

一般社団法人  
日本応用地質学会 東北支部

第 26 回研究発表会講演集

2019年7月19日

一般社団法人日本応用地質学会  
東北支部

# 一般社団法人日本応用地質学会東北支部 第26回 研究発表会プログラム

開催日：令和元年7月19日

会場：せんだいメディアテーク 7F スタジオシアター

協賛：東北地質調査業協会

## 開 会

10:00 開会

10:00～10:10 支部長挨拶（遠田）

## 発表（午前の部1）

10:10～10:30 SlopeRBSM3Dによる地すべり移動特性解析

ークロアチア共和国コスタニェック地すべりの変位解析ー

○濱崎 英作、宮城 豊彦（㈱アドバンテクノロジー）

丸井 英明（新潟大学名誉教授）

古谷 元（富山県立大学）

10:30～10:50 セツ森カルデラを給源とし、

太平洋岸にも1mの降灰をもたらした、3.6Maの破局噴火

○遅沢 壮一（東北大学理学研究科地学専攻

カワオソ分子生命地質研究所）

10:50～11:10 大谷石採掘跡地貯留水の低温化メカニズムに関する一考察

○富樫 聡（産総研）

霜山 竣、柴崎直明（福島大学）

藤原 盛光（川崎地質）

佐藤 怜、久我 幸史（八千代E）

内田 洋平（産総研）

## 発表（午前の部2）

11:10～11:30 地下空間貯留水の冷熱利用可能量の評価に向けた数値解析的検討

○霜山 竣（福島大学）

富樫 聡（産総研）

柴崎 直明（福島大学）

藤原 盛光（川崎地質）

佐藤 怜、久我幸史（八千代E）

内田 洋平（産総研）

11:30～11:45 男鹿半島北岸に分布する上部更新統脇本層の堆積環境

（岩相解析と石灰質ナンノ化石層序）

○山蔭 みなみ（㈱復建技術コンサルタント）

11:45～12:00 白亜紀の微化石と古海洋

○大河原 秀祐（川崎地質㈱）

.....\*\*.....\*\*.....

12:00～13:00

(休憩、昼食)

.....\*\*.....\*\*.....

特別講演 司会：三和

13:00～14:30

「最近の津波災害の特徴」

今村 文彦 氏（東北大学災害科学国際研究所 所長）

.....\*\*.....\*\*.....

14:30～14:40

(休 憩)

.....\*\*.....\*\*.....

発表（午後の部）

14:45～15:05

日高幌内の岩盤すべりに関する 2, 3 の考察

—平成 30 年北海道胆振東部地震ほかの事例から—

○橋本 修一（㈱東北開発コンサルタント）

15:05～15:20

地震断層崖の形状の経時変化—2011 年福島県浜通りの地震を対象に—

○小野 大輝（東北大学理学研究科地学専攻）

15:20～15:35

地殻変動に対する河川形状の変化 —熊本県布田川断層の例—

○高橋 直也（東北大学理学研究科地学専攻）

15:35～15:55

熊本地震による断層背後の地盤変形と地質構造

○村上 智昭（㈱復建技術コンサルタント）

鳥井 真之（熊本大学）

総合討論

15:55～16:25

閉 会

16:25 閉会

16:25 副支部長挨拶（新田）

懇 親 会

17:00～19:00 シェルブール

一般社団法人  
日本応用地質学会 東北支部

第 26 回 研究発表会講演集

2019年7月19日

一般社団法人日本応用地質学会  
東北支部

# 目 次

一般社団法人日本応用地質学会東北支部 第26回 研究発表会

## 発 表

- ① SlopeRBSM3Dによる地すべり移動特性解析  
ークロアチア共和国コスタニェック地すべりの変位解析ー . . . . . 1  
○濱崎 英作、宮城 豊彦 (㈱アドバンテクノロジー)  
丸井 英明 (新潟大学名誉教授)  
古谷 元 (富山県立大学)
- ② 七ツ森カルデラを給源とし、  
太平洋岸にも1mの降灰をもたらした、3.6Maの破局噴火 . . . . . 3  
○遅沢 壮一 (東北大学理学研究科地学専攻  
カワオソ分子生命地質研究所)
- ③ 大谷石採掘跡地貯留水の低温化メカニズムに関する一考察 . . . . . 5  
○富樫 聡 (産総研)  
霜山 竣、柴崎 直明 (福島大学)  
藤原 盛光 (川崎地質)  
佐藤 怜、久我 幸史 (八千代E)  
内田 洋平 (産総研)
- ④ 地下空間貯留水の冷熱利用可能量の評価に向けた数値解析的検討 . . . . . 7  
○霜山 竣 (福島大学)  
富樫 聡 (産総研)  
柴崎 直明 (福島大学)  
藤原 盛光 (川崎地質)  
佐藤 怜、久我 幸史 (八千代E)  
内田 洋平 (産総研)
- ⑤ 男鹿半島北岸に分布する上部更新統脇本層の堆積環境  
(岩相解析と石灰質ナンノ化石層序) . . . . . 9  
○山蔭 みなみ (㈱復建技術コンサルタント)

- ⑥ 白亜紀の微化石と古海洋 . . . . . 11  
○大河原 秀祐 (川崎地質株)
- ⑦ 日高幌内の岩盤すべりに関する 2, 3 の考察  
—平成 30 年北海道胆振東部地震ほかの事例から— . . . . . 13  
○橋本 修一 (株東北開発コンサルタント)
- ⑧ 地震断層崖の形状の経時変化—2011 年福島県浜通りの地震を対象に— . . . . . 15  
○小野 大輝 (東北大学理学研究科地学専攻)
- ⑨ 地殻変動に対する河川形状の変化—熊本県布田川断層の例— . . . . . 17  
○高橋 直也 (東北大学理学研究科地学専攻)
- ⑩ 熊本地震による断層背後の地盤変形と地質構造 . . . . . 19  
○村上 智昭 (株復建技術コンサルタント)  
鳥井 真之 (熊本大学)

# SlopeRBSM3D による地すべり移動特性解析

## —クロアチア共和国コスタニェック地すべりの変位解析—

(株)アドバンテクノロジー 濱崎英作、宮城豊彦  
 新潟大学名誉教授 丸井英明  
 富山県立大学 古谷元

### 1. はじめに

RBSM (剛体バネモデル) は、要素表面にバネを設けて極限離散化して解く数値解析法の一つである<sup>[1]</sup>。この手法は、人骨の亀裂解析やコンクリートのひび割れ解析など多岐にわたって応用されている<sup>[2]</sup>。これを応用し簡便に使える斜面の 3 次元安定解析用として SlopeRBSM3D が開発された<sup>[3]</sup>。筆者らは 2009 年～2014 年に実施された JICA/JST による Satreps 事業の中でクロアチア共和国の首都ザグレブ市にあるコスタニェック地すべりの調査解析を実施した。この地すべりでは RBSM3D の改良モデルを用いて、当地すべりの変位方向の解析を試みた。この結果、変位方向に概ね一致した解析出力が得られたので、ここに報告するものである。

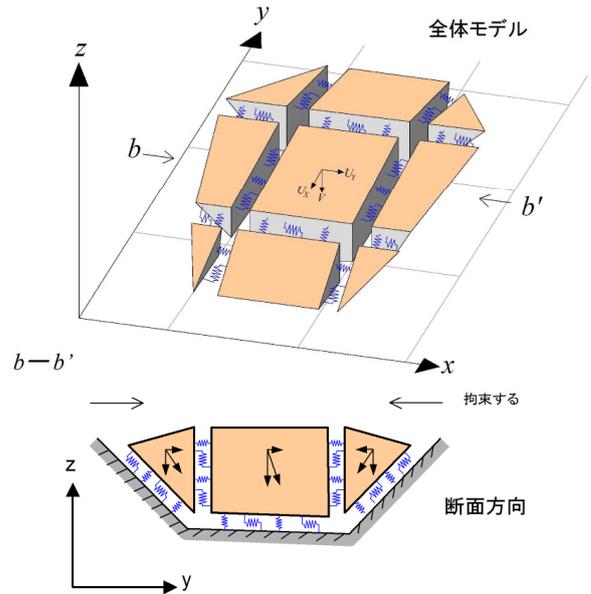


図-2 RBSM3D 模式概念図

### 2. SlopeRBSM3D のモデル概要

本モデルは、グリッド分割したカラム柱間の接触面面積、カラム底面 (すべり面) 面積を計算し、それぞれに鉛直方向、せん断方向のペナルティバネ( $\lambda$ )でつないでモデル化したものである (図-1、図-2)。

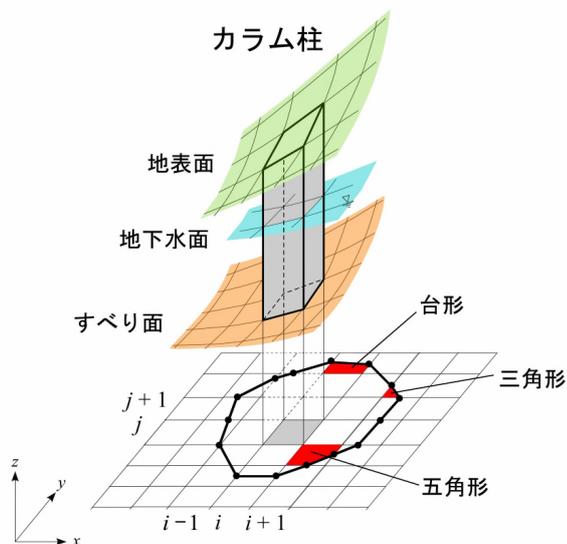


図-1 RBSM カラム形状の概念図

カラムは回転を考慮せず並進性のみを扱うもので、 $x$ 、 $y$ 、 $z$  方向の変位を未知数として剛体バネモデルの離散化手法をもとに解くものである。結果として、カラム変位とすべり面のせん断力、垂直力が得られる他、せん断強度を与えることで従来手法と同じような斜面のすべり安全率 ( $F_s$  値) が得られ、Hovland や Janbu3D と同様、簡便な条件で解析可能となる。なお、初期モデルの  $\lambda$  ではあくまで力の伝達が主たる役割であり、 $\lambda$  をすべり面全般にわたって同じく一定に配置 (垂直  $E_n=1.0$ 、せん断方向、 $E_{sx}, E_{sy}=0.5$ ) して弾性解として解いたものである。

今回、弾性解として解くことには変わらないものの、領域毎のすべり面のバネ比 ( $E_s$ -ratio) を変えることが出来るように工夫し、かつ領域毎の  $x$  方向、 $y$  方向のベクトルを集計して領域の合力方向 (=すべり方向) が求まるようにした。今回この最新改良モデルでコスタニェック地すべりの挙動を解析した。

### 3. 検討地の概要

コスタニェック地すべりは幅約 1,000m, 最大長さ約 1,300m, 平均長さ約 1,100m, 層厚 70m~90m に及ぶ大規模地すべりで、クロアチア共和国の首都ザグレブ市の郊外、西側丘陵地帯の西端部付近に位置する。地質的には層理面の発達したトリポリマール（泥灰岩）が分布するところで、この地層は走行北北東-南南西で平均 5° 程度の緩い流れ盤構造で東向きに傾斜している。他方東側境界は南北に直線上に伸びる急崖境界面（断層？）に規制され、流れ盤の層理面と東側の急崖面を境とする複雑なすべり面構造を持って変動している。地すべり発生の直接的原因は 1962 年から始まった地すべり末端でのセメント用泥灰岩の掘削だったが、この掘削で末端隆起などの地すべり変状が明らかとなったため 1975 年には掘削終了となっている。しかしながら、地すべり対策工は施工されておらず変動は断続的に変動は継続し、1988-1994 間の移動杭観測で図-3 の様に変位した。

