

沿岸流検知演算システム

中嶋 暉・岡田 貢 : 海洋研究室
寄高博行 : 海洋調査課

Sea Current Detection by Navigational Radar

Tei Nakajima, Mitsugu Okada : Marine Research Laboratory
Hiroyuki Yoritaka : Ocean Surveys Division

1. はじめに

運輸省では、運輸技術の研究開発経費による「海洋構造物の沖合展開のための開発研究」を、61年度から5か年計画で実施してきており、その一環として水路部は海象観測技術の研究の内、海潮流観測システムを海洋研究室、海洋調査課及び沿岸調査課と共同で担当している。その内容は、測量船等の航海用レーダ(以下、レーダという)の画像信号を使用して表面流を測定する技術の研究であり、主な装置として開発中のものが沿岸流検知演算システム(以下、システムという)である。今年度は、第3年目にあたるが、ここに本システムを紹介し現状を報告する。

2. システムの概要

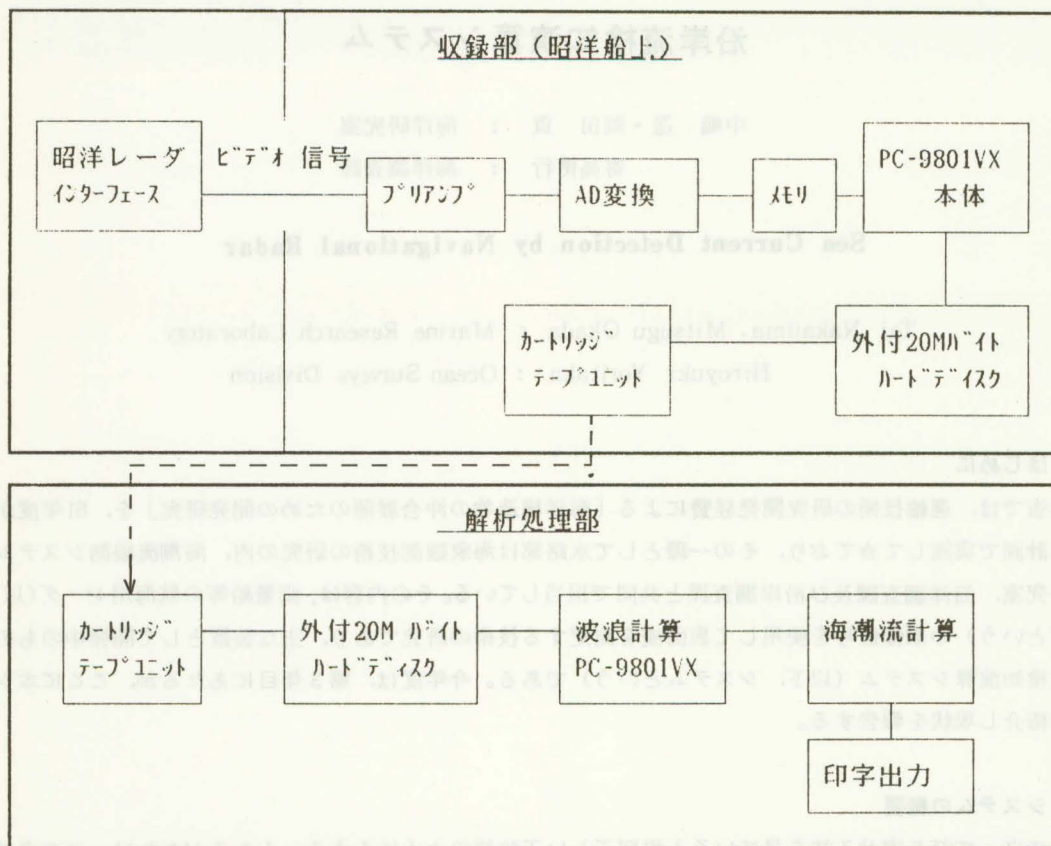
砂浜に立って打ち寄せる波を見ていると規則正しい正弦波のように見える。ところがこれは一つの卓越した周期をもつ波のほか、波高と位相及び波向の互いに異なる様々な周期の波の集合なのである。これまで船舶用レーダは、これらの波の集合からの反射信号を、シークラッタと呼んで取り除くための技術改善がなされてきたが、システムの重要な処理過程の一つであるうねりの検出では、捨てられてきたこのシークラッタを逆に利用しようとするものである。従って、船上ではシークラッタが捕捉できるように、停船または錨泊した後、レーダを最高感度に調節し、アンテナの回転に伴って得られる画像情報を収録する。

