

氏名（本籍）	Simusokwe Mukuka（ザンビア）
専攻分野の名称	博士（資源学）
学位記番号	国博甲第5号
学位授与の日付	令和3年9月24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）	ザンビア銅鉱化帯フィシテ銅コバルト鉱床の岩相，変質と鉱化作用 (Lithology, alteration and mineralization of the Fishtie Cu-Co deposit, Zambian Copperbelt)
論文審査委員	(主査) 教授 渡辺 寧 (副査) 教授 アンドレア アガンジ (副査) 教授 大場 司

## 論文内容の要旨

Fishtie is a copper-rich deposit situated southeast of the Zambian Copperbelt (ZCB), about 30 km north of Mkushi town, close to the international boundary between Zambia and the Democratic Republic of Congo. The deposit was discovered in 2004 by First Quantum Minerals (FQM) Limited through systematic application of soil geochemistry, magnetic survey and drilling. This drilling intersected 300 meters wide by over a kilometre long east-west striking copper orebody similar to the ZCB deposits, but hosted at a higher stratigraphic position in the Katanga Supergroup. The reserves are estimated at 55 Mt of copper at an average grade of 1.04%, occurring as oxide, sulfide and mixed oxide-sulfide ores. Cobalt-rich orebodies are present within the copper orebody, but the two metals show different vertical enrichment and depletion trends. This study was conducted to investigate the following geological characteristics of the Fishtie deposit: (1) the source of the metals, especially copper and cobalt; (2) the source of sulfur; (3) the physical and chemical characteristics of the lithology that are responsible for copper and cobalt mineralization; (4) the timing of mineralization; and (5) the factors controlling the spatial distribution of copper and cobalt metals.

Petrographic results of samples from the Grand Conglomérat Formation sitting on the basement rocks shows chalcopyrite preferentially disseminated in chlorite-rich clasts. These clasts weathered from basement mafic rocks and are considered to be the source of copper and cobalt. Copper and cobalt were leached from detrital mafic minerals during hydrothermal alteration and metamorphism, resulting in decomposition of

clasts to chlorite and chalcopyrite. Mineral chemistry of alteration minerals suggest that copper and cobalt were liberated as ions during the alteration of chlorite to biotite. The metal ions were transported to the site of deposition through post-folding faults which provided conduits for the oxidizing mineralizing fluids. Copper and cobalt precipitated as chalcocite, bornite, chalcopyrite, cobaltite and carrollite at the boundary of dolostone and reduced beds of alternating siltstone and sandstone. High-grade copper mineralization of chalcopyrite and bornite formed in folded beds of alternating siltstone and sandstone which acted as traps for mineralizing fluids and hydrocarbons. Copper and cobalt mineralization is zoned from deeper level sulfide mineralization to a shallow supergene mineralization of chalcocite, malachite, heteroginite and cobaltoan dolomite.

## 論文審査結果の要旨

### 1 論文審査結果の要旨 (1,500 字程度)

論文審査は、提出された論文を対象に審査委員が審査を行った。

本論文は、ザンビア銅鉱化帯南東に位置するフィシテ銅コバルト鉱床の成因を母岩の岩相、熱水変質及び鉱石鉱物の検討により議論したものである。ザンビアからコンゴに至る中央アフリカ銅鉱化帯は、世界の約5%の銅、70%のコバルトを供給する銅・コバルト鉱床の密集地域である。この地域の銅、コバルト鉱床の成因を明らかにすることは、今後の新たな鉱床探査に指針を与える上で極めて重要である。

本研究対象であるフィシテ鉱床を胚胎する母岩はカタンガ層群上部の Nguba 層群であり、下位から氷河性礫岩、ドロストーン、砂岩シルト岩互層からなる。下位の礫岩には塩基性岩、珪岩、片岩、ドロストーンの岩片が含まれ、砂岩部には「ドロップストーン」も認められる。中位のドロストーンはほとんどがドロマイト粒子から構成される。上位の互層は級化構造の発達した細粒砂岩からシルト岩、泥岩層からなり、泥岩中には石油の含まれる部分も存在する。砂岩・シルト岩層中には褶曲が発達しており、地層の逆転部がしばしば認められる。これらの岩相、特に下位の礫岩層では Mg 緑泥石、Fe 緑泥石、黒雲母の熱水変質鉱物が認められる。Mg 緑泥石中には Cu や Co が含まれるが、Fe 緑泥石、黒雲母へと置換されるに従いこれらの金属元素の含有量は低下する。このことは温度上昇を伴う変質・変成作用の際に金属元素が溶脱したことを示す。

これらの岩相には硫化物からなる鉱化作用が認められる。ドロストーンでは銅藍、班銅鉱、コバルタイト等の硫化物が細脈状に、互層部では黄銅鉱、黄鉄鉱、班銅鉱が鉱染状に認められる。このことは、ドロストーン中では比較的酸化的な環境で安定な鉱物、互層部では還元的な環境で安定な鉱物が分布することを示す。地表付近の風化部ではヘテロジェナイト、含コバルトドロマイト、コニカルコ石が認められる。

硫黄同位体分析結果は、細脈中の硫化物同位体値は 0-10‰、鉱染部の同位体値は 10-27‰と変化する。

これらの観察・分析結果から、フィシテ鉱床は、熱水が母岩下部を循環し、変質/変成作用の際

に塩基性火成岩中のマフィック鉱物から銅やコバルトを溶脱し、金属元素に富んだ熱水がドロストーンから砂岩シルト岩互層へと上昇し、背斜構造にトラップされていた炭化水素と反応することにより還元され、硫化鉱物として沈殿することにより形成したと説明される。これらの結果は、フィンテ鉱床が母岩の堆積後、広域的な変成・変形運動とともに形成されたモデルを支持する。

本研究は、1) 鉱床を胚胎する地層および岩相、2) 鉱床を形成する金属元素の起源、3) 鉱化作用をもたらした熱水と母岩との関連、4) 広域的な変成・変形作用に伴って鉱床が形成されたこと、5) 地表の風化部にコバルトが水酸化物として濃集していることを明らかにしており、これまでのザンビア銅鉱化帯の鉱床成因に新たな知見をつけ加えている。以上の点から本研究は博士論文にふさわしい成果であると学位審査委員から認められた。また成果の一部は *Resource Geology* 誌に「Hydrothermal alteration and Cu-Co mineralization at the peripheral zone (Target H) of the Kitumba iron-oxide copper-gold system, Mumbwa District, Zambia」(オンライン, 2021年7月22日)として公表されている。