

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 24 年 6 月 30 日現在

機関番号：82706

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21740350

研究課題名（和文） 日本付近の冬季気候の力学的理解と予測可能性

研究課題名（英文） Dynamics and predictability of the winter climate over the Far East

研究代表者

高谷 康太郎 (TAKAYA KOUTAROU)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境変動領域・主任研究員

研究者番号：60392966

研究成果の概要（和文）：

冬季東アジアモンスーンの経年変動の力学を明らかにする事を目的に調査を行った。冬季モンスーンに影響を及ぼしうる要素として、偏西風の変動、北極振動、熱帯海水温変動、黒潮続流域の海水温変動がある事を示し、さらに今まであまり注目されてこなかった各々の要素の変動または要素からモンスーンへの影響の力学的構造を明らかにした。さらに、各要素を統一的に取り扱うための研究も行った。これらの成果により、冬季東アジアモンスーンの経年変動の力学の理解及び予測可能性の精度向上に貢献する事が出来たと考えられる。

研究成果の概要（英文）：

Interannual variability of the East Asian winter monsoon is investigated. This project has clarified that the winter monsoon can be strongly influenced by the variability of the midlatitude westerlies at the upper levels, the arctic oscillation, and sea surface temperature variability over the tropics and Kuroshio extension region. We have also proposed a “new” definition of the residual circulation in the Transformed Eulerian Mean equations to depict three-dimensional Lagrangian motion more precisely. This project contributes further understanding of the dynamics and improvements of predictability of the winter monsoon.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|---------|-----------|---------|-----------|
| 2009 年度 | 1,100,000 | 330,000 | 1,430,000 |
| 2010 年度 | 800,000 | 240,000 | 1,040,000 |
| 2011 年度 | 600,000 | 180,000 | 780,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 2,500,000 | 750,000 | 3,250,000 |

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・陸水学

キーワード：冬季東アジアモンスーン、シベリア高気圧、寒冬・暖冬、中高緯度大気循環、北極振動(AO)、予測可能性、WP パターン、EU パターン

1. 研究開始当初の背景

近年、日本を含む極東地域の冬季気候に、異常気象が頻発している。近年では2006/07

年の冬季に記録的な高温を記録した一方、2005/06年や2011/12の冬季は、20年ぶりとも言われる寒冬・豪雪に見舞われた。このように、

振幅の激しい顕著現象の多発が近年の冬季気候の特徴であり、このような現象の予測精度の向上が求められる。日本付近の冬季気候は、冬季東アジアモンスーンの活動に大きく左右される。モンスーン活動自体は東アジアの現象であるが、その活動の変動には、地球規模の大気海洋変動が密接に関係している。その要因として、今までは主に①熱帯海水温変動、②北極振動 の2つが考えられてきた。それに加え、代表は、③偏西風変動 も大きな要因であることを今までの研究で示してきた（平成18年度科学研究費補助金採択課題18740306「冬季東アジアモンスーンの経年変動」、Takaya and Nakamura; 2005a, 2005b, 2008a）。しかし、過去の研究はこの3つの素過程をそれぞれ個別に取り上げていたに過ぎず、「異常気象が起きた後に、どうしてそれが起きたかの説明は出来るが、異常気象を予報することは出来ない」状況である。このような状況になる理由として、
A. ①～③のそれぞれの力学的な理解が（意外なことに）確立していない
B. ①～③を（個別的でなく）統一的な視点で取り扱う力学が確立していない
の両面があげられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、日本付近の冬季気候に影響を及ぼすいくつかの大気海洋循環変動の影響を力学的により精緻に解明し、さらにそれらの影響を総合的に評価することにより、その成果を季節予報の精度向上に繋げる事である。この様な研究は過去にほとんど例がなく、学術的及び社会的にも重要と考える。

3. 研究の方法

本研究の遂行のため、データ解析及び大気大循環モデルによる数値実験に取り組み、冬季東アジアモンスーンの経年変動の力学の解明のための解析を行った。季節予報の精度向上のためには、上記「研究開始当初の背景」で説明したような2つ（AとB）の問題があった。これらを克服すべく、以下に、AとBのそれぞれの項目に対する研究方法を述べる。

（1）「A. ①～③のそれぞれの力学的な理解が確立していない」問題に対して3つの素過程の力学的解釈をそれぞれ精緻にやり直す必要がある。各素過程のそれぞれの研究方法を以下に述べる。

