

雲フィードバックに関するモデル相互比較プロジェクト (CFMIP) 会議2015参加報告

小倉知夫*1・神代剛*2・鈴木健太郎*3・清木達也*4
川合秀明*5・野田暁*6・釜江陽一*7・渡部雅浩*8

1. はじめに

雲フィードバックは、全球気候モデルを用いた将来予測シミュレーションにおいて、全球平均気温の上昇幅にモデル間でばらつきが生じる主な要因である。そこで、将来の気候変化において起こり得る雲フィードバックについて、プロセスを理解し、より信頼性の高い見積もりを得ることを目的として、雲フィードバックに関するモデル相互比較プロジェクト (CFMIP) が実施されている。

上記の目的を達成するために重要となるのは、全球気候モデリング、観測、高解像度の雲モデリングに関わる研究者の間で連携を強めることである。また、モデルを用いて計算した雲や雲フィードバックの信頼性を評価し、そのメカニズムを理解するための道具や観測データを整備することも重要である。以上の考えに基づき、CFMIP では様々な活動が実施されている。例えば全球気候モデル間の相互比較、衛星観測シミュレータ COSP の開発、衛星等の観測データに基づく全球気候モデルの雲の再現性評価、鉛直1次元モデル (SCM) と LES などの高解像度モデルの相互比較が挙げられる。こうした活動の全体像を把握し、将来の

方針を議論する場として、毎年実施される CFMIP 会議は貴重な機会となっている。

2015年の CFMIP 会議は6月8日～11日に米国カリフォルニア州モンレーのアシロマ会議場で開かれた (第1図)。主催者はローレンス・リバモア国立研究所



第1図 会場となったアシロマ会議場礼拝堂。



第2図 参加者の集合写真 (CFMIP ウェブページ, <http://cfmip.metoffice.com/meetings.html> 2016.1.16閲覧)。

*1 (連絡責任著者) Tomoo OGURA, 国立環境研究所, ogura@nies.go.jp

*2 Tsuyoshi KOSHIRO, 気象研究所。

*3 Kentaroh SUZUKI, 東京大学大気海洋研究所。

*4 Tatsuya SEIKI, 海洋研究開発機構。

*5 Hideaki KAWAI, 気象研究所。

*6 Akira T. NODA, 海洋研究開発機構。

*7 Youichi KAMAE, 筑波大学生命環境系。

*8 Masahiro WATANABE, 東京大学大気海洋研究所。

(米国) と、同研究所の研究員 S. A. Klein であった。この会議には約90名が参加し (第2図), 97件の発表 (うち34件はポスター発表) が行われた。日本からは8名が参加し、発表を行った。

本稿では、会議で行われた発表の中から日本の参加者にとって特に印象に残ったもの、重要と思われたものを中心に報告する。なお、会議の発表資料は下記 URL にて公開されており、参照することが可能である (<http://pcmdi.github.io/CFMIP/CFMIP2015.html> 2015.11.06閲覧)。(小倉知夫)

2. 観測データを用いた気候モデルの評価と制約

ここ数年の CFMIP 会議は欧州で行われてきたが、今回は多数の観測衛星を擁する米国での開催ということもあり、観測データによる気候モデルの評価・検証についての研究成果が例年以上に多く発表された。K. Williams (UKMO, 英国) は、主に CloudSat/CALIPSO を用いて行った UKMO Unified Model の評価について報告した。雲の鉛直構造の比較から、上層の巻雲が過大評価され高度が低すぎることや下層雲がドリズルを過剰に生成していることを指摘した。また、その放射場への影響を見るために雲のアルベドの検証を行い、南北半球のそれぞれに特徴的なバイアスの空間分布パターンが見られることを報告した。L. Oreopoulos (GSFC, 米国) は、CMIP5モデルの ISCCP シミュレータの出力を用いて雲のレジーム解析を行った。これは、雲頂気圧—光学的厚さの2次元ダイアグラムにクラスター解析を適用して雲のレジームを同定し、各レジームの出現頻度 (雲量) や空間分布パターンをモデルと衛星観測とで比較するというものである。その結果、CMIP5の各モデルが持っているレジームごとのバイアスが定量化され、モデルに共通する傾向として、観測に比べて雲量が少なく光学的に厚いことが示された。これは CMIP5について以前から指摘されている “too few, too bright” バイアス (Nam *et al.* 2012) を再確認した結果でもある。

