

特集 数理情報**原著論文**

スカイラインチャートの拡張による 多地域間産業連関表の多次元可視化手法の開発

藤原 丈史*

産業連関表はある国や地域における産業構造を表すものであり、経済波及効果といったさまざまな分析や施策について重要な役割をもつ。この産業連関表からその産業構造を視覚的に表す図としてスカイラインチャートが挙げられるが、これは一つの国または地域を対象にしているため、多国・多地域間、または多時点間の比較においては独立した図同士の比較が必要になり容易ではない。本研究では、複数の国・地域等の産業構造を一つの図として表し、構造の特徴についての比較分析を容易に行える新たな図を開発する。

キーワード：産業連関表, 多地域間産業連関表, スカイラインチャート, 産業構造, 可視化, データサイエンス

Multi-dimensional Visualization Method for Multi-regional Input-Output Tables with Extending Skyline-chart

Takeshi FUJIWARA*

An input-output table describes economic and industrial structures within an economy, and it is an important tool for use in various analyses, such as of an economic ripple effect. A skyline chart can help to visualize industrial structures from an input-output table; however, it is complicated to compare charts in parallel because a skyline chart can represent only one economy within a chart. This research develops a new chart that is able to visualize industrial structures of multiple economies within one chart to compare various features of different economies simultaneously.

Keywords: Input-Output Table, Multi-regional Input-Output Table, Skyline chart, Industrial Structure, Visualization, Data Science

*東京情報大学 総合情報学部
Faculty of Informatics, Tokyo University of Information Sciences

2017年5月15日受付
2017年8月3日受理

1. はじめに

産業連関表はある国や地域における経済構造についての相互関係を表すものであり、経済波及効果といったさまざまな経済分析や政策立案において重要な役割をもつ。この産業連関表を用いた分析のひとつとして、その産業構造を視覚的に表すスカイラインチャートを使った分析が挙げられる。スカイラインチャートはある国における各産業部門ごとに経済波及効果を考慮した国内生産、輸出、輸入のシェアを表したものである。直観的にその国の産業構造および需要構造の特徴が把握できることが大きな利点である。しかしながら、従来のスカイラインチャートは一つの国（または地域）についての図のため、多国間（または多地域間、多時点間）の比較においては、それぞれ独立した図同士の比較が必要となり容易ではない。そこで本研究では、従来のスカイラインチャートを補完するための新しい図の開発を行う。具体的には構造の特徴について多次元的な比較分析を容易に行えるように、複数の国（地域等）の産業構造を一つの図として表すようにスカイラインチャートを拡張する。

本稿では、まず産業連関表（産業連関分析）およびスカイラインチャートの概説を行い、既存のスカイラインチャートの拡張を紹介する。さらに本研究の原型となった著者らによる多次元拡張スカイラインチャートと今回行ったその改定版の詳細、および実証例としてアジア国際産業連関表を用いた従来のスカイラインチャートとの比較を行うことで本研究の有用性を確認する。

2. 産業連関表とスカイライン分析

2.1 産業連関表と産業連関分析

産業連関表（および産業連関分析）はワシリー・レオンチェフが1930年代に提案したものであり（Leontief 1936, 1951）[1][2]、国連における国民経済計算体系（System of National Accounts: SNA）の一部としても取り入れられ、世界各国においてその国の経済構造を表す重要な経済統計として広く作成されている。日本においても関係府省庁の共同事業として5年ごとに作成されているのに加え、各県や各地域レベルの産業連関表も作られている。

産業連関表は、一定期間（通常1年）における一

つの国（または地域）において生産された財・サービスについての投入と産出をマトリックス形式で表したものである（図1）。行の方向は生産された財・サービスがどこにどれくらい産出（販売・需要）されているか、列の方向は財・サービスを生産するのにどこからどれくらい投入がされているかを表しており、産業部門間の相互連関が一つの表の中に表現されている。

	中間需要	国内最終需要	輸出	輸入 (控除)	国内生産
中間投入	産出(生産された財・サービスの販売構成)				
付加価値	投入(生産された財・サービスの費用構成)				
国内生産					

図1 産業連関表の構造

この産業連関表を用いた分析手法が産業連関分析であり、さまざまな分析方法があるが、もっとも基本的な分析としては以下の均衡産出高モデルを用いた経済波及効果の分析である。

$$\mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}(\mathbf{d} + \mathbf{e} - \mathbf{m}) \quad (1)$$

ここで \mathbf{x} は国内生産ベクトル、 \mathbf{d} は国内最終需要ベクトル、 \mathbf{e} は輸出ベクトル、 \mathbf{m} は輸入ベクトル、 \mathbf{A} は投入係数行列である。投入係数はある産業部門の財・サービスを1単位生産するのに必要な自・他産業部門の財・サービスの量であり、これを各産業部門について並べたものが投入係数行列である。 $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$ はレオンチェフ逆行列と呼ばれる産業連関分析において特に重要となるもので、ある産業部門の財・サービスにおける1単位の需要増加に対する自・他産業部門への永続的な生産誘発をまとめた直接および間接の波及効果を表す行列である。このレオンチェフ逆行列を使って、例えば政府によるある産業部門への公共事業が直接・間接的にどのくらい効果があるのかをあらかじめ推計するといったさまざまな分析が可能となる。さらに式(1)より国内生産は

$$\mathbf{X} = \mathbf{X}_D + \mathbf{X}_E - \mathbf{X}_M \quad (2)$$

のように、国内最終需要の生産誘発 \mathbf{x}_D と輸出によ

る生産誘発 \mathbf{x}_E の合計から、輸入 \mathbf{m} を国内で代替的に生産した場合の生産誘発 \mathbf{x}_M を差し引いたものと表すことができる。