システムは、第1図のブロックダイアグラムに示すように収録部と解析処理部から成っており、レーダ部を除く主たるハードは、パーソナルコンピュータ PC-9801VX21を利用している。写真は昭洋観測室において収録作業中の本システムである。以下、システムの構成各部について説明する。

(1) 収録部

昭洋レーダ JMA-850-9 CAは、使用周波数が9,375 MHzであり、アンテナの喫水高が20.3mである。このレーダに接続して常用している昭洋装備品 ARPA (自動衝突予防装置)用のレーダビデオ端子から、ビデオ信号を取り出し、システムに収録する。

このシステムは半径3,072 mのレーダの円形画面を、メモリー量の制約から4分割し、船首方位を基準にして、中心角90度の扇形の画面(以下扇形画面という)をデジタル収録する。サンプリング間隔は80 ns (距離にして12mに相当する)、即ちレーダ画面で、0~3,072mの掃引あたり256個の画素に区切られて512掃引分(即ち中心角90度に相当する)が収録の対象エリアとなる。約2秒後の次のアンテナスキャンについても同様に収録し、合計2画面分を1セットとする。このような収録作業を4個の扇形画面つまり全方位(360



第1図 沿岸流検知演算システムブロックダイヤグラム

度)について行い、カートリッジ磁気テープに記録する。

(2) 解析処理部

ハードウェアとしての解析処理部は、上記の収録部も兼ねているので、船上での収録作業が終了次第、システムを水路部に持ち帰る。

収録データはカートリッジ磁気テープから処理部本体のメモリに転送され、扇形画面内で処理を希望する任意の場所に、実距離で縦横750×750mの処理区域(以下ウィンドウという)を設定する。第2図に示すように、そのウィンドウ内のう

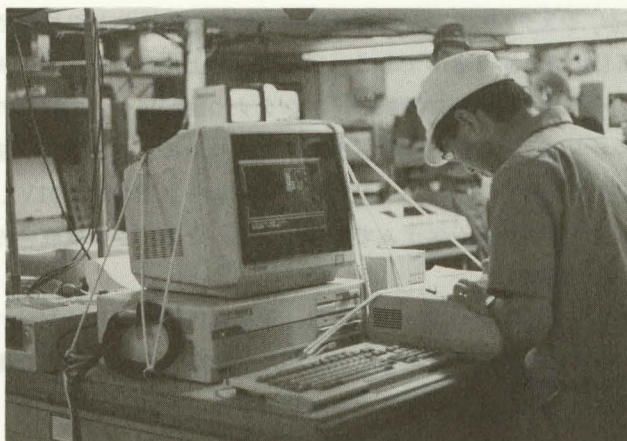
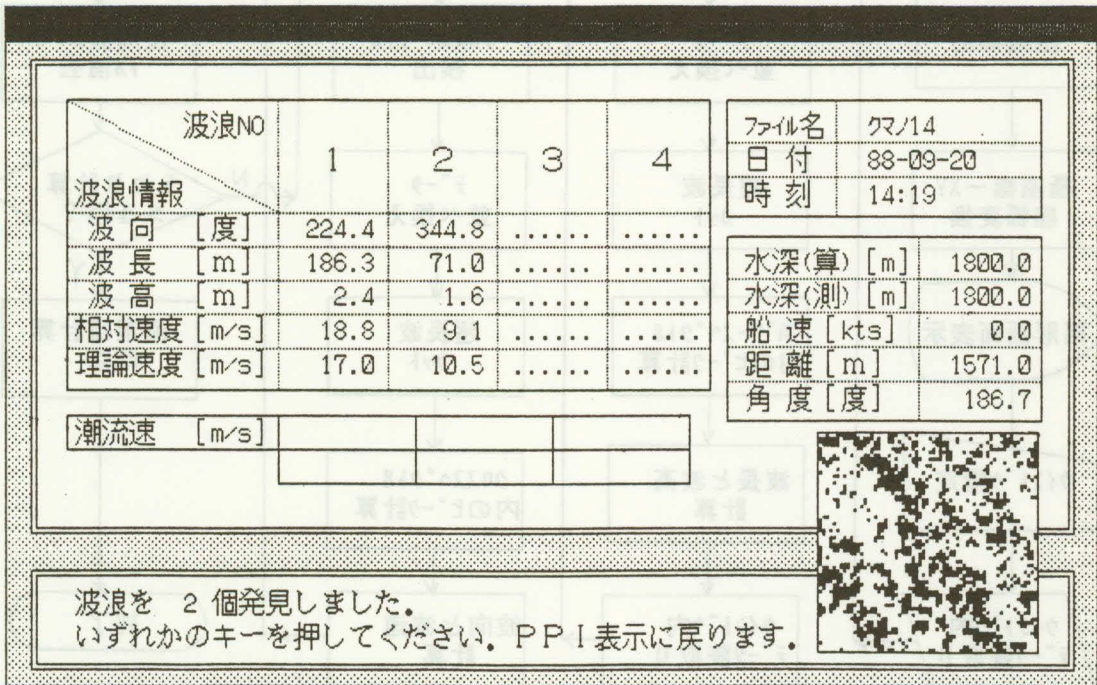


