

第1回高・低気圧ワークショップの報告

平田 英隆*¹・栃本 英伍*²・柳瀬 亘*³
 山崎 哲*⁴・渡邊 俊一*⁵・吉田 聡*⁶
 北 祐樹*⁷・宇野 史睦*⁸・石山 尊浩*⁹

1. はじめに

第1回高・低気圧ワークショップは、2018年12月10日～11日に京都大学防災研究所白浜海象観測所で開催された(第1図)。高・低気圧研究の発展を促進させるためには、高・低気圧研究者がじっくりと議論をできる場が必要だと考えた世話人(平田, 栃本, 柳瀬, 山崎, 渡邊, 吉田, 北)によって本ワークショップは企画された。今回のワークショップでは、様々な高・低気圧(温帯低気圧, 台風, ハイブリッド低気圧, ポーラーメソサイクロン, 竜巻, モンスーン低気圧, ブロッキング高気圧, インド北東部の降水変動と関連する高気圧性擾乱)に関する口頭発表が行われた。加えて、海外で開催された関連ワークショップの参加報告および総合討論が行われた。議論を十分に行えるように、口頭発表の講演時間は1人あたり30分に設定し

た。しかしながら、議論が白熱し、当初の予定よりも全体で約3時間も講演時間が延長した。懇親会の時間が短くなってしまったことに目をつぶれば、参加者にとって充実した時間であった。本稿では、本ワークショップで行われた研究発表、ワークショップ参加報告および総合討論の概要について報告する。

2. 研究発表

本ワークショップでは、11件の口頭発表が行われた(第1表)。本節では、それぞれの発表の概要について紹介する。

現実の大気では熱帯低気圧と温帯低気圧の両方の性質を併せ持つ複雑な低気圧(ハイブリッド低気圧)がしばしば観測される。柳瀬 亘(気象研)は熱帯低気圧～ハイブリッド低気圧～温帯低気圧のメカニズムの

*1 (連絡責任者) Hidetaka HIRATA, 名古屋大学宇宙地球環境研究所, h.hirata17@gmail.com

*2 Eigo TOCHIMOTO, 東京大学大気海洋研究所。

*3 Wataru YANASE, 気象庁気象研究所。

*4 Akira YAMAZAKI, 海洋研究開発機構アプリケーションラボ。

*5 Shun-ichi WATANABE, 気象業務支援センター地球環境・気候研究推進室。

*6 Akira KUWANO-YOSHIDA, 京都大学防災研究所白浜海象観測所。

*7 Yuki KITA, 東京大学大学院新領域創成科学研究所。

*8 Fumichika UNO, 産業技術総合研究所太陽光発電研究センター。

*9 Takahiro ISHIYAMA, 東京大学大気海洋研究所。



第1図 参加者の集合写真。京都大学防災研究所白浜海象観測所の屋上で。

第1表 口頭発表の内容。順番は、発表順に対応している。

発表者	所属	講演タイトル
柳瀬 亘	気象庁気象研究所	温度・鉛直シア・惑星渦度のパラメータ空間における低気圧の理想化実験
平田英隆	名古屋大学宇宙地球環境研究所	What is a monsoon depression?
村田文絵	高知大学理工学部	インド亜大陸北東部における夏季モンスーン季の気象に関する高低気圧
石山尊浩	東京大学大気海洋研究所	Pacific Meridional Modeとインド洋のSSTが北太平洋の熱帯低気圧活動に与える影響
新野 宏	東京大学大気海洋研究所	竜巻を生ずる台風構造と環境場
北 祐樹	東京大学大学院新領域創成科学研究所	爆弾低気圧における波浪の役割についての考察
宇野史睦	産業技術総合研究所太陽光発電研究センター	関東域の日射量予測大外し時における高・低気圧
万田淳昌	三重大学生物資源学研究所	初夏の黒潮上における深い対流発生時の環境場
渡邊俊一	気象業務支援センター地球環境・気候研究推進室	ポーラーメソサイクロンの長期的変動の解析
板本英伍	東京大学大気海洋研究所	日本付近の温帯低気圧構造の特徴
山崎 哲	海洋研究開発機構アプリケーションラボ	2010年夏のロシアブロッキングにおけるストームトラックの寄与

関係性を体系的に理解するため、環境場の温度・鉛直シア・惑星渦度のパラメータ空間に基づく低気圧の理想化実験を行った。その結果、観測で見られるハイブリッド低気圧のマルチスケール構造をある程度再現できることやメカニズムの異なる2種類の非軸対称構造が現れるパラメータの範囲が明らかになった。質疑では実験結果に基づいてモンスーン低気圧のメカニズムの解釈などを議論した。

