

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 25 日現在

機関番号：27103

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2022

課題番号：19K23197

研究課題名（和文）世界環境産業連関表を用いた構造的類似性の抽出に基づく二酸化炭素排出構造の特定

研究課題名（英文）Identification of carbon dioxide emission structure based on extraction of structural similarities using the World Environmentally-Extended Input-Output Tables

研究代表者

白新田 佳代子 (Shironitta, Kayoko)

福岡女子大学・国際文理学部・講師

研究者番号：60845197

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,100,000円

研究成果の概要（和文）：多地域間産業連関表から得られる生産構造の類似性に基づいてクラスター分析を行うことで世界43か国を2つのグループに分割することが可能となった。2つのグループには経済発展度の異なる様々な国が属しており、経済発展度と生産構造の類似性の間には関係がないことが明らかとなった。さらに、2つのグループの間には二酸化炭素排出構造に違いがあり、各グループの排出削減においてターゲットとすべき生産部門が特定された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

気候変動を緩和するための国際的な枠組みとして、京都議定書とパリ協定が代表的な例として挙げられるが、このような枠組みは、従来はGDPやGNIなどの経済発展度の指標に基づいた国際的な枠組（例：京都議定書）による排出削減が行われてきた。しかしながら、本研究の成果で示すように、経済発展と産業構造の間に必ずしも有意な関係があるとは言えず従来は経済発展の指標に基づく国際的な枠組みは重要ではないことが示され、産業構造に基づいた枠組みの重要性が確認された。

研究成果の概要（英文）：In this study, the world's 43 countries were divided into two groups by a cluster analysis based on the similarity of production structures obtained from the multiregional input-output table. The two groups contain various countries with different levels of economic development. It is clear that there is no relationship between the level of economic development and the similarity of production structures. Furthermore, there are differences in carbon emission structures between the two groups, and the sectors that should be targeted in emission reductions for each group were identified.

研究分野：経済学

キーワード：産業構造 産業連関分析 二酸化炭素 類似性分析 クラスター分析

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化問題の深刻化から温室効果ガスの削減が求められているが、日本国内・世界全体での温室効果ガスの排出量は増える一方である。温室効果ガス削減に対する国際的な枠組みは一人当たり国民所得のような経済発展度を基準とした限定的な枠組み (ex. 京都議定書) と国単位の枠組み (ex. 国内の政策やパリ協定) が行われてきたものの、世界各国における産業構造や消費構造などの複合的な経済構造の変化を考慮した枠組みについての議論は依然として十分には行われておらず、排出移転の問題を解決するには至っていない。

生産技術や運輸・通信技術の成長等を背景に、各国の経済構造の変化は先進国や途上国問わず多様化しており、経済発展と産業構造の間に必ずしも有意な関係があるとは言えず、国内総生産 (GDP) や国民総所得 (GNI) といった従来の経済発展の指標に基づく国際的な枠組みは重要ではなくなりつつある。つまり、経済発展の度合いではなく産業構造そのものの違いを考慮した枠組みを描くことが、地球環境問題の解決に重要である。

2. 研究の目的

本研究では、世界各国における産業構造や消費構造などの複合的な経済構造の変化を考慮した枠組みを検討するため、世界各国の構造変化に関する類似性の評価を行い、構造的類似性が考慮されたグループの推定を目的とする。具体的には、世界産業連関表を用いて各国の経済システムの構造的な類似性を基準に世界をいくつかのグループに分割する。得られたグループ内・間の排出量を定量的に分析し考察を行うことで、世界の排出責任論について包括的に議論し、国際的な二酸化炭素削減枠組みの提案を行う。

3. 研究の方法

(1) クラスタ分析：非階層型クラスタリングの適用

まず、産業連関表の投入係数行列を用いて2国間の構造的な類似性を定義する。 s 国の産業 i への s 国および s 国以外の産業 j からの中間投入を $z_{ij}^s = \sum_r z_{ij}^{rs}$ として定義する ($i, j = 1, \dots, N; r, s = 1, \dots, c$)。ここで、産出ベクトル \mathbf{r} を $\mathbf{x}^s = (x_j^s)$ としたとき、技術係数は $b_{ij}^s = z_{ij}^s/x_j^s$ として定義される。 b_{ij}^s は s 国の i 産業が1単位生産するとき必要とする j 産業の国産投入量および輸入投入量の合計を表している。すなわち、技術係数行列 $\mathbf{B}^s = (b_{ij}^s)$ は s 国の生産構造を表すものである。 s 国と r 国の技術係数行列 \mathbf{B}^s 、 \mathbf{B}^r の類似度 k_{sr} を次の①式で定式化する。

$$k_{sr} = \exp\left(-\frac{\|\mathbf{B}^s - \mathbf{B}^r\|}{\sigma^2}\right) \quad \text{①}$$

