

平成 30 年 5 月 31 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26400467

研究課題名(和文)地球惑星大気における高速風を伴う双子渦の力学

研究課題名(英文)Dynamics of binary vortices in strong wind jet on terrestrial planets

研究代表者

山本 勝 (Yamamoto, Masaru)

九州大学・応用力学研究所・准教授

研究者番号：10314551

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、金星大気大循環モデルの中のポーラーダイポールの形成・維持機構を明らかにした。また、厚い雲で覆われた惑星大気大循環の高解像モデルでは、自転が極端に遅い惑星の極域波動の水平熱輸送が、極域フェレル循環を形成し、大気大循環構造に多大な影響を与える。日本付近の二つ玉爆弾低気圧に関しては、近接した双子渦の併合に伴い、atmospheric river と呼ばれる水蒸気帯が北上し、北向きの水蒸気輸送効率がよくなることを示した。

研究成果の概要(英文)：We elucidated formation and maintenance of polar dipole simulated in a Venus general circulation model. Our high-resolution general circulation model of cloud-covered planets showed that, on a slowly rotating planet, heat fluxes due to polar waves form polar Ferrel circulation and strongly influence the global circulation structure. For explosive twin cyclones around Japan, during the merger process of the contact two cyclones, atmospheric river is formed and travels northward. This raises the efficiency of northward vapor transport south of Japan.

研究分野：大気力学

キーワード：ポーラーダイポール 二つ玉低気圧 偏西風 スーパーローテーション

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 高速風を伴う双子渦は、偏西風ジェットが吹く中、日本列島を挟んだ日本海低気圧と南岸低気圧のペアの二つ玉低気圧として頻繁にみられる。双子の台風については多くの研究がなされているが、偏西風を伴う二つ玉温帯低気圧の研究は非常に少なく、流体力学的な理解もあまり進んでいない。過去には、上層のダブルジェットと関連した二つ玉低気圧が報告されている(小倉他 2006; 櫃間 2006) が、Yamamoto(2012, Meteor. Appl.) はシングルジェットを伴う二つ玉低気圧の発達・併合を調査し、紀伊半島の豪雨強化や二つ玉低気圧の併合・再発生のメカニズムを明らかにした。このように、災害および海洋気象の観点からも、二つ玉温帯低気圧の研究を推進しなければならない。

(2) 双子渦は金星でも観測されている。金星では自転の 60 倍で惑星を一周する高速流(スーパーローテーション)が存在し、極域で「ポラーダイポール」と呼ばれる二つ目玉の高温域が観測されている。モデリングに関しては、金星の条件でスーパーローテーションが大気大循環モデル(GCM)で再現可能であることを示して以来(Yamamoto and Takahashi 2003, J. Atmos. Sci.), 多くの国内外の研究グループが参入している。近年、金星 GCM の相互比較が行われるまでコミュニティーが広がっている(Lebonnois et al., 2013)。2012 年以降、ようやくポラーダイポールに近い構造が再現されるようになってきた(Yamamoto and Takahashi 2012, Icarus)。その形成要因として順圧不安定や傾圧不安定の 2 つが提唱されている。さらに、Venus Express による金星探査で、ポラーダイポールの複雑な挙動が注目されており、その力学の解明が待たれている。

## 2. 研究の目的

(1) 「日本付近でみられる二つ玉低気圧」と「金星極域のポラーダイポール」は一見別々の現象に見えるが、力学的には共に帯状流(地球の偏西風ジェットや金星のスーパーローテーション)の中で頻繁に出現する双子渦といえる。しかしながら、これらの現象は、双子渦の力学の見地で統一的な理解がなされていない。そこで、帯状流の中の双子渦という視点で、下記の 2 つの目的を設定する。

- 【1】日本列島を挟んだ双子渦の力学の解明
- 【2】金星の双子渦の力学の解明

(2) 目的【1】では、顕著事例の数値実験に基づき、偏西風ジェットの構造(ダブル/シングルジェット)や海面温度や地形の有無が二つ玉低気圧の発達・併合に与える影響を明らかにする。特に、双子渦の非対称性や併合(つまり、双子渦間の相互作用)が降水や前線の発達に与える影響を調査して、二つ玉低気圧による水蒸気輸送を解明する。加えて、

ダブルジェットが二つ玉低気圧の発達を介してシングルジェットへ変形し、その変形したシングルジェットが二つ玉低気圧を一つ玉へ併合させる力学プロセスを調べ、双子渦・高速風の相互作用を解明する。このように、偏西風と二つ玉低気圧について『双子渦同士の相互作用』と『双子渦と高速風の相互作用』を渦位解析によって明らかにする。

(3) 目的【2】では、金星の中高緯度ジェットの極側で発生するポラーダイポールの形成維持機構を明らかにする。金星では極域で大きな振幅をもつ惑星スケール波動(熱潮汐波)が発見されているが、その波動がポラーダイポールに与える影響は十分に調べられていない。そこで、双子渦と惑星スケール波動の相互作用を波動解析によって明らかにする。また、双子渦の盛衰はスーパーローテーションにも影響を与えるので、スーパーローテーションとポラーダイポールについて双子渦と高速風の相互作用を角運動量収支解析によって明らかにする。

