

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2014参加報告*

釜江陽一^{*1}・小倉知夫^{*2}・神代剛^{*3}・小玉知央^{*4}
野田暁^{*5}・清木達也^{*6}・Ying-Wen Chen^{*7}・塩竈秀夫^{*8}
川合秀明^{*9}・渡部雅浩^{*10}

1. はじめに

2013年に公表されたIPCC-AR5によれば、平衡気候感度（大気中CO₂濃度倍増時の平衡応答における全球地表気温の上昇量、以下ECS）は1.5–4.5°C（66%の確率）であり（IPCC 2014）、30年以上に渡って不確実性の幅はほとんど変わっていない。この不確実性の大きな要因の一つに、雲フィードバックのばらつきを効果的に制約する（観測事実をもとに不確実性を狭める）ことができていないことが挙げられる（吉森ほか 2012a, b, c）。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）では、気候モデル内の雲プロセスや観測データを用いた評価、外部強制に対する応答やその不確実性要因を探る取り組みが続けられている（例えば、小玉ほか 2013）。

7月8日から11日にかけて、オランダのエグモント・アーン・ゼーのホテル・ザイデルダイン（Hotel

Zuiderduin, 第1図）で、第2期CFMIP（CFMIP2）の国際会議が開催された。この会議は、今年度で終了するEUCLIPSEという欧州の大型プロジェクトと共催で行われた。会議の参加者（第2図）は約60名で、このうち日本からの参加者は11名と大きな割合を占めた。

会議の1日目はEUCLIPSEの総括に充てられ、2日目からCFMIPの現状報告および口頭発表・ポスター発表のセッションが行われた。全体の発表のうち、3割程度はポスター発表に割り当てられた。4日目にはWCRP Grand Challenge（GC；<http://www.wcrp-climate.org/index.php/grand-challenges>, 2014.8.30閲覧）で掲げられている課題と、他のモデル相互比較プロジェクトとの連携についての議論が行われた。会議の発表資料の一部はhttp://www.euclipse.eu/meeting_July2014_Netherlands.html（2014.10.14閲覧）で公開されている。2～5節では各発表セッションの内容について、6節では次期

* Report on the Cloud Feedback Model Inter-comparison Project (CFMIP) meeting 2014.

*1 (連絡責任著者) Youichi KAMAE, 国立環境研究所. kamae.yoichi@nies.go.jp

*2 Tomoo OGURA, 国立環境研究所.

*3 Tsuyoshi KOSHIRO, 気象研究所.

*4 Chihiro KODAMA, 海洋研究開発機構.

*5 Akira T. NODA, 海洋研究開発機構.

*6 Tatsuya SEIKI, 海洋研究開発機構.

*7 Ying-Wen CHEN, 海洋研究開発機構.

*8 Hideo SHIOGAMA, 国立環境研究所.

*9 Hideaki KAWAI, 気象研究所.

*10 Masahiro WATANABE, 東京大学大気海洋研究所.



第1図 会場となったエグモント・アーン・ゼーにあるホテル・ザイデルダイン。



第2図 参加者の集合写真。

CFMIP に向けての取り組みについて、7節では参加者の所感について報告する。(釜江陽一)

2. 雲フィードバック, 対流圏調節, 気候感度

このセッションでは、CMIP5/CFMIP2マルチモデルアンサンブルの解析から明らかになった点、及び未解決の問題について報告が行われた。T. Andrews (MOHC) は、CMIP5/CFMIP2マルチモデルで全球平均気温が上昇するにつれ、負の気候フィードバックが小さくなる(気候感度が上昇する)傾向を指摘した(Andrews *et al.* 2012)。さらに、大気大循環モデルによる感度実験から、このフィードバックの変化が海面水温上昇の空間分布の変化で説明できることを示した。このことから、過去と将来予測とで気候感度を比較する際には、海面水温の分布の違いを考慮に入れる必要があることを指摘し、CMIP6/CFMIP3の枠組みで気候フィードバックの海面昇温パターンへの依存性を調べることを提案した。M. Ringer (MOHC) は、気候感度を決定する有効放射強制力と気候フィードバック(吉森ほか 2012a)のモデル間のばらつきの間、強い相関関係を見出し、理想的な水惑星の条件下ではより関係性が強まることを指摘した。S. Klein (LLNL) は熱帯域の対流圏下層における逆転層強度の再現性と将来変化の傾向を報告した。現在気候の再現性は概ね良好であったが、層積雲領域では過少評価の傾向が見られた。また、将来予測では温暖化に伴い逆転層が強まることで、下層雲が増えて温暖化が和らぐ方向に働くことを指摘した。さらに、逆転層の強化に寄与する要因の一つとして、熱帯の深い対流が立つ領域における気温の上昇幅が、湿潤断熱減率を仮定した場合より大きいことを指摘し、その物理的な説明が未だなされていない点に注意を促した。

