

「海洋防災調査室」の発足[†]

海洋調査課 海洋防災調査室

Reorganization of “Geodesy and Geophysics Office”[†]

Geodesy and Geophysics Office, Hydrographic Surveys Division

Abstract

“Geodesy and Geophysics Office” was reorganized on May 15, 2013, responding to the Great East Japan Earthquake occurred on March 11, 2011. The primary purpose of the reorganization is to comprehensively deal with natural disasters such as large earthquakes, tsunamis, and volcanic eruptions in and around Japan. In this report, we introduce the efforts of the former office briefly and present the future prospects of the new office.

1 はじめに

平成 25 (2013) 年 5 月 15 日、「海洋防災調査室」が発足した。発足のきっかけとなった出来事は平成 23 (2011) 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災である。

大規模な自然災害をもたらす地震、津波、火山噴火はそれぞれが独立して発生するわけではなく、相互に関連しながら発生している。これまで、海洋情報部においてはこれら地震、津波、火山噴火を担当する職員は同じ海洋調査課の中で連携・協力してきたが、東日本大震災の発生を受けて、その連携・協力をさらに強化する必要があるとの結論に至った。そこで、これらの担当を、海底地殻変動観測等を行っていた航法測地室に集約し、新たに「海洋防災調査室」を発足させることとした。

本稿では、海洋防災調査室の発足に至る歴史をまとめるとともに、新たに発足した「海洋防災調査室」の業務を航法測地室時代の成果も含めて紹介する。

2 「海洋測地」のニーズの多様化

「航法測地室」と「海洋防災調査室」に一貫して取り組んでいる主たる業務として「海洋測地」がある。海洋測地を支える測地技術は時代とともに劇的な進展を遂げ、それに伴い、社会のニーズも多様化してきた。そこで、本編に入る前に、海洋防災調査室の発足に影響を与えた海洋測地のニーズの変遷について簡単に述べておく。

海洋測地の当初のニーズは、「航海安全の確保」であった。昔から、絶海の離島は遠洋航海を続ける船にとっては重要な補給基地であったが、同時に危険な航路障害物でもあった。現在では、正確な海図を見ながら自船の位置を GPS で確認して安全に避けることができるが、昼間でも確認が難しい小島や暗岩は船にとって非常に危険な存在であった。そのため、これらの小島・暗岩の位置を正確に把握することは、航海の安全を担保する上で極めて重大であった。

その後、1994 年の国連海洋法条約の発効を機に、新たな海洋測地のニーズとして「海洋権益の

[†] Received October 16, 2013 ; Accepted January 16, 2014

確保」が生まれた。同条約によれば、領海及び排他的経済水域・大陸棚の範囲を決めるための基点は低潮線を基本とすることが規定されている。したがって、領海等の範囲を正確に決めるためには、基点となる離島等の低潮線の位置を正確に決める必要がある。さらには、相対国との間で領海等の境界を決めようとする場合にも、基点を正確に計測する必要がある。このように、離島等における正確な測地は、国の主権・管轄権が及ぶ範囲を正確に決めるためにも重要なこととなっている。

さらに、近年、衛星を使った測位技術が向上し、離島等の位置をセンチメートルのオーダーで計測することができるようになると、新たな海洋測地のニーズとして「防災対策」への貢献が求められるようになった。複数のプレートが接するところに位置するわが国では、歴史的に地震や火山等の自然災害に見舞われており、プレート境界に近い離島での測地観測が非常に重要である。また、離島は活動的な火山島であることが多く、離島で暮らしている人々はもちろん、付近を航行する船舶の安全上の観点からも、その離島を形作る山体の膨張・収縮の様子を監視することが求められるようになった。さらには、GPSによる海上測位技術の進展により、GPS観測と音響技術による海中の位置観測を組み合わせた海底地殻変動観測の技術が開発され、海底の動きがセンチメートルの精度で測定できるようになった。海域における測地観測は、地震や火山に関連する地殻の動きを監視する上で必要不可欠なものとなっている。

3 「海洋防災調査室」発足までの歴史

「海洋防災調査室」の発足に至るまでの歴史は、前節で説明した海洋測地の技術の発展に伴う業務拡大の歴史でもあった。本節では、その歴史を振り返ってみる。

海洋防災調査室の歴史は、明治4(1871)年に創設された「兵部省海軍部水路局」まで遡ることができる。

創設者の柳橋悦が、開局当初から最も必要性を力説していたのは、経緯度や磁気偏差の決定のための天文・測地観測業務である。その集大成として明治7(1874)年に海軍観象台が完成し、経緯度原点となる観象台の経緯度測定や磁気測量を開始した。残念ながら明治21(1888)年には、観象台が当時の東京天文台に移管されたが、その後も大正時代まで日本各地で天文経緯度観測による経緯度の決定が行われた。また、大正元(1912)年には、第1回全国磁気測量を開始し、大正3(1914)年以後は、10年間隔(昭和24(1949)年からは5年間隔)で全国磁気測量を実施してきた。

また、船舶の測位については、海軍部水路局が発足した頃は、GPSなどの衛星測位装置がなかったため、沖合に行く船舶は天文航法を利用していた。天文航法を正確に行うためには、航海中のある時点での天体の位置(天体位置表, Photo 1)

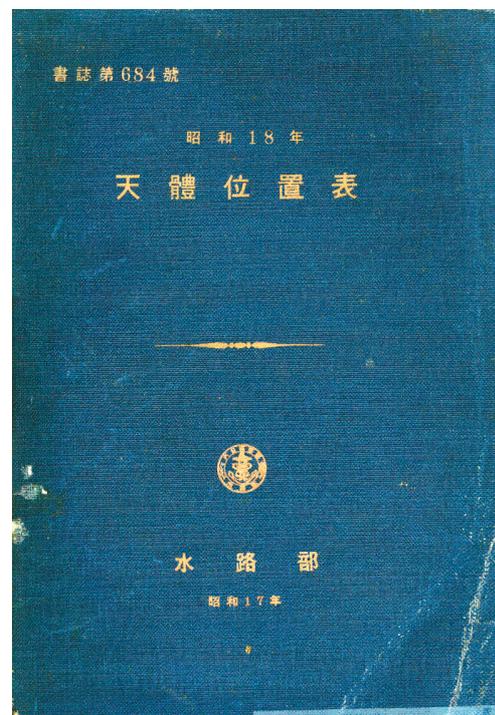


Photo 1. The first volume of “JAPANESE EPHEMERIS” issued in 1942.

写真1. 天体位置表第1巻(昭和18(1943)年)。我が国艦船の航行安全のために必須のものであったが、そのほとんどは自然災害や戦災で消失している。

などを正確に記した航海暦が必要となる。当時は専ら英国版のものが使用されていた。しかし、その後、明治 37-38 (1904-1905) 年の日露戦争時に外国版の天体暦が入手困難となったことから、独立推算による航海暦の刊行が必要となった。このため、大正 8 (1919) 年に、「海軍部水路局」から名称が変更された「海軍水路部」に「編暦科」が設置され、暦算業務を開始した。編暦科が航海暦の編纂を始めてから、海軍の艦艇も含め、我が国の艦船は安心して正確な天文航法を行うことができるようになった。

その後、昭和 20 (1945) 年の太平洋戦争の終結とともに海軍が廃止され、「水路部」は運輸省の外局として新たに設置された海上保安庁の一部局となった。これと同時に組織名が「編暦科」から「編暦課」へと改められた。

一方、航海暦等の書誌の作成には、基礎データとしての天体位置に関する正確な情報を得るための天体観測も必要となる。このため、昭和 26 (1951) 年から定常的に天体観測を開始し、本庁並びに白浜、下里及び美星の各水路観測所（美星水路観測所，Photo 2）で平成 20 (2008) 年まで行われていた。

天体観測の一種である星食観測は、古い時代から月と星の位置関係から月の位置や時刻を決めるために行われてきた。その情報の収集管理は 1923 年に米国イェール天文台に設置された星食国際中央局で開始され、1943 年に英国グリニッジ天文台に移管された。その後、1979 年に開催された第 17 回国際天文学連合総会の決議により、昭和 56 (1981) 年 1 月から我が国で星食国際中央局の業務を行うこととなった。しかしながら、業務の効率化の流れの中で、平成 21 (2009) 年 3 月に当該業務を国際掩蔽観測者協会 (IOTA) へ引継ぎ、終了した。

