

## 大気流体力学

# 青空の先に果てしなく広がる世界を探り、 地球・惑星の「流れ」の謎と不思議に迫る

スタッフ	教授	廣岡 俊彦
	准教授	三好 勉信, Huixin Liu
	助教	中島 健介

私たちの研究室では、高度およそ 500km くらいまでの大気に関わる力学、電離圏中の電離大気の力学や地球流体の力学について調べています。

### 大気力学

高度 500km までの大気は、気温の高度方向の変化傾向により、地表から高度 10km くらいまでの対流圏、そこから高度 50km くらいまでの成層圏、さらに 90km くらいまでの中間圏、さらにそれより上の熱圏という 4 つの大気領域を含みます。その中で、高度約 10–110km の大気領域は、その上下の大気と異なる様々な特徴を有し、中層大気と呼ばれています。この領域では、水蒸気が極めて少なく、対流圏のような「雨かんむり」の現象はほとんど存在しません。その代わりに、オゾン層とその紫外線吸収による加熱効果、並びに下層の大気で励起され、選択的に伝播して来た広い時間・空間スケールを持つ大気波動の存在により、中層大気固有の様々な興味深い現象が生起しています。また、それより上の熱圏には、大気成分の一部が電離した電離圏が存在し、電離していない中性大気成分との相互作用、中層大気より伝播してきた波動や、さらには様々な時間スケールで変動する太陽活動の影響を受け、激しく変動する現象が数多く存在します。以下では、私たちの研究の中から、中層大気の大気予報、高度 100km 付近の熱圏下部の流れのシミュレーション、高度 400km 付近の熱圏域波数 4 型構造について説明します。

#### (1) 中層大気の大気予報

中層大気中には「成層圏突然昇温現象」と呼ばれる、成層圏極域の気温が数日のうちに 40–50°C も上昇する現象があります。

図 1 は、ある年の冬季における極域の気温変化の観測(赤線)と、その予報(黒細線)結果について示しています。12 月の半ばから下旬(12 月 25 日頃)にかけて 40 度以上の昇温が見られるのが突然昇温です。黒細線のスタート時期(上図では 12 月 5 日、下図では同 10 日過ぎ)が予報の開始で、ここでは少し条件を変え、いくつもの予報を実施しています。上図ではどれも昇温をうまく予報できていませんが、下図では全てがうまく予報できています。したがって、この事例では 2 週間も前から予報が成功したことになり、対流圏よりも予報期間はずっと長いといえます。なぜこのように長いのが、今後明らかにすべき課題です。

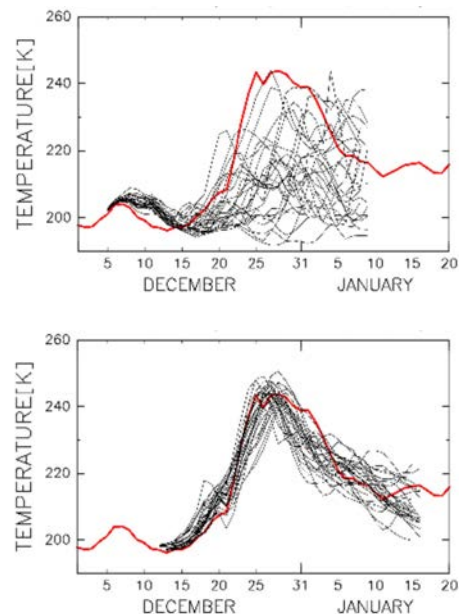


図 1. 高度約 30km 付近の北緯 80 度における気温変化(K)。赤線が観測、黒線が予報。上図は 12 月 5 日、下図は 12 月 12 日の観測値からの予報結果。

## (2) 下部熱圏の流れのシミュレーション

私たちの研究室では、独自に開発してきた中層大気大循環モデルと、熱圏のモデルを結合させ、その領域特有の流れの特徴を明らかにするため、さまざまな条件の下での数値シミュレーションを行っています。

