

## 北東ユーラシアにおける降水観測ミッション陸域協働検証研究 (NEPTUNE プロジェクト) の推進

飯島 慈裕<sup>1</sup>, 会田健太郎<sup>2</sup>, 浅沼 順<sup>2</sup>, 石川 守<sup>3</sup>, 岩崎 博之<sup>4</sup>, 太田 岳史<sup>5</sup>,  
小谷亜由美<sup>5</sup>, 佐藤 友徳<sup>3</sup>, 篠田 雅人<sup>6</sup>, 杉浦幸之助<sup>7</sup>, 朴 昊澤<sup>8</sup>,  
檜山 哲哉<sup>9</sup>, 平沢 尚彦<sup>10</sup>, 金子 有紀<sup>11</sup>, 堀 雅裕<sup>11</sup>,  
Purevjav GOMBOLUDEV<sup>12</sup>, Dambaravjaa OYUNBAATAR<sup>12</sup>

1 三重大学 大学院 生物資源学研究科 共生環境科学専攻, 2 筑波大学 アイソトープ環境動態研究センター,  
3 北海道大学 大学院 地球環境科学研究院, 4 群馬大学 教育学部, 5 名古屋大学 大学院 生命農学研究科,  
6 名古屋大学 大学院 環境学研究科, 7 富山大学 研究推進機構 極東地域研究センター,  
8 海洋研究開発機構 北極環境変動総合研究センター, 9 名古屋大学 宇宙地球環境研究所,  
10 国立極地研究所 気水圏研究グループ, 11 宇宙航空研究開発機構 地球観測研究センター,  
12 Information Research Institute of Meteorology, Hydrology and Environment

### Implementation of North-eastern Eurasia PMM Terrestrial UNited validation Experiment (NEPTUNE)

Yoshihiro IJIMA<sup>1</sup>, Kentaro AIDA<sup>2</sup>, Jun ASANUMA<sup>2</sup>, Mamoru ISHIKAWA<sup>3</sup>, Hiroyuki IWASAKI<sup>4</sup>,  
Takeshi OHTA<sup>5</sup>, Ayumi KOTANI<sup>5</sup>, Tomonori SATO<sup>3</sup>, Masato SHINODA<sup>6</sup>, Konosuke SUGIURA<sup>7</sup>,  
Hotaek PARK<sup>8</sup>, Tetsuya HIYAMA<sup>9</sup>, Naohiko HIRASAWA<sup>10</sup>, Yuki KANEKO<sup>11</sup>, Masahiro HORI<sup>11</sup>,  
Purevjav GOMBOLUDEV<sup>12</sup> and Dambaravjaa OYUNBAATAR<sup>12</sup>

1 Department of Life Sciences, Graduate School of Bioresources, Mie University, 1577 Kurimamachiya-Cho, Tsu, Mie 514-8507, Japan, 2 Center for Research in Isotopes and Environmental Dynamics, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8577, Japan, 3 Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University, Kita10 Nishi 5, Kita-Ku, Sapporo, Hokkaido, 060-0810, Japan, 4 Faculty of Education, Gunma University, 4-2 Aramaki-cho, Maebashi, Gunma, 371-8510, Japan, 5 Graduate School of Bioagricultural Sciences, Nagoya University, Furou-cho, Chikusa-Ku, Nagoya, Aichi, 464-8601, Japan, 6 Graduate School of Environmental Sciences, Nagoya University, Furou-cho, Chikusa-Ku, Nagoya, Aichi, 464-8601, Japan, 7 Center for Far Eastern Studies, University of Toyama, 3190 Gofuku, Toyama, Toyama, 930-8555, Japan, 8 Institute of Arctic Climate and Environmental Research, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2-15 Natsushima-cho, Yokosuka, Kanagawa, 237-0061, Japan, 9 Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, Furou-cho, Chikusa-Ku, Nagoya, Aichi, 464-8601, Japan, 10 Polar Meteorology and Glaciology Group, National Institute of Polar Research, 10-3 Midori-cho, Tachikawa, Tokyo, 190-8518, Japan, 11 Earth Observation Research Center, Japan Aerospace Exploration Agency, 2-1-1 Sengen, Tsukuba, Ibaraki, 305-8505, Japan, 12 Information Research Institute of Meteorology, Hydrology and Environment, Hydrology and Environment Ministry of Nature, Environment and Tourism, Khudaldaany gudamj 5, Ulaanbaatar 46, Mongolia

2017年1月6日受理

<sup>1</sup> 〒 514-8507 三重県津市栗真町屋町 1577

<sup>3</sup> 〒 060-0810 北海道札幌市北区北 10 条西 5 丁目

<sup>5,6,9</sup> 〒 464-8601 名古屋市千種区不老町

<sup>8</sup> 〒 237-0061 神奈川県横須賀市夏島町 2-15

<sup>11</sup> 〒 305-8505 茨城県つくば市千現 2-1-1

<sup>2</sup> 〒 305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

<sup>4</sup> 〒 371-8510 群馬県前橋市荒牧町 4-2

<sup>7</sup> 〒 930-8555 富山県富山市五福 3190

<sup>10</sup> 〒 190-8518 東京都立川市緑町 10-3

<sup>12</sup> Khudaldaany gudamj 5, Ulaanbaatar 46, Mongolia

\* For correspondence (e-mail: yijima@bio.mie-u.ac.jp)

### Abstract

A core observatory satellite of the Global Precipitation Measurement (GPM) has been launched by the Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) in February 2014. The satellite can newly observe both liquid and solid precipitation in the high latitude region. Verification of this data is indispensable for improving observation accuracy toward utilization for hydrological cycle and water resource researches in the land area of cold region. This research project "NEPTUNE" aims for comprehensive validation of summer precipitation (rain), winter precipitation (snow fall) and their spatial distribution based on ground truth data obtained by our observation network which we will improve in Northeast Eurasia (Hokkaido, Mongolia and East Siberia), and combining other satellite data analyses. In addition, the project extends to clarify possibilities of GPM data for future applied research using modelling techniques of land surface processes, distributed river runoff, and regional climate.

