

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

藤原 丈史¹・吉澤 康介²・櫻井 尚子³・山崎 和子⁴

¹正会員 東京情報大学准教授 総合情報学部環境情報学科 (〒265-8501 千葉県千葉市若葉区御成台4-1)
E-mail: fujiwara@rsch.tuis.ac.jp

²非会員 東京情報大学准教授 総合情報学部情報ビジネス学科
E-mail: k-yoshi@rsch.tuis.ac.jp

³非会員 東京情報大学教授 総合情報学部環境情報学科
E-mail: sakurai@rsch.tuis.ac.jp

⁴非会員 東京情報大学教授 総合情報学部環境情報学科
E-mail: yamasaki@rsch.tuis.ac.jp

持続的な発展においては現状把握や政策目標としての指標が必要といえる。その指標のひとつに人間の消費活動を面積に換算するエコロジカル・フットプリント (EF) がある。本研究では産業連関表を用いて日本における各都道府県のEFを算出し、一般的なEFの利点のひとつである解りやすさをさらに視覚的に特徴づけることを目標に、産業連関分析で用いられるスカイラインチャートを応用したEFスカイラインチャートを作成した。また地域ごとではなくひとつの産業から地域ごとの特徴が比較できる展開も行い各産業、各都道府県の特徴を分析した。

Key Words : sustainable development, ecological footprint, input-output analysis

1. はじめに

近年、持続的発展という言葉に代表されるように、金銭的および物質的な発展だけではなく、地球上の限られた資源をもとに、いかに持続的な発展を継続していくかが国際的な重要事項に掲げられている。その目標達成のためには、現状を把握し、政策の指針に資するべき、持続的発展を表すためのなんらかの指標が必要である。その指標のひとつにエコロジカル・フットプリント (Ecological Footprint :EF) ¹⁾ がある。EFはある地域でのすべての消費活動を土地面積に換算したものであり、すなわち通常的生活をおくるにあたりどれくらい人間が地球上の土地を踏みつけているかを表す指標である。

このEFはさまざまな組織や機関、政府等で広く用いられるようになった。その中でも中心的な役割を果たしているのはグローバル・フットプリント・ネットワーク (GFN) ²⁾ であり、世界各国のEF算定等、積極的にEFに関する調査研究、啓蒙などを行っている。日本でもこのEFの推計は多く行われており、例えば伊藤・高橋³⁾は産業連関表から北海道のEFの試算を行っている。

本研究では日本の2000年度47都道府県地域産業連関表

をもとに48産業におけるEFを推計し、従来のスカイライン分析の拡張を行った。スカイラインチャートはある地域における各産業の自給率、生産シェアを図示したものであり、産業構造が視覚的に理解できる。このスカイライン分析は、産業連関分析の分野では広く用いられており、さらにその拡張として従来の金額ベースだけではなく、CO₂の排出構造変化の分析⁴⁾や、水資源利用の構造分析⁵⁾などが行われている。今回、EFベースでのスカイラインチャート、すなわちEFスカイラインチャートを作成することで、各都道府県の特徴を比較検討した。

スカイラインチャートの表記方法はいくつか提案されているがここでは宮川⁶⁾による方法を拡張し、各都道府県の各産業におけるEFベースの自給率および移輸出、移輸入の関係の分析を行っている。このEFスカイラインチャートを従来の金額ベースのスカイラインチャートと比較分析することにより、持続的な発展を踏まえた産業構造の特徴が各都道府県ごとに得られる。また、従来のあるひとつの地域に対する複数の産業構造を表すこのスカイラインチャートを、あるひとつの産業に対する複数の地域間構造を表すように展開することで地域間の比較を行った。

次章では、宮川による拡張スカイライン分析の概要を紹介し、さらに本研究でのEFの算出方法と、EFスカイライン分析への拡張を説明する。3章では、算出結果をもとに各都道府県のEFスカイラインチャートによる比較および、各産業へと展開したEFスカイラインチャートによる分析も合わせて行う。第4章では結果の総括と今後の課題についてまとめている。

