

2018年
12月号IEVG ニュースレター
Vol.5 No.5NEWS
LETTER

[研究現場紹介]

活火山での人力トレンチ調査現場から

石塚吉浩・南 裕介（火山活動研究グループ）

2018年9月と10月にかけて北海道雌阿寒岳火山で実施した、人力トレンチ調査についてご紹介します。特に1万年前以降の噴火履歴を詳しく明らかにするために実施しました。まずなぜ人力？、と不思議に思うかも知れません。平野や丘陵などで行われる活断層などのトレンチで、重機を使うイメージが強いからかもしれません。ですが山地をつくる火山の場合、少し事情が違います。そもそも山の中へ重機がなかなか入れないのはその通りですが、それに加え、火口に近い山頂域を中心に、人力による2m深程度のトレンチでも分かることがまだ沢山あるからです。

一般に火山では、火口に近いほど噴火堆積物が厚く堆積しています。ですので、小さな噴火の堆積物も火口近くに保存していると期待できます。ですが一方で、古い堆積物は埋もれて見えていません。特に、火山が若ければ若いほど、言い換えれば、噴火が今後も起こりそうな火山ほど、侵食は進んでいませんので、火口近くの古い噴出物は、あまり見えていないのです。そんな中、先人達は苦労して露出している場所で噴火履歴の知見を増やしてきましたが、2014年の御嶽山噴火など最近の火山災害発生から、小さな噴火も含めた噴火の履歴を理解するニーズがより増してきました。そのような背景のも

Contents

- 01 研究現場紹介 活火山での人力トレンチ調査現場から …… 石塚吉浩・南 裕介
- 04 新人研究紹介 プレートテクトニクスにおける深部流体の役割 …… 中村仁美
- 08 学会報告 地震ハザード評価に関する日本-台湾-ニュージーランド合同ワークショップ参加報告 …… 吉見雅行
- 13 外部委員会活動報告 2018年10月～11月

と、今年度調査を開始した雌阿寒岳火山地質図では、山頂域を含めて特に完新世の噴火履歴を明らかにすることに重点を置き、文科省「次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト」の一員として人力トレンチ調査を実施しました。

人力で山頂域へ掘削装備を担いで登ることはひと苦勞です。また人力で掘る深さにも限界があります。ですが、多くの火山の山頂域は国立公園の保護地区にあるので、人力での掘削は植生へのダメージを小さくできる有効な手法です。また道沿いにより掘削場所があるとも限りませんから、躊躇なく藪の中へ入ってできることは機動的です。更に掘削場所を、現場で再確認して臨機応変に変更できることは、人力で掘るメリットと言えます。このような人力でのトレンチは、当部門の高田亮さんらがすでに富士山のスコリア丘山頂で実施し、良い成果を得てきていました。

今回の雌阿寒岳では、深度1~2 m程のトレンチを、毎日1ヶ所程度実施し、その日に埋め戻すことを、合計7日間に渡って繰り返しました。例え

ば写真1と2は、雌阿寒岳山頂域で最も上手くいった地点です。この地点は標高1010 mにあり、雌阿寒岳ではほぼ森林限界に相当します。土壌が発達しやすい樹林の中にあり、かつ平坦な地形を作り、更に火口から東~北東方向にあることから、複数の降下火砕堆積物が保存されているだろうと期待できました。実際にトレンチの壁面では、樽前火山、北海道駒ヶ岳火山さらに摩周火山を起源とする広域火山灰が認められ、いくつかの土壌を挟んで、複数枚の雌阿寒岳起源のスコリア層や火山灰を確認することができました。現在、採取した試料について、放射性炭素年代を測定し、噴火史に時間軸をいれることを進めています。

今回の調査は、研究者が北大2名、北海道教育大旭川校1名、神戸大1名、産総研2名の計6名参加しました。また学生さんのインターンシップの場として、信州大と北大の院生に、それぞれ1名ずつ来ていただきました(写真3)。トレンチ場所の選定から、実際の掘削作業と壁面観察、そして研究者間での議論、最後はもちろん埋め戻しまで加わっ

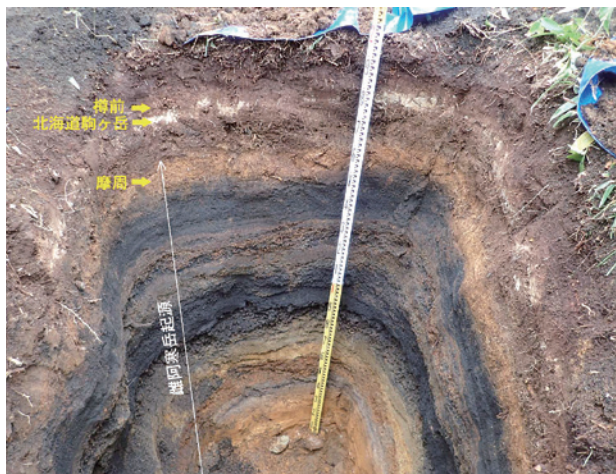


写真1 雌阿寒岳山頂域の標高1010 mでのトレンチ。ほぼ樹林限界にあたり、約2 mを掘削しました。ここでのトレンチ壁面では、樽前火山、北海道駒ヶ岳火山、摩周火山を起源とする広域火山灰(黄色矢印)が認められ、あわせて複数枚の雌阿寒岳のスコリア層や火山灰が確認できました(白矢印)。