① 熱帯海水温変動

熱帯海水温変動がどの程度モンスーンに影響を及ぼすか、実はそれほど明確ではない。一般的に、エルニーニョ（ラニーニャ）なら日本は暖冬（寒冬）といわれているが、1977年

のようにエルニーニョ的な状況で日本が大寒冬だった例もあれば、1989年のようにラニーニャながら大暖冬だった例もある。季節予報の精度を上げるためにも、熱帯海水温変動が冬季東アジアモンスーンに与える影響を精緻に評価しなおす研究を行う。

② 北極振動

北日本中心に真冬の気候に影響を及ぼす北極振動の前兆現象が、代表のこれまでの研究により、晩秋のユーラシア大陸西部の高緯度域に見られることが明らかとなった（Takaya and Nakamura 2008b）。この北極振動の前兆現象がどのように形成されるのかを明らかにし、真冬の北極振動の予測につなげる。

③ 偏西風変動

冬季東アジアモンスーンに影響を及ぼす偏西風変動を引き起こす原因は、中高緯度と熱帯と両方考えうる。それらを分離する為の研究を行う。熱帯海水温変動がどの程度偏西風変動に影響するか、またはどのような条件下で中高緯度由来の要因が偏西風変動に重要か、という点を明確にし、それらの影響を分離すれば、より正確な冬の長期予報に役立つであろう。

（2）「B. ①～③を統一的な視点で取り扱う力学が確立していない」問題に対して統一的な視点として、冬季東アジアモンスーンに影響を及ぼす循環変動を、季節進行との関係のなかで理解しようとする事を試みた。季節予報精度の向上のためにも、季節進行の理解は重要である。これまでは、季節進行という最も根本的で卓越する変動はあまり顧みられなかったが、この知見なしに、長周期変動のメカニズムを理解することはなかなか困難であろう。本研究では、特に、中高緯度対流圏から成層圏にかけて観測される大気中の惑星波が、秋から冬にかけ形成されていく季節進行の中で、前述の①～③の素過程がどのように循環変動を形成し、そしてモンスーンの変動をもたらすかという点に注目した。そして、これらの理解を深める事で、季節進行のメカニズムの解明にまでつなげた事を試みた。

4. 研究成果

(0)はじめに

冬季東アジアモンスーンの経年変動に大きな影響を与える要素として、本研究では特に(1)熱帯海水温変動の影響、(2)北極振動、(3)偏西風変動の3つに注目していたが、研究の進展に伴い、上記の3つの要素に加え、(4)黒潮統流域での海水温変動も冬季モンスーンに影響を及ぼしうる事が明らかとなった。以下、それぞれの要素についての研究成果を紹介する。また、各要素を統一的な視点で取り扱うための考察として、大気のラグランジェ

的運動をより正確に記述するための理論の構築を進めたので、(5)で紹介する。

(1) 熱帯海水温変動の影響

客観解析データ（観測データ）の解析や数値モデルを用いた研究により、ENSO 活動と冬季東アジアモンスーンの活動との関連を調査した。それにより、ENSO の影響が初冬と晩冬では異なる事を示した。エルニーニョ年では暖冬、ラニーニャ年では寒冬という図式が一般通念として流布しているが、実際にはそのような傾向は初冬には統計的優位性がみられるものの、晩冬では必ずしもそのような傾向は見られない。このように、ENSO の冬季東アジアモンスーンに与える影響には季節性が見られる事を初めて示した。

また、エルニーニョ発生年における暖冬年と非暖冬年、またはラニーニャ発生時の寒冬年と非寒冬年との大気循環の違いを明確にし、これが ENSO 影響の初冬と晩冬との違いに相似であることを示した。これらの結果は、季節進行や中高緯度大気固有の変動が冬季東アジアモンスーンの経年変動の力学に果たす重要性を示唆している。

(2) 北極振動

北極振動に関しては、真冬の北極振動の形成に重要である晩秋のユーラシア西部の大気循環、特に下層の熱的条件に注目した解析を行った。その中でも特に、バレンツ海海氷変動との関係に着目した解析を行った。近年卓越している北極海氷の減少が大気循環変動にどのように影響を及ぼしうるか、またその日本付近への天候や気候への影響はどのようなものかを調査する事が目的である。それにより、冬季のバレンツ海の海氷の多寡がユーラシア大陸上の寒気形成に影響を及ぼしうる事が判明した。

