

# 資源地質学会第 70 回年会講演会 講演要旨集

Abstracts with Programs

The 70th Annual Meeting of the Society of Resource Geology



日時 令和 3 年 6 月 30 日 (水) ~ 7 月 2 日 (金)

会場 オンライン開催 (Cisco Webex)


資源地質学会賛助会員（順不同）

**DOWA**メタルマイン株式会社

MINING THE FUTURE  
 **住友金属鉱山**  
SUMITOMO METAL MINING

**NITTETSU**  
MINING CO., LTD.

 **JX金属株式会社**

 **日鉄鉱業株式会社**

 **三菱マテリアル株式会社**



**三井金属**

 **株式会社 合同資源**  
GODO SHIGEN CO., LTD.



**JOGMEC**  
独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構

 **日鉄鉱コンサルタント** 株式会社  
Nittetsu Mining Consultants Co., Ltd.

 **三菱マテリアルテクノ株式会社**

 **住鉱資源開発株式会社**

**MINDECO**  
 **三井金属資源開発株式会社**

 **JX金属探開株式会社**

**ジオテクノス株式会社**  
GEOTECHNOS

**Marubeni**



伊藤忠鉱物資源開発株式会社

**OURD**  
海外ウラン資源開発株式会社

# 資源地質学会第70回年会学術講演会

共催

独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構 (JOGMEC)

[日時] 2021年6月30日(水)・7月1日(木)・2日(金)

[会場] Webex を用いたオンライン開催

## 第1日目 6月30日(水)

10:00～10:15 会長挨拶 会長 五味 篤

10:15～10:30 表彰式

10:30～12:00 表彰者講演

13:00～17:40 シンポジウム「酸化還元反応と鉱化作用(Redox reactions and mineralization)」  
(S-01～S-09)

## 第2日目 7月1日(木)

9:00～11:50 学術講演会 一般講演 (O-01～O-08)

13:00～17:40 学術講演会 一般講演 (O-09～O-21)

## 第3日目 7月2日(金)

9:00～11:50 学術講演 一般講演 (O-22～O-29)

13:00～17:40 学術講演 一般講演 (O-30～O-42)

17:50～18:00 学生講演賞表彰式\*

\* 学生講演賞については、研究内容(新規性、重要性など)および発表スタイル(フォーマット、発表態度、質疑応答など)の観点から審査が行われます。

\* For the Student Oral Presentation Award, research content (novelty, significance, etc) and presentation style (organization, audience engagement, discussion, etc) will be evaluated.

6月30日(水)

10:00-12:00

10:00-10:15 会長挨拶

10:15-10:30 表彰式

10:30-12:00 表彰者講演

2019年加藤武夫賞講演 (10:30-10:55)

『海底熱水鉱床と黒鉱問題再訪』

浦辺徹郎 (東大)

2019 BAA(The Best Article Award)講演 (10:55-11:15)

『Mineralogy, Fluid Inclusions, and Sulfur Isotopes of the Huanzala Deposits, Peru:  
Early Skarn and Late Polymetallic Replacement Style Mineralizations』

Yuki Suzuki and Ken-ichiro Hayashi (Univ. of Tsukuba)

2020年加藤武夫賞講演 (11:15-11:40)

『クロミタイト研究で心がけたこと』

荒井章司 (金沢大)

2020年研究奨励賞および2020 BAA(The Best Article Award)講演 (11:40-12:00)

『Recognizing multiple events of hydrothermal mineralization and alteration:  
Insights from the Mankayan Mineral District, Philippines』

Pearlyn Cabarubias Manalo (Akita Univ.)

2020年技術賞講演 (シンポジウムのS-09で講演)

『ウズベキスタン共和国メシェティンスカヤ地域における砂岩型ウラン  
鉱床の発見について』

清水栄里, 下條将徳, 高橋 修 (JOGMEC)

6月30日(水)

13:00-17:40

## 資源地質学会シンポジウム

### 「酸化還元反応と鉱化作用 (Redox reactions and mineralization)」

コンビーナー：渡辺 寧，高木哲一，今井 亮

#### シンポジウムの趣旨

昨年お亡くなりになられた世界を代表する鉱床学者，石原舜三先生が 1970 年代に提唱された熱水鉱床の形成に本質的な影響を与える「花崗岩系列」は、その後世界で広く受け入れられました。マグマや鉱化熱水のみでなく、天水や海水、岩石、大気による酸化還元反応は鉱床形成に深く関与しています。本シンポジウムでは、様々なタイプの鉱床の形成にどのように酸化還元反応が寄与しているのかについてご講演を頂き、今後の資源地質学研究の展開について議論したいと思います。

- 13:00-13:15 **S-01** 石原舜三先生が我々に残したメッセージ  
○浦辺徹郎 (東大)
- 13:20-13:45 **S-02** 花崗岩系列の提唱・展開と岩石学的意義  
○高木哲一 (産総研)
- 13:50-14:15 **S-03** Following Ishihara: Mineral chemistry of magmas associated with the formation of large copper deposits  
○服部恵子 (オタワ大)
- 14:20-14:45 **S-04** Redox- control on the porphyry Cu mineralization at Grasberg, Indonesia  
○Adi Sulaksono (UPN Veteran)
- 14:50-15:15 **S-05** 錫・タングステン鉱化作用のテクトニクス  
○渡辺 寧 (秋田大)
- 15:20-15:45 **S-06** 黒鉱形成における酸化還元：硫化鉱物の交代の解析から  
○小室光世 (富山大)

15:50-16:15 **S-07** Re-Os 放射壊変系を利用した別子型鉍床の年代決定ーグローバル環境変動と鉍床の生成・保存のリンケージー

○野崎達生 (海洋機構), 加藤泰浩 (東大)

16:20-16:45 **S-08** Ni ラテライト鉍床の高品位鉍石形成に関わる地球化学的要因

○大竹 翼 (北大)

16:50-17:15 **S-09** ウズベキスタン共和国メシェティンスカヤ地域における砂岩型ウラン鉍床の発見について

○清水栄里, 下條将徳, 高橋 修 (JOGMEC)

17:20-17:40 総合討論

○ : 発表者

7月1日(木)

9:00-17:40

## 学 術 講 演

### 一 般 講 演 (Oral Session)

座長 渡辺 寧

9:00-9:20 **O-01** Mineralogy and Hydrothermal Fluids Characteristics of the Humpa Leu Porphyry Prospect in Hu'u District, Sumbawa Island, Indonesia

○O. Verdiansyah, A. Idrus, L. D. Setijadji  
(Gadjah Mada Univ.) and B. Sutopo (PT. ANTAM Tbk)

9:20-9:40 **O-02** Geology and characteristic of carbonate-rich potassic alteration at the Humpa Leu East (HLE) porphyry Cu-Au prospect, Sumbawa island, Indonesia

○Fadlin, R. Takahashi, A. Agangi, H. Sato (Akita Univ.), A. Idrus  
(Gadjah Mada Univ.), B. Sutopo (Sumbawa Timur Mining)  
and S. Godang (Indonesia)

9:40-10:00 **O-03** インドネシア・グラスベルグ斑岩銅-金鉱床における HSZ の鉱化作用

○大町駿之介, 米津幸太郎, T. Tindell (九大),  
M. Rosana (Padjadjaran Univ.), 今井 亮 (九大)

10:00-10:20 **O-04** White mica discrimination of two overlapping sericitic alteration stages at the deep Grasberg porphyry system, Indonesia

○R. A. Furqan, Y. Watanabe (Akita Univ.), A. Arribas  
(Univ. of Texas, El Paso), A. Sulaksono (UPN Veteran) and  
C. Leys (Freeport-McMoRan Copper and Gold, Inc.)

10:20-10:30 休憩 (Short Break)

座長 米津幸太郎

10:30-10:50 **O-05** チリ・エルサルバドル斑岩銅鉱床における白雲母族鉱物の化学組成と近赤外線スペクトルの特徴

○館弥, 渡辺 寧, 越後拓也, 青木翔吾 (秋田大)

- 10:50-11:10 **O-06** Hydrothermal alteration and mineralization at the Erdenetiin Ovoo porphyry Cu-Mo deposit, Mongolia  
 ○B. Navchaa, Y. Watanabe (Akita Univ.)  
 and A. Arribas (Univ. of Texas, El Paso)
- 11:10-11:30 **O-07** 鉱脈型銅鉱化作用に関連した中新世珪長質貫入岩及びエンクレーブ  
 ○左部翔大 (秋田大), 昆 慶明 (産総研), 渡辺 寧, 越後拓也 (秋田大)
- 11:30-11:50 **O-08** 新潟県新発田市赤谷スカルン鉱床の地質と鉄鉱化作用  
 ○瀬野洸太郎, 渡辺 寧, 越後拓也, 青木翔吾 (秋田大)
- 11:50-13:00 昼休み (Lunch Break)
- 座長 高橋亮平
- 13:00-13:20 **O-09** The evolution of Sb mineralization and the source of metal and sulfur isotope in Southern China: Evidence from the trace elements and in-situ S isotope of sulfides  
 ○Z. Zhou, K. Yonezu, A. Imai, T. Tindell (Kyushu Univ.)  
 and H. Li (Central South Univ., China)
- 13:20-13:40 **O-10** Geochemistry and geochronology of the intrusive rocks related to the Ruwai Zn-Pb-Ag skarn deposit, Central Borneo, Indonesia  
 ○C. D. P. Dana (Akita Univ.), C.-K. Lai (Univ. of Brunei), A. Agangi,  
 R. Takahashi (Akita Univ.), A. Idrus (Gadjah Mada Univ.)  
 and N. A. Nainggolan (Kapuas Prima Coal)
- 13:40-14:00 **O-11** Mineralization of the Cho Don and Cho Dien lead-zinc deposits, Northeastern Vietnam  
 ○N. D. Quang (Akita Univ), D. Ishiyama (Akita Univ.),  
 P. N. Can and T. T. Anh (IGS-VAST)
- 14:00-14:20 **O-12** Geological dissection of hydrothermal alteration zone exposed at Adataro volcano, Fukushima, Japan  
 ○T. Imura (Yamagata Univ.), A. Arribas (Univ. of Texas, El Paso),  
 K. S. Kataoka (Niigata Univ.) and Y. Nagahashi (Fukushima Univ.)



14:20-14:40 **O-13** 浅熱水性鉍脈金鉍床と鉛亜鉛鉍床の生成条件  
○澤寄友彦 (東大), 星野健一 (広島大)

14:40-15:00 **O-14** 秋田県大仙市畑鉍床の地質と金鉍化作用  
○小沼優希, 渡辺 寧, 越後拓也 (秋田大)

15:00-15:20 休憩 (Short Break)

**座長** Thomas Tindell

15:20-15:40 **O-15** 北海道北見地域に位置する北ノ王金銀鉍床のマグマ-熱水系発達過程の考察  
○小関雅弥, 渡辺 寧, 越後拓也 (秋田大)

15:40-16:00 **O-16** Characteristics of mineralization and ore-forming conditions at the Sado Au-Ag deposit, Niigata, Japan  
H. Koen, ○R. Takahashi, P. C. Manalo,  
H. Sato and A. Agangi (Akita Univ.)

16:00-16:20 **O-17** Geochemical characteristics of hydrothermal gold mineralization at the Akeshi deposit in the Nansatsu area, Kagoshima, Japan  
○M. Kobayashi, R. Takahashi, A. Agangi, P. Manalo,  
H. Sato (Akita Univ.) and A. Imai (Kyushu Univ.)

16:20-16:40 **O-18** Cathodoluminescence and trace elements of quartz related to epithermal gold mineralization of the Hishikari deposits, Kagoshima, Japan  
○K. Miyake, R. Takahashi, A. Agangi, P. Manalo,  
H. Sato (Akita Univ.) and A. Imai (Kyushu Univ.)

16:40-17:00 **O-19** 菱刈鉍床母岩の熱水変質鉍物の化学組成  
○五ノ井祐二, 今井 亮, 米津幸太郎,  
T. Tindell (九大), 石橋純一郎 (神戸大)

17:00-17:20 **O-20** K-Ar geochronology of orogenic gold mineralization in the Vangtat gold belt, southeastern Laos  
○P. Bounliyong (Akita Univ.), T. Itaya (Ins. Geohist.), A. Arribas,  
Y. Watanabe, T. Echigo (Akita Univ.) and H. Wong (JADE Co. Ltd)

17:20-17:40 **O-21** Textural and compositional evolution of sedimentary pyrite and carbonaceous matter during prograde metamorphism in the Luk Ulo Metamorphic Complex, Central Java, Indonesia

○R. Suhendra, R. Takahashi, A. Agangi and H. Sato (Akita Univ.)

7月2日(金)

9:00-17:40

座長 実松健造

9:00-9:20 **O-22** 島根県奥出雲町周辺の真砂に見られる熱水変質作用と FT 年代

○大平寛人, 榎本奈都紀 (島根大)

9:20-9:40 **O-23** リスウェナイト化に伴う Ni-Co 鉱化作用; 新潟県大倉鉱床, 兵庫県夏梅一大屋鉱床, 埼玉県長瀨地域の例

○藤巻勇帆 (住鉱資源開発), 渡辺 寧, 越後拓也, 青木翔吾 (秋田大)

9:40-10:00 **O-24** 南部フォッサマグナ地域における深部由来透輝石メルト包有物中の金属硫化物

○天谷宇志, 黒澤正紀 (筑波大)

10:00-10:20 **O-25** 酸化鉄-銅-金(IOCG)型としての秩父鉱山ウズノ沢鉱体

○宮下 敦 (成蹊大), 村上浩康 (早大), 金井拓人 (帝京大)

10:20-10:30 休憩 (Short Break)

座長 高谷雄太郎

10:30-10:50 **O-26** 秋田県北部地域の黒鉱鉱床における含金銀鉱石形成機構

○鈴木照洋, 渡辺 寧, 越後拓也, 青木翔吾 (秋田大)

10:50-11:10 **O-27** 沖縄トラフ鳩間海丘の海底熱水鉱床チムニーの Ag-Sb-Pb-S 系鉱物

○小濱和樹 (九大), 野崎達生 (海洋機構), 小室光世 (富山大)

11:10-11:30 **O-28** ケルマデック弧ブラザーズカルデラ熱水サイトの Re-Os 組成: 火山性ガスの寄与による Os の移動と異常濃集

○野崎達生 (海洋機構), 石田美月, 高谷雄太郎 (東大), 常青, 木村純一 (海洋機構), 加藤泰浩 (東大)

11:30-11:50 **O-29** カナダ・ポッタードール黒鉱型鉛床(27億年前)における熱水性石油  
○掛川 武 (東北大)

11:50-13:00 昼休み (Lunch Break)

座長 荒岡大輔

13:00-13:20 **O-30** カナダ, ユーコン準州, Grum Zn-Pb 鉛床の古地磁気年代  
○川崎一雄 (富山大), D. T. A. Symons (Univ. of Windsor)

13:20-13:40 **O-31** 南アフリカ・ブッシュフェルト複合岩体リンポポ鉛山における白金族  
鉛化作用  
○尾留川万季, 渡辺 寧, 越後拓也 (秋田大)

13:40-14:00 **O-32** Hydrothermal alteration and mineralization of the Fishtie deposit:  
Implication to metal source and timing of sediment-hosted Cu-Co  
mineralization in the Zambian Copperbelt  
○M. Simusokwe, Y. Watanabe and T. Echigo (Akita Univ.)

14:00-14:20 **O-33** Textural and geochemical analysis of sulfides at Zone 5 Cu-Ag deposit,  
Kalahari Copperbelt: Implications on the genesis of the deposit  
○M. Keeditse, Y. Watanabe, T. Echigo, S. Aoki (Akita Univ.)  
and A. Arribas (Univ. of Texas, El Paso)

14:20-14:40 **O-34** サウジアラビア王国 Jabal Tawlah 深成岩体における重希土類鉛化作用  
高木武蔵, 渡辺 寧, ○越後拓也 (秋田大)

14:40-15:00 **O-35** Preliminary assessment of rare earth element in Badau district, Belitung  
Island, Indonesia  
○E. G. W. Suharjo, Syafrizal, Arie N. H. Hede (ITB)  
and R. Takahashi (Akita Univ.)

15:00-15:20 **O-36** Characterization of lithium-bearing pegmatite in Sakihama, Iwate, Japan  
○H. V. Nhatinombe, R. Takahashi, A. Agangi,  
P. Manalo and H. Sato (Akita Univ.)

15:20-15:40 休憩 (Short Break)

座長 大竹 翼

- 15:40-16:00 **O-37** Association between magmatism and mineral deposits in the Sukhothai Fold Belt: Its zircon Lu-Hf isotopic characteristics of the granitoids  
○A. Veeravinantanakul, R. Takahashi, A. Agangi, T. Ohba, Y. Watanabe (Akita Univ.), M. Elburg, H. Ueckermann (Univ. of Johannesburg), P. Kanjanapayont and P. Charusiri (Chulalongkorn Univ.)
- 16:00-16:20 **O-38** Characterisation of Archean Banded Iron Formation Gold Mineralisation at Mupane Gold Mine, Botswana  
○O. L. Seaba, A. Imai (Kyushu Univ.) and K. Baliki (Mupane Gold Mine)
- 16:20-16:40 **O-39** Ore mineralogy and fluid inclusion petrography in the Chifumabazi prospect, Tete province, Mozambique  
○E. P. F. Cossa, A. Agangi, R. Takahashi, P. Manalo, H. Sato (Akita Univ.) and A. Imai (Kyushu Univ.)
- 16:40-17:00 **O-40** Geological characterization of the Namikupo gold prospect located in Namuno district, northeastern Mozambique  
○M. Nopeia, A. Imai (Kyushu Univ), R. Takahashi (Akita Univ.), D. J. (Eduardo Mondlane Univ.) and A. Agangi (Akita Univ.)
- 17:00-17:20 **O-41** Indicators of groundwater pollution related to mining activities in the Bor mining area, Eastern Serbia  
○D. Adamović, D. Ishiyama, H. Kawaraya and Y. Ogawa (Akita Univ.)
- 17:20-17:40 **O-42** Risk assessment of the release of toxic elements from mine waste materials in Bor mining area, Eastern Serbia  
○O. Osenyeng, Y. Ogawa and D. Ishiyama (Akita Univ.)

○ : 発表者

## **S-01**

### 石原舜三先生が我々に残したメッセージ

浦辺徹郎 (東京大学名誉教授)

Immortal Messages Given from Dr. Shunso Ishihara

T. Urabe (Univ. of Tokyo)

本日のシンポジウム「酸化還元反応と鉱化作用」のタイトルには、石原舜三先生追悼という言葉は付けられていない。しかし、コンビーナからの依頼もあり、そこで議論される研究分野を生涯かけてリードしてこられた石原舜三先生が、どのように研究を進めてきたかをふり返りたい。そして、彼が研究を遂行する上で信条としてきたことについて思いを起こすことは、後に続く研究者にとっても貴重なメッセージとなるだろう。

石原先生は、花こう岩の議論を始めると話が尽きなかったが、研究者のあり方や研究上の信念について語ることは極めて稀だった。また、どのようにして新しいテーマを思いついたのかといった点についても、得々と説明されることはなかった。その数少ない例外は、2008年10月に資源地質学会の秋期行事として実施された日中友好巡検「中国地方の酸化/還元花こう岩と資源」の時であった。その際、いやがる先生を説得して、花こう岩の酸化/還元状態の違いという着想の基となった重要露頭の前で説明する姿をビデオ録画させて頂き、さらに夜間にもまた詳しく説明を記録したのである。その映像は「石原舜三花こう岩巡検」DVDとして編集され、現在も資源地質学会で販売されている。

それを見て頂く事がすべてだが、石原先生はその中で「複雑な地質現象を解明するために粘り強く考える力を持つこと、それに、地質学を歴史科学とせず定量化する必要がある」という信念を貫いてきたことを明かしておられる。それをどのように思いついたのかについては、アメリカ留学での経験が大きく作用しているとも述べている (浦辺, 2020)。

ただ、石原先生の研究生生活を振り返ってみると、彼が地質調査所(現：産総研)に入所したときから非常に計画的に人生設計をしてきたことが伺える。そのころ彼は決してエリートではなかったが、体力・馬力・文章力を駆使して人のいやがる苦勞を買って出て、将来を見据えて向上を目指していたことがよく分かる。我々が今その姿勢をまねることは困難だが、上の言葉を記憶に留めて、石原先生が開拓された分野の研究を推進していくことが残された我々の務めであろう。

文献：浦辺徹郎(2020) 追悼記事，資源地質，70(1)

資源地質学会：「石原舜三花こう岩巡検」(DVD)

高木哲一(産総研・地圏資源)

Proposal, development and petrological significance of the granite-series.

