

2017 年

2 月号

IEVG ニュースレター

Vol.3 No.6

NEWS LETTER



[研究現場紹介]

南極火山における火山ガス観測調査について

風早竜之介（マグマ活動研究グループ）

1. 序文

火山の火口や噴気地帯から地表に放出される火山ガスは、火山地下のマグマの状態を反映しています。火山における噴火がいつどのような規模で発生し、いつ活動が終息するのかを予測するためには、火山ガス放出現象のモニタリングが重要です。私は今まで、国内外の活発な火山で火山ガスの放出率と組成（火山ガス構成成分の割合）の観測を実施してきました。今回の研究現場紹介では、2016 年 10 月から 11 月にかけて実施した南極の Mt. Melbourne 及び Mt. Rittman での火山ガス観測、また南極基地での生活について紹介させていただきます。

2. 南極基地での観測生活

今回の観測は、韓国極地研究所（KOPRI）との共同研究という形で実施しました。2016 年 10 月末から 11 月末まで、一か月ほど南極の KOPRI-Jan Bogo 基地に滞在し、火山ガス観測を実施しました（図 1）。

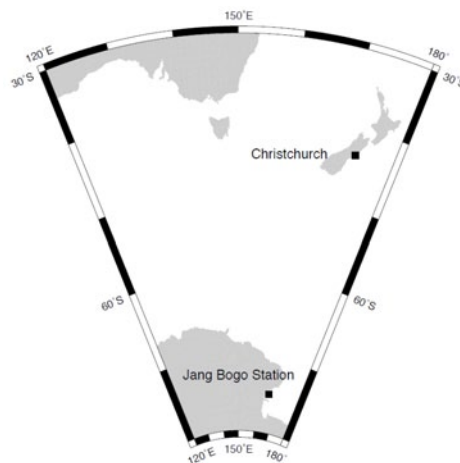


図 1 南極滞在地付近の図（GMT [Wessel and Smith, 1998] を用いて描画）。KOPRI-Jan Bogo 基地（黒四角）に滞在し、火山観測を実施した。また、描画に関し、田中明子さんにご協力頂きました。

Wessel, P. and W. H. F. Smith, New, improved version of the Generic Mapping Tools released, EOS Trans. AGU, 79, 579, 1998.

Contents

- 01 研究現場紹介 南極火山における火山ガス観測調査について …… 風早竜之介
- 04 新人研究紹介 大規模地震発生サイクルシミュレーション …… 大谷真紀子
- 08 海外滞在記 オレゴン州立大学での在外研究報告ー準備から到着後 3 ヶ月を迎えてー …… 山崎誠子
- 11 UJNR 地震調査専門部会第 11 回合同部会 参加報告 …… 宍倉正展
- 13 学会報告 アジア地震学会（ASC2016 オーストラリア・メルボルン市） …… 石川有三
- 14 外部委員会活動報告 2016 年 12 月～2017 年 1 月

基地まではニュージーランドのクリストチャーチより空路で約9時間程で、距離にして3500 km程です。Jan Bogo 基地は2014年に設立された新しい基地です。基地での生活は、食事の時間等レギュレーションが細かく定められています。太陽光・風力発電設備によって電力が供給され、基地内部の温度も25℃以上に保たれ快適ですが、電力が不足すると温水が供給できなくなりシャワーが止まるといった事もありました。南極は南半球のため私が滞在した10-11月は初夏にあたり、白夜で一日中太陽が沈まないという環境でした。

基地内部にはトレーニングジム等の娯楽施設も充実し、セキュリティガードの人達が毎日トレーニングに勤しんでいました。特に越冬は半年間少人数で孤立した環境での生活となるため精神面への負担が大きく、人間関係等生活する上でストレスが多い環境のようです。冬場は太陽が昇らないため気持ちが塞ぎ込む事も多い、と越冬隊の方々にお聞きしました。

火山の観測のためにはヘリコプターを用いてフィールドへ移動する必要があるのですが、ヘリコプターの運行には安全性確保のための厳しいレギュレーションがあり、雲が出たり風が強かったりするとヘリコプターの運行・フィールドでの着陸・離陸ができないため、基地で良い天候を待ち待機する日々が続きました。

3. 火山ガス観測

今回実施した観測は、火山性二酸化硫黄 (SO_2) 放出量観測と火山ガス組成観測の二つです。 SO_2 放出量観測は原理として SO_2 の紫外光吸収を利用しており、分光機器を用いて火山噴煙をスキャンする事によって実施します。通常の観測では車等を用いて噴煙の下を走る事によって噴煙をスキャンするのですが、今回は遠隔地での観測のため車等の使用はできません。このため、望遠鏡を鉛直方向に向けた状態でザックに固定し、ザックを背負って噴煙の下を歩行する事によって観測を実施しました。また、火山ガス組成観測は Multi-GAS というガスセンサー群から成る装置を用いて行いました。この

装置を用いて風下で移流してきた噴煙を吸引する事によって、火山ガス組成の観測を実施します。

今回のフィールドは気温が -20℃から -35℃と非常に低温な環境だったため、人間にとって厳しいのみならず、観測機器にも厳しい環境であり、観測には工夫を要しました(写真1)。機器の制御にパソコンを使用するのですが、通常のパソコンは低温ではバッテリー電圧が下がり正常に動作しないという問題があります。このため、今回は寒冷地仕様の物を使用しました。また、バッテリー部分にホッカイロを貼付する等の工夫をしました。防寒対策として、ガスセンサー群の温度を下げ過ぎないように装置をクーラーボックス内部に入れ込み、簡易ヒーターとホッカイロを併用して装置の温度を維持しました(写真2)。

フィールドにおいては、火山の噴気から数百メートル程度離れた所にヘリコプターを着陸させて観



写真1 SO_2 観測装置（分光機器）の校正風景。



写真2 観測装置の防寒対策。ガスセンサー群を断熱バッグ（銀色）に入れ、ヒーターとホッカイロをバッグ内部に入れる事で、センサーの温度を保っています。断熱バッグとロガー（記録装置）、ガス吸引ポンプをクーラーボックスに入れ、密閉する事で断熱しています。

測を実施しました。安全確保のために最低2名のセキュリティガードが付き、足場が悪い場所や、クレバス（氷河や雪溪の深い割れ目）が存在する可能性がある場所ではクラムボン・命綱等を利用して移動しました。観測フィールドの一つである Mt. Melbourne は標高 2732 m の火山で、Jan Bogo 基地から北東方向 30 km 程の所に位置しています。Mt. Melbourne では火山ガスが噴出する場所に Ice Chimney と呼ばれる天然の煙突状のかまぐらのような構造が見られます。これは、噴出する高温の火山ガスによって地表の雪が融けるものの、大気は極低温のため噴出した火山ガスが空気中で冷やされ、凝縮・凍結するためです（写真3, 4）。もう一つの観測フィールドの Mt. Rittman は標高 2600 m



写真3 Mt. Melbourne における Ice Chimney.



