

## チベット高原での多重圏－陸面過程に関する 国際ワークショップへの参加報告\*

杉本志織<sup>\*1</sup>・横山土実<sup>\*2</sup>・佐藤友徳<sup>\*3</sup>・上野健一<sup>\*4</sup>

### 1. はじめに

2016年8月8～10日、世界各国から300人程度の参加者が中華人民共和国の西寧市に集結し、「International Workshop on Land Surface Multi-spheres Processes of Tibetan Plateau (TP)」が開催された(第1図)。チベット高原やその周辺地域における大気－陸面過程(“multi-spheres”という言葉が使われているように、接地境界層から成層圏までを含む)を理解することが主な目的である。11件のkeynote speechに加えて、9つのパラレルセッション(1日3セッション×3日)が設けられた。各セッションのテーマは以下の通りである。

- セッション1：第3極域環境 (Third Pole Environment: TPE)
- セッション2：チベット高原を対象とした領域および全球規模の大気過程 (Understanding atmospheric processes on the TP at regional and global scale)
- セッション3：水循環および水資源 (Hydrological cycle and water resources)
- セッション4：チベット高原における雪氷環境の変化およびそれに伴う水文学的応答 (Cryosphere change and hydrological response over TP)

セッション5：チベット高原での大気陸面過程に関する数値モデリング研究 (Modeling TP atmospheric and land surface processes)

セッション6：チベット高原におけるエアロゾルの気候学的影響 (Aerosols over TP and their climatic impact)

セッション7：第3極域での陸面過程に関するリモートセンシング研究 (Remote sensing of land surface processes over Third Pole)

セッション8：第3極域での古気候研究 (Paleo-environment on the Third Pole)

セッション9：チベット高原を対象とした生態系に対する気候変化の影響 (Impact of climate change on ecosystems over TP)

セッション1のタイトルにあるTPEとは、チベット高原およびその周辺地域を第3極域とし、水－雪氷－大気－生態系－人間活動の相互作用やその環境変化の理解を目指す国際的な研究プログラムの名称でもある (<http://www.tpe.ac.cn/index.jsp>, 2016.10.3閲覧)。TPEの理念や各セッション名からわかるとおり、気象学、(古)気候学、大気化学、水文学、雪氷学、生態学など参加者のバックグラウンドは多岐にわたる。また研究方法においても、現地観測、データ解析、数値モデリング(力学ダウンスケーリング、モデル開発、同化システムなど)、および衛星観測(技術開発、推定値検証など)を網羅していた。次章に、本会合に対する各参加者の感想を交えた報告を記す。

### 2. ワークショップに関する各参加者の報告・所感

#### 2.1 何事も経験

筆者(横山)は8月8～10日のワークショップと、11日のエクスカージョンに参加した。以下にその模様について報告する。

\* Report on the International Workshop on Land Surface Multi-spheres Processes of Tibetan Plateau

<sup>\*1</sup> (連絡責任著者) Shiori SUGIMOTO, 海洋研究開発機構. shiorisug@jamstec.go.jp

<sup>\*2</sup> Tsuchimi YOKOYAMA, 筑波大学大学院地球環境科学専攻.

<sup>\*3</sup> Tomonori SATO, 北海道大学大学院地球環境科学研究院.

<sup>\*4</sup> Kenichi UENO, 筑波大学生命環境系.



