

地質調査

編集／一般社団法人全国地質調査業協会連合会

2023

第2号

(通巻162号)

Japan Geotechnical Consultants Association

小特集 地質の楽しみ方 - 食と旅と地質 -

- 〉 世界一の変動帯日本列島からの
 恩恵と試練
 巽 好幸
- 〉 フォッサマグナのお米とお酒
 竹之内 耕
- 〉 お菓子であってお菓子でない、
 ジオ菓子とは？
 鈴木 美智子
- 〉 徳島剣山系の伝統的な
 傾斜地農耕システム
 林 博章
- 〉 ジオ鉄旅で楽しむ地質と地形
 藤田 勝代・今尾 恵介・横山 俊治・
 加藤 弘徳・上野 将司
- 〉 ジオツーリズム協会の取組み
 福島 大輔
- 〉 ダム地質カード
 綿谷 博之

やさしい知識

- 〉 サウナストーン 尾高 潤一郎

基礎技術講座

- 〉 地盤の空洞調査に用いられる物理探査
 児島 悠司

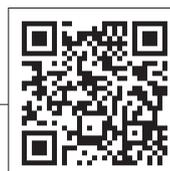
小特集	■ 地質の愉しみ方 - 食と旅と地質 -	
	≫ 世界一の変動帯日本列島からの恩恵と試練	巽 好幸 …… 1
	≫ フォッサマグナのお米とお酒	竹之内 耕 ……11
	≫ お菓子であってお菓子でない, ジオ菓子とは?	鈴木 美智子 ……15
	≫ 徳島剣山系の伝統的な傾斜地農耕システム	林 博章 ……20
	≫ ジオ鉄旅で楽しむ地質と地形	藤田 勝代・今尾 恵介・横山 俊治・ 加藤 弘徳・上野 将司 ……27
	≫ ジオツーリズム協会の取組み	福島 大輔 ……33
	≫ ダム地質カード	綿谷 博之 ……37
やさしい知識	≫ サウナストーン	尾高 潤一郎 ……44
基礎技術講座	≫ 地盤の空洞調査に用いられる物理探査	児島 悠司 ……48
私の経験した現場	≫ 原位置透水試験装置の開発に伴う 試験現場での体験	能野 一美 ……55
各地の博物館巡り	≫ 福岡県飯塚市 飯塚市歴史資料館	大森 将樹 ……59
大地の恵み	≫ 地下水排除工への取り組み ～地すべりの安定化を目指していたころ～	坂井 俊介 ……61
各地に残すべき地形・地質	≫ 日本三大山城のひとつ, 高取城の地形 (奈良県)	磯嶋 治康 ……63
研究所からの報告	≫ 豪雨や線状降水帯の予測精度向上のための取り組み	瀬古 弘 ……65
全地連「技術フォーラム 2023」について		……………71
地質だより	■ 令和5年度 全地連資格検定試験の実施結果について	………… 75
	■ 「ボーリングポケットブック」改訂第6版の発行	………… 76
	■ 全地連「技術フォーラム 2023」の開催結果について	………… 76
	■ 全地連創立60周年記念式典の開催	………… 77
	■ スキルアップ講習会 (BIM/CIM, 地質リスクマネジメント) の開催について	………… 78

既刊情報

下記の「地質と調査」は、次の URL または QR コードから、どなたでもご覧いただけます。

全地連の機関誌「地質と調査」

https://www.zenchiren.or.jp/jgca/jgca_geo-se.html



● 掲載概要

2000 年第 1 号 (通巻 83 号) ～ 2005 年第 4 号 (通巻 106 号) → メインテーマのみ

2006 年第 1 号 (通巻 107 号) ～ 2013 年第 1 号 (通巻 135 号) → 【会告】を除くすべてのページ

2013 年第 2 号 (通巻 136 号) 以降 → すべてのページ

※ Web 掲載版の「地質と調査」はカラーで閲覧いただけます。

● 最近の発刊

通巻	発行年月	メインテーマ
152 号	2018 年 11 月	小特集：地熱
153 号	2019 年 6 月	小特集：地盤情報データベースの現状と課題
154 号	11 月	小特集：沿岸
155 号	2020 年 4 月	小特集：AI で地質調査はどう変わるのか
156 号	11 月	小特集：防災・減災 — 豪雨災害の被害軽減に向けて —
157 号	2021 年 4 月	小特集：地図データの活用
158 号	11 月	小特集：物理探査が拓げる地質調査
159 号	2022 年 4 月	小特集：堆積物の科学
160 号	11 月	小特集：DX
161 号	2023 年 4 月	全地連創立 60 周年記念号
162 号	11 月	小特集：地質の楽しみ方 — 食と旅と地質 —

次号予告

地質調査 2024 年 第 1 号 (通巻 163 号) 内容 (予定) 令和 6 年 4 月発行予定

小特集テーマ：アウトリーチ — 地学の楽しさを広げる新たな展開 —

世界一の変動帯日本列島からの恩恵と試練

たつみ よしゆき*
異好幸*

Key Word

日本列島, 変動帯, 造山運動, 地震, 火山, 和食, 試練, 恩恵

はじめに

ようやく長く暗かったコロナ禍から抜けつつある近頃は、なんとかして失った3年を取り戻そうと、官民揃って観光振興に躍起となっている。そしてその中核を担うのが「食」である。全国各地では、2013年にユネスコ無形文化遺産に登録された和食を基軸として、さまざまな食を用いた活性化が図られている。このような取り組みで必ずと言っても良いほどに使われるのが、「豊かな自然に育まれた日本(〇〇地域)の美味しい食材」と言う文脈だ。しかしこの謳い文句がいかにも空虚であることは明瞭であろう。「豊かな自然」はある地域にオンリーワンの特性ではないし、自然と食材の具体的な繋がり

も欠如している。

一方この国は世界一の変動帯に位置し、地殻変動(地震活動)と火山活動を伴うダイナミックな進化を遂げてきた。そして「変動帯の民」は、繰り返される試練と闘いながら、数々の恩恵を享受してこの日本列島で暮らし続けてきた。こうした自然と風土と人々の営みが「食文化」を作り上げてきたのだ。つまり、美味しいものには訳があり、その成立には地質が大きな役割を果たしていることが多い。

私はこのような志向や取り組みを「美食地質学」と呼び、その内容を最近光文社新書として上梓した¹⁾。ここでは、日本の美食と日本列島の素敵な関係をいくつか紹介することにしよう。

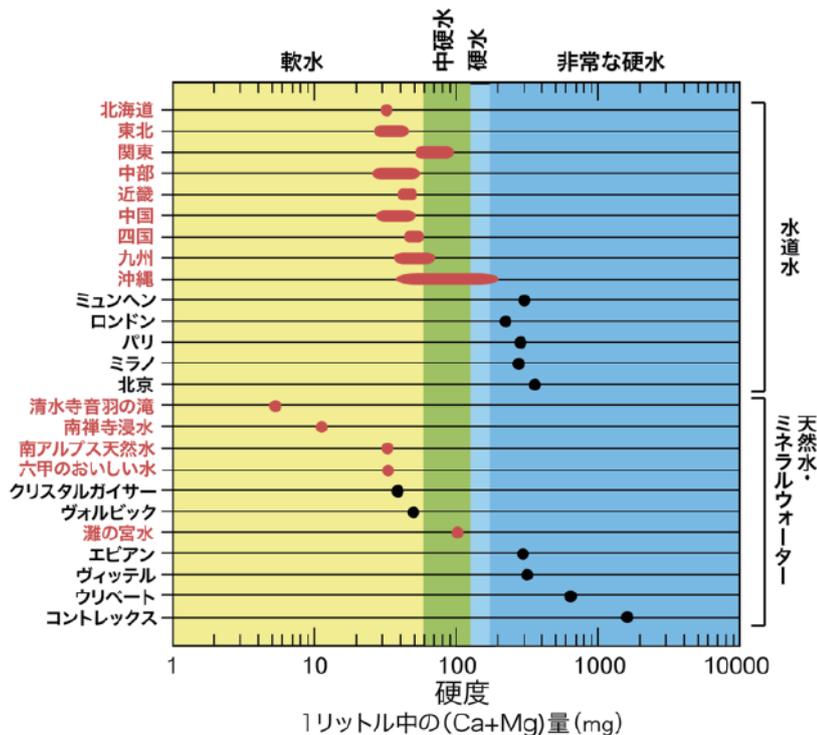


図1 日本及び世界の水の硬度

* ジオリブ研究所 所長；神戸大学海洋底探査センター 客員教授

2 和食の真髄「出汁」と造山運動

2.1 出汁は軟水

春の椀物の代表格といえば若竹煮。筍の香りと食感が出汁によって引き立てられる一品だ。このような和食の出汁の奥深さは、昆布と鰹の旨みの相乗効果が作り出す。ここでいう「旨味」とは、「美味しい」という感覚的な表現とは一線を画す科学的用語で、具体的にはグルタミン酸、イノシン酸、グアニル酸などが知られている。

もちろん西洋料理にもスープストックは欠かせない。しかし和と洋の出汁には決定的な違いがある。日本では昆布と鰹節を合わせて使うことが多いが、例えばフランスではスープの旨味を担う主役は獣肉だ。日本で獣肉スープが発達しなかった理由は、殺生を嫌う仏教文化の影響だとよく言われる。しかし少し科学的に考えると、水の性質が大きく影響していることがわかる。

水の性質を表す尺度の1つが「硬度」。水中に含まれるCaとMgの量によって、図1のように区分される。この尺度を用いると、日本の水はヨーロッパに比べると圧倒的に軟水だ。中でも和食の本来とも言える京都の水は超軟水である。一方で関東の水はやや硬度が高い。さらに沖縄では他地域に比べて硬水が卓越し、これはCaに富むサンゴ礁由来の石灰岩が地盤をなすことに起因する。

このような軟水の国の人たちも、かつては獣肉を煮て食したに違いない。縄文遺跡の貝塚からその骨が見つかるように、猪や鹿の肉は人々にとって大切なタンパク源だった。しかし獣肉の煮物は、あまりにも「獣臭かった」に違いない。なぜならば、肉や

血液中の臭み成分（脂肪酸やタンパク質）を上手く取り除くことができなかったのだ。これらの臭み成分は、水に含まれるCaと結合して「灰汁（あく）」を作るので、これをきっちりすくってやれば、獣臭さを取り除くことができる。しかし日本列島の軟水にはCaが少ないために、灰汁を作る反応が進まない。一方でヨーロッパの水は硬水が多い。丁寧に灰汁取りをすることで、絶品の「フォン・ド・ボー」が生まれるのだ。

獣肉の調理には適していない軟水であるが、それを補って余りある特性を持つ。それは昆布の旨み成分であるグルタミン酸を効果的に抽出することだ。このことが、和食の基本となる出汁を生み出したといえよう。一方で硬水は、昆布に含まれるネバネバ成分（アルギン酸）がCaと反応して表面に膜を作ってしまう。その結果硬水ではグルタミン酸が十分に抽出されないのだ。

2.2 軟水は山国日本の水

ゆったりと時間をかけて流れる大陸の河川水には、地盤に含まれるCaやMgイオンが多く溶け込み硬水となる。さらにヨーロッパでは石灰質の地盤が広がっているために、水の硬度はますます上がる傾向にある。

一方日本列島の河川は圧倒的に急流であり、これらのイオンを溶かし込む暇がないので軟水となる。関東平野で他地域に比べて硬度が高くなる（図1）のは、利根川や荒川がゆったりと流れるのが一つの原因だ。そのために関東地方では昆布出汁を取るのがやや難しくなる。

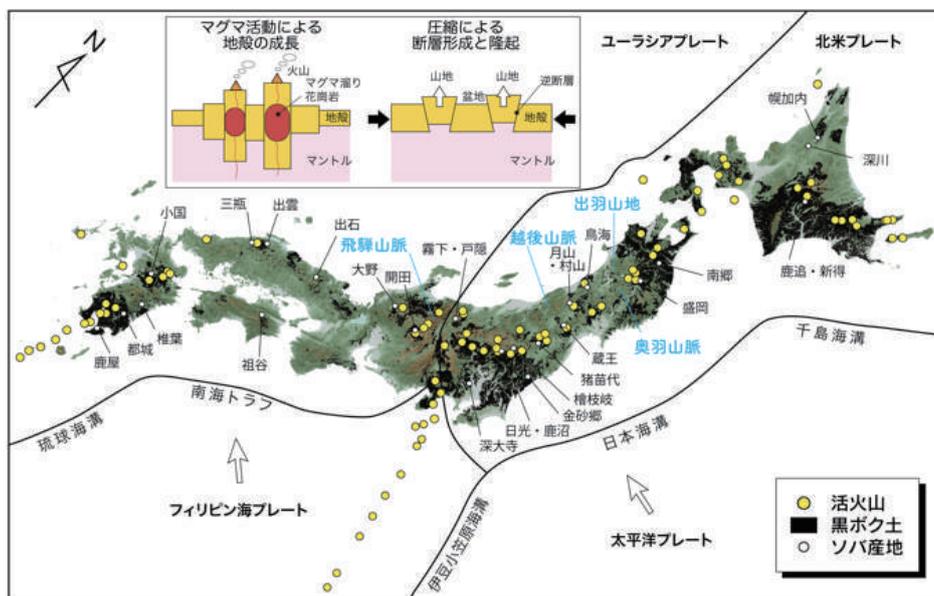


図2 日本列島の山地と活火山の分布と山地形成メカニズム。多くの蕎麦産地は、火山性の黒ボク土地帯にある。

日本が軟水の国となったのは、急流が多い、つまりこの国が山国かつ島国であることに起因していたのだ。ではなぜこの国で山が高くなるのであろうか？

日本と同じように島国のイギリス。その最高峰は「ザ・ベン」と呼ばれるスコットランドのベン・ネビス山だ。しかしその標高は1344mにすぎない。一方で日本列島には、この山を凌ぐ高さの峰が連なる「山地」あるいは山脈が数多く分布する。ここで図2を見ると、日本列島の山地には火山が多いことに気づく。例えば飛騨山脈は「乗鞍火山帯」、奥羽山脈や出羽山地・越後山脈はそれぞれ「那須火山帯」と「鳥海火山帯」とも呼ばれている。火山帯をなすのは、第四紀に活動した火山だ。このように山地と火山帯が重なっていることは、山地の形成と火山活動との間に因果関連があることを暗示する。

日本列島周辺には4つのプレートがひしめき合っているのだが、後に述べるようにこのプレートの配置や動きは300年前に定まった。したがってそれ以降は、太平洋プレートやフィリピン海プレートが沈み込みこむことで、ほぼ現在の火山帯と同じ場所で火山活動が繰り返されてきた。その結果、火山帯の地下では地表へ噴出せずに地下で固まったマグマが岩体を造り、このことで地球の表面をなす「地殻」が厚くなってアイソスタシーが働くことで山地の形成、つまり「造山運動」が進行したのだ（図2）。

さて日本を山国にした造山運動にはもう一つメカニズムがある。それは日本列島、特に東日本に働く「圧縮力」である。例えば、2011年に東日本大震災を引き起こした日本海溝超巨大地震は、この強烈な圧縮によって陸側のプレートが引きずりこまれるように変形し、それが限界を超えて跳ね上がったために発生した。さらに東北日本では山地が海溝とほぼ並行に形成されており、これらの山地は逆断層に沿って隆起しているのであるが、この断層系を造っている圧縮力も、太平洋プレートが日本海溝から沈み込む（図2）ことで生じると考えられている。

しかしこの単純な山地形成のメカニズムは、かつては比較的平坦であった東北日本が、約300年前から急激に造山運動が活発になったことを説明できない。なぜならば、太平洋プレートの運動は、日本列島がアジア大陸から分裂移動してほぼ現在の形となった1500万年前から変わっていないのだ。

実は日本列島で300万年前から急激に山が高くなった原因は、フィリピン海プレートにある。そしてその証拠は房総半島に残っている（図3）。この半島に分布する地層の伸びの方向が、約300万年前に形成された「黒滝不整合」を境に、東西方向から

北西—南東方向へと大きく変化する。このことは、フィリピン海プレートの運動方向がこの時期に、北向きから北西方向へと変化したことを示す。

ではなぜフィリピン海プレートは突如方向転換したのか？それは、日本列島の地下でフィリピン海プレートが太平洋プレートと「衝突」したことが原因だ。太平洋プレートは約30度の角度で日本海溝からユーラシア（北米）プレートの下へ沈み込む（図3）。すなわち、フィリピン海プレートはユーラシアと太平洋という2つのプレートに挟まれたわずかな隙間へ沈み込んでいるのだ。だから北向きに沈み込んでいたフィリピン海プレートの東端が太平洋プレートとぶつかってしまい、そのまま北向きに進むことができなくなった。地球上で最も巨大な太平洋プレートにぶつかったことで、小さなフィリピン海プレートは衝突から逃れるように北西方向へと方向転換を余儀なくされた。

フィリピン海プレートの運動方向が西向きに変わると、当然その東縁をなす「伊豆小笠原海溝」も北西へ移動する（図3）。そしてこの時にも、南海トラフ・伊豆小笠原海溝・日本海溝が交わる「海溝三重会合点」は崩れることがなかった（図3）。だからフィリピン海プレート、そして伊豆小笠原海溝の西方移動に伴って、日本海溝も三重会合点を保ちながら西向きに移動して、東北日本へ近づいてきたのだ。その結果300万年前から、東北地方から日本海溝までの距離は狭くなり続けている（図3）。これが東北地方に強烈な圧縮力が働き、海溝型巨大地震を発生させ、さらには山地を隆起させた原因なのだ。

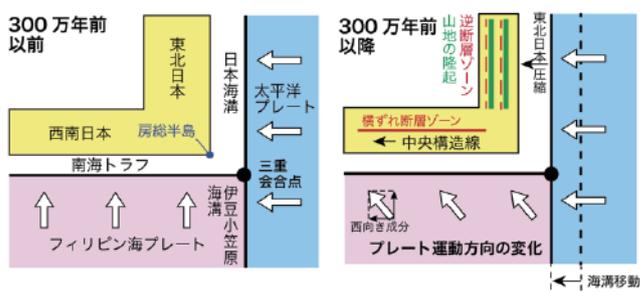


図3 300万年前に起きたフィリピン海プレートの方向転換。その結果伊豆小笠原～日本海溝が西進し、日本列島に活発な地殻変動を起こしている。

3 蕎麦：火山大国で生き延びる術

最近ではすっかりオシャレなグルメとしての地位を確立した蕎麦。薄暗くジャズが流れる今風の店で、入手困難な日本酒と共に出されることが多くなった。一方で私は、なんとといっても江戸下町の蕎麦屋で、

ぬる爛の剣菱や菊正宗と合わせるのが好みである。

初夏の風に吹かれて白い花が揺れるソバ畑は美しい。私が初めてこの光景を目にしたのは小学生の頃。白いじゅうたんの背後には抜けるような青空と真っ黒な岩手山が見えていた。その後、ソバの花を見た蔵王や御嶽山麓開田高原でも同じような光景が広がっていた。こうして私の頭の中には、ソバ＝火山という等式が出来上がってしまった。しかし、この関係は決して私の思い込みだけではないようだ(図2)。

ソバの産地が火山の山麓に多い理由の一つは、その花粉発芽適温が20℃以下で栽培には冷涼な気候が適していることにある。日本列島の高山には火山が多いのだ。

そしてもう一つの理由は、火山性の土壤にある。世界一の火山大国である日本では、火山灰などの火山砕屑物や火山性のレス(風成堆積物)が広く分布しており、これらが地表で腐食した土壤である「黒ボク土」が、国土の30%程度を覆っている(図2)。実はこの土壤は作物を育てるのには向いていない「耕作不適土」なのだ。

作物の生育にはリンが必須なのだが、火山性の黒ボク土ではリンがアパタイトという難溶性の鉱物に含まれたり、アルミニウムと結合するために、作物がリンを吸い上げることができない。黒ボク土は真っ黒で肥沃そうに見えるが実は「痩せた土壤」の代表格なのだ。

ところがソバはそんな黒ボク土でも育つ。なんと土中の鉱物などからリンを効果的に吸収する特殊な能力を持っているのだ。だからソバは、米はもちろん野菜も育ちにくい黒ボク土が広く覆うこの国では、貴重なエネルギー源である上に冷害などにも強い穀類として、人々の命を繋ぐ「救荒作物」だった。

関東平野もまた、周囲に密集する火山のせいで、黒ボク土が広く覆う地域である(図2)。江戸幕府開闢以来江戸の人口は増加の一途を辿り、新鮮な野菜の調達が幕府にとって大きな課題の一つだった。米は天領から運び、魚介は江戸前で賄えばよかったのだが、野菜は近隣で栽培する必要があった。しかし江戸の背後に広がる広大な武蔵野台地は耕作不適土黒ボクで覆われていた。

将軍綱吉は寵臣の柳沢吉保とともに黒ボク土の土壤改良など農業改革を進めた。堆肥や下肥、それに干鰯などでリンを補給したのだ。こうして現在まで続く江戸野菜の栽培が始まった。

火山大国の民は耕作に適さない火山性土壤が広く大地を覆うと言う劣悪な状況の中でなんとか育つソバを栽培したり、土壤改良をおこなって生き延びて

きた。蕎麦を頂く際には、このような先人の闘いに少し想いを馳せると、よりありがたく、そして味わい深くなること請け合いである。

4 関東濃口醤油の成立と水

和食に欠かせない調味料の代表格が醤油だ。料理の味を整え、香りを出し、さらには色をつける。最近では西洋料理のシェフたちもこれらの特性に注目して、こぞって醤油を使うと聞く。醤油は日本で開花した発酵食品の1つである。

宋で禅を納めた覚心が帰国後1227年に、現在の和歌山県日高郡由良町に興国寺を開山した。この地で覚心は布教活動と同時に、宋で会得した金山寺味噌作りを近在の村人達に教えた。そしてある時に、味噌作りの過程で桶の底や味噌の上にたまった汁を使って食物を煮ると良い味になることを偶然見つけたのだ。これが日本醤油の始まりだと言う。

その後醤油造りは近隣の湯浅へ移り、さらに香川県小豆島でも盛んになった。そんな中で和食、特に関西料理に欠かせない「淡口醤油」が兵庫県龍野で誕生した。この地では揖保川を流れる花崗岩由来の鉄分が少ない醸造好適水を用いた酒造りが盛んであった。ところが、江戸時代になって「下り酒」として関西の酒が江戸へ運ばれるようになると、灘が酒造りの中心となった。灘の仕込み水である「宮水」が硬水であるために酒のアルコール濃度が高くなるため腐敗しにくく、しかも辛口で人気を博したのだ。一方で龍野の水は軟水だった。そんな状況で円尾孫右衛門は、この龍野の水の弱点を逆手に取った。醤油製造で必須の塩水の濃度を上げてさらに発酵を抑制し、原材料の風味を生かして上品な味わいを生み出した。さらに甘酒を加えることでまろやかさを醸



図4 関東醤油の主要産地(銚子,野田,館林),石灰岩(ピンク)の分布と利根川水系

し出したのだ。こうして素材や出汁の味を生かし上品な味わいの龍野淡口醤油が誕生した。

一方江戸では「下り醤油」が主流をなしていたが、独自の醤油製造も始まっていた。湯浅醤油や灘清酒の醸造技術を取り入れて、利根川水系の野田や銚子では、都市建設や参勤交代などで男性の比率が大きかった江戸の人々の嗜好に合う醤油を追い求めた。大豆と小麦の割合や醸造の方法・期間などの改良を続け、ついに濃厚でキレの良い「関東濃口醤油」を作り上げたのだ。

この関東醤油製造の鍵となったのが「水」である。現在の水道水でも明瞭に違いがあるように、利根川水系の水は関西と異なり中硬水だ。そのために発酵が進むのだ。関東の水の硬度が高くなる原因の一つは先に述べたように広大な関東平野の存在だ。そしてもう一つ重要な原因がある。それは利根川水系の上流である秩父や葛生に分布する「石灰岩」だ(図4)。セメントの原料として使われるこれらの石灰岩は、今から約3億年前に、南太平洋の火山島で形成されたサンゴ礁がプレート運動によって日本列島へと付加されたものである。石灰岩の主成分であるCaやMg炭酸塩は水に溶けやすく、これらのイオンが利根川水系へと供給される。さらに、日本一の広さを持つ関東平野ではゆったりと川が流れるので、土壤に含まれるCaやMgが水に溶け込み、さらに硬度が上がるのだ。

以前にも述べたように、この関東硬水は関西で行われるように昆布で出汁をとるには向いていない。その代わりに、鰹節や味噌と「関東濃口醤油」を使った江戸前寿司に必須の「ツメ(煮詰め)」, 鰻蒲焼の「タレ」, そして蕎麦の「ツユ」など、関東独特の食文化を生み出したのだ。

5 豊饒の海瀬戸内海の成立

5.1 高速潮流が育む美味なる魚たち

700以上もの島が浮かぶ瀬戸内海、その多島美はいかにも穏やかだ。そしてこの内海は400種以上もの魚介類が生息する豊かな海でもある。流れ込む河川が多く、陸域から窒素やリンなどの森の栄養塩が運び込まれることで、魚介類の餌となる植物プランクトンが湧くのだ。

瀬戸内の魚介類、例えばタイ、タコ、アナゴ、サワラ、アイナメなどは、多くの食通をうならせてきた。中でも「明石の鯛」は圧倒的な人気だ。ブルーのアイシャドウをつけた1.5~2キロの桜鯛は、身はほんのりと鮭色を呈し、たわやかな旨味が秀逸だ。また脂の乗り始める紅葉鯛のしゃぶには艶やかさが

ある。まずこの明石鯛の「旨味」を科学的に検証してみよう。魚の主な旨味成分は「イノシン酸」だ。しかしこの成分は、もともと魚に含まれている訳ではない。身に含まれるATP(アデノシン三リン酸)から次のような代謝・分解反応で作られる:



魚の活動は、ATPがADPに変化する際にエネルギーが作られ、ADPが呼吸によって再びATPへ戻るというサイクルで支えられている。しかし死後にATPが枯渇すると死後硬直が始まり、ADPが分解し、AMPを経て旨味成分であるイノシン酸へと変化、その後腐敗へと至る。このことから、優れた食材としての魚には次の3点が重要であることが分かる

- ① ATPを多く含む魚であること
- ② 死後もATPを枯渇させないこと
- ③ 適度な熟成を行うこと

ここに、明石鯛の明石鯛たる所以がある。明石海峡の「川のように流れる」高速潮流の中を泳ぐ鯛は筋肉質で、豊富なATPを身肉に蓄えている。さらに明石では釣り上げた後直ちに「活けメ」をすることで悶絶死によるATPの枯渇を防ぎ、さらに「神経メ」によって死後生体反応をも抑える。このように丁寧に前処理を施して届けられた明石鯛を一晩ほど熟成させると、旨味たっぷりの食材となるのだ。一言申し添えておくと、いわゆる「活け造り」と呼ばれる類は死後硬直した魚を食しているもので、死後硬直の歯ごたえはともかく、旨さとは無縁のものである。

5.2 瀬戸内海を造った地殻変動

瀬戸内海には明石海峡と同様に潮の流れが速い「瀬戸」と呼ばれる場所がいくつもある。渦潮で有名な鳴門海峡、備讃瀬戸、それに来島海峡、豊予海峡など、いずれも旨い魚の名産地だ。また瀬戸には島が点在し、世界屈指の多島海である瀬戸内海の特徴的な景観を楽しむことができる。そしてこれら瀬戸と瀬戸の間には海が広がり流れが穏やかな「灘」が広がる。灘は島が少ない窪地つまり「沈降域」、一方の瀬戸は陸地がせり出す「隆起域」だ。そして瀬戸内海の地形を眺めると、これらの沈降域と北西—南東方向に延びる隆起域が繰り返していることが目に留まる(図5)。またこの構造は海域だけではなく、東方の陸域へも続いている。なぜこのような規則的な構造が造られたのであろうか?

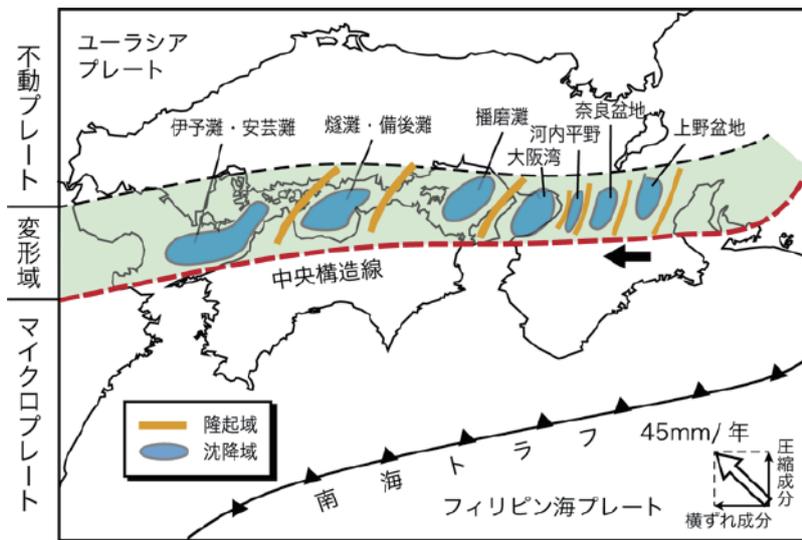


図5 瀬戸内海域における隆起域（瀬戸）・沈降域（灘）の配列とその形成メカニズム

そのきっかけは、先に述べたフィリピン海プレートの方向転換である。300 万年前に起きたこの大事件以降、フィリピン海プレートは西日本に対して北西方向に沈み込むようになった（図3）。その結果西日本の地盤には、西向きに引きずられるような力が働くようになった。この力によって、「領家帯」と「三波川帯」の境界、いわば「古傷」が長大な断層として活動を再開した。「中央構造線」の発現である。それ以降、中央構造線の南側である「外帯」の地塊が、小さなプレート（マイクロプレート）と化して西向きへ移動することになった（図5）。

この中央構造線の動きによって、当然その北側の地帯も変形する。このようなゾーンでの変形の様子はシミュレーションなどで調べられており、斜めの「皺」がいくつも形成されることがわかっている。この形状は、瀬戸内海及びその東方延長上に見られる隆起域と沈降域の配列をよく再現している（図5）。

元々低く平らな地帯であった瀬戸内海周辺は、300 年前に発現した中央構造線の運動によって皺状の撓みが生じ、それが灘と瀬戸を繰り返す瀬戸内海となったのだ。そしてこの特異な構造が高速潮流を生み出し、筋肉質で旨み成分たっぷりの魚たちを育てている。しかし瀬戸内海の形成という大変動は恩恵と同時に、隆起域と沈降域の境界をなす断層の活動による直下型地震（例えば、1995 年の阪神淡路大震災を引き起こした兵庫県南部地震）という試練を与えることを忘れてはならない。

6 リアス海岸の恵みと海溝型巨大地震

6.1 三陸の海が育む牡蠣

牡蠣は身が白くクリーミーな味わいで、栄養にも

富む。そのために乳製品に例えられることが多く、真牡蠣は「海のパルメザン」、岩牡蠣は「海のカッテージ」と呼ばれる。これらの対応が味わいにも当てはまるかどうかはよくわからないが、2種類の牡蠣にはいづれにも特有の味わいがあり甲乙つけ難い。

国内の主要な牡蠣を見ると、真牡蠣は瀬戸内海などの内海、それに三陸海岸や志摩半島などの「リアス海岸」と呼ばれる狭い湾が複雑に入り組んだ海岸の入り江で育てられる。外海に比べて海が穏やかで、筏を浮かべやすいのだ。一方で岩牡蠣は、島嶼部や半島など海流の影響が強い海で育つようだ。

牡蠣の餌は植物プランクトンである。この微生物は水中を浮遊し、窒素やリンなどの栄養塩を吸収し、さらに光合成によってエネルギーを得ている。したがって、河川が流れ込み森からの栄養塩の供給が豊かな内海や内湾の、しかも太陽光が届く浅海に多く生息する。そのためにこのような海域が真牡蠣の生育には適している。

一方で岩牡蠣が生息するやや深い所までは太陽光が届きにくい上に、海水に比べて軽い河川水による栄養塩の供給も困難になる。そのため植物プランクトンの量は少なくなり、岩牡蠣は真牡蠣に比べて成長が遅くなるのだ。ただこのような恵まれぬ環境でも、少しでも栄養塩が多くプランクトン豊富な場所を選んで、岩牡蠣は生息しているようだ。つまり、岩牡蠣が生息する地域では、海流が島や岬に当たるために表層水に比べて栄養塩に富む海洋深層水が海底斜面に沿って上昇している。

真牡蠣は森の恵み、そして岩牡蠣は深海の恵みを受けて育っていると見えよう。

ヨーロッパではRの付かない月（5月～8月）の牡蠣は食べるなどと言われる。産卵期で味が落ちるた

めだ。これはブルターニュ地方のカンカルや日本で養殖されている真牡蠣に当てはまる。一方で岩牡蠣は夏が旬である。したがってこの拙文を目にしておられる頃は、真牡蠣のシーズン真っ盛りであろう。

真牡蠣の代表的な産地といえばNHKの朝ドラ「おかえりモネ」で、おじいちゃんが養殖をしていた三陸海岸だ。この三陸の牡蠣と言えば、2011年の津波で壊滅的な被害を受けた際に、フランスの牡蠣名産地であるブルターニュ地方から「France o-kaeshi 作戦」と銘打って筏や縄、作業着などカキ養殖に必要な装備が送られてきた。ブルターニュでは過去に幾度が病気が蔓延して牡蠣壊滅の危機に陥ったが、その時に真牡蠣の幼生を送って窮地を救ったのが三陸だったのだ。元は平型が養殖されていたブルターニュ地方だが、今では厚みのある三陸型も人気だという。

美味しい真牡蠣を育む三陸リアス海岸は、その地形から過去に幾度となく津波に襲われてきた。この特徴的な海岸の成立と地震との間にはどのような関係があるのだろうか？

鋸の刃のように狭い湾や入江が入りくんだ三陸リアス海岸の背後には山が迫っている。河川により山地が侵食されてできた幾筋もの谷が「沈降」して特有の海岸線が形成されたのだ。しかしこのギザギザの海岸線は三陸海岸の南部に限られており、北部は対照的に滑らかな海岸線が伸びている（図6）。この北三陸の名産といえば磯に育つウニやアワビで、これらを用いた「いちご煮」が名物料理である。北三陸は断崖が続いて磯が発達している。このような特徴の海岸線は典型的な「隆起」地形である。

三陸海岸の背後には北上山地が聳えている（図6）。古い時代の花崗岩や地層、それに変成岩などからなる地盤が隆起してこの山地を形成しているのだ。東北地方にはその他にも、奥羽山脈、出羽山地などが南北方向、つまり列島や日本海溝の伸びの方

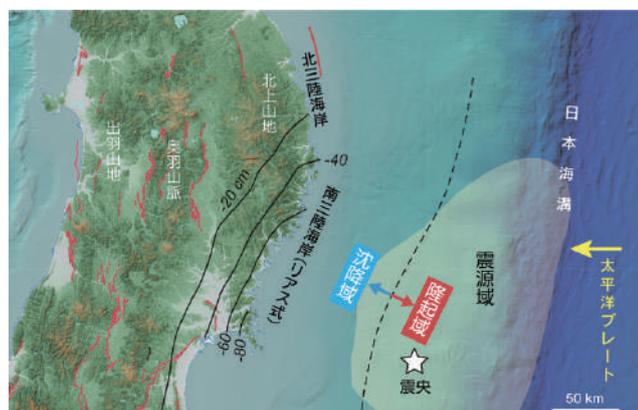


図6 南三陸リアス式海岸形成の背景となる東北の山地と海溝型巨大地震による地殻変動

向に揃うように配列している。そしてこれらの山地の間には、低地や盆地が分布する（図6）。このような山地と低地の並行配列は、先に述べたように、太平洋プレートとフィリピン海プレートの闘ぎ合いの結果、300万年前から日本海溝が西向きに移動するようになったことが大きな原因だ。強烈に圧縮されるようになった東北地方の地盤には断層が発達して、それを境にして山地が隆起し、取り残された所が低地や盆地となったのだ。

三陸海岸の背後にある北上山地の隆起は今も続いている。だからこそ、北三陸では崖が続く海岸となっているのだ。では、なぜ南三陸は沈降してリアス海岸ができたのだろうか？

6.2 海溝型巨大地震に伴う地殻変動

2011年3月11日に発生し未曾有の大災害を引き起こした東北地方太平洋沖地震。この海溝型巨大地震は、日本海溝から沈み込む太平洋プレートが地下へ引き摺り込んでいた東北沖の地盤（プレート）が限界に達して跳ね返り、2つのプレートの境界が広範囲でずれたことで起きた（図6の震源域）。

東北沖では跳ね返ったプレートが海水を押し上げて、あの巨大津波が発生した。つまり、津波は急激な海底の隆起が原因なのだ。

一方で、地震発生時には宮城県の海岸に沿って急激な沈降が認められた。三陸海岸の南端に当たる牡鹿半島では1メートルも地盤が沈降した。その後の調査で、このような沈降は震源域の陸側の海域でも広範囲に認められた（図6）。なぜこのような沈降が起きたのだろうか？

地震を起こしながら跳ね返った地盤の動きは、想像を絶するものだった。地震発生前後の海底地形の解析から、地盤は水平方向に50メートル以上も海溝方向へ移動し、同時に10メートル程度の隆起を引き起こしたのだ（図7）。

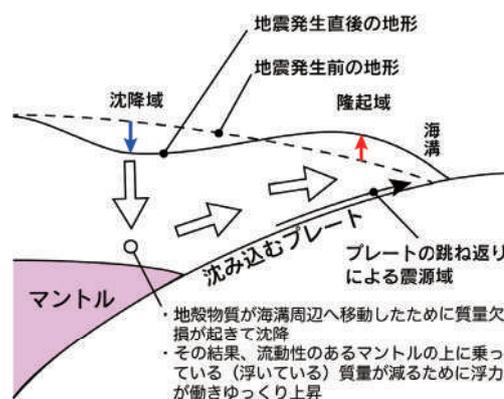


図7 海溝型巨大地震の発生に伴う地殻変動

この地盤の跳ね返りに伴って、震源域陸側の地盤深部の物質も海溝側へと移動したと考えられる。その結果この領域の地下では質量欠損が生じて、地盤沈下が起きたのだ(図7)。

しかしこの沈降域は、時間が経過すると隆起に転じる。物質移動と沈降によって地殻が薄く、つまり軽くなったために、流動的で重いマントルの上に浮かんでいる状態にある地殻が、重力のバランスを取るために浮かび上がるのだ(図7)。実際GPS観測によると、図6の沈降域では現在は隆起が続いている。

海溝型巨大地震が起きると、その震源域の陸側は一旦急激に沈降する。その後、この沈降域では薄くなった地殻を補うようにマントルが上昇して沈下した地盤は上昇回復する。しかしその回復は地震発生時の沈下量を完全に補うことができないようだ。なぜならば南三陸では、長い時間スケールで見ると沈降が卓越してリアス式海岸が発達しているのだ。つまり南三陸では、過去に何度も起きた巨大地震時の累積沈降量が、回復期の隆起と北上山地の上昇を合わせた隆起量を上回っているのである。

一方で北三陸でも、2011年の地震発生時には沈降が起きていた(図1)。当然過去に起きた地震でも同様に沈降は生じたと考えられる。しかし北上山地の隆起量がこれらの地震による沈降量を上回っていたために、この辺りは隆起海岸となっているのだ。

代表的な日本の冬の味覚である三陸の真牡蠣は、まさに変動帯日本列島の恵みである。しかしこの逸品をいただく際には、私たち変動帯の民は恩恵に浴するだけでなく、試練に対峙しなければならないことを思い出したいものだ。

さらに付け加えると、志摩半島、高知県須崎、それに豊後水道沿いの宇和海沿岸などに発達するリアス海岸は、豊かな海として天然・養殖魚介の産地である。しかしこのような海の恩恵を与えてくれるこれらのリアス海岸は、いずれも過去に繰り返し起きてきた南海トラフ海溝型巨大地震に伴う沈降によって形成されたものである。私たちは、改めて世界一の地震大国日本に暮らすことを認識しておく必要がある。

7 大地変動が育む日本海の幸

7.1 ズワイガニと日本海の形成

シベリアからの雪混じりの寒風が吹き荒ぶ冬の日本海。白波の立つ漆黒の海は、さながら地獄の入り口のようにも感じられる。しかし一方で、冬の日本海の味覚は、私たちを魅了してやまない。その代表