写真 昭洋船内におけるデータ収録中の本システム

ねりによるレーダ反射強度の周期的な分布(縞模様)に着目し、高速フーリエ変換、略してFFT(Fast fourier transform)と呼ばれる方法により、周期性が卓越するうねりの波長・波向及び波速を求める。複数

方向からのうねりが収録されている場合には、順次うねりとしての周期性の卓越度に応じて、最大4方向までのうねりを演算検出する。

次に、これで得た2方向以上のうねりの要素と、それぞれの波長に基づく理論波速を使って海表面の流れをベクトル計算で求める。しかしながら、雑音によるランダムな疑似うねりが検出されることがあるのでこれを消去するため扇形画面内に21箇所のウィンドウを設定し、これらから得られるほぼ同一方向を持つうねり群の波速と波向を平均した後（第10図参照）、流れを計算する。第3図はこの方式による印字例である。但し、この結果は現在の所、実証観測値と合致するまでには至っていない。



第2図 検出した各うねりの要素（左）と、ウィンドウ内に表わされたうねりを示す縞模様（右下）

```

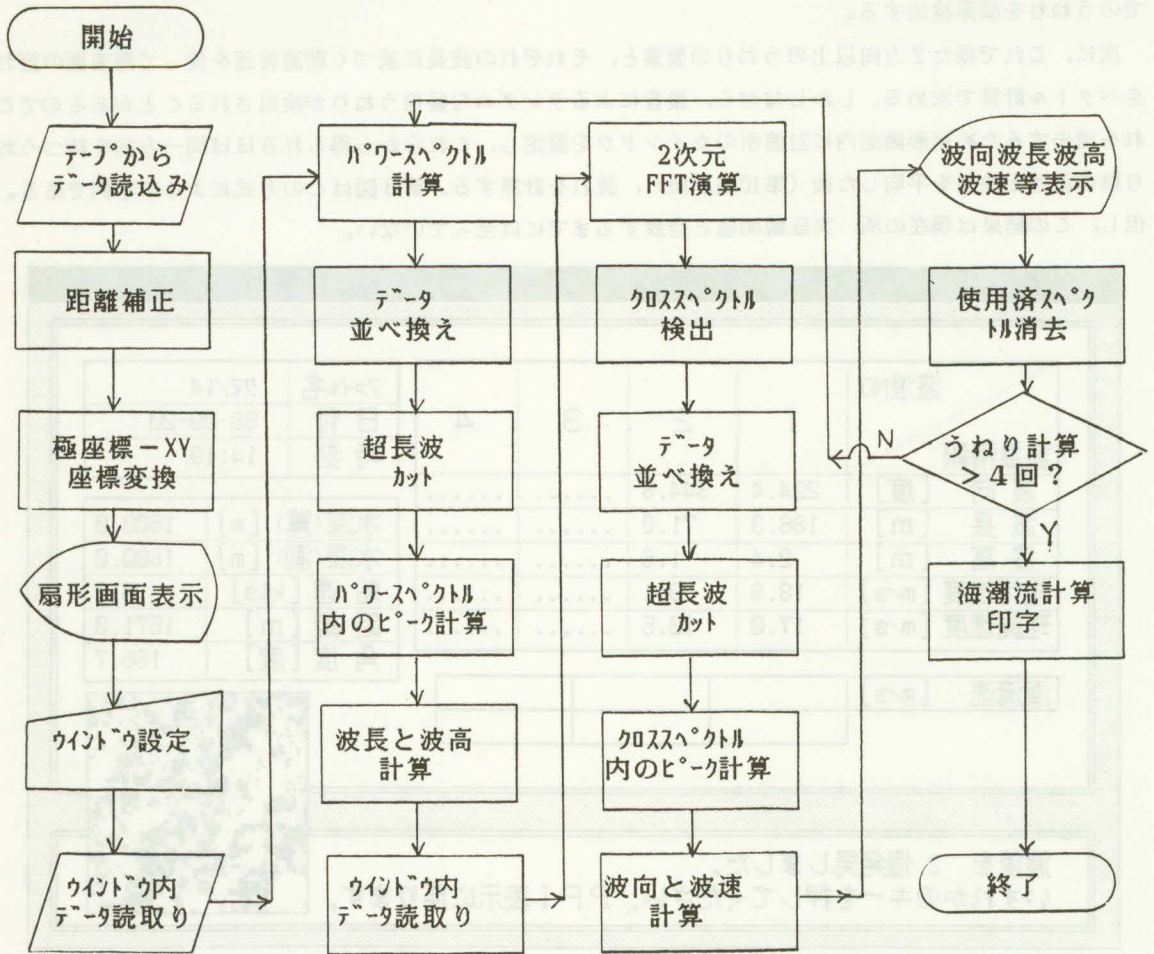
***** CURRENT COMPUTATION *****
STATION NAME :   クマノ14   ハイキン 子
リユウコウ=26.4°   リユウソク= 0.5 m/sec
    
```

第3図 海潮流の印字結果

3. システム解析処理原理

(1) うねりの検出

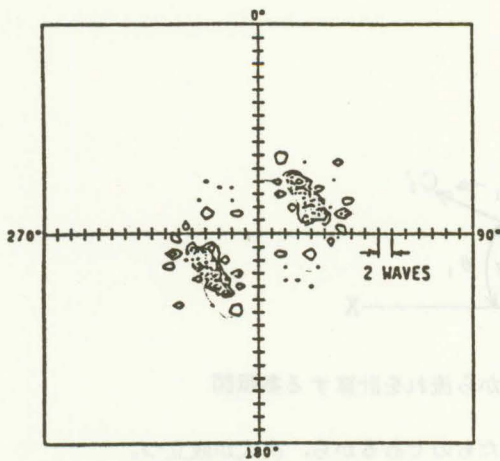
第4図は解析処理の流れ図である。ここでうねりの検出演算の前提条件として、第1画面と第2画面の集録中には、うねりの波長の変化はないものとする。



