

## 水路技術に関する将来展望†

海洋研究室\*

### VIEW ON FUTURE HYDROGRAPHIC TECHNOLOGY †

Marine Research Laboratory\*

#### 1. はじめに

今後の海洋を取り巻く状況を展望すると、新しい海洋に関する国際秩序を定めた「海洋法に関する国際連合条約」(海洋法条約)は平成4年1月現在、発効要件である60カ国の批准にあと9カ国を残すのみとなり、発効は目前に迫ってきた。海洋における諸活動は近年、科学技術の進展等に支えられて活発化・高度化しているが、条約の発効に伴い、新しい海洋秩序のもとで一層加速されていくことになろう。陸上資源と国土空間に恵まれないわが国では海洋の有効利用の必要性が再認識され、沿岸域では、従来からの漁業、輸送に加え、観光、レクリエーション、ウォーターフロント開発などがさらに進展し、海域利用は輻そう・過密化すると予測される。加えて、沖合域では200海里排他的経済水域等の広大な海洋空間や、そこに賦存する生物資源、海底鉱物資源、エネルギー資源の有効利用を図る施策が講じられていくものと予測される。

また、世界人口の増大や人間活動に伴う大気中の二酸化炭素濃度の増大など地球環境問題がクローズアップされるなか、海洋の実態解明が強く叫ばれているが、海洋は地球表面の7割を占め、広大でまだまだ未知の分野であり、その調査の重要性が認識されていかなければならない。

技術分野に目を転じると、近年の先端技術分野における発展は目覚ましいものがあり、科学技術庁が行った第4回技術予測調査「日本の技術」(未来工学研究所発行)から21世紀初頭にかけての水路業務に関係すると思われる主なものを抽出すると、1995~1996年には多くの分野で推論によって問題解決をするエキスパートシステムが普及し、第5世代のコンピュータや海中通信システムの実用化がなされ、1997~1998年には各種海中ロボットが普及するとともに高精度測量技術の普及に伴い、海底での精密測地測量や地殻変動観測が可能となる。1999~2000年には精密マイクロ波高度計、精密海色センサーを搭載した人工衛星が打ち上げられるとともに超電導磁力計・重力計が普及し、通信技術分野では船舶や航空機等の移動体間での画像通信が可能となる。そして2001~2002年には長期間無保守の自動観測システムの実用化や本格的海洋牧場が出現し、2003~2006年には潮汐・潮流エネルギー利用の発電技術の開発、完全無人航行船の出現等があり、今後、技術革新は相次いでいくと予想されている。

水路業務の遂行にとり、また、高度技術に裏付けられた先進的海洋調査研究・情報機関を目指す水路部にとり、海洋調査技術、情報・データの処理技術の研究・開発等はきわめて重要である。

† Received 10th January 1992

\* 八島邦夫・徳江猪久二・村井弥亮

\* Kunio Yashima・Ikuji Tokue・Mitsuryo Murai

本年度は水路部創立120周年に当たり、これを機に今後の10年先程度、すなわち、21世紀初頭における水路技術に関し、海洋調査・情報提供業務のなかから、今後注目していくべきいくつかのテーマについて、関連する内外技術の紹介や展望を行うことにした。

なお、本稿は水路業務全般を見通したものではなく、業務の一側面のみを取り扱った著者等の私的見解であることを断っておく。

## 2. 海洋調査

### (1) 海底調査

水路部の海底調査は航海安全の確保のため、海図を整備することから始まった。昭和40年代になると海洋の開発・利用の進展に伴う海の基本図調査がこれに加わり、近年はそれまで培った海底調査技術を生かして管轄海域の確定、海洋の開発・利用、地震予知・火山噴火予知等防災のための海底調査も実施されるようになってきた。

近年の科学技術や電子技術の発展は目覚ましく、海底調査に使用する機器についても次々とコンピュータ導入によるデータのデジタル収録と計算機処理が行われるようになり、その手法も大幅に変化してきている。

この10年間に水路部で導入した海底調査に関する機器にはトライスポンダ、デジタル経緯儀、サイドスキャンソナー、水深自動収録処理装置、マルチチャンネル音波探査装置など数多いが、何といても特筆すべきはナローマルチビーム測深機である。測深はレッド（錘測）の点に始まり、音響測深機による線へと発展してきたが、ナローマルチビーム測深機の出現により面の測深へと転換された。この測量方法はスワスサーベイ（Swath Survey）、すなわち、芝刈り測量とも呼ばれるように、一定の幅の海底をくまなく測量するという、従来の測深という概念を打ち破る革命的ともいえるものであった。

今後の海底調査を展望すると、海洋における諸活動の活発化・高度化、わが国の管轄海域の拡大等により、一層広域的な海域において、より精緻な調査が必要になるとともに地震予知の調査も従来からの海域の基礎データの整備に加え、震源域付近における、より直接的なデータの収集が必要になると考えられる。

ここでは、1) 高密度海底地形データの整備、2) 地震予知・火山噴火予知等防災への対応、3) 水路測量の自動化の3つに分けて展望する。

#### 1) 高密度海底地形データの整備

海洋の開発・利用、地震予知・火山噴火予知を初めとする海洋の科学的調査など、海洋において諸活動を行うに当たっては、陸上でもそうであるように、まず、海底地形データが必要となる。

今後の海洋の諸活動を展望すると、沿岸域では海域利用はさらに輻そう・過密化して海域利用の調整や管理が必要となり、沖合では海底観測ステーションの展開、資源賦存域での鉱区の設定等、また観光目的や高速貨物輸送手段としての潜水船等の出現などにより高密度の海底地形データが必要となる。

日本沿岸は海岸から100海里以内の海域については大陸棚の海の基本図でほぼ全域、10～20海里以内の海域については沿岸の海の基本図で50%近くの海域がカバーされているが、これらは全て従来型の測深機の成果によって作成されたものである。観光潜水船の航行や海底観測ステーションの展開等にとっては、これらの測深機のデータでは不十分であり、これまでの常識をこえた高精度・高密度の地形データが必要となってくる。

海底地形測量の基本は測位と測深であり、2つに分けて述べる。

#### ①測位

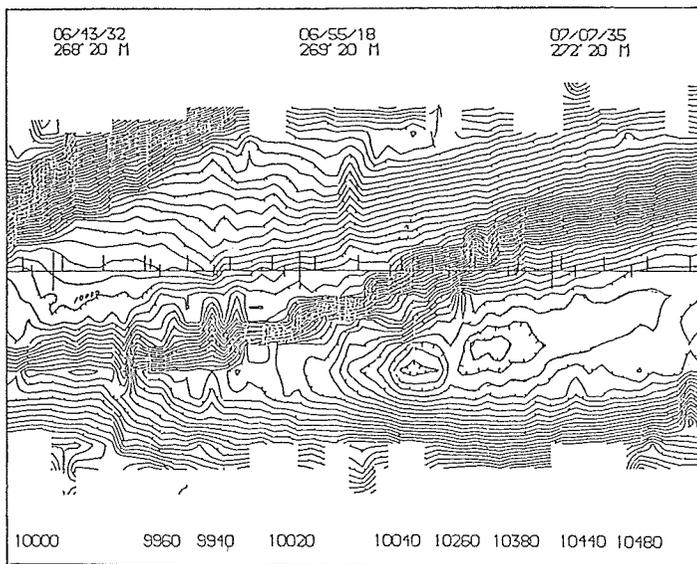
わが国の海底地形測量の歴史を振り返ってみると、組織的測量が行われたのは明治4年の水路部創立頃に遡る。沿岸部での測位は長い間、六分儀等を用いた陸測であった。デッカ測位儀が導入されたのは、昭和30年頃になってからで、その後、オートテープ、オーディスター、そして現在のトリスポンダ等の電波測位機に変わり、測位精度は著しく向上してきた。沖合においても、長い間、天測であったが、デッカ、ロランA、Cの電波測位、NNS、GPSの衛星測位システムへと進み、測位精度は著しく向上してきた。とくにGPS (Global Positioning System; 汎地球測位システム) は天候に左右されることなく、地球上のほぼ全域で、24時間ほぼ連続して、数10mの精度で瞬時に位置を決定できるシステムである。水路部では昭和61年の「拓洋」以降、順次各測量船に搭載された。

