

# 平成 30 年度廣川研究助成事業報告 (2)

## 地熱貯留層の高精度微小地震モニタリング開発に向けた情報収集

岡本 京祐<sup>1)</sup>

### 1. はじめに

既存の地熱発電フィールドでは、発電に伴う地下での水資源の減耗が問題となる場合がある。例えば、柳津西山地熱発電所(福島県柳津町、以下、試験地域)では 1995 年に 65 MW の発電容量で運転を開始したが、2017 年には貯留層内での水資源量の減耗に伴い、30 MW まで発電容量を低下させている。雨水等により供給される天然由来の水や、既存の還元井のみでは需要と供給のバランスを保てていなかったと考えられる。持続的な地熱発電のためには、発電量を調整する等の措置のほかに、涵養注水による積極的な資源量の維持・回復も重要なアプローチとなる。

(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構(以下、JOGMEC)は、2015 年から試験地域で涵養注水による生産量増産の試みを行っている。産総研・地熱チームは、涵養注水の際に発生する微小地震をとらえて地下流動をモニタリングする技術開発を担っており、試験地域に 9 つのオンライン常時観測点を設けて日々の解析を続けている。

### 2. 出張の目的

本出張は主に、Lawrence Berkley National Laboratory (LBNL) でのセミナー発表、EGS Collab 会議への参加を行った前半期間(2019 年 2 月 6 日 - 2 月 10 日)と、SGW にて発表を行った後半期間(2 月 11 日 - 2 月 15 日)にて構成されている。

本出張では、試験地域における微小地震モニタリングの概要・現在までの解析結果の共有と、微小地震モニタリングに関する世界の最新の動向を収集するために、LBNL でのセミナーと、Stanford Geothermal Workshop (SGW) での発表を行った。また、米国エネルギー省 (DOE) の助成で行われているプロジェクト「EGS Collab」の会議にオブザーバーとして参加した。

微小地震モニタリングに関して、現在私が問題意識を

持っていることは流動由来で生じた微小地震と背景地震の識別である。例えば、奥会津地熱地域のような、背景のサイズシフトが活発な地域では、注水に伴う流体流動位置と、微小地震の発生位置を等価とすることは難しい。微小地震発生要因の識別(例えば、流体流動由来で発生した微小地震の識別)を行うことで、微小地震観測に基づいた流動把握をより確実なものにできると考えている。上記の問題意識を念頭におきつつ、微小地震モニタリング全般に関して、世界の動向の調査を行うとともに、自身の成果の発信を行うことを目的として本出張を行った。

### 3. セミナー参加報告

前半期間に訪問した LBNL は国立研究所の一つであり、サンフランシスコの北東にあるバークレーに位置しており、カリフォルニア大学バークレー校に隣接している。キャンパスは、サンフランシスコ湾やゴールデンゲートブリッジを一望できる小高い丘陵地帯に広がっている。地熱チームに所属する石橋氏の多大な協力を得て、LBNL の Earth & Environmental Science Area に所属する Tim Kneafsey 博士を中心として、複数名の研究者を交えてセミナーを持つことができた(写真 1)。Kneafsey 博士は室

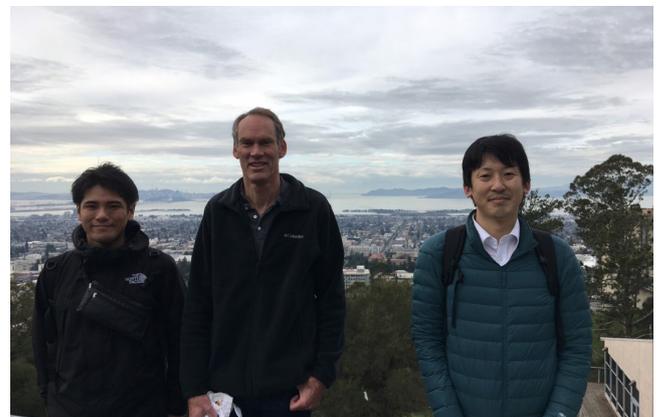


写真 1 LBNL キャンパスにてサンフランシスコ湾を背景にして Kneafsey 博士(中央)と記念撮影。右は地熱チーム 石橋氏。

1) 産総研 エネルギー・環境領域 再生可能エネルギー研究センター

キーワード：廣川研究助成事業、地熱貯留層、微小地震、Stanford Geothermal Workshop



写真2 パロアルトへ向かうためのバス停

内実験やフィールド実験を通して岩体内の熱や流体輸送についての研究を行っている地質分野の研究者である。また、彼は前述のEGS CollabのPI (Principal Investigator)である。当該プロジェクトでは、廃坑となった金属鉱山での注水およびそれに伴う諸現象の観測・解明を行っている。特に、注水井近傍で高密度な微小地震モニタリングを行っており、本出張の目的を達成するための有益な情報を得ることができた。出張の前半期間では、更に、EGS Collabプロジェクトに参画する研究機関が一堂に会して成果の共有を行う会議にも参加することができた。当該会議には、Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL)をはじめとして、他の国立研究所や大学等の研究者も多数出席しており、人脈形成や最先端の技術動向調査等にとって貴重な場となった。