鈴木健太郎 (東大) は、CloudSat と MODIS の複合から得られる暖かい雨の生成プロセスに関する観測情報を用いて、CMIP5のいくつかのモデルにおける雲物理過程の評価を行った (Suzuki *et al.* 2015)。多くの気候モデルでは雨の生成が早いこと、それが雲微物理スキームの定式化に依ることを示唆した。また、このような素過程レベルでの制約は、20世紀再現実験のようなモデル全体としての性能向上とは矛盾する傾

向にある (Suzuki *et al.* 2013) ことも指摘し、「プロセス指向」のモデル検証の重要性を示唆した。M. Lebsock (JPL, 米国) は、CMIP5においてモデル間のばらつきの大きい鉛直積算雲水量 (LWP) について、衛星データに基づく気候値データの作成を提案した。これはサンプリングが比較的均一な AMSR-E マイクロ波から得られる LWP をベースとして、それを A-Train に含まれる他のセンサー (MODIS, CloudSat, CALIPSO) と比較検証することでより信頼度の高い LWP の気候値を得ようというアプローチである (Lebsock and Su 2014)。コミュニティが利用可能な新しい LWP の気候値データは現在準備中とのことである。

気候モデル間のばらつきがなかなか狭まらない気候感度や雲フィードバックに対して、観測データを用いて制約を与えることも、CFMIP における重要な課題として模索されてきた。その一つとして、現在気候条件でのモデル間のばらつきと将来変化のばらつきとの間に相関関係がある物理量を見つけ出し、観測値を元に確からしい将来変化の度合を規定する方法がある。こうした統計的関係を利用した方法では物理的根拠が明確でなければならないが、完全に解明されていなくても興味深い示唆があれば “emergent constraint” と呼んで、その関係を積極的に指標として利用し、気候モデルの改善につなげようという試みが、最近非常に注目されている。今回の会議では、初めてこのキーワードを冠したセッションが設けられ、最初に A. Hall (UCLA, 米国) が、代表例として下部対流圏の大気混合強度に注目した Sherwood *et al.* (2014) などを挙げながら包括的な紹介をしたあと、最新の研究成果が発表された。特に亜熱帯下層雲量に関する研究が多く、H. Su (JPL) はその季節変動に、X. Qu (UCLA) や J. Norris (スクリプス海洋研, 米国) は経年変動に対する海面水温・下層大気安定度などの変化の寄与にそれぞれ注目し、いずれもこれらが観測に近いモデルは正のフィードバックの傾向があり、その気候感度はモデル全体の平均よりも高いことを示した。

ポスターセッションでも、観測データを用いた気候モデルの評価と制約についての研究成果が多数発表されていた。神代 剛 (気象研) は長期船舶観測データにみられる夏季北太平洋での雲タイプ別下層雲量の数年規模変動について報告したが、このようなモデルを用いない素朴な観測データ解析の研究に対しても、非

常に関心が高く期待が大きいことをあらためて感じた。
(神代 剛・鈴木健太郎)

3. 雲微物理の評価と改善

CFMIP コミュニティでは、雲の再現性評価を目的として衛星観測シミュレータ COSP の開発を行っている。A. Bodas-Salcedo (UKMO) は COSP を用いた CFMIP 参加 GCM の解析結果を示し (Bodas-Salcedo *et al.* 2011), 氷雲の過大評価が今でも解消できていないことを紹介した。K. Williams (UKMO) は雲のバイアスと様々な要素 (SST や上昇流の強さ) との関連性を調べたが、巻雲のバイアスは特定のパラメータに依らず見られることを紹介した。清木達也 (JAMSTEC) は GCM が巻雲を過大評価する原因として、鉛直解像度が圏界面付近で粗いこと (1000 m 程度) が問題であることを示した (Seiki *et al.* 2015)。最低でも 400 m の鉛直解像度を用いることで、CMIP5 に共通する熱帯～亜熱帯に広がる巻雲の過剰バイアスが解消する可能性を指摘した。

