

# 水産資源研究のための 粒子追跡シミュレーション結果比較のためのインタフェース

根本 利弘<sup>1</sup> 五十嵐 弘道<sup>2</sup> 淡路 敏之<sup>2</sup> 喜連川 優<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東京大学 地球観測データ統融合連携研究機構 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1

<sup>2</sup> 海洋研究開発機構 地球情報研究センター 〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町 3173-25

<sup>3</sup> 東京大学 生産技術研究所 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1

E-mail: <sup>1,3</sup> {nemoto,kitsure}@tkl.iis.u-tokyo.ac.jp, <sup>2</sup> {higarashi, awaji}@jamstec.ac.jp

**あらまし** 水産資源研究のための粒子追跡シミュレーションの結果比較のためのインタフェースについて説明する。アカイカなどの卵稚仔は、産卵後約1ヶ月間は自走せずに潮流により浮遊するのみであり、その間の海水温などの環境条件により卵稚仔の生残が決まると考えられている。卵稚仔を粒子として扱い、海洋再解析データ等による流速データを利用して粒子追跡シミュレーションを行い、産卵後に卵稚仔が経験する環境条件をトレースすることにより、水産資源の変動の解明に大きく貢献することが期待されている。本稿では、複数の粒子追跡シミュレーション結果を比較するためのユーザインタフェースについて詳細に説明する。

**キーワード** 粒子追跡シミュレーション, 相互比較, ユーザインタフェース

## User Interface for Comparison between Particle Tracking Simulation Results for Marine Fisheries Research

Toshihiro NEMOTO<sup>1</sup> Hiromichi IGARASHI<sup>2</sup> Toshiyuki AWAJI<sup>2</sup> and Masaru KITSUREGAWA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Earth Observation Data Integration and Fusion Research Initiative, The University of Tokyo  
4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo, 153-8505 Japan

<sup>2</sup> Data Research Center for Marine-Earth Science, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology  
3173-25 Showa-machi, Kanazawa-ku, Yokohama City, Kanagawa, 236-0001 Japan

<sup>3</sup> Institute of Industrial Science, The University of Tokyo 4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo, 153-8505 Japan  
E-mail: <sup>1,3</sup> {nemoto,kitsure}@tkl.iis.u-tokyo.ac.jp, <sup>2</sup> {higarashi, awaji}@jamstec.ac.jp

**Abstract** User interface for comparison between particle tracking simulation results for marine fisheries research will be explained. Eggs and paralarvae drift on the tide for about a month after their spawning. It is considered that their survival depends on the environmental conditions such as the seawater temperature. Simulating the eggs and paralarvae as particles and trace their tracks of the environmental conditions using velocity field data by the ocean reanalysis model output or the observation help clarifying the change of marine fisheries. In this paper, we explain the user interface for particle tracking simulation results in detail.

**Keyword** Particle Tracking Simulation, Intercomparison, User Interface

### 1. はじめに

近年、水産資源の変動が大きな問題として取り上げられるようになってきた。しかしながら、例えば、アカイカは日本の水産資源の中核をなす魚種であるが、その漁獲量の変動要因は完全には解明されていない。アカイカの卵稚仔は産卵後約1ヶ月間は自走することができず、潮流により浮遊するのみであり、その間の生残は海水温などの環境条件により決定すると考えられているが、太平洋上に浮遊する卵稚仔を実際に捕らえて観測することは極めて困難である。一方、卵稚仔

を粒子とみなし、海洋再解析データや衛星による観測データによる流速データを用いてシミュレーションにより粒子の追跡を行い、環境条件をトレースすることにより、卵稚仔の生残の推定を行い、漁獲量の予測を行うことができる。予測精度を向上させ、漁獲量の変動要因の解明のためには、粒子追跡シミュレーションの初期条件、卵稚仔の生残の環境条件を変更しつつ、繰り返し粒子追跡シミュレーションを行い、その結果を相互に比較し、解析を行う必要がある。このような背景の下、我々は、粒子追跡シミュレーションの初期