将来について展望すると、GPSシステムの最終計画は不明であり、米国政府による故意の劣化政策 (SA) 等もあるが、システムの完成時には、地球上のあらゆる場所で24時間、ほぼ同一精度で同時測定が可能となり、船舶、航空機等の移動体の位置測定にきわめて有効である。また、位相測定型GPS受信機を用いれば基準点間の見通しが不要で、cmオーダーの測定が可能となり、基準点測量や岸線測量に有効であるほか、地殻変動の監視等にも有力である。

## ②測深

測深は長い間、レッドで行われ、音響測深機の本格的実用化は昭和20年代後半になってからである。以来改良が加えられ現在に至っている。

従来型の中深海・深海用音響測深機では音波の指向角 (半減半角) は  $7 \sim 16^\circ$  であり、水深1,000mの海底では直径約300~600m弱の海底に対し、1個の水深データが得られるのみである。一方、米国では1960年 (昭和35年) 代からクロスファンビーム方式を用いた測深機の開発が進められ、1977年 (昭和52年) にはシービームの名称で、その商用第1号機がフランスのジャンシャルコ号に搭載された。この方式の測深機はナローマルチビーム測深機とも呼ばれ、音波の指向角は  $1 \sim 3^\circ$  と非常に狭く、水深1,000mの海底でも音波の広がり直径50m以内で、さらに15~120本前後の鋭い音波ビームで海底を走査するため、従来とは比較にならない高密度の水深データが得られることになる。



第1図 シービームによる世界最深部 (マリアナ海溝チャレンジャー海淵) の等深線図 (中西, 1984による)

わが国ではシービームは昭和58年に「拓洋」に搭載され、チャレンジャー海淵の最深部の確定 (第1図)、房総海底谷の発見など測量を行うごとに新発見という大活躍ぶりであった。この種の測深機は第1表に示したように、その後、水路部の「天洋」、「明洋」に搭載され、平成5年度に就役予定の「海洋」にも搭載される。

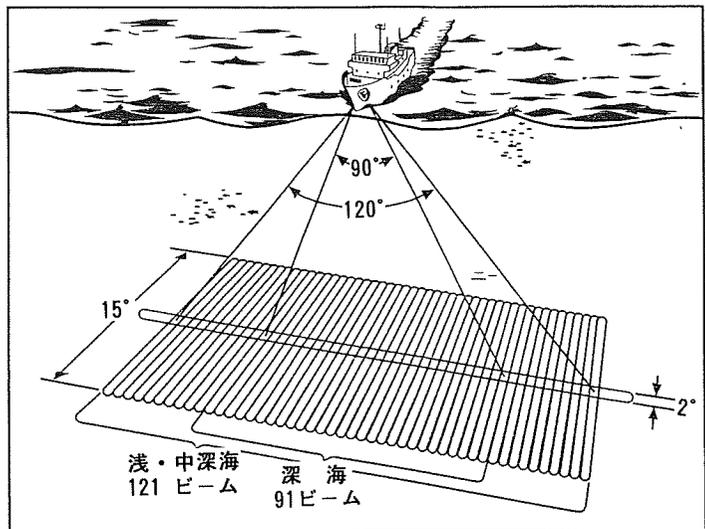
シービームはナローマルチビーム測深機の教科書的存在であったのに対し、「明洋」搭載のシービーム2000

システム名称	シービーム	シービーム2000	ハイドロチャート
搭載船	拓洋	明海洋	天洋
可測水深(m)	45~10,000	10~11,000	10~1,500
使用音波周波数(kHz)	12	12	36
音波ビーム数	16	91, 121	17
音波ビーム指向幅	2.7°	2° (4°)	3.5°~6.3°
測深範囲 (左右)	42°	90°, 120°	104°
サイドスキャン機能	—	○	—

第1表 水路部測量船搭載のナローマルチビーム測深機の主要要目

は西暦2,000年を目指すという、世界で最新かつ最高水準の測深機で、「明洋」が世界に先駆けて搭載したものである。シービーム2000はシービームと比べて幾つかの優れた特色を有する。

例えば、測深幅はシービームではビーム幅2.7°の16本のビームを使って42°、すなわち水深の0.8倍であったが、シービーム2000では浅・中深海モードと深海モードがあり、浅・中深海モードの121本のビームを使えば120°、すなわち水深の3.5倍の測深幅を得ることができるようになった(第2図)。



第2図 シービーム2000の測深原理

音線屈折補正もシービームでは海水全体を1つの音速度で置き換えていたが、シービーム2000では多層に分解して補正するようになり、精度も一段と向上した。また、デジタル測深だけでなく超音波の反射強度を利用してサイドスキャンソナーイメージの像を取得することができるようになり、底質の判別も可能となった。

なお、「天洋」搭載のハイドロチャートは原理はシービームと余り変わらないが、1,500m以浅の海底を対象とする浅海用のシステムであり、17本のビームで水深の2.5倍の測深幅を得ることができる。

ナローマルチビーム測深機の優れた点を要約すると

○面的に広い範囲が取り残しなく効率的に測深できる

○微地形などの地形を正確にとらえることができる

○船上でリアルタイムに等深線を描画することができる

ことなどが挙げられる。

この結果、従来の測深機の成果によって描いた海底地形図では測線と測線の間は作成者の解釈により等深線が描かれるいわば思想図的なものであったが、ナローマルチビーム測深機による海底地形図は作成者の解釈の余地が少ない、より客観性に富む海底地形図といえることができる。

ナローマルチビーム測深機の将来予測は困難であるが、さらに測深幅の拡大や解像度の向上などがなされ、陸上なみの微地形も船上で地形図としてはもちろん、3次元画像としても正確に表現されるようになると予測される。

以上のような優れた特性を持ち、余りにも従来型測深機との差が大きいことから、ナローマルチビーム測深機なくしては測量船にあらずと思わせるものがあり、今後、沿岸用の測量艇を含め測量船艇には不可欠な機器となっている。

このほか、広域の海底を空中写真のように探査し、微地形や底質の判別に有効である機器にサイドスキャンソナーがあり、水路部は昭和56年に導入した。これまでは高質画像を得るためには低速曳航が必要であったが、マルチビームサイドスキャンソナーの導入により、高速曳航が可能となった。また等深線とサイドスキャンソナーイメージを同時に得ることができる干渉波サイドスキャン測深機が深海底の詳細調査用に実用化されている。水深の絶対値に不安があるが、将来有望なシステムである。

なお、昭和30年代後半に導入され、昭和42年の海の基本図測量から本格的に実用化された音波探査はシングルチャンネルからマルチチャンネル方式へと進んできた。マルチチャンネル方式は今後もっと容易に使えるようになり、記録の大深度化と分解能の向上が期待できるが、同時に多くの地点での音波探査と掘削データとの対比ということが必要となってくる。