写真2 掘削の途中。写真1と同じ地点。登山道からハイマツの中に分け入って、良い場所を見つけて行いました。地表面にはブルーシートを四方に敷いて、掘った土をそこに留め、植生保護や原状回復に努めています。掘った土は、深さ1 mを越えると、バケツに入れて引き上げるのが楽になります。

てもらいました。今後の彼ら自身の研究にとって良い経験になったと考えています。今後もこのようなトレンチには、積極的にインターンシップとしてお願いしたいと考えています。また現地では、屈強なサポートとして、羅臼山岳会2名の方にお手伝いを頂きました。山を知り尽くしている彼ら地元山岳会



写真3 インターンシップの学生さんと研究者がトレンチ内に入って議論。降下火砕堆積物のユニット分けを行っています。雌阿寒岳南東山麓の標高 670 m 付近。

による掘削作業は早く、貴重なコラボでした。また、次回に向けて掘削装備（写真4）への改善意見も頂きました。今後、人力トレンチの手法の改善と効率化を進め、重機の入らない地域での簡便で有効な手法として、様々な火山での調査に活用したいと考えています。



写真4 担いで持ち上げた掘削装備一式。左から電動ドリル、剪定ばさみ、スケール、バール、スコップ大中小、立鎌、検土杖、ロープ、鋸、バケツ、ブルーシートなど、調査終了後に川で洗って干しました。

新人研究紹介 プレートテクトニクスにおける深部流体の役割

中村仁美（深部流体研究グループ）

現象の偏在

日本に住んでいる私たちにとって、地震や火山の存在は身近で起こる極めて深刻な地学現象です。「地学」という言葉に馴染みがない人でも、地震を知らない、ということはないでしょう。しかし、例えばヨーロッパに住んでいる多くの人にとって、地震はほぼ未体験です。オーストラリアの人も同様でしょう。大陸プレートの中央部では地震は生じにくいからです。

一方、大陸プレートの縁辺部では地震が多発します。なぜ地震が偏って起こるのか？プレートの分布に関係していることや、沈み込む海洋プレートが原因であることは分かっています。しかし、分かり始めてからまだ 100 年も経っていません。

大陸プレートと海洋プレートという対立する概念は、20 世紀にかけて地球科学者らが提唱したプレート理論（プレートテクトニクス）に発します。プレートが移動すること、沈み込むこと、プレート同士が衝突すること、そのような振る舞い自体が想像もつかないことでした。紀元前から 16 世紀のガリレオ・ガリレイに至るまで大論争を巻き起こした

地動説と同じように、プレートテクトニクスは重大な科学的発見の一つと言えます。力学に視点を置いたプレートテクトニクス論の流れの中で、私は物質や現象が偏在することに強い関心があり、プレートを起源とする流体が物質や現象の偏在化に及ぼす影響を化学的に把握することを目指しています。

元素の挙動

元素は偏って分布しています。人体では酸素の他に、炭素や水素が多く、地表面を構成する地殻では、ケイ素や多様な金属元素が上位を占めますが、地球の深部ではマグネシウムや鉄が圧倒的に多くなります。資源となる鉱床には、更に偏って特殊な元素が集まっています。このような分布の違いは、元素毎の振る舞いの違いが原因です。

元素の挙動は、理論的にはイオン半径と価数に応じて動きやすさが決まっていますが（図 2）、実際は、物理化学条件と共存する相の種類に強く依存します。例えば、希土類元素は、図 2 中では $\text{La} > \text{REE} > \text{Lu}$ と動きやすい順に示されていますが、高温で生成されたマグマ（玄武岩）では La がより

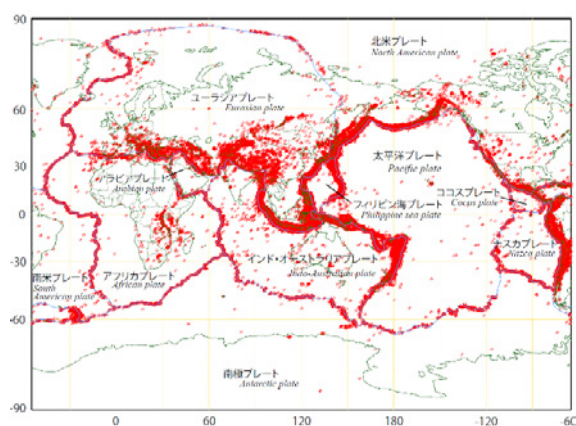


図 1 気象庁 HP 下記 URL より引用。赤点は地震の発生場所を示す。 https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/jishin/about_eq.html

