

平成 30 年 6 月 11 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26241031

研究課題名(和文) 国際貿易ネットワーク解析を通じた二酸化炭素排出評価に関する研究

研究課題名(英文) Evaluating CO2 emissions through the international trade network analysis

研究代表者

加河 茂美 (Kagawa, Shigemi)

九州大学・経済学研究院・教授

研究者番号：20353534

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 23,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、世界多地域産業連関表を用いて、最終財生産に伴うグローバルサプライチェーンに付随するCO2排出量を重みに持つ隣接行列の作成し、CO2排出集約的なサプライチェーンクラスターの検出を行った。また、データノイズ、アルゴリズムに関するクラスター分析の安定性評価法を開発し、データノイズ、アルゴリズムに関して頑健なCO2クラスターが存在していることを明らかにした。さらに、グローバルサプライチェーンを対象とした辺媒介中心性分析を新たに開発し、媒介中心性という別の角度から優先度の高い部門(産業)と経済取引を抽出し、環境にとって重要なサプライチェーンネットワークの視覚化にも成功した。

研究成果の概要(英文)：Using a model that represents global supply-chain networks, we identified supply-chain clusters with high CO2 emissions within more than 300 million individual supply chains. We distinguished 4756 significant CO2 clusters and found that in 2008, global supply-chain networks associated with U.S. construction demand included relatively large CO2 clusters in China, accounting for 10% of the U.S. CO2 footprint. Due to the sensitivity issue, there is a danger of overfitting of the results. In order to confirm the robustness and stability of the obtained clusters, we proposed a simulation-based experiment. We further developed an economic network analysis to find environmentally critical transmission sectors, transactions and paths in global supply chain networks. The edge betweenness centrality in the global supply chain networks is newly formulated. High-priority supply-chain clusters were visualized using both edge betweenness centrality and vertex betweenness centrality.

研究分野：環境経済学

キーワード：グローバルサプライチェーンネットワーク 国際貿易 二酸化炭素 クラスタースペクトラルクラスター分析 非負行列因子分解 安定性評価 媒介中心性

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た取組の進んだ国とそうでない国の産業構造の動態を把握するだけでなく、複雑に結びついた国際サプライチェーンを通じた CO₂ 排出移転の動態を正確に把握し、当該国のみならずグローバル社会全体を炭素粗放的な構造にシフトさせるための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出発点となる。

本研究では、分解された因子のうち、技術・構造的効率性 (T) としての炭素クラスター (国内・国際サプライチェーンにおける CO₂ 集約度の高い産業クラスターなど) に着目する。国内・国家間における炭素クラスターの動態 (クラスターの形状、CO₂ 集中度など) および炭素クラスターの地域差と CO₂ 排出量の地域差とのあいだの関係などについて定量的に国際分析を行うだけでなく、検出された炭素クラスターが他国の炭素粗放的な産業クラスターへと移行することによって、環境にどのような影響を与えるのか考察を試みる。このような課題に取り組むためには、複雑な国際的経済活動を構造的に分析することが重要である。

2. 研究の目的

本研究の目的は以下の通りである。

(1) 世界多地域産業連関表(Dietzenbacher *et al.*, 2013)を用いて、最終財生産に伴うグローバルサプライチェーンに付随する CO₂ 排出量を重みに持つ隣接行列の作成を行い、対象となる 41 の国・地域の生産ベース・消費ベース排出量の比較分析を行う。

(2) (1)の研究で作成されたグローバルサプライチェーンに関する隣接行列を用いて、CO₂ 排出集約的なサプライチェーンクラスターの検出・抽出を行う。

(3) (2)で抽出されたサプライチェーンネットワークに付随する CO₂ 排出量を求め、それが時間の推移とともにどのように変化しているか定量的に分析する。

(4) Kagawa *et al.* (2013, *Social Networks*)でも議論されているように、経済データから得られる密な隣接行列からサプライチェーンクラスターを検出・抽出する方法は、計算量・時間の問題、近似解の精度の問題、解の不安定性の問題、解の統計的な信頼度の問題を有している。そこで、信頼され幅広く利用されている 2 つのクラスター解析法 (スペクトラル

