

第4回メソ気象セミナー開催報告

メソ気象セミナー事務局

(渡邊俊一^{*1}・下瀬健一^{*2}・栃本英伍^{*3}・末木健太^{*4}

横田 祥^{*5}・加藤亮平^{*6}・鶴沼 昂^{*7}・春日 悟^{*8})

1. はじめに

メソ気象セミナーは、「メソ気象研究のこれまで・今・これから」をコンセプトとしてセミナー形式で議論を行い、メソ気象研究へ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、数多くの観測的・数値的・理論的な研究により明らかにされてきた『メソ気象』について、

- ・これまでにどこまで理解されているのか
- ・現在はどのような研究が行われているのか
- ・さらに今後どのような研究を行っていくべきか

について議論を行う。当セミナーは、メソ気象研究連絡会の傘下で活動しており、活動の詳細はWebページに掲載している (<http://meso.sakura.ne.jp/mesosemi>を参照)。なお、企画・運営は手弁当で行われている。

第4回目である今回は、メソ気象の観測に大きな役割を果たし、マルチパラメータレーダーやフェーズドアレイレーダーなど近年大きな進歩を遂げている気象レーダーをテーマとして取り上げた。「レーダーを中心とする観測的研究」と題し、2017年7月8日～9日に函館市亀田福祉センターで開催した。講師には、名

古屋大学名誉教授の上田 博氏をお招きした。上田氏は気象レーダーを用いた降水システムの研究で著名であり、これまでに多くの観測プロジェクトに携わってこられた。また、防災科学技術研究所の前坂 剛氏にも、レーダー観測手法の基礎について講演いただいた。今回のセミナーの内容は、以下のとおりである。

- ・前坂氏による講演
- ・上田氏による基調講演
- ・簡易事例解析
- ・参加者によるポスターセッション
- ・総合討論

今回の参加者数は34名であり、参加者の所属は研究機関・大学・企業・官公庁と多岐に渡っていた(第1図)。特に上田氏とともに数多くの研究を行ってきた研究者の方にも参加いただき、質疑応答や総合討論にて白熱した議論が行われた。次節以降、セミナー内容の詳細を報告する。

2. プレ企画：レーダー観測の基礎の基礎

前回までのセミナー参加者から、気象レーダーの基礎に関する内容をセミナーで扱ってもらえないか、という要望をいただいた。そこで、レーダー気象学を専門とされている防災科学技術研究所の前坂 剛氏より、セミナーのプレ企画として「レーダー観測の基礎の基礎」というタイトルで気象レーダー観測の基礎事項をご講演いただいた。講演内容は、測定原理、在来型レーダー、ドップラーレーダー、マルチパラメータ(MP)レーダーであった。前坂氏は「現業用レーダーMP化が進み、MPレーダーはもはや特別なレーダーではなくなっている。」と述べ、基礎としてMPレーダーの内容が含まれていることを説明してい

^{*1} (連絡責任著者) Shunichi WATANABE, 東京大学大気海洋研究所, watanabe-s@aori.u-tokyo.ac.jp

^{*2} Ken-ichi SHIMOSE, 防災科学技術研究所。

^{*3} Eigo TOCHIMOTO, 東京大学大気海洋研究所。

^{*4} Kenta SUEKI, 理化学研究所計算科学研究機構。

^{*5} Sho YOKOTA, 気象庁気象研究所。

^{*6} Rhohei KATO, 防災科学技術研究所。

^{*7} Takashi UNUMA, 津地方気象台。

^{*8} Satoru KASUGA, 新潟大学大学院自然科学研究科。

© 2017 日本気象学会



第1図 第4回メソ気象セミナーの参加者。

たのが印象的であった。気象レーダー観測の基礎について学ぶことができる機会はそう多くないため、学生を含め多くの方がプレ企画から参加され、熱心に聴講・質疑をしていた。

