

海底地殻変動観測の現状と諸問題について

畝見潤一郎：航法測地室

Overview of the seafloor geodetic observation from the aspect of practical operations

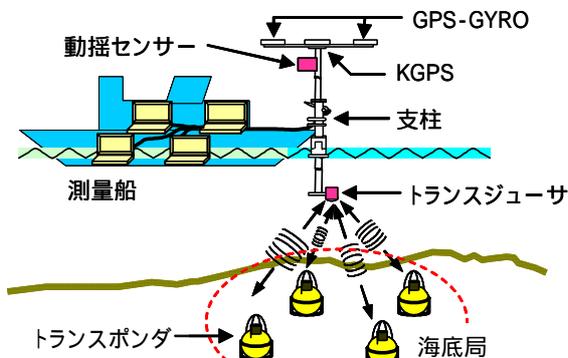
Junichiro UNEMI: Geodesy and Geodetic Office

1 はじめに

海底地殻変動観測は、平成 12 年度からはじまったプロジェクトで、キネマティック GPS により船の位置を精密に求める観測（以下「KGPS 測位」という）と、海底に設置したトランスポンダ 4 基から成る海底音響基準局（以下「海底局」という）と船との間の距離を音波によって測定する音響測距観測を行い、両者を組み合わせることによって誤差数 cm の精度内で海底局の位置を求めようとするものである（第 1 図）。そして、得られた海底局位置の変動から実際の海底面の動き（地殻歪）を検出することを目指している。

海底局は、日本海溝や南海トラフ沿いの水深 1000 ~ 2500m の海域及び特別観測点である三宅島西方海域に展開し、中型測量船「明洋」と「海洋」を用い年間を通して観測を行っている。

この観測では、誤差数 cm という高精度の成果を得ることが目標であるが、定常的にこの精度が得られているとはいえないのが現状である。その



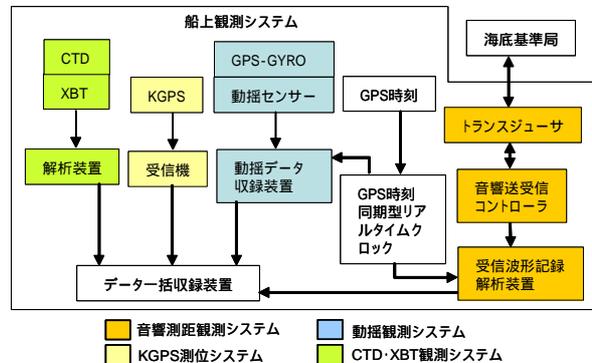
第 1 図 海底地殻変動観測システム。
Fig.1 The seafloor geodetic system.

大きな原因は、GPS 測位や音速度に関連する問題に集約され、これらを解決するためにさまざまな実験を試みたり、ソフトの改良を重ねたりしている。また、これとは別に観測に使用する装置や機材などのハード面でも精度の向上を目指して試行錯誤を繰り返し、改良を重ねている。そのほか精度の向上には直結しないまでも作業効率や安全対策等さまざまな問題も抱えており、その解決に向け努力しているのが実情である。ソフト面については、これまでに浅田・矢吹(2001), 矢吹(2002), 藤田・矢吹(2003), 富山(2003)が紹介しているので、ここではソフト面を除いた諸問題について、海底地殻変動観測の全体像とともに紹介する。

2 船上観測システムについて

海底地殻変動観測を推進するため、測量船の船尾部とそれに続く観測準備室に観測機材や PC 等の観測装置を置き、第 2 図に示す船上での観測システムを構築している。

この観測システムは次のように細分化され、ネ



第 2 図 船上観測システム。
Fig.2 Components of the on-board systems.