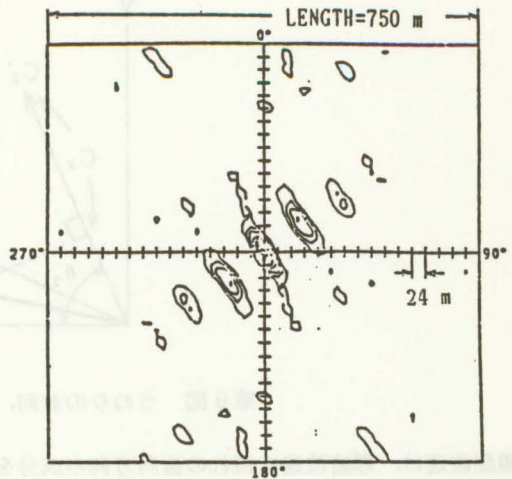
第4図 解析処理流れ図

データは極座標方式により収録されているので、まずXY座標系に変換する。そして第5図に示す第1画面データの2次元パワースペクトル (power spectral density) を求めることによって最も卓越したうねりの波向 (180度のアンビギュイティを持つ) と波数が計算される。次に、これを逆FFTすることにより自己相関関数 (auto-correlation function) が得られ、第6図から分かるように観測波長が求められる。

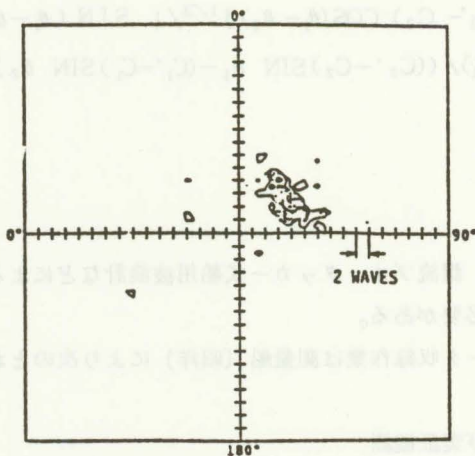
次に、第1画面と第2画面データの間のクロススペクトルを求め、180度のアンビギュイティを取り除くと第7図のようになる。これは波向と波数情報を持つ。このクロススペクトルについて逆FFTすると相互相関関数が得られ、第8図に示すようにXY座標において、中心からどの方向にうねりが移動したかが明瞭になる。この図では45度の方向へうねりが移動していることが分かる。また、この図で縞と縞の間隔が波長とみなしてよい。このようにして第1のうねりの波向、波長、波高が求まると前記パワースペクトルの中から第1のうねりに関与したスペクトルを消して第2のうねりの検出作業に取り掛かる。このシステムでは最大で4方向のうねりを検出することができる。



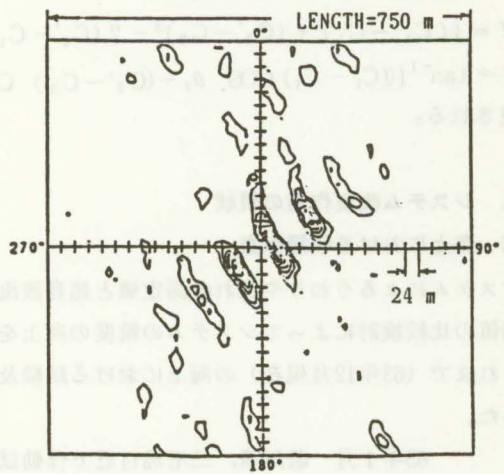
第5図 2次元パワースペクトル



第6図 2次元自己相関関数



第7図 2次元クロススペクトル



第8図 2次元相互相関関数

(2) 海潮流計算

以上により検出したうねりを縮まない完全流体における重力波として、その理論波速をもとめる。一様水深 H m の海でおこる重力波の速度 C m/sec は、その波長を L m、重力の加速度を g m/sec² と表すと

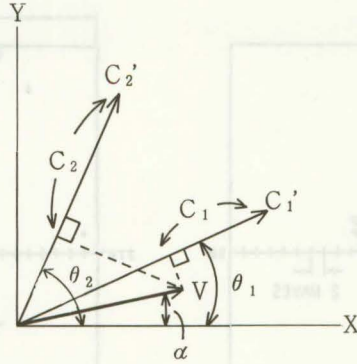
$$C = ((g L / 2\pi) \tanh(2\pi H / L))^{1/2}$$