条件入力，シミュレーションの実行，シミュレーション結果の可視化，複数のシミュレーション結果の比較を容易に行うことができるシステムの構築を行っている．本稿では，この粒子追跡シミュレーションシステムについて，複数のシミュレーション結果の比較を主目的としたユーザインタフェースを中心に説明を行う．

## 2. 粒子追跡シミュレーション

本システムにおける粒子追跡シミュレーションでは，初期条件として，粒子追跡開始時刻，分布領域および粒子密度を指定する．分布領域内の各格子点に粒子密度によって指定された粒子数を配置し，これを初期粒子位置とする．流速場データを参照し，各粒子の位置，時刻における流速より，一定時間後の位置を計算により求める．この操作を繰り返すことにより，時刻，粒子番号（ID），緯度，経度の系列によって表現される各粒子の軌跡が出力される．一定時間後の粒子位置を計算する際には，拡散の効果を抑える際に乱数を用いている．このため，粒子を統計的に扱い，シミュレーション結果の精度を向上させるために，初期粒子位置において，各格子点に複数の粒子を配置可能としている．求められた粒子の軌跡について，各粒子が経験した環境情報を付与するため，それぞれの時刻，緯度，経度における海面温度，クロロフィル-a濃度などの環境場データを参照し，各粒子の軌跡に沿った環境場情報を出力する．粒子と見立てられた卵稚仔の生残は，各粒子の環境場情報に基づき判定する．生残条件は，上限値，下限値により指定され，設定された生残条件の範囲から外れた粒子はその時点で死滅したとみなされる．粒子追跡開始時刻からその時刻までの間，全ての時点で生残条件に合致した粒子のみがその時刻での生残粒子であると判定する．

粒子追跡シミュレーションに用いる流速場データ，環境場データは，観測対象とする領域，期間において密であるデータでなければならない．このため，衛星によって観測されたデータや，海洋モデルに対して観測値の同化を行った再解析データが用いられる．

## 3. 要求される機能

### 3.1. 結果比較機能

粒子追跡シミュレーションによる漁獲量予測の精度向上のために，さまざまな条件のシミュレーションが実行され，その結果が比較検討される．シミュレーション結果の比較の組み合わせは多岐にわたるが，主として行われるものとしては，使用する流速場データが異なる場合の比較，使用する環境場データが異なる場合の比較，生残条件が異なる場合の比較，粒子追跡開始時刻が異なる場合の比較があげられる．

### 3.1.1. 使用する流速場データが異なる場合の比較

粒子追跡シミュレーションでは，流速場データとしては，衛星によって観測されるデータ，および海洋モデルによる再解析データが使用される．衛星による観測では，直接流速が計測されるのではなく，海面高度計によって測定された海面高度データをもとに流速の時間変動成分が導出されるが，その絶対値については十分な精度で求めることは困難である．また，時間的な解像度も高くない．一方，海洋モデルによる再解析データについては，様々な海洋モデルや同化手法が提案されているが，いずれも，今日の計算機の能力による限界より，空間的解像度を高めることが困難であり，実際の海洋上で発生している渦などが十分に再現できていない．流速場データとしてさまざまな海洋モデル出力データが利用可能であるが，その精度，解像度において絶対的なものはなく，使用する流速場データによって粒子追跡シミュレーションの結果と現実との乖離の度合い，傾向が変化する．このため，使用する流速場データを変えた場合のシミュレーション結果を相互に比較できることが要求される．

### 3.1.2. 使用する環境場データが異なる場合の比較

海水温やクロロフィル-a濃度などの環境場データについても，流速場データと同様に，衛星による観測データや海洋モデルによる再解析データがある．衛星による観測では，様々な衛星によるデータが利用可能であるが，衛星により使用するセンサ，時間的，空間的解像度が異なる．また，衛星が観測する温度は海水面の温度であり，卵稚仔が存在する海中の温度とは必ずしも一致しない．再解析データについても，海洋モデル，同化手法の異なる複数のデータが利用可能であるが，いずれも，流速場データと同様に絶対的なものはなく，使用する環境場データによって粒子の生残が異なることとなり，それらの比較ができることが求められる．