気候感度や気候フィードバックに対して、観測デー

タから制約を与えるための指標(メトリック)を探索することもCFMIPにおける重要なテーマである。最近では、海上の対流圏下層における境界層・自由大気間の大気混合強度が、下層雲フィードバックの強さを通して気候感度の制約に有効とする仮説が提唱され(Sherwood *et al.* 2014)、

本会議でも度々、そのメトリックの適用例が報告された。塩竈(環境研)と釜江(環境研)は、気候モデルMIROCを用いて、モデルのパラメータ設定に由来する不確実性とモデルの構造に由来する不確実性の両方を含む新しいアンサンブル実験MPMPEを実施した結果を報告した。MPMPEには気候感度に大きなばらつき(2.1–10.4°C)が存在し、そのばらつきは主に雲短波フィードバックに由来することが確認された。このばらつきは下層雲の減少に伴う正のフィードバックと、中層雲の光学的厚さの増加に伴う負のフィードバックに由来することを示した。さらに、衛星観測データから、10°Cに近いような極端に高い気候感度は、観測データから支持されることが確認された。

メトリックの有効性について説得力を高めるには、注目している指標が気候感度や気候フィードバックに影響を及ぼす物理的な仕組みを理解することが重要となる。F. Brient (ETH) はCMIP5/CFMIP2において下層雲フィードバックの符号が一致しない理由を議論し、フィードバックの符号は現在気候の下層雲の鉛直分布に依存することを指摘した。つまり、現在気候において積雲対流による鉛直混合が強いモデルほど下層雲の鉛直分布は地表面近くに偏り、そうしたモデルほど温暖化時に下層雲が顕著に減少し、より大きな正のフィードバックになる傾向があることを報告した。川合(気象研)はMRI-CGCM3において雲放射効果の鉛直分布を診断した結果を報告し、雲フィードバックに対する異なる高さごとの雲の寄与について議論した。小倉(環境研)はMIROC5に浅い対流のパラメタリゼーションを導入した結果、雲フィードバックがより正に変化した事例を報告し、浅い対流は従来言われてきたような下層雲フィードバックへの影響だけでなく、中層雲フィードバックにも影響する可能性を指

摘した。

雲パラメタリゼーションを使用しない高解像度モデルで、雲フィードバックを推定した結果についても報告が行われた。小玉（海洋研究開発機構）は水平解像度14 kmの雲システム解像モデル NICAM を用いた、20年間の疑似 AMIP 実験により雲フィードバックを診断した結果を報告した。NICAM の結果は全体的に他の気候モデルと整合的であり、CMIP/CFMIP で診断された雲フィードバックについて信頼性を高める結果となった。但し、巻雲の増加により雲長波フィードバックの値が正に大きく出るとい特徴は、CMIP/CFMIP のモデルには見られないものであった。さらに、NICAM における雲フィードバックに関して、Chen（海洋研究開発機構）は2種類の異なる雲微物理スキームを使った結果を報告し、両者の共通性と違いについて議論した。

気候モデルによる現在気候の雲の再現性を改善し、推定された雲フィードバックに対する信頼性を高めるには、衛星観測データの活用が重要となる。R. Marchand（ワシントン大学、米国）は、CFMIP においてまだ利用が一般化していない MISR 衛星データについて特徴を紹介し、MISR/MODIS データの解析事例を報告した。2001-2012年の期間では、中・高緯度を中心に光学的に厚い雲の量の減少が見られる事を指摘し、南大洋における雲量減少の仕組みを議論した。なお、CMIP6/CFMIP3では MISR/MODIS データに対応するモデル出力を衛星シミュレータ COSP（6節）を用いて集め、比較検討することが提案されている。