格はズワイガニであろう。山陰から北陸の沿岸には、国内屈指のブランドズワイガニが水揚げされる(図8)。

日本海の至宝とも言われるズワイガニ、それに最近ではその極上の旨みが知られるようになったベニズワイガニは、いずれも深さ約300m以上の深海に生息し、水温が0~1℃と低く栄養分豊富な「日本海固有水」によって育まれる。このような固有水が日本海に存在するのは、日本列島がダムのように立ちだかるために、シベリア寒気団に冷やされた低温の固有水は日本海の海底にしっかりと保持されているのだ。

ではこのような日本列島と日本海の配置はどのように形成されたのだろうか？そのことを考える上で重要な点は、日本海の海底には「海洋地殻」は一部にしか存在せず、日本海地殻の大部分は引き伸ばされた大陸地殻や大陸地殻の破片であることだ(図8(a))。このような特異な地殻構造を持つ日本海の成因は、日本列島を構成する火山岩などについて行われた古地磁気学的研究によって明らかにされた。そのシナリオを要約すると次のようになる。今から2500万年ほど前からアジア大陸の東縁部が分裂を始め、東日本と西日本はそれぞれ反時計及び時計回りに回転しながら太平洋へ迫り出し、約1500万年前にほぼ現在の位置に到達した(図8(b))。

7.2 ハタハタ、ボラ、そしてブリ

日本海の冬の幸はカニだけではない。まずは秋田名物「しょつつる鍋」。しょつつるとは魚を塩漬けにし、魚が溶けるまで発酵させたものを濾して、うまみ成分を取り出した魚醤の一種だ。秋田県の県魚でもあるハタハタのしょつつる出汁にハタハタを入れた鍋ものがしょつつる鍋である。ハタハタは「鰯」と書くのだが、日本海沿岸の人々にとって、冬の訪れに轟く雷(神鳴り)と共に海岸に押し寄せる獲りきれないほどのハタハタは、まさに神様が遣わした魚と信じられてこの字が当てられるようになったそう。ハタハタは普段は日本海の深さ500m以上の深海に暮らす。冬の産卵期には磯に育つ海藻類に卵を産みつけるために、男鹿半島の浅瀬へと集結する(図9)。漁獲量では鳥取・兵庫両県が上位を占めるが、冬の男鹿半島沖で獲られる卵を持つ成熟したハタハタには格別の旨さがある。男鹿半島沖がハタハタの産卵場となるのは、この半島には日本列島がまだアジア大陸の一部であった数千万年前から日本海の拡大が起きた約1500万年前にかけての溶岩などが分布し、その後の地殻変動で男鹿半島一帯が隆起したために磯海岸が発達するためだ(図9)。

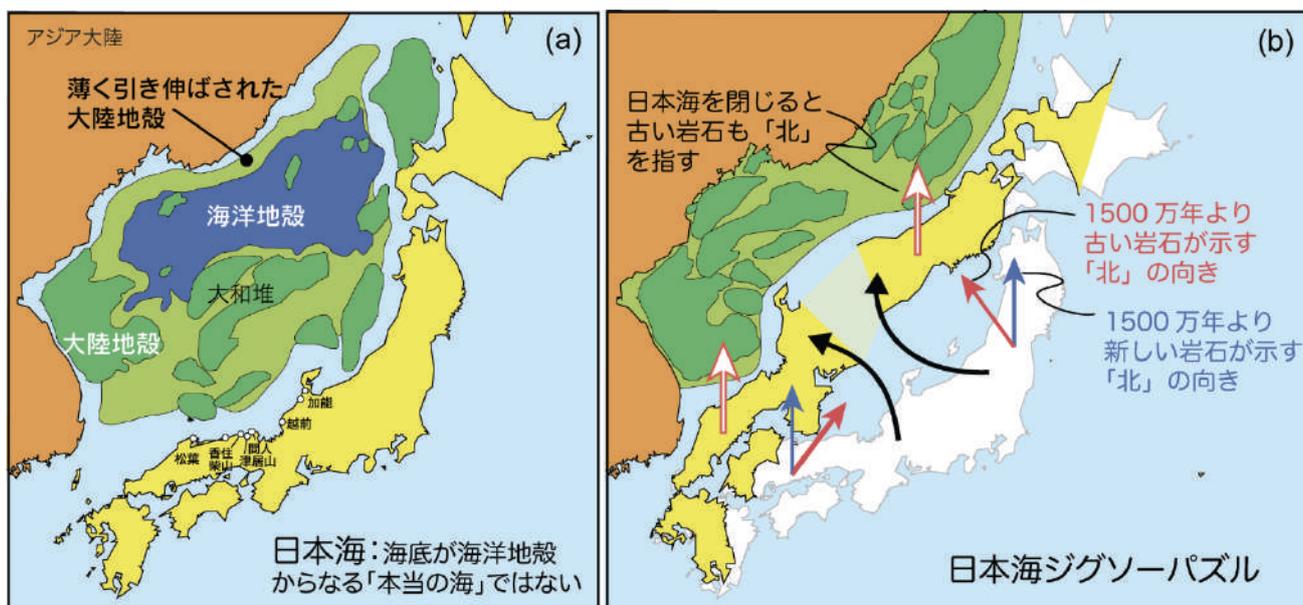


図8 (a) 日本海沿岸のブランドガニ産地と日本海の地殻構造。(b) 日本海に点在する大陸地殻は、古地磁気データに基づいて日本列島を回転させて日本海を閉じることでアジア大陸の一部となる。

さてこの地殻変動だが、重要な点が2つある。まずこの地殻変動を起こす断層は、かつて日本海拡大時の引張場で形成された正断層が、その後の圧縮場で逆断層に「反転」したものであることだ。そしてもう一つは、何度も述べたようにこの圧縮場をもたらしたのは、フィリピン海プレートの方向転換による日本海溝西進である(図9)。

このようにして形成された反転断層群は、当然ながら活断層としてこれまで数々の被害地震を引き起こしてきた(図9)。能登半島が日本海に突き出した半島として存在しているのも、この反転断層に伴う地殻変動の結果起きた隆起が原因であり、2020年から続く半島北東域の群発地震も、これらの地殻変動の一つと考えられる。

さて、山形県庄内地域の冬の味覚として親しまれているのがマダラを用いたドンガラ汁だ。「鱈」は魚偏に雪と書くことから分かるように、雪が降る季節に旬を迎える魚である。とくに庄内地域では、二十四節気の寒の季節(1月上旬から2月上旬ごろ)に産卵のために飛鳥周辺に集まってきた寒ダラを底びき網で漁獲する寒鱈漁が盛んになる(図9)。新鮮な白子はトロリとした食感で寿司ネタとしても最高である。この絶品の寒タラを頭から尻尾まですべて余すことなく使うドンガラ汁は、最も脂ののった「あぶらわた(肝)」を用いた味噌ベースの出汁の旨味は濃厚だ。庄内ではその味を楽しむために香りの強いネギではなく岩のりが添えられることが多い。

庄内地域でドンガラ汁が郷土料理として親しまれるようになったのは、男鹿半島と同様に、日本海拡大に伴う火山活動で作られた溶岩類が、反転断層に

沿って隆起して飛鳥礁と呼ばれる岩礁地帯となり、この地形がマダラの産卵に適しているからだ(図9)。

最後にもう一つ日本海の冬の味覚を紹介しておこう。ホタルイカやシロエビなど美味なる食材が豊富な富山湾。この「天然の生簀」は、厳冬期にも活況を迎える。富山湾に仕掛けられた定置網で漁獲される「氷見の寒ブリ」だ。その名の由来が、アブラ(→アブラ→ブリ)だという説があるくらいだから、いかにも脂がのっていて、砂ずりといわれる腹側は見事なまでに上質な脂の旨さがある。また赤みを帯びた背の豊潤な香りもたまらない。もちろんやや濃い目の醤油と多めのわさびでいただく刺身は文句なく絶品ではあるが、さっと湯にくぐらせたブリしゃぶを口に運ぶと、その瞬間に灰色の雲と白い波を立てる黒い日本海が見えてくる。

春に東シナ海から九州西方沖で生まれたブリの幼



図9 日本海沿岸に分布する反転断層群(白線)と、それらの活動によって形成された隆起帯(赤色域)

魚モジャコは、対馬海流によって北上し、夏から秋にはハマチに育ち、冬には立派なブリとなる。晩秋になると北海道沖から日本海を南下し始めるブリは、冬の北陸の名物ともいえる冬季雷「ブリ起こし」とともに富山沖へとやってくる。このブリの行手を遮るように日本海へ迫り出しているのが能登半島であり、この能登半島と佐渡堆という反転断層の活動によって形成された隆起域が、あたかも定置網のような役割を果たすために、ブリは低地帯である富山舟状海盆に沿って富山湾へと導かれるのである(図9)。大量に漁獲される立派なブリは、北前船で運ばれた昆布と合わせて、ブリの昆布締めという富山特有の食文化を育んだのである。

▼8 終わりに

世界一の変動帯日本列島に暮らしてきた先人たちは、繰り返し試練を与える「大地」に畏敬の念を抱きながら、同時にさまざまな恩恵をいただくことを感謝してきた。そして試練に対しては、ある意味で諦念とも言える「無常観」を美意識へと昇華させることで、日常を取り戻してきた。しかし、このような「日本人」の歴史はたかだか数万年。一方で現在の変動現象は300万年前のフィリピン海プレートの大方向転換以来続いている。言い換えるとこの期間に起きた大変動は、今後も必ず起きる。この認識こそ「変動帯の民」に求められるものであり、美食地質学がその一助となれば幸いである。

〈参考文献〉

- 1) 光文社：「美食地質学入門～和食と日本列島の素敵な関係（巽好幸）」，2022

フォッサマグナのお米とお酒

たけのうち こう*
竹之内 耕*

Key Word

フォッサマグナ, 糸魚川-静岡構造線, 地すべり, 米, 地下水, 酒

1 大地を語る

博物館の学芸員として、フォッサマグナを市民に語り始めて30年以上が経った。2021年11月に、糸魚川をロケ地として、フォッサマグナをテーマにNHK ブラタモリが放送された。それを見た市民から「フォッサマグナのことがはじめてわかったよ」と声を掛けられ、今までのフォッサマグナの語り部は全く役に立ってこなかったのかと悲嘆にくれる一方、市民にわかりやすく伝えるブラタモリの威力を認めざるをえなかった。ブラタモリの人気の秘密は、大地と暮らしの関係がシームレスな物語で示されること、日本人の地学スキルに合致した単純化の程度、さらに物語を支える確かな科学的裏付けなどにあるらしい^{1) 2) 3)}。出演するアナウンサーと案内人が引き出すタモリさんのリアクションに、視聴者が一緒に旅をしているような感覚になって惹き込まれるのも一役買っているようだ。

博物館は、知識をさらにほしいマニアの方から、地学にまったく興味のない一般の方、さらには小学生まで、知識の量や関心の程度が幅広い対象に伝える仕事をしている。どう伝えるべきか常に頭を悩ませている。一つの正解は、大地を生活の視点で語るという方法である。少なくとも関心の薄い大人でも興味をもって聞いていただけることは経験からわかっている。フォッサマグナについての生活の視点と言うと、自然災害（地震、火山、地すべりなど）や石油・天然ガス、棚田などがあげられよう。以下に、フォッサマグナの生い立ちとお米やお酒の関係を紹介し、本特集の「地質の愉しみ方-食と旅と地質-」への一助としたい。

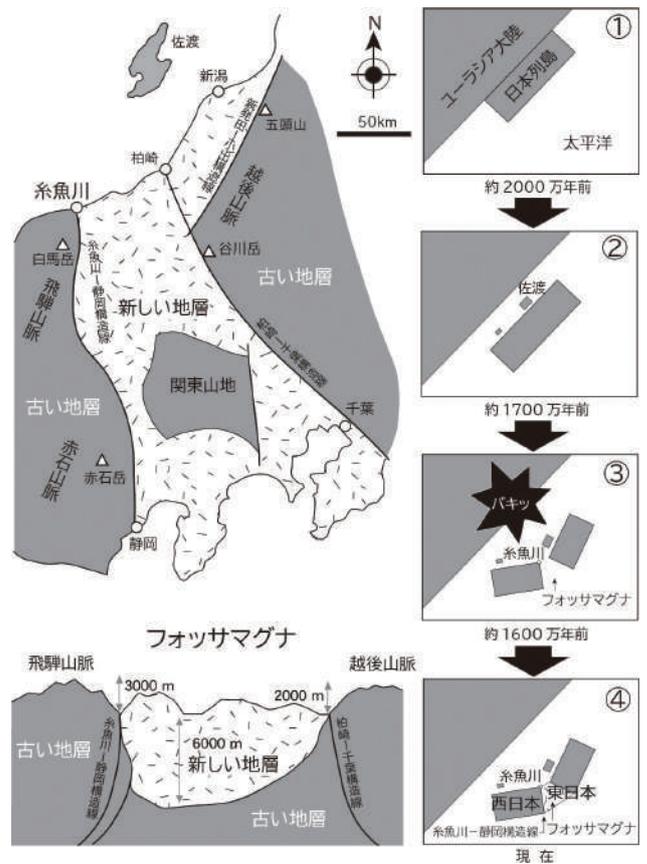


図1 フォッサマグナとそのでき方

2 フォッサマグナ - 溝転じて山となす -

フォッサマグナはラテン語で、大きな溝という意味だ。この溝は、上空から見下ろしてわかるような地形的な溝ではなく、大地をつくる地層を知ることによって初めて見えてくる地質の大きな溝を指す（図1参照）。日本列島の土台をつくる古い地層（おもに3～1億年前）でできたU字のような溝を、新しい地層（おおよそ2000万年前以降）が埋め立

*糸魚川フォッサマグナミュージアム 館長



図2 フォッサマグナの地層が隆起した山々

てているのだ。フォッサマグナの西の境界が糸魚川－静岡構造線（以下、糸静線）、東側の境界が柏崎－千葉構造線と新発田－小出構造線とされている⁴⁾⁵⁾。

ちょうど「く」の字に折れ曲がった日本列島の中央部にフォッサマグナが位置しており、その昔、ユーラシア大陸の一部だった日本列島が、現在の位置に移動した時に折れ曲がってできた裂け目と考えられている。できた当時、フォッサマグナは日本海と太平洋を結ぶ海峡だった。フォッサマグナの海は、地層（砂岩や泥岩、海底火山噴出物など）によって徐々に埋め立てられていった。やがてフォッサマグナの海底は隆起し現在の山々となった（図2参照）。

「溝転じて山となすですすね」とは、タモリさんが、フォッサマグナの山々を眺めて発した言葉である。糸魚川のフォッサマグナの山々は、二階建ての地質をもつことが多い。一階部分が、海底にたまった砂岩や泥岩からなり、二階部分は海底火山噴出物からなっている。二階部分は、溶岩などからなるので硬い。隆起しても地すべりを起こしにくいので、急な崖をもつことが多い。一方、一階部分は軟らかい砂岩や泥岩なので、隆起すると不安定になり地すべりを起こして緩斜面をつくる。地形的な差が明瞭なので、地層も容易に判別がつく。フォッサマグナの海底が隆起に転じて、陸上に顔を出し、さらに隆起する過程で、水や風に削剥されてできた山々は自然の彫刻にも例えられよう。この形成過程が目に見えよう。この形成過程が目に見えよう。この形成過程が目に見えよう。

▼3 棚田は地すべり地

新潟県は日本の地すべり面積の約20%を占める地すべり大県である⁶⁾。山間地の棚田の風景は地すべりがつくったものだ。フォッサマグナの地層、とくに砂岩や泥岩が地すべりを起こしやすいため

である。

「耕土一寸、米一石」とは、田を一寸（約3cm）深く耕せば、米が10アール当たり一石（約150kg）の増収があることを意味し、米作りには深く耕すことが大切だとされる。平地が少ない山間部では、地すべりによってできた緩傾斜地が絶好の棚田の適地となった。また、地すべりの活動には周期性があり、地すべりの規模によって数十年～数百年間隔で起こることが知られている。ひとたび地すべりが起これば農地は破壊されるが、農地を復旧すると、被災前よりも米の収量が上がるとされる。周期的な地すべりが自動的に農地を耕し、肥沃な土をつくってくれるらしい。1947年に糸魚川市で「柵口地すべり」が起こった。これは「地学事典（平凡社）」にも掲載される有名な地すべりであり、戦後の地すべり研究のきっかけになった。被災直後、農民らは復旧を始めたが、柵口の集落移転が村議会で決定された。しかし、新潟県林務課の技師が、農民は慣れた土地を捨てがたいことや地すべり後の農地復旧は米の収量をあげることを説き、結局集落移転は撤回され、現地での全面復旧が行われることになった⁷⁾。

また地すべり地の地下にはすべり面という、動く地すべり部分の最下底の境界面がある。こすれてできたすべり面は粘土から構成される場合が多く、地下水を通しにくい。このため、地すべり地に浸み込んだ雨や雪解け水は、すべり面の上面に沿って地下水として流れ下る。このように、地すべり地は地下水が豊富で、水持ちのよい田ができると言われている。

地すべりは、①山間地で緩傾斜地をつくる、②定期的に自動的に耕す（破壊を伴うが）、③豊富な地下水が水持ちのよい田をつくる⁸⁾、ことから棚田では、おいしいお米がとれるというわけである。

▼4 糸静線上の酒蔵

米どころ、酒どころの新潟県の水は軟水が多い。

これは豊富な雪解け水が、急速に山中を流れ下るため、後述するように地下水が地層と反応する時間が短いまま、湧き水として流れ出るからとされる。糸魚川には、軟水と硬水のユニークな地下水の境界がある。

図3は糸魚川市の根知谷の空撮である。ここは、フォッサマグナの西側境界にあたる糸静線が通り、その西側が古い地層、東側が新しい地層であることはすでに述べた。東側はフォッサマグナの地層なので、地すべりが発達して棚田が広がる。一方、西側は、基本的に硬い地層なので、急峻な地形となって

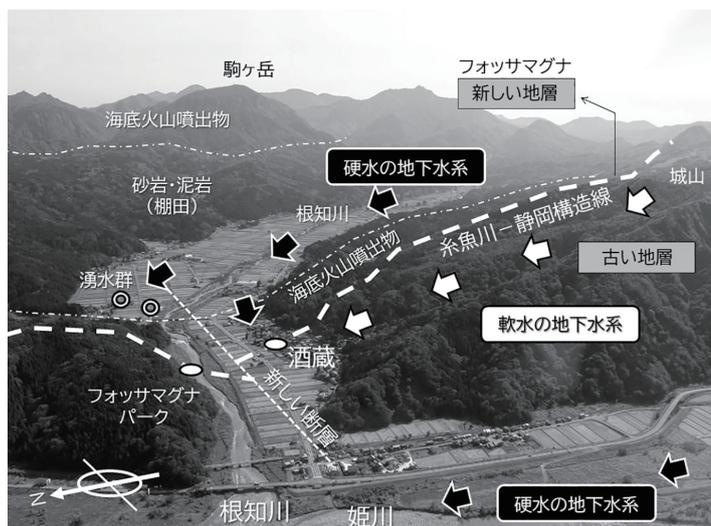


図3 根知谷の糸静線と地下水系



図4 酒蔵での利き水体験

棚田は東側ほど発達しない。糸静線は、日本列島の地質を東西に二分する断層であるとともに、糸魚川では、棚田の発達程度を明瞭に分ける断層でもある。

この糸静線が、フォッサマグナパークと呼ばれる断層見学公園で観察できる。名前のついた大きな断層を直接見学できる場所は日本でもなかなかないので、ぜひお訪ねいただきたい。糸静線が露出する崖は、国の天然記念物に指定され、フォッサマグナや日本列島の生立ちを解説板などから学ぶことができるようになっている。

糸静線の南方延長上には、酒蔵（明治元年創業）がある。まさに酒造会社の敷地内を糸静線が通る。特筆すべきことは、糸静線が通ることで、東側と西側の井戸水の性質が異なり、使用目的によって使い分けていることにある。糸静線東側の硬水の井戸水は生活水に、西側の軟水の井戸水は酒造りにそれぞれ使用される。硬水とは、水に含まれるカルシウムやマグネシウム成分がある程度多い水をさし、軟水はそれらが少ない水をいう。飲んでみると軟水は硬水に比べて味がないように感じる。東側の地下水は、比較的流路の長い根知川水系のものであり、地層と反応する時間が長いので、地層中からそれらの成分が溶け出る。一方、西側の地下水は、背後の急峻な城山（525.2m）から素早く流れ下る、流路の短い地下水系なので、地層と反応する時間がなく、天水に近い軟水となる。酒の発酵において酵母がマグネシウムやカルシウムを栄養分とするため、発酵が硬水の方がよく進行し、軟水はゆるく進行する。したがって、硬水は酸味がする味わい深い酒となり、軟水は淡麗辛口のすっきりした酒になるという。酒蔵では、東西の井戸水の利き水ができる（図4参照）。

5 日照時間の長い田と断層

この酒造りの特徴は、米作りからお酒造りまで、地元の根知谷で行われているという点にある。田を耕し、種を播き、米を収穫し、西の井戸水で酒を仕込む。酒蔵周辺は、酒米をつくる水田である。根知谷は、酒蔵が位置する周辺は東西にのび、上流側では南東方向へ流路を変える（図3参照）。この東西方向の部分は、糸静線の後にできた東西方向の断層に沿って根知川の流路ができたためらしい。これは糸魚川市と新潟大学によって実施された詳細な地質調査と地中レーダ探査、ボーリング調査の結果でわかったものだ。

フォッサマグナの軟らかい地層の分布域を流れてきた根知川は、フォッサマグナの硬い地層（海底火山噴出物）の分布域に流れ込む。この硬い地層を断ち切った東西方向の断層に沿って流れができて、姫川と合流するにいたったと考えられる。東西方向の根知谷ができたことで、日の出から日の入りまで、周囲と比べると、日照時間が長い田が生まれたわけである。硬い地層は地下ダムのように作用し、上流側から流れてきた地下水を貯める。硬い地層と軟らかい地層の境界周辺では、いくつかの湧水が確認されている（図3参照）。

6 巨大地すべり地の湧水

根知谷の東にある早川谷（フォッサマグナ地域）には、巨大地すべり地がある（長さ3km以上、幅2km）。典型的な二階建ての地質構造の中に生じた地すべりであり、地すべり最上部には滑落崖（二階部分の海底火山噴出物）があって、その下流側には滑落崖から分離して移動した流れ山（長径1.4km）がある。滑落崖と流れ山の間には、二階部分が下方



図5 砂岩・泥岩に開けた棚田

へ移動したことによって露出した砂岩や泥岩（一階部分）では、みごとな棚田となっている（図5参照）。さらに流れ山から2km下流側には、過去の流れ山がすべり落ちてくる過程で砕けた、径5mを超える巨岩の集積地がある（図6参照）。この地すべり末端部には、月不見の池、牛池、細池の湧水群があり、その水は生活水や酒造り、ワサビ栽培などに利用されている。この周辺は、周囲より比高があるので水害に合わず、湧水があり、さらに豊かな森があることで、暮らしやすい環境にあったと考えられ、ヒスイの玉をつくった縄文時代の細池遺跡がある。

7 地質の見方を暮らしの中へ

フォッサマグナの生い立ちを反映して地層ができ、断層活動によって海底が反転して山々をつくった。さらに隆起する山々では、地すべりが起こり、棚田に利用された。地下には豊富な地下水が流れ下っている。このような大地の歴史を背景に、おいしいお米とお酒が育まれた。狩猟から農耕へ、米作り、酒造りという日本の原風景の一つがフォッサマグナの中に典型的に見られるのは興味深い。

変動帯としての象徴的なフォッサマグナで、日本列島での暮らし方を学ぶことができる。自然災害が不可避な日本列島では、地質学のものの見方や考え方は、日本人が身につけるべき最低限のスキルと思われる。そうは言っても平時には、大地と食の関係を楽しみながら旅をし、少しずつ大地の仕組みに気づいていただければ嬉しく思う。

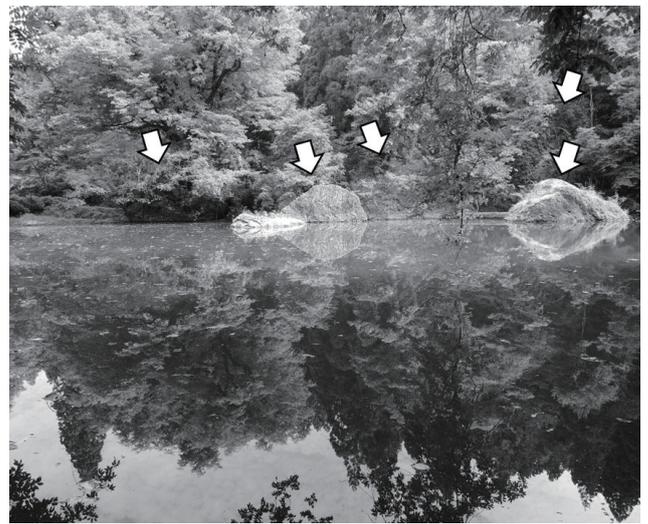


図6 湧水池（月不見の池）と巨岩（矢印）

〈参考文献〉

- 1) 小山真人：「地球科学者がブラタモリを案内して考えたこと」、『日本地球惑星科学連合 2019 年連合大会 001-03』, 2019
- 2) 林信太郎：「NHK 総合テレビのエンターテインメント・教養番組「ブラタモリ」における実験の役割」、『日本地球惑星科学連合 2019 年連合大会 001-06』, 2019
- 3) 井上素子：「ブラタモリ番組制作に学ぶ博物館のアウトリーチ活動の在り方」、『日本地球惑星科学連合 2019 年連合大会 001-08』, 2019
- 4) 植村武：「総説」、『日本の地質 4 中部地方 I』, 共立出版, 1988
- 5) 山下昇編著：「フォッサマグナ」, 東海大学出版会, 1991
- 6) 新井場公德, 野崎保, 鄭炳表, 福本安正：「日本の地すべり指定地分布と地質的特徴について—全国地すべり指定地調査結果報告書」、『日本地すべり学会誌』, Vol. 44, pp.38-43, 2008
- 7) 能生町史編さん委員会：「能生町史 下巻」, 能生町役場, 1986
- 8) 高浜信行：「地すべりと生活と地質学」, 『地学教育と科学運動』, No.22, pp.7-17, 1993

お菓子であってお菓子でない、 ジオ菓子とは？

すずき みちこ
鈴木 美智子*

Key Word

体験を通じ、大地と一緒に面白い仕組み

1 はじめに

私は学生時代に地学を学んだ記憶がありません。勉強嫌いと言うわけではなかったのですが、それにしてもまったく覚えていないのです。こんな大事な教科を覚えていないことを今は深く反省しております。そんな私は伊豆に生まれながらも「いつか伊豆半島に大きな地震が起きたらポロッと本州から取れて島になるのかな？そしたら船で帰省かぁ～（喜）」なんて本気で思っていました。このような輩が格ある専門誌に寄稿してよいものか、ご担当の方ずいぶん攻めた人選をされたものだと思いつつ書かせていただきます。

というわけで、ジオガシ旅行団をご存知でしょうか？2012年の1月より活動開始し、2023年で11年目になります。元々は「美しく面白い伊豆の大地や景色へ足を運んでもらいたい」という願望から発生したプロジェクトです。それには大きなキッカケがありました。2011年の冬、友人から下田の美しい景色を案内してもらったのです。



図1 下田市爪木崎にある私のファースト柱状節理

大学生の時に下田の海を訪れ、半島の真ん中あたりで生まれた私は、伊豆の南側はこんなに美しいのか！と感動したのをずっと忘れられずにいました。その美しい伊豆の良さをもっと多くの人に知ってもらいたいという動機で、当時住んでいた渋谷から伊豆南に移住し、映像や広告を手がけていたのです。伊豆の美しい景色には全部理由がある？なんだと？しかも伊豆半島は遠く南の海で生まれた小さな火山だったというのではないですか。取れるんじゃないのか！おとぎ話のような伊豆の成り立ちに心を掴まれ、見る景色は遙か遠い昔のイベントを記録したさながら天然博物館に見えてきました。それをきっかけに、私の目にする世界は一気に変わり、こちらが少しの知識をもって地層を見ると、大地は自分の素性を雄弁に語ってくれていること。というか、めちゃくちゃおしゃべりじゃないか。情報過多で素人には消化できないことが多いけれども、言いたいことはなんとなく伝わった、すごいな、美しいな、愛しいな。と感動の理由を知ることとなります。自転車に乗れるようになると、どうやって乗れなかったのか思い出せなくなるように、世界を知る前と後、すっかり私の人生は変わってしまいました。そしてその感動を独り占めするなんてもったいない。多くの人と共有したいと思うのは自然な流れでした。とはいえ、伊豆の面白い地理の話をしても早くて20秒、もって1分弱、だんだん目の前の人との間にある空気が静まり、目が泳ぎ、相槌がかすれていくことに気づきます。地学の勉強をした記憶すらない私が言うのもなんですが、興味のある人が圧倒的に少ない。本当にそう？いや違う、これは私の伝え方に問題がある、だってこんなに大地は面白いんだから。ここは前職広告代理店の広告プラン

*ジオ菓子旅行団 代表

ナー、絞り出したら何か出来そうじゃないか。クライアント様が夢の国やカッコいい車の会社から、大地になったってだけの話です。広告を作る際、常にあったのはユーザーの思考に寄り添うこと。極力私のエゴをそぎ落とし、あなたがどうしたら面白がってくれて、自分ごととして捉えてくれるのか、それを大事にしてきました。対象を濁らさずにいかにストレートに伝えるか、良い広告はそのシンプルさで強力でユーザーの心をつかみます。そこで生まれたのが「ジオ菓子®」でした。

2 ジオ菓子とはなんぞや？

大地を面白おかしくみんなで共有するためのツールとしてジオ菓子は生まれました。なので、お菓子屋さんと言われると未だにモゾモゾします。そんな輩がお菓子を作っているのだから、工程や原材料の基準がいささかバグっているのはなんとなく気づいています。ジオ菓子には通常のお菓子より工程が多く、素材もなるべく菓子化した土地に由来のあるものを使用します。例えば、下田市にある柱状節理クッキーは地元特産のひじきを使用。ひじき入りのクッキー、食べたことありますか？ご安心ください、今ではジオ菓子ラインナップの中でもトップ3を行く人気商品です。製造中はこれ何を作ってたっけ？と錯覚するほど磯の香りがしていますが、焼き上がりはちゃんと美味しいクッキーになっております。機会がありましたらぜひお試しください1品です。



図2 左が柱状節理クッキー、右が下田産ひじき

そもそも大地を菓子化した、というところに込められているのは体験を通じて自分ごととしてもらいたい、という意図があります。ジオ菓子の売りである3つの体験「食べる」「見る」「行く」です。それらを解説してみましょう。まず「食べる」これは生きとし生けるもの全てが行う共通の行為、手に取る方との大事な接点となります。そして「食べる」には味覚だけでなく嗅覚、さらには視覚や聴覚、触覚

を含めた五感を伴います。その大切な接点となる時間を精一杯楽しんでいただけるよう、素材にはとことんこだわっているのが特徴です。例えばマーガリンを使用すると賞味期限は伸びますし、仕入れ価格も下がります。美味しいものには人は感動します。そこで、国産の四つ葉バターを使用し、小麦粉も国産を使用。そして前出のように菓子化した土地に由来のある原材料をできるだけ使用し、そのお菓子の持つストーリーに理由や価値を与えます。例えば、縄状溶岩メレンゲクッキー。これは約1万年前、三島の街までサラサラ流れてきた富士山の溶岩を模したもののなのですが、地元特産品の三島馬鈴薯を使用しています。その工程がまた多いのなんの。ジャガイモを蒸して、潰して、凍らせて、解凍して、ほぐして乾燥、さらに粉碎し粉化してからクッキーの素地に使用しています。ジオ菓子の中でも見た目です損するタイプのものですが、現地に沿わせると致し方なく、しかし見た目を乗り越え食すとその美味しさとギャップにリピーターさんも多い商品です。



図3 左が縄状溶岩メレンゲクッキー、右が三島市で見られる縄状溶岩

続いての体験は「見る」です。ジオ菓子を手に取ったことがある方はまずパッケージの文字量に驚くでしょう。しかしお菓子の説明は原材料と製造者等最小限しかありません。では何がかけられているのか？それは、菓子化された景色の解説になります。しかも日本語/英語とワールドワイドを見据えた仕立てになっております。内容は、大地の成り立ち、その土地だからこそ生まれた歴史、産業など、興味をもってもらうためストーリー仕立てで面白がってもらえるよう構成します。大事なことは、学術的な内容も含まれるため間違ったことを伝えてはいけません。毎回菓子化する際にはまず、その景色を訪れ、文化、歴史を学び、できる限り論文も読んだ上で文章を書きます。ここで学んだことがお菓子の工程に加わることもあります。そして内容に不備がないか、静岡大学の小山真人先生にチェックをしていただきま

す。そうして完成した文章を英語化し、ネイティブチェックを経た文章がパッケージ裏に記載されているのです。さらに菓子の配置された背景には、元になった景色の写真があり、それとお菓子を見比べながら、あれ？これそっくりじゃない、となつてもらう狙いです。そのため菓子製造工程がアホほど多く、時々来てもらうアルバイトさんに「毎回これやってんの？」と呆れられたほどです。お次は「行く」です。これこそ他のお菓子にはまず付いてこないであろう現地に行くための「地図」が付属します。ここまでの体験「食べる」「見る」で現地に興味を持った方、その方達の背中をそっと押し誘うための意思表示でもあります。せっかく生まれた「へえー」をその場の感動で終わらせない、それこそ現地と人を繋ぐジオ菓子たる大事な機能です。体験を通じ、自分ごととしてもらう。そのためには手に取った方の感情に「！」が生まれる仕掛けが不可欠です。昨今、世の中をすっかり変えてしまったスマホの世界には、たくさんのSNSがあり、そこに流れるのは多くの「！」です。人は感動したものを多くの方と共有したいと考える傾向があります。よって、ジオ菓子を手に取った方、伊豆の美しい大地を訪問し感動した方、これから行ってみたいと考える方、それぞれに機能できれば作り続けております。



図4 行く、見る、食べる

もう一つお伝えしたいこととして、ジオ菓子のベースには日本古来の美意識にある「風情」と気の利いた「洒落」の要素を持つ和菓子の世界が根底にあることも記載しておきます。

3 ジオ菓子持って出かけよう！

ジオガシ旅行団という名前には、「ジオガシ」＝大地のお菓子を片手に、「団」＝みんなで、「旅行」＝楽しみましょう、という思いが込められています。そこで体験をさらに補足するためジオ菓子ツアーなるものを行っております。おかげさまで今まで国内

はもとより海外からのお客様も訪れてくださるようになりました。2013年に伊豆半島ジオガイドの資格を取得^(補足1)したので基本伊豆半島全域のガイドはできますが、メインは下田になります。ご存知の通り下田は開国の町としても歴史があり、その根底には大地の成り立ちが要因であることも見えてきます。お客さまそれぞれに興味の対象が異なるので、基本は1日1組で対話をしながら、目の前に広がる大地を楽しんでもらえるようガイドを勤めます。海洋生物、歴史、地理、文化と様々な興味があるので、それらを自然な流れで解説できるよう引き出しを増やすべく勉強に終わりがありませんが、それを識るのはとても楽しい作業です。そして何より、現地でジオ菓子を見比べながらみなさんが楽しんでくださるのが私にとってのご褒美タイムでもあります。「この景色を見ながらジオ菓子を食べたかったからちょっと邪魔しないで」と5歳の男の子が柱状節理に向き合いじっくりジオ菓子を堪能されていた時は本当に作ってよかったと思いました。



図5 柱状節理をみながらジオ菓子を堪能されるお客様

このようにして、3つの体験にあるうちの「行く」をさらに補強する活動がジオ菓子ツアーとなります。そして、体験されたお客様ほとんどがツアー終了後に「見る景色が全部お菓子に見えてきた！」というジオ菓子病に罹って行かれます。そして帰ってから身回りにある石ころに「君はどこから来たのだ？」と興味が向くようになり、地層をじっくりみてしまう、という癖ができたという嬉しい報告もいただきます。ジオ菓子を手に取ってくださった方がそれぞれ興味の出く先へどんどん歩いて行ってくれる事が何より嬉しく、ほんの1歩、足先を向ける役割ができれば幸いなので、ツアーはその加速を促す体験でもあります。ジオガシ旅行団開始当初は、地元に住まう人にこそ自分たちの足元にある大地の成り立ちを知ってもらい、この美しい景色を未来に繋げる役割がそれぞれにあるという認識を一緒

に持つべく地元向けツアーがメインでした。世界的にも貴重な海底火山の隆起が見られるダイナミックな景色を有する伊豆半島ですが、その景色を見られるのは地元の漁師さんくらいです。なので町の補助金を活用し、地元カヤック屋さんの金額をぐっと下げて参加しやすくしたカヤックツアーを行いました。おかげさまで毎回満員御礼ではあったのですが、望む地元民の参加は少なく、毎回参加してくれる方のメンツが同じ、という状況にこれは当初の目的から外れているぞ、となりました。そしてもう一つ、カヤックの問題点は自分で漕いでいかなければならないため、肝心の露頭に近づく頃には疲れ果て、転覆のおそれもあるためカメラなどは持ち込めず、というもどかしさがあることにも気づきます。以後は漁船で巡るツアーに変更しましたが、依然地元の方の参加は増えずにありました。機会があって直接地元の方に「参加しませんか？」と声かけするも、「これ見て勉強したら（私は）儲かるの？」と言われ、自分が大きな勘違いをしていたことに気付かされました。ジオ菓子は本当に癖の強い商品です。興味のある方はジオ菓子を見て一瞬で「何これ！」とこちらが説明していないにもかかわらず反応してください。しかし、ある一方ではどんなにジオ菓子の解説をしても響かない方には全く響かず、興味を持ってもらえません、むしろ「石かと思った」や「なんでこんなにお菓子が高いの？」と言われる始末。ジオ菓子は受け手の経験則に左右される商品でもあります。ツアーも然り。もっと根底のところから動かなければならない、と考え始めたのが子供達に向けた「ジオガシキッチン教室」です。これは、地学(理科)、社会(歴史・文化)、家庭科、郷土学を一度に学べる総合学習で、座学を伴ってお菓子化する授業です。まさにおいしく腹落ち。おかげさまで全国からご依頼いただく機会が増え、2023年9月現在で県内外も含めると60箇所以上、延べにして約2000人以上に開催したことになります。ある時、修善寺の小学生が伊豆の未来を授業で討論した際、「ジオ菓子をもっと知りたいです」と一人の生徒が発言したことをきっかけにキッチン教室の依頼につながった、ということも。若い世代の方達に興味を持ってもらえるというのはとても嬉しく、未来からOKサインをもらっているような気になります。最近の傾向として、参加されるお子さんの低年齢化が進み、これは小さいうちから本物を見せたい、という要望が強まっていることも感じています。そのほか、ジオガシキッチン教室の仕組みは地学アウトリーチの勉強にも繋がります。キッチン教室はまず、大地の成り立ちを座学で学び、その後学んだ事をおさらい

をしながら菓子化するのですが、その座学を地学を学ぶ大学院生にお願いした事がありました。2日間で計4回行ったのですが、回を重ねるごとに勘を掴んで行った学生は最終回とても解説が上手になりました。私は特に指導していません。しかし、現場で参加者の様子や理解度をみながら修正を重ね、素晴らしい座学になりました。後に学生が「今まで、研究はしてきたけれど、伝えることに重きを置いてこなかったし、そのような機会はなかった。改めて難しさを知り、すごく良い経験になりました」と言ってくれました。伝えるのポイントに勘付き、みるみるうちに補正していった学生は本当に優秀で、君ならどこに行っても活躍できる！とこちらが感動させられました。



図6 キッチン教室の様子

キッチン教室の様子はYouTubeでもみられます。ご興味のある方はぜひご覧になってみてください。大地を美味しく腹オチする、ジオガシキッチン教室への誘いの巻

(<https://youtu.be/OALs7bp95vk?si=u5J1WoLijKwCnUK>)

4 これからのジオガシ旅行団

おかげさまでジオガシ旅行団も11年目を迎えておりますが、事業としては決して順風満帆ではなく苦労もたくさんありました。というか今もあります。それはもう山の如し、言うとも愚痴になるので書きませんが苦労が服着て歩いているようなものです。興味のある方は直接私に聞いてください。聞くも涙、語るも涙の連続です。しかし、辞めたいとは一度も思った事はありません。それよりもこの活動はとにかく続けることに意味があると思っていますし何より楽しいのです。経済活動を主とした場合、このような活動はまずしないと思いますが、ジオガシ旅行団の目的はそこになく、ジオ菓子を通じた活動意味

