

Environment Research and Technology Development Fund

環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

極端降水評価と気象解析のためのAPHRODITEアルゴリズムの改良 (2-1602)

平成28年度～平成30年度

Asian Precipitation -- Highly Resolved Observational Data Integration Towards
Evaluation (APHRODITE) of the Extreme Events

〈研究代表機関〉

国立大学法人弘前大学

〈研究分担機関〉

国立大学法人京都大学

国立大学法人千葉大学

〈研究協力機関〉

国土交通省気象庁

人間文化研究機構総合地球環境学研究所

東京大学大気海洋研究所

フロリダ州立大学

テルアビブ大学

テキサスA&M大学

2019年5月

目次

I. 成果の概要	1
1. はじめに（研究背景等）	
2. 研究開発目的	
3. 研究開発の方法	
4. 結果及び考察	
5. 本研究により得られた主な成果	
6. 研究成果の主な発表状況	
7. 研究者略歴	
II. 成果の詳細	22
II-1 大雨と水蒸気輸送の地域性解析および災害事例との対応 （国立大学法人弘前大学）	
要旨	
1. はじめに	
2. 研究開発目的	
3. 研究開発方法	
4. 結果及び考察	
5. 本研究により得られた成果	
6. 国際共同研究等の状況	
7. 研究成果の発表状況	
8. 引用文献	
II-2 統計的極端現象の評価と日界補正データの作成 （国立大学法人京都大学）	48
要旨	
1. はじめに	
2. 研究開発目的	
3. 研究開発方法	
4. 結果及び考察	
5. 本研究により得られた成果	
6. 国際共同研究等の状況	
7. 研究成果の発表状況	
8. 引用文献	
II-3 衛星・再解析データを使用したアルゴリズム改良 （国立大学法人千葉大学）	68
要旨	
1. はじめに	
2. 研究開発目的	

- 3. 研究開発方法
- 4. 結果及び考察
- 5. 本研究により得られた成果
- 6. 国際共同研究等の状況
- 7. 研究成果の発表状況
- 8. 引用文献

Ⅲ. 英文Abstract	 84
---------------	----------

I. 成果の概要

課題名 2-1602 極端降水評価と気象解析のためのAPHRODITEアルゴリズムの改良

課題代表者名 谷田貝 亜紀代(国立大学法人弘前大学大学院理工学研究科 教授)

研究実施期間 平成28～30年度

累計予算額 120,080千円

(うち平成28年度:40,705千円、平成29年度:40,705千円、平成30年度:38,670千円)

累計予算額は、間接経費を含む。

本研究のキーワード 降水量、極端現象、地球温暖化、防災、予報改善、雨量計、降雪、地形効果、豪雨、衛星リモートセンシング

研究体制

- (1)大雨と水蒸気輸送の地域性解析および災害事例との対応 (国立大学法人弘前大学)
- (2)統計的極端現象の評価と日界補正データの作成 (国立大学法人京都大学)
- (3)衛星・再解析データを使用したアルゴリズム改良 (国立大学法人千葉大学)

研究協力機関

国土交通省気象庁、人間文化研究機構総合地球環境学研究所、東京大学大気海洋研究所、フロリダ州立大学、テルアビブ大学、テキサスA&M大学

1. はじめに(研究背景等)

平成18-22年度実施課題「アジアの水資源への温暖化影響評価のための日降水量グリッドデータの作成(英語名APHRODITE (Asian Precipitation -- Highly Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of water resources) project)」(APHRODITE-1)では、アジア各国の雨量計データを収集し、長期的日降水グリッドデータを作成し公開した。APHRODITEデータは気候モデルの検証をはじめ、幅広い科学的用途に用いられ(論文被引用2000回以上、2015年度水文水資源学会「国際賞」受賞)、課題として高い評価(事後評価A+)を得た。現在、国際的に APHRODITEデータの更新と、極端降水解析への対応が期待されている。

2. 研究開発目的

本研究(APHRODITE-2)は、極端降水現象の理解と適応策策定に貢献するため、APHRODITEアルゴリズム(降水量グリッドデータ作成手法)を改良し、データ更新を行うことを目的とする。また、IPCCやWCRP(World Climate Research Programme、世界気候研究計画)などの国際的枠組みによる極端降水現象の評価に貢献するために、APHRODITEグリッドデータとオリジナルデータとの関係を整理する。温暖化による水循環の変化や気候システムの変化により極端降水現象がどのように変化するか、という科学的理解に資するため、また既に起こっている温暖化による極端降水現象の予報・予測の改善という現業的視点から、日界(日降水量24時間の区切り、EOD(End of Day))の補正は必要不可欠である。これらを踏まえ、次の三つの相互に関連する研究を、サブ1～サブ3課題で協力して実施する。

(1)大雨の必要条件の一つが多量の水蒸気の輸送・供給であり、無降水日の連続はその逆である。APHRODITE降水情報と再解析データによる水蒸気フラックスを対応づけ、気候モデルが算出する循環場と地域的な極端降水を結び付ける。その対応関係は、内挿の重みづけや、降雪時の捕捉率補正など、地域により異なるAPHRODITEアルゴリズム改良にも生かされる。(サブ1、3担当)

(2)グリッド化により失われる情報を整理、提示する。地点データの統計的性質がグリッド化によりどう変化するか、それがトレンド(長期変化)にどう影響するか、またその気候帯による違い等について研究する。(サブ2、1担当)

(3)数値モデルや衛星との確率密度関数(PDF)の比較や予測降水量の補正のため、異なる日界のデータを混在させない解析(グリッド化)、日界の補正を行い、衛星・予報の改良に関する研究を行う。(サブ2、3、1担当)

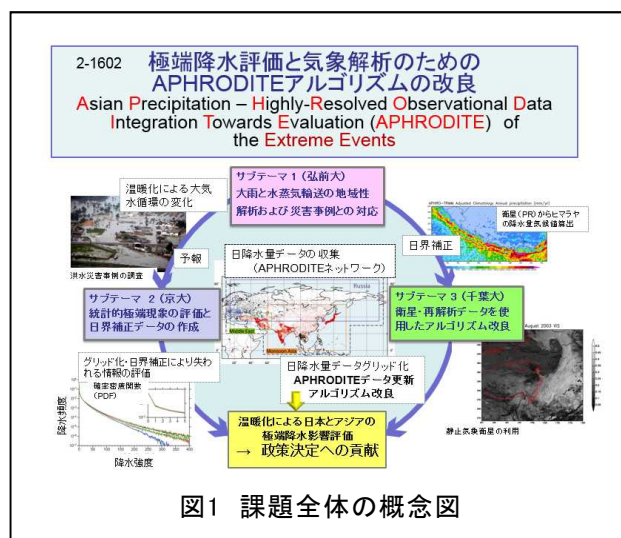


図1 課題全体の概念図

3. 研究開発の方法

(1)大雨と水蒸気輸送の地域性解析および災害事例との対応

1)APHRODITE-1で作成した降水グリッドデータ作成プログラムの改良

APHRODITE-1で開発した流れは、

Task1:データ変換

Task2:データ品質管理(QC)

Task3:日降水グリッド気候値の作成

Task4:日降水量グリッドデータ作成

である。図2は、このデータ作成公開の流れに、新規に追加、改良したプロセスを、ピンク色で明示した。

APHRODITE-1は「水資源」への温暖化影響評価を行うためのアルゴリズムを構築し、できるだけ多くの雨量計データを入力データとして利用した。

本課題(APHRODITE-2)は、極端降水現象の評価や、豪雨の数値予報の改善につながる気象解析を行うために、大きく次の3点の開発を行った。

①地点保存 (Station Value Conservation, SVC)

②日界(End of the Day (EOD))の調査、混在回避、日界補正プロダクト作成

③QCの改良(大雨と異常値の識別)

これに加えて、日本の降雪量の定量評価のための捕捉率補正(Wind correction)、山岳降水(降雪)の内挿誤差(観測が疎である影響を含む)の補正の検討を行った。また、Task6としてユーザー利用状況を評価できる公開サーバーも構築した。

①について説明する。Task 4の解析(グリッド化)は0.05度(約5km)格子で行うが、V1101では例えば解析グリッド内(5km×5kmの範囲)に観測値があったとしても、その値はグリッド値と等しくはならなかった。このため、非常

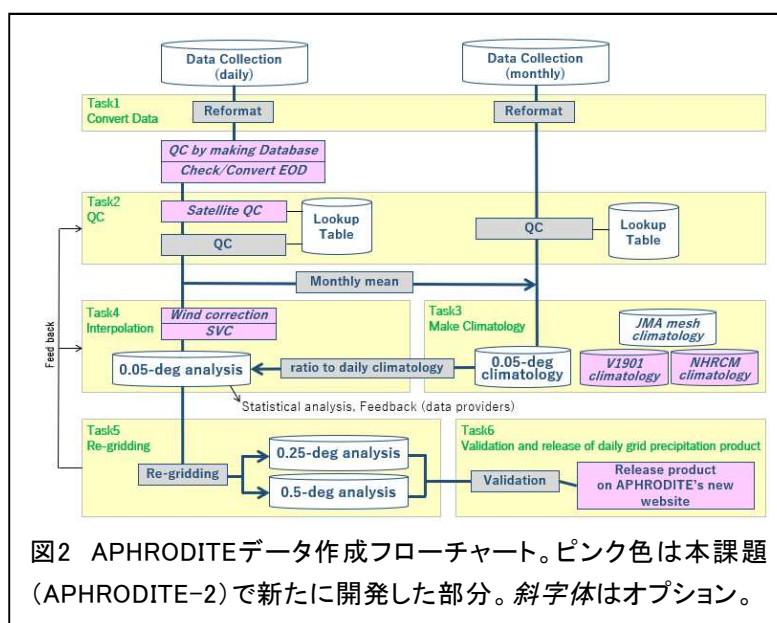


図2 APHRODITEデータ作成フローチャート。ピンク色は本課題(APHRODITE-2)で新たに開発した部分。斜字体はオプション。

に局所的な極端降水があり、周囲は無降水の場合、極端な豪雨が内挿により薄められてしまう。この点を、解析グリッド内に観測値がある場合、その値がグリッド値となるように(複数の場合はそれらの平均)アルゴリズムを改良しSVCオプションとした。

②について説明する。米国海洋大気省(NOAA)気候予報センター(CPC)作成の特別0.25度グリッド降水データCMORPHを用い、1時間ずつ「日降水」積算時間をずらした72通りの降水量時系列を作成した。この年降水量時系列を、日界(EOD)が未知のデータと比較し、相関係数が高い(RMS誤差の小さい)時系列の日界をその地点のEOD候補とする。CMORPHは、マイクロ波による降水推定と静止気象衛星から求める風の情報を組み合わせて作成されるが、マイクロ波は地表面に積雪があるときの精度が低いため、冬季積雪を観測する地域では、年降水量ではなく、夏季モンスーン期(6-9月)の降水量時系列で同様に相関係数が最高値になる時刻を調査した。同一のデータセットあるいは日界が同じと考えられるグループで推定したEOD候補の頻度分布をとり、最頻値から日界を推定した。なお、個別に入手したもののほか、世界気象通信網(GTS)データをNOAA/NCEIが整備した日観測値(Global Summary of Day)を用いたが、こちらは速報値のため欠測も多く、個別入手データとは別の基準(最低観測日数、相関係数の閾値)を設けて推定した。

③は、サブ1では、100mm以上の降水があった事例を抽出し、TRMM3B42、CMORPHなど複数の衛星データと比較した。このように調査し、従来は使わないデータをblack listにリストしていたが、本当の豪雨(Extreme)であった場合には、極端降水として生かすためwhite listにリストした。

これら①～③は、APHRODITE-2最終プロダクト(V1901、2019年4月公開)に適用されている。いまだ適用されていない開発項目および、インハウスプロダクト(0.05度グリッド値は日本域以外未公開。データ提供者にはフィードバックする)による研究開発は、以下別アイテムで説明する。

2) 豪雨日、豪雪日の抽出と解析

サブ1は、大雨・大雪の地域性解析と、その背景の気象要因(特に水蒸気輸送)との関係を明らかにすることを研究目的としている。日界補正ルーチンの開発(サブ2、3再委託)が大幅に遅れたため、APHRODITEと再解析データによる循環場・水蒸気輸送計算値との時間差が問題にならない現象を対象とし、場合により2日連続降水を計算して災害事例と対応させた。Nepalのlandslideとの比較には、landslideデータが現地時間のため、landslideの24時間を挟むように2日間の0.05度APHRODITEグリッドデータを用いた(安藤, 2017)。

日本の豪雨の解析には、大気の河(Atmospheric River)に着目した(Yatagai et al., 2019)。災害級の豪雨を抽出は次のように行った。日本時の日界(EOD=15)のAPHRO_JP(ただし内挿にはSVCを適用)から、2日間降水量を計算した。この計算は豪雨が日中より夜間に起こりやすいことから、日付をまたぐ豪雨事例を確実に抽出するためである。次に、1年間で暖候期(4-10月)と寒候期(1、2、3、11、12月)に分けた。これは季節によって降水量やその分布に違いがあるためである。次に、各グリッドにおいて99パーセンタイル値を計算した。99パーセンタイル値と150mmの2つの閾値を用いて各グリッドにおける豪雨日を抽出した。豪雨日はすべてを解析に用いず、1日1地点のみを豪雨日の降水量、緯度経度情報として解析に使用することとした。日本全域で抽出した暖候期の豪雨日日数は35年間で2415日であった(末藤, 2019)。

3) 冬季日本の降雪の定量評価のための、捕捉率補正と、NHRCM降水データの利用

本研究(増田, 2017)では2009年から2014年の降水量、風速、気温、積雪深を使用し、先行研究により求められている捕捉率補正の式を使用した。気象庁アメダス観測網には、約1300地点の雨量計があるが、このうち約3/4の地点でしか風速を計測していないため、補正手法に複数の方法を検討した。その検証のため、サブ2と協力して、日本の山岳地域のダム集水域において水収支検証を行った。

APHRO_JPでは、Task3気候値に、JMAメッシュ気候値を用いている。捕捉率補正では補正しきれない山岳地域の降水量の過小評価の原因を調査するため、気象庁で開発された非静力学領域気候モデル(NHRCM)により、気象研究所の20km-AGCMを空間解像度2 kmにダウンスケーリングした現在気候20年間分(1980-1999年)の降水量を用いた。

4) 衛星降水極端現象の評価

Task4の出力結果(0.05度グリッド日降水量)により、Global Precipitation Measurement (GPM) 複合プロダクト Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM (IMERG)の検証を行った。2015年について、日本、ネパール、フィリピンの日降水量の特性を評価した。IMERGプロダクトのうち、Ver. 5finalプロダクトを用いた。雨量計の日界(EOD)は、日本が15UTC、ネパールが3UTC、フィリピンは24UTCであるGPM IMERGを、それぞれの地域で雨量計と同じEODによる24時間値に積算した日降水量の統計的性質を比較した。

5) スーパーアンサンブル予報

本研究における複数のモデルの合成には、Florida State Universityで開発されたmultimodel superensemble (MMSE)手法を使用した。日降水量の予報には、ふつうtraining期間として90日以上分(本研究では115日)の空間解像度を揃えた予報データと観測データを用意する。複数(本研究ではTIGGEから5つ)の予報モデルをモデル1~5としたとき、training期間の観測降水量平均を $\bar{O}$ 、予報日のモデル*i*の予報降水量を F_i 、training期間のモデル*i*の予報降水量平均を $\bar{F}_i$ 、モデル*i*の重みづけを a_i としたとき、スーパーアンサンブルによる予報降水量*S*は

$$S = \sum_{i=1}^N a_i (F_i - \bar{F}_i) + \bar{O}$$

として計算される。ここで、重みづけ a_i は、次のように計算される。

Trainingの日数を N_{train} 、*i*日目のスーパーアンサンブルによる降水量を S_i 、観測による降水量を O_i としたとき、各グリッドにおいて

$$G = \sum_{i=1}^{N_{train}} (S_i - O_i)^2$$

の値が最小となるような重みづけ a を各モデルについて求められる。この計算を全グリッド、全期間について行った。

また、日々の降水ではなく月降水量の予報をCMIPデータにより行うことも可能である。日々の降水量については、複数機関の予報パラメータと観測データを同地点・同時刻において合成することにより誤差を最少にするパラメータ決定は、上記のプロセスで可能である。ただし、CMIP、すなわち大気海洋結合モデルによる出力結果は、大気海洋相互作用の結果の気候場の統計的性質を表すものであり、日々の気象状態を表すものではない。ここで、CMIPタイプの気候データ出力値のスーパーアンサンブルには、Singular Value Decomposition (SVD) の手法を用いている。これは、各モデルと観測地の出力値(ここでは月降水量)に、それぞれ主成分分析(経験的直交関数、EOF)を適用し上位成分から合成する。このことにより、対象地域の経年変動に卓越する固有の空間パターン(主成分)ごとに、誤差を最少とする合成を行うことが可能である(Yun et al., 2005; Krishnamurti et al., 2006; Yatagai et al., 2018)。

CMIPタイプの合成にあたっては、1980年~1990年の11年間のうち、10年間のデータを用いて「訓練」を行い、使わなかった1年間について、スーパーアンサンブル合成「予報」を行った。この使わなかった1年間のAPHROデータと合成「予報」とを比較する。この操作を11回行った。すなわち、どの1年分のデータも、1度は使わないことになる。このようにしてスーパーアンサンブル合成を行った。

その上で、得られた合成パラメータを用いて、温暖化時の「予報」を行うが、この適用時には1980年~1990年の11年間のデータを用いて「訓練」を行い、その合成パラメータを用いて、RCP8.5シナリオによるCMIP予報データの合成「予報」を行った。

(2) 統計的極端現象の評価と日界補正データの作成

1) 日界補正手法の開発

日界補正の際は、日降水量から、時間雨量に時間的なダウンスケーリングを行う必要がある。ダウンスケーリ

ング手法の開発には、サブ3で作成された降水確率マップ(Precipitation Probability Map: PPM)(Hirose et al., 2016)を用い、ピクセル毎に各時刻のPPM値を1日の総和が1になるようにスケーリングして日雨量の分配比率を決定する(図(2)-1参照)。また、空間解像度の違いに関する極値再現性の検討として、0.05度のAPHRO_JPとRAPを0.25度、0.5度にアップスケーリングし、1時間から72時間までの様々な積算時間で、ダム集水域平均降水量の期間最大値を比較する。日界補正プロダクト(V1901, 2019年4月公開)の作成にあたっては、PPMでなく、CMORPHを用いることとなった(詳細はサブ1、3で記述)ため、上記の方法は用いていない。

2) 衛星データを使用した品質管理手法の開発

従来のQCを改良し、QCのプロセスで異常値判定されて除去されたデータについて、衛星データ等を用いた確認プロセスで異常値ではないと判定した場合に、その観測データをグリッド解析に戻すプログラムを作成した。この過程によって、QCで検出できなかった異常値を解析から除去すること、QCによって除去された極端現象を解析に戻すことの双方が可能になり、データの精度をより向上させることができた。

観測地点密度が高く、局所的な地形性降水が多い日本について、降水確率マップ(PPM)を使用してPPMの値と降水量の関係を解析し、極端降水イベントを局所性と持続性の両面から評価した。観測値はすべて真と仮定して、QC結果と比較した。(今後の利用のため開発を行ったがV1901には用いられていない。)

3) 日降水量気候平均グリッドデータセット作成

これまで用いていたAPHRO_MA_V1101気候値(各日の30年平均値を表す量)を用いて、1981年から2010年の日降水量を計算した。その際に、本課題で収集したデータを含め推定した日界情報に基づき、同じ国について同じ期間に複数の日界が混在しないように使用データを選んだ。1997年以前のデータは日界補正を行っていないので、すべての期間について日界補正はしていない。また地点保存(サブ1記述参考)も実施していない。30年の各暦日について平均を計算し(うるう年以外の2/29については、2/28と3/1の平均を与え、30年分を平均)さらに21日移動平均を施して細かい変動成分を除去した。

4) 日本の山岳域の降水量影響評価のためのグリッドデータ作成

水文・水質データベース(<http://www1.river.go.jp/>、MLIT)データから有効データが存在する地点を選別すると2683地点となった。MLITデータは山岳域と河川流域に多く分布している。公開プロダクトであるAPHRO_JP_V1207R1の気候値は気象庁メッシュ気候値を用いているが、日本域気候値も、新たにアメダスデータを用いて3)で示した手法を応用する(詳細はサブ2詳細報告に記載)。

5) 統計的極端現象の評価

APHRO_JP_V1207R1は、APHRODITE-1と2の活動によってすでに公開している日本域0.05度グリッドデータである。2015年以降も頻繁に各地で過去数十年で最大規模といわれる豪雨イベントが発生しており、中でも2018年の西日本豪雨は広範囲にわたり長時間激しい降水が続き、各地に大きな災害をもたらした。そこで、V1207R1を2018年7月までデータ期間を延長し、アメダスネットワークが構築された1977年以降の年最大日、2日、3日降水量を求め、その値の更新状況に着目して解析した。

6) 日平均気温グリッドデータおよび気候値の作成

アジアモンスーン域の日平均気温グリッドデータセットを1961年から2015年の期間について、0.25度と0.50度で作成しAphroTemp V1808プロダクトとして公開した。地上気象観測データを元にしており、APHRODITE-1で開発された品質管理と空間内挿法(Yasutomi et al., 2011)が適用されている。解析に用いられた地点数はGTSに比べて2倍以上で、旧バージョン(V1207R1)よりも、インド、パキスタン、タイなどで1000地点以上の新規データが追加された(詳細はサブ2報告)。

(3) 衛星・再解析データを使用したアルゴリズム改良

1) 衛星・検証データの整備

本課題（APHRODITE-2）では、サブ1（弘前大学）に設置されたサーバー2台を共通に使用している。このうち、約40TBの容量を持つデータアーカイブサーバに、APHRODITE-2で使用する衛星関連データの整備を行った。

一方、国土交通省（MLIT）河川局雨量データ「水文水質データベース（<http://www1.river.go.jp>）」公開データはwebで閲覧する形式で取得可能である。観測地点数は約2750におよび、年数は1930年代から現在まで存在するこれらのデータ取得を複数のスタッフで分担して行った。

2) 日界補正手法の開発

衛星降水観測データを用いてAPHRODITE地上観測点の日界を同定するために、3種の衛星全球降水観測データを用いてテストした。そのうちの1つが、本サブテーマで開発した静止気象衛星観測のみによる1時間毎に降雨確率を推定する降雨ポテンシャルマップである（図(3)-3; Hirose et al. 2016）。この手法は、複数の静止気象衛星と熱帯降雨観測衛星（TRMM）降雨レーダ（PR）の同時観測から、観測降雨確率を推定するルックアップテーブルによる。

衛星降水観測データは1時間毎の降水変動の情報を持つため、1時間ずつ平均区間をずらした日平均データを作成可能である。この平均区間の異なる多数の衛星降水観測データの1年間の時系列データと、APHRODITE日降水量時系列データとの相関を取ると、実際の日界（EOD）と同じ区間で作成したデータが最も相関が高くなるはずである。このようにして相関係数が最も高くなる時刻から日界の値を推定した（サブ1記載）。

サブ3では、この客観的推定値、メタデータを踏まえた上で、各観測点の日界を補正する手法の開発を行った。この手法では衛星降水観測データの持つ1時間毎の高時間分解能の降水時系列データを用いて、各観測点の日降水量を分配することで1時間毎の降水量時系列に変換する（図(3)-4）。このようにして得られた各観測点の1時間毎の降水量時系列データを、既知もしくはチームで推定した日界（EOD）を踏まえて、日界を同一の値に揃えるスキームを開発した。

4. 結果及び考察

○研究計画書に示したスケジュールと成果との関係について（当初の目標を達成したのか、課題が残されているのかを定量的に示す）

当初の目標を達成し、極端現象のうち特に豪雨を把握できるようアルゴリズムを開発した。雇用した研究員の着任遅れや個人の事情（結婚に伴う帰国、出産による休み）、代表者や分担者の教育義務など、予定通りにいかない面もあったが、次に記すようにサブテーマ間で協力あるいは代行し、学生アルバイトや業務の外注の助けも借りて、当初の目標をほぼ達成したと考える。「アジア全体やネパールのlandslideより、日本についてしっかりやってほしい」という、中間評価時のコメントを踏まえ、後半は日本について、豪雨の評価、豪雪の地域性解析、降雪量の定量評価の開発、MLITデータの追加解析に比重をおいたので、平成30年西日本豪雨時には、関連するプロダクト作成と解析をすぐ行うことができ、論文も投稿中である。この点は当初の目標を超える成果である。また、サブ2を中心に、当該課題の目標に掲げていなかった気温データの作成ができたことも目標を超えている。

○サブテーマ間の連携、成果の関係、全体の成果への貢献（明記のこと）

当初2. の具体的な研究課題（1）～（3）の担当サブ課題および課題全体の概念図に示したものを予定した。サブ3研究員着任遅れにより衛星を利用する開発は遅れたが、日界推定はサブ1研究員が代行して行い、衛星を利用するQCはサブ1、2とも行ったことで、2018年9月公開の日界混在させないプロダクト（サブ1、2による成果）が出来、それ以降は、サブ1、2、3とも協力し、日界補正プロダクトV1901を作成、公開できた。また、代表機関では、収集データをデータベース化し、公開サーバーの構築を行ったことで、データのQCを効率的に行い、公開後のユーザー把握、フィードバックを効果的に行えるようになった。これらも予定をはるかに超えることで、地味ながら堅固な土台を築くことにつながり全体の成果に欠かせない貢献となった。

以下、サブテーマごとに報告する。

(1)大雨と水蒸気輸送の地域性解析および災害事例との対応

1)APHRODITE-1で作成したグリッドデータ作成プログラムの改良

ここでは図2のフローに沿って成果概要を紹介する。

【データ収集】

4)に示すように、国際的枠組みを維持し新たにワークショップを開催したことで、多くの日降水量データを入手できた。図3に一覧を示す。APHRODITE-2では、衛星利用と開発時間の点から、対象地域をモンsoonアジア、プロダクト作成期間を1998-2015年に限ったが、長期データを手に入れた場合には行った。

【データ変換・品質管理】

データ変換、品質管理(従来の方法)は、長期間のデータが必要なため、入手したデータすべては、APHRODITE共通フォーマットに変換し、データベース化した品質管理も適用した。

データベース化することで、Task1で生成されるバイナリ形式のAPHRODITE共通フォーマットデータをweb上で参照できるようになり、これまで困難であった中間データへのアクセスが容易となった。また、目的のデータをSQLで簡単に検索することができるため、データチェック機能としての役割を持たせることができ、プロダクトの品質確保につなげることができた。

【衛星によるQC】

サブ1では1年目に衛星(TRMM, CMORPH)を用いたQCを行い、ホワイトリストを作成した。この手法について2年目(2017年9月)に千葉で開催したワークショップで参加者に説明したところ、災害記録なども参照し、本当の豪雨を見逃さないようにするのがよいというコメントがあり、その対応も行った。詳細な成果、インパクトは、サブ2、サブ3から報告する。

【日界チェック・推定】

図4に日界推定結果(地点ごと)を示す。GTSは00UTC-24UTC区切りとの情報もあったが正しくなく、多くが記録された日付よりも9~21時間前からの24時間積算であることがわかった。

APHRODITE_V1101までは、OfflineとGSODデータなどすべて入手したデータに記載された日付のまま変換(Task1)し、解析(Task4)している。