M. Webb（UKMO）は、積雲対流スキームをオフにするモデル相互比較実験について報告した。雲フィードバックのモデル間のばらつきが大きいのは、積雲対流スキームの自由度によるものではないかという指摘は以前からあったが、MIROC5とMRI-CGCM3を含む複数のモデルで積雲対流スキームをオフにして比較すると、ばらつきの幅が狭まる傾向が確認された（ただし、全てのモデルで傾向が一致しているわけではない）。CMIP6/CFMIP3では、これをパイロット実験として、雲フィードバックのばらつきに寄与しそうな様々なプロセスの感度を調査する比較実験群 SPOOKIE を、先行して進められている COOKIE（小玉ほか 2013, 4節）と合わせて展開していくことが計画されている。

（小倉知夫・釜江陽一・神代 剛）

3. 雲と大気循環の関わり

J. E. Kay（コロラド大学、米国）は、温暖化時における南半球中緯度ジェットの変化を解析し、温暖化に伴うジェットの極向きシフト量に比べ、下層雲の極向きシフト量が大きいことを示した。これにより、南大洋における下層雲および下向き短波フラックスが力学ではなく熱力学的な効果によって決まっていると主張した。ジェットの位置と下向き短波放射の変化が無関係であるという結果は、Ceppi *et al.* (2014) のマルチモデル解析によっても示されている。一方、G. Tselioudis（NASA/GISS）は観測データの年々変動における雲および力学場を解析し、南大洋において上層雲（下層雲）とハドレー循環境界の緯度の間に正（負）の相関があることを示した。これらの研究成果は、雲と大気大循環の相互作用を議論する上で重要な視点を与えている。

C. Traute（マックスプランク研究所、ドイツ）は COOKIE 実験の赤道波を解析し、雲・放射相互作用をオフにしたモデルでは MJO が弱まることを示した。D. Coppin（LMD/IPSL）は大気大循環モデルを用いて RCE および COOKIE 実験を行い、対流の組織化が SST、雲・放射相互作用の有無や初期条件の水蒸気場に依存することを示した。今回の会議では、幅広いセッションの発表で COOKIE の結果が利用されており、様々な現象・プロセスを雲放射効果と結びつけて考察する試みが広く進められていると感じた。また、RCE 実験の結果について、対流の組織化は非常に大きなスケールで起こっているようにみえるが、これは現実大気とどのように関連しているのか、という質問が会場から挙がった。理想化実験は、現実大気の重要な部分を抽出して理解を深めるのに有用であるが、常に現実との対応を意識しないと本末転倒になりかねない。この点に注意を促した発言であり、非常に印象に残った。雲と大気大循環、特にストームトラックとの相互作用や対流の組織化は WCRP の GC（6節）として取り上げられており、今後も活発な研究が見込まれる。

（小玉知央・神代 剛）

4. 気候変化時の降水

このセッションでは、将来の降水量変化におけるモデル間のばらつき要因に関する研究成果が多く発表された。渡部（東大大気海洋研）は赤道太平洋域の降水量とその年々変動、H. Lambert（エクセター大学、

英国) は全球平均降水量の変化量に注目した研究成果を紹介した。R. Chadwick (MOHC) は将来の降水量変化のモデル間のばらつきは、ECSではなく、対流域のシフトのばらつきでほぼ決まっており、海洋上では SST の変化パターンが重要とする研究結果を紹介した。これは、B. Oueslati (LMD/IPSL) が降水量変化のばらつきを力学的・熱力学的な視点から調べた結果と、概ね整合的であるように思われる。C. Jakob (モナシュ大学、オーストラリア) は、過去数十年の熱帯降水量の変化トレンドは、大半が深い対流を伴う雲レジームのトレンドにより説明できることを示した。過去のトレンドの物理的背景や、将来の降水量変化予測の不確実性の低減化は、CFMIP 以外の研究コミュニティにとっても重要な課題であると思われる。(釜江陽一)

