

# 地質調査

2013

# 第2号

(通巻136号)

Japan Geotechnical  
Consultants Association

編集／一般社団法人全国地質調査業協会連合会

## 巻頭言

≫ 活断層の調査・研究の現状紹介

京都大学名誉教授 岡田 篤正

## 小特集 活断層調査の現状と展望

≫ 海域における活断層調査の  
現状と課題

岡村 行信

≫ 関東平野北西縁断層帯の  
調査と課題

堀川 晴央

≫ 大阪平野の活断層概観

末廣 匡基

≫ 地震地質学の最前線：  
サンアンドレアス断層  
1857年震源断層

奥村 晃史

≫ 最新の計測技術を用いた  
変動地形学的調査

小荒井 衛・岩橋 純子

## 教養読本1

≫ 全国地震動予測地図

藤原 広行

## 教養読本2

≫ 航空レーザ計測

鹿野 浩司

## 基礎技術講座

≫ 地表地質踏査技術の基礎

林 浩幸

YHP-1



(ニッケル鉱調査 フィリピン)

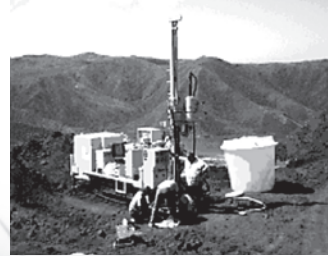
YBM-05DA-2



ECO-3V  
(ニッケル鉱調査  
インドネシア)



(ニッケル鉱山調査 ニューカレドニア)



ワイヤーライン工法用削孔機  
TYW-50

# 資源探査、環境調査、土木建設の基礎調査 世界で活躍するYBMのボーリングマシンとツールス

大口径ボーリングマシンから、超軽量ボーリングマシン  
地熱開発用コンパクトリグ、地中熱交換井削孔機まで、  
幅広いニーズを満たす製品を取り揃えております。



地熱開発用コンパクトリグ  
HC-2000R

YBMの多目的パイプロドリル  
地中熱交換井掘削機シリーズ

深度30m熱交換井方式  
により掘削コスト低減



冷暖房システム 室内用ユニット

パイプロドリル  
ECO-13GT



パイプロドリル  
ECO-7V-H



## 先進の地盤調査機で工期短縮・液状化判定にも対応。



パイプロドリル  
ECO-1VⅢ  
土壌・地下水汚染  
調査 など  
パイプロ機能を活  
かして回転せずに  
土中に貫入可能。



オートマチック  
ラムサンディング  
CRS-12

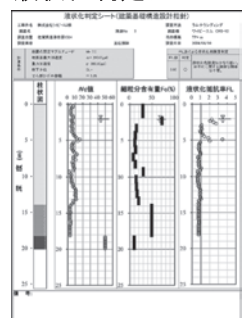
地盤調査、液状化判定 など

全自動  
ラムサン  
ディングで  
より正確に  
支持地盤の  
調査が  
できます。



土壌資料採取器  
土壌すくい

液状化判定シート



# YBM 株式会社 ワイビーエム

本 社 / 〒847-0031 佐賀県唐津市原1534 TEL (0955) 77-1121

<http://www.ybm.jp/>

東京支社 〒104-0032 東京都中央区八丁堀3丁目22-11八重洲第三長岡ビル2F TEL (03) 6280-4789  
東京支店 〒342-0005 埼玉県吉川市川藤3062 TEL (048) 982-7558  
大阪支店 〒578-0964 大阪府東大阪市新庄西5-4 TEL (06) 4309-2921

東北営業所 〒981-3133 宮城県仙台市泉区泉中央3丁目27-3日泉ビル202号室 TEL (022) 343-1210  
名古屋営業所 〒468-0043 愛知県名古屋市中区天白区菅田1丁目1208 TEL (052) 804-4841  
広島営業所 〒732-0802 広島県広島市南区大州1丁目1-25第一ふじビル1F TEL (082) 285-3824  
インドネシア事務所 Room No. 343 3F. PPHUL, JL. HR. Rasuna Said Kav. C-22 Jakarta Selatan 12940 TEL (+62) 21-52921131

<b>巻頭言</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>≫ 活断層の調査・研究の現状紹介 京都大学名誉教授 岡田 篤正 …… 1</li> </ul>
<b>小特集</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 活断層調査の現状と展望</li> <li>≫ 海域における活断層調査の現状と課題 岡村 行信 …… 8</li> <li>≫ 関東平野北西縁断層帯の調査と課題 堀川 晴央 ……12</li> <li>≫ 大阪平野の活断層概観 末廣 匡基 ……18</li> <li>≫ 地震地質学の最前線： サンアンドレアス断層 1857 年震源断層 奥村 晃史 ……24</li> <li>≫ 最新の計測技術を用いた変動地形学的調査 小荒井 衛・岩橋 純子 ……30</li> </ul>
<b>教養読本 1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>≫ 全国地震動予測地図 藤原 広行 ……36</li> </ul>
<b>教養読本 2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>≫ 航空レーザ計測 鹿野 浩司 ……42</li> </ul>
<b>基礎技術講座</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>≫ 地表地質踏査技術の基礎 林 浩幸 ……47</li> </ul>
<b>私の経験した現場</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>≫ 香川県 小豆島 馬越地区 「第三紀層地すべり地内 廃坑坑道内の地下水排除工」 木村 崇浩 ……53</li> </ul>
<b>大地の恵み</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>≫ 越中富山の酒造蔵 津嶋 春秋 ……57</li> </ul>
<b>各地の博物館巡り</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>≫ 「地底博物館 鯛生金山」 ～ミステリー坑道探検～ 大分県日田市中津江村 松尾 裕次 ……59</li> </ul>
<b>各地に残すべき地形・地質</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>≫ 稲渕の棚田 (奈良県明日香村) 加藤 智久 ……61</li> </ul>
<b>書評</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>≫ 山口県地質図 第3版 (15万分の1) および同説明書 ……63</li> </ul>
<b>会告</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>≫ 「地質と調査」の発行业務について (お知らせ) ……65</li> <li>≫ 平成 24 年度地質調査事業量は 724 億円 ……66</li> <li>≫ 平成 25 年度 全地連資格検定試験 願書受付の終了 ……68</li> <li>≫ 全地連「技術フォーラム 2013」長野の開催 ……68</li> <li>≫ 平成 25 年度「道路防災点検技術講習会」の開催について ……68</li> <li>≫ 第 4 回地質リスクマネジメント事例研究発表会 ……69 事例研究発表募集について</li> <li>≫ 地質調査業の提言 - 全地連 21 世紀ビジョンのフォローアップ 2013 - ……70</li> </ul>

# 地質調査

'13 第3号 (通巻137号) 内容 (予定) 平成25年9月発行

## 小特集テーマ

### 全地連創立50周年を迎えて

巻頭挨拶

わたしたちが考える地質調査業の次なる21世紀

地質調査業が躍動するステージ

1. 資源分野
2. 維持管理分野
3. 災害防災
4. 地質技術顧問
5. 情報分野

特別寄稿

地質リスク活動「地質リスクマネジメントによる事業費の低減」

# 活断層の調査・研究の現状紹介

おかだ あつまさ\*  
岡田 篤正\*

K  
ey Word

活断層調査, 変位地形, 写真判読, レーザー測量, トレンチ掘削調査, 活動履歴,  
連動・連鎖

## 1. はじめに

1995年兵庫県南部地震(M7.3)は近畿地方中西部、特に阪神・淡路島北部地域を中心に未曾有の大災害をもたらした。死者は6400名を越し、被害総額は約10兆円に達したとされる。

この地震を引起した地表地震断層が淡路島北西部の野島断層沿いに出現し、食違い量は最大で2m以上、長さは約10kmに達した。活断層研究会編(1991)：「新編日本の活断層－分布図と資料」で指摘されていたように、既知の活断層が再活動し、右横ずれで山側が隆起する動きが認められた。

こうして、「活断層」という言葉が社会一般にも広く認知されることになった。地震調査研究推進本部が総理府に設置され、日本全国に分布する主要活断層(帯)98本が基盤的調査観測の対象断層として地震調査の枠内で選定された。

各種の関係機関や大学等が中心となって、数多くの調査研究が実施され、10年以上にわたる成果が総合的にまとめられた。各活断層(帯)の活動履歴や諸性質の解明を通して、大地震の発生場所・時期・地震規模等の長期的な評価が公表された。また、震源断層を特定した地震の強震動予測や評価も行われ、「全国を概観した地震動予測地図」作成のための基礎資料としても使用された。

2006年度から98活断層帯に13活断層帯が追加され、近い将来の発生確率が高い活断層(帯)や高い精度の評価が得られなかった重要な活断層(帯)も補完的・追加的な調査も始ってきた。

沿岸海域を震源とする被害地震やひずみ集中帯の活断層を起源とする地震も2000年以降に多発したので、こうした調査も進められている。

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震は多くの誘発地震を起こし、中部から東北地方に及ぶ地殻運動にも広域的な変化を与え、活断層起源の地震を更に起こす可能性が高くなったとされる。

活断層の調査は社会的にも依然として重要視され、大きな注目を受けている。活断層の調査・研究にとり、大きな節目に当たる時期に現在は来ており、この分野をさらに発展・変革していくためにも、日本における活断層研究の現状把握を行い、残されている課題や将来の展望を目指した本特集号での意義は大きい。活断層研究の現状について、いくつかの項目に分けて概略を紹介する。

## 2. 活断層の変位地形と断層破碎帯

活断層研究会編(1991)や中田・今泉編(2002)が認識した活断層の総数は、日本列島の陸上部だけで約2千本が存在し、周辺海底にはさらに倍する活断層が分布する。未確認の活断層も数多くあると推測される。

日本の内陸部では、活断層は一般に約千年から数万年に1回の割合で急激にずれ動いて、大きな地震を起こす。このような断層運動が繰り返し発生して、地表面に活断層に特有な変位地形が形成され、その地下の地層は大きく撓んだり、断層で切断されたりする。

断層運動が起きると、地表面も上下方向や水平方向(横ずれ)に食い違っていて、いろいろな地形ができる。こうした断層運動で直接に生じた地形は(断層)変位地形、あるいは活断層地形とよばれ、侵蝕や堆積作用では形成できない特異な形態をも

\*京都大学名誉教授

つ。上下方向の運動（縦ずれ）で形成される崖地形・凹地地形・凸地形と、水平方向（横ずれ）による横ずれ地形があるが、これらの詳しい解説は後述の活断層の書籍に譲る。

基盤岩石の中では、両側の岩石が断層運動の繰返しで細かく砕かれ、断層破碎帯とよばれる軟弱な地質部分となる。その中心部に軟らかい断層粘土（帯）、あるいは断層ガウジが一般には伴われ、この性状や破碎度の階級を詳しく観察・記載する必要がある。

### 3. 活断層の地形学的な認定

活断層調査においては空中写真や詳細地形図の判読に基づく地形調査に始まり、場所の特定が出来てから、詳細な性質の解明に向けた各種の地質調査や物理探査等を実施する。闇雲に調査をすることは時間や経費の無駄であり、要所を押さえることができない。今日においても、こうした過程の重要性は変わらない。

#### 3-1. 空中写真による活断層判読

上述のように、各種の変位地形が活断層沿いに一般に認められ、認定には空中（～衛星）写真の立体視で検出する手法がもっとも有効である。

日本ではどの地域でも、各種の空中写真が撮影されており、空撮場所や写真の種類を選定した後に注文・購入する。

空中写真は国土地理院・林野庁・各種機関等により撮影されているが、第二次大戦直後に撮影された古い時期の写真から、最新のものまで新旧各種ある。人工改変の少ない自然地形が写されている写真（例えば、戦後直ぐに写された米軍写真）は特に貴重である。

縮尺も密着写真で約4万分の1から約1万分の1まで大小様々であるが、小縮尺の写真判読で全体的な特徴を把握し、後に大縮尺の写真で細部を詳しく観察するのが効率的である。

こうした空中写真類を使って地表を隈無く点検して、活断層に伴う変位地形や可能性のある線（帯）状の構造地形を検出し、それらの認定根拠となった地形線や地形面の特徴を記載する。こうした予察図を作成した後に、現地での各種の調査を実施し、関連する詳しい情報（詳細地形図・ボーリング資料等）の入手に努める。

この作業にはできるだけ詳しい地形図上に活断

層に関する詳細位置や性質等を書き写し、接峰面図や断面図等の図上作業で行う。さらに、現地での踏査計画や掘削調査・各種の地下探査等を行うための基礎図とする。

#### 3-2. 衛星画像データによる立体視判読

アメリカ航空宇宙局・海洋大気局等が打ち上げている人工衛星（地球観測衛星）であるランドサット（LANDSAT）の画像は、地球表面の様々な状況を精密に撮影しており、活断層の広域的な特徴をも把握し、理解する上で活用されてきた。

フランス国立宇宙研究センターで打ち上げられたSPOT衛星は、同時または個別に2つのモードで運用できる2台の同型のHRV（高解像度可視光）撮像装置を備えているので、立体視可能な画像が得られ、解像度は20m程度とされた。リクエストを出せば、ある地域の立体視画像を入手できるが、やや高価であり、研究用には難があった。

日本の宇宙航空研究開発機構（TAXA）による陸域観測技術衛星「だいち（ALOS）」は、合成開口レーダー（SAR）によって新潟県中越沖地震や四川大地震等の地殻変動の観測に威力を発揮し、災害観測にも有用であった。これには、立体視センサー（PRISM）、すなわち、前方・直下・後方を見るカメラが付いており、同じ場所をそれぞれの方向で撮影された写真と重ね合わせができる。1つは赤色、他方は緑色や青色で写真画像を塗り、アナグリフ用の3Dめがねで見ると立体的に地表面の形態が観察できる。

観測幅35km程度の広範囲を地表の解像度2.5m程度で、一どきに観察できる。空中写真のように多くの枚数を次々に取り替えて作業する必要はなく、連続的に見る事が可能である。パソコン画面の上で立体視画像を判読し、得られた情報を地図上に表記することもできる。次章で述べるレーザー計測による詳細地形図に判読結果を載せると、高精度の地形面区分や活断層の判読が可能となる。

まだ限られた機関での特殊な前処理が必要であり、3Dめがねを通しての観察であることから、利活用や普及が遅れているようである。

#### 3-3. 航空レーザー計測による詳細地形図

航空レーザー計測による地表形態の精密な把握がこの10数年において急速に利用可能となり、活断層に伴う詳細な地形研究にも活用されてきた。これはLiDAR（Light Detection and Ranging）と

よばれ、航空機（飛行機・ヘリコプター等）から地表に向けてレーザーを発射し、反射してくるまでの時間から、距離（高度）を計測する。航空機はGPSにより正確な位置が測定される。レーザーは、植生や建物等のノイズを取り除いて、最後に到達したパルスから地表高度を求める。高度はメッシュ（0.5m～10m程度）データで得られ、傾斜分布・地形断面・地形図・鳥瞰図・立体視図等の各種図化や地形計測が可能となった。

2008年岩手・宮城内陸地震（M7.2）の発生前後に航空レーザー測量が実施されており、それらのデータを使用して、標高値の変動が計測されると共に、崩壊地の地形変化の様子が詳しく解明された（国土地理院，2009）。2mメッシュの標高データ（DEM）は地形面区分のための詳しい等高線図として利用され、地震前後の標高差分図によって地殻変動の解明にも活用された。とくに、荒砥沢ダム北方の大規模な崩壊地や、駒ノ湯周辺の土石流による地形変化、さらに河道閉塞や堰止め湖出現等の詳しい変状が把握され、災害対応や復旧対策の基礎的な資料として利用された。

レーザー測量の利点は植生密度の高い地域や人工構造物で覆われた都市域でも、地表形態を精密に把握できる。松本市市街地付近の糸静線断層帯、根尾谷断層帯中央部、原子力発電所周辺の地形解析や活断層調査等でも威力を発揮している。

しかし、すでに人工改変を受けて自然地形が消失した地域では、それが行われる以前の空中写真や地形資料で補填する必要がある。いずれにしても、詳細な地形データによる微細な地形が把握できるようになり、この手法による基礎的な資料の入手や普及が浸透しつつある。

## 4. 活断層の地質学的な認定・記載法

一般的に行われる現地踏査は活断層調査でも基本であるが、活断層の認定や変位量等のために次のような調査手法が必須の項目となってきた。

### 4-1. トレンチ掘削調査

活断層の諸性質のうち、最新活動時期や活動間隔、断層の性質（走向・傾斜・地質・破碎帯等）、断層運動の方向や変位量等の解明が最重要の課題である。長期的な地震発生の可能性を評価する上で必須の基礎的な項目であり、これらの究明のためには、トレンチ掘削調査か、これに換わるよう

な高密度のボーリング調査を行い、一般には沖積層が堆積している場所で過去の活動履歴を解明する。また、活断層の実在、地下浅部での断層の微細な構造、延長方向等を把握するためにも、トレンチ調査はもっとも有効な手法である。

日本は温帯湿潤地域でかつ火山国であるので、乾燥地域の多い外国に比べて、年代が解明できる試料（材・腐植層・化石・火山灰等）や考古遺物等の混入も多い。

新鮮な断層露頭断面を露出させれば、年代値を入れることは相対的に容易である。トレンチ調査の有効性が証明されたのは、日本でも1978年以降であり、調査の歴史は比較的に浅い。日本での調査事例が増加してきたのは、具体的な年代値が導入でき、活断層の活動時期予測にとって必須の調査法と認識されてきたからである。

一方、日本には高度の土地利用や複雑な地形・地質構造等があり、トレンチ調査による活断層の調査はいくつかの課題も抱えている。

急激な隆起を伴って成長してきた顕著な断層崖麓では、扇状地や崖錐等が広く発達するが、これらは年代試料をほとんど含まない粗粒の堆積物で構成されている。例えば、六甲山南麓・養老山地東麓・伊那谷等では、山麓部から段丘化した地形面が広がり、数万年より古い堆積物が広く発達する。こうした場所では、トレンチ工法の難しさや適地選定の困難が常に伴われる。

人工改変が行われたり、市街地化が進行したりした地域では、調査場所の選定や使用許可を得ることが至難である。この手法の改善や他の調査との併用等も検討し、重要な調査方法として今後の改良を踏まえた継続が望まれる。

### 4-2. ボーリング・ジオスライサー調査

都市とその周辺においては人工的に改変された場所も多く、自然の地形や表層地質の状況が判らなくなった平野部が広く発達する。とくに、未固結の厚い堆積層で広く覆われた沖積平野や海底・湖底等では、それらの地下に活断層は伏在している場所が多い。こうした場所では、ボーリングや各種の物理探査等に依存せざるを得ない。

これらの困難を克服する手法として高密度のボーリングやジオスライサー調査による試料採取もすでに考案され数多く実施されてきた。

市街地・埋立地・河道・沿岸部のような従来では調査が困難とされてきた場所での活用でかなりよい成果も得られつつある。

琵琶湖西岸断層帯南部に位置する堅田断層では、地表付近の地形やその構成層は幅広い撓曲変形を受けており、トレンチ調査には不向きな場所が多く、高精度の活動履歴は判明していなかった。

産総研・活断層研究センターによるジオスライサーとボーリングを併用した調査が2007年に行われ、大規模な地層の撓曲(構造)が解明された。また、多くの年代資料も入手され、最新活動時期や活動間隔に関する貴重な成果が得られた。

この調査では約100mの間に34本もの地質柱状断面が得られ、詳しい地層対比と年代値の導入が計られた。この断層帯は将来の地震発生確率が高いと公表され、注目されていた活断層であったが、1185年文治地震(M7.4)を引き起こした可能性が高いと判り、長期評価の見直しに繋がった。このような活撓曲や伏在活断層等の事例には特に有効と判明した。

この手法の普及には、高額な経費や多くの調査員・長い調査期間等をいかに軽減するかの努力も必要である。また、ジオスライサーも挿入時や引き抜き時における地層変形の除去、複数の掘削断面相互の比較や対比、イベント解釈の認定基準の確立等、いくつかの課題を克服する必要がある。

## 5. 物理探査による活断層調査

地球物理学的な活断層調査には、電気探査や重力探査等を含めて多くの種類があるが、**反射法地震探査**は一番有効で、広く活用されている。この探査は石油やガス等の地下資源の開発で特に有効性を発揮してきた。日本ではとりわけ厚い堆積層で覆われて、地下地質の状況を解釈しにくい平野部や海底・湖底等の調査に有効である。

大都市では人工改変や土地利用が高度に進み、トレンチ調査場所の選定は難しくなってきた。したがって、反射法探査に加えて、ボーリング調査で得られた試料の解析を行い、時間軸を入れた地下断面構造を探ることが必須となってきた。

各地の活断層や地下構造の調査で大きな成果をあげてきたが、浅層・深層・超深層等の各構造探査手法によって、解像度がそれぞれ異なるので、相互の利点を補完し合い、ボーリング調査結果との整合性を高めていく必要がある。本号でも別に詳しい解説があるので、詳述は避ける。

## 6. 活断層分布に関する資料

### 6-1. 都市圏活断層図(縮尺2.5万分1)

日本の都市は人口も多く、社会・経済的な集中がみられるので、活断層の詳細な位置や性状を調べ、潜在的な地震危険度を把握する必要がある。これは都市計画や耐震対策等のためにも、基本的に重要な情報を提供する。

こうした基礎図となる『都市圏活断層図』が大学研究者と協力して、1996年以降から刊行され、2012年度までに総計156面に達している。これは活断層情報を地形面や地すべり等の地形面区分と共に縮尺2.5万分の1地形図上に示している。

活断層図は2005年度までは政令指定都市や都道府県庁所在地を含む主要都市を中心に刊行されたが、その後地方都市を含めた主要活断層帯の図化も重要と認識され、活断層帯全体の分布状況を詳しく解明する計画へと移行し、毎年度に約5・6図幅が作成され、今後も継続予定である。

こうした作業には、現在使用できる全ての空中写真類や既往資料が使われ、活断層の詳しい分布位置や分布形状等の図示や解説が行われてきた。

その結果、従来判明していなかった活断層も各地で見つかり、活断層の発見に繋がった。新しい変位地形が活断層図の作成過程で検出されたが、連続性(延長距離)が意外に長く、大規模の地震を起こし得る活断層帯と判明してきたものもある。

こうした活断層図の刊行後に、詳しい活断層の調査(トレンチ調査・反射法地震探査・ボーリング調査等)が実施され、それらの解析によって、活断層の实在や詳しい性質が判明した事例もある。こうして防災計画や長期評価にも取り入れられ、この図の重要性が再認識されている。

刊行後の調査で判明した活断層やトレンチ場所等、さらに部分的な修正が加えられ、第2版が刊行されたものもある。こうした改訂を含めて、国土地理院のHPには一般的な解説と共に、公表済みの図幅は誰でも閲覧し、部分的な印刷もできる。

### 6-2. 広域の活断層分布の書籍

日本列島と周辺海域の活断層を一様な基準で認定し、分布図と資料表で表現した活断層研究会編(1991)の『新編 日本の活断層』は刊行時までの資料(トレンチ調査や地下探査等)も取り入れられた。活断層が分布図と資料で一目で分かり、地域的な特徴がよく理解できる。やや広域の活断層や歴史



地震の分布等を習得する上で便利である。

この基図は縮尺 20 万分の 1 地勢図であり、使用した空中写真は縮尺約 4 万分の 1 のため、概要や広域の活断層情報の把握に便利であるが、細部の位置や変位地形の表現等は詳しく判らない。

すでに刊行後 20 数年を経ているが、利用価値はなお高い。しかし、兵庫県南部地震以後に行われた膨大な活断層調査成果が取り入れられておらず、大幅な増補・改訂が必要な時期にきている。

都市や建造物の計画に活用されるためには、『九州の活構造』（九州活構造研究会，1989）や『近畿の活断層』（岡田・東郷編，2000）のような書籍があり、活断層位置の詳しい図示と共に解説や文献等が示されている。これらは基図が縮尺 5 万分の 1 地形図であり、使用空中写真の縮尺は約 4 万分の 1 と 2 万分の 1 が主であった。刊行時までの資料や文献に基づいて、活断層の分布と性質の概要が解説されている。

池田ほか（2002）の『第四紀逆断層アトラス』は、北海道・東北から近畿地方までの主な逆断層帯を対象として、高精度の等高線図（縮尺約 5 万分の 1）上に活断層を示し、地域毎に解説を加えている。長大な逆断層帯の詳細位置と全体像を理解するには、貴重で便利な地図帳である。

中田・今泉編（2003）の『活断層詳細デジタルマップ』も活断層の位置情報を DVD を使用して縮尺 2.5 万分の 1 地図に示されている。新たに判読され、図示された情報も含まれるが、『第四紀逆断層アトラス』や『都市圏活断層図』等からも成果が取り入れられ、活断層の位置や分布を把握する上では便利である。個々の活断層の解説や文献等が地図上に十分には示されていないが、上掲の書籍と併用すると、より理解が深まる。

### 6-3. 活断層基本図計画・その他

地震調査研究推進本部は「新たな地震調査研究の推進について」の 2009 年報告で「活断層基本図」の作成を目標として掲げた。これは従来の調査・研究成果を再評価し、活断層の認定基準を明確化すると共に、大縮尺（縮尺約 1 万分の 1 程度）の空中写真判読を通して、公式な活断層地図とデータベース（台帳）作成を目指している。まだ作業途中で、進捗状況の報告や公開は行われていない。

その他にも、地方自治体（あるいは活断層調査委員会）が作成した活断層分布図がある。さらに、地質調査所（現・産業技術総合研究所）がいくつかの主要活断層について、「活断層ストリップマッ

プ」を刊行し、これらも重要な情報源である。

## 7. 活断層の活動区区分・連動・連鎖

長大な活断層（帯）、例えば中央構造線断層帯や糸静線断層帯等は全線が一時に動くのではなく、いくつかに分割された区間で活動するとみなされる。このように長い断層帯の活動区間を分けたり、また隣接する活断層との連動・連鎖の有無を検討することは最重要の研究課題である。

すなわち、活断層（帯）の活動区（セグメント）の区分や連動（グルーピング）・連鎖をどう認定し、解明するかは活断層研究にとって、現在の大きな課題である。

活動区の区分は、地震時の活動・活動履歴・活動間隔・変位速度・形態の特徴等を考慮して識別される。活動セグメントの区分は地震規模や活動時期の予測等の長期評価にとって、基本的に重要な項目であり、地下構造や現在進行中の地殻変動等を含めた多くの情報の検討が必要である。

長い活断層帯が雁行・分岐する断層を含め、短時間に続けて活動することを連動とよぶ。1891 年濃尾地震（M8.0）は雁行状に配列する温見・根尾谷・梅原の各断層が一どきに活動した（村松ほか，2002）。

四国の中央構造線断層帯から淡路島東縁・六甲山地南麓・有馬－高槻断層帯にかけての長大な活断層帯が 1596 年慶長地震頃に連動・連鎖的に活動した可能性が高い（岡田，2006）。

一般に 5km 以内に分布する活断層がほぼ同時に動く時に連動とされ、過去における各々の活動履歴が揃えば一連の活動の可能性が高いと指摘できる。

しかし、海底に分布する活断層は活動履歴の解明が難しいことから、原子力発電所近傍の活断層帯では最悪の場合を考慮して、連動を前提とした地震動評価や対策を求められる事例が多い。

一方、近接する地域における複数の活断層が数十年程度の期間内に活動し、大きな地震が発生することを連鎖とよぶが、具体的な事例が歴史時代にもいくつか指摘できる。

1586 年天正地震は養老断層帯、阿寺断層帯、白川（庄川）断層帯等の複数の活断層が動いた可能性が高い。

1891 年濃尾地震の発生域の南西延長部で 1945 年三河地震（M6.8）、北西延長部で 1948 年福井地震（M7.1）が発生し、連鎖的な活動が指摘される。

また、山陰地域は周辺の中国・四国・北九州地方

等に比べて、最近の約 130 年間に M7 級の直下型大地震が 5 つも発生し、地表地震断層も出現したように、地震の発生が高い地帯となっている。しかし、明治時代以前では、880 年出雲地震 (M = 7) が知られているだけであり、1872 年浜田地震 (7.1) までの約千年間に M6.8 以上の地震は 1 つも記録されていない (岡田, 2006)。

上述のように活断層で発生する地震には、様々な挙動がある。特に大地震の連動や連鎖は現在残されているもっとも重要な課題であり、その解明に向けて、さらに調査・研究が必要とされる。

## 8. 原子力発電所周辺の活断層

兵庫県南部地震以降も各地で大地震が連続し、2007 年新潟県中越沖地震 (M6.8) では柏崎・刈羽原子力発電所が強震動を受け、重要施設も被災する事態となった。

2011 年 3 月 11 日には、日本の観測史上で最大の東北地方太平洋沖地震 (モーメントマグニチュード Mw : 9.0) が発生し、巨大津波による甚大な被害が生じると共に、電源喪失による福島第一原子力発電所での重大事故が引き起こされた。

この巨大地震の直後から 1 ヶ月後には福島県浜通りの地震 (M7.0) が起こり、正断層成分が卓越する地震断層 (井戸沢断層・湯ノ岳断層) が活動した。それ以降も震源域から離れた場所で誘発された地震が起こり、さらに周辺地域でも地震の発生の確率が高まったとされている。

このような事態を受けて、原子力規制庁 (原子力規制委員会) が 2012 年 9 月に新たに設立され、より厳格な耐震指針・安全審査が打ち出されてきた。原子力発電所で考慮する活断層は、2008 年以降の基準では過去 12 ~ 13 万年間に活動した断層とされていたが、新しい基準では、安全上考慮すべき活断層の活動年代を約 40 万年前まで遡って調査し、評価する方針と伝えられている。

また、原子力発電所とその周辺では、主要な活断層だけでなく、それに併走する断層、あるいは分岐する断層や副断層等が問題とされている。このように、従来の調査や評価を受けてきた活断層よりも、さらに規模の小さな断層や破碎帯も活断層かどうか、より精緻な議論が行われ、重要な再調査や検討項目とされている。

特に最新活動時期について焦点が当てられているが、活動間隔や変位量等に関する活断層の本質的な性質解明も今後重要な課題となるであろう。

現在、大飯・敦賀・東通等の原子力発電所が有識者会合による評価として取り上げられ、現地調査も行われたので、マスコミによる報道が盛んに伝えられてきた。引き続いて志賀・もんじゅ・美浜・泊等の発電所も現地調査が予定されている。

原子力発電所内あるいは周辺において、活断層の有無や活動時期・性質等の問題が大きく取り上げられ、これらは稼働問題にも係わっていることから、現在大きな話題になっている。より厳密で精密な活断層調査が要請されており、活断層研究者・コンサルタント関係者・事業者等による一層の解明努力が求められている。

## 9. おわりに

詳細な活断層の分布から始まり、その諸特性の解明に向けての努力は原子力発電所との関係だけでなく、地震多発国である日本にとり、今後も重要な命題である。活断層の長期評価を行う際には、活動履歴や平均変位速度等の基本的な事柄の解明も重要であり、長い活断層帯の活動区 (セグメント) 区分や、隣り合う活断層の連動 (グルーピング) の有無等を考慮する上で問題点についても重要な課題としてここで指摘した。

また、防災に実際役にたつ活断層の詳細情報を提供することはまだ道のりが遠いとも感じる。こうした活断層の諸調査は国の研究機関、大学、民間が一体となって常に究明を図る必要があり、一朝一夕にして解明できるものではない。険しい道程はなお続くが、一步一步詳細なデータを積み上げて行くしか、方法は無いと考えられる。

(本稿は岡田, 2008 を土台にして最新的话题を取り入れて紹介した。)

## 〈文献〉

- 1) 池田安隆・今泉俊文・東郷正美・平川一臣・宮内崇裕・佐藤比呂志編 (2002) 「第四紀逆断層アトラス」.  
東京大学出版会, 254 頁.
- 2) 活断層研究会編 (1991) 「新編日本の活断層—分布図と資料」.  
東京大学出版会, 437 頁+付図.
- 3) 国土地理院 (2009) 平成 20 年岩手・宮城内陸地震詳細活断層図.  
国土地理院技術資料 D・1-No.541.
- 4) 九州活構造研究会 (1989) 「九州の活構造」.  
東京大学出版会, 553 頁.
- 5) 村松郁栄・松田時彦・岡田篤正 (2002)  
「濃尾地震と根尾谷断層帯—内陸最大地震と断層の諸性質」.  
古今書院, 340 頁.
- 6) 中田 高・今泉俊文編 (2003) 「活断層詳細デジタルマップ」.  
東京大学出版会, 59 頁+付図.
- 7) 岡田篤正 (2006) 活断層で発生する大地震の連動・連鎖  
—中央構造線・濃尾断層系・山陰地域の活断層を事例として—.  
月刊地球, 号外 54, 5-24.
- 8) 岡田篤正 (2008) 日本における活断層調査研究の現状と展望.  
活断層研究, 28, 7-13.
- 9) 岡田篤正・東郷正美編 (2000) 「近畿の活断層」.  
東京大学出版会, 395 頁+付図.