2.2 スカイライン分析 (スカイラインチャート)

スカイライン分析は産業連関表を提案したレオンチェフが開発したもので (Leontief 1963) [3] (Leontief 1966) [4], 産業連関表から一つの国 (または地域) の産業構造を視覚的に表現したスカイラインチャート (スカイライングラフ) を用いた分析である。

一般のスカイラインチャートは均衡産出高モデル (式 (2)) において、国内最終需要の生産誘発 \mathbf{x}_D で除した各シェア

$$\frac{\mathbf{x}}{\mathbf{x}_D} = 1 + \frac{\mathbf{x}_E}{\mathbf{x}_D} - \frac{\mathbf{x}_M}{\mathbf{x}_D} \quad (3)$$

を各産業部門ごとに、縦軸の値として自給率 (輸入および輸出), 横軸の値として生産額の国内全体におけるシェアを並べたものである。具体的には式 (3) を産業部門ごとに (部門 i)

$$1 = \frac{X_i}{X_{Di}} + \frac{X_{Mi}}{X_{Di}} - \frac{X_{Ei}}{X_{Di}} \quad (4)$$

$$= \theta_i + \theta_{Mi} - \theta_{Ei} \quad (i=1, \dots, n)$$

と表し、さらに全部門の総生産額に占める各部門の生産額の割合を

$$S_i = \frac{X_i}{\sum_j X_j} \quad (5)$$

として、これらを図で表したのがスカイラインチャートである (図2)。

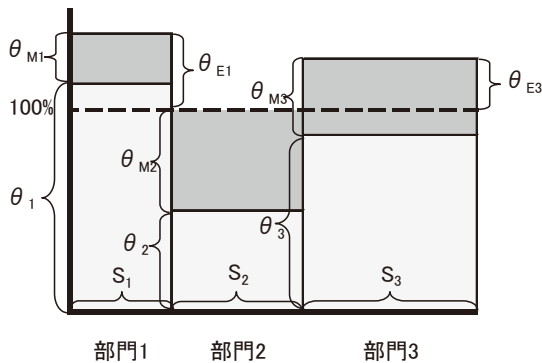


図2 スカイラインチャート

3. スカイラインチャートの拡張

3.1 既存の拡張スカイラインチャート

スカイラインチャートはその地域における産業構造を直観的に理解できるため広く利用されており、他分野にも活用されている (藤原ら 2010) [5] (福石 2010) [6]. さらにこのスカイラインチャート自体への拡張についてはいくつかあり、例えばスカイラインチャートを地域間産業連関表で用いるために拡張した「誘発源別の生産誘発効果」グラフがある (宇多 2013) [7]. 以下では、本研究で開発したチャートの数値的なベースともなっている宮川によるスカイラインチャートを概説する。

宮川 (2005) [8] はスカイラインチャートにおける2つの問題点に対する改良を行っている。1つはある財の輸入が最終的に輸出製品に組み込まれる輸入中間財と国内で消費される輸入財として混在している点、そして需要はあるものの国内で生産されていない財がチャートに現れない点である。

宮川の拡張では、式 (2) のモデルにおける輸入分 \mathbf{x}_M を

$$\mathbf{x}_M = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{m} = \mathbf{B} \{ \hat{\mathbf{M}} \mathbf{A}_d (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{M}}) + \hat{\mathbf{M}} \} \mathbf{d} + \mathbf{B} \hat{\mathbf{M}} \mathbf{A}_d \mathbf{e} \quad (6)$$

$$= \mathbf{x}_M^* + \mathbf{x}_{ME}$$

と表す。ここで $\hat{\mathbf{M}}$ は、対角要素に財 i の国内需要に対する輸入財の割合を表す輸入係数 m_i をもつ輸入係数行列

$$\hat{\mathbf{M}} = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & m_2 & & 0 \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 & m_n \end{bmatrix} \quad (7)$$

であり、 $\mathbf{B} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$, $\mathbf{A}_d = \{\mathbf{I} - (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{M}})\mathbf{A}\}^{-1}$ である。

同様に輸出分 \mathbf{x}_E は

$$\mathbf{x}_E = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{e} = \mathbf{B}_d \mathbf{e} + \mathbf{B} \hat{\mathbf{M}} \mathbf{A}_d \mathbf{e} \quad (8)$$

$$= \mathbf{x}_E^* + \mathbf{x}_{ME}$$

と表せる。

つまり、輸入を国内需要によって誘発された輸入分 \mathbf{x}_M^* と輸出によって誘発された輸入分 \mathbf{x}_{ME} に分割し (式 (6)), 輸出についても輸出によって誘発される国内生産分 \mathbf{x}_E^* と輸出によって誘発される輸入中間財を国内で生産した場合に必要な生産分 \mathbf{x}_{ME} に分割を行っている (式 (8))。