平田英隆（名大宇地研）は北半球夏季の南アジア地域の降水変動と密接に関連するモンスーン低気圧の発達過程について調査した。領域雲解像モデルCReSSを用いて2016年8月のモンスーン低気圧の再現実験、潜熱加熱の効果を除く実験およびベンガル湾からの水蒸気供給を除く実験を行った。再現実験では観測された低気圧の発達が良く再現された。他方で、2つの感度実験では低気圧の発達はまったくみられなかった。これらの結果を基に、海面から蒸発した水蒸気が凝結する際に解放される潜熱加熱がモンスーン低気圧の発達に重要な役割をすることやその発達過程は熱帯低気圧のものと類似していることを論じた。

村田文絵（高知大理工）は夏季モンスーン季のインド亜大陸北東部における降水変動に対する高・低気圧の影響について講演を行った。世界有数の多雨地域であるチェラプンジの降水変動と大気循環場との関係を調査し、南シナ海からベンガル湾北部へ西進してくる高気圧性循環偏差が当該地域の降水量の増大を引き起こしていることを見出したことを報告した。さらに、バングラデシュの降水レーダーから得られた降水データを基に、インド亜大陸北東部で発生する渦状擾乱やモンスーン低気圧が詳細な降水構造を伴うことを示した。

石山尊浩（東大気海洋研）は Super El Niño が発

生した2015年と1997年における北太平洋の熱帯低気圧活動の差異の原因に関する研究成果を発表した。本研究では非静力学モデル NICAM を用いて、Perpetual 実験を行った。Perpetual 実験とは、海面水温や太陽放射などの境界条件を任意の時刻に固定して行う実験である。実験の結果、北西太平洋では1997年の方が熱帯低気圧活動はより活発で、北東太平洋では2015年の方が活発であった。その差異の原因は、それぞれモンスーントラフの差異と鉛直シアの差異に起因することを示した。さらに、海面水温に関する感度実験の結果から、モンスーントラフの差異はインド洋と Pacific Meridional Mode（中央太平洋の赤道域から北東太平洋の北緯20度域周辺にかけて海面水温が昇温する現象）領域の海面水温の差異に、鉛直シアの差異は Pacific Meridional Mode 領域の海面水温の差異に起因することを示した。

新野 宏（東大気海洋研）は末木健太（理化学研究所計算科学研究センター）と共に行った竜巻を伴う台風の構造についての解析結果を示した。竜巻は台風の北東象限で数多く発生する。竜巻を伴った台風（TT）と伴わなかった台風（NT）を比較すると、SREH は台風の北東象限で TT の方が有意に大きく、竜巻の発生分布とよく一致していた。しかし、CAPE は南東象限で大きく、北東象限では TT と NT で有意な差が見られない。そこで、エントレインメントの効果を考慮した CAPE (ECAPE) を調べたところ、北東象限で TT の方が有意に大きく、竜巻の発生分布とよく一致することがわかった。

波浪はその発達度合いによって海面の状態を変化させ、海面摩擦や乱流フラックスに影響を与える。北祐樹（東大院新領域）は2018年1月に大西洋北西部で発生した爆弾低気圧の発達に対する波浪の影響につい

て考察を行った。大気・海洋結合モデルで再現された低気圧と比較して、波浪が海面摩擦に与える効果を考慮した大気・海洋・波浪結合モデルで再現された低気圧の最低中心気圧は約2 hPa 低い値を示した。低気圧中心の南部において発達中の波浪が海面摩擦を強めて風速を弱めたことが、地表付近の比湿の増加を導いた。この湿潤化が低気圧中心付近の潜熱加熱の強化を通じて、爆弾低気圧の発達を促したと推察される。

宇野史睦（産総研太陽光発電研究センター）はMSMによる日射量予測の大外し時の循環場（高・低気圧の強度と位置）の特徴について発表した。この研究は、太陽光発電電力量予測のために気象予測の利活用方法を検討した応用研究である。冬季5か月間（11～3月）の循環場を5つのパターンに分類し、循環場毎の日射量予測の大外し時の出現頻度とアノマリーを評価した。その結果、日本の東海上に低気圧が存在する場合は関東域の日射量予測は過小予測傾向になり、高気圧が存在する場合は過大・過小予測傾向に明瞭な差は見られなかった。また、前者の場合は低気圧の強度が比較的弱い場合により大きな予測誤差が生じた。

