

第8回 GEWEX 国際会議報告*

松 本 淳^{*1}・Kim Hyungjun^{*2}・新 田 友 子^{*3}・寺 尾 徹^{*4}
 可 知 美佐子^{*5}・山 本 晃 輔^{*6}・鈴 木 健太郎^{*7}・佐 藤 友 徳^{*8}
 日比野 研 志^{*9}・花 崎 直 太^{*10}

1. はじめに

第8回 GEWEX 国際会議が、2018年5月にカナダのアルバータ州キャンモアで開かれたので報告する。この会議は、世界気候研究計画(WCRP)傘下の全球エネルギー水循環プロジェクト(GEWEX)の定期会議で、これまで、おおむね2～4年に1回程度開催されてきたものである。第1回は1994年にロンドン、第2回は1997年にワシントン(安成ほか 1997)、第3回は1999年に北京(安成ほか 2000)、第4回は2001年にパリ(増田ほか 2002)、第5回は2006年カリフォルニア州のコスメサ(増田ほか 2006)で開催された。第6回

は、2010年にオーストラリアのメルボルンで「Water in a Changing Climate」をテーマに(van Oevelen and Erlick 2009)、地球圏・生物圏国際協同研究計画(IGBP)の統合陸域生態系-大気プロセス研究計画(iLEAPS)との共催で開かれた。小池俊雄(当時、東京大学)が議長を務めていたGEWEXの中での地球エネルギー・水循環統合観測プロジェクト(CEOP)の年次会合が直前に開催され、松本が議長を務めていたモンスーンアジア水文気候研究計画(MAHASRI)がその中の地域水文気候プロジェクト(RHP)の1つとして活動報告をした。前回の第7回は、2014年7月にオランダのハーグで「Trending Now: Water」とのテーマで開催された。Pan-GEWEX MeetingとPan-CLIVAR Meetingが引き続いて開催されたこともあり、総参加者は560名を超える盛会で(Seneviratne and Stephens 2014)、日本人も多く参加していた。

第8回となった今回の会議は「Extreme and Water on the Edge: Including the Human Footprint」とのテーマで開催され、40か国から約380名の参加者があった。うち約3分の1は女性であったという(van Oevelen 2018)。日本からの参加者は10数名程度しかなく、ここ数回の中では最低で、全体会での日本人の発表は、沖 理子(JAXA)のみで、座長は無かった。時差のある遠隔地でのゴールデンウィーク直後の開催で、日本から参加しにくい日程であったのかもしれない。私(松本)自身も恥ずかしいことに開催地の地名を知らず、会議のWebページを見て、素晴らしい景色の場所であることを知って急遽申込んだ次第だった。参加してみると、大変素晴らしい場所(第1図)

* A report on the 8th International Scientific Conference on the Global Energy and Water Exchanges

^{*1} (連絡責任著者) Jun MATSUMOTO, 東京都立大学大学院都市環境科学研究科/海洋研究開発機構。
〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1.

jun@tmu.ac.jp

^{*2} Hyungjun KIM, 東京大学生産技術研究所.

^{*3} Tomoko NITTA, 東京大学生産技術研究所.

^{*4} Toru TERAOKA, 香川大学教育学部.

^{*5} Misako KACHI, 宇宙航空研究開発機構地球観測研究センター.

^{*6} Kosuke YAMAMOTO, 宇宙航空研究開発機構地球観測研究センター.

^{*7} Kentaro SUZUKI, 東京大学大気海洋研究所.

^{*8} Tomonori SATO, 北海道大学大学院地球環境科学研究院.

^{*9} Kenshi HIBINO, 東京大学生産技術研究所.

^{*10} Naota HANASAKI, 国立環境研究所地球環境研究センター.

での、きわめて充実した会議だった。

この5年間で国際的な研究動向の変化は激しく、中国のプレゼンスの大幅な拡大、米国での大統領交代による気候変動研究の衰退、主催したカナダの北極研究での大きな国際的プレゼンス、GEWEX 水文気候学パネル (GHP) の各 RHP での成果などを肌身に感じ、現地参加ならではの、大きな刺激を受けることができた。ここでは日本からの参加者10名による報告を、本会議の前週に開催された全球陸面大気システム研究 (GLASS) パネルの年次会合と、会議初日に行われたエクスカージョンの内容を含めて紹介する。なお、GEWEX 等の関連では略語が非常に多いため、文末の略語一覧にまとめて記し、本文では略語をそのまま用いている。また複数著者による発表は、便宜上講演者の名前で示し、所属は原則として「機関名略称 (所属が複数ある場合でも1つのみ)/国名 (日本は省略)」の形で示すことにする。なお、原稿が出揃った後に私 (松本) が全体をまとめる作業が大幅に遅れ、時期を逸した報告となってしまったことを深くお詫びしたい。

(松本 淳)

2. GLASS 年次会合

GEWEX には4つの科学パネルがあり、本会議の前週にはパネルの1つである GLASS の年次会合があった。GLASS は特に陸面・大気結合、モデルベンチマーキング、モデル・データ統合等のトピックを中心とし、気象から気候スケールまで広い分野にかかわる様々な研究活動を国際研究コミュニティとして行っている。今回の会合には世界各国の17機関から23名の研究者が参加し、下記の代表的なプロジェクト報告を含め、

