

研究会「長期予報と大気大循環」の報告

海洋の年々変動と大気循環

～海洋現象と日本の天候の関係を改めて考える～

2019年12月2日に、長期予報研究連絡会が主催する研究会「長期予報と大気大循環」を気象庁にて開催した。今回は、“海洋の年々変動と大気循環～海洋現象と日本の天候の関係を改めて考える～”というテーマで、12題の研究結果が報告された。本文では各発表の概略を紹介する。なお、発表要旨を後ろに付ける。

はじめに、事務局から戸川が、2019年夏から秋の海洋や大気循環場の経過について報告した。2019年秋の東・西日本の顕著な高温には正のインド洋ダイポールモード (Indian Ocean Dipole mode ; IOD, Saji *et al.* 1999) 現象が背景にあると考えられ、気象庁では3か月予報の予想にIOD現象の影響を考慮していたことを示した。

丹治氏は、熱帯域におけるインド洋・太平洋・大西洋の海盆間相互作用について報告した。インド洋全域の海面水温の昇温に対する短波放射量の増加、蒸発冷却の弱化、暖水ロスビー波および赤道暖水ケルビン波の伝播の寄与は、季節や海域によってその割合が異なっていることや、大気海洋結合モデルの結果から大西洋の昇温がIOD現象の発生数増加や振幅の増大に寄与することを示した。

Saji氏は、IOD現象やその影響についての最新の知見を総合的に紹介し、2019年は1978年以降でIOD現象が最も発達した年の1つで、東アフリカでの大雨、オーストラリアの干ばつやインドネシアの森林火災などの原因となり、社会活動に影響を与えた可能性を指摘した。また、正のIOD現象によるインド洋東部の低い海面水温が、ケルビン波などを通して太平洋西部の高温をもたらすことを示した。

土井氏は、SINTEX-Fを用いたIOD現象の予測について報告した。SINTEX-Fは、JAMSTECアプリケーションラボが欧州の研究者と連携して開発してき

た季節予測シミュレーションシステムである。最新のシステムでは、モデルの高度化・高解像度化に加えて、水温/塩分の海洋内部の観測データも同化することにより予測精度が向上し、2019年のIOD現象を2018年11月時点で予測に成功していたことを示した。

関澤氏は、南半球の夏季のオーストラリアモンスーン活動が活発化すると、北半球の冬季の東アジアに遠隔影響して北西季節風を強化する傾向があることを示した。海洋大陸付近では対流活動と直下のSSTの相関が弱く、オーストラリアモンスーンは内部変動が卓越するため、このテレコネクションは冬季東アジアの季節予測可能性を制限している可能性を示唆した。

石山氏は、北西太平洋 (Western North Pacific ; WNP) の台風発生環境場と Pacific Meridional Mode (PMM ; Chiang and Vimont 2004) の関係を示すため、PMMが正だった2015年と2018年の海面水温を大気モデルの下部境界に与えたコントロール実験と、PMM領域を気候値に差し替えた感度実験の結果を、それぞれの年で比較した。super El Niñoが共存した2015年は正のPMMはむしろWNPの台風活動を抑制したこと、正のPMMの昇温域が東部WNPまで広がっていた2018年において、台風発生環境場を好都合にしたのはカリフォルニア沖の昇温域よりも東部WNPの昇温域であることを指摘した。

東塚氏は、IOD現象の多様性を議論するために、インド洋の海面水温偏差パターンに基づいて、「典型的なIOD」と、中央で高温・西部と東部で低温となる「IODもどき」に分類した結果を報告した。「典型的なIOD」では翌年に逆位相のIOD現象が発生する傾向があるのに対して、「IODもどき」では東アフリカで顕著な降水量偏差が見られなくなるなど、IOD現象の影響を予測する際にはそのタイプも考慮する必要性を指摘した。

