

## 海中作業支援のためのリアルタイム海流プロファイリング 技術に関する調査研究

(公財) 日本海洋科学振興財団 むつ海洋研究所長 折田 義彦

本調査研究の目的は、積極的に観測値を高速で取り込むことで、局所的な海流シミュレーション結果をリアルタイムで分かりやすい画像として提供できるシステムの構築を目指し、関連する技術を調査研究することであり、海洋調査、海洋開発の現場での応用が期待されるものである。

海底資源開発における海底構造物への接近・合体作業、ROV（遠隔操作無人探査機）、AUV（自立型無人潜水機）の海流を加味した航行制御、ダイバー等の安全確保のためには、その時点におけるその場所周辺の海流状況をできるだけ正確に把握することが必要である。しかしながら、海流状況は時々刻々変化する。これを把握するもっとも基本的な手段は、現場における“流体計測”である。しかし、流体計測によって取得できる情報は、ある計測可能な限られた空間領域におけるある限られた物理量(流速、温度、圧力等)に関する情報に限定される。これに対し、その場所を含む周辺のより広域な空間における各種物理量を推測する手段として“計算機シミュレーション”が挙げられる。日本海洋科学振興財団では、青森県沿岸海域等において各種の海洋調査を実施してきている。海域の流速計測については係留式ブイや小型船に取り付けた流速計により計測しているが、限定された部分的情報であり、リアルタイムの局所的な3次元流体シミュレーション技術で周辺を含む各種情報を得ることが出来れば、海底放射能拡散調査等において大きく寄与すると考えられる。本提案では、①現場における“流体計測”と②その場でリアルタイムに行う“計算機シミュレーション”を組み合わせる。この『計測融合シミュレーション』を実用化する観点から、観測値を高速で取り込み、信頼性の高い局所的なシミュレーション結果を即時に提供できるシステムの構築を目指し、関連する技術の調査研究を行ったものである。

この技術及びシステムが実現できれば、観測現場における観測機器・作業機器の操作支援など、海洋環境調査（海底放射能拡散等の調査）・海底資源探査等における高速シミュレーション技術の現場での応用、現場への支援がリアルタイムで可能となり海洋開発等への貢献は極めて大きい。

以上の技術的背景のもとに、「流速や海底位置を遠隔から瞬時に多点測定できる超音波計測技術」と「複雑な海底地形も瞬時に入力可能な高速流体シミュレーション手法(格子ガス法)」を融合させ、海底を眺める光景に可視化された局所的な海流をリアルタイムで分かりやすい画像としてPC上等に表示できるシステム(リアルタイム海流プロファイリングシステム)の開発を目指し、必要な関連技術及びシステムを調査研究した。

具体的には以下の項目について調査、解析、検討を行いリアルタイム海流プロファイリング技術及びシステム構築について専門家による意見交換を含め取りまとめた。

### ① システム概念の構築

リアルタイム海流プロファイリングシステムで現在想定しているものは、ADCP(超音

波ドップラー多層流向流速計)、ADCP通信モジュール、地形データ等インターフェース、格子ガス法シミュレーション、流体場可視化モジュール等のサブシステムであるが、これらのシステム設計が可能となるような技術要件を調査検討し、専門家による意見交換を経てシステム概念を構築し取りまとめた。このシステムにより現場の海流を計測するADCPの海流信号をとりこみ計測融合シミュレーションを構成させ、高速な流体解析手法である格子ガス法によるシミュレーション及び海流の3次元表示機能を組み合わせたリアルタイム海流プロファイリングシステムが構成できることとなる。以下に技術検討項目を記す。

a) ADCP 流向流速信号

- ・通信方法と信号処理方法、処理速度の調査
- ・データ補正の必要性和補正方法の調査

b) 広域流体場、気象状況等

- ・データのインポート方法の調査

c) 海底地形等

- ・データのインポート方法の調査

d) 格子ガス法による局所流体場のリアルタイムシミュレーション機能

- ・a),b)の情報を基にした境界条件作成方法の調査と機能確認
- ・c)の情報を基にした計算モデル作成方法の調査と機能確認
- ・リアルタイム可視化用データ作成方法の調査と機能確認

e) 海中作業支援のための表示機能

- ・リアルタイムでの流体場の可視化方法の調査と機能確認
- ・リアルタイムでの俯瞰表示、没入表示方法の調査と機能確認

## ② 模擬シミュレーションの実施と解析・検証

本調査研究では手法の調査と試作を目的としているため、その検証のために使用する参照海流データセットは擬似実測値とし、通常ナビエ・ストークス方程式による流体解析シミュレーションを広域の海況、海流情報及び海底地形データに基づき、選定された海域において実施し参照海流データセットを作成した。次に格子ガス法による参照海流データセットに対応する海域のシミュレーション解析を実施して擬似実測値との比較を行い、その特徴、有効性、適応性、解析手法の改良等について調査研究した。現場でのADCPの信号が模擬的に取得できたとして、模擬実測値と格子ガス法によるシミュレーション解析値との照合、分析を行い、システム概念の構築に反映させた。海流データの実測値、シミュレーション解析値、海底地形データの3次元表示手法についても調査研究した。

