0.999682	0.999688	0.999688	0.999694
i017	1.000080	1.000088	1.000089	1.000096
i018	1.001366	1.001376	1.001377	1.001388
i019	1.000106	1.000112	1.000113	1.000119
i020	0.999956	0.999958	0.999958	0.999960
i021	1.002826	1.002839	1.002841	1.002855
i022	1.000515	1.000582	1.000589	1.000658
i023	0.999843	0.999845	0.999845	0.999847
s024	0.999917	0.999938	0.999941	0.999962
s025	0.999955	0.999973	0.999975	0.999992
s026	0.999247	0.999252	0.999252	0.999258
s027	1.000122	1.000135	1.000136	1.000149
s028	0.999307	0.999313	0.999314	0.999320
s029	0.999956	0.999958	0.999958	0.999961
s030	1.000376	1.000389	1.000391	1.000404
s031	0.998979	0.999007	0.999010	0.999039
s032	1.000047	1.000047	1.000047	1.000047
s033	1.000348	1.000356	1.000357	1.000366
s034	0.999946	0.999946	0.999946	0.999946
s035	0.999944	0.999950	0.999951	0.999957
s036	0.999287	0.999321	0.999324	0.999360
s037	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000
s038	1.000100	1.000100	1.000100	1.000100
s039	0.999727	0.999742	0.999744	0.999759
s040	1.000018	1.000020	1.000020	1.000022
s041	0.999212	0.999223	0.999224	0.999235
s042	1.000048	1.000060	1.000062	1.000074

表 2-6 モンテカルロ実験の結果（福岡県の価格の平均）

	シミュレーション1	シミュレーション2	シミュレーション3	シミュレーション4
a001	1.000317	1.000866	1.000926	1.001491
a002	1.000142	1.000608	1.000661	1.001140
a003	1.000214	1.001022	1.001112	1.001941
i004	0.999069	1.000408	1.000555	1.001931
i005	1.000789	1.001397	1.001465	1.002089
i006	0.999991	1.000988	1.001097	1.002122
i007	1.000988	1.001892	1.001991	1.002921
i008	0.999582	1.000813	1.000947	1.002211
i009	0.998046	0.998979	0.999081	1.000040
i010	1.000649	1.001541	1.001639	1.002555
i011	0.999997	1.000984	1.001092	1.002107
i012	0.998936	0.999454	0.999511	1.000043
i013	0.999061	0.999824	0.999906	1.000689
i014	1.000697	1.001493	1.001579	1.002397
i015	0.999689	1.000526	1.000619	1.001478
i016	0.999903	1.000926	1.001039	1.002089
i017	1.000694	1.001735	1.001847	1.002916
i018	0.999346	1.000635	1.000774	1.002098
i019	1.000013	1.001263	1.001401	1.002684
i020	1.000070	1.002392	1.002646	1.005031
i021	1.000333	1.000923	1.000988	1.001594
i022	0.999905	1.000807	1.000904	1.001831
i023	1.000219	1.001434	1.001569	1.002816
s024	0.999703	1.001325	1.001502	1.003169
s025	0.999578	1.002981	1.003353	1.006848
s026	0.999792	1.000845	1.000963	1.002045
s027	1.000092	1.002820	1.003122	1.005924
s028	0.999870	1.003792	1.004218	1.008246
s029	0.999779	1.000537	1.000617	1.001396
s030	1.000306	1.001736	1.001900	1.003368
s031	1.000661	1.011477	1.012682	1.023790
s032	1.000076	1.002307	1.002552	1.004843
s033	1.000007	1.001626	1.001803	1.003466
s034	0.999860	1.001069	1.001199	1.002441
s035	0.999648	1.003732	1.004193	1.008388
s036	1.000890	1.005068	1.005520	1.009811
s037	1.000285	1.002051	1.002244	1.004058
s038	1.000469	1.002382	1.002592	1.004558
s039	0.999975	1.002594	1.002883	1.005572
s040	0.999798	1.001248	1.001405	1.002894
s041	0.999732	1.000320	1.000387	1.000991
s042	0.999734	1.001506	1.001705	1.003525

表 2-7 モンテカルロ実験の結果（他県の価格の平均）

	シミュレーション1	シミュレーション2	シミュレーション3	シミュレーション4
a001	1.000046	1.000078	1.000082	1.000116
a002	0.999876	0.999893	0.999894	0.999912
a003	0.999638	0.999671	0.999675	0.999709
i004	0.999768	0.999800	0.999804	0.999837
i005	0.999906	0.999947	0.999951	0.999993
i006	0.998708	0.998754	0.998759	0.998807
i007	1.000761	1.000809	1.000814	1.000864
i008	1.000434	1.000482	1.000487	1.000537
i009	0.995635	0.995662	0.995665	0.995693
i010	1.000471	1.000521	1.000527	1.000578
i011	0.999673	0.999709	0.999712	0.999749
i012	0.998252	0.998304	0.998310	0.998363
i013	0.998218	0.998258	0.998262	0.998303
i014	0.999145	0.999189	0.999194	0.999240
i015	0.999787	0.999830	0.999835	0.999879
i016	0.998952	0.998995	0.999000	0.999044
i017	0.999904	0.999950	0.999956	1.000004
i018	1.001165	1.001216	1.001222	1.001274
i019	0.999661	0.999712	0.999718	0.999770
i020	1.001227	1.001284	1.001291	1.001350
i021	1.003680	1.003744	1.003752	1.003818
i022	0.999475	0.999516	0.999521	0.999563
i023	0.999382	0.999422	0.999427	0.999469
s024	0.999854	0.999891	0.999895	0.999932
s025	0.999260	0.999305	0.999310	0.999355
s026	0.999368	0.999387	0.999389	0.999408
s027	1.000027	1.000059	1.000062	1.000094
s028	0.999975	1.000015	1.000020	1.000061
s029	0.999632	0.999642	0.999643	0.999653
s030	0.999872	0.999903	0.999906	0.999938
s031	0.998800	0.998881	0.998890	0.998974
s032	0.999912	0.999939	0.999942	0.999970
s033	0.999936	0.999959	0.999961	0.999985
s034	0.999901	0.999932	0.999935	0.999967
s035	1.000038	1.000085	1.000090	1.000139
s036	0.999563	0.999615	0.999620	0.999673
s037	1.000083	1.000122	1.000126	1.000166
s038	0.999429	0.999475	0.999480	0.999527
s039	0.999865	0.999895	0.999898	0.999929
s040	0.999829	0.999852	0.999854	0.999877
s041	1.001138	1.001215	1.001223	1.001303
s042	0.999843	0.999885	0.999889	0.999931

3. 自然災害と地域経済：確率的応用一般均衡分析¹⁰

1. はじめに

日本は自然災害が多い国である。いうまでもなく、自然災害は経済活動に悪影響をおよぼす。それにもかかわらず、自然災害の発生とその影響を簡単に予測することは困難であると思われる。例えば、地震予測の研究が進んでいるにもかかわらず、地震がいつどこで起こるのかは、いまだに不明である。また、台風や大雨による災害についても、事前に予測経路が発表されているにもかかわらず、被害を受けることが多い。しかも、この手の自然災害においては、想定外の事態が起こることもある。そこで本章では、想定外の自然災害をモンテカルロ実験を用いて発生させ、それに基づく地域経済への影響を分析する。

本章では、ケーススタディとして、これまでと同様に福岡県とその他の2地域からなる地域間産業連関表を用いることにする。福岡県も他地域と同じで、2005年に比較的大きな地震が発生している（福岡県西方沖地震）。また、大雨や台風も多く、これらによる被害がよく見られる。

本章では、この地域間産業連関表に基づいて計算可能な一般均衡（CGE）モデルを構築する。自然災害の影響が生産要素に影響をおよぼし、資本と労働が突然減少したとき、また、物流網の影響を受け、中間財の獲得に影響をおよぼした場合の地域経済への影響を分析する。そしてこれらの突然の減少を実現するために、モンテカルロ実験を用いる。

2. モデル

CGE（Computable General Equilibrium）モデルは、経済政策の数量モデルとして広く知られているが、①一般均衡理論を中心とした経済理論の知識、②産業連関表や社会会計行列といった経済統計の知識、および③モデルを計算させるためのコンピュータ（プログラミング）の知識が必要である。

本章のモデルは、著者のこれまで開発してきたモデルとは、若干異なる形となっているため、モデルを順を追って紹介する。もっとも、モデルの大枠の部分は、これまで開発してきたモデルと同じであり、経済系のCGEモデルにおいて、多くの開発者が採用しているモデルを使用する¹¹。