や役割、商品を売るだけではなく、未来へ投資をしているというつもりで活動しています。具体的に言うと、ジオ菓子を手に取った方が大地の成り立ちを知り、奇跡の上に私たちの暮らしがあること。それを元に防災意識を高めたり、保全には何をすべきかを自分の頭で考え、判断できるようになる。このような方々が暮らす未来はきっと素敵で世界なのではないかと考えます。これこそがジオガシ旅行団の活動の芯となる目的で、多くの方が大地を愛しむ未来を見たいと事業を継続しています。かの柳田國男先生もおっしゃっていました。

“私たちはより良い未来を自ら選ぶ事ができる、そのために今がどうして出来たのかを知り、そこから学び、より良いより未来を選択するのだ。”

先ほど、苦労の連続と書きましたが、それ以上に応援してくださる方、サポートしてくださる研究者のみなさまあっての今があります。とても一人では続けて来られませんでした。この場を借りて心から感謝申し上げます。そしてこれからもご指導ご鞭撻よろしくお願い致します。

昨今の流れとして、ジオ菓子に興味を持ってくださる方がさらに増えてきているのを感じております。先日、とある新聞の裏一面で特集をしていただいた際、未だかつてないほどの注文を受けました。さらには、企業様からお中元やお歳暮でご活用いただく機会も増えており、お送りした先からとても喜んでいただけたという感想をいただき、こちらも嬉しくなりました。嬉しい反面、次に進まなければならない時に来たのを感じております。というのも、ジオガシ旅行団など行っておりますが、私一人で、菓子製造、販売、ツアーガイド、キッチン教室、講演、大学講師を行っております。どれも必要でどれも楽しく選ぶ事ができません。より多くの方に楽しんでいただくためにも、事業形態を大きくする時がきているのを感じていた矢先、「ジオガシ旅行団で働きたいです」という問い合わせが増えてきました。本当にありがたい事です。ジオガシ旅行団の活動は、地層のように地道に重ねてこそのものなので、この活動を未来に繋げる視点で動き始めています。そしてあわよくば、日本だけでなく、世界の大地を愛する人とジオ菓子を楽しめたら、という欲も出てきました。というのも実際海外の方の反応がとても良いのです。前出で海外からのツアー客があった事を書きましたが、それは皆若いカップルで、ジオ菓子を手に取って以来、どうしても現地に行ってみたくなると仰られました。確かにジオ菓子には言語は要りません、見て、食べて、なんじゃこりゃ？と面白がってもらう。そこから始まる大地への旅があり

ます。あの手この手を使い大地と親しむ仕組み作りを、ソーシャルビジネスとして活動しているジオガシ旅行団。専門家の皆さまとも一緒に展開しあらたな可能性を期待しておりますので、お声がけぜひお待ちしております。

補足1) 現在はガイド資格を更新しなかったため野良ガイドです

■□ジオガシ旅行団

WEB サイト <https://geogashi.com/>

オンラインショップ <https://shop.geogashi.com/>

徳島剣山系の伝統的な 傾斜地農耕システム

はやし ひろあき
林 博章*

Key Word 持続可能な社会にむけた道標, 世界農業遺産

1 はじめに



図1 徳島県における世界農業遺産に指定された範囲

2018年(平成30)3月9日に、「にし阿波の傾斜地農耕システム」は、世界国連食糧農業機関(FAO)の世界農業遺産(GIAHS)に登録された。その認定にあたっては、徳島県西部の2市2町(美馬市・つるぎ町・東みよし町・三好市)が徳島剣山世界農業遺産推進協議会を設立。徳島県・徳島大学・農林水産省が協働して日本国の代表として国連に推薦書を提出した。

私は、日本各地に農文化を伝播させた剣山系を拠点とする忌部氏の古代史研究を深化させるなかで、日本に前例のない剣山系の特徴的な農文化は世界的に評価されるべきものと確信した。そこでその文化をどうにか後世に残せないかと、その手法を探っていた。すると、2010年(平成22)の朝日新聞「能登と佐渡が農の世界遺産に！」の見出し記事に目が留まった。その記事を目で追いながら、験の奥に浮

かんだのは、剣山系のソラと呼ばれる山上集落の風景であった。そこには、五合目以上の急傾斜面に、棚田・畑地・果樹地・茶畑・集落が形成され、その山村景観は中国南西部・雲南省の少数民族の居住地や、南米ペルー、インカ帝国のマチュピチュ、日本でいえば、神話にも語られた高天原をも想起させるのであった。吉野川中下流域の徳島平野に住む人々は、その天上集落を指して「ソラ」、そこに住む人を「ソラの人」と呼んだ。その「ソラ」の眺望は、他県に比例なきもので、その貴重な画像を紹介するだけでも、“世界的に評価すべき農業文化遺産”になる可能性を秘めていると直観したのである。そこ



図2 日本最大級の傾斜地集落(つるぎ町貞光の家賀集落)

で剣山系の農文化やその風景を世界農業遺産に認定させようと、剣山系に展開される伝統農業、農文化、産業、地質、植生などの総合的な調査を実施し、徳島県の農産業専門家等と意見交換しながら原案を作成、加えて写真展や講演活動などの運動を展開していった。その動きはつるぎ町役場を動かす原動力と

*忌部文化研究会 会長(一般社団法人 忌部文化研究所)・IOUF(異文化間オープン大学財団)
徳島県立鳴門渦潮高校教諭 哲学博士(環境人類学)

なり、それが県西部の行政、徳島大学、徳島県、農林水産省をまき込むまでに至り、徳島県で初めての世界遺産が誕生した。その原案や基礎資料は、2015年に著「剣山系の世界的農業文化遺産」で発表した。その著は、海外学者の目に留まり、2022年11月にIOUF（アメリカ）より環境人類学、国際的に連携するアステカ大学（メキシコ）より環境学の博士号（Ph.D）を取得するに至った。著を基にした論文タイトルは、「徳島剣山系の世界的農業文化遺産～持続可能な社会への道標～」であった。地質と農業と歴史・民俗を融合させた従来の枠組みを超えた学問が、世界に評価されたのであった。

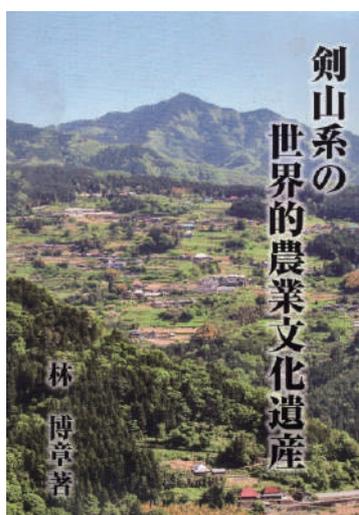


図3 原案となった著書

2 世界農業遺産とは

“世界農業遺産”の正式名は、『世界重要農業資産システム』（GIAHS）という。これは、2002年（平成14）にFAOが開始した仕組みで、その土地の環境を生かした伝統的な農業・農法や、農業によって生まれ維持されてきた土地利用、技術、農村文化や風習、風景、それを取り巻く生物多様性の保全を目的として、世界的に重要な地域をFAOが認定するものである。「世界農業遺産」が設定された背景には、近代農業の行き過ぎた生産性への偏重が、世界各地で森林破壊や水質汚染等の環境問題を引き起こし、地域固有の文化や景観、生物多様性などの消失を招いてきたことが挙げられる。国連教育科学文化機関（UNESCO）が提唱する世界遺産が、遺跡や歴史的建造物、自然などの不動産を登録し、保護することを目的としているのに対し、「世界農業遺産」は、さまざまな環境の変化に対応しながら進化を続ける「生きている遺産」なのである。

なお、2021年12月現在、世界で22カ国62地域、



図4 石川県の能登の里山・里海（能登の千枚田）

日本では11地域が認定され、それは次の通り。①トキと共生する佐渡の里山（新潟県・2011年）、②能登の里山里海（石川県・2011年）、③静岡の茶草場農法（静岡県・2013年）、④阿蘇の草原の維持と持続的農業（熊本県・2013年）、⑤クヌギ林とため池がつなぐ国東半島・宇佐の農林水産循環（大分県・2013年）、⑥清流長良川の鮎（岐阜県・2015年）、⑦みなべ・田辺の梅システム（和歌山県・2015年）、⑧高千穂峰・椎葉山の山間地農林業複合システム（宮崎県・2015年）、⑨持続可能な水田農業を支える「大崎耕土」の伝統的水管理システム（宮城県・2017年）、⑩静岡水わさびの伝統栽培・発祥の地が伝える人とわさびの歴史（静岡県・2018年）、⑪にし阿波の傾斜地農耕システム（徳島県・2018年）。

3 徳島剣山系の伝統的な傾斜地農耕の概要

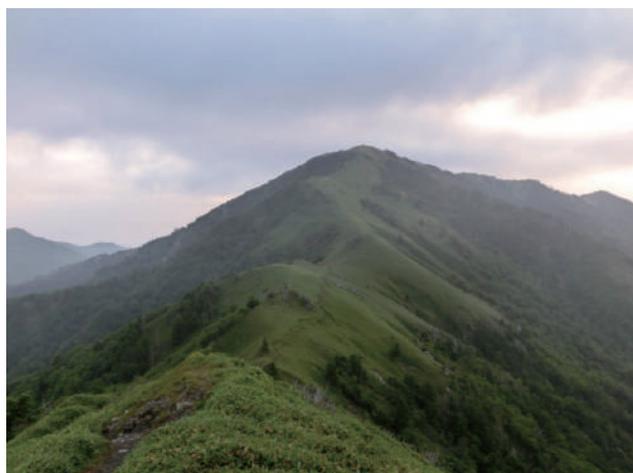


図5 西日本2位の標高をもつ霊峰・剣山

(1) 剣山系の地質・植生と傾斜地集落の形成

四国東部、徳島県の南西部に連なる剣山系は、四国の尾根とも称され、その最高峰が西日本第2位の

高さを誇る標高1,955mの剣山である。剣山系一帯は、1964年(昭和39)に「剣山国定公園」に指定され、2014年で50周年を迎えた。剣山周辺部は、数多くの貴重な植生が保全・維持されている。また、貴重な野生動物や生物、特異な陸産貝類などの生息などが知られ、日本における生態系の宝庫となっている。剣山系の山麓部から山頂部までは、約2,000mもの高度差があり、そこでは「照葉樹林帯-夏緑広葉樹林帯-針葉樹林帯-亜高山帯」に至る垂直分布的な植生変化が観察できるのが大きな特徴で、その植生に沿った照葉樹林文化やブナ林文化が息づき、四国全体の農林産業や経済の基盤となっている。

また、剣山系は「四国の水瓶」としての機能を果たし、急峻な山間部溪谷を縫うように各支流が吉野川に合流し、どのような旱魃でも未だ水が枯れたことがない。貞光川(つるぎ町)と穴吹川(美馬市)は日本一の水質(国土交通省の調査)、吉野川も四国第4位の水質を誇り、剣山系は豊かな水量と日本一の清流を生み出しているといえる。

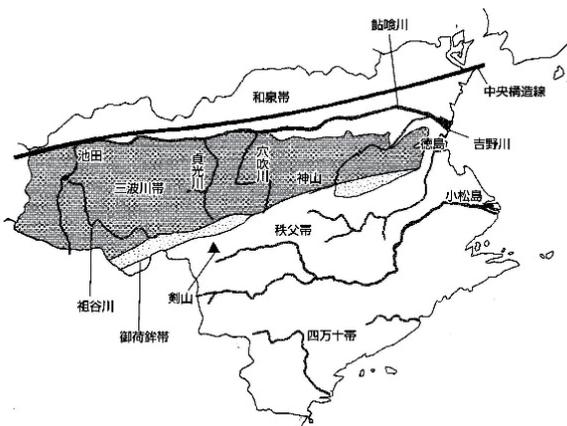


図6 徳島の地層

徳島平野を東流する吉野川南岸部より剣山系にかけての地域、地質でいえば「三波川帯」「御荷鉾帯」の結晶片岩地域に剣山系の伝統農業(傾斜地農業)は展開する。地質面から検討すれば、「剣山系の結晶片岩帯で展開される傾斜地農業」とも捉えられる。当地域は、日本を代表する地すべり地帯で、しかも日本最大の破碎帯が走っているため、山上部に容易に畑地・棚田・集落を作ることができ、涵養林さえ残せば山上付近からでも水が湧き出するため、土地生産性が高く、古代より農業生産の場として機能してきた。それ故に、日本に前例がない標高差最大400mを越す日本最大の傾斜地集落と独特な農村景観が歴史的に形成されてきた。

吉野川下流部の人々は、この傾斜地集落を「ソラ」と呼称した。「ソラ」の意味について『徳島県の歴史』

図4 西南日本における地すべりの分布

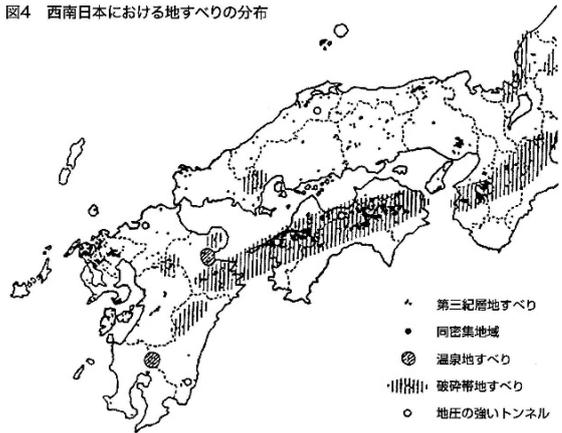


図7 西南日本における地すべりの分布



図8 三波川結晶片岩帯が露出する「大歩危」(国指定天然記念物)

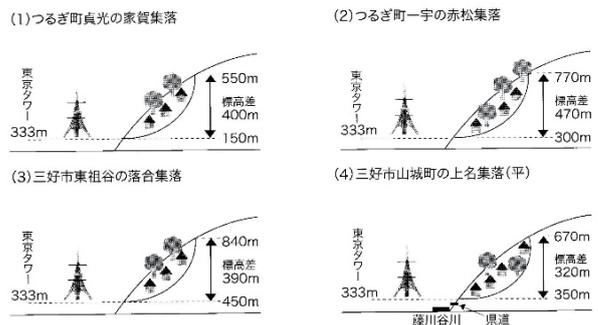


図9 剣山系の傾斜地集落の標高差

(河出書房新社)は、「四国山地は近代に至るまで焼畑農耕が卓越している地で、近世・近代の平野に住む人々がソラと言ったのは、この焼畑農耕が行われている四国山地、稲作社会に視点をすえた場合の異質な現世社会としての山の上の焼畑社会を指す。」と解説する。

(2) ソラの形成と焼畑農業

「ソラ」（傾斜地集落）が分布する剣山系は、かつては日本を代表する焼畑地帯であった。四国では1950（昭和25）に、約2,000haの焼畑が分布し、その広さは全国の19%に及んでいた。焼畑は切替畑とも呼ばれた。『アトラス 日本列島の環境変化』西川治監修（朝倉書店）の近世末（1850年頃）の林野利用によれば、剣山系が日本最大の焼畑地域であったことは一目瞭然となる。現在でも、焼畑農業を継承するアワ・シコクビエ・ヒエ・アズキ・ダイズ・ソバ・コキビ・タカキビ・トウモロコシ・コンニャクなど、様々な農作物が栽培されている。剣山系は焼畑農耕を継承する作物遺伝資源の宝庫なのである。

世界の各地域には、伝統的かつ固有な在来品種や加工食品、また伝統漁法による魚介類があるが、現在、消失の危機に晒されている小規模な生産者による希少食材が数多くある。こうした食材を世界共通のガイドラインで選定し、様々な支援策よりその生産や消費を守り、地域の食の多様性を守ろうというスローフードのプロジェクトが「味の箱舟」である。それは現在、「食の世界遺産」と呼ばれる国際カタログとなっている。2021年（令和3）には、日本スローフード協会と徳島大学、三好市東祖谷の雑穀生産組合や行政が連携した結果、祖谷の在来雑穀の6種類、シコクビエ、ヒエ、アワ、コキビ、モロコシ（タカキビ）、ソバが食の世界遺産「味の箱舟」に登録されるに至った。



図10 食の「世界遺産」に登録された祖谷のシコクビエ

(3) 剣山系の伝統農業の特徴

剣山系の伝統農業の最大の特徴は、険しいV字型渓谷の山間部の傾斜面で農業を営んでいることであり、その傾斜は最大で30度を超える。剣山系では、水捌けを良くするため、農地は平坦（フラット）にせず、傾斜をそのまま利用して農作物が栽培される。結晶片岩の土壌は多孔質で、傾斜があれば、水捌け

が良好で、根が深く入り、多種多様な農作物を栽培する最適地であった。

この傾斜地で傾斜地農業を持続的に営むには、土



図11 急傾斜地農業の風景（つるぎ町一字宇剪宇）

壤流出を防ぐ高度な知恵と技術が肝要で、剣山系では一応にかやを施用する農文化が見られる。

それは、伝統的にカヤ場（肥場・肥野・肥山）と



図12 伝統農業のシンボル「コエグロ」とカヤ場（肥場）

呼ぶ採草地を確保し、秋にかや刈りを行い、伝統農業のシンボルと位置付けられる「コエグロ」を作ることによって保存し、そのカヤを春に傾斜畑に投入し、土壌流出を防止する。剣山系では、農地と肥料となるカヤ場（採草地）が共存する風景が形成されている。即ち、農業における自然循環の考え方が広範囲に現在でも生き続けているのである。

傾斜畑にかやを敷く意味と効果は、土壌流失だけではない。他に持続的な施肥効果、雑草防止、保水力、保温力、ミミズ・小虫・生物などの養成、生物多様性の保全など多岐に渡る。カヤの施用技術についても、切かやを使用する方法、耕土に漉き込む方法、表層堆肥にする方法、広葉樹の落葉と混ぜる方法と様々で、育苗にも利用される。このように、昔ながらの自然循環の思想とあわせ、カヤ場（採草地）の管理・維持・利用こそが、持続的な傾斜地農業を



図13 カヤを敷いて農作物を栽培する伝統農業



図15 結晶片岩の性質を利用した石垣段畑(三好市西祖谷吾橋)

成立させる要件なのである。

また、土壌流出を防ぐ技術も多様である。等高線に沿って畝を設け畝間にカヤを投入する農法(等高線農業)、雨量の多い山城や祖谷では水刷けを良くするため縦に畝を作る農法、カヤを耕土に漉き込み土壁のようにする農法、傾斜畑全面にカヤを敷く農法、結晶片岩を生かし傾斜度を緩めるために高度な石垣段畑をつくる技術、石垣最上部の天井石を上部に向け土壌流出を防ぐ技術など、多様な知恵と工夫が随所に見られる。また、土壌流失だけでなく、集落全体を災害から守る知恵がある。それは、集落周囲の森林を綿毛のように残す。また、集落上部の涵養林を残すことなど。これは土壌流失や集落崩壊を防止する地滑り破碎帯における水資源を確保する知恵であり、これは、「八合切」と呼ばれる。

以上のような長年の経験と勘で培われた伝統技術



図14 大規模なカヤ敷きの等高線農業(東みよし町泉野)

と知恵をもって、持続的な傾斜地農業と傾斜地集落の存続を可能としたのである。

さらに、傾斜地集落の機能を概観すれば、約100～700m内に形成された集落は、森林に周囲を囲まれ、そのことが風害、水害、霜害、傾斜地集落の崩壊を防いでいる。民家は農業に不適な場所に建て、



図16 八合切の思想(美馬市穴吹町の首野集落)



図17 典型的な剣山系の傾斜地集落(美馬市穴吹町の淵名集落)

適所にカヤ場(採草地)を配置し、地勢に合わせ結晶片岩の石垣を効果的に積み、適所で農地の有効的配置を行い、要所に巨樹・巨木・社叢林・森を残し、自然への畏敬、感謝などの宗教的心情をもちつつ傾斜地農業を営んでいる。共同体意識を醸成する存在として要所に「御堂」が置かれていることも見逃せない。剣山系では、民家、採草地、畑地、棚田、果樹地、社叢、お堂、神社などが一体感をなし、独特な豊かさを感じる農村景観がパノラマ的に構成されているのである。

一般的な概念から見れば、剣山系の人々は、農業

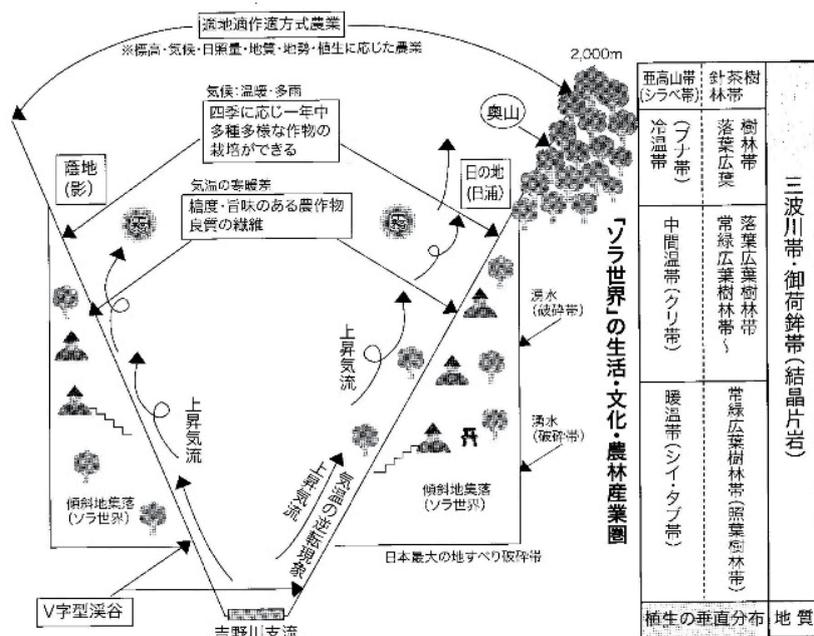


図 18 剣山系の傾斜地集落の解析

に不適な地域でありながら、この傾斜地空間を最大限に生かし多種多様な農業を展開しているといえる。剣山系の急峻な傾斜地は、場所により標高、傾斜度、日照量、気候、地勢、地質が異なる。剣山系の農業用語には、[日の地] (日浦)、[蔭地] (影地) があり、地名の残存と合わせ、日照量に応じ作物を選定している。



図 19 剣山系特有の文化となる御堂 (つるぎ町貞光)

(4) 剣山系の歴史と意義

剣山系の「ソラ世界」(高地性傾斜地集落)は、いつ頃より形成され始めたのか。それは、断片的な資料からの検証だが、縄文後期頃の約 3000 年前、原始的な焼畑農耕の時代に遡ると考えられる。その証拠に、剣山系やその周辺域では、縄文後期を中心とする遺物が多数出土する。



図 20 祀られる縄文後期の石棒

剣山系では、約 3000 年に亘る試行錯誤、経験を通し開発された農業技術、発展段階の農法が、地勢に応じ巧みに採用、又は合理的に組み合わせられ傾斜地農業が営まれている。剣山系は、いわば縄文後期頃より始まった農業技術・農法が重層的に採用され組み合わせられた世界的にも貴重な「アグリ・ミュージアム」(生きた農業博物館)なのであり、それ故、多様な農村景観が形成されているのである。

(5) まとめに

剣山系では、傾斜地の土壌流出を防ぐために、主にカヤを施用しながら多種多様な知恵・工夫・技術を凝らし、その上で傾斜地の特性(風土)を最大限

に生かし、標高、傾斜度、日照量、気候、地勢、地質に応じ作物を栽培し、適地適作農業を営んでいるのが、剣山系における傾斜地農業の最大の特徴であり、傾斜地集落そのものが持続可能な農業知識・技術の集合体なのである。

徳島剣山系の伝統農業や農文化の調査研究は開始されたばかりである。剣山系では自然の循環を切ら

ない伝統農業が現在でも維持され機能している。これら農業技術や知恵は、世界各地に技術移転することが可能であり、その思想は持続可能な社会の実現という地球社会の命題に大きな示唆を与えることになるだろう。

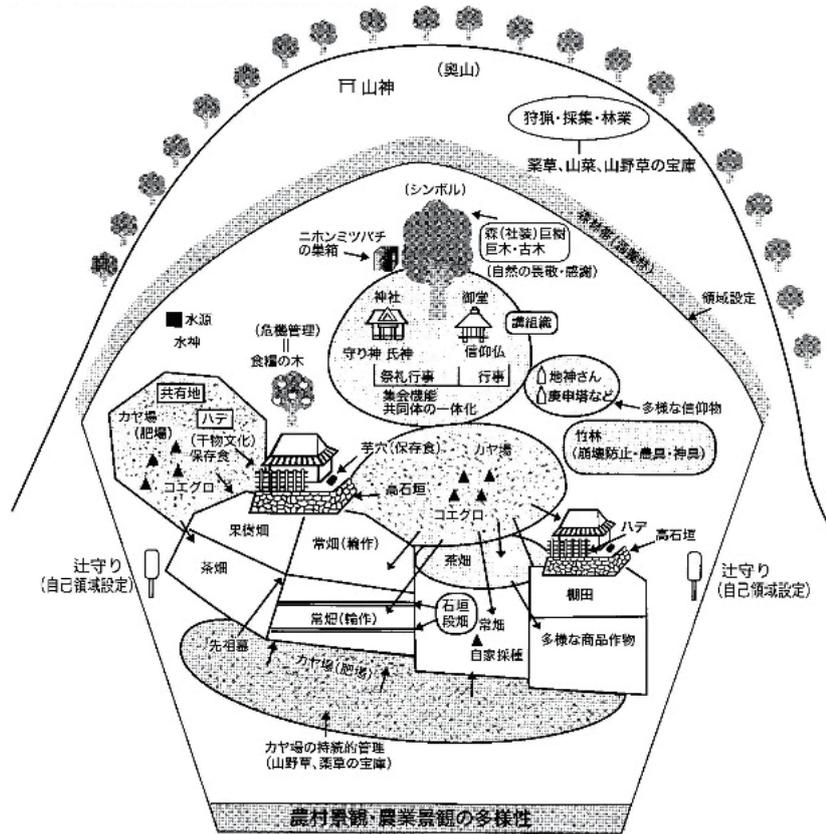


図 21 剣山系の持続可能な傾斜地集落の構造

〈参考文献〉

「剣山系の世界的農業文化遺産」林博章 (2015)

〈図〉

- * 図 6. 徳島の地層
「剣山系の世界的農業文化遺産」林博章 (2015) より
- * 図 7. 西南日本における地すべりの分布
・「日本の地盤・岩盤」小島 圭二 (阪口豊編『日本の自然』1980年をもとに「剣山系の世界的農業文化遺産」林博章 (2015) に掲載したもの
- * 図 9. 剣山系の傾斜地集落の標高差
「剣山系の世界的農業文化遺産」林博章 (2015) より
- * 図 18. 剣山系の傾斜地集落の解析
「剣山系の世界的農業文化遺産」林博章 (2015) より
- * 図 21. 剣山系の持続可能な傾斜地集落の構造
「剣山系の世界的農業文化遺産」林博章 (2015) より

ジオ鉄旅で楽しむ地質と地形

ふじた まさよ いまお けいすけ よこやま しゅんじ かとう ひろのり うえの しょうじ*
 藤田 勝代・今尾 恵介・横山 俊治・加藤 弘徳・上野 将司*

Key Word

ジオ鉄, スイッチバック, アプト式鉄路, 廃線跡, 碓氷峠, 浜堤, 中央構造線, 北アルプス, 糸魚川・静岡構造線, 姫川溪谷, ジオ鉄® Web, アプリ「鉄道地質」

1 はじめに

2009年以來、深田地質研究所を中心に鉄道に精通した地質技術者が集まり、鉄道を利用しながら沿線に広がる自然を楽しむ旅を通して地球の成り立ちと大地の変化に想いを馳せる「ジオ鉄」¹⁾の活動を展開している²⁾。

ジオ鉄では、鉄道を通じて「見る」「触れる」「感じる」ことのできる地質・地形遺産、鉄道と深く関わる文化遺産や鉄道敷設の歴史の魅力を発掘し、沿線に広がる地質・地形や鉄道に関連した見どころ「ジオポイント」を選定して、専門家がわかり易い解説を加えるのが特色である。一般の人から専門家まで知的好奇心をくすぐる鉄道を通したジオツアーの楽しみ方の提案を続けるなか、2023年には活動15年目を迎えた。最新情報や活動については公式ホームページ「ジオ鉄® Web」³⁾で発信しているので興味のある方はぜひ参照願いたい。

2 ジオ鉄の楽しみ方あれこれ

ジオ鉄の楽しみ方にはさまざまなスタイルがあってよい。ここではジオ鉄の旅の始まりに便利な機能満載のアプリ「鉄道地質」を紹介する^{4) 5)}。近年オープンライセンスの各種地図情報のレイヤー表示がWeb上で利用可能であるが、本アプリは当委員の発案が内藤一樹氏によって具現化されたもので、2018年夏、「地質図Navi」(GSJ, AIST)に搭載された機能だ^{4) 5)}。駅名あるいは路線名でルートを検索すると、またたく間にジオ鉄の世界が画面いっぱいに広がる(図1)。ジオ鉄の旅の予習復習のみならず、業務や研究にも汎用可能である。

本稿3章以降では、いくつかの路線区間をピック

アップし、当委員がジオ鉄目線で捉えた沿線ごとに異なるジオ鉄の魅力を紹介していく。各章で登場する駅名(例えば「横川」「西分」「坪尻」「松本」)をアプリで検索し、地形図や地質図と鉄道ルートを見比べながら、まずは本稿を楽しむツールとして活用してもらえたら嬉しい。準備を整えてジオ鉄の旅へ出発だ。(藤田勝代)

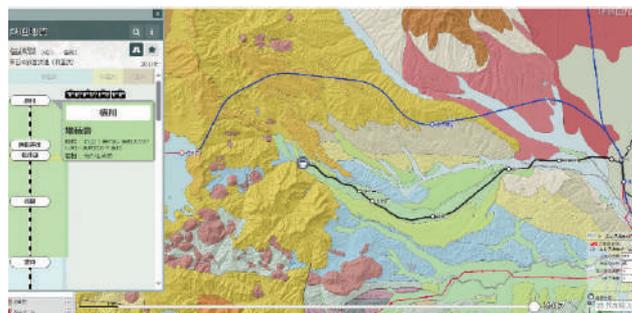


図1 地質図Navi(GSJ,AIST)のアプリ「鉄道地質」は全国の路線に対応^{4) 5)}。上図は3章の駅名「横川」で検索した例。下部の年代軸(1950~2017年)の左右スライドで鉄道ルート変遷の表示も自在。

3 廃線跡を歩いて学ぶ碓氷峠のアプト式鉄路の歴史(旧信越本線, 横川~軽井沢間)

碓氷峠に鉄道が計画されたのは明治初期、東京と京都の「両京」を中山道経由で結ぶ幹線鉄道の経路としてである。その後、この幹線が東海道経由に変更されたため、東京から長野を経て新潟県の直江津(現上越市)までの官営鉄道が通ることとなった。ただし線路を敷くには地形条件がきわめて厳しいため、この山越え方法についていくつかの案が検討されている。

まずはループ線を含む40分の1勾配(25%)で延々と迂回する案、鋼索鉄道(ケーブルカー)を用いる

*公益財団法人深田地質研究所 深田研ジオ鉄普及委員会

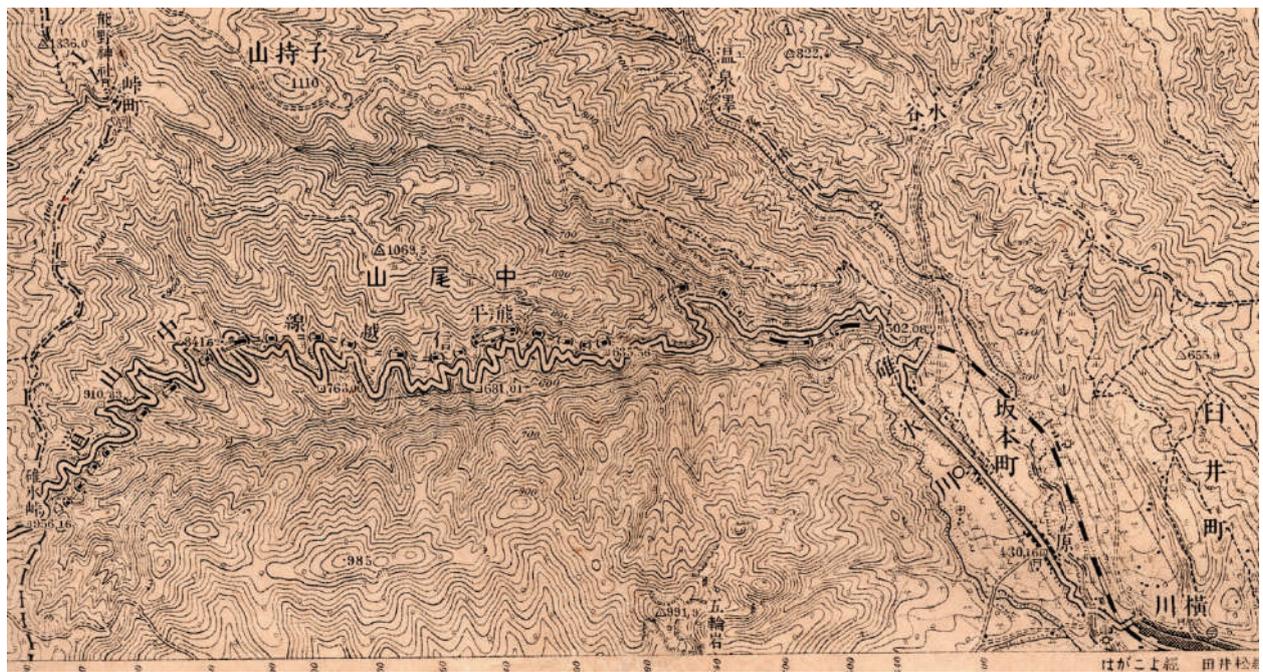


図2 アプト式時代の碓氷線が描かれた地形図。5万分1地形図「軽井沢」大正5年鉄道補入

方式、そして鉄道としては異例に急な15分の1勾配(66.7%)を「アプト式」で結ぶ案だ。検討の結果、工費や工期の面から最後のアプト式が選ばれている。ルートに沿って当時すでに碓氷馬車鉄道が営業しており、これを建設資材の輸送に利用できたのも選定理由のひとつであった。

歯を刻んだ軌条に機関車の歯車を噛み合わせるアプト式はスイスの鉄道技師ローマン・アプトが開発した技術で、これを初めて導入したのがドイツのハルツ鉄道だった。明治19年(1886)に開通して間もないこの鉄道を欧州視察中の仙石貢(後の鉄道大臣)が訪れ、碓氷線への採用を働きかけたのである。

後に信越本線の一部となった碓氷線の横川～軽井沢間は、両者の標高差が552.5mに及ぶ。これを7マイル(=11.27km、開通当時)で結ぶというのだから実に険しい(図2)。このうち5マイル区間がほぼ15分の1勾配で⁶⁾、ここに歯軌条が敷設されることになった。ほぼ中間地点には熊ノ平給水給炭所(後に停車場→信号場)が置かれている。横川～軽井沢間にトンネルは26か所(最長が546m)、碓氷川の支流を跨ぐ拱橋(アーチ橋)が大小14か所架けられた⁷⁾。このうち有名なのが「眼鏡橋」として今も保存されている碓氷第三拱橋である(写真1)。

この区間は明治26年(1893)に開通、東京から日本海側の直江津が直結された意義は大きかったが、さすがに異例の急勾配は輸送のネックとなった。当初のドイツ製アプト式蒸気機関車の平均時速は9kmという遅々たる歩みで、牽引できる貨車両

数にも制限がある。このため新潟県の石油を積んだ貨車の滞留が常態化し、これを解決するために明治39年(1906)に横川～軽井沢間に敷設されたのが国内初のパイプラインであった(大正3年の岩越線〔現磐越西線〕の全通で廃止)。



写真1 横川～軽井沢間で最大の橋梁—碓氷第三拱橋 (平成27年(2015)9月22日撮影)

トンネル内に充満する煙に乗務員や乗客が大いに苦しめられたため、沿線に住み込みの「隧道番」が列車通過後に入口に幕を引くという涙ぐましい作業も行われていたが、これを抜本的に解決するため、同45年(1912)には電化が行われている。これにより従来75分かかった横川～軽井沢間は45分と大幅に短縮、車内環境も大きく改善された。

碓氷峠は地形的に見れば典型的な「片峠」である。

他の新幹線なら長大なトンネルで峠のはるか下を抜けてしまうのが常だが、片峠にはその「得意技」が使えない。このため高崎～軽井沢間の北陸新幹線は、例外的に在来線時代の40.9kmより長い41.8kmの距離をトンネルで迂回しながら結んだ。新幹線でも異例の対応を余儀なくされる、鉄道にとってはとにかく厄介で異例な地形である。

アプト式の線路は戦後の高度成長期に入った昭和38年(1963)、新しい専用電気機関車の補助により歯軌条を必要としない粘着運転となり、70年の歴史を閉じた。線路跡には煉瓦積みのトンネルや橋梁がいくつも残され、現在では区間の半分にあたる横川～眼鏡橋(碓氷第三拱橋)～熊ノ平間が遊歩道として整備されている。横川駅近くに設けられた鉄道博物館の「鉄道文化むら」と併せて、近代鉄道遺産を見学できる遊歩道は人気あるハイキングコースだ。(今尾恵介)

▼4 浜堤の上を走る(土佐くろしお鉄道 ごめん・なはり線、西分～赤野間)

室戸岬から足摺岬まで大きな弧を描く土佐湾。その東海岸沿いの南国市と奈半利町を結んでいるのが「ごめん・なはり線」の愛称で親しまれる土佐くろしお鉄道阿佐線である。

夜須駅を出た奈半利方面行きの列車は、第二手結山トンネルを抜けると、海岸沿いに細長く延びる長さ5km、高さ8～10mの小高い丘の上をさらに高

架で走っている。この丘を浜堤という。

浜堤に沿って長く続いている浜には、円礫や砂からなる砂礫が堆積している。こうした砂礫は、沿岸流と呼ばれる海岸に平行な潮の流れによって運ばれてきたものだ。浜堤の小高い丘をつくっている堆積物も、実は同じ砂礫でできている。通常、沿岸流による波は浜堤の上までは達しないが、台風時には浜堤を越える波が発生する。高波で浜から運び上げられた砂礫によって、徐々に浜堤が高まってゆくのである。

赤野駅の東側で沿岸流の強さを実感できるジオポイントがある。赤野駅を出た奈半利方面行きの列車は赤野川を鉄橋で渡る。低地の東端を流れる赤野川の流路は、鉄橋のすぐ下流で急に左(東)へと曲がり、その先で四万十帯北帯の枕状溶岩の崖にぶつくと右(南)に曲がって、そこからは浜を突き切って海へ出る(写真2)。河口付近の流路の曲がり、強い沿岸流によって浜が西から東へと成長する過程で、赤野川が徐々に東へ押しやられたことを示している。

自然のままにしておくと、やがて川の出口が砂礫によってふさがれてしまうため、現在、河口付近の流路は堤防によって西側(右岸)が固定されている。

今度は、浜堤を挟んで反対側の低地を見てみよう。低地を流れる多くの河川は流路を浜堤に遮られて、浜堤に平行して流れる。地下水の流れもまた浜堤に遮られている。そのため、低地側の土地は地下水位が高く、地盤が軟弱だ。また、大雨時には浸水の危



写真2 赤野川の流路を湾曲させている浜堤

険性が高い。津波は確実に赤野川を遡上して低地に流れ込んでくる。津波は浜堤を越えることも想定されるが、浜堤の上は地震時の液状化の発生頻度も低い。したがって今日では多くの民家が浜堤の上か、海とは反対側の浜堤斜面に建っているのは賢明である。

低地も現在では用水路が整備されて地盤改良が行われ、生産性の高い農地として生まれ変わっている。たくさんのビニールハウスが建ち並び、野菜やブタンのハウス栽培が行われるようになった。長年の間に培った自然と共生する土地利用の工夫が、沿線の暮らしの風景になっている。(横山俊治)

5 鉄道施設で知るジオの難所
—中央構造線を越える—
(JR 土讃線、坪尻～阿波池田間)

徳島県と香川県の県境をなす讃岐山脈は、我が国を代表する活断層の一つ、中央構造線の影響で隆起し続けている。吉野川やその支流の流れが隆起する山を絶え間なく侵食することで、地形は急峻になっている。

徳島県三好市の阿波池田駅（標高約 116.3m）は、東へ流れる吉野川の南岸に広がる段丘上に位置する。ここから香川県方面に向かう土讃線は、吉野川北岸にそびえる讃岐山脈を越えるため、猪ノ鼻峠（標高 550m）付近に設けた猪鼻トンネルを（3,845.1m）目指す（図 3）。

