

平成 26 年 6 月 6 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2010～2013

課題番号：22254008

研究課題名(和文) アフリカ・東南アジアのレアメタル資源ポテンシャル評価と資源データモデルの開発

研究課題名(英文) Investigation of data model and potential evaluation for rare metal resources in Africa and ASEAN region

研究代表者

渡邊 公一郎(WATANABE, KOICHIRO)

九州大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：10182916

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 37,200,000円、(間接経費) 11,160,000円

研究成果の概要(和文)：多くの鉱物・エネルギー資源を海外依存する我が国では、資源安定供給に向けて継続的に学術的な資源探査を行うことは必須であり、本研究では、レアメタル・金属・炭化水素資源を含む地下資源ポテンシャル評価のための新しい資源データモデル開発をアフリカ及び東南アジア各国の資源国で行った。

結果、エジプト・シナイ半島の重希土類元素濃集帯、アルジェリア南部・ホガールでのレアメタル花崗岩体の発見、リビアでのリモートセンシングによる炭化水素資源の抽出を成し遂げた。東南アジア・モンゴルでは金、希土類元素、スズ、タングステン、モリブデンの新たな濃集地域の発見および既存鉱床の成因モデル開発を行い、探査・開発の指針を示した。

研究成果の概要(英文)：In order to evaluate various kinds of earth resources including rare metal, mineral and hydrocarbon resources, the new earth resources data model development was demonstrated in African and Asian earth resources countries.

In North Africa, REE heavily concentrated layer was newly found in Sinai, Egypt. In Algeria, so called, rare metal granite was re-evaluated and we confirmed its resource potential in Hoggar. In addition, hydrocarbon resource extraction using remote sensing was successfully applied.

In Southeast Asia region and Mongolia, gold, REE, tin, tungsten as well as molybdenum prospects and deposits were investigated and their genesis was clarified for the suggestion of guideline of earth resources exploration and development.

研究分野：資源工学

科研費の分科・細目：地球・資源システム工学

キーワード：鉱物資源 アフリカ 東南アジア 希少資源

1. 研究開始当初の背景

鉱物・エネルギー資源は我が国の産業の最上流に位置し、我が国の経済・社会の存続のために必要不可欠である。地球資源のほぼ全てを輸入に頼る我が国では、今世紀前半にも供給困難になる資源が出るのが懸念され、昨今、言われているレアメタル資源の供給懸念はその代表的なものである。我が国が将来の資源枯渇危機を乗り切るためには、近隣の友好的な資源国（インドネシアやフィリピン等の東南アジア諸国）との連携に加えて、政治的不安定要素はあるものの、将来の資源安定供給に向けたアフリカ地域（エジプト・リビア等）との緊密な関係が必要である。これらの諸国における資源探査、開発、環境保全に関わる体系的な地下鉱物・エネルギー資源ポテンシャル評価は、21世紀を我が国がアフリカ・アジア地域とともに共存し存続するために必要不可欠な研究である。

申請者らは H18～H21 年度にかけて基盤研究 B により、地下資源データモデルの基礎となる資源データ集積を東南アジア、主としてインドネシアをモデル地区として行ってきた。この研究では地球資源データをデータベース内で統合的に地質学的モデルとして構築し、地球資源や地球環境に関する複数のデータセットを効率良く扱うことで複数のデータ間の相関を容易に見いだせるようにした。このデータベースを GIS(地理情報システム)と直接リンクさせてデータベースの内容を高度に可視化し空間的に扱えるようにし、種々の地質及び地化学データを組み合わせることにより、3次元環境で複数のデータセットの統合、可視化、解析を可能とした。またデータの一部は高精度の年代測定データとリンクさせて、時間軸を入れた4次元解析を行った。この研究において、スンダバンダ弧に位置するポンコール金鉱床やバツヒジャウ銅鉱床といった既存の大規模な金・銅の鉱化作用に加えて、我々の研究グループもジャワ島中央部から東部にかけてのセロギリ・パチタン・トレンガレックの各地区において、浅熱水性の金鉱化及び斑岩銅型の銅鉱化作用を発見し、データベース化してきた。一方で、資源採掘に伴う環境汚染、特に水銀による金の小規模精錬の実情調査を行い、資源開発に伴う環境汚染インパクトの評価も資源ポテンシャル評価と同時に進めてきた。

