

審査結果の要旨

論文題目「Geochemical Mapping of the Mineralized Lower Lom Basin, Eastern Cameroon, Using Stream Water and Stream Sediments: Implication for Environmental Studies」
(カメルーン東部の鉱化体が分布する Lower-Lom 盆地における河川水および河川堆積物分析に基づいた地球化学図：環境研究に対する意義)

学位申請者 Mumbfu Ernestine Mimba

本論文は、「Geochemical Mapping of the Mineralized Lower Lom Basin, Eastern Cameroon, Using Stream Water and Stream Sediments: Implication for Environmental Studies」(カメルーン東部の鉱化体が分布する Lower-Lom 盆地における河川水および河川堆積物分析に基づいた地球化学図：環境研究に対する意義)と題し六章からなる。

第一章では本研究の背景と目的を以下のように概説している。カメルーン東部の Lom 盆地には鉱化体、特に金鉱床が高密度で分布しており、この地域の地質学的状況は風土病と関係している。手工業的な金鉱床の採掘はこの地域で約 70 年前に始まり、現在では産業的な採掘のターゲットとなっている。砂金採掘は地域の採掘者の資金源であり、カメルーンの経済を立ち上げる力である。しかし、これまで河川の流域において金採掘が環境に与える影響について広範な研究は行われてこなかった。これに加えて、集水域における人々は、水質が不明の地表水に依存して生活してきた。計画的に鉱業を発展させる観点において、手工業的な採掘に伴う環境問題に関心が集まりつつある。これらの背景を踏まえ本研究では、盆地の生態系の持続的な発展にとって極めて重要な地球化学的な基本データを提供する。さらに、家庭で使われている河川水の水質を調べ、主要イオンと微量元素について、地表を構成する岩石からもたらされる成分と人為起源の成分を区別し、季節的な変化と河川堆積物から影響を調べる。従って、本研究は地域住民の健康維持と持続的な発展を通じ、社会に貢献する点で意義深いと期待される。また、水質の形成メカニズムの解明という点において学術的に価値が高いと期待される。

第二章では、河川流域の地理的および地質学的設定について以下のように記述している。Lom 盆地は、波状の地形、樹枝状の河川パターン、暑く湿気が多い気候に特徴があり、一年に二回の乾季と雨季を経験する。地質学的には、調査地域はプレートが衝突した後に形成される盆地で、主に火山性片岩、変成岩および S 型花崗岩を産出する。S 型花崗岩質深成岩は、珪岩と変成礫岩の中間的な低変成片岩に貫入している。先カンブリア紀の基盤岩の変成作用が調査地域における金鉱化作用を生み出したと考えられている。本章では、カメルーン東部の地質と特徴的な気候について分かりやすく記述していると評価される。

第三章では、最初に実施した河川水の採取法とその分析結果について以下のように論じている。

乾季である 2016 年 2 月に 52 の河川水試料を収集し、物理化学的パラメータを測定し、主要カチオンおよび主要アニオンの濃度を決定した。河川水は塩分濃度が低く、弱酸性から中性であり、化学組成は Ca-HCO_3 か Na-HCO_3 型であることが解明された。主要なイオン濃度は、飲料水として WHO が定める基準に収まった。 Ca-HCO_3 型(77%)の河川水が Na-HCO_3 型(23%) よりも多いことから、河川水の水質は主にケイ酸塩鉱物の風化に影響されていることが示唆された。より小さな効果としては、河川水の Ca^{2+} が岩石との相互作用で Na^+ や K^+ に交換されていることが明らかとなった。人為的な Cl^- や NO_3^- の付加も同様に小さな効果をもたらしている。 HCO_3^- , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ の空間的な分布の傾向は類似していることから、これらの成分が集水域の地質を反映していると推定された。硫酸イオンの分布は金鉱床に伴われる硫化物の鉱化体と関係している。 NO_3^- と Cl^- の分布傾向は集落からの汚染であることを示すが、水質への影響は小さい。従って、本章では既存の研究を踏まえ、河川の水質がケイ酸塩の風化とイオン交換により形成されとするメカニズム解明し、付加的な効果として硫化物の影響と人為的な影響を見出した点において高い評価が与えられる。