ネットワークを組むことによって1つのシステムを構成している。

音波を使ってトランスジューサ（音響送受波器）と海底局の距離を求める音響測距観測システム

KGPS用アンテナの位置を求めるKGPS測位システム

KGPS用アンテナとトランスジューサの位置関係を明確にする動揺観測システム

海中の音速度構造を求めるCTD及びXBT観測システム

次に、これらシステムを構成する装置と機材を船尾部と観測準備室に分けて紹介する。船尾部には、船尾ブルワークに取り付けた支柱の頂部中央に、KGPS 測位用の『GPS アンテナ』、その前後（船首尾方向）に方位測定用の『GPS アンテナ（GPS-GYRO）』、さらにアンテナの動揺を検出する『動揺センサー』、最下部には海底局と通信するための『トランスジューサ』を装備する。これらは ~ の各システムにおいてセンサーの役割を担っている（写真1）。

支柱は中折れ式で、音響測距観測時には一直線にしてトランスジューサを海中に突出させ、船が航走する際には下部を折りたたみ船尾に抱かせる構造にしている。この支柱は上部・中間・下部の3本の柱から成り、測量船への搭載時には分割されているが、船上ですべてを接続することにより全長8mの支柱に組み立てている。中間柱は最下端にヒンジ（屈曲部）を持ち、この部分の回転によって支柱が中折れする仕組みにしている。また、中間柱はハンドルを備えており、これを上下に操作することにより中間柱内をレバーが上下し、その先端部のピンが、ヒンジを固定し、また解除する仕掛けになっている。これによって支柱を自在に曲げ伸ばしすることが可能となる。

一方、観測準備室には、次に列挙する各種の装置を配置している。

に関しては、トランスジューサの送受信をコントロールする『音響送受信コントローラ』と受信信号をアナログからデジタルの波形データに変換

して記録する『受信波形記録解析装置』（以下、『波形装置』という）

に関しては、KGPSの受信機

に関しては、『GPS-GYRO』と『動揺センサー』からのデータを受ける受信機とそれを記録する『動揺データ収録装置』（以下、『動揺装置』という）

そのほか、GPS時刻よりシステムの時刻を管理する『GPS時刻同期型リアルタイムクロック』やすべてのデータを一括収録する『データ一括収録装置』等を備えている（写真2）。

3 観測の実際

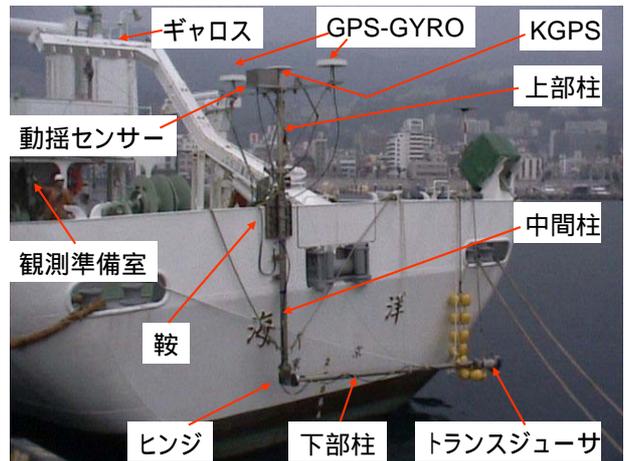


写真1 船尾ブルワークに設置した支柱。

Photo.1 The pole installed on the bulwark at the stern.



写真2 観測準備室内の観測装置。

Photo.2 On-board systems in the observation room.

3.1 海底局の新設

3.1.1 設置点の決定

海底地殻変動観測を実施するには、あらかじめ海底に海底局を設置しなければならないが、設置点の決定にあたっては基本的に次の事項を条件としている。

海溝，トラフの内側であり，地殻歪を検出するに有意義な地点であること

トランスポンダが長期間安定した設置状態を保持するため，海底面が平坦であること

漁業（特に底引き網漁）の影響がないこと

海底電線が敷設されていないこと

船舶輻輳海域を避けること

しかしながら，海域によってはこれらの条件が十分に満足されない場合がある。平成 14 年度に設置した東海沖及び相模湾海底局の場合は，既設や計画中の海底電線が輻輳する海域にあたり，それらを避け上記及びを満足させるには非常に限られた場所しかなく，しかも電線に囲まれた狭隘なスペースに設置点を決めざるを得なかった。

