

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：82101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25281065

研究課題名(和文)消費者責任論に基づく環境・資源管理分析モデルの開発と長期予測への応用

研究課題名(英文) Development for consumption-based environmental and resource management model for Japan and its application to future scenario analysis

研究代表者

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：多地域産業連関モデルのGLIO modelに金属資源に関する国際マテリアルフローデータを搭載し、日本の最終需要が国際サプライチェーンを通じて誘引する温室効果ガスと資源採掘量(マテリアルフットプリント：MF)を計測した。また、金属資源種別に採掘リスクを採掘量の市場集中度と採掘国の政治的リスクを用いて数値化し、MFの大きさに基づき日本の最終需要が負う採掘リスクを算定した。加えて、少子高齢化に伴う世帯構成および人口の変化に着目して、2005年から2035年までの世帯別の家計消費支出を推計し、それを用いて家計消費由来の消費者基準GHGと希少金属のMFの将来変化を分析した。

研究成果の概要(英文)：A global link input-output model of multiregional input-output model, which combined global material flow data on metal resources and Japanese input-output table, measured material footprints (MF) of the resources and greenhouse gases emissions induced by final demand in Japan through the international supply chain. Mining risk on each metal resource was also quantified by using the political risk of mining countries and the global market concentration of the metal output, and attribution of the mining risk to Japanese economy was calculated based on the magnitude of the Japanese MF. In addition, focusing on changes in the household composition and the population the due to the declining birth rate and the aging population, the household consumption by household type from 2005 to 2035 were estimated and employed to analyse the future changes in the consumption-based GHG and MFs of rare metals associated with household consumption in Japan.

研究分野：環境システム学

キーワード：サプライチェーン 産業連関分析 家計消費 フットプリント ネットワーク

1. 研究開始当初の背景

第一約束期間が終了する京都議定書は地理的に国内から排出される温室効果ガス (Greenhouse gas: GHG) に対して削減責務を負う枠組みであり、中国やインド等の世界の工場である新興国が枠組みに参加する妨げとなっている。“我々の排出量の多くは、輸出品を使う先進国のための排出である”という主張である。それ故、「生産者責任論 vs 消費者責任論」の排出責任について学術的研究が進展しており、両者の明確な相違が確認されている。“生産者責任”とは、製品の生産に伴う排出は生産国が責任を持つ考えであり、京都議定書の勘定方法と同じである。逆に、“消費者責任”とは、製品の生産に伴う排出は、それを消費した国の排出と見なす方法である。先のような新興国の主張を回避できるため、より多くの国が参加する排出削減の枠組みを設計できる。

2005 年の日本の消費者責任排出量は $1675 \times 10^6 \text{t-CO}_2\text{eq}$ と推計され、生産者責任量より $256 \times 10^6 \text{t-CO}_2\text{eq}$ 大きい。また、経済的最終需要の中でも、家計消費 (61%) と資本形成 ($6.1+19=25.1\%$) が主要な排出要因であることを特定し、両需要の動向が将来の消費者責任排出量を左右することが示唆される。しかし憂慮すべきことは、消費者責任排出量の将来的見通しについては全く研究が着手されていない。これは、2050 年に向けた長期シナリオ研究を蓄積してきた生産者責任排出量と比較し、明らかに大きく知見を欠如している。これでは今後、消費者責任基準による排出削減の枠組設計に関する国際的交渉が展開された場合、わが国が主導的立場を得ることなど不可能である。

実は、この状況は GHG だけでなく天然資源の国際的管理の設計にも該当する。例えば、国連環境計画が設置する「国際資源パネル」では、鉱石や地金といった直接消費する資源だけでなく、輸入した製品がその生産において国外で消費した資源も含めた管理の議論を始めている。つまり、“消費者責任論に基づく資源管理”である。しかし、消費者責任論に基づく資源消費量の見通しについても研究はされておらず、資源管理の面でわが国が主導的地位を確立するためには、早急に着手し、長期的展望を有することが不可欠である。即ち、今後の GHG と資源の国際的議論を牽引するため、消費者責任論によるわが国の GHG 排出量および資源消費量を長期予測するため方法論の開発と実証分析が急務の研究課題である。

2. 研究の目的

本研究では、消費者責任論によるわが国の GHG 排出量および資源消費量を長期予測するため方法論として、日本の生産活動に関連する国内外のサプライチェーンを通じて発生する GHG および資源消費量を推計するための分析モデルの設計と開発を行うことを