2. EFスカイライン分析の手法

(1) 宮川によるスカイラインチャート

一般のスカイラインチャートは、以下の均衡産出高モデルから導出される。

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

\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} は輸入ベクトルであり、 \mathbf{A} は投入係数行列である。スカイラインチャートは、ある地域の各産業ごとに縦軸の値として自給率（輸入および輸出）、横軸の値には生産額のシェアをとり並べたものである。

宮川の拡張では、以下の実際の輸入ベクトル

$$\mathbf{m} = \hat{\mathbf{M}}(\mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{d}) \quad (2)$$

から(1)式を以下のように表す。

$$\mathbf{x} = \{\mathbf{I} - (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{M}})\mathbf{A}\}^{-1}\{(\mathbf{I} - \hat{\mathbf{M}})\mathbf{d} + \mathbf{e}\} \quad (3)$$

ここで $\hat{\mathbf{M}}$ は輸入係数行列であり、国内需要に占める輸入の割合を成分にもつ対角行列である。(3)式を(2)式に代入すれば以下を得る。

$$\mathbf{m} = \{\hat{\mathbf{M}}\mathbf{A}\mathbf{B}_d(\mathbf{I} - \hat{\mathbf{M}}) + \hat{\mathbf{M}}\}\mathbf{d} + \hat{\mathbf{M}}\mathbf{A}\mathbf{B}_d\mathbf{e} \quad (4)$$

ここで \mathbf{B}_d は

$$\mathbf{B}_d = \{\mathbf{I} - (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{M}})\mathbf{A}\}^{-1} \quad (5)$$

である。

これから式(1)のモデルにおける輸入分 \mathbf{x}_M は

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_M &= (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{m} = \mathbf{B}\{\hat{\mathbf{M}}\mathbf{A}\mathbf{B}_d(\mathbf{I} - \hat{\mathbf{M}}) + \hat{\mathbf{M}}\}\mathbf{d} + \mathbf{B}\hat{\mathbf{M}}\mathbf{A}\mathbf{B}_d\mathbf{e} \\ &= \mathbf{x}_M^* + \mathbf{x}_{ME} \end{aligned} \quad (6)$$

と表せる。ただし $\mathbf{B} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$ である。

輸出においても同様な導出により、輸出分 \mathbf{x}_E は

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_E &= (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{e} = \mathbf{B}_d\mathbf{e} + \mathbf{B}\hat{\mathbf{M}}\mathbf{A}\mathbf{B}_d\mathbf{e} \\ &= \mathbf{x}_E^* + \mathbf{x}_{ME} \end{aligned} \quad (7)$$

と表すことができる。

以上により、宮川のスカイラインでは、輸入については、国内需要によって誘発された輸入分と、輸出によって誘発された輸入分を分割して表すところに特徴がある。同様に、輸出についても、輸出によって誘発される国内生産分と、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に分割を行っている。

上記から以下のバランス式

$$\begin{aligned} \mathbf{x} &= \mathbf{x}_D + \mathbf{x}_E - \mathbf{x}_M \\ &= \mathbf{x}_D + (\mathbf{x}_E^* + \mathbf{x}_{ME}) - (\mathbf{x}_M^* + \mathbf{x}_{ME}) \end{aligned} \quad (8)$$

が得られる。これを部門別 ($i=1, \dots, n$) で表し、さらに X_{Di} で割ると以下が得られる。

$$\begin{aligned} X_{Di} &= X_i + X_{Mi}^* + X_{MEi} - X_{Ei}^* - X_{MEi} \\ 1 &= \frac{X_i}{X_{Di}} + \frac{X_{Mi}^*}{X_{Di}} + \frac{X_{MEi}}{X_{Di}} - \frac{X_{Ei}^*}{X_{Di}} - \frac{X_{MEi}}{X_{Di}} \\ &= \theta_i + \theta_{Mi}^* + \theta_{MEi} - \theta_{Ei}^* - \theta_{MEi} \end{aligned} \quad (9)$$

