

第6回 WMO モンスーン国際ワークショップ参加報告*

梶川 義幸^{*1}・藤波 初木^{*2}・神澤 望^{*3}・高谷 祐平^{*4}
 楠 昌司^{*5}・米山 邦夫^{*6}・鬼頭 昭雄^{*7}・尾瀬 智昭^{*8}

1. はじめに

本ワークショップ(第6回国際モンスーンワークショップ:以下IWM-VI)は2017年11月13日から11月17日までシンガポールのグランドコブソーンウォーターフロントホテルにて行われた。次節に詳しく述べるようにIWMはWMOの主催で行われる4年に一度の国際会議であり,世界中からモンスーン気候学だけでなく,熱帯気象学をはじめとするアジアの気候を論じる上で幅広い分野の研究者が集まり,レビュー並びに最新の研究成果について発表が行われた(第1図:参加者集合写真)。モンスーンと言う一つのトピックとして5日間は短くないが,それぞれ内容の濃いワークショップであったことは言をまたない。日本からは本レポートの著者8人と余田成男(京都大学),高藪 縁(東京大学),坪木和久(名古屋大学)を含め合計11人が参加した。本レポートでは,本ワーク

ショップの背景を紹介したあと,各セッションにおけるレビューと発表の報告を各参加者がそれぞれの視点で述べる形式をとる。また,終章には,参加者の感想をとりまとめ帰結とさせて頂いた。

積極的に本レポートに原稿をお寄せ頂いた参加者の皆さん,また次節に記すモンスーンワークショップの背景と歴史についての情報を快く共有して頂いた,IWM-VIのとりまとめ役であるC.-P. Chang教授(米国海軍大学院)に感謝したい。

(梶川義幸)

2. ワークショップの背景と歴史

国際モンスーンワークショップは1990年代の初めに,豪州,中国,日本,韓国,米国のモンスーン研究者によって提案された。当時,TMRP/WMOのもとで同じく4年に一度開催されていたIWTCが熱帯低気圧(TC)に関わる研究者と現業で働く予報官との関係構築に成功しており,モンスーンに関する同様の枠組みを作るべきだと言う認識であった。TMRPには当時からモンスーン研究に関する活動はあったが,少数の研究者に強く依存したものであった。モンスーンワークショップ開催案は最終的に当時TMRPの議長であったGreg Holland(豪州気象局)からWMOのCommission for Atmospheric Sciencesなどに提出され,承認された。

以来,1995年に第1回目のIWMがインドネシアのバリでDing Yihui(中国科学院)が代表世話人となり開催され,2000年に第2回がインドのデリーにて代表世話人John McBride(豪州気象局)のもと開催された。この年はインド気象局の125周年であり,CLIVARモンスーン会議も同時期に開催され,延べ2週間モンスーン研究の国際会議が行われた。第3回は2004年に中国の杭州で開催され,その報告は天気

* Report on the 6th International Workshop on Monsoons (IWM-VI)

^{*1} (連絡責任著者) Yoshiyuki KAJIKAWA, 理化学研究所計算科学研究センター. ykaji@riken.jp

^{*2} Hatsuki FUJINAMI, 名古屋大学宇宙地球環境研究所.

^{*3} Nozomi KAMIZAWA, 首都大学東京都市環境科学研究科.

^{*4} Yuhei TAKAYA, 気象研究所気候研究部.

^{*5} Shoji KUSUNOKI, 気象研究所気候研究部.

^{*6} Kunio YONEYAMA, 海洋研究開発機構大気海洋相互作用研究分野.

^{*7} Akio KITOH, 気象業務支援センター地球環境・気候研究推進室.

^{*8} Tomoaki OSE, 気象研究所気候研究部.

© 2018 日本気象学会



第1図：会議初日、会場での参加者集合写真（主催者提供）。

も掲載されている（松本ほか 2005）。この第3回から代表世話人がC.-P. Changとなり、会議後に「The Global Monsoon System」と冠した Review book を刊行することになる。2006年に THORPEX が WMO の研究領域に注力することになり、TMRP が WWRP に合流した。これから後C.-P. Chang は IWM-IV (2008年, 北京), IWM-V (2013年, マカオ), IWM-VI (2017年, シンガポール) を主宰し、「Global Monsoon System book series」を発行してきた。それら書籍も併せて参照されたい。

（梶川義幸）

3. Regional monsoon (1) - (2)

グループフォト（第1図）から始まったワークショップ初日のテーマは Regional Monsoon だった。午前中はアジアモンスーンに関する4つのレビュー講演と1つの一般講演がおこなわれた。

S. Gadgil (インド理科大学院) は夏季インドモンスーン降水量の年々変動における海陸コントラストの役割について議論した。アジアモンスーンは様々な要因が組み合わさって形成されているという理解が進んでいるにも関わらず、現在も多くの教科書や論文でアジアモンスーンの駆動メカニズムが単に海陸風の原理で説明されていることに懸念を示していた。