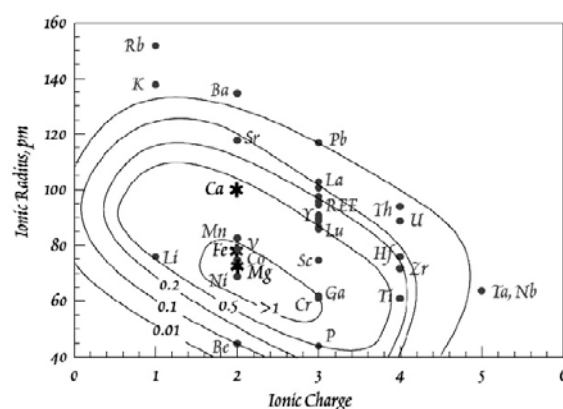


図 2 主な陽イオン半径とイオン価数の関係 [1].

濃集するので、Lu との差は顕著になります。一方、低温で生成された場合（花崗岩）は La と Lu の差が明瞭には生じません。また、温度だけでなく、圧力の違いや、共存する鉱物や水の有無によって、生成するマグマやマグマが固結した岩石の組成は大きく異なります。元素の挙動を解明するために高温高圧実験学の果たしている役割は大変重要で、私の関係する実験範囲については、岩石鉱物科学という雑誌で紹介していますので、機会があれば御覧下さい [1].

温泉水の多様性

水はイオン同士の結合エネルギーを下げるので、水が関わると、元素の振る舞いは極端になります。図3は、兵庫県にある有馬温泉の温泉水中の希土類元素組成を、マンツルの組成で規格化し、対数表示したものです。横軸は、質量数の順に左から軽希土類で、右に行くほど重希土類になるように並べています。対数表示で1はマンツルの値ですので、温泉水はマンツルより薄く、しかし、泉源によって、また元素によって、10-100000 倍の濃度の違いがあることが分かります。また、組成全体を見ると、ほとんど平らな希土類元素組成を示す泉源もあれば、凹凸が顕著なパターンを示す泉源もあることが分かります。高温高圧実験学で得られた結果を元に、元素の振る舞いを推定し、このような差の成因を探ることができます。図3の場合は、泉源の深さ、温度、主溶存元素、pH、物理探査情報、地質、断層の分

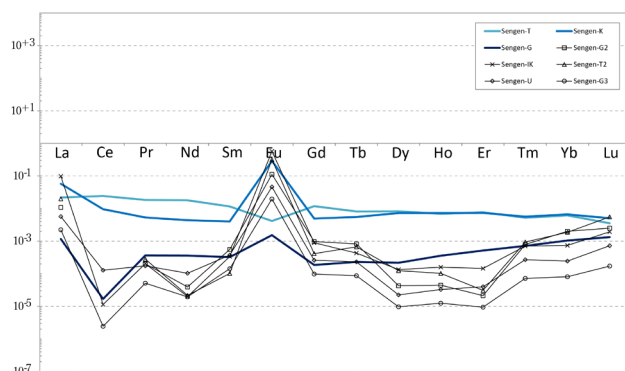


図3 温泉水中の希土類元素組成をマンツル組成で規格化したグラフ [2].

布やテクトニクスを加味して総合的に考えることで、これらの泉源の温泉水の上昇過程を解くことができました。有馬地域には、南から沈み込んでいるフィリピン海プレートが約 60 km の深さにあります。そこから脱水した流体が、ほぼそのまま上昇して温泉水になっている泉源と、途中で帯水層に溜まってから上昇している泉源と、プレートとは無関係に降雨が浸透して地殻に入り込み、地熱で温められて温泉として出ている泉源があることが分かりました [2,3].

日本列島のような海洋プレートの沈み込む場にある温泉水は、海洋プレートから放出された水を含んでいる可能性があり、プレートを構成する岩石と水の間での元素分配の結果を見ている可能性があります。海洋プレートには含水鉱物という形で水が含まれていて、地下ほど圧力が増し温度が高くなるので、海洋プレートの沈み込みと共に含水鉱物が破壊され、水がマンツルに吐き出されることとなります。含水鉱物の分解・脱水は、脆性破壊によるスラブ内地震を引き起こします。また、間隙水圧を上昇させプレート境界地震を誘発し、上盤側プレートでの地震の原因ともなります。深部地震を誘発し、単なる水ではなく元素を溶かし込んでいるため、起源を加味して「深部流体」と呼ばれます。このような深部流体は、岩石粒子の間を伝う浸透流として上昇し、表層近くになると既にある断層や構造線に沿って上昇することが多く、水は熱容量が大きいので地下深部の熱も伴って表層に影響を与えます。実際、震源分布と深層地下水の化学組成を比較すると、特定の元素の分布と相関があることが知られています [4]。現在では、深部流体の化学的性質は一様ではなく、炭酸泉・塩化物泉など、上昇過程及び地殻構成物質との化学反応による違いがあることも分かっています [5].