で与える。

この理論波速と観測波速の差をもたらすものは海表面の流れであると考え、2セット以上のうねりからその流速、流向を算出する。

第9図を参照しながら2セットのうねりから流向、流速を計算する方法を以下に示す。

理論波速を C 、観測波速を C' 、波向を θ 、流速を V 、流向を α と表し、それぞれのうねりについて添え字 1, 2 を付するものとする。



第9図 うねりの波向，波速から流れを計算する参照図

観測波速は，理論波速に流れの波向方向の成分を加えたものであるから，次式が成立つ。

$$C_1' = C_1 + V \cos(\theta_1 - \alpha) \dots\dots\dots(1)$$

$$C_2' = C_2 + V \cos(\theta_2 - \alpha) \dots\dots\dots(2)$$

(1)，(2)式より流れの流向，流速は

$$V = \{ (C_1' - C_1)^2 + (C_2' - C_2)^2 - 2(C_1' - C_1)(C_2' - C_2) \cos(\theta_1 - \theta_2) \}^{1/2} / \sin(\theta_1 - \theta_2)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \{ (C_1' - C_1) \cos \theta_2 - (C_2' - C_2) \cos \theta_1 / (C_2' - C_2) \sin \theta_1 - (C_1' - C_1) \sin \theta_2 \}$$

と表される。

4. システム改良作業の現状

(1) 海上における収録作業

システムによるうねりや流れの測定値と超音波流速計，漂流ブイ，タッカー式船用波浪計などによる実証観測値の比較検討によってシステムの精度の向上を計る必要がある。

これまで（63年12月現在）の海上における試験及びデータ収録作業は測量船〔昭洋〕により次のとおり実施した。

63年1月 駿河湾，三宅島付近で作動試験及び実証観測

63年9月 熊野灘，串本，御坊で収録及び実証観測

上記2回の海上作業では，海面静穏で，明瞭かつ複数の方向を持つうねりは検出されなかった。その結果，流れを正確に計算するまでには至っていない。現在のところ63年9月の熊野灘の収録データを使い，うねりを検出，実証値に合うようプログラムの改良を行なっている所である。実証観測では1セットのうねりしか明瞭に視認できなかったのに，第2図のように2セットものうねりが求まることがある。この場合，第2のものは疑似うねりの可能性が大きい。従って，スペクトルの中の最大値の内，疑似最大値に惑わされずに，真のうねりのみを検出する方法を検討している。なお，同図にある波高値は流れの計算には直接関与しないが他の波浪計等からの実証値を得て改正する予定である。