様々な議題に関して活発な議論を行った (第2図)。

1) 陸面・大気結合 (LoCo)

代表者: J. A. Santanello Jr. (GSFC/米国)

灌漑地を含む複数の集中観測地域でフィールドキャンペーンを行い、米国気象学会誌でのプロジェクト概観 (Santanello Jr. *et al.* 2018) を含め、多数の論文を出版した。これらは気候モデルの陸面・大気結合に関する評価及び今後のモデル開発につながると期待される。

2) モデルベンチマーキング (PLUMBER)

代表者: G. Abramowitz (ニューサウスウェールズ大学/オーストラリア)

多くの成果が出た第1次実験のプロトコルを拡張した第2次実験を計画している。次期の実験では、より多様な陸面過程に関する様々なパラメタリゼーションを相互比較し、各陸面モデルの異なる挙動の原因を明らかにすることを目的とすることで合意した。

3) 第3次全球土壌水分プロジェクト (GSWP3)

代表者: H. Kim (東京大学)

多数の国際プロジェクトからの要請に応じて、データ期間の延長 (1901年から2014年まで) を含め、様々な側面から陸面オフライン実験用の気象外力の改良を行った。今回更新したバージョンは DIAS (データ統合・解析システム) から配信中であるが、CMIP6 (第6次結合モデル比較プロジェクト) の陸面関連実験の標準気象外力としての役割もあるため、Input4MIP からの提供も同時に準備している。

4) 土地利用モデル比較プロジェクト (LUMIP)

代表者: D. Lawrence (NCAR/米国)

CMIP6の標準気象外力データの1つである土地利



第1図 会場近くから間近に見えたスリー・シスターズ (Three Sisters), カナディアンロッキー (松本撮影)。



第2図 GLASS パネル会合集合写真 (GEWEX 国際事務局撮影)。

用統合データ Version2 (LUH2) を公開した。データ期間は850年から2100年までで、5つの共通社会経済シナリオを網羅する。また、各モデリンググループによるシミュレーション結果が2018年の後半から提出されることが予定されている。

その他、GEWEX の GASS と GHP との共同活動として、世界各地の地域観測ネットワークにおけるモデルと観測データの統合利用などの報告・議論があった。特に人間活動による水資源管理が水・エネルギー循環に与える影響の観測とモデリングに関して、本研究コミュニティの今後の方向性を含めた活発な議論が行われた。この他、土壌プロセスに焦点を当てた新たなモデル比較プロジェクトの提案、CLIVAR や IGBP など、GEWEX 以外の研究組織との連携に関しても、積極的な模索が行われた。

(Kim Hyungjun)

3. GEWEX 会議の概要

本会議は、初日5月6日のコロンビア氷原へのエクスカージョンを皮切りに、11日までの6日間の日程で開かれた。全てが全体会の最終日を除き、各会議日の午前の最初と午後の最後に全体会、その間には会場を3〜4つに分けての分科会が配置され、2日目〜5日目の長めの昼休みには、複数会場でポスターセッションが開催された。セッション総数が25と煩雑なため、ここでは下記に、口頭発表の全体会プログラムのみの概要を紹介する。

- | | | |
|-----|----|--|
| 7日 | 午前 | Opening/開会式 |
| | 午後 | Extreme Weather in a Changing Climate/変化する気候の中での極端気象 |
| 8日 | 午前 | Extremes/極値 |
| | 午後 | Water and Extremes from Space/宇宙からみた水と極値 |
| 9日 | 午前 | Water/水 |
| | 午後 | Land and Water Use in a Changing Climate/変化する気候下での陸面と水 |
| | 夜 | Conference Dinner と A. Betts 博士による Keynote Speech “Challenges Ahead” |
| 10日 | 午前 | GEWEX Panels/GEWEX のパネル |
| | 午後 | Land-Based Predictability/陸面情報からの予測可能性 |
| 11日 | 午前 | Early Career Researchers/若手研究者
New Activities in GEWEX/GEWEX の新たな活動 |

Closing/閉会式

なお、会議のプログラムと発表スライド、ポスターは、[https://www.gewexevents.org/events/2018-conference/\(2020.4.25閲覧\)](https://www.gewexevents.org/events/2018-conference/(2020.4.25閲覧))にあるので、適宜参照いただきたい。

開会式では、主催国を代表したカナダの環境・気候変動省の副大臣の挨拶等があった。Extreme を冠したセッションが3つ、Water を冠したセッションが3つあった事に、本会議の特徴が良く現れていた。9日の夕食後のキーノートでは、A. Betts (米国) が、1978 年以来、Independent Scientist として、NSF や NASA から資金援助を得て実施した多くの水循環に関する研究を包括的にレビューした。その際に米国気象学会長が、トランプ大統領の気候変動問題に関する2018年1月28日のテレビインタビューでの発言の誤りを指摘した書簡を送ったものの全く無視された件の紹介があり、米国での政治と科学の現状に対し、「A corruption problem and docile elites」とスライドに記して批判していたことが、強く印象に残った。

(松本 淳)

4. エクスカージョン

会議初日のコロンビア氷原へのエクスカージョンに参加した。会議の行われたキャンモアはカナディアンロッキー山脈に位置し、少し標高の高い場所には積雪が残っていた。参加者はバス2台に分乗し、バンフ国立公園を通してコロンビア氷原に向かった。途中、氷河や2013年の洪水で影響を受けた場所を車中から見学し、現地の研究者の方から説明を伺った。コロンビア氷原では氷河の上(第3図)まで行き、また、サスカチュワン大学が設置している氷河近くの気象観測サイ



