



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Potential impacts of mining in Fiji on the surrounding environment : Toward sustainable mining management [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	SORO, APETE TUIYARO
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第15629号
Issue Date	2023-09-25
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/90942">https://hdl.handle.net/2115/90942</a>
Rights(URL)	<a href="https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</a>
Type	doctoral thesis
File Information	SORO_APETE_TUIYARO_review.pdf, 審査の要旨



## 学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士(工学) 氏名 SORO APETE TUIYARO

審査担当者 主査 准教授 原田 周作  
副査 教授 廣吉 直樹  
副査 教授 大竹 翼  
副査 客員教授 五十嵐 敏文

### 学位論文題名

Potential impacts of mining in Fiji on the surrounding environment: Toward sustainable mining management

(フィジー国鉱山周辺環境への影響ポテンシャル: 持続可能な鉱山管理に向けて)

フィジー国内の産業活動で重要な位置づけとなっている鉱業活動について、安全かつ持続的な採掘や製錬を継続するために、鉱山活動に伴う周辺土壌や水環境への影響を明らかにすることは重要である。本研究では、フィジー国内の鉱山現場を対象に、鉱山活動等により廃石や鉱さいから溶出する坑廃水による周辺環境への影響を地球化学的キャラクタリゼーションにより評価した。得られた結果は、鉱床の地球化学的特性、有害元素の溶出、および周囲の生態系や環境への影響に関して重要である。本研究では、地球化学的キャラクタリゼーション手法として、溶出量試験に加え、粉末 X 線回折、蛍光 X 線 (XRF)、光学顕微鏡観察、逐次抽出 (SE) 等の様々な化学試験を適用し、酸性坑廃水 (AMD) や重金属等発生機構、溶出リスクおよび酸性坑廃水の中和メカニズムを明らかにした。さらに、Visual MINTEQ による熱力学モデリングや主成分分析等の統計的手法を併用し、試験結果の妥当性を検証した。

第 1 章では、フィジー国内の産業活動や鉱山操業状況の包括的な概要が示され、その世界的な意義とフィジー国内における環境影響を論ずるとともに、本研究の目的と手法についてまとめている。

第 2 章では、フィジー国内の代表的な 5 つの鉱山 (Nukudamu 鉱山, Mt. Kasi 鉱山, Tuvatu 鉱山, Vatukoula 鉱山, Wainivesi 鉱山) から採取した岩石試料の地球化学的キャラクタリゼーションを実施し、5 つの鉱山のうち、環境影響のおそれがある鉱山をスクリーニングした。その結果、黄鉄鉱、黄銅鉱、閃亜鉛鉱など硫化鉱物が岩石試料中に含まれると、岩石と降雨が反応することで、酸性水の発生および銅 (Cu)、鉛 (Pb)、亜鉛 (Zn) などの有害元素を溶出することが明らかとなった。中でも Nukudamu 鉱山, Mt. Kasi 鉱山, Wainivesi 鉱山からの岩石試料の浸出水は、世界保健機関 (WHO) の飲料水基準である Cu (2 mg/L)、Pb (0.01 mg/L)、Zn (3 mg/L) の基準値を超過した。一方、Tuvatu 鉱山および Vatukoula 鉱山から採取された岩石試料からは酸性水や有害元素は溶出しなかった。これは岩石試料中に方解石やドロマイト等の酸性水の中和に寄与する鉱物が含まれることで、酸性浸出水の pH 緩衝や重金属の溶出を制限することに寄与したと考えられる。Acid-Base Accounting (ABA) 試験および酸性化可能性試験 (過酸化水素水を用いた酸化促進試験) では、硫化鉱物を含む岩石試料のほとんどが酸性水を生成するポテンシャルがあることを示すと同時に、岩石試料中の炭酸塩鉱物の存在の重要性を示唆した。

