

平面上乱流の影響下にある帯状流の安定性とその時間発展 Stability and the temporal variation of zonal flows under the influence of turbulence on a beta plane

小布施 祈織^{1*}, 竹広 真一², 山田 道夫²
OBUSE, Kiori^{1*}, TAKEHIRO, Shin-ichi², YAMADA, Michio²

¹ 東北大学 WPI-AIMR, ² 京都大学 数理解析研究所
¹WPI-AIMR, Tohoku University, ²RIMS, Kyoto University

惑星上の大規模な流れを取り扱う際に用いられるモデルの1つである回転球面上の2次元強制非圧縮性流体モデルでは、流れの時間発展の過程において東向きジェットと西向きジェットが緯度方向に交互に多数本並ぶ縞状構造が形成されるが (Nozawa and Yoden [1]), さらに時間積分を進めると、これらの東西ジェットは非常にゆっくりと融合・消滅を繰り返し、漸近状態として2本もしくは3本という少数本のジェットから成る構造が実現される (Huang *et al.* [2], Obuse *et al.* [3]).

上記の球面上でのジェットの融合・消滅機構に対する可能な解釈の1つに、縞状構造はダイナミックに不安定であり、背後に存在する乱流の影響を受けてより安定な少数本ジェット構造へと遷移するというものがある。しかしながら確率的な強制力および乱流をとり入れた議論を解析的に行うことは非常に困難であるのが現状であるので、このメカニズムを考慮したジェットの融合・消滅機構の単純なモデルとして、ベータ平面上で、東西方向に \sin 型で変化する決定論的南北流を背景に持つ東西流モデルを用いることがある。

平面上で $\sin(mx)$ 型の南北方向の流れに東西方向の流れを重ねた決定論的基本流において超臨界状態に現れる変動流を弱非線形解析によって調べた Manfroi and Young のモデル [4] は、上記のような乱流の影響下にある帯状流の振る舞いを記述するために導入されたモデルの1つである。彼らは、得られた弱非線形方程式を用いてランダムな初期条件から数値実験を行い、多数本のジェットから成る縞状構造が速やかに形成された後、それらのジェットはゆっくりと融合・消滅を繰り返し、最終的には1つのジェットとなることを見出した。その後、Obuse *et al.* [5] が Manfroi and Young のモデル [4] の定常孤立ジェット解を導き、その線形安定性と時間発展を調べることによって、その全ての定常孤立ジェット解は背景にある非帯状流の影響によって不安定であり、一様流へと崩壊することを見出している。

本研究ではまず、実際の2次元乱流中の帯状流が2次元の支配方程式を持つことを考慮し、1次元モデルである Manfroi and Young のモデル [4] を2次元に拡張した。次いで、より現実的な状況を考えるために、Manfroi and Young のモデル [4] にロスビーの変形半径を導入することにより表面変位の変化の効果を取り入れた。

参考文献:

- [1] T. Nozawa and S. Yoden, *Physics of Fluids*, **9**, pp.2081-2093, 1997.
- [2] H-P. Huang, B. Galoerin, and S. Sukoriansky, *Physics of Fluids*, **13**, pp.225-240, 2001.
- [3] K. Obuse, S. Takehiro, and M. Yamada, *Physics of Fluids*, **22**, 156601, 2010.
- [4] A. J. Manfroi and W. R. Young, *Journal of the Atmospheric Sciences*, **56**, pp.784-800, 1999.
- [5] K. Obuse, S. Takehiro, and M. Yamada, *Physica D*, **240**, pp.1825-1834, 2011.

キーワード: 回転流体, 2次元流, 乱流, 東西ジェット, ベータ効果

Keywords: rotating fluid, two-dimensional flow, turbulent flow, zonal jets, beta effect

両側球の3軸回転を許容する回転球殻内の Boussinesq 熱対流問題 Triaxial rotation of the inner and outer spheres driven by Boussinesq thermal convection in a rotating spherical shell

木村 恵二^{1*}, 竹広 真一¹, 山田 道夫¹
KIMURA, Keiji^{1*}, TAKEHIRO, Shin-ichi¹, YAMADA, Michio¹

¹ 京都大学数理解析研究所

¹ Res. Inst. Math. Sci.(RIMS), Kyoto Univ.

回転球殻内の Boussinesq 熱対流問題は天体規模熱対流現象と関連して盛んに研究がなされてきた。MHD ダイナモモデルでは内側球の回転を許したモデルが存在するものの、熱対流の研究では内側球、外側球がともに一定の同じ回転角速度で回転している(以後同期回転と呼ぶ)ことを仮定している。しかし実際の天体を念頭においた場合、必ずしも両側球が同じ一定回転角速度で回転する理由はなく、両側球がトルクを受けて自由に回転しているほうがより自然である。実際、地球内核とマントルが異なる速度で回転していることが近年の地震波観測によって示唆されている。そこで我々は、両側球が熱対流による粘性トルクを受けて3軸回転するモデルを構築し、熱対流パターン並びに両側球の回転角速度の振る舞いを、両側球が同期回転する場合 [1] と比較しつつ議論する。

まず内側球のみがトルクを受けて回転する場合を考え、臨界点から超臨界分岐する定常進行波を Newton 法によって求め、その安定性を固有値計算によって調べた。パラメタは、内側球と外側球の半径比 0.4, Prandtl 数 1, 回転の速さを表す Taylor 数が 52^2 から 500^2 とし、境界条件は粘着・温度固定境界条件を選択した。このパラメタ領域では、方位角方向に伝播する、方位角方向の基本波数が 4 である定常進行波 (TW4) が超臨界分岐する。TW4 の安定領域内において、Taylor 数が 100^2 程度以下の領域では内側球が外側球よりも速く回転するが、 200^2 から 300^3 の間では両側球はほぼ同じ回転角速度で回転し、 400^2 よりも大きくなると内側球が外側球に比べて遅く回転することが見出された。両側球が同期回転する場合と比べて TW4 の安定領域は最大 1% 程度変化する程度と大きな変化は無く、また TW4 のパターンも定性的な変化は無い。

次に両側球がトルクを受けて回転する場合を考え、数値時間積分を行った。パラメタは半径比 0.4, Prandtl 数 1, Taylor 数 500^2 , Rayleigh 数 30,000 ($= 4.7 R_c$) および 50,000 ($= 7.8 R_c$) とし、粘着・温度固定境界条件を選択した。ただしここで R_c は臨界 Rayleigh 数である。内側球の慣性モーメントは、内側球が流体と同じ密度であると仮定したときに計算される値である約 0.22 を用い、外側球の慣性モーメントは地球のマントルを模した値である 100 を用いた。その結果、Rayleigh 数が 30,000 の場合には熱対流パターンがカオス的な振る舞いをするにもかかわらず南北対称なモードのみが誘起されており、内側、外側球の回転角速度は回転軸方向成分のみ値をもつが、Rayleigh 数が 50,000 の場合には南北反対称モードも誘起されて全体として南北非対称な熱対流パターンとなり、回転軸方向成分以外の成分も有意な値を持つことが分かった。

さらに、Taylor 数を 500^2 から 5000^2 の範囲で変化させて南北非対称パターンが発現する Rayleigh 数を調べたところ、Taylor 数によらず Rayleigh 数がおよそ $5R_c$ - $6R_c$ を越えると、南北反対称モードが誘起されて熱対流パターンが南北非対称になり、内側球、外側球がともに 3 軸回転することが見出された。

[1] K.Kimura, S.Takehiro and M.Yamada, Phys. Fluids, Vol.23, 074101 (2011)

キーワード: 分岐, 定常進行波, トルク, 差動回転

Keywords: bifurcation, traveling wave, torque, differential rotation

マントル物性の空間変化が対流パターンに与える影響に関する数値流体力学的研究 Numerical investigations of effects of spatial variations in physical properties on the mantle convection patterns

宮内 新^{1*}, 亀山 真典², 市川 浩樹²

MIYAUCHI, Arata^{1*}, KAMEYAMA, Masanori², ICHIKAWA, Hiroki²

¹ 愛媛大学大学院理工学研究科, ² 愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター

¹Ehime University, ²Geodynamics Research Center, Ehime Univ.