クラスター法 (Shi and Malik, 2000)と非負行列因子分解法 (Lee and Seung, 1999))に着目し、データノイズ、アルゴリズムに関する不安定性評価を行う。

(5) グローバルサプライチェーンネットワークを対象とした辺媒介中心性分析を新たに開発することにより、サプライチェーンクラスター分析とは違う媒介中心性という別の角度から優先度の高い部門 (産業) と経済取引を抽出し、経済ネットワーク分析を行う。

3. 研究の方法

(1) 隣接行列の作成

世界多地域産業連関表(Dietzenbacher *et al.*, 2013)から、41 の国・地域の産業部門 (35 部門) の生産額ベクトル

$\mathbf{x} = (x_i^r) (i = 1, \dots, 35; r = 1, \dots, 41)$ 、投入係数行列 $\mathbf{A} = (a_{ij}^{rs}) (i, j = 1, \dots, 35; r, s = 1, \dots, 41)$ 、 s 国によって消費される財・サービスに関する最終需要ベクトル $\mathbf{f}^s = (f_i^s)$ を得ることができる。また、世界多地域産業連関表の付帯表から、41 の国・地域の産業部門 (35 部門) の 1 単位の生産によって直接排出される CO₂ の量 (すなわち、CO₂ 排出原単位) $\boldsymbol{\alpha} = (\alpha_i^r)$ も入手することもできる。このとき、 s 国の最終需要によって誘発される直接間接的な CO₂ 排出量 (すなわち、消費ベース排出量) は下式(1)のように推計することができる。

$$\mathbf{q}^s = \boldsymbol{\alpha}(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{f}^s = \boldsymbol{\alpha} \mathbf{B} \mathbf{f}^s \quad (1)$$

ここで、 \mathbf{I} は単位行列、 $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} = \mathbf{B} = (b_{ij}^{rs})$ は s 国の j 部門の 1 単位の生産に直接間接的に必要となる r 国の i 部門からの中間投入量を示す係数行列を示しており、レオンチェフ逆行列と呼ばれている。今、レオンチェフ逆行列 \mathbf{B} を構成する s 国の j 部門に該当する一つの列ベクトル \mathbf{b}_j^s に着目すると、 s 国の j 部門の最終需要 f_j^s によって誘発する中間需要は $\mathbf{x}_j^s = \mathbf{b}_j^s f_j^s$ として定式化することができる。このとき、 s 国の j 部門の最終需要に付随して誘発する商品のグローバルサプライチェーンネットワークは下式(2)のように表すことができる。

$$\mathbf{Q}_j^s = \mathbf{A} \text{diag}(\mathbf{b}_j^s f_j^s) \quad (2)$$

ここで、 diag はベクトルの対角化を示す。(2)式で示される s 国の j 部門の最終需要に関するグローバルサプライチェーンに付随する CO₂ 排出量は、

$$\mathbf{G} = \text{diag}(\boldsymbol{\alpha}) \mathbf{A} \text{diag}(\mathbf{b}_j^s f_j^s) \quad (3)$$

として求めることができる。言い換えれば、(3)式によって示される行列は CO₂ 排出量を重みに持つ有向グラフとして解釈できる。本研究では、 r 国の i 部門から s 国の j 部門へのグローバル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{G} を r 国の i 部門と s 国の j 部門間の CO₂ 排出量の関係度 (無向グラフ) を示す隣接行列 $\mathbf{G}^* = (g_{ij}^{rs*})$ に変換

する。

$$\begin{cases} g_{ij}^* = 0 & (i = j, r = s) \\ g_{ij}^{rs*} = g_{ij}^{rs} + g_{ji}^{sr} & (\text{Otherwise}) \end{cases} \quad (4)$$

(2)非負行列因子分解手法を利用したクラスタリング手法

本研究では、(4)式で定式化されたグローバルサプライチェーンネットワークからCO₂排出度の高いサプライチェーンクラスターを検出するために、下式(5)の基準化切断値 $Ncut$ を最小化する問題を解く (Kagawa *et al.*, 2013)。

$$\begin{aligned} \text{Min. } Ncut &= \text{Tr} \left\{ \mathbf{H}'(\mathbf{D} - \mathbf{G}^*)\mathbf{H}(\mathbf{H}'\mathbf{D}\mathbf{H})^{-1} \right\} \\ \text{s.t. } \mathbf{H}\mathbf{1}_k &= \mathbf{1}_n \quad \mathbf{H} \in \{0, 1\}^{n \times k} \end{aligned} \quad (5)$$

