

# 海洋観測ソリューション

一人々の安全性、海洋事業の効率向上をめざして

川崎 良道 新家 富雄  
吉川 隆

干ばつ、洪水、冷夏、暖冬など世界各地で多発している異常気象や、温暖化現象などの地球規模の環境変動は、人類の生存環境に深刻な影響を及ぼす。地球環境は、海洋、大気、雪氷、陸面、生物、人類が相互に影響しあって形成される。中でも、地球の表面積の約7割を占めている海洋は、大気の約1000倍の熱容量があり、大気との間で大きな熱エネルギーの交換をしている。例えば、エルニーニョは、ペルー沖の海面水温が平年に比べて数℃上昇し、半年～1年半程度継続する現象であり、世界各地の異常気象との関係が指摘されている。

海底に目を向けると、日本は、太平洋プレート、北米プレート等が複雑に絡み合った場所に位置している。日本周辺で世界の地震活動の約1割が発生し、有感地震だけでも年間千回程度に及んでいる。大地震の原因になるプレート境界型地震の発生する場所は海底にある。

我々の日常生活から地球の将来までを考えたとき、海洋の様々な現象を把握することは極めて重要である。しかし、現状では海洋状況を適切に把握し、将来の影響を予測するに足る観測網が整備されているとは言い難い。そこで、本稿では、沖電気の海洋観測技術に対する最近の取り組みについて紹介するとともに、それを踏まえ、新たな海洋観測ソリューションの提案を行う。

## 海洋音響トモグラフィ

水中で光は数十m程度しか透過しないため、海洋中での観測では、音波が広く用いられる。音波を用いた海洋観測技術は当社が特に得意とする技術である。海洋音響トモグラフィ（OAT：Ocean Acoustic Tomography）は音波の伝搬時間により水温や流速を測定する装置である。我々が海洋科学技術センターと共に開発したシステムの模式図を図1に示す。黒潮の流域等の低・中緯度の海域では、場所に関わらず深度1000m付近で音速が極小になる。このような音速極小軸を持つSOFARチャネルと呼ばれるサウンドチャンネルがあり、送受波器はその軸深度付近に設置される。これにより、深度の広がり異なる

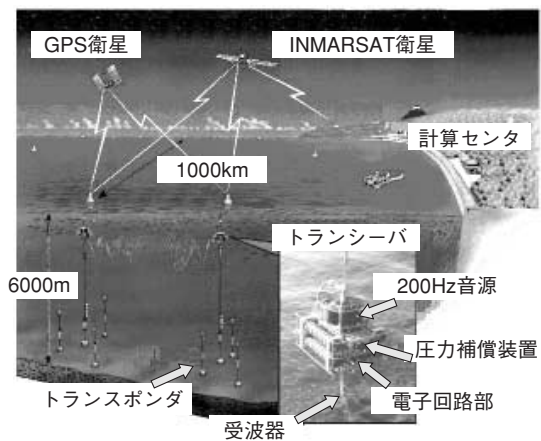


図1 海洋音響トモグラフィシステム構成図

る様々な長距離伝搬経路が生じ、多くの場所に対する海洋情報の収集が期待できる。本システムでは1000km以上の伝搬を可能にしている。観測では、送受波器（音響トランスポンダ）間の伝搬時間を計測し、衛星通信を用いてデータを計算センターにリアルタイムで送る。伝搬時間は、経路上の音速により決まり、音速は、水温・塩分・圧力、とりわけ水温に依存することから、水温の分布を導き出すことができる。また、双方向の伝搬時間の差からは流速が求められる。水温など観測結果の精度を確保するためには、時刻および、送受波器の位置の精度が必要である。時刻に関しては、GPSによる校正を行っている。また、位置に関しては、音響測位により精度を確保している。すなわち、位置の固定された3点の音響トランスポンダを基準にして、送受波器の位置を音波の伝搬時間による三角測量の原理で測定する。当社の音響測位技術は、海洋科学技術センターの「しんかい2000」以降の深海調査船のすべてに用いられ、実績をあげている。