万田敦昌（三重大生物資源）は初夏の東シナ海の黒潮周辺での強い上昇流発生時における環境場について、2006年から2013年の気象庁メソ解析とMGDSSTデータを用いた解析を報告した。6月の400hPa面での鉛直 v 速度が $-35 \times 10^{-2} \text{Pa s}^{-1}$ 以上の事例を強い上昇流として抽出した合成図解析から、東シナ海北部では、低気圧などの気象擾乱に伴う前線付近で条件付き対称不安定を満たす環境場で、東シナ海南西部では高いCAPEと静的不安定の環境場で強い上昇流が形成されていたことを示した。海面水温分布との比較から、南西部では高い海面水温による積雲対流の強化によって強い上昇流が形成されるが、北部では相対的に海面水温が低く、気象擾乱に伴う前線強化が強い上昇流の形成に必要であると結論づけた。

渡邊俊一（気象業務支援センター地球環境・気候研究推進室）はJRA-55領域ダウンスケーリングを用いて、冬季日本海に発生する渦状擾乱の長期的な統計解析の結果を示した。渦状擾乱の発生数は1988年を境に減少しており、これは極域の海面気圧の長期変動に対応していた。渦状擾乱の発生数と大規模場について相関解析を行い、渦状擾乱の発生数が多い冬季には、北極とシベリア付近に地表の高気圧偏差が見られ、500 hPa 高度場には日本の上空に負偏差が見られること

を明らかにした。これは北極振動の負フェーズに対応している。また、北海道の西方の渦状擾乱の発生数は、太平洋十年規模振動と相関があることを示した。

栃本英伍（東大気海洋研）は日本海～オホーツク海で発達する低気圧（OJ）、北西太平洋で発達する低気圧（PO）、そして北西大西洋で発達する低気圧（AO）の構造の違いを調べた結果を報告した。温帯低気圧をHodges（1994）の手法を用いて客観的に抽出し、1979～2016年までの統計的な特徴を調べた。特に前線に着目して調べるために、Schemm *et al.*（2015）の手法を参考に前線を客観的に抽出した。OJは寒冷前線が温暖前線と比較して発達しやすく、POとAOは温暖前線、寒冷前線共によく発達していた。また、AOとPOは後屈温暖前線の構造が明瞭に見られた。一方で、AOとPOでは温暖前線の構造の違いが見られた。これらのOJ、AO、PO間の前線構造の違いは上層ジェット構造や位置、下層の傾圧帯と関係していることを示唆した。

山崎 哲（海洋研究開発機構アプリケーションラボ）はWoollings *et al.*（2018）のブロッキングのレビュー論文について紹介した。その中で、近年のブロッキング研究の大きな話題の1つとして、ブロッキングの構造の多様性があることを言及した。柳瀬の発表内容（低気圧の多様性）と関連させて、今後、ブロッキングの多様性のメカニズム解明が重要になってくることを指摘した。

3. 関連ワークショップ参加報告

世界の高・低気圧研究の最新の情報を共有するために、近年、欧米で開催された高・低気圧関連の研究会へ参加した方々から、参加報告が行われた。柳瀬と栃本からはCyclone Workshop、山崎からはStorm Tracks Workshopに関する報告があった。以下では、それぞれの報告の概要について述べる。

第18回Cyclone Workshopは2017年10月1日～6日にカナダのサンタデルで開催された（<http://www.atmos.albany.edu/facstaff/rmctc/cw18/2019.1.29>閲覧）。この研究会は極渦から竜巻までスケールを問わず「回転していれば何でもあり」なので、自然界の低気圧（渦）の多様性を把握し、その中の普遍的なメカニズムを理解していくのに最適な場である。大御所から新進気鋭の若手まで約90名の研究者による口頭発表（各20分）が行われたほか、夕食後にはポスター発表や特別セッションがあり、密度の濃い

5日間であった。アメリカとカナダの他にはヨーロッパ各国からの参加者も多く、例えば温帯低気圧の構造の気候学的な研究ではスイスのH. Wernliのグループが大きな存在感を示していた。一方で、アジアからの参加者は少なく、栃本・柳瀬・沢田雅洋（気象研）の3名だけであった。しかしながら、規模が大き過ぎず時間にもゆとりがあるため、他のグループとも話しやすく、新たな研究の交流にもつなげることができた有意義な会議であった。

