

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 27 日現在

機関番号：82627

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26740033

研究課題名(和文) 質量保存流速場モデルを用いた沿岸海域の海流場予測手法の開発

研究課題名(英文) A New Model for Generating Mass-Consistent Ocean Current for Coastal Sea Areas

研究代表者

浅見 光史 (ASAMI, Mitsufumi)

国立研究開発法人 海上技術安全研究所・その他部局等・主任研究員

研究者番号：80446591

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：従来気流場の予測のみに使用されていた、空間スケールの大きな流れ場を迅速に解くことが特徴的な質量保存流速場モデルを用いて、沿岸海域を含む海流場を、極めて計算負荷が小さく且つ実用的精度で予測できるようにした。従来、経験的に設定していた流動の安定性を示す流速重み係数については、最適化計算手法を用いて最適値を推定する方法を導入した。沿岸海域に特徴的な、潮流及び河川の流入による海流場の変化を考慮した。本研究で開発した手法を用いて推定した海流を、詳細な再解析海流データであるJCOPE-tを用いて検証した。その結果、本研究で開発した手法による推定値は、詳細な海流データをほぼ再現することを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Mass-consistent models have some disadvantages, because they have difficulty representing flows accurately in data-sparse regions as oceans. Mass-consistent ocean current for coastal sea areas depends on several parameters that arise in various stages of calculation process; the construction of the initial current field using horizontal interpolation of the current data, and the stability parameter which allows from a strictly horizontal current adjustment to a vertical current. In general, the values of all of these parameters are based on empirical laws. This work is the estimation of these parameters using genetic algorithms, such that some of the current velocities, which are given by current data as Japan Coastal Ocean Predictability Experiment (JCOPE). The modified current field has more reasonable trajectories and magnitudes than a simple interpolation of the current data.

研究分野：放射性物質大気海洋拡散

キーワード：質量保存流速場モデル 海流推定手法 MASCON

1. 研究開始当初の背景

質量保存流速場モデル(MASCON: MASs-CONSistent flow simulation model)¹⁾は、風況等の流れ場を予測するモデルのひとつである。地球流体力学(GFD)モデルのように流体運動の支配方程式を数値解析するのではなく、流域内の数力所で観測された流速値(u_0, v_0, w_0)から、質量保存則を満足するように、任意座標上での内挿値(u, v, w)を求める方法である。具体的には、内挿値に含まれる誤差を修正するために、質量保存則を満たすように設計された式

$$\epsilon = \iiint_{x,y,z} dx dy dz \left[\alpha_1^2 \cdot \{(u - u_0)^2 + (v - v_0)^2\} + \alpha_2^2 \cdot (w - w_0)^2 + \lambda \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right] \quad (1)$$

で表される汎関数を、最小とるようにして流速を求める。式(1)において、 λ はラグランジュの未定乗数、 α_1, α_2 は流動の安定度を示す流速重み係数である。MASCON では、運動量保存則を考慮しないため、CFD(数値流体力学)による計算と比較して、空間スケールの大きな計算対象の流れ場を迅速に解くことができる。この特徴は、環境アセスメント、例えば、将来計画される大規模な開発事業等が環境にもたらす影響を事前に調査する用途に適している。実際の環境アセスメントでは、将来開発の予定される建造物の位置や規模を予測して、評価モデルを複数構築して行われることになり、計算負荷の大きい大気や海洋の流動場計算は、できるだけ短期間で実用的な精度が得られる手法が望ましいからである。そのため、大気中における汚染物質拡散の環境アセスメントでは、実際にMASCONの使用実績が数多くある。よく知られた例としては、東京電力福島第一原子力発電所の事故時に使用された、原子炉施設から放射性物質が放出された場合の物質濃度を予測する緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム(SPEEDI)²⁾がある。

一方、海洋の流動場計算においては、MASCON は従来使用事例がない。この根底的な理由として、海流の定点観測データ自体が気流の観測点と比較して圧倒的に少ないことが挙げられる。これは、定点観測が比較的容易で、データ取得が定期的に行われている気流とは異なり、海中は固定点がないため定点観測が困難な上、観測自体が困難であることが理由である。このように、現在においても定点観測が困難な中、2001年から、数値海洋変動予測実験(JCOPE)³⁾により、日本沿岸域での流況を数値予測する方法が検討されてきた。JCOPEは、海洋力学モデルに基づく数値計算と観測データを同化することで行われる。このJCOPEにより提供される海流予