# 海域における活断層調査の 現状と課題

おかむら ゆきのぶ\*  
岡村 行信\*

K  
ey Word

海域活断層, 高分解能音波探査, 活動履歴, 活断層評価, タービダイト,  
潜水調査

## 1 はじめに

活断層調査は、断層の位置や形状を明らかにすること、変位速度や活動履歴を解明すること、断層の深部形状を推定することなどを目的として実施する。それぞれの目的によって調査方法は異なるが、海域では海底を目視観察することが困難なので、音波（地震波）を用いて地形や地質構造の情報を得ることが基本である。海底地形の調査は超音波を（10kHz以上）、浅海部の海底下浅部の構造は高周波の音波を（数kHz～数百Hz）、深部の地下構造は低い周波数の音波（数十Hz以下）を用いる。それら音波を用いた調査機器はデジタルデータ処理技術の進歩によって改善され、質の高いデータが得られるようになってきた。しかしながら、高い周波数の音波は高い分解能を持つが探査深度が浅く、低い周波数の音波は深い探査深度をもつが分解能が低いという、音波の持つ基本的な性質は克服できないため、調査の限界もある。また、堆積物の採取も陸上に比べると不自由である。

## 2 海域と陸域の違い

陸域は沖積平野を除くと、浸食作用が卓越する。従って地表に現れた断層活動によって形成された変動地形は、浸食作用は受けるが、堆積物に隠されることはないので認識しやすい。一方、海域は堆積場が圧倒的に広い。堆積作用が継続しているところでは、海底に現れた断層が堆積層に覆われて見えにくくなるが、海底下に地層の変形として保存される。従って、反射法音波（地震）探査によって過去から現在までの累積してきた変形を連続的に観察することができる。陸域よりも、音波探査を適用できる範囲が広いし、それによって得られ

る情報量も多い。ある程度の厚さの完新統に覆われていることによって、活断層であるかどうかの判断や、活動度、活動履歴などの判断が可能になる。一方、完新統が非常に薄いか欠如している場合には、得られる情報量が少なくなる。陸上では普通に行われているトレンチ調査も、海底で実施することは今のところ不可能である。

海域の沿岸から大陸棚外縁までは、約2万年前に海水準が100m以上低下したため、陸化するか海水準付近にあった。その結果顕著な不整合が形成されている。その不整合面は時間面として有効であるが、堆積物が浸食されて欠如してしまうことも多く、連続的な変形構造を明らかにしにくくなる。海水準変動によって、どのような浸食作用と堆積作用を受けたかを明らかにしつつ、断層活動を推定することが必要である。

## 3 地形調査

海底の地形調査はマルチナロービームの調査手法が開発されてから、面的な水深値を得ることが可能になり、地形情報の精度が格段に向上した。その技術は時間とともに進歩し、精度の向上と調査の効率化が進められてきた。東海沖海底活断層研究会（1999）は東海沖の南海トラフ沿いの斜面のシービームマップを用いて、海底活断層図を作成した。深海域は堆積速度が遅いため、断層活動が活発であれば、その変動が地形に保存されやすい。浅海域では、伊藤・泉（2009）が山口県の北西沖に発達する菊川断層の海域延長部を海底地形データによって明瞭に示した。この海域は最終氷期に浸食面が形成され、その後海水準が上昇した後も海流が強いため堆積物に覆われなかったこと

\*独立行政法人 産業技術総合研究所 活断層・地震研究センター センター長

から、断層形状が海底に露出していたが、堆積物が覆うと地形調査だけでは断層を見つけることが困難になる。また、海底の反射強度分布を面的にイメージできるサイドスキャンソナーの機能を持ちながら、水深値も精度よく取得できるシステムも用いられている（図1、井上・岡村，2010より）。

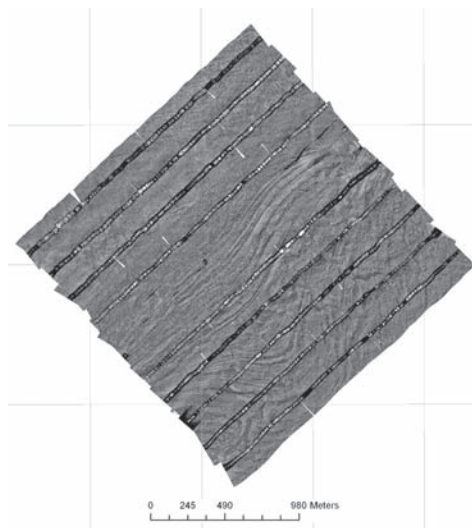


図1 能登半島北東沖で、3次元サイドスキャンソナーC3Dを用いて得られた海底のイメージ。このイメージと同時に水深値も得られている。

#### 4 音波探査

音波探査（地震探査）は音源の周波数によって、分解能と探査深度が大きく異なる。水中の音波速度は約1500m/秒であるので、100Hzの音波の波長は15m、1kHzの音波の波長は1.5mである。分解能は波長の1/8と言われるが、記録の状態によって変化する。実際の音源は正弦波ではなくパルス化した発振波形を持つが、卓越周波数が低いと分解能は低下し、高いと向上する。一方、探査深度は周波数が低いほど大きくなり、高いと小さくなる。

一般に使用される音源では、エアガン、ウォーターガン、スパーカー、ブーマーの順に周波数が高くなり、分解能が高くなる。さらに周波数が高い装置としてチャープソナー、ソノプローブ、SES2000などの装置も利用されている。これらの音源を用いて得られる反射断面の垂直分解能はシステム構成や地質条件によって変化するが、大雑把にいうと、エアガンでは10m以上、ブーマーは1m前後、ソノプローブなどでは数十cm程度である。堆積速度は場所によって変化するが、数十cm/千年であれば、エアガンの記録は数万年、ブーマーは数千年、ソノプローブでは数百年の時間分解能を持つことになる。堆積速度は速いほうが時間分解能は高くなる。

活断層の活動間隔は数千年から数万のものも多く、また、1回の断層活動によるずれは1m前後であることが多いことを考えると、エアガンを音源を用いた場合活動イベントを識別することは困難であろう。ブーマーを音源とすると、活断層を確実に認定できるし、活動履歴を解明することとも可能になってくる。さらに高い数線kHzの周波数を用いるソノプローブ、チャープソナー、SES2000等は数十cmの分解能を持ち、より精度良く活断層の活動時期を決めることができる。活断層の活動履歴を明らかにする場合には、堆積速度が速いほうが有利である。一方で、数kHz以上の周波数を用いる機器では、細粒堆積物が厚い内湾域でしか、十分に海底下の構造を明らかにすることはできない。

外洋に面した大陸棚など沿岸域で活断層調査に最も有効な探査システムはブーマーを音源とするマルチチャンネル探査システムである。ブーマーはソノプローブなどよりは低い周波数を発振するため、分解能は多少劣るが外洋の大陸棚で完新統の堆積物に対して十分な探査深度持つことが多い。特に受信部をマルチチャンネル化したことにより、データのS/N比は大きく向上し、能登半島沖の大陸棚で今まで報告されていなかった活断層が見つかる（図2；井上ほか，2007）。

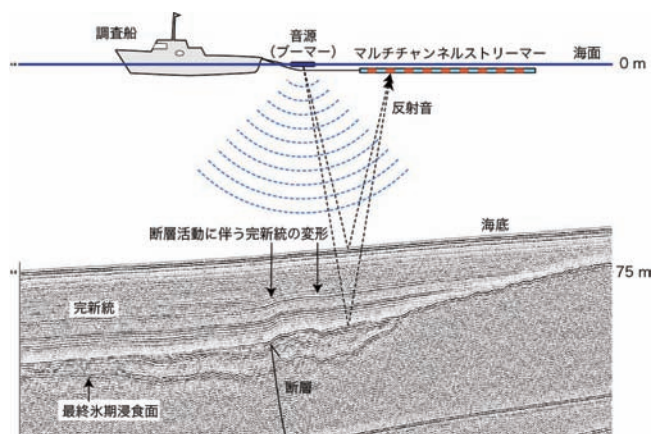


図2 能登半島地震の地震断層の反射断面イメージ。この断層の一部はエアガンを用いた反射断面で認識されていたが、ブーマーを音源とするマルチチャンネルシステムによって、完新統に変形を与える断層が明瞭に示された。

しかしながら、ブーマーを音源とするマルチチャンネルシステムも、水深200から300m程度までしか質のいい記録が得られないし、堆積物が粗粒であれば記録の質が低下し、海底下の構造を明瞭に解明することはできなくなるという弱点も持つ。ブーマーでは良好なイメージが得られない場合には、ウォーターガンがよく用いられる。ウォーターガンとエアガンはチャンバーの容量によって周波

数やエネルギーが大きく変わることから、調査対象に応じて適切な仕様を選択することが必要である。しかしながら、それらの音源で活断層の活動イベントまで識別できる分解能を期待することは難しい。

ウォーターガンやエアガンを使用するにはコンプレッサーが必要になり、調査機器が一気に大型化する。従って調査船が大型化し、沿岸に近い浅海域や漁具の多い海域での調査が難しくなる。今のところ、ブーマーを音源とするマルチチャンネルシステムが、外洋に面した沿岸海域で、分解能が高く明瞭な地質構造データを取得できるほぼ唯一の調査手段である。

## 5 堆積物の採取

活断層の変位速度や活動履歴を明らかにするためには、堆積物を採取し、年代を測定する必要がある。その採取にはピストンコアを用いることが多いが、堆積物が砂質になると、採取が困難になる。パイプロコアを用いることによって砂質堆積物を採取できるが、さらに粗粒になると採取が困難になる。一般に粗粒堆積物が分布している場合には、音波探査記録にも明瞭な構造が認められなくなるので、活断層調査そのものが困難になる。堆積物の粒度は供給源と海流などによって変化することから、細粒堆積物も周辺には分布しているはずで、断層の位置だけでなく、堆積層の層相変化も考慮することによって堆積物が採取可能な地点を選定する必要がある。

## 6 海域活断層調査の課題

音波探査は分解能が高く探査深度が大きいことが理想で、それを実現するための技術開発を検討することも必要であろう。資源探査に用いられてきた地震探査システムは、音源と受信点を多重化することによって、より深部の構造探査を可能にしてきた。それを見習えば、高分解能の音波探査でも音源と受信点を多重化することによって、現在の限界を改善できる可能性がある。

ブーマーに限らず、分解能が高い音波探査システムで音源及び受信点を多重化する際の大きな課題が、位置精度の向上である。1 m以上の分解能を期待するわけであるから、音源であっても受信点（ストリーマ）であっても、それ以上の位置精度が要求される。一方、外洋では波高1 mを超えるうねりがあることは当たり前で、曳航する発振装置やストリーマは常に上下左右にふらついている。複数の音源を発振するには、それぞれの上下左右

の位置を考慮して発振波形の位相を合わせる必要があるし、ストリーマの受信部も10cm程度の誤差で、波浪による位置のずれを常に検出し、それらを補正して重合処理を行うことが望ましい。現在でも、受信点の変動は可能な範囲で補正しているが、完全に補正することはできない。ブーマーの音波探査システムでも発信点と受信点位置を高い精度で記録するシステムの開発が期待され、それによって反射断面の質を大きく向上させることができ、探査できる範囲は広がると考えられる。

3次元音波探査システムは開発が進められているようであるが、実用化が期待される技術である。3次元的な高分解能の断層構造が明らかにできれば、活断層形状の側方への変化、断層のセグメント境界での連続性、撓曲帯の構造などが解明できるだけでなく、今までに知られていない断層形状を明らかにできる可能性がある。

堆積物の粒度は活断層調査に大きな影響を与える。先に述べたように、細粒の堆積物が速い堆積速度にたまり続けている内湾では、高い周波数の音波探査機器を用いることによって、時間分解能の高い断面データが得られ、活動イベントを認定しやすい。また、細粒の堆積物の方が堆積物の採取も容易である。別府湾で行われた活断層調査は活動履歴を見事に解明したが（島崎ほか、1986）、地質条件が恵まれていたことも事実である。残念ながら、同じように恵まれた地質条件の中に存在する海域の活断層は多くない。

海域では、地質条件によって得られる情報の質が大きく異なり、断層の有無が確認できない場合や、不十分な情報しか得られない場合がある。粗粒堆積物が分布する場所では、断層が存在するかどうかの確認が困難である。音波散乱層が発達する場合もほぼ同様である。そのような場所でも、周波数が低い音源を用いれば、深部に断層が存在するかどうかを確認することは可能であるが、活動履歴などを明らかにすることはできない。反射断面上で内部の構造が全く見えない基盤岩が露出する場所では、地形調査によって断層を見つけることが可能な場合もあるが、一般には見つけにくい可能性が高い。活断層の存在を知ることができても、活動性については解明できない。海域では上記のような条件は決して珍しくはないが、解決は容易でないと考えられる。

## 7 それ以外の調査方法

音波探査で活動履歴が解明できない深海域や堆積物が欠如する浅海域でも、海底に潜って断層を

目視観察し、堆積物の採取ができれば、活動履歴の解明が可能になる可能性がある。1993年北海道南西沖地震では、震源付近の斜面に大規模な割れ目が多数発達しているのが、潜水調査によって発見されている。割れ目には、非常に新鮮なもの、やや時間がたったようなものがあり、それらの形成年代を決めることができれば、活動履歴を知ることができるはずである（竹内ほか、1996）。1940年の積丹半島沖地震の震源域では、断層崖直下の斜面で、斜面崩壊によって角礫状の粗粒堆積物が泥質堆積物を覆い、さらに海底下の泥層中にも挟まれていることが観察されている（図3；岡村ほか、1999）。残念ながら、上記のイベントの年代を決定することができなかったため、活動履歴の解明には至っていない。このように、海底には断層の活動履歴がいろいろな形で記録されている可能性があり、それらを活用する努力も必要であろう。

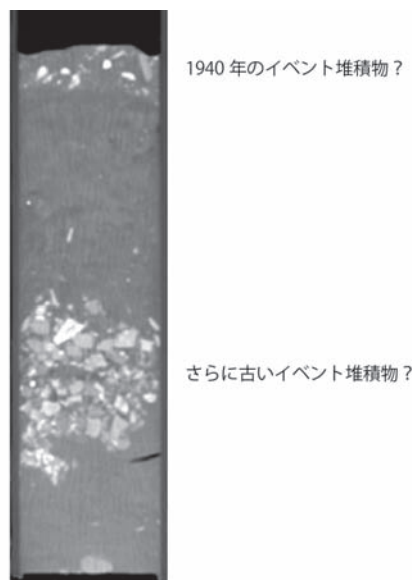


図3 北海道北西沖の忍路海山の断層崖直下の斜面において、潜水調査船“しんかい2000”を用いた調査で得られた柱状堆積物試料のX線CTスキャン画像。コアの直径は約5cm。

断層を直接観察する方法ではないが、深海域ではタービダイトを用いた地震発生時期の解明も試みられてきた（たとえば、池原、2000）。タービダイトが地震起源であるとするには、洪水時に河川から直接運ばれたものでないことを検証する必要がある。そのためには、詳細な海底地形調査を行って、タービダイトを供給したチャンネルの位置や形状を明らかにする必要がある。また、タービダイトが得られた場合に、同時期の年代を広域的に精度よく対比することが必要である。海盆とその周辺斜面の地形や堆積システムの解析も含めて実施することによって、海域活断層の履歴が精度よ

く明らかにできると期待される。

上記の方法で問題となるのは、堆積物の年代決定である。海底堆積物では有孔虫など石灰質の殻を持つ微化石を用いて $C^{14}$ 年代が測定されることが多いが、深海では溶解して堆積物中に残っていないことが多い。また、海棲生物を用いて年代決定する場合には海水のリザーバー効果による年代のずれを補正する必要がある、どうしても陸域の試料より誤差が大きくなる。

## 8 終わりに

海底に分布する活断層は、陸域に比べて遅れている部分が多々ある。その原因は海域での調査手法の限界によるところが大きい。今までの調査結果と限界を整理し、技術的な問題点や、データの解釈における課題を明らかにして、改善していく努力が必要であろう。ブーマーを音源とするマルチチャンネルシステムは、開発者の構想力とユーザーのニーズが一致した結果生まれた。そのような技術開発の努力は必要であるが、人材と資金の不足も大きな課題である。また、調査機器というハードの改善だけでなく、後期更新世以降の海水準変動と堆積作用の変遷の解明、あるいはより長期的なテクトニクスを理解など地質学的な研究も同時に進める必要がある。

### 〈参考文献〉

- 1) 池原 研 (2000) 海底堆積物中の地震性堆積物から見た北海道西方沖の地震再来間隔, 月刊地球, 号外 28, 134-138.
- 2) 井上卓彦・村上文敏・岡村行信・池原 研 (2007) 2007年能登半島地震震源域の海底活断層. 東京大学地震研究所彙報, 82, pp.301-312
- 3) 井上卓彦・岡村行信 (2010) 能登半島北部周辺 20 万分の 1 海域地質図及び説明書, 海陸シームレス地質情報集「能登半島北部沿岸域」, 数値地質図, S-1, 産業技術総合研究所.
- 4) 伊藤弘志・泉 紀明 (2009) 菊川断層帯の延長海域で発見された変動地形, 活断層研究, 31, 27-31.
- 5) 岡村行信・佐竹健二・荒井晃作・池原 研 (1999) 北海道西方沖の地震震源域及び空白域の潜航調査. JAMSTEC 深海研究, no.15, 109-122.
- 6) 竹内章・藤岡換太郎・藤倉克則・加藤幸弘・長沼 毅・倉本真一・岡村行信・岡野 肇・青木美澄・小寺 透 (1996) 津波地震による海底地盤変動—1993年北海道南西沖地震震源域潜航調査—, JAMSTEC 深海研究, 12, 65-81.
- 7) 島崎邦彦・中田 高・千田 昇・宮武 隆・岡村 真・白神 宏・前奈英明・松木宏彰・辻井 学・清川昌一・平田和彦 (1986) 海底活断層のボーリング調査による地震発生時長期予測の研究—別府湾海底断層を事例として—, 活断層研究, 2, 83-88.
- 8) 東海沖海底活断層研究会 (1999) 「東海沖の海底活断層」, 東京大学出版会, 151p.

# 関東平野北西縁断層帯の調査と課題

ほりかわ はるお\*  
堀川 晴央\*

Key Word

関東平野北西縁断層帯, 活断層調査, 物理探査, 歴史地震

## 1 はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震の発生後、関東地方では地震活動が活発化している<sup>1)</sup>。また、首都直下での地震の発生が懸念され、その確率値が大きな社会的な反響を呼んだことは記憶に新しい。

関東地方では、太平洋プレートとフィリピン海プレートという2つの海洋プレートが陸側に沈み込み、かつ、そのスラブどうしが衝突しているというきわめて特殊なテクトニクス環境下にある。これらのスラブに関係した地震によっても被害が生じているが、揺れによる被害が深刻なのはいわゆる内陸直下型地震であろう。

関東地方で現在知られている最大の活断層は、関東平野北西縁断層帯である。詳細は後ほど記すが、本断層帯は関東平野北西の関東山地との境界にあって、長さは約80 kmに及ぶとされ<sup>2)</sup>、この断層帯全体が同時に活動すると、マグニチュードは8に達するとされている。地震調査研究推進本部地震調査委員会<sup>3)</sup>による強震動予測では、この断層帯の活動により、震度6弱の揺れが群馬県中部から東京都東部の広範囲にわたるという結果が示されている。したがって、関東地方で生じる内陸地震として、第一に考える必要がある断層帯である。

以下では、まず地震調査研究推進本部地震調査委員会<sup>2)</sup>による関東平野北西縁断層帯の評価結果を概観する。それを受けて、物理探査データで見た本断層帯の様子、本断層帯の評価<sup>2)</sup>後の進捗、本断層帯との関連が指摘される歴史地震に触れるとともに、本断層帯の今後の課題について述べる。

## 2 関東平野北西縁断層帯の概要

地震調査研究推進本部地震調査委員会<sup>2)</sup>によると、関東平野北西縁断層帯は、深谷断層や綾瀬川断層(北部)などが含まれる関東平野北西縁断層帯主部と呼ばれる断層帯と、平井断層や櫛挽断層などからなる平井-櫛挽断層帯という2つの断層帯から構成されている。

このうち、関東平野北西縁断層帯主部は、北西-南東に連なる形で、群馬県旧榛名町(現高崎市)付近から安中市東部、高崎市、藤岡市、埼玉県本庄市、深谷市、熊谷市、鴻巣市、北本市、桶川市などを経て伊奈町へと至り、その長さは約82 kmとされている(図1)。深さ500 m以浅では50°-70°で南西に傾斜し、南西側隆起の逆断層と評価されている。

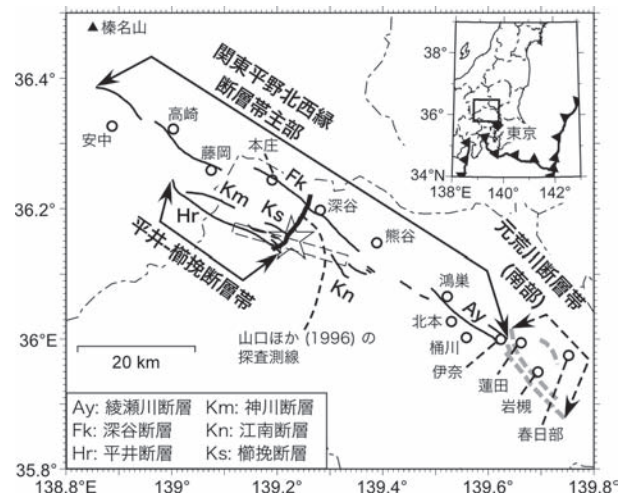


図1 関東平野北西縁断層帯の位置。太い実線が関東平野北西縁断層帯の断層トレース<sup>2)</sup>。灰色の太線は元荒川断層帯南部<sup>5)</sup>。Abe<sup>21)</sup>による1931年西埼玉地震の震央および地表に投影した断層面をそれぞれ星印と破線の矩形で示す。

\*独立行政法人 産業技術総合研究所 活断層・地震研究センター 主任研究員



活動履歴に関しては、信頼度が低いという注釈付きで公表されており、最新活動は6,200年以後、2,500年以前である。平均的なずれの速度（いわゆる平均変位速度）は、上下変位のみ0.2 - 0.4 m/千年と評価されている。平均活動間隔は1.3万 - 3万年程度とされているが、元となる平均的なずれの速度の信頼度が低いとされている上に、1回のずれの量は断層の長さをもとに経験式から推定されており、信頼度が低い値と評価されるのはやむを得ない。これらの値から、発生確率も見積もられてはいるが、その値もまた信頼度が低いものとされている。

平井 - 櫛挽断層帯は、関東平野北西縁断層帯主部の南西側に位置し、北西 - 南東走向で長さ約23 kmの断層帯であり、北東側隆起成分を伴いながらも左横ずれが卓越すると評価されている。平均的なずれの速度は、上下変位は0.1 - 0.2 m/千年と評価されているが、主成分たる左横ずれ量は不明である。最新活動を含む過去の活動時期や平均活動間隔は不明であり、発生確率も計算されていない。

このように、関東平野北西縁断層帯の評価は、時間に関係する量（平均活動間隔、最新活動時期など）に関して特に不明点が多い。

関東平野北西縁断層帯主部の一部を構成すると評価された綾瀬川断層の北部は、以前は元荒川断層帯を構成する活断層と考えられてきた<sup>4)</sup>。地震調査研究推進本部地震調査委員会<sup>5)</sup>は、綾瀬川断層の北部を除くと、元荒川断層帯は活断層ではないと評価している。

### 3 関東平野北西縁断層帯各論

本章では、物理探査データで見た関東平野北西縁断層帯を記すとともに、本断層帯の評価後になされた調査で明らかになった点、本断層帯との関連が指摘されている歴史地震、依然として残る問題点を論じる。

#### 3-1. 地震探査で見る関東平野北西縁断層帯

深谷断層を対象に2 - 3 kmほどの深度までイメージングした結果には、平野寄りの北東側では反射面が水平であるのに対して、山地寄りの南西側では反射面が同斜構造的に傾斜する形の屈曲構造が共通して認められる<sup>6)</sup>（図2）。1 km以浅を詳細にイメージングすると、下位の層を不整合で覆う堆積層に撓曲構造が認められる<sup>7)</sup>。

一方、綾瀬川断層北部を対象とした地震探査<sup>8)</sup>では、前述の屈曲構造は認められず、大宮台地の地下では堆積層が背斜構造を呈している様子がイ

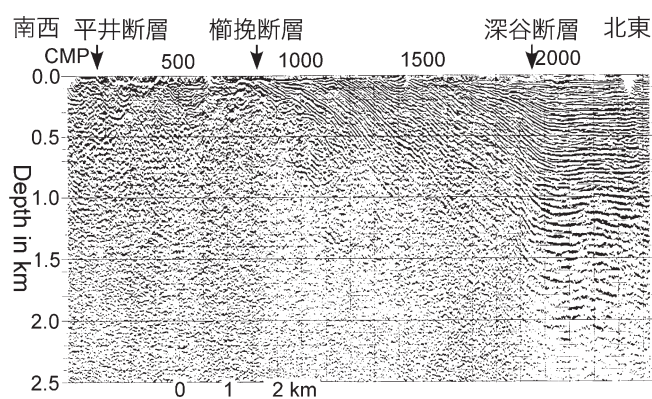


図2 深谷断層を対象とした反射法地震探査の深度断面（山口ほか<sup>9)</sup>に加筆）。測線の位置は図1を参照。

メージングされている。1 km以浅の詳細なイメージングでは、撓曲構造が明瞭であり、かつ、隆起側の堆積層が沈降側に比べて薄くなっている<sup>9)</sup>。

本断層帯の活動的とされる区間の南東端近くに位置する深度断面<sup>10)</sup>を見ると、石山ほか<sup>9)</sup>の断面で認められた明瞭な撓曲構造はなく、堆積層内の変形は不明瞭である。

#### 3-2. 重力異常で見る関東平野北西縁断層帯

残差重力分布図に関東平野北西縁断層帯の地表トレースを重ねたものを図3に示す。熊谷市より北西側に位置する深谷断層を含んだ関東平野北西縁断層帯主部を構成する断層は、重力で見ると不明瞭で<sup>12)</sup>、重力異常の急変帯はこれらの断層の南西側であって、平井 - 櫛挽断層帯のトレースとよく一致しているように見える。また、図3では、深谷断層のトレースの南西脇で残差重力の負の極値が認められ、上盤側でむしろ堆積層が厚く分布していることを示唆している。

綾瀬川断層の区間では、断層の走向と残差重力の急変帯の走向がほぼ一致しているように見える。但し、急変帯の主要部は鴻巣市の西側の吉見丘陵に対応する残差重力のピークを取り囲み、綾瀬川断層に対応する部分の急変帯での値の変化は小さい。このピークから断層の走向と平行に、断層の上盤側に延びる残差重力の尾根は、綾瀬川断層の活動的と評価された区間と同じ程度に延びている。

一方、元荒川断層帯に対応する残差重力の急変帯は認められない。元荒川断層帯は、春日部市付近で東西に並んでいる高重力値の鞍部を通過している。

#### 3-3. 深部における断層形状

関東平野北西縁断層帯を構成する2つの断層帯の間の地表での距離は10 km程度であり、関東平

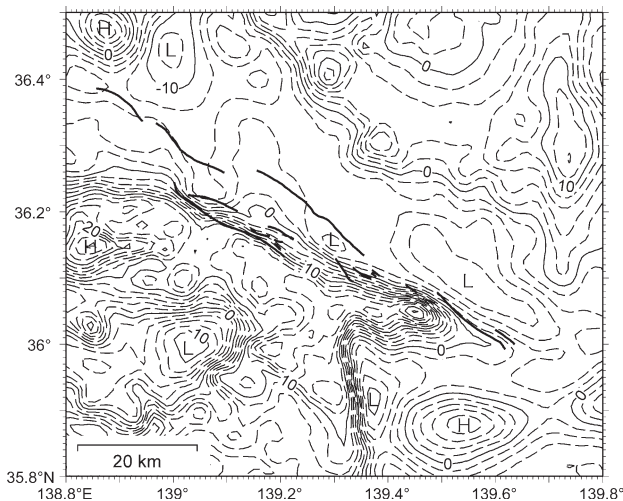


図3 ブーゲー重力異常(仮定密度  $2.3 \text{ g/cm}^3$ ) の  $0.25 \text{ km}$  上方接続から  $5 \text{ km}$  上方接続を引いた残差重力図。地質調査総合センター<sup>11)</sup>のグリッドデータを用いた。コンター間隔は  $2 \text{ mGal}$  で、 $10 \text{ mGal}$  ごとに実線で描いた。太い実線は関東平野北西縁断層帯<sup>2)</sup>。

野北西縁断層帯主部を構成する断層は南西へ傾斜している一方で、平井-櫛挽断層帯は高角とされている。これらのことから、2つの断層帯は地下では一体であるという解釈が提示されている<sup>13)</sup>。

杉山ほか<sup>14)</sup>は、反射法地震探査で得られた深度断面や地形断面をデータとして、バランス断面法により断層の深部形状を推定した。彼らは、南西傾斜の深谷断層により変形しているとしてまず解析した。異なる種類のデータを用いたが、共通して高角( $60^\circ - 80^\circ$ )で傾斜する断層面が推定された。そして、断層が高角とされることから、後述する

1931年西埼玉地震との関連に言及し、本断層帯において横ずれ変位を検討する必要があることを指摘している。

この他に、彼らは、南東傾斜とされる櫛挽断層により変形が生じたとしてバランス断面解析を実施した。推定された断層は浅部から深部に至るまで高角で、地表面近くでも断層の傾斜角は  $80^\circ$  となっている。このように高角にしない限り、断層の下端深度が  $10 \text{ km}$  よりも浅くなるとともに、変位基準として用いた堆積層の変形が再現できないとしている。さらに、既存の反射法地震探査や地形・地質調査には、櫛挽断層が浅部においてむしろ低角な断層であることを示すものが多く、高角な櫛挽断層というモデルを積極的に支持するものがないことを指摘している。

### 3-4. 活動履歴

地震調査研究推進本部地震調査委員会の評価<sup>2)</sup>の公表後に実施された調査<sup>15)</sup>により、平井-櫛挽断層を構成する櫛挽断層の活動時期が明らかとなった。具体的には、過去3回のイベントが認定され、その3回の平均発生間隔は  $1.2$  万年ほどであり、最新活動は約  $7,000$  年前~約  $5,800$  年となった。また、これまでに明らかとなった関東平野北西縁断層帯の活動をまとめ(図4)、約  $6,000$  年前に関東平野北西縁断層帯主部、磯部断層(図1には記載されていないが、平井断層の北西、安中市の南西側に位置する)、櫛挽断層、江南断層が同時に活動した可能性が指摘された。

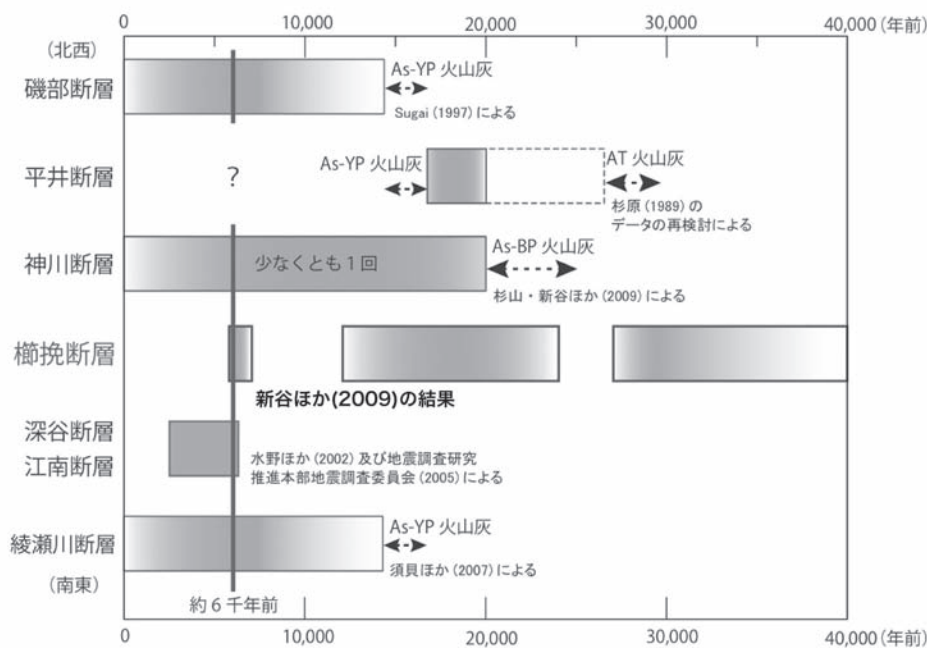


図4 関東平野北西縁断層帯の活動歴(新谷ほか<sup>15)</sup>に加筆)。図中の文献で、本論中で引用していないものは文献リストには掲載していない。

図4において、深谷断層の活動は、水野ほか<sup>16)</sup>による江南断層での値をあてているように、深谷断層の活動履歴は、最新活動を含めて不明な点が多く、本断層帯の活動履歴を解明する上での大きな課題の一つである。これまでも、深谷断層本体の履歴解明を目指した調査・研究は数多くなされてきた<sup>16)</sup>が、深谷断層が分布する地域は、履歴調査を行う（より正確には、地層の年代を決める）には厳しい環境にあることが調査を難しくしている。すなわち、堆積物が礫質であることが多いために堆積年代推定用の試料が得にくい一方で、度々浸食を受けたり、堆積環境が安定しなかったりするために地層の対比にあたっては地層の年代を細かく知る必要があるということである。

### 3-5. 歴史地震との対応

関東平野北西縁断層帯との関連が指摘されている歴史地震として、弘仁九年（818年）の地震（以下、弘仁の地震）、1931年西埼玉地震がある。

#### (1) 弘仁九年（818年）の地震

この地震は『類聚国史』という歴史書に記されているが、記述は少なく、被害分布（すなわち震度分布）の詳細を窺い知ることはできない。しかし、この地震の発生時期に対応する平安時代の液状化痕は群馬県南部から埼玉県北部にかけて数多く報告され<sup>17)</sup>、この地震に対応するとされる赤城山麓での山崩れも報告されている<sup>18)</sup>。

このように、関東平野北西縁断層帯北部では、この地震の発生時期に対応する様々な地変が見出されているのに対して、同断層帯南部については報告されていない。同断層帯南部およびさらに南の埼玉県と東京都との境近くにも液状化が生じやすい地域が分布している<sup>19)</sup>ことを考え合わせると、同断層帯南部およびさらに南の地域では、液状化が生じるほどの強い揺れが弘仁の地震時にはなかったことを意味するのかもしれない（もちろん、液状化痕がまだ見つかっていないだけという可能性は全く否定できないが）。

液状化痕の分布などからは、弘仁の地震が関東平野北西縁断層帯の北部の活動に関係しているように見えるが、前述のように、これまでの履歴調査では、本断層帯の最新活動は約6,000年前であり、弘仁の地震が本断層帯の活動であることを直接支持する調査結果はない。他の震源候補としては、関東平野下のスラブ内地震が挙げられている<sup>20)</sup>が、今後の詳細な検討が必要である。

#### (2) 1931年西埼玉地震

この地震に伴って地表に断層が生じたとする報告はないが、断層モデルは、詳細に検討されている<sup>21)</sup>。震央は36.15° N, 139.24° E, 深さは1 kmと求められた。P波初動の押し引き分布から求められた発震機構は、垂直に近い断層面上で横ずれを主体とするものである。余震分布から、走向が106°（北から時計回り）、傾斜角80°の節面が断層面とされ、長さ20 km、幅10 kmの断層を仮定（地表に投影したものを図1に示す）し、P波の初動解析から得られたすべり角（355°で右横ずれ主体）を用いて波形を解析し、1 mというすべり量を得た。また、地震波形から決められたパラメータで、水準測量で明らかとなった上下変動を説明できることを示した。このことから、図1に示す西埼玉地震の震源断層は、実際の位置と大きくは変わらず、関東平野北西縁断層帯が分布する地域から外れることはない判断される。

以上から、西埼玉地震は関東平野北西縁断層帯との関連を考察する必要がある地震と言える。図1を見ると、断層の傾斜角が高角であることもあり、平井断層や櫛挽断層と関連しているように見えるが、地表のこれらの断層が北東傾斜であるのに対して、西埼玉地震の震源断層は南西傾斜で異なり、むしろ、深谷断層の傾斜方向と定性的には一致している。これらの点を考慮した2次元モデルは、前述の山口ほか<sup>13)</sup>により提唱されているが、西埼玉地震の断層モデルや平井-櫛引断層の走向は、深谷断層の走向と一致しておらず、3次元的な違いを考慮することが必要であろう。

より大きな問題は、深谷断層などの関東平野北西縁断層帯主部は逆断層として認識されているのに対して西埼玉地震は横ずれが主体と、対照をなしていることである。このような地下と地表付近の断層の不一致が生じる物理的な要因自体が興味深い、本断層帯における横ずれ量の検討<sup>14)</sup>が、本断層帯の活動の評価とも絡んで先決であろう。

### 3-6. 関東平野北西縁断層帯の南東延長

前述のとおり、地震調査研究推進本部地震調査委員会<sup>3)</sup>は、関東平野北西縁断層帯の南東延長にあたる元荒川断層帯南部は活動的でないとしているが、人口が集中し、経済活動の中心である地域に近いという社会的な重要性から、その後も議論が続いている<sup>22)</sup>。また、延長部分では、横ずれが主体であるとの指摘もなされている<sup>23)</sup>。

延長部分の断層の走向は、北西-南西から西北西-東南東とされており<sup>23)</sup>、東西方向の圧縮を想

定すると横ずれ成分のセンスは左だが、測地データはこの見方を支持しないように見える。実際、1985年から1994年までの10年間の関東平野の地殻水平歪の分布<sup>24)</sup>を見ると、元荒川断層断層帯南部にあたる地域では、主歪の最大圧縮軸の向きは南北に近い。この主軸の向きを当該地域の応力の主圧縮軸の向きと考えるならば、本節の冒頭で想定した走向の断層での横ずれのセンスは右で、全く逆である。

冒頭で触れたように、関東地方は複雑なテクトニクス環境下にあることを考えると、ここで示したように、断層の特徴を考える上で通常積極的には用いないデータをむしろ積極的に用いて関東地方の複雑なテクトニクスを考慮しつつ、存在する断層を考察することが重要であろう。

#### 4 まとめ

関東平野北西縁断層帯に関する今後の主要な調査課題をまとめると、1) 断層の深部形状と地表で認められた断層との関係、2) 断層の横ずれ変位量の見積り、3) 深谷断層の履歴、が挙げられる。特に、1) に関しては、地表に認められる2つの断層の距離が走向方向で異なる以上、3次元的な考察が必要であろう。

この他、これまでの活断層調査ではあまり用いられてこなかったデータを積極的に用い、断層の置かれている環境を考慮することが重要であろう。これは、本断層帯のように複雑なテクトニクス下にある場合には、テクトニクスとの整合性が断層の諸条件を拘束しうるし、また、関東地方のように人間活動がきわめて活発なために調査が大変難しい地域では、データ取得の困難さを補うことにもなると考えられる。

謝辞：関東平野北西縁断層帯の履歴調査に関しては、杉山雄一氏、水野清秀氏にご教示いただいた。弘仁九年(818年)の地震や平安時代に生じた地変の分布に関する文献は、寒川旭氏にご教示いただいた。重力データの処理では名和一成氏のお世話になった。以上、記して感謝いたします。

#### 〈参考文献〉

- Hirose, F., K. Miyaoka, N. Hayashimoto, T. Yamazaki, and M. Nakamura (2011) : Outline of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (Mw 9.0) -Seismicity:foreshocks, mainshock, aftershocks, and induced activity, Earth Planets and Space, 63, 513-518.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2005) : 関東平野北西縁断層帯の長期評価について。 [http://www.jishin.go.jp/main/chousa/katsudansou\\_pdf/31\\_kanto-heiya.pdf](http://www.jishin.go.jp/main/chousa/katsudansou_pdf/31_kanto-heiya.pdf)
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2009) : 全国地震動予測地図 別冊2 震源断層を特定した地震動予測地図, 352p. [http://www.jishin.go.jp/main/chousa/09\\_yosokuchizu/index.htm](http://www.jishin.go.jp/main/chousa/09_yosokuchizu/index.htm)
- 清水康守・堀口万吉 (1981) : 大宮台地北東部における元荒川構造帯(新称)について, 地質学論集, 20, 95-102.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2000) : 元荒川断層の長期評価について。 [http://www.jishin.go.jp/main/chousa/katsudansou\\_pdf/32\\_motoarakawa.pdf](http://www.jishin.go.jp/main/chousa/katsudansou_pdf/32_motoarakawa.pdf)
- 山口和雄・加野直巳・横田俊之・横倉隆伸・木口 努 (1996) : 反射法地震探査で見た埼玉県榎挽地域の地下構造, 地震第2輯, 49, 327-335.
- 埼玉県 (1999) : 平成10年度地震関係基礎調査交付金関東平野北西縁断層帯(深谷断層)に関する調査成果報告書。
- 文部科学省研究開発局・東京大学地震研究所・京都大学防災研究所・独立行政法人防災科学技術研究所 (2006) : 大都市大震災軽減化特別プロジェクトI 地震動(強い揺れの予測)「大都市圏地殻構造調査研究」(平成17年度)成果報告書, 754pp.
- 石山達也・水野清秀・杉山雄一・須貝俊彦・中里裕臣・八戸昭一・末廣匡基・細矢卓志 (2005) : 変動地形・ボーリング・反射法地震探査により明らかになった綾瀬川断層北部の撓曲変形, 活断層・古地震研究報告, 5, 29-37.
- 山口和雄・加野直巳・住田達哉・大滝壽樹・牧野雅彦・横倉隆伸 (2007) : 綾瀬川から加須低地に至る浅部地下構造, 活断層・古地震研究報告, 7, 81-90.
- 地質調査総合センター (2004) : 日本重力CD-ROM第2版, 数値地質図P-2, 地質調査総合センター。
- 萩原幸男・村田一郎・田島広一・井筒屋貞勝・大久保修平 (1986) : 活断層の重力調査(1) - 1931年西埼玉地震の震源断層の検出-, 地震研究所彙報, 61, 563-586.
- 山口和雄・加野直巳・横倉隆伸・木口 努・横田俊之・田中明子・佐藤比呂志 (2000) : 深谷断層周辺における反射法地震探査-江南台地と妻沼低地の地下構造-, 地震第2輯, 53, 115-125.
- 杉山雄一・横田 裕・末廣匡基 (2009) : 関東平野北西縁断層帯の地下形状-地形断面と反射断面に基づく推定-, 活断層・古地震研究報告, 9, 135-158.
- 新谷加代・福地 亮・家村克敏・宮脇理一郎・宮脇明子・杉山雄一 (2009) : 関東平野北西縁断層帯・榎挽断層のトレンチ調査, 活断層・古地震研究報告, 9, 113-133.
- 水野清秀・伏島祐一郎・須貝俊彦・杉山雄一・細矢卓志・山崎晴雄 (2002) : 埼玉県岡部町及び江南町における深谷断層系の活動履歴調査, 活断層・古地震研究報告, 2, 25-40.
- 堀口萬吉 (1997) : 利根川中流低地の変動と古代地震, 地球科学, 51, 40-50.
- 群馬県新里村教育委員会 (1991) : 資料集赤城山麓の歴史地震-弘仁9年に発生した地震とその災害-, 86p.