T. Takagi

花崗岩系列とは、花崗岩類が磁鉄鉱系列・チタン鉄鉱系列に分かれること、またはその分類法であり、石原舜三博士により1977年に提唱された。花崗岩系列は含有される磁鉄鉱の量によって定義されており、0.1 vol. %以上含まれれば磁鉄鉱系列、未満であればチタン鉄鉱系列に分類される。実際には、磁鉄鉱量に比例する帯磁率（磁化率）を測定し、 $100 \times 10^{-6} \text{ emu/g}$ を境界値として区分する。したがって、携帯用帯磁率計があれば瞬時に正確に識別することが可能である。

1970年代、花崗岩マグマの酸化度はマグマ溜まりからの水素の脱ガス(diffusive loss)の程度に支配されるという説が、アメリカ学派では主流だったことから、当初、花崗岩系列はマグマの分類法としてほとんど認められなかった。しかし、石原博士は、他の研究者と協力して、多数の事例研究や地球化学的データを積み重ね、花崗岩系列と花崗岩マグマの成因が密接な関係にあることを明らかにした。今日、花崗岩系列は第1級のマグマ分類法、鉱床探査法として世界的に定着するに至っている。花崗岩系列の提唱・展開の詳細は、高橋(1985)、島崎(1985)、石原(1988)、高木(2020)などを参照されたい。

花崗岩系列は、帯磁率が高低2群に分かれる、両系列が広域的に帯状配列を示す、花崗岩系列に伴って関連金属鉱床の種類が変化する、などマグマ溜まりという局所的環境の違いだけでは説明できない、マグマの本質に関わる特徴を根拠とする。そして、磁鉄鉱系列花崗岩類は、海洋地殻やマンツルの影響を強く示す一方、チタン鉄鉱系列花崗岩類は堆積岩類との反応を示すことを、石原博士は多くの論文を通じて明らかにした。

花崗岩は、冷却過程での非平衡な鉱物組成・組織を多く残しており相律岩石学の適用が難しい。また、程度の差こそあれ沈積岩の性格を持っており、厳密にはマグマの化学組成を保持していない。このような難物に、石原博士は鉱床学の視点から切り込み、花崗岩系列を見出し、マグマ成因論に多大な業績を残した。花崗岩系列の研究は、島弧マグマの成因という難問を避けて通ることができない段階に来ており、これからも岩石学の重要課題の1つであり続けるであろう。

高橋正樹(1985) 地質学論集, 25, 225-244.

島崎英彦(1985) 地質学論集, 25, 419-429.

石原舜三(1988) 地質学雑誌, 94, 1005-1011.

高木哲一(2020) GSJ地質ニュース, 9 (10), 289-297.

## **S-03**

### **Following Ishihara: Mineral chemistry of magmas associated with the formation of large copper deposits**

K. Hattori (University of Ottawa)

Oxidation state is an intensive variable for the transport and precipitation of redox-sensitive metals, such as uranium and iron, as demonstrated in sandstone-hosted uranium deposits and banded iron formations, respectively. Although other metals, such as copper and zinc, do not change their valence in geological environments, they mainly occur as sulphides. Since sulphur is redox sensitive, the mineralization of such metals are also controlled by the oxidation state, e.g., red-bed copper deposits. Oxidation state is also a critical variable in magmatic systems, which Ishihara-sensei discovered during his examination of granitic rocks. He found that granitic rocks associated with copper deposits contain magnetite (which contains oxidized  $\text{Fe}^{3+}$ ), which he termed magnetite-series granitoids. Since the presence of magnetite can be detected easily with a magnetometer, his findings became useful during regional scale exploration. Subsequent work by others confirmed the relationship between metal deposits and the oxidation conditions of related magmas. Furthermore, Ishihara-sensei's discovery of this relationship initiated research to quantify magmatic oxidation conditions, and strengthened the link between mineral deposit research and igneous petrology and mineralogy. Igneous minerals, such as zircon, amphibole and apatite, are good indicators of magma oxidation conditions, as they incorporate oxidized species. Mineral chemistry studies now allow us to evaluate not only oxidation state of magmas but also water contents, halogen concentrations, crystallization temperature of minerals, and the nature of magma sources. Studies from many porphyry copper deposits of varying ages and terranes reveal common features of igneous rocks associated with the deposits. Parental magmas are all water-saturated, and solidified at shallow (<3 km) depths at cool temperatures (mostly < 800 C). Hydrous nature of these magmas is reflected by common occurrence of igneous amphibole and suppression of early crystallization of plagioclase. These igneous rocks are indeed crystallized from highly oxidized magmas, greater than FMQ+1.5 (1.5 logarithmic unit above the fayalite-magnetite-quartz buffer) in past or contemporaneous subduction zones, but not all oxidized magmas are associated with copper deposits. Regional studies show that magmas for barren, pre-mineralization and post-mineralized intrusions are also saturated with water and oxidized as the similar extent as those for mineralized rocks. The evidence suggests other factors are critical to produce copper mineralization than just an oxidized magma. We re-recognize that geological features of mineralized systems, such as the geometry of igneous bodies and the stress field – allowing the focused injections of intrusions – are also critical parameters for the formation of large intrusion-related deposits.

## **S-04**

### **Redox- control on the porphyry Cu mineralization at Grasberg, Indonesia**

A. Sulaksono (UPN Veteran Yogyakarta)

Reduction of oxidized S is of paramount importance for the generation of porphyry Cu deposits, in which mineralization predominantly comprises Cu sulfides, whereas their source magmas are oxidized with most of their S as  $\text{SO}_4^{2-}$  and with exsolved fluids having  $\text{SO}_2 \gg \text{H}_2\text{S}$ . I explore how redox reaction enriched  $\text{SO}_2$  during magma evolution based on amphibole, zircon, and apatite chemistries. The reduction of oxidized S during hydrothermal processes is also evaluated on the basis of S isotope and biotite chemistry.

The low-Al amphiboles formed at 730–700 °C, 1.1–0.7 kbar, and FMQ+3.4 are contained in the syn-mineralization Main Grasberg Intrusion (MGI). The MGI magmatism was followed by the emplacement of the syn-mineralization Early South Kali Dike (ESKD) that contains amphibole with a disequilibrium texture of chemically distinct core and rim; the high-Al cores crystallized at 900–850 °C, 4.3–3.3 kbar, and FMQ+1, whereas the low-Al rims formed at 790–720 °C, 1.9–1.0 kbar, and FMQ+2.7. The high-Al amphiboles are high in MREE and V compared with the low-Al amphiboles. Zircons from the MGI yield the elevated mean  $\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}$  value of 519, whereas the ESKD zircons record a lower value of 248. The melt S concentration calculated from apatite suggest that the degassing of S from the ESKD magma occurred at ~800 °C and ~2 kbar, prior to the crystallizations of low-Al amphibole and plagioclase.

Early hydrothermal events formed sulfide-free, anhydrite-rich K-feldspar and biotite alteration. This hydrothermal biotite is characterized by lower Fe contents than igneous biotite. The  $\delta^{34}\text{S}$  values of sulfide-sulfate mineral pairs indicate  $\text{SO}_2$ -derived  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{H}_2\text{S}$  in  $\text{SO}_4^{2-}/\text{H}_2\text{S}$  molar proportions of ~4:1 to ~3:1 at >550 °C. The hydrothermal fluid then likely followed a rock-buffered trajectory and became more reduced at <550 °C.

A less oxidized magma batch was injected into a strongly oxidized MGI-related upper-crustal magma chamber, forming a hybrid magma from which the ESKD porphyry was derived. The partitioning of S from the ESKD magma into fluids may require a process occurred at ~800 °C and ~2 kbar. I suggest that mixing of magmas of two distinct oxidation states generated  $\text{SO}_2$  by the reduction of sulfate from the oxidized magma via oxidation of  $\text{Fe}^{2+}$  derived from the other reduced or less oxidized magma:  $\text{CaSO}_4 + 2\text{FeO} = \text{CaO} + \text{SO}_2 + 2\text{FeO}_{1.5}$ . Just after the discharge, S is not ready for sulfide mineralization ( $\text{SO}_2 \gg \text{H}_2\text{S}$ ). Hydrothermal biotite that replaces igneous amphibole and biotite has a phlogopitic composition, suggesting that  $\text{Fe}^{2+}$  was liberated from igneous mafic minerals and oxidized by reaction with  $\text{SO}_2$ -derived  $\text{SO}_4^{2-}$  to form magnetite, resulting in sulfide formation by the simplified reaction:  $12\text{FeO} + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+ \rightarrow 4\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{H}_2\text{S}$ .



## **S-05**

### 錫・タングステン鉱化作用のテクトニクス

渡辺 寧(秋田大・国資)

Plate tectonic setting of Sn-W metallogeny

Y. Watanabe (Akita Univ.)

磁鉄鉱系列花崗岩に銅・モリブデン鉱床，チタン鉄鉱系列花崗岩に錫・タングステン鉱床が伴われ，それぞれの鉱床が明瞭な鉱床区を作ることがIshihara (1977)により提案されて以来，チタン鉄鉱系列マグマの成因や錫・タングステン鉱床区のテクトニックセッティングが議論されてきた．ここでは西太平洋地域の鉱床の分布と年代から錫・タングステン鉱化作用をもたらした構造場を議論する．

太平洋地域の中生代初期から古第三紀にかけての錫・タングステン鉱床の分布と年代は次のようにコンパイルされる．

- 1) 錫・タングステン鉱床は太平洋西側の火成弧に主として分布し，アラスカ，ユーコン地域を除くと太平洋東側の火成弧には乏しい．
- 2) 太平洋西側では，錫・タングステン鉱床の年代は，南部地域で古く（インドネシア・マレーシア：220-210Ma），北東部へ向かうほどで新しくなる傾向が認められる（中国：160-150Ma，日本：100-90Ma，ロシア東部：100-70Ma，アラスカ・ユーコン：100-90Ma）．
- 3) 錫・タングステン鉱床は，火成弧の中でも海溝に近い付加体中のチタン鉄鉱系列の深成活動に伴われる．錫・タングステン鉱化作用の前後には磁鉄鉱系列深成活動に伴う銅・モリブデン鉱化作用が認められる．

一方，中新世の西南日本弧外帯では，四国海盆の拡大終了直後の海盆の沈み込みに伴い，錫・タングステン鉱化作用を伴うチタン鉄鉱系列花崗岩が形成されている．同時にこの地域には造山型金・アンチモン・水銀鉱床が認められる．

以上のことから，チタン鉄鉱系列花崗岩マグマは，古中央海嶺または形成直後の背弧海盆の沈み込みにより，スラブ溶融により生じた塩基性マグマが付加体を構成する堆積岩を同化することにより形成され，マグマから分別した熱水が錫・タングステン鉱化作用をもたらしたというモデルが提案される．中生代から古第三紀にかけての古中央海嶺の北上に伴い，チタン鉄鉱系列花崗岩の形成場と錫・タングステン鉱化作用の場も移動した．海嶺の沈み込みの前後には冷たいスラブの沈み込みにより銅・モリブデン鉱化作用を伴う磁鉄鉱系列花崗岩が形成された．また熱いスラブの沈み込みは，付加体での高い地温勾配による広域変成作用を促進し，造山型金鉱化作用をもたらしたと推定される．

引用文献

Ishihara, S. (1977) The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. *Mining Geology*, 27, 293-305.

## 硫化鉱物の交代の解析から

小室光世 (富山大・都市デ)

Redox processes in Kuroko formation: approach from analysis of replacement of sulfides

K. Komuro

黒鉱鉱床成因論においてかつて交代か同生かが論争になったことが明瞭に示すように，黒鉱鉱石を鏡下で観察すると膨大な交代組織が認められる．こういった交代組織は，塊状硫化物鉱石の硫化鉱物に広く認められるにもかかわらず，交代に関与するプロセスが様々かつ複雑で，システマティックな解析はなされてこなかった．しかし，熱水交代実験では，固体拡散ではなく溶解と沈殿で起こることが明らかになっている．そこで，交代作用の解析の一環として，化学平衡論に基づいて，異なった2つの酸化還元環境の交代作用を解析した．解析はslop07とsolthermデータベースを用い，近似計算で行った．結果は活量係数を1とした濃度で示す．そして，これらの結果をもとに，黒鉱鉱床形成の束縛条件を考察した．

(1) 250°C wsvp下の硫酸，硫化水素のない海水環境(Na, Clは海水濃度， $\Sigma m_{HS}=0$ ， $m_{SO_4}=0$  mol/L)を初期条件とし，硫化鉱物を加え， $\Sigma m_{HS}$ ， $\Sigma m_{SO_4}$ は固体界面がコントロールする系：閃亜鉛鉱を例として見ると，溶液中の亜鉛と硫化水素は全て閃亜鉛鉱起源ゆえ， $\Sigma m_{Zn}=\Sigma m_{HS}=1.17 \times 10^{-5}$  mol/Lで，硫化鉱物界面が硫化水素濃度をコントロールする．同様に他のホスト鉱物界面の $\Sigma m_{HS}$ は，磁硫鉄鉱>閃亜鉛鉱>方鉛鉱>斑銅鉱>輝銅鉱>輝銀鉱の順になり，この順に硫化水素との溶解度積が小さい元素を交代によってトラップし，沈殿できることを示す．なお，黄鉄鉱は磁硫鉄鉱に，黄銅鉱は輝銅鉱に飽和し，単独の硫化水素濃度は求まらない．

(2) 250°C wsvp下の硫化水素のない海水環境(Na, Cl,  $SO_4$ は海水濃度， $\Sigma m_{HS}=0$  mol/L)を初期条件とし，硫化鉱物を加え， $\Sigma m_{HS}$ は固体界面がコントロールする酸化的な系：系の硫化水素濃度は，黄鉄鉱: $2.79 \times 10^{-5}$  mol/L>閃亜鉛鉱>方鉛鉱>斑銅鉱>輝銅鉱>輝銀鉱となり，黄鉄鉱のトラップ能力が高い．磁硫鉄鉱は黄鉄鉱に，黄銅鉱は斑銅鉱に飽和し，単独の硫化水素濃度は求まらない．黄鉄鉱は，特に低濃度のCuを黄銅鉱としてトラップする能力が高いことを示す．

これらの結果を考慮して黒鉱鉱床の形成を考えると，熱水循環系の進化に伴う一連のプロセス，具体的には，酸化的環境における揮発性の硫黄による黄鉄鉱鉱体（硫化鉄）の形成，酸化的環境における黄鉄鉱鉱体のCuのトラップによる黄銅鉱鉱体（黄銅）の形成，マグマ起源の非揮発性微量金属のトラップによる多金属鉱（黒鉱）の形成で説明できる．

## **S-07** Re-Os放射壊変系を利用した別子型鉱床の年代決定： グローバル環境変動と鉱床の生成・保存のリンケージ

野崎達生 (海洋機構・資源), 加藤泰浩 (東大・工)

Re-Os isotope dating on Besshi-type VMS deposits; Linkage between global environmental change and ore deposit formation/preservation

Nozaki, T. and Kato, Y.

日本列島の基盤岩は、主に過去5億年以降に形成された付加体から構成されている (Isozaki et al., 2010; Wakita, 2013; Wallis et al., 2020). 付加体は、海洋プレート層序を含む海洋底の地層から構成されているので、その中には過去の海洋底で形成された鉱床が胚胎している (Nakamura, 1990; Sato and Kase, 1996; 加瀬, 2003; 野崎ほか, 2018). 例えば、別子型鉱床は中央海嶺の海底熱水鉱床が付加したもの、黒鉱鉱床は島弧・背弧域の海底熱水鉱床が取り込まれたもの、アンバー鉱床はレアアース泥が付加したものである (Nakamura, 1990; Sato and Kase, 1996; Kato et al., 2005; Yamada and Yoshida, 2011; Nozaki et al., 2013; 野崎ほか, 2018). これらの鉱床分布を眺めると、硫化鉱物から構成される別子型鉱床は三波川帯に集中しているのに対し、Mn酸化物・Fe-Mn酸化物鉱床は秩父帯、美濃一丹波帯に集中している (Nakamura, 1990; Sato and Kase, 1996; 加瀬, 2003). この鉱床分布の明瞭な規則性は、古海洋の酸化・還元環境変遷史を反映していると考えられる (Kato, 2014; 野崎ほか, 2018). 我々の研究グループでは、日本列島付加体中に分布する別子型鉱床について、Re-Os (レニウム-オスミウム) 放射壊変系を利用した年代決定を行ってきたので (Nozaki et al., 2010, 2013, 2014), これらの結果について報告する.

紀伊半島から愛媛県佐多岬の東西約400 kmに分布する11の別子型鉱床について、Re-Os放射壊変系を利用した数値年代決定を行った. その結果、模式地の別子鉱床も含めた硫化鉱物のRe-Osアイソクロン年代がジュラ紀後期の約150 Maに集中することが明らかとなった (Nozaki et al., 2010, 2013). 三波川帯の構造史は複雑であるが、付加年代が130–120 Maあるいは95–65 Maであり、広域変成作用のピーク年代が120–110 Maあるいは90 Maとされている. したがって、別子型鉱床が中央海嶺で生成してから付加するまでの旅行時間は少なくとも20 Myrより長く、その生成場は遠洋域であると考えられる. しかし、硫化鉱物は現世のような酸化的海洋では徐々に酸化・消失してしまうため、鉱石試料を保存する機構が必要である (加瀬, 2003). 我々は、この保存機構としてジュラ紀後期の地球環境に着目し、『ジュラ紀後期海洋無酸素事変』が鉱床の生成・保存を促進したと考えている (Nozaki et al., 2013; Kato, 2014; 野崎ほか, 2018). 一方、四万十帯北帯に分布する別子型鉱床は、白亜紀後期～古第三紀のRe-Os年代を示す. これらの年代は白亜紀後期から日本列島に起こったKula海嶺の沈み込み時期に対応しており、沿海で生成した別子型鉱床が堆積物の被覆によって保存されたと考えられる (Nozaki et al., 2011).

