

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「環境・エネルギー（低炭素社会）」

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：3・4・5年/相手国名：インドネシア国

## 平成 30 年度実施報告書

### 国際共同研究期間<sup>\*1</sup>

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<sup>\*2</sup>

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

予定よりも研究期間の延長は研究が滞ったわけではなく、順調にデータが得られ、より質の高い研究成果を目指すためである。

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
1-4 ガス組成分析と貯留層評価			←	→	→	*2
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・水質の分析		←	→		→	
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) 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・水質の分析」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うえに、モデルサイト周辺には大きな河川や湖沼がないことから、平成 29 年 10 月の会合で削除することに合意した。

## 2. プロジェクト成果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。これに加えて、地熱開発を担える人材をバンドン工科大学(以下「ITB」と略する)と協同で育成する。プロジェクト全体のねらいはこれまでと同じである。下記に H30 年度に得られた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都大学(以下「京大」と略する)の若手研究員と大学院生が関与し、ITB 側と連携しているため、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ている。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、これらは単年度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 との協力関係と共同研究を発展させる。

### ➤ 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、昨年度より 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する。

データサイズの関係から、現時点では解像度を 10 m・20 m メッシュに低減させた上での解析であるが、図 1 に示すように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、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。図 3 に示すように、比較的透水性の高いエリアは数カ所に大別でき、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る。地質の透水性推定は現時点では試験的な解

析であり，ラドン濃度やリニアメント密度などパラメータ設定法に課題があるが，現地の地熱系の理解や地熱シミュレーションモデルの構築など，地熱発電に向けた開発有望地域の特定のために有用な情報源となることが期待できる。

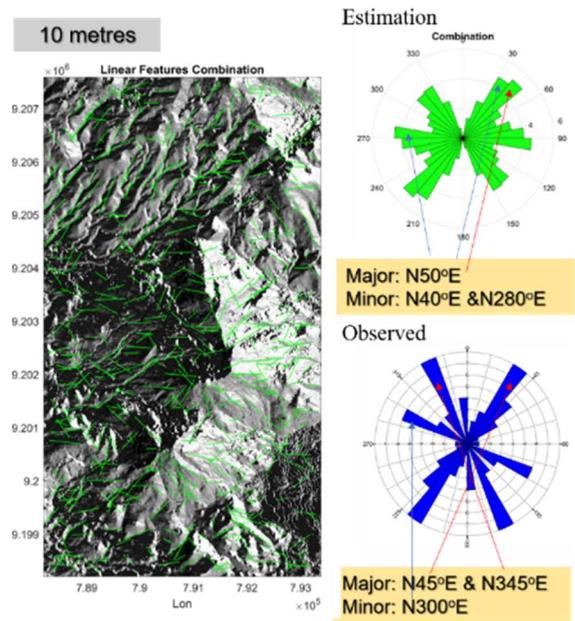


図1 UAV空撮画像から作成した超高解像度DEMを用いての抽出リニアメント分布図(左)。図右上は推定リニアメントの走向分布，図右下はStar Energy社による観測亀裂の走向分布を表す。

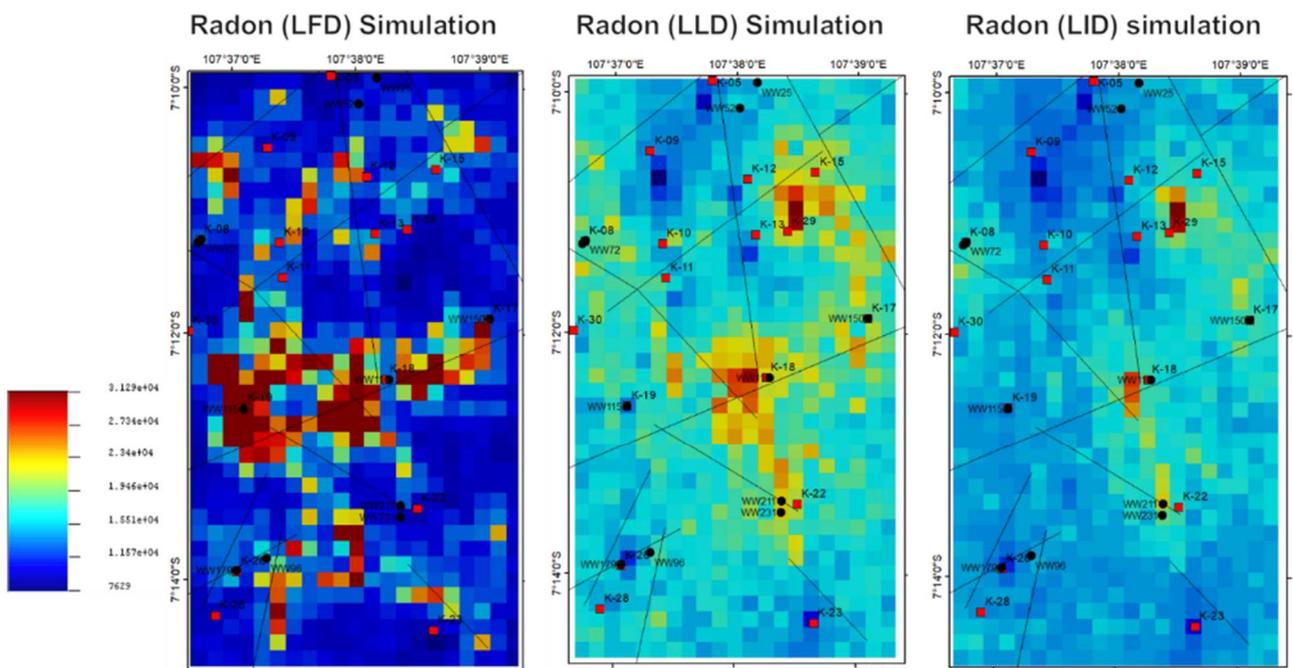
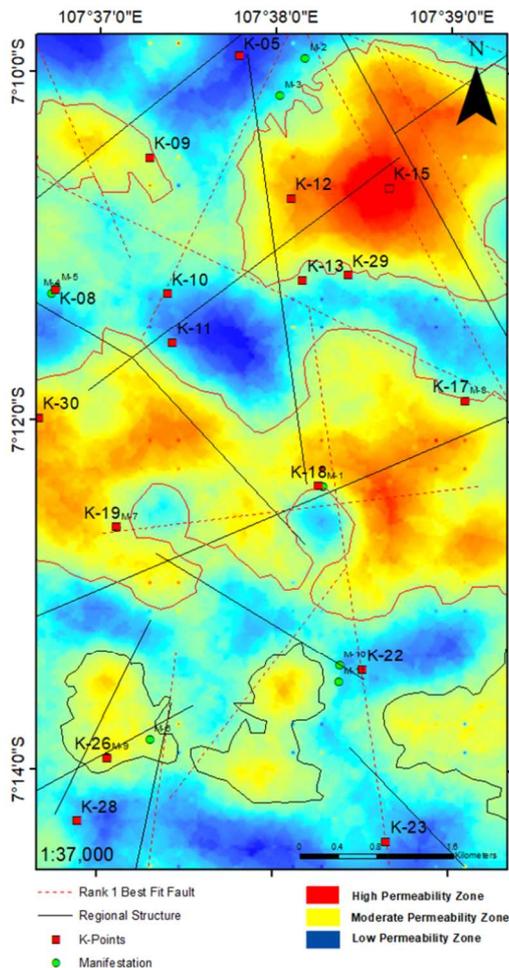


図2 各種リニアメント密度(左からリニアメント本数，リニアメント長さ，リニアメント交点)を副変数としたラドン濃度のco-SGS推定結果。現地で観測されている断層を黒線，ラドン測点を赤点で示している。



Wayang Windu geothermal field reservoir based on its relationship with faults and manifestations, is divided into 3 types:

- Steam Dominated
- Hot Water-Steam Dominated



- Hot Water Dominated



図3 ラドン濃度と各種リニアメント密度をパラメータとした Fuzzy Logic Approach による表層地質の透水性推定分布。比較的透水性の高いエリアと、Wayang Windu 地区の地熱貯留層タイプとの対応が示唆される。

### ➤ 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，H29 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 2 つのアプローチで実施した。H30 年度は，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を目的とした。Wayang Windu 地区には alunite や 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。

鉱物指数により抽出した変質鉱物の分布は、既知の噴気帯と一致する箇所も見られたが、多くは植生域に集中した（図4）。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わかる。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、土壌、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の重み係数の分布を図5に示す。この中でも特に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る。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おり、地熱流体のパスが存在する可能性が示唆される。



図4 kaoliniteの鉱物指数分布（図中の白い点は鉱物抽出地点、白丸は噴気帯、白四角は温泉を表す）

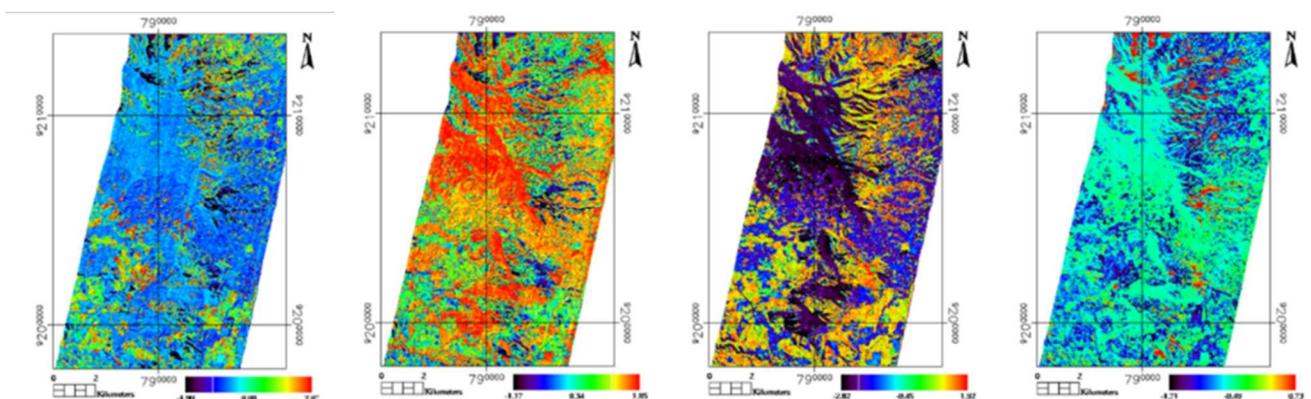


図5 LSUにより求められた各熱水変質鉱物の重み係数分布（左からalunite, calcite, illite, kaolinite）

➤ 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ることが本プロジェクトのユニークな点の一つである。そのため、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ている。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開始した。

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いる。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 (NSD) での測定を実施した (図 6)。測定の結果、ほとんど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、NSD2 のように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る。

別の検討として、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。図 7 に示すようにサンプリングは K-10, 15 とともに高い濃度を示す 2 サイクル目と K-10 の濃度が減少した 8 サイクル目の 2 回に分けて行い、比較のため通常の大気の実験も実施した。図 7 に示すように、K-15 は H<sub>2</sub>S 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る。一方、サンプリングの時間差による成分の変化は K-10, 15 とともにほとんど見られなかった。また平成 30 年 5 月より、水銀測定装置の校正用キットを導入し、測定精度の改善を行った。校正後の測定結果から、自然状態とは明確に異なる高濃度を示す測点を確認されたが、ラドン濃度との相関はなかった。

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 10 箇所の計測井を設置し、平成 31 年 1 月よりラドンと水銀のモニタリング測定を開始している。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 地区のものと異なり、深さ約 1~2 m で周囲に緩衝材を巻き付けない構造であるため、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現れている。地形解析やその他の地化学的解析と組み合わせることで、より考察を深めているところである。

H30 年度には、掘削直後の予備的な測定と平成 31 年 2 月・3 月に 2 回のラドン測定を実施した (図 8)。Wayang Windu 地区にはない特徴としては、PPL06 と PPL07 の 2 測点におけるラドン濃度が予備測定時と比較して 5 倍近く上昇している点があげられる。その原因として、近傍の生産井の蒸気量の変化などが考えられ、現在データの収集を行っている。