第3図 エクスカージョンで訪れたコロンビア氷原 (新田撮影)。

トを見学し、氷河の後退や、街から離れた場所での観測の難しさ・不確実性などについて説明いただいた。変化している寒冷域の環境を実感することができ、また同年代の研究者と交流することができ、貴重な経験となった。

(新田友子)

5. 水文気象学研究の最先端にふれて

私(寺尾)にとって、GEWEXの大きな行事に参加するのは、2017年10月のGHP会議以来2度目であったが、今回は参加者の範囲と規模が大きく異なり、セッションも3~4つに分かれる大きな会議であった(第4図)。大きな会議なだけに、多くの研究に触れることができる反面、会議としてのメッセージは一般的なものだろうと考えていた。ところが、こうした私の当初の予想は大きく裏切られた。本会議は、明確なメッセージと、GEWEXコミュニティが直面する多面的な最先端の課題を参加者間で共有することのできる、素晴らしい会議であった。

毎日朝と夕方に全体会があって、焦点となる問題に関する良く準備された講演が配置されており、大変参考になった。例えば、J. Polcher (LMD/フランス) による、灌漑やダム等の人間社会による水管理をどのように陸面モデルに統合していくのか、との問題に関するレビューは印象に残った。また、陸面過程が大気の大規模スケールの予測可能性に大きなインパクトを与えようとする新しい理解がある。こうした今コミュニティが強く意識すべき問題について、10日の夕方の全体会であてられ、A. Pitman (ニューサウスウェールズ大学/オーストラリア)、G. Balsamo (ECMWF/英国)、



第4図 4つスクリーンがあった全体会会場。分科会では各スクリーンの間に仕切りを設置。食事も全て同じ会場(松本撮影)。

P. Dirmeyer (ジョージメイソン大学/米国) による報告を通して明確なメッセージが共有された。最終日の閉会全体会で、G. Brasseur (WCRP/米国) から、WCRP Strategic Plan (戦略計画) 策定の動きについての報告があった。これらのメッセージはMAHASRI後のAsiaPEXプロジェクトのサイエンスプラン策定へ向けた議論においても重要な支えとなっている。

9日午後のGHPに関連するパラレルセッションでは、GEWEX下の各RHPに係わる報告があり、私からもPost-MAHASRIプロジェクトのプランに関する報告を行った。さっそくP. Groisman (UCAR/米国) から、プランに明確な「問い」がない、良い「問い」を定式化すべき、とのご指摘を頂いた。そして更に、彼自身が現在計画中の新しいプロジェクトのホワイトペーパーも見せていただき、大変に励まされる思いがした。GHPパネルメンバーのJ. Evans (ニューサウスウェールズ大学/オーストラリア) からも、いくつかのアドバイスを直接頂くこともできた。なお、9日から10日にかけて、中国の主導する第3極域環境(TPE)のセッションが行われた。G. Wu (LASG/中国) による、急峻なチベット高原に加えてイラン高原の存在の重要性を強調する講演は印象に残っている。Post-MAHASRIの国際ワークショップにも来てくれていたK. Yang (清華大学/中国) のチベット高原に流入する水蒸気の見積もりに関する研究発表もあった。次には是非、Post-MAHASRIの研究成果を交流する機会をつくりたいと思った。それは2019年8月に、AsiaPEX Kick-off Conferenceとして実現した。

本会議は、若手をととても大切にしており、若手研究者のための事前交流イベントや、K. Trenberth (NCAR/米国) の記念講演を含む特別セッションなどもあり、日本の若手にも参加を強くお勧めしたい。

モンスーンパネルや、新しくリニューアルをはかっているGASSのリーダーとも議論する場を持つことができた。その他各国の、多くは論文著者としてのみ知っていた研究者たちの、人となりに触れることができたことも大きい。GEWEXのもとでサイエンスを進めるものにとってたいへん貴重な場であった。より多くの日本の研究者が参加できる条件を整えていきたいと思う。

(寺尾 徹)