氷雲の問題を解決すべく、CFMIP コミュニティでは特に水雲から氷雲へと遷移していく混合相雲に関心が集まっている。CALIPSO の衛星ライダーを使うことで水雲と氷雲の切り分けが容易になり (e.g., Hu *et al.* 2010; Yoshida *et al.* 2010), 雲の鉛直分布に加え、水雲が氷雲へと遷移する温度を評価できるようになった。D. McCoy (UW, 米国), I. Tan (エール大学, 米国), G. Cesana (JPL) らは、CMIP5 のデータ検証や GCM 雲微物理内の凍結温度の最適化方法を提案していた。ここでは水雲と氷雲の存在比率を混合相雲モデリングの評価指標としていたが、水雲と氷雲の質量混合比の比率を用いるか雲量比率を用いるかで遷移温度が大きく異なること、また、衛星シミュレータの使用の有無によってもモデル評価の結果が大きく異なることを注意していた。GCM 全体を通して、水雲から氷雲への遷移を温度の関数だけで評価している GCM は氷雲の南北分布を適切に表現できておらず、凍結過程を理論的に計算している GCM は再現性が優れていることが示された。
(清木達也)

4. 南大洋の雲の相

南大洋の雲をモデルで適切に表現するのが非常に困難なことは、気候モデル研究者の間ではたいへん大きな問題となっている。主な問題は、南大洋の雲が (過少または) 光学的に薄いために、太陽の入射が海面に

到達しすぎるというものである。それにも関連して、南大洋の雲の相についての発表が 3 つほどあった (A. Bodas-Salcedo (UKMO), D. McCoy (UW), J. Kay (コロラド大学, 米国))。これらによれば、端的には、南大洋の雲は水と氷の共存温度帯に存在するが、衛星観測ではモデルよりも水の相の雲がかなり多いということである。さらに、南大洋の高緯度においては雲のフィードバックは負を示すモデルが多いが、モデルにおいて氷の割合が多いというバイアスによって、これがもたらされている可能性が示されていた。

休憩時間に、J. Kay, I. Tan (エール大学) らに、衛星 CALIPSO を使った液相固相比では液体の水が多いという結果だが、従来の航空機観測ではもっと氷の比率が高いと報告されてきたことについて質問してみた。J. Kay は、CALIPSO では雲頂しか観測できないので、雲頂では液体の水が多く、航空機観測で観測できる雲中では氷の割合が大きいかもしれないと言っていた。また、I. Tan は、航空機観測では氷の比率を過大評価する可能性があるとして述べていた。モデリングにおいて、この液相固相比の情報は非常に重要であり、また、モデルにおける南大洋の雲フィードバックの信頼性にも関わる問題であるため、いずれかの観測が信頼できないものなのか、雲頂と雲中の違いによるものなのか、早く解明されることを期待したい。
(川合秀明)

5. 亜熱帯の雲過程

会議では亜熱帯域の雲プロセスについてセッションが設けられ、主に数値モデリングにもとづく研究発表が行われた。G. Matheou (JPL) は JPL で開発された LES モデル (Matheou *et al.* 2011) を長方形の大領域に適用して (Inoue *et al.* 2014), 亜熱帯下層雲の層積雲から積雲への遷移についての再現実験を行った。この遷移は、同セッションの J. Teixeira (JPL) の発表でも重要性の指摘された、カリフォルニア沖の下層雲の鉛直断面 (いわゆる GPCI 断面; Teixeira *et al.* 2011) に見られる特徴的な雲の形態遷移であり、GCM で特に再現が難しい雲の特徴の一つである。Matheou らの LES 実験の特長の一つは、計算領域内部の上流側に “Fringe 領域” と呼ばれる水平一様なもうひとつの小領域を設けて同時並行で計算を行い、そのスポンジ層的な効果によって、人工的に生じる反射波を吸収させてスムーズな境界条件を作り出す点である (Inoue *et al.* 2014)。これによって大

きな水平スケールで変化する雲場の計算が可能となり、SST を400 km にわたって徐々に変化させる設定で層積雲から積雲への遷移が再現されることを報告した。境界層雲の形態遷移を調べるためのこうした大領域 LES 実験は、日本においても「京」を用いて実施され始めており (Sato *et al.* 2015)、今後このような実験間での相互比較などに発展していくのかもしれない。