3. 基調講演

3.1 メソスケールの位置付け

上田氏はメソスケールの区分に関する歴史的な話題から講演を始められた。Orlanski (1975) のスケール区分では、時間スケールと水平スケールに着目し、メソスケールをメソ α 、メソ β 、メソ γ スケールにそれぞれ分類した。加えて、高さスケールにも着目することで現象のスケールを分類しており、大気の三次元構造を念頭に置いていたことが伺える。一方、Fujita (1981) は、地球上で最大となる赤道一周分の長さを基準としたスケールの区分を行い、メソスケールを定義した。その後、Markowski and Richardson (2010) の教科書では、これらのスケール区分が体系的にまとめられている。大気中にはさまざまな時空間スケールの現象が存在するが、その中でメソスケールの現象はそれより大きな総観規模スケールや、メソスケールより小さいミクロスケールの現象と相互作用している。このように、スケール間の謎を明らかにするという点で気象レーダーを用いたメソスケール現象の理解が重要である、と上田氏は述べた。

3.2 レーダー観測・航空機観測による多様な研究成果

続いて、上田氏が携わった研究プロジェクトおよびそれに伴う研究成果についての講演が行われた。まず、梅雨に関する研究成果が紹介された。1988年に行われたドップラーレーダーを用いた九州の豪雨観測では、コールドプールの先端にガストフロントが形成さ

れていたことが示された (Takahashi *et al.* 1996)。GAME/HUBEX '98 (& 99)' や観測フロンティアでは、複数のドップラーレーダーを用いた中国大陆上のメソ対流系の集中観測が行われた。その中で、梅雨前線帯低気圧内の対流システムの観測結果の紹介があり (Yamada *et al.* 2003)、局所的な下層の東

風が深い対流発達に重要な役割を果たしていたことが示された。X-BAIU-99特別観測時には、梅雨前線本体の降水バンドとは別の降水帯がさらに南側に存在することが確認された (Moteki *et al.* 2004a, b)。GAME/HUBEX や X-BAIU-99などの大型観測プロジェクトにより、中国大陆から九州に連なる梅雨前線の詳細なデータが得られたが、海上における梅雨前線の実態をさらに明らかにするため、梅雨前線付近の航空機観測が 2004年と 2005年に実施された。観測手順としては、まず、CReSS による数値予報に基づき観測ポイントを決定する。その後、前線と直交する航路上で、高度500 m の風・温位・水蒸気量の観測、高高度からのドロッピング観測を行った。その結果、梅雨前線の南側に水蒸気前線があることが明らかとなった (Moteki *et al.* 2006)。航空機観測は、たとえ大型の研究費を獲得したとしてもフライトの回数は限られてしまう。このため、インパクトのある観測ポイントを事前に絞り込むことが特に重要となると上田氏は述べた。現在、台風をターゲットにした航空機観測プロジェクトも進んでおり、期待が膨らむ。

GAME/HUBEX では、チベット高原でもレーダー観測が行われた。プロジェクトを通じて、降水の日変化の特性や対流に伴って生じる鉛直渦が観測され、数値シミュレーションによる解析と合わせてチベット高原の降水の特性について理解が進んだ (Yamada and Uyeda 2006)。TOGA-COARE 集中観測では、パプアニューギニア・マヌス島付近での観測と衛星観測データに基づき、熱帯における降水システムの発達・減衰過程が明らかにされた。上田氏はこの成果をいち早く論文にまとめ (Uyeda *et al.* 1995)、後に熱帯域の積雲対流の特徴を示した Johnson *et al.* (1999) にも引用された。詳細な解析に取り組むと同時に、観測

で見られたことを素早く論文化することの重要性を上田氏は強調した。他方、大型プロジェクトでなくとも、現業のレーダー観測のデータを詳細に解析することでスーパーセル状ストームの構造が明らかになった事例も紹介され (Shimizu *et al.* 2008)、日々のデータの活用も重要であると上田氏は述べた。