(3) 偏西風変動

冬季東アジアモンスーン変動に伴って、対流圏上層ではユーラシア大陸上で偏西風が強く変動するパターンと、北西太平洋上で偏西風が強く変動するパターンとが見られる事、さらに両者とも惑星波の季節進行の変調として解釈可能であることを示した。さらに、北西太平洋上の偏西風変動及は、成層圏の大気循環変動と関連している可能性を示した。季節進行に関連させて大気循環変動を解釈する事は新しい視点であり、冬季東アジアモンスーン変動にとどまらず、様々な大気変動現象に適用する事が可能であると期待される。

(4) 黒潮続流域での海水温変動

黒潮続流域の海水温変動が大気循環を強制し得る力学的機構を提案した。主に客観解析

データ（観測データ）の解析により、まず、続流域の海水温の年々変動が大気循環に及ぼしうる影響を調査した。その結果、海水温変動に伴う大気最下層の傾圧性の変動が、移動性高低気圧活動に影響を及ぼし、それにより移動性高低気圧活動から大気基本場へのフィードバックが変化して長周期大気変動に影響を及ぼしうる事を初めて明らかにした。さらに、続流域の 10 年規模海面水温変動が大気に及ぼす影響についても共同研究を行い、大きな成果を得た。

(5) 大気のラグランジュ的運動の記述のための理論の構築

上記(1)から(4)でしめしたような大気の長周期変動を考える際には、大気循環偏差と大気基本場との相互作用を考える事がきわめて重要である。また、冬季東アジアモンスーンのように、大規模ではあるがある程度局所化された現象を考察するためには、当然、現象の 3 次元構造を考慮する必要がある。先行研究では、大気循環偏差の活動とそれに伴う大気のラグランジュ的運動を記述するための定式化が 3 次元に対しても提案されてきた。ところが、先行研究の定義では 3 次元のラグランジュ的運動にはある種の「任意性」が存在する事を、本研究が初めて指摘した。さらに本研究では、その「任意性」を解消する定式化を位相依存性のない表式の場合について初めて示す事に成功した。これにより、はじめて大気のラグランジュ的な 3 次元運動を正確に記述する事が出来るようになった。この成果は、対流圏・成層圏大気循環力学結合を考察する際にきわめて重要な結果である。また、冬季東アジアモンスーンの経年変動に密接に関連している季節進行の強弱の力学的理解にも適用可能である。さらに、冬季東アジアモンスーンだけでなく、冬季の大気循環一般の総合的理解にも大きく寄与する事が期待される。

(6) まとめ

本研究では、冬季東アジアモンスーンの経年変動に影響を及ぼしうる様々な要素の特定とその力学の解明、そしてその各要素を別々に取り扱うのではなく、統一的に取り扱うための研究を行った。冬季東アジアモンスーンの経年変動に影響を及ぼしうる主な要素として、偏西風の変動、北極振動、熱帯海水温変動、黒潮続流域の海水温変動を挙げる事が出来る事が本研究で明らかとなった。また、それぞれの要素の、または要素から冬季モンスーンへの影響の力学的構造を調査し、今まであまり注目されてこなかった様々な側面を明らかにする事に成功した。また、これらの要素を別々に取り扱うのではなく、統一的に解釈するために、季節進行との関係に注目

しながら研究を進めた。その一環として、大気の3次元ラグランジェ的運動の記述のための理論の構築を進めた。これは、対流圏・成層圏大気循環力学結合など様々な現象にも適用可能なもので、冬季東アジアモンスーンだけでなく、冬季の大気循環一般の総合的理解にも大きく寄与する事が期待される。このように、冬季東アジアモンスーンの経年変動のメカニズム解明のための研究を包括的に行う事が出来た。これらの成果により、冬季東アジアモンスーンの経年変動の力学の理解および予測可能性の精度向上に貢献する事が出来たと考えられる。

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7件)