B. Wang (ハワイ大学, 米国) はアジアモンスーンの年々変動のメカニズムと予測可能性に関するレビューをおこなった。アジアモンスーンの変動性を決定する主な要因は ENSO であり、南インド洋と北西太平洋の低気圧性偏差が ENSO の発展と衰退に伴っ

それぞれ季節進行する。しかし、ENSO だけでは変動の全てを説明できず、モンスーン-海洋相互作用と年周期を合わせた3つがアジアモンスーンの変動を支配する主要因だと説明した。夏季降水量の予測可能性については、predictable mode analysis method によって4つの予測可能な降水量の変動モードを特定した自身の研究を紹介し、それらのモードによって降水量変動の全分散のおよそ半分が予測可能であるという見解を示した。

B. N. Goswami (コットン大学, インド) は気候モデルによる夏季インドモンスーンの再現性とその降水量の季節予報について発表した。ITCZ の季節進行の再現性や層状性降水の過小評価・対流性降水の過大評価に起因して、インド亜大陸からベンガル湾北部にかけては乾燥バイアス、インド洋赤道域から西太平洋にかけては湿潤バイアスが多くの大気海洋結合モデルにみられることを説明した。その上で、大気海洋結合モデル CFSv.2 のバイアス改善の取り組みを紹介した。地表面モデルの改良でユーラシア大陸の積雪深バイアスが、雲微物理モデルの改良でモンスーンの季節内変動の再現性がそれぞれ改善され、CFSv.2 によるインドモンスーンの年周期の再現性向上に繋がったと報告した。また、今後の夏季インドモンスーンの予測可能性の向上には、モンスーンの季節内変動の再現性の改善と数十年変動に対する理解を深めることが大切だと述べた。

G. Wu (中国科学院) は水惑星実験の結果をもとに、チベット高原の地表面の顕熱加熱が夏季アジアモンスーンの形成に大きな役割を果たすことを示し、夏

季アジアモンスーンの本質は太陽放射の年周期や海陸の温度コントラスト、チベット高原の地表面状態の季節変化に対する大気循環の応答であると説明した。

一般講演では、Y. Liu (中国科学院) が全球気候モデルにおけるチベット高原上の低温バイアスに関する発表をした。CMIP5モデルの解析結果より、チベット高原の地上気温に関する低温バイアスは積雪範囲や大気境界層スキームなどの改良で軽減される可能性を示した。実際に、上記のことに鑑みて新しい顕熱スキームを WRF モデルに使用すると、チベット高原の低温バイアスが改善され、東アジアの夏季降水量の再現性が良くなることを報告した。

このセッションではレビュー講演が多く、アジアモンスーン研究の近年の発展がよくわかった。一方で、改めてアジアモンスーンは複雑な気候システムであることを認識し、季節予測などの難しさを実感した。

(神澤 望)

4. Regional monsoon (3) - (4)

ワークショップ1日目の午後は、午前引き続き Regional monsoon のセッションが行われた。このセッションでは5件の招待講演と4件の一般講演が行われた。ここでは招待講演を中心に報告を行う。

A. Moise (豪州気象局) はオーストラリアモンスーンに関する日変化から将来予測にわたる研究のレビューを行った (A. Turner (レディング大学, 英国) による代読)。雨季には季節内振動時間スケールのモンスーン “burst” (雨の多い時期) と “break” (休止期) があり、オーストラリア北部のモンスーン burst の開始には、MJO より南半球中緯度から前線状の擾乱が領域内に入ってくるのが重要であることを示した。また、北半球冬季の南シナ海上のコールドサージと MJO によるオーストラリアモンスーンの変調について紹介があった。数値モデルはオーストラリアモンスーンの特徴を概ね再現できるものの、モデル間のばらつきが非常に大きく不確実性が大きいこと、将来予測に関してもモデルの不確実性が大きいことが示された。

K.-J. Ha (プサン大学, 韓国) は、夏季東アジアモンスーンの季節内振動成分の4つの主要モードを自己組織化マップ (SOM) より導出した。主要モードは、(1) Pre-Meiyu & Baiu mode, (2) Meiyu & Changma mode, (3) WNPSM mode, (4) Monsoon gyre mode である。WNPSM mode と Mon-

soon gyre mode は台風に関係する極端現象を引き起こしやすい。また各モードと ENSO との関係の非対称性なども紹介された。この4つモードは、東アジア-西部北太平洋モンスーンの領域規模の降水変動予測に有効であることを強調した。

T. Li (ハワイ大学, 米国) はエルニーニョ時の西部北太平洋上の高気圧偏差 (WNPAC) 形成に関する4つの理論 (local air-sea interaction theory, Indian Ocean capacity theory, combination mode theory, moist enthalpy advection/Rossby wave modulation theory) を中心にレビューを行った。エルニーニョのピーク期の冬に形成される WNPAC は local air-sea interaction と moist enthalpy advection/Rossby wave modulation が主要因である。インド洋における basin wide warming は WNPAC の形成初期には関与できないが、エルニーニョ衰退期の夏には、西部北太平洋の局所的な SST 偏差とともに、WNPAC の維持に貢献できる。Combination mode theory は WNPAC の形成には関与できないことが紹介された。