**に関わる地球化学的要因**

大竹 翼 (北大・工)

Geochemical factors affecting the formation of high-grade ores in Ni laterite deposits

T. Otake

ニッケル (Ni) ラテライト鉱床は、熱帯～亜熱帯地域において超苦鉄質岩の化学風化によって形成される。これまでに母岩の種類、気候、地形、地下水の排水条件などがNiラテライト鉱床形成に与える地質的・地理的要因として挙げられているが、Niラテライト鉱床形成過程においてNiが濃集する化学反応の詳細は明らかになっておらず、異なる気候や地形条件における品位の違いを完全には説明できていない。そこで本研究では、東南アジアで気候の異なるインドネシアとミャンマーにおいて超苦鉄質岩の風化断面を調査し、その地球化学的および鉱物学的特徴から高品位Niラテライト鉱床形成における地球化学的要因を明らかにすることを目的とした。

インドネシアで調査を行った風化断面のうち、ほぼ完全に蛇紋岩化した母岩上に風化層が発達したソロアコ鉱山Petea Hillにおいて最大のNi含有量 (2.9 wt%) および物質移動量から計算されるNi付加量を示した。また多くの風化断面においてサプロライト層中の主なNiのホスト鉱物は風化由来の蛇紋石であった。インドネシアの風化断面においてはNiの付加量が鉄 (Fe) の付加量とともに増加していたことから、ラテライト層中の鉄水酸化物などに取り込まれたNiがFeと共にサプロライト層に移動・付加していると考えられる。また、Fe同位体比 ( $^{56}\text{Fe}/^{54}\text{Fe}$ ) においてもPetea Hillで最も大きな同位体分別がみられ、ラテライト層において $^{56}\text{Fe}$ に乏しくなる傾向を示した。これは、ラテライト層においてFeは還元溶解することによって下層に移動しており、インドネシアのような化学風化の卓越する地域では、表層におけるFeと有機物の相互作用がNi移動の制限要因となっていると考えられる。その一方で、より乾季の長いミャンマーでは、ラテライト層においてFeよりもケイ素 (Si) に富む傾向がみられた。また、母岩が完全に蛇紋岩化しているBudaungと比較して、蛇紋岩化度が低く、かんらん石や輝石を含むTagaung Taungの方がサプロライト層で高いNi含有量 (最大3.9 wt%) とNi付加量を示した。ミャンマーの風化断面ではサプロライト層においてスメクタイトが生成しており、高濃度 (約23 wt%まで) にNiを含むスメクタイトが確認された。ミャンマーではラテライト層でのNiの移動よりも、サプロライト層におけるスメクタイトによるNiの高い固定能が高品位Ni鉱石の形成要因であると考えられる。

## **S-09**

### ウズベキスタン共和国メシェティンスカヤ地域における

#### 砂岩型ウラン鉱床の発見について

清水栄里・下條将徳・高橋 修(JOGMEC)

Discovery of sandstone-type uranium deposits in the Meshetinskaya area, Republic of Uzbekistan

E. Shimizu, M. Shimojo and O. Takahashi (JOGMEC)

JOGMECとウズベキスタン共和国国家地質鉱物資源委員会（GKG）は、2016年8月に同国ナボイ州メシェティンスカヤ地域において砂岩型ウラン鉱床の共同探査を開始した。メシェティンスカヤ地域は同国の砂岩型ウラン鉱床の多くが分布するキジルクム堆積盆からブカンタウ山地を挟んで北側のシルダリヤ堆積盆に位置し、これまで砂岩型ウラン鉱床の賦存の可能性が示唆されていたものの、詳細な探査が行われていないエリアであった。

2016年から2019年の間に135孔・計35,780mの地質調査ボーリングを実施した結果、地下200m以浅の上部白亜系Maastrichtianにおいて、酸化還元フロントの形成に伴う有望な砂岩型ウラン鉱床を発見した。メシェティンスカヤ地域のウラン鉱床は、Maastrichtianの透水性の良い未固結砂及び砂岩中に胚胎し、上下を泥灰岩及びシルト岩等の不透水層に挟まれる。黄鉄鉱や炭質物を含む灰色の還元した砂と褐鉄鉱を含む淡黄色を呈する酸化した砂の境界にウラン鉱化が認められること、鉱床の形状、付随元素の累帯分布などから、本地域東北東からの含ウラン地下水の浸透により形成された酸化還元フロントに伴うロールフロントタイプの砂岩型ウラン鉱床であることが明らかとなった。2019年度までの調査により捉えた鉱化帯は走向延長約4.4km、最大幅約600mにわたり連続的に分布しており、この範囲における資源量は約2,000tU(ウズベキスタン資源量分類におけるC2カテゴリ、Indicated相当)を超える規模となった。

メシェティンスカヤ地域のウラン鉱床の開発は、コスト競争力の高いISL(In Situ Leaching)の適用を想定しており、ISL適用可能の指標となる各種物性値の取得及びその評価を2019年度に開始し、ISL適用が可能であることを示す予察的な結果を得ている。加えて、採取したコア試料の硫酸を用いた浸出試験でも高回収率を示し、硫酸浸出に適することも示された。

酸化還元フロントの走向延長には、未探査域が広がっており、今後も資源量の増加が期待できる。今後は更なる資源量獲得のボーリング調査の実施、原位置試験などのISL開発に向けた技術的検討及び経済性評価を実施していく計画である。

## **O-01**

### **Mineralogy and Hydrothermal Fluids Characteristics of the Humpa Leu Porphyry Prospect in Hu'u District, Sumbawa Island, Indonesia.**

O. Verdiansyah, A. Idrus, L. D. Setijadji (Universitas Gadjah Mada, Indonesia)  
and Bronto Sutopo (PT. ANTAM (persero) Tbk, Indonesia)

Hu'u is confirmed as a new world class copper-gold porphyry – high sulphidation epithermal district in Sumbawa Island, Indonesia which occurred in Pleistocene. The Humpa Leu is one of the porphyry-type prospects in this district, which has 257 Mt resources potential at 0.2% Cu and 0.2 g/t Au grade. The research methods are divided into geological interpretation based on surface to subsurface geology and followed by several laboratory analyses such as petrography, ore microscopy, micro-XRF, XRD and fluids inclusion microthermometry. Hu'u is a volcanic complex that produced andesites, tuff, diatreme breccia and diorites. Copper-gold mineralisation was discovered in 100 m depth of the present surface, hosted in pencil-like tonalitic intrusions which intruded the dioritic rock unit. Hydrothermal alteration centered by tonalite bodies to outward, consists of biotite-feldspar-sericite-magnetite-chalcopyrite-bornite±digenite and epidote-actinolite-chlorite-magnetite-chalcopyrite zones, which are overprinted by sericite-illite-kaolinite-chalcopyrite-pyrite±sphalerite and alunite-dickite-pyrite-chalcopyrite zones. Copper mineralisation is in form of dissemination of chalcopyrite and other copper sulphides, quartz – anhydrite veins and hydrothermal breccia. Hydrothermal fluid are predominantly characterized by magmatic fluid through meteoric water at shallow depth which is revealed by dropped temperatures and salinities from >550°C and 61 wt% NaCl eq. to 193°C and 1 wt% NaCl eq., respectively. Hematite and sulphide bearing brines which are followed by monophasic of high density vapour and complex types of biphasic inclusion indicate the mixing and boiling processes. Mineralisation was started from very high temperature- brine water as magmatic stage, to become intra-porphyry stage at 240°C - 400°C and 10-25 wt% NaCl eq., which was overprinted by epithermal stage. Tectonic events may control the spread of mineralization which is proven by pseudoband texture of parallel porphyry vein types, as magnetic-copper sulphide-quartz bands and abundant inclusions in parallel trails.

**Keywords:** Porphyry, HS epithermal, volcanics, Hu'u, Sumbawa Island, Indonesia.

**Geology and characteristic of carbonate-rich potassic alteration  
at Humpa Leu East (HLE) porphyry Cu-Au prospect,  
Sumbawa island, Indonesia**

Fadlin, R. Takahashi, A. Agangi, H. Sato, P. Manalo (Akita Univ.),  
A. Idrus (Gadjah Mada Univ.), B. Sutopo (PT. STM),  
R. Pratiwinda (Vale Exploration Indonesia)

The Humpa Leu East (HLE) porphyry Cu-Au prospect is hosted by igneous rocks including andesitic tuffs, crystalline tuffs, volcanic breccias, subvolcanic intrusions, diorite, and andesite lava. Five hydrothermal alteration types are present at the surface in the HLE prospect area. VHD 001R and VHD 009A boreholes show potassic alteration overprinted by chlorite-sericite and sericite within the range of 600-300 m (run length). Hypogene mineralization stages at the HLE can be divided into three stages: early stage (bornite-chalcopyrite), intermediate stage (chalcopyrite  $\pm$  bornite), and late stage (pyrite  $\pm$  chalcopyrite). The highest-grade Cu-Au mineralization occurred in the early stage (0.5 % Cu and  $>0.5$  g/t Au). The intermediate stage is notably lower in grade, ranging from 0.2-0.3 % Cu and 0.2-0.5 g/t Au and the late stage are essentially barren, containing 0.1 % Cu and 0.01-0.05 g/t Au.

On the basis of the petrography and whole-rock geochemistry data, the multiphase porphyry intrusion in HLE can be categorized into two types of rocks: micro-gabbro and diorite. The intrusive rocks in HLE formed in an active continental margin. Magma affinity discrimination based on Th/Yb vs. Zr/Y suggests that the samples are transitional between tholeiitic and calc-alkaline. A major element plot using AFM diagram also shows the magma affinities are tholeiitic to calc-alkaline series.

In the HLE Porphyry Cu-Au prospect, the potassic alteration developed strongly in diorite rocks. It is characterized by magnetite-quartz  $\pm$  K-feldspar and is also associated with rare anhydrite and abundant carbonate (calcite). The presence of carbonate-rich potassic alteration in the HLE porphyry Cu-Au prospect is not common in the eastern Sunda Arc. The carbonate had replaced Ca-rich plagioclase, identified by electron microprobe. Fluid inclusion petrography and Raman spectroscopic study confirmed the presence of vapor (monophase) with CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> and CO<sub>3</sub><sup>-2</sup> compositions. On the other hand, biphasic (V+L) and multiphase (V+L+S) fluid inclusions are also present, and the vapor phase includes CO<sub>2</sub>. The carbonate was mainly formed by the reaction between Ca<sup>2+</sup> from Ca-rich plagioclase and CO<sub>2</sub>-rich magma fluids.

**における HSZ の鉱化作用**

大町駿之介・米津幸太郎・Thomas Tindell (九大・工),  
M. Rosana (Padjadjaran Univ.), 今井 亮 (九大・工)

**Characteristic Mineralogy of the Heavy Sulfide Zone at the Grasberg Porphyry Cu-Au Deposit, Papua, Indonesia**

S. Omachi, K. Yonezu, T. Tindell, M. Rosana, and A. Imai

世界でも有数の巨大斑岩銅-金鉱床であるグラスベルグ鉱床は、インドネシア東部・パプア州に位置し、鮮新世の貫入岩体に伴われて銅・金鉱床が賦存している。この貫入岩体はグラスベルグ複合岩体 (Grasberg Igneous Complex: GIC) と呼ばれており、主に Kali Intrusion (KI), Main Grasberg Intrusion (MGI) および Dalam Intrusion (DI) から構成されている。

本研究では主として斑岩型の銅-金鉱化作用が見られる貫入岩体、特に GIC の周辺を囲むように位置する Heavy Sulfide Zone (HSZ) を研究対象とし、硫化物に特に富む HSZ の鉱化作用の特徴を明らかにすることを目的とした。

顕微鏡観察により、銅鉱化作用は含銅硫化物の鉱染型と細脈型に分類でき、いずれの鉱化作用においても主要な鉱石鉱物は黄銅鉱と斑銅鉱であった。黄銅鉱と斑銅鉱の共生関係は普遍的に見られ、斑銅鉱固溶体から離溶したものと考えられる。一方でその他の含銅鉱物(銅藍, 輝銅鉱および方輝銅鉱)は黄鉄鉱脈の亀裂に沿って沈殿しており浅成富化作用によって二次鉱物として形成されたと考えられる。加えて、自然金も銅藍と共存して観察されることから、浅成富化作用によって再移動・濃集したものとみられる。さらに、低硫化状態で産する磁硫鉄鉱が黄鉄鉱と黄銅鉱と共存して見られた。

これらの鉱石鉱物組み合わせを基に鉱化流体の変遷を考察すると、初生銅鉱化作用は、初期の黄鉄鉱, 黄銅鉱および斑銅鉱に特徴づけられる高硫化状態 ( $470-530^{\circ}\text{C}$ ,  $f_{\text{S}_2}:\text{approx. } 10^{-2}$ ) の斑岩銅鉱床型の鉱化作用と、その後、鉱床形成温度と硫黄 fugacity の低下によって、黄鉄鉱と磁硫鉄鉱に特徴づけられる低硫化状態 ( $200-300^{\circ}\text{C}$ ,  $f_{\text{S}_2}:\text{approx. } 10^{-15}$ ) となる後期の鉱化作用からなると考えられる。その後、二次的な含銅鉱物(銅藍, 輝銅鉱, 方輝銅鉱)と再移動した自然金が濃集し、形成された硫化鉱物帯は地表付近での流入した天水による浅成富化作用と考えられる。このように HSZ では高硫化状態での銅鉱物沈殿と低硫化状態での銅鉱物沈殿および浅成富化作用により形成された硫化鉱物帯が共存している鉱化帯であることがわかった。これらの結果は鉱山開発の一助にもなると考えられる。



## **O-04**

### **White mica discrimination of two overlapping sericitic alteration stages at the deep Grasberg porphyry system, Indonesia**

Reza Al Furqan, Yasushi Watanabe (Akita Univ.), Antonio Arribas (Univ. of Texas at El-Paso), Adi Sulaksono (UPN Veteran Yogyakarta), Clyde Leys (Freeport-McMoran Copper and Gold)

The giant Grasberg deposit located in Indonesia contains about 24 million tonnes of copper and 89 million ounces of gold, and has recently been interpreted to be the product of two overlapping porphyry copper systems: Gajah Tidur Cu-(Mo) and Main Grasberg Cu-Au. Although the potassic-altered centers of both deposits are spatially separate, their mineralized sericitic-altered zones overlap at depth, and comprise 40 % of the remaining Grasberg reserves by volume. Two distinct hypogene copper sulfide zones (chalcopyrite-rich and covellite-rich) occur within the sericitic alteration, however sericite associated with each mineralizing event cannot be visually distinguished. White mica compositional variations were measured by short-wave infrared spectroscopy and electron microprobe analysis in order to characterize hydrothermal fluids associated with each sericite alteration event. Sulfur isotopic analyses of sulfate-sulfide pairs collected from veins cutting sericite alteration were also performed to measure fluid temperatures and characterize mineral depositional conditions.

Main Grasberg white mica alteration associated with chalcopyrite-rich mineralization is of two types: muscovite-anhydrite (named Main Grasberg Green Phyllic) and muscovite-chlorite (Main Grasberg White Phyllic). The Gajah Tidur sericitic alteration is covellite-rich and is characterized by muscovite-quartz  $\pm$  pyrophyllite (named Gajah Tidur White Phyllic). White micas of the Main Grasberg system are characterized by longer Al-OH absorption wavelengths (predominantly 2,203-2,208 nm) that correspond to high Fe content, whereas Gajah Tidur white micas have generally shorter Al-OH depth absorption, mainly 2,196-2,203 nm. White micas of the Main Grasberg Green Phyllic are distinguished from other sericitic alteration stages by high Na, Ti, and V, and are interpreted to have formed during cooling of the hydrothermal fluid from 540 to 420 °C. The Main Grasberg White Phyllic is mainly associated with D-type veins (anhydrite-quartz-sulfide, late anhydrite-pyrite-molybdenite, and pyrite  $\pm$  chalcopyrite) and is characterized by low vanadium content. Gajah Tidur White Phyllic sericite formed about 280 to 340 °C and comprises white mica with low Na and Mg, but high V and F content. Results confirm that distinguishing and characterizing hydrothermal fluids associated with overprinting sericitic alteration zones can be achieved through careful mineralogy observations supported by mineral chemistry and infrared spectroscopy analysis.

## O-05

### チリ・エルサルバドル斑岩銅鉱床における 白雲母族鉱物の化学組成と 赤外線スペクトルの特徴

館弥・渡辺 寧・越後拓也・青木翔吾(秋田大・国資)

The characteristics of the chemical composition and short-wavelength infrared spectrum of white mica in the El Salvador porphyry copper deposit, Chile

W. Tachi, Y. Watanabe, T. Echigo and S. Aoki

El Salvador 斑岩銅鉱床はチリ共和国アタカマ州の斑岩型銅・モリブデン鉱床で、世界有数の銅生産量を持つ斑岩型銅鉱床が並ぶ始新世-前期漸新世帯に位置する。斑岩型銅鉱床に伴う熱水変質帯に形成される熱水変質鉱物は鉱床探査の指標として注目されており、変質鉱物の中でも白雲母は熱水変質帯中に広範に分布することからその鉱物学的特徴を明らかにするための研究がされている。本研究では、El Salvador 鉱床に伴う、異なる母岩に形成される白雲母の化学組成と赤外線域スペクトルの特徴について検討を行った。

El Salvador 鉱床付近には、後期白亜紀の安山岩質溶岩と第三紀の流紋岩質溶岩(58-60Ma)、中期始新世の流紋岩質斑岩(44Ma)が分布しており、そこに約 42Ma の花崗閃緑岩質のマグマの貫入に伴って鉱床が形成される。顕微鏡観察によって、本鉱床の白雲母は、火成岩の石基部分を置換するタイプ、斑晶鉱物である長石を置換するタイプ、同じく斑晶もしくは斑晶鉱物を置換する熱水変質鉱物である黒雲母、緑泥石、角閃石といった苦鉄質鉱物を置換するタイプに分類される。SEM-EDS を用いて各母岩に形成される白雲母中の Si + Mg + Fe と Al の wt% を測定したところ、花崗閃緑斑岩中の白雲母では Si + Mg + Fe = 23.23-28.80 wt% および Al = 16.28-24.33 wt%、流紋岩質斑岩中の白雲母では Si + Mg + Fe = 20.49-23.80 wt% および Al = 15.99-18.63 wt%、安山岩質溶岩中の白雲母では Si + Mg + Fe = 23.32-27.63 wt% および Al = 15.55-18.90 wt% を示す。

白雲母の赤外線スペクトルは 2.2 $\mu$ m 付近に Al-OH 吸収特性を示し、Mg と Fe による Al の置換によって吸収波長域が前後する。本発表では、近赤外線分光法と化学組成の比較検討から、各母岩に形成される白雲母中の Al を置換する Mg と Fe の含有量と 2.2 $\mu$ m 付近の Al-OH 吸収波長帯の関連性について明らかにする。

## **O-06**

### **Hydrothermal alteration and mineralization at the Erdenetiin Ovoo porphyry Cu-Mo deposit, Mongolia**

B. Navchaa, Y. Watanabe (Akita Univ.) and A. Arribas (University of Texas at El Paso.)

The Erdenetiin Ovoo Cu-Mo deposit is located in Northern Mongolia, in the Central Asian Orogenic Belt. The magmatic events in the area include the unmineralized Selenge intrusive complex, the Erdenet porphyry association that brought the main mineralization, and the post-ore dike system, which intruded following the two previous magmatic systems. Based on crosscutting relationship and mineral assemblages, mineralization process at the Erdenetiin Ovoo porphyry Cu-Mo deposit can be divided into as follows. Pre-mineralization stage is unmineralized medium course grained granodiorite altered albite  $\pm$  chlorite. Early mineralization stage is characterized by crystal-crowded granodiorite and granodiorite porphyry altered biotite $\pm$ chlorite, rarely with quartz-pyrite veinlets. Main-mineralization stage, mainly includes quartz-chalcopyrite-pyrite $\pm$  molybdenite vein (D vein), and quartz-molybdenite vein in granodiorite porphyry, microgranodiorite porphyry and plagioclase porphyry. Late mineralization stage includes equigranular plagioclase porphyry with mostly disseminated chalcopyrite and pyrite. Post-ore dikes, unmineralized dikes are andesite, rhyolite and syenite. Main alteration is sericite and biotite, and in the deeper level dominant potassic alteration (K-feldspar and biotite) with quartz-sericite-pyrite $\pm$ chalcopyrite veins.

## O-07

### 鉍脈型銅鉍化作用に関連した 中新世珪長質貫入岩及びエンクレーブ

左部翔大(秋田大・国資／産総研)・昆 慶明(産総研),  
渡辺 寧・越後拓也(秋田大・国資)

Miocene felsic intrusions and enclaves associated with vein-type Cu mineralization

S. Satori, Y. Kon, Y. Watanabe and T. Echigo

東北日本弧には鉍脈型銅鉍床が多数分布し、しばしば珪長質な貫入岩に隣接して存在することを特徴としている。特に秋田・山形地域では、いわゆる“第三紀花崗岩”と銅鉍床が共生する例が複数存在し、熱水及び金属の供給源として鉍床形成との関係が議論されてきた。これらの貫入岩類は、多くの場合花崗岩～閃緑岩質で、細粒完晶質であり、特徴的に暗緑～暗灰色のエンクレーブを含む。これらのエンクレーブは、玄武岩質～デイサイト質の火成岩であり、いわゆる MME (mafic magmatic enclave / mafic microgranular enclave)である。

本研究では、一連の研究によって鉍床と貫入岩が年代値や熱水系の空間的分布の点で関連していることが明らかな秋田県荒川地域を対象に、銅を含むマグマ性流体の供給源としての貫入岩の性質と形成史を明らかにすることを目的として、鉍物化学分析と分配係数を用いたメルト組成の推定を行った。推定されたメルトと全岩の銅含有量の対比によって、貫入岩形成過程における銅の挙動と鉍化流体への移動を議論する。

荒川地域において銅鉍化作用と同時期に形成された貫入岩はストック状の斜長流紋岩及び角閃石流紋デイサイトからなる3岩体である。含有される MME は玄武岩質～デイサイト質であり、主に単斜輝石含有角閃石斑れい岩、角閃石デイサイトの2種類に分類される。

玄武岩質 MME は特徴的に長柱状の斜長石(An 36-89 %, Cu 2.8-35.7 ppm)を含む。全岩及び推定されたメルトは銅に富み、両者の差は最低 16 ppm を示した。また、流紋デイサイト質貫入岩は、主に短柱状の斜長石(An 11-38 %, Cu 0.5-5.1 ppm)を含み、全岩及び推定されたメルトは銅に乏しく、両者の差は最低 9 ppm を示した。一方、デイサイト質 MME 中には An 値が類似する長柱状の斜長石(An 13-57 %, Cu 8.4-17.9 ppm)及び短柱状の斜長石(An 4-41 %, Cu 0.0-3.8 ppm)が混在しており、デイサイト質マグマは玄武岩質 MME を形成したマグマから分化したマグマと、流紋岩質マグマの混合によって形成されたことを示す。このデイサイトは銅に乏しいものの、推定されたメルトは比較的高い銅含有量を示し、両者の差は最低 74 ppm を示した。このデイサイト質マグマの温度及び酸素分圧を推定した結果、硫化物－硫酸塩緩衝曲線よりも高い酸素分圧下で形成されたことが示された。したがって、銅に富む分化した玄武岩～安山岩質マグマと銅に乏しいが酸化的な流紋岩質マグマの混合によって形成されたデイサイト質マグマが、銅を硫化鉍物としてマグマ中に固定せず、脱ガス時に流体と共に放出したことで、銅に富む熱水系及び鉍床を形成したことが示唆される。