出張後半には、バークレーからスタンフォードへ移動し、SGWに参加し、自身の研究成果の発表を行った。バークレーからスタンフォードへの移動は、公共交通機関を利用した場合、バートを利用してミルブレイ駅(サンフランシスコ国際空港の一つ南の駅)まで移動し、そこからカルトレインに乗り換えてパロアルト駅まで向かう方法が最も簡単と思われる。パロアルト駅からは、スタンフォード大学が運営する無料のシャトルバスにてキャンパスまで向かうことができる。近年、スタンフォード周辺で問題と

なっているのが、AppleやGoogle、FacebookといったIT系企業の進出により地価や需要が急速に高まったことによる、ホテル価格の高騰である。ごく一般的なホテルでも、1泊400ドル以上することも稀ではない。私は、この価格の高騰を避けて、サンノゼ・ディリドン駅近くのモーテルを利用した(それでも、1泊120ドル以上)。モーテルからスタンフォード大学へは、カルトレイン(片道6ドル)、またはエクスプレスバス(片道2.5ドル)を利用して、一時間程度で到着することができる。私は比較的本数が多く、またバス停がモーテルのごく近くにあったため、エクスプレスバスを利用した(写真2)。バス車内後方には、路上生活者と思われる乗客が数多く乗っている場合もあり、ある程度緊張して乗る必要があった。私は、石橋氏と同乗していたこと、また、深夜には乗車しなかったこともあり、幸いにも全日何事もなく過ごすことができた。しかし、もしやむを得ず、単独利用や、深夜のバス利用となった場合は、相応の注意をして乗る必要があったと思われる。現地の日本人の話では、地元の高校生はこのバスに乗らないように指導されているようであった。

SGWは、スタンフォード大学ホーン教授の挨拶で開会し(写真3)、3日間に渡り地熱関連の各セッションが開催された。前述のEGS Collab関連のセッションは連日開催され盛況であった。私の発表は最終日(2月13日)の朝一

のセッションに設定されていた。奥会津地熱地域での微小地震モニタリングの概要と、震源メカニズム等を組み合わせた高精度な流動推定方法について紹介した(写真4)。EGS Collab 内で微小地震モニタリングを担当する LLNL グループとディスカッションを行うことができ、私の研究の位置づけや、今後の課題についても把握することができた(詳細は後述)。ディスカッション後には、今後の LLNL への訪問打診を行ったところ、快諾を得ることができ、更なる展開の基礎とすることができた。

帰国は、サンノゼ国際空港から成田空港への直通フライトを利用した。当該空港は、サンフランシスコ国際空港よりもコンパクトであるため、空港内の移動や出国審査等に時間がかからず便利であった。また、サンノゼ・ディリドン駅からタクシーを利用した場合、約 10 分程度で到着できる点も便利であった。私は今まで、バイエリアではサンフランシスコ国際空港しか利用しなかったが、バイエリア南部で出張がある場合、サンノゼ国際空港の利用がベストだと感じた。