以下に技術検討項目を記す。

a) 参照海流データセットの作成

- ・海底地形、広域流体場を想定して入力条件を作成

- ・ナビエ・ストークス方程式による流体解析シミュレーションによる広域流体場の計算
- ・広域流体場の内部に局所流体場である参照海流データセットを設定・出力
- b) 格子ガス法シミュレーション
  - ・参照海流データセットから初期条件、境界条件、特定位置データをインポート
  - ・インポート頻度、インポートデータ点数の調査
  - ・シミュレーションの実施
- c) 可視化
  - ・3次元表示の詳細度と描画速度の調査
  - ・局所流体場の可視化の実施

### ③ 海域試験計画の作成

リアルタイム海流プロファイリング技術及びシステムの有効性を確認するための実海域での海域試験を行うことを計画しているが、このための海域選定、海底地形データの検討、ADCPによる海流データの取得、シミュレーション解析に取り込む現場データ等について調査、検討を行い海域試験計画を作成し、システムの検証につなげることとした。

実施体制については、格子ガス法による流体シミュレーション、ADCP信号を取り入れた計測融合シミュレーションシステムの構築、本システムの海域での実証試験計画の作成、海洋観測への応用例の検討等について専門家数名からなる調査研究委員会を設置し効率よく調査研究を行った。

調査研究の結果について以下のとりまとめを行った。

- ①本解析においては、大域一中域の流速を約1ノット（約0.5 m/sec）に設定した。これはROVの制御において有索による運航制御が難しくなる目安と考えられたためであり、計算条件の設定として考慮したものである。  
また津軽海峡等の海流の流れを文献により調査した結果数ノットの流れが現実にあるのでこれらを考慮した。
- ②本解析においては体系の外の流れを0.5 m/secに設定し、約100 m×100 m×100 mの局所的な海底地形の変化を有する境界領域とした体系を対象とした。
- ③シミュレーション計算においては、最初に上記体系でナビエ・ストークス方程式を解くOpenFOAMのソフトウェアにより解析値を求め、これを参照値として仮想的な流れとして模擬した。
- ④②の条件を基礎として、次に格子ガス法による③下での参照値を格子ガス法による対象空間（参照値空間の中の40 m×40 m×40 m）の体系の中で4隅を既知の流速測定点として与え、格子ガス法によるシミュレーション計算値がその4隅位置で既知の流速に一致

するよう体系内の全計算値を調整（以下、「データ同化」という。）して、検証点における流速分布を求めた。

⑤検証点における流速分布について格子ガス法による計算を行った結果は、ほぼ参照値の傾向を捉えていると考えられ、このシミュレーション計算の時間は示された計算システムの条件において約100分であった。

⑥計算時間については、PCを用いたこと、実用的な観点からは一般にADCPで測定した流速の変化が1時間程度では大きく変化しない場合及び現実にこのような条件がみとされる場合もあり、この結果は実利用の面で大きな問題はないと考えられる。また本解析で用いた計算システムを計算コアの増設、スパコンレベルでの1筐体等を用いる等の工夫により計算パフォーマンスを向上させることは期待され、リアルタイムシミュレーションの見通しは得られたと考えられる。

⑦シミュレーション結果の可視化については、ParaView というソフトウェアを用いて流速表示を3次元で俯瞰する形で表示することが出来た。またこれを動画として取得することを達成した。

より高度な可視化手段として、VR (Virtual Reality:仮想現実)、AR (Augmented Reality:拡張現実)等の適用可能性を検討し、例えば海中作業において没入型のARを使用しダイバーがゴーグルを含めた携帯端末に流速、流向を可視化でき、海底地形とともに表示できる装置概念を提唱した。これらについては、今後の研究開発が必要であるが、技術的には十分可能性があると考えられる。

⑧海域試験計画の策定については、ADCPの適用、海底地形の情報の把握等につき検討を行い、シミュレーション結果の検証についての手法を提案した。小型船による100m×100m×100mの局所的シミュレーションについての実海域の流れとシミュレーション結果、流れの時間的変化とシミュレーション時間との関係を検証することが必要である。今後の海域試験の実施による本システムの有効性の確認が期待される。