水の偏り

海洋プレートが継続的に沈み続けることで、マントルにも水の分布に偏りがあることが分かってきています。図4は、玄武岩約7000試料中の放射性元素の同位体組成を統計解析することによって検出されたマントル中の親水成分の分布です。青色系は水成分が少なく、赤色系になるほど多くなることを示します。青色系と赤色系の分布を眺めると、東西に分かれる半球構造の存在に気づきます[6]。更に、大変驚くことに、この構造は地球の内核（固体）に想定されている半球構造と一致します[7,8]。これらが示すことは、沈み込む海洋プレートの行方が、地球内部～内核までに及ぶ全球の構造を支配しているということです。そして、この分布は、超大陸パンゲアが分裂し、プレートの構成が現在のように変化した約3億年前から続くプレート運動の結果として現れた水の偏りと考えられます[7]。

水を辿る

水はマントルの融点を下げ、マグマを発生しやすくします。そこで、マグマの組成から水の分布を辿ると、見えにくい場所の海洋プレートの存在も明らかになります。海洋プレートは一枚板ではなく、場所によって年代・構成物質・速度などが違うため、地震学的に検出しにくい非地震性の領域になることもあります。深さ600 kmまで沈み込んでいる

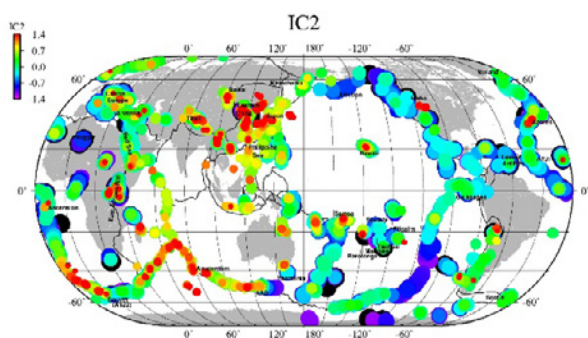


図4 親水成分IC2の強度を示す [6,7]

ことが地震学的に分かっている太平洋プレート（図5、緑色）と異なり、フィリピン海プレートは軽いため、日本列島の直下に先端が溶えている状態で、更に深くへは沈み込んでいません（図5）。従来は、先端に向かって削られているような特異な形状と考えられていましたが、火山岩の分布と化学組成を元に解析した結果、非地震性の部分（図5、ピンクの部分）にも、水を供給できる状態のフィリピン海プレートが存在していることが分かりました[9]。

水は岩石の物性を大きく変化させ、地球のダイナミクスや進化に大きな影響を与えます。深部流体がどこにどのくらい上昇しているのかを把握することは、地表で生活する私たちにとって、重要な意味があると考えています。

引用文献

- [1] 中村仁美（2010）地球化学的解析から見たスラブ起源流体：天然の岩石化学組成と高压実験からの制約，岩石鉱物科学，39，218-228.
- [2] Nakamura H., Y. Fujita, S. Nakai, T. Yokoyama, H. Iwamori (2014) Rare earth elements and Sr-Nd-Pb isotopic analyses of the Arima hot spring waters, Southwest Japan: Implications for origin of the Arima-type brine. J. Geol. Geosci., 3:161. Doi:10.3172/2329-6755.1000161.

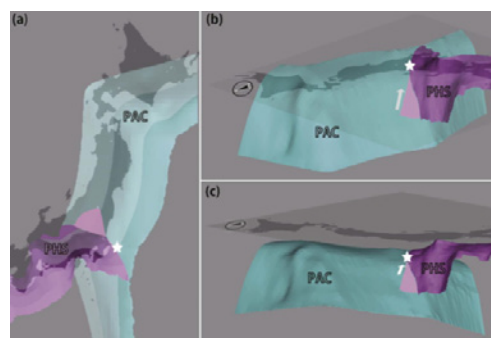


図5：非地震性部分（ピンク）を考慮したフィリピン海プレート（暖色）の形状 [9]。

- [3] Nakamura H., K. Chiba, Q. Chang, S. Nakai, K. Kazahaya, H. Iwamori (2015) Rare earth elements of the Arima spring waters, Southwest Japan: implications for fluid-crust interaction during ascent of deep brine. *J. Geol. Geosci.*, 4:217. doi:10.4172/jgg.1000217.
- [4] 風早康平, 高橋正明, 安原正也, ほか 13 名 (2014) 西南日本におけるスラブ起源深部流体の分布と特徴, *日本水文科学会誌*, 44(1), 3-16.
- [5] Nakamura H., K. Chiba, Q. Chang, N. Morikawa, K. Kazahaya, H. Iwamori (2016) Origin of the Arima-type and associated spring waters in the Kinki district, Southwest Japan. *J. Geol. Geophys.*, 5:240, doi: 10.4172/2381-8719.1000240
- [6] Iwamori H., H. Nakamura (2012) East-west geochemical hemispheres anchored to asthenosphere in the Earth's mantle. *Geochemical Journal*, 46, 39-26
- [7] Iwamori H., H. Nakamura (2015) Isotopic heterogeneity of oceanic, arc and continental basalts and its implications for mantle dynamics. *Gondwana Research* 27, 1131-1152, doi: 10.1016/j.gr.2014.09.003
- [8] Waszek K., J. Irving, A. Deuss (2011) Reconciling the hemispherical structure of Earth's inner core with its super-rotation. *Nature Geoscience* 4, 264-267.
- [9] Nakamura H., H. Iwamori, O. Ishizuka, T. Nishizawa (2018) Distribution of slab-derived fluids around the edge of the Philippine Sea Plate from Central to Northeast Japan. *Tectonophysics*, 723, 297-308.