Offlineだけでも同一地域に異なる日界が混在する国(イラン、ネパール、バングラデシュ)もあり、Offlineと

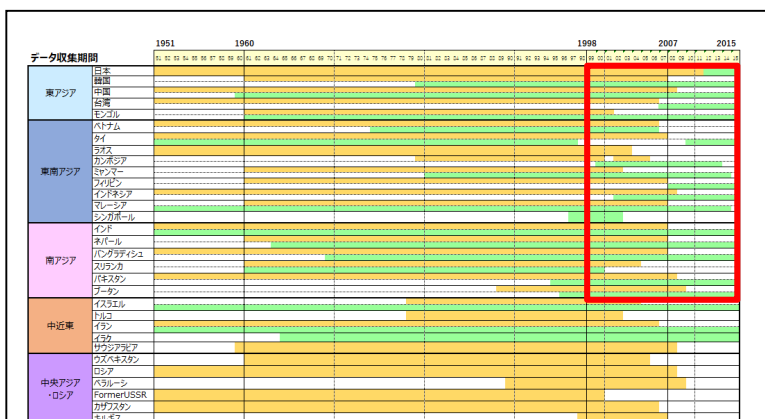


図3 日降水量データ収集の状況。1951年から2015年。黄色はAPHRODITE-1時代に収集。緑が本課題(APHRODITE-2)による収集。赤枠が、V1801R1、V1901プロダクト作成期間と範囲。

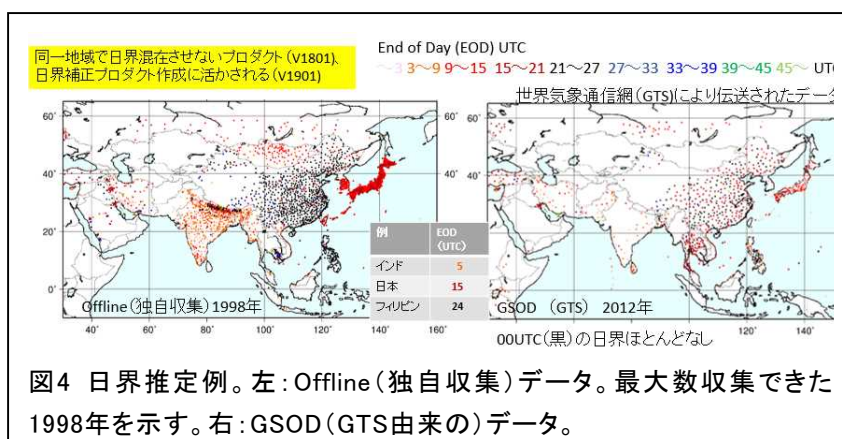


図4 日界推定例。左: Offline(独自収集)データ。最大数収集できた1998年を示す。右: GSOD(GTS由来の)データ。

GSODで12時間あるいは24時間ずれる地域もあった。GSODは一日1回の通報(24時間, WMOの規定により synoptic stationは世界時に前24時間降水を通報している)、1日2回の12時間値の積算、1日4回の6時間値の積算とフラグがデータとともに公開されているため、これらにわけて日界(EOD)を調査したところ、日本も含めGSODに複数のEODのものが含まれることもあった。

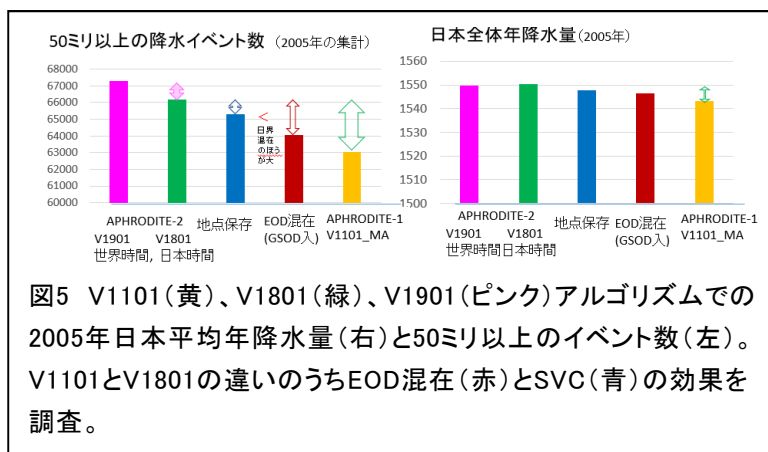
【気候値の改良(Task 3)、捕捉率補正】

サブ1では、日本について、気候値をJMAメッシュ気候値から、NHRCMに差し替える実験を行った。気候値改良の効果は、低地では捕捉率補正効果を上回り、高標高地域(～1000m)では、気候値の改善の効果が非常に大きいことがわかった。捕捉率補正、気候値改良、降水パターンによる補正を組み合わせると、東北日本海側の4つのダムの平均で、水収支誤差を1%以下に抑えることができた(増田 2019)

【日降水量内挿手法の改良(Task 4)】

地点保存(SVC)を適用したインパクトを調査した。日本の暖候期において、豪雨地点数は、北海道・東北・関東・日本海側・内陸部で増加、九州北部では減少した。広島豪雨(2014.8. 20)、礼文島豪雨(2014. 8.24)、奄美豪雨など、地点保存することで抽出できた。(図(1)-7)

ここで日本の降水量と極端降水(50ミリ以上の降水イベント数)に、開発項目である①SVCと②EODのどちらが寄与するかテストした一例を図5に示す。日本については、V1101_MAがそうであったように、アメダス地点に、GSODの日本域データもすべて混在させた。そして、混在させないプロダクト(V1801)との違いの①と②の影響の違いを調べたところ、日本平均、年降水量は、V1801アルゴリズムで6.9mm/year (0.4%)増加。日界の異なるものの混在の影響は3.9mm(0.3%)で、地点の値を保存させた影響は、2.8mm(0.2%)。これに対して、50ミリ以上のイベント数は、V1101からV1801への変化で4.9%増加。こちらへの日界の異なるものの混在の影響は3.5%で、地点の値を保存させた影響は1.3%であることがわかった(Yatagai et al., 2019)。極端降水への影響はこの条件ではEOD混在のほうが大きいことがわかった。また、V1801は日本時間(EOD=15)で、日界統一プロダクト(V1901)はアメダス時別値を世界時(EOD=24)に積算してから解析している。これについて同様に比較したところ、日本の24時区切りから15時区切りに変えることで、この極端降水は1.7増加した。



ことがわかった(Yatagai et al., 2019)。極端降水への影響はこの条件ではEOD混在のほうが大きいことがわかった。また、V1801は日本時間(EOD=15)で、日界統一プロダクト(V1901)はアメダス時別値を世界時(EOD=24)に積算してから解析している。これについて同様に比較したところ、日本の24時区切りから15時区切りに変えることで、この極端降水は1.7増加した。

同様の調査を中国について行ったところ、SVCの影響は極めて小さかった。サブ1～サブ3の協力でアジアモンスーン地域について同様の調査を行った結果は図(3)-16に示す。地域により、EODが24時間ずれていることもあり、そのような地域では未補正のほうが、50ミリ以上のイベント数という指標だと増えることもあった。これは極端降水を2回数えていた可能性もある。

【日界補正プロダクトの作成とweb上でのプロダクト公開】

APHRODITEプロダクトについてはこれまでもweb上で公開してきたが、今後データ量が増えていくこと、利用者の増加とともにユーザー管理が大変になっていくこと等が懸念されたため、これらの課題をクリアした新たな仕組みを構築し、V1801プロダクトの公開に合わせ、2018年9月27日にリリースした。

本システム上では、APHRODITE-2による公式プロダクトとして、①APHRO_JP更新版(日本時間、世界時間)、②V1801(1998-2015)、③V1101EX(2007-2015)、④V1808(気温データ)、⑤V1901(1998-2015)(日界統一(補正)プロダクト)および0.05グリッド日気候値を公開している。

システムリリースから約7ヶ月経過した2019年4月末現在、本システムへの登録ユーザー数(プロダクトをダウ

ンロードする際、ユーザー登録が必要)は約700名である。登録ユーザーの所属機関は、わかっているだけで、33カ国、162機関に及ぶ。これまでの最大アクセス数はV1801公開日(2018年9月27日)の504件であり、またV1901公開日(2019年4月19日)には420件のアクセスがあった。一日の平均アクセス数は約140件で推移しており、世界中の多くの方々にAPHRODITEプロダクトが認知され、活用いただいている。

2) 豪雨日、豪雪日、災害と関係する水蒸気輸送、および背景大気循環場の解析

ERA-interim再解析データを1980-2014年について用い、Yatagai et al. (2019)によるARの自動検出を適用した。偏西風の蛇行に伴い、Jet気流(トラフ)の前面で中高緯度に水蒸気が輸送されることが多く、日本付近のAR出現傾向には、蛇行するタイプのARに経年変動傾向が大きく、エルニーニョよりはラニーニャ時の出現が多かった。本研究によるAPHRO_JP(SVC)を用いて暖候期の豪雨日に対する豪雨領域周辺でのAR出現を調べたところ、豪雨日の33%~65%にARが上空または近傍に出現していた。この豪雨with AR日の割合が最大であった北部九州(65%)と、多降水地域で知られる四国・紀伊半島(44%)について、季節的な豪雨with AR日の出現特性を調べ、水蒸気輸送・収束場・大気循環場との対応を合成解析により3次元的に明らかにした(末藤2019)。この手法を応用し、西日本豪雨時には特別降水データを、アメダス+MLITによりRatio、SVCの内挿により作成し、ARの位置と比較した。また気象庁メソモデル出力値による水蒸気Flux3次元分布を作成し、山岳や四国西の豊後水道の地形的影響が共通するので、広島豪雨(2014年)と西日本豪雨(2018年)の降水、水蒸気分布について比較することで本データの有効性を示した(Yatagai et al., 2019)。

1年目から行っていた、2日連続降水とNepal Landslideとの対応(安藤 2017)、5日降水場と水蒸気輸送場の主成分分析による解析(鈴木2017)は、共同研究先である、英国シェフィールド大学David Petley教授、Melanie Froude研究員と、ひきつづきSkypeで意見交換しながら、複数の論文発表のため準備中である(一つは谷田貝ほか2018に掲載済み)。

APHRODITEデータがあることで、豪雨、多雪をもたらす循環場、水蒸気輸送を比較する研究が弘前大学では進展している。(卒業論文でも国際学会に発表できる内容になる)。津軽平野に侵入する雪雲への岩木山の影響(小泉2018)、札幌(木下2017)や新潟県(古田2019)における降雪の地域性と循環場の解析など、複数の成果を予定以上に出すことができた。

3) スーパーアンサンブル(MMSE)予報

Krishnamurti et al. (2009)では、インドの降水データを日界補正してMMSEを適用したが、日界補正ルーチン、プロダクトの作成が遅れたため、3年目サブ1では、dailyスーパーアンサンブルは、2018年西日本豪雨イベントに、CMIP5月降水量によるMMSEを、中央アジアと、東南アジアに適用した。東南アジアでは、農業への影響も評価したく、本研究の成果であるAPHRO_temp V1808を用いて気温についてもスーパーアンサンブルを適用し、ケップンの気候区分における変化を考察した。

中央アジアは、水資源の枯渇が懸念される地域で、チベット高原西部(インド・パキスタン北部)の降水量の評価が必要である。APHRODITE-2では中央アジアの入力データは増えなかったが、CMIPタイプのモデル合成であれば、データの多い1980年代のデータを中心にteacherデータとして使用(training phaseでパラメータ決定に利用)できる。Historical実験結果によりtrainingして得たパラメータを、RCP8.5シナリオに適用することを試みた。20以上あるモデルの中で、APHRODITEを基準に、空間相関のよいモデル6つを合成した場合と、時間相関のよいモデル6つを合成した場合で、温暖化時の降水の増加・減少シグナルが異なるなど、興味深い結果が得られた。

4) 国際的な枠組みとの関係強化、新たな分野との協力

- ・WCRPのExtreme評価の専門家であるXuebin Zhang氏(カナダ)を訪問し、APHRODITE-2の主旨を伝え、今後の協力について打合せた。
- ・2016年9月、上記landslideのデータベース作成者Petley氏、イギリス気象庁(UKMO)を訪問し、APHRODITE-2の目的と進捗を報告し、イギリスやヨーロッパを中心とする同様の活動について情報入手した。また、続いてオランダ気象庁(KNMI)を訪問し、セミナーを行ったほか、彼らが入手している降水量データや作成している降水グリッドデータ、品質管理手法について意見交換した。可能な限り、お互いの活動にデータを使えるようにしよう

と話し合った。

- ・2016年8月、米国海洋大気省（NOAA）の国立環境情報センター（National Center for Environmental Information, NCEI）および気候予測センター（Climate Prediction Center, CPC）を訪問し、日界や品質管理、アルゴリズム開発について意見交換した。
- ・2016年11月、ネパール水文気象局（DHM）を訪問し、APHRODITEグリッドデータ作成手法（Task1、4）を説明し、実習（workshop）を行った。地点情報の不明な点について情報を得、2015年の降水量データも入手できた。
- ・気候モデルのダウンスケーリングを行っているグループ（CORDEX）の東南アジア会合に参加し、APHRODITE-2について説明した。皆、APHRODITEデータのユーザーであり、sub-daily（1日未満の時間スケール）のデータ作成に期待が寄せられた。データ入手の協力を呼びかけた。
- ・2017年3月7-8日、京都で国際ワークショップを開催し、APHRODITE-1にてポスドクなどで協力いただいた研究者、現在の協力機関（テルアビブ大学、フロリダ州立大学）の研究者も招聘した。気象庁、気象研究所からも参加者があった。イランの降水データを入手できた。
- ・2017年3月21日、インドのIIT Roorkeeを訪問し、セミナーを行った。インド北部の降水データを入手できた。
- ・2017年9月11-14日、千葉大学でワークショップを開催し、APHRODITEグリッドデータ作成手法（Task1、2、4）を説明し、実習（workshop）を行った。マレーシア、ベトナム、スリランカなど、18カ国の降水データを入手できた（サブ1～3協力）。
- ・2017年11月27-28日、ネパール水文気象局（DHM）を訪問し、APHRODITEグリッドデータ作成手法（Task1、2、4）を説明し、実習（workshop）を行った。ネパールの降水データを入手できた（サブ1～2協力）。
- ・2018年5月16-22日、弘前大学でワークショップを開催し、APHRODITEグリッドデータ作成手法（Task1、2、4）を説明し、実習（workshop）を行った。イラン、バングラデシュ、パキスタンの降水データを入手できた。
- ・2018年8月22-29日、弘前大学でワークショップを開催し、APHRODITEグリッドデータ作成手法（Task1、2、4）を説明し、実習（workshop）を行った。パキスタンの降水データを入手できた（サブ1～2協力）。

（2）統計的極端現象の評価と日界補正データの作成

1) 統計的極端降水現象の評価、regrid（再グリッド化の影響調査）

日本域で0.05度、0.25度、0.5度の3つの空間解像度について、1時間から72時間までの様々な積算時間で、ダム集水域平均降水量の期間最大値を比較した。元データの解像度が1kmのレーダーアメダス解析雨量（RAP）は空間構造を良く捉えていることが期待できる。このため、解像度を0.05度から0.5度まで落とした場合に、ダム集水域スケール降水量の極値が減少し、スケール依存性が明確である。一方APHRO_JPでは、空間解像度を落とした際のスケール依存性が明確ではなく、元の0.05度解像度において、その解像度に見合う空間構造を十分に表現しきれていない可能性が示唆された（図(2)-7、8）。

図5は紀伊半島にある、アメダス2地点、MLIT1地点が含まれるグリッドについて、各時系列（黒）アメダスのみを用いたプロダクトV1207AJ（赤）、アメダス+MLITを用いたV1207HT（青）の年最大降水量の時系列を示したものである（詳細は図(2)-19）。200mm/日をほぼ境にして0.25度グリッドにした時の値の極端減少幅が大きくなることがわかる。同様の解析を、関東平野でも行ったところ、年最大日降水量が200mm/日を超す年は少なく、大きく外れる極値がなく、観測値・グリッド値ともグンベル分布が良好にあてはめられた。

中国において日界補正を実施した雨量計データから作成したグリッドプロダクトV1901と、衛星に基づく降水確率を示したPPM、EOD=24UTCに、異なるEODデータ（中国は12UTC、日本は15UTC）を混在させたところ、V1901の降水パターン

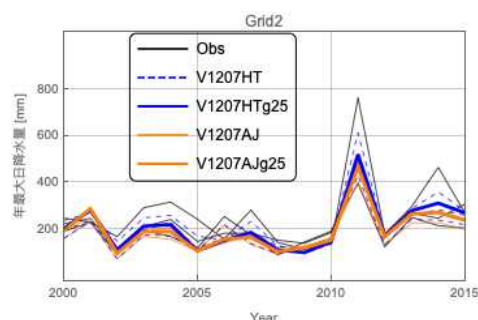


図5 紀伊半島南部の年最大日降水量の時間変化例。グリッド内の雨量計観測値（3地点）を黒線、観測地点を含む0.05度グリッド値（V1207HT：青破線、V1207AJ：オレンジ細線）、0.25度グリッド値（V1207HT：青太線、V1207AJ：オレンジ太線）。

は、同じ積算時刻のPPMの降水分布と日本から中国にかけての梅雨前線の形状、ミャンマー・インドの降水ピークもよく表現した。日界補正をすることで、同時刻の降水を精度よく可視化した(図(2)-9)。この中国と日本についての統計結果はサブ1詳細報告(II-1)に記載。

2) 衛星を用いた品質管理手法の開発

サブ2では、日本について、アメダスとMLITデータで100mm/日以上 of 降水イベントとPPMとの比較、QCで孤立降水と判定された記録のPPMとの比較を行った。孤立降水と判定されこれまでは解析から除去されていた極端降水イベントを、新QCプロセスによって解析に戻すことができた。また、広域でPPMを描画して降水の有無を確認したところ、誤記録(エラー)の検出ができた(図(2)-10)。その分布特性(図(2)-11、12)から、衛星観測も地形により狭領域に集中する極端降水の検出が難しいことがわかった。

3) グリッド日降水量気候平均データセット作成

APHRODITE-1気候値(V1101)は、観測の少ない地域で局所的に大きな雨量が内挿される計算誤差があった。新気候値(V1901気候値、図2のTask3のオプションの1つ)を用いることで、V1101気候値は少雨期に過大傾向にあった地域で、気候値と観測値の比を内挿する計算手法の効果によって観測値のない場所での降水量が過大になる場合があることがわかった。内挿計算の基礎となる気候値が変わったことでインド北部、ネパール、インドネシア等モンスーンによる降水表現が改善された(図(2)13-15)。

4) 日本の山岳域の降水量影響評価のためのグリッドデータ作成

アメダスにMLITデータが増えたことで、流域降水量が増加した。特に降水量が多いときに増加幅が大きくなっており、山地や上流域で多くの雨を観測したMLITデータの入力とで、極端現象の再現性が向上した。例として鬼怒川上流域で水収支評価を行ったところ、関東・東北豪雨の直接的な影響を受ける2015年9月6日から15日に期間を限るといずれの降水量も過大、2015年1月から11月の年間(12月は欠測)を通して比較するといずれの降水量も過少であるが、関東・東北豪雨を含む9月、あるいは雨期である7月から10月に期間を限るとMLITデータを入力し、気候値にも反映させたプロダクトの精度が非常に良いことがわかった(図(2)16-17、表(2)-2)。

5) APHRO_JPを用いた極端現象発生領域の予測

近年による大雨による土砂災害時に「これまでに経験のない豪雨」と表現されることが多い。1977年からのAPHRO_JP_V1207を用いると、2018年に最大2日降水量を大幅に更新した地域は、西日本豪雨で大きな被害が出た九州北部、愛媛・広島・岡山、京都、岐阜と一致していた。最大2日・3日降水量更新幅はそれらの絶対値や最大日降水量の更新幅と比較して、土砂災害・洪水等の被害分布とよく一致していた。2015年について描画すると、関東・東北豪雨の被災地で更新幅が大きくなっており、「これまでに経験のない豪雨」という表現を可視化する新たな手段として有効であることがわかった。そこで、図6に最大2日降水量の発生時期を示した。北海道・東北など青系の色が目立つ領域では古い記録が更新されていない。このような地域で記録を更新するような極端降水が起きる場合には、行政の防災対策および市民への注意喚起が十分でない可能性が高く、今後の大きな被害の発生を警戒する必要がある。

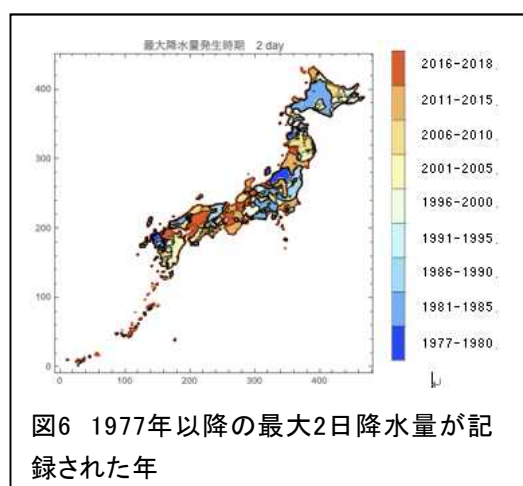


図6 1977年以降の最大2日降水量が記録された年

6) 日平均気温グリッドデータセットAphroTempの作成

当課題で陽に予定していなかったが、APHRODITE-1で作成した日平均気温プロダクトAphroTemp V1207R1 (Yasutomi et al. 2011)を、APHRODITE-2を通じて気温データの入手もすすんだため、新プロダクトAphroTemp

V1808を作成し、2018年9月に公開した。地上観測点密度の増加の効果を確認したところ(図(2)-23)、沿岸部や平野部においては明確な違いは見られないが、チベット高原や中央アジアにおいては2～5度の差が見られた。入力データ増のインパクトは、インド北部～パキスタンの高標高域で大きく、差は夏季よりも冬季により顕著になる。いずれのデータについても、10年間で約0.2度の上昇していることがわかった。V1207R1ではデータが少ない時期があり、その期間には大きなギャップがある。AphroTemp_V1808は他機関によるプロダクト(CRU_TS, UDel)と比較すると、変動と上昇率はほぼ一致しているが、高標高域で地点増加により、既存のデータよりも上昇することがわかった。

(3) 衛星・再解析データを使用したアルゴリズム改良

1) 国土交通省河川局雨量データの取得・整備

AphroJPの観測点密度を補うための、国交省河川局雨量計データ取得した(観測地点分布、標高分布は図(3)-7)。赤色は気象庁AMeDASを示し、青色がMLIT雨量計を示しており、後者は主に山岳域に密に分布している。観測地点数は、1936年から2000年に至るまで純増を続け、2001年を境におよそ1500から2500地点に達し、地点数はAMeDAS(約1300地点)より多い。グリッド化プロダクト作成に十分なサンプル数を維持(図(3)-8)している。

図7はMLIT雨量計のみを用いたグリッド化プロダクトと、アメダスデータのみで作成されたグリッド化プロダクトの2010年積算雨量の差を示している(ただし両者とも解析手法は気候値を使わないShepard (1968)の内挿)。とりわけ中部地方山岳域で青色となっている地域はMLIT雨量計データがより多くの降雨を捉えていることが分かる。

極端降雨の解析事例として、本サブテーマでも西日本豪雨(平成30年7月豪雨)の降水分布比較を行った(図(3)-10)。内挿方法は異なるが、積算降水量の高い中部地方・四国・九州北部の山岳域ではMLIT雨量計のみによる単純内挿プロダクトの定性的な分布は気象庁資料と非常によく似ている。そのなかでも記録的な降水量を観測した地点に着目すると、西日本豪雨期間(2018年6月28日～7月11日)に岐阜県郡上市では気象庁の1214.5mmに対してMLIT雨量計では2倍近い降水量である2185mmを観測しており、山岳域においてAMeDASでは捉えきれない降水を密な観測で捉えていることがわかった。

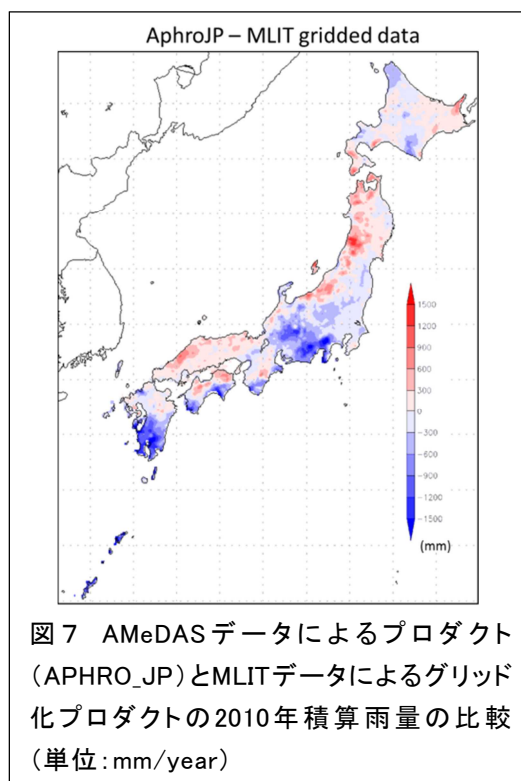


図7 AMeDASデータによるプロダクト(APHRO_JP)とMLITデータによるグリッド化プロダクトの2010年積算雨量の比較(単位:mm/year)

2) 衛星による高時間分解能降水観測データを用いた日界補正アルゴリズムの開発

衛星による高時間分解能降水観測データを用いた日界(EOD)判定は、サブ3の遅れをカバーするため、サブ1が米国海洋大気省によるCMORPHプロダクトを用いて解析を行った(4(1)1-3)。サブ3は、PPM、GSMaPにて同様の解析を実施したところ、EODはおおむね一致した。EOD既知の日本などで相関係数など統計的な精度比較では、PPMの誤差が大きかった。一方、東北日本海側ではPPMによる推定精度がCMORPHやGSMaPを上回った。これはマイクロ波による降雨推定アルゴリズムでは原理的に、地表面が低温時、特に積雪被覆時の降水推定が困難であることに起因すると考えられる。

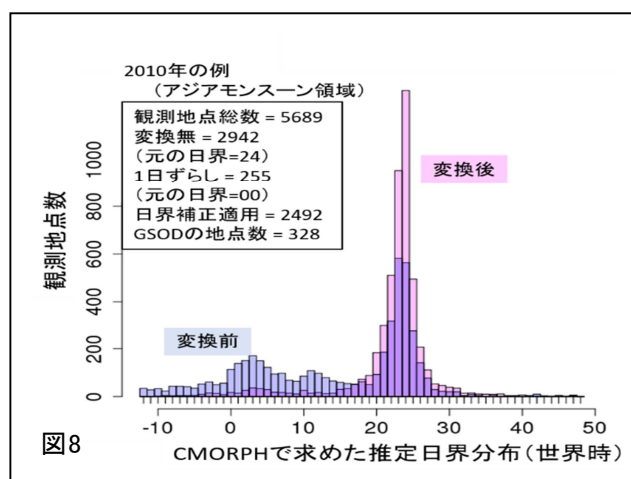


図8

これらの検討の結果、EOD不明の日降水量データを時別値に分割しEOD補正する基準衛星プロダクトとして、今回(V1901)は、モンスーンアジアが対象であり、日界が不明なデータは東南アジアに多いことから、日界が不明なデータセットについてはCMORPHによる推定値を基準とすることにした(4(1)1-3)。またAPHRODITE各観測点の日界の最終的な推定値は各衛星データで推定した日界分布図の結果と、各国の地上観測データ提供者から与えられた日界情報を考慮して総合的に決定した。

変換不要のEOD=24であったもの、EOD=0のため1日ずらすだけのものを除き、アジアモンスーン域全体の地点データにCMORPHによる日界補正を適用し、全ての観測点で日界=+24とした。補正前後の補正後のデータをEOD推定ルーチンにかけた結果を図8に示す。日界補正適用前の地点データの推定日界分布は-12~36の範囲で大きくばらついていましたが、補正適用後の結果ではEOD=+24付近にピークを持った。

5. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

- ・日本域、アジアモンスーン地域について、APHRODITE日降水量、日平均気温データを作成、2015年まで更新した。2018年9月のV1801(日界混在させない版)およびV1101EX(従来通りの手法)、V1808(気温)、2019年4月のV1901(日界を世界時24UTC区切りに統一)プロダクト利用登録者は、約700名、アクセス数は約30,000回(1日平均約140回)で、欧米を含む世界的に利用されている。
- ・日界補正適用、衛星による品質管理手法、内挿方法改良(地点値保存)、日平均気候値の改良によって極端降水の再現性が大幅に向上した。
- ・旧プロダクト(V1101)では異なる日界の観測データが混在していたため、モデルや衛星推定降水の検証や日単位の補正には不向きだったが、日界補正によりデータ精度と利便性が大幅に向上した。
- ・衛星データを用いて品質管理手法の改良を行った。真の豪雨と異常値との判別により、極端降水をより表現できるものになった。
- ・日本域で、気象庁アメダスに加えてMLITデータを用いたデータを作成した。MLITデータを入手して多くの山岳域と河川流域の観測値が増加したことで、日本域の山地の日降水量気候値が改善した。それを用いて作成したプロダクトも、流域降水量の精度が向上し、水収支が改善した。

雨量計観測値が、0.05度グリッド値、0.25度グリッド値と解像度を変更することでどのくらい極値が小さくなるかを検証した。雨量計観測値がおおよそ200mm/日を超えると、観測値に比べてグリッド値が大きく減少することがわかった。一方で、それよりも小さな値では、0.05度グリッドが5km四方の領域降水量を示すことを考慮すれば、大きく減少することなく十分な精度を保っているといえる。

(2) 環境政策への貢献

環境省地球環境局総務課研究調査室のご担当者と、報告会前に相談し、当該課題(H28年度新規課題)採択時の行政ニーズ重点課題について確認し、下記の重点課題(2-⑦、2-⑧)の多くの研究開発例に該当し、環境政策への貢献が疑いえないものであることを確認した。

2-⑦ 気候変動への適応策に係る研究・技術開発

- 不確実性を考慮した影響の定量的な評価に関する研究
 - 冬季降水(降雪)の不確実性、定量評価に基づき温暖化影響評価を行った。
- 適応策の検討に資する気候予測とそのダウンスケーリング手法の開発
 - 複数の気候モデル結果をAPHRODITEを基準にダウンスケーリングし誤差を最小に合成した。
- 気候変動による自然災害の影響評価に関する研究
 - ネパールのlandslide災害と降水・水蒸気輸送との関係を明らかにした。
 - 日本の豪雨災害の影響評価に資する大気の河(AR)の解析を行った。
 - H30年7月豪雨時の特別APHRODITEデータを整備すると共に豪雨災害予測を行った。

2-⑧ 地球温暖化現象の解明・予測・対策評価

○地球温暖化対策の評価に向けた地球規模及びアジア太平洋地域における観測・モデル等を活用した研究

→ 整備したAPHRODITE観測データと気候モデル(CMIP)・予報モデル(TIGGE)を誤差を最小になるよう合成(スーパーアンサンブル)する手法を開発し、中央アジアなどで定量予測を行った。

○地球温暖化現象の解明、統合的な予測、対策評価を通じたIPCCなどの国際枠組みへの貢献

→ APHRODITEデータの更新・公開は、IPCCにも伝えられた。第6次報告書“Linking global to regional climate change”の執筆者の依頼により当該課題の成果インプットを行った。

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

○冬季降雪の定量評価、山岳域の内挿手法の改良を行った。温暖化影響評価、適応策策定に活用可能である。

○複数の気候モデル・日降水予報データを、当該課題成果(日界補正APHRODITE)を基準にダウンスケーリングし気候モデル(CMIP)や予報(TIGGE)と組み合わせSuper Ensemble手法により誤差を最小に合成した。

○APHRODITEデータは気候変動による自然災害の影響評価に必須である。ネパールなど急斜面の豪雨/landslideの評価、日本の豪雨/landslide災害に影響するARの解析、2018年西日本豪雨時の特別グリッドデータを作成し解析を行った。

○APHRODITEデータの更新・公開は、IPCCにも伝えられた。

○国連事務総長と世界銀行総裁が世界10カ国の大統領および首相と協力して、2016年4月に設立した「水に関するハイレベルパネル(HLPW)」は、同年9月にレジリエントな経済と社会構築に水災害軽減が必要であるとすると活動計画を採択した。また、同年12月の国連総会で「国連水と持続可能な10年」が2018年3月から開始されることが決議された。現在それを受けて、アジア各国において、その実施項目が検討されており、その第一の取り組みとして、国内行政機関と学術機関が協力して水災害軽減に取り組むため、すでにスリランカ、フィリピン、パキスタンでプラットフォーム設置が認められ、ミャンマー、インドネシア、ベトナムで設置準備が進んでいる。この各国の水政策支援にAPHRODITE-2の貢献が強く期待されており、本事業の事務局を担っている水災害・リスクマネジメント国際センター(ICARM)からAPHRODITEは協力要請をうけている。

○2016年度から実施している文部科学省による統合的気候モデル高度化研究プログラムでは、気候モデルによる気候変動の理解、将来予測、研究成果の社会実装を目的とした、高度化させた気候変動予測データセットの整備に取り組んでいる。日界補正を施したAPHRODITEプロダクトをGCMのバイアス補正に使用したり、豪雨危険性評価に活用することが見込まれている。

○過去データの行政への応用可能性については「生物多様性」や「環境モニタリング」の一環として、今回の気象庁アメダス雨量計+MILT河川局のgridded 化をはじめ各種レーダーや衛星情報を複合的に用いることが、国土基礎情報としてきわめて重要であり、当該課題は大きく貢献する。

○災害対策分野における日本の技術水準は世界有数である。本課題は、途上国の若手研究者とも交流、キャンパシービルディングを行い、成果を発信することで、環境省のA-Plat, AP-Platに貢献する。

6. 研究成果の主な発表状況

(1) 主な誌上発表

<査読付き論文>

1) Yatagai, A. and S. Oyama: J. Meteor. Soc. Japan, 94, doi:10.2151/jmsj. 2016-026, 2016.

Thermospheric nocturnal wind climatology observed by Fabry-Perot Interferometers over the

Asia-Oceania Region

- 2) Hirose, H., M.K. Yamamoto, S. Shige, A. Higuchi, T. Mega, T. Ushio, A. Hamada: Online Letters on the Atmosphere (SOLA), 12,297–301, doi:10.2151/sola.2016-058 (2016), (2016年11月14日).
A rain potential map with high temporal and spatial resolutions retrieved from five geostationary meteorological satellites
- 3) Tsou C.-Y., M. Chigira, D. Higaki, G. Sato, H. Yagi, H. P. Sato, A. Wakai, V. Dangol, S. C. Amatya, A. Yatagai: doi.org/10.1007/s10346-017-0913-9(2017).
Topographic and geologic controls on landslides induced by the 2015 Gorkha earthquake and its aftershocks: an example from the Trishuli Valley, central Nepal, landslides
- 4) Yatagai, A., V. Kumar and T.N. Krishnamurti: (2019)
“Development of Precise Precipitation Data for Assessing the Potential Impacts of Climate Change” in T. Watanabe and M. Aydin “Climate Change Impacts on Basin Agro-ecosystem” Springer Hexagon Series, 33–47.

(2) 主な口頭発表(学会等)

- 1) Natsuko YASUTOMI: National Center for Environmental Information. Ashville, USA, August 2–5, 2016.
“Introduction of APHRODITE (2006–2010) and APHRODITE-2 (2016–2018)”
- 2) Shigenobu TANAKA: Proc. of IAHR-APD2016, 2d–4, Colombo, Sri Lanka, August 29–31, 2016.
“POT analysis of precipitation over Japan”
- 3) Akiyo Yatagai: KNMI(オランダ気象庁), September 5, 2016.
“Experience of APHRODITE daily gridded precipitation analyses & APHRODITE-2 project”
- 4) 樋口篤志、広瀬民志、豊嶋紘一、牛尾知雄、妻鹿友昭、重尚一、山本宗尚、谷田貝亜紀代: 2016年度水文・水資源学会研究発表会、コラッセふくしま、2016年9月15～17日
「静止気象衛星群を活用した降水関連情報の抽出、およびその利用」
- 5) 谷田貝亜紀代、David Petley、Melanie Froude、千木良雅弘、檜垣大介、鄒 青穎、安藤千晶: 日本気象学会2016年度秋季大会、名古屋大学、2016年10月26～28日
「ヒマラヤ山岳域のLandslide災害への局地的降水影響の評価(序報)」
- 6) 勝部豪、樋口篤志、豊嶋紘一: 日本気象学会2016年度秋季大会、名古屋大学、2016年10月26～28日
「APHRO JP に見られた沖縄梅雨の数十年規模変動」
- 7) 豊嶋紘一、樋口篤志、竹中栄晶、坂下太陽: 日本気象学会2016年度秋季大会、名古屋大学、2016年10月26～28日
「ひまわり8号 Griddedプロダクトの公開と精密幾何補正前後の位置補正比較」
- 8) Yatagai, A.: Seminar on APHRODITE daily gridded precipitation analyses, Department of Hydrology and Meteorology (DHM; ネパール水文気象局), Kathmandu, Nepal, November 8–9, 2016.
- 9) Yatagai, A.: CORDEX Southeast Asia workshop, Hanoi Vietnam, November 23, 2016.
“APHRODITE-2: Status and call for cooperation”
- 10) Yatagai, A., Y. Takayabu and N. Sueto: AGU 2016 Fall meeting, December 12–16, 2016.
“On the relationship between atmospheric river (AR) and heavy precipitation over Japan”
- 11) Sato, H., K. Kamiguchi, Y. Mochizuki and A. Yatagai: American Meteorological Society Annual meeting, Seattle, USA, January 23–27, 2017.
“Using APHRODITE for improving operational extreme precipitation monitoring around the world”
- 12) Yatagai, A., M. Masuda, M. Chigira, D. N. Petley, M. Froude, C. Ando and R. Suzuki: DPRI Annual meeting(京都大学防災研究所研究発表講演会), Kyoto University, February 21–22, 2017.
“On the relationship between the spatial distribution of landslides in Nepal and APHRODITE’s orographic precipitation pattern”
- 13) Akiyo YATAGAI: International workshop on evaluating precipitation extremes and their relation to disasters,

Kyoto, March 7–8, 2017.

“Legacy of APHRODITE-1” & “What we are going to do in APHRODITE-2”

- 14) Sohaila JAVANMARD: International workshop on evaluating precipitation extremes and their relation to disasters, Kyoto, March 7–8, 2017.

“Validating satellite estimate rainfall over Iran”

- 15) Tianbao ZHAO: International workshop on evaluating precipitation extremes and their relation to disasters, Kyoto, March 7–8, 2017.

“Changes of atmospheric precipitable water in observations and reanalysis over China”

- 16) Pinhas ALPERT: International workshop on evaluating precipitation extremes and their relation to disasters, Kyoto, March 7–8, 2017.

“Challenges in rainfall observations & predictions over the Mid-East”

- 17) Sunil KUMAR: International workshop on evaluating precipitation extremes and their relation to disasters, Kyoto, March 7–8, 2017.

“Review of various statistical merging approaches for high-resolution satellite and gauge precipitation data sets”

- 18) Toshichika IIZUMI: International workshop on evaluating precipitation extremes and their relation to disasters, Kyoto, March 7–8, 2017.

“Contributions of different bias-correction methods and reference meteorological forcing data sets to the uncertainty in the projected temperature and precipitation extremes”

- 19) Akio KITOH: International workshop on evaluating precipitation extremes and their relation to disasters, Kyoto, March 7–8, 2017.

“Rainfall extremes associated with tropical cyclones”

- 20) Toshiyuki NAKAEGAWA: International workshop on evaluating precipitation extremes and their relation to disasters, Kyoto, March 7–8, 2017.

“Sector-specific climate indices bridge a gap between potential users and climate information providers”

- 21) Indira KADEL: International workshop on evaluating precipitation extremes and their relation to disasters, Kyoto, March 7–8, 2017.

“Evaluation of APHRODITE’s precipitation over the central Himalaya, Nepal”

- 22) Yoshimitsu MASAKI: International workshop on evaluating precipitation extremes and their relation to disasters, Kyoto, March 7–8, 2017.

“Summary of presentation and user requirements”

- 23) Vinay KUMAR: International workshop on evaluating precipitation extremes and their relation to disasters, Kyoto, March 7–8, 2017.

“APHRODITE rainfall: A benchmark dataset for multimodel seasonal forecasts”

- 24) Hirotaka SATO: International workshop on evaluating precipitation extremes and their relation to disasters, Kyoto, March 7–8, 2017.

“Using APHRODITE for improving operational extreme precipitation monitoring around the world”

- 25) K. Tanaka, H. Hirose, S. Tanaka, A. Yatagai, M. Masuda, and A. Higuchi: International workshop on evaluating precipitation extremes and their relation to disasters, Kyoto, March 7–8, 2017.

“Comparison of new APHRO-JP products with radar analysis precipitation (RAP)”

- 26) Natsuko YASUTOMI: International workshop on evaluating precipitation extremes and their relation to disasters, Kyoto, March 7–8, 2017.

“APHRODITE temperature products and its climatology”

- 27) Hirose, H., A. Higuchi, K. Toyoshima, and K. Tanaka: International Workshop on Evaluating Precipitation Extremes and Their Relation to Disasters, Kyoto, March 7–8, 2017.

“Global estimation of the diurnal cycle of precipitation with geostationary meteorological satellites”

- 28) Higuchi, A., K. Toyoshima, H. Hirose, K. Tanaka, and A. Yatagai: International Workshop on Evaluating Precipitation Extremes and Their Relation to Disasters, Kyoto, March 7-8, 2017.
 “Utilize geostationary meteorological satellites for the improvements of time resolution of gauge-based precipitation product: Its overview”
- 29) Toyoshima, K., A. Higuchi, H. Hirose, A. Yatagai, and K. Tanaka: International Workshop on Evaluating Precipitation Extremes and Their Relation to Disasters, Kyoto, March 7-8, 2017.
 “Utilize geostationary meteorological satellites for the improvements of time resolution of gauge-based precipitation product: Comparison between rain gauge and satellite data”
- 30) Pinhas ALPERT: 気候情報課談話会、気象庁(大手町)、2017年3月13日
 “Challenges in climate modeling & observations over the Mid-East”
- 31) 谷田貝亜紀代: シンポジウム「温故知新: 東北の気候と農業」、弘前大学、2017年3月15日
 「農業への影響予測の鍵は？」
- 32) 豊嶋紘一: シンポジウム「温故知新: 東北の気候と農業」、弘前大学、2017年3月15日
 「ひまわり8号の画像から」
- 33) Naho SUETO, Akiyo YATAGAI, Yukari TAKAYABU: The 2nd international workshop on “Climate Change and Precipitation in the East Asia” (高敷縁推進費2-1503国際ワークショップ), Tokyo, March 27-28, 2017.
 “The Effect of Atmospheric Rivers on Japanese Heavy Precipitation”
- 34) Akiyo YATAGAI: Roorkee, India, March 21, 2017.
 “APHRODITE-2: Asian Precipitation -- Highly Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of Extreme Events”
- 35) Akiyo YATAGAI, Petley David, Froude Melanie, Ryutaro SUZUKI, Chiaki ANDO, Masahiro CHIGIRA: JpGU-AGU Joint Meeting 2017, Makuhari Messe, Chiba, May 20-25, 2017.
 “Application of the high-resolution APHRODITE precipitation product to rainfall-triggered fatal landslide occurrence in Nepal”
- 36) Yutaka KUROSAKI, Akiyo YATAGAI, Atsuko SUGIMOTO: JpGU-AGU Joint Meeting 2017, Makuhari Messe, Chiba, May 20-25, 2017.
 “An analysis of the atmospheric circulation around the Tibetan Plateau revealed by the stable isotope in precipitation—A case study of GEWEX-GAME/Tibet in 1998”
- 37) 谷田貝亜紀代、田中茂信、樋口篤志、田中賢治、上口賢治、安富奈津子: 日本気象学会2017年度春季大会、国立オリンピック記念青少年総合センター、2017年5月25-28日
 「極端降水評価と気象解析のための APHRODITE アルゴリズムの改良 - APHRODITE-2 紹介 -」
- 38) 田中茂信: 共同研究集会「極値理論の工学への応用」、統計数理研究所、2017年7月20日
 「流域平均雨量の極値の特性」
- 39) Naho SUETO, Akiyo YATAGAI, Yukari TAKAYABU: AOGS, Singapore, August 6-11, 2017.
 “The Effect of Atmospheric Rivers on Japanese Heavy Precipitation”
- 40) Yatagai, A., M. Masuda, K. Kamiguchi, K. Tanaka, A. Higuchi, K. Toyoshima: AOGS, Singapore, August 6-11, 2017.
 “Asian Precipitation - Highly Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of Extreme Events -- Targets and Initial Products --”
- 41) Yatagai, A., M. Froude, D. Petley, R. Suzuki, C. Ando: AOGS, Singapore, August 6-11, 2017.
 “On the Relationship between the Monsoon Rainfall Reveled by the High-Resolution Daily Precipitation Product APHRODITE and Landslides in Nepal”
- 42) Yatagai, A., V. Kumar, T. N. Krishnamurti: IAMAS/IAPSO/IAGA, Cape Town, South Africa, August 27 - September 1, 2017.
 “Development of Precise Precipitation Data for Assessing the Potential Impacts of Climate Change for Middle East and Africa”

- 43) Yatagai, A.: IAMAS/IAPSO/IAGA, Cape Town, South Africa, August 27 – September 1, 2017.
“APHRODITE-2: Asian Precipitation -- Highly Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of Extreme Events”
- 44) 谷田貝亜紀代、増田南波、田中賢治、樋口篤志: 水文・水資源学会2017年度研究発表会、北見工業大学、2017年9月19～21日
「APHRODITE-2によるグリッド降水量作成アルゴリズム改良～初期結果～」
- 45) Natsuko Yasutomi, Akiyo Yatagai, Shigenobu Tanaka, Kenji Tanaka, Atsushi Higuchi, Kenji Toyoshima: ICSU-WDS Asia-Oceania Conference, Kyoto, September 27-29, 2017.
“APHRODITE-2 activities: for better presentation of extreme rainfall events”
- 46) 末藤菜保: 日本気象学会2017年度秋季大会、北海道大学、2017年10月30日～11月2日
「Atmospheric Riverが日本の豪雨に与える影響」
- 47) 谷田貝亜紀代: 日本気象学会2017年度秋季大会、北海道大学、2017年10月30日～11月2日
「札幌の降雪の地域性と広域循環場・グローバルシグナルの影響」
- 48) 勝部豪、樋口篤志、豊嶋紘一: 日本気象学会2017年度秋季大会、北海道大学、2017年10月30日～11月2日
「近年の沖縄梅雨における少雨日増加の要因解析」
- 49) 豊嶋紘一、樋口篤志、秋元文江、増永浩彦: 日本気象学会2017年度秋季大会、北海道大学、2017年10月30日～11月2日
「GPM Ku・Ka レーダーにおける降水地域特性比較」
- 50) Natsuko Yasutomi, Tribhuvan University, Kathmandu, Nepal, 2017.
“Estimated changes in climatological mean temperature in highland region of South Asia by increasing observational data input”
- 51) 谷田貝亜紀代、木下知里: 気象学会東北支部気象研究会、仙台管区气象台、2017年12月4～5日
「札幌・東北日本海側の降雪地域分布と経年変動特性」
- 52) 増田南波、谷田貝亜紀代、上口賢治、田中賢治: 気象学会東北支部気象研究会、仙台管区气象台、2017年12月4～5日
「日本における日降水グリッドデータの風による捕捉損失の補正」
- 53) 末藤菜保、谷田貝亜紀代、高薮緑: 気象学会東北支部気象研究会、仙台管区气象台、2017年12月4～5日
「Atmospheric Riverが日本の豪雨に与える影響」
- 54) 田中茂信: 平成29年度京都大学防災研究所研究発表講演会、京都大学、2018年2月20～21日
「空間平均降水量極値の特性」
- 55) 安富奈津子: 平成29年度京都大学防災研究所研究発表講演会、京都大学、2018年2月20～21日
「雨量計観測データがアジアの高地の気候平均場の再現性に及ぼす影響」
- 56) 増田南波、谷田貝亜紀代、上口賢治、田中賢治: 平成29年度京都大学防災研究所研究発表講演会、京都大学、2018年2月20～21日
「日本における日降水グリッドデータの捕捉率補正」
- 57) 豊嶋紘一: シンポジウム「様々な手法で関東の、世界の降水を測る」、千葉大学、2018年3月3日
「TRMMからGPMへ」
- 58) 広瀬民志: シンポジウム「様々な手法で関東の、世界の降水を測る」、千葉大学、2018年3月3日
「TRMM GPMの成果を広域に広げるひまわり8号による降雨推定」
- 59) 谷田貝亜紀代: シンポジウム「災害に備える－気象災害から健康影響まで－」、弘前大学、2018年3月27日
「降水観測とデータ(ひろだい白神レーダー)」
- 60) 谷田貝亜紀代、増田南波、上口賢治、Kumar Sunil、安富奈津子、前田未央: JpGU 2018, Makuhari Messe, Chiba, May 20-24, 2018.
“Improving APHRODITE algorithm for assessing precipitation extremes -- Check End of the Day --”
- 61) Sunil KUMAR, Akiyo YATAGAI, Natsuko YASUTOMI, Minami MASUDA: JpGU 2018, Makuhari Messe, Chiba,

May 20-24, 2018.

“PRELIMINARY EVALUATION OF GPM PRECIPITATION ESTIMATES OVER TWO DISTINCT CLIMATE ZONES WITH HIGH RESOLUTION APHRODITE PRODUCT”

62) 増田南波、谷田貝亜紀代、上口賢治、田中賢治: JpGU 2018, Makuhari Messe, Chiba, May 20-24, 2018.

“Daily adjustment for the wind-induced precipitation undercatch of daily gridded precipitation in Japan”

63) Natsuko Yasutomi: JpGU 2018, Makuhari Messe, Chiba, May 20-24, 2018.

“Estimated changes in climatological mean temperature in highland region of South Asia by increasing observational data input”

64) Akiyo YATAGAI, Sunil KUMAR, Minami MASUDA, Mio MAEDA, Natsuko YASUTOMI: AOGS 15th Annual Meeting, Honolulu, Hawaii, June 3-8, 2018.

“Improving APHRODITE Algorithm for Assessing Precipitation Extremes – Check End of a Day –”

65) Natsuko Yasutomi, Kenji Tanaka, Shigenobu Tanaka, Hitoshi Hirose, Koichi Toyoshima, Atsushi Higuchi: AOGS 15th Annual Meeting, Honolulu, Hawaii, June 3-8, 2018.

“Estimation of Detection error of Extreme Precipitation Events in APHRODITE Quality Control using Rain Potential Map”

66) Hirose, H. and A. Higuchi: AOGS 15th Annual Meeting, Honolulu, Hawaii, June 3-8, 2018.

“Correction of end of day gap of APHRODITE-2 rain gauge data using geostationary meteorological satellites”

67) 谷田貝亜紀代、末藤菜保、増田南波、南孝太郎: 平成30年7月豪雨に関する緊急対応研究会、理化学研究所計算科学研究センター(神戸)、2018年8月17日

「APHRO_JPによる対象期間の降水分布特性および水蒸気輸送との関係」

68) 豊嶋紘一、樋口篤志、安富奈津子、田中賢治、谷田貝亜紀代: 平成30年7月豪雨に関する緊急対応研究会、理化学研究所計算科学研究センター(神戸)、2018年8月17日

「国交省河川局雨量計データのグリッド化プロダクト作成と、西日本豪雨事例について」

69) Natsuko Yasutomi: APHRODITE2 SAKURA Science Workshop, Hirosaki University, August 22-29, 2018.

“Development and Improvement in APHRODITE daily mean temperature product AphroTemp and its climatology”

70) Natsuko Yasutomi: APHRODITE2 SAKURA Science Workshop, Hirosaki University, August 22-29, 2018.

“Changes in monsoonal rainfall in Japan for 100 years analyzed in APHRO_JP”

71) 田中賢治、安富奈津子、田中茂信、樋口篤志、豊嶋紘一、谷田貝亜紀代: 水文・水資源学会 2018年度総会・研究発表会・創立30周年記念学術シンポジウム、三重大学、2018年9月12~14日

「日本域高解像度日降水グリッドデータ APHRO_JP の改良」

72) 安富奈津子: 水文・水資源学会 2018年度総会・研究発表会・創立30周年記念学術シンポジウム、三重大学、2018年9月12~14日

「地上観測に基づく日平均気温グリッドデータAphroTempの気候気温平均場AphroClimの概要」

73) Sunil KUMAR, Akiyo YATAGAI, Minami MASUDA: 日本気象学会2018年度秋季大会、仙台国際センター、2018年10月29日~11月1日

“Preliminary evaluation of GPM IMERGE over three distinct climate regions with reference to APHRODITE”

74) 谷田貝亜紀代: 日本気象学会2018年度秋季大会、仙台国際センター、2018年10月29日~11月1日

「極端降水評価のためのAPHRODITEアルゴリズムの改良」

75) Akiyo YATAGAI, Natsuko YASUTOMI, Minami MASUDA: AGU Fall meeting 2018, Washington Convention center, December 10-14, 2018.

“Using APHRODITE and APHRODITE-2 for assessment of Orographic Rainfall and Water Deficits over Asia”

76) Sunil KUMAR, Akiyo YATAGAI, Minami MASUDA: AGU Fall meeting 2018, Washington Convention center, December 10-14, 2018.

