

広域海洋調査システム

神 崎 正 ※

甲斐 源太郎 ※※

1. はじめに

建設事業も昭和48年の石油危機を境に、従来の開発、拡大至上主義から周辺環境への影響を十分考慮した計画策定、事業推進が強く要求されるようになってきた。

一方、国土が狹隘でかつ地形が急峻なわが国においては、海洋への立地の必要性は強く望まれ、事実関西新空港、東京湾横断道路、各種エネルギー立地をはじめとする数多くの計画の大半は海洋立地で考えられている。こうした海洋開発に際しては、他の計画に比べより以上に環境調査、影響評価は重要な課題と考えられている。しかしながら海洋においては、陸上では簡単に入手しうる情報も海水という黒いベールに包まれ、あまりに情報量が少ないのが現状である。例えば潮流1つをとっても、従来の定置式流速計による方法ではせいぜい海域の数点の値しか得られず、流況として把握するには余りにデータが不足している。

本システムは、音響によるドップラー効果を利用して海中の任意の点での潮流ベクトルを測定するもので、水深方向に最大16層の連続測定によって短時間に広域の三次元的流況の把握が可能である。このシステムには、精度数10cmの位置情報と海底地形や海底地質あるいは温度分布などの測定も組み合わせた海域の総合精査が可能であり、海洋空間利用のための計画策定の様々な情報を得ることができる。また、得られた情報をもとに、シミュレーション解析によって測定精度を高め、あるいは各種の予測や影響評価を行うことも可能である。

本システムは、大成建設㈱と海洋科学技術センターとの共同研究によって開発されたものである。現在まで瀬戸内海をはじめとする実海域総合調査によってシステムの実証化を図り、シミュレーション解析による海洋開発計画の検討をひき続き行っている。本論文は、こうした一連の広域海洋調査方法および計画策定のための基礎技術を紹介するものである。

2. 流況測定の原理

図-1のように、船の船底部に装備された送受波器より超音波パルスが水中へ向け発射されると、この超音波パルスは水中を伝播しながら一部は水中の散乱物体（プランクトン）により反射し送受波器へ戻ってくる。この時散乱物体からの反射信号の周波数は送信信号の周波数に比べ、移動速度に比例したずれを生じている。この現象はドップラー効果として広く知られており、本測定原理もこの周波数のずれを流速ベクトルに変換して算定するものである。本装置では図-1のように、角60度で互いに直交する4方向に超音波パルスを発射する“JANUS”方式を使用している。この4方向の反射信号を流速に変換する際に、ローリング、ピッチングなどの動揺の影響を除き、かつXYZ方向の流速の三次元ベクトル量を求めることが可能となる。

今、送信周波数を f_0 、垂直に対する発射角を θ 、流速を V 、水中の音速を C とすると、一つの超音波ビームでのドップラー周波数 f_d は

$$f_d = \frac{2f_0 V \cos \theta}{C} \quad \text{----- (1)}$$

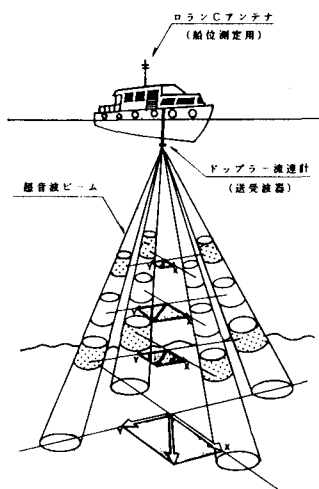


図-1 流況測定の原理

で表わされ、ドップラー周波数は流速の超音波ビーム方向に対する速度成分により一義的に定まる事になる。一方測定層の水深Dは送受波器の装備時の水深をD₀、超音波パルスを発射してから反射信号を受信するまでの時間遅れをtとすれば

$$D = \frac{C \cdot t}{2} \sin \theta + D_0 \quad (2)$$

で表わされる。同様に測定層の最小の厚み△Rは、送信パルス幅を△tとすると

$$\Delta R = \frac{C \Delta t}{2} \sin \theta \quad (3)$$

で表わされ測定層の最小厚は送信パルス幅に依存する事になる。

この様にドップラー周波数を時間遅れtの関数と

して測定する事で流速の鉛直プロファイルが得られる。また観測船（送受波器）が移動している場合は、船の対地速度を加減することによって絶対的な流速の値を求めることができる。なお、船の対地速度は、海底からの反射信号のずれから同様の原理によって算定する。

