

氏名（本籍）	Patchawee Nualkhao（タイ）
専攻分野の名称	博士（資源学）
学位記番号	工博甲第15号
学位授与の日付	平成30年9月28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	工学資源学研究科・資源学専攻
学位論文題目（英文）	タイ北東部, Loei 褶曲帯における鉍化作用, マグマ活動, およびテクトニクス (Mineralization, Magmatism and Tectonics along the Loei Fold Belt, Northeastern Thailand)
論文審査委員	(主査) 教授 大場 司 (副査) 教授 石山 大三 (副査) 教授 佐藤 時幸 (副査) 教授 柴山 敦 (副査) 教授 今井 亮

論文内容の要旨

Permo-Triassic granitoids from various areas along the Loei Fold Belt, northeastern Thailand, were studied. The aim of this work is to document the petrochemical characteristics of granitoids in the Loei Fold Belt. The Loei Fold Belt is an 800 km long, north-south trending fold belt that hosts several epithermal Au-Ag and skarn Au-Cu-Fe deposits. The study areas are divided into five regions *i.e.*, (1) Mung Loei, (2) Phu Thap Fah - Phu Thep, (3) Phetchabun, (4) Nakon Sawan - Lobburi and (5) Rayong - Chantaburi region. The granitoids consist of monzogranite, granodiorite, monzodiorite, tonalite, quartz-syenite and quartz-rich granitoids. These granitoids are composed of quartz, plagioclase, K-feldspar at varying proportions with mafic minerals such as hornblende and biotite. Accessory minerals, such as titanite, zircon, magnetite, ilmenite, apatite, garnet, rutile, and allanite are also present. Magnetic susceptibilities of granitoids vary from 6.5×10^{-3} to 15.2×10^{-3} in SI unit in Muang Loei, from 0.1×10^{-3} to 29.4×10^{-3} in SI unit in Phu Thap Fah - Phu Thep, from 2.7×10^{-3} to 34.6×10^{-3} in SI unit in Phetchabun, from 2.4×10^{-3} to 14.1×10^{-3} in SI unit in Nakon Sawan - Lobburi and 0.03×10^{-3} to 2.8×10^{-3} in SI unit in Rayong - Chantaburi. Concentration of major elements suggests that these intermediate to felsic plutonic rocks have calc-alkaline affinities. Concentration of rare earth elements (REE) of the granitoids normalized to chondrite displays

moderately elevated LREE and relatively flat HREE patterns, with distinct depletion of Eu. Rb vs. Y/Nb and Nb/Y tectonic discrimination diagrams illustrate that the granitoids from Muang Loei, Phu Thap Fah – Phu Thep, Phetchabun, Nakon Sawan – Lobburi and Rayong - Chantaburi formed in continental volcanic-arc setting. New age data from radiometric K-Ar dating on K-feldspar from granodiorite in Loei and Nakon Sawan areas yielded 171 ± 3 and 221 ± 5 Ma, respectively. K-Ar dating on hornblende separated from diorite in Lobburi yielded 219 ± 8 Ma. These age dating data suggest magmatism of Muang Loei occurred in the Middle Jurassic, and Nakon Sawan – Lobburi occurred in Late Triassic. Both Nb vs. Y and Rb vs. (Y + Nb) discrimination diagrams and age data indicate that Nakon Sawan – Lobburi granitoids intruded in Late Triassic at Nong Bua, Nakon Sawan province and Khao Wong Phra Jun, Lobburi province in volcanic arc setting. Muang Loei granitoids at the Loei province formed later in Middle Jurassic also in volcanic arc setting. Most of $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ of pyrite separated from granitoids along Loei Fold Belt, range from -2.1 to +2.2‰. The negative $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ values of ore minerals from skarn deposit suggest that the I-type magma has been influenced by light biogenic sulfur from local country rocks. The Au-Cu-Fe-Sb deposits correlates with the magnetite-series granitoids in Phetchabun, Nakon Sawan-Lobburi and Rayong - Chantaburi areas. Metallogeny of Au and Cu-Au skarn deposits, and epithermal Au deposit are related to adakitic rocks of magnetite-series granitoids from Phetchabun and Nakon-Sawan areas. All mineralization along the Loei Fold Belt are generated in the volcanic arc related to the subduction of Paleo-Tethys. $^{\text{T}}\text{Al}$ content of biotite of granitoids increase in the following order: granitoids associated with Fe and Au deposit < those with Cu deposit < barren granitoids. X_{Mg} of biotite in granitoids in Muang Loei, indicate the crystallization of biotite in magnetite-series granitoids under high oxygen fugacity condition. On the other hand, low X_{Mg} (<0.4) of biotite in magnetite-series granitoids in Phu Thap Fah – Phu Thep and Rayong – Chantaburi, indicate reduced environment, low oxygen fugacity, associated with Au skarn deposit (Phu Thap Fah) and Sb-Au deposit (Bo Thong), respectively. The magnetite-series granitoids at Phu Thap Fah having low magnetic susceptibilities and low X_{Mg} of biotite, were formed by reduction of initially oxidizing magnetite-series granitic magma by interaction with reducing sedimentary country rocks as suggested by negative $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ values.