神山氏は、黒潮とメキシコ湾流における海面水温の

関係を「境界流同期 (Boundary Current Synchronization; BCS)」と名付け、BCSは北半球環状モードや太平洋10年規模振動と相関が高く、その変動が偏西風ジェット南北移動を通して海盆間で数年~10年規模で同期している可能性があるため、中緯度帯でも大気と海洋が結合系をなしているかをより詳しく調べる必要性を指摘した。また、BCSが2018年夏の日本の猛暑と関連していることを示した。

小林氏は、2018年の北半球中緯度高温偏差について、季節予測システムで6か月以上前から予測されていたことを示し、同時期に北半球亜熱帯域の対流活発の継続も予測されていたことを報告した。太平洋熱帯域で海面水温が高かったことをよく予測できていたことが、北半球中緯度対流圏の高温の予測の成功に寄与していた可能性があることを示唆した。

戸田氏は、20世紀における日本周辺域の海面水温上昇メカニズムについて報告し、全球平均より大きい昇温傾向を示すが単調ではない日本付近の海面水温の長期変化には、顕熱の増加と黒潮の変化が寄与しており、その双方が北太平洋の高気圧偏差による強制であった可能性を示唆した。

飯塚氏は、様々な海面水温プロダクトをモデルの境界条件として比較することで、2013年8月の秋田・岩手の豪雨予測の再現性に与える影響について報告した。日本海の海面水温に高温バイアスがあると降水量が過大評価され、かつ降水帯の位置が風上方向へずれる傾向を示し、雲域の海面水温データの不確実性や日変化の情報不足が、住民の避難行動に影響を与える気象情報の精度向上の妨げとなっていることを指摘した。

竹村氏は、夏季の日本付近におけるロスビー波の砕波頻度について解析し、ラニーニャ年には砕波頻度が統計的に有意に増加する傾向があり、また、砕波頻度と北~西日本の気温に有意な正相関があることを示した。これらには、ラニーニャ現象発生時のアジアジェットの変調による、日本付近における砕波の頻度の増加のほか、それに伴うミッドパシフィックトラフの強化を通じた太平洋・日本 (Pacific-Japan; PJ) パターンの発現が関連していることを指摘した。

今回の研究会の会場は、大学や研究機関の研究者や学生、気象予報士及び気象庁関係者など約80名によってほぼ満室となった。折しも顕著なインド洋ダイポールモード現象が発生している中で高い関心が集まったことが、近年になく多くの方を迎えての実施となったと思われる。幅広い分野から集まって頂いた発表者

および参加者の皆様の協力には、感謝申し上げたい。海洋と天候の関係は古くから指摘されてきたが、観測手法や数値モデルの発達に伴って、今なお様々な時間・空間スケールにわたる現象が発見され、かつ、その理解の深化が求められている。顕著現象の長期予測という社会的要望に応えるためにも、今後とも本研究会が各分野の方々の情報・意見を交換する場となっていくことを望みたい。

なお、今回の講演の拡張要旨は、本会のホームページ (<https://www.metsoc.jp/about/research-groups/longforc>) に掲載されているので、合わせてご覧いただければ幸いである。

(事務局担当 戸川裕樹, 萬納寺信崇, 千葉丈太郎:
気象庁気候情報課)

【発表題目および事前提出された要旨】

1. 2019年夏から秋の海洋や大気循環場の経過

戸川裕樹 (気象庁気候情報課)

2019年は、エルニーニョ現象が夏に終息したが、熱帯域では夏から秋にかけて正のインド洋ダイポールモード現象が発生し、日本や世界では各地で異常気象の発生が報告された。本発表では、2019年夏から秋の海洋や大気循環場の経過について、気象庁による監視結果や季節予報モデルによる予測資料を元に紹介する。

2. 熱帯域における海水温変動を規定するインド洋・太平洋・大西洋の海盆間相互作用

丹治菜摘 (筑波大学生命環境科学研究科)

植田宏昭 (筑波大学生命環境系)

