

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 4 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23510046

研究課題名(和文)スペクトラルグラフ理論を利用した二酸化炭素排出構造の国際比較分析

研究課題名(英文)Comparative Analysis of CO2 Emission Structures Using the Spectral Graph Theory

研究代表者

加河 茂美 (Kagawa, Shigemi)

九州大学・経済学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：20353534

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、産業連関理論とグラフ分割理論を融合することによって、サプライチェーンネットワークから炭素クラスターを検出する方法の開発をし、乗用車のサプライチェーンから19個のCO2集約的な産業クラスター(CO2クラスター)を検出した。さらに本手法をアジア環境産業連関表から得られる各国の産業ネットワークデータに適用し、日本、アメリカ、中国のCO2排出クラスターの違いを分析した。分析の結果、日本、アメリカ、中国のCO2排出構造からそれぞれ5個、11個、7個のCO2クラスターを検出し、3カ国のクラスター構造の違いを国際比較した。

研究成果の概要(英文)：This study proposes clustering techniques for finding groups of industries with relatively large CO2 emissions through industrial relations, that is CO2 cluster. According to our empirical results, the optimal number of industry clusters from the automobile supply-chain network is 19, and 4 industry clusters are playing a key role in CO2 emission reduction. In addition, this study attempted to detect CO2 clusters from the industrial structures of Japan, U.S.A., and China by applying the environmentally extended Asian input-output table to the clustering technique. The results show that the Japanese economy, US economy, and Chinese economy include 5 clusters, 11 clusters, and 7 clusters, respectively and reveal a variety of cluster structures in their economies.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境影響評価・環境政策

キーワード：産業連関分析 産業クラスター分析 スペクトラルグラフ分析 サプライチェーン CO2排出量 CO2クラスター

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化問題の解決に向けて、グローバルな CO₂ 排出量の削減が急務となっている。このような状況のもと、低炭素社会の実現に向け、炭素粗放的な産業構造の構築に向けた具体的な政策提言をしていく必要がある。そのためには、環境分析で広く用いられている I-PAT 方程式にも見られるように、各国における CO₂ 排出量 (I: impact) を、人口規模 (P: population)、人口当たり経済活動水準 (A: affluence)、技術・構造的効率性 (T: technology) に分解して捉えることがしばしば出発点となる。その分解される因子のうち、技術・構造的効率性 (T) としての炭素クラスター (各国における CO₂ 集約度の高い産業クラスターなど) に着目し、日本をはじめとした各国における炭素クラスターの態様、および炭素クラスターの国際間での違いについて、定量的に分析を行うことが重要である。

2. 研究の目的

以上の学術的背景を踏まえ、本研究では、産業連関理論とグラフ分割理論を融合することによって、サプライチェーンネットワークから炭素クラスターを検出する方法の開発を行うだけでなく、手法の有用性を実証するために、日本の乗用車サプライチェーンネットワークに関するケーススタディだけでなく、アジア経済研究所作成のアジア国際産業連関表と国立環境研究所作成の国別部門別 CO₂ 排出量を用いて、日本、中国、アメリカの産業構造から炭素クラスターを検出し、その国際比較分析を行った。

3. 研究の方法

(1) 隣接行列の作成

まず、産業連関数量モデルを用いると、部門 k の最終需要によって誘発する CO₂ 排出量は以下のように推計することができる。

$$\mathbf{q} = \text{diag}(\tilde{\mathbf{E}})(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{f}_k \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{q} = (q_i)$ は、部門 j の最終需要によって誘発する部門 i の生産によって排出される CO₂ 量を示し、 $\text{diag}(\tilde{\mathbf{E}})$ は各部門の生産 1 単位あたりの CO₂ 排出量を対角成分に持つ対角行列を示し、 \mathbf{I} は単位行列、 \mathbf{A} は投入係数行列、 \mathbf{f}_k は部門 k の最終需要 f_k のみ値を持ち、その他の部門の最終需要はゼロである最終需要ベクトルを示している。(1)式の逆行列部分は、

$$(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} = \mathbf{I} + \mathbf{A} + \mathbf{A}^2 + \dots \quad (2)$$

