

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：11401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25420880

研究課題名(和文) 東南アジアとモンゴルの斑岩銅鉱床の貫入岩の酸化状態と白金族元素の資源ポテンシャル

研究課題名(英文) Redox condition of intrusive rocks associated with porphyry copper deposits in South East Asia and Mongolia and their resource potential of platinum group elements

研究代表者

今井 亮 (Imai, Akira)

秋田大学・国際資源学研究科・教授

研究者番号：90223304

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：モンゴルおよび東南アジアの貫入岩の酸化状態とともに、斑岩銅鉱床に伴われる白金族元素などレアメタルの資源ポテンシャルについて検討した。タイのルーイ帯花崗岩類(堆積物の混染により還元される前の初生的なマグマ)、インドネシアのスマトラ島北部の白亜紀以降の花崗岩類(三畳紀以前の花崗岩類は異なる)、スラウェシ島のNorth Armの花崗岩類(West Armの岩体は異なる)、フィリピンのネグロス島の閃緑岩類、ミンダナオ島東部の閃緑岩類は酸化的な磁鉄鉱系列の貫入岩であり、白金族元素を伴うフィリピン西ルソン弧の斑岩銅鉱床を伴う貫入岩と同じような岩石化学的特徴をもつことが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：Redox condition of intrusive rocks associated with porphyry copper deposits in South East Asia and Mongolia has been examined, and their resource potentials of platinum group elements and other rare metals have been evaluated. Granitic rocks in Lori belt in Thailand (those without reduction of contaminated carbonaceous sedimentary rocks), Cretaceous and younger granitic rocks in North Sumatra, Indonesia (excluding those older than Triassic), granitic rocks in North Arm in Sulawesi (except many those in West Arm), dioritic rocks in southwestern Negros and eastern Mindanao, Philippines, are magnetite-series granitic rocks, thus, oxidizing, and petrochemical similar to the intrusive rocks in western Luzon arc, Philippines, which are associated with porphyry copper deposits accompanying platinum group elements,

研究分野：鉱床学

キーワード：マグマの酸化還元状態 花崗岩系列 マグマ熱水系 斑岩銅鉱床 レアメタル 白金族元素 東南アジア モンゴル

### 1. 研究開始当初の背景

日本は、そのほとんどの金属資源をこれまでの歴史で採掘してしまい、現在生産している金属鉱山は5指にも満たない。現在日本では非常に多くの金属鉱石を輸入し、産業、社会を支えている。このような背景のもとで、日本の企業も海外で積極的に資源探査を行ない、資源の安定供給をはかっている。特に高度のハイテク機器の生産には、いわゆるレアメタルが欠かせないが、レアメタル資源は非常に少数の資源保有国に依存している。レアメタルの中でも、化石燃料の消費を少なくしCO<sub>2</sub>排出量の少ない社会を築くために欠かせない元素が、燃料電池に必須の白金族元素と、ハイブリッド自動車のモーター等の強力小型磁石に必須の希土類元素である。白金族元素は、南アフリカが世界最大の保有国であり、プッシュフェルト岩体のクロミタイト層からそのほとんどを産しているが、その他の超塩基性～塩基性層状貫入岩体や、オフィオライト岩体などのほか、近年、東南アジアおよび西太平洋島弧の中性～酸性貫入岩体に伴われる熱水鉱床である斑岩鉱床においても、白金族元素の濃集が認められることが見いだされていた (Imai, 2001)。

フィリピン、西ルソン弧の新第三紀～第四紀のマグマ活動については、微斑晶燐灰石中のSO<sub>3</sub>含有量に基づいて、マグマの酸化状態を系統的に解析することによって、これまで、斑岩銅鉱化作用を伴うマグマ活動も伴わないマグマ活動も共通して、また、深成岩、浅所貫入岩、噴出岩に共通して、中新世から第四紀まで連続して、マグマ中に硫黄が、酸化化学種(硫酸塩)が卓越して溶存していたことが示されており、中性～珪長質マグマの発生の場合または分化の初期にすでにマグマが酸化性であった可能性が示されており、マグマ発生に関与した流体が酸化性であった可能性が示唆されている (Imai, 2002)。しかし、その他の火成弧については、系統的なデータが示されていない。西ルソン弧の Santo Tomas II 斑岩銅鉱床では、白金族元素が見いだされていた (Imai, 2001) が、その他の火成弧の斑岩銅鉱床の鉱石鉱物については、詳しい報告がされていない。