エルニーニョ現象が最盛期を迎える冬から翌年の夏にかけて、ウォーカー循環の変調を介してインド洋では海面水温が全域で高くなることが知られている (Xie *et al.* 2009)。キャパシタ効果と称されるインド洋全域昇温は、ケルビン波に伴うエクマン発散を通して、熱帯西太平洋の循環だけでなく日本の気候にも大きな影響を与える。本講演ではインド洋全域昇温のメカニズムに関して、①対流不活発による短波放射量の増加 (Klein *et al.* 1999)、②エルニーニョに伴う反転ウォーカー循環とインド洋の秋の気候学的な赤道西風の結合による蒸発冷却の弱体化 (Ohba and Ueda 2005)、③反転ウォーカー循環に伴う南インド洋での高気圧性循環による暖水ロスビー波の西方伝播 (Xie *et al.* 2002)、④インド洋ダイポールモード終焉後の赤道暖水ケルビン波の東方伝播 (Ueda and Matsumoto 2000) の寄与

に着目し、個々のプロセスの定量的な評価と発生事例による違いについて診断的に解析した結果を紹介する。後半は、大西洋、インド洋、太平洋間に内在する海盆間相互作用の観点から、気象研究所の大気海洋結合モデル (MRI-CGCM ver2.3) による気候値緩和実験 (pacemaker experiment) の手法を用いて、海盆間のフィードバックプロセスを実験的に検証した結果も紹介する。

3. 衛星時代の最も強いIOD現象：その発達過程と影響 (The strongest IOD in the satellite-era : processes and impacts)

Saji N. Hameed (会津大学)

現在、極端に強いIOD現象がインド洋で発生している。21世紀において最も強いIOD現象となることは確実で、これには注目すべき特徴が幾つか見られている。これまでには無かった各種の観測データに基づいて今回のIOD現象をより詳細に研究することにより、この現象の様々な側面がより明確となるが、その挙動と影響の不確実性にも改めて疑問点が持ち上がっている。本講演では、今回のIOD現象の発達とその影響についてのデータを示す。また、過去の強いIOD現象を選んで注目すべきユニークな側面を分析する。講演の後半では、IOD現象とエルニーニョ/ラニーニャ現象の相互作用の話題について触れ、super El Ninoの発生に与えるIOD現象の役割についてコメントする。(英語原文を事務局が和訳)

4. SINTEX-Fシステムを使ったインド洋ダイポールモード現象の予測

土井威志 (JAMSTEC)

日本の猛暑のスターターになり得るインド洋ダイポールモード現象の発生を事前に高精度に予測することは非常に重要である。アプリケーションラボで開発されたSINTEX-F予測システムの第一版では、数ヶ月前からインド洋ダイポールモード現象の発生予測が可能であることが示された。その後も、予測精度を向上させるべく、予測システムの改良を続けてきた。例えば、従来のモデルを高度化(海水モデルの導入、高解像度化、物理スキームの改善等)した第二版となるSINTEX-F2システムや、海洋内部の水温/塩分の観測データを予測初期値に取り込んだSINTEX-F2-3DVARシステム、また最近ではアンサンブル数を100程度にまで増強したシステムを開発し、それらの有効

性を検証した。これらSINTEX-F予測システムの最新の開発状況を紹介しつつ、2019年夏から秋にかけて発生中の正のイベントについての予測にも触れたい。

5. 北半球冬季における海洋大陸周辺の大気対流活動変動からの遠隔影響～ENSO vs オーストラリアモンスーン～

関澤徳温 (東京大学先端科学技術研究センター)

熱帯域の海面水温変動は季節平均的な積雲対流活動の変動をもたらし、この影響は中高緯度の気候循環にも及ぶため、中高緯度の季節予測において重要である。特に、冬季東アジアの天候に対しては、海洋大陸周辺の大気対流活動変動が大きな影響を及ぼすことが知られている。しかし、北半球冬季の大気対流活動変動を熱帯域の海面水温変動に相関する成分と無相関な成分とに統計的に分離したところ、海洋大陸の北側では海面水温変動に相関する成分が卓越することが分かった。一方で、海洋大陸の南縁からオーストラリア北部にかけては夏季オーストラリアモンスーンの経年変動を起源とする、海面水温と無相関な対流活動変動が卓越していた。この変動は、冬季東アジアに有意な気温や降水量の偏差を伴い、季節予測可能性を制限していることを示唆する。