昭和 50 年代になると、米国航行衛星 (NNSS) の本格運用が始まり、精度の高い離島等の位置が得られるようになってきた。昭和 56 (1981) 年には、下里水路観測所 (和歌山県) に人工衛星レーザー測距 (SLR: Satellite Laser Ranging) 装

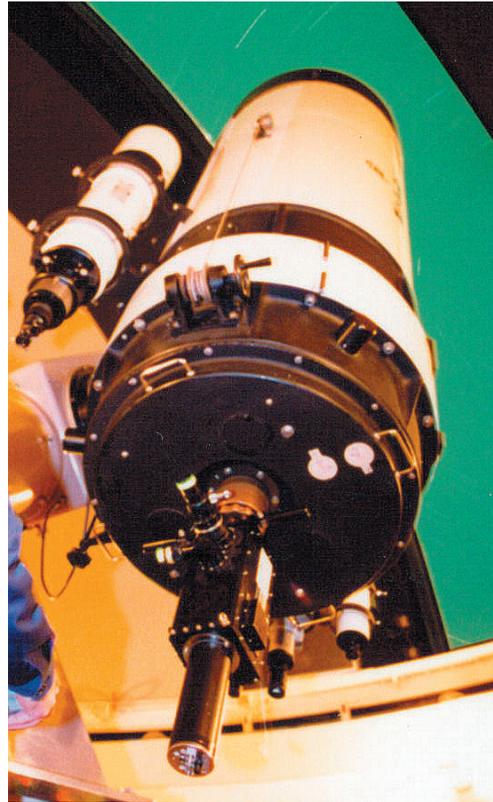


Photo 2. Astronomical reflecting telescope (diameter: 60 cm) in the Bisei Hydrographic Observatory.

写真 2. 美星水路観測所 (岡山県) の反射望遠鏡 (口径 60 cm)。現在は、井原市星空公園の施設として一般向けの天体観測等に利用されている。

置を導入し、また、昭和 62 (1987) 年からは可搬式 SLR 装置も導入し、日本列島及び離島を含む海洋測地網の構築を推進し、地球重心に基づく日本列島及び離島等の位置を決定した。

昭和 58 (1983) 年には組織改正が行われ、その頃には主たる業務が測地業務であったことから、組織の名称は「航法測地課」と改められた。このとき測量課で行われていた地磁気観測業務が航法測地課に統合された。地磁気観測は、元々は船舶が航行するに当たり羅針盤の示す北が真の北からどれだけずれているか、その偏差を求めることを目的として行われていた。その後、地磁気観測により得られたデータは火山の状況の把握等のためにも利用されるようになった。

1990 年代に入ると、発展を遂げてきた衛星測

位技術に、水路部の得意とする水中音響技術を組み合わせて海底の位置を計測する海底地殻変動観測技術を東京大学と共同で開発した。この技術は、GPSを利用して海上の船舶の位置を正確に計測し、さらに、当該船舶から海底に設置した基準局（海底局）までの距離を音波を用いて正確に計測し、両者を統合することにより、海底局の位置をセンチメートルの精度で捉えるものである。この技術により、それまで空白域であった海域の地殻変動の様子を詳細に捉えることができるようになった。

なお、平成14（2002）年には、行政改革の流れの中で、「水路部」という名称を「海洋情報部」に改め、「航法測地課」は海洋調査課に属する「航法測地室」となった。

そして、平成25（2013）年、海上保安庁海洋情報部として防災対応機能をさらに高めるため、それまで航法測地室で行っていた海底地殻変動観測等に加えて、海洋調査課で行っていた津波防災情報図整備業務や海域火山監視業務を集約し、「海洋防災調査室」が発足した。

4 海洋防災調査室の主な業務

「海洋防災調査室」では、前身の航法測地室から引き継いだ業務に加え、海洋調査課から統合した海域火山監視業務や津波防災情報整備業務を実施しており、職員数19名という組織の規模に比べてかなり多くの業務を持っている。以下に、海洋防災調査室の主な業務を紹介する。

4.1 海底地殻変動観測

4.1.1 これまでの取り組みと主な成果

我が国に大きな被害をもたらす巨大地震の多くは歴史的に海底下のプレート境界域を震源として発生している。これらの地震は、沖合から沈み込む海洋プレートによって、陸側のプレートとの間にひずみが蓄積され、それが一気に解放されることにより地震が発生するもので、「プレート境界地震」と呼ばれている。震源域となる海域で直接、地殻変動を計測することにより、プレート境

界のひずみの蓄積状況（固着状況）を把握し、将来発生する地震の位置や規模等の予測に貢献することができる。また、海域で大きな地震が発生した場合には、地震による地殻変動量を計測することにより、当該地震がどこでどのような破壊をもたらしたかを知ることができる。

当部では、平成8（1996）年度から科学技術振興調整費による「南海トラフにおける海溝型巨大地震発生機構のモデル化・観測システムの高度化に関する総合研究」において、海底地殻変動観測実施のための研究開発に取り組んできた。

そして、平成12（2000）年1月に熊野灘に海底局を設置したのを皮切りに、定常業務として海底地殻変動観測を開始した（矢吹，2002；藤田，2006；佐藤・藤田，2012）。平成13（2001）年には、政府の地震調査研究推進本部による基盤的調査観測計画の見直しの中で、「基盤的調査観測の実施状況を踏まえつつ、調査観測の実施に努めるもの」として海底地殻変動観測が位置づけられた（地震調査研究推進本部，2001）。なお、平成12（2000）年度からは、東京大学生産技術研究所との共同研究の下、技術開発を行っている。

この観測は、陸上GPS局と海底局の測位の中継点となる船上局として測量船を使用して、測量船の位置をGPS観測により決定し（キネマティックGPS観測）、測量船と海底局との間を音波で距離を測る（音響測距観測）ことにより、海底局の位置を決定するものである（Fig.1）。この観測を繰り返し行うことで、海底の動き、すなわち地殻変動を検出することができる。

初期の船上観測システムでは、船上局にPhoto 3に示すような支柱を用いており、機材の運搬・組立てを観測の都度行う必要があった。船尾に設置された支柱の上部にはGPSアンテナ、GPSジャイロアンテナ、船体動揺センサーを、海面下に位置する支柱の下部先端には音響送受波器をそれぞれ固定していた。観測は、航走による支柱のしなりやノイズを避けるため、海底局を設置している海域で複数回にわたり測量船を漂流させて行った（漂流観測）。測量船の移動の際には、Photo

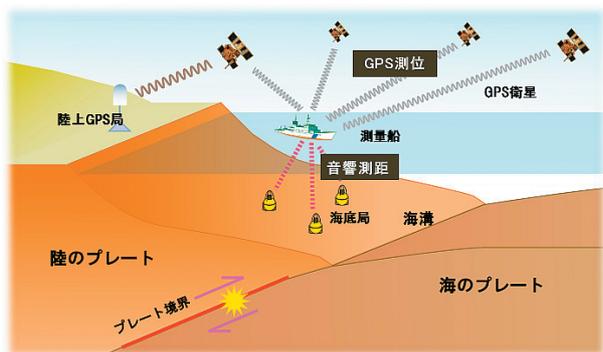


Fig. 1. Schematic picture of seafloor geodetic observation.

図1. 海陸プレート境界付近における海底地殻変動観測の模式図。プレート境界は陸上GPS局から100 kmを超えるところもあり，長基線のキネマティックGPSにより測量船の位置を高精度で解析する技術が必要となる。



Photo 3. Observation pole installed on the bulwark at the stern.

