

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 7 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22340135

研究課題名（和文） エネルギー論的観点からの大気循環変動の再考察：新しい変動論の確立へ向けて

研究課題名（英文） Atmospheric General Circulation Variability Revisited: Toward the Development of a New Perspective from an Energetic Viewpoint

研究代表者

中村 尚（NAKAMURA HISASHI）

東京大学・先端科学技術研究センター・教授

研究者番号：10251406

研究成果の概要（和文）：我が国の夏季・冬季の天候に影響する北太平洋上の停滞性大気循環偏差が傾圧構造を持ち、その形成・維持にとって、3次元平均流からの運動エネルギー変換のみならず、傾圧的な偏西風からの位置エネルギー変換もそれ以上に重要なことが分かった。特に、夏季天候に影響する循環偏差は、付随する海面蒸発偏差と下層の水蒸気輸送収束偏差が積雲対流活動偏差を維持するよう働く「湿潤力学モード」の特性を有することを確認した。

研究成果の概要（英文）：Persistent anomaly patterns of the atmospheric circulation that influence weather/climatic conditions over Japan are found to be maintained not only through kinetic energy conversion but also (available) potential energy conversion from the westerly jetstream. In addition, the surface wind anomalies associated with the anomaly pattern in summer act to change evaporation over the South China Sea and thereby moisture transport into the region of anomalous cumulus convection to exert positive feedback on it, as a characteristic of a moist dynamical mode.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	5,000,000	1,500,000	6,500,000
2011年度	4,900,000	1,470,000	6,370,000
2012年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
総計	14,600,000	4,380,000	18,980,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学、気象・海洋物理・降水学

キーワード：気候変動、気象学、大気現象、力学モード、エネルギー変換、ジェット気流、大気海洋相互作用、テレコネクション

## 1. 研究開始当初の背景

温室効果気体の増加につれ地球気候は変化しつつあるが、そうした外的強制の有無に拘らず、大気・海洋は内包する様々な過程の相互作用に伴い多様な時空間規模で常に変動し、（自然）気候変動や異常気象をもた

らす。温暖化の影響の顕在化につれ、各季節で大気循環の平均状態がどう変わるかだけでなく、重畳する自然変動の振幅や構造等がどの様な変調を被るかを予測し、それに合理的な根拠・解釈を与えることは重要である。また、中・長期天候予報の精度を向上させ異

常気象の発現を早めに予測するには、自然変動のメカニズムと予測可能性に関する本質的理解を深めることが必要である。更に、現在気候で卓越する自然変動モードが温暖化強制への気候系の応答や、そのモデル予測間のばらつきとして現れる可能性も考えられ、自然変動モードの力学について理解を深めることは、気候の将来変化(予測)を考える上でも重要な意味を持つ。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、我が国の天候変動にも関係する夏冬の持続的な大気循環変動に関する「学界の常識」を、最新のデータと新しい解析・診断手法に基づき再検証することである。即ち、

- (1) 北太平洋や北大西洋上の停滞性大気循環偏差の増幅・維持に重要なのは、分流するジェット気流からの運動エネルギー変換だけなのか？ 偏差がジェット気流から有意に位置エネルギーを得ることはないのか？
- (2) 持続的循環偏差を伴う停滞性ロスビー波にとって、西風ジェット気流は単なる導波管に過ぎないのか？ 波動とのエネルギー交換を通じて、擾乱を維持・強化するような、より積極的役割はないのか？
- (3) 日本の夏季天候を左右する小笠原高気圧の勢力とフィリピン付近の積雲対流活動との間に観測される正相関は、前者が単に後者に伴う降水の潜熱解放に対する循環応答であることの反映に過ぎないのか？ 夏季の長期変動において何故この正相関関係が卓越するのか？ 関連して、梅雨前線・秋雨前線に伴う降水の潜熱解放も含め、1つの力学モードと捉えることはできないか？

これらはいずれも従来の「学界での常識」に対する疑問である。こうした「常識」は観測データが質量共に不十分だった15〜30年前の研究成果に基づくものであり、質量ともに充実した最新のデータと新しい解析・診断手法に基づき批判的に再検証されるべきものである。