学会報告 地震ハザード評価に関する日本－台湾－ニュージーランド 合同ワークショップ参加報告

吉見雅行（地震災害予測研究グループ）

1. ワークショップ参加報告

2018年11月中旬に開催された国際会議、地震ハザード評価に関する日本－台湾－ニュージーランド合同ワークショップ（2018 Taiwan-Japan-New Zealand Seismic Hazard Workshop）に参加しました。この会議は、防災科学技術研究所（NIED）、台湾地震モデル（TEM）、ニュージーランド地球科学研究所（GNS）を主体に各国持ち回りで2012年から開催されてきたものです（<http://www.j-shis.bosai.go.jp/intl/tem/index.html>）。今年はニュージーランドのオタゴ大学、カンタベリー大学、GNSの主催で、11月14–16日の3日間にわたってオタゴ州オマルーのBrydone ホテルにて開催されました（図1）。参加者は地震ハザード評価に関わる研究者や学生で、産総研からは吾妻と吉見が参加しました。国別内訳では台湾が最も多く28名、NZは21名、日本は12名、その他4名でした。台湾、NZは学生も参加していました。

会議の目的は、地震ハザード評価の最新動向や関連研究の情報交換と討論を通じて、各国の地震ハザード評価の発展に寄与することにあります。参加者全員が一室に集い、1セッション当たり2、3題の口頭発表と質疑応答からなるセッションと、1日を締めくくる討論セッションが実施されました。会場となった会議室は10個の円卓が詰め込まれた部屋（図2）で、参加者間の距離が近く、密な意見交換が行える環境でした。ポスターも同じ部屋に掲示されました。

今年の会議の主題は、1) 国レベルの地震ハザード評価のための震源モデル構築方法、2) 地震活動度が低い地域における地震発生頻度と不確実性の評価、3) 確率論的地震ハザード評価の検証、4) 確率論的地震ハザード評価の地震工学への応用、でし

た。この主題に沿って9つの口頭発表セッションが設けられ、日本:8、台湾:6、NZ:8、その他:3の計25題の口頭発表が行われました。吉見は布田川断層帯の長期評価と2016年熊本地震を例に、地震ハザード評価における多様な専門家の関与と、不確実性を前提としたデータの取り扱いが重要であることを説明し、その後の活発な討論に繋がりました。



図1 開催地 Oamaru (オマルー) の様子。ゴールドラッシュで栄えた街とのこと。



図2 Brydone ホテル内のワークショップ会場。

どの発表も興味を引くものでしたが、特に印象に残ったものを2つ挙げます。1つ目は、台湾中央部の断層滑り欠損分布をGNSS観測による地殻変動場から求める研究で、5つの組織に属する研究者が3種類の数値モデルを立てて計算し、お互いの評価結果を比較検討することで、尤もらしいモデルの確立を試みていました。断層活動のように不確定性の大きい事象のモデル化では、ただ1つのモデルに固執する確証バイアスを排除することが重要です。この組織横断的な取り組みは日本でも行われるべきだと感じました。2つ目は、NZを貫くアルパイン断層の活動性評価の研究です。断層岩、断層粘土の特性試験により、断層帯の北部と南部とで滑り特性が異なることを見出した研究で、断層の活動性評価における岩石実験の重要性を説くものでした。ちなみに、アルパイン断層の繰返し間隔の平均値は329年、最新活動は1717年（Berryman *et al.*, 2012 Science）ですから、NZではアルパイン断層の地震への対策が急務となっています。2016年のカイコウラ（Kaikoura）地震（M7.8）では断層の破壊進行方向にあったウェリントンで多くの建物が被災しましたが、さらに大きな地震が予想されるアルパイン断層に対して、国としてどのような対策をとるのか動向を注視したいところです。

総じて、日本からの発表はプロジェクトの進行状況に関するものが多く、台湾およびNZは近年の被害地震に関する研究および現状の地震ハザード評価の高度化のための新たな試みが多いという印象を受けました。これは、日本側からの参加者がほぼ防災科研のプロジェクト研究担当者に限られていたのに対し、台湾とNZの参加者は複数の大学と研究所からの地質・測地・地震学を専門とする方々であったことが影響したように思われます。

毎日の最後は約1時間の討論セッションで締めくくられました。ここでは、進行役が提示するその日の口頭発表に関連したお題に対し、それぞれの

円卓を囲む参加者同士で30分間ほど討論して回答を取りまとめ、最後に、各円卓の代表者が回答を公表するという形式が取られました。座席は自由席のため、たまたま同じ円卓を囲んだ10名弱で話し合うことになります。集約結果は会場のスクリーンで集約され、ワークショップの取りまとめに活かされました。比較的少人数の集団毎に意見を集約するこの仕組みは、様々な意見を効率的に集められると感じました。次回テーマの意見集約もこの仕組みで行われ、断層近傍地震動、都市域の地震ハザード、多分野連携等などが候補として挙げられました。