写真3. 船体後部ブルワークに設置された支柱。この支柱を含めた初期の海底地殻変動観測装置は観測実施時に測量船へ搬送し，一時的に設置していたため，機器の設置・調整が困難であった。

3のように支柱を折り曲げる必要があり，その作業は人力で行われた。

当時の漂流観測は，甲板作業の安全性と船舶衝突防止の観点から昼間のみ行ったため1点での観測に4~5日間を要した（畝見，2004；成田・他，2005）。

観測を開始してから4年が経過し，平成13（2001）年から平成16（2004）年までの結果か

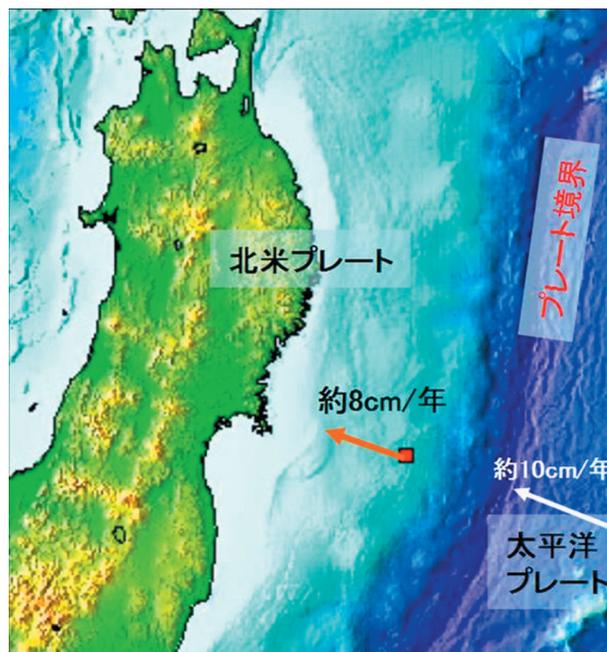


Fig. 2. Crustal velocity vector at MYGI relative to the Eurasian plate.

図2. ユーラシアプレートに対する「宮城沖1」海底基準点の地殻変動ベクトル。この動きは，太平洋プレートの移動ベクトルと概ね調和的である。

ら，「宮城沖1」海底基準点がユーラシアプレート安定域に対して西北西に年間約8 cmの速度で移動していることを検出した（Fujita et al., 2006；Fig. 2）。これは，海底で地殻変動を定量的に捉えた我が国で初めての事例となった。その後，観測データの蓄積と解析技術の向上により何度か再解析が行われ，平成23（2011）年3月11日の東北地方太平洋沖地震前の最終的な移動速度として5.5 cm/年が得られた（佐藤・藤田，2012）。

また，平成17（2005）年8月16日，宮城県沖で発生したマグニチュード7.2の地震に際して，震央から東に約10 kmに位置する「宮城沖2」海底基準点において，約10 cmの東向きの変位を検出した（Matsumoto et al., 2006）。この成果は陸上のGPS観測から予想される変位量と整合的であったことから，これを機に海底地殻変動観測の精度が広く認められることとなった。

その後，平成19（2007）年度には夜間の観測を開始し，1回の観測に要する時間が2日間まで

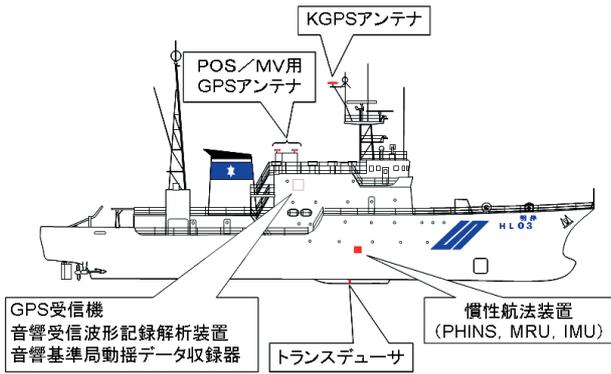


Fig. 3. Situation of installation of seafloor geodetic observation system on S/V Meiyō.

図3. 測量船「明洋」への海底地殻変動観測装置の装備状況。KGPS アンテナとトランスデューサの幾何学的な位置関係が重要となるが、乾ドックでの上架時に光学的測量等により決定した。

短縮されたが、海底地殻変動観測の精度及び効率が飛躍的に改善されたのは、平成20(2008)年3月の測量船「明洋」への音響送受波器の船底装備がきっかけであった (Fig. 3)。それまでの1日につき16時間の漂流観測から24時間可能な航走観測へ移行し、1回24時間、各海底基準点年間3回程度の観測が可能となった。また、測線をコントロールできるようになり、より安定した観測結果が得られるようになった (Fig. 4)。

「明洋」に続いて、平成22(2010)年12月には「拓洋」、平成23(2011)年3月には「海洋」、さらに平成24(2012)年12月には「昭洋」に同装置の船底装備が実施され、平成25(2013)年度からは、測量船4隻による観測体制が整った (川井・他, 2009; 氏原・成田, 2012; 秋山・他, 2013; 秋山・横田, 2014)。

観測装置の整備と平行して解析手法についても不断の改良がなされてきたが、詳細については、佐藤・藤田 (2012) を参照されたい。

海底局は、8年程度稼動する電池を搭載している。長期間観測を継続するためには、電池の消耗によって既設の海底局が機能を停止する前に新旧海底局の間の位置関係を測定しておく必要がある。そのため、平成21(2009)年度からは、既存の海底局の更新と新旧同時観測を順次実施して

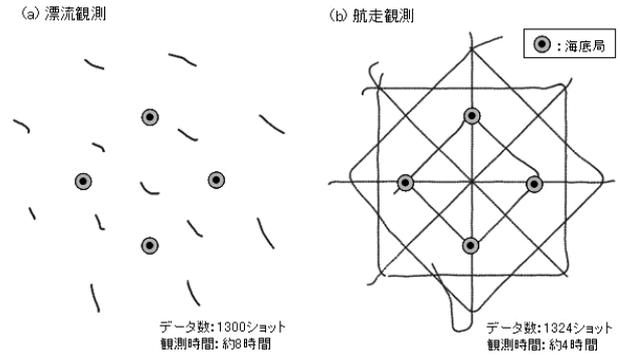


Fig. 4. Examples of acoustic measurement lines: (a) for drifting and (b) for sailing observations.

図4. 海底地殻変動観測の測線の例: (a) 漂流観測, (b) 航走観測. 漂流観測では潮流・風浪等の影響を受けるため、測線の制御が困難であり、潮流がない時は測量船を (a) のように移動させながら観測を行った。

いる (佐藤, 2010; 石川, 2011)。

平成23(2011)年3月11日の東北地方太平洋沖地震 (M9.0) 後には、直ちに本庁所属測量船5隻を被災地港湾へ派遣し、航路啓開業務等に長期間従事させた。海底地殻変動観測については、3月下旬に「拓洋」及び「明洋」の補給回航時に併せて釜石沖から銚子沖の海底基準点において海底基準局の被害調査及び緊急観測を行った。

その結果、この地震の震央付近の宮城県沖では地震前後で東南東へ15~24 m移動し、福島県沖では東南東へ5 m移動したことが観測された。これらの成果は、直ちに政府の地震調査委員会や地震予知連絡会等に報告され、同地震の断層モデルの推定に大きく貢献した。この成果は、米国科学誌「サイエンス」にも掲載され、国内外で大きな反響を呼んだ (海洋調査課航法測地室, 2012; Sato et al., 2011)。

東北地方太平洋沖地震の発生を受け、同様に巨大地震の発生が懸念されている南海トラフ海域での海底地殻変動観測体制を強化するため、平成24(2012)年1月、東海沖から日向灘に至る海域の8箇所に海底基準点を増設した。

4.1.2 今後の展望

海底地殻変動観測は、超巨大地震とそれに起因

する現象の予測のために不可欠な観測技術として期待されており、更なる技術開発と更なる海底基準点の展開が求められている。

海洋防災調査室では、定常観測を実施するとともに観測の効率化・高精度化に向けた技術開発を推進していく。

まず、定常観測であるが、Fig.5に、平成25(2013)年10月現在の海底基準点の配置図を示す。主な観測海域は日本海溝及び南海トラフ沿いの陸側斜面である。日本海溝沿の海域は、東北地方太平洋沖地震後2年半経った現時点でも、同地震の影響による非定常的な変動が検出されている。そうした変動を時空間的に把握するためにも観測を継続的に実施していく必要がある。一方、南海トラフ沿いの海域でも、海溝型巨大地震の発生が懸念されている。東北地方太平洋沖地震後の海底基準点の増設により、面的な地殻変動を捉え

