

氏名（本籍）	Teseletso Larona Sethunya (テセレツォ ラロナ セトゥニア) (ボツワナ)
専攻分野の名称	博士（工学）
学位記番号	国博甲第 10 号
学位授与の日付	令和 4 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）	鉱物資源の長期供給可能性と TMR を元にした環境インパクト の定量的モデル化 (Quantitative Modelling of Long-term Mineral Resource Availability and Environmental Impact Based on the Total Material Requirement)
論文審査委員	(主査) 教授 安達 毅 (副査) 教授 今井 忠男 (副査) 教授 柴山 敦 (副査) 教授 川村 洋平 (北海道大学)

論文内容の要旨

鉱物資源は現代社会・経済活動に不可欠な資源であるが、ここ数十年で需要が急増することで、将来の利用可能性への懸念がなされるようになってきた。金属の需要が増加すると価格も合わせて上昇し、物理的な希少性が高まってきている。さらに、これら資源開発による環境への影響も考慮しなければならない事柄である。そのような状況下でこれまで、どれだけの金属量が究極的に人類にとって利用可能であるのか、またそれに伴う環境影響はどれほどであるのかといった研究は非常に少ない状況にある。

本研究では、1990 年から約 30 年間の世界の鉱山データを用いて、金、銅、鉛、亜鉛、鉄、ニッケルの 6 金属の生産量と鉱石品位の関係から、ある品位をカットオフとして各金属の将来の究極可採埋蔵量 (URR) を求めることを試みたものである。また、この結果を用いて、資源開発による環境負荷を測るために TMR (Total Material Requirement、関与物質総量) を 2070 年まで予測している。さらに、長期的な世界の鉱物資源の需給動向を把握するために、システムダイナミクスを用いた長期グローバルモデルを開発し、リサイクルを含めた供給と需要のバランスを検討している。それらの結果、将来的には鉱石当たりの TMR が最も大きいのが金であることを定量的に示し、TMR の総量では鉄の環境負荷が大きいことを示している。また、長期モデルでは、将来の需要を満たすためには鉄と銅で大幅なリサイクルからの供給が必要になることを定量的に示すなど一連の研究結果と得られた知見を述べている。

本内容を全 5 章合計約 140 ページの博士論文にまとめている。博士論文は審査のために審査会

の2週間前に審査員に手渡され、十分な Literature Review により本研究の意義と新規性を論じていると判断された。第1章と2章ではSDGsの目標の一つである「つくる責任・つかう責任」と関連させて鉱物資源の将来の課題と問題点を浮き彫りにし、豊富な既往の研究の引用から本研究のオリジナリティと狙いを定めている。第3章では、6種の金属について究極可採埋蔵量を求めるために、その手法の詳細な解説とデータの分析について述べている。また、TMRについての定義と計算方法について述べ、各金属のTMRの将来予測を行うことで、鉱物資源開発の環境負荷について一定の提言を行っている。第4章では、銅、金、鉄に関して長期グローバル需給モデルを開発し、そのモデルの詳細を適切に解説している。モデルのシミュレーション結果から、特に鉄と銅に関して、リサイクルが大幅に伸びなければ将来の需要を満たすことができないことを定量的に示唆している。このような長期モデルは新規性があることが認められた。

最後に本研究では、鉱物資源の50年後までの供給力と需給の関係を総合的に判断するためのモデリングを行い、その計算結果として将来の鉱物資源戦略を検討する上で非常に重要な結論を導き出し、それらの手法も新規性およびオリジナリティがある内容であることを認められたことは、本分野における大きな貢献である。よって論文審査の結果は合格とする判断をした。

論文審査結果の要旨

本学位審査委員会は、令和4年2月9日（水）14時30分から15時20分にかけて、Zoomで論文公聴会開催した。安達毅 審査委員会主査、今井忠男 審査委員、柴山敦 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ていた鉱物資源の究極埋蔵量の推定と長期グローバルモデルに関して

- (1) 長期グローバルモデルのヒストリーマッチングの一致性について
- (2) 金の将来予測について、1次資源からの供給はどのようになり、また2100年までの遠い将来ではどのようになると予想できるか
- (3) 廃棄される使用済み製品の中に含まれる貴金属の量は年々減少してきている傾向にあるが、そのような技術の進歩や変化をモデルではどのように表現しているのか
- (4) 今後、世界ではEVの導入が大幅に進むなどカーボンニュートラルを目指した世界に変化すると考えられるが、そのような変化をモデルではどのように反映しているか、または反映することができるのか
- (5) 究極可採埋蔵量には技術的ファクターがどのように関与しているか
- (6) 他の過去の研究とTMRを比較することはどのような意味があるか

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、テセレツォ ラロナ セトゥニア氏が最終試験に合格し、博士（工学）として十分な資格があるものと判断した。