

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K20014

研究課題名（和文）持続的な資源利用に向けた国際サプライチェーンにおける金属資源のホットスポット分析

研究課題名（英文）Hotspot analysis in global supply chain towards sustainable metal use

研究代表者

横井 峻佑（Yokoi, Ryosuke）

国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・研究員

研究者番号：80849894

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：サプライチェーンの国際化に伴い産業活動が資源生産国に誘発する影響への注目が高まっている。本研究では日本が国際サプライチェーンを通して資源生産国にもたらす金属資源の利用可能性への影響を明らかにするとともに、その影響の軽減に向けて重要な要素（ホットスポット）の特定を行った。さらに世界における将来の金属生産量とその生産に伴う温室効果ガス（GHG）排出量の推計と資源枯渇への影響の評価を行った。GHG排出量の推計結果と気候変動目標との比較とシナリオ分析を行い、気候変動目標達成に向けて効果的な対策についての分析を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

金属資源の将来における利用可能性については、資源枯渇の懸念という量的な側面に加えて、環境制約による資源生産の制限が懸念されている。本研究は将来における資源の利用可能性を、環境制約と枯渇性という2側面から評価したものであり、さらにグローバルサプライチェーンの分析と組み合わせることで資源消費国の責任の可視化とその軽減に向けた議論を支援するものである。

研究成果の概要（英文）：Impacts in resource production countries induced by consuming countries through the global supply chain have been of concern. This study demonstrated the impacts on metal availability in producing countries induced by Japanese final demand and identified important factors (hotspots) towards the reduction of the impacts. In addition, we projected the future metal production and estimated the future greenhouse gas (GHG) emissions associated with metal production and potential impacts on resource depletion. By comparing the future GHG emissions and climate goals and conducting a scenario analysis, we discussed effective measures for the achievement of the climate goals.

研究分野：産業エコロジー

キーワード：金属資源 物質フロー分析 産業連関分析 要因分解分析 ライフサイクル影響評価 フットプリント
温室効果ガス 資源枯渇

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

技術革新や人口増加により多様な金属資源の需要量が増加しており、資源採掘が引き起こす様々な問題の深刻さが指摘されている。さらにサプライチェーンの国際化に伴い、資源消費国が途上国をはじめとする資源生産国へ誘発するサプライチェーンを通じた影響が問題視されている。資源採掘に伴う影響の軽減に向けた効果的な対策を議論するためには、資源の選択やサプライチェーンと影響との関わりを明らかにした上で、その中で対策を講じる上で重要となるポイント（ホットスポット）を特定することが必要である。

2. 研究の目的

資源消費国の経済活動が資源生産国に誘発する資源採掘に伴う影響を推計し、その影響の抑制に向けて優先的に改善すべきホットスポットを特定する手法を構築することを目的とする。この手法を用いて科学的な知見に基づいて客観的に優先的課題を抽出することで、持続的な資源利用に向けた戦略策定に貢献することを目指す。

3. 研究の方法

本研究課題では、まず資源消費国として日本を対象として、日本が経済活動を通して世界各国に誘発する資源採掘に伴う影響の分析を行った。さらに世界全体における将来の金属生産量の推計を行い、その生産がもたらす影響の分析とその軽減に向けて有効な対策の分析を行った。

(1) 日本が国際サプライチェーンを通して資源生産国に誘発する影響の分析

資源採掘国による埋蔵量と採掘速度の違いを考慮した資源の利用可能性指標を開発し、国際サプライチェーン分析と接続することにより、鉄、銅、ニッケルの3金属を対象に日本が各国に誘発する資源採掘に伴う資源利用可能性への影響量を推計した。さらに要因分解分析を用いて、日本による資源利用可能性への影響の変化に関して、資源需要、誘発先の国構成、誘発先の埋蔵量、誘発先の採掘速度の4要素に分解し、要因分解分析を用いて寄与の大きい要素を特定した。

(2) 世界における将来の金属生産に伴う温室効果ガス排出量と気候変動目標の関係

世界各国における金属蓄積量の推計に基づいて、ロジスティック回帰分析によって将来における金属蓄積量の予測を行い、さらに物質フロー分析によって将来の金属需要予測と金属生産量の推計を行った。さらに金属生産に伴う温室効果ガス（GHG）排出量の原単位を組み合わせ、将来の金属生産に伴うGHG排出量を推計し、その結果と気候変動目標（2°C目標）として設定されている将来の排出経路と比較した。以上の分析は主要6金属（鉄、銅、アルミニウム、ニッケル、鉛、亜鉛）を対象に5つの社会経済シナリオ（SSPs）について行い、さらに将来の金属循環とGHG排出量に影響を与える4パラメータ（金属使用水準、リサイクル率、製品寿命、GHG排出強度）についてもシナリオを設定し、気候変動目標達成に向けて効果的な対策の分析を行った。