目的とする。

とりわけ、先述したように日本の GHG の主要排出要因である「家計消費」による財やサービスに対する需要の変化を詳細に反映できる構造を設計する。具体的には、「家計消費」では、少子高齢化による人口減少と高齢者世帯の増加がもたらす食品需要や医療需要等の動学的変化を精緻に記述する。

加えて、どのような経済的需要が如何なる生産部門の国内外の GHG と金属資源消費を押し上げるかを生産部門のネットワーク構造に着目して解析する。この時、ネットワーク理論を応用した、国際サプライチェーンにおける誘発構造の視覚化手法と支配的な構造を抽出するための解析手法を新たに開発する。

3. 研究の方法

(1) 多地域間環境産業連関モデルを用いた商品別の単位需要あたりのマテリアルフットプリントの算定

本研究では多地域産業連関モデル (Multiregional input-output model: MRIO) の一つである GLIO (global link input-output model: GLIO) モデルに金属資源に関する国際マテリアルフローを内包することで、日本の最終需要が国際サプライチェーンを通じて誘引する資源採掘量、いわゆるマテリアルフットプリント (MF) を計測できる。これを利用し、単位需要あたりの MF を商品別に算定した。

昨今、国際サプライチェーンを対象とする MRIO は多機関で開発が進められており、WIOT, OECD-MRIO, EXIOBASE, Eora が代表的な産業連関モデルであり、個々に特性がある。GLIO は国外部門として 230 の国や地域を設定してグローバルなシステム境界を担保しつつ、日本の投入産出構造を国産品と輸入品を合わせて約 800 部門で定義する、日本の部門解像度の高さに特化した MRIO である。

(2) 世帯別家計消費需要とマテリアルフットプリントの推計

本研究は少子高齢化に伴う世帯構成および人口の変化に着目して、2005 年から 2035 年までの家計消費支出を推計した。

少子高齢化の影響を家計消費構造に反映させるために、Kronenberg (2009) に倣って世帯属性を世帯主の年齢階級別 (20s: ~29, 30s: 30~39, 40s: 40~49, 50s: 50~59, 60s: 60~69, 70s: 70~) に定義し、1 年あたりの世帯別家計支出額 (M-JPY: million JPY / y) を算定した。全国消費実態調査からも直接世帯主の年齢階級別の支出額を得ることはできるが、この世帯別支出を合計しても社会会計表 (SAM) に記載している支出額と一致しない。一方で日本の国内産業連関表に示される家計消費支出部門の支出額は SAM の値に一致するものの単一部門で構成され、世帯別の支出額を得ることはできない。

そこで、本研究では数理計画法を利用し、

国内産業連関表における家計消費支出部門の支出額に一致する世帯別の商品支出額を推計した。このような家計消費に関する調査データと SAM の不整合の解消は、近年世界各国においても重要な課題となっている。

世帯別に求めた商品需要額と単位需要あたりの MF を乗じて世帯属性別 MF を計算した。本研究では、新エネルギー技術に不可欠なクリティカルメタルと呼ばれるネオジム、コバルト、プラチナを対象とした。

(3) 少子高齢化に伴う世帯別支出額の将来推定

少子高齢化に伴い、一世帯あたりの世帯構成人数が減少していくことで、世帯別支出額にも影響を及ぼすことが予想される。例えば、世帯人員数が増えるほど多くの食料品の支出額は大きくなる一方で、外食の支出額は単身世帯のほうが二人以上の世帯よりも多い。このように一世帯あたりの支出額は一概に世帯構成人数が減少するにつれて小さくなるわけではない。このような世帯構成人数と商品別支出額の変化を、家計調査を用いて過去の傾向から推計し、将来支出額に反映させた。なお、2035 年までの世帯数の予測値は国立社会保障・人口問題研究所の値を用いた。

(4) マテリアルフットプリントを利用した資源採掘リスクの同定

金属資源種ごとの採掘国別採掘リスクを採掘量の市場集中度と採掘国の政治的リスクを用いて数値化した。市場集中度は Hirschman-Hirschman index (HHI) を用いて金属量換算した各国の採掘量に基づいて計測した。政治的リスクは、Fraser Institute が定めた国別の Policy Potential Index (PPI) を用いた。PPI は数値が大きいほど、低いリスクを示すが、本研究では数値が大きいほど高いリスクを示すように変換し、偏差値に換算して平均値が 50 となる値になるよう定義した。