ることが可能となり、より詳細な歪の蓄積状況が明らかになると期待される。

次に、観測の効率化に向けた技術開発であるが、ハード・ソフトの両面から見ていく必要がある。ハード面としては、平成24(2012)年の「昭洋」への音響送受波器の船底装備に伴う4隻体制の実現により、観測機会が向上した。一方で、1回あたりの観測時間は約1日を要しており、これを短縮する観測手法を見出すことが求められている。ソフト面としては、観測・解析スキームを整理しマニュアルを整備することで、効率的に観測を実行できるようにする。これは、例えば地震発生時の緊急観測において特に役立つ。また、観測の高精度化は、高効率化にもつながり、より多くの海域での観測に対応できるようになることから、引き続き推進していく。

4.2 人工衛星を利用した海洋測地観測

4.2.1 これまでの取り組みと主な成果

人工衛星を利用した衛星測地観測データは、海図の経緯度の基準となっている世界測地系の構築や日本列島のプレート運動等の地殻変動監視に利用されてきたが、近年では、グローバルなプレート運動監視による地震現象解明や領海基点、低潮線決定のための基礎資料としても重要な役割を担っている。

平成14(2002)年3月以前に作成された海図の経緯度は、日本測地系に基づいて作成されていたが、日本経緯度原点と地上の光学測量を元に構築された日本測地系は地球重心を原点とする世界測地系に対して大きな歪を持っていることが知られていた。

この歪みを取り除いて正確な海図を作成し、領海や排他的経済水域などの画定に資するため、昭和55(1980)年度から海洋測地の推進業務が開始された。

昭和56(1981)年度からは、下里水路観測所に設置された人工衛星レーザー測距(SLR)装置と、その後導入された可搬式SLR装置(Photo 4)によって、海洋測地網の骨格となる一次基準

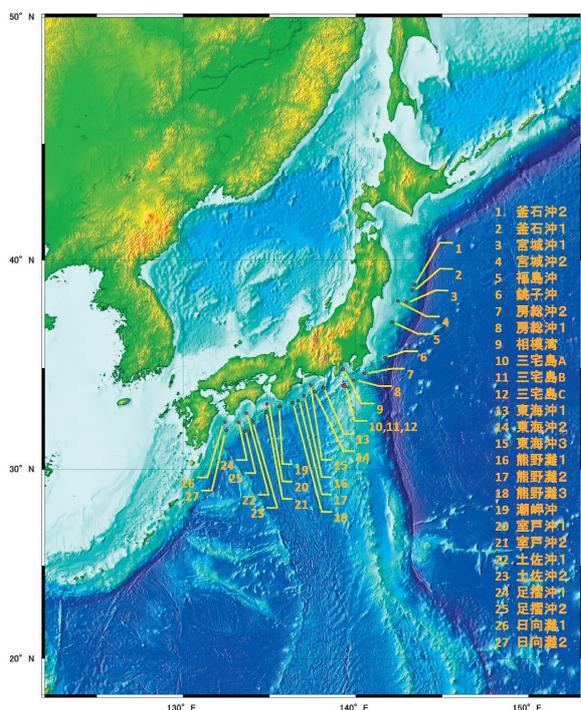


Fig. 5. Distribution of seafloor reference points (red circles).

図5. 日本海溝や南海トラフにおける海底基準点配置図。平成12(2000)年に熊野灘への海底局の設置を皮切りに、日本海溝と南海トラフを中心として27点設置した。

点の位置を精密に決定した。同時に NNSS または GPS 観測による二次基準点観測を順次実施して、平成 11 (1999) 年度までに全国に渡る海洋測地網を構築した (Sengoku et al., 1999)。

平成 12 (2000) 年 12 月には、これらの観測成果を元に、国土地理院から提供を受けた陸上用の測地系変換プログラム「TKY 2 JGD」と整合を保ちつつ、海上測位に十分な精度を持った、新しい「歪みデータファイル」を作成した。

これを利用して、「新・測地系変換ソフトウェア MGC 2000 A」を作成し、平成 14 (2002) 年 1 月にホームページで提供を開始するとともに、順次世界測地系 (WGS-84) に基づく海図の刊行が開始された (加藤・他, 2001; 大門・他, 2002)。

その結果、平成 14 (2002) 年 3 月までにほぼ全ての海図の測地系が WGS-84 によるものとなり、同年 4 月施行の水路業務法一部改正によって、経緯度に関する水路測量の基準が世界測地系に移行した。

下里水路観測所の SLR 観測の成果は、日本列島や離島の位置決定や世界測地系の構築の他、プレートの運動の把握による地震調査研究の基礎資料としても活用されている。

昭和 61 (1986) 年から平成 6 (1994) 年までの測地衛星「あじさい」SLR データから、下里が



Photo 4. Hydrographic department Transportable Laser Ranging Station (HTLRS).

写真 4. 海洋測地網構築に貢献した可搬式 SLR 装置 (HTLRS)。父島、硫黄島など離島での観測では、その搬送が困難であった。

ユーラシアプレート内の安定域に対して西北西方向へ年間 3.2 cm の速度で移動していることがわかった (Sengoku, 1998)。その後、平成 5 (1993) 年から平成 16 (2004) 年までの測地衛星「ラジオス」の SLR データを使用して再計算が行われ、下里の移動速度は西北西方向へ年間 2.9 cm であることが報告された (佐藤・他, 2009)。

また、平成 8 (1996) 年度から同 13 (2001) 年度まで、父島、石垣島、稚内、対馬の 4 か所の海洋測地基準点において、可搬式 SLR 装置による再観測が実施され、各点におけるプレートの変動を検出した (Fujita et al., 1998; 佐藤・他, 2004)。

下里水路観測所の SLR 装置は、昭和 56 (1981) 年度の設置以来 30 年を超え、レーザー発振部の障害や装置全体の老朽化が顕著となってきたため、平成 19 (2007) 年度から同 21 (2009) 年度にかけて順次装置の各部を更新し、世界トップレベルの観測精度を誇る SLR 装置 (Photo 5) に変貌した (鈴木・他, 2010)。

上述したように、これまで航法測地室が行ってきた海洋測地観測の成果は、我が国の海洋測地網構築や世界測地系の構築に大きく寄与した。中で

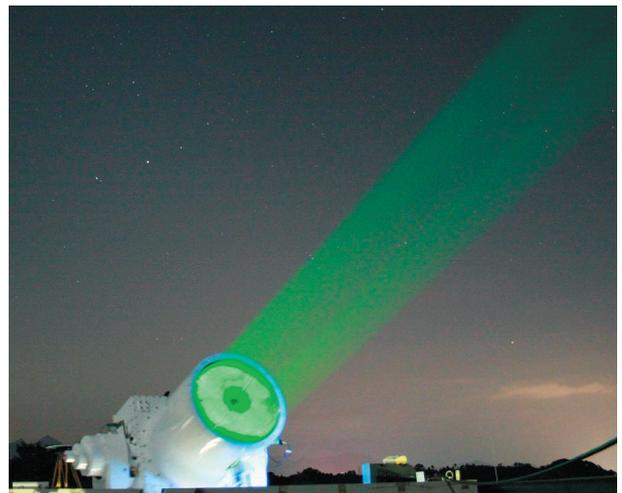


Photo 5. Upgraded telescope of the Shimosato SLR system.