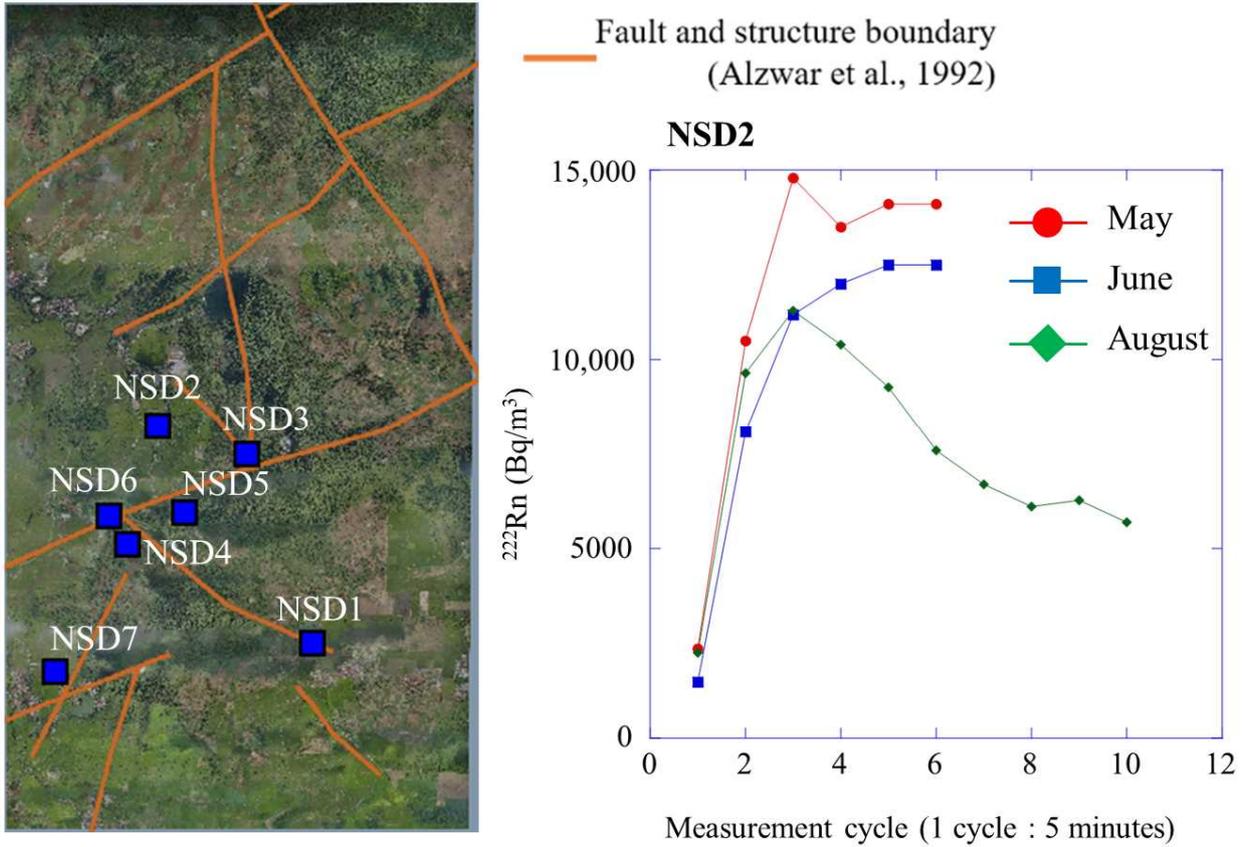


図6 Wayang Windu 地区での新規モニタリング測点 (NSD) と NSD2 におけるラドン濃度の時間変化

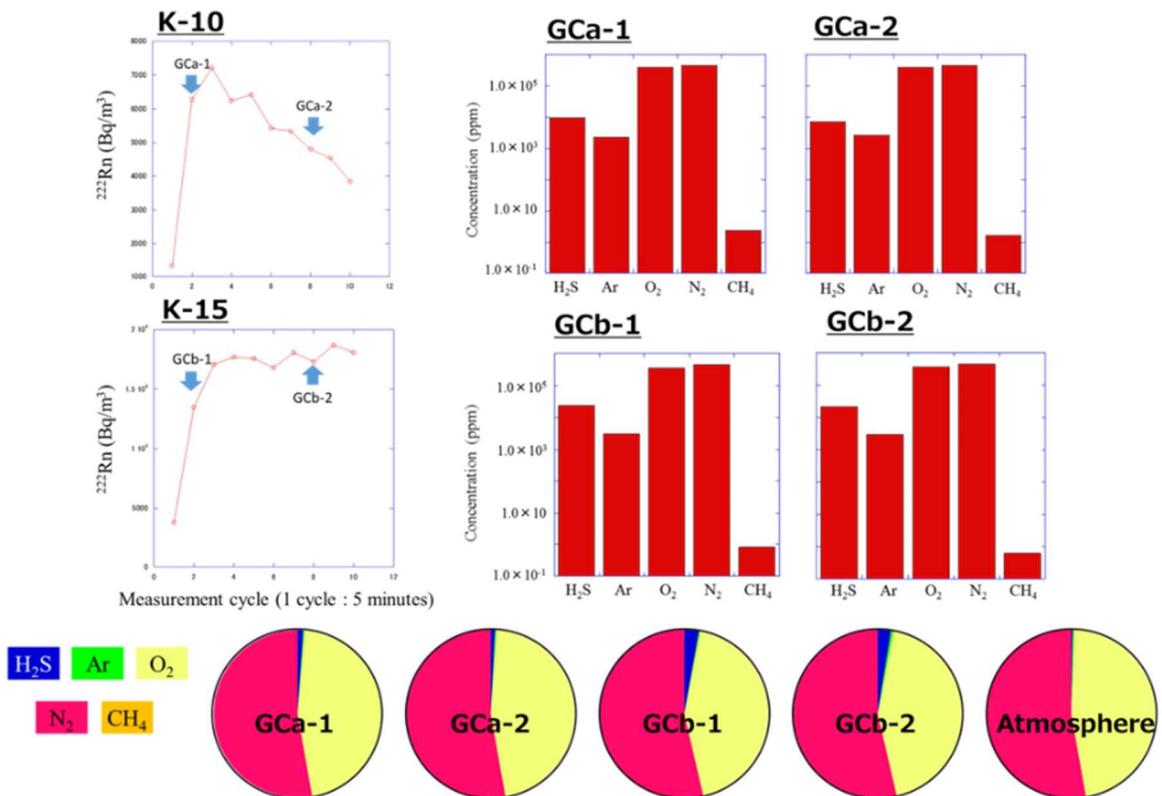


図7 K-10 と K-15 でサンプリングされたガス成分の分析結果。各測点で時間を隔て 2 回ずつサンプリングを行い、通常大気と比較している。

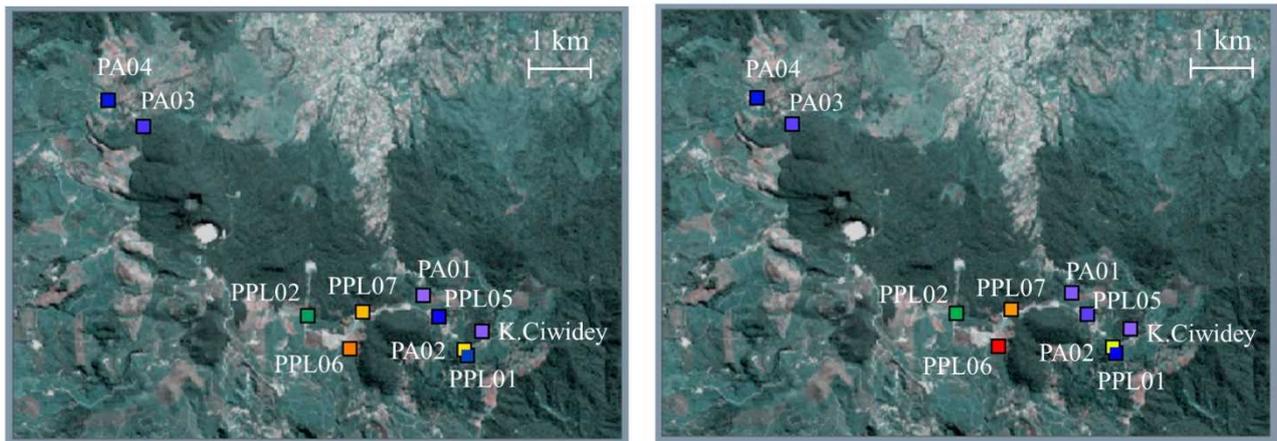


図8 Patuha 地区におけるラドン測定結果（各測点での最大値を表示）。図左が 2019 年 2 月，図右が 2019 年 3 月の測定結果。

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－地電流探査を新たに実施し、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 システムを使用した。TEM 法では、直流磁場の遮断後に生じる大地の過渡応答に着目する。本研究では、地表に一辺 20 m の正方形ループアンテナを配置して、直流磁場を発生させるとともに、磁場遮断後の二次的な誘導磁場も同じループアンテナで測定した。このときの大地の過渡応答を記録して、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ている。

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。図 9 に TEM 法を実施した地点の分布、および得られた地下比抵抗断面を示した。本探査結果からは、K-15 とその北方の地下 30～60 m に 10 Ωm 以下の低比抵抗層が広がっていることが明らかとなった。地熱地域では一般に、粘土鉱物を含む熱水変質層が 1～10 Ωm 程度の低比抵抗を示すことが知られている。したがって、これらの低比抵抗層は熱水変質に関係する地層であると考えられる。一方、K-15 地点付近には急崖が存在しており（図 9 右）、また前述のようにフラクチャー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（亀裂）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。この解釈は、K-15 地点におけるラドン濃度の高異常と整合的である。

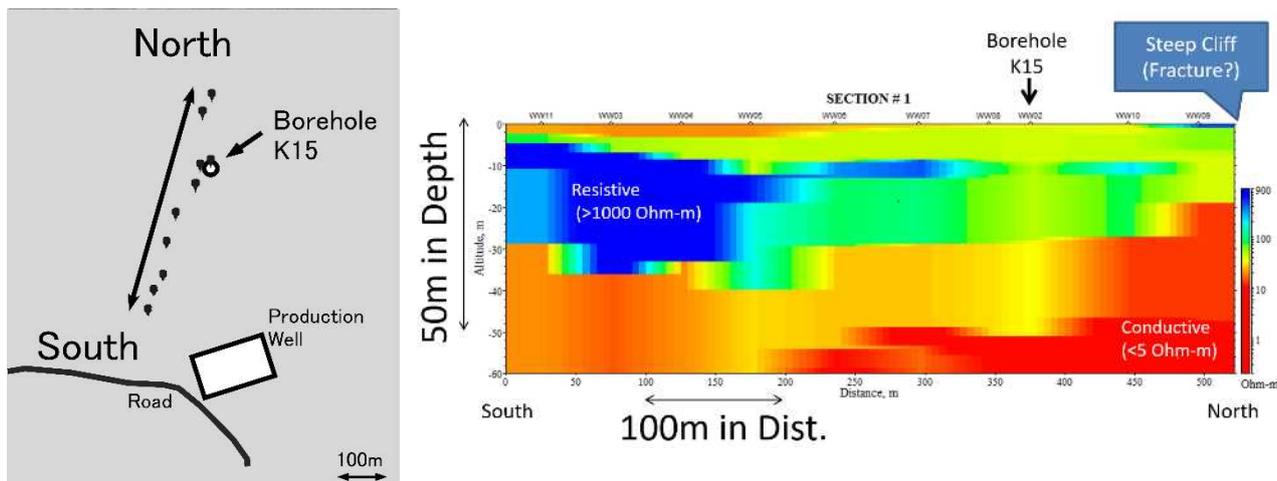


図9 TEM 探査法実施地点の分布（左）と地下比抵抗構造（右：断面図）。K-15 地点の位置も各図に示している。

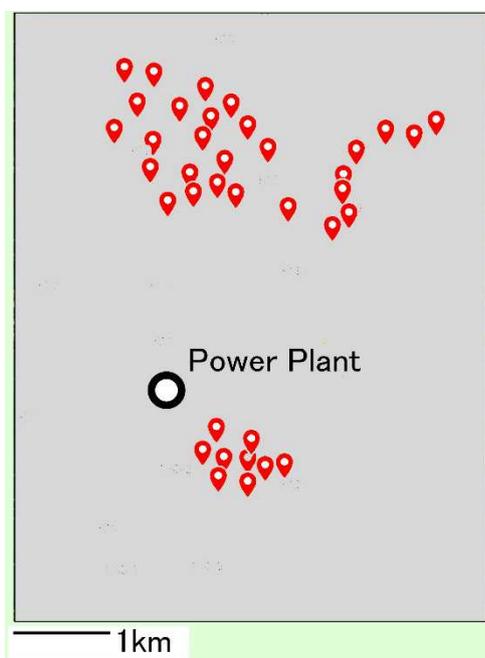


図10 Wayang Windu 地区での AMT 探査の観測点分布（左）および観測時の様子（右）。

TEM 探査とラドン濃度異常の整合性が確認できたため、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。本年度はこのうち、野外観測を重点的に実施した。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 方のうち、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。本装置は 10 kHz～1 Hz の帯域で自然電磁場変動（水平電場

2成分・磁場3成分)の測定・記録を行うことができる。本研究ではMTU-5Aを2台用いており、同時に離れた2地点で探査を行うことで、ノイズの低減を図っている(Remote Reference処理)。各地点での測定時間は約30分であり、1日約8地点でAMT探査を実施した。解析ソフトとしてはPhoenix Geophysics社製のSSMT2000を用いており、全38地点において概ね良好なMT法応答関数を得ることができた。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。

予察的な解析の結果、地下掘削などで明らかとなっているフラクチャー沿いに、低比抵抗帯が分布することが明らかとなった。図10にWayang Windu地区でのAMT探査の観測点分布を示す。また図11にはWayang Windu地区北部でのAMT探査の結果に基づく、地下比抵抗分布を平面図として示している。本地域(Wayang Windu地区北部)では北ほど地形が高まっており、各観測点の標高も高くなっている。標高1,800mの比抵抗分布平面図をみると、北の地域ほど低比抵抗な傾向である。これは本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1,600m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る。これはフラクチャー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、この地域には複数の北東-南西走向のフラクチャーが確認されており、低比抵抗帯の走向と整合的である。したがって、AMT探査は地下のフラクチャー分布を3次元的に可視化することに成功していると考えられる。これらは予察的な解析結果に基づくものであり、今後はより定量的・高精度な地下構造解析を実施し、フラクチャー分布やリモートセンシングの結果との比較を実施する予定である。