## 2) 地震予知・火山噴火予知等防災への対応

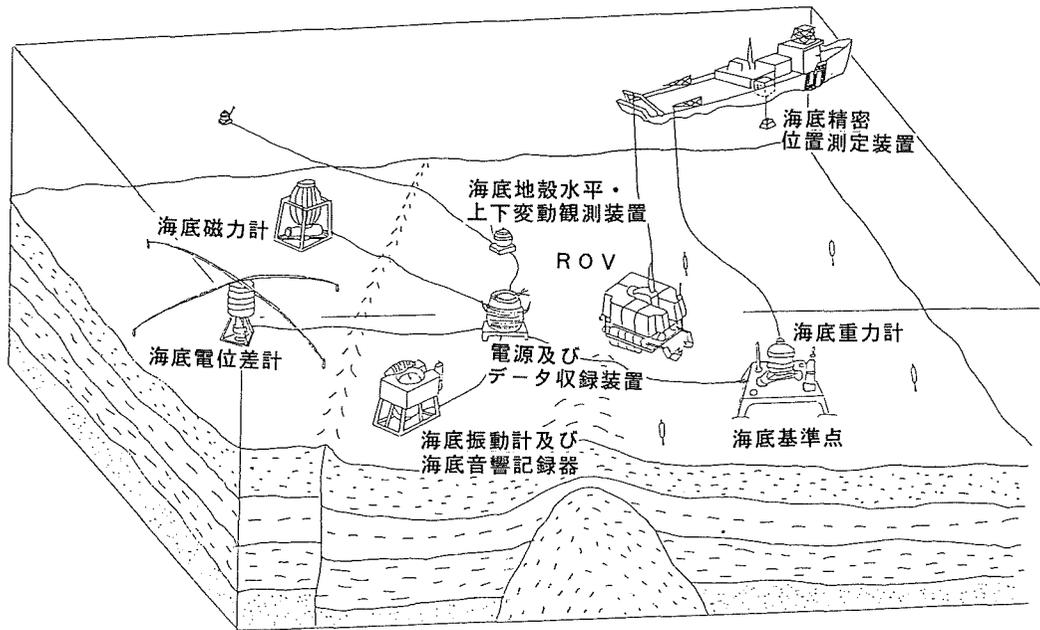
### ①地震予知

水路部は測地学審議会の建議に基づき昭和40年度から地震予知計画に参加し、観測強化地域、特定観測地域等の海底地形、地質構造、地磁気、重力等の調査を中心に実施してきた。現在、第6次計画(元年～5年度)が進行中で平成6年度からは第7次計画が始まる予定である。第6次計画では海域における作業を中心に水路部の実施内容が大幅に増大し、測地測量におけるGPSの活用、地殻活構造調査におけるプレート境界域でのマルチチャンネル反射法及び屈折法探査の実施など新たな手法の導入が図られた。

引き続き海底地形、地質構造その他の地球物理諸量等の地震予知に関する基礎的資料の整備は必要であるが、今後は震源域に近接した海域での直接的な調査が必要となる。すなわち、プレート境界型の地震の震源は海底にあることが多く、プレート境界域等の海底で地球物理諸量等を直接かつ継続して計測することが重要となってくるからである。このため、海底磁力計、地殻変動測定装置等を備えた海底観測ステーションを展開する必要が生じ、このステーションは同時に位置及び地球物理量の基準を与える海底基準点としての機能も合わせ持つ必要がある。

しかし、このような地球物理諸量を計測する技術は一部が手掛けられただけで未確立である。このため、水路部・(財)日本水路協会は平成元年度より、4カ年計画で海底観測ステーションの研究・開発及びその支援システムとしてのROV(Remotely Operated Vehicle; 無人潜水艇)による海底調査手法の調査研究を開始した。前者の目的は海底の水平及び上下変動を数cmの精度で長期間連続計測し、データを取録できる海底観

測ステーションを開発することにある。平成3年1月には水深約1,200mの相模湾海底で約500mの距離を超音波を用いて測定したところ、数cmの精度での測定に成功し、海底地殻変動の検出に見通しを得た。



第3回 海底観測ステーション例 (浅田ほか, 1991による)

ROVは有人の潜水艇に比べて人命安全の負担を軽減することができるほか、小型・軽量であるため機動性に富んでいる。ROVに関する調査研究はROVを用いたステーションの設置・運用・回収などROV使用に関する基礎的技術確立を目的とするものである。平成2年度にはKDDのMARCAS-2500を用いて水中コネクターの接続、海底ケーブルの展張実験等に成功している。

海底観測ステーションの意義は観測の再現性・持続性が保障され、長期間の変化量を把握できることにあり、加えて海底での位置決定や精密な地図作りのための基準点として利用することができることにある。この基準点を基にトリスポンガを設置し、音響測位のLBL (ロングベースライン) 方式を用いれば1mの精度での位置決定も可能である。第3図は海底観測ステーションの様子を模式的に示したものであるが、今後の研究・開発が順調に進捗し、地震予知等に貢献することが期待される。

### ②火山噴火予知

水路部は昭和49年度から測地学審議会の建議による火山噴火予知計画に参加し、南方諸島及び南西諸島海域の島嶼・海底火山の航空機等による監視や予知に必要な技術・研究開発等に努めてきた。現在、第4次計画 (元年～5年度) が進行中で平成6年度には第5次計画が始まる予定である。

従来の有人調査船では調査が困難な海底火山等での海洋調査を行うことを目的とする無人海洋調査パイが昭和58～62年度に科学技術振興調整費で研究・開発された。同パイは「マンボウ」と命名され、母船となる測量船から直接操縦で、水深、XBT等のデータを自動収集・伝送することができ、さらに海水採取機能も有している。平成元年には「昭洋」を母船として伊豆半島東方沖の海底火山である手石海丘、「第五海洋丸」の遭難を引き起こした明神礁の37年ぶりの調査等マスコミを賑わした。

将来的には測量船のみならず、ヘリコプターからの無線操縦も可能で、衝突予防判断等の人工知能機能を

備えた「マンボウ2世」が必要となってくる。

前述の海底観測ステーションの地震計、磁力計等のデータは海域によっては個々の火山の特質の把握に有効である。さらに計測機器に音響測定装置等を付加し、海底敷設ケーブルや水中音響通信により陸上の海底観測監視センター等への通信が可能となれば火山の噴火直前の予知にも役立てることが可能となる。

また、内外の地球観測衛星搭載の可視・赤外放射計センサーが変色水や温度分布の変化等火山活動の監視に大変有効であることはいうまでもない。

### 3) 水路測量の自動化

水路測量の成果は海図の最新維持に反映させるため、現場作業や取得データの解析・処理は迅速かつ正確に行われなければならない。多年に亘って行われてきた従来方式(手作業)の水路測量は多人数の熟練された技術者を必要とするが、社会情勢の変化や作業の省力化・効率化の必要性等から比較的経験の浅い技術者でも対応可能で、しかも均質な成果を得ることが期待できる自動化の推進はきわめて重要な課題である。水路部における水路測量の自動化についての調査研究は比較的早く、昭和48年度に(財)日本水路協会の研究事業として始まった。この事業により、技術的な手法は確立されたがシステムが大がかりであるなどの理由からなかなか実用化に至らなかった。

本格的な自動化の実施は昭和61年に「天洋」に水深自動収録処理装置が装備された時に始まる。このシステムは「天洋」搭載の10m型測量艇で取得した測位と水深データをフロッピーディスクに収録し、本船上でデータ処理し、水深図を自動作図するものである。

一方、管区水路部にはパーソナルコンピュータやプロッタ等のハードウェアが順次、整備されるとともに平成2年度には水深測量自動化プログラムが開発・配布され、管区水路部における水路測量の自動化の端緒が開かれた。このプログラムでは取得データをパーソナルコンピュータを使用して解析・処理し、プロッタを使って水深図を自動作図することができる。

