

令和元年8月20日 暫定版受領
令和2年7月6日 評価会版受領
令和2年10月1日 最終版受領

国際科学技術共同研究推進事業
地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)

研究領域「低炭素社会の実現に向けた高度エネルギーシステムに関する研究」

研究課題名「インドネシアにおける地熱発電の大幅促進を
目指した蒸気スポット検出と持続的資源利用の技術開発」

採択年度：平成26年度/研究期間：5年/相手国名：インドネシア

終了報告書

国際共同研究期間*1

平成27年 4月25日から令和 2年 3月24日まで
JST側研究期間*2

平成26年 5月 1日から令和 2年 3月31日まで
(正式契約移行日 平成27年 1月 1日)

*1 R/Dに基づいた協力期間 (JICA ナレッジサイト等参照)

*2 開始日=暫定契約開始日、終了日=JST との正式契約に定めた該年度末

研究代表者：小池 克明

京都大学 大学院工学研究科・教授

I. 国際共同研究の内容（公開）

1. 当初の研究計画に対する進捗状況

(1) 研究の主なスケジュール(実績)

以下では京都大学を「京大」、バンドン工科大学を「ITB」と略して表記する。

研究題目・活動	H26年度 (3ヶ月)	H27年度	H28年度	H29年度	H30年度	R元年度 (12ヶ月)
1. 蒸気スポットと地熱発電適地の高精度検出技術開発（京大・ITBグループ）						
1-1 地形解析による連続性の良い亀裂の抽出	←			→		
1-2 亀裂系の3次元分布形態推定		←		→		
1-3 ガス中のラドン・水銀濃度分析による亀裂パサ性評価		←		→		→
1-4 ガス組成分析と貯留層評価			←	→		→
1-5 ガスの起源分析				←	→	→
1-6 地表付近の変質鉱物の分析	←			→		→
1-7 熱水系の化学分析			←	→		→
1-8 データ統合と蒸気スポット存在可能性の評価					←	→
2. 環境調和型地熱利用のためのモニタリング技術開発（京大・ITBグループ）						
2-1 衛星画像解析による植生活性の分析		←		→		
2-2 差分干渉SARによる地表変位の高精度検出		←		→		→
3. 地熱エネルギー利用・産出の最適化システム設計（京大・ITBグループ）					←	→
3-1 種々の地質構造と地熱資源利用に対する貯留層の温度・圧力変化のシミュレーション			←	→		
3-2 貯留層状態に連動した発電量変化のシミュレーション			←	→		→
3-3 電力生産寿命の算定						
4. インドネシアにおける地熱開発を担える人材の育成（京大グループ）						
4-1 カリキュラム構築		←	→			
4-2 研修対象者の選定			↔	↔	↔	↔
4-3 講義とフィールド実習実施			↔	↔	↔	↔

*1 京大に導入したラドン濃度計を用いることで、野外調査を前倒して実施した。

*2 京大に導入したガスクロマトグラフィーを用いることで、野外調査による試料採取と分析を前倒して実施した。

*3 総合地球環境学研究所の誘導結合プラズマ質量分析装置、京大に導入した水同位体ア

ナライザー及びイオンクロマトグラフィーを用いることで、野外調査による試料採取と分析を前倒して実施した。

(2) 中間評価での指摘事項への対応

H29年度のJST中間評価では下記の6つの提言をいただいた。各助言とそれに対する対応(→の箇所)を以下に述べる。

① 地熱資源の利用には、地下熱水貯留層の位置・規模・性状・熱水の挙動などの予測が必須である。今後検出・予測の確度を高め、合的な地熱開発技術の確立を期待している。また国内の地熱開発にも積極的に関与・適用してほしい。

→ ご指摘の通りであり、2つのインドネシア地熱企業(Star EnergyとGeo Dipa Energi)と連携、両企業のフィールド(それぞれWayang WinduとPatuha地区)での共同調査を進め、両企業によるボーリング調査結果などをもとに本プロジェクトによる開発手法の有効性、精度を検証しているところである。見えない地下の調査ではいかに多くの測点で良質のデータを取得できるかが、貯留層検出・予測精度を高めるための最重要事項になる。下記の④知財獲得コメントへの返答にあるように、低コスト、短時間で良質のデータを多く取得できるように新規機器と計測法の開発も行っているところである。国内企業としては、本プロジェクトの共同研究機関である三菱マテリアル(株)、およびプロジェクト進行の過程で連携し始めた西日本技術(株)と貯留層シミュレーションなどに関して相互協力を行っている。また、地熱発電可能性の評価で最も基本となる地下の温度構造に関して、最新のデータ、および深層学習などの先端技術を用いて、日本列島全域にわたり3次元的に明らかにしているところでもある。加えて、機密保持の面から企業名は伏せるが、④知財獲得における新規の物理探査計測法を用いて、国内での地熱有望サイトで共同計測を実施し、発電可能性について検討している。これらより、国内の地熱資源開発に関しても関与を深めている。

② 研究成果は、単に地熱資源の蒸気スポットの検出だけでなく他の鉱物資源の探査や持続的資源開発にも適用できるはずであり、広範な波及効果が期待できる。資源工学の発展に大きく寄与すると考えられるので、学理として体系化を図ってほしい。植生の活性度評価やシミュレーションソフトウェア等々、他分野でも適用可能な技術が多いと考えられる。どのような波及効果があるのか、積極的にアピールすべく、幅広く成果を発信して頂きたい。

→ ご指摘の通りであり、本プロジェクトの開発によるリモートセンシング手法は「熱水活動に起因した金属鉱床域での資源関連鉱物の抽出」や「地下水資源ポテンシャルマップの作成」、地球化学的手法は「地下水の起源と広域流動形態の解明」、数値シミュレーション法は「海底熱水鉱床域での流体流動解析と金属資源分布域の特定」など、資源工学分野に幅広く応用できているので、学理的に体系化し、さらに研究展開を図る。リモートセンシング手法の応用の一つである植生の活性度評価は国内外から注目されており、この成果に関する論文の引用が増加している。これはITBからの留学生の博士研究の成果であるが、現在は同大学の助教として新たに茶葉の活性度を評価する手法を開発中であり、これが完成できれば農業資源の分野でもインパクトが強い。なぜならば、日本国内での茶葉の生産は、インドネシアとは異なり収穫時期を予想することが極めて困難であるためである。新芽の具合を指先の感覚に頼って収穫時期を決めており、広大な茶園で品質を保った上で計画的な収穫を行うことは難しい。リモートセンシング手法の応用により、例えばドローン等を用いたリアルタイム活性度評価が可能となれば、活性度の高い領域の面積から収穫量の予想が可能となり、茶葉の生産性向上に貢献できると考えられる。本プロジェクトの研究メンバーの専門は、環境分野も含めて多岐にわたるので、ご指摘のように幅広く、かつ学術的にインパクトの強い成果を発信していく所存である。

③ JICAの協力のもとに、より積極的に相手国企業と連携を進め、社会実装に向けて努力して

欲しい。また、インドネシア政府に政策提言ができるように、頑張ってもらいたい。インドネシアにおける地熱発電の普及計画、普及策(電力買い取り制度、資金補助など)、環境規制などの制約の動きなどの地熱発電の普及に関わる動きをよくウオッチし、場合によっては提言するなどの活動も必要ではないかと思われる。

→ 相手国企業との連携の深化と社会実装に向けての取り組みは①への返答のとおりであるが、さらに下記の JICA コメント(2)と(3)への返答で詳述する。政策への反映に関しては、本プロジェクトの共同研究機関の一つで、インドネシア国の研究機関である CMCGR (地質庁 鉱物・石炭・地熱資源センター) を通じて、インドネシアでの地熱発電量増大に関する政策に本研究結果が反映されることが期待できる。環境規制に関しても本プロジェクトで取り組んでおり、ITB の共同研究者が本プロジェクトで導入した水銀計測システムを活用して、地熱発電に伴って大気中に排出される水銀濃度のモニタリング計測を実施中である。これまでインドネシアでは、地熱開発に伴う水銀排出量の定量的評価が行われておらず、規制値が設定されていない。得られたデータに基づき、本プロジェクトの副成果として水銀規制値に関する政策提言も目指しているところである。インドネシアにおける地熱発電の普及計画に関しては、JICA コメント(2)への返答にあるように、これまでの数多くの調査データを活用して、インドネシア全域への地熱資源評価に展開しており、ITB 側も積極的にスマトラ島、スラウェシ島などでのフォールド調査を進めている。これらによって、重点的に地熱発電の開発を推奨できるサイトを特定でき、これが CMCGR を通じて政策に反映されることも想定できる。

④ 新規に開発したソフトウェアを論文で公開しさらなる改良を図るという方針は適切であると思われるが、知財の獲得につながる技術開発もなされているので、これらについては知財獲得の検討をお願いしたい。

→ 測定・分析を進める過程で、従来の機器では不便で、測定に時間を要し、対象領域内での測点数が限られるという問題が明白になり、これを克服するための機器開発が不可欠であるとの認識に至った。民間企業と情報交換を続けながら、現在開発を検討している本機器の概要、目的等を別添様式 04 に記載する。また、地熱地帯は高温、酸性ガスの噴出等で物理探査用のセンサが腐食しやすく、計測し難い場所が多い。しかし、良質のデータを取得するには長時間の計測により、ノイズを軽減させる必要がある。このような条件でも従来よりも短時間で、かつ従来と同精度の比抵抗データを取得できる物理探査計測法も開発した。これにより、一日当たり従来の数倍以上の測点数でデータを取得できるようになった。学内でこの手法の知財獲得を検討しているところである。以上の2件で知財獲得を目指している。

⑤ 最終成果、とくに本研究によって得られる効果についての目標を定量的に明示すること(蒸気スポットの推定確度の向上など)。また、プロジェクトの活動記録ではなく、成果を纏めたひとつの技術マニュアル(技術体系)を作成してもらいたい。利用者の立場に立った研究成果の取りまとめに期待する。

→ 上記提言を受けて、平成 29 年 10 月の第 5 回 JCC、および同年 12 月の京大での研究打ち合わせにおいて、上位目標、プロジェクト目標、各成果の指標に関して ITB 側と綿密に議論した。その結果、上位目標とプロジェクト目標は本プロジェクトの目的と合致して適切であるが、これを検証する指標が曖昧であったので、指標を次のように修正することに合意した。上位目標に対する指標 (Objectively Verifiable Indicators) を、①本プロジェクトによる開発技術は 70%の確率での貯留層の位置を特定でき、蒸気ゾーンの検出に有用である【The developed technologies can locate geothermal reservoirs with the possibility of 70 % to detect steam zones】、②この高い的中率を前提に、本技術を採用する地熱サイト(計画中のサイトも含む)の数が増加する【The number of sites (including planned sites) adopting the developed technologies increases】とし、上位目標の検証が可能

になるように修正した。同様に定量的な検証が可能であるように、プロジェクト目標に対する1つの指標を○モデルサイトにおいて、項目1-8から抽出された蒸気スポット存在の高評価値分布に生産井の50%が存在する【50% of production wells in the model site exist in the high anomaly zones extracted from Activity 1-8】と修正した。

- プロジェクト成果としてのマニュアル化の必要性はご指摘のとおりであり、本プロジェクトが目指す技術をすべて開発できた後に体系化する。その準備として、フィールドでの測定方法や実験室における作業手順等に関する個々の技術に関しては、京大・ITB双方において既にマニュアルを作成しているものも多く、技術移転と情報共有を実現している。一例として、現在技術移転を進めている強酸を用いた岩石試料の溶解実験マニュアルを下に示す。個々の要素技術マニュアルを体系的に組み合わせるとともに、プロジェクトでの成果物（国際・国内誌論文、プロシーディング、ニュースレター等）も冊子に纏め、できるだけ多くの関連機関に配布することで、研究成果の広報と成果普及に努める。

Ver. 1.01, July 5, 2019: TADA

Rocks and Soils digestion (EASY version)

1. Weigh the powdered sample at 0.1 g and note the amount
2. Put the weighed sample into the washed 15 ml PFA vessel with 0.1 ml ultrapure water
3. Add 2.0 ml of 65% HNO₃ and enclose the vessel
4. Put the vessel on the hotplate and heat at 105 °C during 5 hours
5. Open the top of the vessel and dry up completely at 130 °C
6. Add 2.0 ml of 15% HCl and enclose the vessel
7. Heat the vessel at 90 °C during few hours
8. Dry up completely at 130 °C
(If you can see any residue before this step, repeat from step 3 after step 8)
9. Dissolve in 10 ml of 10% HNO₃
10. Distribute 1.0 ml and dilute at 10 ml with Ultrapure water for ICP-MS analyses
(1,000 times diluted material will be measured ICP-MS: 0.1 g/10 ml/10 ml)

Rocks and Soils digestion (DANGER version)

1. Weigh the powdered sample at 0.1 g and note the amount
2. Put the weighed sample into the washed 15 ml PFA vessel with 0.1 ml ultrapure water
3. Add 1.0 ml of 65% HNO₃, 1.0 ml of 65% HF and 0.5 ml of 70% HClO₄ and enclose the vessel
4. Put the vessel on the hotplate and heat at 195 °C during 5 hours
5. Open the top of the vessel and dry up completely at 205 °C
6. Add 2.0 ml of 15% HCl and enclose the vessel
7. Heat the vessel at 90 °C during few hours
8. Dry up completely at 130 °C
(If you can see any residue before this step, repeat from step 3 after step 8)
9. Dissolve in 10 ml of 10% HNO₃
10. Distribute 1.0 ml and dilute at 10 ml with Ultrapure water for ICP-MS analyses
(1,000 times diluted material will be measured ICP-MS: 0.1 g/10 ml/10 ml)

Reagents:

HNO ₃	65% Suprapur	Merck 100441	¥12,500/250 mL
HClO ₄	70-72% Emsure	Merck 100519	¥9,960/500 mL
HF	65% Suprapur	Merck 818068	¥29,100/100 mL (Sigma-Aldrich)
HCl	30% Suprapur	Merck 100318	¥10,100/250 mL

⑥ 他のプロジェクトとの連携、日本企業を含むユーザー機関の参画、連携強化を進めて欲しい

- ①への返答と重複するが、インドネシアでの JICA 技術協力の実績が多い西日本技術

(株)の技術者と協力し、CMCGRでの人材育成、およびインドネシア全域への地熱資源評価の展開等で連携を深めている。平成29年3月3月に京大にてリモートセンシング・ワークショップを開催し、秋田大学SATREPSプロジェクトH2603「持続可能な資源開発実現のための空間環境解析と高度金属回収の融合システム研究」と互いの研究成果、および最新技術と研究動向について情報・意見交換を行った。秋田大学グループとは平成30年9月にも会合を設けた。平成30年11月26・27日に京大で開催されたISME-XVにおいて、東北大学SATREPSプロジェクトH2903「熱発光地熱探査法による地熱探査と地熱貯留層の統合評価システム」と懇談会を設け、双方からプロジェクト内容と進捗状況を報告する交流会を催した。同プロジェクトのカウンターパートであるエルサルバドルからも15名が参加した。さらに、令和元年度の新規条件付採択課題である九州大学の地熱SATREPSプロジェクトとも情報交換を進めている。同じ地球資源研究分野に属するこれら3つのSATREPSグループの教員とは長年の交流がある。令和元年度末に京大での開催を計画している本プロジェクトの成果報告会に、これら3グループと地熱関連民間企業、(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC)、地球資源関係研究者を招聘し、さらに連携強化を図る予定である。

また、同中間評価において、JICAよりいただいた4つの提言とそれに対する対応(➤の箇所)についても、以下に述べる。

(1) 上位目標、プロジェクト目標、および成果の指標の変更について

プロジェクトと関係者が適切かつ実用的な指標でモニタリングし、評価するために、レビューチームは上位目標、プロジェクト目標、各成果の指標を修正することを推奨する。

→ このコメントはJSTコメント⑤と重なるので、これへの返答に詳述している。

(2) 他の関連機関との新たな連携の確立

プロジェクトは、開発された技術のテストと検証の実施のために、他の関連機関との新たな協力関係を確立するよう努めるべきである。これらの取り組みは、プロジェクトの上位目標の達成に貢献するため、これらの努力は積極的に行われるべきである。

→ バンドン周辺ではStar Energy社とともに、現地国営企業であるGeo Dipa Energi社が地熱発電所を有し、稼働させている。Geo Dipa Energi社の本プロジェクトへの参加希望を受けて、中間レビューの直後に同社をインドネシア側共同研究機関に追加し、同社のPatuha地熱発電所サイトを新たな研究サイトに加えて、共同研究を開始した。これにより、本プロジェクトによる開発技術の適用と検証を行えるモデルサイトが増加し、社会実装への一層の展開が図れるようになった。また、同社若手技術者をH30年度・R元年度の短期地熱研修に招聘することで、人材育成の面でも連携を構築している。本プロジェクトの共同研究機関の一つで、インドネシア国の研究機関であるCMCGRと併せて、同国内への幅広い技術移転が期待できる。また、インドネシアでのJICA技術協力の実績が多い西日本技術(株)の技術者とも、CMCGRでの人材育成、およびインドネシア全域への地熱資源評価の展開等で連携を深めている。

(3) 本プロジェクトの成果のステークホルダーへの情報共有の強化と社会実装

本プロジェクトの研究成果は着実に進展しており、ステークホルダーに対しこれら研究成果を共有する準備が整ってきている。そのため、本プロジェクトは、開発された技術を情報共有するセミナー/フォーラムを年1回、継続的に開催するべきである。上記に加えて、本プロジェクトは、関係機関との協力体制を確実にし、プロジェクトの活動を円滑にするために、Star Energy社とCMCGRと3、4カ月ごとに会合を開催し、情報共有するべきである。

→ 本研究の研究成果は、ステークホルダーが毎年3月にITBで開催する国際地熱ワークショップにおいて、プロジェクト初年度よりSATREPS特別セッションを設けて発信を

継続している。同ワークショップへの参加はオープンのため、インドネシア国内から多くの企業が参加しており、成果発信の良い機会になっている。JCC 時の研究成果報告会も参加をオープンにしており、ITB や他大学の教職員、政府・研究機関からの参加もある。関係機関との情報共有は ITB グループを通じて積極的に実施しており、令和元年度には Star Energy 社と Skype 等を用いたネット会議により、研究成果の報告、データ解釈や今後の研究方針・計画に関しての意見交換、および成果の公表方法などに関して数回、詳細な打合せを行った。JCC 時にも Star Energy 社と CMCGR を招聘し、その他の現地調査時、機器使用指導時にも ITB を含め、打ち合わせする機会を設けている。よって、助言をいただいた頻度では情報共有を図っているところである。その成果の一例として、令和元年 7 月の JCC では、Star Energy 社、Geo Dipa Energi 社、CMCGR からは本プロジェクトでの共同研究の成果に関する下記の 3 件が発表された。

Star Energy : “Sharing update conceptual model and BAGUS project update”

Geo Dipa Energi : “Updated conceptual model of Patuha geothermal field”

CMCGR : “Update activity of geothermal resources survey and challenges”

(4) 本プロジェクトの協力完了後のプロジェクト活動の持続性について

2017 年 10 月の中間レビュー調査の結果を踏まえ、2020 年 4 月のプロジェクト完了までに、プロジェクト目標は達成される可能性が高いと判断される。ただし、研究成果が社会実装されるためには、さらなる時間と労力を要する。中間レビュー調査では、持続性において本プロジェクト完了以降も、人員、機材、設備面で研究基盤が継続的かつ長期的に確立していることが確認された。しかしプロジェクト完了後も研究の拡大、人材の継続的な開発、実験施設の拡充を図るべきである。

- ITB グループは導入機器の使用法を習得し、後述する表 1 で実証されるように、期待を大幅に上回るほど利活用に積極的に取り組み、機器維持用の予算獲得にも努め、実績もあげている。その一つが導入機器を用いた受託研究の実施、および外部機関への機器使用料の設置である。実績の例としては、新規の実験・分析に伴って必要となる導入機器の付随機器や消耗品、実験室設備等の予算を ITB 側が獲得しており、日本での科研費申請と同様に、ITB 側は継続して予算申請に熱心である。機器使用法、必要物品、トラブル対処法などに関しては、京大側と綿密に連絡を取り合っているが、プロジェクト終了後もこれを継続する。
- 研究面では、ITB 側・京大側ともに Start Energy 社、Geo Dipa Energi 社、CMCGR と人的・技術的交流を深めており、本プロジェクト終了後もモデルサイトで共同でのモニタリング調査が継続される予定であり、研究の持続的発展に向けた取り組みは着実に進んでいる。また、本プロジェクトの人材育成プログラムに参加した ITB 学生のうち、2 名が技術職員として ITB での機器運用・管理に従事しており（1 名は地熱資源系の一般企業に転出）、後進の育成体制も整いつつある。加えて、現在、研究代表者の研究室で ITB からの 4 名の留学生が博士号取得に向けて、いずれも本プロジェクトに深く関連するテーマで研究を進めている。博士号取得後、インドネシアで教員や研究員になることでも本プロジェクトの持続的発展に貢献できる。よって、本プロジェクト終了後における活動の持続性については、ITB グループの研究・機器運用・人材育成の面での積極的な取り組みと京大グループの強力なサポートによって、確保できることが確実な段階にある。

(3) プロジェクト開始時の構想からの変更点(該当する場合)

上記研究項目「2-1 衛星画像解析による植生活性の分析」は当初「2-1 衛星画像解析による植生活性・水質の分析」であったが、表流水の水質は本プロジェクトの目的と直接関係がないことが研究の進行過程でわかった。また、モデルサイト周辺には大きな河川や湖沼がなく、水質のモニタリングが行えないこともあり、平成 29 年 10 月の会合で水質分析の削除

に合意した。その他に変更はない。

2. プロジェクト成果目標の達成状況とインパクト (公開)

(1) プロジェクト全体

プロジェクト全体のねらいとして、地熱資源を利用した発電量の大幅な増加、および環境と調和した長期間の持続的地熱発電の2点を実現するために、リモートセンシング・地球化学・鉱物学での最先端手法を統合して発電に最適な蒸気スポットを高精度で検出できる技術、リモートセンシングを利用した地熱発電所周辺の広域環境モニタリング技術、長期にわたる地熱エネルギーの持続的利用・産出を可能にするための最適化システム設計技術、の3つを開発することとした。これに加えて、地熱開発を担える人材をITBと協同で育成した。本プロジェクトの最もチャレンジングな点は、可視化できない地下深部に位置する蒸気スポットを地表から絞り込むことであるが、そのための研究フローの概念図を図1に示す。下記に令和元年8月時点までに得られている主な成果を述べるが、(2)から(5)でも個々の研究項目に対する成果を補足する。

すべての研究項目に京大の若手研究員と大学院生が関与し、ITB側と連携してきたので、研究の進展に伴って日本人若手人材の育成とグローバル化が展開できた。また、研究題目1と4で新たな共同研究の開始、地熱短期研修の実施で人的支援の構築を図れたが、これらは時限期間で完遂するものではないので、最終年度となるR元年度以降も継続できるようにITBとの持続的な協力関係と共同研究を発展させる。

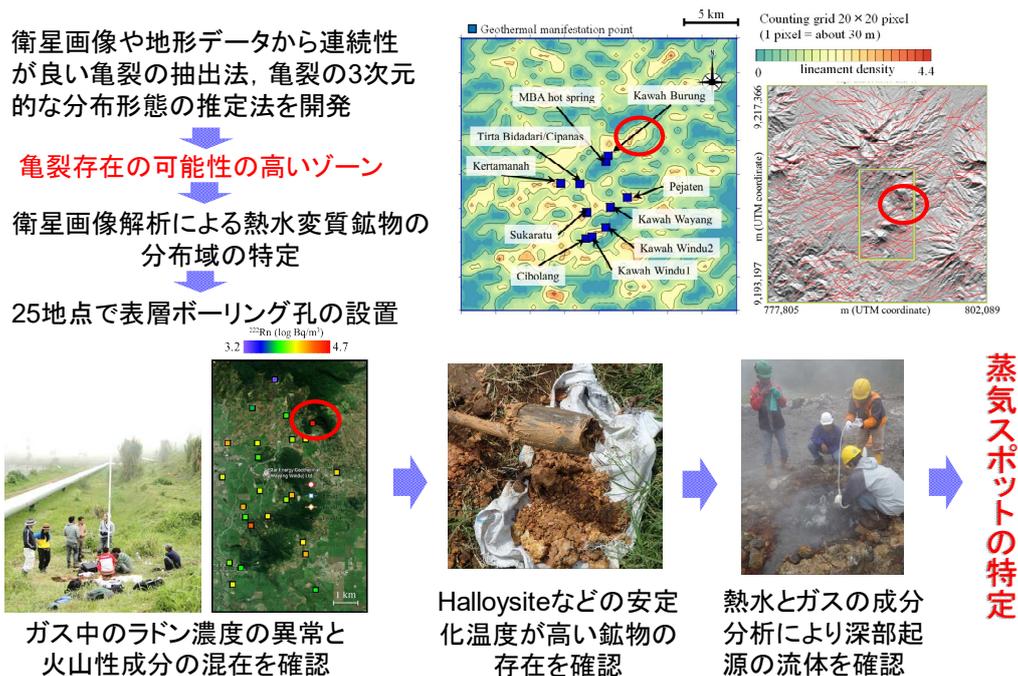
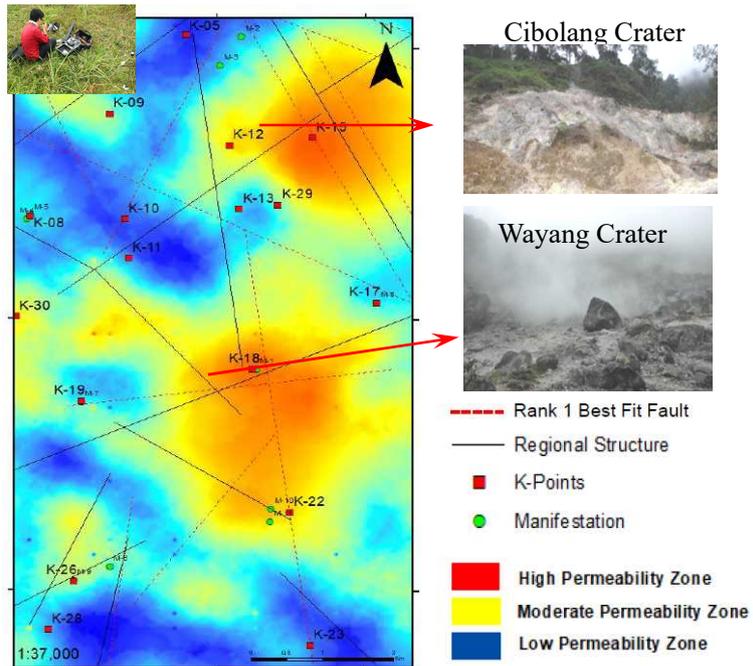


図1 蒸気スポット存在の可能性の高い場所を地表から絞り込むための研究フロー

➤ 亀裂系の3次元分布形態推定

上記の研究項目1-1と1-2に対しては、H30年度よりITB側主導でUAV (Unmanned Aerial Vehicle) を用いて作成した0.5 mメッシュの超高解像度DEM (Digital Elevation Model) を利用し、インドネシア西ジャワ州Wayang Windu地区におけるリニアメント抽出・解析を実施した。リニアメントは亀裂や断層の存在に関連した直線的な地形パターンである。これをDEMの多方位陰影画像から抽出してきた。

H30年度までの研究によって、観測亀裂の配向性によく対応したリニアメント抽出結果を得ることができた。また、リニアメントに基づく推定亀裂面と生産井先端の地表への投影位置を重ね合わせると、全34個の先端のうち77%が本手法による推定亀裂面上に存在することが明らかになった。生産井の先端は、実際の地下亀裂の位置に対応している可能性が極めて高いので、本プロジェクトによるリニアメント抽出と亀裂系推定手法は蒸気スポット検出に有効であることが確かめられた。加えて、得られたリニアメント分布



から、250 m × 250 m グリッドでのリニアメント本数・リニアメント交点・リニアメント長さの密度を求め、それぞれを副変数として地球統計的手法である co-SGS (共変量逐次ガウスシミュレーション: co-sequential Gaussian simulation) によってラドン濃度の空間分布推定を行った (図 2)。さらに、新たな試みとして、推定ラドン濃度と各種リニアメント密度をエンドメンバーとして設定した Fuzzy Logic Approach により、Wayang Windu 地区全域にわたる表層地質の透水性推定を行った。これらを組み合わせると、Wayang Windu 地区において比較的透水性の高いエリアは3つに大別でき、地熱貯留層タイプ (後述のように蒸気、あるいは熱水卓越型) との対応が示唆された。これらの結果を国際誌論文として纏め、R 元年 11 月に投稿し、受理された。

上記の結果をさらに発展させるため、R 元年度には研究代表者らが開発した 3 次元亀裂分布シミュレーション法 GEOFRAC と Wayang Windu 地区のボーリング亀裂データを用いて、蒸気スポット存在の可能性の高い領域を対象として亀裂分布の 3 次元形態を明らかにするとともに、地球統計学的手法の改良によって図 2 のラドン濃度の空間分布を精緻化させる。また、Geo Dipa Energi 社との連携で水平展開を進めている Patuha 地区においても、今年になって公開が開始されたインドネシア国内の約 7 m メッシュの高解像度標高モデル (DEMNAS) を利用し、リニアメント解析を実施しており、リニアメント密度と MT 探査・ボーリング調査データなどとの統合を進めた (図 3)。生産井掘削時の調査に基づく高透水領域の多くは、リニアメント密度の高い部分に位置することがわかり、これからも本手法によるリニアメント抽出法の妥当性が確かめられる。

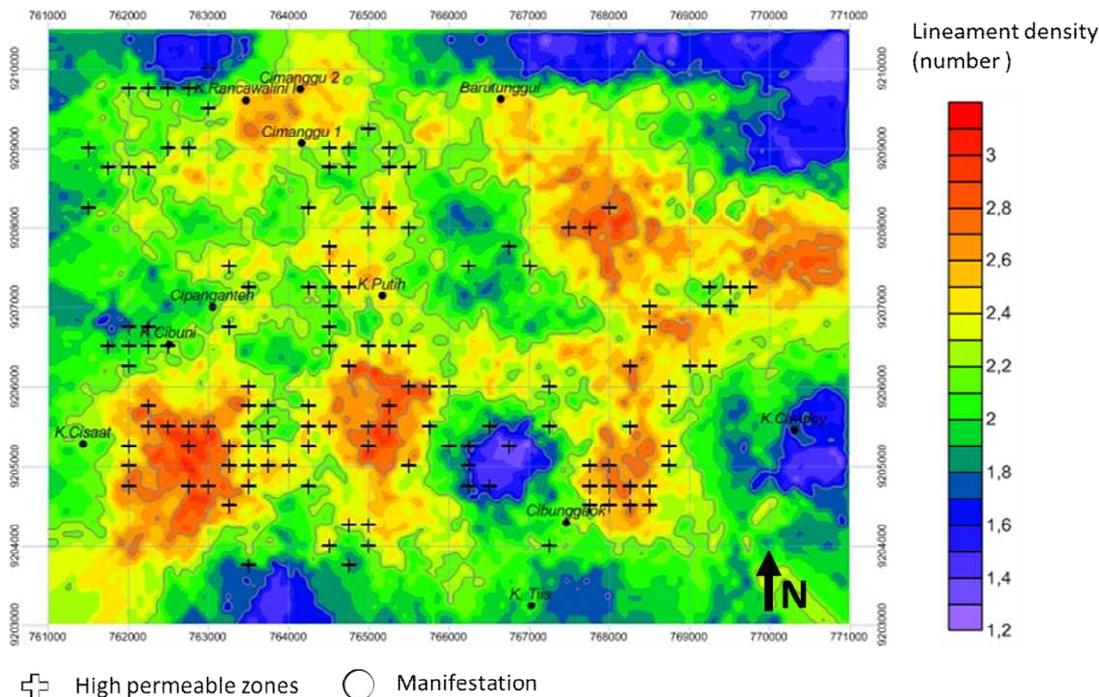


図3 Patuha 地区の DEMNAS (数値標高モデル) を用いて抽出できたリニアメントの密度分布, および生産井掘削時の調査に基づく高透水領域 (+の箇所) との重ね合わせ