と展開できることを利用すると、(1)式は(3)式のように展開できる。

$$\mathbf{q} = \text{diag}(\tilde{\mathbf{E}})\mathbf{f}_k + \text{diag}(\tilde{\mathbf{E}})\mathbf{A}\mathbf{f}_k + \text{diag}(\tilde{\mathbf{E}})\mathbf{A}^2\mathbf{f}_k + \dots \quad (3)$$

本研究では、(3)式によって表現された環境産業連関モデルを更に単位構造モデルへと変形した(詳細は、尾崎(1990)や Kagawa *et al.*(2013)を参照)。

$$\begin{aligned} \mathbf{Q} &= \text{diag}(\tilde{\mathbf{E}})\text{diag}(\mathbf{f}_k) + \text{diag}(\tilde{\mathbf{E}})\mathbf{A}\text{diag}(\mathbf{f}_k) \\ &\quad + \text{diag}(\tilde{\mathbf{E}})\mathbf{A}\text{diag}(\mathbf{A}\mathbf{f}_k) + \dots \\ &= \text{diag}(\tilde{\mathbf{E}})\text{diag}(\mathbf{f}_k) + \text{diag}(\tilde{\mathbf{E}})\mathbf{A}\text{diag}(\mathbf{B}_k) \mathbf{f}_k \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、 $\mathbf{Q} = (Q_{ij})$ は部門 k の最終需要によって誘発する部門 i から部門 j への中間投入物の生産の際に排出される CO₂ 排出量を示している。 \mathbf{B}_k は逆行列 $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$ の第 k 列目の列ベクトルであり、部門 k の 1 単位の最終需要によって誘発される中間投入物の量を示している。結果的に、(4)式の $\mathbf{Q} = (Q_{ij})$ は、部門 k の最終需要によって形成されるサプライチェーンネットワークに付随する CO₂ 排出量を示している。言い換えれば、CO₂ 排出量を重みに持つ有向グラフとして解釈できる。

このように、最終需要に付随するサプライチェーンに焦点を当てたグラフ構造を定義することができる一方で、産業連関表そのものから得られる中間投入表 $\mathbf{Z} = (Z_{ij})$ (産業 i から産業 j への中間投入量) に排出係数行列 $\text{diag}(\tilde{\mathbf{E}})$ を乗じることによって当該国の投入産出構造(産業連関構造)に付随する CO₂ 排出量を以下のように求めることもできる。

$$\mathbf{R} = \text{diag}(\tilde{\mathbf{E}})\mathbf{Z} \quad (5)$$

(5)式もまた CO₂ 排出量を重みに持つ有向グラフとして解釈できる。

(2) スペクトラルグラフ理論を利用したクラスタリング手法

クラスタリングの手法については、Shi and Malik(2000)の手法を応用する。まず、 i 部門から j 部門へのサプライチェーンネットワーク(有向グラフ)を示す行列 \mathbf{Q} を i 部門と j 部門間の排出集約度の関係度(無向グラフ)を示す隣接行列 $\mathbf{Q}^* = (Q_{ij}^*)$ に変換する。

$$Q_{ij}^* = Q_{ij} + Q_{ji} \quad (6)$$

このとき、サプライチェーンネットワークにおける各部門(すなわち、ネットワークにおける頂点)の重み付き次数は $d_i = \sum_j Q_{ij}^*$ として計算できる。本節では、説明の都合上、式(6)で示される無向グラフを繰り返し二分していくことを考える。ネットワークにおける辺の重みを頂点間(各部門間)の関係の強さと解釈すれば、ネットワークを C と D という2つのグループに分割する評価基準としては、例えば、グループ間の関係の強さを最小にすることが考えられる。これは切断辺の重みの合計値、つまり同一グループに属さない頂点間の重みの合計値、

$$Cut(C, D) + Cut(D, C) = \sum_{i \in C, j \in D} Q_{ij}^* + \sum_{j \in D, i \in C} Q_{ij}^* \quad (7)$$