1997年に海洋科学技術センターはOATを用いて、黒潮流域の観測を行っている。黒潮流域とは、黒潮が銚子沖を過ぎるあたりから陸岸を離れ東方に向かう、東経160度付近までの部分を指す。この海域では、黒潮による暖

流と冬季シベリアからの非常に冷たい吹き出しにより、海洋から大気へ大量の熱が放出されており、地球温暖化など気候変動に対して敏感であることが分かってきた。観測結果は黒潮蛇行の状態の変化を明瞭に捉えている<sup>1)</sup>。

現在、OATの北極海への適用を検討している。北極海は深層水が形成される数少ない場所で、形成が妨げられると地球規模で海流の変化が生じ、気候変動が生じることが懸念されている。これまでは、環境的な厳しさから十分な観測が行われなかった。OATは機器構成上、海水下の観測に適している。しかし、北極海では、水温分布の性質により、空間に広がった各経路の伝搬波が時間的に重なって受波器に到来するため、従来のマルチパスの時間分離による情報抽出は困難である。これを補う方法として、鉛直アレイによる空間的な情報分離の方法を現在研究中である。

### データ同化技術

海洋観測では、OATだけでなく、衛星による海面水温、海面高度などのデータも取得される。それらの観測値を有機的に結びつけ、より有用な情報とするには、物理法則によるモデルと関係付けるのが合理的である。物理法則を計算機上で具体化したモデルを数値海洋モデルと呼ぶ。数値海洋モデルを用いると、現在起きている事象の理解が可能で、近未来の予測も可能になる。数値海洋モデルでは、水温・流速などの各変数がモデルのグリッドごとに割り当てられ、それらの同時刻の情報が出力される。しかし、実際の観測データの時間・空間密度は様々であり、同時性も確保されない。たとえば衛星データは、

面的な情報であるが、軌道により観測時刻が異なる。また、衛星では表面水温や海面高度等のデータが得られるのに対して、海洋観測パイプでは水温や流速のサンプル深度でのデータが得られる等、データの性質も異なっている。このように性質の異なる様々なデータを用いて、物理法則に合致した最も妥当な場の推定を行う方法を同化手法という。

当社は海洋科学技術センターと共同で黒潮続流域を対象にデータ同化手法に関する研究を行っている<sup>2, 3)</sup>。計画では、OATの他に海洋観測パイプ、船舶などによる観測も行う。この観測は、黒潮続流と中規模渦による熱の輸送と表層混合層の各種パラメータを求め、表層水温の形成過程を解明することを目的としている。この付近の海洋現象の特徴である黒潮の蛇行と、中規模渦の運動は、2層の準地衡流モデルと呼ばれる近似モデルで表現することができる。観測値としてOATデータを用い、カルマンフィルターを用いた同化方式のシステムを現在構築中である。

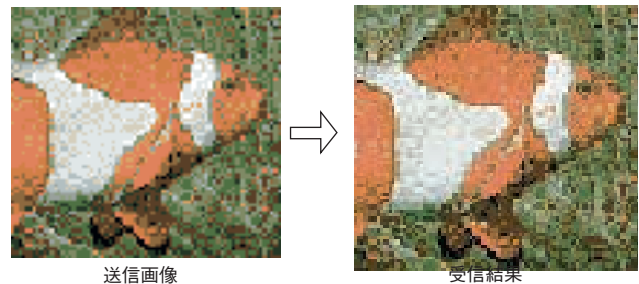


図3 水中音響通信伝送結果例

### 水中音響通信

水中音響通信技術は当社の得意としている技術の一つである<sup>4, 5)</sup>。例えば、潜水探査船と母船との間では、潜水探査船の状況を母船に伝えたり、母船から探査船へ指示を伝えるなど通信手段が必要である。図3に、32kbps伝送距離1000mの条件で画像を送信し、復調した結果を示す。受信画像は、ほとんど劣化がないことが判る。当社の技術は、海洋科学技術センターの深海巡航探査機「うらしま」の通信装置として用いられている。

