

Computational Science and Engineering for Global Scale Flow Systems 地球規模流動現象解明のための計算科学

プロジェクトリーダー 金 田 行 雄
名古屋大学 大学院工学研究科 教授

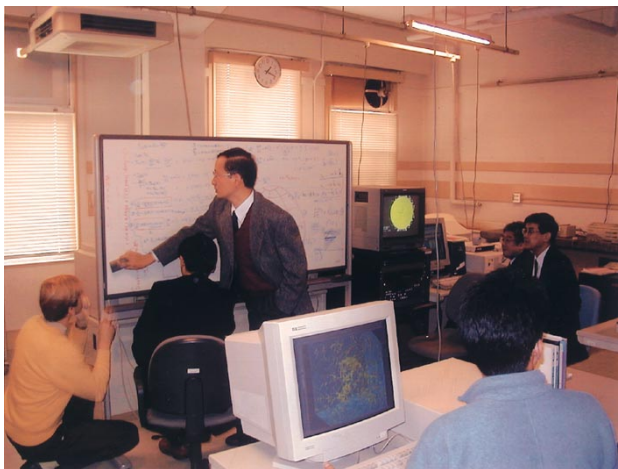
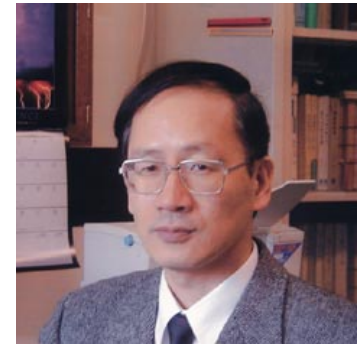


図1．研究討論風景



図2．超並列型コンピュータ

1. 研究の目的

地球規模の気候や環境の変動を支配している様々な流動現象では、しばしばスケールの非常に異なる現象が混在し、複雑に相互作用する多階層複雑流動系が形成される。例えば、大気や海洋の乱流においてはスケール比が10の8乗にも及ぶ巨大渦と微小渦が混在する流れが形成される。また、大気と海面の間のエネルギーや物質の輸送においては系のスケールに比べて極めて小さなスケールの界面のダイナミクスが重要となる。

しかしながら、現在の計算機能力では、直接的な基礎方程式の解析(直接数値シミュレーション; DNS)により解像できるスケール比は3次元の場合高々500程度であり、上に述べた地球規模の流動系を扱うためには、必然的に適切な数理・物理モデルを開発する必要がある。また、大規模な数値シミュレーションを実施することも不可欠である。このとき、現在最も有望とされる超並列型コンピュータの性能を最大限に発揮させる計算技術・アルゴリズムの開発も非常に重要な課題となってくる。

本プロジェクトでは、これらの重要な課題を解決し、桁違いのスケールの混在する地球規模流動現象を解明するための新しい計算科学的方法論を開拓する。これによって、複雑な流動系、とくに、地球環境問題等にかかわって社会的にも重要となってきた地球規模流動系を扱うための計算科学的方法論の基礎が築かれるものと期待される。

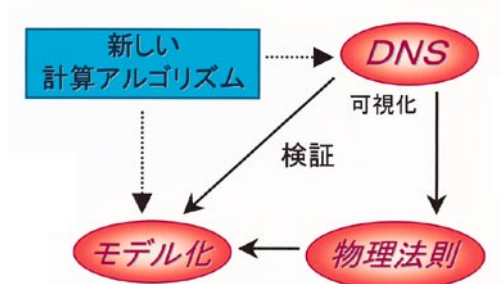


図3．プロジェクト概念図

2. 研究の内容

本プロジェクトでは、数理・物理モデルと計算アルゴリズムの開発グループと、大規模シミュレーション技術開発グループの連携により、地球規模流動現象を計算科学的に解明するための手法を開発する。本研究の特色は、経験則を排し基本物理法則にのみに立脚したモデルの構築、今日的計算機資源を駆使した計算流体力学的手法の展開にある。

具体的な研究内容は以下の通りである：

(1) 数理・物理モデルと計算アルゴリズムの開発

本研究では、とくに球面上の流れを扱う新しい計算アルゴリズム、および恣意的パラメータを含まない乱流の理論あるいは数理・物理モデルの開発を行っている。より具体的には、地球規模流動現象の持つ三つの特質、(A) 回転球面上の流体運動、(B) 成層や回転の効果を含む乱流のダイナミクスと輸送、(C) 多階層性、に着目して研究を進め、またそれに関わる計算アルゴリズム、可視化手法の開発も行っている。乱流のモデル化の手法としては、とくに既存の一点完結近似の枠を越えた乱流のスペクトル理論を検討している。