ここで、 Tr は行列のトレースを求める記号であり、 \mathbf{D} は次数 $d_i = \sum_s \sum_j g_{ij}^{rs*}$ を対角成分に持つ次数行列、 \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 K の次元で 0 と 1 の値を持つ非負行列を示す。この基準化切断値 $Ncut$ を最小化する問題は、以下のような非負行列因子分解問題に帰着できる (Ding *et al.*, 2008)。

$$\begin{aligned} \text{Min. } & \left\| \mathbf{D}^{-1/2} \mathbf{G}^* \mathbf{D}^{-1/2} - \mathbf{H}\mathbf{H}' \right\|_F^2 \\ \mathbf{H} \geq 0 & \end{aligned} \quad (6)$$

ここで、 $\|\bullet\|_F^2$ 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氏示している。プライム記号は行列の転置を示す。(6)式に示される最小化問題は、

$$h_{ij} \leftarrow h_{ij} \left(1 - \beta + \beta \left(\mathbf{D}^{-1/2} \mathbf{G}^* \mathbf{D}^{-1/2} \mathbf{H} \right)_{ij} / \left(\mathbf{H}\mathbf{H}' \mathbf{H} \right)_{ij} \right) \quad (7)$$

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、 $0 < \beta \leq 1$ の値とする。本研究では $\beta = 0.5$ と設定した。(7)式で得られた行列

$$\hat{\mathbf{H}} = 41 \times 35 \begin{Bmatrix} \hat{\mathbf{h}}_1 \\ \hat{\mathbf{h}}_2 \\ \vdots \\ \hat{\mathbf{h}}_n \end{Bmatrix} \quad (8)$$

の第 i 行目の $(1 \times K)$ の横ベクトル $\hat{\mathbf{h}}_i$ 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 法を利用した。

(3)最適なクラスター数の選定

前節の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では、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、グローバルサプライチェーンネットワークを“所与のクラスターの数 K ” だけ分割するとき、(6)式の目的関数が最小となる非負

行列 \mathbf{H} を求め、その得られた \mathbf{H} の情報から各頂点の類似度を判別して K 個のクラスター検出するものである。この非負行列因子分解法を用いたクラスタリング手法は最適なクラスターを決めるもの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、Newman and Girvan (2004)で提案されているモジュラリティ指標、

$$Q(K) = \sum_{i=1}^K (p_{ii} - q_i^2) \quad (9)$$

を計算し、その値が最大となるクラスターの数を決める最適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) クラスタ分析の安定性評価

本研究では、2つの視点に立ちクラスター分析の安定性評価手法を開発した。1つ目の視点は、(6)式の目的関数が最小となる非負行列 \mathbf{H} を求め、その得られた \mathbf{H} の情報を K -means 法に適用することによって K 個のクラスター検出する際の不安定性である。 K -means 法はクラスターの初期割り当てによって最終的なクラスターの結果が変わってしまうことがある。この不安定性を評価するために、当該の非負行列 \mathbf{H} に対して M 回繰り返し K -means 法を行うことで得られるクラスターの分割結果ならびにそのクラスター情報から計算される $Ncut$ 値に差異があるかどうかを評価する。また、2つ目の視点は、作成された隣接行列に誤差が含まれるときに、最終的なクラスターの結果ならびにそのクラスター情報から計算される $Ncut$ 値が大きく変わってしまうことがあるかもしれない。これらの2つの不安定性を包括的に評価するために図1に示される不確実性の評価法を提案した。図1は、 M 回繰り返し K -means 法を行うことで得られる M 個のクラスター結果 C_M と N 個の誤差を含んだ隣接行列 $\mathbf{W} (= \mathbf{G}^* + \boldsymbol{\varepsilon})$ のもとでの $Ncut$ 値を計算することを示す。