“Preliminary Evaluation of GPM Precipitation Estimates Over Three Distinct Climate Zones With High Resolution APHRODITE Product”

- 77) Kenji Tanaka, Natsuko Yasutomi, Shigenobu Tanaka, Atsushi Higuchi, Koichi Toyoshima, Akiyo Yatagai: AGU Fall meeting 2018, Washington Convention center, December 10–14, 2018.
“Improvement of the high resolution gridded precipitation dataset in Japan”
- 78) Shigenobu Tanaka: THA 2019 International Conference on Water Management and Climate Change towards Asia’s Water–Energy–Food Nexus and SDGs, Bangkok, Thailand, January 23–25, 2019.
“Interesting Statistical Characteristics of Precipitation Extremes in Major River Basins of Japan using a Large Ensemble of Climate Simulations “d4PDF””
- 79) 豊嶋紘一、広瀬民志、加藤章子、樋口篤志: 第21回環境リモートセンシングシンポジウム、千葉大学、2019年2月14日
「国交省河川局雨量計データを用いた降水グリッド化プロダクトの作成について」
- 80) 田中茂信: 平成30年度京都大学防災研究所研究発表講演会、京都大学、2019年2月19～20日
「膨大なアンサンブル情報を用いた降水量極値の確率分布の将来変化」
- 81) 安富奈津子、田中賢治、田中茂信: 平成30年度京都大学防災研究所研究発表講演会、京都大学、2019年2月19～20日
「APHRODITE日降水量グリッドデータの地形性降雨と極端降水の再現性に対する気候値の効果」
- 82) 谷田貝亜紀代、前田未央、増田南波、末藤菜保、安富奈津子、Sunil KUMAR: 平成30年度情報処理学会東北支部研究会、弘前大学、2019年2月21日
「極端降解析のための日降水量グリッドデータAPHRODITEの改良」
- 83) 谷田貝亜紀代、今井雅、前田未央、石田祐宣: 平成30年度情報処理学会東北支部研究会、弘前大学、2019年2月21日
「APHRODITEデータのDB化による品質管理およびweb上でのデータ公開について」
- 84) 豊嶋紘一、広瀬民志、加藤章子、樋口篤志、安富奈津子、田中賢治、谷田貝亜紀代: GPMおよび衛星シミュレータ合同研究集会、名古屋大学環境総合館、2019年3月18～19日
「国交省河川局雨量計データを用いた降水グリッド化プロダクトの作成について」
- 85) Shigenobu Tanaka: Pioneering Workshop on Extreme Value and Distribution Theories in honor of Prof. Masaaki Sibuya, Institute of Statistical Mathematics, Tokyo, March 21–23, 2019.
“Future Change in Relationships among Extreme Precipitation Statistics using “d4PDF””:
- 86) 谷田貝亜紀代・末藤菜保・南孝太郎・高数縁「ARの検出アルゴリズムと2018年西日本豪雨時の特徴」研究会「熱帯気象および全球降水—積雲対流から気候まで—」2019年3月23日、JAMSTEC東京事務所.
- 87) Yatagai, A., A. Senda: Evaluation of orographic precipitation over Central Asia and its simulated change under a warming environment, JpGU 2019, Makuhari 26–30, 2019. (Abstract送付、発表受理済み)
- 88) Sueto, N., A. Yatagai, Y.N. Takayabu: Atmospheric Rivers and related atmospheric circulations associated with Japanese disastrous precipitation in warm season, JpGU 2019, Makuhari 26–30, 2019. (Abstract送付、発表受理済み)
- 89) Masuda, M., A. Yatagai, K. Kamiguchi, T. Nakaegawa: Quantitative evaluation of winter daily precipitation over Northern Japan, JpGU 2019, Makuhari 26–30, 2019. (Abstract送付、発表受理済み)
- 90) 谷田貝・亜紀代・末藤菜保・南孝太郎・増田南波: 「平成30年7月豪雨のAtmospheric Riverと豪雨分布の特徴」日本気象学会2019年度春季大会、2019年5月15–18日、国立オリンピック記念青少年総合センター、東京 (Abstract送付、発表受理済み)
- 91) Yatagai, A., K. Minami, N. Sueto, M. Masuda: Heavy rain event of July 2018: Development of precise hourly precipitation data and analysis of moisture flow, AOGS 2019, 28 July – 2 August, 2019, Singapore. (Abstract送付、発表受理済み)
- 92) Yatagai, A., N. Yasutomi, M. Maeda, H. Hirose, S. Khadgarai: APHRODITE–2: Release of EOD adjusted product and its usage for improving Asian Monsoon Forecasts, AOGS 2019, 28 July – 2 August, 2019,

Singapore. (Abstract送付、発表受理済み)

7. 研究者略歴

研究代表者

谷田貝 亜紀代

筑波大学大学院博士課程地球科学研究科修了、博士(理学)、
現在、国立大学法人弘前大学大学院理工学研究科地球環境防災学科教授

研究分担者

1) 野尻 幸宏

東京大学理学部卒業、理学博士、
現在、国立大学法人弘前大学大学院理工学研究科地球環境防災学科教授

2) 石田 祐宣

東北大学大学院理学研究科博士課程 単位取得退学、博士(理学)、
現在、国立大学法人弘前大学大学院理工学研究科助教

3) 田中 茂信

鳥取大学大学院工学研究科土木工学専攻修了、博士(工学)、
現在、京都大学防災研究所水資源環境研究センター教授

4) 田中 賢治

京都大学工学部土木工学科卒業、博士(工学)、
現在、京都大学防災研究所水資源環境研究センター准教授

5) 樋口 篤志

筑波大学大学院博士課程地球科学研究科修了、博士(理学)、
現在、千葉大学環境リモートセンシング研究センター准教授

6) 豊嶋 紘一

名古屋大学大学院環境学研究科博士後期課程修了、博士(理学)、
現在、千葉大学環境リモートセンシング研究センター特任研究員

II. 成果の詳細

II-1 大雨と水蒸気輸送の地域性解析および災害事例との対応

国立大学法人弘前大学大学院理工学研究科 谷田 貝 亜紀代

野尻 幸宏・石田 祐宣

<研究協力者>

国立大学法人弘前大学大学院理工学研究科 Sunilkumar Khadgarai (2016.11-2018.10) ・

前田 未央 (2017.3-2019.3)

国立大学法人弘前大学 理工学部

末藤 菜保 (2016.6-2019.2) ・

増田 南波 (2016.6-2019.2)

国土交通省気象庁

上口 賢治・望月 泰・佐藤 佐藤 大卓 (2016.6-2018.3)

人間文化研究機構 総合地球環境学研究所 中塚 武

テルアビブ大学

Pinhas Alpert

平成28～30年度累計予算額：66,056千円

(うち平成28年度：21,804千円、平成29年度：23,161千円、平成30年度：21,091千円)

累計予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

APHRODITE-1の更新が世界から期待されていたが、V1101プロダクト(Yatagai et al., 2012)は、できるだけ多くの地点観測データを利用する立場から日界の混在があった。また、統一した日界であっても、数値予報降水量のダウンスケーリングや複数モデルのアンサンブルを行う際には、00UTC, 12UTCを初期値とする予報値の積算時間に合った高精度観測データを必要とする。このため、本課題は極端現象評価と気象予報や豪雨時の水蒸気輸送・収束と対応できるプロダクトの作成を目指し、研究開発を行った。具体的には、①0.05度グリッド内に観測点があればグリッド値はその値にする(SVC)、②日界(EOD)を調べ異なる日界のデータは混在させない(V1801)、日界補正を適用し00-24UTCにそろえたグリッドデータ(V1901)を作成する、③極端な豪雨と異常値(エラー)の識別に衛星プロダクトを利用することを目標とした。APHRODITE-1プロダクトは多くの観測データを取り込んだことで世界的に評価されるものとなったが、APHRODITE-2では、各国気象庁を訪問するのではなく、ワークショップを開催しデータ提供者を招聘した。このようにして、モンスーンアジアを中心に多くのデータを入手しただけでなく若者の交流、キャパシティビルディングを行うこともできた。本サブテーマでは、データ作成の全プロセスを統括したほか、公開サーバーの構築も行った。

①と②の総降水量と極端降水への影響を統計的に明らかにしたほか、衛星の極端降水の表現の検証を行った。これらは複数の論文として投稿中である。また、作成されたデータを用いて、日本やネパールの豪雨災害時のlandslideなどの災害データ、降水量、水蒸気輸送、大気循環場の解析を行った。大規模な水蒸気輸送場であるARと日本域豪雨の比較を行った。降雪の地域性と循環場の解析を札幌、津軽平野、新潟などで行った。さらに、APHRODITE日降水、月降水量を基準にして複数のモデル降水値を誤差を最小にするように合成するマルチモデルスーパーアンサンブル/ダウンスケーリング手法を適用し、水資源への温暖化影響を中近東・中央アジア・東南アジアで評価した。

[キーワード]

極端降水、防災、予報改善、降雪、地形効果

1. はじめに

H18-22年度実施課題「アジアの水資源への温暖化影響評価のための日降水量グリッドデータの作成（英語名APHRODITE（Asian Precipitation -- Highly Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of water resources）project）」では、アジア各国の雨量計データを収集し、品質管理を施し、内挿手法の工夫をし、長期日降水グリッドデータを作成し公開した。APHRODITEデータは気候モデルの検証をはじめ、幅広い科学的用途に用いられ、課題として高い評価（事後評価A+）を得た。2011年3月に課題が終了したが、以降年々ユーザーは増え、APHRODITE-1最終プロダクト（V1101）について記述した論文（Yatagai et al., 2012）の引用は年々増え続けている。このため、国際的に APHRODITEデータの更新が期待されてきた。一方で、地球温暖化の顕在化に伴い、湿潤地域ではより湿潤に、半乾燥地域はより乾燥することが予測され、また大気中に含みうる水蒸気量が増えることから、一雨ごとの降水量が増えるなど、熱力学効果による極端降水が増えると予測されている。力学的に大循環場の変化により（ハドレー循環が強化される、あるいは、より高緯度側に下降域がシフトするなど）降水システムが移動することなども議論されているが、多くの気候モデルでは解像度が低いため、地域の降水への影響評価やそれを想定した適応策策定のためには、力学的あるいは統計的にダウンスケーリングすることが必要である。この統計的ダウンスケーリングや、複数のモデルのアンサンブル合成により誤差の少ない予測降水分布を得るためには、精確な日単位以下の降水グリッドデータが必要である。

APHRODITE-1データ作成手法（アルゴリズム）は、アジアの水資源への温暖化影響評価を想定し、先行研究（Xie et al., 2007）に倣い、できるだけ多くの地点観測データを収集し、地形降水を表現した気候値の助けにより定量的な日降水量グリッドデータ作成を目指した。アジア陸域広域で他に優れたグリッドデータがないため、多くの研究者、政策決定支援者（コンサルタント業界含む）がAPHRODITEデータを利用したが、極端降水の評価の必要が高まるにつれて、作成側が警笛を鳴らしているにもかかわらず、間違った使い方をされることが散見されるようになった。特に、各国気象水文機関や全球気象通信網（GTS）により配信された日降水データの24時間の区切り（日界、End of the Day（EOD））は、それぞれ異なり、また同一の国や地域の中にも異なる日界のデータが存在する場合がある。APHRODITE-1では、それを知りつつも、多くの入力データを使う方針から日界（EOD）の混在があった。これでは、国境付近やEOD混在により極端降水評価ができないことは自明である。

また、CMIP（Coupled Model Intercomparison Project）などの複数のモデルや、日々の降水予報値のマルチモデルアンサンブル（MME）により、誤差を少なくする手法はしばしば用いられるが、観測値を基準にし、複数モデルの誤差を最少にするよう合成する手法であるマルチモデルスーパーアンサンブル（MMSE）手法（e.g. Krishnamurti et al., 2009）では、24時間予報の初期値（多くは00UTCか12UTC）とあった24時間観測グリッド降水データを必要とする。たとえばインドでは、現地時間朝8:30（世界時03UTC）に前24時間降水の観測と記録がなされるため、グリッド降水量（Rajeevan et al., 2006）を、TRMM3B42などの3時間以下の衛星降水プロダクトにより分割し、日界を予報モデルのものに合わせた上で、MMSEを適用する。TIGGE（THORPEX interactive Grand Global Ensemble）など、世界の予報機関が予報の改善のために予報データを数日遅れで公開するようになったが、複数モデルの出力がそろえるのは2008年以降であり、APHRODITEデータは2007年で作成が止まっていた。APHRODITEとして、日界が判明しているプロダクトあるいは日界をそろえたプロダクトを公開できれば、降水予報の改善につながる。

そこで本研究課題は、極端降水現象の理解と適応策策定に貢献するため、アルゴリズムを改良し、データ更新を行うことを目的とする。またIPCC（気候変動に関する政府間パネル）やWCRP（世界気候研究計画）などの国際的枠組みや、アジアの開発途上国とも連携をしていく。

2. 研究開発目的

本研究は、極端降水現象の理解と適応策策定に貢献するため、APHRODITEアルゴリズムを改良し、データ更新を行うことを目的とする。サブ1では、これまでデータ入手できる関係を築いてきた機関との関係を維持発展し、データ収集に努めること、APHRODITE-1で作成したプログラム群を再稼働させ、極

端現象の評価に必要な①内挿手法の開発、②日界の判定と分離（混在させない）、③品質管理（QC）の改良を行うこととする。

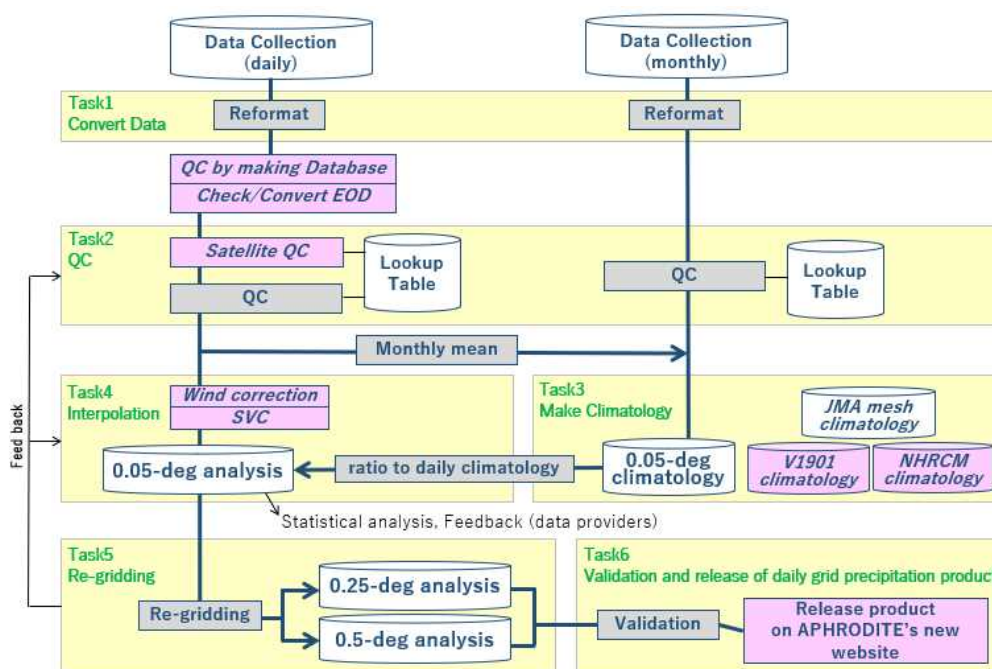
日界補正のアルゴリズム作成、グリッド値の統計的評価について、京都大学、千葉大学に再委託するが、実際は相互に協力し合いプロダクト作成に努める。

大雨の必要条件の一つが多量の水蒸気の輸送・供給であり、無降水日の連続はその逆である。APHRODITE降水情報と再解析データによる水蒸気フラックスを対応づけ、気候モデルが算出する循環場と地域的な極端降水を結び付ける。その対応関係は、内挿の重みづけや、降雪時の捕捉率補正など、地域により異なるAPHRODITEアルゴリズム改良にも生かされる。

3. 研究開発方法

（1）APHRODITE-1で作成した、グリッドデータ作成プログラムの実行と改良

APHRODITE-2の実施代表機関である弘前大学理工学研究科にて、計算機やハードディスクの設置、ホームページサーバーや関連メーリングリストなどの整備を行い、APHRODITEデータ作成プログラムの移植を行った。解析（グリッドデータ作成）の流れを図(1)-1に示す。Task1はAPHRODITEの共通フォーマットへの変換、Task2が品質管理、Task3が気候値の作成、Task4が内挿（グリッド化）、Task5が再グリッド化、Task6が検証と公開である。



図(1)-1 APHRODITEデータ作成フローチャート。ピンク色は本課題（APHRODITE-2）で新たに開発した部分。斜字体はオプション。

APHRODITE-1（水資源への温暖化影響評価）で開発したTask1からTask4の解析の流れに対し、APHRODITE-2（極端現象評価と気象解析）では、主に次の3点の開発を目標とした。

- ①地点保存（Station Value Conservation、SVC）
- ②日界の区別、日界の補正（End of the Day、EOD）
- ③品質管理（QC）手法の改良

これに加えて、降雪量の定量評価、山岳地域の降水量の定量評価も行った。これらの開発・改良箇所について、図(1)-1に示した。

APHRODITE（モンスーンアジア）もAPHRO_JP（日本域）も同じ流れで行うが、客観的なQC（品質管理、Task2）と、ポストプロセス（Task5）の0.05度グリッド値を0.25度/0.5度に再グリッド化する部分は、APHRO_JP解析では実施しない。また、使用する気候値（Task3）は異なる。

日降水量解析（Task4）では、距離の逆数に応じた重み付けをする基本的な内挿（Shepard, 1968; Willmott et al., 1985）に山岳のピークの有無により重み付けを変える方法で内挿する（Yatagai et al., 2009, 2012）。この際に日降水量気候値（Task3で作成）に対する、その日その地点（グリッド）の降水量の「割合」を内挿することをRATIO、そうでない場合をSSPDと名付けている。

APHRODITE-1は「水資源」への温暖化影響評価を行えるアルゴリズムを構築し、できるだけ多くの雨量計データを収集し入力データとして利用した。本課題（APHRODITE-2）は、解析（グリッド化）は0.05度（約5km）格子で行うが、例えば解析グリッド内（5km×5kmの範囲）に、観測値があったとしても、その値はグリッド値と等しくはならない。このため、非常に局所的な極端降水があり、付近では無降水の場合、極端な豪雨が内挿により薄められてしまう。この点から、地点の値をグリッド値が保存する（Station Value Conservation, SVC）オプションを用意した。

②について説明する。米国海洋大気省（NOAA）気候予報センター（CPC）作成の特別0.25度グリッド降水データCMORPH（Joyce et al.2004）を用い、1時間ずつ「日降水」積算時間をずらした72通り（3日間）の降水量時系列を作成した。この72通りの年降水量時系列を、日界（EOD）が未知のデータと相関係数、最小二乗誤差（RMS）を計算し、相関係数が高い（RMS誤差の小さい）時系列の日界をその地点のEOD候補とする。CMORPHは、マイクロ波による降水推定と静止気象衛星から求める風の情報を組み合わせて作成されるが、マイクロ波は地表面に積雪があるときの精度が低いため、そのような地域では、年降水量ではなく、夏季モンスーン期（6-9月）の降水量時系列で同様に相関係数が最高値になる時刻を調査した。同一のデータセットあるいは日界が同じと考えられるグループで推定したEOD候補の頻度分布をとり、最頻値から日界を推定した。

なお、個別に入手したもののほか、世界気象通信網（GTS）データをNOAA/NCEIが整備した日観測値（Global Summary of Day）を用いたが、こちらは速報値のため欠測も多く、個別入手データとは別の基準（最低観測日数、相関係数の閾値）を設けて推定した。

③は、サブ1では、100mm以上の降水があった事例を抽出し、TRMM3B42、CMORPHなど複数の衛星データと比較した。このように調査し、従来は使わないデータをblack listにリストしていたが、本当の豪雨（Extreme）であった場合には、極端降水として生かすためwhite listにリストした。

これら①～③は、APHRODITE-2最終プロダクト（V1901、2019年4月公開）に適用されている。

（2）豪雨日、豪雪日の抽出と解析

サブ1は、大雨・大雪の地域性解析と、その背景の気象要因（特に水蒸気輸送）との関係を明らかにすることを研究目的の1つにしている。日界補正ルーチンの開発（サブ2、サブ3に再委託）が大幅に遅れたため、APHRODITEと再解析データによる循環場・水蒸気輸送計算値との時間差が問題にならない現象を対象とし、場合により2日連続降水を計算して災害事例と対応させた。Nepalのlandslideとの比較には、landslideデータが現地時間の24時間での統計であるため、landslideの24時間を挟むように2日間の0.05度APHRODITEグリッドデータを用いた。

日本については、豪雨の必要条件の1つである大規模な水蒸気の供給である大気の河（Atmospheric River）に着目して豪雨と比較した（Yatagai et al., 2019）。災害級の豪雨を抽出するため、ただ一定の閾値を設けるのではなく各地域に合った値のため99パーセンタイル値を設けた（末藤,2017）。日本時の日界（EOD=15）のAPHRO_JP（ただし内挿にはSVCを適用）から、まず2日間降水量を計算し、1日の値には2日間降水量を与えた。この計算は降水が日中に比べ夜間に起こりやすいこと（安田, 1970）から、日付をまたぐような1つの豪雨事例を確実に抽出できるようにするためである。次に、1年間を暖候期（4-10月）と寒候期（1, 2, 3, 11, 12月）に分けた。これは季節によって降水量やその分布に違いがあるためである。次に、各グリッドにおいて99パーセンタイル値を計算した。99パーセンタイル値と150 mmの2つ

の閾値を用いて各グリッドにおける豪雨日を抽出した。閾値に150 mmを設定したのは、99パーセンタイル値の値が150 mmより小さい地点があったためであり、豪雨と判断するにはあまりにも少ない量で抽出されてしまうことのないようにするためである。抽出した豪雨日はすべてを解析に用いず、1日1地点のみを豪雨日の量、緯度経度情報として解析に使用することとし、その地点の選択は同一の豪雨日の中で最多降水量を記録した日とした。これは1日における地点数が多い豪雨日などは解析が複雑であるためである。また、暖候期と寒候期に分けて豪雨抽出を行ったが、本研究の解析では暖候期のみを扱うこととする。日本全域で抽出した暖候期の豪雨日日数は35年間で2415日であった（末藤, 2019）。

（３）冬季日本の降雪の定量評価のための、捕捉率補正と、NHRCM降水データの利用

本研究（増田, 2017）では、2009年から2014年の降水量、風速、気温、積雪深を使用し、先行研究により求められている捕捉率補正の式を使用した。気象庁アメダス観測網には、約1300地点の雨量計があるが、このうち約3/4の地点でしか風速を計測していないため、補正手法に複数の方法を検討した。その検証のため、サブ2と協力して、日本の山岳地域のダム集水域において水収支検証を行った。

APHRO_JPでは、Task 3気候値にJMAメッシュ気候値を用いている。これはアメダスデータを元に作成されている。山岳地域の降水量の過小評価の原因が気候値にある可能性を調査するため、気象庁で開発された非静力学領域気候モデル（non-hydrostatic regional climate model: NHRCM, Sasaki et al., 2008）により、気象研究所の20km-AGCM（Atmospheric Global Climate Model, Mizuta et al., 2006）を空間解像度2 kmにダウンスケーリングした現在気候20年間分（1980-1999年）の降水量（Sasaki et al., 2011）を用いた。

（４）衛星との比較

人工衛星による降水量推定は、広域をカバーしている点、速報性（准リアルタイム）、高時間分解能を有する点から、近年多くの開発研究がなされている。降雨観測を主目的とした熱帯降雨観測衛星（Tropical Rainfall Measuring Mission, TRMM）は1997年末から2014年まで 35N-35Sを観測した。TRMMマイクロ波観測（TMI）に他の衛星のマイクロ波観測（SSM/I）を加え、他の衛星や一部の雨量計データを加えて作成された合成プロダクトTRMM3B42は、3時間毎の50N-50Sを0.25度格子で降水量を見積もっており、雨量計観測による検証や水収支研究を経て、衛星見積もりのうちでは最も精度が良いとされた。

2014年に、TRMM後継ミッションであるGlobal Precipitation Measurement (GPM) 観測が開始され、ユーザーへの利便性の点から、複合プロダクトIntegrated Multi-satellitE Retrievals for GPM (IMERG)が作成されている。これは0.1度格子、1時間毎のプロダクトで、マイクロ波観測であるGPM Microwave Imager (GMI)のほかSSM/IやAMSР-2など、GPM Dual frequency Precipitation Radar (GPM-DPR) のほかマイクロ波サウンダーや極軌道衛星の赤外センサーも用いている（Hou et al., 2014）。

APHRODITE-2は2015年までのアップデートを予定しており、2015年について日本、ネパール、フィリピンのデータを入手し0.05度グリッド値を計算したので、IMERGとの比較を行った。フィリピン大気地球物理天文局（PAGASA）観測データ、日本データ、ネパールデータそれぞれの日界にあわせてGPM IMERGも積算した。

（５）スーパーアンサンブル予報

本研究における複数のモデルの合成には、Florida State Universityで開発された multimodel superensemble (MMSE) 手法を使用した（図(1)-2）。日降水量の予報には、ふつうtraining期間として90日以上分（本研究では115日）の空間解像度を揃えた予報データと観測データを用意する。複数（本研究ではTIGGEから5つ）の予報モデルをモデル1～5としたとき、training期間の観測降水量平均を $\bar{O}$ 、予報日のモデル i の予報降水量を F_i 、training期間のモデル i の予報降水量平均を $\bar{F}_i$ 、モデル i の重みづけを a_i としたとき、スーパーアンサンブルによる予報降水量 S は

$$S = \sum_{i=1}^N a_i (F_i - \bar{F}_i) + \bar{O}$$

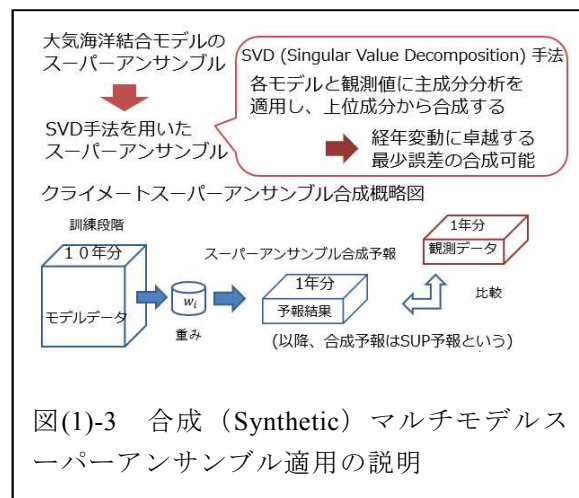
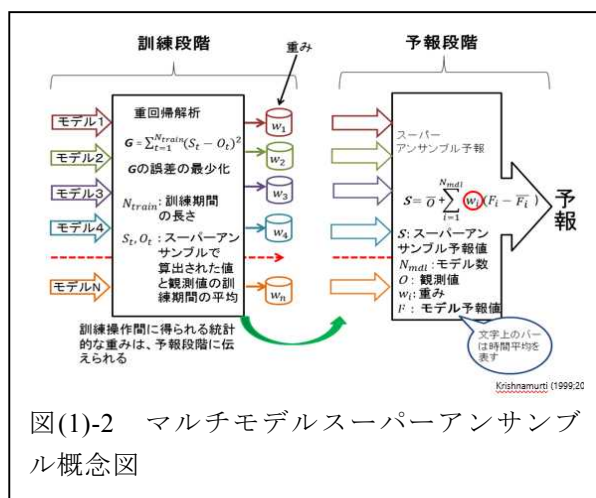
として計算される。ここで、重みづけ a_i は、次のように計算される。

Trainingの日数を N_{train} 、 i 日目のスーパーアンサンブルによる降水量を S_i 、観測による降水量を O_i としたとき、各グリッドにおいて

$$G = \sum_{i=1}^{N_{train}} (S_i - O_i)^2$$

の値が最小となるような重みづけ a を各モデルについて求められる。この計算を全グリッド、全期間について行った。

また、日々の降水ではなく月降水量の予報をCMIPデータにより行うことも可能である。日々の降水量については、複数機関の予報パラメーターと観測データを同地点・同時刻において合成することにより誤差を最少にするパラメーター決定は、上記のプロセスで可能である。ただし、CMIP、すなわち大気海洋結合モデルによる出力結果は、大気海洋相互作用の結果の気候場の統計的性質を表すものであり、日々の気象状態を表すものではない。ここで、CMIPタイプの気候データ出力値のスーパーアンサンブルには、Singular Value Decomposition (SVD) の手法を用いている（図(1)-3）。これは、各モデルと観測地の出力値（ここでは月降水量）に、それぞれ主成分分析（経験的直交関数、EOF）を適用し上位成分から合成する。このことにより、対象地域の経年変動に卓越する固有の空間パターン（主成分）ごとに、誤差を最少とする合成を行うことが可能である。（Yun et al., 2005; Krishnamurti et al., 2006; Yatagai et al., 2018）



(6) 協力機関との関係維持

APHRODITE-1では、途上国は、キャパシティービルディングにより、APHRODITEデータを作成できるように指導することを希望し、こちらがそうすることでデータが無料で提供されることを経験した。このため、これまで特に協力が維持できている機関を訪問する機会、あるいは当方のワークショップに研究者・技術者を招聘する機会を、予算とスケジュールの許す限り持つことを三年間の課目標にしている。また一方で、欧米のデータセンターや、WCRP関係のExtreme（極端現象）関係の取りまとめを行っている研究者からもAPHRODITE-2への期待が寄せられているため、意見交換と協力について話しあっていく。