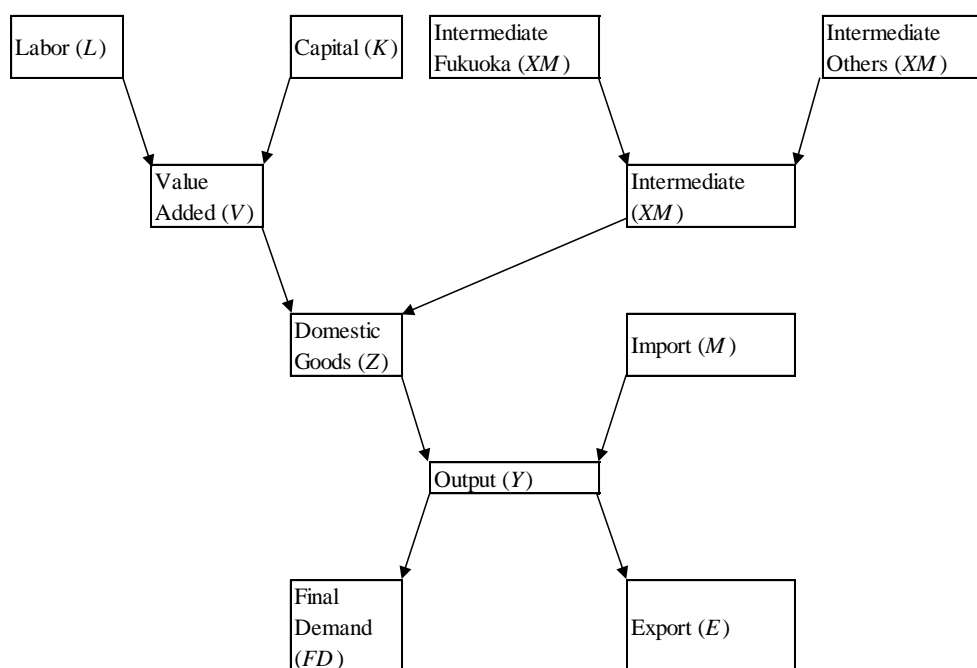
¹⁰ 本章は、2019年1月29日（火）のAGI所員研究会にて、執筆者自らが報告した内容をもとに構成されている。なお、報告の（暫定）英語タイトルは“Unexpected Natural Disasters and Regional Economies: CGE Analysis Based on Interregional Input-Output Tables in Japan”である。

¹¹ 経済系のCGEモデルは、細江、我澤、橋本（2004）で紹介されているモデル、GTAP（Global Trade Analysis Project）モデル（Hertel, 1997）、およびその中間的性質のモデル（Rutherford, 2010）が主なものである。そして、これらをもとに開発者が独自の設定を加え、完成させている。これ以外に、工学系研究者が開発するより独創的なモデルがある。このように、CGE研究において、ある程度共通化されたモデルで分析されることもあるが、研究者によるオリジナリティの高いモデルだと、研究者同士で意思の疎通ができないケースがある。「労多くして報われず」の手法ともいえるが、ある程度モデル開発に精通している研究者にとっては、比較的早急に分析結果を示すことができる分野でもある。

表 3-1 福岡県地域間産業連関表の構造

	福岡県	他県	福岡県	他県	輸出	輸入	生産
福岡県	$XM(fp,fp)$	$XM(op,fp)$	$FD(fp,fp)$	$FD(op,fp)$	$E(fp)$	$M(fp)$	$Y(fp)$
他県	$XM(fp,op)$	$XM(op,op)$	$FD(fp,op)$	$FD(op,op)$	$E(op)$	$M(op)$	$Y(op)$
労働	$L(fp)$	$L(op)$					
資本	$K(fp)$	$K(op)$					
生産	$Y(fp)$	$Y(op)$					

図 3-1 CGE モデルの構造



(出所) 著者作成

表 3-1 は、これまで紹介してきた福岡県の地域間産業連関表を、モデル開発のために、変数で表記したものである。例えば、中間財は XM と表記し、最終需要は FD と表記した。ここで、通常の産業連関分析において重要なパラメータである投入係数は、 XM/Y ということになる。

これを踏まえたうえで、モデル構造を示したものが図 3-1 である。労働 L と資本 K により、付加価値財 V が生産される。一方、中間財は、福岡県の中間財と他県の中間財が合成される。これらは、不完全代替を仮定し、代替の弾力性が一定の CES (Constant Elasticity of Substitution) 関数が設定される¹²。次に、付加価値財と合成された中間財が合成され、国

¹² 代替関係とは、生産において、資本と労働を置き換えることができるのかという点に着目される。いうまでもなく、労働者は機械といった資本設備と置き換えることができる。また、同じ中間財でも、生産する地域が異なることで、置き換えが可能となる (Armington, 1969)。ただし、付加価値と中間財および異なる中間財どうしでは置き換えることができない。例えば、労働者と農業中間財や農業と工業の中間財などの組み合わせである。そしてこの代替関係を数値化し、生産関数に使用する。一般形が、CES 関数

内財 Z となる。ただし、この合成においては、代替関係が存在しない。さらに、輸入財 M が合成され、最終的な生産財 Y が形成される。輸入財と国内財は不完全代替である。最後に、生産財は各種最終需要 FD と輸出 E に振り分けられる¹³。

次に、これらを数式化する。まず、労働と資本の需給関係について、これらのストックを固定し、価格が変動する形をとる。なお、ストックは自然災害において被災した場合に、減少するものとする¹⁴。

$$l_{r,j} = 1 \quad (3-1)$$

$$k_{r,j} = 1 \quad (3-2)$$

ここで、 l と k はそれぞれ、労働と資本のストックの内生変数である。外生のストック値 (L と K) を与えることで、それぞれのストックが $(l \cdot L)$ と $(k \cdot K)$ で示される¹⁵。また、添え字の r (s) は地域、 j (i) は産業を示す。この場合、地域と産業が示されているので、労働や資本の地域間および産業間での移動がないものとなる。

労働と資本の組み合わせで付加価値財が合成される。この場合、CES 関数を用いて、最適化問題を構築した結果、費用関数は以下のように示される。

$$pv_{r,j} = \left(\alpha_{r,j}^{VL} \cdot pl_{r,j}^{(1-\sigma_j^V)} + \alpha_{r,j}^{VK} \cdot pk_{r,j}^{(1-\sigma_j^V)} \right)^{1/(1-\sigma_j^V)} \quad (3-3)$$

ここで、 pv は付加価値財の価格、 pl は労働価格、 pk は資本価格である。 α はシェアパラメータで、 σ は弾力性パラメータである。合成された中間財の価格も同様に、以下のよう
に示される¹⁶。

で、特殊なケースとして、代替関係が 1 の場合のコブダグラス関数、0 の場合のレオンチェフ関数が存在する。なお、代替関係が無限大の完全代替の場合は、 $A+B$ の形になる。

¹³ 本章のモデルにおいて、最終需要や輸出に対しては、細かい仮定を設定していない。ここでは、静学モデルを仮定し、投資が翌期の生産に影響を与える形をとらない。一般均衡モデルとして、数字がバランスしていればよいという観点でモデルを構築している。

¹⁴ 市場経済の現実問題として、労働や資本の価格と数量（ストック）はいずれも変動するのだが、モデルにおいては、どちらかを固定したほうが構築しやすい。ストックを固定することで、労働過剰（失業）などが扱えないが、モデルにおいては、価格が変化し、価格変化が労働過剰を吸収する形となる。

¹⁵ 大文字と小文字が入れ替わっているが、第 1 章の 2.モデルの部分の説明にならっている。

¹⁶ 以下、価格変数には p が変数の前につけられる。

$$pxm_{r,i,j} = \left(\sum_s \alpha_{r,s,i,j}^{XM} \cdot py_{s,i}^{(1-\sigma_j^X)} \right)^{\left(\frac{1}{(1-\sigma_j^X)} \right)} \quad (3-4)$$

付加価値財と中間財の合成には、レオンチェフ関数が仮定される。そのため、費用関数は以下の表記となる。

$$pz_{r,j} = \sum_i \alpha_{r,i,j}^{ZM} \cdot pxm_{r,i,j} + \alpha_{r,j}^{ZV} \cdot pv_{r,j} \quad (3-5)$$

輸入財と国内財の合成には CES 関数を用いる。その際、輸入財価格は特に変わった仮定を設けないので、相対価格を 1 とする。

$$pm_{r,j} = 1 \quad (3-6)$$

$$py_{r,j} = \left(\alpha_{r,j}^{YZ} \cdot pz_{r,j}^{(1-\sigma_j^Y)} + \alpha_{r,j}^{YM} \cdot pm_{r,j}^{(1-\sigma_j^Y)} \right)^{\left(\frac{1}{(1-\sigma_j^Y)} \right)} \quad (3-7)$$