ここからバランス式、さらに部門別に書き直すと

$$\begin{aligned} \mathbf{X} &= \mathbf{X}_D + \mathbf{X}_E - \mathbf{X}_M \\ &= \mathbf{X}_D + (\mathbf{X}_E^* + \mathbf{X}_{ME}) - (\mathbf{X}_M^* + \mathbf{X}_{ME}) \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} X_{Di} &= X_i + X_{Mi}^* + X_{MEi} - X_{Ei}^* - X_{MEi} \\ 1 &= \frac{X_i}{X_{Di}} + \frac{X_{Mi}^*}{X_{Di}} + \frac{X_{MEi}}{X_{Di}} - \frac{X_{Ei}^*}{X_{Di}} - \frac{X_{MEi}}{X_{Di}} \\ &= \theta_i + \theta_{Mi}^* + \theta_{MEi} - \theta_{Ei}^* - \theta_{MEi} \end{aligned} \quad (10)$$

が得られる。この各 θ をスカイラインチャートの各産業部門の縦軸の値として用いる。

さらに各産業部門の横軸の値として、従来の生産額シェアではなく、需要額シェア

$$S_i^* = \frac{X_{Di}}{\sum_j X_{Dj}} \quad (11)$$

を使う。これにより、2点目の問題点である当該地域で生産がなく輸入にすべて頼っている場合はチャートに描かれない点について対処している（図3）。

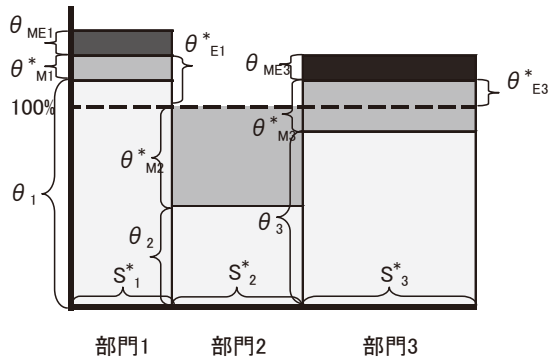


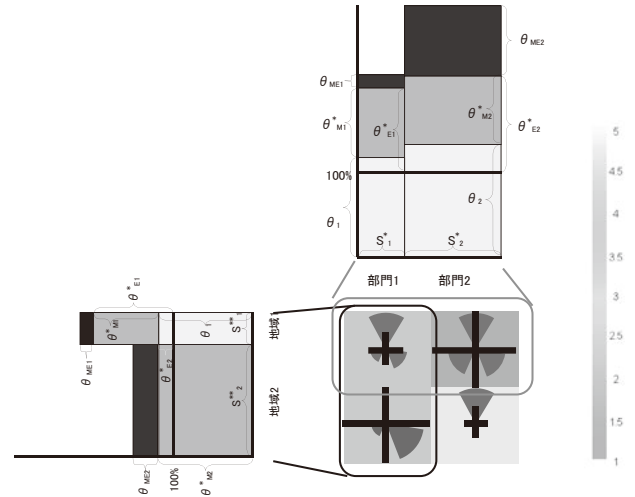
図3 宮川スカイラインチャート

3.2 多次元拡張スカイラインチャートとその改定

3.2.1 多次元拡張スカイラインチャート

筆者ら（2012）[9]はスカイラインチャートの拡張として、宮川版スカイラインチャートを基礎として新たなチャートである多次元拡張スカイラインチャート（Multi-Dimensional Extended Skyline chart: MDES chart）の開発を行った。この目的は、地域間および部門間の比較を効率的に行うことである。一般的なスカイラインチャートでは、1つの地域ごとに1枚のチャートとなるため、複数の国や地域間での産業構造の比較を行うためには、チャートを1枚ずつ比較することになる。また、ある特定の産業部門に着目したときに、その部門内での各国（各地域）のシェアといった特徴を得ることができなかつ

た。これらを実現するためにMDESチャートでは2次元の格子状の各セルがある地域の一つの産業部門を表すような拡張を行った（図4）（カラー図版は著者Webページを参照〔注1〕）。行ごとに比較すれば国・地域間の比較、列ごとに比較すれば部門間の比較が可能となっている。



- ・セルのカラー…… $\theta + \theta_M^* + \theta_{ME}$ の合計
- ・扇形半径の長さ…… θ , θ_M^* , θ_{ME} の割合（3つの要素の最大を1としたときの相対的な大きさ）。上向きが θ 、右下向きが θ_M^* 、左下向きが θ_{ME}
- ・扇形の色……自給率 θ が100%を超えているかどうか（赤：100%以上、青：100%を切る）
- ・セルの中心横線分（黒）の長さ……部門間シェア（部門内の最大の需要シェアを1としたときの相対的な大きさ）
- ・セルの中心縦線分（黒）の長さ……地域間シェア（地域内の最大の需要シェアを1としたときの相対的な大きさ）

図4 MDESチャートにおける産業間比較および地域間比較

3.2.2 改定版多次元拡張スカイラインチャート

MDESチャートは複数の地域間および部門間の比較を容易に行うための拡張であったが、直観的に特徴を把握するという観点からはいくつか改善の余地があった。セル内の扇形が表す自給と輸入分（国内需要に誘発された分と輸出によって誘発された分）の割合が方向（上、右下、左下）に依存しているため直観的ではなく、例えば部門間比較のために図を90度回転させて比較するといったことができない。また、セル内中心にある横線分と縦線分それぞれ部門間シェア、地域間シェアを表しているが、特に値が小さい場合は確認が困難である。