写真4 Mt. Melbourne における Ice Chimney 群.

の火山で、Jan Bogo 基地から北東 130 km 程の所に位置しています。Mt. Rittman での観測においては Mt. Melbourne とは対照的に、Ice Chimney が形成されずに地面から直接ガスが噴出されていました。地面には数か所噴気孔が空いており、湯気を伴って土壌ガスが出てきました（写真5）。

4. 結文

今回の韓国南極基地滞在は、基地に滞在している人たちがほとんど韓国人で皆韓国語を用いてコミュニケーションを行っていた事もあり、英語圏の文化とはまた違った国際交流について考える良い機会となりました。南極での観測は普通のフィールドとは異なり、寒さ対策は勿論安全管理という意味で様々な事に気を配らねばならず非常に良い経験になりました。極地では一つ一つの観測データを取得する事が大変で、研究データはプライスレスであるという事を実感しました。今後も、一つ一つのデータを大切にして研究活動に従事していきたいと思います。



写真5 Mt. Rittman における土壌からのガス噴出。噴出孔の横にスケール（長さの指標）としてピックルを差し込んでいます。噴出孔の大きさは5~10 cm 程度でした。

新人研究紹介 大規模地震発生サイクルシミュレーション

大谷真紀子（地震テクトニクス研究グループ）

1. はじめに

日本列島は東から太平洋プレートが、また南からはフィリピン海プレートが沈み込み、隣接する陸側プレートとの境界では、数百年～千年の間隔で巨大地震が繰り返し発生しています。海溝型地震は規模の大きいものではM（マグニチュード）7～9にも及び、揺れ・津波などにより被害が大きくなるため、その発生機構を調べることは重要です。

プレート境界では巨大地震だけでなく様々な時間スケールのすべり現象が発生しています。これらはプレート境界面上で密に分布して発生し、互いに影響を及ぼしあっていると考えられます。例えば南海トラフでは南海・東南海・東海地震の発生が危惧されていますが、その地震発生領域の深部側ではすべり速度が小さく地震波を出さないようなすべり現象（ゆっくりすべり、SSE）が繰り返し発生し、巨大地震震源域の状態によってその活動度が変化する可能性が指摘されています[1]。また東北地方太平洋沖地震の発生前には、数年・一ヶ月前などにSSEが発生しており[2]、巨大地震との関係が議論されています。他にも、巨大地震前の、周辺領域における地震活動のサイズ頻度分布の変化（b値の変化）なども指摘されており、巨大地震発生領域周辺の様々なすべり現象の活動を検証することで、巨大地震発生に関する知見が得られることが期待されています。

近年陸上・海上のGNSS（Global Navigation Satellite System）や地震計による観測網が充実してきており、今後よりいっそう震源域に近い領域で、普段どのような地震活動・地殻変動が起こっているかが詳細に明らかになると期待されます。普段の地震等すべり現象の活動・そしてその変化が巨大地震の発生にどのように関係しうるかを検討するには、断層面上の応力蓄積過程・地震発生の繰

り返し（地震サイクル）を計算機上で模擬する地震発生サイクルシミュレーション（ECS; Earthquake Cycle Simulation, 図1）が有効であると考えられます。しかしながら実際の地震を対象にECSを行うには計算量などの点で問題があり、また、未だ計算に取り入れられていない効果も存在します。私はこれまで、海溝型巨大地震を対象としたより現実的なECSの実施を目指したECS計算の高度化を行ってきました。本稿ではまずECSの概要を説明し、H行列法導入によるECS計算の高速化及び本手法を用いた計算例を紹介します。

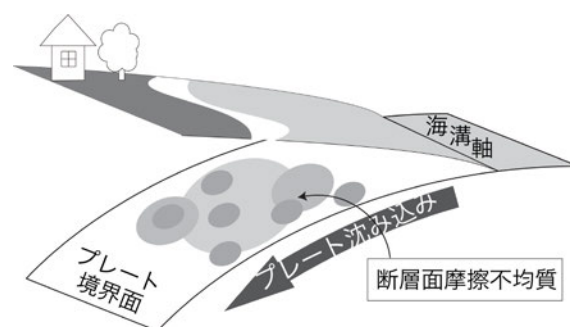


図1 地震発生サイクルシミュレーションにおけるプレート境界型地震発生モデルの概念図。

2. 地震発生サイクルシミュレーション（ECS）

ECSでは断層面上の応力・すべりの時間発展を計算し、地震発生サイクルを計算機上で模擬します。三次元で実際の地震を模擬するには計算量が大きな問題となり、通常比較的計算量の小さな境界要素法を用いた準動的ECSが用いられます。長期的に速度 V_{pl} で沈み込む断層面を仮定し、断層面を N 個の小断層に分割すると、 $i=1, \dots, N$ 番目のセル上の時間 t における剪断応力 τ_i は式(1)で表されます。

$$\tau_i = \sum_{j=1}^N K_{ij}(u_j - V_{pl}t) - \frac{\xi G}{2V_s} V_i \quad (1)$$

ここで、 u_j は j セルにおける変位、 K_{ij} は j セルの単位すべりによる i セルでの応力変化を表すすべり応答関数であり、 G は剛性率、 V_S は S 波速度、 V_i は i セルのすべり速度、そして ξ は減衰パラメタです。右辺第一項は長期的な沈み込みに対するすべり遅れによる応力変化を示し、右辺第二項は放射減衰を表します [3]。

また断層面上にはたらく摩擦を仮定し、断層面上の摩擦と剪断応力がつりあうとして、これらの連立方程式を数値的に解くことで、断層面上のすべり及び剪断応力の時間発展を得ます。地震としてふるまう領域や SSE としてふるまう領域などすべり様式の違いは、主に断層面上の摩擦特性の不均質として表現されます (図 1)。