A. Grimm (パラナ連邦大学, ブラジル) は南アメリカモンスーンと北アメリカモンスーンを対比しながら日変化、総観規模擾乱、季節内振動、年々変動、十年規模振動、将来予測に及ぶ様々な時間スケールのレビューを行った。

個人的には L. Wang (中国科学院) の冬季アジアモンスーンに関するレビューが興味深かった。数十年規模変動による2000年代初期からの冬季東アジアモンスーンの強化とバレンツ海やカラ海の水氷減少に関連する最近の研究が紹介された。北極の水氷変化の影響を冬季東アジアに伝えるには、ウラルブロッキングや湾流流域の加熱偏差による波列など、北極域以外のテレコネクションパターンが重要であることを示した。また、東アジアの地上気温や大気循環には季節内振動が明瞭であり、これらはヨーロッパから東アジアにかけて伝播する低周期のロスビー波によってもたらされる。季節内振動の振幅や頻度が冬季東アジアモンスーンの年々変動に影響する可能性も紹介された。

(藤波初木)

5. Regional monsoon (5) - (6)

セッション名は各地のモンスーンとなっているが、計6つに分かれた同セッションの最後の2つには、地域性を考慮したものと、いずれにも属さなかった話題

とが混在する形となった。招待講演・レビューは3件。1つめは中央アフリカにおけるモンスーンに関するもので、民族衣装を身にまとった A. Lenouo (ドゥアラ大学, カメルーン) により、過去15年間の研究成果のレビューが行われた。コンゴ盆地など多雨帯として知られる同地域の降雨特性を、日周期から年々変動まで時間スケールごとに述べたが、いずれも人工衛星や客観解析データに基づく成果で、氏の訴えは現場観測の必要性にあった。

続いて米山 (海洋研究開発機構) から海洋大陸域における国際プロジェクト Years of the Maritime Continent (YMC) の状況報告がなされた。YMC は2017年7月から始まり、2年間にテーマ毎いくつかの集中観測が予定されている。ちょうど発表日が、インドネシア・スマトラ島での日周期降水と MJO をターゲットにした集中観測の初日と重なり、さらに同観測に参加する海洋地球研究船「みらい」がインド洋へ向かう途中、シンガポールに寄港するタイミングだったこともあり、同計画の紹介が中心となった。

レビュー最後は、本ワークショップの組織委員会委員長でもある C.-P. Chang (米海軍大学院) による海洋大陸西部におけるモンスーンに伴う降水と ENSO との関係についての話題であった。特に東南アジア気候予測フォーラム (年2回、東南アジアの気候について共通の見通しを持っておくことを目的に開催される WMO の活動の1つ) で、予測が難しいと認識されている海洋大陸の西側 (マレー半島, スマトラ島, ボルネオ島西岸) に絞った話であった。同フォーラムの活動や同域の降水特性を紹介した上で、同域の降水量と ENSO の相関が北半球冬季に低く、そのため季節予報も難しいところとされているが、その原因は風と急峻な山を持つ地形との間の相互作用によるもので、予測精度が悪いのは、この関係を上手く再現できていないことによるもの、と指摘した。

一般発表は2つのセッションで計7件行われた。厳密に数えたわけではないが、少なくとも個人的な記憶では、今回、一般発表の中で質問がもっとも多かったのが、高谷 (気象研究所) による夏季アジアモンスーン季節予測の改善結果を示した発表に対してであった。気象庁の全球大気モデルと気象研究所による全球大気海洋海水結合モデルにより、1年先の夏季北西太平洋モンスーンを世界で初めて巧みに予測できたこと、これにはインド洋における海面水温の再現成功が影響している点などを示した。その成功の鍵を知ろう

としてか、長期トレンドの影響やインド洋ダイポールモードの予測に関する質問などがあった。

また、取り扱う時間スケールが異なる発表が2件あり、X. Wen (北京大学, 中国) は古気候 (過去21千年) における東アジアモンスーンの夏季と冬季の相関が時間スケールによって異なり、軌道規模では正、千年規模では負の相関となることを示した。V. Dixit (ニューサウスウェールズ大学, 豪州) はアフリカモンスーンの降雨域が完新世中期にはサハラ砂漠まで北に広がっていた様子を全球モデルが再現できない理由を説明した。それによれば、降雨域の北側に形成される南北方向の浅い対流循環により、サハラ砂漠から乾燥空気が対流圏中層に入り込み対流を抑制する一方で、地上の加熱に対して対流の発達是非線形に応答し、境界層を北に進む湿潤空気の到達緯度も変わる。この両者のバランスで降水域の北限が決まる。つまり、浅い対流の振る舞いを正しく再現できるモデルでなければ、古気候で知られる降雨分布も表現できないことになる。

