

## 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<sup>1\*</sup>, 竹広 真一<sup>2</sup>, 山田 道夫<sup>2</sup>  
OBUSE, Kiori<sup>1\*</sup>, TAKEHIRO, Shin-ichi<sup>2</sup>, YAMADA, Michio<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東北大学 WPI-AIMR, <sup>2</sup> 京都大学 数理解析研究所  
<sup>1</sup>WPI-AIMR, Tohoku University, <sup>2</sup>RIMS, 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<sup>1\*</sup>, 竹広 真一<sup>1</sup>, 山田 道夫<sup>1</sup>  
KIMURA, Keiji<sup>1\*</sup>, TAKEHIRO, Shin-ichi<sup>1</sup>, YAMADA, Michio<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学数理解析研究所

<sup>1</sup> 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<sup>1\*</sup>, 亀山 真典<sup>2</sup>, 市川 浩樹<sup>2</sup>

MIYAUCHI, Arata<sup>1\*</sup>, KAMEYAMA, Masanori<sup>2</sup>, ICHIKAWA, Hiroki<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>Ehime University, <sup>2</sup>Geodynamics 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<sup>1\*</sup>

HOSHINO, Masafumi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 富山大学人間発達科学研究科

<sup>1</sup>University 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<sup>1\*</sup>, 新野 宏<sup>2</sup>

ARAKI, Kentaro<sup>1\*</sup>, NIINO, Hiroshi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 気象庁銚子地方気象台, <sup>2</sup> 東京大学大気海洋研究所

<sup>1</sup>Choshi Local Meteorological Observatory, Japan Meteorological Agency, <sup>2</sup>Atmosphere 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<sup>1\*</sup>, 山中 大学<sup>2</sup>

SAEKI, Takuro<sup>1\*</sup>, YAMANAKA, Manabu D.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>Graduate School of Science, Kobe University, <sup>2</sup>RIGC, 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<sup>1\*</sup>, 品川 裕之<sup>2</sup>, 家森 俊彦<sup>3</sup>, 津川 卓也<sup>2</sup>, 齊藤 昭則<sup>4</sup>, 大塚 雄一<sup>5</sup>

MATSUMURA, Mitsuru<sup>1\*</sup>, SHINAGAWA, Hiroyuki<sup>2</sup>, IYEMORI, Toshihiko<sup>3</sup>, TSUGAWA, Takuya<sup>2</sup>, SAITO, Akinori<sup>4</sup>, OTSUKA, Yuichi<sup>5</sup>

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

<sup>1</sup>SSRE, Univ. of Electro-Communications, <sup>2</sup>NICT, <sup>3</sup>DACGSM, Kyoto Univ., <sup>4</sup>Dept. of Geophys., Kyoto Univ., <sup>5</sup>STE 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<sup>1\*</sup>, 小林 直樹<sup>2</sup>, 深尾 良夫<sup>3</sup>, 富澤 一郎<sup>4</sup>, 樋口 知之<sup>1</sup>

NAGAO, Hiromichi<sup>1\*</sup>, KOBAYASHI, Naoki<sup>2</sup>, FUKAO, Yoshio<sup>3</sup>, TOMIZAWA, Ichiro<sup>4</sup>, HIGUCHI, Tomoyuki<sup>1</sup>

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

<sup>1</sup>The Institute of Statistical Mathematics, <sup>2</sup>ISAS/JAXA, <sup>3</sup>IFREE/JAMSTEC, <sup>4</sup>The 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<sup>1\*</sup>, 中村 美紀<sup>1</sup>, 古屋 姫美愛<sup>1</sup>, 大西 将徳<sup>2</sup>

SAKAI, Satoshi<sup>1\*</sup>, NAKAMURA, Miki<sup>1</sup>, FURUYA, Kimie<sup>1</sup>, ONISHI, Masanori<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 京都大学人間・環境学研究科, <sup>2</sup> 日本科学未来館

<sup>1</sup>Graduate School of Human and Environmental Studies, <sup>2</sup>National 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<sup>1\*</sup>, 古屋 姫美愛<sup>1</sup>, 飯澤 功<sup>2</sup>, 大西 将徳<sup>3</sup>, 酒井 敏<sup>1</sup>  
NAKAMURA, Miki<sup>1\*</sup>, FURUYA, Kimie<sup>1</sup>, IIZAWA, Isao<sup>2</sup>, ONISHI, Masanori<sup>3</sup>, SAKAI, Satoshi<sup>1</sup>

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

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

<sup>3</sup>Kobe 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