## 3. 研究の方法

(1) 双子渦の発生・発達・併合を再現する領域気象モデルは、気象モデル Weather Research and Forecasting (WRF) model を用いた。金星大気大循環モデルは大気海洋研究所の AGCM5.6 および MIROC を金星に改良したモデルを用いた。理想化実験では、切断波数 42 以上にした高解像度の設定で計算をおこなった。これらの実験では、大型計算機を用いた大規模数値計算が必要となる。また、計算後のデータ量も膨大になるので、データ解析および管理するサーバーを用いて解析をおこなった。

(2) 本研究では、2 つの低気圧のペアのみならず、低気圧渦と高気圧渦のペアも双子渦とみなし研究を進めた。また、碎波や対流による双子渦の安定性の解明に向けた予備実験も実施した。地球惑星大気で観測される双子渦を『高速風を伴う双子渦』と位置づけ、(i) 現実的で複雑な気象シミュレーションと(ii) 素過程を抽出した理想化実験の双方向から『高速風を伴う双子渦の力学』を研究した。

## 4. 研究成果

(1) 金星極渦中の双子渦の研究では、モデルで得られたスーパーローテーションやポラーダイポールを詳しく調査した。金星中層大気 GCM の計算結果を解析し、「極域の 1 日潮と傾圧波の重ね合わせによる極域渦(ダイポール, モノポール, トリポール)の変動および形成メカニズム」に関する研究成果をまとめた(Yamamoto and Takahashi 2015, Planet. Space Sci.)。東西平均場と極域の 1 日熱潮汐波を足し合わせると、極から少しずれた楕円形状をした高温域が形成される(モノポール)。この楕円高温域に東西波数 2 の傾圧波が重ね合わさるとダイポールが

形成される．この東西波数 2 の波の位相がずれたり，振幅が弱くなるとダイポール構造が崩れる．このような，1 日熱潮汐波と波数 2 以上の不安定波との重ね合わせが，金星で観測される複雑で不規則な渦パターン形成の力学過程の 1 つを示すものと考えられる．

(2) 中層大気の雲層加熱で駆動する惑星大気大循環について調査し，スーパーローテーションや間接循環の自転依存性を調査した (Yamamoto and Takahashi 2016, JGR)．簡略化した設定で，解像度を上げた実験を行い，双子渦の背景場として重要なスーパーローテーションや子午面循環の感度を調べた．大気大循環パターンや水平渦熱輸送の自転依存性が大きく，この自転依存性は TEM 循環場や EP フラックスで明瞭に現れる．金星と同じ自転速度を設定した実験では，自転が遅いにも関わらず極域にフェレル循環が出現する．このフェレル循環はスーパーローテーションを弱める方向に働き，この循環を駆動する波は，極域に広がった混合ロスビー重力波のような構造で，極を中心に双極子構造 (正と負のジオポテンシャル擾乱成分の極大) をもち，極を横切る子午面流が卓越する (図 1)．

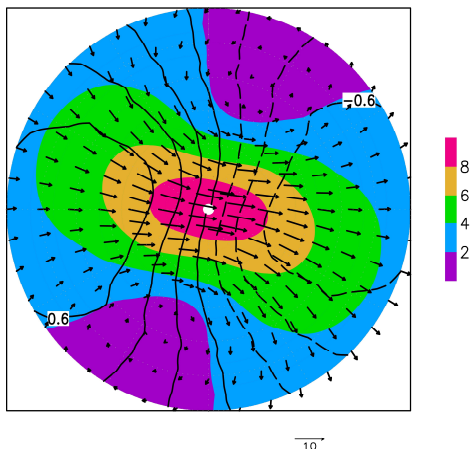


図 1 極域波動構造．正と負の温度偏差 (等値線) の極大をもち，極を横切る水平流 (矢羽：水平風速度ベクトル，濃淡：水平風速) が卓越する (Yamamoto and Takahashi 2016) ．

(3) 金星大気において東西波数 1 の強制波が低安定度層 (高度 55 km 付近) で碎波し，波数 2 が卓越して，双子渦構造が見えるか否かについて調査した．この実験の渦構造は強制波の振幅に強く依存し，明瞭な双子渦は見えない．特に，振幅が大きすぎると，碎波により小スケールの対流や重力波が生じ，双子渦構造が明瞭でなくなる．このように，大振幅の惑星スケール波の碎波は双子渦構造を壊す方向に働く．このような惑星スケール波の碎波は運動量や熱の輸送に多大な影響を与える (Yamamoto 2015, Theor. Appl. Mech. Japan) ．また，惑星大気のみソ気象モデルで双子渦の有無を調査したが，長時間維持する

ような双子渦構造は見られなかった．この研究から派生した成果として，金星下層大気の大気調節が生み出す風速頻度分布を明らかにした (Yamamoto 2017, Icarus) ．