**Key Words:** GPM/DPR, Precipitation, Snow, Mongolia, Siberia, Japan

## 1. 緒言

北半球高緯度の寒冷圏陸域では、5~9月の夏季降水（主として降雨）ならびに10~4月の冬季降水（主として降雪）の季節性がある。年降水量の約7割以上は夏季降水が占め、農業利用等の水資源になるほか、植生の蒸発散を介して大気へフィードバックし、周辺の気候にも影響を与える。他方、冬季降水は積雪として地表面に春まで蓄積され、融雪流出のピークの原因となるほか、土壌水分として持ち越される気候メモリとして重要な水資源の要素となる。

モンゴルからシベリアにかけての北東ユーラシア地域は、1990年代のGAMEプロジェクト（アジアモンスーンエネルギー水循環観測研究計画）以降、気象-水文-雪氷-生態学にわたる分野横断的な研究が開始された<sup>1)</sup>。その後、2000年代に入り、戦略的創造研究推進事業（CREST）の研究領域「水の循環系モデリングと利用システム」の研究プロジェクトとして、ロシアの「北方林地帯における水循環特性と植物生態生理のパラメータ化」（略称：CREST/WECNoF：2002~2007年度）<sup>2)</sup>、モンゴルの「北東アジア植生変遷域の水循環と生物・大気圏の相互作用の解明」（略称：RAISE：2001~2006年度）<sup>3)</sup>が実施され、水文気象に関わる環境変動観測研究が発展した。他にも、ロシア・モンゴルのJAMSTEC地球観測研究センター（2004~2008年度）、モンゴルの、鳥取大学乾燥地研究センターグローバルCOEプログラム「乾

燥地科学拠点の世界展開」（2007~2011年度）、北海道大学グローバルCOEプログラム「統合フィールド環境科学の教育研究拠点形成」（2008~2012年度）などの環境変動研究に関する大型研究プロジェクトが実施された。特に北極域では、顕著に進む温暖化の影響の解明をさらに推進するべく、GRENE北極気候変動研究変事業（2011~2015年度）ならびにその後継となる北極域研究推進プロジェクトArCS（2015~2019年度）が推進されており、寒冷圏陸域の熱・水・炭素循環過程、雪氷変動に関する観測研究が再整備されている。以上のように、日本の研究機関は、ロシア、モンゴルの関係機関と共同して、北東ユーラシア地域に多くの地上観測地点を整備し、近年の気候変動下における、陸域の環境変動研究を継続している。

これらの研究成果は、気象研究ノート「寒冷圏陸域の気候・環境変動」<sup>4)</sup>において総括されており、上記の研究成果を踏まえて今後の当該地域における研究の指針が提案されている。その中で、寒冷圏陸域での観測研究は、プロットスケールでの陸面過程（熱・水・炭素収支）の理解と、それに基づく、陸面モデルの広域適用の分野で研究が大きく進展した一方で、時空間的に密な観測データの不足のため、観測の空間代表性や未観測地域への観測データの内外挿による誤差の問題で、不確実性が依然高い状態にあり、今後の発展には、現地観測に衛星データを組み合わせ、空間拡張された研究プラットフォームの構築が、さらなる環

境変動研究に不可欠であることが指摘された。

中でも降水量は、基本的かつ最重要な気象要素であるにも関わらず、中低緯度に比べた気象観測点の粗さから、寒冷圏陸域の降水量の空間分布は不確定性が依然として非常に高い。また、平野から山岳、森林から草原、砂漠にかけての地域性、夏季の降雨と冬季の降雪による季節性、特に極寒の環境での降水特性など、多様な環境条件での観測精度の評価・検証が必要になる。そのような現状において、2014年に打上げられたGlobal Precipitation Measurement (GPM) 主衛星による降水観測は、当該地域の環境変動研究にとって待望の空間的な降水情報を得られる画期的な観測データとなり、大きな期待が寄せられている。

以上の背景から、GPM 観測データの提供開始を契機として、その積極的な利用を図るため、当該地域で水循環観測研究を行ってきた同じ問題意識をもつ研究者を組織し、時空間をまたいで多面的に現地観測に基づく比較検証を行うこととなった。本研究プロジェクトは、宇宙航空研究開発機構による降水観測ミッション (PMM: Precipitation Measuring Mission) 第8回研究公募の共同研究として採択された課題であり、2016~2018年度にかけて、北東ユーラシア (北海道・ロシア・モンゴル) 地域に現有の既存の観測網、両国の気象観測点データを用いて、現地観測地点ベースでのGPM 降水量の検証を行うことを目的としている。本総説では、その全体の研究計画と目的、意義について紹介する。

## 2. GPM/DPR 衛星と降水データプロダクトの概要

全球降水観測 (Global Precipitation Measurement: GPM) 計画は、1997年から20年近くにわたる運用で熱帯域の降水システムの解明とその応用研究に大きな成果を上げた熱帯降雨観測衛星 (TRMM: Tropical Rainfall Measuring Mission) の後継・拡大ミッションである。GPM 主衛星は、アメリカ航空宇宙局 (NASA) と国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 (JAXA) が共同で開発した衛星であり、2014年2月28日にJAXAの種子島宇宙センターからH-IIA ロケット23号機によって打ち上げられた。この衛星には、JAXAが国立研究開発法人情報通信研究機構 (NICT) と共同で開発