6. 台風発生環境場とPacific Meridional Modeの関係

石山尊浩 (東京大学大気海洋研究所)

近年、Pacific Meridional Modeと北西太平洋の台風活動の研究が盛んに行なわれており、正のフェーズだと台風活動が活発になることが報告されている。本研究では、非静力学モデルNICAMを用いて、Pacific Meridional Modeが発生していた2015年と2018年に関する実験をそれぞれ行った。2015年はsuper El Niñoが発生しており、2018年は正のPacific Meridional Modeによる暖域が日付変更線を越すまでに達していた。これらに着目した感度実験を行った結果を紹介する。

7. 多様なインド洋ダイポールモード現象

東塚知己 (東京大学大学院理学系研究科)

正のインド洋ダイポールモード現象 (IOD) は、西インド洋熱帯域に正の海面水温偏差、東インド洋熱帯域に負の海面水温偏差を伴う気候変動現象として知られている。しかし、エルニーニョ現象にもエルニー

ニョもどきが存在するように、IODに伴う海面水温偏差も多様である。そこで、海面水温偏差パターンに基づき、IODを「典型的なIOD」と「IODもどき」（中央インド洋熱帯域に正の海面水温偏差、西インド洋熱帯域と東インド洋熱帯域に負の海面水温偏差）のタイプに分類したところ、インド洋沿岸諸国の降水量偏差への影響やウォーカー循環に顕著な違いが見られた。したがって、IODの中高緯度への影響を正しく予測するためには、IODの発生だけでなく、どちらのタイプのIODが発生するのかまで正確に予測することが求められる。

8. 黒潮とメキシコ湾流にて観測される海面水温の同期について

神山 翼（お茶の水女子大学基幹研究院）

三浦裕亮（東京大学大学院理学系研究科）

木戸晶一郎（東京大学大学院理学系研究科）

黒潮とメキシコ湾流は、地球上で最も強い暖流であり、熱帯から中緯度に熱を輸送しながら流れている。これらの暖流は、空間的に不均一な太陽放射を受け取る気候系にとって、そのエネルギーバランスを保つ本質的な役割を担うと考えられている一方、北半球有数の大都市圏の沿岸を通りながら熱を大気に向かって放出し、異常気象や漁獲量変動を通して人間生活にも大きな影響を与える。これら2つの海流は、互いに北米大陸の反対側に位置し、海洋内部の過程のみでは数年規模の時間スケールで情報のやり取りをすることはない。しかし、両海流の続流域における領域平均海面水温の時系列を計算したところ、顕著な同期が検出された。さらにこれらの時系列を大気場に回帰すると、我が国の気象に密接に関係する「偏西風ジェットの南北移動」と密接に関係することが示唆された。本研究の目的は、この現象を「境界流同期」と定義し、既知のモード（PDOやNAM）との関係、物理的メカニズム、および我が国の気象への影響を明らかにすることである。

9. 季節予測システムで予測された2018年北半球中緯度高温偏差

小林ちあき（気象研究所）

石川一郎（気象研究所）

2018年夏季の日本の猛暑の要因の一つとして北半球中高緯度が高温であったことがあげられている。これに関連して、2017-2018年にかけて、北半球中高緯度の

帯状平均場では6か月以上継続した高温偏差が見られた。この継続は気象庁季節予測システムを用いた2017年10月を初期値とした予測実験で再現された。SST偏差分布がラニーニャタイプから太平洋南北モードパターンに変わる様子や、北半球亜熱帯域での対流活動活発偏差の継続も良く予測されており、これらが北半球中緯度の高温偏差の継続の予測に貢献している可能性がある。