インドネシアでは、スンダーバンダ弧においては、Batu Hijau 鉱床などについて、鉱石中の微量元素や、鉱石鉱物について詳しく調べられているが、スラウェシ島には、斑岩銅鉱床が分布することが知られているにもかかわらず、貫入岩類の岩石化学的特徴やマグマの酸化状態に基づく岩石系列の系統的な解析も行なわれていなかった。また、スマトラ島に分布する花崗岩類については、岩石化学的特徴に関する研究はこれまでほとんど行われてきておらず、マレー半島や、いわゆる錫ベルトの花崗岩との関係などもほとんど分かっていなかった。

タイにおいては、ルーイ-ペチャブン帯の二疊紀～三疊紀の火山岩類に胚胎する浅熱

水金鉱床の周辺において、近年、斑岩銅鉱床の徴候が見いだされており、また、スカルン鉱床を対象とした鉱山が操業している。しかしながら、貫入岩類の岩石化学的特徴についてはほとんど明らかにされていなかった。

中央アジアにおいても多くの斑岩型鉱床などのマグマ熱水系において生成した鉱床が知られている。中央アジアは古生代から中生代にかけての島弧の衝突により成長したが、それらの島弧のマグマ活動の産物である貫入岩類に伴われて多くの斑岩型鉱床が生成したが、白金族元素の資源ポテンシャルに関する情報はほとんどなく、これらを明らかにすることが急務となっていた。

### 2. 研究の目的

中央アジアおよび東南アジアの貫入岩類に伴われる斑岩型の鉱床において、白金族元素を含むレアメタルの濃集が期待されながら、貫入岩類の酸化還元状態に基づく岩石系列がまだ明らかになっていないモンゴルのゴビ地域およびバヤンホンゴール地域、タイのルーイ-ペチャブン帯、インドネシアのラウエシ島、スマトラ島北部、フィリピンのミンダナオ島東部、ネグロス島およびルソン島を対象として、マグマの酸化状態を系統的に解析することと、またこれらの地域の花崗岩類に伴われる熱水鉱床について、鉱石中の白金族やレアメタルを含む鉱物の産状を解析し、副成分産物としての白金族元素などのレアメタルの資源ポテンシャルを評価することを目的とした。

### 3. 研究の方法

モンゴルのゴビ地域およびバヤンホンゴール地域、タイのルーイ-ペチャブン帯、インドネシアのスラウエシ島、スマトラ島北部、フィリピンのミンダナオ島東部、ネグロス島およびルソン島を対象として、斑岩銅鉱床などの熱水鉱化作用を伴っている中性～珪長質貫入岩類について、精密な地質調査を行ない、野外において帯磁率の測定を行うとともに、空間的に系統的に詳細に観察して、岩石試料を採取した。

地質調査により採取された試料について、貫入岩類の組織の観察(顕微鏡下での観察、走査型電子顕微鏡に取り付けたカソードルミネッセンスを用いた石英の内部構造観察)、鉱物学的検討(とくに石英中に含まれる微量元素、燐灰石および黒雲母に含まれる硫黄、フッ素、塩素含有量の定量分析)と、全岩化学組成(主成分元素および微量元素)の詳細な解析から、マグマの酸化状態、固結結晶化とマグマからの熱水の分離タイミング、温度について検討するとともに、熱水の分離メカニズムと微量元素の挙動を解析し、伴われるレアメタル資源のポテンシャルとの関係を検討する。また、採取された鉱石鉱物を顕微鏡下で詳しく検討し、鉱石鉱物の産状を解析するとともに、鉱石の微量成分元素について

