

令和元年5月31日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2013～2017

課題番号：25247075

研究課題名(和文)新理論に基づく大気大循環の3次元描像の解明

研究課題名(英文) A study on the three dimensional view of the atmospheric general circulation based on a new theory

研究代表者

佐藤 薫 (Sato, Kaoru)

東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・教授

研究者番号：90251496

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,100,000円

研究成果の概要(和文)：3次元の波活動度フラックスとラグランジュ平均流の近似式に関する理論研究を行った。非定常波・定常波の両者に対して適用可能な定式化に成功した。理論式を用いて成層圏突然昇温や最終昇温に伴うラグランジュ平均流の3次元構造を調べ対流圏雲量への影響を議論した。南極大型レーダーや衛星の観測データを用いて成層圏・中間圏重力波の周波数特性やENSO、MJOによる変調を示した。高解像大気大循環モデルを用いて運動量収支を調べ、中間圏では対流圏起源の重力波強制による重力波・ロスビー波の発生が無視できず、3次元大気大循環の構造の理解には、重力波・ロスビー波・平均流の密接な相互作用が極めて重要であると明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、近年の観測技術や計算機技術の発展により、ようやく定量的な研究対象にすることができるようになった対流圏から中間圏に至る全中性大気の大循環の構造や維持機構を、3次元的側面にも着目して解明を進めたものであり、きわめて先駆的である。また、成層圏・中間圏の大循環は、オゾン等の大気微量成分の分布を決めると同時に、対流圏への影響も指摘されており、天気予報の精度向上にも資すると考えられる。特に重力波パラメタリゼーションには不確実性が高く問題となっていたが、その改善に直接結びつく成果が得られた。

研究成果の概要(英文)：A theoretical study was conducted on approximated formulae of 3-D wave activity flux and Lagrangian mean flow. The formulation applicable to both non-stationary and stationary waves was successfully made. The theoretical formulae were used to clarify the influence of the 3-D mean flow on the stratospheric clouds associated with the stratospheric sudden warming and final warming. We showed the spectral characteristics of stratospheric and mesospheric gravity waves (GWs) by MST radar observations in the Antarctic and the modulation of GWs by ENSO and MJO using satellite observation data. The momentum budget was investigated using high resolution general circulation models, showing that the in-situ generation of GWs and Rossby waves (RWs) through momentum deposit by gravity waves originating from the troposphere is significant in the middle atmosphere. This means that close interaction between GWs, RWs and the mean flow is crucial for the 3D middle atmosphere circulation.

研究分野：気象学、特に大気力学および中層大気科学

キーワード：中層大気大循環 ロスビー波 大気重力波 波と平均流の相互作用 対流圏・成層圏・中間圏相互作用
南極大型大気レーダー(PANSYレーダー) 高解像度大気大循環モデル 大気再解析データによる重力波診断

1. 研究開始当初の背景

大気科学における地上測器や衛星の観測技術や計算機技術の進歩により、重要な物理「パラメータ」として扱われてきた小規模な大気波動である大気重力波が「解像できる波」として捉えられる時代となり、大気における主要な 2 つの内部波であるロスビー波と重力波が対等に扱えるようになった。一方、中層大気（成層圏・中間圏・下部熱圏）の大気波動を含む運動量収支は、熱帯の現象であるエルニーニョ時の北極大気の応答や温暖化予測等地上気象予測にも重要であることが分かってきた。大気波動の駆動する物質循環は、解析に必要な理論体系の構築が遅れていたこともあり、緯度高度 2 次元断面において議論されることが主であり、波活動や大気大循環の 3 次元描像の解明は、まだほとんどなされていなかった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、この新理論の適用によるデータ解析手法を確立し、中層大気大循環の 3 次元描像の解明を行うことである。その際、定常が仮定できる冬季・夏季だけでなく、季節変化が重要な春季・周期も扱う。次に、成層圏突然昇温等、定常性が仮定できない場合の 3 次元平均流の応答を解明する。冬季中間圏にはしばしば不安定な渦位構造が現れ、下降流により形成される成層圏界面と関連している。その力学機構も詳しく調べる。最後に新理論の発展として地表面を扱う 3 次元理論構築を行い、対流圏に解析を拡張する。以上の研究により、高解像度時代に即した標準的な 3 次元循環の解析手法の提案に結びつける。