また，本年度の潮岬沖海底局の場合，紀伊半島に接近して流れる黒潮と商船のコースを完全に回避することは不可能であったため，できる限りこれらを避けるという方針で設置点を決定した。通常の海域であれば設置点と投入点はほぼ一致すると考えているが，この海域では黒潮の流れに乗ったトランスポンダが投入点から離れた場所に着地することが懸念されたことから，流速に対するトランスポンダの流れ量を求める計算式（寄高，私信）から流速ごとの投入地点を決めた。投入したトランスポンダの作動確認時に，音響測距（波形）データとそのときの船位を取得し，後処理で概位を求めたところ，ほぼ設置予定地点に着地していることが確認できた。なお，この際設置地点が商船コースの最南端にかかったため水路通報室と協議し，NAVTEX 放送を実施した。

3.1.2 設置作業

海底局の設置作業とは，海底局を構築するために 1 局につき 4 基のトランスポンダを測量船から

予定地点に投入する作業である。

このトランスポンダはミラー式と呼ばれるトランスポンダで，船上のトランスジューサから送信した信号を受信し，1.062s のディレイタイムの後に同じ波形の信号を返送するよう設計されている。実際にはトランスポンダごとにディレイタイムに若干の個体差があるため設置航海に先立ちディレイタイムを計測する必要がある。

洋上での設置作業は，まずマルチビーム音響測深機で予定海域の海底地形調査を実施し，設置点を最終的に決定する。この後トランスポンダを鉄枠の重錘にセットして作動確認を行ったのち，写真 3 のように巻揚げ機のワイヤで海中に吊り下げ，投入地点に到達した時点で切り離し，投下させる。なお，投入地点への移動は DGPS からの位置情報を利用している。



写真 3 トランスポンダの投入作業。

Photo.3 Installation of a transponder.

3.2 観測の準備

観測航海の前に毎回観測装置や機材を測量船に持ち込み，観測準備室に臨時に用意したテーブル上にセットする必要がある。また念のためにトランスジューサとアンテナを装置に仮接続し，システムが正常に作動するかどうかの確認テストを行っている。なお，装置や機材は，故障や事故等の不測の事態に備えて，すべて予備機を用意している。

船尾に設置する支柱については，まず準備作業

として出港後に支柱の中間柱と下部柱を接続し，上部柱にアンテナを，下部柱にトランスジューサをそれぞれ取り付け，配線を施したのち最終的な作動確認を行っておく．観測海域付近に到着後，トランスジューサを配した下側の柱を巻揚げ機とギャロス（油圧式クレーン）を使って船尾ブルワークの鞍に載せて固定し，次にアンテナのある上部柱を同様の方法で吊り上げ，下側の柱と接続することで1本の支柱に組み立てている．この作業は支柱の総重量が150kg以上もことから大変な危険がともなうものである．したがって写真4のように上乗り班はもちろんのこと手空きの乗組員総出の作業となる．



写真4 支柱の設置作業．

Photo.4 Installation of the pole.

3.3 観測

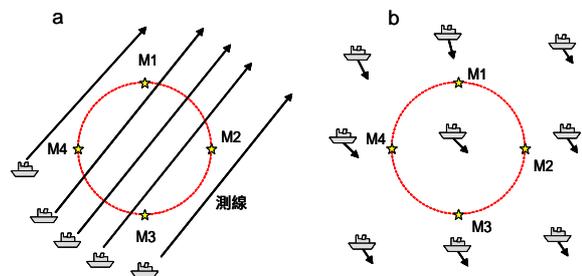
観測作業の流れは以下ようになる．まず海底局の中心付近でCTD観測を行ったのち，船を漂流移動させながらKGPS測位，音響測距観測，動揺観測を実施し，1日の最後にもう一度CTD観測を行う．なお，観測中は1時間毎にXBT観測を実施している．

