

GSJ 地質ニュース

GSJ CHISHITSU NEWS

— 地球をよく知り、地球と共生する —

2016

7

Vol.5 No.7



7月号

201-208

沿岸域の地質・活断層調査プロジェクトの 取り組み

田中裕一郎・水野清秀・尾崎正紀・田辺 晋

209-217

20万分の1地質図幅「松山」(第2版)と その編纂に至るまでの話

宮崎一博

218-225

東西日本の地質学的境界 【第一話】事の発端

高橋雅紀

226-228

生徒と共に学んだ筑波サイエンスワーク ショップ2015 — GSJでの研修を中心に —

森田光治

229 新刊紹介「堆積岩石学の概要」

ニュースレター

231 宇宙でJAFを呼ぶ方法

—人工衛星用自動化燃料補給活動—

Cover Page



Floating fisherman's huts on Notsuke Peninsula, eastern Hokkaido.

(Photograph and caption by
Futoshi NANAYAMA and Kazuaki WATANABE)

海上に浮かぶ? 野付半島の漁師番屋群

野付半島は北海道東部、根室海峡に付き出た延長 28 km に達する分岐砂嘴であり、規模としては日本最大である。この砂嘴の標高は 3 m に満たない低地が多く、野付湾側の尾岱沼から眺めると、漁師番屋が海上に浮かぶようにも見える。年 1.5 cm にも達する地盤沈下や海岸侵食、地球温暖化に伴う海面上昇により、砂嘴全体が水没することを危惧する地元住民も多い。

(写真・文：七山 太¹・渡辺和明²)

/ ¹産総研 地質調査総合センター 地質情報研究部門, ²同 地質情報基盤センター)

沿岸域の地質・活断層調査プロジェクトの取り組み

田中裕一郎¹⁾・水野清秀¹⁾・尾崎正紀¹⁾・田辺 晋¹⁾

1. はじめに

産業技術総合研究所地質調査総合センターは、前身である地質調査所が1882年に設立されて以来、一貫して日本で唯一の「地質の調査」のナショナルセンターとして国土の保全に資する陸域及び海域の地質に関する地質図幅等の整備を始めとして、地質情報の整備に取り組んでいます。また、その科学的根拠に基づいて産業立地評価、自然災害軽減、資源の利用と地球環境保全、地下利用などに関する技術開発を実施しています。

日本の都市の多くは沿岸域の平野に位置し、工業地帯、発電施設や空港などのインフラの多くも沿岸域に集中しています。そのような沿岸域で起こる地震・津波による災害は、国民の多くにとって脅威となります。そのため、地震減災対策に役立つ沿岸域の地質情報の整備が重要となります。ところが、陸域と海域の接続する水深約50m以浅、海岸からおおよそ5km以内の沿岸域は、調査船舶や調査手法の制約から地質情報が未整備で地質情報の空白域となっていました。平成19年3月の能登半島地震や同年7月の新潟県中越沖地震は、その震源地が岸から数キロメートル沖で発生し、甚大な被害を沿岸の産業や生活基盤に与えてしまいました。残念ながら発生前に沿岸域における活断層の存在が認識されておらず、活断層の分布や陸域から海域にかけて連続的な地質情報が十分に整備されていないことが浮き彫りになりました。

そこで、地質調査総合センターでは、沿岸域の地震減災対策や産業立地の安全に資するため沿岸域の地質情報整備が緊急の課題であると判断して、平成20年から平成25年度にかけて、産業技術総合研究所の政策課題「沿岸域の地質・活断層調査」プロジェクトとして沿岸域を中心とした活断層や地盤地質に関する地質情報の整備と調査技術開発を目的に、調査・研究を実施してきました。

また、科学技術基本法に基づく第4期科学技術基本計画(平成23年8月19日閣議決定)による新たな知的基盤整備計画の策定が求められたことを踏まえて、知的基盤整備特別委員会により、「地質情報に関する新たな整備計画・

利用促進方策」に対する新たな整備・利用促進方針及び具体的方策を盛り込んだ中間報告が平成24年8月に取りまとめられました。そのため、経済産業省の第2期知的基盤整備計画(平成25年)では、国土の保全・管理、防災、環境保全、資源エネルギーの安定確保等に資する取り組みとして「国土の基礎情報としての基盤的な地質情報の整備」が挙げられています。そこで、これに基づき地質調査総合センターでは、「沿岸域の地質・活断層調査」プロジェクトとして、平成26年度から10年計画で、太平洋側の都市・中核都市三大都市圏の沿岸域の活断層調査、地下地質や地盤地質に関する正確で精密な地質情報を整備し、「都市・沿岸域における安心・安全な生活を守るための地質災害の軽減」を目指して調査・研究を実施しています。

2. これまでの成果

本プロジェクトでは、これまでに沿岸海域において活断層が存在する地域を対象として地質構造の特性が異なる典型的な5つの地域を設定し、平成20年度能登半島北部沿岸域、平成21年度新潟沿岸域、平成22年度福岡沿岸域、平成24年度石狩低地帯南部沿岸域、平成25年度駿河湾沿岸域で、それぞれ1～2年間かけて調査を実施しました(第1図)。沿岸の陸域から海域までを調査範囲として、陸域の地質調査や反射法地震探査、海域の地質構造及び海底堆積物の調査、海陸に及ぶ重力や空中磁気などの物理探査、平野域の水文環境調査など、様々な手法によって調査を行いました。そして、地質・地域特性に応じた調査技術の開発や手法の確立を行いながら、地質情報の空白域を埋めていくとともに、海陸にわたって活断層や地層の連続性、重力や磁力の分布などを明らかにしました。たとえば、石狩低地帯南部沿岸域では、石狩平野東縁断層帯の深部構造解析から、断層帯の主部及び南部は低角逆断層によって形成されており、その断層帯の長さは地震調査研究推進本部(2010)の見解よりも、さらに南東方向に連続して延びている可能性が高いことを明らかにしました(第2図)。こうした基本的な地質情報は、地震調査研究推進本部におい

1) 産総研 地質調査総合センター地質情報研究部門

キーワード：沿岸域、地質情報、海陸シームレス、活断層、地質地盤図、沖積層、ボーリングデータ



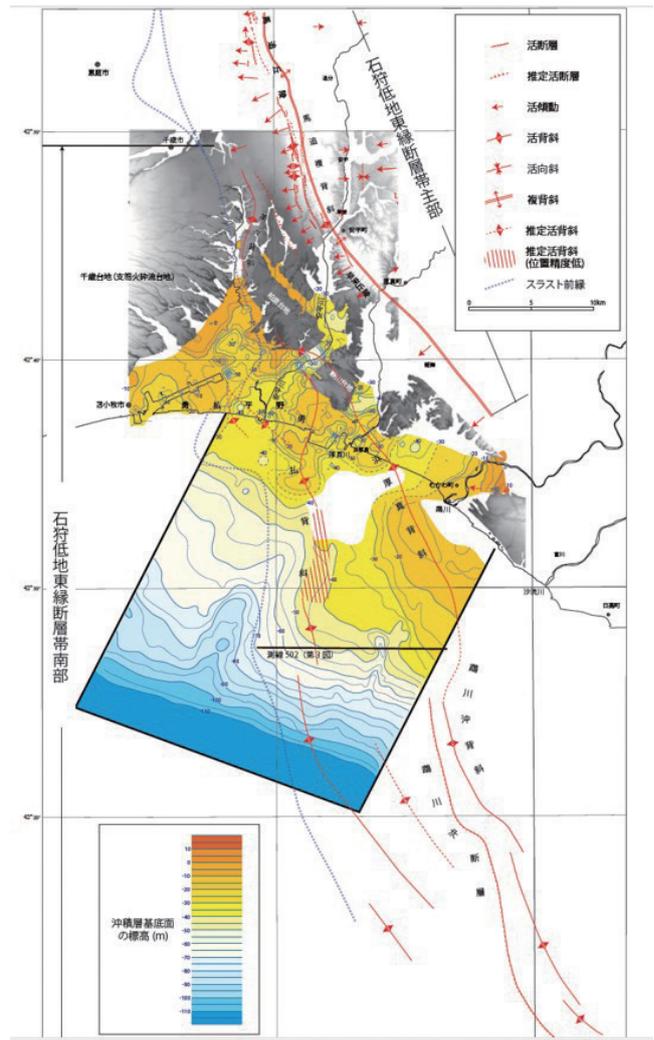
第1図 沿岸域の調査範囲。
平成20～平成25年度の調査域(実線範囲)。
平成26～平成34年度の調査域(破線範囲)。

て活断層の評価に用いられるほか、沿岸域における重要インフラの巨大災害リスク緩和、災害に強いウォーターフロント開発、中・長期予測に基づく海岸砂防などの活用事例が想定されています(知的基盤の活用事例集：経済産業省知的基盤課，平成24年8月)。また、プロジェクトの成果は、調査地域毎に地質情報図及び研究報告を取りまとめて、「海陸シームレス地質情報集(DVD-ROM)」として出版しています。

3. 現在のプロジェクトの研究概要

沿岸海域の地質情報空白域は、上述した沿岸域以外にも、全国にまだ多く残っています。しかし、全国の沿岸域の空白地域すべてに対して、一斉に調査を実施することは難しいため、太平洋側の大都市・中核都市において、防災ならびに産業立地で、活断層による構造盆地として形成され、海陸の地質情報整備が十分ではない地域を優先しました。

また、経済産業省の第2期知的基盤整備計画(平成25年)の重点化項目である「都市・平野域におけるボーリングデータの一元化による都市平野部の地質情報整備」とも連携して、都市・平野域の地質地盤図の作成にも取り組んでいま



第2図 石狩低地東縁断層帯南部における沖積層基底面の等深線図とその地質構造(佐藤ほか(2014)より)

す。さらに、都市域沿岸部の沖積層の分布にも焦点を当て、総合的に都市・沿岸域の地質情報整備を進めています。

3.1 地質情報整備年次展開

南海トラフを震源域とする海溝型巨大地震(東海地震・東南海地震・南海地震)に近い将来発生する可能性が高いことを考慮し、平成26年度からの10年計画における調査地域は、南関東から東海、近畿・四国の太平洋側を中心とした地域の地質情報整備としました(第1図)。これらの地域の中で、活動度の高い活断層が陸域から海域にかけて存在する地域、大都市や地方の中核都市を抱え未固結の地層が厚く堆積している平野沿岸域を含む範囲を重点地域として、1) 関東平野南部沿岸域(房総半島～相模湾沿岸域)、2) 伊勢湾・三河湾沿岸域、3) 大阪湾・紀伊水道沿岸域の調査をまず実施することにしました。また、巨大地震の影響が想定され地方の中核都市を有する高知平野など

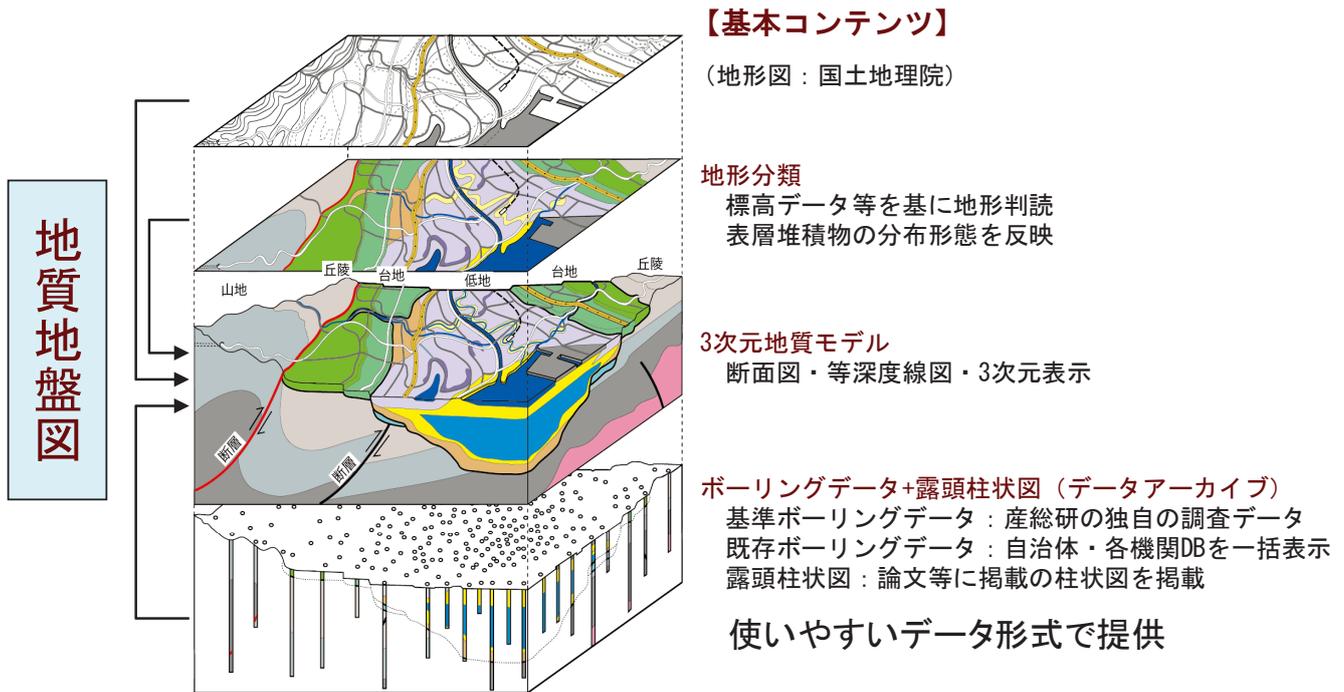
けては、鴨川低地断層帯、三浦半島断層群主部(衣笠・北武断層帯、武山断層帯)や三浦半島断層群南部(南下浦断層、引橋断層)など東西方向の活断層が複数走っており、海域の陸棚から陸棚斜面における活構造や地震起源堆積物、及び九十久里浜平野の沖積層の地質構造、三浦半島から房総半島南部(鴨川低地断層帯)とその周辺海域における活断層の連続性及び活動性・活動時期などを明らかにする必要があります。相模湾内には陸域の国府津-松田断層から連続する活断層帯があり、また、伊勢原断層の延長部が相模平野内に伏在し、さらに海域にまで及ぶ可能性があるため、足柄平野や相模平野の地下地質を含めて海域への連続性と活動性を明らかにする必要があります。なお、東京湾内は船舶の交通量が多く、また音波散乱層があり詳細な調査は難しいことから、主要な調査地域を関東平野の南部に限定しています。

②ボーリングデータ一元化による地質地盤図

東日本大震災以降、地盤リスクに対する国民の関心が高まっています。地盤リスク評価、ハザードマップ作成等の減災への取り組みにおいては、大量のボーリングデータに基づく詳細で高精度な地質地盤図が求められていますが、

現状では土木・建築工事の際の土質ボーリングデータは一部の自治体・機関を除き、体系的に整備されておらず、消失・散逸が危惧されています。また、都市部の地質図等の地質情報の整備が不十分であり、その整備の加速化と効率化等が必要とされています。これらの状況を鑑み、知的基盤の第2期整備計画の重点化項目にある「ボーリングデータの一元化による詳細な地質情報の整備」において、地質調査総合センターが独自に実施したボーリング調査のデータを基準に、首都圏の重要地域である千葉県北部をモデル地域として対象地域の自治体から既存ボーリングデータの収集を行い、2次利用を容易にするための標準的なファイル形式(JACIC様式XML形式)へ変換してデータベース化を行います。そして、そのデータを用いて地層の広域な対比を行い、それぞれの地点の地層境界の標高情報から地層境界面を推定することにより3次元地下地質モデルを構築し、地形分類のそれぞれが持つカテゴリーを統合して3次元地質地盤図を作成し、都市平野部の地質情報整備を行います(中澤ほか, 2016; 第4図)。また、これらの地質情報とボーリングデータを併せて閲覧・利用できるシステムの構築を行い、使いやすい形で公開することを目指し

ウェブでの配信を前提とした、
わかりやすく、使いやすく、信頼性の高い地質情報の整備



第4図 地下地質構造を可視化する新しい地質図スタイルの確立(中澤ほか, 2016)。

ています。

③ 沖積層分布図

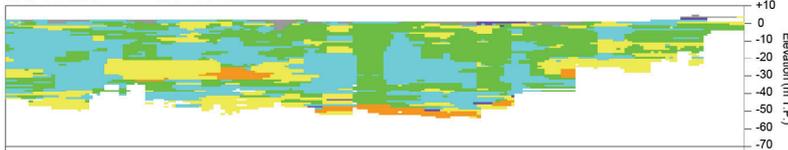
地質調査総合センターでは、これまで、軟弱地盤が分布する東京低地、中川低地及び荒川低地の沖積層を対象として、標準層序や地質特性を確立するためのボーリング調査と既存ボーリング柱状図資料の収集・解析及びデータベースの作成などを実施してきました。また、これらのデータを利用して、模式断面や古地理の復元、3次元の地盤モデルと強震動予測モデルの作成などが行われています(中澤・田辺, 2011; 田辺ほか, 2014)。その結果、例えば東京低地と中川低地では、約4千年前までに内湾の縁に堆積した高有機質泥層の分布と大正関東地震による家屋被害率の高い地域が、よく一致することなどが分かりました。このように沖積層の形成過程の解明は、地質災害を予測するうえでも非常に有用と考えられます。しかし、東京低地の臨海部や川崎市から横浜市にかけた沿岸域に分布する沖積層については、1980年代以降研究が進展しておらず、ここ20年間で飛躍的に進展した新たな沖積層形成概念に基づいて、地盤情報を整備する必要があります。そこで、東京低地臨海部から多摩川下流域さらに横浜市に及ぶ