(3) 将来の金属需要変化を考慮に入れた資源枯渇ポテンシャルの分析

資源採掘による金属資源の利用可能性への潜在的影響の評価に関して、既存の評価指標の一つである非生物資源枯渇ポテンシャル（ADP: Abiotic Depletion Potential）をもとに、物質フロー分析によって推計した将来の金属採掘量の変化を組み込むことで新たな資源枯渇ポテンシャル評価指標（TADP: Temporally-explicit Abiotic Depletion Potential）を構築し、主要6金属（鉄、銅、アルミニウム、ニッケル、鉛、亜鉛）を対象に分析を行った。

4. 研究成果

(1) 日本が国際サプライチェーンを通して資源生産国に誘発する影響の分析

資源の利用可能性指標を乗じない金属フットプリントと、利用可能性を考慮した希少性金属フットプリントに関して地域別の結果で乖離が見られ、日本が採掘を依存している国の一部において採掘容量が切迫していることが明らかになった。また要因分解分析の結果、日本の希少性金属フットプリントの変化は主に日本側の要素（最終需要、貿易相手）の変化よりも採掘国側の要素（埋蔵量、採掘速度）の変化に駆動されていることがわかった。本成果は採掘国における採掘容量に対する消費国の責任を明らかにするものであり、さらに消費国が採掘容量に対する責任や供給リスクを低減するために重要となるポイントの特定に寄与するものである。

(2) 世界における将来の金属生産に伴う温室効果ガス排出量と気候変動目標の関係

将来の金属生産に伴うGHG排出量の分析結果から、5つのSSPsのどのシナリオにおいても、追加的な対策を取らない場合では金属セクターにおいて気候変動目標（2°C目標）の達成は困難であることが明らかになった（図1）。世界の金属生産に伴うGHG排出量の増加は、主に21世紀前半の新興国における金属需要の増加に起因しており、気候変動目標の達成に向けて国際的

な協力の下で早急な対策を取ることの重要性が示された。また GHG 排出量抑制に向けた対策としては、短期的には鉄鋼生産を始めとする金属生産における GHG 排出強度の改善や一人当たりの金属使用量の水準の抑制が、長期的にはリサイクル率の改善が効果的であることが示唆された。

(3) 将来の金属需要変化を考慮に入れた資源枯渇ポテンシャルの分析

将来の金属需要変化を考慮に入れることによって、従来の評価指標と比べて鉄の採掘による影響が相対的に小さく評価された。これは他の金属と比べて鉄の将来需要の増加が小さいためである。新たに開発した評価指標では、短期的な視点からは銅の影響が、長期的な視点からはニッケルと亜鉛の影響がより大きく評価される結果となった。本成果と研究(2)の成果は、将来の金属需要変化を考慮に入れて資源の将来の利用可能性を環境制約と枯渇性の2つの観点から評価するものであり、資源の利用可能性の多面的な評価を通して、持続的な資源利用に向けた効果的な資源管理への貢献が期待される。

