

# 大気海洋相互作用研究データベース共有システムの構築

京都大学 工学研究科

功刀 資彰

A Web based mutual research collaboration system for atmosphere and ocean interaction database

Tomoaki Kunugi

Kyoto University

In order to grasp and understand the carbon dioxide gas transferred into the sea, a direct numerical simulation (DNS) of turbulent atmospheric gas flows interacted with the sea surface has been carried out and the computational results and the satellite measurement data can be simultaneously visualized by a Web based network collaboration system developed here. The results from this DNS can be applied to the gas transfer modeling at the sea surface of the global climate modeling and the anti-environmental material transport modeling on the earth. Moreover many researchers can conduct the DNS and access the satellite database of the wind velocity and the wave height on the sea surface, and also handle the scientific visualization software through this Web based mutual research collaboration system. This system can provide a real-time steering and tracking simulation/visualization platform for mutual scientific research collaboration not only for the environmental science but also other many scientific and engineering fields.

## 1. はじめに

最近の地球環境問題において、温暖化による温度上昇の予測が課題となっている。この問題は炭素循環の未解決の課題であるいわゆる「Missing Sink」と密接な関係にあり、温室効果をもたらす炭酸ガスの海洋への吸収のメカニズムの解明が非常に重要である。

本研究では、代表研究者が開発した多相流直接数値解析手法である MARS(Multi-interface Advection and Reconstruction Solver)に基づき気液 2 相流の 3 次元非定常シミュレーションが可能な数値解析コードを用いて、大気海洋相互作用で重要な気流による水面の変形・波立ちを伴う乱流自由界面流の数値シミュレーションを実施し、図 1 に示すように数値計算で初めて気液界面での大気海洋間のガス交換係数を算出し、実測値との比較を通して妥当な結果を得た<sup>(1)</sup>。より実際の地球環境場に近い風速場での地球温暖化ガスの海洋吸収機構解明のためには、さらに大規模な計算環境を利用することが必要であり、また、数値シミュレーションの初期風速場の生成や計算結果の妥当性の検証には人工衛星観測によって得られる海上風速場及び有義波高データとの比較が重要であるため、Web を介した大気海洋相互作用研究データベース共有システムを開発した。本システムは、遠隔地にいる研究者が数値解析を共同で実施する場合、各研究者がネットワー

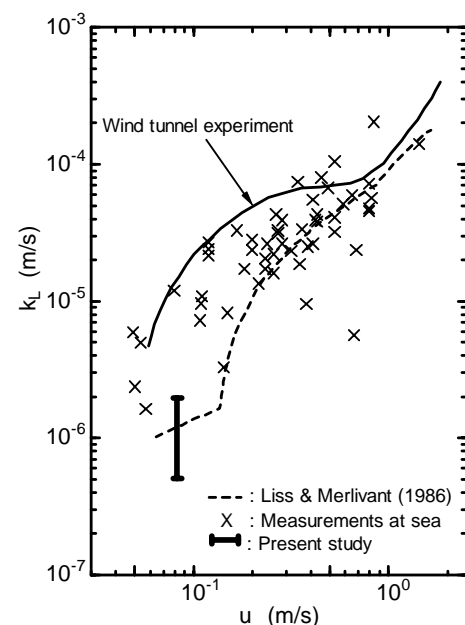


図 1 気液界面でのガス交換係数

た。本システムは、遠隔地にいる研究者が数値解析を共同で実施する場合、各研究者がネットワー

ク上に分散しているコンピュータにアクセスし、プログラムの制御、データの入出力などを行う必要があり、Web ブラウザを通して、遠隔地にある数値解析プログラム、可視化プログラム、衛星データ切り出しプログラム等を制御・連携させる Web システムである。これにより研究者は分散しているプログラムやデータの保管場所を意識することなく一連のシミュレーションを行うことができ、計算結果及び可視化結果の履歴は Web サーバ上で管理されているため、ユーザは、他の研究者が行った計算結果データの参照や再利用を容易に行うことができるようになった。本システムが持つコラボレーション機能では、複数のユーザが同時にシステムを利用することが可能であり、Web ブラウザから他の研究者が実行している計算結果や可視化結果を相互に参照することができ、ユーザ間での情報共有を可能にしている。