した二周波降水レーダ (DPR) と、NASAが開発したマイクロ波放射計 (GMI) が搭載されている。太陽非同期軌道を高度約407km、軌道傾斜角約65°、周期約90分で地球を周回する軌道を飛行し、南端は南緯約65°から、北端は北緯約65°に至る範囲を観測可能領域としている<sup>5)</sup>。したがって、南北両半球の緯度38~65°の範囲がTRMM以降新規に計測される領域となる。

JAXAでは、平成26年9月のプロダクトの初期校正検証の後、地球観測衛星データ提供システム (G-Portal: <https://www.gportal.jaxa.jp>) より、GPM 降水量プロダクトを公開している。平成28年にはレベル1からレベル3までのGPM 主衛星プロダクトをバージョン4としてデータが公開されている。なお、時空間的に拡張された全球合成降水マップ (GSMaP) プロダクト (0.1°格子、時間平均値) も、GPM 主衛星の降水量プロダクトを反映したバージョンに平成28年末に改良され、中高緯度に対応しはじめている。

## 3. 研究対象地域と観測データ

北東ユーラシア地域は、GPMの地上検証の広大な空白地域にあたる。本研究で既存の観測地点をネットワーク化し、検証サイトとして整備・利用することは、ユーラシア大陸上の降水量、分布の検証精度を向上させる上で極めて有効である。本研究では、日本の研究機関 (北海道大学、筑波大学、名古屋大学、国立極地研究所、海洋研究開発機構など) が、これまで東シベリア・モンゴル地域に展開してきた集中観測サイトにおける降水観測データを利用する (図1)。またこれらに加え、本研究では、各国の研究機関と共同研究を行っている共同研究者の所属機関がそれぞれ必要な観測データを取得し、研究推進のためのプラットフォームの構築と合わせて、分担される構造にある。

モンゴルでは、ウランバートル空港レーダデータ、および周辺域の降水量観測データの提供を情報・水文気象環境研究所 (IRIMHE: Information and Research Institute of Meteorology, Hydrology and Environment) から受ける。さらに、ロシア・オブニンスクのロシア水文気象情報研究所・世界データセンター (WDC: World Data Center) およびモンゴルのIRIMHEから、各国の気象観測



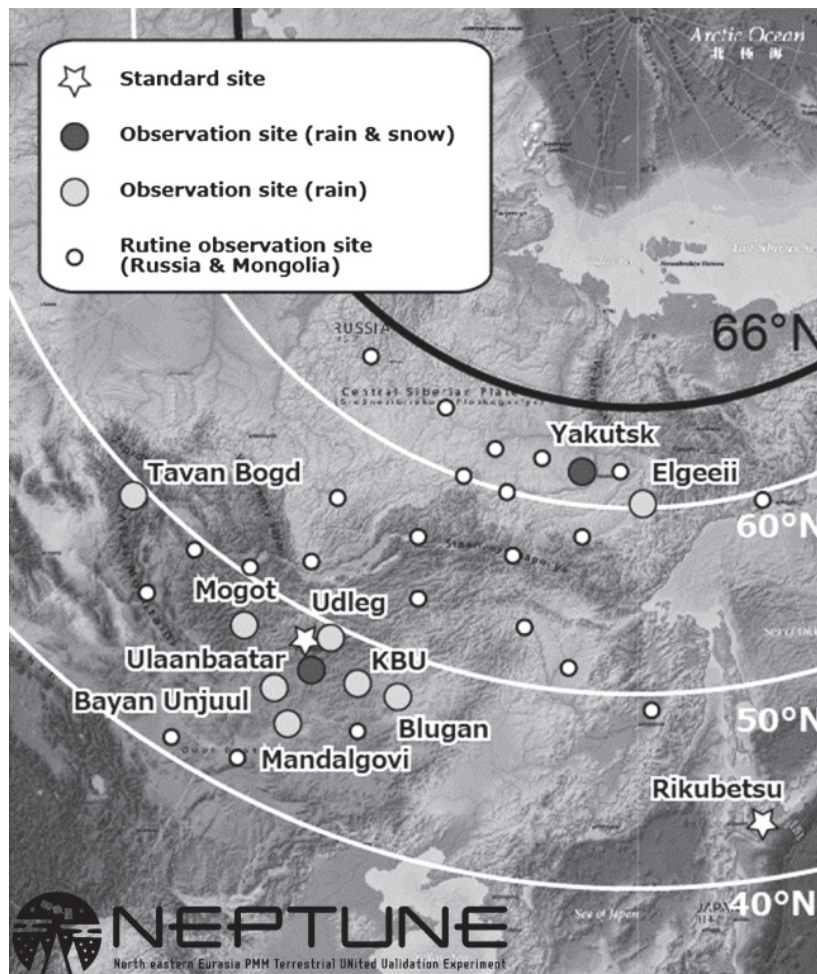


図1 降水衛星検証研究の観測地域とサイトの分布  
北緯66度がGPM/DPRの計測北限

地点で測定された、日降水量のルーティン観測データも研究対象期間において取得して利用する。

すでに長期にわたり継続している各国研究機関との共同研究の枠組みが援用でき、多様な観測体制・データが初年度から得られ研究が速やかに開始できる点が、本研究において日本の多機関が共同して寒冷圏陸域の降水検証を行う最大の長所である。

#### 4. 研究プロジェクトの構成

本研究プロジェクトは、研究テーマとして降水量検証研究2課題、降水分布検証研究3課題の計5課題を設定し、現地観測－衛星検証－モデル応用と互いに連携する構造となっている(表1)。また、観測やデータ利用に関する共通の研究プラットフォームを構築し、課題相互の協力・交流