本庁水路部における電子海図データベースの構築やコンピュータシステムによる海図作成は本格化しようとしており、海図作成のための原資料を作成する水路測量の自動化は緊急の課題である。

早急に自動化に合わせた水路測量の規則等を整備し、自動化を本格的に推進していかなければならない。

そして、できるだけ早い機会に最終成果である測量原図は電子海図データベース等と適合したデジタル資料として作成されることが必要である。

### (2) 海象観測

海象観測は、航海の安全、船舶の経済運行、漁業、レジャー、種々の海洋の開発・利用、海洋環境保全等に資することを目的として、沿岸域での潮流・潮汐観測、沖合域での海流観測及び海洋汚染調査等を中心として行われてきた。

海象観測に使用する機器についても、近年の電子技術の急速な発展により、各種の目的に応じた高性能な機器が作製されるようになり、海象観測の手法も大幅に変化してきている。

昭和40年代前半までは、直接的な観測手法、すなわち、採水器や驗流器による観測が多く行われてきたが、電子技術の急速な発達に伴い、デジタル方式の計器等が多種にわたり導入され、観測の質、量ともに大幅に変わってきた。この10年間に水路部で導入した海象観測機器で主なものにはアルゴス漂流ブイ、CTD(自記塩分水温水深計)、ADCP(船用超音波流速計)、XBT(投下式水深水温計)、バットフィッシュ(曳航式塩分・水温深度測定装置)、海底設置型ADCP、人工衛星NOAA画像受信装置などがある。

今後の海象業務を展望すると、海洋における諸活動の活発化・高度化、わが国の管轄海域の拡大、炭酸ガ

スの増加等による地球規模の環境問題への対応等により、一層広域的な海域について、より即時的かつ長期に亘る海況情報が必要になると予測される。

ここでは1) 海況観測・監視体制の整備, 2) 海況高精度予測の実施, 3) 沿岸海象情報提供サービス, 4) 地球環境保全問題への対応の4つに分けて展望する。

#### 1) 海況観測・監視体制の整備

200海里排他的経済水域が新たに管轄海域となり、広域の即時的かつ長期にわたる海況情報が必要となり、そのための広域的海況観測・監視体制の確立が必要となる。このような観測・監視に際しては人工衛星リモートセンシングの活用が必須であり、これにパイロットを中心とする観測ステーション、航空機・船舶による観測、さらに音響トモグラフィー等を有機的に組み合わせていく必要がある。これらの技術の相補的な体制が確立されれば従来の船舶中心の線の観測から面、さらに立体的な総合観測へと発展させていくことができる。

ここではこれらのなかで主要な役割を果たす人工衛星リモートセンシング技術と急速な展開をみせる音響トモグラフィーについて述べる。

#### ①人工衛星リモートセンシング

人工衛星リモートセンシングは、同時に広域にわたるデータを、長期間繰り返して収集できるなど、従来の船舶による観測では到底不可能であった観測を可能にする。

人工衛星リモートセンシングは1960年(昭和35年)頃に始まるといわれ、海洋において画期的な役割を果たしたのは1978年(昭和53年)に打ち上げられたSEASAT衛星である。この衛星にはマイクロ波散乱計、マイクロ波高度計などの能動型センサーが搭載され、海上風、波浪、ジオイド、海面の絶対高の測定に威力を発揮した。その後LANDSAT, NOAA, SPOTなどの衛星が海象観測に利用されてきたが、これらは赤外及

(年)	1990	91	92	93	94	95	96	97	98	99	2000
日 本	MOSI-b		ERS-1				ADEOS				ADEOS-2
米 国			LANDSAT -6		LANDSAT -7					EOS-A	EOS-B
			TOPEX/Poseidon					TRMM			
		NOAA12	NOAA-I	NOAA-J	NOAA-K		NOAA-L	NOAA-M	NOAA-N		
E S A			ERS-1		ERS-2				POEM-1		POEM-2
フ ラ ンス			TOPEX/Poseidon								
			SPOT-3				SPOT-4				

第2表 世界の主要地球観測衛星打ち上げ計画

び可視域を中心とした受動型センサーであった。昭和62年、平成2年には、わが国初の海洋観測衛星MOS-1, MOS-1bが打ち上げられた。この衛星搭載のMESSR(近赤外放射計), VTIR(可視熱赤外放射計), MSR(マイクロ波放射計)などのセンサーは海水温の推定、海底火山変色水の監視などには威力を発揮したが、全天候型ではなく、いつでも観測可能というわけにはいかなかった。第2表には1990年代の内外の主要な地球観測衛星の打ち上げ計画を示した。わが国では本年2月にSAR(合成開口レーダ)搭載のJ-ERS衛星が打ち上げられ、平成7年には地球観測プラットフォーム技術衛星であるADEOSが、平成10~11年にはADEOS-2の

打ち上げが計画されている。外国でもEOS-A, POEMを初め計画は目白押しであり、1990年代後半には種々のセンサーを搭載可能な大型のプラットフォーム衛星が世界で数個打ち上げられることになっており、これらが稼働し始めると海洋リモートセンシングも本格化することになる。

ここでは最近注目されるSAR（合成開口レーダ）とALT（マイクロ波高度計）について述べる。

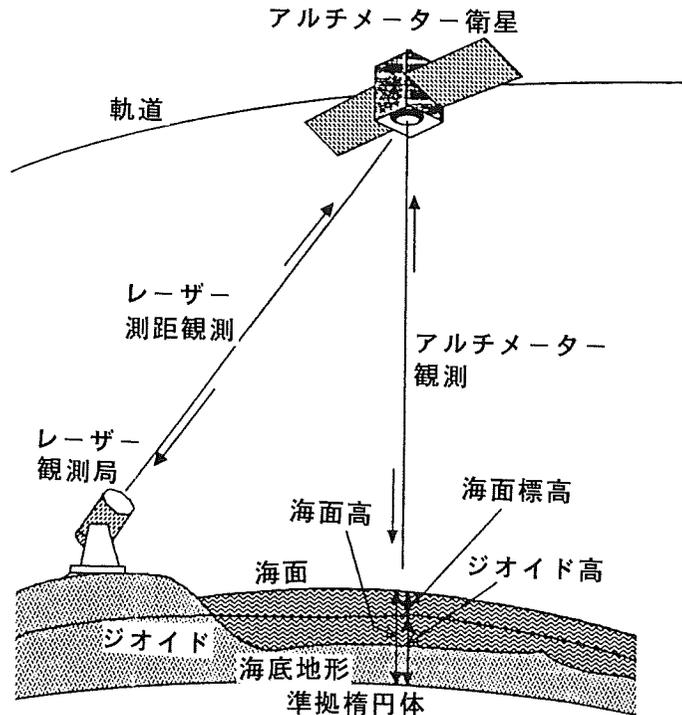
SARは船舶や航空機のレーダと同じようにマイクロ波を照射し、その反射波をとらえてものを識別する能動型の電波センサーで、LANDSATやMOS衛星搭載の受動型光学センサーとは大きく異なる。そのため天候、雲、霧等の影響を受けずに地表の性質や凹凸・傾斜を高解像度、高コントラストで観測、把握することができ、海流、渦、波浪、うねり、海永等のパターン解析に有効である。本年2月に打ち上げられる、わが国初の地球観測衛星J-ERSはSARを搭載しており、今後の活躍が期待される。

ALTは全天候・能動型の、衛星からの距離を精密に測定するセンサーである。ALTを用いて人工衛星から海面までの距離を精密に測定し、レーザー測距などの観測・計算から決められた衛星軌道とあわせて海面の形、すなわち、海面の地球楕円体からの高さを測定する手法は人工衛星アルチメトリ（人工衛星高度測定）と呼ばれている（第4図）。