生産財価格 py に対し、間接税 $GTAX$ 、補助金 $GSUB$ 、マージン $MARG$ を加えることで消費財の価格 p が決まる。

$$p_{r,i} = py_{r,i} \cdot (1 + GTAX_{r,i} + GSUB_{r,i} + MARG_{r,i}) \quad (3-8)$$

次に、財の需要関数を求める。本章のモデルがこれまでのモデルと異なっている点は、入れ子構造の需要関数をできるだけまとめた点にある。これにより、コンピュータ上で求めるべき方程式の削減が可能となる。例えば、労働と資本の需要関数は以下のようになる。

$$l_{r,j} = y_{r,j} \cdot \left(\frac{py_{r,j}}{pz_{r,j}} \right)^{\sigma_j^Y} \cdot \left(\frac{pz_{r,j}}{pv_{r,j}} \right)^{\sigma_j^Z} \cdot \left(\frac{pv_{r,j}}{pl_{r,j}} \right)^{\sigma_j^V} \cdot \left(\frac{pl_{r,j}}{1} \right)^{\sigma_j^L} \quad (3-9)$$

$$k_{r,j} = y_{r,j} \cdot \left(\frac{py_{r,j}}{pz_{r,j}} \right)^{\sigma_j^y} \cdot \left(\frac{pz_{r,j}}{pv_{r,j}} \right)^{\sigma_j^z} \cdot \left(\frac{pv_{r,j}}{pk_{r,j}} \right)^{\sigma_j^v} \quad (3-10)$$

ここで、資本需要の入れ子構造は以下である。

$$k_{r,j} = v_{r,j} \cdot \left(\frac{pv_{r,j}}{pk_{r,j}} \right)^{\sigma_j^v}, \quad v_{r,j} = z_{r,j} \cdot \left(\frac{pz_{r,j}}{pv_{r,j}} \right)^{\sigma_j^z}, \quad z_{r,j} = y_{r,j} \cdot \left(\frac{py_{r,j}}{pz_{r,j}} \right)^{\sigma_j^y} \quad (3-10-1)$$

また、労働需要については、入れ子が1つ増えている。これは、各産業の労働ストックが複数の労働者によって構成されていることを意味し、労働者間の代替も不完全であることを示している。ただし、個々の労働者の価格（賃金指数）は1とし（ニューメール）、あえて変数設定せず、ストレートに表記した¹⁷。

この需要構造と、式3-1と式3-2により、それぞれの左辺が1であることを利用して、労働価格（各産業における平均価格指数） pl 、資本価格 pk が決定する。

これを踏まえたうえで、中間財および輸入材の需要は以下のように示される。

$$xm_{r,s,i,j} = y_{r,j} \cdot \left(\frac{py_{r,j}}{pz_{r,j}} \right)^{\sigma_j^y} \cdot \left(\frac{pz_{r,j}}{pxm_{r,i,j}} \right)^{\sigma_j^z} \cdot \left(\frac{pxm_{r,i,j}}{py_{s,j}} \right)^{\sigma_j^x} \quad (3-11)$$

$$m_{r,j} = y_{r,j} \cdot \left(\frac{py_{r,j}}{pm_{r,j}} \right)^{\sigma_j^y} \quad (3-12)$$

そして、財の需給関係が以下のように示される。

$$y_{r,i} \cdot Y_{r,i} = \sum_s fd_{s,r,i} \cdot FD_{s,r,i} + \sum_{s,j} xm_{s,r,i,j} \cdot XM_{s,r,i,j} + e_{r,i} \cdot E_{r,i} + ADJ_{r,i} \quad (3-13)$$

一方で、各地域の収入（GDP）は労働と資本およびその他の付加価値額の合計として以下のように示される。

¹⁷ このような形は、Dixit and Stiglitz (1977) を起点に、様々な分野に応用されている。例えば、Fujita, Krugman and Venables (1999) など。

表 3-2 産業分類（再掲）

	産業		産業
a001	農業	i022	その他の製造工業製品
a002	林業	i023	建設
a003	漁業	s024	電力・ガス・熱供給
i004	鉱業	s025	水道
i005	飲食料品	s026	廃棄物処理
i006	繊維製品	s027	商業
i007	パルプ・紙・木製品	s028	金融・保険
i008	化学製品	s029	不動産
i009	石油・石炭製品	s030	運輸・郵便
i010	プラスチック・ゴム	s031	情報通信
i011	窯業・土石製品	s032	公務
i012	鉄鋼	s033	教育・研究
i013	非鉄金属	s034	医療・福祉
i014	金属製品	s035	その他の非営利団体サービス
i015	はん用機械	s036	対事業所サービス
i016	生産用機械	s037	宿泊業
i017	業務用機械	s038	飲食サービス
i018	電子部品	s039	娯楽サービス
i019	電気機械	s040	その他の対個人サービス
i020	情報・通信機器	s041	事務用品
i021	輸送機械	s042	分類不明

表 3-3 福岡県地域間産業連関表における実際の取引額（兆円）

	福岡県	他県	福岡県	他県	輸出	輸入	生産高
福岡県	9.62	6.27	12.38	4.95	1.94	-1.85	33.31
他県	6.31	440.57	4.40	467.39	69.01	-81.31	906.37
付加価値	17.38	459.53					
生産高	33.31	906.37					

$$\begin{aligned}
 inco_r \cdot INCO_r = & \sum_j pl_{r,j} \cdot l_{r,j} \cdot L_{r,j} + \sum_j pk_{r,j} \cdot k_{r,j} \cdot K_{r,j} \\
 & + \sum_j py_{r,j} \cdot y_{r,j} \cdot Y_{r,j} \cdot (GTAX_{r,j} + GSUB_{r,j} + MARG_{r,j})
 \end{aligned}
 \tag{3-14}$$

最後に、最終需要と輸出財需要は以下のコブダグラス型関数で示される。

$$fd_{r,s,i} = P_{s,i} \cdot inco_r / p_{s,i}
 \tag{3-15}$$

$$e_{r,i} = P_{r,i} \cdot inco_r / p_{r,i}
 \tag{3-16}$$

表 3-4 代替の弾力性パラメータ

	σ^L (fp)	σ^L (op)	σ^V	σ^X	σ^Z	σ^Y
a001	5.177	6.856	0.26	5.00	0.00	2.50
a002	3.774	6.027	0.20	5.00	0.00	2.50
a003	4.249	6.333	0.20	2.50	0.00	1.25
i004	4.413	6.031	0.20	10.80	0.00	5.40
i005	6.146	7.701	1.12	5.04	0.00	2.52
i006	4.919	6.954	1.26	7.56	0.00	3.78
i007	5.585	7.282	1.26	6.20	0.00	3.10
i008	5.615	7.403	1.26	5.72	0.00	2.86
i009	4.171	6.239	1.26	5.72	0.00	2.86
i010	5.814	7.425	1.26	5.72	0.00	2.86
i011	5.687	7.078	1.26	7.06	0.00	3.53
i012	5.774	7.151	1.26	7.06	0.00	3.53
i013	4.728	6.895	1.26	7.06	0.00	3.53
i014	5.791	7.469	1.26	7.06	0.00	3.53
i015	5.473	7.307	1.26	8.02	0.00	4.01
i016	5.657	7.562	1.26	8.02	0.00	4.01
i017	4.465	7.075	1.26	8.02	0.00	4.01
i018	5.494	7.455	1.26	8.80	0.00	4.40
i019	5.699	7.477	1.26	8.80	0.00	4.40
i020	4.012	7.084	1.26	8.80	0.00	4.40
i021	6.128	7.849	1.26	6.40	0.00	3.20
i022	5.793	7.421	1.26	8.02	0.00	4.01
i023	6.664	8.374	1.40	3.80	0.00	1.90
s024	5.578	7.276	1.26	5.60	0.00	2.80
s025	5.207	6.660	1.26	5.60	0.00	2.80
s026	5.597	7.212	1.26	3.80	0.00	1.90
s027	7.232	8.716	1.68	3.80	0.00	1.90
s028	6.295	8.083	1.26	3.80	0.00	1.90
s029	5.930	7.611	1.26	3.80	0.00	1.90
s030	6.684	8.237	1.68	3.80	0.00	1.90
s031	6.335	8.115	1.26	3.80	0.00	1.90
s032	6.572	8.241	1.26	3.80	0.00	1.90
s033	6.881	8.438	1.26	3.80	0.00	1.90
s034	7.028	8.570	1.26	3.80	0.00	1.90
s035	5.782	7.396	1.26	3.80	0.00	1.90
s036	6.795	8.478	1.26	3.80	0.00	1.90
s037	5.178	7.051	1.26	3.80	0.00	1.90
s038	6.285	7.921	1.26	3.80	0.00	1.90
s039	5.608	7.305	1.26	3.80	0.00	1.90
s040	5.924	7.650	1.26	3.80	0.00	1.90
s041	--	--	--	3.80	0.00	1.90
s042	4.384	6.074	1.26	3.80	0.00	1.90