測データを、大気流動予測の場合の観測データと置き換え、上述のMASCONで取扱うことにより、海流場の予測が可能になる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、従来気流場の予測にしか使用されてこなかった、空間スケールの大きな流れ場を迅速に解くことが特徴的な質量保存流速場モデルを用いて、沿岸海域を含む海流場を、短期間且つ実用的精度で予測できるようにすることにある。この目的のために下記事項を実施した。

- ・ 質量保存流速場モデルによる流速予測結果に与える影響が大きく、従来半経験的にしか決める手段のなかった、流れの安定度を示す流速重み係数の最適値を求める方法を提案して、係数の持つ不確かさを最小化し、流速予測精度を向上させる
- ・ 海洋の環境アセスメントにおいて重要な沿岸部の海流予測を、短期間で実用的な精度が得られるようにするために、質量保存流速場モデルに河川からの淡水流入及び潮汐効果を導入する

MASCONで取扱う汎関数には、水平方向と鉛直方向の流動場がもたらす流れの安定度を表す、流速重み係数(式(1)中の α_1, α_2)が与えられる。流れの安定度は、[水平方向の重み係数]/[鉛直方向の重み係数]の比で表現され、この比が大きいと鉛直方向の流れが支配的となり、比が小さいと水平面での流れが支配的になる。大気流動については、MASCONでの予測結果と測定結果の比較研究が数多く行われており、大気安定度の設定がMASCONの予測結果に大きく影響することが知られている。海流でも同様に、流れの安定度の設定が予測結果に大きく影響すると考えられる。また、大気の流動場予測では、大気安定度の半経験的な設定手法が提唱されており、この手法を用いることで、実用的な解析結果が得られるようになっている。一方、海流予測では、従来MASCON自体が使用されていないので、流れの安定度の検討も全く行われていない。加えて、大気の流動場予測の手法も経験的なもので、最適化されたものとは言い難い。MASCONを用いた海流の推定手順については、次の3.で述べる。海流の推定にあたり、半経験値に代わる流れの安定度を求める手法についても検討した。

3. 研究の方法

MASCONを用いた海流の推定手順

MASCONを用いた海流の推定手順を図1に示す。MASCONに使用される各種パラメータの最適値を推定する方法を確立する。計算に使用する海流の初期値は、数値海洋変動予測実験により提供される海流予測データ(JCOPE2: 日本南岸の1/9度(約9km)格子に対応)³⁾を使用した。このデータの3次元格子点への補間を、質量保存則を満たすようにする客観解析を、で行う。

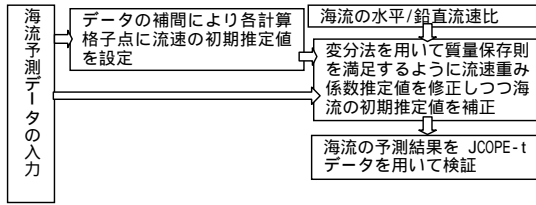


図1 MASCON による海流の推定手順

海流予測データの3次元格子点への補間重み付き補間法を用いて、客観解析に必要な座標の JCOPE2 の初期推定値を求める。JCOPE2 でデータが提供される座標と、求めたい座標間の距離で流速を重み付けし、これを重みの総和で除したものを初期推定値とした。内挿には、距離の2乗に従って指数関数的に減衰する荷重係数を仮定した²⁾。重み付き内挿式は次式で表わされる。

$$\phi(x, y, z) = \frac{\sum_{n=1}^N \Phi_n W_n}{\sum_{n=1}^N W_n} \quad (2)$$

ここで、 $\phi(x, y, z)$: 内挿値、 Φ_n : 観測点での観測値、 W_n : 観測点 n に対する荷重係数、 N : 観測点数である。荷重係数 W_n は、2点間の水平距離 r_n に関する荷重係数 $W(r_n)$ 、2点間の高度差 h_n に関する荷重係数 $W(h_n)$ の積であるとした。

$$W_n = W(r_n)W(h_n) \quad (3)$$

この荷重係数は、質量保存則を満足するようにする客観解析の段階で最適化される係数の一つであり、で行われる客観解析で最適値に改訂される。

流速重み係数の初期推定値

MASCON の汎関数の停留値問題を解く際に関数内にあらわれる、流速重み係数の初期推定値を求める。比[水平方向の重み係数 α_1]/[鉛直方向の重み係数 α_2]は流れの安定度を示す。図2に示されるように、この比が大きいと鉛直方向の流れが支配的、比が小さいと水平面での流れが支配的となる。

