

GSJ 地質ニュース

GSJ CHISHITSU NEWS

～地球をよく知り、地球と共生する～

2012

6

Vol. 1 No. 6

特集：複合地質リスク評価プロジェクトと地下水等総合観測施設の整備



この写真は GSJ 地質ニュースへの掲載に限って使用許諾を受けており、CC-BY の対象外です。© 2012 Asako Saito

口絵

40万分の1大日本帝国予察地質図(1886-1895)の概要	山田直利	161～164
--------------------------------	------	---------

特集：複合地質リスク評価プロジェクトと地下水等総合観測施設の整備

巨大地震・津波災害に伴う複合地質リスク評価プロジェクトの概要 —東日本大震災への総合地質学的対応—	地質分野研究企画室	165～167
--	-----------	---------

地質学的調査に基づいた過去の津波の解明	岡村行信	168～171
---------------------	------	---------

2011年東北地方太平洋沖地震で誘発された内陸地震活動の現状と 地震災害リスク評価のための調査研究プロジェクトの紹介	桑原保人	172～175
---	------	---------

利根川下流域を中心とする地盤液状化リスク評価研究の紹介	内田利弘・神宮司元治・横田俊之・水野清秀・小松原純子 松岡昌志・中島善人・上田 匠・光畑裕司	176～180
-----------------------------	---	---------

東日本沿岸における津波堆積物の性状に関する緊急調査 —津波堆積物に起因する土壤汚染リスク—	駒井 武・川辺能成・原 淳子・坂本靖英・張 銘	181～184
--	-------------------------	---------

地下水汚染リスク評価研究	丸井敦尚	185～187
--------------	------	---------

愛媛県新居浜市と愛知県西尾市における東南海・南海地震 予測のための地下水等総合観測点整備	小泉尚嗣・佐藤隆司・北川有一・佐藤 努・高橋 誠・松本則夫・板場智史 梅田康弘・武田直人・桑原保人・今西和俊・木口 努・山口和雄	188～190
---	---	---------

連載企画

露頭の風景 写真家の視点／地質屋の視点	齊藤麻子／及川輝樹	191
---------------------	-----------	-----

齊藤麻子さん日本写真協会新人賞受賞 スケジュール／編集後記		192
----------------------------------	--	-----

表紙説明

平作の露頭(齊藤麻子氏撮影)：

横須賀市平作には、前期中新世の付加体である葉山層群(葉山ユニット)中に含まれる枕状溶岩のブロックの露頭が天然記念物として保存されている。(詳しくは191ページへ)。

Cover Page

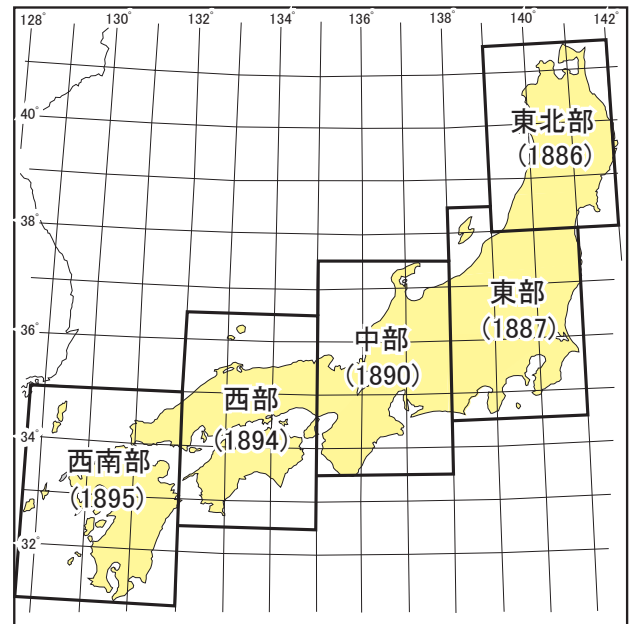
Exposure in Hirasaku at Yokosuka City, Japan (Photo by Asako Saito)

40 万分の 1 大日本帝国予察地質図（1886-1895）の概要

<山田直利¹⁾>

地質調査所（現在の産総研地質調査総合センター）創設期に出版された 40 万分の 1 大日本帝国予察地質図は、20 万分の 1 地質図幅調査の「予察図」という性格を持っていたとはいえ、全国規模の地質調査によって作られた日本初のオリジナルな広域地質図であった。本地質図（全 5 葉）は、新たに作成された 40 万分の 1 地形図を基図として、統一的な地質区分にしたがって描かれ、銅版・多色刷り印刷法により、それぞれ和文・英文の両版が出版された。本地質図が 100 万分の 1 大日本帝国地質図（地質調査所、1899）の土台になったことはよく知られている。

筆者はこれまで本地質図の作成経緯やその内容について出版順に紹介してきた（山田、2008、2009、2010、2011、2012）。このほどそれらが完結したので、今回、原図を約 8 分の 1（おおよそ縮尺 300 万分の 1）に縮小し、内容も大幅に簡略化した上で、可能な限り隣接地質図をつなぎ合わせて、西から東に向かって地質図を配置した。彩色にあたってはなるべく原図に近い色調を用いた。火山の山頂は黒い三角印で示し、主要な火山には山名を付けた。

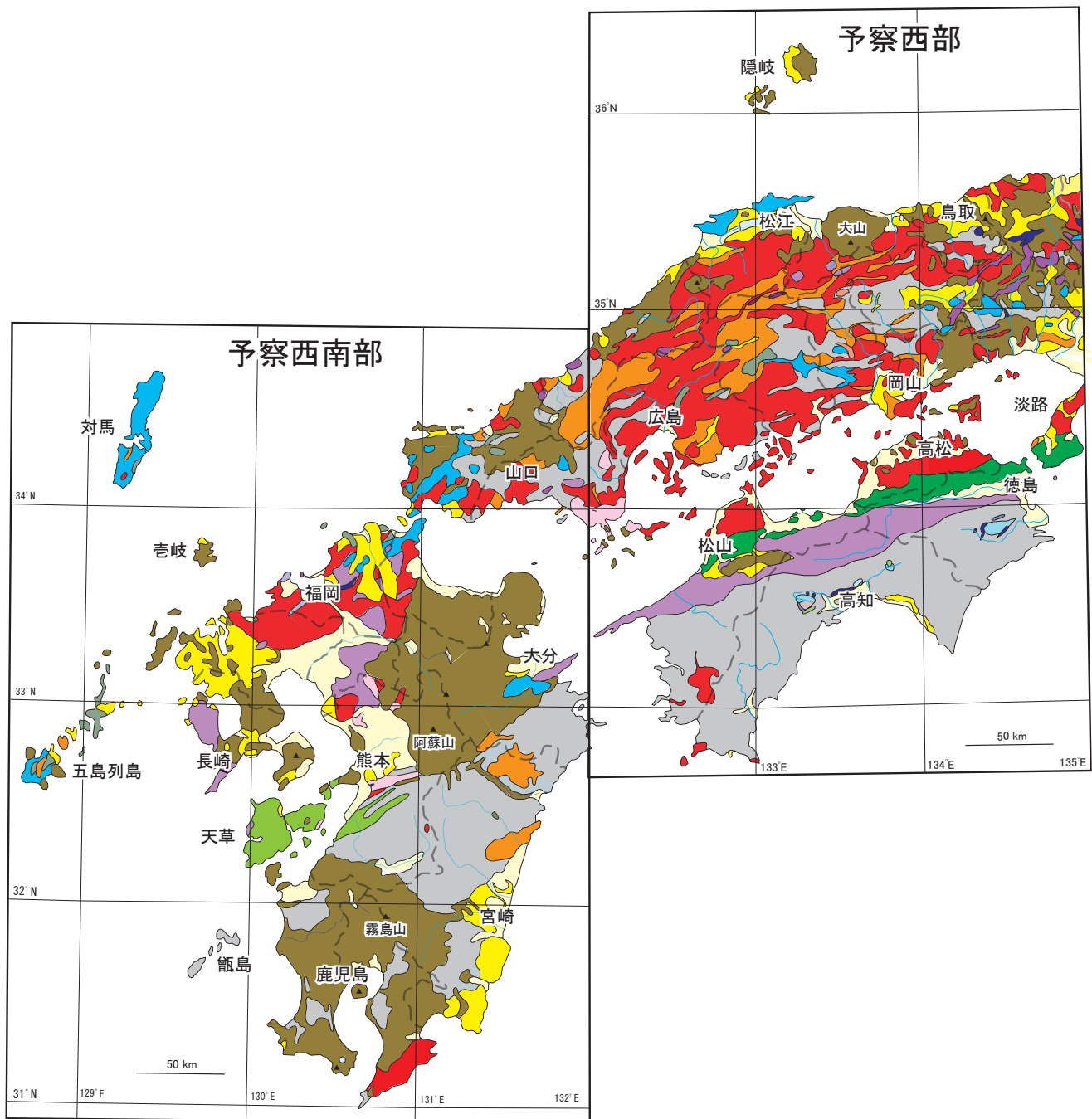


第1図 大日本帝国予察地質図の区画と各図葉の発行年。
本地質図では日本を経度3°、緯度4°の範囲を持つ5つの区画（北から、東北部・東部・中部・西部・西南部、英文版ではDivision I - V）に分け、北の区画から順次調査、出版された。なお、北海道についてはライマン（1876）による全道の地質図が出版されており、沖縄県は設置（1879年）後間もないので、いずれも本図から除かれている。

地質系統	地質凡例	区画				
		西南部	西部	中部	東部	東北部
太古統	花崗質片麻岩					
	片麻岩・角閃岩など					
	結晶片岩					
古生統	秩父古生層					
	小仏古生層					
中生統	中生層（年記未定）					
	三疊紀					
	ジュラ紀					
	白亜紀					
	和泉砂岩層					
	三倉層					
	御阪層					
新生統	第三紀					
	第四紀					
火成岩	花崗岩					
	閃緑岩					
	斑れい岩・蛇紋岩など					
	輝緑岩					
	ひん岩					
	斑岩					
火山岩						

第1表 大日本帝国予察地質図に用いられた地質凡例。
本地質図5図葉の地質凡例を1つの表にまとめた。堆積岩・変成岩に関しては地質時代の古い方から新しい方に向かって、また火成岩に関しては生成時期とは無関係に深成岩から火山岩に向かって並べられている。これは放射年代測定という手法が無かった当時としてはやむをえない方式であった。太古代とされた片麻岩・結晶片岩などは現今では大部分中生代となり、秩父古生層や小仏古生層は現今では大部分ジュラ紀～古第三紀の付加コンプレックスと考えられている。中生代とされた三倉層や御阪層（御坂層）は、現今ではそれぞれ古第三系および新第三系と考えられている。第三系のかかなりの部分は第四系（下部更新統）であることがわかってきている。なお、原図で使用された難解な漢字は現代風書き改めた。

1) 元地質調査所員

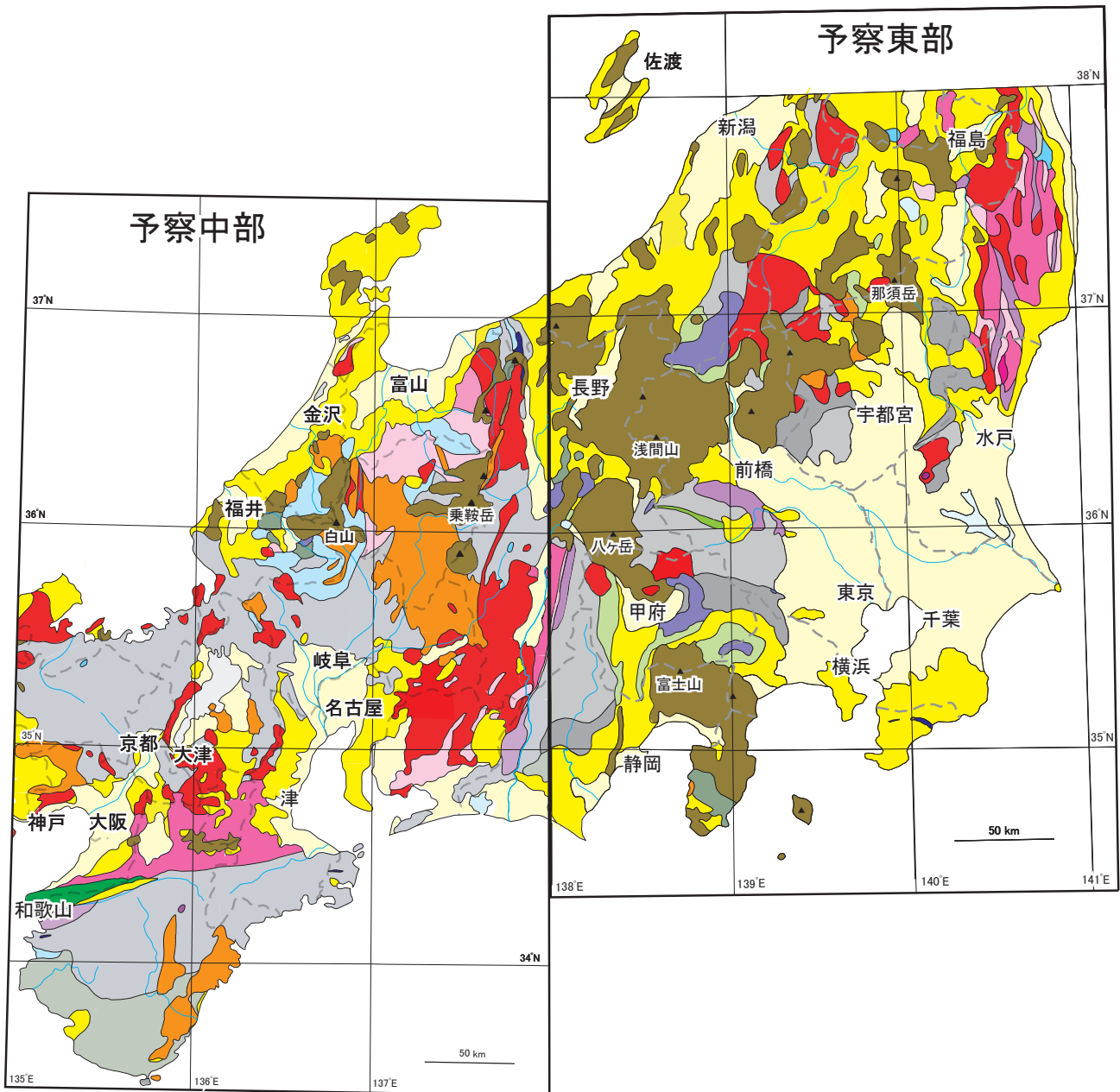


第2図 予察西部地質図と予察西南部地質図の合成による西日本地質概略図。

予察西部地質図（巨智部ほか，1894）は，1886年～1888年の^{こちべただつね}巨智部忠承・小藤文次郎・奈佐忠行・大塚専一・鈴木敏・西山正吾・山下傳吉・中島謙造の調査により，また予察西南部地質図（巨智部ほか，1895）は1888年～1890年の巨智部忠承・山下傳吉・中島謙造・奈佐忠行・鈴木敏・^{やまがみ}山上萬次郎の調査によって，それぞれ作成された。当時地質局長であった原田豊吉も初めは監修者としてこれらに加わっていたが，その後原田は病気で退職（1894年死亡）したので，著者名から除かれている。

両地質図は接合部でもよくつながっており，西日本の基本的な地質構造をよく表している。とくに，中国・北九州地方（内帯）における火成岩類の錯綜した分布状態と，四国・南九州（外帯）における結晶片岩・堆積岩の見事な帯状配列が対照的である。島根半島・対馬・五島列島の「中生層」はその後第三系に改められている。

本図は京都大学電子図書館貴重画像近代教育掛図0503「予察西南中国地質図」および同0509「予察西南部地質図」を基に作成した。



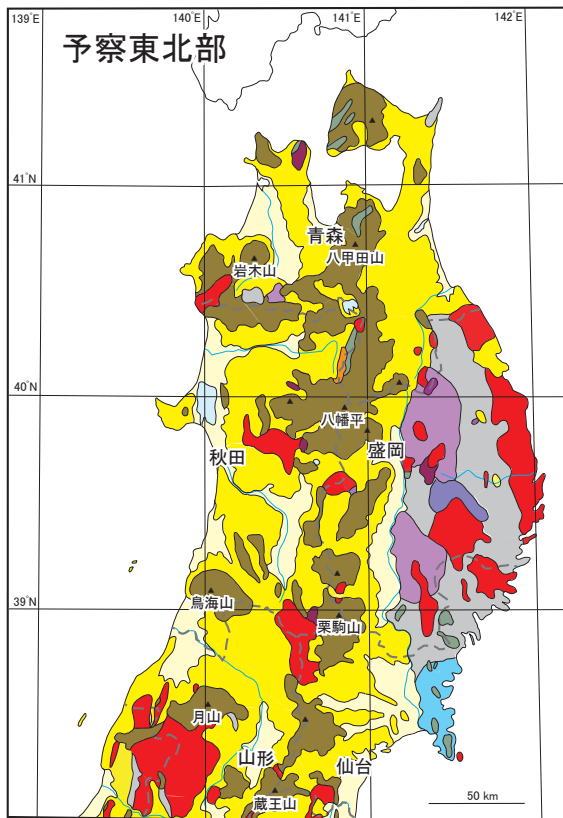
第3図 予察東部地質図と予察中部地質図の合成による中央日本概略地質図。

予察東部地質図（原田ほか，1887）は，1882年～1884年の巨智部忠承・山下傳吉・横山又次郎・中島謙造・山田 皓^{あきら}・鈴木敏・坂 市太郎・西山正吾の調査，原田豊吉の監修によって出版された。また予察中部地質図（原田ほか，1890）は，1885年～1887年の巨智部忠承・中島謙造・鈴木 敏・山下傳吉・三浦宗次郎・大塚専一・坂 市太郎・西山正吾の調査，原田豊吉の監修によって出版された。