人工衛星アルチメトリ観測の歴史は1978年（昭和53年）のSkylabでの実験に始まり、かなりの歴史と実績を有する。当初のALTの分解能は1m程度であったが、最近のものでは10cm程度の分解能に達し、海流流路などの大規模な現象だけでなく、渦などの中規模現象の把握の可能性も示されている。

人工衛星アルチメトリは地球形状（ジオイド）の決定など地球物理学などとの連携が必要で、総合的な地球の理解に大変有効な手段である。すなわち、海洋上で精密に求めることが困難であったジオイド形状を全世界的に精密に観測できる手段を提供する。また、ジオイドは海面が静止して重力とバランスした面として定義されるが、実際の海洋には海流や渦等の流れが存在するため、海面は一般にジオイドに対していくらかの起伏をもっている。もし、海洋現象が変化すればジオイドに対する海面の形状もそれに伴って変化し、その変動を観測することにより、海流、渦等の変動を検出することができる。

ALTによる海面高の測定精度は人工衛星の軌道決定精度に直接依存するため、軌道決定にはきわめて大きな努力を払う必要があり、水路部はこの面で大いに貢献することができる。



第4図 人工衛星アルチメトリによる測定（我如古，1991による）

今後の人工衛星アルチメトリ計画は第2表のように昨年のESA(欧州宇宙機関)のERS-1に続き、本年6月には数cmの分解能を目標とするアルチメータ観測専用衛星であるTOPEX/Poseidonの打ち上げが予定されているほか、1994年(平成6年)にはESAのERS-2、平成10~11年にはわが国のADEOS-2があり、ここではレーザーアルチメータの搭載が検討されることになっている。今後、人工衛星アルチメトリ活用の機会が非常に増加することは確実であり、海象観測への有効性が非常に大きいことから、その対応が急務である。

以上のように人工衛星リモートセンシングはきわめて有効な手法であるが、海洋の内部構造の把握などは不可能で、そのためには後述する音響トモグラフィや船舶による精密観測を行うことが必要となる。

## ②海洋音響トモグラフィ

トモグラフィとは断層写真という意味で、1970年代後半に米国で開発された音響を利用して海洋の構造を観測する手法である。すなわち、海洋における音波の伝播特性から送受波器間の水温、塩分、密度などの海洋構造を推定する。わが国では昭和58年に気象庁により手掛けられ、水路部・財団法人水路協会は昭和61年に1,200~1,400mの比較的浅海域で5~25kmの音の伝播実験に成功した。JAMSTECも平成元年に水深3,500mの海域で300kmの音の伝播実験に成功し、将来的には1,000kmを目標としているという。

海洋音響トモグラフィの利点は1,000km四方にも及ぶ深さ5,000~6,000mまでの広大な海洋の連続的な同時観測が可能なことであり、前提条件つきながら水温は0.01℃、流速2.5cm/secの精度で測定が可能といわれている。験流器や採水器では考えもつかなかった3次元かつ連続的な海洋の内部構造を観測でき、将来的には双方向の伝播時間差から平均流速の観測も可能になるといわれている。

以上のような長所を持つが、長距離観測に伴う音源の問題、海面付近では分解能が低いなど今後解決すべき問題点も少なくない。いずれにせよ、このような大掛かりな手法の単独での開発・運用は困難で、関係機関の共同研究等により推進されていくべき性質のものである。

## 2) 海況高精度予測の実施

管轄海域を的確に管理し、有効利用を図っていくに当たってはこれらの海域の観測・監視を行うのみならず海況を的確に予測することも重要となる。このため、水路部・財団法人水路協会は平成2年度から海洋変動のシュミレーションモデルを作成し、数値的に海洋変動を予測する手法の調査研究に着手した。将来的には時間的、空間的にランダムな観測データをコンピュータシュミレーションモデルに入力し、ある時空間の予報を行う手法である四次元同化法、AI(人工知能)技術を利用した海況予測エキスパートシステム等による予測手法も考慮していかなければならない。

しかし、このような予測モデルの開発やシュミレーションの実施には、前述の人工衛星リモートセンシングの本格的実施やスーパーコンピュータの導入が必要で課題も多い。

## 3) 沿岸海象情報提供サービス

沿岸域における諸活動の活発化・高度化に伴い、沿岸海象情報も、一層のきめ細かさによりリアルタイムの情報が要求されるようになり、外洋性沿岸域、内海・内湾域など海域特性に応じた観測手法や情報提供が必要となっている。

すなわち、外洋性沿岸域の主たる海象現象は沖合を流れる黒潮などの影響を受けた沿岸流や中規模渦等であり、これらの空間及び時間スケールは10~100km、数日~1週間前後である。いまのところ、これに対応している情報提供手段は管区海洋速報であるが、その発行周期は月2回である。現象の変動周期からすると、これでは不十分で、少なくとも1週間、可能なら週2回の発行とすべきである。この際にはデータ収集が問題となるが、ADCPデータの収集強化はもとより、衛星リモートセンシングの即時的観測能力を大いに活用す

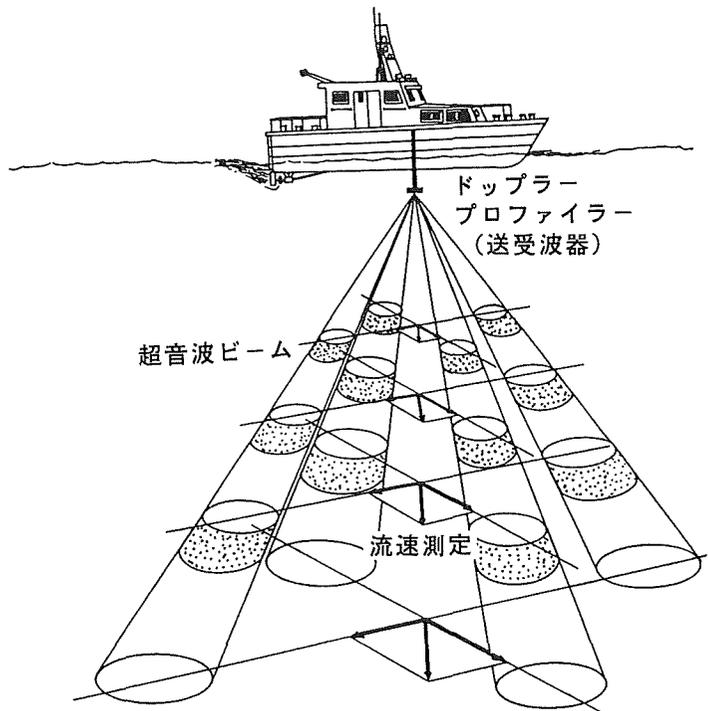
れば可能となる。

さらに国際海峡等の特定の重要海域では、船用のADCPや後述する海底設置型ADCP等を用いた流況の精密観測を実施する一方、験潮データを加えての解析等により当該海域の流況の変動メカニズムを明らかにし、験潮所等を中心とする流況の常時モニタリングシステムの構築及びリアルタイムの流況情報提供体制の整備を図る必要がある。

内湾・内海の海象現象は潮流・潮汐が主であり、この海象現象の空間及び時間スケールはそれぞれ100km以下、1時間～1日といったオーダーである。従来の係留式験流器の観測成果に基づく潮汐表、潮流図等の情報だけでは多様化するニーズに十分対応できなくなってきた。例えば船舶交通が輻そうする強潮流の狭水道では最強流域、反流域、渦の分布、さらにリアルタイムに強流の流速やその時間帯などが求められている。