➤ 衛星画像からの地表付近の変質鉱物の抽出

項目 1-6 は光学センサ画像, および後述の表層ボーリングによる土壌・岩石サンプルの鉱物分析という 2 つのアプローチで実施した。前者では, 衛星画像から高植生被覆下での熱水変質帯抽出を目的として, Wayang Windu 地区を対象に植生と岩石を端成分とする 2 成分スペクトル分離, 植生と安山岩・明礬石などの変質鉱物を端成分とする 3 成分のスペクトル分離の適用, および決定係数と岩石の重み係数を用いての熱水変質帯分布の推定を行った。安山岩は対象地区での主要な地質である。

本項目について, H30 年度までは光学センサ画像, および後述の表層ボーリングによる土壌・岩石サンプルの鉱物分析という従前より用いてきた 2 つのアプローチに加え, より観測波長域が広く, 波長分解能が高いハイパースペクトルセンサ衛星画像である Hyperion データを用いて, 新規の鉱物指数とスペクトル分離法を適用し, 植生が厚い地域での熱水変質帯の抽出精度を向上させることに成功した。

Wayang Windu 地区には明礬石 (alunite) やカオリナイト (kaolinite) といった熱水変質鉱物が多く分布しており, これらは固有の反射率吸収帯を有するため, この吸収を強調するようなバンド比演算に基づく新たな鉱物指数を作成した。また, ハイパースペクトルデータに特有の画像処理法を適用し, 植生と熱水変質鉱物, 母岩 (安山岩) などを端成分としたスペクトル分離を行い, 鉱物指数と併せて変質鉱物の分布を抽出し, 既知の地熱兆候地の分布と比較したところ, 双方の一致する箇所の多くが植生域に集中した。これは変質鉱物と植生の分光反射率が類似しているためであり, プランテーションや原生林などの植生に広く覆われている本研究地域では, 単純なバンド比演算では熱水変質鉱物の抽出は困難であることが示された。そこで LSU (Linear Spectral Unmixing) と呼ばれるアンミキシング手法を適用した。LSU とは, 画像の各ピクセルにおけるスペクトルがそのピクセル内に存在する物質の線形結合であると仮定し, そこに含まれる各物質の存在量を重み係数として求める手法である。物質間での相互作用が無いと仮定した単純な計算であるが, 多くの環境において良好な結果が得られることが報告されている。本研究では, 文献値および現地試料の測定結果を参考に主要な熱水変質鉱物 (alunite, calcite, illite, kaolinite, sulfur), 基盤

岩である安山岩，土壤，および植生 (aspen) のスペクトルを端成分として設定した。LSU によって得られた alunite, calcite, illite, kaolinite の重み係数を比較すると，特に kaolinite の分布は現地で確認されている噴気帯との対応がよく，妥当性の高い結果であった。また，噴気帯ではないが，現地において最も高いラドン濃度を示した測点の付近にも kaolinite の重み係数が大きい箇所が集中している。さらに，超高解像度 DEM を用いた地表の傾斜量や多偏波 SAR データ解析による地表粗度のマップと重ねると，断層周辺や kaolinite の高密度分布帯で地表面の凹凸が大きいという傾向を見出すことができた (図 4)。これらは断層運動による変位や熱水変質岩の露出などに起因した現象と考えられ，リモートセンシングによる熱水変質鉱物の推定結果の妥当性を示す傍証でもある。さらに，測点 K-15 や K-18 付近には，ラドン・kaolinite 分布・地表面粗度の異常帯 (アノマリー) が共通して現れており，地熱流体のパスが存在する可能性が示唆された (図 4)。

上記の結果を受け，R 元年度の現在，より高度なアンミキシング手法である MTMF (Mixture Tuned Matched Filter) を適用し，さらにアンミキシングされたスペクトルデータから Spectral Angle Mapper (SAM) によって類似度を判定するなどによって，変質鉱物の種類の特定と分布域の抽出の精度向上，これから透水性の高い亀裂の選出，さらには蒸気スポットの位置の特定を図った。

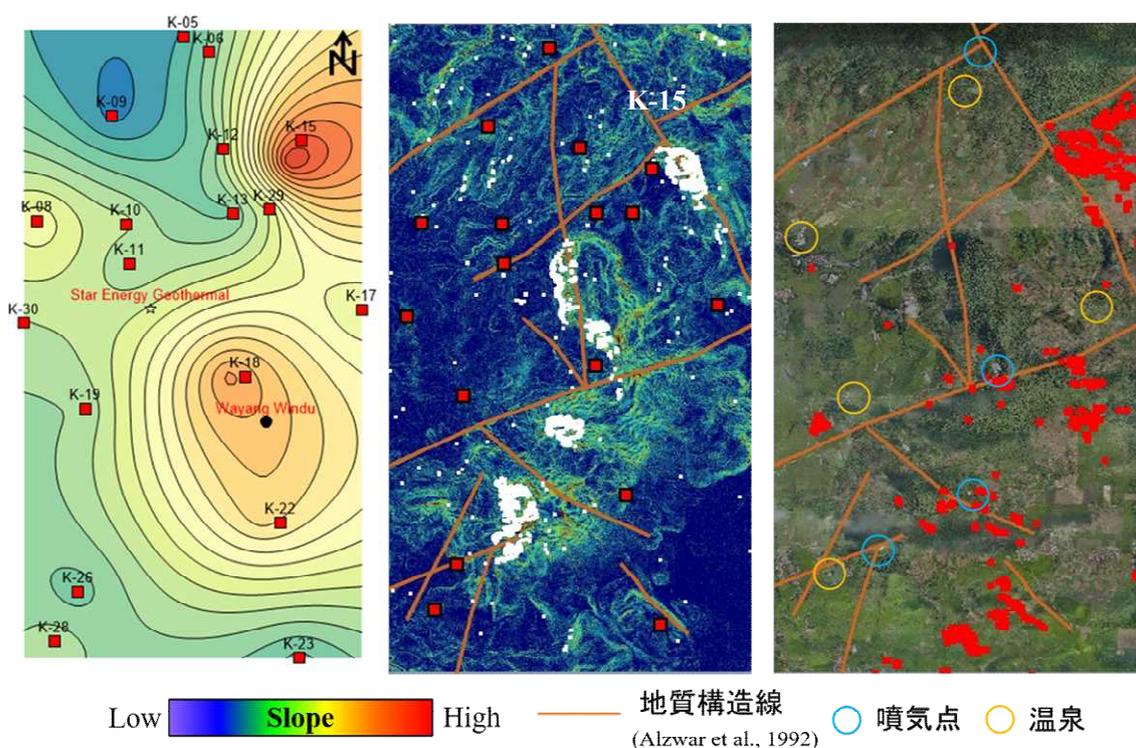


図 4 24 点での表層ボーリングラドン濃度の空間分布 (左)，DEM に基づく地表の傾斜量と多偏波 SAR データによる推定地表粗度 (0.15 m 以上の領域を白点で表示) マップ (中)，および Hyperion 衛星画像から抽出できたカオリナイトの存在可能性が高い地点 (右)。中央と右図には断層のトレースを重ねている。

➤ 表層ボーリングを利用した地殻ガス測定と蒸気スポットを示唆する特徴の抽出

項目 1-3・1-4・1-5・1-6 の実施において，深部に位置する貯留層の状態を表層付近で推定し，蒸気スポットを検出するために，複数の表層ボーリングを設けたことが本プロジェクトのユニークな点の一つである。平成 28 年 8 月 20 日から Wayang Windu 地区内の全 18 箇所 (うち 1 箇所は損壊) において，最大深度 5 m の表層ボーリングの掘削と計測井の設置を実行した。計測井の設置箇所は，推定される透水性断層の交点や温水の湧出地点である。

長期の計測に耐えられるように、ボーリング孔の構造を工夫した（図 5）。さらに H30 年度には 7 箇所においてボーリング孔の追加掘削を実施し、モニタリング測定を実施した。

設置された計測井を用いて継続的なラドン・水銀濃度のモニタリング測定を実施してきた。H29 年度に行われたモニタリング測定の結果から、Wayang Windu 地区のラドン濃度の時間変化は、短時間での急増後に急減するパターンと、急減せず一定の濃度を保つか増加を続けるパターンの 2 つに大別できることが明らかになった。後者のパターンは断層交点など特にガスの流動性が大きいと予想される測点で観測されており、この仮説を確かめるために新たに 7 箇所の新規測点 (NSD1~7) での測定を実施した結果、多くの測点が一定あるいは増加のパターンを示した。しかしながら、一部では時期によって異なるパターンを示す例も見られ、ラドン濃度の変化には気象等の種々の要因が影響していることが示唆された。

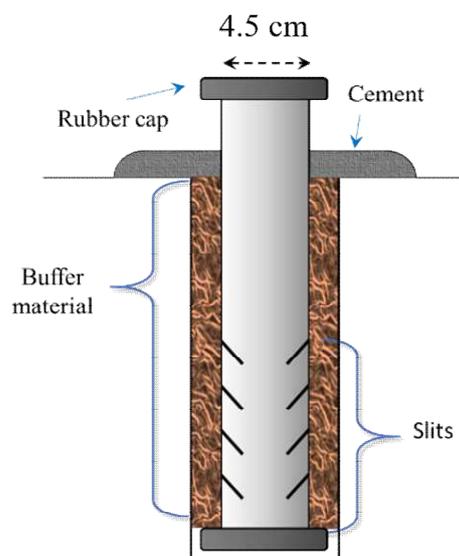


図 5 表層ボーリングの構造

H30 年度には、一定濃度を保ち Wayang Windu 地区における最大のラドン濃度を示す K-15 と、急減パターンを示す K-10 でガスサンプリングを行いガスクロマトグラフィ (GC) による成分分析を実施した。その結果、K-15 は H₂S の割合が K-10 や通常大気よりも大きく、火山由来のガスであることが示唆された。一方で、各測点における水銀濃度については、ラドン濃度との明瞭な相関は確認できなかった。

本プロジェクトの水平展開として、Wayang Windu 地区の約 20 km 西方に位置する Patuha 地区にて計 11 箇所（うち 1 箇所は損壊）の計測井を設置し、平成 31 年 1 月よりラドンと水銀のモニタリング測定を実施した。計測井は主に Geo Dipa Energi 社が管理する Well pad や温泉の近傍を選んだ。Patuha 地区における計測井は、Wayang Windu 地区のものとは異なり、業者を介さずに ITB 学生らによる設置作業を行った都合上、レンバン断層でのラドン調査と同様の深さ約 1~2 m で、周囲に緩衝材を巻き付けない簡便な構造とした。そのため、数値の大小を直接的に Wayang Windu 地区と比較することはできないが、Wayang Windu 地区と同様の時間変化パターンが確認できた。掘削直後の予備的な測定に加え、平成 31 年 2 月・3 月に 2 回のラドン測定を実施したところ、Wayang Windu 地区にはない特徴として、2 測点におけるラドン濃度が予備測定時と比較して 5 倍近く上昇した点が見られた。その原因として、地下深部から上昇する蒸気量の変化、または計測期間中に近辺で発生した地震の影響が考えられる。平成 31 年 3 月には Geo Dipa Energi 社からの要請を受けて計 10 点の計測井を追加した。これらの計測井で令和元年度中、測定を継続しており、気象条件やガス成分分析と組み合わせた解析を進め、Patuha 地区での蒸気スポット検出を図るとともに、上記のラドン濃度急上昇の要因も解釈できた。

➤ 物理探査による蒸気スポットの存在可能性追究の深化

上述したラドン濃度の異常を示し、貯留層と繋がる熱水・蒸気パスの可能性の高い箇所 (K-15) において、ITB と共同で地磁気-地電流探査を H30 年度に実施し、地下構造解析を行った。まず Pilot Survey として、地下 60 m 程度までの探査深度を有する Transient EM (TEM) 法を適用した。実施時期は平成 30 年 7 月 6 日~8 日である。ここでは、AEMR 社製 TEM-FAST 48 システムを使用し、各地点下の比抵抗構造を Inversion によって求めた。Inversion コードとしては AEMR 社製 TEM-RES を用いた。比抵抗構造解析時には、各地点で水平性層構造を仮定して実施した。

これらの結果として、K-15 地点周辺において、水平距離約 550 m、深さ約 60 m の比抵抗

断面を得ることができた。本探査結果からは、K-15 とその北方の地下 30～60 m に熱水変質層であると考えられる低比抵抗層が広がっていることが明らかとなった。K-15 地点は付近に急崖が存在しており（図 4 中）、また前述のようにフラクチャー（亀裂）が複数交差している地域の近くに位置している。これらの観測事実から、地下深部の熱水やガスがフラクチャーに沿いに地表へ向けて上昇した結果、熱水変質を引き起こしたために、K-15 地点および急崖付近に低比抵抗層が形成されたと推測できるため、K-15 地点におけるラドン濃度の高異常と整合的である。

TEM 探査とラドン濃度異常の整合性が確認できたため、全 38 地点において、より広域で深部までの地下構造調査を実施した。その主な目的は、フラクチャー分布やリモートセンシングから推測される Wayang Windu 地区の熱水パスの分布を、物理探査によって確認することである。地熱地域での地下探査に関しては、自然の電磁場変動を利用して地表直下～地下深部の比抵抗構造探査を可能とする、地磁気地電流（Magnetotelluric: MT）法が適用されることが多い。本研究では MT 法のうち、特に地下 50 m～地下 1,000 m 程度の高精度探査を主としている可聴周波数域（Audio-frequency Magnetotelluric: AMT）法を適用した。使用機器は Phoenix Geophysics 社製 MTU-5A である。AMT 探査は平成 30 年 12 月 8 日～13 日に実施した。2 台の MTU-5A を用いることで、同時に離れた 2 地点で探査を行い、ノイズの低減を図った（Remote Reference 処理）。地下構造解析には Niblett-Bostick 変換法を用いており、各観測地点の直下には水平性層構造を仮定している。

解析の結果、地下掘削などで明らかとなっている亀裂沿いに、低比抵抗帯が分布することが明らかとなった（図 6(a)）。Wayang Windu 地区北部では標高の高い北側に地形の高まりが確認され、標高 1,800 m の比抵抗分布平面図（図 6(b)）においても、北側において低比抵抗帯が分布する傾向が見られた。この結果は、同地域の北方に位置する活火山（Malabar 山）直下に形成されている、熱水変質帯に相当すると考えられる。標高 1,600 m の比抵抗分布平面図でも同様の傾向が見られるが、それに加えて北東-南西方向に伸張した低比抵抗帯も見受けられた（図 6(c)）。これは亀裂に沿って発達した熱水変質層であると推測される。既存の掘削データに基づくと、この地域には同方向に複数の亀裂が確認されており、低比抵抗帯の走向と整合的である。したがって、AMT 探査の結果は地下の亀裂分布を 3 次元的に可視化することに成功したといえる。これらは予察的な解析結果に基づくものであり、令和元年度に、より定量的・高精度な

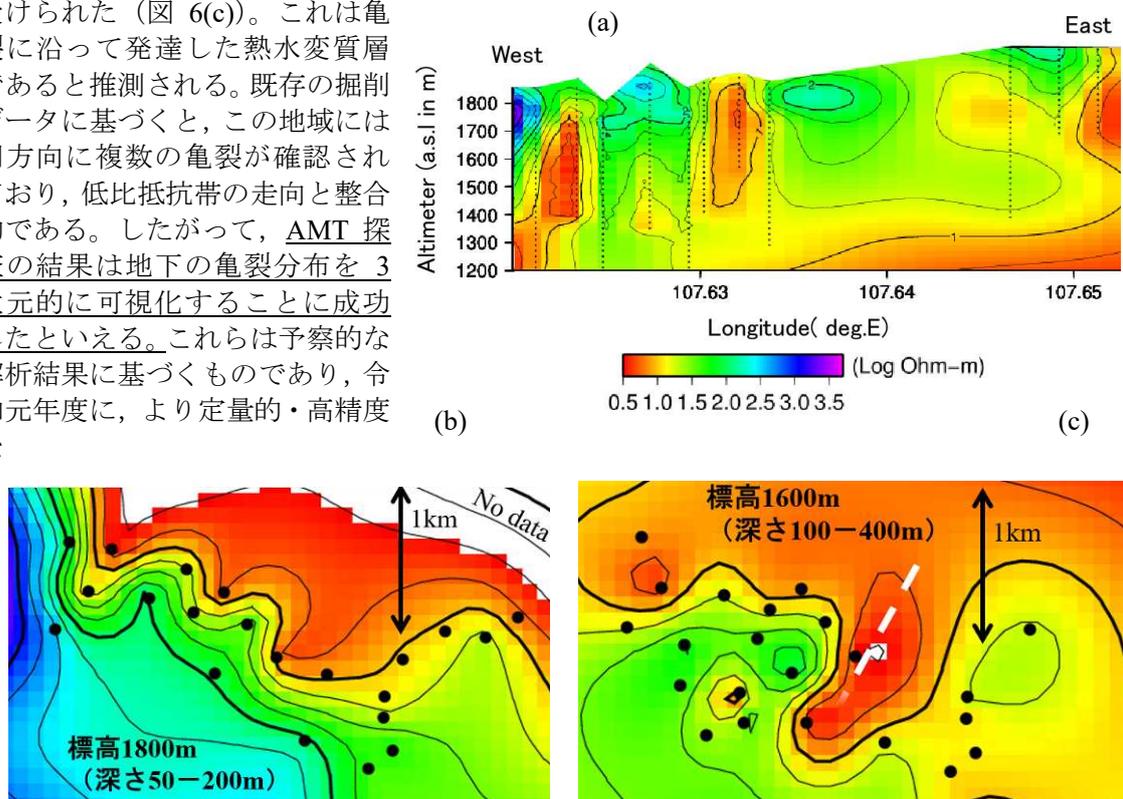


図 6 (a)比抵抗の垂直断面図で、亀裂の発達を示唆するように低比抵抗帯が垂直方向に連続する。(b)標高 1,800 m と(c)1,600 m での比抵抗の水平断面図。白い点線は推定される

亀裂帯で、黒い点は AMT 探査の観測点を表す。令和元年 7 月には ITB 側からの要請により Wayang Windu 地区と Patuha 地区での TEM 測点を追加し、自主的・発展的な測定と解析を継続している。項目 1-1~1-8 によって、蒸気スポット存在の可能性の高い地表付近の特徴を明らかにできるが、これを TEM と AMT 法を用いた物理探査により、検証できるものと考えられる。

➤ 地表水、熱水、地殻ガスの化学分析の深化

項目 1-4・1-5・1-7 に関しては、高度な分析技術を要し、試料の採取にも時間を要するため、ITB との協議の上、前倒しで 1-4 と 1-7 の予察的研究を H28 年度に開始した。特に、地熱流体の循環状態の解明に資するため、地熱サイトで湧出する熱水とガスの起源について H28 年度より検討を行ってきた。H29 年度には、バンドン盆地周辺の 4 箇所の地熱サイト (Wayang Windu, Patuha, Tangkuban Perahu, Tampomas : 図 7) の地熱生産井、噴気、温泉 27 地点で Giggenbach ボトルを用いてガス試料を採取した。その様子を図 8 に示す。本プロジェクトにより ITB に導入されたガスクロマトグラフに加え、アルカリ度滴定などを行うことで試料に含まれるガス成分の濃度を求めた。また、東京大学大気海洋研究所所有の希ガス同位体比質量分析装置により希ガス同位体比 ($^3\text{He}/^4\text{He}$ および $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$)、ITB に導入された安定同位体比質量分析装置により二酸化炭素とメタンの炭素同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) をそれぞれ分析した。希ガス同位体比の分析結果において、 $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ と $^3\text{He}/^4\text{He}$ の相関を検討したところ、大気に類似した同位体比を示す Tangkuban Perahu の一地点を除いて、すべての試料が大気起源 He とマントル起源 He の混合線の周辺に分布し、盆地南側の地熱サイト (Wayang Windu および Patuha) と比較して北側 (Tangkuban Perahu および Tampomas) で R/R_a 比 (大気の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比を 1 として正規化した試料の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比) の高いガスが混合していることが明らかとなった。これは、盆地北側のサイトでは南側に比べて相対的にマントル起源 He の寄与が大きいことを意味する (図 9)。二酸化炭素の炭素同位体比とヘリウム同位体の分析結果を Sano and Marty (1995) と比較したところ、北側のサイトで採取されたガス試料に含まれる二酸化炭素は南側サイトの二酸化炭素に比べて MORB 起源ガスに近い特徴を有することが明らかとなった。また、メタンの炭素同位体比と炭化水素濃度の分析結果から、すべての試料は McCollom and Seewald (2007) と McCollom and Seewald (2007) の引用文献に基づいて Augusto *et al.* (2013) が示した Unsedimented mid-ocean ridges (MOR) type, Sediment-covered ridges type, Thermogenic type のガスに類似し、北側サイトのガスは南側と比較して、MOR type のガスに近い組成を示した。

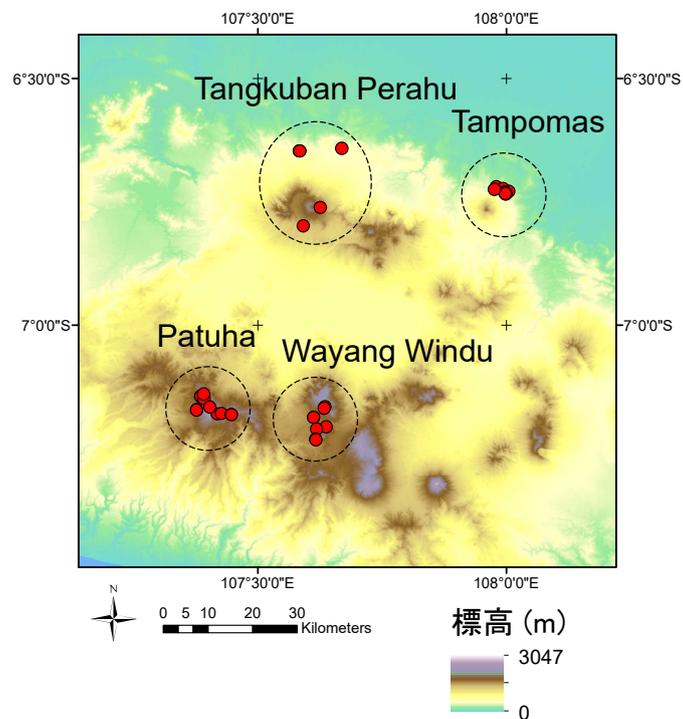


図 7 調査対象の 4 箇所の地熱地域と 2018 年の採水地点



図8 野外における調査状況 (左上：表流水のサンプリング，右上：地熱生産井におけるガス試料のサンプリング，下：温泉水のサンプリング)

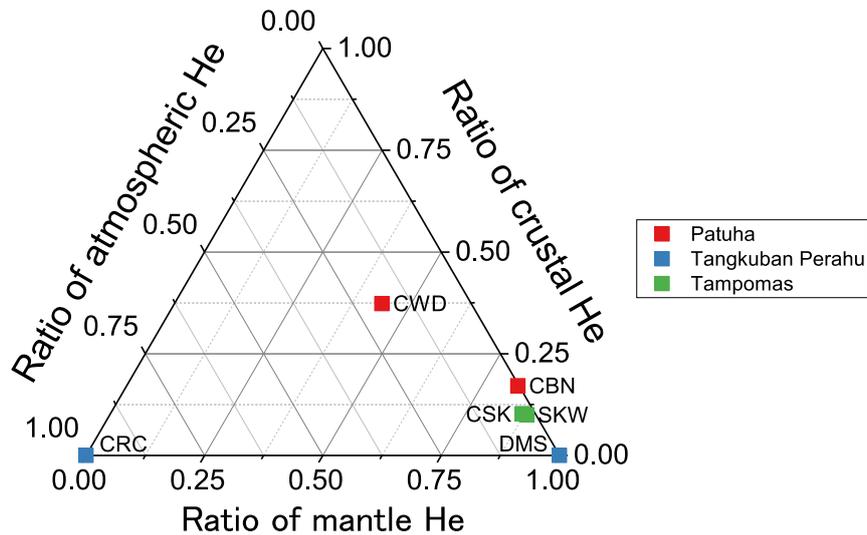


図9 希ガス同位体分析結果から算出した噴気ガスに含まれるHeの起源

以上の結果より，南側サイトに比べて北側サイトでは相対的に深部を起源とするガスの寄与が大きく，地殻起源のガスとあまり混合することなく湧出しているものと考えられる。これに対して，南側サイトで湧出するガスは相対的に地殻起源のガスを多く含み，地殻で地熱流体の循環が生じていることを示す可能性がある。地熱流体の起源や循環状態の理解

は、地熱流体資源の持続的利用を図る上で不可欠である。また、各地熱地域に分布する地熱流体の地化学特性を把握することで、地化学的指標に基づく透水性の高い亀裂の抽出やそのような亀裂から湧出するガスの起源や挙動の推定が可能となり、蒸気スポット検出に役立つ。

上述した通り、ガスの分析結果は、盆地北側の地熱地域と南側の地熱地域ではガスの起源や生成メカニズム、循環状態が異なる可能性を示唆している。そこで、H30年度は、これら4つの地熱地域に分布する地熱流体の滞留時間を推定することを目的とし、これら地熱地域の温泉で温泉水試料を、二相流の地熱生産井で熱水試料を採取した。また、河川水の地化学異常に基づき、地熱流体の流動経路となる地質構造を検出する手法の構築を目指して、地熱地域を流下する河川の河川水も採取した。調査地点は合計36地点である。試料採取時には原位置で水温、pH、酸化還元電位、電気伝導度、溶存酸素濃度などを測定した。

採取した水試料は主要溶存成分濃度、微量元素濃度、水素酸素同位体比、アルカリ度などを測定するとともに、滞留時間の指標として半減期1,570万年の放射性同位体である放射性ヨウ素 (^{129}I) の分析を行った。東京大学総合研究博物館の協力により、四塩化炭素を用いた溶媒抽出で水試料に含まれるヨウ素を回収し、ヨウ化銀沈殿とした。得られたヨウ化銀沈殿をターゲットとして東京大学タンデム加速器研究施設のペレトロンタンデム加速器を用いて分析し、 $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 比を得た。水試料の $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 比から示唆されるヨウ素年代は地表に分布する地層の形成年代と比較して古い地点が認められ、そのような地点では深部から熱水が上昇している可能性があると考えられる。令和元年8月にも水試料を採取し、放射性炭素や放射性塩素の分析を行うことで、上記4箇所の地熱地域における滞留時間について検討した。例えば Patuha では、放射性炭素同位体を用いて推定された温泉水の滞留時間から、深部から上昇した地熱流体の側方流動を断層が抑制している可能性が示された。

貯留層と繋がる熱水・蒸気パスの存在は、研究題目1「蒸気スポットと地熱発電適地の高精度検出技術開発」に不可欠となる要素である。その特定を目的として、地熱地域の広範から表層水を採取し、成分分析を実施した。表層水の化学成分は降水と表層土壌との平衡値を示すが、地下深部起源流体のパスが存在する箇所においては、周辺とは異なる成分を示すことが確認されている (Suzuki *et al.*, 2017)。H29年度には、Wayang Windu 地区18箇所の集水域から19個の表層水試料を採取し、成分分析を実施した。その結果、一部集水域より採取された表層水試料の化学成分は、他の集水域と比べて特徴的な傾向を示した。この結果を受けて、H30年度には、より詳細な試料の採取を実施し、追加の化学分析をITBと日本国内において実施したところ、特に試料水中に含まれる溶存無機炭素の高い含有量と低い $\delta^{13}\text{C}$ 値(図10)から、一部集水域の表層水中には地下深部起源 CO_2 ガスが溶け込んでいると推察された。一方で、他の化学成分に関してはすべての地点において、周辺土壌から溶出したと推察される化学成分を示した。これらの結果より、一部集水域には地下深部から表層に至る蒸気の通り道となっている亀裂の存在が考えられる。同集水域は、上述したK-15地点の直下を走る断層上に位置しており、この断層がラドンや CO_2 などのガスのパスとなっている可能性が高いことが示唆された。

以上の結果より、表層水試料の採取と分析も、発電に最適な蒸気スポットの位置を特定するためのツールとなり得ることが明らかになった。これらの結果をとりまとめ、R2年度中に国際誌への投稿を予定している。また、同手法に必要な分析手法、特に岩石・土壌の湿式分解法について、ITBへの技術移転を進めている。

(引用文献)

- Agusto, M., Tassi, F., Caselli, A.T., Vaselli, O., Rouwet, D., Capaccioni, B., Caliro, S., Chiodini, G., Darrah, T.: Gas geochemistry of the magmatic-hydrothermal fluid reservoir in the Copahue-Caviahue Volcanic Complex (Argentina), *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **257**, (2013), 44-56.
- McCullom, T.M., and Seewald, J.S.: Abiotic synthesis of organic compounds in deep-sea hydrothermal environments, *Chemical Reviews*, **107**, (2007), 382-401.
- Sano, Y., and Marty, B.: Origin of carbon in fumarolic gases from island arcs, *Chemical Geology*, **119**, (1995), 265-274.
- Suzuki, Y., Ioka, S. and Muraoka, H.: Geothermal resource exploration by stream pH mapping in Mutsu Hiuchi Dake Volcano, Japan, *Energies*, **10**(7), (2017), 1009.