第1図 ワークショップ参加者の集合写真。(http://xining2016.tpe.ac.cn/にて公開)

筆者はワークショップ初日の「Hydrological cycle and water resources」のセッションにおいて、「Precipitation systems generated over the Tibetan Plateau and synoptic scale circulation field accompanied by its eastward propagation」というタイトルで発表した。高原上で発生した降水擾乱が中国平野部まで移動する時の大規模循環場の特徴について、移動経路に着目して解析した結果を報告した。主に筆者の修士研究の内容である。大学のゼミ以外では口頭発表自体が初めてであった上に、日本語ではなく英語での発表であったため、とても緊張したのを覚えている。発表は、順番の変更があったものの、無事に終わることができた。質疑応答では、高原南東部から北東方向へ移動する事例と南東方向に移動する事例は結局水蒸気輸送経路が違うだけで大差はないのでは？という質問を頂いたのだが、英語でのディスカッションに慣れていなかったため、質問の意図を汲み取ることができず、十分な説明ができなかった。次に英語でディスカッションする機会があった時にはスムーズな受け答えができるように、日頃から練習したいと思う。セッション全体の内容としては、高原上の湖の水循環の経年変化を扱った研究、水循環の変化が大気循環場に与える影響、地上蒸発量の推定、El Niño-Southern Oscillation (ENSO) との関係など多岐にわたっていた。筆者の専攻は大気科学であり、水文系の講義や発表はあまり聞いたことがなかったので、馴染みのない単語を聞くことはあったものの、発表内容はとても興味深いものであった。ディスカッションでは、チベット高原及びその周辺域の地上観測点データの共有について話題に上がり、1951~2010年におけるチベット高原上及びその周辺域の241地点観測データ

をTPEのWebサイト上でアーカイブしていることを知ることができたのは大きな収穫であった。今後の解析にぜひ役立てたいと思う。

次に、11日のエクスカージョンの様様について報告する。エクスカージョンでは、青海湖の日帰りツアーに参加した。青海湖は、チベット高原北東部に位置する、世界第2位の広さを持つ内陸塩水湖である。面積はおおよそ琵琶湖の6倍である。本ワークショップが行われた西寧市からは、高速道路を使用して西へ150 kmほど進んだところに位置している。標高は海拔約3200 mである。当日は朝8時頃にホテルからバスで青海湖へ向けて出発した。途中バスの窓から南を眺めると、手前側に広がる草原と、その向こう側の砂漠、さらにその向こう側の山脈とそれに伴う雄大な積雲が広がっていた(第2図)。高原上の半乾燥地帯と山岳地形、それに起因する雲活動を生まれて初めて自分の目で見ることができ、感動した。13時頃、青海湖南東部にある観光拠点の二郎剣景区に到着した。青海湖の名前通り青く、海と見間違えるほどの広大な景色は正に絶景であった(第3図)。帰りには、日月山という、青海湖の東にある峠を訪れた。日月山は、西暦822年の講和条約で定められた唐と吐蕃(チベット)国の境界であったようである。現在でも、チベット系、モンゴル系などの民族の生活環境の境界となっているらしい。ヤクやラクダの背中に乗ることもでき、楽しい時間を過ごすことができた。

ワークショップを通して、初のチベット入りと国際学会での発表という、貴重な経験を積むことができた。今回得られた経験を胸に、日々の研究生生活により一層励んでいきたいと思う。

(横山士実)



第2図 青海湖に向かうバスの車窓から高原南側を見た様子。2016年8月11日10時07分に撮影。



第3図 二郎剣景区(青海湖の南東部にある観光拠点)から見た青海湖。2016年8月11日14時02分に撮影。

## 2.2 継続的に関わることの意味と意義

筆者(杉本)がチベット高原での自然科学研究をテーマにしたワークショップに参加するのは2006年、2010年に続き3度目である。これまでと比べて今回のワークショップでは、長期的な気候変動に言及する研究成果が多かったように思う。また、大気陸面相互作用に関する研究成果も、観測や数値モデリングなど多方面で進展している印象を受けた。観測データの蓄積や計算機資源の進歩の影響は大きいと想像できるが、同時に、長期にわたる研究者たちの努力の積み重ねを実感した。

報告された個々の研究成果についていくつか紹介したい。Tandong Yao氏(Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences)によ