### 3.1.3. 生残条件が異なる場合の比較

生残条件は，全ての魚種について明確に判明しているわけではない．また，生残条件は魚種によって異なる．すなわち，魚種の生残条件の検討，魚種による環境場の影響の検討を行うためには，生残条件をさまざまに変化させて卵稚仔の生残に対する影響を確認可能であることが要求される．

### 3.1.4. 粒子追跡開始時刻が異なる場合の比較

北太平洋のアカイカは，秋生まれ群と冬・春生まれ群の2つの季節発生群に分かれるが，その出現海域は異なっている．この原因として，季節によりアカイカ

の卵稚仔が、産卵後に適水温域に留まれるかどうかの影響しているためであると考えられ、その検証のために季節間の比較が必要とされている。また、漁獲量の年変動の要因の解明も重要な課題であり、このためには、粒子追跡開始年を変えたシミュレーション結果の比較が不可欠である。

### 3.2. その他の機能

#### 3.2.1. グラフ生成機能

粒子追跡シミュレーション結果の解析のためには、粒子の生残率の経時変化や初期位置の依存性などを統計的に見る必要があり、それらの情報をグラフ化して表示する機能が必要とされている。

#### 3.2.2. アニメーション生成機能

シミュレーション結果としての粒子の分布図のスナップショット表示機能に加えて、その時系列画像をアニメーション表示することで、粒子の移動や生残の変化の把握の手助けとなり、時系列画像を動的に表示する機能が要求されている。システム以外でのアニメーション画像の再利用のために、アニメーション画像ファイルとして取得できる必要がある。

## 4. 実装方式

粒子追跡シミュレーションシステムは、WWW を利用して実現されており、システムは、HTTP サーバが稼働し、粒子追跡シミュレーションが実行されるサーバと、Web ブラウザが動作するクライアントによって構成される。ユーザは Web ブラウザを通してサーバに接続し、粒子追跡シミュレーションの実行、シミュレーション結果の管理、結果の解析を行う。ユーザに提供されるページとしては、図 1 内の(a)シミュレーション条件入力インターフェース、(b)シミュレーション結果管理インターフェース、(c-1)、(c-2)シミュレーション結果表示インターフェースの3つがあり、利用者はこれらのページを行き来することで解析作業を行う。

利用者はまず、シミュレーション条件入力インターフェースにより、初期条件を入力し、粒子追跡シミュレーションを実行させる。サーバでは、シミュレーション条件入力インターフェースからのリクエストを受け取り、粒子追跡シミュレーションを実行し、シミュレーションの結果として粒子軌跡データを出力し、さらに粒子軌跡に沿った環境場データを出力する。生残条件を変更するたびごとに粒子追跡シミュレーションを実行することを避けるため、利用可能な全ての環境場データより、環境場情報を出力しておく。また、過去の情報を参照せずに生残判定を可能とするため、環境場情報を出力する際には、その時刻の環境場情報のみでなく、粒子追跡時刻からその時刻までの最大値、最小値もあわせて出力する。クライアント側では、粒子追

