

平成 28 年度廣川研究助成事業報告 (4)

深部地質環境の長期安定性評価のための断層活動と水理地質特性との相互作用の解明に向けた国際共同研究打ち合わせ

大坪 誠¹⁾

1. はじめに

2016 年 11 月 13 日～21 日にアメリカ合衆国カリフォルニア州、アメリカ地質調査所 (U.S. Geological Survey, 以下 USGS) の Jeanne Hardebeck 博士、スタンフォード大学の William Ellsworth 教授を訪問し、断層活動と水理地質特性との相互作用の解明に向けた国際共同研究のための打ち合わせを行う機会をいただきました。また、この訪問期間中にナパ市で開催された UJNR 地震調査専門部会第 11 回合同部会に参加し、断層活動と水理地質特性との相互作用に関して部会参加者と意見交換を行いました。そこで、今回のアメリカ訪問につきまして報告いたします。

この訪問を契機として、現在、私は 2017 年 3 月より同年 12 月末まで約 9 ヶ月の予定で USGS に滞在して共同研究を行っています (ホストは Jeanne Hardebeck 博士)。現在の滞在生活の様子は活断層・火山研究部門の 2017 年 6 月発行のニュースレター (大坪, 2017) をご覧ください。

2. 研究及び訪問の目的

断層運動メカニズムの理解のためには、近年、「地震発生前後での地殻にかかる力の状態 (応力状態) の把握」、ならびに、「断層帯での亀裂内の流体挙動の把握」が重要度を増しています。例えば、2011 年東北地方太平洋沖地震 (マグニチュード 9.0) の発生によって、東北沖を中心とした地域で、これまでの東北日本で一般的であった逆断層型の応力状態が正断層型の応力状態に変化したことが報告されています (Hasegawa *et al.*, 2012)。また、福島県いわき地域下の地殻では、2011 年東北地方太平洋沖地震の発生の影響で井戸沢断層と湯ノ岳断層の二つの活断層が動きやすい応力状態に変化したことにより、福島県浜通りの地震 (マグニチュード 6.6) が発生しました (Miyakawa and Otsubo, 2015)。さらに、深部地質環境に注目すると、地下水流動系への影響として応力-亀裂-透水性の相互作

用の重要性が明らかになりつつあります (例えば, Otsubo *et al.*, 2016)。

私は、現在、産総研において、「沈み込み帯の沿岸域で、地震発生サイクル中の地殻応力の蓄積解放プロセスが地殻内での流体移動にどのように影響するのか?」、「地殻内の流体移動が断層活動にどのように影響するのか?」などについて研究を進めています。そこで、世界各地の沈み込み帯での地震データの解析に強みを持つ USGS との国際共同研究が実現できれば、地質事象や水文学に関する豊富な研究成果を持つ産総研の強みを活かして、「日本列島沿岸域での深部地質環境の信頼性の高い長期変動予測モデルの構築」が期待できると考えました。今回の訪問相手の、Hardebeck 博士及び Ellsworth 教授は、「地震発生サイクル中の地殻応力の蓄積及び解放の研究」、及び、「地殻内での流体移動と地震発生の関係」に関して先駆的に研究を進めている研究者です、両者とも、日本列島下で起こる地震のデータを扱った研究成果もあり (例えば, Hardebeck, 2015)、日本に馴染みのある研究者です。

USGS 及びスタンフォード大学は、サンフランシスコ市から南東に 60 km ほど離れたシリコンバレー北部に位置しています (どちらの最寄駅もカルトレインパロアルト駅です)。USGS (写真 1) は、アメリカ合衆国内務省の傘下にある研究機関で、地形・地質、天然資源、水文、及び地震や火山の自然災害やそれらのリスク評価などの調査・研究を行っており、アメリカ国内の地形図及び地質図の作成業務も担当しています。USGS 設立は 1879 年で、日本の地質調査所 (現在の産総研地質調査総合センター) の設立時期 (1882 年) とほぼ同じです。スタンフォード大学 (写真 2) は 1891 年に設立された私立大学で、地球科学関連の学部は 1891 年設立時から設置されています。1906 年に発生したサンフランシスコ市の近くを通るサンアンドレアス断層を震源とするサンフランシスコ地震 (マグニチュード 7.8) でスタンフォード大学の建物は被災しましたが、大学設立当時の建物は現在も多く残っています。