トランスポンダは電池（リチウム電池）の消耗を防ぐため，トランスジューサから信号を送らなければ1~2時間でSleep状態になるように設計されている．そのため音響測距観測の前に海底局の中心付近に船を移動して，トランスジューサからWake Up信号を送って作動状態にする．

3.3.1 音響測距観測

音響測距観測は，10kHzの音波信号（M系列のパルス信号）（富山，2003）を用いて行っている．海底に設置した4個のトランスポンダはM1~M4（M5の場合もある）のM系列信号に対応しており，『音響送受信コントローラ』が作るトリガー信号をスタート合図にトランスジューサから音波信号を送ると，それに対応したトランスポンダから受信信号と同じ波形の信号が送り返されてくる．これをトランスジューサで受け取り，『波形装置』内のA/D変換ボードによって，アナログデータからデジタルデータに変換後，音響波形データとして『波形装置』に収録している．収録したデータからは，トランスジューサと各局間の伝播時間が読み取れるが，これを後処理で距離に換算している（富山，2003）．

この観測は，基本的に海底局上の海面で船を漂流移動させながら行っており，1回の漂流移動を測線と称して，第3図aのように繰り返し何本もの測線観測を行うことでさまざまな方向からの音響測距データを取得している．ただし，潮や風任せの観測なので，狙いどおりには流れてくれず，測線ごとに流れが極端に変わる海域もあって漂流開始点を決定するのに苦心する場面も多々ある．データは測線ごとに収録するので，1測線が終了した時点で，柱を折り曲げ航走し，次の測線に移動し，再び柱を伸ばし観測を行うことを繰り返している．



第3図 測線観測と定点観測．

Fig.3 Drifting observations (a) and Observations migrating around the seafloor stations (b).

海底局を構成するトランスポンダは、当該海域の水深を直径とする円周上に東西南北の配置で海底に設置しており、1 測線の距離は、その直径のおおむね 2 倍を目安としている。これは、測線の距離があまり長くなると、測線の端では海底局から遠くなり、音速度の誤差の影響が増大してしまうことによる。

流れが小さく船の漂流速度が小さい場合には、海底局をとりまく 8 点及び中心点に各 20 分間前後停船し、第 3 図 b で示す定点観測を行っているが、この方法のメリットは 1 日の観測時間があらかじめ推定できることである。

漂流観測中はプロペラシャフトからプロペラを離脱させてプロペラ回転を止めることにより、音波の受信を妨げる騒音や気泡の発生を防止している。

3.3.2 KGPS 測位

KGPS 測位は、陸上の GPS 局を基準とした船上の GPS アンテナの時々刻々における位置を求めるものである。船上の GPS 局では 0.5 秒サンプリングを、陸上 GPS 局の場合は当部が運用する釜石、塩釜、塩屋崎、銚子、横須賀、真鶴、南伊豆、伊豆大島、神津島、三宅島、八丈島、下里の各 GPS 局の中から観測海域に対応する局を選択し、1 秒サンプリングを行っている。このほか交通部の DGPS データ（サンプリング間隔 10 秒）や国土地理院の電子基準点データ（サンプリング間隔 1 秒）も収集し補助データとしている。なお、当部が運用する局は西日本では下里局のみのため、この方面の海域で観測を行う場合は、これ以外にも臨時に陸上局を設けている。

当部が運用する GPS 局のデータ収録には、日立造船情報システム(株)製の GARD (GPS Automatic Remote Data processing)と呼ばれるソフトウェアを搭載した GPS データ収録・解析装置を使っている。通常、この GPS 局では 30 秒間隔でデータを収録・解析し、下里を基点とした地殻変動を監視しているが、海底地殻変動観測の陸上局とする場合は、サンプリング間隔を 1 秒に

切り替えている。KGPS 測位は、データが途切れると測位精度が悪くなるため確実にデータ取得しなければならないが、データ収録・解析装置や陸上 GPS 局にトラブルが発生することがあるため海上観測が予定されている場合は、休日当番を決めて職員を配置し、確実な収録に努めている。