鉄道は自動車に比べて勾配に弱く、20%以上が連続すると難所と言われることが多い。土讃線は山脈の南側斜面を流下する鮎苦谷川（あいくるしだにがわ）の谷を足掛かりとして斜面を登っていくが、この谷も活断層の影響で急峻な V 字を描き、勾配に弱い鉄道の線路が真っ向から進入してくるのを阻んでいる。

これに対して阿波池田駅を出た上り列車は、吉野川の対岸に鮎苦谷川の出口を望みながら、吉野川南岸の概ね平坦な段丘上を約 5km 東へ走る。佃駅で徳島線と別れ吉野川橋梁（571.2m）で同川の左岸に渡り、讃岐山脈南麓にようやく取りつくと、針路を西にとりながら緩斜面を伝って徐々に高度を上げ、鮎苦谷川の谷出口にたどり着く。「回り道」により標高を稼いだ格好だ。

ここから線路は鮎苦谷川の側壁斜面を頼りに、最大 25%の連続勾配をひたすら上る。途中の坪尻駅は鮎苦谷川の谷底に開設された小駅で、駅前には家ひとつ無く秘境の駅と呼ばれている。この駅の周辺では、急峻な山間部を通過するために二つの策が大正期に考案された。

一つはスイッチバックの採用である。その昔、機関車が客車や貨物列車をけん引していた時代、列車は急勾配の途中で一旦停車すると、その性能上、再発進することが困難であった。そこで、駅で停車した列車がいったん平地でバックし、助走を付けるようにして登る手法がスイッチバックだ。坪尻駅（昭和 25 年までは坪尻信号場）の場合は、勾配を有す

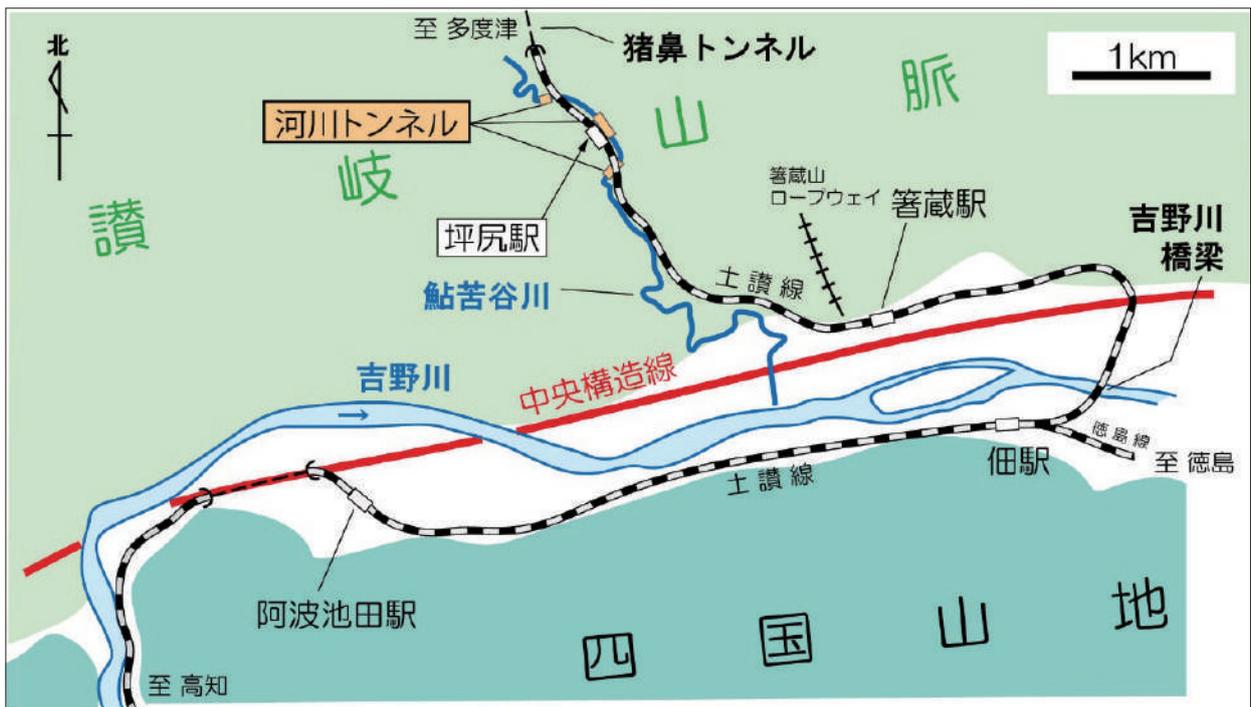


図 3 阿波池田～坪尻駅付近の線路配置見取図

る直線的な本線に対して、X字状に交差する水平な引上線が設置され、駅ホームは一方の引上線に配置された。

北へ向かう上り普通列車の動きを例にとると、急勾配を上ってきた列車は、進行方向左手に分岐する引上線に進入して駅に入る。列車が駅を発車するときには一旦後戻りし、本線を挟んで対称の位置に敷設された反対側の引上線に入る。列車はそこから水平な引上線を一気に加速して本線に合流し、再び連続勾配に挑んでいく。

もう一つの策は、鮎苦谷川の移設である。坪尻駅の前では地形があまりに急峻で、線路を通すのに十分な土地がなかった。そこで川の流れを3か所で人工河川トンネル内へ移設し、谷底の跡地に盛り土を施して線路の用地を確保した(写真3)。一部の河川トンネルは車窓からも見ることができる。

山地が隆起する速さは人間の目に見えないが、この地域では地形の急峻さがその運動を物語っている。また、現在のように長大なトンネルや橋を造る技術がなかった時代、山地の多い我が国では難所を克服するために鉄道技術者が古くから様々な知恵を絞ってきた。ジオ鉄目線で鉄道をみると、このような発見ができる面白さがある。(加藤弘徳)



写真3 坪尻駅と移設河川を俯瞰する

6 北アルプスの大展望の楽しみと土砂災害多発地帯姫川渓谷 (JR大糸線、松本～糸魚川間)

山岳都市の長野県松本市と日本海に面する新潟県糸魚川市を結ぶJR大糸線は全長105.4kmのローカル線であり、そのルートは日本列島を東西に分断する糸魚川・静岡構造線沿いの盆地や谷筋を通る。



写真4 北アルプス山麓の大町付近を走行する列車

松本駅から白馬村の信濃森上駅の区間は、車窓の左手(西側)に北アルプスの山々が連なる絶景区間であり、途中の大町市と白馬村の境では仁科三湖と呼ばれる大小3つの美しい湖の眺めを楽しめる(写真4)。これらの湖は南側から扇状地堆積物で河道が閉塞されて生じた木崎湖、小崩壊で河道が閉塞されて生じたと考えられる中綱湖、大規模な斜面崩壊で姫川源流部の河道が閉塞されて生じた青木湖である。青木湖形成前の流域の水は姫川として日本海へ向かって北流していたが、青木湖形成後の流域の水は青木湖に流入した後に姫川とは反対の南側に流出することになった。青木湖を形成した斜面崩壊によって分水界が少し北に移動したわけで、南北に延びる糸魚川・静岡構造線沿いの谷間を進む列車はこの谷中分水界を越えていく。

谷中分水界を越えて白馬村に入ると車窓左手には五龍岳や白馬岳などの山々と大規模なスキー場が開発する。スキー場はマスマーブメントによって形成された緩急の変化のある斜面に開発されている。スキー場のロープウェイやリフトは初夏～秋期には登山客で賑い、ほぼ通年運転されている。さらに、標高700m以上に位置する白馬村は夏も涼しいため、別荘地の開発が進みリゾート地としての整備がすすんでいる。

信濃森上駅から糸魚川市の根地駅までの区間は糸魚川・静岡構造線沿いの谷間になり、姫川が急流になって激しく両岸を侵食するため、斜面崩壊や地すべりの多発区間である。1995(平成7)年7月の豪雨では土砂災害に加えて姫川にかかる鉄道と道路の



写真5 稗田山の崩壊をバックに来馬河原を行く列車

橋梁が流失したため、鉄道の復旧には約2年後の1997（平成9）年11月までかかった。大災害にも拘わらず復旧できたのは1998（平成10）年2月の長野オリンピックのためであった。

白馬大池～千国駅間では、1714（正徳4）年の地震によって姫川右岸斜面で発生した岩戸山崩壊の末端を通るので、車窓左手に姫川河床に点在する凝灰角礫岩の巨礫を確認できる。

中土～北小谷駅間では、1911（明治44）年8月豪雨の際に、姫川左岸の浦川で発生した稗田山の崩壊土砂が大量に流出して姫川本流を埋積した来馬河原を通る。車窓左手には稗田山崩壊の末端が望まれる（写真5）。

北小谷～平岩駅間には、500年前の地震で姫川右岸斜面が崩壊して姫川を堰き止めた厚さ100m以上の堆積物が左岸側に残っている。列車が大糸線最長の真名板山トンネル（3152m）を出た直後、左手後方にこの堆積物を見ることができる。

平岩～根知駅間の姫川は峡谷になり、トンネルや洞門の連続で車窓展望はわずかだが姫川の急流を確認できる。小滝駅の下流には蛇紋岩の地すべり地があり、左岸に合流する小滝川流域にはヒスイが分布する。ヒスイは地下深部から蛇紋岩と共に運ばれてきたものなのだ。

根地駅付近から平野に出た姫川の河床勾配は緩くなるとはいえ、河口までヒスイなどの礫を大量に運ぶ急流河川である。（上野将司）

〈参考文献〉

- 1) 加藤弘徳, 藤田勝代, 横山俊治:「ジオ鉄を楽しむ - 鉄道車窓からのジオツアーの提案 (1. JR 四国・土讃線)」, 「月刊地球」, Vol.31, No.8, pp.445-454, 2009
- 2) 藤田勝代:「ジオ鉄の取組み (2013-2021 年の活動記録) - 深田研ジオ鉄普及委員会設立後のあゆみ」, 「深田地質研究所年報」, No.22, pp.165-184, 2021
- 3) ジオ鉄® Web (深田研ジオ鉄普及委員会): トップページ (最新情報, ジオ鉄とは, 活動内容ほか)
<https://fukadaken.or.jp/geo-tetsu/> (2023年9月22日現在)
- 4) 内藤一樹:「地質で鉄道をもっと楽しくするアプリ『鉄道地質』の紹介」, 「GSJ 地質ニュース」, Vol.8, No.2, pp.51-54, 2019
- 5) ジオ鉄® Web (深田研ジオ鉄普及委員会): ジオ鉄が捗るアプリ『鉄道地質』のご紹介
<https://fukadaken.or.jp/geo-tetsu/?p=1906>
(2023年9月22日現在)
- 6) 日本国有鉄道:「日本国有鉄道百年史」, 第2巻, 交通協会, 1970
- 7) 帝國鉄道協會:「帝國鉄道協會會報」, 第9巻, 第5号, 1908.10

ジオツアーリズム協会の取組み

ふくしま だいすけ*
福島 大輔*

K
ey Word

ジオツアーリズム, オンラインツアー, インタープリテーション,
ガイド養成, TORE 理論

1 はじめに

ジオパークとは、地球科学的意義のあるサイトや景観が、①保護、②教育、③持続可能な開発のすべてを含んだ総合的な考え方によって管理された、1つにまとまったエリアである¹⁾。これらの3つの活動はバラバラに取り組まれることが多いが、本来はそれぞれの活動においても3つの関連性を総合的に意識して取り組むことが理想である。

ジオツアーリズムは、これら3つの活動を総合的に含んだ取り組みであり、ジオパーク活動の中で最も重要な取り組みの一つと言える。ジオツアーリズムという旅行商品を開発・提供することは「持続可能な開発」であり、その中で伝えるメッセージは地球を守りたくなる気持ちを育てる「教育」でもあり、その結果として地球を守る行動を促すことができれば「保護」することができる。

日本ジオツアーリズム協会は、ジオパークの理念に共感した全国のジオガイドが中心となって立ち上げた任意団体であり、その目的は以下の通りジオパークの理念とも一致する。

日本ジオツアーリズム協会のミッション²⁾：私たちは、大地と人と自然の「つながり」を感じ、楽しみながら学べるジオツアーリズムを実践し、地球遺産を保全したくなる気持ちを広めます。また、ガイドの養成や講師の派遣、ジオパーク活動のアドバイス、サポートなどを通じて、質の高いジオツアーリズムの普及を目指します。

本稿では、日本ジオツアーリズム協会の設立の経緯とこれまでの活動内容について紹介する。

2 日本ジオツアーリズム協会設立の経緯

日本ジオツアーリズム協会は2021年6月に設立した任意団体である。

設立のきっかけは、ジオパークオンライン&ガイド勉強会というオンラインツアーとセミナーを組み合わせたイベントを開催するにあたり、主催団体としてそれにふさわしい団体名で実施しようというものだった。

もともとこのイベントは、Geo-Bizというジオガイドを中心としたグループが企画したものである。Geo-Bizの設立は2018年の6月で、プロのガイド同士での交流や情報交換を行い、互いを高め合うことでビジネスとしてガイド業が成り立つことを目指して活動を続けていた(図1)。



図1 Geo-Bizでのガイド交流の様子

Geo-Bizの活動を進めていく中で、多様なメンバーが持つスキルを集めれば、ガイド養成講座や旅行商品の販売などができることを確信し、団体名を日本ジオツアーリズム協会と改め、試験的にセミナーを実施しようと企画を進めていた。しかし、2020年か

*日本ジオツアーリズム協会・会長, NPO 法人桜島ミュージアム・理事長

らのコロナ禍において、グループの活動はおろか、それぞれの仕事も停滞してしまった。

この状況を打破しようとオンラインで話し合いを進める中で出て来たアイデアがジオパークオンライン&ガイド勉強会である。これまで実際にジオパークを訪れ、現地のガイドさんのプログラムを体験し、ガイド同士の交流と情報交換をしていたイベントをオンラインで実施しようという発想の転換である。

このジオパークオンライン&ガイド勉強会をきっかけに、日本ジオツーリズム協会が正式に発足し、その後の様々な活動につながっている。

3 ジオパークオンライン&ガイド勉強会

ジオパークオンライン&ガイド勉強会は、全国で活躍するジオガイドがオンラインツアーを行う第1部（参加費 1,000 円）と、そのオンラインツアーの内容について TORE 理論³⁾をベースにガイド同士でグループディスカッションを行う第2部（参加費 1,000 円）の2部構成で実施した。TORE 理論とは、インタープリテーションの分野で体系化された理論であり、T (Thematic) テーマがある、O (Organized) 分かりやすい構成、R (Relevant) 聞いている人に関連がある、E (Enjoyable) 楽しめる、の4つの要素が伝わる技術として重要であることを提唱したものである（図2）。

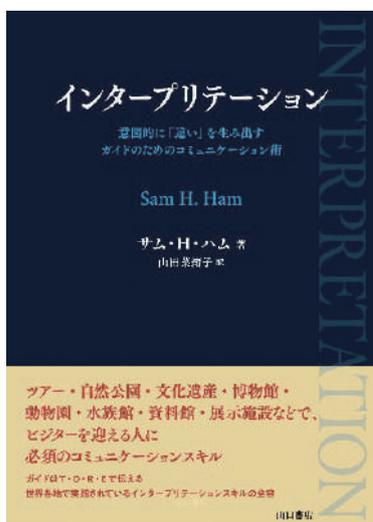


図2 TORE 理論がまとめられている書籍『インタープリテーション』

このジオパークオンライン&ガイド勉強会は、2021年7月から毎月1回開催し、2022年6月まで全12回を実施した。プレイベントとして無料で行ったものも含めると合計1528人が参加し、100万円以上の売り上げとなった。オンラインツアーであってもやり方次第では1500人以上の集客が可能であ

ることが分かった。また、オンラインツアーで毎月100人ずつ集まったことは、数あるオンラインツアーの中でも珍しく、大変良い結果が残せた（図3）。

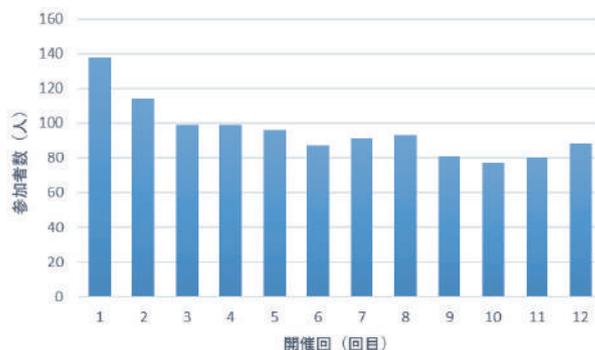


図3 オンラインツアーの参加者数

このように集客が成功した背景には、コロナ禍でオンラインの需要が増えたことに加えて、その企画や集客を世界仮想旅行社と連携して行ったことがある。

世界仮想旅行社は、世界中にその国を語れる日本人のネットワークを持っており、また音楽や美術、自然科学などの専門家とのつながりも持っていた。本物を語るゲストを招き、良質なオンラインツアーを毎週のように行うことで、好奇心が強い旅人を中心にフォロワーを増やしていった。ゲストのフォロワーがそのまま世界仮想旅行社のフォロワーになることもあり、みるみるフォロワーが増え、現在は約1万人となっている。本物を語るゲスト(ガイド)と好奇心の強い顧客とのマッチングはジオツーリズムとも通じるものがあり、世界仮想旅行社との連携は日本のジオツーリズムの発展に欠かせないものとなった。

このジオパークオンライン&ガイド勉強会の成果は、オンラインツアーの実績だけでなく、実はオンラインツアーを担当したガイドの著しい成長の方が大きな成果であった。従来、ガイドは個人でプログラムをつくり、個人で運営し、個人でツアーを実施することが多い。このため他者から客観的なフィードバックを受ける機会が少なく、どうしても自己流のガイドになることが多い。しかし、今回の企画では、オンラインツアーをつくるにあたって前後のオンラインツアーを担当するガイドや運営スタッフなどが集まり、内容に関するフィードバックを何度も行って磨き上げを行った。その結果、最初に本人が企画したプログラム内容と本番の内容は大きく変わり、格段に良いものとなっていった。もともと本番後の勉強会（グループディスカッション）を学習の

場として企画していたが、最も学びが多かったのはガイドを担当した本人であった。ガイド自身が深い学びを得られたのは、フィードバックを受ける際に客観的な指標である TORE 理論があったためと思われる。フィードバックが単なる個人的な感想ではなく、理論に基づいているからこそ客観的なフィードバックとして素直に受け取ることができたのだろう。

このように、TORE 理論をベースにつくられた質の高いオンラインツアーを繰り返すことで、日本のジオツーリズムの全体の質の底上げに貢献してきた。また、この経験を次に引き継ぐために第2期を2022年11月から12回シリーズで開催している。アフターコロナとも言える状態になった現在、オンラインの需要が減ってはいるものの、第1期の8～9割ほどの集客ができています。他のオンラインツアーはブームが去り、参加者が激減している中でかなり健闘している。

▼4 ジオガイド養成講座

ジオパークの理念やジオツーリズム協会のミッションに従ってガイドを行うためには、地球遺産を保全したくなるメッセージをしっかりと伝える必要がある。しかし、伝えることに力が入り過ぎると教育的要素が強くなり、ジオツーリズムは難しい、面白くないと思われてしまう。一方、楽しませることに力が入り過ぎると単なる観光や体験のみになってしまい、本来のミッションから外れてしまう。ジオツーリズムを成功させるためには、「伝える」と「楽しい」を両立させる必要がある。両者をバランスよく組み合わせるためには、インタープリテーションの技術を活用し、「強力なテーマを持ち、内容に簡単についていくことができ、聞いている人にとって重要であり、理解するのが楽しい」²⁾ プログラムにすることが重要であろう。

そこで、日本ジオツーリズム協会では2019年より全国のジオパークでのガイド研修会等において、インタープリテーションに必要な4つの要素(TORE)を理解してもらうための研修を行ってきた(図4)。これまでに15地域のジオパークで20回以上の講座を行っている。以下に各地での実績を示す。

【2019年】

三好ジオパーク構想 ガイド養成講座
 関東ブロック大会ガイド分科会(伊豆大島 GP)
 中部ブロック大会ガイド研修(佐渡 GP)
 立山黒部ジオパーク ガイドスキルアップ講座

筑波山地域ジオパーク ガイド養成講座
 桜島・錦江湾ジオパーク スキルアップ講座

【2021年】

室戸ユネスコジオパーク ガイド養成講座
 三好ジオパーク構想 ガイド養成講座特別講義
 伊豆大島ジオパーク ガイド養成講座
 白山手取川ジオパーク ガイドスキルアップ講座
 山陰海岸ジオパーク ガイドスキルアップ講座
 桜島・錦江湾ジオパーク スキルアップ講座

【2022年】

島根半島・宍道湖中海ジオパークガイド養成講座
 立山黒部ジオパーク ガイド養成講座
 讃岐ジオパーク構想 ガイド養成講座
 Mine 秋吉台ジオパーク ガイド養成講座
 蔵王ジオパーク ガイド養成講座
 土佐清水ジオパーク ガイド養成講座
 桜島・錦江湾ジオパーク スキルアップ講座

【2023年】

室戸ジオパーク ガイドスキルアップ講座
 山陰海岸ジオパーク ガイドスキルアップ講座
 桜島・錦江湾ジオパーク ガイド養成講座



図4 ガイド研修会の様子

今後もインタープリテーションと TORE 理論の普及に努め、質の高いジオツーリズムが全国で当たり前前に楽しめる状況を目指していく。

▼5 ジオ酒場(オンラインサロン)

日本ジオツーリズム協会では、ジオツーリズムやジオパークという枠にとらわれず、その理念やミッションに従う取組であれば様々なチャレンジをしていく方針である。その一つとして気軽にジオパーク

を楽しむことのできるオンラインサロンとして「ジオ酒場」というイベントを不定期で開催している。

ジオ酒場のコンセプト：ジオパークのことや、大地と人と自然の「つながり」について、オンラインでゆる〜く語る「ジオ酒場」。ジオ好き人間が集まって酒場でマニアックに語ったり、その様子を近くの席で聞き耳を立てる（のぞき見する）イメージです。ジオ好き人間が好き勝手にしゃべるだけなので、参加者（聞き耳を立てている人）を楽しませるつもりは全くありません（笑）シナリオなしのぶっつけ本番、思いついたことをそのまましゃべるので、たぶんグダグダになります。酒場なので、参加者が「からまれる」こともありますし（急に話を振られるとかw）、参加者の方から「からんでみる」のもアリです。

これまでに開催したテーマは以下の通り。

- 第1回 ジオパークって何？
- 第2回 日本ジオツーリズム協会設立！？
- 第3回 ジオパーク・オンラインのふりかえり
- 第4回 緊急企画「桜島の噴火警戒レベル5ってどういうこと？」
- 第5回 おいしくて面白いジオ菓子の世界

その時の旬の話題やリスナーからの要望に応じてテーマを設定し、各回40名程度の参加者が集まっている（図5）。ジオパークに関連した新しいコミュニティとしての成長が期待される。



図5 ジオ酒場の様子

6 今後の展望

今後もジオパークオンライン、ガイド養成講座、ジオ酒場を継続していく予定だが、その他にも新たなチャレンジを模索している。

一つは、オンラインツアーとリアルツアーをつなげる企画。ジオツーリズムの醍醐味はやはり現地で本物を見ながら、その背景に隠されたストーリーを

紐解き、目の前の景色を何倍も楽しむことにある。リアルで楽しめる質の高いジオツアーを集め、その動機付けの一つとしてオンラインツアーや動画コンテンツを使い、旅行社とも連携しながらリアルツアーへつなげていきたい。

また、インタープリテーションの技術、特にTORE理論の普及に関しては、理論を伝えるだけでは習得が難しいことから、いくつかの使いやすいパターンや「型」のようなものを用意できないかと考えている。数多くの「型」ができれば、比較的容易にTOREの応用ができるようになり、質の高いジオツアーを行えるガイドが増えるだろう。

日本ジオツーリズム協会は、これからも大地と人と自然の「つながり」を感じ、楽しみながら学べるジオツーリズムを実践し、地球遺産を保全したくなる気持ちを広めていくための様々な活動を実践していく予定である。

〈参考文献〉

- 1) 特定非営利活動法人日本ジオパークネットワーク：ジオパークとは
<https://geopark.jp/geopark/about/>（2023年10月1日現在）
- 2) 日本ジオツーリズム協会：日本ジオツーリズム協会とは
<https://note.com/geotourism/n/n2cd5d4d35297>
（2023年10月1日現在）
- 3) Sam H. Ham 著・山田菜緒子訳：「インタープリテーション 意図的に「違い」を生み出すガイドのためのコミュニケーション術」、山口書店、2023

ダム地質カード

わたたに ひろゆき*
綿谷 博之*

K
ey Word

ダム地質カード, ダム基礎掘削面, アウトリーチ, ダム地質カードの部屋,
堆積岩, 付加体, 火山岩, 深成岩, 変成岩

1 はじめに

市民生活を支えるダムやトンネルなどの土木構造物は、近年、インフラツーリズム等が注目されるなど、施設や機能に対する一般市民の理解が進みつつある。一方、土木構造物においてその基礎となる地質が非常に重要であることはあまり知られていない。また、小・中・高校など、初等・中等教育でそのような事を教育する機会は極めて少なく、市民生活や社会における地質の重要性に関する理解が深まっていないことが現状である。

そのような中、(一社)日本応用地質学会土木地質研究部会では、地質の魅力とともに、市民生活を支える土木建設事業にとって地質が如何に重要に関わっているか、また地盤が抱える諸問題に対し地質学を応用して解決する土木地質学が如何に重要であるかを一般の方に広く理解してもらうアイテム・コンテンツの一つとして、ダムと地質の関係をわかりやすく一枚のカードに盛り込んだ「ダム地質カード」を作成した。

ダム建設においては、基礎となる掘削面の詳細な地質観察記録をスケッチとして残している。ダムの型式は地形や足元の地質状況に応じて決まっており、基礎掘削面の形状にもそのことが表れている。そこで、すでに全国的で配布され、一般の方にも普及していた「ダムカード」にヒントを得て、ダム基礎掘削面のスケッチを載せたカードを作成することで、地質とダム建設との関わりを一般の方に知ってもらうと考案した。

なお「ダムカード」はダムマニアが発案したものを国土交通省の三橋さゆりさん(元:国土交通省水資源部長)が国土交通省内で企画し実現したもので、現在では、全国的なブームとなるなど、ダムを身近

に感じさせるコンテンツとなっている。

「3. ダム地質カードの内容」でも述べるが、「ダム地質カード」の表側にはダム基礎掘削面のスケッチを、裏側にはダム施設の概要、ダムサイトの地質構成などの地質情報およびそのサイト特有のサイト特性・地質特性を示している。地質名などは一般市民にとって少し難しいかもしれないが、ダム施設などで基礎岩盤の岩石を展示したり、施設周辺の露頭を見ることで少しでもイメージしてくれることを期待している。

ダム地質カードの作成は、国土交通省東北地方整備局の津軽ダムから着手し、国土交通省各地方整備局および北海道開発局、内閣府沖縄総合事務局、(独)水資源機構、各地方公共団体の協力を得ながら、現在までに12ダムのダム地質カードをそれぞれ数千枚作成している。

作成した「ダム地質カード」は、(一社)日本応用地質学会事務局の他、各ダムの事業所・管理所にて配布している(但し、枚数に制限があるため、現在は配布終了となっている可能性がある)。また、カードにはQRコードがあり、学会ホームページ(以下HPと称する)、ならびにダムの管理事務所にアクセスできるようになっている。

本稿では、ダム地質カードを少し掘り下げて紹介させて頂き、興味を持った読者が学会HPに掲載している「ダム地質カード」¹⁾にアクセスして頂けることに期待している。

2 対象ダムの選定

前述したとおり、現在までに12ダムのダム地質カードを作成している。

*株式会社 建設技術研究所 (一般社団法人日本応用地質学会土木研究部会副部長兼ダムワーキング長)

12ダムの選定は、堆積岩（正常堆積物）、付加体、火山岩、深成岩、変成岩といった地質体（地質タイプ）、地域性および地質的な課題に対する工夫がわかりやすい等の視点で選定した。

以下に12ダムの選定理由を述べる。また、12ダム分のダム地質カードの表側（ダム基礎掘削面スケッチ掲載面）を図1に示した。さらに津軽ダムおよび栂川ダムの表面と裏面の原寸大を図2に示した。

(1) 津軽ダム

既設ダムである目屋ダムの直下流に建設された再開発ダムである。地質は世界的にも有名な「黒鉱」を産出する東北日本のグリーンタフ地域に属し、東北日本の代表的な地質からなるダムである。ダム基礎にはグリーンタフ特有の火山岩類や火砕岩類が複雑に分布する。また、低角度割れ目（弱層）が分布する。このため、綿密に弱層の分布や強度を調査し、これを考慮した堤体設計を行った。また、施工時にも掘削除去やコンクリート置き換えなどにより堤体の安定性を確保した。重力式コンクリートダムにおける低角度弱層への対応の重要性を示すダムの代表例である。

(2) 新桂沢ダム

既設ダムである桂沢ダムを「同軸かさ上げ」して建設されている再開発ダムである。基礎岩盤は、アンモナイトが産出することで有名な中部エゾ層群・三笠層と上部エゾ層群・下部層という北海道の代表的な地質からなる。同軸かさ上げであり既設ダム下の地質を直接確認できないため、ボーリング調査のほか既設ダム建設時の掘削面の写真なども活用して岩盤性状を推定し、直接観察できるダム直下流の新堤体基礎の地質と比較することで地質や岩級区分を推定した。さらに既設ダム下の岩級はさらに設計上安全側にランクを落として設計・建設している。同軸かさ上げダムにおける地質調査の代表例である。

(3) 浅瀬石川ダム

本ダムは東北地方に多いグリーンタフの新第三紀～第四紀の凝灰岩や火山岩を基礎とし、ダム基礎主部は硬質な凝灰角礫岩等を主とするが、右岸高標高部のごく一部で、不整合により軟質な凝灰岩や石英安山岩等を基礎とする。しかし、このわずかに分布する軟質層により、ダムの位置やダム形式、止水工法等の重要な部分が決定された。ダムサイト選定・設計等における広域的な地質調査、地質総合解析の重要性を示すダムの代表例である。

(4) 浦山ダム

秩父帯のチャート・砂岩などからなる。秩父帯の名称に由来する埼玉県秩父市に位置する、関東を代表する地質からなるダムである。左岸側の一部に低角度クラックが分布し、堤体の安定性を評価するため、低角度クラックの強度把握を目的とした特殊なせん断試験を実施し、それを踏まえた設計を行い対応したダムの代表例である。

(5) 徳山ダム

総貯水容量6億6千 m^3 という日本一の貯水容量を誇るダムである。基礎岩盤は中古生層の美濃帯に属するジュラ紀付加体の輝緑凝灰岩（緑色岩）・チャート・粘板岩よりなる。粘板岩は主に洪水吐き越流部付近に分布し、チャートや輝緑凝灰岩、石灰岩、砂岩の礫または岩塊を多く取り込んだ複雑な混在岩である。石と土で造られたロックフィルダム型式のダムであり、コア敷・フィルタ敷については、不等沈下や過度な応力集中が生じないようにするため、確実に着岩させている。一方、ロック敷に広く分布する現河床堆積物（最大10mの深さ、幅50～100m）については、現場および室内試験の結果、ロック材料と同等のせん断強度が得られることが確認できたため、掘削除去せず、ロック敷の基礎として対応したものであり、地質調査がダム建設の効率性に寄与したことを示すダムの代表例である。

(6) 日吉ダム

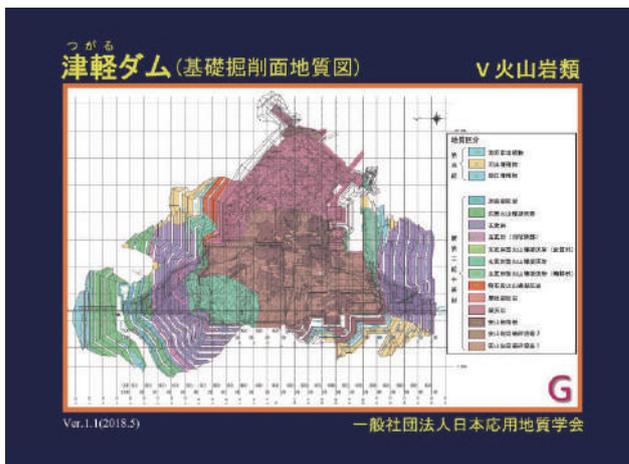
基礎岩盤は中古生層の丹波帯の輝緑凝灰岩（緑色岩）・チャートよりなる。塊状および片状の輝緑凝灰岩が複雑に分布する付加体特有の地質構造を有するダムである。堤高に対して、基礎岩盤の設計せん断強度が相対的に小さいため、堤体上流面勾配を下流面勾配と同じにしてフィレットを取り付けて設計・対応した。基礎岩盤の強度と堤体設計（堤体形状）の関係を示すダムの代表例である。

(7) 尾原ダム

山陰地方に多く分布する花崗岩類を基礎岩盤とする代表的な重力式ダムである。調査時に花崗岩類特有の厚い風化帯（マサ化）の存在や変質帯の存在が確認され、建設時において掘削線の対応や堤体形状等の工夫により克服した。花崗岩の風化・変質などからなる地質性状と堤体形状が密接に関連していることを示すダムの代表例である。



図1 12 ダムのダム地質カード (表側)



(表)

DAM・GEO-DATA

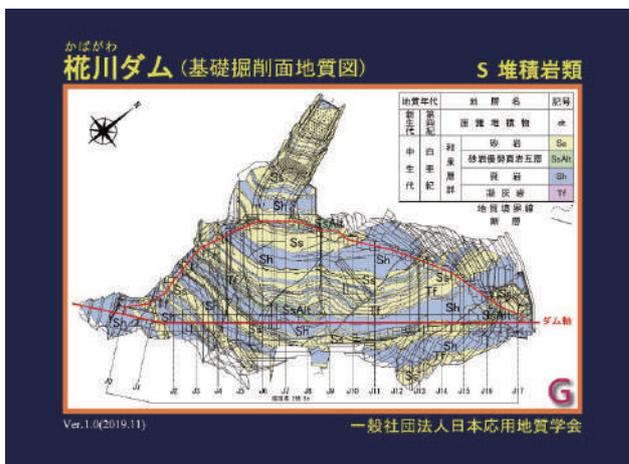
所在地: 青森県中津軽郡西目屋村
 河川名: 岩木川水系岩木川
 型式: 重力式コンクリートダム
 堤高・堤頂長: 97.2m・約342m
 基礎の地質: 新第三紀中新世安山岩・安山岩自砕砕落岩
 凝灰岩・玄武岩・泥質凝灰岩類など
 管理者: 国土交通省 東北地方整備局
 本体着工/完成年: 2008/2016年完成

地質情報
 ダムサイトは、東北日本グリーンタフ地域に位置し、新生代新第三紀中新世の藤倉川層と黒石沢層を基礎岩盤とする。藤倉川層は、安山岩溶岩と安山岩自砕砕落岩からなり、これらを凝灰岩類、玄武岩質火山凝灰岩、玄武岩、泥質凝灰岩類からなる黒石沢層が覆っている。

こだわり技術
 ・既設目屋ダム(堤高58m)の62.8m下流に築造された再開発ダムであり、右岸直上流に木戸ヶ沢貯水池保全施設も建設されている。
 ・硬質な安山岩や玄武岩の溶岩と軟質な凝灰岩が分布する複雑な地質であり、左右岸には下流傾斜の低角度割れ目が分布し、掘削除去やコンクリート置き換えにより、堤体の安定性を確保している。

このカードは国土交通省東北地方整備局岩木川ダム総合管理事務所のご協力、承認を受け、一般社団法人日本応用地質学会土木地質研究会で作成したものである。

(裏)



(表)

DAM・GEO-DATA

所在地: 香川県高松市塩江町
 河川名: 香東川水系 栂川
 型式: 重力式コンクリートダム
 堤高・堤頂長: 88.5m・265.5m
 基礎の地質: 白亜紀 和泉層群 (砂岩頁岩の互層)
 管理者: 香川県
 本体着工/完成年: 2014/2020年(予定)

地質情報
 ダムサイトの地質は白亜紀の和泉層群であり、四国西部から紀伊半島にかけて中央構造線に沿って分布する。灰色の砂岩と黒色の頁岩からなる互層が特徴であり、リズムカルな縞模様美しい(上写真)。

こだわり技術
 ダムサイトの地層は左岸側に傾斜し、左岸(受け盤)と右岸(流れ盤)で風化の深さなどの岩盤状態が異なるため、その違いに留意して基礎掘削線などを決定している。

このカードは香川県高松土木事務所栂川ダム建設事務所のご協力、承認を受け、一般社団法人日本応用地質学会土木地質研究会で作成したものである。

(裏)

図2 津軽ダムと栂川ダムの原寸大ダム地質カード

(8) 平瀬ダム

基礎岩盤の地質は、変成岩の一種で中国地方から九州北部にかけて分布する中生代三畳紀の三郡変成岩(周防変成岩)を主体とし、左岸上部には古生代ペルム紀の錦層群が分布する。三郡変成岩中の泥質片岩は短い割れ目が主体で透水性が低いのにに対し、塩基性片岩は連続する高角度の割れ目により高透水性を示すため、ダム基礎の止水は注入孔を斜めにして効率性を高めた。地質と透水性、止水設計の関係性を示すダムの代表例である。

(9) 栂川ダム

近畿・四国に特徴的に分布する和泉層群の砂岩と頁岩が整然と美しく互層する堆積岩(正常堆積物)の代表例である。左岸は「受け盤」、右岸は「流れ盤」となっており、これにより風化の厚さなどの岩盤性状が異なるため、このような地質構造に配慮して基礎掘削面などの決定を行っている。地質構造が基礎の掘削などに影響することを示すダムの代表例である。

(10) 大山ダム

基礎岩盤は北部九州特有の新第三紀火山岩類からなり、安山岩と自破砕安山岩の互層からなる。河床部の高角度の脆弱部への対応として、様々な調査・試験を実施し、その結果に基づき堤体設計を行い、堤体上流側にフィレットを設けて対応したダムである。ダム基礎における脆弱部への対応の重要性を示すダムの代表例である。

(11) 竜門ダム

堤高 99.5m の重力式コンクリートダムと堤高 31.4m のロックフィルダムで構成される複合形式（通称；コンバイン形式）のダムである。重力式コンクリートダムの基礎は中生代白亜紀の花崗岩、ロックフィルダムの基礎は九州で特徴的な阿蘇火砕流堆積物であり、コンバイン形式の選定はこの地質によるものである。また、九州地方のダム築造で特徴的な地層である「境界層」または「間隙堆積物」（基盤岩と火山噴出物の境界に分布する軟質な陸成層など）をグラウチングで克服し完成したことも九州のダムらしい特徴である。地質とダムタイプの関係を示す代表例である。

(12) 金武ダム

日本で開発された台形 CSG ダムで貯水ダムとしては世界初。米軍が昭和 36 年に建設した旧金武ダムの再開発ダムで、ダム基礎は標高 0m で海に近く、基礎岩盤は古第三紀の砂岩泥岩のほか、島尻泥岩や琉球石灰岩などの沖縄独特の地質が左右岸や貯水池を形成しており、設計も地質に応じた工夫が見られる。沖縄の歴史、ダムの歴史および地質の関心に触れられる代表例である。



図 3 ダム地質カード表側の説明



図 4 ダム地質カード裏側の説明

3 ダム地質カードの内容

ダム地質カードの表側には、浅瀬石川ダムと竜門ダムを除いてダム基礎掘削面スケッチを載せている。このダム基礎掘削面スケッチは、カードのサイズを考慮して細かな割れ目等は省略したものとなっている。なお、浅瀬石川ダムと竜門ダムには地質断面図を載せている。

ダム地質カード表側には、図 3 に示すように、ダム基礎岩盤スケッチの右上には地質タイプを示し、右下にはダム型式（G:重力式コンクリートダム、R:ロックフィルダム、CSG:台形 CSG ダム）を示した。

カード裏側の左上には、図 4 に示すように、所在地、ダム型式、ダムの大きさ、着工年や完成年等の諸元を示した。下段にはダム基礎岩盤の地質について、できるだけわかりやすく解説した。さらに、このダムで工夫した技術を「こだわり技術」として示した。右上の QR コードからは、ダムの管理所にアクセスできる。また、中段の QR コードからは、日本応用地質学会 HP にアクセスできる。

