

第 8 回メソ気象セミナー開催報告

メソ気象セミナー事務局

(春日 悟^{*1}・末木 健太^{*2}・吉住 蓉子^{*3}・栃本 英伍^{*4}
 鵜沼 昂^{*5}・加藤 亮平^{*6}・下瀬 健一^{*7}・横田 祥^{*8}
 津口 裕茂^{*9}・渡邊 俊一^{*10})

1. はじめに

メソ気象セミナーは「メソスケール気象学（以下、メソ気象）研究のこれまで・今・これから」をコンセプトとし、セミナー形式で議論を行うことでメソ気象の理解を深めることを目的とした集いである。具体的には、メソ気象において、

- ・これまでの研究でどこまで理解されているのか
- ・現在はどうのような研究が行われているのか
- ・今後どうのような研究を行っていくべきか

について、観測的・数值的・理論的な観点から議論を行う。当セミナーは、メソ気象研究連絡会の傘下で活動している。活動内容は Web ページ (<http://meso.sakura.ne.jp/mesosemi/> 2023.1.1閲覧) または活動報告書 (下瀬ほか 2014, 2016 ; 栃本ほか 2016 ; 渡邊ほか 2017 ; 鵜沼ほか 2018 ; 末木ほか 2020 ; 吉住ほか 2022) を参照されたい。

第 8 回目となる今回のセミナーは、「メソ気象の環

境場としての総観規模気象擾乱」をテーマとして、気象大学校の北畠尚子氏を講師として招き、2022年 9 月 23 日～24 日に三重大で開催し、Zoom を用いたオンライン配信も実施した。セミナーの内容は、以下の通りである。

- ・第 1 部「準地衡風近似の力学の基礎」
- ・第 2 部「準地衡風近似の枠組みでの総観規模擾乱の表現」
- ・参加者によるポスターセッション
- ・第 3 部「準地衡風近似の枠組みでの解析事例」
- ・質問と総合討論

今回のセミナーには大学や企業など多岐に渡る所属の 47 名が参加し、現地参加 37 人、オンライン参加 10 人であった (第 1 図)。現地・オンライン双方より活発な質問が飛び交い、白熱した議論となった。総合討論では、メソ気象と総観規模気象の相互作用を掘り下げる非常に実りのある議論を行うことができた。次節以降、これらのコンテンツの詳細を報告する。

セミナー 1 日目の 9 月 23 日に台風第 15 号が紀伊半島をかすめ、開催の可否を直前まで検討していたが、開催地付近では弱風となり無事に開催することができた。その一方で線状降水帯が伊勢湾で発生しており、急遽、その環境場解析の結果を紹介した。さらに、琉球大の山田広幸氏は航空機によりその台風第 15 号の眼の中を観測した足でセミナーへ参加された。非常に特異な巡り合わせであり、こちらも急遽その様子を興奮の冷めやらないままにご紹介いただいた。

2. 北畠氏による基調講演

北畠氏の講演は、「準地衡風近似の力学の基礎」、「準

^{*1} (連絡責任者) Satoru KASUGA, 三重大学生物資源学研究所.

kasugab3621@outlook.com

^{*2} Kenta SUEKI, 気象研究所.

^{*3} Youko YOSHIKUMI, 一般財団法人日本気象協会.

^{*4} Eigo TOCHIMOTO, 気象研究所.

^{*5} Takashi UNUMA, 気象研究所.

^{*6} Ryohei KATO, 防災科学技術研究所.

^{*7} Ken-ichi SHIMOSE, 防災科学技術研究所.

^{*8} Sho YOKOTA, 数値予報開発センター.

^{*9} Hiroshige TSUGUTI, 気象大学校.

^{*10} Shun-ichi WATANABE, 気象研究所.

© 2023 日本気象学会



第1図 セミナー参加者との集合写真.

地衡風近似の枠組みでの総観規模擾乱の表現」, 「準地衡風近似の枠組みでの解析事例」という3つのトピックに分けて行われた. 最初の2つの話題では, 準地衡風近似の理論的な側面に関し, 基本的な概念から丁寧に説明された. 3つ目の話題では, 準地衡風近似を利用した診断により5事例を北畠氏独自の視点により解説された.