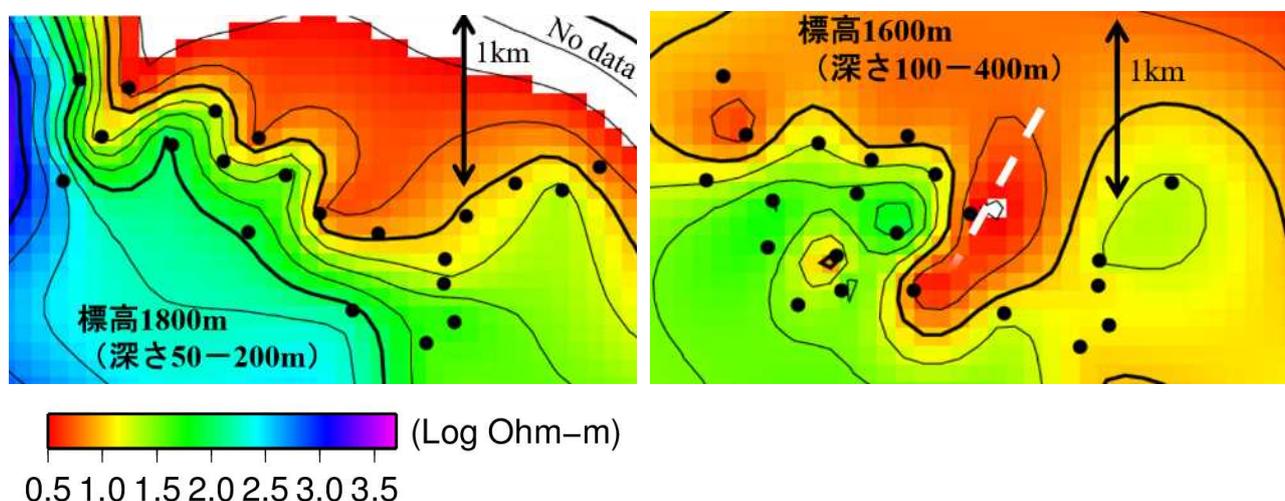


図11 標高1,800mおよび1,600mでの地下比抵抗分布図(平面図)。白い点線はフラクチャー帯(推定)。黒い点はAMT探査の観測点。この図に示した範囲は図10のAMT探査点分布図の北半分に相当する。

#### ➤ 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、前倒して1-4と1-7の予備研究をH28年度より開始した。

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) 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 (図 12)。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、比色分析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  $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ ) を、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とマントル起源ガス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。希ガス同位体比に基づいて、大気、地殻、マントルを起源とするガスの混合比を求めたところ、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ガスの寄与が大きい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) および Agosto *et al.* (2013) で示される Unsedimented mid-ocean ridges (MOR) type, Sediment-covered ridges type, Thermogenic type のガスに類似し、南側サイトのガスは北側と比較して、MOR type のガスに近い組成を示した。

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。



図 12 Giggenbach ボトルを用いたガスサンプリング

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た調査に着手した。平成 30 年 8 月 19 日～29 日にかけて、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 (地熱地域にお

ける熱水試料採取の様を下の写真に示す)。また、温泉水や熱水と比較する目的で、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 ( $^{129}\text{I}$ ) の分析を行った。東京大学総合研究博物館のご協力により、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。R 元年度にはヨウ素に加えて放射性炭素や放射性塩素の分析も計画しており、分析結果を踏まえて上記の 4 箇所の地熱地域における滞留時間を含む地熱流体の循環状態を明らかにしたい。



H29 年度には、Wayang Windu 地区を対象に 18 箇所の集水域から 19 個の表層水試料を採取した。試料は用途に応じてろ過を行い、密閉して保存し、日本へ持ち帰って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、平成 30 年 7 月 13 日から 15 日にかけて、より詳細な試料の採取 (図 13)、および追加の化学分析を 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  $\delta^{13}\text{C}$  値から、一部集水域の表層水中には地下深部起源  $\text{CO}_2$  ガスが溶け込んでいると推察された (図 14)。一方で、試料の安定酸素・水素同位体比と、金属元素濃度や Sr 同位体組成などから、一部集

水域を含む全ての表層水は天水起源であり，周辺土壌から溶出したと推察される化学成分を示した。これらより，一部集水域には地下深部から表層へ到るガスの通り道となっている亀裂の存在が示唆される。同集水域を走る断層上には，上述した高いラドン濃度の検出された K-15 孔が位置しており，この断層がラドンや CO<sub>2</sub> といったガスのパスとなっている可能性が高い。

以上より，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。

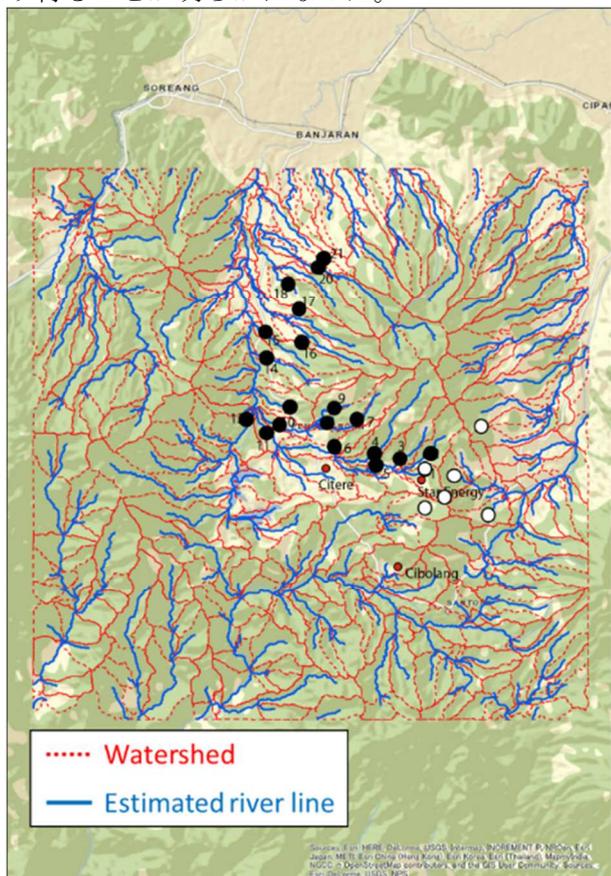


図 13 Wayang Windu 地区における表層水の採取地点（白丸が今年度の追加分）。赤破線がデジタルデータより求めた集水域の境界を，青実線が同様に求めた河川を示す。

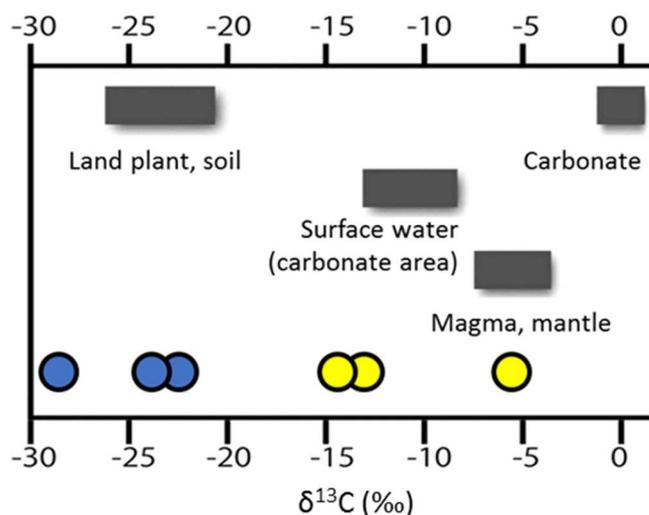


図 14 試料水に含まれる溶存無機炭素の $\delta^{13}\text{C}$  値，従来報告されている炭素の起源とその $\delta^{13}\text{C}$  値。黄色は昨年度特徴的な傾向を示した地点とその周辺，青色は隣接する集水域から採取した試料の $\delta^{13}\text{C}$  値を示す。測定には ITB の安定同位体質量分析計を用いた。隣接する集水域の $\delta^{13}\text{C}$  値が陸上植物起源や土壌中無機炭素の $\delta^{13}\text{C}$  値と似た値域を示す一方で，黄色で示した地点の測定結果は，マグマ起源の $\delta^{13}\text{C}$  値と土壌起源の $\delta^{13}\text{C}$  値が混合した値であることが推察される。（都築・高島，2017 を一部改編）

### ➤ 機器投入の実績

H29 年度に輸送を完了した水同位体分析システムについて，装置の初期不良に伴うメーカー修理が完了し，平成 30 年 7 月 2 日に設置が完了した。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，同装置の使用手法と日常点検・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修士課程大学院生の 1 人は，技術者として平成 31 年 4 月時点においても ITB で勤務中である。

人材育成については下記の研究題目 4 で詳述する。また，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」

### ①研究題目1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

今年度実施した項目 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。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、より長期的且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が示された。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と考えられる。以上より、ラドン濃度およびその時間的な変化とリモートセンシングをはじめとする広域地形解析データの統合によって、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エリアを特定することができる可能性が高い。これらの結果を踏まえ、平成 30 年 12 月に Wayang Windu 地区におけるラドン濃度のモニタリング測定を終了した。しかしながら、NSD の測定結果から測定時期によるラドン濃度の特徴の変化という新たな課題も明らかにされた。H30 年度終盤より、水平展開として Patuha 地区において新たなラドンのモニタリング測定を開始しており、今後は本地区において Wayang Windu 地区で示された仮説の検証、および残された課題の解決を進めていく予定である。

項目 1-5・1-7 については、H29 年度に引き続き噴気ガスと熱水試料の採取を進め、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、東京大学大気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たため、H31 年度には、地熱流体の滞留時間を明らかにすることを目的に水試料を採取し、トリチウムやヨウ素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た。

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地域を見出すことができた。この特徴的な地域は、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、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、国際誌論文として纏めているところである。

本研究プロジェクトで用いる機器類のすべてが ITB への据付を完了し、使用を開始している。特に XRD、イオンクロマトグラフィー、水同位体分析システムの利用頻度が高いことを、ITB 側より報告されている。安定同位体比質量分析システムについては、H29 年度より引き続き火山ガスや水

試料に含まれる炭素や硫黄の安定同位体比を測定し、結果が得られている。

## 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て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* へ平成30年3月に掲載された。さらに、H29年度も久保研究員のITB への長期滞在により、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 若手研究者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。よって、項目1-1・1-2全体としての技術はほぼ移転できたと考える。

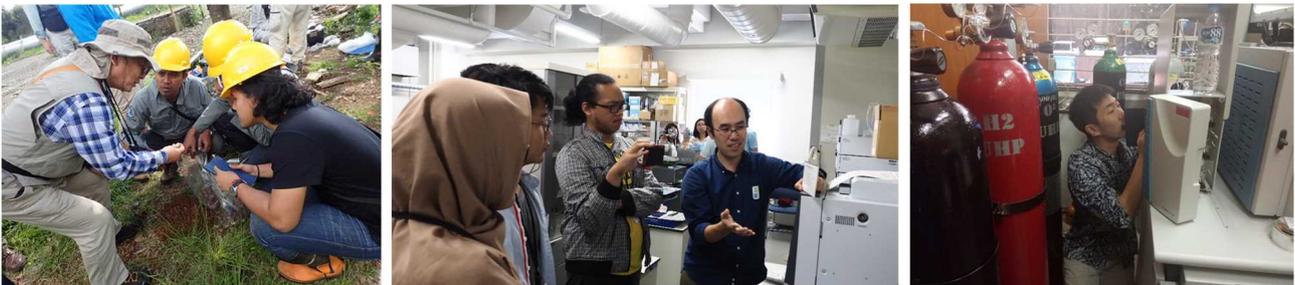
平成28年8月18日より9月10日にかけて、久保研究員と多田研究員がWayang Windu 地区において、地中ラドン濃度と水銀濃度の測定方法に関して技術指導した。操作技術を習得し、それ以降はITB 学生による計測の継続実施が可能となった。また、上記期間中の8月27日・28日に(株)島津テクノロジーの上級技術者をITB に招聘し、熱伝導度検出器型ガスクロマトグラフの使用法についてのショートセミナーを開催、同じくITB にて平成29年1月26日から28日にかけて(株)リガクの技術者によるX線回折分析装置と蛍光X線分析装置の技術講習会を開催した。これらにより各機器の操作に関する基本的技術を習得でき、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。その後も定期的に現地を訪問し、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、日本国内では未使用のRAD7 のオプション装置を用いた水中ラドン濃度の測定を、昨年度よりITB 側が自主的に開始しており、すでに一部の測定に関しては京大側以上のノウハウを獲得しつつあるといえる。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、当プロジェクトの紹介や学生の研究指導を行った。これらの様子を下の写真に示す。



安定同位体比質量分析システム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によって機器の操作方法、および基礎的なメンテナンス方法について、詳細な説明を受けた。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、運用の相談を行っている状況である。京大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、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・運用がなされている。技術指導の様子を下の写真に示す。今後は、本プロジェクトで必要となるガス試料の窒素同位体比、水素同位体比の測定を目指して、技術移転を実施していく予定である。

イオンクロマトグラフと誘電結合プラズマ質量分析システムについては、ITB 側の専任技術職員が、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・運用を行っている。京大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ている。測定対象の試料がいずれも高濃度であり、装置に掛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へ連絡を取り、対処している。



### 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

地熱発電所適地を低コスト、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、インドネシア公立企業の Geo Dipa Energi 社が強い興味を示し、新たな共同研究機関として本プロジェクトに加わったことが、想定していなかった水平展開である。この企業は 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、生産性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する研究項目は Wayang Windu 地区と同じであり、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・分析を共同で実施し、H30 年度にラドン濃度を共同で測定した。また、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も実施し、複数の貯留層が存在することなどの熱水系形成に関する重要因子が推定できた。Geo Dipa Energi 社により、当サイトでのボーリング調査による地質柱状図や温度・圧力検層が一部提供されている。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。

さらに、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、昨年度に引き続き、試料採取と分析を実施中である。これらの結果を統合することで、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でき、地熱開発適地をより詳細に抽出すること、および本プロジェクトで開発する手法の有効性を複数のサイトで実証することが期待できる。

#### 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)に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

これ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。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、これを昨年度に引き続いて 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。昨年度の解析対象期間は地熱発電所が稼働した前後の 3 年間であったが、ASTER データを追加したことにより 6 年間に延長できた。これらの衛星画像の空間分解能は 30 m (ASTER 画像は可視・近赤外域は 15 m) と高くはないが、最も観測期間が長いので、雲量が少ないデータが他の衛星データに比べて圧倒的に多い。この