3. 準動的 ECS の高速化

準動的 ECS 計算は式 (1) の右辺第一項に律速され、小断層数 N に対して計算量は N^2 に比例して増加します。断層面を離散化する際、小さなスケールのすべり現象を考慮するには小さなセルサイズが必要となるため、巨大地震だけでなく大小様々なスケールのすべり現象の発生を模擬するには、計算の高速化は必須です。

ECS 計算の高速化としては、これまでに高速フーリエ変換法 (FFT) の適用によって、全無限弾性体中の平面断層を仮定した場合の計算量を、 $N \log N$ に比例する程度に削減することに成功しています [4]。しかしながら、海溝型地震のように低角で沈み込む断層を考える際には地表面の影響が大きく、地表面を考慮した計算が必要となりますが、FFT の利用には周期的境界条件を課す必要があります、適用することができません。

そこで、電磁気など工学の分野で発達した H 行列法 [5] の ECS への導入を行いました。H 行列法とは、対角項部分に高い値をもちそこから離れるに従って小さな値となる密行列に対して適用できる、行列の圧縮手法です。行列の各要素の値を決める式の形を問わず幾何的に圧縮を行うことができるので、導入が容易であり、地震発生サイクルの計算に適しています。

本章では H 行列法の ECS への導入について説明し、本手法を用いた例として東北地方太平洋沖地震の ECS を紹介します。

3.1. 地震発生サイクル計算と H 行列法

H 行列法では、まず対象となる行列を、大きな値を持つ対角部は小さく、対角部から離れ小さな値をとるにつれより大きな小行列として分割します (図 2(a) のような小行列構造)。対角部にある小行列は含まれる要素が大きな値を持つので近似せず、その他の各小行列内で低ランク近似を行うことで、精度を保ちながら効率的に圧縮を行います。

各小行列の低ランク近似として ACA (Adaptive Cross Approximation) [6] を用いると、小行列 $\mathbf{M} \in \mathbb{R}^{m \times n}$ は、 $\mathbf{M}$ の列・行からそれぞれ選んだ $\mathbf{g}_i \in \mathbb{R}^m$ 及び $\mathbf{h}_i \in \mathbb{R}^n$ によって式 (2) のように表されます。

$$\mathbf{M} = \sum_{i=1}^k \mathbf{g}_i \mathbf{h}_i^T \quad (2)$$

$\mathbf{g}_i, \mathbf{h}_i$ としてノルムの大きいものから順に $\|\mathbf{g}_k \mathbf{h}_k^T\| / \|\mathbf{g}_1 \mathbf{h}_1^T\| < \varepsilon$ となるまで選択し、選択した列・行の本数 k が圧縮後の小行列のランクとなります。圧縮後小行列のメモリ量は $O(k(m+n))$ であり、 $\mathbf{v}' \in \mathbb{R}^n$ ベクトルとの掛け算に必要な計算量もまた $O(k(m+n))$ となります。つまり $k < mn/(m+n)$ となるときに、メモリ量の削減・計算の高速化が達成されるのです。

準動的 ECS における支配方程式 (式 1) の右辺第一項は各要素 K_{ij} からなるすべり応答行列 $\mathbf{M}_0 \in \mathbb{R}^{N \times N}$ とすべり遅れベクトル $\mathbf{v} \in \mathbb{R}^N$ との掛け算です。 K_{ij} は主に i, j セル間の距離に依存して減衰するので、小断層セルが距離の近いセル同士が互いに近い番号を持つように並んでいるに場合に、 $\mathbf{M}_0$ は H 行列の適用が可能な密行列となります。

半無限弾性体中の平面断層を仮定したある断層モデルすべり応答行列に対して H 行列法を適用したときの概念図を図 2(a) に示します。精度が上がるにつれ小行列の近似後ランクは増加し、 $\varepsilon = 10^{-4}$ 以下で発生サイクルの計算に必要な精度が得られました。また、これと同じ断層面に対して異なる N で離散化したときのメモリ量及び一回の行列ベク

トル演算にかかる計算時間は共に $N \sim N \log N$ に比例する程度の増加に抑えられ (図 2b), ECS の計算高速化に H 行列法は有効であるといえます。

3.2. 東北地方太平洋沖地震発生サイクルモデル

以下では, H 行列法を適用した ECS の例として, 2011 年東北地方太平洋沖地震の発生サイクルモデルを紹介します. 本研究で試みたのは, M9 の 2011 年東北地方太平洋沖地震に見られた以下 (1)~(4) の特徴の再現です.

(1) 500 km×200 km の巨大な破壊領域をもち, 宮城沖海溝軸付近では局所的に 50 m を超える非常に大きなすべり量をもつ.

(2) 同じタイプの地震が 450~800 年の再来間隔で発生している (津波堆積物調査より)

(3) 震源域内部には 30~40 年間隔で繰り返す M7 級地震の震源域が含まれる.

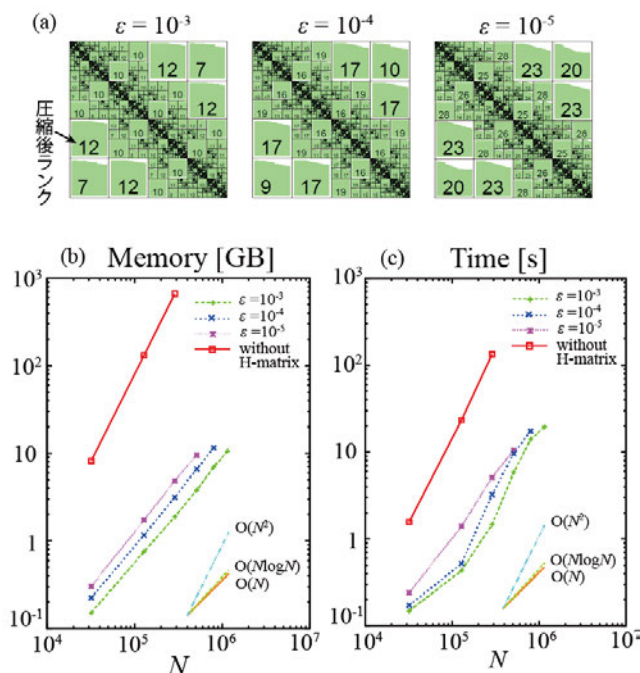


図2 (a) すべり応答行列 M_0 を H 行列に圧縮した概念図. $\epsilon = 10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}$ 各場合について, 四角全体が行列全体を, その内部の小さな四角形が分割された各小行列を表す. また小行列内の数字は圧縮後のランクである. (b) $\epsilon = 10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}$ 各場合の H 行列化後の行列のメモリ量及び一回の行列ベクトル演算にかかる計算時間の N 依存性.