算定して採掘国別の採掘リスクと日本の最終需要との関係性を同定するため、日本の最終需要が誘引する採掘量、つまり、MF の大きさに基づいて各国の採掘リスクを日本に配分した。

4. 研究成果

(1) 2005 年から 2035 年の消費者基準 GHG 排出量の推移

少子高齢化に伴う世帯属性別の世帯数および世帯人口の変化による影響を受けて、2005 年から 2035 年にかけて推移する家計消費由来の消費者基準 GHG 排出量を図 1 に示す。また、図 1 (a) は総排出量の推移を表し、図 1 (b)-(g) のグラフは 20 歳代から 70 歳以上までの、6 つの世帯主年齢階級別の排出量の推移を需要の種類別に表す。”(3) Petroleum refining and coal”と”(6) Utilities”といったエネルギー部門のほか、”(1) Food”や”(12) Services”による誘発の大きさが目立つ。この

傾向は、部門分類は異なるものの、US の 2004 年における結果や UK の 2030 年までの将来推計結果と概ね一致する。また、どの年もその傾向は大きく変化しておらず、今後 2035 年までこれらの部門に対する技術的取組みを継続していくことが、排出量削減に効果的であるということが示唆される。

2005 年から 2035 年にかけて、全世帯数は 2020 年に最多となるが、日本の家計消費由来の消費者基準 GHG 排出量は 2015 年に最大となり、1150 Mt-CO₂eq まで増加する。その変化率は 2005 年比で +3.8% となる。その後排出量は減少して行き、最終的に 2035 年の GHG 排出量は 1061 Mt-CO₂eq (同 -4.2%) と推定される。換言すると、少子高齢化によって、GHG は 2005 年から 10 年間で 42.6 Mt-CO₂eq 増加し、その後減少して 2035 年で 2005 年を 46.5 Mt-CO₂eq 下回ると推定される。

この結果から、少子高齢化に由来する世帯構成の変化だけでも、ある程度の消費者基準 GHG 排出量の削減が期待される。また、このとき 2005 年から世帯数のみ推移して平均世帯人員数が固定されているとした場合、2035 年の GHG 排出量は 2005 年をごく僅かに上回った。この傾向は日本と同様に少子高齢化の進行が予測されるドイツ国内の家計消費由来の GHG (CO₂, CH₄, N₂O のみ) 排出量における推計傾向と一致する。

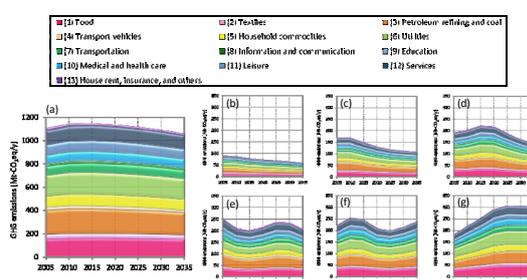


図 1 家計消費に起因する日本の消費者基準 GHG 排出量の将来変化

世帯主年齢階級別の GHG 排出量の推移を見ると、20s は 2005 年から減少の一途を辿る。30s と 40s の排出量はそれぞれ 2010 年と 2015 年まで増加していくが、その後減衰していく。50s は 20s と同様に 2005 年の排出量が最大であるが、2015 年まで減少が続くのを境に、2025 年まで増加に転じ、そこから再び減少していく。60s の排出量は 2010 年に最大となり、2025 年まで減少し続け、その後 2035 年まで増加傾向にある。そして 70s の排出量は、2005 年から 2025 年まで急激に増加していき、そこからやや減少するものの、2035 年の時点で 2005 年から 67% も大きくなる。その増加量は 122 Mt-CO₂eq であり、若年世帯である 20s と 30s における減少量の和は 75.1 Mt-CO₂eq であることから、70s 以上による排出量の増加分を相殺しきれていない。さらに、60s と 70s による全体の排出量に対する割合は年々増

加していき、2005年の37%から2035年には51%にのぼる。このため、特に中高年世帯の消費志向やライフスタイルと関連性の強い商品部門に注視した技術改善を行っていくことは、効率的な排出削減に有効であると考えられる。

