

博士（理 学） Mega Fatiman Rosana

学 位 論 文 題 名

Genesis and Formation Environments of the Hydrothermal Gold Mineralization in the Island Arc Geologic Setting of Western Java, Indonesia

（インドネシア、西ジャワ島の島弧地質環境における
熱水性金鉱床の成因と生成環境）

学位論文内容の要旨

Java Island is part of the Sunda-Banda magmatic arc of Neogene age. The evolution of this area is influenced by subduction of the Indian-Australian Plate under the Asian continent since Late Cretaceous and make Western Java geology prospective for mineral resources.

This research is aimed to develop a “genesis and formation environments of the hydrothermal gold mineralizations of the island arc geologic setting in Western Java, Indonesia”. This can contribute for the clarification of gold ore genesis and will be useful for the exploration of new deposits in surrounding area and similar mineralization system of other regions in Indonesia.

Hydrothermal gold mineralization of western Java is hosted by NNE-SSW strike-slip fault cutting Miocene to Pliocene volcanic and plutonic formations. The distinguished mineralization is characterized by; low sulfide, sericite-adularia (-calcite)-manganese oxide gold bearing quartz veins of epithermal low sulfidation type (e.g. Cikidang, Pongkor, Cibaliung, Ciawitali and Cisolok deposits); quartz-carbonate-polymetallic gold bearing veins of high sulfide content of epithermal to shallow mesothermal or transition to porphyry tin type (e.g. Cirotan, Cikotok, Lebak Sembada and Cisungsang,) and outflowing hydrothermal fluids which deposited travertine sinter (e.g. Cisolok travertine).

The adularia-sericite epithermal low sulfidation type of 2.4 to 8.6 Ma of the Bayah dome and 11.18 Ma westernmost Jawa (Cibaliung) is characterized by clear banding, colloform, crustiform, comb and massive quartz in textures. The deposit is also characterized by high grade gold content (2 to 75 g/t Au), except the Cisungsang and the Cisolok travertine

deposits (<3 g/t Au). The ore mineral assemblage is mainly of pyrite; abundant gold in form electrum and silver in form of Ag-sulfide, Ag-sulfosalt, Ag-selenide and native silver, locally Ag-telluride (the Pongkor and the Cibaliung); variable content of sphalerite, galena and chalcopyrite. The gangue minerals is dominated by quartz, adularia, clay minerals, abundant manganese-oxide (the Pongkor and the Cikidang) with various amount of limonite and carbonate group mineral. Ag/Au ratio in electrum is varies among the deposit, however, slightly increased toward the depth is indicated in the Cikidang deposit. Sphalerite is characterized by its low content of iron (0.1-2.5 mol % FeS). The formation environment of this deposit is estimated to be under the shallow epithermal condition (180-350 m, depth), low salinity fluids (<4 wt % NaCl eqv.), of 170 to 250°C (T_m) with or without boiling, and relatively high fS_2 (10^{-14} to 10^{-11}) and fO_2 (10^{-30} to 10^{-45}) and where gold must be transported as $Au(HS)_2^{2-}$ under near neutral pH. The Pb, S, and C stable isotopes indicate the magmatic in source of associated metals, and O isotope suggests a mixing of hydrothermal fluids and meteoric water during ore depositions. This type of deposit is representing by the Cibaliung (in westernmost Java), the Pongkor, the Cikidang, and the Cisolok (in the Bayah dome district) deposits.

The quartz-carbonate-polymetallic vein (7 to 2.1 Ma) is formed under the epithermal environment (upper part of the deposit) to shallow mesothermal (deeper part condition), and are characterized by mineralized hydrothermal breccias and hydrothermal breccias of high sulfide content with precious. The high gold grade (2-20 g/t Au, the Cirotan) is found in the precious hydrothermal breccia, conversely, in the Cisungsang gold grade is low (<5 g/t Au, but with high grade of silver, >150 g/t Ag). The ore minerals are mainly of pyrite, sphalerite, galena, marcasite, pyrrhotite, arsenopyrite, silver minerals and electrum. The common tin mineral, cassiterite, wolframite, and bismuth minerals are also noted in the Cirotan and only tin mineral is identified in the Cisungsang deposit. The gangue mineral is mainly of quartz and calcite and rare clay minerals (the Cisungsang), in which the alteration is not well developed around the mineralized body. However the Cirotan exhibit more vary in gangue minerals, such adularia, rhodocrosite, rhodonite and abundant clay minerals are presence. The formation environment of this type deposit is estimated to be at the depth below 400m, slightly low salinity (1.5 to 7.5 wt % NaCl eqv.) in temperature of 260 to 350°C with or without boiling, and relatively high fS_2 (10^{-20} to 10^{-10}) and fO_2 (10^{-30} to 10^{-40}) where gold might be transported by bisulfide complex under neutral to slightly acidic in condition. The Pb, S, and C isotopes indicate magmatic source of associated

metals, and they are associated with tin, cassiterite, wolframite and bismuth minerals suggesting the reworking of Precambrian continental crust underlying the Malyasia-Sumatra porphyry tin belt as the source of the metals. This type of deposit is representing by the Cirotan and the Cisungsang deposit, both are in the Bayah dome district.