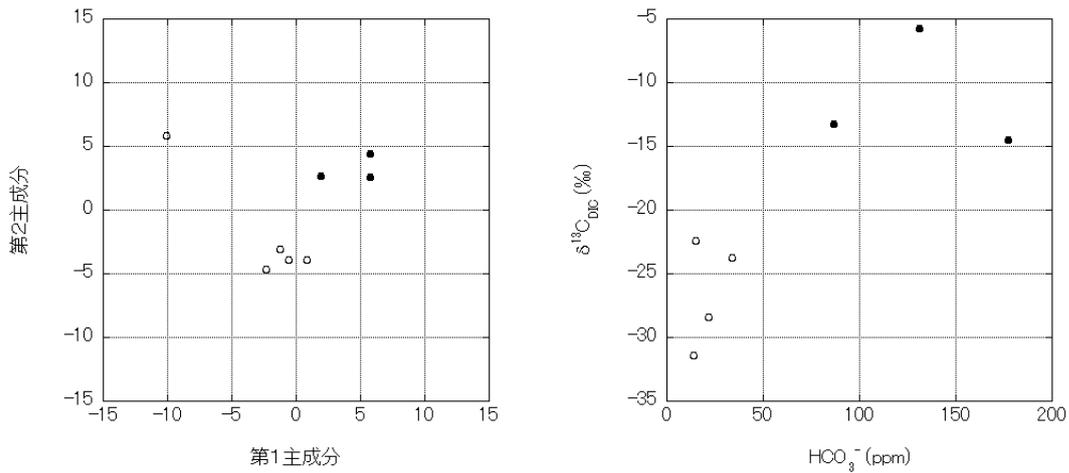


図 10 一部集水域（黒丸）と周辺域（白丸）において採取された表層水の分析結果：各化学成分の主成分分析結果（左）と重炭酸塩イオン濃度と炭素同位体比の測定結果（右）。一部集水域では高い $\delta^{13}\text{C}$ 値を示す無機炭素が供給されていることがわかる。

➤ 機器投入の実績

蒸気スポットと地熱発電適地の高精度検出技術開発に不可欠となる全 11 機種を ITB に投入した。各機器の外形、およびそれを使用した研究が蒸気スポット形成要因のいずれに関連するかを図 11 に示す。



図 11 「蒸気スポットと地熱発電適地の高精度検出技術開発」と投入機器との関連

H28 年度に以下の 7 機種の輸送と ITB における据付作業が完了した。括弧内は設置場所と表 1 での記号を表す。

- 携帯型反射スペクトル測定装置 (X 線・電子顕微鏡室)
- ラドン濃度測定システム (野外調査用)

- 水銀計測システム（野外調査用）
- 熱伝導度検出器型ガスクロマトグラフ（ガスクロマトグラフ・同位体比質量分析計室，GC）
- X線回折分析装置（X線・電子顕微鏡室，XRD）
- 走査型電子顕微鏡（X線・電子顕微鏡室，SEM）
- 蛍光X線分析装置（X線・電子顕微鏡室，XRF）

これらのうち、熱伝導度検出器型ガスクロマトグラフ、X線回折分析装置、蛍光X線分析装置については、国内と現地法人より技術者を招聘し、機器類の基本操作方法に関する講習会を開催した。これにより、分析装置の使い方をITB側が習得し、分析データの取得と蓄積に貢献している。次に、以下の5機種は平成29年7月19日にインドネシアに到着し、8月にITBに設置され、初期調整を経て水同位体分析システム以外は年内に使用を開始した。設置場所はいずれもガスクロマトグラフ・同位体比質量分析計室である。

- イオンクロマトグラフ（IC）
- 安定同位体比質量分析システム（IRMS）
- 誘電結合プラズマ質量分析システム（ICP-MS）
- 水同位体分析システム（WI）
- 電子捕獲検出器型ガスクロマトグラフ（GC）

水同位体分析システムには初期不良が生じており、その修理が平成30年7月2日に完了した。同年7月11日には多田研究員よりITBのポスドク1名と修士課程大学院生5名に対し、同装置の使用方法和日常点検・保守作業の実地指導が行われた。このときに指導を受けた学生の1人は、技術者としてITBに雇用され、現在、博士号の取得を目指して業務と研究に励んでいる。人材育成については下記の研究題目4で詳述する。

11機種ともITBで極めて有効に活用されており、本プロジェクトに限らず、ITBでの学内共同利用、さらにはインドネシア全域の大学、政府機関、研究機関、民間企業の利用へと発展している。ITBの内部・外部に分けての各機器の利用件数を表1にまとめる。2019年は5月末までの集計である。特にXRDの利用が多く、2018年だけでも学内外合わせて979件もの利用を数えた。XRD、XRF、SEMはほぼフル稼働の状況である。インドネシアの大学でICP-MSとIRMSを設置しているのはITBのみであるので、ITBはCOE（先端研究拠点）の位置付けのようになり、この設立に本プロジェクトは貢献した。IRMSによって火山ガスや水試料に含まれる炭素・硫黄の安定同位体比の測定が可能になり、ガスの起源等に関する重要な結果が得られつつある。

表1 2016年から2019年5月までの各投入機器の稼働状況。ITBの(a)内部と(b)外部機関での利用件数をそれぞれ示す。外部機関には大学（Bogor Agriculture Institute）、政府機関（Ministry of Energy and Mineral Resources）、国立研究機関（Center for Research and Development of Water Resources）、民間企業（Mining One Consultant, PT. Thermochem Indonesia, PT. Ferg Geosains Indonesia）等を含む。

(a)

	XRD	XRF	SEM	IC	ICP-MS	GC	WI	IRMS
2016	203	79	50	-	-	-	-	-
2017	583	114	198	-	-	-	-	-
2018	691	421	266	191	98	14	71	42
2019	478	231	264	267	64	6	86	2

(b)

	XRD	XRF	SEM	IC	ICP-MS	GC	WI	IRMS
2016	62	8	35	-	-	-	-	-
2017	283	95	211	-	-	-	-	-
2018	288	85	118	26	12	0	0	21
2019	82	9	20	26	4	0	31	0

本プロジェクトの研究グループは一つのみであるので、以下の(2)~(5)の各要点は当グループに関する記載のみである。

(2) 研究題目 1 : 「蒸気スポットと地熱発電適地の高精度検出技術開発」

①研究題目1の当初の計画(全体計画)に対する成果目標の達成状況とインパクト

研究項目 1-3・1-5・1-6 は PDM と PO の活動 (Activity) に対応しており、前述のように地形データから抽出したリニアメントから地下亀裂の卓越方向を推定できたこと、植生が深い地域に対しても衛星データから熱水変質鉱物の同定と分布推定が可能になったこと、およびこれら亀裂情報と鉱物情報を組み合わせて地熱資源の胚胎推定精度を向上できたことが主な成果である。地熱域を対象としたこのような組合せは、あまり例を見ない。1-3 に関しては、H28 年度より使用している Wayang Windu 地区の表層ボーリング 17 箇所に加え、H30 年度に 7 箇所の新規測点 (NSD) を設け、より長期的かつ広範な地中ラドン・水銀濃度とガス組成のモニタリングを実施した。NSD はガスの流動性が高いと予想される断層交点を主なターゲットとして設置され、ラドン測定結果は 7 点中 6 点がそれを示唆すると判断される変動パターンを示した。

また、最も高いラドン濃度を示す測点 (K-15) と、比較のための測点 (K-10) におけるガス分析結果を比較すると、前者がより火山ガスの割合が高いと考えられる結果を示した。ラドン濃度の空間的分布と抽出リニアメントの密度分布にも対応が見られ、両者を組み合わせることでガスの流動性が高い領域を推定することが可能になる。しかしながら、NSD の測定結果から、測定時期によってラドン濃度が変化するという新たな課題も浮かび上がった。水平展開として Patuha 地区における新たなラドン濃度のモニタリングを H30 年度後半に開始したが、その測定結果より、貯留層の温度・圧力変化に起因する蒸気量の変化でラドン濃度が増減するという可能性が示された。R 元年度にこの仮説を検証した。

以上より、ラドン濃度とその時間的変化、およびリモートセンシング技術を用いたる広域亀裂系解析と鉱物分布抽出の統合により、貯留層からの熱水・蒸気の上昇によって蒸気スポットが形成されている箇所を特定することが完成しつつある。

項目 1-5・1-7 については、H29 年度より噴気ガスと熱水試料の採取・分析を行い、ガス成分濃度と炭素の安定同位体比については ITB で、熱水試料については京都大学と総合地球環境学研究所において分析を実施した。また、希ガスの同位体分析を、東京大学海洋研究所所有の希ガス同位体質量分析装置を用いて実施した。得られた結果から、バンドン盆地北側と南側の地熱地域では、湧出するガスに含まれるヘリウムや二酸化炭素、メタンの起源が異なり、北側で相対的に深部起源ガスを多く含むことが明らかとなった。この結果は地熱流体の起源や循環状態を反映していると考えられ、地熱流体の滞留時間を明らかにすることで本仮説を検証するために、水試料を採取し、水素や炭素、塩素、ヨウ素の放射性同位体などの滞留時間推定に利用可能な指標の分析を行っている。これまでの分析結果を統合し、Wayang Windu 地区に対して構築できた熱水循環系と貯留層の位置、および貯留層内で熱水、あるいは蒸気卓越型の部分を図 12 に示す。これは領域の南北方向の断面図である。ラドン濃度の異常が現れた K-15 は、この概念モデルで蒸気卓越型貯留層の上部に位置するので、蒸気スポットの推定位置は妥当である。

項目 1-7 の一環として、集水域ごとに採取した表層水の化学成分分析を試験的に実施したところ、他の集水域と比べて特徴が異なる領域を見出すことができた。この特徴的な領域は、最大のラドン濃度を示したボーリング地点 K-15 を含むとともに、蒸気パスの可能性が最も高いと考えられる断層の直上に位置している。よって、表層水の化学成分分析が、項目 1-3 が目指す「貯留層から地表に繋がる亀裂の位置を推定する」ためのツールとなり得ることが示唆された。この研究成果は、国際誌論文として取り纏めているところである。

研究題目 1 全体の纏めとなる項目 1-8 については、亀裂分布密度、ラドン・水銀濃度の空間分布図、水質組成分布図をファジィ論理によって組合せ、各要素にメンバーシッ

蒸気スポットの推定位置

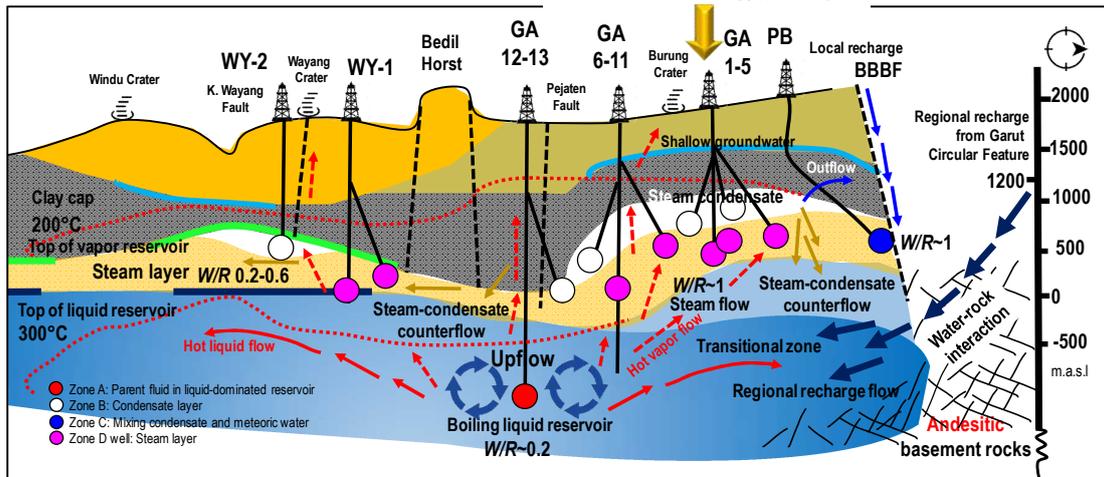


図 12 Wayang Windu 地区での熱水循環系と貯留層の位置，および貯留層内で熱水，あるいは蒸気卓越型の部分の概念モデル（南北方向の断面図）。熱水とガスの分析結果の統合による。白と薄いオレンジは貯留層内で蒸気卓越部，水色系は熱水卓越部を意味する。地表の構造物からの線は生産井，矢印は流動パターン，生産井先端の○は Zone A：熱水卓越部，B：蒸気の凝縮部，C：B と天水との混合，D：蒸気卓越部を表す。ラドン濃度の異常が現れた K-15 は，この概念モデルで蒸気卓越型貯留層の上部に位置する（本プロジェクトの成果である Shoedarto et al., 2020; *Geothermics* による）。

ブ関数を定義することで地熱スポット存在の評価値を算出することを ITB 側と協同で進めた。まず，その前段階として，評価値算定に適用できるデータの選出とデータの規格化を行い，最適なメンバーシップ関数の特定を検討した。各要素のデータ値と統計的性質（平均，分散，データ分布範囲，分布関数など）は大きく異なるので，複数の要素を組み合わせられるようにデータの規格化は特に重要である。このファジィ論理を使つてのデータ統合については，国際誌 *Natural Resources Research* に成果論文が受理され，印刷中である。上記の結果のように，貯留層からの流体パスの特定には地殻ガスラドン濃度と表層水の溶存炭素同位体などが，ガスの起源推定には希ガス同位体が有用なツールになることが明らかになり，これらを組み合わせることで，蒸気スポットと地熱発電用の生産井適地の高精度検出技術が確立されることが期待できる。

生産井の 50%以上が，蒸気スポット存在評価値の高い分布に位置するという基準によって，手法の妥当性検証を目指した。結果の一例として，生産井以外でサンプリングされた地球化学データ（ホウ素・塩化物イオン比：B/Cl，アルミニウム，硫酸イオン，炭酸水素イオン，水素・酸素同位体比），リニアメント密度，ラドン濃度から算出したガス上昇速度を統合しすることで作成した蒸気スポット存在評価マップを図 13 に示す。各データ種の最小値が 0，最大値が 1 となるように規格化した後，データ分布密度に応じて地球統計学や逆距離加重法によって東西・南北方向ともに 100 m 間隔で空間分布を推定し，その結果を統合した。存在度評価値に深度の情報はない（すなわち各地点で一つの値）が，生産井先端が位置する計 34 個のセル中，評価値の中央値（メディアン）を超えるセルは 24 個あり，これは 71%の正答率（24/34）に相当し，上記の目標値 50%を超える結果になった。より精度を向上させるために，存在度評価に用いるデータの種類，規格化・空間分布推定の手法，統合用の最適な重み付けの検討を継続している。

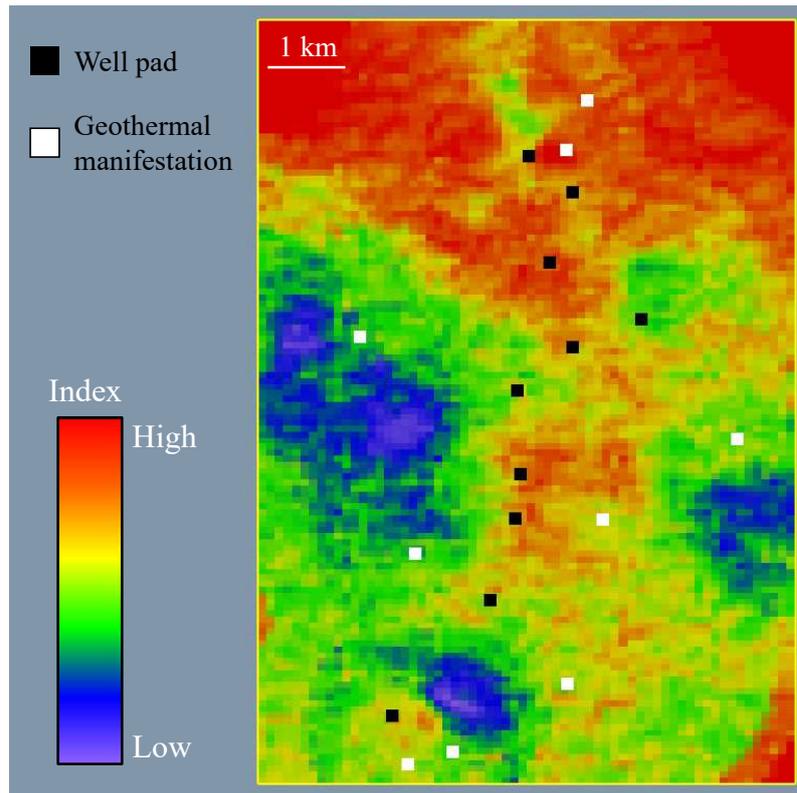


図 13 Wayang Windu 地区における蒸気スポット存在評価マップ。生産井以外でサンプリングした各種地球化学データ、DEM からの抽出リニアメントの密度、ラドン濃度から算定したガス上昇速度の空間分布の統合による。黒丸は生産井末端の地表への投影位置、三角は生産井基地（Well pad）、四角は地熱兆候地（噴気帯と温泉）を表す。

地表と地表付近を対象とした調査から分析・解析，評価に至る本プロジェクトのプロトコルは，主に物理探査と組み合わせた従来のボーリング調査のような大規模なコストを必要とせず，発展途上国の研究環境・予算規模においても十分に実施可能であるため，学術領域のみならず一般企業を含めた地熱分野全体にインパクトをもたらすものと考えられる。

②研究題目1のカウンターパートへの技術移転の状況

研究代表者らによる，地形データの多方位陰影処理から地形の線状構造や傾斜変換点の連続性を強調する手法，および多方位陰影図から亀裂の存在に関連したリニアメントを自動抽出する手法に関連し，その原理とプログラムの使用方法についてのワークショップを平成 28 年 5 月 11 日に ITB にて開催した。ITB 教員と大学院生を合わせ 30 名ほどが参加した。ITB グループはこのプログラムを合成開口レーダの後方散乱強度画像に適用できるように独自に改良し，マイクロ波の照射方位が東西の画像を組み合わせるリニアメント抽出精度を向上させるという手法を開発し，プログラム化した。その成果は地熱分野を代表する国際誌である *Geothermics* に平成 30 年 3 月に掲載された。さらに，H29 年度に久保研究員が ITB に長期滞在し，高分解能の地形データからもリニアメントを抽出できるように ITB 側と共同でプログラムを改良した。平成 29 年 5 月の ITB 若手教員 2 名の京大滞在により，リニアメントから亀裂面の走向・傾斜を算定する手法についても教示でき，実際に ITB 側で活用されている。上記により，項目 1-1・1-2 全体としての技術移転は完了している。

平成 28 年 8 月 18 日～9 月 10 日にかけて，久保研究員と多田研究員が Wayang Windu 地区で，地中ラドン濃度と水銀濃度の測定方法に関する技術指導を行い，以降は ITB 学

生による計測の継続実施が可能となった。また、上記期間中の8月27日・28日に(株)島津テクノロジーの上級技術者をITBに招聘し、熱伝導度検出器型ガスクロマトグラフの使用法についてのショートセミナーを開催(写真1)、さらにITBにて平成29年1月26日～28日にかけて(株)リガクの技術者によるX線回折分析装置(表1のXRD)と蛍光X線分析装置(XRF)の技術講習会を開催した。これらにより、ITB側の教員・技術員・大学院生が各機器の操作に関する基本的技術を習得したことにより、今後の専門的な技術移転を確実に行うことができる下地を築けた。その後も定期的にITBを訪問し、特に粘土鉱物の同定方法や鉱物種の定量分析方法を中心とした機器の取り扱いに関するマニュアルの更新、およびトラブル時の対応などの指導を実施し、現在ではITBの学生のみでも水平展開が可能な状態となっている。ラドン測定に関しては、ITB側主導で水中ラドン濃度の測定を開始しており、すでに一部の測定法に関しては京大側以上のノウハウを蓄積している。平成30年2月と10月の滞在時には、ITBのHeriawan准教授が担当するゼミに久保研究員が参加し、京大側のこれまでの研究成果の紹介、今後の課題の打ち合わせ、および学生の研究指導を行った(写真2)。



写真1 島津テクノロジー技術者によるガスクロマトグラフ使用法の説明会



写真2 久保研究員によるITB大学院生向けのセミナーの様子

安定同位体比質量分析システム(IRMS)の取扱いについては、現地代理店エンジニア、シンガポール駐在の正規エンジニア(インドネシア人)、日本人の正規エンジニアが機器の操作方法と基本的なメンテナンス方法を詳細にレクチャーした。特に、正規エンジニアが同国人である点が大きなメリットとなっており、現在も頻繁に連絡を取りながら運用を進めている。京大側からは柏谷助教と多田研究員が平成29年12月と平成30年2月・4月・7月・8月、平成31年2月に訪問し、試料の前処理方法と実分析の指導を行い(写真3)、少なくとも固体試料・水試料・ガス試料の炭素同位体比、水試料と固体試料の硫黄同位体比、および固体試料の窒素同位体比などは、すでにITB側で自発的に測定・運用が可能な状態である。また、現地代理店エンジニアもITBの装置を通じて知識・技術の蓄積に努めており、同国内における同装置の普及を目指している。令和元年8月の時点で、ITBはインドネシア国内において、GC装置を連結させた安定同位体比質量分析システムを稼働させている唯一の機関である。他にも導入されている機関はあるが、技術力不足等のために稼働していない状況である。よって、同国における今後一層の技術力向上と水平展開に、本プロジェクトは重要な役割を担っている。

イオンクロマトグラフ(IC)と誘電結合プラズマ質量分析システム(ICP-MS)については、ITB側の専任技術員がメーカーエンジニアから操作方法を一通り学び、自発的に測定・運用を進めている。京大側からは多田研究員が平成29年12月と平成30年2月、同年4月、7月、平成31年2月、令和元年7月に訪問し、特にイオンクロマトグラフについては高濃度試料測定後の機器洗浄方法、誘電結合プラズマ質量分析システムについては、より高精度の測定を目指した内標準校正法の導入や検量線作成方法の改良などを指導した(写真4)。また、岩石・土壌試料の化学組成を明らかにするために、ITB側で自発的に固体試料の溶解実験を開始したが、完全に溶解させることができず、残渣

をろ過して除去したり，あるいは溶解過程を外注したりする状況であった。そこで，令和元年7月の訪問時に，京大側で実際に適用している溶解手順をマニュアル化して移転



写真3 IRMS 測定用試料の調整風景。真空と高圧ガス使用の危険を伴う。



写真4 ICP-MS 測定のための，強酸や純水の取扱法を指導する風景。

するとともに，実験作業時における必要物品や注意事項，改善点について指摘・指導を実施した。本プロジェクトが終了するまでに，岩石試料を溶解し，希土類元素等の微量元素を分離・抽出する技術を移転できる見込である。ITB 側の測定対象試料がいずれも高濃度であり，装置にかかる負担も大きいため，すでに複数回の不具合が生じているが，いずれのケースも ITB 側が自発的にそれぞれのメーカーエンジニアに連絡を取り，問題を解決できている。

③研究題目1の当初計画では想定されていなかった新たな展開

地熱発電用の生産井適地を低コスト，かつ従来よりも高い成功確率で特定することを目指す本プロジェクトに Geo Dipa Energi 社が強い関心を示し，新たな共同研究機関として本プロジェクトへ加わったことが，当初の想定を超えた水平展開である。同社は Patuha 地区で地熱発電を実施しており，Wayang Windu 地熱発電所よりも発電規模は小さいが，生産井の増加によって発電量の大幅増大を目指している。この新たなモデルサイトに対して，Wayang Windu 地区と同じ研究項目を実施し，H29 年度から同社の技術者と熱水，地殻ガスのサンプリング・分析を，H30・R 元年度にラドン濃度測定を共同で行い，現在も継続中である。その風景を下の写真に示す。また，同社より提供された，当該サイトでのボーリング調査による地質柱状図や温度・圧力検層の一部データを用い，後述のように研究題目3の地熱貯留層シミュレーションを実施することで，複数の貯留層が存在することなどの地熱系形成に関する重要因子が初めて推定できた。研究成果の一例として，地球化学データと地質柱状図・温度検層データの統合によって構築できた



Patuha 地区地熱システムの概念モデルを図 14 に示す。この成果は *Applied Geochemistry* という国際誌に論文掲載された。インドネシアでの技術移転先が増加したとともに，蒸気スポット検出の精度を検証できるサイトが2つになったことは本プロジェクトにとってメリットは大きい。

また、本プロジェクトに当初、地球物理学の研究内容は含めていなかったが、上記のラドン濃度の異常を示し、貯留層と繋がる熱水・蒸気パスの可能性の高い箇所（K-15）で、ITB と共同で地磁気-地電流探査を H30 年度に実施し、パスの存在を確認した。主に地球化学的・鉱物学的分析により抽出する蒸気スポットの存在の確からしさを、地球物理学的手法の適用により検証し、物理・化学データの統合を図ることは新たな展開である。

熱水と地殻ガスの分析では、モデルサイトと同様にバンドン盆地周辺に分布する3地域の地熱サイト、およびバンドン盆地北部を走る東西方向の活断層（レンバン断層）にまで対象を拡張した。レンバン断層の西部ではラドン濃度が高く（図 15）、これは西部の方が最近の地震活動が多いという傾向と整合した。すなわち、同じ断層でも流体の上昇しやすさが場所によって異なり、これは地殻破壊現象に起因するということが解釈できた。ラドン濃度と地殻変動とを正確に結び付けられたのは世界初と思われ、インパクトの強い成果が水平展開で得られた。レンバン断層での成果もインパクトファクターの高い国際誌への論文として纏め終わり、最終確認中で、これも令和2年8月中には投稿できる予定である。これらのサイトでの研究結果を統合し、広域的な地質構造と水・物質循環の観点からバンドン盆地周辺に発達する地熱システムを明らかにすることで、地熱開発に適した地熱システム形成地域をより詳細に抽出する手法の有効性を、複数のサイトで実証できることになった。

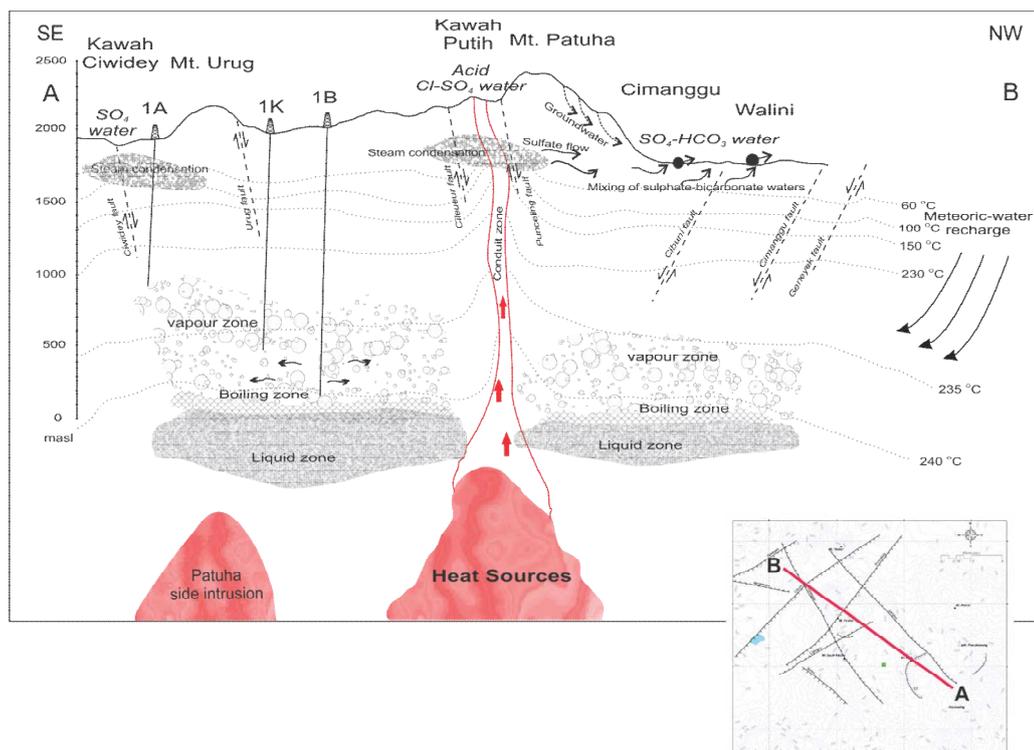


図 14 地質柱状図・温度検層データの統合による Patuha 地熱システムの概念モデル (本プロジェクトの成果である Rahayudin et al., 2020; *Applied Geochemistry* による)

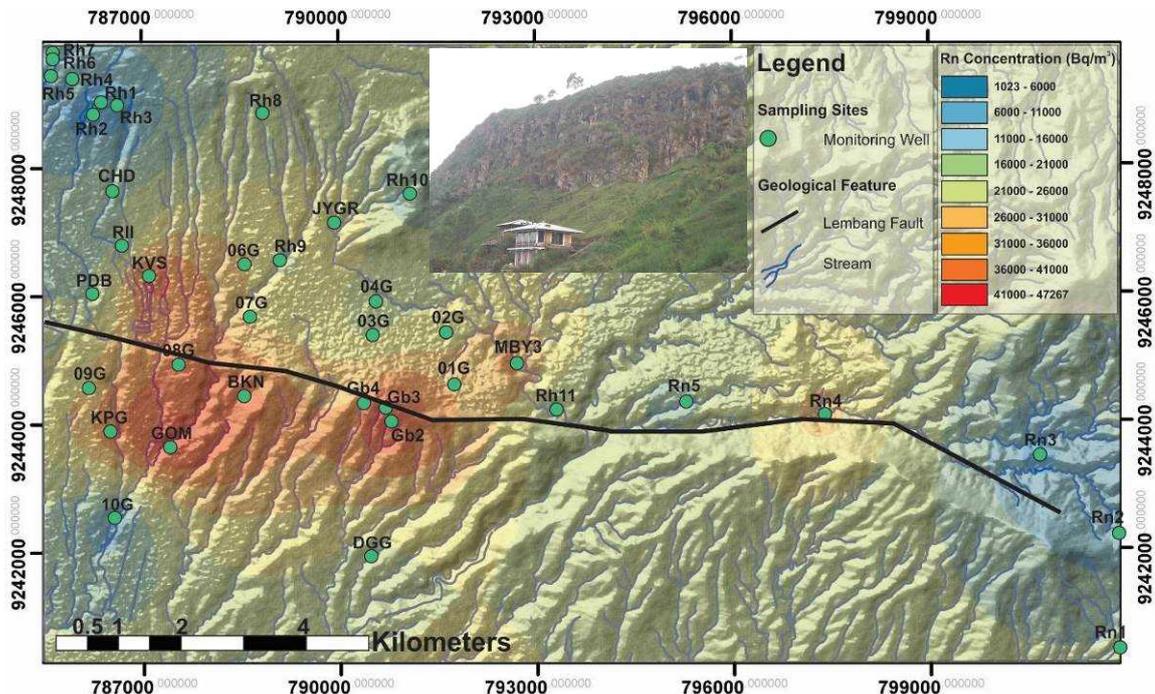


図 15 バンドン盆地北縁に位置するレンバン断層でのラドン濃度分布

④ 研究題目1の研究のねらい(参考)

リモートセンシング、数理地質学、地球化学および鉱物学での各種手法を統合して、地熱発電に最適な蒸気スポットを検出できる技術が開発される。

⑤ 研究題目1の研究実施方法(参考)

- 1-1 衛星画像もしくは地形データから連続性が良く透水性の高い亀裂を抽出する。
- 1-2 各亀裂面の走向および傾斜を算出することによって、3次元的な分布形態を推定する。
- 1-3 土壌ガス中のラドン濃度と水銀濃度により、貯留層から表層まで繋がる連続的な亀裂を特定する。
- 1-4 土壌ガスおよび水化学を活用した地質温度計によって、貯留層の温度・圧力を算定する。
- 1-5 土壌ガス中の安定同位体比によってガス起源の深さを推定する。
- 1-6 地表付近の岩石の鉱物分析および衛星画像解析により、貯留層から地表までの熱水やガスのパスとなる亀裂を特定する。
- 1-7 水試料の化学組成・同位体組成の分析によって、熱水の起源および循環を明らかにする。
- 1-8 数理的な手法により蒸気スポットが存在する可能性を評価する。

(3) 研究題目2:「環境調和型地熱利用のためのモニタリング技術開発」

① 研究題目2の当初の計画(全体計画)に対する成果目標の達成状況とインパクト

本項に関連する研究項目は「2-1 衛星画像解析による植生活性の分析」と「2-2 差分干渉 SAR による地表変位の高精度検出」である。研究項目 2-1 は光学センサ画像の複数バンドの反射率データを組み合わせて、植物の活性度を評価するという手法 (VIGS) を開発できたので、これを Wayang Windu 地区の 6 シーンの Landsat ETM+画像データと 4 シーンの ASTER 画像に適用した。これらの衛星画像は最も観測期間が長いので、他の衛星に比べて雲量が少ないデータを圧倒的に多く含む。この特長は、雲量ゼロ%とい

う観測条件に恵まれる機会が少ない熱帯の山岳地域では特に重要である。これまで広く用いられている代表的な植生指数である NDVI（正規化植生指数）よりも VIGS の方が有効であり、日本の鉱床域での解析ではあるが、重金属汚染による植物ストレスを検知でき、精度が高いことを実証できている。

個々の VIGS 画像では、プランテーションにおける植生の活性が現れており、8・9・10 月において VIGS 値が大きくなることが確認できている。また、発電所周辺でも大きな VIGS 値が分布し、植生活性度が大きいことが示されているので、発電所稼働による植生への影響が現出していないことを確認した。さらに、各画素で VIGS 値の変動係数を求めたところ、変動係数が特に大きな箇所、すなわち植生異常の可能性が高い箇所は断層に沿うという特徴が明瞭に

