定期航路船舶による海洋環境のオンライン監視とプランクトン認識の高度化に関する研究

飯高 弘*, 中野 洋*, 齋藤俊幸*, 土井卓也*, 西山勝男*,
佐藤宗純*, 藤縄幸雄*, 斎藤幸賢**, 原島省***

* 電子技術総合研究所
** 日本船舶通信（株）
***国立環境研究所

要旨：海水中のケイ藻類と非ケイ藻類（渦鞭毛藻類等）の存在比が海洋の健康度を表す指標であるという考えと、定期航路船舶にリモートアクセスステーションを組み込むという考えに基づき、現場で得られたプランクトン属性に関する情報をオンライン転送して環境を常時評価するためのシステムの技術開発に着手した。植物プランクトンの判別のための画像をオンライン転送し、種類を判定および解析を行うシステムの基礎実験を行った。また、フロー型レーザ顕微鏡を組み立て、代表的な植物プランクトンのおおまかな寸法、形状、および細胞数濃度が同時に計測し得ることを確認した。

キーワード：リモートアクセスステーション, ケイ藻／非ケイ藻比, 画像解析, レーザー蛍光顕微鏡

1．まえがき

海洋の健康度を評価し環境保全政策に結びつけるためには、海洋環境予測を念頭においた調査活動が必要である。海洋環境は空間的にも時間的にも幅広いスペクトラムをもつので、できるだけ多くのポイントで高頻度な調査活動が要求される。従来のように数少ない専用調査船のみでは要求に応えることができない。多くのルートをもつ定期航路船舶を用いた繰り返し観測を実現できれば、その効果は非常に大きいと言えよう。海洋調査のためのリモートアクセスステーションとしての諸機能を、定期航路船舶に組み込むことができれば、その普及によって健康度の常時評価やその変動予測も視野に入れた調査活動の実現に大きな前進をもたらすものと期待される。

海洋健康度の基本的な評価指標として、海水中のケイ素とリン・窒素との組成比が提起されている。富栄養化物質の流入の増大やシリカ流入の減少などの人為的要因が、特に沿岸域において、それらの組成比の変動をもたらすと考えられる。すなわち、健康度の低い海域では、リン・窒素に比べてケイ素が不足するため、ケイ素を必要とするケイ藻の比率が減少すると考えられる(例えばEgge and Aksnes, 1992[1])。したがって、植物プランクトンの濃度やサイズの計測のみならずプランクトン分類群の判定が可能になれば、それによって海洋の健康度を常時評価することも可能になるであろう。

定期航路船舶を海洋調査のためのリモートアクセスステーションとするには、先端的な情報通信システムの導入とともに、モニタリングそのものの無人化・省力化を図らなければならない。モニタリング機器に、自律的な機能を組み込むための技術開発は避けて通れない。

大きな容積と複雑な構造をもつ海洋環境の健康度予測および評価の展望が開かれよう。定期航路船舶のような調査手段を充分活用するためには、

①陸上のどこからでも調査活動に参加できるような自在アクセス機能

②調査活動を在宅で積極的に行うための臨場感覚リモート計測制御機能

③保守管理の無人化を目指したリモートメンテナンス機能

の実現を目指すことが避けて通れない。しかし、これらは端末である計測機器の自律化が十分図られた上ではじめて機能するため、その技術開発が前提であることは言うまでもない。海洋健康度に関するモニタリングの継続と同時に、将来の海洋環境予測の実現に向けた技術開発を合わせて進めていくことが、海洋保全政策の的確性の限界を打破する一つの方策と考えられる。

当研究では将来に繋がる試みとして、陸上から多様な操作が行える海洋調査リモートアクセスステーションとしての必要な機能を、瀬戸内海を航行する定期航路船舶「さんふらわあいぼり」に組み込み、従来の調査活動を継続しながら①～③のような機能の実現を図ることとした。