(注) $\sigma^L = \text{Ln}(L^{1/2})$, σ^Z は代替関係のないレオンチェフ関数のパラメータ。s041 (事務用品) は付加価値のデータが記録されていないため、パラメータを表示していない。

(出所) GTAP8 データベースおよび福岡県地域間産業連関表より著者が計算

表 3-5 モンテカルロ実験

	$L(fp)$	$K(fp)$	$XM(fp, fp)$	$XM(fp, op),$ $XM(op, fp)$
シミュレーション1	$L \times (1 - B(1, 0.50) \times U(0, 0.10))$	$K \times (1 - B(1, 0.50) \times U(0, 0.50))$	$XM \times (1 - B(1, 0.50) \times U(0, 0.90))$	$XM \times (1 - B(1, 0.50) \times U(0, 0.50))$
シミュレーション2	$L \times (1 - U(0, 0.10))$	$K \times (1 - U(0, 0.50))$	$XM \times (1 - U(0, 0.90))$	$XM \times (1 - U(0, 0.50))$
シミュレーション3	$L \times (1 - U(0, 0.05))$	$K \times (1 - U(0, 0.25))$	$XM \times (1 - U(0, 0.45))$	$XM \times (1 - U(0, 0.25))$

(注) $B(1, 0.50)$ は 0.50 の確率で 1 を示す二項分布, $U(0, 0.10)$ は 0 から 0.10 までの範囲の一様分布に従う乱数を発生させる。

3. データとシミュレーション

データはこれまでと同様に、福岡県の地域間産業連関表の 2011 年表を用いる。この表は、福岡県（以下、「 fp 」と表記することがある）とその他の都道府県（以下、「 op 」と表記することがある）の 2 つの地域で構成されており、部門（産業数）は 42 である（表 3-2）。本章では、表のすべての情報を用いてモデルを構築する。付加価値のうち、労働ストックには、家計外消費支出（行）、賃金・俸給、社会保険料（雇用主負担）、その他の給与および手当の合計を使用した。資本ストックには、資本減耗引当を使用した。GTAX は間接税（関税・輸入品商品税を除く）、GSUB は経常補助金、MARG は営業余剰の数字を用いて、比率として使用した。一方、最終需要は、家計外消費支出（列）、民間消費支出、一般政府消費支出、県内総固定資本形成（公的）、県内総固定資本形成（民間）、在庫純増の合計を使用した。なお、本来、データの需給バランスが取れていることが前提であるが、表の編集過程で処理できない誤差が生じていると思われ、これらをバランスするための調整項が存在する（式 3-13 の ADJ ）。

表 3-3 は、本プロジェクトで使用した、福岡県地域間産業連関表（2011 年版）で示された、実際の取引額をまとめたものである。福岡県の経済規模は、付加価値額で他県（残り 46 都道府県）の 3.78%、生産高で他県の 3.68% となっている。経済規模を 47 都道府県で単純に割った数字よりは高いが、経済政策で福岡県がかなり大きな成果をあげないと全国的な経済効果が得られない構造となっている。

また、表 3-4 は代替の弾力性パラメータを示したものである。労働者内部における代替の弾力性は、労働ストックの数字から、これを 1/2 乗したものの対数を取った。結果、比較的大きな数字を得ることができた¹⁸。他の弾力性パラメータについて、労働と資本の代替および国内財と輸入財の代替については、GTAP8 データベースに存在する弾力性パラメータを使用した。中間財間の代替は国内財と輸入財の代替の 2 倍を仮定した。付加価値財と中間財の代替関係は 0 である。

¹⁸ この数字が妥当であるかどうかは分からないが、少なくとも、労働と資本との間の代替よりは高くなるようにした。

続いて、シミュレーションについて説明する。本章では、3種類のシミュレーションを設定した(表3-5)。まず、福岡県において、自然災害による被害が、特定の部門に対して生じると仮定し、生じた場合に、ある程度の幅をもって被害が決まるようにした。これは、相当な大災害でない限りは、福岡県全域に被害が起こることはないという前提に立っている。これにより、2種類の確率によるモンテカルロ実験が行われる。特定の部門に対して生じる被害の設定には、二項分布に基づく乱数を用いる。ここでは、50%の確率で被害が生じるかどうかを決める。そして、被害が生じた場合に、被害規模を一様分布で決定する。一様分布の幅は、生産要素および中間財に対して異なる。生産要素のうち、労働ストックに対しては、最大10%の被害とする。資本ストックに対しては、最大50%の被害とする。また、中間財について、福岡県内の中間財取引に対しては、最大90%の被害とし、県外から福岡県内および福岡県から県外への中間財取引に対しては、最大50%の被害とする。被害規模の数字について、労働ストックの被害は、被災により労働者が働けなくなるということの意味する。人命のほうが優先されるので、大きく減少することはないものと予想される。一方、資本ストックは建物および設備の破壊により、生産不能となることが予想され、比較的高い数字も、壊滅まではいかないと考えた。中間財取引については、流通のためのインフラが崩壊することが予想されるため、壊滅に近い数字までであると考えた。当初100%の被害の設定を予定していたが、計算不能(Infesible)となったので、90%とした。また、福岡県内の被災を想定しているため、県外の流通インフラは崩壊しない。したがって、福岡県内の中間財よりは被害が小さいと考えた(シミュレーション1)¹⁹。

次に、被害の発生の有無を考えず、必ず被害が生じるとして、被害規模を一様分布の乱数に基づいて発生させ、経済への影響を分析した。シミュレーション2は、シミュレーション1と同じ規模の被害で、シミュレーション3は、シミュレーション1の半分の規模の被害とする。これにより、シミュレーション1とシミュレーション3の被害が概ね同じくらいになることが予想される²⁰。

なお、被害が生じた場合の、モデルの扱いは、表3-5にあるように、福岡県の労働ストック L などが、確率に従って減少し、それに伴って、各方程式が再計算される²¹。もちろん、被害は産業ごとに異なる。

4. 結果

4.1 データベースに基づくシミュレーション

表3-6は、すべてのシミュレーションにおけるモンテカルロ実験の結果を示したもの

¹⁹ 発生確率および被害規模の設定数字は概算である。この数字の精度を高めることが今後の課題となるだろう。

²⁰ 最大50%の被害が50%の確率で起こると、最大25%の被害が100%の確率で起こるとを考えれば、2つの確率を掛け合わせると同じになるという考え方である。

²¹ モデルの方程式に従えば、労働と資本ストックの減少は、式3-14に影響を与える。中間財取引の減少は、式3-13に影響を与える。

で、生産高、価格、名目所得（名目 GDP）および実質所得（実質 GDP）の地域別の最大値、最小値、平均値および標準偏差を示している。これまでの分析と同様に乱数の発生は 500 回とした。

生産高を見た場合、福岡県の被害の平均は、シミュレーション 1 で 0.872007（約 13% のマイナス・被害）、シミュレーション 2 で 0.767614、シミュレーション 3 で 0.871910 であった。これに対し、他県ならびに全国では、シミュレーション 2 で 1% の超える被害となっている。これに伴い価格も若干減少しているが、平均で最大 3% 程度である。福岡県の名目所得の平均は、シミュレーション 1 で 0.922438、シミュレーション 2 で 0.860640、シミュレーション 3 で 0.921818 であった。価格が減少しているため、実質収入は名目収入に対して若干上昇している。平均において、シミュレーション 1 とシミュレーション 3 が概ね同じ結果となった。

しかしながら、標準偏差は大きく異なる。福岡県の実験結果の標準偏差は、シミュレーション 1 で 0.012154、シミュレーション 2 で 0.009639、シミュレーション 3 で 0.005726 であった。二項分布と一様分布の併用により、実験結果の分布がいびつになったものと思われる。被害のない産業については、各種ストックが変化しない一方で、被害のある産業に対して、各種ストックが変化するため、標準偏差が大きくなったと考えられる。概していえることは、福岡県で大きな自然災害が起こっても、日本経済に与える影響はあまり大きくないこと、当然福岡県の経済は大きな被害を受けるものの、被害の起き方および被害の大きさによって被害状況が異なることの 2 点である。