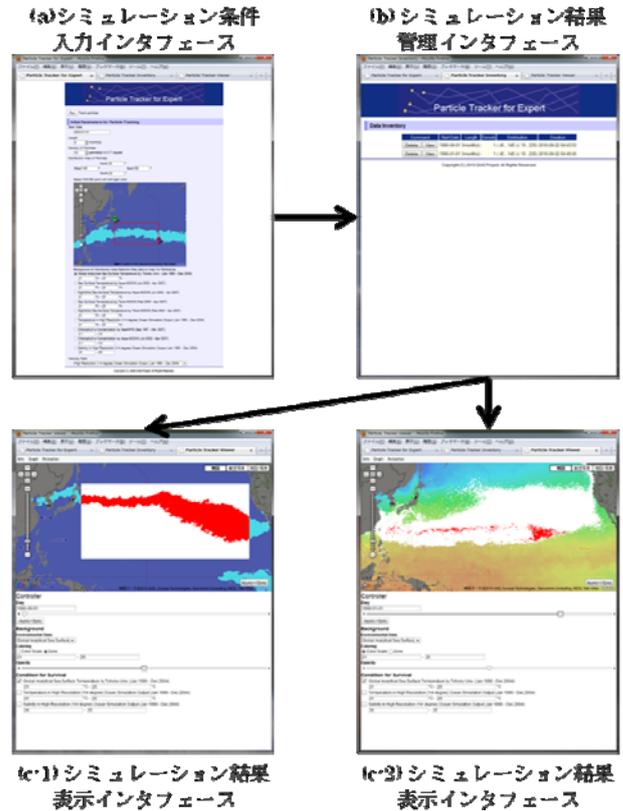


図 1 ユーザインターフェースの全体構成

跡シミュレーションを実行させると、シミュレーション結果管理インターフェースが開かれる。ここでは、既に計算が終了したシミュレーションに加え、実行中のシミュレーションも表示され、起動したシミュレーションが終了したかどうか分かる。シミュレーションが終了すると、シミュレーション結果管理インターフェースにリンクが用意される。このリンクをクリックすることで、選択したデータに対するシミュレーション結果表示インターフェースが開かれる。一つの結果に対して複数のシミュレーション結果表示インターフェースを開くことも可能である。

ユーザインターフェースは、JavaScript および Dojo ツールキットを用いて記述している。シミュレーション条件入力インターフェースおよびシミュレーション結果表示インターフェースは Google Map を利用し、これに環境場データ画像、粒子分布画像を重ねて表示可能としている。このために、クライアントから要求された日付、画像サイズ、緯度、経度、および環境場データ画像の場合には環境データ名に対応した画像を作成してクライアント側に返送する画像サーバを粒子追跡シミュレーションサーバ上に実装した。クライアント上の Google Map から、必要とされる環境場データ画像、粒子分布画像のリクエストが画像サーバに発行され、返送された画像が Google Map に重ね合わせ表示される。このため、背景とする環境場データ、日付などが

変更された場合にはその都度、画像が要求されることとなるが、クライアント側へ全てのシミュレーション結果や環境場データを転送する必要がなくなり、転送量の削減が図られる。

5.4節において述べるシミュレーション結果表示インタフェース間の同期機構は、サーバを介さず、クライアント内の Web ブラウザのみで行われる。JavaScript では、ウインドウを呼び出した親ノードを参照してたどることはできるが、呼び出し先を参照することは容易ではない。したがって、同期機構は以降のように実現した。まず、各シミュレーション結果表示インタフェースの呼び出し元となるシミュレーション結果管理インタフェース内に同期機構のコア部を実装し、シミュレーション結果表示インタフェースは、起動時に親ノードをたどってシミュレーション結果管理インタフェース内の同期機構のコア部に、ウインドウ内の同期させるパーツを登録する。シミュレーション結果表示インタフェースにおいて同期すべきイベントが発生した際には、シミュレーション結果表示インタフェースは同期機構のコア部にイベントを通知し、コア部は受け取ったイベント内容に従って、登録されたパーツを操作することで同期を実現させる。パーツを登録する際に識別子を付与し、同じ識別子でグループが形成され、グループ内のみで同期処理が行われる。1つのパーツを異なる複数のグループに登録することも可能である。

グラフの生成グラフの、アニメーションの生成は、シミュレーション結果表示インタフェースのメニューを選択することで、サーバにリクエストが発行される。サーバ側では、受信したリクエストに従って、グラフ、アニメーション画像を作成し、クライアントに返送する。