- 19) 埼玉県 (2011) : 埼玉県地震被害想定調査 .  
<http://www.pref.saitama.lg.jp/page/h19higaisoutei.html>
- 20) 石橋克彦 (1994) : 大地動乱の時代, 岩波書店, 234p.
- 21) Abe, K. (1974) : Seismic displacement and ground motion near a fault - Saitama earthquake of September 21, 1931, Journal of Geophysical Research, 79, 4393-4399.
- 22) 渡辺満久 (2007) : 綾瀬川断層の地形学的認定とその活動性, 地学雑誌, 116, 387-393.
- 23) 後藤秀昭・熊原康博 (2010) :  
大宮台地を横切る綾瀬川断層の左横ずれ変位地形,  
地球惑星科学連合 2010 年大会予稿集, SS024-P15.  
[http://www2.jpгу.org/meeting/2010\\_disc2012/  
program/PDF/S-SS2024/SSS2024-P2015.pdf](http://www2.jpгу.org/meeting/2010_disc2012/program/PDF/S-SS2024/SSS2024-P2015.pdf)
- 24) 国土地理院 (2011) : 過去 10 年、100 年の地殻変動情報  
<http://www.gsi.go.jp/cais/HIZUMI-hizumi.html>

# 大阪平野の活断層概観

すえひろ まさき  
末廣 匡基\*

**K**  
ey Word

大阪平野, 上町断層帯, 生駒断層帯, 有馬-高槻断層帯, 反射法地震探査, 断層研究史, 断層活動性

## はじめに

通天閣から展望すると、森木立が真っ直ぐ北に延びているのを見ることができる。その中にある真言坂、源聖寺坂、口縄坂、愛染坂、清水坂、天神坂、逢坂などの「天王寺七坂」は古くから人々に親しまれている。とりわけ口縄坂は、

口縄坂はまことに蛇の如くくねくねと  
木々の間を縫うて登る古びた石段の坂である。

として、無頼派作家織田作之助の作品にも登場する名坂である。



図1 口縄坂

上町台地の西縁にあるこれらの坂は、縄文時代の海食崖を削り込んで作られているが、崖そのものの高低差は、台地西縁に沿って南北にはしる上

町断層の活動によって生じたものである。断層による変形帯は、海食崖の数百m西側にあることが知られているが、大都市の中にも活断層の痕跡を見ることができる数少ない例であろう。

このような大阪市を南北に縦断する上町断層以外にも、図2に示すように大阪平野の周辺には有馬-高槻断層帯や生駒断層帯などの活断層が分布している。

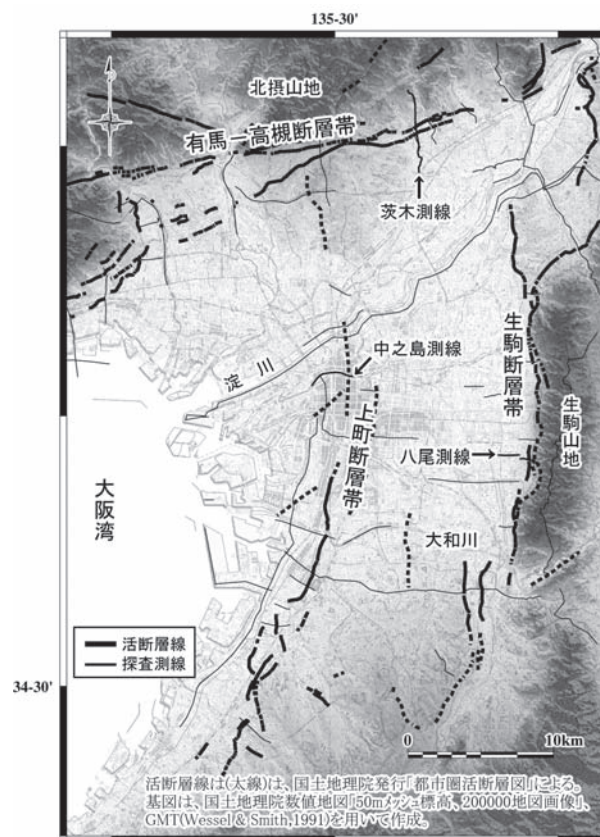


図2 大阪平野の活断層分布と反射法探査測線

\*株式会社阪神コンサルタンツ 技術開発部 プロジェクトリーダー

以下では、大阪平野の形成に深く関係するこれら3本の断層について、その研究史（～1990年頃）やこれまでに行われた各種の調査結果のおもなものについてまとめる。

## 2 研究史

大阪平野の断層に関する研究は、今から約100年前にさかのぼる明治の後期に始まる。当時は、低地部の陥没によって生じた地塁・地溝の概念が主体的であり、それらの境界は正断層で形成されていた。大阪平野では生駒山地が地塁山地にあたり、その西縁に正断層（生駒断層）が分布することが、小川（1899）や辻村（1926）などにより、主として地形的特徴にもとづいて指摘されている。

これらの断層線が地質学者によって具体的に提示されたのが中村（1928）であろう。これによって、有馬-高槻断層帯と生駒断層に関する構造がはじめて明記された。ただし、これらの断層線の分布と記載が示されたのは、中村（1934a,b）においてであった。

この時期は、関東大震災（1923）後における首都圏の復興に引き続く、関西圏の地下利用の黎明期にあたる。とくに、大阪平野の地下に関する情報は、大阪市による地下鉄の建設に伴う地質調査

に始まる。その概要は山根（1930）によってまとめられており、大阪地盤研究の嚆矢となっている。これら一連のボーリング調査結果より、堺筋に沿ってはしる南北の断層が西尾（1932）によって推定されている。これが上町断層による地盤の変形が報告された最初の論文であり、この変形は江原（1932）によって、上町丘陵西縁の断層崖として認識されている。

この時期以降は、満州事変（1931）、日華事変（1937）をへて第二次世界大戦（1941-1945）にいたる戦乱期にあたり、大阪平野において地質調査が再開されたのは、戦後のエネルギー資源開発に係わる地質調査であった。この調査は、上町台地の背斜部に潜在が期待される天然ガス開発のための調査であり、上町台地周辺のボーリング調査と併せて、大阪平野周辺の丘陵部の調査が実施され、大阪層群に関する調査の端緒ともなった。これらの結果は市原ほか（1955）によってまとめられており、千里丘陵を南北に縦断する仏念寺山断層を記載し、その断層が上町台地に延長することをすでに示唆していた。また、構造地質学的には横山（1956）が「基盤褶曲」の概念を示し、生駒山地や上町台地などが基盤岩の隆起変形によって形成された地塊であることを提唱した。

表1 大阪平野における断層研究史のあらまし

文献名	上町断層帯	生駒断層帯	有馬-高槻断層帯	備考
小川琢治(1899)		陥没による地塁山地の形成		地質構造研究の端緒
辻村太郎(1926, 1932)		近畿断層系 (生駒山断層崖)	淡路攝津断層系 (有馬断層谷、箕面断層崖等)	断層地形の研究
横山次郎(1926)		生駒傾動ブロック西縁の正断層		生駒山脈生成論
中村新太郎(1928)		傾斜地塊の形成に伴う南北性断層	陥没を伴う地質構造線	京阪神地区地質図説明文
山根新次(1930)	大阪基盤層の変形を記載			大阪市内地盤研究の端緒
西尾銈次郎(1932)	堺筋の断層			上町断層による変形の初出
江原眞吾(1932)	上町線として記載	生駒西麓の断層崖		上町丘陵縁の断層崖
中村新太郎(1934a, b)		生駒山脈を形成した南北断層	有馬-池田-高槻間に断層線を記載	近畿中部の地質構造線分布
市原実ほか(1955)	仏念寺山断層の記載			千里丘陵大阪層群研究の端緒
横山次郎(1956)		基盤褶曲による傾動地塊		「基盤褶曲」
Kazuo HUZITA(1962)		圧縮応力場における逆断層		「近畿トライアングル」
前田昇(1965)		生駒山地西麓部の断層露頭記載		
IKEBE et al.(1970)	深層ボーリング等による 地下地質層序の確立			地盤沈下対策に伴う調査研究
藤田・奥田(1973)			直線的な断層帯として定義	
藤田和夫(1974)		第四紀地殻変動図「近畿」として断層分布を明示		
活断層研究会編(1980)		日本全国を網羅した活断層分布の集大成		「日本の活断層」
藤田・前田(1985)	基盤断層として再定義			1/50000地質図「大阪西南部」
吉川宗治ほか(1987)	上町断層の実像を確認			反射法探査[中之島測線]

上に記したこれまでの地質構造が、地塁地溝の形成を基本的概念とすることに対して、HUZITA (1962) は「近畿トライアングル」という地形地質構造区を新しく提唱した。この「近畿トライアングル」とは、敦賀湾を頂点とする琵琶湖、大阪湾、伊勢湾を含む三角形の地域をいい、それまでの引張応力場に対して、圧縮応力場における地質構造として近畿地方に分布する断層が、逆断層と横ずれ断層の組み合わせとして体系化されていった。この断層概念は後述する吉川ほか (1987) をはじめとする反射法地震探査によって具体化されていくことになる。

それ以降、地盤沈下対策のための深層ボーリングによる大阪平野の地下地質層序の確立 (IKEBE ほか, 1970) や、活断層カタログの作成 (活断層研究会編, 1980) などを経て、兵庫県南部地震 (1995) 以降の全国規模の活断層調査へと研究が引き継がれていくことになる。

### 3 断層の構造

断層の基本的性質のひとつに形状がある。このような断層の構造を把握するための調査としては、反射法地震探査が有用である。この調査は、直線的な公道を測線として設定し、地表に等間隔で並べられた受振器と、特殊車両による起震機を用いておこなう非破壊の物理探査である。この探査で

は、地盤の硬軟の違いによって生じる地震波の反射面が、白黒の縞模様となって表わされる断面図が得られる。大阪平野のような砂や粘土などの堆積物で埋められている沖積平野では、これらの堆積物の物性境界が反射面となって表現される。

一般に大阪平野の地下では、表層より沖積層～段丘堆積層～大阪層群などと呼ばれる堆積層が分布することが知られている。これらの地下地質層序は図3 (吉川・三田村, 1999) に示されるように、Ma1, Ma2・・・と呼ばれる海成粘土層と、アズキ火山灰を代表とするような多くの火山灰層などによって構成されている。また堆積層の下位には、花崗岩や砂岩・頁岩などよりなる基盤岩が分布することが確認されている。

以下では、前述の3断層で行われた反射法地震探査の代表的な探査結果について、各断層の形態などの基本性状についてまとめる。

#### ◎中之島測線 (吉川ほか, 1987)

新淀川が開削される明治40年 (1907) 以前、かつての淀川本流に発達した東西約3kmの中州が中之島である。国際会議場、国立国際美術館、大阪市役所、東洋陶磁美術館などが建ち並ぶ高層ビル街になっている。中之島測線は、これらのビル街をぬうように、阪神高速中之島西入口付近を起点に中之島通から中之島公園、南天満公園をへて北区天満1丁目にいたる約3.8kmの測線である。

この調査で得られた地質断面図を図4に示す。

図に見られるように、断面の東側には断層によって著しく変形した堆積層の様子がハッキリと見られる。ここに見られる変形が上町断層帯である。

これによって、この断層が東側に傾斜する断層面をもつ逆断層であることが明らかとなった。また、この断層によって、大阪平野や大阪湾の骨格をなす花崗岩の基盤岩が、断層を境に約800m東側が持ち上げられていることがわかった。

なお、この断面の作成にあたっては、大阪層群などの堆積物の形成年代を推定するため、これまでに実施されたボーリング調査結果や、他の反射法探査結果などを参考にしている。とくに、探査測線直上の関口ほか (2005) や、IKEBE ほか (1970) などの既存ボーリング調査結果や、中川康一ほか (1989) などの反射法探査結果などが有用である。

#### ◎八尾測線 (下川ほか, 1997)

生駒山地の西麓は山際まで宅地化が進み、生駒断層をまたいで延びる直線的な東西性の道路が少ないため、断層調査のための物理探査測線の設定

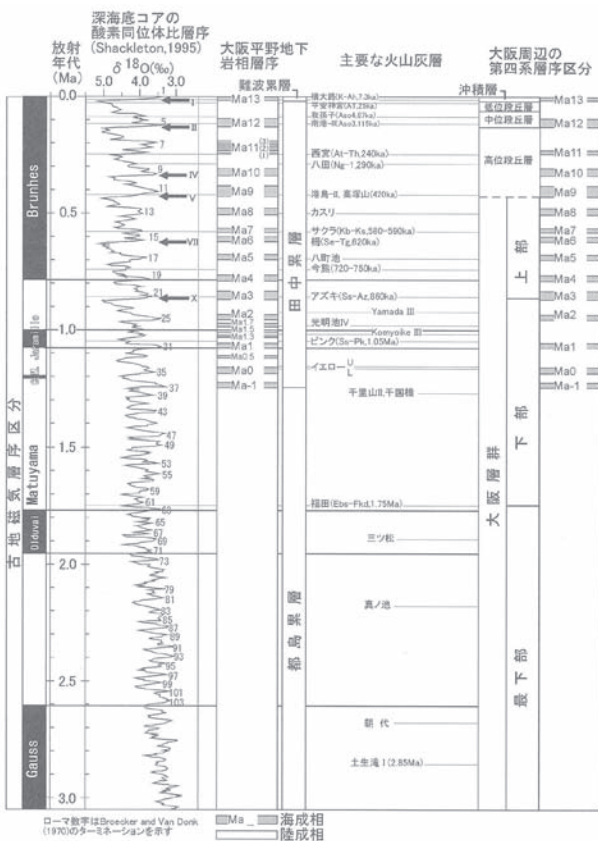


図3 大阪平野の標準地下地質層序 (吉川・三田村, 1999)



が困難となっている。既存の探査結果の中で比較的長い調査測線で実施された探査結果が図5の測線長約2.6kmの八尾測線である。

図に示されるように、山地西縁にはしる生駒断層は複数の逆断層で構成されていることがわかる。地質図（宮地ほか、1998）では測線東端付近が、

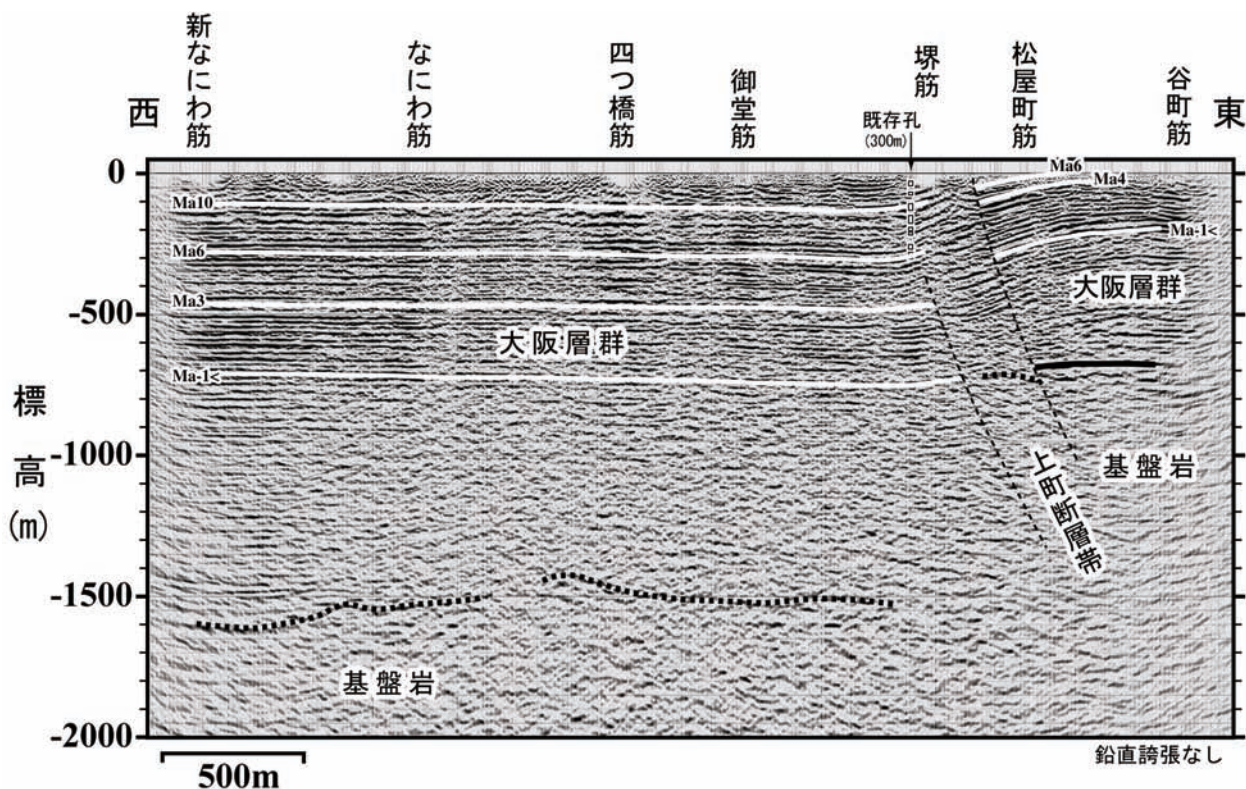


図4 地質解釈断面図 [中之島測線]

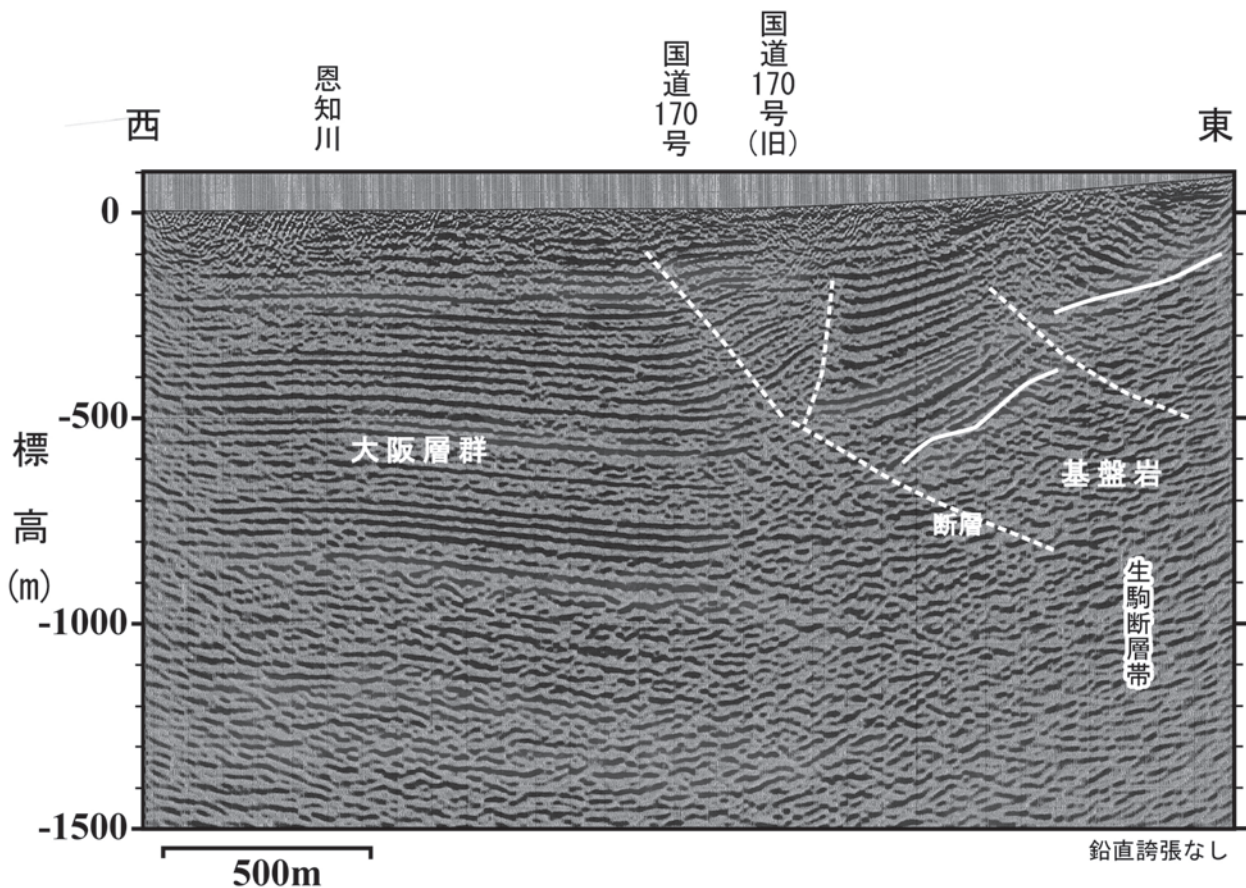


図5 地質解釈断面図 [八尾測線]

地表調査より推定されている生駒断層の位置であり、生駒断層は少なくとも3本以上の逆断層よりなっていることが明らかである。これより、断面東部だけでも500～600mくらいの鉛直落差が認められる。残念ながらこの探査断面では、断層下盤側における基盤岩が確認されていないため、生駒断層の鉛直方向の総変位量は不明である。しかし、この測線の南約1.5kmで大阪府(2007)によって実施された地下構造調査結果によれば、基盤岩最深部は深度2000m付近にあることが推定されている。これらより、生駒断層帯の鉛直変位量の総量は上町断層のそれを大きく超えることが明らかであり、大阪平野に分布する断層の中でも最大級となる。

◎茨木測線 (大阪府, 2005)

北摂山地東部の阿武山西麓付近から安威川の西側に沿って実施された南北約5kmの探査測線である。有馬-高槻断層帯に属する真上断層や安威断層と交差する。探査結果断面図を図6に示す。

先述したように、有馬-高槻断層帯の南側には、並行して地溝地形が見られることが古くより指摘されていたが、それに対応する陥没構造が明瞭である。この陥没構造はこれまでも、池田市猪名川で実施した戸田ほか(1995)による反射法探査や、淀川河川敷における川崎ほか(1994)などの探査

結果で知られていたが、これにより大阪府池田市から京都府八幡市男山南部まで陥没構造がほぼ連続することが明らかとなっている。なお、この断層帯の東端は、京都市(2005)によれば男山丘陵の東部付近であることが示されている。

4 断層の活動性

兵庫県南部地震以降、全国のおもな約100本の断層について実施された活断層調査では、上述の反射法探査をはじめとしてボーリング調査やトレンチ調査などが行われた。これにより、それぞれの活断層の活動間隔や活動時期などに関する詳細な情報が集められた。地震調査研究推進本部【[http://www.jishin.go.jp/main/p\\_hyoka02\\_danso.htm](http://www.jishin.go.jp/main/p_hyoka02_danso.htm)】によって公表されている上記3断層の活動性などに関する基本的特性を表2にまとめて示している。これによると、断層の形態については信頼性の高い情報が得られていることがわかる。しかしながら過去の活動において、有馬-高槻断層帯に関しては比較的信頼性のある情報が得られていることに対して、生駒断層帯や上町断層帯については必ずしも信頼性の高い情報が得られているとは限らない。

これは大都市に分布する活断層については調査方法が限られ、十分な調査を行うことが困難なためである。しかし、都市域における断層活動の影

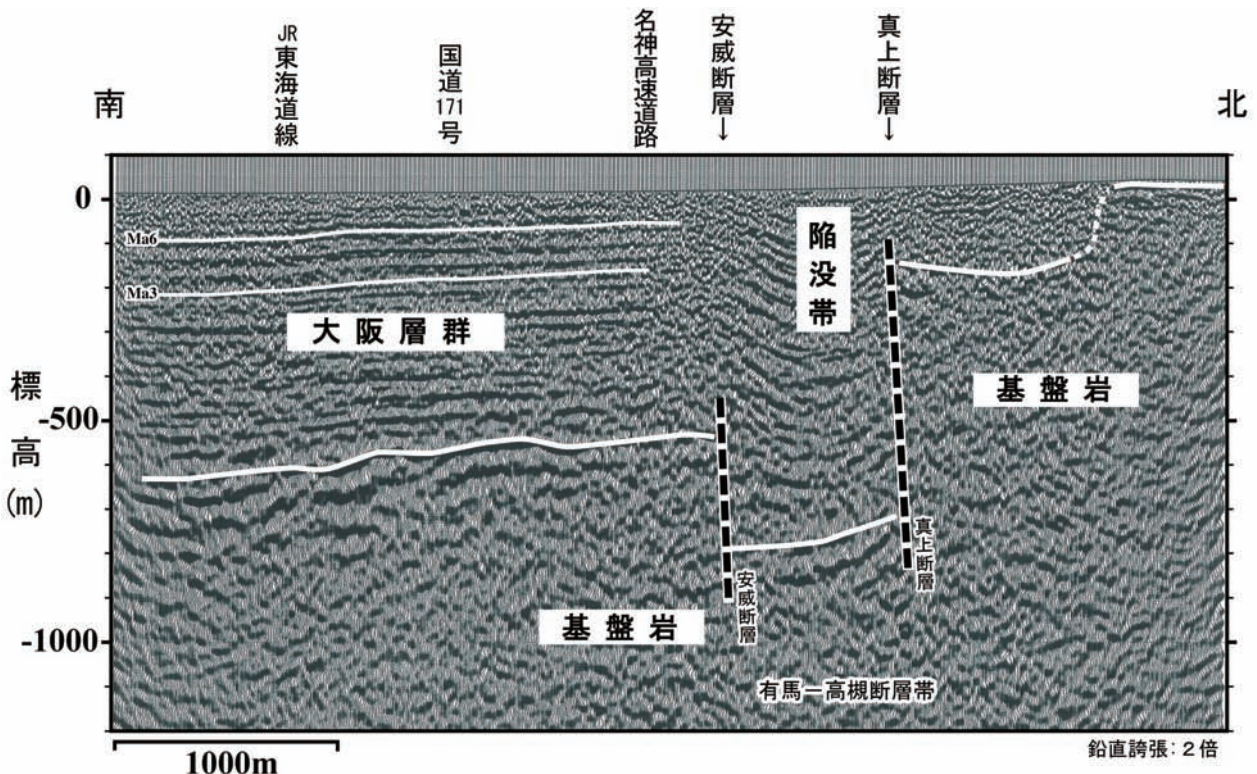


図6 地質解釈断面図 [茨木測線]

響の大きさは神戸地震において証明されている。地震は活断層のあるところに繰り返し起こるものである。

今後、都市部における調査の可能性を模索しながら、より精度の高い地質情報を集積していく必要があると考えている。

表2 大阪平野における主要断層の活動性一覧表

項目	上町断層帯	生駒断層帯	有馬-高槻断層帯	
形態	長さ	約42km ◎	約38km ○	約55km ○
	走向	N10° E ◎	N10° E ◎	N80° E ◎
	傾斜	東傾斜65-70° (1km以浅) ○	低角で東傾斜(400m以浅) ○	高角で北傾斜 ○
	変位方向	東側隆起の逆断層 ◎	東側隆起の逆断層 ◎	右横ずれ (上下変位を伴い、東部では地溝帯を形成) ◎
過去の活動	平均変位速度	約0.4m/千年(上下成分) ○	0.5-1m/千年(上下成分) △	1.5m程度/千年(横ずれ成分) ○
	最新活動時期	約28000年前-9000年前 △	1600年前-1000年前頃 ○	AD1596年(慶長伏見地震) ○
	平均活動間隔	8000年程度 △	3000-6000年 △	1000-2000年程度 ○
	単位変位量	3m程度(上下成分) △	2-3m(上下成分) △	3m程度 ○
将来に予想される地震規模	M7.5程度 ○	M7.0-7.5程度 ○	M7.5±0.5 ○	
備考	各特性の右端に相対的な信頼性を示す。 ◎：高い、○：中程度、△：低い			

〔参考文献〕

- 江原眞吾 (1932) : 大阪湾周辺の地塊運動 . 地質学雑誌 , Vol.40, No.475, p.183-187.
- Kazuo HUZITA (1962) : Tectonic Development of the Median Zone (Setouti) of Southwest Japan, since the Miocene. Jour. Geosci., Osaka City Univ., Vol.6, Art.4, p.103-144.
- 藤田和夫 (1974) : 第四紀地殻変動図「近畿」. 構造図 no.3, 地質調査所
- 藤田和夫・奥田悟 (1973) : 近畿・四国の中央構造線のネオテクトニクス. 中央構造線, 東海大学出版会, pp.97-109.
- 藤田和夫・前田保夫 (1985) : 大阪西南部地域の地質 . 地域地質研究報告 (5万分の1図幅), 地質調査所, 103p.
- 市原実ほか (1955) : 千里山丘陵-大阪層群の研究 (その1) - . 地質学雑誌, Vol.61, No.720, p.433-441.
- N. Ikebe, J. Iwatsu & J. Takenaka (1970) : Quaternary Geology of Osaka with Special Reference to Land Subsidence. Jour. Geosci., Osaka City Univ., Vol.13, Art.4, p.39-98.
- 活断層研究会編 (1980) : 日本の活断層-分布図と資料- . 東京大学出版会, 363p.
- 川崎慎治ほか (1994) : 有馬-高槻構造線東端部における反射法地震探査 . 地震, 第2輯, Vol.47, No.2, p.173-182.
- 京都市 (2005) : 平成14年度地震関係基礎交付金京都盆地の地下構造調査成果報告書 . 88p.
- 前田昇 (1965) : 生駒山地の地形路断層線との関係について . 大阪学芸大学紀要, A. 人文科学, No.14, p.211-219.
- 横山次郎 (1926) : 生駒山脈生成論 . 地球, Vol.6, No.2, p.87-94.
- 横山次郎 (1956) : 構造地質学 . 朝倉書店, 264p.
- 宮地良典ほか (1998) : 大阪東南部地域の地質 . 地域地質研究報告 (5万分の1図幅), 地質調査所, 113p.
- 中川康一ほか (1989) : 弾性波からみた大阪平野の地下 . 「大阪層群の諸問題」, 日本応用地質学会関西支部, p.90-105.
- 中村新太郎 (1928) : 京都大阪奈良神戸四近地質説明文 . 地球, Vol.8, No.1, p.37-43.
- 中村新太郎 (1934a) : 近畿中部に於ける地質構造線 (1,2) . 地球, Vol.22, No.3, 5, p.155-163, p.328-337.
- 中村新太郎 (1934b) : 近畿中部地質構造線概図 . 地球, Vol.22, Plate8.
- 西尾銈次郎 (1932) : 大阪市堺筋を南北に縦貫する断層に就いて . 地球, Vol.18, No.3, p.159-181.
- 小川琢治 (1899) : 日本群島地質構造論 . 地学雑誌, Vol.11, No.127, p.475-505
- 大阪府 (2005) : 平成14年度地震関係基礎交付金大阪平野の地下構造調査成果報告書 . 99p.
- 大阪府 (2007) : 平成16年度地震関係基礎交付金大阪平野の地下構造調査成果報告書 . 123p.
- 関口春子ほか (2005) : 大阪市北区中之島での300mボーリング孔におけるPS検層および密度検層結果 . 活断層・古地震研究報告, No.5, p.109-113.
- 下川浩一ほか (1997) : 生駒断層系の活動性調査 . 地質調査所研究資料集 No.303, p.37-49.
- 戸田茂ほか (1995) : 反射法弾性波探査の断面に見られる有馬-高槻構造線に沿う地溝帯 . 地震, 第2輯, Vol.48, No.4, p.511-520.
- 辻村太郎 (1926) : 断層谷の性質並びに日本島一部の地形學的断層構造 (予報) (1,2) . 地理学評論, Vol.2, No.2, p.20-42, No.3, p.8-34.
- 辻村太郎 (1932) : 東北日本の断層盆地 (下) . 地理学評論, Vol.8, No.12, p.977-992.
- Wessel and Smith (1991) : Free software helps map and display data. EOS Trans. AGU, 72, 441.
- 山根新次 (1930) : 大阪市地質概観 . 小川博士還暦祝賀地学論叢, p.187-203.
- 吉川周作・三田村宗樹 (1999) : 大阪平野第四系層序と深海底の酸素同位体比層序との対比 . 地質学雑誌, Vol.105, No.5, p.332-340.
- 吉川宗治ほか (1987) : 大阪市内における反射法地震探査 . 物理探査学会第77回学術講演会論文集, p.114-117.

# 地震地質学の最前線： サンアンドレアス断層 1857年震源断層

おくむら こうじ\*  
奥村 晃史\*

**K**  
ey Word

サンアンドレアス断層, 古地震学, レーザースキャン (LiDar), トレンチ調査, 地震時変位量

## はじめに

アメリカ合衆国の地震地質学は世界を常にリードしつづけている。その最前線がカリフォルニア州のサンアンドレアス断層である。サンアンドレアス断層の地形・地質調査と地震予測研究は過去10年間に目を眩るような進展を遂げてきた。それを

牽引しているのが, CAE (California Earthquake Authority: カリフォルニア地震保険機構) が SCEC (南カリフォルニア地震センター), USGS (合衆国地質調査所), CGS (カリフォルニア地質調査所) に委託して実施している UCERF (The Uniform California Earthquake Rupture Forecast: 統合的カ

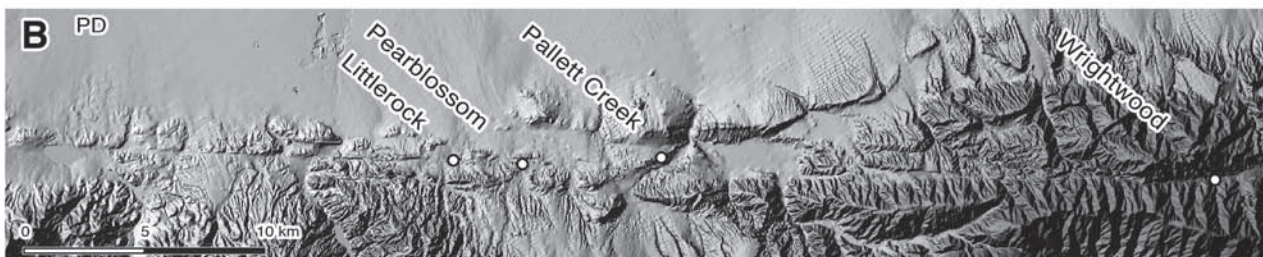
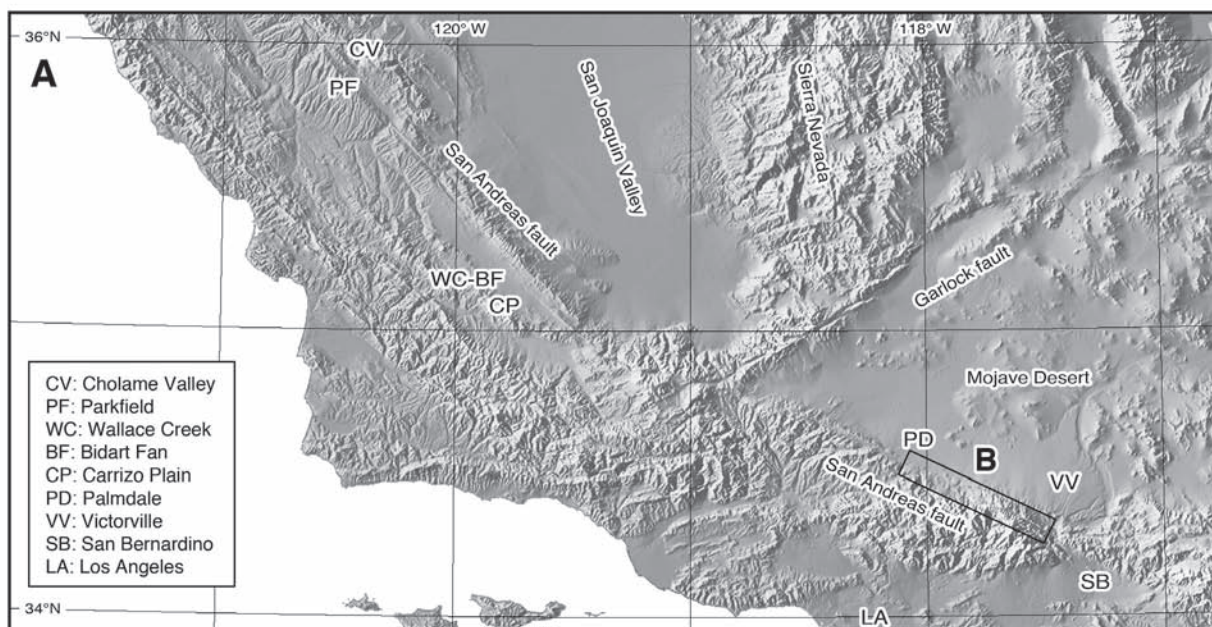


図1 A: 1857年Fort Tejon地震震源域のサンアンドレアス断層と本文中で言及した調査地点。  
B: Palmdale東方のサンアンドレアス断層の地形と本文中で言及した調査地点。A・Bとも合衆国地質調査所(USGS)の3分の1秒(10m)DEMに基づく陰影地形図。

\*国立大学法人 広島大学 大学院文学研究科 人文学専攻 地表圏システム学講座 教授

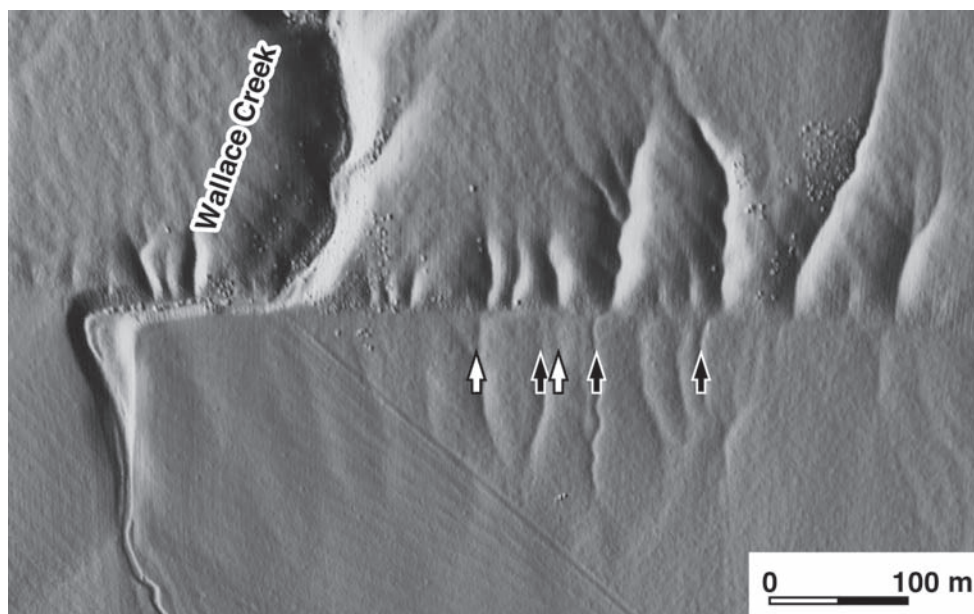


図2 Carrizo Plain, Wallace Creek のサンアンドレアス断層による河川の右横ずれ変位。黒矢印は Sieh (1978a) が記載した 9.5 m 前後の変位を示す河川。白矢印は Arrowsmith et al., 2009, Zielke et al., 2010; 2012 による約 5 m の変位を示す河川。B4 Lidar データを基に USGS が作成した 1 m メッシュ DEM の kmz ファイルを Google Earth に表示した。