6. 衛星地球観測

衛星による地球観測は、全球一様な状態把握を可能

にすることから、水文・気象/気候学等において欠かせない要素の1つである。本会議においても、8日のプレナリーでNASA、ESA、JAXAそれぞれの衛星地球観測計画についての発表が行われた。NASAはG. Stephens (JPL/米国) から、2018年1月に発表されたDecadal Survey (全米アカデミーが定める衛星地球観測の10カ年計画で、NASA、NOAA、USGSの行動指針となるもの) の内容について説明があり、GEWEXプロジェクトとも関係の深い雲・降水やエアロゾルなどが最優先観測対象として選定されたこと、またミッション計画において国際協力の重要性が強調されていることなどが強調された。本報告書には、Thriving on our changing planet (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine 2018) という副題が付せられていることにも現れているように、変わりつつある地球環境において人類が持続的に発展するために衛星観測は何を測るべきかという高い視点から、科学的・社会的に重要な柱となる35の問いが抽出され、それらに答えるために測るべき観測対象が選定されている。着目すべきは、これらが個別の衛星観測ミッションを定義するものではなく、観測対象を優先順位づけしている点である。これは、複数の衛星を組み合わせることで動的な地球環境システムの様々な側面を同時に捉えられるようになってきたこと、その本質は個々の観測パラメータよりはそれらを複合して、システムの振る舞いを支配する動的なプロセスを見ることにある、という認識の現れであろう。欧州の衛星観測計画についてはD. Fernandez (ESA/イタリア) から、コペルニクス計画 (EUの地球観測プログラム) の中核を担うSentinel衛星シリーズの紹介に加え、土壌水分や海水の塩分濃度を観測するSMOS衛星 (2009年打ち上げ)、雪氷を観測するCryoSat (2010年打ち上げ) など水循環に焦点を当てた発表が行われた。特にデータのオープン&フリー化に注力しており、ユーザーインターフェースや観測映像の作り込みも魅力的であった。JAXAからは沖 理子が、GCOM-CやEarthCARE等新しいミッション紹介を行ったほか、GPM/DPRによって明らかになった低緯度帯と中緯度帯での降水の3次元分布の違いや固体降水の全球分布など最新の研究成果についても発表があった。また衛星観測情報から構築された降水マッピングシステム (GSMaP) や陸域水文予測システム (YEE) も紹介された。これらは衛星ミッションの研究利用や社会実装に関する具体的な情報を視覚的にもわかりやすい形で提供するもので

あり、研究コミュニティ外への説明にも役立ちそうだが、米国のDecadal Surveyが提示しているような高い視点からの主要な問いに対して、これらのシステムがどのように貢献し得るかを今後考えていくのも有意義であろう。

10日の午後には衛星観測セッションも開催され、活発な議論がなされた。E. Berbery (メリーランド大学/米国) は様々な長期衛星データセット (降水量: TMPA, CMORPH 等, 蒸発散量: GET-D 等) を用いてミシシッピ川流域の水収支を計算し、独立なデータセット間であっても残差は降水量の10%程度に留まることを示し、領域スケールの長期水収支解析における衛星データの有用性を示した。またR. Adler (メリーランド大学/米国) は、GPCPとAMIP/CMIPによる降水量パーセンタイルを用いて熱帯域を湿潤・乾燥とその中間にあたる3地域に分類し、それぞれにおいて降雨強度とその面積の変化を解析した。結果、温暖化に伴って乾燥領域が広がる傾向がある一方、湿潤領域はさらに雨が多くなるが面積にはあまり変化がない (どちらでもない中間領域が縮小している) こと、モデルが観測に比べてトレンドを過小評価している可能性があることを示した。W. Liu (JPL/米国) はTRMM 3B42等の降水量やSMAP土壌水分量を用いてインドにおけるプレモンスーン期の干ばつを抽出し、ベンガル湾とアラビア海におけるSST上昇時期の違いが季節風の開始時期にずれを生み、干ばつの原因となっていることを示唆した。可知 (JAXA) は日本の高性能マイクロ波放射計シリーズ (Aqua/AMSR-E, GCOM-W/AMSR2等) の現状と将来計画を紹介し、海水や海面水温の長期観測による成果を紹介した。さらに近年公開となったAMSR2地表面温度を紹介し、マイクロ波放射計の雲を透過する能力により、昼夜の地表面温度をほぼ毎日観測可能であるなど、全天候観測の有用性を示唆した。全体的な印象として、衛星地球観測が多様多様に広がっている中で、複数の衛星データセットをどのように横断的に活用し、さらに、これまで積み上げられてきた長期データセットから如何にしてトレンドや極端現象を抽出し、現象解明や人為的影響の評価につなげるかが鍵となっているように感じた。

(可知美佐子・山本晃輔・鈴木健太郎)

7. 全球熱エネルギー・水循環

7日のS9: Energy and Water Budget Closure and Advances in Assessment Techniquesのセッションで

は、全球規模でのエネルギーと水の収支について最近の研究に関する報告があった。全球エネルギー収支は短波・長波放射収支と潜熱・顕熱の収支から成り立っているが、潜熱は蒸発量および降水量と結びついているため、全球水収支と切り離せない関係にある。したがってエネルギー収支と水収支は同時に研究する必要があるが、それがGEWEXのもともとの主要な動機でもあるが、このところ急速に発達しつつある衛星観測によって、エネルギー・水収支を構成する様々な要素フラックスが観測的に捉えられるようになってきたことは、近年の特筆すべき進歩と言える。その一方で、様々なフラックスが観測的に得られるにつれて、それらの間の不整合が“閉じた収支”を得るにあたっの大きな課題ともなりつつある。特に、最近大きな論争となっているのは全球平均の降水量と放射収支の間の不整合であり、地表面のエネルギー収支には全球平均で約 15Wm^{-2} 程度のギャップが存在している（例えば Stephens *et al.* 2012）。