詳細な流況の把握には船用ADCP、多目的パイさらに海底設置型ADCPの活用が不可欠である。船用ADCPの測定原理は第5図aに示したが、

船舶を航走させながら、多層に亘る流速測定ができ外流域では多大の成果を上げてきた。内海・内湾域でもサンプリング間隔、測定層厚等のパラメーターの適切な設定等により平面、垂直の詳細な流況データを取得することが可能である。多目的パイは航路標識としてのパイに流向、流速、水温、塩分等のセンサーを組み込んだもので陸上とのデータ通信装置を付加することによりリアルタイムの海況監視、データの提供が可能となる。海底設置型ADCP（第5図b）は船舶航行の妨げとならない潮流観測手法として、平成元年に導入され、これまでテストを行ってきたが、実用化の見通しが立った。長期観測点として従来のパイ係留式験流器にとって変わるかもしれない。



第5図a 船用ADCPの測定原理（藤原ほか，1989による）

さらに船舶交通が輻そうする強潮流の狭水道では橋梁や水道兩岸の施設を利用したレーザーレーダ等による流況の観測も有力である。

内海・内湾域の海況予測に関する従来の数値モデルは潮汐・潮流の再現を主眼においていたため、上下層の流れの差を表現できない2次元モデルであった。しかし、的確な流況や漂流の予測には潮流以外の風による吹送流等の影響を除外することができない。すなわち、潮流では海水の上下層間での流向や流速の差は大きくないが、風は表面のみに作用するため、上下層間では吹送流の差が大きくなる。水路部は最近内海・内湾域における3次元数値モデルの開発に取組み、風の影響による流況や海況変化の予測を可能にしつつある。今後、風の影響を含めた沿岸域の流況予測手法の確立及びこれに基づく情報の提供が重要である。

## 4) 地球環境保全問題への対応

世界人口の増大や人間活動に伴う大気中の二酸化炭素濃度の増大など地球環境問題がクローズアップされているが、この問題の解明には地球表面の70%を占め、膨大な熱エネルギーの蓄積能力を有する海洋の実態を十分に明らかにしなければならない。

このため、海流、水温等の海況や海面水位変動の監視を行って海洋循環を解明するとともに海洋における物質循環、とりわけ炭素循環を的確に把握することが重要である。

水路部は平成2、3年度に日米の共同調査により、セジメントトラップ（沈降粒子捕捉装置）を用いて炭素の沈降実態の把握を試みるとともに、平成2年に海洋中のCO<sub>2</sub>の分布の把握を目的として、表層海水のCO<sub>2</sub>測定装置及び海水中の全炭素分析装置を「昭洋」に装備し、観測を開始した。

表層海水中のCO<sub>2</sub>の測定は微量調整器付の分散型赤外線分析システムを使用し、標準ガスとの濃度比較により、検体濃度を求める方法を採用している。標準ガスの基準濃度がその精度を決めるので、標準濃度決定の共通化など、正しい分析条件の設定が重要となる。

海洋は広大で地球環境問題への対応は一機関、一国の力では不可能であるため、WESTPAC（西太平洋海域共同調査、TOGA（熱帯海洋全地球大気熱計画）、WOCE（世界海洋循環実験計画）、JGOFS（全地球海洋フラックス国際共同研究計画）、将来的な観測システムとして計画が策定中のGOOS（世界海洋観測システム）等の国際的プロジェクトのなかで取り組んでいく必要がある。

以上 海象観測について述べてきたが、どんな手法を以ってしても海洋の理解はまだまだ先のことであり海象観測手法にはオールマイティーはない。かって、海洋学の先達の一人である水路部の小倉伸吉は1934年の著作「潮汐」において観測を支える理論的洞察の重要性を説いた。観測を支える目標を確立し、理論を展開し、それぞれの目的に応じたシステムティックな観測を実施していくことが重要であると考えられる。

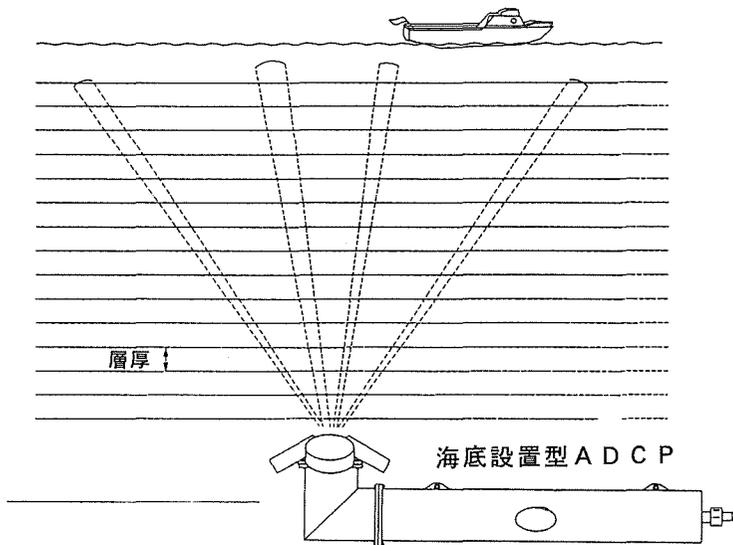
## 3. 海洋情報

## (1) 航海安全情報

航海安全情報は今後、今まで経験しなかった業務内容の革新的（ある意味では革命的）な時代を迎えることになる。一つは海図作成業務であり、一つは船舶交通安全通報業務である。ここでは1) 電子海図への対応、2) 自動印字通信システムへの対応の2つに分けて展望する。

## 1) 電子海図への対応

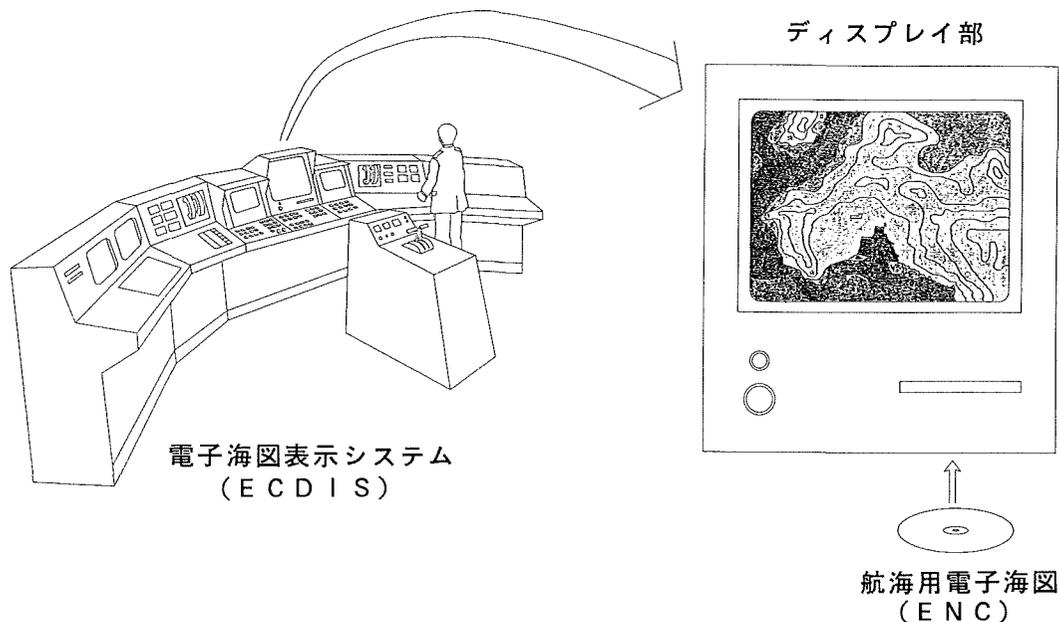
海図は法律で備え付けが義務付けられた航海に不可欠な海の地図で、世界各国とも国の機関である水路部が責任を持って作成している。海図の誕生は古いですが、近代的な海図の作成は各国に水路部が創設されてから



