

中層大気・汎惑星流体の力学

地球の大気は、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つの領域に区分されます。その中で、高度約 10–100km 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、なら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、固有の様々な興味深い現象が生起しており、上下の大気を繋ぐ重要な領域となっています。また、中層大気は、皆さんお馴染みの地面近くの大気と比べて地形や水蒸気凝結の影響を直接受けにくく、ある意味で理想的な流れが卓越しており、色々な理論の検証のための実験室と見なすことができます。

一方、地球の大気・海洋の流れで共通の、基礎となる力学を「地球流体力学」と呼び、回転や成層が流れに及ぼす影響についての統一的な理論がこれまでに構築されてきました。近年では、湿った大気の振る舞いも含めた、旧来の地球流体力学の枠を超えた理論も試考されています。また、地球流体力学の応用範囲は、太陽系の他の惑星、そして他の太陽系の惑星、仮想的な惑星上の流れにも広がっており、時には地球の常識を覆すような現象に出会うこともあります。

私たちの研究室では、高度 100km くらいまでの大気に関わる力学や惑星の流体力学について調べています。以下では、私たちの研究の中から、中層大気の大気予報、オゾンホールの変動、木星大気における対流・大赤斑、仮想大気の流れについて紹介します。

(1) 中層大気の大気予報

中層大気中では「成層圏突然昇温」と呼ばれる、成層圏極域の温度が数日のうちに(対流圏では考えられないほど)急激に上昇する、特異な現象が起こります。

図 1 は、ある年の冬季における北極域上空の温度変化の観測(赤線)と、その予測結果(黒細線)について示しています。1月の半ばから下旬にかけて突然昇温が発生しており、ここでは少し条件を変えた複数の予測結果が示されています。上図ではどの予測も昇温ピークを捉えられず結果もばらついていますが、下図ではほぼ全ての予測で昇温が再現されています。したがってこのタイミングから突然昇温が確実に予測可能となっていたといえます。このような予測特性の変動が、流れのどのような特徴と関係しているのか、他の領域の予測にどの程度の影響を与えるのか等を調べることは、重要な研究課題となっています。

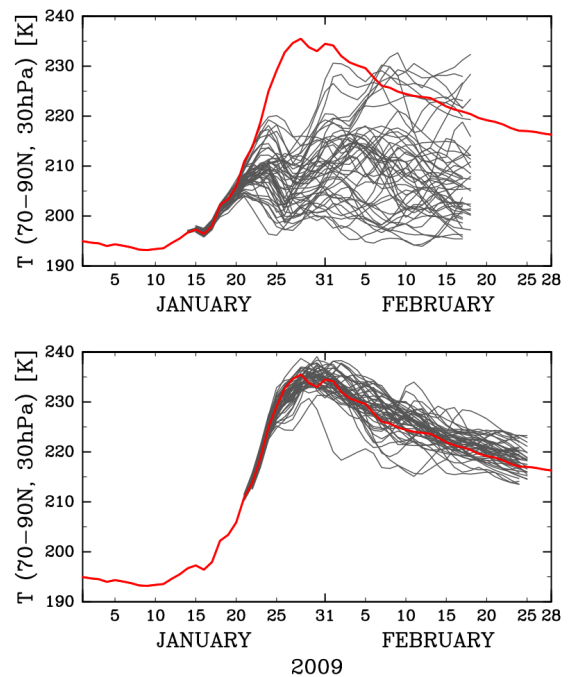


図 1. 高度約 25km 付近における北極域温度の時間変化(K)。赤線が観測、黒細線が予測。上図は 2009 年 1 月 14 日、下図は 1 月 21 日からの予測結果。

(2) オゾンホールの変動

中層大気では、力学・放射・化学が密接に関わり合っています。図2には、1980年代以降の毎春、南極大陸をすっぽり覆うように発達していたオゾンホールが、二つに分裂して一時的に縮小した時の様子を示しています。このような大規模な流れの変化によって、物質循環ひいては大気組成がどの程度変化するのか？逆に大気組成・放射強制力の変化はどれくらい流れを変えるのか？地球システム構成要素間の相互作用の強さを定量的に解き明かしていくことで、地球環境の成り立ちを、より詳細に把握することができます。