両地質図は接合部で一部食い違うところもあるが，西日本に見られる帯状配列がフォッサマグナ地域で大きく「八」の字状に屈曲する様子がよく示されている。ただし，原田（1888）が関東地方北部の「秩父古生層」・「小仏古生層」を外帯のメンバーとしたのに対して，Naumann（1893）はそれらを内帯のメンバーであると主張しており，内・外帯を境する中央構造線の位置も両者間で大きく異なっていた。

赤石山脈南方の「小仏古生層」・「三倉層」や紀伊半島南西部の「三倉層」の分布は，現今の四万十帯南帯にほぼ相当する。飛騨山地の「ジュラ系」は大部分下部白亜系からなる。「斑岩」（Porphyry）の主体は流紋岩質の溶結凝灰岩であることが解明されており，その地質時代は内帯のものは白亜紀～古第三紀，外帯のものは新第三紀である（第2図も同様）。

本図は京都大学電子図書館貴重画像近代教育掛図0502「予察東部地質図」および同0508「予察中部地質図」を基に作成した。



文献

- 地質調査所 (1899) 100万分の1大日本帝国地質図. 農商務省地質調査所.
- 原田豊吉 (1888) 日本地質構造論. 地質要報, 明治21年, no. 4, 309-355.
- 原田豊吉・巨智部忠承・山下傳吉・横山又次郎・中島謙造・山田 皓・鈴木 敏・坂 市太郎・西山正吾 (1887) 大日本帝国予察東部地質図. 農商務省地質局.
- 原田豊吉・巨智部忠承・中島謙造・鈴木 敏・山下傳吉・三浦宗次郎・大塚専一・坂 市太郎・西山正吾 (1890) 大日本帝国予察中部地質図. 農商務省地質調査所.
- 巨智部忠承・小藤文次郎・奈佐忠行・大塚専一・鈴木 敏・西山正吾・山下傳吉・中島謙造 (1894) 大日本帝国予察西部地質図. 農商務省地質調査所.
- 巨智部忠承・山下傳吉・中島謙造・奈佐忠行・鈴木 敏・山上萬次郎 (1895) 大日本帝国予察西南部地質図. 農商務省地質調査所.
- 巨智部忠承・菊池 安・井上禧之助・山下傳吉・三浦宗次郎・伊木常誠・中島謙造・大塚専一・佐川栄次郎・鈴木 敏・小川琢治・金原信泰 (1902) 大日本帝国予察東北部地質図 (訂正). 農商務省地質調査所.
- ライマン, B. S. (1876) 日本蝦夷地質要略之図. 北海道開拓使.
- Naumann, E. (1893) Die Fossa Magna. Neue Beiträge zur Geologie und Geographie Japans, II. Ergänzungsheft No.

第4図 予察東北部地質概略図.

本地質図 (ナウマンほか, 1886) は, 地質調査所の技師長であったE. ナウマンが助手の富士谷孝雄・坂 市太郎・西山正吾・山田 皓とともに1881年~1882年の調査に基づいて作成したものである. 予察地質図の第1号として, 日本の地質系統の大局的な時代区分を行い, 後続する予察地質図の大枠を決定した. 本図では結晶片岩が北上山地の北部および南部に広く分布するように描かれているが, 後にこれらの分布は取り消される (巨智部ほか, 1902). 中生層は, 当時三畳系が発見されていたのみであったが, その後牡鹿半島にジュラ系が, また三陸海岸およびその内陸部に白亜系が発見された.

本地質図によって, 東北地方の東半部がおもに中・古生層と花崗岩から, 西半部がおもに第三系と火山岩からなることが明確となり, 後にそれは東北日本弧の二重弧構造 (非火山性外弧と火山性内弧) を意味することが判明する. 本図は京都大学電子図書館貴重画像近代教育掛図0501「予察東北部地質図」を基に作成した.

- 108 zu *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 16-36.
- 山下 昇 (1996) : フォッサマグナ. 日本地質の探求—ナウマン論文集—. 東海大学出版会, 東京, 331-354.
- ナウマン, E. ・富士谷孝雄・山田 皓・坂 市太郎・西山正吾 (1886) 大日本帝国予察東北部地質図. 農商務省地質局.
- 山田直利 (2008) ナウマンの「予察東北部地質図」—予察地質図の紹介 その1—. 地質ニュース, no. 652, 31-40.
- 山田直利 (2009) 原田豊吉編「予察東部地質図」—予察地質図の紹介 その2—. 地質ニュース, no. 660, 32-47.
- 山田直利 (2010) 原田豊吉編「予察中部地質図」—予察地質図の紹介 その3—. 地質ニュース, no. 668, 15-28.
- 山田直利 (2011) 巨智部忠承ほか7名の「予察西部地質図」—予察地質図の紹介 その4—. 地質ニュース, no. 679, 8-22.
- 山田直利 (2012) 最古の九州 - 西中国地方地質図—「大日本帝国予察西南部地質図」 (巨智部ほか, 1895) の紹介—. GSI地質ニュース, 1, 40-57.

謝辞: 本口絵で利用した京都大学電子図書館貴重画像近代教育掛図はいずれも京都大学人間・環境学研究科総合人間学部図書館の所蔵資料である. 同資料を利用することを許可された京都大学大学院人間・環境学研究科の富田恭彦科長に厚くお礼申し上げる. また貴重資料の閲覧に関してお世話になった産総研地質調査情報センター地質・衛星情報アーカイブ室の菅原義明・中沢都子の両氏に謝意を表す.

巨大地震・津波災害に伴う 複合地質リスク評価プロジェクトの概要 —東日本大震災への総合地質学的対応—

地質分野研究企画室¹⁾

1. はじめに

2011（平成23）年3月11日午後2時47分、産業技術総合研究所（産総研）つくばセンター本部情報棟9階にある研究企画室では、最初の小さな揺れが徐々に揺れを増大し、それと共に皆、次第に不安になり、腰をかかめて揺れの収まるのをただ待ちました。机の上のパソコンやディスプレイは全て床に投げ出され、壁に固定した書架からは書類のファイルが放り出されました。9階から見える遠方の筑波山からは土埃が湧き上がっており、一体どこで、どれくらいの規模の地震が発生したのか、ただただ気になりました。

産総研地質分野では、このような大きな地質に関わる災害（地質災害）が発生した際は緊急調査対策本部（以下、対策本部）を設置し、緊急現地調査の組織的で迅速な実施と、調査実施に関わる安全管理と関連する地質情報の収集を行い、地質調査総合センターとして一元的に情報発信を行うことを業務としております。今回も、即座に対策本部設置を宣言しました。2010（平成22）年度は既に2011（平成23）年1月に発生した霧島山新燃岳噴火に対応した対策本部を設置しており、2010（平成22）年度2つ目の対策本部設置となりました。

しかし対策本部を設置しても、産総研つくばセンター自体が被災しており、全館が停電となったため通常の情報発信が困難でした。この状況の中で非常用電源で稼働しているウェブサーバーを利用して、産総研が実施してきた西暦869年貞観地震の津波堆積物調査に基づく津波や地震の規模の推定に関する研究等の既存情報を、何とか配信することができました。緊急現地調査としては、津波堆積物調査を千葉・茨城・宮城県で、活断層調査を茨城・福島県境付近および長野県北部で、地盤液状化による被害調査を茨城県内で、さらに温泉異常湧出の調査を福島県浜通りで実施しました（地質分野研究企画室、2011）。

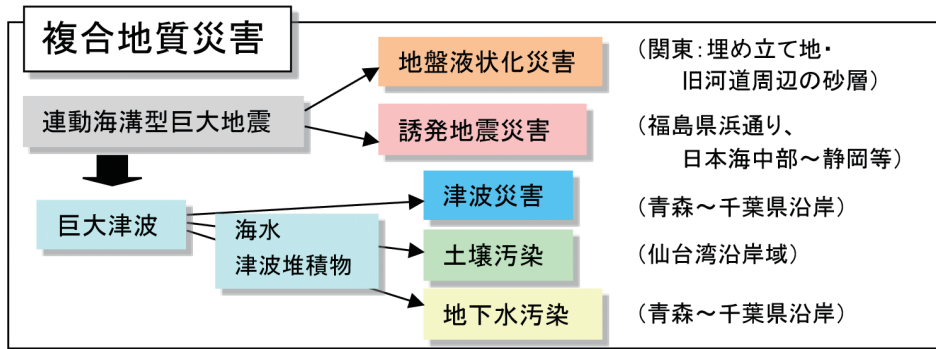
今回の東北地方太平洋沖地震は、太平洋プレートと北米プレートの境界である日本海溝で発生した連動海溝型巨大地震で、地震の規模はマグニチュード9.0、国内観測史上最大で、東北・関東8県で震度6以上の強い揺れを生じました。この地震により大規模な津波が発生し、東北から関東の太平洋側の沿岸域に甚大な被害をもたらしました。また、地震の揺れは、関東地方の平野部や埋め立て地に大規模な地盤液状化を発生させ、加えて、福島県沿岸部や各地で、巨大地震に誘発された内陸性の地震が多発しました。また福島第一原発事故後の放射性物質による土壤汚染、津波により沿岸部に押し上げられた津波堆積物に起因した土壤・地下水への塩害、ヒ素、重金属による汚染等が懸念されています。

以上のような東日本大震災の一連の災害は、いずれも地質と深い関連があり、複数の災害が関連して発生した複合災害^(註1)と見なされます。国は「東日本大震災からの復興の基本方針」（平成23年7月29日東日本大震災復興対策本部決定）の中で、被災地の復興に際して、減災^(註2)の考え方に基づいた災害に強い地域づくりの推進や、地質や地殻変動等の複合的な調査により地震・津波災害のリスクを評価した高度な地震・津波予測の実施等を謳っています。被災地での復旧・復興に関して、減災を考慮した街づくりのためにも、各種地質調査に基づく情報の整備と、その活用を目指した情報の発信を行うことが必要です。加えて、東海・東南海・南海地震等の将来予想される地震に備えて、地質災害評価の基礎となる地質情報の整備とその効果的な発信・活用も欠かせません。

本特集号では、東日本大震災に対応した2011（平成23）年度第三次補正予算で実施する複合地質リスク評価プロジェクトについて、それぞれの調査・研究内容の概要を説明します。産総研地質分野は、1882年の地質調査所設立以来、一貫して地質の調査に取り組んでおり、知的基盤としての地質情報の整備と、その活用研究や調査に関わ

1) 産総研 地質分野研究企画室

キーワード：複合地質リスク、津波災害、地震災害、地盤液状化、土壤汚染、地下水汚染



第1図 東日本大震災における複合地質災害。

る基盤技術の研究開発を継続して実施し、現在は地質調査総合センターとしてこれら情報や技術を社会に発信している国内唯一の地質に関わる総合研究機関です。上記のような複合的な地質災害に対処するには、地質調査に関する総合力が要求され、産総研地質分野がこれまでの実績を踏まえ、総動員で取り組むべき課題であると考えております。

2. 複合地質リスク評価プロジェクト

第1図に、東日本大震災における複合地質災害の関係を簡略して示します。連動海溝型巨大地震であった東北地方太平洋沖地震による揺れのために、関東地域の平野部各地の埋立地や旧河道の砂地盤で液状化が多発しました。液状化は緩い砂質地盤で、かつ地下水の水位が浅い場所で発生します。さらに、埋没谷のような強い揺れが集中するような場所では発生しやすくなります。関東地域のそのような場所と今回の液状化地点との関連を調査することが重要です。

また、巨大地震により日本列島の応力状態が変化を受けて、これまで活動度が低いと思われていた各地の断層で誘発地震が多発しました。特に福島県浜通りでは群発的な地震活動が継続しております。このような活発化した内陸の地震活動に対応して、活断層のより詳細な調査と地震リスク評価が望まれます。

連動海溝型巨大地震に伴い、最高潮位 9.3m、遡上高は国内史上最大の 40.5m にも及ぶ大規模な津波が発生し、東北から関東にかけての沿岸域を広範囲に襲いました（東日本大震災復興構想会議，2011）。産総研では、津波堆積物の調査に基づいて貞観津波の浸水範囲を予測していましたが、その成果が公表されて間が無かったため、十分に活用されませんでした。本予測手法をさらに広域的に適用し、今後の発生が想定される東北地方太平洋沖地震の震源域周

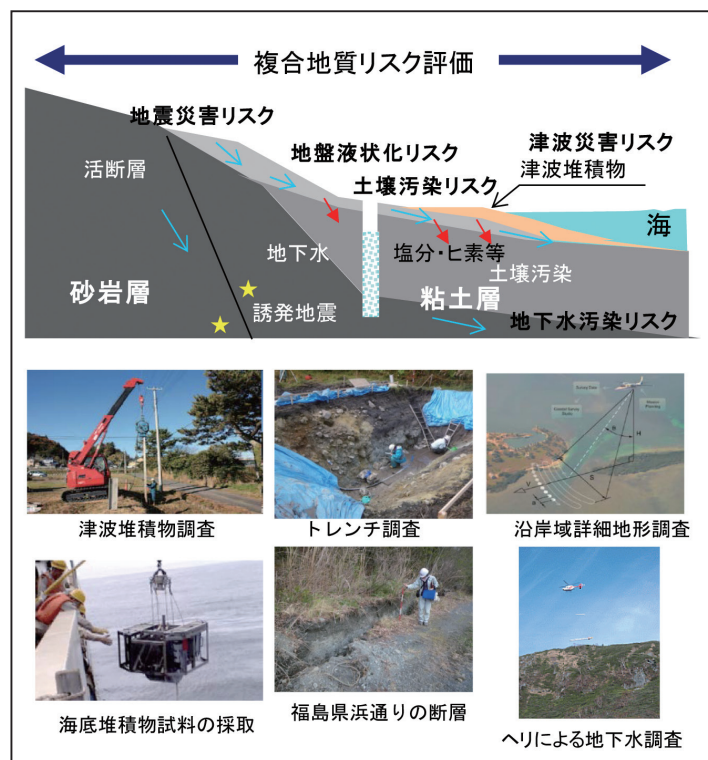
辺や、東海・東南海・南海地震の震源域においても津波堆積物調査等を実施することが必要です。

東日本沿岸には膨大な津波堆積物と震災瓦礫が押し寄せ、被災地復興の障害になっています。泥を含む津波堆積物にはヒ素や鉛などの重金属類を多く含有するものがあり、汚染状況の十分な把握が必要です。産総研は、宮城県地域を対象に表層土壌評価基本図（原ほか，2008）を出版しており、それとの比較により汚染状況を把握することが可能です。加えて、浸水被害により仙台平野南部では深刻な地下水の塩水化の問題が発生しています。特に、浅い帯水層が塩水化してしまったため農業用に使用できなくなり、新たな深井戸掘削による深層地下水の開発が検討されはじめ（森ほか，2012）、浅層地下水の塩水化と深層帯水層の分布の把握が望まれています。

これら、今後の防災・減災に資する地震災害リスク、津波災害リスクや地盤液状化リスクの評価、そして被災地の復旧・復興事業推進に資する土壌汚染リスク、地下水汚染リスクの評価を実施し、分かりやすく利用しやすい形で情報発信することが、複合地質リスク評価プロジェクトの使命です（第2図）。本プロジェクトには産総研地質分野の多くの研究者が従事し、各リスク調査・評価の進捗状況の共有を図り、プロジェクト全体の方向性を常に再確認しながら推進しております。

3. おわりに

東日本大震災により、地質の調査に基づく防災・減災対策の計画立案や見直し、復旧・復興事業への地質情報の貢献が期待されるようになりました。本特集号では対象としませんでしたでしたが、福島第一原発での事故に伴い、再生可能エネルギーへの関心が集まり、産総研地質分野で継続している地熱や地中熱利用の研究についても期待が高まりつつ



第2図 複合地質リスク評価プロジェクトにおける各種調査の概念図。

あります。複合地質リスク評価プロジェクトでは、これまでの産総研地質分野で実施してきた調査・研究を集中的に加速される課題や、復旧・復興のために、これまでの研究成果や調査手法を、被災地を対象に急遽適用するものから構成されています。本プロジェクトでは、各課題のリスク評価の基礎となるデータベースやマップの作成・公開、またそれらに基づくリスク評価を成果として計画しております。多岐にわたることが予想される本プロジェクトの成果について、一般の方から、各地域の自治体の担当者あるいは専門家等の幅広いユーザーを対象に、成果の早期の利活用を常に念頭において情報配信を心掛けます。今回の震災を踏まえ、我々の目では見ることのできない地下の地質に関わる調査と研究の重要さと、その社会的責任を改めて痛感し、本プロジェクトを推進して行く所存であります。

あとがき

本報告は、光畑裕司前地質分野研究企画室長（現 地圏資源環境研究部門 副部門長）が原案を執筆し、伊藤順一現地質分野研究企画室長が確認したものです。

注1 ほぼ同時に、あるいは時間差をもって発生する複数の災害。この場合、お互いが関連することで被害が拡大する傾向がある（東日本大震災復興構想会議, 2011）。

注2 自然災害に対し、被害を完全に封じるのではなく、その最小化を主眼とすること（東日本大震災復興構想会議, 2011）。

文献

- 地質分野研究企画室（2011）「平成23年東北地方太平洋沖地震」緊急調査対応本部の設置。GSJニュースレター, no. 79, 1-2.
- 原 淳子・川辺能成・駒井 武・井本由香利・杉田 創（2008）表層土壌評価基本図 ～宮城県地域～. 数値地質図 E-3, 地質調査総合センター.
- 東日本大震災復興構想会議（2011）復興への提言 ～悲惨のなかの希望～. 東日本大震災復興対策本部事務局, 東京, 74p., <http://www.cas.go.jp/jp/fukkou/pdf/fukkouhenoteigen.pdf> (2012/04/20 確認)
- 森 一司・高橋朋佑・岡庭信幸・柴崎直明・大内拓也（2012）2011年東北地方太平洋沖地震による仙台平野南部地域での地下水環境変化について. 地下水学会誌, 54, no. 1, 11-23.