### 光ファイバ海底地震センサ

当社は世界に先駆けて光ファイバーハイドロホンの実用化開発を行ってきた。その技術の新たな展開として光ファイバ海底地震センサの開発を進めている。この地震センサはマイケルソン干渉計を用いたものである。図4に地震センサの概観を示す。現在、沼津市の駿河湾にあ

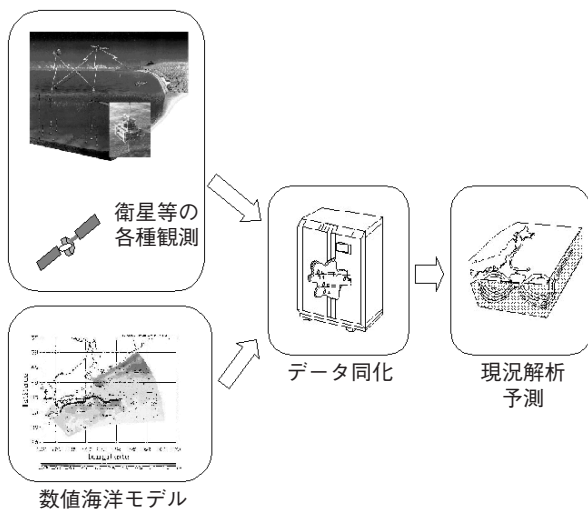


図2 データ同化システム概念図

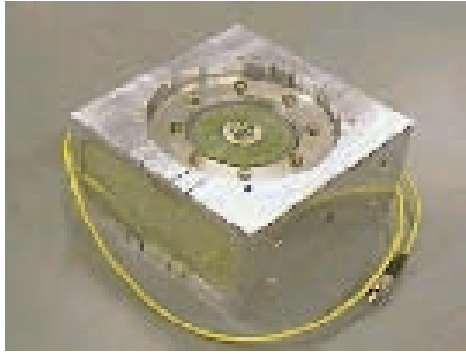


図4 光ファイバ地震センサ

る(株)オキシーテックの計測バージに設置し、地震観測を行っている<sup>6)</sup>。この地震センサは、センサ部、伝送路部共に光ファイバで構成され、電気部品の無いセンサシステムで、センサ部の高信頼性、信号の多重化および長距離伝送性の観点で優れている。海中のセンサに電源の供給が不要なことから沿岸よりかなり離れた海底の地震観測に有効に活用できる。本システムでは、10Hzに対し $0.1 \mu\text{g}/(\text{Hz})^{1/2}$ の最小検出レベルを有しており、数多

くの微小地震の観測に成功している。さらに、低周波化、高感度化、小型化の実現に向け、研究中である。

#### 沿岸域統合海洋観測ソリューションの提案

今まで我々が培ってきた技術を統合することにより、地震観測も含めた沿岸域の海洋観測に関するシステムソリューションを提案できる。沿岸域海洋観測システムの構想を図5に示す。このシステムでは潮流、水温分布などの現況および予測、そして地震や津波の観測を行うことが可能である。

構成としては、対象海域の観測システム、観測データをリアルタイムで収集するためのネットワーク、現況把握および予測を行うための数値海洋モデルが必要となる。観測装置としては、OATおよび流速・水温センサ搭載ブイなどが用いられる。OATは、水深の比較的深い海域に設置し、外洋における水温、海流の分布を捉える。湾内等の水深の浅い海域では、音波が海底・海面に反射することから、OATによる観測は難しいので、水温・流速・塩分濃度のセンサを搭載した係留ブイにより観測を行う。海面の情報に関しては、衛星の海面温度のデータなどを用いる。