5. 観測データと高解像度モデルを用いた物理モデルと気候モデルの評価

雲フィードバックのモデル間ばらつきの最大の要因である下層雲について、CFMIP および GASS では、モデル間比較プロジェクト CGILS (Zhang *et al.* 2012) のもとで精力的な調査が進められてきた。CGILS では、夏季のカリフォルニア沖の海上3点を、それぞれ境界層雲、雲頂に層積雲を伴う積雲、背の低い貿易風積雲の典型例として抽出し、それぞれの地点において LES と SCM を用いて温暖化時の応答を比較し、そのばらつきの要因を調べてきた (吉森ほか 2012b; 小玉ほか 2013)。

C. Bretherton (ワシントン大学、米国) は LES による CGILS Phase 2 の結果を報告した。Phase 1 からの主な違いは、二酸化炭素濃度を4倍にした場合とともに、CMIP3 データに基づいた大規模場の強制を用いた場合の下層雲の振舞いの変化を調べる点である。上記の3つの雲種の温暖化応答を調べた結果、層雲や層積雲では雲放射強制力は減少する一方、積雲では雲放射強制力の変化は小さいことを示した。一方、逆転層高度を現実的に維持する過程で苦労があったことも述べた。野田 (海洋研究開発機構) は大規模場の予測誤差が層積雲の振舞いに与える影響を LES により調べた。雲頂付近の温度と水蒸気の跳び、境界層風速、大規模下降流、地表面熱フラックスの影響を調べた結果、前者2つの大きさの変化が層積雲の振舞いに最も影響を与えることを示した。

SCM による比較結果については S. Dal Gesso

(KNMI) から報告があった。SCM の研究ではより一般的に逆転の強さ (温度、水蒸気) と再現される雲、温暖化時の雲応答を比較するための取り組みに重点を置いて研究が進められている。彼女は、世界の7つの気候モデルを元にした SCM を用いて雲の再現性と温暖化時の応答を比較し、いずれの SCM にも共通した特徴 (LES と比べて、層積雲を伴う境界層は、雲が低すぎて低温すぎて湿潤すぎ、また温暖化時の応答はいずれも正の雲フィードバック) を見出した。単純で理想的な実験を各モデル機関が実施することにより、複雑な気候モデル間のばらつきの要因を探るヒントが得られると期待される。

全球モデルを用いた研究では、まず、多くの気候モデルに共通して確認される南大洋の低層雲の過小評価問題 (Williams *et al.* 2013) に着目した研究が発表された。G. Svensson (ストックホルム大学、スウェーデン) は SHEBA 観測キャンペーンのデータを用い、CMIP3 のデータを検証した結果を示した。基本的に CMIP3 参加モデルは北極圏 (80°N 以北) の地表面温度に低温バイアスを抱えており (特に冬季)、正味の地表面エネルギーフラックスが小さい事が分かった。彼らの解析は、低緯度域からの温暖空気塊の流入が下層の安定度を介し、下層雲の発生と極域の地表面温度の再現性に影響していることを示している (Karlsson and Svensson 2011; Svensson and Karlsson 2011)。彼らはさらに Pithan *et al.* (2014) の研究成果を引用し、低層雲の長波放射強制力が地表面温度と下層安定度にも強く影響を及ぼすことに言及していた。近年、熱帯よりも大きな冬季の極域地表面の温度変化は注目を集めている (Pithan and Mauritsen 2014)。S. Klein (LLNL) は CFMIP に関連のある GASS のプロジェクトを幾つか紹介しており、Pithan らが主導して氷雲微物理の評価を行う予定であるようだ。

佐藤正樹 (東大気海洋研) は NICAM データと CloudSat, CALIPSO, TRMM 衛星データとを比較した結果を報告した。さらにこれら衛星データを基に1モーメント微物理スキームについて、特に落下凝結物質のモデル化の改善手法を提案した。L. Nuijens (マックスプランク研究所、ドイツ) は、モデルと衛星観測で得られた貿易風帯積雲の出現頻度について比較した結果、観測では、一定時間雲が全く観測されない割合は約3%であるのに対して、シミュレーション結果では、モデルによって雲量0となる頻度に6