- ① Inoue, J., M. E. Hori and K. Takaya: The role of Barents Sea ice in the wintertime cyclone track and emergence of a warm-Arctic and cold-Siberian anomaly. *J. Climate*. in press. 査読有り.
- ② Taguchi, B., H. Nakamura, M. Nonaka, N. Komori, A. Kuwano-Yoshida, K. Takaya and A. Goto: Seasonal evolutions of atmospheric response to decadal SST anomalies in the North Pacific subarctic frontal zone: Observations and a coupled model simulation. *J. Climate*, **25**, 2012, 111-139. 査読有り.
- ③ Komori, N., T. Enomoto, B. Taguchi, A. Kuwano-Yoshida, H. Sasaki, M. Nonaka, Y. Sasai, M. Honda, K. Takaya, A. Ishida, Y. Masumoto, W. Ohfuchi, and H. Nakamura: "CFES: Coupled GCM for the Earth Simulator —Current status and future directions—", *Proceedings of the JMA workshop on the development of the atmosphere-ocean coupled GCMs*. 2011, 1-10. 査読無し.
- ④ 高谷康太郎、中村尚、「黒潮続流域のSST変動に伴う地表付近の傾圧性変動と大気循環場への影響」、平成21年度京都大学防災研究所特定研究集会「異常気象と長期変動」研究集会報告、7、2010、p. 35-44. 査読無し.
- ⑤ Nakamura, H., T. Miyasaka, Y. Kosaka, K. Takaya, and 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, Chap. 6, "Climate Dynamics: Why Does Climate Vary?" D. Sun and F. Bryan, Eds., *Geophys. Monogr.*, **189**, AGU, 2010, 149-179. 査読有り.

- ⑥ Nonaka, M., H. Nakamura, B. Taguchi, N. Komori, A. Kuwano-Yoshida, and K. Takaya: Air-sea heat exchanges characteristics of a prominent midlatitude oceanic front in the South Indian Ocean as simulated in a high-resolution coupled GCM. *J. Climate*, **22**, 2009, 6515-6535. 査読有り.
- ⑦ 高谷康太郎: 「波の活動度」および「波の活動度フラックス」. *天気(日本気象学会機関誌)*, **56**, 2009、831-833. 査読有り.

[学会発表] (計35件)

- ① 高谷康太郎、「黒潮続流域のSST変動に伴う傾圧性変動と大気循環場への影響」、日本海洋学会シンポジウム「黒潮・親潮とその続流域での海洋変動と大気海洋相互作用」、筑波大学、茨城、2012年3月30日.
- ② 高谷康太郎、「2011/2012冬季循環の特徴とそこから見られる極域寒冷域大気循環研究のヒント」、科学研究費補助金新学術領域研究「中緯度海洋と気候」A03-9班研究集会、JAMSTEC東京事務所、東京、2012年3月13日.
- ③ 高谷康太郎、「北半球寒冷域の大気循環」、GRENE事業北極気候変動分野大気循環サブグループkickoff meeting、新潟大学、新潟、2012年2月29日.
- ④ 高谷康太郎、「黒潮続流域のSST変動に伴う傾圧性変動と大気循環場への影響」、科学研究費補助金新学術領域研究「中緯度海洋と気候」A03-8・9班合同研究集会、JAMSTEC東京事務所、東京、2012年1月6日.
- ⑤ Komori, N., B. Taguchi, A. Kuwano-Yoshida, M. Nonaka, K. Takaya, W. Ohfuchi, H. Nakamura: "Coupling coefficients around the mid-latitude SST fronts in a coupled atmosphere-ocean and a stand-alone atmospheric GCMs --", WCRP Open Science Conference, シェラトンデンバーダウンタウンホテル、Denver, Colorado, U. S. A., 2011年10月24日.
- ⑥ Taguchi, B., H. Nakamura, M. Nonaka, N. Komori, A. Kuwano-Yoshida, K.