The rows vectors of \mathbf{H}				
	C_1	C_2	...	C_M
(I_0 scenario) \mathbf{W}_0	$Ncut(C_1, \mathbf{W}_0)$	$Ncut(C_2, \mathbf{W}_0)$...	$Ncut(C_M, \mathbf{W}_0)$
(I_1 scenario) \mathbf{W}_1	$Ncut(C_1, \mathbf{W}_1)$	$Ncut(C_2, \mathbf{W}_1)$...	$Ncut(C_M, \mathbf{W}_1)$
(I_2 scenario) \mathbf{W}_2	$Ncut(C_1, \mathbf{W}_2)$	$Ncut(C_2, \mathbf{W}_2)$...	$Ncut(C_M, \mathbf{W}_2)$
...
(I_N scenario) \mathbf{W}_N	$Ncut(C_1, \mathbf{W}_N)$	$Ncut(C_2, \mathbf{W}_N)$...	$Ncut(C_M, \mathbf{W}_N)$
$R_1^N(C)$	-	-	...	-
$R_2^N(C)$	-	-	...	-

図1. 不安定性評価法

ある誤差を含まない隣接行列 \mathbf{W}_0 に対する M 個のクラスタリングを $\mathcal{X} = \{C_1, \dots, C_M\}$ とすると、その中から $Ncut$ 値の最も小さくなるようなクラスター結果 C を見つけることがで

きる。誤差を含んだ N 個の隣接行列 \mathbf{W}_l に関して、 M 個のクラスタリング結果に基づいて計算される $Ncut$ 値が最も小さくなるクラスタリング結果が C に一致するときには 1 の値をとり、一致しないときには 0 の値をとる指標を以下のように定式化する。

$$I_x(C, \mathbf{W}_l) = \begin{cases} 1, & \text{if } C \in \arg \min_{D \in \mathcal{Z}} Ncut(D, \mathbf{W}_l) \\ 0, & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

この(10)式より、誤差を含んだ隣接行列の安定性指標は以下のように定義することができる。

$$R_1^x(C) = \frac{1}{N+1} \sum_{l=0}^N I_x(C, \mathbf{W}_l) \quad (11)$$

ここで重要な点はクラスタ結果 C が、当該の誤差を含んだ隣接行列 \mathbf{W}_l に対して得られる M 個のクラスタリング結果の中で $Ncut$ 値を最小にするものではないかもしれないということである。わずかな誤差がクラスタリング C のときよりもより小さな $Ncut$ 値をもたらすクラスタリング D を与えるかもしれない。この影響を定量化するために、(12)式を提案した。

$$R_2^x(C) = \frac{Ncut(C, \mathbf{W}_l)}{\min_{D \in \mathcal{Z}} \{Ncut(D, \mathbf{W}_l)\}} \quad (12)$$

(5) 産業連関媒介中心性分析

(1)~(4)節では、グローバルサプライチェーンネットワークから排出集約度の高いクラスターを見つけ、そのクラスター分析の不確実性を評価するための手法を定式化した。本研究では、グローバルサプライチェーンネットワークにおいて CO_2 排出量を間接的に最も誘発させている部門・経済取引を検出するためのネットワーク指標の開発も行った。それらの指標は産業連関点媒介中心性（すなわち、部門 u の中心性）、産業連関辺媒介中心性（すなわち、部門 u から部門 v への経済取引の中心性）と呼ばれるものであり、それぞれ下式(13)と(14)によって定量化することが可能である。

$$c_u = \alpha \mathbf{T} \mathbf{J}_u \mathbf{T} \mathbf{f} \quad (13)$$

$$c_{uv} = a_{uv} \alpha \mathbf{B} \mathbf{J}_{uv} \mathbf{B} \mathbf{f} \quad (14)$$

ここで、 $\mathbf{T} = \mathbf{B} \mathbf{A}$ 、 \mathbf{J}_u は u の対角成分のみ 1 の値を持ち、その他の値が 0 である行列、 \mathbf{J}_{uv} は uv 成分のみ 1 の値を持ち、その他の値が 0 である行列である。これらの中心性の高い部門と経済取引に排出削減策を優先的に行うことによってグローバルサプライチェーンにおける誘発排出量を効果的に削減することができる。

