

学位論文題名

The Laloki Strata-bound Massive Sulfide Deposit,
Papua New Guinea: Geochemical, Mineralogical,
Sulfur Isotope and Fluid Inclusion Characteristics

(パプア・ニューギニア、Laloki 層準規制型塊状硫化物鉱床：
地球化学的、鉱物学的、硫黄同位体および流体包有物の特性)

学位論文内容の要旨

The Laloki deposit is a small size (~0.36 Mt at 4.2% Cu, 2.5% Zn, 11.4 g/t Ag, and 3.7 g/t Au) sedimentary rock-hosted massive sulfide deposit in the Astrolabe Mineral Field, Central Province, Papua New Guinea. The area has the potential to increase its reserves because of a number of other massive sulfide deposits in the area. A succession of Cretaceous to Miocene weakly metamorphosed sedimentary rocks that are interpreted to have deposited on the margin of a continental oceanic ridge back-arc basin between the Pacific oceanic terrane and the Australian craton hosts the Laloki and the other surrounding deposits within the Astrolabe Mineral Field.

The massive sulfide ore occurs as a lenticular lense at a single horizon parallel to the strata within Eocene argillite. The deposit consists of two discrete massive sulfide ore types that represent an early- and a late-stage mineralization. The massive sulfide mineralization occurred at an early-stage whereas brecciation and remobilization occurred at a late-stage. Massive pyrite-marcasite, chalcopyrite and Fe-poor sphalerite ores denote the early-stage mineralization whereas the late-stage is denoted by brecciation of early-stage massive Cu-Fe sulfide ores that are infilled by Fe-rich sphalerite. Late magnetite veins cross-cut early-stage massive chalcopyrite ore. The remobilized early-stage ore clasts are coated by smaller fragments/grains of ores, mudstone and organic matter. The deposit consists of massive sulfide boulders at the foot-wall side and grades into coarse to fine grained sandy pyrite-marcasite with clay materials toward the hanging-wall strata. The immediate foot-wall sedimentary rocks that host the massive sulfide lense are not hydrothermally altered and there

is no indication of sulfide stringer zones. Pale greenish mixed layered clay, chlorite-sericite, and microcrystalline chalcedony quartz preferentially associated with the massive sulfide breccia ore. The immediate hanging-wall claystone is moderately silicified in places.

Microthermometric measurements of fluid inclusions in the massive sulfide bodies indicate formation at temperatures of 170° to 326°C. The early-stage mineralization formed from low salinity (1.2–6.3 wt% NaCl eq; mean = 3.9) sea water dominant fluids whereas the late-stage mineralization formed from bimodal fluids, a relatively high salinity (5.9–8.4 wt% NaCl eq; mean = 6.8) and a low salinity (1.1–2.2 wt% NaCl eq; mean = 1.7) fluids. There is no evidence of fluid boiling in the inclusions, and based on the average fluid salinity and temperature of homogenization, mineralization took place under a minimum water depth of ~1,000 m. Sulfur isotope ($\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$) analyses of sulfide minerals from early-stage massive sulfides indicate a wider range (–4.62‰ to +6.95‰; mean = 1.02‰) values while the late-stage show a narrow range (–1.86‰ to +4.79‰; mean = 0.58‰) values closer to zero. These small variations may reflect different processes of reduction of seawater sulfate when mixing with magmatic fluids. The relatively higher (more positive) sulfur isotope values in early-stage ore imply that the seawater was dominant whereas the sulfur in the late-stage was magmatic dominant. The isotopically very light (mean = –34.96‰) sulfur value from foot-wall host rock pyrite suggests that no biogenic sulfur has been contributed to the massive sulfide mineralization. Sulfide minerals precipitated on the seafloor from hydrothermal fluids that vented from mounds.

The absence of (1) hydrothermal alteration in the immediate foot-wall host rocks, (2) no well-defined sulfide interbedded horizons, (3) presence of significant variations in sulfur isotope values between massive sulfide and foot-wall sulfides, and (4) presence of massive sulfide clasts are evidences that the sulfides were remobilized and redeposited at the present location distal to the main hydrothermal zone during a major tectonic event. Based on the tectonic setting, host rock types, local geologic setting, metal grades, age, and sources of sulfur, the Laloki deposit is classified as a sedimentary hosted massive sulfide (SHMS) deposit derived from an oceanic ridge volcanogenic massive sulfide (VMS) seafloor mineralization.