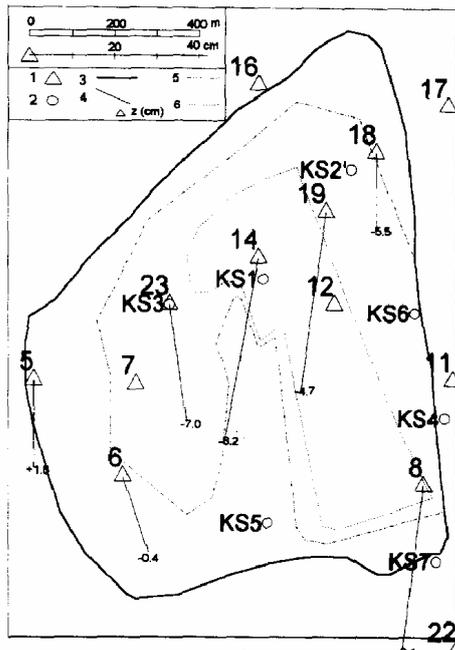


図-3 地すべり変動状況 [4]

この図から、1998 年 9 月から 1994 年 2 月にかけて末端掘削エリアの北側～北東側の大きな範囲で南南西方向（東方向を 0° とし、反時計回りに約 260°）へ、西側エリアが南南東（約 285°～300° 方向）へ変動しているのが分かる。

### 4. 解析結果

移動方向（最小安全率方向）は当地区を分割前の SlopeRBSM3D で解析した場合 290°、

ホフランド法では 280°、3次元ヤンプー法では 267° となり、実体とはややかけ離れている。そこで改良した領域分割法を用いて、①北側～北東側エリア、②西側エリア、③掘削エリアの3区分に分割し、それぞれの移動方向について検討した結果を図-4に示す。図に示すように領域区分した**ケース 001 (水色)**でも、かなり実体に近づいていることがわかる。なお相対的な引張ゾーンと考えられる①の領域ですべり面バネ比を 1/100 に設定した**ケース 008 (茶色)**では、①領域の移動方向が 261°、②領域が 311° となって概ね移動方向が再現できていることがわかった。

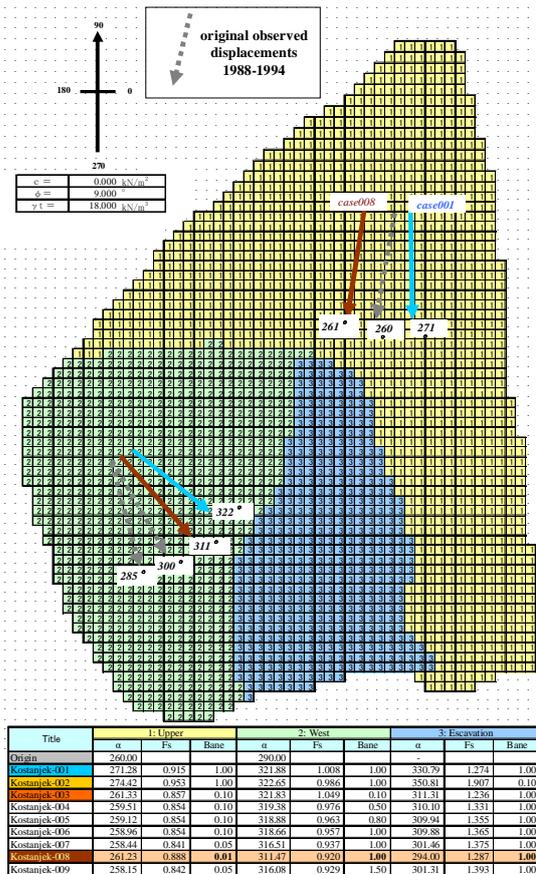


図-4 地すべり変動の解析結果

### 参考文献

- [1] 川井忠彦(1991):離散化極限解析法概論、培風館、164p
- [2] 竹内則雄(1991):地盤力学における離散化極限解析、培風館、204p
- [3] 濱崎英作・竹内則雄・大西有三(2006):三次元斜面安定問題に対する簡易離散化極限解析法の開発、地すべり学会誌、Vol.42, No.5(2006), January, pp.389-397,
- [4] Bogdan Stanic・Ervin Nonveiller(1996):The Kostanjek landslide in Zagreb、Engineering Geology 42, pp.269-283

## セツ森カルデラを給源とし、太平洋岸にも 1m の降灰をもたらした、 3.6Ma の破局噴火

東北大学理学研究科地学専攻 カワオソ分子生命地質研究所  
遅沢壮一

はじめに

2017年9月、来仙した John Wakabayashi を、大川小学校跡や神割崎を案内して、南三陸インターから帰仙しようとしたところ、礫層に厚い白い降下火山灰が数枚挟まる異様な大路頭を発見して、車をインター入り口 T 字路の路傍に止めて、観察した。実際は固結しているので、礫岩に2枚の、それぞれが1m前後の厚さの凝灰岩が挟まる露頭であった。固結していることもあり、礫岩は段丘礫層とは、また凝灰岩は第四紀の広域テフラとは考え難い。上位の凝灰岩は直径1cmのピソライトを含むので、年代と、1mと厚いので給源が問題となる。

結論的には、礫岩は谷埋め堆積物で、凝灰岩は3.6Ma前後の年代であり、仙台の向山層、とくに広瀬川凝灰岩部層に対比される。下位の凝灰岩は愛子付近の広瀬川凝灰岩部層本体の下位にもある厚層の軽石凝灰岩に相当する（南方の砂礫岩に側方に変化；斜交葉理の古流向と合わせて、北方の泉ヶ岳方面が給源）。広瀬川凝灰岩部層は宮床凝灰岩に対比できる。これら凝灰岩の給源はセツ森カルデラである。向山層とその相当層の下位には、いずれの地域でも、5Maの海成の竜の口層を伴う。

津谷図幅でも、竜の口層上位の谷埋め礫岩は1m前後の2枚の凝灰岩を挟んでいて、下位の凝灰岩はピソライトを伴う。三滝堂パーキングでは、最大2mの凝灰岩が基盤岩の基底礫岩と砂岩を覆っていて、この谷は北上川の上流部に当たる。石巻図幅では、旭山撓曲軸に竜の口層が分布するが、その上位の陸成凝灰岩は厚さ5mに及ぶ。広瀬川凝灰岩部層の軽石凝灰岩は竜の口溪谷で採取した。名取川川床が軽石凝灰岩南限であるが、ここで層厚を5mと減じ、給源は北方に求められる。なお、宮床凝灰岩はごく硬質で、また異質岩片を大量に含むので、分析から除外した。金蛇水神社北方の平間採石場では、高館層の安山岩を覆う厚さ2mのピソライト凝灰岩が2002年に見られたが、試料採取せずに、その後、この露頭は消失した。

若柳図幅の花泉や一関図幅でも、竜の口層と向山層相当層の分布があるが、凝灰岩を発見できなかった。伊豆沼サンクチュアリセンター横にはピソライトを含む凝灰岩露頭があるが、年代は1.1Ma(3.3Maの粒子も含む)で、虎毛山カルデラ起源であった。岩ヶ崎図幅の一迫川流域

でも試料採取したが、ジルコンが含まれていなかった。

村田一帯には陸成凝灰岩が広く分布し、梨野層相当と断定していた。仙台とは、高館層の分布で分断されている。ところが、村田ダムでの軽石凝灰岩のU-Pb年代は3.87Maであった。このため、年代的には近接しているが、セツ森カルデラとは別の村田カルデラが存在することとなった。陸成凝灰岩の下位層は旧仙台図幅（東北大学理科報告、1953）では、茂庭層や旗立層とされたが、陸成凝灰岩とは断層や不整合関係がなく、また化石を含む青緑色粗粒砂岩という特徴からも、竜の口層となる。竜の口の海は白石川に沿って、村田盆地に入り込んでいた。従って、岩沼-久之浜線は竜の口層を含む仙台層群の分布を規制していない。なお、竜の口の海は柳沢（1998）により、メッシニアン危機直後の世界的海進に対応させられている。今回、三陸海岸を含めて、竜の口の海の範囲をより限定できた。

南三陸で、降下火山灰の層厚は1mであったが、凝灰岩として固化する以前はより厚かつたはずである。しかも、単発ではなく、2度、降下した。確かに、3.6Maの出来事で、確率的には300万分の1かも知れないが、太平洋プレートが沈み込んで、火山前線ができる現象は変化していないので、同じような破局噴火が、今、起こらない保証はない。仙台市街は火砕流で埋もれるが、女川など、太平洋岸でさえ、降下火山灰に覆われることを指摘しておきたい。さらなる地質調査や対策は必要である。



# 大谷石採掘跡地貯留水の低温化メカニズムに関する一考察

富樫聡 (産総研), 霜山竣・柴崎直明 (福島大),  
藤原盛光 (川崎地質), 佐藤怜・久我幸史 (八千代E), 内田洋平 (産総研)

## 1. はじめに

宇都宮市の北西部に位置する大谷町には、かつて地域の主要産業であった石材産業（大谷石）の採掘跡地が存在している。これら採掘跡地は東西約4km、南北約6kmに広がり、その多くが地下空間を形成する。

平成元年に発生した大規模陥没事故等の影響も相まって、産業衰退や人口減少等がすすみ、大谷石採掘跡地はまさに「負の遺産」として地域内外で認知されてきた。一方で近年は、2014年に地元4企業が連携して地下空間の貯留水を地底湖に見立てた地底湖クルージングを事業化、2015年からは貯留水を例熱源として利用する夏イチゴ栽培も始まる等、採掘跡地の新たな魅力創出の動きが活発になってきている。

筆者らによる事前調査の結果、大谷町の地下水の温度（15℃～17℃程度）に対して、一部の貯留水は夏季でも10℃以下と非常に低温であることが判明した<sup>1)</sup>。この貯留水を冷却水として利用できれば投入コストを抑えた収益性の高い夏イチゴ事業や物流・保冷庫事業の実現が期待される。しかしながら、貯留水の低温化メカニズムは未解明であり、また多量に利用すると温度回復しない可能性が高い。したがって、貯留水の低温化メカニズムに基づいて持続的利用の在り方を科学的に検証しなくては、持続的な産業利用がままならない。そこで筆者らは、図1に示す3つのテーマおよび目標を設定して、持続可能な冷熱利用に関する研究をすすめることとした。

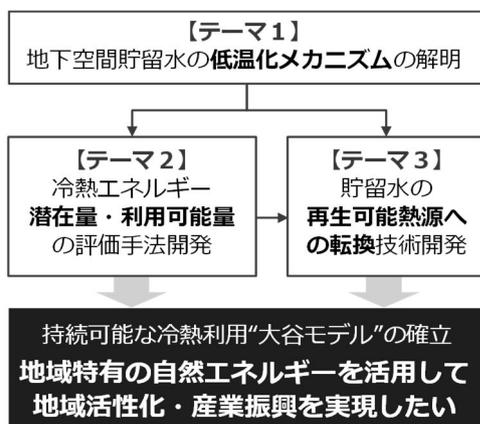


図1 本研究の2つのテーマと目標

## 2. 想定される貯留水の低温化メカニズム

これまでに取得した現地観測データより、貯留水の低温化には顕熱と潜熱の両プロセスが関係するものと考えられる(図2参照)<sup>1)</sup>。

顕熱プロセスは、冬季に冷却された外気が地下空間に侵入して空間内および貯留水を冷却するものである。地下空間内外で空気の密度差が生じるため、夏季に高温となる外気は地下空間に取り込まれない(温度上昇しない)。

潜熱プロセスは、貯留水の水面付近を空気が流れることで蒸発が促され、この時に熱が奪われて低温化するものである。とくに秋から冬にかけて発生している可能性が高い。ただし、本当に潜熱プロセスで低温化が生じるかは明らかでない。そこで本研究では地下空間を模した実験装置を用いて、潜熱による貯留水低温化の検証をおこなった。

## 3. 室内模型実験の概要

室内模型実験装置の模式図を図3に示す。実験装置はアクリル水槽、水槽を覆う断熱材(発泡スチロール:側面・底面の厚さ50mm,上面の厚さ100mm)、PC用ファン(30×30×10mm)、各種センサー類等からなる。水槽上面の断熱材には2カ所の通気孔(30×30mm)を作