が最小になるような基準である。しかし、式(7)の評価基準を用いると、孤立した1つの頂点がクラスターとして検出されることがよく知られている。そこで上記(7)式の評価基準に加えて、集合Cと集合Dに属するクラスターサイズ $\sum_{i \in C} d_i$ と $\sum_{i \in D} d_i$ が最大になる、つまりグループ内の関係の深さが最大になるような条件を与える。すなわち、「グループ間の関係の強さが最小」かつ「グループ内の関係の強さが最大」になるように2つのグループに分割する方法である。この2つの評価基準を満たす指標として、下式(8)に示す基準化切断値を定義し、この値が最小になるような分割問題を考える。

$$\text{Min.} \frac{\sum_{i \in C, j \in D} -q_{ij}^* x_i x_j}{\sum_{i \in C} d_i} + \frac{\sum_{j \in C, i \in D} -q_{ij}^* x_i x_j}{\sum_{i \in D} d_i} \quad (8)$$

$$x_i = 1 (i \in C), x_i = -1 (i \in D)$$

しかしこの問題はNP 困難な問題である。上式(8)の $\mathbf{x}=(x_i)$ を $\mathbf{y} = \{(\mathbf{i} + \mathbf{x}) - b(\mathbf{i} - \mathbf{x})\}$ へと変数変換すると、以下のような式を得られる。ここで \mathbf{i} は全ての要素が1である単位ベクトルであり、また $b = \sum_{i \in C} d_i / \sum_{i \in D} d_i$ である。このとき下式(9)を得ることができる。

$$\text{Min.}_{\mathbf{y}_i \in \{1, -b\}} \frac{\mathbf{y}^T (\mathbf{D} - \mathbf{Q}^*) \mathbf{y}}{\mathbf{y}^T \mathbf{D} \mathbf{y}} = \frac{\sum_{i \neq j} q_{ij}^* (y_i - y_j)^2}{\sum_i d_i y_i^2} \quad (9)$$

ここで、 \mathbf{D} は次数 d_i を対角成分に持つ対角行列であり、 $\mathbf{D} - \mathbf{Q}^*$ はラプラシアン行列と呼ばれている。 y_i を実数値空間上の値と見なすと、式(9)は一般化固有値問題 $(\mathbf{D} - \mathbf{Q}^*) \mathbf{y} = \lambda \mathbf{D} \mathbf{y}$ の Rayleigh 商になる。このとき、ラプラシアン行列 \mathbf{L} の最も小さな固有値0に対応する固有ベクトルは \mathbf{i} であるので、(9)式の変数変換の際得られる $\mathbf{y}^T \mathbf{D} \mathbf{i} = 0$ という制約式を満たしつつ、実数値空間上に拡張された式(9)の最小化問題を解くということは、前述の一般化固有値問題から得られる2番目に小さな固有値に対応する固有ベクトル $\mathbf{y}=(y_i)$ を求めることに等しい。つまり、 $y_i \leq 0$ のとき部門 i は集合Cに属し、 $y_i \geq 0$ のとき、部門 i は集合Dに属す。

(3) 非負行列因子分解手法を利用したクラスタリング手法

(8)式で示される離散組み合わせ問題を一般化固有値問題に緩和するときの問題点は、離散的な空間で解をもたずの y_i を実数値空間上の値と見なすことである。そのため、一般化固有値問題の解を利用したグラフ分割

法の精度はあまりよくない。こうした問題を重要視し、(8)式で示される離散組み合わせ問題を下式(10)に示される非負行列因子分解問題へと導く。

$$\text{Min.}_{\mathbf{H} \geq \mathbf{0}} \left\| \mathbf{D}^{-1/2} \mathbf{Q}^* \mathbf{D}^{-1/2} - \mathbf{H} \mathbf{H}^T \right\|_F^2 \quad (10)$$

ここで、 $\|\cdot\|_F^2$ はフロベニウスノルムを示しており、 \mathbf{H} は内生的に決定される非負行列を示している。プライム記号は行列の転置をしめす。非負行列 \mathbf{H} は、ネットワーク構成する頂点の数×ネットワークに存在するクラスターの数の次元を持つ。二分割の場合には、クラスターの数は2となる。(10)式に示される最小化問題は、

$$h_{ij} \leftarrow h_{ij} \left(1 - \beta + \beta (\mathbf{D}^{-1/2} \mathbf{G}^* \mathbf{D}^{-1/2} \mathbf{H})_{ij} / (\mathbf{H} \mathbf{H}^T \mathbf{H})_{ij} \right) \quad (11)$$