3. 研究の方法

4 班に分かれ多角的に研究を展開する。A 班は理論研究を担当し、B 班は長期再解析データ等を用いて現実大気大循環のクライマトロジの研究を行う。重力波はこのデータに陽に含まれないため診断的に解析する。C 班は突然昇温等非定常時の循環の特徴を明らかにする。D 班は重力波・ロスビー波の 3 次元分布と 3 次元大循環を解析する。また、中間圏での非静力効果の解明のため、対流圏非静力雲解像全球モデルの拡張開発を行う。興味のある大学院生の研究参加も促し、定期的にミーティングを開いて議論を深め、次の方針を明確にしながら進める。

4. 研究成果

(1) 3 次元大循環に関する理論的枠組みの構築と重力波発生の理論研究

- ①本研究課題の中心となる 3 次元残差循環と波活動度フラックスに関するロスビー波・重力波統一理論を論文にまとめた (Kinoshita and Sato 2013a, 2013b)。また、時間平均からのずれとして取り出すことが出来ない定在波の波活動度フラックスについては、ヒルベルト変換を拡張し、これを用いることで解析できることを示した (Sato et al. 2013)。これは、擾乱を平均風からのずれと考えるのではなく、擾乱が感じる平均場という逆転の発想により可能となる手法である。
- ②対流圏下層の擾乱活動に伴う物質輸送をより正確に記述可能な等温位座標における質量重み付き平均系において重力波活動を 3 次元に記述する波活動度フラックスを新たに導出し、論文化した (Kinoshita et al. 2016)。
- ③非断熱加熱とバランスする 3 次元物質輸送を新たに導出した。この理論式、過去の 3 次元残差流に加え、停滞性擾乱に伴う温位面、渦位面の揺らぎに着目することで導くことができた (Kinoshita et al. 2019)。この理論式で表現される流れは、従来の理論が持つ擾乱の碎波に伴う流れを含み、非断熱加熱や摩擦ともつりあう流れである。導出した流れの有用性を確認するため、大気大循環モデルデータを使用して、大気微量成分 SF₆ の 3 次元輸送の解析を行った(図 1)。
- ④日変化する境界層から慣性重力波が放射されること、慣性周期が 1 日となる緯度 30 度では、共鳴がおきて放射される重力波の振幅が大きくなることを示した (Shibuya et al. 2014)。

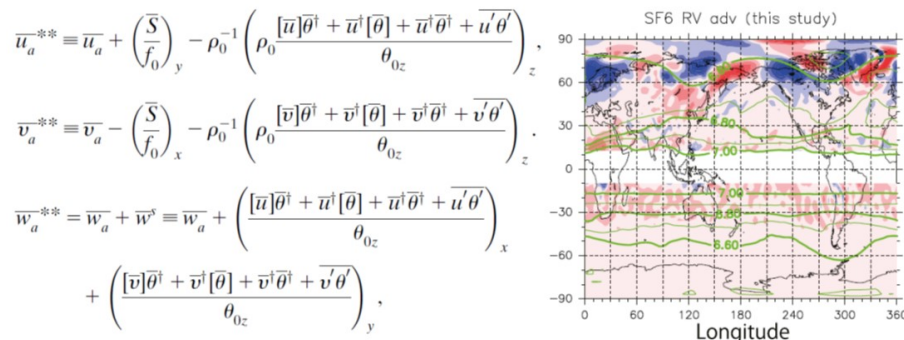


図 1: 非断熱加熱とバランスする 3 次元残差流(左)。3 次元残差流を用いて診断した 30hPa (高度約 24km) の SF₆ の移流(Kinoshita et al. 2019)。

- ⑤ジェットから重力波が自発的に放射され、重力波放射がジェットに反作用を与える様子を記述する理論モデルを、くりこみ群の方法を用いて構築した。数値モデルによるシミュレーションを行って、この理論モデルの予想が定量的にも正しい記述を与えることを確認した (Yasuda et al. 2015a, 2015b)。
- ⑥重力波の水平伝播を考慮したパラメタリゼーションスキームを開発した。特に重力波の屈折に伴う運動量フラックス収束を考慮した点が新しい。大気大循環モデルに組み込んでその効果を調べたところ、南北方向の運動量収束に大きな違いがみられることが分かった (Amemiya and Sato, 2018)。
- ⑦東西方向の波強制による子午面循環の形成過程に関し、グリーン関数を用いた理論考察も行った。これによれば、波強制が与えられた直後は、まず惑星規模の重力波が発生することによって調節される。その後、東西風が波強制の方向に加速され、残りは子午面循環を形成する。さらに放射緩和時間に到達すると、ほぼすべてが子午面循環とバランスするようになる (Hayashi and Sato, 2018)。