この資源データ集積はインドネシア周辺のフィリピン・タイ・マレーシア等に現在も拡大進行させている最中であり、本研究において、質の高い地球資源情報の収集と、各鉱床の成因の研究、資源生成の背景を形成する火成活動史、テクトニクス変遷なども併せて解析することで東南アジア諸国の地下資源ポテンシャル評価を継続的に進めている。また、リモートセンシング技術を最大限に活用し、調査対象域における砂漠・森林地帯等のアクセスが容易でない部分の地下資源ポテンシ

アル評価も今後の重要な研究課題である。

2. 研究の目的

多くの地下資源（鉱物及びエネルギー資源）を海外に依存する我が国において、資源安定供給に向けて継続的に学術的な資源探査を行うことは不可欠である。本申請では、レアメタル・金属・炭化水素資源を含む地下資源ポテンシャル評価のための新しい資源データモデルを開発する。

アフリカ及び東南アジア各国の地下資源ポテンシャルは莫大であると考えられているが、どのような資源をどの程度保有しているのか、科学的根拠に基づく情報が大きく欠落している。そのためどの地域をどのように探査・開発すべきか、という効率的な指針を各国で明確にできておらず、結果として無計画な資源開発による深刻な環境汚染・自然破壊をもたらしている。当該地域への我が国の開発援助は効果的に実施されているとはいえず、本研究では当該地域の地下資源ポテンシャルを正確に評価し、確度ある資源データモデルを開発することを目指す。

また、大規模な国際共同研究を、これまでに従事してきた東南アジア諸国との緊密なネットワーク、アフリカ諸国から受け入れてきた研究者・留学生実績に基づいた国際ネットワークを最大限に活用してアフリカ・東南アジア諸国へ展開することが特徴の一つであり、連携研究者にはそれらの地域の地質・鉱物・エネルギー・環境科学分野といった広い領域をカバーできる専門家がおり、日本も含めた彼ら若手研究者の地球資源・環境分野における国際教育を兼ねた学際的な研究を行う。

3. 研究の方法

当該研究は大きくフィールド調査、実験分析、データモデル作成の3つの分野に大別することができ、研究代表者・分担者はそれぞれの専門分野を主として担当するが、各人が3つの分野のすべてに関わることでより研究の連携を深めながら遂行する。フィールド調査では、調査対象各国の研究者を研究協力者として加えることで、現地調査の円滑化を図り、学際的な研究、人材交流も含めた長期的な視野に立つ。また、大学院生をフィールド調査分野、実験分析分野、データモデル作成分野にそれぞれ最大で18名、5名、5名程度を充てて、教育と研究の両立を図りながら進めた。リモートセンシング、GIS、データモデル作成についてはその専門家を研究協力者として支援にあてることで、データモデル開発の一助とした。

採取してきた地化学試料に対して用いた分析手法は鉱物組成をX線回折分析で、主要元素の化学組成を蛍光X線分析で、微量元素を原子吸光分析及びICP発光分析で、希土類元素を含む極微量元素をICP質量分析でそれぞれ行った。また、鉱化流体の温度・塩濃度の

推定を流体包有物均質化温度測定で、その化学組成を顕微赤外分析で、鉱物の化学分析をSEM-EDX（電子顕微鏡）でそれぞれ行った。

4. 研究成果

(1) アフリカ北部（エジプト・アルジェリア・リビア）におけるレアメタル資源調査：フィールド調査により地質試料を採取し、室内においてX線回折分析、蛍光X線分析、原子吸光分析、ICP分析、希土類元素の定量・段階抽出などを行い、レアメタル濃集機構についても検討した。日本では現在これらの地域の資源情報が乏しいため現地とのパイプ作り、人材交流も活発に行った。エジプトではシナイ半島のラテライトあるいは鉄・マンガン堆積物中に伴われる希土類元素及び東砂漠地域の金・希土類元素について、アルジェリアでは鉄・スズ・タングステンを中心とした資源調査を行った。また、リビアではリモートセンシング技術を駆使して、その鉱物・炭化水素資源の評価への応用を行った。これらの結果、エジプトではシナイ半島にて、風化層中に、高濃度希土類元素が含まれることを見出したり、東砂漠地域にてタンタル・ニオブに富む岩体を発見したりした。また、アルジェリアでは、南部ホガール地域にて、スズ及びタングステンの鉱化作用を中心に調査し、その他レアメタルであるニオブ・タンタル・リチウムに富む、いわゆるレアメタル花崗岩体を見出した。