という繰り返し計算をすることによって求めることができる。ここで、 β は任意のパラメータであり、 $0 < \beta \leq 1$ の値ととる。(11)式で得られた行列

$$\hat{\mathbf{H}} = n \begin{pmatrix} \hat{\mathbf{h}}_1 \\ \hat{\mathbf{h}}_2 \\ \vdots \\ \hat{\mathbf{h}}_n \end{pmatrix} \quad (12)$$

の第 i 行目の $(K \times 1)$ の横ベクトル $\hat{\mathbf{h}}_i (1, \dots, n)$ は、頂点 i の特徴ベクトルと呼ばれており、この特徴ベクトルが類似している頂点の集合がクラスターとなる。本研究では、この類似度を判別する統計手法として、 K -means 法を利用する。

(4) 最適なクラスター数の選定

前節で定式化された一般化固有値問題の解を利用したクラスタリング法と非負行列因子分解問題の解を利用したクラスタリング法とも基準化切断値が最も小さくなるようなネットワーク分割を求める手法であった。しかしながら、両手法とも最適問題を解く前に、事前にクラスターの数を決めておかなければいけない。つまり、ネットワークを“与えられたクラスターの数”だけ分割するとき基準化切断値が最小となるネットワーク分割を求めるものである。さらには、両問題とも事前に与えられたクラスターの数が大きくなるにつれて基準化切断値の近似解が大きくなるという性質を持っている。両手法とも最適なクラスターを決めるための手法ではないということに注意しなければいけない。そこで本研究では、両手法で得ら

れたクラスター分割の情報を利用して、Newman and Girvan (2004)で提案されているモジュラリティ指標、

$$Q(K) = \sum_{i=1}^K (p_{ii} - q_i^2) \quad (13)$$

を計算し、その値が最大となるクラスターの数をもっとも適当なクラスター数とした。ここで、 p_{ii} は i 番目のクラスターの級内比率 (i 番目のクラスターに関する級内合計÷隣接行列の全ての要素の総計)、 q_i は i 番目のクラスターの級間比率 (i 番目のクラスターに関する級間合計÷隣接行列の全ての要素の総計)を示す(詳細は Newman and Girvan (2004))。

4. 研究成果

(1) 乗用車サプライチェーンのクラスター分析

国立環境研究所が作成している 2005 年環境産業連関表 (393 部門) を利用して、乗用車部門の最終需要によって形成される乗用車サプライチェーンが誘発する CO₂ 排出量を (4) 式によって求めた。その CO₂ 排出構造 (CO₂ 排出行列) から (6) 式に示される乗用車サプライチェーンに関する隣接行列を作成し、その隣接行列を非負行列因子分解に基づくクラスタリング手法に適用して、乗用車サプライチェーンから CO₂ 排出集約的な産業クラスター (CO₂ クラスタ) を検出した。

分析の結果、乗用車サプライチェーンから合計で 19 個の CO₂ クラスタが検出された。そのときの最大モジュラリティ指標は 0.11 であった (図 1 を参照)。

図 2 は最も排出集約的な 4 つのクラスターを示している。特に、17 番目のクラスターである {#134 Cast and forged materials (iron), #208 Passenger motor cars, #210 Internal combustion engines for motor vehicles and parts, #211 Motor vehicle parts and accessories, #232 Electric power for enterprise use, #233 On-site power generation, #251 Road freight transport, #288 Research and development (intra-enterprise)} のクラスター内排出量が 1495 万トン-CO₂ と最も高く、温暖化対策の観点から優先度の最も高い産業クラスターであることが分かる。企業内研究開発活動や道路貨物輸送が CO₂ 排出に大きく寄与している点も興味深い。単に、自動車生産に必要な鉄鋼製品や部品の低炭素化という側面だけでなく、より環境にやさしい自動車研究開発や輸送ロジスティクスが必要である。