A series of numerical simulations is carried out on the onset of thermal convection of Boussinesq fluid of an infinite Prandtl number in a planar layer in the presence of spatial variation of physical properties such as viscosity, thermal conductivity and expansivity. The viscosity of the fluid is exponentially dependent on temperature, while thermal conductivity and expansivity are linearly dependent on pressure (or depth). Based on the linear stability analysis, velocity and temperature distributions are solved for infinitesimal perturbations for given horizontal wave number. We seek for the condition for the onset of convection by changing the horizontal wave number of perturbation as well as the amplitudes of spatial variations in physical properties (viscosity, thermal conductivity and thermal expansivity). Then, we examine influences on both the critical conditions and the dominant flow patterns of spatial variations in those physical properties. From the changes in flow patterns with increasing the amplitudes of temperature dependence of viscosity, we successfully identified the transition into the "stagnant lid" (ST) regime, where the convection occurs only beneath a thick and stagnant lid of cold fluid at the top surface. We also found that the transition takes place regardless of the spatial variations in thermal conductivity and/or expansivity.

However, detailed analysis of the numerical results showed a quantitative difference in the critical condition for the onset of ST convection due to the presence of spatial variations in thermal conductivity and expansivity. First, the horizontal wave number of perturbation is decreased by the introduction of spatial variations in these properties. In particular, the variation in thermal conductivity can significantly reduce the wave number: the horizontal length scale of convection can be enlarged by up to 50% when viscosity is strongly dependent on temperature. Another difference can be found in threshold values of temperature dependence of viscosity for the transition into the ST regime: the spatial variations in thermal conductivity slightly decrease the threshold viscosity contrast, while those in thermal expansivity increase them. These two differences can be successfully reproduced by our analytical estimates, which consider the thickness of stagnant lid and convective vigor beneath it.

The results of present studies indicate that, under certain conditions, the convection of fluids with strongly temperature-dependent viscosity takes place which is characterized simultaneously by (i) large horizontal length scales of convective cells and (ii) thick stiff lid of highly viscous fluid above it. This is in a stark contrast with earlier numerical studies using constant thermal conductivity and expansivity where the convection beneath stagnant lids is always associated with cells with small horizontal length scales. Our findings therefore highlight the essential roles of the spatial variation of the thermal conductivity and thermal expansivity on the convection patterns in the mantle of terrestrial planets.

キーワード: マントル対流, 線形安定性解析, 温度依存粘性率, 圧力依存熱伝導率, 圧力依存熱膨張率, スタグナントリッド型対流

Keywords: mantle convection, linear stability analysis, temperature-dependent viscosity, pressure-dependent thermal conductivity, pressure-dependent thermal expansivity, stagnant-lid convection

新川平野における規模の異なる海風侵入による風系の日変化と地形による影響 Diurnal variation of a wind system by sea breeze invasions from different scale and influence by geographical feature on

星野 将史^{1*}

HOSHINO, Masafumi^{1*}

¹ 富山大学人間発達科学研究科

¹University of Toyama

1. はじめに

富山県北東部に位置する新川平野では海風は吹き始め北西、北よりの風向で強まっていく。これはそれぞれ海の方角から進入している。しかし午後になると風向は北東へ変化している。魚津では海岸線に平行に海風が吹いていることになる。関東平野南部では相模湾と東京湾から海岸線と直行する海風が吹き込み、徐々に大規模海風へ移行していくことが明らかになっている(瀬戸 2010)が上記のような新川平野の海風日変化に対する要因を明らかにする。また、新川平野は緩やかな傾斜地となっており海岸線や等高線に平行に通過するときの海風の特徴を示す。

2. 資料と方法

MesoScale Model (MSM, 京大生存圏研究所生存圏データベースより DL) を利用し、新川平野周辺の風況を明らかにし、一般風と海風を区別した。

AMeDAS, 魚津埋没林博物館, 入善浄化センターの観測データを用いて海風の水平分布を明らかにした。また、パイロットバルーンをビデオカメラで追跡し上空 1000m までの風の鉛直分布を観測し、海風の高度の日変化を明らかにした。

3. 結果

全 5 回の観測の内、東西成分の入れ替わりが明瞭な 2011 年 8 月 9 日を事例として取り上げる。

(1) 地上での観測結果

海風は、はじめは北西風であるが時間とともに北東風へ変わった。海側から風向が変化していく。また、風速は北西風よりも北東風のほうが強く、北東風は海側が強くなった。

魚津は北西風が 15 時まで続き、その後北東風へと変化した。

(2) 上空の観測

北西風から北東風への変化を観測することができた。MSM によると、金沢平野から富山湾・富山平野に風が流れ込み、上空でも西風の成分が強い。しかし下層では北成分をもった風が現れている。これを海風とした。海風は午前中から 13 時までは北西よりの風で、層の厚さは 100~200 m 程である。それ以降は北東風へ変化し、層の厚さは 600 m 程まで発達している。また 0m では北東風への移行が早く、13 時に北北東の風となっている。下層ほど北東風が顕著に表れている。

4. 検討

午前中に吹く北西風は、海岸線に直交する風向となっており、新川平野規模の局地循環が影響している。

地上の風速が速いと海風の層の厚さも厚くなっている。そのとき風向は北東よりの風となっている。北東風はより大きな局地循環が影響していることが考えられる。新川平野の南西には富山平野が広がっており、さらにその南部には飛騨高地が位置している。北東風には富山平野・飛騨高地規模の循環が影響している。

また、新川平野において富山平野・飛騨高地規模の循環の影響で海風は海岸や等高線と平行に通過することになる。冷涼な大気が進入するので標高の低い海岸近くが影響を受けやすく、標高の高い山沿いは影響が小さくなる。

魚津は北西風が午後も残った。東部丘陵の谷方向に風が吹いている。東部丘陵や北アルプスなどに発生する局地的な低気圧が谷風を生じさせ、新川平野にもその影響が現れている。また、魚津の観測点は標高 45m にあり、北東風の影響を受けにくいことも示されている。

5. まとめ

・新川平野や北アルプス・東部丘陵にできる局地的低気圧に吹き込む小規模な局地循環と富山平野南部や飛騨高地に発達する局地的低気圧に向かって吹く大規模な局地循環が入れ替わり、北西風から北東風へと風が日変化する。