示された(図 16)。この際、ASTER 画像の分類処理によって詳細な土地利用・被覆図を作成し、住宅域のような植生とは無関係の領域の除外、および初生森林・二次林など植種の細分化によって植生異常の場所、植種との関係を精緻化している。変動係数の大きさの要因として、①断層を通過して上昇した熱水や蒸気が植生活性度の季節変化に影響を及ぼしている、②断層部分の透水性が高く、これが土壤水分の季節変動を生じさせていることによる、の 2 通りの仮説が考えられる。いずれも 植生活性度は断層の存在に影響されるとみなせ、この影響を見出した成果は世界初と思われる。これらの成果を国際誌論文として纏めているところである。

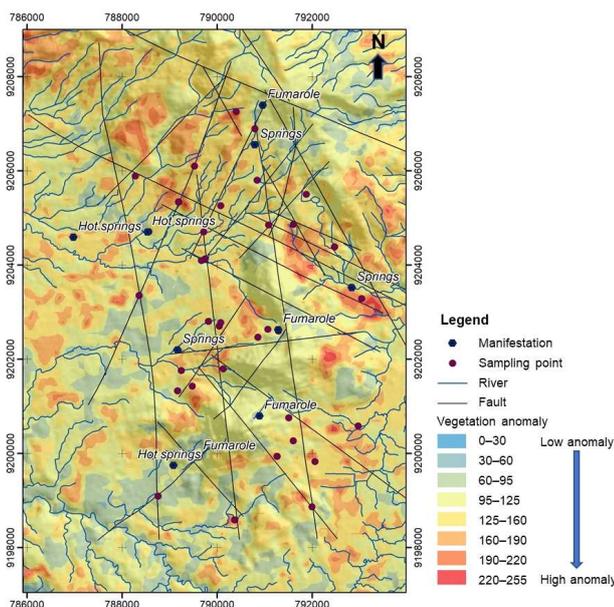


図 16 VIGS を用いた植生指数の変動係数による植生異常と断層分布との関係

研究項目 2-2 においては、20 シーンの南向き (descending) 軌道と 24 シーンの北向き (ascending) 軌道の ALOS-PALSAR データを用い、従前よりも情報量を格段に多くすることで解析精度を向上させた。基線長の垂直距離を 4 km 以内、衛星観測日の相違を 1 年以内としたコヒーレンスを高くする条件で、44 シーンから差分干渉 SAR 処理 (D-InSAR) 用の 191 のデータペアが得られた。水蒸気遅延の影響を極力小さくし、微小な変化量を抽出するには Small baseline subset (SBAS) D-InSAR 法が適していることがわかり、これにマルチルック処理を組み合わせることで位相ノイズを軽減させた。

解析の結果から、バンドン盆地が年間に 10 mm 以上と大きく沈降していることを明らかにした。これは地下水の汲み上げの影響によるものと考えられる。モデルサイトである Wayang Windu 地区での変動量はこれよりも小さいが、北部では毎年 20 mm 程度の沈降を示すことに対して、南部では毎年 5 mm 程度の隆起を示し、北部と南部では変動のパターンが異なる。この傾向は、データ量を増加し、手法を高度化した上での再解析結果においても確認された。地表変動パターンの相違は、領域中央で東西方向に走る断層の動き、あるいは北部は蒸気卓越型、南部は熱水卓越型という貯留層中の流体状態の相違に起因すると考えられる。SBAS D-InSAR による地表変動量をシーン内にある 3 点の基地における GPS データと比較したところ、相関係数が 0.98 を超える、高い精度が確認された。

以上の 2-1 と 2-2 に関する結果は、インドネシアの地熱地帯を対象に初めて見出された特徴である。さらに、2014~2017 年の Sentinel 衛星データを用いて、PS-InSAR とい

う恒常散乱体（PS：persistent scatterer）に注目した手法を適用した。PSとは、例えば鉄塔などの散乱強度やマイクロ波の位相特性が常に一定している地表物体を意味する。図17左に示すように、植生に覆われた地域では通常PSの点数は少なく、分布が限られている。これに地球統計学を適用することで、コヒーレンスが小さく干渉していない部分でも地表変動量が推定できるようになった（図17右）。これに加えて、南向きと北向きの軌道のSARデータを組み合わせることで、地形変動を3次的に求めることができた。これにより、Wayang Windu 地区では北部の断層に囲まれた領域でブロック状に沈降しているという特徴を明らかにできた（図17右）

以上のように2-1と2-2での達成状況は良好と判断できるとともに、2-2で地球統計学を適用し、さらに2種類の軌道データを組み合わせることで地熱地区全体にわたり地形変動を3次的に明らかにできたことは世界初の成果と思われるので、成果のインパクトも強いはずである。

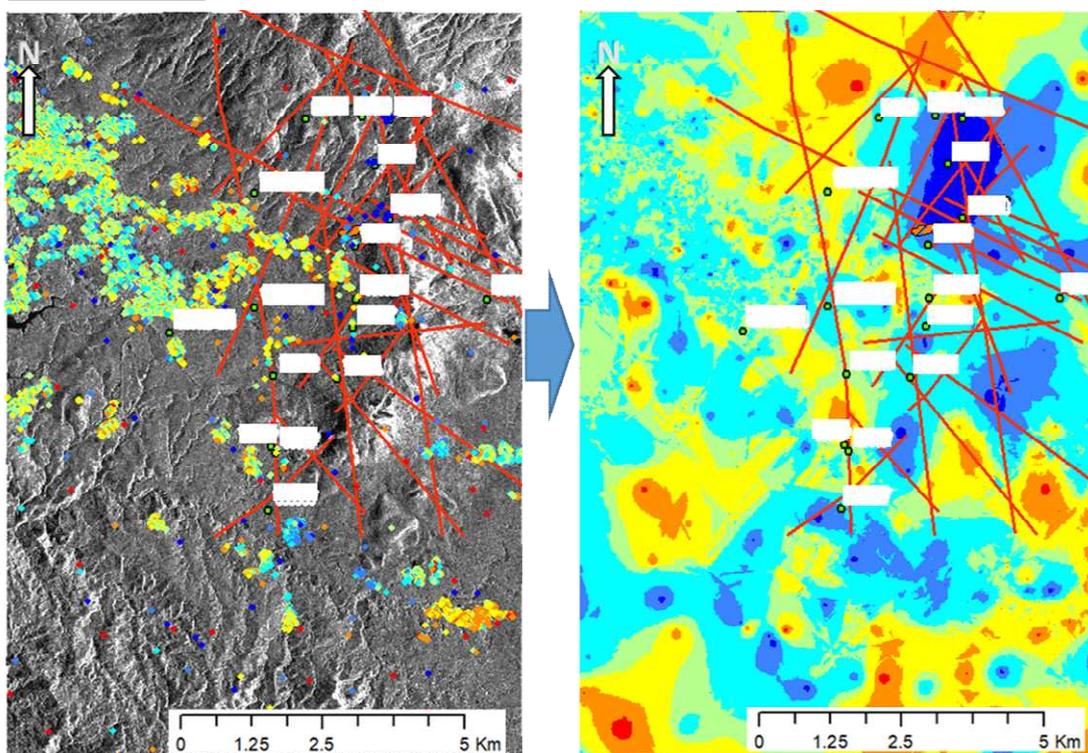


図17 Wayang Windu 地区でのPS-InSARによる恒常散乱体の分布(左), 地球統計学による領域全体での地表変動推定への拡張結果(右)。寒色は沈降, 暖色は隆起を表し, 青色ほど沈降量, 赤色ほど隆起量が大きい。

- velocity mm/year
- ◆ < -10
 - ◆ -10 until -5
 - ◆ -5 until -1
 - ◆ -1 until 1
 - ◆ 1 until 5
 - ◆ 5 until 10
 - ◆ > 10

②研究題目2のカウンターパートへの技術移転の状況

汎用衛星画像解析と干渉 SAR (D-InSAR) に関するソフトウェアを H27 年度に ITB へ投入した。H27 年度に京大へ招聘した Saepuloh 助教を通して、いずれのソフトウェアの使用法も ITB グループは習得し、研究項目 2-1 と 2-2 の研究に有効活用されている。また、衛星画像データ解析の現地検証用として、対象物質（岩石、土壌、植生）の反射スペクトル測定は不可欠である。野外での使用を想定し、H27 年度に投入した携帯型分光放射計 FieldSpec4 も Saepuloh 助教、および研究代表者の指導の下で博士号を取得した Hede 助教を通じて使い方の技術移転がされ、百個以上のサンプルを測定することで、良質のデータが得られている。その一例として、Hede 助教による反射スペクトルの測定風景、K17 ボーリング地点からのサンプル土壌の反射スペクトル測定結果、および標

準試料との比較による土壌構成鉱物の割合を図 18 に示す。土壌サンプルの鉱物組成や元素濃度との関連から植生活性度についての考察を行う上で、投入した鉱物組成分析用の XRD と元素濃度分析用の XRF が有効に活用されてきた。以上より、技術移転は順調に展開できたものと結論付けられる。

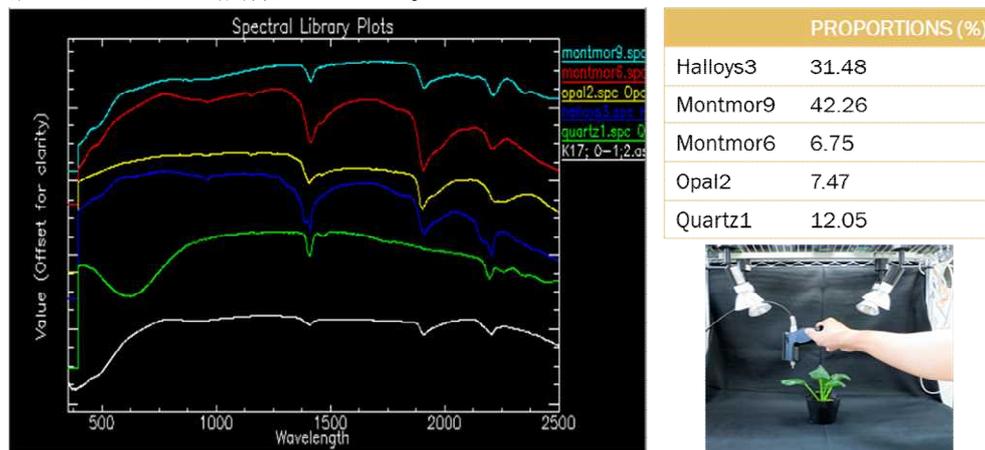


図 18 K17 ボーリング地点からのサンプル土壌の反射スペクトル測定結果（白色），およびモンモリロナイトなどの標準試料（白色以外のスペクトル）との比較による土壌構成鉱物の割合（右表）

③研究題目2の当初計画では想定されていなかった新たな展開

Saepuloh 助教の研究室における卒業生が、JICA 事業のイノベティブ・アジアに応募し、京大内で極めて高い競争倍率であったにもかかわらず選抜され、平成 29 年 10 月に京大大学院の研究生になった。平成 30 年 2 月の入試に合格し、同年 4 月より博士後期課程に入学した。この学生はリモートセンシング技術の基礎を修得しており、国際会議での発表実績もある。平成 29 年 10 月より研究項目 2-2 に取り組み、上記のように Wayang Windu 地区周辺の地形変動に関する新規性の高い成果が得られ、この成果は令和元年 7 月末に開催され、地球科学リモートセンシング関係では最も著名で最大の国際会議である IGARSS 2019 (2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium) で発表し、高く評価された。このような研究に適した人材を確保できたことは本プロジェクトでの大きなメリットであり、項目 2-2 の研究が大きく進展し、質の高い成果を得ることができた。この成果も現在、リモートセンシングに関する国際誌への投稿論文として纏めているところで、令和 2 年内の投稿を目指している。

また、研究項目 2-1 で開発した植生指数 VIGS への国内外における関心は高く、リモートセンシング分野では定評のある国際誌に既に 30 回以上引用されている。金属鉱山開発に起因した土壌汚染への適用性に関する質問など、e-mail での問い合わせも多い。加えて、研究代表者のもとで VIGS を利用した研究に取り組みたい、との大学院入学希望も複数来ており、実際、インドネシアからの留学生が令和 2 年 2 月期の博士後期課程入試を受験する予定である。これらは、VIGS が地質環境モニタリングへ有効に利用できる可能性が高いことを示すものである。よって、地熱分野のみでなく、地質環境リモートセンシング分野へも本プロジェクトが貢献できる可能性が萌芽したことが新たな展開である。

④研究題目2の研究のねらい(参考)

地熱発電所運転の影響を確認するため、リモートセンシングを利用した環境モニタリング技術が開発される。

⑤研究題目2の研究実施方法(参考)

- 2-1 光学センサ衛星画像を用いて、地熱発電所付近の植物活性を明らかにする。
- 2-2 高湿度の気象条件下で、差分干渉 SAR (D-InSAR: Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar) 法を用いて貯留層の圧力変化に伴う地表の変位を検出する。

(4) 研究題目 3 : 「地熱エネルギー利用・産出の最適化システム設計」

①研究題目3の当初の計画(全体計画)に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

各研究項目「3-1 種々の地質構造と地熱資源利用に対する貯留層の温度・圧力変化のシミュレーション」、「3-2 貯留層状態に連動した発電量変化のシミュレーション」、「3-3 電力生産寿命を算定する」いずれについても、既存のソフトウェア TOUGH2, およびこれをベースとして新規に開発したソフトウェアを用い、ITB との協力のもと、Wayang Windu と Patuha に加え、日本国内における2つの地熱サイトを対象としてシミュレーションを実行した処、実際のボーリング検層による温度にほぼ等しい計算結果を得ることができた。

上述した通り Wayang Windu 地区は北部が蒸気卓越型、南部が熱水卓越型という異なるタイプの貯留層から成るが、この違いは地塁・地溝という断層構造と断層の透水性、および熱源の位置に起因して形成されたと考えられる。そこで、図 19 のように北部と南部を分ける地塁に不透水性の断層が存在すると仮定し、これを取り入れられるようにボロノイ状のセルで対象領域を分割した。自然状態に対する温度と圧力のシミュレーション結果を図 20 に示すが、温度の計算結果は温度検層のデータとほぼ一致することが確かめられる。貯留層温度は不透水性断層で周囲よりも低下という特徴が見出せる。また、蒸気飽和率の計算結果からは、北部・南部ともに貯留層上部で蒸気卓越部が形成されるが(図 21 上の赤色の部分)、北部の方の体積が大きく、より深部までに広がる。この傾向は貯留層タイプの特徴に調和的である。また、南部での流体は主に下降流であるのに対して、北部では上昇流が卓越する。特に高いラドン濃度を示した K-15 は、北部に位置する。よって、ラドン濃度の高さは流体の広域的な上昇流に起因することがシミュレーション結果から解釈できた。さらに、生産井を設置した場合、北部の貯留層では約 15 年間で温度は 7 °C、圧力は 5 気圧低下することが予測できた(図 21 下)。これらにより発電量と電力生産寿命の算定が可能になった。

Patuha 地区を対象とした解析では、種々の条件下における発電量とその経年変化を推算し、30 年間の持続的発電を保つために必要となる追加生産井数をシミュレーションできるようになった。さらに手法と地質構造モデルを精緻化して、Wayang Windu と Patuha 地区でより適切なシミュレーション結果が得られるように進めているところである。

このように当初の予定に従って研究は進行している。特に新規のソフトウェアを開発できたとともに、貯留層が蒸気卓越型、あるいは熱水卓越型かが不透水性断層の存在に起因するという、初めての知見が得られた。これらの成果を国際誌論文として取り纏めているところであり、論文の受理・掲載によって国際的に広報できればインパクトも強くなる。

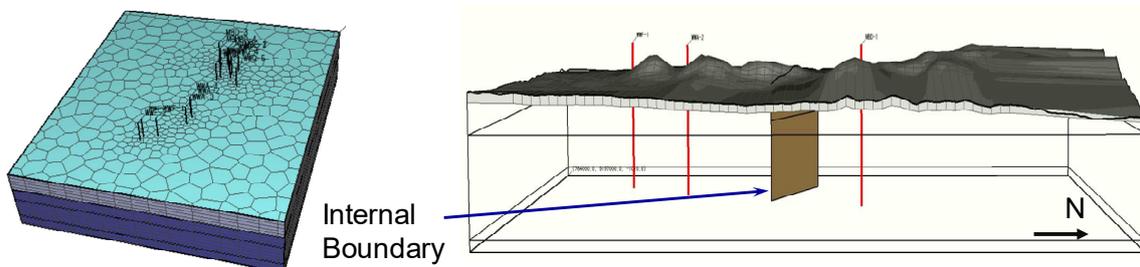


図 19 Wayang Windu 地区で北部と南部を分ける不透水性断層の設置 (右:断層は地塁に存在する), およびボロノイ図形のセルによる領域分割 (左)

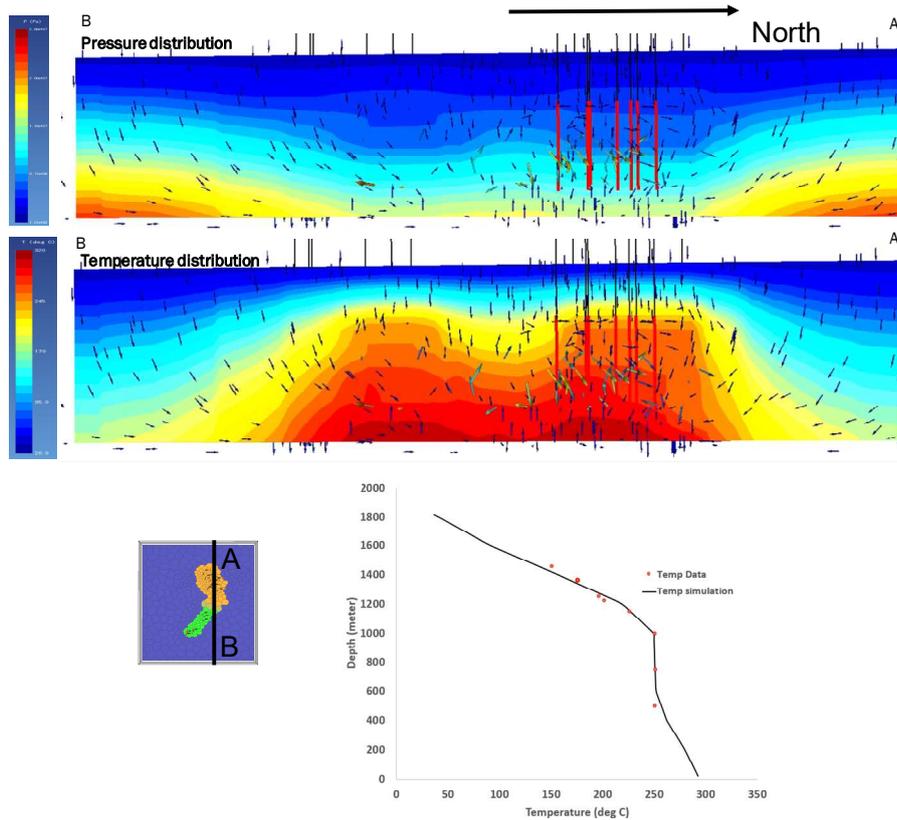


図 20 自然状態における圧力（上）と温度（中）のシミュレーション結果（矢印は流体の流動ベクトルを表す），および北部での温度検層データ（赤丸）と温度の計算結果（黒の実線）との比較（下）

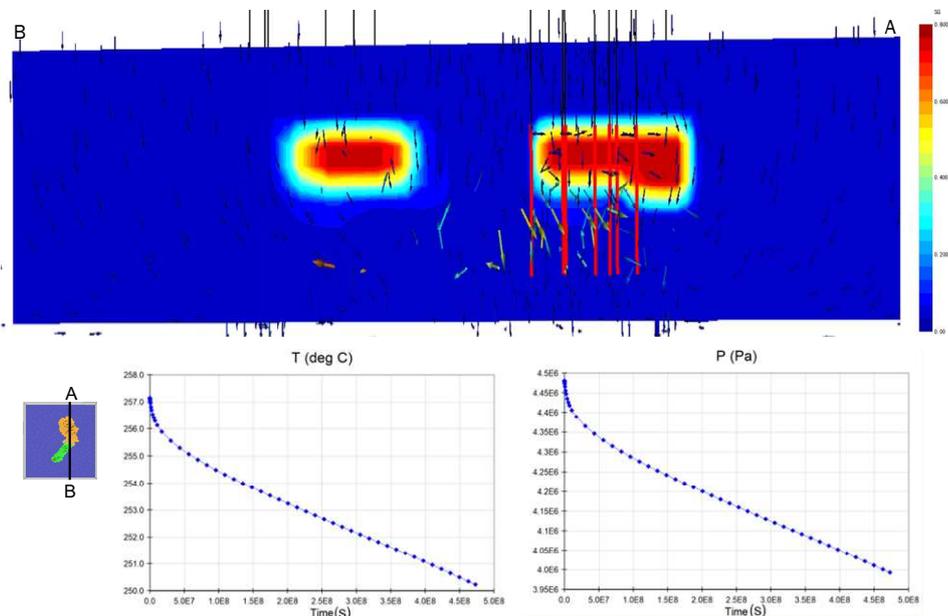


図 21 蒸気飽和率の分布（上：赤ほど蒸気卓越で，青ほど熱水卓越を示す），北部貯留層での生産井設置に伴う約 15 年間での温度と圧力の変化（下）

②研究題目3のカウンターパートへの技術移転の状況

平成 29, 30 年 9 月の人材育成トレーニングの期間中に、研究代表者の研究室と研修生とでゼミナールを開催した。このとき、新規に開発した地熱貯留層シミュレーションソフトの詳細について京大側が説明し、実際にデモも行った。その後の ITB との会合時にもソフトの詳細を研究代表者が説明し、ITB 側から改善を要する点などのフィードバックを受け取った。令和元年 9 月のトレーニング時もこれを実施する。また、H29 年度より下記の③に述べる学生が京大博士後期課程に入学したことにより、このソフトの改良と技術移転、および TOUGH2 を用いたシミュレーションにおける適切なパラメータ設定や計算モデル作成などに関する理解と技術力向上が進展した。

③研究題目3の当初計画では想定されていなかった新たな展開

研究題目 3 に直結する研究テーマに取り組んでいた ITB の若手教員が、京大特別プログラムに選抜され、平成 29 年 10 月より研究代表者の博士後期課程学生になった。この教員は ITB グループにおける地熱貯留層シミュレーション研究の中核をなす人材であるので、本プロジェクトでのメリットは大きい。研究の成果は、世界地熱会議 2020 での発表に受理されている。また、世界的に使用されている貯留層シミュレーションの代表ソフトの TOUGH2 を学ぶ過程で、全く新規のソフトウェアを開発できた。これによって、いまだ未踏の領域である超臨界状態の計算などの追加が容易になり、貯留層シミュレーションの適用性、汎用性が広がって、温度・圧力状態の推定が精緻化できた。この計算を可能にするために検討を進めているところである。

④研究題目3の研究のねらい(参考)

地熱資源の長期利用に向けて、地熱発電の最適化制御システムが確立される。

⑤研究題目3の研究実施方法(参考)

- 3-1 種々の地質条件と地熱資源利用に対して、貯留層の温度・圧力変化をシミュレートする。
- 3-2 貯留層の温度・圧力変化に連動した発電量変化をシミュレートする。
- 3-3 電力生産寿命を算定する。

(5) 研究題目 4 : 「インドネシアにおける地熱開発を担える人材の育成」

①研究題目4の当初の計画(全体計画)に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

ITB において水理地質学、地質学、地熱学、鉱山工学をそれぞれ専門とする大学院生 10 名と若手研究員 1 名、および若手技術者として CMCGR (Center for Mineral, Coal and Geothermal Resources : 鉱物・石炭・地熱資源センター) から 1 名と Star Energy 社から 1 ないし 2 名、H30 年度からは Geo Dipa Energi 社からも 1 名を招聘し、インドネシア国における地熱開発を担う人材の育成を目指して、日本国内における地熱資源開発の先端研究者・技術者による研修を H28 年度から毎年 2 週間ずつ実施している。H28 から R 元年度までの 4 年間の研修者数は 13, 13, 14, 15 名である。

地熱科学・工学の基礎から発電への応用、貯留層管理技術、地熱発電所設置の合意形成のための社会学、地熱発電を通じたグローバルリーダーシップを含む計 13 科目の幅広い内容について講義した。また、大分県に移動し、八丁原地熱発電所付近の小松池地獄での現地調査、採取したサンプルを用いての室内分析実習、さらに成果発表会も実施した。H28 年度のアンケート結果に基づき、前半は座学、後半は実習と研修内容を区分するように、H29 年度以降はカリキュラムを改善している。講師は京大、北大、九大、熊大、海洋研究開発機構、産業技術総合研究所、三菱マテリアル社と多岐にわたる機関から専門分野を考慮して選出した。分析実習には研究代表者の実験室に設置している最新の XRD, XRF, 水素・酸素安定同位体、水質、岩石の反射スペクトルに関する分析機器を用いており、例年研修生の関心も高いものであった。全科目からレポート課題を課すことで学習内容の習得を図り、全員がレポートの合格基準を上回り、最終成果発表も合格したので、全員問題なく修了と認定できた。また、ITB 学生にはこの修了により ITB 特別実習科目として 2 単位が与えられた。発表点も含めた平均点で最も高かった研

修生には「Best Score Award」を授与した。

September 2019 (令和元年)

No.	Day	9:30-11:30	13:30-15:30	15:45-17:45	
1	1 (Sun)	Arrival at Kyoto and Orientation			
2	2 (Mon)	[1] Prof. Koike <i>Geo-thermics & mathematics</i>	[2] Prof. Goto <i>Electromagnetic Geophysics</i>	[3] Prof. Ishida <i>Geomechanics</i>	
3	3 (Tue)	[4] Prof. Koike <i>Remote Sensing</i>	[5] Prof. Mikada <i>Seismic Geophysics</i>	[6] Prof. Tosha <i>Social Science</i>	
4	4 (Wed)	[7] Prof. Yoneda <i>Mineralogy</i>	[8] Dr. Kashiwaya <i>Geochemistry</i>	[9] Dr. Tada <i>Analytical Methods</i>	
5	5 (Thu)	Self study	[10] Mitsubishi Materials & Mitsubishi Materials Tecno <i>Geothermal Practice</i>	<i>Collaboration Seminar with Koike Lab.</i>	
6	6 (Fri)	[11] Dr. Matsumoto <i>Well Testing</i>	[12] Dr. Tenma <i>Reservoir Engineering</i>	[13] Dr. Yamada <i>Geothermal Drilling</i>	
7	7 (Sat)	Self study			
8	8 (Sun)	Trip to a Geothermal Site		[Orientation of field training]	
9	9 (Mon)	Field training at a geothermal site (Hatchobaru, Kyushu)			
10	10 (Thu)	Return Trip to Kyoto (including geothermal site-visits in Beppu City)			
11	11 (Wed)	Laboratory experiments			
12	12 (Thu)	Laboratory experiments	Data Analysis		
13	13 (Fri)	Self study	Presentation of Learning Result		
14	14 (Sat)	Feedback of overall training			
15	15 (Sun)	Return to Indonesia			

講義 (座学)

調査・分析実験・発表

令和元年9月に実施した最後の人材育成トレーニングでは、さらに効果が高い研修となるようにカリキュラムを少し改善し、分析機器の原理の説明を取り入れた。アンケート調査に基づく研修生の満足度も高く、後述のようにニュースレターに関連記事を書いたこともあり、本トレーニングに応募したITBの学生数は例年定員枠の3倍近くにもなっている。よって、本トレーニングはITBに対してインパクトが強いととも、研究機関や民間企業に対しても有意義な人材育成の場となっている。

このような地熱に特化した国際研修プログラムは、日本国内では九大においても実施されているが、主に若手技術者を対象にしている。本プロジェクトでは学生を対象としており、社会科学を含めるなど、科目構成もユニークである。また、野外・分析実習は

第一週目の講義の内容とすべて関連するので、座学による知識獲得に止まらず、知識の定着を図った点もユニークである。小規模ではあるが、その分丁寧にケアできるというメリットもある。よって、地熱分野での新たな試みとして本トレーニングの価値は高いと評価できる。

②研究題目4のカウンターパートへの技術移転の状況

例年、人材育成トレーニング期間中の3日間にかけて、日本で最大の地熱発電所である八丁原発電所近傍にある小松池地獄において、地熱調査法の習得を目指す野外実習を実施してきた。小松池地獄は、地熱地帯に典型的な熱水変質鉱物が広く分布し、熱水や噴気の上昇箇所が多いので、実習場所としては最適である。実習は、熱水変質を受けた岩石試料や熱水試料の採取法、主に熱水変質帯に関する地質分布の把握、温度・pH・放射線強度などの物性測定、および地下に潜在する変質帯の分布を推定するための電気探査比抵抗法の実習から構成される。次に、京大の実験室において最先端機器を操作し、これら試料の分析前処理と化学分析、反射スペクトルという物性測定、および得られたデータの解析処理実習を併せて実施した。得られた成果をトレーニング最終日に各自15分で発表し、研究代表者をはじめとする京大グループ研究員と質疑応答を行い、これによって技術移転の成果を確認した。上述した通り、例年研修生の全員がレポートの合格基準を上回り、最終成果発表も合格したので、技術移転は順調に進行してきた。これまでの講義と実習風景の例を下記に示す。



③研究題目4の当初計画では想定されていなかった新たな展開

H29年度の研修に参加したITB学生がH30年度にはITBの技術職員になり、ITBに導入した分析機器のメンテナンスや学生との分析に尽力している。これにより分析データの精緻化と蓄積が図れ、本プロジェクトの発展に貢献している。また、京大博士後期課

程に進学を希望している研修生も複数おり、奨学金が獲得でき、入試に合格すればそれが実現する。これは本プロジェクト終了後も共同研究が発展できることに大きく貢献するので、奨学金獲得に関しては ITB と協力しているところである。

カウンターパートである Star Energy 社は本研修を高く評価しており、H30 年度は若手技術者の参加を 1 名から 2 名に増やして欲しい、との強い希望があった。京大側、ITB 側双方の合意のもと、この希望を受け入れるに至った。また、H29 年度よりカウンターパートとなった Geo Dipa Energi 社も本プログラムへの参加を熱望し、H30 年度には ITB 側参加者で生じた欠員を補充する形での参加が実現した。R 元年度は正式に受け入れた。これらも技術移転の促進に貢献する展開である。

④研究題目4の研究のねらい(参考)

地熱科学技術に携わる ITB 研究者・学生の能力が向上する。

⑤研究題目4の研究実施方法(参考)

4-1 地熱科学技術の基礎に関するカリキュラムを構築する。

4-2 日本における地熱の講義およびフィールド研修に適格な研究者・学生を選定する。

4-3 ITB 研究者・学生のための講義およびフィールド研修を実施する。

II. 国際共同研究実施上の課題とそれを克服するための工夫、教訓など (公開)

(1) プロジェクト全体

・プロジェクト全体の現状と課題、相手国側研究機関の状況と問題点、プロジェクト関連分野の現状と課題:

本プロジェクトの PO に従い、題目によっては前倒しして準備を進め、全ての研究項目に取り組んできた。各々の研究活動と得られたデータ・結果は PO に記載の Output に直結し、種々の国際学会での発表、および評価の高い国際誌に論文掲載がなされており、成果が得られているといえる。このような順調な進展は、本プロジェクトに対する ITB 側の積極的な関与、協力に因るところが大きい。ITB ではこのプロジェクトに関わる教員の研究室を中心として、30 名以上もの大学院修士課程学生が研究課題に取り組んでおり、精力的に現地調査・計測、および試料の化学分析を実施している。ITB 側の提案によって、研究対象地域をバンドン盆地北部にも展開しており、本プロジェクトを協同して推進、発展させている点が特長である。研究成果は例年 3 月に ITB で開催される国際地熱ワークショップや 2 月に米国スタンフォード大学で開催されるスタンフォード地熱ワークショップ、平成 30 年 11 月に京大で開催された第 15 回国際資源探査シンポジウム (ISME-XV) 等で発表し、さらに令和 2 年 4 月に開催される世界地熱会議 (World Geothermal Congress 2020) でも 9 件の発表が受理されている。地熱分野でのフラグシップ国際誌への掲載を目指し、現在論文 2 本を投稿中であり、4 本は完成あるいは完成間近の段階にある。