る Opening スピーチの冒頭で、高原上の湖の総面積は増加していること、また近年、高原上では洪水が頻発していることが紹介された。氷河融解を含め、チベット高原における水循環の長期変化は大変興味深く、この課題に対してどのように貢献できるかを考えるよいきっかけとなった。自身の発表があったセッション2では、時空間的に幅広いスケールの研究成果が発表された。なかでも、高原上で発達する積雲対流による成層圏への水蒸気輸送(Hui Su氏ら; NASA Jet Propulsion Lab)や、上層の西風ジェットに強く依存した冬季境界層高度の発達過程(Xuelong Chen氏ら; University of Twente)、といった地表面(や表層大気)と上層大気をつなぐような成果が非常に強く印象に残っている。また、セッション4では、陸面モデルにおいて土壌水分の過冷却効果を加味することが冬季地温や凍土融解時期の再現の改善につながること(Weiping Li氏ら; National Climate Center, China Meteorological Administration)、領域気候モデルを用いた数値実験において陸面モデルの選定が地表面温度だけでなく対流圏中上層の広域循環にも変化を及ぼす可能性が指摘されたこと(Yanhong Gao氏ら; Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences)、さらに、雲解像モデルによる標高に依存した地表面加熱の強さと地表面アルベドが大気加熱に及ぼす影響の評価(William R. Boos氏ら; Yale University)などが紹介され、大変興味深く感じた。

さて、筆者は今回の会合でセッション2の Rapporteur(報告者)を務める機会を得た。最初は、各セッションで発表された研究成果や各セッションで設定されるディスカッションタイムの議論内容を忠実に記録し、最終日までにまとめて報告すればよいと考えていた。ところが、Rapporteurの本来の役割はそうではなく、チベット高原に関わる科学研究が、全体として今後向かうべき指針を示すようなまとめや言及が要求される。これに気づいた時、大役を安請け合いしてしまったことを少しだけ(いや、かなり)後悔した。兎にも角にも引き受けたことは最後まで全うしなければならない。他のセッションの Rapporteur と比べると頼りなかったかもしれないが、多くの研究者に手厚くサポートしていただいたおかげで、なんとか無事に Rapporteur の役目を終えることができた(結果的に、これを通じて著名な研究者らと交流できたことは今回の出張の大きな成果の一つであったと思う)。普

段のワークショップ参加とは一味も二味も違う良い経験ができたとともに、チベット高原研究を広く見渡す視野を持ち、それに対して常に自分自身の意見を強く持つことの重要性を痛感した。

最後に、筆者がチベット高原研究に携わるようになって十数年が経つ。今回のワークショップでは、継続的に一つのコミュニティに関わることで自分自身がチベット高原での科学研究に貢献できることは少しずつ、でも着実に変化しているということにも気付かされた。知り合いが増え、名前でも呼んでもらえるようになり、とうとう「あなたの論文を読んだのですが、ディスカッションしませんか」と声をかけられるようにもなった。大変ありがたいことであると同時に、大規模な国際会議ではなかなか経験できないことではないかと思う。石の上にも三年、チベット高原研究にも十年、である。(杉本志織)

### 2.3 チベット陸面研究に関する雑感

本ワークショップは、チベットをキーワードにして多様な分野の研究発表が行われた。そのため、基盤情報となる共通データ・プロダクトの作成に関する研究に参加者の注目が寄せられていた。水文や雪氷関連の分野では、観測から得られたデータを入力値として、高度化された数値モデルを使用するといった方向性の研究が多かった。特に、チベットという極地においては、観測データの制限によって現状の把握ですら容易ではない。そのため、特に山岳氷河や積雪水量など陸面過程に関わる研究では、新規の観測網やモデリングを通じて過去数十年間の変化を理解することに重点が置かれていたようである。とりわけ、衛星リモートセンシングのセッションでは、プロダクトの宣伝が活発に行われていた。また、降水量など複数のプロダクトが利用可能な場合には、チベットを舞台にした、相互比較研究が提案された。一方で、筆者（佐藤）が参加したセッション（水文、リモートセンシング）に限って言うと、アプリケーション志向の研究が多く、特定の科学的疑問の解明に動機付けされた研究はほとんどないという印象を受けた。