同じく JPL の K. Sušelj は、ある意味これとは対照的なアプローチである、SCM による研究について報告した。これは、GCM の単一水平グリッドに相当する鉛直カラムを取り出し、適当な外部強制を与えることによってカラム内の物理過程による応答を調べるというアプローチである。彼の SCM のユニークな点は、大規模場と積雲の乱流相互作用をデルタ関数的な上昇流域と連続関数的な渦拡散部分の重ね合わせとして表現する EDMF スキームが組み込まれていることである (Sušelj *et al.* 2013)。このような SCM を用いて代表的ないくつかのケース (BOMEX, RICO, EUROCS) での数値実験を行い、SCM の結果は3次元 LES の領域平均での雲の振る舞いを概ね再現できることを示した。さらに、この SCM をいくつかの気候モデルや数値予報モデルへ組み込み、パフォーマンスの向上が見られることを報告している (例えば Sušelj *et al.* 2014)。このような SCM は、それ自体がプロセスの理解に役立つ理論ツールであるとともに、GCM において不確実性の大きい雲のパラメータ化の振る舞いを基本に立ち返って調べる上でも有効な道具であろう。 (鈴木健太郎・野田 暁)

6. 高解像度モデルにおける雲フィードバック

CFMIP では雲フィードバック過程の理解向上に向けて高解像度モデルとともに SCM を活用した取り組みが行われている。P. Blossey (UW) は LES を用いて浅い積雲による雲フィードバック効果を調べ、温暖化大気では境界層がより深まるとともに乾燥化することで正フィードバックとなることを示した。この境界層の成長は境界層上端付近の安定度が弱まるためと結論付けた。一方、GCM による温暖化実験では境界層深さに類似する変化傾向は見られないことから、GCM のパラメタリゼーション改良の必要性を主張した。C. Bretherton (UW) は LES と CRM の雲フィードバックを比較した。亜熱帯下層雲の減少は両タイプのモデル結果で矛盾していないと述べた。しか

し CRM では浅い積雲は SST の変化の感度が小さいことを示した。また CRM では雲頂高度の上昇による正フィードバックも含めて、GCM による低緯度における雲フィードバックの正は CRM のそれと矛盾していないことを示した。野田 暁 (JAMSTEC) は NICAM による全球 7 km 解像度データを用いて温暖化大気での上層雲のサイズ分布の変化と OLR との関係性を調べた。OLR の変化を雲の光学的厚さ、雲頂温度、晴天放射フラックスの寄与に分解した結果、雲の光学的厚さの変化が OLR の変化により重要となることを示した。このことは Hartmann and Larson (2002) が提唱する FAT 仮説を支持する。

(野田 暁)

S. Dal Gesso (ケルン大学、ドイツ) は、LTS (対流圏下層安定度) および境界層上端の比湿のギャップを少しずつ変えた多くの条件において、SCM で下層雲のシミュレーションを行うモデル相互比較を行っている。今回紹介された結果でもおもしろかったのは、この SCM の結果と、その親モデルである GCM で対応する条件の鉛直積算雲水量を比較した時に、それらが全く異なっているという結果である。休憩時間にその原因を尋ねてみたが、2つの理由が挙げられると言っていた。1つは、GCM を用いた結果は、LTS と比湿のギャップでソートして結果の図を作成しているが、実際には、SCM とは異なる様々な環境が含まれており、SCM で与えられている他のいろいろな条件が、GCM では異なっていることである。また、もう1つは、SCM の実験では、定常の強制が与えられているため、GCM における、環境場が刻々と時間変化する状況とは、シミュレーション結果が異なることが考えられるということであった。仮に、SCM に stochastic な強制を与えたとしても、その強制の変動というのはごく限られたものであり、GCM でのパラエティに富んで変化する環境場と同様の変動を与えるのは難しいため、実験結果は異なってしまうと考えているとのことである。妥当な解釈であろう。SCM を気候・数値予報モデル開発やモデルにおける現象の理解に利用することが重要であるということはいく言われるが、このような理想化された定常状態の実験に限らず、SCM で与える強制が3次元モデル内部で自発的に生じる環境とかなり異なることも多いため、両者の振る舞いが大きく異なる場合があることを前提に、注意深く利用すべきだと思われる。 (川合秀明)