図2は、そのようなシミュレーション結果に基づく、高度40kmと100kmでの温度(カラーの陰影)、水平風(ベクトル)分布(9月の例)を描いたものです。40kmでは、中緯度域で西風が卓越し、東西方向の流れが卓越しています。100kmでは、潮汐波やよりスケールの小さい重力波に伴う循環が見え、40km(成層圏)とは大きく異なる循環形態をしています。このように高度域によって、循環は大きく異なり、同じ地球大気でも高度領域により大きく異なる循環のメカニズムを理解することが重要です。

## (3) 熱圏の波数4型構造

CHAMPという人工衛星により観測された高度400km付近の熱圏大気密度データには、図3に見られるように、赤道域で密度が極小となる構造を示していますが、この構造は電離大気と中性大気の相互作用により形成されることが知られており、赤道域中性大気質量密度異常と呼ばれています。一方、東西方向を見ると、地球を1周する波数4型の構造が見られます。詳細な解析により、この波数4型の構造は、高度10km付近の積雲対流に伴う加熱により励起された、大気潮汐波と呼ばれる波動が、この高度域まで鉛直伝播することにより引き起こされたものであることが明らかになりました。このことから、この高度領域の現象の正しい理解のためには、地表から熱圏までの全大気領域の力学的上下結合の解明が不可欠であることがわかります。

このように、私たちは、青空の先に果てしなく広がる空間を見つめています。皆さ

んも私たちの研究室の仲間に加わりませんか？

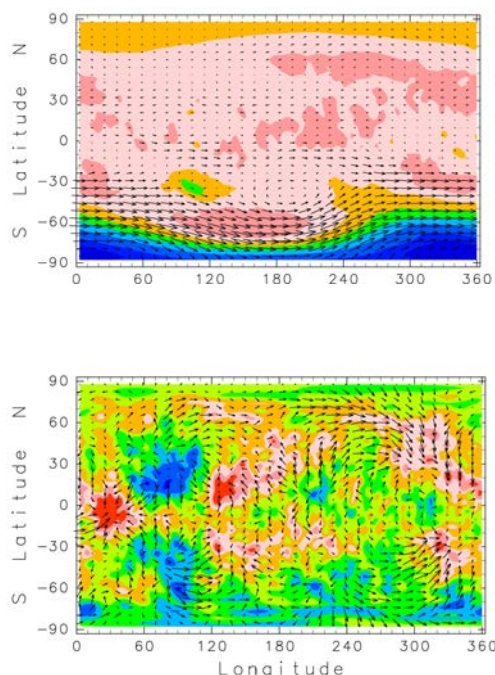


図2. 私たちの研究室で開発した大気大循環モデルを用いたシミュレーション結果に基づく、高度40km(上)、100km(下)での温度(カラーの陰影)、水平風(ベクトル)分布図。暖色系が高温域、寒色系が低温域。縦軸が緯度、横軸が経度。9月の計算例を示す。

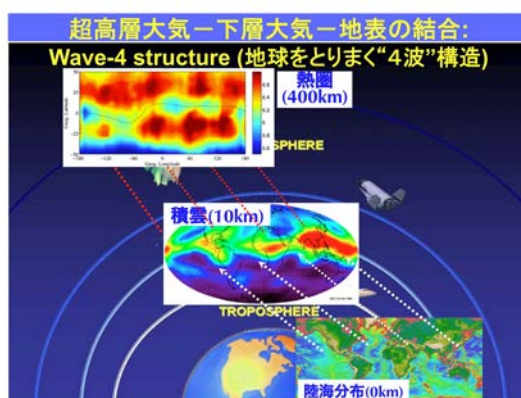


図3. 地表付近から熱圏まで連なる波数4型構造。(下)海陸分布、(中)10km付近の積雲活動を表す外向き赤外放射強度、(上)400km付近の熱圏大気密度の分布を示す。

## 地球流体力学

皆さんはいつも——お風呂で寛ぐ時、風を切って走る時、喫茶店でコーヒーにミルクを入れる時——流れの不思議を体験しています。でも、地球や惑星のスケールの流れは、お馴染みの風呂桶やコーヒーカップの中の流れとはひと味違います。その様な”惑星スケールの流れ”が「地球流体力学」の対象です。