(4) 2000 年~2010 年頃に, 福島沖で通常の地震とそれに伴う余効すべりによるものではないプレート間固着のはがれが観測された. (固着の剥がれは SSE であると捉えられ, M9 地震発生の前兆現象ではないかとの議論もある.)

太平洋プレートの三次元形状を考慮した深さ 80 km までの境界面を断層面として設定します. 平らな地表面を仮定し, 断層面を $N=200,704$ の小断層に離散化し, ECS を行いました. これは, これまでの高速化手法を用いない計算では地球シミュレータや京コンピュータなど特に大型の計算機で多数の CPU を使用してようやく計算されていた規模ですが, H 行列法を用いることにより, 大学に設置された大型汎用機で数十個の CPU を使用しての計算が可能となりました. ECS では異なる摩擦特性を設定した計算を複数行い地震発生の傾向等を検討する必要がありますが, 少ない CPU での計算が可能となったメリットは大きいといえます.

本研究で設定した断層面の摩擦特性は以下の通りです. 断層では深さの増加に伴い変形様式が脆性破壊から延性変形へと変化するのに合わせて, 深さ 60 km 以浅を自発的に不安定となる地震を起こする領域 (速度弱化), 以深を安定してすべる領域 (速度強化) として設定しました. また階層的な破壊エネルギーによって同じ領域で発生する異なるサイズの地震を表現する階層アスペリティモデル [7] を採用し, M9 地震の震源域と宮城沖・茨城沖で発生する M7 地震を想定した震源域を摩擦の不均質として表現します. 宮城沖浅部には, 地震間に強く固着する領域を設定しました.

図 3 に結果のすべり速度の発展の様子を示します. M9 地震発生時を Time=0 とし, 次の M9 地震発生までの各時間のすべり速度 V を $\log(V/V_{pl})$ として表しています. $\log(V/V_{pl}) < 0$ でプレート間は固着し, $\log(V/V_{pl})$ が大きいときは地震を表します. M9 地震発生により断層面に蓄積した応力は解放され, その後①地震発生領域全体が固着します. ②, ③時間の経過とともに深部からプレート間固着の

剥がれが進行し、M7の地震が約30年間隔で繰り返し発生する。④サイクルの後半になると福島沖でSSEが複数回発生し、⑤浅部の強固着域で十分応力が蓄積されると、強固着域の破壊が始まり、M9地震発生領域全体の破壊に発展しました。

本研究では摩擦特性の設定を考える上で、海溝付近の局所的な大すべり域を再現するには何らかの不均質が必要であることが分かりました。本研究では宮城沖浅部の強固着域として設定しましたが、例えば海山やすべり時の温度上昇によるTP (Thermal Pressurization) など、これと似た状況を生み出し得るメカニズムであると考えられます。

また、本モデルの特徴は④福島沖のSSEが再現されたことです。M9領域の大きな破壊エネルギー及び浅部の強固着域の存在によりSSEが必然的にこの位置に、複数回発生します。本モデルにおいて、SSEの発生はM9破壊領域の十分な応力蓄積を示しますが、巨大地震の発生自体は強固着域の応力の蓄積状態に左右され、SSEは巨大地震発生直前のみに起こる前兆現象であるとは言えません。

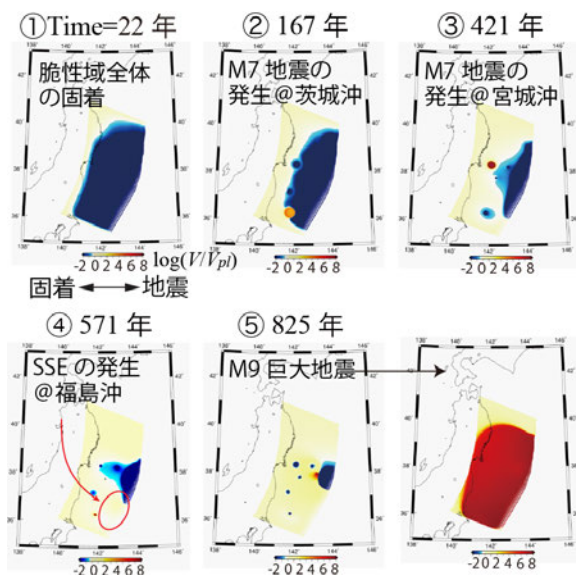


図3 M9巨大地震 (Time=0) 後次の巨大地震発生までの各時間における断層面上速度分布.

5. おわりに

私はこれまで海溝型巨大地震を対象とし、本稿で紹介した地震発生サイクルシミュレーションの計算高速化や計算への地表面形状の導入などを行ってきました。現在、粘弾性媒質を考慮した地震発生サイクル計算コードの開発に取り組んでいます。今後計算手法の開発と同時に、実際に発生している地震等すべり現象を対象とした計算も行いながら、海溝型地震・内陸地震の両者を含めたすべり現象の相互作用について理解を深めていきたいと考えています。

参考文献

- [1] K. Obara and A. Kato, Connecting slow earthquakes to huge earthquakes, *Science*, Vol. 353, No. 6296, pp. 253-257, (2016).
- [2] GSI, Estimated slip deficit distribution in northeast and southwest Japan, Report of Coordinating Committee for Earthquake Prediction, Vol. 86, pp.226, (2011)
- [3] J. R. Rice, Spatio-temporal complexity of slip on a fault, *J. Geophys. Res.*, Vol. 98, B6, pp. 9885-9907, (1993).
- [4] N. Kato, Interaction of slip on asperities: Numerical simulation of seismic cycles on a two-dimensional planar fault with nonuniform frictional property, *J. Geophys. Res.*, Vol. 109, B12306, (2004)
- [5] W. Hackbash, A sparse matrix arithmetic based on h-matrices. part i: Introduction to H-matrices. *Computing*, Vol. 62, No.2, pp. 89-108, (1999).
- [6] M. Bebendorf, Approximation of boundary element matrices, *Numer. Math*, Vol. 86, pp. 565-589, (2000)
- [7] T. Hori and S. Miyazaki, Hierarchical asperity model for multiscale characteristic earthquakes: A numerical study for the off - Kamaishi earthquake sequence in the NE Japan subduction zone, *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 37, L10304, (2010).