7. 全球気候モデルにおける雲、循環、降水の変化
CMIP3/5等における気候変化のモデル間のばらつきについても、CFMIP 会議では発表が行われた。

A. DeAngelis (UCLA) は、CMIP5のモデル間に見られる降雨量変化予測のばらつきを、水蒸気による短波吸収のばらつきと結びつけて解釈した。全球平均・年平均の降水量の気候変化はエネルギー収支によって制約されており、大気放射冷却率の変化と降雨に伴う潜熱加熱の変化がほぼバランスするように降水量の変化が生じていることが知られている。DeAngelisはこの放射冷却率を短波・長波の各成分に分けた解析を行い、水蒸気による短波吸収加熱のモデル間でのばらつきが降雨変化のばらつきをもたらしていることを報告した。これは放射伝達コードにおいて水蒸気の吸収線スペクトルをどうパラメータ化するかに関わる話であり、そのような基本的な部分の不確実性が降雨の気候変化に効いていることを示唆する興味深い研究であると感じた。

Q. Yue (JPL) は、近年利用されるようになってきた雲の放射カーネル (Zelinka *et al.* 2012) を観測的に導出する研究について報告した。放射カーネルとは、雲の放射強制力 (CRF) をもたらす様々な高さ・光学的厚さの雲について、これらの雲特性の微小変化に対するCRF (長波・短波) の応答のヤコビアンをテーブル化したもののことであり、従来は放射伝達計算を行うことによって得られてきた。Yueらの研究では、これを衛星観測から得られるCRFと雲特性 (雲頂気圧・雲光学的厚さ) のデータを用いて観測的に導出し、従来の数値計算で得られるものとの比較を行って概ねよい一致を示すことを報告した。この観測的アプローチの一つの利点は、雲の検出限界など衛星センサーによって異なる観測特性を取り入れた形で放射カーネルを定義・定量化できる点であり、今後CRFについてモデルと衛星観測との間で比較検証を進めていく際にも役立つツールであると思われる。

T. Andrews (UKMO) は大気大循環モデル HadGEM2-A によるシミュレーションを実施し、境界条件として様々な海面水温を与えた際の気候フィードバックおよび気候感度を算出した。その結果、気候フィードバックは海面水温の地理分布に強く依存することが確かめられた。特に、20世紀に観測された海面水温分布を与えた場合、HadGEM2-Aの気候感度は本来4.5 Kであるところが1.7 Kと算出された。以上の結果は、20世紀の観測データから推定された気候感

度は温暖化が進行した後の気候感度と比べて過小評価である可能性を示しており、参加者の注目を集めていた。

複数のGCM間で雲フィードバックがばらつく仕組みとして、現在気候の対流圏の鉛直混合が強いGCMほど雲フィードバックが大きくなるという仮説が提唱されている (Sherwood *et al.* 2014)。そこで、鉛直混合に関わる現象として積雲対流に注目し、それがどの程度雲フィードバックのばらつきに寄与するか確かめる研究が行われた。M. Webb (UKMO) は10の大気大循環モデルを積雲対流パラメタリゼーション有り/無し of 二通りに設定し、それぞれについて雲フィードバックを算出した結果について報告した。その結果、意外なことに、GCM間の雲フィードバックのばらつきは積雲対流パラメタリゼーションを無くしても縮まらないことが分かった。

B. Soden (マイアミ大学、米国) は、瞬時放射強制力と調節過程の結果として生じる有効放射強制力の不確実性について、ダブルコール法 (オフラインで放射伝達計算を二回実施し、放射強制力を診断する手法)、放射カーネル法、CO₂を4倍にする感度実験の結果をもとに計算する従来の方法 (Kamae *et al.* 2015) とを比較した結果を紹介した。その結果をもとに、有効放射強制力のばらつきには、調節過程よりも瞬時放射強制力のばらつきの寄与のほうが大きいことを指摘するとともに、CMIP6 (第6期CMIP) の標準実験でダブルコールを実施することの必要性を主張した。

釜江陽一 (筑波大) はCFMIP2/CMIP5のマルチモデルを用いた解析から、熱帯域の陸上ではモデルによらずに雲量が大きく減少し、雲短波放射フィードバックが大きな正の値を取ることを見出した。その要因として、熱帯の大気循環が、大気の安定度変化の地域性によって弱まることで、年平均として上昇流域である陸上では力学的に乾燥化すること、また亜熱帯域の昇温に対応した循環場の偏差が、熱力学的に陸上の水蒸気のバランスを変えることを指摘した。