写真 5. 観測精度が向上したシステム更新後の下里 SLR 装置の望遠鏡。下里を含め国際的に収集された観測データにより、地球重心の位置等が高精度に決定されている。

も下里水路観測所で行ってきた SLR 観測は、30 年以上にわたって国際的にも大きな貢献をしてきた。

SLR の技術は、電波（波長約 20 cm）を使用する GPS に比べて、短波長の光波（波長 532 nm）を使用することから、電離層や大気など伝播媒体の影響を受けにくく、観測地点と衛星との距離を高い精度で測定できる。

1987 年に国際天文学連合及び国際測地学地球物理学連合が合同で立ち上げた国際地球回転・基準系事業（IERS: International Earth Rotation and Reference Systems Services）では、WGS-84 も準拠している国際地球基準座標系（ITRF: International Terrestrial Reference Frame）の地球原点の維持に必要なパラメーターを主として、SLR の観測結果から決定している。

4.2.2 今後の展望

現在、下里水路観測所では、所長以下 4 名の職員が、日夜世界レベルの精度で SLR 観測を行い、観測終了後ほぼ 12 時間以内に NASA を通じて SLR データを提供している。

海図における経緯度の基準である世界測地系の維持・管理に対する国際貢献は今後も変わることなく必要であることから、海洋防災調査室の発足後も、これまで培ってきた SLR 観測技術を活用して、世界測地系の維持に貢献するとともに、大陸間のグローバルなプレートの相対運動を決定するなど、地球物理学・地震観測研究の基礎資料となる高精度の海洋測地データを収集・提供していく。

4.3 地殻変動監視観測

4.3.1 これまでの取り組みと主な成果

GPS による地殻変動監視観測は、地震予知計画に基づき、平成元（1989）年 12 月に真鶴、釧崎及び伊豆大島での GPS 固定観測として開始された。

平成 6（1994）年度からは「第 7 次地震予知計画」に基づいて、白浜水路観測所（下田市）及び

八丈水路観測所間の GPS 固定観測を実施し、この線上に位置する利島、新島、三宅島及び御蔵島では年 1 回の GPS 移動観測を行い、これらの間の詳細な地殻変動を監視することとした。

平成 7（1995）年 1 月に発生した兵庫県南部地震（M 7.3）直後の 3 月には、可搬式 SLR 装置を美星水路観測所（岡山県）に運び下里水路観測所（和歌山県）との間で SLR 観測を実施し美星の精密な位置を決定した。

その後、同年 4 月に建議された第 7 次地震予知計画の見直しに基づき、関西地区の地殻変動監視観測体制を強化するため、9 月に下里及び美星水路観測所に GPS 固定点を設置し、この線上に位置する御坊、南淡（淡路島）及び土庄（小豆島）で年 1 回の GPS 移動観測を行う、地殻変動監視観測を開始した。

さらに、平成 7（1995）年度からは、交通部が運用する全国 27 局の DGPS 局で得られる GPS データの提供を受け、これら DGPS 局の精密な位置を、下里本土基準点を基点として計算することにより、全国沿岸の地殻変動の監視観測を開始した。

平成 11（1999）年度からは、「地震予知のための新たな観測研究計画」に基づき、南関東地域における地殻変動監視観測体制を拡充するため、関西地域における GPS 移動観測を廃止することとした。

そのため、釧崎、白浜及び美星水路観測所の GPS 固定点を、横須賀、南伊豆及び三宅島の各験潮所に移設して新固定点とするとともに、新島、神子元島、鵜渡根島、地内島、祇苗島、恩馳島、銭洲及び大野原島で年 1 回の岩礁 GPS 移動観測（Photo 6）を行って、南関東地域の地殻変動を監視することとした。

平成 12（2000）年 6 月から始まった三宅島の火山活動では、これらの成果を活用して三宅島－神津島間のダイク貫入による地殻変動を明らかにするとともに、地殻変動を説明する震源断層モデルの推定を行った（寺井・他、2001；佐藤・他、2002）。



Photo 6. GPS measurements at small islands in Izu Islands.

写真 6. 伊豆諸島（大野原島）における岩礁 GPS 移動観測。平成 12（2000）年の三宅島噴火時にも実施し、三宅島の噴煙等を視認できた。



Photo 7. Tidal station in Kozu-shima Island and GPS radome.

写真 7. 南関東の地殻変動監視に用いられる神津島験潮所と GPS レドーム。岩礁 GPS 移動観測の基準点としても使用される。

現在では下里，真鶴，伊豆大島，横須賀験潮所，南伊豆，三宅島験潮所，神津島験潮所（Photo 7）及び八丈島験潮所の GPS 固定局 8 箇所及び DGPS 局の 27 箇所において地殻変動の監視を行っている（淵之上・他，2005；大市・他，2013；海上保安庁海洋情報部，2013）。

平成 23（2011）年の東北地方太平洋沖地震の直後は，東日本の広範囲に及んだ地殻変動により国土地理院が電子基準点を含む三角点等の位置成果の公表を停止したので，水路測量の実施に支障が生じた。これに対応するため，下里海洋測地本土基準点（海図作成の基準点）を基点として，二管区本部及び三管区本部管内の沿岸に存在する各電子基準点位置を GPS により導出し，当該管区本部海洋情報部に通知した（災害対応水路測量班，2012）。

4.3.2 今後の展望

今後も三宅島等の験潮所に設置した GPS 局や交通部の DGPS 27 局の位置解析を継続して実施していく。三宅島等の験潮所の解析成果は定期的に地震予知連絡会に報告され，DGPS 局の成果は一定の規模の地震が発生した場合，震源近くの DGPS 局の位置解析を行い，同連絡会へ報告され

ている。

また，下里本土基準点は SLR 観測と GPS 観測が行われており，2 種類の観測方法による位置成果の結節点として世界測地系と関係づけられている。同点は海底地殻変動観測や他の位置成果を求めるための基点として重要であり，下里における GPS 観測を継続して行っていく。

これからも防災業務に迅速に対応していくため，GPS 位置解析の高精度化し，位置成果作成の省力化を行い，地震対応業務に貢献していく。

4.4 海域火山に関する業務

4.4.1 これまでの取り組みと主な成果

海上保安庁では，文部省測地学審議会（現文部科学省科学技術・学術審議会測地学分科会）の建議を受け，海域火山（火山島及び海底火山）の監視観測を航空機や船艇により実施し，火山噴火予知業務に貢献してきた。また，これら火山情報に基づき航海安全のための航行警報の発出，海洋権益のための新島形成の確認などの業務を実施している。