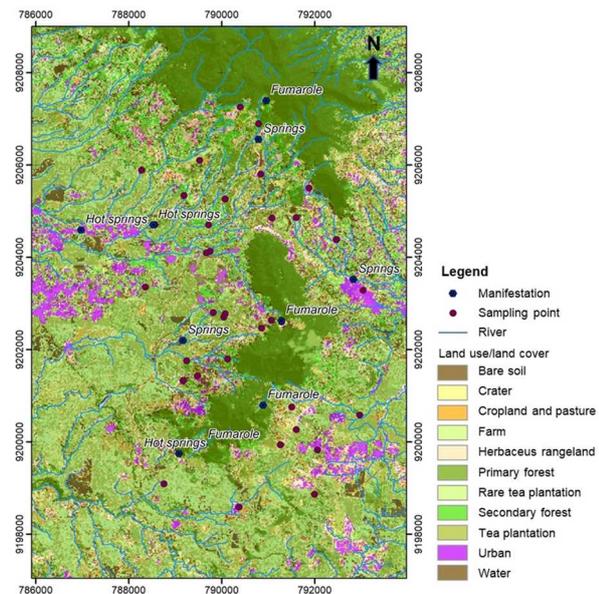


図 15 ASTER 画像の分類処理による土地利用・被覆図

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標である NDVI (正規化植生指標) よりも VIGS の精度が高く、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。

昨年度の結果と同様に、個々の VIGS 画像では、プランテーションでの植生の活性が現れており、雨期に相当する 8, 9, 10 月での VIGS 値が大きくなったとともに、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、発電所稼働の影響は現れ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、という昨年度見出された特徴がさらに明瞭になった。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 (図 15)、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できた。変動係数の大きさは、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、あるいは断層部分の透水性が高く、これが土壌水分の季節変動を生じさせていることによると考えられる。よって、植生活性度は、地熱発電所よりも断層の存在に影響されるといえるが、さらに表層ボーリングによる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深め、これらの成果を論文化しているところである。

2-2 では、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、昨年度の 10 シーン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。地表変動抽出の対象期間は 2007 年～2011 年である。基線長の垂直距離が 4 km 以内で衛星観測日の相違が 1 年以内という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。

図 16 に示す解析の結果からは画像中央位置するバンドン盆地で、年間に 10 mm 以上という沈降量が大きいことが明らかである。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 -20 mm/year 程度の沈降を示すのに対して、南部では 5 mm/year 程度の隆起になっており、北部と南部では変動のパターンが異なる。これは昨年度見出された興味深い傾向であるが、データ量を増加し、手法を高度化してもこれが確かめられた。この傾向は図 16 中にある測線 A-B に沿った断面図から明らかに示される (図 17)。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可能性が高い。SBAS D-InSAR による地表変動量をシーン内にある 3 点の基地での GPS データと比較したところ、それらの相関係数は 0.98 を超えたので、精度が高いことが確かめられた。さらに、Sentinel 衛星データを用いて、解析精度の向上を図るとともに、コヒーレンスが小さく干渉していない部分を最小化できるように、地球統計学や他の D-InSAR 法と組み合わせるなど、手法を改良しているところである。

以上の 2 つは、インドネシアの地熱地帯を対象に初めて見出した特徴である。よって達成状況は良好と判断できるとともに、2 つともインドネシアでは初めての成果であるのでインパクトもあると考える。

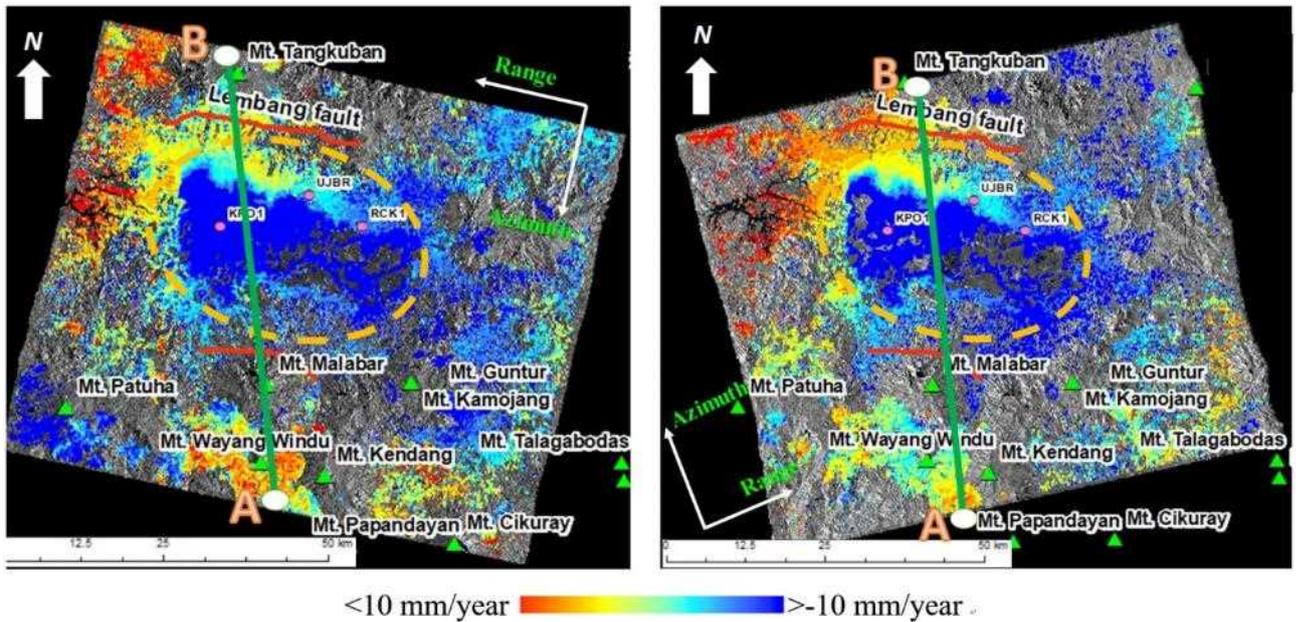


図 16 SBAS D-InSAR 処理による Wayang Windu を含む広範囲の地表変動の抽出。左図は南向き軌道、右図は北向き軌道の ALOS PALSAR ペアによる結果で、寒色は沈降、暖色が隆起の変動パターンを表す。

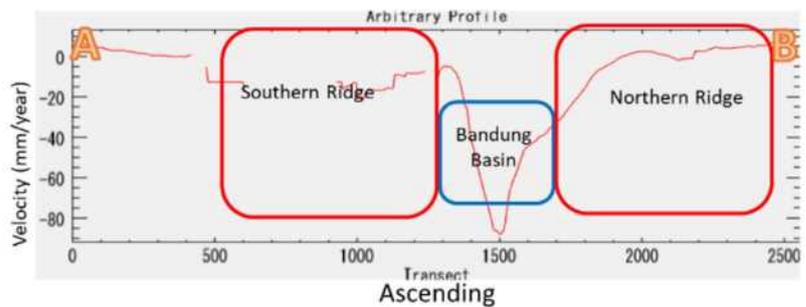


図 17 測線 A-B に沿った地表変動のプロファイル

### 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 に投入した。H27 年度に京大に招聘した Saepuloh 助教を通して、いずれのソフトウェアともに ITB グループは習得し、2-1 と 2-2 の研究に有効に活用されている。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) の反射スペクトルの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が習得され、すでに百個近くのサンプルを測定して、良質のデータが得られている。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するために、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いる。よって、技術移転は順調に展開できている。

### 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成果も得られており、この成果は R 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) に発表を受理された。このように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、質の高い成果が得られるものと期待できる。

また、研究項目 2.1 で開発した植生指標 VIGS への関心は高く、リモートセンシング分野では定評のある国際誌に既に 20 回以上引用されており、e-mail での問い合わせも多い。また、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昨年度に引き続き、複数来ている。これらは、VIGS が環境モニタリングに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、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

H30 年度は「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」の全項目に取り組んだ。昨年度に引き続き、いずれ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 国内の 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、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。上記のように Wayang Windu では北部は蒸気卓越型、南部は熱水卓越型という貯留層のタイプが異なるが、これは地塁・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可能性が高いことも今年度、明らかにできた。Patuha を対象とした解析では、種々の条件における発電量を計算し、その経年変化も推定して、30 年間発電量を保つの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 (図 18)。さらに手法を精緻化して、同様のシミュレーションを R 元年には Wayang Windu を対象に実施する。

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、これ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。

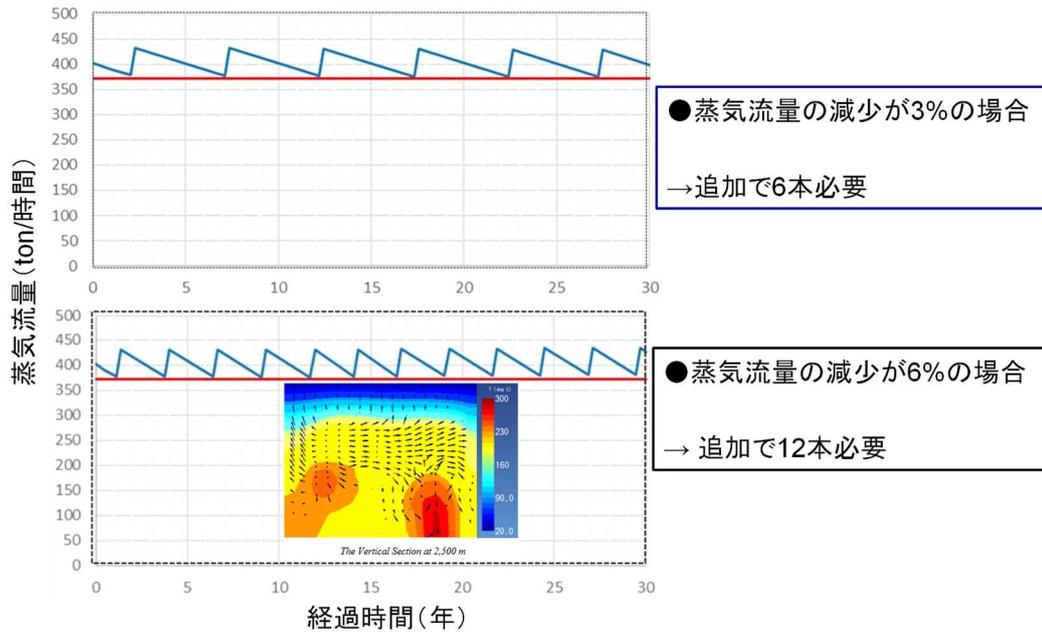


図 18 Patuha 地区での 30 年間発電量を保つのに必要となる追加生産井数のシミュレーション結果

## ②研究題目3のカウンターパートへの技術移転の状況

昨年度に引き続き、平成 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ももらっている。H29 年度には下記の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、およびシミュレーションでの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ている。

## 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 グループで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。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る。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、採鉱学をそれぞれ専門とする大学院生 9 名、および若手技術者を ITB, CMCGR (Center for Mineral, Coal and Geothermal Resources : 鉱物・石炭・地熱資源センター), Geo Dipa Energi 社からそれぞれ 1 名と Star Energy 社から 2 名の計 14 名に対し、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平成 30 年 9 月 3 日(月) から 15 日(土) の 2 週間に実施した。下記の表に示す地熱科学・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 年度改善した研修構成を踏襲した。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。講義風景を下記の写真に示す。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, 蛍光エックス線分析装置, 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、研修生の興味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。



以上のように当初の計画通りに実行できたが、この人材育成トレーニングはあと 1 年間継続するので、より良いカリキュラムに改善し、効果が高い研修となるように尽力する。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載せたこともあり、本トレーニングへの応募者は定員枠の 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く、学生からも評価の高いといえる。

このような地熱に特化した国際研修プログラムは国内では九大にあるが、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、野外と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に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はある。よって、昨年度の報告書にも記載したように、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。

September 2018 (平成30年)

Day	9:30-11:30	13:30-15:30	15:45-17:45
2 (Sun)	Arrival at Kyoto and Orientation		
3 (Mon)	[1] Dr. Yamada <i>Geothermal Drilling</i>	[2] Dr. Goto <i>Electromagnetic Geophysics</i>	[3] Dr. Kashiwaya <i>Geochemistry</i>
4 (Tue)	[4] Prof. Mikada <i>Seismic Geophysics</i>	[5] Prof. Tosha <i>Social Science</i>	[6] Prof. Yoneda <i>Mineralogy</i>
5 (Wed)	[7] Prof. Koike <i>Geo-thermics &amp; mathematics</i>	[8] Prof. Koike <i>Remote Sensing</i>	[9] Dr. Tenma <i>Reservoir Engineering</i>
6 (Thu)	Self study	[10] Prof. Fujimitsu <i>Volcanology</i>	<i>Collaboration Seminar with Koike Lab.</i>
7 (Fri)	[11] Prof. Sakurai <i>Global Leadership</i>	[12] Mitsubishi Materials & Mitsubishi Materials Tecno <i>Geothermal Practice</i>	[13] Prof. Ishida <i>Geomechanics</i>
8 (Sat)	Self study		
9 (Sun)	Trip to a Geothermal Site		[Orientation of field training]
10 (Mon)	Field training at a geothermal site (Hatchobaru, Kyushu)		
11 (Thu)	Return Trip to Kyoto (including geothermal site-visits in Beppu City)		
12 (Wed)	Laboratory experiments		
13 (Thu)	Laboratory experiments	Data Analysis	
14 (Fri)	Self study	Presentation of Learning Result	
15 (Sat)	Feedback of oveall training		
16 (Sun)	Return to Indonesia		