(2) 東南アジア（インドネシア、フィリピン、カンボジア、マレーシア、ミャンマー）におけるレアメタル資源調査：現地フィールド調査や試料採取を行い、また室内においてX線回折分析、蛍光X線分析、原子吸光分析、ICP分析、流体包有物均質化温度測定などの諸分析を行い、鉱床成因を検討するとともに資源情報の集積を行った。インドネシアでは、ジャワ島における金鉱床の資源調査、スラヴェシ島における花崗岩に伴われるレアメタル資源調査、カリマンタン島におけるスカンジウム資源の調査を中心に行った。その結果、ジャワ島の金鉱床ではその資源が地下深部につながっていること、スラヴェシ島では希土類元素の濃集が一部の風化花崗岩帯で認められたこと、カリマンタン島ではボーキサイトに伴われるスカンジウムが近くに比べて数倍～十倍程度濃集していることを見出したりした。フィリピンでは銅-金資源ポテンシャルを伴うマグマ性流体の寄与が認められる熱水の活動を確認したり、ニッケルラテライトに伴われる有用微量金属に焦点を当て、希土類元素、スカンジウム、白金の資源ポテンシャルを見出したりした。カンボジアではモリブデンを特に含む花崗岩帯を見出した。マレーシアでは、金鉱化帯の調査を行った。砂金や変成水によってもたらされた再移動により黄鉄鉱中に濃集した金を認められたが、その他のレアメタル資源は確認できなかった。ミャンマーでは、スズ・タングステ

ン鉱化帯を中心に調査を行ったが、その一部に特異に重希土類元素に富むタングステン鉱物を見出し、その周辺の調査を広く行った。(3) モンゴルにおけるレアメタル資源調査：ウランバートル周辺における造山性金鉱徴地調査を行い、試料採取を行い、室内においてX線回折分析、蛍光X線分析、原子吸光分析、顕微赤外分析、流体包有物の均質化温度測定などを行い、さらに鉱床成因についても検討した。金の鉱化には少なくとも2ステージが認められた。また、予察的にモンゴル西部・南部の花崗岩体を調査した結果、木道理元素の濃集が認められた。

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65件)

1 .H. Li, K. Watanabe and K. Yonezu, Zircon morphology, geochronology and trace element geochemistry of the granites from the Huangshaping polymetallic deposit, south China, *Ore Geology, Reviews*, 査読有, vol. 60, 2014, 14-35

2 .R. Takahashi, H. Matsueda, V. Okurugin, N. Shikazono, S. Ono, A. Imai, E. Andreev and K. Watanabe, Ore-forming Ages and Sulfur Isotope Study of Hydrothermal Deposits in Kamchatka, Russia, *Resource Geology*, 査読有, vol.63, 2013, 210-223

3 .W. Khant, I. W. Warmada, A. Idrus, L. D. Setijadji and K. Watanabe, Host rock 's geochemistry and mineralization potential of polymetallic epithermal quartz veins at Soripesa prospect area, Sumbawa island, Indonesia, *J. Southeast Asian Applied Geology*, 査読有, vol.5 2013, 30-40

4 .S. Ryu, H. Kitagawa, E. Nakamura, T. Itaya and K. Watanabe, K-Ar Analyses of the post caldera lavas of Bratan volcano in Bali island, Indonesia, *J. of Volcanology and geothermal research*, 査読有, vol. 264, 2013, 107-116

5 .A. Maulana, A. G. Christy, D. J. Elis, A. Imai and K. Watanabe, Geochemistry of eclogite- and blueschist-facies rocks from Bantimala complex, south Slawesi, Indonesia: Protolith Origin and Tectonic Setting, *Island Arc*, 査読有, vol. 22, 2013, 427-452

6 .A. IMAI, K. YONEZU, K. SANEMATSU, T. IKUNO, S. ISHIDA, K. WATANABE, V. PISUTHA-ARNOND, S. NAKAPADUNGRAT and J. BOOSAYASAK, Rare Earth Elements in

Hydrothermally Altered Granitic Rocks in the Ranong and Takua Pa Tin-Field, Southern Thailand, Resource Geology, 査読有, vol. 63, 2013, 84-98