筆者はロシア・韓国経由で中国へ入国したが、乗継便の出発・到着が遅れたため、自分の発表の時刻までに会場に到着することができなかった。無理を承知のうえで発表日の変更を依頼し、翌日の雪氷関係のセッションにおいて発表時間を確保してもらうことができた。しかし、残念ながら研究内容の本質に関わるよう

な質問を得ることはできなかった。当初は会議前日に到着する予定で、旅程には余裕があったのだが、地方から地方へ移動する場合には、代替交通手段が限られてしまう。これが、予期せぬ大幅な遅れとなってしまふことを改めて認識させられた。(佐藤友徳)

### 2.4 山岳域研究の主導体系を考える

いきなり本報告の主題から逸れるが、ここ数年、スイス・ベルン大学に本拠地があり、スイス科学財団が運営する Mountain Research Initiative (MRI, “気象研究所”ではない)と交流があり、MRIが運用するブログに日本に関連した山岳研究の動向を紹介している。今回も、同ブログ (<http://www.blogs-mri.org/>, 2016.10.3閲覧) のアジアコーナーに私なりの会合報告を掲載したので、そちらをご覧ください (“MRI Mountain Blogs” でヒットするはず)。

と言って報告に代えるには余りに短く、読者に失礼なので、西寧ワークショップの学術的意味を、MRIなどが主導する欧米型山岳域研究と比較してみた。ご存知の通り、山岳域は複雑で多様な地形・地表面状態を有し、気候・天候変動が高標高域の水資源・自然災害・観光資源に及ぼす影響は周辺の人間生活や社会活動に大きく波及する。大陸規模で見た場合、山岳域は時として国境や分水界を構成し、しかも遠隔域・発展途上域である場合が多い。従って、自ずと山岳域での研究推進には複数国家の協調と先進国の支援が必要となる。つまり、“山岳研究”とは個別の学術研究の統合ではなく、現地の社会・経済的問題から生態系保全まで含め、現場で紛争が起きないように山岳域を持続的に開発・利用していくための研究と認識される。そのために設立された国際山岳年の意義に関しては渡辺(2010)に詳しい。MRIでも“Mountain as Social Ecosystem”を看板にしている。特に、温暖化がもたらす山岳域の生態系の変貌とそれに依存してきた住民や経済活動への影響を危惧する研究者は多い(Price 2015)。一方、アジア的視点で見たとき、これらの研究動向が“途上国山岳域での欧米主導戦略”のように感じるときもある。分野横断型の環境診断の結果、何を共通の理解とし、何が問題でどのような技術で解決していくべきかというビジョンは欧米と大きく異なるように思う。いずれにしても、来る気候変動が山岳域にどのような影響を及ぼすかといったインパクト研究の始動と、ダウンスケーリングによるサブグリッドスケールでのデータ提供に関するニーズは大きい。