4. 研究成果

(1) グローバルサプライチェーンのクラスター分析

世界多地域産業連関表(Dietzenbacher *et al.*, 2013) (41 カ国・地域・35 産業部門) を利用して、 s 国の j 部門の最終需要によって形成されるグローバルサプライチェーンに付随する CO_2 排出量を(2)式によって求めた。その(2)式によって得られる CO_2 排出構造 (CO_2 排出行列) から(4)式に示されるグローバルサプライチェーンに関する隣接行列 \mathbf{G}^* 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、グローバルサプライチェーンから CO_2 排出集約的な産業クラスター (CO_2 クラスタ) を検出した。分析の結果、2008 年においては、合計で 4756 個の CO_2 クラスタが検出された。

図 2 は、2008 年において最も排出集約的な 5 つのクラスターのクラスター内排出量の時間的な推移を示している。1995 年から世界全体の産業起源の CO_2 排出量が年平均 2.2% で増加している一方で、特に、アメリカの建設需要によって形成されている中国のクラスター #33 内の排出量が年平均 57.5% と驚異的なスピードで増加していることが分かる (図 2)。次いで、アメリカの輸送機械の需要、石油製品の需要によって中国に大きな CO_2 排出クラスター (#40 と #29) が形成され、それらのクラスター内の排出量もそれぞれ年平均で 41.7%、23.1% と急速に増加している。これらの結果から、特にアメリカの消費活動と中国の生産活動がグローバルサプライチェーンを通して密接な関係を持っており、アメリカから中国への CO_2 排出移転を加速させていることも分かる。

特に、アメリカの建設需要によって誘発する 33 番目のクラスターである {Mining and Quarrying [c2 (CHN)]; Basic Metals and Fabricated Metals [c12 (CHN)]; and Electrical and Optical Equipment [c14 (CHN)]; Electricity, Gas, and Water Supply (China) [c17 (CHN)]} を中心としたクラスター内の排出量が最も高く (図 3 を参照)、温暖化対策の観点から優先度の最も高いサプライチェーンであることが分かる。図 3 から、Electricity, Gas, and Water Supply (China) [c17 (CHN)] \rightarrow Basic Metals and Fabricated Metals [c12 (CHN)] のサプライチェーンパスが CO_2 排出に大きく寄与している点も興味深い。アメリカの建設需要に必要な中国国内での金属製品、電気機器等の資材生産が間接的に電力消費を誘発し、その結果多くの CO_2 が排出され、増加していることから、検出された排出クラスターの低炭素化が急務である。

また重要な点は、図 4 から、アメリカの輸送機械需要によって誘発された環境にとって重要な中国における CO_2 クラスタ #40 もまた前述した Electricity, Gas, and Water Supply (China) [c17 (CHN)] \rightarrow Basic Metals and Fabricated Metals [c12 (CHN)] のサプライチェーンパスが CO_2 排出に大きく寄与している点である。このように、アメリカの最終製品の需要が中国国内の排出クラスターを生み出

