

地域性を考慮した鉱物資源のライフサイクル評価手法の開発

Development of LCIA Methodology for Mineral Resource Considering Regional

○渡辺麻貴*¹⁾ 伊坪徳宏¹⁾

Maki Watanabe, Norihiro Itsubo

1) 東京都市大学

*g1183135@tcu.ac.jp

1. はじめに

1990年代より始まったLCA（ライフサイクルアセスメント）は、データベースや影響評価手法の開発研究を通じて、産業界において汎用的に利用されるまでに至っている。国内では経済産業省が中心となってカーボンフットプリントの試行事業が実施されたが、現在は水や生物多様性などを網羅した環境フットプリントの開発と導入に向けた検討が進められている。資源消費による影響評価は、LCAでは主要な影響領域として認識されていたが、未だ国際的合意には至っていない。

LCAの影響評価において信頼性を向上させるためのひとつのアプローチとして、地域性を考慮することが挙げられる。大気汚染など影響領域は国や地域レベルに区分して評価係数を開発する事例が多い。資源消費においても、鉱山ごとに品位や採掘方法は異なるが、地域性に配慮した評価手法はこれまでに提案されていない。

本研究では、鉱物資源を対象として、日本国内で使用されている金属量の原単位データベースの開発を目的とする。また、資源の採掘と消費による影響評価係数を鉱山ごと、採掘国ごとに影響を評価するための手法を開発することを目的とする。本研究の結果をケーススタディに適用することで地域性を考慮した資源消費の影響評価の必要性を検証する。

2. 資源使用量原単位の算定方法

日本国内での1年間の生産活動を対象とした資源使用量原単位の算定を行う。対象とした金属は、銅、金、銀、ニッケル、モリブデン、鉛、亜鉛である。産業連関分析法による財・サービスを1単位生産する際の資源使用量原単位Eは次の式によって求められる。

$$E=d(I-A)^{-1}$$

ただしdは、各部門における直接的な資源使用量係数、(I-A)⁻¹はレオンチェフ逆行列を示す。直接的な資源使用量とは、各産業部門で生産活動に用いる資源の使用量を指す。レオンチェフ逆行列は、ある一単位の需要によって誘発される生産波及効果を示す。レオンチェフ逆行列は2005年産業連関表全国表²⁾を403部門に統合したものをもとに算出した。

本研究では、7種の鉱物資源を評価対象物質として採用しているが、ここでは例としてニッケルを

示す。直接的な資源使用量係数は、独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構が発行したマテリアルフロー³⁾を用いて算出した。産業連関表に合わせるため、2005年を対象に調査を行っているものを使用した。マテリアルフローは、輸入国の産出量が掲載されているため、その値を使用している。本来ならばリサイクルされた金属の量も考慮されなければならないが、扱いに議論の余地があるため、本論では除外して計算を行っている。

3. 資源枯渇性被害評価手法の開発

資源消費による影響は、社会経済的な影響と採掘行為に伴う生態系への影響に分かれる。本研究では、前者に対する影響を鉱山と国ごとに算定するものとした。ここでは、資源採掘に伴う限界費用曲線を得ることで、鉱山ごとの被害係数を算定するものとした。限界費用曲線は縦軸に各鉱山の採掘コストをとり、操業費が低い鉱山から順に並べることで、横軸は各鉱山の累積埋蔵量に相当する。この回帰曲線の傾きを被害係数とした。本研究では、資源使用原単位同様、銅、金、銀、ニッケル、モリブデン、鉛、亜鉛を評価対象物質として採用した。鉱山ごとの費用データはIntierraRMG Resource Sector Intelligence（以下、IntierraRMG）¹⁾が提供しているRaw Materials Data（以下、RMD）を用いた。輸送や電力等を含んだニッケル金属を採掘する際に投入されるコスト（\$/t）を加えて鉱山ごとの限界費用を算定した。

RMDには、1年ごとの採掘や製錬に必要な燃料や電力、人件費などの採掘コストデータのほか、金属市場価格、レート、鉱山ごとの品位や位置情報なども掲載されている。

4. 資源使用原単位の算定結果

日本ではニッケルの生産はほとんどされていないため、以下に示す結果は海外から輸入された値を使用している。資源消費量の生産額100万円あたりの原単位を403の産業部門についてそれぞれ算出した。図1に算出した原単位を示した。図1では、横軸を403部門とし、部門ごとの国の割合を縦軸に100%で表示している。また、第2軸として部門ごとの合計を絶対値で示している。2次産業が全体的に大きくなり、中でも鋼業が大きいことが分かった。直接的な資源消費量が大きいフェオアロイが大きく、この結果がその他の部門にも反映されたのだと考えられる。