リフォルニア断層活動予測) プロジェクト Version 2 (UCERF2) と Version 3 (UCERF3) である。そして、その進展を支えているのが、B4 Lidar (Light Detection and Ranging: 光検出測距システム, あるいはレーザースキャン) や TLS (Terrestrial Laser Scanning: 地上設置レーザースキャナ) の地形データと野心的な若手・中堅研究者である。本稿では、その中でも特に重要な成果が相次いで報告されている 1857 年 Fort Tejon 地震震源断層での最近の研究成果を報告する。

## 2 1857 年 Fort Tejon 地震と Kerry Sieh

西経  $116^{\circ} 40'$  から  $119^{\circ} 20'$  にかけて、サンアンドレアス断層は  $N 60 \sim 70^{\circ}$  で西北西～東南東走向に延びている。この区間の南と北では  $N 40^{\circ} W$  前後の北西～南東走向であるため、サンアンドレアス断層は全体としてクランク状の屈曲をしている。プレートの相対運動の方向は北西～南東方向に近いので、この屈曲部には南北圧縮の応力が発生し、断層南側のロサンゼルス構造盆地とその周辺の東西性の褶曲・逆断層や山地の隆起を引き起こしている。サンアンドレアス断層に沿っても構造的な細長い丘陵が連続して圧縮応力の存在を示唆するが、主断層はほぼ純粋な右横ずれ変位を示している。ここでは 1970 年代から、多数の地点で詳細なトレンチ発掘調査と地震時および累積変位量の究明が精力的に行われてきた。

屈曲部の北でサンアンドレアス断層は Carrizo Plain (カリゾ平原), Cholame Valley (チャラメヴァレー) を通過してサンフランシスコへ向かう。この区間では断層走向がプレートの相対運動方向と

ほぼ平行となるため、南北圧縮による地質構造は発達せず純粋に近い右横ずれ変位を見せるサンアンドレアス断層と断層に平行する長波長の圧縮性構造が分布する。Carrizo Plain は半乾燥地域で完全に保存された断層変位地形が 1960 年代から研究されてきた。

1857 年 Fort Tejon 地震では上記屈曲部から Cholame Valley にかけてのサンアンドレアス断層が活動したことが地震後の調査や記録から推定されていた。しかし地震発生は、カリフォルニアをメキシコから合衆国が購入した直後で、1849 年に始まったゴールドラッシュがカリフォルニア中部に大量の移民を引き寄せていたが、1857 年震源地域の開発は進んでおらず、地震についての記録や証言は少ない。Sieh (1978a) はこれを補うために約 400 km の震源断層の 158 地点において 1857 年の地表断層変位を特定して計測した。その結果 San Bernardino (サンバナーディーノ) 付近から Cholame Valley 北端までの震源断層の位置が特定されるとともに、3～9.5 m の変位量が Carrizo Plain で大きく、北と東へ減少する分布を明らかにした。また、地震の規模を 1906 年サンフランシスコ地震の規模  $M 8.25$  を少し上回るものと推定した。これは  $M_w$  (モーメントマグニチュード) 7.9 に相当する。この成果は、1906 年サンフランシスコ地震と並ぶサンアンドレアス断層最大の地震を、膨大なデータに基づいて復元した点が高く評価され、以後 30 年余りにわたって、1857 年地震の震源断層像の基本とされてきた。

Sieh は同じ年に、1857 年 Fort Tejon 地震の震源断層に関わるもう一本の重要な論文を発表した

(Sieh, 1978b)。この論文は、1857年震源断層を Pallett Creek (パレットクリーク) 地点で発掘して、細長い試掘溝 (トレンチ) 壁面に現れた断層と、断層の動きを記録する厚さ 6 m ほどの地層を詳しく分析して、1857年以前の 1000 年余りの期間に 9 回の地震の痕跡を検出した。断層のトレンチ発掘調査は 1960 年代から実施されていたが、この研究は調査対象の重要性、放射性炭素同位体年代測定の利用、多数のトレンチ壁面の綿密な分析と記載によって、トレンチ発掘調査の重要性を世界に認識させる業績となった。また、1857年地震に関わる二つの論文が相次いでアメリカ地震学会とアメリカ地球物理学会の学会誌に掲載されたことは、地震地質学の重要性・有効性を広く地震学者・地球物理学者に印象づけた。

Pallet Creek トレンチはその後も調査と年代測定が繰り返され現在に至るまで、サンアンドレアス断層の活動史と活動予測のための最も重要な情報源の一つである (たとえば、Sieh, 1984; Scharer et al., 2011)。その重要性に鑑みて 2012 年夏、SCEC と サンバナディーノ郡立博物館は Sieh (1978b) のトレンチを再度発掘して、幅 13 m、高さ 4 m の壁面を博物館の野外展示として整備した (<http://scec.usc.edu/internships/sure/project/1347>)。2012 年秋の時点では Sieh (1978b) が観察した露頭をより完全な形でつぶさに観察することが可能となっていた。

### 3 B4 Lidar Project に基づく 1857 年地震変位量分布の再検討

2000 年頃からスキャン式レーザー測距儀を用いた高速・高密度・高精度地形計測の技術 (LiDAR。日本ではレーザーキャナ) が急速に普及した。これは射程最大数 km、射程 1 km での精度がおおよそ 10 cm のレーザー測距儀を航空機に搭載して地表をスキャンしたり (Airborne LiDAR)、三脚に乗せて地上でスキャンしたり (TSL) することができる。密な植生に覆われた場所でも、植生からの反射を除去して最も遠い地点からの反射だけを取り出すことによって、地表の形を測定することができる。2003 年に最初にサンフランシスコ周辺で行われた計測は、レッドウッドの密林の下の断層変位地形を手取るように明らかにして、地震地質研究者に大きな衝撃を与えた。

B4 Lidar は 2005 年 5 月に NCALM (国立レーザー航測センター) と USGS、オハイオ州立大学、UNAVCO がアメリカ科学財団の経費で南カリフォルニアのサンアンドレアス断層と San Jacinto (サ

ンヤシント) 断層の地形計測を行ったプロジェクトである。地上に展開した GPS コントロールポイントを活用して、1906km<sup>2</sup> から 1m<sup>2</sup> あたり平均 2.96 点の精度の良い測定結果が得られた。B4 LiDAR の成果は未処理の点群データ (<http://www.opentopography.org>) から 1 m メッシュ DEM kmz データ (<http://www.siovizcenter.ucsd.edu/topo/b4.php>)、0.5 m メッシュ DEM xyz データ ([ftp://pipeline.gps.caltech.edu/pub/users/hudnut/B4/B4\\_DEM\\_set/](ftp://pipeline.gps.caltech.edu/pub/users/hudnut/B4/B4_DEM_set/)) などさまざまな形で公開されている。

kmz データは Google Earth を用いて容易に見ることができるので、後述する Carrizo Plain や Little Lock のすばらしい断層変位地形を是非自分の目で見ていただきたい。従来、断層変位地形や微地形の分析は低解像度 (視力の制約) で再現性・客観性の低い実体視や、精度の低い解析図化で空中写真を利用する以外に方法がなかった。LiDAR データの利点は地表面の高度不連続や傾斜の変化をすべて客観的・定量的に、データのもつ最高の分解能で分析することができる点にある。

Arrowsmith and Zielke (2009)、Zielke et al. (2010; 2012) は B4 Lidar データから、断層を横切るチャンネルの横ずれ変位量を誤差も含めて定量的に分析するプログラムを開発して 1857 年 Fort Tejon 地震震源断層上で 447 点の右横ずれ変位量を計測した。その結果は Sieh (1978a) の結果を完全に覆すものであった。Sieh (1978a) は 1857 年地震による最新の 1 回の地震の変位を Carrizo Plain Wallace Creek で約 9.5 m、Pallett Creek 付近で約 4 m としていた。これらの値は Liu-Zeng (2006) による Wallace Creek での掘削調査でも追認されていた。しかし、Zielke et al. (2012) はそれぞれ 4.5 ~ 5 m、約 2 m とほぼ半分の変位量を 1857 年地震 1 回の変位量とした。その結果、Sieh (1978a) に比べ地震モーメントは約 28% 小さく見積もられる結果となった。

Zielke et al. (2012) は 1857 年より前の 1812 年、17 世紀後半、17 世紀前半の地震の変位量も併せて検討し、過去に 1857 年と同じ変位量分布は起きておらず、それぞれ異なる区間を破壊し、同じ地点での変位量も一様ではなかった可能性を示した。これは地震再来モデルを構築するうえで非常に重要な問題提起である。それは現在の長期的地震危険度評価の基盤となっているセグメンテーションと固有地震モデル (Schwartz and Coppersmith, 1984) を支持する重要なデータセットの一つが根本的な見直しを迫られるからである。ただし Zielke

et al. (2012) の計測は1857年以前の変位量については必ずしも十分な測定点数を得られておらず、フィールドで確認することが難しい測定結果も含まれている。このため、過去の変位量の正確な復元はUCERF3の重要な課題の一つとなっている。

#### 4 過去の地震時系列の解明

地震時の活動区間と変位量分布に加えて、個々の地震の発生時期を特定し、断層上での地震活動の時空間分布を解明することは、長期的な地震発生時期・地震規模予測のための重要な課題である。Pallett Creek では Sieh (1978b) の後も調査が続けられ1990年までに、紀元2世紀以降の12のイベントが検出された。その東約30 kmに位置するWrightwood (ライトウッド) トレンチサイトでは、サンアンドレアス断層の作った小さな構造盆地に50層以上の有機物を含む薄い地層が累積して、5000年以上の地震の歴史を解明することが期待されていた。Fumal, Weldon, Schwartz らは1989年から発掘を開始して過去1300年間に12回の地震を検出した (Fumal et al., 1993)。

Biasi and Weldon (1993) はそれまでに Pallett Creek と Wrightwood で得られた放射性炭素同位体年代の暦年補正後の年代値の確率密度分布にベーズ理論を適用し、放射性炭素年代の不確かさを著しく小さくすることに成功した。この年代改良法はその後 OxCal など放射性炭素年代暦年補正プログラムのオプションとして幅広く利用されるようになったが、多数の地震に対し多数の年代測定値を駆使する上で、Wrightwood は最良のサイトの一つである。Weldon et al. (2002) は現在から過去1600年余りの期間に14回の地震を検出し、Scharer et al. (2007) は5000年前から3500年前に起きた11～14の地震の年代を精密に決定しイベントの再来間隔を詳細に検討した。

複数のトレンチから地震イベントの時系列情報が蓄積されてくると、隣り合う調査地点で同時期に認められるイベントを一つの地震によるかどうかを判断して組み合わせて行くことにより、地震活動の時空間分布が復元される。しかし、数十 km～百 km 以上隔たった調査地点からの誤差を含む時系列情報を組み合わせて得られる時空間分布には複数の選択肢がある。従来、時空間分布の復元は、横軸を断層に沿う距離、縦軸を時間として、そこに調査地点ごとの地震発生時期をプロットした図にイベントを表す横線を手で書き込んでいく、ある意味恣意的な作業であった。

Biasi and Weldon (2009) はこの問題を解決する

ために、1857年震源断層とその南方のサンアンドレアス断層の8地点で過去1600年間の古地震データから数値計算による客観的な地震の時空間分布復元を試みた。まず、地震発生時期と断層の連続性が許容するすべてのイベントを列挙し、そこから発生時期の確率密度関数の一致により同一地震とみなされるものを抽出する。さらに地点ごとの累積変位量と1回変位量から予想される地震の数が、平均変位速度モデルと整合するかどうかを検討して、実際起こりうる地震の時空間分布を選び出していくという手法がとられた。その結果は、Wrightwood より北では1857年と類似した大地震が繰り返されて小規模な地震は少なく、南では全域を破壊する地震が起こることもあるが、中小規模の地震が多数発生する傾向を示した。客観的に古地震を復元して時空間分布を再現することは、長大断層における地震発生の将来予測にとって有効な方法といえる。

Pallett Creek の西と東で地震発生様式が異なることや、Pallett Creek の地震時系列がむしろ特異であることが最近の成果から改めて確認されている。地震ごとに震源域が変化することや地震発生間隔が大きく異なることが、大地震の発生が本来不規則であることを示すのか、あるいはサンアンドレアス断層屈曲部の複雑な地質構造と歪みの配分がその不規則さをもたらしているのか、まだ答えは出ていない。

その一方で、Carrizo Plain のトレンチ発掘調査では、上記 Biasi and Weldon (2009) の結果を含め、従来の1857年地震再来モデルと大きく異なる成果が得られている。Akçiz et al. (2010) は Bidart Fan (ビダートファン) のトレンチ発掘調査で、1417年、1462年、1565年、1614年、1713年、1857年 (確率密度分布のメディアンで表記) の6回のイベントを検出し、平均再来間隔  $88 \pm 41$  年を求めた。ここでは三次元トレンチ掘削で地震後との変位量も推定されているが、先立つイベントから約100年以上後に発生したイベントでは、1857年 (M7.9) と同様に5 m程度の顕著な変位を伴っている。一方、50年以下の間隔で起きた地震はM7以下と思われ、変位も顕著ではない。

この結果は、1857年タイプの大きな変位を伴う地震が200年以上の間隔で固有地震的に繰り返すとする従来の再来モデルを否定する。それは Sieh (1978a, b) の提示した1857年地震の変位量分布モデルと再来モデルの両方が30年を経て大きく見直されることを意味する。また、長大断層では同じ区間 (セグメント) からそのセグメントで発生す



図3 2012年9月, Littlerockで行われた変位量計測ワークショップ。斜面下部が断層運動で持ち上がり浸食を受けたためにバッドランド化しており, 小河川の横ずれ量の見積もりは容易ではない。ここでの正解はSieh (1978a) の4 mが1857年の変位で, Zielke (2012) の2~3 mは見えなかった(奥村撮影)。

る最大規模の地震(固有地震)が繰り返されるとするモデル(Schwartz and Coppersmith, 1984)も再検討を必要とすることを意味する。

### 5 地震地質研究の最前線とその原動力

カリフォルニアではLiDarやTSLなどの新技術が急速に浸透して大量の貴重なデータを産みだし, 精力的に解析が進められている。同時に, 古典的な技術であるトレンチ発掘が同じ地点で5年, 10年と継続して行われ, 年代測定手法やイベント同定技術の進歩と相まってより精密な長期的地震予測が可能となっている。地震地質研究の最前線で革新が継続していくための原動力は, サンアンドレアス断層という極めて活動度の高い断層が最高の研究対象で有り続けることと, 最大の地震災害の脅威で有り続けることの両方である。

特に地震災害のリスクを的確に把握して軽減を図ることは, カリフォルニアにとって最も重要な課題である。2008年に公表されたUCERF2は大地震を起こす断層運動の予測をカリフォルニア全域について一貫した手法, データ処理基準, 及び不確かさの取り扱いを通じて実現し, さらに合衆国の2008年版地震予測地図の基準にも取り入れられた。UCERF3は2010年1月から2012年夏までに, UCERF2を発展させて, 複数断層の連動と時間的および空間的クラスタリング(地震の集中的な発生)を断層運動予測モデルに組み込むことを主

な目的としている(Working Group on California Earthquake Probabilities, 2009)。その中では, 本稿に述べたような, 過去の大地震の発生時期, 破壊領域, 変位量分布などが課題として挙げられ, 詳細な調査とモデルの検討が行われている。また, 合衆国の地震予測地図は2014年の改訂を目指して, UCERF3と軌を一にした努力が続けられている。

筆者は, 2012年9月にカリフォルニア州Palm Springsで開催されたSCECの2012年大会に参加した。そこではUCERF3の完了を前にして, 課題ごとの総括がきわめて精力的に行われていた。また, 大会前日には, サンアンドレアス断層上のLittle RockとPearblossomにおいて, 断層変位地形にもとづく地震時変位量復元のワークショップが開かれた。若手からベテランまで筆者を含む30名余りの参加者は, B4 Lidarの0.5 mメッシュDEMとTSLによる0.05 mメッシュDEMから作成した地形図と巻き尺を手に, ブッシュの中の変位基準の認定や計測点の配置など熱い議論を終日交わしてよりよい計測方法とコンセンサスに至る過程を模索した。リモートセンシングや探査技術がいかに進歩しても, 調査の基本は野外における地形・地質調査であり, それが地震災害リスク軽減の出発点であることを改めて認識するまたとない機会となった。



## 〈参考文献〉

- 1) Arrowsmith, J R., and O. Zielke, Tectonic geomorphology of the San Andreas fault zone from high resolution topography: An example from the Cholame segment, *Geomorphology* 113, 70–81, doi 10.1016/j.geomorph.2009.01.002. (2009)
- 2) Biasi, G., and R. J. Weldon II, Quantitative refinement of calibrated C-14 distributions, *Quaternary Research* 41, 1–18 (1994)
- 3) Biasi, G. P., and R. J. Weldon, San Andreas fault rupture scenarios from multiple paleoseismic records: Stringing pearls, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 99, no. 2A 471–498, doi 10.1785/0120080287 (2009)
- 4) Fumal, T. E., S. K. Pezzopane, R. J. Weldon, and D. P. Schwartz, A 100-year average recurrence interval for the San Andreas fault at Wrightwood, California, *Science* 259, 199–203, doi 10.1126/science.259.5092.199 (1993)
- 5) Scharer, K. M., R. J. Weldon, T. E. Fumal, and G. P. Biasi, Paleoearthquakes on the southern San Andreas fault, Wrightwood, California, 3000 to 1500 B.C.: A new method for evaluating Paleoseismic evidence and earthquake horizons, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 97, no. 4, 1054–1091, doi 10.1785/0120060137 (2007)
- 6) Scharer, K. M., G. P. Biasi, and R. J. Weldon II, A reevaluation of the Pallett Creek earthquake chronology based on new AMS radiocarbon dates, San Andreas fault, California. *J. Geophys. Res.*, VOL. 116, B12111, doi:10.1029/2010JB008099, 2011 (2011)
- 7) Schwartz, D. P., and K. J. Coppersmith, Fault behavior and characteristic earthquakes: Examples from the Wasatch and San Andreas fault zones, *J. Geophys. Res.* 89, no. B7 5681–5698, doi 10.1029/JB089iB07p05681 (1984)
- 8) Sieh, K., Slip along the San Andreas fault associated with the great 1857 earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*. Vol. 68, No. 5, 1421–1448 (1978a)
- 9) Sieh, K. E., Prehistoric large earthquakes produced by slip on the San Andreas fault at Pallett Creek, California, *J. Geophys. Res.*, 83, 3907–3939, doi:10.1029/JB083iB08p03907 (1978)
- 10) Sieh, K. E., Slip along the San Andreas fault associated with the great 1857 earthquake, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 68, no. 5, 1421–1448 (1978)
- 11) Sieh, K. E., Lateral offset and revised dates of large prehistoric earthquakes at Pallett Creek, southern California, *J. Geophys. Res.* 89, no. B9, 7641–7670, doi 10.1029/JB089iB09p07641 (1984)
- 12) Weldon, R. J., T. E. Fumal, T. J. Powers, S. K. Pezzopane, K. M. Scharer, and J. C. Hamilton, Structure and earthquake offsets on the San Andreas fault at the Wrightwood, California, paleoseismic site, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 92, 2704–2725, doi 10.1785/0120000612 (2002) .
- 13) Working Group on California Earthquake Probabilities, *The Uniform California Earthquake Rupture*
- 14) Forecast, Version 3 (UCERF3) Project Plan. UCERF3\_Project\_Planv23.doc, U.S. Geological Survey (2009)
- 15) Zielke, O., J R. Arrowsmith, L. Grant Ludwig, and S. O. Akciz, Slip in the 1857 and earlier large earthquakes along the Carrizo Plain, San Andreas fault, *Science* 327, 1119–1122, doi 10.1126/science.1182781 (2010)
- 16) Zielke, O., J R. Arrowsmith, L. Grant Ludwig, and S. O. Akciz, High-Resolution Topography-Derived Offsets along the 1857 Fort Tejon Earthquake Rupture Trace, San Andreas Fault. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 102, pp. 1135–1154, June 2012, doi: 10.1785/0120110230 (2012)

# 最新の計測技術を用いた 変動地形学的調査

こあら いまもる \*・いわはし じゅんこ \*\*  
小荒井 衛 \*・岩橋 純子 \*\*

**K**  
ey Word

活断層, 変動地形学, 航空レーザ測量, 地上レーザ測量, 干渉合成開口レーダ,  
DEM, 上町断層, 井戸沢断層, 湯ノ岳断層

## 1 はじめに

活断層の調査は、一般的に空中写真判読による変動地形調査を中心として、地下構造調査（物理探査）、現地露頭調査、トレンチ調査、ボーリング調査等の組み合わせで行われる。空中写真判読は、二枚一組の空中写真を、熟練した作業者が立体視することにより、詳細な地形的特徴や、濃淡、きめ、色などを判読し、地形分類さらに地質や地質構造の解釈を行うものである。特に、活断層の調査研究には必須の手法として認識されてきた。日本全国の活断層を、同一基準と同一縮尺で網羅した初の文献である「新編日本の活断層」（活断層研究会、1991）は、主として約4万分1の空中写真を使用して、活断層の研究者が変動地形を判読し、現地調査を加えて作成されたものである。最近では、写真判読を補助する情報として、詳細な微地形を表現できる詳細地形データを取得する技術や、地表の変状を捉えられる技術など、測量新技術が開発され、活断層の調査にも活用されている。本稿では、それらの測量新技術を使った活断層調査について紹介する。

## 2 航空レーザ測量による活断層地形の判読

航空レーザ測量とは、航空機に搭載したレーザ測距儀から地上に向けてレーザ光を照射し、地上からの反射波との時間差より地上までの距離を求める測量方法である。機体に取り付けたGPSと測距儀に取り付けたIMU（慣性計測装置）から航空機の位置と姿勢情報を得る。航空レーザ測量の水平位置精度は約50cm、垂直位置精度は約15cm程度とされる。従来の空中写真測量や空中写真判読と航空レーザ測量とで大きく異なるのは、航空レーザ

測量では森林下の微地形を捉えることが可能ということである。数値標高モデル（Digital Elevation Model: DEM）を空中写真のステレオマッチングで作成した場合、森林部で取得される情報は樹冠の上でマッチングすることになるので、デジタル表層モデル（Digital Surface Model: DSM）を取得していることになる。航空レーザ測量では、森林部でもレーザパルスが葉の隙間を通過して地表面で反射して返ってくるものがあり、これらを多く取得する事で森林下の微地形を正確に捉えることが可能である。本稿では、岩橋ほか（2011）を参考に、航空レーザ測量による詳細DEMを用いて活断層判読が容易に行えるようになった事例を紹介する。

### （1）大阪府の上町台地付近

図1は、大阪市の中心部について、航空レーザ測量の5mDEMから作成した陰影図と余色立体図である。図1bが、高さ強調なしで作成した陰影図である。標高値に倍率を加えることによって、地形の立体感を強調できる（図1c）。さらに、単純に定数倍するだけではなく、デジタルデータの利点を活かして、数値変換を値に加える事も可能である。河床の縦断型は、上流ほど急で下流ほど緩やかな指数曲線に近い事が古くからよく知られているが、標高値の対数から図を作成することによって、平地の凹凸を強調すると同時に段丘や山地については飛び出し過ぎないように抑え、広域を観察するために都合の良い図を作成できた（図1d）。図1eは、図1d及びその元になった高さデータから作成した余色立体図であるが、図1aと比較すると、上町台地北端部の様子に加えて、桜川撓曲付近の地形の緩やかな段差を観察することができる。

\*国土地理院 地理地殻活動研究センター 地理情報解析研究室長 \*\*国土地理院 応用地理部 防災地理課専門職

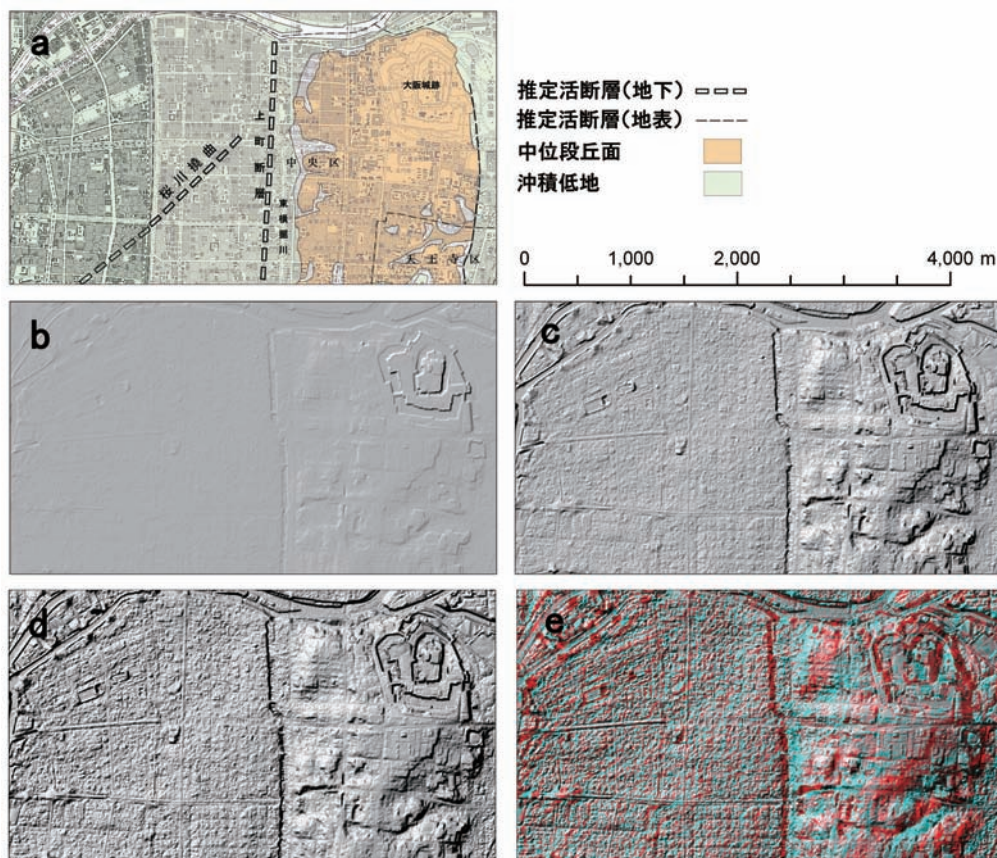


図1 (a) 都市圏活断層図「大阪東北部」「大阪西北部」の一部。中位段丘が上町台地。推定活断層(地下)として上町断層, 桜川撓曲がある。  
 (b~d) 航空レーザ測量5mDEMから作成した陰影図。Z=1倍(b), Z=10倍(c), 標高値の対数を定数倍して作成(d)。  
 (e) は(d)及びその元になった高さデータから作成した余色立体図。(岩橋ほか, 2011)  
 原図はカラー。立体視するにはこちらを参照(<http://www.zenchiren.or.jp/>)

大阪市から堺市・松原市にかけての上町台地周辺には, 上町断層帯の存在が知られている(活断層研究会, 1991)。上町断層帯付近は, 米軍写真が撮影された1948年にはすでに住宅密集地となっており, 現在はビルが林立する市街地で, 地面の様子を空中写真から観察することが困難である。図2aは, 比較観察のために示した都市圏活断層図である。図中央に示される活断層は長居断層である。図2bは上町台地周辺の航空レーザ測量5mDEMから作成した余色立体図である。長居断層の断層崖の比高は, DEMの計測から2~3m程度であるが, 標高値の対数から余色立体図を作成しているため, 小さな凹凸が強調されており, 崖状の地形が非常に目立って見える。空中写真では, 低地の過高感が小さい上, 密集した建築物に覆われており, 図2bほど明瞭に断層地形を観察できない。余色立体図では, 数m単位の小さな起伏も分かりやすく観察できる。

## (2) 福島県いわき市の井戸沢断層, 湯ノ岳断層

航空レーザ測量データから活断層の判読を行った事例を, 2011年4月11日の福島県浜通りの地震により被害を受けたいわき市を事例に紹介する。この地震のマグニチュードは7.0で, 震源の深さは6kmと浅い。この地震によりいわき市では最大震

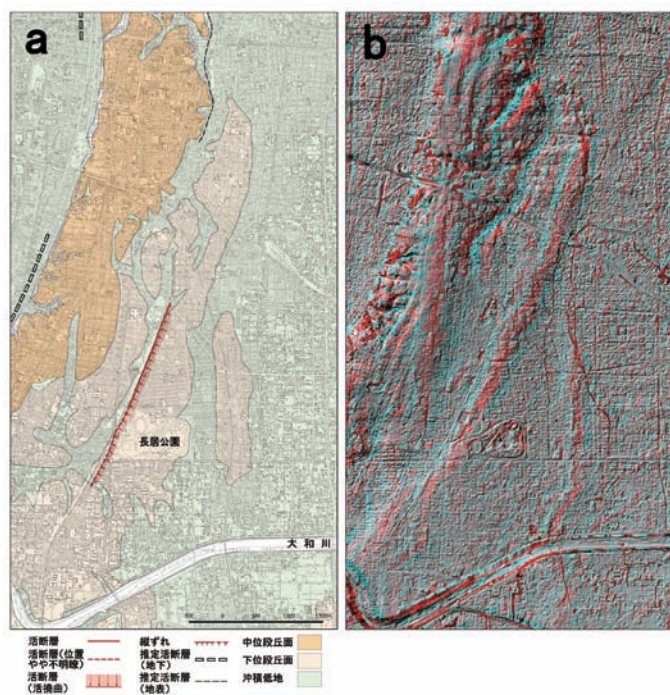


図2 (a) 都市圏活断層図「大阪東南部」の一部。図中央の活断層が長居断層, 中位段丘(上町台地)西側の推定活断層(地下)が上町断層である。  
 (b) 航空レーザ測量5mDEMから作成した余色立体図。標高値の対数を定数倍したデータから作成した。(岩橋ほか, 2011)  
 原図はカラー。立体視するにはこちらを参照(<http://www.zenchiren.or.jp/>)

度6弱を観測した。発震機構は西南西－東北東方向に張力軸を持つ正断層型であり，日本で正断層型の活断層が活動した事例は珍しい。

4月11日の地震では，井戸沢断層周辺の道路や田畑に特に明瞭な段差が現れ，塩ノ平断層と呼ぶことが提案されている（石山ほか，2011a）。図3は，塩ノ平断層付近で，地震後に撮影された空中写真及び，航空レーザ測量の2m DEM から作成した画像である。使用した航空レーザ測量データの諸元は以下の通りである。

計測時期：2011年5月8日～6月10日  
 計画機関：国土地理院  
 実施機関：中日本航空，エイテック（一部）  
 メッシュサイズ：2m（DEM），0.5m（Photo）  
 高さの単位：0.1m（DEM）

図3aでは，塩ノ平地区の田圃を横切る地震断層（黒の矢印）の他，山中に樹冠の隙間が線状に見える（白の矢印）。DEM画像を観察すると，この部分にもはっきりと樹林下の段差が写っている。同様の地表地震断層は，高ほか（2011）にて，塩ノ平地区の割れ目に沿った長さ800m程の地域の，非常に高解像度な航空レーザ測量データを用いた分析によっても報告されているが，さらに北方にずっと伸びている様子が，図3cから観察できる。この山中の地震断層については，斉道東側の割れ目に沿った地形が侵食されている様子から，今回の地震以前にも変位が起きていたと考えられる。なお，田圃を横切る地震断層（黒色の矢印）については，トレンチ調査が行われており，地層の分布と構造から，今回の地震以前の断層運動と古地震活動の存在が示唆されている（石山ほか，2011b）。

岩橋ほか（2012）では，井戸沢断層や湯ノ岳断層の周辺地域を含む広い範囲で地表地震断層の判読を行っている。判読には傾斜図（ヒストグラム平坦化）を用いた。各機関により報告されている地表地震断層が2mDEMの画像で見えるかどうかは，変位の大きさには必ずしも因らなかった。凹凸の多い場所では，そのパターンに邪魔されてよく分からないが，田圃やスムーズな斜面ではよく見えた。湯ノ岳断層を示す図4と井戸沢断層西側の田人周辺を示す図5は，容易に判読できた箇所例である（矢印の先）。田圃ではDEMから変位を計測したが，変位量や落ちの方向は現地調査報告と調和的であった。

一方で，地割れではないのにあたかもそのように見えるケースも有った。航空レーザ測量による

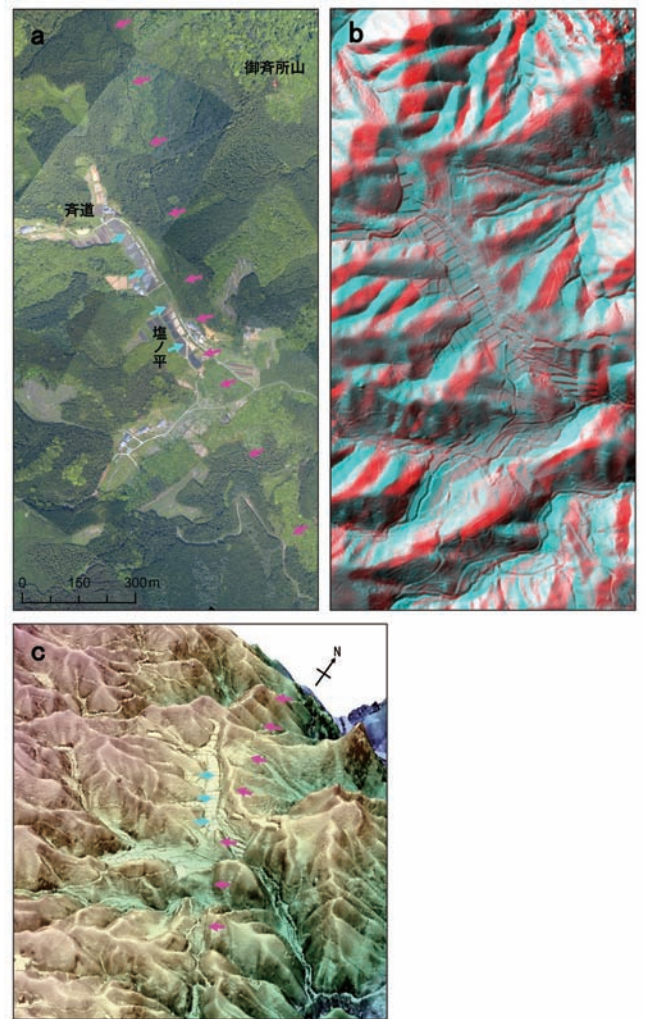


図3 (a) 福島県いわき市塩ノ平付近の空中写真（矢印は4月11日の地震の際に動いたと思われる割れ目を示す）。(b) 同地域の航空レーザ2mDEMから作成した余色立体図。(c) 塩ノ平周辺の航空レーザ2mDEMの段彩余色立体図から作成した鳥瞰図。空中写真，標高値は2011年5～6月に撮影・計測されたもの。矢印は4月11日の地震の際に動いたと思われる割れ目を示す。（岩橋ほか，2011）  
 原図はカラー。立体視するにはこちらを参照  
 (<http://www.zenchiren.or.jp/>)

DEMにおいて，図6に示すように田圃に10～20cm程度の線状の段差が見られる所がある。井戸沢断層や湯ノ岳断層の北西方延長部に当たるため，当初は新たな地表地震断層の発見とも考えられた。しかしながら，大部分は地表地震断層と逆センスのNE落ちであり，空中写真（解像度50cm）にも明瞭な変状は見られなかった。この線状の段差は，航空レーザ測量のコース間の重ね合わせによるコース間格差（規定で±30cmまで認められている）であった。航空レーザ測量データによるDEMから作成した図面を判読する際には，このようなケースもあることに留意して，判読する必要がある。