3.3.3 動揺観測

海底地殻変動観測システムでは、支柱上部の KGPS 用アンテナによる位置測定と支柱下部のトランスジューサによる海底局との距離計測を組み合わせることで海底局の位置を求めているが、アンテナとトランスジューサは 8m 離れており、かつ船体動揺により、船体に固定された支柱も刻々と変化していることから、この位置関係を明確にし、アンテナの位置からトランスジューサの位置を算出する必要がある。そこで、『動揺センサー』と『GPS-GYRO』から送られてくるアンテナの刻々の動揺(傾斜)データと方位データを『動揺装置』に収録している。この動揺観測は音響測距観測と並行して測線ごとに行っている。

3.3.4 CTD 観測と XBT 観測

CTD 観測と XBT 観測は、ともに海中の音速度構造を把握するために行っており、前者は水温・塩分を後者は水温を観測している。

CTD 観測は、ギャロスを使い測定器を海中に投入しているが、ギャロスを船尾に振り出すとき KGPS 用アンテナがその陰になるので、KGPS の連続測位中には CTD 観測を行うことは好ましくない。そこで、CTD 観測は音響測距観測の前後に実施することとし、その間を複数回の XBT 観測によって補填し、刻々と変化する海水中の水温を把握している。

4 問題点とその対応

4.1 支柱の改良

支柱は 3 つの柱から構成されていることは前述したが、初代の支柱(写真 5a)は、中間柱を鉄製

のコの字型とし、下部柱はアルミ合金のパイプとしていた。この支柱は、現在のものよりも軽量で扱いが容易であったが、波浪によってしなりが生じるという欠点があった。KGPS 用アンテナとトランスジューサは 1 本の堅牢な支柱で固定されることが理想であるにもかかわらず、しなることによって両者の位置関係が不明瞭となり、これが誤差となって高い解析精度が得られなくなるわけである。

そこで、平成 13 年 11 月にアンテナとトランスジューサ間にワイヤを張り、途中に傾斜計を配置して支柱の中心軸に対するズレ量を検出する方法を試みることにした。

さらに、平成 14 年 8 月には支柱を堅牢なものにするため、中間柱をステンレス製のパイプにすることで強化し、下部柱（材質は初代と同じ）はその肉厚を増し、パイプ径を太くする改良を行った(写真 5b)。これによりしなりは改善されたが、その分ヒンジの回転と固定をつかさどるピンに波浪による圧力が集中し、その結果ピンが変形して抜き差しができなくなってしまった。原因はピンが細かった（20mm）ため、10 月になってヒンジを改良し、ピンの径を 2 倍にしたところこの問題は解消した。ただ、ピンを太くしたことにより必然的にヒンジが大きくなり、その分重量も増大した（写真 6）。

この時の改良ではヒンジの回転角度も当初の 90 度から 120 度まで回転できるように変更した。航走時には支柱を折りたたむ必要があるが、90 度程度では船尾に波浪を受けたとき、下部柱先端のトランスジューサがダメージを受けるおそれがあり、これまでは 100 km 近く航走する次の局への移動や荒天航海時には支柱を完全に撤去して船内に取り込まなければならないことがあった。この設置や撤去の作業を洋上で繰り返すことは大変な苦勞であったが、この改良により支柱の撤去作業をせず長距離の航走が可能になったことで負担の軽減が図られた。

これらの改良の結果、支柱全体の重量が増し、取り扱いが困難になるというデメリットが発生したが、精度が向上したことは何ものにも代えられ

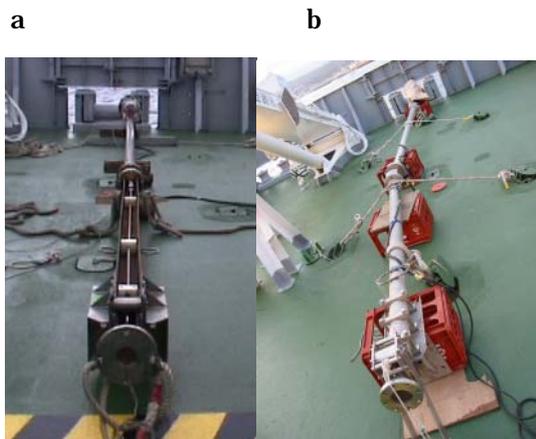


写真 5 旧型支柱と改良型支柱。

Photo.5 The old-type pole (a) and The improved pole (b).