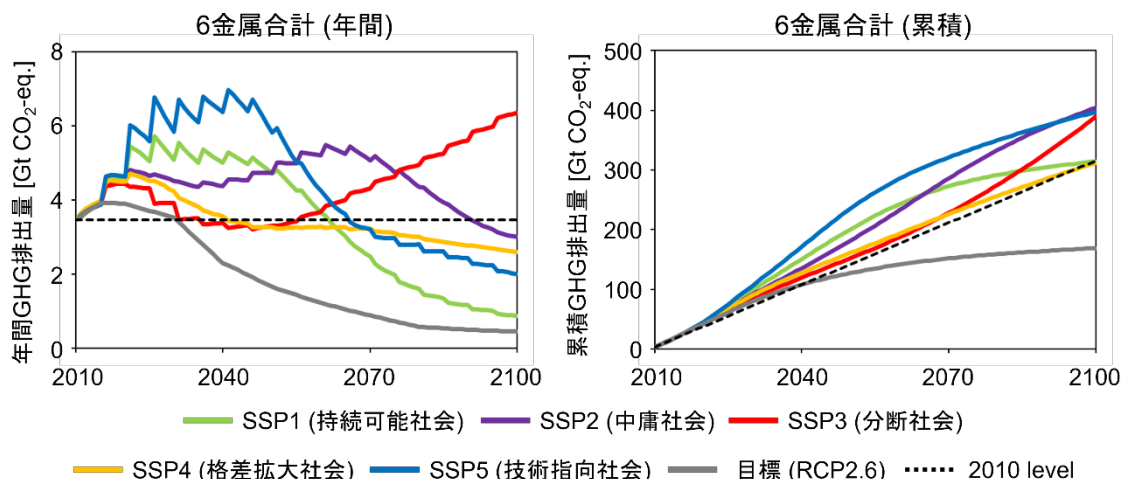


図1 将来の金属生産に伴う温室効果ガス排出量と気候変動目標との関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Yokoi Ryosuke, Watari Takuma, Motoshita Masaharu	4. 巻 15
2. 論文標題 Future greenhouse gas emissions from metal production: gaps and opportunities towards climate goals	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Energy & Environmental Science	6. 最初と最後の頁 146 ~ 157
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/d1ee02165f	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Yokoi Ryosuke, Nansai Keisuke, Nakajima Kenichi, Watari Takuma, Motoshita Masaharu	4. 巻 24
2. 論文標題 Responsibility of consumers for mining capacity: decomposition analysis of scarcity-weighted metal footprints in the case of Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 iScience	6. 最初と最後の頁 102025 ~ 102025
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.isci.2020.102025	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Yokoi Ryosuke, Watari Takuma, Motoshita Masaharu	4. 巻 27
2. 論文標題 Temporally explicit abiotic depletion potential (TADP) for mineral resource use based on future demand projections	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The International Journal of Life Cycle Assessment	6. 最初と最後の頁 932 ~ 943
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11367-022-02077-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 0件／うち国際学会 7件）

1. 発表者名 Ryosuke Yokoi, Keisuke Nansai, Kenichi Nakajima, Takuma Watari, Masaharu Motoshita
2. 発表標題 Responsibility of Consuming Countries for Mining Capacity: Decomposition Analysis of Scarcity-weighted Metal Footprints in the Case of Japan
3. 学会等名 SETAC Europe 2021（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ryosuke Yokoi, Keisuke Nansai, Kenichi Nakajima, Takuma Watari, Masaharu Motoshita
2. 発表標題 Responsibility of Consumers for Pressure on Mining Capacity: Decomposition Analysis of Scarcity-weighted Metal Footprints in Japan
3. 学会等名 icRS 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ryosuke Yokoi, Takuma Watari, Masaharu Motoshita
2. 発表標題 Future projection of greenhouse gas emissions associated with metal production based on shared socio-economic pathways
3. 学会等名 LCM 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 横井峻佑, 南斉規介, 中島謙一, 渡卓磨, 本下晶晴
2. 発表標題 日本の消費活動が世界の採掘容量へ及ぼす影響の低減: 希少性メタルフットプリントの要因分解分析
3. 学会等名 第49回環境システム研究論文発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ryosuke Yokoi, Keisuke Nansai, Kenichi Nakajima, Takuma Watari, Masaharu Motoshita
2. 発表標題 Responsibility of Consuming Countries for Pressure on Mining Capacity: Decomposition Analysis of Scarcity-weighted Metal Footprints in Japan
3. 学会等名 EcoDesign 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 横井峻佑, 渡卓磨, 本下晶晴
2. 発表標題 金属生産に伴う将来の温室効果ガス排出量と気候変動目標との関係
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 横井峻佑, 渡卓磨, 本下晶晴
2. 発表標題 将来需要変化を考慮した中長期的な鉱物資源枯渇ポテンシャルの評価
3. 学会等名 第16回日本LCA学会研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ryosuke Yokoi, Takuma Watari, Masaharu Motoshita
2. 発表標題 Abiotic Depletion Potentials from different time perspectives based on future demand projections
3. 学会等名 EcoBalance2020 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ryosuke Yokoi, Takuma Watari, Masaharu Motoshita
2. 発表標題 Temporally-explicit abiotic depletion potential (TADP) of mineral resources based on future demand projections
3. 学会等名 SETAC Europe 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 横井峻佑, 渡卓磨, 本下晶晴
2. 発表標題 気候変動目標達成に向けた将来の金属生産に伴う温室効果ガス排出量の分析
3. 学会等名 第50回環境システム研究論文発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ryosuke Yokoi, Takuma Watari, Masaharu Motoshita
2. 発表標題 Future metal production and associated greenhouse gas emissions with implication for climate goals
3. 学会等名 EcoBalance2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 横井峻佑, 渡卓磨, 本下晶晴
2. 発表標題 SSPシナリオに基づく将来の金属生産に伴う温室効果ガス排出量と気候変動目標の関係
3. 学会等名 エコデザイン・プロダクツ&サービスシンポジウム2022
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
---------	---------