を積極的にしながら実行できる体制を整えている。

#### 4.1 降水量の検証研究：現地降水量観測データに基づく夏季降水量の検証

北東ユーラシア地域では、疎な観測地点分布のため、降水量の分布を広域で正しく得られておらず、降水そのものの特性や、降水を主要な入力要素とする流域水収支解析、河川流量に寄与する水文過程の評価に依然として不確実性が高い状態である。2000年代に入り、レナ河流域では広く降水の異常増加が確認され<sup>6)</sup>、永久凍土融解や森林枯死による蒸発散量の減少<sup>7,8)</sup>などの影響が表れるなど、環境変動研究における降水量の重要性が脚光を浴びている。一方、モンゴルでは乾燥傾向による干ばつ・砂漠化が懸念され<sup>9)</sup>、主要な水資源域である北部山岳地域の降水量把握が必要である<sup>10)</sup>。そのような背景のもと、既存の観測点で

表1 NEPTUNE プロジェクトの課題構成

課題	研究サイト	国内主要担当機関
1: 夏季降水量検証	日本・モンゴル・ロシア (東シベリア)	三重大, 名古屋大
2: 冬季降水量検証	陸別, ウランバートル, ヤクーツク	国立極地研, 富山大
3: 降水分布検証	モンゴル・ウランバートル周辺地域 (降水レーダ)	群馬大
4: 衛星相互比較	マンダルゴビ (モンゴル), レナ川中流域 (ロシア)	筑波大, 三重大
5: 領域モデル応用	トーレ川流域 (モンゴル), レナ川流域 (ロシア)	北海道大, 海洋研究開発機構

共通研究プラットフォーム: 2重柵降水測定サイト (陸別, ウランバートル), ARGOS データ転送システム, Cryosalon.jp

検証データセット: 宇宙航空研究開発機構 (JAXA) による, GPM 降水データの提供 (DPR, GMI, GSMaP)



図2 0.2mm まで分解能を上げる円筒外径を増設した転倒ます式雨量計

統一した GPM 降水量の検証は、利用可能な降水データの拡張につながるため、水循環に関連した環境変動研究において、必要かつ利用価値の高い情報となる。

集中観測サイトでの、夏季降水量については、転倒升式雨量計を用いた測定を基準とする。モンゴル南部の乾燥地からシベリアにかけては、年降水量が 200~400mm 程度と少ないため、通常の 0.5mm 升用の雨量計に、0.2mm まで分解能を上げる円筒外径を拡大する機器を追加する改良を施し、測定分解能の向上と測定精度の統一を図る (図 2)。

また、北海道・陸別とモンゴル・ウランバートルに基準観測プラットフォームとなる 2 重柵の降水観測システムを整備し (後述)、降水量補足率補正の関係式を構築して、全観測地点に降水量の補正を適用する。各観測点では、捕捉率補正のための風速、雨雪判別のための気温、相対湿度の測

定も行う。モンゴル観測地点では、ARGOS データ転送システムを付属させ、WEB によるデータ共有システムで準リアルタイムにデータを確かできる体制をとる。

地上検証は、GPM の前身にあたる熱帯降雨観測衛星 (TRMM: Tropical Rainfall Measuring Mission) 解析事例に習い、地形 (標高)、季節、雲タイプ等の違いと GPM 標準レベル 2/レベル 3 プロダクトの降水量の降雨観測誤差との関係を検討する。地形との関係は、日本 (北海道)、モンゴル、シベリアの 3 地域に分けて、標高依存性や、地形性降水との観測誤差について解析する。季節ごとの関係は、月降水量、暖候期 (5~9 月) 降水量から、降雨観測誤差の季節性の有無について解析する。雲タイプは日本とモンゴルの 2 地域で、GMS (ひまわり 8 号) の高分解能雲情報 (北緯 52 度まで提供) を援用し、雲の有無、雪氷の有無、雲型、雲頂高度等による観測誤差を解析する。これらの解析によって、夏季降水量の検証を行い、必要に応じて GPM アルゴリズム開発者に対して検証結果の知見を提案する。

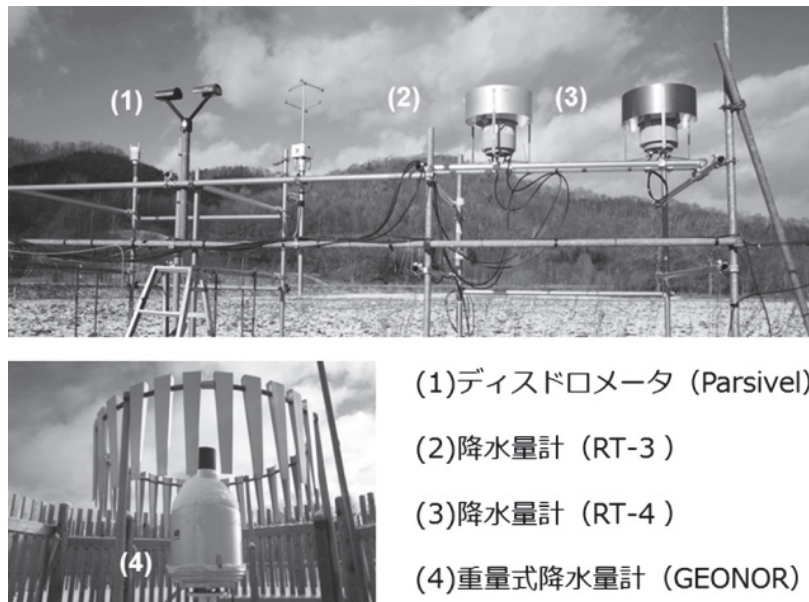
#### 4.2 降水量の検証研究: 降水量, 積雪, 降雪粒子観測データに基づく冬季降水量の検証