Research Planning Office of Geological Survey and Applied Geoscience (2012) Evaluation of multiple geological risk for giant earthquakes and tsunamis, — comprehensive geological approaches for the Great East Japan Earthquake—.

（受付：2012年4月27日）

地質学的調査に基づいた過去の津波の解明

岡村行信¹⁾

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震によって発生した巨大津波は、十分な備えがなかった東日本の太平洋沿岸域を襲い、破壊し尽くした。この巨大津波の規模を正確に予測し、十分な対策を講じることは困難であったが、巨大津波の想定がほとんどされていなかった仙台湾沿岸域や福島県沿岸域にも、過去には巨大津波が繰り返し襲っていたことが地層の中に記録されていた（第1図）。2004年から仙台平野とその周辺で実施した津波堆積物の詳細な調査によって、津波堆積物が現在の海岸線から3～4km内陸まで分布し、450～800年間隔で巨大津波が発生していたこと、その地震規模はマグニチュード8.4以上であることが明らかになっていた（穴倉ほか、2010；第2図）。しかしながら、その研究成果を地域に広く周知する前に、東北地方太平洋沖地震が発生してしまい、津波減災に活かすことはできなかった。このことを事前に周知できていれば、被害を軽減できた可能性は高い。

一方で同地震後には、津波堆積物は過去の巨大津波が残

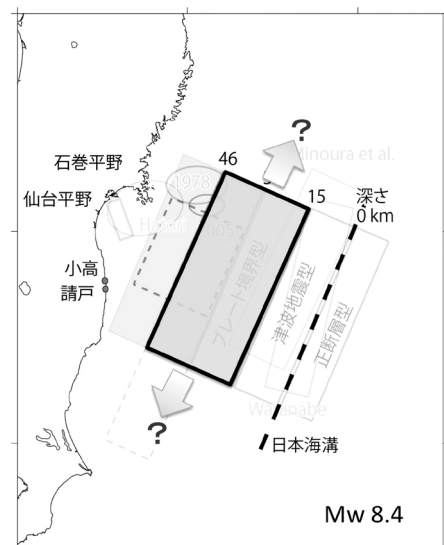
した自然からの警告であるという認識が広まり、将来の巨大津波の想定のための津波堆積物調査への期待が高まった。自然が残した警告を探り出し、過去の津波を再現することによって、津波に対する備えを充実させることができると期待される。日本列島は海洋プレートが沈み込むことによって形成された変動帯に位置し、東北地方太平洋沿岸以外の地域も津波被害を繰り返し受けてきた（第3図）。今後、どの地域がどのくらいの規模の津波に襲われる可能性があるのかについて、過去の津波が残した警告（津波堆積物）から解明するための調査研究を紹介する。

2. 今までの津波堆積物調査

産総研は北海道から四国までの太平洋沿岸域を中心に、津波堆積物の調査を過去10年以上にわたって広範囲で実施してきた。最初に成果が上がったのは北海道の太平洋沿岸域における津波堆積物調査である。この沿岸域は数十～百年間隔でマグニチュード8前後の十勝沖地震や根室沖地震が発生し、津波による被害も受けてきたが、その規模



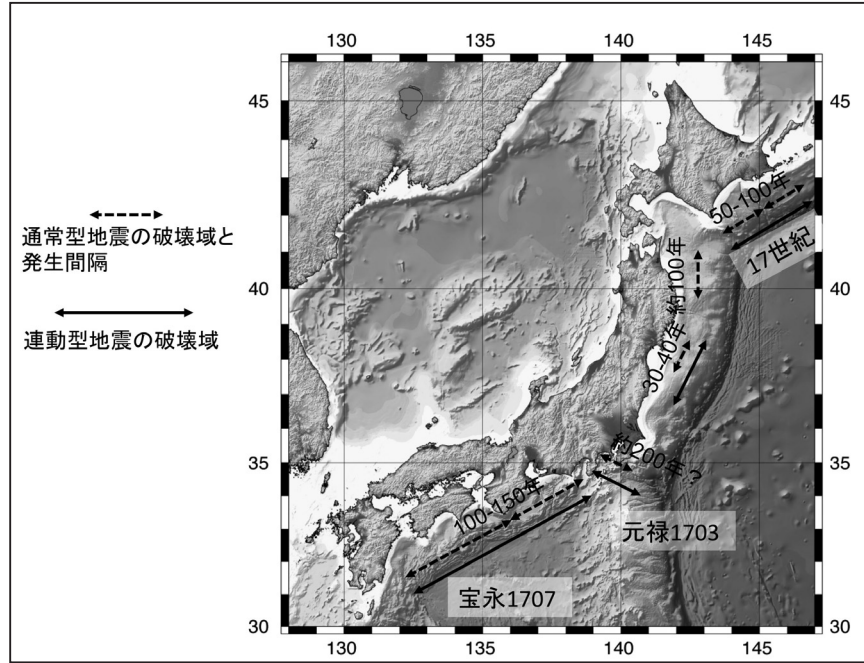
第1図 仙台平野における津波堆積物調査。



第2図 津波堆積物調査に基づいて復元した西暦869年貞観地震の津波波源モデル。

1) 産総研 活断層・地震研究センター

キーワード：津波、海溝型地震、津波堆積物、日本海溝、南海トラフ、地殻変動、千島海溝



第3図 日本周辺海域で発生する海溝型地震と発生間隔。

はそれほど大きいものではなかった。一方で、沿岸平野には海岸から数 km 内陸まで津波堆積物が分布しており、歴史上知られている津波よりは規模の相当大的な津波が沿岸域を襲ったことが明らかにされた (Nanayama *et al.*, 2003)。このような津波堆積物調査に基づいて、千島海溝ではマグニチュード 8.5 程度の地震が平均して約 500 年間で発生し、沿岸域に押し寄せていたことが推定された。このような地震は数十～百年間隔で発生する通常型海溝型地震が複数同時に発生する連動型地震と呼ばれた。千島海溝で連動型地震が発生して巨大津波が発生する可能性があるという研究成果は、国の津波評価にも採用されている (中央防災会議, 2006)。

南海トラフ沿いでも静岡県、三重県、和歌山県などで津波堆積物や津波を見出し、その年代を明らかにしてきた。さらに、大学等でも同じ沿岸域で津波堆積物の調査が行われ、過去に規模の大きな津波が襲ったことがわかってきている。しかしながら、南海トラフ沿いの沿岸域では、過去の津波規模を精度よく推定できるだけのデータは十分には集まっていない。

巨大地震が発生すると、沿岸域で広域的に地殻変動が発生することがある。海岸が隆起すると海岸段丘が形成される。過去の海溝型地震によって形成された海岸段丘は、たとえば房総半島南部で発達していることが古くから知られている (穴倉, 2003)。一方で、地震時に発生した地殻変動がその後の地震間の地殻変動で打ち消されて、地形的な

特徴として残らない可能性もある。そのような場合でも、地殻変動による隆起沈降が地層中の化石に環境の変化として記録されることがある。

このように、これまで沿岸での様々な古地震調査によって海溝型地震が地形や地層中に記録されていることが明らかになっており、それらを組織的に、できるだけ精度よく調査し、解析することによって、今後さらに過去の地震及び津波の推定精度を向上させることができると期待される。

3. 今後の調査

巨大地震が発生すると、その隣接する地域で地震が発生する可能性が高まることは、2004 年スマトラ沖地震でも観察された。現在、2011 年東北地方太平洋沖地震震源域の北側に当たる北部三陸沖から下北半島沖、及び南側の茨城県沖から千葉県東方沖で大地震が発生しやすい状況にあると考えられる。また、西南日本の静岡県から四国沖では今までに繰り返し巨大地震が発生してきたことが明らかになっており、過去の地震発生履歴から、近い将来の地震発生が懸念されている (地震調査研究推進本部, 2001, 2012)。

3.1 下北半島

下北半島では、津波堆積物が存在することが報告されて

いるが（平川，2012など），現在までに明らかになっている情報は不十分であるため，地震の規模や発生間隔，将来の危険性を予測することは困難である．また，下北半島は三陸沖と千島海溝で発生する津波の影響を受けると考えられることから，下北半島沖で発生した津波か，三陸沖或いは千島海溝で発生した津波かを識別する必要があるが，津波堆積物そのものからは津波の波源域を特定することはできない．波源を特定するためには，東北地方北部から北海道の太平洋沿岸域に分布する津波堆積物を広域的に調査し，それらの年代を精度よく決定して対比の信頼性を高める以外に方法はないと考えられる．

3. 2 茨城県から房総半島

茨城県から房総半島の津波堆積物についても情報は少ない．歴史記録として1677年延宝地震と1703年元禄地震による津波などが知られ，過去には規模の大きな津波が襲ったことは間違いない．津波堆積物調査が進んでいない理由は，この地域が全体として隆起しているため，津波堆積物が残りやすい自然条件にないことや，人工改変が進んでいるためである．一方で，巨大地震に伴う地殻変動で海岸が隆起し，段丘が発達することが知られており，津波堆積物だけでなく，地形的な調査も含めて過去の巨大地震の実態を解明して行く必要がある．津波堆積物が残されている場所を根気よく探すとともに，地震に伴う地殻変動に関する調査も組み合わせて，過去の巨大地震・津波を解明して行く予定である．

3. 3 南海トラフ

南海トラフ沿いの巨大地震については歴史記録が豊富に残っている．それによると，1361年正平地震以降の地震発生間隔は，90～150年である．特に江戸時代以降に，1605年慶長地震，1707年宝永地震，1854年安政地震，1944年昭和東南海地震，1946年昭和南海地震が発生しており，信頼性の高い歴史資料が多く残されている．それらに基づくと，多くの場合，紀伊半島の東側と西側に分かれて2つの地震が発生する．ところが，1707年宝永地震は静岡県から四国沖までが一度に破壊した地震であると考えられており，地震及び津波の規模は最も大きかったと言われている．従来はこれらの歴史資料に基づいて，将来発生し得る過去最大規模の地震と津波が想定されてきた（中央防災会議，2003）．さらに，2012年3月にはその想定を大きく上回る新たな想定が公表されている（南海トラフの巨大地震モデル検討会，2012）．

一方，津波堆積物の情報はそれほど揃っているとは言えない（小松原ほか，2006）．それでも静岡県から四国まで，沿岸域の各地で津波堆積物が報告されている．それらの年代を測定すると，津波堆積物は300～500年程度か，それ以上の間隔で形成されている．歴史記録に残されている南海トラフの地震発生間隔より長いことが多くの津波堆積物に共通した特徴で，このことから，数回に1回の割合で，より規模の大きい津波が発生しており，それによって津波堆積物が残されると考えられる．従って，津波堆積物を詳しく調べることによって，過去3000年程度の期間の最大津波規模を推定できる可能性がある．

具体的には，静岡県では掛川市から浜名湖周辺で津波堆積物を見つけているが，それらの分布域における堆積環境を明らかにするための調査を実施する．また，伊豆半島西岸及び沼津市から富士市でも津波堆積物調査を実施する．志摩半島では今までに複数枚の津波堆積物を見つけているが，紀伊半島でも潮岬に近い橋杭岩周辺に散在する巨礫が巨大津波発生時のみに移動している可能性があり，その年代や津波規模を推定する調査と解析を実施する予定である．

3. 4 地形測量

津波堆積物から実際に発生した津波規模を推定するためには，津波シミュレーションが欠かせない．シミュレーションの信頼性を高めるために精度の高い地形データを必要とする．地形データについては航空機に搭載したレーザーを用いた測量装置が広く使われるようになり，沿岸域のデータも整備されつつある．それらの既存データを最大限活用することはもちろんであるが，沿岸域の中には現在でも航空機レーザー測量が十分に実施されていないところもある．さらに，多くの測量は陸上のみで，精度の高い海底地形データは不十分である．このため，海底地形までレーザー測量可能な装置を用いた地形測量を，津波堆積物の調査地域周辺で実施する計画である．

4. 終わりに

以上の調査によって，新たに，津波堆積物や過去の巨大地震に伴う地殻変動を解析するための基礎的な地質や地形のデータが多く得られることが期待される．これらの解析には時間がかかる可能性が高いが，一方で，巨大津波に対する不安は今後も収まることはないと考えられ，迅速な研究成果の公開が求められていることも留意する必要がある．

る。科学的な信頼性を維持しつつ、できるだけ早い成果公表を進めていく予定である。

文 献

- 中央防災会議（2003）東南海，南海地震等に関する専門調査会，http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai/index_nankai.html（2012/04/10 確認）
- 中央防災会議（2006）日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会報告，<http://www.bousai.go.jp/jishin/nihonkaikou/index.html>（2012/04/10 確認）
- 平川一臣（2012）千島海溝・日本海溝の超巨大津波履歴とその意味：仮説的検討。岩波科学，**82**，no. 2.
- 地震調査研究推進本部（2001）南海トラフの地震の長期評価について，http://www.jishin.go.jp/main/chousa/01sep_nankai/index.htm（2012/04/10 確認）
- 地震調査研究推進本部（2012）今までに公表した活断層及び海溝型地震の長期評価結果一覧，http://www.jishin.go.jp/main/p_hyoka02_chouki.htm（2012/04/10 確認）
- 小松原純子・藤原 治・鎌滝孝信（2006）南海・駿河及び相模トラフ沿岸域における津波堆積物。歴史地震，no. 21，93-109.
- Nanayama, F., Satake, K., Furukawa, R., Shimokawa, K., Atwater, B. F., Shigeno, K. and Yamaki, S. (2003), Unusually large earthquakes inferred from tsunami deposits along the Kuril trench. *Nature*, **424**, 660-663, doi:10.1038/nature01864.
- 南海トラフの巨大地震モデル検討会（2012）南海トラフの巨大地震による震度分布・津波高について（第一次報告），http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai_trough/15/index.html（2012/04/10 確認）
- 穴倉正展（2003）変動地形からみた相模トラフにおけるプレート間地震サイクル。地震研究所彙報，**78**，245-254.
- 穴倉正展・澤井祐紀・行谷佑一・岡村行信（2010）平安の人々が見た巨大津波を再現する－西暦869年貞観津波－。AFERCニュース，no.16（2010年8月号），1-10.

OKAMURA Yukinobu (2012) Study of ancient tsunamis based on geological study.

（受付：2012年4月24日）

2011年東北地方太平洋沖地震で誘発された 内陸地震活動の現状と地震災害リスク評価 のための調査研究プロジェクトの紹介

桑原保人¹⁾

1. はじめに

2011年3月11日のマグニチュード(M)9.0の東北地方太平洋沖地震後、主に東日本の内陸各地で地震活動が活発になり、2012年4月の現在でも活発な状態が続いています。このように、大きな地震の後に震源域から離れた場所で活発化する地震活動は、「広義の余震」あるいは「誘発地震」と呼ばれています。なお、誘発地震という言葉は、宇津(1984)の教科書によれば、例えば井戸への水の注入や、ダムの貯水等、人為的な影響によって誘発される地震に対して定義されていたものですが、最近では大きな地震の後に震源域から離れた場所で誘発される地震に対しても使われているようです(例えば、地震予知連絡会, 2011)。またインターネット検索からもわかるように、マスコミ等の報道でも誘発地震という言葉が広く使われている状況であると思われるため、ここでも誘発地震という言葉を用いることにします。今回のM9.0の地震の場合、この地震の後約1ヶ月以内に発生したM6よりも大きな内陸の誘発地震としては、2011年3月12日長野県北部(M6.7)、3月15日静岡県東部(M6.4)、3月19日茨城県北部(M6.1)、3月23日福島県浜通り(M6.0)、4月11日福島県浜通り(M7.0)、4月12日福島県浜通り(M6.4)があります。本小文では、まず内陸の誘発地震の活動の現状について述べ、次に今後の内陸地震の災害リスク評価のための産総研補正予算プロジェクトについて紹介します。