伊豆小笠原列島の「南方諸島」方面，九州～トカラ列島～先島諸島の「南西諸島」方面の 2 方面に点在する 30 ヶ所の海域火山（Fig. 6）において

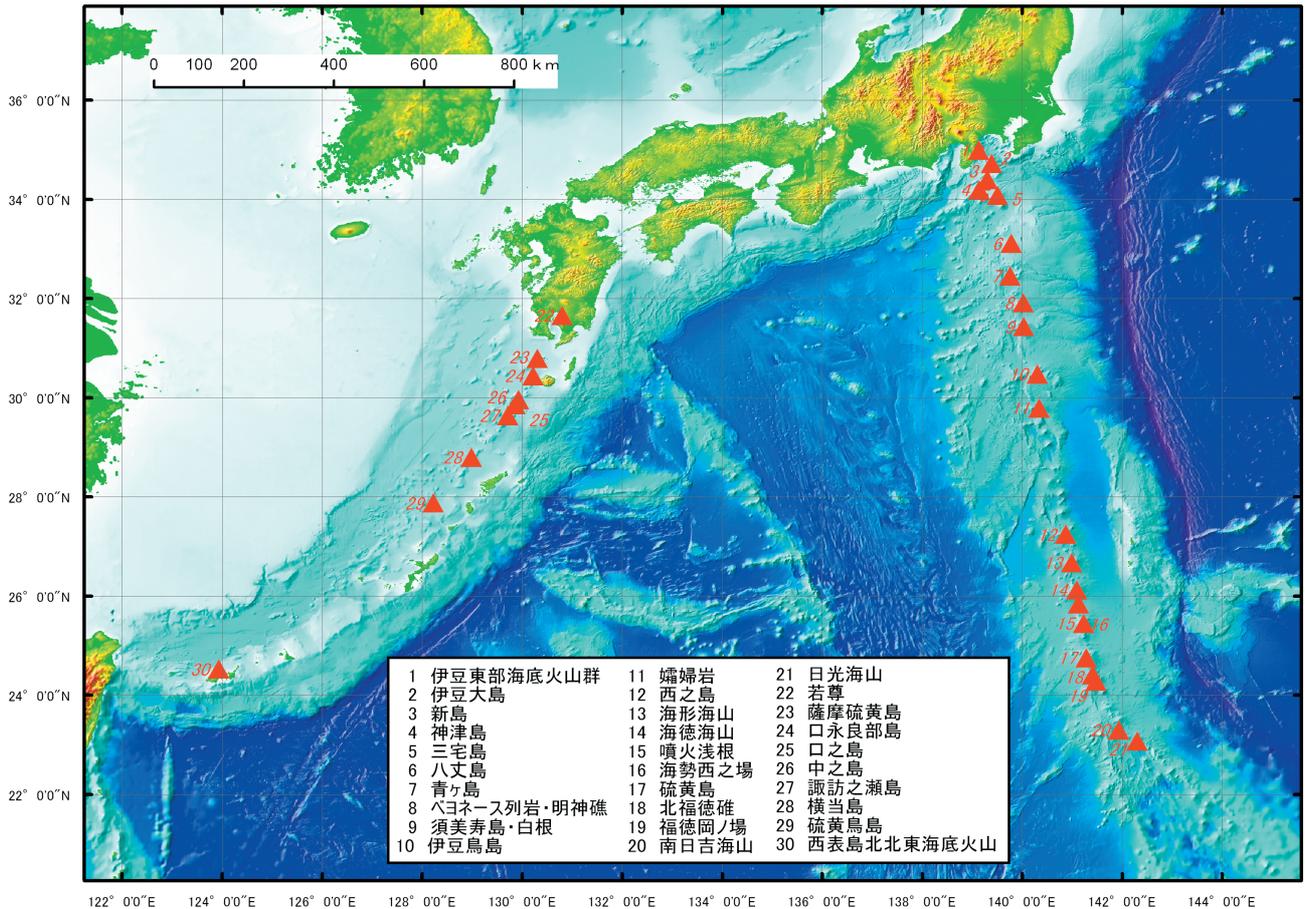


Fig. 6. Distribution of volcanoes in the Nansei Shoto (Ryukyu arc) and the Nanpo Shoto (Izu-Bonin arc).

図 6. 南西諸島（琉球弧）と南方諸島（伊豆－小笠原弧）における海域火山配置図。昭和 27（1952）年，南方諸島にある明神礁において，当庁の観測船「第五海洋丸」が噴火活動に巻き込まれ，31 名が遭難した。

航空機による監視観測を実施している。観測手法は対象火山に近接して行う目視観測，デジタルカメラによる写真撮影，ビデオカメラによる映像撮影，赤外線熱計測計による熱計測，航空磁力計による磁気測量である。

写真や映像撮影による監視は，火山島や変色水の状態を過去のものと比較することにより，その活動度の判定を行う。熱計測は，火口内の地熱地帯や変色水域の水温を計測する。地磁気測量は，マグマ等の存在により磁力が弱くなる現象を計測し不可視な活動状況を監視することができる。「南方諸島」方面は年 2 回，「南西諸島」方面は年 1 回調査している。

海域火山基礎情報図調査は，海底地形，海底地殻構造，海上磁気・重力調査と海底の岩石採取等を測量船により行うものである。この調査の目的

は，海域火山の基礎的・基盤的情報を整備し，噴火予知に資するためである。平成 10（1998）年の「明神礁」から始まり，平成 25（2013）年 7 月までに 9ヶ所の海域火山の調査を行っている。

火山活動が活発化した場合，測量船による海底火山の火口直上海域の調査では危険が伴うため，無人測量艇の「マンボウⅡ」や「じんべい」を投入して調査を行う。平成 22（2010）年「福徳岡ノ場」で噴火活動が発生したが，その後の調査に「マンボウⅡ」を使用し，噴火口の位置や状況を捉えることができた（伊藤・他，2011；Photo 8）。

これまで述べてきたような観測や調査の成果は，噴火暦や海底地形・地質構造図等という形でとりまとめられる。これら資料は，現在の海域火山の活動状況の判定に活用される。



Photo 8. Eruption of “Fukutoku-Oka-no-Ba” on February 3, 2010.

写真8. 平成22(2010)年2月3日 福徳岡ノ場の噴火。大規模な噴火活動ではなかったが、この写真からコックステールジェット(噴煙中を噴石が高速で通過するために生じる雄鶏の尻尾のような噴煙の形状、爆発)が確認できる。

また、観測や調査の成果は火山噴火予知連絡会へ報告し、日本周辺海域火山通覧(伊藤・他, 2012)や海域火山データベース(<http://www.1.kaiho.mlit.go.jp/GIJUTSUKOKUSAI/kaiikiDB/list-2.htm>)で広く一般に公表し、火山噴火予知や防災業務に貢献している。

4.4.2 今後の展望

今後も「南方・南西諸島」の航空機による監視観測を継続するとともに、海域火山基礎情報を充実させるため、海域火山基礎情報が欠落または不十分である海域を測量船により調査し、基礎情報を完備させていく。技術的には地球観測衛星を活用した海域火山の活動状況(変色水や噴煙等)の監視観測などを検討していく。

4.5 津波防災情報に関する業務

4.5.1 これまでの取り組みと主な成果

海上保安庁では、平成14(2002)年度から、南海トラフ沿いで発生が予測される東海・東南海・南海地震や日本海溝・千島海溝沿いで発生が予測される宮城県沖地震等の巨大地震により津波

が生じた場合に備え、港内における船舶津波対策として津波防災情報図の整備を行ってきたところである。津波防災情報図の作成過程及び図の内容については、細萱・他(2005)を参照されたい。

平成23(2011)年に発生した東北地方太平洋沖地震では、東北地方を中心とする未曾有の大津波による被害が発生した。これを踏まえ中央防災会議では、将来発生が予想される南海トラフ沿いの巨大地震の地震想定についても大きな見直しを行い、新たに「南海トラフの巨大地震の被害想定」(内閣府, 2012)を発表した。

当庁としても、このような情勢を踏まえ、南海トラフ巨大地震によって津波の影響を受ける地域を対象として、新しい地震断層モデルに基づく津波防災情報図の整備を順次進めている。例としてFig.7に南海トラフ巨大地震を想定した伊勢湾の津波防災情報図(進入図及び引潮図, 計算条件等は細萱・他(2005)を参照のこと)を載せる。

4.5.2 今後の展望

作成した津波防災情報図は、管区海洋情報部等とも協力しながら、港内船舶津波対策協議会等を通じて、港湾、海運、漁業、マリレジャー関係団体及び自治体に、また各種防災イベントを通じて一般に普及を図っていく。それとともに、自治体や研究機関等による津波防災の取り組みを支援するため、津波防災情報図を作成するために整備した海底地形データをこれらの機関等に提供していく。

現在、政府では日本海溝・千島海溝における超巨大地震モデルや、日本海側で発生する巨大地震などの想定を実施している。港湾及び船舶の津波対策に資するため、政府内での検討結果を踏まえ、新たな図の整備等についても検討していく必要がある。