精密に定量分析を行なった。

#### 4. 研究成果

本研究の実施期間中にえられた成果について、研究対象地域ごとに記述する。

##### (1) モンゴル ゴビ地域およびバヤンホンゴール地域

斑岩型鉍化作用の探査が行われているゴビ地域の Zoon Mod 鉍徴地と、バヤンホンゴール地域の Kharaatyagaan 岩体を研究対象とした。両地域とも、貫入岩体の頂部に、櫛歯状石英のレイヤーが貫入岩体内に同心円状に発達する、単一方向固結化組織 (Unidirectional Solidification Texture: 以下 UST) が認められた。櫛歯状石英のレイヤーは、細粒のカリ長石と石英を主とするアプライト質のレイヤーと互層している。また、Zoon Mod 鉍徴地の主たる貫入岩体の頂部では、UST のレイヤーは互層しておらず、粗粒の自形石英 (厚さ数 m) の 1 回の結晶化サイクルのみからなり、粗粒の白雲母、カリ長石を伴うペグマタイトと呼べるものであることが明らかとなった。また、貫入したマグマの壁面から内側に向かって晶出、固結していくと考えられるが、そのようにして晶出した石英が、破碎されて、未固結のマグマ中に落下し、捕獲された状態で周囲のマグマが固結したような産状も認められた。花崗岩質マグマは、初生的には磁鉄鉍系列の酸化的なマグマであったと考えられるが、最末期まで珪長質に分化が進んでおり、苦鉄質鉍物や鉄チタン酸化鉍物をほとんど含んでおらず帯磁率は典型的な磁鉄鉍系列の値よりもかなり低い。マグマの結晶化固結の進行による揮発性成分の飽和による流体相の分離が起こったと推察される。濃集しているレアメタルとしてはモリブデン、タングステンが認められる。

##### (2) タイ ルーイ ペチャブン帯

ルーイ-ペチャブン帯の二疊紀～三疊紀の火山岩類に胚胎する浅熱水金鉍床の周辺において、近年、斑岩銅鉍床の徴候が見いだされており、また、スカルン鉍床を対象とした鉍山が操業している。ルーイ-ペチャブン帯の二疊紀～三疊紀と考えられる貫入岩類、および伴われる鉍床について研究対象とした。

ルーイ-ペチャブン帯の花崗岩類の帯磁率は、一部で高い値を示す岩体もあり ( $10 \times 10^{-3}$  SI unit)、そのような岩体には、磁鉄鉍スカルンを伴うこともあるが、一般に低く ( $1 \times 10^{-3}$  SI unit 以下) 岩石系列としては、チタン鉄鉍系列に分類されるものが多い。また、ルーイ地方のスカルン鉍床である Phu Thap Fah 鉍山では、鉍石鉍物は磁硫鉄鉍を含む組み合わせからなり還元的な環境が示唆されている。しかし鉍石鉍物の硫黄同位体比を測定したところ、 $\delta^{34}\text{S}$  値が負の値を持つことが多く、有機物を含む還元的な堆積岩類を混染したために、花崗岩質マグマが還元され

たものと推察される。斑岩型鉍床や磁鉄鉍スカルンが分布することから、ルーイ-ペチャブン帯の花崗岩質マグマは初生的には酸化的な磁鉄鉍系のマグマであると推定される。現段階では、白金族元素や、その他のレアメタルに関する定量的な資源ポテンシャルに関する評価はできなかったが、フィリピンの西ルソン弧や、インドネシアのスンダーバング弧と同じような、斑岩銅鉍床のポテンシャルのある火成弧であることが確認された。

##### (3) インドネシア スマトラ島北部

本研究期間中には、スマトラ島北部の Sibolga 地域の花崗岩類について検討した。Sibolga 地域の花崗岩類は三疊紀以前の Sibolga 岩体などと古第三紀以後の Kotanopan 岩体などに区分できることが明らかとなった。三疊紀以前の Sibolga 岩体などは、帯磁率が低く、還元的なチタン鉄鉍系の花崗岩類であり、マレー半島の中央帯の花崗岩類に類似する特徴を持つことが明らかとなった。それに対し、古第三紀以後の Kotanopan 岩体などは、帯磁率が高く、酸化的な磁鉄鉍系の花崗岩であることが明らかとなった。また、古第三紀以後の Kotanopan 岩体などのマグマは、プレート沈み込み帯の火成活動による活動であることが明らかとなった。これらの古第三紀以後の Kotanopan 岩体など分布範囲には、金、ベースメタルの鉍化作用の兆候が認められることが野外調査で判明した。調査地域には、地質学的により若い時代の、インド洋プレートの沈み込みによる島弧火成活動に伴われるマグマ熱水系による高硫化型浅越水鉍床である Martabe 鉍床が存在している。古第三紀以降の島弧における火成活動に伴われて白金族元素の濃集が認められる斑岩型の鉍化作用が存在するポテンシャルがあると考えられる。