本ワークショップは地元紙に取り上げられ、ニュージーランドの地震への関心の高さがうかがわれました（図3）。来年は日本（北海道）で開催される予定です。



図3 地元新聞に載った記事。

2. 2016年カイコウラ地震断層巡検

会議前の11月12日には、2016年カイコウラ地震の地震断層巡検が行われました。2016年カイコウラ地震では雁行する多数の活断層に断層変位が現れ(図4)、活断層調査に基づく地震ハザード評価に大きな課題を突きつけました。地表における最大変位は横ずれ11mにも及び、壁のように立ちふさがり断層や、海岸隆起で取り残されたアザラシの写真が有名です。

カンタベリー大学のAndy Nicol教授の案内で、クライストチャーチから日帰りで訪問可能な

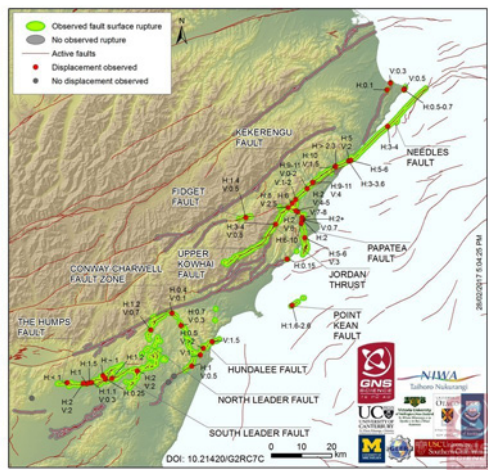


図4 2016年Kaikoura地震の地表地震断層分布(Litchfield ほか、2017)。破壊は西から始まり北東へと伝播していきました。



図6 右横ずれ断層のステップによるブル・アパート堆積盆。LiDAR 差分による2016年の上下変位量は最大2.5m程度とのことなので、この地形は一度に形成されたのかもしれませんが。

Humps断層を訪れました。Humps断層は2016年カイコウラ地震の破壊開始点付近に位置する断層で、右横ずれ1~2m程度の断層変位が確認されています(図5)。断層がステップする地点に出現した沈降量2mを超えるpull-apart-basin(図6)、1万五千年前以降少なくとも5回の断層活動が見出されたトレンチサイト(図7)などを見学しました。Nicol教授らの発表論文(Nicol *et al.*, 2018)を主体とした巡検資料と丁寧な説明のおかげで、現地を理解することができました。天候にも恵まれ、広々とした風景、羊の親子が悠々と歩く牧草地を楽しみながらの巡検でした。

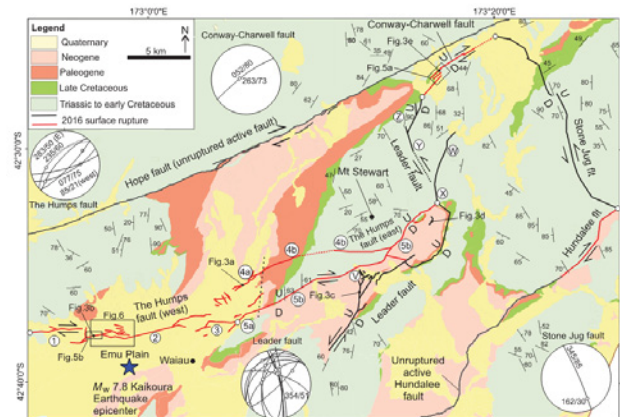


図5 破壊開始点付近の断層分布(Nico ほか、2018)。破壊開始点に近いEmu平地(fig.6と記されている場所)のHumps断層を見学しました。



図7 トレンチサイトの様子。埋め戻しされておらず、羊の遊び場になっていました。

3. ニュージーランド南島オタゴ中部地方巡検： Clyde ダムを中心に

会議後の11月16-18日には、オタゴ中部地方（Central Otago）の断層地形を訪れる巡検が催されました。オタゴ大学の Mark Stirling 教授の案内で、オタゴ中部の Cromwell を拠点とし、Alpine 断層の上盤に位置する断層を巡りました。オタゴ大学グループや Stirling 教授が以前在籍していた GNS が過去に実施したトレンチ調査、地質・地形調査、今後予定している調査地点などを丁寧に案内していただきました。ここでは、吉見が最も訪問したい場所であったクライド（Clyde）ダムについて紹介します（図8）。

