

Title	ローカルな海洋における移流解析に適した並列アルゴリズムの開発
Author(s)	上野, 博芳
Citation	
Issue Date	1998-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/1121">http://hdl.handle.net/10119/1121</a>
Rights	
Description	Supervisor:松澤 照男, 情報科学研究科, 修士

# ローカルな海洋における移流解析に適した 並列アルゴリズムの開発

上野 博芳

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

1998年2月13日

キーワード： 数値流体力学, 海洋モデル, 並列計算, 移流解析, 日本海.

## 1 研究の背景

数値流体力学 (CFD: Computational Fluid Dynamics) の研究は、計算機の発達につれて近年急速に進歩し、理学・工学の広範な分野で、流れと流れを伴う現象の解明に役立てられている。特に実験的に再現できない、あるいは測定困難な流れ、たとえば環境アセスメントなどに利用されるケースも多い。本研究のテーマである海洋現象は、太古の昔から漁業など人間社会との関わりが深く、継続的な観測が続けられているが、そのスケールの大きさから、観測によりすべてを把握することは困難である。CFDはこのように測定困難な海洋現象の解析に有用であり、地球流体力学として多くの分野で役立ってきた。

ひとくちに海洋現象といっても、さまざまな時空間スケールとそれに含まれる素過程があり、どのようなスケールに注目するかで予測の方法は異なってくる。初期の1960年代における、ペロニスらの解析的手法による海洋大循環モデルや、近年開発されたプリンストン大学の3次元モデルPOMなど地球規模の外洋を対象にしたモデルから、東京湾、大阪湾、瀬戸内海などの閉鎖性海域やエスチャリーなどに関する報告まで、様々なスケールに対する手法が見られる。一方国内での研究を見ると、特に大阪湾は、関西国際空港建設のための環境アセスメントにおいて盛んに研究されており、堀江らの研究や、3次元多層位モデルを採用した中辻らのODEMがある。

しかし今までのべたスケールの中間スケールといえる、日本海や日本近海の外洋などの陸棚・沿岸域でのローカルな領域の解析は、大阪湾などに比べ数値計算の規模が更に大きくなることもあり、まだあまり行なわれていない。特に日本海は太平洋側と比べ閉じた海域で構造が複雑であり、観測データも少ない。

さて1997年1月、鳥取県沖の日本海においてロシア船「ナホトカ号」が沈没し、流出した重油が日本海沿岸に漂着する事故が発生した。その漂着先は船首部が漂着した福井県三国海岸をはじめ8府県におよび、大きな災害となった。この事故においては、沈没地点および重油の流出状況は比較的早く把握されたが、過去に日本海を対象とした数値解析が行なわれておらず、日本海沿岸への正確な漂着予測は困難を極めた。さらに限られた時間のなかで効果的な対応をとる必要があるため、短時間で正確な流路推定が必要とされた。

そこで、本研究では題名にある「ローカルな海洋」として、「日本海」を対象とする。そしてその研究の目的を、重油流出事故のような突発的な海洋汚染に対して、その漂流予測を行なうためのベースとなる海洋モデルを計算機上に構築し、この海洋モデルに適した並列アルゴリズムを開発して計算の高速化を図る事とした。日本海全体を対象とした数値計算はまだ行なわれておらず、また日本海の構造を把握するには、全体像を解明することが是非必要である。さらにこの日本海モデルが構築されていれば、領域内のどこで事故が発生しても漂流予測が可能となる。

## 2 日本海のモデル化と並列化

モデル化する際の前提条件は、海水は非圧縮、静水圧近似、ブシネの近似などの仮定を用い、流れは外部要因による barotropic 流れと内部要因による baroclinic 流れが重畳、さらに風の影響を考慮に入れるなどである。基礎方程式系として、質量と運動量、温度および塩分の保存則からナビエ・ストークス方程式と温度・塩分の拡散方程式を得る。baroclinic 流れについては、これらを leap-frog法を使って離散化して陽的に解いた。barotropic 流れには流れ関数を導入し、空間9点差分で離散化して前処理付き CG法を使って解いている。

次に、この海洋モデルを使って日本海モデルを開発し、Cray社製 J90上で1PEによるモデルの検証も含めた予備実験を行なった。標高データは米国 NGDC が公表している ETOPO5 を使用した。その結果、コリオリ力の影響や日本海の地形などはうまく表現することができた。しかし当初目的とした2kmの格子分解能で日本海モデルを構築すると、積分時間1日に対してCPU時間が約96時間、使用メモリが2.2GBと非常に大量の計算時間・メモリを消費することが判明した。

そこでこれらの対応について検討したところ、以下の結論を得た。

- 並列化による計算速度の向上。
- 使用メモリの節約と効率的な海洋モデルの構築のため、ネスティングを導入。

このネスティング手法とは、計算領域について粗い分解能で計算を行ない、その結果をより細かい部分領域に対して境界条件として採り入れることで、目的とする部分領域の詳しい解析結果が得られる。小さなモデルを繰り返して解くことで効率的な計算が行なえる。

並列化は一般的な手法である領域分割法を用い、baroclinic流れを陽的に解いている部分(並列領域と呼ぶ)を対象とした。3次元のデータ構造を持つ本モデルを緯度方向に

沿って分割し、ある幅を持った同一緯度の格子点列をグループとする。プロセッサ毎にこのグループを割り当て、マルチタスクで並列領域を実行する。並列コードの実装には MPI を用いた。直方体モデルを用いた性能実験を Cray 社製 T3E 上で行ない、16PE 時に速度向上比 7.55 が得られた。

### 3 実験と考察

ネスティングを前提として、目標分解能の 4 倍の格子分解能をもつ海洋モデルを構築し、これに検討を加えた。外的要因をコリオリ力のみとし、温度分布を与えると、地形による中規模渦の発生が見られた。

次に対馬諸島西水道において境界条件を設定し、対馬海流の再現を試みた。日本海南部に海流が流れ込み前線が形成される様子や、富山湾へ海流が流れ込む状況は見られたが、日本列島に沿って北上する対馬海流第一分流は再現できなかった。これは渦動粘性係数に一定値を採用しているためと考えられる。これが一定値のためサブグリッドスケールの乱流がうまく表現できない。

さらに風の影響について検討した。風速 5m/s 程度では、海水面の流れへの影響は少ないが、10m/s になると風に起因される吹送流が支配的となる。またこのモデルの場合、海流などの外的要因が取り込まれたため、流れ関数を解く段階で収束状況が悪化し、反復回数が増加して計算時間が大きくなった。

### 4 今後の課題

現時点は、日本海の基礎的なモデルを計算機上に構築した段階でしかない。今後さらにモデルの精度向上と計算の高速化に取り組む必要がある。前者としては

- 乱流モデル（例えば SGS 粘性係数）の導入による海流や冷水塊移動の再現。
- ネスティングの実装。
- リモートセンシングの応用による、精度向上。
- 漂流解析の実装

などが挙げられる。

また後者としては、直列処理のままである前処理付き CG 法の並列化などである。