4 ダム地質カードを用いたアウトリーチ活動

当研究部会では「ダム地質カード」の作成を皮切りに、これまでに以下のアウトリーチ活動を展開してきた。

- (1) 「ダム地質カードカレンダー」の作成 (図5)
- (2) 「ダム基礎ジグソーパズル」の試作 (図6)
- (3) HPでの「ダム地質カード」の紹介ページ「ダム地質カードの部屋」¹⁾の開設
- (4) 「全国ダムカード展 in ふじおか」での「ダム地質カード」の配布

「ダム地質カードカレンダー」は、HPからダウンロードできる他、「全国ダムカード展 in ふじおか」での一般配布を行った。

「ダム基礎ジグソーパズル」は、一般市民への配布にまでは至っていないが、当学会のシンポジウムで紹介している。

HPでは「土木事業の重要性」、「土木事業における地質の重要性」、「土木における応用地質学の重要性」を、より深く知っていただくために「ダム地質カードの部屋」を開設した。そこでは「ハンマー女子 (図7)」というオリジナルキャラクター (佐々木元部会長 (現顧問) のご息女様がデザイン) やわかりやすいイラスト、写真を多く載せ、ダムと地質の密接な関係をわかりやすく紹介している。

「全国ダムカード展 in ふじおか」は令和3年6月26日～7月25日に「道の駅上州おにし」にて開催され、後援として参画した (一社) 日本応用地質学会は、ブースを設置して「ダム地質カード」「ダム地質カードカレンダー」「ハンマー女子のイラスト」を来場者に配布するとともに、図8に示す「ダムのかたちは地質で決まる！」を用いてポスター説明を行った。また、当イベントには藤岡市副市長も訪れた他、群馬テレビ、各種新聞等でも放映され、ダム地質カードなども紹介された。

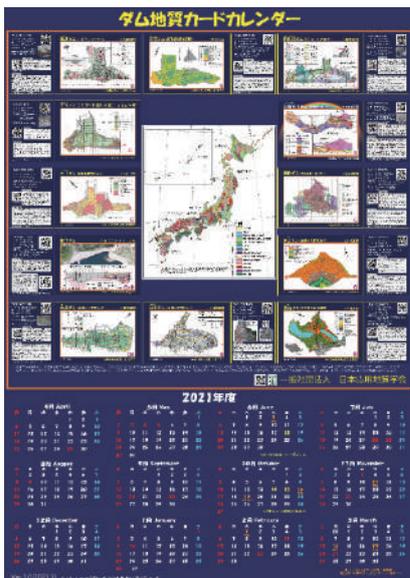


図5 ダム地質カードカレンダー



図6 ダム基礎ジグソーパズル



図7 オリジナルキャラクターのハンマー女子



図8 全国ダムカード展で展示したポスター

ダム地質カードの配布やポスターの説明は、約1ヶ月のイベント開催期間中の8日間での対応であったが、カードは配布枚数1,900枚、カレンダー配布は2,750枚となる大盛況であった。

イベントでの対応状況は写真1および写真2に示すとおりであり、来訪者との積極的なコミュニケーションも通して、「市民への地質の重要性の啓発・アウトリーチ」という観点から以下の(1)～(6)のような効果があったと考えている。

- (1) ダム地質カードがテレビ等で紹介され、その存在を広報できた。
- (2) ダム地質カードを目当てに複数回足を運ぶ来訪者もいる。
- (3) ポスターについては、「ダムと地質の関係は全く知らなかった。面白い」という人が多く、来訪者の中には非常に興味を示し、熱心に質問をしたり、「大変勉強になるため子供を連れてきたい」という方もいた。また、「子供を地質系に進めるためにはどうしたら興味を持ってもらえるか、学校などでも是非講義してほしい」といった声もあった。
- (4) カレンダーについては、今後も発行してほしいなどの質問・要望等もあった。



写真1 展示ブース状況



写真2 ご当地ヒーロー鬼神戦隊ダムセイバーにもダム地質カードを配布

- (5) 「ダム地質カードの部屋」については、あらかじめHPで目を通していた人もおり、「わかりやすい」と評判であった。
- (6) 「ハンマー女子」は地質に興味をなさそうな子供にも人気で、キャラクターの「消しゴムはんこ」を作って再度会場に来て届けてくれた母子連れもいた。

5 おわりに

学会HPの「ダム地質カードの部屋」では、ダム地質カード12ダムの「こぼれ話」を整備中である。ここではハンマー女子の他に新キャラクターの岩ダム好夫君が登場し、ダムと地質の関わりをわかりやすく解説しているので楽しみにしてもらいたい。また、一般向け且つマニアックな書籍として「ダムの形は地質で決まる」を執筆中であるので書店に並ぶ日を楽しみにしてもらいたい。

ダム地質カードの増刷や新規カードの登場に期待する声も届いており、我々研究部会は引き続きアウトリーチ活動を展開したいと考えている。

〈参考文献〉

- 1) 一般社団法人日本応用地質学会：土木地質研究部会ダム地質カード
<https://www.jseg.or.jp/02-committee/doboku.html#menu1>
 (2023年9月15日現在)

Key Word フィンランド, 香花石, 深成岩, ととのう

1. はじめに

本特集号は、「地質の愉しみ方 - 食と旅と地質 -」というテーマで、専門家の皆さまに地質と関連する食文化や旅に関するさまざまな知見および愉しみ方をご紹介します。

読者の皆様の中でも、日常の愉しみの一つとして、入浴を挙げる方も多いと思います。古来より日本人は入浴好きといわれおり、体の汚れを落とすだけでなく、湯船につかることで疲れが癒されることは疑いの余地はありません。地質と深く関わる入浴法といえば、まっさきに温泉が思い浮かびます。日本には2万8千か所を超える源泉があり、旅行やリラクゼーション、療養等の目的で温泉が広く活用されています。日本の温泉は外国人旅行者にも人気で、インバウンドを支える重要な観光資源ともなっています。

一方で近年、新たな入浴スタイルとして「サウナ」の人気の高まっています。サウナは一見、地質と関係ないように思われますが、サウナストーンと呼ばれる石を熱しその放射熱を利用して温浴効果を得るという点で、地質と深い関連があるといえます。主な利用者層としては、かつては男性（おじさん）というイメージがありましたが、最近のサウナブームでは女性のサウナ人気も高く、施設数やバリエーションも増えています。

ここでは、地質の愉しみ方の一つとしてサウナおよびサウナストーンを取り上げ、その歴史とサウナストーンの特徴、そしてサウナの「愉しみ方」についてご紹介します。

2. サウナの歴史

サウナは、北ヨーロッパに位置するフィンランドを発祥とする伝統的な温浴施設です。



図-1 フィンランドの位置

サウナの歴史は諸説ありますが、古くは石器時代にまで遡ります。フィンランドなどのバルト地域では、数千年前から宗教的儀式や社会的な集まりとして、石の掘り炉を使った熱い蒸気風呂を使用していたようです。

サウナはフィンランドの文化に深く根ざしており、その歴史の中で広く普及してきました。フィンランドでは、各家庭にサウナが設置されており、日本の「お風呂」と同様、生活の一部として重要な役割を果たしています。また、日本のフィンランド大使館にもサウナが設置されていることも、フィンランドにサウナ文化が根付いていることの象徴といえます。

フィンランド式サウナは、日本で普及している

*一般社団法人 全国地質調査業協会連合会 「地質と調査」編集委員

サウナと比べて温度がやや低く、湿度が高いことが特徴です。サウナ室内にサウナストーンが積み重ねられたストーブが置いてあり、水（アロマ水）をかけて蒸気を発生させて体感温度を上昇させます。

サウナストーンにアロマ水をかけ蒸気を発生させることを、「ロウリュ」といいます。蒸気でサウナ室を満たすことで、肌がしっとりとして発汗がよくなります。フィンランド式サウナは、日本式サウナよりも呼吸が楽に感じ、長時間温浴を楽しむことができます。

フィンランド式サウナでは白樺の枝葉を束ねた「ヴィヒタ」を使います。ヴィヒタで体を叩くことを「ウスキング」と呼び、これを行うことで体の血行がよくなります。もともとフィンランドでは衛生的な意味でヴィヒタを用いていたようですが、日本ではヴィヒタを壁にかけたり、ロウリュに使う水に浸すことで、香りを楽しんだり、リラックス感を演出しています。フィンランド式サウナのイメージ図を図-2に示します。

近年、日本のサウナ施設において熱波師と呼ばれる職人がタオルでサウナ室内の空気を仰ぎ、入浴客に熱風を送るサービスが広がっています。熱風が一気に届くことで体感温度が上昇し、発汗作用が促される効果があります。これはフィンランドではなく、ドイツ発祥のアウトグースという入浴方法となります。



図-2 フィンランド式サウナのイメージ

サウナには身体にさまざまな健康効果があるとされています。血行促進、筋肉のリラックス、心身のリフレッシュ、免疫力の向上などが挙げられます。これらの健康効果から、サウナはフィンランドだけでなく、世界中で愛される温浴方法となっています。

サウナはフィンランドの文化を代表するものと

して認知されるようになり、国際的にも広まっています。世界中のさまざまな国や地域でサウナ施設が建設され、その健康効果やリラクゼーション効果が評価されています。

3. 日本のサウナの歴史¹⁾

日本初のサウナができたのは、1957年といわれています。銀座にあった温浴施設の中に、日本式のサウナ風呂が作られました。サウナを作ったのは、オリンピック射撃代表選手であった許斐氏利（このみうじとし）氏で、1956年に行われたメルボルンオリンピックでサウナを知り、日本に持ち帰って日本式のサウナを作ったそうです。

第1次サウナブームと言われるのは、1964年の東京オリンピックの後で、フィンランド代表の選手団がサウナを持ち込み、注目を集めたことがきっかけとされています。その後、スポーツ施設やカプセルホテルと一緒に併設され、サウナ施設が普及しました。スポーツ施設やカプセルホテルなどを利用するのは男性が多かったため、サウナ＝男性（おじさん）というイメージがついたようです。

第2次サウナブームは1990年代、健康センターやスーパー銭湯など、ファミリー層をターゲットとした施設が増え、お風呂＋αのサービスの一つとしてサウナが定着しました。2000年に入ると、老舗の銭湯が次々とリニューアルをし、サウナを併設しました。

現在は第3次サウナブームと言われています。映画にもなった漫画「サ道」や、さまざまなメディアでサウナ施設が紹介されることで、それまでサウナに興味がなかった利用者にサウナの魅力が広く知れ渡ったことが理由と考えられます。「ととのう」という言葉は今では完全に定着していますね。第3次サウナブームの特徴は、日本式サウナではなく、フィンランド式サウナが定着したことでしょう。最近では、サウナは熱いだけでなく心地よく気持ちがいいところ、女性も含めた誰もが楽しめるもの、サウナは自分と向き合いデトックスできるところ、など新しい価値観を生み出しています。

さらに、ソロサウナが楽しめる施設や、キャンプ場でテントサウナが楽しめる施設、自宅の庭にサウナを設置するなど、サウナの楽しみ方のバリエーションは広がっています。

4. サウナストーンについて

さて、ここからようやく本題のサウナストーン

の話題となります。サウナストーンとは、フィンランド式サウナに欠かせない熱源です。熱したストーブの上に積み重ねるように配置し、放射熱を利用してサウナ室を加熱します。



図-3 サウナストーン

サウナストーンはサウナの熱を保持しながら、均等に放射します。これにより、サウナ内の温度が均等に保たれ、心地よいサウナ体験ができます。さらに、ロウリュで蒸気を発生させることにより、湿度を上げ快適かつ、体感温度を上げ発汗を促す効果があります。

サウナストーンに使用される岩の条件は、保温性を有すること、密度が高いこと、熱伝導率が高いこと、有害な成分を含まないこと、割れにくい耐久性・耐熱性があることが挙げられます。

フィンランドでは、サウナストーンに使用される岩種は、「香花石」と呼ばれるものが最も多く使用されています。香花石は、フィンランド全土、主にバルト海やボスニア海の海底から採掘され、かんらん岩、斑れい岩、閃緑岩、花崗岩の一種とされています。いずれも結晶質の深成岩であり、密度が高く、熱に強く変形しにくい特質を持っています。

日本国内でもサウナ施設のほかに、自宅の庭にサウナを設置したり、専門の施設でテントサウナを設置するなど、個人でサウナ室を設置して楽しむ人が増えています。サウナストーンは一般的に販売されており、ネットショッピングでも手軽に入手できます。一般に販売されているサウナストーンは、フィンランドから輸入した香花石以外にも、国内産のかんらん岩や斑れい岩も利用されています。

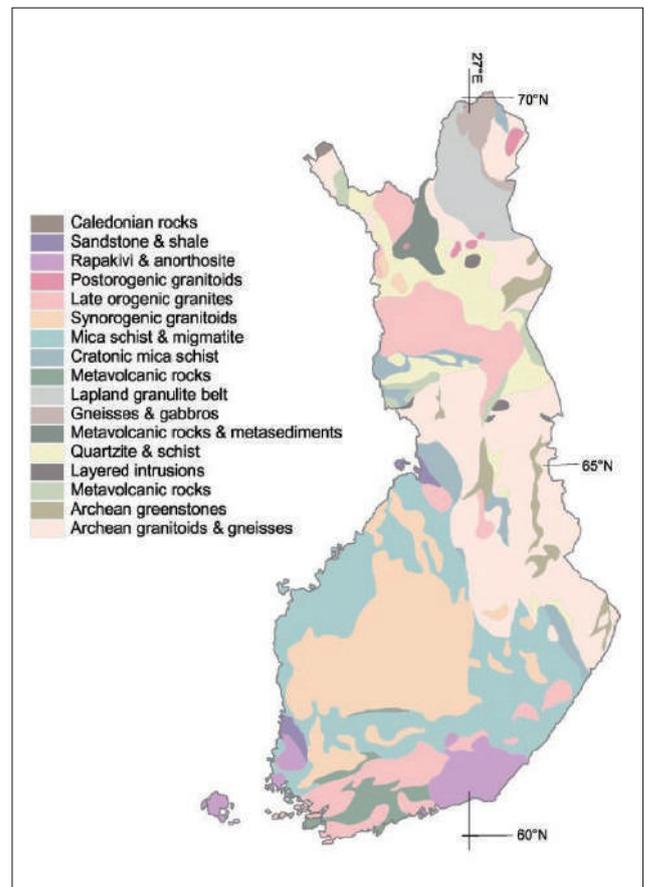


図-4 フィンランドの地質図²⁾

表-1に主な岩種の物理特性を示します。結晶質岩（塩基性岩;斑れい岩,閃緑岩ほか),結晶質岩（酸性岩;花崗岩ほか）は熱伝導率が $2.36 \sim 2.86 \text{ W/m}\cdot\text{K}$,自然密度は 2.63gcm^3 といずれも他の岩種と比べても大きく、香花石類はサウナストーンとして適していることがわかります。

表-1 主な岩種の物理特性³⁾より作成

物性	熱伝導率	自然密度
	$\text{W/m}\cdot\text{K}$	g cm^3
結晶質岩（塩基性岩）	2.36	2.63
結晶質岩（酸性岩）	2.86	2.63
新第三紀堆積岩（砂質岩）	1.56	2.2
新第三紀堆積岩（泥質/凝灰岩）	1.62	2.02
先進第三紀堆積岩（砂質岩）	3.19	2.52
先進第三紀堆積岩（泥質/凝灰岩）	2.68	2.48

溶岩のように多孔質であったり、ひびの入った岩は、内部で水が加熱されると飛び出したり、爆発したりする可能性があるため不向きとされています。また、人工のセラミック製サウナストーンも広く使用されています。先ほど述べた通り、天然石の場合は多孔質な材料は不向きですが、セラミック製サウナストーンは耐熱衝撃性が高いため、多孔質とすることが可能であり、水分を吸収しながら蒸発することで、きめ細やかで柔らかな口ウリュが体験できるそうです。

5. おわりに

筆者は元々サウナ好きという訳でもなく、当編集委員会より提案されたテーマということで悩みながら情報収集・執筆しましたが、「サ道」も全巻読破し、数ヶ所ですがサウナ施設にも訪れ、いまではサウナの魅力にハマりつつあります。もちろん訪問した施設でのサウナストーンの岩種は確認しながら、「ととのう」ことを愉しんでいます。

筆者は本特集号の主査でもありますが、本特集号をご購読いただき、食や旅、そしてサウナを通じた「地質の愉しみ方」をお伝えできていれば幸いです。

〈参考文献〉

- 1) SAUNA & co.:日本サウナの歴史 歴史を振り返るとサウナブームの理由が見えてきた
<https://saunaandco.com/> (2023年9月26日現在)
- 2) 独立行政法人 エネルギー・金属鉱物資源機構:資源開発環境調査 フィンランド共和国
https://mric.jogmec.go.jp/public/report/2005-10/finland_05.pdf (2023年9月26日現在)
- 3) 核燃料サイクル開発機構東濃地科学センター東海事業所 2000年レポートチーム:「文献調査によるわが国の岩石物理特性に関するデータの収集」, 1999年

地盤の空洞調査に用いられる 物理探査

こじま ゆうじ*
児島 悠司*

K
ey Word

空洞調査, 物理探査, 地中レーダ探査, 電気探査, 反射法地震探査,
浅層反射法, 表面波探査

1. はじめに

地盤を調査する方法としてはボーリング調査や各種室内試験が一般的であるが、非破壊で地下の構造や物性値を求める方法として物理探査も従来行われてきた。日本では1920年頃から資源開発分野に対して適用されるようになり、のちに土木調査の分野にも取り入れられ、その歴史は約100年に及ぶ¹⁾。物理探査は利用する物理現象の違いにより、その探査方法も多岐にわたっており(表1)、さらには適用可能な調査対象も歴史の積み重ねとともに広がっている。

表1 主な物理探査手法に利用される物理現象²⁾

物理探査手法	物理現象
電気探査	電場の変化(比抵抗)
浅層反射法地震探査	弾性波動(反射波)
表面波探査	弾性波動(表面波)
屈折法地震探査	弾性波動(屈折波)
微動	弾性波動(表面波), 振動
電磁探査	電磁誘導(比抵抗)
地中レーダ探査	電磁波の反射
磁気探査	磁場の強さ
重力探査	重力(ブーゲー異常)

筆者は物理探査を扱う会社に長年勤務しており、多岐にわたる調査の依頼や問い合わせに対応してきたが、近年は防災や維持管理の分野への積極的な導入が目立つようになっており、市民生活の安全確保に物理探査が一定の役割を果たしつつあるように感じる。インフラや建造物の維持管理に関する調査において、最近特にターゲットとして扱われることが多いのが空洞である。地中で生じた空洞がその規模を拡大していくと、陥没の発生に繋がる場合があり、空洞の位置や規模を前もって

把握することが対策を講じる上で必要となってくる。実際に試掘ができれば確実な判断が可能であるが、調査対象が広域の場合、時間や費用を考えると現実的な方法とは言えない。そこで、空洞の状況を効率良く調べる上で有効と言えるのが物理探査である。空洞調査に適用されることの多い探査手法は複数あり、調査箇所 conditions 等に応じて適切なものを選択していく。次章以降でいくつかの手法についてその概説および適用の際に留意すべきことについて紹介する。

2. 地中レーダ探査

2.1 地中レーダ探査の概要

地中レーダ探査とは、地中に高い周波数の電磁波(数十MHz~数GHz)を送信し、電磁気特性の異なる境界面で反射する電磁波を捉えることにより、地下の構造を把握する探査方法である。地表より比較的浅部(0~3m程度まで)の地中の空洞、埋設物や建造物の位置や深度を非破壊で精度良く調べる事が可能である。

図1に地中レーダ探査機器の概要を示す。地中レーダ探査の測定器は、インパルス電圧を送信アンテナに給電することにより電磁波を発生させる。電磁波は地中を伝播し、誘電率など電磁気的定数の異なる物体に当たると反射する。反射した電磁波は受信アンテナで捉えられ、この往復に要した時間から空洞や埋設物等の位置や深度を求めることができる。

*大和探査技術株式会社 東北支店 副支店長

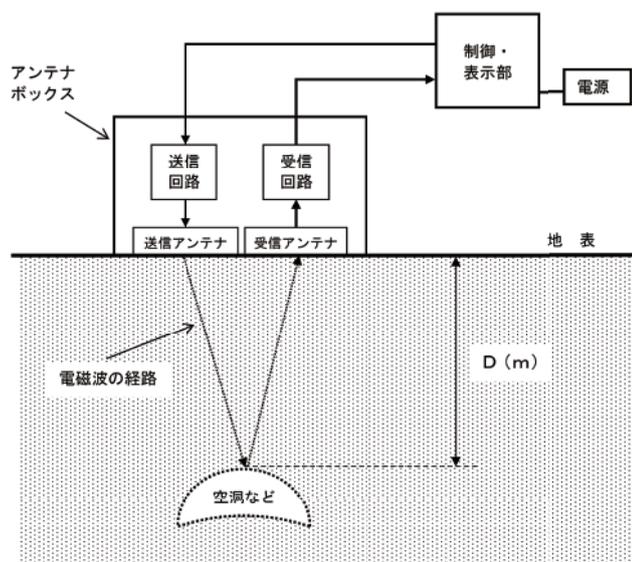


図1 地中レーダ探査機器の概要

実際の測定では、アンテナを一定距離（例えば2 cm）移動させる毎に観測信号を記録する。アンテナから送信された電磁波は指向性が弱く、空洞等の直上でなくとも反射波を受信する。アンテナが空洞等の真上の場合、最も伝播時間が短くなるので、双曲線状の反射像となり、空洞等の位置は双曲線の頂点に相当する（図2参照）。

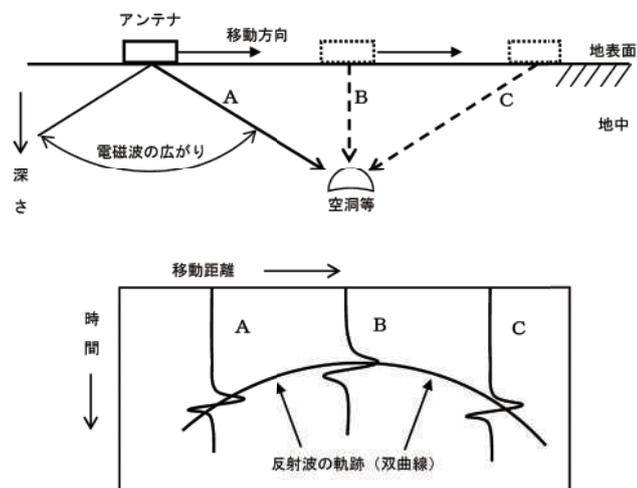


図2 電磁波・反射波概念図

一般的な調査では人力で牽引するハンディ型の探査装置を使用する。最近ではアンテナと制御装置が一体化したカート型の機器がよく使われる（写真1左）。また、アンテナと制御装置をケーブルで接続するタイプの機器もあり（写真1右）、この場合は送信周波数の異なるアンテナを変えながらの

測定も可能である。電磁波の周波数が低くなるほど探査深度が深くなる。逆に高い周波数ほど減衰しやすくなるが、分解能が向上する。測定を行うにあたっては、探査の目的や対象深度等に応じて適切に機器の選択を行う必要がある。



写真1 ハンディ型地中レーダ装置による探査

近年では、データを3次元的に捉えられる3Dレーダ装置を搭載した探査車による調査が行われる機会が増えてきた。道路規制をすることなく通常走行速度（約50km/h）で探査を行うことが可能であり、ステップ周波数方式の採用により高精度のデータが取得できる。車載型地中レーダは、車道部の路面下空洞探査では主流の手法となっている。図3に3Dレーダの測定記録例を示す。

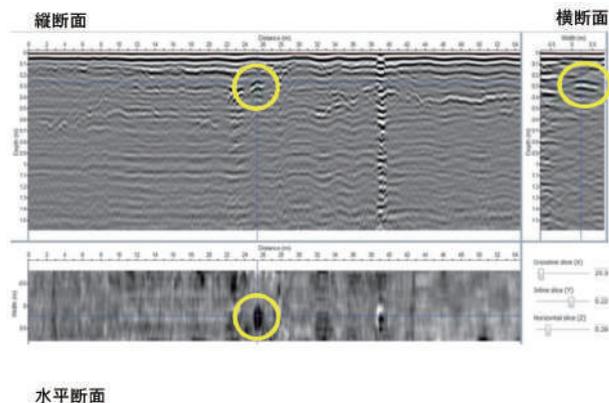


図3 3Dレーダ探査の記録例
黄色の丸が認められた空洞のパターン

2.2 適用上の留意点

地中レーダ探査は機器を動かす空間があれば比較的簡便に調査ができ、他の手法と比べて分解能に優れていることから、空洞調査における地中レーダの使用頻度は高い。ただし、土質の違いにより幅があるものの、探査可能深度は2～3m程度までであり³⁾、通常は浅部が対象の時に適用を考える手法といえる。また、電磁波は地下水面以下では減衰が大きくなるため、調査地の地下水位を事前に把握し、データの質に影響しないかを確認してお

くことが望ましい。

地中レーダは空洞以外にも地下の埋設管や構造物を捉えることが可能であり、データの解釈を行う上でそうしたものと空洞との識別をしやすいするために、埋設物の図面等の資料をできるだけ入手しておくが良い。特に路面下空洞調査においては資料収集が重要であり、埋設管の図面などに加え、空洞補修や工事の履歴がわかるものがあると、空洞・路面陥没の判定の際に有効である。なお、路面下空洞探査の手法については「路面下空洞探査技術マニュアル（案）」⁴⁾に詳細な解説がまとめられているので、参考にされたい。近年はAIを用いて大量の取得データを迅速に解析する技術も発展しており、道路陥没の危険性が騒がれる中で、探査車等を用いた空洞探査の需要は今後も続くものと思われる。

3. 電気探査

3.1 電気探査の概要

電気探査は、比抵抗法、自然電位法、人工電位法など複数の手法があるが、ここでは広く適用されている比抵抗法について述べる。比抵抗法は、地表に電極を配置し、人工的に電流を流して地中の比抵抗を測定することにより地下構造を推定するものである。比抵抗は、地盤を構成している土粒子や岩石の電気的な特性に加え、土の間隙や岩盤の亀裂に存在する地下水や空気および粘土鉱物などの電気的特性も反映している（地盤の力学的性質を直接推定できる指標ではない）。

比抵抗法には二次元（三次元）比抵抗探査、垂直探査、水平探査などの方式があり、空洞調査においては主に二次元比抵抗探査が適用される。図4に示したように、測線沿いに等間隔で多数点の電極を設置し、ある一対の電流電極に電流を流し、その他一対の電位電極間の電位差を計測して多数のデータを取得する。これらに2次元比抵抗インバージョン解析を適用することにより、測線下の比抵抗分布を求める。

地盤を構成する岩石や土はその構成物質や含水状態によって電気比抵抗値が異なる。岩石では、空隙率が大きく多量の水を含むものは比抵抗値が低い。土質では、一般的に粘土やシルト層の比抵抗値が低く、砂・礫層は比抵抗値が高い。また、地中に空洞が存在する場合、一般的に電気を通しにくいことから高比抵抗値を示す。図5に調査結果である比抵抗断面図の例を示す。

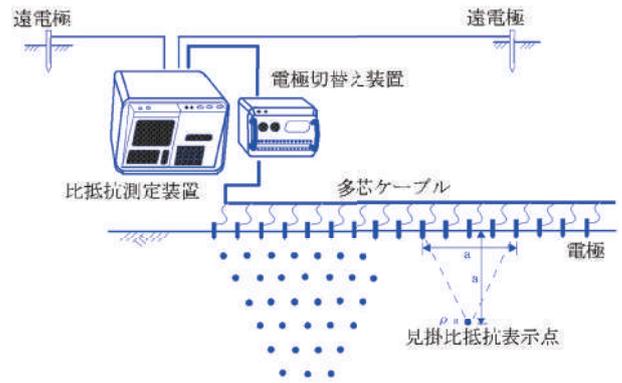


図4 二次元比抵抗探査の測定模式図（2極法配置の場合）³⁾

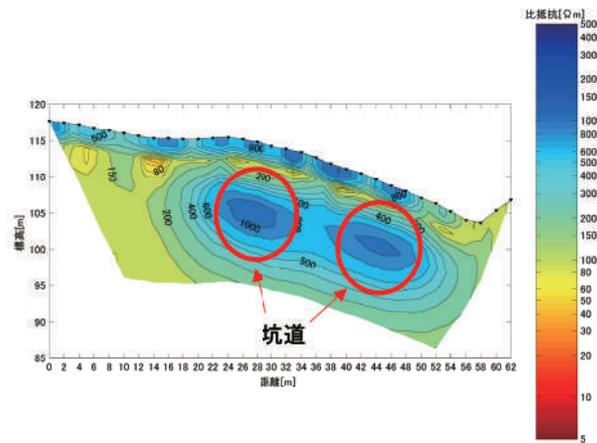


図5 電気探査の調査結果例（比抵抗断面図）

測定の際は、地盤の状況や調査目的に応じて適切な電極配置を選択する（配置を変えて複数回測定するのも有効である）。電気探査で一般的によく用いられている電極配置を表2に示す。

表2 電気探査の主要な電極配置³⁾

種類	電極配置と見掛比抵抗の表示点	
2極法配置 (ポール・ポール法配置)	$C_{\infty} \quad C_1 \begin{matrix} P_1 \\ \swarrow \searrow \\ \downarrow \end{matrix} \quad P_2 \quad P_{\infty}$	
3極法配置	等間隔 CPP 配置	$C_{\infty} \quad C_1 \begin{matrix} P_1 \\ \swarrow \searrow \\ \downarrow \end{matrix} \quad C_2 \quad P_2$
	ポール・ダイポール法配置	$C_{\infty} \quad C_1 \begin{matrix} P_1 \\ \swarrow \searrow \\ \downarrow \end{matrix} \quad P_2 \quad C_2$ $\downarrow \frac{a}{2}$
4極法配置	ウェンナー法配置	$C_1 \begin{matrix} P_1 \\ \swarrow \searrow \\ \downarrow \end{matrix} \quad C_2 \quad P_2 \quad C_3$
	エルトラン法配置	$C_1 \begin{matrix} P_1 \\ \swarrow \searrow \\ \downarrow \end{matrix} \quad C_2 \quad P_2 \quad C_3$
	ダイポール・ダイポール法配置	$C_1 \begin{matrix} P_1 \\ \swarrow \searrow \\ \downarrow \end{matrix} \quad C_2 \quad P_2 \quad C_3$ $\downarrow \frac{a(n+1)}{2}$

C_1, C_2 :電流電極 C_{∞} :電流遠電極 P_1, P_2 :電位電極 P_{∞} :電位遠電極
 I :測定電流 V :測定電位 ●:見掛比抵抗表示点

主な電極配置の特徴として、以下のことが挙げられる。

《2極法》受信信号が大きく、作業効率が良い。測線から離れた位置に遠電極を2箇所設置する必要がある。

《3極法》電流電極の一つを遠電極にする。2極法と4極法の間中間的な特性を持つ。

《ウェンナー法》等間隔4極法の電極配置であり、一般的には水平構造の地盤に適している。

《エルトラン法》等間隔4極法の電極配置であり、一般的には垂直構造の地盤に適している。

3.2 適用上の留意点

電気探査は測線長を確保できれば探査深度を大きくすることができる（最大で300m程度まで）。探査対象が空洞の場合の検出できる深度として、空洞径の4～5倍程度の土被りまでという目安がある。従って、ターゲットを考慮した上で適切な調査深度を計画する必要がある。測線展開を考える際、図6に示したように測線端部では探査深度が浅くなるため、探査対象深度の0.5～1倍の測線長を両端に追加する必要がある。

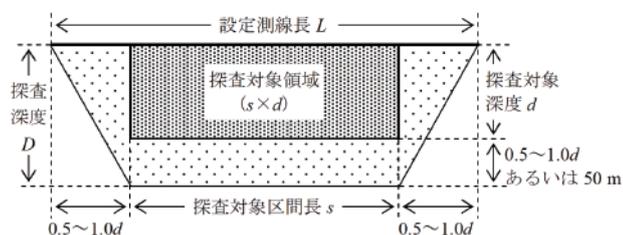


図6 探査領域と測線長の設定方法³⁾

電気探査は地形の変化が測定結果に影響するため、空洞探査のためには2次元探査を適用しなければならない。一方、崖地に平行する測線など3次元的地形の影響を受けるため、測線はなるべく地形の急変が少ないところか、場合によっては3次元探査を実施するのが望ましい。また、測定箇所の近傍に送電線、鉄道、鋼製構造物があると解析精度に影響が出ることから、可能な限りこうした箇所に測線が接近しないようにしたい。さらに、道路など舗装されたところでは測定のために削孔して電極を打ち込めるようにする必要があり、適用を検討する際に注意したい。

適用対象として、防空壕や坑道のような地下につくられた通路等の地下空洞探査には適用実績が多い(図5は坑道の調査結果である)。

4. S波浅層反射法

4.1 S波浅層反射法の概要

反射法地震探査は、弾性波を用いて地下構造を推定する手法のひとつである。地表で人工的に発生させた弾性波(振動)が地下の地層境界(厳密には弾性波速度と密度の積である音響インピーダンスの不連続面)で反射し、地表部に戻ってきた波動を測定したデータを解析処理し、地下を二次元の断面図のような形で可視化する(図7)。

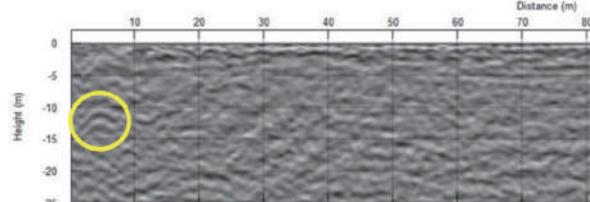


図7 反射法断面図の例
黄色の丸が空洞の反射パターン

石油や天然ガスなどの資源探査の分野で数百～数千mを対象とした調査方法として開発・活用されてきた技術であるが、次第に土木や地震防災分野(特に活断層調査)においても積極的に取り入れられるようになった。

特に近年は浅層部を対象にした「浅層反射法地震探査」(単に浅層反射法とも呼ぶ)が実施されるようになった。通常行われる反射法は特に断りがない場合は弾性波のP波を用いるが、極浅部の地表から50m程度の深度を対象にする場合はS波反射法が用いられることも多い。P波の場合、弾性波速度が大きいため波長が長くなり、浅層部での分解能が低下するのに対し、S波の場合、同じ周波数ではP波より波長が短いため、極浅層の地質構造の把握にはS波反射法が適している。

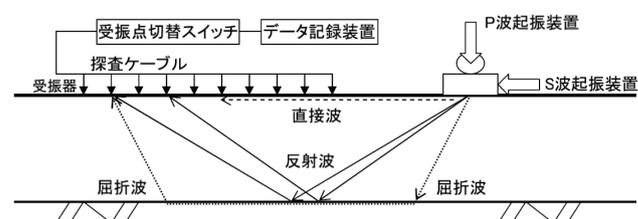


図8 浅層反射法の測定概念図³⁾

反射法の中心となる概念は、共通反射点(CMP: Common Mid Point)である。水平構造の場合、反射波は起振点と受振点の midpoint の真下で反射する。同一の反射点をもつ記録を集めたものがCMP記録である。

実際の測定では、図8に示すように起振装置で発生させた弾性波が反射して戻ってくるのを複数の受振器により観測する。データ処理においては、図9のように取得した記録をCMP記録に編集し、発振点・受振点間の距離の違いによる反射波到達時間の補正(NMO補正)をした上で足し合わせる(CMP重合)。これによりノイズが相殺されて反射波が強調され、地下構造が把握できるような断面図が作成される。

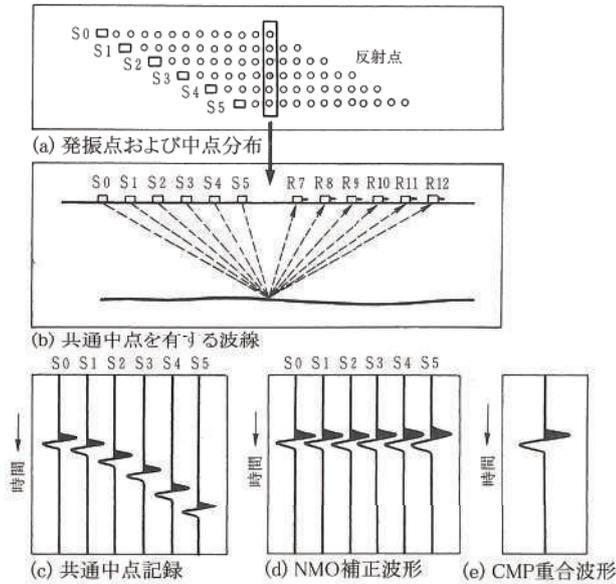


図9 CMP 重合の概念図⁵⁾

4.2 適用上の留意点

S波浅層反射法は比較的規模の大きな空洞、あるいは防空壕や坑道の検出に適用可能である。良質な記録を取得するためには受振点間隔や周波数帯域などの計測パラメータを適切に設定することが肝要である。最近ではデータの分解能向上のために新しいS波振源が開発され、また解析手法の改善策が検討されており、S波浅層反射法が活用される機会が今後増えていくことが期待できる。

波形データを解釈する際に着目する点として、空洞や埋設物などが地中に存在すると、双曲線型などの強い反射パターンとなって記録上に現れる(この点は電磁波の反射をとらえる地中レーダと共通する)。特に波長の1/4程度以上の規模の空洞が地中にある場合、空洞の上端部で弾性波の反射が起こり、記録では位相が反転した反射波が現われるのが特徴である。なお、解釈の際には調査地の地質資料を準備しておくことが有益である。

5. 表面波探査

5.1 表面波探査の概要

表面波探査は、地表面をカケヤ等で打撃して発生させた弾性波のうち、地表付近を伝わる表面波(レイリー波)を多チャンネルで測定・解析することにより、浅層地盤のS波速度を2次元断面として画像化する手法である。S波は、P波とは異なり地盤内の水の影響を受けず、S波速度は地盤の硬さなど工学的指標となる剛性率に直接関係する値であり、地盤の硬軟判定、動的特性の把握・検討などの有効なパラメータである。

表面波(レイリー波)は、地盤の表面を伝わる波動であり、周期が長いとより深い地盤構造の影響を受けるため、周波数によって伝播速度が異なる性質(分散)をもつ。波長の短い波は浅部構造を反映し、波長の長い波は深部構造を反映する(図10下部参照)。この原理を利用して人工的に発生させた表面波の伝播状況を、多チャンネルの受振器で測定しその波形の位相速度を解析することで、S波速度(レイリー波の速度の0.9~0.95倍程度)の2次元構造を近似的に求める手法が表面波探査である。表面波探査の測定時の模式図を図10に示す。

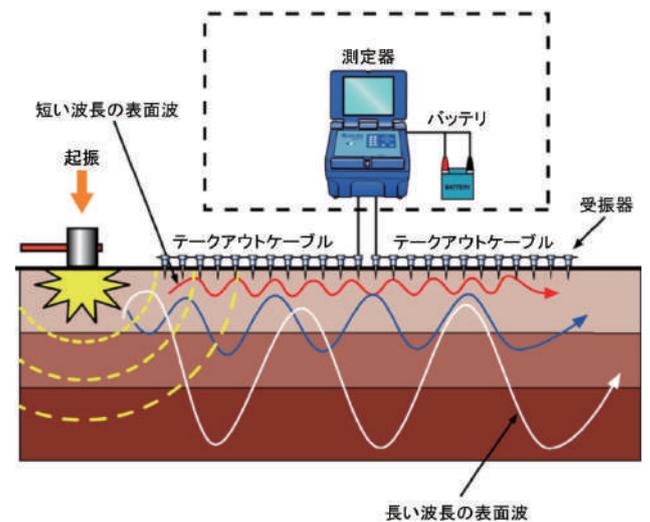


図10 表面波探査の測定模式図³⁾

一般的な測定方法として、一定間隔(0.5~2mの間)で複数個の受振器を直線状に並べ、この展開の外側で起振して波形を記録する。次に展開を1~2m前に移動させ、同様に起振・測定を行う。これを測線全体で繰り返す。この方式は終端起振と呼ばれる。他に受振器を同じ位置に固定し、起振位置を変えながら多数のデータを取得する方式もある(固定展開)。測線長が1展開よりも長い場合、終端起振と固定展開を組み合わせた測定計画を立

ることが多い。なお、展開長は探査深度の2倍以上設定する必要がある。

解析方法は、表面波位相速度の周波数による分散曲線を作成し、その曲線からインバージョン解析を行って、S波速度断面図を出力する。断面図から、例えば高速度帯の中に局所的な低速度の分布が認められると、その部分で空洞あるいは緩みが生じていると推定することができる。図11に解析断面図例を示す。