3. システム構成

本システムの構成は、図-2に示す通りである。流況はドップラープロファイラー（流況測定装置）によって流速を三次元的に測定し、ロランCもしくは電波測位機から得た位置情報を入れ海図上に測定値をリアルタイムでアウトプットするものである。

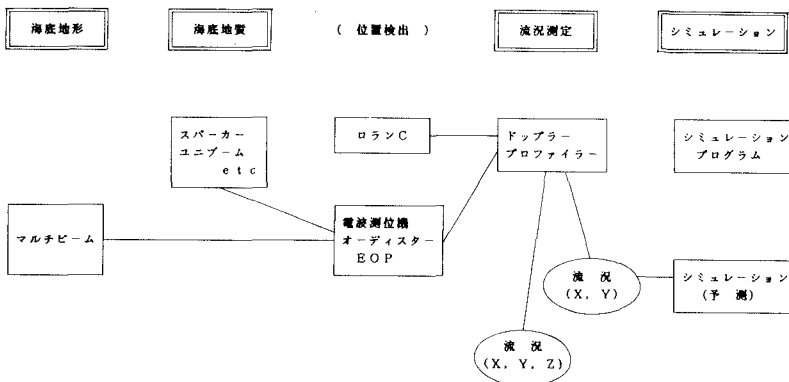


図-2 広域海洋調査システム

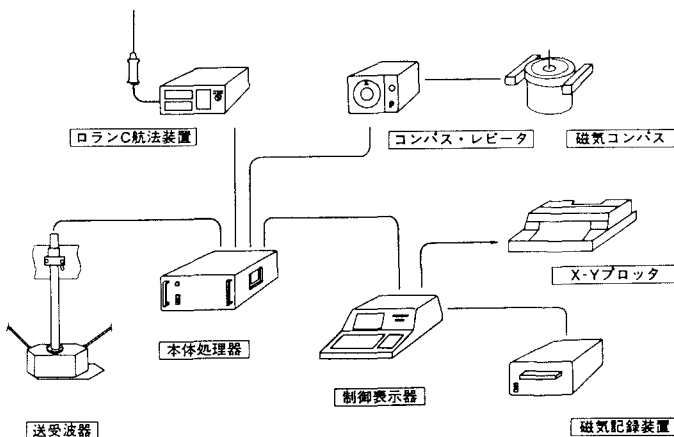


図-3 流況測定装置 系統図

一方、スパーカー等を用いた反射法音波探査によって海底地層を検出し位置情報をあわせて海域の地質を測定する。また、サイドスキャンソナー等による音響測深機によって海底地形も同時に測定できる。

これらの測定装置を必要に応じて組み合わせ、船の舷側などに取り付けて一連の測定を行うのが本システムである。なお、調査範囲は後述する電波測位機を用いた船位表示システムによって、予め設定した緯度、経度ラインで示されており、それに沿って船を移動させ測定するものである。

以上の測定データをもとに、諸条件の変化を入れて任意の条件下での流況の変化をシミュレーション解析によって求めることができる。また、構造物設置後の流況も同様のシミュレーションによって求め影響評価を行うことができる。次に各システムの概要について述べていきたい。

3-1 流況測定

流況測定装置は図-3に示すシステムにより構成されている。音響ドップラー流速計を基に、船位測定装置、記録作図装置などで構成されている。船の舷側部に装備された送受波器より125kHzの超音波パルスが水中に向け発射される。この超音波パルスは水中を伝播しながら一部は途中の散乱物体により反射し送受波器へ戻り受信される。受信された反射信号は測定原理の項で述べたように流速に比例し

たドップラー偏位を受けている。この様にして得られた4方向（前後左右方向）の流速成分は、本体処理器にて方位センサーよりの船首方位を元に地球座標系に変換される。一方自船の船位はロランC航法装置より得られる。この装置は座標変換機能付の全自動ロランC受信機で、ロラン局よりの時間差情報の他に直接に自船の緯度、経度情報が出力される。また反射信号の振幅情報は反射信号をTVG付受信機で増幅する事で伝播損失の補正を行った後、単位体積当りの音響散乱強度に変換される。本体処理器では16層の流向・流速、散乱強度および自船の対地速度をリアルタイムで計算処理を行う。制御表示器（HP-85パーソナルコンピュータ）は、測定データの表示の他、X-Yプロッター及び磁気記録装置の制御を行い、海図の作成ならびに流向流速や散乱強度などの分布図の作成を行う。磁気記録装置は1/4インチのデータ・カートリッジを使用し、約40Mバイトの情報を記録する事ができる。3秒間隔で記録した場合一つのデータ・カートリッジで約25時間の連続記録が可能で、これらのデータは、総合的な計算機処理に利用できる。