## 5. ユーザインタフェース

### 5.1. シミュレーション条件入力インタフェース

粒子追跡シミュレーションの初期条件は、図 2 のシミュレーション条件入力インタフェースを通じて行う。ここでは、粒子追跡開始日、粒子追跡期間、初期粒子配置領域、初期領域における  $0.1^\circ$  格子あたりの粒子数、使用する流速場データを指定する。初期粒子配置領域は、緯度、経度を数値で入力することも、シミュレーション条件入力インタフェース内の Google Map においてマウスによるクリックで指定することも可能である。この Google Map では、粒子追跡開始日における環境場データが表示される。Google Map に表示する環境場データの選択、および上限値、下限値の指定がで

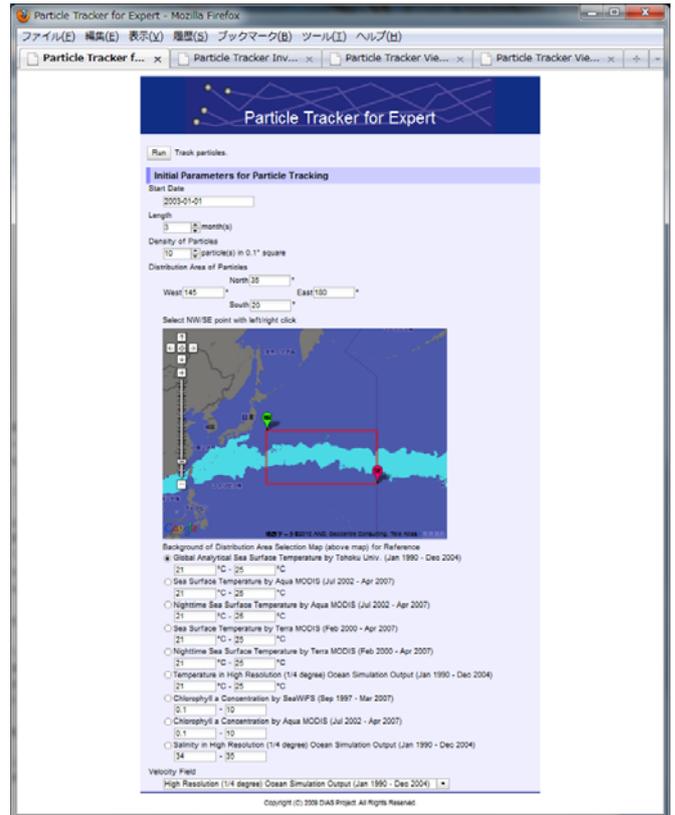


図 2 シミュレーション条件入力インタフェース  
き、その上限値、下限値の範囲内の領域が色づけされた画像が表示される。ここでの環境場データ、および上限値、下限値の指定は初期粒子配置領域を決定する際の参照情報として Google Map に表示するためだけに使用する。粒子の生残の判定のための環境場データの選択、上限値、下限値の指定はシミュレーション結果表示インタフェースにおいて行い、その生残条件に従って、その都度、生残判定が行われる。このため、初期条件として、生残判定のための環境場データの選択、生残条件の入力は不要である。

### 5.2. シミュレーション結果管理インタフェース

粒子追跡シミュレーションの結果データは、サーバ内の利用者領域に格納される。図 3 に示されるシミュレーション結果管理インタフェースでは、利用者が行った粒子追跡シミュレーションについて、シミュレーション条件入力画面によって指定された情報に加えて、粒子追跡シミュレーションの実行日時が一覧表示される。不要となった粒子追跡シミュレーションの結果データの削除もこの画面を通じて行う。またこの一覧において、シミュレーション結果に対するボタンをクリックすることで、シミュレーション結果表示インタフェースが開かれる。

