

氏名（本籍）	Patthana Bounliyong（ラオス）
専攻分野の名称	博士（資源学）
学位記番号	国博甲第3号
学位授与の日付	令和3年3月22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）	ラオス南東部バンタット金鉱化帯の地質、鉱物、地球化学および成因(Geology, mineralogy, geochemistry, and genesis of the Vangtat gold belt, Southeastern Laos)
論文審査委員	(主査) 教授 渡辺 寧 (副査) 教授 Andrea Agangi (副査) 教授 大場 司 (副査) 教授 Antonio Arribas

論文内容の要旨

本学位論文は、ラオス国南東部に位置するバンタットせん断帯に胚胎する金鉱床の成因を、地質学、岩石学、鉱物学、地球化学、年代学の手法を用い解明したものである。この地域はインドチャイナ大陸とコントン地塊という異なる大陸の衝突域に相当し、南北方向のせん断帯が発達している。金鉱床周辺の岩石は堆積岩、塩基性岩から構成され、緑色片岩相の変成作用を蒙っている。せん断帯中には、中心に石英—黄銅鉱—白雲母からなる熱水鉱脈が存在し、その周囲では石墨や絹雲母、緑泥石からなる熱水変質帯が分布する。金は主に熱水鉱脈中の黄鉄鉱中に存在するが、周辺の変質部にも少量含まれる。これらの岩石の上部は厚い風化殻で覆われている。

金を包有する黄鉄鉱は、粗粒で均質な組織を示し、化学組成上も均質で他の不純物をほとんど含まない。黄鉄鉱以外には黄銅鉱、硫砒鉄鉱、閃亜鉛鉱、方鉛鉱、輝蒼鉛鉱、磁硫鉄鉱の硫化鉱物が少量、石英脈に含まれる。黄鉄鉱と硫砒鉄鉱との産状は両鉱物が平衡状態にあったことを示し、硫砒鉄鉱の組成に基づくと、335-385°Cの晶出温度が得られる。金粒子中にはほとんど銀は含まれず、金銀比は平均10:1である。

石英脈を構成する石英に含まれる流体包有物は、常温では気相に富む気液2相包有物であり、その均質化温度は190°Cから325°Cと広い温度範囲を示すが、240-250°Cの均質化温度を示すものが卓越する。塩濃度は0.7-10.0wt%であり4-6wt%のものが卓越する。この流体中のガス成分としてCO₂、CH₄、N₂、H₂Sが検出されたが、これらのガス成分は流体と母岩が十分に反応した流体の特徴を示す。

鉱床の形成圧力は流体包有物の均質化温度と硫砒鉄鉱組成から推定された結晶温度により330-400Mpaと計算される。これは地表下約10-12kmの静岩圧に相当する。流体中の硫化水素の存在

は、金が硫化物錯体として熱水により運搬されたことを示し、流体と母岩の鉄鉱物との反応が主要な金の沈殿メカニズムであったと推定される。

硫化鉱物の硫黄同位体組成は+4 から+6‰の値を示す。この同位体組成は堆積岩中の硫黄や鉱床形成時の海水のものと異なり、火成岩の同位体組成と一致する。

鉱脈に含まれる白雲母の K-Ar 年代測定の結果は 348Ma から 206Ma の広い範囲の年代を示したが、分析試料中の不純物である石英に含まれる過剰アルゴンの影響を強く受けていることが明らかにされた。純粋な白雲母の年代は最も新しい 206Ma と結論された。この年代は、インドチャイナ大陸とコントン地塊との衝突、変成作用の最終期にあたる。以上の特徴は、大陸衝突の後の後退変成作用最末期に生じる「造山型金鉱床」の特徴と一致する。

論文審査結果の要旨

本学位論文のテーマは、未だ地質情報が充分でないラオスベトナム国境で 2000 年以降に発見され現在開発中の金鉱床の成因を明らかにしたもので、学位論文のテーマとして斬新である。さらに本研究は、様々な観点から 1 つの鉱床の成因をデータをもって議論している。これは論文提出者が十分な知識、多角的に課題を分析、解決方法を提示する能力を習得していることを示す。本学位論文は、これまで全く研究されてこなかったラオス南東部の金鉱化作用を明らかにしたもので、新たな知見を含んだオリジナリティの高い論文である。

本論文の年代学に関する内容は、Resource Geology に受理・公表される。本学位論文には 132 の引用文献が適切に引用され、論文提出者が十分に先行研究の知識を習得しており、さらに研究倫理上、細心の注意を払っていることを示す。また分析手法に関する付録もつけられており、研究のトレーサビリティも確保されている。

以上の通り、本学位論文審査委員会は、本学位論文が秋田大学国際資源学研究科の学位論文評価基準を満たしていると評価し、論文審査を合格と判定した。

令和 3 年 2 月 2 日に実施した最終試験では、本学位論文提出者により、4 名の審査委員の前で 40 分にわたり学位論文に関する発表が行われた。その後 30 分にわたり評価委員と発表内容に関する質疑が行われた。主な質疑は以下の通りである。

1) 岩石中の石墨化作用から推定された変成温度と硫砒鉄鉱の組成から推定された温度はほとんど同じで、変成作用のピーク時に鉱化作用が生じているのではないかと？

回答：硫砒鉄鉱の示す温度は母岩に侵入した熱水の温度であり、変成作用時の温度とは異なる。周囲には角閃岩相の変成岩も認められ、より低温の熱水から金鉱化作用が生じた結論される。

2) この学位論文で明らかにされた石英中の過剰アルゴンはこれまでの世界各地の硬化作用の研究でほとんど議論されてこなかった。この研究は過剰アルゴンの評価が極めて重要であることを示しており、これまでの他のデータを再吟味する必要がある。

回答：その通りであり、今後検討していきたい。

3) 大陸地塊の衝突以前には海洋プレートの沈み込みが想定されているが、造山型金鉱床以外の鉱化作用はこの地域に認められるのか？

回答：本地域西方にはマグマの貫入・固結により形成された花崗岩類が分布し、一部には銅鉱化

作用も認められる。従って海洋プレートの沈み込みが存在したことは事実である。

4) 本研究の基づく探査指針を説明せよ。

回答：最も重要なものはせん断帯の存在であり，金を対象とした沢砂地化学探査が有効である。

5) 幅広い年代値が得られたが，古い年代の意味するところは何か？硫黄同位体から火成岩起源と結論されたが，それは未固結のマグマか固結した火成岩か？

回答：古い年代は過剰アルゴンによるものである。硫黄の起源は固結した火成岩である。なぜなら同時期のマグマの貫入はこの地域には認められないからである。

以上のように様々な質問に対して本学位論文提出者によりの確に回答が行われた。本最終試験の結果，本学位審査委員会は，最終試験を合格，学位の授与を可と判定された。