このように、プロジェクト全体としては順調な進捗状況であるといえ、相手国側研究機関との協力は密に図られ、2 つの企業とも共同研究を進展できているので、現状大きな問題は生じていない。本プロジェクトは地熱関連研究分野において、未解決の重要な課題に取り組んでおり、本プロジェクトで取り扱う個々の要素を深く体系化し、かつ包括的に連携するという研究は他に見当たらないので、そのオリジナリティは高いものと考える。

・各種課題を踏まえ、研究プロジェクトの妥当性・有効性・効率性・インパクト・持続性を高めるために実際に行った工夫:

本プロジェクトにおいては、カウンターパート側の中心協力機関である ITB と緊密に連携を図ることが重要であると認識し、これを実践してきた。その一つとして、毎

年度 ITB 側の主要メンバーを 11 月末～12 月初頭に京大へ招聘し、研究進捗の相互報告と遂行に向けた打ち合わせを行っている。この打ち合わせ終了後に、研究代表者の所属専攻と資源関連学会の関西支部の共催で、ITB 教員による特別講演を実施することも慣習化できている（右の写真）、これは京大側の教職員、学生と ITB 教員とが広く交流できる良い機会となっている。さらに、平成 28 年 6 月と平成 29 年 11 月には、地熱工学分野の第一人者であり、国際地熱学会の会長も務められたスタンフォード大学の Roland Horne 教授を招聘し、スタンフォード大学での最新の地熱研究に関して講演いただくとともに、本プロジェクトの内容と成果に関してコメントをいただき、今後の研究の進め方に関しての意見交換も行った。講演会終了後の集合写真を次に示す。



上記の ISME-XV では昼休みを利用し、東北大学の土屋範芳教授がリーダーを務めるエルサルバドル SATREPS 地熱プロジェクト（H2903：熱発光地熱探査法による地熱探査と地熱貯留層の統合評価システム）と懇談会を設けた。双方からプロジェクト内容と進捗状況を報告した後、互いの発展のために今後の連携や定期的な情報交換について合意した。エルサルバドルからの参加者は 15 名もおり、これに東北大からの 3 名、ITB からの 12 名、京大からの 9 名等を合わせて盛会になった。H28 年度実施報告書と重複するが、秋田大学 SATREPS グループとの連携を図るため、平成 29 年 3 月 3 日に京大にてリモートセンシング・ワークショップを開催し（右の写真）、最新技術と研究動向の情報・意見交換を行ったことも有効性・インパクトを高める上で有意義であった。参加者はエジプトとジンバブエからの招聘研究員、京都大学・秋田大学の SATREPS 研究者と学生、資源・素材学会探査工学部門委員会委員、JOGMEC 研究員などで、全体で 60 名ほどの参加者であり、活発な質疑応答によって予定の時間を大幅に超えるほどの盛況であった。さらに、上記のように 9 月研修に参加した ITB 大学院生が卒業後に技術職員として本プロジェクトへ合流したことから、プロジェクトの発展、および ITB とのさらなる連携強化に大きく貢献している。



人材育成トレーニングでは、フィールド実習、および現地において自分で採取した岩石や熱水のサンプルを分析した結果を纏め、トレーニング最終日に発表することを課したが、これによって実習内容の理解を深められ、有効な企画となっている。特に H29 年度からは、上述のように 2 週間のトレーニングを座学と実習とに分けたことで、

講義内容を習得する時間を多く取れるようになった。座学カリキュラムの一環として、研究代表者の研究室ゼミに参加することで、近い学術分野に取り組む日本人大学院生やベトナム、ブラジル、中国等からの留学生とも交流できる機会を設けている。例年通り、後述のニュースレターに全研修生の顔写真と研修の感想を記事として載せたところ、研修生にとっても良い記念になったので、本人に加えてITBでもこのニュースレターは好評である。また、全講義のレポートの評点と発表会での評点を総合して最優秀者にはBest Score Awardとして表彰しており、講師を交えての歓迎会・送別会も実施している。このような取り組みも研修生のモチベーションをさらに高め、研修の持続性に繋がる工夫といえる。

・プロジェクトの自立発展性向上のために、今後相手国(研究機関・研究者)が取り組む必要のある事項:

前述のように、H29年度に導入と設置を完了した分析機器はITBにおいて有効に活用され、本プロジェクトのみでなく、インドネシア全土からの様々な大学・研究機関・企業で利用されている。表1に示したように、2018年におけるITB外部からの試料測定利用は550件にも上った。一方で、高い稼働率に伴い、機器維持管理の費用と消耗品費の確保が喫緊の課題になっている。本プロジェクトによる先端機器の導入と国際共同研究の発展により、ITBの本プロジェクト関連グループはCOEに位置付けられ、幸いにしてITBで追加予算が支給されている。また、ITB側も本プロジェクトの水平展開の研究で、競争的資金を獲得しており、その申請書作成に際しては京大側もサポートしている。また、専門性の高いすべての機器を有効に使うためには教員と学生のみではマンパワーが不足するため、分析機器の取扱に精通した専門技術員の継続的雇用が不可欠になるが、ITBではすでに専任の技術職員3名(それぞれ岩石・鉱物分析、安定同位体比分析、水分析を担当)を雇用しており、そのうち2名はH29年度の9月研修プログラムに参加した。このような機会を通じ、より一層の技術力向上に努めさせている。本プロジェクトでは機器の使用方法に加えて、維持管理方法についても技術移転を行い、トラブルへの対処もカウンターパート側に実施させることで、継続的な運用ノウハウを構築することに成功している。これは技術移転のみならず、カウンターパート側における高い向上心と積極性の賜物であることも付記したい。

地熱サイトでの現場・実験室測定を支障なく実施でき、さらには蒸気スポット特定精度の検証用として、ボーリング調査データや化学分析データ等がスムーズに提供されるように、Star Energy社とGeo Dipa Energi社との協力関係を緊密化することを図ってきた。ITB側とのコミュニケーションには全く問題はないが、共著でのプロシーディングや投稿論文の作成になると、英文の改善に時間がかかることが多い。軽微な英文校正でもよいので、ITB内またはインドネシア国内にそのようなサービスがあると成果発表がさらにスムーズになる、という内容を毎年度の報告書に記載してきた。これが認められ、不十分とはいえITB側で英文校閲の支援が受けられるようになったので、この点での改善が得られた。プロジェクト開始からこれまでに得られた成果を、地熱科学・工学分野では評価の高い国際誌や国際会議に積極的に論文投稿、発表しようとするITB側の姿勢は大変好ましい。京大グループにもいえることではあるが、得られたデータと結果に問題はないものの、論文の論理構成や英文の改善に時間がかかることが多い。双方ともにライティング・スキルを継続的に向上させることが必要である。

本プロジェクトによる成果のさらなる発展には、研究題目1・2・3のいずれにおいても京大とITBとの間における共同研究の継続が不可欠であり、京大への留学がその有効な手段の一つであると言える。ITBグループの学生で京大の博士後期課程への留学希望者は複数いるが、奨学金の確保が課題となっている。学力・研究的に問題ない希望者に対しては、ITB側と協力して、その確保に努める。

研究題目4に関して、研修トレーニングに対するITB学生の関心は高く、10名の学生枠に対してH28年度：20名、H29年度：30名、H30年度：31名、R元年度：25名という、いずれも2～3倍の倍率で応募があった。いずれもモチベーションが高く、学業成績が優秀で英語力も高い学生を確保できた。例年、書類選考で人数を絞り、続いて研究代表者とITB側教員がITBにおいて面接試験を実施し、書類評価と総合することで参加者を選定してきた。この面接試験により、語学力や本プロジェクトへの関心度を確かめることができた。これまでの面接試験の様子を右の写真に示す。R元年度が最後のトレーニングになったが、修了生の追跡調査等でトレーニングの効果を評価し、ITBと共同での今後の人材育成に役立てる。



・諸手続の遅延や実施に関する交渉の

難航など、進捗の遅れた事例があれば、その内容、解決プロセス、結果：

分析機器導入の遅れがH29年度に発生したが、その問題の詳細と解決プロセス・結果の詳細はH29年度の報告書に記載した。それを次に抜粋する。『H28年度に、機器類の調達と輸出入に関する書類手続きを同時並行させたが、同年度の導入機器は2機種が政府調達案件に該当して、京大における事務手続きにも大幅な遅延が生じた。輸出入に関する書類手続きは、経産省からの輸出許可取得手続きに大幅な時間が消費され、ジャカルタ港に到着したのは平成29年7月19日であった。投入機器を利用した熱水試料の分析は、H29年度後期から開始する当初計画であるので、この機器導入遅れがプロジェクトにおける分析計画の進捗に及ぼす影響はなかったが、ITB側には気を揉ませる結果となった。機器操作方法のトレーニング等は、実試料の分析時に行うことで、導入の遅延分をカバーしている。また、上記のように平成29年5月にITB共同研究者2名を京大に2週間ほど招聘し、関連機器の使用トレーニングも併せて実施しており、より充実した技術の移転を行うことができた。』

研究題目1・2・3に共通して、亀裂分布モデリング、植生活性度変化と地表変位推定、貯留層シミュレーションに関する結果の精度を検証するためには、モデルサイトで実施されたボーリングデータが不可欠である。プロジェクトによる研究成果を紹介しながら、データ提供に関してStar Energy社、Geo Dipa Energi社と打ち合わせを重ねてきた。ボーリングデータは企業の資産価値に直結するため、モデルサイト全域にわたってのデータ提供は難しい状況ではあるが、題目1での熱水の地球化学的研究では、国際誌への論文投稿に当たり、データの一部の使用許可が得られた。論文の内容に関してStar Energy社との解釈と一部相違があったが、数回のネット会議を通して両者のモデルを統合するように調整でき、論文完成と投稿許可に至っている。この論文は現在査読中である。Patuha地区を対象とし、熱水とガスの地球化学的分析により、地熱システムの解明を目指した国際誌投稿論文も纏まったところであるが、この地区でのボーリング温度検層データはGeo Dipa Energi社から公表が許可されている。このデータは提案した地熱システムモデルの検証に不可欠であるので、成果の論文化とプロジェクト発展の上で、公表の許可は大変ありがたい。

研究グループは一つであるので、以下の(2)～(5)の各要点は当グループに関する記載のみ

である。

(2) 研究題目1：「蒸気スポットと地熱発電適地の高精度検出技術開発」

・相手国側研究機関との共同研究実施状況と問題点、その問題点を克服するための工夫、今後への活用：

共同研究打ち合わせ、JCC、セミナー開催、現地調査と採取試料の室内分析を目的とした京大側総計で74回のITBへの訪問（JCCなど時期が重なっている訪問を含む）、共同研究者の計21回の招聘、京大での2週間人材トレーニングに対する計40名の研修生受入（令和元年はこれに15名が加わる）、e-mail、およびSkype等のネット会議でのやり取りで共同研究を進展させている。上述した通りWayang Windu地区とPatuha地区で計34箇所にした表層ボーリング孔を用い、定期的にラドンと水銀の濃度測定、ガス組成分析を繰り返し、データのモニタリングを継続してきた。これらの測定と分析はITBグループが主に担当しているが、得られたデータは共有し、質の管理と解析は共同で行っている。また、熱水のサンプリング場所と分析方法に関して打ち合わせ、最適なものとして合意を得た上で、温泉や生産井から熱水試料のサンプリングと分析を平成28年8月から開始した。京大グループの訪問時に共同でこれらに取り組み、熱水の化学分析も両グループで分担し、データを共有している。H29年度には、上記に加えて噴気・蒸気や表層水を対象にし始め、サンプリング場所と分析方法について打合せ、合意形成後、試料採取と分析を実施してきた。特にWayang Windu地区では、サンプリング地点の多くが私有地（地元のプランテーション敷地内）に位置するため、事前の打合せと試料採取許可の取得が必須であった。

京大グループは、地形データを利用した亀裂系抽出と衛星リモートセンシング画像解析、ITBグループはWayang Windu地区での噴気帯における地表粗度、磁気、土壌pH、地表温度という物性測定に継続して取り組んでいる。また、研究代表者らの開発によるリニアメント抽出プログラムを改良し、Wayang Windu地区に応用することに成功して、有意義な結果が得られた。この成果は地熱学分野でのフラグシップ国際誌である*Geothermics*に掲載された。推定亀裂と生産井先端位置との整合性も確かめられた。研究題目1に関連するアウトプット（Output）は「リモートセンシング、数理地質学、地球化学および鉱物学での各種手法を統合して、地熱発電に最適な蒸気スポットを検出できる技術が開発される。」であるが、その最初であるリモートセンシング手法は両グループで確立することができた。

問題点としては、下記の2つの活動（Activity）に関して結果が得られ、特に亀裂面の走向・傾斜をリニアメントデータから推定することに成功はした。この手法をPatuha地区にも展開しているところである。しかし、両地区での結果を検証するための地下情報の量と精度がまだ不足している。H30年度にはTEM探査とAMT探査によって地下情報を補い、連続性の良い亀裂に起因した熱水パスの存在を一部確認できたが、地熱サイト全体にわたっての検証は不十分である。Star Energy社、Geo Dipa Energi社と引き続き協力を得ながら、結果検証に努める。また、透水性の高低に応じて分類した断層の判断基準、断層の連続性の推定基準、および断層の走向・傾斜の算定法などに関して、抽出プログラムの改良を進めるとともに、各社の技術者からのヒアリングを継続し、これらの基準と推定法の妥当性をさらに深く議論する。

1-1 衛星画像もしくは地形データから連続性が良く透水性の高い亀裂を抽出する

1-2 各亀裂面の走向および傾斜を算出することによって、3次元的な分布形態を推定する

もう一点の問題として、プロジェクト進行中にラドン濃度測定器RAD7に不具合が生じたことである。メーカー修理は平成30年12月に完了し、現在は問題なく稼働しているが、この状態を継続できるように保管時の除湿や充電時の電圧安定器の導入などの対策を行っている。

・類似プロジェクト、類似分野への今後の協力実施にあたっての教訓、提言等：

カウンターパートとのコミュニケーションについて、e-mail や Skype 等でのやり取りのみでは、伝達できる情報量は限られたものとなるため、多大の時間と労力を要するにも関わらず双方の意図がよく伝わらず、研究上の依頼を失念されるリスクも生じる。また、たとえ京大側スタッフを現地に長期滞在させても、意思疎通に関して同様の通信上の問題が生じることから、国内の研究中核部と相手国側との間でいかに緊密なコミュニケーションを取れるか、という点が最肝要であると認識している。予算を確保して、共同研究者の招聘、あるいは共同研究機関への訪問を通して、できる限り直接打ち合わせを行い、深く議論し、合意が得られる機会を設けることがプロジェクトの進展のために望まれる。実際、本プロジェクトでは上記のように ITB への訪問と共同研究者の招聘を繰り返している。結果として多くの渡航・滞在費用が必要となるが、研究の着実な推進・発展のためには必要不可欠な投資である。また、研究打ち合わせ会議では毎回議事録を漏れなく作成し、合意事項を会議後早期に確認するとともに、次の回の会合時に再確認することも肝要である。

以上は H30 年度報告書に記載した内容と重複するところが多いが、これに加えて共同での現地調査・計測と試料の分析も、互いの研究力・フィールド調査力・計測力・分析力の向上、およびデータの質の相互確認のために不可欠である。これらの教訓、提言は研究題目 2・3・4 に共通する。

(3) 研究題目 2：「環境調和型地熱利用のためのモニタリング技術開発」

・相手国側研究機関との共同研究実施状況と問題点、その問題点を克服するための工夫、今後への活用：

活動2-1は研究代表者の主査のもと、これに関連するテーマで平成28年1月に京大で博士号を取得したITB教員（Hede助教）を軸として解析を進めており、Landsatシリーズ衛星画像に加えて、ASTER画像の解析に取り組み成果が得られた。国際誌への論文文化を進めているところであり、令和元年内の投稿を目指す。ただし、衛星画像の分解能は高くはなく、詳細な変化までは把握できないので、ITB側においてドローンを用いた空撮により植生分布の高精度化を図るという工夫がH29年度より試みられている。その第一段階として、空間分解能が0.5 mという従来の20倍以上もの高精度なデジタル地形モデルを作成でき、植生の識別精度も衛星画像に比べて画期的に向上した。その成果は上記のISME-XVで発表している。

活動 2-2「高湿度の気象条件下で、差分干渉 SAR (D-InSAR) 法を用いて貯留層の圧力変化に伴う地表の変位を検出する。」では D-InSAR ソフトウェアを ITB に投入し、京大側と別々な手法、すなわち PS-InSAR を SBAS-InSAR を用いて地表変位の解析を行い、いずれの手法が地表変位の抽出に最適であるかを検討した。その結果、別々ではなく両者の組合せが必要であることがわかり、その新規手法の早期完成を目指している。上記のように 44 シーンもの ALOS-PALSAR と 10 シーンの

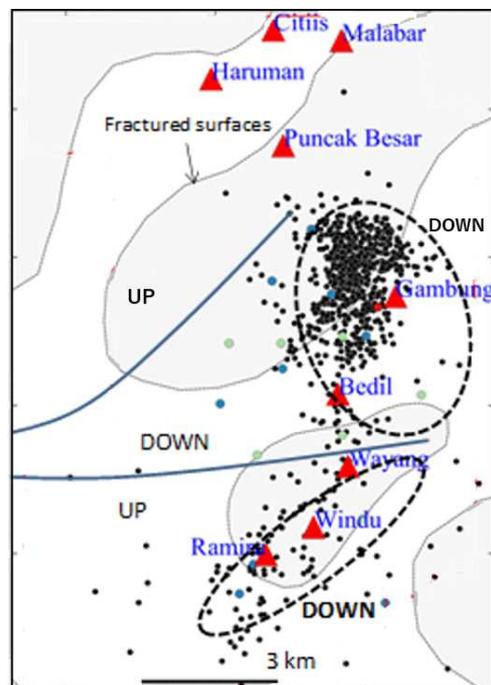


図 22 Wayang Windu 地区での微小地震の震源分布と InSAR による沈降、隆起域の重ね合わせ

Sentinel-1 データを用いて解析したところ、Wayang Windu 地区の北部と南部では変動のパターンが異なり、断層分布がその相違の要因となっている可能性が高い、という興味深い結果が得られた。生産井付近の沈下量は年間-2 mm 程度という数値も初めて得られた。この地形変動の妥当性は GPS データとの整合性によって確認したが、GPS の測点数は少ない。よって、研究題目 1 と同様に、環境変化や地形変化の推定結果の妥当性を検証するための現地調査資料が不可欠であり、ITB と協力して地表変位に関する計測データの獲得に努めている。現在までに長期間にわたる微小地震の震源分布データを得ており、震源の集中域は沈降量が相対的に大きな箇所に相当する、という重要な特徴も明らかにできている (図 22)。

・類似プロジェクト、類似分野への今後の協力実施にあたっての教訓、提言等：

衛星画像解析では、解析によって得られた結果の妥当性を現地調査によって検証することが不可欠である。よって、解析技術のみでなく、地形図を読み解き、GPS 等の調査機器を使いこなし、現地調査を正確に実行できる共同研究者とそれをサポートする複数の学生が必要となる。また、対象物の反射スペクトルデータを計測するために、可視域から短波長赤外域まで計測できる高価な分光放射計が必要となる。類似のプロジェクトの実施に際しては、この機器をカウンターパートに投入できることが求められる。衛星画像データは量が多いので処理に時間がかかることから、計算能力の高いワークステーションの用意も不可欠である。

(4) 研究題目 3：「地熱エネルギー利用・産出の最適化システム設計」

・相手国側研究機関との共同研究実施状況と問題点、その問題点を克服するための工夫、今後への活用：

このテーマは地熱貯留層シミュレーションであり、その代表的なソフトウェアである TOUGH2 を京大側・ITB 側ともに駆使し、これまで京大側・ITB 側ともに Wayang Windu 地区をモデルとして熱水流動シミュレーションと深部温度・圧力分布の推定に取り組んできた。貯留層シミュレーションを長く実施しており、モデルサイトに関する知識も豊富な ITB の研究員が京大博士後期課程に入学したことで、妥当な地質分布と水理構造モデルを作成でき、実測の温度・圧力検層データとの誤差が小さいシミュレーション結果が得られるようになった。上記のように蒸気卓越型と熱水卓越型の形成要因も明らかにできた。これまで京大側はこの種のシミュレーションには取り組んでいなかったもので、ITB と協力し、専門性の高い人材を通じての共同研究を進展させることで、目標達成を図ってきた。

また、H28 年度には TOUGH2 での計算方法に沿って、複雑に肥大化していたソースコードをオブジェクト指向のコードに変更し、拡張性を向上させる改良を加えた。この改良により、計算精度を維持しつつ、オブジェクト指向化により機能の追加が容易になるとともに、ソースコードの可読性が格段に向上した。この開発ソフトを ITB 側と共有し、水の臨界点を超えた超臨界状態での温度シミュレーションなどが可能になるように、発展を狙っているところである。

問題点としては、研究題目 1・2 と同様に、シミュレーション結果の妥当性を検証するためには企業による実際のボーリング検層データ (社外秘) が必要になり、成果の論文化ではこのデータを直接公表することが難しいこと、および対象サイト全域にわたってデータの提供を受けることは難しいことがあげられる。前者の点に関しては、原データを特定できないような工夫により、論文で用いることの許可が得られている。後者についても企業との打ち合わせを継続中である。

・類似プロジェクト、類似分野への今後の協力実施にあたっての教訓、提言等：

数十 m の深度で数多くのボーリング調査を実施する金属鉱床探査とは異なり、地熱サイトでのボーリングは、km オーダの深部まで掘削されるものの調査地点数は少ない。よって、地熱貯留層シミュレーションでは、そもそも地質や物性の分布に関する

ボーリング調査情報が少ない状況下で計算モデルの作成、境界条件の設定等を行うので、不確実性が大きい。現地の地質構造、特に断層分布などを熟知したカウンターパートとの議論の上で地下構造をイメージしないと、現実とは懸け離れた計算モデルとなる危険性が高い。シミュレーションに際してはできる限り対象サイトの情報を収集し、いずれの計算パラメータが重要であるかを見極め、尤もらしく、かつ検証可能な計算モデルを共同で構築することが不可欠である。また、シミュレーション結果を熱水・ガスの地化学分析や物理探査の結果と比較することで、互いの妥当性を検討でき、地熱システムに関する解釈を深化できるようになる。

(5) 研究題目 4 : 「インドネシアにおける地熱開発を担える人材の育成」

- ・ 相手国側研究機関との共同研究実施状況と問題点、その問題点を克服するための工夫、今後への活用:

人材育成トレーニング用に設計したカリキュラムに従い、H28年度には10名のITB学生と1名の若手教員、および2名のStar Energy社の若手技術者の計13名、H29年度には10名のITB学生と1名の若手技術職員、およびStar Energy社とCMCGRの若手技術者それぞれ1名の計13名、H30年度には9名のITB学生と1名の若手技術職員、およびStar Energy社、Geo Dipa Energi社、CMCGRの若手技術者それぞれ2名、1名、1名という計14名に対して、2週間の講義と野外実習、そこで採取した試料の室内分析、および研修成果のプレゼンテーションを首尾良く実施できた。R元年度はITB学生が10名になり、その他の構成はH30年度と同じなので、研修生は15名に増えた。各講義では内容に関連した課題を課し、正解率が低かった内容に対して説明を加えるというフィードバックも行った。これらの成果より、研究題目のアウトプット「地熱科学技術に携わるITB研究者・学生の能力が向上する。」が満足されたものと考えている。

研修後は講義の内容、講義構成、レポート課題、フィールド実習と分析実習の内容、全体的な時間配分等についてのアンケート調査を実施してきた。H28年度の結果は、この研修に対して高い評価が得られたが、研修の構成と日程について改善が必要であるという意見があった。これに基づき、H29年度のカリキュラムでは、第一週は講義、第二週は野外実習・室内分析実習、成果発表会と内容を分離するとともに、その間に講義課題レポートの作成に専念できる日を設けるようにプログラムを改善し、H30年度もこれを踏襲した。その結果、H30年度は全体的にH29・28年度を上回る評価が得られた。アンケート結果の一例として、H30年度の結果の一部を下に示す。質問項目の中では「この研究コースの全体的な評価」が最も重要となるが、初年度のH28年度では13名中、Excellent:7名、Good:3名、Fair:1名、無回答2名であったのに対し、H29・30年度ではExcellentとGoodの評価のみと向上し、Excellentがそれぞれ11名(85%)、10名(71%)であった。最後の短期研修であるR元年度のレーニング実施後もアンケート調査を行い、その回答によって次の共同研究・人材育成に繋げるために、プログラム全体の改善策をまとめた。

- Is the overall structure of this course (composed of lectures and field survey) good?
5(11) 4(3) 3(0) 2(0) 1(0)
- All lectures were necessary for this course? Yes(14) No(0)
- Were the lectures understandable and useful? 5(9) 4(5) 3(0) 2(0) 1(0)
- Your evaluation of the Field Survey including the visit of Hatchobaru geothermal plant.
5(10) 4(4) 3(0) 2(0) 1(0)
- Will you recommend your classmate or colleague to attend this course in the next year?
Yes(14) No(0)
- Are you satisfied with attending this course? 5(13) 4(1) 3(0) 2(0) 1(0)
- Your evaluation of overall of this course. 5(10) 4(4) 3(0) 2(0) 1(0)
 - ✓ Overall the training was very useful for our best future and most important thing is our relationship between the BAGUS students and Kyoto University for the next collaboration.
 - ✓ Overall about this course is very good and I will recommend my colleague to join this course. I am not learn just study in Japan but also the very good culture that I will copy to the Indonesia.
 - ✓ The most important thing is the training has a lot of ideas about geothermal with depth knowledge, now I know what awaits me in the future especially concerning the geothermal.

5: Strongly agree, 4: Agree, 3: So-so, 2: Disagree, 1: Strongly disagree
5: Excellent, 4: Good, 3: Fair, 2: Bad, 1: Very bad

・類似プロジェクト、類似分野への今後の協力実施にあたっての教訓、提言等：

H29年度の報告書に記載したように、カウンターパートの要望を踏まえたカリキュラム設計が重要であり、座学と実習・演習をバランス良く組み合わせる必要がある。交通手段、宿泊先の準備、食事の用意を含む、慣れない日本での日常生活を問題なく送れることも研修の成功には不可欠である。特に、受け入れ側が食事等に関する宗教上の制約、および時間スケジュールを含めた生活習慣や文化の相違を考慮する必要がある。英語での対応は双方にとって意思疎通が不十分な場合が多く、研修に支障をきたすこともあり得る。レポート作成に十分な時間をとれるよう、また日本の文化や風習を楽しめる機会があるようにスケジュールを組むことも重要である。さらに、たとえ少人数でも、日本での研修には現地語を話せる留学生などによるサポートが望ましい。ITB出身の留学生（下の写真の右端下）が、フィールド実習も含めて、この研修全体をサポートしたのが研修の成功に繋がった。研修の一環として、研究代表者の研究室学生と教員・研究者とで合同ゼミ、および送別会を開催した。このような企画も親睦を深めるのに有効である。



Ⅲ. 社会実装（研究成果の社会還元）（公開）

(1) 成果展開事例

下記の5点がこの事例に相当する。

- 本プロジェクトはモデルサイトである Wayang Windu 地区で地熱発電を行っている Star Energy 社と連携し、H27 年度には合同でラドン探査を行ったほか、平成 28 年 8 月から 9 月にかけては 18 箇所、平成 30 年 3 月には 7 箇所を実施した表層ボーリングの地点選定と掘削に多大な協力が得られた。これらのボーリングを利用したラドンと水銀濃度測定、生産井等での蒸気と熱水のサンプリングを共同で実施し、現在も継続中である。このような蒸気スポット検出の実用化に向けての取り組みをインドネシアでアピールできたことから、インドネシアの地熱関連国営企業である Geo Dipa Energi 社と新たな連携を構築し、H30 年度には Patuha 地区で熱水のサンプリングと分析、ラドン探査を共同で実施した。この共同研究は継続中である。これら 2 社との共同研究の成果は共著で、国際会議で発表し、国際誌論文としても纏め、掲載に至った。このように本プロジェクトの成果の展開と新たな技術移転が図れている。
- H27 年度 SATREPS 企画提案型プログラム「課題名：タンタ大学との協同によるアフリカでの地熱発電促進に向けてのイニシアティブ」の実施において、ITB 側からの若手教員の研修期間とタンタ大学からの招聘研究者の滞在期間を重ねることにより、それぞれ得意とする研究分野の先端的成果の情報共有を図ることができ、研究視野の拡大と研究力向上に貢献できた。さらに、H28 年度の同プログラムでは「課題名：アフリカにおける地熱資源探査へのリモートセンシング応用の新展開」を実施した。この詳細も別途報告書に纏めている。アフリカ大地溝帯のそれぞれ北端と南端に位置するエジプト、ジンバブエを対象として地熱資源の有望地をリモートセンシング技術により抽出する手法を概ね確立し、その有望地の地質的特徴や形成メカニズムを初めて明らかにでき、学術的な意義が得られた。その一例を図 23 に示す。提案タイトルに即した成果が得られ、若手研究者の育成も図れた。また、本プロジェクトでの主要技術の一つであるリモートセンシングがアフリカでも有効に活用できることを実証できたことは、実用化に向けての進展といえる。
- H28 年度にタンタ大学から招聘した Mohamed Maher 氏（右の写真）は帰国後、本プロジェクトでの成果を一部取り入れて博士論文を纏め、博士号を取得した。研究活動の高さが認められ、エジプト政府から奨学金が支給されて、令和元年 10 月より半年間、研究代表者の研究室でポスドク研究員を務めた。上記の共同研究をさらに発展させ、その成果を国際誌論文として取り纏め、早期投稿を目指している。
- 平成 30 年 7 月に開催した JCC の後、CMCGR において約 30 名の若手技術者を対象とし、CMCGR の話題要請に応じて「Probably Effective Methods for Detecting Deep Geologic Structures Related to Temperature, Fluid-Flow System, and Fluid Path in Non-volcanic Areas（非火山性地域における温度、流体流動システム、流体経路に関連した深部地質構造を見出すのに有効と考えられる手法）」と題した一日セミナーを研究代表者が実施した。この内容は研究項目 1 と 2 に関連して開発した手法を含んでおり、特にリモートセンシングとラドン濃度測定に関する手法と成果を詳細に説明したところ、予定終了時刻の 17 時を過ぎても質問が続き、多くの関心が寄せられた。今後の地熱調査に役立つセ



ミナーであったと参加者からの高い評価であった。CMCGR は共同研究機関の一つであるので、このセミナーは京大との連携強化と本プロジェクトの成果還元役に役立ったと考えられる。実際、京大グループが CMCGR で分析機器の使用法に関する指導を行うなど、セミナー後に連携が深まっている。