三疊紀以前の Sibolga 岩体などの花崗岩類には、モナズ石などの燐酸塩鉍物が含まれており、希土類元素の含有量が高く (全岩の総希土類元素が 500ppm 程度)、また、非常に厚い風化殻が発達しており、希土類元素鉍床のポテンシャルがあることが明らかになった。三疊紀以前の Sibolga 岩体などの花崗岩類は、新第三紀ごろまでに一度、地表に露出して風化作用を受けたが、中新世の陸上噴火の火山岩類に一旦被覆されていたと考えられる。中新世以降の火山岩類が浸食、剝削されて、三疊紀以前の Sibolga 岩体などの花崗岩類が、再度地表に露出して、現生の風化作用を受けている。今回の調査の野外観察により、三疊紀以前の Sibolga 岩体などの花崗岩類のこのような地史と、露出した期間が長いことにより、花崗岩風化殻中のイオン吸着による希土類元素鉍床のポテンシャルが高まったことが明らかになった。

##### (4) インドネシア スラウェシ島

スラウェシ島には、花崗岩類は広く露出し

ているが、斑岩銅鉱床は North Arm にのみ分布している。スラウェシ島の North Arm から West Arm にかけて分布する花崗岩類について、岩石化学的特徴を、Sr 同位体比、全岩化学組成を用いて検討した。スラウェシ島の North Arm 花崗岩類は、帯磁率が高い酸化的な磁鉄鉱系の花崗岩類であることと、苦鉄質な火成岩を起源物質として部分溶融によって生じたマグマであることが明らかになった。これに対し、本研究で調査対象となった West Arm の多くの花崗岩類の岩体は、堆積物を含む、上部地殻の珩長質な岩石を起源物質として部分溶融により生じたことが明らかになった。現段階では、白金族元素や、その他のレアメタルに関する定量的な資源ポテンシャルに関する評価はできなかったが、スラウェシ島の North Arm は、フィリピンの西ルソン弧や、インドネシアのスンダーバンダ弧と同じような、斑岩銅鉱床のポテンシャルのある火成弧であることが確認された。

#### (5) フィリピン ミンダナオ島東部

ミンダナオ島の東南部の貫入岩類については、Suerte et al. (2009)により、帯磁率が高く ( $30 \times 10^{-3}$  SI unit 程度) 典型的な酸化的な磁鉄鉱系列である。また、ホルンブレンドおよび黒雲母は Mg/(Mg-Fe) 値が高く (モル比で 0.7 程度)、燐灰石微斑晶は高い  $SO_3$  含有量 (0.5%程度)、高いハロゲン量を持ち、ルソン島 (西ルソン弧) の斑岩銅鉱床を伴う貫入岩で報告されているものと同じ特徴をことが報告されている。本研究期間では、Masara 鉱山 (浅熱水金鉱床) の周辺において、斑岩銅鉱床の探査が行われており、地表の調査とともに、ボーリングコアの提供も受けて本研究を遂行した。

Masara 鉱山周辺の斑岩銅鉱微地における貫入岩類はホルンブレンドの斑晶を含み閃緑岩質であり、帯磁率が高く ( $30 \times 10^{-3}$  SI unit 程度) 典型的な酸化的な磁鉄鉱系列のマグマが固結した岩体である。ボーリングでは、磁鉄鉱を伴う、塊状の石英脈複合体 (コア長で数 10m に及ぶ) が捕捉されており、この石英の流体包有物は NaCl の娘結晶を含む高温 (約 500 でトラップされた高塩濃度 (NaCl 約 60%) の流体包有物であることが本研究で明らかとなった。このような磁鉄鉱を伴う塊状石英脈複合体は、白金族元素を伴う斑岩銅鉱床であるフィリピン ルソン島北部の Santo Tomas II 鉱床やインドネシア スンバワ島の Batu Hijau 鉱床の磁鉄鉱を伴う塊状石英脈複合体に非常に類似しており、推定される熱水の温度や科学的特徴も類似している。この地域も、ルソン島の西ルソン弧の斑岩銅鉱床と同じように白金族元素などを伴うポテンシャルがあると考えられる。