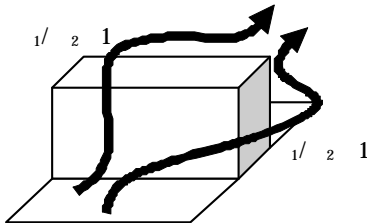


図2 安定度の違いによる矩形物体周辺の流動場

海洋を対象とした場合、水平方向の広がりが鉛直方向よりもはるかに大きいこと、海水の安定度が大きいことから、水平方向の拡散係数は垂直方向の $10^2 \sim 10^4$ 倍大きい。この値を鉛直方向と鉛直方向の流速比として、流速重み係数の最適値を求める際の初期推定値として用いた。

沿岸海域モデルの MASCON への反映

潮流の方が海流より卓越する沿岸海域においては、精度の高い潮流変動値を求める必要がある。本研究では、惑星間の引力発生機構に基づく日本周辺海洋潮汐流速モデル(NAO99Jb_vel model 短周期16分潮、解像度5分⁴⁾)を用いて、必要な位置座標における予測時間及び時間間隔計算で得られた潮流値を計算して海流成分に潮流成分を重ね合わせ、質量保存則が満足するように MASCON で海流予測を行った。

質量保存流動場の客観解析

得られた海流予測データ及び流速重み係数の初期推定値を用いて、汎関数(1)の停留値を求める。推定値と予測データ値の間の適合度は、式(4)に示す平均相対誤差で評価した。

$$F(\alpha_1, \alpha_2) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \frac{|v_n - v(r_n)|}{|v_n|} \quad (4)$$

ここで、 $v(r_n)$: MASCONで得られた位置 r_n における流速、 N : 観測点数である。適合度は、流速重み係数の初期推定値をパラメータとして評価する。最適化手法は、局所最適性の問題の発生しない、大域的最小値の検索に適した遺伝的アルゴリズム法⁵⁾を使用した。流速重み係数の最適化に際して、参照データとして、日本縁辺部を包含する $1/36$ 度の超高解像度のデータである JCOPE-t¹⁾を用いた。

4. 研究成果

2015年5月1日から5月31日までの JCOPE 2 データの再解析値の平均値を用いて、MASCON による海流の推定を行った。推定した海流を JCOPE-t データの平均値と比較するために、MASCON の格子間隔を JCOPE-t データに合わせて計算した。流速重み係数は、求めた最適値を使用した。計算領域は、緯度(北緯)35-37.5°、経度(東経)141- 141.5°である。

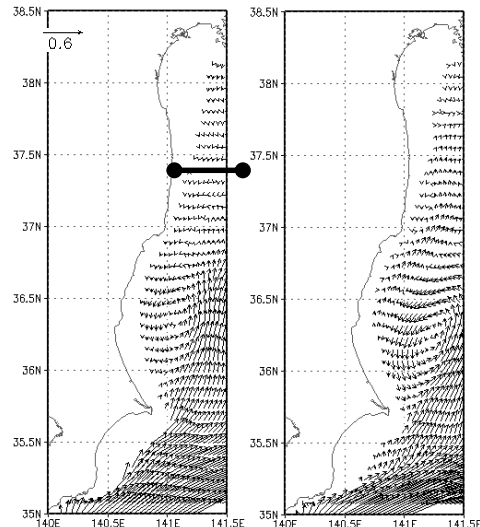


図3 水深10mにおける海流 (左) MASCON による推定値、(右) JCOPE-t

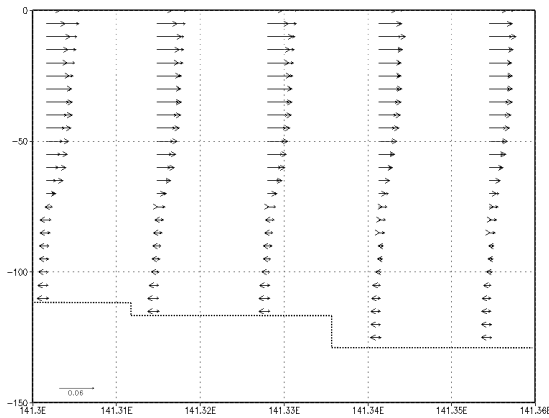


図4 北緯 37.4°鉛直断面における深度方向に対する海流(南→北)分布
(大) MASCON による推定値、(小) JCOPE-t

MASCON によって推定された海表面から 10 m の深さにおける海流場(単位: m/s)を図 3 に示す。図の領域では、黒潮と親潮の衝突により発生する渦を確認できる。また、福島第一原子力発電所と同緯度(北緯 37.4°、図 3 に示す太線)での鉛直断面における深度方向に対する海流を図 4 に示す。図 4 から、この領域では、水深に従い海流がほぼ単調減少していることがわかる。なお、水平方向、鉛直方向とともに、MASCON による推定値が JCOPE-t の結果をほぼ再現できている。また、式(4)に示す平均相対誤差は、 $F = 0.2$ である。