なお、ロランCによる位置情報の精度をより高め測定海域ラインを予め設定し誘導するためには図-4に示した船位表示システムを利用できる。この場合、位置測定にはオーディスター（島田理化）、EOP（山武ハネウェル）等の電波測位機を用いれば精度は数10cmのオーダーで得られる。

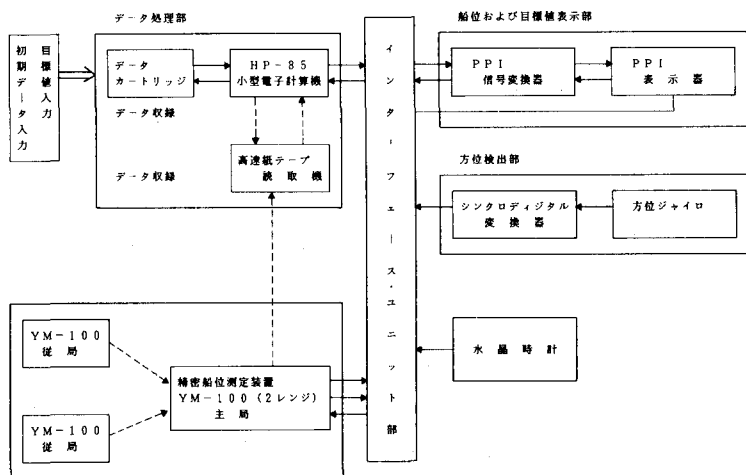


図-4 船位表示システム 構成図

3-2 海底地質調査

海底地質調査は、主として反射法音波探査によって行われ、表-1に示すように各種の音源が開発され用いられている。これらは海底地質、深度、探査目的などによって使い分けられており、メーカー等によって呼称が違っている。

音源の音波は、周波数が低いほどエネルギー減衰は小さいが、逆に指向性や分解能が悪くなる傾向にある。探査深度を深く、かつ分解能を高めるのは事実上難しく、実際は地質学的考察をふまえた高度な判断技術が必要である。図-5は地質調査のアウトプットの例である。

3-3 海底地形調査

地形調査は、サイドスキャンソナーによって面的に地形を把握したものと測深によって得られた水深とから海底地形を求めるもので、このデータから作図プログラムにより図-6のような海底地形のアウトプットを得ることができる。

海底地形調査を一定期間継続して行うことによって、例えば海底の砂蓮（サンドウェーブ）の潮流の影響による変化などを調べることも可能である。この場合、前述した船位表示システムによって正確な測線ラインの管理を行うものである。

表-1 海底地質調査機器 比較一覧表

機 種	ソノプロブ	ユニブーム	スーパーカー	エアガン	マルチ・チャンネル
発振周波数	3500Hz	400Hz ~14KHz	100~4000Hz	5~100Hz	50~400Hz
発振波形					
発振回数	225回/分 112.5回/分	2~6パルス/sec	1/8~4sec	10~20sec	10~20m
発振指向性	45°	なし	なし	なし	なし
水深可能	3~50m	3~100m	3~400m	100m以上	1,000m
海底下の探査深度	砂の場合 0m シルトの場合25m	50~100m	200m	5,000m	2sec
音源方式	磁歪振動	振動板	電気放電	空 気	水中放電・圧縮空気
エネルギー	36ジュール	100~300ジュール	100~700ジュール 強力は1,000~20,000	100,000以上	10,000以上
受波器	圧電型	圧電型	圧電型	圧電型	圧電式
受波器の個数	1	6	40	100	10m 間隔・24ch
反射波受振間隔	1~3m	1~3m	1~3m	20~50m	5m
記録方式	連続	連続	連続	連続	デジタル方式
地震の分解能力	波長が短いから良	良	良	悪	良
探査目的	軟弱な地層に適する	浅海の地層探査に適する	浅~中深海の地質調査及び基盤上面の形状把握に適する	中~深海の地質構造に適する	浅~深海の地質構造に適する。
観測船	7~10トン	7~10トン	10トン~100トン	500トン以上	200トン以上
観測員	6名測員を含む	6~7名	6~8名	10~12名以上	12名
漁業補償	なし	なし	なし	なし	なし