この各 θ をスカイラインチャートの各産業の縦軸の値として用いる。

また宮川による拡張では、各産業の横軸の値として、従来の生産額シェアを使うのではなく、以下のシェア

$$S_i^* = \frac{X_{Di}}{\sum_j X_{Dj}} \quad (10)$$

を使っている。これにより、当該地域で生産がなく輸入にすべて頼っている場合にチャートに描かれない、という問題を解決している。

(2) EFスカイラインチャート

EFスカイラインでは、直接の土地利用を生産額で除した土地利用係数 λ を使用する。ここで直接の土地利用を \mathbf{g} とすると、式(1)のバランス式は

$$\begin{aligned} \mathbf{g} &= \lambda(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}(\mathbf{d} + \mathbf{e} - \mathbf{m}) \\ &= \lambda(\mathbf{I} - \mathbf{A})\mathbf{d} + \lambda(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{e} - \lambda(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{m} \\ &= \mathbf{g}_d + \mathbf{g}_e - \mathbf{g}_m \end{aligned} \quad (11)$$

となる。この式を宮川スカイラインに拡張すれば

$$G_{Di} = G_i + G_{Mi}^* + G_{MEi} - G_{Ei}^* - G_{MEi}$$

$$1 = \frac{G_i}{G_{Di}} + \frac{G_{Mi}^*}{G_{Di}} + \frac{G_{MEi}}{G_{Di}} - \frac{G_{Ei}^*}{G_{Di}} - \frac{G_{MEi}}{G_{Di}} \quad (12)$$

$$= \theta_i + \theta_{Mi}^* + \theta_{MEi} - \theta_{Ei}^* - \theta_{MEi}$$

となる。また横軸の値は以下のシェア

$$S_i^* = \frac{G_{Di}}{\sum_j G_{Dj}} \quad (13)$$

である。

以上が本研究におけるEFスカイラインである。さらに本研究では、あるひとつの産業における各都道府県の構造を横断的に分析するために、もうひとつのスカイラインチャートの展開を行った。これはある産業について、各地域ごとに並べて描画するものである。縦軸の値としては上記 θ をそのまま利用するが、横軸の値は以下のシェア

$$S_i^{**k} = \frac{G_{Di}^{(k)}}{\sum_l G_{Di}^{(l)}} \quad (14)$$

とする。ここで $G_{Di}^{(k)}$ は地域 k における i 産業のEFである。

これにより、ある産業に特化して各地域の特徴を容易に比較可能となる。

表-1 産業分類

番号	産業分類名
1	農業
2	林業
3	漁業
4	鉱業
5	食料・飲料・たばこ
6	繊維工業製品
7	衣服・その他の繊維既製品
8	製材・木製品
9	家具・装備品
10	パルプ・紙・紙加工品
11	出版・印刷
12	化学製品
13	石油・石炭製品
14	プラスチック製品
15	ゴム製品
16	窯業・土石製品
17	鉄鋼
18	非鉄金属
19	金属製品
20	一般機械
21	電気機械
22	輸送機械
23	精密機械
24	その他の製造工業製品
25	再生资源回収・加工処理
26	建設
27	電気
28	ガス・熱供給
29	水道・廃棄物処理
30	卸売・小売
31	金融・保険
32	不動産
33	運輸
34	通信
35	放送
36	公務
37	教育
38	研究
39	医療・保健
40	その他の公共サービス
41	広告・調査・情報サービス
42	物品賃貸サービス
43	その他の対事業所サービス
44	娯楽サービス
45	飲食店
46	旅館・その他の宿泊所
47	その他の対個人サービス
48	その他

3. EFスカイラインの算出と結果

(1) 使用データ

各都道府県の産業連関表は電力中央研究所が推計を行った2000年の47都道府県48産業を利用した⁷⁾(表-1)。土地利用データについてはGFNが算出した日本のEF値を各都道府県・各産業に分配することで行った。

(2) EFスカイライン(都道府県別)の分析

ここでは各都道府県ごとに算出したEFスカイラインチャートの結果を示しその特徴を分析するが、47都道府県すべてにおいて表記することはできないので、特に特徴的な都道府県について検討する。

図-1は東京におけるEFベースのスカイラインチャートである。各棒が産業を表し、横軸の数字は産業番号(表-1)を表す。各棒の高さは3つの部分からなりたっており、黒色部分は移輸出によって誘発された移輸入分、灰色部分は地域の需要によって誘発された移輸入分、白色部分は自地域生産分であり(式(12))、横のラインは自給率100%を表す。そして横幅は地域内の最終需要を満たすために必要な生産をすべて自地域内で行った場合の各産業のシェアである(式(13))。