・富山平野・飛騨高地規模の局地循環では冷涼な大気が等高線と平行に通過するため、標高の低い海沿いが特に影響を受けやすい

暴風雪をもたらすメソスケールの渦状擾乱の発達過程に関する数値解析 Numerical analysis of the development process of meso-scale vortical disturbances causing a severe snowstorm

荒木 健太郎^{1*}, 新野 宏²

ARAKI, Kentaro^{1*}, NIINO, Hiroshi²

¹ 気象庁銚子地方気象台, ² 東京大学大気海洋研究所

¹Choshi Local Meteorological Observatory, Japan Meteorological Agency, ²Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo

冬季日本海上で発生・発達するメソベータスケールの渦状擾乱 (MBSD) は, しばしば北陸地方に暴風雪をもたらす。2010年1月13日, 発達したMBSDによって新潟県では暴風雪による停電や交通事故が相次いだ。先行研究によると, 暴風雪をもたらしたMBSDはWarm Core構造を持っており, その発達過程にはCISKやWISHEの不安定メカニズムが重要であることが示唆された (Araki et al., 2011, JpGU Meeting MIS021-02)。本研究では, より定量的な評価を行うため, 気象庁非静力学モデル (JMA-NHM) を用いて水平解像度2kmの数値実験 (2km-NHM) を行い, 主に下部境界がMBSDの発達過程に与える影響について調べた。2km-NHMの結果, 観測事実と時空間的に良く一致するMBSDを再現できた。

まず, 凝結熱を考慮しないドライモデルでの感度実験の結果, 凝結熱が直接的にMBSDの発達に寄与していることが示された。また, 海面からの熱fluxを考慮しない実験の結果, 時間経過とともに海面からの熱fluxの影響が渦の環境場を変えることを示唆する結果が得られた。実際に, 顕熱fluxを除去した実験では海面付近の温位が下がり, 大気下層の成層状態は安定化していた。すなわち, 海面からの熱fluxは環境場の不安定成層を維持し, 間接的にMBSDの発達に寄与していると考えられる。これらは日本海上のPolar Lowを扱ったYanase et al. (2004) の結果と整合する。

次に, 日本海の海面格子の海面水温 (SST) を変更する実験を行った。SSTを一定とする実験の結果, SSTが高い実験ほど海面からの熱fluxがより多く供給され, 対流活動が活発化してMBSDが発達した。SSTに南北勾配を与える実験の結果, 傾圧性を持つ環境場として, 南北勾配を持つSST分布はMBSDの発達に大きく関わっていることが示された。また, この実験では他の実験に比べてMBSDが大きく南下した。SSTに南北勾配があることで, MBSD後面の相対的な寒気移流によって高気圧が形成され, 渦対の効果 (Ito and Iga, 2011, JpGU Meeting MIS021-01) によってMBSDが南に変位したと考えられる。また, 計算開始から3時間のみMBSDを含む領域のSSTを変更する実験の結果, MBSDが発達初期に位置する領域のSST分布が, 暴風雪をもたらすMBSDの発達には重要であることが示唆された。

キーワード: 渦状擾乱, 非静力学モデル, 暴風雪

Keywords: Vortical Disturbances, NHM, severe snowstorm

台風の急峻地形島嶼近傍での不規則運動 Irregular motions of a typhoon near steep mountainous lands

佐伯 拓郎^{1*}, 山中 大学²

SAEKI, Takuro^{1*}, YAMANAKA, Manabu D.²

¹ 神戸大院理, ²JAMSTEC/RIGC、インドネシア BPPT、神戸大院理

¹Graduate School of Science, Kobe University, ²RIGC, JAMSTEC; BPPT, Indonesia; Graduate School of Science, Kobe University

基本的に気流の弱い太平洋高気圧圏内で、かつ比較的大きく急峻地形をもつ島（ルソン、台湾、九州、四国、本州）近傍に達した台風は、複雑な運動をすることが知られている。2011年台風第6号（Ma-on; 以降 T1106）もその一つであった。

T1106は7月12日0900 JSTにマリアナ諸島東方で発生し、太平洋高気圧南縁に沿って西進、16～17日に最大勢力（中心気圧935 hPa、最大風速は50m/s、暴風域半径220 km、強風域半径1200 km）となるとともに次第に転向して北上、19～20日にかけて日本南岸に達してから一旦小笠原近海まで南下、22日以降再び北進して24日2100 JSTに北海道南東方で温帯低気圧に変わり千島沖で殆ど停滞したあと31日に消滅した（気象庁台風位置表による）。本研究では特に19～20日の日本南岸で北上から南下へ急激に変化した期間に着目する。この間の動きの変化も単調ではなく、T1106の中心は足摺岬沖から土佐湾を蛇行して東進し、気象庁は19日2150 JSTに「四国に上陸する恐れはなくなった」との予測を発表したにも拘わらず、室戸岬を迂回するように急北上し20日0030 JSTごろに四国南東部に上陸、しかしすぐに海上に戻り紀伊半島南岸を経て南方に去った。このように、T1106は極めて不規則な動きをした。

これまで台風の不規則運動としては、様々の研究がある。陸地から遠い海洋上においても、台風の近くに別の台風や低気圧が存在する場合、藤原効果（Fujiwara, 1921）によって不規則な動きをすることがある。また、台風そのものが渦運動として起こすトロコイド（サイクロイド）状の蛇行（例えば Syono, 1955; Muramatsu, 1986）や、それと関連した渦の軸対称からのずれ（例えば Abe, 1987; Itano and Ishikawa, 2010）なども知られている。一方、台風の大部分が上陸した後は、気圧の海面更生や地形による風の乱れで台風中心が決めにくく、特に日本付近では温帯低気圧への移行の問題もあり、不規則運動に関する検討は難しい。今回報告する T1106 の場合は中心が上陸したかどうか微妙で、台風の大部分はなお海上にある場合に相当する。

T1106の不規則な動きについて、(i) 台風自身の蛇行運動、(ii) 台風を移流させる背景風の変動、(iii) 台風が陸地に接近（中心上陸以前でも台風の大部分は上陸）して受けた変形、の3点について解析し、考察した。これらのうち、(i) については土佐湾上の蛇行、(ii) については予測に反して上陸した過程で重要と考えているが、蛇行や上陸そのものについては近年も多くの研究があり、ここでは紙面の制約もあるので省略する（会場で紹介する）。一方、(iii) については、一旦北進し上陸した中心が、はね飛ばされるように再び南下し海上に去った過程で重要であることを示す。中心が海上に戻った直後の気圧分布には、中心の西側に気圧の谷が現れている。四国山地に強風がぶつかる地形性の気圧の谷や小低気圧が生じることは、例えば梅雨季について Higashi et al. (2010) が示している。このような地形性小低気圧と T1106 との間の相互作用について検討した。一つの可能性は、両者の間に藤原効果が働いて相対的に反時計回りに動こうとするが、地形性小低気圧は動けないので、結果的に T1106 がはね飛ばされるように動いたとするものである。その他第1節で述べたような過去の研究との比較などについて、詳細は会場で述べる。

キーワード: 台風, 不規則運動, 地形性低気圧

Keywords: typhoon, irregular motion, orographic low

2011年東北地方太平洋沖地震に伴う電離圏変動と微気圧変動の数値シミュレーション Numerical simulations of atmospheric pressure perturbations and ionospheric oscillations following the Tohoku earthquake

松村 充^{1*}, 品川 裕之², 家森 俊彦³, 津川 卓也², 齊藤 昭則⁴, 大塚 雄一⁵

MATSUMURA, Mitsuru^{1*}, SHINAGAWA, Hiroyuki², IYEMORI, Toshihiko³, TSUGAWA, Takuya², SAITO, Akinori⁴, OTSUKA, Yuichi⁵

¹ 電通大・宇宙電磁環境センター, ² 情報通信研究機構, ³ 京大・理・地磁気世界資料解析センター, ⁴ 京大・理・地球惑星,
⁵ 名大・太陽地球環境研究所

¹SSRE, Univ. of Electro-Communications, ²NICT, ³DACGSM, Kyoto Univ., ⁴Dept. of Geophys., Kyoto Univ., ⁵STE Lab., Nagoya Univ.