## 鉄鉱化作用

瀬野洸太郎・渡辺 寧・越後拓也・青木翔吾 (秋田大・国資)

Geology and iron mineralization in the Akatani skarn deposit, Shibata city, Niigata Prefecture

K. Seno, Y. Watanabe, T. Echigo, S. Aoki (Akita Univ.)

赤谷スカルン鉱床は、新潟県新発田市の新潟県及び山形県県境の飯豊山地南西側に位置し、主に赤鉄鉱を採掘していた鉱床である。赤鉄鉱を主とする鉄スカルン鉱床は世界的に稀であり、日本では赤谷鉱床以外、岩手県和賀仙人鉱床で認められている。鉱床母岩は前期ジュラ系の足尾帯の結晶質石灰岩（一部苦灰岩）やチャート、泥質変成岩からなり、後期白亜紀の二王子岳花崗岩や前期中新世のドレライトが母岩に貫入、これらを被覆または貫入する前期中新世の流紋岩類が分布する。主な赤鉄鉱鉱床は二王子岳花崗岩に伴う proximal skarn 及び distal skarn に胚胎し、前期中新世の流紋岩にも鉱体は伴われる。本研究では、野外踏査により地質図の作成及びスカルンの分布を把握し、採取した試料の肉眼及び顕微鏡観察による記載や粉末 X 線回折および SEM-EDS により鉱物同定を行い、スカルン鉱物の累帯配列及び鉄鉱化作用との関連を明らかにした。

二王子岳花崗岩に伴う proximal skarn には細粒磁鉄鉱から自形針状赤鉄鉱が晶出する鉱体（帯磁率： $21 \times 10^3$  SI）が胚胎し、母岩中の distal skarn には自形針状赤鉄鉱の磁鉄鉱化が認められる鉱体（帯磁率： $200 \sim 520 \times 10^3$  SI）が胚胎する。ドレライトの proximal skarn には細・粗粒磁鉄鉱から自形針状赤鉄鉱が晶出する鉱体（帯磁率： $52 \sim 430 \times 10^3$  SI）が認められ、赤鉄鉱を主とする鉱体（自形黄鉄鉱やカオリナイトを多量に含む）（帯磁率： $0.01 \sim 2.1 \times 10^3$  SI）も認められる。このスカルン帯では、灰鉄輝石の透閃石化及び珪灰鉄鉱化や結晶質石灰岩の苦灰岩化が、肉眼・薄片観察及び粉末 X 線回折結果より認められる。二王子岳花崗岩は  $0 \sim 0.09 \times 10^3$  SI の帯磁率を示す。二王子岳花崗岩の distal skarn が分布する箕立沢では磁鉄鉱化した赤鉄鉱鉱石中に黄鉄鉱（一部白鉄鉱化）やカオリナイト、緑泥石が産するほか、黄銅鉱に Ag-Bi-Pb-S 鉱物が包有されることが鏡下観察で認められる。

当鉱床に近接する二王子岳花崗岩は帯磁率の結果より、チタン鉄鉱系花崗岩に区分される。赤鉄鉱鉱体の産状から、本鉱床は二王子岳花崗岩やドレライト、流紋岩の貫入に伴う 3 期の形成時期があり、それぞれ磁鉄鉱の赤鉄鉱化（martitization）や赤鉄鉱の磁鉄鉱化（hypogene secondary magnetite）を伴う鉄鉱体を形成している。磁鉄鉱の赤鉄鉱化には 2 つの過程があることが考察される。

このように、赤谷鉱床は異なる複数の鉱化作用による酸化還元反応によって、異種の赤鉄鉱に富む鉱床が形成したと結論付けられた。先行研究で提案された単純な説（初生熱水から赤鉄鉱が生成、流紋岩によって赤鉄鉱が生成、磁鉄鉱の生成後、二次的に赤鉄鉱が生成）では鉄鉱化作用を説明できないことも明らかになった。

**Evolution and the sulfur source of Sb mineralization in southern China: Evidence from in-situ S isotope analysis of sulfides**

Z. Zhou, K. Yonezu, A. Imai, T. Tindell (Kyushu Univ.)  
and H. Li (Central South Univ., China)

The Xiangzhong metallogenic province (XZMP) is located within the east of the Yangtze Block, southern China. The XZMP consists of two domains: The Xiangzhong Basin and the Xuefengshan Uplift (part of the Jiangnan Orogen). Neoproterozoic metamorphosed volcanoclastic rocks and Devonian–Carboniferous sedimentary rocks are widely distributed in this region. More than 100 Sb-related deposits have been observed in the XZMP region and can be divided into two types: (1) the Sb-only deposits hosted by sedimentary rocks in the center of Xiangzhong Basin, represented by the Xikuangshan deposit; (2) the Sb-polymetallic deposit hosted by the metamorphosed volcanoclastic rocks along the margin of Xiangzhong basin, represented by the Woxi deposit. In this study, *in-situ* sulfur isotopic measurements of stibnite from three typical Sb/Sb-poly deposits (Xikuangshan, Woxi, Banxi) are reported, revealing the evolution and the sulfur source for Sb mineralization in southern China. The  $\delta^{34}\text{S}$  values of stibnite are + 6.8 to + 10.2 ‰ (n = 43), + 5.5 to + 6.5 ‰ (n = 24), and - 4.2 to + 0.1 ‰ (n = 24) for the Xikuangshan, Banxi, and Woxi deposits, respectively. The observed clustering of stibnite  $\delta^{34}\text{S}$  distribution in each deposit suggests that the majority of sulfur in ore fluids had a common origin.  $\text{H}_2\text{S}$  can be considered as the dominant sulfur species in the ore-forming fluid of these three deposits, and ore-forming fluid sulfur isotopic compositions are estimated as + 10.5 to + 13.9 ‰ for Xikuangshan, + 8.7 to + 9.6 ‰ for Banxi, and -0.2 to + 4.1 ‰ for Woxi. A similar estimated of  $\delta^{34}\text{S}$  values of the ore-forming fluid of the Xikuangshan and Banxi deposits suggest that these two deposits have the same sulfur source, and the Proterozoic basement metamorphic rocks may have been the dominant source. Conversely, the estimated  $\delta^{34}\text{S}$  values in the ore-forming fluid of Woxi deposit unlikely from the Proterozoic basement metamorphic rocks, but a magmatic source. The stibnite  $\delta^{34}\text{S}$  values of the Xikuangshan and Banxi deposits are homogenous but a negative correlation between the  $\delta^{34}\text{S}$  values of stibnite with sampling depth in the Woxi deposit, which reveal a different mechanism to deposition of stibnite.

**Geochemistry and geochronology of the intrusive rocks related to the Ruwai Zn-Pb-Ag skarn deposit, Central Borneo, Indonesia**

C. D. P. Dana (Akita Univ.), C. K. Lai (Brunei Darussalam Univ.),  
A. Agangi, R. Takahashi (Akita Univ.), A. Idrus (Gadjah Mada Univ.)  
and N. A. Nainggolan (PT Kapuas Prima Coal, Tbk.)

Ruwai mining complex is Indonesia's largest Zn-Pb skarn deposit and is located within Central Borneo metallogenic belt. Several intrusion bodies occur in this area and shows clear cross-cutting relationship with the skarn bodies, whereas some other intrusions are not. Thus, the genetic link between the intrusions and skarn remains unclear. Moreover, since the previous study about their geochemical characteristics is limited, the petrogenesis and tectonic setting is still not well understood. In this study, we provide detailed petrographic observation combined with whole-rock geochemical data in order to characterize the intrusions and understand their genesis and tectonic setting. Several representative samples were selected for U-Pb zircon dating to fully understand the geochronology of the magmatism related to the formation of skarn deposit in this area.

Mineral paragenesis and geochemical characteristics consistently indicate that there are at least three different facies of intrusive rocks observed in this studied area including felsic (i.e. granodiorite and monzonite), intermediate (i.e. diorite and diorite porphyry) and mafic (i.e. dolerite) intrusions. Generally, all the intrusions in this studied area have sub-alkaline affinity and mostly metaluminous. All the samples of intrusive rocks show relatively similar trace and rare earth elements (REE) patterns. Negative Eu anomaly is observed in only altered granitoids including silicified granitoid and altered diorite porphyry. The zircon U-Pb dating indicates that there were three main magmatism in this area, i.e., diorite-microdiorite intrusion (144.4-105 Ma) and dolerite dyke (101.3 Ma) in Early Cretaceous, diorite and granodiorite intrusions (100.07-90.4 Ma) in Late Cretaceous, and diorite intrusions (9.88-9.47 Ma) in Late Miocene.

In terms of geochemical characteristics, the intrusions in the study area are similar to Mesozoic granitoids around Schwaner Mountains but slightly different from the common Fe-Zn skarn related intrusions. The geochemical discrimination suggests that the intrusions in this area were formed in continental arcs setting as the result of subduction of the Paleo-Pacific plate right after the accretion of SW Borneo block to the Sundaland. The mafic dyke that cross-cut the skarn bodies is regarded as a post-mineralization intrusion, thus all intrusions later than this mafic dyke are also regarded as post-mineralization intrusions. Therefore, it is inferred that the intrusion responsible to the formation of the Ruwai skarn deposit is dioritic intrusions with Early Cretaceous age.

## **O-11**

### **Mineralization of the Cho Don and Cho Dien lead-zinc deposits, Northeastern Vietnam**

N. D. Quang (Akita Univ.; IGS-VAST), D. Ishiyama (Akita Univ.),  
P. N. Can and T. T. Anh (IGS-VAST)

The Cho Don and Cho Dien deposits are located in the area 150 km away from Hanoi City in Bac Kan Province, northeastern part of Vietnam. The Cho Don-Cho Dien area is one of the important lead-zinc mining areas and has the largest reserves of lead-zinc ores in Vietnam, which has discovered and exploited in the 18th century. Since 1990, the Na Tung, Ba Bo, Lung Vang, Na Bop, Binh Chai, Lung Hoai, and Bo Luong deposits in the Cho Don-Cho Dien area has been invested to explore and evaluate in detail with various potential. The Na Bop and Lung Hoai deposits belong to the Cho Don mining area and the Cho Dien mining area, respectively. These deposits are representative deposits in the Cho Don-Cho Dien area. The purpose of this study is to clarify the characteristics and formation environment of the mineralization of the Na Bop and Lung Hoai deposits.

The geology of the Cho Don-Cho Dien area consists of Upper Ordovician and Lower Silurian sedimentary rocks of Phu Ngu Formation, Lower Devonian sedimentary rocks of Pia Phuong and Mia Le Formations, Lower-Middle Devonian carbonates of Khao Loc Formation, Late Triassic gabbro-peridotites of Nui Chua complex, Late Triassic high-alumina granitic rocks of the Phia Bioc complex and syenites of Cho Don complex belonging to Paleogene age. The lead-zinc ores of the Na Bop and Lung Hoai deposits occurred in the gray limestone and carbonate bearing shales alternated with siltstones, shales and sandstones of the Pia Phuong and Mia Le Formations (Quoc ed., 2001).

The mineral assemblage of lead-zinc ores is almost similar in the Na Bop and Lung Hoai deposits (sphalerite>galena>pyrrhotite>pyrite>arsenopyrite>chalcopyrite, and small contents of tetrahedrite and gold). The gangue minerals of these ores are calcite, dolomite, quartz, graphite, and anatase. Alteration minerals in wall rock of these deposits are illite and chlorite. The sulfide mineralization of the Na Bop deposit is classified into three stages: quartz-arsenopyrite (Stage I), pyrite-pyrrhotite-chalcopyrite-galena-sphalerite-tetrahedrite-gold (Stage II), and pyrite-chalcopyrite-sphalerite-galena-tetrahedrite-gold (Stage III). On the other hand, the sulfide mineralization of the Lung Hoai deposit is classified into two stages: arsenopyrite-quartz (Stage I), pyrite-pyrrhotite-chalcopyrite-galena-sphalerite-anatase (Stage II). The lead-zinc ores were formed in the middle to late stages of mineralization.

The occurrences of illite and chlorite in the carbonate host rocks and calcite-dolomite veins containing sulfide minerals suggest that the formation temperature of these deposits was over 200°C. The fluid inclusions in quartz of the Na Bop deposit are liquid-rich liquid-vapor two-phase secondary fluid inclusion with small size. The range of homogenization temperature and salinity of these fluid inclusions is from 196 - 215°C and from 1.3 - 3.1 wt.% NaCl, respectively. The Pb-Zn ores of the Na Bop deposit was estimated to be formed at a temperature around 200°C.



**Geological dissection of hydrothermal alteration zone  
exposed at Adataro volcano, Fukushima, Japan**

T. Imura (Yamagata Univ.), A. Arribas (Univ. of Texas at El Paso),  
K.S. Kataoka (Niigata Univ.) and Y. Nagahashi (Fukushima Univ.)

A characteristic feature of the 1710 m elevation Adataro volcano, one of several active volcanoes in the Tohoku region, is an extensive hydrothermal alteration zone at its western summit, within the Numanotaira crater (~1460 m elev.), and around the 6890 liters per minute, acid (pH, 1.7-2.1) Numajiri-Motoyu hot spring (1241 m elev.). Phreatic and hydrothermal eruptions have occurred repeatedly at Adataro volcano during the Holocene. Combined, these observations suggest the presence of an active magmatic-hydrothermal system within the volcano, and the risk of volcanic as well as hydrothermal eruptions at the site. This study aims to help understand the magmatic and hydrothermal processes at Adataro volcano, and its associated hazards, through the study of the exposed hydrothermal alteration zone.

Bulk-rock XRD analyses of the altered rocks in the western summit of Adataro volcano show a change in mineral assemblage with elevation and with proximity to Numanotaira crater. Combined with geological relations, the alteration is classified into four domains which occur from east to west and from lower to higher elevation: Zone 1, between the Numajiri hot-spring office and the Tainaiwa-Numanotaira junction, is characterized by pyrite-native sulfur and cristobalite-kaolinite-smectite in a mixture of black mud and yellowish-white clay; Zone 2, at the Tainaiwa-Numanotaira junction, is characterized by quartz+pyrite in a dark grey strongly silicified breccia; Zone 3, between the Tainaiwa-Numanotaira junction and the rim of the Numanotaira crater, is characterized by pyrite-native sulfur and quartz-native sulfur in black to yellow mud and silicified rock, respectively; Zone 4, within the Numanotaira crater, is characterized by a quartz-cristobalite-alunite-pyrite-pyrophyllite-kaolinite assemblage in lacustrine clay sediments and terraces of muddy diamictite.

Zones 1 and 3, which are characterized by pyrite and native sulfur, are interpreted to represent a near-surface steam-heated environment within the Adataro volcano. The strongly silicified breccia in Zone 2 appears to be a conduit of hydrothermal activity, the channelway of an earlier hot spring. Zone 4 is distinguished by the presence of alunite and pyrophyllite and it is interpreted to represent the core of the Adataro lithocap resulting from alteration by acid-sulfate-chloride magmatic-hydrothermal fluids present above the Adataro magma chamber.

## O-13

### 浅熱水性鉍脈金鉍床と鉛亜鉛鉍床の生成条件

澤寄友彦(東大・工), 星野健一(広島大・理)

Formation of epithermal Au veins and Pb-Zn veins

T. Sawazaki and K. Hoshino

本庫鉍山は、北海道北東部に位置する鉛亜鉛の鉍脈鉍床である。鉍床の胚胎母岩は、変質安山岩から成る中新世前期のオフタルマナイ層である。本庫鉍山において、主に黄鉄鉍と方鉛鉍、閃亜鉛鉍を含む鉍化帯と変質帯が観察された。鉍化帯から採取した閃亜鉛鉍中の流体包有物のマイクロサーモメトリーによれば、塩濃度は4.2-5.3 wt. % NaCl<sub>eq</sub>、均質化温度は250-280 °Cを示した。

これらの値から、MIX99(Hoshino et al., 2000)により、方鉛鉍、閃亜鉛鉍および自然金の溶解度を、pH-log  $fO_2$ 図上で検討した。黄鉄鉍が普遍的に安定である主要硫黄溶存種がH<sub>2</sub>Sの領域で、pH = 3-5付近の酸性環境下では、pHが上昇するにつれ、方鉛鉍と閃亜鉛鉍の溶解度は低下するが、自然金の溶解度は上昇する。一方で、硫黄溶存種のH<sub>2</sub>S, HS<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が等濃度付近では、 $fO_2$ が上昇するにつれ、方鉛鉍と閃亜鉛鉍の溶解度は上昇し、自然金の溶解度は低下する。

従って、主要硫黄溶存種がH<sub>2</sub>Sの環境下でのpH上昇では、方鉛鉍と閃亜鉛鉍は沈殿するが、自然金の沈殿は生じない。恐らくはその後の熱水の上昇に伴う $fO_2$ の上昇により、還元的な硫黄溶存種が酸化種へと移化する環境で、自然金が沈殿する。一方、上述のように、その環境下では方鉛鉍と閃亜鉛鉍の沈殿は生じない。この解析結果は、浅熱水性鉍脈鉍床において、しばしば下部に卑金属鉍床が、上部に貴金属鉍床がみられる事実と調和的である。

小沼優希・渡辺 寧・越後拓也(秋田大・国資)

Geology and Au mineralization of the Hata deposit in Akita, Japan

Y. Konuma, Y. Watanabe and T. Echigo

新第三紀に形成された金・銀のほか銅・鉛・亜鉛などの硫化物に富み、重晶石や石膏などの硫酸塩鉱物を産出する熱水鉱床は主に東北日本に広く分布する。その鉱物組み合わせは黒鉱型鉱床の特徴を有しているが、鉱床の形態は鉱脈型鉱床の特徴をしめす。この 2 種類の鉱床の特徴と金の鉱化作用との関係を明らかにするために秋田大仙市にある畑鉱床周辺の地質と鉱石の調査・記載及び鉱物化学分析を行った。

鉱床周辺の地質は上部中新世船川層であり、珪長質凝灰岩・暗灰色泥岩・火山角礫岩及びラピリストーンの 3 相が分布し、直方輝石デイサイ質溶岩が堆積層の上部に被覆する。鉱床を胚胎するのは珪長質凝灰岩である。

鉱石は鉱体下部（標高 255.4m）から採鉱された鉱石からなる 3 番坑捨石場と鉱体上部に位置し、地表で確認できる 5 番坑（標高 210m）から採取した。3 番坑では方鉛鉱や閃亜鉛鉱の硫化物に富む鉱石であり、5 番坑で得られる鉱石は銀黒を伴う石英脈であり重晶石を多量に伴う。金は硫化物に富む 3 番坑の鉱石中に多く見られ、銀黒部には金はわずかで、輝銀鉱が主として認められる。鉱床周辺と 5 番坑の銀黒を伴う鉱石の母岩はセリサイト変質を伴っている。

方鉛鉱や閃亜鉛鉱などの硫化物に富む 3 番坑鉱石はセリサイト変質に加えてカリ長石変質を伴っている。これは鉱体下部は中性～アルカリ性の熱水であり、鉱床上部に向かうにつれて中性～酸性に変化していることを示す。鉱化流体の均質化温度と塩濃度を測定した結果、5 番坑鉱石の均質化温度は 177.4～230.2℃、塩濃度は 2.90～6.01%、3 番坑鉱石の均質化温度は 209.8～250.2℃、塩濃度は 5.11～6.16 である。鉱床下部では塩濃度が高く、均質化温度も高い結果になった。

鉱物化学分析では 5 番坑鉱石は閃亜鉛鉱中の鉄含有量は 0.13～0.225atom% でエレクトラム中の金の含有量は 57.1～58.5% であった。3 番坑鉱石の閃亜鉛鉱中の鉄の含有量は 0.26～0.57atom% となり、エレクトラム中の金の含有量は 60.2～69.3 atom% である。エレクトラムターニッシュ法と閃亜鉛鉱地質温度計に基づくと鉱体下部から上部にかけて硫黄分圧の上昇が示唆される。

畑鉱床の金鉱化作用は低硫化系の網状鉱脈型鉱床であり、熱水中の硫酸イオンが下部から上部へ増加する過程で、金の溶解度が下がることによって金が沈殿したことが結論される。

## 北ノ王金銀鉱床のマグマ-熱水系発達過程

小関雅弥・渡辺 寧・越後拓也(秋田大・国資)

The magmatic-hydrothermal system of the Kitano-o epithermal Au-Ag deposit in the Kitami region, Hokkaido, Japan

M. Koseki, Y. Watanabe and T. Echigo

北海道北見地域生田原周辺には多数の金銀鉱床が分布しており、年代及び分布の類似性から、流紋岩火成活動は金銀鉱化作用と関連したことが示唆されている。Japan Gold社によって同鉱床西部で得られたコア試料(KTD001, KTD002), および地表調査により採集した試料を用いて、北ノ王地域の地質、変質、流紋岩の岩石学的記載、流体包有物の観察を行った。これらの結果を基に、北ノ王地域のマグマ-熱水系の発達過程を考察した。