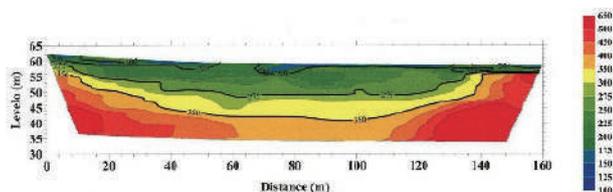


図11 表面波探査の解析断面図例

5.2 適用上の留意点

表面波探査は深度20m程度まで適用可能な地盤探査手法であり、低コストで行える。小規模の空洞やゆるみ領域より規模の大きな対象に対して有効である。例えば、直径2m程度の空洞なら、深度5~6mより浅部にあれば検出可能である。適用の可否については空洞の想定規模や調査深度等を考慮した上で、単独の手法で行うか他の手法を併用するか検討することが望ましい。空洞自体をターゲットにせず、地盤の緩みや風化の領域を概略的に

に捉える（その結果から空洞の可能性を検討する）目的で探査を行うという考え方もある。

一般的な表面波探査の解析は水平多層構造を想定しており、実施箇所はなるべく平坦な地形であることが望ましい。また、市街地で探査を行う際は、交通量が多いところでは走行車両などのノイズを避けるため、深夜に測定を行ってデータの質の確保を図る場合がある（実施例を写真3に示す）。



写真3 表面波探査実施例（夜間測定）

6. まとめ

今まで述べてきた空洞調査の各手法について、それぞれの特徴を以下の一覧表（表3）にまとめた。ここでは、空洞調査に最も適用されている物理探査

表3 探査手法の比較

対象物：空洞

探査手法	解析誤差	探査効率(/日)	特徴	経済性
地中レーダ探査	水平方向：10~20cm 深度方向：対象深度の約10%	2 km(ハンディレーダ) 80km(車載型レーダ)	<ul style="list-style-type: none"> 探査効率が良い 高分解能 地下水面以深の探査は難しい 土質の違いにより可探深度が変わる 地下1~2mの浅部では実績がある 	優良
電気探査(二次元比抵抗法探査)	水平方向：最小電極間隔程度 深度方向：対象深度の25~30%	200m(電極間隔1m)	<ul style="list-style-type: none"> 一般に、空洞径の4~5倍程度の深度まで探査可能 送電線、鉄道、鋼製構造物の影響を受ける 坑道、防空壕の探査に向いている 	良
S波反射法地震探査	水平方向：受振点間隔程度 深度方向：対象深度の10~15%	150 m(発振間隔1m)	<ul style="list-style-type: none"> 比較的深部まで探査可能 地下水の影響を受けない 地表~深度2m程度は探査が難しい 坑道、防空壕の探査に向いている 	良
表面波探査	水平方向：受振点間隔程度 深度方向：対象深度の約30%	200m(発振間隔1m)	<ul style="list-style-type: none"> 測定・解析が比較的簡便 分解能は低い 地表面は平らな方が望ましい 高速挟み層がある場合には、注意が必要 	良

査手法として、地中レーダ探査、電気探査、S波浅層反射法、表面波探査について述べた。地中レーダ探査では地盤と空洞を伝わる電磁波の伝播速度の違いによって生じる反射波、電気探査では地盤と空洞の電氣的性質である比抵抗の違い、S波浅層反射法ではS波が空洞を伝わらないことによって生じる反射波、表面波探査では表面波速度から求められたS波速度構造を解釈し、空洞の位置・深さ・大きさ等を推定している。これらの手法を単独で適用する場合もあるが、より精度を高めるため複数の方法を適用する場合もある。適用する手法は、推定される空洞の深さ・大きさ、及び適用する場所の地形・土質・人工構造物等の現場条件によって選定される。何れの場合においても、推定される空洞の有無や規模を確認するためや、空洞であった場合その対策を講じるためには、ボーリング調査や、ボーリング孔を用いた孔内観察等の詳細調査が不可欠である。換言すれば、物理探査は空洞の有無判定を行なう概査的手法であり、確認ボーリング調査の位置選定のための調査とも考えることができる。地下の空洞を精度よく調査するために、物理探査法を選択する際には、手法の特徴に加えて、解析誤差や経済性にも留意し、調査箇所に適合する手法を選択する必要がある。

7. おわりに

本稿では空洞調査に適用される物理探査の手法について紹介してきた。地表近傍を調べるのであれば分解能の良い地中レーダ探査が有力と思われるが、深部が対象になる場合は他の手法も選択肢に入ってくる。いろいろな要素を加味して調査目的に適合する手法を選択することが大切である。

物理探査は長きにわたって活用され、社会インフラの整備に貢献してきた技術であるが、一方で馴染みがないという方々もまだまだ多いと思われる。本稿が物理探査に少しでも関心を持っていただくきっかけになれば幸いである。

〈参考文献〉

- 1) 阿部進：「持続可能な社会実現に向けた物理探査技術の役割」、『地質と調査』、2021年第2号、pp.2-5、2021
- 2) 全国地質調査業協会連合会：「防災・維持管理分野における物理探査の適用」、2006
- 3) 物理探査学会：「新版物理探査適用の手引き（一土木物理探査マニュアル2008-）」、2008
- 4) 路面下空洞探査車の探査技術・解析の品質確保コンソーシアム：「路面下空洞探査技術マニュアル（案）」、2017
- 5) 地盤工学会：「地盤工学・実務シリーズ14 地盤工学への物理探査技術の適用と事例」、2001

原位置透水試験装置の開発に伴う 試験現場での体験

よきの かずよし*
能野 一美*

K
ey Word

透水試験, 原位置試験, 低透水性地盤, 測定方法, 試験面の整形, 予備注水

1. はじめに

2010年(平成22年)春, 私は, 当時の所属部長から, 地下水面より上の地盤に適用する原位置透水試験装置の実用化に向けた取り組みに従事するよう命じられた。試験装置のコンセプトは所属部長により概ね構築されていたことから, 私は主に開発装置の検証試験に携わるという役目を担った。検証試験は, 香川高等専門学校向谷研究室と合同で実施することとなった。

当時, 地下水面より上の地盤を対象とした透水試験のうち, 基準化されているものは, 地盤工学会基準「締め固めた地盤の透水試験方法」¹⁾: JGS1316のみであり, 開発装置は, 同基準に適合するものである。JGS1316の試験方法自体は,それほど難しいものではない。そのため, この取り組みは, 長くても4~5年で完了するものと勝手に想像していた。

しかしながら, 2023年(令和5年)の現在も, 地味にはあるが, 装置の改良や試験方法に関わる活動を継続している。基準に示された試験方法は複雑なものではないが, 実際に現地で試験に取り組んでみると, 小さいながらも放っておけない幾つかの課題が明らかとなり, それら一つ一つに対して地道に解決方法を模索してきたからである。

本稿では, 私が体験した, 地下水面より上の地盤を対象とした透水試験に関わる取り組みのうち, 主に, 「現場での体験」に関係するものについて紹介する。ただし, 学術的な論文ではないため, 理論的な部分や試験方法などの詳細については, 参考文献を参照して頂きたい。

2. 透水性が低い地盤に適用する際の試験時間の短縮方法

「締め固めた地盤の透水試験方法」: JGS1316は, 「締め固めた地盤の」というタイトルが意味する通り, 造成地の盛土や河川堤防, ロックフィルダムのセンターコアなどといった透水性が低い地盤を対象とする試験である。基準には, 図-1に示す装置(以後, 従来型装置と呼ぶ)が例として取り上げられている。

開発装置は, 当初, 従来型装置では計測し難い, 透水性が比較的高い地盤に適用することを目的に製作されたが, 試験現場での実用性を高めるべく, 透水性が低い地盤にも適用し易いように改良がなされた。それが図-2に示す二重管型の装置であり, 透水性が比較的高い地盤は大管で, 低い地盤は小管で計測するという仕組みになっている。

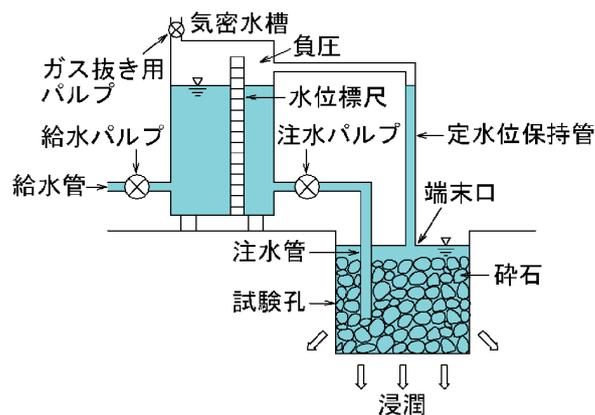


図-1 JGS1316 試験概要図(文献1に一部加筆)

ある現場で, 二重管型装置を用いて透水性が低い地盤で計測を行った場合に, 従来型装置と比較してどうなのか検証する機会を得た。その際に, 従来型

* (株) 四電技術コンサルタント 土木技術部 地質技術グループ 次長 (博士(工学)・技術士(建設部門))

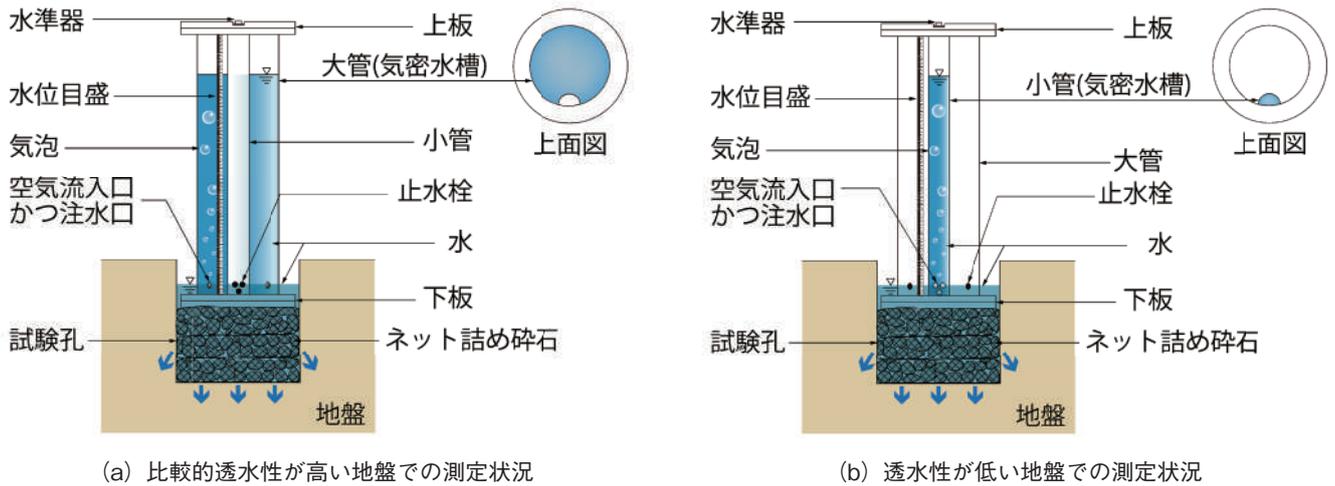


図-2 地下水面より上の地盤を対象とした透水試験概要図

装置を所有している業者と横並びで試験を行うことになったのだが、その担当者曰く、「透水性が低い地盤だといつまでたっても計測が出来ないので、本音を言うと付き合いたくない。」とのことであった。私は、その言葉を聞いた時に、従来型装置は、元来、透水性が低い地盤に適用すべきはずのものであることから、意味が良く理解できなかった。しかし、実際に試験を実施してみるとその意味を痛感することとなる。従来型装置も我々が開発した装置も、半日程度の試験ではデータが十分に取得できなかったのである。

これには、試験の原理が関係していた。JGS1316は定常法で行われる試験である。簡単にその原理を述べると、以下の通りとなる。

- ①地表面に掘削されたオーガー孔に水を入れるとオーガー孔から水が浸潤するので、オーガー孔内の水量が減少して水面が低下する。
- ②そして、浸潤により減少した（水面が低下した）分の水量が試験装置から供給されることにより、オーガー孔内の水面が一定に保たれる（定常状態となる）。
- ③この時、浸潤流量と等しい水量が試験装置から供給されるため、供給水量（=浸潤流量）を計測して透水係数を算定する。

①～③より、オーガー孔内から水が浸潤して試験孔内の水面が下がらなければ、試験装置から水が供給されることはないため、データが取得されないということが分かる。透水性が低い地盤では、浸潤流量が微量で、時間が経過してもオーガー孔内の水面がなかなか下がらないので、データを取得するのに長い時間が必要となるのである。

開発装置の場合は、装置内に気泡が入った後に水

が供給される（図-2）が、この現場では、いつまでたっても気泡が上がらず、技術者数名がただただ待ち続けるという苦い経験となった。

自明であるが、試験装置は改良出来たとしても、浸潤現象（自然現象）を操作することは出来ない。したがって、この課題を解決することは不可能であると半ば諦めていた。

ところが、別の現場で試験を実施している最中に、偶然にも課題を解決できるヒントを得ることが出来た。この時は地盤の透水性がそれ程低くなかったため、試験時には、試験装置内に一定間隔で気泡が上がり、データが取得出来ていた。しかし、事前に留意していた、試験時に使用する水の量が心許なくなってきたことから、試験孔内の水高を少しでも割増しようとして、試験の途中から我々が持っていたペットボトルを試験孔内に投入してみた（※浸潤現象には影響しないので問題無い）。すると、試験装置内に入る気泡の大きさが小さくなり、気泡が上がる間隔が早くなったのである。

帰社後にデータ整理を行うと、試験装置内から供給される水の量（=浸潤流量）は、ペットボトル投入前後で一定であったが、投入後は、投入前に比して少量の水が細かく供給されていることが分かった。このヒントを得たことにより、試験孔内の水面を狭めることで、試験時間を短縮できる方法論を思いつき、検証試験を行ってその信憑性を明らかにした。詳細は文献2)を参照されたい。

このことは、自らが実際に多くの試験に従事し、常日頃から課題意識を持ちながら取り組んでいたことが功を奏して、半ば諦めかけていた課題を解決できた良い体験であったと考えている。

3. 試験孔の洗浄方法と長時間予備注水方法

2017年(平成29年)に新規制定地盤工学会基準「地下水水面より上の地盤を対象とした透水試験方法」³⁾: JGS1319が制定された。私もワーキンググループ(WG)の委員として参加させて頂いた。

WGの委員会の際に、一人の委員の方から、ある指摘がなされた。「JGS1316とJGS1319(当時は制定に向けて活動中)は、現場飽和状態で試験することが前提となっていることから、試験実施前に行う予備注水の時間を十分にとり、また、試験も現場飽和状態に達した定常浸潤流量が確認されるまで実施する必要がある。しかし、試験孔を十分に洗浄出来ていなければ、細粒分が残存し、それが試験中に試験孔の孔壁に付着することによって試験孔からの浸潤を妨げることになる。この場合、試験時間を長くすることは、その分細粒分が多く孔壁に付着することになるため、本来の透水係数を見誤ってしまう恐れがある。」というものである。

ここで現場飽和状態とは、地下水位の上昇や降雨中、あるいは降雨後の飽和状態に近い状態のことを意味する。試験時においては、水を供給し続けるため、最初、不飽和状態にあった地盤が飽和状態に近づいて行く。この間の浸潤流量は、徐々に減少する傾向を示すが、飽和状態に近づくと概ね一定となる(図-3)。この状態を現場飽和状態にあると捉えて、定常浸潤流量を計測する。

委員のご指摘は、私も試験を実施した際に強く感じていたことであった。試験孔を掘削すると、特に透水性が低い地盤では、孔壁が鏡面化する。鏡面化した部分は、ブラシなどで削り落として除去したり、霧吹きなどで水を吹きかけて雑巾で拭き取る必要がある。しかし、洗浄後に水を投入すると濁り水となることがあり、この場合、試験終了時の孔壁に細粒分が付着している様子が明瞭であることから、試験のやり直しを余儀なくされ、細粒分を除去することの難しさを痛感していた。

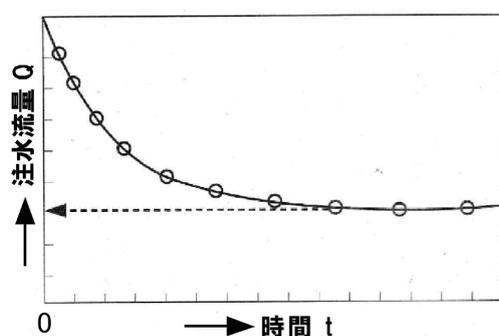


図-3 注水流量の経時的変化¹⁾

ある現場で、試験孔の孔壁についての細粒分の除去に苦慮していた時のことである。横で見ていた、常日頃からボーリング調査で協力して頂いている技術者の方が、「普通に、鏡面化したものをホースの水で洗い流せば良いのでは?」と言って自ら洗浄作業を実践してくれた。洗浄水は水中ポンプで吸い上げることで細粒分も一緒に除去される。吸い上げられない砂分や礫分はレードルなどで掬い取る。この作業を繰り返すことにより、限りなく自然の状態に近い孔壁に仕上がる。

このように書くと誰もが思いつきそうな単純明快な方法であるが、現場で様々な経験をしている技術者でなければ実行しようと思わない方法でもある。写真-1に掘削後の試験孔状況を、写真-2に我々が従来行っていた霧吹きを用いた洗浄後の試験孔状況を、写真-3に洗い流しによる洗浄後の試験孔状況を示す。洗浄度合いの違いは明瞭であり、洗い流しによる洗浄方法の場合は、試験中の孔内水にもほとんど濁りが認められなかった。また、洗浄方法の違いにより、浸潤流量が異なり、得られる透水係数にも多少影響することを明らかにした。この事例の詳細は、文献4)を参照されたい。



写真-1 盛土地盤における試験孔掘削後状況



写真-2 霧吹きを用いた洗浄後の試験孔



写真-3 洗い流しによる洗浄後の試験孔

また、現場飽和状態にするための長時間予備注水方法についても同じ技術者の方にご協力を頂いて解決した。ボーリング掘進時において使用する水を一時的に水タンクに溜める際に溢れ出ないように作製された器具があり、これを予備注水時に試験孔に設置できるよう細工して頂いた（写真-4、写真-5）。この方法により、例えば、作業後に長時間予備注水装置をセットしておき、翌朝に試験を行うといった方策を採ることが出来る。この事例の詳細は、文献5)を参照されたい。

現場では、教科書通りにうまく進まないことも多くある。その場合は、その場にいる皆で知恵を出し合って対応していく必要がある。ここに紹介させて頂いた、孔壁洗浄方法と長時間予備注水方法を考案した過程もその好例であると考えている。

4. 終わりに

私が勤務しているのは建設コンサルタント会社であり、研究開発を行う部署は存在しない。そのため、研究活動は、香川高等専門学校に向谷先生と学生に協力を頂きながら進めている。また、事例でも紹介したように、現場では技術者の方にアドバイスを頂くなどしながら、課題解決に向けて模索を続けている。こうした活動を続けることは正直なところ苦勞も多いが、皆の協力を得ながら、少しずつ前進していることが、私にとってのモチベーションアップに繋がっている。

活動当初に当時の社長から頂戴したお言葉がある。「我社は研究開発機関ではないので、誰もが注目するような高度な研究や開発を行うことは難しいし、それを望んでもいない。しかし、日常業務に従事している際に、問題点や疑問点に直面した時、それが些細なことであったとしても、放置せずに、解決するべく取り組むことは、技術者としてとても大事な姿勢である。」一言一句正確に覚えているものではなく、私が都合の良いように解釈している部分もあるかもしれないが、技術者として肝に銘じておくべきお言葉であると考えている。

5. 今後の展望

ここでご紹介した事例は、地味ではあるが、基準の趣旨に沿った正確な試験を実施するために模索してきた体験談である。自然地盤が相手の試験であるため、全ての状況に対応できる万能な方法などあろうはずもないが、今後は、適用性に優れ誰もが扱いやすい装置となるよう活動を継続する



写真-4 長時間予備注水器具設置状況



写真-5 長時間予備注水状況全景

とともに、試験を実施する上で、試験者の参考になるような情報を発信していきたいと考えている。

〈参考文献〉

- 1) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説—二分冊の1—, pp.552～558, 2013
- 2) 能野一美, 向谷光彦, 久保慶徳, 古川修三：地下水面より上の地盤を対象とした透水試験における低透水性地盤の測定時間短縮方法について, 地盤工学会誌 Vol.68 No.4 Ser.No.747, pp.16～19, 2020.4
- 3) 地盤工学会：新規制定地盤工学会基準・同解説 地下水面より上の地盤を対象とした透水試験方法 (JGS1319-2017), pp.1～35, 2018.
- 4) 田中諒陽, 向谷光彦, 能野一美, 森田知成, 井坂圭佑, 宮谷真也, 筒井一斗, 荒牧憲隆：地下水面より上の地盤を対象とした透水試験方法の試験孔整形方法 (案) の実証試験について, 地盤工学会四国支部 令和4年度技術研究発表会講演概要集, pp.13～14, 2022.11
- 5) 宮谷真也, 向谷光彦, 能野一美, 森田知成, 井坂圭佑, 田中諒陽, 筒井一斗, 荒牧憲隆：地下水面より上の地盤を対象とした透水試験方法における長時間予備注水方法について, 地盤工学会四国支部 令和4年度技術研究発表会講演概要集, pp.15～16, 2022.11

各地の博物館巡り

福岡県飯塚市

飯塚市歴史資料館



外観

はじめに

飯塚市は福岡県のほぼ中央に位置し、かつて石炭鉱業が盛んであった地域です。

飯塚市の地形は、山地と平野が交互に広がる特徴を持っており、周辺の地層は、主に石炭層を挟む第三紀の堆積岩からなります。飯塚市を含む筑豊地方の地質構造は、半地溝状の構造で、福岡県北部の古第三系の一般走向はほぼ南北～北西－北東方向で、傾斜は東または西に10～25°と緩いです。また、走向にほぼ平行な断層が繰り返し出現します。断層付近では、向斜構造がみられます。このような地質及び地形的特徴を持つ筑豊地方は、石炭の採掘によって周辺地域を含めた経済に大きな影響を与えました。その中で、飯塚市は古くから大陸との交流が盛んで、近世には長崎街道の宿場町として栄え、近代以降は石炭産業都市として発展した歴史的背景から、市内には様々な時代の貴重な文化財が数多く遺っています。

当歴史資料館を通じ、飯塚市の歴史や石炭開発と地質学の関係に興味を持って頂ければ幸いです。

展示内容

(1) 収蔵展示室

飯塚市の立岩丘陵上にある弥生時代の遺跡群は、総称して立岩遺跡と呼ばれています。収蔵展示室は、立岩遺跡出土品が多数展示されており、当時の人々の暮らしぶり、他地域との交流の軌跡及び風習を感じることができます。

立岩遺跡は、昭和8(1933)年に市営グランド造成工事中に発見され(立岩運動場遺跡)、九州大学の中山平次郎博士によって初めて学界に報告されま

した。昭和38(1963)年から昭和40(1965)年にかけて、立岩掘田遺跡の調査が行われ、前漢鏡(前漢時代の中国で製作された鏡)10面をはじめとする多くの副葬品を有する甕(かめ)棺墓群が発見されました。それらは、弥生時代の日本の社会や文化を知る貴重な資料であり、昭和52(1977)年に国の重要文化財に指定されています。



写真1 立岩遺跡から発見された甕(かめ)棺群

(2) 企画展示室

「歴史のはじまり」をテーマとして先土器時代から近世までの考古資料を時代別に展示しています。飯塚市スダレ遺跡から出土した子持壺(写真3)は大変ユニークな形をしており、先人の陶芸技術の高さを知ることができます。また、およそ7世紀頃に鹿毛馬神籠石(かけのうまこうごいし)に築かれた版築土塁(写真4)は、朝鮮半島の山城に用いられている土を交互に突き固めた高度な工法で造られています。

(3) 常設展示室

「くらしと文化」をテーマとして、飯塚地方の近世から近代までを①農村のくらし、②長崎街道、③石炭の時代に分けて紹介しています。



写真2 企画展示室のコーナー



写真5 炭鉱の歴史が感じられる常設展示室



写真3 子持壺



写真4 版築土塁の土層



写真6 実際に採取された石炭

「農村の暮らし」では、農家の土間と居間の一部を再現し、その中に生活道具を展示して、実際のくらしの様子をイメージできるようになっています。農具も田起こしから収穫まで系統的に展示しています。

「長崎街道」では、市内にある長崎街道の宿場町である飯塚宿と内野宿について紹介しています。

「石炭の時代」では、川舟から鉄道に替わる石炭輸送の変化を、川ひらた模型・舫石・船頭寄進物・鉄道関係資料などで紹介するとともに、石炭の採掘について、手掘り時代の実物大ジオラマ・山本作兵衛炭鉱絵画・炭鉱で使用された道具などを展示し紹介しています。また、炭鉱王と呼ばれた伊藤伝右衛門と歌人柳原白蓮のコーナーを設置し、当時の炭鉱経営者たちの生活の一端を紹介しています。石炭採掘を通じ、地質の奥深さを知ることができます。

ご利用案内

●所在地・連絡先

〒820-0011 福岡県飯塚市柏の森 959 番地 1
TEL/FAX : 0948-25-2930

●アクセス

JR 新飯塚駅東口から徒歩 5 分
西鉄飯塚バスターミナルから上三緒方面
柏の森バス停下車 2 分

●開館時間

9 : 30 ~ 17 : 00 (入館 16:30 まで)

●休館日

毎週水曜日 (祝日除く)
年末・年始 (12 月 29 日~翌年 1 月 3 日)、
その他臨時休館日あり

●入館料

一般般 (団体) : 230 円 (160 円)
高校生 (団体) : 110 円 (70 円)
小・中学生 (団体) : 50 円 (30 円)
※ () 内は 20 人以上の団体料金
土曜日は高校生以下無料

●ホームページ

<https://www.city.iizuka.lg.jp/rekishi/info.htm>

〔(一社)九州地質調査業協会
大森 将樹 (株式会社アサノ大成基礎エンジニアリング)〕

大地の恵み

地下水排除工への取り組み ～地すべりの安定化を目指していたころ～

1. 大地と地すべり

普段の私たちの生活自体が“大地からの恵み”を享受している最たるものと思っているが、“空気や水”の存在と同様で、地震や土砂崩れなどの災害時を除き「大地」を気に留めることは少ない。

斜面に発生する地すべりは、地域的に濃淡を持つ現象であるが“大地からの恵み”を得るため、その安定化は生活と密接に関係する地域にとっては重要な関心事である。この地すべりとの闘いは古く、幕藩時代から昭和・戦前までは食糧確保のため地すべりの安定化は悲願であって、被災の都度、人力による補修が行われ、河流確保の手掘隧道や堰堤などが古文書や絵図¹⁾に残され、その一部を現地で確認することができる²⁾。

本格的な地すべり対策は昭和・戦後以降で、地すべり地を多く抱えた長野県・新潟県・富山県の取り組みが早かった³⁾。戦後の国土復興及び食糧自給の向上を掲げ中山間地の開発を目指す中、昭和22年(1947)発生「柵口地すべり」(新潟県(以下略)糸魚川市)は社会的注目度が高く、体系的な地すべり解明につなげる調査技術の向上と並行して対策工の開発にも取り組むようになる。現在では地すべり対策に限らず、斜面の安定に欠かせない必須工法になっているのが「地下水排除工」で、この開発や改良には新潟県の技術者が大きな役割を担っていた。その経過を以下にまとめた。

2. 排水トンネルと地上の横孔ボーリング工

糸魚川市大久保地すべりでは昭和18～20年(1943～1945)の災害発生に対し、豊富な地下水のため国内第1号の排水トンネルが、昭和22年(1947)に新潟県林務課により着手⁴⁾され、昭和25年(1950)に完成した(写真1)。大量の地下水が排水されたことによって移動量を減少するという効果を得た。ただし排水トンネルは地すべり移動部や脆い地質

での掘削であり安全性と工費の面から、普及するのは昭和33年(1958)地すべり等防止法制定以降のことである。

効率的な地下水排除を模索する中で、新潟県砂防課は長岡市種芋原地すべりで調査用のボーリング機械を水平にして掘削したところ(写真2)、豊富な地下水に遭遇し多量の湧水を得た⁵⁾。これにより昭和25年(1950)に上越市沖見、妙高市羽山・上小沢の各地すべりにおいて国内第1号の横孔ボーリング工を実施した。しかし地下水に遭遇する確率は不明で、排水トンネルに比べ地すべりに対する効果が未知のため、積雪期も含め上越市神谷(沖見)地すべりなどで地下水位と移動量の調査を続けた。柏崎市栃ヶ原地すべりでは横孔ボーリング工の排水試験地として昭和26年(1951)から昭和30年(1955)にかけて延115坑の横孔ボーリング工を行った結果、移動量の減少を確認した⁶⁾。この横孔ボーリング工による地下水排除工は、経費、安全性・施工性から瞬く間に全国に広がった。



写真1 大久保地すべり
幅0.6m、高1.2m、長410m、国内第1号の排水トンネル(現在消滅)



写真2 昭和24年(1949)種芋原地すべりの横孔ボーリング工試験施工⁵⁾

3. 集水井の施工と改良

① 場所打ち鉄筋コンクリート集水井

より深層の地下水を効果的に排除するため、新潟

県砂防課は当時新潟の米軍図書館の書籍にあった「ラジアルウエル」と「満州井戸」をヒントに「放射性集水井戸工」と呼ぶ³⁾集水井を考案し、栃ヶ原地すべりで昭和30年(1955)



写真3 昭和30年(1955) 栃ヶ原地すべり。鉄筋・型枠を組みコンクリートを打設する

に内径3.4m、深さ18mの国内第1号集水井を施工し(写真3)、井戸内から全周方向に横ボーリングを行った⁷⁾。ただ現場打ちの集水井は設置に時間を要し、井戸の沈下や傾きなどで課題を生じていた。この「放射性集水井戸工」は現在も残っており地下水を集めていることが確認できる。

②ライナープレート集水井

「放射性集水井戸工」の課題に対し、旧建設省土木研究所新潟試験所では上越市猿供養寺地すべりで昭和36～37年(1961～1962)にコルゲートを用いて試験施工⁸⁾を行った(写真4)。これは掘削を先行し地中でコルゲートを組み立てるため、沈下させる必要はなく傾きも生じない。この成果から昭和37年(1962)の十日町市松之山地すべり災害において昭和39年(1964)に内径3m、深度15mの国内第1号のライナープレート集水井を施工した。



写真4 昭和37年(1962) 猿供養寺地すべり 内径3m、深19m、コルゲートによる試験施工⁸⁾。

この集水井では地下水が多量なため井戸底から直径318.5mm、長さ12mの鋼管井戸を追加設置し「特殊集水井工」と呼んだ。鋼材のメッキ処理は昭和40年以降のため、現在は腐食が見られるもののポンプ汲上げにより多量の地下水を排水している。

③コンクリートブロック組立式集水井

新潟県ではコンクリート製の集水井が多い。これは工場で製作した部材(ブロック)を現地で組み立てるもので、昭和45年(1970)沖見地すべりで深さ15mの組立式集水井を試験施工⁹⁾して以降、場所打ち鉄筋コンクリート製から代るものとなった。その後、昭和57年(1982)にRCセグメントを用いた集水井が長野県茶臼山地すべりに登場する。

4. おわりに

地すべり対策工は移動対象斜面に設けられ、その効果が発揮され安定化することによって耕作地や生活インフラの確保など安心な社会環境が得られ、棚田などで印象的な景観をもたらすことが多い。また排除工による地下水はごく一部で農業用や養鯉池、冬季融雪などに利用されている例を聞くが、斜面の安定化により平穏な中山間地を維持することができ、大地の恵みをもたらしている。

地すべり対策施設の大部分は地中に設けられるため、恩恵を受けている地元でもその存在を知らないことがある。その中で日本の集水井の先駆けとなった「栃ヶ原地すべり第1号」を含む3基の集水井が、溪流施設以外の地すべり対策工として



写真5 栃ヶ原地すべり 登録有形文化財の国内第1号集水井(場所打鉄筋コンクリート)

は初めて「登録有形文化財」に登録された。これにより地域と連携した説明会や見学会、集水井の水を使ったアウトドアサウナ体験など、地域資源としての活用と共に貴重な施設を保存する取り組みが行われている¹⁰⁾。

[坂井 俊介：(株)新研基礎コンサルタント]

〈参考文献〉

- 1) 十日町情報館：「地すべりに挑んだ村人たち」, 郷土資料双書14, 田村タニ家資料(1), 186P, 2006.
- 2) 坂井俊介, 小林雄三, 野澤英之輔, 石黒徹, 佐藤壽則, 長谷川文伸：「新潟県に現存する歴史的な地すべり対策工の事例」地すべり学会誌第50巻5号, pp11～18, 2013.
- 3) 全国地すべりがけ崩れ対策協議会：「50年のあゆみ」, 161P, 2000.
- 4) 地すべり対策技術協会：「地すべりの道を拓く・谷口敏雄先生遺稿集」, 291P, 1989.
- 5) 新潟県砂防課：「地這り現象の研究」, 79P, 1952.
- 6) 高野秀夫：「地すべりと防止工法」, 314P, 1960.
- 7) 湊元光春：「放射集水井工法について」, 地這り研究(第2輯), pp35～48, 1960.
- 8) 高野秀夫, 原田義博：「ライナープレート組立式縦坑集水井」, 地すべり第1号, pp29～35, 1963.
- 9) 布施弘, 八木良征：「放射集水井工の開発の歴史と施工例について」, 地すべり第11巻第2号, pp15～20, 1974.
- 10) 新潟県柏崎地域振興局地域整備部：「栃ヶ原地すべり集水井」パンフレット, 2022.

※出典記載のない写真は執筆者による

各地の残すべき

地形・地質

日本三大山城のひとつ、高取城の地形（奈良県）

1. はじめに

地形図の作り方のひとつに航空機からレーザを放射してその反射を捉えることで、地表面を計測する方法があります。この方法では、樹木で覆われた山地などの地形を正確に知ることができます。この方法で誰の目にもその様子が明らかになった城跡があります。それが表題の高取城です。高取城は日本三大山城の一つと言われ、城の周囲は約30km、高低差は390m（日本一）という規模を持ちます^{*1}。

「ニッポン城めぐり」^{*2}に高取城は「明治2年（1869年）6月、版籍奉還により兵部省の管轄となり明治6年（1873年）廃城となった。入札により建造物の大半が近隣の寺院などに売却された。」とあり、その存在は古くから認識されていたようです。その後、高取町教育委員会によって精密な遺構配置図が作成されています。しかし、全体を立体的に俯瞰できるようになったのは、航空レーザ計測による赤色立体地図が作成されたことによります。

2. 高取城とは

「奈良県高取城の赤色立体地図」^{*3}によると、高取城が最初に記録に現れるのは永正8年（1511）であり、簡易な「カキ上げ城」と呼ばれる構造物であったと考えられます。天正8年（1580）には織田信長の一国破城により、大和では郡山城を残して高取城は廃城となりますが、天正12年（1584）の郡山城の詰城として復興されました。天正13年（1585）に豊臣秀長が郡山城に入ると、秀長の家臣である本多利久が高取城に入城し、近世城郭として本格的に整備されました。本多氏が3代で絶えた後、徳川譜代の植村家政が寛永17年（1640）に高取城に入城し、明治維新まで植村氏14代の居城

となりました。藩邸、侍屋敷は順次山麓に下りましたが、築造当初の城内に屋敷地を取り込んだ城と城下町を伴う二様相を持つ特色ある山城となりました。

3. 高取城の航空レーザ計測

「奈良県高取城の赤色立体地図」^{*3}では、高取城上空、高度500mからヘリコプターによるレーザ計測を行っています。1m×1mに平均10点以上計測する設定で地表面データを5.0km²に渡って取得し、図1に示す赤色立体地図が作製されました。図1を見ると尾根上に人工改変された地形が分布することがよくわかります。高取城の郭内は、山頂の本丸付近を除いて樹木覆い茂り、空中写真では石垣などの存在を確認するのは困難です。赤色立体地図は空中写真では把握できない地形を捉えることが古墳の調査などで広く知れ渡っていますが、今回は自身でそれを確認してみました。写真1は樹木がほとんどなく、空中写真でも城の石垣を確認できるような場所です。それに対して、写真2は杉などの樹木が茂っており、空中写真で石垣などを確認することが困難と思われます。図1に写真1と写真2の位置を示しますが、石垣の形状はどちらも遜色なく表現できていることがわかると思います。赤色立体地図を持って、山地を踏査するときは、小さな沢などもほとんど間違いなく表現されており、踏査結果を図面に落とすのに苦労がないことは自身で体感していましたが、赤色立体地図の価値を分かって頂くには、良い機会と思い「各地の残すべき地形・地質」に投稿させていただきました。

[アジア航測株式会社 磯嶋 治康]

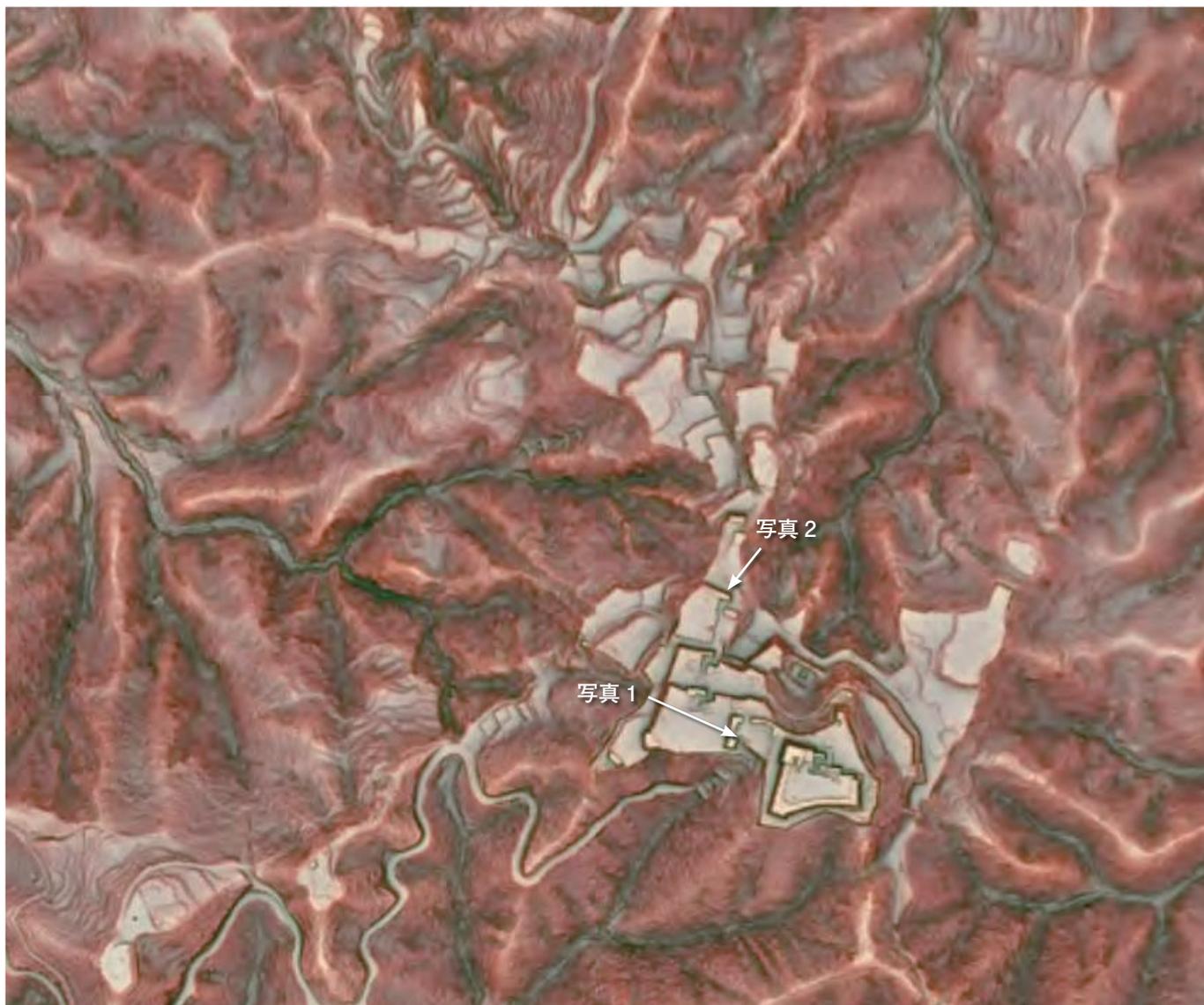


図1 高取城赤色立体地図^{※3}



写真1

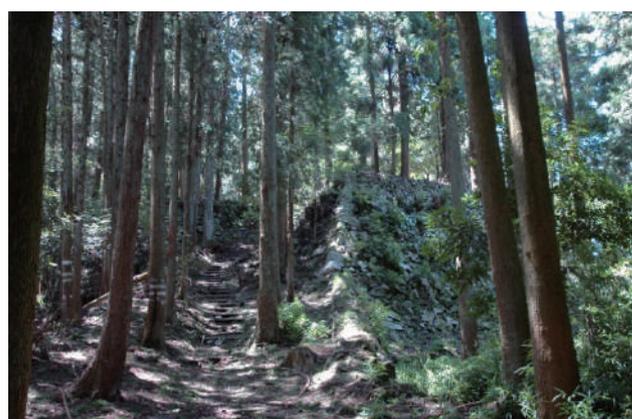


写真2

※1 高取城 <https://www.pref.nara.jp/miryoku/ikasu-nara/naranoshiro/takatorijo/>

※2 ニッポン城めぐり <https://cmeg.jp/w/castles/6455>

※3 奈良県高取城の赤色立体地図 平成27年7月8日(水) 記者発表資料 / 奈良県立橿原考古学研究所・アジア航測株式会社

豪雨や線状降水帯の 予測精度向上のための取り組み

せこひろむ*
瀬古 弘*

K

Key Word

豪雨, 線状降水帯, 観測手法, 地上リモセン, 気象衛星, 数値予測,
データ同化, アンサンブル

1. はじめに

気象研究所は、気象業務に関する技術の改善・高度化のための研究・開発を担う気象庁付属の研究機関である。気象業務の技術改善や高度化のため、観測・予測に関する基盤的な技術開発、大規模な自然災害を引き起こす集中豪雨・台風・地震・火山噴火等の発生の仕組みの解明、気象庁が発表する各種情報の改善に資する研究、地球規模の気候変動の予測、地球環境問題の解決策に関する研究などを行っている。研究分野や目的が異なる全球大気海洋研究部、気象予報研究部、気象観測研究部、台風・災害気象研究部、気候・環境研究部、地震津波研究部、火山研究部、および応用気象研究部の8研究部で構成され、この中の一つである気象観測研究部では、台風や集中豪雨等の監視・予測精度向上のため、全球スケールから台風や豪雨を表現するメソスケール、積乱雲のスケールまでの数値予測に用いる最初の時刻の大気場の作成技術と、気象観測衛星やマイクロ波放射計などの地上リモートセンシング及び直接観測データを利用した監視・予測技術の開発を一体的に進めている。