#### (6) フィリピン ネグロス島

ネグロス島の西南部では、かつて斑岩銅鉱床の Sipalay 鉱山や Basay 鉱山が操業してい

たが、花崗岩質貫入岩に関して、ほとんど研究例がなく、花崗岩類の特徴などのデータが乏しかった地域であった。本研究期間中に、かつての Sipalay 鉱山での探査が行われており、地表の調査とともに、ボーリングコアの提供も受けて本研究を遂行した。

貫入岩類はホルンブレンドの斑晶を含み閃緑岩質であり、帯磁率が高く ( $30 \times 10^{-3}$  SI unit 程度) 典型的な酸化的な磁鉄鉱系列のマグマが固結した岩体である。また、ホルンブレンドおよび黒雲母は Mg/(Mg-Fe) 値が高く (モル比で 0.7 程度)、燐灰石微斑晶は高い  $SO_3$  含有量 (0.5%程度)、高いハロゲン量を持ち、ルソン島 (西ルソン弧) やミンダナオ島東部の斑岩銅鉱床を伴う貫入岩で報告されているものと同じ特徴を示している。この地域も、ルソン島の西ルソン弧の斑岩銅鉱床と同じように白金族元素などの副産物を伴うポテンシャルがあると考えられる。

Sipalay 鉱山に隣接する鉱微地で掘削されたボーリングコアにおいて、閃緑岩中に波打った石英細脈 (幅約 1cm) や粗粒自形石英 (最大長径 3cm) が見られた。これらの石英は、カソードルミネッセンスを用いた石英の内部構造観察や微量元素含有量 ( $TiO_2$  含有量) から推定された晶出温度より、熱水から晶出したものではなく、マグマから晶出した結晶を捕獲した外来の岩片、結晶片と判断された。また、これらの石英には黄銅鉱や輝水鉛鉱が伴われている。組織の類似性から、これらの石英はモンゴルの研究結果で述べたものと同じように、貫入したマグマの壁面から晶出した石英が、破碎されて、未固結のマグマ中に落下し、捕獲された状態で周囲のマグマが固結したものと考えられる。分化前のマグマは閃緑岩質であったが、マグマの結晶化固結の進行による揮発性成分の飽和による流体相の分離が起こったと推察される。濃集しているレアメタルとしてはモリブデンが認められる。

#### (7) フィリピン ルソン島

ルソン島の北部では、これまでも多くの斑岩銅鉱床が開発されて、多くの研究も行われてきたが、今なお、鉱床探査が行われている鉱微地がいくつも存在するポテンシャルの高い地域である。本研究期間中には、バギオ地域南部の Santo Tomas II 鉱床周辺の鉱微地、マンカヤン地域 Lepanto 鉱床周辺、ヌエヴァヴィスカヤ地域 Runruno 鉱床、の 3 地域を研究対象とした。明らかになった成果を以下に述べる。

##### バギオ地域 Santo Tomas II 鉱床周辺

Santo Tomas II 斑岩銅鉱床からは、白金族元素を含む鉱物の産出が知られている (Imai, 2001 など)。Santo Tomas II 鉱床周辺の貫入岩体の分布する地域についての探査の中で、Clifton 鉱微地において、斑岩銅鉱床を特徴付ける熱水成黒雲母化変質作用を伴う鉱化

作用が捕捉されている。磁鉄鉱を伴う石英細脈帯も捕捉されており、石英細脈の流体包有物は、Santo Tomas II 鉱床と同様にこの石英の流体包有物は NaCl の娘結晶を含む高温(約 500 でトラップされた高塩濃度 (NaCl 約 60%) の流体包有物であることが本研究で明らかとなった。周辺の鉱徴地の閃緑岩質貫入岩の燐灰石の SO<sub>3</sub> 含有量も Santo Tomas II 鉱床と同じように高く (0.5%程度) 酸化的である。Santo Tomas II 鉱床周辺の鉱徴地の斑岩銅鉱床においても白金族元素などの副産物を伴うポテンシャルがあると考えられる。