第2回 Storm Tracks Workshopは2018年8月27日～31日にスウェーデン郊外のUto島で開催された(<http://climdyn.misu.su.se/stormtracks2018/2019.2.12>閲覧)。第1回の2015年のスイスでの開催とは異なり、今回のワークショップは参加者が（会場の関係から）40名程度に絞られ、日本からの参加者は2名だけであった。今回のメインのテーマは、温暖化とストームトラックの将来変化、そして非断熱加熱が低気圧を介して如何にストームトラックに影響を与えるか、であった。ここでも、Cyclone Workshopと同様にスイスの研究グループが、Warm Conveyor Beltという概念を通じて大きな存在感を示していた。そのほか、Nakamura (1992) で提唱された真冬の振幅極小 (midwinter suppression) についてのセッションが設けられ、ストームトラックの力学そのものについても重要な課題が残されていると感じた。欧米のワークショップらしく毎日グループでの議論と発表が行われることや、第1回のワークショップの報告がNature Geoscience誌へレビュー (Shaw *et al.* 2016) として報告されていることなどから、ワークショップの「意識の高さ」を強く感じた。

4. 総合討論

本ワークショップの最後に総合討論が行われ、今後の高・低気圧研究の課題について活発な議論が行われた。まず、大きな研究を行うには、予算の獲得が必要となるが、社会に貢献可能な研究と基礎的な理解を深める研究を両立して行うことが有効なのではないかという意見が挙げられた。そのためには、周辺分野との交流の重要性を指摘するコメントがあった。それに対して、今回のワークショップでも宇野から話題提供があった太陽光発電の予測研究等がそのよい例になるという意見が寄せられた。

高・低気圧の予測可能性研究については、気象庁との連携が大事なのではという意見があった。今後の

高・低気圧ワークショップで、気象庁の方を招待し、講演して頂き、高・低気圧予報の現状と問題点などを議論する必要があるのではという意見が述べられた。

研究手法についても、様々な意見交換が行われた。航空機観測の可能性については、まず何を観測するかをしっかりと考えることが重要であるという事が共通認識であった。1つの可能性として、日本に影響を与える南岸低気圧の発生期の観測があるのではないかとという意見が挙げられた。また、日本の研究手法の強みの1つとして、コンピュータリソースを活用した数値シミュレーションが挙げられた。日本は複数の高性能スーパーコンピュータを有しており、高解像度シミュレーションを実施する環境が整っている。このような恵まれた環境を活かして、世界をリードする研究を実施できる可能性がある。さらに、高解像シミュレーションの結果を基に、航空機観測等のターゲットを絞り、観測計画の立案を試みることも重要であるとのコメントが会場から挙げられた。また、開発された有効な手法を、研究コミュニティで共有することが、効率的に研究を進めることに繋がるという意見が、スイスの低気圧研究グループの例を基に述べられた。

最後に、今後の高・低気圧ワークショップの役割としては、気象学会の大会などとは異なり、発表・質疑の時間を長めに取ることで、じっくり議論する場を提供するという事で意見がまとまった。

5. おわりに

様々な高・低気圧に係る研究について時間をかけて議論する場を提供することを目的に、高・低気圧ワークショップは今後も定期的に開催していく予定である。本稿をお読みになって本会にご興味をもっていただけた方は、是非とも次回の会にご参加いただければ幸いである。

略語一覧

CAPE : Convective Available Potential Energy 対流有効位置エネルギー
 CRSS : Cloud Resolving Storm Simulator 雲解像モデル
 ECAPE : Entraining Convective Available Potential Energy エントレインメントの効果を考慮した対流有効位置エネルギー
 JRA-55 : the Japanese 55-year Reanalysis 気象庁55年長期再解析
 MGDSSST : Merged satellite and in situ data Global

- Daily Sea Surface Temperatures 気象庁日別海面水温解析
- MSM : Meso-Scale Model 気象庁メソ数值予報モデル
- NICAM : Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model 非静力学正二十面体モデル
- SREH : Storm-Relative Environmental Helicity ストームに相対的な環境場のヘリシティ
- clinic wave activity in the Pacific. *J. Atmos. Sci.*, **49**, 1629-1642.
- Schemm, S., I. Rudeva and I. Simmonds, 2015: Extratropical fronts in the lower troposphere - global perspectives obtained from two automated methods. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **141**, 1686-1698.
- Shaw, T. A. *et al.*, 2016: Storm track processes and the opposing influences of climate change. *Nature Geosci.*, **9**, 656-664.
- Hodges, K. I., 1994: A general method for tracking analysis and its application to meteorological data. *Mon. Wea. Rev.*, **122**, 2573-2586.
- Nakamura, H., 1992: Midwinter suppression of baroclinic wave activity in the Pacific. *J. Atmos. Sci.*, **49**, 1629-1642.
- Woollings, T., D. Barriopedro, J. Methven, S.-W. Son, O. Martius, B. Harvey, J. Sillmann, A. R. Lupo and S. Seneviratne, 2018: Blocking and its response to climate change. *Curr. Climate Change Rep.*, **4**, 287-300.

参 考 文 献

-