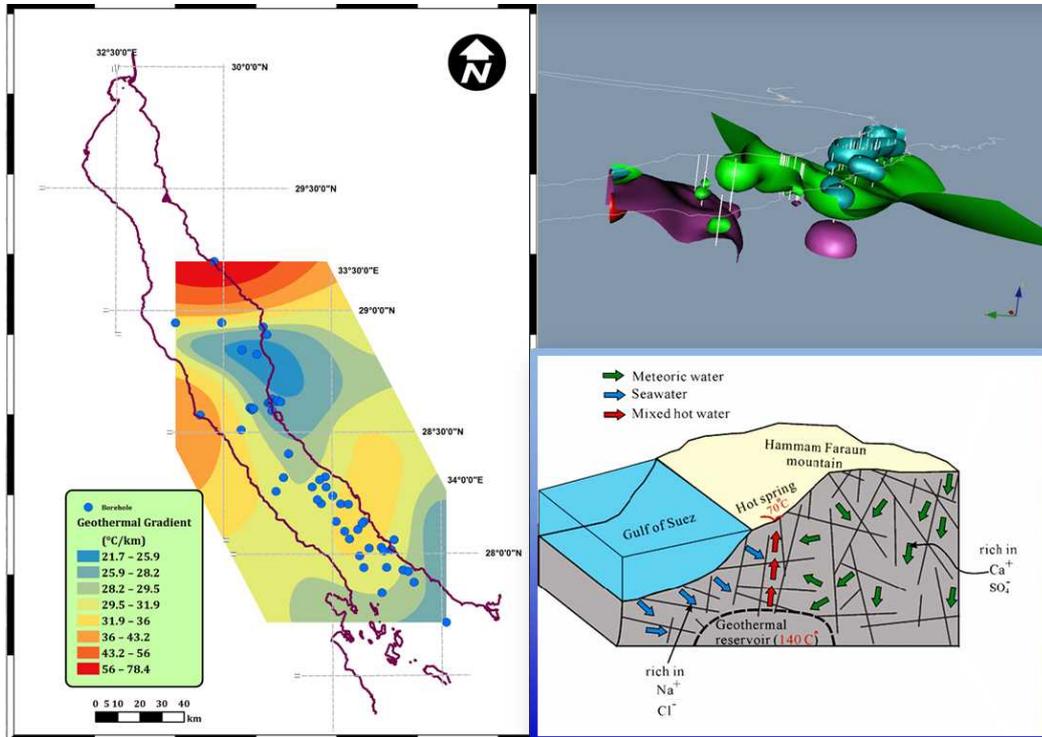


図 23 エジプト東部スエズ湾周辺での温度検層ボーリングデータの分布と計算された地温勾配 (左), 3次元地温分布 (右上), および熱源と主要亀裂構造に基づく高温域形成モデル (右下)

- リニアメント抽出法を本プロジェクトで改良し、複数のプログラムを一つのパッケージとして体系化した。このリニアメント抽出法の原理、プログラムの実行法、得られた結果の地質的有効性とその解釈法のケーススタディに関する論文が平成 29 年 6 月に国際数理地球科学会誌 *Computers & Geosciences* に受理された。ソフトはウェブサイト「<http://alaamasoud.tripod.com/id2.html>」に公開中であり、フリーにダウンロードできる。その前の平成 27 年 9 月と 28 年 3 月の 2 回にわたり、ITB において 30 名の大学院生と若手教員に対して、このリニアメント抽出・解析ソフトを研究代表者と久保研究員がレクチャーした。研究代表者はこの抽出と解析の地質学的背景、数的手法、結果の解釈法について講義し、分担者はモジュールの構成と流れ、それぞれの処理内容、および使用上の注意点など、ソフトの利用法という実際の側面について解説した。ITB 側はプログラムを理解し、合成開口レーダ画像を用いた解析に適するように独自の改良を加え、マイクロ波の照射方位が東、西と異なる 2 つの画像を組み合わせた。これにより、Wayang Windu 地区での亀裂分布形態を明らかにでき、その妥当性は実際の地熱兆候地とリニアメント密集帯との整合性から確認できた。この成果は *Geothermics* に掲載されたとともに、ITB 国際地熱ワークショップとスタンフォード地熱ワークショップという国際会議で発表された。地熱分野をはじめ、亀裂分布が重要となる関連分野の研究者・技術者に本ソフトを広く使用してもらうことで、成果の社会還元が図れる。
- オブジェクト指向プログラミングに基づき、拡張性に優れた貯留層シミュレータを H29 年度に開発できた。これを ITB に提供し、利用を通して改善を図っているところである。この成果を国際誌論文として執筆中であり、成果の社会還元のために受理とその

後のプログラム公開を目指す。

- ITB 側は本プロジェクトで開発したリモートセンシング手法を Guntur, Merangin, Mt. Papandayan など活火山域や地熱有望地区に適用し、地熱兆候地の抽出や地表温度の推定などを試みており、それらの成果は IOP Publishing 社発行の IOP Conference Series: Earth and Environmental Science に国際会議プロシーディングとして掲載している。スマトラ島やスラウェシ島の地熱地区も地化学分析の新たな対象となっている。このようにインドネシア全域に研究展開できていることも特筆できる。

(2) 社会実装に向けた取り組み

本プロジェクトの内容、研究活動、成果を紹介するために、平成 27 年 10 月に研究代表者研究室と ITB の学科の URL に開設したサイトを運用し、一般に公開している。

京大側：<http://www.geoenv.kumst.kyoto-u.ac.jp/bagus6.html>

ITB 側：

<https://www.fttm.itb.ac.id/science-and-technology-research-partnership-for-sustainable-development-satreps-project-2/>

京大側のトップページを右図に示すが、サイトでは活動がわかる写真、掲載論文や国内・国際会議発表のリスト、研究速報、受賞報告等を随時更新している。また、本プロジェクトを広く紹介するために、これまでニュースレターを計 9 号発行した。各号の電子版を上記 web サイトに掲載している。令和元年 7 月 2~4 日にかけて開催した第 6 回 JCC の報告とそのとき現地調査の様子、8 月に実施する熱水とガスのサンプリング、9 月の短期地熱研修の実施内容と研究生からのコメントなどをニュースレター第 8 号として纏め、10 月に発行した。

また、京大グループが ITB を訪問する機会を利用して、Star Energy 社や Geo Dipa Energi 社と会合をもつようしており、両社とは上記の TEM 探査と AMT 探査、および Geo Dipa Energi 社とは平成 30 年 11・12 月、Patuha 地区における新規モニタリング用の表層ボーリング 10 箇所

の選定と掘削に多大な協力が得られた。Wayang Windu 地区では計 25 地点、Patuha 地区では 21 地点での表層ボーリングを利用してラドンと水銀濃度の測定、および生産井での蒸気と熱水のサンプリングを共同で実施中である。Patuha 地区でのラドン濃度は Wayang Windu 地区と共通する特徴を示したが、さらに熱水パスの存在に関連した新たな特徴も見出された。そのため、Geo Dipa Energi 社より長期にわたるモニタリング測定の要望を受けており、本プロジェクトの効果に期待が寄せられていることが確かめられた。このように本プロジェクトによる開発手法を、実際に 2 つの企業が地熱資源探査・開発に応用することを通して社会実装を目指している。また、インドネシアを代表する高等教育機関である ITB と地質庁に属する研究機関である CMCG から、本プロジェクトに携わった人材、および地



熱研修プログラムを受講した人材を産業界、あるいは教育研究分野に輩出することでも、本プロジェクトの成果の社会実装が図れる。

IV. 日本のプレゼンスの向上 (公開)

下記の7点がこの事例に相当する。

①長年にわたるバンドン工科大学との共同研究の実施、特に本プロジェクトによるバンドン工科大学での研究設備の飛躍的な充実、人材育成による研究力の大幅向上、およびプロジェクト開始時からの着実な研究成果の蓄積が高く評価され、研究代表者がバンドン工科大学賞「Ganesa Wirya Jasa Adiutama」を平成29年8月24日に受賞した。これはバンドン工科大学による表彰の中で、最も高く位置付けられる賞である。表彰式には国家教育省の高等教育総局長 (Djoko Santoso 教授) などの要人も参加されており、表彰式後、学長や要人からバンドン工科大学に対する貢献に謝辞をいただいた。

この表彰式は、インドネシアでの最初の高等工学教育機関であるバンドン工科大学の創立97周年記念行事の一環でもあった。授賞式の写真を右に示す。授賞式の様子はバンドン工科大学のwebサイトに掲載されたとともに、他の受賞者と併せて、インドネシア内の複数のインターネットニュースにも取り上げられた。



また、以下の国際会議で研究代表者や本プロジェクトメンバーが招待講演、キーノートスピーチ、一般講演を行い、これによって本プロジェクトをアピールでき、プレゼンスを高められたと考える。

②平成28年10月21・22日にベトナム国家大学で開催された7th International Symposium Hanoi Geoengineering 2016では30分の招待講演として、“Towards specifying steam spots suitable for power generation and promoting use of geothermal resources”というタイトルで本プロジェクトの背景、目的・目標、研究構成、これまで主な成果等を発表した。参加者は200名程度であったが、ベトナム国家大学の元学長、ベトナム天然資源・環境省、メリーランド大学世界農業モニタリングセンター長、クイーンズランド大学地理・環境管理学部長などの要人もこれに含まれ、本プロジェクトに興味をもってもらえ、研究が進展することを期待された。加えて、平成30年11月9・10日にハノイで開催された「Hanoi Forum 2018-Towards Sustainable Development」でも本プロジェクトの成果を紹介した。ベトナムでも最近では地熱発電の関心は高い。これらの会議終了後、ベトナムからe-mailにて数件の共同研究の問い合わせを受け、本プロジェクトがベトナムでの地熱資源利用促進にも貢献できることが確かめられた。

③平成30年11月26・27日に京大で開催された上記のISME-XVでは本プロジェクトの成果に関して次の12件もの発表を行った。これらの成果はすべての研究活動項目を含んでいる。発表に関連する研究項目を[]内に示す。

- **[Keynote Speech: 全体]** Sudarto Notosiswoyo, Katsuaki Koike: Geothermal energy development in Indonesia: Potency, beneficiation, and constraints.
- **[全体]** Katsuaki Koike, Sudarto Notosiswoyo: BAGUS (Beneficial and Advanced Geothermal

Use System) project for steamspot detection and large enhancement of geothermal power generation.

- [1-1, 1-2, 1-3] Ahmad Ali Syafi'i, Mohamad Nur Heriawan, Asep Saepuloh, Taiki Kubo, Katsuaki Koike: Permeable zone estimation based on radon concentration and very high resolution of digital terrain model (DTM) at Wayang Windu area, West Java, Indonesia.
- [1-3, 1-4] Taiki Kubo, Shunsuke Esaki, Irwan Iskandar, Mohamad Nur Heriawan, Katsuaki Koike, Shigeki Sakurai, Sudarto Notosiswoyo: Detection of paths for geothermal fluids by long term periodical measurement of radon concentration and gas component.
- [1-3, 1-5] Irwan Iskandar, Wijayanti Ashuri, Taiki Kubo, Anwar Zulkhoiri, Musti'atin, Katsuaki Koike, Sudarto Notosiswoyo: The presence and type of the Lembang-Maribaya Fault using soil-gas radon measurement.
- [1-7] Riostantieka Mayandari Shoedarto, Koki Kashiwaya, Yohei Tada, Katsuaki Koike: Integrating geochemical properties and fracture distribution to characterize fluid-flow system in the Wayang Windu geothermal field, West Java, Indonesia.
- [1-7] Yudi Rahayudin, Koki Kashiwaya, Yohei Tada, Katsuaki Koike, Mohamad Nur Heriawan, Andi Susmant: Clarifying the fluid interaction process by water geochemistry with a case study of the Tangkuban Perahu area, West Java, Indonesia.
- [1-6, 2-1] Arie Naftali Hawu Hede, Budi Sulistijo, Mohamad Nur Heriawan, Syafrizal Syafrizal, Muhammad Sholeh: An integrated approach for hydrothermal alteration mapping in vegetated terrain using ASTER data.
- [2-2] Panggea Ghyiats Sabrian, Katsuaki Koike, Asep Saepuloh, Mohamad Nur Heriawan: Detection and geological characterization of topographic change in a geothermal power plant area by SBAS-InSAR.
- [2-2] Asep Saepuloh, Fery Ismar Darajat, Panggea Ghyiats Sabrian, Dwiyoarani Malik, Taiki Kubo, Katsuaki Koike: Geological interpretation of the steam boundaries at Wayang Windu geothermal field based on PS-InSAR and field observation.
- [3-1] Nurita Putri Hardiani, Katsuaki Koike: Importance of sensitivity analysis of boundary conditions for accurate geothermal reservoir simulation.
- [3-2, 3-3] Jonathan Sharon Widiatmo, Heru Berian Pratama, Sutopo, Nenny Saptadji, Ali Ashat: A numerical modeling study to investigate changes within the reservoir and production sustainability under two different conversion technology scenarios.

このシンポジウムでの集合写真（左下）が示すように本プロジェクトチームの結束力と活動力をアピールできた。また、本プロジェクトのブースを出展し（右横）、パネルで参加者にプロジェクトの内容と成果等を説明したとともに、これまで発行したニュースレターと成果論文の一部を冊子に纏め、配布した。さらに ITB 共同研究者の Hede 助教（右下）が研究奨励賞を受賞し、これも本プロジェクトのプレゼンスを高めることに繋がった。



④令和2年4月26日～5月2日にかけてアイスランドのレイキャビクで地熱に関する最大で、最も権威のある国際会議の World Geothermal Congress 2020 が開催される予定であったが、COVID-19の影響で延期になった。参加者は通常、数千人にもものぼる。これに本プロジェクトの成果として下記の9件を申し込んだ。③と同様に著者とタイトル、および関連する研究項目を[]内に示す。これらのプロシーディングは査読を経て、すべて受理された。これらの発表によっても本プロジェクトの成果を十分にアピールできる。

- **[全体]** Katsuaki Koike, Taiki Kubo, Koki Kashiwaya, Yohei Tada, Tada-nori Goto, Shigeki Sakurai, Sudarto Notosiswoyo, Mohamad Nur Heriawan, Irwan Iskandar, Asep Saepuloh, Arie Naftali Hawu Hede, Nenny Miryani Saptadji, Sutopo: Technology development of ‘Steam Spot’ detection for suitable location of production wells by integrating geoscientific methods.
- **[1-1, 1-2]** Mohamad Nur Heriawan, Awwab Hafizh, Suryantini, Taiki Kubo, Katsuaki Koike, Chevy Iskandar: Spatial correlation model between resistivity data and subsurface permeable zones to optimize the existence of a geothermal reservoir.
- **[1-2]** Tada-nori Goto, Yuji Yamada, Mohamad Nur Heriawan, Irwan Iskandar, Katsuaki Koike: Detection of fluid passes by audio-frequency magnetotelluric survey in the Wayang-Windu geothermal area, Indonesia.
- **[1-3, 1-4]** Taiki Kubo, Ahmad Ali Syafi’i, Mustiatin Mustiatin, Hiroaki Gonnokami, Mohamad Nur Heriawan, Irwan Iskandar, Katsuaki Koike, Sudarto Notosiswoyo: Effectiveness of radon concentration features in soil gas for specifying hydrothermal ascent paths in the Wayang Windu geothermal field, Indonesia.
- **[1-4, 1-5]** Koki Kashiwaya, Bunji Yatomi, Yudi Rahayudin, Riostantieka Mayandari Shoedarto, Yohei Tada, Takanori Kagoshima, Yuji Sano, Katsuaki Koike: Gas origin and fluid circulation regimes estimated based on gas geochemistry in geothermal areas around the Bandung Basin, Indonesia.
- **[1-7]** Riostantieka Mayandari Shoedarto, Yohei Tada, Koki Kashiwaya, Katsuaki Koike, Dwiyoarani Malik, Irwan Iskandar: Application of Rare-Earth Elements in Spring Waters to Indicate Surficial Water-Rock Interaction Process in the Wayang Windu Geothermal Field, Indonesia.
- **[1-7]** Yudi Rahayudin, Koki Kashiwaya, Yohei Tada, Katsuaki Koike, Irwan Iskandar, Andi Susmanto: Characterizing geothermal system of the Tampomas volcano, West Java, Indonesia by water chemistry and stable isotope analyses.
- **[2-2]** Panggea Ghiyats Sabrian, Asep Saepuloh, Katsuaki Koike: Characterization of topographic changes in geothermal fields around Bandung Basin, Indonesia using SBAS-InSAR technique.
- **[3-1, 3-2]** Nurita Putri Hardiani, Asep Saepuloh, Nenny Saptadji, Katsuaki Koike: Clarification of generation mechanism of distinct pressure and temperature regimes in geothermal systems around the Bandung Basin, Indonesia by numerical simulation.

⑤平成28年から平成31年にかけて例年3月に開催される「第5～8回ITB国際地熱ワークショップ」において、本プロジェクトの特別セッション（SATREPS Session）が設けられ、各年度での京大グループとITBグループの成果を計10件ほど発表している。セッション後は、オランダやインドネシアの企業からの参加者と交流を深められている。

⑥エジプトのSharm El-Sheikhで平成31年3月26～28日にかけて開催された5th International Conference on Scientific Research (ISR-2019): Renewable energy and Water Sustainabilityにて、「Advanced Geoinformatic technologies for exploration and sustainability of renewable energy and water resources」というタイトルの招待講演にて、本プロジェクトの成果を紹介し、主にアフリカからの参加者に成果をアピールでき、関心も寄せられた。この国際会議の成功への貢献として、主催したタンタ大学より閉会式で表彰された（右の写真）。この招待講演と表彰の様子は、ニュースとしてタンタ大学の



web サイト*に掲載されており，これも本プロジェクトのプレゼンス向上に繋がっている。
*http://www.tanta.edu.eg/en/News_details_archive.aspx?id=cfa5f211-d3f3-467f-8599-fdd3cdd2c755

⑦平成 30 年 12 月 4 日にスラウェシ島にあるハサヌディン大学にて，ITB の Heriawan 准教授と共に 100 名以上の学部生，大学院生を対象にして本プロジェクトの目的，意義，これまでの成果等を 3 時間かけて紹介した（下の写真）。長時間のセミナーであったにもかかわらず学生は真摯に聴講し，質問も多く受けた。ハサヌディン大学はインドネシアでのトップクラス大学である。学生に対して地熱分野への興味を引きつけられたのも本プロジェクト，引いては日本のプレゼンス向上に繋がることである。また，今後の研究展開として，ハサヌディン大学とも連携することを計画している。



V. 成果発表等【研究開始～現在の全期間】（公開）

VI. 投入実績【研究開始～現在の全期間】（非公開）

VII. その他（非公開）

以上

VI. 成果発表等

(1) 論文発表等【研究開始～現在の全期間】(公開)

① 原著論文(相手国側研究チームとの共著)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、 特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)
H26年 度	Arie Naftali Hawu Hede, Katsuaki Koike, Koki Kashiwaya, and Shigeki Sakurai, "Application of remote sensing to detecting hydrothermal alteration zones covered by thick vegetation", Proceeding of 13th International Symposium on Mineral Exploration, Hanoi, Vietnam, Sept. 22-24, 2014, pp. 7-12.		国際誌	発表済	発表に対して, 第13回国際資源探査会議奨励賞を受賞した。
H27年 度	Arie Naftali Hawu Hede, Koki Kashiwaya, Katsuaki Koike, and Shigeki Sakurai, "A new vegetation index for detecting vegetation anomalies due to mineral deposits with application to a tropical forest area", Remote Sensing of Environment, 2015, vol. 171, pp. 83-97.	10.1016/j.rse.2015.10.006	国際誌	発表済	リモートセンシング分野ではインパクトファクター(6.39: 2016年データ)が最も高いトップジャーナルへの掲載
H27年 度	Asep Saepuloh, Katsuaki Koike, Minoru Urai, and Josaphat Tetuko Sri Sumantyo, "Identifying surface materials on an active volcano by deriving dielectric permittivity from polarimetric SAR data", IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2015, vol. 12, pp. 1620-1624.	10.1109/LGRS.2015.2415871	国際誌	発表済	米国電気電子学会(IEEE)発行のリモートセンシング技術の地球科学への応用に関するジャーナルであり, インパクトファクターは2.10であるが, この分野では定評があり, 高いレベルのジャーナルとして知られている。
H27年 度	Asep Saepuloh and Katsuaki Koike, "Quantifying surface roughness to detect geothermal manifestations from Polarimetric Synthetic Aperture Radar (PolSAR) data", Proceedings of 41th Annual Stanford Geothermal Workshop, Stanford, Feb. 22-24, 2016, pp. 1744-1750.		国際誌	発表済	
H27年 度	Irwan Iskandar, Cipto Purnandi, Andre Putra Arifin, Sudarto Notosiswoyo, Koki Kashiwaya, Yohei Tada, and Katsuaki Koike, "Hydrochemical characterization for identifying hydrothermal systems in the Bandung Volcanic Basin", Proceedings of 41th Annual Stanford Geothermal Workshop, Stanford, Feb. 22-24, 2016, pp. 1320-1325.		国際誌	発表済	
H28年 度	Arie Naftali Hawu Hede, Katsuaki Koike, Koki Kashiwaya, Shigeki Sakurai, Ryoichi Yamada, and Donald A. Singer, "How can satellite imagery be used for mineral exploration in thick vegetation areas?", Geochemistry, Geophysics, Geosystems, vol. 18, pp. 1-13.	10.1002/2016GC006501	国際誌	発表済	アメリカ地球物理学連合(AGU)発行の地球化学と地球物理学の融合をターゲットとしたユニークなジャーナルであり, インパクトファクターも地球科学分野では高い。

H28年度	Riostantieka M. Shoedarto, Taiki Kubo, Koki Kashiwaya, Yohei Tada, , Katsuaki Koike, Shigeki Sakurai, Irwan Iskandar, Mohamad Nur Heriawan, Sudarto Notosiswoyo, and Dwiyoarani Malik, "Responses of H2S and radon-222 gas concentrations in various geothermal reservoir states: A case study of Wayang Windu area (Indonesia)", Proceedings of International Symposium on Earth Science and Technology 2016, Fukuoka, Japan, 2016, pp. 101-105.		国際誌	発表済	
H28年度	Haeruddin, Asep Saepuloh, Mohamad Nur Heriawan, and Taiki Kubo, "Identification of linear features at geothermal field based on Segment Tracing Algorithm (STA) of the ALOS PALSAR data", IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2016, vol. 42, 012003 (pp. 1-9).	10.1088/1755-1315/42/1/012003	国際誌	発表済	
H29年度	Asep Saepuloh, Haeruddin, Taiki Kubo, Katsuaki Koike, Dwiyoarani Malik, and Mohamad Nur Heriawan, "Application of lineament density extracted from dual orbit of Synthetic Aperture Radar (SAR) images to detecting fluids paths in the Wayang Windu geothermal field (West Java, Indonesia)", Geothermics, 2018, vol. 72, pp. 145-155.	10.1016/j.geothermics.2017.11.010	国際誌	発表済	地熱研究分野を代表する国際誌である。
H29年度	Riostantieka M. Shoedarto, Yohei Tada, Koki Kashiwaya, Taiki Kubo, Katsuaki Koike, Dwiyoarani Malik, Irwan Iskandar, Mohamad Nur Heriawan, and Sudarto Notosiswoyo, "Deducing geothermal boiling zone from rare earth elements on early-stage geothermal exploration", Proceedings of 43th Annual Stanford Geothermal Workshop, Stanford, Feb. 12-14, 2018, pp. 1081-1085.		国際誌	発表済	
H29年度	Yudi Rahayudin, Koki Kashiwaya, Andi Susmanto, Yohei Tada, Irwan Iskandar, and Katsuaki Koike, "Estimation of fluid-rock interaction process and recharge area of the Tampomas geothermal field, West Java, Indonesia by water chemistry", Proceedings of 43th Annual Stanford Geothermal Workshop, Stanford, Feb. 12-14, 2018, https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/SGW/2018/Rahayudin.pdf		国際誌	発表済	
R元年度	Panggea Ghiyats Sabrian, Asep Saepuloh, and Katsuaki Koike, "Detection of surface displacement from large baseline data pairs by multi-temporal D-InSAR with application to Bandung Basin, Indonesia", Proceedings of IGARSS 2019, Yokohama, Jul. 28-Aug. 2, 2019, pp. 6787-6790.	10.1109/IGARSS.2019.8898328	国際誌	発表済	

R元年度	Riostantieka Mayandari Shoedarto, Yohei Tada, Koki Kashiwaya, Katsuaki Koike, and Irwan Iskandar, "Specifying recharge zones and mechanisms of the transitional geothermal field through hydrogen and oxygen isotope analyses with consideration of water-rock interaction", Geothermics, 2020, vol. 86, 101797.	10.1016/j.geothermics.2019.101797	国際誌	発表済	地熱研究分野を代表する国際誌である。
R元年度	Yudi Rahayudin, Koki Kashiwaya, Yohei Tada, Irwan Iskandar, Katsuaki Koike, Randy Wijaya Atmaja, and Niniek Rina Herdianita, "On the origin and evolution of geothermal fluids in the Patuha Geothermal Field, Indonesia based on geochemical and stable isotope data", Applied Geochemistry, 2020, Vol. 114, 104530.	10.1016/j.apgeochem.2020.104530	国際誌	発表済	地球化学分野を代表する国際誌である。
R2年度	Katsuaki Koike, Taiki Kubo, Koki Kashiwaya, Yohei Tada, Tada-nori Goto, Shigeki Sakurai, Sudarto Notosiswoyo, Mohamad Nur Heriawan, Irwan Iskandar, Asep Saepuloh, Arie Naftali Hawu Hede, Nenny Miryani Saptadji, and Sutopo, "Technology development of 'Steam Spot' detection for suitable location of production wells by integrating geoscientific methods", Proceedings World Geothermal Congress 2020, Reykjavik, Iceland, April 26-May 2, 2020 (May 2021に延期).		国際誌	accepted	地熱研究分野では最大規模の国際会議に受理されたプロシーディングである。
R2年度	Mohamad Nur Heriawan, Awwab Hafizh, Suryantini, Taiki Kubo, Katsuaki Koike, and Chevy Iskandar, "Spatial correlation model between resistivity data and subsurface permeable zones to optimize the existence of a geothermal reservoir", Proceedings World Geothermal Congress 2020, Reykjavik, Iceland, April 26-May 2, 2020 (May 2021に延期).		国際誌	accepted	同上
R2年度	Tada-nori Goto, Yuji Yamada, Mohamad Nur Heriawan, Irwan Iskandar, and Katsuaki Koike, "Detection of fluid passes by audio-frequency magnetotelluric survey in the Wayang-Windu geothermal area, Indonesia", Proceedings World Geothermal Congress 2020, Reykjavik, Iceland, April 26-May 2, 2020 (May 2021に延期).		国際誌	accepted	同上
R2年度	Taiki Kubo, Ahmad Ali Syafi'i, Mustiatin Mustiatin, Hiroaki Gonnokami, Mohamad Nur Heriawan, Irwan Iskandar, Katsuaki Koike, and Sudarto Notosiswoyo, "Effectiveness of radon concentration features in soil gas for specifying hydrothermal ascent paths in the Wayang Windu geothermal field, Indonesia", Proceedings World Geothermal Congress 2020, Reykjavik, Iceland, April 26-May 2, 2020 (May 2021に延期).		国際誌	accepted	同上

R2年度	Koki Kashiwaya, Bunji Yatomi, Yudi Rahayudin, Riostantieka Mayandari Shoedarto, Yohei Tada, Takanori Kagoshima, Yuji Sano, and Katsuaki Koike, "Gas origin and fluid circulation regimes estimated based on gas geochemistry in geothermal areas around the Bandung Basin, Indonesia", Proceedings World Geothermal Congress 2020, Reykjavik, Iceland, April 26–May 2, 2020 (May 2021に延期).		国際誌	accepted	同上
R2年度	Riostantieka Mayandari Shoedarto, Yohei Tada, Koki Kashiwaya, Katsuaki Koike, Dwiyoarani Malik, and Irwan Iskandar, "Application of rare-earth elements in spring waters to indicate surficial water-rock interaction process in the Wayang Windu geothermal field, Indonesia", Proceedings World Geothermal Congress 2020, Reykjavik, Iceland, April 26–May 2, 2020 (May 2021に延期).		国際誌	accepted	同上
R2年度	Yudi Rahayudin, Koki Kashiwaya, Yohei Tada, Katsuaki Koike, Irwan Iskandar, and Andi Susmanto, "Characterizing geothermal system of the Tampomas volcano, West Java, Indonesia by water chemistry and stable isotope analyses", Proceedings World Geothermal Congress 2020, Reykjavik, Iceland, April 26–May 2, 2020 (May 2021に延期).		国際誌	accepted	同上
R2年度	Panggea Ghiyats Sabrian, Asep Saepuloh, and Katsuaki Koike, "Characterization of topographic changes in geothermal fields around Bandung Basin, Indonesia using SBAS-InSAR technique", Proceedings World Geothermal Congress 2020, Reykjavik, Iceland, April 26–May 2, 2020 (May 2021に延期).		国際誌	accepted	同上
R2年度	Nurita Putri Hardiani, Asep Saepuloh, Nenny Saptadji, and Katsuaki Koike, "Clarification of generation mechanism of distinct pressure and temperature regimes in geothermal systems around the Bandung Basin, Indonesia by numerical simulation", Proceedings World Geothermal Congress 2020, Reykjavik, Iceland, April 26–May 2, 2020 (May 2021に延期).		国際誌	accepted	同上

R2年度	Mohamad Nur Heriawan, Ahmad Ali Syafi'i, Asep Saepuloh, Taiki Kubo, and Katsuaki Koike, "Detection of near-surface permeable zones based on spatial correlation between radon gas concentration and DTM-derived lineament density", Natural Resources Research.	10.1007/s11053-020-09718-z	国際誌	in press	2019年度のインパクトファクターは3.71であり、鉱物・エネルギー資源の数理地質学的研究分野を代表する国際誌である。
------	---	----------------------------	-----	----------	---

論文数 24 件
うち国内誌 0 件
うち国際誌 24 件
公開すべきでない論文 件

②原著論文(上記①以外)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ—おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、 特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)
H26年度	Bingwei Tian, Ling Wang, Koki Kashiwaya, and Katsuaki Koike, "Combination of well-logging temperature and thermal remote sensing for characterization of geothermal resources in Hokkaido, northern Japan", Remote Sensing, 2015, vol. 7, no. 3, pp. 2647-2667.	10.3390/rs70302647	国際誌	発表済	インパクトファクターが3.18(2015年データ)と高く、リモートセンシング分野ではトップレベルのジャーナルとして知られている。
H26年度	Nguyen Tien Hoang and Katsuaki Koike, "Combination of landsat and EO-1 hyperion data for accurate mineral mapping", Proceeding of 13th International Symposium on Mineral Exploration, Hanoi, Vietnam, Sept. 22-24, 2014, p. 13-18.		国際誌	発表済	
H26年度	Lei Lu, Koki Kashiwaya, and Katsuaki Koike, "Geostatistics-based hydro-chemical characterization for deep groundwater system using borehole logs: Application to Horonobe site, northern Japan", Proceeding of 13th International Symposium on Mineral Exploration, Hanoi, Vietnam, Sept. 22-24, 2014, p. 95-99.		国際誌	発表済	
H27年度	Bingwei Tian and Koike Katsuaki, "3D crustal temperature modeling over Japan for geothermal resource assessment", in Geostatistical and Geospatial Approaches for the Characterization of Natural Resources in the Environment (N. Janardhana Raju, ed.), Springer, 2016, pp. 637-641.	10.1007/978-3-319-18663-4_97	国際誌	発表済	
H27年度	Nguyen Tien Hoang and Katsuaki Koike, "Development of Bayesian-based transformation method of Landsat imagery into pseudo-hyperspectral imagery", Proc. SPIE 9643, Image and Signal Processing for Remote Sensing XXI, 96430J, 2015, pp. 1-6.	10.1117/12.2194886	国際誌	発表済	