2.1 第1部「準地衡風近似の力学の基礎」

はじめに, 回転座標系における基礎方程式系に関して, 球座標系, 大気が薄いことによる近似, 総観規模現象を想定したスケールアナリシス, 静力学平衡近似, f 面近似, 気圧座標系の導入により, プリミティブ方程式系へと変換する過程について, 丁寧に説明していただいた. さらに, 摂動展開を用いた方法と, 地衡風と非地衡風の定義を用いた方法での準地衡風方程式系の導出, 準地衡風オメガ方程式, ジオポテンシャル傾向方程式, 準地衡風渦位方程式への展開について示された.

講義中に「層厚 (thickness)」の読み方について議論された. 北畠氏は「そうこう」と読むが, 「そうこう」では「走向」と読み方が重複するため, 「そうあつ」と読む人もいる. この議論に関しては, 気象学を学ぶ人であれば, 一度は疑問に思ったことがあるのではないだろうか. また, 「渦度」の読み方も「うずど」と「かど」のどちらかについても話題にあがった. 議論はZoomのチャットでも続いた. なお, 気象学会の気象学用語集 (<https://www.metsoc.jp/publications/glossary> 2022.12.4閲覧) では, 「層厚」は「そうこう」, 「渦度」は「うずど」とされている.

2.2 第2部「準地衡風近似の枠組みでの総観規模擾乱の表現」

続いて, 第1部で導出された準地衡方程式系の実際の現象への応用例について, ご紹介頂いた. オメガ方程式やジオポテンシャル傾向方程式を用いることで, 低気圧に伴う暖気移流・寒気移流および鉛直運動を介した自励的な発達機構を定性的に理解できることが, わかりやすく説明された. 次に, Q ベクトルを導入したオメガ方程式が示され, Q ベクトルの収束と発散が, それぞれ上昇流と下降流に関係することが示された. Q ベクトルによるオメガ方程式は, 定式化が美しい一方で, 物理的な説明が難しく, 現業では必ずしもわかりやすいとは言えないとも述べられた. 一方, Q ベクトルを用いることにより, 前線形成とそれに伴う鉛直運動を力学的に説明可能であることが示された. また, 前線の折れ曲りに伴う閉塞前線の形成と鉛直運動との関係も示された.

続いて, 古典的な低気圧や前線モデルでは, 低気圧の暖域の雲・降水分布が説明できないという例が紹介され, 温暖コンベヤーベルトや寒冷コンベヤーベルトなどの低気圧のコンベヤーベルトの概念を導入することにより, 低気圧内部の気流の循環場やそれに伴う雲・降水分布が説明可能であることが示された. また, 準地衡風近似の場合と地衡運動量近似の場合の前線強化に伴う鉛直運動の違いについての説明もなされた. 地衡運動量近似の場合には, 鉛直方向の運動が時間と共に斜めに傾き, 前線強化が早いことが示された. 最後に対称不安定の理論的な説明とそれに伴う降水システムの発達例が示され, メソスケールの対流の組織化との関連性の可能性が語られた.

質疑応答では、低気圧の成熟期や衰退期における理論的な説明の適用に関する質問や、ソーヤー・エリッセンの実際の適用例に関する質問などがあり、活発な議論が行われた。

2.3 第3部「準地衡風近似の枠組みでの解析事例」

メソスケールの気象現象は総観規模スケールの環境場の中に埋め込まれている。第3部では、幾つかの事例について総観規模場の解析例を紹介し、顕著現象関連の総観場を解析する意義について講義が行われた。解析には、主に再解析データ JRA-55（現業客観解析データよりも衛星観測データ等が多く同化されている）を利用し、また、必要に応じて局地解析やメソ解析（JRA-55より高解像度である一方、同化手法や同化される観測データが異なり、観測データの待ち受け時間が短い）も利用していた。結果の解釈はあくまでこれらの解析データに基づくものであることに注意が必要である。

