

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：82626

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2021

課題番号：19K24394

研究課題名（和文）将来における金属資源の安定確保戦略に資する動的リスク分析フレームの構築

研究課題名（英文）Framework for dynamic risk analysis towards supply security of metals

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） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：国別に天然鉱山からの採掘の持続可能性を評価するための簡便な指標として、資源採掘量と埋蔵量の比率に基づく希少性指標を導入した。さらに国際産業連関分析によって推計したメタルフットプリント指標を援用して、鉄、銅、ニッケルを対象に、金属資源の調達リスクを表す日本の希少性メタルフットプリントの分析を行った。その結果、鉄と銅は比較的採掘活動が逼迫していない国に調達を依存しているのに対して、ニッケルは一部採掘活動が逼迫している国に対しても調達を依存していることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今まで全球規模で評価されることが多かった金属資源の希少性を国別で評価できる評価指標を導入し、さらにフットプリント分析と組み合わせることによって、金属消費国と金属採掘国の関係性を、採掘活動の持続可能性をふまえて分析することを可能とした。本成果は、持続的な金属利用のための資源調達リスク管理に向けて、採掘活動の持続可能性という観点からのリスク軽減のための有効な対策の議論への貢献が期待される。

研究成果の概要（英文）：A scarcity indicator was introduced to assess the country-specific sustainability of mining, which is represented by the ratio of mine production to reserves. In addition, we analyzed Japanese scarcity-weighted metal footprints for iron, copper, and nickel, which represent the supply risk of metals, by incorporating the scarcity indicator into metal footprint accounting by international input-output analysis. The analysis showed that the supply of iron and copper in Japan depends on countries with relatively low scarcity, while the supply of nickel in Japan depends on some countries with relatively high scarcity.

研究分野：産業エコロジー

キーワード：金属資源 希少性 安定供給 クリティシティ 物質フロー分析 産業連関分析 要因分解分析

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。

1. 研究開始当初の背景

金属資源は我々の生活に必要な不可欠な存在であるが、その需要は今後さらに増加することが見込まれており、将来にわたって金属資源を安定的に確保できるかという課題が懸念されている。金属資源の主要な供給源である天然鉱山からの採掘活動の逼迫度を評価するための指標の一つとして、年間採掘量と埋蔵量の比率（本稿では希少性と定義する）がある。採掘活動が逼迫している（希少性が高い）国では、採掘活動が停止するリスクや、埋蔵量を拡大するために新鉱床や未開発鉱床の開発による新たなリスクの発生といった可能性があり、そのような国における採掘に依存している状態は望ましくないと言える。採掘活動の逼迫度は採掘国や鉱山によって異なると考えられるが、既存研究は主に全球規模で金属資源の採掘活動の逼迫度を評価してきたため、採掘国による違いをふまえた評価を出来なかった。また、消費国によって金属供給を依存している採掘国の内訳は異なり、それぞれの採掘国における希少性の違いにより、各消費国にとっての金属資源の調達リスクは異なる。消費国がどの採掘国に金属資源調達を依存しているかの分析は、多地域産業連関分析を用いたフットプリント分析によって行われてきたが、採掘国による金属資源の希少性の違いを考慮した分析は行われてこなかった。そのため、自国の金属調達リスクの把握や、リスク軽減に向けた議論が十分には行えない状況にあった。

2. 研究の目的

本研究では、国による採掘活動の逼迫度の違いを反映した金属資源の国別希少性指標の分析と、その指標をもとにした日本の金属調達リスクの分析を目的とする。将来にわたる金属資源の安定確保戦略への貢献を狙いとして、金属調達リスクの把握と軽減に向けた議論のためのリスク分析フレームワークを構築する。

3. 研究の方法

まず、国別の採掘活動の逼迫度（希少性）の評価指標の算定を行った。United States Geological Survey (USGS) から国別の金属資源の年間採掘量と可採埋蔵量を得て、16の金属資源を対象に、年間採掘量/可採埋蔵量の式によって国別希少性指標を算定した（式1）。次に、日本で開発された多地域産業連関分析モデルである Global link input-output (GLIO) モデルによるメタルフットプリントの推計結果に国別希少性指標を組み合わせることで、2005年と2011年における鉄と銅、ニッケルの希少性メタルフットプリントを算定した（式2）。

$$CS_{i,j,t} = \frac{P_{i,j,t}}{R_{i,j,t}} \quad (1)$$

$$SMF_{i,t}^J = \sum_j SIND_{i,j,t}^J = \sum_j (IND_{i,j,t} \times CS_{i,j,t}) \quad (2)$$