また乗用車生産において重要な部品であるガラス製品やタイヤ製品なども乗用車サプライチェーンに付随する排出量を削減する上で決定的に重要となる。

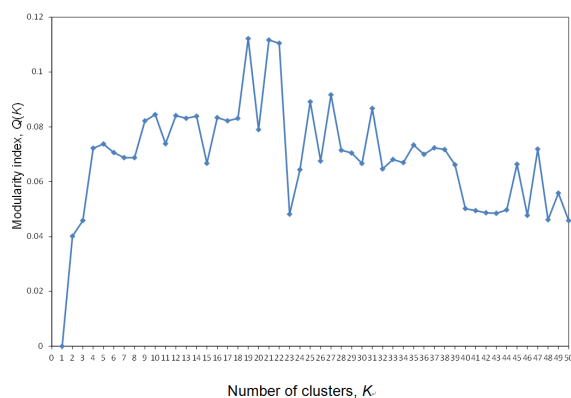


図 1. 乗用車サプライチェーンネットワークにおけるクラスターの数とモジュラリティ指標の関係

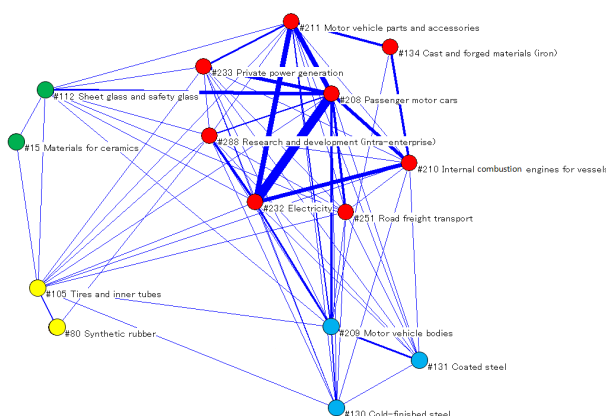


図 2. 乗用車サプライチェーンネットワークにおける重要な CO₂ クラスタの構造

(2) 日本、中国、アメリカの産業構造のクラスター分析

(5) 式で示される CO₂ 排出行列 R を行列 Q のように取り扱い、本研究で提案されたクラスター分析法を利用することによって、投入産出構造から排出集約的な産業クラスターを検出することが可能である。本研究では、アジア経済研究所作成 (74 産業部門) のアジア国際産業連関表と国立環境研究所作成の国別部門別 CO₂ 排出量を用いて、日本、中国、アメリカの CO₂ 排出行列 R を作成し、その R から得られる隣接行列 R^* を非負行列因子分解に基づくクラスタリング手法に適用して、各国の産業構造から CO₂ 排出集約的な産業クラスター (CO₂ クラスタ) を検出した。

分析の結果、日本の産業構造からは 5 個の CO₂ クラスタ、アメリカの産業構造からは 11 個の CO₂ クラスタ、中国の産業構造からは 7 個の CO₂ クラスタが検出された (モジュラリティ指標は図 3 を参照)。

分析の結果、日本は、Shipbuilding、Iron and steel、Metal products、Metal working machinery という 4 つの部門が非常に強い結びつきを持っており、造船業と鉄鋼業を中心とした産業構造が多くの CO₂ を誘引していることが明らかとなった。また興味深い点は、同じ先進国

である日本とアメリカは異なるクラスター構造を有している点である。アメリカでは、Fishery、Transportation、Forestry、Timber、Other wooden products、Cement and cement products、Building construction、Other construction が一つのクラスターを形成しているが、日本では、Fishery と Fish products が一つのクラスターを形成している。ネットワーク構造の結果から、特に Fishery を含むクラスターに着目すると、輸送部門 (Transportation) の役割が日本とアメリカとでは大きく異なることが原因と考えられる。アメリカでは輸送の効率化を図ることによって漁業部門、林業部門、建設部門の生産活動に付随する CO₂ 排出量を削減することができる一方で、日本ではむしろ Fishery と Fish products 間の効率的な産業連携を通して排出削減を行った方が効果的であるということを示唆している。

中国では、Other transport equipment、Shipbuilding、Heavy Electrical equipment、Boilers, Engines and turbines、General machinery Specialized machinery、Motor vehicles、Motor cycles、Iron and steel、Metal products、Metal working machinery が一つの大きなクラスターを形成しており、日本とアメリカのクラスター構造と比較すると、特に鉄鋼製品・金属製品と電化製品間の経済ネットワークが排出削減の上で重要であり、鉄鋼製品や金属製品のより排出粗放的な生産の重要性がクローズアップされる。