～50%程度のばらつきが存在することを示した。U. Lohmann (ETH) は、モデルにおけるエアロゾルによる雲の輝度の変化は、これまでの観測データから得られた結果とは異なることを報告した。観測ではエアロゾルが混在する雲の輝度は増加する一方、エアロゾルの効果が含まれたモデルによるシミュレーションでは、雲の輝度が下がることを示した。観測とモデル結果の不整合の原因の究明は非常に重要な課題である。(野田 暁・清木達也・Ying-Wen Chen・釜江陽一)

6. CMIP6/CFMIP3に向けて

現在、CMIP6の計画についての議論が各研究コミュニティ間で進められている。CMIP6は、産業革命前条件コントロール実験やCO₂濃度4倍増実験などの少数の基本的な実験(DECK)と、各研究コミュニティから提案されたモデル相互比較プロジェクト(MIPs)の連合体として構成される(第3図)。MIPsは、WCRPが今後5-10年の間に解決すべき重要な課題として挙げた5つのGC(第1表)のうち、1つまたは複数に貢献することが求められている。最終的に、どのモデルでも実験を行うDECK, WGCMの承認したCMIP6実験、有志によるCMIP6外のMIPs実験という階層構造をもった計画になる。

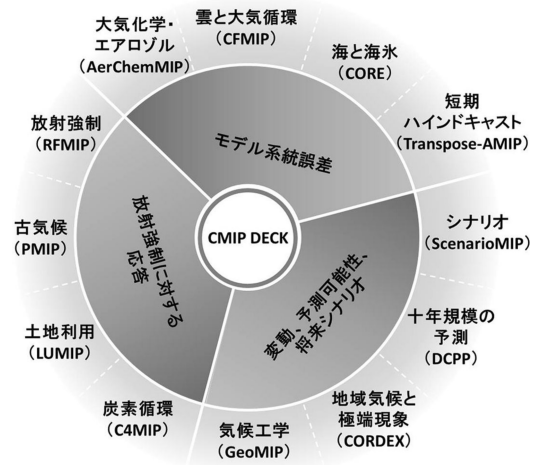
今回の会議の最終日には、CMIP6に向けて提案する第3期CFMIP(CFMIP3)に関する議論が行われた。CFMIP3は、CMIP5/CFMIP2の実験デザイン(AMIP実験で海面水温を上昇させたもの等)をおおむね引き継いだCMIP6内実験と、興味のあるモデル機関だけが参加するCMIP6外実験(COOKIE等)に分けて考えられている。WCRP GCの「雲、大気循環と気候感度」課題(第2表)に取り組んでいくために必要な、様々な実験が提案されている。

CFMIP3を計画するにあたって、各実験でどのようなモデル出力の提出を求めるかも、重要な検討事項で

第1表 WCRP Grand Challenge (GC) で掲げられているテーマ。太字は本会議と関わりが強いテーマ。

地域気候
海面水位の上昇
雪氷圏の変化
雲、大気循環と気候感度
水資源
極端現象

ある。CMIP6/CFMIP3におけるCOSP(吉森ほか2012b;小玉ほか2013)出力についても、A. Bodas-Salcedo(UKMO)から説明があり、議論が交わされた。COSP出力は、もはや気候モデルの雲再現性評価のためだけでなく、雲フィードバックやECSの研究に広く利用されるようになってきている。そのことを



第3図 CMIP6に向けて提案されている実験デザインの概略図。中央にCMIPの標準機能としてDECK実験、その周囲にCMIP6で取り組むべき科学的課題と、具体的なモデル相互比較計画(MIPs)が並ぶ。Meehl *et al.* (2014)のFig.1をもとに作成。

第2表 WCRP GC「雲、大気循環と気候感度」の全体統括と、各イニシアティブのリーダー。

全体統括: B. Stevens (マックスプランク研究所), S. Bony (LMD/IPSL)	
イニシアティブ	リーダー
気候と水循環の感度	S. Sherwood (CCRC), M. Webb (UKMO)
雲と大気循環の関わり	P. Siebesma (KNMI), D. Frierson (ワシントン大学)
空間分布の変化	T. Shepherd (レディング大学), A. Sobel (コロンビア大学)
過去の記録の活用	M. Kageyama (IPSL), R. Pincus (CIRES)
より信頼性のあるモデルに向けて	C. Jakob (モナシユ大学), 渡部雅浩