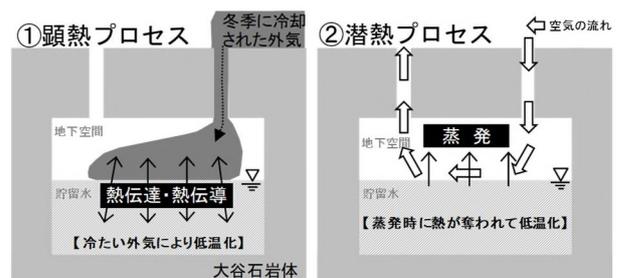


図2 想定される2つの低温化メカニズム

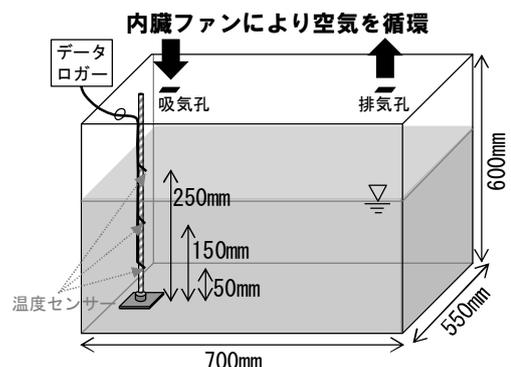


図3 室内模型実験装置の模式図

成して、排気孔内部にファンを取り付けた。また、吸気孔上部 50mm の空気温度、排気孔上部 60~80mm の空気温度と相対湿度、水槽内部 3 地点の温度（水槽底部より 50mm, 150mm, 250mm）、室内湿度をそれぞれ計測している。

実験シナリオは貯留水位の違う 2 ケースを設定した。貯留水位 200mm をケース 1、貯留水位 100 mm をケース 2 とそれぞれ呼ぶ。実験は室温を空調管理した室内でおこない、各ケースを 2 回ずつ実施した。実験期間は 240 時間（助走期間 72 時間、ファン稼働時間 96 時間、ファン停止後の回復期間 72 時間）として、ファン稼働による貯留水温の変化を確認した。また、水槽内への流入空気の温度が貯留水の低温化に与える影響を把握する目的で、各ケースの 2 回目の実験では、ファン稼働後約 30 時間後に実験室の管理温度を 1℃ 下げて実験を実施した。

#### 4. 室内模型実験の結果

室内模型実験結果の一部を、図 4 および図 5 に整理する。図 4 にはケース 1（2 回目）、ケース 2（2 回目）の結果をそれぞれ示す。両ケースともに、ファン稼働による地下空間内部の通気に伴って貯留水の低温化が確認できた。なお、貯留水位の低いケース 2 の方がファン稼働時の温度低下量が大きく、1、2 回目ともに同様の結果となった。これは、貯留水の水面の面積は両ケースで差異がないため蒸発量（奪われたエネルギー量）がほぼ同程度と想定でき、熱容量の違いで貯水量の少

ないケース 2 でより大きな温度低下がみられたものと考えられる。なお、ケース 2 ではファン停止後の回復期間の温度上昇量が大きいことも、同様の理由によると思われる。

図 5 には貯留水温と室内湿度を併記した。図より、ファン稼働から 24 時間程度までは蒸発潜熱による低温化が促進されるが、その後は流入する空気の湿度の影響を受けていることがわかる。図 5 右図では、ファン稼働中に室内湿度が上昇傾向にあったものの、同期間に室内管理温度を 1℃ 下げたことで貯留水の温度はほぼ一定で推移した。これは顕熱と潜熱の両プロセスが同時に生じ、結果としてバランスがとれたものと考えられる。

#### 5. まとめ

室内模型実験をおこない、蒸発による貯留水の低温化を確認した。通気条件下での貯留水温の低下量は、流入空気の温度・湿度と貯留水量で決まることが明らかとなった。これから実験結果を踏まえて、今後は貯留水の再生可能熱源への転換を実現する技術開発をすすめる予定である。

#### 参考文献

- 1) 富樫ほか(2018)：大谷石採掘跡地内貯留水の冷熱利用に関する研究（1）貯留水温の季節変動, 日本地熱学会平成 30 年学術講演会講演要旨集, p69.

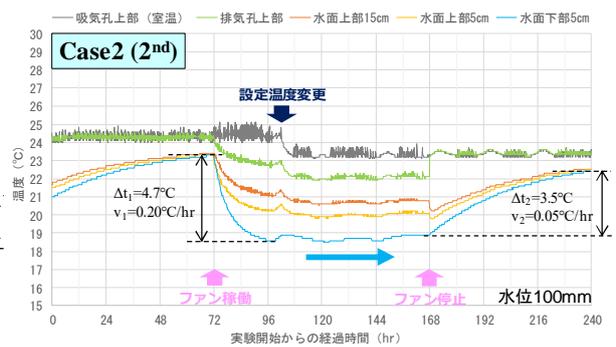
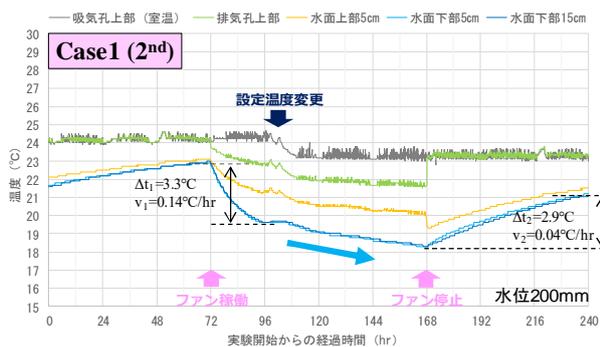


図 4 実験結果（計測温度） 左：ケース 1（2 回目）、右：ケース 2（2 回目）

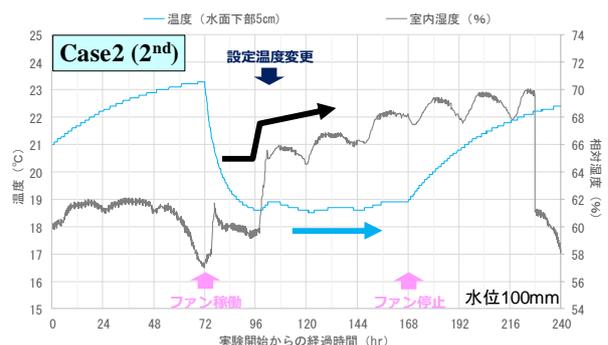
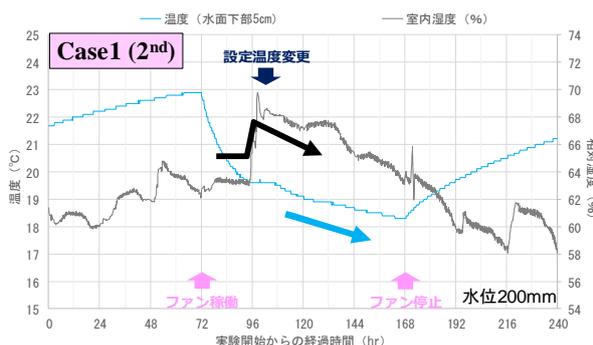


図 5 実験結果（貯留水温と室内湿度） 左：ケース 1（2 回目）、右：ケース 2（2 回目）

## 地下空間貯留水の冷熱利用可能量の評価に向けた数値解析的検討

霜山峻 (福島大学), 富樫聡 (産総研), 柴崎直明 (福島大学),  
藤原盛光 (川崎地質), 佐藤怜・久我幸史 (八千代E), 内田洋平 (産総研)

### 1. 背景と目的

宇都宮市大谷地域には約 200 か所の大谷石採掘跡地が存在する。いくつかの採掘跡地に賦存する貯留水の温度は年間を通して 10℃以下であり、この低温貯留水は再生可能な冷熱資源として観光事業や農業等への利用が期待されている。

貯留水を冷熱源として持続的に利用するには、冷熱エネルギーの潜在量および利用可能量の推計が重要となる。現状の潜在量・利用可能量は、これまでの現地観測データから推計することができるが、将来的な潜在量・利用可能量の推計には数値解析の活用が不可欠である。したがって最終的には、大谷地域全域を対象として地下水流動・熱輸送連成解析を実施する必要がある。

大谷地域で地中の水・熱の移動解析モデルを作成する場合、大谷石 (緑色凝灰岩) の地層もモデル化することになる。このとき、パラメータとなる大谷石の熱伝導率や体積熱容量の熱物性値を原位置での物性値で設定しなくてはならない。そこで本研究では、過年度に実施された大谷石採掘跡地における原位置伝熱実験の結果を活用して、一次元非定常熱伝導シミュレーションによるパラメータ推定と実験結果の再現をはかった。

### 2. 地中における水と熱の移動理論

地中における熱の移動は、①流体の密度を考慮した飽和・不飽和多孔体中の浸透流方程式、②移流分散方程式の 2 式を連成して表現できる。大谷石の透水性は極めて低いことがわかっているため、岩体中の間隙流速  $v$  を 0 m/s と仮定すると、大谷石の地層では (気相、液相、固相の混合系の) 熱伝導率  $\lambda$  と体積熱容量  $\rho C$  が熱移動を決定する重要なパラメータとなる。ここで、地中の熱分散現象に着目すると、空間スケールへの依存性が高い分散長  $\alpha_L$ ,  $\alpha_T$  に対して、熱伝導率  $\lambda$  と体積熱容量  $\rho C$  は空間スケールに依存しない。そのため、室内物性試験や小規模スケールの実験で得たこれらのパラメータは広域モデルで利用できることから、ここでは原位置熱伝熱実験と一次元非定常熱伝導シミュレーションによるパラメータ推定を試みた。

### 3. 原位置伝熱実験の概要

宇都宮市は 2010 年度に大谷石岩体内部の伝熱状況を計測した。地下空間の岩体壁面と直交する奥行方向に対して、コアドリルを用いて 1 m 削孔し ( $\phi 27.7$  mm), これを測定孔とした。測定孔には、壁面から 0.0 m (壁表面), 0.2 m, 0.4 m, 0.6 m, 0.8 m, 1.0 m 地点にそれぞれ熱電対を設置して温度を計測した。伝熱実験は、加熱実験 (地下空間の閉め切った通路内の空気をヒーターで連続加熱) と送風実験 (外気を地下空間に毎日 19 時から翌日 8 時まで送風) の 2 パターンを異なる地点で実施した。なお、加熱実験は 2011 年 2 月 2 日から 2 月 28 日、送風実験は 2010 年 12 月 29 日から 2011 年 2 月 28 日 (2011 年 2 月 1 日に送風開始) を計測期間とした。

### 4. 一次元非定常熱伝導シミュレーション

一次元非定常熱伝導方程式の空間離散化には有限体積法を用いる<sup>1)</sup>。解析モデルは、モデル長 100 m, 格子点間隔 0.2 m, コントロールボリュームサイズ 0.2 m とし、壁面から 0.2 m 離れた地点を原点 ( $x=0.0$  m) に置いた。境界条件は、0.2 m 地点を固定温度境界 (観測値を入力), 100 m 地点を一定温度境界とした。初期温度は、観測データに基づき作成した初期温度分布関数を基に設定した。時間刻みは 3600 sec とし、実験期間中の再現計算を実施した。なお、熱伝導率  $\lambda$  と体積熱容量  $\rho C$  は複数の文献値ごとに推定し、最終的には観測値と計算値がより合った佐藤・佐々木<sup>2)</sup>が示した乾燥状態の大谷石の物性値を用いた。熱伝導率  $\lambda$  は 0.535 W/m/K, 比熱  $C$  は 1113 J/kg/K, 密度  $\rho$  は 1450 kg/m<sup>3</sup> である。