写真 6 改良型のヒンジ。

Photo.6 The improved hinge.

ない。なお、重くなった支柱を支える鞍もこの時点で強固なものに新換えている。

後で詳細に述べるがこの改良時には船尾に鞍を載せる台座を常設し、さらに U ボルトで支柱の一部を船体に固定する方法を取り入れた。また、以上の改良によって、しなりは格段に改善されたことから、傾斜計を撤去した。

なお、支柱の設置・撤去には人手を要し、観測時には測線ごとに人力で支柱の曲げ伸ばしを行わなければならないことから、これを機械化する方法も検討していた。例えば、甲板上に支柱を載せたベッドを置きベッドごと油圧で起こしていく方法、ブルワークに支点を設けこれを中心に支柱を左右に回転させる方法、さらに油圧で垂直方向にスライドさせる方法などさまざまなアイデアが出たが、油圧を使うと装置が大掛かりになったり、支柱を横にしたときのアンテナを備える上部支柱

の始末に窮したりで、すべて廃案になってしまった。

結局ブルワーク固定型の支柱方式を踏襲している訳だが、さらに重量を増やせば設置や撤去作業が今以上に困難になるほかブルワークやギャロスが耐え切れなくなるおそれがあり、この方式も細部の修正を除いて、このあたりが改良の限界ではないかと思われる。

4.2 データ収録装置の変遷

前述の支柱のほか装置についても改良を重ねており、その改良点はデータ収録装置である『動揺装置』と『波形装置』の時刻をできるだけ正確に合わせる（時刻同期）ことのほかシステムのスリム化を図ることであった。

音響測距観測では膨大な量の音響波形データを取得するが、その1個1個の波形データにつき、KGPS測位データと動揺データを対応付ける必要がある。『動揺装置』には動揺データの他にトリガーを発信したGPS時刻が記録されるので、KGPS測位データと動揺データの対応付けは容易である。しかし、波形データには1PPS信号しか記録されないため対応付けが困難であった。そこで、当初は『動揺装置』のトリガー発信時刻を『波形装置』に伝えログデータとして記録させることにより、時刻の共有を図っていた。これには両装置の時計が同期している必要があり、その時刻同期の精度向上を求めて改良を重ねてきた。

初代のシステムでは、単体で備えていた『GPS時刻受信機』が常時GPS時刻を受信しており、トリガーが発生した時にその時刻を『動揺装置』に配信し、さらにLANで『波形装置』に送り、『波形装置』はこれをログデータとして記録していた。

この時の『動揺装置』と『波形装置』との時刻同期は両者が持つそれぞれのパソコン時計で行っていたが、両者の精密な時計合わせが困難なことやパソコンの個性でズレが生じてくることから、平成14年8月に『GPS時刻受信機』を廃止し、これに替わるボードを『動揺装置』内に組み込んで直接GPS時刻を受けるようにした。トリガー

発信時刻を『波形装置』へ伝達する方法は、初代と同様であったが、観測前に両装置のパソコン時計を一致させるための時刻合せソフトや1分ごとに両装置のパソコン時計を照合するソフトを導入し、時刻同期の精度向上を図った。この時の改良で、『音響送受信コントローラ』の作動を制御するパソコンを廃止し、ボードとして『動揺装置』の中に格納することでシステム全体をスリム化した。また、『波形装置』が経年疲労で観測中頻繁にフリーズするようになっていたことから、あわせてこれの更新も行った。