H28年度	Nguyen Tien Hoang and Katsuaki Koike, "Hyperspectral transformation from EO-1 ALI imagery using pseudo-hyperspectral image synthesis algorithm", Proceeding of XXIII ISPRS Congress, 12-19 July 2016, Prague, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. XLI-B7, pp 1-5.	10.5194/isprsarchives-XLI-B7-661-2016	国際誌	発表済	
H29年度	Alaa A. Masoud and Katsuaki Koike, "Applicability of computer-aided comprehensive tool (LINDA: LINEament Detection and Analysis) and shaded digital elevation model for characterizing and interpreting morphotectonic features from lineaments", Computers and Geosciences, 2017, vol. 106, p. 89-100.	10.1016/j.cageo.2017.06.006	国際誌	発表済	
H29年度	Nguyen Tien Hoang and Katsuaki Koike, "Transformation of Landsat imagery into pseudo-hyperspectral imagery by a multiple regression-based model with application to metal deposit-related minerals mapping", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2017, vol. 133, p. 157-173.	10.1016/j.isprsjprs.2017.09.016	国際誌	発表済	リモートセンシング分野の2017年データでインパクトファクター(6.39)が最も高いトップジャーナルへの掲載
H29年度	Nguyen Tien Hoang and Katsuaki Koike, "Comparison of hyperspectral transformation accuracies of multispectral Landsat TM, ETM+, OLI and EO-1 ALI images for detecting minerals in a geothermal prospect area", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2018, vol. 137, p. 15-28.	10.1016/j.isprsjprs.2018.01.007	国際誌	発表済	直上論文の第二報
H30年度	Irwan Iskandar, Fikri Adam Dermawan, Juni Yesy Sianipar, Suryantini, and Sudarto Notosiswoyo, "Characteristic and mixing mechanisms of thermal fluid at the Tampomas Volcano, West Java, using hydrogeochemistry, stable Isotope and 222Rn analyses", Geosciences, 2018, vol. 8(4):103 (29 p.)	10.3390/geosciences8040103	国際誌	発表済	

論文数	11 件
うち国内誌	0 件
うち国際誌	11 件
公開すべきでない論文	件

③その他の著作物(相手国側研究チームとの共著)(総説、書籍など)

年度	著者名,タイトル,掲載誌名,巻数,号数,頁,年		出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項

著作物数 0 件
公開すべきでない著作物 0 件

④その他の著作物(上記③以外)(総説、書籍など)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ-おわりのページ		出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項
H28年度	小池克明・古宇田亮一, "金属鉱物・地熱資源探査へのリモートセンシング応用技術とその最近の動向", Journal of MMIJ, vol. 132, no. 6, pp. 96-113.		学会誌	発表済	doi:10.2473/journalofmmij.132.96

著作物数 1 件
公開すべきでない著作物 0 件

⑤研修コースや開発されたマニュアル等

年度	研修コース概要(コース目的、対象、参加資格等)、研修実施数と修了者数	開発したテキスト・マニュアル類	特記事項
H28年度	地熱科学・工学の基礎から発電への応用に関する講義と野外調査, および分析実験からなる2週間の研修。対象はバンドン工科大学から選抜された10名の大学院修士学生, 1名の若手教員, Star Energy社の2名の若手技術者。英語力と学力, 目的意識の高さなどによって選抜された。各授業で課したレポートをすべて提出し, 合格基準を超えた。また, 八丁原地熱発電所周辺で地質調査を実施し, 岩石や熱水を採取して, 京大で分析した。これらの結果に対する発表も評価に加えた結果, 13名全員を修了と認定した。	Electromagnetic Geophysics, Seismic Geophysics, Global Leadership, Fundamental Geology, Mathematical Geology, Remote Sensing, Geomechanics, Geothermal Drilling, Geochemistry, Mineralogy, Reservoir Engineering, Social Science, Volcanology, Geothermal Practiceの計14の講義科目の資料(PowerPointファイル), および簡易的な野外調査資料と分析法マニュアル	本研修はバンドン工科大学の正式な大学院科目に認定され, 修了者には2単位が与えられた。次年度以降も同じである。

H29年度	上記の研修の継続でバンドン工科大学の10名の大学院修士学生, 1名の若手教員, Star Energy社と地下資源局の2名の若手技術者を対象に実施した。	上記のテキストの改訂版であるが, 講義科目を13に絞った。	
H30年度	3回目の研修であり, バンドン工科大学の9名の大学院修士学生, 1名の若手教員, Star Energy社2名・Geo Dipa Energi社1名・地下資源局1名の若手技術者の計14名を対象に実施した。	テキストの再改訂版であり, 講義内容を一部変更した。	
R元年度	4回目の研修であり, バンドン工科大学の10名の大学院修士学生, 1名の若手教員, Star Energy社1名・Geo Dipa Energi社1名・地下資源局1名の若手技術者の計14名を対象に実施した。	テキストの再々改訂版であり, 講義内容を一部変更した。	

VI. 成果発表等

(2) 学会発表【研究開始～現在の全期間】(公開)

① 学会発表(相手国側研究チームと連名)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
H26年度	国際学会	Arie Naftali Hawu Hede ² , Katsuaki Koike ¹ , Koki Kashiwaya ¹ , and Shigeki Sakurai ¹ , "Application of remote sensing to detecting hydrothermal alteration zones covered by thick vegetation", 13th International Symposium on Mineral Exploration, Hanoi, Vietnam, 2014年9月22-24日. [1: 京都大学, 2: バンドン工科大学(ITB), 以下同じ]	口頭発表
H27年度	国内学会	久保大樹 ¹ ・高橋貫太 ¹ ・柏谷公希 ¹ ・多田洋平 ¹ ・小池克明 ¹ ・櫻井繁樹 ¹ ・Asep Saepuloh ² , "リモートセンシングによる地熱流体パスの抽出の試み—安比地域を対象としたケーススタディー", 日本地熱学会, 別府国際コンベンションセンター, 2015年10月20-24日.	ポスター発表
H27年度	国際学会	Asep Saepuloh ² and Katsuaki Koike ¹ , "Quantifying surface roughness to detect geothermal manifestations from Polarimetric Synthetic Aperture Radar (PolSAR) data", 41th Annual Stanford Geothermal Workshop, Stanford, 2016年2月22-24日.	口頭発表
H27年度	国際学会	Irwan Iskandar ² , Cipto Purnandi ² , Andre Putra Arifin ² , Sudarto Notosiswoyo ² , Koki Kashiwaya ¹ , Yohei Tada ¹ , and Katsuaki Koike ¹ , "Hydrochemical characterization for identifying hydrothermal systems in the Bandung Volcanic Basin", 41th Annual Stanford Geothermal Workshop, Stanford, 2016年2月22-24日.	口頭発表
H27年度	国内学会	久保大樹 ¹ ・北村将悟 ¹ ・多田洋平 ¹ ・内倉里沙 ¹ ・Iskandar Irwan ² ・Heriawan Mohamad Nur ² ・Saepuloh Asep ² ・高橋貫太 ¹ ・柏谷公希 ¹ ・小池克明 ¹ ・櫻井繁樹 ¹ , "地熱兆候地域での地中ラドンガス濃度分布による熱水上昇亀裂抽出の試み", 資源・素材学会平成28年度春季大会, 東京大学, 2016年3月28-30日.	口頭発表

H28年度	国際学会	Katsuaki Koike ¹ , Shigeki Sakurai ¹ , Koki Kashiwaya ¹ , Yohei Tada ¹ , Taiki Kubo ¹ , Sudarto Notosiswoyo ² , Mohamad Nur Heriawan ² , Nenny Miryani Saptadji ² , Irwan Iskandar ² , Asep Saepuloh ² , and Budi Sulistijo ² , "Towards specifying steam spots suitable for power generation and promoting use of geothermal resources", International Syposium Hanoi Geoenigneering 2016, ベトナム国家大学, 2016年10月21-22日.	招待講演
H28年度	国際学会	Katsuaki Koike ¹ , Taiki Kubo ¹ , Koki Kashiwaya ¹ , Yohei Tada ¹ , Shigeki Sakurai ¹ , Irwan Iskandar ² , Asep Saepuloh ² , Mohamad Nur Heriawan ² , Sudarto Notosiswoyo ² , and Alaa M. Masoud ³ , "Detection of fractures acting as hydrothermal fluid path by lineament analysis and radon gas measurement", 35th IGC (International Geological Congress), Cape Town, 2016年8月27日-9月4日. [3: タンタ大学]	ポスター発表
H28年度	国内学会	久保大樹 ¹ ・多田洋平 ¹ ・柏谷公希 ¹ ・小池克明 ¹ ・櫻井繁樹 ¹ ・Mohamad Nur Heriawan ² ・Irwan Iskandar ² ・Asep Saepuloh ² ・Sudarto Notosiswoyo ² , "地中ラドン・水銀探査とリニアメント解析による地熱流体パス抽出の試み—Wayang Windu地区を対象としたケーススタディー", 日本地熱学会 平成28年学術講演会, 郡山市中央公民館, 2016年10月19-21日.	ポスター発表
H28年度	国際学会	Shoedarto, R.M. ¹ , Kubo, K. ¹ , Kashiwaya, K. ¹ , Tada, Y. ¹ , Koike, K. ¹ , Sakurai, S. ¹ , Iskandar, I. ² , Heriawan, M.N. ² , Notosiswoyo, S. ² , Malik, D. ² , "How BAGUS project benefits geothermal energy?", Honda Y-E-S Forum 2016, 東京大学, 2016年11月19日.	ポスター発表
H28年度	国内学会	久保大樹 ¹ ・北村将悟 ¹ ・高橋貫太 ¹ ・Irwan Iskandar ² ・Mohamad Nur Heriawan ² ・Sudarto Notosiswoyo ² ・小池克明 ¹ ・櫻井繁樹 ¹ , "地熱兆候地域における断裂系推定への地中ガスラドン濃度分布の有効性", 資源・素材学会平成29年度春季大会, 千葉工業大学, 2017年3月27-29日.	口頭発表
H29年度	国内学会	久保大樹 ¹ ・江崎俊介 ¹ ・北村将悟 ¹ ・Irwan Iskandar ² ・Mohamad Nur Heriawan ² ・Sudarto Notosiswoyo ² ・小池克明 ¹ ・櫻井繁樹 ¹ , "リモートセンシング解析と現地調査データの統合による地熱資源探査の試み", 日本地球惑星科学連合2017年大会, 幕張メッセ, 2017年5月20-25日.	口頭発表
H29年度	国内学会	小池克明 ¹ ・Arie Naftali Hawu Hede Arie ² ・久保大樹 ¹ ・Asep Saepuloh ² ・櫻井繁樹 ¹ , "高植被率地域における熱水起源資源推定へのリモートセンシングの適用性", Geoinforum2017, 山梨県立図書館, 2017年6月29・30日.	口頭発表

H29年度	国内学会	Riostantieka Mayandari ¹ , Yohei Tada ¹ , Koki Kashiwaya ¹ , Katsuaki Koike ¹ , Irwan Iskandar ² , Mohamad Nur Heriawan ² , Sudarto Notosiswoyo ² , and Dwiyoga Malik ⁴ , "Oxygen isotope and ranking faults analyses to delineate water-rock interaction processes in a high-temperature geothermal system", Geoinforum2017, 山梨県立図書館, 2017年6月29・30日. [4: Star Energy社]	口頭発表
H29年度	国際学会	Mohamad Nur Heriawan ² , Hifdzul Fikri ² , Irwan Iskandar ² , Asep Saepuloh ² , Taiki Kubo ¹ , and Sudarto Notosiswoyo ² , "Spatial correlation between radon gas concentration and lineament intensity for assessing the near-surface permeability of geothermal prospect area", 18th International Association for Mathematical Geosciences Conference 2017 (IAMG2017), Fremante, Australia, 2017年9月2-9日.	ポスター発表
H29年度	国内学会	久保大樹 ¹ ・江崎俊介 ¹ ・北村将悟 ¹ ・Irwan Iskandar ² ・Mohamad Nur Heriawan ² ・Sudarto Notosiswoyo ² ・小池克明 ¹ ・櫻井繁樹 ¹ , "ラドンガス測定と衛星データ解析の統合による地熱資源有望地域の抽出", 資源・素材 & EARTH 2017 (札幌), 北海道大学, 2017年9月26-28日.	口頭発表
H29年度	国内学会	北村将悟 ¹ ・久保大樹 ¹ ・多田洋平 ¹ ・小池克明 ¹ ・櫻井繁樹 ¹ ・Mohamad Nur Heriawan ² ・Irwan Iskandar ² ・Asep Saepuloh ² ・Sudarto Notosiswoyo ² , "地中ラドン濃度の長期モニタリング測定による地熱資源有望地域抽出の試み", 日本地熱学会, 函館アリーナ, 2017年10月18-20日.	口頭発表
H29年度	国内学会	柏谷公希 ¹ ・多田洋平 ¹ ・Yudi Rahayudin ¹ ・Riostantieka M. Shoedarto ¹ ・弥富文次 ¹ ・Irwan Iskandar ² ・Sudarto Notosiswoyo ² ・小池克明 ¹ , "地球化学的指標から解釈されるインドネシア, バンドン盆地周辺の地熱系の特徴", 第7回同位体環境学シンポジウム, 総合地球環境学研究所, 2017年12月22日.	ポスター発表
H29年度	国際学会	Riostantieka M. Shoedarto ¹ , Yohei Tada ¹ , Koki Kashiwaya ¹ , Taiki Kubo ¹ , Katsuaki Koike ¹ , Dwiyogarani Malik ³ , Irwan Iskandar ² , Mohamad Nur Heriawan ² , and Sudarto Notosiswoyo ² , "Deducing geothermal boiling zone from rare earth elements on early-stage geothermal exploration", 43th Annual Stanford Geothermal Workshop, Stanford, 2018年2月12-14日.	口頭発表

H29年度	国際学会	Yudi Rahayudin ¹ , Koki Kashiwaya ¹ , Andi Susmanto ⁵ , Yohei Tada ¹ , Irwan Iskandar ² , and Katsuaki Koike ¹ , "Estimation of fluid-rock interaction process and recharge area of the Tampomas geothermal field, West Java, Indonesia by water chemistry", 43th Annual Stanford Geothermal Workshop, Stanford, 2018年2月12-14日. [5: インドネシアエネルギー・鉱物資源省]	口頭発表
H29年度	国内学会	久保大樹 ¹ ・北村将悟 ¹ ・Irwan Iskandar ² ・Mohamad Nur Heriawan ² ・Sudarto Notosiswoyo ² ・小池克明 ¹ ・櫻井繁樹 ¹ , "地中ガスラドン濃度の時間・季節変化に基づく地熱地域での蒸気スポット検出の可能性", 資源・素材学会平成30年度春季大会, 東京大学, 2018年3月27日-29日.	口頭発表
H30年度	国内学会	小池克明 ¹ ・Hoang Nguyen Tien ¹ ・Hede Arie Naftali Hawu ² , "中分解能マルチスペクトル衛星データからの金属鉱床起因情報の高次抽出法", 日本地球惑星科学連合2018年大会, 幕張メッセ, 2018年5月21日.	口頭発表
H30年度	国内学会	久保大樹 ¹ ・Ahmad Ali Syafi'i ² ・Arie Naftali Hawu Hede ² ・Asep Saepuloh ² ・Mohamad Nur Heriawan ² ・小池克明 ¹ ・Sudarto Notosiswoyo ² , "UAV を用いた超高解像度 DEM の作成と地熱資源探査への応用", Geoinform2018, 奈良大学, 2018年6月29-30日.	口頭発表
H30年度	国内学会	Panggea G. Sabrian ¹ , Katsuaki Koike ¹ , Asep Saepuloh ² , and Mohamad Nur Heriawan ² , "SBAS-InSAR for detecting and characterizing topographic change in a geothermal plant area", Geoinform2018, 奈良大学, 2018年6月29-30日.	口頭発表
H30年度	国際学会	Katsuaki Koike ¹ , Nguyen Tien Hoang ¹ , Arie Naftali Hawu Hede ² , Taiki Kubo ¹ , and Alaa A. Maoud ³ , "Effectiveness of remote sensing techniques for vegetation stress, alteration minerals, and fracture system to detect hydrothermal-originated resources", Mining in Asia International Symposium 2018, ITB, 2018年7月25日.	口頭発表
H30年度	国内学会	久保大樹 ¹ ・サフィアハマド ² ・ヘデナフタリ ² ・サエプロアセプロ ² ・モハマドヘリアワン ² ・小池克明 ¹ ・ノトシスウォヨスダルト ² , "地中ガス測定と高解像度DEMを用いた地形解析の統合による地熱資源開発有望地域特定の試み", 資源・素材2018(福岡), 福岡工業大学, 2018年9月12日.	口頭発表

H30年度	国内学会	久保大樹 ¹ ・多田洋平 ¹ ・小池克明 ¹ ・Ahmad Ali Syafi'i ² ・Nuradiva Iqbal Rahmansah ² ・Mohamad Nur Heriawan ² ・Irwan Iskandar ² ・Sudarto Notosiswoyo ² , “蒸気スポット検出に向けてのインドネシアWayang-Windu地熱サイトにおける地中ガスの長期モニタリング測定”, 日本地熱学会, 2018年11月14-16日.	ポスター発表
H30年度	国際学会	Katsuaki Koike ¹ , Shigeki Sakurai ¹ , Koki Kashiwaya ¹ , Yohei Tada ¹ , Taiki Kubo ¹ , Sudarto Notosiswojo ² , Mohamad Nur Heriawan ¹ , Nenny Miryani Saptadji ² , Irwan Iskandar ² , Asep Saepuloh ² , and Budi Sulistijo ² , “Towards specifying steam spots suitable for power generation and promoting use of geothermal resources”, Hanoi Forum 2018-Towards Sustainable Development, ハノイ, 2018年11月9-10日.	招待講演
H30年度	国際学会	Sudarto Notosiswoyo ² and Katsuaki Koike ¹ , “Geothermal energy development in Indonesia: Potency, beneficiation, and constraints”, 15th International Symposium on Mineral Exploration, ISME-XV, 京都大学, 2018年11月26-28日.	招待講演
H30年度	国際学会	Panggea G. Sabrian ¹ , Katsuaki Koike ¹ , Asep Saepuloh ² , and Mohamad Nur Heriawan ² , “Detection and geological characterization of topographic change in a geothermal power plant area by SBAS-InSAR”, 15th International Symposium on Mineral Exploration, ISME-XV, 京都大学, 2018年11月26-28日.	口頭発表
H30年度	国際学会	Katsuaki Koike ¹ and Sudarto Notosiswoyo ² , “BAGUS (Beneficial and Advanced Geothermal Use System) project for steamspot detection and large enhancement of geothermal power generation”, 15th International Symposium on Mineral Exploration, ISME-XV, 京都大学, 2018年11月26-28日.	口頭発表
H30年度	国際学会	Taiki Kubo ¹ , Shunsuke Esaki ¹ , Irwan Iskandar ² , Mohamad Nur Heriawan ² , Katsuaki Koike ¹ , Shigeki Sakurai ¹ and Sudarto Notosiswoyo ² , “Detection of paths for geothermal fluids by long term periodical measurement of radon concentration and gas component”, 15th International Symposium on Mineral Exploration, ISME-XV, 京都大学, 2018年11月26-28日.	口頭発表
H30年度	国際学会	Ahmad Ali Syafi'i ² , Mohamad Nur Heriawan ² , Asep Saepuloh ² , Taiki Kubo ¹ , and Katsuaki Koike ¹ , “Permeable zone estimation based on radon concentration and very high resolution of digital terrain model (DTM) at Wayang Windu area, West Java, Indonesia”, 15th International Symposium on Mineral Exploration, ISME-XV, 京都大学, 2018年11月26-28日.	口頭発表

H30年度	国際学会	Irwan Iskandar ² , Wijayanti Ashuri ² , Taiki Kubo ¹ , Anwar Zulkhoiri ² , Musti' atin ² , Katsuaki Koike ¹ , and Sudarto Notosiswoyo ² , "The presence and type of the Lembang-Maribaya Fault using soil-gas radon measurement", 15th International Symposium on Mineral Exploration, ISME-XV, 京都大学, 2018年11月26-28日.	口頭発表
H30年度	国際学会	Asep Saepuloh ² , Fery Ismar Darajat ² , Panggea Ghiyats Sabrian ¹ , Dwiyoarani Malik ⁴ , Taiki Kubo ¹ , and Katsuaki Koike ¹ , "Geological interpretation of the steam boundaries at Wayang Windu geothermal field based on PS-InSAR and field observation", 15th International Symposium on Mineral Exploration, ISME-XV, 京都大学, 2018年11月26-28日.	口頭発表
H30年度	国際学会	Yudi Rahayudin ¹ , Koki Kashiwaya ¹ , Yohei Tada ¹ , Katsuaki Koike ¹ , Mohamad Nur Heriawan ² , and Andi Susmant ² , "Clarifying the fluid interaction process by water geochemistry with a case study of the Tangkuban Perahu area, West Java, Indonesia", 15th International Symposium on Mineral Exploration, ISME-XV, 京都大学, 2018年11月26-28日.	ポスター発表
H30年度	国内学会	久保大樹 ¹ ・アリーシャフィー アハマト ² ・権守宏明 ¹ ・江崎俊介 ¹ ・ナフタリハウヘデ アリー ² ・ヘリアワン モハメド ² ・小池克明 ¹ ・ノトシスウオヨ スダルト ² , "地形と反射スペクトル画像データの広域解析による地熱資源有望地の抽出", 資源・素材学会平成31年度春季大会, 千葉工業大学, 2019年3月6-8日.	口頭発表
H30年度	国内学会	柏谷公希 ¹ ・Rahayudin Yudi ¹ ・Shoedarto Riostantieka ¹ ・弥富文次 ¹ ・多田洋平 ¹ ・Iskandar Irwan ² ・Sudarto Notosiswoyo ² ・小池克明 ¹ , "インドネシア・バンドン盆地周辺の地熱系における地熱流体の循環状態把握を目的とした地球化学的調査", 資源・素材学会平成31年度春季大会, 千葉工業大学, 2019年3月6-8日.	口頭発表
H30年度	国内学会	後藤忠徳 ¹ ・山田勇次 ¹ ・Mohamad Nur Heriawan ² ・Irwan Iskandar ² ・小池克明 ¹ , "AMT探査に基づくインドネシアWayang Windu地熱地域での地下熱水変質帯の空間分布", 資源・素材学会平成31年度春季大会, 千葉工業大学, 2019年3月6-8日.	口頭発表

H30年度	国際学会	Taiki Kubo ¹ , Hiroaki Gonnokami ¹ , Ahmad Ali Syafi'i ² , Mohamad Nur Heriawan ² , Irwan Iskandar ² , Katsuaki Koike ¹ , Sudarto Notosiswoyo ² , "Progress of radon gas survey to specify steam spots of geothermal resource by long-term periodical measurement in the BAGUS project", 8th ITB International Geothermal Workshop, ITB, 2019年3月21日.	口頭発表
R元年度	国内学会	久保大樹 ¹ ・権守宏明 ¹ ・Arie Naftali Hawu Hede ² ・Mohamad Nur Heriawan ² ・Irwan Iskandar ² ・小池克明 ¹ ・Sudarto Notosiswoyo ² , "地熱流体パス抽出を目的とした超高解像度DEMとハイパースペクトル衛星画像による亀裂・鉱物分布解析", 日本地球惑星科学連合2019大会, 幕張メッセ, 2019年5月26-30日.	口頭発表
R元年度	国内学会	渡邊雄平 ¹ ・久保大樹 ¹ ・Putri Aprillia ² ・Andy Yahya Al Hakim ² ・Irwan Iskandar ² ・小池克明 ¹ , "地中ガスラドン濃度の時空間変化に基づく地熱流体パスの特定: 2つのインドネシア地熱地区でのケーススタディ", Geoinforum2019, 海洋研究開発機構 横浜研究所, 2019年6月27-28日.	口頭発表
R元年度	国際学会	Panggea Ghyats Sabrian ¹ , Asep Saepuloh ² , and Katsuaki Koike ¹ , "Detection of surface displacement from large baseline data pairs by multi-temporal D-InSAR with application to Bandung Basin, Indonesia", Proceedings of IGARSS 2019, Yokohama, 2019年7月28日-8月2日.	ポスター発表
R元年度	国内学会	小池克明 ¹ ・Notosiswojo Sudarto ² , "インドネシアでの地熱発電の大幅促進を目指したSATREPSプロジェクト: 蒸気スポット検出と持続的地熱資源利用の技術開発", 資源・素材2019(京都), 京都大学 桂キャンパス, 2019年9月24-26日.	口頭発表
R元年度	国内学会	ブリアン パンゲアギャツ ¹ ・サエプロ アセップ ² ・小池克明 ¹ , "PS-InSAR技術を用いた地熱資源の高ポテンシャル領域の抽出", 資源・素材2019(京都), 京都大学 桂キャンパス, 2019年9月24-26日.	口頭発表
R元年度	国内学会	久保大樹 ¹ ・アルハキム アンディヤハヤ ² ・ハフィズ アワブ ² ・アプリリア プトリ ² ・渡邊雄平 ¹ ・イルワン イスカンダル ² ・ヘリアワン モハメドヌル ² ・小池克明 ¹ , "地熱地域における地中ガス中のラドン濃度の空間・時間的変動とその要因分析", 資源・素材2019(京都), 京都大学 桂キャンパス, 2019年9月24-26日.	口頭発表
R元年度	国内学会	久保大樹 ¹ ・権守宏明 ¹ ・小池克明 ¹ , Awwab Hafizh ² ・Mohamad Nur Heriawan ² ・Sudarto Notosiswoyo ² , "DEMNASを用いた広域地形解析による地熱開発有望地域検出の試み", 日本地熱学会, くまもと県民交流館パレア, 2019年11月20-22日.	ポスター発表

R元年度	国内学会	多田洋平 ¹ ・柏谷公希 ¹ ・久保大樹 ¹ ・スダルト リオスタンティエカ ¹ ・ラハユディン ユディ ¹ ・イスカンダール イルワン ² ・ヘリアワン モハマド ² ・ノシスウォヨ スダルト ² , “インドネシアBandung盆地周辺の地熱地区における蒸気スポット検出への地化学的アプローチ”, 日本地熱学会, くまもと県民交流館パレア, 2019年11月20-22日.	口頭発表
R元年度	国内学会	渡邊雄平 ¹ ・久保大樹 ¹ ・小池克明 ¹ ・Putri Aprillia ² ・Awwab Hafizh ² ・Mohamad Nur Heriawan ² ・Sudarto Notosiswoyo ² , “地中ガスラドン濃度の時空間変化とTEM比抵抗構造に基づく地熱流体パスの特定”, 日本地熱学会, くまもと県民交流館パレア, 2019年11月20-22日.	ポスター発表

招待講演	3 件
口頭発表	34 件
ポスター発表	11 件

②学会発表(上記①以外)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
H26年度	国内学会	文田了介・柏谷公希・小池克明 [京大]・多田洋平・谷口真人・中野孝教 [地球研], “マルチ環境トレーサー分析とクリギングにより推定された河川水と地下水の交流状態”, Geoinforum2014, 京都大学吉田キャンパス, 2014年6月12・13日.	口頭発表
H26年度	国内学会	小池克明・柏谷公希・久保大樹 [京大], “資源関連の地質構造・物性の3次元モデリング法と形成要因解釈への応用”, 資源・素材2014(熊本), 熊本大学黒髪キャンパス, 2014年9月15日.	口頭発表
H26年度	国際学会	Nguyen Tien Hoang and Katsuaki Koike [京大], “Combination of landsat and EO-1 hyperion data for accurate mineral mapping”, 13th International Symposium on Mineral Exploration, Hanoi, Vietnam, 2014年9月22-24日.	口頭発表
H26年度	国際学会	Lei Lu, Koki Kashiwaya, Katsuaki Koike [京大], “Geostatistics-based hydro-chemical characterization for deep groundwater system using borehole logs: Application to Horonobe site, northern Japan”, 13th International Symposium on Mineral Exploration, Hanoi, Vietnam, 2014年9月22-24日.	口頭発表

H26年度	国際学会	Bingwei Tian and Koike Katsuaki [京大], "3D crustal temperature modeling over Japan for geothermal resource assessment", 16th IAMG Conference, Jawaharlal Nehru Univ., New Delhi, India, 2014年10月17-20日.	口頭発表
H26年度	国内学会	田兵偉・柏谷公希・小池克明 [京大], "坑井データと熱赤外衛星データを用いた日本列島地殻浅部の地温分布モデリング", 資源・素材学会平成27年度春季大会, 千葉工業大学津田沼キャンパス, 2015年3月28日.	口頭発表
H27年度	国内学会	久保大樹・高橋貴太・柏谷公希・小池克明・櫻井繁樹 [京大], "地熱域でのDEMリニアメントに基づく推定亀裂系と地下温度分布との関連性", Geoinforum2015, 小樽市小樽経済センター, 2015年6月18・19日.	口頭発表
H27年度	国内学会	小池克明・柏谷公希 [京大], "地中ガスのラドン濃度に含まれる地殻物性・破壊情報", Geoinforum2015, 小樽市小樽経済センター, 2015年6月18・19日.	口頭発表
H27年度	国内学会	Nguyen Tien Hoang and Katsuaki Koike [京大], "Simulation of hyperspectral imagery from Landsat imagery for detailed mineral mapping", Geoinforum2015, 小樽市小樽経済センター, 2015年6月18・19日.	口頭発表
H27年度	国内学会	Arie Naftali Hawu Hede・柏谷公希・小池克明・櫻井繁樹 [京大]・古宇田亮一 [産総研]・山田亮一 [東北大], "Remote sensing with a new vegetation index for detecting vegetation anomaly caused by metal deposits", 資源・素材2015 (松山), 愛媛大学, 2015年9月8-10日.	口頭発表
H27年度	国内学会	柏谷公希・文田了介・小池克明・多田洋平 [京大]・申基澈・谷口真人・中野孝教 [地球研], "京都盆地における地下水の同位体特性および微量元素濃度の空間分布推定と示唆される地下水環境", 資源・素材2015 (松山), 愛媛大学, 2015年9月8-10日.	口頭発表
H27年度	国際学会	Nguyen Tien Hoang and Katsuaki Koike [京大], "Development of Bayesian-based transformation method of Landsat imagery into pseudo-hyperspectral imagery", Conference of Image and Signal Processing for Remote Sensing XXI, Toulouse, France, 2015年9月21日.	口頭発表
H27年度	国際学会	Sudarto Notosiswoyo [ITB], "SATREPS: Japanese academic institution strategy for strengthening geothermal community knowledge and skill in Indonesia", 5th ITB International Geothermal Workshop, ITB, 2016年3月30-31日.	招待講演
H27年度	国際学会	Katsuaki Koike [京大], "Studies Design for BAGUS (Beneficial and Advanced Geothermal Use System) SATREPS Project", 5th ITB International Geothermal Workshop, ITB, 2016年3月30-31日.	招待講演