2．リモートアクセスによる海洋監視の考え方

「さんふらわあいぼり」をリモートアクセスステーションとするシステム構成を、将来的に実現する部分も含めてFig. 1に示す(飯高,中野ほか, 1999[2], 飯高,土井ほか, 2000[3), 4])。これに示すように、船舶衛星電話を使って陸上基地との情報通信を双方向で行う。船側のデータを衛星通信経由で陸上側で取得する。さらに取得情報をイントラネットサーバ(データベースサーバ)で蓄積・管理して、多くの参加機関で利用できる構成にする。また、陸上側からは、モニタリング機器への指令情報を送る。

当研究では、Fig. 1のシステム実現を念頭に、以下の課題の解決を図る。

(1)イントラネットサーバ(データベースサーバ)の構築をとおしてのオンライン監視の実現

(2)植物プランクトン画像計測の実施

(3)植物プランクトン識別計測の高度化

これらの解決にあたっては、前述の①? ③の機能実現を技術開発の指針とする。(2)および(3)については、植物プランクトンの生物・化学的な知見と他研究機関の調査活動に留意しつつ、機器の開発や改良を進めることを前提とする。

Fig. 1のシステムでは、水温、塩分濃度、クロロフィル濃度等の計測機器、および顕微鏡撮像の画像データおよび関連データを処理するコンピュータに記録ファイルを作成・蓄積する。それらを、LAN サーバ機能をもたせた通信制御装置から、衛星船舶電話を介して、国立環境研および電総研にあるデータ通信リモート制御装置に転送する。

これとは逆方向に、陸上のデータ通信リモート制御装置から、ネットワークを経由して船内のデータ通信制御装置にアクセスする。この過程では、PCAnywhere というネットワークソフトを用いて、船上のサーバおよびそれに LAN 結合されている各 PC の画面をディスプレイに表示させ、あたかも船内のデータ通信制御装置が手元にあるかのように操作できる環境を作る。

陸上システムの構築にあたっての要件をつぎに示す。

①データ通信リモート制御装置(PC300PL)には、リモートコントロールソフト(PCAnywhere)

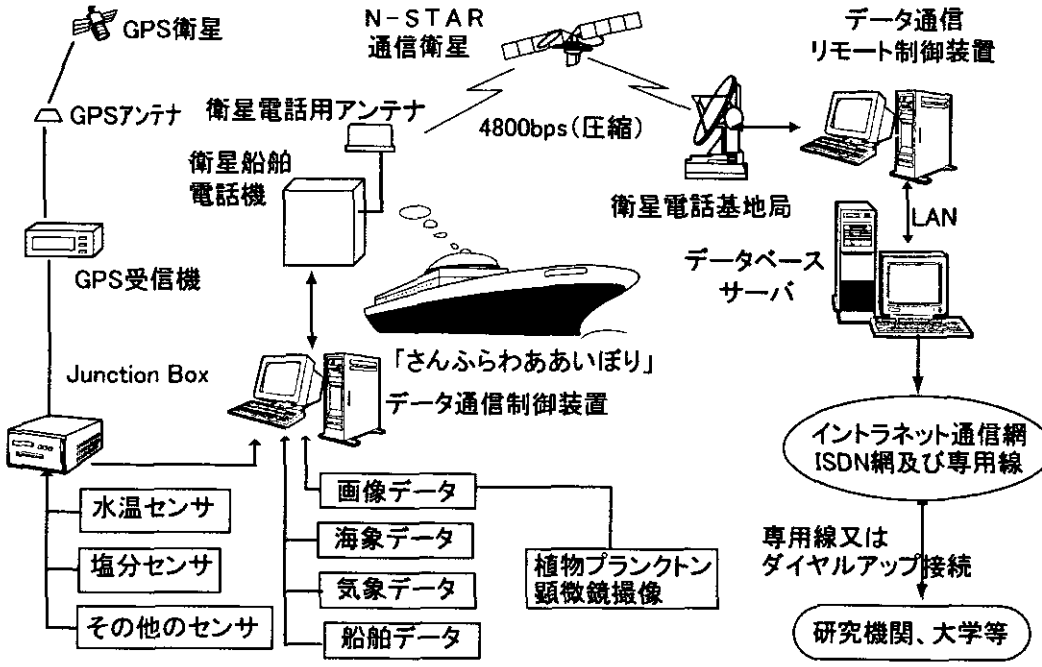


Fig. 1 Configuration of the remote access station.