### 5. 結果および考察

原位置伝熱実験の結果を図 1, 図 2 に示す。加熱実験は壁表面での温度上昇に伴って各地点の温度が時間差で上昇した。送風実験は、開始初期は各地点で緩やかな温度低下が見られたが、計測開始から 25 日後に壁面温度が上昇したことで、各地点の温度も上昇した。実験開始から 30 日経過後に断続的に送風を開始すると各地点の温度変化が小さくなった。

一次元非定常熱伝導シミュレーションの解析期間は、加熱実験は温度上昇が大きい実験

開始から7日間、送風実験は温度が安定した実験開始10日後から60日後までとした。原位置伝熱実験の再現計算結果を図3、図4にそれぞれ示す。数値シミュレーションの結果、加熱実験、送風実験ともに原位置実験で得られた観測値をよく再現できている。

図3の加熱実験結果では、加熱開始から7日間は地下空間と大谷石岩体内部の温度差が大きいため、一次元熱伝導の理論に従った。しかしながら、加熱開始から7日以降は観測値と計算値の乖離が確認できた。これは時間経過とともに三次元的な影響が生じたためであると考えられる。なお、加熱開始から7日以降のデータを用いて再現計算を試みたところ、見かけ熱伝導率はより小さく評価された。

図4の送風実験の再現計算結果は、加熱実験よりも長期間にわたり再現性が高い。これは、送風実験は加熱実験に比べて時間をかけて緩やかに温度変化するため、一次元熱伝導の理論に従ったものと考えられる。

6. まとめ

本研究では、地下空間において実施された原位置伝熱実験（加熱実験、送風実験）を一次元非定常熱伝導シミュレーションにより再現した。その結果、大谷石岩体中（亀裂がない場合）の熱移動は熱伝導方程式で表現されることがわかった。また、解析で使用した熱伝導率 $\lambda$ や体積熱容量 $\rho C$ は、既往研究<sup>3)</sup>や他の文献値より小さい値が推定された。広範囲に分布する大谷石は、地点によって物性値の違いがあると想定されるため、物性値の違いを広域の解析モデルに考慮する必要がある。

今後の予定として、大谷地域で実施された既往観測データを収集するとともに、数値解析を用いたパラメータ解析を実施する。さらに、今回の解析等を基にして、大谷地域の三次元地下水流動・熱輸送解析連成解析を行い、岩体の低温状態維持期間や冷熱エネルギー潜在量・利用可能量を推計する。

参考文献

- 1) パタンカー；水谷・香月共訳（1985）：コンピュータによる熱移動と流れの解析，森北出版，pp.56-61.
- 2) 佐藤・佐々木（1984）：岩の伝熱および熱水浸透流による熱拡散係数の実験的研究，土木学会論文集，Vol.351，pp.127-135.
- 3) 霜山ほか（2018）：大谷石採掘跡地貯留水の冷熱利用に関する研究（2）大谷石の物性調査，日本地熱学会平成30年学術講演会講演要旨集，p.148.

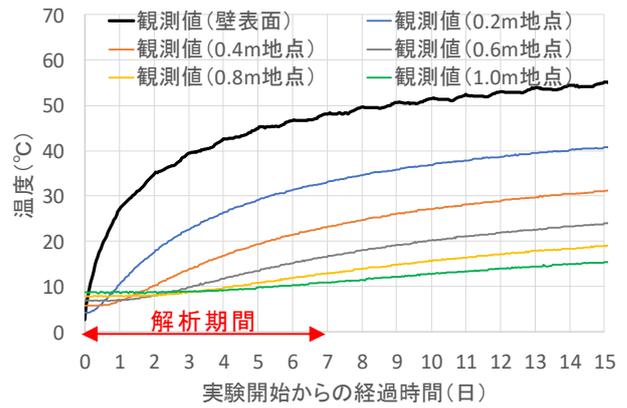


図1 原位置伝熱実験（加熱実験）結果

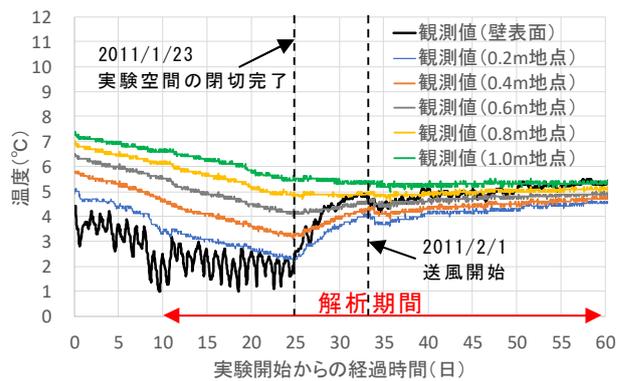


図2 原位置伝熱実験（送風実験）結果

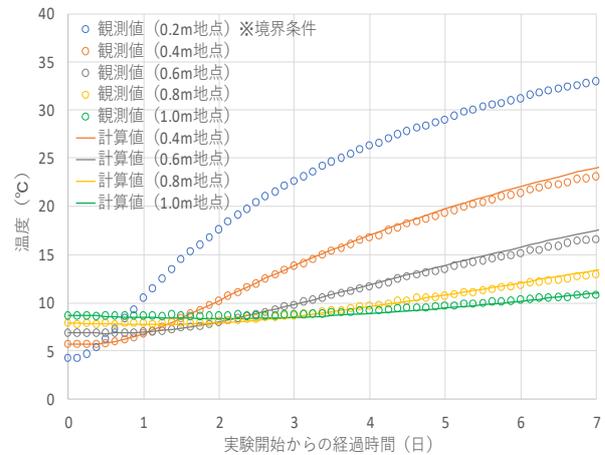


図3 加熱実験の再現計算結果

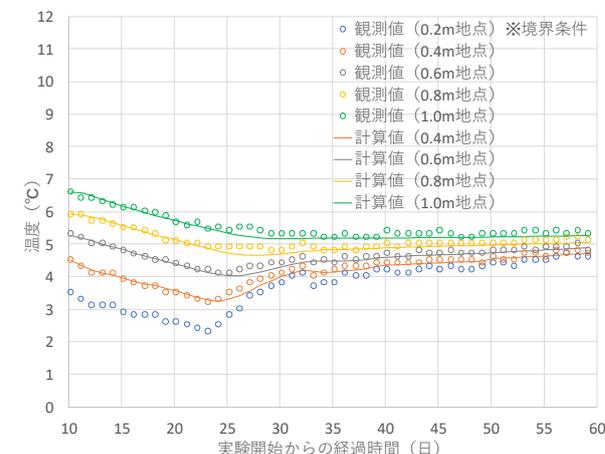


図4 送風実験の再現計算結果

## 男鹿半島北岸に分布する上部更新統脇本層の堆積環境 (岩相解析と石灰質ナノ化石層序)

復建技術コンサルタント 山蔭 みなみ

### 1. はじめに

秋田県男鹿半島安田海岸は上部第四系の露頭が連続的に露出していることから、かねてから多くの研究がなされてきた。

海成層において、生痕化石の密集度を観察することによってその層準の溶存酸素量が推定できる。また石灰質ナノ化石は、その生産量と群集組成によって、海洋表層環境を明らかにすることができる。今回(小沢, 2016MS)に基づき、安田海岸に分布する脇本層上部において、特に生物擾乱が著しく、周期的に変化している層準に注目し、岩相から推定できる海底の溶存酸素量と石灰質ナノ化石産出量解析との関連性を明確にすることを目的に研究を行った。

### 2. 岩相

男鹿半島北岸の安田海岸に分布する脇本層の生痕が特に密集している層厚 3.5m の岩相および生痕相の変化を詳細に観察した。本調査では岩相変化、生痕化石の密集度や大きさに伴って 6 ユニット 9 サブユニットに区分したが、特に底層の貧酸素環境を表す指標種である *Chondrites* に注目した。Unit1 は塊状なシルト層で堆積構造はない。Unit2 はシルト質砂で *Chondrites* が周期的に観察された。Unit3 は塊状の極細粒砂主体のシルト質砂で、*Chondrites* が散在している Unit3a と大型生痕化石が多く認められる Unit3b に分けられる。Unit4 は細粒砂主体のシルト質砂層で全体的に *Chondrites* の密集が認められ、Unit5 は細粒砂主体の塊状シルト質砂で大型化石が多産しており、レンズ状層理も認められる。Unit6 はシルト主体の塊状砂質シルトで生痕化石は認められなかった、詳細な各ユニットの記載は図 3 にまとめる。

### 3. 溶存酸素量

生痕化石の特徴から考えられる底層の溶存酸素量をタイプ I ~ III の三段階に分け定義し、岩相全体の海洋底層の溶存酸素量をグラフ化した(図 1・2)。*Chondrites* の生産者が生息していた層準は貧酸素環境と解釈できる(Lowemark, 2012) ため、密集しているほどより貧酸素環境であると推定できる。また生痕化石のサイズが大きくなるにつれて必要と

なる酸素量も増加するため、大型の生痕化石が認められる層準では富酸素環境であると定義づけた。

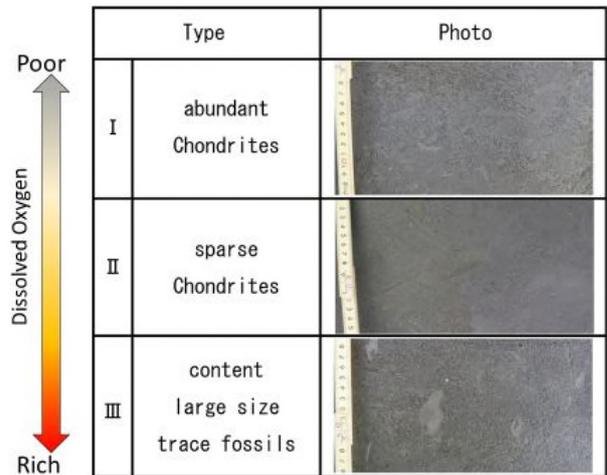


図 1. 溶存酸素量定義

### 4. 石灰質ナノ化石算出量

1 cm 間隔で 303 試料を採取した。その後採取した試料を定量法にて処理をし、1 g あたりの石灰質ナノ化石の生産量を算出した。全試料のうち AND 1~6, 8 以外の 296 試料で石灰質ナノ化石の産出が認められ、岩相全体を通して産出量の周期が認められた。Unit2 では大体は *Chondrites* が散在している層準と石灰質ナノ化石産出量の増加のピークが一致している。

### 6. 考察

Unit 1~4a までの層準では、海底の溶存酸素量が多い時に石灰質ナノ化石の産出個体数が多くなる傾向が認められる。特に Unit2 に注目すると、生痕化石 *Chondrites* が散在している層準では、石灰質ナノ化石産出量と底層の溶存酸素量が多く、*Chondrites* が密集している層準では石灰質ナノ化石産出量と底層の溶存酸素量が少ない。この顕著な相関関係より、海洋底層では貧酸素環境と富酸素環境が周期的に変動している可能性があるとして示唆される。

一方これより上位の Unit 4b 以上の層準では、あくまで生痕化石から推定された海底の溶存酸素量に基づくと、下位と異なる傾向を示しており、逆相関の関係にあると推定される。一つの可能性として考えられるのは、こ

の層準では潮間帯程度に急激に浅海化したことにより、石灰質ナンノ化石産出量が減少したということである。

7. 結論

岩相の特徴からUnit 1では汽水域のような陸に近い環境、Unit 2~4は外浜、Unit 5および6は潮間帯の堆積環境であったと推定される。またUnit 1~Unit 4aまでは海底の溶

存酸素量が多い時に石灰質ナンノ化石の産出個体数が多くなり、特にUnit 2において、生痕化石 *Chondrites* の密集と石灰質ナンノ化石産出量の減少の細かな変動には顕著な相関が認められる。一方Unit 4b以上の層準は下位と異なる傾向を示しており、これは本層準が潮間帯程度に急激に浅海化したことによる産出個体数の急減が原因と推定される。