2. 内陸の誘発地震の発生状況

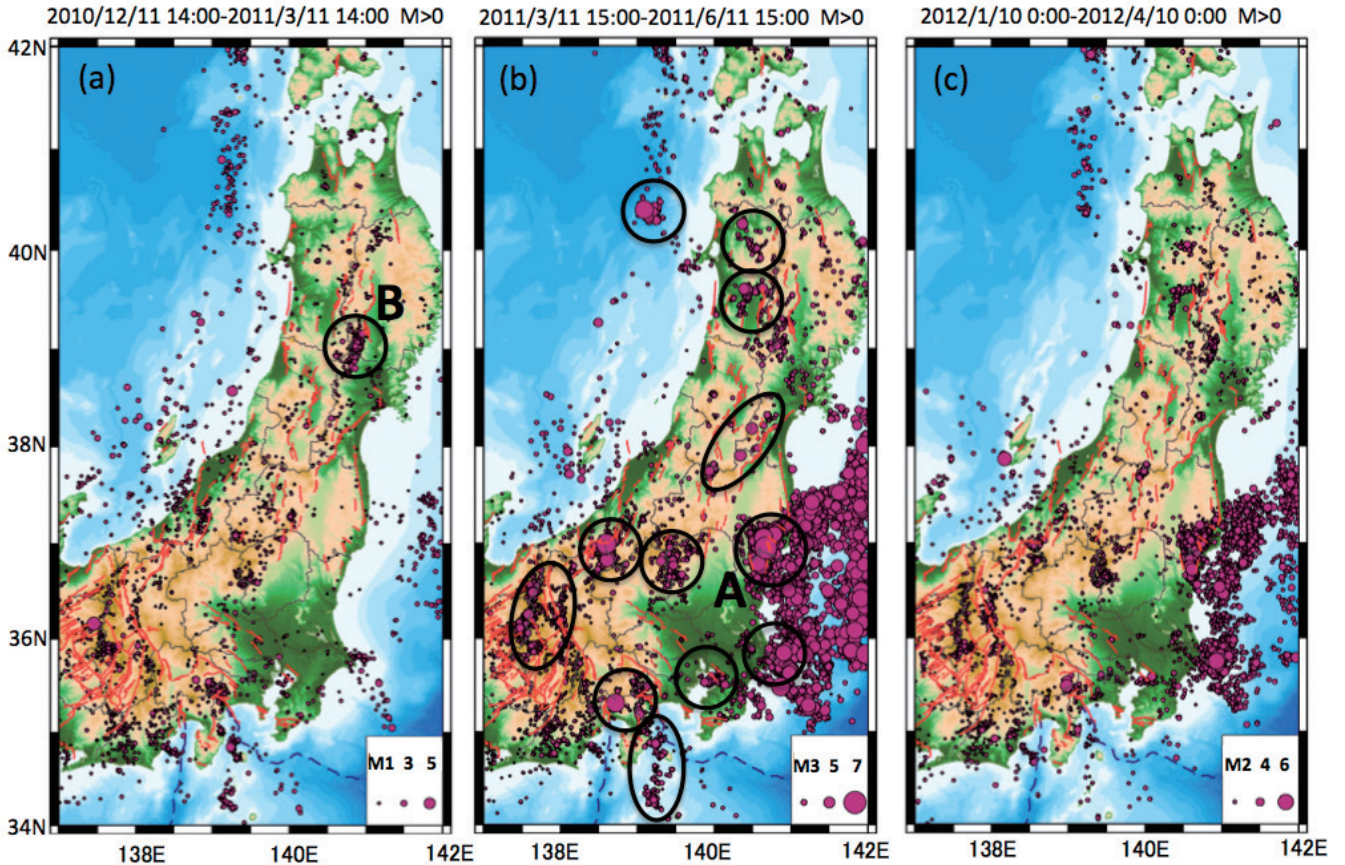
第1図は、aが地震前3ヶ月、bが地震直後3ヶ月、cが最近の3ヶ月間の東日本一帯の地震活動の様子です。ここでは気象庁の一元化震源で深さ30km以浅、Mが0以上の地震の震央をプロットしています。図bで、丸で

囲った領域は内陸で特に地震活動が活発になったところ
です。このように活発になった場所のほとんどはもともとある程度の地震活動のあったところですが、福島・茨城県境付近のAで示す領域については、地震前はあまり活動がなかった場所となっています。また、図aで2008年岩手・宮城内陸地震の余震域に相当する領域Bのように、この図ではややわかり辛いかもしれませんが、逆に活動が抑制された可能性がある場所もあります(例えば、Toda *et al.*, 2011)。以上のような地震活動の変化は、3月11日のM9.0の地震によって、内陸の地殻が東西方向に引き伸ばされ(例えば、Nishimura *et al.*, 2011)、これまで地殻にかかっていた応力が大きく変化したことが原因であると考えられています(例えば、Toda *et al.*, 2011; Okada *et al.*, 2011)。特に、茨城・福島県境付近で発生している一連の群発的な地震では、その多くがほぼ東西方向に引張り軸をもつ正断層型となっています。これは、大局的にはほぼ東西圧縮の場にある東北地方のなかで、東西張力の地震が発生しているということで非常に珍しい地震活動であると言えます(例えば、Imanishi *et al.*, 2012)。また、2011年4月11日に同領域内で発生した福島県浜通りの地震(M7.0)の時には、この領域にある活断層群の中の井戸沢断層と湯ノ岳断層沿いに正断層成分の卓越した地表地震断層が現れました(例えば、栗田ほか, 2011; 丸山ほか, 2011; Otsubo *et al.*, 2012)。この2つの断層は、活断層研究会(1991)によれば、断層運動のセンスとしては正断層成分と横ずれ成分を含み、活動度に関してはあまり高くなく、不明とされていました。この領域は図cからもわかる通り、今なお非常に活発な状態が続いています。また図cでは、千葉県銚子付近でも非常に活発な地震活動となっていることがわかり、この領域でも多くが正断層型の地震となっています。

以上のように、東日本一帯が2011年3月の超巨大地震の影響を受け、それ以前より非常に活発で特異な地震活

1) 産総研 活断層・地震研究センター

キーワード：2011年東北地方太平洋沖地震、誘発地震、広義の余震、福島県浜通りの地震、活断層、トレンチ調査、地下構造調査、詳細地形調査、平成23年度第3次補正予算



第1図 2011年東北地方太平洋沖前後と現在の、内陸部の地震の震央分布。
a: 地震前3ヶ月, b: 地震直後3ヶ月, c: 最近(2012年4月9日まで)の3ヶ月。
気象庁の一元化震源データで深さ30km以浅, Mが0以上の地震の震央をプロットしてある。
赤線は活断層を示す(第2図参照)。

動の状況が生まれています。このような状況は、例えば中禮(2002)が東北地方の過去の海溝型巨大地震と内陸の地震の関係で示したように、少なくともあと10年程度は続く可能性があります。また、地震後1年以上経った現在も本震の震源域のより深部では余効すべりが継続しており(国土地理院, 2012), この余効すべりの今後の推移と内陸への影響も予断を許さない状況と言えます。

産総研ではこのような状況を理解し、また今後の内陸の地震リスクを適切に評価することを目的に、次章で示すような調査を実施することにしました。

3. 調査の内容

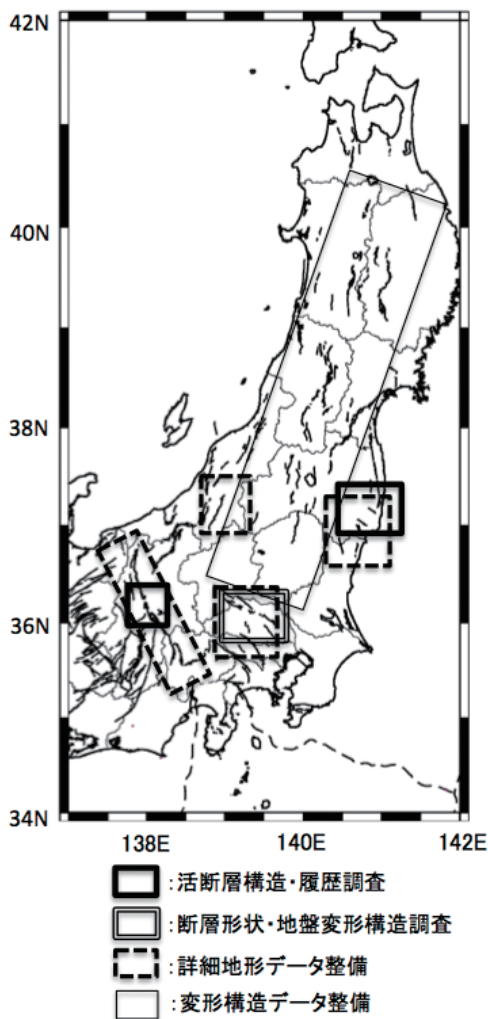
調査は、主に次の3つのテーマに分かれて実施します。

- 1) 茨城・福島県境付近の活断層の活動履歴や詳細な地下構造調査。
- 2) 関東にある、深谷・綾瀬川・立川断層の地震による地盤変形や地震動を評価するための、反射法地震波探査, ボーリング調査, 詳細地形調査。

- 3) 東日本一帯の変形構造を系統的に明らかにするための基礎データとして、3-1) 詳細地形データおよび3-2) 地層の走向・傾斜データの整備。

それぞれの調査範囲と調査内容の関係を第2図に示します。1)の調査は太い実線の四角, 2)は二重実線の四角, 3-1)は破線で示す四角, 3-2)は細い実線の四角に対応しています。またそれぞれの具体的な内容は以下のようになります。

1)に関しては、井戸沢断層あるいは塩ノ平断層(石山ほか, 2011)ではすでに東京大学地震研究所や京都大学防災研究所でトレンチ調査が行われ、現在データを解析中とのことです(例えば, 石山ほか, 2011)。また湯ノ岳断層については東京電力によって、ボーリング・トレンチ調査が実施され、後期更新世以降に活動したことが認められています(東京電力, 2011)。産総研ではこれらの調査とは別の地点あるいは別の断層でトレンチ調査等を実施し、同地域にある複数の断層群としての活動履歴の把握を行う予定です。また地下構造調査としては、井戸沢断層・湯ノ岳断層を両方カバーできるように反射法地震波探査, 重力



第2図 今回のプロジェクトでの調査内容と調査範囲の関係。

調査、電磁気探査を実施し、これらの断層群の地下での関係を把握したいと考えています。

2) では、深谷・綾瀬川断層等での反射法地震波探査・ボーリング調査・土質試験、また立川断層を含む同地域での詳細地形データ整備を行います。これにより、地震動予測に必要な地下深部の断層形状の推定、また地震が発生した場合のライフライン等被害予測に役立てるため、地表付近の地盤変形の評価を行いたいと考えています。

3) は、主に東北地方に分布する断層の地下形状や活動性を推定するための基礎的なデータを整備し、これらを可能な限り公開していくことを目的としています。このようなデータは、例えば Okamura *et al.* (2007) が示したように断層関連褶曲の概念を用いて地下深部の断層形状の推定を行うために必要なものとなります。それぞれの断層の深部形状は、地震動予測のために活用されるだけでなく、

他にも 2011 年の M9.0 の地震後に Toda *et al.* (2011) で行われたように、巨大地震発生後の内陸のそれぞれの断層への影響評価等に活用できます。これらについては、これから 1 年程度で基本的なデータを整備し、これを可能な限り公開することによって、この方面の研究を加速させたいと考えています。

4. おわりに

東北地方太平洋沖地震の後に東日本各地で活発になった地震活動は今なお活発な状態が続いており、その推移については予断を許さない状況です。一方で今回の地震は、地震計や GPS による観測がこれまでに類を見ない程高い密度で継続している中で発生したもので、地震前、地震時、地震後の地殻活動の様子が極めて詳細にわかるようになってきています。産総研では、これらのデータに加え、特に地質学的なデータ取得を進め、今後の地震災害リスクの評価に貢献したいと考えています。また、今回のプロジェクトには、産総研地質分野の活断層・地震研究センター、地質情報研究部門、地圏資源環境研究部門のそれぞれから多くの研究者が参加していることを付け加えておきます。

謝辞：震源データは気象庁の一元化震源によりました。作図は産総研活断層データベース (<http://riodb02.ibase.aist.go.jp/activefault/index.html>) の可視化システムを用いました。記して感謝いたします。

文 献

粟田泰夫・楮原京子・杉山雄一・吉岡敏和・吾妻 崇・安藤亮輔・丸山 正 (2011) 2011年4月11日福島県浜通りの地震に伴う湯ノ岳・藤原断層の地表変位ベクトル。地震予知連絡会会報, **86**, 170-171.

中禮正明 (2002) 東北日本における火山噴火および内陸地震 ($M \geq 6.2$) と三陸沖の巨大地震 ($M8$ クラス) との時間的関連性について。地学雑誌, **111**, 175-184.

Imanishi, K., Ando, R. and Kuwahara, Y.(2012) Unusual shallow normal-faulting earthquake sequence in compressional northeast Japan activated after the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, **39**, L09306, doi:10.1029/2012GL051491.

石山達也・杉戸信彦・越後智雄・佐藤比呂志 (2011)

- 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/#fukushima3 (2012/04/10 確認)
- 地震予知連絡会(2011)第190回地震予知連絡会(2011年4月26日)議事概要, <http://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/activity/190/190.html> (2012/04/10 確認)
- 活断層研究会(1991)新編日本の活断層—分布図と資料一. 東京大学出版会, 437p.
- 国土地理院(2012)東北地方の地殻変動. 地震予知連絡会会報, **87**, 101-153.
- 丸山 正・斎藤英二・吾妻 崇・谷口 薫・吉見雅行・林田拓己(2011)2011年4月11日福島県浜通りの地震に伴い井戸沢断層に沿って出現した地震断層の緊急現地調査報告, <http://unit.aist.go.jp/actfault-eq/Tohoku/report/idosawa/index.html> (2012/04/10 確認)
- Nishimura, T., Munekane, H. and Yarai, H. (2011) The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake and its aftershocks observed by GEONET. *Earth Planets Space*, **63**, 631-636.
- Okada, T., Yoshida, K., Ueki, S., Nakajima, J., Uchida, N., Matsuzawa, T., Umino, N., Hasegawa, A. and Group for the aftershock observations of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (2011) Shallow inland earthquakes in NE Japan possibly triggered by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. *Earth Planets Space*, **63**, 749-754.
- Okamura, Y., Ishiyama, T. and Yanagisawa, Y. (2007) Fault-related folds above the source fault of the 2004 Mid-Niigata Prefecture earthquake, in a fold and thrust belt caused by basin inversion along the eastern margin of the Japan Sea. *J. Geophys. Res.*, **112**, B03S08, doi:10.1029/2006JB004320.
- Otsubo, M., Shigematsu, N., Takahashi, M., Azuma, T., Imanishi, K. and Ando, R. (2011) Slickenlines on fault scarps caused by an earthquake in Iwaki-city (Fukushima Prefecture, Japan) on 11 April 2011. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **118**, no. 4, III-IV.
- Toda, S., Lin, J. and Stein, R. S. (2011) Using the 2011 Mw 9.0 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake to test the Coulomb stress triggering hypothesis and to calculate faults brought closer to failure. *Earth Planets Space*, **63**, 725-730.
- 東京電力(2011)湯ノ岳断層に関する追加調査結果の報告, 82p., http://www.tepco.co.jp/cc/press/betu11_j/images/111227b.pdf (2012/04/10 確認)
- 宇津徳治(1984)地震学第2版. 共立全書, 共立出版, 東京, 310p.
-
- KUWAHARA Yasuto(2012)Induced seismicity following the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake and a research project for evaluations of the earthquake hazards in inland areas.
-

(受付:2012年4月24日)

利根川下流地域を中心とする地盤液状化 リスク評価研究の紹介

内田利弘¹⁾・神宮司元治²⁾・横田俊之²⁾・水野清秀³⁾・小松原純子³⁾
松岡昌志⁴⁾・中島善人²⁾・上田 匠²⁾・光畑裕司²⁾

1. 全体概要

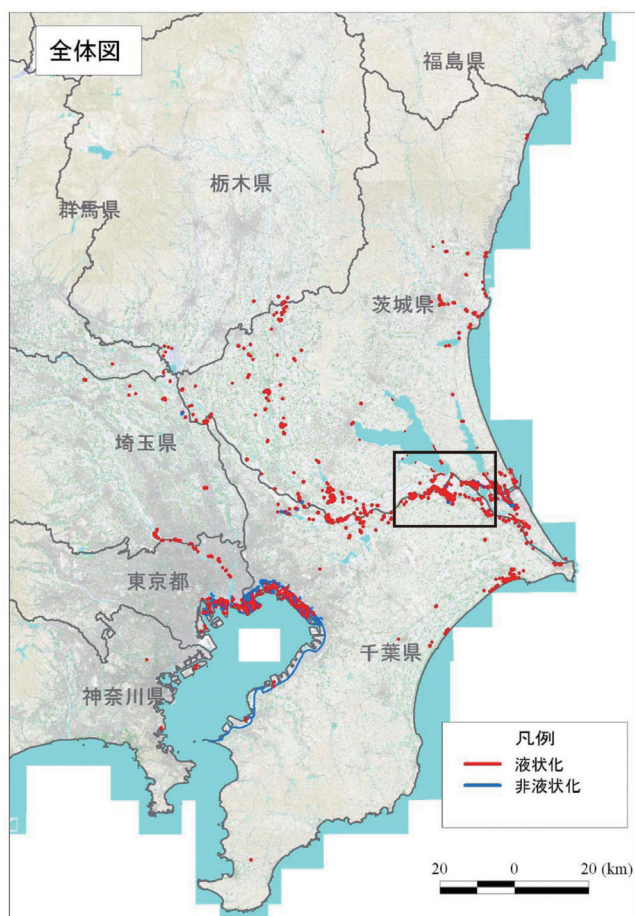
2011年3月の東北地方太平洋沖地震により各地で大規模な地盤液状化が発生した。関東地方では、東京湾の沿岸地域や河川に沿った地域などを中心に、96市町村で液状化被害が報告されている（第1図；国土交通省関東地方整備局・地盤工学会，2011）。その多くは沼地や旧河道、

沿岸部などを埋め立てた人工地盤で起こっている（第2図）。しかし過去の地震で発生した液状化地点と必ずしも同じではなく、あるいは規模が異なっていることがあり、地震動の大きさや継続時間などによって、液状化の発生状況は変わると考えられる。そのような地震動の伝わり方を理解するには、液状化した地点あるいは液状化した人工地盤だけを調べるのではなく、低地に広く分布する軟弱地盤といわれる沖積層などの正確な分布や地下構造を明らかにする必要がある。

また、液状化被害のあった地区を詳しく見ると、同様の地層が分布すると推定される地区内でも被害の程度は様々である。液状化は砂を主体とする軟らかい地層で、かつ、地下水位の浅い場所で発生することが多い。これまで、数量的に限られたボーリング調査情報などに基づいて液状化の危険度マップが作成されているが、複雑な液状化の発生状況を理解するには、個々の地点において浅部の砂層や不透水層の詳細な分布とその3次元的な形状を把握しなければならない。

産業技術総合研究所（産総研）では、2011（平成23）年度補正予算による「巨大地震・津波災害に伴う複合地質リスク評価」の研究を開始した。その中のテーマの1つとして、「地盤液状化リスク調査」がある。液状化テーマは地圏資源環境研究部門物理探査研究グループ、地質情報研究部門平野地質研究グループ、地質調査情報センターが分担して実施している。また、千葉県環境研究センターと共同研究を行っている。