ここで、 $CS_{i,j,t}$ は t 年における金属 i の国 j における希少性、 $P_{i,j,t}$ は t 年における金属 i の国 j における年間採掘量、 $R_{i,j,t}$ は t 年における金属 i の国 j における可採埋蔵量、 $SMF_{i,t}^J$ は日本の t 年における金属 i の希少性メタルフットプリント、 $SIND_{i,j,t}^J$ は日本の t 年における金属 i の国 j に対する希少性誘発採掘量、 $IND_{i,j,t}$ は日本の t 年における金属 i の国 j に対する誘発採掘量（GLIOによって推計）を表す。さらに、日本の希少性メタルフットプリントに影響の大きい要因を特定するために、以下のように式2を書き直した（式3）。

$$\begin{aligned} SMF_{i,t}^J &= \sum_j \left(IND_{i,j,t} \times \frac{P_{i,j,t}}{R_{i,j,t}} \right) = \sum_j \left(IND_{i,tot,t} \times \frac{IND_{i,j,t}}{IND_{i,tot,t}} \times P_{i,j,t} \times \frac{1}{R_{i,j,t}} \right) \\ &= \sum_j (IT_{i,t} \times IS_{i,j,t} \times P_{i,j,t} \times IR_{i,j,t}) \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、 $IT_{i,t}$ は t 年における金属 i の日本による誘発採掘量の合計、 $IS_{i,j,t}$ は t 年における金属 i の日本の誘発採掘量の誘発先の国の内訳、 $IR_{i,j,t}$ は t 年における金属 i の国 j における可採埋蔵量の逆数を表す。ここで、式3は日本の希少性メタルフットプリントが IT 、 IS 、 P 、 IR の4要素に分解できることを表している。なお前者2つの要因は消費国由来の要因、後者2つの要因は採掘国由来の要因と分類することができる。本研究では要因分解分析のLMDIアプローチを用いて、2005年から2011年における希少性メタルフットプリントの変化に対する上記4要因の寄与を定量的に分析した。

4. 研究成果

図1に16の金属資源の国別希少性指標の算定結果を示す。なお希少性指標は1に近いほど採掘活動が逼迫しており、金属資源の調達を依存することのリスクが大きいことを表す。これらの結果から、各金属の希少性は採掘国によって大きく異なることが明らかとなり（10-1000倍の差）、採掘国の違いを考慮して金属資源の希少性を評価することの重要性が示唆された。

次に、3金属を対象とした日本による各採掘国における誘発採掘量 ($IND_{i,j,t}$) と各国における金属の希少性 ($CS_{i,j,t}$) の関係を図2に表す。図2のバブルの大きさは誘発採掘量と希少性の積で表される希少性誘発採掘量 ($SIND'_{i,j,t}$) を表す。日本は鉄についてはブラジルやオーストラリア、銅についてはチリへの採掘への依存が大きい、これらの国の希少性は比較的小さい。一方でニッケルについては、インドネシアやフィリピンへの依存が大きい、フィリピンは希少性も大きい国となっている。日本のニッケルの調達リスクを軽減する上では、フィリピンへの依存の緩和が重要なポイントとなることを本結果は示唆している。さらに図3に、希少性メタルフットプリントの時系列変化（2005年と2011年）に関する要因分解分析の結果を示す。3金属共通の結果の傾向として、採掘国由来の要因 (P , IR) が希少性メタルフットプリントにより影響を及ぼしていることがわかる。ニッケルに関しては日本の調達先の国の内訳の変化は希少性メタルフットプリントを小さくする方向に寄与したが、それ以上に調達先の国における年間採掘量の変化による影響が大きく、全体として希少性メタルフットプリントは約1.5となっている。これらの結果は、金属調達リスクの軽減に向けては、自国が調達を依存している先の採掘国における状況の変化を注視することの必要性を示唆している。