その他、K. Furtado (英国気象局) はモンスーンの研究というより、南シナ海におけるモンスーン研究の観測データを用いて、モデルに取り込む雲物理量がモデル改善にどう役立つか、を報告した。セッション最後の2つは、強いて言えば従来よく言われている説と異なる説の提示という共通点があった。K. C. Wong (レディング大学, 英国) は全球モデルにおける地勢の影響を調べ、インドの夏季モンスーンの振る舞いにヒマラヤ山脈やイラン高原の存在が影響するが、チベット高原の影響はあまりない、との報告であった。最後に、W. Boos (カリフォルニア大学バークレー校, 米国) はモンスーン低気圧の発生メカニズムについて、渦位の鉛直分布から、発達は傾圧不安定に起因するものではなく、基本場の順圧シアによるエネルギー変換との説を展開した (が、一部の聴衆からはかなり批判的な意見がでた)。

(米山邦夫)

6. High Impact Weather (1) - (2)

T. Lane (メルボルン大学, 豪州) は、10~4月が雨季であるオーストラリアモンスーン時に現れる深い対流の日変化について調べた。雨季中には対流の活発期と休止期がある。休止期には陸で対流高度が高く、強い降水が発生し発雷も多い。活発期には目立った日変化は無いが、休止期には午後に降水が多い。

M. Bell (コロラド州立大学, 米国) は, 熱帯低気圧 (TC) に伴う極端降水について調べた。鉛直シアへの向きの左前方に強い principal rainband ができ, そこで強い雨が降る。TC の中心では強い雨は降らない。偏波レーダーで得られる降水強度と降水粒子の関係は, モデルの雲物理過程の検証に有用であり, モデルの改善につながる。M. Xue (オクラホマ大学, 米国) は, 中国の梅雨期の日変化を調べた。北部の降雨帯では朝のピークのみだが, 南部の降雨帯では朝と午後2つのピークが存在する。L. Carvalho (カリフォルニア大学サンタバーバラ校, 米国) は, 南米の夏 (12~2月) の雨について1938~2012年のトレンドを調べた。リオデジャネイロやサンパウロがある沿岸部で雨が減少し, その南で増えている。雨の大西洋収束帯 (SACZ) が南偏したことが原因である。Z. Meng (北京大学, 中国) は, 中国における TC に伴う竜巻について調べた。2006~2017年に35個の竜巻が中国南部の沿岸部に集中して発生していた。上陸した TC のうち38%で竜巻が発生した。発生率は3個/年で日本とほぼ同じだが, 米国の70個/年よりは少ない。2015年10月に広州で3個の竜巻が発生し4名が死亡した。竜巻の痕跡は長さ30 km で, 持続時間は30分であった。漏斗雲が地上に到達した後に分裂した。250 m 格子の WRF で再現実験したところ, Maximum Updraft Helicity (MUH) は北東象限に出現し, 観測に似ていた。J. P. Lafore (フランス国家気象センター) は, サヘル (サハラ砂漠南縁部の半乾燥域) の雨の経年変化を調べた。1950年以降1990年代まで雨は減少するが, その後は増加傾向である。2000年以降強い雨が増加した。2009年ブルキナファソの首都ワガドゥグで洪水が発生した。MJO に伴うケルビン波とロスビー波が, アフリカ偏東波を励起した。その結果, トラフが分裂変形して大きな可降水量が生じ, 湿潤な渦ができて大雨となった。

(楠 昌司)

7. High Impact Weather (3) - (5)

本セッションは会議2日目の午後と4日目の午後に行われ, モンスーンと極端現象や降水システムと言った時空間スケールの異なる現象との関係が, 5件のレビューと6件の一般口頭発表で紹介された。

N.-C. Lau (香港中文大学) は, 数日以上高温の続く熱波 (heat waves) について中国とインドネシアの例を中心にレビューした。西部太平洋における亜熱

帯高気圧や東アジア・東南アジアモンスーン循環場の弱화에伴い熱波の発生しやすい期間が長くなっていることが示され, 都市化の影響だけでなく気候変動による影響が強いことが紹介された。S. Das (ラジャスタン大学, インド) は, 北上する低気圧がヒマラヤに達する際20~30 km²の狭い領域に100 mm/hrの降水をもたらす cloud burst に関するレビューを行い, 局所的な対流活動によって生じる点や上層の西風トラフがヒマラヤを超える際に強化されることを示した。また, cloud burst の精緻な描写やシステムの発達過程の議論には, 高空間解像度の観測網と数値シミュレーションが必要不可欠であることが強調された。アジアモンスーン域の極端現象については, S. Joseph (インド熱帯気象研究所) と梶川 (理化学研究所) がインドモンスーンのオンセットの延長予測可能性について発表を行い, 異なる事例ではあるが Joseph は対流圏温度の南北勾配の重要性を示唆し, 梶川はトリガーとなる擾乱の役割を数値実験結果から指摘した点は興味深い。