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震に伴って、電離圏では全電子数(TEC)の変動が観測された。このうち震央付近では約4分周期の変動が[Saito et al., 2011]、震央から遠い領域では数十分周期の変動が卓越し[Tsugawa et al., 2011]、これらの最大振幅は同程度であった。また地表ではLamb波による微気圧の変動が観測された[Arai et al., 2011]。これらの変動の源は震央付近の海面の変動と考えられている。本研究の目的は、これらの変動を数値シミュレーションで再現することにより海面変動の時間・空間スケールを推定することである。

シミュレーションには3次元の非静力学大気圏-電離圏モデルを用いた。波源にはある広さを与え、中心を震央の位置に置いた。波源の領域内では減衰振動状に時間変化する鉛直風を入力した。その結果、地表付近では半波長が波源の幅とほぼ等しいLamb波、および周期が波源の変動周期とほぼ等しいLamb波が励起された。観測された微気圧変動は、波源の変動周期が200秒、幅が海溝に平行な方向に150km、海溝に垂直な方向に100kmの場合に最もよく再現された。一方、電離圏の4分周期と数十分周期のTEC変動の振幅比も波源の広さと周期によって変化したが、上記の設定では4分周期の変動の振幅の方が2桁大きかった。TEC変動の振幅比を再現するためには、津波のように震央付近から伝播する波源をさらに加える必要があると考えられる。

キーワード: 地震, TEC, 音波, 大気重力波, Lamb波, 津波

Keywords: earthquake, TEC, acoustic wave, gravity wave, Lamb wave, tsunami

大地震によって励起される大気変動および電離層変動のモデリング Modeling of Atmospheric and Ionospheric Perturbations Excited by Large Earthquakes

長尾 大道^{1*}, 小林 直樹², 深尾 良夫³, 富澤 一郎⁴, 樋口 知之¹

NAGAO, Hiromichi^{1*}, KOBAYASHI, Naoki², FUKAO, Yoshio³, TOMIZAWA, Ichiro⁴, HIGUCHI, Tomoyuki¹

¹ 統計数理研究所, ² 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所, ³ 海洋研究開発機構 地球内部ダイナミクス領域, ⁴ 電気通信大学

¹The Institute of Statistical Mathematics, ²ISAS/JAXA, ³IFREE/JAMSTEC, ⁴The University of Electro-Communications

Evidence of the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake, of which moment magnitude is 6.9 and focal depth is only 6km or less, was recorded in non-seismic observations such as atmospheric and electromagnetic observations. A CTBT infrasound monitoring station at Isumi, Japan at an epicentral distance of 417km recorded air pressure variations excited by this earthquake. Clear two large wave packets having amplitudes of several pascals appeared in 1 minute and 20 minutes after the origin time. The earlier arriving packet was the Rayleigh wave coming together with the ground motion whereas the later one was the acoustic waves that had propagated in the atmosphere directly from the rupture zone.

A normal mode summation technique synthesizes this observational evidence based on a given realistic source mechanism in a one-dimensional joint model that consists of the solid Earth and the atmosphere extending from the center of the Earth to the altitude of 1000 km. The simulation model parameters, e.g., the rupture velocity and the moment magnitude of each subevent hypothetically placed along the fault, are determined through the framework of data assimilation, which is capable to provide not only an optimum value but also a probability distribution function for each model parameter. The obtained synthetic waveforms successfully account for the observed ones in the period range >30 seconds assuming a focal depth of 3-4km, which is shallower than in the previously proposed models. Since the amplitude of such seismoacoustic wave is more sensitive to the focal depth than seismic wave, a joint analysis with seismograms could give strong constraints on seismic mechanisms especially in the cases of shallow earthquakes.

On the other hand, an electromagnetic observation using the HF-Doppler radar, which monitors ionospheric activities at the same epicentral distance with the Isumi observatory, recorded the Rayleigh wave traveling in the ionosphere at an altitude of 250km. Our procedure also successfully reproduces this waveform with the optimum model parameters determined by the inversion of the infrasound phenomenon mentioned above, although the assumed reflecting altitude is slightly lower than the observation.

キーワード: 微気圧, 包括的核実験禁止条約, 岩手・宮城内陸地震, 東日本大震災, ノーマルモード, データ同化

Keywords: infrasound, CTBT, Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake, Great Japan East Earthquake, normal mode, data assimilation

大気放射の過渡特性と有効放射距離

Transient property of the atmospheric radiation and effective radiation distance

酒井 敏^{1*}, 中村 美紀¹, 古屋 姫美愛¹, 大西 将徳²

SAKAI, Satoshi^{1*}, NAKAMURA, Miki¹, FURUYA, Kimie¹, ONISHI, Masanori²

¹ 京都大学人間・環境学研究科, ² 日本科学未来館

¹Graduate School of Human and Environmental Studies, ²National Museum of Emerging Science and Innovation

大気の放射過程は、これまで主に大気全層の放射平衡状態を考える中で議論され、大気境界層の1日周期の熱収支を考える際には、あまり注目されてこなかった。これは、大気全層を考えた時の放射平衡に至るタイムスケールが10日以上と長いと、境界層内の1日の変動にはあまり効かないと考えられていたためではないかと思われる。

しかしながら、大気境界層内の温度変化を詳細に調べると、大気自身の放射が境界層内の1日周期の気温変化に大きくかかわっていることが強く示唆される。

そこで、ここでは、平衡状態ではなく、平衡状態からのずれに注目して、その過渡特性を調べた。

基礎方程式は、通常の放射バランスの式であるが、平衡状態ではなく、擾乱の過渡特性を議論するため、変数はすべて平衡状態からのずれである。ここで、擾乱成分として三角関数型の初期値を与える。この方程式を解いて、擾乱の減衰速度を求めた。

また、比較のため、擾乱の半波長の厚さの大気と同じ熱容量を持つ不透明な板でモデル化した時の減衰速度を求め、この速度を基準に考える。さらに、光学的厚さが1になる実際の距離をDとし、有効放射距離と呼ぶことにする。

計算の結果、減衰速度は、波長が $2D$ となるときに最も早く、それよりも波長が長くても短くても、減衰速度が遅くなることがわかった。逆に、ある波長の擾乱に対して、最も強く効く吸収率の値があり、それよりも吸収率が小さくても大きくても、放射の影響は小さくなる、ということの意味する。