## 3. 研究の方法

初年度は観測データに対するエネルギー収支解析を中心に実施し、次年度にかけて湿潤過程を入れないLBMの演算子行列の解析か

らdryな力学モード性の検証に取り組む。最終年度にかけては湿潤過程を含むLBMの適用へと発展させる。なお、中緯度・亜熱帯の循環力学を扱うテーマ(1)(2)から、夏季の熱帯的な現象が絡むテーマ(3)まで扱うため、熱帯から亜熱帯・中高緯度気候系の専門家を集めてチームを編成、かつ、データ解析と数値実験、数値モデリングの各手法が効果的に融合され、成果が挙るよう企図した。更に、ポスドク研究員や若手分担者が様々な手法を主体的に活用し、世界を舞台に活躍する代表者や他の分担者、海外協力研究者らと共同研究することで、若手研究者の育成も企図する。

## 4. 研究成果

(1) 中高緯度で寒候期に観測される持続的循環偏差にエネルギー収支解析を行った結果、従来からその重要性が指摘されている3次元平均流からの運動エネルギー変換のみならず、傾圧的な偏西風からの有効位置エネルギー変換もそれ以上に重要であることが分かった。これは、従来の常識とは異なり、持続的循環偏差が傾圧構造を有することを意味し、かつ中緯度の海洋前線帯に伴う顕著な海面水温南北勾配が移動性高低気圧波のみならず、準停滞性循環偏差の傾圧性の維持と傾圧的な増幅にも寄与する可能性を示唆する興味深い結果である。実際、北太平洋気候系の10年規模変動に伴う大気循環偏差も傾圧構造を持つことや、中緯度北太平洋海面水温偏差に対する停滞性ロスビー波応答が、秋季に偏西風が中緯度に位置し、中緯度の海上偏西風が強まると、暖水偏差から大気への熱供給増加に伴って、現実的なロスビー波応答が大気大循環モデルにおいて現実的に再現されるようになることが確認された。

(2) 冬季東アジアモンスーンの変動に寄与する循環偏差「西太平洋(WP)パターン」についても、従来からその重要性が指摘されている3次元平均流からの運動エネルギー変換のみならず、傾圧的な偏西風からの有効位置エネルギー(APE)変換もそれ以上に重要であることが分かった。特に、ジェット気流に伴う南北気温勾配のみならず、海陸熱コントラストに伴う東西気温勾配もがAPE変換に重要なことも見出された。更に、同パターンに伴う亜寒帯極東域でのブロッキング形成が、他の地域のブロッキングとは異なり、惑星規模波

動の振幅を減じさせ、北極成層圏を寒冷化させるよう働くことを発見した。

(3) 暖流と寒流の合流域である中緯度海洋前線帯にて維持される顕著な南北水温傾度と顕熱供給の南北差が、移動性高低気圧による南北熱輸送に抗して、地表気温の南北差を効果的に回復させるという「海洋傾圧調節過程」を提唱し、これにより海洋前線帯上に維持される地表傾圧帯が移動性高低気圧の繰り返し発達を可能にし、ストームトラックと渦駆動の極前線西風ジェットを維持することを数値実験により明らかにした。更に、中緯度の亜熱帯循環系西岸における熱交換が、大気境界層の変質を通して海面気圧や海上風の分布に影響を与えること、亜熱帯域の熱交換は海面水温の変化を通して局所ハドレー循環の維持に寄与することがわかった。

(4) 夏季とは異なり、冬季亜熱帯ジェット気流沿いに卓越する持続的波動擾乱が特定の地理的位相を取りがたい傾向を見出し、エネルギー収支解析の結果もこれと整合的であった。これは、アジア大陸上の冬季亜熱帯ジェット気流が夏季に比べ東西一様性が高く、ロスビー波の単なる導波管として振舞う傾向を示唆する結果と解釈できる。こうした傾向は線型モデル実験によっても確認された。更に、定在性波動と非定常擾乱による極向き熱輸送に一定の関係があることを見出した。また、夏季のジェット上のテレコネクションに対する強制過程を明らかにした。