## 2. 本研究の概要について

### (1) 大気海洋相互作用数値シミュレーション

代表研究者が開発した多相流直接数値解析手法であるMARS(Multi-interface Advection and Reconstruction Solver)に基づき気液2相流の3次元非定常シミュレーションが可能な数値解析コードを用いて、大気海洋相互作用で重要な気流による水面の変形・波立ちを伴う乱流自由界面流の数値シミュレーションを開始した。平成11年度は、乱流自由界面流の基本的性質を知る目的で界面変形を伴わない場合について、熱物質等のパッシブスカラー輸送を伴う直接数値シミュレーション(DNS:: Direct Numerical Simulation)を実施し、その結果を発表した。その結果、大気海洋相互作用シミュレーションの際に考慮すべき数値解析上の課題を抽出することができ、自由界面に対する新たな境界条件の構想を得た。また、地球温暖化問題で重要となる大気の温度上昇の予測精度を向上させるためには、大気中の炭酸ガスが大気・海洋の界面において如何なるメカニズムで吸収・放出されているか、その速度(率)はどの程度かを正確に把握する必要がある。このため、MARS法による炭酸ガス吸収プログラムを開発し、既存のシミュレーションコードと連成した解析を可能とした。平成12年度は、開発したMARS法による炭酸ガス吸収プログラムを既存のシミュレーションコードと連成した解析を実施し、比較的低風速領域においては、海洋での観測データとほぼ一致する大気海洋間ガス交換速度を予測することができた。この結果については、その方面の専門雑誌であるInternational Journal of Heat and Fluid Flow誌に掲載された<sup>(1)</sup>。平成13年度は、水面の変形・波立ちを伴う乱流自由界面流の数値シミュレーションを実施し、熱物資パッシブスカラー輸送についてもDNSによる検討を進めた。特に、自由界面における波立ちの形成や界面に垂直方向の乱流成分の生成、それと乱流熱流束の関係などについて新しい知見が得られた。得られた結果は、米国地球物理学会編のモノグラフGas Transfer at Water Surfacesに掲載された<sup>(2)</sup>。海表面での波立ちを考慮したDNSによるガス交換係数の予測は世界でも例がなく、MARS法によるDNSの有効性が示されたと同時に、さらに大きな乱流風波場におけるガス交換係数の予測可能性を示せたものと考えている。平成14年度はMARSによる炭酸ガス吸収プログラムをMPIにより並列化し、既存の大気海洋シミュレーションプログラムに組み込むとともに、これを用いた乱流風波DNSシミュレーションの実施、および数値計算結果と衛星データから得られた有義波高データとの比較を行った。

### (2) 大気海洋相互作用研究データベース共有システムプログラム群の開発

本研究では、以下のプログラム群を開発し、大気海洋相互作用研究データベース共有システムを構築した。

- (2-1) AVS/Express 可視化データ共有プラットフォームの構築
  - (2-1-1) 大気海洋シミュレーションプログラムのモジュール化プロトタイプ設計
  - (2-1-2) 大気海洋シミュレーションプログラムの AVS/Express インターフェースプログラム開発
  - (2-1-3) 人工衛星観測データと AVS/Express インターフェースプログラム開発
- (2-2) 大気海洋シミュレーションプログラムのモジュール化プログラム開発
- (2-3) ステアリング・トラッキング制御プログラム開発
- (2-4) 可視化制御プログラム開発
- (2-5) 大気海洋シミュレーション結果データのクライアント配信プログラム開発
- (2-6) 大気海洋相互作用研究データベース共有システムの試験運用
- (2-7) 人工衛星観測による海上風速場および有義波高データベースの構築<sup>(3)</sup>

### 3. システム構成

図2は本システムの全体構成を示している。京都大学のネットワークには、Web アプリケーションサーバ、可視化サーバ及び大気海洋シミュレーション計算サーバが接続されている。また、衛星観測データは東海大学のネットワークに接続されている。衛星観測データはWebサーバを通してWebアプリケーションサーバのデータ更新を随時行っている。