海外滞在記



オレゴン州立大学での在外研究報告 ー準備から到着後3ヶ月を迎えてー

山崎誠子（火山活動研究グループ）

はじめに

2016年11月12日より、約1年間の予定で米国オレゴン州立大学（OSU）の Ar/Ar 年代学研究室に滞在しています。地質分野の戦略的課題推進費（人材育成・留学枠）によるもので、審査期間に出張が重なったこともあり多くの方にサポートいただいで実現したものです。この場を借りてお礼申し上げます。とてもスムーズに実験が進み、早速最初のデータが得られようとしているところでこの報告を書いています。準備や到着直後は、想像通り大変なこともありましたが、当時の記憶も曖昧になるほどに印象深い出来事で毎日忙しく上書きされています。この冬は3年に1度の寒い年に当たったようで、マイナス 10℃まで気温が下がり、雪が積もって町が大混乱する場面にも遭遇しました（写真1）。本報告では、滞在先の紹介と準備から到着後に到着くまでの奮闘をご報告したいと思います。

滞在先について

OSU はオレゴン州コーバリスという町にあります。OSU には2年前にマグマ活動研究グループの



写真1 雪の日の大学構内。雪に慣れていない町は1/2インチの積雪でも大イベントでキャンパスはクローズドになりました。その後、最大2インチほど積雪する大寒波が到来し、動けない日もありました。

東宮昭彦さんが1年間滞在され、大学や町の様子についても紹介されていますので詳細はそちらに譲ります（東宮，2014，2016）。OSU には研究原子炉が構内にあり（写真2）、Ar/Ar 年代測定に必要な中性子照射には、何と歩いて試料を持ち込むという大変恵まれた環境です。受け入れ研究者は広く使われている Ar/Ar 年代測定のソフトウェアも開発したことで有名な Anthony Koppers 教授（写真3）で、主にはラボマネージャーの Dannel P. Miggins 博士（Dan さん；写真4）に面倒を見てもらっています。東宮さんが滞在していた Shanaka de Silva 教授は火山学・火成岩岩石学・鉱床学研究グループ（Volcanology, Igneous Petrology and Economic geology Research group; VIPER）のリーダー的存在である一方、Dan さんはデータの品質を管理する縁の下の方の力持ちの一人というところでしょうか。言葉の壁はあっても、実験室で気を配りたい部分は同じなので、気持ちに通じるという点では、時には日本人同士で話すよりわかる部分もあるような気がします。研究室には6名の学生と私の2日前に到着した中国からのポスドク、先週到着したメキシコからのスペイン人学生と大変賑やかです。1年目の学生もい



写真2 OSU 構内の原子炉がある Radiation Center（中央奥のページの建物）。近くでは農学部羊たちがのどかに草を食べています。

て、同じビギナーの立場で確認し合いながら進められる環境はとても助かっています。ただ、真空装置の技術に関しては、自動化した装置しか知らない学生さんたちに比べて、10年間手動装置で修行してきた私は、早速 Dan さんの右腕として、重要な部分まで触らせてもらっています。と調子に乗っていたら、最初の試料を載せた後、ここ数日で停電とエアコン不調の洗礼を受け、影響を受けた分析装置が現在調整中のため測定がまだ始められずにいます。謙虚に頑張ります。

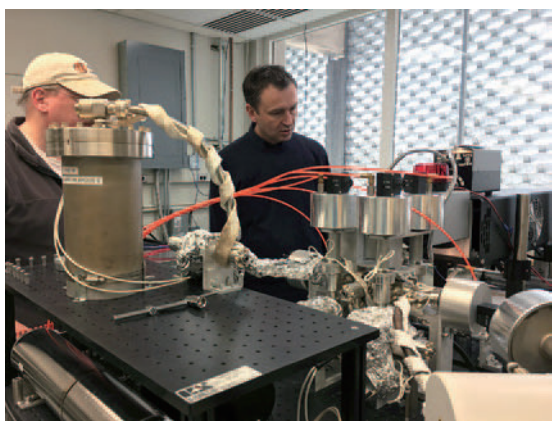


写真3 Ar 質量分析実験室での Anthony さん（右）と Dan さん（左）。Anthony さんは会議等で普段はとても忙しいようですが、実験室に来るとパツとアイデアを光らせて楽しそうに改良を残して行きます。

準備から出発まで

今回の在外研究のきっかけは、3年前に部門から応募した日本学術振興会の「頭脳循環を加速する戦略的国際研究ネットワーク推進プログラム」の提案に参加したことでした。提案の概要は部門で調整していましたが、参加テーマの詳細と受け入れ先との調整は在外研究を希望する個人が行いました。参加テーマとしては、私は入所後から K-Ar 年代測定に取り組んで来ておりましたので、年代データが得られた試料に岩石・地球化学的データを付け足す方向性か、異なる年代測定手法でのデータ評価の方向性がありましたが、石塚吉浩グループ長に相談に乗ってもらい、年代学を深める方向で Ar/Ar 年代測定研究室への訪問を目指すことにしました。しかし、論文や国際学会で目にする複数の研究者に突然メールを出しても、返事すらもらえませんでした。そこで、先輩研究者である同グループの石塚治さんに USGS の知り合いの研究者宛に紹介メールを書いてもらおうと、すぐに返信が来たのですが、その研究室ではポストクが複数人いてマシンタイムが取れないかもしれないという返事をもらいました。残念ながらその年の申請は通らず実現しませんでした。が、やんわりと断られたのかな、と思っていたその時に当時 OSU に滞在していた東宮さんから、「GSJ の年



写真4 （左）Dan さんと筆者。照射試料はガラスに封入し、ステンレスカプセルに入れて原子炉に持ち込みます。ビギナーはまだ練習中の場面。（右）小型岩石クラッシャーと Dan さん。前職で USGS にいた Dan さんは試料調製でのいろいろなコツも丁寧に教えてくれます。