②研究題目4のカウンターパートへの技術移転の状況

人材育成トレーニング期間中の平成30年9月9日(日)から11日(火)にかけて、日本で最大

の地熱発電所である八丁原発所の近傍において、地熱調査法の習得を目指す野外実習を実施した。これは、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の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った。これによって技術移転の成果を確認した。これらの様子を下記の写真に示す。



### 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されている。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ており、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 元年度は同社若手研究員にも参加枠を設けることで、京大側、ITB 側双方の合意が得られている。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切な研究者・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. 今後のプロジェクトの進め方、および成果達成の見通し（公開）

研究開始後4年が経過した時点において、項目1-8の各種データの統合による蒸気スポット存在の可能性評価、という総纏め以外の項目はおよそ所定の成果を収めつつある。上述した通り、衛星画像や地形データの解析に基づいた連続性・透水性の高い亀裂の抽出、貯留層から地表までに至る熱水・ガスのパスとなり得る亀裂の特定、ラドンガスや水銀濃度の野外定点観測、バンドン盆地全体を網羅する広範囲の熱水・地下水化学分析に基づいた地熱システムの解明、環境調和型発電のための高精度環境モニタリングを主眼としたリモートセンシング技術の開発、および地熱貯留層シミュレーションソフトウェアの改良開発に、カウンターパートであるITBと協同で取り組み、着実に成果を積み重ねている。特に前述のリモートセンシングによる亀裂の抽出と特定、および植生活性度に着目した環境モニタリングに関しては、定評のある国際誌に4本の論文を掲載できるほど、成果が得られている。インパクトファクター付きの国際誌への論文掲載は計9本であり、現在数本の論文を執筆中で、完成した論文もある。

ガスの組成分析に基づく地熱流体起源の推定、熱水の化学分析については調査対象をバンドン盆地全域にまで拡大し、Wayang Windu 地区を含む4つの地熱サイトにおける地熱流体の涵養、流動状態や貯留層温度、および上昇流が卓越する領域に関する新たな知見が得られつつある。また、Wayang Windu 地区における表層水の化学分析にも熱水・ガスのパスとなり得る亀裂存在の情報が含まれていることがわかり、表層水も蒸気スポット検出に活用できることが初めて見出された。前年度に引き続き、貯留層シミュレーションソフトウェアの開発をITBと協同で進めており、早期に完成させるとともに、この成果を国際誌に投稿する。このソフト完成は地熱分野でのインパクトをもたらすことが期待される。リモートセンシングによる植生活性度を地熱地域の環境モニタリングに応用することは、本プロジェクトのみのアイデアであり、オリジナリティは高い。題目4の人材育成に関しては、H27年度に構築したカリキュラムを、H28年度研修生のアンケート結果に基づいて2週間の研修期間の前半1週間の座学と、後半1週間の野外調査を含む実習とに分けるとともに、自学習日を2日設けるように改善した。これにより、H29年度研修生からは前年度を上回る満足度・達成感の評価が得られた。

ラドン・水銀濃度測定に関しては、Wayang Windu 地区の計24箇所では表層ボーリングを掘削し、定期的・継続的なモニタリング計測を実施している。Patuha 地区でもH30年度に観測孔を10箇所に設けた。このような多くの表層ボーリングを実施し、これによる地表浅部情報から深部の貯留層の位置や温度圧力状態を精度良く推定するという試みは、本プロジェクトの他に例を見ない。ここにもオリジナリティはある。ただし、測定機器の不調が断続的に生じており、特に水銀濃度に関しては一部満足なデータが得られていないため、平成29年12月に日本国内の販売元に依頼してメンテナンスを実施した。メンテナンス報告書から測定時の取り扱いや保管方法について複数の問題点があることが判明したため、より慎重な扱いを心掛けるようITB側のオペレーターへの指導やマニュアルの更新を行った。さらに、現地の水銀濃度が当初の想定よりも低いことから、より正確な測定を実施するために標準ガスボックスを導入し、現地において測定前後での機器校正を行える体制を整えた。

地球化学手法による調査については、これまでに総計100箇所以上から試料を収集し、ITB・京大双方において分析を実施してきた。ITBへ導入した機器からは、特に安定同位体比質量分析装置を用いた地質温度計と地熱流体の起源推定に関して結果が得られつつある。噴気ガスの直接分析を目的として、試料導入部にガスクロユニットを接続した同装置は、インドネシア国内において初めて導入された機器であり、同国内における地熱研究分野において、ITBが安定同位体比研究の先駆者的役割を果たしつつ

ある。また、東京大学の協力のもと、噴気に含まれるヘリウムの同位体比測定に H30 年度成功し、ガスの起源とバンドン盆地の地熱システム形成過程における貴重な知見が得られた。この成果も国際論文として纏めているところである。

以上により、成果達成に向けて着実に研究は進展していることに加え、当初の研究計画に比べて対象範囲や研究内容は拡張、さらに深化しており、特に軌道修正を要する点は見当たらない。当初のモデルサイトである Wayang Windu 地区の他に 3 サイトを追加することで、本プロジェクトによる開発手法を広く適用でき、有効性をさらに実証できるようになった。本プロジェクトの上位目標である「**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。**」に、インドネシア公立企業の Geo Dipa Energi 社が強い興味を示し、新たな共同研究機関として本プロジェクトに加わったことから、本プロジェクトの成果が強く期待されていることを確認できる。本プロジェクト成果の社会的インパクトは、特に環太平洋造山帯など、地表下 2 km 以浅に 200 °C 以上の熱水が卓越する活火山保有国において強く、地熱資源の利用促進に貢献できる。よって、国内外における企業等との出口連携は十分に実現可能であり、実際にインドネシアの 2 社、国内の 2 社と連携を進めているところである。

### Ⅲ. 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への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、20 名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、現在複数の論文を執筆中であり、5 本は完成また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、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する。

##### ・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しており、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。上記の ISME-XV では昼休みを利用し、東北大学の土屋教授がリーダーを務めるエルサルバドル SATREPS 地熱プロジェクトと懇談会を設けた。その様子を右の写真に示す。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。また、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と、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。H30 年度版ニュースレターを一部抜粋し、下に示す。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。

ITB  
GEO THERMAL  
DEPT.

The course covered a good balance of breadth and depth in the realm of geothermal. I gained a much greater knowledge about the geothermal science and technology, both theoretical and practical. The sensei on the course were very experienced and knowledgeable. I liked the atmosphere of the course: relaxed, easy to discuss with the *sensei*. I will take the key knowledge gained and put this into practice to contribute to Indonesia's geothermal development.

It was very pleased to join in 2 (two) weeks of the geothermal intensive course. There were many lectures that I got and especially about fieldwork experience at Hatchobaru. They improved my knowledge related to geothermal energy. Thanks to all the lecturers at Kyoto University and ITB who have given me the opportunity to follow this program. I also give thanks to JICA which is the agency of this program. I enjoyed staying in Kyoto, one of the comfort cities in Japan. Hopefully, I can be there again at another time. ありがとうございます

I am so lucky to join this precious program. By joining this program, I got chances to improve my geothermal knowledge through the excellent Sensei at Kyoto University. I also really enjoy Kyoto city with the beautiful view and extraordinary cultures. On this opportunity, I want to say thank you to all of the parties involved in this course who always take care of us while we stayed in Kyoto. I hope we can meet again in the future.  
どうもありがとうございます



Agung Budi  
Tri Prasetyo



Grandy Bilhan  
Danakusumah



Ayu Gracia  
Ade Sumartha



Abdul Hadi  
Harahap

Two weeks of the training was very unforgettable moment. Very tight schedule, abundant of knowledge shared by all the sensei respectfully that range from explorations to engineering study of Geothermal followed by memorable field trip to one of the oldest Geothermal field in Japan which is Hatchobaru, including data sampling and analysis, experiencing the city of Kyoto and Beppu, the famous *onsen* and introduced to Japanese culture and very pleasant stay both in Kyoto and Beppu. Two weeks was not enough, the excitement of experiencing the taste of living in Japan with all Jica colleagues was very extraordinary experiences. Thank you JICA, BAGUS SATREP and Kyoto University for making this journey happened. Would like to see all the people involve again in the future.  
どうもありがとうございます

BAGUS-SATREPS geothermal training course provided by JICA was a robust, comprehensive and compact, yet a very well delivered geothermal course. Its broad coverage ranged from the fundamental of exploration techniques, geothermal best practices, new geothermal frontier to human resource development; extended with geothermal power plant visit, fieldworks and lab analysis, sufficiently making this two weeks training a complete geothermal course.

Trainers in their respective fields and helpful laboratory supervisors were making a series of learning process in Kyoto University comfortable to be followed. Open discussion during the class, fieldworks, laboratory analysis and final presentation created a lively learning environment.

Not to mention the generous and warm hospitalities from all Kyoto Univ.' sensei and doctoral students of Prof. Koike's lab members that we received during our stay in Kyoto were exceeding our expectation, making the two weeks stay in Kyoto a very humbling and unforgettable experience.



Akbar Dwi  
Wahyono



Angga Bakti,  
(Jr. Lecturer)

This JICA intensive short course for Geothermal did a great job and exceeded my expectations. There are many insight and each every day there is always something new to learn. Thank you for the knowledge and the opportunity. It is really great experiences and I hope can come back to Kyoto.

GEO DIPA ENERGI



Chevy Iskandar,  
Geophysicist

It was a big honor and unforgettable moment for me to attend two weeks intensive training from JICA and Kyoto University in Japan. The program is very useful, I can learn many things not only knowledge about geothermal but also very good culture in Japan. Lab experience and field sampling in Hatchobaru was one of my great experience that I have got from this training. Thank you so much and I really appreciated for JICA and Kyoto University especially Koike Sensei. See you in another journey Kyoto, Japan!

CENTER FOR MINERAL, COAL  
& GEOTHERMAL RESOURCES

I am very thankful to be given the opportunity to join this two-week intensive course. Being able to experience the study the latest technology developed in Japan, going to Hatchobaru power plant and Jigoku hot springs, also doing lab experiment were such valuable experience for me. Thank you to JICA and BAGUS program for the funding, for all of the *senseis* for all the knowledges shared, and all of the students for making the trip to Japan fun and memorable.



Ratna Dewi,  
Geophysicist

THANKS A LOT, I don't have word to describe what I feel. I would like to thanks Institut Teknologi Bandung as well as Kyoto University, their collaboration made my dream come true: to attend the training program during 2 weeks in Kyoto. BAGUS project is an excellent opportunity to enrich knowledge about geothermal. Their awesome team, well organized, made my life wonderful in Japan. All of the teachers were incredible and very formative with concrete examples, they helped me to improve in order to develop my skills. JICA training helps me see life through new perspective. I experienced a geothermal environment for the first time. I gained enormous knowledge and enjoy Japan. I'm so glad that I did and I hope to come back to Kyoto again. I would recommend this training to anyone interested in geothermal field "Dear successor, do not hesitate! It is an opportunity not to miss"

## ITB

MINING ENG.  
DEPT.

BAGUS program realizes one of my dreams. Learning about Geothermal in Japan from very smart and humble lecturers is an unforgettable experience. Not only science, but I get very good friends, able to feel Japanese culture directly and use the laboratory equipment that I just recognized. I say Thank You to JICA, ITB, Kyoto University and all parties who participated in the success of this event. Science is an invaluable investment. Hopefully this program will continue and have a great impact on the future of all of us.



Rindraniaina  
Sylvie  
Raharisolonjahary



Awwab Hafizh

Alhamdulillah, All Praises to Allah. This is Amazing Experience Two weeks Intensive Course in Japan. I learned everything about Geothermal Energy in Japan, I learned Japan geological condition, and I also learned Japanese Culture like hard work, discipline and on time. Shinkansen, beppu tour, Kyoto history heritage and typhoon make the journey perfect. An Unforgettable experiences! I hope I can come back to Japan with my family. Arigato Gozaimasu. Terimakasih

## ITB

HYDROGEOLOGY  
DEPT.

I really enjoy the two weeks intensive geothermal course in Kyoto University and learn a lot about all about not only geothermal system but also in geothermal exploration and geothermal development. Beside that, I also learn much about Japanese culture, especially in how they manage time and respect each other. I want to say thank you so much to JICA for all supported and all sensei especially Koike sensei and also Kashiwaya sensei, Goto Sensei, Tada san, Kubo san, Mr Yudi, Mrs Rios, Mrs Nurita, and Mr Panggea who have accompanied us very well. I hope someday will be back again to Kyoto University. This course is truly wonderful.



Rendi Ermansyah  
Putra



Ichsan Alfian

## STAR ENERGY

Joining two weeks intensive training held in Kyoto University was a big opportunity for me, as I was only lab technician who have no knowledge about 3G application in geothermal. Thanks to JICA and BAGUS project for the priceless experience and knowledge that I have been get there. The materials that I have learned there can strengthen my knowledge in geothermal geoscience to support Star Energy's expansion projects.



Salsa Muryani  
Prehtina,  
Lab Technician

The course covered geology, geophysics and geochemistry analysis needed for geothermal exploration and monitoring. Each subject was well prepared and the lecturers possess comprehensive knowledge on its field. Katsura campus of Kyoto University as the venue of this course, has a good environment, quiet and calm, thus very suitable for study and research. But we need to prepare and made our lunch beforehand considering no halal food restaurant open during the course time. The most memorable event was when we went for field study at Hatchobaru Geothermal Field in Kyushu. We experienced & were introduced to the power station and turbine of Hatchobaru Geothermal power plant. Also we observed thermal manifestations i.e. the mud pool, chloride spring, and geyser. The way the site being presented for tourism impressed me; two thumbs up for its tidiness and accessibility not only for researcher but also for all people.