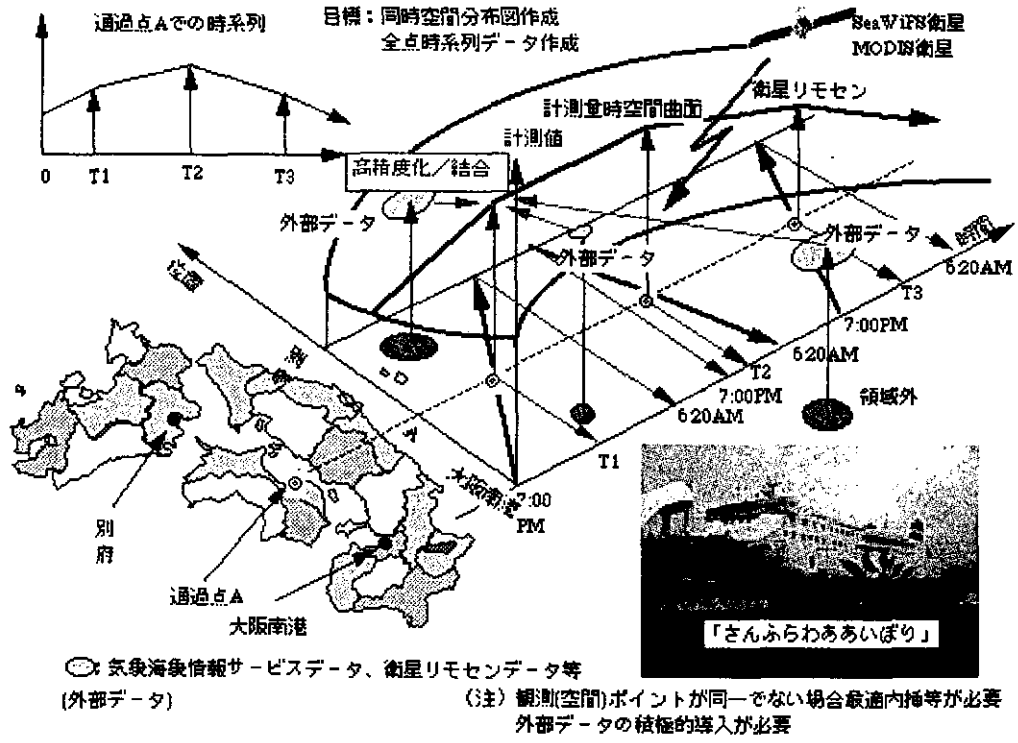


Fig. 2 Utilization of measuring data with the ferry.

を組み込み、船内のデータ通信制御装置(ThinkPad240)からのデータを受信するとともに、必要に応じ同装置に向けて計測制御指令が出す。
②18GB 以上のデータ記憶が行えるデータベースサーバ(PowerEdge P4300)を用いる。
③データベースソフトとして、Web サーバ構築機能、データ抽出機能、簡易グラフ機能、セキュリティ機能、稼働ログ機能を有する COOL ICE 2.0 を用いる。
④データベースの操作性およびセキュリティを高めるため、

- Web ブラウザから総合メニューが呼び出せるイントラネットシステムであること、
- 取り込みフォルダへの転送で、データ追加や処理が自動処理できること、
- 臨時参照データはテンポラリ領域に自動的に取り込めること、
- 地図上のマウスクリックで、データ抽出が容易に行え、Excel のような表計算ソフトウエアへ出力できること、
- 記憶データは自動年次更新でき、３年間は維持管理されること、