これらについて改善し、新たに本研究では改定版である多次元拡張スカイラインチャートを開発した

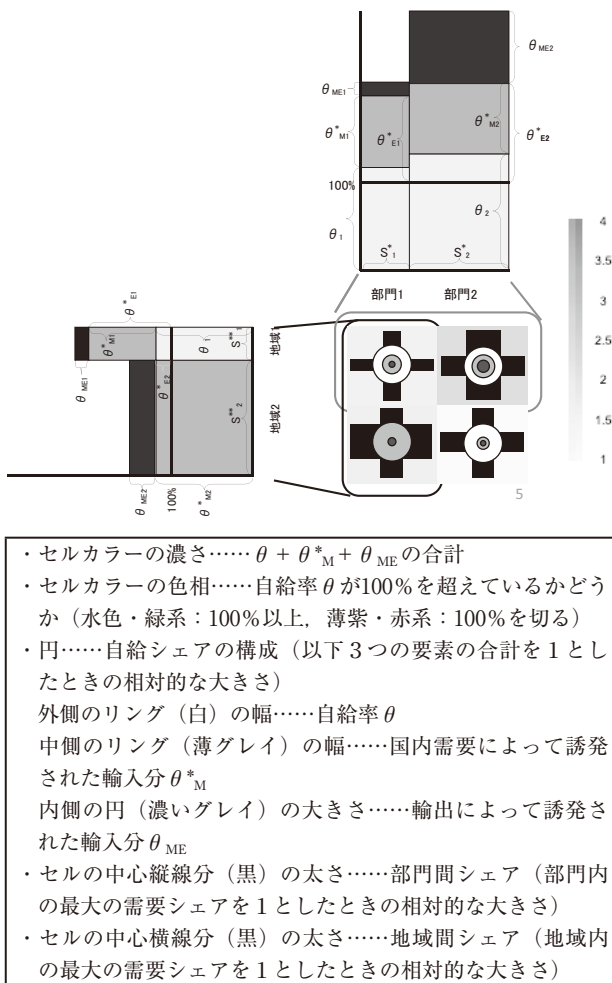


図5 改定版MDESチャートにおける
産業間比較および地域間比較

（以降，改定版MDESチャートと呼ぶ）（図5）（カラー図版は著者Webページを参照 [注1]）。

2次元格子状の各セルがある国（地域）の一つの産業部門を表しており，このセルの色で自給シェア全体を示す。セル内の縦線分と横線分の太さで需要シェアを，3重丸状の円で自給シェアの構成を表す。従来版MDESチャートと情報量は同じであるが，直観的な視認性は向上しており，またチャートを90度回転させた比較，具体的には産業部門を固定しての各国間比較なども行える。この改定版MDESチャートを利用することにより，スカイラインチャートでは困難であった多国・多部門間といった多次元的な産業構造の比較が可能となる。

ここで注意しておきたいのは，今回新たに開発した改定版MDESチャートは，従来のスカイラインチャート（および宮川スカイラインチャート）を置換するものではない点である。本チャートの目的は

同時的に複数の国（地域）および産業部門を多角的・相対的に俯瞰し，その特徴やパターンを見出すことにあり，ある程度正確な数値の読み取りや絶対的な比較をするものではない。したがって，従来のスカイラインチャートを補完するものであり，適宜両方のチャートを使用するべきである。つまり，従来のスカイラインチャートで個別の国の産業構造を確認し，次に改定版MDESチャートで各国間の比較やパターンの抽出を行った上で，再び従来のスカイラインチャートで詳細を確認するといった使用方法が有用といえる。

3.3 分析事例

実際の分析事例として，日本貿易振興機構（ジェトロ）・アジア経済研究所が作成しているアジア国際産業連関表2000年（2006）[10]について，本研究で開発した改定版MDESチャートを作成し各国および各部門の比較分析を行ってみる。

アジア国際産業連関表では，対象国は10カ国（インドネシア，マレーシア，フィリピン，シンガポール，タイランド，中国，台湾，韓国，日本，アメリカ）であり，産業部門は76部門である。ここでは従来のスカイラインチャートとの対比をわかり易くするため7部門（農林水産業，鉱業，製造業，電気ガス水道，建設，商業・運輸，サービス）を使用する。

まず各国の宮川スカイラインチャートを図6から図15に示す。ここで各スカイラインチャートの横軸における番号は産業部門を表す（1：農林水産業，2：鉱業，3：製造業，4：電気ガス水道，5：建設，6：商業・運輸，7：サービス）。

これらの図から分かるように，ある一つの国に絞っての産業構造であればスカイラインチャートは有用であるが，各国間の比較となると各チャート（ここでは10枚）の比較が必要となり容易とはいえない。

次に同じデータから作成した改定版MDESチャートを図16に示す（カラー図版は著者Webページを参照 [注1]）。全体はマトリックス上になっており，行が各国を（従来のスカイラインチャートの1枚に相当），列が各産業部門を表している。各国および各産業部門の構造の特徴を俯瞰的，かつ多面的に捉えることができる。このチャートから得られる知見は多くあるが，ここではそのいくつかを挙げることにする。