していることを考慮するとき、アメリカの最終財生産に関わっている産業はCO₂負荷の少ないグローバルサプライチェーン管理により積極的にコミットする必要がある。

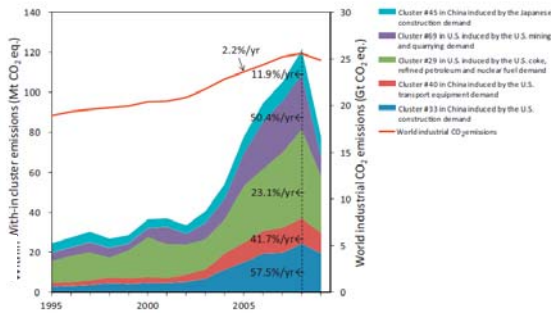


図2. クラスタ内の誘発CO₂排出量が大きな上位5個のCO₂クラスタ

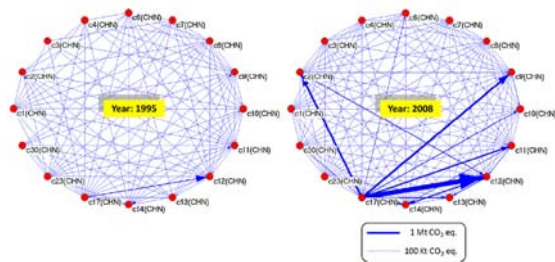


図3. アメリカの建設需要によって誘発された中国におけるCO₂クラスタ#33の構造

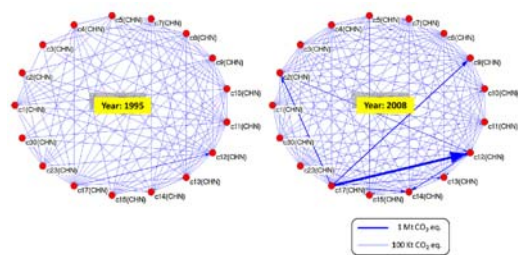


図4. アメリカの輸送機械需要によって誘発された中国におけるCO₂クラスタ#40の構造

(2) クラスタの安定性分析

本分析では、(11)式と(12)式で定式化された安定性評価手法を用いて、アメリカの輸送機械需要に付随するグローバルサプライチェーンからCO₂集約度の高いかつ安定的なクラスタを検出した。

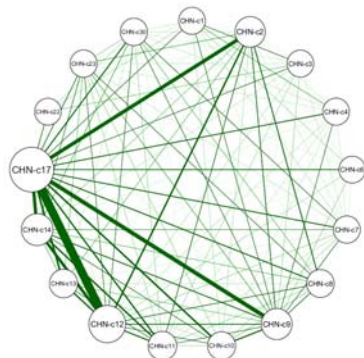


図5. アメリカの輸送機械需要に付随するグローバルサプライチェーンからのクラスタの安定解

Kagawa *et al.* (2015)で検出されたアメリカの輸送機械需要に付随する排出クラスタは、隣接行列に関する誤差そして検出に用いるK-means法の不安定性に伴って、クラスタ結果が大きくことなることが判明したが、クラスタ内の排出集約度の高い中国のクラスタはNcut値が最も小さくなる安定解(図5を参照)として抽出できることが分かった。

(3) 産業関連媒介中心性分析

(13)式と(14)式を用いることによって、グローバルサプライチェーンネットワークにおいてCO₂排出量を間接的に最も誘発させている部門と経済取引を検出することが可能となる。トップダウン型のクラスタ分析とは異なり、こうした環境にとって重要な部門と経済取引を集合化させることによって、ネットワーク媒介性の高いCO₂排出クラスタを視覚化させることにも成功した。

図6は、ドイツの輸送機械の最終需要によって誘発されたグローバルサプライチェーンネットワークにおける点媒介中心性の高い部門と辺媒介中心性の高い取引から構成されるサプライチェーン構造を示す。図6に示されるように、グローバルサプライチェーンにおけるネットワーク媒介中心性の高い部門と取引は中国に多く存在しており、中国における排出粗放的な生産及びサプライチェーン管理が重要である。

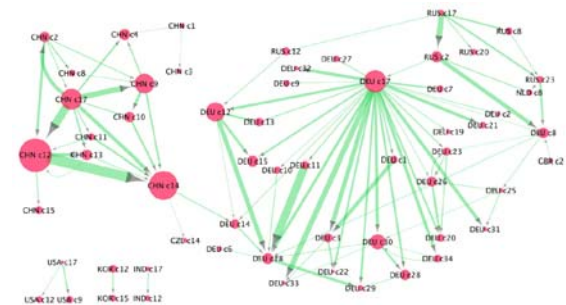


図6. ドイツの輸送機械の最終需要によって誘発されたグローバルサプライチェーンネットワークにおける点媒介中心性の高い部門と辺媒介中心性の高い取引から構成されるサプライチェーン構造

<引用文献>

- ① Shi, J., Malik, J., 2000. Normalized cuts and image segmentation. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 22, 888–905.
- ② Lee, D.D., Seung, H.S., 1999. Learning the parts of objects by non-negative matrix factorization. *Nature*, vol. 401, 788–791.
- ③ Dietzenbacher, E., *et al.*, 2013. The construction of world input–output tables in the WIOD project. *Econ. Syst. Res.*, vol. 25, 71–98.
- ④ Kagawa, S., *et al.*, 2013. Finding environmentally important industry clusters: multiway cut approach using nonnegative matrix factorization. *Social Networks*, vol.

35, 423–438.