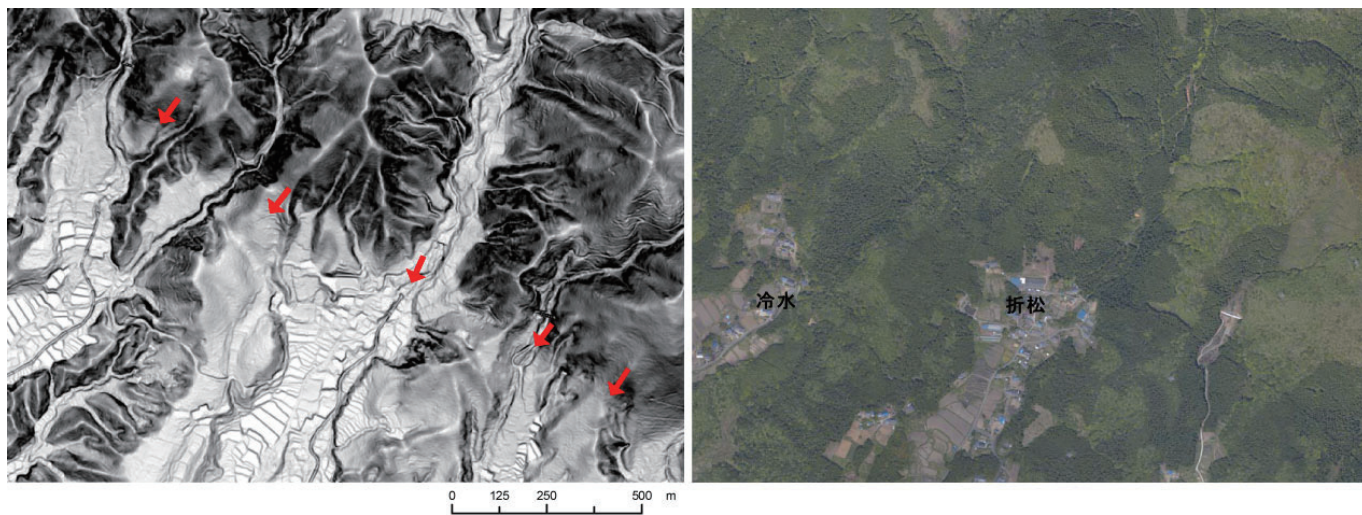


図4 湯ノ岳断層周辺の傾斜図とその地域の空中写真

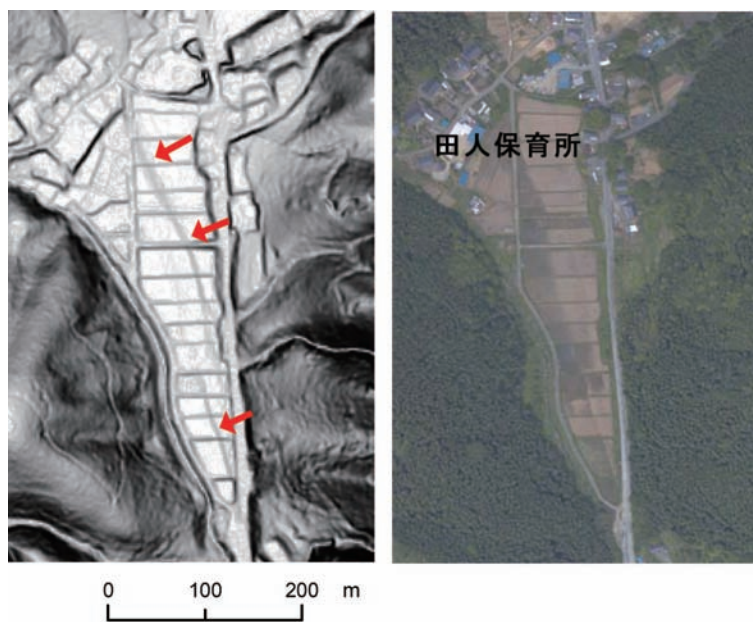


図5 井戸沢断層西側（田人周辺）の傾斜図とその地域の空中写真（岩橋，2013）

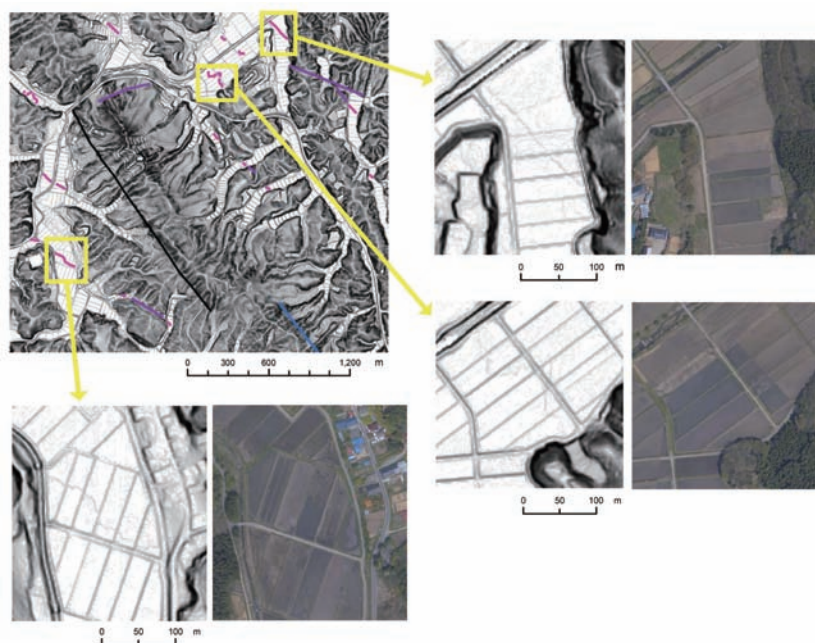


図6 航空レーザ測量データに認められるコース間格差による段差の例（岩橋，2013）

### 3 地上レーザ測量による活断層地形の計測

詳細な地表の三次元データを取得する技術として、地上レーザ測量がある。2011年福島県浜通りの地震でいわき市塩ノ平地区に出現した井戸沢断層の測量事例(岡谷・小荒井, 2011)を図7~図9に示す。

使用機器はGLS-1500(TOPCON社製)で、GPSを用いた観測による後視点設置により測量を実施し、50m遠方で約2cmの間隔でスキャニングを行っている。

塩ノ平北部で任意の断面図を作成し並べたものを図9に示す。塩ノ平から連続する形で北北西-南南東方向に地表地震断層が延びている。また、地区の中部から南部にかけて西側に分岐する断層を捉えている。地上部の測量では東西の断層線沿いの変位はともに1m程度であり、累積では塩ノ平南部と同様に2m程度の変位となっている。西側の断層は地区中央部付近から徐々に変位量が減少し、東側の断層が水田に再び姿を現す付近で消滅する。地上レーザ測量によると、西側の断層の延長部分には撓曲も確認されていない。

### 4 干渉SARによる地表地震断層の把握

衛星干渉SAR(合成開口レーダ)は、人工衛星から照射されたマイクロ波が地上で反射して返ってくるのを2時期で観測して、2時期間の衛星視線方向からの距離の差を2時期のSAR画像の干渉処理を行うことにより、地表から反射されるマイクロ波の位相差として捉えて、cmレベルの地表の変動を捉える技術である。この技術は地表の変動を面的に精度良く捉えることのできる測量技術である。現在、火山の噴火の前兆を捉える、地盤沈下のモニタリング、地すべり変動のモニタリングなどに活用されており、地震時には地震前後の地殻変動を面的に捉えることにより、GPS連続観測の結果などと合わせて震源断層モデルの構築などが行われている。この技術は、事前の活断層調査に活用することは難しいが、地震後に地表地震断層が出現した箇所などを予測するのに活用することが可能である。

日本の地球観測衛星「だいち」(ALOS)に搭載された合成開口レーダ(PALSAR)のデータを干渉解析して、2011年4月11日の地震に伴う地殻変動を面的に把握した例を図10に示す。得られた干渉画像には、井戸沢断層西側(塩ノ平断層)沿い(A-A'),湯ノ岳断層沿い(B-B'),井戸沢断層東側沿い(C-C'),D-D',E-E'沿いに変位の不連続が明瞭に見られた。これらの断層沿



図7 地上レーザ測量の様子

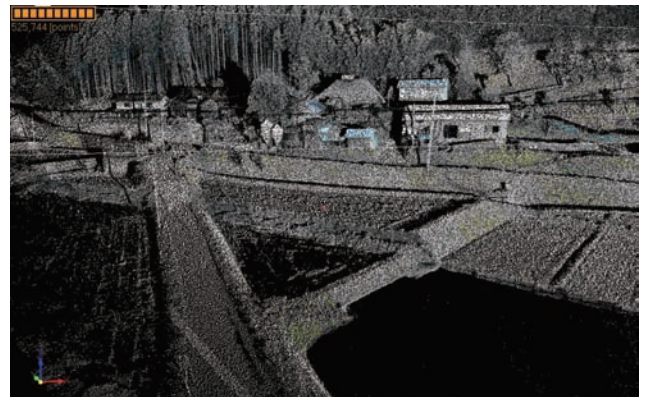


図8 いわき市塩ノ平地区の水田に出現した地表地震断層の地上レーザ測量結果(樹木等の除去を行う前のレーザ点群イメージ)  
(国土地理院地理地殻活動研究センター, 2011a)

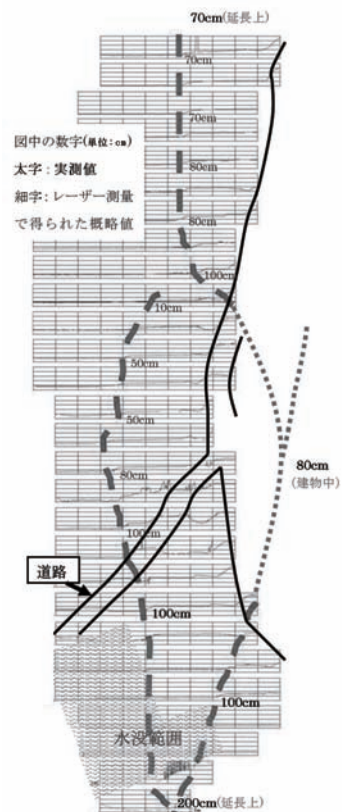


図9 塩ノ平地区で出現した地表地震断層の断面図(岡谷・小荒井, 2011)

## 4月11日福島県浜通りの地震に係るいわき市内陸部におけるSAR干渉画像(2011.3.3-2011.4.18)に見られる変位の不連続の分布

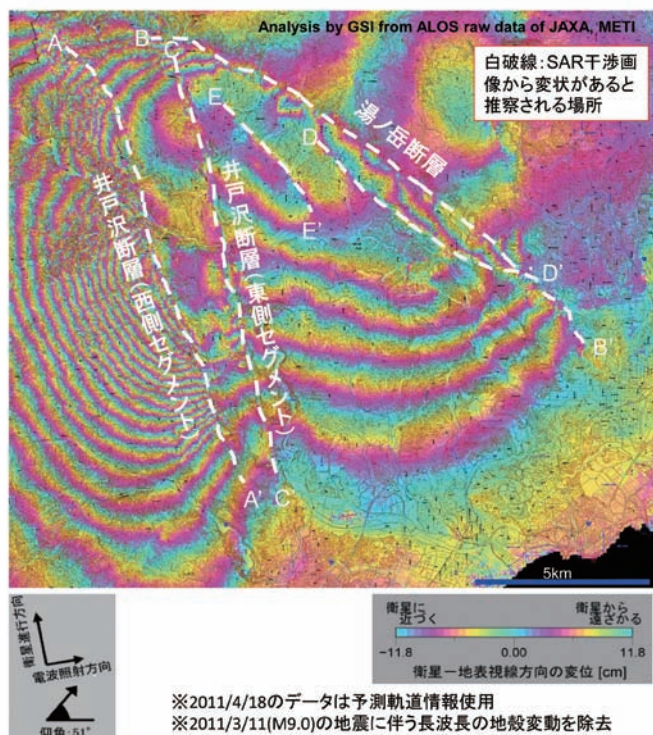


図10 2011年福島県浜通りの地震のSAR干渉画像の不連続(国土地理院地理地殻活動研究センター, 2011b)を改変)

いでは、地表地震断層が出現していることが報告されている。湯ノ岳断層では約190cmの垂直方向の変位が、井戸沢断層では約80cmの垂直方向の変位が観察されている。ALOSのPALSARはLバンドであるため、干渉縞の1周期がLバンド波長の半周期分(約11.8cm)となるので、不連続を挟んだ干渉縞の周期の差と変位量的には調和的である。井戸沢断層東側では干渉縞に2~3周期分の不連続が認められるが、現地調査では山間部で亀裂や崩壊が断層線に沿って認められた。これは能動的に活断層が動いたのではなく、受動的に断層に沿って変位が認められたものと考えられる。E-E'沿いでは1周期以下の干渉縞の不連続が認められるが、現地調査ではコンクリートやアスファルトの部分にのみ亀裂が認められた。

このように、SARの干渉縞の不連続量に調和した形で現地では地表地震断層や地盤変状が出現しており、地震後に地表地震断層の現地調査を行う上で、非常に参考になるものである。現に筆者は福島県浜通りの地震の現地調査でこのSAR干渉画像を使って現地調査する箇所の絞り込みを行い、効率的に地表地震断層や地表変状の調査を行うことができ、レポートを報告している(国土地理院地理地殻活動研究センター, 2011b)。

## 〈参考文献〉

- 1) 石山達也・佐藤比呂志・伊藤谷生・杉戸信彦・越後智雄・加藤直子・今泉俊文(2011a): 2011年4月11日の福島県浜通りの地震に伴う地表地震断層について(第2報). [http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/eqvolc/201103\\_tohoku/fukushimahamadoori/](http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/eqvolc/201103_tohoku/fukushimahamadoori/) (2013年5月2日最終アクセス)
- 2) 石山達也・杉戸信彦・越後智雄・佐藤比呂志(2011b): 2011年4月11日の福島県浜通りの地震に伴う地表地震断層のトレンチ掘削調査(速報). [http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/eqvolc/201103\\_tohoku/fukushimahamadoori](http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/eqvolc/201103_tohoku/fukushimahamadoori/) (2013年5月2日最終アクセス)
- 3) 岩橋純子(2013): 航空レーザ測量による活断層調査の高度化に関する研究開発(第4年次). 国土地理院平成24年度調査研究年報.
- 4) 岩橋純子・佐藤忠・内川謙二・小野康・下地恒明・星野実(2011): 航空レーザ測量のDEMから作成した余色立体図等を用いた変動地形の観察. 国土地理院時報, 121, 143-155. <http://www.gsi.go.jp/common/000062987.pdf> (2013年5月2日最終アクセス)
- 5) 岩橋純子・関口辰夫・小野康・高橋宣代(2012): いわき市南部の航空レーザ測量データを用いたリアリメントの判読. 日本地球惑星科学連合2012年大会予稿集, HGM21-P06
- 6) 岡谷隆基・小荒井衛(2011): 井戸沢断層に沿って出現した地表地震断層に対する地上3次元レーザスキャナー計測. 写真測量とリモートセンシング, 50(5), 296-301.
- 7) 活断層研究会(編)(1991): 「新編 日本の活断層」. 東京大学出版会, 147p.
- 8) 高泰朋・福田真・中野一也・大伴真吾・高貴潤一・平松由起子(2011): 地震変状調査における航空レーザ計測・空中写真撮影の有効性—地表地震断層・液化化現象を例として—. 写真測量とリモートセンシング, 50(4), 236-242.
- 9) 国土地理院地理地殻活動研究センター(2011a): いわき市内陸部における4月11日福島県浜通りの地震に伴う地表地震断層に対する地上レーザ測量の実施結果について. <http://www.gsi.go.jp/common/000060667.pdf> (2013年5月2日最終アクセス)
- 10) 国土地理院地理地殻活動研究センター(2011b): いわき市周辺における地震災害の現地調査(2回目)の報告. <http://www.gsi.go.jp/common/000060960.pdf> (2013年5月2日最終アクセス)

# 全国地震動予測地図

ふじわら ひろゆき\*  
藤原 広行\*

**K**  
ey Word

地震ハザード, 地震動予測, 強震動, 確率, J-SHIS

## 1. はじめに

「全国地震動予測地図」<sup>1)</sup>は、地震災害の軽減に資するため、将来日本で発生する恐れのある地震による強い揺れを予測し、その結果を地図として表したものであり、兵庫県南部地震の教訓を踏まえ発足した国の地震調査研究推進本部により作成されている。「全国地震動予測地図」は、地震発生 of 長期的な確率評価と強震動の評価を組み合わせた「確率論的地震動予測地図」と、特定の地震に対して、ある想定されたシナリオに対する強震動評価に基づく「震源断層を特定した地震動予測地図」の2種類の性質の異なる地図から構成されている。これらの情報は、防災科学技術研究所が運用している地震ハザードステーション J-SHIS (<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>) から公開されている。以下では、その概要について説明する。

## 2. 確率論的地震動予測地図

地震の発生及びそれに伴う地震動の予測（地震ハザード評価）は、現状では数多くの不確定要素を含んでいる。現状の地震学・地震工学のレベルでは、将来発生する可能性のある地震について、地震発生の日時、場所、規模、発生する地震動等について、決定論的に1つの答えを準備することは困難である。こうした不確定性を定量的に評価するための技術的枠組みとして有力と考えられているのが確率論的手法であり、「確率論的地震動予測地図」を作成するために、以下に述べる手法に従った確率論的地震ハザード評価が採用されている。確率論的地震ハザード評価とは、ある地点において将来発生する「地震動の強さ」、「対象とする期間」、「対象とする確率」の3つの関係を評価するものであり、

その大まかな手順は以下に示す通りである<sup>2)</sup>。

- ①地震調査研究推進本部地震調査委員会による地震の分類に従い、対象地点周辺の地震活動をモデル化する。なお、地震活動のモデル化では、震源断層が特定できる地震のみならず、震源断層が特定しにくい地震についても統計的なモデルを作成する。
- ②モデル化したそれぞれの地震について、地震調査委員会による長期評価結果に基づき、地震の発生確率を評価する。
- ③地震の規模と位置が与えられた場合の強震動評価のための確率モデルを設定する。具体的には、地震動予測のバラツキを考慮した経験的距離減衰式を用いる。地震動の評価は、工学的基盤で行い、次に、各地点での増幅特性を考慮して地表の地震動を評価する。
- ④モデル化された各地震について、対象期間内にその地震により生じる地震動の強さが、ある値を超える確率を評価する。
- ⑤上の操作をモデル化した地震の数だけ繰り返し、それらの結果を確率論的に足し合わせることににより、全ての地震を考慮した場合に、対象期間内に生じる地震動の強さが、ある値を少なくとも1度を超える確率を計算する。

「確率論的地震動予測地図」における地震ハザードの評価地点は、日本全国を覆う第3次地域区画メッシュ（約1km四方）を16等分割した4分の1地域メッシュ（約250m四方）の中心である。

このようにして評価された地震ハザード情報に基づいて、「確率論的地震動予測地図」では、今後

\*独立行政法人防災科学技術研究所 社会防災システム研究領域長



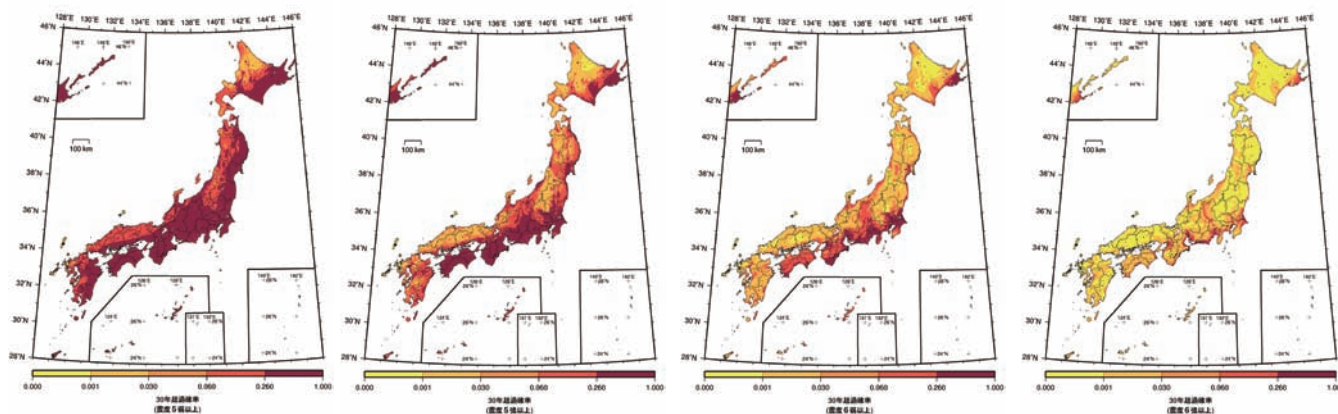


図1 確率論的地震動予測地図の例。今後30年間にある震度以上の揺れに見舞われる確率を示す。左から順に、震度5弱、震度5強、震度6弱、震度6強。

30年以内にある一定の震度以上の揺れに見舞われる確率を示した地図(図1)や、今後30年間のある一定の超過確率に対する地震動の大きさを示す地図を作成している。

「確率論的地震動予測地図」において用いられている地震ハザード評価では、対象としている地点ごとに、その周辺で起こる可能性のある地震による地震動が、発生確率も含めてすべて考慮されている。一方で、地震発生予測と強震動予測という2つの性質の異なるものを、それぞれに対して確率分布を用いることにより、同じ土俵にのせて掛け合わせる操作が行われるため、すべての地震が考慮され統合されたのちの地震ハザードの値だけでは、そこに含まれている個別の地震による地震動情報が見えにくくなる場合がある。例えば、発生間隔が100年程度の海溝型地震と発生間隔が数千年程度の活断層による地震を考えた場合、今後30年間での地震発生確率が、海溝型地震では、数十%以上になる場合があるのに対して、活断層の地震では、高くてもせいぜい数%で、多くの場合1%にも満たない。このように発生確率の大きく異なる

地震を1つにまとめ重ね合わせてしまうと、発生確率及び地震規模の大きな海溝型地震が、地図のパターンを決める主要因となり、活断層の地震の情報が相対的に小さくなるため、色の付け方などの表現手法によっては、多くの情報が失われてしまう。地震発生確率が、正確に評価されているという前提に立てば、ハザードレベルの違いは、客観的な事実であり、相対的な数値の違いをそのまま受け入れて、地震に対する備えを考えることも1つの考え方ではある。しかし、地震にもいろいろなタイプがあり、それぞれのタイプごとにその特徴を踏まえた対策をとるといふことも考えられる。こうしたニーズに対しては、発生間隔や規模、発生する場所も異なる地震を、1つにまとめてしまうのではなく、いくつかのタイプに分類して、それぞれのタイプごとに、ハザードを評価して地図として表現することが必要となる。

「確率論的地震動予測地図」では、上記のような考え方を採用して、日本で発生する地震を大きく3つのカテゴリーに分類して、それぞれのカテゴリーごとに地図を作成している(図2)。具体的には、

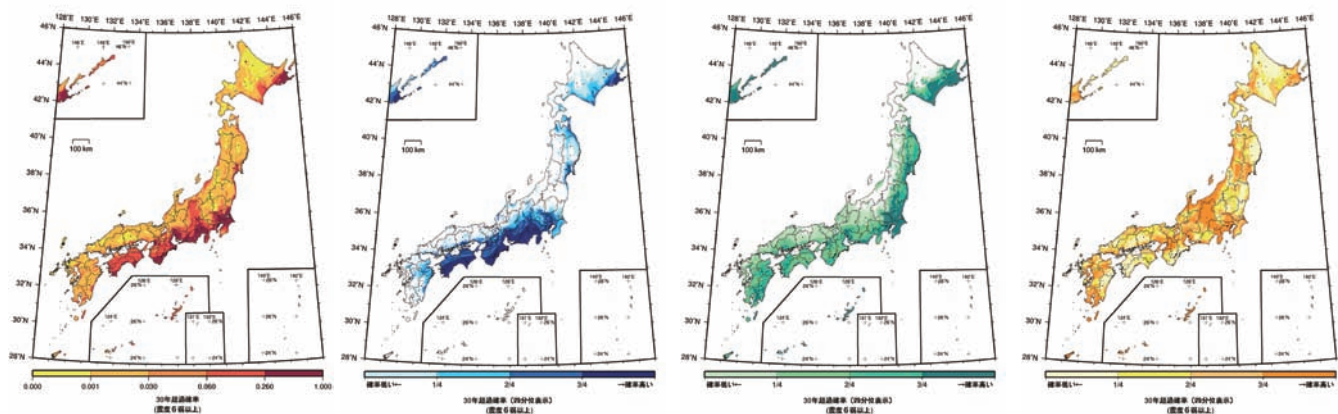


図2 地震カテゴリー別の確率論的地震動予測地図の例。今後30年間にある震度以上の揺れに見舞われる確率を示す。左側から順に、すべての地震を考慮した場合、地震カテゴリーⅠ、地震カテゴリーⅡ、地震カテゴリーⅢ。なお、カテゴリー別の地図は、四分位表示で色分けされている。

地震カテゴリーⅠとして、海溝型の地震のうち震源断層を特定できる地震、地震カテゴリーⅡとして、海溝型地震のうち震源断層を特定しにくい地震、地震カテゴリーⅢとして、活断層など陸域と海域の浅い地震としている。

地震カテゴリーⅠに含まれる地震は、発生間隔が数十年から数百年と短く、発生確率が高く、歴史上でも繰り返し地震が発生した記録が残されており、また発生規模や発生場所などについてもある程度特定された、いわゆる名前の付いた地震である。

地震カテゴリーⅡに含まれる地震は、プレート間及びプレート内で発生する海溝型地震で、地震カテゴリーⅠの地震と比較すると規模が一回り小さく、震源を断層特定できないものからなる。発生間隔は比較的短く、発生頻度は高いが、いつどこで発生するかを特定することが困難なタイプの地震である。

地震カテゴリーⅢに含まれる地震は、活断層で発生する地震に加え、震源が特定できない地震も含む陸域及び海域で発生する地殻内の浅い地震で、発生間隔が数千年程度以上と長く、発生確率が低いタイプの地震である。しかし、都市の近くで発生した場合、震源が浅いため、強い地震動を発生させる可能性があり、局所的ではあるが、甚大な被害を生ずる可能性がある地震が含まれている。

3つに分類された地震タイプに対して、それぞれの地域でどのタイプの地震ハザードが、相対的に大きいのかを調べることにより、地域ごとに、特に備えるべき対象となる地震タイプを認識することが可能となる。「確率論的地震動予測地図」では、震度レベルごとに、もっとも大きな影響を与える地震カテゴリーを示した地図もあわせて作成している。これによれば、震度レベルが大きくなるにつれ、日本海側を中心に、カテゴリーⅢの地

震によるハザードが相対的に大きな地域が拡大する様子がわかる(図3)。

このように性質の違う地震を分類し、地震カテゴリーごとにハザードを評価し、それぞれの地震カテゴリーに応じた対策を考え、地域の特徴を考慮して組み合わせることができれば、「確率論的地震動予測地図」に含まれる地震ハザード情報を用いた、より合理的な地震対策立案が可能になると期待される。

### 3. 震源断層を特定した地震動予測地図

主要断層帯で発生する地震については、確率論的な地震ハザード評価に加えて、あるシナリオを想定し、詳細な強震動評価手法を用いた「震源断層を特定した地震動予測地図」が作成されている。「震源断層を特定した地震動予測地図」の作成においては、ハイブリッド法と呼ばれる地震波形の合成法が用いられている。ハイブリッド法は、複数の要素技術の組み合わせからなる複雑な波形合成法であるが、この手法をできるだけ標準化し、誰が計算を実施しても同じ結果が得られることを目標とした手法の検討が行われ、「震源断層を特定した地震の強震動予測手法(レシピ)」が、地震調査委員会によりとりまとめられている。また、詳細な地震動評価を実施するためには地下構造のモデル化が必要になる。このため、全国を対象とした地震動評価のための地盤モデルも作成されている。

主要活断層帯を対象とした強震動計算は、「レシピ」の手順に従って行われる。おおまかな流れは以下の通りである。

- ①巨視的・微視的震源パラメータ及び地下構造モデル(地震基盤以深の地殻構造モデル、深部地盤モデル)を設定する。
- ②工学的基盤上の強震動波形をハイブリッド法により計算する。

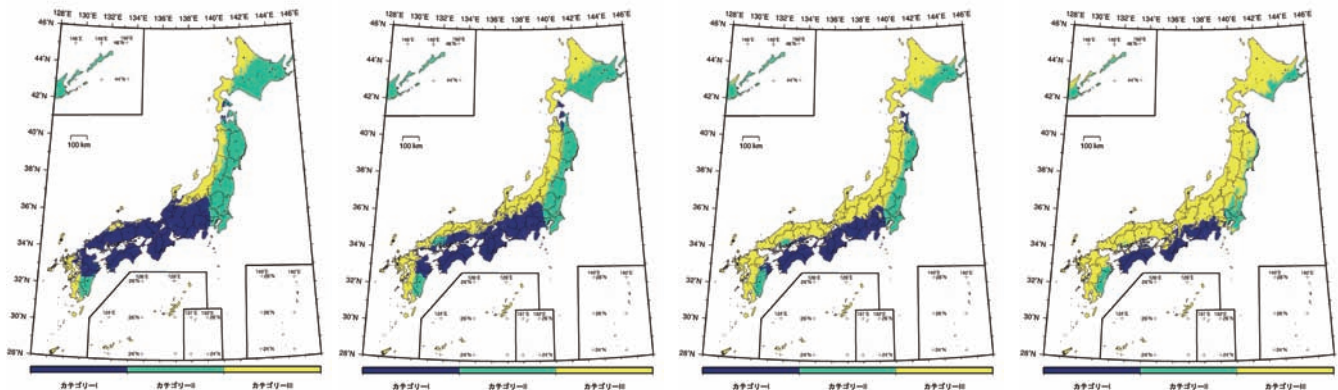


図3 震度階級ごとに見た、最も影響の大きい地震カテゴリー。左側から順に、震度5弱、震度5強、震度6弱、震度6強。

③地盤増幅率を用いて地表の地震動を評価する。

「震源断層を特定した地震動予測地図」の作成領域は、評価対象の断層帯ごとに個別に設定する。地図の作成は、断層の端部から水平距離がおよそ50kmの範囲を含む矩形の領域を対象としている。これは、M7程度の主要活断層帯に対して、距離減衰式による予測結果において震度5強となる領域をおおむね包含する領域とするためである。

「震源断層を特定した地震動予測地図」(図4)では、対象の断層帯ごとに以下のものが作成されている。

- ・工学的基盤上の最大速度分布
- ・工学的基盤上の震度分布
- ・工学的基盤から地表までの震度増分の分布
- ・地表の震度分布

なお、地表における地震動の評価地点は、対象領域に含まれる第3次地域区画メッシュ(約1km四方)を16等分割した4分の1地域メッシュ(約250m四方)の中心となっている。

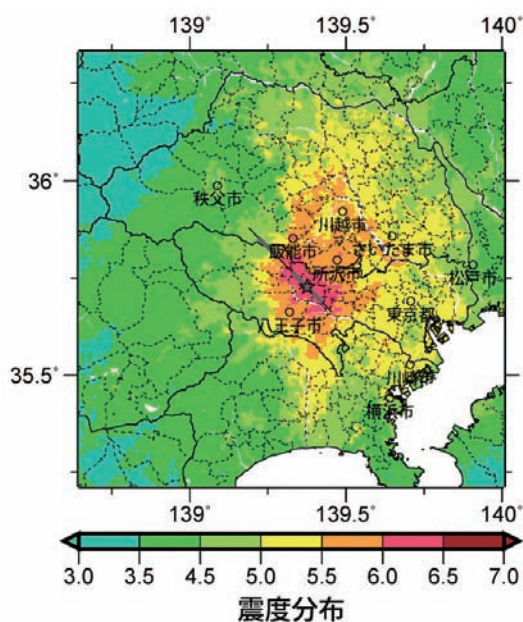


図4 「震源断層を特定した地震動予測地図」の例。立川断層帯の地震を想定した場合の地表の震度。

#### 4. 地震ハザードステーション J-SHIS

「全国地震動予測地図」は、兵庫県南部地震の教訓を踏まえて発足した地震調査研究推進本部の10年間の調査研究活動の集大成の1つとして位置づけられるもので、地図作成に必要なデータまで含めると膨大な量の情報を含んでいる。

防災科研では、地震調査研究推進本部地震調査

委員会による「地震動予測地図」の作成に資するため、地震動予測地図の作成に必要な要素技術の開発、及び地震動予測地図の計算作業を行ってきた。また、地震動予測地図の利用に関する検討の一環として、「地震動予測地図工学利用検討委員会」(委員長: 亀田弘行)を設置し検討を行ってきた。本委員会がまとめた報告書<sup>3)</sup>では、「地震動予測地図」を最終成果物としての地図そのものだけでなく、その作成の前提条件となった断層モデル及び地盤モデル等の評価プロセスに関わるデータも併せた情報群としてとらえることにより、「地震ハザードの共通情報基盤」として位置づけるべきとの提言がなされた。この提言を実現するために、防災科研では「地震動予測地図」の公開システムの開発を実施し、同報告書により提案された名称を採用し、「地震ハザードステーション」(Japan Seismic Hazard Information Station, J-SHIS)として、地震調査研究推進本部からの「全国を概観した地震動予測地図」の公表と合わせて、2005年5月より運用を行ってきた。

その後のWebによる地図情報の配信技術の進歩はめざましいものがあった。これら最新の技術を取り入れ、「全国地震動予測地図」として整備された地震ハザードに関する各種データを、背景地図と重ね合わせて、わかりやすく提供できるシステムを目指し、従来のJ-SHISの機能の大幅な改良を実施し、2009年7月より新システムの運用を開始した。新しく開発されたシステム(図5)では、「全国地震動予測地図」として新たに整備された約250mメッシュの全国版「確率論的地震動予測地

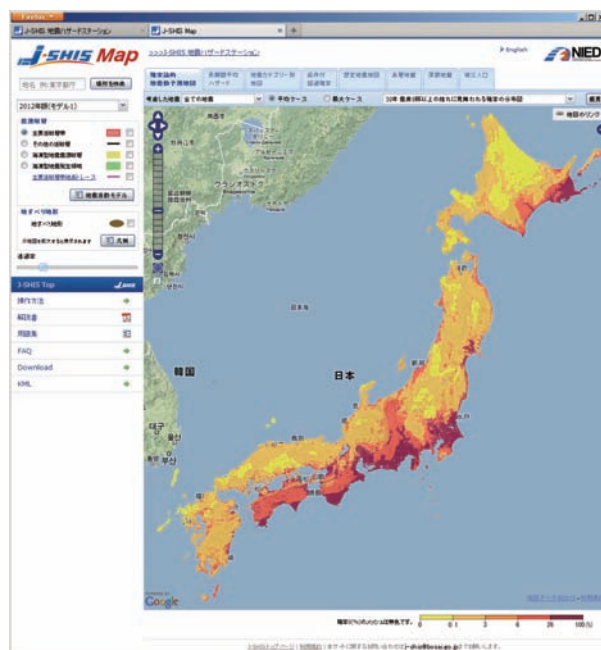


図5 地震ハザードステーション J-SHISの表示例。

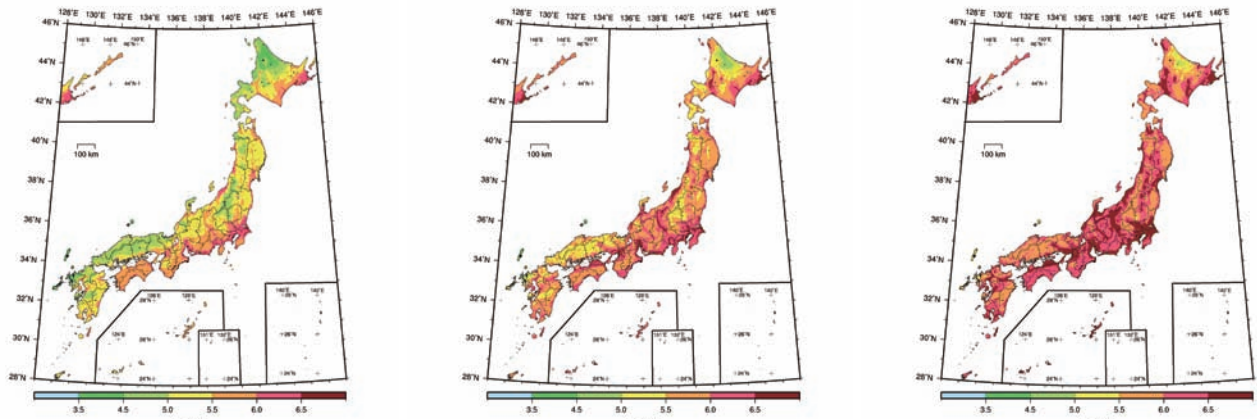


図6 長期間の平均的な地震ハザード評価による長期の再現期間に対する震度分布。再現期間千年(左), 1万年(中央), 10万年(右)。

図], 主要断層帯で発生する地震に対する詳細な強震動予測に基づく「震源断層を特定した地震動予測地図」, それら計算に用いた全国版深部地盤モデル, 約 250m メッシュ微地形分類モデルなどを, 背景地図と重ね合わせて表示する機能に加え, 住所や郵便番号などによる検索機能により, 調べたい場所での地震ハザード情報を, 簡単に閲覧することができるようになった。また, より専門的なデータの利活用を可能とするため, 地震動予測地図のデータや計算に用いた断層モデル, 地盤モデル等をダウンロードすることも可能となっている。

## 5. 東日本大震災を踏まえた地震ハザード評価の改良の取り組み

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は, M9.0 という日本周辺で発生した地震としては有史以来最大規模のものであった。この地震は, 「全国地震動予測地図」において考慮することができていなかった。このため, 福島県から茨城県北部地域では, 予測されていた地震動レベルは, 過小評価となっていた。この原因は, 一義的には, 地震活動モデル作成の根拠となっている長期評価において, M9.0 の巨大地震の発生が評価されていなかったことによると考えられるが, 一方で, 不確定性を定量的に評価するために準備されている確率論的地震ハザード評価手法の枠組みを十分に機能させることができなかつたことも一因であるとも考えられる。地震の予測に関しては, 未だ多くの不確定性が残存している。こうした現状の下, 地震ハザード評価を行うためには, 地震現象の解明に努めると共に, 不確定な部分の取り扱いをこれまで以上に強化することが求められる。

震災を踏まえた地震動予測地図の改良に資するため, 下記のような地震ハザード評価の高度化に向けた検討が行われている<sup>4)</sup>。

### (1) 低頻度の地震まで抜けない地震活動モデルの構築

海溝型の地震及び活断層の地震の双方に対して, 数千年から数万年に1度程度の事象までを考慮することができる地震活動のモデル化を目指すことが必要である。このためには, 過去の事例に基づく従来型の長期評価手法だけでは, 抜け落ちが生じる可能性があるため, G-R 式等の統計的手法を採用することにより, 低確率の地震まで含めた「震源断層を特定しにくい地震」のモデル化を行うことが必要である。

### (2) 低頻度の地震を考慮できる地震動マップ作成

確率値を示し地震の切迫性を強調する従来型の情報発信に偏ることなく, 不確定性を考慮した上で, 備えるべき地震動レベルを示した地図の作成が必要である。例えば, 長期間の平均的な地震ハザードとして再現期間1万年程度以上の地震動評価を行い, 低頻度の海溝型地震や主要な活断層の地震の揺れも同時に表現できるような地震動マップを作成も試みる(図6)。ただし, 現状では, M8クラス以上の地震に対する強震動評価やその不確定性評価が不十分であり, 手法の改良・高度化が必要となる。

### (3) 確率論的な地震ハザード評価とシナリオ型の地震動評価の相補的な利活用

低頻度の地震まで考慮した地震活動モデルにお

いては、震源断層が特定された地震だけでなく、震源断層を予め特定しにくい地震が、確率論的な地震活動モデルとして含まれている。目的に応じた適切なシナリオ地震を選定し、その確率論的なハザード評価の中での位置づけを確認する手法の確立が必要である。