(5) 夏季小笠原高気圧と南海上の台風活動との連関変動をもたらす「PJ パターン」が、亜熱帯のアジアジェット気流から効果的に位置エネルギーを変換し、かつ付随する海面蒸発偏差と下層の水蒸気輸送収束偏差が積雲対流活動偏差を維持するよう働く「湿潤力学モード」の特性を有することを確認した。さらに、西方のモンスーン（対流降水域）と東方の亜熱帯高気圧に挟まれた他の4つの亜熱帯海洋域に、PJパターンと特性の類似する変動パターンが存在する事を確認した。更に、その力学モード性を反映し、「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第4次評価報告書」に関わる24の数値気候モデルの20世紀気候再現実験において、PJパターンの再現性がモデルの夏季気候平均場の再現性に強く依存することを見出した。また、後者のモデル間のばらつきも同パターンに強く射影される傾向を見出した。一方、同パターンの影響などによる梅雨前線帯の経年変動には、亜熱帯ジェット気流の変動、特にジェットによる対

流圏中層の暖気移流偏差が大規模上昇流を変化させる効果が強く関わることを見出した。

(6) 包括的な研究のためされてこなかった秋雨前線帯についても、梅雨前線帯と同様に、その形成に亜熱帯ジェット気流に伴う暖気移流による大規模上昇流が重要であることを見出した。ただし、梅雨期とは異なり、秋雨期には大陸上で亜熱帯ジェット気流は北風成分を持って寒気移流をもたらすことを反映し、秋雨前線は大陸上には形成され難く、秋雨が日本周辺とその東海上のみに起こる雨期であることを確認した。さらに、ジェット気流に伴う暖気移流の変動が秋雨前線に伴う降雨の変動に連動する傾向も見出した。

## 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 39 件)

- ① T. Sampe, H. Nakamura, A. Goto, Potential influence of a midlatitude oceanic frontal zone on the annular variability in the extratropical atmosphere as revealed by aqua-planet experiments, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 査読有, Vol. 90, 2012, Special issue on aqua-planet experiments, [http://www.atmos.rcast.u-tokyo.ac.jp/nakamura\\_lab/PDF/APE-Sampe\\_etal\\_edit2.pdf](http://www.atmos.rcast.u-tokyo.ac.jp/nakamura_lab/PDF/APE-Sampe_etal_edit2.pdf), 掲載確定
- ② M. Roxy, Y. Tanimoto, B. Preethi, P. Terray and R. Krishnan, Intraseasonal SST-precipitation relationship and its spatial variability over the tropical summer monsoon region, *Climate Dynamics*, 2012, 査読有, DOI:10.1007/s00382-012-1547-1, 掲載確定
- ③ H. Nakamura, Future oceans under pressure, *Nature Geoscience*, 査読有, Vol. 5, 2012, pp. 768-769, <http://www.nature.com/geo/journal/v5/n11/full/ngeo1623.html>
- ④ B. Taguchi, H. Nakamura (2 番目), M. Nonaka, N. Komori, 他 3 名, Seasonal evolutions of atmospheric response to decadal SST anomalies in the North Pacific subarctic frontal zone: Observations and a coupled model simulation, *Journal of Climate*, 査読有, Vol. 25, 2012, pp. 111-139, DOI:10.1175/JCLI-D-11-00046.1
- ⑤ F. Ogawa, H. Nakamura, K. Nishii, T. Miyasaka, A. Kuwano-Yoshida,