そこで、複数の衛星センサー間の違いや不確実性を考慮しながら、これらの新しい観測情報をより系統的・網羅的に用いて全球エネルギー・水収支の全体像を捉えようという気運が高まっており、米国ではNASAの資金提供によってNEWSというプロジェクトが開始されている。これは、水保存とエネルギー保存の拘束条件の下で、衛星観測量の誤差を考慮したベイズ統計の手法によって現存する衛星観測データを集約し、全球エネルギー・水収支の整合的な描像を得ようとするアプローチ（L'Ecuyer *et al.* 2015；Rodell *et al.* 2015）である。本セッションではこれに関連する発表が多く行われたが、エネルギーの“バランス”ではなく“インバランス”に着目した研究が多かった点が印象的であった。エネルギー収支を閉じさせるには、現在閉じていない部分、すなわち“インバランス”を調べるのが重要というわけだ。ちなみに、これに動機づけられ、GEWEXの上部組織であるWCRPの主催で地球のエネルギー不均衡（EEI）に関するワークショップが2018年11月にフランスのトゥールーズ（Toulouse）で開催されている。

8日のS10：Global Energy and Water Cycles, Clouds and Radiationのセッションでは、雲・放射のエネルギー収支・水収支への影響の観点での発表が行われた。その中で雲の放射影響に関する具体的なトピックの1つとして、依然として不確実性の大きいエアロゾル・雲相互作用に着目した発表も見受けられ

た。B. Soden（マイアミ大学/米国）は、人為起源エアロゾルの増加がもたらす熱帯収束帯（ITCZ）の南へのシフトについて、CMIP5モデル解析の結果を報告した。エアロゾルはその放射強制力が南北半球間で非対称なために、ITCZをシフトさせる可能性が以前から指摘されているが（例えば Yoshimori and Broccoli 2008）、Sodenたちの解析は、それがエアロゾルの直接放射効果よりは、むしろ雲を変質させる間接効果によって起こっていることを示した（Chung and Soden 2017）。このようなITCZの南北シフトは、大気と海洋の結合状態に左右される（Zhao and Suzuki 2019）とともに、エアロゾル・雲相互作用による放射強制力にも依存するため、その大きさを精度良く定量化するために、雲物理過程の気候モデルにおける表現を観測にもとづいて拘束する必要がある。

この観点から、私（鈴木）は衛星観測の解析によって暖かい雨の物理プロセスを調べ、それをモデルの雲物理パラメタリゼーションの拘束条件に使うことを提案したが、その一方でこの拘束条件はエアロゾル間接効果の非現実的な増幅をもたらすことも報告した（Jing and Suzuki 2018；Jing *et al.* 2019）。このことは、気候モデルをその「部品」である物理素過程レベルで評価検証することの重要性を物語っているが、この問題意識はGEWEXコミュニティでもここ数年共有されており、PROESという活動が立ち上がっている（Stephens *et al.* 2015）。これは拡充しつつある衛星観測を有機的に用いて、気候において重要な種々の物理プロセスを診断し、各国モデリングセンターとの緊密な協力のもとでモデル物理の開発改良に直接役立てようとする活動である。PROESでは対象とする物理プロセスの違うものが、これまでいくつか提案されているが（例えば対流圏上層での雲や対流を扱うUTCC-PROES；Stubenrauch *et al.* 2017）、暖かい雨の微物理過程を扱うものも最近提案された（PROES-WR；Suzuki *et al.* 2018）。今後は様々なプロセスに関する観測的な知見が深まるとともに、それらの全球エネルギー・水収支との関係性の理解へと進んでいき、現在のモデルが抱える「部品」と「全体」の不整合が解消されることが期待される。

（鈴木健太郎）

8. 陸面一大気相互作用とS2S

GEWEXでは陸面一大気相互作用は主要なテーマの1つである。同分野がやや下火になっている感のある

日本の気象学会とは対照的に、若手からベテランまで最新の研究動向について意見交換が行われた。S23: Land-Atmosphere Interactions and Climate Predictability, Including Subseasonal to Seasonal Prediction のセッションは、7日と8日の2日間にわたって口頭発表とポスター発表が行われた。一般に土壌水分や積雪諸量などの陸面物理量は大気物理量よりも長い持続性があるため、これらを考慮することで数日～数か月先の予報を改善する可能性があると考えられている。本セッションは文字通り陸面と大気の相互作用について、特に陸面から大気への作用について発表が行われた。発表内容は大きく2つに分類できる。1つ目はローカルな相互作用に着目し、集中観測を通じて現象の理解とモデルの改善を指向した研究、2つ目はそれよりも大きな空間的広がりの中で相互作用の役割の解明を指向した研究である。

前者は、主に GLASS 中の LoCo ワーキンググループの関係者による講演である。LoCo については、Santanello Jr. *et al.* (2018) の紹介を参照されたい。印象的だったのは、北米大平原で実施された LAFE (Wulfmeyer *et al.* 2018) の集中観測に関する報告だった。J. A. Santanello Jr. (GSFC/米国) の発表によると、LAFE ではドップラーライダー、航空機、UAV などの複数の手法を併用した観測を行い、不確定だった乱流スキーム中の係数や方程式中の項の大きさを観測から検証することを試みている (Wulfmeyer *et al.* 2018)。陸面-大気相互作用の研究で大気境界層の重要性が指摘されて久しいが、陸面に対する境界層の応答という視点で、大規模な観測によって境界層の実態把握とモデル検証が同時に進んでいることに刺激を受けた。