を前提とする。
⑤全体のシステムは常時稼働が要求されるので、運用管理者によって、データベースサーバの稼働状況や無停電電源装置の監視が容易に行えることとする。

３．データベースサーバの設計・試作

データ通信制御装置および計測機器は「さんふらわあいぼり」の機関室に隣接したシャフトルームの上階に設置した。以前は、同船の東行と西行の発着時刻は同じであったが、2000 年 3 月 1 日以降は、東行が別府港発 19:00→大阪南港着 6:20、西行が大阪南港発 21:30→別府港着 10:40 となっている。水温、塩分、クロロフィル蛍光の計測に関しては、これらの時刻に合わせたスケジュールファイルを計測用 PC に書き込んでおき、日ごとに計測時間を制御する。

物理量および化学量の計測に加え、植物プランクトンの画像計測が予定されている。船舶の位置と時刻の計測には GPS を用いる。船舶衛星電話の伝送速度は 4,800bps である。リモートアクセス計測は、国立環境研をはじめ、多数の研究機関の協力のもとに行われる。よって、あらかじめ各研究機関での計測データが有機的に結合できるような方策がとられなければならない。このような観点から提案した計測データの利用方法を Fig. 2 に示す。計測データは、Fig. 2 に示すように、通過ポイントと通過時刻とをベースに取得すれば、各通過ポイントでの時系列データが得られることが分かる。通過ポイントと通過時刻をベースにすることによって外部データと結合することができる。当然のことながら計測ポイントと時刻が適合すれば、他のリモートアクセスステーションによる取得データとの結合も含まれる。各通過ポイントでの時系列データおよび外部データなどを用いることによって同時空間分布の作成が可能になると言える。

このような観点から、陸上において船内のデータ通信制御装置の表示画面を見ながらリモート計測制御を行える環境整備の基礎を作った（Fig. 3）。そして船舶衛星電話経由でアクセスし、既設の計測センサーからのデータ収集の試みに成功した。WEB ブラウザでの操作性の高い利用が可能であるとともに、データ蓄積・検索に適合したデータベースサーバを構築した。Fig. 3 にデータベースの検索画面を示す。瀬戸内海の地図上をクリックすることによって、蓄積されたデータから目的とする航路上のポイントの時系列データ得られるような設

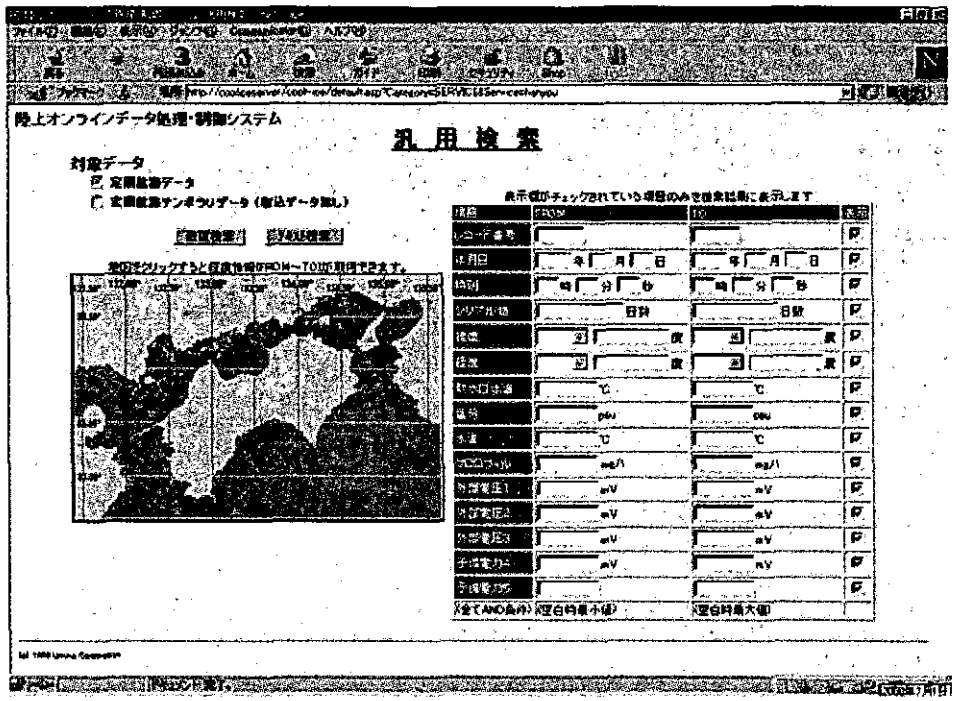


Fig. 3 Picture on the data-base server.