10. 20世紀における日本周辺域の大きな海面水温上昇メカニズム

戸田賢希（東京大学大気海洋研究所）

渡部雅浩（東京大学大気海洋研究所）

20世紀における日本周辺海域は全球平均の2倍近い大きな昇温トレンドを見せていたことが知られている。この海面水温（SST）の上昇は日本での集中豪雨などのリスクを高めるが、人為強制に対する日本周辺海域でのSST昇温に対する理解は不足している。本研究では観測と気候モデルを用いて、人為強制に対する20世紀の日本周辺域のSST長期変化メカニズムを調べた。その結果、観測された20世紀の日本周辺域のSST長期変化には温室効果ガスやエアロゾルの放射強制が主要な役割を果たしていたことが示唆された。また、温室効果ガスやエアロゾルによって強制された北太平洋の気圧場の変化に伴う海洋風成循環（黒潮）の変化と大気下層の温度移流変化が主要な20世紀における日本周辺域の長期SST変化メカニズムである可能性が示唆された。

11. 海面水温データの不確実性が豪雨予測に及ぼす影響

飯塚 聡（防災科学技術研究所）

既存の海面水温データには雲の影響やアルゴリズム、日変化が含まれていないなどの要因などによってばらつきが存在する。2013年8月の秋田・岩手の豪雨を対象にそのデータ間のばらつきの影響を調べた。その結果、データ間のばらつきにより、豪雨帯の位置や積算雨量などが変わることが示され、実際の自治体レベルでの避難指示などのタイミングなどにも影響を与える可能性が示唆される。

12. 夏季日本付近におけるロスビー波の碎波頻度と関連する大気大循環

竹村和人 (京都大学大学院理学研究科,
気象庁気候情報課)

向川 均 (京都大学大学院理学研究科)

前田修平 (気象研究所)

シルクロードパターンに代表されるような、夏季アジアジェットに沿って伝播する準定常ロスビー波は、ジェット出口付近にあたる日本付近において高い頻度で碎波することが知られている。本研究では、日本付近における碎波頻度の年々変動とエルニーニョ・南方振動 (ENSO) との関連に着目し、8月平均場を対象とした大気大循環場の統計解析を行った。

はじめに、ENSO位相別の合成図解析より、日本付近における碎波頻度は、ラニーニャ現象発生時に気候値と比較して統計的に有意に増加することがわかった。さらに回帰分析より、碎波頻度が高いほど、東部太平洋赤道域における海面水温の低温偏差のほか、インド洋を中心とした対流圏上層における大規模発散偏差に伴って、アジアジェットが北偏かつ強化する傾向がみられた。また、碎波頻度の増加は、亜熱帯域への高渦位大気の侵入及びそれに伴う活発な対流活動を通して、太平洋・日本 (PJ) パターンの発現とも関連することがわかった。

参 考 文 献

- Chiang, J. C. H. and D. J. Vimont, 2004: Analogous Pacific and Atlantic meridional modes of tropical atmosphere-ocean variability. *J. Climate*, **17**, 4143-4158.
- Klein, S. A., B. J. Soden and N. Lau, 1999: Remote sea surface temperature variations during ENSO: Evidence for a tropical atmospheric bridge. *J. Climate*, **12**, 917-932.
- Ohba, M. and H. Ueda, 2005: Basin-wide warming in the equatorial Indian Ocean associated with El Niño. *SOLA*, **1**, 89-92.
- Saji, N. H., B. N. Goswami, P. N. Vinayachandran and T. Yamagata, 1999: A dipole mode in the tropical Indian Ocean. *Nature*, **401**: 360-363.
- Ueda, H. and J. Matsumoto, 2000: A possible triggering process of east-west asymmetric anomalies over the Indian Ocean in relation to 1997/98 El Niño. *J. Meteor. Soc. Japan*, **78**, 803-818.
- Xie, S.-P., H. Annamalai, F. A. Schott and J. P. McCreary Jr., 2002: Structure and mechanisms of South Indian Ocean climate variability. *J. Climate*, **15**, 864-878.
- Xie, S.-P., K. Hu, J. Hafner, H. Tokinaga, Y. Du, G. Huang and T. Sampe, 2009: Indian Ocean capacitor effect on Indo-western Pacific climate during the summer following El Niño. *J. Climate*, **22**, 730-747.