代測定ラボの窓口は誰ですか？ OSU の Ar 年代ラボのマネージャーから連絡がくるかもしれません」と連絡を受けました。その後も様々な在外研究に関する申請を続けておりましたので、受理されたときには訪問してもいいですか？と機会があるごとに連絡をして、興味を持ってもらったチャンスを慎重に活かし、この在外研究の実現に漕ぎ着けました。

戦略的課題推進費の受理が決まってから、予定した出発までは5ヶ月をきっていました。とにかくまずビザを取らなくてはなりませんが、多くの書類を揃える必要があります。その中に大学に作成してもらう DS2019 という書類がありますが、その作成の依頼後、アメリカは長いホリデーシーズンに入り、2ヶ月メールが来ないという事態で大変やきもきしました。しかし9月に入りほどなく入手でき、出発1ヶ月前にやっと無事にビザが取れました。

住居に関しては、現地の人に教えてもらったcraigslist という地域情報サイトで探し始めました。このサイトではアパートや中古車、恋人から馬まで色々な売買情報が掲載されています。周辺環境や部屋の状況を写真だけでなく実際に見てから決めたいと思ったので、不動産屋にいくつか見学の予約をしたのみで、最初の数日のホテルを押さえて出発を迎えました。つくばのアパートは引き払うことに決め、出発1ヶ月前からレンタル倉庫に毎日1箱の段ボールを下ろして通勤しました。アパートが空っぽになったとき、とうとう本当につくばを離れるということを実感したものです。

到着後の生活

出発の直前に行われていたアメリカ大統領選挙では、日本ではほとんど誰も予想していなかったドナルド・トランプ氏の勝利となり、ポートランドではデモが行われているというニュースの中での到着でした（幸い、デモの現場に出会うことはありませんでした）。到着の翌日から Anthony さん、Dan さんと薄片を見ながら試料調製の計画を話し合う時間を設けていただき、とてもスムーズに実験を開始できました。

雨期ではありますが、町も治安がよく自然も多いので、大雨の日以外は農学部の牧場の横（写真5）を15分自転車通勤し、アメリカンフードで一回り



写真5 毎日通う Campus Way. のどかなカントリーロードという感じです。

大きくならないよう気をつけて生活しています。アパート探し、生活必需品の購入、運転免許の取得に向けてなど、一から生活を立ち上げるのはエネルギーも要りますが、トラブルも糧として楽しんでいます。単独での渡米なので、周囲の方も気にかけて親切にしてくださっていますし、一人気ままに心の動く新しいことに挑戦して失敗してみたりしながら日に日に強くなっている気がします。

おわりに

到着後しばらくは時々混ぜられるアメリカンジョークにまで同じ集中力を投じて話をしていたので、とても脳が疲れて毎日倒れ込むように寝ていましたが、少しずつ余裕も出てペースがつかめて来ました。ネット社会で世界の状況も身近になった現代では、昔に比べて海外での経験に興味を持つ人も減っていると聞きます。私も正直に言うと海外経験こそが素晴らしいと憧れを持っていたわけではありません。しかし、1年間異なる言語、文化環境で生活するということは、気持ちや考え方をリフレッシュして、何よりも同じ興味を持つ友人を増やす貴重な機会だと思います。長期的なトレーニングの繰り返しで短期間では見えないものも見られるように、様々なことを習得して戻りたいと思います。

参考文献

- 東宮昭彦(2014)オレゴンから在外研究報告～現地到着編, IEVG ニュースレター, Vol. 1, No. 6, p6-8.
東宮昭彦(2016)オレゴンから在外研究報告. GSJ 地質ニュース, Vol. 5, No. 4, p113-118.

レポート

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) 参加報告

穴倉正展 (海溝型地震履歴研究グループ)

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の第11回合同部会が、2016年11月16日～18日に米国カリフォルニア州ナパで開催されました。この合同部会は2年に1回、日米で交互に開催されており、今年は米国開催の順番にあたります。参加機関は、米国側は米国地質調査所 (USGS) を主体とした政府系研究機関に一部の大学、日本側は産総研の他、事務局である国土地理院、気象庁、海上保安庁、防災科学技術研究所、建築研究所、海洋研究開発機構など国の機関や国立研究開発法人で、これに大学関係者が若干加わります。通常、米国開催の場合、日本からの参加者はそれぞれの機関から2～3名程度ずつという感じなのですが、今回、産総研からは当部門から筆者の他、おもに若手を中心に、板場智史、内出崇彦、大谷真紀子、大坪 誠、白濱吉起、吉見雅行 (五十音順)、そして地圏資源環境研究部門から雷 興林氏と、異例の8名もの参加がありました。参加者の合計は日本側21名、米国側45名の計66名です。会場はシルバードリゾートというゴルフ場のリゾート施設で、参加者はほぼ全員が施設内のコテージに宿泊しました。ナパは言わずと知れたカリフォルニアワインの産地で、初日の参加受付時には、名札やプログラムと一緒に UJNR の特製ラベルが貼られた白ワインが参加者全員に渡されるという粋なはからいがありました。

さて肝心の会議の内容ですが、テクニカルセッションとして、今回は以下の6つの主要テーマを中心に、口頭58課題、ポスター10課題の合計68課題の講演が行われました。

(1) National Policies, Strategies, Programs, Networks, and ongoing/upcoming Projects

(国家政策、戦略プログラム、ネットワーク、進行中または今後のプロジェクト)

(2) The 2016 Kumamoto Earthquake Sequence

(2016年熊本地震)

(3) Earthquake Hazard Studies, Recurrence, and Mapping

(地震ハザード研究、地震発生間隔、マッピング)

(4) Induced Seismicity

(誘発地震)

(5) Subduction Zone Science

(沈み込み帯のサイエンス)

・ Recent Initiatives (S-Net, DONET, 'Ring of Fire', Subduction Zone Observatory)

(最新の取組 (S-Net, DONET, 'Ring of Fire', Subduction Zone Observatory))

・ Episodic Tremor and Slow Slip

(間歇的微動とスロースリップ)

・ Operational Forecasting and Early Warning Systems of Earthquakes and Tsunamis

(地震・津波の即時予測と早期警戒システム)