7. Christopher Vehe SAGAPOA, Akira IMAI, Takeyuki OGATA, Kotaro YONEZU and Koichiro WATANABE, Lateritization Process of Peridotites in Siruka, Choiseul, Solomon Islands, Journal of Southeast Asian Applied Geology, 査読有, vol.3, 2012, 76-92

8. Nureddin M. SAADI, M. Abdel ZAHER, F. El-BAZ, Koichiro WATANABE, Integrated remote sensing data utilization for investigating structure and tectonic history of the Ghadames Basin, Libya, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 査読有, vol. 13, 2011, 778-791

9. Y. TOHMA, A. IMAI, K. SANEMATSU, K. YONEZU, R. TAKAHASHI, M. KOYAMA, R. SEKINE, R. DUNCAN and K. WATANABE, Characteristics and Mineralization Age of the Fukusen No. 1 vein, Hishikari Epithermal Gold Deposits, Southern Kyushu, Japan, Resource Geology, 査読有, Vol.60, 2010, 348-358

〔学会発表〕(計 9 1 件)

1. K. YONEZU, S. HARA, K. NODA, J. GABO, J. JUANERIO, E. LAGUERTA, R. SANTOS and R. SANTOS, Preliminary study on PGE associated with laterite of MacroAsia's Infanta Nickel Area, Palawan, Philippines, GEOCON 2013, 2013 年 12 月, Manila (Philippines)

2. K. NAKAMURA, K. YONEZU, K. ARIFFIN and K. WATANABE, Orogenic type gold mineralization in Sg. Tarom and Lubuk Mandi, Terengganu, Northeastern Malaysia, Asia Oceania Geoscience Society 2013, 2013 年 6 月, Brisbane (Australia)

3. A. YAMASHITA, K. YONEZU, A. HARIJOKO, K. WATANABE, Volcanic Rocks and Hydrothermal Fluid in Geothermal Area around Tampomas Volcano, West Java, Indonesia, 34th International Geological Congress, 2012 年 8 月, Brisbane (Australia)

4. K. YONEZU, T. SHINKAWA, T. OKITO, M. El-Ahmady IBRAHIM and K. WATANABE, Rare Metals Resource Potential in South Eastern Desert, Egypt: REE bearing laterite in Wadi Natash and Nb and Ta in Abu Rusheid, Biennial meeting of Society of Economic

Geologists 2012, 2012 年 9 月, Lima, (Peru)

5. A. MAULANA, K. WATANABE, K. YONEZU and A. IMAI, Petrology and Geochemistry of Granitic Rocks in South Sulawesi, Indonesia: Implication for Origin of Magma and Geodynamic Setting, International Conference on Earth Science and Engineering, 2012 年 1 月, Switzerland

6. T. SUGA, S. NISHIMURA, A. IMAI, R. TAKAHASHI, T. TANAKA, K. YONEZU, Y. OKAUE and K. WATANABE, Ore-forming Condition of the Keisen No. 3-1 Vein in the Hishikari Gold Deposit, Kagoshima, Japan, Fermor 2011 Ore Deposits in an Evolving Earth, 2011 年 9 月, UK

〔図書〕(計 3 件)

1. 渡邊公一郎 他、朝倉書店(日本地質学会編) 日本地方地質誌 8 九州・沖縄地方、2010

〔その他〕

ホームページ等

<http://xrd.mine.kyushu-u.ac.jp/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡邊 公一郎 (WATANABE Koichiro)

九州大学大学院・工学研究院・教授

研究者番号: 10182916

(2) 研究分担者

米津 幸太郎 (YONEZU Kotaro)

九州大学大学院・工学研究院・助教

研究者番号: 90552208

研究分担者

今井 亮 (IMAI Akira)

秋田大学・工学資源研究科・教授

研究者番号: 90223304

研究分担者

高橋 亮平 (TAKAHASHI Ryohei)

秋田大学・工学資源研究科・助教

研究者番号: 10396286

研究分担者

横山 拓史 (YOKOYAMA Takushi)

九州大学大学院・理学研究院・教授

研究者番号: 20136419

研究分担者

中西 哲也 (NAKANISHI Tetsuya)

九州大学・総合博物館・准教授

研究者番号: 50315115

研究分担者
実松 健造 (SANEMATSU Kenzo)
産業技術総合研究所・地圏資源環境研究部
門・研究員
研究者番号：40462840