4. 結果及び考察

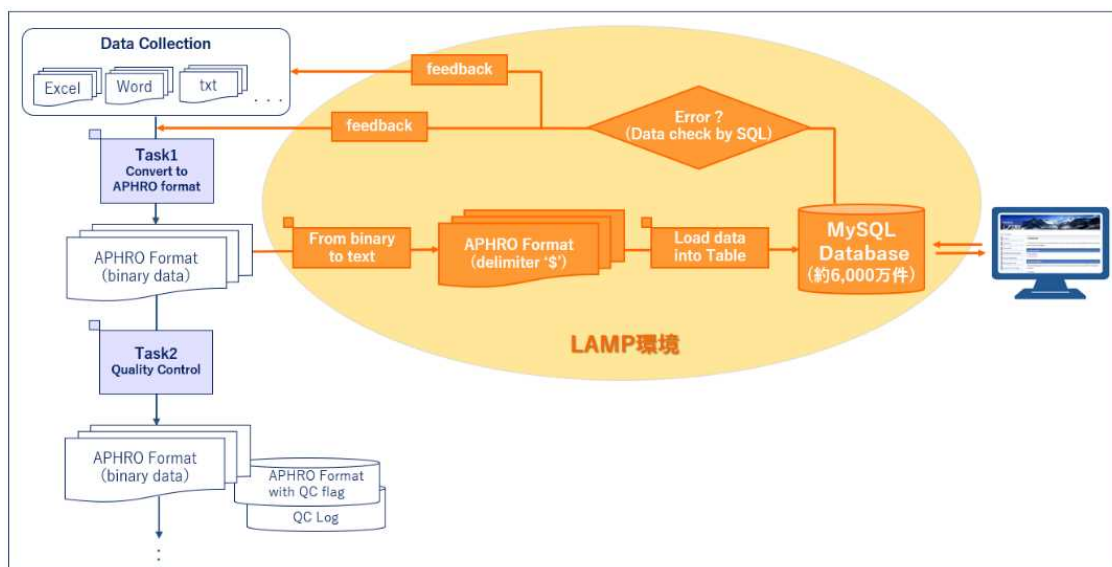
(1) APHRODITE-1で作成した、グリッドデータ作成プログラムの実行と改良

ここでは図(1)-1のフローに沿って成果を説明する。

[データ変換・品質管理]

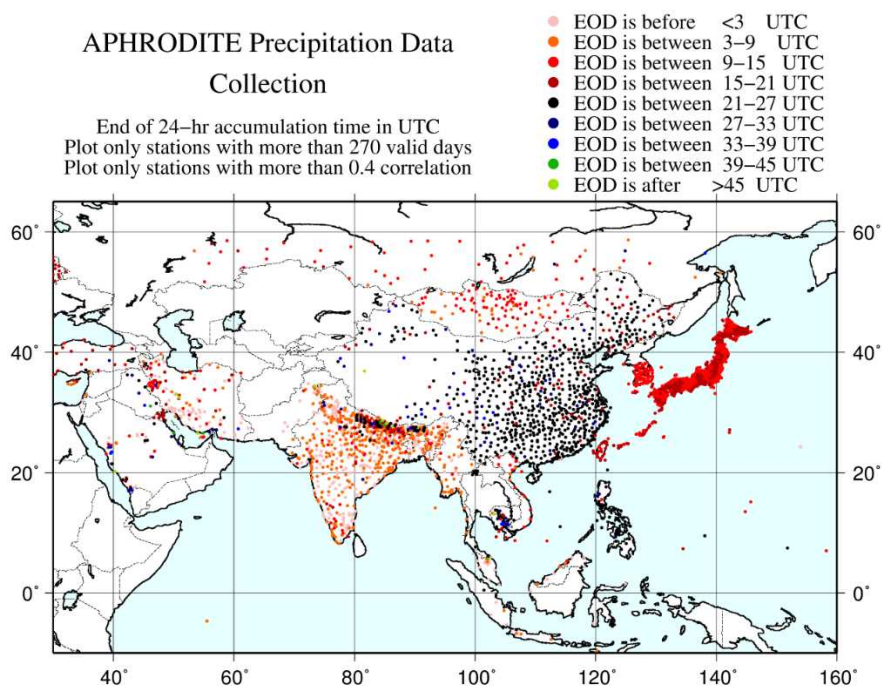
データ変換、品質管理（従来の方法）は、長期間のデータが必要なため、入手したデータすべては、APHRODITE共通フォーマットに変換し、データベース化した品質管理も適用した。

図(1)-4のようにデータベース化することで、Task1で生成されるバイナリ形式のAPHRODITE共通フォーマットデータをweb上で参照できるようになり、これまで困難であった中間データへのアクセスが容易となった。また、目的のデータをSQLで簡単に検索することができるため、データチェック機能としての役割を持たせることができ、プロダクトの品質確保につなげることができた。



図(1)-4 APHRODITE共通フォーマットデータのデータベース化。

[衛星による日界チェック・推定]

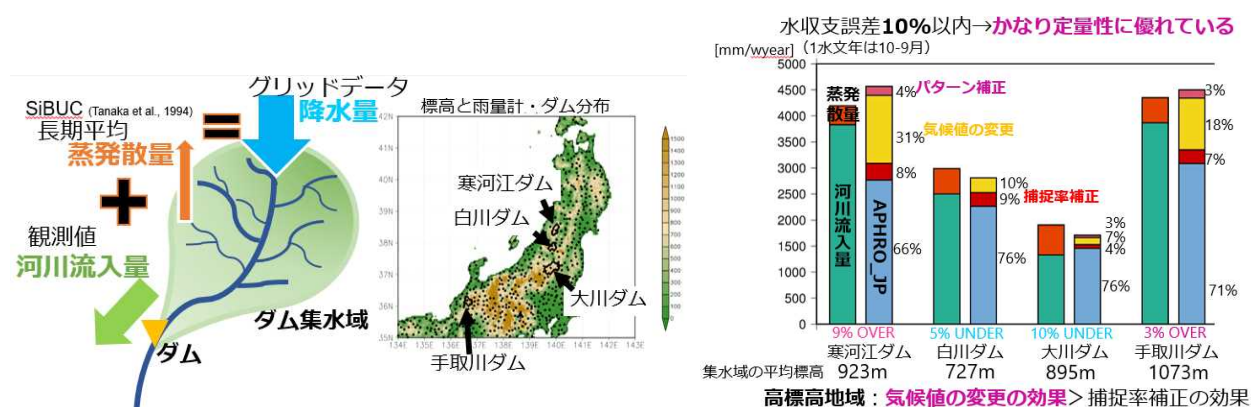


図(1)-5 各地点のEOD情報が記載された雨量計観測地点データの空間分布

図(1)-5は、各地点のEOD情報が記載された雨量計観測地点データの空間分布を示している。この図では、GSODデータは用いず、offlineデータの年降水で、有効な日数が270日以上、最大の相関係数が0.4以上の点のみをプロットしている。図に示されている色は、1日のおおよその時間を表している。EOD情報は、ある国の中では近い値を示すことが多いが、中国やネパール、中東等のいくつかの国では、同じ国で生成されていても、データセットのEODが大きく異なることがある。12時間近く異なるEODの降水データが混在した降水データセットは、年降水量の総量としてはよいかもしれないが、グリッドプロダクトの極端降水の品質低下を生む可能性が高い。例えば、中国等の途上国では、12～24時間異なるEOD情報を含む地点の空間分布が示されている。アジア諸国のデータセットの1日累計表示は、>3、9-15、21-27UTCのようだ。中東諸国でも同様に、EOD情報の混在が見られる。しかしながら、地点データでのEOD情報の空間的一貫性は、中東諸国よりもアジア諸国の方が優れているようだ。

〔気候値の改良（Task 3）、捕捉率補正〕

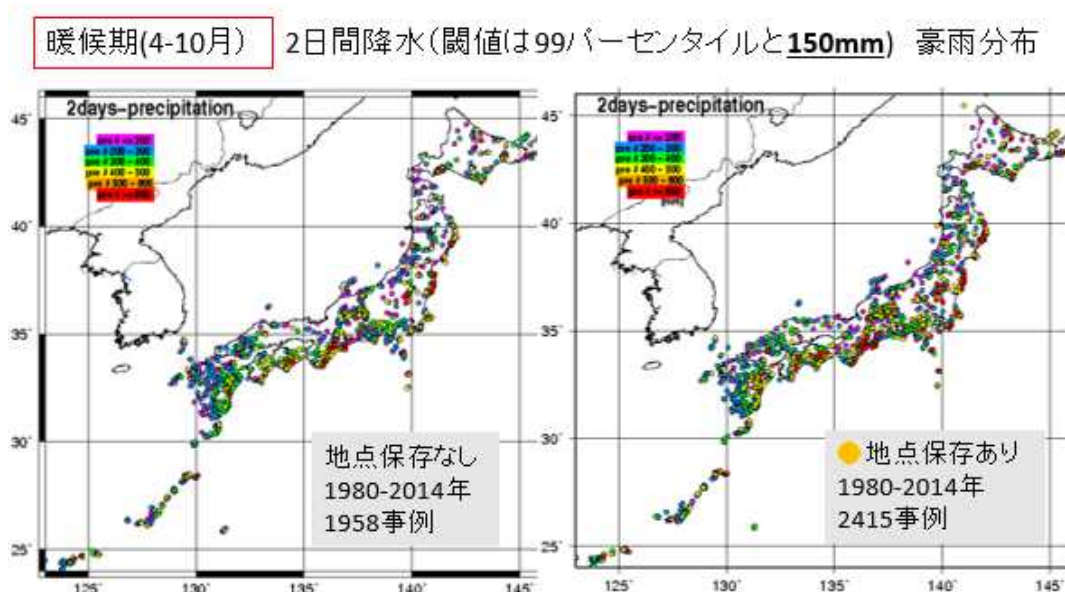
サブ1では、日本について、気候値をJMAメッシュ気候値から、NHRCMに差し替える実験を行った。増田（2017）では2009年から2014年の降水量、風速、気温、積雪深を使用し、先行研究により求められている捕捉率補正の式を使用しAPHRO_JPに捕捉率補正を適用した。気象庁アメダス観測網には、約1300地点の雨量計があるが、このうち約3/4の地点でしか風速を計測していないため、補正手法に複数の方法を検討した。その検証のため、サブ2と協力して、日本の山岳地域のダム集水域において水収支検証を行った。しかし、図(1)-6に示すように、水収支誤差は20%以上あり降水の過小評価が考えられた。APHRO_JPでは、Task 3気候値に、JMAメッシュ気候値を用いている。これはアメダスデータを元に作成されている。山岳地域の降水量の過小評価の原因が気候値にある可能性を調査するため、気象庁で開発された非静力学領域気候モデル（non-hydrostatic regional climate model: NHRCM, Sasaki et al., 2008）により、気象研究所の20km-AGCM（Atmospheric Global Climate Model, Mizuta et al., 2006）を空間解像度2 kmにダウンスケーリングした現在気候20年間分（1980-1999年）の降水量（(Sasaki et al., 2011)を用いた。JMAメッシュ気候値はアメダス観測点標高の高いところで過少評価をしていることがわかった。（増田 2019）



図(1)-6 左：流域水収支概念図。中：東北地方4つのダムの集水域。右：4つのダム集水域における降水補正值と水収支評価。緑：河川流入量、赤：Tanka et al. (1994)により計算された蒸発散量平均値。オレンジ：捕捉率補正後の降水量。黄色：気候値をNHRCMに差し替えた場合の降水量。ピンク：降水パターンによる違いを反映した降水量。

〔日降水量内挿手法の改良（Task 4）〕

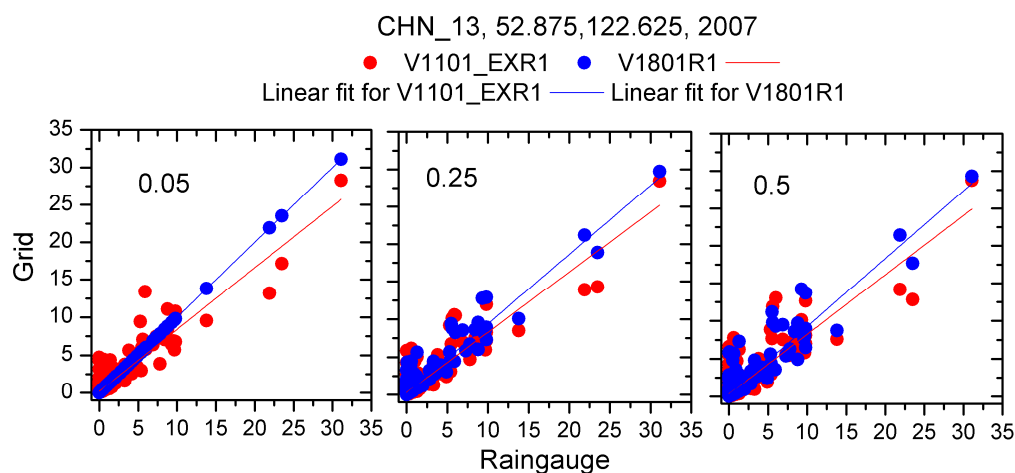
地点保存（SVC）を適用したインパクトを図(1)-7に示す。日本の暖候期において、豪雨地点数は、北海道・東北・関東・日本海側・内陸部で増加、九州北部では減少した。広島豪雨（2014.8. 20）、礼文島豪雨（2014. 8.24）、奄美豪雨など、地点保存することで抽出できた。（末藤 2017, 2019）



図(1)-7 地点保存 (SVC) なし (左) とあり (右) の豪雨検出場所と事例。検出基準は3 (2) 参照のこと。ドットの色は2日降水の強度 (青<赤)。

[SVCと再グリッド化の影響 (Task 5)]

2018年9月に公開したAPHRO_V1801R1は地点保存 (SVC) を適用している。ただし、0.05度グリッドデータは一般には公開していない。図(1)-8は、V1801がV1101よりも著しく改善されている例を示している。図は中国北部の2007年1年間の例であるが、旧アルゴリズムV1101 (赤) は地点の値と0.05度グリッドの値は等しくないが、新アルゴリズムV1801 (青) では保存する。生データは第三者配布が禁じられることが多いため、SVCが適用されていれば余計に公開が難しいので、Task5で再グリッド化してから公開する。この例に示されているように、再グリッド化後の0.25度と0.5度間隔のグリッド値では、若干減少する。ただし、V1801ではその過少幅は小さい。SVCとEODの影響を日本について比較したものを概要報告 (図5) に示した (Yatagai et al., 2019, 投稿中)、中国について比較したものの、会議プロシーディングス原稿としてまとめている。

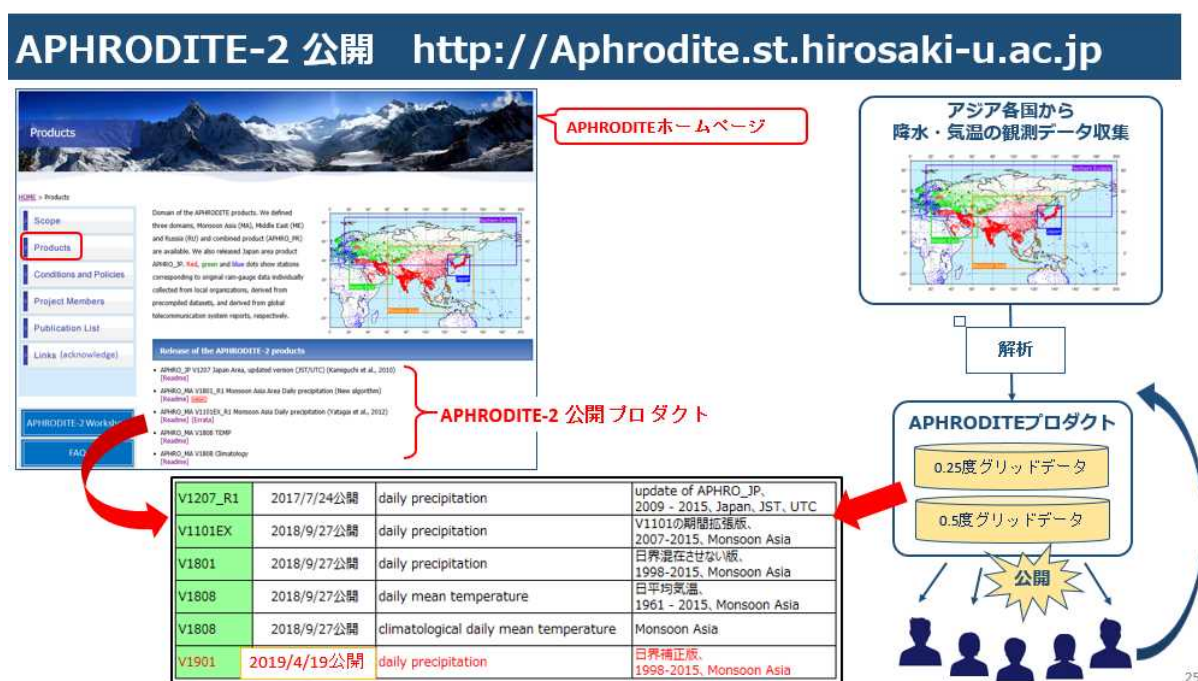


図(1)-8 再グリッド化 (Task5) の影響例。左: 0.05度、中: 0.25度、右: 0.5度格子に内挿した値と含まれる元の地点の値の比較。赤は地点保存 (SVC) を適用しないV1101アルゴリズム、青は地点保存 (SVC) を適用するV1801アルゴリズム。

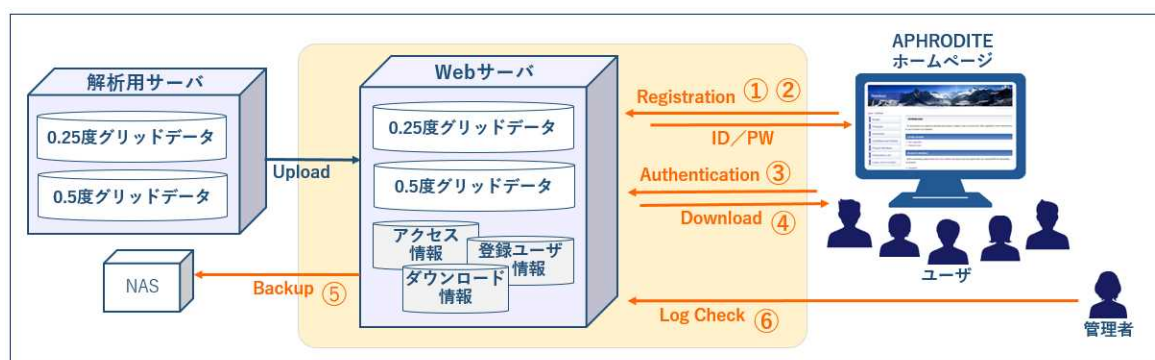
[日界補正プロダクトの作成とweb上でのプロダクト公開]

日界を混在させないV1801プロダクトと旧アルゴリズムの延長版V1101EXの公開に合わせ、公開サーバーを用意し2018年9月27日にリリースした。本システム上では、APHRODITE-2による公式プロダクトとして、□APHRO_JP更新版（日本時間、世界時間）、□V1801（1998-2015）、□V1101EX（2007-2015）、□V1808（気温データ）、□V1901（1998-2015）（日界統一（補正）プロダクト）および0.05グリッド日気候値を公開している。図(1)-9にホームページ概観、図(1)-10にシステム概要を示す。本システムに実装した機能は、□アカウント登録機能、□パスワードリセット機能、□認証機能、□ダウンロード機能、□バックアップ機能、□ログ管理機能である。

データ公開や、バグの発見、Reference論文が用意できた際には、APHRODITEユーザーに連絡している。その連絡先は5000名を越える（APHRODITE-1時代からの登録ユーザー情報、DIASからのユーザー情報を含む）。システムリリースから約7ヶ月経過した2019年4月末現在、本システムへの登録ユーザー数（プロダクトをダウンロードする際、ユーザー登録が必要）は約700名である。登録ユーザーの所属機関は、わかっているだけで、33カ国、162機関に及ぶ。これまでの最大アクセス数はV1801公開日（2018年9月27日）の504件であり、またV1901公開日（2019年4月19日）には420件のアクセスがあった。一日の平均アクセス数は約140件で推移しており、世界中の多くの方々にAPHRODITEプロダクトが認知され、活用いただいている。



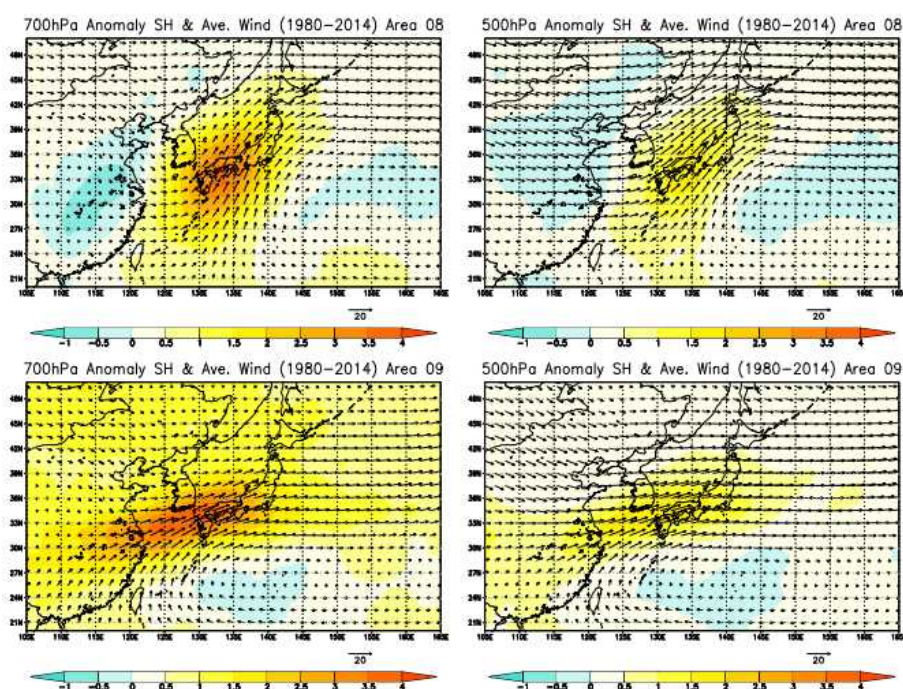
図(1)-9 APHRODITE-2ホームページのプロダクト画面と解析公開フロー



図(1)-10 公開システム概要

(2) 豪雨日、豪雪日の抽出と解析

日本の豪雨豪雪日を統計的に抽出し（図(1)-7）、中層の水蒸気輸送過程であるAtmospheric River (AR) との対応を試みた。ARは、非常に強い対流圏中層に及ぶ深さの水蒸気の流れて、細長く川のように流れることからこのように呼ばれている。熱帯・亜熱帯から中緯度にかけて、対流圏中層のジェット気流によって急速に水蒸気が運ばれる典型的なARは、北米大陸西岸に豪雨をもたらすことで知られている。我々は、ERA-interim再解析データを1980-2014年について用い、Yatagai et al. (2019)によるARの自動検出を適用した。偏西風の蛇行に伴い、Jet気流（トラフ）の前面で中高緯度に水蒸気が輸送されることが多く、日本付近のAR出現傾向には、蛇行するタイプのARに経年変動傾向が大きく、エルニーニョよりはラニーニャ時の出現が多かった。本研究によるAPHRO_JP（SVC）を用いて暖候期の豪雨日に対する豪雨領域周辺でのAR出現を調べたところ、豪雨日の33%~65%にARが上空または近傍に出現していた。この豪雨with AR日の割合が最大であった北部九州(65%)と、多降水地域で知られる四国・紀伊半島(44%)について、季節的な豪雨with AR日の出現特性を調べ、水蒸気輸送・収束場・大気循環場との対応を合成解析により3次的に明らかにした（図(1)-11,末藤2019）。



図(1)-11 風と比湿偏差の合成図。四国・紀伊半島地域と北部九州地域において、豪雨日でありしかもARが付近に出現した日の700hPa面、500hPa面での風速(m/s)と比湿偏差の合成。上段：四国・紀伊半島地域（左：700 hPa面、右：500 hPa面）、下段：北部九州地域（左：700 hPa面、右：500 hPa面）。矢印は風偏差25m/s、陰影は比湿偏差。

この手法を応用し、西日本豪雨時には時別降水データを、アメダス+MLITによりRatio、SVCの内挿により作成し、ARの位置と比較した。また気象庁メソモデル出力値による水蒸気Flux3次元分布を作成し、山岳や四国西の豊後水道の地形的影響が共通するので、広島豪雨（2014年）と西日本豪雨（2018年）の降水、水蒸気分布について比較することで本データの有効性を示した（Yatagai et al., 2019）。

一方、1年目から行っていた、2日連続降水とNepal Landslideとの対応（安藤 2017）、5日降水場と水蒸気輸送場の主成分分析による解析（鈴木2017）は、共同研究先である、英国シェフィールド大学David Petley教授、Melanie Froude研究員と、ひきつづきSkypeで意見交換しながら、複数の論文発表のため準備中である（一つは谷田貝ほか2018に掲載済み）。

APHRODITEデータがあることで、豪雨、多雪をもたらす循環場、水蒸気輸送を比較する研究が弘前大学では進展している。（卒業論文でも国際学会に発表できる内容になる）。津軽平野に侵入する雪雲

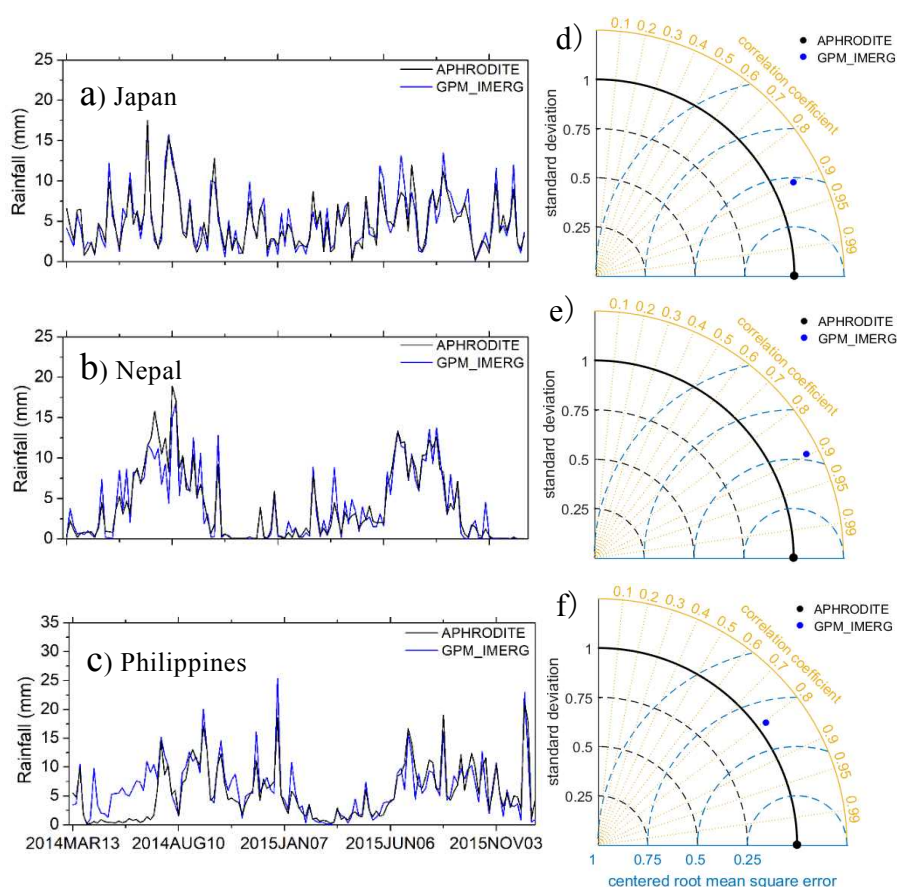
への岩木山の影響（小泉2018）、札幌（木下2017）や新潟県（古田2019）における降雪の地域性と循環場の解析など、複数の成果を予定以上に出すことができた。

