

R009-25

B会場：9/27 AM2 (10:45-12:30)

12:00~12:15

## 高速回転球殻内の非弾性流体の熱対流の長時間積分

#佐々木 洋平<sup>1)</sup>, 竹広 真一<sup>3)</sup>, 石岡 圭一<sup>4)</sup>, 榎本 剛<sup>5)</sup>, 中島 健介<sup>6)</sup>, 林 祥介<sup>2)</sup>

(<sup>1</sup>北海道情報大 情報メディア学部, (<sup>2</sup>神戸大・理・惑星/CPS, (<sup>3</sup>京都大学数理解析研究所, (<sup>4</sup>京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻, (<sup>5</sup>京都大学防災研究所, (<sup>6</sup>九州大学 大学院理学研究院 地球惑星科学部門

## Long-time integration of thermal convection of anelastic fluid in a rapidly rotating spherical shell

#Youhei Sasaki<sup>1)</sup>, Shin-Ichi Takehiro<sup>3)</sup>, Keiichi Ishioka<sup>4)</sup>, Takeshi Enomoto<sup>5)</sup>, Kensuke Nakajima<sup>6)</sup>, Yoshi-Yuki Hayashi<sup>2)</sup>

(<sup>1</sup>Faculty of Information Media, Hokkaido Information University, (<sup>2</sup>Department of Planetology/Center for Planetary Science, Graduate School of Science, Kobe University, (<sup>3</sup>Research Institute for Mathematical Sciences, Kyoto University, (<sup>4</sup>Department of Earth and Planetary Sciences, Kyoto University, (<sup>5</sup>Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, (<sup>6</sup>Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Sciences, Kyushu University

The banded structures composed of alternating zonal jets observed in the surface atmospheres of Jupiter and Saturn have attracted many researchers in planetary atmospheric sciences. However, their satisfactory physical understandings have not been obtained yet. In this study, we perform massive parallel numerical experiments treating both small scale convection and planetary scale flows simultaneously, reveal fine structures of turbulent motions which have not yet been resolved by the previous numerical models so far, and try to illustrate dynamical origin of global scale structures of surface flows of Jovian planets.

One of the model categories explaining the surface patterns of the gas giant planets is so called “deep” model, where the concerned fluid motion is assumed as thermal convection in a rapidly rotating spherical shell whose thickness is comparable to the radius of the planet. The early models of this category could produce equatorial prograde flows rather easily, while they were unable to generate alternating jets in mid- and high-latitudes. Heimpel and Aurnou (2007) tried to solve this difficulty by considering a thinner spherical shell model than those used in the previous studies, and argued that the equatorial prograde zonal jets and alternating zonal jets in mid- and high-latitudes can be produced simultaneously when the Rayleigh number is sufficiently large and convection becomes active even inside the tangent cylinder. Since then, substituting the Boussinesq system of Heimpel and Aurnou (2007) with the more realistic anelastic system, several successive studies have been performed to explain the banded structure of the gas giants.

However, in Heimpel and Aurnou (2007) and the succeeding studies, longitudinal symmetries were assumed to reduce the computational domains to be not the whole but some sectorial regions of the spherical shells. Moreover, they introduced hyper viscosity in order to save the numerical resources and to compensate for the model resolutions. Although such an artificial dissipation process may influence the structures of the global flow field, the effects of hyper viscosity have not been examined so far. We have therefore performed, with the Boussinesq system, long-time numerical simulations of thermal convection in a thin rotating spherical shell in the full global domain. As a result, we found that multiple zonal jets in mid- and high-latitudes in each hemisphere merged into a single prograde jet with time, and the banded structure in mid- and high-latitudes disappeared.