The travertine deposit of the Cisolok, is composed of calcite with significant amount of quartz. The significant gold content is also noted (<25 ppb). The wide mineral alteration zones indicate a hydrothermal activity within the area. However the quartz veins are mostly barren and small in the southern part. However, more large size and significant gold content is occurring in the northern part. The homogenization temperature and salinity obtained from the fluid inclusions in the quartz and calcite of travertine suggesting the possibility for gold mineralization underneath.

Significant REE contents, Eu and Ce anomaly are noted in the Cikidang, Cibaliung, Cisolok and Cirotan deposits. On the other hand, the Cisungsang, Pongkor and Travertine sinter deposits indicating very low REE contents. Depleting in REE is clearly observed from the alteration zone toward the quartz vein and the travertine.

K-Ar ages are also indicating a gradual shift of mineralization to younger volcanic front toward south of Java island (8.6 Ma, Pongkor, 2.4 Ma, Cikidang, 2.1 Ma, Cipanglengseran, 1.7 Ma, Cirotan and Recent travertine deposit and active spring in the Cisolok). In exception the Cibaliung deposit occurring in westernmost of Java and hosted by different volcanic system is the oldest (11.18 Ma) among others mineralization in Western Java.

The time-spatial different is coincide with magmatic activity of the Sunda-Banda magmatic arc, which is generated by subduction of Indian-Australian plate beneath the Eurasian plate in the south of Java island.

The exposure of the younger deposits due to high erosion rate (0.1 mm/year) in the active island arc system, whereas the preservation of older deposit (Cibaliung and Pongkor) is probably due to coverage by younger volcanic and sedimentary rocks formations.

In the present study, no indication of the porphyry copper mineralization occurrence associated with the epithermal system in the Bayah dome that is located in the western Sunda-Banda magmatic arc, where the basement of the Sunda-Banda magmatic arc is alkaline to intermediate rocks. However, there is possibility of the porphyry tin type deposit occurrence in the deeper part of the Bayah dome as indicated by the Cirotan and the Cisungsang deposits. Moreover, in the eastern part of the Sunda-Banda magmatic arc, several porphyry copper type deposits are noted, where in those are the basement is intermediate to basaltic in compositions. — 318 —

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 松 枝 大 治

副 査 教 授 蒲 生 俊 敬

副 査 教 授 米 田 哲 朗 (大学院工学研究科)

副 査 講 師 三 浦 裕 行

学 位 論 文 題 名

Genesis and Formation Environments of the Hydrothermal Gold Mineralization in the Island Arc Geologic Setting of Western Java, Indonesia

(インドネシア、西ジャワ島の島弧地質環境における
熱水性金鉱床の成因と生成環境)

近年、島弧環境における熱水鉱床の成因に関する研究が精力的に行われている。しかし、その多くは生成条件の推定と鉱床形成に関与した熱水の起源の解明を主な目的としており、鉱化作用に関わる熱水活動の時空的変遷の解明は未開拓の分野で、今後の詳細な研究の発展が待たれている状況にある。

本論文は、詳細な現地地質調査と既存の研究報告の再検討を行い、西ジャワ島における熱水活動の特性とその時間的空間的変遷、およびそのテクトニクス背景について解明したものである。その研究成果は以下のように要約される。

ジャワ島は新第三紀の Sunda-Banda 火成弧の一部で、伴われる火成活動は白亜紀後期からのアジア大陸地殻へのインドーオーストラリアプレートの沈み込みによる影響を受け、その活動に伴い西ジャワ島の鉱物資源が形成されている。

西ジャワ島の熱水性金鉱化作用は、中新世から鮮新世の火山岩・深成岩相を切る NNE-SSW 系断層に胚胎し、以下の 3 タイプの金鉱化作用で特徴付けられる；

- 1) 硫化物に乏しく、浅熱水性低硫化型セリサイトー氷長石(一方解石)ーマンガ
ン酸化物ー含金石英脈 (Cikidang, Pongkor, Cibaliung, Ciawitali, Cisolok 鉱床)
- 2) 硫化物に富み、浅熱水性～中熱水性浅部もしくは斑岩錫型に近い環境下で
形成された多金属ー炭酸塩ー含金石英脈 (Cirotan, Cikotok, Lebak Sembada,
Cisungsang 鉱床)
- 3) 地表湧出の熱水流体により形成された石灰華シンター (Cisolok の石灰華)

Bayah dome に分布する低硫化型氷長石 セリサイトー石英からなる浅熱水性鉱

床(形成年代 2.4~8.6 Ma)とジャワ西端の Cibaliung 鉱床(形成年代 11.8 Ma)産鉱石は、高い金品位(275 g/t Au)で特徴付けられる(Cisungsang 鉱床と Cisolok の石灰華を除く)。atm