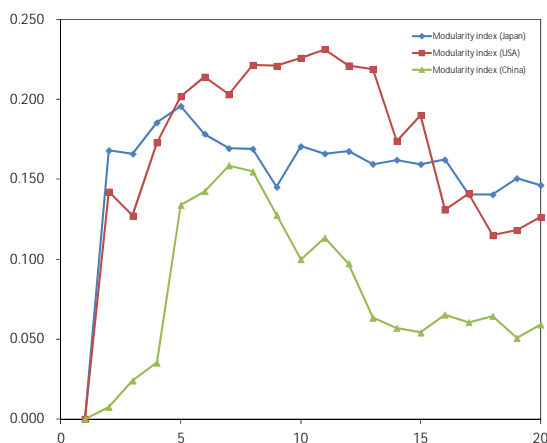


図 3. 日本、アメリカ、中国の CO₂ 排出構造におけるクラスターの数とモジュラリティ指標の関係

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 8 件)

Kagawa, S., Hubacek, K., Nansai, K., Kataoka, M., Managi, S., Suh, S. and Kudoh, Y., Better Cars or Older Cars?: Assessing CO₂ Emission Reduction Potential of Passenger Vehicle Replacement

Programs, *Global Environmental Change*, 査読有, vol.23, no.6, pp. 1807-1818, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.07.023>

Kagawa, S., Okamoto, S., Suh, S., Kondo, Y. and Nansai, K., Finding Environmentally Important Industry Clusters: Multiway Cut Approach Using Nonnegative Matrix Factorization, *Social Networks*, 査読有, vol.35, no.3, pp. 423-438, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.socnet.2013.04.009>

Kagawa, S., Takezono, K., Suh, S. and Kudoh, Y., Production Possibility Frontier Analysis of Biodiesel from Waste Cooking Oil, 査読有, *Energy Policy*, vol.55, pp. 362-368, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.12.016>

Kagawa, S., Suh, S., Kondo, Y. and Nansai, K., Identifying Environmentally Important Supply-Chain Clusters in the Automobile Industry, 査読有, *Economic Systems Research*, vol.25, no.3, pp. 265-286, 2013. DOI:10.1080/09535314.2012.730992

Kagawa, S., Goto, Y., Suh, S., Nansai, K. and Kudoh, Y., Accounting for Changes in Automobile Gasoline Consumption in Japan: 2000-2007, 査読有, *Journal of Economic Structures*, 1:9, pp. 1-27, 2012. doi:10.1186/2193-2409-1-9

Nansai, K., Kagawa, S., Kondo, Y., Suh, S., Nakajima, K., Inaba, R. and Tohno, S., Estimates of Embodied Global Energy and Air-emission Intensities of Japanese Products Using a Global Link Input-Output Model, 査読有, *Environmental Science & Technology*, vol.46, no.16, pp. 9146-9154, 2012. doi: 10.1021/es2043257

Nakajima, K., Nansai, K., Matsubae, K., Kondo, Y., Kagawa, S., Inaba, R., Nakamura, S. and Nagasaka, T., Identifying the Substance Flow of Metals Embedded in Japanese International Trade by Use of WIO-MFA Model, 査読有, *ISIJ International*, vol.51, no.11, pp. 1934-1939, 2011.

<http://dx.doi.org/10.2355/isijinternational.51.1934>

Kagawa, S., Nansai, K., Kondo, Y., Hubacek, K., Suh, S., Minx, J., Kudoh, Y., Tasaki, T., and Nakamura, S., Role of Motor Vehicle Lifetime Extension in Climate Change Policy, 査読有, *Environmental Science & Technology*, vol.45, no.4, pp. 1184-1191, 2011. DOI: 10.1021/es1034552

〔学会発表〕(計 15 件)