東京湾西岸地区の沖積層について、既存のボーリング柱状図資料を収集するとともに、模式的な地点においてオールコア・ボーリング調査を行い、沖積層の堆積相と堆積環境及び物理特性を三次元的に明らかにします。そして、これらをもとに堆積相と堆積環境、堆積年代、物性値(含水率や泥分含有率、 N 値などからS波速度に変換した値)の分布を表現した多数の地質断面図及び平面図、古地理図を作成し、沖積層アトラスとしてとりまとめ、地震動予測に活用できる新たな地質地盤図として公表を目指しています(第5図)。

2) 伊勢湾・三河湾(調査期間:平成29~31年度)

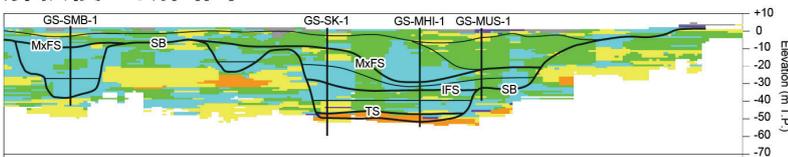
当該地域は中京圏の中心である名古屋市を含み、渥美半島、知多半島、濃尾平野の南部から伊勢平野、三河湾、伊勢湾などを含む範囲を対象としています。濃尾平野や伊勢平野内、知多半島には活断層あるいはその可能性があるものが多数あり(水野ほか, 2009)、海域へも延びていると考えられますが、その詳細な連続性と活動性は明らかにされていません。また、平野域の沖積層は特に濃尾平野に関しては詳細な研究報告(たとえば羽佐田, 2015)がありま

解釈前の断面図



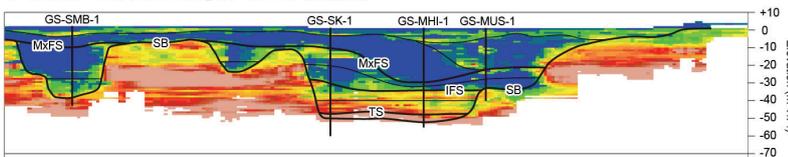
ボーリング柱状図資料からは岩相の分布しか分からない。

解釈後の断面図



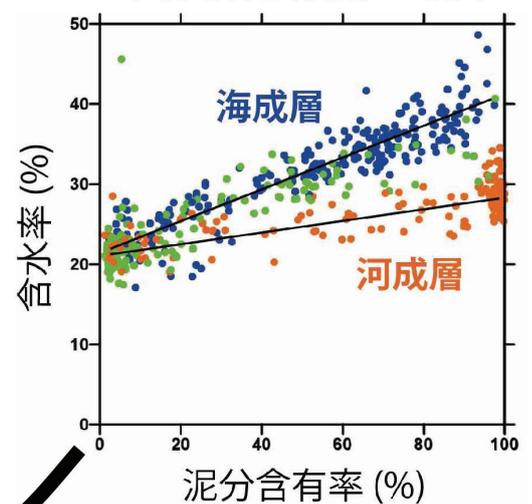
標準コアによって堆積環境の分布予測が可能。

S波速度変換後の断面図



堆積環境と物性値の相関をS波速度に変換することによって詳細な地震動予測が可能。

堆積環境と物性値の相関



沖積層の物性値は堆積環境に依存する。

アトラスの構成

- 堆積柱状図, 同時地質断面, 古地理図
- 堆積環境と物性値の相関図
- 250 m グリッドの断面図と平面図
- 物性値の空間分布モデル

第5図 沿岸河口低地の沖積層を対象とした地質地盤図(沖積層アトラス)。

すが、さらに沿岸海域での調査を行うことにより、陸域から海域への連続性を明らかにします。なお湾内では、堆積速度が大きい可能性もあり、高精度の地質情報取得が期待されます。湾内に分布する断層の活動度や活動時期等に関する調査は、岩淵ほか(2000)、岡田ほか(2000)や岡村ほか(2013)などで行われていますが、陸域から連続する地層を追跡することで、より精度の高い結果が期待されます。

3) 大阪湾・紀伊水道沿岸域 (調査期間:平成 32 ~ 34 年度)

当該地域は大阪市や神戸市を含む大阪平野と大阪湾内及びその沿岸域、和歌山平野及び徳島平野の沿岸部さらに紀伊水道とその沿岸域にあたります。大阪湾内及びその周辺の平野地下地質や活断層については、兵庫県南部地震(1995年)以来、多くの調査結果が蓄積されてきています(たとえば市原, 2001)。また、浅層地下地質についても詳細なとりまとめが進められてきています(関西地盤情報活用協議会, 1998; 大阪湾地盤情報の研究協議会, 2002など)。これらの成果を活用しつつ、海陸に及んで均質な精度での地層の分布や活構造を表現する必要があります。海域の活断層については、上町断層から派生する活断層(文部科学省研究開発局・京都大学防災研究所, 2013)が大阪湾沿岸海域まで伸びる可能性、四国から淡路島南端に続く中央構造線が淡路島東岸の断層(岡田・東郷編, 2000など)と連続するかどうか、中央構造線のセグメント境界がどこに位置するのか、など解明すべき課題が残されています。また中央構造線に沿って和歌山平野、徳島平野の堆積盆が沿岸域に点在しており、その形成には中央構造線の横ずれ運動が重要な役割を担っていると考えられていますが、その形態や堆積過程と断層運動との関係は十分にわかっていないのが現状です。最近和歌山平野の地下地質については、詳細なとりまとめや調査が進められており(KG-NET・関西圏地盤研究会, 2011; 文部科学省研究開発局・京都大学防災研究所, 2015)、これらの成果をさらに進展させて、徳島平野や紀伊水道下の中央構造線との関連を詳細に検討する必要があります。さらに、紀伊水道については、海底下の地質情報に乏しく、詳細な調査を必要とします。

4) 四国太平洋沿岸域, 瀬戸内海沿岸域, 有明海沿岸域など (調査期間:平成 35 年度以降)

南海地震の発生が危惧され、地質情報整備が急がれる土佐湾沿岸域、広島湾、別府湾、^{ひうちなだ}燧灘などの活断層が集中し、比較的人口密集地に近い瀬戸内海沿岸域、また熊本・

佐賀などの地方の中核都市を抱え、平野地下や海底に活動度の高い活断層が存在している有明海沿岸域などを優先的に調査の実施が必要とされます。別府湾周辺地域については、現在詳細な調査が進められています(文部科学省研究開発局・京都大学大学院理学研究科, 2015)が、それ以外の地域では、平野域と海域をつなぐ調査は十分とは言えません。

3.3 調査項目

海陸シームレス地質情報に関する調査では、沿岸海域の地質情報の空白域を埋めることが必須条件であることから沿岸海域の地質構造・堆積物の調査を最優先として、重力探査・空中磁気探査など海陸両域にわたって広く同じ精度で調査を行います。さらに、活断層・活構造の調査や特定の区域を対象とした反射法探査などは、重要な区域に対して重点的な調査を行っています。また、陸域では、平野部地下を主な調査対象とする地下地質調査を行います。

そのため、本プロジェクトにおいては、これまで実施してきた調査内容をほぼ踏襲し、以下のような調査を実施します。

1) 海域調査

①海底地質構造調査

地質情報の空白域となっている沿岸域において小型船に搭載した、ブーマーを音源とする小型の高分解能マルチチャンネル音波探査装置を用いて、反射法音波探査を行って海底下の3次元的な構造を明らかにします。そして、隣接する平野域や沖合との連続性を検討して海陸シームレス地質図の基礎とします。海陸にまたがる活断層の位置と長さの情報を提供するとともに、平野域で調べられた地下構造の海域延長の分布から都市防災に資する情報を提供します。また、明らかになった地下構造からその成因、地史を検討し、将来予測に役立てます。

②海底堆積物調査

海底表層堆積物の空白域となっている沿岸域において、グラブ採泥器による表層堆積物の採取や、海底写真撮影及び水理条件(流速・流向)の計測を実施し、表層堆積物の分布様式や現行堆積過程の特徴について明らかにします。特に、沿岸海域における短期的あるいは中・長期的な堆積物輸送の特徴に注目して検討を行います。この結果は主に表層堆積物としてまとめ、沿岸環境の維持・管理あるいは開発のための基礎資料としても活用します。また、ピストンコアラーやパイプロコアラーを用いた柱状試料の採取を実施し、海底堆積物の堆積相の変遷・層序の解析を行いま

す、特に、音波探査による海底地質構造調査の結果と合わせ、完新世における地域的な相対的海水準変動や活構造に対応した地層形成過程の特徴について明らかにし、地震の発生履歴の検討や活断層の活動度評価を行います。

2) 陸域調査

① 陸域構造調査 (反射法地震探査)

反射法地震探査を実施するとともに、既存の反射法地震探査のデータを収集し、最新の処理法を適用します。断層やそれに関連すると考えられる褶曲等の構造の連続性を明らかにするために、海岸線の近傍のみならず、ある程度内陸部まで網羅的に探査を実施し、また、これらの構造のスケールに応じて、極浅部から深部まで適切に対応し調査を行います。得られた結果は、海陸シームレス地質図作成の重要なデータとなります。

② 陸域地質調査

沿岸に位置する主要な平野域において、既存ボーリング資料等の収集・解析を行い、沖積層を中心にして地層の3次元的な分布図を示します。また地下資料が不足している地域や活断層近傍において深度100m程度までのボーリング調査を実施し、新たな地下地質情報を追加するとともに、活断層の通過位置や活動度などに関する情報を提供します。さらに地表における活断層や第四系の分布調査を行い、シームレス地質図を編集するとともに、必要に応じて活断層の活動履歴、津波堆積物、地すべりなどの地震減災対策につながる調査を実施します。また、海域における地層や活断層との連続性の鍵となる地層を検討し、海陸シームレス地質図作成の基礎とします。

3) 海陸探査

① 重力探査

陸域及び海域で重力探査を実施します。他の調査と比較して、海陸の境界部分において地質情報の空白域や不連続が生じにくいいため、海陸シームレス地質図作成の際の重要なデータとなります。また、必要に応じて海陸シームレス地質図にブーゲー異常の等値線を表示します。さらに、重力基盤深度も表示した重力構造図を作成します。

② 磁力探査

陸域及び海域で空中磁力探査を実施し、高分解能空中磁気異常図を作成します。重力探査同様に、海陸の境界部分において地質情報の空白域が生じにくいいため、海陸シームレス地質図作成の際の重要なデータとなります。

4. おわりに

本プロジェクトでは、地質調査総合センターで実施している5万分の1地質図幅調査、水文地質調査や深部構造、長期地殻変動、堆積盆地構造、強震動予測、地震災害予測、沿岸環境などの研究・調査などとも相互に連携して、都市・沿岸域における安心・安全な生活を守るための地質災害の軽減に向けて沿岸域の地質情報の整備を推進していきます。

最後に、これまでの沿岸域の地質・活断層調査の各年度の報告書と既出版された海陸シームレス地質情報は、<https://www.gsj.jp/researches/project/coastal-geology/>のサイトから閲覧・ダウンロードできますので、ご活用ください。

文 献

- 羽佐田紘大(2015) GISを用いたボーリングデータ解析に基づく濃尾平野の3次元構造と堆積土砂量の復元。地理学評論, 88, 118-137.
- 市原 実(2001) 地震後の調査・研究から。「続・大阪層群—古瀬戸内河湖水系—」, アーバンクボタ, no.39, 14-33.
- 岩淵 洋・西川 公・野田直樹・川尻智敏・中川正則・青砥澄夫・加藤 勲・安間 恵・長田 智・角谷昌洋(2000) 伊勢湾における活断層調査。水路部研究報告, 36, 73-96.
- 地震調査研究推進本部(2010) 石狩低地東縁断層の長期評価の一部改訂について。http://jishin.go.jp/main/chousa/10aug_ishikari/index.htm (2016/2/15 確認)
- 関西地盤情報活用協議会(1998) 新関西地盤—神戸および阪神間。270p.
- KG-NET・関西圏地盤研究会(2011) 新関西地盤—和歌山平野。208p.
- 水野清秀・小松原 琢・脇田浩二・竹内圭史・西岡芳晴・渡辺 寧・駒澤正夫(2009) 20万分の地質図幅「名古屋」(第3版)。産総研地質調査総合センター。
- 文部科学省研究開発局・京都大学防災研究所(2013) 上町断層帯における重点的な調査観測平成22～24年度成果報告書, 地震調査研究推進本部。http://www.jishin.go.jp/database/project_report/uemachi_juten-h24/ (2016/2/15 確認)
- 文部科学省研究開発局・京都大学防災研究所(2015) 中央構造線断層帯(金剛山地東縁—和泉山脈南縁)にお

- ける重点的調査観測平成 26 年度成果報告書, 地震調査研究推進本部. http://www.jishin.go.jp/database/project_report/mlt_juten-h26/ (2016/2/15 確認)
- 文部科学省研究開発局・京都大学大学院理学研究科(2015) 別府一万山断層帯(大分平野一由布院断層帯東部)における重点的調査観測平成 26 年度成果報告書, 地震調査研究推進本部. http://www.jishin.go.jp/database/project_report/beppu_haneyama-h26/ (2016/2/15 確認)
- 中澤 努・田辺 晋(2011) 野田地域の地質, 地域地質研究報告(5 万分の 1 地質図幅), 産総研地質調査総合センター, 72p.
- 中澤 努・野々垣 進・宮地良典(2016) 都市域の 3 次元地質地盤図一都市平野部の新たな地質情報整備一, シンセシオロジー, **9**, 73-85.
- 岡田篤正・東郷正美編(2000) 近畿の活断層. 東京大学出版会, 395p.
- 岡田篤正・豊蔵 勇・牧野内 猛・藤原八笛・伊藤 孝(2000) 知多半島西岸沖の伊勢湾断層. 地学雑誌, **109**, 10-26.
- 岡村行信・坂本 泉・滝野義幸・横山由香・西田尚央・池原 研(2013) 伊勢湾に分布する布引山地東縁断層帯東部海域部の位置・形状と過去の活動. 活断層・古地震研究報告, 産総研地質調査研究センター, no.13, 187-232.
- 大阪湾地盤情報の研究協議会(2002) ベイエリアの地盤と建設一大阪湾を例として. 505p.
- 佐藤智之・尾崎正紀・小松原 琢(2014) 石狩低地帯及び周辺地域の 20 万分の 1 海陸地質図. 海陸シームレス地質情報集, 「石狩低地帯南部沿岸域」, 海陸シームレス地質図 S-4 (DVD), 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 杉山雄一・佐竹健治・駒澤正夫・須貝俊彦・井村隆介・水野清秀・遠藤秀典・下川浩一・山崎春雄・石田瑞穂・広島俊男・長谷川 功・村田泰章(1997) 50 万分の 1 活断層図「東京」(第 2 版), 地質調査所.
- 田辺 晋・中西利典・石原与四郎・宮地良典・中島 礼(2014) 東京低地と中川低地における沖積層のシーケンス層序と古地理関東平野中央部の地下地質情報とその応用 特殊地質図 no.40, 8-50.

TANAKA Yuichiro, MIZUNO Kiyohide, OZAKI Masanori and TANABE Susumu (2016) Outline of "geological and active faults survey project in coastal areas".