事例解析では、主に300hPa面の風向・風速、500hPa面の相対湿度・ジオポテンシャル高度、700hPaの上昇流、850hPaの気温・ジオポテンシャル高度といった、FAX天気図で示される要素を用いて考察が行われた。これは、限られた時間内に行われる気象庁の現業作業と共通の認識を持つためである。事例としては、2012年4月2-4日の低気圧、2004年台風第18号、2016年4月17日の低気圧と1995年11月7日の低気圧、2020年7月3日の大雨の例がそれぞれ示された。

講義の途中、Qベクトルを観る気圧面はどこにすれば良いかという議論となった。前線解析などでは主に700hPa面を選択するものの、一番分かりやすい気圧面を選択することが多いであろう、という点に帰着し

た。また、台風と温帯低気圧の区別について、しばしば担当する領域によって国際的な問題となることも議論された。その1つの解決策として、Cyclone Phase Space が用いられるようになったという。

基本的には総観規模場がメソスケール場を規定するものの、台風のように条件（位置関係など）次第でメソスケール場が中緯度帯の総観規模の流れ場を変える場合があることは、非常に面白い観点だと感じた。単純にスケールで分類して現象を捉えるのではなく、スケールに応じた解析によって相互の影響を観ることの重要性を北畠氏の講義を通して示して頂いた。

3. ポスターセッション

今回のメソ気象セミナーは3年ぶりの現地開催であり、久々の対面形式のポスター発表となった。大学、研究所、民間企業から参加頂いた合計10名の発表があった（第1表）。発表内容としては、スケール間相互作用をテーマにした発表が4件あり、JPCZとブロッキング、JPCZと小低気圧、台風と低気圧、黒潮大蛇行と落雷の関係が議論された。また、降水過程に関する発表が3件あり、傾斜した融解層に関する数値実験、数値モデルにおける降雪雲の雲物理特性の再現性、衛星搭載降水レーダを用いた地形性降雨の特徴が示された。さらに、竜巻等の突風に関する発表が2件あり、竜巻の進行方向に関する統計研究や突風発生事例における総観場の特徴が紹介された。民間企業の参加者による発表も1件あり、台風関連変数に対する台風被害額の依存性が示された。

会場では参加者の熱気の溢れた議論が展開され、皆さん久々の対面形式のポスター発表を楽しんでいた様

第1表 ポスター発表者の氏名・所属・発表タイトル

氏名	所属	ポスター発表タイトル
山崎 哲	海洋研究開発機構	2018年2月初旬のJPCZとブロッキングの関係についてのダウンスケール実験
春日 悟	三重大学生物資源学研究科	2018年2月日本海上に生成した小低気圧の移動に関する調査
松田佳奈	三重大学生物資源学研究科	台風が周辺の低気圧の発達に及ぼす影響
加藤実紗	三重大学生物資源学研究科	黒潮大蛇行が及ぼす海上の落雷分布の変化
橋本明弘	気象研究所	傾斜した融解層に関する数値実験
菅野湧貴	電力中央研究所サステナブルシステム研究本部	WRFを用いた冬季の北陸降雪雲の雲微物理特性の再現性評価
恒川知也	三重大学生物資源学研究科	フィリピンにおける地形性降雨の空間的特徴
三田優里	お茶の水女子大学理学部情報科学科	竜巻の進行方向に関する統計及び今後の研究計画
山本健太	新潟大学自然科学研究科	日本の突風発生事例における総観場の特徴
玉置雄大	MS & AD インターリスク総研	台風関連変数に対する台風被害額の依存性

子であった。対面形式のポスター発表は口頭発表に比べて気軽に議論できるため、特に学生の参加者にとっては研究を進める上で有用であると再認識できた。可能であれば来年以降も現地で開催し、対面形式のポスター発表の機会が設けられればと思う。