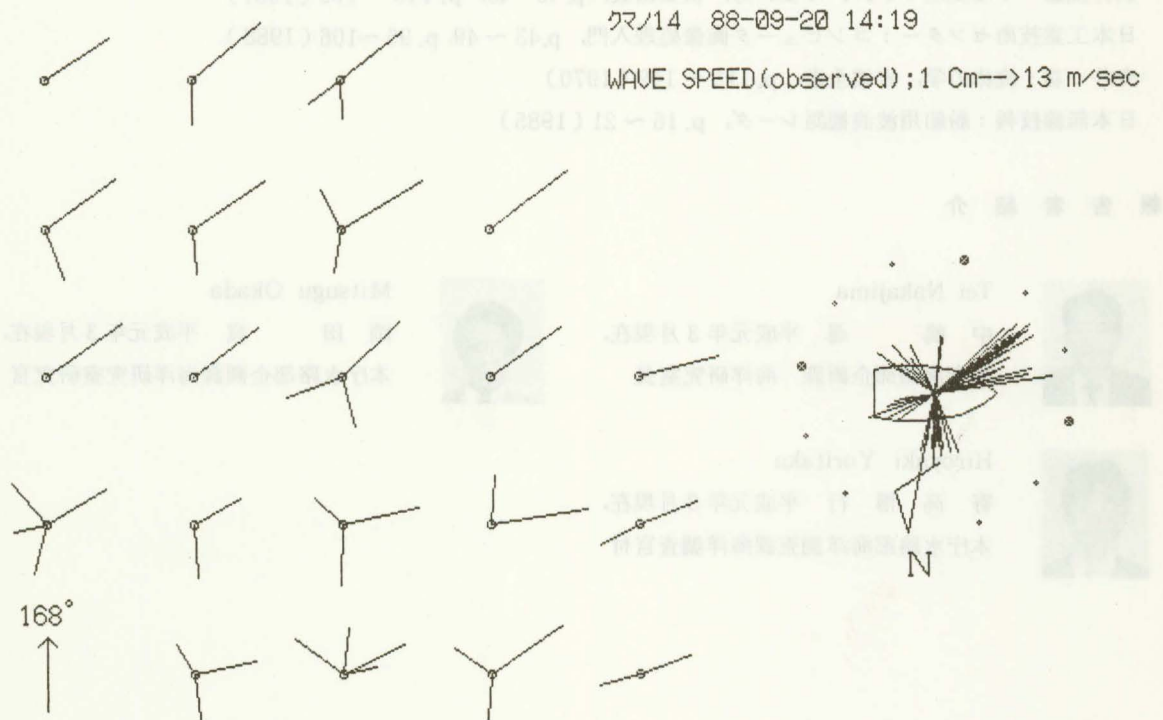
(2) ハードウェアの改良

レーダ信号収録時のサンプリング間隔は現システムで80nsであり，これから見積られる流速の誤差は波長が100mとして1.5m/secである。ハイテク電子技術の発達によるサンプリング間隔40nsへの改良を可能としており，高精度化を実現すべく作業を進めている。

(3) ソフトウェアの改良

イ 扇形画面内で、21か所の予め決められたウィンドウの設定位置を自動的に移動させながら処理できるようにソフトウェアを改造して、従来の手動設定に比べ処理の省力化を計った。

ロ ディスプレイ上の上記21か所に、それぞれ波向、波長、波速等の矢符(第10図)あるいは演算結果である流向、流速等を示すベクトルを表示し、印字させて扇形画面全体のうねりの要素や流れが把握できるプログラムを作成した。



第10図 ディスプレイ上に表示された波向と波速。直線は○印に向う波向、波速をしめす。
左下隅が船の位置である。また右図は左図のベクトルを1か所に集めたもの。

5. 今後の課題

今後の課題として次のようなことが挙げられる。

(1) 2方向以上からの、なるべく波長の長いうねりのある海域で、測量船を錨泊、または固定してレーダ映像を収録する。更に理想的には、海底の影響を受けて波速が変化する浅海域と、波速が変化しない深海域で収録し成果と実証値を比較検討する。

(2) 現在の装置では、今の所、最小波長で70m程度のうねりしか検出されていない。このため、上記の本体ハードの改良後、処理ソフトの改良も行う。

(3) システムの処理精度を向上させるために、ウィンドウを少なくとも現在の4倍の面積に拡大する必要があり、このためにはメモリ容量の大きい高級機種、例えば32ビットのミニコンピュータまたは、水路部所有の大型コンピュータが利用できるソフトを整備する。

(4) 来年度はプロッタを導入して、システムで演算した表面海潮流や波浪・うねり等の諸要素の水平面の分布図が自動作図できるようプログラムを整備する。

(5) 2画面は全く同一場所のものとして扱う機構となっているので、1セットの収録所要時間約3秒の間に船首方位が変わると、扱えないほどの誤差となる。本システムは停船した船上で使用するように設計しているが、将来的には航行中でも制約を受けることなく海潮流が測定できるよう改良していく必要がある。

参 考 文 献

日野幹雄：スペクトル解析，朝倉書店，p. 25～63（1986）
安井院猛・中嶋正之：FFT の使い方，秋葉出版，p. 15～40，p. 149～169（1987）
日本工業技術センター：コンピュータ画像処理入門，p.43～49，p.95～106（1988）
今井 功：流体力学，岩波全書，p.115～149（1970）
日本無線技報：船舶用波浪観測レーダ，p.16～21（1985）

報 告 者 紹 介



Tei Nakajima
中 嶋 暹 平成元年3月現在、
本庁水路部企画課 海洋研究室長



Mitsugu Okada
岡 田 貢 平成元年3月現在、
本庁水路部企画課海洋研究室研究官



Hiroyuki Yoritaka
寄 高 博 行 平成元年3月現在、
本庁水路部海洋調査課海洋調査官付