

論文の内容の要旨

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

キーワード：Geochemistry, Stream water, Stream sediments, Lom Basin, Cameroon

The study background and objectives have been outlined in Chapter 1. The Lom Basin in East Cameroon is heavily mineralized, especially in gold, endemic to its regional geological setting. Artisanal mining of these gold deposits started about seven decades and presently, this region is a target for industrial mining. While alluvial gold mining is a source of income for the local miners and an economic booster for Cameroon, no comprehensive studies have been conducted on the environmental impacts of such operations within the drainage basin. Additionally, the communities within the catchment depend on surface water of unknown quality. In the light of planned mining developments and the growing concerns about associated environmental problems with artisanal mining, this study provides the geochemical baseline data crucial for the sustainable development of the basin ecosystems. It investigates the quality of streams for consumption and domestic purposes, distinguishes between geologic

and anthropogenic sources of major ions and trace metals, response to seasonal variations and stream sediment quality.

Chapter 2 describes the geographical and geological setting of the basin. The Lom Basin is characterized by an undulating topography, dendritic drainage pattern, hot and humid climate and experiences two dry and wet seasons. Geologically, the study area is a post-collisional basin, comprising mainly volcanoclastic schists, metasedimentary rocks and the S-type granites. The S-type granitic plutons intrude the low-grade metamorphic schists units interpolated with quartzites and metaconglomerates. The reworking of the Precambrian basement accounts for gold mineralization in the study area.

In Chapter 3, the methods and results of the first stream water sampling are discussed. Accordingly, 52 stream water samples were collected during the dry season (February 2016) and analysed for physico-chemical parameters, major cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) and major anions (HCO_3^- , F^- , Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , Br^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-}). Major ion geochemistry indicates the stream water is fresh, mildly acidic to neutral and of the Ca- HCO_3 and Na- HCO_3 water types. The major ion concentrations were within the WHO permissible limits for drinking water. The dominance of Ca- HCO_3 (77 %) over Na- HCO_3 (23 %) water type suggests that the chemical weathering of silicate minerals is the major control on water chemistry. Cation exchange of Ca^{2+} in water for Na^+ or K^+ in the surrounding rocks and anthropogenic inputs of Cl^- and NO_3^- were minor geochemical controls. The spatial distribution of HCO_3^- , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} and K^+ showed similar distribution trends reflecting the catchment geology. Sulphate distribution correlated with sulphide mineralization associated with vein gold deposits in the area. The distribution patterns of NO_3^- and Cl^- indicated pollution from settlements, which had no significant effect on the water.

For the first time, the seasonal variation of stream water quality parameters and the trace metal composition in streams of the Lower Lom Basin have been provided in Chapter 4. During this second stream water investigation,

29 water samples were collected during the wet season (September 2016) and analyzed on the field for physical parameters, in the laboratory for major ions and trace metals using conventional methods. The physico-chemical parameters showed a relatively low seasonal variation. Overall, the seasonal pattern of stream water chemistry is controlled by three key processes: a) contribution of major cations and HCO_3^- from chemical weathering supplied by groundwater flow, b) leaching of salts from surface soil layers during rain events and c) dilution by surface runoff during the wet season. The concentrations of V, Cr, Co, Cu, Zn, Cd and Pb in all samples were low ($<1 \mu\text{g/l}$) suggesting impoverished parent rocks and leaching into the groundwater. Iron (max $5010 \mu\text{g/l}$) and Mn (max $250 \mu\text{g/l}$) contents exceeded the WHO guideline values for drinking water. The dissolution of sulphide minerals associated with quartz vein gold mineralization is the principal source of Cu, Pb, Cd and Zn in the stream water. Arsenic is believed to be leached from a different mineralization source. Gold amalgamation was considered a possible source of dissolved Hg.

For the first time, the mineral composition, background values, threshold values and baseline environmental geochemical assessment of stream sediments from the Lower Lom Basin have been made available in Chapter 5. Fifty-five bottom sediments were collected and the mineralogical composition of 6 pulverized samples determined by XRD. The fine fraction ($<150\mu\text{m}$) was subjected to total digestion ($\text{HClO}_4+\text{HF}+\text{HCl}$) and analyzed for trace metals using a combination of ICP-MS and AAS analytical methods. Mineralogically, quartz, phyllosilicates (biotite + muscovite + kaolinite + gibbsite) and feldspars comprise the dominant mineral phases in the sediments. They are derived from the weathering of the plutono-metamorphic basement and influenced by hydraulic energy and sorting. The threshold values for trace metals were computed as Median + 2 (Median Absolute Deviation, MAD). Concentrations of V, Cu, Zn, As, Se, Cd, Hg and Pb in all samples were lower than the calculated threshold values while Sc, Cr, Co, Ni, Mn and Fe were slightly enriched. The low trace metal content of stream sediments is accounted for by low sulphide solubility at the

near neutral pH conditions of the basin and impoverished bedrocks. The spatial distribution of the trace metals is controlled largely by source geology and sulphide mineralization. Arsenic distribution has a coherent relationship to the occurrence of some reported Au deposits.

Despite the past and active alluvial mining in the basin, the elemental concentrations were generally low in both the stream water and stream sediments and currently pose no threat of serious contamination. Still, microbial investigation of the water; treatment of water for Fe and Mn; examination of metal composition of environmental samples from abandoned and active mine sites; and a continuous monitoring of the use of Hg for refining gold are strongly recommended.

論文の内容の要旨 (和訳)

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

キーワード：地球化学, 河川水, 河川堆積物, Lom 盆地, カメルーン

第一章では本研究の背景と目的を概説する。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。本研究は、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。本研究では、家庭で使われている河川水の水質を調べ、主要イオンと微量金属について、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。

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記述する。Lom 盆地は、波状の地形、樹枝状の排水パターン、暑く湿気の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論じる。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 (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) および主要アニオン (HCO_3^- , F^- , Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , Br^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-}) 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 と Na-HCO_3 型に分類されることが判明した。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る。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。人為的な Cl^- と NO_3^- の付加も同様に小さな効果である。 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判断される。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。

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元素組成の季節変動を明らかにした。第二回目の調査を雨期である 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元素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； 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) 降雨時に地表の土壌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 ($<1 \mu\text{g}/\text{l}$)、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 $\mu\text{g}/\text{l}$ 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。

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、地球化学的な評価を行った。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元素を分析した。

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。河川堆積物の微量金属濃度が低い原因としては, 河川床の岩石が微量金属に乏しいことと, 中性付近の pH 条件での硫化物溶解度が低いことが挙げられる。微量金属の分布は, 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。ヒ素の分布は, 金鉱床の分布と調和している。

第六章では, 各章の結論を総括し提言を述べる。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, 現在稼働中の鉱床における環境試料の金属組成の検査を実施し, 金精錬のための Hg 使用を継続的に監視することが強く推奨される。