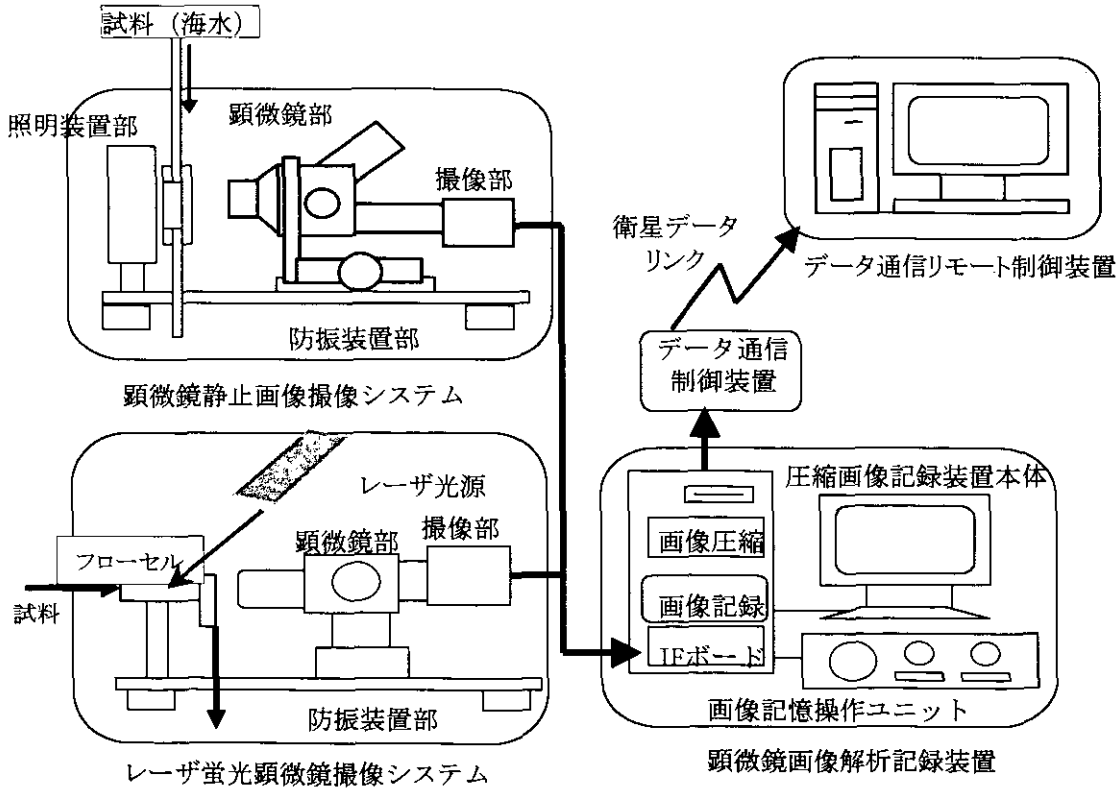


Fig. 4 Concept of imaging system with microscopes.

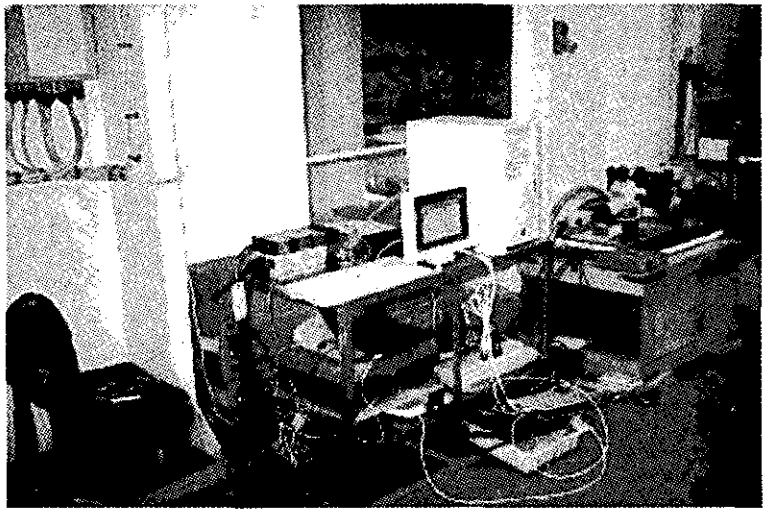


Fig. 5 Still imaging system with the microscope.