本研究では、利根川下流地域（茨城県潮来市、千葉県香取市など）の液状化被災地域をテストフィールドとすることにした。地質調査研究として、既存のボーリング調査の情報収集と、独自のボーリング掘削調査を行い、液状化地域を含む範囲の3次元地層モデルの作成と堆積環境、地質特性の解明を行う。また、物理探査研究として、弾性波探査、



第1図 関東地方の液状化発生地点分布（国土交通省関東地方整備局・地盤工学会，2011）と本研究における利根川下流地域の現地調査範囲（矩形エリア）。

1) 産総研 地圏資源環境研究部門（現イノベーション推進本部）
2) 産総研 地圏資源環境研究部門
3) 産総研 地質情報研究部門
4) 産総研 地質調査情報センター

キーワード：液状化、危険度、リスク、ボーリング調査、物理探査、CPT、利根川下流域



第2図 千葉県香取市において液状化によって水路側に張り出した道路（左）と、沈下した水田（右）。

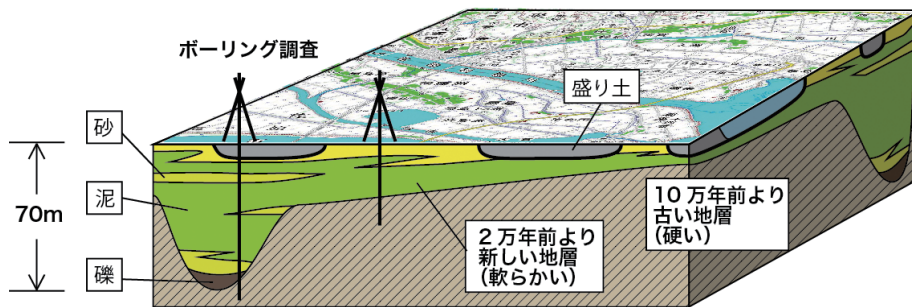
電気探査、地中レーダ等を適用して沖積層や埋立地の地下構造、道路面下の被害状況を調べる。その後、コーン貫入試験（CPT: cone penetration test）を行って、液状化層や地下水位の分布、貫入抵抗等の力学的性質のデータを取得する。これらのボーリング調査結果と物理探査データを総合的に解釈することにより、テストフィールドにおいて液状化を起こしやすい地層の分布を詳細に把握し、調査地域の液状化危険度（リスク）マップを作成する。さらに、液状化発生の危険度を求めるため、地形・地盤分類図を基に震度に応じた液状化発生確率をあらかじめ求めておき、大地震発生時の震度予測データと合わせた解析により、全国を対象に液状化危険度を即時に推定するシステムの開発を行う。

2. 地質調査

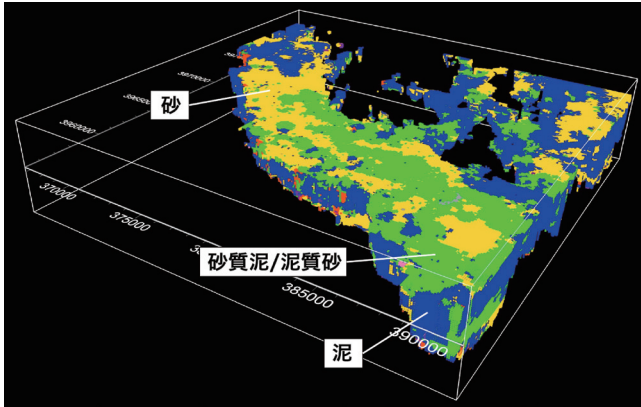
地質調査研究では、まず既存のボーリング調査資料を収集し、それらを解析して、3次元地下地質特性分布図を作成する。国や地方自治体等が所有している地質柱状図、物

理検層、標準貫入試験結果などを含むボーリングデータを収集し、XML形式による電子化を行ってデータベースとして利用できる形に整理する。資料を収集する範囲は、茨城県潮来市、稲敷市から千葉県香取市、神崎町に及ぶ利根川流域の低地を中心に設定した（第1図）。

既存ボーリングの調査地点は偏在していることが多く、あるいは必要な深度に達していない場合も多い。そのため、データが欠如している区域でのボーリング掘削や沖積層底部まで達する深い掘削を行う。利根川下流域には最終氷期（約2万年前）に刻まれた深さ50m以上の谷があり、その中を新しい軟らかい地層（沖積層）が埋めている。軟らかい沖積層は地震動を増幅させるため、地表の液状化被害分布にも影響を与えられられる。この影響を見積もるため、深さ50～60m程度のオールコアボーリング調査を4～5地点で行い、物理検層を実施し、地質試料を採取する。また、表層付近の地盤（人工地盤を含む）について深度10～20m程度のボーリングを10箇所程度で実施する。採取した地質試料については、液状化しやすい地層の堆積年代や堆積環境を把握するため、粒度分析、ラ



第3図 ボーリング調査の概念図。



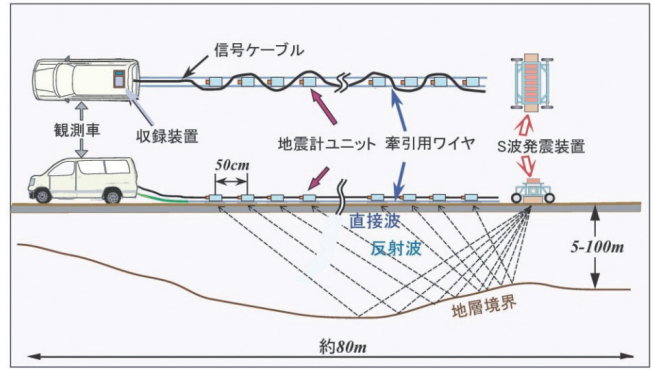
第4図 ボーリング調査データをコンパイルして作成した浅層3次元地層モデルの例。

ミナ構造分析，年代測定，化学分析，含水率計測などを行う。また，X線CT計測を行い，液状化を起こした地層の微細構造を求める。これらの新規取得データは上記データベースに追加し，最終的な成果品として液状化の起こりやすさを表現した地図を試作する（第3図，第4図）。

3. 物理探査

液状化現象は，地下に間隙水で飽和した砂層が存在し，地震動によって砂粒子間の接触が緩んで摩擦力がなくなり，砂粒子が間隙水に浮いたような流動状態になることによって発生するとされている。砂層の厚さと砂粒子径，地下水位，および，砂層の上位の不透水性地層の厚さが，液状化の発生リスクを左右する要因である。粒子サイズの比較的揃った砂が緩く堆積した地層があり，地下水位が浅く砂層が水で飽和している場所に，地震によって強い震動がかかると，液状化を起こす危険性は高くなる。さらに，沖積層の3次元形状によってはより強い震動が発生する可能性があり，液状化も発生しやすくなる。

物理探査研究では，液状化被害地域およびその周辺を対象に浅部の地下構造を求めるため，弾性波探査および電気・電磁探査を実施する。液状化を起こす地下20mまでの浅部の地層構造を調べるとともに，地表の地震動に強く関係する沖積層の堆積状況を求めることを目標とする。また，併せて液状化による路面下の空洞の発生状況や地盤の損傷を調べるため，道路沿いに地中レーダ調査を行う。続いて，CPT調査を多数の地点で実施して，深さ20m程度までの地盤の貫入強度，周面摩擦力，間隙水圧などのデータを取得し，液状化を起こす可能性を評価する。



第5図 ランドストリーマー探査の概念図。

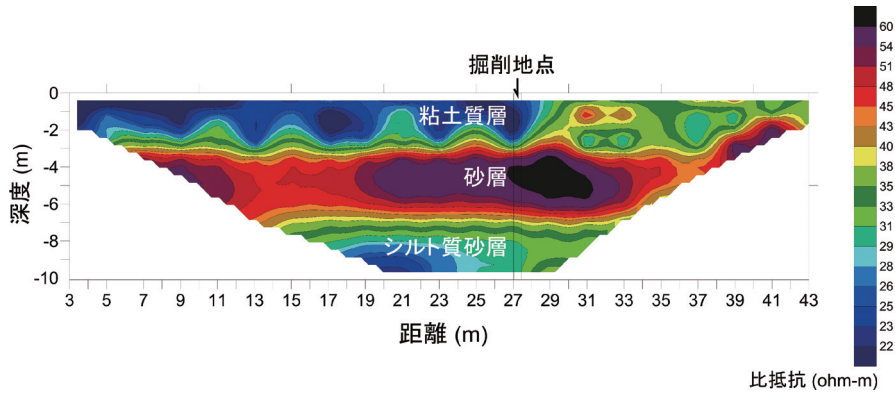
現在，一般的に，液状化危険度の指標として液状化抵抗（FL値）や，その深度積分値から求められる液状化指数（PL値）が使われている。FL値の算出には，地盤のN値，細粒分含有率，地下水位，地震による地表面加速度等の情報が必要である。そのためにボーリング掘削を行ってN値計測や土質分析が行われている。今回の研究では，ボーリング調査の代わりにCPTを適用してFL値に相当する指標を求める。

3.1 地表からの物理探査

沖積層や浅部埋め立て土の地下構造を調べるため，地表からの物理探査として，弾性波探査および電気探査を実施する。

弾性波探査には，舗装路上での測定を想定し，多数の地震計を一体化して容易に牽引・移動ができるようにした測定ツールであるランドストリーマーを用いる（第5図）。また，S波振源を用いることにより，浅部の地層構造を詳細に求めることを目指す。探査深度は約100mであり，沖積層の基底分布が把握できるような仕様とする。

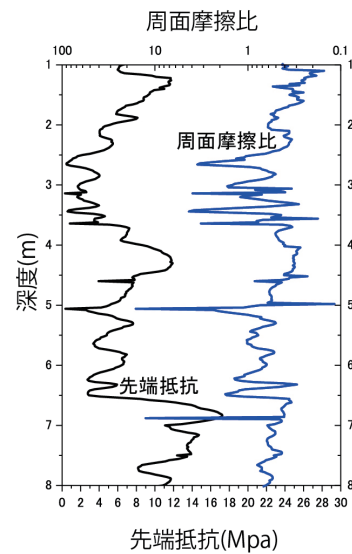
電気探査は，間隔50cmあるいは1mで連続して電極を配置し，深度20m程度までの比抵抗構造を求める。砂やシルト，粘土といった土質によって比抵抗値は異なる。また，間隙率や飽和度によっても比抵抗が変化する。飽和地盤で間隙水の比抵抗が一般的な値の場合，砂層，シルト層，粘土層の順に比抵抗は小さくなる。河川敷における探査結果例を第6図に示す。ここでは浅いボーリングが掘削されており，地表から粘土質層，砂層，シルト質砂層の順に堆積していることが確認されている。粘土質層とシルト質砂層が低比抵抗を示すのに対し，砂層は比較的高比



第6図 河川敷における電気探査の調査例。
2次元解析による比抵抗構造モデル。砂層は高比抵抗，粘土質層とシルト質砂層は低比抵抗を示す。



第7図 液状化調査などに用いられるコーン貫入試験装置の例。



第8図 CPT調査によって測定された先端抵抗と周面摩擦比の例。
砂層の先端抵抗は粘性土より大きい。周面摩擦比は周面摩擦力を先端抵抗で除した値であり、粘性土ほど大きくなる。

抵抗になる。本研究でも、CPT 調査による地質柱状図データ等と比較しながら、液状化の発生する可能性のある砂層や、その上位にある不透水性のシルト・粘土質層の形状を把握することを目標とする。

液状化により道路の下に空洞ができ、それが拡大すると、路面が陥没する恐れがある。道路下の空洞の存在を調べるために車両牽引型の地中レーダ装置を用い、大きい液状化被害を受けた地区を対象に調査を行う。車両牽引型地中レーダ探査は、およそ 30 ~ 40 km/時で地中レーダのアンテナを牽引しながらデータを取得することにより迅速に調査を行うことができ、路面下約 0.7m までの探査が可能である。

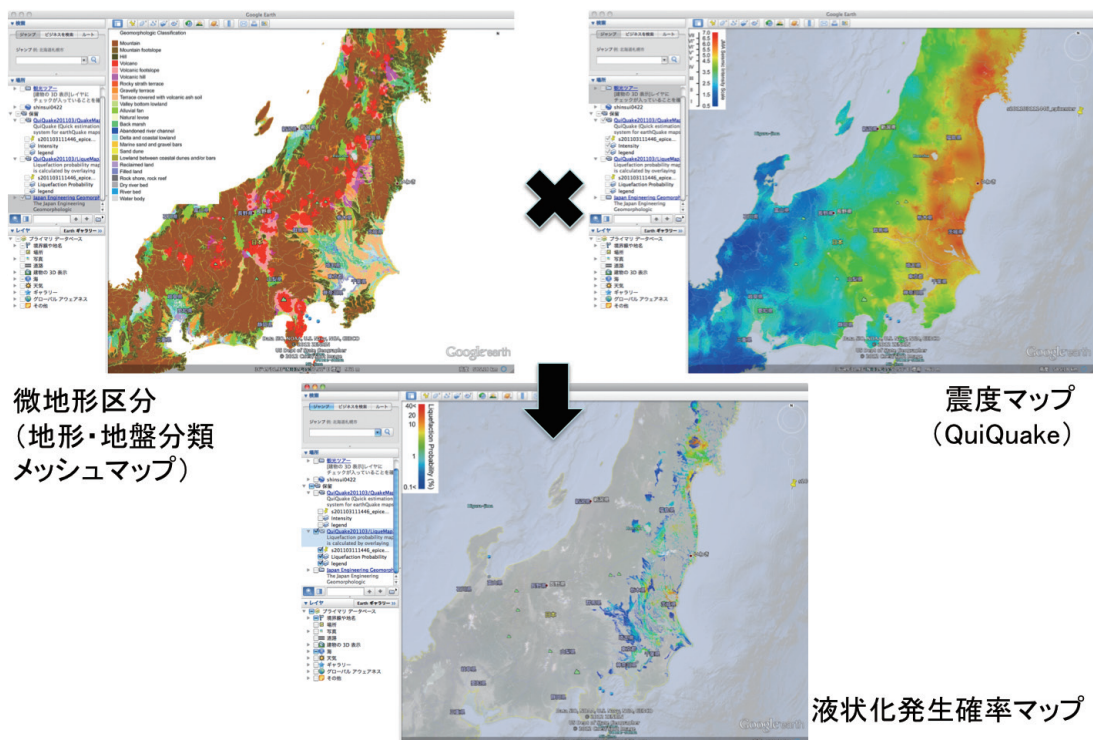
3. 2 コーン貫入試験 (CPT)

先端に各種センサーが付いたプローブを、静的貫入装置

を用いて地盤中に貫入させながら、地盤の貫入強度（先端抵抗）、周面摩擦力、間隙水圧などのデータを取得する（第7図、第8図）。本研究では、さらに、地層の電気伝導度、誘電率などを測定して、砂質層と粘土質層の識別や地下水位と水飽和度分布の推定を行い、液状化リスク評価の参照データとすることを検討している。

4. 即時液状化危険度マップ生成システムの開発

大きな地震動による液状化発生の危険度を、地震発生後に即時に推定して、危険度マップを生成するシステムの開発を行う。日本全国を対象とするため、既存の地形・地盤分類メッシュマップ（約 250 m 分解能のセル）を用いる。地形・地盤分類は、地形の起伏、構成物質、形成年代、成因を基に分けられており、各セルに1つの分類が当てはめ



第9図 即時液状化危険度マップ作成の流れ。

られる。各々の地形・地盤分類に対して、ある震度に応じた液状化の発生確率をあらかじめ付与しておく。地震が発生したときの各地の震度は地震動マップ即時推定システム (QuiQuake) (松岡・山本, 2009) を用いて予測し、各セルの震度に応じて液状化発生の危険度 (確率) を即時に算出し、危険度マップを作成する (第9図)。本研究では、このシステムの構築、旧版地形図に基づく地形・地盤分類の見直し、液状化発生確率の推定アルゴリズムの改良などを行う。

文献

Jinguuji, M., Toprak, S. and Kunimatsu, S. (2006) Development of vibration penetration test (VPT) and results of laboratory and field experiments. *Proceedings of First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, 1c7.

神宮司元治・内田利弘 (2009) 3次元物理探査およびダイレクトプッシュ技術を用いた油汚染問題への取り組み. *地盤工学会誌*, 57, no. 7, 28-31.

国土交通省関東地方整備局・地盤工学会 (2011) 東北地方太平洋沖地震による関東地方の地盤液状化現象の実態解明報告書. 65p., http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000043569.pdf (2012/04/10 確認)

松岡昌志・山本直孝 (2009) 250mメッシュVs30と強震記録に基づく地震動マップの即時推定システム (QuiQuake). *地域安全学会梗概集*, no. 25, 97-98.

UCHIDA Toshihiro, JINGUJUJI Motoharu, YOKOTA Toshiyuki, MIZUNO Kiyohide, KOMATSUBARA Junko, MATSUOKA Masashi, NAKASHIMA Yoshito, UEDA Takumi and MITSUHATA Yuji (2012) Investigation of soil liquefaction risk along a downstream Tone River area.