4. 総合討論

総合討論もハイブリッド形式で開催され、現地とオンラインの参加者が共に参加する活発な議論が展開された。

初めに北畠氏から、総観気象とメソ気象との関連について、前線付近でメソ対流系が形成されるメカニズムとしての downscale development と upscale development の概念が紹介された。downscale development の具体的な概念モデルとして「エスカレーター・エレベーターモデル」(Neiman *et al.* 1993) が紹介された。エスカレーター・エレベーターモデルは、大規模な前線面に沿って上昇する気流（エスカレーター）から、直立した上昇流（エレベーター）が生じるメソ対流系の概念モデルである。一方の upscale development (Schultz and Schumacher 1999) では、初めに直立した湿潤対流が存在し、潜熱によって上空が温まり成層が安定化すると、湿潤対称不安定による斜め方向の上昇運動が顕在化し、降水の空間スケールが大きくなる。

こうした話題提供を受け、参加者から upscale development と梅雨前線の構造との関連を指摘する声が上がった。前線の南縁の潜在不安定な大気場中で直立した湿潤対流が断続的に発生すると、これにより前線帯が次第に安定化・飽和し、湿潤対称不安定に起因する斜向対流が現れるようになる。この場合、前線帯北側には斜向対流に伴う南風と層状性の降水域が、前線帯南側の上層には、レインバンドに伴う発散風のシグナルとしての北風がみられると考えられる。

この点に関して北畠氏から、同氏らが「令和2年7月豪雨」を対象に行った解析（北畠ほか 2022）において、上層（200hPa）では発散がみられた一方で、前線帯の北側には斜向対流によって生じると考えられる層状性の雲がみられないなど、上述の概念モデルとの共通点・相違点が指摘された。前線帯に対応する斜向対流については、より大きな空間スケールを考えた場合の温帯低気圧のバルジがこれに相当する可能性も議論されたが、北畠氏からは、前線帯の北側に層状性の降水域が存在する事例とそうでない事例を分けて議論する必要があるとの指摘がなされた。

事例ごとに比較すると、「令和2年7月豪雨」期間中においても、球磨川の氾濫が発生した3-4日の豪雨では、上空で乾燥空気の流入があり前線北側には斜向対流がみられないが、5-7日の豪雨期間中には斜向対流が存在していたようにみえる。また「平成30年7月豪雨」では前線北側に斜向対流を伴っていた。事例ごとの違いについては、上層トラフとの位置関係の重要性が指摘された。トラフの東側（前面）は上空が発散場となるため、そこに向かう南風は上昇流となる。この観点から、球磨川の3-4日の豪雨はトラフの後面にあたるため斜向対流を伴わなかったとも解釈できる。また、本セミナー開催時（令和4年9月23~24日）に豪雨となった中部地方はトラフの東側に位置し、上空の発散場と南北温度傾度の存在により、南風が上昇流となっていた可能性がある。さらに、いわゆる「線状降水帯」が、斜めに上昇する大気場中で生じた直立する対流が線状に並んだ結果である場合がある可能性についても言及された。

最後に、総観気象とメソ気象の関係を解析するうえでの因果関係の把握の難しさについて議論された。例えば、客観解析データは対流活動によって総観場が変容した結果を含んでおり、客観解析データの大気場を「原因」と捉えてメソ気象の要因を議論することは難しい。総観場に現れている原因と結果をうまく分離することができれば、メソ気象学のブレークスルーにつながる可能性がある。これをクリアしていくための、観測・解析データを集めていくことの必要性や、メソ、総観規模、ラージスケールの専門家が、自身が専門とする空間規模にのみ着目することなく、大規模から小規模までをシームレスに俯瞰して研究を進めることの重要性が指摘され、総合討論は幕を閉じた。

5. おわりに

当初、北畠氏の編纂した総観気象学「基礎編」「応用編」「理論編」（北畠 2019a, b, 2022）を軸に90分×3コマで講演してほしいという、今思えばかなり無茶な申し出に、北畠氏にはご快諾いただき大変感謝申し上げます。当日は盛りだくさんの内容を定刻通りにまとめていただき、講演終了時には驚きと感動を覚えたほどである。準地衡風近似は基本的な概念である一方、Qベクトルや semi-geostrophy など便利で奥深い概念へ発展しており、それらに造詣の深い北畠氏より講演いただけたことは、ただ教科書を読むだけでは得られないとても貴重な経験であった。総合討論ではメソ気