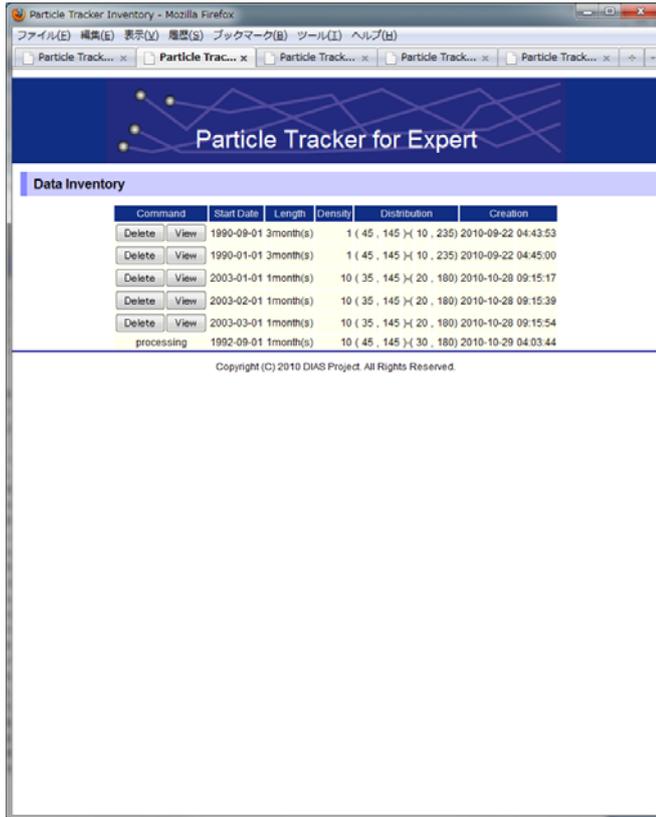


図 3 シミュレーション結果管理インタフェース

### 5.3. シミュレーション結果表示インタフェース

図 4はシミュレーション結果表示インタフェースである。粒子の分布を表示する Google Map が上部にあり、その下部において表示するシミュレーション期間内の日付、背景データ、粒子の生残条件を設定する。シミュレーション期間内の日付は、数値の直接入力、カレンダーからの選択に加えて、スライドバーによっても変更可能である。背景に表示する環境場データはメニューより選択し、その画像化方式として、カラースケールによるものと、上限値、下限値を指定し、その領域とそれ以外の領域を塗り分けた画像が指定できる。また、背景の環境場データ画像は、スライドバーにより透明度が変更可能である。粒子の生残条件は、一覧表示されている環境場データのチェックボックスにより、有効にするかどうかを選択する。各環境場データに対して、上限値、下限値を指定でき、各粒子がシミュレーション開始日から指定日まで、選択された環境場データがその値の範囲内にある粒子を生残しているものと判断する。Google Map 画面においては、各粒子に対して、生残しているものは赤、死滅しているものは白によって表示される。シミュレーション結果表示インタフェースの上部にはメニューバーがあり、そこから、グラフ表示、アニメーション作成が行える。