#### (4) 巨大地震に対する強震動予測手法の高度化

再現期間が1万年程度の低頻度の事象までを考慮した地震動評価を行うためには、近代的な地震観測で記録が十分得られていない巨大地震に対する強震動予測を行う必要がある。現在、詳細な地震動予測のために用いられている「震源断層を特定した地震の強震動予測手法（レシピ）」では、海溝型地震ではM8程度まで、活断層の地震については長さ80km程度までしかその適用範囲が検証されていない。より巨大な地震に適用可能な強震動予測手法の高度化が不可欠な状況にある。

#### (5) 地震ハザード情報の伝え方・利活用の検討

地震ハザード評価そのものの改良に加え、地震ハザード情報の利活用に向け、ハザード情報のわかりやすい伝え方の検討が必要である。このため

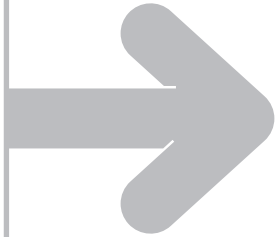
の方策の1つとして地震ハザードステーションJ-SHISの機能の強化に取り組んでいる。

#### 今後の課題

震災を経験するたびにその教訓を踏まえた地震災害軽減に向けた努力が続けられてきているが、地震に対する我々の理解は、未だ不十分なところが数多く残っている。しかし、あきらめることなく、今後も起こる大地震に備えるため、東日本大震災の経験を踏まえ、上記課題の解決に向けた努力を続けることが必要である。

#### 〈参考文献〉

- 1) 地震調査研究推進本部：全国地震動予測地図，2009。
- 2) 藤原広行，河合伸一，青井真，森川信之，先名重樹，工藤暢章，大井昌弘，はお憲生，若松加寿江，石川裕，奥村俊彦，石井透，松島信一，早川謙，遠山信彦，成田章：「全国地震動予測地図」作成手法の検討，防災科学技術研究所研究資料，第336号，2009。
- 3) 地震動予測地図工学利用検討委員会：地震動予測地図の工学利用—地震ハザードの共通情報基盤を目指して—，防災科学技術研究所研究資料第258号，2004。
- 4) 藤原広行，河合伸一，青井真，森川信之，先名重樹，東宏樹，大井昌弘，はお憲生，長谷川信介，前田宜浩，岩城麻子，若松加寿江，井元政二郎，奥村俊彦，松山尚典，成田章：東日本大震災を踏まえた地震ハザード評価の改良に向けた検討，防災科学技術研究所研究資料，第379号，2012。



# 航空レーザ計測

しかの ひろし  
鹿野 浩司\*

**K**  
ey Word

航空レーザ計測, LiDAR, 航空写真測量, DEM, DSM

## はじめに

地形図作成において、長い間主流であった航空写真測量技術は、空中三角測量の自動化、デジタル化したステレオ画像を自動標定によって標高抽出するステレオマッチング手法の開発など進化を続けてきた。最近では、高精度・高画質・大容量の航空機用デジタルカメラが開発され、写真のデジタル化が進んだ。しかしながら、技術の進化により、高精度化が図られてきたが、写真測量技術には変わりなく、物理的限界が残されている。

1990年代に、航空写真測量の短所を補うとともに、高精度・高空間解像度データが取得できる、データ収集原理や解析手法がまったく異なる「航空レーザ計測技術 (LiDAR: Light Detection and Ranging)」が出現し、中山間地での地形図作成や土砂災害、火山にかかわる防災場面での利用が活発化し、近年一般化しつつある。この最新の計測技術について紹介する。

## 1. 計測原理・システムの概要

航空レーザ計測とは、航空機から地上にレーザ光を照射し、地上で反射するパルスを受信するまでの往復時間から距離を算出するものである。計測には、Nd (ネオジウム) 系レーザが用いられており、これは、Nd<sup>3+</sup> イオンを透明な結晶やガラスに混入した固体レーザである。小型で高出力発生が可能であるという特長を有し、1064mm (1.064 μm) の近赤外波長の領域にある。

図-1に航空レーザ計測システムの概要を示す。

航空レーザ計測システムは、レーザの発射位置と方向を特定するためのGPS<sup>1)</sup>、IMU<sup>2)</sup>、地表・地

物からの距離を高頻度取得するレーザ測距儀の3つの計測センサーで構成される。なお、用いる測距儀は、ノンプリズム型パルスレーザ測距儀であり、地上に反射ミラー等の設置は必要としない。

- 1) GPS: GPS測位には2つのGPS局を用いる。一方を既に座標が分かっている既知点、もう一方を未知の点(航空機)とする。未知点の位置を、既知点との距離(基線長)から推定する。
- 2) IMU: 慣性航法装置のことで、航空機の姿勢(ローリング, ピッチング, ヘディング)の傾きと加速度)について求める。

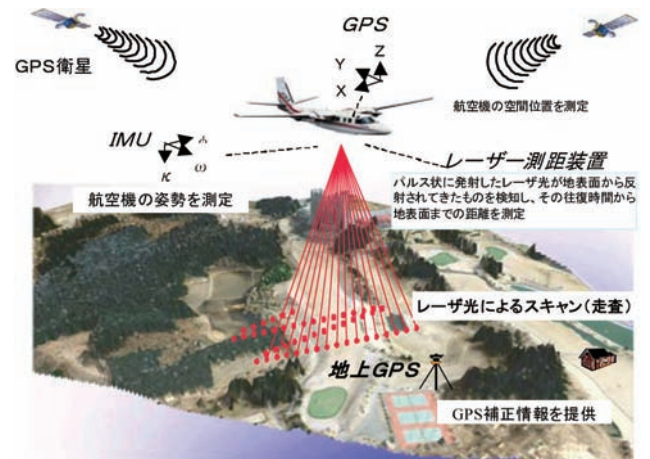


図-1 航空レーザ計測の概要

## 2. 技術の特徴

### 2.1. 航空写真測量と航空レーザ計測の違い

#### (1) 原理

航空写真測量は、ステレオ撮影した2枚の空中写真を幾学的に精密解析することによって、写真

\*アジア航測株式会社 経営管理部長

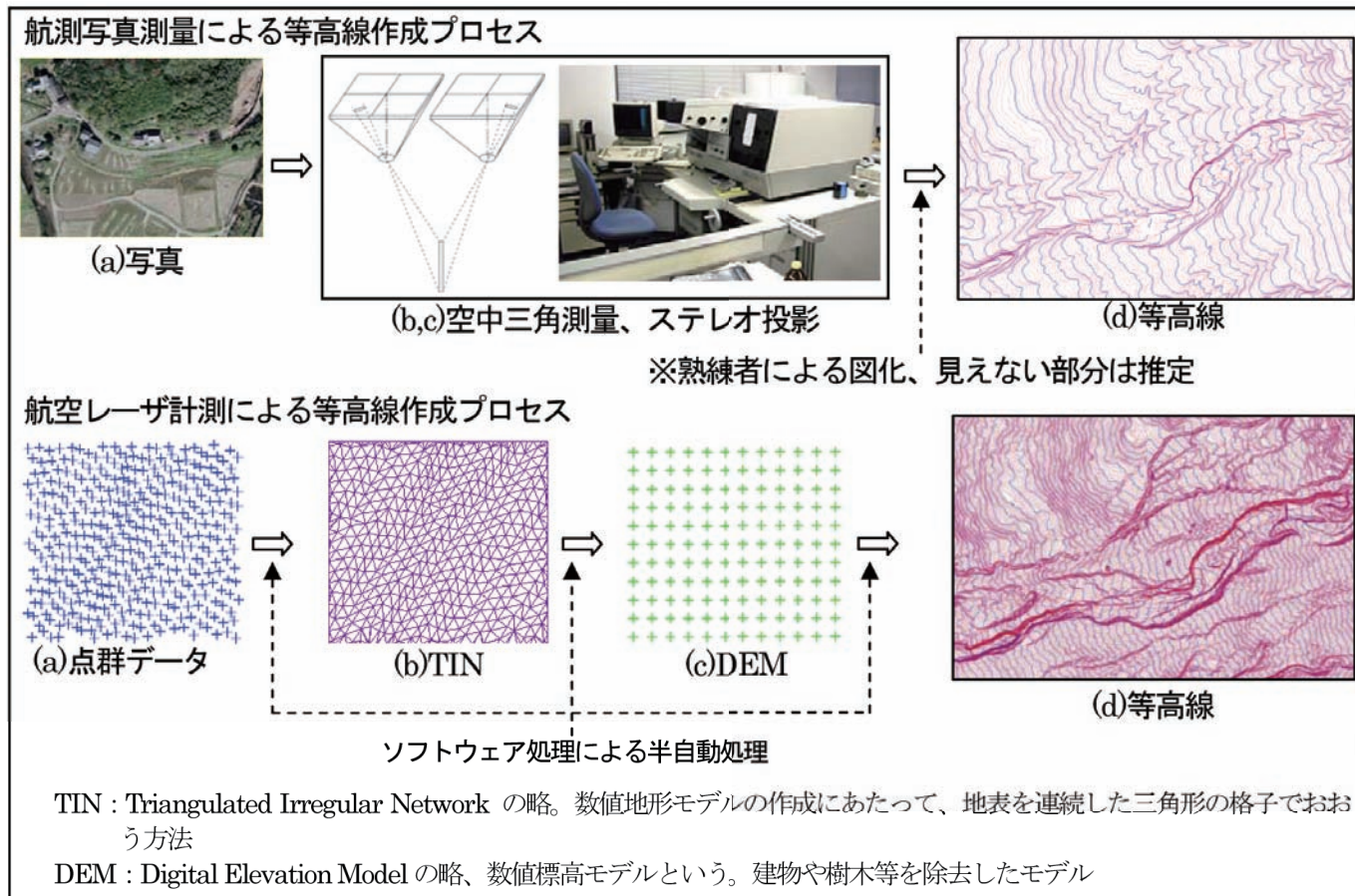


図-2 データ処理の流れ

に写っているさまざまな地物を間接的に計測するものである。このとき、空中三角測量により、空中写真の位置や傾き、絶対位置等を再現する必要があり、そのために地上において対空標識の設置や標定点測量（基準点測量）が必要となる。

航空レーザ計測は、レーザパルスを対象物に照射し、直接的に計測する。その照射点の三次元座標は、GPS 及び IMU で取得するため、航空写真測量で実施する空中三角測量を必要としないことから、計測対象エリアでの現地作業を必要としない。

## (2) データ処理

図-2 に両者のデータ処理の流れを示す。

航空写真測量では、図化機と呼ばれる装置に空中写真をステレオ投影し、図化オペレータが写真に写っている地物の計測、描画を行う。オペレータの熟練度や経験度により品質の違いが生じる。

一方、航空レーザ計測は、不規則に配置された点群 (x,y,z) データから格子状に配置された数値標高モデル (DEM) を作成する。この処理は、半自動的に行われるため、作業による品質の違いが生じない。なお、航空レーザ計測で取得できるデータは、XYZ の点群データであるため、地上の

状況は判別できない。このため、必要に応じて、計測と同時にデータ検査用に撮影したデジタルカメラ画像を用いて建物、道路等地物の図化を行う。

## 2.2. 高空間解像度・高精度データ取得

面的なデータ取得密度は、レーザの発射回数によってかわる。現時点では、100～400kHz が利用されている。150kHz の場合、1秒間に15万発のレーザパルスが発射される。データ取得密度は、航空機の飛行高度、速度によって変わるが、固定翼機（セスナ等小型機）で計測した場合 1m × 1m 内に 1～2点、回転翼機（ヘリコプター）で計測した場合、2～4点以上のデータ取得が可能であり、それに従って、作成する DEM の大きさも 0.5m～2m となる。400kHz の計測システムを回転翼機に搭載し計測した場合、16点/m<sup>3</sup> の高密度な計測が可能である。

高さ情報精度は、表-1 に示したとおりである。

表-1 高さ精度の目安

縮尺 (メッシュサイズ)	標準的高さ情報精度	
	航空写真	レーザ計測
1/2,500 (1m～2m)	70～100cm	15cm～

### 2.3. 樹木下での高精度地盤高計測

従来からの航空写真測量では、写真に撮影された被写体を計測・図化するものである。このため、森林域（植生域）では、写真上で地盤を確認することが困難な場合が多く、樹冠を計測し地盤高を推定している。推定は、図化をする技術者の経験的な要素に基づくため、客観性に多少の問題がある。

一方、航空レーザ計測では、写真で判別できないような木々の隙間でもレーザが当たれば、地盤まで到達し、直接的に地表面標高を取得することができる。

なお、一発の照射パルスは、地盤に到達するまでに、接触したものに反射する。森林域では、図-3に示したように、樹冠で反射し、最も早く戻る反射パルス（ファーストパルス）、樹冠の隙間を抜けて途中の樹木で反射する反射パルス（中間パルス）、地表面に到達した照射パルスは、一般的に強度の大きい反射パルス（ラストパルス）として、一番遅く受信される場合が多い。

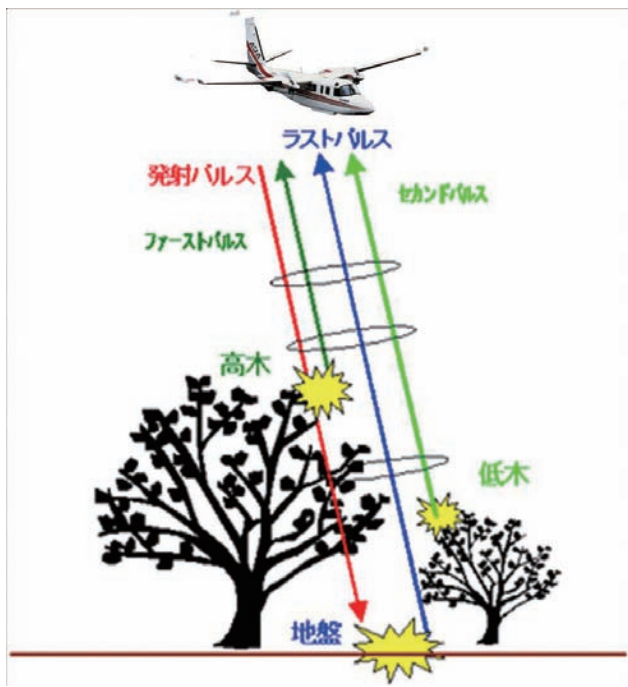


図-3 反射パルスの種類

### 2.4. 取得される点群データの特徴

航空レーザ計測で取得されるデータは、X,Y,Zの点群である。このデータには、地盤、樹冠、構造物等様々な地物から反射したものが混在している。このため、データの使用目的に応じてデータのフィルタリング処理（図-4）を実施する。DEM（数値標高モデル）を作成する場合は、全計測データから樹木や人工構造物の高さの点を除去して、地盤高のみのデータを使用する。

樹木状況を把握する場合や、都市の3次元モデリングや浸水シミュレーション等に用いる場合は、全データを使用しDSM（Digital Surface Model：数値表層モデル）を作成する。

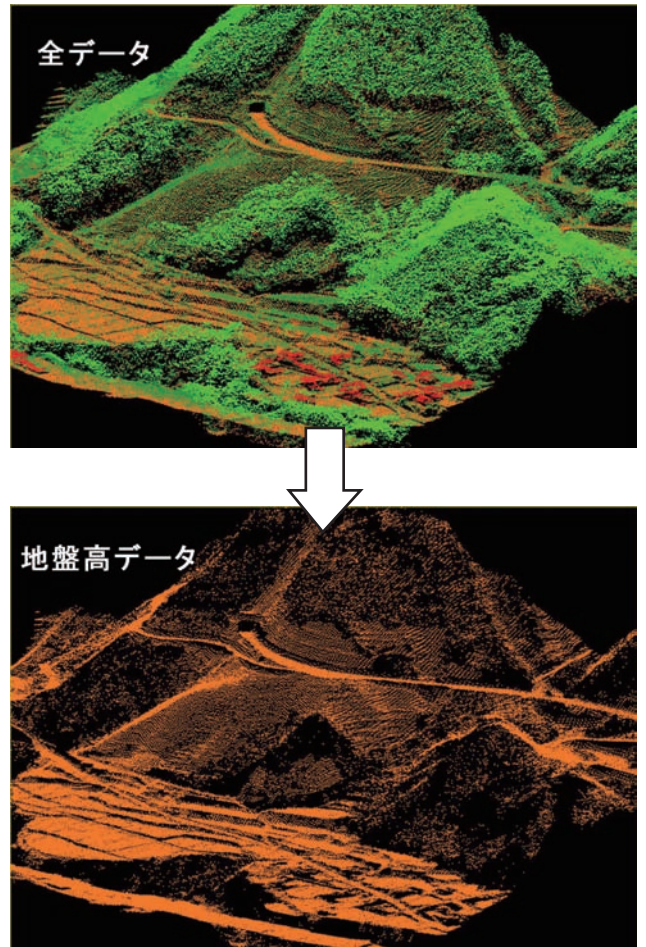
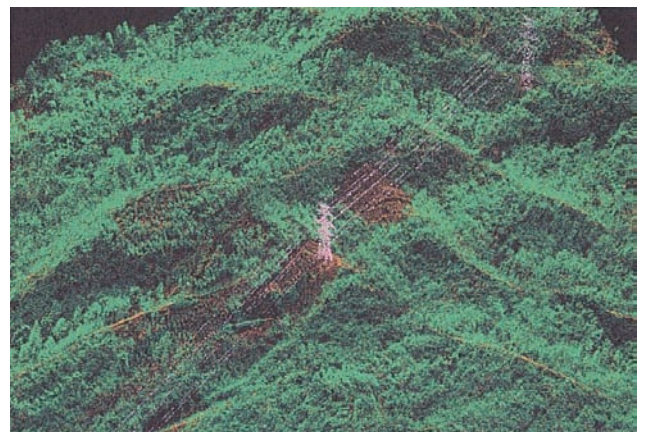


図-4 フィルタリング処理



※送電線ルート沿いの点群データ～送電線に対する支障木の有無を把握

図-5 森林の点群鳥瞰表現図



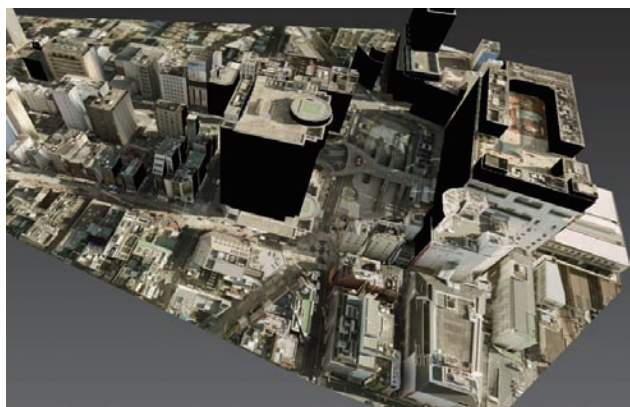


図-6 都市の三次元モデリング

### 3. 計測を計画する上での留意点

#### (1) 計測時期

航空レーザ計測は、航空機の飛行高度・速度が同一ならば、個々の計測点の精度のばらつきは大きくなる。しかしながら、データの取得密度は、地表の状況によりばらつきが生じ、データとして活用するメッシュデータの標高値や、等高線の精度に影響を与える。特に地盤からの反射パルスの取得は、植生の状況に大きく左右され、データ取得密度にむらが生じる。計画した取得密度を得られない場合もある。このため、地盤高データ取得を目的とした場合は、計測地域の植生の状況を踏まえた上で計測計画を作成し、特に計測時期は、新芽の生える前の春先や落葉季が望ましい。

#### (2) 建物、道路等地物の図化

航空レーザ計測で取得できるデータは、XYZの点群データであるため、地上の状況は判別できない。DSMデータを用いると、建物等構造物が浮き彫りとなるが、建物のエッジ部分は水平誤差が大きい。また、高低差の小さいものは、判別できない。精度を要求しない場合は、前述したように、計測時のデジタルカメラ画像を用いた簡易図化で対応する。

公共測量作業規程で定められた、例えば1/2,500地形図を作成する場合は、航空写真測量により補完する必要がある。

### 4. データの活用

#### (1) 微地形の可視化

航空レーザ計測で得られる情報は、DEMデータ

のメッシュサイズが1m程度と小さく、高い空間解像度を持っている。このような高密度データを数千分の1程度の等高線図で表現することは困難である。

等高線以外の地形表現は、従来から直射日光に照らし出したような表現である陰影図、高度と色相を対応させた高度段彩図、高度段彩図と陰影図の組合せなどが用いられてきた。航空レーザ計測が一般化するにつれて、新しい地形表現手法も開発されてきた。その一つが赤色立体地図(図-7)である。DEMを用いた地形解析主題図(傾斜、地上開度、地下開度)を重ね合わせて作成される。1枚の地図で、微地形から大地形までを特殊な器具を用いることなく、誰にでも分かり易く立体的に表現することが可能であり、光源の方向によって見え方が異なる陰影図などと違い、あらゆる方向・形状の地形を正確に表現することに適している。

#### (2) 災害前後の土砂収支の把握

航空レーザ計測で取得できるDEMは、2時期のデータを用いた差分解析により地形変化量を算出することが容易に可能である。例えば、災害前後の計測データを処理することで、土砂生産の場・規模、不安定土砂の残存状況、施設による捕土土砂量等、流域全体の土砂収支を迅速に把握できる。

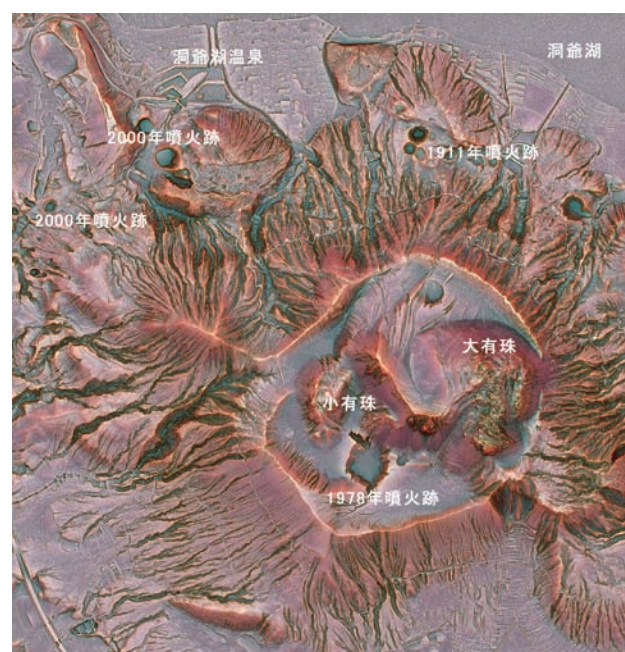


図-7 赤色立体地図 有珠山

#### (3) ダム堆砂調査

ナローマルチビーム音響測深とは、鋭い指向性特性を持つ音波(扇状ビーム)を船舶から発振し、

湖底面からの反射音をハイドロフォンで測定することによって、湖底堆積物が作る凹凸地形を面的かつ忠実に把握することができる。

地上部分を航空レーザ計測で、水面下をナローマルチビーム音響測深で計測することで精度の高い地形データを面的に取得することで、水面下を含む微地形や堆砂の状況を把握することができる。

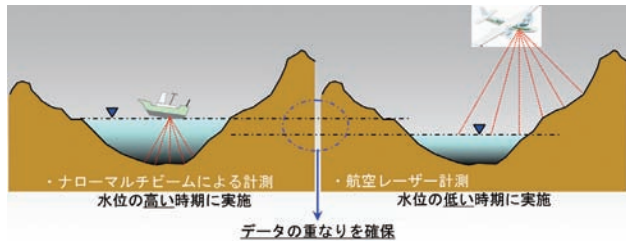


図-8 ダム堆砂調査への活用

## おわりに

航空測量会社各社が、航空レーザ計測を導入したのは、1990年代後半である。それ以降システムの進化は著しく、導入当初、1秒間に発射するレーザパルス数が3万発程度であったものが、国内最高レベルのもので40万発となりデータ取得精度が格段に向上した。

2000年代後半には、レーザ計測技術を車に搭載したモバイルマッピングシステムが登場した。データ取得密度は、航空レーザ計測と比較して格段に高く、道路標識の文字までもが再現できるレベルである。

水域の計測では、ナローマルチビーム音響測深を紹介したが、グリーンレーザを用いた航空レーザ測深技術に期待があつまりつつある。この技術は、国内では、海上保安庁が2003年に導入し、民間企業での導入事例はないが今後の活用が期待される技術の一つである。

データの活用場面では、等高線表現による地形図を用いる形から、大きさが0.5m～1mの数値標高モデル（DEM）を直接ソフトウェア上処理するなど変化しつつある。さらに、計測技術の進歩にともない、DEMではなく、ランダムな点群データを直接エンドユーザが利用できるよう、ソフトウェアの整備が進むことが予想される。

今後も計測技術の動向に注視し、積極的に新しい技術により取得されたデータの活用を図っていくことが重要と考える。

## 〈引用文献〉

- 1) 齊藤和也 他 2008. 「図解 航空レーザ計測」財団法人日本測量調査技術協会.
- 2) 千葉達郎・鈴木雄介・平松孝晋 2007. 地形表現手法の諸問題と赤色立体地図. 日本国際地図学会機関紙「地図」Vol.45 No.1 : 27-36.

# 基礎技術 講座

## 地表地質踏査技術の基礎

はやし ひろゆき\*  
林 浩幸\*

K

Key Word

地表地質踏査, 地質図, ルートマップ, 技術の伝承, 人工露頭, 検土杖, 地すべり, 付加体

### 1. はじめに

地表地質踏査が地質調査の基本であるのは、少なくとも本稿を手にとられている方にとってはご存じのとおりです。これまでも「地質と調査」において地表地質踏査に関する特集が生まれ、1989年第3号に小特集「地表地質踏査」が、また近年では2007年第3号に小特集「技術の伝承」においても地表地質踏査の現状や課題が論じられています。

近年課題とされているものは、ベテラン技術者の大量退職による技術の空洞化や伝承問題、若手技術者の現場離れ、特に地質調査に関しては、「山が歩ける学生がいなくなった（中略）山を歩いて地質図を作成する研究行為そのものが消えていった」（横山,2007）といったものが多くを占めています。

今回の企画は、若手技術者を対象とした基礎技術講座に私が中堅の立場で「地表地質踏査」について執筆することになりました。このお話をいただいた時に、「これまでの地表地質踏査の解説はベテラン技術者の奥義や難しい内容になりがちなので、若手技術者向けのやさしい内容にしてほしい」との趣旨説明がありました。私のこれまでの経験と現状をふまえ、平素に、堅苦しくない内容で書かせていただいたことをご了承ください。

### 2. 地表地質踏査の位置付け

#### 2.1 「現地踏査」と「地表地質踏査」の違い

地質調査は、地質学的な研究としての側面と、実践に役立てようとする応用地質学的・土木地質

的な側面があります。

土木地質的な調査では、「各種構造物の指針類には…現地踏査と地表地質踏査を分けているものがあるが…強いていえば前者は土木技術者等の計画立案者が行うことを意味し、後者は土木地質技術者等その道の専門家が行うことを意味している」（桑原,1989）と分類されています。

したがって土木地質的な分野においても、地表地質踏査は「地形・地質学的な観点」からの実施を期待されていることとなります。

#### 2.2 地質学における地表地質踏査とは

地質学における地表地質踏査の方法についてはさまざまな著書・文献が出ています。やさしく解説しているものの1つに私の恩師である坂幸恭先生の「地質調査と地質図」があります。地質調査を始める際の装備・道具から地質図のまとめ方まで詳しく記載があり大変参考になります。詳細はご参照ください。



写真-1 地表地質踏査の“初歩的”な状況

\*応用地質株式会社 工務本部ジオテクニカルセンター 専門職



写真-2 基本的な踏査道具

この中で地表地質踏査とは「地下の地質を直接・間接に調べるには機材と膨大な経費が必要である。地表を踏査して、崖、海岸、川岸、沢筋など、岩石が露出しているところ（露頭）で観察を行って調査を進める方法」と書かれています。

### 2.3 地表地質踏査の基礎的な方法

地表地質踏査の方法はさまざまな著書に内容が記載されています。このため、ここでは実地における具体例をできるだけ紹介していきたいと思えます。

#### <装備・道具>

私の基本的な踏査道具は写真-2のとおりです。詳細は省略しますが、「装備の整え方も地質調査技術の一つ」（坂,1993）であり、他人の装備を参考に、



写真-3 地質境界の姿勢（走向傾斜）を測る

自分に合ったものを選んでいくことになります。

#### <ルートマップ・走向傾斜の記載>

地表地質踏査の基本的な作業（坂,1993）は、

- ①地形図上における露頭位置の決定
  - ②岩石種の鑑定と記載
  - ③面構造と線構造の識別と姿勢の測定
- であり、成果としてルートマップや地質図などをまとめることになっています。

たとえば写真-3は、泥と砂の境界を認定して、その姿勢（方位と傾斜）を計測しているところです。この姿勢から、地中における地層の広がりがある程度想定することができます。

しかしわが国では草木や表土に覆われ、露頭が地表に現れていることは多くはありません。このため少し工夫をする必要があります。

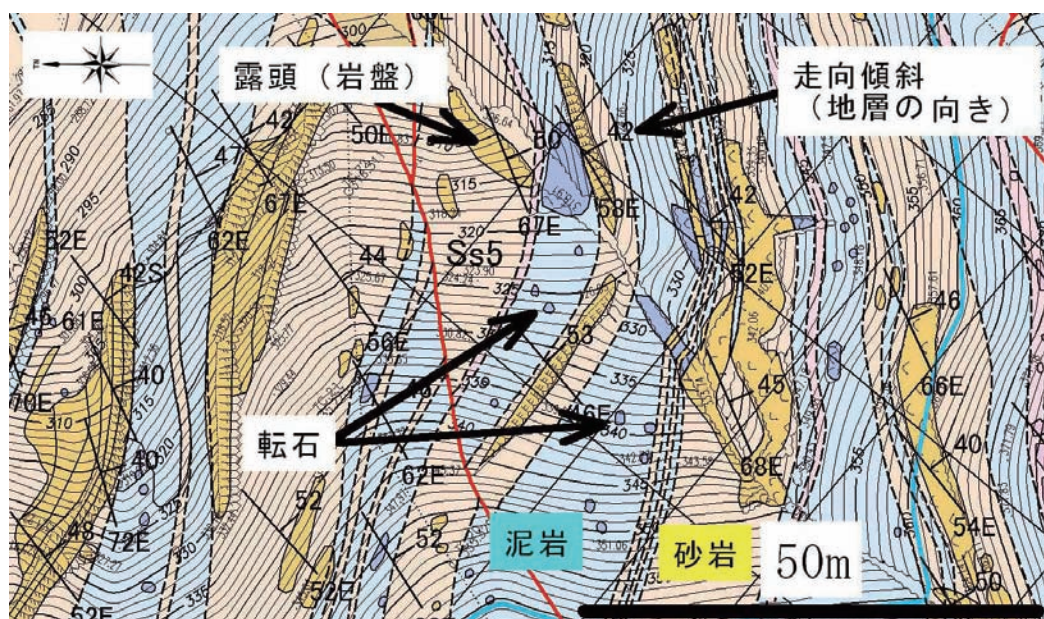


図-1 ルートマップ（露頭位置）および地質図の例

### <転石：地質分布の推定に使う>

図-1にルートマップおよび地質図の例を示しました。岩種は砂岩・泥岩で、濃い色で囲ったところが露頭です。また地層の向きは南東に45°程度で傾斜しています。

露頭が出ていない場所でも、転石がほとんど動いていないと想定される場合は、転石(図-1の小さい○)を記載して、補助情報として使用することにより、地質図の精度を上げていくことができます。

なお転石を使う方法は、既往の「地質と調査」で詳しく述べられています(横山,2007)。

### <検土杖：表土の下を調べてみる>

基盤岩が硬質な場合は、露頭が多く露出していることが考えられますが、前述の写真-3のような軟質な地質では、対象地域に露頭がほとんどないことがあります。

このような地域では、検土杖(けんどじょう)と呼ばれる先端がスクリー型の道具を使って表土の下の地質(泥か砂か礫)を確認する方法があります(写真-4)。このような方法で地表地質踏査やボーリング結果を補足することもできます。



写真-4 検土杖による調査

### <表土剥ぎ：人工露頭を作る>

断層破砕帯や地すべりのすべり面は軟質であり、露頭として地表に現れていることはまれです。しかしこのような地質情報が重要である場合が多いと思います。

そこで、断層やすべり面が露出すると思われる場所の表土を剥いで人工露頭を作るといったこともあります(写真-5, 写真-6)。もちろん地権者の許可や周辺環境への影響などを考えておこないます。



写真-5 数人で表土を剥ぐ



写真-6 表土剥ぎで露出した断層破砕帯

なお、地表地質踏査は人がおこなうため、得られる情報には限界があります。そこでボーリング調査やトレンチ(溝掘り)といった機械を使った「人工露頭」を作るのですが、地質調査の基本は「人が踏査する」ことを忘れてはいけません。

## 3. 私が経験した地表地質踏査

前章では地表地質踏査の基本的な方法について述べてきました。この章では私が社会人になってから経験したいくつかの事例を紹介したいと思います。

### 3.1 くさび型の斜面崩壊

この現場は道路の切土工事中に、多量降雨により山が崩れた事例です(写真-7)。この事例では「なぜ崩れたか、どのように対処したらよいか、ほ



写真-7 切土法面の崩壊

かの場所は大丈夫か」といったことに応えることを期待されました。

当地域の地質は主に泥岩で地層は40°程度傾斜しています。現地を確認し崩壊の原因を考察したところ、「泥岩の流れ盤」と「薄い脈状の流紋岩」でくさび状に崩壊していました(図-2)。また流紋岩の脈は晴天時はおおむね硬質ですが、降雨後に軟質な粘土状になることが崩壊の原因であることもわかりました。

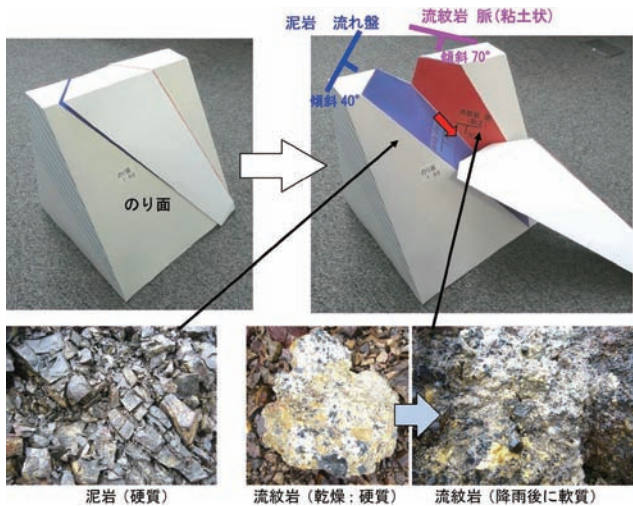


図-2 くさび崩壊の模式図

このため周辺で流紋岩の脈がないか調査し、また同様の崩壊の可能性がある箇所については追加の調査、対策の検討などを実施しました。

ちなみに図-2のモデルは発注者に「くさび崩壊」をご理解いただくため自作したものです。

### 3.2 大規模地すべりによる道路災害

この年は豪雨災害が多数発生し、写真-8はその時の道路災害のものです。この区間では過去にも同様の道路災害が発生し、のり面对策等が実施されていた場所です。当初の対応は、頭部の滑落崖や崩壊状況などから図-3のような地すべりによって道路が被災したと想定していました。各地すべりの想定幅は50~100m程度でした。

地すべりの深さは地すべり幅の1/10~1/5程度という経験則があります(上野・田村,1992)。ボーリング調査の深さはこの経験則で計画し実施していました。

しかしボーリングコアの岩盤状況がまったく良くなり、また地下水位がないことから、ボーリング1本だけ計画の倍となる深さまで実施し、ボーリング孔の変位を計測したところ、当初想定した深さのほか、深度50m付近にも明瞭な変位が確認されました。



写真-8 道路災害の状況

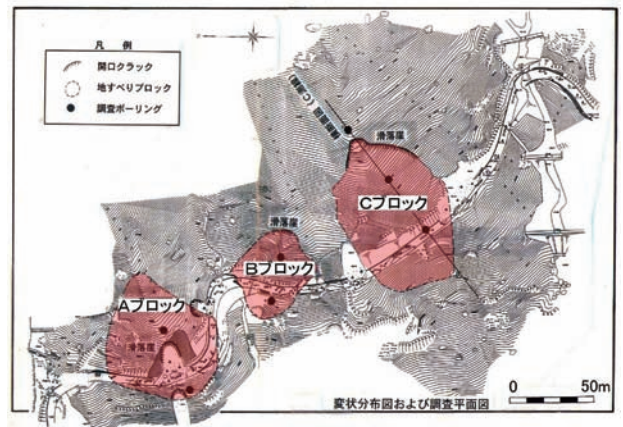


図-3 当初の想定地すべりブロック

このため「もっと大きい地すべりがあるのではないか」と上方斜面の踏査をしたところ、斜面の途中にはこれといった変状はなかったのですが、道路比高400mの尾根直下に写真-9の「生々しい新しい滑落崖」が数百mにわたって連続して確認されました。周辺の状況をまとめたものが図-4です。すぐに道路管理者に状況を伝え、翌朝現像した写真と手書き図面を持って管理者に報告をしました。