実際の大気では赤外線波長帯により有効放射距離が異なる。大気全体のスケールでは、有効放射距離の長い大気の窓領域が効果的であり、境界層では有効放射距離の短い大気の窓より長波長側の帯域の影響が大きいものと思われる。このようなことを考えると、放射による境界層の温度変化のタイムスケールが1日のオーダーとなり、大気自身の放射が重要であることがわかる。

キーワード: 大気境界層, 大気放射

Keywords: Atmospheric boundary layer, Atmospheric radiation

やっぱり大気は上から冷える The atmosphere is cooled from the top, indeed

中村 美紀^{1*}, 古屋 姫美愛¹, 飯澤 功², 大西 将徳³, 酒井 敏¹
NAKAMURA, Miki^{1*}, FURUYA, Kimie¹, IIZAWA, Isao², ONISHI, Masanori³, SAKAI, Satoshi¹

¹ 京都大学大学院人間・環境学研究科, ² 京都市立堀川高校, ³ 神戸大学

¹Graduate School of Human and Environmental Studies, Kyoto University, ²Kyoto Municipal Horikawa Senior High School,

³Kobe University

一般に、大気は地面から冷えると考えられており、言われている。しかし、比叡山で行った観測データから、大気は全体的に一定の温度低下率をもち、さらに上空から成層していく様子が捉えられた(2011年大会 MIS021-04)。地面から冷えるなら熱伝導で起こることになるが、大気が上から冷えるのであれば、放射で冷えると考えられる。そこで、簡単モデルで検証を行った。

放射平衡を考えたときの放射の冷却率は、約2 /dayである(Rowe and Liou: 1978)。しかし、観測データからは1 /hという冷却率を持つことがわかっている。これには整合性がないが、その理由として考えられることは、先行研究では大気全体の放射平衡を見ているのがほとんどであり、比叡山の観測は大気境界層を対象としていることが挙げられる。大気境界層はその高度も異なれば、日変化が起こる空間である。その過渡特性を考慮し、放射冷却を考えれば、現実の観測値とよく合うことが分かった。すなわち、大気は地面からではなく、上から冷えてくるのである。

キーワード: 大気境界層, 放射, 成層

Keywords: the atmospheric boundary layer, radiation, stratification

フラクタル日よけを用いた樹幹遮断実験 Rainfall interception under a fractal sunshade

古屋 姫美愛^{1*}, 守田 悠三², 酒井 敏¹, 中村 美紀¹

FURUYA, Kimie^{1*}, Yuzo Morita², SAKAI, Satoshi¹, NAKAMURA, Miki¹

¹ 京都大学大学院人間環境学研究所, ² 京都大学大学院情報学研究所

¹Graduate School of Human and Environment, ²Graduate School of Informatics

樹冠遮断蒸発とは、降水が森林のキャノピーを通過する際、一部が蒸発していくことをいう。樹冠遮断による蒸発は年降水量の約 10% から 50% を占めるといわれており、大気の潜熱輸送に大きな影響を与える。しかし樹冠遮断にともなう水蒸気・潜熱の輸送メカニズムは現在も不明であり、継続して観測する必要があるが、幹・枝を伝って流れる雨水やキャノピー下の雨量を観測する際、森林の非一様性のため観測結果にばらつきが多く、定量的な評価が難しい。そこで本実験では葉面積指数が 1 となるフラクタル日よけを単純化されたキャノピーとみなして、遮断蒸発が無機質な環境で実際にどの程度起こるのか、フラクタル日よけの下での雨量と日よけがないところでの雨量を比較して求めた。観測の結果、観測期間中ひと雨ごとのフラクタル日よけの下で雨量の遮断率は約 1% から 9% となった。まったく遮断されていなかったり、全降雨量がフラクタル日よけ下より少なかったりすることはなかった、つまり遮断率は常に 0% 以上であったので、どのような日でも雨が降ればその雨はフラクタル日よけにより遮断され、フラクタル日よけ上あるいはフラクタル日よけを通過する過程でいくらか蒸発していることが明らかになった。

昨年の発表でバルク法が顕熱輸送量を計算するために利用されることを話し、またそのバルク交換係数は乱流拡散ではなく熱伝導による熱輸送の割合を表すと認識したほうが良いことを示唆したが、潜熱輸送についてもバルク法は使われている。今回の実験から潜熱輸送量を求めることはバルク交換係数にも関係する。

キーワード: 樹冠遮断蒸発, 潜熱, バルク式

Keywords: rainfall interception, latent heat, bulk formulation

対流混合層の水平拡散係数の見積もり

Estimation of horizontal eddy diffusion coefficients in convective mixed layers

伊藤 純至^{1*}, 新野宏², 中西幹郎³

ITO, Junshi^{1*}, NIINO Hiroshi², NAKANISHI Mikio³

¹ 東京大学大気海洋研究所・気象研究所, ² 東京大学大気海洋研究所, ³ 防衛大学校

¹ Atmosphere and Ocean Res. Inst., The Univ. of Tokyo/Met. Res. Inst., ² Atmosphere and Ocean Res. Inst., The Univ. of Tokyo,

³ National Defense Academy

地球流体の数値モデルにおいては、サブグリッドスケールの乱流によるフラックスをパラメタライズする必要がある。このうち鉛直方向のフラックスは、近年精力的に研究されており、Large Eddy Simulation(LES) の計算結果をよく再現する1次元乱流モデルも提案されている(例えば Nakanishi and Niino 2009)。しかし水平方向の乱流フラックスについては、その物理的メカニズムも含めて十分に研究はなされていない。従来、水平方向のフラックスは専ら差分で生じうる不自然な高周波の擾乱を除去するために与えられたが、数値モデルの精緻化に伴い、水平方向の乱流フラックスに関する物理的理解とそれに基づく精度の良いモデル化は不可欠となると思われる。そこで、本研究では、地表からの熱フラックスにより、地面近くの大気成層が不安定になった場合に生成される、対流混合層におけるパッシブスカラーの水平乱流拡散係数を、乱流を陽に解像する LES を用いて見積もることとした。

LES モデル(Nakanishi 2000; Ito et al. 2010) の格子間隔は一律に 50m、計算領域は水平(x-,y-) 方向に 36km、鉛直(z-) 方向に 5km とした。側面境界条件は二重周期とした。大気は初期には静止し(一般風なし)、安定成層(4.0K/km) している。ある時刻 t=0 から、一定の熱フラックス $Q=0.2\text{K}\cdot\text{m/s}$ を水平一様に地表面で与え続けることにより、対流混合層を成長させた。パッシブスカラー c の水平乱流拡散係数 K_h を見積もるため、ある時刻 t=0 に x-方向に一樣な水平勾配をもつパッシブスカラーの分布を導入し、この分布からのずれ c' の予報方程式を LES に導入して解く。このとき水平乱流拡散係数 K_h は LES の計算結果におけるパッシブスカラーの水平フラックスを、一樣な水平勾配で割ったものとして、求めることができる。