1) 産総研 地質調査総合センター 活断層・火山研究部門

キーワード：廣川研究助成事業、地震、応力、亀裂、流体移動



写真1 カリフォルニア州メンロパーク市にあるアメリカ地質調査所 (USGS) の様子。(a) USGSの入り口にある看板。(b) USGSの建物。



写真2 スタンフォード大学の様子。右手奥はスタンフォード大学で有名なフーバートワー。

3. 研究打ち合わせ

USGSでは2日間かけて打ち合わせを行いました(11月14日, 15日)。まず, Hardebeck博士と, 私が共同研究として行いたい内容について意見交換を行った後, 世界各

地の沈み込み帯での地震データを使用するにあたって, 「研究対象地域の設定」, 「データの種類」, 「取り扱う地震の時期」などについて打ち合わせを行いました。その後, 午前と午後, それぞれ30分間隔で15人ほどのUSGS研究者と個別に議論しました。USGS内の, 地震学, 地質学, 変動地形学, 水文学, などを専門とする研究者たちに, 私のこれまでの研究, 「応力逆解析」, 「様々な時間スケールでの地殻の変形ダイナミクス」, 「応力-亀裂-流体の相互作用」などについて紹介し, 意見交換を行いました。特に, USGSでは, 誘発地震(シェールガス開発で地下に圧力を持つ水を注入することにより発生する地震がよく知られています)に関する研究が盛んに行われていて, 「亀裂内での流体移動がどのようにして地震活動に繋がっていくか?」について, 観測や解析を用いた研究成果に触れることができました。各研究者との意見交換では30分が一瞬に感じるほど議論が盛り上がり, USGSの皆さんに好意的に私の研究内容を聞いていただきました。外国人研究者と研究打ち合わせの際に短時間で自己紹介する場合は, 「自分の研究を紹介するホームページのコピー」で十分と感じます(写真3)。日頃から英語でホームページを作成し, 研究トピックスと業績リストなどを整理しておくとう便利です。また, 外国人研究者との議論で感じたことは, 英会話の能力よりも研究の要点を抑える視点が大事だと感じました。たどたどしい英会話でも, 相手が面白いと思うサイエ

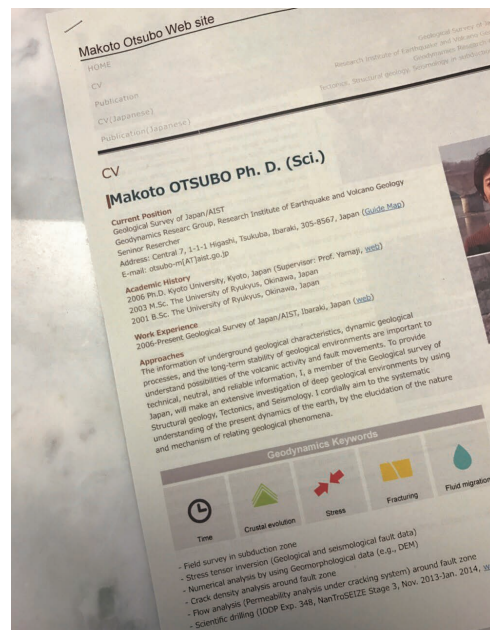


写真3 打ち合わせに使用した筆者のホームページ (<https://staff.aist.go.jp/otsubo-m/index.html>)のコピー。自己紹介に使うにあたって, ホームページに「業績リスト」だけでなく, 「研究トピック」を整理しておいたことが効果的でした。

ンスを研究していることが伝われば、外国人研究者との議論は十分に盛り上がる印象を受けました。

スタンフォード大学での打ち合わせでは、Ellsworth 教授と、Hardebeck 博士の時と同じテーマについて打ち合わせを行いました（11月20日）。特に、地震データの精度（震源の深さの決定精度）をどのように考えるか？についてコメントをいただきました。スタンフォード大学では Ellsworth 教授を中心に誘発地震の研究にも取り組んでおられます。Ellsworth 教授からは、スタンフォード大学で「断層活動と水理地質特性との相互作用」に関係する研究を行っている先生を紹介いただき、その先生らと意見交換を行いました。ここでも、私のホームページのコピーが私自身の研究紹介には効果的でした。