江口昌伍、加河茂美「廃食油を用いたバイオディーゼル燃料の環境効率性分析」『第 9 回日本 LCA 学会研究発表会』、東京、2014 年 3 月 4 日。

南斉規介、中島謙一、加河茂美、近藤康之「日本のマテリアルフローフットプリント」『第 9 回日本 LCA 学会研究発表会』、東京、2014 年 3 月 4 日。

白新田佳代子、岡本隼輔、加河茂美「サービス経済化と CO₂ 排出量に関する国際比較分析」『第 9 回日本 LCA 学会研究発表会』、東京、2014 年 3 月 5 日。

宮里円、加河茂美、八木迪幸、長谷川良二、馬奈木俊介「東日本大震災の経済復興シナリオ分析：供給制約型多地域間産業連関モデルの開発と応用」『第 9 回日本 LCA 学会研究発表会』、東京、2014 年 3 月 5 日。

尾下優子、加河茂美、Sangwon Suh「CO₂ 集約的なアメリカの産業クラスターの特定」『第 9 回日本 LCA 学会研究発表会』、東京、2014 年 3 月 6 日。

近藤康之、南斉規介、中島謙一、加河茂美「我が国における耐久財使用に係るネオジウム、プラチナ、コバルトの国際貿易フローおよび技術的見地からのホットスポットの可視化」『第 9 回日本 LCA 学会研究発表会』、東京、2014 年 3 月 6 日。

尾下優子、加河茂美、長谷川良二「局地的災害のサプライチェーンへの影響分析手法の開発」『環太平洋産業連関分析学会第 24 回(2013 年度)大会』、名古屋、2013 年 10 月 27 日。

重富陽介、南斉規介、加河茂美、東野達「日本の消費者基準 GHG 排出量の長期予測-家計消費の視点から、環太平洋産業連関分析学会第 24 回(2013 年度)大会」、名古屋、2013 年 10 月 26 日。

Kagawa, S., Okamoto, S., Suh, S., Kondo, Y. and Nansai, K., "Identifying Environmentally Important Clusters in the Global Supply Chain Network," 21st International Input-Output Conference, Kitakyushu, July 9, 2013.

Oshita, Y., Kagawa, S., Hasegawa, R. and Suh, S., "Identifying Economic Impacts on Japanese Supply Chains Caused by the Tohoku Earthquake: Using a Structural Path Decomposition Technique and Japanese 47 Region Multiregional Input-Output Table," 21st International Input-Output Conference, Kitakyushu, July 9, 2013.

加河茂美、Sangwon Suh、近藤康之、南斉規介「環境にとって重要な産業クラスターの発見：非負行列因子分解を用いた多分割アプローチ」『環太平洋産業連関分析学会第 23 回(2012 年度)大会』、大阪、

2012 年 11 月 4 日。

近藤康之、シュトゥルマンアンネシュ H.、加河茂美、南斉規介「構造経路分解法 (SPA) を用いた産業ハイアラキーの抽出と可視化」『第 7 回日本 LCA 学会研究発表会』、千葉、2012 年 3 月 7 日。

Nansai, K., Nakajima, K., Kagawa, S., Kondo, Y. and Suh, S. "Detecting a Scarcity Metal Trade Network Essential to Japanese Economy with a Global Link Input-Output Model," 6th International Conference of the International Society for Industrial Ecology, California, June 9, 2011. Oshita, Y., Kagawa, S., Nansai, K. and Suh, S. "Identifying Critical Supply-chain Paths that Drive the Change in CO₂ Emissions in Japan," 6th International Conference of the International Society for Industrial Ecology, California, June 9, 2011.

Nansai, K., Kagawa, S., Kondo, Y., Suh, S., "Application of a Global Link Input-Output Model to Material Flow Analysis: A Case of Scarcity Metal," 19th International Input-output Conference, Alexandria, June 14, 2011.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.en.kyushu-u.ac.jp/kagawa/top.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

加河茂美 (KAGAWA SHIGEMI)
九州大学・経済学研究院・准教授
研究者番号：20353534

(2) 研究分担者

近藤康之 (KONDO YASUSHI)
早稲田大学・政治経済学術院・教授
研究者番号：80313584

南斎規介 (NANSAI KEISUKE)

独立行政法人国立環境研究所・循環型社会・
廃棄物研究センター・主任研究員
研究者番号：80391134

(3) 連携研究者

()

研究者番号：