偏波レーダーについて、2000年には防災科学技術研究所の X バンドレーダーが偏波化され、2001年には情報通信研究機構が C バンドレーダー COBRA を沖縄に導入した。2007年には名古屋大学に X バンド偏波レーダーが導入され、上田氏らは粒子タイプの判別手法の開発に力を注いだ。粒子判別では、反射強度 (Z_h) や反射因子差 (Z_{dr}) などの偏波パラメータに対し粒子タイプごとのメンバーシップ関数を用意することで、最も可能性の高い粒子タイプを推定する。上田氏らは降水タイプの地上観測や雲粒子ゾンデ HYVIS による直接観測との比較検証も行い、アルゴリズムを確立した (Kouketsu *et al.* 2015)。偏波レーダーを用いた粒子判別は、雷雲の電荷分布に関する研究にも用いられている。Kouketsu *et al.* (2017) は偏波レーダーを用いた粒子判別により、対流セルのコア付近で正極雷が生じる際に、湿った霰 (wet graupel) が高高度まで存在していたことを明らかにし、対流セルの発達ステージと雷の極性との関係を示した。また、突発的な豪雨により雑司ヶ谷の下水道内で作業員 5 名の尊い命が奪われた事故を契機に、国土交通省が高性能レーダー雨量計ネットワーク (X-RAIN) の運用を2010年に開始した。X-RAIN と研究用レーダーによる観測を組み合わせた解析により、メソ対流系の理解にも役立てられている (Oue *et al.* 2014)。

1 日目の講演のまとめとして、メソ気象の観測プロジェクトは常に時代の要請に答える形で存在していたことを上田氏は強調した。初期には気候 (climate) の観点から、最近ではシビア現象 (severe weather) の観点から、メソ気象観測が行われてきた。プロジェクトの推進にはニーズの見極めが不可欠であり、観測結果が社会にどう還元されるかという視点が必要である。今後は、天気予報の精度向上のみならず、シビア現象によってどのような被害が生じ、そこからどう復旧していけばいいのか、メソ気象の研究者が提言を行うことも求められるようになるだろうと上田氏は述べた。

3.3 観測プロジェクトの進め方

2 日目朝の講義では、主に上田氏がこれまでに関

わったいくつかの観測プロジェクトや、それらが行われた背景が紹介され、今後観測プロジェクトを立ち上げるために何が必要かを議論した。過去に観測プロジェクトが立ち上がった際は、「温暖化に伴う降水の変化を理解する」「台風の発生の特徴を捉える」などの明確な目標があり、それに向けた観測の必要性も (現在より観測が乏しかったため) 理解されやすかったと上田氏は語った。一方、密な観測網と精度の良い数値予報モデルがすでに構築されている現在、新たな観測の必要性が理解されにくくなっているのでは? という指摘をした。本来、気象学的发展や数値予報モデルの改善には、観測による検証が必須であるが、観測の必要性が理解されにくくなっているという現状は、ある意味で非常事態であると考えられる。研究者一人一人が観測の目的や意義を主体的に考え、測器や数値モデルの発展、時代の要請等を見据えながら、その重要性を訴え続けていく必要があると感じた。

4. 簡易事例解析

1 日目の上田氏の講演の合間に、参加者全員で簡易事例解析を行った。この解析は過去のメソ気象セミナー (下瀬ほか 2014, 2016; 栃本ほか 2016) でも試みられている。今回はセミナーの直前の2017年7月5日に発生した平成29年7月九州北部豪雨を扱った。この事例では5日の正午頃に九州北部で線状降水帯が発生し、福岡県朝倉市では日降水量が500 mm を超える記録的な豪雨となった。まず実行委員から速報解析についての紹介があった。国土交通省の X バンド MP レーダーの解析から、集中豪雨はバックビルディング型の形態であること、高度15 km を超える背の高い積乱雲が線状に組織化することで線状降水帯を成していたこと、それが長時間停滞することで発生したことがそれぞれ示された。また、0°C高度であった高度5 km 付近を超えて、高度8 km 程度まで液体の雨粒が存在することが確認され、豪雨を引き起こした積乱雲が強い上昇流を持つことが示唆された。次に、高層気象観測であるラジオゾンデデータの解析を基に豪雨発生時の環境場の特徴について報告がなされた。福岡では、可降水量が大きい (55 mm 以上) だけでなく、豪雨発生前後の観測時刻において925 hPa 面では200 $\text{gm}^{-2}\text{s}^{-1}$ を超える水蒸気フラックスがあり、大量の水蒸気が九州地方へ継続的に流入していたことが示された。また、梅雨時期にしてはCAPEが高く (1500 Jkg^{-1} 以上)、対流圏界面も高かった (約15 km) こと