象と総観規模気象の相互作用についてとても本質的な話題提供をいただき、琉球大の山田広幸氏や三重大の立花義裕氏との半対談形式で議論を盛り上げていただいた。マルチスケール相互作用は、それぞれのスケールの影響を分離して評価するという一般的な手法では深く理解することができない。この解決のためにも、大気場を事例解析的に丹念に観ることの重要性を改めて強調したい。

前回は感染症の影響でオンライン開催を余儀なくされたが、今回はそのノウハウを活かし、安定したZoom配信を行うことができたと思う。セミナー後に体調不良に関する連絡はなかったが、参加者の日頃の注意あつての事と思うので、この点も感謝申し上げたい。今後もメソ気象の理解を深める場を提供する役割を担うため、本セミナーは継続してゆきたいと考えている。

謝 辞

本セミナーは新学術領域研究「変わりゆく気候系における中緯度大気海洋相互作用 hotspot」の助成を受けた。

参 考 文 献

- 北畠尚子, 2019a: 総観気象学 基礎編.
https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/expert/pdf/textbook_synop_basic_20210831.pdf (2023.1.20閲覧).
- 北畠尚子, 2019b: 総観気象学 応用編.
https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/expert/pdf/textbook_synop_advance_20210831.pdf (2023.1.20閲覧).
- 北畠尚子, 2022: 総観気象学 理論編.
https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/expert/pdf/textbook_synop_theory_20220318.pdf (2023.1.20閲覧).
- 北畠尚子, 牧野眞一, 岩下裕二, 伊藤享洋, 加藤輝之, 2022: 2020年7月3～4日の熊本県の大雨に対する総観場の影響. 天気, 69, 87-99.
- Neiman, P. J., M. A. Shapiro and L. S. Fedor, 1993: The life cycle of an extratropical marine cyclone. Part II: Mesoscale structure and diagnostics. Mon. Wea. Rev., 121, 2177-2199. doi:10.1175/1520-0493(1993)121<2177:TLCOAE>2.0.CO;2.
- Schultz, D. M. and P. N. Schumacher, 1999: The use and misuse of conditional symmetric instability. Mon. Wea. Rev., 127, 2709-2732. doi:10.1175/1520-0493(1999)127<2709:TUAMOC>2.0.CO;2.
- 下瀬健一, 津口裕茂, 栃本英伍, 鶴沼 昂, 2014: 第1回メソ気象セミナー開催報告. 天気, 61, 947-951.
- 下瀬健一, 津口裕茂, 栃本英伍, 鶴沼 昂, 加藤亮平, 2016: 第2回メソ気象セミナー開催報告. 天気, 63, 125-129.
- 末木健太, 横田 祥, 栃本英伍, 加藤亮平, 吉住蓉子, 鶴沼 昂, 渡邊俊一, 下瀬健一, 春日 悟, 2020: 第6回メソ気象セミナー開催報告. 天気, 67, 55-62.
- 栃本英伍, 渡邊俊一, 末木健太, 吉住蓉子, 下瀬健一, 津口裕茂, 加藤亮平, 鶴沼 昂, 2016: 第3回メソ気象セミナー開催報告. 天気, 63, 929-935.
- 鶴沼 昂, 吉住蓉子, 春日 悟, 下瀬健一, 加藤亮平, 栃本英伍, 渡邊俊一, 末木健太, 津口裕茂, 横田 祥, 2018: 第5回メソ気象セミナー開催報告. 天気, 65, 757-763.
- 渡邊俊一, 下瀬健一, 栃本英伍, 末木健太, 横田 祥, 加藤亮平, 鶴沼 昂, 春日 悟, 2017: 第4回メソ気象セミナー開催報告. 天気, 64, 827-833.
- 吉住蓉子, 末木健太, 下瀬健一, 横田 祥, 栃本英伍, 春日 悟, 鶴沼 昂, 渡邊俊一, 加藤亮平, 2022: 第7回メソ気象セミナー開催報告. 天気, 69, 277-284.