

氏名（本籍）	Malala Newton Ojiambo（ケニア）
専攻分野の名称	博士（資源学）
学位記番号	国博甲第4号
学位授与の日付	令和3年3月22日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	国際資源学研究科・資源学専攻
学位論文題目（英文）	日本と将来の低炭素社会におけるクリティカルメタルの評価 (Evaluating Critical Metals for Japan and a Low Carbon Future)
論文審査委員	(主査) 教授 安達 毅 (副査) 教授 縄田 浩志 (副査) 教授 川村 洋平

## 論文内容の要旨

21世紀に入り世界的に鉱物資源の需要の増加が続いているなかで、世界各国では資源の争奪戦とも言える状況になってきており、資源生産国での資源ナショナリズムの高揚も相まって、資源供給リスクが高まってきている。日本のようにほとんどの資源を海外に頼り、電子電機部品や自動車などの産業で多量のレアメタルを消費している国にとってどの鉱物資源がどれほどのリスクを持っているかを定量的に把握することは、将来の原材料確保にむけた資源戦略にとって非常に重要である。また、長期的には地球温暖化問題から低炭素社会に向かうにつれて必要とされる鉱物資源も変化があると考えられる。しかしながらこれまで行われてきた供給リスクも含めたクリティカルメタルの評価では評価対象とする時間が不明確なものが多く、十分な検討が行われてこなかった。

本論文では、まず第一に日本にとって供給リスクと供給不足時の経済的影響を加味した中期的なクリティカルメタルの評価を行うことを目的として、日本が注意すべき金属種の提案を行う。次に、長期的かつ世界を範囲としたクリティカルメタルの評価を行うために、システムダイナミクスを用いた長期モデルを開発し、今後世界が低炭素社会に移行することを鑑みたときに供給リスクが高くなるため注視すべき金属種の提案を行う。

第1章では、研究の背景と導入について、過去の研究のレビューをもとに、クリティカルメタルの定義を行った後に、現状の課題をまとめ、研究の目的を述べている。その上で、研究のオリジナリティを明確化している。

第2章では、これまでのクリティカルメタルの評価に関する研究のレビューを行い、技術的要因と経済的要因、さらには社会政治的要因などにわけて研究動向をまとめている。加えて、長期的な鉱物資源供給リスクについての文献調査についてもまとめている。

第3章では、日本を対象とした中期的なクリティカルメタル評価を行っている。そのため、

供給途絶による経済的影響をみる脆弱性の指標を新しく提案している。この脆弱性の指標には、価格の変動率について確率を与えているが、確率分布を金属種ごとに計測している点にオリジナリティがあり、また日本の産業連関表を活用して、経済的影響範囲も指標に組み込んでいる点にも新規性がある。また、供給ハザードとして生産国の集中度、輸入国の集中度とカントリーリスクを組み合わせた指標の提案も行っている。過去のデータからこれらの指標の値を定量的に求めるため、レアメタルを含む18種の金属種について計算を行い、脆弱性と供給制約の2軸で表現したグラフから日本におけるクリティカルメタルの選出を行った。また、2000年から2015年までのクリティカルリティの変化も示している。

第4章では、対象を世界全体に広げ、長期的なクリティカルメタルの評価を行った。地球温暖化問題により世界的に低炭素社会に移行することが求められている。そのため電気自動車や再生可能エネルギーと言った技術導入が促進されると考えられる。それらの技術には金属が必要であり、いくつかの金属の消費量が長期的に増加する可能性がある。本論文では、低炭素社会の実現に向けて増加する金属需要をシステムダイナミクスを用いてシミュレーションし、大幅に需要が増加する可能性がある金属種を選定した。さらに、資源生産の環境インパクトや代替性も考慮して長期におけるクリティカルメタルの評価を行った。第5章では全体の結論をまとめている。

これらの研究成果により、日本における中期的なクリティカルメタルの評価・選定を行い、それらリスクが高い金属について、今後必要とされる政策や資源調達戦略について提言を行っている。評価方法に独自の式を導入し、より日本に合った評価を行っている点で新しい知見を得ることに成功している。また、長期のクリティカルメタルの評価では、低炭素社会における金属需要の増加を含んだ分析を行っており、その手法と結果にオリジナリティが認められる。以上の研究は、資源学および資源経済学への意義と役割は非常に大きいものである。

## 論文審査結果の要旨

本学位審査委員会は、令和3年2月10日（水）17時30分から18時30分にかけて、国際資源学部1号館第4会議室で論文公聴会を開催した。安達毅 審査委員会主査、縄田浩志 審査委員、川村洋平 審査委員の出席のもと、論文の関連事項に関する詳細な質疑応答ならびに口頭による学力確認が行われた。

特に、博士論文で述べられた分析内容とクリティカルメタルの評価について、

- (1) リサイクル技術や代替技術など将来的に技術革新が必要になると考えるが、それらの技術革新を行うための困難さについてどのように考えるのか
- (2) 日本のクリティカルリティ評価は10～15年間の中期間の評価だと述べているが、その年数が持つ意味は何か
- (3) 長期モデルでの評価では、50年先ではライフスタイルなどがさらに変わる可能性がある。どのような将来シナリオのもとでの分析なのか
- (4) 供給のリスクについて分析しているが、需要側にもリスクがあるはずだがどのよう

に考えるか

(5) 今年の COVID-19 のような社会的影響やイベントはモデルの中でどのように表現されることになるのか

(6) 金属供給の環境インパクトを含めた評価になっているが、具体的に環境インパクトは何を表しているのか

(7) 国連 International Resource Panel の World Resource Outlook についてもレビューし本論文の結果と比較することを勧める

などの質問・コメントが出されたが、申請者からは学術的考察にもとづいた明確な回答が示された。

よって公聴会の後に開催した学位審査委員会は、マララ ニュートン オジアンボ氏が最終試験に合格し、博士（資源学）として十分な資格があるものと判定した。