(受付：2012年4月27日)

東日本沿岸における津波堆積物の 性状に関する緊急調査 —津波堆積物に起因する土壤汚染リスク—

駒井 武¹⁾・川辺能成¹⁾・原 淳子¹⁾・坂本靖英¹⁾・張 銘¹⁾

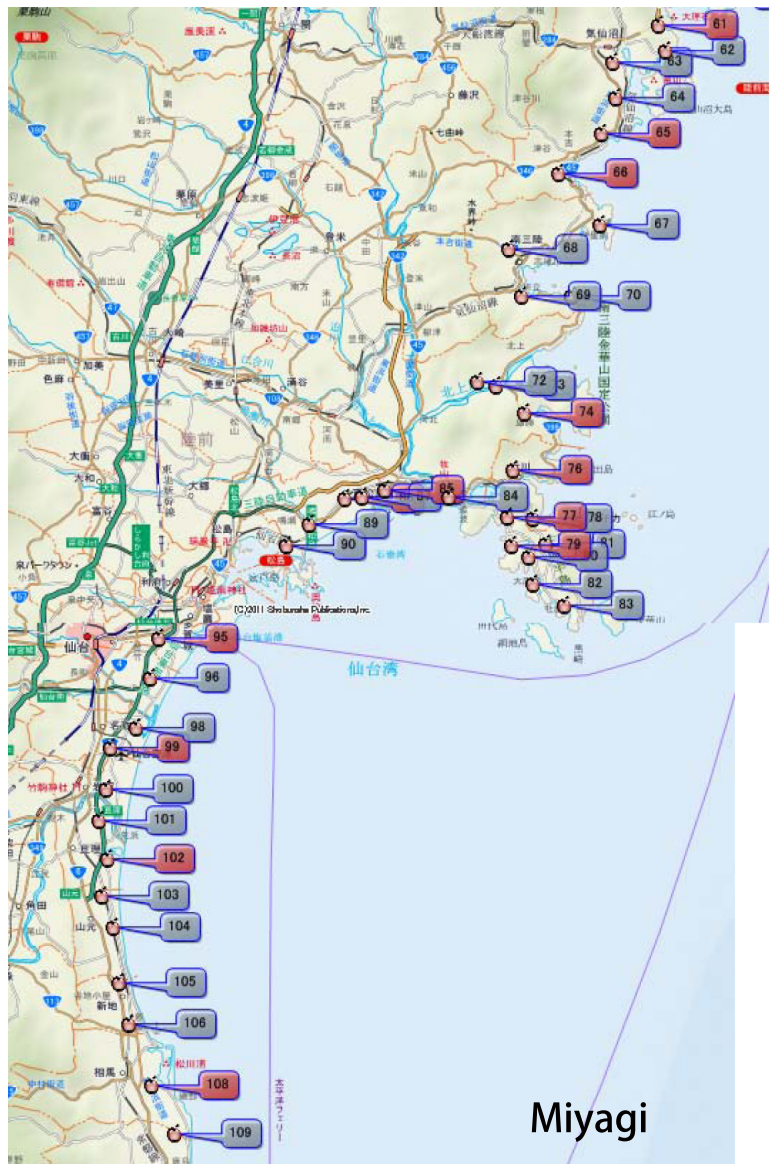
1. はじめに

2011年3月11日に東日本地方を襲った巨大地震は、地震の直接的な被害のみならず、液状化や地盤沈降、さらには沿岸域における広域の大津波による甚大な被害をもたらした。特に、東日本沿岸における膨大な津波堆積物と震災瓦礫は、被災地の復興を妨げる大きな要因となっている。津波堆積物には通常の土壌と比べて、海成堆積物に特有な重金属類が含まれる可能性があり、その地質汚染リスクを適切に評価することが重要である。そのため、震災後の3月から12月にかけて津波被災地の緊急調査を行い、様々な種類の津波堆積物を採取するとともに、その化学的、物理的な組成を分析した。多くの津波堆積物は砂であったが、一部は細粒の泥を含む砂泥互層を形成し、津波による物質の移動の痕跡を残していた。また、泥を含む津波堆積物には砒素や鉛などの重金属類を多く含有するものがあり、その管理には十分な留意が必要である。さらに、海洋底質を起源とする津波堆積物では、嫌気的な環境で生成した有機物や硫化鉱物が含まれ、長期的に酸性化する可能性も示唆された。一方、重金属類の含有が少なく、物理的に安定な津波堆積物は建設材料として復興活動に活用できる可能性が大きいことも判明した。

本報告では、東日本沿岸における津波堆積物の性状と化学的特性を中心に、津波堆積物に含有する重金属類や塩分の組成について表層土壌や海底堆積物と比較した結果について報告する。また、緊急調査の結果として得られた各種データを用いて環境リスクの評価を行い、地震に伴う複合地質リスクの管理と津波堆積物の再利用に際してのリスク低減について論じる。

2. 津波堆積物の調査と試料採取

東日本沿岸の青森県、岩手県、宮城県、福島県、茨城県および千葉県を対象にして、津波浸水域に蓄積された津波



第1図 津波堆積物の採取地点（宮城県の沿岸地域）。赤印（地点番号61, 65, 66, 74, 76, 77, 79, 85, 95, 99, 102, 108）：重金属基準超過。基図として、国土交通省の国土数値情報「行政区域（面）データ」およびESRIジャパンの「全国市区町村界データ」を使用した。

1) 産総研 地圏資源環境研究部門

キーワード：津波堆積物、東日本大震災、土壌汚染、リスク評価、地球化学図



第2図 宮城県地域における津波堆積物。

堆積物を調査するとともに、各種分析のため試料の採取を行った。初期の予察調査は津波発生から3月から8月にかけて実施し、地形図をもとに沿岸域のおおよそ5 km 間隔に採取地点を設定した。調査では津波浸水の状況、津波による地盤の変化、津波堆積物の性状を詳しく調べた。今回の調査対象は、主に自然由来の津波堆積物であり、人為的な汚染物質はできるだけ排除するようにした。

東日本の沿岸地域で約200地点を選定して、地理情報システムを用いてマッピングした。宮城県内の調査地点を第1図に示す。かなりの地域で津波被害により海岸線の地形が変化している箇所があったが、海岸線から浸水限界までのほぼ中間あるいは特徴的な堆積状態を示す地点で試料を採取した。採取した津波堆積物の試料は、人為的な混在物を除去するなどの前処理を行った後に、実験室において化学分析、微生物分析、粒度分析などを実施した。

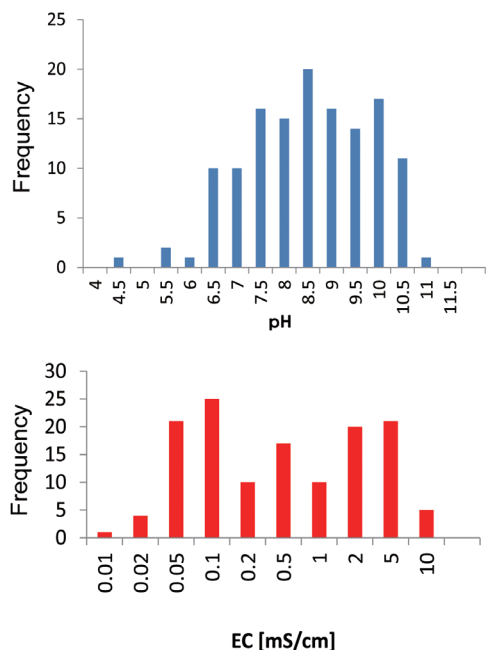
3. 津波の被害状況と堆積物の性状

2011年東北地方太平洋沖地震に伴う大津波は、これま

での想定を超える巨大なものであり、数百年に1度の災害と言われている。環境省の調査によれば、東北、関東6県内の津波堆積物の総量は、1000～1500万トンと推計されている(環境省, 2011)。

宮城県内の地質調査により、実際に観察された津波堆積物は砂が中心であるが、砂と泥の数枚の層状の構造を形成することが認められた。このことは、津波が第一波から数波にわたり断続的に陸域方向に押し寄せ、その後陸域から沿岸域に引き波となったことを表している。また、詳しい調査によれば、海岸線付近では砂質の堆積物、中間付近では泥質と砂質の互層、浸水限界では塩水のみが存在していることがわかった。

第2図は、宮城県内の数カ所における津波の被害と津波堆積物の状況を示したものである。大津波により海岸付近の構造物が破壊され、陸域では強固な岩盤すら粉碎されて、その破壊力の大きさを物語っている。また、巨大地震の影響で沿岸部の地盤が沈降して、一部では沿岸部の地形や標高が変化し、南三陸や石巻では水没現象が続いている地域も多い。そのため、津波堆積物の堆積状態は元の地形



第3図 津波堆積物の性状 (pH, 電気伝導度)。

に依存し、田畑のような窪地や湿地帯では厚く堆積し、市街地などでは比較的薄い堆積状況になっている。堆積物の平均の厚さは5～10cm程度であり、最大では40cm以上に及ぶ地点もあった。第2図に示すように、堆積物の色彩は多様で、砂ではグレー、泥では茶褐色から黒色まで千差万別であった。また、砂の粒度は比較的粗く、泥は細かい粒子が大半を占めていた。

4. 津波堆積物の特性

4.1 塩分濃度と電気伝導度

採取した津波堆積物の化学的組成を調べるため、塩分濃度やpH、重金属成分を中心に化学分析を行った。第3図にそれぞれ土壤pHと電気伝導度の分布を示す。土壤pHは6.5～11の範囲にあり、平均値は8～8.5となって塩水のpH環境をよく反映している。陸域の土壤pHは比較的酸性側にあることから、今回調査した津波堆積物は通常の土壤の組成とは大きく異なっていることがわかる。また、電気伝導度の測定結果からも同様の傾向を示し、平均的な塩分濃度は0.3～0.8%と、通常の土壤よりも高い塩分濃度を示した。0.5%を超える土壤では植物の生育阻害を生じる可能性があることから、塩害対策が必要となる地域もあった(日本土壤肥料学会, 2011)。

4.2 重金属成分

本調査では、鉛、カドミウム、セレン、砒素、クロム、

水銀などの重金属、無機成分としてフッ素およびホウ素を分析した。全般的な傾向としては、出版している表層土壤環境基本図「宮城県地域」(原ほか, 2008)に示した組成とほぼ同様であり、バックグラウンドレベルと大差がないことが示された。しかし、重金属類の分析結果によれば、砒素、鉛の成分において通常の土壤よりも高濃度となる地点が多いのがわかった。宮城県内および岩手県内の沿岸部では、それぞれ15%と8%の試料が土壤環境基準値を超過していた。通常の土壤でも基準値を超える場合があるが、これらの超過率は土壤の場合よりもかなり大きくなっている。特に、泥質堆積物においてこの傾向が顕著なことから、津波堆積物の多くは海成堆積物に由来していることが示唆される。また、海洋の底質には海成堆積物を起源とするものや河川から流出した土砂が沿岸堆積物として蓄積され、土壤よりも高濃度の砒素や鉛を含有していることが報告されている(土屋, 2012)。さらに、海成堆積物には海洋の微生物作用により砒素が高濃度で濃縮され、津波によって海洋堆積物や底質が巻き上げられて陸域に達したことが考えられる。

4.3 化学成分の長期変質と微生物作用

津波堆積物が蓄積されている陸域では、9月から12月にかけて表面の性状が大きく変質していることが観察された。当初は砂質土砂と大差がなかったが、数ヶ月の経過とともに赤褐色の堆積物となり、ため池や用水路では褐色の鉄分が溶出していることが示唆された。このような地域では、堆積物中の鉄やマンガンの含有量が高く、長期の堆積によって鉄酸化により変質が進行していることが考えられる。鉄などのミネラルは、河川から供給されて沿岸部の海岸線付近の底質に蓄積されていたものと考えられ、津波によって大量の鉄成分が陸域に巻き上げられた。海洋底質では嫌気的な環境であったが、陸域で酸化作用を受けることにより徐々に酸性化して赤褐色の土砂に変質したと思われる。この変質には鉄酸化細菌が深く関与していることが考えられ、現在堆積物を対象にして微生物相の解析を進めている。

5. リスク評価

5.1 重金属等による環境リスク

採取した津波堆積物の化学成分のうち、砒素や鉛などの重金属類を対象にして環境リスク評価を行う。重金属を含む堆積物は、土壤摂取、土壤粒子の摂取、植物への移行、

地下水への移行などの暴露経路を通じて作業員や居住者にとってのリスクとなる。そこで、産総研で開発した地圏環境リスク評価システム GERAS (駒井, 2007) を用いて現在の堆積状況を想定したリスク評価を実施した。その結果、砒素については宮城県および岩手県の一部の地点において許容される暴露量をわずかに超過することが見出された。しかし、地下水の飲用などがなければ、許容されるリスク基準値 (耐用摂取量) 以内であり、安全な管理条件にあることが判明した。このほか、沿岸部の特定の地域において、フッ素とホウ素の溶出量が基準値を超過する事例が見つかったが、健康リスク上問題となるレベルではなかった。

一方、津波堆積物を長期的に保管・管理する環境条件では、砒素や鉛の長期溶出のリスクがあるため、遮蔽のためのシートや粘土層の設置、浸出水の処理などのリスク管理が必要となる場合があった。特に、砒素を含有する津波堆積物では、長期保管により堆積層内が嫌気的な環境になり、砒素の溶出を促進する可能性が示唆された。また、微生物作用により長期的に鉄バクテリアの活性が高まり、土壌を酸性化する可能性も指摘された。津波堆積物を農用地に適用するためには、このような長期変質のリスクを十分に考慮した上で検討することが重要である。

5. 2 建設資材のリスク管理

現在、津波堆積物の性状や物性、力学的特性や環境リスクなどの情報が不足しているため、現場において膨大な量の堆積物が一時保管されている。しかし、復旧・復興に向けて、津波堆積物を土木・建設資材や農業用途に利活用することが期待されている (一般社団法人廃棄物資源循環学会, 2011)。砂質津波堆積物の場合では、粒度分布や力学特性において土木・建設材料に適しているとされる。しかし、塩分や無機成分などを多く含有する堆積物では、資材として活用するために除塩や洗浄などの処理が必要である。一方、泥および砂泥互層の混合状態の堆積物では、砒素や鉛、有機汚染物質を含有する割合が多いため、そのままの状態での利活用することは困難である。しかも、化学的、生物学的に長期変質するリスクも伴うため、浄化やモニタリングなどの対策が必要である。膨大な量を対象とするため、微生物や植物を活用した環境共生型のオンサイト浄化技術の開発が期待される。加えて、油分やダイオキシン類などの人工化学物質を含有する堆積物では、それらの除去や分解のためのリスク低減措置の実施が必須である。

6. まとめ

東日本地方を襲った大津波後の3月から12月にかけて津波被災地の緊急調査を行い、様々な種類の津波堆積物を採取するとともに、その化学的、物理的な組成を分析した。津波堆積物は砂が大半であったが、一部は細粒の泥を含む砂泥互層を形成し、津波による海底堆積物の移動の痕跡を残していた。また、泥を含む津波堆積物には砒素や鉛などの重金属類を多く含有するものがあり、その管理には十分な留意が必要であることがわかった。さらに、海洋底質を起源とする津波堆積物では、嫌気的な環境で生成した有機物や硫化鉱物が含まれ、長期的に酸性化する可能性も示唆された。

文献

- 原 淳子・川辺能成・駒井 武 (2008) 表層土壌評価基本図「宮城県地域」. 数値地質図E-3, 産総研地質調査総合センター.
- 一般社団法人廃棄物資源循環学会 (2011) 津波堆積物処理指針 (案). 平成23年7月5日, <http://eprc.kyoto-u.ac.jp/saigai/archives/001427.html> (2011/04/10 確認)
- 環境省 (2011) 東日本大震災津波堆積物処理指針. 平成23年7月13日, <http://www.env.go.jp/jishin/attach/sisin110713.pdf> (2011/04/10 確認)
- 駒井 武 (2007) 土壌汚染対策の課題と環境地質学の役割. 地学雑誌, 116, 853-863.
- 日本土壌肥料学会 (2011) 原発事故・津波関連情報. 津波関連情報 (1): 津波・高潮による農地の塩害 (1), <http://jssspn.jp/info/nuclear/post-23.html> (2011/04/10 確認)
- 土屋範芳 (2012) 津波堆積物中のヒ素および重金属類と津波堆積物の化学判別. 東北大学第6回震災フォーラム, 講演資料集, 25-32.

KOMAI Takeshi, KAWABE Yoshishige, HARA Junko, SAKAMOTO Yasuhide and ZHANG Ming (2012) Urgent investigation of tsunami deposits at coastal areas of eastern Japan —environmental risk caused by tsunami deposits—.

