

第21回米国気象学会大気海洋相互作用会議と 第23回米国気象学会境界層・乱流シンポジウム参加報告

宮 本 歩*

1. はじめに

第21回米国気象学会大気海洋相互作用会議 (AMS 21st conference on air-sea interaction) がオクラホマシティ (米国) の Renaissance Oklahoma City Convention Center Hotel で2018年6月11日から15日まで開催された。この会議は、AMSの支援の下、AMS大気海洋相互作用委員会 (committee on air-sea interaction) によって2年に1度開催されている会議である。今回は、筆者が発表した気候変動・変化における大気海洋相互作用のセッションの他、最近のフラックス観測・データセット及びその応用のセッションなど、観測・理論・モデリングを問わず様々な時空間スケールの大気海洋相互作用についての発表があった。また、今回は、第23回米国気象学会境界層・乱流シンポジウム (AMS 23rd Symposium on Boundary Layers and Turbulence) と同時開催されたことも特徴である (こちらは、AMS境界層・乱流委員会 (committee on boundary layers and turbulence) によって2年に1度開催されているシンポジウムである)。よって、境界層雲など大気境界層過程についてのセッションも聴講可能であり、大気境界層過程と再生可能エネルギーなど大気海洋相互作用委員会との共同セッションもいくつか設立されていた。本報告では、筆者の興味のもと聴講したいくつかの発表について報告する。

2. 気候変動・変化における大気海洋相互作用

まずは、筆者が発表した気候変動・変化における大

気海洋相互作用のセッションである。今回は発表者が少なかったため聴衆も少ないのではないかと危惧していたが、幸い聴衆は比較的多かった。筆者は、衛星観測を用いて南インド洋における下層雲量の季節変動を調査した結果を報告した。この海域では、冬季になると亜熱帯全域ではほぼ一様に下層雲量が増加するという他の海盆にはない特徴があり、これが亜熱帯高気圧の西偏、ストームトラック活動の活発化、亜熱帯水温前線の北上によることを、対流圏下層安定度や海面顕熱フラックス (SHF) と関連付けて示した。興味を持たれた方は、論文 (Miyamoto *et al.* 2018) を参照されたい。中村 尚 (東京大学) は、同じ現場観測のみが同化されている一方で与えられている海面水温 (SST) プロダクトが異なる JRA-55C と JRA-55 CHS (いずれも大気再解析 JRA-55の副プロダクト) を比較し、高解像度 SST を用いた JRA-55CHS では、中緯度海洋前線付近の暖水上で海面からの顕熱・潜熱供給が増加していることを示した。さらに、これらのプロダクトを用いて、中緯度海洋前線の暖水側で気候学的に見られる海上収束の極大が、移動性低気圧に伴う極端に強い収束イベントではなく、弱～中程度の収束イベントによることを示し、それに伴う総観場の状況を議論した。B. Phillips (オレゴン州立大学, 米国) は、2013年から始まったアラスカ湾の顕著な暖水偏差 (“The Blob”) を調査し、移動性高低気圧に伴う乱流熱フラックスが冷却項において主要な役割を担うことを示した。J. Small (米国大気研究センター, 米国) は、水平解像度の異なる大気海洋結合モデル (Community Earth System Model) で、SST と SHF (上向きが正) の相関関係を調査し、西岸境界流域や南極周極流域において、高解像度モデルでのみ観測と同様に相関が正になることを示した。これは、この結合モデルでは中緯度海洋が大気を熱的に強

* Ayumu MIYAMOTO, 東京大学先端科学技術研究センター。

ayumu@atmos.rcast.u-tokyo.ac.jp

© 2018 日本気象学会

制する過程が正しく捉えられている可能性を高めるものであり、このモデルにおける中緯度海洋の非局所的な影響についても興味を湧いた。また、彼とのランチの際には、筆者が研究する南インド洋における彼のモデル実験結果について議論を交わすことができた。