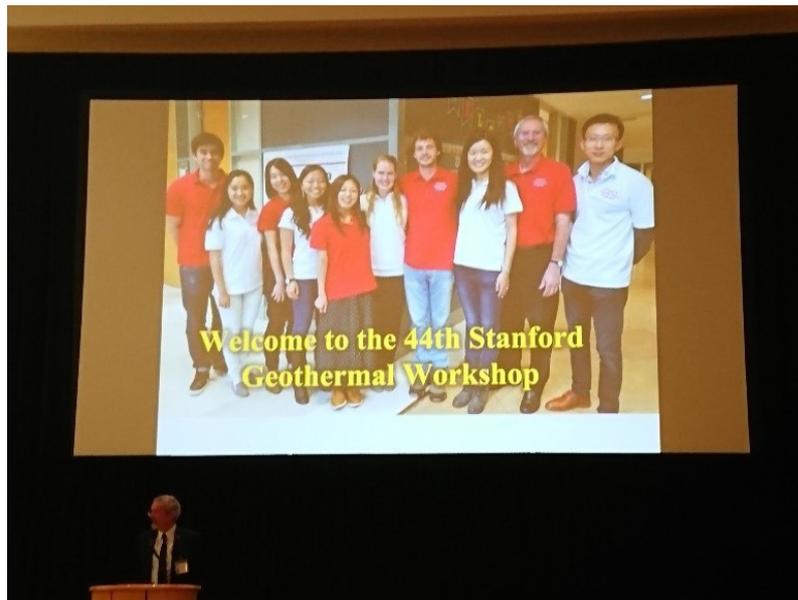


写真3 ホーン教授による、SGW 開会の挨拶

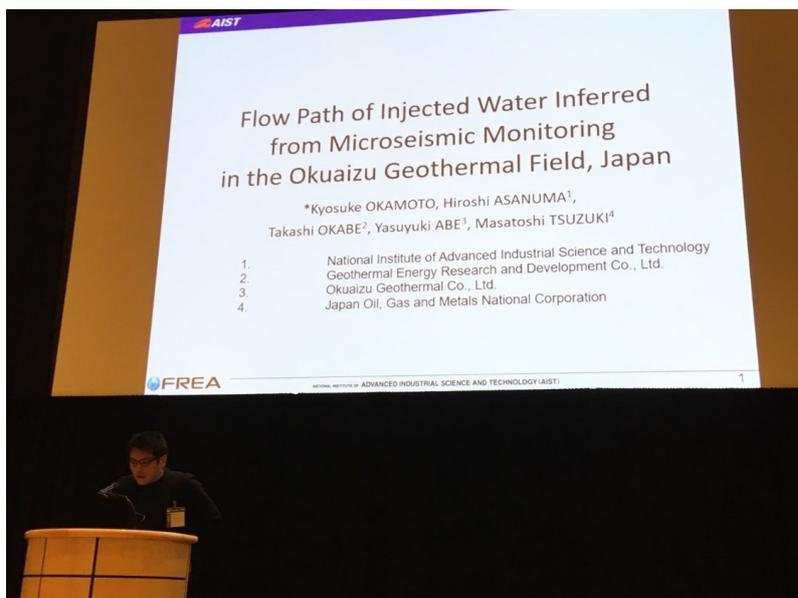


写真4 著者の発表の様子

#### 4. EGS Collab での微小地震観測と私の研究の立ち位置

本出張で数多くの話を聞いた EGS Collab プロジェクトでは、廃坑となった金鉱山内から掘削した注水井を利用して水圧破碎を行っている。その際の流体挙動を、モニタリング井内に稠密に配置された微小地震計を利用して推定している。地震発生場のごく近傍に観測点を配置できているため、フィールドスケールでは驚異的な 40 kHz 程度の信号も収録されているようである。LBNL グループによる微小地震観測結果によると、水圧破碎に伴い注水井から直線的に進展した微小地震群は、既存の開口き裂群近傍で成長が鈍化し、開口き裂群より更に遠くへは成長することができなかったことが分かっている。空間的に詳細な観測が為されているため、微小地震が「水圧破碎そのものによって、正に水圧破碎位置で生じているのか」、または、「水圧破碎によって生じる応力場擾乱により、水圧破碎位置からやや離れた位置で生じているのか」といった問いにも答えを出せる可能性がある。この知見は、私の研究にとっても非常に有益であった。また、LLNL グループは、波形情報に基づいて、オープニング、シェアリングで生じた微小地震の区別、更にはサーマルクラック由来の微小地震の区別を将来的に行いたいと考えているようである。これは、私が現在アイデア段階で考えている手法と非常に似ており、地熱地域での微小地震モニタリングは、現在、競争の世界にあることを感じた。一方で、震源メカニズム解析まで行って流動把握を行っている研究発表は見当たらなかったため、私の研究発表は少なからず興味を持ってもらえたようである。研究例が少ないのは、震源メカニズムまで求める場合、解析時間等を考慮するとリアルタイム解析としては不利となる点も影響しているのかもしれない。今後、LBNL や LLNL グループをはじめとして、米国の微小地震グループと建設的な関係を築いていくことで、私の研究を更に発展させることができると考える。

#### 5. おわりに

本出張では、米国の国家プロジェクトである EGS Collab を中心として、数多くの最先端研究に触れることができた。スケールの大きさと緻密さには圧倒されるものがあった。その研究メンバーが集まる中で、私の研究成果を発表できたことは今後の研究発展にとって重要になったと考える。また、日本の地熱研究にも造詣の深いスタンフォード



写真5 懇親会后、ホーン教授との記念撮影

大学のホーン教授(写真5)や、各研究機関の年代の近い研究者の方々と交流を持てたことも大きな成果であった。

本出張は、地質調査総合センターの廣川研究助成の援助により実現できました。廣川治氏のご遺族をはじめとし、このような機会をいただきましたご関係者の皆様に深くお礼申し上げます。また、LBNL でのセミナー開催にご尽力頂いた地熱チームの石橋琢也氏にも、ここに記して感謝申し上げます。

---

OKAMOTO Kyosuke (2019) Report of the Hirokawa Research Fund in 2018 fiscal year: Preliminary investigation for development of accurate microseismic monitoring in geothermal reservoirs.

---

(受付:2019年4月22日)