(受付:2016 年 1 月 29 日)

20 万分の 1 地質図幅「松山」(第 2 版)と その編纂に至るまでの話

宮崎一博¹⁾

1. はじめに

産業技術総合研究所地質調査総合センター(以下、産総研)では、20 万分の 1 地質図幅を作成しています。平成 28 年 3 月に 20 万分の 1 地質図幅シリーズとして、20 万分の 1 地質図幅「松山」(第 2 版)((宮崎ほか, 2016):以下、松山図幅第 2 版)を出版したので紹介します。加えて、後半では松山図幅第 2 版の編纂へ至るまでの話を紹介します。

産総研では、陸域地質図の体系的整備を進めており、20 万分の 1 地質図幅は全国を網羅する編纂地質図との位置づけです。編纂地質図とは、既存の文献等を参考に編纂を行った地質図です。このほかに、独自に野外調査を行い作成する 5 万分の 1 地質図幅の出版、20 万分の 1 地質図幅 124 区画の境目を無くし、全国を統一凡例で表示できるようにしたシームレス地質図の web 配信を行っています。20 万分の 1 地質図幅は、2009 年度に全国完備を達成した後は、作成年の古いものを順次改訂しています。松山図幅の初版は 1957 年の発行ですから、松山図幅第 2 版は実に 59 年ぶりの改訂ということになります。この 59 年の間に、地質学的研究は大きく進展しました。今から 59 年前というと、地向斜造山論からプレート沈み込み型造山論へのパラダイムシフトが起こる以前であり、この 59 年間の地層岩体の形成年代や形成環境を知る分析手法や理論的解析手法の進歩は目を見張るものがあります。この間行われた地質調査には地質学のパラダイムシフトと新たな分析・解析手法が加味されています。松山図幅第 2 版はこれらの成果を基に編纂されました。

松山図幅第 2 版の編纂に当たって、地域内の 5 万分の 1 地質図幅、表層地質図、県図、論文等に掲載された地質図を参考にしました。データが不足する地域や既存地質図の修正が必要な地域については、野外調査と採取試料の年代測定を行いました。また、既存資料を参照して、等深線図、陸上及び海底の活断層、温泉、鉱床、重力異常も合

せて地質図上に示しました。

本図幅内の四国側の変成コンプレックスと深成変成コンプレックスを宮崎一博が、付加コンプレックスとシルル-デボン紀浅海成堆積物を脇田浩二さんが、中央構造線以南の三畳紀-白亜紀浅海成堆積物を利光誠一さんが、瀬戸内島嶼部と中国側の深成変成コンプレックス及び海域活断層を宮下由香里さんが、上部白亜系和泉層群と陸上活断層を野田 篤さんが、中新世堆積岩類と中央構造線以南の中新世火山岩類を高橋雅紀さんが、中央構造線以北の中新世火山岩類を角井朝昭さんが、第四紀堆積物を水野清秀さんが、鉱床を大野哲二さんが、重力調査・編集を名和一成さんと宮川歩夢さんが担当し、手書き地質図原稿のイラストレータ化を鈴木文枝さんが、全体のとりまとめを宮崎一博が行いました。そして、印刷校訂は川畑 晶さんが担当しました。

2. 地形と地質概要

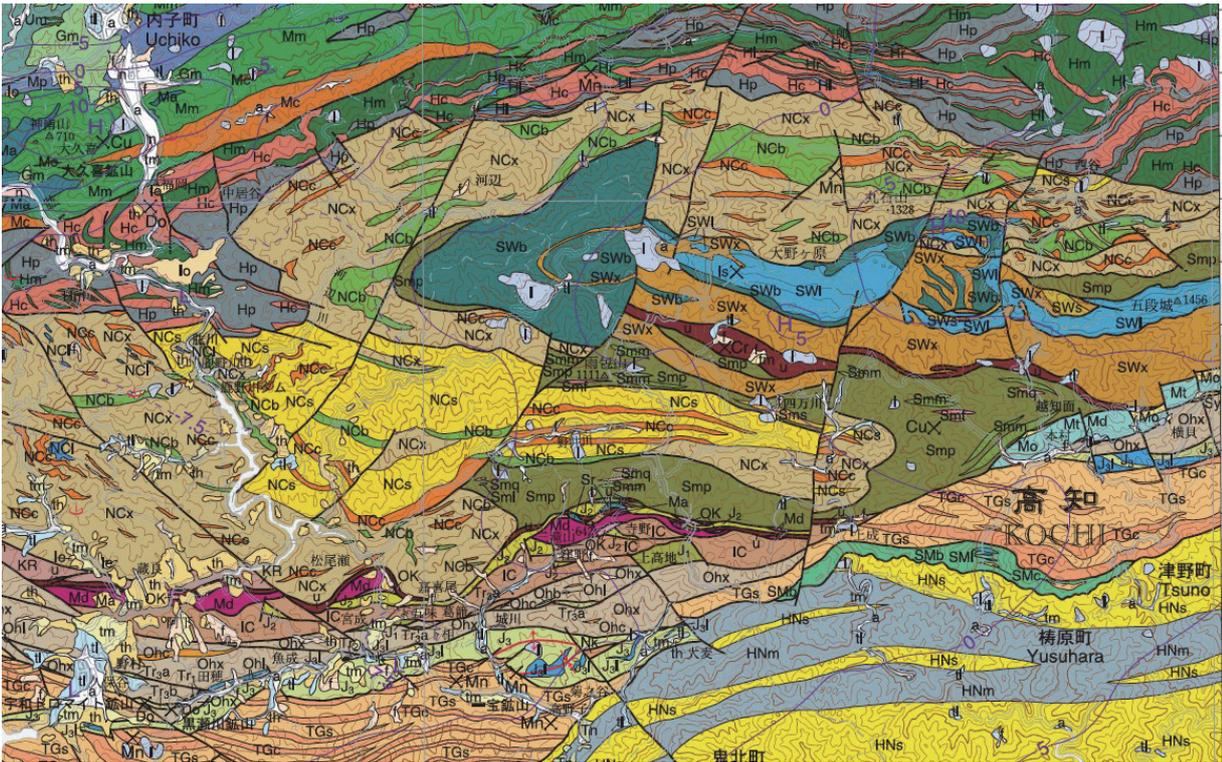
本概要は松山図幅第 2 版(宮崎ほか, 2016)からの抜粋です。

本地域は四国北西部及び瀬戸内海西部に位置し、愛媛県中西部、高知県北西部、山口県南東部が含まれます。本地域北西部は伊予灘及び周防灘に面しており、山口県柳井地方から愛媛県高縄半島西岸にかけて防予諸島の島々が点在します。本地域東部は四国最高峰の石鎚山から連なる久万高原が高まりをなしています。肱川はこの山地を開析する先行河川であり、その最上流部には標高 250m 以下の盆地が分布するという特異な形態を示します。また、松山平野は伊予灘東端に発達する本地域最大の平野であり、重信川が流れています。本地域南西部には佐多岬半島が西南西に延びており、その南東側は宇和海に面しています。本地域南東部の大野ヶ原周辺には、四国カルストが発達します。

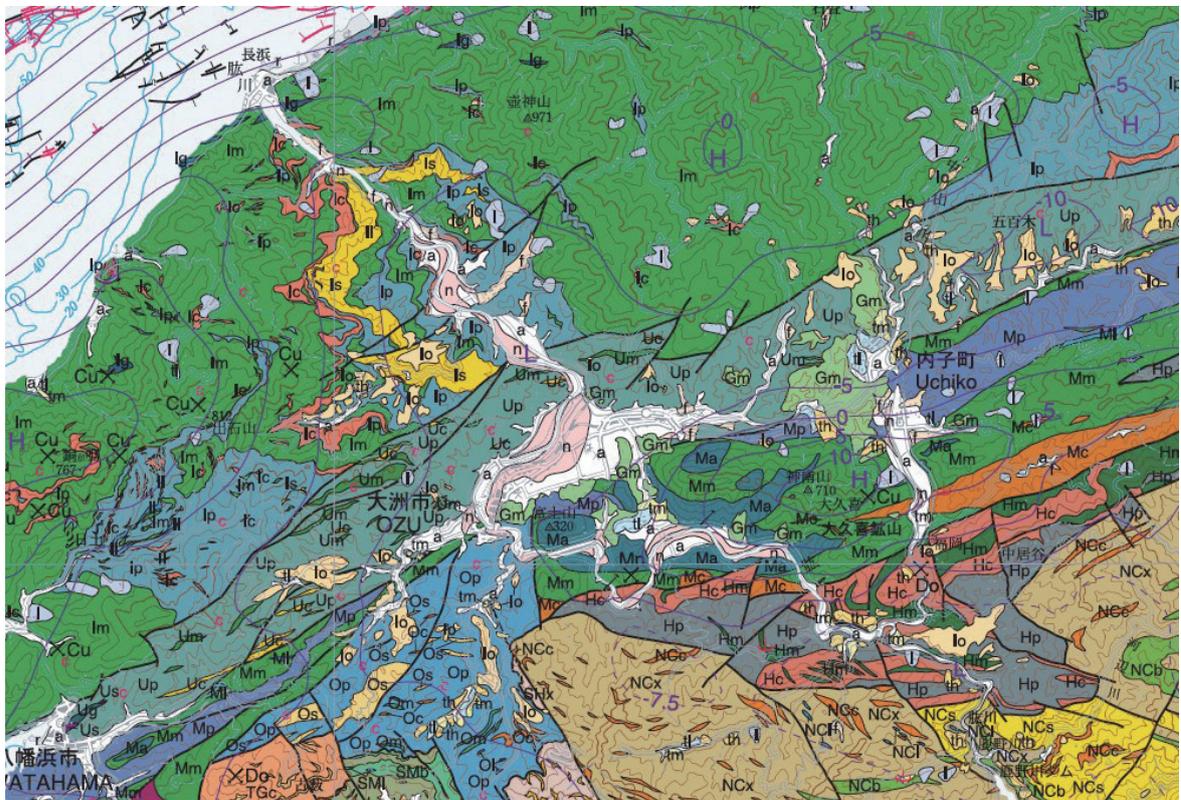
本地域ほぼ中央部を中央構造線が通り、中央構造線以北が西南日本内帯、以南が西南日本外帯となります。本地域

1) 産総研 地質調査総合センター地質情報研究部門

キーワード: 20 万分の 1 地質図幅, 松山, 編纂, 地質図



第2図 松山図幅第2版(宮崎ほか, 2016) 図幅南東部(愛媛県と高知県の県境付近)の拡大図
 中央部大野ヶ原付近に分布するSWで始まる地層がペルム紀付加コンプレックス, その南に分布するSmで始まる地層が三畳紀高圧型変成岩, さらにその南にレンズ状に分布する岩体Mdはオルドビス紀-シルル紀の深成岩類. uは後期カンブリア紀の超苦鉄質岩.



第3図 松山図幅第2版(宮崎ほか, 2016) 図幅中央部(大洲市周辺)の拡大図
 I, U, O, M, Hの記号で始まる地層群が三波川変成コンプレックスに含めたもの. Hで始まる地層群とNCで始まる地層群の境界が大洲-河辺川断層.

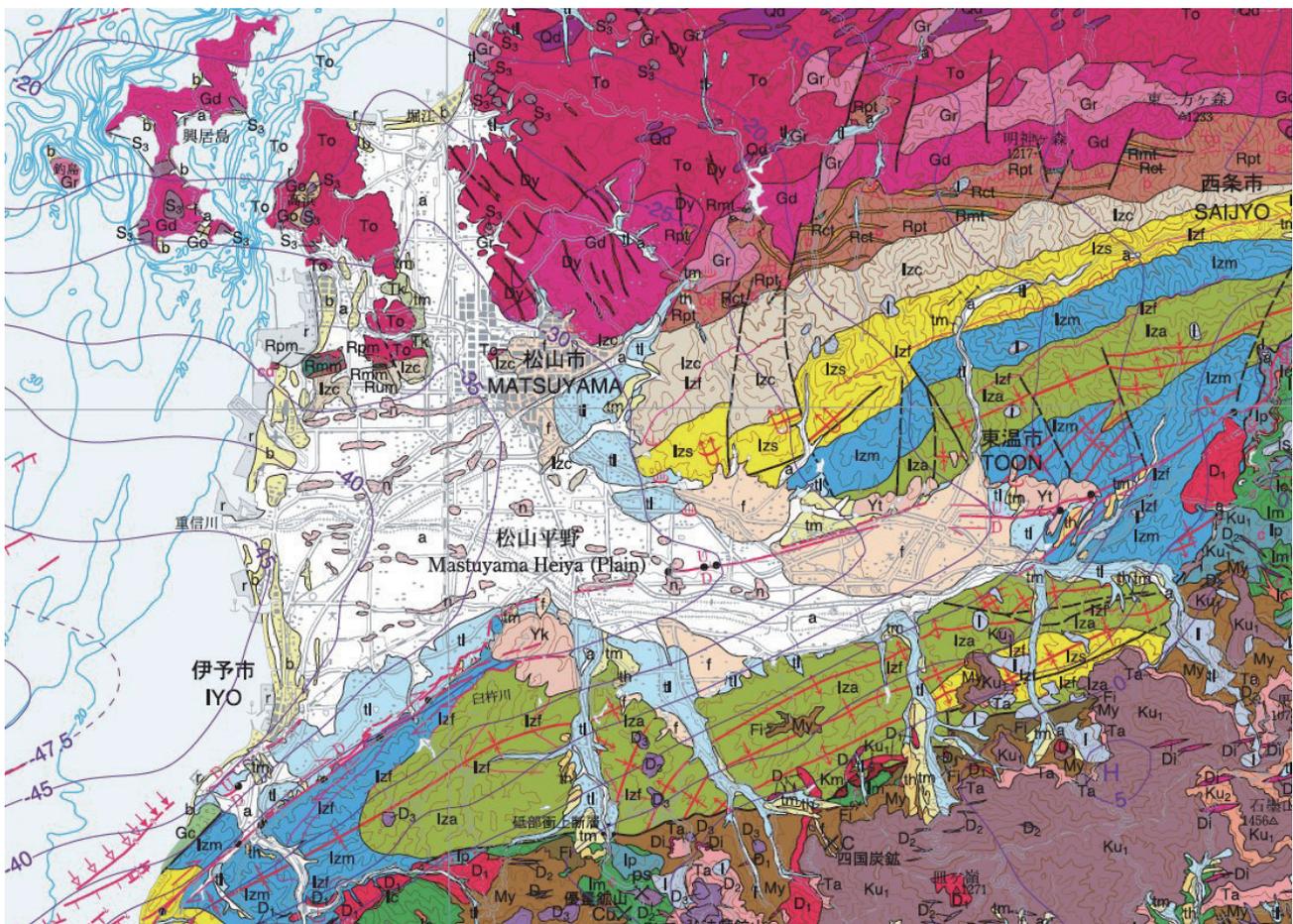
変成コンプレックスの見かけ下位に三波川変成コンプレックスが位置します。三波川変成コンプレックスの南側には、オルドビス紀-シルル紀変成深成コンプレックス及びシルル-デボン浅海成堆積物などの古期岩類が高角断層で接して分布します。中央構造線以北では、白亜紀深成変成コンプレックスである領家深成変成コンプレックスが広く分布します(第4図)。

三畳紀-ジュラ紀浅海成堆積物は、北部秩父帯南縁部及び南部秩父帯に小規模に分布します。白亜紀浅海成堆積物は、中央構造線以北に分布する和泉層群、中央構造線以南では、外和泉層群、物部川層群、及び南海層群からなります。本地域東部には、中新世の陸成層を主とする久万層群、さらにこれを不整合に覆って、主に火砕流堆積物及び溶岩からなる中新世の石鎚層群が分布します。瀬戸内海島嶼部から高縄半島及び中央構造線近傍にかけて、中新世噴出岩類及び貫入岩類が分布します。第四紀堆積物は松山平野とその周辺低地、肱川流域及び柳井市周辺の低地に分布します。松山平野の南端部には、東北東-西南西走向を示す中

央構造線活断層系が分布し、伊予灘海底に連続します。

3. 松山図幅第2版の編纂に至るまでの話

松山図幅は、先に述べたように59年ぶりの改訂になるわけですが、その編纂に際して、実際に松山図幅第2版で引用した文献以外に、私がこれまで作成に携わった5万分の1地質図幅「低用」(熊本県中央部)及び「伊野」(高知県北西部)、20万分の1地質図幅「八代及び野母崎の一部」及び「大分」で得た知識が役立っています。恐らく、これらの知識がなければ、松山図幅第2版の編纂は異なった結果になっていたと思います。とりわけ、実地に地質調査を行う5万分の1地質図幅作成で得られる知識の重要性は大きいと思います。理想的には後述する5万分の1地質図幅「低用」と20万分の1地質図幅「八代及び野母崎の一部」の関係のように、20万分の1地質図の区画内にある適切な5万分の1地質図幅を最初に作成し、その知識を基に、周辺地域の既存文献を参考に20万分の1地質図



第4図 松山図幅第2版(宮崎ほか, 2016)北東部(松山市周辺)の拡大図

北側に分布する赤系統の岩体が領家深成岩類。その南のRで始まる地層群が領家変成岩。更なる南のIzで始まる地層群が和泉層群。和泉層群の南縁の断層が中央構造線。

幅を編纂することが最善と思われます。実際問題、そのように図幅計画を走らせることは、時間的、予算的、及び人的リソースの問題から難しいのですが、「砥用」図幅と「八代及び野母崎の一部」図幅では、理想的な順序で地質図幅作成が行えました。このような順序で地質図幅が作成できない場合でも、対象となる 20 万分の 1 地質図幅に関連性のある地層岩体が分布する 5 万分の 1 地質図幅の作成で得られた知識の重要性は、後述する 5 万分の 1 地質図幅「伊野」と松山図幅第 2 版の関係からも言えると思います。また、関連性のある地層岩体が分布する 20 万分の 1 地質図幅の編纂を集中的に行うことも非常に効果的だと思います。