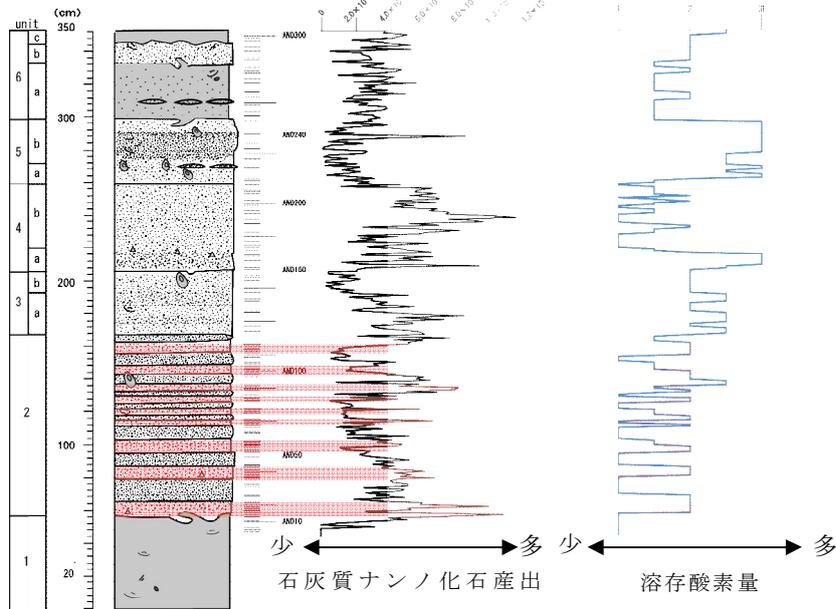


図 2.石灰質ナンノ化石産出量と底層の溶存酸素量比較

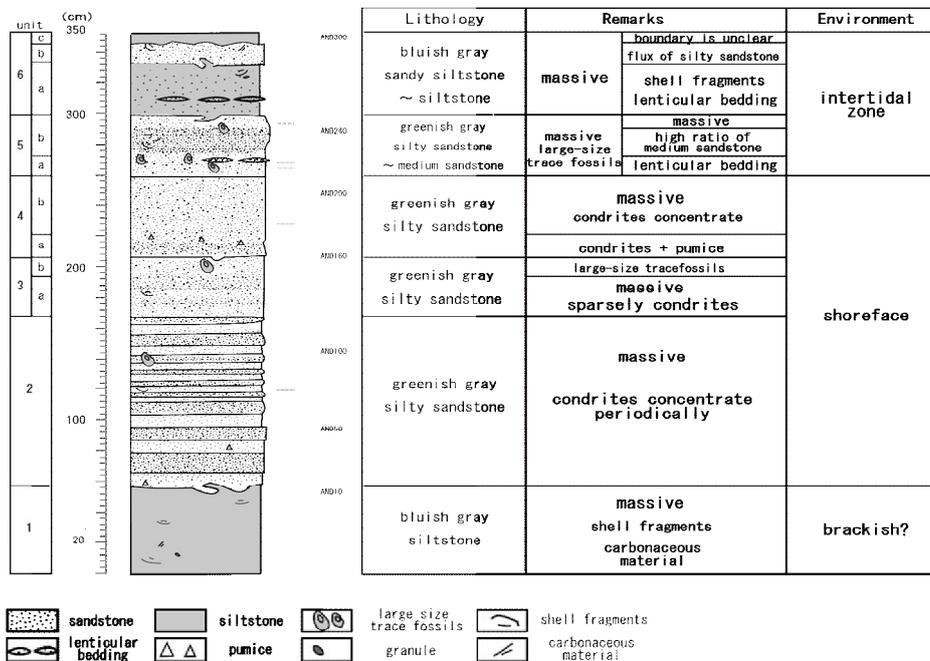


図 3.岩相のまとめ

Lowemark, L., O'Regan, M., Hanebuth, T.J.J., and Jakobsson, M. (2012): Late Quaternary spatial and temporal variability in Arctic deep-sea bioturbation and its relation to Mn cycles. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 365-366,

192-208.  
小沢奈津子 (2016MS): 堆積相および微化石からみた秋田県男鹿半島北部地域の第四紀末の古海洋環境. 秋田大学大学院工学資源研究科博士前期課程地球資源学専攻応用地質学講座博士論文.

# 白亜紀の微化石と古海洋

川崎地質株式会社 大河原 秀祐

## 1. はじめに

過去 1 億年の間で中期白亜紀は最も温暖化が進行した時代である。活発な火山活動によって大気中へ大量に放出された CO<sub>2</sub> による温室効果が要因である。後期には気温の低下が徐々に進行した [Larson, 1991; Wilson et al., 2002]。地球温暖化が進行する現在において、白亜紀の古環境の理解が重要となる。その一つに海洋の深層循環がある。

海洋の深層循環は地球全体にわたって P や N, Si などの元素や熱の輸送に関わっており、地球環境を規制するメカニズムの一つになっている。

本論では底生有孔虫殻の炭素・酸素同位体比と火山活動に由来する Nd 同位体比との比較から、白亜紀の中期から後期の深層循環を考察した。加えて、古環境の指標として研究が進んでいない海棲黄金色藻の休眠孢子 (Archaeomonads) [Takahashi et al., 1986] の形態について調査し、当時の南大洋の環境を推察した。

## 2. 研究試料

休眠孢子と深層循環の研究で扱う底生有孔虫は先行研究 [e.g. Friedrich et al., 2012] のデータも含めて、北大西洋、南大西洋、南大洋とインド洋、太平洋 (図 1) の深海掘削計画 (Deep Sea Drilling Project)、国際深海掘削計画 (Ocean Drilling Program) で得られた海洋底コア試料中のものを扱った。コア試料の年代は、浮遊性有孔虫や石灰質ナノ化石で決定されている。

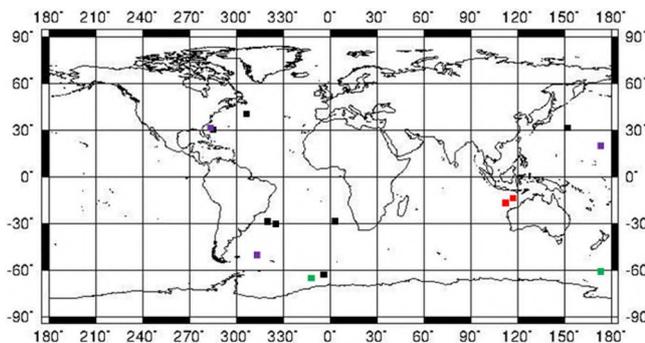


図 1. 研究試料採取地点

(緑 : 休眠孢子、赤、紫、黒 : 底生有孔虫、赤が本研究のみ、紫が本研究と先行研究、黒が先行研究のみ)

[[www.odsn.de/odsn/services/paleomap/paleomap.html](http://www.odsn.de/odsn/services/paleomap/paleomap.html)]

## 3. 研究方法

### 3.1. 深層循環

底生有孔虫殻の炭素・酸素の安定同位体比を高知大学海洋コアセンターで測定し、先行研究の同位体比 [e.g. Friedrich et al., 2012] とまとめた。そして公表されている Nd 同位体比 [Moiroud et al., 2016] との比較をした。

自然界には質量数 12 と 13 の炭素が存在し、この二つの炭素の比率が炭素の安定同位体比 ( $\delta^{13}\text{C}$ ) とされている。古い深層水の  $\delta^{13}\text{C}$  は低く、新しいそれは高くなる [Nunes and Norris, 2006]。

同様に酸素の場合には、質量数 16 と 18 を持つものが自然界に存在する。これらの比率が酸素の安定同位体比で、温度の指標となる。

Nd は陸から海に供給され、その同位体比は水塊の指標となる。Nd 同位体比は古生代以前の岩石では低い値、白亜紀など比較的新しい時代以降の火山活動由来の岩石では高い値を示す。

### 3.2. 休眠孢子

南大洋の休眠孢子については、白亜紀の堆積物に含まれる休眠孢子化石のカatalogを作成し、中期と後期の形態を比較した。

黄金色藻は休眠状態に入ると SiO<sub>2</sub> で作られる休眠孢子を形成する。この休眠孢子は表面に棘や隆起、様々な模様などを持つのが特徴である。

## 4. 結果

深層循環では、各時代ごとに最も大きい海洋間の炭素同位体比の差に注目すると、深層水温と Nd 同位体比の変化と同調していた。94-85Ma には海洋間の炭素同位体比の差は小さく、Nd 同位体比の値が比較的高い。寒冷化が進行する 78-66Ma では、海洋間の炭素同位体比の差は大きくなり、Nd 同位体比の値も火山活動の活発な大西洋の一部と太平洋のものを除いて低下した。南大洋では後期白亜紀 (Maastrichtian) の隆起のある休眠孢子が中

期(Albian)のものより多様であった(図2)。

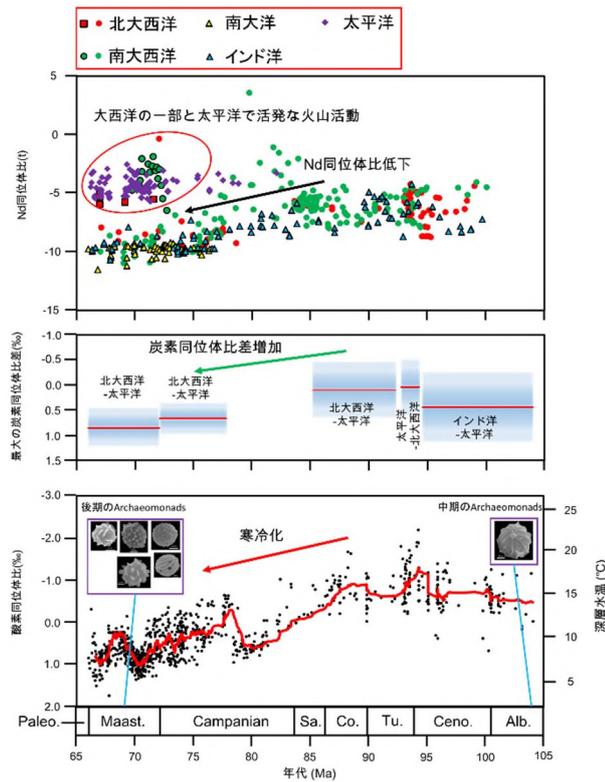


図2. Nd同位体比[Moiroud et al., 2016]、海洋間の炭素同位体比の差、深層水温(e.g. Friedrich et al., 2012も含む)の比較  
南大洋の中期と後期のArchaeomonads

## 5. 考察

Cenomanian-Turonian 境界では火山活動による温暖化で、深層に酸素が供給されなくなる海洋無酸素事変が発生した(黒田ほか, 2010)。94Ma の最も低い海洋間の炭素同位体比差は深層循環の停滞を示し、Cenomanian-Turonian 境界の無酸素事変を裏付けている。後期に火山活動が弱まり徐々に寒冷化して深層循環が強まると、海洋間の炭素同位体比差が大きくなった。この後期の南大洋における多様な休眠胞子は、強まった深層循環により起こった活発な湧昇流がP、N、Siなどの元素を豊富に表層にもたらした結果だと思われる。実際に古第三紀では、寒冷化で活発化した湧昇流が要因で休眠胞子を作る珪藻である*Chaetoceros* 属の多様化が起こった(Suto, 2006)。

## 6. まとめ

火山活動による気候変動が深層循環に影響を与えて、寒冷化による深層循環の活発化で、休眠胞子が多様化したと考えられる。

## 《引用・参考文献》

- 1) Friedrich, O., Norris, R.D., Erbacher, J., 2012. Evolution of middle to late Cretaceous oceans-A 55 m.y. Record of Earth's temperature and carbon cycle. *Geology* 40(2), 107-110.
- 2) 黒田潤一郎, 鈴木勝彦, 大河内直彦, 2010. 白亜紀における大規模火山活動と地球環境変動のリンク. *Journal of Geography* 119 (3) 534-555.
- 3) Larson, R.L., 1991. Geological consequences of superplumes. *Geology* 19(10), 963-966.
- 4) Moiroud, M., Pucéat, E., Donnadieu, Y., Bayon, G., Guiraud, M., Voigt, S., Deconinck, J.F., Monna, F., 2016. Evolution of neodymium isotopic signature of seawater during the Late Cretaceous: Implications for intermediate and deep circulation. *Gondwana Research* 36, 503-522.
- 5) Nunes, F., Norris R.D., 2006. Abrupt reversal in ocean overturning during the Palaeocene/Eocene warm period. *Nature* 439(7072), 60-63.
- 6) ODSN Plate Tectonic Reconstruction Service([www.odsn.de/odsn/services/paleomap/paleomap.html](http://www.odsn.de/odsn/services/paleomap/paleomap.html))
- 7) Suto, I., 2006. The explosive diversification of the diatom genus *Chaetoceros* across the Eocene/Oligocene and Oligocene/Miocene boundaries in the Norwegian Sea. *Marine Micropaleontology*, 58, 259-269.
- 8) Takahashi, E., K. Watanabe and H. Satoh (1986) Siliceous cysts from Kita-no-seto Strait, north of Syowa Station, Antarctica. *Memoirs of National Institute of Polar Research, Special Issue*, 40, 84-95.
- 9) Wilson, P.A., Norris, R.D., Cooper, M.J., 2002. Testing the Cretaceous greenhouse hypothesis using glassy foraminiferal calcite from the core of the Turonian tropics on Demerara Rise. *Geology* 30(7), 607-610.