比較として金額ベースでのスカイラインチャートも図-2として示す。この2つのスカイラインチャートは大きく特徴が異なっている。金額ベースでは大都市ということもあり第3次産業シェアが大きく、またその自給率とも100%大きく超え、移輸出の割合が非常に高い。しかしながら、EFベースでみると、第1次産業がシェアが大きく、第3次産業でも特に電気(産業分類番号27)、運輸(同33)のシェアが高い。特に後者はCO₂に排出による影響がEFでは顕著にみられる特徴でもある。また自給率に関してみると、金額ベースでは東京は全体からは移輸出型とみえるが、EFベースではとくに第1次、第2次での自給率が低くEF移入型、つまり他地域へのEF依存傾向が強い。

図-3は福島EFスカイラインチャートであり、特徴的であるのは電気である。原子力発電所等、福島は電力生産が大きく、他地域に関して移輸出を行っており、EFベースではより顕著にこの特徴が把握できる。

(3) EFスカイライン(産業別)の分析

上記では各都道府県ごとの産業構造の特徴をEFベースで捉えたが、ここではあるひとつの産業において各地

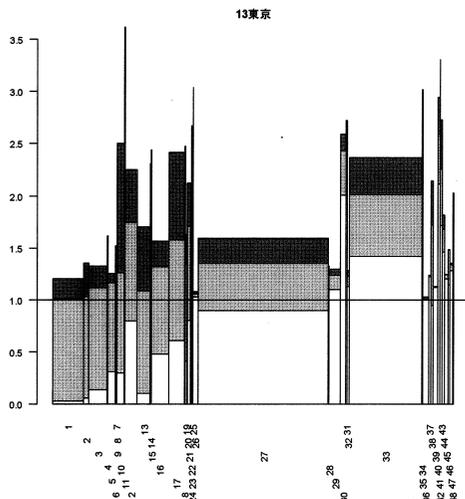


図-1 東京-スカイラインチャート (EFベース)

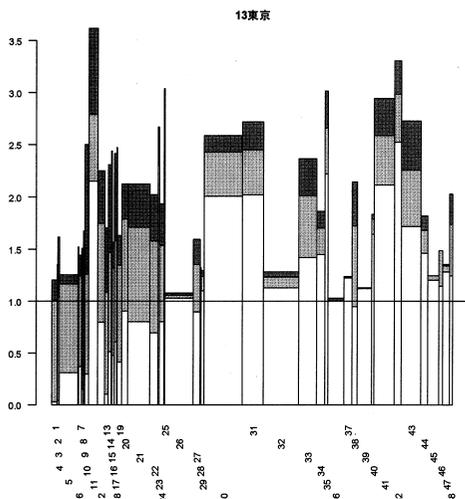


図-2 東京-スカイラインチャート (金額ベース)

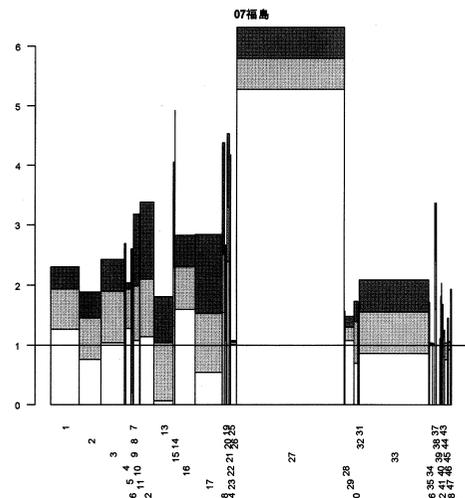


図-3 福島-スカイラインチャート (EFベース)

域を比較する産業別EFスカイラインを示す。

図-4は農業についての産業EFスカイラインチャートである。横軸は各都道府県ごとになっており、棒の幅はその地域の需要をすべて地域内で生産した場合のEFの全国に対するシェアである。首都圏および大都市圏についてこのシェアは高い一方、需給率は非常に低く、他地域にEFを頼っている状況である。東北および九州地方ではその逆であり、

図-5は電気についての産業EFスカイラインチャートである。突出しているのは福島、福井、そして新潟、茨城、千葉、静岡がついで移輸出を行っている。このうち千葉を除いてすべての県で原子力発電所があり、EFの観点からも他地域の電力は原子力発電に強く依存していることが窺える。