#### マンカヤン地域 Lepanto 鉱床周辺

マンカヤン地域では、従来から採掘されていた高硫化系浅熱水金鉱床の Lepanto 鉱山の近傍に、高品位の斑岩銅鉱床である Far Southeast 鉱床が発見されているが、周辺で継続されていた探査により、生成年代の異なる複数の斑岩銅鉱床の存在が示唆されている。これら周辺お鉱徴地の斑岩銅鉱床においても白金族元素などの副産物を伴うポテンシャルがあると考えられる。

#### ヌエヴァヴィスカヤ地域の Runruno 鉱床

フィリピンでは稀であるアルカリ岩である Cordon 閃長岩貫入複合岩体に胚胎している金-モリブデン鉱床である。鉱化帯周辺の母岩の一部は珪化し、溶脱により多孔質になっている。この産状は、高硫化系浅熱水鉱床の多孔質珪化岩に類似している。また、高温の火山ガスの噴気孔の周囲に珪化岩が発達し、火山ガスからのモリブデンの昇華物が生じている産状にも類似しており、この Runruno 鉱床を生成した深部には斑岩型の鉱床が存在し白金族元素や希土類元素などのレアメタルを含むポテンシャルが高いと考えられる。

#### <引用文献>

- (1) Imai, A. (2001) Generation and evolution of ore fluids for porphyry Cu-Au mineralization at the Santo Tomas II (Philex) deposit, Philippines. *Resource Geology*, v. 51, p. 71-96.
- (2) Imai, A. (2002) Metallogeneses of porphyry Cu-Au deposits of the western Luzon arc, Philippines: K-Ar ages, SO<sub>3</sub> contents of microphenocrystic apatite and significance of intrusive rocks. *Resource Geology*, v. 52, p. 147-161.
- (3) Suerte, L. O., Imai, A. and Nishihara, S. (2009) Geochemical characteristics of intrusive rocks, southeastern Mindanao, Philippines: Implication to metallogeneses of porphyry copper-gold deposits. *Resource Geology*, v. 59, p. 244-262.

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 18 件)

- (1) Padrones, J. T., Tani, K., Tsutsumi, Y. and Imai, A., Imprints of Late Mesozoic tectono-magmatic events on Palawan Continental Block in northern Palawan, Philippines. *Journal of Asian Earth Sciences* (accepted) DOI: 10.1016/j.jseaes.2017.01.027 (査読有)
- (2) Saing, S., Takahashi, R. and Imai, A. (2016) Fluid inclusion and stable isotopes study on the southeastern Martabe deposit: Purnama, Barani and Horas ore bodies, North Sumatra, Indonesia. *Resource Geology*, v. 66, p. 127-148. DOI: 10.1111/rge.12093 (査読有)
- (3) Maulana, A., Imai, A., Watanabe, K., Yonezu, K., Nakano, T., Page, L., Schersten, A., Boyce, A. and van Leewuen, T. (2016) Petrochemistry of Late Cenozoic granitic rocks in Sulawesi, Indonesia: Origin and geodynamic setting. *Journal of Asian Earth Sciences*. v. 124, p. 102-125. DOI: 10.1016/j.jseaes.2016.04.018 (査読有)
- (4) Sanematsu, K., Kon, Y. and Imai, A. (2015) Influence of phosphate on mobility and adsorption of REEs during weathering of granites in Thailand. *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 111, p. 14-30. DOI: 10.1016/j.jseaes.2015.05.018 (査読有)
- (5) Ishihara, S. and Imai, A. (2014) Oxidized granitic magmas and porphyry copper mineralization. In S. Kumar and R. N. Singh (eds.), *Modelling of Magmatic and Allied Processes*. Society of Earth Scientists Series, Springer International Publishing, Switzerland, p. 209-223. DOI: 10.1007/978-3-319-06471-0\_10, (査読有)
- (6) Erdenebayar, J., Ogata, T., Imai, A. and Sereenen, J. (2014) Textural and chemical evolution of unidirectional solidification textures in highly differentiated granitic rocks at Kharaatyagaan, Central Mongolia. *Resource Geology*, v. 64, p. 283-300. DOI: 10.1111/rge.12050 (査読有)