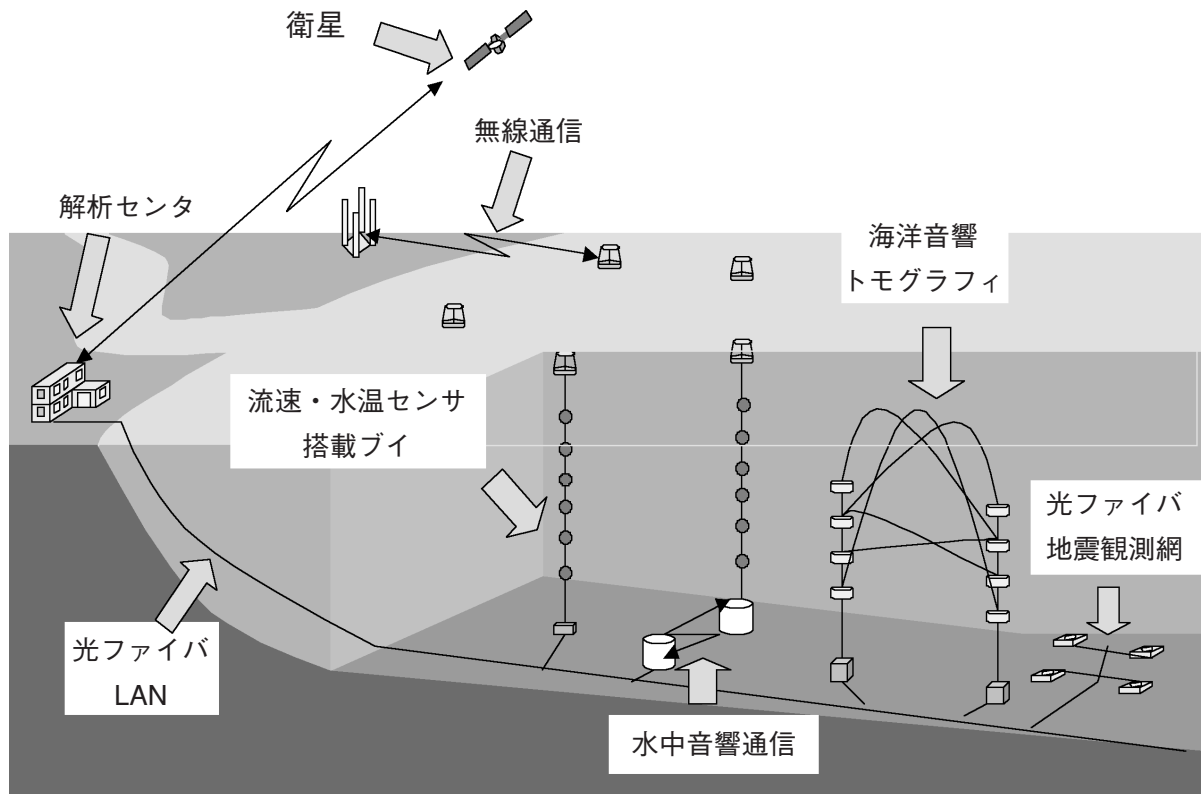


図5 沿岸統合海洋観測システム

観測した結果は、リアルタイムに収集する必要がある。これに関しては、観測機器の設置場所に合わせて最適な方法を用いる。例えば、携帯電話、光ファイバによるLAN、水中音響通信を用いる方法などが考えられる。

収集したデータを解析するには、データ同化の機能を持つ数値海洋モデルを用いる。数値海洋モデルは、複雑な地形に適應する沿岸域対応型を用い、各種データを統合して顧客の要望に合わせた情報提供を行う。例えば沿岸域の水産業者向けの場合は、湾内の水温分布および変化予測であり、養殖業者であれば水温分布および予測の他に、急潮などの発生を警告する機能も付け加えられる。船舶運行者に対しては、潮流のデータの他、海上の風速などの気象データを共に提供することができる。