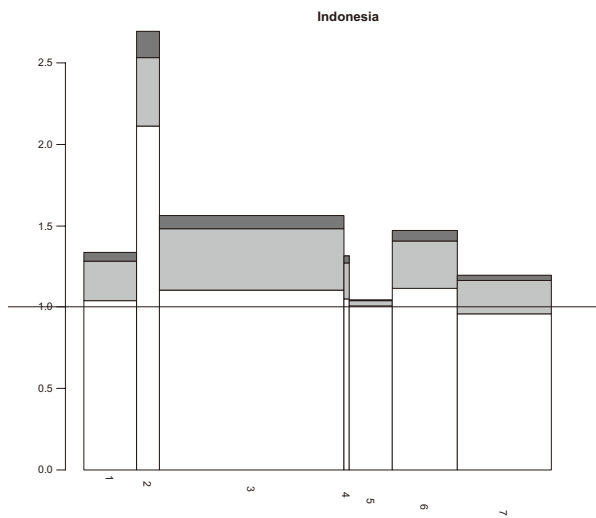


図6 インドネシア

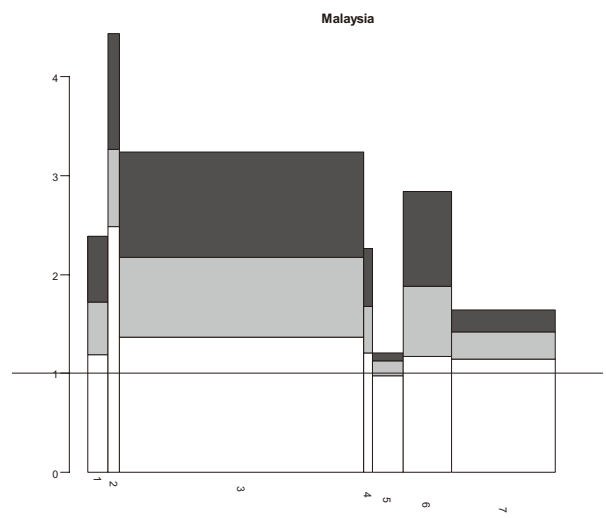


図7 マレーシア

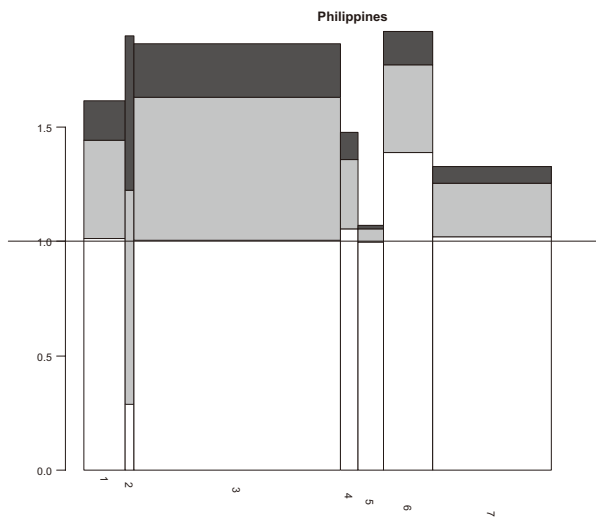


図8 フィリピン

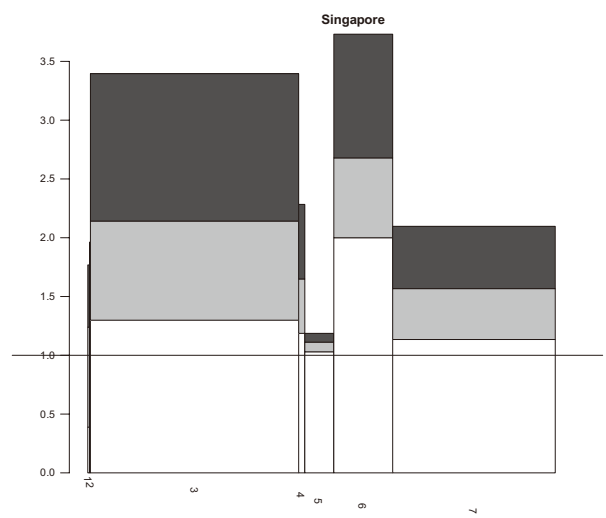


図9 シンガポール

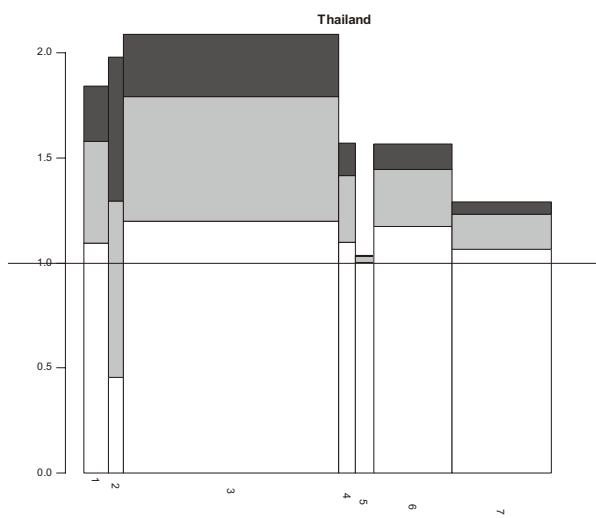


図10 タイ

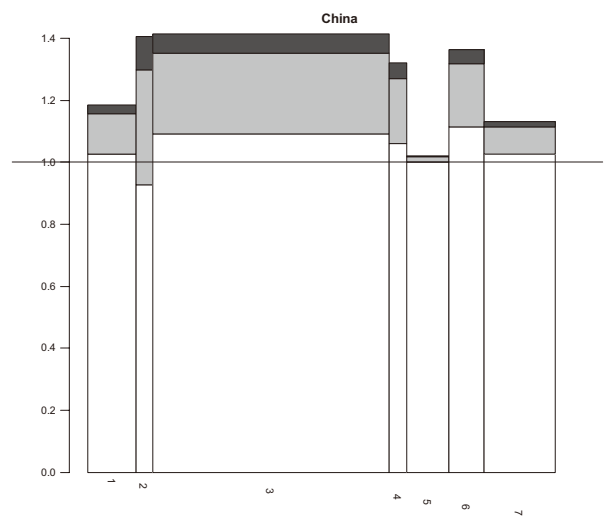


図11 中国

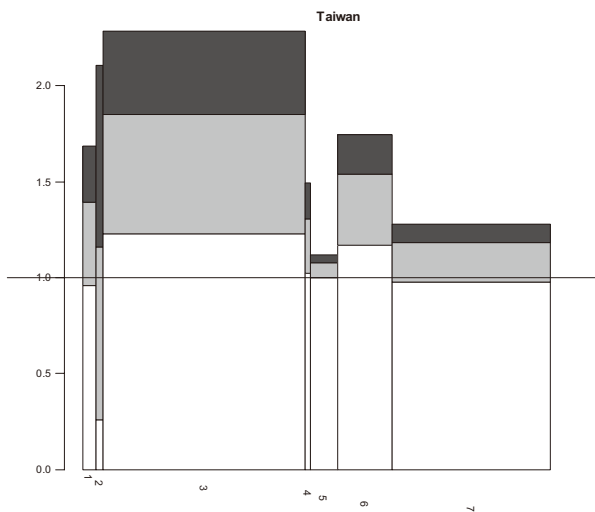