4.6 地磁気・重力測量

4.6.1 これまでの取り組みと主な成果

海洋情報部が発行する海図や航空図には、磁針偏差及び年差が記載され、磁気コンパスを用いる

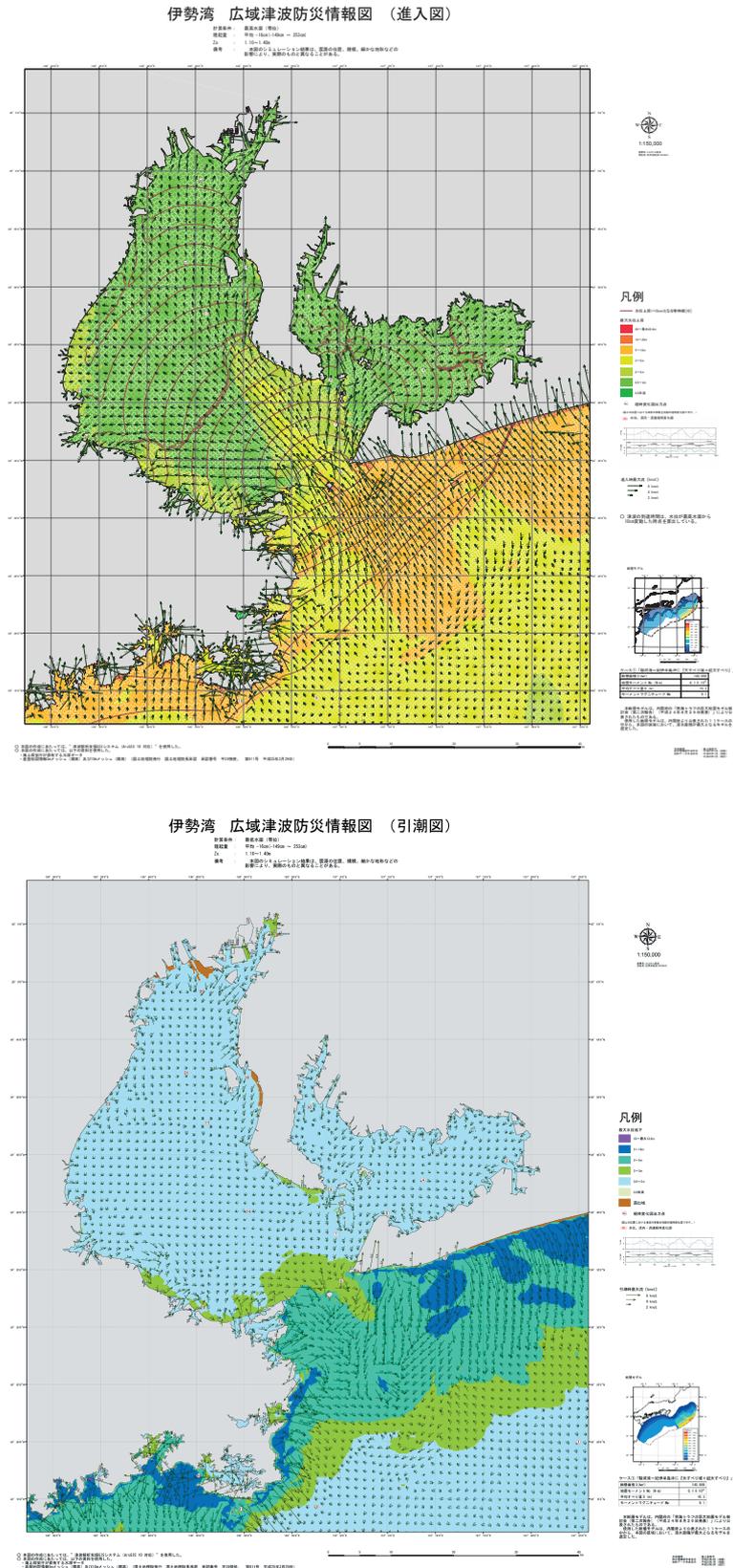


Fig. 7. Tsunami information map of Ise Bay (upper panel : inflow map, lower panel : outflow map).

図 7. 尾鷲港の津波防災情報図（上：進入図，下：引潮図）。東南海・南海地震の震源モデルによる津波シミュレーションでは伊勢湾での最高水面からの津波高は 21 m となる。このシミュレーションでは、当庁の水深測量データが活用されている。

船舶や航空機にとって重要な情報となっていた。

このため、全国の定点（陸上測量）および沿岸海域（航空測量）における磁針偏差を測定する全国磁気測量を5年ごとに実施していた。しかし、業務の合理化を理由に平成12（2000）年度（第15回全国磁気測量）をもって終了した。

また、日本周辺の海域ジオイドモデルを決定するため、海洋情報部では1960年代から海上重力測量を行ってきた（笹原・他，2006）。ジオイドは地球表面における平均水面の形状に近く、海洋測量における基準面として、黒潮などの海流モデルを予測する上で重要である。平成20（2008）年に決定した海域ジオイドモデルMGM 2008（笹原・他，2008）によるジオイド高分布図をFig. 8に示す。

4.6.2 今後の展望

今後も海図や航空図を発行していくので磁針偏差等が必要となるが、全国磁気測量が終了したため、国際標準地球磁場（IGRF：International Geomagnetic Reference Field）モデルを用いて計算した磁針偏差等を提供していく。

また、航空レーザー測量などの技術の発展に伴い、従来の験潮所の潮汐から求めた平均水面ではその高精度な測深データを十分に活用することができない。このため、新技術に対応できるより高精度なジオイドモデルが必要であり、最新の重力観測衛星データ等を活用して構築していかなければならない。

4.7 天文観測及び天測暦等の作成

4.7.1 これまでの取り組みと主な成果

天文航法には、精確な天体の位置が必要であり、海上保安庁では、「天体位置表」（Photo 1）及び「天測暦」等を作成するために天文観測を行っていたが、平成19（2007）年度で終了した。これに伴い、天文観測業務を専門とする白浜水路観測所は平成18（2006）年4月1日に、美星水路観測所（Photo 2）は平成20（2008）年4月1日にそれぞれ閉所され、「天体位置表」につ

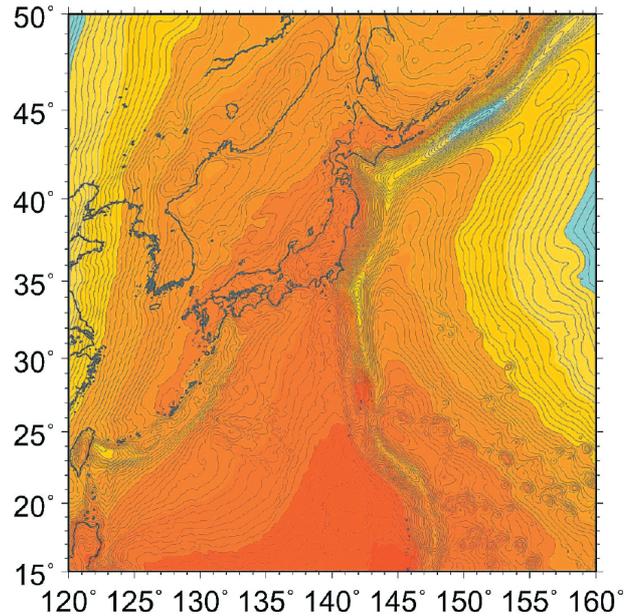


Fig. 8. Geoid (MGM 2008) undulation around Japan. Contour intervals are 1 m.

図8. 日本周辺における海域ジオイドモデル（MGM 2008）によるジオイド高分布図（コンター間隔1 m）。地衡流などの流向・流速の算出に活用できる。

いては平成21（2009）年3月の発行をもって廃刊となった。他の廃刊された水路書誌には、「簡易天測表」（平成13（2001）年廃刊）、「北極星方位角表」（平成12（2000）年廃刊，平成22（2010）年までインターネットで計算サービス提供）がある。

また、星食国際中央局（ILOC：International Lunar Occultation Centre）業務を昭和56（1981）年1月1日から実施しており世界各国の観測者からの星食観測データを収集・解析し、観測者へ星食予報を提供してきた（久保，1981）。しかし、業務効率化の観点から、平成21（2009）年3月31日で本業務を終了し、国際掩蔽観測者協会（IOTA）へ引き継いだ。

4.7.2 今後の展望

「天体位置表」の精度維持・向上を目的とした天文観測業務は平成19（2007）年度に終了し、「天体位置表」も平成20（2008）年度で廃刊となった。今後「天体位置表」の代替としては、国

立天文台ホームページの暦象年表 Web 版より天体位置データを入手できるようになっている。

測位機器として、現在では GPS が広く使用されているため、平成 14 (2002) 年 7 月に船舶設備規定を一部改正し、天文航法による測位機器 (時しん儀, 六分儀, 航海暦) の備置義務が撤廃された。一方、「船舶職員及び小型船舶操縦者法施行規則」では、船員に天文航法の履修を義務づけている。また、GPS など衛星航法装置のシステムダウン時のバックアップシステムが必要である。このため、当部では天文航法に必要な天測暦及び天測略暦を継続して発行していく。

5 今後に向けて

2 節でも記したように、「海洋防災調査室」は東日本大震災を教訓に海洋情報部の防災関係業務を集約することで発足した組織である。

平成 23 (2011) 年の東日本大震災では地震及びこれに伴う巨大な津波により甚大な被害が発生した。このため、現在、国を挙げて、将来の発生が危惧される巨大地震によって生じる被害の想定を見直しつつあり、また、防災対策の強化に取り組むことが求められている。

海洋防災調査室では、本文で記したように、海底地殻変動観測、津波防災情報図整備、海域火山監視等の防災対策に資する調査・解析を多面的に行っている。地震の発生に伴い津波が連動することはよくあるが、地震活動に誘発された火山活動もしばしば観測されている。実際に、巨大地震の発生の前後 10 年程度の期間に震源から数 100 km 以内の地域で火山が大噴火を起こす事例は、日本のほかカムチャツカ、アリユーション、アラスカ、チリ等でも見られている。このようなことから、地震と火山を別々に観測・調査するよりも総合的に見ていく必要がある。

当室では、今後、海洋情報部における防災関係のデータを一元的に収集・管理を行い、次の災害に備えた様々な対策を行うとともに、いざというときには機敏に対応していきたい。