一方、相対的に広いエリアを対象とする後者の研究では、H. Zhang (BoM/オーストラリア) がオーストラリア領域の3か月予報において、適切な土壌水分の初期値が与えられることで、気温や降水の予報精度が向上することを示した。筆者 (佐藤) は、ロシア西部の雪解け水に起因する春の土壌水分偏差が、ユーラシア大陸上の熱波の頻度や夏の気温偏差と関係していることを主張した。熱波に関しては、8日に行われた S16: Heat Waves and Heat Extremes in the Past, Present, and Future Climate のセッションの中でも陸面-大気相互作用に関連した研究発表がいくつかあった。このためか、筆者の発表に対しても沢山の質問があった。熱波や干ばつなどの極端気象に対して、陸面-大気相互作用がどのような役割を果たしているの

か、参加者の関心が高いことを実感できた。一方で発表の多くは陸面過程に注視しすぎているためか、陸面状態に対する大気総観場の応答は深い議論には至っていない印象を受けた。

(佐藤友徳)

9. 極端気象

ここでは、私 (日比野) が創生プログラム所属時代に取り組み、現在でも関心を持っている極端気象の解析・イベントアトリビューションに関する研究に焦点を絞って報告する。S16: Heat Waves and Heat Extremes in the Past, Present, and Future Climate (7日)、S19: Detection and Attribution of Climate Extremes (8日)、S8: Modelling for Extremes (10日) などで極端気象に関する研究が多く報告されていた。今後の温暖化に伴い、様々な気象現象が極端化することが予測されており、それらの変化の度合いや正しい理解は一層必要となってくると思われる。極端現象としては豪雨や熱波などよく研究されているものから、干ばつ・水不足や wild fire (野火、森林火災) なども取り上げられていた。極端豪雨の研究はやはり多かったが、熱波の研究も多いことが印象に残った。個人的には日本の研究者は熱波を扱うことは多くないイメージをもっているが、欧米、特にヨーロッパなどでは熱波が直面する脅威として感じられるため、多く研究されているのではないかと感想を持った。概してモデルを用いた将来予測とそのメカニズムの解析に重点が置かれており、モデル解像度の上昇とアンサンブル実験の併用によって、大きなブレイクスルーはないものの着実に結果の信頼性が向上していると思われる。極端現象の将来予測や影響評価などでは、モデルを用いれば何らかの結果は出てしまう。その結果を社会に向けて発信し、精度改善を図っていくことはもちろん重要ではあるが、極端現象を引き起こす自然のメカニズムの正しい理解なしには結果の信頼性も担保されないと私は考えている。

今回の発表でも、極端豪雨を引き起こすメカニズムとして、メソ対流系、ストームトラック、atmospheric river などの様々な要素が、熱波に影響を与えるものとして、ブロッキング、都市のヒートアイランドなどが紹介されていた。

特に印象に残ったのが E. Fischer (チューリッヒ工科大学/スイス) の発表で、極端高温の将来変化を調べ際に AMIP アンサンブルを用いると、海面水温によ

る束縛により内部変動による予測の不確実性が小さくなり、結果として将来の高温イベントの頻度の増加率が結合モデルを用いた場合と比較して過大に見えてしまうという報告だった。今回私が参加したセッションでもアンサンブル実験を用いて予測の不確実性を解析している研究も多く見られたが、アンサンブルの構成方法によっては結果が大きく変わってしまうというのは非常に興味深く感じた。自分の研究に活かせるようなアイデアが得られたと思う。

私（日比野）自身は、ポスターセッションで JAXA の YEE - Yesterday's Earth at EORC（現 Today's Earth）プロダクトの紹介を行った。これは衛星由来の降水・放射データを用いた全球水循環モニタリングシステムであり、陸面モデル MATSIRO と河川モデル CaMa-Flood の出力を含んでいる。これには現在すでに定常運用に入っている全球版と開発中の領域日本版があり、前者を山本（JAXA）が後者を私がそれぞれ紹介した。日本版は開発中ということもあり、プロダクトの紹介にとどまってしまったのは残念なところだが、GEWEX のような水文コミュニティで多くの研究者に紹介できたのは良い機会であった。

GEWEX の会議は初参加であり、当初 GEWEX は水文・水循環の応用研究のコミュニティだと誤解していたため、前述のようなサイエンス寄りのセッションに出て、良い意味で予想を裏切られて会議を楽しむことができた。キャンモアは風光明媚な場所であり、会場も円卓を囲むタイプで朝食・昼食を食べてそのままセッションに入るという面白いスタイルであった。

（日比野研志）

10. 寒冷域における地球システムの変化

8日のS7では、0℃付近の降水を含む寒冷域の地球システム変化について6件の口頭発表と12件のポスター発表があった。以下では特に興味深かった口頭発表3件とポスター発表1件について紹介する。

E. Mekis (ECCC/カナダ) は、ECCC の観測所のデータを用いて、0℃付近の降水の特性についてまとめ発表を行った。C. Derksen (ECCC/カナダ) は、観測に近いと考えられる複数のデータと CMIP5 マルチモデルアンサンブルの結果から積雪被覆のトレンドを調べ、気温のトレンドと相関していること、21世紀末までに RCP4.5 では積雪の減少が止まるが、RCP8.5 では減少し続けることを示した。P. Groisman (UCAR/米国) は、着水性降水の特性について発表を行った。

また、ポスターセッションも盛況で、例えば T. Trautmann (MPI/ドイツ) は少ないパラメータの簡単な水文モデルを開発して、複数のデータを用いてチューニングを行い計算した陸域貯水量の変化について発表していた。現在のところ、陸モデル開発において観測データを十分に利用できているとは言えず、興味深かった。