平成15年に入り、さらなる同期精度の向上を図るため、基準信号をルビジウム発信器とし、GPS時刻に同期することができる『GPS時刻同期型リアルタイムクロック』を導入し、両装置に直接時刻信号を送ることで時刻合せを行うとともにトリガー発信時刻も同時に発信することにした。ルビジウム発信器はGPS時計に同期させるのに十分な精度を持っているため、GPSとの時刻合わせは、当日の観測開始前に1度行うことで高い精度を保持できるようになった。

また、波形データをアナログからデジタルに変換する際、これまではそのサンプリングタイムを単体の『A/D変換器』が内蔵する水晶発信器で管理し、変換したデジタルデータを波形装置に送っていたが、水晶発信器は温度変化に弱く、発振も不安定であるため、『波形装置』内にA/D変換ボードを組み込み、直接ルビジウムが発する安定した周波数を受けることで変換精度を格段に向上させることができた。この装置は平成15年10月から本格使用となったが、この改良にともなって、単体で装備していた『A/D変換器』を廃止し、新たに『波形装置』内にA/D変換ボードとして組み込むとともに、『動揺装置』から『音響送受信コントローラ』の作動制御ソフトを移設した。また、上記の変更によって『動揺装置』は動揺データ収録専用装置となった。

その他、KGPS測位には、当初Trimble4000受信機を使用していたが、新機種の登場にともない精度比較等の試験期間を経て平成15年から5700

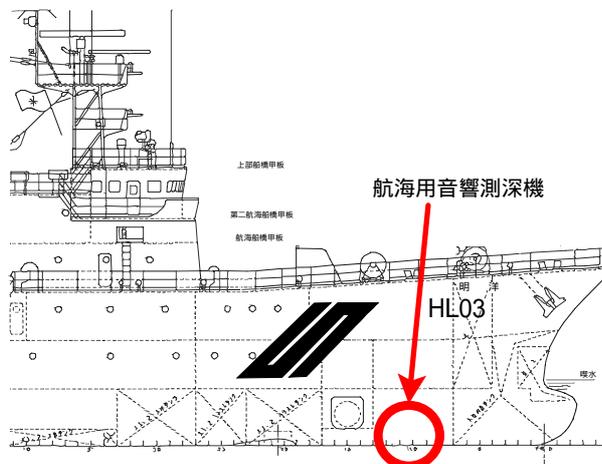
受信機に切り替えている。

これらの装置はすべて精密機器であるが観測準備室を作業場に行っているため、塩害、高温（夏季及び機関室の熱）、湿度、ほこりに曝され、劣悪な環境下に置かれている。また、観測行動ごとの搬入・搬出も装置に与えるダメージが大きく、いずれは観測室に常設したいと考えている。

4.3 船底装備等の検討

船底装備の検討は、支柱のしなりに苦渋していた初代支柱時代の平成 13 年後半から 14 年前半にかけて行ったものである。これは測量船「明洋」の提案を発端として「明洋」を対象にはじめたもので、しなりの除去が最大の目的ではあったが、その他にも支柱の設置・撤去作業、煩雑な測線ごとの支柱の曲げ伸ばし作業からの開放や任意の時間に CTD 観測を行うことなどを目的としてトランスジューサを船底から出し入れし、その直上のオープンスペースに GPS アンテナを置き、観測機器は観測室に備え付ける方法を模索した。

測量船の船底部は、燃料タンクや清水タンク等の各種タンクで覆われているが、船首部船底にただ 1 箇所の空所区画がある。そして、この区画に設備されている航海用音響測深機（第 4 図）のセンサー部を出し入れする貫通孔を利用してトランスジューサを上下させることを考えた。その場合、遠隔操作が可能な油圧式の装置であること、マルチパスの影響を避さけるため、トランスジューサ



第 4 図 測量船「明洋」の船首部。

Fig. 4 Sketch of the bow of the vessel "MEIYO".