クラスタ分析は、大きく階層型クラスタリングと非階層型クラスタリングに分けられる。本研究ではまず、非階層型クラスタリングとしてスペクトラルクラスタリングを採用し、クラスタ分析を行う。

①式で得られた経済構造の類似性を基準にグループ化を行う類似行列 $\mathbf{K} = (k_{sr})$ と定義すると、この類似行列 \mathbf{K} は重み付き隣接行列とみなすことができる。 i 国の重み付き次数は②式で計算される。

$$d_s = \sum_r k_{sr} \quad \text{②}$$

対角成分に重み付き次数 d_s を持つ対角行列 \mathbf{D} とすると、次の③式より基準化ラプラシアン行列 \mathbf{L}^* が得られる。

$$\mathbf{L}^* = \mathbf{D}_2^{-1}(\mathbf{D} - \mathbf{K})\mathbf{D}_2^{-1} \quad \text{③}$$

③式の基準化ラプラシアン行列 \mathbf{L}^* の固有値問題から得られる第2固有ベクトルを $\mathbf{y} = (y_s)$ とし、 $y_s > 0$ となる頂点をグループ A、 $y_s < 0$ となる頂点を集合 B としグループ化を行う。またクラスタリングの最適なグループ数はモジュラリティ・インデックスから決定される。本分析で適用したスペクトラルクラスタリングおよびモジュラリティ・インデックスに関するより詳細な理論については、参考文献[1][2]を参照されたい。

(2) クラスタ内の消費ベース二酸化炭素排出量の推計

クラスタ c の消費に基づく二酸化炭素排出量 E_c を推定するために、環境拡張産業連関分析を適用した。④式を用いて E_c を推定することができる。

$$E_c = e^c F^c \quad (4)$$

ここで、 e_c は⑤式で示されるクラスター c に属する国の平均的な体化された排出集約度ベクトルである。

$$e^c = \frac{d^1 * L^1 * \text{diag}(f^1) + d^2 * L^2 * \text{diag}(f^2) + \dots + d^m * L^m * \text{diag}(f^m)}{f^1 + f^2 + \dots + f^m} \quad (5)$$

なお、 m はクラスター c に属する国の数、 f^m は m 国の最終需要ベクトル、 F^c はクラスター c に属する国の総最終需要ベクトルである。

(3) キーセクター分析

クラスター分析で得られたグループの特徴的な構造を見るため、キーセクター分析を行う。本研究では、対象国の影響力係数・感応度係数を推計し、グループの平均的な影響力係数と感応度係数からキーセクターの特定を行う。なお、各国の二酸化炭素排出のキーセクターを特定するため、環境影響を考慮した影響力係数・感応度係数を推計する。

(4) データ

本研究では、世界産業連関表 The World InputOutput Database[3]より、2014年の多地域間産業連関表(43カ国・地域、56産業部門)を用いた。キーセクター分析に必要な各国・各部門の二酸化炭素排出集約度を推計するために、欧州委員会共同研究センターが提供する環境勘定より二酸化炭素排出量のデータを利用した。このデータは、上記の世界産業連関表と整合するように作成されている。

4. 研究成果

(1) 2014年の多地域産業連関表に非階層型クラスタリングを適用した。このとき、各グループ数に対するモジュラリティは図1のように得られた。この結果、最適なグループ数は2と得られた。

図2はクラスター分析によってグループ化されたクラスターAとクラスターBを示している。クラスターAには、アメリカ、カナダ、メキシコ、ブラジル、オーストラリア、アジア諸国が属している一方、クラスターBには、ロシアとフランスやドイツなどのヨーロッパ諸国が属している。クラスターAとBの2014年の一人当たりGNIの平均を比較すると、クラスターAが31,806ドルに対し、クラスターBは36,459ドルであり、2つのクラスター間の平均所得水準には大きな差が見られなかった。これは、生産構造の類似性が必ずしも経済発展の度合いによって決定されるわけではないことを示す。