気象観測研究部で予測精度向上等に取り組んでいる豪雨や線状降水帯は、近年、毎年のように多く発生し、土砂災害や洪水をもたらしている。土砂災害などによる被害を軽減するためには、豪雨などを引き起こす降水の位置や時刻、降水量をより早く、より高精度に予測することが必要である。ここでは、上記の研究・技術開発のうち、気象観測研究部の特徴の一つである「数値予測に用いる大気場の作成技術と衛星・地上リモートセンシング観測に係わる研究開発を一体的に進めること」で得られた成果の一部を紹介する。

2. データ同化とアンサンブル予報

天気予報の元となる数値予報では、大気の状態（大気場）を格子点の集まりで表し、気象衛星や地上観測などの観測データを用いて求めた「ある時刻の気温や風などの格子点値」から、それらの時間変化量を運動方程式や熱力学の式などから求め、その時刻の値に足していくことを繰り返して、将来の大気場（予報値）を得る。降水予報の精度向上のためには、数値予報の最初の大気場（初期値）を正確な観測データにより現実に近い値に近づけることが重要で、その過程はデータ同化と呼ばれている。また、土砂災害などによる人的被害を減らすためには、避難行動に充てる十分な時間を確保するために精度の良い数値予報をより早い時刻で行う必要がある。しかしながら、豪雨発生に対してより早い時刻から数値予報を行うと、初期値がかなり正確としても、数値予報モデルの不十分さや大気のカオス性などにより不確実性が増大し、予測がより難しくなって、初期値のわずかの差が数値予報を大きく変えてしまう。そのため、初期値に小さな差を与えた複数の大気場から数値予報を行って予報値の信頼度などを得るアンサンブル予報と呼ばれる技術も重要である。

3. 水蒸気の様々な観測データと

データ同化による降水予測精度の改善

豪雨や線状降水帯の発生には、降水の源となる豊富な水蒸気の流入の有無が重要な条件の一つである。水蒸気量は気象庁が全国に展開しているラジオゾンデ観測で測定することができる。その観測では、気圧や気温、湿度等の気象要素を観測するラジオゾ

*気象庁気象観測研究部第2研究室研究官

ンデをゴム気球に吊るして飛揚させ、地上から高度約30kmまでの大気の状態を得るが、全国で16か所、観測頻度も1日に2回程度でしかない。例えば線状降水帯は「長さ5～300km、幅20～50km程度の数時間にわたって同じ場所に停滞するもの」と定義されており、それに比べてラジオゾンデ観測は時間的・空間的に粗すぎて十分な情報が得られない。ここでは豪雨や線状降水帯がしばしば発生する九州地方に注目し、ラジオゾンデ観測（九州で2か所）より高頻度に水蒸気分布を把握する4つの観測：水蒸気ライダー、地上設置マイクロ波放射計、船舶GNSS（Global Navigation Satellite System）、衛星搭載ハイパースペクトル赤外サウンダを取り上げ、それらの観測結果や観測データをデータ同化に用いた結果などを紹介する。

3.1 水蒸気ライダーとマイクロ波放射計について

水蒸気ライダーのうち、観測技術がほぼ確立しているラマンライダーは、レーザー光を天頂方向に出して、水蒸気分子や窒素分子からの散乱を観測することで水蒸気混合比を観測する測器で、夜間は高度6kmまで、日中は太陽光の影響により2kmまでを75～150m間隔で15～20分毎に観測値を得ることができる（図1）^{1), 2)}。

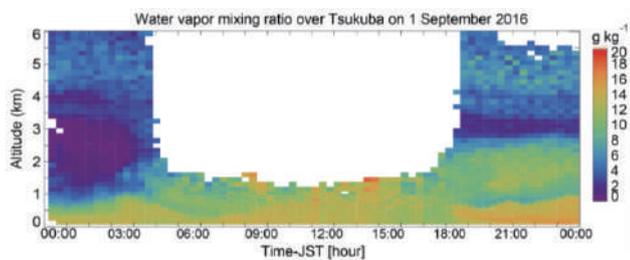


図1（左）水蒸気ライダーと（上）観測例。つくばの水蒸気ライダーを用いて観測した2016年9月1日の水蒸気混合比の時間高度分布。(Sakai et al. 2019から転載。(Licensed under CC BY 4.0))

九州では長崎半島や甕島から北東に伸びる線状降水帯がしばしば発生するため、2020年から線状降水帯に流れ込む下層風のできるだけ上流に位置する陸上の場所として長崎半島先端の野母崎と甕島を選び、水蒸気混合比の鉛直分布の研究観測を実施した。その結果、豪雨や線状降水帯発生時には発生に先立って下層の水蒸気量が増加することが確認できた。この観測データを、運動方程式や熱力学の式などを利用して観測データと同じ水蒸気量だけでなく

気温や水平風なども修正する4次元変分法を用いてデータ同化を行うと、線状降水帯に流れ込む南からの気流の水蒸気量が増えるとともに、線状降水帯の北側の北寄りの風も強められて線状降水帯の発生場所が南に移動し、降水量だけでなく位置も実際の状況（実況）に近づいた事例が報告されている³⁾。

九州の観測に用いたラマンライダーはメンテナンスを頻繁に行う必要があるため、気象観測研究部では、より容易に観測できるDIAL（差分吸収ライダー、水蒸気による吸収の大きな波長と吸収の小さい波長の2波長を用いて水蒸気量を得る）の開発にも取り組んでいる。

同様な効果を期待して、気象庁では2022年度に、線状降水帯が多く発生する場所を考慮して西日本を中心に17台のマイクロ波放射計観測網を整備した（図2上）。地上設置マイクロ波放射計では大気中の酸素や水蒸気からの放射温度を地上から多くの周波数で観測し、輝度温度の周波数によって感度を持つ気体やその高度が異なることを利用して、水蒸気量の天頂方向の積算値である可降水量や、鉛直方向

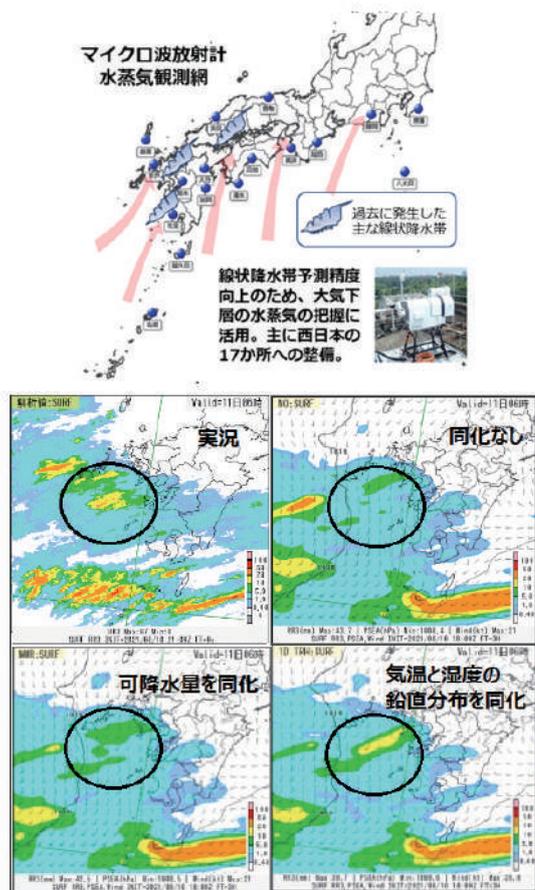


図2（上）マイクロ波放射計観測網の観測点と（下）マイクロ波放射計で得られた可降水量、気温と水蒸気量の鉛直分布をそれぞれデータ同化した降水予測の結果。可降水量、気温と水蒸気量の鉛直分布の順に予測結果が実況に近づいている。

の1次元変分法を用いて数値予報の出力を修正することで気温や湿度の鉛直プロファイルを10分間隔で得る。これまでに奄美市に設置したマイクロ波放射計により、奄美市の名瀬のゾンデ観測の時間分解能では捉えられない降水通過に伴う可降水量の変動が捉えられたという報告がされている⁴⁾。データ同化についても、温暖前線が通過する直前の五島列島の福江島で観測したデータを用いて初期値を修正すると、大気下層の水蒸気量の増加とともに風速も強化されて降水が強まり、実況に近づいたという結果が得られている(図2下)⁵⁾。マイクロ波放射計の観測で得られる可降水量は水蒸気量の鉛直積算値であって鉛直方向の情報がないという点、温度と湿度の鉛直プロファイルには推定時に誤差が入り込む点があるものの、17地点で連続的に水蒸気情報が得られるため、豪雨の予測を大きく改善することが期待されている。現在、気象庁では、上記の結果を受けて可降水量を現業数値予報に用いる計画にしている一方、気象観測研究部では更なる活用を目指し、輝度温度そのままを使って鉛直分布を含め初期値を修正する手法の開発⁶⁾に取り組んでいる。

3.2 船舶に搭載したGNSS装置による海上の可降水量について

下層の気流のさらに上流側を観測するために、東シナ海で航行している船舶にGNSS受信機を搭載して可降水量を観測する手法を開発した。この手法では、高度約2~4万kmの上空にあるGNSS衛星からの電波を受信機が受信するまでに、大気を通過する際に水蒸気などにより電波が遅れる性質を用いて、GNSS受信機上空の可降水量を全天候下で求めることができる。陸上の可降水量は国土地理院の電子基準点(GNSS連続観測システム)のデータを用いて

推定し、気象庁の現業での数値予報の初期値の改善に利用されている。しかしながら、船舶GNSSは受信機を搭載した船が揺動しつつ移動するために可降水量の推定がより困難であることから、利用が進んでいなかった。

気象観測研究部で開発した手法を用いて、2018年から気象庁の海洋気象観測船や東シナ海を航行する民間船にGNSS受信機を設置して研究観測を開始し、GNSS受信機を設置した船舶から放球されたゾンデ観測等による可降水量との比較から、ゾンデ観測に迫る観測精度を持っていることを示した⁷⁾。東シナ海上の気象庁気象観測船で観測された船舶GNSSによる可降水量をデータ同化すると、観測船周辺の水蒸気が増加するように修正されるとともに、東シナ海の海上風が強化され、降水がより実況に近づいたという結果も得ている(図3)⁸⁾。より上流側での観測によって、豪雨発生よりもより早い時刻の数値予報の初期値を修正することで、避難行動のためのより長い時間の確保が期待できる。これらの結果を受けて気象庁では2021年から、線状降水帯の予測精度の向上のための気象観測・監視の強化の一環として、船舶による海上GNSS水蒸気観測を開始している⁹⁾。

3.3 ハイパースペクトル赤外サウンダについて

令和5年7月31日に開催された「静止気象衛星に関する懇談会(第8回)」において、次期静止気象衛星(ひまわり10号)の整備・運用のあり方について、「ハイパースペクトル赤外サウンダ(以下、ハイパースペクトルサウンダと呼ぶ)等の新しい技術の導入を検討すべき」という提言をいただいた(https://www.jma.go.jp/jma/press/2308/01a/satellite_kondan_himawari10_20230801.html)。ハイ

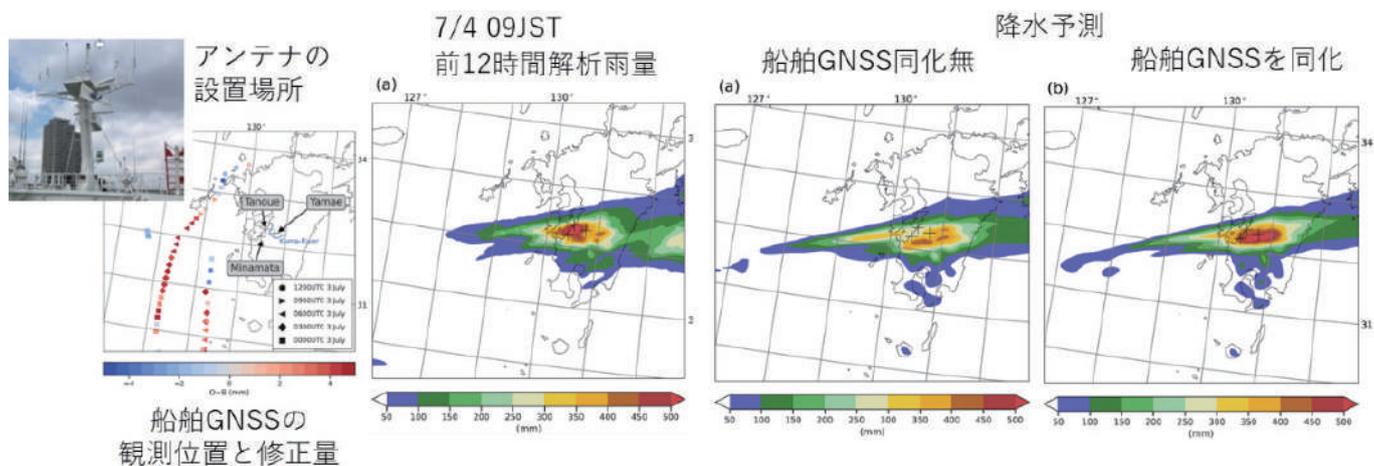


図3 (左) 船舶GNSSのアンテナの設置場所と船舶GNSSの可降水量を同化した時の初期値の修正量。(右) 船舶GNSSをデータ同化した降水予測の結果。(Ikuta et al. 2022 から引用)

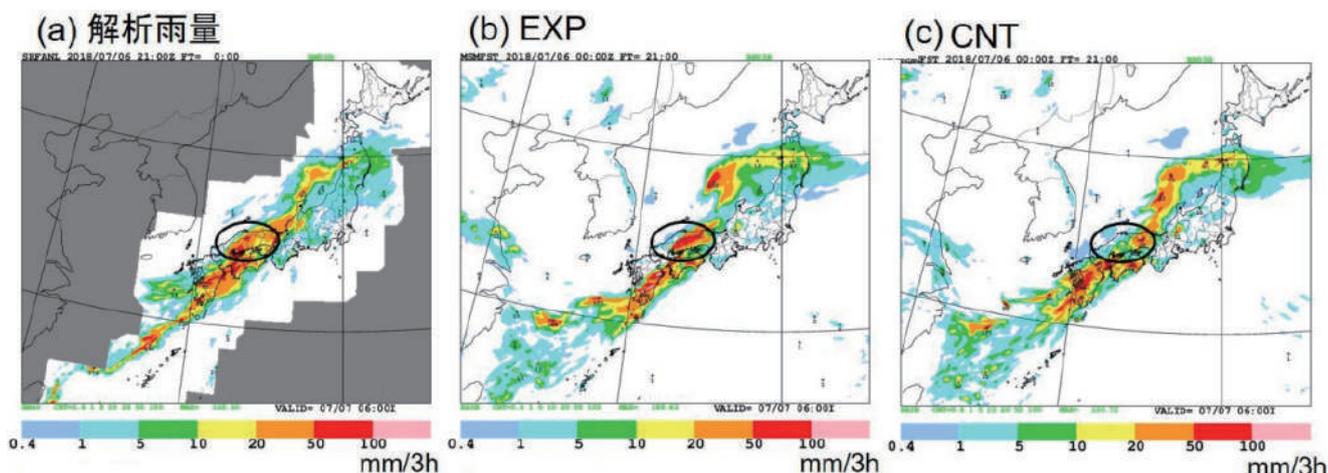


図4 2018年7月6日12時の前3時間積算降水量。(a) 解析雨量。(b, c) 各実験の2018年7月6日9時初期値の21時間予測値。(b) 同化あり, (c) 同化なし。(岡本幸三ほか, 2020から引用)

パースペクトルサウンダは、3.1で述べた地上設置マイクロ波放射計ではマイクロ波の周波数帯を地上から観測するのに対し、赤外域の多波長の放射輝度温度を観測する測器を衛星に搭載し、地球からの放射量を高いスペクトル分解能で観測することで、水蒸気や気温等の鉛直構造の情報を取得する。下層での高精度な観測は難しい場合があるものの、特にデータの少ない海洋上での広い範囲の観測により、豪雨や線状降水帯、台風の進路予測について大幅な精度向上への貢献が期待されている。ハイパースペクトルサウンダは打ち上げ前で実際の観測データがないため、精度の良い数値予報を作成しているヨーロッパ中期予報センターの解析値から模擬観測データを作成し、その模擬観測データを用いたデータ同化によりハイパースペクトルサウンダで期待できる効果を調べた(図4)。この実験の結果、平成30年7月豪雨において、豪雨周辺の1000km程度の空間スケールの比較的大きな大気場の修正により、中国地方の降水域が強まって実況に近くなり、豪雨の予測も改善することが確認できた^{10), 11)}。

4. 豪雨を対象としたアンサンブル予報

豪雨の発生時に避難活動に十分な時間を充てるためには、予測時間を長くして、豪雨をより早い段階で正確に予測することが必要である。一方、数値予測には、初期値に含まれる誤差と数値予測モデルの不完全性による誤差があり、予測を長く行うほど、数値予測がばらつく。予測が大きくばらついていれば、通常の一つの予測(決定論的予測)により豪雨となったとしても、その予測は信頼度(予測の確からしさの目安)が低い。予測時間が長い場合には、このような情報も有効であるため、わずかに異なる

多数の初期値を用意して数値予測を行うアンサンブル予測の技術開発が必要になる。アンサンブル予測では、構成している個々の予測(メンバー)を平均して求めた予測結果(アンサンブル平均)とともに、メンバー間のばらつきの大きさを示す指標(スプレッド)などの統計的な情報を得ることができ、さらに(1)アンサンブル予測のばらつき程度から「予測の信頼度」、(2)多メンバーによるアンサンブル予測結果から、例えば「豪雨の発生確率情報」が得られ、(3)複数の予測結果からは、豪雨の降水量の多いメンバーと少ないメンバーの大気下層を比較することで、大気下層での水蒸気量の重要性を確認でき、「豪雨の発生要因」の解明にも利用することができる。

ここでは、豪雨の予測例として球磨川で氾濫を引き起こした令和2年7月豪雨事例を取り上げ、アンサンブル予測のばらつきの実態の確認と多メンバーによるアンサンブル予測の効果を紹介する。Duc et al. (2021)はアンサンブル予測の初期時刻を7月3日18時、格子間隔を2km、メンバー数を100や1000として、局所アンサンブル変換カルマンフィルタ(アンサンブルカルマンフィルタに基づくデータ同化手法の一つ)を用いたアンサンブル実験を行った¹²⁾。図5(上)で見ると100メンバーより1000メンバーの方が豪雨を再現する確率が高く、1000メンバーになると実際の豪雨の降水量積算値(▲マーカー付きの緑線)がメンバーの予測の内側(灰色の領域)に位置するようになる(図5下)。図5(上)において3時間降水量で50mmの閾値により70%以上の確率で豪雨となる領域を示しているが、これはメンバー数を1000にすることで初めて得られる結果で、特に豪雨などの顕著な現象については多メンバーを用いて予測することが重要と考えられ

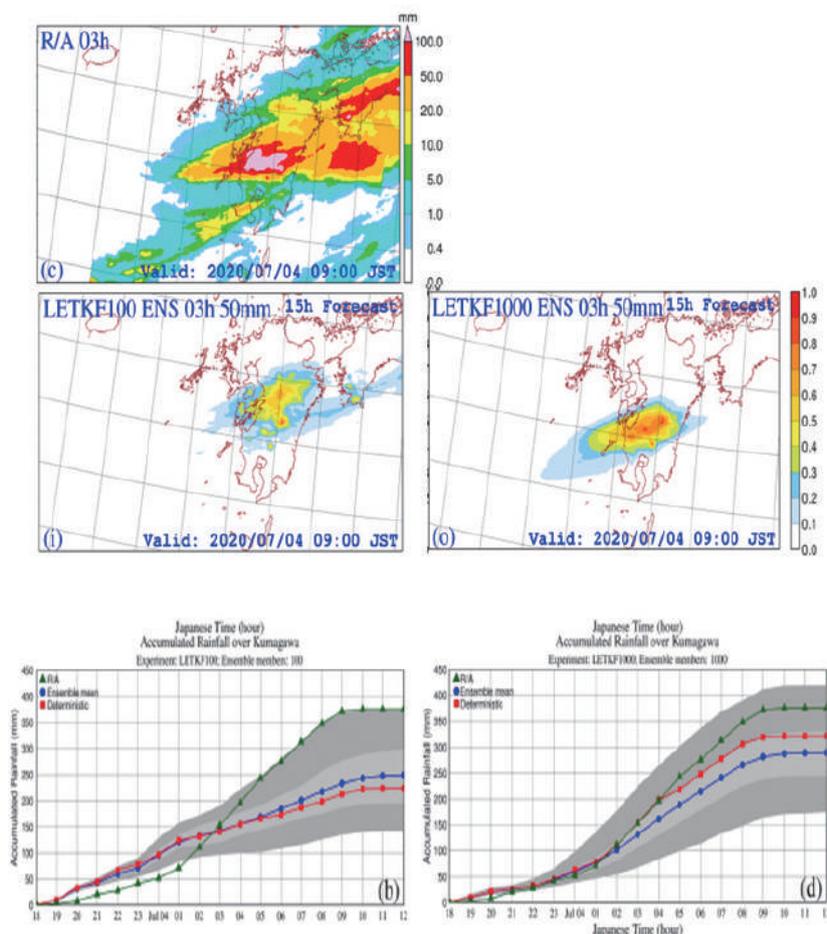


図5 (上) 観測された2020年7月4日9時の降水分布と、100メンバーと1000メンバーのアンサンブル予測で得られた3時間降水量で50mmを超える確率分布。(下)球磨川流域の積算降水量の推移。100メンバー(左)と1000メンバー(右)。薄い灰色域は確率密度の第1四分位数と第3四分位数の間。濃い灰色域は95%信頼区間。(Duc et al. 2021 から引用)

る(気象庁の豪雨等を対象にしたメソアンサンブル予報では、少ないメンバー数でもばらつきが大きい特異ベクトル法という手法が用いられている)。

5. まとめと今後

本稿で紹介した水蒸気観測を表1にまとめた。それぞれの観測には得手・不得手があり、今後、それらをうまく組み合わせることで観測全体として豪雨や線状降水帯の予測向上に活かすことが必要である。例えば、これからデータ同化を行う大気場で水蒸気量が現実から大きく外れている場合、豪雨や線状降水帯周辺のみで水蒸気分布を修正しようとしても、値が大きく違うためにうまく修正できなかつたり、修正できてもその修正した気塊がすぐに豪雨や線状降水帯から離れてしまう。そのため、まず、衛星搭載ハイパースペクトルサウンダで広い範囲を修正し、修正された気塊が下層気流により豪雨や線状降水帯に近づくに従って、上流側の船舶GNSS可降水量の同化により水蒸気量をさらに現実に近づけ、さらに豪雨や線状降水帯に近づいた陸上では、水蒸気ライ

ダーで水蒸気量の鉛直分布を検証しつつ、西日本を中心に展開したマイクロ波放射計観測網の輝度温度を利用して鉛直分布を現実に近づけることで、より予測精度を向上させるようなシステムを構築することが有効と考えている(今回取り上げた観測の検証、修正した初期値からの予測との比較のため、粗い時間・空間分解能でも直接観測であるラジオゾンデ観測も必要である)。このように多種多様な観測データを戦略的に選択して同化する手法の開発が今後の重要な研究課題になる。アンサンブル予測では1000メンバーによる予測例を示した。気象庁の現業予報では、計算機資源や時間の制約から1000メンバーで実施することは困難である。現実的なメンバー数で1000メンバーと同じ性能を出すような初期値の差の作成法も開発していくことが必要である。

豪雨や線状降水帯の発生位置や時刻、降水量は、例えば洪水予測にとって、降水の位置が山地の尾根のどちら側にあるかというわずかな違いだけで流量の予測結果が大幅に変わってしまうため、とても高い予測精度が必要である。ここで紹介した取り組み

表 1 本稿で紹介した水蒸気観測の特徴と九州の線状降水帯予測に対する位置付け

観測方法	観測できる物理量	特徴	九州の線状降水帯予測に対する各観測の位置付け
ラジオゾンデ	気圧、気温、湿度、水平風の鉛直分布	全国 16 点（九州 2 点）、1日2回の観測。	点の直接観測データ。時間・空間分解能が粗い。
衛星搭載ハイパー赤外スペクトルサウンダ	赤外域の輝度温度	日本域、領域観測の観測間隔は15分。2028年に打ち上げ予定。	下層風の上流を含む広い面のデータ。気温や水蒸気量の鉛直分布を改善。
船舶GNSS	可降水量	観測間隔は10分程度。気象庁海洋気象観測船、海上保安庁測量船、民間企業の貨物船・フェリーに搭載。	下層風の上流の線のデータ。水蒸気分布を改善（鉛直方向の情報は利用していない）。
地上設置マイクロ波放射計	可降水量、気温と水蒸気量の鉛直分布、マイクロ波域の輝度温度	全国17点、観測間隔は10分程度。輝度温度の同化は研究段階。	線状降水帯周辺の点のデータ。気温や水蒸気量の鉛直分布の改善。
水蒸気ライダー	水蒸気量の鉛直分布	研究段階。全国で4-5点程度、観測間隔は10分程度。	

で降水の予報精度を向上させたり、また予測の難しい事例に対してアンサンブル予測を行うことは、土砂災害、浸水害、洪水災害の発生予測、つまり降水量を入力データとしたときの危険度分布情報「キキクル」の精度向上、確率予報につながるものである。1000メンバーのアンサンブル予測を「キキクル」に適用することで危険度の確率情報を得る研究開発も進められており、その取り組みについては次号で紹介する予定である。

【謝辞】

本報告では、1000メンバーのアンサンブル予測にスーパーコンピュータ「富岳」を利用しました。船舶GNSSの取り組みは、JSPS 科研費 20H02420 の支援を受けました。データ同化については、気象庁数値予報課が開発した現業システムを気象研究所に移植したメソNAPEXを利用しました。福江の地上設置マイクロ波放射計データは「第2期戦略的イノベーション創造プログラム」にご提供いただきました。ここに記して感謝します。本研究の一部は令和4年度気象研究所緊急研究「集中観測等による線状降水帯の機構解明研究」によるものです。最後に資料提供や原稿のご確認をいただきました皆様に感謝いたします。

〈参考文献〉

1) 酒井哲, 吉田智, 永井智広, 小司禎教, 2020: 豪雨予測に向けた水蒸気ライダーの開発と観測データを用いた研究, レーザー研究, 48.

2) Sakai, T., Nagai, T., Izumi, T., Yoshida, S., and Shoji, Y., 2019: Automated compact mobile Raman lidar for water vapor measurement: instrument description and validation by comparison with radiosonde, GNSS, and high-resolution objective analysis, Atmos. Meas. Tech., 12, 313-326.

3) 吉田智 ほか, 水蒸気ライダーデータ同化による線状降水帯の予測精度向上, 日本気象学会 2023 年度春季大会, 2023 年 5 月, 東京.

4) 荒木健太郎 ほか, 地上マイクロ波放射計ネットワークの構築と初期観測, 日本気象学会 2022 年秋季大会, 2022 年 10 月, 札幌市.

5) 瀬古弘 ほか, メソNAPEX を用いた地上マイクロ波放射計可降水量の同化実験, 日本気象学会 2022 年度秋季大会, 2022 年 10 月, 札幌市

6) 幾田泰醇 ほか, 地上設置型マイクロ波放射計輝度温度の4次元同化, 日本気象学会 2022 年秋季大会, 2022 年 10 月, 札幌市.

7) Shoji, Y., Mimura, J., Tsubaki, S., Higashi, Y., Hibino, S., Kojima, A., Nakamura, T., Shutta, K., 2023: A Study on analysis setting optimization of ship-based GNSS measurements for maritime precipitable water vapor monitoring, J. of Meteor. Soc. of Japan, 101, 323-346.

8) Ikuta, Y., Seko, H., and Shoji, Y., 2022: Assimilation of shipborne precipitable water vapour by Global Navigation Satellite Systems for extreme precipitation events. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 148, 57-75, <https://doi.org/10.1002/qj.4192>.

9) 大気海洋部 環境・海洋気象課 海上・データ班, 2023: 船舶による海上のGNSS水蒸気測について, 測候時報, 90, 1-26.

10) 岡本幸三 ほか, 2020: ひまわり8・9号後継衛星検討のためのハイパースペクトル赤外サウンダの数値予報インパクト調査, 測候時報, 87, 99-150.

11) Okamoto et al., Assessment of the Potential Impact of a Hyperspectral Infrared Sounder on the Himawari Follow-On Geostationary Satellite, SOLA, 16, 162 - 168, doi:10.2151/sola.2020-028, 2020a.

12) Duc, L., T. Kawabata, K., Saito, and T., Oizumi, 2021: Forecasts of the July 2020 Kyushu Heavy Rain Using a 1000-Member Ensemble Kalman Filter, SOLA, 17, 41 - 47.

全地連「技術フォーラム 2023」について

今回第34回となる技術フォーラムが、9月6日（水）～7日（木）の2日間、横浜市で開催された。（行事の具体的な内容は、表1参照）

今回のフォーラムでは、「全地連創立60周年記念大会」をメインテーマに、地元「関東地質調査業協会」の全面的な協力と、国土交通省関東地方整備局、神奈川県、横浜市の後援および国立研究開発法人土木研究所に協賛いただいた。

初日の特別講演会は、杉本直也氏（静岡県デジタル戦略局）に「デジタルツインによるまちづくり～

VIRTUAL SHIZUOKA 構想」というテーマで、静岡県が進める最先端事業についてご講演いただいた。

技術発表会には、若手技術者を中心に全国から118編（表2参照）の発表があり、活発な質疑が行われた。

なお、今回の優秀技術発表者賞には、各セッションから選抜された20名が受賞された。（表3参照）

参加者人数は、関係者含め、約610名となった。

令和6年度の技術フォーラムは、新潟県新潟市で開催する予定である。

表1 行事内容



GEO TECH FORUM 全地連「技術フォーラム 2023」横浜 2023 in Yokohama 9.6-7

開催にあたって

第34回“全地連「技術フォーラム」”を（一社）関東地質調査業協会と連携して横浜市で開催いたします。多くの皆様のご来場をお待ちしております。

開催要領

エリア 1 → 入場無料

第1日目 9月6日（水）
【受付開始】9:00～【開場】9:30～

会場：会議センター 1階「メインホール」

開会式 10:00～10:30
開会挨拶 （一社）全国地質調査業協会連合会 会長 田中 誠
来賓挨拶

特別講演会 10:30～12:00
「デジタルツインによる「まち」づくり
～VIRTUAL SHIZUOKA構想～」
杉本 直也 氏 静岡県デジタル戦略局 参事
BIM/CIMの分野で、最先端かつ先鋭的な事業を展開されている
静岡県の活動についてご紹介いただきます。

同時開催（展示会）

展示会（入場無料）
会議センター3階 302号室

第1日目 9月6日 12:00～17:00
第2日目 9月7日 9:00～15:00

▼ 出展者一覧

【システム関連コーナー】 応用地質㈱、共創ソフトウェア㈱、株式会社ジャパナレッジ
【調査・探査機器関連コーナー】 ㈱メーサイ、㈱みずす総合コンサルタント、
㈱レアックス、㈱藤井基礎設計事務所、㈱シンク・フジイ、中央開発㈱、㈱測商技研北陸、
㈱ジオファイブ、㈱日さく
【試験機等関連コーナー】
川崎地質㈱、㈱クリステンセン・マイカイ、㈱ワイビーエム、㈱扶桑工業
【その他】
ジオ・ラボネットワーク、(国研)産業技術総合研究所地質調査総合センター
【特別展示コーナー】 横浜市、(一社) 関東地質調査業協会、神奈川県地質調査業協会
【書籍販売コーナー】 ㈱古今書院

エリア 2 → 有料

第1日目 9月6日（水）

会場：会議センター 3階・5階 4会場（8セッション 59編）

技術発表会 13:00～17:15
ケーススタディ-1、-2、物理探査・検層-1、-2、地下水調査、
水文調査、新技術/自動化、
地質リスクマネジメント事例研究セッション

会場：横浜ベイホテル東急 地下2階 クイーンズランドボールルーム

技術者交流懇親会
【受付開始】17:30～【懇親会】18:00～20:00

第2日目 9月7日（木）

会場：会議センター 3階・5階 4会場（12セッション 67編）

技術発表会 9:00～15:00
ダム調査、サウンディング、メンテナンス、
オペレータセッション、原位置試験、室内試験、
斜面調査-1、-2、地すべり調査、BIM/CIM対応、
新技術/物理探査、新技術/遠隔調査

表2 全地連「技術フォーラム2023」横浜 技術発表内容一覧

セッション／発表時間	論文No	発表者氏名	所属機関名	地区	題 目
A-1 ケーススタディ-1 9月6日 13:00-14:30 301会議室	CO1	岩佐 直人	株式会社藤井基礎設計事務所	中国	児童向け地質・防災学習における対面方式とWeb方式の特徴と課題
	CO2	寺本 蒼	株式会社藤井基礎設計事務所	中国	模型実験でわかる！ 擁壁変状と地盤沈下の関係
	CO3	宿田 さとり	大地コンサルタント株式会社	北海道	市街地におけるボーリング仮設時の工夫と対策
	CO4	二瓶 光	新協地水株式会社	東北	地質調査におけるコアドリルの汎用性について
	CO5	小野 藍生	応用地質株式会社	関東	未利用エネルギー活用事業における二酸化炭素固定方法の検討
A-2 ケーススタディ-2 9月6日 14:45-17:15 301会議室	CO6	北井 倫平	川崎地質株式会社	関西	迅速かつ円滑な砂防事業の実施に向けた砂防堰堤調査設計事例
	CO7	市島 俊	株式会社東京ソイルリサーチ	関東	薬液注入工法による地盤改良効果の確認調査事例
	CO8	松本 敏明	復建調査設計株式会社	中国	微生物を用いた浸透固化による坑壁保護の検討
	CO9	青山 祐太	株式会社藤井基礎設計事務所	中国	補強土壁崩壊事例の紹介と崩壊プロセス
	CO10	松原 友輝	株式会社宇都建設コンサルタント	中国	石炭を含む堆積岩を用いた盛土の変状事例
	CO11	蟹橋 朱里	中央開発株式会社	九州	軟弱地盤における試験盛土の結果と一考察
	CO12	—	—	—	—
	CO13	大場 椋斗	日本エルダルト株式会社	中部	単位体積重量の実測値と一般値との比較
A-3 サウンディング 9月7日 9:00-10:00 301会議室	CO14	岡村 知浩	日本物理探査株式会社	中部	三重県伊勢市宮川河口の地下で確認された中新統一志層群砂岩層について
	CO15	石井 恵	中央開発株式会社	関東	液状化層の分布把握のための電気式コーン貫入試験の活用事例
	CO16	小笠 裕貴	北海道土質試験協同組合	北海道	北海道新篠津村での地盤調査一斉試験(CPT-MとCPT-Eの比較)
	CO17	土田 雄貴	上山試験工業株式会社	北海道	コーン貫入抵抗qcから算出した粘着力cの評価事例
	CO18	安倍 榛哉	明治コンサルタント株式会社	北海道	スクリーウエイト貫入試験を活用した地下水水位測定とサンプリング事例
A-4 ダム・ため池調査 9月7日 10:15-11:45 301会議室	CO19	大島 寛豊	株式会社エーテック	北海道	既設および新設砂防えん堤の地盤改良を目的とした地質調査について
	CO20	田淵 航太	基礎地盤コンサルタント株式会社	九州	ダム基礎岩盤部における水理特性検討事例
	CO21	佐藤 洋平	川崎地質株式会社	東北	ダム再生事業における地質調査の取り組み
	CO22	中村 翔	株式会社新東京ジオ・システム	東北	ため池における地質調査業務の事例
	CO23	萩村 俊司	基礎地盤コンサルタント株式会社	関東	ため池耐震照査業務における詳細法とSIP簡易法の比較事例の紹介
A-5 メンテナンス 9月7日 13:00-15:00 301会議室	CO24	横山 啓之	東邦地水株式会社	中部	ため池の耐震調査事例
	CO25	田島 智子	株式会社エイト日本技術開発	関東	大規模盛土造成地変動予測調査における住民による経過観察についての一考察
	CO26	嶋田 諭	基礎地盤コンサルタント株式会社	九州	トンネル覆工巻厚が薄い箇所における有効的な補修・補強設計の検討
	CO27	古田 行平	基礎地盤コンサルタント株式会社	中部	老朽化した集水井の内部調査・改築工検討事例
	CO28	本山 普士	中央復建コンサルタント株式会社	関西	道路事業における土石流対策に関する一考察(その4)
	CO29	木村 健志	日本地研株式会社	九州	熱赤外線画像解析を用いたモルタル吹付のり面の健全度評価
	CO30	多羅尾 一勲	株式会社東京ソイルリサーチ	関東	風化軟岩層が分布する地域の擁壁・法面等を対象とした健全度調査
B-1 物理探査・検層-1 9月6日 13:00-14:30 303会議室	CO31	馬場 ちあき	川崎地質株式会社	九州	地盤改良施工後の動態観測及び既設護岸の安定性評価事例
	CO32	山添 武	日本地研株式会社	九州	非破壊調査を用いた橋梁の基礎長の調査事例
	CO33	糟谷 徹勇	川崎地質株式会社	関東	音響波を利用した埋設管調査
	CO34	石濱 和典	株式会社明和技術コンサルタント	関東	磁気探査を用いた既設橋梁の基礎形状把握
	CO35	小坂 信尋	興亜開発株式会社	関東	磁気探査における移動平均による平滑化(スムージング)処理
B-2 物理探査・検層-2 9月6日 14:45-17:15 303会議室	CO36	星野 勝重	日本物理探査株式会社	中部	探査事例の少ない爆弾の探査計画の立案について
	CO37	加藤 秀歩	株式会社東建ジオテック	関東	路面下空洞調査の作業の流れと留意点
	CO38	酒本 直弥	川崎地質株式会社	関東	空洞の浅部移動と下水道管異状との関連性の一考察
	CO39	江元 智子	サンコーコンサルタント株式会社	関東	関東ローム層内の地下壕に対する調査事例
	CO40	久下 信明	株式会社ダイエーコンサルタント	関東	省力型3次元電気探査の概要と適用事例
	CO41	古賀 遼平	日本物理探査株式会社	関東	マルチチャンネルの高周波交流電気探査装置の開発
	CO42	林 久夫	ジオックスコンサルタント株式会社	関東	表面波探査における地震計間の距離と探査深度 —チェーンアレー探査の微細構造探査—
	CO43	大貫 隆輔	応用地質株式会社	関東	常時微動の時間変化や到来方向に関する基礎実験
B-3 オペレータセッション 9月7日 9:00-10:00 303会議室	CO44	福嶋 孝太	北海道土質コンサルタント株式会社	北海道	支笏軽石流堆積物のS波速度について
	OP1	渡邊 憲平	基礎地盤コンサルタント株式会社	中国	丘陵地のボーリング調査で経験した湧水の対応事例
	OP2	佐藤 宥紳	株式会社エーテック	北海道	河道内のボーリング作業における安全対策事例の紹介
	OP3	小川 貴好	株式会社KGS	関西	ボーリング時の防音シートを用いた騒音対策効果と新たな課題への解決策
B-4 原位試験 9月7日 10:15-11:45 303会議室	OP4	須佐美 俊和	株式会社相愛	四国	ボーリング掘進条件数値化による掘進技能向上の試み
	CO46	井上 駿	川崎地質株式会社	関東	洋上の地質調査におけるN値補正に関する考察
	CO47	加藤 歌那子	基礎地盤コンサルタント株式会社	中部	未固結土を対象とする様々な現場透水試験法の適用事例
	CO48	畠中 昇平	株式会社セイコー	九州	プレッシャーメータ試験で求められる変形係数と降伏圧力の関係において亀裂が与える影響
	CO49	幸田 英顕	新協地水株式会社	東北	福島県内で測定した見かけ熱伝導率の季節変動について
B-5 室内試験 9月7日 13:00-15:00 303会議室	CO50	山崎 英史	株式会社レアックス	北海道	未固結地盤を対象とした鉛直ボーリングの孔曲がり測定例
	CO51	藤田 征也	基礎地盤コンサルタント株式会社	関東	中空供試体の三軸圧縮・伸長試験
	CO52	清水 秀倫	川崎地質株式会社	北陸	繰返し非排水三軸試験の補正について
	CO53	岩田 暁	中部土質試験協同組合	中部	不均質材料における供試体の組み合わせが三軸圧縮試験結果におよぼす影響
	CO54	三好 功季	協同組合関西地盤環境研究センター	関西	沈降分析の自動化への試み(その4)
	CO55	中西 智哉	株式会社ダイコンコンサルタント	関東	高速度路盛土における空洞発生要因の検証に対するX線回折分析の適用事例