北東ユーラシア地域において、冬季 (10~4 月) は -30℃以下になる極寒冷環境であるため、その地域での冬季降水は、(1) 降水量が少ないこと、(2) 測器自体の凍結等の問題があること、(3) 風速による降水量計の補足率補正が十分に理解されていないこと、などから観測精度が低い。これらの問題を克服するため、世界気象機関 (WMO) の固

体降水に関する観測比較実験（solid precipitation intercomparison experiment: SPICE）が実施されている。日本は新潟県・長岡と北海道・陸別に、比較実験サイトが設定されている。本課題では北東ユーラシアの環境に近い低温環境となる北海道・陸別サイトを第1基準地点の検証サイトとして設定する。陸別には、WMO 基準測定準器となる2重防風柵（Double Fence Intercomparison Reference: DFIR）に重量式降水量計が設置されており、精密な降水量測定が可能で、また他の風除け（助炭）による降水量計の風速補足率の検証が可能となっている。合わせて、降雪粒子を直接測定するディストロメータが設置されており、多様な固体降水量測定の設備が整っている（図3）。

陸別サイトでの観測を踏まえ、モンゴル・ウランバートル近郊の Selbe 川流域に、2重防風柵と重量式降水量計を新設し（図4）、降水量測定と、補足率補正の第2基準地点とする。現在天気計、超音波積雪深計、ディストロメータを設営し、統合的な固体降水量測定環境を整える。

また、ロシア・ヤクーツクでは GRENE 北極事業によって、カラマツ林観測タワー上にディストロメータ、林床に溢水式降水量計、超音波積雪深計および積雪重量計が設置されている。この地点は前述の基準地点で得られる降水量補正方法を適用して、固体降水量検証に用いる。ヤクーツク地域では、高性能マイクロ波放射計衛星（AMSR: Advanced Microwave Scanning Radiometer）によ



- (1)ディストロメータ (Parsivel)
- (2)降水量計 (RT-3)
- (3)降水量計 (RT-4)
- (4)重量式降水量計 (GEONOR)

図3 北海道・陸別サイトの冬季降水測定システム



図4 モンゴル・ウランバートル Selbe 川流域に新設された基準降水測定サイトの降水測定用二重柵（2016年11月）



図5 モンゴル・ウランバートルの降水レーダ施設



る雲水量・積雪物理量推定衛星アルゴリズムが試作検証されており<sup>11)</sup>、現行の AMSR-2 を用いた同様のアルゴリズム適用によって、地点スケールでの積雪物理量と、雲水量を同時に評価できる。これらの解析の複合によって、冬季固体降水量の検証を行い、GPM アルゴリズム開発者に対して検証結果の知見を提案する。

#### 4.3 降水量分布の検証研究：降水レーダ観測データに基づく夏季降水量分布の検証

モンゴル・ウランバートル空港南部の山地山頂に、日本の政府開発援助によって整備された波長 5cm の C-Band 降水レーダが設置され、IRIMHE が管理・観測している (図 5)。RAISE プロジェクト期間に、継続的にデータの自動取得が行われ、降水分布が解析された<sup>12)</sup>。その結果、地上 1kmCAPPI (Constant Altitude Plan Position Indicator) データで、地上降水量に対応した分布を示すことが可能であること、冬季は 1km 以下の降水が多く、レーダの利用が難しいこと、地上 2-3kmCAPPI であればレーダ東方の山岳による影域がなくなるが、地上降水との対応は難しくなること、などの特性が示された。本レーダは対象地域での唯一のデータ利用可能な降水分布観測設備であるため、IRIMHE との共同研究として、改めてレーダデータの提供を受け、主として夏季降水量の分布観測に利用する。現在までに、レーダの観測状態と自動データ取得のシステムの確認がすんでおり、順次観測データの蓄積と解析を開始している。

モンゴル空港レーダを利用して GPM 降水量の検証研究を行う意義は、高緯度の降水特性に伴う GPM 降水量の有効性・問題点を明らかにすることと同時に、植生変遷域への GPM 降水量の応用の可能性を検討できることにある。レーダが設置されているウランバートルは植生変遷域に位置し、レーダ降水量分布の季節・空間変動が NDVI 分布の季節・空間変動と良く対応することが明らかになっているので<sup>12)</sup>、GPM 降水量の有効性が確認されれば、より広域の植生変動に対する降水変動の影響も議論できることになる。

#### 4.4 降水量分布の検証研究：他の衛星データ解析を組み合わせた、降水量分布の検証

他の衛星データから、北東ユーラシア地域で見

積られる積雪状態 (量) および土壌水分量・水域面積変動などの地表面の湿潤状態の解析から、降水分布との対応を検証する。本研究では以下の 3 事例の検証を計画している。

モンゴルのマンダルゴビ周辺地域では 2000 年代から広島大による AMSR, AMSR-E, AMSR-2 と続く土壌水分プロダクトの現地検証実験が継続されてきた。現行の GCOM-W の AMSR-2 では、AMSR-E と変わらず高精度 (RMSE で約 4%) で土壌水分測定が可能なが示されている<sup>13)</sup>。この土壌水分観測ネットワークは、観測領域 100x100km<sup>2</sup> に 12 地点の現地土壌水分観測が設置されており、現在は引き続き GCOM-W 検証研究として筑波大に引き継がれ運用されている。この地域は、乾燥地で流出がほぼ無視できるため、水収支を一次元で考えることができ、土壌水分の時系列から日降雨量の推定が可能なが明らかとなっている。これを雨量計代わりにして広域平均の夏季降水量の検証が可能となる。本課題では、同様に ALOS2-PALSAR2 の土壌水分プロダクトと対応関係を比較して、推定精度の検討を行い、GPM 衛星降水量を用いた陸面モデルでの熱・水収支実験を組み合わせることで、GPM 降水量分布が広域解析に利用可能な精度を有しているかの解析・検討が可能となる。