4. UJNR 地震調査専門部会第 11 回合同部会への参加

今回の出張期間中の 11 月 16 日～18 日に、Hardebeck 博士や USGS 研究者とともに、ナパ市で開催された UJNR 地震調査専門部会第 11 回合同部会（11th Joint Meeting U.S.-Japan Natural Resources Panel on Earthquake Research）に参加しました。この合同部会は、天然資源の開発利用に関する日米会議（UJNR）における地震調査専門部会で、2 年に 1 回、日米で交互に開催されている部会です。ナパ市は、サンフランシスコ市から北東におよそ 60 km に位置しており、温泉とカルフォルニアワインが有名です。部会はシルバラードリゾート（写真 4）で開催され、産総研の研究者を含む日米の国の研究機関や大学に所属する地震学研究者 50 名以上が参加しました。2016 年熊本



写真 4 UJNR 地震調査専門部会第 11 回合同部会が開催されたシルバラードリゾート（カリフォルニア州ナパ市）。

地震（マグニチュード 7.3）や 2014 年南ナパ地震（マグニチュード 6.0）といった最近の地震、及び、アメリカ中東部で発生している誘発地震が大きなトピックとして扱われました。私は、「陸上付加体の鉱物脈を用いた亀裂-流体移動の相互作用に関する研究成果」のポスター発表を行い、部会参加者と「断層活動と水理地質特性との相互作用」に関して意見交換を行いました。部会最終日には、2014 年南ナパ地震（マグニチュード 6.0）の被災地の巡検が行われ、地震に伴って出現した地表地震断層や地盤の変形を見学しました。巡検では、実際にこの地震の調査を行った USGS 研究者の説明を受けました（写真 5）。また、地震発生時の揺れの程度やぶどう畑の中に地表地震断層が生じたことなどをワイナリーのオーナーさんに大変丁寧に説明していただきました。

謝辞：本訪問に際して、アメリカ地質調査所の Jeanne Hardebeck 博士、及び、スタンフォード大学の William Ellsworth 教授には、事前の調整から打合せまで、大変親切にご協力いただきました。今回の訪問は地質調査総合センターの廣川研究助成事業により実現し、そのおかげで具体的な共同研究の計画を練ることができ、2017 年 3 月からアメリカ地質調査所に滞在しています。このような機会を与えてくださった関係者の皆様に深く感謝いたします。



写真 5 UJNR 地震調査専門部会第 11 回合同部会の最終日に行われた、2014 年南ナパ地震（マグニチュード 6.0）の被災地巡検の様子。巡検では、2014 年南ナパ地震の現地調査を行った USGS 研究者（写真中央）から南ナパ地震について説明を受けました。

文 献

- Hardebeck, J.L. (2015) Stress orientations in subduction zones and the strength of subduction megathrust faults. *Science*, **349**, 1213–1216.
- Hasegawa, A., Yoshida, K., Asano, Y., Okada, T., Iinuma, T. and Ito, Y. (2012) Change in stress field after the 2011 great Tohoku-Oki earthquake. *Earth and Planetary Science Letters*, **355–356**, 231–243.
- Miyakawa, A. and Otsubo, M. (2015) Effect of a change in the state of stress on inland fault activity during the Mw 6.6 Iwaki earthquake resulting from the Mw 9.0 2011 Tohoku earthquake, Japan. *Tectonophysics*, **661**, 112–120.
- 大坪 誠 (2017) アメリカ地質調査所 (USGS) での在外研究報告 (その 1) : 渡米から 3 ヶ月が過ぎて. IEVG ニュースレター, **4** (2), 7–10.
- Otsubo, M., Shimizu, T., Miyakawa, A., Sato, T., Ohwada, M. and Kazahaya, K. (2016) Fractures in Cretaceous granite as pathways of upwelling deep-seated water at Kawachinagano city on Kii Peninsula, southwest Japan. *Island Arc*, **25**, 298–300.
-
- OTSUBO Makoto (2017) Report of the Hirokawa Research Fund in the 2016 fiscal year: Meeting for study on interactions between faulting and fluid migration to understand deep geological environment.
-

(受付: 2017 年 7 月 24 日)