（3）APHRODITEによるGPM_IMERGの初期検証

APHRODITE-2グリッドデータ（V1101アルゴリズム）を用いて、IMERGプロダクト（ver. 5, final product）降水推定値を気候帯が異なる三つの国、日本、ネパールおよびフィリピンについて検証した（図(1)-12）。降水推定アルゴリズム開発者にとって重要な課題の一つは、ごくわずかな降水や豪雨を検出すること、降水量測定の難しい山岳地での測定を可能にすること、降雨と降雪の識別が挙げられる。

対象調査期間（2014年～2015年）にわたるIMERGの面積平均降水量推定と基準降水量測定の日々の変動時系列は、日界をそろえ5日間降水で示した。IMERGの面積平均降水量は、日本、ネパール、フィリピンの順で基準であるAPHRODITE降水量に近い。IMERG推定の平均降水強度は、ネパールの雨期では過小評価で、逆に日本とフィリピンでは過大評価である。

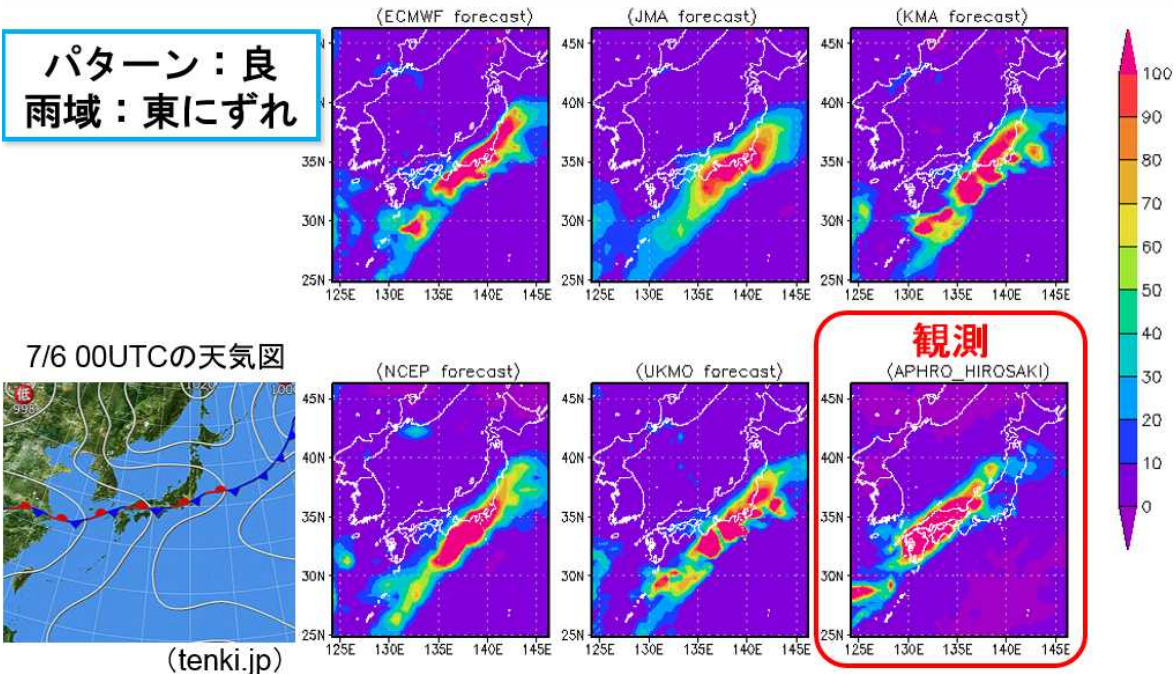
図(1)-12右のテイラーダイアグラムでは、1日という時間解像度での時空間IMERG降水量推定の検証を示している。基本統計的指標（平均平方根誤差、相関）から、領域規模では日本・ネパール領域で相関関係が良い。一方、フィリピン領域の相関関係は、日本・フィリピン領域にわたって測定される相関係数の大きさに近い。IMERGが推定する降水量の変動性は、標準偏差が1に近いことを示すように、フィリピンでの降水量の変動制と同じである。平方根誤差（RMSE）の大きさは、日本とネパールでは0.5に近く、フィリピンでCRMSEが0.5～0.75の間であり、日本とネパールが基準であるAPHRODITEに近いことを示している。



図(1)-12 IMERGの面積平均降水量推定と基準降水量測定の日々の変動の日本(a, d)、ネパール(b, e)、フィリピン(c, f)における比較。(a-c) APHRODITEとGPM_IMERGの時系列比較、(d-f) テイラーダイアグラム。

(4) スーパーアンサンブル実験

APHRODITE日降水量を基準にする日単位の予報を、西日本豪雨時のグリッド降水データを用いて試みた(寺田 2019)。TIGGEデータベースから、ECMWF, JMA, KMA, NCEP, UKMOの5種類の24, 48, 72, 96,120時間予報降水データをDLし、APHRODITE(海域はGPM)も同じ時間に整備し図化した。西日本豪雨災害時の降水は、台風の通過後の影響もあり、どの予報センターとも降雨域が東にずれた日が多かった。図(1)-13に示した7月6日の例でも、西日本豪雨が発生した九州、四国、中国、中部でなく、関東付近に豪雨帯がみられる。この5つの予報を、他の期間でAPHRODITEを基準にパラメータを決めても、マルチモデルスーパーアンサンブル(MMSE)の結果は、精度のよい単独モデルを超えることはなかった。ただし、陸域の地形性降雨など、降る場所に地形の特長がある地域を抽出すると、MMSEがもっとも成績がよくなるフェーズ、地域があった。現在のMMSE手法は、同じ解像度グリッドにデータを整備し、そのグリッドのみにおける基準データ(teacher)と複数のモデルデータを比較するので、今回のようにシフトする例では効果がうすく、今後は周囲の情報や、別の要素との相関関係から地域的な豪雨を求める必要があるかもしれない。昨今数値シミュレーションのポストプロセスに人工知能を用いる試みがあるが、だからこそ、基準となる高精度観測データが必要であろう。



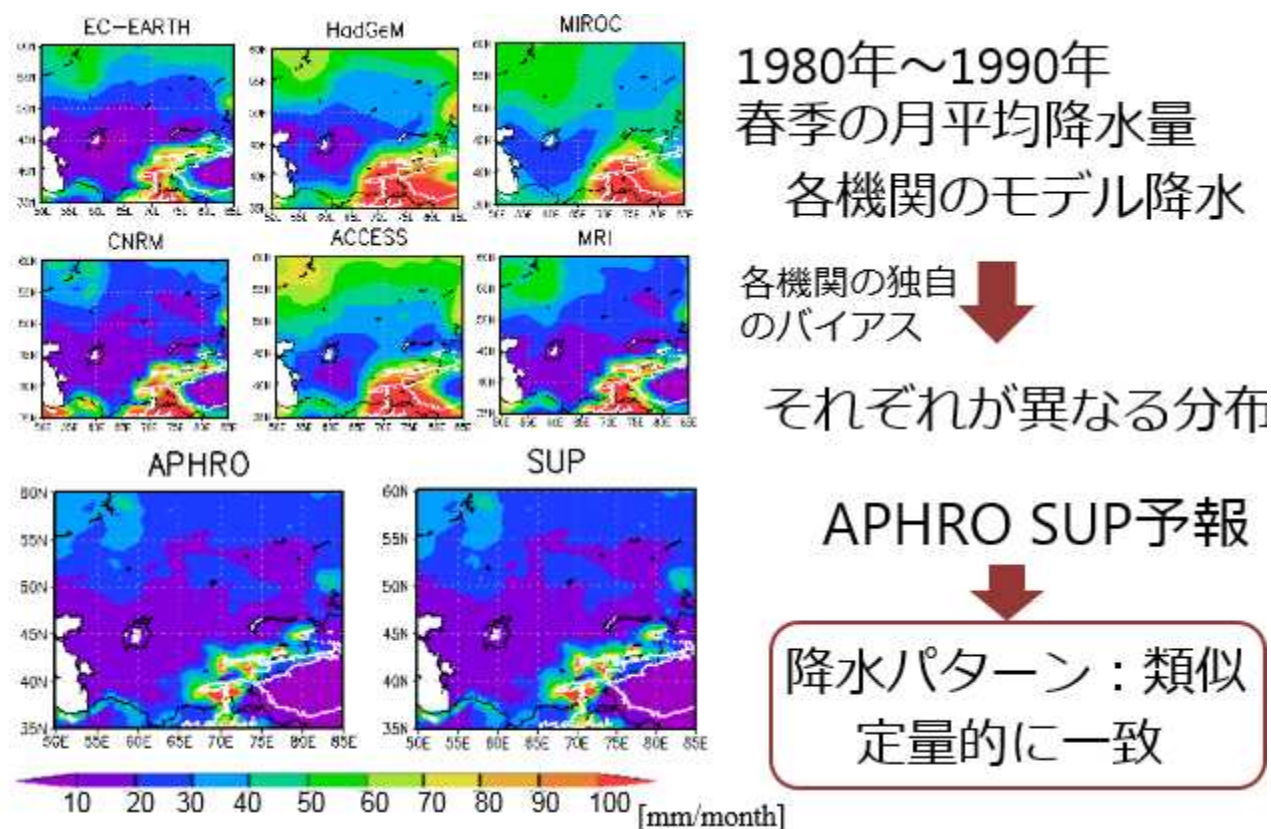
図(1)-13 2018年7月6日の日本付近降水量(世界時7月6日00UTCからの24時間予報)。

表(1)-1 CMIP5 モデル名と解像度

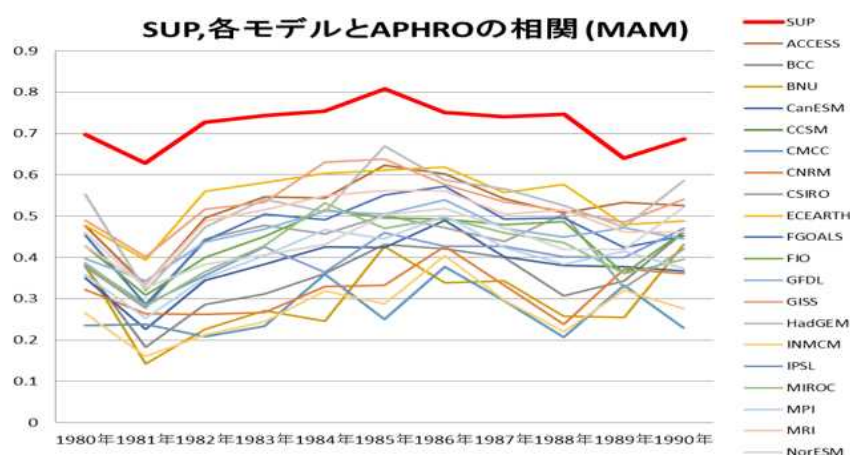
一方で、CMIPによる月降水量のスーパーアンサンブルはどうであろうか。表(1)-1に用いたモデルのリストを示す。Yatagai et al.(2019)は中近東、千田(2019)は中央アジア、五木田(2019)は東南アジアの降水のMMSEを行った。ここでは中央アジアの例を示す。中央アジアは春季が雨季の地域が多いため、図(1)-14に春季の合成結果を示す。APHRODITEへの入力データ数(精度)の点で、1980-1990年のデータを用いた。

10年分のデータでtrainingし、

モデル名	機関名	水平分解能
ACCESS (1.3)	オーストラリア気象局	1.875° × 1.241°
BOC-CSM1-r1	北京気象センター・中国気象局	1.125° × 1.125°
BNU-ESM	北京師範大学(中国)	2.813° × 2.813°
OCSM4	アメリカ大気研究センター	1.250° × 0.938°
CMCC-CM	地中海気候変動センター(イタリア)	0.750° × 0.750°
CNRM-CM5	国立気象研究センター(フランス)	1.406° × 1.406°
OSIRO-Mk3	気候変動センター(オーストラリア) ※	1.875° × 1.875°
CanESM2	カナダ気候モデル解析センター	2.181° × 2.182°
EC-EARTH	EC-ERATH組合	1.125° × 1.125°
FGOALS-s2	中国科学アカデミー大気科学研究所	2.812° × 1.667°
FIO-ESM	第一海洋科学研究所(中国)	2.813° × 2.813°
GFDL-ESM2G	アメリカ海洋大気庁	2.500° × 2.000°
GISS-E2-H	アメリカ航空宇宙局	2.500° × 2.000°
HadGEM2-ES	ハドレーセンター(イギリス)	1.875° × 1.241°
INMCM4	数理研究所(ロシア)	2.000° × 1.500°
IPSL-CM5A-LR	ピエール=シモン=ラプラス研究所(フランス)	3.750° × 1.875°
MIROC-ESM	東京大学・国立環境研・JAMSTEC・北海道大学・名古屋大学・九州大学	2.813° × 2.813°
MPI-ESM-LR	マックス・プランク気象研究所(ドイツ)	1.875° × 1.875°
MRI-ESM	気象研究所(日本)	1.125° × 1.125°
NorESM1-M	ノルウェー気候センター	2.500° × 1.875°



図(1)-14 CMIP5の春季（MAM）降水量分布の例。左下はAPHRODITE,右下はそれぞれ10年分のデータを用いてtrainingし、1年分の予報合成を行ったものの平均。



図(1)-15 各年、各モデルの、春季降水量のAPHRODITEとの空間相関。太赤線は、スーパーアンサンブル結果。

1年分の予報を繰り返すのであるが、APHRODITEパターンとSUP（スーパーアンサンブル）合成パターンは酷似している。各年、各モデルのAPHRODITEとの空間相関と、SUPのAPHRODITEとの相関係数時系列を図(1)-15にまとめた。どの年においてもSUPの相関係数は個々のモデルよりも圧倒的に高い。1981年など個々のモデルの予報精度がよくない年はSUP結果も相対的に低くなっている。この図はすべてのモデルを用いているが、MMSEではグリッド位置にもよるがパフォーマンスのよいモデルの合成比重が高くなるので、20のモデルを用いても上位6つのモデルを用いても結果はほぼ同じになる。

そこで、空間相関がよい6つのモデルと、時系列相関がよい6つのモデルを選定した。両者の顔ぶれは異なるが、EC-EarthとMRIは両方に含まれた。これらのtraining phaseで合成パラメータを決定したあと、上記では残りの1年のアンサンブルを行うのだが、ここで決定したパラメータを用いて、温暖化シナリオ実験

の出力値の合成を試みた。その結果、空間相関のよい6つのモデルによる結果と、時系列相関のよい6つのモデルによる結果は異なるものとなった。前者はRCM8.5シナリオにより、降水が増えると予測したが、後者は減ると予測した。モデルによる降水は詳細な降水場所がずれることはあるが、図(1)-14に示すような領域全体で多雨・少雨の傾向を示しているモデル（すなわち時系列相関が高い）のほうが、温暖化時の力学的、synopticな循環場の変化を踏まえた結果をより正しく出せると考えられるが、今後領域の取り方や、解析期間をかえて調査する必要がある。なお、中近東で行った際にも、SUPのパフォーマンスは極めてよかったが、過去の降水トレンド（全般的に減少）をモデルアンサンブル（単純平均）は大まかに表現できていたが、SUPによる合成結果（ダウンスケーリング結果）のトレンドは、全く現実（historical）を表していなかった。SUPの合成は、その地点（グリッド）の経験に基づく合成・ダウンスケーリングにすぎないことには注意が必要である。しかしながら、ダウンスケーリング手法の開発が待たれている現在、精度よいデータとそれを用いた様々なテストは不可欠である。

（５）協力機関との関係維持

主に次のことを行った。

- WCRPのExtreme評価の専門家であるXuebin Zhang氏（カナダ）を訪問し、APHRODITE-2の主旨を伝え、今後の協力について打合せた。
- 2016年9月、（別経費で上記landslideのデータベース作成者Petley氏を訪問した帰路に）イギリス気象庁（UKMO）を訪問し、APHRODITE-2の目的と進捗を報告し、イギリスやヨーロッパを中心とする同様の活動について情報入手した。また、続いてオランダ気象庁（KNMI）を訪問し、セミナーを行ったほか、彼らが入手している降水量データや作成している降水グリッドデータ、品質管理手法について意見交換した。可能な限り、お互いの活動にデータを使えるようにしようと話し合った。
- 2016年8月、米国海洋大気省（NOAA）の国立環境情報センター（National Center for Environmental Information、NCEI）および気候予測センター（Climate Prediction Center、CPC）を訪問し、日界や品質管理、アルゴリズム開発について意見交換した。
- 2016年11月、ネパール水文気象局（DHM）を訪問し、APHRODITEグリッドデータ作成手法（Task1、Task4）を説明し、実習（workshop）を行った。地点情報の不明な点について情報を得、2015年の降水量データも入手できた。
- 気候モデルのダウンスケーリングを行っているグループ（CORDEX）の東南アジア会合に参加し、APHRODITE-2について説明した。皆、APHRODITEデータのユーザーであり、sub-daily（1日未満の時間スケール）のデータ作成に期待が寄せられた。データ入手の協力を呼びかけた。
- 2017年3月7-8日、京都で国際ワークショップを開催し、APHRODITE-1にてポストドクなどで協力いただいた研究者、現在の協力機関（テルアビブ大学、フロリダ州立大学）の研究者も招聘した。気象庁、気象研究所からも参加者があった。イランの降水データを入手できた。
- 2017年3月21日、インドのIIT Roorkeeを訪問し、セミナーを行った。インド北部の降水データを入手できた。
- 2017年9月11-14日、千葉大学でワークショップを開催し、APHRODITEグリッドデータ作成手法（Task1、2、4）を説明し、実習（workshop）を行った。マレーシア、ベトナム、スリランカなど、18カ国の降水データを入手できた。
- 2017年11月27-28日、ネパール水文気象局（DHM）を訪問し、APHRODITEグリッドデータ作成手法（Task1、2、4）を説明し、実習（workshop）を行った。ネパールの降水データを入手できた。
- 2018年5月16-22日、弘前大学でワークショップを開催し、APHRODITEグリッドデータ作成手法（Task1、2、4）を説明し、実習（workshop）を行った。イラン、バングラデシュ、パキスタンの降水データを入手できた。
- 2018年8月22-29日、弘前大学でワークショップを開催し、APHRODITEグリッドデータ作成手法（Task1、

2、4)を説明し、実習（workshop）を行った。パキスタンの降水データを入手できた。

5. 本研究により得られた成果

（1）科学的意義

- ・日本域、アジアモンスーン地域について、APHRODITE日降水量、日平均気温データを作成、2015年まで更新した。2018年9月のV1801（日界混在させない版）およびV1101EX（従来通りの手法）、V1808（気温）、2019年4月のV1901（日界を世界時24UTC区切りに統一）2019年4月末現在、本システムへの登録ユーザー数は約700名である。登録ユーザーの所属機関は、33カ国、162機関に及ぶ。これまでの最大アクセス数はV1801公開日（2018年9月27日）の504件であり、またV1901公開日（2019年4月19日）には420件のアクセスがあった。これから多方面に利用される。特にアドバイザーからは、AR6（IPCC第6次報告書）の執筆のタイミングに照らしてちょうどよい、日界補正APHRODITEプロダクトを公開すると、温暖化、水問題にかかわるあらゆる分野に莫大な貢献となると指摘されている。
- ・日界補正適用、衛星による品質管理手法、内挿方法改良（地点値保存）、日平均気候値の改良によって極端降水の再現性が大幅に向上した。
- ・旧プロダクト（V1101）では異なる日界の観測データが混在していたため、モデルや衛星推定降水の検証や日単位の補正には不向きだったが、日界補正によりデータ精度と利便性が大幅に向上した。
- ・複数のモデルのアンサンブル手法、ダウンスケーリング手法を適用し、APHRODITEデータの、温暖化影響評価、適応策策定、行政判断への貢献例をサブ1が示すことができた。

（2）環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

- 冬季降雪の定量評価、山岳域の内挿手法の改良を行った。温暖化影響評価、適応策策定に活用可能である。
- 複数の気候モデル・日降水予報データを当該課題成果（日界補正APHRODITE）を基準にダウンスケーリングし気候モデル（CMIP）や予報（TIGGE）と組み合わせSuperEnsemble手法により誤差を最小に合成した。
- APHRODITEデータは気候変動による自然災害の影響評価に必須である。ネパールなど急斜面の豪雨/landslideの評価、日本の豪雨/landslide災害に影響するARの解析、2018年西日本豪雨時の特別グリッドデータを作成し解析を行った。
- APHRODITEデータの更新・公開は、IPCCにも伝えられた。
- 国連事務総長と世界銀行総裁が世界10カ国の大統領および首相と協力して、2016年4月に設立した「水に関するハイレベルパネル（HLPW）」は、同年9月にレジリエントな経済と社会構築に水災害軽減が必要であるとする活動計画を採択した。また、同年12月の国連総会で「国連水と持続可能な10年」が2018年3月から開始されることが決議された。現在それを受けて、アジア各国において、その実施項目が検討されており、その第一の取り組みとして、国内行政機関と学術機関が協力して水災害軽減に取り組むため、すでにスリランカ、フィリピン、パキスタンでプラットフォーム設置が認められ、ミャンマー、インドネシア、ベトナムで設置準備が進んでいる。この各国の水政策支援にAPHRODITE-2の貢献が強く期待されており、本事業の事務局を担っている水災害・リスクマネジメント国際センター（ICHARM）からAPHRODITEは協力要請をうけている。
- 2016年度から実施している文部科学省による統合的気候モデル高度化研究プログラムでは、気候モデ

ルによる気候変動の理解、将来予測、研究成果の社会実装を目的とした、高度化させた気候変動予測データセットの整備に取り組んでいる。日界補正を施したAPHRODITEプロダクトをGCMのバイアス補正に使用したり、豪雨危険性評価に活用することが見込まれている。

- 災害対策分野における日本の技術水準は世界有数である。本課題は、途上国の若手研究者とも交流、キャパシティービルディングを行い、成果を発信することで、環境省のA-Plat, AP-Platに貢献する。APHRODITE-1はFSを入れて6年、APHRODITE-2は3年の計9年間推進費で活動させていただいたが、その波及効果は省庁を超え、APHRODITEデータの習得を望む若者との交流事業（JSTさくらサイエンス、JSPS二国間交流（トルコ））にも及んだ。APHRODITE-2でも気象庁の方が協力者として助けてくださったが、そのつながりもあり、気象庁や気象研究所の立場の方から、IPCC、WCRPを含む行政レベルの第一線の方に紹介をいただいた。温暖化適応のための社会基盤の礎として、必ず本研究によるプロダクトや成果（知見）は用いられる。

6. 国際共同研究等の状況

- ・WCRPの6つのGrand Challengeのうちの1つがExtremeであり、そのデータ会合に谷田貝は参加したことで、そのco-chairであるXuebin Zhang (カナダ)、Lisa Alexander (オーストラリア)、Albert Klein Tank (オランダ)らと意見交換やAPHRODITE-2プロジェクトについて日常的に電子メールで意見交換している。2018年6月ハワイで開催されたAOGS2018会議に谷田貝はPrecipitation Extremeというセッションを企画し、Lisa Alexanderを招聘した。
- ・APHRODITE-1 (B062, A0601) 課題時より協力関係の続く、テルアビブ大学Pinhas Alpart氏を2016年3月の国際ワークショップに招聘した。
- ・マルチモデルスーパーアンサンブルについては、APHRODITE-1 (B062, A0601) 課題時より、フロリダ州立大学 (FSU) T.N. Krishnamurti教授と共同研究を行い、ソースコードを使える立場にある。2018年2月、Krishnamurti教授が他界されたが、彼のポストドクであったVinay Kumar博士 (Texas A&M大学) が2017年3月の国際ワークショップおよび2018年8月弘前に滞在され、Superensembleが実行できるように環境を整えた。また、APHRODITEデータを基準に中近東でCMIP合成スーパーアンサンブルを行った研究(Yatagai et al., 2019)は、2年前から受理されていたが2019年出版された。
- ・ネパールにおけるlandslide評価は、本研究課題開始後の2016年5月にPetley氏と初めて話し、比較研究を実施することになった。2016年7月谷田貝は英国Sheffield大学を訪問、Petley教授および氏のアシスタント (PD) のMelanie Froude氏と意見交換した。谷田貝の担当する学生2名と共に月1回程度のインターネット会議をもち、共同研究をすすめ、安藤 (2017)、鈴木(2017)、谷田貝ほか (2018) などにまとめた。今後山岳地域でのlandslide災害の予報警戒は重要であり、本共同研究により得られた成果を高いインパクトファクターの雑誌に投稿すべく、引き続き意見交換と執筆を行っている。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文 (査読あり)>

- 1) Yatagai, A. and S. Oyama : J. Meteor. Soc. Japan, 94, doi:10.2151/jmsj. 2016-026, 2016.
Thermospheric nocturnal wind climatology observed by Fabry-Perot Interferometers over the Asia-Oceania Region
- 2) Tsou C.-Y., M. Chigira, D. Higaki, G. Sato, H. Yagi, H. P. Sato, A. Wakai, V. Dangol, S. C. Amatya, A. Yatagai : doi.org/10.1007/s10346-017-0913-9(2017).
Topographic and geologic controls on landslides induced by the 2015 Gorkha earthquake and its aftershocks: an example from the Trishuli Valley, central Nepal, landslides

3) Yatagai, A., V. Kumar and T.N. Krishnamurti : (2017)

“Development of Precise Precipitation Data for Assessing the Potential Impacts of Climate Change” in T. Watanabe and M. Aydin “Climate Change Impacts on Basin Agro-ecosystem” Springer Hexagon Series, 33-47.