話は変わりますが、何かの機会に三浦しをん原作の「舟を編む」という映画を見ました。原作は 2012 年の本屋大賞第 1 位を獲得した作品です。タイトルからすると舟を作る物語だと連想しますが、映画に描かれていたのは、辞書を作る人々の物語でした。「広大な言葉の海を渡ろうとする人たちに捧げる辞書を作る」という意味で「舟を編む」というタイトルだそうです。出版社でお荷物扱いされていた辞書を作成する部署の人たちが、懸命に辞書を作る姿が描かれています。辞書の構想から、地道な文献調査や世の中での言葉の使われ方の調査、辞書のレイアウト、幾度にも及ぶ校正など、辞書の編纂は地質図の編纂に似た面があります。話を松山図幅第 2 版の編纂に戻します。編纂に使用した引用文献は松山図幅第 2 版の裏面解説に書かれています。以下では裏面の解説には書かれていない、同図幅の編纂に至るまでの話を物語風に書きました。これまで得ていた知識が今回の編纂にどのように関連したかを紹介します。

3.1 5 万分の 1 地質図幅「砥用」の作成

5 万分の 1 地質図幅「砥用」(斎藤ほか, 2005) は、1990 年代後半に立ち上げた図幅で、斎藤 眞さん、利光誠一さん、星住英夫さん達と地質調査を行いました。もう 20 年近く昔になります。「砥用」地域は、今から 30 年以上昔の 1980 年代前半頃、九州大学理学部地質学科の進級論文のフィールドでもありました。私にとっては、「砥用」は大変懐かしいフィールドです。進級論文の指導担当講座は、層序講座と岩石講座でした。現地調査の指導には、勘米良亀齡先生、佐野弘好先生、柳 哮先生、西山忠男先生が来られました。進級論文の調査範囲は白杵 - 八代構造線を挟んだ地域で、春と夏に 2 週間ほどの調査だったと記憶しています。春夏の調査に加えて、同級生とゴールデンウィークにも、自主的に調査に出かけていました。当時、

夜宿に帰ると石坂浩二がナレーション役で NHK の「動く大地の物語」をやっていたのを覚えています。「動く大地の物語」で流れる枕状溶岩や層状チャートの映像を見ながら、九州山地の山奥の露頭がグローバルな変動史につながっていることを実感しつつ、同級生とその日の地質調査のまとめを行っていました。「砥用」地域は、進級論文で調査したフィールドだったので、多種多様な地層岩体が分布し、地質構造も複雑だということは予想していました。

進級論文以来、約 10 年ぶりに「砥用」地域を調査することになったのですが、この時の私の主な担当は白杵 - 八代構造線北側の竜峰山層群と肥後変成岩及び間の谷変成岩でした。肥後変成岩に関しては、詳細な地質調査の結果を基に、岩石学的検討と熱移流モデリングを組み合わせて高温型変成帯の形成モデル構築へと発展させることができました(Miyazaki, 2004; Miyazaki, 2007; Miyazaki, 2010)。一方、白杵 - 八代構造線の南側は主に斎藤さんが担当しました。進級論文の時の調査で、この地域は、小規模に分布する弱変成岩や“黒瀬川帯”の高変成度の変成岩や深成岩が存在することはわかっていました。進級論文の時に大量に作った薄片の検鏡を行い、ローソン石やアルカリ角閃石を含む緑色岩の存在に興味をもちました。「砥用」の調査の時に、斎藤さんをお願いして、あるいは斎藤さんから検鏡してほしいと依頼があったのかもしれませんが、斎藤さんが採取した試料の岩石薄片の検鏡を一緒に行っていました。検鏡の結果、九州山地から初めてのひすい輝石の産出(斎藤・宮崎, 2006)を記載できました。また、「砥用」地域の“黒瀬川帯”の超苦鉄質岩には粗粒な単斜輝石から構成される単斜輝石岩がかなり分布することも、進級論文の時に分かっていたので、これも記載しました(斎藤ほか, 2004)。進級論文では地域全体の地質構造の把握が十分ではなく、秩父帯の付加コンプレックスの中に、弱変成岩や高変成度の変成岩がレンズ状に細長く分布し、周囲とは断層で接すること以上のことはわかっていませんでした。斎藤さんの詳細な地質調査により、構造的下に前期ジュラ紀付加コンプレックスが、その上位に三畳紀 - ジュラ紀高圧型変成岩・超苦鉄質岩など“黒瀬川帯”の古期岩類が分布することが明らかになりました。「砥用」地域のこのような地質構造の総括は最近出版された *Geology of Japan* でもまとめています(Miyazaki *et al.*, 2016)。「砥用」地域の調査で得られた知識は、松山図幅第 2 版をまとめる上で大変参考になりました。

3.2 20 万分の 1 地質図幅「八代及び野母崎の一部」の編纂

5 万分の 1「砥用」図幅の完成後、20 万分の 1 地質図幅

「八代及び野母崎の一部」(斎藤ほか, 2010)の作成を行いました。20万分の1地質図幅「八代及び野母崎の一部」は、20万分の1地質図幅の全国完備達成に向けて、最後まで残っていた図幅の1つでした。著者は、「砥用」図幅のメンバーに加え、宝田晋治さん、水野清秀さん、濱崎聡志さん、阪口圭一さん、大野哲二さん、村田泰章さんが加わりました。火山岩や第四系以外の主だった地質は、ほぼ「砥用」図幅に出てくるものなので、「砥用」図幅の地層岩体区分やそのとき得られた地質構造を参考にして地質図を編纂しました。20万分の1地質図幅「八代及び野母崎の一部」地域の天草上島東岸には、「砥用」図幅の肥後変成岩の西方延長が分布しています。ここでは、比較的まとまった超苦鉄質岩が分布していて、これに伴う苦鉄質変成岩及び泥質変成岩から肥後変成岩の黒雲母帯程度の変成作用を受けていることが推定できました。これとよく似た超苦鉄質岩は松山図幅第2版の中にも分布します。大島変成岩に伴う超苦鉄質岩です。大島変成岩には石灰岩や苦鉄質岩及び砂岩泥岩を原岩とする高温型の変成岩が分布すること、変成度及び放射年代も肥後変成岩とほぼ同じであることから、文献ですでに指摘されていたように、大島変成岩とこれに伴う超苦鉄質岩を肥後変成岩の東方延長とすることにほとんど違和感はありませんでした。

もう1つ、20万分の1地質図幅「八代及び野母崎の一部」に分布する地層岩体で松山図幅第2版に出てくる地層と関連があると思われるのが、長崎変成岩に含められる高浜変成岩中のざくろ石の巨大な結晶(最大約3cm)を含む角閃岩です。高浜変成岩は天草下島に分布します。その存在は、地質調査所に入った初期の頃の地質の研究で見つけていましたが、本格的に調べたのは20万分の1地質図幅「八代及び野母崎の一部」の調査の時でした。巨大なざくろ石斑状変晶を含む角閃岩は、どう考えても長崎変成岩の通常の結晶片岩類に比べ異様でした。どちらかと言うと、肥後変成岩のざくろ石角閃岩にも似ているように思いましたが、肥後変成岩では「砥用」図幅西端にざくろ石を含む角閃岩がまれに出現するだけで、普遍的に出現するというわけでもありません。後にわかりますが、天草下島のざくろ石角閃岩マイロナイトは地殻下底程度の深度で高温の変成作用より生じた変成岩です。同様の深度でマイロナイト化が進行しています。この岩石をより詳細に調べることによって、沈み込み帯前弧域深部での物質移動や変形変成作用の起こり方についての新たな視点を与える研究に発展しました(Miyazaki *et al.*, 2013)。天草下島のざくろ石角閃岩マイロナイトに似た岩石は松山図幅第2版地域にも分布する唐崎マイロナイトです。両者の違いがあるとすれば、

唐崎マイロナイトの方が、全体的にマイロナイト化が進んでいる点です。長崎変成岩に対比される三波川変成岩とダクタイルな変形をしながら接合している点も類似しています。同様の岩石は、後述するように佐賀関半島の三波川南縁部にも分布します。実は、四国西部から九州東部の三波川変成岩、及び九州西部の天草の長崎変成岩のトレンドを見ると、直線的に連なっていることがわかります。偶然の一致ではなく、背後に沈み込み帯前弧域地殻深部で起こっていた普遍的な現象が隠れていると思います。

3.3 20万分の1「大分」図幅の編纂

20万分の1地質図幅は2009年度に全国完備を達成しました。達成はしましたが、56年の歳月をかけて達成したために、初期に編纂された20万分の1地質図幅は、現代的知見からすれば、時代遅れの地層岩体区分がなされています。大分図幅の初版の出版は1956年ですので、早急な改訂が望まれていました。

九州東部は、私が地質調査所に入所した初期の頃に集中的に5万分の1地質図幅の作成に係わった地域でした。「犬飼」、「三重町」、「佐賀関」、「大分」、「熊田」図幅がそうです。当時は、特定地質図幅計画の最後の時期で、全盛期に比べれば過酷では無かったにせよ、年間100日程度の野外調査と2~3年で出版まで行っていました。今思うと考えられないペースでした。当時、奥村公男さん、寺岡易司さん、酒井 彰さん、星住英夫さん、吉岡敏和さんと地質調査を行っていました。

九州東部の図幅調査で、佐賀関半島の三波川変成岩と大野川層群の間の佐志生断層沿いに著しくマイロナイト化した珪長質な変成岩が分布することが把握できていました。佐志生断層近傍ではマイロナイト化後に、さらにカタクラサイト化を被っています。前述したように、松山図幅第2版の調査時に、佐志生断層沿いのマイロナイトは唐崎マイロナイトにそっくりであることがわかりました。

さらに、朝地変成岩を調べる過程で、朝地変成岩に挟まる比較的まとまった量の超苦鉄質岩に注目しました。朝地変成岩の原岩年代はペルム紀付加コンプレックスであることがすでに指摘されていました。これに伴われる超苦鉄質岩には単斜輝石岩の部分が有り、前述の「砥用」地域の“黒瀬川帯”の超苦鉄質岩に似ています。超苦鉄質岩には苦鉄質岩も伴っており、さらにその一部に優白質な珪長質岩の部分が有ります。20万分の1地質図幅「大分」第2版(星住ほか, 2015)では、京都フィッシュトラックに外注して、珪長質岩からのジルコン分離とジルコン U-Pb 年代測定を行いました。ジルコン U-Pb 年代は後期カンブリ

ア紀であることが明らかになりました。朝地変成岩と超苦鉄質岩の組合せは、“黒瀬川帯”のペルム紀付加コンプレックスと超苦鉄質岩の組合せとも似ています。間接的ではありますが、朝地変成岩に伴われる超苦鉄質岩中の珪長質岩のジルコン U-Pb 年代を基に、“黒瀬川帯”の超苦鉄質岩の形成年代を後期カンブリア紀と推定しました。松山図幅第 2 版ではこの結果を引用しています。

3.4 5 万分の 1 「伊野」図幅の作成

20 万分の 1 地質図幅の話が続きましたが、松山図幅の編纂を行う上で参考になった 5 万分の 1 地質図幅がもう 1 つあります。四国中央部の 5 万分の 1 地質図幅「伊野」(脇田ほか, 2007)です。この図幅は、脇田浩二さん、利光誠一さん、横山俊治さん、中川昌治さんと作成しました。「砥用」図幅では斎藤さんがジュラ紀付加コンプレックスを担当しましたが、「伊野」図幅では、脇田さんがジュラ紀付加コンプレックスを担当されました。脇田さんとは、1990 年代に、特定図幅をやりながら、ITIT 二国間の研究で、インドネシアの調査を一緒に行ったことがありました。脇田さんはそれまで、内帯の美濃帯の図幅を主に調査され、外帯の図幅は「伊野」がはじめてだったと記憶しています。「伊野」図幅の北側に少し三波川変成岩が出てくると、図幅中央部に分布する伊野層が変成岩らしいので一緒にやってほしいというので、参加することになりました。伊野層は九州で見ていた“黒瀬川帯”の弱変成岩とそっくりでした。伊野層に関しては、丸山茂徳さんの地質図がすでに有名でした。実際に歩いてみると、よく歩いて書かれた地質図だと実感できました。「伊野」図幅を作成してわかったことは、“黒瀬川帯”の弱変成岩や高変成度の変成岩の分布の仕方に、「砥用」図幅ではあまり明瞭ではなかった規則性があることでした。具体的には、前期ジュラ紀付加コンプレックス\三畳紀高圧型変成岩\石炭紀高圧型変成岩\超苦鉄質岩\シルル-デボン紀高温型変成岩と深成岩\シルル-オルドビス紀浅海性堆積岩がこの順序で構造的な下位から上位へ積み重なる規則性があるようです。これも、松山図幅第 2 版の編纂をやる上で非常に重要でした。

もう 1 つ、「伊野」図幅で重要だったのは、実は三波川変成岩は当初予想していたより分布面積が広いのではないかということでした。北部のジュラ紀付加コンプレックスを精力的に調査された脇田さんが図幅作成終盤に指摘されました。図幅作成初期は、伊野層周辺を集中的に調査していました。脇田さんの情報を基に、北部の三波川変成岩と秩父帯ジュラ紀付加コンプレックスの境界とされている所

へ行ってみると、秩父帯ジュラ紀付加コンプレックスとされていた部分の北半分も片理がかなり発達し、三波川変成岩の低変成度部とそれほど遜色がないという印象を持ちました。「伊野」図幅で心残りがあるとすれば、三波川変成岩と秩父帯ジュラ紀付加コンプレックスの境界付近の調査が十分できなかったことです。それにしても、秩父帯ジュラ紀付加コンプレックスの北半分には、かなりの頻度でアルカリ角閃石やアルカリ輝石が出現する領域が確認できました。恐らく、この変成した秩父帯ジュラ紀付加コンプレックスは、松山図幅第 2 版のそれに連続するものと思われます。この連続性を確認するには、5 万分の 1 地質図幅「^{かみどい}上土居」や「^{うのまち}卯之町」の作成及び出版が望まれるところです。

4. 松山図幅第 2 版のシームレス地質図への反映と新たなサイエンスへ

松山図幅第 2 版は、後述する大改訂後のシームレス地質図へ反映させる予定です。実は、現行のシームレス地質図は、現在、大幅な改訂作業を行っています。地層岩体区分を最新の地質学的知見で見直すことに加え、凡例に含まれる情報の構造化と階層化に取り組んでいます。凡例と言ってしまうと、それだけかと思われるかも知れませんが、普通のダイアグラムの凡例と比較した場合、地質図の凡例に集約された情報量の多さは比較になりません。地質調査で得られた情報の多くは、凡例に集約されていると言っても過言ではないと思います。現在大改訂を行っているシームレス地質図の凡例は、基本的には JIS A 0205 (2008) に対応したものになる予定です。この JIS では、凡例に必要な時代、岩質、岩相(地層岩体ができ環境)と言った情報をタグとセットにして、構造化及び階層化して記述できます。JIS A 0205 の作成当時はあまり意識していなかったのですが、このようなやり方はベクトル化した地質図の国際的共通フォーマットとして提唱されている GeoSciML (地質図向けにカスタマイズされた GML あるいは XML 言語の一種) と共通するところがあると考えています。ここ数年 IUGS の委員会である CGI 評議会のメンバーとして、GeoSciML について知る機会がありました。欧米では地質図の GeoSciML 化が進んでいるように思います。GeoSciML の最新版では、地質時代、岩質、各地層岩体の形成履歴やイベント、地質境界の関係(例えば、整合・不整合など)、化学組成、物性、構造要素など、地層岩体を記述する上で必要な要素のデータモデルがすでに用意されています。私の周囲の研究者と議論すると、GeoSciML

に否定的な見解の人が多いのですが、真の意味でベクトル化した地質図をオープンデータと呼べるようにするには、GeoSciMLのようなデータモデルあるいは概念モデルの統一が必要だということでは意見が一致します。真の意味での地質図のオープンデータ化が達成されれば、その先に、新たなサイエンスが創出されるはずで、野外調査で得た地質情報は、地球史やダイナミクスの解明、地殻表層で展開される社会的経済的活動のための基盤情報となっているからです。