K. L. Rasmussen (コロラド州立大学, 米国) は東アジアモンスーンに伴う対流システムについて17年分の TRMM のデータから (1) deep convective core, (2) wide convective core, (3) broad stratiform regions の地理的分布特性を示すとともに, 2010年から2012年のインド・パキスタンに洪水をもたらした降水システムについてもレビューを行った。高藪 (東京大学) も, TRMM を用いた降水システムの研究について, (a) 極端降水をもたらす対流システムの特徴, (b) 梅雨期の降水システムにおける亜熱帯ジェットの影響, (c) Atmospheric River の降水システムへの影響についてそれぞれ包括的なレビューを行った。一般口頭発表では, Y. Luo (中国科学院) が中国南部における降水集中観測の結果を, C. Taylor (生態環境研究所, 英国) はサヘルにおけるメソ対流システムが過去35年間増加傾向である結果を, N. Sun (中国科学院) は2016年の擾乱に伴って発生した深い積雲対流の overshooting について上部対流圏から下部成層圏までの水蒸気場の解析結果について, それぞれ紹介した。

また, 余田 (京都大学) により, SPARC に関する研究を中心に熱帯域における対流活動を通した対流圏と成層圏のカップリングについて, 特に QBO や ENSO が MJO の変調に寄与する研究や, QBO の影響が熱帯湿潤対流に与える影響について包括的なレビューが行われた。

(梶川義幸)

8. Intraseasonal and S2S (1) – (2)

ワークショップ3日目は終日、季節内から季節時間スケールのモンスーンのセッションであった。このセッションでは8件の招待講演と9件の一般講演が行われた。本報告では招待講演を中心に報告する。

D. Kim (ワシントン大学, 米国) は MJO 降水域の東方伝播の海洋大陸上の振る舞いについて講演した。特に、夏半球側に迂回する点について、メカニズムを紹介した。海洋大陸付近では地形の効果、強い日変化に加え、MJO の前面で下降気流による乾燥域が形成されるとともに南北方向の水蒸気移流が生じることに迂回が生じるという説を紹介した。C. DeMott (コロラド州立大学, 米国) は大気・海洋相互作用の MJO に対する役割について、彼女らのレビュー論文 (DeMott *et al.* 2015) の内容を中心に紹介し、大気海洋相互作用により MJO が強化されることを説明した。P. Roundy (ニューヨーク州立大学, 米国) は MJO と中高緯度のテレコネクションについて講演を行った。MJO に対する応答は定在的な強制に対する応答ではなく、東進する強制に対する応答である。そこで、彼の発表では、位相速度の異なる対流に対するトランジェントな中緯度の応答を議論していた。

X. Jiang (カリフォルニア大学ロサンゼルス校, 米国) は、数値モデルによる MJO の再現性を評価するメトリックについてレビューを行った。特に近年、研究が盛んに行われているプロセスに着目した (process-oriented) モデル検証について紹介した。その代表的なものとしては、鉛直相対湿度と降水強度の関係、湿潤静的エネルギーと水蒸気の鉛直移流の比で定義される Normalized Gross Moist Stability (NGMS)、対流圏下層 (650–800 hPa) の水蒸気量などがある。この講演に関連して、Á. Adames (米国海洋気象局/地球流体力学研究所) は湿潤モードの理論、すなわち温度の時間微分項と水平移流項が無視できる Weak Temperature Gradient (WTG) 近似の枠組みから見た MJO のフィードバック機構について発表した。

個人的に最も興味深かったのは D. Yang (カリフォルニア大学デービス校, 米国) による MJO の理論モデル (メカニズム) についての発表であった。これまで提唱されている理論のうち、4つの理論すなわち、対流、水蒸気、赤道波–境界層の力学の相互作用が本質的であるとする trio-interaction theory, MJO 内の対流セルに励起された内部重力波の東西非対称性に

よって東進が生じるとする重力波理論、総観スケールの波による運動量、熱、水蒸気のアップスケールが重要とするスケルトンモデル理論、水蒸気または湿潤静的エネルギーが本質的であり、その対流とのフィードバック、水蒸気の移流が重要であるとする湿潤モード理論について簡単に触れた後、自らが提唱する重力波理論について詳しく説明した。その他の理論を含めた MJO の理論のレビューについては、Wang *et al.* (2016) が詳しい。現時点では、MJO の理論について結論は得られておらず、さらなる検討が必要であろう。

H. Kim (ストーニーブルック大学, 米国) は数値モデルによる季節内振動の予測についてレビューした。最新の世界の気象予測機関のモデルでは、MJO の予測可能期間は3週間~5週間程度まで改善しており、過去2回のモンスーン国際会議時のモデルの精度に比べ、MJO の予測精度は着実に向上していることなどを報告した。

季節内振動はグローバルモンスーン領域の降水量変動に大きな影響があるため、モンスーンを理解するためにはこれらの相互影響の更なる理解が不可欠である。招待講演では熱帯季節内変動の理論から解析、更にモデリングにわたる幅広い内容の講演を聞くことができた。MJO の現象の理解とモデルの向上はともに不可欠であり、これらを両輪として研究を進展させる必要があると感じた。一方で、夏季のモンスーンアジアの降水変動に影響が大きい夏季季節内振動 (BSISO) や準2週間周期変動 (QBW) といった季節内振動の講演が少なかったのはやや残念であった。