ウランバートル近郊のモンゴル山岳地域で最大 100mm、レナ川南部のシベリア山岳地域では最大 300mm の水等量があり、低→高標高地域にかけて、標高依存性が確認されている。ALOS, ALOS2 に搭載されている PALSAR, PALSAR2 (L-Band SAR) の後方散乱係数は、積雪状況での積雪水等量に相当する強度が得られることが近年示されている<sup>14)</sup>。モンゴルのウランバートル周辺山岳域や、レナ河南部山岳域では、積雪分布観測が行われている。それらのデータを利用して、ALOS による積雪水等量分布の推定値を検証する。本課題では、同様の解析を ALOS2 に適用するとことで、冬季積雪の水等量分布を推定し、GPM 降水量から推定される冬季降水量分布との間で比較検証を行う。

2017 年度打ち上げ予定の気候変動観測衛星 GCOM-C は、積雪・海水分布、積雪物理量の長期観測が予定されている。雪氷圏で精度よくこれらの測定を行うためには、温度状態が似通った雪

氷表面と上空の雲識別が重要になる。現在、NASAのMODISを利用した雲識別アルゴリズムが開発されており、有効な検証精度が見込まれている。本課題では、これらの解析手法と、1-2の冬季降水検証を共同させて、GCOM-Cの雲識別・積雪分布のデータと地上観測データを併用し、GPMの降水分布の検証を行う。

#### 4.5 降水量分布の検証研究：各種モデル実験に基づく降水量分布の比較と有用性の検証

モンゴル～ロシア地域はユーラシア大陸の内部に位置しているため、比較的降水量が少ないが、日本周辺を通過する温帯低気圧の主要な発生地域でもある。これらの地域では、上層のトラフの通過に伴ってメソ対流系が発生・発達し、しばしば短時間強雨や落雷、降雹、突風などの激しい気象擾乱を伴い甚大な被害をもたらすことがある。しかし、これらのメソ対流系は顕著な日周期性を呈していることが静止気象衛星を用いた解析から明らかになっており<sup>15)</sup>、観測頻度が低い従来の雨量計観測網では、降水の変動特性を解析することが困難である。このため、総観規模場と日周期性の対流活動の関係は、気象学的にも未解明な点が多い。また、これら擾乱を数値的に予報することは社会的に強い要請があり重要なターゲットであるものの、数値モデルによる再現性は低い。TRMMが低緯度域におけるメソ対流系の空間分布や日周期性、さらにはMJOなど熱帯擾乱との相互作用の解明に成功したように<sup>16,17)</sup>、GPMによって、中高緯度域のメソ対流系の時空間変動特性や低気圧活動との関係について、新しい知見が得られることが期待される。本課題では、特にメソスケール大気モデルによって再現される中高緯度の対流システムの詳細な空間構造の検証のため衛星観測データを利用する。特に特徴的な事例に着目し、メソ対流系を解像可能な空間解像度を数km程度の実験を行い、地上観測との比較も行いながら、衛星・モデル双方の検証を行う。

上述のようなメソ対流系は、半乾燥地域の年降水量の半分以上を占める暖候期降水量に対しても大きな寄与を示す。しかし、IPCC第5次評価報告書において、この地域の夏季降水量の将来変化は気候モデル間で大きなばらつきを示しており、いまだモデルによる不確実性が極めて大きい。し

たがって、TRMMによって気候モデルにおける熱帯地域の降水量評価が行われてきたように、GPMによって中高緯度の暖候期降水量の時空間的特徴が明らかになり、モデルの改良に寄与することで、気候変動予測の不確実性低減にもつながることが期待される。

観測データが過少な北東ユーラシア地域では、近年整備されたAPHRODITEに代表される長期・高解像度の降水量グリッドデータであっても、実際の降水分布を表現しているとは言いがたい。モンゴル西部のアルタイ山脈地域での領域気候モデル(WRF)を用いた降水量の領域モデル比較例によれば<sup>18)</sup>、WRFによる推定値とAPHRODITEデータセットとの降水量分布の対応関係は、降水量観測地点のある低標高地域では認められたものの、山岳域の降水は大きな乖離が認められている。

本課題では、領域気候モデルを用いて20kmメッシュ程度の水平解像度の実験を長期間にわたり実施し、APHRODITE等の既存の降水量データと比較を行い、モデルによる誤差を定量化する。さらに、同様の設定で近年についても再現実験を行い、モデルから見積もられる推測値(既存観測による補正済みモデル出力結果)を用いてGPM降水量を検証する。

また、CREST/WECNoFでは、東シベリアレナ河流域の水収支と河川流量の高精度評価を行っており、熱・水収支を表現する改良した陸面過程モデルと分布型河川流出モデルを組み合わせ、支流域に分類した河川流出量の推定を実施した<sup>19)</sup>。その結果として、水資源供給源(降水-蒸発散量が正となる、主要な降水域)としてレナ河南部の山岳支流域の重要性が明らかとなった。また、既存のロシア気象データによるグリッド化した降水量をこのモデルの入力として用いると、河川流量を大幅に過小評価することが明らかとなり、降水量分布データの改善が本質的に重要であることが示された。この問題も、正確な降水量分布により大幅に改善される期待がある。