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 谷田貝亜紀代、David Petley、Melanie Froude、千木良雅弘、檜垣大介、鄒青穎、安藤千晶：日本気象学界2016年度秋季大会予稿集（2017）
「ヒマラヤ山岳域のLandslide災害への局地的降水影響の評価」（序報）
- 2) 安藤千晶、鈴木隆太郎、谷田貝亜紀代、増田南波、檜垣大助、鄒青穎、David N. Petley、Melanie Froude、千木良雅弘：京都大学防災研究所共同研究発表会要旨(#47) (2017)
「ネパールのlandslideとAPHRODITE降水量とモンスーンインデックスの関係」
- 3) Yatagai, A., M. Masuda, M. Chigira, D. N. Petley, M. Froude, C. Ando and R. Suzuki：京都大学防災研究所共同研究発表会要旨（2017）.
“On the relationship between the spatial distribution of landslides in Nepal and APHRODITE’s orographic precipitation pattern”
- 4) 安藤千晶：弘前大学理工学部地球環境学科、平成28年度卒業論文、108pp (2017)
「ネパールのlandslideと降水の関係」
- 5) 木下知里：弘前大学理工学部地球環境学科、平成28年度卒業論文、50pp (2017)
「主成分分析による札幌市冬季降水量の主要変動解析と気象学的考察」
- 6) 黒崎豊：弘前大学理工学部地球環境学科、平成28年度卒業論文、64pp (2017)
「降水安定同位体による大気循環場の解析－1998年 GEWEX-GAME / Tibet における事例研究－」
- 7) 末藤菜保：弘前大学理工学部地球環境学科、平成28年度卒業論文、38pp (2017)
「Atmospheric Riverが日本の豪雨に与える影響」
- 8) 鈴木隆太郎：弘前大学理工学部地球環境学科、平成28年度卒業論文、67pp (2017)
「ネパールにおけるモンスーン期降水卓越パターンとlandslide災害」
- 9) 増田南波：弘前大学理工学部地球環境学科、平成28年度卒業論文、54pp (2017)
「日本における日降水グリッドデータの風による捕捉損失の補正」
- 10) 谷田貝亜紀代・木下知里：日本気象学会東北支部気象研究会報告書、P15-16 (2017)
「札幌・東北日本海側の降雪地域分布と経年変動特性」
- 11) 増田南波・谷田貝亜紀代・上口賢治・田中賢治：日本気象学会東北支部気象研究会報告書、P29-30 (2017) 「日本における日降水グリッドデータの風による捕捉損失の補正」
- 12) 末藤菜保・谷田貝亜紀代・高薮縁：日本気象学会東北支部気象研究会報告書、P45-46 (2017)
「Atmospheric Riverが日本の豪雨に与える影響」
- 13) 谷田貝 亜紀代：ヤマセ研究会 平成29年度研究成果報告書『東北地域における気象・気候情報の高度利用』、P44-46 (2018) 「ヤマセデータベースと2017年の特徴」
http://wind.gp.tohoku.ac.jp/yamase/reports/report_2017_201803_finalver.pdf
- 14) 谷田貝亜紀代・鈴木隆太郎・安藤千晶・Melanie FROUDE・David PETLEY・増田南波・千木良雅弘 (2018): Nepal Landslideをもたらしやすいmonsoon循環, 京都大学防災研究所年報, 61B, 589-595.
- 15) 大嶋香葉 (2018) :南大西洋収束帯における山岳の役割と海面水温が与える影響, 弘前大学理工学部地球環境学科、平成29年度卒業論文、43pp
- 16) 奥村祐太郎 (2018) :福島第一原発事故の放射性物質の拡散・沈着シミュレーションにおける降水過程の影響について, 弘前大学理工学部地球環境学科、平成29年度卒業論文、51pp
- 17) 小泉創大 (2018) :ひろだい白神レーダーで観測された津軽平野における降雪の地形的影響, 弘前大学理工学部地球環境学科、平成29年度卒業論文、44pp.
- 18) 薛夏海 (2018) :梅雨期末期の九州における豪雨の構造について, 弘前大学理工学部地球環境学科、

平成29年度卒業論文、19pp.

- 19) 谷田貝亜紀代、前田未央、増田南波、末藤菜保、安富奈津子、Sunil KUMAR (2019) : 「極端降水解析のための日降水量グリッドデータAPHRODITEの改良」 平成30年度情報処理学会東北支部研究会報告 (A2-2) . <http://www.topic.ad.jp/ipsj-tohoku/doku.php?id=report>
- 20) 谷田貝亜紀代、今井雅、前田未央、石田祐宣 (2019) : 「APHRODITEデータのDB化による品質管理およびweb上でのデータ公開について」 平成30年度情報処理学会東北支部研究会報告 (A2-3) . <http://www.topic.ad.jp/ipsj-tohoku/doku.php?id=report>
- 21) 五木田夏実 (2019) 「CMIPマルチモデルスーパーアンサンブル手法を用いたインドシナ半島の気候再現」 平成30年度弘前大学理工学部地球環境学科卒業論文, 29pp.
- 22) 寺田那生 (2019) 「マルチモデル予報データと高精度観測データによる平成30年7月豪雨のスーパーアンサンブル」 平成30年度弘前大学理工学部地球環境学科卒業論文, 78pp.
- 23) 千田彩乃 (2019) 「中央アジアの降水量の定量評価と温暖化時の変化予測」 平成30年度弘前大学理工学部地球環境学科卒業論文, 41pp.
- 24) 南孝太郎 (2019) 「平成30年7月豪雨における広島付近での水蒸気輸送と豪雨の関係—平成26年8月豪雨との比較—」 平成30年度弘前大学理工学部地球環境学科卒業論文, 40pp.
- 25) 古田みなみ (2019) 「主成分分析を用いた新潟県の冬季降水量の解析」 平成30年度弘前大学理工学部地球環境学科卒業論文, 88pp.
- 26) 末藤菜保 (2019) 「日本の暖候期の豪雨に影響するAtmospheric Riverとその循環場の解析」 2018年度弘前大学大学院理工学研究科理工学専攻地球環境学コース修士論文, 32pp.
- 27) 増田南波 (2019) 「北日本の冬季降水量の定量評価—雨量計を基にした日降水量グリッドデータの内挿誤差と捕捉率の補正—」 2018年度弘前大学大学院理工学研究科理工学専攻地球環境学コース修士論文, 46pp.

(2) 口頭発表 (学会等)

- 1) Akiyo Yatagai : KNMI (オランダ気象庁) , September 5, 2016.
“Experience of APHRODITE daily gridded precipitation analyses & APHRODITE-2 project”
- 2) 樋口篤志、広瀬民志、豊嶋紘一、牛尾知雄、妻鹿友昭、重尚一、山本宗尚、谷田貝亜紀代 : 2016年度水文・水資源学会研究発表会、コラッセふくしま、2016年9月15～17日
「静止気象衛星群を活用した降水関連情報の抽出、およびその利用」
- 3) 谷田貝亜紀代、David Petley、Melanie Froude、千木良雅弘、檜垣大介、鄒 青穎、安藤千晶 : 日本気象学会2016年度秋季大会、名古屋大学、2016年10月26～28日
「ヒマラヤ山岳域のLandslide災害への局地的降水影響の評価 (序報)」
- 4) Yatagai, A. : Seminar “APHRODITE daily gridded precipitation analyses”, Department of Hydrology and Meteorology (DHM ; ネパール水文気象局) , Kathmandu, Nepal, November 8-9, 2016.
- 5) Yatagai, A. : CORDEX Southeast Asia workshop, Hanoi Vietnam, November 23, 2016.
“APHRODITE-2: Status and call for cooperation”
- 6) Yatagai, A., Y. Takayabu and N. Sueto : AGU 2016 Fall meeting, December 12-16, 2016.
“On the relationship between atmospheric river (AR) and heavy precipitation over Japan”
- 7) Sato, H., K. Kamiguchi, Y. Mochizuki and A. Yatagai : American Meteorological Society Annual meeting, Seattle, USA, January 23-27, 2017.
“Using APHRODITE for improving operational extreme precipitation monitoring around the world”
- 8) Yatagai, A., M. Masuda, M. Chigira, D. N. Petley, M. Froude, C. Ando and R. Suzuki : DPRI Annual meeting (京都大学防災研究所研究発表講演会) , Kyoto University, February 21-22, 2017.
“On the relationship between the spatial distribution of landslides in Nepal and APHRODITE’s orographic precipitation pattern”

- 9) Akiyo YATAGAI: International workshop on evaluating precipitation extremes and their relation to disasters, Kyoto, March 7-8, 2017.
 “Legacy of APHRODITE-1” & “What we are going to do in APHRODITE-2”
 “Changes of atmospheric precipitable water in observations and reanalysis over China”
- 10) Pinhas ALPERT : International workshop on evaluating precipitation extremes and their relation to disasters, Kyoto, March 7-8, 2017.
 “Challenges in rainfall observations & predictions over the Mid-East”
- 11) Sunil KUMAR : International workshop on evaluating precipitation extremes and their relation to disasters, Kyoto, March 7-8, 2017.
 “Review of various statistical merging approaches for high-resolution satellite and gauge precipitation data sets”
 “Evaluation of APHRODITE’s precipitation over the central Himalaya, Nepal”
- 12) Yoshimitsu MASAKI : International workshop on evaluating precipitation extremes and their relation to disasters, Kyoto, March 7-8, 2017.
 “Summary of presentation and user requirements”
- 13) Vinay KUMAR : International workshop on evaluating precipitation extremes and their relation to disasters, Kyoto, March 7-8, 2017.
 “APHRODITE rainfall: A benchmark dataset for multimodel seasonal forecasts”
- 14) Hirotaka SATO : International workshop on evaluating precipitation extremes and their relation to disasters, Kyoto, March 7-8, 2017.
 “Using APHRODITE for improving operational extreme precipitation monitoring around the world”
- 15) K. Tanaka, H. Hirose, S. Tanaka, A. Yatagai, M. Masuda, and A. Higuchi : International workshop on evaluating precipitation extremes and their relation to disasters, Kyoto, March 7-8, 2017.
 “Comparison of new APHRO-JP products with radar analysis precipitation (RAP)”
- 16) Higuchi, A., K. Toyoshima, H. Hirose, K. Tanaka, and A. Yatagai : International Workshop on Evaluating Precipitation Extremes and Their Relation to Disasters, Kyoto, March 7-8, 2017.
 “Utilize geostationary meteorological satellites for the improvements of time resolution of gauge-based precipitation product: Its overview”
- 17) Toyoshima, K., A. Higuchi, H. Hirose, A. Yatagai, and K. Tanaka : International Workshop on Evaluating Precipitation Extremes and Their Relation to Disasters, Kyoto, March 7-8, 2017.
 “Utilize geostationary meteorological satellites for the improvements of time resolution of gauge-based precipitation product: Comparison between rain gauge and satellite data”
- 18) Pinhas ALPERT : 気候情報課談話会、気象庁（大手町）、2017年3月13日
 “Challenges in climate modeling & observations over the Mid-East”
- 19) 谷田貝亜紀代 : シンポジウム「温故知新：東北の気候と農業」、弘前大学、2017年3月15日
 「農業への影響予測の鍵は？」
- 20) Naho SUETO, Akiyo YATAGAI, Yukari TAKAYABU : The 2nd international workshop on “Climate Change and Precipitation in the East Asia” (高敷縁推進費2-1503国際ワークショップ), Tokyo, March 27-28, 2017.
 “The Effect of Atmospheric Rivers on Japanese Heavy Precipitation”
- 21) Akiyo YATAGAI : Roorkee, India, March 21, 2017.
 “APHRODITE-2: Asian Precipitation -- Highly Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of Extreme Events”
- 22) Akiyo YATAGAI, Petley David, Froude Melanie, Ryutaro SUZUKI, Chiaki ANDO, Masahiro CHIGIRA : JpGU-AGU Joint Meeting 2017, Makuhari Messe, Chiba, May 20-25, 2017.
 “Application of the high-resolution APHRODITE precipitation product to rainfall-triggered fatal landslide occurrence in Nepal”

- 23) Yutaka KUROSAKI, Akiyo YATAGAI, Atsuko SUGIMOTO : JpGU-AGU Joint Meeting 2017, Makuhari Messe, Chiba, May 20-25, 2017.
 “An analysis of the atmospheric circulation around the Tibetan Plateau revealed by the stable isotope in precipitation—A case study of GEWEX-GAME/Tibet in 1998”
- 24) 谷田貝亜紀代、田中茂信、樋口篤志、田中賢治、上口賢治、安富奈津子：日本気象学会2017年度春季大会、国立オリンピック記念青少年総合センター、2017年5月25～28日
 「極端降水評価と気象解析のための APHRODITE アルゴリズムの改良 - APHRODITE-2 紹介 -」
- 25) Naho SUETO, Akiyo YATAGAI, Yukari TAKAYABU : AOGS, Singapore, August 6-11, 2017.
 “The Effect of Atmospheric Rivers on Japanese Heavy Precipitation”
- 26) Yatagai, A., M. Masuda, K. Kamiguchi, K. Tanaka, A. Higuchi, K. Toyoshima : AOGS, Singapore, August 6-11, 2017.
 “Asian Precipitation - Highly Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of Extreme Events -- Targets and Initial Products --”
- 27) Yatagai, A., M. Froude, D. Petley, R. Suzuki, C. Ando : AOGS, Singapore, August 6-11, 2017.
 “On the Relationship between the Monsoon Rainfall Reveled by the High-Resolution Daily Precipitation Product APHRODITE and Landslides in Nepal”
- 28) Yatagai, A., V. Kumar, T. N. Krishnamurti : IAMAS/IAPSO/IAGA, Cape Town, South Africa, August 27 - September 1, 2017.
 “Development of Precise Precipitation Data for Assessing the Potential Impacts of Climate Change for Middle East and Africa”
- 29) Yatagai, A. : IAMAS/IAPSO/IAGA, Cape Town, South Africa, August 27 - September 1, 2017.
 “APHRODITE-2: Asian Precipitation -- Highly Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of Extreme Events”
- 30) 谷田貝亜紀代、増田南波、田中賢治、樋口篤志：水文・水資源学会2017年度研究発表会、北見工業大学、2017年9月19～21日
 「APHRODITE-2によるグリッド降水量作成アルゴリズム改良～初期結果～」
- 31) Natsuko Yasutomi, Akiyo Yatagai, Shigenobu Tanaka, Kenji Tanaka, Atsushi Higuchi, Kenji Toyoshima: ICSU-WDS Asia-Oceania Conference, Kyoto, September 27-29, 2017.
 “APHRODITE-2 activities: for better presentation of extreme rainfall events”
- 32) 末藤菜保：日本気象学会2017年度秋季大会、北海道大学、2017年10月30日～11月2日
 「Atmospheric Riverが日本の豪雨に与える影響」
- 33) 谷田貝亜紀代：日本気象学会2017年度秋季大会、北海道大学、2017年10月30日～11月2日
 「札幌の降雪の地域性と広域循環場・グローバルシグナルの影響」
- 34) 谷田貝亜紀代、木下知里：気象学会東北支部気象研究会、仙台管区气象台、2017年12月4～5日
 「札幌・東北日本海側の降雪地域分布と経年変動特性」
- 35) 増田南波、谷田貝亜紀代、上口賢治、田中賢治：気象学会東北支部気象研究会、仙台管区气象台、2017年12月4～5日「日本における日降水グリッドデータの風による捕捉損失の補正」
- 36) 末藤菜保、谷田貝亜紀代、高薮緑：気象学会東北支部気象研究会、仙台管区气象台、2017年12月4～5日
 「Atmospheric Riverが日本の豪雨に与える影響」
- 37) 増田南波、谷田貝亜紀代、上口賢治、田中賢治：平成29年度京都大学防災研究所研究発表講演会、京都大学、2018年2月20～21日
 「日本における日降水グリッドデータの捕捉率補正」
- 38) 谷田貝亜紀代：シンポジウム「災害に備える－気象災害から健康影響まで－」、弘前大学、2018年3月27日
 「降水観測とデータ（ひろだい白神レーダー）」

- 39) 谷田貝亜紀代、増田南波、上口賢治、Kumar Sunil、安富奈津子、前田未央 : JpGU 2018, Makuhari Messe, Chiba, May 20-24, 2018.
 “Improving APHRODITE algorithm for assessing precipitation extremes -- Check End of the Day --”
- 40) Sunil KUMAR, Akiyo YATAGAI, Natsuko YASUTOMI, Minami MASUDA : JpGU 2018, Makuhari Messe, Chiba, May 20-24, 2018.
 “PRELIMINARY EVALUATION OF GPM PRECIPITATION ESTIMATES OVER TWO DISTINCT CLIMATE ZONES WITH HIGH RESOLUTION APHRODITE PRODUCT”
- 41) 増田南波、谷田貝亜紀代、上口賢治、田中賢治 : JpGU 2018, Makuhari Messe, Chiba, May 20-24, 2018.
 “Daily adjustment for the wind-induced precipitation undercatch of daily gridded precipitation in Japan”
- 42) Akiyo YATAGAI, Sunil KUMAR, Minami MASUDA, Mio MAEDA, Natsuko YASUTOMI : AOGS 15th Annual Meeting, Honolulu, Hawaii, June 3-8, 2018.
- 43) Akiyo YATAGAI, Vinay KUMAR and T.N. KRISHNAMURTI (2018) : “Use of APHRODITE rain-gauge based precipitation and TRMM3B43 products for improving Asian monsoon seasonal precipitation forecasts”, AOGS 15th Annual Meeting, Honolulu, Hawaii, June 3-8, 2018 (*invited*).
 “Improving APHRODITE Algorithm for Assessing Precipitation Extremes - Check End of a Day -”
- 44) 谷田貝亜紀代、末藤菜保、増田南波、南孝太郎 : 平成30年7月豪雨に関する緊急対応研究会、理化学研究所計算科学研究センター（神戸）、2018年8月17日
 「APHRO_JPによる対象期間の降水分布特性および水蒸気輸送との関係」
- 45) 豊嶋紘一、樋口篤志、安富奈津子、田中賢治、谷田貝亜紀代 : 平成30年7月豪雨に関する緊急対応研究会、理化学研究所計算科学研究センター（神戸）、2018年8月17日
 「国交省河川局雨量計データのグリッド化プロダクト作成と、西日本豪雨事例について」
- 46) 田中賢治、安富奈津子、田中茂信、樋口篤志、豊嶋紘一、谷田貝亜紀代 : 水文・水資源学会 2018年度総会・研究発表会・創立30周年記念学術シンポジウム、三重大学、2018年9月12～14日
 「日本域高解像度日降水グリッドデータ APHRO_JP の改良」
- 47) Sunil KUMAR, Akiyo YATAGAI, Minami MASUDA : 日本気象学会2018年度秋季大会、仙台国際センター、2018年10月29日～11月1日
 “Preliminary evaluation of GPM IMERGE over three distinct climate regions with reference to APHRODITE”
- 48) 谷田貝亜紀代 : 日本気象学会2018年度秋季大会、仙台国際センター、2018年10月29日～11月1日
 「極端降水評価のためのAPHRODITEアルゴリズムの改良」
- 49) Akiyo YATAGAI, Natsuko YASUTOMI, Minami MASUDA : AGU Fall meeting 2018, Washington Convention center, December 10-14, 2018.
 “Using APHRODITE and APHRODITE-2 for assessment of Orographic Rainfall and Water Deficits over Asia”
- 50) Sunil KUMAR, Akiyo YATAGAI, Minami MASUDA : AGU Fall meeting 2018, Washington Convention center, December 10-14, 2018.
 “Preliminary Evaluation of GPM Precipitation Estimates Over Three Distinct Climate Zones With High Resolution APHRODITE Product”
- 51) Kenji Tanaka, Natsuko Yasutomi, Shigenobu Tanaka, Atsushi Higuchi, Koichi Toyoshima, Akiyo Yatagai : AGU Fall meeting 2018, Washington Convention center, December 10-14, 2018.
 “Improvement of the high resolution gridded precipitation dataset in Japan”
- 52) 谷田貝亜紀代、前田未央、増田南波、末藤菜保、安富奈津子、Sunil KUMAR : 平成30年度情報処理学会東北支部研究会、弘前大学、2019年2月21日
 「極端降水解析のための日降水量グリッドデータ APHRODITEの改良」
- 53) 谷田貝亜紀代、今井雅、前田未央、石田祐宣 : 平成30年度情報処理学会東北支部研究会、弘前大学、2019年2月21日

「APHRODITEデータのDB化による品質管理およびweb上でのデータ公開について」

- 54) 豊嶋紘一、広瀬民志、加藤章子、樋口篤志、安富奈津子、田中賢治、谷田貝亜紀代：GPMおよび衛星シミュレータ合同研究集会、名古屋大学環境総合館、2019年3月18～19日
「国交省河川局雨量計データを用いた降水グリッド化プロダクトの作成について」
- 55) 谷田貝亜紀代・末藤菜保・南孝太郎・高薮縁「ARの検出アルゴリズムと2018年西日本豪雨時の特徴」研究会「熱帯気象および全球降水－積雲対流から気候まで－」2019年3月23日、JAMSTEC東京事務所
- 56) Yatagai, A., A. Senda: Evaluation of orographic precipitation over Central Asia and its simulated change under a warming environment, JpGU 2019, Makuhari 26-30, 2019. (Abstract送付、発表受理済み)
- 57) Sueto, N., A. Yatagai, Y.N. Takayabu: Atmospheric Rivers and related atmospheric circulations associated with Japanese disastrous precipitation in warm season, JpGU 2019, Makuhari 26-30, 2019. (Abstract送付、発表受理済み)
- 58) Masuda, M., A. Yatagai, K. Kamiguchi, T. Nakaegawa: Quantitative evaluation of winter daily precipitation over Northern Japan, JpGU 2019, Makuhari 26-30, 2019. (Abstract送付、発表受理済み)
- 59) 谷田貝亜紀代・末藤菜保・南孝太郎・増田南波：「平成30年7月豪雨のAtmospheric Riverと豪雨分布の特徴」日本気象学会2019年度春季大会、2019年5月15-18日、国立オリンピック記念青少年総合センター、東京。(Abstract送付、発表受理済み)
- 60) Yatagai, A., K. Minami, N. Sueto, M. Masuda: Heavy rain event of July 2018: Development of precise hourly precipitation data and analysis of moisture flow, AOGS 2019, 28 July - 2 August, 2019, Singapore. (Abstract送付、発表受理済み)
- 61) Yatagai, A., N. Yasutomi, M. Maeda, H. Hirose, S. Khadgarai: APHRODITE-2: Release of EOD adjusted product and its usage for improving Asian Monsoon Forecasts, AOGS 2019, 28 July - 2 August, 2019, Singapore. (Abstract送付、発表受理済み)

(3) 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 弘前大学オープンキャンパス（2016年8月8日、弘前大学理工1号館、50名）にてAPHRODITE・APHRODITE-2のポスター展示
- 2) セミナー「IPCC第5次評価報告書の概要および国内の温暖化研究」（講師：鬼頭昭雄、2016年7月13日、コラボ弘大八甲田ホール、35名）
- 3) 「北東北女性研究者 研究・交流フェア」（2017年3月2日、アイーナいわて県民情報研究交流センター）にて、「注目研究」課題として選定され、一般参加者約100名の展示場で、研究目的、内容、成果、意義などについてポスター前で説明したほか、登壇インタビューに応じた。
- 4) International workshop on evaluating precipitation extremes and their relation to disasters (2017年3月7-8日、TKP四条烏丸、京都、35名)
- 5) シンポジウム「温故知新：東北の気候と農業」（主催：弘前大学、2017年3月15日、弘前大学岩木ホール、観客約60名）にて講演
- 6) APHRODITE-2 WORKSHOP (2017年9月11-14日、千葉大学工学部1号館、43名)にて、APHRODITEグリッドデータ作成手法を説明
- 7) APHRODITE-2 WORKSHOP (2017年11月27-28日、ネパール水文気象局 (DHM)、19名)にて、APHRODITEグリッドデータ作成手法を説明
- 8) シンポジウム「災害に備える－気象災害から健康影響まで－」（主催：弘前大学理工学研究科気象学研究室・寒地気象実験室、2018年3月27日、弘前大学岩木ホール、観客約50名）にて講演
- 9) APHRODITE-2 WORKSHOP (2018年5月16-22日、弘前大学理工1号館、15名)にて、APHRODITE

グリッドデータ作成手法を説明

- 10) APHRODITE-2 WORKSHOP (2018年8月22-29日、弘前大学理工1号館、25名)にて、APHRODITE
グリッドデータ作成手法を説明
- 11) アップルウェーブ (弘前コミュニティFMラジオ) 「りんご王国こうぎょくカレッジ」にて「気
象の世界のAPHRODITE」として本課題について1時間インタビューに答える番組報道。(2019年2
月19日収録、5月5日放送(再放送5月12日) 予定)

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 東奥日報 (2017年3月17日、19頁、「気象と農業 関係は」)
- 2) 陸奥新報 (2017年3月18日、19頁、「ヤマセの仕組み学ぶ」)
- 3) アップルウェーブ (弘前コミュニティFMラジオ) 「りんご王国こうぎょくカレッジ」
「気象の世界のAPHRODITE」 (2019年2月19日収録、5月5日放送(再放送5月12日) 予定)

(6) その他

主催したワークショップ、学会セッションのリスト

- ・ Kick Off 国際会議 (2017.3) 京都
- ・ APHRODITE-2 Workshop Chiba (2017.9)
- ・ APHRODITE-2 Kathmandu Workshop (2017.11)
- ・ JpGU 2018 Session : Precipitation Extreme
- ・ AOGS 2018 Session: Precipitation Extreme (2018.6) (多数申込者があり、Atmospheric Science部門
のTop 10 Convenerとして~2万人の参加登録者に名前・顔写真が伝えられた)
- ・ APHRODITE-2 Hirosaki Workshop (2018.5)
- ・ APHRODITE-2 Hirosaki Workshop (2018.8)

8. 引用文献

安藤千晶：弘前大学理工学部地球環境学科、平成28年度卒業論文、108pp (2017)

「ネパールのlandslideと降水の関係」

木下知里：弘前大学理工学部地球環境学科、平成28年度卒業論文、50pp (2017)

「主成分分析による札幌市冬季降水量の主要変動解析と気象学的考察」

小泉創大 (2018) :ひろだい白神レーダーで観測された津軽平野における降雪の地形的影響, 弘前大学理
工学部地球環境学科、平成29年度卒業論文、44pp.

五木田夏実 (2019)「CMIPマルチモデルスーパーアンサンブル手法を用いたインドシナ半島の気候再現」
平成30年度弘前大学理工学部地球環境学科卒業論文, 29pp.

千田彩乃 (2019)「中央アジアの降水量の定量評価と温暖化時の変化予測」平成30年度弘前大学理工学部
地球環境学科卒業論文, 41pp.

末藤菜保：弘前大学理工学部地球環境学科、平成28年度卒業論文、38pp (2017)

「Atmospheric Riverが日本の豪雨に与える影響」

末藤菜保 (2019)「日本の暖候期の豪雨に影響するAtmospheric Riverとその循環場の解析」2018年度弘前
大学大学院理工学研究科理工学専攻地球環境学コース修士論文, 32pp.

鈴木隆太郎：弘前大学理工学部地球環境学科、平成28年度卒業論文、67pp (2017)

「ネパールにおけるモンスーン期降水卓越パターンとlandslide災害」

寺田那生 (2019)「マルチモデル予報データと高精度観測データによる平成30年7月豪雨のスーパーアン
サンブル」平成30年度弘前大学理工学部地球環境学科卒業論文, 78pp.

古田みなみ (2019)「主成分分析を用いた新潟県の冬季降水量の解析」平成30年度弘前大学理工学部地球
環境学科卒業論文, 88pp.