Wahyuuddin Diringrat,  
Geophysicist

・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:

H29年度に導入と設置を完了した有効に活用され、本プロジェクトのみでなく、インドネシア全土から使用願いが来ており、ほぼフル稼働の状況である。特にX線回折分析装置の使用依頼が多く、直近の1年間で本プロジェクト以外での機器使用は400件以上にも上った。このように稼働率が高いため、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(先端研究拠点)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，より一層の技術向上に努めさせている。

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推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，という内容を昨年度の報告書にも記載したが，十分ではないがITB側で英文校閲の支援が受けられるようになったので，この点での改善が期待できる。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。これまでに引き続き，双方ともライティング・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のためには，研究題目1・2・3のいずれも京大とITBとの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。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，奨学金が獲得できていない。学力・研究力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，研修トレーニングへのITB学生の関心は高く，10名の枠に対して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。H30年度では書類選考で15名に絞り，これまでと同様，上の写真に示すように，研究代表者とITB側教員がITBで面接試験を実施し，書類評価と総合して10名を選んだ。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られる。R元年度が最後のトレーニングになるが，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：

本プロジェクトで当初予定した分析機器とソフトウェアの導入と設置はH28年度に完了したの

で、これらに関する手続き、遅延の問題はH30年には生じなかった。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の通りである。

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、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。熱水とガスの地球化学的分析によるPatuha地区の地熱システムの解明に関する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も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の発展で公表許可は大変ありがたい。

研究題目4に関し、H30年度の研修プログラムでは、参加を予定していたITBの大学院生1名が、就職活動のため急遽参加できなくなった。しかし、プログラムへの参加を熱望していたGeo Dipa Energi社の若手技術者1名がその代わりに参加でき、特に専門とする物理探査学の科目で優秀な成績を修めた。

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68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、およびe-mailでのやり取りで共同研究を進展させている。上記のようにWayang Windu地区とPatuha地区での計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中である。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、質の管理と分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が得られた後、温泉や生産井から熱水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中である。特にWayang Windu地区ではサンプリング地点の多くが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となっている。

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、および

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などの物性の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はほぼ確立できたと考える。

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が、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うことができ、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、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、ラドン濃度測定器RAD7の不具合が生じたことである。メーカーに修理を依頼し、H30年12月に完了した。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：

e-mail でのやり取りのみでは双方の意図がよく伝わらず、メール書きにも多大の時間と労力を要するので情報量も限られたものとなる。また、e-mail 単独による通信では先方への依頼が忘れられるリスクもある。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、毎回議事録を当日中に漏れなく作成し、合意事項を次回の会合時に確認することも肝要である。以上は昨年度の報告書に記載したことであるが、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・研究力の向上、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」

【平成 30 年度実施報告書】【190531】

・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博士号を平成28年1月に京大で取得したITB教員を軸として解析を進めており、Landsat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。国際誌への論文化を進めているところであり、早期の投稿を目指す。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 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。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早期授与に努める。

・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:

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、可視から短波長赤外域まで計測できる高額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。よって、メモリを多く実装し、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、本年度は京大側・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だ。貯留層シミュレーションの実績が長く、モデルサイトに関する知識も多い ITB の研究者が、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。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、専門力が備わった人材を通して共同研究を進展させることで、目標達成を図っている。

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、計算精度は TOUGH2 とほぼ同じであるが、この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民間会社による実際のボーリング検層データが必要になり、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である。これらの点に関する Star Energy 社との継続的な打ち合わせが必要である。

・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：

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、ボーリングは深くまで実施されるものの地熱サイトで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に地下構造のイメージングをしないと、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。

(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、さらに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。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する。

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部を下に示す。R元年度は最後の短期研修になるものの、トレーニング実施後に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る。

- 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。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。

#### IV. 社会実装（研究成果の社会還元）（公開）

(1) 成果展開事例

- 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

【平成30年度実施報告書】【190531】

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、インドネシアの地熱関連企業である **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を共同で実施した。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。

- 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に関与したと考えられる。
- 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。ITB 側の共同研究者の研究室では実際にこのソフトを使用し、合成開口レーダ画像を用いた解析に適するように独自に改良を加え、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。上記のように、この成果は *Geothermics* に掲載された。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。

## (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中であり（京大側 <http://www.geoenv.kumst.kyoto-u.ac.jp/bagus6.html>、ITB 側 <https://www.ftm.itb.ac.id/science-and-technology-research-partnership-for-sustainable-development-satreps-project-2/>）、一般に公開している。昨年度に引き続き、活動がわかる写真を多く掲載し、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本年度はニューズレターを 3 号（第 5 号～7 号）発行した。各号での掲載内容は次のようであり、1 ページ目のみを既刊の概略と併せて下記に掲載する。

- 第5号(平成30年8月発行):平成30年7月にITBで実施された第5回JCCの報告、平成30年9月に実施する短期地熱研修への参加者に対する事前説明会の様子、平成30年7月にITBで開催されたアジア国際資源シンポジウムへの参加の様子など。
- 第6号(平成30年10月発行):平成30年8月に開催された本プロジェクトのインドネシア側リーダーである Sudarto Notosiswoyo 教授の退職記念祝賀会の様子、平成30年9月に実施された短期地熱研修の実施内容と研修生からのコメント、平成30年7月に実施された TEM 法探査や表層水試料の採取・分析の様子、平成30年8月に実施された Wayang Windu 地区におけるラドン濃度モニタリングや Patuha 地区における熱水試料採取の様子など。
- 第7号(平成31年4月発行):「第8回ITB国際地熱ワークショップ」でのBAGUSセッションの報告、令和元年9月に実施する短期

**BAGUS Project News** No. 5 | 1<sup>st</sup> Aug. 2018

### BAGUS Project 5<sup>th</sup> JCC Meeting

On 3<sup>rd</sup> to 5<sup>th</sup> July 2018, BAGUS Project held its 5<sup>th</sup> Joint Coordinating Committee Meeting. During this annual occasion the team members present the research progress and update the research activity plans for the upcoming year.

The event was started with the following presentations of research progress report from both sides of the team:

<p><b>Wayang Windu (Indonesia)</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. "Geophysical profile of the near-surface geothermal system at Wayang Windu, based on resistivity, seismicity, and geothermal survey (TEM, MT, and seismicity) at Wayang Windu, Indonesia." (Presented by Prof. Dr. Sudarto Notosiswoyo &amp; Associate Prof. Soekarno Mariani)</li> <li>2. "Hydro-geochemical behavior of the geothermal system at Patuha geothermal field, West Java, Indonesia." (Presented by Prof. Dr. Soekarno Mariani)</li> <li>3. "Geothermal resource evaluation at Patuha and Wayang Windu geothermal fields in the context of geothermal resource assessment and development." (Presented by Prof. Dr. Soekarno Mariani)</li> <li>4. "Geothermal resource evaluation at Patuha and Wayang Windu geothermal fields in the context of geothermal resource assessment and development." (Presented by Prof. Dr. Soekarno Mariani)</li> <li>5. "Geothermal resource evaluation at Patuha and Wayang Windu geothermal fields in the context of geothermal resource assessment and development." (Presented by Prof. Dr. Soekarno Mariani)</li> </ol>	<p><b>Patuha (Indonesia)</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. "Geophysical profile of the near-surface geothermal system at Patuha geothermal field, West Java, Indonesia." (Presented by Prof. Dr. Soekarno Mariani)</li> <li>2. "Hydro-geochemical behavior of the geothermal system at Patuha geothermal field, West Java, Indonesia." (Presented by Prof. Dr. Soekarno Mariani)</li> <li>3. "Geothermal resource evaluation at Patuha and Wayang Windu geothermal fields in the context of geothermal resource assessment and development." (Presented by Prof. Dr. Soekarno Mariani)</li> <li>4. "Geothermal resource evaluation at Patuha and Wayang Windu geothermal fields in the context of geothermal resource assessment and development." (Presented by Prof. Dr. Soekarno Mariani)</li> <li>5. "Geothermal resource evaluation at Patuha and Wayang Windu geothermal fields in the context of geothermal resource assessment and development." (Presented by Prof. Dr. Soekarno Mariani)</li> </ol>
--	---

The Joint Coordinating Committee Meeting followed the presentation session in the afternoon and was continued on the second day, 4<sup>th</sup> July 2018. Also joining the team members on the second day were representatives from Geo Dipa Energi to discuss research activity plans in Patuha geothermal site in 2019.

In the meeting, ITB and Kyoto University team confirmed the completion of the laboratory equipment provision in two batches. Twelve donated equipment now have been effectively in use for researches. The team also confirmed that all research activity are progressing according to the plan to attain the purpose of the project. The team will continue the research activities in Wayang Windu (until end of 2018) and in Patuha. They also confirmed the plan for making research results into papers and thesis.

The signing of the Minutes of Meeting by Prof. Sudarto Notosiswoyo and Prof. Katsuki Koike was witnessed by Mr. Ryoya Fuse, Representative from JICA Indonesia Office.

**BAGUS Project News** No. 6 | 1<sup>st</sup> Oct. 2018

### Prof. Sudarto Notosiswoyo's Retirement

BAGUS Project's leader on Indonesian side, Professor Sudarto Notosiswoyo, has arrived to his retirement in August 2018. On 4<sup>th</sup> August 2018 ITB held a ceremony to commemorate Prof. Sudarto's contributions and achievements during his 42 years serving as lecturer and researcher in which JICA coordinator, Mr. Jiro Kamigatakuichi, and Mr. Taiki Kubo from Kyoto University and Ms. Restanti attended.

Despite his retirement, Prof. Sudarto will still be the leader on Indonesian side of BAGUS Project, as he said in previous BAGUS Project meetings, that he will be back as Emeritus Professor and work in ITB especially for the completion of BAGUS Project.

### 2018 Intensive Training Course on Geothermal Science and Technology

As previously planned the 2018 Intensive Training Course on Geothermal Science and Technology was conducted from 2<sup>nd</sup> to 16<sup>th</sup> September 2018 at Kyoto University's Katsura campus. Similar from the last year's training, the participants experienced classroom lectures, field works and advanced laboratory experiments. A total of fourteen participants from ITB, Center for Mineral, Coal and Geothermal Resources (CMCGR) of Geological Agency, Ministry of Energy and Mineral Resources, Star Energy and Geo Dipa Energi joined the training this year.

Although during the training typhoon Jebi hit Kyoto and left some considerable damage to the city, the training went well according to the plan. Eventually all participants successfully completed the courses delivered and returned home happily with adried knowledge and experiences.

No.	Name	Institution	Country
1	Dr. J. Y. Y. Y.	ITB	Indonesia
2	Dr. J. Y. Y. Y.	ITB	Indonesia
3	Dr. J. Y. Y. Y.	ITB	Indonesia
4	Dr. J. Y. Y. Y.	ITB	Indonesia
5	Dr. J. Y. Y. Y.	ITB	Indonesia
6	Dr. J. Y. Y. Y.	ITB	Indonesia
7	Dr. J. Y. Y. Y.	ITB	Indonesia
8	Dr. J. Y. Y. Y.	ITB	Indonesia
9	Dr. J. Y. Y. Y.	ITB	Indonesia
10	Dr. J. Y. Y. Y.	ITB	Indonesia
11	Dr. J. Y. Y. Y.	ITB	Indonesia
12	Dr. J. Y. Y. Y.	ITB	Indonesia
13	Dr. J. Y. Y. Y.	ITB	Indonesia
14	Dr. J. Y. Y. Y.	ITB	Indonesia

**BAGUS Project News** No. 7 | 1<sup>st</sup> Oct. 2019

### BAGUS Project in the 8<sup>th</sup> ITB International Geothermal Workshop

Geothermal Master Program of ITB held the 8<sup>th</sup> ITB International Geothermal Workshop (IGW2019) from 20<sup>th</sup> to 21<sup>st</sup> March 2019. Similar to the preceding years, BAGUS Project was given the opportunity to disseminate its research progress in a technical session on Thursday afternoon, 21<sup>st</sup> March 2019.

Beside team members from Kyoto University and ITB, some master students of ITB also collaborate to present their respective research topics below:

Topic Title	Author(s)	Page No.
Research Results of the 3D Geophysical Profile of the Near-Surface Geothermal System at Wayang Windu, Indonesia	Sudarto Notosiswoyo, Soekarno Mariani, Taiki Kubo	1-10
Geophysical Profile of the Near-Surface Geothermal System at Patuha Geothermal Field, Indonesia	Soekarno Mariani, Taiki Kubo	11-20
Hydro-geochemical Behavior of the Geothermal System at Patuha Geothermal Field, Indonesia	Soekarno Mariani, Taiki Kubo	21-30
Geothermal Resource Evaluation at Patuha and Wayang Windu Geothermal Fields in the Context of Geothermal Resource Assessment and Development	Soekarno Mariani, Taiki Kubo	31-40

### 2019 Intensive Training Course on Geothermal Science and Technology Interview

As projected in BAGUS Project activity plan, the annual Two week JICA Intensive Training Course on Geothermal Science and Technology will be held for the last time this year.

Similar to the preceding years, an interview session was organized for the pre-selected fifteen candidates from ITB's Master's program students after BAGUS Project's session in IGW2019.

Successful candidates are scheduled to participate in the training course along with other participants from BAGUS Project co-partners (Star Energy, Geo Dipa and Center for Mineral, Coal and Geothermal Resources—CMCGR—of Energy and Mineral Resources Ministry).

### Research Activities Progress

Continuing the research on the near-surface geophysical exploration at Wayang Windu, in December 2018 Assoc. Prof. Dr. Tada-nori Goto and a master student from Kyoto University, Mr. Yoji Yamada, visited Wayang Windu and conducted audio-frequency magnetotelluric survey (AMT) to elucidate a hypothesis that geothermal anomalies are related to the fracture zones since in Wayang Windu regions high radon anomalies in soil gas were found at the areas close to the hydrothermally altered zones based on the remote sensing and topographical lineament analysis as well. The survey result is still being analyzed at Kyoto University, nevertheless the preliminary analysis in general showed a positive result.