表 3-7 は、産業別のモンテカルロ実験の結果で、福岡県の実験結果を示したものである。一方、表 3-8 は、産業別のモンテカルロ実験の結果で、他県の実験結果を示したものである。それぞれのシミュレーションに対して、結果の大きさ以外は同じような傾向が示されたので、シミュレーション 1 の結果を表示している²²。

この 2 表から分かることは、表 3-6 と同様に、生産高の変化が価格の変化より大きい点である。表より、16 産業で、生産高の標準偏差が 5% を超えている。また、7 産業で、価格の標準偏差が 1% を超えている。一方で、他県の影響は非常に小さいことも判明した。

4. 2 地域への応用

さて、ここでは、この結果の妥当性について、過去に発生した大地震による被害額と比較して分析する。

福岡県では、2005 年に福岡県西方沖地震が発生した。比較的大きな地震ではあったが、被害額は以降紹介する大地震と比べて、大きなものではなかった。福岡県の「福岡県主要自然災害被害統計（昭和 20 年以降）」によると²³、被害額は 314.97 億円であった。一方、

²² GAMS の乱数発生は、Excel と異なり、常に同じパターンで乱数を発生させるため（疑似乱数）、再計算に伴う再現性が高い。

²³ http://www.pref.fukuoka.lg.jp/uploaded/life/298282_53094633_misc.pdf

大地震の例でいえば、1995年1月の阪神・淡路大震災、2004年10月の新潟県中越地震、2011年3月の東日本大震災、2016年4月の熊本地震があげられる。内閣府政策統括官の「平成28年熊本地震の影響試算について」によると²⁴、これらの大地震の被害総額は、それぞれ9.6～9.9兆円（阪神・淡路大震災）、1.7～3兆円（新潟県中越地震）、16.9兆円（内閣府防災担当）と16～25兆円（内閣府分析担当）（東日本大震災）、2.4～4.6兆円（熊本地震）と推計されている。

ここからは、福岡県の隣県である熊本県および大分県で起きた熊本地震について分析する。「平成28年熊本地震の影響試算について」によると、熊本地震の被害額2.4～4.6兆円のうち、熊本県の被害額が約1.8～3.8兆円、大分県の被害額が約0.5～0.8兆円と推計された。これは、資本の毀損額であり、両県の資本ストックの推計値は約63兆円（熊本県が約34兆円、大分県が約28兆円）であった。被害額を資本ストックで割ると、熊本地震の被害率は3.8～7.3%（熊本県は5.3～10.0%、大分県は1.8～2.9%）となる。また、GDPへの影響は900～1,270億円程度（熊本県は810～1,130億円、大分県は100～140億円）と推計され、それぞれの県のGDP（県内総生産）55,645.64億円、43,782.32億円に対し²⁵、1.0～1.3%（熊本県は1.5～2.0%、大分県は0.2～0.3%）の被害率となった。こうしてみると、大地震が起こった場合、ストックには比較的大きな影響があっても、フローにはあまり影響がないことが分かる。

これを、表3-6のシミュレーション結果と比較する。名目所得の平均値は、シミュレーション2で0.860640（約14.0%の損失）、シミュレーション3で0.921818（約7.8%の損失）であった。平均値ということで、一様分布の被害幅の半分の被害があったと考えて、シミュレーション2の資本の平均減少率は25%、シミュレーション3の資本の平均減少率は12.5%だと考える。シミュレーション3の設定が、熊本地震の被害率の2倍くらいになると思われる。これで、名目所得が約7.8%の損失であることから、GDPの損失は、半分の約3.9%と推計される。これは、内閣府の推計値である1.0～1.3%と比較して、かなり大きいかもしれない。ただし、本章のモデルでは、資本ストック以外にも労働ストックと流通網の被災として、中間財の損失が含まれている。事前予測なので、若干悲観的な予測をしたほうが良いと思われる。

次に、このシミュレーション結果を、地域内および他地域のデータに適応させ、被害額を推計する。

表3-9は産業連関表に基づく各地域の生産高を示したもので、本章の分析に使われた福岡県をはじめ、県内で産業連関表が編集されている北九州市と福岡市および熊本県の4地域を取りあげた。生産高は、中間財も含まれているので、GDPとして計算される付加価

²⁴ <https://www5.cao.go.jp/keizai3/kumamotoshisan/index.html>

²⁵ 内閣府「県民経済計算」（https://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/sonota/kenmin/kenmin_top.html）より。ただし、平成28年度の数字が公表されていないため、平成27年度の名目値の数字。

値額は、概ねこれの2分の1だと考えるといい²⁶。そして、この表の数字に表3-7シミュレーション結果の数字（シミュレーション1の生産高の最大値、最小値および平均値）を掛ける。表3-10と表3-11がその結果である。福岡県の被害額は平均で4,103,756百万円（0.876793）、北九州市の被害額は平均で942,089百万円（0.868299）、福岡市の被害額は平均で1,504,941百万円（0.863838）、熊本県の被害額は平均で1,196,040百万円（0.880333）であった。わずかではあるが、それぞれの地域の産業構造の違いから、被害率に違いを見ることができた。これを、GDPで見ると約半分なので、熊本県だと約600,000百万円（6,000億円）となる。被害額の平均値において、シミュレーション1とシミュレーション3はほぼ同じなので、被害率を半分にした場合の熊本県のGDPの被害額は約3,000億円（300,000百万円）になる。やはり、内閣府の推計値と比べて（810～1,130億円）かなり大きい。シミュレーションの中には、労働ストックや中間財の減少が含まれているからであろう。もっとも、本章の分析は、モンテカルロ実験により、被害可能性の幅を推計しているため、実際に起こった大地震が、モンテカルロ実験の結果の範囲内に収まっているということであれば、モンテカルロ実験を行う意義があるともいえる。

5. この章のまとめ

本章では、容易に計測できない、自然災害による経済への悪影響をCGEモデルによるモンテカルロ実験を通じて、事前的に分析したものである。本章もこれまでと同様に、福岡県の地域間産業連関表を用いた。モンテカルロ実験においては、被害の発生可能性として、二項分布による乱数を発生させ、被害の大きさにおいては、一様分布による乱数を発生させて分析した。

いうまでもなく、被害の規模が大きいほど、経済への悪影響が大きくなるが、被害の発生に地域的、産業的なムラがあると経済への影響の標準偏差が大きくなる。また、本章では、被害規模を比較的大きく設定した。もちろん、福岡経済への悪影響は比較的大きくなったが、日本経済への影響は小さいものにとどまった。また、実際に起こった熊本地震の被害推計と比較しても、本章の被害規模の想定が大きなものであるといえる。

この分析を通じていえることは、自然災害を事前を防ぐことは容易ではないため、被災した場合の被害を最小限に抑えるための努力が必要であるということである。しかしながら、それでも想定外の被害が生じることがあるため、この場合の対応が問われるだろう。

²⁶ 福岡市の生産高が熊本県よりも大きい点に注目。また、福岡市のプラスチック・ゴム（i010）と情報・通信機器（i020）は他の分類に合算されているため、0とした。もちろん、このデータを用いて、全2章の結果を金額で表すことは可能である。

6. 本報告全体のまとめ

本プロジェクトは、経済政策分析者の中で広く用いられている産業連関分析に対し、その主要パラメータである投入係数を確率的に変化させ、経済効果への影響を分析したものである。これは、産業連関表の編集に時間がかかり、タイムリーな分析ができないといった問題を補う効果があると見込まれる。そして、より発展的な効果として、結果に幅を持たせることで、より可能性が見込まれる予測ができるようになった点があげられる。

確率的な変化は、各種乱数発生によるモンテカルロ実験によって行われた。また、本プロジェクトでは、正規乱数に限らず、より複雑な乱数発生を設定し、結果の可能性の複雑さを表現した。

事例として、地元の福岡県とその他の都道府県（残りの日本）の2地域からなる地域間産業連関表を用いた。それぞれの章で行われた分析結果をまとめてみる。

第1章では、13部門から構成される表をもとに、過去の産業連関表から計算した標準偏差を用いて、投入係数の確率的変動の実験を試みた。投入係数の標準偏差が非常に小さなものだったので、生産高や価格の変動は比較的小さなものとなった。ただし、産業間とシミュレーションパターンにおいて若干の違いも見られた。そして、鉱業、製造業、電気・ガス・水道、情報通信における変動は比較的大きいことが分かった。