(2) 各グループの二酸化炭素排出構造を見るために、消費ベース二酸化炭素排出量をスカイライン図を作成した(図3参照)。クラスターA、Bの消費ベース二酸化炭素排出量の合計は、それぞれ13.3GT-CO₂、2.3Gt-CO₂と推計された。クラスターAの排出量はクラスターBの6倍である。

これは、第一に、クラスターAのすべての部門の排出強度がクラスターBのそれよりも高く、特に電気、ガス、熱供給の排出強度が著しく高いためである。第二に、最終需要の総量が異なる点である。ただし、クラスターに属する国の数が大きく異なっていることに注意が必要である。一人当たりの排出量を算出すると、クラスターAは3.1Gt-CO₂、クラスターBは4.6t-CO₂であり、クラスターAとBの最終需要の差が、排出原単位の差よりも大きいことを示している(図3参照)。

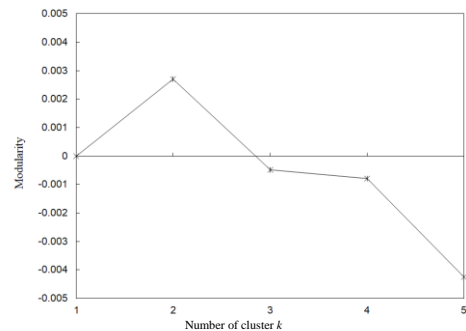
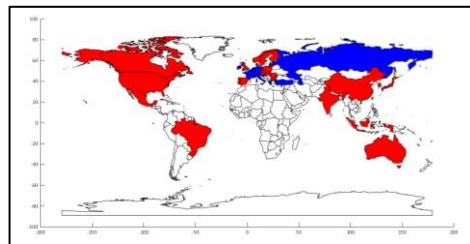
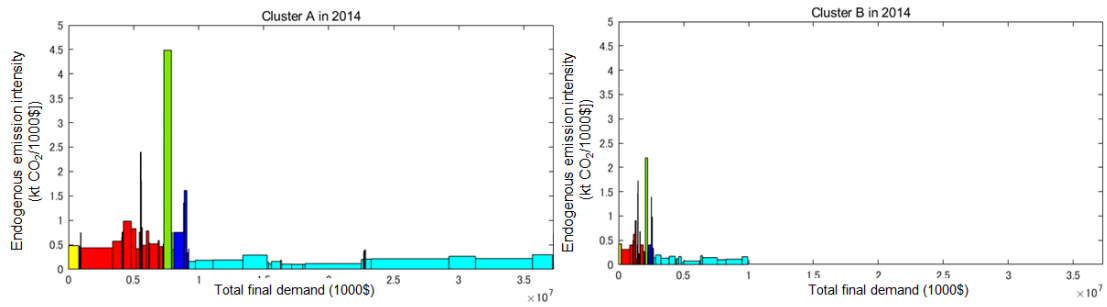


図1. モジュラリティ・インデックス



赤：クラスターA、青：クラスターB
図2. クラスター分析の結果



■ : Agriculture sector (3) ■ : Industry sector (21) ■ : Electricity, heat and water supply and waste management services sector (3) ■ : Transport (5) ■ : Service sector (24)

図 3. 消費ベース二酸化炭素排出量のスカイライン図

(注) 縦軸はグループの平均的な体化された排出集約度、横軸はクラスターの最終需要の規模を示す。グラフ内の各棒グラフの面積はクラスター内の各生産部門から排出された二酸化炭素排出量の総量を表す。凡例の括弧内の数字は分類内の部門数を示す。

(3)上記のクラスター分析で得られた2つのグループについて、キーセクター分析を行った。図4は、クラスターAとクラスターBの平均的な影響力係数と感応度係数を散布図に示したものである。図4および表1より、クラスターA、Bでグラフの象限を共有する部門が複数確認された(表1参照)。そこで、各部門の影響力係数・感応度係数についてクラスターA・B間で距離を算出したところ、部門によって距離に差があることが判明した。最も距離が大きかった部門は、鉱業・採石業(4)である。鉱業・採石業(4)の距離が大きかった原因は、クラスターAの感応度係数がクラスターBに比べ非常に大きかったことである。したがって、産業部門で需要が発生したときに環境に与える影響が大きい部門であるので、クラスターAでは鉱業・採石業(4)が二酸化炭素排出量を抑制することでグループ全体の二酸化炭素の排出を削減することが可能となる。