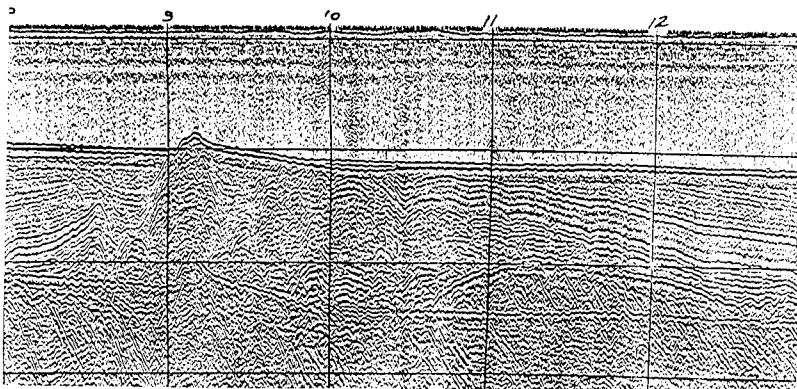


図-5 海底地質調査 アウトプット例

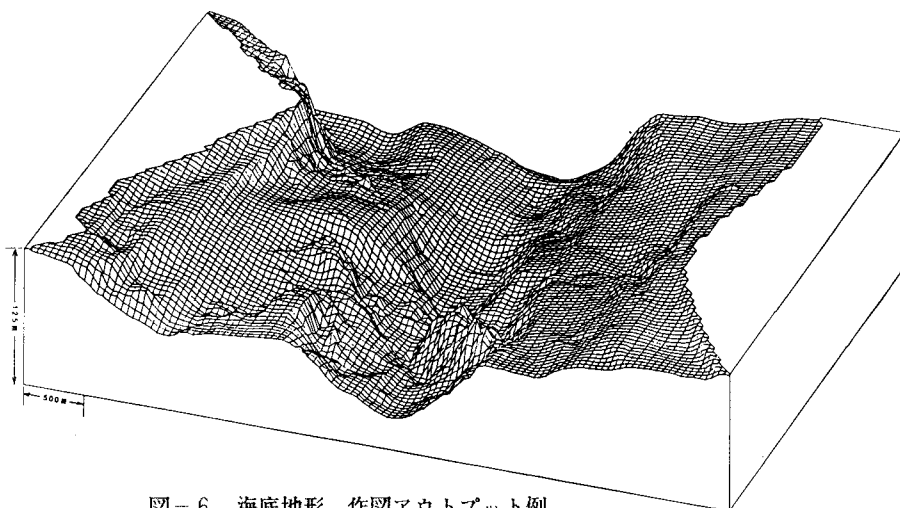


図-6 海底地形 作図アウトプット例

4 実海域調査例

装置の仕様を決め、あるいはシステムの実証を行うための調査が実海域において繰り返し実施された。図-7、図-8はその1例である。XYプロットによって予め入力した海図および測定範囲を書かせ、船の航行と同時に各層の流況平面分布を次々にアウトプットしたものである。

船上でリアルタイムにデータが得られるため、必要なデータを自由にとれ、測定のおちをなくすることができる。なお従来の定置式流速計（ローター式）との流向流速の比較も行ったが、比較的良好一致を見せ、ドップラーソナーによる測定値の妥当性を証明した。こうした一連の海洋調査により、システムの実証を終え実用化に至っており、現在調査工事を受注し実施中である。