本タイプの鉱床生成には、浅熱水系の浅所(深度 180~350m)で沸騰現象を伴う均質化温度 170~250℃の低塩濃度流体(<4wt%NaCl_{eq})の流体が関与したと考えられる。また、相対的に高い fS_2 (10^{-4} ~ 10^{-11} atm)と fO_2 (10^{-30} ~ 10^{-45} atm) 条件下で、金は pH が中性の流体中に $Au(HS)^2$ として溶存し、移動したと考えられる。鉛、硫黄、炭素安定同位体から、鉱化作用に関連する金属元素はマグマ起源であると示唆され、酸素同位体からは鉱化作用時に熱水と天水の混合があったと考えられる。

多金属-炭酸塩-石英脈(形成年代 7~2.1Ma)は、浅熱水性環境(鉱床上部)~中熱水性浅部の環境(鉱床下部)で形成され、このタイプの特徴として貴金属元素を伴う高硫化型鉱化(2~20g/t Au, Cirotan)を受けた熱水性角礫岩が産する。ここでは、特に錫石ほかの含錫鉱物、鉄マンガン重石、ビスマス鉱物などが比較的多産する特徴があり、氷長石、菱マンガン鉱等多様な脈石鉱物に加え、多くの粘土鉱物の存在も認められる。本タイプの鉱床生成深度は 400m 以深で、やや低塩濃度(1.5~7.5wt%NaCl_{eq})、均質化温度 260~350℃の沸騰現象を伴う流体が関与したと考えられる。また、相対的に高い fS_2 (10^{-20} ~ 10^{-10} atm)と fO_2 (10^{-30} ~ 10^{-40} atm) 条件下で、金は pH 中性~やや酸性の流体中に $Au(HS)^2$ として溶存し、移動したと考えられる。鉛、硫黄、炭素同位体は、鉱化作用に関連する金属元素が同様にマグマ起源であることを示唆する。また、錫石、鉄マンガン重石、Bi 鉱物等の金属元素の起源は、Malaysia-Sumatra 斑岩錫鉱床帯に分布する先カンブリア紀の大陸地殻と考えられる。本タイプの鉱床は、Bayah dome 地域に位置する Cirotan、Cisungsang 両鉱床でみられる。

Cisolok の石灰華堆積物は多量の石英を伴う方解石から構成され、金含有量が比較的高い(<25ppb)。広い変質帯は本地域内での活発な熱水活動を示唆するが、南部の石英脈は不毛で小規模である。一方、北部では幅広い石英脈が産出する。石灰華堆積物中に産する石英と方解石中の流体包有物の均質化温度と塩濃度から、シンター下部に金鉱床が存在する可能性が高いといえる。

Cikidang, Cibaliung, Cisolok, Cirotan 各鉱床の鉱脈は、高い希土類元素(以下 REE と略す)含有量を示し、これら鉱脈のコンドライト規格化 REE パターンから Eu と Ce 異常が認められた。一方、Cisungsang、Pongkor 両鉱床と石灰華シンター堆積物の REE 含有量は極めて低く、その含有量は明らかに変質帯から石英脈および石灰華シンター堆積物に向かって減少する傾向を示す。

K-Ar 年代によれば、鉱化作用は若い火山フロントのあるジャワ島の南部へ向かって漸移的に移動している。例外的に、ジャワ西端の Cibaliung 鉱床は西ジャワの他鉱床の中でも古い異なる火山系(11.18 Ma)に胚胎している。

西ジャワ島における金鉱化作用の時空変遷は、ジャワ島南部のユーラシアプレ

ートの下へのインドーオーストラリアプレートの沈み込みによる、Sunda-Banda 火成弧の火成活動変遷史と一致する。

若い鉍床の露出は、活動的島弧系における速い侵食速度(0.1 mm/年)によるもので、他方で古い鉍床(Cibaliung、Pongkor 両鉍床)が残存するのは、おそらく若い火山岩や堆積岩相に被覆された為と考えられる。

本研究では、Sunda-Banda 火成弧西部の Bayah dome 中の熱水系における斑岩型銅鉍化作用の徴候は認められなかった。しかし、Cirotan と Cisungsang 両鉍床に認められるように、Bayah dome 深部には斑岩型錫鉍床の存在の可能性が考えられる。また、Sunda-Banda 火成弧東部ではいくつかの斑岩型銅鉍床も存在する。

これを要するに、著者は、西ジャワ島における後期新生代の熱水活動とその時空変遷についての新知見を得たものであり、本研究成果は島弧会合部に位置する西ジャワ島の熱水活動と鉍床形成史を広域的・総括的な観点から明らかにした。また本研究は、後期新生代における西ジャワ島の詳細なテクトニクス場の解明に大きく貢献し、これらの成果は国際的にも同様な島弧・テクトニクス環境場にある地域での新たな資源探査にも多大な貢献をすると期待される。

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。