- Dependence of the climatological axial latitudes of the tropospheric westerlies storm tracks on the latitude of an extratropical oceanic front, *Geophysical Research Letters*, 査読有, Vol. 39, 2012, L05804, DOI:10.1029/2011GL049922
- ⑥ Lee, Y.-Y., J.-S. Kug, G.-H. Lim, and M. Watanabe, Eastward shift of the Pacific/North American pattern on an interdecadal time scale and an associated synoptic eddy feedback, *International Journal of Climatology*, 査読有, Vol. 32, 2012, pp.1128-1134, DOI:10.1002/joc.2329
- ⑦ Y. Kosaka, S.-P. Xie, H. Nakamura, Dynamics of interannual variability in summer precipitation over East Asia, *Journal of Climate*, 査読有, Vol. 24, 2011, pp. 5435-5453, DOI:10.1175/2011JCLI4099.1
- ⑧ Y. Kosaka, H. Nakamura, Dominant mode of climate variability, inter-model diversity and projected future changes over the summertime western North Pacific simulated in the CMIP3 models, *Journal of Climate*, 査読有, Vol. 24, 2011, pp.3935-3955, DOI:10.1175/2011JCLI3907.1
- ⑨ D. Hotta, H. Nakamura, On the significance of sensible heat supply from the ocean in the maintenance of mean baroclinicity along storm tracks, *Journal of Climate*, 査読有, Vol. 24, 2011, pp.3377-3401, DOI:10.1175/2010JCLI3910.1
- ⑩ K. Nishii, H. Nakamura, Y. J. Orsolini, Geographical dependence observed in blocking high influence on the stratospheric variability through enhancement or suppression of upward planetary-wave propagation, *Journal of Climate*, 査読有, Vol. 24, 2011, pp. 6408-6423, DOI:10.1175/JCLI-D-10-05021.1
- ⑪ Yun, K.-S., S.-Y. Kim, K.-J. Ha, and M. Watanabe, Effects of sub-seasonal basic state changes on Rossby wave propagation during northern summer, *Journal of Geophysical Research*, 査読有, Vol. 116, 2011, D24102, DOI:10.1029/2011JD016258
- ⑫ Y. Kosaka, and H. Nakamura, Mechanisms of meridional teleconnection observed between a summer monsoon system and a subtropical anticyclone. Part II: A global survey, *Journal of Climate*, 査読有, Vol. 23, 2010, pp.5109-5125, DOI:10.1175/2010JCLI3414.1
- ⑬ Y. Kosaka, and H. Nakamura, Mechanisms of meridional teleconnection observed between a summer monsoon system and a subtropical anticyclone. Part I: The Pacific-Japan pattern, *Journal of Climate*, 査読有, Vol. 23, 2010, pp. 5085-5108, DOI:10.1175/2010JCLI3413.1
- ⑭ H. Nakamura, T. Miyasaka, Y. Kosaka, K. Takaya, M. Honda, Northern Hemisphere extratropical tropospheric planetary waves and their low-frequency variability: Their vertical structure and interaction with transient eddies and surface thermal contrasts, *AGU Geophysical Monograph*, 査読有, Vol. 189, 2010, pp.149-179, DOI:10.1029/2008GM000789
- ⑮ Nishii, K., H. Nakamura and Y. J. Orsolini, Cooling of the wintertime Arctic stratosphere induced by the Western Pacific teleconnection pattern, *Geophysical Research Letters*, 査読有, Vol. 37, 2010, L13805, DOI:10.1029/2010GL043551
- ⑯ Kwon, Y.-O., M. A. Alexander, N. A. Bond, C. Frankignoul, H. Nakamura, B. Qiu and L. Thompson, Role of Gulf Stream and Kuroshio-Oyashio systems in large-scale atmosphere-ocean interaction: A review, *Journal of Climate*, 査読有, Vol. 23, 2010, pp. 3249-3281, DOI:10.1175/2010JCLI3343.1
- ⑰ T. Miyasaka, and H. Nakamura, Structure and mechanisms of the Southern Hemisphere summertime subtropical anticyclones, *Journal of Climate*, 査読有, Vol. 23, 2010, pp. 2115-2130, DOI:10.1175/2009JCLI3008.1
- ⑱ T. Sampe, H. Nakamura, A. Goto, and W. Ohfuchi, Significance of a midlatitude SST frontal zone in the formation of a storm track and an eddy-driven westerly jet, *Journal of Climate*, 査読有, Vol. 23, 2010, pp. 1793-1814, DOI:10.1175/2009JCLI3163.1
- ⑲ Kodama, C., Y. Mochizuki, S. Hasegawa, T. Iwasaki, and M. Watanabe, Negative correlation between the interannual variability of the stationary and transient wave energy in the Northern

Hemisphere, SOLA, 査読有, Vol.6, 2010, pp.37-40, DOI:10.2151/sola.2010-010

- ⑩ Yasui, S., and M. Watanabe, Forcing mechanisms of the summertime circumglobal teleconnection in a dry AGCM, *Journal of Climate*, 査読有, Vol.23, 2010, pp.2093-2114, DOI:10.1175/2009JCLI3323.1

〔学会発表〕(計 67 件)