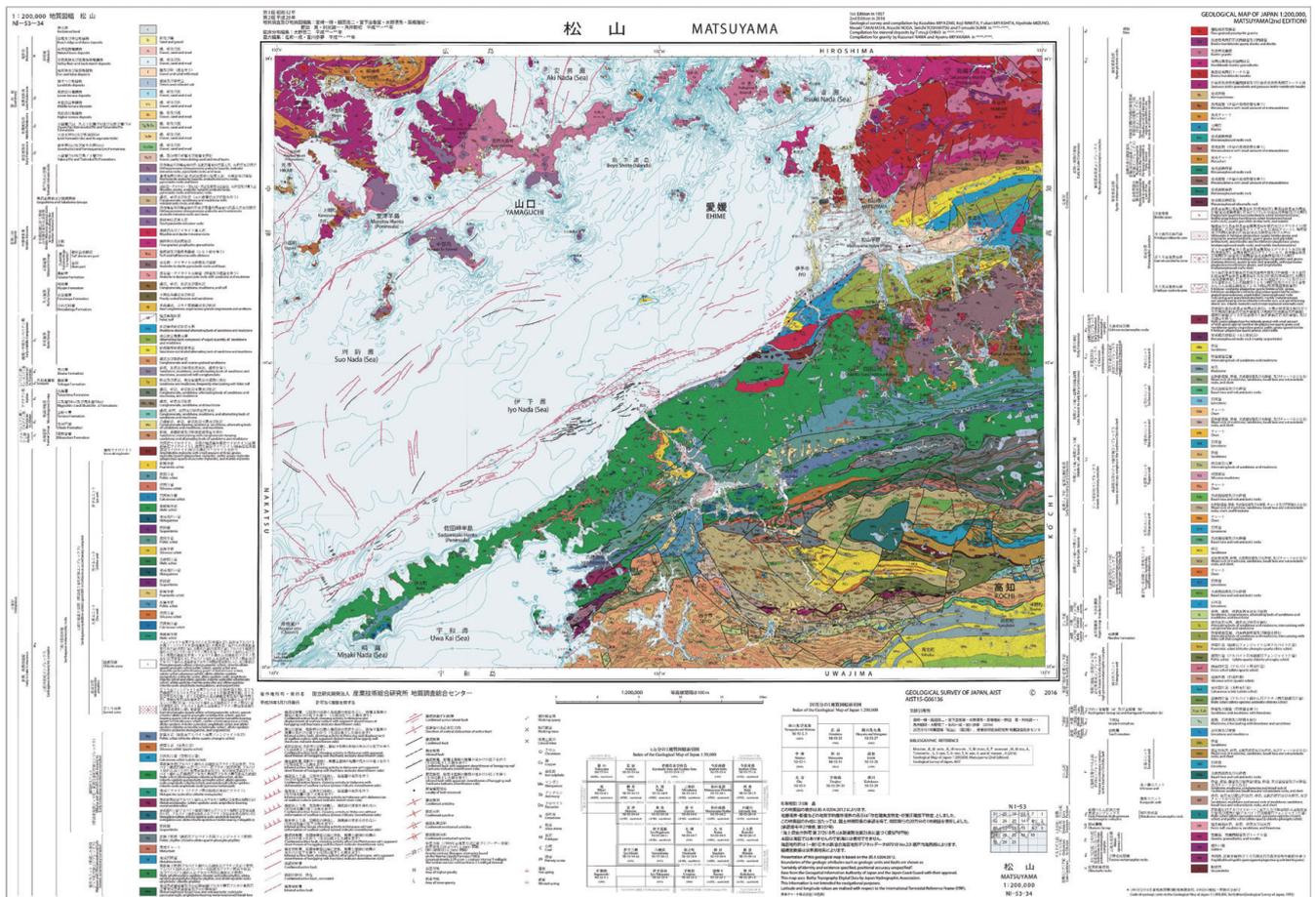
5. おわりに

20万分の1地質図幅の本来の役割である大局的な地質の把握という観点で松山図幅第2版出版の意味を述べたいと思います。本図幅からは古生代前期以降沈み込み帯に位置し続けた日本列島の地質構造が如何に複雑かが見て取れると思います(第5図)。松山図幅に分布する地質は、表層で堆積したものから地下30 km以深で形成されたものまで存在します。すなわち、日本列島の地殻構造がいか

に複雑かを表しています。逆に言えば、日本列島の現在の地殻構造やこれまで地殻内部で起きていた変動履歴を推定する上でも、図幅に示された複雑な地質を考慮する必要性を示しています。また、実務的には、松山図幅第2版は、該当地域の地質の概略と位置づけてもらえれば幸いです。より詳細な地質調査を行う上で利用されることを期待しています。

文 献

星住英夫・斎藤 眞・水野清秀・宮崎一博・利光誠一・松本哲一・大野哲二・宮川歩夢(2015) 20万分の1地質図幅「大分」(第2版), 産総研地質調査総合センター。
 JIS A 0205 (2008) ベクトル数値地質図 - 品質要求事項及び主題属性コード. 日本工業標準調査会, 142p.
 Miyazaki K. (2004) Low-P - high-T metamorphism and the role of heat transport by melt migration in the Higo Metamorphic Complex, Kyushu, Japan. *Journal*



第5図 松山図幅第2版(宮崎ほか, 2016)の全体イメージ

of Metamorphic Geology, 22, 793–809.

- Miyazaki, K. (2007) Formation of a high-temperature metamorphic complex due to pervasive melt migration in the hot crust. *Island Arc*, 16, 69–82.
- Miyazaki, K. (2010) Development of migmatites and the role of viscous segregation in high-T metamorphic complexes: Example from the Ryoke Metamorphic Complex, Mikawa Plateau, Central Japan. *Lithos*, 116, 287–299.
- Miyazaki, K., Ikeda, T., Arima, K., Fukuyama, M., Maki, K., Yui, t.-F. and Grove, M. (2013) Pressure–temperature structure of a mylonitized metamorphic pile, and the role of advection of the lower crust, Nagasaki Metamorphic Complex, Kyushu, Japan. *Lithos*, 162–163, 14–26.
- Miyazaki, K., Ozaki, M., Saito, M and Toshimitsu, S. (2016) Chapter 2e. Kyushu-Ryukyu Arc. In Moreno, T., Wallis, S.R., Kojima, T., Gibbons, W. eds., *The Geology of Japan*. London. 139–174.
- 宮崎一博・脇田浩二・宮下由香里・水野清秀・高橋雅紀・野田 篤・利光誠一・角井朝昭・大野哲二・名和一成・宮川歩夢(2016) 20 万分の 1 地質図幅「松山」(第 2 版), 産総研地質調査総合センター.
- 斎藤 真・宮崎一博(2006) 九州中部, 熊本県八代市泉町の“黒瀬川帯”蛇紋岩メランジュ中の含ひすい輝石変斑れい岩. 地調研報, 57, 169–176.
- 斎藤 真・宮崎一博・塚本 斉(2004) 九州中部, 熊本県泉村 – 砥用町地域の“黒瀬川帯”蛇紋岩メランジュ中の単斜輝石岩. 地調研報, 55, 171–179.
- 斎藤 真・宮崎一博・利光誠一・星住英夫(2005) 砥用地域の地質. 地域地質研究報告(5 万分の 1 地質図幅), 産総研地質調査総合センター, 218 p.
- 斎藤 真・宝田晋治・利光誠一・水野清秀・宮崎一博・星住英夫・濱崎聡志・阪口圭一・大野哲二・村田泰章(2010) 20 万分の 1 地質図幅「八代及び野母崎の一部」, 産総研地質調査総合センター.
- 脇田浩二・宮崎一博・利光誠一・横山俊治・中川昌治(2007) 伊野地域の地質. 地域地質研究報告(5 万分の 1 地質図幅), 産総研地質調査総合センター, 140 p.

MIYAZAKI Kazuhiro (2016) Introduction to geological map 1:200,000, Matsuyama (2nd edition).

(受付:2016 年 3 月 30 日)

東西日本の地質学的境界

【第一話】事の発端

高橋雅紀¹⁾

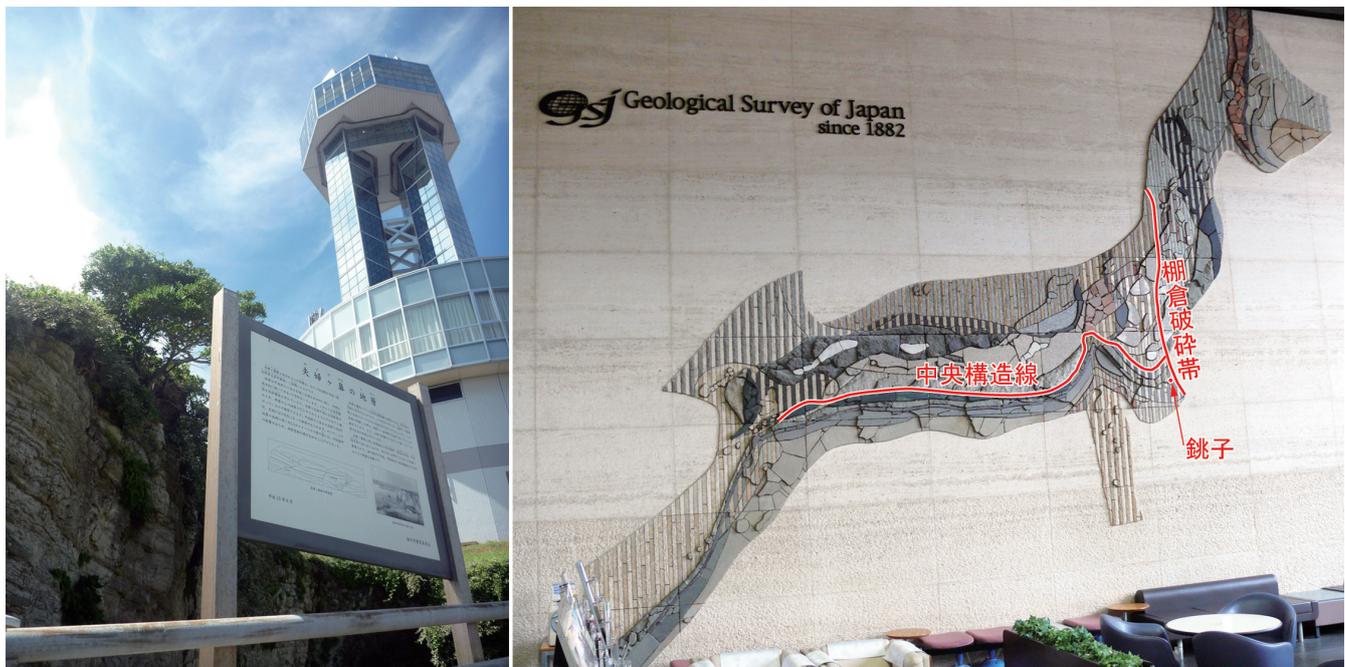
1. はじめに

上越国境を水源とし関東平野を西から東へ横断した板東太郎(利根川)は、平野の東端に突き出た銚子から太平洋へと注いでいる。銚子は日本屈指の漁港として、また最近では旅情あふれるローカル線(銚子電気鉄道)存続のために“濡れ煎”が話題となった町としても知られている。その銚子の北端に建つ千葉ポートタワーの展望台からは広大な太平洋が一望でき、地球が丸いことを実感することができる。西を望めば、都心の超高層ビル群の背後に、伊豆半島から丹沢山地、さらに関東山地へと連なるスカイラインが続き、その向こうにひとときわ高い富士山の端整な威容を観ることができる。

ところで、このポートタワーの脇にある小さな露頭に気づく人は、ほとんどいないであろう(第1図左)。南にわ

ずかに傾斜した縞模様は、もともとは水平に堆積した泥の重なりを表している。この地層は今から1690～1650万年前に深い海の底に堆積したもので、夫婦ヶ鼻層と呼ばれている。現在では夫婦ヶ鼻の地名は地図からも消え、夫婦ヶ鼻層も厚さが6メートルほどのこの露頭しか残っていない。ところが、この地層が日本列島の地質を二分する境界論争の主役として注目されることになる。それは、わずか10年ほど前のことであった。

100年を超す日本の地質学の歴史において、名だたる地質学者によって議論されてきた地質学的問題のいくつかは、今日でも未解決のまま残されている。詳細な地質調査や科学的研究の進展によって将来解決されるであろうと期待されたものの、実際には問題点がさらに明白となり、解決の糸口すら見いだせない難問も少なくない。東北日本と西南日本の地質学的相違は、19世紀末に近代地質学を日



第1図 ポートタワー横に露出する夫婦ヶ鼻層(左)と産業技術総合研究所第七事業所(旧地質調査所)一階ロビーの壁面(右)。

1) 産総研 地質調査総合センター地質情報研究部門

キーワード：日本列島，地質図，基盤構造，テクトニクス

本に導入したナウマン(Heinrich Edmund Naumann)以来の大問題である。地質調査に伴ってより詳細な日本地質図が改訂されるたびに、東西日本の地質学的相違はますます明瞭となった。

東西日本の地質学的相違は、東北日本と西南日本の地質学的境界がどこかに存在していることを意味する。今から東西日本の地質学的相違に関する論争の経緯を簡単に振り返り、その議論において重要な役割を担った銚子地域の地質に焦点を当てる。東西日本の境界論争は、銚子地域が地質学的には東北日本と西南日本のいずれに帰属するののかという問題であるといっても過言ではないからである。そして、銚子地域が東西日本のどちらに帰属するののかという問題は、明確に区別される東北日本と西南日本の地質がそれぞれどのように定義されるのかという問いでもある。換言するならば、東西日本の地質をそれぞれどのように考えているのかと地質学者は問われているのである。

本論では、日本列島の地質を大きく基盤岩類と被覆層に大別して、東西日本の地質学的相違について考察を行いたい。基盤岩と被覆層の区分は相対的なものであって、例えば、第四紀に堆積した地層(第四系)が新第三系を不整合で覆っている場合は、前者が被覆層で後者が基盤岩と位置づけられよう。また、白亜紀の堆積岩がジュラ紀の付加体を不整合に覆っている場合でも、それぞれを被覆層と基盤岩として考察されることがある。さて、日本列島の形成過程や地質図に表された今日の地質を概観する場合、以下の理由により被覆層と基盤岩の境界を中新世初頭において考えるのが妥当であろう。

日本列島は数億年以上にわたって大陸縁辺の陸弧(continental arc)であった。ところが、前期中新世のおよそ2,000万年前に大陸から分離し始め、1,500万年前にはほぼ現在の位置にまで移動して美しい弧状列島が誕生した。この過程で形成された海成層や火山噴出物は先中新統(中新世より古い地層・岩石)を広い範囲で被覆し、さらに1,500万年前以降の地層がそれらの上に厚く重なった。第四紀になると、日本列島は東西圧縮応力場のもとで短縮変形し、山地は隆起し堆積盆地は沈降していった。これらは巨視的には島弧地殻の短縮変形であり、隆起域は削剥され、浸食された碎屑物は沈降場を埋積していった。そのスナップショットを表したものが、今日の地質図である。

堆積岩や火山噴出物についてみれば、テクトニックな背景が時代とともに変化していったものの、新第三紀(中新世および鮮新世)と第四紀はひとつながりの歴史の産物と言える。また、花崗岩など深成岩類についてみても、新第三紀から第四紀は典型的な島弧地殻が成長していく過程を

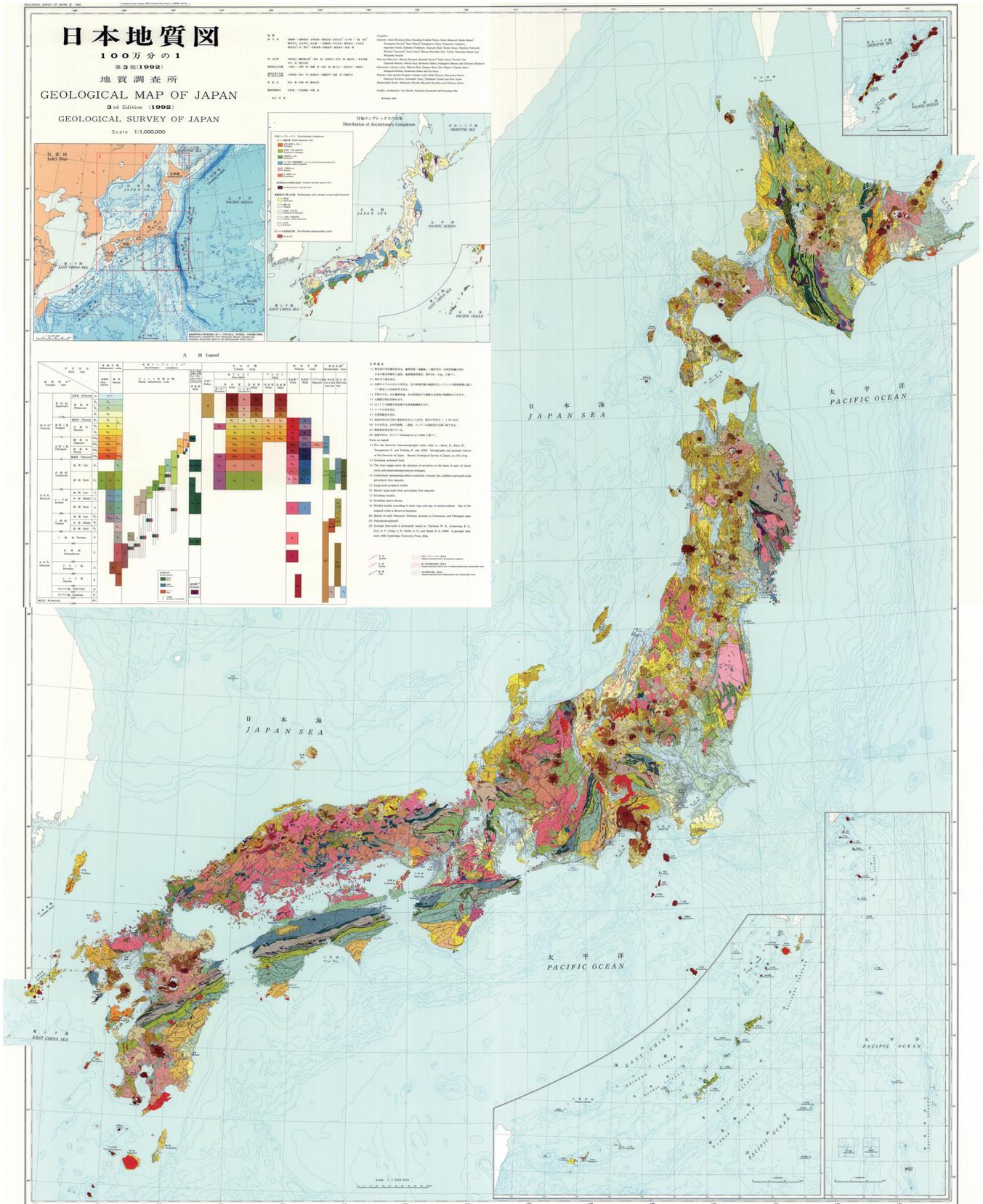
反映しているであろうから、日本列島の地質を年代学的に二分する境界を設定できるほどの変換点は見受けられない。これに対し、古生代や中生代の地層や岩石は、明らかに新生代の地層とは地質学的特徴が異なる。岩石が圧密や続成作用によって、あるいは変形や変成作用によって固くなっていたり、断層や褶曲を伴う変形を幾度も被っていたり、さらには浸食によって古い地質体が局所的にしか残されていないなど、被った歴史の差が新生代の地層とは一見して区別される。