次に、下水道・廃棄物収集・処理・処分活動等(27)は、クラスターAとBの間の距離が2番目に大きく、特に影響力係数の差が大きい部門である。影響力係数が高いということは、該当する部門の最終需要の増加が、上流産業全体に需要を生み、それによって環境負荷が生まれることを示す。したがって、クラスターBでは、下水道・廃棄物収集・処理・処分活動等(27)のサプライチェーンマネジメントを行うことで排出削減に寄与することができると考えられる。

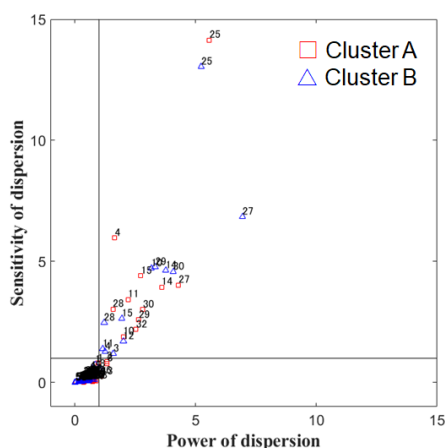


図 4. 影響力係数と感応度係数の散布図
(注) グラフ内の数字は部門を示す。

表 1. キーセクター分析の結果の整理

Cluster	Sectors where both power of dispersion and sensitivity of dispersion are greater than 1
A and B	Mining and quarrying(4), Manufacture of coke and refined petroleum products (10), Manufacture of chemicals and chemical products(11), Manufacture of other non-metallic mineral products(14), Manufacture of basic metals(15), Electricity, gas, steam and air conditioning supply(25), Sewerage; waste collection, treatment and disposal activities; materials recovery; remediation activities and other waste management services (27), Land transport and transport via pipelines(28), Water transport(28), Air transport(30)
Only A	Postal and courier activities(32)
Only B	Fishing and aquaculture(3)
Cluster	Sectors where power of dispersion is greater than 1 excluding the above
A and B	Manufacture of paper and paper products(8), Manufacture of rubber and plastic products(13)
Only A	Fishing and aquaculture(3)

(4) 研究の限界・今後の展望

本研究は、多地域産業連関表に基づき、生産構造の類似性から世界各国をグループ化し排出削減の枠組みを模索した。本研究で得られたクラスター分析の結果には問題点があると考えられる。それは非階層型クラスタリングを行う上で必要となるクラスター数の特定のために用いたモジュラリティ・インデックスの数値が非常に小さく限りなく0に近い点である。これは、分割されたクラスターの割り当てがあまり良いものではないことを意味する。この原因として

は、生産構造として用いた産業連関表および技術係数行列が各国間であまり差がなく（技術係数行列は0から1の間をとる）、分析に適していなかったことが考えられる。この問題を解決する方法として、階層型クラスタリングが挙げられる。階層型クラスタリングは類似性の高い者同士がクラスターを順に形成していくため、上述した非階層型クラスタリングのような問題が発生しない。

排出削減の枠組みを考えるうえで、グループ化の根拠と信頼性は非常に重要である。今後は、階層型クラスタリングを含めたクラスター分析の方法を検討し、生産構造及びそれ以外の経済構造の類似性から精緻なグループ分けを行い、その枠組みに基づいた排出削減の議論が必要である。

<参考文献一覧>

- [1] Shi, J. and J. Malik (2000) "Normalized Cuts and Image Segmentation". *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22, pp.888–905.
- [2] Kagawa, K., Suh, S., Kondo, Y. and Nansai, K. (2013) "Identifying environmentally important supply chain clusters in the automobile industry". *Social Networks*, vol. 35, pp. 423–438.
- [3] Timmer, M. P., Dietzenbacher, E., Los, B., Stehrer, R. and de Vries, G. J. (2015) "An Illustrated User Guide to the World Input–Output Database: the Case of Global Automotive Production". *Review of International Economics*, 23, pp. 575–605.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 白新田佳代子、加河茂美、近藤康之
2. 発表標題 国際産業連関表を用いた構造的類似性の抽出および二酸化炭素排出構造の特定
3. 学会等名 第17回日本LCA学会研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kayoko SHIRONITTA, Shigemi KAGAWA, Yasushi KONDO
2. 発表標題 The analysis of Carbon dioxide emission structure based on the similarities of economic structure using IO analysis and clustering analysis
3. 学会等名 28th International Input-Output Association Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------