（新田友子）

11. 灌漑水文学と穀倉地の水循環ならびに水・食料・エネルギー連環、気候変動、水安全保障

GEWEX は水文学と気象学の境界領域を研究対象とする者たちのコミュニティである。どちらかというところ、理論や観測に基づいた基礎研究が主流で、人間・社会要素が中心となるような応用研究は従来稀であった。ところが最近では、人間・社会要素を多分に含む研究テーマも扱われるようになりつつある。例えば、2016年9月にパリ近郊で「広域スケールモデルへの水管理の導入」というワークショップが開かれ、50名以上の第一線の関係者が集まった。今回の会議でも、9日に S5: Irrigation Hydrology が、10日に S13: The Human-Climate-Water Nexus, Climate Change and Water Security が開催されたので、概要を紹介したい。

S5では、主に灌漑に関する最新の研究が報告された。灌漑は、温室効果ガス排出や土地利用変化ほどではないにせよ、水循環の人為的な改変をもたらしている。水文学的に言うと、灌漑は栽培期間中の農地の土壌水分が自然状態より高く保たれることを指す。灌漑することにより地表面の熱水収支が変化し、大気にも影響を与える。特に乾燥地での広範な灌漑は地域の気候にも影響を与えているのではないかと考えられている（カリフォルニアのセントラルバレーなど）。灌漑は、すでに Community Land Model などのいくつかの陸面過程モデルに実装されており、灌漑の有無を考慮した気候シミュレーションも実行できるようになっている。

特に印象に残った3つの発表を紹介したい。Y. Yilmaz (イスタンブール工科大学/トルコ) らは大規模な水資源開発計画が続くトルコのアナトリア高原において、灌漑が現地の気候におよぼす効果について領域気候モデルを利用して推定した。P. Lawston (NASA/米国) らは最新の衛星を使った土壌水分推定アルゴリズムで米国の主要な灌漑地の土壌水分が推定可能か検討した。S. Kumar (GSFC/米国) らは衛星による土壌水

分推定を利用して灌漑過程を含まない陸面過程モデルを同化した場合、灌漑地での土壌水分がどのように修正されるか検討を行った。

S13では、主に水管理を含む全球水文モデルの応用研究が報告された。陸面過程モデルと河川モデルを組み合わせ、信頼性の高い格子気象情報を与えると、陸域の蒸発・流出などの計算が比較的精度高く実施可能である。こうした研究は1990年代より、GSWP (Dirmeyer 2011) などで全球を対象に行われてきた。2000年代以降、灌漑や取水、ダム操作といった水管理要素の取り込みが始まり、2010年代の現在は高解像度化（全球5分程度）、地下水の流動や枯渇の分析、運河や海水淡水化といった従来扱われてこなかった水管理施設の導入などが行われつつある。本セッションではこうした最新の人間活動要素を含む全球水文モデルの紹介とそれらを使った分析結果が紹介された (J. Sheffield; プリンストン大学/米国, P. Greve; IIASA/ルクセンブルク, N. Wanders; ユトレヒト大学/オランダ)。また、アフリカの干ばつや主要ダム貯水位を衛星によりモニタリングする技術の紹介もあった (C. Peters-Lidard; NASA/米国)。こうした中で私（花崎）から話題提供したのは、水管理を含む全球水文モデルと全球経済モデルの結合の重要性である。水文学者が水利用の将来推定をする際、経済活動は水利用を促進させる因子となる。また経済学者が社会・経済活動の将来推定をする際、水資源制約は経済活動を阻害する因子となる。これらの相互作用は現時点では小さいものの、温暖化の進展や人口・経済の成長が続いた21世紀中盤以降には大きくなると考えられ、水文学と経済学を横断した分析フレームワーク構築の重要性を指摘した。

(花崎直太・Kim Hyungjun)

略語一覧

AMIP : Atmospheric Model Intercomparison Project
 AMSR : Advanced Microwave Scanning Radiometer
 AsiaPEX : Asian Precipitation Experiment
 BoM : Bureau of Meteorology
 CEOP : Coordinated Energy and Water Cycle Observations Project
 CLIVAR : Climate Variability and Predictability
 CMIP : Coupled Model Intercomparison Project
 CMORPH : Climate Prediction Center Morphing Technique
 DIAS : Data Integration and Analysis System