## 日高幌内の岩盤すべりに関する 2, 3 の考察 —平成 30 年北海道胆振東部地震ほかの事例から—

(株)東北開発コンサルタント 橋本 修一

### 1. はじめに

平成 30 年北海道胆振東部地震(以下、今回の地震という。)により、震源域周辺に多数の斜面崩壊が発生した。その大部分はテフラ等未固結堆積物の土層すべりであったが、基盤岩の層理面に沿った岩盤すべりも発生した。

筆者は 2018 年 10 月の学会調査団現地調査及び 2019 年 6 月のコア観察会に参加する機会を得た。ここでは、これら調査から得られた知見や大規模停電検証委員会資料、地震観測記録等から、岩盤すべりの移動プロセス、速度などに関していくつか考察を試みる。

### 2. 日高幌内の岩盤すべり

幌内地区で発生した岩盤すべりは、日高幌内川の河道閉塞を引き起こした。その規模は長さ 1,000m 以上、幅 500m、深さ 50m、移動距離は 350m 程度と見積もられている<sup>1)</sup>。



写真-1 日高幌内の岩盤すべり・NE 方向に撮影(アジア航測・朝日航洋による)

基盤の地層は、新第三系中新統頁岩優勢の砂岩頁岩互層で、南にプランジする軸を持つ緩い褶曲構造が発達し、南に 7° 程度で傾斜する<sup>2)</sup>。

### 3. 岩盤すべりと設備損壊の経緯

日高幌内地区で、WNW 方向に敷設されていた送電設備(岩知志線 66kV, 鉄塔 3 基)が被災した。移動土塊上の鉄塔(no. 107)は倒伏し、送電線がその鉄塔の両側で断線している。地震前後の地形データと no. 107 鉄塔位置のずれから、岩盤すべりの移動量は 350m と見積もられる。

数種類の空撮画像に基づき、鉄塔の倒伏方向、切断電線の山体・樹木への接触・屈曲状況を詳しく確認することで、岩盤すべりの移動プロセスを推定してみた。

その結果、鉄塔倒伏は岩盤移動量が原位置から約 100m 移動時と推測できる。また、不動部の鉄塔(no. 106, no. 108)は、地震前後の画像に大きな変化はなくほぼ直立していること、電線の延長は同 2 基の鉄塔から数か所で山体・樹林中で接触屈曲を経て数 100m 経たところで確認されなくなることから、山体・樹林と no. 107 の間に強い張力が作用し、断線に至ったものと推測される。



図-1 岩盤すべりによる送電設備の被災状況 (Google Earth 画像に加筆)

### 4. 送電状態変化記録及び地震波形

今回の地震に伴い、道内では大規模停電(いわゆるブラックアウト)が発生した。検証委員会による詳細な検証報告書には、送電系統の全系状態変化ログなど、膨大なデータが公開されている。

また、震源域の周辺に展開されている防災科技研の地震計の波形記録から、岩盤すべりの位置における地震波到達時刻や、強震動発生時刻をある程度推定することができる。

これらの記録を基に、岩盤すべりの移動速度の試算を考察したが、不確定な要素が多く残念ながら確定することはできなかった。

すなわち、岩盤の移動速度推定には、岩盤が滑り出した時刻及び移動岩盤内マーカー

(鉄塔)の、移動途中での位置と時刻が必要である。前者は地震記録から、後者は鉄塔・電線損壊の経緯と状態変化ログの組合せで位置・時刻を推定しようというものである。

まず、周辺地震計記録(K-NET, KiK-net)から幌内でのトリガー時刻は03:08:04, 強震動発生はその約4秒後であり、移動開始はその直後と思われる。しかし、初生の岩盤すべりが生じる地震加速度として概ね500galとの知見<sup>3)</sup>も踏まえれば、必ずしも移動開始時刻の特定はできない。

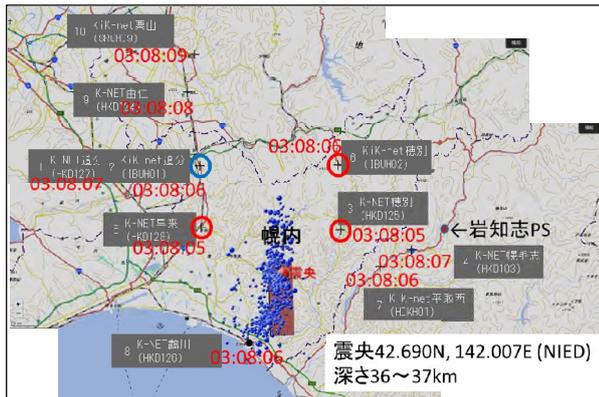


図-2 地震計のトリガー時刻 (地理院地図に K-NET, KiK-net データ読取結果を加筆)

次に、当該送電線の今回の地震直後の事故記録について、至近の早来変電所では03:08:15, 同18秒, 同19秒と3回のトリップ記録が残されている<sup>4)</sup>。この時のいずれかが岩知志線に異常と推量される。しかし、この異常が地絡か断線かも不明であり、移動に伴い何度か山体・樹林への接触(地絡)の後に断線しており、どの段階での記録か特定できなかった。

### 5. 岩盤すべり移動土塊のコア観察

すべり面を貫いたコア観察, 研磨片写真, CT画像によると, 基盤岩の砂岩内に10~12cm厚の破碎部が確認された(上載地層75m)。

破碎部の上部約6cmは移動土塊でその基底1cmは軟質で, ここで大きく滑ったものとみられる。ただ粘土層は認められない。

移動土塊側では堆積構造が乱され, 黒色頁岩が細礫化しパッチ状に混入している。一方, 下部の地山側5cm間に頁岩の混入はなく一定方向の直線的な亀裂(R<sub>1</sub>面?)が発達し, それ以深1cmは亀裂がごく稀で健岩へ移行する。

露頭調査においても, 過去のすべり面と考えられる層面すべりが観察されるが, 顕著な粘土は存在しない。事前の調査でどこまで地震性すべりのリスクを認識できるか, 難しい

課題である。

### 6. おわりに一類似の岩盤すべり一

今回の地震による岩盤すべりは, 小規模なものや推定も含めると200か所を超える<sup>1)</sup>。東北地方においても地震時の岩盤すべり事例はいくつか知られている<sup>3), 5)</sup>。



図-3 類似した地震時岩盤すべりの例

地質構成・構造の類似性など, 一定の条件を基に, 潜在的な過去のすべり履歴を見直し, 地震時の岩盤すべり・山体崩壊の危険度予測に資する検討も必要と思われる。

### 文献

- 1) 伊東佳彦(2019):平成30年北海道胆振東部地震報告一テフラ地帯の斜面崩壊一, 令和元年度特別講演およびシンポジウム予稿集「頻発する自然災害にどのように備えるか一役立つ災害地質の知識一」, pp. 38-44, 日本応用地質学会。
- 2) 高橋功二・和田信彦(1987):5万分の1地質図幅説明書「穂別」北海道立地下資源調査所。
- 3) 阿部真郎ほか(2006):新第三紀層分布域における地震の震度と地すべりの地形・地質的特徴, 地すべり, Vol. 43. No. 3, pp. 27-34。
- 4) 平成30年北海道胆振東部地震に伴う大規模停電に関する検証委員会最終報告(資料編)参考資料. 状態変化ログ\_全系\_SF\_全データ(1sデータ\_3時0分~30分)。
- 5) 高見智之(2019):類似の災害と「やや不自然な自然災害」, 令和元年度特別講演およびシンポジウム予稿集「頻発する自然災害にどのように備えるか一役立つ災害地質の知識一」, pp. 45-52, 日本応用地質学会。

## 地震断層崖の形状の経時変化

### —2011 年福島県浜通りの地震を対象に—

東北大学理学研究科地学専攻 小野 大輝

#### 1. はじめに

断層活動により生じた地震断層崖は、地震の変位を残す最も明瞭な変位地形の 1 つであり、出現した地震断層崖は、風化作用や侵食作用により断層面の剥離や崖の崩落が生じ、崖の傾斜が時間の経過とともに緩やかになっていくことが明らかとなっている（例えば、Wallace, 1980; 吾妻ほか, 1996 など）。また、断層崖の変化の際には侵食、風化作用だけでなく、崖の中上部から崩壊した土砂が崖の基部に堆積し楔形の colluvial wedge を形成する。この colluvial wedge は地震発生後に形成されるため、トレンチ調査等の活断層調査の際に、地震イベント解釈の 1 つの指標として用いられてきた。

地震断層崖の中上部の形状の変化の過程を明らかにすることで、地震発生から長時間経過した後に断層崖（断層変位地形）がどのような形状へと変化するかを推定できる可能性がある。この形状の経年変化が予測できれば、現在みられる断層崖の形状から逆算することで断層の最新活動時期を推定できる可能性がある。また、地震断層崖の基部に形成される colluvial wedge の堆積過程や堆積様相を知ることで、トレンチ調査時のイベント解釈の信頼性を向上させることが可能となり、colluvial wedge をイベント解釈の有効な指標として用いることができるようになる。

本発表では、2011 年 4 月 11 日に発生した福島県浜通りの地震 (Mw6.6) の際に生じた地震断層崖 2 地点に対し、斉道地点における地震直後の写真による地震発生直後の断層崖の形状復元や現地での崖地形の計測および掘削調査から明らかになった断層崖の形状の変化の過程と、塩ノ平地点にみられる崖基部に形成された colluvial wedge の堆積様相から考えられる colluvial wedge の形成時期について述べる。

#### 2. 福島県浜通りの地震および調査地点、研究手法の概要

本研究で対象とする福島県浜通りの地震は福島県いわき市南方で発生し、垂直変位を主体とした東側隆起の地震断層が湯ノ岳断層、



写真 1: 斉道(左), 塩ノ平(右)地点の地震断層崖

井戸沢断層西トレースに沿って出現した。本研究では変位量の大きい井戸沢断層西トレースに沿って出現した地震断層崖を対象とし、崖の保存状態の良い「斉道」、「塩ノ平」の 2 地点（写真 1）において調査を行った。

斉道地点では、地震直後および現在（約 7 年後）の断層崖の断面図をそれぞれ画像による復元、現地計測により作成した。地震直後の地震断層崖の形状の復元は、AgiSoft 社の PhotoScan を使用し、地震直後に撮影された画像 5 枚を用いて 3 次元形状の復元を行い、現地で計測した断面位置を周辺の樹木等により推定し、断面図を作成した。現地計測については、崖近傍に標尺を立て、標尺から崖までの距離を（鉛直方向に）5 cm ごとに計測し、断層崖の断面図を作成した。また、塩ノ平地点において小規模掘削調査を行い、colluvial wedge の堆積様相を確認した。