使用した福島沖の質量保存流速場モデルを用いて予測した海流場については、海洋へ放出された放射性核種の海洋中移行計算⁶⁾で使用している。福島第一原子力発電所の事故後、海表面へ直接放出された放射性核種は、海水を経て一部が海底に堆積した。海洋中の核種移行モデルを用いて堆積物内部に形成される放射性核種濃度分布を評価した結果、実測値の最大値が再現できた⁷⁾。放射性核種が海洋中を移流拡散して海底堆積物近傍に到達するまで、核種は海流とともに移動する。この結果は、間接的ではあるが、質量保存流速場モデルを用いた予測海流場の妥当性を示唆するものである。

参考文献

- 1) M. H. Dickerson: MASCON - A mass consistent atmospheric flux model for regions with complex terrain, *J. Appl. Meteor.*, 17, 241-253, 1978.
- 2) M. Chino and H. Ishikawa: Experimental Verification Study for System for Prediction of Environmental Emergency Dose Information; SPEEDI(I), *J. Nucl. Sci. Technol.*, 25[9], 721-730, 1988.
- 3) Kagimoto, T., Y. Miyazawa, X. Guo, and H. Kawajiri: High resolution Kuroshio forecast system -Description and its applications-, in *High Resolution Numerical Modeling of the*

Atmosphere and Ocean, W. Ohfuchi and K. Hamilton (eds), Springer, New York, 209-234, 2008.

- 4) K. Matsumoto, T. Takanezawa, M. Ooe: Ocean Tide Models Developed by Assimilating TOPEX/POSEIDON Altimeter Data into Hydrodynamical Model: A Global Model and a Regional Model around Japan, *J. Oceanogr.*, 56, 568-581, 2000.
- 5) D. Levine: Users Guide to the PGAPack Parallel Genetic Algorithm Library, Argonne National Laboratory, ANL-95/18, 1996.
- 6) 浅見, 岡, 小田野: 放射性核種の海底堆積量推定手法の高度化; 海底堆積物の粒度組成の影響, 2014 年秋の大会予稿集, O07, 2014.
- 7) 浅見, 岡, 小田野: 海底堆積物内における移動を考慮した海水-堆積物間の核種移行相互作用モデルの構築とその評価, 2015 年海洋理工学会一般講演, 2015.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計 6 件)

浅見光史、岡秀行、小田野直光、海底堆積物内濃度分布形成過程を考慮した海水・堆積物間の核種移行相互作用モデルの構築とその評価、日本原子力学会 2015 年秋の大会(静岡大学)

小田野直光、大西世紀、鎌田創、浅見光史、平尾好弘、岡秀行、浦環、Blair Thornton、長尾誠也、海域における放射性物質の分布状況に関する調査研究(1) 研究計画及び成果の概要、日本原子力学会 2015 年秋の大会(静岡大学)

浅見光史、岡秀行、小田野直光、海底堆積物内における移動を考慮した海水-堆積物間の核種移行相互作用モデルの構築とその評価、海洋理工学会平成 27 年度秋季大会、2015

浅見光史、岡秀行、小田野直光、質量保存流速場モデルを用いた沿岸海域の海流場予測手法、海洋理工学会平成 27 年度秋季大会、2015

小田野直光、Blair Thornton、大西世紀、鎌田創、浅見光史、平尾好弘、浦環、海域における放射性物質の分布状況の把握、日本海洋学会 2016 年度春季大会、2016

浅見光史、岡秀行、小田野直光、放射性物質の海底堆積量推定手法の高度化: 海底堆積物の粒度組成の影響、日本原子力学会 2014 年秋の大会(京都大学)、2014

[その他](計 3 件)

平成 26 年度海域における放射性物質の分布状況の把握等に関する調査研究事業

<http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/11000/10925/view.html>

平成 27 年度海域における放射性物質の分布状況の把握等に関する調査研究事業

(掲載予定)

海域における放射性物質の濃度分布調査および海底土中の放射性物質濃度の推定方法

https://www.nmri.go.jp/institutes/marine_risk/safety_system_tech/mailnews0226.html

6 . 研究組織

(1)研究代表者

浅見 光史 (Mitsufumi ASAMI)

国立研究開発法人海上技術安全研究所・

その他部局等・主任研究員

研究者番号：80446591