も本事例の特徴であった。続いて、気象庁の観測データ・客観解析データ・数値予報資料などを参加者の興味の赴くままに解析していった。この即興解析では、ブロッキング高気圧と豪雨の関係・下層ジェットの構造・上空の寒気・冷氣プールの形成の有無・局地モデル等での線状降水帯の予測可能性などが話題となった。約40分の短い時間であったが、セミナーの直前に起こった顕著現象を様々な専門家の視点で解析・議論できた。また、メソスケールの現象の見方や解析の勘所を共有するといった意味でも有意義な時間であったと思う。今後も同様の試みを継続していきたい。

5. ポスターセッション

ポスターセッションでは13名の方から発表頂いた。発表者と発表題目の一覧を第1表に示す。最新の同化手法、リトリバル手法や物理スキームの精度評価、水平解像度の依存性に関する研究やモデル出力結果か

ら湿潤対流を抽出する手法など技術的な進展に関する発表が多数見られ、近年の技術革新の動向を垣間見ることが出来た。そのほか、アンサンブル実験による極端降雪時の地域的な特徴、豪雨事例を対象とした再現実験やその立体構造の特徴、降水や上層風の地域特性、寒冷渦から竜巻までの階層構造、気象条件に対する降水の継続時間のバイアス、伝播性レインバンドの構造や成層状態、そして観測機器を用いた海上での雨滴・飛沫に関する研究について発表があった。会場の広さに余裕があったため、常時ポスターを掲示することが出来た。このため、休憩時間でも気軽に聞き出されたことが参加者からは好評であった。議論の時間を十分に取るという本セミナー観点からは非常に良かったと考えられる。

6. 総合討論

上田氏の講演を踏まえ、観測の研究や観測データの活用について次の2つの観点から議論が行われた。

1. 観測データを防災や基礎研究でどのように活用するか
2. 新たな観測手法や今後観測すべき対象について
初めに、既存の観測データの活用法として、データベースの利用について議論が行われた。その一例として、国土交通省のXRAINデータがデータ統合・解析システムDIAS (<http://www.diasjp.net/>) からダウンロード可能であり、DIAS上でデータの可視化も行うことができることが紹介された。しかし、このようなデータベースはあまり認知されておらず、資金を獲得してデータベースを維持していくためにも利用を拡大し成果をアピールする必要があることが指摘された。そのようなデータ活用の例として、自治体や、

第1表 ポスター発表者氏名・所属と題目の一覧。

氏名(所属)	題目
川瀬 宏明(気象庁 気象研究所)	5 km NHRCM アンサンブル実験が示す日本の極端降雪の地域的特徴
横田 祥(気象庁 気象研究所)	降水が予測されていない位置にレーダー反射強度を同化する際の問題点とその解決法の提案
鶴沼 昂(津地方気象台)	三重県尾鷲市付近の上層風と降雨の地域特性
吉住 蓉子(九州大学)	ビデオゾンデ観測データを用いた雲物理スキームの精度評価
清水 慎吾(防災科学技術研究所)	熱力学リトリバル法による積乱雲内の浮力場の推定 ～様々な解析方法と予測方法の紹介～
伊藤 純至(気象庁 気象研究所)	メソ気象モデルの水平解像度依存性の調査 ―水平解像度1 km 以下での精度向上の停滞―
春日 悟(新潟大学)	寒冷渦・竜巻間階層構造
山田 広幸(琉球大学 理学部)	南西諸島において観測された伝播性レインバンドの構造と成層状態
末木 健太(理化学研究所 計算科学研究機構)	超高解像度現実大気実験において湿潤対流を抽出する新手法
玉置 雄大(北海道大学 理学院)	大雨日に関連する降水継続時間のバイアスの気象場依存性
吉田 龍二(神戸大学 都市安全研究センター)	2010年7月大雨事例におけるバックビルディング型線状降水帯の維持メカニズムに関する再現実験研究
大屋 祐太(北海道大学 工学院)	マルチドップラーを用いた札幌圏の豪雨事例を対象とした三次元風速場の特徴
岡地 寛季(北海道大学 工学院)	ディスドロメータを用いた海上観測時の雨滴及び飛沫の分類