(2) 2005年から2035年のクリティカルメタルに関するマテリアルフットプリントの推移

本研究では、ネオジウム、コバルト、プラチナを対象とする2005年から2035年までの日本の家計消費需要が誘発するMFを、少子高齢化に伴う世帯構成の変化の観点から推計した。その結果、全体および各世帯のMFはこの期間中に図2(a)-(c)のように変化した。ネオジウムは 3.6×10^2 tから 3.2×10^2 t、コバルトは 3.8×10^3 tから 3.6×10^3 t、プラチナは8.8 tから8.3 tに減少すると見積もられる。この間のMFの減少率はそれぞれ11%、6.6%、4.7%であった。MFが最大となる年はネオジウムとコバルトが2010年であったのに対し、プラチナは2015年まで増加を続けると予想される。それぞれの2005年から最大となる年までの増加率は0.56%、2.1%、3.1%であった。

しかし、少子高齢化は今後のMFを自然に減衰させる方向に働くことが示されたと言える。仮に2005年から平均世帯人員数が変化しない場合、例えばネオジウムでは、2035年のMFは2005年から4.5%減少すると推定される。この変化率は、すなわち世帯数の変動がMFに及ぼす影響度であり、残りの6.5% (=11-4.5) が少子化に伴う人口減少による影響と言える。コバルトとプラチナのMFも同様のことが示されたが、それらの減少率は1%以下であった。少子高齢化に伴い2005年から2035年にかけて13%も減少する人口に対し、世帯数は+1.0%と微増することが予想されている。しかしながらこのように、MFは世帯数の増加に反して減少すると見積もられた。特にネオジウムについてはその影響が強く、主にハイテク機器の需要が高い中年以下の世帯の減少が大きく影響していると考えられる。

世帯属性別に概観すると、2005年ではいずれの金属資源についても50sによるMFが最大である。しかし以後は70sのMFの伸びが顕著となり、2035年のコバルトとプラチナでは70sによるMFが最も大きくなると推計された。これらの70sのMFは最終的に全体の4分の1以上を占め、高齢世帯の需要の重要度が増していく。一方でネオジウムは50sによるMFが2035年まで最も寄与率が高い状態が続き、中期的にこの年代の世帯における需要がネオジウムの消費の鍵を握ると考えられる。20sと50sのMFは2005年、30sと60sのMFは2010年、40sのMFは2015年、70sのMFは2025年にそれぞれ最大となることが予想される。50sと60sを除くと、それぞれの各世帯のMFは最大値をとる年以降に一律に減

少していくが、50sのMFは2015年を境に2025年まで減少から増加に転じ、その後再び減少する。60sのMFは対照的に2025年まで減少した後、2035年まで増加傾向にある。

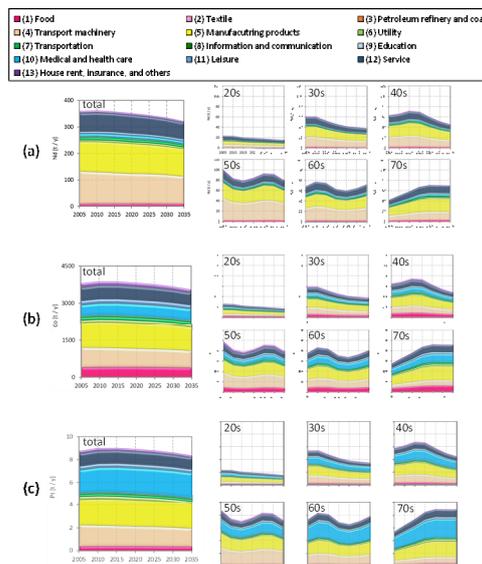


図2 家計消費に起因する日本のマテリアルフットプリント (a: ネオジウム, b: コバルト, c: プラチナ) の将来変化

(3) 消費者基準から見たクリティカルメタルに関する採掘リスク

日本の2005年の最終需要（国内最終需要と輸出需要の合計）に伴うネオジウムに関する採掘リスクフットプリントは、 1.7×10^8 ポイントと算定され、ネオジウムの世界全体の採掘リスクの約33%に相当することが分かった。図3に日本の採掘リスクの世界分布を表示する。明らかに中国にしてリスクが集中しており、 1.7×10^8 ポイントにも上る。