Mr. Taiki Kubo visited Patuha in January 2019 and dug some shallow gas monitoring wells and conducted measurement of mercury and radon gases.

地熱研修への応募者と研究代表者・ITB 教員との面接試験の様子，共同研究の進捗状況として平成 30 年 12 月の Wayang Windu 地区において実施された AMT 法探査や平成 31 年 1 月の Patuha 地区において実施されたラドン濃度モニタリング用孔の掘削，同月の ITB において実施された ITB・CMCGR 職員に対する安定炭素同位体比測定法指導の様子，および平成 30 年 11 月 26 日から 28 日にかけて京大において開催された「第 15 回国際資源探査シンポジウム (ISME-XV)」の報告など。

また，Star Energy 社，Geo Dipa Energi 社とそれぞれ 2 回会合をもち，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 では計 25 地点，Patuha 地区では 10 地点での表層ボーリングを利用したラドンと水銀濃度測定，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 地区での同じ特徴が得られたとともに，さらに熱水パスの存在に関連しての新たな特徴も得られた。そのため，Geo Dipa Energi 社より 10 箇所の測点追加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 つの民間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。

## V. 日本のプレゼンスの向上 (公開)

本年度は以下の 4 つ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。さらに，インドネシアの地熱関連企業である Geo Dipa Energi 社との連携が本格化し，共同調査等を実施できたことも成果である。

①平成 30 年 11 月 9・10 日にベトナム ハノイで開催された「Hanoi Forum 2018 – Towards Sustainable Development」では「Towards specifying steam spots suitable for power generation and promoting use of geothermal resources」にて，本プロジェクトの概要と成果を紹介した。ベトナムでも最近では地熱発電の関心は高いので，大学や研究機関より情報交換や研究連携のオファーを受けた。

②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 Ghiyats 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 Ghiyats 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 BAGUS ブースも出展してパネルで参加者に説明したとともに、プロジェクトの概要とこれまで発行したニュースレター、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 博士（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。



③平成 31 年 3 月 20 日・21 日にかけて ITB キャンパスで開催された「第 8 回 ITB 国際地熱ワークショップ」において、昨年度に引き続き本プロジェクトの特別セッション（SATREPS Session）が設けられ、本プロジェクトの H30 年度での成果を京大グループと ITB グループのそれぞれから計 10 件発表した。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た。

④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（上の写真）。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ウェブサイト\*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](http://www.tanta.edu.eg/en/News_details_archive.aspx?id=cfa5f211-d3f3-467f-8599-fdd3cdd2c755)

これらに加えて、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 Heriawan 准教授と 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 時間掛けて紹介した（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。



VI. 成果発表等【研究開始～現在の全期間】（公開）

VII. 投入実績【研究開始～現在の全期間】（非公開）

VIII. 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", <i>Proceeding of 13th International Symposium on Mineral Exploration</i> , 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", <i>Remote Sensing of Environment</i> , 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", <i>IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters</i> , 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", <i>Proceedings of 41th Annual Stanford Geothermal Workshop</i> , 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", <i>Proceedings of 41th Annual Stanford Geothermal Workshop</i> , 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?", <i>Geochemistry, Geophysics, Geosystems</i> , 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 H <sub>2</sub> S and radon-222 gas concentrations in various geothermal reservoir states: A case study of Wayang Windu area (Indonesia)", <i>Proceedings of International Symposium on Earth Science and Technology 2016</i> , 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", <i>IOP Conference Series: Earth and Environmental Science</i> , 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)", <i>Geothermics</i> , 2018, vol. 72, pp. 145-155.	10.1016/j.geothermics.2017.11.010	国際誌	発表済	
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", <i>Proceedings of 43th Annual Stanford Geothermal Workshop</i> , 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", <i>Proceedings of 43th Annual Stanford Geothermal Workshop</i> , Stanford, Feb. 12-14, 2018, <a href="https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/SGW/2018/Rahayudin.pdf">https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/SGW/2018/Rahayudin.pdf</a>		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 0 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", <i>Remote Sensing</i> , 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", <i>Proceeding of 13th International Symposium on Mineral Exploration</i> , 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", <i>Proceeding of 13th International Symposium on Mineral Exploration</i> , 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 <i>Geostatistical and Geospatial Approaches for the Characterization of Natural Resources in the Environment</i> (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", <i>Proc. SPIE 9643, Image and Signal Processing for Remote Sensing XXI</i> , 96430J, 2015, pp. 1-6.	10.1117/1.2.2194886	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", <i>Proceeding of XXIII ISPRS Congress</i> , 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", <i>Computers and Geosciences</i> , 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", <i>ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing</i> , 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", <i>ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing</i> , 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 Notoiswoyo, "Characteristic and mixing mechanisms of thermal fluid at the Tampomas Volcano, West Java, using hydrogeochemistry, stable Isotope and <sup>222</sup> Rn analyses", <i>Geosciences</i> , 2018, vol. 8(4):103	10.3390/geosciences8040103	国際誌	発表済	
H30年度	Luis André Magaia, Tada-nori Goto, Alaa Ahmed Masoud, and Katsuaki Koike, "Identifying groundwater potential in crystalline basement rocks using remote sensing and electromagnetic sounding techniques in central western Mozambique", <i>Natural Resources Research</i> , 2018, vol. 27 (3), p. 275-298.	10.1007/s11053-017-9360-5	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 0 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", <i>Journal of MMIJ</i> , 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。	

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 <sup>2</sup> , Katsuaki Koike <sup>1</sup> , Koki Kashiwaya <sup>1</sup> , Shigeki Sakurai <sup>1</sup> , "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 <sup>1</sup> ・高橋貫太 <sup>1</sup> ・柏谷公希 <sup>1</sup> ・多田洋平 <sup>1</sup> ・小池克明 <sup>1</sup> ・櫻井繁樹 <sup>1</sup> ・Asep Saepuloh <sup>2</sup> , "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 <sup>2</sup> , Katsuaki Koike <sup>1</sup> , "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 <sup>2</sup> , Cipto Purnandi <sup>2</sup> , Andre Putra Arifin <sup>2</sup> , Sudarto Notosiswoyo <sup>2</sup> , Koki Kashiwaya <sup>1</sup> , Yohei Tada <sup>1</sup> , Katsuaki Koike <sup>1</sup> , "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 <sup>1</sup> ・北村将悟 <sup>1</sup> ・多田洋平 <sup>1</sup> ・内倉里沙 <sup>1</sup> ・Iskandar Irwan <sup>2</sup> ・Heriawan Mohamad Nur <sup>2</sup> ・Saepuloh Asep <sup>2</sup> ・高橋貫太 <sup>1</sup> ・柏谷公希 <sup>1</sup> ・小池克明 <sup>1</sup> ・櫻井繁樹 <sup>1</sup> , "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 <sup>1</sup> , Shigeki Sakurai <sup>1</sup> , Koki Kashiwaya <sup>1</sup> , Yohei Tada <sup>1</sup> , Taiki Kubo <sup>1</sup> , Sudarto Notosiswoyo <sup>2</sup> , Mohamad Nur Heriawan <sup>2</sup> , Nenny Miryani Saptadji <sup>2</sup> , Irwan Iskandar <sup>2</sup> , Asep Saepuloh <sup>2</sup> , and Budi Sulistijo <sup>2</sup> , "Towards specifying steam spots suitable for power generation and promoting use of geothermal resources", International Symposium Hanoi Geoengineering 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 <sup>1</sup> , Taiki Kubo <sup>1</sup> , Koki Kashiwaya <sup>1</sup> , Yohei Tada <sup>1</sup> , Shigeki Sakurai <sup>1</sup> , Irwan Iskandar <sup>2</sup> , Asep Saepuloh <sup>2</sup> , Mohamad Nur Heriawan <sup>2</sup> , Sudarto Notosiswoyo <sup>2</sup> , Alaa M. Masoud <sup>3</sup> , "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 <sup>1</sup> ・多田洋平 <sup>1</sup> ・柏谷公希 <sup>1</sup> ・小池克明 <sup>1</sup> ・櫻井繁樹 <sup>1</sup> ・Mohamad Nur Heriawan <sup>2</sup> ・Irwan Iskandar <sup>2</sup> ・Asep Saepuloh <sup>2</sup> ・Sudarto Notosiswoyo <sup>2</sup> , "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. <sup>1</sup> , Kubo, K. <sup>1</sup> , Kashiwaya, K. <sup>1</sup> , Tada, Y. <sup>1</sup> , Koike, K. <sup>1</sup> , Sakurai, S. <sup>1</sup> , Iskandar, I. <sup>2</sup> , Heriawan, M.N. <sup>2</sup> , Notosiswoyo, S. <sup>2</sup> , and Malik, D. <sup>2</sup> , "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 <sup>1</sup> ・北村将悟 <sup>1</sup> ・高橋貫太 <sup>1</sup> ・Irwan Iskandar <sup>2</sup> ・Mohamad Nur Heriawan <sup>2</sup> ・Sudarto Notosiswoyo <sup>2</sup> ・小池克明 <sup>1</sup> ・櫻井繁樹 <sup>1</sup> , "地熱兆候地域における断層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 <sup>1</sup> ・江崎俊介 <sup>1</sup> ・北村将悟 <sup>1</sup> ・Irwan Iskandar <sup>2</sup> ・Mohamad Nur Heriawan <sup>2</sup> ・Sudarto Notosiswoyo <sup>2</sup> ・小池克明 <sup>1</sup> ・櫻井繁樹 <sup>1</sup> , "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 <sup>1</sup> ・Arie Naftali Hawu Hede Arie <sup>2</sup> ・久保大樹 <sup>1</sup> ・Asep Saepuloh <sup>2</sup> ・櫻井繁樹 <sup>1</sup> , "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 <sup>1</sup> , Yohei Tada <sup>1</sup> , Koki Kashiwaya <sup>1</sup> , Katsuaki Koike <sup>1</sup> , Irwan Iskandar <sup>2</sup> , Mohamad Nur Heriawan <sup>2</sup> , Sudarto Notosiswoyo <sup>2</sup> , Dwiyooga Malik <sup>4</sup> , "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 <sup>2</sup> , Hifdzul Fikri <sup>2</sup> , Irwan Iskandar <sup>2</sup> , Asep Saepuloh <sup>2</sup> , Taiki Kubo <sup>1</sup> , Sudarto Notosiswoyo <sup>2</sup> , "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 (IIMG2017), 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 <sup>1</sup> ・江崎俊介 <sup>1</sup> ・北村将悟 <sup>1</sup> ・Irwan Iskandar <sup>2</sup> ・Mohamad Nur Heriawan <sup>2</sup> ・Sudarto Notosiswoyo <sup>2</sup> ・小池克明 <sup>1</sup> ・櫻井繁樹 <sup>1</sup> , "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 <sup>1</sup> ・久保大樹 <sup>1</sup> ・多田洋平 <sup>1</sup> ・小池克明 <sup>1</sup> ・櫻井繁樹 <sup>1</sup> ・Mohamad Nur Heriawan <sup>2</sup> ・Irwan Iskandar <sup>2</sup> ・Asep Saepuloh <sup>2</sup> ・Sudarto Notosiswoyo <sup>2</sup> , "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 <sup>1</sup> ・多田洋平 <sup>1</sup> ・Yudi Rahayudin <sup>1</sup> ・Riostantieka M. Shoedarto <sup>1</sup> ・弥富文次 <sup>1</sup> ・Irwan Iskandar <sup>2</sup> ・Sudarto Notosiswoyo <sup>2</sup> ・小池克明 <sup>1</sup> , "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 <sup>1</sup> , Yohei Tada <sup>1</sup> , Koki Kashiwaya <sup>1</sup> , Taiki Kubo <sup>1</sup> , Katsuaki Koike <sup>1</sup> , Dwiyoarani Malik <sup>3</sup> , Irwan Iskandar <sup>2</sup> , Mohamad Nur Heriawan <sup>2</sup> , Sudarto Notosiswoyo <sup>2</sup> , "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 <sup>1</sup> , Koki Kashiwaya <sup>1</sup> , Andi Susmanto <sup>5</sup> , Yohei Tada <sup>1</sup> , Irwan Iskandar <sup>2</sup> , Katsuaki Koike <sup>1</sup> , "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 <sup>1</sup> ・北村将悟 <sup>1</sup> ・Irwan Iskandar <sup>2</sup> ・Mohamad Nur Heriawan <sup>2</sup> ・Sudarto Notosiswoyo <sup>2</sup> ・小池克明 <sup>1</sup> ・櫻井繁樹 <sup>1</sup> , "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 <sup>1</sup> ・Hoang Nguyen Tien <sup>1</sup> ・Hede Arie Naftali Hawu <sup>2</sup> , "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 <sup>1</sup> ・Ahmad Ali Syafi'i <sup>2</sup> ・Arie Naftali Hawu Hede <sup>2</sup> ・Asep Saepuloh <sup>2</sup> ・Mohamad Nur Heriawan <sup>2</sup> ・小池克明 <sup>1</sup> ・Sudarto Notosiswoyo <sup>2</sup> , "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 <sup>1</sup> , Katsuaki Koike <sup>1</sup> , Asep Saepuloh <sup>2</sup> , Mohamad Nur Heriawan <sup>2</sup> , "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 <sup>1</sup> , Nguyen Tien Hoang <sup>1</sup> , Arie Naftali Hawu Hede <sup>2</sup> , Taiki Kubo <sup>1</sup> , Alaa A. Maoud <sup>3</sup> , "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	国際学会	Taiki Kubo <sup>1</sup> , Shogo Kitamura <sup>1</sup> , Katsuaki Koike <sup>1</sup> , Irwan Iskandar <sup>2</sup> , Mohamad Nur Heriawan <sup>2</sup> , Sudarto Notosiswoyo <sup>2</sup> , "Preliminary detection of a high potential spot of geothermal resource based on long term periodical measurement of radon concentration and gas component analysis", Cities on Volcanoes 10, Conference Center Mostra d' Oltremare Napoli, 2018年9月2-7日.	ポスター発表
H30年度	国内学会	久保大樹 <sup>1</sup> ・サフィ アハマド <sup>2</sup> ・ヘデ ナフタリ <sup>2</sup> ・サエプロ アセプロ <sup>2</sup> ・モハマド ヘリアワン <sup>2</sup> ・小池克明 <sup>1</sup> ・トシスウオヨ スダルト <sup>2</sup> , "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 <sup>1</sup> ・多田洋平 <sup>1</sup> ・小池克明 <sup>1</sup> ・Ahmad Ali Syafi'i <sup>2</sup> ・Nuradiva Iqbal Rahmansah <sup>2</sup> ・Mohamad Nur Heriawan <sup>2</sup> ・Irwan Iskandar <sup>2</sup> ・Sudarto Notosiswoyo <sup>2</sup> , "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, 日本地熱学会, 北とびあ, 東京, 2018年11月14-16日.	口頭発表