このような理由からか、日本の地質研究者は、中・古生界(中・古生代の地層や岩石)を研究対象とするグループと新生界(新生代の地層や岩石)を対象とするグループに大別される。研究のスタイルや手法も両者で大きく異なることから、新生界を専門とする研究者が中・古生界を研究することは稀であるし、新生代の地質学的出来事に関心を示す中・古生界の研究者も多くはない。もちろん、古第三紀の堆積岩や火成岩は新生界に含まれるが、それらは日本がまだ大陸であった時代に生成されたものなので、本論では中・古生界に続く地質体であると位置づけた。すなわち、日本列島の地質を日本海拡大以前の地層や岩石(中・古生界および古第三系)と、日本海拡大時期以降の堆積岩や火山噴出物(中新統から上位)に大別し、大局的には前者を基盤岩類、後者を被覆層として議論を進める。なお、新生代の貫入岩は被覆層ではないので、この区分からは除いておこう。

2. 基盤と被覆層

さて、このような基準に基づいて日本列島の地質図を眺めると、東北日本と西南日本の地質が大きく異なっていることがわかる(第2図)。東北日本では、黄色系統の色で塗色された新第三紀以降の地層が広い範囲に分布していて、暗色系統の色で塗られた先中新統基盤岩類は、北上山地や阿武隈山地、足尾山地などに露出するに過ぎない。基盤岩類は古生代や中生代の陸棚堆積物や付加体で、赤系統の色で示された花崗岩類が日本海側だけでなく太平洋側でもそれらに貫入している。阿武隈山地で代表されるように、基盤の花崗岩類の大部分は白亜紀に貫入した深成岩体である。

これに対し、西南日本では新生代の地層は山陰と太平洋沿いにまとまって分布するほかは散点的で、広い範囲に基盤岩類が露出している。足摺岬や室戸岬、紀伊半島の周辺に分布する新生界は、そのほとんどが古第三紀の付加体であるので、本論では被覆層ではなく基盤岩類と位置づけ



第2図 100万分の1日本地質図（地質調査所，1992a）。東北日本は黄色系統で塗色された新生界が広い範囲に分布し，基盤岩類の露出は散点的である。一方，西南日本では基盤岩類が広域に露出し，とくに外帯の帯状配列は見事である。

る。西南日本の基盤岩類は、中国地方から瀬戸内海両岸にかけて広い範囲に貫入した花崗岩類と、太平洋側の緑色や灰色系統の色で示されたジュラ紀から白亜紀以降の付加体に大別される。花崗岩類の貫入は白亜紀をピークとし、貫入位置を日本海側に移動させつつ古第三紀まで継続した。一方、太平洋側の付加体やその変成岩は、付加年代や岩相に基づいていくつかの帯 (belt) に区分されるが、それらがなす帯状配列が九州から関東山地まで見事に連続している。また、それらには中新世以前の深成岩の貫入が全く認められないことも、西南日本の地質学的特徴のひとつである。

このように、日本列島の地質は、新第三系および第四系が広い範囲を被覆する東北日本と、先新第三系基盤岩類が広域に露出する西南日本に二分される。この違いは、19世紀初頭の日本の地質学黎明期には既に認識されていた。もちろん、東西日本の地質に見られるこの相違は、浸食レベルの違いに大きく起因する。すなわち、東北日本に対して西南日本の方が大きく隆起しているために、被覆層である新第三系および第四系の大部分が浸食されたため、基盤岩類が広範囲に露出していると考えられる。

現在、東北日本には世界最古の厚く冷たく重い太平洋プレートが日本海溝から沈み込んでいるが、西南日本には古第三紀以降に形成された比較的新しいフィリピン海プレートが沈み込んでいる(第3図)。フィリピン海プレートのうち、西半分は古第三紀に形成された西フィリピン海盆であるが、東半分を構成する四国海盆やパレスベラ海盆は、漸新世末から前期中新世(30~15 Ma)に拡大した若い海洋底である。したがって、琉球海溝から南西諸島に沈み込むフィリピン海プレートよりも、南海トラフから西南日本に沈み込むフィリピン海プレートはさらに年代が新しい。冷却期間が精々2,000万年程度の新しい海洋プレートは、まだ密度も小さく厚さも30~40 km程度と薄い。したがって、厚さが90 kmに達する厚く冷たい太平洋プレートが沈み込む東北日本に比べて、非常に若いフィリピン海プレートが沈み込む西南日本の方が相対的に隆起している原因は、沈み込むプレートの年齢の違いに起因することは容易に理解できる。ところが、日本の地質学研究者が長年にわたって議論してきた東西日本の地質の相違は、浸食レベルの違いだけでは説明できないのである。

3. 基盤構造の相違

基盤岩類が広範囲に露出している西南日本の地質を概観すると、太平洋側と日本海側で地質構造が大きく異なっ

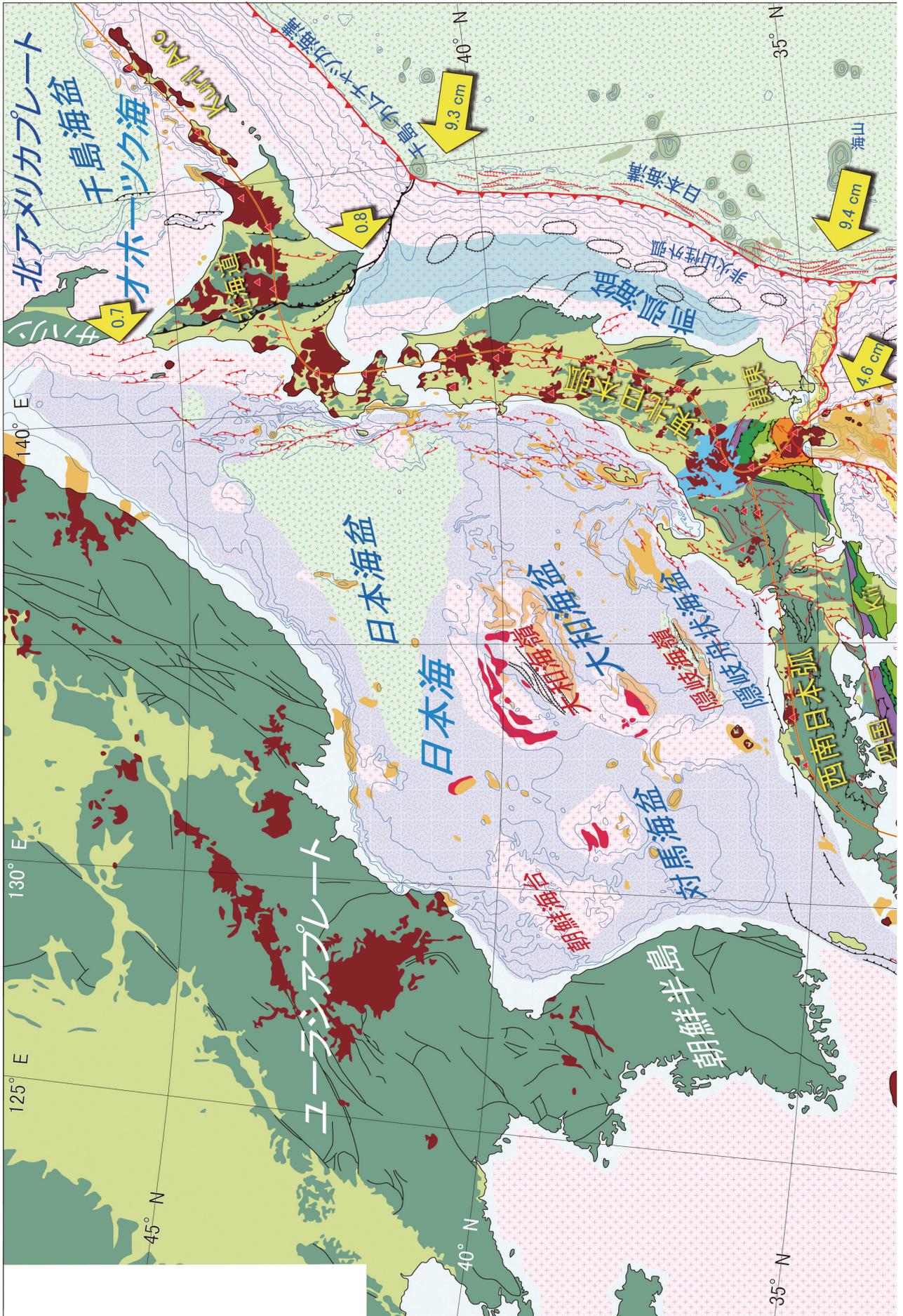
ていることが分かる。太平洋側では西南日本の延びの方向に連続する地帯配列が顕著であるが、日本海側では直線的構造が認められない。両者の境界は、九州から関東山地まで連続する日本最大の断層である中央構造線(Median Tectonic Line)である。中央構造線の海溝側(南側)には、高圧型変成岩からなる三波川帯からジュラ紀付加体である秩父帯、そして白亜紀以降の付加体である四万十帯が見事に連続している。これらの範囲が西南日本の外帯(Outer Zone)であり、中央構造線から大陸側(北側)を西南日本の内帯(Inner Zone)という。

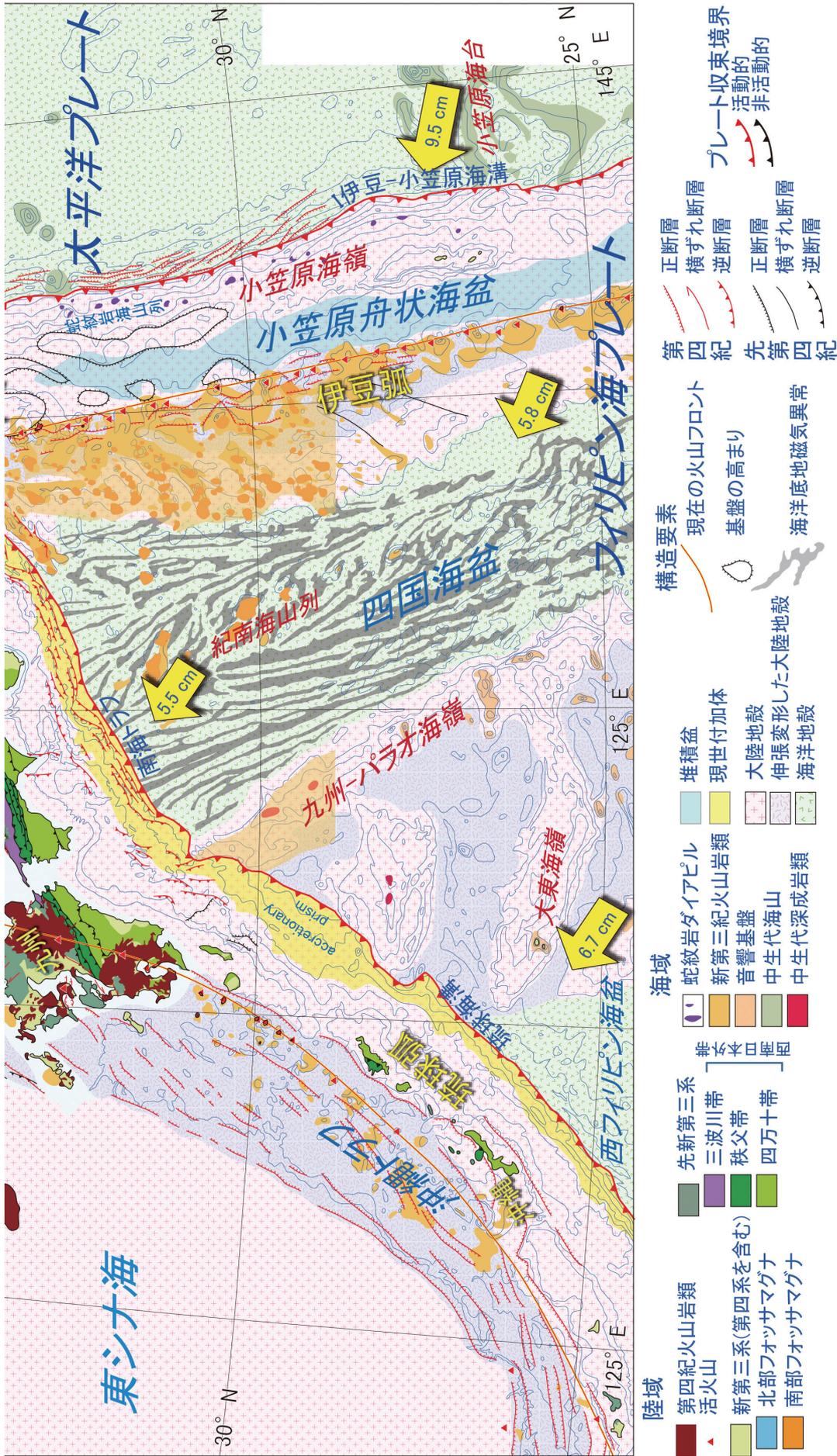
西南日本内帯には、ジュラ紀付加体や先ジュラ系(ジュラ紀よりも古い地層や岩石)とそれらを不整合に覆う地層群が分布し、白亜紀以降に花崗岩類が広範囲に貫入したため、深成岩体の周囲は高温型の変成作用を被っている。白亜紀深成岩体やその変成岩類の分布する範囲を領家帯と呼ぶが、領家帯は初生の地帯配列に関係なく、後からの貫入により変成作用の及んだ範囲である。したがって、西南日本外帯の地帯配列と同様に内帯の地帯配列を考察する際には、領家帯と呼ばれる地帯は除外して取り扱われる。ところが、白亜紀花崗岩類による擾乱やその変成作用の影響を差し引いたとしても、西南日本内帯には西南日本外帯のような明瞭な直線的地帯配列は認めがたい。

このように、西南日本は中央構造線によって内帯と外帯に二分されるが、とくに外帯には明瞭な地帯配列が認められる。プレートテクトニクスが確立されると、それまで全く解釈不能であった付加体が、海洋プレートの沈み込みにより形成されたことが判明した。そして、帯状配列が見事な西南日本外帯は、海洋プレートの沈み込みによって成長した大陸縁(活動的大陸縁: active continental margin)の典型例であると考えられてきた。

これに対し、東北日本では基盤岩類の露出が断片的であるが、まとまって露出する山地域を調べてみても、西南日本外帯に対応する直線的地帯配列が認められない。とくに、ナウマンによって発見され西南日本を縦断する中央構造線が、東北日本では現在でも全く確認されない。それどころか、西南日本では地帯配列の境界である主要な断層は島弧あるいは海溝(南海トラフ)に平行な方向に連続するが、東北日本では棚倉破碎帯や双葉断層など、島弧に対して反時計回りに斜交した断層が卓越する。さらに、西南日本外帯を特徴づける三波川変成岩が東北日本では全く確認されないことは、東西日本の地質学的相違の第一級の問題として長年にわたって議論されてきた。