図12 台湾

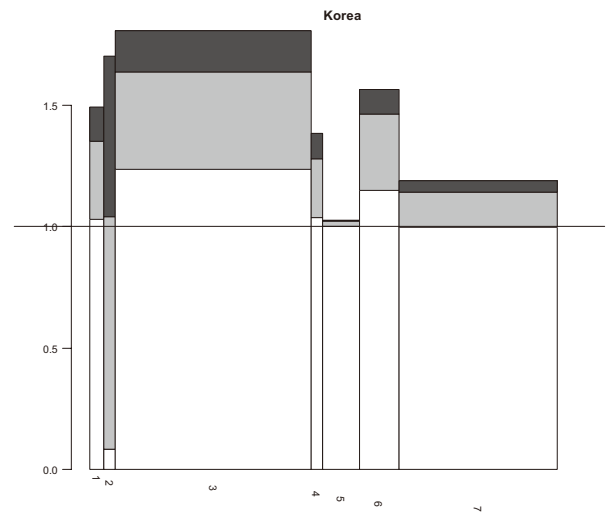


図13 韓国

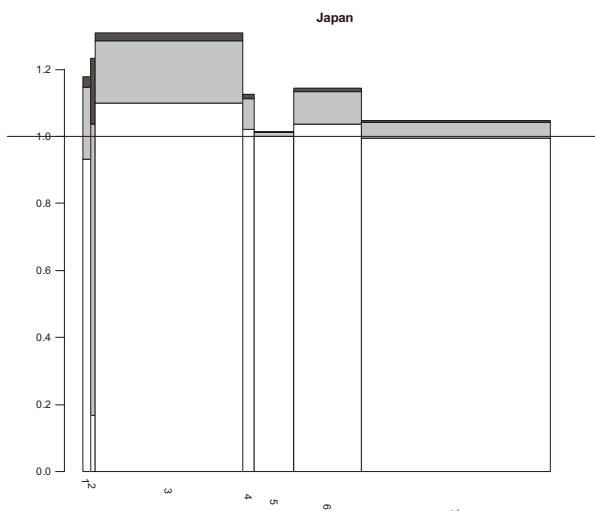


図14 日本

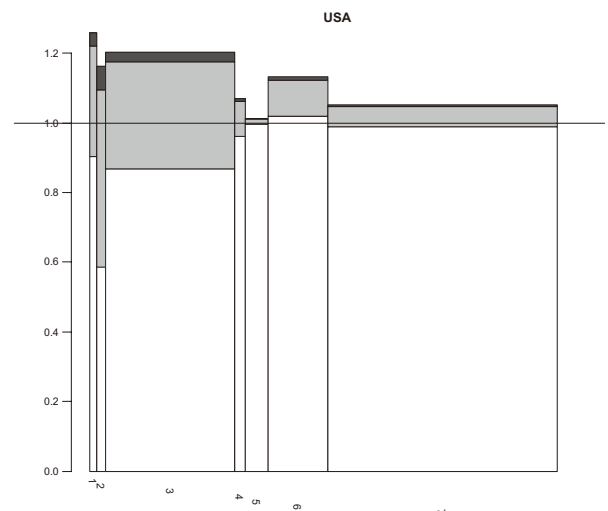


図15 アメリカ

まず各国の需要構造からの特徴を比較する。これには各セルにおける縦線分の太さを見る。どの国も製造業、サービス部門のシェアが特に大きい。その中でも日本とアメリカにおいてはサービスが最大の需要シェアであり、シンガポール、台湾、韓国の3カ国では2つの部門がほぼ同じである（もしくはわずかに製造業が大きい）。あくまでも需要構造のみの観点からではあるが、いわゆる先進国、準先進国、それ以外といった分類がうかがえる。