CO₂濃度増加に対する対流圏の速い応答 (対流圏調節) が複数のGCM間でばらつく仕組みを理解するため、小倉知夫 (国環研) は5つのGCMで診断されたCO₂増加による瞬時放射加熱を1つのGCMに与えて大気の応答を計算した。その結果、5つのGCMで見られた対流圏調節のばらつきの一部は、1つのGCMで瞬時放射加熱を差し替えるだけで再現できることが

分かった。

C. Skinner (ミシガン大学, 米国) は, CMIP5で実施された大気大循環モデルを用いた感度実験の結果と, 追加で実施した感度実験の結果から, 温暖化時に予測されている降水量の変化パターンにおける気候モデル間のばらつきを理解する手法を提示した。その手法の有効性をもとに, CMIP6において, 各モデルが予測する SST の変化パターンに則った感度実験や, CO₂濃度上昇に対する植生の応答を調べるための感度実験を実施し, ばらつきの要因を切り分ける必要があることを主張した。

(小倉知夫・釜江陽一・鈴木健太郎)

8. 今後の課題, および雑感

最終日には, 今後の課題と, 関連するプロジェクト等の紹介がなされた。M. Webb (UKMO) による CFMIP の今後のプランについての紹介, 渡部雅浩 (東大) による WCRP の“雲・循環・気候感度”に関するグランドチャレンジ (Bony *et al.* 2015) の紹介, R. Pincus (コロラド大学) による放射強制力モデル間比較プロジェクト (RFMIP) の紹介などが行われた。CFMIP は CMIP の中核的なコミュニティであり, 近く開始される CMIP6 と歩調を合わせて第 3 期 CFMIP (CFMIP3) を開始することになっている。CFMIP3 では, 上で議論されたようなさまざまな課題に関する比較実験が多く提案されており, 日本からは MIROC と MRI がそれら多くの実験に参加することを検討している。また, WCRP グランドチャレンジは CFMIP よりも一回り大きな研究の枠組みを模索しており, 衛星や古気候などのコミュニティとも連携して今後数年の間に気候科学として大きな成果を得ることを目指している。具体的には, 気候変化における雲の役割や気候感度の不確実性といった, 長年にわたり未解決の問題に決着をつけるべく, B. Stevens (MPI, ドイツ) と S. Bony (IPSL, フランス) を中心に国際チームを組んで進展を模索中である。

(川合秀明・渡部雅浩)

A. Bodas-Salcedo (UKMO) からは, 衛星観測シミュレータ COSP の将来計画について紹介があった。CMIP6/CFMIP3 では現在の最新版 1.4 の利用を前提とするが, これは様々な衛星搭載測器シミュレータのいわば寄せ集めなので, より統合的なバージョン 2 の開発が進められていることが報告された。関連した発

表では, 松井俊久 (NASA/GSFC) が, 気候モデルに衛星観測シミュレータを結合する際のサブカラムの扱いの困難さを強調していた。気候モデルの水平解像度は粗いので, 個々の衛星観測プロファイルが仮定できるサブカラムを適切に定義する必要がある。しかし, 特に降水の場合, ほとんどの気候モデルでフラックスとして扱われていることもあって非常に難しく, これが現在の COSP で降雨観測衛星が利用できない一因となっている。バージョン 2 ではこのあたりの改良も目指しているようである。(神代 剛)

ロサンゼルス近郊の乾いた空気と青い空を想像して訪れたモントレイだったが, 海面にへばりつく境界層雲のために霧に覆われることも多かった。気候モデルでの雲の再現が最も難しい場所の一つで雲フィードバックの国際会議を行うことは, 研究者たちの士気向上に役立つのかもしれない。今回初めて参加した CFMIP 会議では, NASA 関係者を含む米国からの「よく見る」参加者が多かったが, 例年欧州で行われるこの会議ではそれは珍しいことらしい。全体を通して感じたのは, 観測データの重要性は認識されているものの, 急速に拡充されつつある様々な衛星観測データなどが十分に利用されているとは言い難い現状である。実際, この会議でも観測データによるモデル評価に関する研究は初日の一つのセッションで議論されたにすぎない。そのことを, オルガナイザーの一人である J. Kay に言ったら, 「たしかにその通りね。そのことは Committee に伝えておくけど, その方向に行くようにあなたも続けて参加して協力してね。」と釘を刺された。2016 年以降も継続的に参加するかどうかは未定だが, CFMIP に代表される雲・気候コミュニティ全体で観測データとモデリングが有機的につながるように貢献していきたいと思う。(鈴木健太郎)