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 松 枝 大 治
副 査 教 授 永 井 隆 哉
副 査 講 師 三 浦 裕 行

学 位 論 文 題 名

The Laloki Strata-bound Massive Sulfide Deposit, Papua New Guinea: Geochemical, Mineralogical, Sulfur Isotope and Fluid Inclusion Characteristics

(パプア・ニューギニア、Laloki 層準規制型塊状硫化物鉱床：
地球化学的、鉱物学的、硫黄同位体および流体包有物の特性)

近年、地質時代に形成された層準規制型塊状硫化物鉱床の成因に関する研究が国際的に盛んに行われている。しかし、その多くは単に形態的な観点から機械的に層準規制型鉱床として分類され、さらには現地性の熱水活動によってもたらされたものとされている場合が多く、個々の鉱床における生成過程や生成条件を解明するための詳細な研究が不十分であった。したがって、このタイプの鉱床成因論の展開においては国際的に著しい混乱が起きていたことが指摘され、改めて同タイプの鉱床に関して個別に詳細な記載と実験データに基づいた明快かつ精細な成因論の展開が待たれている状況にある。

本論文は、このような現況にある層準規制型塊状硫化物鉱床の分類と成因論に関する混乱に着目し、これまで複数の成因論が提案されながらもこの分野の研究者全員が一致して結論を出すことができなかったパプア・ニューギニアの Laloki 層状塊状硫化物鉱床を主な研究対象としたものである。本研究では、現地における緻密な野外調査とサンプリングを実施し、採集試料について各種室内実験を行なうと共に、得られた結果に基づいて地球化学的、鉱物学的、硫黄安定同位体比および流体包有物等の観点から詳細な検討を行い、Laloki 鉱床の起源、生成環境及び生成過程を論じて本鉱床の成因を明らかにした。さらに、得られた膨大なデータを基に世界の同様な層準規制型塊状硫化物鉱床との比較検討を行い、未だ混乱が見られる層準規制型塊状硫化物鉱床の成因論的分類を試みることを目的とした研究も展開した。

本学位論文において得られた主な研究成果をまとめると以下ようになる。

- 1) Laloki 塊状硫化物鉱床は、白亜紀～新第三紀中新世の弱変成堆積岩中で層状

に胚胎し、太平洋テレーンとオーストラリア安定地塊との間に存在する海洋海嶺或いは島背弧盆で形成された。

- 2) Laloki 塊状硫化物鉱床は、始新世泥岩中に層状を成して整合的に胚胎し、鉱体の産状観察と鉱物学的検討から、その形成が前期と後期の2期に区分される。
- 3) 詳細な鉱石の産状や鉱物組織の観察から、塊状硫化物鉱化作用は前期に生じ、さらに後期はそれらの破碎や再移動で特徴付けられ、下位から上位にかけての漸次級化構造が認められる。
- 4) 鉱床下盤側の胚胎堆積岩では熱水変質作用や金属鉱化作用が認められず、変質作用は角礫状硫化物鉱石中での粘土化作用や上盤泥岩中の中程度珪化作用として認められる。
- 5) 塊状硫化物鉱石中の流体包有物の検討によれば、前期鉱化作用には高塩濃度と低塩濃度の2種類の溶液が関与し、沸騰現象が認められないことから少なくとも1,000mを超える深度で生じたことが判る。
- 6) 硫黄安定同位体比の検討から、マグマ水との混合時に海水硫酸の異なる還元プロセスが働いたことを示すと共に、前期では海水の関与が著しいが後期ではマグマ水の関与が顕著であり、鉱化作用時には生物関与が認められない。
- 7) 前期塊状硫化物鉱石中の初生的硫化鉱物は、海底面で熱水マウンドから放出された熱水溶液から沈殿したと考えられる。
- 8) 下盤母岩における熱水変質作用の欠如、厳密な意味での硫化物鉱体の非層準規制、塊状硫化物鉱石と下盤堆積岩中の硫化鉱物における明瞭な硫黄同位体比の差および碎屑性硫化鉱石の存在などから、Laloki 鉱床は主変動期における主要熱水活動域からの鉱石の再移動と、末端における再堆積作用で生じたと推定される。
- 9) テクトニクス場、母岩タイプ、地域地質、鉱石品位、形成時代、鉱石鉱物、流体包有物、硫黄の起源等の検討に基づけば、Laloki 鉱床は海洋海嶺型火山性塊状硫化物(VMS) 鉱床を起源とする堆積岩胚胎型塊状硫化物(SHMS)鉱床と結論付けられる。

これを要するに、著者は、パプア・ニューギニアの Laloki 鉱床について、起源を異にする異地性堆積型の堆積岩胚胎型塊状硫化物鉱床であるとの新知見を得たものであり、国際的な塊状硫化物鉱床の分類と成因論の展開に関して貢献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（理学）の学位を授与される資格あるものと認める。