(4) 日本列島を挟んだ双子渦の力学の研究では，二つ玉低気圧の顕著事例の中から 2 事例 (2008 年 1 月と 2014 年 12 月) を選定し，メソ気象モデルを用いた数値実験をおこなった．2008 年 1 月の事例では，上層のダブルジェットがシングルジェットへ変形する中，二つ玉爆弾低気圧が形成される．この二つ玉低気圧の形成要因を明らかにするために，下部境界条件を変えた実験をおこなった．発達初期において南北に伸びた下層の気圧の谷が双子渦形成に重要であることがわかった．

(5) 2014 年 12 月の事例では，二つ玉低気圧の構造が atmospheric river に与える影響について解析をおこなった (Yamamoto 2018, Dyn. Atmos. Ocean.) ．近接した 2 つの低気圧の併合過程が，効率よく北へ水蒸気を輸送することを示した (図 2) ．

2014年12月16日00:00UTC 2014年12月16日18:00UTC

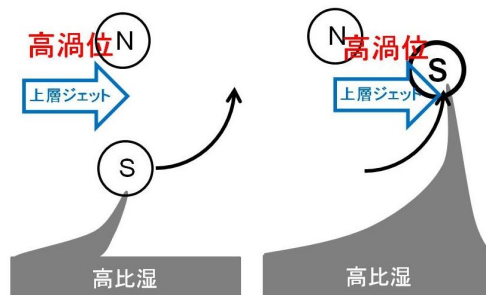


図 2 上層ジェットと二つ玉低気圧の関係 ．

## 5 . 主な発表論文等

( 研究代表者，研究分担者及び連携研究者には下線 )

[ 雑誌論文 ] ( 計 5 件 )

Masaru Yamamoto, Migration of contact binary cyclones and atmospheric river: Case of explosive extratropical cyclones in East Asia on December 16, 2014. Dynamics of Atmospheres and Oceans, 査読有, 83, 17-40, 2018.  
DOI: 10.1016/j.dynatmoce.2018.05.003

Masaru Yamamoto, Probability distribution of surface wind speed induced by convective adjustment on Venus, Icarus, 査読有, 284, 314-324, 2017.  
DOI: 10.1016/j.icarus.2016.11.027

Masaru Yamamoto and Masaaki Takahashi, General circulation driven by baroclinic forcing due to cloud-layer heating: significance of planetary rotation and polar eddy heat transport, Journal of Geophysical Research -

Planets, 査読有, 121, 558-573, 2016.

DOI: 10.1002/2015JE004983

Masaru Yamamoto and Masaaki Takahashi, Dynamics of polar vortices at cloud top and base on Venus inferred from a general circulation model: case of a strong diurnal thermal tide, Planetary and Space Science, 査読有, 113-114, 109-119, 2015.

DOI:10.1016/j.pss.2015.01.017

Masaru Yamamoto, Vertical momentum and heat transport induced by wave breaking and cloud feedback heating in the Venusian atmosphere, Theoretical and Applied Mechanics Japan, 査読有, 63, 165-174, 2015.

DOI:10.11345/nctam.63.165

〔学会発表〕(計 8 件)

山本勝, 2014 年 12 月 16 日に急発達したバイナリー温帯低気圧について, 日本流体力学会 年会 2015(東京都), 2015.

山本勝, 2014 年 12 月 16 日に急発達した南岸低気圧: 日本海低気圧の役割, 日本気象学会 2015 年度春季大会(つくば市), 2015.

山本勝・高橋正明, 極向き渦熱輸送が金星型超回転に与える影響, 日本気象学会 2015 年度春季大会(つくば市), 2015.

Masaru Yamamoto and Masaaki Takahashi, General circulation and high-latitude atmospheric dynamics of a cloud-covered planet, Japanese-French model studies of planetary atmospheres (Kobe, Japan), 2015.

山本勝, 金星大気の碎波および雲加熱による鉛直運動量・熱輸送について, 第 63 回理論応用力学講演会(東京都), 2014.

Masaru Yamamoto and Masaaki Takahashi, Sensitivity of atmospheric circulation patterns to rotation of cloud-covered terrestrial planet, The European Planetary Science Congress 2014 (Cascais, Portugal), 2014.

Masaru Yamamoto and Masaaki Takahashi, A benchmark experiment for a Venus AGCM and the sensitivities to model resolution and planetary rotation, Asia Oceania Geosciences Society 11th Assembly (Sapporo, Japan), 2014.

山本勝・高橋正明, 金星大気 GCM のベンチマーク実験: モデルおよび天文パラメーターに対する感度について, Japan Geoscience Union Meeting 2014 (横浜市), 2014.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://hyoka.ofc.kyushu-u.ac.jp/search/details/K002831/research.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 勝 (YAMAMOTO, Masaru)

九州大学・応用力学研究所・准教授

研究者番号: 1 0 3 1 4 5 5 1

(2) 研究分担者

無し

(3) 連携研究者

無し

(4) 研究協力者

高橋正明 (TAKAHASHI, Masaaki)