第5図b 海底設置型 ADCP の測定原理（小田巻・鈴木，1992による）

のことで、英仏では18世紀、わが国では19世紀の後半である。以来海図は航法や航海計器の発展、船の大型化等に伴い変化し、最も代表的な海の地図として発展し、現在に至っている。

ところが、昭和50年代中頃になって、わが国や欧米の電子機器メーカーにより、ディスプレイ上に海岸線、等深線などの海図情報と自船の位置を表示するシステムが開発され、呼び方はメーカーによりさまざまであったが電子海図などと呼称されることもあった。これらのシステムの内容は多様であったが、安価な漁船用の簡易タイプが中心で、表示される情報量は膨大な海図に比べれば、ごくわずかでとても海図を不要とするような性格のものではなかった。しかし、自船の位置や航跡が自動的に表示されるなどの利点があるため



第6図a 電子海図表示システム (ECDIS) のイメージ

か、急速に普及し、レベルも向上した。

このため、IMOやIHOなどの国際機関はそれぞれの立場から電子海図に対する検討を始め、1993年（平成5年）には法的に紙海図と対等に位置づけられる電子海図表示システム（Electronic Chart Display and Information system, 以下ECDIS）の国際的な性能基準を採択する運びとなってきた。従来のシステムは法的には海図とは認知されなかったが、今後はこの基準を満たすものは海図と同等の位置づけとなる。第6図a, bにはECDISのイメージとディスプレイへの表示例を示したが、紙海図と同程度の情報量と精度に加え、ディスプレイ上に自船の位置や進路、速力等の航行に必要な情報を表示でき、これにレーダや自動操舵装置を連動させることにより利便性・安全性が格段に向上するため、今後、船舶の高速化・船舶運行の高度知能化等に対応して普及していくものと予測されている。

以上のように海図は、紙以外の媒体により情報が伝達されるという誕生以来、最大の変革を経験することになり、これに伴って水路部の役割も大幅に変わることになる。

すなわち、紙海図の場合、海図の作成作業は全工程に亘り、水路部の役割であった。ECDISの場合も、必要な情報の作成・提供は水路部の役割であることには変わりがないが、ここでは当然のことながらハードウェアが必要となり、表示情報の精度の確保などにはハードウェアメーカー等との十分な連携が必要となる。

いずれにせよ、水路部は平成5年以降、国際的仕様に合致した航海用電子海図（ECDISに必要なデジタル

情報で以下ENC)の提供が責務となり、また航海用電子参考図(ECDIS)の基準に満たない簡易型のシステムに必要なデジタル情報で以下(ERC)の提供の必要もあり、早急に電子海図データベースを構築し、最新維持された情報をCD-ROM等の媒体により提供していかなければならない。

以上のようにECDISは多くの長所を持っているが、紙海図には紙海図としての長所もあり、直ちに紙海図の需要がなくなるということではない。しばらくは共存ということで、水路部はENC、ERCに併せて紙海図も同時に作成していかなければならないということになる。

紙海図の作成作業について振り返ってみると、従来はほとんど手作業で行われてきた。自動化への取組みは昭和57年度からであるが、現在では輪郭線、海岸線、等深線等の線情報や水深、底質などの点情報の自動描画が可能となり、これまでに17図の海図を自動化システムにより作成した。

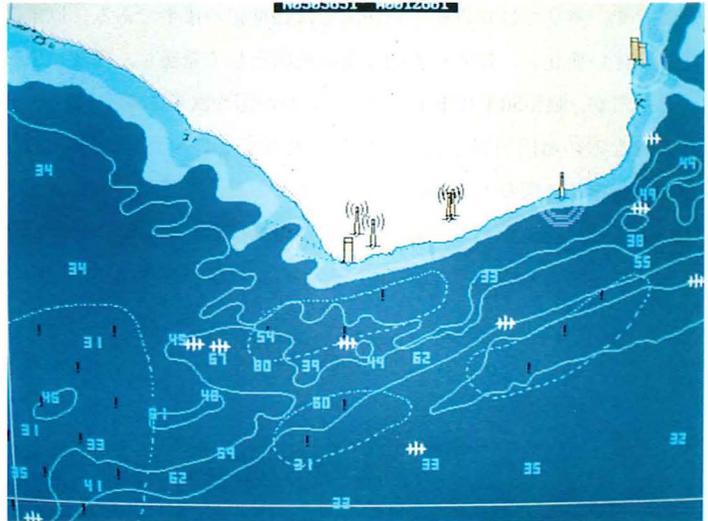
現在のシステムは製図作業の自動化(線や点情報の描画)に力点がおかれ、当面は現システムでは不可能な文字や記号の描画のため、光プロッタの導入が急務であり、対話的に編集作業を進める対話型編集システムの整備が必要である。

しかし、長期的には資料の収集、編集、製図、さらに製版、原版維持に至る海図作成工程全般に積極的にコンピュータシステムを導入していくことが必要であり、導入に当たっては電子海図データベースと統合したシステムとして発展させていくことが重要である。前述の水路測量の自動化と相俟って、水路測量から原版維持に至る海図作成の全工程において資料はアナログからデジタルへと転換され、名実ともコンピュータシステムによる海図作成ということになる。

## 2) 自動印字通信システムへの対応

船舶交通安全通報業務は大別して印刷物による水路通報業務とモールス通信を主体とする航行警報業務に分けられる。航行警報の提供手段は通信技術体系の革命的ともいえる変革により、この10年のうちに根本的な変革を迫られている。

すなわち、現在の遭難・安全に関する通信システムは通信士の耳にたよる通信が基本となっているため、電波の有効到達距離などから効率性や確実性が十分でないということや通信に関する専門技術者の養成等で問題があった。IMOでは「海上における遭難および安全の世界的な制度」の確立(GMDSS)のための検討を行い、1988年(昭和63年)にGMDSS実施を内容とする「改正SOLAS条約」を採択した。これにより、一世紀に亘って行われてきたモールス通信を主体とする通信システムから、衛星等を使用したテレックスやファックス等の自動印字通信システムに移行することになり、船舶は航行区域等に応じて、これらに必要な



第6図b 電子海図表示システム (ECDIS) の表示例 (ドイツ水路部作製・提供)

通信設備等の設置が義務づけられることになった。GMDSSの導入は1992年(平成4年)から1999年(平成11年)までに実施されることになっており、各国は航行安全情報の提供を、順次、新しい通信システムに置き換え、船舶は所定の機器を設備しなければならないことになっている。

わが国においても本年2月には沿岸域を航行する船舶を対象とする自動印字通信であるナビテックス(Navigation Telexの略称)航行警報が英語により送信されるとともに、沖合域を航行する船舶に対してはインマルサット衛星を介したナバリア航行警報の送信が開始された。

これらは全て英語による放送のため、外航日本船舶や小型船舶用の日本語の送信についての方式の決定等が緊急の課題となっている。いずれにせよ、1999年(平成11年)までには新方式への切り替えが完了することになっており、通信の確実性が飛躍的に向上し、航海の安全に大いに寄与するものと期待されている。

印刷物による水路通報や水路誌は依然として残るが、これらの内容や作成方法も時代に合わせて発展させていく必要がある。作成面については航行安全情報に関するデータベースを構築して本庁・管区間をオンライン化し、業務を効率的に実施していく必要がある。また、提供方法については電子出版物の検討が急務であるとともにECDISの実用化に伴い、これと合わせた新しい仕様の情報提供(電子水路通報、ECDISへの書誌情報の付加等)や個別ユーザーに対するオンライン情報提供等も今後の課題である。