We expect the same long-time evolution as that of the Boussinesq system may occur in the anelastic system. Therefore, in this study, we perform long-time numerical simulations of thermal convection in a thin rotating spherical shell in the full global domain with the anelastic system by following the set up of Heimpel et al. (2015), which is the most realistic and highest-resolution simulation of Jovian-type atmospheric circulation using the anelastic system. We focus on whether the banded structure disappears after a long time due to the merger of multiple jets in mid- and high-latitudes. For comparison, we also perform the numerical calculation with the 4-fold longitudinal symmetry, which is adopted in Heimpel et al. (2015). Our results show that a trend toward the merger of alternating jets in the mid- and high-latitudes can be observed, and the kinetic energy is still increasing and has not yet reached a statistical equilibrium. Since the integration time is still 1000 rotations, which is about a half of that of our numerical experiments with the Boussinesq system where disappearance of banded structure was observed, we will continue to carry out time integration and observe the transitions and properties of the banded structure.

木星型惑星(木星・土星)表層大気の力学的な特色である縞状パターンはこれまでに多くの大気科学研究者の関心を引いてきたが、これらの特徴を矛盾なく整合的に説明できる満足な力学的描像と理解は得られてはいない。本研究は全球規模から微細規模対流までにわたる空間スケールを統一的にあつかう大規模数値計算を実行し、従来の数値モデルでは表現できなかった微細規模の対流や乱流の構造を解像し、木星型惑星大気に見られる表面流の大規模構造の力学的成因を解明することを目指している。

木星型惑星大気の縞状パターンを説明する有力なモデルカテゴリーの一つは流体層の厚さが惑星半径に匹敵する一連の「深い」モデルである。高速回転する球殻中の熱対流が引き起こす帯状流により表層の縞状構造を説明することを試みるこのモデルでは、赤道域の順行するジェットは容易に生成されるものの、中高緯度の交互に表われるジェットの生成が困難であった。「深い」モデルのこの問題に対して Heimpel and Aurnou (2007) (以下,HA2007) は、球殻の厚さを従来の研究で用いられて来たよりも薄くした数値実験を行い、レイリー数が十分大きく内球接円筒での対流活動が活発な場合に赤道域の順行流と中高緯度の交互に現われる狭いジェットが共存して発現できることを示した。HA2007 ではブシネスク流体を用いていたが、より現実的と思われる非弾性近似を用いての同様な研究が縞状構造生成を説明するべく現在に至るまで続けられている。

しかしながら、これら一連の研究では経度方向に対称性を仮定しており全球の一部のセクター領域の運動しか解いていない。加えて高速回転中の熱対流を解像するために超粘性を導入し水平高解像成分の散逸を人工的に高めている。散逸過程の性質の意図的な変更は生成される流れ場に大きく影響していることが予想されるものの、その検証はきちんとなされていない。そこで我々は HA2007 の設定のもとでの薄い回転球殻内のブシネスク熱対流の長時間数値計算を全球領域で遂行してきた。その結果、時間とともに中高緯度において複数の東西ジェットが融合して1本の順行ジェットとなり、中高緯度の縞状構造が消失してしまうことを見出した。

本研究では、非弾性系でもブシネスク系と同様な長期時間発展が起こるのではないかと想定し、非弾性系での最も高解像な計算である Heimpel et al. (2015) の設定での薄い回転球殻内の熱対流の全球領域での長時間数値計算を試みた。中高緯度において複数ジェットが長時間後に融合し縞状構造が消失していくのか否かが注目点である。比較のため、Heimpel et al. (2015) と同様の経度方向4回対称性を課した計算も並行して実行した。いずれの場合も初期に赤道域の強い幅広の順行ジェットと中高緯度に交互に向きが入れ換わる複数の幅狭のジェットが出現し、木星型大気を表層パターンに似た縞状の帯状風分布が観察された。時間とともに中高緯度のジェットが融合されつつある傾向がみられ、運動エネルギーはまだ増加しており、統計的平衡状態に達していない。現時点では、ブシネスク系にて縞状構造の消失が観察された半分程度の積分時間である10000回転にしか計算が到達しておらず、引き続き時間積分を遂行し、縞状構造の遷移や性質を観察していく予定である。