### (1) “丸い”地球と自転の影響

地球が丸いこと、そして地球が自転していることは、惑星スケールの大気運動のあらゆる局面で重要です。例えば赤道上で局所的に海面水温が高いと、その影響は地球の自転の影響で赤道に沿って東に伝わります。現実の地球は複雑な海陸分布がありますが、単純化した仮想世界を構成することにより、その振る舞いがよくわかります(図4)。

### (2) “雲”や”雨”の形成

流れが上下に大きな広がりを持つと、物質が大きな圧力・温度の変化を経験する結果、「雲」や「雨」ができます。地球大気の大気や雨は皆さんも良く知っていますが、木星にも水蒸気・アンモニア・硫化水素から生じる雲があり雷が起こっていますし(図5)、土星の衛星タイタンにもメタンの積乱雲が起こります。これら地球以外の天体の雲には多くの謎が残されています。

### (3) 地球流体力学から汎惑星流体力学へ

地球流体力学は、地球の大気と海の共通した仕組みを考えることから始まりましたが、その後、太陽系の他の惑星にも踏み出しました。例えば木星大赤斑は、地球の海の数式である程度まで再現できます(図6)。しかし今や惑星は他の星の周囲にも発見され、それらは、太陽系の惑星よりもずっとバラエティに富んでいます。これら系外惑星の大気や海の様子も推測できるような「汎惑星流体力学」を作り上げる

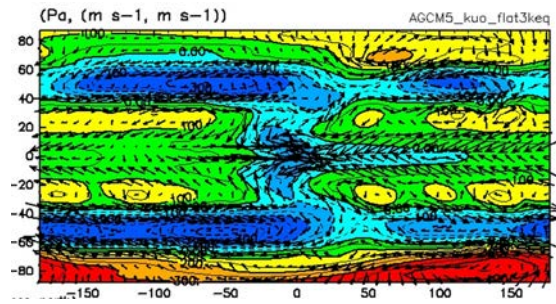


図4. 全表面が海で覆われた仮想惑星(“水惑星”)の大気循環モデル計算。

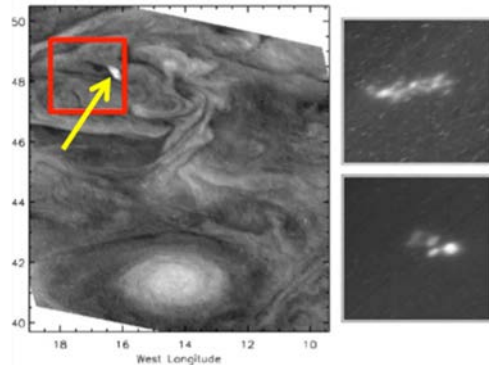


図5. ガリレオ探査機が撮影した木星の積乱雲(左図の黄色の矢印)。赤四角の部分の夜に撮影すると稲光が見える(右図)。

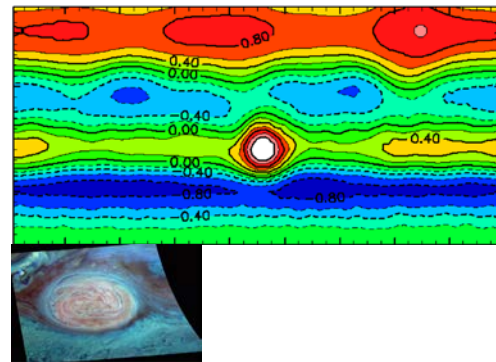


図6. 地球の海の数式に基づいて作成した数値モデルの中に生まれた大規模な渦。木星の大赤斑(下)と構造や振る舞いが似ている。

ことは、大きな夢の一つです。そして汎惑星流体力学は、太陽系の彼方の世界を知ることだけでなく、遠い過去・未来における我々の地球の姿を知ることにも役立つのではないかと私たちは考えています。