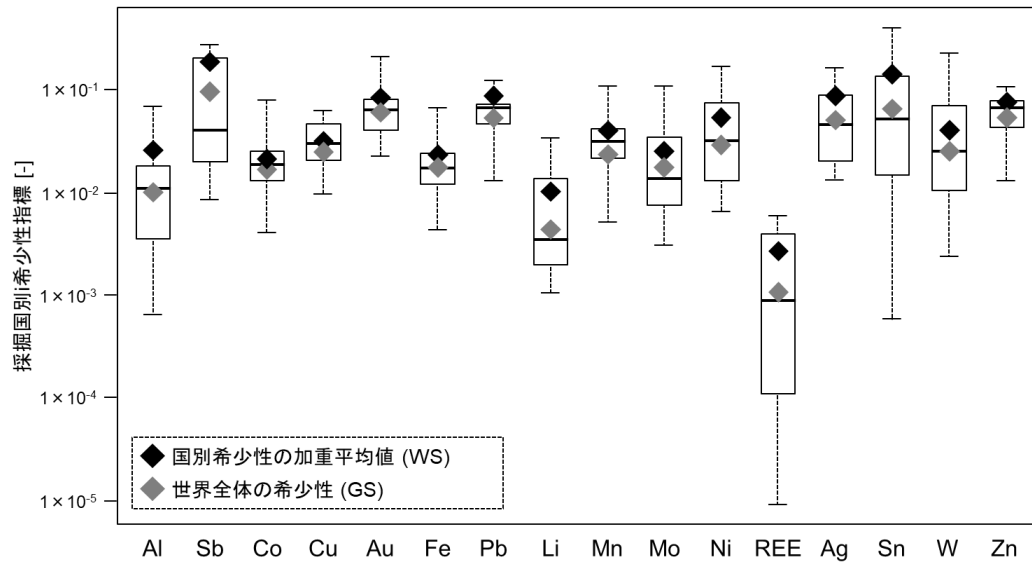


図1 2017年における国別希少性指標

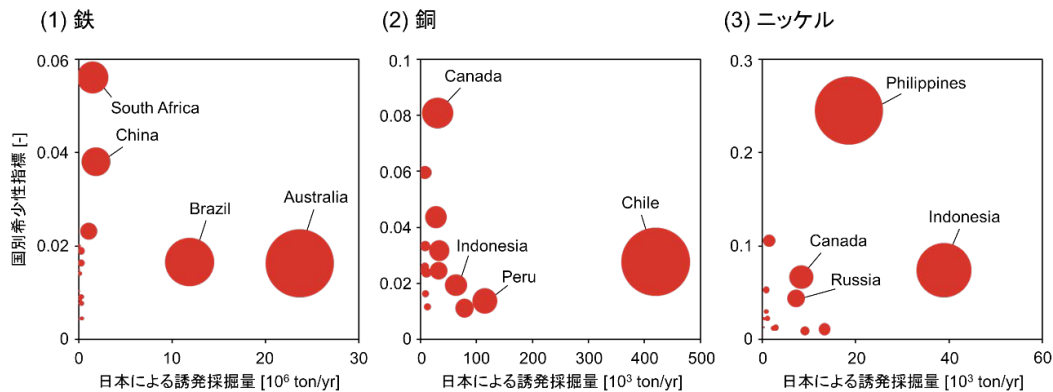


図2 2011年における国別の誘発採掘量と国別希少性指標

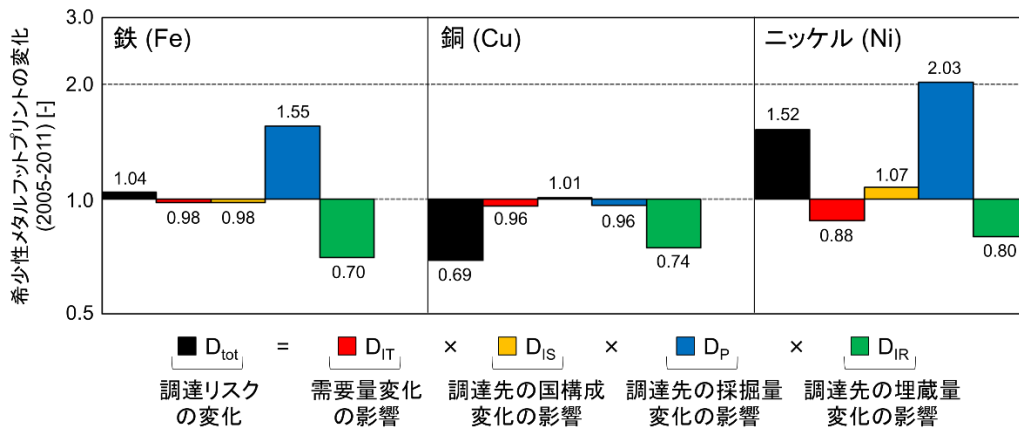


図3 2011年から2015年における希少性メタルフットプリントの変化の要因分解分析結果

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, 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, Nansai Keisuke, Hatayama Hiroki, Motoshita Masaharu	4. 巻 166
2. 論文標題 Significance of country-specific context in metal scarcity assessment from a perspective of short-term mining capacity	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Resources, Conservation and Recycling	6. 最初と最後の頁 105305 ~ 105305
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.resconrec.2020.105305	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 Watari Takuma, Yokoi Ryosuke	4. 巻 70
2. 論文標題 International inequality in in-use metal stocks: What it portends for the future	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Resources Policy	6. 最初と最後の頁 101968 ~ 101968
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.resourpol.2020.101968	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4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 横井峻佑, 南斉規介, 畑山博樹, 本下晶晴
2. 発表標題 金属資源の国別の一次供給源における希少性評価
3. 学会等名 第48回環境システム研究論文発表会
4. 発表年 2020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 横井峻佑, 中島謙一, 南斉規介, 本下晶晴
2. 発表標題 日本による世界各国の金属資源の希少性に及ぼすインパクトの要因分析
3. 学会等名 第15回日本LCA学会研究発表会
4. 発表年 2020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
---------	---------