次に生産構造からの特徴を比較する。これには各セルの色および円（リング）のパターンを確認する。セルの濃さが自給シェアに対する生産であり、特徴的なのはマレーシアとシンガポールであろう。ほとんどの産業部門について色が濃く、輸出シェアが大

きい。この2国間でも特徴がでており、マレーシアは鉱業が突出しており、シンガポールについては商業・運輸といったハブ機能の強さが現れている。

ここで国ごとの比較ではなく、このチャートの特徴でもあるもうひとつの軸、つまり一つの産業部門を中心に特徴をみてみる。例えば、マレーシアが突出していた鉱業部門（第2列目）に焦点を当てると、需要を満たしている（＝水色・緑系のセル。色相は紙面のモノクロ図版では表現できないのでカラー図版〔注1〕を参照のこと）のはマレーシアとインドネシアのみであり、他の国はすべて自給100%ラインを下回っている（＝薄紫・赤系のセル）。さらにこの鉱業では各国で生産シェア構造のパターンの違いがいくつか見てとれる。これは各セル内の円（リ

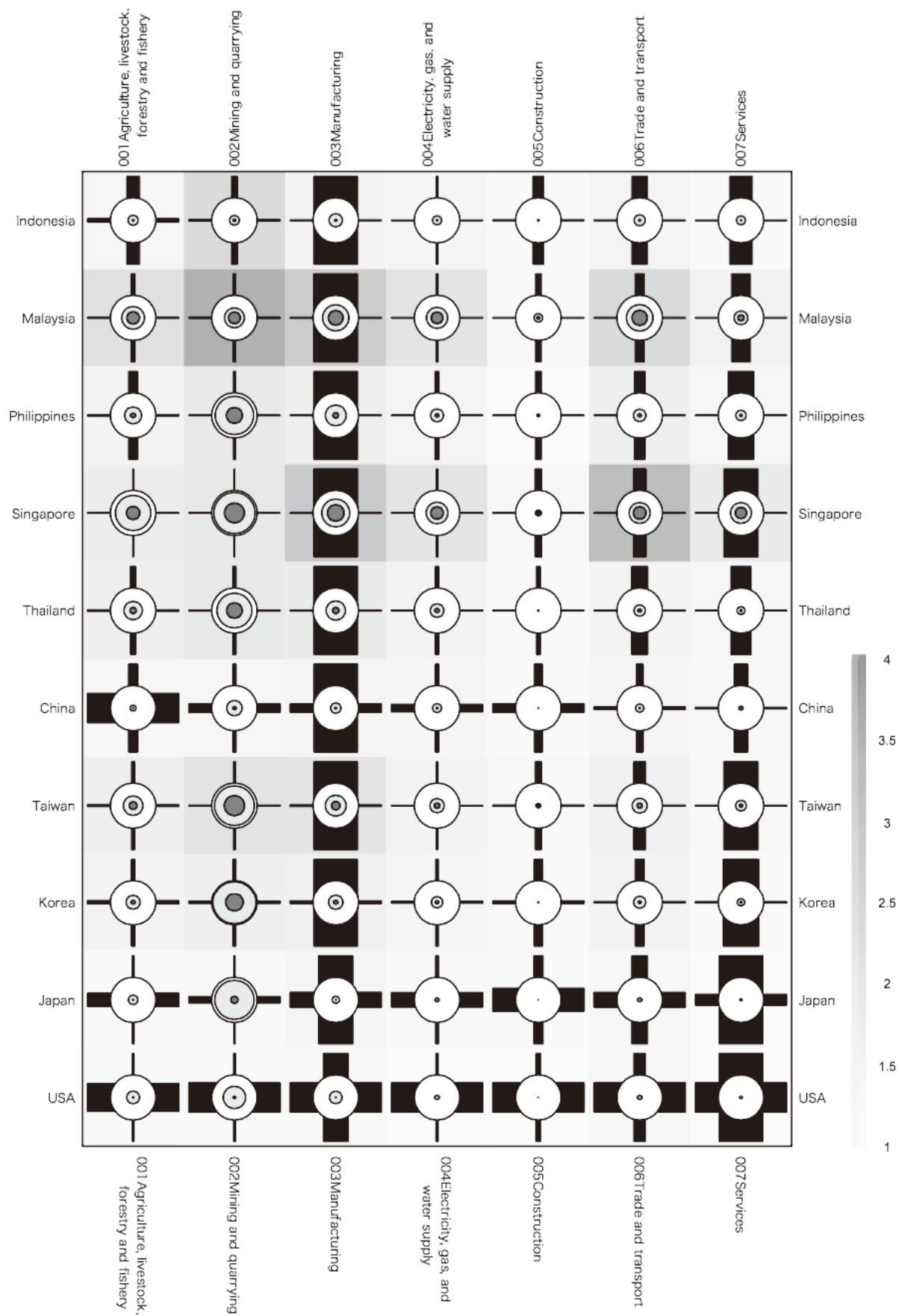


図16 改定版MDESチャート（10カ国，7産業部門）

ング)のパターンに現れている。円は3つの領域から構成されており、「白の外側リング」が国内生産、「薄グレイの中間リング」が国内需要を満たすための輸入、「濃いグレイの中心円」が輸出に誘発された中間財としての輸入、のシェアを表している。鉱業部門においては、フィリピン、シンガポール、タイ、台湾、韓国が「濃いグレイの中心円」が大きく、輸出に誘発された輸入分、つまり鉱業を中間財として輸入し、加工、生産した財を輸出する構造をもっているといえる。一方、日本の場合は「薄グレイの中間リング」の占める割合が大きく、国内需要を満たすための輸入が中心である。

この生産シェアの構造パターンの違いを再度国ごと(=行ごと)の特徴として確認してみる。マレーシアとシンガポールは「濃いグレイの中心円」が大きい産業部門がほとんどであり、これらの国は輸入した中間財を加工して他の財を生産し、それらを輸出する生産構造をもっているといえる。一方、日本、アメリカ、さらには中国においては鉱業部門を除けば「白の外側リング」が多くを占める部門が多く、それほど輸入には頼らず自国の生産で需要を賄っている産業構造をもつ傾向がうかがえる。

4. おわりに

産業連関表は国や地域における産業構造を2次元の簡潔な表であらわしており、経済波及効果等さまざまな分析が可能で、その応用範囲は非常に広い。その中でもスカイラインチャートを利用したスカイライン分析は視覚的に、より簡潔にその地域の経済構造を理解できる。一方、経済活動は一国内、一地域で完結するものではなく、多国間・多地域間での交易構造も含めた上で分析する必要がある。その意味でもスカイラインチャートを拡張した本研究における改定版多次元拡張スカイラインチャート(改定版MDESチャート)は、複数の地域または部門間の多角的な比較を簡便な方法で提供する有効なツールといえる。ただし、本研究で開発したチャートは、従来のスカイラインチャートを代替するものではなく、あくまでも補完するものなので、双方の特徴を考慮した上で適切に活用する必要があることを付記しておきたい。

今後の発展としては、どの地域からどの地域へとといった地域間の輸出入関係をも表現することによ

り、産業構造の比較だけではなく、交易構造を同時に表すような改良が考えられる。

【注】

- [注1] 藤原丈史,「スカイラインチャートの拡張による多地域間産業連関表の多次元可視化手法の開発」, 図4 MDESチャートにおける産業間比較および地域間比較(fig4.png), 図5 改定版MDESチャートにおける産業間比較および地域間比較(fig5.png), 図16 改定版MDESチャート(10カ国, 7産業部門)(fig16.pdf), <http://www.edu.tuis.ac.jp/~fujiwara/jtuis21-1/> (2017.7.15)