・ Probabilistic Earthquake and Tsunami Hazard Estimation

(確率論的地震・津波ハザード、古地震・古津波を含む)

・ Real-time Seismic and Geodetic Monitoring and Seafloor Observations

(リアルタイムでの地震動及び測地モニタリング、海底観測)

(6) The South Napa Earthquake

(南ナパ地震)

今回の特徴としては、2016年4月に2回の震度7を記録した熊本地震 (Mj 6.5 および 7.3) や、2014年に今回の会場となったナパ地域南部を襲った南ナパ地震 (Mw 6.0) といった最近の地震の他、誘発地震も大きなトピックでした。これはシェールガ

ス採取の掘削など地下への注水によって誘発される地震を対象にしており、米国では地震がほとんどない中部や東部で、地震活動が活発になった事例などが紹介され、大変興味深い報告でした。このほか日米ともに最近の測地関係の研究ではInSARの活用が目立ちました。InSARとは、人工衛星による合成開口レーダ画像の干渉処理により、地形の標高や変動量を求める技術ですが、近年は精度の向上により、熊本地震、南ナパ地震ともに微細にわたる地表変位が捉えられているように感じました。合同部会では毎回、テクニカルセッションの最後に参加者の総意として、Resolutionを作成することが慣例になっています。今回も地震による災害を軽減するために、今後日米で協力して実施すべき研究について取りまとめた決議を採択して閉会しました。

閉会式の後には現地視察として南ナパ地震の被災地の巡検が行われました。南ナパ地震は、USGSのデータにより、2014年8月24日にナパバレーの直下（深さ11.1km）で起きたMw 6.0の地震で、幸い死者は出なかったようですが、いくつか建物の被害があったようです。現地視察ではこの地震に伴って出現した地表地震断層をおもに見て回りました。しかし中規模の地震のため、変位量は数10cm以内と小さいものでした。最初に観察した場所では、牧場の柵が20cm程度右横ずれで食い違っていることが確認できました（写真1）。地震から

2年以上が経過しているのに、さすがに地表面の草地には痕跡はないと思っていましたが、じっくり観察すると、今でも右横ずれに伴う特徴的な断裂跡がわずかに残っていました。おそらく日本のような湿潤地域では、10～20cm程度の横ずれ変位の跡はあつという間に消失してしまうと思いますので、これは乾燥地域ならではのようです。次にワイナリーを訪れ、そこでの被害なども関係者から聞きました。オーナーは大変丁寧に説明してくださり、ワインと地質との関係まで話してくれました（写真2）。このほか地表地震断層のトレンチ掘削地点では、地表のズレが実は地下につながっていない場所があることが説明されるなど、中規模地震では変位が小さいが故に解釈が難しい事象があることを実感しました。

すべての行程を終えて、日本の参加者の多くは巡検後にそのままサンフランシスコ空港に移動して帰路につきました。私と吉見、大坪の3人はUSGSのShaneさんの運転する車に乗せてもらい、ユニオンスクエアのホテルまで送っていただきました。その車中では、次々回の合同部会（米国開催）の場所についての話題になり、これまで西海岸沿いに偏っていた開催地とは異なり、ハワイやアラスカなどを候補にしてはどうか、という意見もありました。是非期待してみたいと思います。ちなみに次の会合は2年後の2018年秋に日本で開催されます。



写真1 右横ずれでオフセットした柵。



写真2 ワイナリーで地震時の被害の状況などを説明するオーナー（写真右奥でこちら側を向いている男性）。

学会報告

アジア地震学会 (ASC2016 オーストラリア・メルボルン市)
参加報告

石川有三 (地震地下水研究グループ)

アジア地震学会 (Asian Seismological Commission) の第 11 回大会がオーストラリアのメルボルンで開かれた (Melbourne Convention Centre)。アジアに属さないオセアニアのオーストラリアでアジア地震学会が開催されたことを奇異に思われる人もおられると思い、最初にオーストラリアが何故アジア地震学会に入っているかを説明しておきます。

それは 1996 年のアジア地震学会設立時までさかのぼります。アジア地震学会の上部組織である国際地震学及び地球内部物理学連合学会 (IASPEI) が、当時、大陸毎の地域国際学会の設立を勧めていました。当時は、地域国際学会はヨーロッパにしかなく、間もなく中南米のラテンアメリカ地震学会が出来ようになっていました。そして、IASPEI からの要請を受けて中国とインドがイニシアティブをとり 1996 年に唐山地震 20 年のメモリアル事業としてアジア地震学会の設立大会が中国の唐山市で行なわれました。この立ち上げの過程でオーストラリアとニュージーランドの科学者から、オセアニアは単独では国際地震学会を作れないので、アジア地震学会に含めて欲しいという申し入れが有り、アジアのメンバーも了承し、設立時から参加してい

ます。そしてビューローメンバーにもオーストラリア人が入っており、特に前々回のモンゴルでの第 9 回大会では、オーストラリアの Gary Gibson 氏が会長に選ばれました。そして、フィリピン・マニラ市での第 10 回大会で次回はオーストラリアのメルボルン市で開催されることが決まりました。

さて 11 回大会に参加した海外の国・地域別人数では、10 数人参加した中国からが最多でした。次が日本からで 10 人。あとは、オーストラリアはもちろん、ニュージーランド、バヌアツ、フィジー、トンガ、フィリピン、インド、ロシア、米国、英国、台湾の 10 以上の国と地域からでした。口頭発表も全部で 40 件余り、ポスター発表が 18 件とこれまでにないこじんまりした大会でした。それでオーストラリア地震工学会 (Australia Earthquake Engineering Society) と平行開催 (一部共催) で行われました。参加者がこれまでの大会に比べ少なくなったのは、大会の準備が非常に遅れてしまったため、事前の宣伝がほとんど流されなかったことが原因と思われます。また、オーストラリアでは地震が少ないため、政府・行政機関や企業関係者の関心が低く、地元からの財政的支援が余り得られなかったことも原因