第2章では、第1章の結果より、情報通信が有望な産業分野であることが判明したため、情報通信（ICT）産業の生産性向上による地域と産業への波及効果を分析した。ここでは、生産性の不確実性を実現するためのモンテカルロ実験が行われた。そして、正規確率だけではなく、二項確率を用いて、極端な生産性向上を実現させた。

情報通信産業の生産性向上により、生産高と価格の両方が上昇することが判明した。また、比較的高い頻度で生産性向上が実現するにもかかわらず、必ずしも革命的な上昇ではないことも判明した。これは、福岡県の経済規模がそれほど大きなものではないうえに、情報通信産業だけ生産性の向上が起きるといった設定によるものと思われる。生産性のより極端な改善が必要かもしれないと同時に、ICT革命だけでは、マクロ経済に大きな影響を与える現象にはならないということも分かった。

第3章では、容易に計測できない、自然災害による経済への悪影響を、産業連関分析をさらに精密化させたCGEモデルを用いて、事前的にモンテカルロ実験を通じて分析した。ここでは、被害の発生可能性として、二項分布による乱数を発生させ、被害の大きさにおいては、一様分布による乱数を発生させて分析した。

いうまでもなく、被害の規模が大きいほど、経済への悪影響が大きくなるが、被害の発生に地域的、産業的なムラがあると経済への影響の標準偏差が大きくなる。また、第3章では、被害規模を比較的大きく設定した。もちろん、福岡経済への悪影響は比較的大きくなったが、日本経済への影響は小さいものにとどまった。また、実際に起こった熊本地震の被害推計と比較しても、第3章の被害規模の想定が大きなものであることが分かった。

本プロジェクトで行ったモンテカルロ実験は、乱数を発生させ、その値をパラメータに反映させたうえで、モデルを再度計算している。計算負担を減らすために、各章における実験回数は500回とした。発生させる乱数の分布を複雑にすればするほど、実験回数を増やす必要がある。ここでは、最大2種類の乱数の掛け合わせで複雑な分布を作成したが、これをさらに複雑にする方法があるかどうかを模索する必要がある。もちろん、複雑にするにしても意味があるものにしなければならない。

次に、乱数発生幅をより正確にする必要がある。例えば、正規乱数であれば標準偏差、二項乱数であれば発生確率、一様分布であれば最大値と最小値といった具合である。第1章では、標準偏差を既存のデータから求めているが、産業連関表作成の性格上、十分なデータを手にすることができなかった。したがって、第2章および第3章では、恣意的な数字を用いて実験を行っている。そのため、第3章における、熊本地震の被災額推計値と比較して、過剰推計となってしまった。ただし、今後発生するかもしれない自然災害が、過去にないものであるとすると、過剰推計も参考値として役に立つだろう。

本プロジェクトにおける政策示唆について、生産性の向上においては、その成功可能性および向上率を高める政策が求められる。一方で、自然災害対策では、如何に被害を食い止めるかが求められる。具体的な政策については、今後の課題としたいが、産業連関分析の特徴として、ある産業の影響が他の産業ないし他の地域にも影響をおよぼす可能性がある点があげられる。この相互作用的な部分が妙味であり、したがって、生産性の向上や被害の食い止めにおいて、自らの産業（企業）だけでなく、他の産業（企業）との協力・協業が求められている。この点を重視することが重要である。

表3-6 モンテカルロ実験の結果（シミュレーション1から3）

			最大	最小	平均	標準偏差
生産高	シミュレーション1	fp	0.904925	0.842487	0.872007	0.012154
		op	0.996277	0.991832	0.994376	0.000823
		jp	0.992826	0.986891	0.990254	0.001090
	シミュレーション2	fp	0.798358	0.744728	0.767614	0.009639
		op	0.992152	0.987808	0.989622	0.000748
		jp	0.985624	0.979667	0.982144	0.000958
	シミュレーション3	fp	0.889588	0.856686	0.871910	0.005726
		op	0.995725	0.993391	0.994362	0.000406
		jp	0.992150	0.988880	0.990238	0.000536
価格	シミュレーション1	fp	0.990456	0.978866	0.985342	0.002166
		op	0.999403	0.998570	0.999065	0.000149
		jp	0.999115	0.998003	0.998650	0.000191
	シミュレーション2	fp	0.976945	0.965690	0.970943	0.001959
		op	0.998662	0.997832	0.998217	0.000152
		jp	0.998041	0.997035	0.997481	0.000183
	シミュレーション3	fp	0.988472	0.982661	0.985345	0.001032
		op	0.999289	0.998887	0.999067	0.000072
		jp	0.998939	0.998424	0.998651	0.000093
名目収入（GDP）	シミュレーション1	fp	0.949917	0.889469	0.922438	0.010520
		op	0.998732	0.997544	0.998195	0.000218
		jp	0.996841	0.993700	0.995434	0.000507
	シミュレーション2	fp	0.890755	0.838741	0.860640	0.008918
		op	0.997330	0.996160	0.996661	0.000203
		jp	0.992919	0.990544	0.991704	0.000439
	シミュレーション3	fp	0.938290	0.909045	0.921818	0.005137
		op	0.998550	0.997930	0.998192	0.000108
		jp	0.996077	0.994737	0.995408	0.000251
実質収入（GDP）	シミュレーション1	fp	0.962004	0.905864	0.936150	0.009528
		op	0.999342	0.998895	0.999129	0.000083
		jp	0.997906	0.995500	0.996780	0.000391
	シミュレーション2	fp	0.917218	0.866755	0.886388	0.008237
		op	0.998667	0.998259	0.998441	0.000066
		jp	0.995331	0.993351	0.994208	0.000335
	シミュレーション3	fp	0.952194	0.924163	0.935526	0.004643
		op	0.999260	0.999006	0.999124	0.000041
		jp	0.997365	0.996249	0.996753	0.000193

表3-7 モンテカルロ実験の結果（福岡県の生産高と価格）

	生産高				価格			
	最大	最小	平均	標準偏差	最大	最小	平均	標準偏差
a001	0.976294	0.707322	0.900380	0.057556	0.988464	0.884384	0.955850	0.023645
a002	0.982600	0.876348	0.948702	0.020690	0.987505	0.925290	0.966804	0.012382
a003	0.992925	0.802447	0.945893	0.034679	0.992240	0.899765	0.961192	0.019671
i004	0.898226	0.233252	0.672884	0.130603	0.998694	0.993223	0.995808	0.001490
i005	0.995972	0.820059	0.927914	0.033728	0.998041	0.982972	0.992747	0.003255
i006	0.919262	0.784079	0.857865	0.023623	1.006699	1.001604	1.003795	0.000920
i007	0.876864	0.606779	0.756280	0.054120	1.015808	1.001711	1.007821	0.002751
i008	0.950371	0.707989	0.858836	0.048019	0.996639	0.988820	0.993767	0.001430
i009	0.957844	0.739219	0.865466	0.046325	0.995345	0.979379	0.988806	0.003227
i010	0.933424	0.763981	0.854450	0.033559	0.999071	0.992869	0.996861	0.001149
i011	0.952092	0.592073	0.827744	0.065328	1.005767	0.995265	0.999110	0.001700
i012	0.979991	0.706921	0.886691	0.063567	0.993658	0.919458	0.969791	0.016394
i013	0.889443	0.576728	0.752077	0.058735	1.006037	1.000149	1.002571	0.001065
i014	0.946810	0.504554	0.793450	0.080063	1.032387	0.989188	1.006393	0.006647
i015	0.975949	0.830241	0.917448	0.030309	1.006920	0.993928	0.999971	0.002327
i016	0.984179	0.872111	0.943323	0.026010	1.002622	0.992661	0.998220	0.001709
i017	0.935058	0.719491	0.859161	0.042507	1.011173	1.001082	1.004587	0.001982
i018	0.969303	0.702467	0.859987	0.055871	0.997647	0.993022	0.995945	0.000871
i019	0.961363	0.852856	0.910590	0.023083	1.004331	0.997162	1.000656	0.001173
i020	0.944979	0.728112	0.862688	0.056905	1.002777	0.999980	1.001008	0.000734
i021	0.983986	0.721227	0.902576	0.065125	0.998446	0.993312	0.996529	0.000983
i022	0.877275	0.709450	0.806260	0.030536	1.013961	1.003252	1.007703	0.001804
i023	0.925477	0.820563	0.880902	0.019487	1.003853	0.997180	1.000864	0.001137
s024	0.918101	0.675266	0.817836	0.039682	0.978015	0.911474	0.952379	0.010620
s025	0.917665	0.747127	0.839681	0.033005	0.978273	0.936728	0.959958	0.007840
s026	0.916956	0.547347	0.769073	0.064984	1.027640	1.000156	1.009893	0.004633
s027	0.962897	0.883982	0.928791	0.014010	0.999000	0.989621	0.994953	0.001310
s028	0.905099	0.619826	0.806637	0.055854	0.993062	0.976412	0.987280	0.002704
s029	0.966122	0.907545	0.943984	0.011344	0.946601	0.858254	0.912641	0.016938
s030	0.900273	0.682053	0.806355	0.041029	0.995984	0.989514	0.993404	0.001035
s031	0.923033	0.641499	0.798101	0.055993	0.990107	0.964570	0.978961	0.004733
s032	0.955964	0.895510	0.929993	0.009875	0.989486	0.976520	0.983064	0.002394
s033	0.922294	0.764987	0.860445	0.028691	1.003374	0.997608	1.000111	0.001043
s034	0.952877	0.880140	0.919319	0.013253	0.998785	0.995695	0.997206	0.000531
s035	0.915980	0.820609	0.872468	0.015301	1.007966	1.001047	1.004331	0.001160
s036	0.858033	0.507867	0.722277	0.060545	0.989977	0.958056	0.979905	0.004969
s037	0.993024	0.979337	0.986923	0.002063	0.996395	0.992226	0.994549	0.000780
s038	0.968427	0.913370	0.946391	0.009854	0.997331	0.991882	0.994916	0.001006
s039	0.982151	0.936817	0.963869	0.009206	0.994347	0.987070	0.990827	0.001307
s040	0.964839	0.891946	0.935217	0.015127	0.991315	0.981996	0.987400	0.001734
s041	0.860700	0.393343	0.679381	0.082958	1.002188	0.999189	1.000714	0.000548
s042	0.878130	0.380220	0.684505	0.106305	0.977874	0.907034	0.953237	0.014650