略語一覧

AMSR-E: Advanced Microwave Scanning Radiometer for Earth Observing System 改良型高性能マイクロ波放射計

A-Train: 同じ軌道で地球を周回する地球観測衛星の隊列 “Afternoon Constellation” の略称

BOMEX: Barbados Oceanographic and Meteorological Experiment バルバドス海洋気象実験

CALIPSO: Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations (地球観測衛星の名称)

CFMIP: Cloud Feedback Model Intercomparison Proj-

ect 雲フィードバックに関するモデル相互比較プロジェクト

CloudSat : 地球観測衛星の名称, 雲と降水を観測するレーダーを搭載し, 衛星隊列 A-Train の一部を構成する.

CMIP : Coupled Model Intercomparison Project 結合モデル相互比較プロジェクト

COSP : CFMIP Observational Simulator Package CFMIP 観測シミュレータパッケージ

CRF : Cloud Radiative Forcing 雲放射強制力

CRM : Cloud-Resolving Model 雲解像モデル

EDMF : Eddy-Diffusivity/Mass Flux 渦拡散係数/質量フラックス

EUROCS : EUROpean Cloud Systems

FAT : Fixed Anvil Temperature かなとこ雲の温度不変 (仮説名称)

GCM : General Circulation Model (大気) 大循環モデル

GPCI : Global Energy and Water Cycle Experiment Cloud System Study/Working Group on Numerical Experimentation (GCSS/WGNE) Pacific Cross-section Intercomparison GCSS/WGNE における太平洋横断面相互比較

GSFC : Goddard Space Flight Center ゴダード宇宙飛行センター

HadGEM2-A : Hadley Centre Global Environment Model, version 2-Atmosphere

IPSL : Institut Pierre Simon Laplace ピエール・シモン・ラプラス研究所

ISCCP : International Satellite Cloud Climatology Project 国際衛星雲気候計画

JAMSTEC : Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology 海洋研究開発機構

JPL : Jet Propulsion Laboratory ジェット推進研究所

LES : Large-Eddy Simulation ラージエディシミュレーション

LTS : Lower Tropospheric Stability 対流圏下層安定度

LWP : Liquid Water Path 鉛直積算雲水量

MIROC : Model for Interdisciplinary Research on Climate (気候モデル及び研究グループ名称)

MODIS : Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer 中分解能撮像分光放射計

MPI : Max Planck Institute for Meteorology マックス・プランク気象研究所

MRI : Meteorological Research Institute 気象庁気象研究所

NASA : National Aeronautics and Space Administration 米国航空宇宙局

NICAM : Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric

Model 非静力学正20面体格子大気モデル

OLR : Outgoing Longwave Radiation 外向き長波放射量

RFMIP : Radiative Forcing Model Intercomparison Project 放射強制力モデル相互比較プロジェクト

RICO : Rain In Cumulus over the Ocean

SCM : Single-Column Model 鉛直1次元モデル

SST : Sea Surface Temperature 海面水温

UCLA : University of California, Los Angeles カリフォルニア大学ロサンゼルス校

UKMO : United Kingdom Met Office 英国気象局

UW : University of Washington ワシントン大学

WCRP : World Climate Research Programme 世界気候研究計画

参考文献

Bodas-Salcedo, A., M. J. Webb, S. Bony, H. Chepfer, J.-L. Dufresne, S. A. Klein, Y. Zhang, R. Marchand, J. M. Haynes, R. Pincus and V. O. John, 2011: COSP: Satellite simulation software for model assessment. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **92**, 1023-1043.

Bony, S., B. Stevens, D. M. W. Frierson, C. Jakob, M. Kageyama, R. Pincus, T. Shepherd, S. Sherwood, A. P. Siebesma, A. H. Sobel, M. Watanabe and M. J. Webb, 2015: Clouds, circulation and climate sensitivity. *Nature Geosci.*, **8**, 261-268.