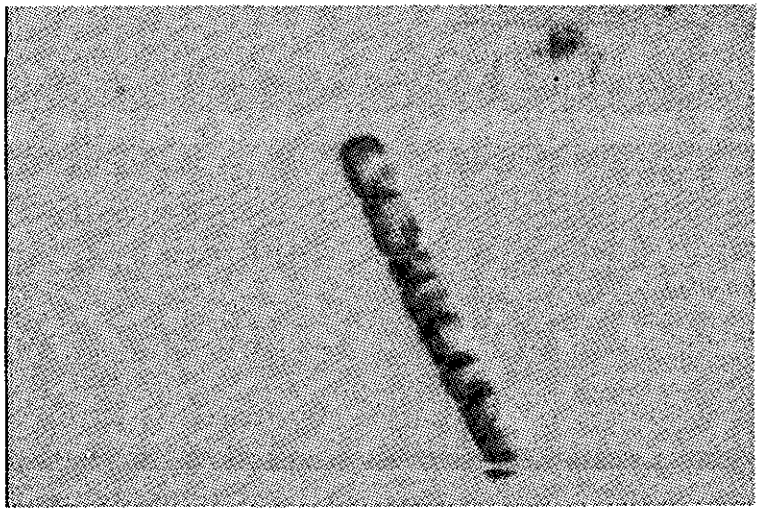


Fig. 6 An example of phytoplankton still image.

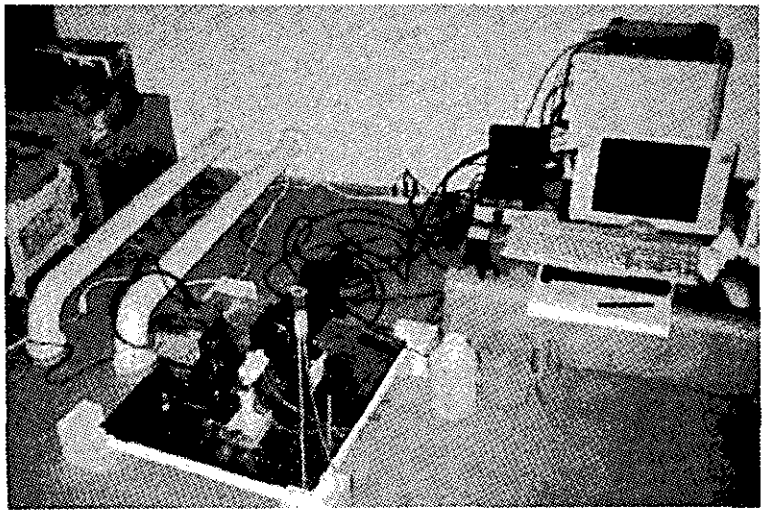


Fig. 7 Laser induced fluorescsnce microscope imaging system.