混合層が十分発達した数時間後に、パッシブスカラーを導入した場合、導入直後は乱流速度の自己相関によって K_h は t に比例して大きくなるが、渦のターンオーバー時間程度で次第に一定値に近づき、対流運動による渦拡散が実現している。 K_h は $O(100\text{m}^2/\text{s})$ である。鉛直方向の乱流拡散係数とは異なり、水平運動が卓越する対流混合層の最下端と上端付近で大きくなっている。

様々な時刻にパッシブスカラーの勾配を導入し、 K_h の時間発展を対流速度 w^* と混合層高さ h の積によってスケールすることを試みた。 K_h はほぼ w^* と h の積によってスケールされるようだが、 w^* と h の積で規格化した K_h は、若干時間とともに増加傾向が見られる。これは LES の格子間隔 Δh が時間的に変化し、比較的早い時刻では $\Delta h (=50\text{m})$ が大きすぎるため、水平方向の渦が十分に解像できていなかったためと考えられる。

キーワード: 乱流拡散係数, 渦粘性, 水平サブグリッドフラックス, 対流混合層

Keywords: turbulence diffusion coefficient, eddy diffusivity, horizontal sub-grid flux, convective mixed layer

理想化した熱帯低気圧の内部コアにおける渦ロスビー波の伝播特性 Propagation characteristics for vortex Rossby waves in the inner core region of an idealized tropical cyclone

辻野 智紀^{1*}, 坪木 和久²

TSUJINO, Satoki^{1*}, Kazuhisa Tsuboki²

¹ 名古屋大学大学院環境学研究科, ² 名古屋大学地球水循環研究センター

¹Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, ²HyARC, Nagoya University

熱帯低気圧は、非常に強い風や激しい降水を伴う低気圧性の渦である。熱帯低気圧は発達過程で、その渦の中心に対し軸対称な構造をとり、最盛期（準定常状態）ではほぼ回転軸対称な渦と考えることができる。これまで、熱帯低気圧の強度（風速）を予測する理論モデルは、最盛期の熱帯低気圧の構造を、回転軸について接線方向に一様と見なした2次元軸対称と仮定して構築された。しかし、多くの観測から熱帯低気圧の最盛期には、多角形の壁雲やレインバンドといった2次元非軸対称構造がみられる。3次元モデルを用いた先行研究では、熱帯低気圧の風速が最大となる中心から半径100km以内の内部コアと呼ばれる領域で、顕著な非軸対称成分がみられることが示されている。渦ロスビー波とは、熱帯低気圧のような大規模渦の中心から動径方向に相対渦度が空間変化するような環境で発生する波である。熱帯低気圧の強度に影響を与えるメカニズムに、非軸対称成分が渦ロスビー波として振る舞うことによる渦位の再分配というメカニズムが考えられる。3次元モデルによる先行研究では、渦ロスビー波として示されている非軸対称成分の伝播特性は、中心軸について接線方向に高速に伝播するという定性的な根拠のみにとどまっており、渦ロスビー波の理論モデルで期待される伝播速度との定量的な比較は行われていない。

そこで本研究では、3次元非静力学数値モデルを用いて、熱帯低気圧の理想実験を行い、その準定常状態における内部コアでの非軸対称成分の接線、動径方向の伝播速度を定量的に求めた。また、その伝播速度と浅水流体系で構築された理論モデルにおいて予測される伝播速度との比較を行った。

その結果、波数2, 3型の非軸対称成分が、渦ロスビー波としての特徴を示し、高速な接線方向への伝播が見られた。理論値との比較の結果、伝播速度はほぼ同程度の値を示した。これは、浅水流体での渦ロスビー波の理論モデルが3次元成層大気での熱帯低気圧の内部コアにおける渦ロスビー波の振る舞いを理解するのに有益であることを示唆している。

キーワード: 熱帯低気圧, 渦, 波, 非軸対称性

Keywords: tropical cyclone, vortex, wave, non-axisymmetry

全球-雲解像結合モデルを用いた熱帯性擾乱のシミュレーション

Numerical simulation of tropical disturbances by using GCM-Cloud resolving coupled model

前島 康光^{1*}, 榎本剛², 吉田聡³, 榊原篤志⁴, 坪木和久¹

MAEJIMA, Yasumitsu^{1*}, Takeshi Enomoto², Akira Kuwano-Yoshida³, Atsushi Sakakibara⁴, Kazahisa Tsuboki¹

¹名古屋大学地球水循環研究センター, ²京都大学防災研究所, ³地球シミュレータセンター, ⁴中電シーティーアイ

¹Hydrospheric Atmospheric Research Center, Nagoya University, ²Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University,

³Earth Simulator Center, ⁴Chuden CTI co., ltd.

地球の大気現象は大局的には静力学近似が良い精度で成り立っているが、台風など発達した積乱雲や強い降水現象を伴う現象においては鉛直方向の運動が大きくなるために、静力学近似はなりたたなくなってくる。我々は、名古屋大学地球水循環研究センターで開発された雲解像モデル“CReSS”(Tsuboki and Sakakibara, 2009)に、地球シミュレータでの実行に最適化された全球モデル“AFES”(Shingu et al. 2001, 2002)を結合し、総方向にデータ通信を行う新しい数値モデルを開発した。このモデルを利用することによって、活発な対流を伴う領域はCReSSで、それ以外の領域はAFESで計算を行うため、局所的に精細な全球シミュレーションを行うことが可能になる。

本研究では熱帯域の活発な対流や降水現象が温帯域の大気に与える影響を調べることを目的に2006年台風13号を対象に結合モデルでシミュレーションを行った。AFESの水平解像度はT213,L48、CReSSは水平解像度1kmで台風周囲の東経120°~140°、北緯20°~30°の領域を取った。初期時刻は2006年9月12日00UTC、初期値は気象庁全球客観解析(GANAL)、海面はmgdSST、地形はGTOPO30を与えた。

シミュレーションの結果、AFES単独で計算する場合に比べて、台風の中心気圧が気象庁ベストトラックの値に近くなるなど、予報精度に改善がみられた。積分開始から81時間経過後の2006年9月16日09UTC以降では、CReSSで直接雲物理過程計算した領域だけでなく、AFESで計算する領域にも降水分布の違いが明確に表れた。結合モデルを使うことによって、メソスケールのシミュレーションにとっては低解像度の全球モデルであっても、台風に伴う対流現象や降水を表現することが可能であることが本シミュレーションを通じて示された。

発表では結合モデルの内容や実行の流れについても紹介する。

全球非静力学モデルによる水惑星実験 - 熱帯域季節内振動の解像度依存性 - Resolution dependence on tropical intra-seasonal oscillation in an aqua-planet global non-hydrostatic model

谷口 博^{1*}, 王 斌¹, 菊地 一佳¹

TANIGUCHI, Hiroshi^{1*}, WANG, Bin¹, KIKUCHI, Kazuyoshi¹

¹ ハワイ大学国際太平洋研究センター

¹International Pacific Research Center, University of Hawaii, Honolulu, U.S.A.