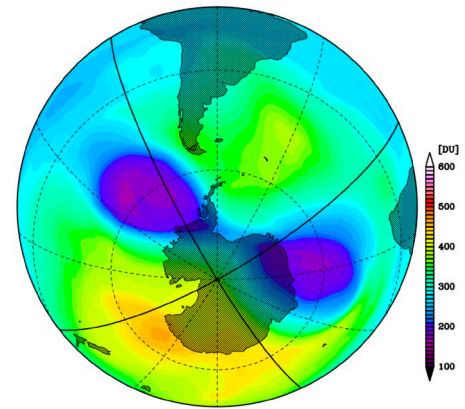


図2. 南極オゾンホールの分裂の様子。数値モデルによるシミュレーションと衛星などの観測を（データ同化という処理によって）組み合わせて得た、2002年9月24日のオゾン全量の分布図。

(3) 木星大気における対流・大赤斑

地球や惑星のスケールの流れは、日常の流れとはひと味違います。流れが上下に大きな広がりを持ち、物質が大きな圧力・温度の変化を経験する結果、「雲」ができますが、その様相は惑星によって様々です。図3に示した木星の雲は、地球のほぼ水（氷）からなる雲とは組成から異なり、アンモニアや硫化水素の凝結と化学反応によって興味深い鉛直層構造を形成しています。また、木星の眼のような特徴的な模様を作っている大赤斑は、巨大な高気圧性の渦ですが、地球をよりも巨大なこの構造が生成・維持される機構など、素朴な経験知だけでは思い至らないかもしれません。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、その後、このような太陽系の他の惑星の構造解明にも踏み出しています。実際、図4のように、大赤斑は地球の海の方方程式である程度まで再現できることがわかっています。

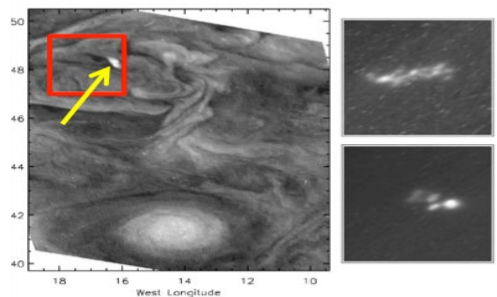


図3. ガリレオ探査機が撮影した木星の積乱雲（左図の黄色の矢印）。赤四角の部分を夜に撮影すると稲光が見える（右図）。

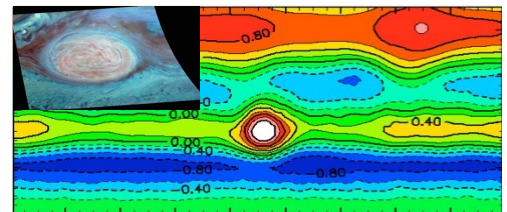


図4. 地球の海の方方程式に基づいて作成した数値モデルの中に生まれた巨大な渦。木星の大赤斑（左上）と似ている。

(4) 仮想大気の流れ、そして汎惑星流体力学へ

地球・惑星が丸く、自転していることは、大気や海洋の惑星スケールでの運動を支配して、地球・惑星の気象や気候に様々な影響を与えます。図5には、陸地のない、理想的な惑星上で生じる大気の流れを示しました。このような流れの顕現理由の探究を通じ、普遍的・根本的な理解に至れるかもしれません。今や多様な惑星が他の星の周囲に見つかっています。これら系外惑星の大気や海の振る舞いも一つの枠組みの中で捉えることができるような「汎惑星流体力学」を作り上げることは、大きな夢の一つです。

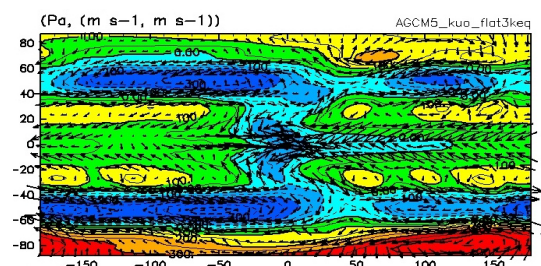


図5. 全面が海で覆われた“水惑星”のシミュレーション。中央の雲活動の影響は惑星自転のため赤道沿いに東に広がる。