国内最終需要の寄与は、4.3 ポイントに留まり、その多くは輸出需要 (1.3×10^8 ポイント) によって生じていることが分かる。国内最終需要の内訳を確認すると、民間固定資本形成による寄与が2.2 ポイント、家計消費が1.5 ポイントであり、国内最終需要の主要因である。これらのリスクを需要額で除して、単位需要あたりのリスクを見ると、民間固定資本形成と家計消費では大きな違いが見られた。前者は、 2.5×10^{-8} ポイント/M-JPY、後者は 5.5×10^{-9} ポイント/M-JPYであり、耐久財の長寿命化やリユースなどにより民間固定資本形成の需要抑制を行うこと、採掘リスク軽減に効果的であることが示唆された。

一方、コバルトに関する日本の最終需要に起因する採掘リスクは小さく、 4.5×10^2 ポイントと計算され、これは世界全体の採掘リスクの1%程度を占めるに過ぎず、ネオジウムとは顕著に異なる結果となった。図4はコバルトの日本の最終需要全体が負う採掘リスクの分布を示している。インドネシアが 2.0×10^2 ポイントを占め、極めて支配的であ

ることが確認できる。オーストラリアは、比較的小さく 6.0×10^{-3} ポイント、次にコンゴ民主共和国(5.0×10^{-3} ポイント)、カナダ(4.1×10^{-3} ポイント)、そして中国(3.7×10^{-3} ポイント)と続く。

最終需要の内訳は、輸出需要がその大半を占め、 2.6×10^{-2} ポイントに上る。国内最終需要では、ネオジムの事例と同様に、民間固定資本形成が 7.1×10^{-3} ポイント、そして家計消費は 6.3×10^{-3} ポイントと高い寄与を示した。しかしながら、ネオジムと比較すると両者の差は小さいことが分かる。単位需要あたりで見ると、輸出需要が 3.6×10^{-10} ポイント/M-JPY と最も大きく、その他需要が 9.9×10^{-11} ポイント/M-JPY、そして民間固定資本形成が 7.9×10^{-11} ポイント/M-JPY と続いた。

最後にプラチナであるが、日本の最終需要が関与する採掘リスクフットプリントは 5.6 ポイントと算定され、ネオジムよりは小さく、コバルトよりは大きいリスクを有することを示唆した。図 5 に 5.6 ポイントの世界分布を示すが、南アフリカに極めて集中していることが分かる。南アフリカの 5.4 ポイントに続いてはロシアの 1.0×10^{-1} ポイントとなる。

輸出需要の寄与が支配的であることは共通で 3.3 ポイントを計上する。続いて、民間固定資本形成が 9.0×10^{-1} ポイント、そして、家計消費が 7.6×10^{-1} ポイントであった。単位需要あたりで見ると、輸出需要が 4.5×10^{-8} ポイント/M-JPY と最も高く、その他需要の 1.1×10^{-8} ポイント/M-JPY よりも約 4 倍にも上る。次に、民間固定資本形成が 9.9×10^{-9} ポイント/M-JPY、家計消費が 2.8×10^{-9} ポイント/M-JPY と計測された。

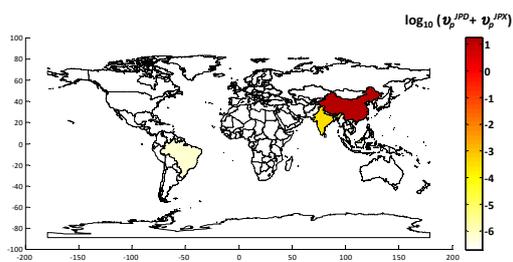


図 3 日本の最終需要が関与するネオジムに関する採掘リスクフットプリントの分布

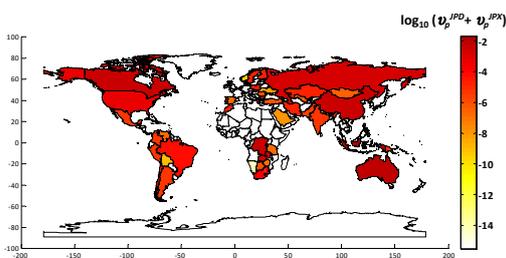


図 4 日本の最終需要が関与するコバルトに関する採掘リスクフットプリントの分布

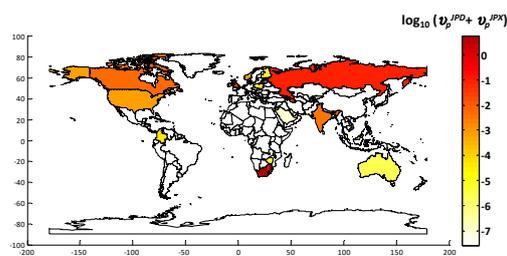


図 5 日本の最終需要が関与するプラチナに関する採掘リスクフットプリントの分布

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 12 件)