地震観測に関しては、沖合海底のプレート境界部など地震が発生すると思われる個所にセンサ網を構築する。観測値は、直接光ファイバを通して解析センタに送られ、分析される。この観測網では、多数の光ファイバ地震センサを震源近傍に設置するので、微弱な地震に対しても、震源位置での現象を克明に知ることができる。

### 海洋観測システムの意義

ここで、提案した海洋観測システムの意義について考える。例えば、日本人の食生活には魚介類を欠かすことができない。平成11年度の日本人の蛋白質摂取は、国民平均で水産物依存度が20%を占めている。国民1人当たりの魚介類供給量は世界の平均が15.9kgに対して、日本では70.6kgと非常に多い。日本の漁業部門の生産量、約2.0兆円の内、そのほとんどが沖合あるいは沿岸の漁業に依存している。したがって、これらの水産資源の漁獲高は、食生活に直接影響を及ぼすことは明らかである。魚類は海水温に非常に敏感である上、潮流との関係も重要であるため、水温分布や流速分布を知ることが大きな意義がある。

一方、船舶海難事故についてみれば、平成11年度の船舶海難の隻数は1920隻と増加傾向である。海難の原因の1つに、気象・海象に関する不注意が挙げられている。海上保安庁は、試験的に東京湾の海上情報の提供を開始した。現在は、観音崎など定点の気象情報、大型船の航路入港予定情報などであるが、これに加え、海流や水温の現況および予測情報を提供することにより、効果的な情報になると考えられる。

また、地震観測網の拡充は、地震の多い日本での災害対策に有益であることは言うまでもない。御前崎沖の海底に設置された地震計は4個である。地震計の数が少ないのは、従来の地震計が電氣的な計測装置で電力を長距

離伝送しなければいけなかったためである。光ファイバ地震センサでは、電力伝送不要なのでそのような制限は無い。プレート型地震が起こると予想されている海底に詳細な地震観測網を設置し、地震対策関係者にデータを提供することは極めて有益である。

提案した、海洋観測システムソリューションの実現によって、人々の安全性が増し、海洋関係の事業がより効率化されることが期待できる。今回提案した海洋に関する観測システムが有益であることが多くの人々に理解され、海洋に関する取り組みに対してより多くの関心が持たれるようになれば幸いである。◆◆

### 参考文献

- 1) G.Yuan et al.: "Tomographic measurement of the Kuroshio Extension meander and its associated eddies", Geophys. Res. Lett., Vol.26, NO.1, pp79-82, 1999
- 2) 三寺 史夫 他: "カルマンフィルターを用いた海洋音響トモグラフィデータの解析手法の研究 (I) 準地衡流発展方程式と音響トモグラフィにより観測される物理量に関するノート", 海洋科学技術センター試験研究報告, No.40, pp161-167, 1999
- 3) 新家 富雄 他: "カルマンフィルターを用いた海洋音響トモグラフィデータの解析手法の研究 (II) カップリングスキーム", 海洋科学技術センター試験研究報告, No.40, pp169-177, 1999
- 4) 越智 寛 他: "3種類の変調方式を用いた実海域通信実験について", 海洋音響学会講演論文集, pp1-4, 2000
- 5) 徳永 浩二 他: "16QAM方式による水中音響通信実験の報告", 海洋音響学会講演論文集, pp5-6, 2000
- 6) 新藤 雄吾 他: "光ファイバ加速度センサによる海底地震観測", 海洋音響学会講演論文集, pp107-110, 2000

### 筆者紹介

川崎良道: Ryoudou Kawasaki.システムソリューションカンパニー 先端技術研究センタ 研究第2部 地球情報処理研究チーム

新家富雄: Tomio Shinke.システムソリューションカンパニー 先端技術研究センタ 研究第2部 地球情報処理研究チーム

吉川 隆: Takasshi Toshikawa.システムソリューションカンパニー 先端技術研究センタ 研究第2部 センサシステム研究チーム