インフラ事業者、マスメディアなど民間への提供が挙げられる。一方、民間への提供の際に研究者側からデータの見方や適用限界を伝えていく必要性も指摘された。また、データ利用の際に、描画ツールなど解析手法の部分に時間を取られてしまい、現象の解釈に時間をかけられないという意見が出され、これは特に研究期間が限られる学生にとっては大きな問題となっている。そのため、解析手法に関する講習会を行ってほしいとの希望が出された。これに対して、データを提供する側からも講習会によって観測データの利用が進むことは評価につながるとの期待が寄せられた。このような講習会を開催するには、メソ気象研究会や地球気候系の診断に関わるバーチャルラボラトリーなど主体となる組織に対して、研究者の側から積極的に要望を出していく必要がある。また、気象研究所や防災科学技術研究所など観測を行っている研究機関を訪問し共同研究を行うことにより、観測データの取り扱いに習熟した研究者から直接学ぶことも有益であるとの意見もあった。そのような共同研究が可能な場として、防災科学技術研究所の気象災害軽減イノベーションセンターが紹介され、ハブとなる研究施設を設置することの重要性が強調された。観測データを用いた研究を効率的に進めるという点では、解析ツールの共有も重要であり、提供者・利用者双方から大きな期待が寄せられた。一方、管理・メンテナンスをどのように継続していくかが課題となるが、これには利用者側からもフィードバックを行える環境が重要であると指摘された。また、データフォーマットの統一により解析ツールの開発・管理が容易になることも指摘された。このようにして観測データを誰もが簡単に解析できるようになることで、新たなデータの使い方が生まれ、新しい発見が期待される。

続いて新たな観測手法や今後観測すべき対象について議論がなされた。まず、MP・フェーズドアレイレーダーへの期待が話題に上った。X-RAINなど既存のレーダー観測では社会的なニーズの大きい降雨を主な対象としているため、対流圏下層の観測が中心である。一方、積乱雲の構造の理解に重要な鉛直流の解析には対流圏上層の観測が重要となる。現在のレーダーで両方の観測を行うのは難しく、今後のフェーズドアレイレーダーに期待がかかる。このように、現実的な利用と研究目的の利用では必ずしも観測したい対象が一致しないが、研究目的の観測を継続していくために、研究で得られた成果を社会に還元していく必要

性が指摘された。また、フェーズドアレイレーダーによって観測の時間解像度が向上することで、空間変化と時間変化を同等に扱うことが可能となり、新たな発見が期待されるとの意見も出された。

さらに、今後の観測的研究について何を観測すべきかについて議論がなされた。現在では現業の観測網が整備されているため、今後の観測プロジェクトでは新たな物理量や海上での観測など、既存の観測ではとらえられないものを観測する必要がある。そのために未発見の現象や未解明な物理過程を見つけ、それに対して仮説を提案し観測などで検証を行う、という仮説検証型の研究の進め方が重要であるとの意見が出された。このような研究を行うためには、日々生じる現象を注意しながら見続けることで現象を見る目を養うことも重要である、と指摘された。一方、今後の研究の別のあり方として、新たな観測手法によって観測が可能になると期待される対象について、数値シミュレーションであらかじめ検討し、実際の観測と比較するという研究の進め方も提案された。また、今後解明すべき課題として、対流の前兆現象をとらえることの重要性が挙げられた。今回の簡易事例解析で解析された平成29年7月九州北部豪雨のような比較的一様な場の中で、対流がどのように始まるのかは十分に解明されていない。トリガーとなる現象として内部重力波や境界層内の対流が考えられているが、このような小スケールの現象をとらえるためには、ライダーなどの新たな観測手法に期待がかかる。