北ノ王鉱床の浅熱水性含金石英脈は中新統生田原層の火砕岩に胚胎する。地表試料の火砕岩は北ノ王西部-中央部において、カリ長石を伴い強珪化変質および角礫破碎を受けており、一部では明ばん石やカオリンを伴う。東部においてカオリン-イライトから成る粘土岩が認められる。褐鉄鉱-カオリン-石英の縞状構造を有する糜石では、褐鉄鉱部に最大50  $\mu\text{m}$  の金粒が認められ、石英中の流体包有物のマイクロサーモメトリーは207.8-284.5°Cの均質化温度、NaCl相当で1.9 wt.%の塩濃度を示す。シリカシンターは鉱床中央の標高470 mで認められる。コア試料は主として火砕岩であり、標高250-400 mで石英・黄鉄鉱脈群(均質化温度174.8°C, 塩濃度1.7 wt.%)が認められる。コア試料ではイライト・石英が普遍的に認められる。さらに他の変質鉱物組み合わせや鉱物形成温度に基づいて以下のような4つに変質帯に区分される。I帯はカリ長石のみが認められ、標高200 mより上位に存在する。その下位では緑泥石・方解石が認められるII帯、カリ長石・緑泥石が認められるIII帯が認められ、両変質帯はI帯の下位から約 50-100 m の層厚間隔で岩相に規制されることなく交互に認められる。IV帯は明ばん石・カオリン・白鉄鉱によって特徴づけられ、標高250 mより上位に存在し、部分的にI帯を重複する。また、III帯に含まれる黄銅鉱-黄鉄鉱-閃亜鉛鉱を包有する方解石中の流体包有物は均質化温度198.1-228.7°C, 塩濃度1.7-3.7 wt.%を示す。

I・III帯は、石英・黄鉄鉱脈とカリ長石を含む点から熱水流路の中心であり、方解石が残存するII帯は熱水流路から相対的に離れた位置であると解釈される。IV帯は蒸気加熱変質帯であり、I帯に重複して形成されている。形成温度が異なるイライト変質帯がIV帯やシリカシンターと同水準で重複することは、北ノ王熱水系が少なくとも2回の熱水変質作用を経験していることを示唆する。

**Characteristics of mineralization and ore-forming conditions  
at the Sado Au-Ag deposit, Niigata, Japan**

H. Koen, ○R. Takahashi, P. C. Manalo, H. Sato and A. Agangi (Akita Univ.)

The Sado gold deposit (also known as the Aikawa deposit) in the northwestern part of Sado Island, Niigata, Japan, is a vein-type epithermal deposit. According to the previous reports, the amount of crude ore produced was 15.3 million tons with ore grades of ca. 5.7 g/t Au and 81 g/t Ag, which includes about 78 Au and 2,330 Ag. The deposit is the second largest epithermal gold deposits in Japan, and its production continued until 1989. This study aims to elucidate the characteristics of mineralization and ore-forming conditions of the Sado deposit based on petrography, K-Ar dating, bulk chemical analyses, mineral chemistry, fluid inclusion microthermometry and sulfur isotope analysis.

The deposit is hosted by altered dacite welded tuff of the Oligocene Nyukawa Formation, and hydrothermally altered pyroclastic andesite and andesite lava of the Early Miocene Aikawa Formation. Quartz veins and altered host rocks were collected from outcrops or as rock fragments detached from the ore body, *i.e.*, in-situ floats, in the Sado deposit, and the samples stored in the Akita University Mining Museum were also used. The samples are representative of the Waniguchi Vein, Nakao Vein, Doyu Vein and Otachi-Tozai Vein. In addition, quartz vein floats were collected near the Mumyoui adit.

The quartz veins are composed of quartz, calcite, adularia and illite and contain electrum, argentite-agularite solid solution, pyrite, sphalerite, galena and chalcopyrite as ore minerals, which are a common mineral assemblage in low-sulfidation type deposits. K-Ar dating on adularia of the Doyu Vein yielded an age of 21.5 Ma. Chemical compositions of electrum in Waniguchi Vein and Otachi-Tozai Vein show modes of  $\text{Ag}/(\text{Au}+\text{Ag}) = 55\text{-}60$  at % and 65-70 at%, respectively.

The altered host rocks include chlorite, illite and smectite, indicating that the hydrothermal fluids in the Sado deposit were neutral pH, and temperature of more than ca. 200 °C in the mineralized zone and less than ca. 180 °C 1 km from the mineralized zone. On the basis of the bulk chemical compositions, the alteration index ( $\text{AI} = 100 (\text{K}_2\text{O} + \text{MgO}) / (\text{K}_2\text{O} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO})$ ) of the host rocks is relatively high in the mineralized zone (38.7 to 98.1 %). The areas with high AI anomaly overlap with those of elevated Ag, As and Cu contents.

Two-phase liquid-vapor and vapor-rich fluid inclusions with boiling signature were observed in quartz of the Nakao Vein, and their trapping temperatures and salinities range from 250 to 280 °C and from 2.4 to 2.9 wt.% NaCl eq., respectively. The fluid inclusion analysis on a sample of the Nakao Vein revealed the depth of ore formation 540 m at 260 °C with evidence of fluid boiling.

Thermodynamic calculation based on FeS contents of sphalerite and homogenization temperature of fluid inclusions suggests that the Nakao Vein was formed under low sulfidation conditions with  $\log f_{\text{S}_2} = -11.8$  to  $-9.2$  atm at temperatures of 250-270 °C. The  $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$  values of sulfides of the Doyu Vein, Nakao Vein and quartz vein floats range from +0.5 to +4.3 ‰, which fall within the range of magmatics.

**Geochemical characteristics of hydrothermal gold mineralization at the Akeshi deposit in the Nansatsu area Kagoshima, Japan**

M. Kobayashi, R. Takahashi, A. Agangi, P. C. Manalo, H. Sato (Akita Univ.)  
and A. Imai (Kyushu Univ.)

The Akeshi deposit in the Nansatsu area of Kagoshima prefecture, Japan, is one of the Nansatsu-type gold deposits and known as its elevated gold grade. The Akeshi deposit is classified as a high-sulfidation epithermal gold deposit. The mining of the deposit started in 1880, and exploitation has been continued until now. The objectives of this study are to elucidate the geochemical characteristics of silicified rocks and their relationship to the gold mineralization at the Akeshi deposit. Rock samples were collected from 18 points that cover almost all the area of open-pit of the Akeshi mine, and those were studied for petrography, microscopy, bulk and mineral chemistry, cathodoluminescence and sulfur isotopes.

The Akeshi deposit is hosted by the Nansatsu Middle Volcanics of Pliocene age, which is composed mainly of hornblende andesitic lava and pyroclastic flow deposit. Post-ore geological units are the Ata Pyroclastic Flow and Aira Volcanic Product of Pleistocene age.

Silicified and argillic alteration rocks in the Akeshi deposit were classified into 9 types based on alteration, texture and color, *i.e.*, 1) strongly silicified rocks with vuggy (white, dark gray and pink color), massive (white, dark gray and pinkish-tint white color) and flinty textures, 2) weakly silicified rocks, and 3) argillic alteration rocks. The massive strongly silicified rocks with dark gray color are characterized by the occurrence of native sulfur, pyrite, enargite, covellite, chalcocite and luzonite, and tend to have elevated contents of Au (av. 5.20 ppm) and Ag (av. 13.8 ppm) compared to other silicified rocks. In addition, a previously collected sample contains native gold that coexists with hematite. The strongly silicified rocks with flinty texture are composed mainly of very fine-grained quartz. The argillic alteration rocks are characterized by the occurrence of clay minerals such as kaolinite and are brittle.

Bulk chemical composition data of the silicified rocks were processed by Isocon analysis of Grant (1986) to define gains and losses of trace elements by the weakly silicified rock, in which Zr and TiO<sub>2</sub> were used as the immobile elements. The calculation indicates that Ag, Bi, Zn and Pb are positively correlated to the gold mineralization in the Akeshi deposit.

Some pyrite grains in the massive strongly silicified rocks with dark gray color contain significant amounts of Au (av. 110 ppm) and Ag (av. 33.4 ppm). The EPMA data of hydrothermal quartz in the high Au grade strongly silicified rock where native gold coexists with hematite, indicate  $Si^{4+} \rightleftharpoons Al^{3+} + K^{+}$  coupled substitution as well as excess  $Al^{3+}$  and  $Fe^{3+}$ .

$\delta^{34}S_{CDT}$  values of pyrite and native sulfur in both the vuggy and massive silicified rocks with dark gray color range from -1.9 to +1.7 ‰ and from -4.7 to -4.3 ‰, respectively, suggesting magmatic origin and isotopic fractionation of pyrite - native sulfur. A  $\delta^{34}S_{CDT}$  value of pyrite in the vuggy silicified rock with pink color is low -4.4 ‰, suggesting a possibility of sulfide-sulfate isotopic fractionation.

**Cathodoluminescence and trace elements of quartz related to epithermal gold mineralization of the Hishikari deposits, Kagoshima, Japan**

K. Miyake, R. Takahashi, A. Agangi, P. C. Manalo, H. Sato (Akita Univ.)  
and A. Imai (Kyusyu Univ.)

The Hishikari deposits are low-sulfidation epithermal gold-silver deposits located in the northern part of Kagoshima prefecture, and are the most productive gold deposits in Japan. The deposits consist of the Main, Sanjin and Yamada deposits. Numerous studies have been conducted on the Hishikari deposits, but none have discussed the relationship between cathodoluminescence (CL) and trace elements in combination with gold grade of quartz veins. The objectives of this study are to elucidate the relationship between the cathodoluminescence of quartz and the trace element contents and to compare with gold grade of veins and characteristics of hydrothermal fluids. The mineralized veins, Daisen 1 (+10 mL) and Kinsen 2 (-5 mL) veins in the Main deposit, Keisen 2 (+25 mL), Keisen 3 (+25 mL) and Keisen 3-1 (+25 mL) veins in the Sanjin deposit, and Seisen 3 (+50 mL), Seisen 6 (+50 mL) and Eisen 1-2 (+30 mL) veins in the Yamada deposit were studied in this study.

The host rocks of the Keisen 2 and Daisen 1 veins are mudstone of the Shimanto Supergroup, where illite occurs as an alteration mineral. The host rocks of the Keisen 3-1 and Seisen 8-8 veins are the andesite lava of the Hishikari Lower Andesites, where chlorite or smectite/chlorite mixed layer occurs as an alteration mineral. Those suggest that the pH of hydrothermal fluids was neutral.

The veins studied consist of gangue minerals of quartz, adularia and smectite, and ore minerals of electrum, pyrite, chalcopyrite, sphalerite and galena. Bulk chemical compositions of the quartz veins show that the Au content and the  $Al_2O_3+K_2O$  contents are positively correlated, suggesting that mainly adularia is related to the precipitation of gold.

On the basis of the SEM-CL analysis, relatively large granular or saccharoidal quartz (100-600  $\mu\text{m}$ ) in the Seisen 3 and Seisen 6 veins shows a growth pattern with banded and zonal textures. In the Eisen 1-2 vein, fine bright CL spots are present in dark CL areas of microcrystalline quartz (5-20  $\mu\text{m}$ ) and fine-grained equigranular quartz (100-200  $\mu\text{m}$ ), which show growth patterns with acicular and zonal textures, respectively.

Contents of trace elements in granular quartz in the Keisen 3, Seisen 3 and Seisen 6 veins, and microcrystalline quartz in the Eisen 1-2 vein were analyzed using EPMA. The Al content of quartz in the Eisen 1-2 vein is higher than that of the other veins. The Al content of quartz is elevated in the dark CL areas of the Seisen 6 vein, while it is low in the dark CL areas of the Seisen 3 vein.

Fluid inclusions in quartz of the Keisen 3 and Keisen 3-1 veins are mainly liquid-rich vapor-liquid two-phase inclusions, while those of the Seisen 3 and Seisen 6 veins include monophasic vapor inclusions that is probably as a result of fluid boiling. The trapping temperatures of fluid inclusions based on the homogenization temperature would be 200-210  $^{\circ}\text{C}$  in the Keisen 3 vein, 210-220  $^{\circ}\text{C}$  in the Keisen 3-1 vein, and  $<200$   $^{\circ}\text{C}$  in the Seisen 3 and Seisen 6 veins.

## O-19

### 菱刈鉱床母岩の熱水変質鉱物の化学組成

五ノ井祐二・今井 亮・米津幸太郎・Tindell Thomas(九大・工),  
石橋純一郎(九大・理)

Chemical composition of hydrothermally altered minerals from the Hishikari epithermal gold deposit, Japan

Y. Gonoï, A. Imai, K. Yonezu, T. Tindell and J. Ishibashi

世界平均をはるかに上回る金品位を示す菱刈鉱山は、低硫化系の浅熱水鉱床に分類され、本鉱床、山神鉱床、山田鉱床から構成される。菱刈では主に緑泥石—イライト帯が鉱床中心部の熱水変質帯とされてきたが、山神鉱床では緑泥石—緑簾石—ぶどう石の鉱物組み合わせも存在する。本研究は、主にEPMA測定によって得られた山神鉱床の変質母岩中の緑泥石、緑簾石、ぶどう石の化学組成の特徴について報告する。

山神鉱床の緑泥石のFe/(Fe + Mg) 比は平均0.43である。これは先行研究で報告された本鉱床のFe/(Fe + Mg) 比とほぼ一致するが、原岩である菱刈下部安山岩類のFe/(Fe + Mg) 比 (平均0.34) より高い。

本研究で得られた山神鉱床の緑簾石およびぶどう石のFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含有量は他の浅熱水鉱床および地熱地域のFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>と比較して高い。緑簾石は11.3-18.6 wt % (平均14.9 wt%), ぶどう石は3.1-8.3 wt % (6.0 wt%) のFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>をもつ。また、ぶどう石はその産状によってもFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含有量に違いがみられ、空隙を充填する自生のぶどう石のほうが、斜長石などの初生造岩鉱物を交代するぶどう石よりも高い。

緑簾石とぶどう石は、一般に低い水/岩石比をもつ岩石が支配的な環境で生成されることから、高い鉄含有量の要因の一つとして、原岩組成が挙げられる。しかしながら、先行研究によると原岩である菱刈下部安山岩類の鉄含有量はほぼ一定であり、他の地熱地域の原岩と比較しても高くないため、原岩組成の鉄含有量の相違は、緑簾石およびぶどう石のFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含有量の要因ではないと考えられる。一方、山神鉱床の緑簾石およびぶどう石は、赤鉄鉱と共存しており、酸素フガシティの高い環境下で生成したことを示唆する。

先行研究によって、菱刈鉱山の高品位の鉱脈の形成には、白亜系の四万十累層群と第四系の菱刈下部安山岩類との不整合面が関係していることが示唆されている。本研究で得られたFe<sup>3+</sup>に富む緑簾石およびぶどう石は、不整合面付近の菱刈下部安山岩類中に存在しており、比較的酸化的な地下水と、地下深部から上昇する熱水が不整合面付近で混合することによって、生成されたと考えられる。



P. Bounliyong (Akita Univ.), T. Itaya (Ins. Geohist.), A. Arribas (Univ. of Texas at El Paso), Y. Watanabe, T. Echigo (Akita Univ.) and H. Wong (JADE Co. Ltd)

The Vangtat shear zone is part of the tectonically complex mainland Southeast Asia continent and is associated with the regional Poko suture zone that marks the collision between the Indochina Terrane and the Kontum Massif in southern Laos-central Vietnam. The Vangtat shear zone occurs within greenschist-grade metamorphic rocks and is the main host for orogenic gold mineralization in southeastern Laos. The Thongkai-Ok gold deposit is one of the several actively mined deposits in the northern part of the Vangtat shear zone. At Thongkai-Ok, high grade gold mineralization is associated with quartz-pyrite-graphite-carbonate-white mica-chlorite veins, and lower-grade gold mineralization occurs in a graphite-carbonate-quartz-sulfide hydrothermal alteration envelope that grades into sub-economic/barren altered pelitic schist.

Three hydrothermal white mica-bearing quartz-pyrite samples were collected from the open-pit at Thongkai-Ok deposit for K-Ar dating in order to constrain the age of mineralization in the Vangtat orogenic gold belt and better understand its spatial and temporal relation to other gold deposits in mainland Southeast Asia and to regional tectonic events. The measurement by electron probe microanalysis in individual white mica crystals revealed the composition of muscovite. Two of the three white mica samples were separated into four size fractions, <2, 2-4, 4-10, and 10-40  $\mu\text{m}$ , respectively. X-ray diffraction identified the dominant white mica peaks in the finer fraction (e.g., <2 and 2-4  $\mu\text{m}$ ), and the intensity of quartz peaks increases consistently in the larger size fractions (e.g., 4-10 and 10-40  $\mu\text{m}$ ).

The results of potassium measurements by flame photometry in the K-Ar sample aliquots show a range in potassium content which reflects the amount of quartz present in each sample. With one exception, a correlation was observed between potassium concentration in the samples and the calculated K-Ar age. The large range of calculated ages, from 348 to 206 Ma, is interpreted to reflect excess argon contained in the hydrothermal quartz present in the analyzed samples. We interpret the youngest age of the quartz-free samples,  $206 \pm 4$  Ma, as closest to the age of mineralization in the Vangtat orogenic gold belt. This mineralization age is comparable to the orogenic gold deposits in nearby central Vietnam, consistent with the late- to the post-collisional regional tectonic event.

**Textural and compositional evolution of sedimentary pyrite and carbonaceous matter during prograde metamorphism in the Luk Ulo Metamorphic Complex, Central Java, Indonesia**

R. Suhendra, R. Takahashi, A. Agangi and H. Sato (Akita Univ.)

The Luk Ulo orogenic gold prospect is hosted in the low-grade metamorphic rocks consisting of carbonaceous phyllite, schist and meta-granitoid rocks. The host rocks show a typical of lower (LGSF), middle (MGSF), and upper greenschist facies (UGSF) mineral assemblages with estimated peak of metamorphism from 350 to 524 °C. A significant occurrence of pyrite-rich carbonaceous metapelites with various pyrite and carbonaceous matter (CM) textures in prograde rocks may indicate that metamorphism plays an important role for metal enrichment in the Luk Ulo gold mineralization. To answer that hypothesis, textural and chemical characteristics of pyrite and CM were examined by petrography, laser Raman, EPMA and LA-ICP-MS analyses with whole-rock geochemistry (XRF, ICP-MS, and LECO analyses) and sulfur isotope data.

Texture and trace element of pyrite evolve with the increase of metamorphic grade, *i.e.*, [1] framboids in sedimentary-diagenesis, [2] framboids aggregate gradually transform to euhedral pyrite in LGSF, [3] elongated pyrite in MGSF, and [4] pyrite-pyrrhotite transformation in UGSF, respectively. Framboidal pyrite has elevated amounts of metal impurities, Ag, As, Bi, Cu, Co, Hg, Ni, Pb, Sb, Se, Zn and so on, which was likely precipitated by the reduction of sea water sulfate under reducing to suboxic conditions. Selective depletions of elements (As, Ag, Cu, Hg, Pb and Sb) were observed in euhedral pyrite with textural evidence of As redistribution at the rim, while the core is As-poor in composition. Further depletions of As, Cu and Pb were observed in the elongated pyrite, whereas Au and Ag were leached out during the transformation from pyrite to pyrrhotite. The carbonaceous matter shows less complex textural and compositional evolution during LGSF to UGSF metamorphism. Unordered CM transformed to graphite in MGSF, and it was accompanied by the liberation of S, Fe and Sb. The inclusions of sulfide minerals and elevated Au and Cu contents, up to 600 ppm Au and 2,000 ppm Cu, in CM of LGSF suggest that CM played a role to concentrate Au, Ag, Sb and Cu during the sedimentary-diagenetic stages. Moreover, remobilization of sulfur from sedimentary pyrite and CM is indicated by the similarity of  $\delta^{34}\text{S}$  values between hydrothermal pyrite and metamorphosed sedimentary pyrite (median: -9.8 ‰).

Hydrothermal alteration and FT age of weathered granite sand in Okuizumo area, Shimane Prefecture.