3. 境界層雲

ここでは、境界層雲のセッションについて述べる。C. Kaul (カリフォルニア工科大学, 米国) は、大気 LES モデルに海洋混合層を結合し、海面においてエネルギー収支が閉じるような枠組みにおいて CO₂ 濃度上昇に対する下層雲の応答を調査した。この枠組みでは、SST はあらかじめ与えられるものではなく海洋熱吸収 (ocean heat uptake) や大気の光学的厚さなどの外部強制に対する下層雲との相互作用系の応答であり、決められた SST を与える CGILS とは異なる。尤も、この枠組みにおいても、CO₂ 濃度上昇に伴って、SST の上昇と共に層積雲レジームから積雲レジームへ遷移するという大まかな描像は、CGILS で得られた知見と矛盾するものではなかった。また、筆者は都合が合わず聞けなかったものの、別のセッションにおいて、同様の枠組みを LES に代えて単一カラムモデルにも適用した結果を報告していたようである。この枠組みが今後主流の一つとなっていくのか注目である。ところで、彼らが使っていたモデル (PyCLES) はオープンソースであり、Python (もちろん、計算が重たい部分は C 言語) で書かれているそうだ。Python の躍進を感じる一方で、Ruby と Fortran を主に使う筆者としては、(Ruby と似ているとはいえ) 使い慣れていないプログラミング言語のモデルは使用を敬遠してしまいそうである。R. Rauterkus (ケルン大学, ドイツ) は、WRF-LES モデルを用いて層積雲のシミュレーションを行い、亜熱帯の層積雲に関しては、境界層高度や液水温度などの一次モーメントは水平解像度を 10 m 以下にしないと結果が収束しないことを示した。これは、このモデルで雲境界層の平衡解を求める場合には、かなりの計算コストが必要となりうることを示唆している。この結果をもとに、彼らは 3.5 m 解像度で夏の極域混合相雲に関する LES 計算を行っていたが、強い逆転層の下で弱く安定成層した境界層で発生する混合相雲の計算でも、この解像度依存性が同様であるかどうか興味を湧いた。北極温暖化増幅 (polar amplification) と気候モデルにおけるその再現性に関連して、相変化を

伴う極域下層雲のシミュレーションはチャレンジングな課題となりそうである。K. Babić (カールスルーエ工科大学, ドイツ) は、DACCIWA プロジェクトの観測データに基づいて、夏季モンスーンの時期に西アフリカ南部の夜間にあらわれる下層雲を調査した結果を報告した。彼女らは、下層雲の形成前に下層ジェットが観測されることを見出し、それに伴う海からの湿った寒気移流が下層雲の形成に重要であることを示した。K. Verlinden (オレゴン州立大学) は、VOCALS-REx の現場観測と大気再解析データを組み合わせて、南太平洋上の層積雲の雲頂エントレインメント率を見積もった結果を報告した。K. Suselj (カリフォルニア工科大学) は、一貫した物理的な仮定のもと乾燥対流と浅い対流、深い対流、境界層乱流を統一して表現するパラメタリゼーションを紹介した。さらに、そのパラメタリゼーションを実装した単一カラムモデルを大気再解析データで強制すると、観測に近い対流圏下層安定度と下層雲量の関係が得られることを示した。また、彼らはすでに大気大循環モデルへの実装も終えており、水惑星実験が問題なく動いているようにみえることも示した。

4. 境界層過程と再生可能エネルギー

このセッションでは、再生可能エネルギーへの応用に関わる境界層過程についての発表がなされ、そのほとんどが風力発電に関わるものであった。J. Freedman (ニューヨーク州立大学, 米国) は、ライダー観測やモデルシミュレーションを用いて、海陸風が顕著だと言われているロングアイランドやニュージャージーの風の日変化を詳細に調査し、その空間スケールやオンセットの時間、風速の最大値を示した。J. Lundquist (国立再生可能エネルギー研究所, 米国) は、WIPAFF (WInd PArk Far Field; 北海における風力発電の影響を調査するプロジェクト) の航空機観測と WRF モデルを用いたシミュレーションにより風力発電に用いる風車の後方流を調査し、1 m/s ほどの風速弱화가後方 50 km まで続いていたことを報告した。J. Tamaszewski (コロラド大学, 米国) は、WRF モデルを用いて風力発電の後方影響が大規模場の風や安定度によってどのように変化するかを調査し、成層安定でかつ風向きと平行に風車が並んでいる場合に影響が最も大きくなることを示した。S. Redfern (コロラド大学) は、境界層に対する風力発電の影響を表現する新たなパラメタリゼーションを提案し

た。従来、風車による運動エネルギー生成とドラッグの強化は風車のハブにおける風の関数で表されていたが、彼女らは、風車のローターディスクで面積分した運動量を用いるように改良して WRF モデルに実装した。一般に改良の影響は劇的なものではないが、風に非線形な強い鉛直シアが存在する場合には無視できない違いをもたらすことを示した。T. Dunstan (英国気象局, 英国) は, Nishino (2016) によって提案された two-scale momentum model による理想化された条件下での風力タービン効率の有用性を、北海における異なる成層安定度での LES 実験と比較して確認した。最も悪い場合でも、誤差は10%以下に抑えられており、理論の有用性が示された。