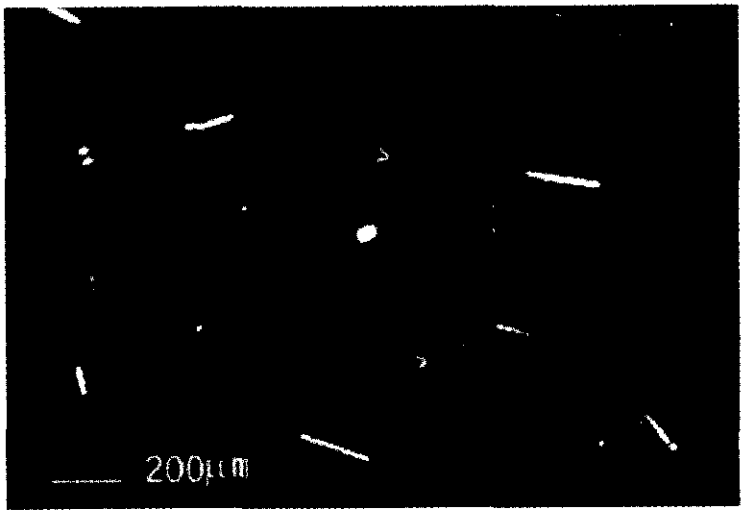


Fig. 8 Fluorescence images of phytoplankton.

定となっている。

4．顕微鏡撮像の実験的検討

上記の(2)および (3)に用いる植物プランクトン顕微鏡撮像システムの概念図を Fig.4 に示す。同図の左上の顕微鏡画像撮像システムは、静止画像撮像を行うサブシステムで、左側の顕微鏡解析記録装置によって撮像画像を記録する。陸上からの指令に応じて撮像画像の圧縮データを、上記の経路を経由して、陸上のデータ通信リモート制御装置に送信する。また、顕微鏡解析記録装置は、画像データから植物プランクトンの特徴量を抽出・数値化し、データ通信制御装置に受け渡す機能をもつ。

Fig.4 の左下のレーザ蛍光顕微鏡撮像システムは、図中のフローセルにシート状のレーザ光を照射し、フローセル流路の断面蛍光像から植物プランクトンの細胞数の濃度の計測と形状分類を連続的に行うサブシステムである。レーザ蛍光を用いることによって、クロロフィルを持つ粒子、すなわち植物プランクトン粒子のみの計数および形状計測を可能にする。数値化されたデータは、データ通信制御装置に受け渡される。画像データは、左側の顕微鏡画像解析記録装置によって撮像画像を記録される。両データとも、必要に応じて陸上で取得することができる。

植物プランクトンの画像を撮像し、同画像を解析することによって、その種を判定する顕微鏡画像撮像システム(Fig.5)に関する基礎実験を行った。船内に汲み上げられた海水を 10 ミクロンメッシュのネットで濾過してプレパラートにとり、CCD カメラにより植物プランクトンの顕微鏡画像の撮像を行った(Fig.6)。振動や揺れの影響を抑えるため、レーザ蛍光顕微鏡システムと同様、光学系を水平にして重心を下げ、除振台上に設置した。得られた画像を処理し代表的な特徴量を求めるとともに、その画像（約 900kB）を JPEG 圧縮した。約 50 分の 1 に圧縮された画像 (約 18kB)を、船舶衛星電話を介して陸上のデータベースサーバに転送したところ、転送時間は約 36 秒であった。転送された画像は原画像と遜色なく、陸上において、肉眼による種の判定に使用することは充分可能であることが分った。(中野ほか、2000[5])。

手持ちの機器を用いて、レーザ蛍光顕微鏡システムを組み立てた(Fig.7)。フローセルは矩形で、流路の断面は 8mm x 8mm である。レーザ光源には 532nm で発振する半導体レーザ励起 Nd:YAG レーザを使用し、シリンドリカルレンズで厚さ約 50mm の薄いシート状のレーザビームに集光し、フローセル中の流路に垂直方向から照射する。フローセル中の流路方向から撮像した結果得た蛍光像を Fig.8 に示す。同図から 100mm 以上の細長い植物プランクトン(*Skeletonema costatum)*の存在が見てとれる。細長い植物プランクトンが撮像面に平行な姿勢を保っているのは、縦方向と横方向の付加質量の違いから生ずる不安定モーメントによるものと考えられる。このようなレーザ蛍光像を連続的にとることによって植物プランクトンの濃度計測と形状分類の可能性があきらかになった(斎藤ほか, 2000[6])。