H28年度	国内学会	北村将悟・久保大樹・多田洋平・柏谷公希・小池克明 [京大], “熱水パス亀裂抽出への地中ガスラドン濃度の応用”, Geoinforum2016, 大阪市立大学, 2016年6月16日・17日.	口頭発表
H28年度	国内学会	馬場浩太・久保大樹・小池克明 [京大], “TOUGH2を用いた安比地区地熱貯留層の温度・圧力状態のシミュレーション”, Geoinforum2016, 大阪市立大学, 2016年6月16日・17日.	口頭発表
H28年度	国内学会	内倉里沙・柏谷公希・多田洋平・久保大樹・小池克明・櫻井繁樹 [京大], “衛星画像からの地熱変質帯の抽出と熱水パス推定への応用”, Geoinforum2016, 大阪市立大学, 2016年6月16日・17日.	口頭発表
H28年度	国内学会	高橋貴太・久保大樹・柏谷公希・多田洋平・小池克明・櫻井繁樹 [京大], “地熱地区におけるDEMデータを用いたリニアメント抽出と断裂系モデリング”, Geoinforum2016, 大阪市立大学, 2016年6月16日・17日.	口頭発表
H28年度	国内学会	馬場浩太・久保大樹・小池克明 [京大], “オブジェクト指向プログラミングに基づく貯留層シミュレータTOUGH2改良の試み”, 日本地熱学会 平成28年学術講演会, 郡山市中央公民館, 2016年10月19日-21日.	ポスター発表
H28年度	国内学会	柏谷公希・文田了介・小池克明・多田洋平 [京大]・谷口真人 [総合地球環境学研究所], “京都盆地を対象とした地下水流動解析と水素酸素同位体比に基づく検証”, 日本地下水学会2016年秋季講演会, 長崎新聞文化ホール, 2016年10月20-22日.	口頭発表
H28年度	国際学会	Katsuaki Koike [京大], “Research progress of the BAGUS project by Kyoto University team”, 6th ITB International Geothermal Workshop, ITB, 2017年3月22日.	招待講演
H28年度	国際学会	Taiki Kubo [京大], “Characterization of fracture system in the Wayang Windu area using radon-gas concentration and remote sensing analyses”, 6th ITB International Geothermal Workshop, ITB, 2017年3月22日.	口頭発表
H28年度	国内学会	江崎俊介・久保大樹・内倉里沙・小池克明・櫻井繁樹 [京大], “光学センサとSAR衛星データの併用による地熱兆候地検出”, 資源・素材学会平成29年度春季大会, 千葉工業大学, 2017年3月27-29日.	口頭発表
H28年度	国内学会	Nguyen Tien Hoang and Katsuaki Koike [京大], “Towards spectral and spatial joint downscaling of multi-spectral satellite imagery for detailed mineral mapping”, 資源・素材学会平成29年度春季大会, 千葉工業大学, 2017年3月27-29日.	口頭発表

H29年度	国内学会	江崎俊介・久保大樹・内倉里沙・小池克明・櫻井繁樹 [京大], “反射赤外・熱赤外・後方散乱の衛星データ組み合わせによる植生域での地熱兆候地検出精度の向上”, Geoinforum2017, 山梨県立図書館, 2017年6月29・30日.	口頭発表
H29年度	国際学会	Katsuaki Koike [京大], “Research progress of the BAGUS project in 2017 by Kyoto University team”, 7th ITB International Geothermal Workshop, ITB, 2018年3月22日.	招待講演
H29年度	国際学会	Taiki Kubo [京大], “Overview and progress report of radon measurement for BAGUS project”, 7th ITB International Geothermal Workshop, ITB, 2018年3月22日.	口頭発表
H30年度	国内学会	山田勇次・後藤忠徳 [京大], “Tipperを用いた地熱地域の地下比抵抗構造逆解析の試み”, 物理探査学会第138回(平成30年度春季)学術講演会, 東京, 2018年5月28日.	口頭発表
H30年度	国内学会	Nurita Putri Hardiani and Katsuaki Koike [京大], “Simulation of vapor and liquid reservoir evolution in geothermal system”, Geoinforum2018, 奈良大学, 2018年6月29・30日.	口頭発表
H30年度	国内学会	加納陸生・久保大樹・小池克明 [京大], “光学センサ画像の鉱物指数とDEMリニアメントによる地熱兆候地の抽出”, Geoinforum2018, 奈良大学, 2018年6月28日・29日.	口頭発表
H30年度	国際学会	Yuji Yamada and Tada-nori Goto [京大], “Feasibility study of inversion using Tipper data for analysis of resistivity structure in geothermal field”, The 24th EM Induction Workshop, Helsingor, Denmark, Aug. 14, 2018.	ポスター発表
H30年度	国際学会	Taiki Kubo and Katsuaki Koike [京大], “Monitoring of regional radon concentration and gas component for detection of high potential spots of geothermal resource”, Cities on Volcanoes 10, ナポリ, 2018年9月2-7日.	ポスター発表
H30年度	国際学会	Yuji Yamada, Tada-nori Goto [京大], “Application of inversion using Tipper data for analysis of resistivity structure in geothermal field”, The 13th SEGJ International Symposium, Tokyo, Nov. 12, 2018.	口頭発表
H30年度	国内学会	多田洋平・柏谷公希・久保大樹・小池克明 [京大], “インドネシアWayang Windu地熱サイトにおける表層水の地化学分析結果に基づいた熱水変質帯検出の試み”, 日本地熱学会, 北とぴあ, 2018年11月14-16日.	口頭発表

H30年度	国際学会	Riostantieka Mayandari Shoedarto, Koki Kashiwaya, Yohei Tada, and Katsuaki Koike [京大], "Integrating geochemical properties and fracture distribution to characterize fluid-flow system in the Wayang Windu geothermal field", 15th International Symposium on Mineral Exploration, ISME-XV, 京都大学, 2018年11月26-28日.	口頭発表
H30年度	国際学会	Nurita Putri Hardiani and Katsuaki Koike [京大], "Importance of sensitivity analysis of boundary conditions for accurate geothermal reservoir simulation", 15th International Symposium on Mineral Exploration, ISME-XV, 京都大学, 2018年11月26-28日.	口頭発表
H30年度	国内学会	後藤忠徳・山田勇次・川口草太 大田優介・佐藤真也・小路久稔[京大]・佐々木裕[長崎大], "地熱地域における多点AMT探査", 平成30年度 Conductivity Anomaly 研究会, 京都大学防災研究所, 2019年1月10日.	ポスター発表
H30年度	国際学会	Katsuaki Koike, Shigeki Sakurai, Koki Kashiwaya, Yohei Tada, Taiki Kubo, and Tada-nori Goto [京大], "Research progress of the BAGUS project in 2018 for steam spot detection by Kyoto University team", 8th ITB International Geothermal Workshop, ITB, 2019年3月21日.	口頭発表
H30年度	国際学会	Katsuaki Koike [京大], "Advanced Geoinformatic technologies for exploration and sustainability of renewable energy and water resources", 5th International Conference on Scientific Research (ISR-2019): Renewable energy and Water Sustainability, Sharm El-Sheikh, Egypt, 2019年3月26-29日.	招待講演
R元年度	国内学会	山田勇次・後藤忠徳・川口草太 [京大]・佐々木裕 [長崎大], "超短基線AMT探査法を用いた地熱地域における地下比抵抗構造解析", 物理探査学会第40回学術講演会, 東京, 2019年6月3日.	口頭発表
R元年度	国内学会	後藤忠徳・山田勇次・川口草太・大田優介・佐藤真也・小路久稔・佐々木裕, 超短基線電場測定によるAMT探査の試み, 物理探査学会第40回学術講演会, 東京, 2019年6月3日.	ポスター発表
R元年度	国内学会	権守宏明・久保大樹・小池克明 [京大], "ハイパースペクトル衛星画像による植生域での熱水変質帯の抽出精度向上", Geoinforum2019, 海洋研究開発機構 横浜研究所, 2019年6月27-28日.	口頭発表
R元年度	国内学会	Nurita Putri Hardiani・小池克明[京大], "Modeling of multiphase fluid flow in the natural state condition of Patuha geothermal field around the Bandung Basin, Indonesia", 資源・素材2019(京都), 京都大学 桂キャンパス, 2019年9月24-26日.	ポスター発表

R元年度	国内学会	権守宏明・久保大樹・小池克明[京大], “線形分離法のハイパースペクトル衛星画像への適用による植生被覆地熱地域での熱水変質帯のタイプと分布の抽出”, 資源・素材2019(京都), 京都大学 桂キャンパス, 2019年9月24-26日.	ポスター発表
R元年度	国内学会	犬飼郁也・柏谷公希・Rahayudin Yudi・Shoedarto Riostantieka・松崎浩之・小池克明[京大], “バンドン盆地周辺の地熱地域における ³ Hと ¹²⁹ Iを用いた地熱流体の起源と滞留時間の推定”, 資源・素材2019(京都), 京都大学 桂キャンパス, 2019年9月24-26日.	ポスター発表
R元年度	国内学会	柏谷公希・多田洋平・Rahayudin Yudi・Shoedarto Riostantieka・弥富文次・犬飼郁也・加納陸生・小池克明[京大], “地球化学的指標に基づく地熱貯留層特性と地熱流体の循環状態の推定”, 資源・素材2019(京都), 京都大学 桂キャンパス, 2019年9月24-26日.	口頭発表
R元年度	国内学会	Riostantieka Mayandari Shoedarto・Yohei Tada・Koki Kashiwaya・Katsuaki Koike[京大], “Interpretation of water-rock interaction provenances in the Wayang Windu geothermal reservoir, Bandung, West Java, Indonesia from the trace elements analyses”, 日本地熱学会, くまもと県民交流館パレア, 2019年11月20-22日.	口頭発表
R元年度	国際学会	小池克明[京大], “インドネシアでの地熱発電の大幅促進を目指したSATREPSプロジェクト: 蒸気スポット検出と持続的地熱資源利用の技術開発の成果とこれから (SATREPS project for Large Enhancement of Geothermal Power Generation in Indonesia: Outcomes and Next Step of Technology Development of Steam-spot Detection and Sustainable Resource Use)”, 秋田大学国際資源学教育研究センター第15回国際シンポジウム「持続可能な開発に向けた資源学の役割」, JICA地球ひろば, 2020年2月21日.	招待講演
R元年度	国内学会	Mohamed El-Horiny・Alaa Masoud[タンタ大], Taiki Kubo・Katsuaki Koike[京大], “Integrated remote sensing and temperature logging data for exploration of the geothermal potentiality zones along the Gulf of Suez, Egypt”, 資源・素材学会令和2年度春季大会, 千葉工業大学, 2020年3月15-17日.	口頭発表

招待講演	6 件
口頭発表	35 件
ポスター発表	8 件

VI. 成果発表等

(3) 特許出願【研究開始～現在の全期間】(公開)

①国内出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号 (未登録は空欄)	登録日 (未登録は空欄)	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者所属機関	関連する外国出願※
No.1													
No.2													
No.3													

国内特許出願数 件
 公開すべきでない特許出願数 件

②外国出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号 (未登録は空欄)	登録日 (未登録は空欄)	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者所属機関	関連する国内出願※
No.1													
No.2													
No.3													

外国特許出願数 件
 公開すべきでない特許出願数 件

VI. 成果発表等

(4) 受賞等【研究開始～現在の全期間】(公開)

① 受賞

年度	受賞日	賞の名称	業績名等 (「〇〇の開発」など)	受賞者	主催団体	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項
H26年度	9月23日	第13回国際資源探査会議奨励賞	「Application of remote sensing to detecting hydrothermal alteration zones covered by thick vegetation」の研究成果	Arie Naftali Hawu Hede	(社)資源・素材学会探査工学部門委員会	3.一部当課題研究の成果が含まれる	
H27年度	6月19日	日本情報地質学会奨励賞	「Simulation of hyperspectral imagery from Landsat imagery for detailed mineral mapping」の研究成果	Nguyen Tien Hoang	日本情報地質学会	3.一部当課題研究の成果が含まれる	
H28年度	6月17日	日本情報地質学会奨励賞	「衛星画像からの地熱変質帯の抽出と熱水パス推定への応用」の研究成果	内倉里沙	日本情報地質学会	1.当課題研究の成果である	
H28年度	11月19日	Honda Y-E-S Forum 2016 Audience Award	「How BAGUS Project benefits geothermal fluid from the Earth?」の研究発表	Riostantieka Mayandari Shoedarto	(公財)本田財団	1.当課題研究の成果である	
H28年度	12月9日	資源・素材学会関西支部第13回若手研究者・学生のための研究発表会・優秀発表賞	「拡張性に優れた地熱貯留層シミュレータの開発」の研究発表	馬場浩太	資源・素材学会関西支部	1.当課題研究の成果である	
H29年度	8月24日	バンドン工科大学賞「Ganesa Wirya Jasa Adiutama」	主にSATREPSプロジェクトによるバンドン工科大学の研究設備の向上と研究教育の発展に対する顕著な貢献	小池克明	バンドン工科大学	1.当課題研究の成果である	

H30年度	11月27日	第15回国際資源探査会議奨励賞	「An integrated approach for hydrothermal alteration mapping in vegetated terrain using ASTER data」の研究成果	Arie Naftali Hawu Hede	(社)資源・素材学会探査工学部門委員会	1.当課題研究の成果である	
H30年度	12月7日	資源・素材学会関西支部第15回若手研究者・学生のための研究発表会・優秀発表賞	「Effect of internal boundary on reservoir simulation and characterization of the Wayang Windu Geothermal Field (West Java, Indonesia)」の研究発表	Hardiani Nurita Putri	資源・素材学会関西支部	1.当課題研究の成果である	
R元年度	6月4日	物理探査学会第140回学術講演会優秀発表賞	「Tipperを用いた地熱地域の地下比抵抗構造逆解析」の研究発表	山田勇次	公益社団法人物理探査学会	1.当課題研究の成果である	
R元年度	12月6日	資源・素材学会 関西支部第16回若手研究者・学生のための研究発表会・優秀発表者賞	「インドネシアTampomas地熱地域における ¹²⁹ I/1比と微量元素を用いた地熱流体の起源と滞留時間の推定」の研究発表	犬飼郁也	資源・素材学会関西支部	3.一部当課題研究の成果が含まれる	

10 件

②マスコミ(新聞・TV等)報道

年度	掲載日	掲載媒体名	タイトル/見出し等	掲載面	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項
H27年度	6月8日	Pikiran Rakyat (新聞)	ITB-Kyoto University Meriset Teknologi "Steam-	西ジャワ州版	1.当課題研究の成果である	タイトルは現地語表記である。

1 件

VI. 成果発表等

(5) ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等の活動【研究開始～現在の全期間】(公開)

① ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等

年度	開催日	名称	場所 (開催国)	参加人数 (相手国からの招聘者数)	公開/ 非公開の別	概要
H26年度	5月22日	SATREPSプロジェクト第1回合同打ち合わせ会議	京都大学桂キャンパス	10名(3名)	非公開	研究の背景, 目標, 実施内容, PDM・POについて説明, 議論, 合意形成
H26年度	5月23日	SATREPSキックオフシンポジウム	京都大学桂キャンパス	30名(3名)	公開	地熱プロジェクトの概要・目標の説明, 各研究メンバーのこれまでの研究成果紹介と本プロジェクトへの貢献の構想, および意見交換
H26年度	5月29日	研究打ち合わせ会議	三菱マテリアル(株)本社	7名	非公開	企業との協力体制と共同研究の内容に関する意見交換, 暫定研究の対象サイトの選定
H26年度	8月26日	SATREPSプロジェクト第2回合同打ち合わせ会議(非公開)	バンドン工科大学	14名	非公開	PDM・PO, 投入機器について議論と合意形成, および実験室視察
H26年度	11月6日	学内研究打ち合わせ会議	京都大学吉田キャンパス	4名	非公開	研究進捗状況についての報告・意見交換, 今後の研究計画のブラッシュアップ
H26年度	3月6日	研究打ち合わせ会議	九州電力(株)本社	7名	非公開	研究目標・内容, 開発予定の手法に対する電力会社との意見交換, 協力体制形成の議論
H26年度	3月27日	研究打ち合わせ会議	三菱マテリアル(株)本社	6名	非公開	暫定研究成果の報告, および次年度以降の研究内容と手法の改善点に関する意見交換
H27年度	9月14日	SATREPSプロジェクト第3回合同打ち合わせ会議	Star Energy社(インドネシア)	12名	非公開	Star Energy社との協力体制の構築, モデル地熱サイトの既存調査データ利用の合意
H27年度	9月15日と18日	SATREPSプロジェクト第4回合同打ち合わせ会議	バンドン工科大学	8名	非公開	モデルサイトでの地すべり状況の情報共有, PDMとPOの確認, 年次計画の検討と改善, 短期招聘研究員の京都大学での研究内容

H27年度	12月1日	SATREPSプロジェクト第5回合同打ち合わせ会議	バンドン工科大学	7名	非公開	今年度導入予定の機器類の調達状況についての情報共有, 今後の導入手続きに関する打ち合わせ, ITB側で実施する実験室改装計画の立案
H27年度	12月7日	SATREPSプロジェクト第6回合同打ち合わせ会議	京都大学桂キャンパス	12名(3名)	非公開	研究進捗状況, タンタ大学との協力体制と共同研究内容, 次年度の京都大学での短期研修の講義内容とスケジュール, 今後の研究計画などについて議論と合意形成
H27年度	12月8日	BAGUS特別講演会	京都大学桂キャンパス	35名(3名)	公開	本プロジェクトの概要紹介, およびITB側リーダーのSudarto Notosiswoyo教授によるインドネシアの地熱資源のポテンシャルと利活用状況に関する講演の実施
H28年度	4月1日	SATREPSプロジェクト第7回合同打ち合わせ会議	バンドン工科大学	9名	非公開	表層ボーリングの実施場所, 掘削方法, 地質とガスのサンプリング法, ガス分析法についての打ち合わせ
H28年度	5月12日	SATREPSプロジェクト第8回合同打ち合わせ会議	バンドン工科大学	10名	非公開	表層ボーリングの実施手順についての打ち合わせ, 候補地へのアプローチ可否の確認, および短期研修に招聘するITB学生との面談
H28年度	6月27日	資源・素材学会関西支部とBAGUS合同特別講演会	京都大学桂キャンパス	40名(1名)	公開	スタンフォード大学地熱プログラムのRoland Horne教授を招聘し, スタンフォード大学での地熱研究の最新成果を講演いただいた。
H28年度	7月29日	研究打ち合わせ会議	三菱マテリアル(株)本社	4名	非公開	貯留層シミュレーションの精度向上に向けての情報交換
H28年度	8月19日	SATREPSプロジェクト第9回合同打ち合わせ会議	バンドン工科大学	10名	非公開	表層ボーリングの実施場所の確認, および孔の保護法, モニタリング方法, 熱水サンプリング方法と場所などについての打ち合わせ

H28年度	12月11-12日	SATREPSプロジェクト第10回合同打ち合わせ会議	京都大学桂キャンパス	12名(4名)	非公開	研究進捗状況, 導入機器の手続き状況, 今年度の短期研修の改善点と次年度の内容・スケジュール, アフリカ展開研究の内容, 今後の研究計画などについて議論と合意形成
H28年度	3月3日	鉱物・地熱資源探査, 環境モニタリングのリモートセンシング国際共同プロジェクト	京都大学桂キャンパス	50名	公開	京都大学と秋田大学のSATREPSグループ, 資源・素材学会探査工学部門委員会との共催によるリモートセンシング研究の最新成果の発表, および意見交換
H28年度	3月21日	SATREPSプロジェクト第11回合同打ち合わせ会議	バンドン工科大学	9名	非公開	研究進捗状況, 機器操作やガスモニタリング法に関する問題点, 今後の研究計画とスケジュール, 短期研修制の選抜方法などについて議論
H29年度	7月7日	SATREPSプロジェクト第12回合同打ち合わせ会議	バンドン工科大学	15名	非公開	Star Energy社の技術者も含め, 研究協力体制と内容, プロジェクトで必要とするデータ, 今後のスケジュールに関する打ち合わせ
H29年度	11月22日	BAGUS特別講演会	京都大学桂キャンパス	40名(1名)	公開	スタンフォード大学地熱プログラムのRoland Horne教授を招聘し, 岩体亀裂中の地熱流体流れの解析と検証法に関する最新研究成果の講演会を実施した。これに先立ち, Horne教授に本プロジェクトの内容とこれまでの研究成果を紹介し, コメントをいただいた。
H29年度	12月4-5日	SATREPSプロジェクト第13回合同打ち合わせ会議	京都大学桂キャンパス	12名(4名)	非公開	研究進捗状況, 各研究項目の計画とスケジュール, 表層ボーリングの追加地点と実施スケジュール, 研究成果公表の計画, これまでの問題点とその解決法などについて議論

H29年度	12月5日	BAGUS特別講演会	京都大学桂キャンパス	35名(4名)	公開	Sudarto Notosiswoyo教授とNenny Miryani Saptadji准教授によるインドネシアの再生、非再生資源のポテンシャルと利活用状況に関する講演の実施
H29年度	3月23日	SATREPSプロジェクト第14回合同打ち合わせ会議	バンドン工科大学	9名	非公開	研究進捗状況、新規ボーリング地点の候補、機器の状況とトラブル解決法、今後の研究計画とスケジュール、短期研修生の選抜方法などについて議論
H30年度	7月6日	BAGUSセミナー	CMCGR	25名	公開	CMCGRの若手技術者を対象に、本プロジェクトで用いている技術の紹介を中心とした丸一日セミナー「Probably effective methods for detecting deep geologic structures related to temperature, fluid-flow system, and fluid path in non-volcanic areas」を小池リーダーが実施した。
H30年度	9月25日	SATREPSプロジェクト意見交換・親睦会	京都大学桂キャンパス	7名(1名)	非公開	秋田大学SATREPSの研究グループと意見交換会を開催し、今後の連携や情報交換について合意した。
H30年度	11月24日	SATREPSプロジェクト第15回合同打ち合わせ会議	京都大学桂キャンパス	12名(5名)	非公開	7月のJCCからの研究進捗状況、9月実施の研修、論文化の現状などについての報告、および目標達成に向けての今後の研究計画とスケジュール、最終年度でのシンポジウム、プロジェクト終了後の協力の保持と共同研究の発展に向けてなどについて議論
H30年度	11月26日	SATREPS地熱関係プロジェクト意見交換・親睦会	京都大学吉田キャンパス	40名(12名)	公開	第15回国際鉱物資源探査シンポジウムを利用して、東北大学のエルサルバドル地熱SATREPSの研究グループと意見交換会を開催し、今後の連携や定期的な情報交換について合意した。

H30年度	3月22日	SATREPSプロジェクト第16回合同打ち合わせ会議	バンドン工科大学	9名	非公開	研究進捗状況、最終年度での研究計画とスケジュール、目標達成に向けての必要な取り組み、短期研修生の選抜方法などについて議論、および選抜面接の実施
令和元年度	7月26日	2019年度科学と開発をつなぐブリッジワークショップ	JICA市ヶ谷ビル国際会議場	111名	公開	最終年度SATREPSプロジェクトの一つとして、JICA、JST、AMED共催の左記ワークショップにて研究概要、研究成果、企業等に向けた連携の可能性などを発表した。SATREPS研究成果の社会実装を促すことが本ワークショップの目的であり、一般企業、開発コンサルタント企業、開発NGO等からの聴講を得て、意見交換も行った。
令和元年度	10月21日	SATREPSプロジェクト第17回合同打ち合わせ会議	バンドン工科大学	16名	非公開	研究進捗状況・得られた成果・論文作成状況の確認、目標達成に向けての必要な取り組み、問題点の共有と解決法、およびプロジェクト終了後の発展・連携法などについて議論
令和元年度	3月20日	BAGUSプロジェクト成果発表および資源系SATREPSプロジェクト合同シンポジウム(実施延期)	京都大学桂キャンパス	60名(10名) [見込み]	公開	SATREPSプロジェクトの総まとめとして、バンドン工科大学・オークランド大学・タンタ大学・マギール大学の共同研究者、資源系SATREPSプロジェクトを実施している秋田大学・東北大学・九州大学の研究実施者、および資源関連分野の研究・技術者とシンポジウムを開催し、成果発表と意見・情報交換を行い、今後の連携を深める計画であった。しかしコロナウィルスの蔓延の影響で、シンポジウムを延期せざるを得なかった。
令和元年度	3月24日	SATREPSプロジェクト意見交換・親睦会	京都大学桂キャンパス	6名	非公開	九州大学ケニア地熱SATREPSの研究グループと情報・意見交換会を開催し、今後の連携などについて合意した。

②合同調整委員会(JCC)開催記録(開催日、議題、出席人数、協議概要等)

年度	開催日	議題	出席人数	概要
H27年度	6月1-3日	プロジェクト期間、昨年度の暫定期間での研究成果、PDMとPOの確認、今年度の研究内容とスケジュール、研究者リストの確定、ITBへの投入機器とソフトウェアの確認、次回のJCCの日程	15	バンドン工科大学の共同研究者とキックオフシンポジウムの開催し、これまでの研究成果について発表した。PDM・POと投入機器を確認し、研究目標と計画に対しての意見交換を行った。CGRとStar Energy社との連携についても検討した。また、モデル地熱サイトであるWayang Winduで地質巡検を行い、測定場所と適切な手法について議論した。以上の検討項目について合意し、小池リーダーとSudarto教授が議事録にサインした。
H28年度	5月9-11日	昨年度の研究成果、PDMとPOの確認、今年度の研究内容とスケジュール、研究者リストの確定、ITBへの投入機器の確認、短期研修生の応募状況と選抜方法・結果、次回のJCCの日程、これまでの問題点	16	前年度に引き続き、JCCの前にITBの共同研究者と成果報告会を開催した。研究目標、PDM・PO、投入機器を再確認し、今年度の研究計画とスケジュール、研究成果の発表法、表層ボーリングと熱水サンプリングの実施においてStar Energy社との連携などについて意見交換を行った。また、Wayang Winduで地質巡検を行い、断層の推定方法、表層ボーリングの適切な実施地点の選定法などについて議論した。以上の検討項目について合意し、小池リーダーとSudarto教授が議事録にサインした。
H29年度	7月4-6日	昨年度の研究成果、PDMとPOの確認、今年度の研究目標・内容とスケジュール、研究者リストの確定、ITBへの投入機器の輸送状況、研究室の整備状況、これまでの問題点と解決策、中間レビューに向けての協力体制、次回のJCCの日程	16	前年度と同様に、JCCの前にほぼ一日掛けてITBの共同研究者と成果報告会を開催した。PDMとPO、追加で必要となる投入機器等を確認し、今年度の研究計画とスケジュール、表層ボーリングの追加、熱水とガスのサンプリングの実施方法などについて意見交換を行った。また、バンドン盆地北側の地熱サイトで地質巡検を行い、Wayang Winduに加えての熱水のサンプリングと分析方法などについて議論した。以上の検討項目について合意し、小池リーダーとSudarto教授が議事録にサインした。
H29年度	10月19日	JICA中間レビュー報告書の確認、上位目標・プロジェクト目標・成果に対する指標の改善、Geo Dipa Energi社とCMCGRとの連携強化、昨年度の研究成果、PDMとPOの確認、本プロジェクト終了後の研究持続性	19	JICA中間レビュー報告書の内容を承諾し、上位目標・プロジェクト目標・成果4に対する指標を改善した。Geo Dipa Energi社とCMCGRとの連携強化策、Star Energy社を含めて定期的に会合を開き、情報交換を行うこと、およびプロジェクト終了後を見据えて、研究を進展させ、機器維持費をITBチームが確保し、人材育成の継続を図ることに合意した。これらを踏まえて、小林JICA次長、鉱山石油工学部長のWidiyantoro教授、小池リーダー、Sudarto教授が議事録にサインした。

H30年度	7月3-5日	昨年度の研究成果, PDMとPOの確認, 今年度の研究目標・内容とスケジュール, 研究者リストの確定, ITBへの投入機器の利用状況, これまでの問題点と解決策, 9月実施研修の対象者と内容の確認, 次回のJCCの日程	17	これまでのJCCと同様に, ほぼ一日掛けてITBの共同研究者と成果報告会を開催した。PDMとPOに対応させての研究の進捗状況, 投入機器の性能や稼働状況等を確認し, 今年度の研究計画とスケジュール, 熱水とガスの分析方法, 8月の現地測定の内容, 論文の作成計画などについて意見交換を行った。また, 本プロジェクトの水平展開として Patuha地熱サイトで地質巡検を行い, ラドンと水銀の測定サイト, 水試料のサンプリングサイトの選定, および研究スケジュールについてGeo Dipa Energiとともに議論した。以上の検討項目について合意し, 小池リーダーとSudarto教授が議事録にサインした。
R元年度	7月2-4日	昨年度の研究成果, PDMとPOの確認, 最終年度の研究目標・内容とスケジュール, 研究者リストの確定, ITBへの投入機器の利用状況, これまでの問題点と解決策, 9月実施研修の対象者と内容の確認, 最終シンポジウムの開催スケジュール調整	16	これまでのJCCと同様に, ほぼ一日掛けてITBの共同研究者と成果報告会を開催した。PDMとPOに対応させての研究の進捗状況, 投入機器の性能や稼働状況等を確認し, 最終年度の研究計画とスケジュール, 8月の現地測定の内容, 論文の作成計画などについて意見交換を行った。また, 昨年度に引き続きPatuha地熱サイトで地質巡検を行い, 設置されたラドンと水銀の測定サイトを検分した。また, プロジェクトの終了に伴う最終シンポジウムを京都・インドネシア双方で実施することを確認した。以上の検討項目について合意し, 小池リーダーとSudarto教授が議事録にサインした。

6件

研究課題名	インドネシアにおける地熱発電の大幅促進を目指した蒸気スポット検出と持続的資源利用の技術開発: 先進的地熱資源利用システム
研究代表者名 (所属機関)	小池 克明 (京都大学大学院工学研究科)
研究期間	H26採択(平成26年4月1日~令和2年3月31日)
相手国名/主要相手国研究機関	インドネシア共和国/バンドン工科大学, CMGGR(鉱物・石炭・地熱資源センター)

付随的成果

日本政府、社会、産業への貢献	<ul style="list-style-type: none"> 企業の新規ボーリングサイト決めに本研究成果の活用 インドネシア地熱発電設備容量第2位への向上に貢献 バンドン工科大学側の先端研究拠点(COE)形成に貢献 地熱を含む地球資源分野(鉱物・水・エネルギー)での研究進展による国際貢献
科学技術の発展	<ul style="list-style-type: none"> 地熱発電適地検出精度の向上 インドネシアにおける地熱資源利用促進(低炭素社会と環境調和型資源開発への貢献) アフリカの地熱地帯への技術展開, および深部高温岩体域の地熱資源探査への応用
知財の獲得、国際標準化の推進、生物資源へのアクセス等	<p>下記の4技術に関する知財の獲得(論文発表等による)</p> <ul style="list-style-type: none"> リモートセンシング・数理地質学・地球化学・鉱物学での先端手法を統合した、特に生産井設置適地の検出技術 地殻ガスデータ分析技術と地下物性計測技術 衛星リモートセンシングを用いた地熱発電所周辺での植生活性度と地形変動に関する広域環境モニタリング技術 貯留層シミュレーションの新規ソフトウェア技術
世界で活躍できる若手人材の育成	<ul style="list-style-type: none"> 国際的に活躍可能な日本、インドネシア, およびアフリカの若手研究者の育成に貢献(国際共同研究の立案・実施、現地調査の主導, 著名な国際ジャーナルへの論文掲載, 国際会議での発表)
技術及び人的ネットワークの構築	<ul style="list-style-type: none"> バンドン工科大学, Star Energy社, Geo Dipa Energi社, およびCMGGR(鉱物・石炭・地熱資源センター)と地熱研究に関わる技術・人的ネットワークの構築
成果物(提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど)	<ul style="list-style-type: none"> 研究成果の国際的地熱シンポジウム・会議等での発表 地熱研究に関する代表的国際誌への論文掲載 流体パスとなる透水性亀裂の抽出プログラム 貯留層の温度と圧力変化予測プログラム 地化学的測定・分析法, 機器使用法のマニュアル作成

上位目標

開発された技術の適用によって, 地熱発電所の予定地における探査ボーリング掘削費が減少する。

プロジェクトで開発された技術の適用性が, モデル・サイトにおいて実証される。

プロジェクト目標

発電に最適な蒸気スポットの検出技術, 地熱発電所周辺の広域環境モニタリング技術, および長期にわたる地熱資源利用・発電を可能にするための最適システム設計技術を開発し, インドネシアにおける地熱発電の大幅促進に貢献する。