(受付: 2012年4月24日)

地下水汚染リスク評価研究

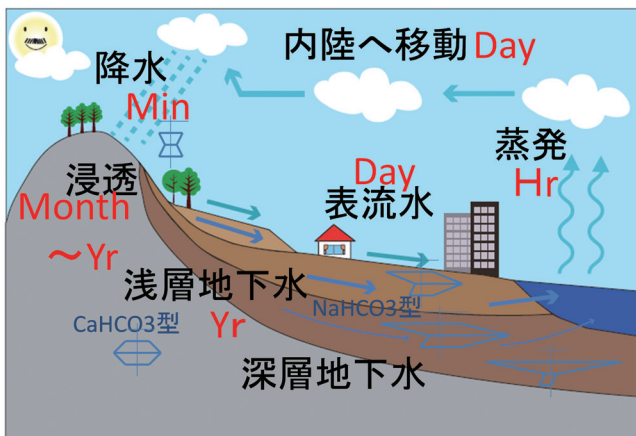
丸井敦尚¹⁾

1. はじめに

東日本大震災により、東北地方東海岸の沿岸地域は壊滅的な打撃を受けた。地域の人々は勿論、これを支えるライフラインで最も重要な水・地下水にも深刻な被害が及んでいる。津波を受けた地域では塩害が懸念され、一部地域では放射能汚染が大きな問題となっている。

一方、地圏資源環境研究部門地下水研究グループでは、地下水データベース“いどじびき” (Marui, 2002) や全国堆積層データベース (越谷ほか, 2011) を有しており、被災地における震災前の地下水情報、水理地質情報が充実していた。震災直後には、これを用いて被災各県ごとに地下水流動シミュレーションを実施し、地下水の賦存状態や流動方向 (汚染拡大) を推定し、その結果を公表した (週刊東洋経済 2011/05/28 日号など)。

文部科学省をはじめとする各機関がこれまでに多くの情報を発信しているが、それらのほとんどが、ある時点での汚染状況であり、汚染の進行についての展開を読み取ることができる資料は少ない。そこで、水循環を踏まえた汚染



第1図 水循環のイメージ。
本研究成果を効率的に公表するため、水循環について、その時間や水質などを常に意識した発表を心がけ、次につながるような状況が起こるかを推定しやすくする。

プロセスを明確にし (第1図)、汚染の状況をとらえることで、誰でもが理解しやすい地下水による汚染進行過程を明らかにしようと考えた。

そこで本研究では、被災した地域の地下水を対象に、地震やそれに伴う災害 (津波災害と放射能汚染) に対する地下水のリスクを評価し、今後の産業復興に貢献する地下水情報 (地球科学情報) を発信することを目的とした。このために、(1) 広域概要調査、(2) 詳細地下水調査、(3) リスク評価、の3つの柱をたてて、本研究を実施することにした。2012年1月23日には産総研つくば共用講堂にて、10大学・11団体 (企業等) から51名を集めキックオフミーティングを実施している。

2. 広域概要調査

既存井・湧水・河川・湖沼などから水試料を採取・分析してマッピングすることで、地震災害に伴う地下水や表流水の汚染リスクを評価する。具体的には以下の5つである。(1) 福島県浜通り地域における地下水の放射能汚染の状況の確認

浜通りにおける地表水、河川水、地下水、海底底質の放射線量分布図を作成し、地下水流動を加味した今後の汚染を推定する。これにより現状把握とともに、今後のモニタリング等に対する提言が可能となる。

(2) 水文地質情報の3次元的分布

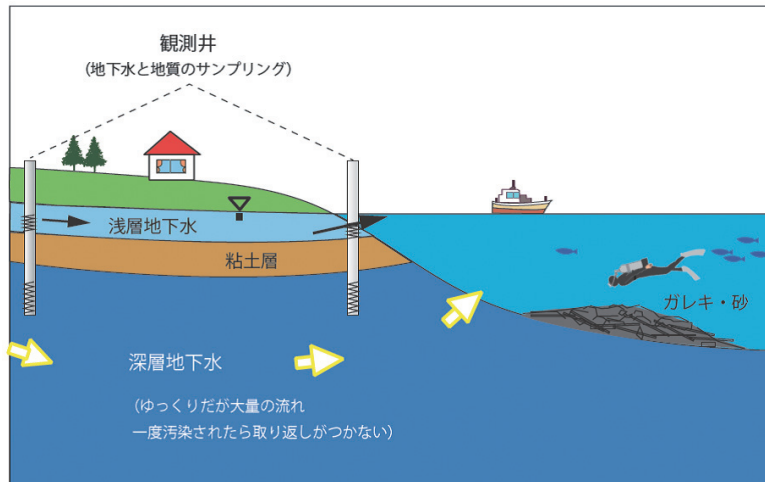
東北地方沿岸域全体の盆地や平野における3次元水質マップを作成する。特に流速分布を考慮し、地下水シミュレーションの概念モデル (水理モデル) を作成する。

(3) 帯水層の脆弱度評価に基づく要調査地域の選定

対象5県 (青森県・岩手県・宮城県・福島県・茨城県) にて DRASTIC (帯水層の汚染に対するリスクポテンシャル評価のため USGS が作った指標; Aller *et al.*, 1987) を用いて、帯水層の脆弱度の空間分布を把握する。この結果により、脆弱かつ地表の放射線量が高い地域を「放射能汚

1) 産総研 地圏資源環境研究部門

キーワード：地下水、リスク、塩害、放射能汚染



第2図 調査のイメージ。

陸域では帯水層ごとに地下水を観測し、地下水の賦存状況や流動状況を把握する。これと海域の調査結果を統合して、将来的な地下水汚染状況を推定し、今後の復興に資する。

染に関して注意を払うべき地域」として選定する。

(4) 東北地方沿岸域全体の現地調査

地表の放射線量マップに加え、水文地質学的条件を加味して評価された、「放射能汚染に対して注意を払うべき地域」で河川水、地下水調査を行い、その現況を把握する。

(5) 産業廃棄物や表土の仮置き場からの地下水汚染の状況の確認

津波堆積物を含む土壤中の塩分や廃棄物中の重金属の溶け出しに起因する汚染状況を把握し、将来の汚染被害の予測に役立てる。

3. 詳細地下水調査

(1) 拠点となる平野の選定と事前解析

被災地の中から、集中的な調査観測を実施するための地域を選定する。選定にあたっては、人口や平野の面積、産業の種類などを考慮する。選定された平野では全国堆積層データベースや震災前に収集したデータをもとに事前の地下水流動シミュレーションを実施して地下水の賦存状態や流動状態を把握する。

(2) 帯水層の深度ごとの採水

深度を変えた観測井群を設け、帯水層ごとの地下水を採取し、その汚染状況・滞留時間等を観測する。報道されているように汚染物質は1次的に飛散したのち、2次濃縮(市街地の公園やビオトープなど)が起こった。現在は東京湾や霞ヶ浦などで河川が注ぎ込む箇所において3次濃縮が始まっている。第2図に示したように地表水や地下水に

運搬される経路をとらえ、適切なモニタリングを示したり、予測解析を実施できるようにする。

産業技術総合研究所が、経済産業省産業施設課とともにこれまで実施してきた地下水利用適正化調査における観測井の情報を活用し、必要に応じては被災地のこれらの井戸を復活させ、震災前後の地下水の状況変化をわかりやすく公表する。また、別途実施している海域の調査と成果を相互に補完し、成果の充実を図る。

4. リスク評価

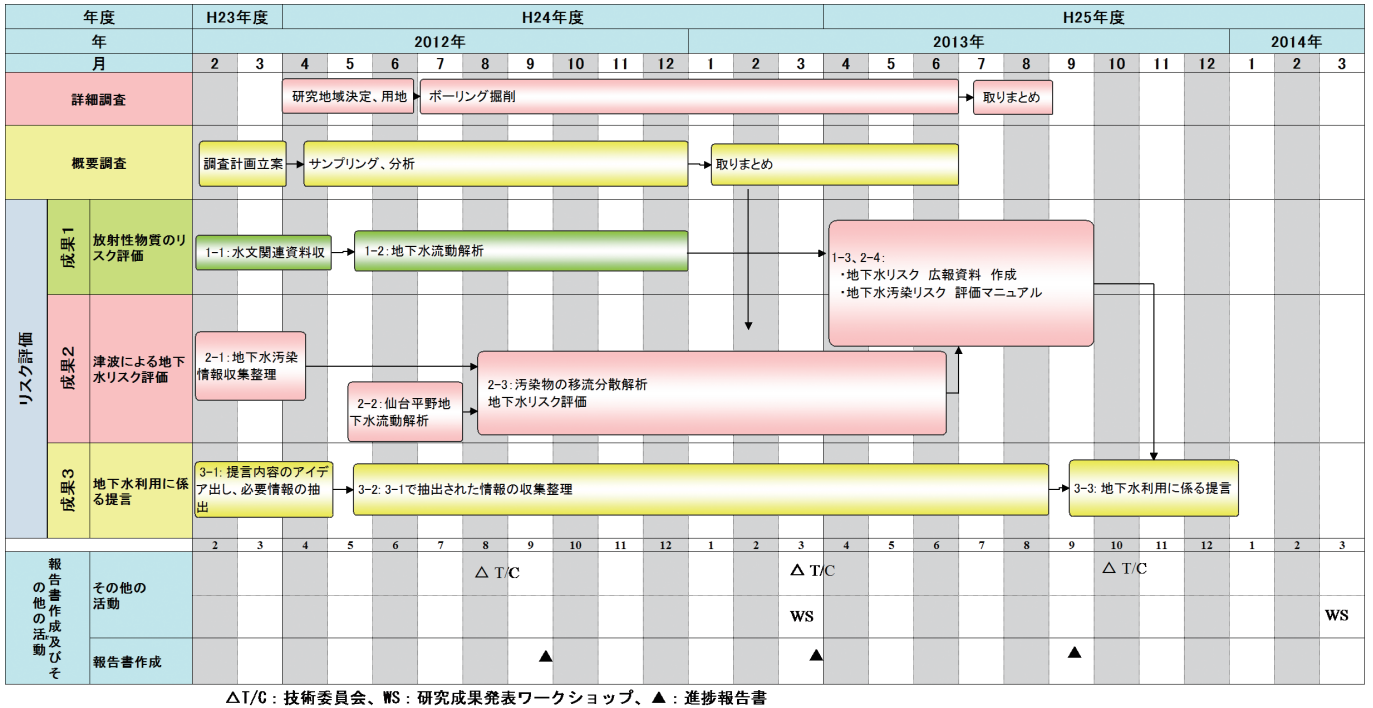
今回の大震災を機に地下水の持つリスクを評価し、これを発信する。

(1) 将来にわたる地下水の放射線リスクの評価

水道水源を地下水に依存する地区において、井戸水から将来的に放射性物質が検出される可能性を検討する。また、地下水流動の観点から放射性廃棄物の中間貯蔵施設の候補地を評価する。

(2) 津波による塩害や津波堆積物の地下水汚染リスク、仮置き場における地下水汚染リスクの評価

津波被害による地下水汚染の程度を帯水層別に把握しマップ化する。この結果を地下水利用などと比較し、これら汚染物質移行(移動)の将来予測を行う。さらに、概要調査に土壌汚染リスク調査での検討項目を含めるなど、土壌汚染リスク調査チームとの協調を考慮する。地下水汚染リスクの解析にはGERASなどの利用を検討する。検討手法をマニュアル化し、他の地域における流域単位での地下



第3図 地下水汚染リスク研究の全体計画。

水汚染検討に資する。

(3) 今後の地下水利用について提言のまとめおよび発信

(1), (2) で収集・整理・検討された資料を用いて、今後の地下水利用や地下水を軸とした地域活性化策・まちづくりを提言する。

5. おわりに

地下水汚染リスク評価研究は、まだ始まったばかりであるが、すでに震災前の情報を集積し、今後蓄積される震災後の情報を加味することで、復興に役立つ情報を取りまとめることができると考える。また、産総研・地下水研究グループの有する全国情報を考慮すれば、今後災害が懸念される他の地域においても事前に地下水情報を整備し、ライフラインの確保などに活用できると考える。

文献

Aller, L., Bennett, T., Lehr, J. H., Petty, R.J. and Hackett, G. (1987) DRASTIC : A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings, <http://info.ngwa.org/gwol/pdf/860138698.PDF> (2012/04/20 確認)

越谷 賢・丸井敦尚・伊藤成輝・吉澤拓也 (2011) 日本列島における3次元水文地質モデルの構築と地下水賦存量の試算, 日本地下水学会誌, 53, no. 4, 357-377.

Marui, A.(2002) Well-King Dictionary produced by Japanese GS. *Proceedings of the 1st Compilers Meeting of DCGM IV : Groundwater and Geothermal Databases, CCOP*, 31-43p.

MARUI Atsunao (2012) Study on risk evaluation of groundwater pollution.

(受付：2012年4月24日)

愛媛県新居浜市と愛知県西尾市における東南海・南海地震予測のための地下水等総合観測点整備

小泉尚嗣¹⁾・佐藤隆司¹⁾・北川有一¹⁾・佐藤 努²⁾・高橋 誠¹⁾・松本則夫¹⁾・板場智史¹⁾
梅田康弘¹⁾・武田直人¹⁾・桑原保人¹⁾・今西和俊¹⁾・木口 努¹⁾・山口和雄¹⁾

1. はじめに

東海～四国の沖合にある駿河～南海トラフでは、100～200年程度の間隔で、M8（マグニチュード8）クラスの巨大地震が繰り返し発生してきました。最近のものは、1944年東南海地震（M7.9）と1946年南海地震（M8.0）です（第1図）。この2つの地震では、震源域が駿河トラフまで及んでいなかったため、駿河トラフでの巨大地震（いわゆる東海地震）が切迫しているとされて、大規模地震対策特別措置法が1978年に制定されて国による地震予知事業が始まりました。また、「東南海・南海地震に係る地震防災対策の推進に関する特別措置法」が2003年に施行され、東南海・南海地震に対する観測施設の整備も求められています。

産総研（産業技術総合研究所：旧工業技術院）は、東海地震予知事業開始当初から東海地方の地下水観測データをリアルタイムで気象庁に提供し、東海地震の判定を行う地震防災対策強化地域判定会の説明者として国の地震予知事業を分担してきました。さらに、東南海・南海地震予測のために、紀伊半島～四国周辺に地下水等観測施設を平成18年度（2006年度）から順次整備し（小泉ほか、2009a）、平成22年度までに14点の整備を終えました（第2図）。東海・東南海・南海地震は、過去にしばしば連動して発生しているため（第1図）、気象庁に紀伊半島～四国周辺のデータもリアルタイムで提供しています。

平成23年度補正予算（平成24年度に繰越）では、愛媛県新居浜市と愛知県西尾市に新たな地下水等総合観測点を整備する一方、地震等で産総研つくばセンターが被災しても解析に支障を生じないようにデータ収集システムを強化するため、産総研関西センターにバックアップシステムを構築する予定です（第2図）。

2. 過去の南海地震における地下水変化

四国～紀伊半島の沖で発生する巨大地震である南海地震は、古文書等の記録に基づけば、過去8回発生しています（第1図）。このうち4～5回の地震では、愛媛県松山市の道後温泉（第2図のN10付近）や和歌山県本宮町湯峯温泉（第2図のN5付近）における水位・湧出量が地震発生に伴い大きく低下しています。また、1946年南海地震（M8.0）においては、紀伊半島～四国の太平洋岸で浅い地下水の水位（11カ所）や温泉の湧出量（1カ所）が、地震の数時間～10日前から低下したことが知られていません（海上保安庁水路局、1948）。このような地下水位の低下は、1854年の南海地震前にも発生しました（重富ほか、2005）。

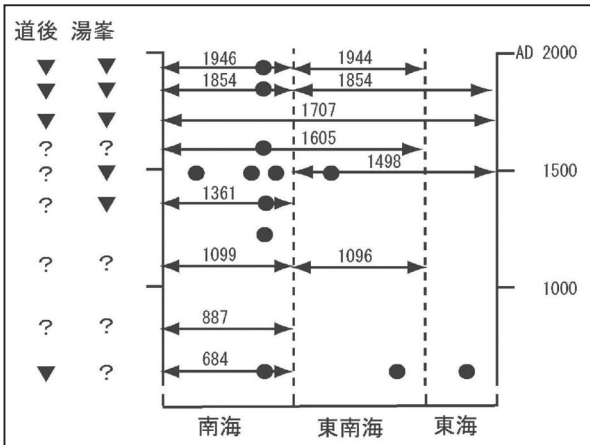
地震前の地下水位や温泉湧出量の低下は、地震の数日前に本震の震源域周辺で生じるとされる「ゆっくり滑り」（プレスリップまたは前兆滑り）に伴う地殻変動（地盤の変形）（気象庁、2003）である程度は説明できますが十分ではなく、より精密な観測データが必要です（小泉ほか、2009b）。

3. 深部低周波微動と短期的ゆっくり滑り

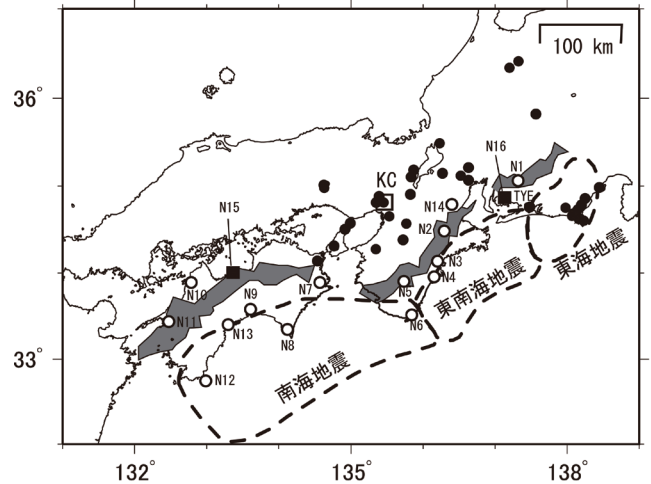
最近の地震研究の進展で、東海・東南海・南海地震の想定震源域であるプレート境界の深部延長（深さ30km前後）で、通常地震より低周波数の波を出す地震が発生していることがわかりました。この地震を深部低周波微動と呼んでいます（Obara, 2002）。さらに、この深部低周波微動としばしば同期して、ほぼ同じ場所のプレート境界で、ゆっくりした滑りが年に数回程度の頻度で生じていることもわかっています（第2図；Obara *et al.*, 2004）。この「ゆっくり滑り」は、継続時間が一般に数日程度で、規模がM5～M6程度と、上述したプレスリップに非常に似た現象で短期的ゆっくり滑りと呼ばれます。一つの可能性として、この短期的ゆっくり滑りが、より浅い側（想定震源域側）まで拡大した時に大地震を誘発するといったことが考えら

1) 産総研 活断層・地震研究センター
2) 産総研 地質情報研究部門

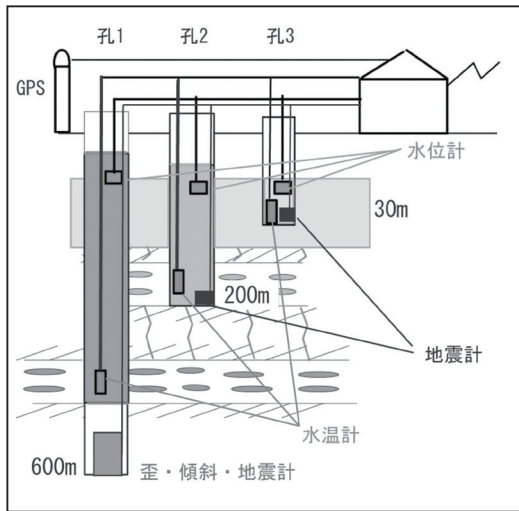
キーワード：東南海地震、南海地震、東海地震、地震予測、地下水、地殻変動、南海トラフ、駿河トラフ