熱帯域季節内振動とそれに伴う組織化した対流のマルチスケール相互作用の理解を深めるため、全球非静力学モデル NICAM を用いて時間依存しない波数 1 型の東西非対称な海面水温 (SST) を境界条件とする水惑星実験を実施した。積分時間は 1 年である。荒川-シューバートの対流パラメタリゼーションを用いて実施した解像度 (224km, 112km, 56km, 28km) を変えた実験では、解像度が高くなるにつれて、対流中心の下層が西風、上層が東風となる傾向が見られた (気候値)。東西対称な SST を境界条件とした実験結果 (解像度 224km) と比較したところ、波数 1 型の SST を用いた場合の結果では、SST の低いところで降水や OLR の東進伝搬が弱くなる傾向も見られた。他の積雲パラメタリゼーション (Tiedtke スキーム, Chikira スキーム) を用いた結果や解像度依存性の詳細な結果についても当日報告予定である。

キーワード: 熱帯域季節内振動, 全球非静力学モデル, 積雲パラメタリゼーション

Keywords: Tropical intra-seasonal oscillation, Global non-hydrostatic atmospheric model, Cumulus parameterization

惑星大気大循環モデルの開発 - 地球大気計算と大循環の自転軸依存性 - Development of a general circulation model for planetary atmospheres : Simulation of the Earth's atmosphere

井谷優花¹, 高橋 芳幸^{2*}, 林 祥介¹, 石渡 正樹³, 中島 健介⁴

Yuka Itani¹, TAKAHASHI, Yoshiyuki O.^{2*}, HAYASHI, Yoshi-Yuki¹, ISHIWATARI, Masaki³, NAKAJIMA, Kensuke⁴

¹ 神戸大学大学院理学研究科, ² 惑星科学研究センター, ³ 北海道大学大学院理学研究院, ⁴ 九州大学大学院理学研究院
¹Department of Earth and Planetary Sciences, Kobe University, ²Center for Planetary Science, ³Department of CosmoSciences, Hokkaido University, ⁴Department of Earth and Planetary Sciences, Kyushu University

太陽系には大気を持つ複数の惑星があり、それぞれ異なる表層環境・大気大循環構造が維持されている。また、これまでに太陽系外にも多数の惑星が発見されており、その中には大気を持ち太陽系内の惑星とは異なる表層環境を持つ惑星が存在していると考えられる。そのような様々な惑星において実現される表層環境と大気大循環構造を調べることを目的として、我々は惑星大気大循環モデルを開発している。今回は、モデル開発の現状、地球条件での実験の結果、そしてモデルと地球観測結果との比較の結果を紹介する。また、系外惑星を念頭に置いて行った、自転軸傾斜角を変化させて行った実験について報告する。

開発している惑星大気大循環モデル (dcpam) は、プリミティブ方程式に基づくスペクトルモデルである。物理過程としては、地球大気および火星大気のための放射過程、乱流混合、積雲対流パラメタリゼーションと大規模凝結過程を導入している。大気中の雲水量は、乱流混合、積雲対流パラメタリゼーションと大規模凝結過程による生成、およびある一定の時定数での消滅を考慮した、簡単な予報方程式から計算する。現在のところ、各格子点での雲量は1としている。地表面温度は、地表面での熱収支式と土壌の熱伝導方程式を解くことによって求める。また、土壌水分量はバケツモデルによって計算する。海表面温度は、設定によって地球の気候値を与えるか、スラブオーシャンの設定で計算する。

まずは、海表面温度やオゾン分布などとして気候値を与えた計算において、雲水の寿命を変えたパラメータ実験により、モデルを地球大気にチューニングした。用いた解像度は T42L22 であり、緯度傾度格子間隔は約 2.8 度に相当し、鉛直総数は 22 である。チューニングにおいては、与えた各寿命における大気上端での放射フラックス収支を調べ、収支の合う最適な雲水の寿命を選択した。チューニングの結果得られた地球実験の結果を観測結果と比較したところ、全球平均熱収支としては、長波放射、短波放射、潜熱、顕熱フラックスなどは、およそ観測結果と 5 W m^{-2} 程度の差に収まっていた。しかし、地表面における短波放射フラックスには 12 W m^{-2} 程度の差が見られた。東西平均循環に関しては、モデルは観測される大まかな特徴を捉えているものの、子午面循環強度や特に成層圏での東西風や温度の分布が観測結果とに明らかな違いが見られた。

講演では、これらの比較結果をより詳しく紹介するとともに、モデルを使って並行して行った、自転軸傾斜角を変えた実験について報告する予定である。

キーワード: 惑星大気, 大気大循環モデル, 地球

Keywords: planetary atmosphere, general circulation model, Earth

On the Spectrum of Normal Vibrations of Viscous Compressible Stratified Fluid in the Atmosphere and the Ocean
On the Spectrum of Normal Vibrations of Viscous Compressible Stratified Fluid in the Atmosphere and the Ocean

andrei giniatoulline^{1*}
GINIATOULLINE, andrei^{1*}

¹los andes university

¹los andes university

The exponentially stratified fluid can be considered as describing the density of the Atmosphere or the Ocean in the homogeneous gravitational field of the Earth.

For the model of viscous compressible barotropic exponentially stratified three-dimensional fluid, we investigate the structure and localization of the spectrum for the problems of the normal oscillations. We find a sector of the complex plane to which all the eigenvalues belong. We consider both the cases of geophysical viscous fluid and the geophysical inviscid fluid.

キーワード: stratified fluid, internal waves in the Atmosphere and the Ocean, viscous barotropic fluid, normal oscillations, eigenvalues, spectrum, mathematical fluid dynamics

Keywords: stratified fluid, internal waves in the Atmosphere and the Ocean, viscous barotropic fluid, normal oscillations, eigenvalues, spectrum, mathematical fluid dynamics

氷床モデル実験における数値的な非対称性の影響 Impact of arithmetic asymmetries on simulated thermodynamical ice-sheet evolution

齋藤 冬樹^{1*}
SAITO, Fuyuki^{1*}

¹ 独立行政法人海洋研究開発機構

¹Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Numerical ice sheet model experiments sometimes exhibit asymmetries in the solutions despite the symmetric conditions imposed. Identifying the arithmetic asymmetry in the models as one of the reasons for symmetry breaking through loss of trailing digits, this paper presents a numerical procedure to preserve the symmetries by restructuring of the order of the floating-point evaluation of the equations in the numerical ice sheet model. Reexamination of the series of experiments in the HEINO topic of the ISMIP demonstrates that small perturbations triggered by arithmetic asymmetries significantly amplify to cause qualitative differences in the simulated ice-sheet evolutions. It is imperative to apply a symmetric scheme to maintain overall symmetries for the simulation of ice-sheet evolution, at least under such highly idealized configuration.

Keywords: Numerical model, Ice sheet, Asymmetry

大陸リソスフェアの安定性における低粘性大陸縁辺域の動力学的役割 三次元マン トル対流モデル

Dynamic role of the weak continental margin on the stability of continental lithosphere: A 3D mantle convection model

吉田 晶樹^{1*}

YOSHIDA, Masaki^{1*}

¹ 海洋研究開発機構 地球内部ダイナミクス領域

¹IFREE, JAMSTEC

It is still difficult to find the conditions which allow both stable cratonic lithosphere and plate tectonics in the numerical modeling of mantle convection (e.g., Yoshida, 2010, Yoshida and Santosh, 2011). A three-dimensional (3D) numerical model presented herein makes it possible to model the cratonic lithosphere that survives for a geologically long period of time, i.e., over ten billion years (Yoshida, 2012). In the present model, the lateral side of the highly viscous cratonic lithosphere (CL) is surrounded by the weak (low-viscosity) continental margin (WCM), such as the tectonically mobile (orogenic) regions.