Clyde ダムは Cromwell 溪谷に造られたコンクリート重力式の発電用ダム（1979年着工、1993年完成）で、堤体幅 490 m、堤体高 100 m を誇ります。総発電可能量は 432MW に及び、このダム一基でニュージーランド南島の主要都市であるクライストチャーチとダニーデンの電力需要を賄ってしまうほどです。ニュージーランドにとって大変重要な構造物といえます（建設時の写真は、<http://mightyclutha.blogspot.com/> にて見られます）。Clyde ダムのダム湖周辺は東西に傾斜した第三紀層からなり、多くの巨大な地すべり塊があります。ダムの建設にあたり、地すべりの安定化にも多くの労力が費やされました。ダム湖周辺には変位測量用の白い

柱が多数建っており、GPS 連続モニタリングによる変動監視が行われています。

Clyde ダムが有名なのは、堤体を断層（ダムサイト断層）が横切っている点にあります。断層は、ダム建設途中に基盤の片麻岩中に見出されたもので、ダム堤体のほぼ中間地点を通ります。Clyde ダムの上流側には、ダム建設以前から、北東－南西～東西走向の逆断層である Dunstan 断層の存在が知られていました。ダムサイト断層は、この断層に直交する、運動方向も活動度も不明な断層です（図9）。Stirling 教授によると、様々な議論と技術的な検討の結果、ダム堤体の位置は変更せず、その代わりにダムサイト断層の変位対策を実施することになりました。これが有名なスリップジョイントです。

Clyde ダムの堤体は通常のダムとは異なり、右岸側と左岸側が完全に独立した構造物になっています（重力式ダムだからこそ可能な構造です）。両者の間には 2.3 m の隙間が設けられ、堤体は断層傾斜と平行な鉄製の密着面でのみ接するようになっています。また、この隙間のダム湖側の端は、高さ 102 m、厚さ 2 m のコンクリート製の楔でふさがれており、この楔はダム湖の水圧によりもたれかかるようにダム堤体に密着しています。密着面は鉄製です。ダムサイト断層が動くと、右岸側と左岸側の堤体に相対変位が生じますが、変位が生じたとしても水圧（と重力）で支持されている楔が両堤体に密着



図8 ニュージーランド南島南部の断層分布（GNSの活断層DB）とClydeダムの位置。



図9 Clydeダム周辺の活断層分布。ダムサイト（damsite）断層は、北東－南西～東西走向のDunstan断層にほぼ直交する。

して、漏水が生じないようにしています。最大対応変位は2 m。ダムサイト断層の運動方向はわからないので、横ずれ、縦ずれの両方の動きに対応するように設計されているとのこと（図10、図11）。

こうした説明を聞き、断層傾斜が想定と異なる場合には隙間や衝突が生じてしまうのではないかと、断層直近の地震動にコンクリート製の楔が耐えられるのか、など素朴な疑問が生じました。多くの技術者や断層専門家の検討を経ていることから解決済みなのかもしれませんが、調べてみたいと思いました。なお、スリップジョイントを内側からこの目で見たかったのですが、巡検の参加人数が多く、両堤体の間に立ち入ることはできませんでした。

さて、断層変位以外にも、Clyde ダムには別の問題が持ち上がりました。ダム堤体の上流側を通る

とされてきた Dunstan 断層ですが、ダム堤体下流の台地も断層により変動していると判明したのです。このため、断層下盤に位置すると考えられていたダム堤体が、断層上盤にある可能性が出てきました。断層と構造物との位置関係は地震動に影響します。逆断層の上盤効果を見込んで設計用入力地震動を強く（0.6G → 0.9G）することになり、多くの再検討が行われたとのこと。最終的には、ダム堤体の安定性には問題がないとの結論に至ったようです。

ところで、地震動評価に関連して、Stirling 教授らが提唱している考えに、Precariously Balanced Rocks（PBR；ぎりぎりの平衡状態にある岩）があります。PBR が現時点で存在しているということは、PBR が出現した時期以降に PBR を倒すほどの強さの地震動が襲わなかった証拠である、とする考え方です。海外で主流の確率論的地震動評価では、確率が小さくなるほど地震動が増大し、最大値が定まらないため、最大値の制約を見つける必要があります。Clyde ダム右岸の山にも PBR があるとのことで、Stirling 教授の案内で、標高差 400 m 余りを登り、ダムを見下ろす丘にて PBR を観察しました（図12）。今にも崩れそうな岩が林立する光景は、確かに心に訴えるものがありました。しかし、地震常襲地域の橋杭岩（和歌山県串本町）を知っ



図10 Clyde ダム堤体の写真。図中の人物は説明者の Stirling 教授。



図11 現地の説明板にあったダム堤体および周囲の地図。



図12 Clyde ダム右岸の山の頂上付近にある岩の例（写真の岩は PBR とは言い切れないかもしれませんが、周囲には不安定そうな岩がたくさんありました）。

ている身としては、PBR は強い地震動が襲わなかった証拠とまでは言えないのではと感じました。とはいえ、現場目線で様々な仮説を提唱し、世の中に訴えかけてゆく Stirling 教授の姿勢に感服する思いでした。日本と同様に活動的な国土である NZ での活断層や地すべりに対する技術者・専門家の戦いを見ることができ、大変有意義な巡検でした。