(2) 長期再解析データ、観測データ等を用いた重力波および現実大気大循環の解析

- ①成層圏の冬季に出現する極渦は、春季になると、主に太陽放射による加熱により、弱化・消滅する (成層圏最終昇温)。南半球の最終昇温日のタイミングは主に放射加熱・冷却によって説明されると考えられてきたが、大気波動が駆動する循環の役割についてあまり調べられていなかった。南半球の最終昇温の年々変動の要因について、東西平均した方程式系 (平均オイラー方程式系) と3次元残差平均流の理論式 (Kinoshita and Sato, 2013a) を用いて、最終昇温期に見られる残差平均流に着目した解析を行った。最終昇温が早い年と遅い年をグループ分けして比較したところ、10月上旬に温度変化率に大きな差が現れることが判明した。平均オイラー方程式系を用いて、この差を作る物理過程を調査したところ、残差平均下降流に伴う断熱加熱により主として説明されることが明らかになった。残差平均鉛直流の地域性を調べると、ウェッデル海付近に特に強い下降流が見られ、この鉛直流は成層圏にとどまらず、対流圏界面を貫き対流圏にまで到達していた。これは、成層圏最終昇温の東西方向の非対称性が、対流圏の応答にも現れることを意味している (Hirano et al. 2016)。
- ②PANSY レーダー (南極昭和基地大型大気レーダー) の中間圏夏季連続観測データを用いて、広帯域な重力波のパワースペクトルや運動量フラックススペクトルを計算した。これまでの理論的予想とは異なり、比較的長周期の重力波が運動量輸送を担うことが明らかとなった (Sato et al. 2017)。
- ③昭和基地の MF レーダーによる中間圏の15年観測データを用いて重力波の季節変化および年々変化に関する研究を行った。冬季だけでなく夏季にも重力波活動度のピークが見られること、その年々変化は亜熱帯対流活動と関連があることを突き止めた (Yasui et al. 2016)。
- ④高水平解像衛星観測データを用い、熱帯域のマッデン・ジュリアン振動や、南方振動に伴う成層圏重力波活動の変動を明らかにした (Sato et al. 2016; Tsuchiya et al. 2016)。

(3) 突然昇温等非定常時の循環

- ①2009年、2010年、2012年の成層圏突然昇温時の極域対流圏の雲出現頻度の変動を、CALIPSO、COSMIC/FORMOSATの観測、及び再解析データを使って調べた (図2)。いずれの年においても、突然昇温発生後に対流圏上層において雲出現頻度が急激に減少し、その後1ヶ月以上に渡り雲出現頻度が低くなることが判明した。まず、変形オイラー平均系に基づいた解析を行い、突然昇温時に成層圏から対流圏界面付近に至る残差平均下降流と雲出現頻度の減少が対応していることを示した。さらに、近年導出された3次元残差平均流の理論や拡張ヒルベルト変換を用い、残差平均流の地域性を調べた。雲出現頻度が減少している領域と下降流がよく対応していた。これは、TEM

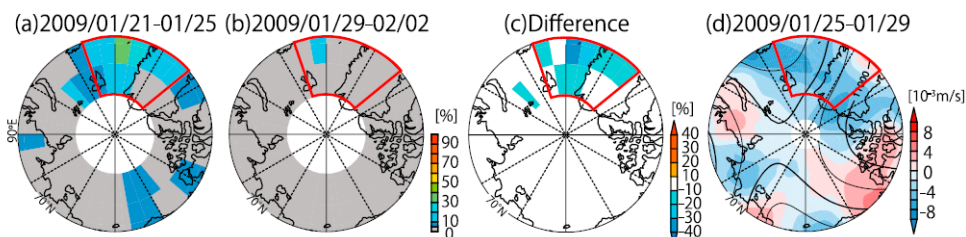


図2: (a) 雲減少イベント発生前の雲頻度の分布、(b) 雲減少イベント発生後の雲頻度の分布、(c) 雲減少イベント発生前後の雲頻度の変化、(d) Kinoshita and Sato (2013) で導入された3次元残差流 (陰影)。雲減少が顕著に見られた領域を赤枠で囲っている。Kohma and Sato (2014) の Fig. 8 を改変。