謝 辞

旧航法測地室における各観測・調査では、歴代の当室職員、各測量船の乗組員及び関係者の営々たる努力により実施されてきました。また、海底地殻変動における東京大学生産技術研究所浅田研究室諸氏、海域火山における東京工業大学野上健治教授、津波防災情報における (独) 防災科学技術研究所の都司嘉宣理学博士や海洋情報部津波防災情報図検討会の委員諸氏による協力は各業務遂行に必要不可欠なものでした。記して感謝いたします。

文 献

- 秋山裕平・氏原直人・大門肇 (2013) 測量船「海洋」への海底地殻変動観測装置の設置, 海洋情報部研究報告, 50, 91-96.
- 秋山裕平・横田裕輔 (2014) 測量船「昭洋」への海底地殻変動観測装置の設置, 海洋情報部研究報告, 51, 106-112.
- 大門肇・加藤剛・片山真人・久保良雄 (2002) 新・測地系変換ソフトウェア MGC 2000 A, 水路部技報, 20, 58-70.
- 淵之上紘和・河合晃司・藤田雅之 (2005) 海上保安庁の GPS 連続観測～データ収録・解析システムの更新とその評価～, 海洋情報部技報, 23, 61-65.
- Fujita, M., K. Terai, and A. Sengoku (1998) Horizontal motion of Chichijima derived from satellite laser ranging observations, 水路部研究報告, 34, 13-24.
- 藤田雅之 (2006) GPS/音響測距結合方式による海底地殻変動観測～海上保安庁の取り組み (レビュー) ～, 海洋情報部研究報告, 42, 1-14.
- Fujita, M., T. Ishikawa, M. Mochizuki, M. Sato, S. Toyama, M. Katayama, Y. Matsumoto, T. Yabuki, A. Asada and O. L. Colombo (2006) GPS/Acoustic seafloor geodetic observation: method of data analysis and its application, Earth Planets Space, 58, 265-275.

- 細萱泉・山内明彦・渡辺一樹・加藤幸弘・長屋好治・矢沼隆 (2005) 津波解析支援 GIS による津波防災情報図の作成, 海洋情報部技報, 23, 1-7.
- 久保良雄 (1981) 星食国際中央局業務の開始, 水路要報, 102, 177-182.
- 石川直史 (2011) 海底地殻変動観測における海底基準局の更新, 海洋情報部研究報告, 47, 44-50.
- 伊藤弘志, 加藤正治, 高橋昌紀, 斉藤昭則 (2011) 伊豆-小笠原弧, 福徳岡ノ場火山における 2010 年噴火後の火山地形, 海洋情報部研究報告, 47, 9-13.
- 伊藤弘志, 堀内大嗣, 芝田厚, 鈴木晃, 小山薫 (2012) 日本周辺海域火山通覧 (第 4 版), 海洋情報部研究報告, 48, 41-73.
- 地震調査研究推進本部 (2001) 地震に関する基盤的調査観測計画の見直しと重点的な調査観測体制の整備について, 地震調査研究推進本部ホームページ, <http://www.jishin.go.jp/>.
- 海上保安庁海洋情報部 (2013) 南関東の駿潮所における海面絶対高観測, 海洋情報部観測報告衛星測地編, 26.
- 海洋調査課航法測地室 (2012) 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動-海底地殻変動観測, GPS 観測, 人工衛星レーザー測距観測-, 海洋情報部研究報告, 49, 135-144.
- 加藤剛・仙石新・片山真人 (2001) 日本測地系と世界測地系の経緯度変換 (暫定版) MGC 2000, 水路部技報, 19, 104-109.
- 川井仁一・朝倉宣矢・松本良浩 (2009) 測量船「明洋」への海底地殻変動観測用送受波器の船底装備について, 海洋情報部技報, 27, 50-55.
- Matsumoto, Y., M. Fujita, T. Ishikawa, M. Mochizuki, T. Yabuki and A. Asada (2006) Undersea co-seismic crustal movements associated with the 2005 Off Miyagi Prefecture Earthquake detected by GPS/Acoustic seafloor geodetic observation, *Earth Planets Space*, 58, 1573-1576.
- 内閣府 (2012) 南海トラフ巨大地震の被害想定 (第二次報告), 内閣府防災担当ホームページ http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/nankaitrough_info.html.
- 成田誉孝・畝見潤一郎・望月将志 (2005) 海底地殻変動観測における機器の現状とその運用について, 海洋情報部技報, 23, 53-60.
- 大市一芳・大橋美紗子・奥村雅之・大門肇・池田信広 (2013) GPS データ収録・解析システム「測地基線測定装置」の導入, 海洋情報部技報, 50, 97-103.
- 災害対応水路測量班 (2012) 水路測量, 海洋情報部研究報告, 49, 97-98.
- 笹原昇, 塩原健, 矢吹哲一郎 (2006) 船上重力データの精度評価及び誤差補正について, 海洋情報部技報, 24, 89-93.
- 笹原昇, 工藤宏之, 藤田雅之 (2008) 日本周辺における海域ジオイドモデルの精度検証, 海洋情報部研究報告, 44, 43-55.
- 佐藤まりこ・河合晃司・深野慶太・笹原昇・矢吹哲一郎・仙石新 (2002) 2000 年伊豆諸島の群発地震による地殻変動を説明するソースモデル, 水路部研究報告, 38, 71-83.
- 佐藤まりこ・福良博子・藤田雅之 (2004) SLR 観測により求めた島嶼等の水平運動, 海洋情報部研究報告, 40, 73-84.
- 佐藤まりこ・松下優・藤田雅之・仙石新 (2009) 「LAGEOS」SLR データ解析による下里の移動速度の再計算, 海洋情報部研究報告, 45, 1-12.
- 佐藤まりこ (2010) 海底基準局の識別信号の追加について, 海洋情報部技報, 46, 108-115.
- Sato, M., T. Ishikawa, N. Ujihara, S. Yoshida, M. Fujita, M. Mochizuki, A. Asada (2011) Displacement Above the Hypocenter of the 2011 Tohoku-Oki Earthquake, *Science*, 332, 1395, doi:10.1126/science.1207401.
- 佐藤まりこ・藤田雅之 (2012) GPS/音響測距結

合方式による海底地殻変動観測技術の進展－この10年の歩み－，海洋情報部研究報告，48，26-40.

Sengoku, A (1998) A plate motion study using Ajisai SLR data, Earth Planets Space, 50, 611-627.

Sengoku, A., M. Fujita, K. Matsumoto K. Terai and M. Sasaki (1999) Determination of precise positions of the mainlands and isolated islands in the Japanese territory –A review of marine geodetic control network deployed by the Hydrographic Department–, 水路部研究報告，35, 79-95.

鈴木充広・成田誉孝・緒方克司・山田圭祐 (2010) 下里水路観測所の人工衛星レーザー測距装置の現況と諸元，海洋情報部研究報告，46, 116-124.

寺井孝二・矢吹哲一郎・笹原昇・河合晃司・深野慶太・佐藤まりこ・仙石新 (2001) 伊豆諸島の岩礁における地殻変動観測及び三宅島噴火による周辺海域の地殻変動，水路部研究報告，37, 73-86.

氏原直人・成田誉孝 (2012) 測量船「拓洋」への海底地殻変動観測装置設置について (速報)，海洋情報部研究報告，48, 85-90.

畝見潤一郎 (2004) 海底地殻変動観測の現状と諸問題について，海洋情報部技報，22, 33-41.

矢吹哲一郎 (2002) 海底地殻変動観測を目指した音響技術開発，水路部研究報告，38, 47-58.

著者名 (アイウエオ順)

海洋調査課海洋防災調査室

秋山裕平，氏原直人，内田徹，大市一芳，奥村雅之，小野智三，楠勝浩，小山薫，近藤芳行，笹原昇，澤雅行，下村広樹，山内明彦，横田裕輔，渡邊俊一

技術・国際課海洋研究室

佐藤まりこ

要 旨

平成 25 (2013) 年 5 月に、「海洋防災調査室」が誕生した。これは、平成 23 (2011) 年の東日本大震災を受けて、地震・火山・津波等の自然災害に対して包括的に取り組むために再編されたものである。

本報告では、前航法測地室の取り組みや実績を紹介するとともに、海洋防災調査室としての展望を述べる。