写真1 会場となったメルボルン会議センター (2011 年 IUGG の会場にもなった)。



写真2 開会式の様子。挨拶しているのは、Gibson 会長。

の一つと思われます。ただ、これまで参加が無かった南太平洋の国々からの参加があったのはやはり開催地がオーストラリアであったということが原因と思われます。

発表内容では、膨大な経費がかかっていると思われる中国の巨大地震計ネットワーク ChinArray の話や日本からは、弘前大の小菅さんが、3-11 地震前後で S 波の速度異方性の方向が変わったという研究成果を、東大地震研の佐竹さんが熊本地震について、それぞれキーノート報告として発表されました。2015 年ネパールの Gorkha 地震については、東大地震研の瀬藤さんと中国の Bai さんらが発表していました。他には、南太平洋諸国の地震観測網を統合した ORSNET を構築しているという報告がありました。小生は、「Checking the relation between volcanic eruptions and large earthquake activity in and around Philippine」と題する発表を行いました。広報・教育のセッションでは、オーストラリア国内の学校に地震計を設置してそのネットワークを作り、教育に活用していることが紹介されたり、年配者達が各自の得意分野を分担し、地震観測・解析クラブを作って活動していることなども報告されていました。

また、当所で出版した「東アジア地域地震火山災害情報図」を持参し 7 部配布しました。その中で国際地震センター所長（英国）の Dr. Dimitry Storchak 氏にもあげたのですが、彼はとても喜んで、翌日の自分の講演で「Yuzo Ishikawa らが作った災害情報図で USGS（米国地質調査所）のカタログでは無く、我々の ISC-GEM カタログを使ってくれた！こんな嬉しいことは無い！」とわざわざ私の名前まで言ってこの情報図を紹介してくれました。

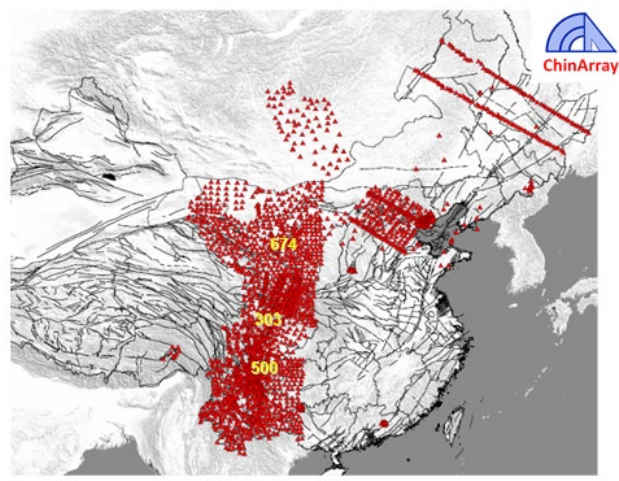


図1 中国の地震計アレー観測点分布図 (Wu Zhongliang, 2016). 数字の 674 と 500 が ChinArray で、四川省の 303 点と数字の書かれていない華北地区は 200 点で共に既存アレー観測点。

あと、今回の学会がこれまでの学会と異なったのは、大会前研修プログラムが実施されなかったことです。これまでは、開催国の学生、院生、若手職員などが多数参加し、それに海外の希望者が加わるという形で行われていました。しかし、今回は地元からの参加者がほとんど望めないという状況で、開催をあきらめたそうです。私は、大会前研修プログラムの講師を 2 回担当したことが有り、研修生達が非常に熱心だったので、このプログラムは是非次回は復活させて欲しいと思いました。

大会中にビューロー会議と総会が行われ、次回は、2018 年にインドのハイデラバードで開催をめざすと報告されました。ただ、執行部の改選については、意見がまとまらず、来年、神戸で開かれる IASPEI 総会の時に今回欠席した執行部メンバーも集めて決めることにし、それまで現執行部が暫定で継続することになりました。

外部委員会等 活動報告 (2016年12月～2017年1月)

11 月追加分

2016 年 11 月 10 日

地震調査委員会（岡村出席 / 文科省）

10 月の地震活動の評価ほか

2016 年 11 月 11 日

第 213 回地震予知連絡会（宍倉，松本出席 / 国土
地理院関東地方測量部）2016 年 8 ～ 10 月の地震活動や地殻変動等の観測
結果，重点検討課題「南海トラフ地震」

2016 年 11 月 21 日

第 57 回地震調査研究推進本部海溝型分科会（第二
期）（宍倉出席 / 文部科学省）

千島海溝・日本海溝の地震活動の長期評価について

2016 年 11 月 28 日

地震防災対策強化地域判定会（北川出席 / 気象庁）
東海地方周辺の最近の 1 ヶ月のデータを持ち寄っ
て検討し，東海地震の発生可能性について協議した。

2016 年 11 月 29 日

第 225 回地震調査研究推進本部長期評価部会（宍
倉出席 / 文部科学省）

- (1) 海溝型地震の長期評価について
- (2) 活断層の長期評価について
- (3) その他

2016 年 12 月～2017 年 1 月

2016 年 12 月 9 日

地震調査委員会（岡村出席 / 文科省）

11 月の地震活動（福島県沖の地震を含む）の評価
ほか

2016 年 12 月 19 日

科学技術・学術審議会測地学分科会地震火山部会第
5 回地震火山観測研究レビュー委員会（宍倉出席 /
文部科学省）
レビュー文案に関して議論

2016 年 12 月 20 日

第 58 回地震調査研究推進本部海溝型分科会（第二
期）（宍倉出席 / 文部科学省）
千島海溝・日本海溝の地震活動の長期評価について

2016 年 12 月 21 日

地震調査委員会津波評価部会（行谷出席 / 文部科学
省）
津波の予測や評価のための標準的な手法について
津波の予測 / 評価結果の利活用について

2016 年 12 月 26 日

地震防災対策強化地域判定会（松本（則）出席 / 気
象庁）
東海地方周辺の最近の 1 ヶ月のデータを持ち寄っ
て検討し，東海地震の発生可能性について協議し
た。

2017 年 1 月 30 日

地震防災対策強化地域判定会（松本（則）出席 / 気
象庁）
東海地方周辺の最近の 1 ヶ月のデータを持ち寄っ
て検討し，東海地震の発生可能性について協議し
た。

IEVG ニュースレター Vol.3 No.6（通巻 18 号）

2017 年 2 月 発行

発行・編集 国立研究開発法人 産業技術総合研究所
活断層・火山研究部門
編集担当 黒坂朗子問い合わせ 〒 305-8567 茨城県つくば市東 1-1-1 中央第 7
Tel: 029-861-3691 Fax: 029-861-3803
URL <https://unit.aist.go.jp/ievg/index.html>