(高谷祐平・藤波初木)

9. Modeling and climate change (1) – (4)

このセッションでは、3つのレビュー講演、12の一般講演および CMIP6 の MIP の一つである全球モンスーンモデル相互比較実験 (GMMIP) の議論があった。

レビュー講演の最初に、坪木 (名古屋大学) が、CRESS による梅雨期の豪雨・台風のシミュレーション例を紹介した。格子間隔を 1 km にすると 1 時間降水量 100 mm といった豪雨の再現が可能になることを多数の事例で示した。雲内の雷もモデル中で表現されているがその検証は難しいとのことである。鬼頭 (気象業務支援センター) は、CMIP5 モデルによるモンスーン降水量将来変化予測のレビュー、60 km 格子 MRI 大気モデルによる予測の不確実性評価、台風に

伴う極端降水将来変化について述べた。温暖化で極端降水が増加する地域が多いものの、台風頻度が減ると予測されている北西太平洋全域で平均的な極端降水が減る一方で、極端降水の極値は日本南方海域で増加することを示した。Annamalai (ハワイ大学, 米国) は気候モデルによるインド洋の降水量正バイアスとインドの負バイアスが、CMIP3モデルとCMIP5モデルで変わっていないこと、これらは極短期の5日予報で出てくることを示した。山岳表現 (モデル解像度)、熱帯赤道インド洋の結合過程、対流/雲/放射の早いプロセス、対流/エントレインメント/自由対流圏湿度が気候モデルバイアス抑制に重要とのことであった。

C.-Y. Tam (香港中文大学) は20 km 格子 MRI 大気モデルによる極端降水量の将来変化を解析した。気温変化との関係で、華南・ベンガル湾・インドではクラウジウス・クラベイロン関係に近いが、梅雨域ではその半分以下の降水変化量であった。楠 (気象研究所) は60 km 格子 MRI 大気モデルによる多数アンサンブル実験 (d4PDF) による東アジアの梅雨降水量変化を将来の亜熱帯高気圧の南偏変化とからめて紹介した。T. Y. Koh (シンガポール社会科学大学) は南北40度以内の全熱帯を領域とする WRF モデルで、対流雲の雲量を放射に反映するようにした上で雲スキームによる感度を調べ、自由対流圏の相対湿度を増やすスキームにすることが降水バイアスの減少に寄与することを示した。R. Ajayamohan (ニューヨーク大学アブダビ校, アラブ首長国連邦) は温暖化気候下におけるモンスーンの総観規模活動 (ベンガル湾で発生し北西進する弱い低気圧が中部インド降水量の半分以上をもたらし) の弱化を50 km 格子 HiRAM 大気モデル実験から示した。ベンガル湾での周辺より弱い海面水温上昇と安定度増加、大気下層の絶対温度の減少が原因とのことであった。P. Terray (インド熱帯気象研究所) は北半球亜熱帯砂漠域の地面アルベドに関連する温度誤差がモンスーン降水量の顕著な負バイアスと海洋上の正バイアスをもたらししていることを示した。

M. Zuo (中国科学院) は、地球システムモデルによる過去1000年実験をもとに、火山性硫酸ガス (SO₂) の影響を解析した。北半球の火山爆発の影響が最も大きく、半年後から始まって1年半後にピークになる形でエルニーニョ的な海面水温と降水量の変動が見られる。ついで熱帯の火山爆発の影響が大きく、南半球の火山の影響は小さい。いずれも、海洋大陸で降水量が減少し、赤道太平洋では西風偏差になる。B.

Timbal (シンガポール気象局) は、CMIP5実験による東南アジアの気候再現性の良いモデルを選んで解析し、将来気候では北半球夏季には陸上で降水量は増加し海洋上で減少、北半球冬季には陸上・海上とも減少であることを示した。降水量変動が、北半球夏季には南シナ海上の下層風と、北半球冬季には北からの寒気流と統計的な関係が見られるところから、これらの統計関係を使って下層風の将来変化から降水量変化を調べ、モデル結果と定性的に一致することも示した。シンガポールは、飲料水を輸入に頼っている都市国家で、将来の水資源の変化を行政的な観点で慎重に調査していた。尾瀬 (気象研究所) は、CMIP5モデルのユーラシア大陸温度のバイアスがモデルの他の要素の現在気候再現性や将来予測に及ぼす影響について示した。Y. Xue (カリフォルニア大学ロサンゼルス校, 米国) は、第2期西アフリカモンスーンのモデリングと評価実験 (WAMME-II) の結果を発表した。西アフリカ・サヘルの10年スケールの乾燥気候が、海面水温の変動だけではその変動の大きさを説明できず、エロゾルや植生葉面積の変動の直接的な影響も大きいことを量的に示した。