【引用文献】

- [1] Leontief, W. W., "Quantitative Input and Output Relations in the Economic Systems of the United States", *The Review of Economics and Statistics* 18(3), pp. 105-125, (1936)
- [2] Leontief, W. W., *The Structure of American Economy, 1919-1939: An Empirical Application of Equilibrium Analysis, Second edition, Enlarged*, Oxford University Press, (1951)
- [3] Leontief, W. W., "The Structure of Development", *Scientific American* 209(3), pp. 148-166, (1963)
- [4] Leontief, W. W., "Input-Output Economics", Oxford University Press, (1966)
- [5] 藤原丈史・吉澤康介・櫻井尚子・山崎和子,「都道府県地域産業連関表によるエコロジカル・フットプリント分析」, 第38回環境システム研究論文発表会講演集, pp.239-243, (2010)
- [6] 福石幸生,「水資源分析用スカイラインの開発—日本における2000-2005年の2時点分析—」, KEO Discussion Paper No. 122, (2010)
- [7] 宇多賢治郎,「地域間産業連関表を活かす生産誘発分析への一提案」, 経済統計研究41(4), pp. 13-33, 経済産業統計協会, (2013)
- [8] 宮川幸三,「スカイラインチャートによる産業構造分析の新たな視点」, 産業連関—イノベーション&IOテクニク13(2), pp. 54-66, (2005)
- [9] 藤原丈史・櫻井尚子・吉澤康介・三宅修平・鄭澤宇・高翔・山崎和子,「産業連関表の可視化について」, 日本計算機統計学会大会論文集26, pp. 133-134, (2012)
- [10] アジア経済研究所編,『アジア国際産業連関表2000年 第2巻: データ編』, 日本貿易振興機構アジア経済研究所, (2006)

【参考文献】

1. Murrell, P., *R Graphics*, Chapman and Hall/CRC, (2006)
2. 穴戸駿太郎監修・環太平洋産業連関分析学会編, 『産業連関分析ハンドブック』, 東洋経済, (2010)
3. Segaran, T. & Hammerbacher, J., *Beautiful Data: The Stories Behind Elegant Data Solutions*, Oreilly & Associates Inc, (2009)
4. Steele, J & Iliinsky, N., *Beautiful Visualization*, Oreilly & Associates Inc, (2010)
5. Ware, C., *Information Visualization, Third Edition: Perception for Design*, Morgan Kaufmann, (2012)