- ① Nakamura, H., Air-sea interactions associated with the Agulhas system: Regional, basin-scale and hemispheric impacts, AGU Chapman Conference on "The Agulhas System and its Role in Changing Ocean Circulation, Climate and Marine Ecosystems" (招待講演), 2012 年 10 月 09 日, ステレンブーシュ (南アフリカ)
- ② Watanabe, M., Processes controlling equilibrium climate sensitivity in model ensembles, AOGS-AGU (WPGM) joint assembly (招待講演), 2012 年 08 月 15 日, シンガポール (シンガポール)
- ③ Nakamura, H., Cold-air outbreaks over East Asia associated with blocking highs: Mechanisms and their influence on the polar stratosphere, ICDM Workshop 2012 (招待講演), 2012 年 08 月 08 日, 昆明 (中国)
- ④ 西井和晃, 対流圏から成層圏へ伝播する惑星波の増幅について, 日本気象学会 2012 年度春季大会 (招待講演), 2012 年 05 月 26 日, エポカルつくば (茨城)
- ⑤ 中村 尚, 異常気象と気候変動の科学: スペシャルレクチャー, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会 (招待講演), 2012 年 05 月 25 日, 幕張メッセ (千葉)
- ⑥ 三瓶岳昭, 2011 年度日本気象学会山本正野論文賞受賞記念講演, 日本気象学会 2011 年度秋季大会 (招待講演), 2011 年 11 月 17 日, 名古屋大学豊田記念講堂 (名古屋)
- ⑦ Watanabe, M., Circumglobal teleconnection pattern relevant to the seasonal predictability over East Asia, 12th joint meeting for the seasonal prediction of the East Asian winter monsoon (招待講演), 2011 年 11 月 10 日, 気象庁 (東京)
- ⑧ Nakamura, H., Dynamics, model-reproducibility and future projection of the Pacific-Japan teleconnection pattern, AOGS 2011 (招待講演), 2011 年 8 月 8 日, 台北 (台湾)
- ⑨ Watanabe, M., Origin and dynamics of

the circumglobal teleconnection pattern, IUGG 2011 General Assembly (招待講演), 2011 年 6 月 10 日, メルボルン (オーストラリア)

- ⑩ Nakamura, H., Midwinter minimum in the North Pacific storm-track activity: Its dynamics, model reproducibility and future projection, Western Pacific Geophysical Meeting (招待講演), 2010 年 6 月 24 日, 台北 (台湾)
- ⑪ Nakamura, H., Pacific-Japan teleconnection pattern: Its dynamics, model reproducibility and future projection, Western Pacific Geophysical Meeting (招待講演), 2010 年 6 月 24 日, 台北 (台湾)
- ⑫ Nakamura, H., Dominant summertime climate variability over the western North Pacific: Its dynamics, model reproducibility and future, Wallace Symposium (招待講演), 2010 年 9 月 27 日, シアトル (米国)

〔図書〕(計 3 件)

- ① 谷田貝亜紀代・宮坂貴文・中村 尚, 日本気象学会, 気象研究ノート「2010 年夏日本の猛暑」, 2012, pp.45-53
- ② 宮坂貴文・中村 尚・谷田貝亜紀代, 日本気象学会, 気象研究ノート「2010 年夏日本の猛暑」, 2012, pp.37-44
- ③ 谷本陽一, 北海道大学出版会, 基礎地学, 2010, pp.323-333

〔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://www.atmos.rcast.u-tokyo.ac.jp/nakamura\\_lab/index.html](http://www.atmos.rcast.u-tokyo.ac.jp/nakamura_lab/index.html)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

中村 尚 (NAKAMURA HISASHI)

東京大学・先端科学技術研究センター・教授

研究者番号: 10251406

### (2) 研究分担者

渡部 雅浩 (WATANABE MASAHIRO)

東京大学・大気海洋研究所・准教授

研究者番号: 70344497

三瓶 岳昭 (SANPE TAKEAKI)

会津大学・先端情報科学研究センター・准教授

研究者番号 : 50571775  
谷本 陽一 (TANIMOTO YOICHI)  
北海道大学・地球環境科学研究所・教授  
研究者番号 : 00291568  
高藪 縁 (TAKAYABU YUKARI)  
東京大学・大気海洋研究所・教授  
研究者番号 : 10197212