本課題では、上記の領域モデルによる長期実験によって、モデルによる誤差の定量化と、GPM降水量分布の検証から、改良された降水量分布データを構築し、それを用いて寒冷圏陸域に特化して開発されている分布型河川流出モデルが組み込まれた陸域過程モデル(CHANGE)<sup>20)</sup>によって、



河川流量の再現実験を行い、河川水量の現地観測結果の検証を行うことで、GPM 降水量の利用可能性を検討する。

#### 4.6 研究プラットフォームの構築

##### (a) 基準降水量観測サイトの構築

前述のとおり、北海道・陸別には、国立極地研究所による世界気象機関の固体降水相互比較実験 (WMO SPICE: solid precipitation intercomparison experiment) サイトがあり、固体降水測定 of 基準機となる重量式降水量計 (GEONOR 製) や、降雪粒子を直接測定するディストロメータが設置されている。本研究では陸別を第 1 基準観測サイトとして、固体降水量の基準データの取得と、風速による降水の捕捉率補正法の確立に利用する。同等の 2 重柵と機器を、電源供給と定期的なメンテナンスが可能なウランバートル近郊の Selbe 川流域の草原上に新設し、現在天気計、ディストロメータと合わせて固体降水・積雪量観測の第 2 基準観測サイトに設定し、固体降水量の基準データの取得と、風速による降水の捕捉率補正の検証を行う。

##### (b) ARGOS データ転送システム

モンゴル国内の観測システムには、すでに ARGOS 衛星によるデータ転送と組み合わせた

データ転送システム (ARGOS 日本代理店のキュービックアイ社に委託) が既設の地点がある。数時間の遅れで準リアルタイムにデータが受信できるため、降水イベントに対応した速やかな解析や、測定異常値の早期把握による適切なメンテナンスが可能になる。本システムを、衛星データ通信が可能な、モンゴル国の全サイトに適用し、データサイトへ組み込み速やかなデータ利用が可能な環境を構築する。

##### (c) データサイト構築

本研究は国内外の多機関の共同研究となるため、研究期間内に準リアルタイムに観測データを流通し、研究実施を円滑に行うための観測データサイトを構築する。2011 年より試験的に運用している ARGOS データ転送システムのデータ表示サイト (Cryosalon.jp: 図 6) を拡張して利用する。ロシアの観測データについては、ARGOS データ転送は行えないため、ロシアからの国外持ち出しおよび利用許可を得た編集後の観測データを順次サイトに上げ、データの流通を図る。また、レーダ・衛星・モデルによる降水空間分布の可視化情報も提供し、研究成果の相互流通を図る場とする。

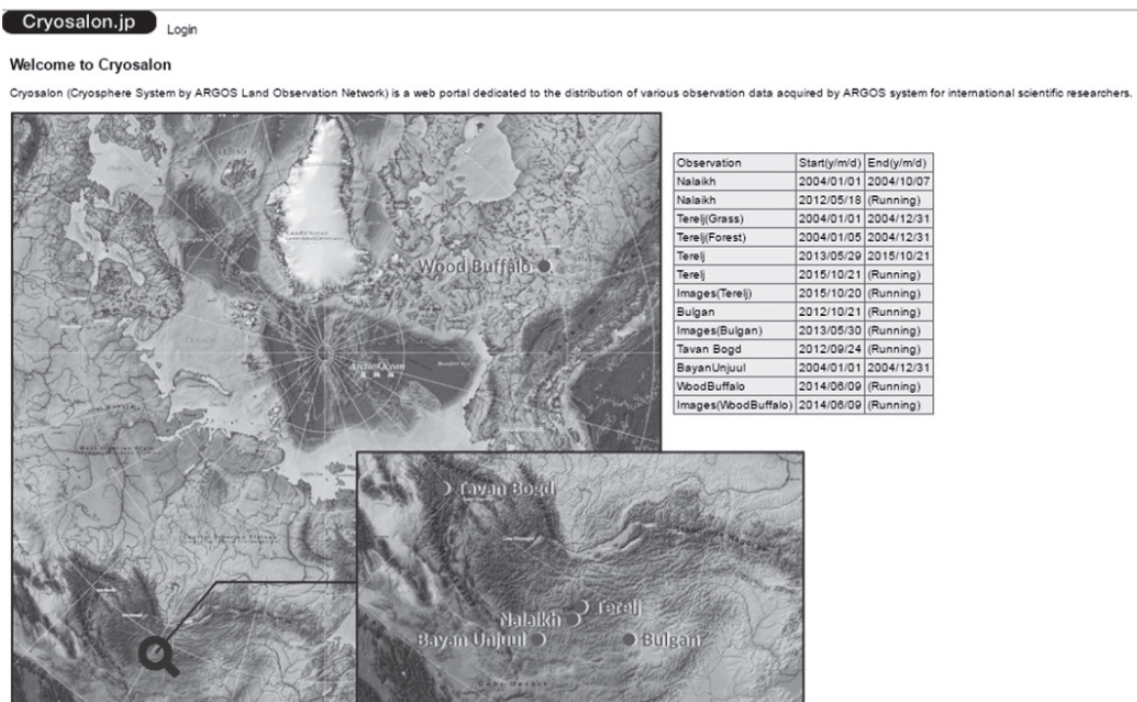


図 6 研究プラットフォームとしてのデータ共有 Web サイト (Cryosalon.jp)

## 謝 辞

本研究は、宇宙航空研究開発機構による降水観測ミッション (PMM) 第8回研究公募の共同研究「北東ユーラシアにおける降水観測ミッション陸域共同検証研究」(研究代表者: 飯島慈裕, PI No. 208) の一環として実施している。