系で見出された残差平均流と雲減少の関係が、水平方向で見た場合も成り立つことを示唆する。先行研究では、対流圏-成層圏間の力学的な結合を示唆する結果が多く得られているが、今回得られた結果は、雲を介した結合過程の存在を示唆するものである(Kohma and Sato, 2014)。

(4) 重力波解像モデルを用いた重力波・ロスビー波の3次元分布と大循環の解析

- ①重力波解像気候モデルデータを用いて太陽非同期1日周期潮汐波を物理空間で抽出し、これが、アフリカ大陸・南アメリカ大陸上の非断熱加熱により励起された内部重力波であることを明らかにした。加熱域の分布がほぼ東西波数4の構造を持つこと、加熱の位相が太陽同期することから、励起された波は東向き波数3及び西向き波数5となる。太陽同期衛星観測により知られる電離圏の「波数4構造」はこのうちの波数3の波であることが明らかとなった(Sakazaki et al. 2015)。
- ②重力波解像 GCM のシミュレーションデータを用いて、成層圏・中間圏における順圧・傾圧不安定を詳しく調べていたところ、ロスビー波と重力波の協働という新しい知見を得た(図3)。重力波はロスビー波に対しパッシブに振舞うと考えられていたが、重力波強制は中緯度中間圏に渦位極大を作り、その結果、極大を解消するように、東向きと西向きのロスビー波対が発生している様子が明らかとなった(Sato and Nomoto 2015)。
- ③PANSY レーダー(南極昭和基地大型大気レーダー)で観測された多重圏界面に着目し、これを非静力雲解像全球モデルで再現するのに成功した。再現実験データの詳細な解析のより、この多重圏界面は非線形性の強い高気圧や南極大陸の急峻な地形の効果によって発生し昭和基地付近に到達した慣性重力波によるものと断定できた(Shibuya et al. 2015)。
- ④国際重力波研究プロジェクトに参加し、重力波の運動量フラックスの全球分布に関する論文を出版した。本研究グループの高解像気候モデルによる重力波分布は、最新の高分解像衛星観測データの結果と整合的であった。通常の気候予測モデルに用いられる重力波パラメタリゼーションには冬季高緯度域や夏の極域において非現実的であることが示された。地形性重力波といえど水平伝播が無視できず、極夜ジェットに向かう傾向があることが明らかとなった(Geller et al. 2013)。
- ⑤重力波解像 GCM のシミュレーションデータを用いて南半球中緯度の重力波の起源と間欠性の研究を行った。主要起源が前線や中緯度ジェットであること、間欠性は下層大気では領域依存性が高いが中間圏では緩和されることなどがわかった(Alexander et al. 2016)。
- ⑥全大気モデル GAIA の再解析データをナジングした長期積分データを用いて、中層大気全体の運動量収支解析を行った。その結果、中間圏においては、それまで考えられていた対流圏からの重力波強制に加えて、中間圏でのロスビー波発生や重力波発生がありその効果も大きいことを見出した。また、中間圏でのこれらの波の発生は、対流圏からやってくる波強制が作り出した平均場の不安定によるものであることも示すことができた(Sato et al. 2018; Yasui et al. 2018)。
- ⑦全球高分解像度大気モデル JAGUAR を用いて、解像される大気重力波に伴う運動量フラックスに鉛直解像度依存性があることを示した。これまでモデル開発では水平解像度の向上が注目されてきたが、大気場の再現には鉛直解像度も上げる必要があることを示唆する重要な結果である(Watanabe et al. 2015)。

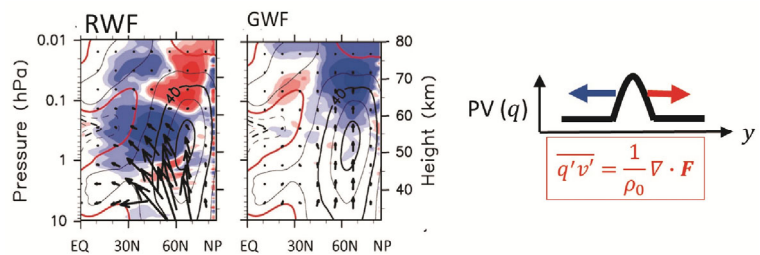


図3 (左) ロスビー波 (RWF) および重力波 (GW) のEPフラックス (矢印) と波強制 (色) (Sato and Nomoto 2015)、(右) ロスビー波発生による渦位極大の解消の様子のポンチ絵。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 36 件)