### 5.4. 相互比較機能

シミュレーション結果表示インタフェース内の

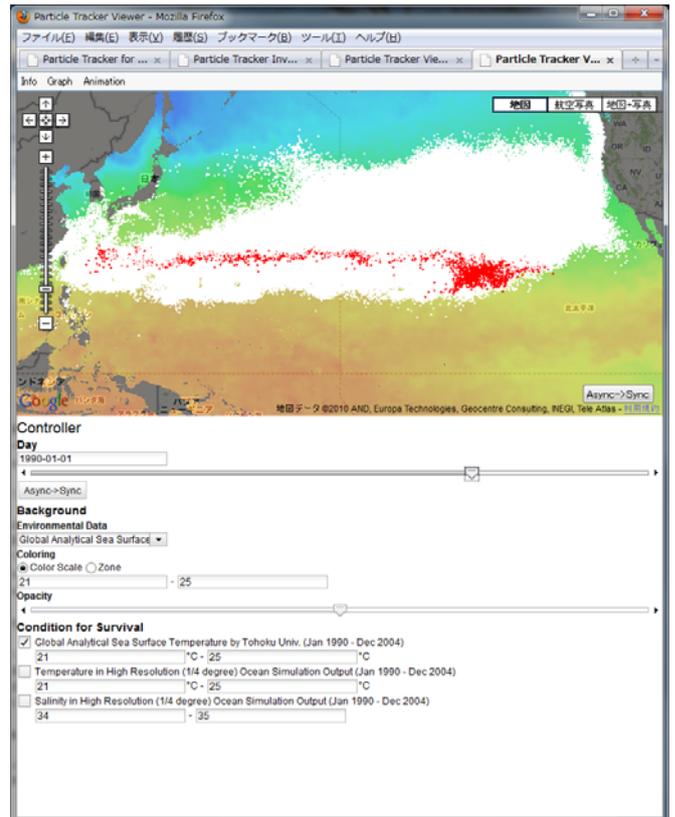


図 4 シミュレーション結果表示インタフェース

Google Map および日付のそれぞれに同期のためのトグルボタンが用意されており、このボタンをオンにすると、このボタンがオンになっている複数のシミュレーション結果表示インタフェースの Google Map の表示地点および日付が同期する。すなわち、1つの画面を操作することで、他のシミュレーション結果表示インタフェースも自動的に変更される。Google Map については、同期トグルボタンがオンにされると、中心地点の位置、ズーム倍率が同じ値をとるように変化する。一方、日付については、同期ボタンがオンになったときのそれぞれの日付の時間差を保持するように変化する。これにより、異なるシミュレーション期間のデータも同期させることができる。さらに、同じシミュレーション結果を表示する画面を2つ用意し、たとえば1日ずらした状態で表示させることで、1日の違いによる変化を見比べることが容易に行えるようになる。

## 6. おわりに

本稿では、粒子追跡シミュレーションの初期条件入力、粒子追跡シミュレーションの実行、シミュレーション結果の可視化、複数のシミュレーション結果の比較を容易に行うことができるシステムについて、複数のシミュレーション結果の比較を主目的としたユーザーインタフェースを中心に説明を行った。今後は、流速場データ、環境場データの整備を進め、多様な魚種へ

の適用を進める。現在のシステムは水平方向のみの取り扱いが可能であるが、鉛直方向成分の取り扱いを可能とすべく検討を進める予定である。また、複数のシミュレーション結果の重ね合わせについても検討を行う。

本研究は、文部科学省による委託研究費「データ統合・解析システム」からの支援を受けて行われた。よってここに謝意を表す。

## 文 献

- [1] T. Ichii, K. Mahapatra, M. Sakai, and Y. Okada, Life history of the neon flying squid: effect of the oceanographic regime in the North Pacific Ocean, Marine Ecology Progress series, vol.378 pp.1-11, March 2009.
- [2] T. Miyama, J. P. McCreary Jr., T. G. Jensen, J. Loschnigg, S. Godfrey, and A. Ishida, Structure and dynamics of the Indian-Ocean cross-equatorial cell, Deep-Sea Research Part II, vol.50, pp.2023-2047, 2003.
- [3] 堀之内武, 西澤誠也, 渡辺知恵美, 森川靖大, 神代剛, 石渡正樹, 林祥介, 塩谷雅人, “地球流体データベース・解析・可視化のための新しいサーバ兼デスクトップツール Gfdnavi の開発,” 電子情報通信学会第 18 回データ工学ワークショップ論文集, D2-8
- [4] Google Maps API - Google Code, [http://code.google.com/intl/ja\\_ALL/apis/maps](http://code.google.com/intl/ja_ALL/apis/maps).
- [5] The Dojo Toolkit, <http://dojotoolkit.org/>.
- [6] 根本利弘, 五十嵐弘道, 淡路敏之, 喜連川優, “水産資源のための粒子追跡シミュレーションインタフェースの作成,” 情報処理学会創立 50 周年記念 (第 72 回) 全国大会, 1K-6.