- ⑤ Ding, C., *et al.*, 2008. Nonnegative matrix factorization for combinatorial optimization: spectral clustering, graph matching, and clique finding. In: *Proc. of IEEE International Conference on Data Mining*, pp. 183–192.
- ⑥ Newman, M.E.J., Girvan, M., 2004. Finding and evaluating community structure in networks. *Phys. Rev. E*, vol. 69, 026113.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

- ① Hanaka, T., Kagawa, S., Ono, H. and Kanemoto, K. “Finding Environmentally Critical Transmission Sectors, Transactions and Paths in Global Supply Chain Networks,” *Energy Economics*, vol.68, pp.44–52, 2017. 査読有
DOI: 10.1016/j.eneco.2017.09.012
- ② Rifki, O., Ono, H. and Kagawa, S. “The Robustest Clusters in the Input-Output Networks: Global CO₂ Clusters,” *Journal of Economic Structures*, 6:3, pp.1–29, 2017. 査読有
DOI: 10.1186/s40008-017-0062-2
- ③ Kagawa, S., Suh, S., Hubacek, K., Wiedmann, T., Nansai, K. and Minx, J., “CO₂ Emission Clusters within Global Supply Chain Networks: Implications for Climate Change Mitigation,” *Global Environmental Change*, vol.35, pp.486–496, 2015. 査読有
DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2015.04.003

〔学会発表〕(計6件)

- ① 土中哲秀、加河茂美、金本圭一朗、小野廣隆「総流量モデルに基づく環境帰属分析」『環太平洋産業連関分析学会第28回(2017年度)大会』、大阪、2017年10月21日。
- ② 時任翔平、加河茂美「世界経済における二酸化炭素排出貿易のネットワーク分析」『第12回日本LCA学会研究発表会』、つくば、2017年3月2日。
- ③ 土中哲秀、加河茂美、小野廣隆「辺媒介中心性に基づくサプライチェーン分析手法」『環太平洋産業連関分析学会第27回(2016年度)大会』、高知、2016年10月23日。
- ④ 金本圭一朗、土中哲秀、加河茂美「CO₂排出集約的な産業のクラスター分析」『環太平洋産業連関分析学会第27回(2016年度)大会』、高知、2016年10月23日。
- ⑤ Tokito, S., Kagawa, S. and Nansai, K. “Analyzing Economic and Environmental Connectivity in the Mega-Regional Free Trade,” *International Conference on Ecobalance 2016, Kyoto*, October 5, 2016.
- ⑥ 加河茂美、小野廣隆、岡本隼輔、金本圭

一朗「グローバルバリューチェーンクラスターの検出とそれらの安定性」『環太平洋産業連関分析学会第25回(2014年度)大会』、岡山、2014年11月16日。

〔図書〕(計2件)

- ① Shigetomi, Y., Nansai, K., Kagawa, S. and Shironitta, K. “Revisiting Japanese Carbon Footprint Studies,” in Óscar Dejuán, Manfred Lenzen, Maria Ángeles Cadarso (eds.), Chapter 16, *Environmental and Economic Impacts of Decarbonization: Input-Output Studies on the Consequences of the 2015 Paris Agreements*, Routledge, London and New York, pp.335–350, 2017.
- ② Shi, H., Okamoto, S., Kagawa, S. and Nansai, K., “A Cross-Country Decomposition Analysis of Greenhouse Gas Emissions in Asian Countries,” in Managi, S. (ed.), Chapter 5, *Handbook of Environmental Economics in Asia*, Routledge, New York, USA, pp.98–121, 2015.

〔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.econ.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・大学院経済学研究院・教授

研究者番号：20353534

(2) 研究分担者

小野 廣隆 (ONO, Hiroataka)

名古屋大学・大学院情報学研究科・教授

研究者番号：00346826

南齋 規介 (NANSAI, Keisuke)

国立研究開発法人国立環境研究所・資源循環

・廃棄物研究センター・室長

研究者番号：80391134

近藤 康之 (KONDO, Yasushi)

早稲田大学・大学院政治経済学術院・教授

研究者番号：80313584

石黒 一彦 (ISHIGURO, Kazuhiko)

神戸大学・大学院海事科学研究科・准教授

研究者番号：60282034

SHIN, Kongjoo

九州大学・大学院工学研究院・特任講師

研究者番号：30757232