1. Kinoshita, T., et al. (2019), Formulation of three-dimensional quasi-residual mean flow balanced with diabatic heating rate and potential vorticity flux, *J. Atmos. Sci.*, 76, 851–863. Doi: 10.1175/JAS-D-18-0085.1.
2. Müller, S. K., et al. (2018), Convectively generated gravity waves in high resolution models of tropical dynamics, *J. Adv. Model. Earth Syst.*, 10, 2564-2588. Doi: 10.1029/2018MS001390.
3. Minamihara, Y., et al. (2018), Statistical characteristics of gravity waves with near-inertial frequencies in the Antarctic troposphere and lower stratosphere observed by the PANSY radar, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 123, 8993-9010. Doi:10.1029/2017JD028128.
4. Yasui, R., et al. (2018), The momentum budget in the stratosphere, mesosphere, and lower thermosphere Part 2: The in situ generation of gravity waves, *J. Atmos. Sci.*, 75, 3635-3651. Doi: 10.1175/JAS-D-17-0337.1.
5. Sato, K., et al. (2018), The momentum budget in the stratosphere, mesosphere, and lower thermosphere Part 1:

- Contribution of different wave types and in situ generation of Rossby waves, *J. Atmos. Sci.*, 75, 3613-3633 . Doi: 10.1175/JAS-D-17-0336.1.
6. Amemiya, A., and K. Sato (2018), A two-dimensional dynamical model for the subseasonal variability of the Asian monsoon anticyclone, *J. Atmos. Sci.*, 75, 3597–3612. Doi: 10.1175/JAS-D-17-0208.1.
 7. Hayashi, Y., and K. Sato (2018), Formation of two-dimensional circulation in response to unsteady wave forcing in the middle atmosphere, *J. Atmos. Sci.*, 75, 125-142, Doi:10.1175/JAS-D-16-0374.1.
 8. Williams, P. D., et al. (2017), A Census of Atmospheric Variability from Seconds to Decades, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 11,201-11,211. Doi: 10.1002/2017GL075483.
 9. Thurairajaha, B., et al. (2017), Simultaneous observation of gravity waves at PMC altitude from AIM/CIPS experiment and PANSY radar over Syowa (69°S, 39°E), *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 164, 324-331. Doi: 10.1016/j.jastp.2017.10.006.
 10. Shibuya R., et al. (2017), Quasi-12h inertia-gravity waves in the lower mesosphere observed by the PANSY radar at Syowa Station (39.6E, 69.0S), *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 6455-6476. Doi: 10.5194/acp-2016-813.
 11. Sato, K., et al. (2017), Frequency spectra and vertical profiles of wind fluctuations in the summer Antarctic mesosphere revealed by MST radar observations, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 122, 3-19. Doi: 10.1002/2016JD025834.
 12. Hirano, S., et al. (2016), A three-dimensional analysis on the role of atmospheric waves in the climatology and interannual variability of stratospheric final warming in the Southern Hemisphere, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, 8429-8443. Doi:10.1002/2015JD024481.
 13. Kinoshita, T., et al. (2016), A formulation of three dimensional wave activity flux describing wave propagation on the mass-weighted isentropic time mean equation, *SOLA*, 12, 198-202. Doi:10.2151/sola.2016-040.
 14. Shibuya, R., et al. (2016), A grid transformation method for a quasi-uniform, circular fine region using the spring dynamic, *J. Meteor. Soc. Japan*, 94, 443-452. Doi:10.2151/jmsj.2016-022,
 15. Tsuchiya, C., et al. (2016), MJO-related intraseasonal variation of gravity waves in the southern hemisphere tropical stratosphere revealed by high-resolution AIRS observations, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, 7641-7651. Doi:10.1002/2015JD024463.
 16. Sato, K., et al. (2016), Climatology and ENSO - related interannual variability of gravity waves in the southern hemisphere subtropical stratosphere revealed by high-resolution AIRS observations, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, 7622-7640. Doi:10.1002/2015JD024462.
 17. Minamihara, Y., et al. (2016), Characteristics of vertical wind fluctuations in the lower troposphere at Syowa Station in the Antarctic revealed by the PANSY radar, *SOLA*, 12, 116-120. Doi: 10.2151/sola.2016-026.