論文審査結果の要旨

提出された博士論文，博士論文要旨および論文目録について審査し，不備がないことを確認し，書類審査は合格とした。論文の内容については，資源学専攻の教員および外部からの審査委員により構成される審査委員会において審査した。本学位論文では，タイ北東部，Loei 褶曲帯における花崗岩類と伴われる鉱化作用との関係，構造発達史との関係につ

いて、花崗岩類の岩石記載、帯磁率、全岩化学組成、年代測定、黒雲母および普通角閃石の化学組成、硫化物の硫黄同位体比などに基づいて論じられた。

まず著者は、本研究の目的、研究対象地域の概要、本研究で用いられた研究手法、タイの地体構造区分、広域的地質セッティングおよび構造発達史についてまとめた後、Loei 褶曲帯において花崗岩類に伴われる鉍化作用について記述し、Loei 褶曲帯における花崗岩類および鉍化作用の年代測定についての既存のデータ、先行研究で明らかになっていることをまとめた。次に著者は、Loei 褶曲帯を5つの地域（北から Muang Loei, Phu Thap Fah - Phu Thep, Petchabun, Nakon Sawan - Lobburi, Rayong - Chantaburi）に分け、花崗岩類の帯磁率測定結果、顕微鏡観察結果を記載し、花崗岩類の分類を行なった。また花崗岩類の全岩化学組成（主要成分元素、微量成分元素）を検討し、岩石系列について検討した。これまで生成年代が報告されていなかった Muang Loei, Nakon Sawan および Lobburi の花崗岩類の年代を、K-Ar 年代測定法により、それぞれ $171\pm 3\text{Ma}$ （カリ長石）、 $221\pm 5\text{Ma}$ （カリ長石）、 $219\pm 8\text{Ma}$ （普通角閃石）と決定した。Petchabun, Nakon Sawan - Lobburi, Rayong - Chantaburi では、Au-Cu-Fe-Sb 鉍床が、磁鉄鉍系列の花崗岩類に伴われていること、Petchabun, Nakon Sawan では、アダカイト質の磁鉄鉍系列の花崗岩類に Au 鉍床、スカルン Au-Cu 鉍床が伴われていることが示された。花崗岩類から分離した硫化物の硫黄同位体比は $\pm 0\%$ 前後の値を持つものが多いが、Phu Thap Fah スカルン鉍床の鉍石の硫化物の硫黄同位体比は負の値で、還元的な堆積岩起源の硫黄の寄与が示唆された。また、各地域の花崗岩類は初生的に磁鉄鉍を含むことと、黒雲母および普通角閃石の Mg 値より、初生的には酸化的な磁鉄鉍系列の花崗岩質マグマであったことが示唆された。以上のことから、Loei 褶曲帯の花崗岩類は、大陸縁の火成弧において生じたカルクアルカリ系列、I タイプの初生的に酸化的な磁鉄鉍系列花崗岩質マグマであったが、Phu Thap Fah スカルン鉍床においては、地殻の堆積岩類の寄与により、還元的な生成環境を示す鉍石鉍物組み合わせからなるスカルン鉍床が生成したことを明らかにした。また古テチス海プレート沈み込みによる花崗岩質マグマの発生が、これまで報告されていた三疊紀以降もジュラ紀まで引き続いていたことを明らかにした。

タイ東部の、東帯と一括されていた花崗岩類については、これまで広域的な岩石系列と鉍化作用との関係、構造発達史との関係について詳しく検討された研究例がなく、本研究により新しい知見が得られたことは、資源学的に重要な業績であると認められることから、学位論文として十分な業績であると認め、審査は合格と判定した。