(7) Imai, A., Yonezu, K., Sanematsu, K., Ikuno, T., Watanabe, K., Pisutha-Arnond, V., Nakapadungrat, S. and Boosayasak, J. (2013) Rare earth elements in hydrothermally altered granitic rocks in the Ranong and Takua Pa tin field, southern Thailand. *Resource Geology*, v. 63, p. 84-98. DOI: 10.1111/j.1751-3928.2012.00212.x (査読有)

(8) Dimalanta, C. B., Yumul, G. P., Jr. and Imai, A. (2013) Geodynamic evolution of the Baguio Mineral District: Unlocking the Cenozoic record from clastic rocks. *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 65, p. 118-130. doi: 10.1016/j.jseaes.2012.09.026. (査読有)

[学会発表](計 54 件)

(1) Saito, T., Imai, A. and Takahashi, R. Characteristics of the intrusive rocks associated with porphyry-type copper-molybdenum mineralization and the occurrence of coarse-grained quartz crystals in the intrusive rock, in Southwestern Negros Island, Philippines. JSPS Asian African Science Platform Program, 6th Asian African Mineral Resources Conference, 13 - 16 September, 2016 秋田大学 (秋田県・秋田市)

(2) Leido, M. L. S., Imai, A. and Comsti, M. E. C. Ore and alteration mineralogy of the Runruno Mineral Resource Area, Municipality of Quezon, Nueva Vizcaya, Philippines: Insights into the genesis of the Au-Mo mineralization hosted in alkalic rocks. JSPS Asian African Science Platform Program, 6th Asian African Mineral Resources Conference, 13 - 16 September, 2016 秋田大学 (秋田県・秋田市)

(3) Cirineo, A. V. L., Imai, A., Takahashi, R., Baluda, R. P., Maglambayan, V. B., Estacio, R. C. and Galapon, J. P. Geochemistry of the intrusive rocks and characteristics of fluid inclusions in the quartz veins in the Clifton porphyry copper-gold prospect, Baguio district, northern Luzon, Philippines. 66th Annual Meeting of the Society of Resource Geology, 2016年6月23日, 東京大学 (東京)

(4) Oyama, K., Takahashi, R. and Imai, A.

Characteristics of gold-silver and base metal mineralization at the Masara mine and surrounding area, southeastern Mindanao, Philippines. 66th Annual Meeting of the Society of Resource Geology, 2016年6月23日, 東京大学 (東京)

(5) Padrones, J. T., Imai, A., Takahashi, R., Ratio-Gabo, J. A. S. and Tani, K. Petrogenesis, geochemistry and REE mineralization of the ilmenite-series granitoids in Northern Palawan, Philippines. American Geophysical Union 2015 Fall Meeting, 14-18 December 2015, San Francisco (USA)

(6) Imai, A., Osone, R., Takahashi, R. and Pratiwi, S. D. Rare earth elements geochemistry of granitoids in Belitung Island, Indonesia. JSPS Asian African Science Platform Program, 5th Asian African Mineral Resources Conference, 25-26 July 2015, Manila (Philippines)

(7) Setiawan, I., Takahashi, R. and Imai, A. Mineralogy and geochemistry of ilmenite and magnetite-series granitoids associated with REE mineralization in the North Sumatra, Indonesia. 65th Annual Meeting of the Society of Resource Geology, 2015年6月25日, 東京大学 (東京)

(8) Saing, S., Takahashi, R. and Imai, A. Characteristics of ore-bearing fluid at the Southeast Martabe high-sulfidation epithermal deposit, North Sumatra, Indonesia. 65th Annual Meeting of the Society of Resource Geology, 2015年6月25日, 東京大学 (東京)

(9) Takahashi, R., Chida, Y., Imai, A., Charusiri, P. and Blamey, N. Geochemical characteristics of epithermal Au-Ag and porphyry Cu-Mo mineralization in the Chatree mining district, Thailand. 2014 International Mineralogical Association (IMA) Conference, 1-5 September 2014, Sandton-Johannesburg (South Africa)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

今井 亮 (IMAI, Akira)

秋田大学・大学院国際資源学研究所・教授  
研究者番号: 90223304