 18. Amemiya, A., and K. Sato (2016), A new gravity wave parameterization including three dimensional propagation, *J. Meteor. Soc. Japan*, 94, 237-256. Doi:10.2151/jmsj.2016-013.
 19. Mihalikova, M., K. Sato, M. Tsutsumi, T. Sato (2016) Properties of inertia-gravity waves in the lowermost stratosphere as observed by the PANSY radar over Syowa Station in the Antarctic, *Ann. Geophys.*, 34, 543-555. Doi: 10.5194/angeo-34-543-2016.
 20. Yasui, R., et al. (2016), Seasonal and interannual variation of mesospheric gravity waves based on MF radar observations over 15 years at Syowa Station in the Antarctic, *SOLA*, 12, 46-50. Doi: 10.2151/sola.2016-010.
 21. Alexander, S. P., et al. (2016), Southern Hemisphere extra-tropical gravity wave sources and intermittency revealed by a middle atmosphere General Circulation Model, *J. Atmos. Sci.*, 73, 1335-1349. Doi: 10.1175/JAS-D-15-0149.1.
 22. Watanabe, S., et al. (2015), Vertical resolution dependence of gravity wave momentum flux simulated by an atmospheric general circulation model, *Geosci. Model Dev.*, 8, 1637-1644, Doi:10.5194/gmd-8-1637-2015.
 23. Sato, K., and M. Nomoto (2015), Gravity wave-induced anomalous potential vorticity gradient generating planetary waves in the winter mesosphere, *J. Atmos. Sci.*, 72, 3609-3624. Doi: 10.1175/JAS-D-15-0046.1
 24. Shibuya, R., et al. (2015), A Study of Multiple Tropopause Structures Caused by Inertia-Gravity Waves in the Antarctic, *J. Atmos. Sci.*, 72, 2109-2130. Doi:10.1175/JAS-D-14-0228.1.
 25. Tomikawa, Y., et al. (2015), Vertical Wind Disturbances during a Strong Wind Event Observed by the PANSY Radar at Syowa Station, Antarctica, *Mon. Wea. Rev.*, 143, 1804-1821. Doi: 10.1175/MWR-D-14-00289.1.
 26. Yasuda, Y., et al. (2015a), A Theoretical Study on the Spontaneous Radiation of Inertia-Gravity Waves Using the Renormalization Group Method. Part I: Derivation of the Renormalization Group Equations, *J. Atmos. Sci.*, 72, 957-983. Doi: 10.1175/JAS-D-13-0370.1.
 27. Yasuda, Y., et al. (2015b), A Theoretical Study on the Spontaneous Radiation of Inertia-Gravity Waves Using the Renormalization Group Method. Part II: Verification of the Theoretical Equations by Numerical Simulation, *J. Atmos. Sci.*, 72, 984-1009. Doi: 10.1175/JAS-D-13-0371.1.
 28. Sakazaki, T., et al. (2015), Three-dimensional structures of tropical nonmigrating tides in a high-vertical-resolution general circulation model, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 120, 1759-1775, Doi: 10.1002/2014JD022464. (Yamamoto Award)
 29. Kohma, M., and K. Sato (2014), Variability of upper tropospheric clouds in the polar region during stratospheric sudden warmings, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 119, 10,100-10,113, Doi:10.1002/2014JD021746. (Yamamoto Award)
 30. Kinoshita, T., and K. Sato (2014), A formulation of three-dimensional residual mean flow and wave activity flux applicable to equatorial waves, *J. Atmos. Sci.*, 71, 3427-3438. Doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JAS-D-13-0161.1>.
 31. Shibuya, R., et al. (2014), Diurnal wind cycles forcing inertial oscillations: A latitude-dependent resonance phenomenon, *J. Atmos. Sci.*, 71, 767–781. Doi: 10.1175/JAS-D-13-0124.1.
 32. Sato, K., et al. (2013), A new method to estimate three-dimensional residual mean circulation in the middle atmosphere and its application to gravity-wave resolving general circulation model data, *J. Atmos. Sci.*, 70, 3756–3779. Doi: 10.1175/JAS-D-12-0352.1.
 33. Geller, M. A., et al. (2013), A Comparison Between Gravity Wave Momentum Fluxes in Observations and Climate Models, *J. Climate*, 26, 6383-6405, Doi:10.1175/JCLI-D-12-00545.1.
 34. Kinoshita, T., and K. Sato (2013), A formulation of unified three-dimensional wave activity flux of inertia-gravity waves and Rossby waves, *J. Atmos. Sci.*, 70, 1603-1615. Doi:10.1175/JAS-D-12-0138.1. (Yamamoto Award)
 35. Kinoshita, T., and K. Sato (2013), A formulation of three-dimensional residual mean flow applicable both to

inertia-gravity waves and to Rossby waves, J. Atmos. Sci., 70, 1577-1602, Doi:10.1175/JAS-D-12-0137.1. (Yamamoto Award)