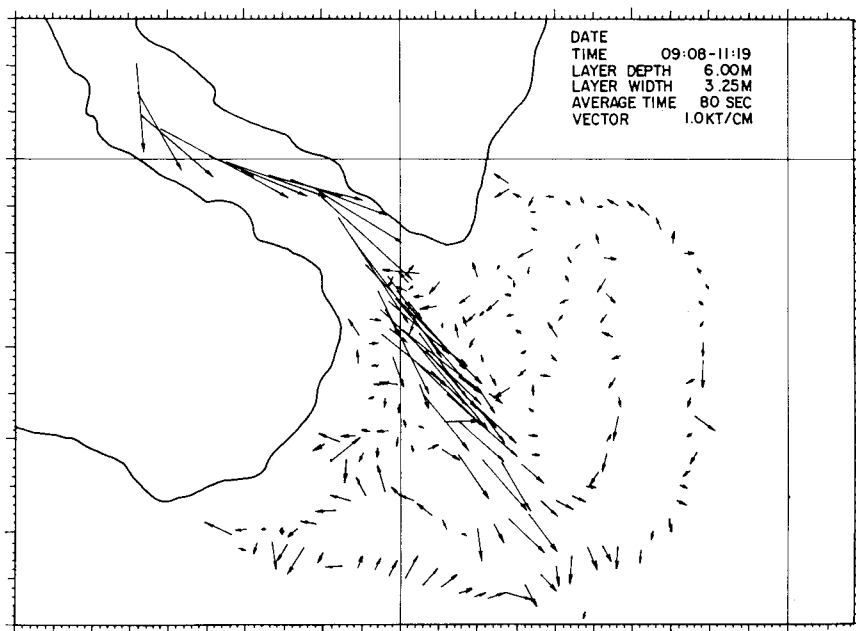


図-7 実海域 流況精査アウトプット例

5. シミュレーション解析による海域計画

海域調査で得られたデータは、ある時刻での、ある条件下での値であり、計画条件下での流況を求めることが計画する上で必要である。それにはスプライン法によってデーターを補完し、かつシミュレーション解析によって予測を行うことが必要である。図-9はシミュレーション解析の一例である。さらに、構造物設置後の流況の変化も同様の解析によって算定できるため、各種のアセスメント等に利用することができる。このほか、浚渫もしくは埋立時の汚濁の拡散についてもシミュレーションが可能であり、また温排水などの影響も考慮した解析もできる。

6. あとがき

以上述べてきたように、本システムによって海洋調査の測定密度が飛躍的に増加したため、海域計画の際の様々な検討がより精度良くできるようになった。

今後は、さらに測定項目、シミュレーション解析を補強し、計画精度の向上を高め、より汎用性の高いシステムの確立をめざしていきたい。

〈 参 考 文 献 〉

- 1) 海洋科学技術センター、大成建設株式会社：「沿岸海域の流況精査技術の開発 共同研究 成果報告書」、昭和59年3月
- 2) 大成建設株式会社：「沿岸海域の流況精査技術」、テクニカルインフォメーションNO. 11, NO. 12 昭和59年2月、3月
- 3) 奥野清則：「ドップラ効果を利用した船速測定装置」、日本無線技報、1973

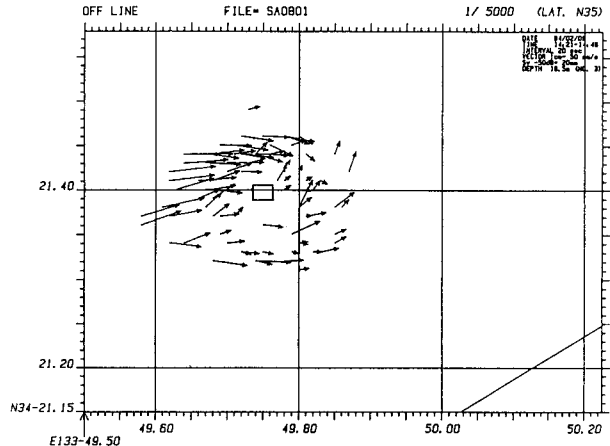


図-8 橋脚の周辺の流況測定例

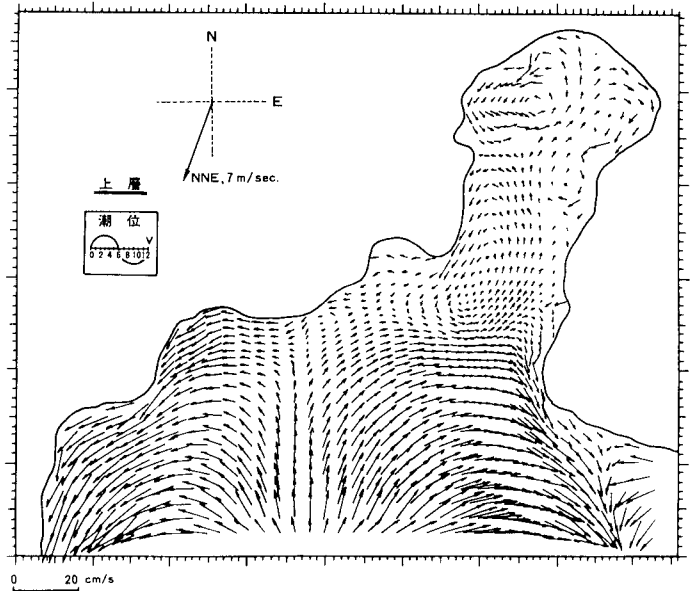


図-9 シミュレーション解析による海域計画例