4. 終わりに

今回のワークショップと巡検では、様々な専門家による対話の重要性を学びました。有意義なワークショップと巡検を企画して戴いた、オタゴ大学の Mark Stirling 教授をはじめとする方々、ワークショップに誘って戴いた国立研究開発法人防災科学技術研究所の郝憲生博士および関係各位に感謝申し上げます。

参考文献

- Berryman, K.B., U.A. Cochran, K.J. Clark, G.P. Biasi, R.M. Langridge, and P. Villamor (2012), Major earthquakes occur regularly on an isolated plate boundary fault, *Science*, 29(336), 1690–1693, doi:10.1126/science.1218959.
- Litchfield NJ, Benson A, Bischoff A, Hatem A, Barrier A, Nicol A, Wandres A, Lukovic B, Hall B, Gasston C, Asher C, Grimshaw C, Madugo C, Fenton C, Hale D, Barell DJA, Heron DW, Strong DT, Townsend DB, Noble D, Howarth JD, Pettinga J, Kearse J, Williams J, Manousakis J, Mountjoy J, Rowland J, Clark KJ, Pedley K, Sauer K, Berryman KR, Hemphill-Haley M, Stirling MW, Villeneuve M, Cockcroft M, Khajavi N, Barnes P, Villamor P, Carne R, Langridge RM, Zinke R, Van Dissen RJ, McColl S, Cox SC, Lawson S, Little T, Stahl T, Cochran UA, Toy V, Ries WF, Juniper Z. 2017. 14th November 2016 M7.8 Kaikoura Earthquake. Summary surface fault rupture traces and displacement measurements. *GNS Science*. <http://dx.doi.org/10.21420/G2RC7C>
- Nicol, A., Khajavi, N., Pettinga, J., Fenton, C., Stahl, T., Bannister, S., Pedley, K., Hyland, N., Bushell, T., Hamling, I., Ristau, J., Noble, D., McColl, S. 2018. Preliminary geometry, slip and kinematics of fault ruptures during the 2016 MW 7.8 Kaikōura Earthquake in the North Canterbury region of New Zealand. *BSSA*, 108, No. 3B, 1521-1539, doi: 10.1785/0120170329.

外部委員会等 活動報告 (2018年10月～11月)

2018 年 10 月 2 日

第 3 期総合的かつ基本的な施策に関する専門委員会（桑原、岡村出席 / 文科省）

第 3 期総合的かつ基本的な施策について

2018 年 10 月 5 日

南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会・地震防災対策強化地域判定会（松本（則）、板場出席 / 気象庁）

各機関の最近 1 ヶ月の観測データを持ち寄り、南海トラフ沿いの地震に関する地殻活動モニタリングの評価検討を行った。

2018 年 10 月 5 日

東京都環境影響評価審議会総会（宮越出席 / 都庁）

2018 年 10 月 19 日

地震調査委員会長期評価部会活断層分科会（岡村、近藤出席 / 文科省）

中日本地域の活断層評価等について

2018 年 10 月 22 日

東京都環境影響評価審議会第二部会（宮越出席 / 都庁）

2018 年 10 月 24 日

第 3 期総合的かつ基本的な施策に関する専門委員会（桑原、岡村出席 / 文科省）

第 3 期総合的かつ基本的な施策について

2018 年 10 月 26 日

東京都環境影響評価審議会総会（宮越出席 / 都庁）

2018 年 10 月 30 日

地震調査委員会長期評価部会（岡村、宍倉出席 / 文科省）

日本海溝の評価、中日本の活断層評価など

2018 年 10 月 31 日

火山噴火予知連絡会（篠原、伊藤、南出席 / 気象庁）

2018 年 11 月 1 日

地震調査委員会長期評価部会海域活断層評価手法分科会（岡村出席 / 文科省）

日本海南西部の海域活断層の評価について

2018 年 11 月 7 日

南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会・地震防災対策強化地域判定会（松本(則)、板場出席 / 気象庁）

各機関の最近 1 ヶ月の観測データを持ち寄り、南海トラフ沿いの地震に関する地殻活動モニタリングの評価検討を行った。

2018 年 11 月 9 日

地震調査委員会（桑原出席 / 文科省）

10 月の地震活動の評価、その他

2018 年 11 月 20 日

東京都環境影響評価審議会第二部会（宮越出席 / 都庁）

2018 年 11 月 22 日

地震調査委員会長期評価部会海域活断層分科会（岡村、近藤出席 / 文科省）

中日本地域の活断層評価について

2018 年 11 月 26 日

第 2 回富士山ハザードマップ（改定版）検討委員会（山元、石塚出席 / 東京）

2018 年 11 月 27 日

地震調査委員会長期評価部会（岡村出席 / 文科省）

日本海溝の長期評価について、海域活断層の評価手法について。

2018 年 11 月 30 日

地震予知連絡会（松本(則)出席 / 国土地理院）

各機関の 2018 年 8～10 月の地震活動や地殻変動等の観測結果、および重点検討課題「予測実験の試行 05」についての報告があった。

IEVG ニュースレター Vol.5 No.5（通巻 29 号）

2018 年 12 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>