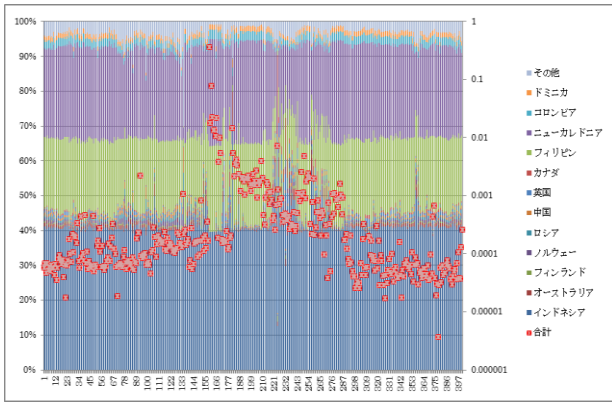


図1 資源使用原単位の算定結果

5. 環境影響評価の算定結果

世界全体でのニッケル鉱山採掘コストの総額のうち、費用の低い鉱山から順にプロットしたのが図1である。このグラフの回帰式(1)の傾きを求め、鉱山ごとの被害係数の算定を行った。式(2)に、2012年の年間金属生産量を x に当てはめ計算を行っている。被害係数の値は $3.54E-01$ \$/kg であった。

$$y = 9.57E+03e^{2E-09x} \quad (1)$$

$$y' = 1.91E-04e^{2E-09x} \quad (2)$$

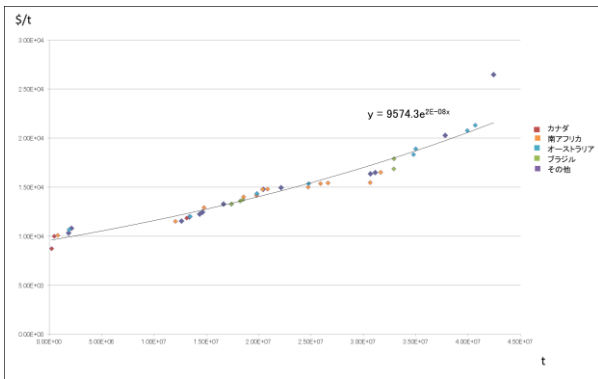


図2 ニッケル鉱山の費用曲線

本研究ではその他の金属についても同様の手法を用いて被害係数の算定を行っている。そこで、本研究と LIME2⁴⁾、ReCiPe⁵⁾の係数の比較を行った。

亜鉛やニッケルなど、一部金属には ReCiPe との値が近くなったが、金や銀などには大きな乖離がみられた。

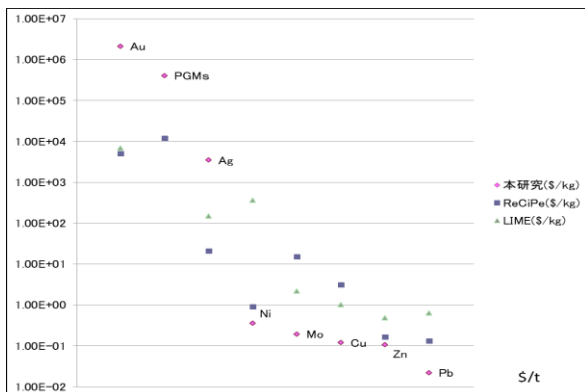


図3 既存手法との比較

表1 既存手法との比較

	本研究(\$/kg)	ReCiPe(\$/kg)	LIME2(\$/kg)
Au	2.12E+06	5.01E+03	6.76E+03
PGMs	4.06E+05	1.17E+04	—
Ag	3.49E+03	2.05E+01	1.48E+02
Ni	3.54E-01	9.00E-01	3.64E+02
Mo	1.93E-01	1.49E+01	2.15E+00
Cu	1.19E-01	3.06E+00	1.02E+00
Zn	1.06E-01	1.60E-01	4.77E-01
Pb	2.21E-02	1.30E-01	6.26E-01

同様の手法を用いて、国ごとの被害係数の算定を行った。鉱山を3つ以上所持している国を対象に算定を行っている。本論ではニッケルのみを表2に示した。オーストラリアは世界全体で計算した値とほぼ同一となった。しかし、カナダは約3倍、南アフリカは二桁異なる結果となった。同一金属であっても、国が異なることで社会への影響は大きく異なることが分かった。このように、鉱山ごとに影響は大きく異なるため、資源消費においても地域性の差異を考慮することが重要であることが示された。

表2 国ごとと世界平均の被害係数(\$/t)

Australia	3.51E-01
Brazil	1.14E-01
Canada	9.39E-01
South Africa	9.45E-03
World	3.54E-01

6. まとめ

資源使用原単位を、産業連関表を用いて輸入国ごとに作成した。鉱山ごとの限界費用曲線を作成することで、地域性に注目した資源消費の影響評価係数を開発した。あわせて採掘国ごとに評価係数を開発した。今回の評価を通じて代表値のほか、統計量が得られたため、LCAの感度分析や不確実性分析に活用することができる。現在は銅をはじめとしたベースメタルを対象として検討したが、今後はレアメタルやレアアースを含めた評価係数の開発に向けた検討が求められる。

7. 引用文献

- IntierraRMG Resource Sector Intelligence, Raw materials Data, IntierraRMG ホームページ, 入手先 <<http://www.intierrarmg.com/Products/Raw-Materials-Data.aspx>>, (参照 2013-12-27)
- 総務省財団法人経済産業調査会:平成17年産業連関表, (2005)
- 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構: 鉱物資源マテリアルフロー2006, (2006)
- 伊坪、稲葉編, “LIME2 –意思決定を支援する環境影響評価手法”, (2010)
- ReCiPe, ReCiPe, ReCiPe ホームページ, 入手先 <<http://www.lcia-recipe.net/>>, (参照 2013-12-27)