第四章では、初出の成果として Lower-Lom 盆地の河川における水質パラメータと微量金属組成の季節的変動について述べている。第二回目の調査を雨季である 2016 年 9 月に実施し、29 の河川水試料を収集した。試料の物理的パラメータは現場で測定し、従来の方法を用いて主要イオンおよび微量金属を実験室で分析した。全体として、河川水の化学組成にみられる季節変動のパターンは 3 つの鍵となる過程に支配されていることが解明された； a) 化学的風化に起源し、地下水流を通じて供給される主要カチオンと HCO_3^- イオンの寄与、 b) 降雨時に地表の土壤層に含まれる塩の浸出、 c) 雨季における地表水による希釈。V, Cr, Co, Cu, Zn, Cd, Pb の濃度は低く ($<1 \mu\text{g/l}$)、母岩にこれらの金属が欠乏していることを示唆している。Fe と Mn の最高濃度は、WHO が提示する飲用に適した濃度を越えており、それぞれ、5010, 250 $\mu\text{g/l}$ であった。石英岩脈金鉱床に伴う硫化物が、河川水に含まれる Cu, Pb, Cd, Zn の主要な源となっている。ヒ素はこれとは異なる鉱化体から浸出したと考えられる。金を鉱石からアマルガム抽出するために用いる Hg が溶存 Hg の源であると考えられる。従って、本章では研究対象とした地域において河川水の微量元素分布を初めて解明し、さらには金属イオンの起源を推定し、季節変動のメカニズムを提示した点において高い評価が与えられる。

第五章では、初出の成果として、Lower-Lom 盆地において河川堆積物に関し、鉱物組成、バックグランド値、閾値を与え、以下のような地球化学的な評価を行っている。55 の河川堆積物を採取し、6 つの試料を粉碎し鉱物組成を XRD により決定した。細かい分画 ($150 \mu\text{m}$ 未満) を酸 ($\text{HClO}_4 + \text{HF} + \text{HCl}$) で溶解し、ICP-MS および AAS 分析法の組み合わせを用いて微量金属を分析した。河川堆積物は主に石英、phyllosilicates (biotite + muscovite + kaolinite + gibbsite)、長石から構成されていた。これらは深成変成岩から成る基盤岩の風化に起源しており、流水による粒径分離を受けている。微量元素の閾値は、Median + 2 (Median Absolute Deviation, MAD) により計算した。全ての試料について、Sc, Cu, Zn, As, Se, Cd, Hg, Pb の濃度は閾値以下

であったが、いくつかの試料について V, Cr, Co, Ni, Mn, Fe の濃度が閾値を超えた。河川堆積物の微量元素濃度が低い原因としては、河川床の岩石が微量元素に乏しいこと、中性付近の pH 条件での硫化物溶解度が低いことが推定された。微量元素の分布は、主にそれらの源である地質と硫化物の分布により支配されていると推定される。ヒ素の分布は、金鉱床の分布と調和していることが解明された。従って、本章では研究対象とした地域において河川堆積物の微量元素分布を初めて解明し、さらには堆積物の金属イオン濃度の閾値を求め、今後の開発による影響を評価するための基準を提示した点において高い評価が与えられる。さらにヒ素と金の間の強い相関を発見したことはヒ素が金鉱床探査のプロープとなり得ることを示した点において高い評価が与えられる。

第六章では、各章の結論を総括し提言を以下のように述べている。調査地域において河川流域における過去および現在の活発な砂金採掘にもかかわらず、元素濃度は一般に河川水および河川堆積物の両方で低く、重大な汚染の恐れはない。しかしながら、河川水の微生物検査、高濃度の Fe および Mn を含む河川水の処理、放棄された鉱床と現在稼働中の鉱床における環境試料の金属組成の検査、金精錬のための Hg 使用の継続的な監視は重要であり、これらの検査及び調査を実施すべきであると述べている。

以上を要約すると、本研究によりカメルーン東部 Lom 盆地の河川水化学組成および地表の元素分布が解明され、今後の持続可能な鉱物資源開発と環境保護に大きく貢献することが期待される。本研究で取得された河川水と河川堆積物の化学組成は、Lom 盆地で過去に取得されたことがなく、これらのデータを巧みに組み合わせ、河川水水質の形成メカニズムの推定を行うなど理学上の貢献は大きい。

以上の結果、本論文は学位論文として十分な内容を有するものと審査委員全員の一致で判定された。

したがって、申請者 Mumbfu Ernestine Mimba は東海大学博士（理学）の学位を授与されるに値すると判断した。

論文審査委員

主査	博士（理学）	岩岡 道夫	理学部教授	（総合理工学研究科総合理工学専攻）
委員	博士（工学）	樋口 昌史	工学部教授	（総合理工学研究科総合理工学専攻）
委員	博士（理学）	関根 嘉香	理学部教授	（地球環境科学研究科地球環境科学専攻）
委員	水産学博士	小玉 修嗣	理学部教授	（地球環境科学研究科地球環境科学専攻）
委員	理学博士	大場 武	理学部教授	（総合理工学研究科総合理工学専攻）
委員	博士（環境学）	谷口 無我	気象庁 気象研究所・研究官	