当初に見ていたものは、単なる地すべり末端の押し出しであって、自分は「井の中の蛙」だったわけです。

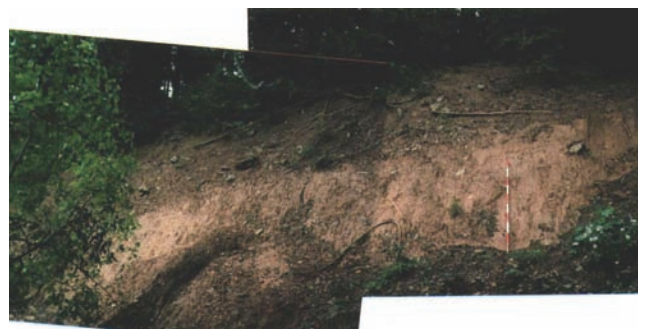


写真-9 尾根直下の真新しい滑落崖

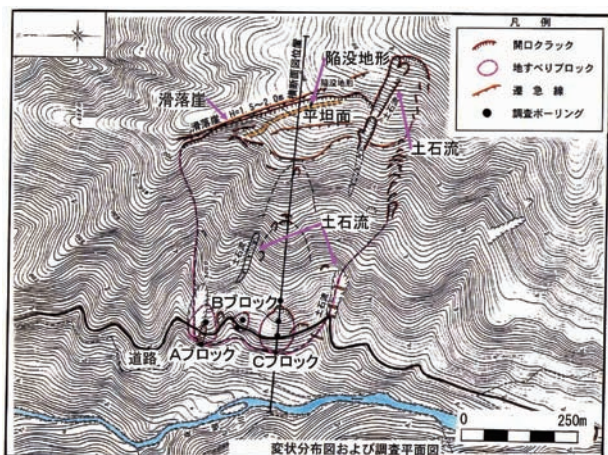


図-4 上方斜面を踏査した結果（後日踏査したものも含む）

なお、上記の理由で調査は止まってしまったのですが、もし事業が進んでいくと仮定した場合、たとえば近年の深層崩壊などをふまえると、「一気に崩落する可能性はないのか?」「隣の斜面は大丈夫か?」「地すべりの素因は流れ盤か?」（道路付近の地層は受け盤でしたが…）といった問いに対して、調査は全く実施されていません。

事業の目的によりますが、地すべり分布のほか、「流れ盤の破碎帯が斜面全体にあった」「不自然に折れ曲がった地層があった」などの観点で、基盤岩に目を向けた広域的な地表地質踏査が必要になるのかもしれません。

### 3.3 付加体の地層の連続性

この業務の詳細は省略しますが、目的は基盤岩の地質分布を把握し、対象となる事業の課題を抽出するものでした。

当地域の地質は四万十帯の砂岩・泥岩です。四万十帯は付加体と呼ばれる地質で、しばしば「地層が繋がらないので、地質図を描くのは難しい」と言われます（写真-10）。現地の露頭を1つだけ見てもやはりよくわかりません（写真-11）。

この時の地表地質踏査の実施方針は、ルートマップを綿密に作成すること、地層を連続する方向に追うこと、転石も記載することなどでした。当時の若手技術者を主体とした数人のチームで数か月丹念に地層を追う作業をおこない、地質図を作成していきました。結果の一部を図-5、図-6に示しました。

河床付近の地層は北西に中角度～高角度で傾斜していますが、ある程度のみとまり（ここでは岩体と呼んでいます）の境界は概ね低角度であることが分かりました。なお低角度の地層境界は概ね密着している場合が多く、付加体が形成された当



写真-10 地層の連続性が乏しい露頭

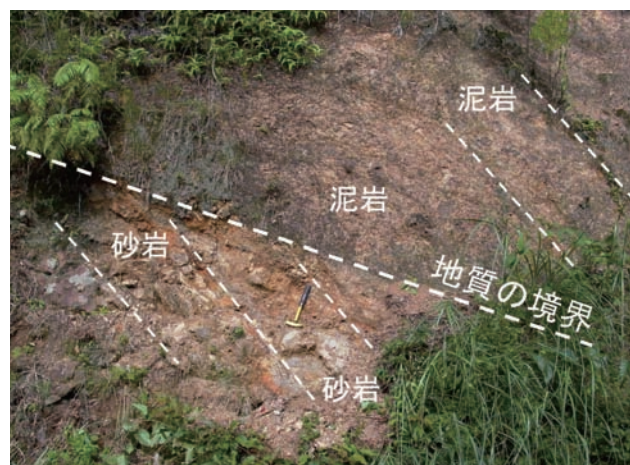


写真-11 現地の代表露頭

時の構造であることが推定されます。

以上のように全体的な地質分布、地質構造を明らかにし、また事業への課題などを考察することができました。さらに言えることは、河床露頭や道路沿いの露頭の走向傾斜を鵜呑みにして、対象地域全体の地質図を作成してはならないということです。

## 4. おわりに

最近NHKで深層崩壊や地震関連の特集番組が放送されるようになり、現地踏査をされる先生方の映像をよく目にするようになりました。また地すべりの状況を連日全国ニュースで報道されることもありました。このようにマスコミや一般の方も防災や環境などの分野に高い関心をもつようになり、地質調査や地表地質踏査の現状や社会貢献の一端が認知されつつあるように思います。

その一方で、危なそうな斜面や山奥に体一つで向かっていく後ろ姿は勇ましいと映る反面、「そんなところに行きたくない、自分はやりたくない」

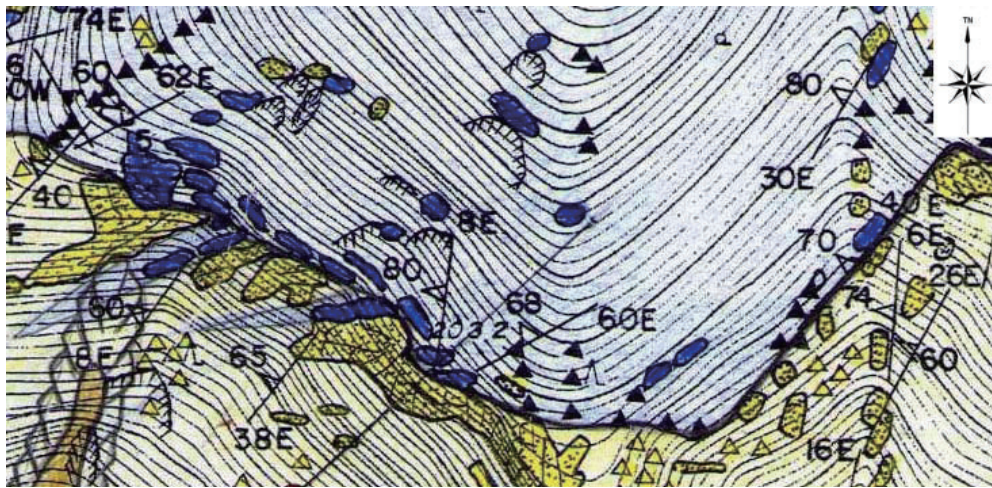


図-5 低角度の地質境界を追跡したルートマップ

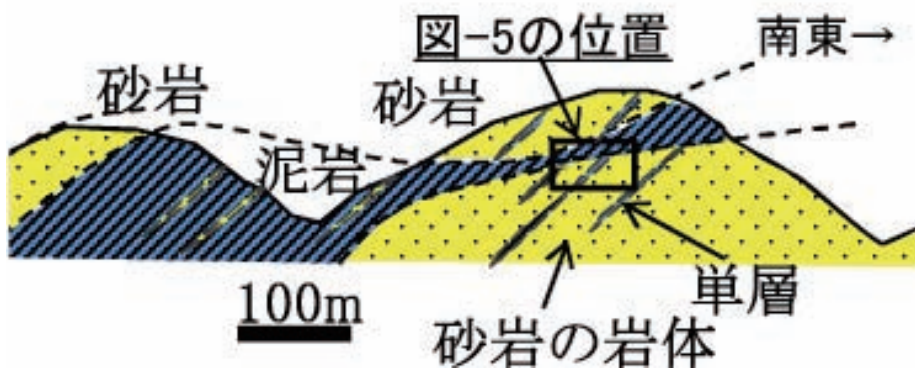


図-6 作成した地質断面図

と思われている方は少なからずいらっしゃると思います。地質情報がある場所は登山道や手すりが整備されているわけがなく、「地質調査は危険を伴う重労働である」(坂,1993)と先生方も述べられており、地質調査会社の私の周りにおいても敬遠する方がいらっしゃると思っています。

地表地質踏査は地質学の経験以外にも地形や植生、土木構造物など多岐にわたる知識が必要とされ、さらに自らの安全を確保しなければならず、まさに「総合化技術」であると言えます。

地表地質踏査で得られる情報は多岐に渡ります。新しい技術をうまく取り入れ、対象となる地域の地質を明らかにし、事業への的確なアドバイスをおこなうためにも、地質学の基本である地表地質踏査の実践が重要であることは間違いのないでしょう。

今回の事例が少しでも若手技術者の参考になれば幸いです。

〈参考文献〉

- 1) 上野将司・田村浩行：地すべりの形状、規模および分布に関する検討、応用地質年報 No.14, 1992.
- 2) 桑原敬三：地表地質踏査の位置付け、地質と調査, pp.2-7, 第3号, 1989.
- 3) 坂 幸恭：地質調査と地質図, 朝倉書店, 1993.
- 4) 横山俊二：地表地質踏査技術の伝承, 地質と調査, pp.19-22, 第3号, 2007.



# 香川県 小豆島 馬越地区 「第三紀層地すべり地内 廃坑坑道内の地下水排除工」

きむら たかひろ  
木村 崇浩\*

Key Word

第三紀層, 地すべり地, 廃坑坑道, 地下水, 地下水排除工

## 1. はじめに

瀬戸内海の北東側に位置する「小豆島」は、古くより終戦直後まで亜炭の採掘が行われ、その採掘坑道は縦横に配置し、位置的資料はほとんど残存していない。馬越浜地区は、台風等の豪雨時に、旧坑道内に貯留したものと推察される地下水が、当地区の地表部より湧水し、周辺民家・農地等に被害を与えている。ここでは、上記地区の廃坑坑道内の地下水動向調査及び、対策工について紹介する。

当時、技術者として業務に携わり、廃坑坑道の地下水動向調査及び対策工等の調査及び工事を行い、印象に残る現場であった。

## 2. 地域の概要

### 2.1 地形概要

馬越地区は、小豆島の西部山塊である「皇踏山（標高 393.8 m）」を中心に馬越峠に延びる山塊を分水嶺とする北側斜面の末端部である。標高 130m 以下の当斜面は約 10～25°の傾斜を成し、馬越港へと続いている。



図1 対象箇所

国土地理院 地図閲覧サービス (<http://watchizu.gsi.go.jp/>)

馬越浜地区は、地形変換線を境として海岸に沿って東西方向に約 300 m、幅 30～100 m 程度の狭隘な沖積平野で、海岸線沿いに集落が広がっている。



写真1 地形状況

### 2.2 地質概要

馬越浜地区は、基盤岩を成す花崗岩類の上位に第三紀中新世前期の土庄層群（砂岩及び頁岩の互層）が直接不整合に厚く被覆・堆積し、更にその上位を中新世後期の讃岐層群やその風化分解土砂よりなる崖錐層が覆っている。（図2参照）

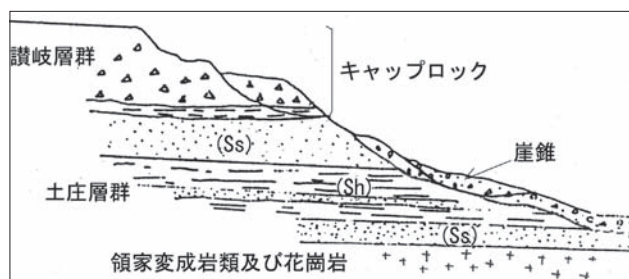


図2 地質断面図（模式図）

### 2.3 馬越地区の概要

当地区は、「馬越地区地すべり防止区域」指定地域であり、昭和 55 年～昭和 61 年度にかけて地すべり防止工事が実施されている。当地区付近にお

\*株式会社 東洋地質 代表取締役社長

ける過去の地すべり防止工を「**図3**馬越地区地すべり防止工施工位置図」に示す。



図3 地形状況（平成17年度 県営馬越地区地すべり防止施設補修工事 設計図書資料：馬越地区地すべり区域平面図 香川県農林部土地改良課 昭和43年発刊）

地すべり防止工施工以後、現在まで当地区内において地すべりの兆候は確認されず、安定した状態が保持されている。

平成16年以降、度重なる台風の接近に伴う降雨の際、馬越浜地区の数箇所において廃坑坑道内の貯留水と推察される地下水の湧水が発生し、以後、比較的降雨の多い場合に湧水が度々、確認されるようになった。



写真2 湧水状況

馬越浜地区では、採掘炭坑跡の横に既設井戸を設置し、地下水の一部を自然排水してきた経緯がある。地元聞き取り調査では、自然排水量が近年では約30～50%程度減少しているとのことであった。

当地区の地下水は、鉄分含有量が10ppm以上を示し、空気に触れると酸化し、黄茶褐色の沈殿物を生成する。

を生成する。

廃坑坑口付近において、これら沈殿物の経年蓄積により湧水箇所が閉塞され、地区内の地下水位を上昇させ、さらに台風等の多量の降雨による地表面からの浸透水により、地下水位が上昇し、地表部への湧水につながったものと考えられた。

地表部の湧水箇所が多く確認される以前の地下水位については、既存資料が殆ど無く不明であった。

現地踏査において、湧水箇所は既設井戸の越流高さよりも高位に位置している事が確認されたことから、地区内の地下水位が上昇していると判断した。しかしながら、地下水位の上昇による地すべり兆候を示す明瞭な地形的変状等は確認されなかった。

この事から、現状は地下水位は高位安定状態にあると考えられ、短期的には土塊移動の危険性は少ないと判断した。

廃坑坑道の詳細な位置が不明であったため、主坑道の概略方向を地元聞き取り調査より推定し、「**図3**」に示した。

推定された主坑道は2方向存在し、本坑道は既設井戸より南方向へ約300m程度。また、副坑道は既設井戸より西方向に約270m程度であると推定した。

当地区の西方向は、「古期地すべり跡」と推察される標高差5～10m程度の第三紀層砂岩の滑落崖が東西方向に250m程度分布し、滑落崖を境とする地形傾斜変化線沿いには帯状の陥没地形が確認された。この地形変状は副坑道に起因するものと推察する。

### 3. 対策工の検討

地元聞き取り調査、現地踏査に基づき、対策工計画を以下のように立案・実施した。

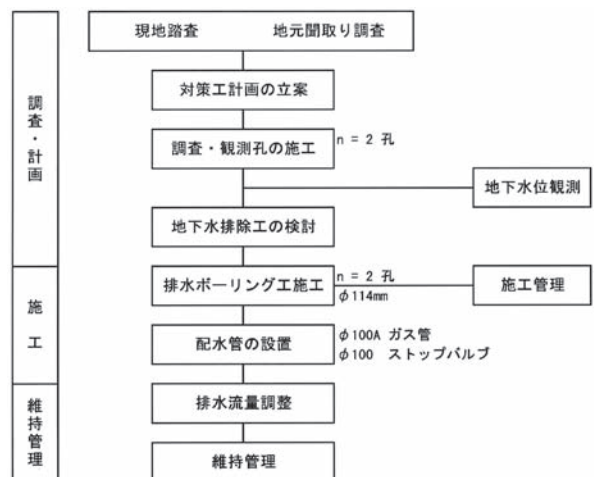


図4 対策作業フロー

- (1) 地下水動向調査
  - ・水位観測孔の設置
- (2) 廃坑坑道の調査
  - ・水位観測孔と併用調査
- (3) 地下水排除工の施工
  - ・横孔排水ボーリング工
- (4) 維持管理

### 3.1 地下水動向調査及び廃坑坑道の調査結果

地下水動向調査を目的として、水位観測孔を2箇所設置した。設置箇所は、「図3」内、“観測孔No.1”及び“観測孔No.2”に示した。

観測孔No.1は、GL-9.40 m (EL=4.07 m)にて旧坑道天端に到達した。地下水位は、WL=GL-4.83 m (EL=8.62 m)を計測し、坑道内は地下水でほぼ飽和状態にあることが推察された。

また、観測孔No.2の地下水位は、GL-1.24 m (EL=8.66 m)を計測した。

既設井戸の水位は、GL-2.09 m (EL=8.21 m)を計測し、当箇所周辺の地下水位は、既設井戸方向にやや下降するも、高位に位置していることが確認された。

表1 地下水位観測結果

観測孔 No		観測孔No.1	観測孔No.2	既設井戸
地盤高	(EL. m)	13.47	9.90	10.30
地下水位	施工前	10.50	8.66	8.21
	施工後	7.89	7.40	7.79
	変位量	(m)	-2.61	-1.26

### 3.2 地下水排除工の検討

位観測孔の結果をもとに地下水排除工の施工位置を決定した。下記に「図5施工計画概略図」を示す。

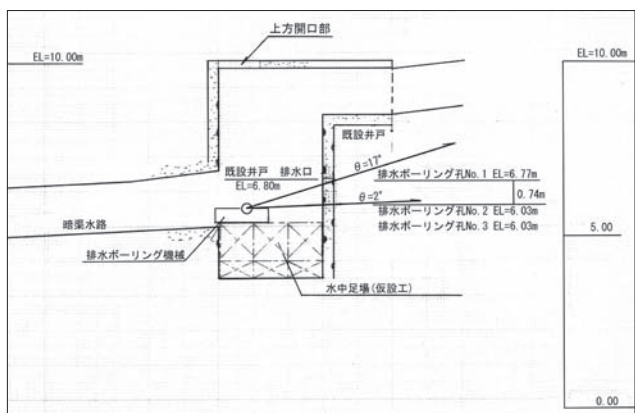


図5 施工計画概略図

### 3.3 排水ボーリング工の施工

上記の施工計画に基づき、排水ボーリング工を実施した。下記に作業状況写真を記載する。



写真3 作業状況 (上方開口部より撮影)



写真4 施工状況

表2 排水ボーリング工施工結果

孔番号	No. 1	No. 2	No. 3
孔径	(mm) $\phi$ 114mm		
孔口標高	(EL. m) 6.77	6.03	6.03
角度	( $^{\circ}$ ) 17.0	2.0	2.0
延長	(m) 0.40	2.00	4.00
排水量	(L/min) 20.0	4.0	600.0
付記事項			排水バルブ1/2解放時



写真5 施工後 排水状況

No.3孔は、4.0 m削孔時に、廃坑坑道と推察される空洞部に到達した。推定排水量は、1,000L/min以上と推察されたため、掘削パイプに100A ガス管を直接配管し、排水量の調整を目的として「 $\phi$  100

ストップバルブ」を設置した。

### 3.4 排水量の調整及び維持管理

排水ボーリング工施工前から排水工の排水量調整 (No.3 の排水量を 600L/min に調整) 後における地下水位の変動の計測結果を「図 6」に示す。

観測孔 No.1 は、排水ボーリング No.1 の施工開始時より低下が見られ、観測孔 No.2 についても僅かではあるが低下傾向が見られた。

排水ボーリング No.1 施工後において、観測孔 No.2 は水位低下が明確となった。排水孔 No.2 及び排水孔 No.3 の施工においては、水位低下は認められるも、低下量は少ない。この時点において、排水孔 No.3 は、地下水の排水を行っていない。

このことから、排水孔 No.1 及び No.2 の排水量に対して、坑道内及び周辺地下水量が多量であるため、水位降下が小さいと考えられた。

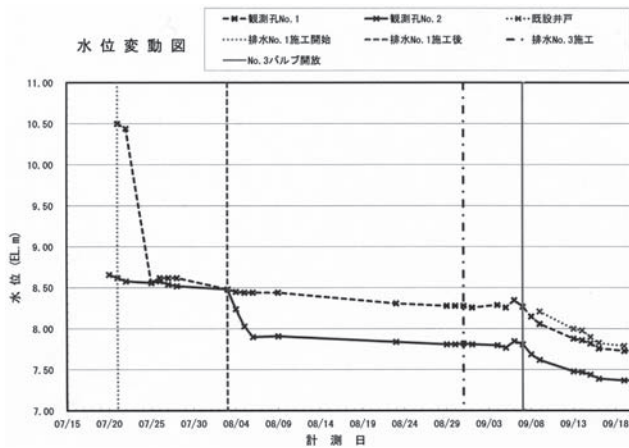


図 6 地下水水位変動観測図

水位降下を大きくすることを目的として、9/6 より排水孔 No.3 の排水量を 0L/min から 600L/min に調整し、10/13 までの一ヶ月間計測を行った。

その結果、各観測孔および既設井戸の水位は低下し、地下水排水工の効果が明確に確認された。

観測孔 No	観測孔No.1	観測孔No.2	既設井戸
地盤高 (EL. m)	13.47	9.90	10.30
深度 (m)	12.30	5.00	5.00
地下水位 (GL. m)	-4.85	-1.24	-2.09
	8.62	8.66	8.21

表 3 排除工による地下水水位の変位量

排水孔 No.1, No.2 および No.3 の排水は、既設の暗渠水路に放流していたが、9/3 以降より排水量を増加させたことにより、鉄分を多量に含んだ多量の排水放流によって、暗渠水路が黄褐色化し、さらに放流先である「馬越浜」の水路周辺の土砂が淡茶色に変色する結果となった。

この事象の発生に伴い、当地区の漁協及び自治会から、排水放流の一時中止あるいは排水量低下の要望が成された。

その結果、漁協・自治会・工事発注者との協議により、排水放流量については、既設井戸及び水位観測孔 (No.1 及び No.2) の水位観測結果に応じ、排水量調整を自治会において行い、維持・管理を行うこととなった。

### 4. まとめ

廃坑坑道内の貯留地下水については、現在までほとんど自然湧水 (一部は既設井戸より越流排水) に任せていた経緯がある。

自然湧水箇所は、過去において度々移動することが確認されており、自然湧水箇所の多くは、石積擁壁や水路周辺に多く確認されていた。自然湧水箇所は湧水内に含まれる多量の鉄分の酸化による沈殿物によって徐々に湧水孔は閉塞され、最終的に湧水が止まる。その後、その周辺に新たな湧水箇所が発生するも、沈殿物によって時系列的に閉塞。このサイクルにより、自然湧水箇所が移動していたものと推察する。

近年は擁壁・水路等の構造物がコンクリート構造物となり、自然湧水し難い状況を作り出した結果、地表部への湧水が多発する要因となったと思われる。

しかしながら、地表面の湧水の発生により、当地区の斜面の安定が保持され、地すべりの誘因となる土塊移動に到らなかったと考えられなくもない。

坑道内に貯留されている地下水量は、大量であると推定されるが、本業務では数量的な値の把握までには至らなかった。

今回実施した「廃坑坑道内の地下水排除工」は、一時的な応急対策工の感は否めない。

当地区で確認された事象は、当地区東部においても確認されていることから、広域的に詳細な地下水動向調査及び斜面の安定度解析が望まれる。

また、地下水は鉄分を多量に含んでいるため、排水を放流する場合には、周辺環境への影響も考慮し、排水処理も検討することが必要である。

最後に、当時業務において御指導を頂いた香川県小豆土地改良事務所の職員の皆様に対して、この場を借りて厚く御礼申し上げます。

#### (引用・参考文献)

- 平成 17 年度 県営馬越地区地すべり防止施設補修工事 香川県小豆総合事務所 土地改良課
- 香川県 地学のガイド：コロナ社発行 発行年：1979/10
- 国土地理院 地図閲覧サービス (<http://watchizu.gsi.go.jp/>)

# 大地の恵み

## 越中富山の酒造蔵

富山湾の沖合約90km、能登と佐渡の中間付近に日本の重心点が存在します。その水深は-1,000m超で、富山湾海底から北アルプス立山連峰の標高3,015m大汝山まで比高差4,000mの地形が100km四方の中にすっぽり納まるというのが富山県です。四季の変化も明瞭で、今春4月16日開通の立山黒部アルペンルート、「雪の大谷」雪壁高は18mありました。この雪が計り知れない恵みをもたらしてくれます。おいしい水、うまい米、辛口の日本酒、山の幸、海の幸、清浄な大気、数え上げればきりがありません。このような雪の恵みがもたらす「越中富山の酒造蔵」、日本酒蔵元20蔵の「地形・地質」と「水脈」などについてご紹介します。

富山県の人口は109万人、日本全体の約1%です。日本酒メーカーは全国に2,000社あり、富山県にはその1%の蔵元があります。この人口に比例した蔵元数というのは呑んべなのか、下戸なのか、兎に角、新潟、大阪、高知、熊本と並んで辛口の嗜好だそうです。「銀嶺立山」以外は中小の蔵元の酒で、自分の酒の個性を訴えるのに懸命です。私事、父は「銀盤」が好きでしたが、私はといえば「勝駒」と

「満寿泉」、親子でも嗜好に違いがあります。

越中富山の酒造蔵の地形・地質と水脈の関係を分析、考察し、表1と表2にまとめました。「Index」の項の4分類が結論です。「港」の4蔵元は海岸近くの良港近傍に位置し、海拔の低さを克服して北前船などの海運との関係を重視したのでしょう、ホームページ(以下HPと略記)には海の幸との相性を謳っています。「扇状地」の10蔵元は穀倉地帯の真只中に位置し、水脈も主要河川の良質な伏流水を利用しており、酒の肴を海や山にことさら限定した記載はHPには見当たりません。「山裾」の5蔵元は山から平野に移る地形の遷移点付近に位置し、比較的浅い良質の伏流水を水脈として利用しており、中には湧水利用を謳っているものもあります。「山腹」の蔵元は唯一で、五箇山ブナ原生林の湧水利用を謳っており、酒の肴には山の幸をHPに記しています。

本年10月5日(土)、「日本酒で乾杯推進会議 富山大会」が高岡で開催予定となっています。辛党の方はぜひご参集下さい。



写真1

「雪の大谷」 出典は「<http://www.alpen-route.com/>」。



写真2 港の酒「満寿泉」



写真3 扇状地の酒「勝駒」

〈参考文献〉

- 1) 秋山裕一：日本酒，岩波新書 334，1994.
- 2) 神崎宣武：酒の日本文化—知っておきたいお酒の話，角川ソフィア文庫，2006.
- 3) 独立行政法人酒類総合研究所：うまい酒の科学，サイエンス・アイ新書 SIS-045，2007.
- 4) 坂口謹一郎：世界の酒，岩波新書 264，1957.
- 5) 富山県酒造協同組合：http://www.toyama-sake.or.jp/
- 6) 立山酒造株式会社：http://www.tateyamabrewing.jp/
- 7) 電子国土ポータル：http://portal.cyberjapan.jp/
- 8) 富山県：350 万分の 1 環日本海諸国図—富山中心正距方位図，1994.
- 9) 小林武彦，ほか：大地をさぐる—富山と飛騨山地，ダイチ株式会社，2000.

[株式会社アーキジオ 津嶋春秋]

表1. 酒造蔵の地形・地質と水脈

No.	Index	蔵元名	主要銘柄	標高	地形・地質	水脈
1	港	高澤酒造場	曙	2.9m	氷見海岸砂丘堆積物	余川川・上庄川の伏流水
11	港	株式会社樹田酒造店	満寿泉	3.0m	岩瀬海岸後背地・瀬海低地堆積物	神通川の伏流水
18	港	皇国晴酒造株式会社	幻の瀧	1.6m	生地海岸砂丘堆積物	黒部川の伏流水(L-120m地下水)
20	港、山裾	林酒造場	黒部峡	8.0m	烏帽子山483m北側山裾遷移点・海岸段丘堆積物	山麓溪流の伏流水
2	扇状地	有限会社清都酒造場	勝駒	6.5m	庄川下流域・蛇行帯河川堆積物	庄川(旧河道千保川)の伏流水
3	扇状地	戸出酒造有限会社	勝関	27.8m	庄川扇状地堆積物	庄川の伏流水
4	扇状地	黒田酒造株式会社	北一	37.1m	庄川扇状地堆積物	小矢部川・庄川の複合的伏流水
5	扇状地	若鶴酒造株式会社	若鶴	41.9m	庄川扇状地堆積物	庄川の伏流水
6	扇状地	吉江酒造株式会社	太刀山	47.7m	庄川扇状地堆積物	庄川の伏流水
7	扇状地	立山酒造株式会社	銀嶺立山	79.1m	庄川扇状地堆積物	庄川の伏流水
13	扇状地	吉乃友酒造有限会社	よしのとも	20.7m	神通川水系井田川扇状地堆積物	井田川の伏流水
16	扇状地	千代鶴酒造合資会社	千代鶴	6.3m	常願寺川・早月川に挟まれた上市川下流域・蛇行帯河川堆積物	上市川の伏流水
17	扇状地	本江酒造株式会社	北洋	13.8m	早月川・片貝川に挟まれた角川扇状地堆積物	角川の伏流水
19	扇状地	銀盤酒造株式会社	銀盤	42.8m	黒部川扇状地堆積物	黒部川の伏流水(湧水群)
8	山裾	合名会社若駒酒造場	若駒	118.6m	八乙女山752mの山裾遷移点・小矢部川水系扇状地堆積物	旅川扇頂部の伏流水
9	山裾	成政酒造株式会社	成政	133.9m	医王山939mの東側山裾遷移点・小矢部川水系扇状地堆積物	小矢部川水系支溪の湧水
12	山裾	富美菊酒造株式会社	富美菊	12.5m	呉羽山丘陵北端の神通川左岸水衝部・河岸段丘堆積物	神通川の伏流水
14	山裾	福鶴酒造有限会社	風の盆	100.0m	神通川水系井田川扇頂部・河岸段丘堆積物	井田川の伏流水
15	山裾	玉旭酒造有限会社	おわら娘	101.6m	神通川水系井田川扇頂部・河岸段丘堆積物	井田川の伏流水
10	山腹	三笑楽酒造株式会社	三笑楽	300.0m	高坪山1,014mの南東向き山腹斜面・中新統岩稲層	五箇山ブナ原生林の湧水

「No.」は富山県の北から南へ、西から東へ順に付した。「標高」は「電子国土ポータル」から酒造蔵地盤高を引用した。

表2. 酒造蔵の創業年，杜氏，肴

No.	Index	蔵元名	創業	杜氏	肴	代表者	住所
1	港	高澤酒造場	1877年	能登杜氏流	海の幸	高澤利朗	氷見市北大町18-7
11	港	株式会社樹田酒造店	1893年	能登杜氏	海の幸	樹田隆一郎	富山市東岩瀬町269
18	港	皇国晴酒造株式会社	1887年	越後杜氏流	海の幸	岩瀬新吾	黒部市生地296
20	港、山裾	林酒造場	1624年	越後杜氏流	海の幸	林洋一	下新川郡朝日町境1608
2	扇状地	有限会社清都酒造場	1906年	能登杜氏流		清都康介	高岡市京町12-12
3	扇状地	戸出酒造有限会社	1890年	能登杜氏流		清都勇之	高岡市戸出町3-8-7
4	扇状地	黒田酒造株式会社	1887年	能登杜氏流		黒田登美	小矢部市西中323
5	扇状地	若鶴酒造株式会社	1862年	越後杜氏流		串田茂	砺波市三郎丸208
6	扇状地	吉江酒造株式会社	1948年	富山流		吉江美一	砺波市若草町5-5
7	扇状地	立山酒造株式会社	1830年	越後杜氏流		岡本泰明	砺波市中野217
13	扇状地	吉乃友酒造有限会社	1877年	越後杜氏流		吉田満	富山市婦中町下井沢390
16	扇状地	千代鶴酒造合資会社	1873年	能登杜氏		黒田一義	滑川市下梅沢360
17	扇状地	本江酒造株式会社	1925年	越後杜氏流		宮内謙吉	魚津市本江新町6-1
19	扇状地	銀盤酒造株式会社	1910年	越後杜氏流		堀川勲	黒部市荻生4853-3
8	山裾	合名会社若駒酒造場	1889年	能登杜氏流		清都邦夫	南砺市井波3601
9	山裾	成政酒造株式会社	1894年	能登杜氏流		山田和子	南砺市館418
12	山裾	富美菊酒造株式会社	1916年	富山流		羽根昭	富山市百塚134-3
14	山裾	福鶴酒造有限会社	1848年	越後杜氏流		福島順二	富山市八尾町西町2352
15	山裾	玉旭酒造有限会社	1808年	富山流		玉生貴嗣	富山市八尾町東町2111
10	山腹	三笑楽酒造株式会社	1880年	能登杜氏流	山の幸	山崎洋	南砺市上梨678

「杜氏」の項の「○●杜氏流」は○●杜氏の流れを汲むの意。「富山流」は地元富山の流儀に分類されるの意。

# 各地の博物館巡り

大分県日田市中津江村

## 「地底博物館 鯛生金山」

～ミステリー坑道探検～



地底博物館 鯛生金山／全景

### 鯛生金山の発見

1894年（明治27年）、この地を通りかかった魚の行商人が白い小石を拾い、近くで操業中の金山技師に見せたことから金山の歴史が始まります。（後の3号脈の露頭と言われています。）

1898年（明治31年）鯛生の田島氏と鹿児島島の南郷氏が組合を組織し採掘を開始。この頃は原始的な採掘で、のみと槌で鉱石に穴を開け火薬を詰って爆破しつるはしで掘り起こし適当な大きさに打ち砕くという方法でした。（年産50～60kg）

1918年（大正7年）イギリス人H・ハンター氏により近代的操業を開始。氏は日本生まれのイギリス人で明治から大正にかけて実業界で幅広く活躍した人物です。彼の登場で削岩機・火薬・堅坑エレベーター・選鉱場・精錬所・水力発電所等当時としては類を見ない近代的設備を導入し、大がかりな採掘が始まりました。大正7年から14年迄の産出量は、金4.6t、銀9.5t。



### 大分—福岡にまたがる鉱区

金山の鉱区は大分県と福岡県にまたがり採掘鉱区495,557アール（32鉱区）試掘鉱区801,958アール（28鉱区）に及んだ。

### 火山岩がはらんだ鉱脈

金鉱脈は、火山活動からなった火成岩が関連して生まれた、金や銀を含む熱水液が冷えて出来たもので、鯛生金山は火山岩中最古の変朽安山岩（プロピライト）が母岩となり、いわゆる含金銀石英の幼脈を含んだ鉱床をはらんでいました。



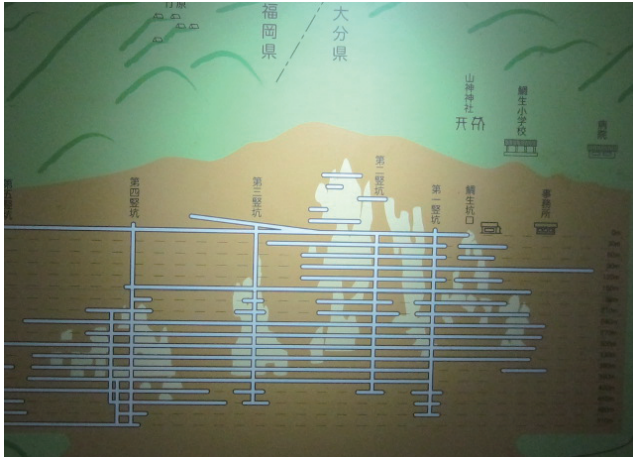
（上図 オレンジラインが金鉱脈）

### 延長110km、地下540mに達する坑道

坑道は、昭和18年までに鯛生坑口（標高545m）から矢部坑口（同530m）までの延長2,614mを貫き、これを運搬坑道としました。ここから下部30mごとに水平坑道を設け上から順に第1、第2、第3…

坑道と呼び最深部は海拔 0m の 540m の深さ、実に第 18 坑道にまで及びました。

これらの連結は 6 本の堅坑を開削して行われ、いずれも第 14 堅坑から第 18 坑道にまで達しました。こうして掘り進んだ坑道の延長は 110km にも及んだのです。

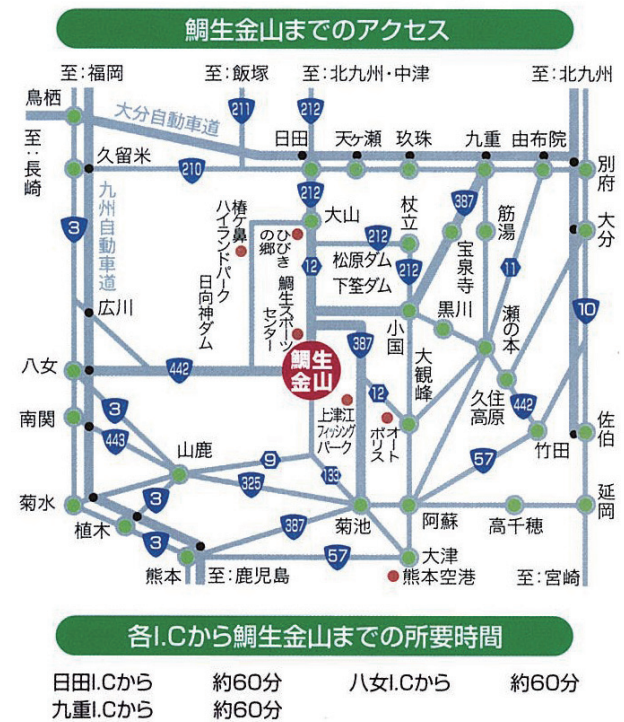


1929 年（昭和 4 年）鹿児島から薬師五郎氏を迎え大探鉱を開始。1937 年（昭和 12 年）金産出量 2.3t、銀産出量 20t に達し「東洋一の大金山」となりました。

昭和 8 年頃から 13 年頃までの金山全盛期には従業員数も坑内約 1,500 人、坑外約 1,000 人、請負組約 500 人を数え、全国各地から従業員が集まりました。村内には映画館や飲食店が立ち並び、九州の一山村は稀にみる活況を呈したのです。従業員数約 3,000 人。家族まで含めると約 10,000 人が鯛生地区に住んでいました。

- 1948 年（昭和 23 年）主坑道の補修，3 号・4 号脈の採掘と残鉱による創業開始。
- 1956 年（昭和 31 年）住友金属鉱山（株）と新鉱業開発（株）共同出資による鯛生鉱業株式会社設立。
- 1968 年（昭和 43 年）新規鉱脈開発のため梅野坑道探鉱着手。

- 1972 年（昭和 47 年）閉山となる。  
明治 27 年から昭和 47 年に至る、約 80 年間の変化に富んだ歴史のなかで金約 40t・銀約 160t を産出しています。
- 1983 年（昭和 58 年）地底博物館 鯛生金山として開館。（「平均 3,296 円 /g」）
- 1998 年（平成 10 年）砂金採取場 開設。（「平均 1,287 円 /g」）
- 1999 年（平成 11 年）地場産業体験館 開設。（「平均 1,069 円 /g」）
- 2000 年（平成 12 年）道の駅 鯛生金山 登録。（「平均 1,014 円 /g」）
- 2007 年（平成 19 年）近代化産業遺産 認定。（「平均 2,659 円 /g」）
- 2012 年（平成 24 年）カメルーンキャンプより 10 周年。（「平均 4,321 円 /g」）