H. Ohira and N. Enomoto

島根県奥出雲周辺には真砂が広く分布し、鉄穴流しにより砂鉄を取り出したた製鉄に利用してきた。この地域の真砂の多くは主に花崗岩を母岩とするが、一部には石英閃緑岩～トータル岩・閃緑岩を母岩とする真砂も分布する。今回研究対象としたのは主に後者で、奥出雲町鴨倉周辺および同市原峠付近の桂ヶ谷で、いずれもかつての砂鉄鉱山跡でもある。今回これらの真砂に認められる熱水変質作用について検討を行った。また真砂に含まれるジルコンのフィッショントラック (FT) 年代から母岩の冷却史を検討した。

石英閃緑岩～トータル岩を母岩とする上鴨倉の真砂では、斜長石の多くは粘土化し、黒雲母は緑泥石化している。残存する斜長石が曹長石化を伴う場合がある。僅かに残存する角閃石の亀裂を充填するようにスメクタイトが認められる。束沸石や濁沸石は脈状あるいは塊状に産する。一方、桂ヶ谷の真砂は閃緑岩を母岩とし、変質は比較的弱い斜長石の粘土化や黒雲母の緑泥石化が認められる。濁沸石脈の周囲で変質が進行している場合がある。これらに対して花崗岩を母岩とする真砂では、黒雲母の緑泥石化、斜長石やカリ長石の曹長石化が認められ、まれにセリサイトを伴う場合がある。斜長石の亀裂にカオリンやスメクタイトを伴う場合がある。これらの変質作用は深成岩の上昇・冷却過程で生じた何らかの熱水の影響により生じたと考えられる。なお緑泥石と沸石との関係については、緑泥石が比較的広範囲に認められるのに対し、沸石の形成は局所的であるとの見解もある (三浦, 1988)。

上鴨倉および桂ヶ谷の真砂に含まれるジルコンのFT年代は、それぞれ $34.5 \pm 1.2\text{Ma}$ および $58.7 \pm 1.9\text{Ma}$ であった。ジルコンFTの閉鎖温度は $240^\circ\text{C}$ と比較的高いことから、これらの年代値は熱水変質の影響でリセットしたものではなく、母岩の冷却年代を示していると考えられる。上鴨倉では古第三紀始新世末期の石英閃緑岩～トータル岩が熱水変質を伴い真砂化したと考えられる。桂ヶ谷については、周囲の岩体の定置年代 ( $60.5 \pm 6.3\text{Ma}$ ; 岩田ほか, 2012) を考慮すると、古第三紀暁新世に貫入定置後 $240^\circ\text{C}$ まで急速に冷却したと考えられる。このような基盤の急速な上昇・冷却と熱水変質作用との関連については更なる検討を要する。

(参考文献)

三浦 清, 1988, 島根大学教育学部紀要. 22, 1-11.

岩田智加ほか, 2013, 地質学雑誌. 119, 190-204.

## **O-23**

### リスウェナイト化に伴う Ni-Co 鉱化作用；

#### 大倉鉱床，夏梅-大屋鉱床，長瀨地域の例

藤巻勇帆(秋田大・国資/住鉱)，渡辺 寧・越後拓也・青木翔吾(秋田大・国資)  
Ni-Co mineralization associated with listwanitization; Case studies of the Okura deposit,  
Natsume-Oya deposit and Nagatoro area

Y. Fujimaki, Y. Watanabe, T. Echigo and S. Aoki

リスウェナイトは熱水変質を受け，珪化・炭酸塩化した超塩基性岩を指す．リスウェナイト Ni-Co 鉱床はモロッコの **Bou Azzer** 鉱床に代表され，国内でも変質した蛇紋岩に伴う Ni-Co 鉱床がいくつか報告されている．リスウェナイト化に伴う Ni-Co 鉱化作用を明らかにするために国内 3 地域で岩石記載や流体包有物の測定などを行なった．

大倉鉱床は新潟県南魚沼市に位置し，数十 m オーダーの蛇紋岩ブロックを含む泥質片岩に花崗岩が貫入している．蛇紋岩はリスウェナイト化により，アクチノ閃石，緑泥石，滑石に連続的に変質している．緑泥石を伴うリスウェナイトの石英脈中に紅砒ニッケル鉱を内包する自形の硫砒ニッケル鉱が **Te-Bi** 鉱物と共生して産する．その他，磁硫鉄鉱や黄銅鉱，硫砒鉄鉱，閃亜鉛鉱，黄錫鉱，自然ビスマスなどが認められた．

夏梅-大屋鉱床は兵庫県養父市に位置し，蛇紋岩に花崗岩およびデイサイトが貫入している．花崗岩周辺では蛇紋岩がアクチノ閃石，緑泥石，滑石，フクサイトに連続的に，蛇紋岩と泥質片岩の境界の断層破碎帯では滑石，緑泥石，ドロマイトに変質している．夏梅鉱床では緑泥石-滑石リスウェナイト中に紅砒ニッケル鉱や硫砒ニッケル鉱が大屋鉱床ではオパール化した蛇紋岩に針ニッケル鉱が産する．その他，磁硫鉄鉱や黄銅鉱，磁鉄鉱，硫砒鉄鉱，砒鉄鉱，閃亜鉛鉱，錫石などが確認された．

埼玉県長瀨地域では三波川帯の泥質片岩帯中に蛇紋岩が分布している．蛇紋岩はリスウェナイト化によりドロマイトや滑石に変質し，自形の含 Ni 輝コバルト鉱や磁硫鉄鉱，ペントランド鉱，黄銅鉱が滑石中に産する．

これらの鉱床における Ni-Co 鉱物はフクサイトではなく緑泥石や滑石を伴うリスウェナイトに産していた．これは蛇紋岩中の Ni や Co が熱水により溶脱された後，母岩との反応による pH の上昇や水/岩石比の低下により鉱物として沈殿したことを示唆する．還元的環境で形成されたこれらの鉱床に対し，**Bou Azzer** コバルト鉱床は赤鉄鉱を伴う酸化的環境で形成されている． $\text{Co}^{2+}$  は酸素分圧が高いほど熱水中の溶解度が増すということを反映していると考えられる．

## 透輝石メルト包有物中の金属硫化物

天谷宇志・黒澤正紀(筑波大・生命環境)

Studies on mineralogical features of granitic melt inclusions in diopside megacrysts  
from Sanogawa area at the Southern Fossa Magna region

T. Amagai and M. Kurosawa

金属鉱床を形成する熱水流体は、ほとんどが花崗岩類から生じるため、金属鉱床の成因の検討には、初生的な花崗岩メルトの化学的特徴の解明が重要である。しかし、地表に露出した花崗岩体は、結晶分化や熱水分離等により初生的な化学的特徴を失っており、また地下深部の花崗岩体を直接分析することは難しい。

南部フォッサマグナ地域の山梨県佐野川流域には、小規模な新第三紀閃緑岩～花崗閃緑岩体が点在しており、多数の玄武岩質安山岩脈を随伴する。最近、これらの岩脈に含まれるクロム透輝石斑晶中に、熱水分離前の地殻深部起源の花崗岩質メルトが包有物として捕獲されていることが見出された。このメルト包有物は冷却に伴って結晶化しており、多量の含水鉱物と長石・石英、少量の金属硫化物を含んでいた(流体包有物は見出されていない)。このメルト包有物を分析すれば、当地域の第三紀の花崗岩に関連したメルトの金属濃度や酸化還元状態・微量元素特性等を解明できる可能性がある。日本の主要な熱水性金属鉱床の殆どは、新第三紀の花崗岩に伴われるため、日本の熱水性金属鉱床の形成モデルを地下深部での初生的マグマからの金属元素分別といった観点から整理できる可能性にもつながる。

そこで本研究では、透輝石斑晶に含まれる花崗岩質メルト包有物の鉱物組成とその化学組成を分析し、同地域の初生的な新第三紀花崗岩メルトの化学的特徴を推定することを試みた。最終的には、メルト包有物の特徴から発生可能な熱水流体や金属鉱床の特徴を推測し、地表に露出する花崗岩体・随伴鉱床との関係、鉱床探査プローブとしての活用などを検討する。

透輝石斑晶には、長石類・石英・塩素燐灰石を含む花崗岩質のメルト包有物の他に、緑泥石・方解石を主とする炭酸塩質のメルト包有物が含まれていた。この2種類のメルト包有物は、マグマ混合を示唆し、おそらく、含水含炭酸玄武岩質メルト中で成長した透輝石が成長途中に花崗岩質マグマと混合した可能性を示唆する。この組み合わせは、山梨県佐野川流域の各地の岩脈中の透輝石斑晶中に普遍的に認められた。メルト包有物に含まれる金属硫化物は、黄鉄鉱を主体とし、黄鉄鉱に随伴する微小な黄銅鉱中にはCo, Ni, Zn, Moも少量含まれていた。この地域の地表部にCo, Ni, Moの鉱床は確認されていないが、小規模な鉄・銅鉱山には少量成分として随伴されている可能性があるため、今後検討が必要である。

## O-25

### 酸化鉄-銅-金(IOCG)型としての秩父鉱山ウズノ沢鉱体

宮下 敦(成蹊大・理工), 村上浩康(早大・教育工), 金井拓人(帝京大・文化財研)  
The Uzunosawa magnetite ore body in the Chichibu Mine is an IOCG type.

A. Miyashita, H. Murakami and T. Kanai

酸化鉄-銅-金(IOCG)型鉱床(Hitzman et al., 1992)について, Murakami and Miyashita (2020)は, 日本国内での存在可能性を検討し, 日本列島のメタロジェニーにおける意義について検討した. 秩父鉱山ウズノ沢鉱体では, 松原(2017)により, 磁鉄鉱に伴って塩素燐灰石の存在や, Ce, Thに富む構成鉱物が報告されている. この磁鉄鉱体について, IOCG型の可能性を検討した.

ウズノ沢鉱体は, 秩父鉱山南端部に位置し, スカルン鉱床の関係火成岩とされる秩父トータル岩体(約6 Ma)中に胚胎される小規模な磁鉄鉱体である(原ほか, 2010). 鉱体は秩父帯付加コンプレックス中津川層群両神ユニット中のサブユニット境界断層の直上に位置する. 磁鉄鉱体は, トータル岩中のCpxスカルン中の小規模な鉱体もので, Ca角閃石, epidote, garnet等のスカルン鉱物を伴っている. また, 松原(2017)が記載した, thoriteの他, barite, chalcopyrite, pyriteが認められる. BSEによる観察では, しばしば燐灰石を磁鉄鉱中に包有する組織が認められる(図1). 磁鉄鉱の産状には, 鉱石を作る塊状の部分と, スカルン鉱物中に散在する細粒の部分が認められる. LA-ICPMSによる磁鉄鉱中の微量成分分析結果では, 両者はTi含有量に差があり, Nadoll et al., (2014)の判別図上(図2)では, 前者が斑岩銅鉱床~酸化鉄-燐灰石(IOA)型の領域に, 後者はスカルン型の領域にプロットされる.

以上のような特徴は, ウズノ沢鉱体がIOCG型の特徴を持つことを示唆している. 鉱床形成時期が約6Maとすると, 世界的に見ても最も若いIOCG型の可能性がある.

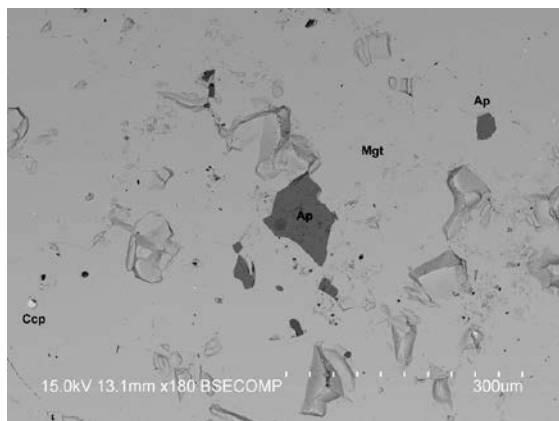


図1 磁鉄鉱中の燐灰石

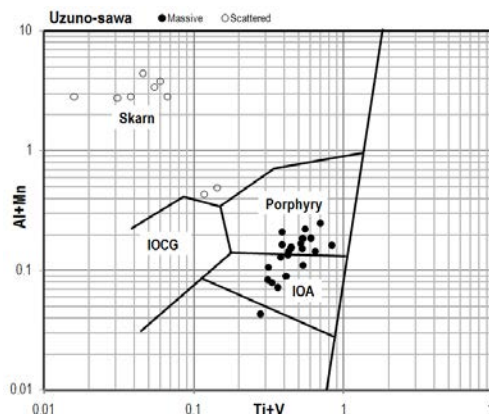


図2 磁鉄鉱の微量成分による鉱床型判別図(Nadoll et al., 2014)

原 英俊ほか, (2010), 三峰地域の地質, 110p.

Hitzman et al. (1992), Precambrian Res. 58, 241-287.

松原 聡 (2017), 「秩父銅山」, 埼玉県立自然の博物館, 15-28.

Murakami and Miyashita (2020), JpGU abstract, C005399.

Nadoll et al., (2014), Ore Geol. Review, 61, 1-32.

## **O-26**

### 秋田県北部地域の黒鉱鉱床における含金銀鉱石形成機構

鈴木照洋・渡辺 寧・越後拓也・青木翔吾(秋田大・国資)

Gold and silver-bearing ore formation of the Kuroko deposits in northern Akita

T. Suzuki, Y. Watanabe, T. Echigo and S. Aoki

多くの黒鉱鉱床では金銀に富む鉱石の産出が報告され、各鉱床や鉱石単位の産状及び成因について議論されてきた。

本発表では金銀鉱化作用の例として古遠部鉱床及び水沢鉱床産鉱石を、金銀を伴わない含金銀鉱石に類似した特徴を有する鉱石の例として堂屋敷鉱床の鉱石についての産状及び形成機構について紹介し黒鉱鉱床における金銀鉱化作用について考察する。

古遠部鉱床産の黒鉱は方鉛鉱、閃亜鉛鉱、重晶石を主とし、Cu-S系鉱物及びマッキンストリー鉱、輝銀銅鉱に富む。閃亜鉛鉱及び重晶石は他の鉱物に比べ早期に晶出しており、銀鉱物及びその共生鉱物は閃亜鉛鉱-重晶石の隙間を埋めるように晶出している。

同鉱床産黄鉱質鉱石は黄銅鉱、斑銅鉱、黄鉄鉱を主とし、亜鉛砒四面銅鉱、斑銅鉱、阿仁鉱類似鉱物に富み、少量の輝銀銅鉱及びエレクトラムを含む。エレクトラムの金銀比は70:30前後であり、エレクトラムは斑銅鉱及び黄銅鉱と共生する。輝銀銅鉱の多くは阿仁鉱と共生し斑銅鉱に卓越部で晶出する。

水沢鉱床の黒鉱は、方鉛鉱、閃亜鉛鉱、重晶石を主として銀安四面銅鉱、雑銀鉱、黄銅鉱、黄鉄鉱を含む。閃亜鉛鉱の隙間を埋めるようにエレクトラム、銀安四面銅鉱、雑銀鉱、黄銅鉱、方鉛鉱が晶出している。エレクトラムの金銀比は、43:57である。同鉱床産偽礫状黄鉱質鉱石は、黄鉱礫間を埋める閃亜鉛鉱-方鉛鉱濃集部に少量のエレクトラムを伴う。

堂屋敷鉱床産の鉱石は礫状黄鉱であり基質部は細粒黄鉄鉱、斑銅鉱、閃亜鉛鉱からなる。礫部は黒鉱礫を主とする。また基質支持で淘汰円磨度ともに悪く、乱堆積相を呈する。斑銅鉱及びCu-S系鉱物、砒四面銅鉱を含みコルーサイト及びルソン銅鉱が鉱石全体に鉱染しており、礫状鉱石形成後に間隙、または黄鉄鉱を交代するように晶出している。ルソン銅鉱は亜鉛砒四面銅鉱に内包される。本鉱石は一度形成した鉱石が鉱体の成長に伴い、埋没し超高硫化的環境から高硫化的環境に変化し形成したと考えられる。そして硫黄活量が高い環境が保持されたため金の晶出が起らなかったと考えられる。

黒鉱鉱床の金銀鉱化作用は高硫化的環境で硫黄活量の低下に伴い金が沈殿し、温度低下に伴い銀が沈殿するもの(古遠部黒鉱及び黄鉱)と低硫化的環境で硫黄活量の低下と温度の低下に伴い形成するもの(水沢鉱山黒鉱及び黄鉱)に分類することが可能である。そしていずれの鉱石においても鉱石の間隙に金銀鉱物及び共生鉱物が晶出する。したがって、金銀鉱化作用は鉱体形成後に鉱体内を熱水が浸透、あるいは一部を交代することで生じたものと解釈することができる。また高硫化的熱水の影響を受けた鉱石においても硫黄活量の高い状態が維持された場合金銀の沈殿は引き起こされないと考えられる。

**沖縄トラフ鳩間海丘の海底熱水鉱床  
チムニーの Ag-Sb-Pb-S 系鉱物**

小濱和樹(富山大・理/現 九大・工), 野崎達生(海洋機構・資源),  
小室光世(富山大・理)

Ag-Sb-Pb-S minerals in the chimney samples collected from the Hatoma Knoll hydrothermal field in the Okinawa Trough

K. Kohama, T. Nozaki and K. Komuro

鳩間海丘は南部沖縄トラフに位置する水深約 1,500 m, 直径約 4 km のカルデラ火山であり, 熱水活動はカルデラの中心部に集中している. 本研究では, 鳩間海丘の海底熱水噴出域から採取されたチムニー試料について, 顕微鏡観察, 電子プローブマイクロアナライザー(EPMA)を用いて鉱物種, 鉱物組み合わせの記載を行い, これらの結果に基づき, 形成過程を検討したので報告する.

チムニー試料中に観察された鉱物組織を, 形成順に 5 つの Type に分類した. Type 1 は自形の重晶石( $\text{BaSO}_4$ )である. チムニーの骨格を成す鉱物で, 空隙部は Type 2~5 の鉱物で埋められている. Type 2 は有孔虫を交代した黄鉄鉱( $\text{FeS}_2$ )であり, Type 1 と Type 3 の境界に偏在している. この組織は, 同心円状に内側から有孔虫の殻と殻内部, 粒径数  $\mu\text{m}$  の細粒黄鉄鉱, 粒径 10  $\mu\text{m}$  程度の粗粒黄鉄鉱で構成されている. Type 3 は閃亜鉛鉱( $\text{ZnS}$ ), 方鉛鉱( $\text{PbS}$ ), 黄鉄鉱, 銀安四面銅鉱( $\text{Ag}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ ), ヒ四面銅鉱( $\text{Cu}_{10}(\text{Fe}, \text{Zn})_2(\text{As}, \text{Sb})_4\text{S}_{13}$ )の共生組織である. Type 4 は Ag-Sb-Pb-S 系鉱物であり, 方鉛鉱, ダイアフォル鉱( $\text{Pb}_2\text{Ag}_3\text{Sb}_3\text{S}_8$ ), ミアジル鉱( $\text{AgSbS}_2$ ), アンドル鉱( $\text{PbAgSb}_3\text{S}_6$ )とフィゼリ鉱( $\text{Pb}_{14}\text{Ag}_5\text{Sb}_{21}\text{S}_{48}$ )の固溶体, セムセイ鉱( $\text{Pb}_9\text{Sb}_8\text{S}_{21}$ ), 輝安鉱( $\text{Sb}_2\text{S}_3$ )が観察された. ミアジル鉱と固溶体(アンドル鉱-フィゼリ鉱)はダイアフォル鉱のリムで観察されたが, 直接的な共生関係は観察されなかった. Type 5 は Sb, As を含む黄鉄鉱である. 針状の輝安鉱を取り囲むように房状, 球状を成しており, 周りは非晶質シリカで囲まれている. Sb, As 含有量の違いによる累帯構造が観察された.

EPMA による定量分析の結果, Type 3 の方鉛鉱は Ag, Sb をほとんど含有していない. 一方, Type 4 の方鉛鉱は Ag : 1.06-3.26 atom%, Sb : 0.90-2.91 atom% を含有している. また, アンドル鉱とフィゼリ鉱の固溶体は,  $\text{Pb}_{0.98-13.1}\text{Ag}_{0.97-5.0}\text{Sb}_{3.1-21.6}\text{S}_{6-48}$  の組成幅を示す.

以上の様な多様な鉱物組織は, 海底面上に噴出した熱水が, 周囲の海水と混合することで形成されたと考えられる. Type 1 の重晶石は熱水活動初期に形成される. Type 2 の形成は, 有孔虫が沈降しチムニーに付着した事が予想されるため, 熱水活動が一時停止したことが示唆される. Type 3,4 は熱水優勢な環境で形成され, 特に Type 4 の Ag-Sb-Pb-S 系鉱物は, Pb-rich から Sb-rich に移行する過程で銀鉱物の鉱化作用が生じたと考えられる. ダイアフォル鉱から Ag-rich な方向に進みミアジル鉱が, Ag-poor な方向に進みアンドル鉱とフィゼリ鉱の固溶体が形成されることが考えられる.