Hartmann, D. L. and K. Larson, 2002: An important constraint on tropical cloud-climate feedback. *Geophys. Res. Lett.*, **29**, 1951, doi:10.1029/2002GL015835.

Hu, Y., S. Rodier, K. Xu, W. Sun, J. Huang, B. Lin, P. Zhai and D. Josset, 2010: Occurrence, liquid water content, and fraction of supercooled water clouds from combined CALIOP/IIR/MODIS measurements. *J. Geophys. Res.*, **115**, D00H34, doi:10.1029/2009JD012384.

Inoue, M., G. Matheou and J. Teixeira, 2014: LES of a spatially developing atmospheric boundary layer: Application of a fringe method for the stratocumulus to shallow cumulus cloud transition. *Mon. Wea. Rev.*, **142**, 3418-3424.

Kamae, Y., M. Watanabe, T. Ogura, M. Yoshimori and H. Shiogama, 2015: Rapid adjustments of cloud and hydrological cycle to increasing CO₂: a review. *Curr. Clim. Change Rep.*, **1**, 103-113.

Lebsock, M. and H. Su, 2014: Application of active spaceborne remote sensing for understanding biases between passive cloud water path retrievals. *J. Geophys. Res. Atmos.*, **119**, 8962-8979.

Matheou, G., D. Chung, L. Nuijens, B. Stevens and J.

- Teixeira, 2011: On the fidelity of large-eddy simulation of shallow precipitating cumulus convection. *Mon. Wea. Rev.*, **139**, 2918–2939.
- Nam, C., S. Bony, J.-L. Dufresne and H. Chepfer, 2012: The ‘too few, too bright’ tropical low-cloud problem in CMIP5 models. *Geophys. Res. Lett.*, **39**, L21801, doi: 10.1029/2012GL053421.
- Sato, Y., Y. Miyamoto, S. Nishizawa, H. Yashiro, Y. Kajikawa, R. Yoshida, T. Yamaura and H. Tomita, 2015: Horizontal distance of each cumulus and cloud broadening distance determine cloud cover. *SOLA*, **11**, 75–79.
- Seiki, T., C. Kodama, M. Satoh, T. Hashino, Y. Hagihara and H. Okamoto, 2015: Vertical grid spacing necessary for simulating tropical cirrus clouds with a high-resolution atmospheric general circulation model. *Geophys. Res. Lett.*, **42**, 4150–4157.
- Sherwood, S. C., S. Bony and J.-L. Dufresne, 2014: Spread in model climate sensitivity traced to atmospheric convective mixing. *Nature*, **505**, 37–42.
- Sušelj, K., J. Teixeira and D. Chung, 2013: A unified model for moist convective boundary layers based on a stochastic eddy-diffusivity/mass-flux parameterization. *J. Atmos. Sci.*, **70**, 1929–1953.
- Sušelj, K., T. F. Hogan and J. Teixeira, 2014: Implementation of a stochastic eddy-diffusivity/mass-flux parameterization into the Navy Global Environmental Model. *Wea. Forecasting*, **29**, 1374–1390.
- Suzuki, K., J.-C. Golaz and G. L. Stephens, 2013: Evaluating cloud tuning in a climate model with satellite observations. *Geophys. Res. Lett.*, **40**, 4464–4468.
- Suzuki, K., G. Stephens, A. Bodas-Salcedo, M. Wang, J.-C. Golaz, T. Yokohata and T. Koshiro, 2015: Evaluation of the warm rain formation process in global models with satellite observations. *J. Atmos. Sci.*, **72**, 3996–4014.
- Teixeira, J. *et al.*, 2011: Tropical and subtropical cloud transitions in weather and climate prediction models: The GCSW/WGNE Pacific Cross-Section Inter-comparison (GPCI). *J. Climate*, **24**, 5223–5256.
- Yoshida, R., H. Okamoto, Y. Hagihara and H. Ishimoto, 2010: Global analysis of cloud phase and ice crystal orientation from Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observation (CALIPSO) data using attenuated backscattering and depolarization ratio. *J. Geophys. Res.*, **115**, D00H32, doi:10.1029/2009JD012334.
- Zelinka, M. D., S. A. Klein and D. L. Hartmann, 2012: Computing and partitioning cloud feedbacks using cloud property histograms. Part I: Cloud radiative kernels. *J. Climate*, **25**, 3715–3735.