- Takaya and A. Goto: “Seasonal evolutions of atmospheric response to decadal SST anomalies in the North Pacific subarctic frontal zone: Observations and a coupled model simulation”, PICES 2011 Annual Meeting Mechanisms of Marine Ecosystem Reorganization in the North Pacific Ocean, ハバロフスクレセプションホール, Khabarovsk, Russia, 2011年10月17日.
- ⑦ 高谷康太郎、「対流圏・成層圏活動の理論的考察」、北海道大学低温科学研究所共同利用研究『全球・領域気候モデルにおける環オホーツク地域の相互比較』研究集会、北海道大学、北海道、2011年9月6日.
- ⑧ 高谷康太郎、「対流圏・成層圏活動の理論的考察」、科学研究費補助金新学術領域研究「中緯度海洋と気候」A03-8班研究集会、JAMSTEC東京事務所、東京、2011年8月31日.
- ⑨ Taguchi, B., H. Nakamura, M. Nonaka, N. Komori, A. Kuwano-Yoshida, K. Takaya and A. Goto: “Seasonal evolutions of atmospheric response to decadal SST anomalies in the North Pacific subarctic frontal zone: Observations and a coupled model simulation”, IUGG,メルボルンコンベンションセンター、Melbourne, Australia, 2011年7月4日
- ⑩ 田口文明、中村尚、野中正見、小守信正、吉田聡、高谷康太郎、後藤敦史：「北太平洋亜寒帯前線の十年規模変動に対する大気応答の季節性」、日本気象学会春季大会、代々木オリンピックセンター、東京、2011年5月20日.
- ⑪ 高谷康太郎、「長周期変動の鉛直結合」、科学研究費補助金新学術領域研究「中緯度海洋と気候」A03-8班kickoff meeting、JAMSTEC東京事務所、東京、2010年12月6日.
- ⑫ 高谷康太郎、「オホーツク海周辺に関する長周期大気変動」、科学研究費補助金新学術領域研究「中緯度海洋と気候」A03-9班kickoff meeting、新潟大学、新潟、2010年11月11日.
- ⑬ Komori, N., B. Taguchi, A. Kuwano-Yoshida, M. Nonaka, K. Takaya, W. Ohfuchi, and H. Nakamura: “Coupling coefficients’ around the mid-latitude SST fronts in a coupled atmosphere-ocean and a stand-alone atmospheric GCMs”, 3rd OFES International Workshop, JAMSTEC, Yokohama, Japan, 2010年11月4日.
- ⑭ 小守信正、田口文明、吉田聡、野中正見、高谷康太郎、大淵濟、中村尚：「大気海洋結合モデルにおける中緯度海面水温前線域での結合係数」、日本気象学会秋季大会、テレサ京都、京都、2010年10月28日.
- ⑮ Takaya, K.: Interannual variability of the East Asian winter monsoon. *JSPS-DFG workshop*, 北海道大学、Sapporo, Japan, 2010年10月19日.
- ⑯ 小守信正、田口文明、吉田聡、野中正見、高谷康太郎、大淵濟、中村尚：「大気海洋結合モデルにおける中緯度海面水温前線域での結合係数」、日本海洋学会秋季大会、東京農業大学オホーツクキャンパス、北海道、2010年9月8日.
- ⑰ Takaya, K., and H. Nakamura: Changes in surface baroclinicity associated with SST anomalies in the KOE region and their possible impacts on the atmospheric circulation. *2010 Western Pacific Geophysics Meeting*, 台北国際会議場、Taipei,, Taiwan, 2010年6月25日.
- ⑱ 高谷康太郎、「夏季ポーフォート海高気圧の力学」、北海道大学低温研究所特別共同研究「環オホーツク地域における気候変動・環境変動のモデリングと予測可能性の研究」ワークショップ(III)、北海道大学、北海道、2010年3月4日.
- ⑲ 小守信正、吉田聡、田口文明、本田明治、高谷康太郎、笹井義一、佐々木英治、榎本剛、野中正見、石田明生、升本順夫、大淵濟、中村尚：「CFESによる高解像度大気海洋結合シミュレーション～環オホーツク地域を中心に(III)～」北海道大学低温研究所特別共同研究「環オホーツク地域における気候変動・環境変動のモデリングと予測可能性の研究」ワークショップ(III)、北海道大学、北海道、2010年3月4日.
- ⑳ 田口文明、野中正見、小守信正、吉田聡、高谷康太郎、中村尚：「北太平洋亜寒帯前線域に集中する十年規模海面水温偏差とその大気への影響」北海道大学低温研究所特別共同研究「環オホーツク地域における気候変動・環境変動のモデリングと予測可能性の研究」ワークショップ(III)、北海道大学、北海道、2010年3月4日.

[図書] (計1件)

- ① Nakamura, H., T. Miyasaka, Y. Kosaka, K. Takaya, and 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, Chap. 6, "Climate Dynamics: Why Does Climate Vary?" D. Sun and F. Bryan, Eds., *Geophys. Monogr.*, **189**, AGU, 2010, 149-179.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高谷 康太郎 (TAKAYA KOUTAROU)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境
変動領域・主任研究員

研究者番号：60392966