7. 学生による参加報告

メソ気象を勉強する身として、レーダーの基礎的な勉強はいつかしようとは思うものの、なかなかひとりで教科書を読むのは心細いと思っていたので、今回のメソ気象セミナーではとても有意義な時間を過ごせた。前坂氏の「レーダー観測の基礎の基礎」の講義では、題名通りレーダーの基礎を丁寧に教わった。やはりレーダー方程式などは自分の手を動かさなければ身に付かないと痛感したが、Z-R関係や偏波レーダーなど、分かったつもりで分かっていた知識は、完全な理解までは及ばないが、より良く分かったつもりになれた気がした。上田氏の講義ではレーダー観測の意義や観測プロジェクトを立ち上げる意義など、とても根源的で貴重なお話を聴くことができた。国際的な観測プロジェクトを幾つも成功に導いてこられた上田氏のお言葉はとても壮大で、捉え様によっては私の

ようなまだ昨日今日研究を始めたばかりの青二才には時期尚早に感じる内容もあった。しかし、基本的な観測プランニングの心構えや新しい現象を見つけようという情熱は私にも共感できる内容であり、これに刺激され私もいつか壮大な人間になってやろうと思った。また、対象を直接「観る」ことでしか解明されない現象を追求してゆくことこそ、メソ気象のよりよい理解に繋がるということを改めて知り、直接観測をすることの冒険心や将来性をとても強く感じた。総合討論もまた、短い時間の中で大変盛り上がった。特に感動したのは、気象レーダーや気象モデルを用いて日々雲や降水を研究している方々、つまり日本で最も雲を理解している方々が、雲について語り合い、未解明の現象を語り合っていたことである。個人的な興味でよく雲は眺めているが、きっと彼ら彼女らには全く別の景色が映っているのだと思うと、とても羨ましく、もっともっと雲や降水の勉強をしたいという良いモチベーションになった。今回のメソ気象セミナーは幸いなことに学生の参加費は“無料”だったにも関わらず、残念ながら学生の参加者はあまり多くなかったように感じた。次回開催では、今年以上に盛り上がり、今年以上に学生が参加していることを、心より祈っている。関係者の皆様、大変貴重な体験をさせていただき、本当にありがとうございました。（春日 悟）

8. まとめ

今回のメソ気象セミナーは、「レーダーを中心とする観測的研究」というテーマで開催され、基礎から応用、今後の研究のあり方など多岐にわたって活発な議論が行われた。プレ企画として行われた前坂氏の講演では、レーダー観測手法について基礎から丁寧に解説していただき、普段学ぶ機会の少ない内容について大いに学ぶことができた。上田氏の講演では、これまで上田氏が携わった研究プロジェクトおよびそれに伴う研究成果が紹介された。その中でも観測と数値シミュレーションとをうまく組み合わせながら、様々な現象のメカニズムを明らかにしてきた研究の進め方にメソ気象研究のあるべき姿を感じた。また、研究を進めるうえで、常に社会的要請を意識し、研究成果を社会に還元し続けることの重要性も痛感した。今後も新たな観測手法によって、これまで観測できなかったものが見えるようになり、既存の観測データも、多くの人が使えるようになることで新たな活用法が生まれると期待できる。それらを余すところなく活用することで、

メソ気象研究を発展させ、社会に貢献していかなければいけない。そのために、今後もメソ気象セミナーが情報共有や議論を行う場として役割を果たしていきたい。

総合討論にて議論されたように、メソ気象研究の発展のためには観測データの取得も重要である。本セミナーホームページでは、観測プロジェクトのアーカイブをメソ気象セミナーのホームページ上に公開している。過去に行われた・今後行われる予定の観測プロジェクトでアーカイブされていないものがあれば情報をお寄せいただきたい（事務局の連絡先は meso.discuss@gmail.com）。また、セミナー後にアンケートを行い、参加者のみなさまから多くの意見をいただいた。みなさまの意見は今後のセミナーに生かしていく所存である。次回セミナーについては、後日ホームページにて掲載予定である。また、運営に携わっていただける若手研究者も募集している。