最後に A. Turner (レディング大学, 英国), T. Zhou (中国科学院) 他がリードして GMMIP (Zhou *et al.* 2016) について議論した。現時点では2番目に参加モデルの多い MIPらしい。Tier-1では1870年から2014年にかけての AMIP 実験、Tier-2ではCMIP6歴史実験で熱帯東太平洋や北大西洋の海面水温を観測値にリストアする2つの実験、Tier-3ではチベット高原のアジアモンスーンへの効果を評価するため山の標高を変える諸実験が提案されている。今回は、予備実験結果の解析を踏まえて、イラン高原の有り無し実験の提案や、山岳の熱的影響評価実験の問題点、ヒマラヤ山脈のみの有無を対象とする実験などが議論された。

このセッションのテーマは、高分解能モデル、モデルバイアス、モデル実験とメカニズムである。最先端の高分解能モデルの性能に対する高い評価がある一方、高分解能モデルによる将来予測とCMIP予測の定性的な違いや、基本的なモデルバイアス (インド大陸での少雨とインド洋上での多雨) が依然未解決である点が課題として残された。これらのバイアス削減に向けての取り組みが各地で精力的に行われている報告もあった。一方では、モデルによる降水量将来予測に対して地域の気候循環場との関係から検討した報告があり、GMMIPによりモンスーンのメカニズムに対

する共通の理解が大きく進みそうであることなど、このセッション分野のモデル研究はモンスーン研究の進展に今後も大きく貢献すると感じた。

(鬼頭昭雄・尾瀬智昭)

10. Short course

本ワークショップでは、発展途上国の現業の予報官に最新の知識や技術を伝えるべく、毎回研究者によるトレーニングが催されている。IWM-VIでは台湾やインドネシア、フィリピンなどの東南アジアの国・地域や、ギニアからの予報官が参加していた。

今回は「熱帯とモンスーンの対流/R. H. Johnson (コロラド州立大学, 米国)」と「マルチモデル季節予報とダウンスケーリング/Yun-Young Lee・D. Jeong (APEC 気候センター, 韓国)」, 「レーダー気象学/M. Bell (コロラド州立大学, 米国)」, 「熱帯気象予報/T. Lefort (フランス気象局)」の計4つの講義が開催された。

これらの講義は予報官でなくても聴講可能だったので、学生も多く参加していた。筆者が参加した Johnson の講義では、熱帯に見られる雲の種類やその割合、対流に影響を与える環境因子、メソスケールの対流システムの構造、極端現象をもたらす対流システム、対流の日変化、モンスーン地域における対流の地域特性などについて解説された。講義当日の朝に発生していた雷雨のレーダー画像や、極端降水現象をもたらすメソ対流系の種類についてレーダー画像のアニメーションを用いた説明はわかりやすかった。また、GATEとTOGA-COAREの観測による研究結果も紹介していた。

90分の講義時間に対して講義用スライドが130枚以上ある内容豊富な講義だったが、時間の関係で一部内容は割愛された。他の講義でも終了時間を延長して講義が続けられ、講師も聴講者も熱心に取り組んでいる様子が窺えた。

プログラムの構成上、他の講義は参加できなかったが、どの講義も基礎的な内容からなされており、レーダー気象学など自分があまり明るくない分野の講義も聴講してみたかった。

(神澤 望)

11. 感想など

「一粒で2度美味しい」は何十年も前に聞いたフレーズだが、2度どころか幾重にも美味しい会合だった。

今回、私自身が関与している YMC プロジェクトがワークショップ主催者の WWRP からエンドースメントを受けている関係で、招待というより半ば強制的に参加が決まっていた。元々、前回のプログラムを見て参加したい会合との印象を持っていたので、今回の話を聞いて2つ返事で引き受けた。しかし、ここまでお得とは想像していなかった。

まず、構成が口頭発表は、質疑応答込みで一人25分のレビューと、15分の一般発表となっていた。主題はモンスーンとなっているが、取り扱う範囲は、本報告をご覧になればおわかりの通り広く、用語すらよく知らないテーマでも、最新の動向を聴くことが出来る点はある。正直、必ずしも一度聴いたくらいで理解できるものではなかったが、読んでおくべき論文や、どのような研究者がいるのかを整理出来た。そしてお得感を際立たせるのは、一度に何人もの論文紙上でお世話になっている第一線の研究者に会うことが出来る点である。必ずしもモンスーン研究である必要もなく、どんなテーマであれ、このように直接会う場であれば、たっぷりあるコーヒープレイク中に自分の考えに対する意見を伺うことも出来る。特に、今回はいわゆる“大御所”が、同窓会のように集まっていて、彼らのやりとりを横で見たり、たまに名前を呼んで貰えたりすると、それだけで来てよかったと思ってしまうのだった。今回20代の参加者は中国や韓国からがほとんどで、日本からは少なくともつたいない気がした。また米国や英国からの若手参加者が自分は何でも知っている、とばかりに果敢に論戦を挑んでいた。聞くところによれば、レビューを行った30代の何人かは直接招待されたのではなく、招待された中堅・ベテランが、レビューの発表を譲っていた。ただし、言及すべき点の注文はつけたらいい。例えば、いくつもの学会の場で、「そんな考えはナンセンスだ」と文句を言っていた Da Yang が、その批判対象としていた MJO に関するスケルトンモデルを、現在の MJO 理論で有力な考え方の1つ、と紹介しているのを見たときには驚いた。本人曰く、レビューなのだから公正に心がけた、とのこと。双方にとって上手い活用だ。繰り返したが、必ずしもモンスーン研究者である必要はない(私自身がそもそも違う)。このワークショップの開催案内には、最初から誰に声をかけているのか示されていた。つまり、参加者をある程度想定できた。そこで、自分の研究に対して、彼・彼女らに意見を尋ねる場として利用することも、言い換えれば、会合の目的