## O-28

### ケルマデック弧ブラザーズカルデラ熱水サイトのRe-Os

#### 組成：火山性ガスの寄与によるOsの移動と異常濃集

野崎達生 (海洋機構・資源), 石田美月・高谷雄太郎 (東大・工),  
常青・木村純一 (海洋機構・火山), 加藤泰浩 (東大・工)

Re-Os geochemistry of Brothers volcano hydrothermal field, Kermadec arc; Mobilization and abnormal enrichment of Os due to the volcanic gas input

T. Nozaki, M. Ishida, Y. Takaya, Q. Chang, J.-I. Kimura and Y. Kato

海底熱水鉱床は4つに大別される海底鉱物資源の1つであり、銅-鉛-亜鉛-金-銀の新たな供給源として期待されている。海底面上のチムニーやマウンドはROV, HOV, AUVなどでアクセスできるが、海底面下に直接アクセスする方法は高コストの掘削のみである。DSDP・ODP・IODPの国際的枠組みにより、海底熱水鉱床の掘削航海が過去に5回行われてきたが、海底下の変質・鉱化作用を引き起こす複雑な熱水-海水の混合システムに関しては、いまだ不明な点が多い。そこで本研究では、海底下の熱水-海水混合システムの解明を目的として、ニュージーランド北東沖のブラザーズカルデラで実施されたIODP Exp. 376航海 (de Ronde et al., 2019a) のSite U1530から採取された掘削コアを対象にRe-Os分析を行った。その過程で、火山ガスによるOsの移動と異常濃集を世界で初めて検出したので併せて報告する。

Site U1530は、ブラザーズカルデラの北西カルデラ壁に位置しており、seawater-dominantな熱水噴出孔の近傍に位置する (de Ronde et al., 2019b)。Site U1530ではHole U1530Aが掘削されたが、掘削長は本航海で最長の453.1 m、コア長は76.8 mであった。掘削コアはデイサイト質火成岩の変質岩から構成される。Re-Os濃度は、581 ppt~605 ppb, 6.19 ppt~61.5 ppbを示し、 $^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$ および $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ は0.50~18,700, 0.1256~0.3365を示す。215 mbsf以浅では $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ の基底値は約0.14であるのに対し、215 mbsf以深では0.125~0.13を示す。いくつかの層準で $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ の正異常が認められるが、これらの正異常は (1) ReまたはOsの濃集と多量の硫化鉱物 (主に黄鉄鉱) あるいは硫酸塩鉱物の産出を伴い、熱水-海水混合による場合と (2) Re-Osの濃集や硫化鉱物の多産を伴わず、緑泥石の多産と高い孔隙率を伴い、seawater ingressによる場合の2つに大別されることが明らかとなった。Os濃度は、294.7 mbsfにおいて最大の61.5 ppbを示し、この値はマントルカンラン岩の約15倍、上部大陸地殻の平均値の約2,000倍である。このようなOs濃度を記録する岩石としては、白金族元素鉱石か隕石しか地球表層からは報告されていない。(a) Osの最高濃度を記録した層準の $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ は0.1277とマントルカンラン岩と類似した値であり、(b) 本層準ではダイアスポア、葉ろう石、ズニ石などの酸性・高温下で晶出する鉱物が産出すること、(c) 215 mbsf以深から $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ の基底値が0.125~0.13に変化することから、マントルと類似するunradiogenicなOsが火山ガスによってOsO<sub>4</sub>として運ばれ、海底下数百mの比較的浅部において異常濃集していると考えられる。

## **O-29** カナダ・ポッタードール黒鉱型鉱床 (27 億年前)

### における熱水性石油

掛川 武(東北大・理)

2.7 Ga pyrobitumen in volcanogenic massive sulfide deposit at Potterdoal mine in Canada

T. Kakegawa

The 2.7 Ga volcanogenic massive sulfides are present at the Potterdoal mine in the Abitibi Greenstone Belt, Ontario, Canada. Sulfide ores are mainly composed of chalcopyrite, sphalerite, and pyrite. Massive ores often show stratified characteristics, suggesting the black-smoker origin of the massive ores. The footwall is made of mafic volcanic rocks and black chert. The veined ores are developing in footwall volcanics with alteration minerals.

In the present study, various forms of organic matter are found both in massive and veined ores. In particular, mass of pyrobitumen, solidified petroleum, are found in veined ores which were formed beneath the ancient seafloor. This type of pyrobitumen is spatially related to pyrite and chalcopyrite. Disseminated pyrobitumen are also found in massive ores. Amygdules in the footwall basalt also filled with globular pyrobitumen with sulfides and quartz. General mineral assemblages and Raman spectroscopic analyses indicate that the pyrobitumen were suffered from the metamorphic (or hydrothermal alteration) temperature up to 300 C. The carbon source of pyrobitumen was sedimentary organic matter around the recharge zones of the local hydrothermal system, suggested by carbon isotope analyses. Those geological and geochemical findings suggest that the petroleum was generated simultaneously with 2.7 Ga submarine hydrothermal activities at the Potterdoal site. Co-genesis of petroleum and massive sulfide ores are less recognized but most likely very common in Archean age, because of easily-degradable characteristics of Archean organic matter and the widespread submarine hydrothermal system on the Archean seafloor.

## 古地磁気年代

川崎一雄（富山大・都），David T.A. Symons (Univ. of Windsor)

Paleomagnetic age of the Grum Zn-Pb deposit, Yukon, Canada.

K. Kawasaki and D.T.A. Symons

カナダ，ユーコン準州のSelwyn堆積盆内に位置するGrum 亜鉛・鉛 鉱床は，Anvil District内にある五つの主要な硫化物鉱床の一つであり，原生代後期からカンブリア紀のMounta Mye層とカンブリア紀から前記オルドビス紀のVangorda層の間に胚胎するSEDEX (sedimentary exhalative) 型鉱床である．本研究は，古地磁気の手法より亜鉛・鉛鉱床の形成年代を推定することを目的とする．鉱床部（15サイト）より採取した164試料を対象に段階熱消磁と段階交流消磁の組み合わせを用いて，安定な固有磁化成分（ChRM）を求めた．段階熱消磁と岩石磁気分析の結果，試料内の主要な磁性鉱物は，疑似単磁区～単磁区のピロタイトと考えられる．試料の総平均磁化方位より求めた古地磁気極（緯度67.8°N，経度317.4°E，95%信頼限界誤差 $A_{95} = 7.2^\circ$ ）を北米大陸の古地磁気極移動曲線と対比したところ，時計回りの回転と北方向の移動後，約176 Maの古地磁気年代を得た．得られた古地磁気年代は，近傍の白亜紀中期のAnvil深成岩体よりも優位に古いため，Grum鉱床の成因として，Anvil深成岩体の貫入は関係しないと考えられる．また，得られた結果と既報のHowards Pass鉱床群の古地磁気結果を統合すると，Intermontane Beltテレーンの北米大陸へのジュラ紀前記の衝突に関連すると考えられるジュラ紀前期の再帯磁現象がSelwyn堆積盆全体に広がることを示唆する．

## **O-31**

### 南アフリカ・ブッシュフェルト複合岩体 リンポポ鉱山における白金族鉱化作用

尾留川万季・渡辺 寧・越後拓也 (秋田大・国資)

PGE mineralization in the Limpopo mine, the Bushveld Complex, South Africa

M. Birukawa, Y. Watanabe and T. Echigo

ブッシュフェルト複合岩体は南アフリカ共和国北東部に存在する世界最大規模の層状貫入岩体であり、白金資源の世界的な供給源となっている。同岩体は東リムにおいてはUG2クロム鉄鉱層とメレンスキーリーフが主要な鉱化帯である。研究対象のリンポポ鉱山は現在操業していないが、東縁北部に位置し、近年開発が進んでいる北縁と位置が近く重要性が高い。本研究では、バオバブシャフトDKP119試料を用い下部から上部にかけて偏光顕微鏡観察、鉱物モード測定、全岩化学組成分析(ICP, ICP-MS)と鉱化帯の白金族元素(PGE)品位分析から、PGEの鉱化作用を考察した。

ドリルコア試料(6.02 m-352.0 m)は主としてクリティカルゾーンの苦鉄質岩からなる。下位から上位にかけて超苦鉄質岩類-苦鉄質岩類の周期が認められ、苦鉄質岩類はノーライトと斑状の巨晶輝石を含む斜長岩、超苦鉄質岩類は斜方輝岩、優白色輝岩、クロム鉄鉱岩から構成される。UG2クロム鉄鉱層、メレンスキーリーフは超苦鉄質岩中に胚胎する。これらの岩石の多くは集積構造を示し、輝石・斜長石・クロム鉄鉱の集積構造が観察される。非鉱化帯苦鉄質岩中では集積鉱物である斜長石が70%以上、メレンスキーリーフの輝岩では斜方輝石が約60%、UG2クロム鉄鉱岩ではクロム鉄鉱約60%の鉱物モード組成を示す。全岩化学組成分析の結果は、主に集積鉱物である斜長石と輝石に支配されている。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, CaO, Sr, Ba, Eu, Gaの含有量は同様の増減の挙動を示し、MgO, MnO, TiO<sub>2</sub>, Ni, Znの挙動と対称的である。コンドライトで規格したREEパターンは全体を通してEuの正異常を示し、メレンスキーリーフの輝岩では負の異常を示すものと異常を示さないものが存在した。PGE品位分析の結果は、両鉱化帯においてPd, Pt, Rhが他のPGEより支配的である。UG2クロム鉄鉱層では品位が系統的变化を示さなかった一方、メレンスキーリーフでは下部から上部にかけて品位が高くなる層序の関連が見られた。また、それらの岩石にはPdの負の異常を示し、Euの異常を示さないもの、Pdの負の異常を示さずEuの負の異常を示すものが認識された。

以上の事から、メレンスキーリーフにおけるPGE鉱化作用には、斜長石の分別作用を反映し分化の進んだメルトと、斜長石の分別作用を反映しない比較的未分化なメルトの二種類が関与すると示唆された。

## **O-32 Hydrothermal alteration and mineralization of the Fishtie deposit: Implication to metal source and timing of sediment-hosted Cu-Co mineralization in the Zambian Copperbelt**

M. Simusokwe, Y. Watanabe and T. Echigo (Akita Univ.)

The Zambian Copperbelt is considered the largest sediment-hosted Cu district in the world, hosting about 60% of the Cu endowment of the Central African Copperbelt, and contains significant Co-rich deposits. We present lithologic, petrographic, mineralogic, and sulfur isotopic data for the Fishtie deposit to address the source of the metals and sulfur, timing of mineralization and the physico-chemical conditions that controlled the precipitation of ore minerals.

The Fishtie orebody is hosted in alternating sequences of dolomite and dolomitic siltstone, overlying sandstone and conglomerate. These lithologies are correlated with the Nguba Group belonging to the Neoproterozoic Katangan Supergroup. The conglomerate is matrix-supported and consist of subrounded to angular, polymictic clasts of quartzite, schist, dolomite, granitoid and mafic rock. Hydrothermal alteration which is clearly observed in the conglomerate, involves pervasive replacement of calcite and plagioclase by albite, dolomite and clinocllore. This alteration is overprinted by chamosite, biotite and siderite. Copper mineralization is associated with hydrothermal alteration and occurs as chalcopyrite, disseminated in the chlorite-rich clasts. But, the bulk of Cu mineralization is observed in the folded beds of dolomite and dolomitic siltstone as veins and stratabound chalcopyrite and bornite replacement. Minor cobaltite is restricted to veins. The mineral chemistry of chlorite and biotite shows depletion in the concentration of Cu and Co during the alteration/metamorphism of chlorite to biotite.

Sulfur isotopic results of sulfide minerals show strong lithologic control, where the highest  $\delta^{34}\text{S}$  values (from  $\sim+15\text{‰}$  to  $+27.2\text{‰}$ ) are observed in stratabound sulfides in dolomitic siltstone, while the lowest  $\delta^{34}\text{S}$  values (from  $\sim-0.07\text{‰}$  to  $+7\text{‰}$ ) occur in vein-hosted hosted sulfides in dolomite. Intermediate  $\delta^{34}\text{S}$  values ( $+9.2\text{‰}$ ,  $+11.2\text{‰}$ ,  $+13\text{‰}$ ) are observed in sulfides disseminated in sandstone and conglomerate unit. These variations are interpreted as evidence for the mixing of sulfur in the hydrothermal fluid with reduced sulfur from evaporitic sulfate and hydrocarbons trapped in dolomitic siltstone, sandstone and conglomerate.

We propose a metamorphic model for the formation of the Fishtie orebody that involves circulation of saline hydrothermal fluids capable of remobilizing Cu and Co from mafic clasts. Cooling and reaction of these fluids with host rocks deposited Cu-Co minerals in structurally controlled veins and folded dolomite and dolomitic siltstone.

**Textural and geochemical analysis of sulfides  
at Zone 5 Cu-Ag deposit, Kalahari Copperbelt**

M. Keeditse, Y. Watanabe, T. Echigo,  
S. Aoki (Akita Univ.) and A. Arribas (Univ. of Texas at El Paso)

Sediment-hosted Cu deposits are fundamentally controlled by chemical and permeability frameworks upon which metalliferous fluids are superimposed. In the Kalahari Copperbelt (KCB) three metallogenic models have previously been proposed to explain the origins of the Cu-Ag deposits: (1) syngenetic-diagenetic; (2) purely epigenetic; (3) diagenetic-epigenetic-remobilization/overprinting. Here we focus on the Zone 5 Cu-Ag deposit, a portion of the KCB in northwestern Botswana. To bridge disparities between advanced metallogenic models, we carry out a combination of drill core examination, microscopic, SEM-EDS, and EMPA analysis on selected samples from the ore interval. Drill core data indicate that a 91 Mt metal-zoned ore body (at 2% Cu and 21g/t Ag) is hosted preferentially by chemically reduced meta-sediments overlying oxidized hematite-bearing arkosic sandstone. Across the width of Zone 5 economic metallic mineralization is concentrated along bedding planes, quartz-calcite veins, cleavages, and shear fabric. Petrographic evidence indicates that the diagenetic stage is represented by fine-grained stratiform pyrite (including framboidal) which is commonly intergrown with galena, sphalerite, Ni-Co-Fe sulfarsenide, and chalcopyrite. The epigenetic hydrothermal stage, on the other hand, produced coarse-grained stratiform-to stratabound minerals, primarily intergrown cupriferous sulfides (chalcopyrite, bornite, chalcocite, covellite) and associated quartz-calcite veining with accompanying hydrothermal alteration. Drill core data coupled with petrography suggest that initially bedding-parallel and vein-hosted ore was stretched and transposed into cleavage, indicating remobilization contemporaneously with flexural shearing during folding. Trace element trends demonstrate an overlap of trace metal concentrations (Cu, Fe, As, Zn, Pb, Ni, Co) between the diagenetic and hydrothermal mineralizing events, indicating remobilization of earlier formed minerals. This explanation is strongly supported by the replacive nature of hydrothermal stage sulfides. Although assay data display a positive correlation between Cu and Ag, Ag minerals are uncommon at Zone 5. However, EMPA data indicates that an average of 0.2 wt. % Ag is carried by chalcocite and bornite, while 0.1 wt. % is hosted by late precipitating covellite. Our study indicates that the Zone 5 Cu-Ag deposit formed from a multi-stage Cu-Pb-Zn-Ag precipitation history that includes both diagenetic and epigenetic events as well as subsequent remobilization.

## における重希土類鉱化作用

高木武蔵・渡辺 寧・○越後拓也 (秋田大・国際資源)

HREE mineralization in the Jabal Tawlah plutonic rocks, Kingdom of Saudi Arabia

M. Takagi, Y. Watanabe and ○T. Echigo

Jabal Tawlah 深成岩体はアラビア楕状地の北西部に位置する小規模なアルカリ貫入岩体であり、アルカリ花崗岩からなり閃長岩，ホルンフェルスを伴う。本岩体は空中放射能探査により1960年代に発見された後，Nb, Ta, Sn, Th, 希土類元素 (REE) の鉱化作用が認められ，多くの研究者によって研究が進められてきた。本研究では，これらの元素の中でも特にDyを含む重希土類元素 (HREE) 鉱床としての高いポテンシャルに着目し，ジャバルタウラ岩体に産出するHREE含有鉱物の化学組成や生成条件を詳細に検討した。

研究試料は，Jabal Tawlah岩体から採取されたREEに富む貫入岩であり，主要造岩鉱物の同定や組織観察は偏光顕微鏡を用い，微視的および鏡下での判定が困難な鉱物の同定や観察はSEM-EDSによって行った。これらの観察結果に基づいて鉱物晶出順序を決定した後，希土類元素を含む鉱物の化学組成をEPMAで定量分析した。

顕微鏡観察の結果，アルカリ花崗岩と閃長岩との間で副成分鉱物が大きく異なることが判明した。アルカリ花崗岩の副成分鉱物はジルコン，チタン磁鉄鉱，columbite, fergusonite-(Y)であり，閃長岩の副成分鉱物はジルコン，磁鉄鉱，xenotime-(Y), columbite, fergusonite-(Y), tveitite-(Y)  $[(Y,Na)_6(Ca,Na,REE)_{12}(Ca,Na)F_{42}]$ , gagarinite-(Y)  $(NaCaYF_6)$ , waimirite-(Y)  $(YF_3)$ , Y-bearing fluorite, fluoriteである。両岩石種の全岩化学組成を比較すると，いくつか例外はあるものの，概ね閃長岩の方がHREEに富む。一般的に，Fに富む過アルカリ花崗岩質マグマでは，メルト中のZrがアルカリ珪酸塩錯体やフッ化物錯体を形成するためにジルコンとして晶出しにくくなる。ジルコンはHREEの主要なホスト鉱物であるため，このような環境では結晶分化作用の進行に伴いメルト中のHREE濃度が上昇する。また，Fに富む珪酸塩メルトから揮発性成分が分離する際，HREEは揮発性成分よりもメルトにより多く分配される。本研究で同定されたCa-Y-フッ化物群がマグマ期後期から熱水期初期に集中して晶出しているのは，アルカリ元素とFに富むメルト中での結晶分化作用によるHREE濃度の漸進的上昇と，それに続く揮発性成分の離溶によって急激にメルト中のHREE濃度が過飽和に達した結果と考えられる。

**Preliminary assessment of rare earth elements  
in Badau district, Belitung Island, Indonesia**

E. G. W. Suharjo, Syafrizal, A. N. H. Hede (ITB)  
and R. Takahashi (Akita Univ.)

Badau district, located at the western part of Belitung Island, is one of the tin-productive regions in Indonesia. The tin contained in the cassiterite is produced from placer deposits with mineral assemblages well-known as tin-associated minerals. A few of these minerals are rare earth element-bearing minerals. However, the existence of these minerals is not well-documented yet. This research aims to do a preliminary assessment about the presence of rare earth element-bearing minerals (REE-bearing minerals) as well as the content of rare earth elements (REE) in those minerals.

The assessment was not only conducted on alluvial deposits, but it was also conducted on tailings and concentrates. Sample collection was carried out for three active mining sites. A conventional method, counting of mineral grains, was used as the initial analysis for indicating amounts of the REE-bearing minerals. Radioactivity measurement stated in the SI-derived unit of radiation absorbed dose rate (mSv/hour) was also used to support the data. Furthermore, qualitative mineral chemistry and X-ray diffraction analysis was conducted on the REE-bearing minerals and tin-associated minerals, respectively.

The mineral grain counting under the binocular microscope revealed that the minerals accompanied with cassiterite are mainly monazite, xenotime and zircon, which have been previously indicated as REE-bearing minerals. The monazite and xenotime are more major components than zircon in the concentrates. On the other hand, the contents of zircon are higher in the alluvial deposits and tailings. Monazite and xenotime have similar density values of 4.8, and those are most abundant in the cassiterite concentrates more than the alluvial deposits and tailings. Zircon commonly occurs as a small crystal in the alluvial deposits. Although the density of zircon (4.7) is similar to that of monazite and xenotime (4.8), its content in the concentrates is trace, because zircon is more easily transported. The mineral assemblage of the concentrate is supported by significant anomalies of radiation absorbed dose rate, which is caused by an actinide element, Th in monazite. The radiation absorbed dose rates of the alluvial deposits, tailings and concentrates are 0.10945, 0.10983 and 0.22365 mSv/hour, respectively, suggesting that more than twice the amount of monazite is included in the concentrates compared to others.

Mineral chemistry analysis revealed that only monazite and xenotime contain significant amount of REE in the study area. Monazite in the study area mostly has relatively elevated contents of LREE (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd) and HREE (Er and Yb), while xenotime has elevated contents of HREE (Y, Dy, and Yb). On the basis of the mineral chemistry analysis, the REE contents in zircon are less than the detection limit. Meanwhile, X-ray diffraction analysis supports the results of the mineral grain counting, which indicates gangue minerals of quartz and clays, economic main products of cassiterite, and byproduct target of REE-bearing minerals.