## (2) 航海安全情報以外の海洋情報

水路部は昭和40年代半ばから、海洋の開発・利用の進展等に対応して、航海用の海図に加え5万分の1の沿岸の海の基本図や20万分の1の大陸棚の海の基本図も作成してきた。しかし、21世紀初頭にかけては従来の地図とは概念やタイプを全く異にする新しい地図が必要になってくる。

### 1) 海洋利用台帳(仮称)の整備

21世紀を展望すると沿岸域では漁業、輸送、観光、レクリエーション、ウォーターフロント開発等がさらに進展し、海域利用の競合・重層化が進行することが予想される一方、自然環境保護の動きもこれまでになく強まってくるものと予測される。

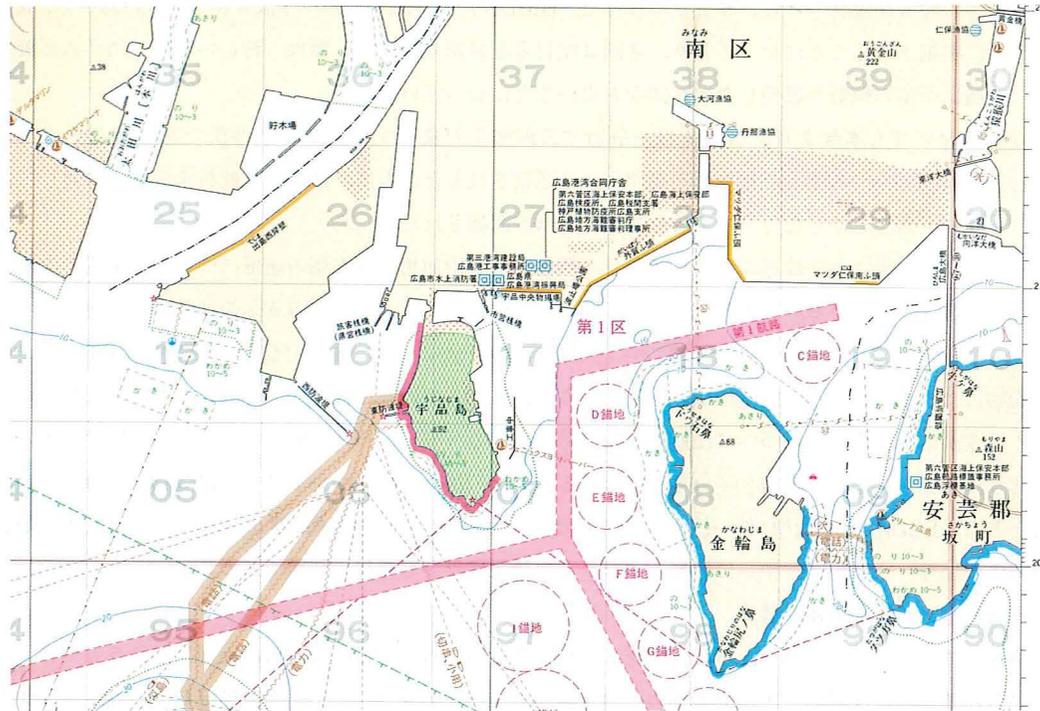
このようなことから沿岸域では今後、海域の利用・調整、海域の管理といったことが重要な課題となり、さらに海域におけるポジショニングは活動の過密化や精緻化に伴い、より精度の高いものが求められることになるが、測位精度の向上はこれを可能にし、陸上のように何丁目何番地式のきめ細かな位置表示も必要になってくると考えられる。

海域利用の効率化と利用調整においては、まず各種の諸権益や利用状況の把握が前提で、これらの情報を最新かつ正確に記載し、一元的に把握・管理する海洋利用台帳(仮称)といったものが必要になる。

この台帳は電算化されたデータファイルで、情報は主要地物、海岸線や等深線などの基本情報、諸規制・諸権益等の海洋利用情報、潮流、底質などの自然情報から成り、必要に応じてプロットにより任意の縮尺、包含区域で紙にプリントアウトすることができる。第7図は海洋利用台帳の前身ともいえるべき海洋利用状況図(広島湾北部)を試作したものである。

### 2) 高密度海底地形地図パックの作成

沖合海域に目を転ざると海底基準点としての機能を持つ無人の海底観測ステーションが多数展開され、長期的な連続観測等も行われている。また、これを基準として多数の無人潜水艇が動き回り、有人の海底ステーションの建設も手掛けられているだろう。ステーションの設置を初め、諸活動を始めるに当たっては地図が必要となるが、ここでの地図は極めて高精度の位置情報に基づく高密度の海底地形データで、これらは高密度の記憶素子に収録した地図パックである。これらのデータの収集にはナローマルチビーム測深機を搭載し



第7図 海洋利用状況図 広島湾北部(財日本水路協会, 1991による)

た測量船による長期間に亘る調査が必要となり、現実問題としては特定の海域の調査とならざるを得ないが、ここでは高密度海底地形データフォーマットの統一・データベース化、さらにはこれらのデータの共同利用体制の確立などが課題となる。

#### 4. おわりに

以上、水路業務の技術に関して高密度海底地形データの整備、海底観測ステーション、人工衛星リモートセンシング、電子海図、海底土地台帳(仮称)の整備などのテーマについて内外の関連技術の紹介や展望を行った。この他にも衛星測地、日本海洋データセンターの業務、さらに水路業務の最適コンピュータシステムの構築、測量船艇の拡充、水路業務専用航空機の整備など共通の基盤整備に関する課題は多い。

水路部はその創立以来、関連科学の発展に合せ、その時々最新の技術を導入し、あるいは自ら開発改良を行って業務を発展させてきた。最後のフロンティアである海洋はまだ未知の分野で科学的に解決すべき課題は多く、また情報提供の分野でもこれまで収集・蓄積した情報・データの有効活用のため成すべき課題は山積している。

しかし、これらの課題等を達成するに当たって、現在の研究・技術開発の推進体制は不十分である。研究・技術開発部門の拡充、内外の海洋調査研究機関との協力体制の確立、研究職制度の導入、専門的知識を有する人材の確保・配置等の研究・技術開発推進体制の強化が急務である。

海洋法条約に基づく200海里時代を迎え、海洋調査や情報提供の充実は焦眉の課題である。研究・技術開発の推進体制を整備するとともに調査や技術のバックボーンをなす理念や目標を確立し、最新技術を駆使して社会のニーズに応じて業務を推進していくことが重要であると考えられる。

## 参考文献

- 浅田 昭・小野房吉・長屋好治・植田義夫：水路部における海底観測計画，海洋，23，5，p.255～263，(1991)
- (財)未来工学研究所：第4回科学技術庁技術予測調査，日本の技術—1987～2015年—，p.1～892，(1987)
- 我如古康弘：人工衛星アルチメトリによる海域観測，水路，77，p.18～21，(1991)
- 藤原建紀・高杉由夫・肥後竹彦：超音波ドップラープロファイラーによる沿岸域の流れの可視化，海洋調査技術，1，1，p.57～65，(1989)
- 中西 昭：シービーム精密測深システム，水路，51，p.16～25，(1984)
- (財)日本水路協会：海洋利用状況図 広島湾北部（試作図）第六管区海上保安本部編集協力，(1991)
- 小倉伸吉：潮汐，岩波書店，p.252，(1934)
- 小田卷実・鈴木英一：海底設置型ADCPによる潮流観測結果，水路部技報，10，p.74～78，(1992)

この他にも多くの文献等を参考にしたが，図表等に直接引用したもののみを記した。