Numerical results show that an important factor in the longevity of cratonic lithosphere is the localized rheological (viscosity) contrast between the cratonic and oceanic lithospheres, i.e., the presence of the WCM. The WCM protects the cratonic lithosphere from being stretched by the surrounding convection force. In addition to the presence of the WCM, the higher viscosity of the cratonic lithosphere itself effectively contributes to the stability of the cratonic lithosphere, as suggested by the previous numerical modeling. However, the results of the present study suggest that the WCM plays a primary role in the longevity of cratonic lithosphere, even if the viscosity contrast between the cratonic and oceanic lithospheres is quite high, 10^3 , and the high-viscosity of cratonic lithosphere may play a secondary role in the longevity of cratonic lithosphere. The combination of the presence of a WCM and the high-viscosity of cratonic lithosphere may realize the longevity of cratonic lithosphere that survives for over two billion years.

Future studies based on numerical modeling must address the geodynamic mechanisms of (1) the origin and growth of the continental crust, (2) the episodic growth of continental crust, and (3) the creation and destruction of continental crust related to subduction zone processes. In particular, the mechanism of crust production and growth should be incorporated in a future numerical model in order to investigate the hypothesis that plate tectonics creates and destroys continental crust over time. Such a study would test whether the geologically suggested episodic emergence of supercontinents are realized in the numerical model (e.g., Yoshida and Santosh, 2011).

References:

Yoshida, M., *Earth Planet. Sci. Let.*, 295(1-2), 205-218, 2010.

Yoshida, M., *Tectonophys.*, 2012, in press.

Yoshida, M and M. Santosh, *Earth-Sci. Rev.*, 105(1-2), 1-24, 2011

キーワード: 大陸リソスフェア, 大陸縁辺域, クラトン, 粘性率, マントル対流, 数値シミュレーション

Keywords: continental lithosphere, continental margin, craton, viscosity, mantle convection, numerical simulation

回転系における液体金属の熱対流：室内実験と数値シミュレーション Rotating convection of a liquid metal by laboratory experiments and numerical simulations

柳澤 孝寿^{1*}, 櫻庭 中², 宮腰 剛広¹, 山岸 保子¹, 浜野 洋三¹, 田坂 裕司³, 武田 靖⁴

YANAGISAWA, Takatoshi^{1*}, SAKURABA, Ataru², MIYAGOSHI, Takehiro¹, YAMAGISHI, Yasuko¹, HAMANO, Yozo¹, Yuji Tasaka³, Yasushi Takeda⁴

¹ 海洋研究開発機構 地球内部ダイナミクス領域, ² 東京大学大学院 理学系研究科, ³ 北海道大学大学院 工学研究院, ⁴ 東京工業大学大学院

¹IFREE, JAMSTEC, ²Dept. Earth & Planetary Science, Univ. Tokyo, ³School of Eng., Hokkaido Univ., ⁴Tokyo Inst. Technology

We performed laboratory experiments of Rayleigh-Benard convection on a rotating table by using liquid gallium, to see the effect of Coriolis force on the flow pattern in low Prandtl number (Pr) fluids. The vessel we used has a square geometry with aspect ratio five; convection is driven by bottom heating and top cooling. The range of Rayleigh number (Ra) is from 10^3 to 10^5 , and the Pr of liquid gallium is 0.025. The range of Taylor number (Ta), which is proportional to the square of the rotating speed, is from 0 to 10^7 . Flow patterns were visualized by ultrasonic velocity profiling method, and convective flow structures with time variation were clearly observed. We compared the results with the experiments using water (Pr=6) in the same geometry.

We also made up codes for numerical simulation of thermal convection with Coriolis force, to compare with the results obtained by these laboratory experiments. Theoretical studies for the onset of instability indicates that the critical Ra is proportional to $Ta^{2/3}$ in an asymptotic form, and the state of overstability occurs for $Pr < 0.6$. Our numerical result reproduced the relation of critical Ra on Ta, depending on Pr. Convection patterns above the critical Ra are consistent with that observed in the laboratory experiments. We analyzed the global structure and its time variations.

キーワード: 回転対流, 液体金属, コリオリ力, 室内実験, 数値シミュレーション

Keywords: rotating convection, liquid metal, Coriolis force, laboratory experiment, numerical simulation

回転ディスクの上の水の表面に生じる振動現象 Oscillation on surface of water over rotating disc

池田 剛志^{1*}, 伊賀 啓太², 渡辺 俊一², 横田 祥², 新野 宏², 三澤 信彦²

IKEDA, Takashi^{1*}, IGA, Keita², WATANABE, Shunichi², YOKOTA, Sho², NIINO, Hiroshi², Nobuhiko Misawa²

¹ 東京大学理学部, ² 東京大学大気海洋研究所

¹School of Science, The Univ. of Tokyo, ²AORI, The Univ. of Tokyo

地球や惑星の大気中に見られる渦の中には、軸対称性が崩れて様々な構造を持つものがある。例えば、台風の眼が多角形の形状をとることがあったり、土星の北極を流れる六角形のジェットが観測されたりしている。また、このような軸対称性からのずれも定常的なものとは限らず、地球の極を取り巻くジェットのように大きく蛇行をする状態と比較的軸対称に近い状態を繰り返すこともある。

これらと似たような現象は室内実験において作り出すことができる。円筒容器に水を入れて、容器底に取り付けられたプレートを回転させることで水面中心部が多角形の形になることが知られている。また、軸対称が大きく崩れて水面が振動する状態と軸対称に近い平穏な状態を繰り返すという現象も見られる。

本研究では、水面中心部が軸対称から多角形へと移り変わる回転数領域よりも低い回転数領域で見られる、容器外側の水面が大きく振動する状態と振動がない軸対称な状態を繰り返す現象の起こる特定の回転領域に注目して、この流れの性質を詳細に調べた。その結果、この回転数領域ではこのような大きな振動現象以外に、振幅は小さいながらも定常的に容器外側が揺らされる振動現象域を見つけた。また、この振動現象に関して、振動の発生周期や振幅などの特徴を明らかにした。振動状態から平穏状態を経て再び振動状態になるまでの時間間隔は水深を深くするにつれて、もしくは回転数を上げるほど短くなった。また、振幅は振動の繰り返し間隔が長いほど大きかった。

さらに、振動現象の水深や回転数などの依存性から、振動現象の発生条件の説明を試みた。この容器内での水の基本流は、中心付近では底のプレートとほぼ同じ剛体回転をしているのに対し、外側は内側に比べて回転速度が遅くなっている。また、水層の厚さは中心に向かうほど薄くなっている。そのため、回転プレートと同じ向きの位相速度を持つ外壁に沿って伝わる重力波と回転プレートと逆向きの位相速度を持つ中心付近の地形性ロスビー波の流れにのった位相速度が近くなることで不安定が生じ、振動現象が起こったと考えられる。

キーワード: 回転流体, 室内実験, 振動

Keywords: rotating fluid, laboratory experiment, oscillation