〔学会発表〕 (計 235 件、うち招待講演 33 件、下記リストは招待講演の一部)

1. Sato, K. (Distinguished Lecture), Vertical and Interhemispheric Coupling in the Middle Atmosphere. 15th Annual Meeting Asia Oceania Geosciences Society, Honolulu Convention Center, Honolulu, USA, June, 2018.
2. Sato, K. and S. Hirano, Contribution of Gravity-Wave Forcing to the Brewer-Dobson Circulation. 10th Workshop on Long-term Changes and Trends in the Atmosphere, University of Science and Technology of China, Hefei, China, May, 2018.
3. Sato, K., Contribution of gravity waves to the mean meridional circulation and momentum budget in the middle atmosphere. Good Hope for Earth Science (IAPSO-IAMAS-IAGA Joint Assembly 2017), Cape Town, South Africa, August, 2017.
4. Sato, K., An interplay of Rossby waves and gravity waves in the general circulation of the middle atmosphere. MPI KlimaCampus Kolloquium, Max Planck Institute for Meteorology, Hamburg, Germany, May, 2017.
5. Sato, K., et al., A study on earth climate change based on fine observations of the Antarctic atmosphere. Symposium on Gravity Waves, Pennsylvania State University, State College, USA, May, 2016.
6. Sato, K., et al., Interannual and intraseasonal variation of gravity waves in the tropical stratosphere revealed by high-resolution AIRS observation, Second MS-GWaves Workshop, Schmitten, Germany, April, 2016.
7. Sato, K., On Interplay of Gravity Waves and Rossby Waves in the Middle Atmosphere. Asian Conference on Meteorology (ACM), Kyoto, October, 2015.
8. Sato, K., et al., Gravity-wave induced anomalous potential vorticity gradient generating planetary waves in the winter mesosphere. 26th General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG), Prague, Czech Republic, June, 2015.
9. Sato, K., and K. Okamoto, Possible changes of atmospheric waves responding to changing earth's climate. International CAWSES II Symposium, Nagoya, November, 2013.
10. 佐藤薫 (藤原賞受賞記念講演), 南極昭和基地大型大気レーダー計画 (PANSY) 及び高解像中層大気力学の研究, 日本気象学会 2018 年度春季大会, つくば, 2018.5.

〔その他〕 ホームページ : <http://www-aos.eps.s.u-tokyo.ac.jp/~sato-lab/>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名 : 渡辺 真吾
ローマ字氏名 : (WATANABE, shingo)
所属研究機関名 : 国立研究開発法人海洋研究開発機構
部局名 : シームレス環境予測研究分野
職名 : 分野長
研究者番号 (8 桁) : 50371745

研究分担者氏名 : 杉本 憲彦
ローマ字氏名 : (SUGIMOTO, norihiko)
所属研究機関名 : 慶應義塾大学
部局名 : 法学部(日吉)
職名 : 准教授
研究者番号 (8 桁) : 10402538

研究分担者氏名 : 三浦 裕亮
ローマ字氏名 : (MIURA, hiroaki)
所属研究機関名 : 東京大学
部局名 : 大学院理学系研究科 (理学部)
職名 : 准教授
研究者番号 (8 桁) : 70415991

研究分担者氏名 : 木下 武也
ローマ字氏名 : (KINOSHITA, takenari)
所属研究機関名 : 国立研究開発法人海洋研究開発機構
部局名 : 大気海洋相互作用研究分野
職名 : 研究員
研究者番号 (8 桁) : 20648638

研究分担者氏名 : 高麗 正史
ローマ字氏名 : (Kohma, masashi)
所属研究機関名 : 東京大学
部局名 : 大学院理学系研究科 (理学部)
職名 : 助教
研究者番号 (8 桁) : 80733550

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。