5. 最近のフラックス観測・データセット及びその応用

ここでは海面乱流熱フラックス観測に関わる発表をまとめる。M. Anguelova (米国海軍研究所, 米国) は、海面上の砕波が可視化された白波 (whitecap) の面積を衛星による受動的マイクロ波観測から見積もる手法を紹介した。J. Crespo (ミシガン大学, 米国) は、CGNSS の Level-2海上風速プロダクトと大気再解析 MERRA-2の比湿と温度を組み合わせて作成した海面フラックスプロダクトを紹介した。このプロダクトは、MERRA-2と比べると、上向き熱フラックスが小さいなどの特徴があった。J. May (米国海軍研究所) は、NFLUX system によって衛星観測をベースに作成された解析場を用いて、気象モデルの風や温度場のバイアスをほぼリアルタイムで修正する手法を開発し、その効果を紹介した。彼らは、バイアスを時間スケールの短い気象場に依存するバイアスと時間スケールの長い持続的なバイアスに分け、それらを別々に取り扱うことで、気象予報モデルのバイアスを修正した。また、修正された予報場で領域海洋モデルを強制し、北東太平洋域における海洋上層の温度や流れの予報スキルを調査した。C. Clayson (ウッズホール海洋研究所, 米国) は、3時間ごと、0.25度解像度で25年以上の蓄積がある SeaFlux-CDR を用いて、西岸境界流付近で海面潜熱フラックスの日内変動が大きいことを発見した。また、その原因が早朝から昼過ぎに比湿が低下するためであることを示した。ただし、この比湿の低下メカニズムについてはまだよくわかっていないようである。R. Zhang (南海海洋研究所, 中国) は、南シナ海で5つの異なる潜熱フラックスプロ

ダクト (ERA-Interim, NCEP-R2, OAFflux, JRA-55, TropFlux) を観測と比較し、冬に上向き潜熱フラックスが過大気味であること、海面比湿がバイアスの原因であることを示した。また、海洋混合層モデルを用いて、そのバイアスが混合層水温の見積もりに与える影響を定量化した。海面乱流熱フラックスは大気海洋相互作用において重要な変数であるが、過程のモデル化、見積もりに必要な物理変数の観測には不確実性があり、その影響には常に注意しなければならないと改めて感じた。

6. おわりに

今回は境界層のシンポジウムと共催だったせいか、過去に比べ自分が研究するラージスケールの大気海洋相互作用に関する研究が少なかったことは少し残念だったが、その分、普段自分があまり進んで聞かないような小スケール現象に関する発表を沢山聞くことができ、自分の視野が広がられたという点で、それはそれで有意義であった。ハワイであった AOGS の年会の次の週ということで、アジア・オセアニアからの参加者はいつもより少ないだろうという想像はしていたが、ある参加者から聞いたところでは、AMS 大気海洋相互作用会議は前々回から発表総数が逡減しているようである (宣伝不足なのであろうか?)。発表件数の多さは発表時間外の議論時間とトレードオフなのであろうが (この点で今回は良かったという参加者もいた)、ともあれ、本報告が日本からの参加者増加の一助になれば幸いである。

謝辞

本会合参加に際して、日本気象学会国際学術交流委員会より渡航費用援助を頂きました。深く感謝いたします。

略語一覧

AMS : American Meteorological Society 米国気象学会
 AOGS : Asia Oceania Geosciences Society アジア・オセアニア地球科学会
 CFMIP : Cloud Feedback Model Intercomparison Project
 CGILS : CFMIP-GASS Intercomparison of Large-eddy and Single-column models
 CGNSS : Cyclone Global Navigation Satellite System
 DACCWA : Dynamics-Aerosol-Chemistry-Cloud-

- Interactions over West Africa
 DOE : Department of Energy
 ERA-Interim : European Centre for Medium-Range Weather Forecasts Reanalysis-Interim
 GASS : Global Atmospheric System Studies
 JRA-55 : Japanese 55-year Reanalysis
 JRA-55C : Japanese 55-year Reanalysis using Conventional data only
 JRA-55CHS : JRA-55C with high-resolution SST
 LES : Large-Eddy Simulation ラージエディシミュレーション
 MERRA-2 : Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications version 2
 NCEP : National Centers for Environmental Prediction
 NCEP-R2 : NCEP-DOE Reanalysis-2
 NFLUX : Naval Research Laboratory ocean surface flux
 OAFflux : Objectively Analyzed air-sea Fluxes
 PyCLES : Python Cloud Large-Eddy Simulation
 SeaFlux-CDR : SeaFlux-Climate Data Record
 SHF : Surface Sensible Heat Flux 海面顕熱フラックス
 SST : Sea Surface Temperature 海面水温
 TropFlux : Net heat Flux product in the Tropics
 VAMOS : Variability of the American Monsoon Systems
 VOCALS-REx : VAMOS Ocean-Cloud-Atmosphere-Land Study Regional Experiment
 WRFモデル : Weather Research and Forecasting Model

参考文献

- Miyamoto, A., H. Nakamura and T. Miyasaka, 2018: Influence of the subtropical high and storm track on low-cloud fraction and its seasonality over the south Indian Ocean. *J. Climate*, **31**, 4017-4039.
 Nishino, T., 2016: Two-scale momentum theory for very large wind farms. *J. Phys. Conf. Ser.*, **753**, 032054, doi : 10.1088/1742-6596/753/3/032054.