第1図 東海・東南海・南海地震の発生履歴と道後温泉・湯峯温泉の湧水量や水位の低下。
●は液状化等の地震の痕跡。▼は湧水量等の低下を表し、?は、古文書に変化の有無の記載がないことを示す。寒川（1992）に加筆。



第2図 産総研の地下水等観測網(●:従来の観測点,○:東南海・南海地震予測のための新規観測点N1-N14, ■:現在整備を行なっている観測点N15-N16)。
TYEは豊橋多米観測点。□(KC)は、バックアップシステムを構築する予定の産総研関西センター。四国～紀伊半島～愛知県内陸部の灰色の領域は、短期的ゆっくり滑りおよび深部低周波微動が定常的に発生していると考えられる地域。破線は、東海・東南海・南海地震の想定震源域。



第3図 新規地下水等総合観測点 (N1-N16) における典型的な観測システム。
200mの所に歪計を置いている点もあります。

れます。また、想定震源域にエネルギーが蓄えられてきて破壊（大地震）が近づいてくると、その深部側で発生する深部低周波微動や短期的ゆっくり滑りの発生パターンが変化することも考えられます。したがって、この短期的ゆっくり滑りや深部低周波微動のモニタリングが東南海・南海地震の予測のために重要です。

4. 東南海・南海地震予測のための地下水等総合観測点

観測点配置と観測システムは、過去の南海地震前後の地下水変化と最近の深部低周波微動・短期的ゆっくり滑りの研究を考慮して、第2図および第3図のようにしました。過去に浅い地下水や深い地下水（温泉水）が変化している

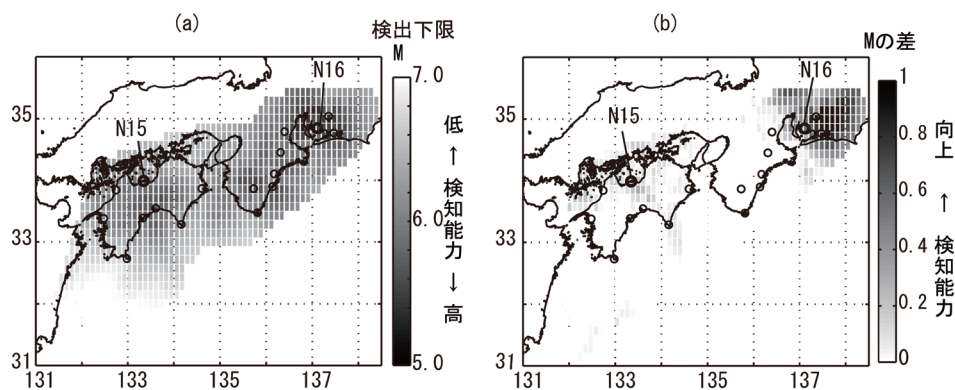
ことを考慮し、1つの観測点に深さの異なる3つの井戸を掘削します。地殻変動測定のために井戸の中に歪・傾斜計を設置し、微動測定のための地震計も設置します。近くに国土地理院のGPS観測点がない場合はGPSも設置します。観測データはリアルタイムで産総研に送ります。データは「地震に関連する地下水観測データベース“Well Web”」(<http://www.gsj.jp/wellweb/>)で公開しています（小泉ほか，2009b）。

4. 1 新居浜市と西尾市に観測点を整備することの効果

第4図aに、新居浜（N15）と西尾（N16）に新規観測点を整備した場合の（N1-N16観測点とTYE観測点による）短期的ゆっくり滑りの検知能力を示します。各観測点の歪データのノイズレベルに基づいて、任意の3点で検知できる最小の短期的ゆっくり滑りを示したものです。N15とN16については、ノイズレベルが他の観測点と同程度と仮定しています。M6前後の短期的ゆっくり滑りが広い範囲で検知できることがわかります。第4図bには、N15とN16の新設によって、検知能力がどの程度改善したのかを示しています。四国の北部と愛知県で検知能力が向上することがわかります。

4. 2 産総研関西センターでのバックアップシステム

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、産総研つくばセンターも被災しました。停電等のため、



第4図 短期的ゆっくりすべり検知能力。
 a: N1-N16とTYEの歪データによる検知能力。
 b: N15とN16を新設することによって向上する検知能力。

約5日間、東海～四国の地下水等観測データをつくばセンターで取得することができず、そのデータを気象庁に送ることもできませんでした。結果として、この期間中に産総研が担当している部分において、東海地震の監視能力が低下したことは事実です。このような問題を解消するため、産総研関西センターにバックアップシステムを構築することにしました。元々、四国～東海の観測データのかなりの部分が、産総研関西センターを経由して産総研つくばセンターに送られていたので、関西センターのデータ取得・送信・解析機能を強化し、つくばセンターのシステムが震災等でダウンしても、関西センターのシステム独自で基本的な解析や気象庁へのリアルタイムデータ送信ができるようにするものです。

5. 東南海・南海地震および東海地震の予測精度向上へ

東南海・南海地震予測のための地下水等総合観測は、新たに2点の観測点を整備すると共にバックアップシステムを構築します。同観測施設を整備し観測データを安定的に取得・解析することで、東南海・南海地震の予測精度向上に役立つと考えています。また、東南海・南海地震と東海地震が連動する可能性も考慮すれば、東海地震の予測精度向上にも役立つと考えられます。

文 献

海上保安庁水路局 (1948) 昭和21年南海大地震調査報告 (地変及び被害編). 水路要報増刊号, 201, 117p.
 気象庁 (2003) 東海地震に関する新しい情報発表について, <http://www.jma.go.jp/jma/press/0307/28a/20030728tokai.pdf> (2012/05/01 確認)
 小泉尚嗣・高橋 誠・松本則夫・佐藤 努・大谷 竜・北

川有一・板場智史・梅田康弘・武田直人・重松紀生・桑原保人・佐藤隆司・今西和俊・木口 努・関 陽児・塚本 斉・山口和雄・加野直巳・住田達哉・風早康平・高橋正明・高橋 浩・森川徳敏・角井朝昭・下司信夫・中島 隆・中江 訓・大坪 誠・及川輝樹・干野 真 (2009a) 東南海・南海地震予測のための地下水等総合観測点整備について. 地質ニュース, no. 662, 6-10.

小泉尚嗣・高橋 誠・松本則夫・佐藤 努・大谷 竜・北川有一・板場智史・梅田康弘・武田直人 (2009b) 地下水等総合観測による東海・東南海・南海地震予測. 地質ニュース, no. 663, 29-34.

Obara, K. (2002) Nonvolcanic deep tremor associated with subduction in southwest Japan. *Science*, 296, 1679-1681.

Obara, K., Hirose, H., Yamamizu, F. and Kasahara, K. (2004) Episodic slow slip events accompanied with non-volcanic tremors in southwest Japan subduction zone. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L23602, doi: 10.1029/2004GL020848.

寒川 旭 (1992) 地震考古学. 中央公論社, 東京, 251p.

重富國宏・梅田康弘・尾上謙介・浅田照行・細 善信・近藤和男・辰巳賢一 (2005) 資料・証言にみる南海地震前の井水濁れ及び異常潮位. 京都大学防災研究所年報, no. 48-B, 191-195.

KOIZUMI Naoji, SATOH Takashi, KITAGAWA Yuichi, SATO Tsutomu, TAKAHASHI Makoto, MATSUMOTO Norio, ITABA Satoshi, UMEDA Yasuhiro, TAKEDA Naoto, KUWAHARA Yasuto, IMANISHI Kazutoshi, KIGUCHI Tsutomu and YAMAGUCHI Kazuo (2012) Integrated groundwater observation stations at Niihama in Ehime Prefecture and Nishio in Aichi Prefecture for forecasting the Tonankai and Nankai earthquakes.

(受付: 2012年4月27日)

露頭の風景 写真家の視点

斉藤 麻子

市の天然記念物に指定されているという露頭ですが、真上には道路が走る為に日中でも薄暗い川の護岸にひっそりと佇んでいました。間近で露頭を見てみようとして川底まで下りてみると、ひんやりとした水の感触が長靴ごしにも感じられ、普段歩いている場所が自分の背丈よりも高い場所に変わりました。日常からは逸脱したその自分の立位置に高揚感を味わいながら、一対一で露頭と対峙すると、ほとんど人通りもないこの場所でいったいどうして誰の為にまわりをコンクリートで囲まれ、落書きまでされて顔を出しているのかと、おかしさばかりが込みあげてきました。

忘れ去られたような場所と控えめにも確かに存在している露頭のさまは、そのまま人と大地の関係性を表しているようにも感じられました。なんの変哲もない場所ですが、川の反対側には山紫陽花^{やまあじさい}が咲き誇り、静謐^{せいひつ}とした空間に身を置くことは、東京から足を運ぶ私にとって贅沢なことでした。また光と影の関係で快晴、曇天、雨天の日と幾度となく撮影をし直した写真家泣かせの場所でもありますが、それでもあまり苦にならないのは、そこへ行けば変わらずに露頭が存在しているという安心感と再会した時の懐かしさが大きいのだと思います。

地質屋の視点

及川 輝樹

三浦半島ならびに房総半島には葉山-嶺岡隆起帯^{みねおか}とよばれる、周囲より古く、様々な岩石を含み強く変形した地層が帯状に分布しています。この隆起帯をつくる地層は、三浦半島では約2300～1600万年前の前期中新世に付加した付加体からなる葉山層群(または葉山ユニット)とよばれる地層からなります。表紙写真の横須賀市天然記念物に指定された露頭は、その付加体中に含まれた枕状溶岩です。

枕状溶岩は、ソーセージや枕のような形をした岩が積み重なったように見える溶岩で、一つ一つの枕の周囲は結晶が少ないガラス質の急冷縁によって縁どられています。また、放射状に見える割れ目(放射状節理)ができることも特徴です。この露頭の枕状溶岩は、破片状に割れているも

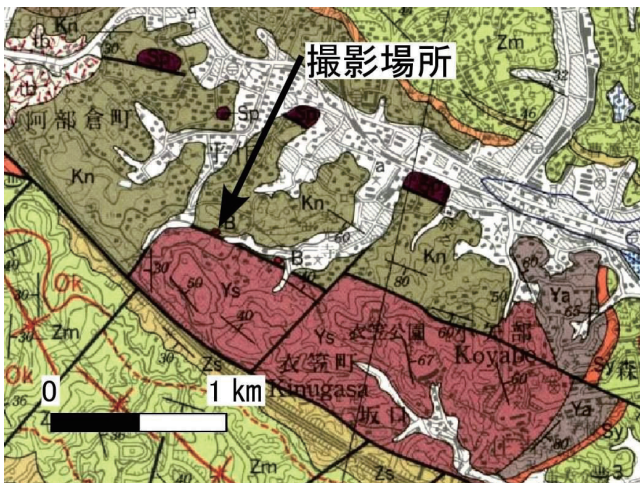
のもありますが、ガラス質の急冷縁や放射状節理が認められ、枕状溶岩の特徴をよく示しています。枕状溶岩は水中に流れ出て固まった溶岩であることが、観察からもわかっています。熱い溶岩が水中で急激に冷やされ、ガラスの急冷縁の殻に覆われた“枕”ができ、その殻が破れ中から熱く溶けた溶岩が流れ出て次の“枕”をつくり、といったことを繰り返してできたものです。しかし、この露頭の枕状溶岩が接する泥岩には溶岩による熱の影響が認められません。そのため、一度どこかで流れ出て固まった枕状溶岩が、壊れて移動し周囲の泥岩に取り込まれたものであると考えられています。つまり、かつて海底で活動した火山の一部がブロックとして付加体中に取り込まれたものです。

文 献

江藤哲人・矢崎清貫・卜部厚志・磯部一洋(1998) 横須賀地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1図幅)、地質調査所, 128p.

高橋雅紀(2008) 3.3.3 三浦半島。日本地方地質誌3 関東地方、地質学会編、朝倉書店、東京、187-193.

5万分の1地質図「横須賀」(江藤ほか, 1998)の一部に加筆。Kn, Ys, Yaが葉山層群。Sp, Bは、それに含まれる蛇紋岩・角閃岩と玄武岩。Sy, Zm, Zsは三浦層群返子層。





斉藤麻子さん 日本写真協会新人賞受賞、おめでとうございます！

表紙写真と「露頭の風景・写真家の視点」を担当されている斉藤麻子さんが、平成24年日本写真協会新人賞を受賞されました。おめでとうございます。この新人賞は公益社団法人日本写真協会の「日本写真協会賞」の一つで、日本国内で近年写真作品を発表した将来を期待される有能な新人写真家に対して与えられます。

斉藤さんの受賞理由は、「日本各地に点在する地層の露出（露頭）を丹念に調査しつつ中・大判カメラの精緻な描写力によって表現し、その周縁を形成する人間の営みまで写し込んで現代社会に対する批評性を内包させた作品「Exposures」や「Field Note」に対して」と書かれています。地質にかかわる我々としては、露頭が注目されることは大変喜ばしいことであり、二重の喜びです。また、過去の新人賞受賞者を見ますと著名な写真家の方が何人も含まれております。本編集委員会・事務局も斉藤さんの今後のますますの活躍を期待し、楽しみにしております。

日本写真協会は、写真を通じて国際親善の増進と、文化の発達に寄与することを目的として、1952年設立された団体で、現在の会員数は、正会員約1,700人、賛助会員60社で、日本の写真界を包括する組織です。写真協会賞は毎年6月1日「写真の日」に表彰をおこなっています。詳しくは、<http://www.psj.or.jp/psjaward/2012.html> をご覧ください。

(GSJ地質ニュース編集委員会)

【スケジュール】

4月17～7月1日	地質標本館特別展示 砂漠を歩いてマントルへ—中東オマーンの地質探訪—(産総研, つくば)
6月23～6月24日	2012年度土壤微生物学会大会(神戸大学)
6月29～7月1日	日本古生物学会2012年年会(名古屋大学)
7月9日～7月11日	第49回アイソトープ・放射線研究発表会(東京大学農学部弥生講堂)
7月13日～7月15日	日本藻類学会第36回大会(北海道大学学術交流会館)
7月18日～9月30日	地質標本館 夏の特別展 「ミクロな化石で地球を探る—微化石と地質調査—」(産総研, つくば)
7月21日	産総研つくばセンター一般公開
7月21日	地質標本館 特別講演会 「ジオパークへ行こう！」(産総研, つくば)

◆ 編集後記 ◆

今月号は、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震と津波によって引き起こされた地質災害を受けて、産総研地質分野で実施する複合地質リスク評価プロジェクトと地下水等総合観測施設整備に関する特集号です。地質分野研究企画室からの地質分野としての対応についての概要説明に続き、各プロジェクトから、(1)過去の津波の解明、(2)東北地方太平洋沖地震で誘発された内陸地震の現状と地震災害リスク評価、(3)地盤液状化リスク評価、(4)津波堆積物に起因する土壌汚染リスク評価、(5)地下水汚染リスク評価、さらに(6)南海地震予測のための地下水等総合観測点整備、等々に関する研究例や今後の取り組みについての紹介がなされています。これらの研究が進み、事前にリスク評価をすることで、今後起こりうる地震災害の軽減に少しでも貢献できるようになることを願っています。

本号では、説明用にカラーの挿図がたくさん使用されていますが、白黒印刷では判別しにくいものがいくつかあります。印刷版をご愛読いただいている読者の方には、WEBで公開しているPDF版もあわせて閲覧していただければと思います。

最後に、表紙に連載をいただいている写真家の斉藤麻子さんの受賞の話題が掲載されています。斉藤さんの一連の「露頭写真」により一般市民の方々にも地質を身近に感じていただければ幸いです。

(6月号担当：利光誠一)

GSJ 地質ニュース編集委員会

委員長 利光誠一
副委員長 金井 豊
委員 北川有一
杉原光彦
中嶋 健
七山 太
森尻理恵
牧本 博
渡辺真人
宮内 涉
デザイン
レイアウト 菅家亜希子

事務局
独立行政法人 産業技術総合研究所
地質標本館
TEL : 029-861-3754
E-mail : g-news-ml@aist.go.jp

<http://www.gsj.jp/publications/gcn/index.html>

GSJ 地質ニュース 第1巻 第6号
平成24年6月15日 発行

独立行政法人 産業技術総合研究所
地質調査総合センター
〒305-8567 茨城県つくば市東 1-1-1
つくば中央第7

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

印刷所 前田印刷株式会社

GSJ Chishitsu News Editorial Board

Chief Editor: Seiichi Toshimitsu
Deputy Chief Editor: Yutaka Kanai
Editors: Yuichi Kitagawa
Mituhiko Sugihara
Takeshi Nakajima
Futoshi Nanayama
Rie Morijiri
Hiroshi Makimoto
Mahito Watanabe
Wataru Miyauchi
Design &
Layout Akiko Kanke

Secretariat
National Institute of Advanced Industrial
Science and Technology
Geological Survey of Japan
Geological Museum
Tel : +81-29-861-3754
E-mail : g-news-ml@aist.go.jp

GSJ Chishitsu News Vol.1 No.6
Jun 15, 2012

National Institute of Advanced Industrial
Science and Technology
Geological Survey of Japan
AIST Tsukuba Central 7, 1-1, Higashi 1-chome
Tsukuba, Ibaraki 305-8567 Japan

All rights reserved

Maeda Printing Co., Ltd