小川琢治が「北日本と南日本の構造には著しい差異があり、北日本の第三紀層前の基盤岩類は支離滅裂し変造(後





第3図 日本列島周辺のテクトニクスマップ。地質調査所(1992b), 井上・本座(1982)および脇田ほか(1992)による陸域・海域地質図をもとに, 玉木(1992)による日本海地殻構造と沖野(2015)による四国海盆の磁気異常データを重ねて作成。

生的変形)が甚だしく、原構造は破壊され、これを復原(復元)することは容易ではない」と指摘したのは1899年であった(小川, 1899)。そして、本邦地質学の発祥以来、東北日本の地体構造は西南日本に比べて長い間混迷の道を辿ってきた(吉田, 1981)。しかしながら、地質が詳しく調査された今日においてもその謎が解明されないのは、東北日本の基盤岩類が著しい改変を被っているからであるとほとんどの地質研究者は考えている。原構造(初生の構造)を保持する西南日本の地帯配列と、後生的な改変を被った東北日本の複雑な基盤構造の相違こそ、100年来解き明かすことができない日本の地質の最大の謎なのである(第4図)。

このように、仮に東北日本が大きく隆起して中新世以降の被覆層が浸食されたとしても、西南日本外帯のような直線的な地帯配列が現れないであろうことは、日本の地質学の先駆者達によって既に認識されていた。言い換えるならば、東西日本の地質学的相違の原因は、浸食レベルの違いで説明することはできない。地質図に表された東北日本と西南日本の明瞭な違いは見かけではなく、地理的広がりを表す地帯配列やその三次元的関係を含めた構造、すなわち地体構造(geotectonic structure)そのものが大きく異なっていると地質研究者は考えてきた。そして、地帯配列が明瞭な西南日本外帯が海洋プレートの沈み込みに伴って成長した陸弧の初生の構造を保持していると考え、その構造が東北日本のどこにどのように連続するのか、あるいは連続しないのか、日本の地質研究者は長年にわたって模索し続けてきたのである。

西南日本の地帯配列が東北日本にそのまま容易には連続しないことは、東北日本の地体構造が西南日本と大きく異なっていることを示唆している。先新第三系基盤岩類の地帯配列の不一致に基づいて議論されてきているわけだから、東西日本の地質学的不連続に関する論争は、先新第三系基盤岩類に関するものである。さらに、東北日本と西南日本の地質学的境界がどこかに存在しなくてはならない。三波川帯や中央構造線で代表される西南日本外帯の带状配列は、九州東部から関東山地まで連続することは明らかである。一方、北上山地の中・古生界は東北日本の基盤岩類を代表する地層群で、少なくとも阿武隈山地まではその特徴を追跡することができる。したがって、先新第三系基盤岩類に関する東西日本の地質学的境界は、関東地方に存在していると予想されよう。

ところが、日本一広い関東平野には新第三紀以降の地層が厚く堆積しているため、基盤岩類はほとんど露出しない。そのため、銚子にわずかに露出する基盤岩類や筑波変成岩

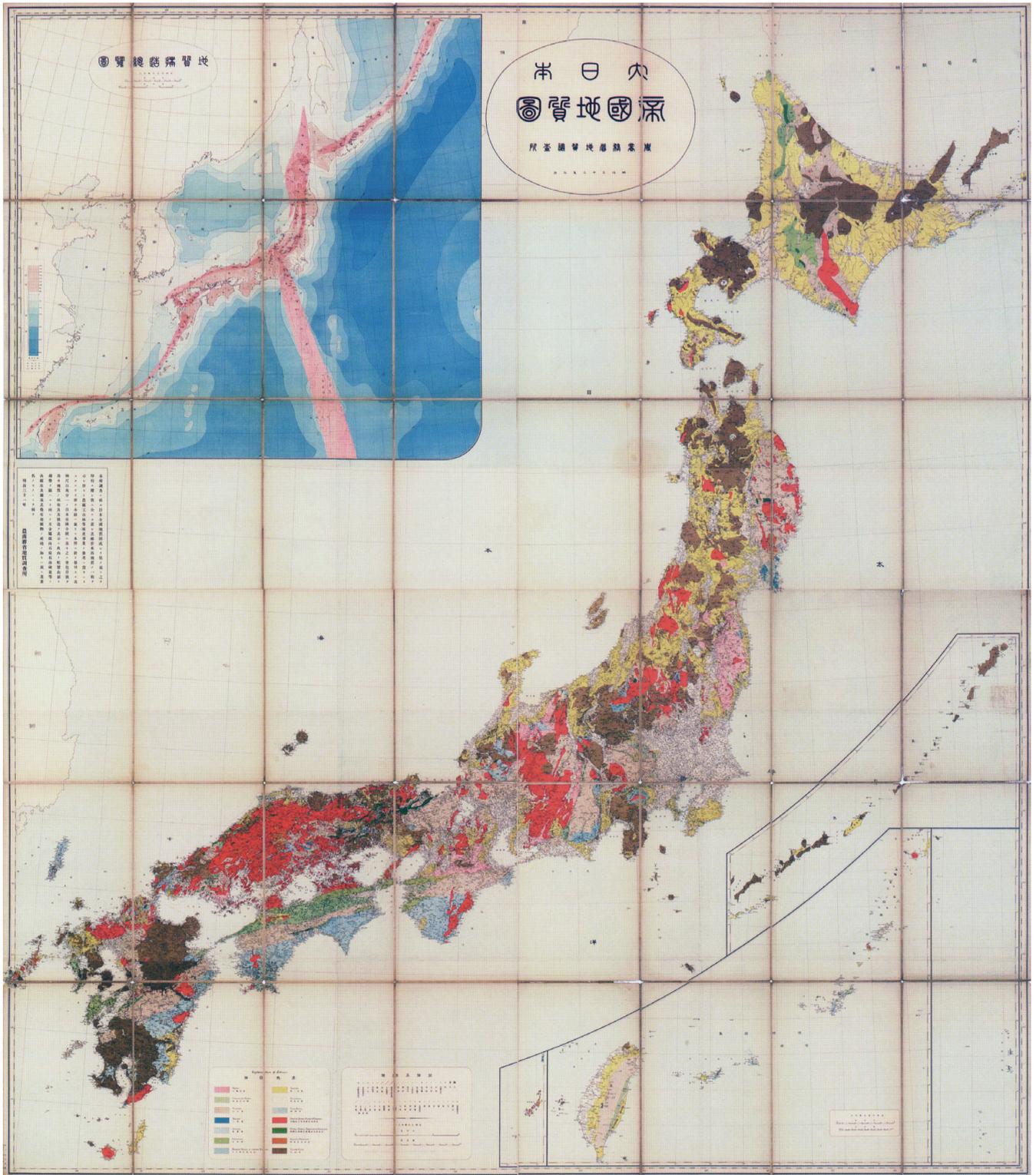
の帰属、空中磁気探査記録や地盤沈下観測、あるいは地震防災など時代の変化に対応して行われたボーリング調査結果などなど、あらゆる情報を総動員して東西日本の地質学的境界が議論されてきた。

本論では、100年を超す日本の地質学の歴史において、常に議論されてきた東北日本と西南日本の地質学的境界に関する問題の経緯を整理し、従来のモデル、すなわち“棚倉破碎帯境界モデル(第1図右)”が成り立たないこと、そして高橋(2006)で提案した“利根川構造線境界モデル”に至る過程を詳しく述べたい。とくに、東西日本の地質学的境界論争において、銚子にわずかに分布する基盤岩類と被覆層の帰属が、時に自然の巧妙なトリックとして、時に謎を解くための鍵として機能したことを示し、日本列島の更なる地質学的難題を紐解く視点を提示したい。

(第二話につづく)

文 献

- 地質調査所(1992a) 100万分の1日本地質図 第3版. 地質調査所.
- 地質調査所(1992b) 日本及び隣接地域地質図. 日本地質アトラス(第2版).
- 井上英二・本座栄一(1982) 日本周辺海底地質図(300万分の1), 日本地質アトラス, 第2版, 朝倉書店, 東京, 26-37.
- 加藤碩一・脇田浩二・菅原義明・宮野素美子・宮崎一博編(2011) 日本の地質図史. 地質調査総合センター研究資料集, no. 535, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 小川琢治(1899) 日本群島地質構造論. 地質学雑誌, 11, 413-423, 475-505, 537-560, 685-695, 810-812.
- 沖野郷子(2015) フィリピン海の磁気異常とテクトニクス. 地学雑誌, 124, 729-747.
- 高橋雅紀(2006) 日本海拡大時期の東北日本と西南日本の境界. 地質学雑誌, 112, 14-32.
- 玉木賢策(1992) 日本海の形成機構 新しい背弧拡大モデル. 科学, 62, 720-729.
- 脇田浩二・岡村行信・粟田泰夫(1992) 日本地質構造図. 日本地質アトラス, 第2版, 朝倉書店, 東京.
- 吉田 尚(1981) 東北日本の先新第三紀地体構造について. 構造地質研究会誌, no. 26, 3-29.



第4図 全国的な地質図幅作成業務を進めるべくナウマンが当時の内務卿伊藤博文に意見書を提出し、明治15年に農商務省直轄の地質調査所 (Geological Survey of Japan) が設立された。図は明治32年 (1899年) のパリ万国博覧会および第8回万国地質会議 (パリ) に出品された100万分の1大日本帝国地質図 (加藤ほか編, 2011)。東西日本の地質学的差異が既に示されている。

TAKAHASHI Masaki (2016) Geological problem for the tectonic boundary between Northeast and Southwest Japan. -The beginning-.

(受付：2016年4月4日)

生徒と共に学んだ筑波サイエンスワークショップ2015 — GSIでの研修を中心に —

森田光治¹⁾

1. はじめに

将来、様々な科学分野で活躍したいという高校生に、大学や専門の研究機関の研究者の指導の下で、最先端の研究を体験し、科学的なものの考え方、探究の過程・手法を身につけさせることを目的として実施された筑波サイエンスワークショップ(SW)2015に生徒引率という形で参加させていただいた。この筑波SWは、文科省のスーパーサイエンスハイスクール(SSH)事業の一環として、SSHに指定されている京滋の高校の数校から生徒を募集し、つくば市の研究機関の協力を得て2005年度から実施された研修活動で、2015年度で11回目を迎えた。

今回、筑波SWに参加したのは、京都教育大学附属高等学校から6名と京都府立洛北高等学校から4名および滋賀県の立命館守山高等学校から3名の計13名の生徒であった。対象となった研究機関は高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所(KEK)、物質・材料研究機構(NIMS)および産業技術総合研究所(産総研)地質調査総合センター(GSI)地質標本館の3会場で、私は地質標本館での研修に参加した4名の生徒の引率をさせていただいた。

36年間、公立高校の理科教師を続ける中で何度か地学を教えた経験はあるものの元来生物が専門であるので、今回の地質学に関する研修には4名の生徒同様、新鮮な心持ちで関わらせていただき、専門外のことをいろいろと学ぶことができた。

今回の研修は、実際の露頭を調査し、地層中の珪藻化石や貝化石のデータをもとに、関東地方の古環境を推定するというもので、わずか2日間のプログラムでありながら、本来の研究手法を体験できる高校生向けによく練られた内容であった。参加した生徒のほとんどは、今回のこうしたフィールドワークは初めてであったが、産総研の宮地良典氏、中島 礼氏、納谷友規氏らの丁寧かつ分かりやすい指導の下で熱心に取り組むことができ、最終的にそれなりの成果をあげることができた。以下に今回実施した研修内容

の概要を報告する。

2. 研修内容

12月21日(月) 初日

午後、地質標本館からジャンボタクシーにて調査地点である霞ヶ浦を望む茨城県美浦村に移動し、約3時間、地層の観察と珪藻化石の含まれる泥や貝化石のサンプリングを行った。調査地点は霞ヶ浦南部に形成された稲敷台地先端部に位置する高さ約20mの台地の崖面にあり、幾重にも重なった泥層や、やや粗い粒子から成る砂礫層が明瞭で、豊富な貝化石やサンドパイプなどの生痕化石を確認することができた。あまりにも教科書的で見事な地層に、生徒だけでなく引率したわれわれも目を奪われた。



写真1 美浦村での調査の様子

傾斜の急な滑りやすい露頭での慣れない調査活動であったが、あっという間に過ぎた3時間であった。夕刻、地質標本館に戻り、サンプリング試料の整理と翌日に実施する珪藻化石のプレパラート作成の下準備を行った。珪藻は単

1) 立命館守山高等学校

キーワード：筑波サイエンスワークショップ、地質学、地層、珪藻化石、貝化石、研究発表

細胞からなる顕微鏡サイズの微小藻類の一種で、腐食しにくい珪酸(ガラス)質の外殻を持つため化石として残りやすい。数カ所の地層から採集した珪藻化石の含まれる泥の一部を適度な濃度に希釈し、カバーガラス上に載せ乾燥させる作業を行いその日を終えた。



写真2 珪藻プレパラート作成の準備の様子

12月22日(火) 2日目

この日の研修は今回の研究の核心とも言える内容で、前日にサンプリングした珪藻化石および貝化石の観察・同定とそのデータをもとに、過去の環境の変遷を推定していくという作業であった。珪藻観察専用の高屈折率の封入剤(ブルーラックス)でスライドガラス上にマウントした珪藻試料を、生物顕微鏡で観察しながら、図鑑と照合し同定していくという内容であった。



写真3 珪藻の顕微鏡観察の様子

数万種類に及ぶといわれている大きさ数 $10\mu\text{m}$ の微小な珪藻を同定する作業は、初めて観察する生徒にとっては当然難を極める作業であったが、納谷氏の指導の下ある程度の種類を特定することができ、過去の水域環境の推定に大いに役立った。私自身、珪藻殻の芸術的とも言える文様に魅せられた一人であり、このときばかりはしばし我を忘れてしまいそうになった。時間の制約もありこの場で多くの種類を確認することはできなかったが、それぞれの地層から淡水生、海水生および汽水生の代表的な珪藻が見つかった。ちなみにこの珪藻プレパラートは現在私の手元にあり、観察・撮影を現在も続けているところである。

続いて、中島氏の指導の下、生徒らは熱心に貝化石のクリーニングおよび同定の作業にあたった。

調査地点からはこれまでに30種ほどの貝化石が確認されており、今回の調査でもそのうち12種の貝化石を見つけることができた。同時に提供していただいた貝化石の基本データ一覧と照合しながら、それぞれの貝が生息していた水深や緯度を特定し、先の珪藻化石の分析結果と合わせて当時の環境を推定するという作業などを行った。



写真4 貝化石の同定の様子

こうした珪藻化石や貝化石のデータ分析を通して、数十万年の歴史の中でくり返されてきた海進海退とそれにより形成された地層中の化石生物の変遷との見事な調和性を知ることができたことは、生徒にとって研究のおもしろさを知る大きなきっかけとなったことであろう。

12月23日(水) 3日目

研修の最終日である。生徒らは午前中に宿舎で研究発表資料の最終仕上げにあたった。前日まで共同して発表資料の

準備を進めていたので、この日は比較的余裕を持って作業を進められた。研究発表は物質・材料研究機構の会議室で午後行われた。



写真5 研究発表の様子

物理班、化学班、地質班ともに参加したメンバーが協力しあい、念入りに練習した成果が発揮された、高校生らしい研究発表で好感が持てた。どの研究グループとも実質2日間という限られた時間で、十分なデータが収集できたとは言えない厳しい状況の中、最大限の成果発表ができたと言えるのではなかろうか。

3. 生徒の反応

今回研修に参加した生徒は、1人をのぞいてこうした地質学研究に関する経験がこれまで全くないとのことであった。しかし豊富な化石の含まれる露頭でのフィールドワークや珪藻化石、貝化石のデータ分析から古環境を推定していくというストーリー性の高い研究手法を学べたことに非常に強い満足感を得、今後の学習に対する明確な方向性を見いだせたということであった。

本校の生徒から得た振り返りシートから、特に「しっかりできた(完成度)」「しっかり伸ばせた能力(成長度)」と回答している項目について以下に示す。

☆完成度

- ・仮説設定
- ・実験調査
- ・データ処理
- ・情報活用
- ・考察
- ・表現(発表)
- ・課題発見
- ・実験計画立案

☆成長度

- ・課題発見能力
- ・実験計画立案能力
- ・実験調査能力
- ・データ処理能力
- ・情報活用能力
- ・考察能力
- ・表現能力

☆その他

- ・後輩生徒に研修を強く勧めたい
- ・今後もこの分野の研究を続けたい

回答した生徒はもともとこの分野に興味を持っている生徒であり、フィールドワーク経験も豊富で実験処理に関しても高い能力を持っている。今回の研修に参加することにより、研究の難しさ、おもしろさ、大切さ、研究手法などを学び、将来地質学研究的の道を目指す者としてより明確な目標を持つことができたと評価することができる。

また私自身にとっても、今後、琵琶湖の水環境に関わった研究を進めていく上においても有効な指針が得られた研修でもあった。

4. 謝辞

今回、研修を企画・指導していただいた地質情報研究部門の宮地良典氏、中島 礼氏、および納谷友規氏には大変お世話になった。ここに記して、お礼申し上げる。

MORITA Mitsuji (2016) What I learned with students at Tsukuba Science Workshop 2015.