H30年度	国際学会	Katsuaki Koike <sup>1</sup> , Shigeki Sakurai <sup>1</sup> , Koki Kashiwaya <sup>1</sup> , Yohei Tada <sup>1</sup> , Taiki Kubo <sup>1</sup> , Sudarto Notosiswoyo <sup>2</sup> , Mohamad Nur Heriawan <sup>1</sup> , Nenny Miryani Saptadji <sup>2</sup> , Irwan Iskandar <sup>2</sup> , Asep Saepuloh <sup>2</sup> , Budi Sulistijo <sup>2</sup> , "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 <sup>2</sup> , Katsuaki Koike <sup>1</sup> , "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 <sup>1</sup> , Katsuaki Koike <sup>1</sup> , Asep Saepuloh <sup>2</sup> , Mohamad Nur Heriawan <sup>2</sup> , "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 <sup>1</sup> , Sudarto Notosiswoyo <sup>2</sup> , "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 <sup>1</sup> , Shunsuke Esaki <sup>1</sup> , Irwan Iskandar <sup>2</sup> , Mohamad Nur Heriawan <sup>2</sup> , Katsuaki Koike <sup>1</sup> , Shigeki Sakurai <sup>1</sup> , Sudarto Notosiswoyo <sup>2</sup> , "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 <sup>2</sup> , Mohamad Nur Heriawan <sup>2</sup> , Asep Saepuloh <sup>2</sup> , Taiki Kubo <sup>1</sup> , Katsuaki Koike <sup>1</sup> , "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 <sup>2</sup> , Wijayanti Ashuri <sup>2</sup> , Taiki Kubo <sup>1</sup> , Anwar Zulkhoiri <sup>2</sup> , Musti'atin <sup>2</sup> , Katsuaki Koike <sup>1</sup> , Sudarto Notosiswoyo <sup>2</sup> , "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 <sup>2</sup> , Fery Ismar Darajat <sup>2</sup> , Panggea Ghiyats Sabrian <sup>1</sup> , Dwiogarani Malik <sup>4</sup> , Taiki Kubo <sup>1</sup> , Katsuaki Koike <sup>1</sup> , "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 <sup>1</sup> , Koki Kashiwaya <sup>1</sup> , Yohei Tada <sup>1</sup> , Katsuaki Koike <sup>1</sup> , Mohamad Nur Heriawan <sup>2</sup> , Andi Susmant <sup>2</sup> , "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 <sup>1</sup> ・アリーシャフィー アハマト <sup>2</sup> ・権守宏明 <sup>1</sup> ・江崎俊介 <sup>1</sup> ・ナフタリハウヘデ アリー <sup>2</sup> ・ヘリアワン モハメド <sup>2</sup> ・小池克明 <sup>1</sup> ・ノトシスウオヨ スダルト <sup>2</sup> , "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 <sup>1</sup> ・Rahayudin Yudi <sup>1</sup> ・Shoedarto Riostantieka <sup>1</sup> ・弥富文次 <sup>1</sup> ・多田洋平 <sup>1</sup> ・Iskandar Irwan <sup>2</sup> ・Sudarto Notosiswoyo <sup>2</sup> ・小池克明 <sup>1</sup> , "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 <sup>1</sup> ・山田勇次 <sup>1</sup> ・Mohamad Nur Heriawan <sup>2</sup> ・Irwan Iskandar <sup>2</sup> ・小池克明 <sup>1</sup> , "MT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 <sup>1</sup> , Hiroaki Gonnokami <sup>1</sup> , Ahmad Ali Syafi'i <sup>2</sup> , Mohamad Nur Heriawan <sup>2</sup> , Irwan Iskandar <sup>2</sup> , Katsuaki Koike <sup>1</sup> , Sudarto Notosiswoyo <sup>2</sup> , "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20-21日.	口頭発表

招待講演	3 件
口頭発表	29 件
ポスター発表	8 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, 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, 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, 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, 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/バ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ズ推定への応用”, 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, 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	Nurita Putri Hardiani, 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	Taiki Kubo, Shogo Kitamura, Katsuaki Koike [京大], Irwan Iskandar, Mohamad Nur Heriawan, Sudarto Notosiswoyo [ITB], “Preliminary detection of a high potential spot of geothermal resource based on long term periodical measurement of radon concentration and gas component analysis”, Cities on Volcanoes 10, Conference Center Mostra d' Oltremare Napoli, 2018年9月2-7日.	ポスター発表
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, 北とびあ, 東京, 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, 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, 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
-------	------	--	------

招待講演	5 件
口頭発表	27 件
ポスター発表	2 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 0 件  
 公開すべきでない特許出願数 0 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 0 件  
 公開すべきでない特許出願数 0 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 究成果	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	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)」	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	

7 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-spot"	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	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	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しての打ち合わせ
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

H30年度	9月25日	SATREPSプロジェクト意見交換会	京都大学桂キャンパス	7名	非公開	秋田大のSATREPSプロジェクト担当教員と情報・意見交換会を開催し、互いのプロジェクトの発展方法について議論した。
H30年度	10月26日	BAGUSセミナー	バンドン工科大学	20名	非公開	共同研究者であるHeriawan准教授の学部生用担当授業において、BAGUSプロジェクトの成果の一部(主にラドン・水銀探査)の紹介と質疑応答を行った。
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

30 件

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、研究を発展させ、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。


5 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: <b>先進的地熱資源利用システム</b>
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～平成32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, 地下資源局

付随的成果	
日本政府、社会、産業への貢献	<ul style="list-style-type: none"> <li>グリーンイノベーションの推進</li> <li>安定的なエネルギー供給と脱化石燃料、低炭素社会、持続可能な自然共生社会や循環型社会の実現</li> <li>インフラ、システムというソフト・ハード両面からの包括的な輸出振興</li> <li>「2国間炭素クレジット」のスキームの推進</li> </ul>
科学技術の発展	<ul style="list-style-type: none"> <li>地熱発電適地検出精度の画期的向上</li> <li>インドネシアにおける地熱資源利用促進 (低炭素社会の実現、大気環境の保全)</li> <li>低温地熱地帯や深部高温岩体域における地熱資源開発へのフィードバック</li> </ul>
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3技術に関する知財の獲得と世界展開</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>リモートセンシング・数理地質学・地球化学・鉱物学での最先端手法を統合した地熱発電適地検出技術</li> <li>衛星リモートセンシングを利用した広域環境モニタリング技術</li> <li>地熱エネルギー産出の最適化システム設計技術</li> </ul>
世界で活躍できる日本人人材の育成	<ul style="list-style-type: none"> <li>国際的に活躍可能な日本側の若手研究者の育成 (国際共同研究の立案・実施、著名な国際ジャーナルへの論文掲載、国際会議の主導)</li> </ul>
技術及び人的ネットワークの構築	<ul style="list-style-type: none"> <li>バンドン工科大学地熱グループ、および地下資源局と地熱研究に関わる技術・人的ネットワークの構築</li> </ul>
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"> <li>研究成果の国際的地熱シンポジウム等での発表</li> <li>地熱に関する国際ジャーナルへの論文掲載</li> <li>地熱エネルギー産出の最適化プログラム</li> <li>貯留層の温度と圧力変化予測プログラム</li> <li>地熱発電適地検出法とプログラムのマニュアル</li> </ul>

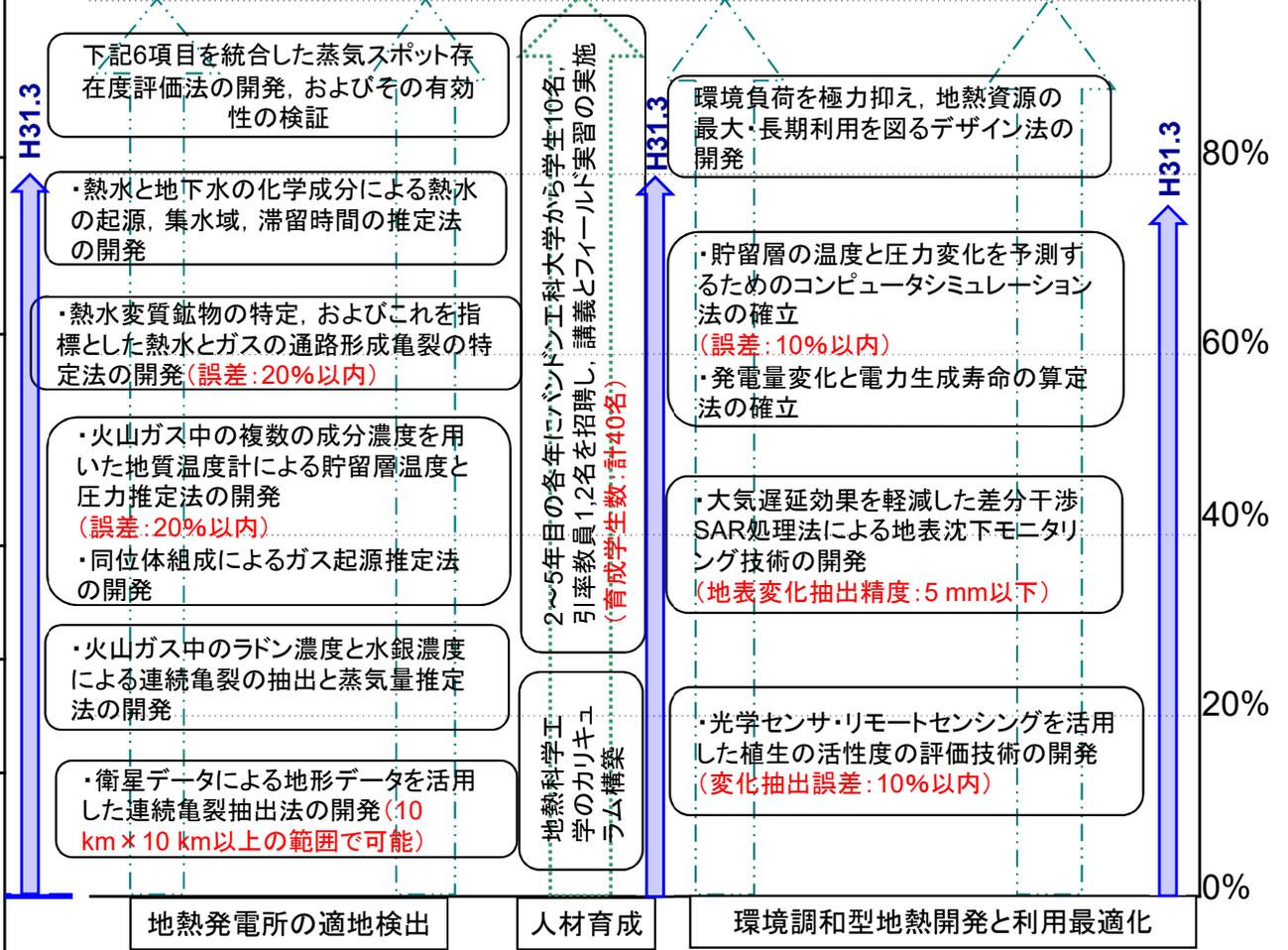
## 上位目標

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。



H31.3

- ・下記6項目を統合した蒸気スポット存在度評価法の開発、およびその有効性の検証
- ・熱水と地下水の化学成分による熱水の起源、集水域、滞留時間の推定法の開発
- ・熱水変質鉱物の特定、およびこれを指標とした熱水とガスの通路形成亀裂の特定法の開発 (誤差: 20%以内)
- ・火山ガス中の複数の成分濃度を用いた地質温度計による貯留層温度と圧力推定法の開発 (誤差: 20%以内)
- ・同位体組成によるガス起源推定法の開発
- ・火山ガス中のラドン濃度と水銀濃度による連続亀裂の抽出と蒸気量推定法の開発
- ・衛星データによる地形データを活用した連続亀裂抽出法の開発 (10 km × 10 km以上の範囲で可能)

H31.3

- ・環境負荷を極力抑え、地熱資源の最大・長期利用を図るデザイン法の開発
- ・貯留層の温度と圧力変化を予測するためのコンピュータシミュレーション法の確立 (誤差: 10%以内)
- ・発電量変化と電力生成寿命の算定法の確立
- ・大気遅延効果を軽減した差分干渉SAR処理法による地表沈下モニタリング技術の開発 (地表変化抽出精度: 5 mm以下)
- ・光学センサ・リモートセンシングを活用した植生の活性度の評価技術の開発 (変化抽出誤差: 10%以内)

H31.3

H31.3

H31.3

H31.3

H31.3

H31.3