## 要 約

宇宙航空研究開発機構によって2014年2月に打ち上げられた全球降水観測計画 (GPM: Global Precipitation Measurement) の主衛星は高緯度地域の降水量が新規に得られる。このデータの検証は、今後の寒冷圏陸域の水循環・水資源研究等への利用促進に向けた観測精度の向上を図るうえで必要不可欠である。本研究プロジェクトでは、観測研究を実施してきた国内外の機関が協働して、北東ユーラシア (主としてモンゴル・東シベリア) で既設の観測システムを改良し、他の衛星データ解析と合わせて、夏季降水 (降雨)、冬季降水 (降積雪) およびそれらの空間分布に関する地上検証を行う。また、今後の応用研究に向けて、陸面モデル・分布型河川流出モデル、メソ気象モデルを利用した、地域規模のGPM観測データの活用可能性を検討する。

## 引用文献

- 1) 安成哲三: アジアモンスーンエネルギー・水循環研究観測計画 (GEWEX Asian Monsoon Experiment; GAME), 天気, **41**, 459-464 (1994).
- 2) Maximov, T. C., T. Ohta, A. J. Dolman: Water and energy exchange in East Siberian forest: A synthesis, *Agricultural and Forest Meteorology*, **148**, 2013-2018 (2008).
- 3) Sugita, M., J. Asanuma, M. Tsujimura, S. Mariko, M. Lu, F. Kimura, D. Azzaya, T. Adyasuren: An overview of the rangelands atmosphere-hydrosphere-biosphere interaction study experiment in northeastern Asia (RAISE), *Journal of Hydrology*, **333**, 3-20 (2007).
- 4) 飯島慈裕, 佐藤友徳編: 気象研究ノート第230号 北半球寒冷圏陸域の気候環境変動, 日本気象学会 (2015).
- 5) 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構: GPM データ利用ハンドブック第2版, pp.105 (2016).
- 6) Iijima, Y., A.N. Fedorov, H. Park, K. Suzuki, H. Yabuki, T.C. Maximov, and T. Ohata: Abrupt increase in soil temperature under conditions of increased precipitation in a permafrost region, the central Lena River basin. *Permafrost and Periglacial Processes*, **21**, 30-41 (2010).
- 7) Iijima, Y., T. Ohta, A. Kotani, A. N. Fedorov, Y. Kodama and T. C. Maximov: Sap flow changes in relation to permafrost degradation under increasing precipitation in an eastern Siberian larch forest. *Ecohydrology*, **7**, 177-187 (2014).
- 8) Ohta, T., A. Kotani, Y. Iijima, T. C. Maximov. S. Ito, M. Hanamura, A. V. Kononov, A. P. Maximov: Effects of waterlogging on water and carbon dioxide fluxes and environmental variables in a Siberian larch forest, 1988-2011. *Agricultural and Forest Meteorology*, **188**, 64-75 (2014).
- 9) Shinoda, M., B. Nandintsetseg, U. G. Nachinshonhor, H. Komiyama: Hotspots of recent drought in Asian steppes, *Regional Environmental Change*, **14**, 103-117, (2014).
- 10) 飯島慈裕, 石川 守, ジャンバルジャフ ヤムキン: モンゴル森林-草原斜面における凍土環境と水循環, *日本水文科学会誌*, **42**(3), 119-130 (2012).
- 11) 筒井浩行, 小池俊雄: 積雪深の全球推定を考慮した衛星アルゴリズムの改良, *土木学会論文集*, **67**, I\_427-I432, (2011).
- 12) Iwasaki, H.: Study on Influence of Rainfall Distribution on NDVI Anomaly over the Arid Regions in Mongolia Using an Operational Weather Radar, *SOLA*, **2**, 168-171 (2006).
- 13) 開発一郎, 小池俊雄, 藤井秀行, 今岡啓次: モンゴル高原試験域での AMSR2 土壌水分の地上検証 (その1), 水文・水資源学会 2013 年度研究発表会, P90 (2013).
- 14) 外狩麻子, 本間信一, 佐藤 匠, 本田兼一, 鈴木修: 衛星 SAR を用いた積雪深分布推定に関する研究, 雪氷研究大会, P1-63 (2015).
- 15) Sato, T., H. Miura, M. Satoh: Spring diurnal cycle of clouds over Tibetan Plateau: Global cloud-resolving simulations and satellite observations, *Geophysical Research Letters*, **34**, L18816 (2007).
- 16) Sato, T., H. Miura, M. Satoh, Y. N. Takayabu, and Y. Wang: Diurnal cycle of precipitation in the tropics simulated in a global cloud-resolving model, *Journal of Climate*, **22**, 4809-4826 (2009).
- 17) Sato, T., Y. Xue: Validating a regional climate model's downscaling ability for East Asian summer

- monsoonal interannual variability, *Climate Dynamics*, **41**, 2411–2426, (2013).
- 18) Kitabata, H., K. Sugiura, T. Kadota: Analysis of climate trends in the Altai Mountains (1988–2012), *Proceedings of the International Workshop on Terrestrial Change in Mongolia*, 33–34 (2013).
- 19) 八田茂実, 早川 博, 朴 昊澤, 山崎 剛, 山本一清, 太田岳史: 分布型水文モデルによるレナ川流域の長期流出解析, *水文・水資源学会誌*, **22**, 177–187 (2009).
- 20) Park, H., Y. Iijima, H. Yabuki, T. Ohta, J. Walsh, Y. Kodama, and T. Ohata: The application of a coupled hydrological and biogeochemical model (CHANGE) for modeling of energy, water, and CO<sub>2</sub> exchanges over a larch forest in eastern Siberia. *Journal of Geophysical Research-Atmosphere*, **116**, D15102 (2011).