(受付:2016年1月29日)

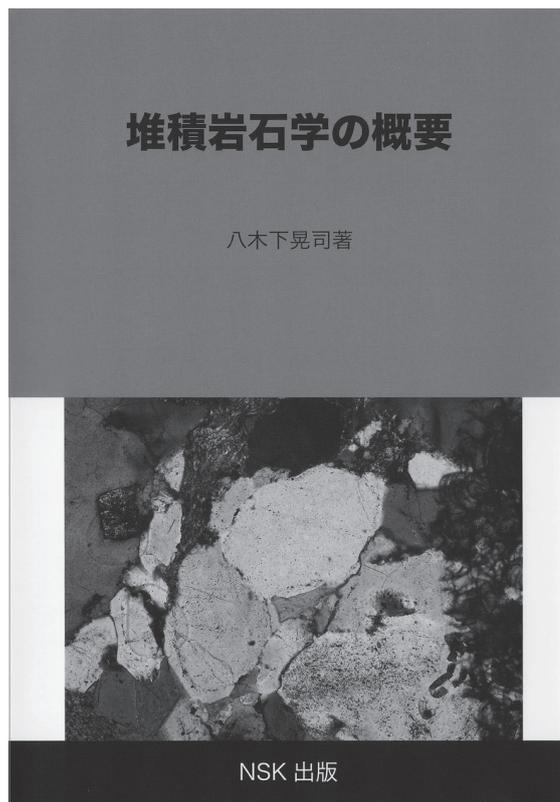
堆積岩石学の概要

八木下晃司 [著]

NSK出版
発売日：2015年11月30日
定価：3,200円＋税
ISBN：978-4-921102371
A5判 (21.6 × 15.4 × 1.5cm)
206ページ，ハードカバー

著者の八木下教授はトロント大の A.D. Miall 教授の下で Ph.D を取得された後，帰国され岩手大学で長く教鞭を執られ，定年退職後の現在は早稲田大学で講師を勤められている。本書は「岩相解析および堆積構造」，「増補・改訂版 岩相解析および堆積構造」，に続く八木下先生の単著 3 冊目となる。前 2 冊は主にフィールドでの観察に基づいたフィールド堆積学のテキストだとしたら，本書は主に砂粒子そのものから得られる情報を扱った堆積岩石学のテキストとなる。

我が国での堆積学の教科書は非常に少なく，特に碎屑岩あるいは堆積について述べたものはほとんどなかった。紹介者にも経験があるが，堆積学を学びたいと思った学生は英語のテキストや文献を自力で解読するしかなく，良い指導者や共同研究者に恵まれなければいささか敷居の高い分野だったと思う。本書はこれらの主要な欧米の文献がほぼすべてレビューされており，さらに著者自身の研究や国内外で発表された主要な研究例が豊富に引用されている。このため各章末の参考文献リストが大変充実している。本書は日本語で容易に読める一方で，もう少し知りたい時には「原著にふれて」読むと良い，という手がかりが十分整備されているので，独学で学ぶ者にも都合がよい。



本書の目次は下記のとおりである。

1. 堆積岩石学とは何か？
2. 碎屑粒子の形状・空隙・積算曲線
3. 組成鉱物の風化・摩耗
4. 砂岩モード比の測定法
5. 碎屑砂岩の続成(粒子間充填)作用
6. QFL ダイアグラムとテクトニックセッティング
7. シーケンス層序学と堆積岩石学

1 章は 2 章以降で扱われる主要な項目について紹介されている。現在でもよく知られている堆積学の名著は 1980 年頃に出版されたものが多く，その印象から砂岩の研究はそのころに完成してしまったと考える方も多いかもしれない。それらのテキストには含まれていない，近年の研究についても詳しくふれられている。

2 章では碎屑粒子の形の表現のしかた，積算曲線の基本的な事柄を説明したあと，海底扇状地や河川など堆積環境によって積算曲線がどのような特徴を持つかが述べられる。最後に最近のトピックとして堆積物重力流中に含まれる泥の比率がその結果の堆積相に大きく影響を与えるという研究例を紹介している。



3章では、砕屑物の粒度分布や鉱物組成から原岩を推定する手法について述べている。原岩が分解して砂や礫となり再び堆積物として固定されるプロセスの間には、気候による風化、地形、運搬する水理環境などの影響を受けるが、砕屑物の粒度や鉱物組成の特徴からそれらの影響を見積もることができるという、多彩な研究例が紹介されている。

4章では二通りある砂岩モード比の測定法について説明されている。砂岩モード比とは砂の構成粒子を顕微鏡下で石英、長石、岩片の3種類に分けて比を取ったもので、「岩片」をどう決めるかで測定法が二通りに分かれる。両者の違いを具体的な研究例で説明し、研究目的によって使い分けるべきとしている。砂岩モード比自体は顕微鏡下で、ひたすらポイントカウンティングをするというシンプルな手法だが、これが本書の後半で大きな役割を果たすことになる。

5章は砂粒子そのものではなくあえて粒子間の空隙を扱っている。サラサラした砂が硬い砂岩となるためには、砂粒同士が続成作用による物質で固結される必要があるが、その過程では条件によりさまざまな現象が起こっているということが紹介されている。砂岩の空隙は貯留岩としての能力に直結するため、石油業界の方には熟知の研究分野と思われるが、紹介者のようなあまりなじみのない方には新鮮な話かもしれない。

6章では前述のモード比を基に作成されるQFLダイアグラムを駆使した、さまざまな研究例が紹介される。例えば石炭紀や三畳紀などの古い時代の砂岩であっても、岩相・古流向解析とQFLダイアグラムを基にテクトニックセッティングの変遷を推定することができるといった例である。見ているのは小さな砂粒であるのに、非常に古い時代の長期にわたる大規模な現象の証拠を記録しているという対比が興味深い。

最後の7章では、堆積学の重要な概念であるシーケンス層序学の枠組みのもとで砂岩モード比などの堆積岩石学的指標をどのように活用できるかが紹介されている。1回の海面上昇とそれに続く海面下降で堆積した一連の堆積物はシーケンスと呼ばれ、それぞれの境界はシーケンス

境界と呼ばれる。シーケンス境界の上下で岩相が同じ場合、肉眼では境界をそれと識別できないが、砂岩モード比には違いが現れる。このようなクリプティックシーケンス境界を2001年に初めて認定したMiallらの論文に続き、著者らの三陸の上部白亜系久慈層群での研究例でその意味がわかりやすく解説される。これ以外にも続成作用や堆積物の粒径変化がシーケンス層序に関連していることを明らかにした研究例が多数紹介され、概念だけでなく具体的にイメージがつかめるようになっている。

本書は「はじめに」で述べられているように、学部から修士課程の学生を対象として書かれている。1, 2, 4章ではデータの取り方について丁寧な説明がされており、ここで基本を理解した上で後半の楽しい応用例に進むことになる。また、本書の特徴のひとつとして専門用語の後にカッコで英語が示されていることが上げられる(例:空隙率(porosity)、淘汰度(sorting)など)。これは堆積学を学び始めた学生が、本書の次に英語で書かれた参考文献にあたった際に非常に助かるのではないかと思う。

図はすべてモノクロで鮮明に描かれており、非常に理解しやすい。引用元の文献から、本書の内容に合わせて著者がわかりやすく描き直したと思われるものも多い。惜しむらくは薄片写真もモノクロであることだが、しかし一読した限りでは特に不都合は感じなかった。重要なものは口絵にカラーで示されている。

本書は堆積岩石学についてのテキストではあるが、確定した事実を並べて示すだけではない。手法の紹介から始まり、これまで明らかにされてきたこと、さらにまだ解明されていないこと、現時点で矛盾すること、などをすべて率直に述べている。知識を得るだけでなく、この手法を身につけたら、こんなこともわかるかもしれないという新しい視点を与えてくれるテキストである。

(産総研 地質調査総合センター 地質情報研究部門

小松原純子)



宇宙で JAF を呼ぶ方法 — 人工衛星用自動化燃料補給活動 —

岩男弘毅 (産総研 地質調査総合センター 地質情報研究部門)

1. はじめに

万一車がガス欠を起こした場合は、JAF を呼べば何とかなると思います。しかし、いったん宇宙空間に打ち上げた人工衛星は積み込んだ燃料を使いきるとゴミになってしまうというのが我々の今までの常識でした。NASA はこの問題に対し、Robotic Refueling Mission⁽¹⁾ と名付けた新たなサイエンスに挑戦しようとしています。

2. GSJ と NASA の研究連携

地質を扱う GSJ と宇宙を扱う NASA とが研究連携を行っているというのは、想像できない方もいらっしゃるかもしれませんが、現在、GSJ では経産省が開発し NASA と共同運用中の ASTER (高性能熱放射反射放射センサ)⁽²⁾ という資源探査用センサを用いた資源探査や火山噴火などの災害監視に関する研究に取り組んでいます。その関係で 2016 年 2 月に NASAゴダードスペースセンターで ASTER の運用会議に参加しました。ASTER が搭載されている TERRA という衛星は 1999 年 12 月に打ち上げられ、既にその設計寿命 5 年を大幅に上回る運用が続いており、軌道を維持するための燃料も少なくなってきました。衛星に搭載されたセンサ(カメラ)は順調に動いていたとしても、燃料が尽きて衛星のコントロールが効かなくなる前に大気圏に再突入させ燃やしてしまう必要があります。どういうタイミングで現在の軌道を離脱させるかという議論が今回の会議の主要議題の一つだったのですが、その中でこれまでの我々の常識を覆す新たな研究の紹介がありました。それが冒頭紹介した Robotic Refueling Mission (直訳すると自動化燃料補給活動) で今回はここで得た情報を紹介したいと思います。

3. 人工衛星の寿命

地球観測衛星で最も寿命が長かったのはランドサット 5 号で、ギネス世界記録にも認定されているようです。この時の設計寿命は 3 年とのことですが、その 10 倍近い 28 年 10 カ月の運用が行われました。さすがに運用後期にはセンサ(カメラ)や通信系の機器にも故障が生じ、满身創痕な状態で軌道離脱を決めたようではありますが、同じセンサで長期間地球観測を行うという点で、地球の過去・現在を比較する非常に有用な科学情報を収集することができ

ました。ランドサットのように設計寿命の 10 倍も運用できるというのは流石にめったにない話ですが、人工衛星の設計寿命は厳しめに設定されているので、大事に使い続けられれば TERRA が 16 年の運用が続いているように長期観測が可能となる場合もあります。その際、問題となるのが燃料不足です。勿論、車のガソリンタンクのようにレバーを引けば給油口が開くというような構造にはもともとなっていません。ですので、繰り返しになりますが、TERRA を設計した当初は、燃料が尽きる前に安全な状態に軌道を離脱させるという思想で衛星が作られています。

人工衛星を修理(今回の話は燃料補給ですが)するという実績は全く無かったわけではありません。ハッブル宇宙望遠鏡はスペースシャトルミッションの際に、宇宙飛行士が人力で直した実績があります。スペースシャトルを使って人力で修理に行くというわけにいかなくなった今、これを遠隔操作のロボットアームでやってしまうというのが Robotic Refueling Mission です。

4. 自動化燃料補給活動の概要

Satellite Servicing Capabilities Office (SSCO) team の Benjamin Reed 副プロジェクトマネージャーによると、ミッションの概要は以下ようになります。

ステップ 1 :

無人の燃料補給機が人工衛星の脚のようなリングの部分(写真 1 下)を捕まえます。

ステップ 2 :

衛星の左下の部分にある燃料投入口の周りを覆っている熱遮断用の金色のカバー(サーマルブランケット)を遠隔操作のロボットアームの先につけたカッターを使い切り取ります。

ステップ 3 :

ノズルの形状に合わせた特殊な接続弁をロボットアームで取り付けます。この接続弁は燃料タンクの内圧の影響を考慮していて、取り付けたときに中から残っている燃料が漏れて出てこない構造になっているそうです。これまでアメリカが開発した人工衛星に使われているノズルは幸いなことに 3 種類しかないそうなので、該当する形状の接続弁をその形状に併せ取り換えて装着するそうです。

ステップ4：燃料を注入します。

ステップ5：

切り取った熱遮断用のカバーの代わりに、新しいカバーを取り付けます。

これが、従来型(彼はレガシータイプと呼んでいました)の人工衛星のための燃料再補給の一連の手順です。今後打ち上げる人工衛星(Cooperative型)は燃料を再注入することを前提に設計されるとのこと。Cooperative型では、燃料投入部分がマジックテープになっていて、さらにロボットアームで引っ掛ける紐がついているので開け閉めが可能になるそうです。

写真1(実験用のランドサット7号の模型とロボットアーム)はランドサット7号の実物大の模型で、この模型と同じく写真に写っている工業用のロボットアーム(日本製)を使って実際の訓練も始まっているそうです。実機のロボットアームは日本製ではないそうですが...

5. 自動化燃料補給活動の今後の予定

今のところ、この実験台としての有力候補が写真にも写っているランドサット7号です。2017年に燃料切れが予想されていてランドサット8号の運用が始まってい



写真1 実験用のランドサット7号の模型(高さ約4m)とロボットアーム

る現在、このミッションの実験台として最有力候補とのこと。ただし、まだ決定ではなく ASTER が搭載されている TERRA も候補の一つとして残っているとのこと。TERRA よりも燃料切れが早く来るという点、また TERRA の場合はステップ1の際に捕まえる衛星の脚の部分が大きな円筒の形状ではなく6つの円筒の脚で構成されていて掴みにくいので、ランドサットのほうが簡単だという点で、最有力は今のところランドサット7号ですが、TERRAに燃料再投入などということになれば ASTER の寿命もますます延びる可能性があります(この二つの衛星は軌道が似ているので二つ同時にチャレンジするという案もあったそうですが、最終的にテストは一機のみを対象とするそうです)。なお、このミッションの目指すところは、静止軌道上にある人工衛星をターゲットにしているとのこと。地球近く(600~700km)を周回している地球観測衛星でテストをした後は、静止軌道(約36,000km)近くにある2013年に軌道を離脱したアメリカの静止気象衛星 GOES-12号の燃料再投入を当面の目標にしているようです。日本の気象衛星ひまわり6号が打ち上げに失敗した際に、次の打ち上げまでの間アメリカの GOES-9号を借りて運用していたことがあったことを覚えている方もいらっしゃると思いますが、特に気象衛星はすぐに次の衛星を打ち上げることは難しいので、単に燃料の問題がある静止軌道衛星については燃料を再投入して各国の気象衛星のためのバックアップ、あるいは現役復帰させるようにしようというのがこのミッションの目的の一つのようです。

以前から模型を作って燃料再投入について検討を始めた噂では聞いていたのですが、本物の模型(残念ながら今回はランドサット7号でしたが)を見たことで本気なのだと正直驚きました。NASAの関係者いわく、新しいサイエンスに挑戦するのが我々の使命とっていましたので、確かに脱帽です。勿論、NASAの英知を結集して延命させようとしているぐらい重要なサイエンスデータを取得している ASTER ですので、我々もこれからも最新の資源・防災・環境研究に取り組んでいきたいと思います。

参考情報

(1) Robotic Refueling Mission: http://ssco.gsfc.nasa.gov/robotic_refueling_mission.html (2016/2/11 確認)

(2) ASTER: https://unit.aist.go.jp/igg/rs-rg/ASTERSciWeb_AIST/jp/about_aster/index.html (2016/07/04 確認)

GSJ 地質ニュース編集委員会

委員長 岡井貴司
副委員長 中島礼
委員 中嶋健
星野美保子
竹田幹郎
山崎誠子
小松原純子
伏島祐一郎
森尻理恵

事務局

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
地質調査総合センター
地質情報基盤センター 出版室
E-mail : g-news-ml@aist.go.jp

GSJ 地質ニュース 第5巻 第7号
平成28年7月15日 発行

国立研究開発法人 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 中央第7

印刷所 前田印刷株式会社

GSJ Chishitsu News Editorial Board

Chief Editor : Takashi Okai
Deputy Chief Editor : Rei Nakashima
Editors : Takeshi Nakajima
Mihoko Hoshino
Mikio Takeda
Seiko Yamasaki
Junko Komatsubara
Yuichiro Fusejima
Rie Morijiri

Secretariat Office

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
Geological Survey of Japan
Geoinformation Service Center Publication Office
E-mail : g-news-ml@aist.go.jp

GSJ Chishitsu News Vol. 5 No. 7
July. 15, 2016

Geological Survey of Japan, AIST

AIST Tsukuba Central 7, 1-1-1, Higashi, Tsukuba,
Ibaraki 305-8567, Japan

Maeda Printing Co., Ltd