これまでに、(i) 回転球面上の流体モデル(浅水系および2次元非発散流モデル)に対する超高速数値計算アルゴリズムの開発；(ii) 変換格子数2048x1024の高分解能(世界初)での球面上2次元乱流の直接数値シミュレーション；(iii) 2次元乱流モデル化の基礎となるさまざまな統計法則の解明；(iv) 格子点数1億強(自由度数、数億)の1様等方乱流の大規模直接数値シミュレーションとデータベースの作成、それによる乱流場の構造解析；(v) 強い成層下の乱流拡散へのスペクトル理論の応用；(vi) 乱流輸送係数を求めるための新しい計算手法の開発などの成果を得ている。

(2) 大規模数値シミュレーション

計算科学的手法により地球規模流動現象を解明するためには、精緻な物理・数学モデルの構築と同時に、流動現象を支配する方程式(非圧縮性及び圧縮性ナビエ・ストークス方程式)を全くモデルを用いずに数値的に解く直接数値シミュレーション(DNS)の実装が必要不可欠となり、とくに高精度かつ大規模なDNSを実施する必要がある。また、次世代の科学技術計算の主流を担うと考えられている超並列型コンピュータに対する適合性の高い計算アルゴリズムを開発することは計算科学の分野において非常に大きな寄与をもたらすものと考えられる。そこで、本研究においては、超並列型コンピュータに適合した高精度計算アルゴリズムの開発並びに、高精度かつ大規模なDNSを実施することにより、地球規模流動現象の解明を試みる。そのために、以下の計算アルゴリズム開発及び基礎的大規模数値シミュレーションを実施している。

(図2：超並列型コンピュータ、図5：3次元シミュレーション例、参照)

- (i) 超並列型コンピュータ適合計算流体力学アルゴリズムの開発：高次精度線の方法及び格子ボルツマン法に基づく超並列型コンピュータ適合アルゴリズムの開発並びに適合性・信頼性の検証を行う。
- (ii) 超並列型コンピュータ適合解適応格子アルゴリズムの開発：より信頼性の高い結果を得る(分解能を向上させる)ために超並列型コンピュータに適合した解適応格子アルゴリズムの開発並びに検証を行う。
- (iii) 基礎的な大規模環境シミュレーションの実施：開発した超並列型コンピュータ適合アルゴリズムを用いて、コリオリ力、密度成層等を考慮した地球規模流動現象に関する基礎的な大規模環境シミュレーションを実施する。

3. 研究の体制等

期 間：1997年8月～2002年3月

構 成：プロジェクトリーダー：金田行雄(名古屋大学・大学院工学研究科・計算理工学専攻・教授)、コアメンバー：3名、研究協力者：20名(内ポストドク4名)

実施場所：名古屋大学大学院工学研究科計算理工学専攻(名古屋市中千種区不老町)、および、京都工芸繊維大学工芸学部(京都市左京区松ヶ崎御所海道町)

回転球面上の流れ

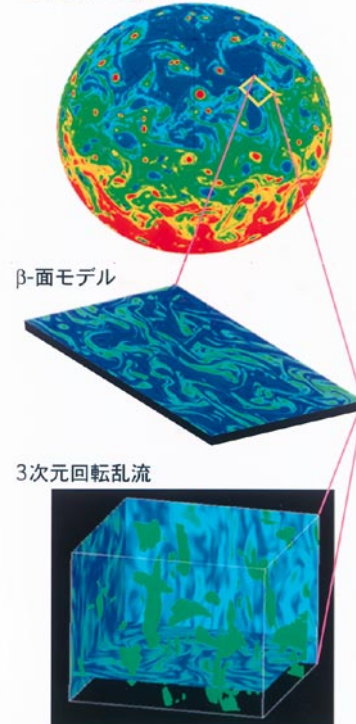


図4. 地球規模流動系の多階層性(シミュレーション結果)

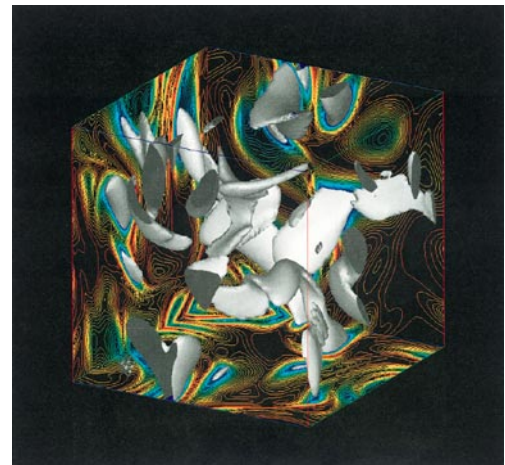


図5. 3次元シミュレーション例