**東洋一の大金山が今よみがえる**

九州の山深い中津江村に、約 110 年前出現した「鯛生金山」。夢とロマンを求め、世界中から多くの男たちが集まり、異国情緒あふれる黄金郷として栄えました。ミステリアスな坑道探鉱が、あなたを黄金郷へ誘います。

● 探鉱場ゾーン ● 堅坑ゾーン ● 採掘場ゾーン ● 展示場ゾーン

明治 27 年から昭和 47 年に閉山するまでの 80 年間で  
金約 40t 銀約 160t を産出

開館時間：4～11月 9:00～17:00  
12～3月 10:00～16:30

休館日：1月1日

利用料金：大人・大学生 1,000 円  
中・高校生 800 円  
小学生 500 円  
(団体様：20 名様より 10% 割引)

お問い合わせ：  
大分県日田市中津江村合瀬 3750  
TEL 0973-56-5316  
FAX 0973-56-5336

[鯛生金山 松尾裕次]



## 各地に残すべき

## 地形・地質

## 稲渚の棚田（奈良県明日香村）

奈良県明日香村稲渚の棚田を紹介します。明日香村は奈良盆地の西南に位置し、丘陵と小規模な盆地が点在しています。面積約24km<sup>2</sup>の小さな村ですが、石舞台古墳やキトラ古墳など多くの古墳や陵墓、史跡が発掘されていて、「飛鳥時代」の語源となったことで全国的に有名です。稲渚の棚田は、その明日香村の中心部から南方に2km程度の、飛鳥川によって刻まれた谷の出口付近に位置しています（図-1）。



図-1 稲渚の位置図（出典；Google Earth）

稲渚の棚田は「日本の棚田百選」にも選ばれていて、300枚以上の棚田が美しく並んでいます。地形的には高低差100m程度の東～北東北向きの緩傾斜地で、飛鳥川の浸食斜面になっています。一般に棚田は地すべり地につくられることが多いですが、ここ稲渚においても、地すべり地形が分布しています（図-2）。ただし現地には構造物や斜面の変状は認められないため、休止中の地すべり地と考えられます。



図-2 稲渚の棚田と地すべり地形（出典：地すべり地形分布図 Web-GIS；（独）防災科学研究所）



写真-1 稲渚の棚田全景

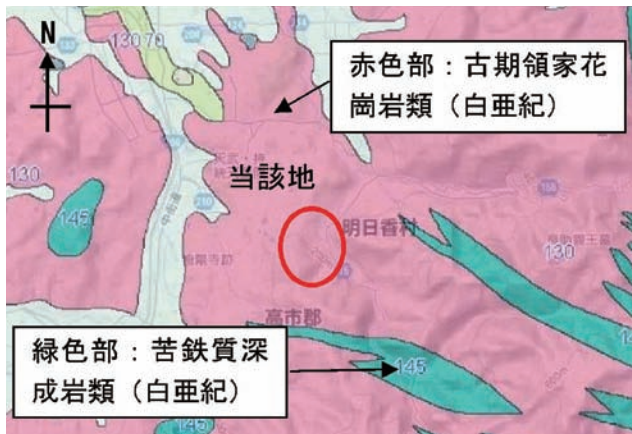


図-3 当該地域周辺の地質図（出典：日本シームレス地質図；（独）産業技術総合研究所）

稲淵地域の基盤岩は、図-3に見られるように、白亜紀の花崗岩類が分布します。棚田下方の飛鳥川の河床には堅硬な基盤岩が露出しているのが見られます（写真-2）。



写真-2 溪床に分布する基盤岩

稲淵の歴史は古く、飛鳥時代には稲淵宮殿が建設されていました。棚田の開発は平安～室町時代とされています。地すべりは元々風化堆積物の二次すべりだったと考えられますが、前述したとおり、現在は休止中で、特に対策工も施されてはいません。おそらくは、棚田をつくったことによって降雨が地面に直接浸透しにくくなったことが地すべりの抑制につながったのだと考えられます。また、下流には橿原市の市街地がありますが、棚田による貯留効果が洪水の抑制にもつながっていることが指摘されています。



写真-3 最上段の棚田からの展望

稲淵地域は別名「神奈備（神様のいる場所）の里」とも呼ばれ、古くから神聖な場所とされてきました。稲淵集落と、その上流の栢森集落では、飛鳥川に勧請縄が掛けられています（写真-4）。



写真-4 飛鳥川にかかる勧請縄

これは豊穰と子孫繁栄を祈る神事で、毎年正月15日に掛け替えられます。稲淵のものが男性、栢森のものが女性を表しているそうです。清流にかかる勧請縄はとても趣のある光景です。

近年、棚田が休耕になったことにより、土地が荒廃し、保水機能が失われたことによって地すべりが再活動する事例が多くあります。稲淵地域では平成8年度から棚田オーナー制という市民農園を開設し、棚田が休耕になることの対策をとっています。また、春には「蓮華祭り」、夏には「蛍の夕べ」、秋には「彼岸花祭り」と、四季折々のイベントを開催し、棚田の持つ美しい歴史的景観を訪れた人々に楽しんでもらっています。平安の時代から続く美しい景観も、整備する人がいなくなれば、わずかな時間で荒廃してしまいます。近くには石舞台古墳（写真-5）をはじめ、多くの見どころがあります。皆様も一度訪れてみてはいかがでしょうか。

筆者が稲淵を訪れたのは4月でしたが、稲淵は彼岸花の名所としても知られています。ぜひ秋にも訪れたいと考えています。

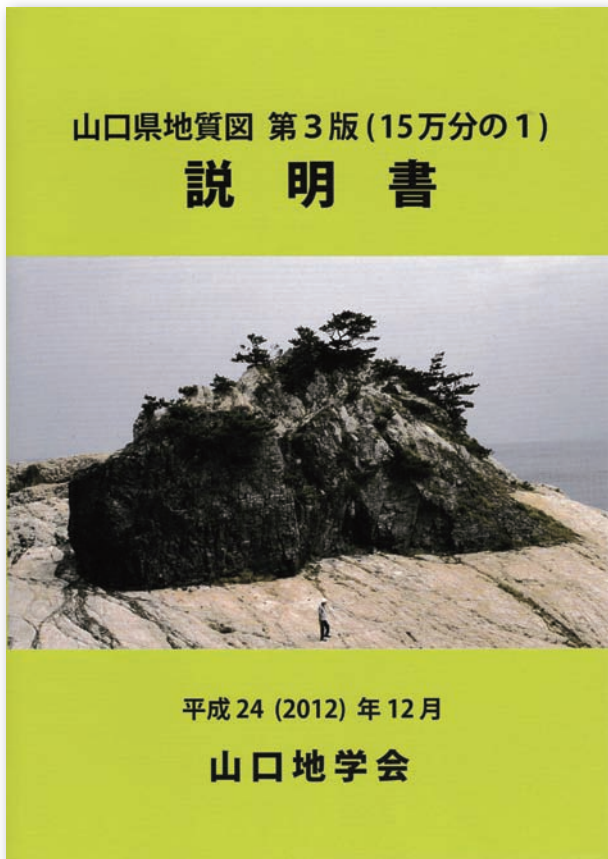
[中央開発株式会社 加藤智久]



写真-5 石舞台古墳

## 山口県地質図 第3版 (15万分の1) および同説明書

西村祐二郎・今岡照喜・金折裕司・亀谷敦 編著



でも、岩級区分図を作成することはできない。岩級区分図を作成するためには、岩盤の物性値を支配している地質学的要因を解明しなければならないからである。岩盤の物性値は、初生的には、岩質・岩相および岩石組織、ならびに地質構造に支配されている。したがって、その要因解明に地質図が基本資料として必要になるのである。地質図には小縮尺・広範囲のものから大縮尺・狭範囲のものまで様々なものが出版されている。地質実務者にはいずれの縮尺のものも重要な情報を与えてくれる。特に小縮尺のものは、大局的な地質分布・構造を把握するのに重要である。また、県別の地質図などは、地層、岩体などの固有名が付されているので、さらに文献資料を検索する際に有用である。

地質図は主に野外で得られた情報に基づいて作成された解釈図である。したがって、地質図は情報量の増加や地質学の進歩によって、より実態に近い図となっていく。たとえば、中古生層の分布域では付加体、メランジュ、オリストストロームなどの概念の導入前後では、同じ野外情報によっても全く異なる地質図が作成されている。このようなことから地質図は、情報量の増加や地質学の概念に変更があった場合には、改訂されるべきものである。

しかしながら、最近、大学をはじめ旧国立研究機関では、成果主義がとられるようになり、研究者としての評価は、一律、国際的な学術雑誌の掲載論文数となってきた。このようなことから、地質学の分野においても野外調査を中心とした地域地質の研究は、あまり対象とされなくなり、地質図の新規作成や改訂も従前に比べ低調となってきた。これは地質の実務関係者には大変、危惧すべきことである。

このような折、「山口県地質図 (15万分の1)」が第3版として改訂され、2012年12月に山口地学会

**地**質の実務に携わっているものにとっての基本資料は、まず何といても地質図である。地質の実務分野は土木地質、環境地質、防災地質など多方面にわたっており、それぞれの分野で最終的に必要とされる地質情報は異なっているが、地質図が基本となっていることは共通である。たとえば、土木地質では最終的に構造物設計に必要な物性値の空間分布を知る必要があり、そのために岩盤分類が行われ、岩級区分図が作成される。しかし、多数の原位置力学試験や室内試験を行っ

から出版された。この地質図の原点は20万分の1の「山口県地質図」で、1954年に出版されている(通しの第1版, 説明書付き)。その後、20万分の1としては1975年(通しの第2版)および1976年(通しの第3版)に改訂版が出版されている。15万分の1地質図としての初版(通しの第4版)は1988年, 第2版(通しの第5版)は1995年の出版であったので、今回の第3版(通しの第6版)は17年ぶりの改訂であり、1954年以降ほぼ定期的に改訂が行われている。このような定期的な改訂は、地元、山口大学の地質関係者などの熱意によるものである。1975年版には解説書にあたる「山口県の地質」が同時に出版されたが、その後の版に解説書は付随していなかった(15万分の1第2版には代わりに「山口県放射年代図」および「山口県の放射年代-1994年総括」が付属)。今回は、167ページにわたる説明書が付属している。最近、山口県全体の地質を記載した出版物としては、2009年に朝倉書店から発行された「中国地方(日本地方地質誌6)」があるが、今回の改訂版には、「中国地方」出版以降の知見も含まれている。引用文献をみると、2009年以降の文献が58編、引用されている。

評者の手元には通しの第3版からの版があるが、これらの版を通してみると、構成地質全体の色調がほぼ踏襲されており、版による分布の相違などが大変わかりやすい。15万分の1第2版(以降、15万分の1の第2版を第2版、今回の版を第3版と呼ぶ)と比べて分布の相違にまず気がつくのは、萩市南方の阿武層群である。第2版ではこの付近の阿武層群は江舟累層と舞谷累層として不定形に図示されていたが、編著者の一人である今岡照喜教授らの研究によって、第3版では佐々並層に一括され、佐々並コールドロンとして、楕円形状に表示されている。このほか秋吉台の石灰岩中の断層分布、関門層群の分布、日本海側の第四紀火山岩の分布なども大きく変更されている。

活断層は第2版から図示されるようになっているが、第2版では「新編日本の活断層」によっていたものを、第3版では金折裕司教授らの野外地質調査結果などに基づき図示されている。「新編日本の活断層」などの既存の活断層図は主に空中写真判読などの地形情報に基づいているため、必ずしも活断層でないものも図示されている問題があった。今回のように地質調査結果に基づき活断層がより正確に図示されることは、実務関係者にとってはとてもありがたいことである。

山口県内には湯田温泉などの全国的に著名な温泉地が多く分布している。第3版からは温泉分布

地が図示されるようになり、温泉の種別と地質・地質構造との関係が理解できるようになった。

第3版の境界線などは、西村祐二郎名誉教授が、パーソナルコンピュータ上でグラフィックソフトを用いて作図されたと伺った。したがって、作図原図には基図の境界線などとのずれがなく、とても正確に印刷されていることが特徴である。

「説明書」はA4判で、既述のように総ページ数167である。1975年出版の「山口県の地質」がB5判で286ページであったので、総ページ数は少なくなっている。他方、カラー図面、カラー写真が掲載されている点、「山口県の地質」にはなかった索引がある点は、利用しやすくなっている。本書の目次構成は次のようになっている。1. 序説, 2. 地形, 3. 中・古生界, 4. 白亜紀-古第三紀の火山-深成活動, 5. 新生界, 6. 新第三紀-第四紀の火山活動, 7. 活断層, 8. 温泉, 付録: 山口県に関する地質図幅の出版略史。

山口県は県内だけでほぼ日本全国に分布している地質を観察することができる。すなわち、山口県地質図は日本地質図の縮図といってもよいものである。本地質図および説明書を山口県内および周辺地域を調査対象とされている地質実務関係者ならびに国内の地質関係者に広くお勧めしたい。本地質図の販売先は次のとおりである。

山口県刊行物センター(電話083-933-2583)

関西地図センター(電話075-761-5141)

中国書店(電話082-247-0968)

(独立行政法人土木研究所 脇坂安彦 著)

- 山口地学会  
(事務局: 山口県立山口博物館内,  
電話083-922-0294)
- 2012年12月12日発行
- 定価8000円

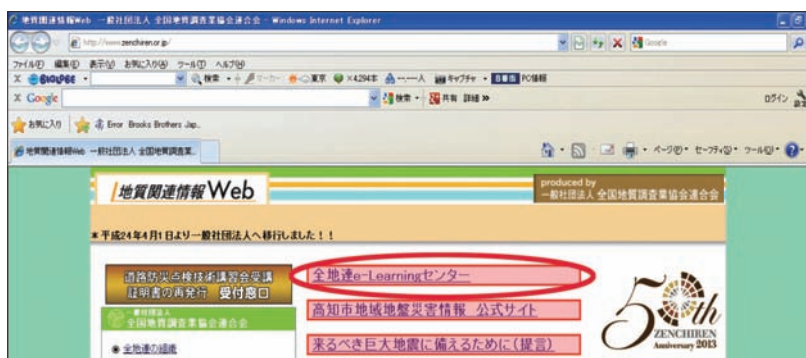
# 「地質と調査」の発行事業について（お知らせ）

一般社団法人全国地質調査業協会連合会  
「地質と調査」編集委員会

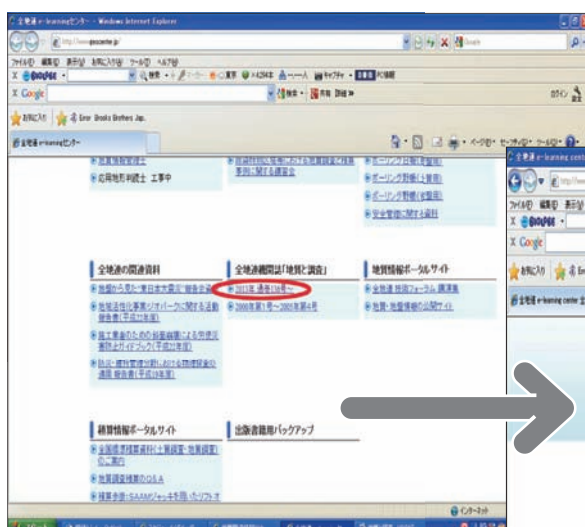
本号から装いを新たに発行することとなりました。  
印刷発行するものとは別に、以下のホームページに全面カラー版を掲載し、どなたでもご覧いただけるようにいたしました。手順は、以下となります。

1 全地連のホームページにアクセスして下さい。  
URL は、こちら ▶▶▶ <http://www.zenchiren.or.jp>

2 全地連 e-Learning センターをクリックして下さい。



3 全地連機関誌「地質と調査」をクリックして下さい。



4 閲覧される号を選択し、クリックして下さい。



# 会 告

## 平成 24 年度地質調査事業量は 724 億円

全地連受注動向調査

全地連で実施します受注動向調査（平成 24 年度）は、次の通りの結果となりました。

### 1. 受注量の地域別比率

北海道	東北	北陸	関東	中部	関西	中国	四国	九州	沖縄県
6.0%	11.1%	8.2%	27.7%	10.4%	9.4%	10.6%	5.4%	10.7%	0.5%

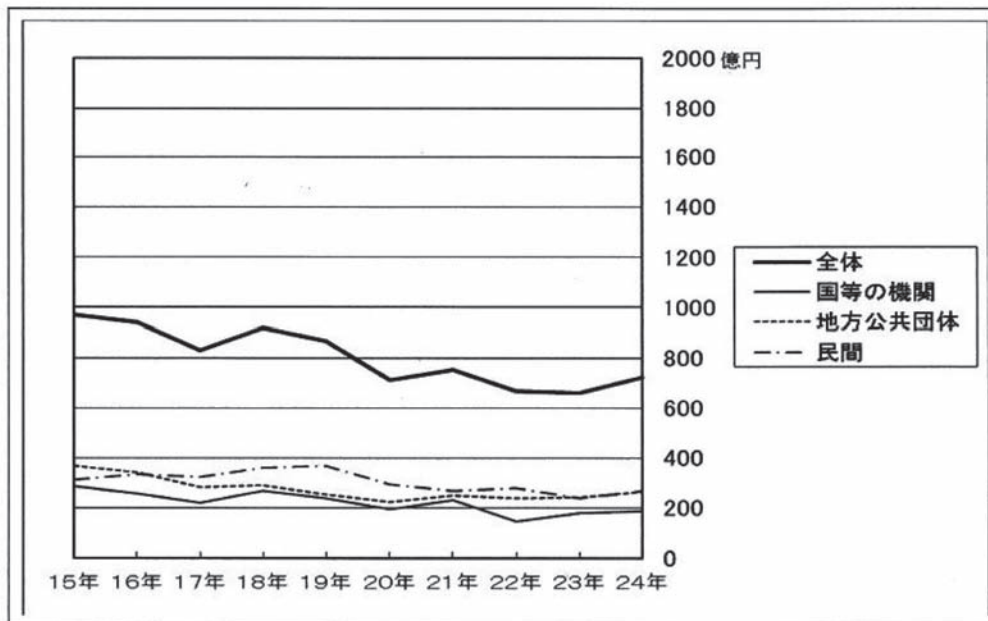
### 2. 受注量の発注者比率及び推移

発注機関	平成 20 年度	平成 21 年度	平成 22 年度	平成 23 年度	平成 24 年度
国等の機関	27.4%	30.8%	21.9%	27.1%	26.0%
地方公共団体	31.3%	33.3%	36.1%	36.7%	36.8%
民間	41.3%	35.9%	42.0%	36.2%	37.2%

### 3. 受注量の月別比率（平均月を 100 とした場合）

4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
112	109	109	119	114	106	113	100	91	70	58	98

### 4. 過去 10 年間の受注高推移



\*調査対象企業 150 社（地域分布、資本金階層等を考慮し協力を依頼している。）

\*平均回収率は、約 98%

\*この回答をいただいた企業の地域売上高の合計は、全体の地質調査事業量に対し、平均約 65%と推定される。

## 受注動向調査 対前年比較表 (平成24年度)

1. 月別発注動向 (社)全国地質調査業協会連合会

年度別 月別	平成23年度		平成24年度		対前年比(%)	
	件数	金額 千円	件数	金額 千円	件数	金額
4月	2,195	5,082,894	2,506	6,794,530	114.2	133.7
5月	2,204	5,884,578	2,654	6,587,331	120.4	111.9
6月	2,672	6,772,935	2,508	6,567,179	93.9	97.0
7月	2,430	6,305,651	2,547	7,200,212	104.8	114.2
8月	2,367	5,134,500	2,185	6,866,474	92.3	133.7
9月	2,413	6,161,760	2,259	6,391,616	93.6	103.7
10月	2,487	5,384,586	2,322	6,829,685	93.4	126.8
11月	2,442	5,367,894	2,239	6,007,176	91.7	111.9
12月	2,383	5,468,591	1,984	5,471,559	83.3	100.1
1月	1,937	3,775,927	1,743	4,221,098	90.0	111.8
2月	2,025	5,060,115	1,851	3,513,424	91.4	69.4
3月	1,874	5,509,802	1,905	5,910,342	101.7	107.3
計	27,429	65,909,233	26,703	72,360,626	97.4	109.8

2. 地域別発注動向

年度別 地域別	平成23年度		平成24年度		対前年比(%)	
	件数	金額 千円	件数	金額 千円	件数	金額
北海道	1,748	5,274,865	1,612	6,091,422	92.2	115.5
東北	2,756	9,901,374	2,951	11,064,090	107.1	111.7
北陸	2,356	5,431,936	2,180	6,161,143	92.5	113.4
関東	7,980	17,223,103	7,401	16,556,715	92.7	96.1
中部	2,604	5,094,805	2,777	5,660,073	106.6	111.1
関西	2,706	6,071,772	2,511	8,440,574	92.8	139.0
中国	2,668	5,221,198	2,840	4,558,976	106.4	87.3
四国	1,372	4,340,258	1,429	4,621,243	104.2	106.5
九州	3,129	7,120,964	2,870	8,810,292	91.7	123.7
沖縄県	110	228,958	132	396,098	120.0	173.0
計	27,429	65,909,233	26,703	72,360,626	97.4	109.8

3. 発注機関別発注動向

年度別 発注者別	平成23年度		平成24年度		対前年比(%)	
	件数	金額 千円	件数	金額 千円	件数	金額
国等の機関						
国交省(建設)	1,005	10,626,373	1,104	10,929,303	109.9	102.9
農林水産省	135	1,424,754	114	1,013,213	84.4	71.1
国交省(運輸)	109	1,014,656	120	1,465,031	110.1	144.4
(旧)鉄建公団	36	339,095	40	671,677	111.1	198.1
(旧)道路公団	114	1,123,108	110	1,113,893	96.5	99.2
(旧)都市基盤	50	266,693	47	395,966	94.0	148.5
その他	522	3,095,160	492	3,249,316	94.3	105.0
小計	1,971	17,889,839	2,027	18,838,399	102.8	105.3
地方公共団体	6,289	24,156,225	6,090	26,601,809	96.8	110.1
民間	19,169	23,863,169	18,586	26,920,418	97.0	112.8
計	27,429	65,909,233	26,703	72,360,626	97.4	109.8

4. その他

項目	件数	金額 千円	件数	金額 千円
海外	18	105,085	17	114,467
項目				
土壌地下水汚染調査契約金額	2,558	3,511,670	2,169	2,874,395

調査対象企業 150社

## 平成 25 年度 全地連資格検定試験 願書受付の終了

(「地質調査技士」「応用地形判読士」「地質情報管理士」)

全地連では、平成 25 年度における資格検定試験(「地質調査技士」「応用地形判読士」「地質情報管理士」)を下記の通り実施いたします。(各試験とも、同日・同会場で実施)

願書受付：平成 25 年 4 月 10 日～5 月 13 日 ※ WEB 受付の地質情報管理士は 5 月 31 日締切

試験日：平成 25 年 7 月 13 日

試験地：札幌、仙台、新潟、東京、名古屋、大阪、広島、高松、福岡、沖縄

合格発表：平成 25 年 9 月 10 日

願書の受け付けは終了し、現在、願書内容の点検や受験票の発送準備を行っております。  
両試験の結果は、本誌の次号でご報告いたします。

## 全地連「技術フォーラム 2013」長野の開催

平成 25 年度「技術フォーラム」は、長野県長野市で開催いたします。一般参加者の申込み受付は、6 月下旬より全地連のホームページでご案内いたします。

### ■開催概要

主催 (社) 全国地質調査業協会連合会  
共幹 関東地質調査業協会  
後援 国土交通省関東地方整備局、長野県、長野市  
協賛 独立行政法人土木研究所、独立行政法人産業技術総合研究所、日本情報地質学会、NPO 地質情報整備活用機構、一般社団法人日本応用地質学会、地質リスク学会  
開催期日 平成 25 年 9 月 19 日(木)～20 日(金)(2 日間)  
開催場所 メルパルク長野

〒380-8584 長野県長野市鶴賀高畑 752-8 TEL 026-225-7800

### ■主なプログラム(予定)

・特別講演会 ・技術発表会 ・技術者交流懇親会 ・展示会

## 平成 25 年度「道路防災点検技術講習会」の開催について

平成 25 年度「道路防災点検技術講習会」は、4 月 10 日より参加申込みの受付を始めております。会場によってはすでに定員に達しております。参加ご希望の方は、お早めにお申し込みください。

### <開催都市・開催日>

※東京会場は定員に達しました(5/10 現在)。

東京(6/14) / 札幌(7/26) / 金沢(9/6) / 大阪(10/4) / 松江(10/18) / 熊本(11/1) / 長崎(11/15) / 那覇(12/6)

### <申込方法>

全地連ホームページに掲載する開催案内をご覧の上、お申し込みください。

→ <http://www.zenchiren.or.jp/> (全地連ホームページ)



# 第4回地質リスクマネジメント事例研究発表会 事例研究発表募集について

今年度で4回目の開催となります地質リスクマネジメント事例研究発表会の開催概要が決定し、5月11日より事例研究発表者の募集を開始いたしました。

## [開催概要]

### <開催趣旨>

第4回地質リスクマネジメント事例研究発表会を開催します。建設工事における地質リスクのマネジメントの実例を紹介し、様々な課題を議論し共有することで、今後の地質リスクマネジメントに役立てます。このような分析は公共工事におけるコスト縮減へも大きく貢献することが期待されます。さらにこの事例研究発表・討論会を通じて、地質リスクマネジメント事例収集への具体的な道筋を検討することを目的としています。

開催日：平成25年11月22日（金）

開催場所：飯田橋レインボーホール

〒162-0826 東京都新宿区市谷船河原町11番地 飯田橋レインボービル

TEL 03-3260-4791

地図は、こちら⇒ <http://www.ienohikariss.co.jp/bld/map.html>

主催：地質リスク学会

共 管：NPO 地質情報整備活用機構 / (社) 全国地質調査業協会連合会

## 募集要領（概略）

### 1. 地質リスクマネジメント事例研究発表応募資格

地質リスク学会会員とする。

### 2. 発表内容

募集する地質リスクマネジメント事例の種類は以下の4タイプとします。

A型：地質リスクを回避した事例

B型：地質リスクが発現した事例

C型：発現した地質リスクを最小限に回避した事例

D型：上記のA型、B型、C型以外の事例

### 3. 発表申込期間 平成25年5月11日～平成25年9月30日

\*お申込みは、地質リスク学会 HP からとなります。以下が URL です。

<http://www.georisk.jp/>

# 地質調査業の提言

## －全地連 21 世紀ビジョンのフォローアップ 2013－

全地連創立 50 周年記念事業の一環として全地連の今後の活動の方向性を示すための提言書をまとめ、5 月 31 日の全地連総会の席上で公表しました。

近年の社会情勢の変化や自然災害に関する社会的な技術要求や信頼に応えるため、「地質調査業の 21 世紀ビジョンー市場が求める産業システムの構築に向けてー」のフォローアップとして以下を提言します。

### 地質調査業の 21 世紀ビジョン フォローアップ提言

#### 地質情報の積極的な情報発信と活用

地質調査に係わる技術者は、専門技術者として社会的役割・責任を再認識し、地質情報の発信や活用に積極的・主体的に取り組むべきである。

地質調査業に寄せられた期待には、調査技術の高度化や新規分野での貢献のみならず社会への情報発信もある。調査で得られた知見を単に蓄積するだけでなく、利用者のニーズに応じてわかりやすく的確に情報を提供できるシステムを構築していくことで地質調査業の社会貢献を果たしたい。

#### 新たな技術展開、新規分野への参入

市場ニーズに対応させた技術展開、新規分野への参入に積極的に取り組むべきである。

具体的には、深層崩壊に係わる地質調査・モニタリング技術の開発、効率的な点検技術の開発、地質情報のマネジメント技術の開発等、再生型エネルギー分野や放射性物質に係わる環境保全分野等への参入を図りたい。

#### 地域に密着した活動をととしての社会貢献

国内の自然環境は地域によって大きく異なっており、地域の地形地質特性に精通した地質調査技術者は、防災対策や街づくり等を通じて地域に密着した社会貢献に積極的に取り組むべきである。

具体的には、自然災害や防災に関する啓蒙活動・避難シミュレーション、小規模地熱エネルギー開発や地中熱開発、地域の地形地質特性を踏まえた街づくり等にも参画したい。

1995年（平成7年）1月17日に発生した阪神・淡路大震災を契機として地震防災対策法が制定され、総理府に地震調査研究推進本部が設置された。「活断層」という言葉も広く一般に知られるようになった。

現在、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震、その時の東京電力福島第一原子力発電所事故をきっかけとして、再び、活断層に注目が集まっている。活断層の認定や評価において、地質調査業界は基礎データを取得・提供する立場にあり、その役割・責任は非常に大きい。調査を担当するものとして、活断層調査の目的、課題、データの使われ方、最新の知見、技術等について正しく認識する必要があると考える。また、本誌の読者である地質調査発注機関関係者におかれても、関心が高いテーマであると考え。このようなことから、活断層をテーマとして「活断層調査

の現状と展望」という小特集を企画した。

企画自体は、昨年の始めに確定しており、本格的に始動したのは昨年夏以降、執筆依頼を始めたのは12月始めであった。その間、活断層をめぐる様々な動きやマスコミ報道があり、研究者に対するバッシング的報道も見受けられた。「地質と調査」は技術機関誌であり、学説を論じる場でもなければ、原発の是非を取上げる場でもない。中立的なものになるよう編集には苦慮した。当初の編集方針のなかで断念した部分もあり、無事発刊されてほっとしているというのが本音である。

執筆者の方々は、このような社会的に注目を集めているテーマの執筆を快く引受けていただいた。また、それぞれの分野において忙殺されている中で原稿を執筆していただいたと拝察される。深く感謝の意を表す次第である。

（2013年4月 鹿野記）

季刊雑誌「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 荒井 靖仁、佐久間 春之、細野 高康、三木 茂、利藤 房男、土屋 彰義、池田 俊雄、高橋 暁、中川 直

各地区地質調査業協会

委員 北海道：鈴木 孝雄	東 北：高橋 克実	北 陸：桐生 広次	関 東：丹下 良樹
中 部：伊藤 重和	関 西：東原 純	中 国：向井 雅司	四 国：二神 久士
九 州：佐々木 和彦	沖縄県：長堂 嘉光		

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）	(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）	(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）	(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）	(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）	(052) 937-4606
関西地質調査業協会	〒550-0004	大阪府大阪市西区鞆本町 1-14-15（本町クィーバービル）	(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）	(082) 221-2666
四国地質調査業協会	〒760-0067	香川県高松市松福町 2-15-24（香川県土木建設会館）	(087) 821-4367
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）	(092) 471-0059
沖縄県地質調査業協会	〒901-2224	沖縄県宜野湾市真志喜 1-21-18	(098) 942-8514

季刊 地質と調査 '13年2号 No.136

平成25年6月15日 印刷

平成25年6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 3F

発行所 株式会社ジェイ・スパーク

〒102-0082 東京都千代田区一番町 9-8 ノザビル 7F Tel. 03-3264-7781 Fax. 03-3264-7782

株式会社ワコー

〒102-0072 東京都千代田区飯田橋 3-11-7 Tel. 03-3295-8011 Fax. 3230-2511

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。

300MHz と 800MHz アンテナを一体化した  
高性能デジタル地中レーダ装置

geo5

# ユーティリティスキャンDF (Dual Frequency)



ユーティリティスキャンDF (米国：GSSI 社) は、300MHz と 800MHz アンテナを同一ケースに収納し、かつアンテナ部にてデジタル変換する 2 周波一体型の高性能デジタル地中レーダです。周波数の異なる 2 つのアンテナを搭載したことにより、1 回の測定で表層付近から深部 (2m 程度) まで、極めて高品質のデータを取得できます。

## ■ 特 長

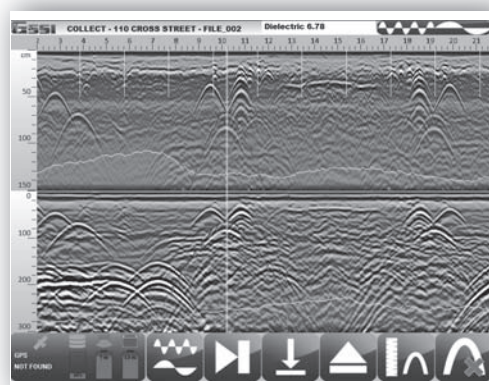
- ・ 2 周波 (300MHz、800MHz) アンテナ搭載により、表層から深部 (約 2m 程度) までを 1 回の走行で探査可能です。
- ・ アンテナ部にてデジタル変換し、ノート PC にデータ集録しますので SN 比に優れた高品質データを取得できます。
- ・ 装置 1 式は、機動性に優れた 4 輪カートに搭載されています。
- ・ Radan-7 ソフトウェア (GSSI 社製) が標準装備されています。
- ・ IP65 に準拠した防水・防塵構造の全天候型システムです。

## ■ 適用・用途

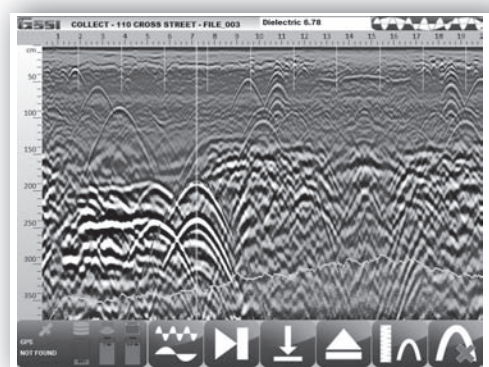
- ・ 地下埋設物・埋設管の調査
- ・ 路面下空洞、トンネル背面調査
- ・ 護岸、堤防調査、埋蔵文化財・遺跡調査等



\* デモ機を用意していますので  
お問い合わせ下さい。



300MHz データと 800MHz データの分割表示例



300MHz データと 800MHz データのブレンド表示例  
(同一時間軸に 2 周波データを表示)

株式会社 ジオファイブ

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

〒336-0931 埼玉県さいたま市緑区原山 1-12-1  
TEL 048-871-3511 FAX 048-871-3512  
Email [sales@geo5.co.jp](mailto:sales@geo5.co.jp)

## ■ 業務内容 ■

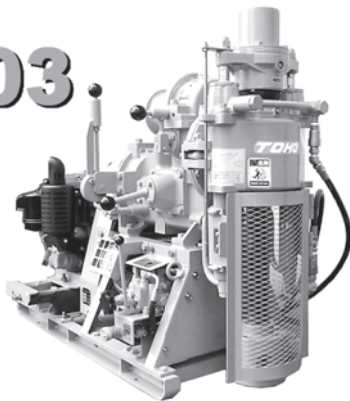
- 計測機器販売 : 地質調査機器・土木計測機器・工業計測機器
- 計測機器レンタル : 地質調査機器及びその他計測機器レンタル
- 計測業務 : 現場計測業務・測定機器設置・3D 計測業務
- 計測機器設計製作 : 各種地盤計測機器の設計製作



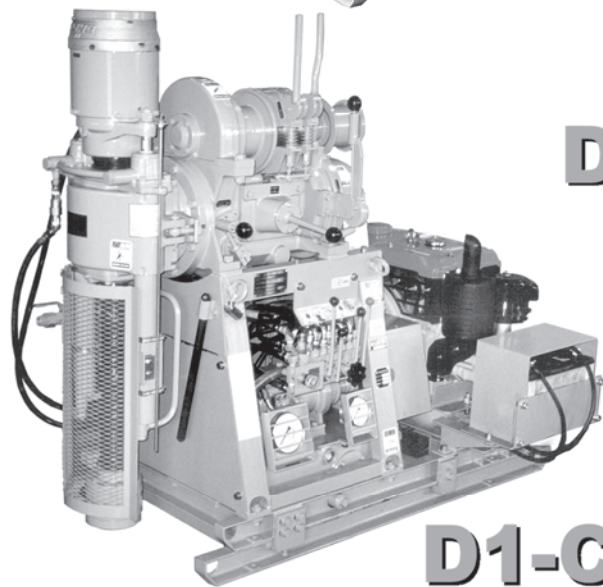
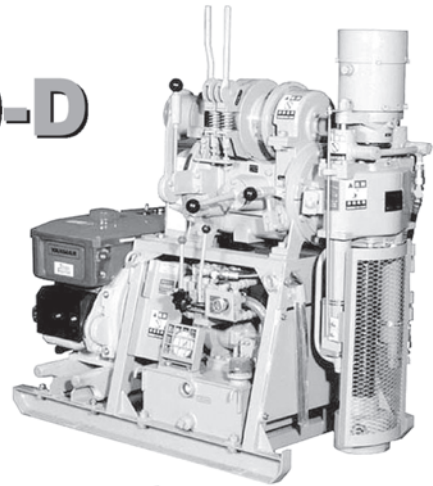
**TOHO**  
DRILLING EQUIPMENT

# 小型ボーリングマシン

**DM-03**

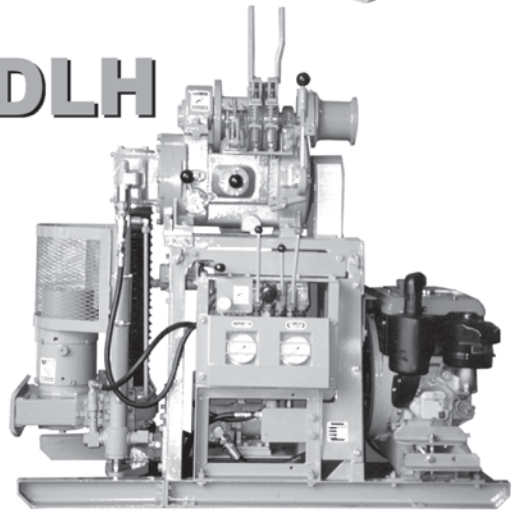


**D0-D**



**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	D0-DLH	D1-C
穿孔能力	m	30	100	100	280
回転数	min <sup>-1</sup>	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	300	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	315	475	550
寸法	H×W×L mm	960×550×1115	1200×660×1180	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 4-4-7 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(785)6651  
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  
松山 089(953)2301  
広島 082(533)7377  
山口 083(973)0161  
熊本 096(232)4763

# 地質調査

通巻136号(年4回発行)

●発行所

株式会社ジェイ・スパーク／株式会社ワコー