日本の場合、山岳域をプラットフォームとして、大気・森林・河川・雪氷・生態系などの分野がそれぞれ先駆的な研究を進めてきた（世界にあまり知られていないのが残念だが）。進行する気候変動と少子・高齢化といった社会構造変化の中で、個々の分野が手を組んで山岳域の保全・活用を考える仕組みはそろそろ必要なはずで、MRIの取り組みには見習うべき点がある。一方、チベット高原に目を向けると、その面積が巨大でアジアモンスーンに与える熱力学的影響が強いため、気候変動に応じた陸面の応答過程と、その結果変化するであろう亜大陸スケールの気候の再形成過程に関しては未解明な点が多い。氷河や生態系も含め、陸面過程を統合的に観測し、連動の物理プロセスをモデル化し、周辺低標高地域へのインパクトを算定する研究が不可欠となる。今回のワークショップは、各セッションが分野毎に設定されているものの、主催者の狙いは実はここにある。一方でセッションでTPEは謳われているものの、生態系や人文現象に対するインパクト研究はいまだに少ない。さらに、従来はWorld Climate Research Programme/Global Energy and Water cycle Exchanges (WCRP/GEWEX)といった国際機関プロジェクト（例えばGEWEX Asia Monsoon Experiment: GAME/Tibet）がサイエンスを主導した時期もあったが、現在は明らかに中国一国が周辺国を従えて研究を主導している。その結果、例えば“高原中西部での降水量増加、湖の拡大、（雲量増加に伴う）日照時間の低下、といった一連の湿潤化が近年進行している”という統一見解がワークショップのオープニングを飾ることになる。さらに、アメリカで開発されてきた陸面モデル/全球陸域データ同化システムが中国系若手研究者により実装され、衛星観測による面的情報を入力とした高原スケールのシミュレーション結果があたかも現実のように紹介されていた。研究結果が“なぜか”（物理過程）を説明できるのはモデル開発者で、それが“本当か”（検証結果）は中国国内研究者のみぞ知る、といった構図が感じられやや寂しく思った。昔のモンスーン研究にはアジア各国の研究者を結びつける魅力と一体感があった。以前にTPEプログラムの紹介を書いたが（上野・中尾 2011）、TPEが国際プログラムとして定着するためには、日本を含む諸外国の双方向的・継続的な関与が必要であろう。今回、滞在中にTPE-Precipitation ワーキンググループの一環として、宇宙航空研究開発機構・降水観測ミッション研

究による衛星推定降水プロダクトの検証を行う可能性を協議した。先方から比較可能なサイトの申し出が数地点あり、継続的な研究交流に期待したい。

（上野健一）

### 3. おわりに

前章での佐藤による報告にもあるように、今回のワークショップではこれまで以上に、観測データの共有を求める声が多かったように感じた。チベット高原に関わる科学研究を発展させていく上では今後対応されるべき課題であろう。また、最終日の総合討論では、研究機関同士・国同士の共同研究と並行して、WCRPのような世界的組織の傘下にTPEに関するワーキンググループを設立することについて提案および議論がなされた。上野による報告では過去にWCRP/GEWEXがチベット高原研究を主導していたことが示されているが、近い将来、チベット高原を取り巻く科学研究コミュニティが、自分たちの研究グループの拡大・存続に対して再び大きく舵を切ることが予想される。

ワークショップの最後に、Deliang Chen氏（University of Gothenburg）が“個人や小規模のグループでは「What we cannot do?」を考えることが大きな研究プロジェクトの存在において重要だ”という内容の発言したことが印象に残っている。普段は、入手可能なデータや手法を用いて「一個人として何に貢献できるのか」ということばかり考えてしまうが、できないことを把握し他の研究者と共有することで、次の新たな研究プロジェクトにつながることに気付かされた。（杉本志織）

### 謝辞

本ワークショップへの渡航や公表された研究成果に対し、一部、文部科学省の気候変動適応技術社会実装プログラム（SI-CAT）およびグリーン・ネットワーク・オブ・エクセレンス（GRENE-ei）、科研費（15H05464）、JAXA-PM共同研究、およびEaSM-3; Collaborative Research: Surface-induced Forcing and Decadal Variability and Change of the East Asian Climate, Surface Hydrology and Agriculture (<https://easmea.geog.ucla.edu/>, 2016.10.3閲覧) による助成を受けました。感謝いたします。

## 参 考 文 献

- Price, M. F., 2015: Mountains, A Very Short Introduction. Oxford Univ. Press, 134pp.
- 上野健一, 中尾正義, 2011: Third Pole Environment (TPE), チベット・ヒマラヤ研究の新しい流れ-雪氷, 73, 29-32.
- 渡辺悌二, 2010: 国際山の日と2002年国際山岳年を超えて. 地理学論集, (85), 69-74.