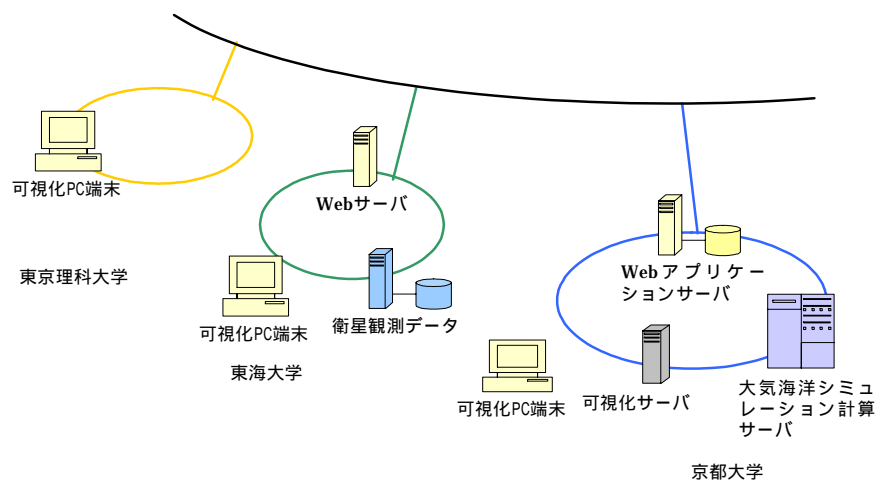


図2 本システムのシステム構成

各サイトの可視化 PC 端末の Web ブラウザから京都大学の Web アプリケーションサーバにアクセスすることで、複数の研究者が同時にシミュレーションプログラムを実行することが可能である。シミュレーション結果は、京都大学の可視化サーバによってリアルタイムに可視化が行われるため、常に最新の結果を評価することができる。シミュレーション及び可視化結果の履歴は、Web アプリケーションサーバによって一元的に管理されているため、ユーザは、他の研究者が実行した計算データをブラウザ上から利用することができる。さらに、シミュレーションの結果の比較検討及び初期場作成に衛星観測データを必要とする場合には、Web アプリケーションサーバが衛星データ切り出しプログラムを起動させ、データの取得及び Web ブラウザ上に表示を行うため、ユーザはデータの保管場所等を意識することなく効率的に解析を進めることができる。また、本システムではプログラムの実行中に途中結果を Web ブラウザでリアルタイムに可視化することが可能で、この計算途中の計算結果を評価して、実行中のプログラムのパラメータを Web ブラウザから変更することも可能である。このステアリング・トラッキングシステムにより、ユーザはプログラムの終了を待たずに、常に最適なパラメータでのプログラムの実行が可能で、本機能によりプログラムの処理時間の大幅な

短縮が実現される。なお、本システムについては、現在、海外を含め特許出願中である<sup>(4)</sup>。

#### 4. ネットワークの活用について

- (1) データベースの Web 上への公開
- (2) Web を用いたトラッキング
- (3) Web を用いたコラボレーション

#### 5. まとめ

本システムを利用することにより、Web ブラウザ上から遠隔地にある各種プログラムの制御・連携ができ、大気海洋シミュレーションプログラムによる一連のシミュレーション、計算結果の可視化及び衛星観測データベースの参照を一元的に行うことが可能となった。さらに、本システムのユーザ管理機能によりユーザ間でのデータの共有及びコラボレーションを行うことができるようになった。本 Web ブラウザのように、プラットフォームに依存しないクライアントから、遠隔地のプログラム群の制御・連携を行うシステムは、今後 Grid コンピューティングに代表される、分散型のネットワーク環境では必要不可欠なものになると考えられる。本システムは、管理する数値解析プログラムを入れ替えることによって、本来の研究テーマである「環境」分野ばかりでなく、他の研究分野へも容易に転用でき、様々な分野の遠隔地共同研究や学際研究の効率的な推進が期待できる。

#### 6. 研究実施体制

氏名：功刀資彰

所属、役職：京都大学大学院工学研究科原子核工学専攻、助教授

研究開発項目：大気海洋相互作用数値シミュレーション、AVS/Express可視化プラットフォームの構築

氏名：久保田雅久

所属、役職：東海大学海洋学部地球環境工学科、教授

研究開発項目：人工衛星観測による海上風速場および有義波高データベースの構築

氏名：佐竹信一

所属、役職：東京理科大学基礎工学部電子応用工学科、講師

研究開発項目：乱流統計解析プログラム群の開発

#### 7. 参考文献

- (1) Kunugi, T., Satake, S. and Ose, Y., " Direct Numerical Simulation of Carbon-Dioxide Gas Absorption caused by Turbulent Free Surface Flow, " Int. J. Heat and Fluid Flow, Vol. 22, pp. 245-251, 2001.
- (2) Kunugi T, and Satake S , " Direct Numerical Simulation of Turbulent Free-surface Flow with Carbon-Dioxide Gas Absorption , " **Gas transfer at water surfaces**, Geophysical Monograph Series Volume 127, Edited by Mark A. Donelan, William M. Drennan, Eric S. Saltzman, and Rik Wanninkhof, the American Geophysical Union (AGU), 2001, pp. 77-82.
- (3) Kako, S. and Kubota, M., " Intercomparison of Various Gridded ERS/AMI Wind Fields, " **Proceedings of the Oceanographic Society of Japan 60th anniversary meeting**, 258, 2001
- (4) 功刀資彰、吉川正晃、 “ 可視化処理システム、可視化処理方法及び可視化処理プログラム ”  
特願2002-14600、出願日平成 1 4 年 1 月 2 3 日(海外へは出願申請準備中)