踏まえ、全ての DECK 実験で基本的な COSP 出力の提出を求めること、また特に AMIP タイプの実験では、最新版の COSP で利用できるほぼ全ての種類の衛星について出力することが提案された。今回の会議のポスターセッションにおいて、COSP 出力 (ISCCP, CALIPSO, CloudSat, MODIS, MISR, PARASOL) を用いた雲再現性評価の結果が多数報告された。神代 (気象研) は COSP 出力を用いた MRI-CGCM3 の雲再現性について報告した。様々な衛星シミュレータの結果を比較することで、より信頼できる再現性評価が行えることを示した。他にも J.-L. Dufresne (LMD/IPSL) や R. Marchand (ワシントン大学, 米国) による COSP 出力を複合的に用いた解析結果の発表が行われた。衛星データをいかに活用して有益な情報を引き出すかは、今後の CFMIP で取り組むべき重要な課題である。

CMIP6 は、MIPs の連合体として構成されるため、MIP 間や他の研究計画との間で密接に連携を取ることが求められている。会議では、放射強制力 MIP (RFMIP)、古気候 MIP (PMIP)、PROES、GCSS、GASS などとの連携が議論された。また EU-CLIPSE の後継プロジェクトに関する情報提供も行われた。

次に向けた議論の中で、これまで CFMIP 等の国際研究プロジェクトを率いてきたベテランから、若手がどんどんアイデアを出すべきだ、という意見が何度も上がっていたのが印象的だった。塩竈が CFMIP 共同議長を長年勤めている M. Webb (UKMO) と、パプでサッカーを見ながら雑談をした際にも、若手に徐々に責任を担ってもらい、成長を促して、世代交代を行っていくことの重要さと難しさという話題になった。日本からはここ数年 3 つのグループ (MIROC, 気象研究所, NICAM) が会議およびモデル実験に参加し、渡部が運営委員会に加わるなど、プレゼンスを増しつつある。今後はさらに、積極的に実験計画を提案し、責任を負うとともに、欧州のように若手研究者の参画を促すことが重要だと感じた。

(塩竈秀夫・神代 剛・釜江陽一・渡部雅浩)

7. 所感

今回の会合で驚いたのは、世界の主要な気候モデルの下層雲の再現性に、かなりの問題点が残されていることである。モデルの ECS のばらつきには、下層雲の応答が大きく寄与している (1 節) ため、気候モデ

ル開発においても下層雲の再現性に注意が払われているにもかかわらず、その再現性には依然として大きな問題点がある。J.-L. Dufresne (LMD/IPSL) は、観測データでは、下層雲の雲量が多いほど、雲が占める領域のアルベドも大きくなるという明瞭な関係があるのに対し、彼らの機関のモデルにおいては、下層雲の雲量が大きい方が、むしろ雲領域のアルベドが小さいという逆の関係になっていることを示した。また、マックスプランク研究所のモデルは、雲量に関わらず、アルベドの大きさはあまり変わらず、雲量がかなり小さくても雲領域のアルベドは大きい。そして、フランスの国立気象研究センターのモデルは、下層雲量自体が、0 と 0.7 と 1 の離散的な値しかとらないようである。また、5 節で紹介した L. Nuijens (マックスプランク研究所, ドイツ) の解析では、貿易風帯の積雲の時間変動・持続時間が観測と全く異なるモデルもあった。そして、S. Dal Gesso (KNMI) の SCM 相互比較 (5 節) では、観測では、下層大気安定度が大きいほど下層雲量は大きくなるという明瞭な関係があるのに対し、UKMO のモデルなどでは、下層大気安定度が大きくなるほど下層雲量が少なくなっているという結果が示され、非常に驚いた。以上のように、CFMIP に中心的に貢献している気候モデルであっても、下層雲の再現性には様々な問題があり、今後、雲フィードバック、及び ECS をより信頼できるものにしていくためにも、コミュニティを挙げてモデル内で適切に下層雲を再現することに取り組んでいかなければならないと実感した。