5．あとがき

本研究においては、海洋健康度のオンライン監視を指向し、定期航路船舶をリモートアクセスステーションにするための基礎を整えた。また、WEB ブラウザで操作できるデータベースサーバを構築し、瀬戸内海の地図上をクリックすることによって、目的とする航路上のポイントにおける時系列データが得られることを考慮したソフトを開発し、試験的な運用に

成功した。船舶衛星電話を用いたリモートアクセスおよびデータ収集を試みた結果、水温センサデータや圧縮された顕微鏡画像データの収集が可能であることあきらかにした。蛍光像をとおして濃度計測および形状分類ができる見通しを得た。船舶内の環境は、振動が激しいため、顕微鏡撮像や蛍光像の連続計測のための振動計測を行い、防振対策について検討した。

一方、今後の問題として、顕微鏡の視野内に植物プランクトンを誘導するための流路設計と、良好な画像を得るために流路の高さを焦点深度以内にするような設計が必要となっている。レーザ蛍光像による形状分類をとおして、ケイ藻と非ケイ藻をどの程度まで判別することができるかなどについても、今後検討する必要があり、船と陸の連携を前提とした現場実験を行う必要がある。

参考文献

1)Egge, J. K. and Aksnes, D. L. (1992): *Silicate as regulating nutrient in phytoplankton competition*, Marine Ecology Progress Series, 83, 281-291.

2)飯高弘, 中野洋, 土井卓也, 斎藤俊幸, 佐藤宗純, 藤縄幸雄 (1999): 海洋リモートアクセスステーションの研究開発, 海洋理工学会平成 11 年度春季大会講演要旨集, 71～72.

3)飯高弘, 土井卓也, 中野洋, 斎藤俊幸, 佐藤宗純, 西山勝男, 藤縄幸雄 2000): 地球環境計測のための海洋リモートアクセスステーションの研究開発, 環境技術研究総合推進会議第 4 回研究発表会講演要旨集, 37～38.

4)飯高弘, 土井卓也, 中野洋, 斎藤俊幸, 佐藤宗純, 西山勝男, 藤縄幸雄, 日下祐三, 原島省, 齊藤幸賢(2000): 海洋リモートアクセスステーションの研究開発(その 2)、海洋理工学会平成 12 年度春季大会講演要旨集, 41～42.

5)中野洋, 斎藤俊幸, 土井卓也, 飯高弘, 西山勝男, 佐藤宗純, 藤縄幸雄, 原島省, 齊藤幸賢 (2000): 定期航路船舶を用いた植物プランクトン顕微鏡画像撮像システムの研究開発, 海洋理工学会平成 12 年度春季大会講演要旨集, 37～38.

6)斎藤俊幸, 飯高弘, 中野洋, 土井卓也, 佐藤宗純, 藤縄幸雄, 原島省, 齊藤幸賢 (2000): フロー型レーザ蛍光顕微鏡による植物プランクトンの連続計測法の開発, 海洋理工学会平成 12 年度春季大会講演要旨集, 39～40.

Advancement in the online evaluation of the health of the sea and the detection of plankton using ship of opportunity

Hiroshi IITAKA*, Hiroshi NAKANO*, Toshiyuki SAITO*, Takuya DOI*, Katsuo NISHIYAMA*, Sojun SATO*, Yukio FUJINAWA*, Kouken SAITOU, and Akira HARASHIMA*****

* Electrotechical Laboratory
** Nippon Senpaku Tsushin, Inc.
***National Institute for Environmental Studies

Abstract: Based on the idea that the health of the sea is indicated by the ratio of diatom species and non-diatom species such as the dinoflagellates and the idea to deploy a remote access station on a liner, we are developing the system that can take the information on プ plankton properties and send it to laboratory via satellite transmission. A part of the system is for processing and analysing the microscopic image of phytoplankton to dicriminate the species of phytoplankton. Another part is a flow-type laser fluorescence microscope system to obtain information of size distribution and species of phytoplankton sequentially. We demonstrated that it was able to roughly recognize the size, the shape and the cell numbers of phytoplankton which would lead to the discrimination between diatom-species and the non-diatoms.

Key Words: remote access station, diatom/non-diatom ratio, image analysis, laser fluorescence microscope