第 3 章では、採掘終了後 60 年以上が経過し、AMD が流出し続けている休廃止鉱山である

Nukudamu 鉱山を対象に、当該鉱山における AMD の発生メカニズムおよび現地で確認されたナチュラルアテニュエーション機構を解明した。試験対象とした岩石試料は岩種・変質・風化等の程度を勘案し、10 試料を採取した。また、鉱山の露天掘り箇所や周辺河川や流末となる海域 7 箇所でも水試料を採取し、水質分析を実施した。溶出量試験の結果、強変質岩からは強酸性の浸出水 (pH1.8～3.1) および有害元素であるヒ素 (As)、Cu、Pb、Zn の溶出が確認された。また、黒鉱に位置する露天掘り箇所からは弱酸性の浸出水 (pH4.7～4.9) が確認されたが、有害元素の溶出は確認されなかった。逐次抽出試験の結果から、有害元素の分画について強変質岩からはイオン交換態が主要である一方、黒鉱岩石は難溶性が主要形態であることが明らかとなった。水質分析の結果からは、露天掘り箇所周辺の表流水は強酸性であり Cu、Zn 等の濃度が高く、近傍河川合流後も高濃度で検出され、海域では基準値以下となった。しかし、As については、露天掘り箇所の表流水は基準値以下であった。このことから、表流水が流下する河床で確認された鉄由来の沈殿物が、強変質岩から溶出した As を共沈することで、表流水や周辺河川への流出抑制に寄与している可能性が示唆された。以上を踏まえ、リスクの高い岩種ではあるが、河川の流下とともにナチュラルアテニュエーションが作用し、深刻な環境問題とはなっていない。少なくとも、本鉱山で環境改善に取り組む場合には、覆土や植生等の対策を実施し、モニタリングを継続することが望まれると評価された。

第 4 章では、現在操業中の金鉱山である Vatukoula 鉱山に対して、将来的な操業拡張に伴う環境影響ポテンシャルを評価した。試験では、5 つの母岩試料 (安山岩)、5 つの変質脈試料、4 つの尾鉱試料を収集した。さらに、鉱山敷地周辺の表流水や選鉱工場からの排水等計 8 箇所から水試料を収集した。岩石・尾鉱試料を対象とした溶出量試験の結果、変質脈試料の一部で Fe (0.46 mg/L) と Zn (6.1 mg/L) のみが検出されたが、母岩および尾鉱では有害元素の溶出は確認されなかった。これは、炭酸塩鉱物の溶解により浸出液の pH が中性に保たれたことに起因すると評価される。また、酸性化可能性試験による長期的な酸性水発生リスクを評価した結果、変質脈試料の一部で酸性水発生リスクが確認されたが、母岩試料や尾鉱試料は長期的な酸性水発生リスクは低いと評価された。これは、選鉱プロセスにおいて、硫黄分が消失したことによるものと考えられた。水試料の分析結果からは、フィジー国内の水質基準値に適合することが確認された。以上の結果から、Vatukoula 鉱山では変質脈の一部で酸性水や有害元素の溶出リスクが確認されたが、炭酸塩鉱物によって周辺水環境への影響は小さく、水質モニタリングを継続することが重要であると評価された。

第 5 章では、研究対象となったフィジー国内の鉱山における環境影響評価に関する知見等を取りまとめ、モニタリングの必要性を示した。これらの成果は、フィジー国の将来的な鉱山操業の拡充や AMD の発生が課題となっている鉱山に対して、地球化学的観点からの有益な知見となる。加えて、フィジー国内の採掘活動や鉱山現場の環境修復計画を管理・規制する上でも重要となる。

以上、これを要するに、著者はフィジー国内の異なる鉱山における AMD 発生、中和、自然浄化等の特徴をまとめるとともに、各鉱山毎の環境影響ポテンシャルを評価する考え方と手法を提示した。この成果は、環境資源工学に寄与するところ大なるものがある。よって、著者は、北海道大学博士 (工学) の資格があるものと認める。