もう一つ感じたことは、雲フィードバックの研究は確実に進展しているということである。例えば、毎年の会合ごとに、次々と新しいモデル間比較実験が提案され、新たな知見が着実に積み重ねられている。COOKIE や SPOOKIE (2 節) について、当初、雲の放射効果を完全に 0 にしたり、積雲対流スキームをオフにしたりすれば、実際の気候とあまりにも異なる気象現象が発生し、また気候状態も実際とは異なってしまい、意味のある結果が得られるのだろうか、と懸念を持っていたが、それらの実験結果からは重要な知見が得られ始めている。さらに、COOKIE のデータは、MJO のメカニズムの研究 (3 節) や B. Medeiros (アメリカ国立大気研究センター) による海上の降水の日変化の研究など現象自体の研究にも応用されつつある。今回の会合でも新しい相互比較実験のアイデアが出されており、発想の豊かさにはいつも驚かされ

る。そして、今後さらに発展していくことで、雲フィードバックの研究はますます進展すると予想され、大いに期待を抱いている。(川合秀明)

略語一覧

AMIP : Atmospheric Model Intercomparison Project
大気モデル相互比較プロジェクト

C4MIP : Coupled Carbon Cycle Climate Model Intercomparison Project
炭素循環気候モデル相互比較プロジェクト

CALIPSO : Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observation
雲エアロゾルライダーおよび赤外探査衛星観測

CCRC : Climate Change Research Centre
サウスウェールズ大学気候変動研究センター, オーストラリア

CFMIP : Cloud Feedback Model Intercomparison Project
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

CGILS : CFMIP-GASS Intercomparison of Large Eddy Models and Single Column Models

CIRES : Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences
コロラド大学環境科学研究所, 米国

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

COOKIE : Clouds On-Off Climate Intercomparison Experiment
雲の有無が気候に与える影響に関する比較実験

CORDEX : Coordinated Regional climate Downscaling Experiment
統合地域ダウンスケーリング計画

CORE : Coordinated Ocean-Ice Reference Experiment

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

DCPP : Decadal Climate Prediction Project
十年規模気候予測プロジェクト

DECK : Diagnostic, Evaluation and Characterization of Klima

ECS : Equilibrium Climate Sensitivity
平衡気候感度

ETH : Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
チューリッヒ工科大学, スイス

EUCLIPSE : European Union Cloud Intercomparison, Process Study & Evaluation Project

GASS : Global Atmospheric System Studies

GCSS : GEWEX Cloud System Study
GEWEX 雲システム研究

GeoMIP : Geoengineering Model Intercomparison Project
気候工学モデル相互比較プロジェクト

GEWEX : Global Energy and Water Exchanges Project
全球エネルギー・水循環観測計画

IPCC-AR5 : Intergovernmental Panels on Climate Change 5th Assessment Report
気候変動に関する政府間パネル第五次評価報告書

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

KNMI : Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
オランダ王立気象研究所

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

LLNL : Lawrence Livermore National Laboratory
ローレンス・リバモア国立研究所, 米国

LMD/IPSL : Laboratoire de Météorologie Dynamique, Institut Pierre Simon Laplace
ピエール・サイモン・ラプラス研究所, 気象力学研究所, フランス

LUMIP : Land-Use Model Intercomparison Project

MIP : Model Intercomparison Project
モデル相互比較プロジェクト

MIROC : Model for Interdisciplinary Research on Climate
東京大学大気海洋研究所・国立環境研究所・海洋研究開発機構で開発された全球気候モデル

MISR : Multi-angle Imaging SpectroRadiometer
複数角度分光放射計

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

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

MOHC : Met Office Hadley Centre
英国気象局ハドレーセンター

MPMPE : Multi Physics Multi Parameter Ensemble
マルチ物理・マルチパラメータアンサンブル

MRI-CGCM : Meteorological Research Institute Coupled General Circulation Model
気象研究所大気海洋結合モデル

NASA/GISS : National Aeronautics and Space Administration, Goddard Institute for Space Studies
アメリカ航空宇宙局ゴダード宇宙科学研究所

NICAM : Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model
東京大学大気海洋研究所・海洋研究開発機構で開発された全球雲解像モデル

PARASOL : Polarization and Anisotropy of Reflectances for Atmospheric Sciences coupled with Observations from a Lidar