(1)Yosuke Shigetomi, Keisuke Nansai, Shigemitsu Kagawa, Susumu Tohno (2016) Influence of income difference on carbon and material footprints for critical metals: the case of Japanese households, *Journal of Economic Structures*, 5:1. (査読有)

DOI: 10.1186/s40008-015-0033-4

(2)Yosuke Shigetomi, Keisuke Nansai, Shigemitsu Kagawa, Susumu Tohno (2015) Trends in Japanese households' critical-metals material footprints, *Ecological Economics*, 119, 118-126. (査読有)

DOI: 10.1016/j.ecolecon.2015.08.010

(3)Shigemitsu Kagawa, Sangwon Suh, Klaus Hubacek, Thomas Wiedmann, Keisuke Nansai, Jan Minx (2015) CO₂ Emission Clusters within Global Supply Chain Networks: Implications for Climate Change Mitigation, *Global Environmental Change*, 35, 486-496. (査読有)

DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2015.04.003

(4)Keisuke Nansai, Kenichi Nakajima, Shigemitsu Kagawa, Yasushi Kondo, Yosuke Shigetomi and Sangwon Suh (2015) Global mining risk footprint of critical metals necessary for low-carbon technologies: the case of neodymium, cobalt, and platinum in Japan, *Environmental Science & Technology*, 49(4), 2022-2031. (査読有)

DOI: 10.1021/es504255r

(5)Kagawa, S., Nakamura, S., Kondo, Y., Matsubae, K and Nagasaka, T., Forecasting Replacement Demand of Durable Goods and the Induced Secondary Material Flows: A Case Study of Automobiles, *Journal of Industrial Ecology*, vol.19, no.1, pp.10-19, 2015. (査読有)

DOI: 10.1111/jiec.12184

(6)H Ohno, K Matsubae, K Nakajima, Y Kondo,

S Nakamura, T Nagasaka. Toward the efficient recycling of alloying elements from end of life vehicle steel scrap. *Resources, Conservation and Recycling* 100, 11-20, 2015. (査読有)
DOI: 10.1016/j.resconrec.2015.04.001

(7) Keisuke Nansai, Kenichi Nakajima, Shigemi Kagawa, Yasushi Kondo, Sangwon Suh, Yosuke Shigetomi, and Yuko Oshita (2014) Global flows of critical metals necessary for low-carbon technologies: the case of neodymium, cobalt and platinum, *Environmental Science & Technology*, 48(3), 1391-1400. (査読有)
DOI: 10.1021/es4033452

(8) Yosuke Shigetomi, Keisuke Nansai, Shigemi Kagawa, Susumu Tohno (2014) Changes in the carbon footprint of Japanese households in an aging society, *Environmental Science & Technology*, 48(11), 6069-6080. (査読有)
DOI: 10.1021/es404939d

(9) Kei Takahashi, Keisuke Nansai, Susumu Tohno, Masato Nishizawa, Jun-ichi Kurokawa, Toshimasa Ohara (2014) Production-based emissions, consumption-based emissions and consumption-based health impacts of PM_{2.5} carbonaceous aerosols in Asia, *Atmospheric Environment*, 97, 406-415. (査読有)
DOI: 10.1016/j.atmosenv.2014.04.028

〔学会発表〕 (計 60 件)

(1) Keisuke Nansai, Kenichi Nakajima, Shigemi Kagawa, Yasushi Kondo (2015) Mining risk footprints of critical metals; integration of political risks for mining countries and material footprints, LCM2015, 30th August, Bordeaux, France.

〔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〕

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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

(2) 研究分担者

中島 謙一 (Nakajima, Kenichi)

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・主任研究員

研究者番号： 90400457

(3) 研究分担者

小口 正弘 (Oguchi, Masahiro)

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・研究員

研究者番号： 20463630

(4) 研究分担者

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

(5) 研究分担者

橋本 征二 (Hashimoto, Seiji)

立命館大学・理工学部・教授

研究者番号： 30353543

(6) 研究分担者

東野 達 (Tohno, Susumu)

京都大学・エネルギー科学研究科・教授

研究者番号： 80135607

(7) 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

(8) 研究分担者

谷川 寛樹 (Tanikawa, Hiroki)

名古屋大学・環境学研究科・教授

研究者番号： 90304188