参考文献

- Fujita, T. T., 1981: Tornadoes and downbursts in the context of generalized planetary scales. *J. Atmos. Sci.*, **38**, 1511-1534.
- Johnson, R. H., T. M. Rickenbach, S. A. Rutledge, P. E. Ciesielski and W. H. Schubert, 1999: Trimodal characteristics of tropical convection. *J. Climate*, **12**, 2397-2418.
- Kouketsu, T., H. Uyeda, T. Ohigashi, M. Oue, H. Takeuchi, T. Shinoda, K. Tsuboki, M. Kubo and K. Muramoto, 2015: A hydrometeor classification method for X-band polarimetric radar: Construction and validation focusing on solid hydrometeors under moist environments. *J. Atmos. Ocean. Technol.*, **32**, 2052-2074.
- Kouketsu, T., H. Uyeda, T. Ohigashi and K. Tsuboki, 2017: Relationship between cloud-to-ground lightning polarity and the space-time distribution of solid hydrometeors in isolated summer thunderclouds observed by X-band polarimetric radar. *J. Geophys. Res.*, **122**, doi:10.1002/2016JD026283.
- Markowski, P. and Y. Richardson, 2010: *Mesoscale Meteorology in Midlatitudes*. Wiley-Blackwell, 407 pp.
- Moteki, Q., H. Uyeda, T. Maesaka, T. Shinoda, M. Yoshizaki and T. Kato, 2004a: Structure and development of two merged rainbands observed over the East China Sea during X-BAIU-99. Part I: Meso- β -scale

- structure and development processes. J. Meteor. Soc. Japan, **82**, 19–44.
- Moteki, Q., H. Uyeda, T. Maesaka, T. Shinoda, M. Yoshizaki and T. Kato, 2004b: Structure and development of two merged rainbands observed over the East China Sea during X-BAIU-99. Part II: Meso- α -scale structure and build-up processes of convergence in the Baiu frontal region. J. Meteor. Soc. Japan, **82**, 45–65.
- Moteki, Q., T. Shinoda, S. Shimizu, S. Maeda, H. Minda, K. Tsuboki and H. Uyeda, 2006: Multiple frontal structures in the Baiu frontal zone observed by aircraft on 27 June 2004. SOLA, **2**, 132–135.
- Orlanski, I., 1975: A rational subdivision of scales for atmospheric processes. Bull. Amer. Meteor. Soc., **56**, 527–530.
- Oue, M., K. Inagaki, T. Shinoda, T. Ohigashi, T. Kouketsu, M. Kato, K. Tsuboki and H. Uyeda, 2014: Polarimetric Doppler radar analysis of organization of a stationary rainband with changing orientations in July 2010. J. Meteor. Soc. Japan, **92**, 457–481.
- Shimizu, S., H. Uyeda, Q. Moteki, T. Maesaka, M. Takaya, K. Akaeda, T. Kato and M. Yoshizaki, 2008: Structure and formation mechanism on the 24 May 2000 supercell-like storm developing in a moist environment over the Kanto Plain, Japan. Mon. Wea. Rev., **136**, 2389–2407.
- 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.
- Takahashi, N., H. Uyeda, K. Kikuchi and K. Iwanami, 1996: Mesoscale and convective scale features of heavy rainfall events in late period of the Baiu season in July 1988, Nagasaki prefecture. J. Meteor. Soc. Japan, **74**, 539–561.
- 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.
- Uyeda, H. *et al.*, 1995: Doppler radar observations on the structure and characteristics of tropical clouds during the TOGA-COARE IOP in Manus, Papua New Guinea. J. Meteor. Soc. Japan, **73**, 415–426.
- Yamada, H. and H. Uyeda, 2006: Transition of the rainfall characteristics related to the moistening of the land surface over the central Tibetan Plateau during the summer of 1998. Mon. Wea. Rev., **134**, 3230–3247.
- Yamada, H., B. Geng, K. K. Reddy, H. Uyeda and Y. Fujiyoshi, 2003: Three-dimensional structure of a mesoscale convective system in a Baiu-frontal depression generated in the downstream region of the Yangtze River. J. Meteor. Soc. Japan, **81**, 1243–1271.