PMIP : Paleoclimate Modelling Intercomparison Project
古気候モデリング相互比較プロジェクト

PROES : GEWEX Process Evaluation Study

RCE : Radiative Convective Equilibrium
放射対流平衡

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

SCM : Single Column Model
鉛直1次元モデル

- SHEBA : Surface Heat Budget of the Arctic Ocean project 北極海表面熱収支観測研究計画
- SPOOKIE : The Selected Process On/Off Klimate Inter-comparison Experiment 特定のプロセスの有無が気候に与える影響に関する比較実験
- SST : Sea Surface Temperature 海面水温
- TRMM : Tropical Rainfall Measuring Mission 熱帯降雨観測衛星
- UKMO : United Kingdom Met Office 英国気象局
- WCRP : World Climate Research Programme 世界気候研究計画
- WGCM : Working Group on Coupled Modeling 結合モデル開発作業部会
- 参 考 文 献
- Andrews, T., J. M. Gregory, M. J. Webb and K. E. Taylor, 2012: Forcing, feedbacks and climate sensitivity in CMIP5 coupled atmosphere-ocean climate models. *Geophys. Res. Lett.*, **39**, L09712, doi:10.1029/2012GL051607.
- Ceppi, P., M. D. Zelinka and D. L. Hartmann, 2014: The response of the Southern Hemispheric eddy-driven jet to future changes in shortwave radiation in CMIP5. *Geophys. Res. Lett.*, **41**, 3244-3250.
- IPCC, 2014: Summary for Policymakers. in *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by T. F. Stocker *et al.*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, U. K. and New York, NY, USA., 1-30.
- Karlsson, J. and G. Svensson, 2011: The simulation of Arctic clouds and their influence on the winter surface temperature in present-day climate in the CMIP3 multi-model dataset. *Clim. Dyn.*, **36**, 623-635.
- 小玉知央, 釜江陽一, 小倉知夫, 神代 剛, 川合秀明, 野田 暁, 渡部雅浩, 2013 : 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2013参加報告. *天気*, **60**, 1029-1035.
- Meehl, G. A., R. Moss, K. E. Taylor, V. Eyring, R. J. Stouffer, S. Bony and B. Stevens, 2014: Climate Model Intercomparisons: Preparing for the next phase. *Eos Trans. AGU*, **95**(9), 77.
- Pithan, F. and T. Mauritsen, 2014: Arctic amplification dominated by temperature feedbacks in contemporary climate models. *Nature Geosci.*, **7**, 181-184.
- Pithan, F., B. Medeiros and T. Mauritsen, 2014: Mixed-phase clouds cause climate model biases in Arctic wintertime temperature inversions. *Clim. Dyn.*, **43**, 289-303.
- Sherwood, S. C., S. Bony and J.-L. Dufresne, 2014: Spread in model climate sensitivity traced to atmospheric convective mixing. *Nature*, **505**, 37-42.
- Svensson, G. and J. Karlsson, 2011: On the Arctic wintertime climate in global climate models. *J. Climate*, **24**, 5757-5771.
- Williams, K. D., A. Bodas-Salcedo, M. Deque, S. Fermin, B. Medeiros, M. Watanabe, C. Jakob, S. A. Klein, C. A. Senior and D. L. Williamson, 2013: The Transpose-AMIP II experiment and its application to the understanding of Southern Ocean cloud biases in climate models. *J. Climate*, **26**, 3258-3274.
- 吉森正和ほか, 2012a : 気候感度. Part 1: 気候フィードバックの概念と理解の現状. *天気*, **59**, 5-22.
- 吉森正和ほか, 2012b : 気候感度. Part 2: 不確実性の低減への努力. *天気*, **59**, 91-109.
- 吉森正和ほか, 2012c : 気候感度. Part 3: 古環境からの検証. *天気*, **59**, 143-150.
- Zhang, M., C. S. Bretherton, P. N. Blossey, S. Bony, F. Briant and J.-C. Golaz, 2012: The CGILS experimental design to investigate low cloud feedbacks in general circulation models by using single-column and large-eddy simulation models. *J. Adv. Model. Earth Syst.*, **4**, M12001, doi:10.1029/2012MS000182.