#### 3. 地震発生から現在までの断層崖の形状変化と colluvial wedge の形成時期

##### a) 斉道地点での断層崖の形状変化

断層崖の中上部では、断層面での剥離、崩落により最大 30 cm ほど崖面が断層隆起側へ後退した一方で、崖最上部ではほとんど後退していなかった（図 1）。この後退量の差の要因として、断層下盤側に存在する植生による地表の物質の支持の影響が考えられる。同様の变化は Wallace (1980) においても確認されており、植生による影響も実験によって明らかとされており（例えば、関根ほか, 2008 など）、断層下盤側の植生の有無やその密度が形状変化に影響を与えていると考えられる。また、Wallace (1980) において地質の類似している地点の形状変化と比較すると、変位量が約 3.1 倍であるのに対し、崖の後退量は約

5.0 倍であり、変位量が大きくなると崖の後退量も大きくなると予想される。しかし、Wallace (1980) の場合、乾燥地域にあることや、地質の違い、さらには地震発生からの経過年数が約 19 年と今回の研究の 2 倍以上であることなど、様々な条件が異なっている。そのため、変位量と後退量の関係には必ずしも今回のような傾向がみられるとは限らないが、変位量が大きくなると重力的不安定性が大きくなるため後退量も大きくなる傾向がみられるものと考えられる。

b) 塩ノ平地点での colluvial wedge の形成  
 現地での掘削調査により、崖基部に堆積した colluvial wedge が 2 層構造をなしていることを確認した (図 2)。斉道でも同様の colluvial wedge がみられ、この地震発生に伴う colluvial wedge は地震発生から約 7 年という短期間のうちに形成を開始した (一部は既に被覆されている) ことが確認された。このことから、降雨や周囲の地形の影響などがあるものの、地震断層崖基部に形成される colluvial wedge は地震発生後すぐに形成を開始することが明らかとなり、活断層の活動間隔から考えると colluvial wedge の形成時期を地震イベント発生時期とみなすことができると考えられる。この急速に形成が進む colluvial wedge は、その速度や層厚から周囲からの土砂供給を受けている可能性が高く、こうした断層崖の崩壊以外による土砂の供給により colluvial wedge 中に地震発生時とは異なる年代を示す試料が混入する可能性がある。そのため、colluvial wedge をもとにした地震イベント発生年代の推定を行う際は、地震発生前の地表面とほぼ一致する colluvial wedge に被覆される層中と colluvial wedge 堆積後に形成された colluvial wedge を被覆する層中のできるだけ多くの試料を用いて年代推定を行うべきであると考えられる。

4. まとめ

植生に十分に覆われる地域に地震断層崖が出現した場合、地震断層崖の形状は植生による束縛を受ける崖最上部は長期間その形状を保ち続け、露出した崖中上部では剥離、崩壊が進み、オーバーハングした形状へと変化することが明らかとなった。また、崖中上部での剥離、崩壊に伴い、崖基部では崩落した物質が堆積し colluvial wedge を形成する。この colluvial wedge は地震発生直後からごく

短期間の間に形成されることから、トレンチ調査での地震イベント解釈においては、イベント発生時期を colluvial wedge 形成時期とみなすことができると考えられる。イベント発生年代を推定する際は、colluvial wedge 中にイベント発生時期とは異なる年代を示す試料が混入する可能性が高いため、colluvial wedge の上下の層中のできるだけ多くの試料から年代推定を行うべきであると考えられる。

5. 文献

吾妻崇, 太田陽子, 小林真弓, 金幸隆 (1996) 野島地震断層崖の断面形の変化過程, 地理学評論, 69A-5, pp. 365-379  
 関根正人, 大前謙友, 松島貴之 (2008) 植生の根系が斜面の表面浸食に及ぼす影響に関する実験的研究, 水工学論文集, 52 巻, pp. 559-564  
 Wallace, R. E. (1980) Degradation of the Hebgen Lake fault scarps of 1959, Geology, v. 8, pp. 225-229

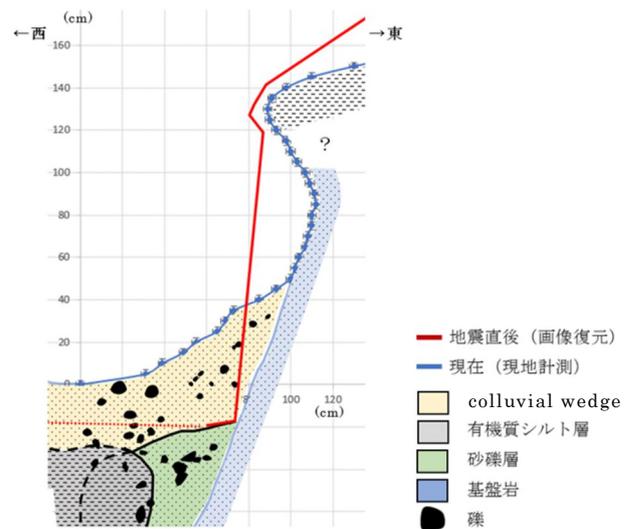


図 1: 斉道地点での地震直後の崖断面およびピット壁面



1a, 1b: colluvial wedge, 2a, 2b: 有機質砂層, 3: 砂礫層

図 2: 塩ノ平地点でのピット壁面

## 地殻変動に対する河川形状の変化 -熊本県布田川断層の例-

東北大学理学研究科地学専攻 高橋 直也

### 1. はじめに

地震時の断層運動や広域的な隆起・沈降のような地殻変動の速度は活動度地形・地質構造の発達や地震ハザードを考える上で重要である。地質学的な時間スケールでの変動速度を考える際には、累積の変動量を記録している地形や地層とそれらの年代が必要であるが、こうしたデータは限られた場所でしか得られず、特に広域的な地殻変動傾向を把握する際に大きな障害となりうる。河床縦断面を用いた地殻変動解析 (Kirby and Whipple, 2012) は、変位地形や年代試料を必要とせず、数値地形モデル (以下, DEM) さえあれば解析が可能という点で優れた手法である。河床の縦断面は地殻変動に対応して様々に変化することが知られており、地殻変動量の推定に利用されてきた。しかし、地殻変動に対する河川の形状変化は未だ不明な点が多い。そのため本研究では、特に河川の勾配と流路幅に着目し、地殻変動に対する河川の形状がどのように変化するかを明らかにすることを目的としている。

### 2. 対象地域

2016 年熊本地震を引き起こした布田川断層帯と交差する岩戸川と赤井川を対象とする (図 1)。これらの河川周辺で得られた布田川断層帯の上下平均速度はいずれも 0.4~0.5

mm/yr 程度であり (鶴田・渡辺, 1978; NUPEC, 1998), 両河川は同様の上下変位を経験してきたと考えられる。流域内の地質は、いずれも白亜紀の堆積岩 (泥岩, 砂岩, 礫岩, 凝灰岩) が主体で、赤井川の上流部には、火山麓扇状地堆積物が分布している (星住ほか, 2004)。

### 3. 研究手法

河川流域内で上下方向の地殻変動が生じると、その程度に応じて河川はその形状を変化させ、最終的に侵食速度が地殻変動速度と釣り合う平衡状態に達する。この時、河川の勾配と流路の幅が主に変化することが知られているため、本研究ではその 2 つに着目した。

河川の勾配を評価するため、両河川沿いにおいて Normalized steepness index ( $k_{sn}$ ) を 100m 毎に計算し、流域平均の  $k_{sn}$  を求めた。

$$k_{sn} = SA^\theta \quad (1)$$

ここで、 $S$  は河床の平均勾配 (m/m),  $A$  はその地点における集水域面積 ( $m^2$ ) である。 $k_{sn}$  は河川の勾配を表す指標であり、隆起速度や流路の形状を反映する (Kirby and Whipple, 2012)。流路の幅は、レーザー測量器具 (TruPulse®360R, Laser Technology 社製) を用いて現地で計測した。流路の幅 ( $W$ ) はその地点の集水域面積のべき関数であるため (2 式; 例えば, Wohl and David, 2008), 2 つの河川それぞれについて、最小二乗法によって

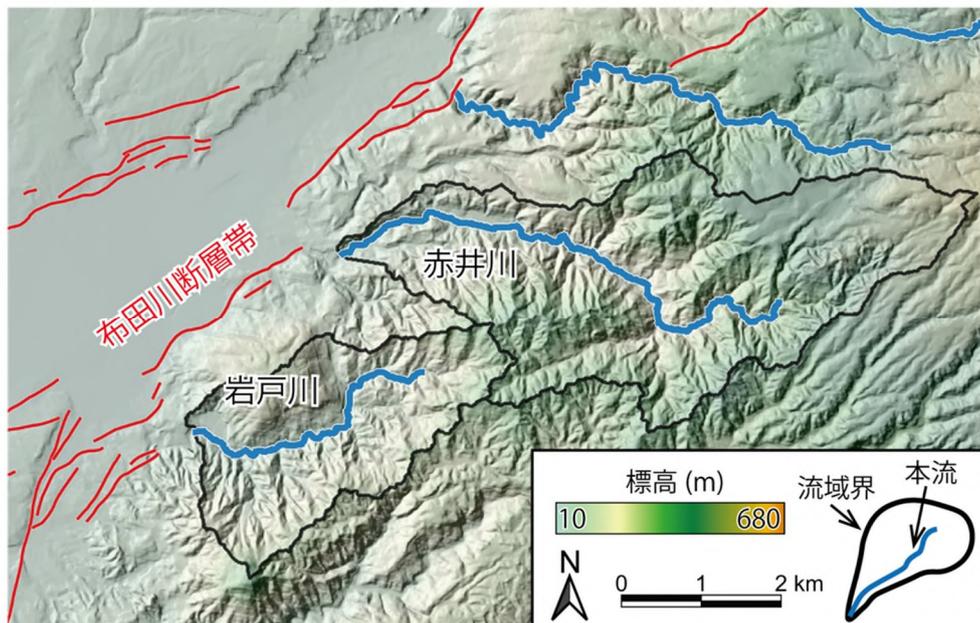


図 1, 研究対象地域の地形図。断層トレースは熊原ほか(2018)による。

係数  $k_w$  と指数  $b$  を求めた.

$$W = k_w A^b \quad (2)$$

#### 4. 結果

両河川において  $k_{sn}$  を計算したところ、岩戸川での平均的な  $k_{sn}$  が 11 程度であったのに対し、赤井川では 22 程度と 2 倍の差があった。また、岩戸川で 21 地点、赤井川で 26 地点流路幅を計測し、(2)式にフィッティングしたところ、赤井川の流路幅が岩戸川よりも 1.5 倍程度広がった。河川のある地点において、川幅が広がるとその地点の  $k_{sn}$  が増加するため (Whipple and Tucker, 1999)、 $k_{sn}$  が 2 倍程度異なっていたのは、流路幅の差によると考えられる。

#### 5. 考察

$k_{sn}$  の計算と流路幅の計測結果から、布田川断層帯沿いの 2 河川は、勾配と流路幅の両方を変化させて、地殻変動に反応していることがわかった。Yanites et al. (2010) は、流域内で地殻変動が継続しているとき、流路が最大限細くなってから勾配が急になり始めると述べている。布田川断層帯沿いの 2 河川は、Yanites et al. (2010) の結果とは明らかに異なっているため、この違いを生んだ原因について考察する。

阿蘇カルデラ周辺には、カルデラ形成時に噴出された火砕流堆積物によって構成される台地状の地形が広がっている。赤井川の上流部にはこの台地状の地形が分布するが、岩戸川の流域内には存在しない。未固結の火砕流堆積物は、基盤岩よりも侵食されやすいため、赤井川には岩戸川よりも多くの堆積物が供給されている可能性がある。堆積物供給量が増加すると河床を覆う堆積物が増加し、下刻作用が弱まる。その結果相対的に側刻が進んで川幅が増加する (Yanites and Tucker, 2009)。これをふまえると、赤井川と岩戸川の地殻変動に対する反応の違いは、基盤地質の受食性の差に起因する堆積物供給量の差によるものと考えられる。