DPR : Dual-frequency Precipitation Radar
 EarthCARE : Earth Clouds, Aerosols and Radiation Explorer
 ECCC : Environment and Climate Change Canada
 EEI : Earth's Energy Imbalance
 EORC : Earth Observation and Research Center
 ESA : European Space Agency
 GASS : Global Atmosphere Systems Studies
 GCOM : Global Change Observation Mission
 GET-D : Geostationary Operational Environmental Satellite Evapotranspiration and Drought
 GEWEX : Global Energy and Water Cycle Exchanges
 GHP : GEWEX Hydroclimatology Panel
 GLASS : Global Land/Atmosphere System Study
 GPCP : Global Precipitation Climatology Project
 GPM : Global Precipitation Measurement
 GSFC : Goddard Space Flight Center
 GSMap : Global Satellite Mapping of Precipitation
 GSWP : Global Soil Wetness Project
 IGBP : International Geosphere-Biosphere Programme
 IIASA : International Institute for Applied Systems Analysis
 iLEAPS : Integrated Land Ecosystem-Atmosphere Processes Study
 JAXA : Japan Aerospace Exploration Agency
 JPL : Jet Propulsion Laboratory
 LAFE : Land Atmosphere Feedback Experiment
 LMD : Laboratoire de Météorologie Dynamique
 LoCo : Local Land-Atmosphere Coupling
 LUH : Land-use Harmonization
 LUMIP : Land Use Model Intercomparison Project
 MAHASRI : Monsoon Asian Hydro-Atmospheric Research and prediction Initiative
 MPI : Max Planck Institute
 NASA : National Aeronautical and Space Administration
 NCAR : National Center for Atmospheric Research
 NEWS : NASA Energy and Water cycle Study
 NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration
 PALS : Protocol for the Analysis of Land Surface models
 PLUMBER : PALS/Land Surface Model Benchmarking Evaluation Project
 PROES : Process Evaluation Studies
 RCP : Representative Concentration Pathway
 RHP : Regional Hydroclimate Project
 S2S : Subseasonal to Seasonal Prediction
 SMAP : Soil Moisture Active Passive
 SMOS : Soil Moisture and Ocean Salinity
 TMPA : TRMM Multi-Satellite Precipitation Analysis

TPE : Third Pole Environment
 TRMM : Tropical Rainfall Measurement Mission
 UCAR : University Corporation for Atmospheric Research
 USGS : United States Geological Survey
 UTCC : Upper Tropospheric Clouds and Convection
 WCRP : World Climate Research Programme
 WR : Warm Rain
 YEE : Yesterday's Earth at EORC

参 考 文 献

- Chung, E.-S. and B. J. Soden, 2017: Hemispheric climate shifts driven by anthropogenic aerosol-cloud interactions. *Nature Geosci.*, **10**, 566–571.
- Jing, X. and K. Suzuki, 2018: The impact of process-based warm rain constraints on the aerosol indirect effect. *Geophys. Res. Lett.*, **45**, 10729–10737.
- Jing, X., K. Suzuki and T. Michibata, 2019: The key role of warm rain parameterization in determining the aerosol indirect effect in a global climate model. *J. Climate*, **32**, 4409–4430.
- L'Ecuyer, T. S. *et al.*, 2015: The observed state of the energy budget in the early twenty-first century. *J. Climate*, **28**, 8319–8346.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2018: *Thriving on Our Changing Planet: A Decadal Strategy for Earth Observation from Space*. Nat. Academies Press, Washington, DC, 716pp, doi:10.17226/24938.
- Rodell, M. *et al.*, 2015: The observed state of the water cycle in the early twenty-first century. *J. Climate*, **28**, 8289–8318.
- Santanello, J. A. *et al.*, 2018: Land-atmosphere interactions: The LoCo perspective. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **99**, 1253–1272.
- Seneviratne, S. I. and G. Stephens, 2014: Highlights of the 7th international GEWEX conference and Pan-GEWEX meeting. *GEWEX News*, **24** (3), 2.
http://www.gewex.org/gewex-content/files_mf/1432213682Aug2014.pdf.
- Stephens, G. L. *et al.*, 2012: An update on the earth's energy balance in light of new surface energy flux estimates. *Nature Geosci.*, **5**, 691–696.
- Stephens, G. L., C. Jakob and G. Tselioudis, 2015: The GEWEX Process Evaluation Study: GEWEX-PROES. *GEWEX News*, **27** (4), 4–6.
https://www.gewex.org/gewex-content/files_mf/1464112934Nov2015.pdf
- Stubenrauch, C., G. Stephens and GEWEX UTCC PROES Working Group, 2017: Process Evaluation Study on Upper Tropospheric Clouds and Convection (UTCC PROES). *GEWEX News*, **27** (2), 4–6.
https://www.gewex.org/gewex-content/files_mf/1500657263May2017.pdf
- Suzuki, K., H. Takahashi and G. Stephens, 2018: Process Evaluation Study on Warm Rain (PROES-WR). *GEWEX News*, **28** (3), 6–8.
<https://www.gewex.org/gewex-content/uploads/2018/08/Aug2018.pdf>
- van Oevelen, P. O., 2018: Highlights from the 8th GEWEX open science conference. *GEWEX News*, **28** (3), 2.
<https://www.gewex.org/gewex-content/uploads/2018/08/Aug2018.pdf>
- van Oevelen, P. O. and D. Erlich, 2009: Highlights from the 6th international scientific conference on the global energy and water cycle. *GEWEX News*, **19** (4), 11–13.
https://www.gewex.org/gewex-content/files_mf/1432208883Nov2009.pdf
- Wulfmeyer, V. *et al.*, 2018: A new research approach for observing and characterizing land-atmosphere feedback. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **99**, 1639–1667.
- Yoshimori, M. and A. J. Broccoli, 2008: Equilibrium response of an atmosphere-mixed layer ocean model to different radiative forcing agents: Global and zonal mean response. *J. Climate*, **21**, 4399–4423.
- Zhao, S. and K. Suzuki, 2019: Differing impacts of black carbon and sulfate aerosols on global precipitation and the ITCZ location via atmosphere and ocean energy perturbations. *J. Climate*, **32**, 5567–5582.