表 3-8 モンテカルロ実験の結果（他県の生産高と価格）

	生産高				価格			
	最大	最小	平均	標準偏差	最大	最小	平均	標準偏差
a001	0.997142	0.988508	0.993778	0.001682	0.997679	0.991006	0.995080	0.001295
a002	0.995850	0.991556	0.994017	0.000808	0.997372	0.994704	0.996243	0.000498
a003	0.998125	0.986439	0.993795	0.001850	0.998195	0.989421	0.994872	0.001408
i004	0.992337	0.982724	0.987989	0.001847	0.999966	0.999924	0.999947	0.000008
i005	0.998510	0.994967	0.997110	0.000712	0.999027	0.997243	0.998383	0.000341
i006	0.996295	0.993004	0.994661	0.000563	0.999828	0.999668	0.999752	0.000027
i007	0.994060	0.987654	0.991365	0.001128	0.999531	0.999056	0.999328	0.000085
i008	0.994932	0.984642	0.990776	0.002052	0.999318	0.998306	0.998909	0.000179
i009	0.993266	0.983667	0.989202	0.001734	0.999726	0.999376	0.999578	0.000062
i010	0.993686	0.984522	0.989897	0.001650	0.999334	0.998577	0.999015	0.000118
i011	0.995308	0.986827	0.992021	0.001558	0.999427	0.998772	0.999187	0.000112
i012	0.991217	0.945608	0.974396	0.009971	0.998655	0.990995	0.996237	0.001618
i013	0.995327	0.989329	0.992977	0.001138	0.999783	0.999550	0.999676	0.000040
i014	0.996926	0.988804	0.993733	0.001596	0.999431	0.996623	0.998568	0.000583
i015	0.997430	0.994047	0.995797	0.000594	0.999542	0.997642	0.998945	0.000387
i016	0.997843	0.994939	0.996583	0.000481	0.999595	0.997964	0.999086	0.000332
i017	0.997224	0.994072	0.995924	0.000590	0.999650	0.999080	0.999448	0.000106
i018	0.997000	0.993463	0.995446	0.000699	0.999556	0.999137	0.999374	0.000078
i019	0.996532	0.990111	0.994295	0.001068	0.999519	0.998734	0.999170	0.000157
i020	0.998191	0.995973	0.997209	0.000441	0.999734	0.999438	0.999593	0.000058
i021	0.995574	0.972316	0.987237	0.005961	0.999362	0.997417	0.998572	0.000400
i022	0.995249	0.990549	0.992984	0.000789	0.999702	0.999380	0.999551	0.000055
i023	0.998698	0.997738	0.998236	0.000182	0.999734	0.999000	0.999483	0.000141
s024	0.994990	0.990652	0.992789	0.000791	0.997754	0.995829	0.996787	0.000353
s025	0.996685	0.993904	0.995540	0.000430	0.998113	0.996686	0.997545	0.000239
s026	0.998325	0.996732	0.997620	0.000288	0.999746	0.999536	0.999646	0.000037
s027	0.995713	0.992189	0.994082	0.000619	0.999837	0.999664	0.999757	0.000032
s028	0.998034	0.996306	0.997251	0.000287	0.999678	0.999410	0.999553	0.000048
s029	0.999444	0.998981	0.999233	0.000085	0.998772	0.997719	0.998292	0.000193
s030	0.996757	0.994238	0.995545	0.000482	0.999665	0.999374	0.999535	0.000055
s031	0.997391	0.995188	0.996401	0.000343	0.999564	0.999206	0.999398	0.000064
s032	0.999088	0.998252	0.998710	0.000154	0.999579	0.999179	0.999396	0.000074
s033	0.997452	0.994519	0.996240	0.000549	0.999853	0.999726	0.999795	0.000023
s034	0.998884	0.997899	0.998448	0.000189	0.999729	0.999452	0.999608	0.000045
s035	0.997981	0.996463	0.997280	0.000291	0.999882	0.999755	0.999821	0.000022
s036	0.995854	0.992772	0.994390	0.000553	0.999490	0.999054	0.999289	0.000083
s037	0.998392	0.996567	0.997567	0.000278	0.999443	0.998893	0.999212	0.000097
s038	0.999579	0.998618	0.999097	0.000181	0.999373	0.998549	0.999071	0.000157
s039	0.998631	0.997505	0.998128	0.000200	0.999561	0.999206	0.999393	0.000064
s040	0.998633	0.997639	0.998170	0.000192	0.999585	0.999243	0.999425	0.000062
s041	0.997259	0.995114	0.996287	0.000407	0.999680	0.999240	0.999462	0.000075
s042	0.996927	0.994343	0.995758	0.000493	0.999236	0.998496	0.998903	0.000142

表 3-9 産業連関表に基づく各地域の生産高（100 万円）

	福岡県	北九州市	福岡市	熊本県
a001	246,231	7,438	10,364	335,090
a002	13,736	1,423	57	26,500
a003	33,622	2,593	3,220	35,446
i004	29,411	7,082	2,161	9,863
i005	1,535,226	118,734	294,777	434,737
i006	45,453	3,517	4,906	27,275
i007	236,303	27,749	12,677	140,889
i008	486,852	166,106	6,476	155,549
i009	187,072	52,436	1,842	11,781
i010	404,946	47,365	0	147,738
i011	293,088	96,847	12,822	56,827
i012	1,911,254	1,211,157	3,078	53,777
i013	87,490	46,178	1,093	70,256
i014	246,711	95,180	12,080	104,202
i015	158,058	72,771	12,840	40,470
i016	265,231	113,888	6,996	283,963
i017	21,573	10,088	2,423	2,839
i018	262,449	34,049	108,201	394,530
i019	258,383	43,998	24,509	105,436
i020	12,295	600	0	73,105
i021	2,390,337	46,668	85,828	409,303
i022	299,062	69,344	86,709	71,571
i023	1,678,730	442,552	600,177	564,162
s024	545,311	245,651	136,754	213,184
s025	171,529	35,863	62,915	41,823
s026	133,637	35,568	20,958	59,678
s027	4,640,642	674,163	1,993,075	897,657
s028	898,044	220,328	469,348	296,237
s029	2,279,031	394,623	898,461	895,327
s030	1,968,778	495,169	909,145	535,867
s031	1,522,119	249,661	944,166	305,903
s032	1,360,085	164,766	518,410	569,942
s033	1,467,356	239,951	471,068	457,168
s034	2,670,895	614,614	780,408	1,004,148
s035	185,728	31,637	56,224	69,751
s036	2,129,709	544,041	1,514,273	486,030
s037	105,520	25,066	81,214	60,932
s038	923,560	181,619	488,009	207,738
s039	342,329	78,762	110,380	138,355
s040	506,768	149,860	215,035	133,823
s041	48,406	11,327	19,161	13,736
s042	304,781	42,829	70,363	52,161
合計	33,307,740	7,153,261	11,052,603	9,994,769