よりも参加者を考慮して参加を決めることも、このようなワークショップの活用の1つだと改めて感じた次第である。

(米山邦夫)

今回のワークショップは自分にとって初めて一人で行く海外出張で、忘れられない経験になった。周りの参加者は顔見知りが多かったようで、新参者の筆者(神澤)は最初のコーヒープレイクで周囲に圧倒されてしまった。ワークショップ前半は極度の緊張で消極的になり落ち込むこともあったが、後半は現地で知り合った学生の積極的な姿勢に影響を受けてなんとか持ち直せた。研究を参考している研究者に声をかけて自分のポスターを見てもらえたことや、海外のドクター仲間と友達になり悩みや将来について色々話せたことがとても嬉しかった。

筆者はポスター発表とその宣伝(2.5分間の口頭発表)に参加したのだが、口頭発表をおこなったことで周囲と話すきっかけができ、アピールすることの重要性を実感した。今後はより周りとの議論できるようになることはもちろん、現地で知り合った研究者や学生が筆者の背中を押してくれたように、自分の取り組む姿勢が誰かを励ませるよう精進したいと思った。

ワークショップの発表はどれも勉強になったが、筆者はCMIP5を解析しているのでCMIP6のGMMIPについて特に印象に残った。実験概要は論文で読めるが、予備実験の結果や途中経過の話を開けるのはこのような会議に参加してならではだと思ふ。

シンガポールの街は治安がよく、ご飯も美味しかったので過ごしやすかった。また、熱帯を研究している身なので熱帯の雷雨に遭遇したこともよい体験だった。「一人のときが一番鍛えられる」と言っていた先生の言葉をよく実感した一週間だった。

(神澤 望)

略語一覧:

CMIP5: Fifth phase of the Coupled Model Intercomparison Project

CMIP6: Sixth phase of the Coupled Model Intercomparison Project

CRESS: Cloud Resolving Storm Simulator

ENSO: El Niño and Southern Oscillation エルニーニョ・南方振動

GARP: Global Atmospheric Research Program 地球

大気開発計画

GATE: GARP Atlantic Tropical Experiment 大西洋熱帯気象観測計画

GMMIP: Global Monsoons Model Intercomparison Project

ITCZ: Intertropical Convergence Zone 熱帯収束帯

IWTC: International workshop on Tropical Cyclones

MJO: Madden-Julian Oscillation マッデン・ジュリアン振動

MRI: Meteorological Research Institute 気象研究所

QBO: Quasi-Biennial Oscillation 準二年振動

SACZ: South Atlantic Convergence Zone 南大西洋収束帯

SPARC: Stratosphere-troposphere Processes And their Role for Climate

TC: Tropical Cyclone 熱帯低気圧

THORPEX: The Observing-system Research and Predictability Experiment 観測システム研究・予測可能性実験計画

TMRP: Tropical Meteorology Research Programme 熱帯気象研究計画

TOGA-COARE: Tropical Ocean Global Atmosphere Coupled Ocean Atmosphere Response Experiment 西太平洋大気海洋相互作用研究計画

TRMM: Tropical Rainfall Measuring Mission 熱帯降雨観測衛星

WMO: World Meteorological Organization 世界気象機関

WNPSM: Western North Pacific Summer Monsoon 夏季北西太平洋モンスーン

WRF: Weather Research and Forecasting Model

WWRP: World Weather Research Programme

YMC: Years of the Maritime Continent 海洋大陸研究強化年

参考文献

DeMott, C. A., N. P. Klingaman and S. J. Woolnough, 2015: Atmosphere-ocean coupled processes in the Madden-Julian oscillation. *Rev. Geophys.*, **53**, 1099-1154.

松本 淳, 高橋 洋, 篠田太郎, 梶川義幸, 井上知栄, 2005: 第3回国際モンスーンワークショップ (IWM-III) 参加報告. *天気*, **52**, 685-690.

Wang, B., F. Liu and G. Chen, 2016: A trio-interaction theory for Madden-Julian oscillation. *Geosci. Lett.*, **3**, doi:10.1186/s40562-016-0066-z.

Zhou, T., A.G. Turner, J. L. Kinter, B. Wang, Y. Qian, X. Chen, B. Wu, B. Wang, B. Liu, L. Zou and H. Bian, 2016: GMMIP (v1.0) contribution to CMIP6: Global Monsoons Model Inter-comparison Project. *Geosci. Model Dev.*, **9**, 3589-3604.