**Characterization of lithium-bearing pegmatite  
in Sakihama, Iwate, Japan**

H. V. Nhatinombe, R. Takahashi, A. Agangi, P. C. Manalo and H. Sato (Akita Univ.)

The Sakihama pegmatite in Sanriku Coast, Iwate, Northeast Japan, is one of the representative lithium-bearing pegmatites in Japan. The main outcrop of Sakihama pegmatite occurs as a horizontal sheet-like dyke or vein, where a ca. 4 m thick and 15 m long body is exposed along the coastline of Okirai Bay. In addition, we observed several thinner pegmatites, aplite dykes and pegmatite floats at 3 km northeast of Sakihama, along the coastline of Yoshihama Bay. The Sakihama pegmatite comprises nine asymmetrical growth zones with different mineralogical and textural features. The objectives of this study are to elucidate mineralogical characteristics and formation conditions of the Sakihama pegmatite based on microscopy, bulk chemical analysis, mineral chemistry, and fluid inclusions analysis.

The Sakihama pegmatite is hosted in Early Cretaceous granodiorites (Goyosan pluton) that intruded into the Kamaishi Formation in the eastern part and the Ofunato Group at the southwestern part. Thinner pegmatite dykes intrude the metasedimentary rocks of the Kamaishi Formation in the northeastern part of Okirai Bay. The pegmatite in Sakihama consists of K-feldspar, quartz and plagioclase as major minerals, tourmaline, garnet, biotite and muscovite as minor minerals, and monazite, columbite, magnetite, ilmenite, apatite, uraninite, ixiolite and zircon as accessory minerals. The cathodoluminescence images of pegmatite samples revealed the presence of crack-like texture in quartz, polysynthetic twinning and zonation in plagioclase, and graphic texture and tartan twinning in K-feldspar.

Tourmaline occurs as black prismatic crystals with size ranging from a few millimeters to 15 cm length. Under the microscope, the tourmaline occurs as subhedral-anhedral crystals with small cracks that host inclusions of accessory minerals, mainly zircon, and exhibits strong pleochroism from brown to bluish brown. In some cases, the tourmaline crystals show zoning with a light blue core and dark blue rim.

Bulk chemical analysis of single pegmatite minerals using solution ICP-MS revealed elevated contents of some elements compared to the primitive mantle, *i.e.*, tourmaline (averages: 115 ppm Li, 197 ppm Nb, 33.6 ppm Sn, 18.2 ppm Ce, 50.4 ppm Ta, 66.4 ppm U), mica (averages: 444 ppm Li, 739 ppm Rb, 47.1 ppm Y, 76.6 ppm Zr, 464 ppm Nb, 113 ppm Sn, 64.5 ppm Cs, 47.2 ppm La, 79.4 ppm Ce, 25.1 ppm Nd, 96.9 ppm Ta, 204 ppm W, 35.5 ppm Th, 39.9 ppm U), K-feldspar (averages: 782 ppm Rb, 63.6 ppm Zr, 63.1 ppm Nb, 18.4 ppm Cs) and quartz (averages: 24.5 ppm Li).

The chemical compositions of K-feldspar were plotted on K/Rb-Ba, K/Rb-Cs and K/Rb-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> diagrams to elucidate petrogenetic evolution of pegmatites, and the results suggest that it has an evolutionary sequence, barren- to transitional pegmatite → beryl type and beryl-columbite-phosphate pegmatite.

**Association between magmatism and mineral  
deposits in the Sukhothai Fold Belt:  
Zircon Lu-Hf isotopic characteristics of the granitoids**

A. Veeravinantanakul, R. Takahashi, A. Agangi, T. Ohba, Y. Watanabe (Akita Univ.),  
M. Elburg, H. Ueckermann (Univ. of Johannesburg), P. Kanjanapayont (Chulalongkorn Univ.)  
and P. Charusiri (DMR and Chulalongkorn Univ.)

The Sukhothai Fold Belt (SFB), located between the Loei Fold Belt (LFB) and the Inthanon Zone (IZ) in Thailand, was formed by the collision of the Sibumasu Terrane (ST) and Indochina Terrane (IT). It hosts mainly gold, antimony, tungsten, and fluorite deposits, unlike the types of mineralization compared to neighboring tectonic terranes of the country, *i.e.*, porphyry-skarn copper-gold and epithermal gold deposits in the LFB and tin-tungsten mineralization in the IZ and the ST. This study investigates petrography, geochemistry, geochronology and Hf isotopes of the granitoids in the SFB.

The granitoids consist of granite and granodiorite which are composed of quartz, plagioclase, K-feldspar, biotite and hornblende; muscovite is absent and accessory minerals of apatite, zircon, pyrite, magnetite and ilmenite. The magnetic susceptibilities of the granitoids vary between  $0.103 \times 10^{-3}$  and  $7.358 \times 10^{-3}$  SI unit, which indicate the granitoids in the SFB are both ilmenite and magnetite-series.

The major element compositions indicate that these granitoids have peraluminous and high-K calc-alkaline affinities. Chondrite-normalized diagrams of rare earth elements (REE) show moderately decreasing light REE and fairly flat heavy REE patterns, with a noticeably negative Eu-anomaly. The tectonic discrimination diagrams indicate that the granitoids in the SFB have the compositions of “volcanic arcs and syn-collision settings”.

The U-Pb dating revealed that two stages of magmatism in the SFB occurred during the initial to syn-collisional stage of the ST and IT (~243-237 Ma) and during the syn- to post- collision tectonism of the ST and IT (~230-202 Ma). The Eocene granite (~43 Ma) in the SFB suggested to relate to the reactivation of the Klaeng and Mae Ping fault zones during Himalayan Orogeny.

The zircons from the SFB granitoids yielded both negative and positive  $\epsilon_{\text{Hf}(t)}$  values (-8.0 to +9.2 with an average of +1.5), which indicate that the magmas of the SFB were derived from both juvenile mantle and old crustal materials. The two-stage model ages ( $T_{\text{DM}^{\text{C}}}$ ) of these zircons are 2.2-0.6 Ga with an average of 1.1 Ga, indicating the timing of a formation of the parental magmatic source of zircons separating from the mantle during Middle Paleoproterozoic to Early Neoproterozoic.

All the geochemical results indicate that the granitoid magmas in the SFB derived from mixed magmatic sources of both crustal anatexis and mafic magma differentiation, and are probably linked to an accretionary orogen. The magmas in this belt have been created in the latest stage of arc construction and an early stage of crustal thickening. Those data and tectonic setting explain why the SFB hosts orogenic gold and antimony deposits.

**Characterisation of Archean Banded Iron Formation Gold Mineralisation at Tau Deposit, Mupane Gold Mine, Botswana**

O. L. Seaba, A. Imai (Kyushu Univ.) and K. Baliki (Mupane Gold Mine)

Archean Banded Iron Formation (BIF) hosted gold deposits are widely distributed in greenstone belts situated in Archean cratons. Greenstone belts have contributed a significant amount of gold worldwide, mainly from Canada, Australia, Southern Africa, Brazil, and India. The origin of these deposits has been debated since the 1970s because of post-depositional deformation, metamorphism, and lack of modern referents for comparative studies. The present research investigates the origin of the Mupane gold deposit, situated in the Archean Tati greenstone belt succession of Botswana based on ore petrography, geochemistry of the host rocks and mineral chemistry of the sulphides. The Mupane gold deposit consists of three strata bound orebodies, namely the Tau (Tawana), Kwena, and Tholo deposits. Mineralogical characteristics of the host rocks indicate that the Tau deposit is hosted in a silicate-carbonate facies BIF based on the dominant iron minerals. The results show a close textural relationship between native gold mineralisation and quartz, grunerite, sulphides, carbonates, biotite, and chlorite. Arsenopyrite-rich zones are associated with biotite-chlorite veins which indicate that arsenopyrite precipitation might have been concomitant with potassic alteration. Pyrrhotite replaced magnetite in some samples suggesting that sulphidation might have been the dominant gold precipitation mechanism because it destabilises thiocomplexes in the ore fluids. The average gold fineness of native gold occurring in fractures, as inclusions in sulphides and as free gold associated with silicates from the Tau gold deposit as determined by scanning electron microscope (SEM) is 914 which is typical of Archean BIF hosted gold deposits. Based on textural relationships and chemical composition, arsenopyrites are interpreted to reflect two generations being arsenopyrite 1 (Apy1) which is possibly early in origin, sieve textured with abundant inclusions, overgrown by late arsenopyrite 2 (Apy2) which is late and commonly rims Apy1 with no porous texture and rare inclusions. Sulphidation reactions proceeded via coupled dissolution reprecipitation reactions as evidenced from porous inclusion-rich sulphides. Gold mineralisation was introduced because of focused fluid flow and sulphidation of the oxide facies BIF leading to an epigenetic gold mineralisation. The mineralogical assemblages, textures and mineral chemistry data at the Tau gold deposit revealed that gold mineralisation involved multi-processes such as sulphidation, metamorphism, deformation, hydrothermal alteration, and gold remobilisation.

**Ore mineralogy and fluid inclusion petrography in the Chifumbazi prospect, Tete province, Mozambique**

E. Cossa, A. Agangi, R. Takahashi, P. Manalo, H. Sato (Akita Univ.) and A. Imai (Kyushu Univ.)

Tete province in Mozambique hosts different types of mineralization including iron, vanadium, magnetite, titanium, gold and zinc. The Chifumbazi prospect, located in the northwestern part of Tete province, is known as vein-type gold mineralization. This study aims to characterize the type of mineralization and hydrothermal alteration of the prospect on the basis of petrography, paragenesis, alteration, fluid inclusion and sulfur isotope data.

The Chifumbazi prospect is characterized by igneous rocks (granodiorite, granite and quartz monzonite) overlain by metamorphic rocks (gneiss). The gneiss is composed of medium-coarse-grained quartz, biotite and opaque minerals, which define the foliation of the rock. The granitoids are composed of quartz, plagioclase and biotite as primary minerals, and are altered to illite, calcite and chlorite, and cross-cut by carbonate-quartz-chlorite and quartz veins.

The granitoids are characterized by their significant enrichment of LREE and depletion of HREE and Eu. The trace element data plotted on the Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O and SiO<sub>2</sub> discrimination diagram suggest that the granitoid was formed in a within plate setting. Ore minerals consist of predominant pyrite, chalcopyrite and pyrrhotite, and minor covellite, galena, magnetite and bornite, occurring as veinlets and disseminated in the host rocks and as veins.

On the basis of the paragenesis and cross-cutting relationship at the Chifumbazi prospect, the host rocks were subjected to the alteration processes of sericitization, chloritization and carbonatization (calcite). The mineralization is hosted by a shear zone-related system of fractures with different directions. The quartz and chlorite veins show dominant sub-horizontal orientation, but in some cases, they dip to the south. The quartz veins in the Chifumbazi prospect can be divided into three types, i.e., Type I: milky quartz veins crosscut by chlorite veins or veinlets, Type II: carbonate-quartz veins formed between the milky quartz and host rock, and Type III: clear quartz that was formed after the milky quartz.

The Type III quartz veins contain randomly distributed small fluid inclusions (2-10 μm), as well as numerous cross-cutting healed micro-fractures, along which many fluid inclusions are aligned. Two types of fluid inclusions have been identified in the quartz veins. At room temperature, 25°C, the Type I fluid inclusions are composed of one liquid phase, and the Type II fluid inclusions are composed of two phases (liquid + vapor). Type II fluid inclusions are primary inclusions showing high relief, composing more than 50% population of the total inclusions, and contain 5-30 vol% of vapor. Homogenization temperature and salinity of the Type II fluid inclusions in quartz veins are 220-380 °C and 2-18 NaCl wt% equiv., respectively.

The δ<sup>34</sup>S<sub>CDT</sub> of pyrite and chalcopyrite ranges from +1.1 to +2.9 ‰, suggesting that the sulfur is of magmatic or metamorphic origin.

**Geological characterization of the Namikupo gold prospect located in Namuno district, northeastern Mozambique**

M. Nopeia, A. Imai (Kyushu Univ.), R. Takahashi (Akita Univ.),  
D. Jamal (Eduardo Mondlane Univ.) and A. Agangi (Akita Univ.)

The Namikupo gold prospect is hosted by the Xixano Metamorphic Complex in the Mozambique Belt. Gold mining in the Namikupo prospect is conducted underground by artisanal miners. The geological characteristics and ore genesis of gold mineralization in the study area are barely understood owing to the lack of studies. This study aims to describe the gold mineralization in the Namikupo prospect based on petrography and geochemistry of the host rock and ores, which reflect the characteristics of ore-forming fluids.

Gold mineralization in the Namikupo prospect is associated with quartz veins hosted by quartz-mica gneiss. The quartz-mica gneiss is mainly composed of preferentially oriented biotite, muscovite and sillimanite, and granoblastic domains of plagioclase, K-feldspar, and quartz, with minor pyrite and graphite. Graphite occurs as elongated flakes parallel to biotite, muscovite and sillimanite. The mineral assemblage of the quartz-mica gneiss host rock indicates relatively high pressure and temperature conditions of metamorphism, and the occurrence of sillimanite restricts the pressures to below approximately 800 MPa for a temperature of 700 °C. The presence of graphite suggests a sedimentary protolith of the quartz-mica gneiss host rock. The quartz-mica gneiss is characterized by high SiO<sub>2</sub> contents (72.0 – 75.0 wt%), moderate Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> contents (11.8 – 13.0 wt%), and very low CaO and FeO contents (1.0 – 2.0 wt% and 3.0 – 4.0 wt%, respectively). Trace element concentrations, including Rb, Sr and V, in the quartz-mica gneiss are low, varying in narrow ranges, from 3.9 to 8.4 ppm, 201 to 261 ppm, and 10.7 to 61.7 ppm, respectively. In contrast, Ba contents of the quartz-mica gneiss host rock are relatively higher, varying from 484 to 2067 ppm. The ores in the Namikupo prospect are composed of coarse-grained milky quartz, with disseminated sulfides and sulfates, where the surface is occasionally stained by Fe-oxides that formed from Fe-sulfides.

The ore mineral assemblage comprises mainly pyrite, chalcopyrite, magnetite, barite and spinonkopite (Cu<sub>11.4</sub>S; confirmed by SEM-EDS), and minor anglesite (PbSO<sub>4</sub>) and galena. The Co contents of pyrite are up to 0.1 wt% and Au contents reach 100 ppm. The Co/Ni ratios are usually below 1 and show low standard deviation, similar to those of several orogenic-type gold deposits hosted by metasedimentary rocks. The relatively low Co concentrations and consequent low Co/Ni ratios of pyrite suggest a sedimentary affinity for the mineralizing fluids. These low values could be controlled by the compositions of high-grade metasedimentary rocks of the Xixano Metamorphic Complex, which, according to previous studies, have low Co concentrations. Thus, the ore-forming fluids responsible for gold mineralization in the Namikupo prospect were likely supplied from the metasedimentary rocks of the Xixano Metamorphic Complex, including the quartz-mica gneiss host rock.

## **O-41**

### **Indicators of groundwater pollution related to mining activities in the Bor mining area, Eastern Serbia**

D. Adamović (Akita Univ.; MMI Bor), D. Ishiyama, H. Kawaraya and Y. Ogawa (Akita Univ.)

Mining activities have been carried out for about 120 years in Eastern Serbia. Currently, in Eastern Serbia, there are four active copper mines, three in the Bor mining area and one in the Majdanpek mining area. The ore deposits in these mining areas are porphyry copper deposits. Pollution of the environment in the Bor mining area began after the opening of the Bor mine in 1903. The pollution is most pronounced on river water downstream of the mine. However, the effects of long-time pollution on groundwater along polluted rivers downstream of the Bor mine are not clear. Therefore, the aim of this study is clarification and understanding groundwater contamination downstream of the Bor mine. Groundwater samples were collected in catchment areas of Timok, Pek and Porečka Rivers, including the Bor and Majdanpek mining areas, as well the areas far from the mining sites. All water samples were filtrated using cellulose acetate hydrophilic filters with a pore size of 0.20  $\mu\text{m}$ . For heavy metals and arsenic analysis, the samples were acidified by concentrate ultrapure  $\text{HNO}_3$ . In order to know whether mining activities lead to groundwater pollution or not, a procedure including the creation of geochemical maps and estimation of the threshold values was applied.

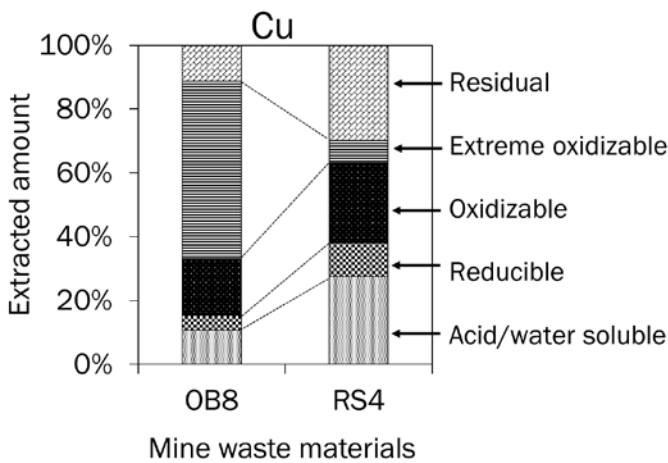
The pH values of groundwater ranged from 6.4 to 8.8. Most of the groundwater samples are Ca-Mg- $\text{HCO}_3$ -type water. However, some groundwater samples collected along the polluted rivers in Slatina, Rgotina and Vražogrnac Villages are Ca-Mg- $\text{SO}_4$ -type water. Concentrations of Cu, As, Fe and Mn in groundwater samples collected in the area downstream of the Bor mine do not differ much in concentrations of these elements outside the mining area. On the other hand, high concentrations of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  were recognized in groundwater along polluted rivers, ranging from 90 to 511 mg/L and from 73.5 to 1111 mg/L, respectively. Groundwater samples in the area downstream of the Bor mine had concentrations of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  below the maximum admissible concentrations for drinking water according to the Serbian standard. However, based on the estimated threshold values of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{SO}_4^{2-}$ , actual concentrations exceeded the threshold values. Therefore, it is thought that groundwater along polluted Bor and Bela Rivers has pollution by the mining activities of the Bor mine. The same environmental evaluation was carried out for groundwater in the Majdanpek mining area. However, elevated concentrations of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  in groundwater from the Majdanpek mining area are not present.

Appropriate components for environmental evaluation of groundwater in mining areas in Eastern Serbia are  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  which can be present as aqueous species without precipitation in groundwater having neutral pH. Heavy metals are not appropriate because they precipitate in solutions having neutral pH. The procedure used in this study is appropriate for the evaluation of the environmental impact on groundwater.

**Risk assessment of the release of heavy metals from mine waste materials in Bor mining area, East Serbia**

O. Osenyeng, Y. Ogawa and D. Ishiyama (Akita Univ.)

The mining of copper in Bor, East Serbia has produced large volumes of overburden and flotation tailings which are exposed to the atmosphere and therefore are susceptible to weathering. This can lead to the oxidation of sulphide minerals contained in these wastes, causing the generation of acid mine drainage and metal-release into the environment. Estimation of quantities of metals released from mine wastes is an important objective of the SATREPS project. Field survey was conducted in August 2019 to collect overburden (OB) and deeper river floodplain covered with tailings (RS).



**Fig. 1:** Spatial distribution of Cu concentrations in overburden and river floodplain for 5 fractions obtained by the modified BCR extraction scheme

Results from XRD showed that samples contained secondary sulphate minerals such as gypsum and jarosite. Pyrite could not be detected in overburden due to extensive weathering, however peaks of pyrite were identified in deeper river floodplain sample. Nonetheless, under microscopic observation, traces of pyrite were identified in OB sample.

Concentrations of Fe and Cu obtained by total decomposition of OB8 were 19800 and 280 mg/kg, respectively while in RS4, Fe and Cu concentrations were 103000 and 2800 mg/kg, respectively.

Results from elution test indicated that the final pHs of OB8 and RS4 were 3.6 and 3.3, respectively. Concentrations of Fe and Cu released from the extremely weathered sample (OB8) were 0.9 and 7.4 mg/L, respectively. Concentrations of Fe and Cu released from the less weathered sample (RS4) were 24 and 93 mg/L, respectively. Results from the modified BCR sequential extraction has shown that in OB8, high contents of Cu and Fe exists as extreme oxidizable phase (Fig.1) and were extracted by inverted aqua-regia at very high temperature (160 °C) therefore cannot be released under natural weathering conditions. However, in RS4, Cu is bound to acid-soluble, reducible and oxidizable phase as shown in Fig.1 and can be released into the environment by natural weathering conditions. The quantity of Cu released from less weathered overburden was calculated and the value was 140170 t.