（出所）福岡県地域間産業連関表，北九州市産業連関表，福岡市産業連関表，熊本県産業連関表（いずれも 2011 年表）

表3-10 シミュレーション後の各地域の生産高（100万円）

	福岡県			北九州市		
	最大	最小	平均	最大	最小	平均
a001	240,394	174,165	221,701	7,262	5,261	6,697
a002	13,497	12,038	13,031	1,398	1,247	1,350
a003	33,384	26,980	31,803	2,575	2,081	2,453
i004	26,418	6,860	19,790	6,361	1,652	4,765
i005	1,529,041	1,258,976	1,424,557	118,256	97,369	110,175
i006	41,783	35,639	38,993	3,233	2,758	3,017
i007	207,206	143,384	178,711	24,332	16,838	20,986
i008	462,690	344,686	418,126	157,862	117,601	142,658
i009	179,186	138,287	161,904	50,226	38,762	45,382
i010	377,986	309,371	346,006	44,212	36,186	40,471
i011	279,047	173,529	242,602	92,207	57,340	80,165
i012	1,873,013	1,351,106	1,694,691	1,186,924	856,192	1,073,921
i013	77,817	50,458	65,799	41,073	26,632	34,729
i014	233,588	124,479	195,753	90,117	48,023	75,521
i015	154,257	131,226	145,010	71,021	60,417	66,764
i016	261,035	231,311	250,198	112,086	99,323	107,433
i017	20,172	15,522	18,535	9,433	7,258	8,667
i018	254,393	184,362	225,703	33,004	23,918	29,282
i019	248,400	220,363	235,281	42,298	37,524	40,064
i020	11,619	8,952	10,607	567	437	518
i021	2,352,057	1,723,975	2,157,461	45,921	33,658	42,121
i022	262,359	212,169	241,122	60,834	49,196	55,909
i023	1,553,627	1,377,503	1,478,797	409,572	363,142	389,845
s024	500,651	368,230	445,975	225,532	165,880	200,902
s025	157,406	128,154	144,030	32,910	26,794	30,113
s026	122,539	73,146	102,777	32,614	19,468	27,354
s027	4,468,459	4,102,243	4,310,186	649,149	595,948	626,156
s028	812,819	556,631	724,395	199,419	136,565	177,725
s029	2,201,822	2,068,323	2,151,370	381,254	358,138	372,518
s030	1,772,438	1,342,810	1,587,534	445,787	337,731	399,282
s031	1,404,967	976,438	1,214,805	230,445	160,157	199,255
s032	1,300,192	1,217,970	1,264,869	157,510	147,550	153,231
s033	1,353,334	1,122,508	1,262,579	221,305	183,559	206,465
s034	2,545,035	2,350,760	2,455,406	585,652	540,946	565,027
s035	170,123	152,410	162,042	28,979	25,962	27,602
s036	1,827,360	1,081,609	1,538,240	466,805	276,300	392,948
s037	104,784	103,340	104,140	24,891	24,548	24,738
s038	894,401	843,552	874,049	175,885	165,885	171,883
s039	336,219	320,700	329,960	77,356	73,786	75,916
s040	488,950	452,010	473,938	144,591	133,667	140,152
s041	41,663	19,040	32,886	9,749	4,455	7,695
s042	267,637	115,884	208,624	37,609	16,284	29,317
合計	31,463,766	25,651,098	29,203,984	6,738,216	5,376,440	6,211,172
被害額	-1,843,974	-7,656,642	-4,103,756	-415,045	-1,776,821	-942,089
比率	0.944638	0.770124	0.876793	0.941978	0.751607	0.868299

表 3-11 シミュレーション後の各地域の生産高（100 万円）

	福岡市			熊本県		
	最大	最小	平均	最大	最小	平均
a001	10,118	7,331	9,332	327,146	237,017	301,708
a002	56	50	54	26,039	23,223	25,141
a003	3,197	2,584	3,046	35,195	28,444	33,528
i004	1,941	504	1,454	8,859	2,301	6,637
i005	293,590	241,735	273,528	432,986	356,510	403,398
i006	4,510	3,847	4,209	25,073	21,386	23,398
i007	11,116	7,692	9,587	123,541	85,488	106,552
i008	6,155	4,585	5,562	147,829	110,127	133,591
i009	1,764	1,362	1,594	11,284	8,709	10,196
i010	0	0	0	137,902	112,869	126,235
i011	12,208	7,592	10,613	54,105	33,646	47,038
i012	3,016	2,176	2,729	52,701	38,016	47,684
i013	972	630	822	62,489	40,519	52,838
i014	11,437	6,095	9,585	98,659	52,576	82,679
i015	12,531	10,660	11,780	39,497	33,600	37,129
i016	6,885	6,101	6,599	279,471	247,647	267,869
i017	2,266	1,743	2,082	2,655	2,043	2,439
i018	104,880	76,008	93,051	382,419	277,144	339,291
i019	23,562	20,903	22,318	101,362	89,922	96,009
i020	0	0	0	69,083	53,229	63,067
i021	84,454	61,901	77,466	402,748	295,200	369,427
i022	76,068	61,516	69,910	62,787	50,776	57,705
i023	555,450	492,483	528,697	522,119	462,930	496,971
s024	125,554	92,345	111,842	195,724	143,956	174,349
s025	57,735	47,006	52,829	38,379	31,247	35,118
s026	19,218	11,471	16,118	54,722	32,665	45,897
s027	1,919,126	1,761,842	1,851,150	864,351	793,513	833,736
s028	424,806	290,914	378,593	268,124	183,615	238,956
s029	868,023	815,394	848,133	864,995	812,549	845,175
s030	818,479	620,085	733,093	482,427	365,490	432,099
s031	871,497	605,681	753,540	282,359	196,236	244,142
s032	495,581	464,242	482,117	544,844	510,389	530,042
s033	434,463	360,361	405,328	421,643	349,727	393,368
s034	743,633	686,868	717,444	956,830	883,790	923,133
s035	51,500	46,138	49,054	63,891	57,238	60,855
s036	1,299,296	769,049	1,093,724	417,030	246,839	351,048
s037	80,647	79,536	80,152	60,507	59,673	60,135
s038	472,601	445,733	461,847	201,179	189,742	196,601
s039	108,410	103,406	106,392	135,886	129,613	133,356
s040	207,474	191,800	201,104	129,118	119,363	125,154
s041	16,492	7,537	13,018	11,823	5,403	9,332
s042	61,788	26,753	48,164	45,804	19,833	35,704
合計	10,302,498	8,443,656	9,547,662	9,445,584	7,794,201	8,798,729
被害額	-750,105	-2,608,947	-1,504,941	-549,185	-2,200,568	-1,196,040
比率	0.932133	0.763952	0.863838	0.945053	0.779828	0.880333

参考文献

- Armington, Paul. 1969. "A theory of demand for products distinguished by place of production," *IMF Staff Papers*, 16, pp. 159–178.
- Dixit, A. K, and Stiglitz, J. E. 1977. "Monopolistic competition and optimum product diversity," *American Economic Review*, 67(3), pp. 297–308.
- Fujita, Masahisa, Krugman, Paul. R. and Venables, Anthony. J. 1999. *The spatial economy: Cities, Regions, and International trade*, Cambridge: MIT press.
- Ghosh, Ambica, 1958. "Input-Output Approach to an Allocation System," *Economica*, 25, pp. 58–64.
- Hertel, Thomas W. eds. 1997. *Global trade analysis: Modeling and applications*, Cambridge university press.
- Leontief, Wassily, 1936. "Quantitative Input-Output Relations in the Economic System of the United States," *Review of Economics and Statistics*, 18, pp. 105–125.
- Leontief, Wassily, 1941. *The Structure of American Economy 1919-1939*, Oxford University Press.
- Leontief, Wassily, 1986. *Input-Output Economics 2nd edition*, Oxford University Press.
- Miller, Ronald E. and Peter D. Blair, 2009. *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions 2nd edition*, Cambridge University Press.
- Rutherford, Thomas F. 2010. "GTAP7inGAMS", (<http://www.mpsge.org/GTAP8inGAMS.zip> or https://www.gtap.agecon.purdue.edu/about/data_models.asp).

細江宣裕・我澤賢之・橋本日出男 (2004) 『テキストブック 応用一般均衡モデリング』, 東京大学出版社。