全地連「技術フォーラム 2023」について

セッション／発表時間	論文№	発表者氏名	所属機関名	地区	題 目
C-1 地下水調査 9月6日 13:00-14:30 501会議室	CO56	下松 匠	中央開発株式会社	関西	ニューマチックケーソン工法に伴う井戸・地下室調査の事例
	CO57	豊島 礼士	株式会社山口建設コンサルタント	中国	ボーリング孔を利用した自記水位計による連続的な地下水位観測事例
	CO58	伊藤 悠紀	ハイテック株式会社	関西	潮汐の影響がある井戸における地下水位変動の予測
	CO59	蒔田 一紀	株式会社東建ジオテック	関東	軟弱地盤地域での掘削工事における周辺地下水影響把握を目的とした地下水位調査
	CO60	徳永 貴大	サンコーコンサルタント株式会社	関東	雨水浸透施設設置前後における異なる帯水層の地下水位変化及び涵養効果
C-2 水文調査 9月6日 14:45-17:15 501会議室	CO61	高橋 直人	株式会社日さく	関東	懸濁地下水中の鉄・マンガン濃度の現地計測
	CO62	高橋 央伎	トキワ地研株式会社	北海道	電気検層結果に基づく層別水位観測孔の設置事例
	CO63	三浦 光隆	サンコーコンサルタント株式会社	関東	汚染された帯水層の長期間揚水による水質変化の事例
	CO64	峯浦 康平	株式会社日さく	関東	多点温度検層と地下水検層の併用による地下水流動深度の推定
	CO65	福嶋 夏紀	株式会社アサノ大成基礎エンジニアリング	関西	長期連続観測用濁度計を用いた水文調査事例
	CO66	八巻 翔太	株式会社アサノ大成基礎エンジニアリング	九州	トンネル施工による地湧水への影響に関する広域三次元浸透流解析
	CO67	小玉 聡	株式会社ダイヤコンサルタント	関東	トンネルの施工に伴うタンクモデルを用いた工事影響検討
	CO68	小野寺 春斗	基礎地盤コンサルタンツ株式会社	東北	河川合流部における堤防浸透流解析事例
C-3 斜面調査-1 9月7日 9:00-10:00 501会議室	CO69	片山 輝彦	株式会社アサノ大成基礎エンジニアリング	関東	傾斜センサーと土壌水分センサーを用いた鉄道切土斜面の管理システムについて
	CO70	谷垣 勝久	株式会社タニガキ建工	関西	長大切土法面におけるDH級岩盤評価の妥当性
	CO71	真野 雄	株式会社藤井基礎設計事務所	中国	対象岩塊の背後に巨大な崩壊地形を見つけてしまった時の対応
	CO72	田中 龍哉	株式会社アサノ大成基礎エンジニアリング	中部	落石調査(特に山岳地の地質踏査)において位置精度を向上させるための取り組み
C-4 斜面調査-2 9月7日 10:15-11:45 501会議室	CO73	宿澤 未波	応用地質株式会社	関東	活動性のある岩盤斜面の挙動の経年変化について
	CO74	藤井 俊逸	株式会社藤井基礎設計事務所	中国	斜面災害のすべり機構を説明する「ドボク模型」の紹介
	CO75	菊池 萌	国際航業株式会社	関東	令和3年7月豪雨による斜面崩壊のメカニズムと対策事例
	CO76	大山 朝之	株式会社レアックス	北海道	山体崩壊堆積物に対する堆積構造把握のための調査事例
	CO77	幸坂 賢虎	基礎地盤コンサルタンツ株式会社	関東	蛇紋岩分布地域におけるのり面崩壊箇所の地質調査と対策工検討事例
	CO78	原 勝宏	川崎地質株式会社	中部	貯水池地すべりに関する高品質コアのX線CTスキャンを活用したすべり面判定の精度向上に関する試行事例
C-5 地すべり調査 9月7日 13:00-15:00 501会議室	CO79	下梶 秀則	中央開発株式会社	中部	地すべり調査における安全対策とその効果
	CO80	辻本 雅治	川崎地質株式会社	関東	地すべりブロック境界におけるアンカーの荷重状態について
	CO81	虎尾 魁人	ニタコンサルタント株式会社	四国	遠隔監視カメラによる亀裂計測で地すべり危機管理を実施した事例
	CO82	伊東 陽希	株式会社ダイヤコンサルタント	関西	花崗岩地域で発生した地すべり調査事例
	CO83	渡部 海	株式会社ウエスコ	中国	微地形強調図を利用した小規模地すべり調査事例
	CO84	辻 敦矢	ニタコンサルタント株式会社	四国	平成30年西日本豪雨による地すべり災害事例
	CO85	上山根 吉彦	応用地質株式会社	関西	道路に影響を与えた地すべりの調査解析事例
	CO86	木下 英樹	応用地質株式会社	関東	大口径集排水工法の施工を見据えた地下水賦存層の検討例
D-1 新技術／自動化 9月6日 13:00-14:30 502会議室	CO87	森 大器	中央開発株式会社	関東	傾斜センサーによる斜面監視モニタリングのマーケット開拓コンソーシアムの活動報告(市場開拓ワーキング)
	CO88	八木 雅	応用地質株式会社	関東	傾斜センサーによる斜面監視モニタリングのマーケット開拓コンソーシアムの活動報告 (IoT傾斜センサーが捉えた表層崩壊事例と管理基準値の設定に向けた考察)
	CO89	山口 博久	株式会社メーサイ	関西	自走式地盤調査機を用いたデジタルトランスフォーメーションの取組み
	CO90	津留崎 一洋	株式会社ワイビーエム	九州	全自動ボーリングマシンの開発 — ワイヤーラインを用いた軟弱地盤の削孔について その3 —
	CO91	宮本 哲臣	株式会社クリステンセン・マイカイ	関東	全自動ボーリングマシンの開発 — 軟弱地盤削孔用ワイヤーラインツールの開発について その2 —
D-2 地質リスクマネジメント 事例研究セッション 9月6日 14:45-17:15 502会議室	GR1	山下 隆之	株式会社アバンス	九州	軟弱地盤地帯の道路計画における地質リスク評価事例
	GR2	三宅 雅生	株式会社ソイル・プレーン	中国	地すべり災害におけるアンカー工の地質リスク回避事例
	GR3	伊藤 亮太	応用地質株式会社	関東	微動アレイ探査による埋没地形の検出と考察
	GR4	徳間 伸介	川崎地質株式会社	北陸	山岳地域の高速道路4車線化における地質リスクの検討事例
	GR5	伊藤 健雄	株式会社エイト日本技術開発	中国	山腹斜面で道路施工中に発生した地すべりの事例
	GR6	齊藤 龍太	株式会社藤井基礎設計事務所	中国	擁壁背後の地盤沈下の地盤リスクを考慮した予防保全計画の提案事例
	GR7	新谷 俊一	株式会社ダイヤコンサルタント	九州	トンネル工事により水源等に減濁水が生じた場合の水文観測体制と管理基準設定例
	GR8	本間 宏樹	応用地質株式会社	北海道	地すべり地帯を通過する高速道路の4車線化事業における地質リスクの低減の取り組み
D-3 BIM／CIM対応 9月7日 9:00-10:00 502会議室	CO93	草野 互	株式会社村尾技建	北陸	急峻地に計画された道路における地質リスクの抽出と詳細調査事例
	CO94	東 浩太郎	日本物理探査株式会社	関東	トンネル調査での3次元地質モデル作成事例
	CO95	北村 天宏	株式会社ダイヤコンサルタント	東北	ダム地質調査における透水性評価事例
D-4 新技術／物理探査 9月7日 10:15-11:45 502会議室	CO96	加藤 欣也	株式会社レアックス	北海道	高解像度ポアホールカメラを用いた孔壁展開画像の新しい見せ方
	CO97	児島 悠司	大和探査技術株式会社	東北	改良型弾性波探査による砂防堰堤の健全度調査事例
	CO98	倉田 力	株式会社アサノ大成基礎エンジニアリング	東北	構造物基礎のボーリング調査に弾性波探査を併用した地すべりブロック範囲の検討事例
	CO99	仲田 千佳子	株式会社日さく	関東	微動アレイ探査の斜面・道路盛土における活用事例
	CO100	河野 美博	株式会社環境防災	四国	不陸を伴う基盤面調査における物理探査の有効性について
D-5 新技術／遠隔調査 9月7日 13:00-15:00 502会議室	CO101	吉田 美月	基礎地盤コンサルタンツ株式会社	関東	干渉SAR時系列解析による地すべり活動の把握
	CO102	犬飼 唯人	中央開発株式会社	関東	堤防開削調査におけるUAV測量の活用事例
	CO103	佐多 美香	西部技術コンサルタント株式会社	中国	UAVレーザータを活用した微地形表現図による落石発生源の抽出事例
	CO104	阿部 健	株式会社みすず総合コンサルタント	関東	UAV撮影による赤外線熱画像を利用した空中地温探査の試み
	CO105	嶋田 隆信	株式会社みすず総合コンサルタント	関東	UAV搭載赤外線カメラ画像を用いた老朽化法面の診断調査事例
	CO106	寺田 龍矢	中央開発株式会社	関東	簡易LiDARの地質調査における活用例
	CO107	田中 風羽	中央開発株式会社	関東	斜面災害初動調査に向けた3次元点群データの活用事例

表3 優秀技術発表者賞 受賞者一覧

セッション名	論文 No.	発表者氏名	所属機関	地区	題 目
A-1 ケーススタディ-1	CO5	小野 藍生	応用地質株式会社	関東	未利用エネルギー活用事業における二酸化炭素固定方法の検討
A-2 ケーススタディ-2	CO13	大場 椋斗	日本エルダルト株式会社	中部	単位体積重量の実測値と一般値との比較
A-3 サウンディング	CO15	石井 恵	中央開発株式会社	関東	液状化層の分布把握のための電気式コーン貫入試験の活用事例
A-4 ダム・ため池調査	CO23	萩村 俊司	基礎地盤コンサルタンツ株式会社	関東	ため池耐震照査業務における詳細法と SIP 簡易法の比較事例の紹介
A-5 メンテナンス	CO29	木村 健志	日本地研株式会社	九州	熱赤外線画像解析を用いたモルタル吹付のり面の健全度評価
B-1 物理探査・検層-1	CO33	糟谷 徹勇	川崎地質株式会社	関東	音響波を利用した埋設管調査
B-2 物理探査・検層-2	CO39	江元 智子	サンコーコンサルタント株式会社	関東	関東ローム層内の地下塚に対する調査事例
B-3 オペレータセッション	OP4	須佐美 俊和	株式会社相愛	四国	ボーリング掘進条件数値化による掘進技能向上の試み
B-4 原位置試験	CO46	井上 駿	川崎地質株式会社	関東	洋上の地質調査における N 値補正に関する考察
B-5 室内試験	CO54	三好 功季	協同組合関西地盤環境研究センター	関西	沈降分析の自動化への試み(その 4)
C-1 地下水調査	CO56	下松 匠	中央開発株式会社	関西	ニューマチックケーソン工法に伴う井戸・地下室調査の事例
C-2 水文調査	CO66	八巻 翔太	株式会社アサノ大成基礎エンジニアリング	九州	トンネル施工によるため池湧水への影響に関する広域三次元浸透流解析
C-3 斜面調査-1	CO71	真野 雄	株式会社藤井基礎設計事務所	中国	対象岩塊の背後に巨大な崩壊地形を見つけてしまった時の対応
C-4 斜面調査-2	CO73	宿澤 未波	応用地質株式会社	関東	活動性のある岩盤斜面の挙動の経年変化について
C-5 地すべり調査	CO80	辻本 雅治	川崎地質株式会社	関東	地すべりブロック境界におけるアンカーの荷重状態について
D-1 新技術/自動化	CO92	矢羽田 祥貴	株式会社ワイビーエム	九州	全自動ボーリングマシンの開発 — 制御プログラムの動作確認試験について —
D-2 地質リスクマネジメント 事例研究セッション	GR4	徳間 伸介	川崎地質株式会社	北陸	山岳地域の高速道路 4 車線化における地質リスクの検討事例
D-3 BIM/CIM 対応	CO95	北村 天宏	大日本ダイヤコンサルタント株式会社	東北	ダム地質調査における透水性評価事例
D-4 新技術/物理探査	CO101	吉田 美月	基礎地盤コンサルタンツ株式会社	関東	干渉 SAR 時系列解析による地すべり活動の把握
D-5 新技術/遠隔調査	CO102	犬飼 唯人	中央開発株式会社	関東	堤防開削調査における UAV 測量の活用事例

令和5年度全地連資格検定試験の実施結果について

今年度の全地連資格検定試験（地質調査技士，地質情報管理士）は，7月に全国10会場で実施し，9月には合格発表を行いました。各検定試験の実施結果は次の通りです。

全地連資格検定試験 実施結果 概要

- 試験日：令和5年7月8日（土）
- 試験会場：全国10会場 札幌，仙台，新潟，東京，名古屋，大阪，広島，高松，福岡，沖縄
- 受験者数及び合格者数：

資格検定試験		受験申込者数 / 受験完了者数	合格者数
①地質調査技士	現場調査部門	368名 / 322名	126名
	現場技術・管理部門	968名 / 823名	253名
	(合計)	1336名 / 1145名	379名
②地質情報管理士		129名 / 112名	33名

全地連資格検定試験（応用地形判読士）および地質リスク・エンジニア認定試験は，下記の日程で試験を実施し，来年2月以降に合格発表を行う予定です。

応用地形判読士資格検定試験：

- 試験日：令和5年10月21日（土）
- 試験会場：連合会館（東京都千代田区）
- 受験者数：（申込人数）71人，（受験完了者数）60人
- 合格発表：令和6年2月26日

地質リスク・エンジニア認定試験：

- 試験日：令和5年10月6日（金）
- 試験会場：飯田橋レインボービル（東京都新宿区）
- 受験者数：（申込人数）31人，（受験完了者数）30人
- 合格発表：令和6年3月1日

（ご参考：令和6年度の試験日程（予定））

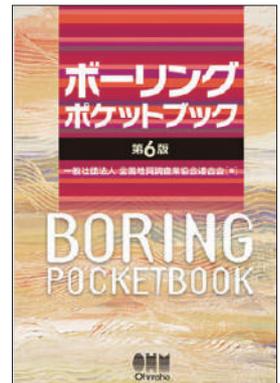
- ・地質調査技士，地質情報管理士 7月13日 全国10会場にて実施予定
- ・応用地形判読士 10月19日 東京にて実施予定
- ・地質リスク・エンジニア 10月18日 東京にて実施予定

「ボーリングポケットブック」改訂第6版の発行

ボーリングとその周辺の技術を平易に解説した地質調査技術者の必携書として定評のある『ボーリングポケットブック』は、令和5年9月に10年ぶりの改訂となる第6版を発行し販売を開始しました。

本書は、全地連創立60周年記念出版事業のひとつとして発行したものであり、この10年間の業界の環境変化—①新規格、安全基準の施行、国土情報データベースの整備 ②ICT技術の導入、管理システムの効率化・高度化 ③地質リスクマネジメントの運用—に対応する技術解説を盛り込んだものとし、各章の内容に関連して技術者が押さえておくべきトピックについてもコラムで提供しています。また、本書は全地連が主催する地質調査技士資格検定試験の受験対策テキストとしても活用されています。(株)オーム社協力のもと、第一線で活躍する地質調査技術者が編集を行いました。

購入申し込みは、全地連ホームページまたはQRコードよりご確認ください(現在、特別割引販売中です)。



著者：全国地質調査業協会連合会 編
定価：7,920円
(本体7,200円+税)
判型：A5
頁：608頁
発行元：オーム社

主要目次

- 第1章 ボーリング技術の動向
- 第2章 ボーリング掘削装置および器具類
- 第3章 計画・準備、仮設
- 第4章 掘進技術
- 第5章 試料採取と土および岩の分類
- 第6章 ボーリング孔内を利用する原位置試験・計測
- 第7章 工事、資源開発などにおける掘削技術
- 第8章 土壌・地下水汚染にかかわる調査
- 第9章 工程管理、安全管理等と地質調査に関連する法規および手続き
- 第10章 ボーリングに必要な基礎知識



購入申込書

全地連「技術フォーラム2023」の開催結果について

毎年、多くの方々にご参加を頂いております全地連技術フォーラムにつきまして、令和5年度は下記のとおり開催いたしました。

全地連「技術フォーラム2023」横浜 開催概要

- 主催：一般社団法人全国地質調査業協会連合会
- 協力：一般社団法人関東地質調査業協会
- 開催日程：令和5年9月6日(水)～9月7日(木) 2日間
- 開催場所：パシフィコ横浜 会議センター(神奈川県横浜市西区)

今回のフォーラムでは、「全地連創立60周年記念大会」をメインテーマに、地元「関東地質調査業協会」の全面的な協力と、国土交通省関東地方整備局、神奈川県、横浜市の後援および国立研究開発法人土木研究所に協賛いただきました。2日間の総入場者数は、約610名となりました。

今回の技術発表会では、新たに「地質リスクマネジメント事例研究セッション」を加え、若手技術者を中心に全国から118編の発表があり、活発な質疑が行われました。また、優秀技術発表者賞には、各セッションから選抜された次の20名の方々が受賞されました。

全地連「技術フォーラム2023」横浜 優秀技術発表者賞 受賞者一覧

セッション/発表時間	論文№	発表者氏名	所属機関名	地区	題 目
A-1 ケーススタディ-1	CO5	小野 監生	応用地質株式会社	関東	未利用エネルギー活用事業における二酸化炭素固定方法の検討
A-2 ケーススタディ-2	CO13	大場 椋斗	日本エルダルト株式会社	中部	単体積重量の実測値と一般値との比較
A-3 サウンディング	CO15	石井 恵	中央開発株式会社	関東	液状化層の分布把握のための電気式コーン貫入試験の活用事例
A-4 ダム・ため池調査	CO23	萩村 俊司	基礎地盤コンサルタンツ株式会社	関東	ため池耐震照査業務における詳細法とSIP簡易法の比較事例の紹介
A-5 メンテナンス	CO29	木村 健志	日本地研株式会社	九州	熱赤外線画像解析を用いたモルタル吹付のり面の健全度評価
B-1 物理探査・検層-1	CO33	糟谷 徹勇	川崎地質株式会社	関東	管管波を利用した埋設管調査
B-2 物理探査・検層-2	CO39	江元 智子	サンコーコンサルタント株式会社	関東	関東ローム層内の地下壕に対する調査事例
B-3 オペレータセッション	OP4	須佐美 俊和	株式会社相愛	四国	ボーリング掘進条件数値化による掘進技能向上の試み
B-4 原位置試験	CO46	井上 駿	川崎地質株式会社	関東	洋上の地質調査におけるN値補正に関する考察
B-5 室内試験	CO54	三好 功季	協同組合関西地盤環境研究センター	関西	沈降分析の自動化への試み(その4)
C-1 地下水調査	CO56	下松 匠	中央開発株式会社	関西	ニューマチックケーソン工法に伴う井戸・地下室調査の事例
C-2 水文調査	CO66	八巻 翔太	株式会社アサノ大成基礎エンジニアリング	九州	トンネル施工によるため池湧水への影響に関する広域三次元浸透流解析
C-3 斜面調査-1	CO71	真野 雄	株式会社藤井基礎設計事務所	中国	対象岩塊の背後に巨大な崩壊地形を見つけてしまった時の対応
C-4 斜面調査-2	CO73	宿澤 未波	応用地質株式会社	関東	活動性のある岩盤斜面の挙動の経年変化について
C-5 地すべり調査	CO80	辻本 雅治	川崎地質株式会社	関東	地すべりブロック境界におけるアンカーの荷重状態について
D-1 新技術/自動化	CO92	矢羽田 祥貴	株式会社ワイビーエム	九州	全自動ボーリングマシンの開発 — 制御プログラムの動作確認試験について —
D-2 地質リスクマネジメント 事例研究セッション	GR4	徳間 伸介	川崎地質株式会社	北陸	山岳地域の高速度道路4車線化における地質リスクの検討事例
D-3 BIM/CIM対応	CO95	北村 天宏	大日本ダイヤコンサルタンツ株式会社	東北	ダム地質調査における透水性評価事例
D-4 新技術/物理探査	CO101	吉田 美月	基礎地盤コンサルタンツ株式会社	関東	干渉SAR時系列解析による地すべり活動の把握
D-5 新技術/遠隔調査	CO102	犬飼 唯人	中央開発株式会社	関東	堤防開削調査におけるUAV測定の活用事例

(ご参考：次年度の開催予定)

「技術フォーラム2024」 開催地：新潟県新潟市 開催日：令和6年9月26日～27日

全地連創立60周年記念式典の開催

全地連は、昭和38年度に社団法人化し、今年度で60周年を迎えることができました。

創立記念式典は右記の通り開催し、公共機関や関係学協会、全地連会員などの関係者約300名の方々にご来場いただきました。

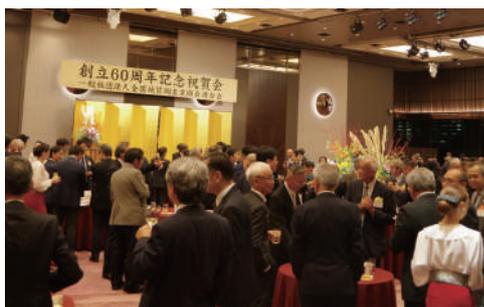
当日のプログラムの一つである「式典」では、全地連のビジョンに基づき作成した「地質調査業のアクションプラン」を公表しました。このアクションプランの内容は、全地連のホームページからご覧いただくことができます。

また、「式典」で執り行いました功労者表彰式では、地区協会や土質試験協同組合の理事や職員、そして全地連委員として長年にわたりご活躍され、またご協力をいただいてまいりました122名の方々の表彰を行いました。

講演会では、元土木学会会長、東京大学名誉教授でもある家田先生より、わが業界の可能性や魅力などを気づかせてくれる貴重なご講演を頂くことができました。

創立60周年記念式典 プログラム

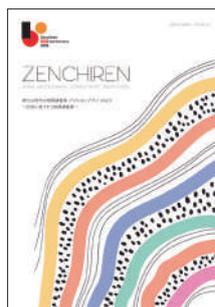
- 開催日 令和5年10月20日
- 会 場 東京會館（東京都千代田区）
- 式 典 14：00～15：30
 - ・主催者挨拶
 - ・来賓挨拶
 - ・地質調査業のアクションプラン
 - ・功労者表彰式
- 講演会 16：00～17：00
 - テーマ：わからないから面白い
土木の視点から
 - 講 師：家田 仁 様
政策研究大学院大学 特別教授
- 祝賀会 17：30～19：30



祝賀会風景



田中会長 挨拶



地質調査業のアクションプラン パンフレット



スキルアップ講習会(BIM/CIM, 地質リスクマネジメント)の開催について

全地連では、地質調査の新たな業務として注目されている BIM/CIM や地質リスクマネジメントをテーマに、下記の4会場で講習会を開催いたします。また、講演では、土木研究所のご協力の下、本研究所の研究員を講師としてお招きし、特別セッションとしてご講演を頂く予定です。

なお、全地連では、講習内容をより多くの方々にご聴講いただくため、今回の講習会の様子を録画した動画を全地連のホームページに12月下旬に掲載する予定です。

開催地、日程

開催地	開催日	会場
札幌	11月17日(金)	北海道自治労会館
東京	11月7日(火)	エッサム神田2号館
大阪	12月7日(木)	ドーンセンター天満橋
福岡	11月27日(月)	福岡県中小企業振興センター

プログラム

プログラム	講師
14:25～15:05 第1部 地盤情報の活用と今後の展開 国土交通省が進める BIM/CIM のうち地質調査業務に関わる分野について、ガイドラインや地質・地盤3次元モデルの活用事例、作成の手順などを紹介します。	全地連 情報化委員会
15:25～16:10 第2部 地質リスクマネジメント 国土交通省が発注を始めている「地質リスク調査検討業務」について、この業務の役割や発注、業務の進め方、積算などに関するポイントを、全地連が令和3年度に作成した「地質リスク調査検討業務の手引き」を用いて紹介します。	全地連 地質リスクマネジメント委員会
16:10～16:40 第3部 特別セッション (東京・大阪・福岡会場) 「道路土工における不確実性の段階的な低減 ～地質・地盤リスクマネジメントの必要性と実施～」	(国研) 土木研究所
(札幌会場) 「記録から分かる北海道における斜面災害のリスクについて」	(国研) 土木研究所 寒地土木研究所

編集後記

2021年11月に開催された拡大編集委員会（各地区協会委員が一同に会し、今後の編集方針等に関する意見交換を行う会議）において、「地質と調査」は学会の雑誌のようで硬すぎるのでは、業界内だけではなく業界外の人も手に取ってくれるような雑誌にできないか、読者の興味を惹く記事が必要、という意見が上がりました。この意見を受けて本号では、地質と関係の深い食と旅に関してワクワクするようなトピックを紹介し、食と旅による「地質の愉しみ方」を一般読者に示すことにより、地質さらには地質調査業界への関心を促したいという意図で企画しました。

私事になりますが、今年の夏休みの家族旅行で、「ス

トーンハンター伊勢志摩」という「宝石」の採掘体験ができるアミューズメント施設に行きました。小学校2年になる長女は砂に埋められている「宝石」を夢中で探し、ゲットした「宝石」を図鑑を見ながら分類し標本ケースに大切に保存しています。このような施設は日本各地にあり、一部では予約がなかなか取れない人気スポットもあるようです。親子で地質を愉しむ、良い機会となりました。

最後になりましたが、ご多忙の中にも関わらず、快く執筆を受け入れて頂きました執筆者の方々に、心から感謝の意を表します。

(2023年11月 尾高記)

機関誌「地質と調査」編集委員会

一般社団法人全国地質調査業協会連合会

委員長 鹿野 浩司

委員 尾高潤一郎、谷川 正志、細矢 卓志、堀尾 淳、山田 茂治

各地区地質調査業協会

委員 北海道：関根 幸博 東北：庄子 夕里絵 北 陸：桜井 幹郎 関 東：藤本 泰史 中 部：今井 良則
関 西：東原 純 中 国：西田 宣一 四 国：大岡 和俊 九 州：原田 克之 沖縄県：砂川 尚之

一般社団法人全国地質調査業協会連合会

〒101-0047 東京都千代田区内神田 1-5-13 内神田 TK ビル 3 階 TEL. (03) 3518-8873 FAX. (03) 3518-8876

北海道地質調査業協会	〒060-0003	北海道札幌市中央区北 3 条西 2 丁目 1 (カミヤマビル)	TEL. (011) 251-5766
東北地質調査業協会	〒983-0852	宮城県仙台市宮城野区榴岡 4-1-8 (パルシティ仙台 1 階)	TEL. (022) 299-9470
北陸地質調査業協会	〒951-8051	新潟県新潟市中央区新島町通 1 ノ町 1977 番地 2 (ロイヤル礎 406)	TEL. (025) 225-8360
関東地質調査業協会	〒101-0047	東京都千代田区内神田 2-6-8 (内神田クレストビル)	TEL. (03) 3252-2961
中部地質調査業協会	〒461-0004	愛知県名古屋市中区葵 3-25-20 (ニューコーポ千種橋 403)	TEL. (052) 937-4606
関西地質調査業協会	〒550-0004	大阪府大阪市西区靱本町 1-14-15 (本町クィーパービル)	TEL. (06) 6441-0056
中国地質調査業協会	〒730-0017	広島県広島市中区鉄砲町 1-18 (佐々木ビル)	TEL. (082) 221-2666
四国地質調査業協会	〒761-8056	香川県高松市上天神町 231-1 (マリッチ F1 101)	TEL. (087) 899-5410
九州地質調査業協会	〒812-0013	福岡県福岡市博多区博多駅東 2-4-30 (いわきビル)	TEL. (092) 471-0059
沖縄県地質調査業協会	〒903-0128	沖縄県中頭郡西原町森川 143-2 (森川 106)	TEL. (098) 988-8350

機関誌 「地質と調査」 '23 年 2 号 No.162

2023 年 11 月 10 日 印刷

2023 年 11 月 20 日 発行

編 集 一般社団法人全国地質調査業協会連合会

〒101-0047 東京都千代田区内神田 1-5-13 内神田 TK ビル 3 階

発行所 株式会社ワコー

〒102-0072 東京都千代田区飯田橋 3-11-6 TEL. (03) 3230-2511 FAX. (03) 3230-1381

印刷所 株式会社 高山

無断転載厳禁

印刷物・Web 上等に本誌記事を掲載する場合は、一般社団法人全国地質調査業協会連合会に許可を受けてください。

RG社 (Robertson Geologging) は検層一筋40年、検層装置の世界的リーディングカンパニーです。土木地質分野から地下水環境・資源分野に至る多様なプローブに加え、目的用途に応じた多様なウインチ、125℃対応の高温プローブを提供しています。また、最大3000m巻4芯アーマードケーブルで1MBPSの超高速通信技術の確率により画像や波形データの伝送もリアルタイム感覚です。



Micrologger-2 & PC



Winlogger Software



500m巻



1,000m巻



2,000m巻



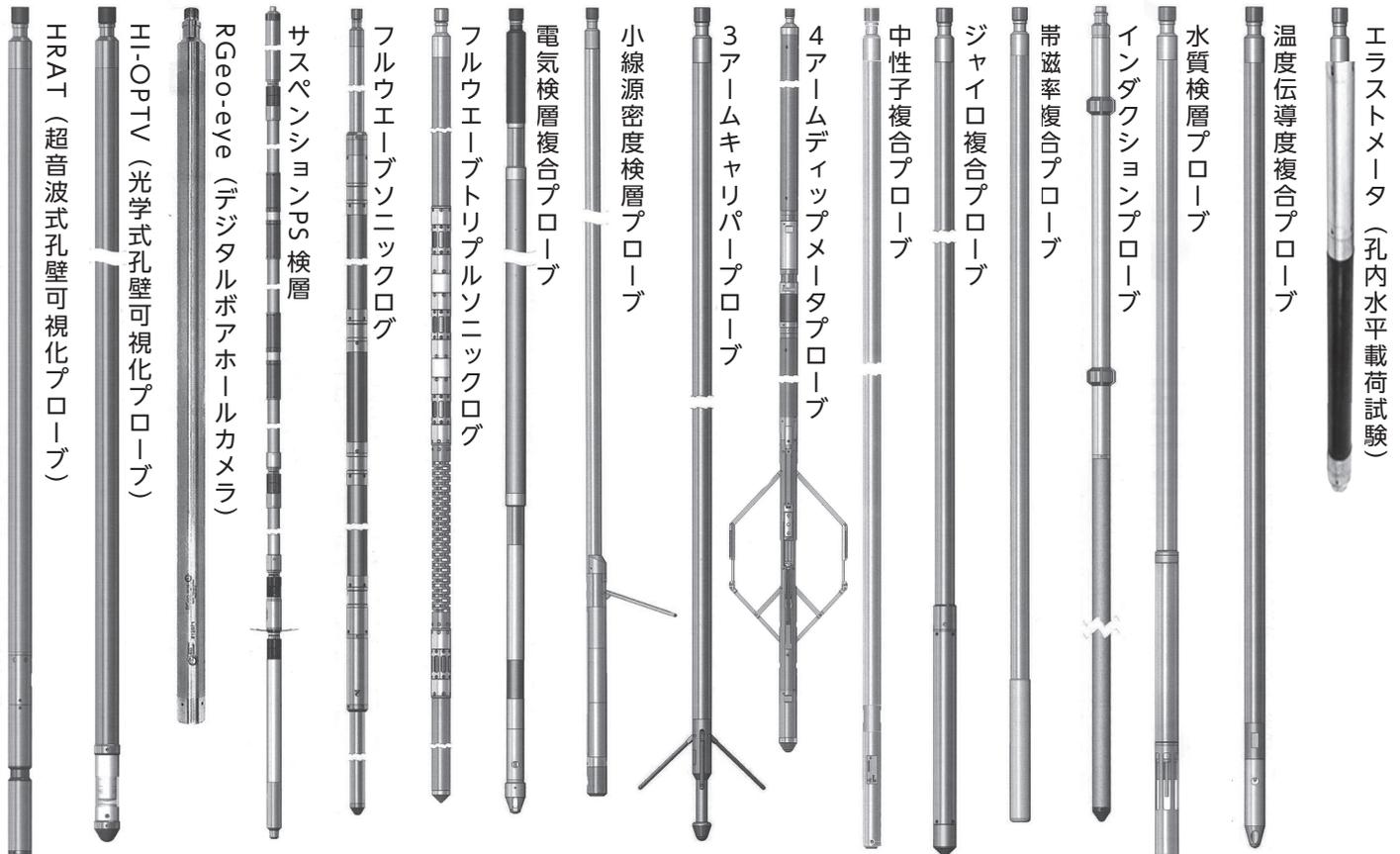
3,000m巻

孔壁の可視化

ポアホールサイズミック

代表的な物理検層

水質検層ほか



株式会社 ジオファイブ

URL <http://www.geo5.co.jp/>

〒331-0812 埼玉県さいたま市北区宮原町1-453-2

TEL 048-662-9175 FAX 048-662-9176

Email sales@geo5.co.jp

■業務内容■

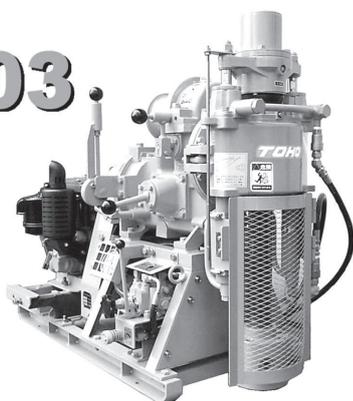
- 計測機器販売 : 地質調査機器・非破壊検査機器
- 計測機器レンタル : 地質調査機器・非破壊検査機器
- 計測業務 : 3D-RADAR計測業務 他
- 計測機器設計製作 : 各種計測機器の設計製作



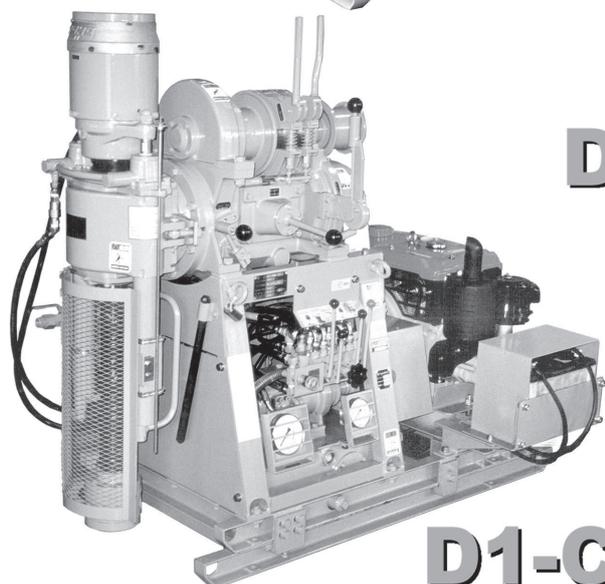
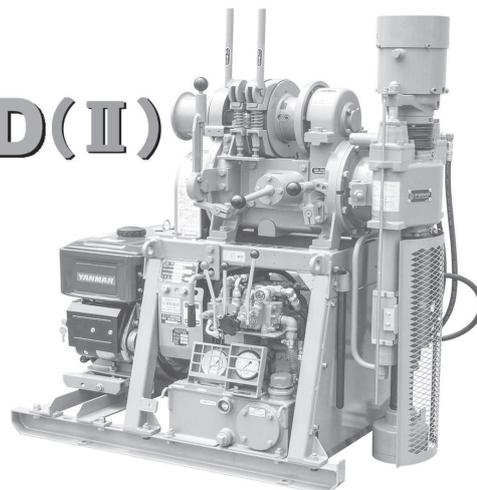
TOHO
DRILLING EQUIPMENT

小型ボーリングマシン

DM-03

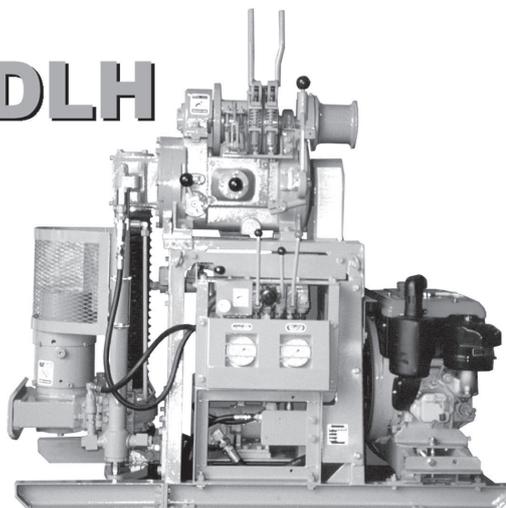


D0-D(Ⅱ)



D1-C

D0-DLH



試錐機には小型ボーリングポンプが内蔵できます。(DM-03を除く)

機種名		DM-03	D0-D(Ⅱ)	D0-DLH	D1-C
穿孔能力	m	30	100	100	280
回転数	min ⁻¹	65,125,370	(A)60,170,330 (B)110,320,625※	(A)60,170,330 (B)110,320,625※	(A)65,130,170,370 (B)90,170,320,490※
スピンドル内径	mm	47	43	43	48,58
ストローク	mm	400	500	500	500
巻上げ力	kN(kgf)	3.9(400)	5.9(600)	5.9(600)	10.8(1100)
スライド	mm		油圧式300※	油圧式300※	油圧式300
動力	kW/HP	3.7/5	3.7/5	3.7/5	5.5/8
質量	kg	180	350(油圧チャック装着時)	475	550
寸法	H×W×L mm	960×550×1115	1225×655×1285	1440×890×1415	1390×735×1580

右操作、左操作をご用意しております。 ※はオプションです。



東邦地下工機株式会社

東京都品川区東品川 3-15-8 TEL 03 (3474) 4141
福岡市博多区西月隈 5-19-53 TEL 092 (581) 3031
URL: <http://www.tohochikakoki.co.jp>

福岡 092(581)3031
東京 03(3474)4141
札幌 011(376)1156
仙台 022(235)0821
新潟 025(284)5164
金沢 076(235)3235

名古屋 052(798)6667
大阪 072(924)5022
山松 089(953)2301
広島 082(533)7377
熊本 096(232)4763

地質調査

通巻162号