5. まとめと今後

本研究では、産業連関表を用いて日本のEF構造についてスカイラインチャートを活用した。また、都道府県個別のチャートだけではなく、ある産業について地域比較を行えるようスカイラインチャートの展開を行った。これによりEFの特定地域での特徴だけでなく、ある産業の傾向を視覚的に捉えられることができた。今後はさらに地域間の関係を考慮に入れた上での定量的な分析を検討する。

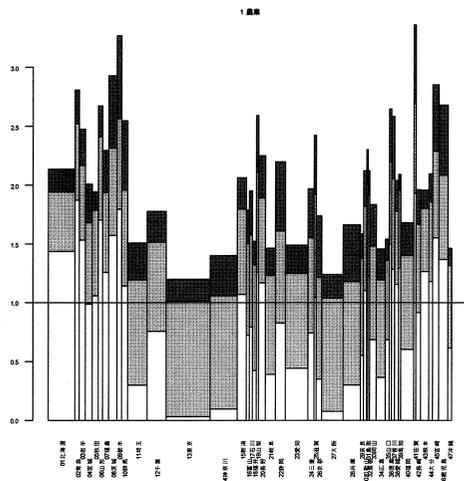


図4 農業-産業スカイラインチャート (EFベース)

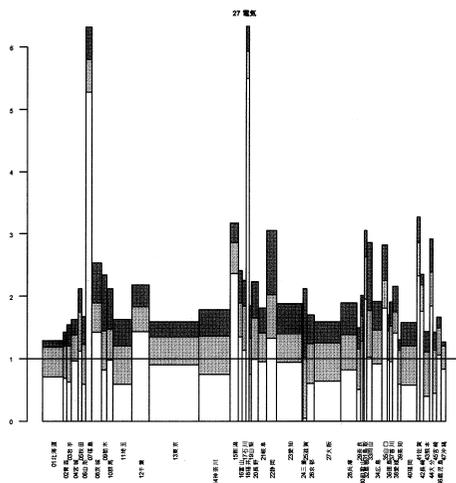


図5 電気-産業スカイラインチャート (EFベース)

参考文献

- 1) Wackernagel, M. and Rees, W. E. : Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth, New Society Publishers, 1996.
- 2) Global Footprint Network (GFN) : National Footprint and Biocapacity Accounts, 2008 edition, Global Footprint Network, 2008.
- 3) 伊藤昭男, 高橋義文: エコロジカル・フットプリントと産業連関分析 (方法論と地域への応用), 産業連関-イノベーション&IOテクニク, 第14巻1号, pp.27-32, 2006.
- 4) 居城 琢: 日本経済のCO2排出構造変化 (石油危機後から90年代まで), 産業連関-イノベーション&IOテクニク, 第13巻1号, pp.16-25, 2005.
- 5) 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.
- 6) 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, 第13巻2号, pp.54-66, 2005.
- 7) 人見和美, Bunditsakulchai, P. : 47都道府県多地域産業連関表の開発 (内部・外部乗数による都道府県間生産誘発構造の分析), 電力中央研究所報告, 2008.

THE ANALYSIS OF ECOLOGICAL FOOTPRINT USING MULTI-REGIONAL INPUT OUTPUT TABLE FOR 47 PREFECTURES IN JAPAN

Takeshi FUJIWARA, Kosuke YOSHIZAWA, Naoko SAKURAI, Kazuko YAMASAKI

Some indicator is needed when we have to understand our present conditions and contribute to a policy-making. One of those indicator is Ecological Footprint, which was developed in 1990 in Canada, converting human consuming activity into land area size. In this study, for the purpose of making clear the meaning of characteristic Ecological Footprint, the Skyline Chart, invented by W.W. Leontief being used for analyzing input-output table, has been applied as an Ecological Footprint Skyline Chart, after Japanese Ecological Footprint was calculated with an input-output table. In addition, an influence into each area from one industry has been abstracted, which can provide the possibility of comparison over relating area. It is effective to analyze the feature of both industries and 47 prefectures by a visible and precise Ecological Footprint Skyline Chart.