を船底から 1.5m 程度を目安に突出（各海底局から帰ってきた音波が直接波か船底で反射した波かを識別できるだけの距離が必要）できること、トランスジューサの交換が船内で可能なことなどを条件として検討したが、以上の条件を満たす装置は大規模なものになり、空所区画のみでは納まらず、上方の甲板までも貫通させなければならないことがわかった。

一方、GPS アンテナの設置箇所は、アンテナとトランスジューサを鉛直線上に配置する必要から必然的に船橋前面の前部甲板上となるが、船橋構造物が近接して存在することから、GPS の受信状態を安定させるためにはかなりの高さを有し、かつしなりの生じないポールまたは櫓を設置してその頂点にアンテナを置かなければならず、そうすると操舵室からの視界の妨げ、及び出入港作業の障害になるので常設ではなく、取り外し可能な設備にする必要が生じた。

さらに深刻な問題として、GPS アンテナ、船体、船底から突出させたトランスジューサがそれぞれ独自の動きをすることが懸念され、その場合最上部と最下部の位置関係をどのように検出するかが難題であった。

以上の検討を造船所などの意見も交えて行ったが、既存の船にわれわれが要求する条件を満たすことは困難であるとの結論を得た。

船底装備と同時進行で「海洋」から提案のあった方法の検討も進めた。これは船尾ブルワークにボルトを通す穴をあけ、U ボルトで支柱を固定し、中間柱だけでもしなりを減少させようというものだが、この案をさらに発展させて、鞍を載せる台座をブルワークに溶接留めで常設し、台座面に窪みを付け、その窪みを利用して台座に鞍をボルト締めで固定することにした（写真 7）。その理由は、支柱にかかる波浪の圧力で動かないはずの鞍が動くことがわかったからで、平成 14 月 7 月のドックでこの工事を行った。この時期は堅牢な 2 代目支柱を作成していた時期でもあり、両者を使用することによって観測データの品質は格段に向上した。この結果をもって、「明洋」にも同年 11 月に

同様の処置を施し、今日に至っている。

4.4 作業効率の検討

平成13年から15年までの行動実績をもとに入港日、回航日、基地外停泊日を除いた年間行動日数と観測実施日数から割り出した観測達成率は約60%である。つまり、40%が荒天による観測不能日であり、決して作業効率がよいとはいえない状況下にある。

ここでいう荒天とは、船体動揺が激しくなることによってデータの品質が悪化する状態、波浪で支柱が耐えられなくなる状態、甲板作業が危険になる状態であり、これを打開するには中型測量船より時化に強い大型測量船を用いることも考えられる。しかし、船が大きくなれば喫水も深くなり、船体構造物も大きくなるので今以上に支柱を長くしなければならない。すると、その分しなりも大きくなり、より堅牢にする必要が生じて一層大掛かりな装置となってしまう。そのような装置を船尾ブルワークに設置する作業は困難を極めるばかりか、ブルワークにかかる負担も大きくなり、補強工事も必要となるだろう。よって、現支柱方式を大型船に採用するのは困難と言わざるを得ない。

また、船上での観測を現在の昼間のみから24時間体制にすることにより観測の機会を増やすことも選択肢としては考えられるが、そのためには

a

b



写真7 常設した台座と台座上の鞍。

Photo.7 The permanent base of the saddle (a) and The saddle installed on the bulwark (b).

上乗りを増員し、当直交替制勤務にする必要が生じるものの人的に余裕がないのが現状である。

5 おわりに

ここまで触れてきたようにこのプロジェクトはさまざまな問題を抱えているが、この現実を直視し、与えられた環境の中で今後とも知恵を出し、試行錯誤を繰り返しながら、より安全で合理的で精度の高いシステムへと改良を重ね、良質なデータの取得に努めていきたい。

参考文献

- 浅田昭，矢吹哲一郎：熊野トラフにおける長期地殻変動観測技術の高度化，地学雑誌，**110**，529-543，(2001)
- 藤田雅之，矢吹哲一郎：海底地殻変動観測におけるK-GPS解析結果の評価手法について，海洋情報部技報，**21**，62-66，(2003)
- 富山新一：海底地殻変動観測における音響解析，海洋情報部技報，**21**，67-72，(2003)
- 矢吹哲一郎：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，(2002)