#### 6. 結論

本研究では、流域内の斜面を構成する地質の受食性が異なれば、地殻変動に対する河川形状の変化も異なることを示した。河川の形状は、基盤岩の性質に大きく影響を受けるが、特に地殻変動に対する河川の応答を議論する際には、流路沿いの地質が着目されてきた。

しかし、河川に流入する堆積物はそのほとんどが流路ではなく斜面で生産されるため、流路以外の基盤地質も考慮するべきである。堆積物供給量の定量が困難であるために、河川の形状変化を議論する差異には十分考慮されないことが多いが、斜面を構成する基盤岩の受食性の違いを用いれば、堆積物供給量の差異をある程度考慮することが可能になるだろう。

#### 6. 文献

- 1) Kirby, E. and K. Whipple (2012), Expression of active tectonics in erosional landscapes, *Journal of Structural Geology*, 44, 54-75.
- 2) 鶴田孝三, 渡辺一徳 (1978), 熊本平野南東部に見られる活断層群, 熊本地学会誌, 58, 2-4.
- 3) 原子力発電技術機構 (1997), 平成 8 年度原子力発電立地確認調査に関する報告書 (1), 153p.
- 4) 星住英夫ほか (2004), 20 万分の 1 地質図幅「熊本」, 産業技術総合研究所.
- 5) Wohl, E. and G. David (2008), Consistency of scaling relations among bedrock and alluvial channels, *Journal of Geophysical Research*, 113, F04013.
- 6) Whipple, K. and G. Tucker (1999), Dynamics of the stream-power river incision model: Implications for height limits of mountain ranges, landscape response timescales, and research needs, *Journal of Geophysical Research*, 104(B8), 17661-17674.
- 7) Yanites, B. et al. (2010), Incision and channel morphology across active structures along the Peikang River, central Taiwan: Implications for the importance of channel width, *GSA Bulletin*, 122(7/8), 1192-1208.
- 8) Yanites, B. and G. Tucker (2009), Controls and limits on bedrock channel geometry, *Journal of Geophysical Research*, 115, F04019.
- 9) 熊原

## 熊本地震による断層背後の地盤変形と地質構造

復建技術コンサルタント 村上 智昭  
熊本大学 鳥井 真之

### 1. はじめに

2016 年熊本地震では火山灰台地上に開発された益城町の宅地造成地で、広範囲に及ぶ甚大な宅地・建物被害が発生した。ここでは、宅地滑動の痕跡を確認するためにトレンチ掘削を行った。掘削位置は以下の条件で選定し観察を実施した(図-1)。

- ①2016 年熊本地震で変状が発生した擁壁の背面であること。
- ②活動崩落の影響判断のために火山灰台地端部の傾斜した地盤上であること。
- ③断層活動による影響判断のために断層近傍であること。

この条件に合致する箇所として旧益城町役場駐車場を選定した。

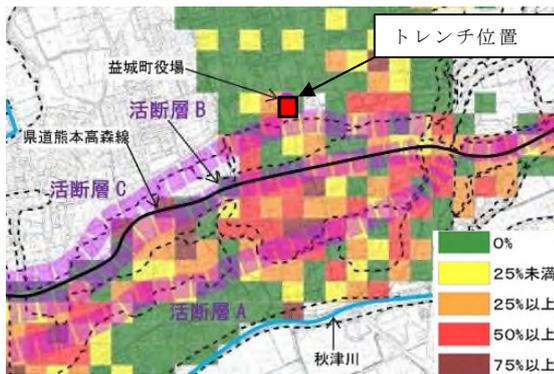


図-1 住宅倒壊率調査結果とトレンチ位置<sup>1)</sup>

### 2. トレンチ地質層序

掘削面の地質層序は上位から大きく分類して 6 層に分類できる。

- ①地表から 0.5m 程度は碎石と表土。
- ②弥生時代の土器を含む紫灰色の粘性土層。
- ③クロボク層は層厚 1.0~2.0m 程度で、火山灰土であるが細粒分ばかりでなく砂分や有機物が多く混入している。この層の中間に火山ガラスを多く含むピンクの層が層厚 0.3m 程度確認され、約 7300 年前の鬼界アカホヤ火山灰(以下 K-Ah 層)であることが判明している。さらに下部には灰白色で火山ガラスを多く含む、約 29000 年前の始良 Tn 火山灰(以下 AT 層)が層厚 0.2m 程度で分布する。
- ④アカボク層は追加掘削により層厚 2.4m 程度を確認した。この層は黄褐色の均質な粘土が主体で粘性が強く含水も多い。
- ⑤アカボクの下位には層厚 0.5m 程度の砂礫層が径 20mm 以下の円礫が混入した粗砂が主体の状態に分

布し、地下水は確認されないが青灰の還元色を示す。⑤最下層に火山岩片を含む火山灰である Aso-4 二次堆積物の分布を確認して掘削を終了した。この層は近傍のボーリング結果から層厚 7m 程度であると想定される。

### 4. トレンチで確認できる変形

#### ①擁壁の変状

水平移動している重力式擁壁の背面には盛土内にせん断された痕跡が確認され、地表面の亀裂と一致することから 2016 年熊本地震で発生したせん断面であると考えられる。

#### ②地層の傾斜と A T 層の縦方向亀裂

トレンチの南側 26m 区間では、アカボク層~K-Ah 層の下部層が南側 3° に傾斜し、北側ではほぼ水平である。また、黒ぼく下部の AT 層とその下部は固結した火山灰質粘性土であり鉛直方向の亀裂が顕著であるが、AT 層上面を水平掘削し観察した結果、亀裂が亀甲状に分布することから、大部分は乾燥収縮によってできたものであり、その間隙を黒ぼくが充填しているものと推察される。南側に 3° 傾斜している区間は乾燥亀裂も南側に倒れ込む形態となっていることから、乾燥亀裂形成後に地盤が傾斜したものと推察され、活断層の撓曲構造の一部を見ている可能性がある。

#### ③アカボクの流動化

黒ぼくとアカボクの地層境界は非常に乱れており、黒ぼく内にアカボクが取り込まれている状況が確認され、顕著な箇所では AT 層の亀裂間隙を 0.2m 程度上昇している部分も確認される。この現象は固結した AT 層がキャップ構造となり強震動により流動化したアカボクに鉛直土圧が発生し、火山灰ダイアピルを形成したものと推察される。

#### ④地表と連続する開口亀裂

さらにトレンチの 29~30m 地点では 2016 年熊本地震で発生した舗装面に確認される亀裂と一致する、N75E;90~80N の盛土の碎石が充填された開口亀裂が確認されている。開口亀裂は地表からアカボクの上層まで連続するが、それ以深では痕跡は認められるものの密着した状態である。

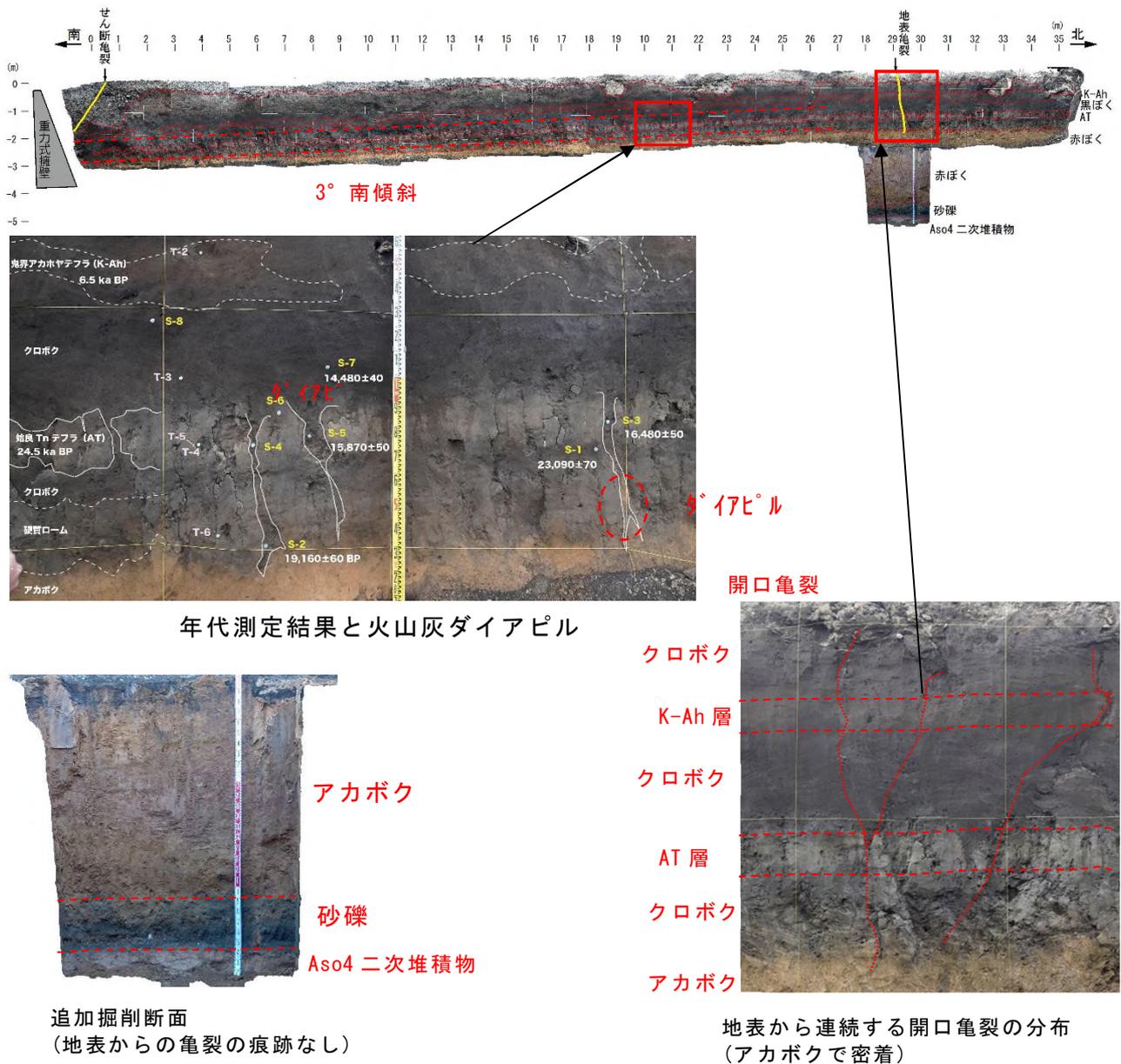


図-2 トレンチ観察結果

⑤ AT層の亀裂

AT層の亀裂の形成年代を同定のため炭素年代測定を実施した結果、亀裂充填物の最下層で19ka、最上部で16kaであった。この結果から地震動によって開口亀裂を形成する活動が2回あったものと推察される。

5. まとめ

トレンチ観察結果から、2016年熊本地震の強震動により発生した変位はわずかであり、活断層と連続するものである可能性は低いと考えている。

また、AT層の上位でも開口亀裂を形成する地震活動はあったものの、地層が乱れていないことから、地震による地盤変形は小さい地区であると考えられる。

引用文献

- 1) 国土交通省都市局. (2017). 熊本地震からの益城町の市街地復興に向けた安全対策のあり方等に関する報告書. p. 65
- 2) 鈴木康弘, 渡辺満久, 中田高. (2018). 2016年熊本地震における益城町市街地の地震断層ー変動地形学的意義と建物被害への影響

---

一般社団法人日本応用地質学会 東北支部  
第 26 回研究発表会講演集

令和元年 7 月 19 日発行

編集 一般社団法人日本応用地質学会東北支部事務局

応用地質株式会社 東北事務所 内

仙台市宮城野区萩野町 3-21-2 TEL:022-237-0471

学会 E メール : [tohoku@jseg.or.jp](mailto:tohoku@jseg.or.jp)

ホームページ : <http://www.jseg.or.jp/tohoku/>

---