- 増田南波：弘前大学理工学部地球環境学科、平成28年度卒業論文、54pp (2017)
「日本における日降水グリッドデータの風による捕捉損失の補正」
- 増田南波 (2019)「北日本の冬季降水量の定量評価—雨量計を基にした日降水量グリッドデータの内挿誤差と捕捉率の補正—」2018年度弘前大学大学院理工学研究科理工学専攻地球環境学コース修士論文、46pp
- 南孝太郎 (2019)「平成30年7月豪雨における広島付近での水蒸気輸送と豪雨の関係—平成26年8月豪雨との比較—」平成30年度弘前大学理工学部地球環境学科卒業論文、40pp.
- 安田清美. (1970). 日本における強雨 (50mm/hr 以上) の気候学的特性. 天気, 17(11), 539-548.
- 谷田貝亜紀代・木下知里：日本気象学会東北支部気象研究会報告書、P15-16 (2017)
「札幌・東北日本海側の降雪地域分布と経年変動特性」
- 谷田貝亜紀代・鈴木隆太郎・安藤千晶・Melanie FROUDE・David PETLEY・増田南波・千木良雅弘(2018): Nepal Landslideをもたらしやすいmonsoon循環, 京都大学防災研究所年報, 61B, 589-595.
- 谷田貝亜紀代、前田未央、増田南波、末藤菜保、安富奈津子、Sunil KUMAR (2019)：「極端降水解析のための日降水量グリッドデータAPHRODITEの改良」平成30年度情報処理学会東北支部研究会報告 (A2-2) . <http://www.topic.ad.jp/ipsj-tohoku/doku.php?id=report>
- 谷田貝亜紀代、今井雅、前田未央、石田祐宣 (2019)：「APHRODITEデータのDB化による品質管理およびweb上でのデータ公開について」平成30年度情報処理学会東北支部研究会報告 (A2-3) . <http://www.topic.ad.jp/ipsj-tohoku/doku.php?id=report>
- Hou, A. Y., & Coauthors, 2014: The Global Precipitation Measurement mission. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 95, 701–722, doi:<https://doi.org/10.1175/BAMS-D-13-00164.1>.
- Khadgarai, S., A. Yatagai, M. Masuda (2018): Preliminary evaluation of GPM-IMERG rainfall estimates over three distinct climate zones with APHRODITE, submitted to Earth and Space Physics.
- Kamiguchi, K., O. Arakawa, A. Kitoh, A. Yatagai, A. Hamada and N. Yasutomi, 2010. Development of APHRO_JP, the first Japanese high-resolution daily precipitation product for more than 100 years, *HRL*, 4: 60-64.
- Krishnamurti, T.N., A.K.Mishra, A. Simon, and A. Yatagai, 2009b: Use of a dense gauge network over India for improving blended TRMM products and downscaled weather models. *J. Meteor. Soc. Japan*, 87, 395–416.
- Kug, J.-S., S.-I. An, F.-F. Jin, and I.-S. Kang, 2005: Preconditions for El Niño and La Niña onsets and their relation to the Indian Ocean. *Geophys. Res. Lett.*, 32, L05706, doi:10.1029/2004GL021674.
- Mizuta R., K. Oouchi, H. Yoshimura, A. Noda, K. Katayama, S. Yukimoto, M. Hosaka, S. Kusunoki, H. Kawai and M. Nakagawa (2006), 20-km Mesh Global Climate Simulations Using JMA-GSM Model –Mean Climate States-. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **84-1**, 165-185
- Sasaki, H., Kurihara, K., Takayabu, I., and Uchiyama. T. (2008), Preliminary Experiments of Reproducing the Present Climate Using the Non-hydrostatic Regional Climate Model. *SOLA*, **4**, 025-028, doi:10.2151/sola.2008-007.
- Sasaki, H., A. Murata1, M. Hanafusa, M. Oh'izumi, and K. Kurihara (2011), Reproducibility of present climate in a non-hydrostatic regional climate model nested within an atmosphere general circulation model. *SOLA*, **7**, 173-176, doi:10.2151/sola.2011-044.
- Shepard, D., 1968: A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. *Proc. 23rd ACM national conference*, Association for Computing Machinery, 517–524.
- Tanaka, K., S. Ikebuchi (1994), Simple Biosphere Model Including Urban Canopy (SiBUC) for Regional or Basin-Scale Land Surface Processes, *Proc. of Intl. Sympo. on GEWEX Asian Monsoon Experiment*, 59-62
- Xie, P., A. Yatagai, M. Chen, T. Hayasaka, Y. Fukushima, C. Liu, and S. Yang, 2007: A gauge-based analysis of daily precipitation over East Asia. *J. Hydrometeor.*, **8**, 607–627.

- Willmott, J. C., Bowe, M. C., and Philpot, D. W. (1985), Small-Scale Climate Maps: A Sensitivity Analysis of Some Common Assumptions Associated with Grid-Point Interpolation and Contouring. *Cartography and Geographic Information Science*, 12-1, 5-16.
- Yasutomi, N., K. Kamiguchi, A. Yatagai (2019): Effects of surface observation input in highland Asia on gridded analysis of daily mean temperature and its climatology, submitted to *Hydrological Research Letters*.
- Yatagai, A. O. Arakawa, K. Kamiguchi, H. Kawamoto, M. I. Nodzu and A. Hamada (2009), A 44-year daily gridded precipitation dataset for Asia based on a dense network of rain-gauges, *SOLA*, **5**, 137-140, doi:10.2151/sola.2009-035
- Yatagai, A., A. Kitoh, K. Kamiguchi, O. Arakawa, N. Yasutomi, A. Hamada. 2012. APHRODITE: Constructing a Long-term Daily Gridded Precipitation Dataset for Asia Based on a Dense Network of Rain Gauges. *Bulletin of American Meteorological Society*, 93, 1401-1415, DOI:10.1175/BAMS-D-11-00122.1
- Yatagai, A., V. Kumar and T.N. Krishnamurti: (2019) “Development of Precise Precipitation Data for Assessing the Potential Impacts of Climate Change” in T. Watanabe and M. Aydin “Climate Change Impacts on Basin Agro-ecosystem” Springer Hexagon Series, 33-47.
- Yatagai, A., Y. Takayabu and N. Sueto (2019): Detection of atmospheric rivers using high-resolution reanalysis moisture values and their association with disastrous heavy precipitation events in Japan, submitted to *atmosphere* (after 2nd review)
- Yatagai, A. N. Yasutomi, S. Khadgarai, M. Masuda and N. Sueto (2019): Impact of distinguishing end-of-the-day (EOD) data and using the station value conservation (SVC) method on the representation of extreme precipitation in the APHRODITE algorithm, submitted to *SOLA*.
- Yatagai, A., K. Minami, M. Masuda and N. Sueto (2019): Development of intensive APHRODITE hourly precipitation and assessment of moisture transport caused the heavy precipitation events of Western Japan in 2014 and 2018, submitted to *SOLA*.
- Yun, W.-T., L. Stefanova, A. K. Mitra, T. S. V. Vijayakumar, W. Dewar, and T. N. Krishnamurti, 2005: A multi-model superensemble algorithm for seasonal climate prediction using DEMETER forecasts. *Tellus*, **57A**, 280–289.

Ⅱ－２ 統計的極端現象の評価と日界補正データの作成

国立大学法人京都大学 防災研究所水資源環境研究センター 田中 茂信
田中 賢治

<研究協力者>

国立大学法人京都大学 防災研究所水資源環境研究センター 安富 奈津子
国立大学法人京都大学 理学研究科 広瀬 民志 (2017.1.16－2017.6.30)
国立大学法人京都大学 防災研究所附属水資源環境研究センター Alicia Pavetti (2017.4.1－2017.6.30)
国土交通省気象庁 仲江川 敏之

平成28～30年度累計予算額：29,000千円

(うち平成28年度：10,000千円、平成29年度：9,500千円、平成30年度：9,500千円)

累計予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

極端降水把握と気象解析に適したプロダクトを作成するため、新たに衛星データを活用した日界補正手法を開発し、品質管手法を改良した。また、内挿計算の元になる日降水量気候値を作成し、これを用いた新しいプロダクトを作成した。気候値を改良したことで、観測のないグリッドの降水分布の表現が改善した。

日本についてはダムや河川上中流域の観測データを追加し、山地の極端降水をより高精度に捕捉したグリッドデータを作成した。ダム集水域や河川流域の水収支を計算したところ、これまでのプロダクトよりも精度が向上した。観測データには気温データが含まれることも多かったため、並行して日平均気温グリッドデータも更新・データ期間の延長を実施した。

新しく作成したデータセットについて、統計解析を実施した。概ね200mm/日を超す降水イベントは、グリッド化によって降水量が減少する幅も割合もそれ以下の降水と比較して大きいことがわかった。日本の40年間の年最大1-3日降水量の最大記録と更新時期と更新幅を解析したところ、最大2日・3日降水量の更新幅の大きい場所で豪雨による被害が大きいことがわかった。長く記録が更新されていない場所では、「これまでに経験したことのない豪雨」が起きれば大きな被害をもたらす可能性があり、警戒を呼び掛ける必要がある。

[キーワード]

極端現象解析、河川流量、山岳気候変化

1. はじめに

APHRODITE-1で作成した日降水量グリッドデータセットは、主に気候変動に関連した中長期変動を解析したり、モデルの入力値や評価に使用したりすることを想定していた。解像度が0.25度、0.5度、日本域は0.05度と、時空間ともに高解像度であったため、利用が増えるにしたがって、極端現象の解析に使いたいという声が多く聞かれるようになった。しかしながら、極端現象の解析に用いるためには、雨量計観測値の品質管理でいくつか実際に起きている極端現象を除去している可能性が高いこと、日界が混在しているデータセットを用いたために極端降水イベントを二重に表現している事例がある、国ごとに観測時刻が異なるため同じ日付の降水データでも24時間以上のずれが生じていることなど、様々な問題があった。

サブ2では、極端降水現象把握と気象解析のための新しいプロダクトの開発にあたって、日界補正手法

と品質管理手法の開発を担当した。衛星データは時間・空間解像度が高く、観測地点密度が十分でないときにも極端な降水の有無を判別しやすいのでこの特性をいかす。

APHRODITEの内挿計算は、気候値と観測値の比を内挿計算するため、観測地点密度が十分でないときには内挿計算結果は気候値の降水パターンを反映する。本研究課題の活動により、多くの観測値(降水量に加えて気温データも)を入手したことで、降水量と気温の気候値をAPHRODITEのプロダクトから新しく作成し、それを用いた日降水量と日平均気温グリッドデータの更新とデータ期間延長とが可能になった。

日本域の高解像度グリッドデータセットAPHRO_JPは気象庁アメダスの高密度観測データを用いて作成して多くのユーザーを獲得してきた。国土交通省水管理・国土保全局で管理する水文水質データベースは、河川管理と防災のために山岳域・河川上流域の多くの観測データを公開している。このデータを追加して、より強い降水を捕捉して極端降水の再現性を向上させる。

サブ1～サブ3の連携で開発した新たなプロダクトについて、統計解析をおこない、観測値とグリッド値の関係を明確にすることでデータの信頼度を高める。また、面的な降水量の分布の精度については、河川流量と比較することで実現する。高解像度日降水量グリッドデータの品質向上によって、極端降水の解析は過去から現在にとどまらず、将来の危険性を評価することもできるようになる。

2. 研究開発目的

(1) 極端降水現象把握と気象解析のためのプロダクト開発

1) 日界補正手法の開発

APHRODITEで収集された各国気象水文当局の観測データは、WMOの指針に基づいて観測が実施され、全球観測システム(GTS)に速報データが通報されて気象予報に活用されている一方で、各国で管理する日降水量の積算時刻(日界)は国によって異なる。たとえば日本はJST24時(UTC15時)であり、東南アジアの多くの国は現地の朝(概ねUTC24時)、インドと近隣国はUTC3時であるため、同じ日付の降水量として、違う日界のデータがこれまでのAPHRODITEグリッド解析に使用されていた。また、同じ地点や近傍に別のデータ提供者から提供された異なる観測時刻のデータが含まれると、極端現象が正確に再現されない可能性もある。そのため、日積算降水量に対して、時空間に高解像度の衛星データを用いて日界を統計的にUTC24時に補正することで、精度向上と極端現象の再現性の向上を目指した。

2) 衛星を用いた品質管理手法の開発

雨量計データをグリッド化するには、APHRODITE-1で開発した品質管理スキーム(QC)を実行して国別記録を上回る値や孤立異常値、繰返し値、複製レコードなどを検出して解析から除去している(Hamada et al., 2011)。これまでのQCでは、孤立異常値として検出される値の中に実際に極端降水として起きたイベントが含まれる場合には、そのイベントは解析に用いていなかった。近年世界各地で局所的で非常に大きな降水イベントが頻発しているため、これらのイベントの真偽を判定し、実際に起きたイベントについては解析に用いるように、品質管理手法を改良した。地点情報では十分に得られない面的な降水分布を衛星観測からは得ることができ、2.(1) 1)で述べた日界が異なる日降水量データとの比較も衛星観測の時間値を積算することで可能となる。

3) グリッド降水量日気候平均データセット作成とその影響

APHRODITE降水データは、観測値の気候値に対する比を距離重みつき内挿計算で求めている(Yatagai et al., 2012; Kamiguchi et al., 2010)。気候値の比を内挿することによって、観測地点の周辺グリッドでは季節・地形性の降雨分布と相関した降水分布が得られる。これまでのAPHRODITEプロダクトでは、WorldClim1.4(Hijmans et al., 2005)にAPHRODITEで収集した雨量計データの月平均気候値を合わせた上でグリッド化した気候値に対してFFTフィルタリングして日平均気候値を計算していた。そのため、モ

ンスーンの季節降水など月単位で表現できない降水は精度よく表現できていなかった。またフィルタリング処理のため、小雨期の降水は過大になっていた。そこで、APHRODITE日降水プロダクトから日気候平均データを計算し、これを用いて新たなプロダクトを作成することで、モンスーンや台風などの極端降水の再現性の向上を目指す。

4) 日本の山岳域の降水量影響評価のためのグリッドデータ作成

複雑な地形では降水が集中し、洪水だけでなく土砂災害など大きな災害をもたらすことが多い。衛星観測とレーダ観測の充実によってアクセスの悪い場所の気象観測地点は近年減少傾向にあるが、地形性の局地的な豪雨降水観測は、気象衛星の観測だけでは精度が十分とはいえない。

日本域高解像度日降水量グリッドデータAPHRO_JP(Kamiguchi et al., 2010)は、気象庁アメダスの観測データを用いた0.05度グリッドのデータセットである(V1207R1は1900-2012年)。アメダスは、1300地点以上の観測地が気象予報に必要な密度で設置されているが、2009年前後に山頂の観測地点を多く閉鎖するなど、地上観測体制が縮小している。

そこで、国土交通省水管理・国土保全局で管理する水文水質データベース (<http://www.river.go.jp/>) に着目した。ここで公開している雨量計データ（以下、MLITと呼ぶ）はダムとの運用と流域の災害防止を目的とするため、観測地点が山岳域からダム、河川の上～中流に多く分布している。このデータセットとアメダスデータを組み合わせてグリッドデータを作成することで、山岳域の極端降水の再現性が向上することが期待される。

(2) 統計的極端現象の評価

1) APHRO_JPを用いた地点観測データとグリッド値の極値再現性の解析

APHRODITE-2では、極端降水の再現性を向上させることで、プロダクトをより精度よく極端現象の長期変化を解析したり、気象気候・水文、農業などのモデルの評価に使用したりすることを大きな目的としている。APHRO_MA/ME/RUプロダクトは取扱の利便性も考慮して、0.05度グリッドで作成したデータを0.25度と0.50度グリッドに解像度を変更して公開している。1グリッドにつきおよそ25km²もしくは50km²の領域での降水量の表現となるため、極端降水量の数値は雨量計観測値よりも小さくなるが、具体的に雨量計の数値と比してどの程度小さくなるのか、統計的に明らかになっていない。そこで入力データ数が多い日本域を対象として、解析手法を改良して作成したプロダクトが、極端現象をどの程度表現できるか、また、0.25度のデータセットの解像度を変更することで、観測値および0.05度の降水量がどの程度小さくなるのかを評価する。また、極端現象の再現性が雨量計データの分布増、とくに山岳域で雨量計データが増加することの影響を評価する。

2) APHRO_JPを用いた極端現象発生領域の予測

日本域では1977年から気象庁による高密度の観測ネットワークが構築されており、40年近いデータの蓄積ができた。近年、長期間・局所的な集中豪雨が発生したことから2012年からは「これまでに経験したことのない豪雨」への警戒を呼びかける特別警報も新たに定義された。長期間・高解像度の降水量グリッドプロダクトであるAPHRO_JPは、極端現象の面的な分布を解析するのに便利であるため、その特性を生かして、今後「これまでに経験したことのない豪雨」が起こる可能性が高い場所をわかりやすく表現することを目的として、41年分（1977-2018年7月）にわたるAPHRO_JPプロダクトから最大日降水量を解析した。

(3) 日平均気温グリッドデータの作成

気温は降水量と並び、気象・気候予測解析の重要なパラメータである。APHRODITE-1の活動では、多くの国から降水量に加えて、気温の観測データを入手した。このアジアの高密度の日気温観測データを

用いて、日平均気温グリッドデータAphroTemp (V1207R1 ; モンスーンアジア域, 1961–2007) を作成・公開している (Yasutomi et al., 2011) 。AphroTempV1207R1は中国、モンゴル、ネパールなどの高標高域の観測データを多く含んでいるため、これらの地域の気候変動解析に大いに貢献した。APHRODITE-2での活動では、さらに多くの気温データも入手して、2015年までデータ期間を延長することを目指した。特にAPHRODITE-1ではインドや東南アジア諸国からは十分なデータが得られなかったため、APHRODITE-2での国際ワークショップでこれらの国との関係を築くことによって、気温データの入手も図った。

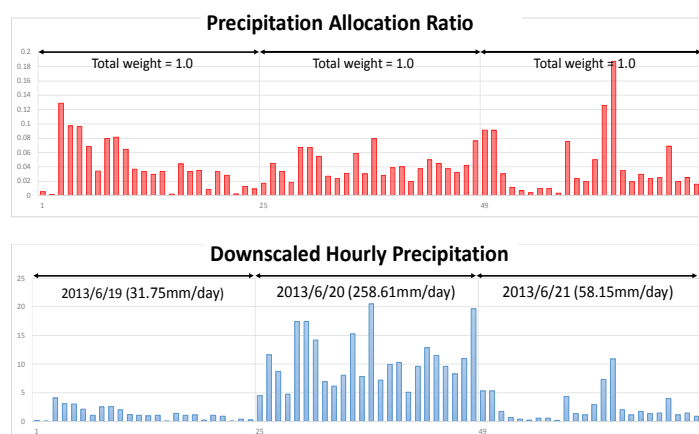
気温データについても、これまでのプロダクトはWorldClimから作成した気候値を使用していた。降水量データと同様にAPHRODITEプロダクトから日気候平均気温グリッドデータを作成し、それを用いて新たなプロダクトを作成して気温データの精度の向上を目指した。

3. 研究開発方法

(1) 極端降水現象把握と気象解析のためのプロダクト開発

1) 日界補正手法の開発

日本域高解像度日降水量プロダクトAPHRO_JPに対して、サブ3で作成された降水確率マップ (Precipitation Probability Map: PPM) (Hirose et al., 2016) を用いて、時間雨量にダウンスケーリングを行った。ダウンスケーリング手法はピクセル毎に各時刻のPPM値を1日の総和が1になるようにスケールリングして日雨量の分配比率を決定する (図(2)-1参照)。



図(2)-1 PPMを用いた日降水量のダウンスケーリング

このようにして時間雨量にダウンスケーリングされたAPHRO_JPと気象庁が作成したレーダ解析雨量 (Radar Analysis Precipitation: RAP) を0.05度解像度に解像度変換してから比較を行う。

また、空間解像度の違いに関する極値再現性の検討として、0.05度のAPHRO_JPとRAPを0.25度、0.5度にアップスケーリングし、1時間から72時間までの様々な積算時間で、ダム集水域平均降水量の期間 (2009年から2014年の6年間) 最大値を比較する。

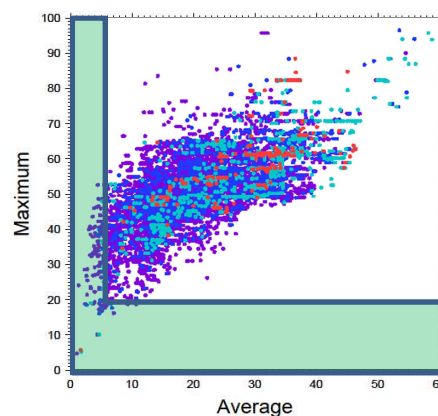
日界補正プロダクトの作成にあたっては、モンスーンアジア域すべてでは、観測データごとに日界が異なるため、グリッドプロダクトから補正する手法では適用が難しい。基本的な手法としては同様に、PPMを用いて、地点観測データに対して日界を推定し、ダウンスケールして00-23UTCに積算する手法をとった (詳細はサブ1、サブ3で説明)。日界補正プロダクトと補正していないプロダクト、PPMの降水分布を比較した。

2) 衛星データを使用した品質管理手法の開発

まずは、従来のAPHRODITE品質管理スキーム (以下、QCと記載 ; Hamada et al., 2011) を改良し、QCの

プロセスで異常値判定されて除去されたデータについて、衛星データ等を用いた確認プロセスで異常値ではないと判定した場合に、その観測データをグリッド解析に戻すプログラムを作成した。この過程によって、QCで検出できなかった異常値を解析から除去すること、QCによって除去された極端現象を解析に戻すことの双方が可能になり、データの精度をより向上させることができた。

観測地点密度が高く、局所的な地形性降水が多い日本について、サブ3で作成した複数の衛星観測データから見積もった降水確率マップ（PPM）を使用してPPMの値と降水量の関係を解析した。比較対象としてアメダスおよびMLITデータから、100mm/日以上上の降水イベントを抽出した。観測地点 ± 0.1 度の領域内のPPMについて、積算時間(00-24JST)のグリッド最大値と領域24時間平均値をX-Y平面状にプロットし(図(2)-2)、極端降水イベントを局所性と持続性の両面から評価した。観測値はすべて真と仮定して、PPM平均5未満、最大20未満のイベントについて(図(2)-2緑で塗った部分)PPMをプロットしてQC結果と比較した。



図(2)-2 100mm/日以上上の降水イベントと地点0.1度以内のPPMとの関係。積算時刻24時間のグリッド最大値(縦軸)と24時間領域平均値(横軸)。観測地点降水を青：100～200mm/日、水色：200～300mm/日、赤：300～mm/日で示した。

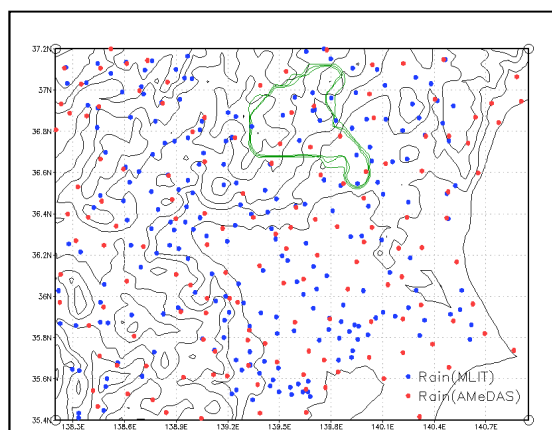
3) 日降水量気候平均グリッドデータセット作成とそのプロダクトへの影響

新しい日降水量気候値の作成にあたって、準備としてこれまで用いていたAPHRO_MA_V1101気候値を用いて、1981年から2010年の日降水量を計算した。その際に、収集した雨量計データから推定した日界情報に基づき、同じ国について同じ期間に複数の日界が混在しないように使用データを選んだ。1997年以前のデータは日界補正を行っていないので、すべての期間について日界補正はしていない。また地点保存（SVC）も実施していない。30年の各暦日について平均を計算し（うるう年以外の2/29については、2/28と3/1の平均を与え、30年分を平均）さらに21日移動平均を施して細かい変動成分を除去した。

このようにして作成した日降水量気候平均場を気候値として、降水プロダクト（APHRO_MA_V1901）を作成した。さらに、比較検証のために日界補正した雨量計データ、補正していない雨量計データを入力して、V1101気候値を気候値としたプロダクトも作成した。

4) 日本の山岳域の降水量影響評価のためのグリッドデータ作成

水文・水質データベース（<http://www1.river.go.jp/>）に収録済のデータを全てダウンロードした（サブ3が実施）。データの中身が空のものや、欠測値しかないものを除いて少なからず有効データが存在する地点を選別すると2683地点となった。図(2)-3は関東平野の雨量観測点分布を示したものであり、アメダスは、山地に少ないが比較的均等に分布し、MLITデータは山岳域と河川流域に多く分布していることがわかる。なお、本来欠測値を入れるべきであるにも関わらず「0」が入力されていると考えられる地点がいくつか存在したが、本雨量データだけで、その真偽を自動判別することは難しい。そこで、アメダスだけを用いて作成したAPHRO_JPの当該グリッドの月雨量値が10mm以上の場合について、MLITの月雨量が半分以下であるならば、その月のデータを全て欠測として



図(2)-3 解析に使用した関東周辺の観測地点分布。青がMLIT、赤がアメダスの観測地点、緑の線で囲まれた領域は鬼怒川上流の集水域を示す。

処理することにした。

公開プロダクトであるAPHRO_JP_V1207R1の気候値はAPHRO_MA_V1801で使用したWorldClimではなく気象庁メッシュ気候値を用いている。JP気候値も、新たにアメダスデータを用いて3.(1).3)で示した手法で求めた。さらにMLITデータ入力の効果を反映させるが、MLITデータの観測地点数の変動が少なく速報値の修正が済んでいるのが2000-2015の16年分であるため、以下の手順で作成する。

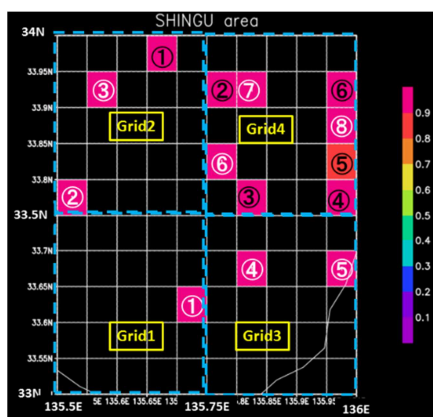
- ①気象庁メッシュ気候値を気候値として、アメダスデータを用いて1981-2015年のグリッド値を計算（A）
- ②気象庁メッシュ気候値を気候値として、アメダスデータとMLITデータを用いて2000-2015年のグリッド値を計算し、16年平均日降水量を21日間移動平均する（B）
- ③1981-2010年について、（A）から30年平均日降水量を計算し21日間移動平均する（AC）
- ④2000-2015年について、（A）から16年平均日降水量を計算し21日間移動平均する（AB）
- ⑤MLITデータが増えたことによる日降水量の増分（B）－（AB）を30年平均日降水量（AC）に加える

APHRO_JPプロダクトにアメダスに加えてMLITデータが加わった影響を評価するため、気象庁メッシュ気候値/アメダスデータで作成したプロダクトV1207AJと新気候値/アメダス+MLITデータで作成したプロダクトV1207HTの2種類を作成した（V1207AJは公開プロダクトAPHRO_JP_V1207R1に同じであるが、便宜上AJと表記した）。これらのデータ期間内に起きた広域的な豪雨災害である2015年関東・東北豪雨についてデータ検証を行った。鬼怒川上流域の流域3日降水量の年最大値、鬼怒川上流にある川俣ダムのダム流入量と流域降水量を計算して、MLITデータが増えたことでどの程度データ品質が向上するのかを解析した。

（２）統計的極端現象の評価

１）APHRO_JPを用いた地点観測データとグリッド値の極値再現性の解析

年間を通じて降水量が多く、年によっては豪雨が大きな被害をもたらしている紀伊半島南部について、雨量計観測値の年最大日降水量が0.05度グリッド、0.25度グリッドと解像度を変えたときにどのくらい小さくなるかを調べた。下の図(2)-4は0.25度グリッド内に観測地点を含んだ0.05度グリッドの分布を示している。また、グリッド内に含まれる地点の位置と地点名を表(2)-1に記載した。MLITデータを含むグリッドとアメダスデータを含むグリッドを分けて記載している。Grid1-Grid4の4グリッドについて、V1207AJ（メッシュ気候値・アメダス使用）とV1207HT（新気候値・アメダス+MLIT）の2種類のプロダクトのグリッド内雨量計観測値、雨量計を含む0.05度グリッド値、0.25度グリッド値の2000年から2015年の年最大日降水量を計算し、その極値をグンベル関数分布と比較した。



図(2)-4 紀伊半島南部の0.25度グリッド内の観測地点の分布。小グリッドの解像度は0.05度。白数字はアメダス、黒数字はMLIT。色は期間内の観測値の存在割合。

A	地点名	東経	北緯	標高	M	地点名	東経	北緯
①	西川	135.71	33.64	150	①	小坪瀬	135.69	33.96
②	栗栖川	135.51	33.79	160	②	平谷	135.77	33.94
③	竜神	135.56	33.95	515	③	小口	135.84	33.76
④	色川	135.85	33.68	275	④	平尾井	135.98	33.79
⑤	新宮	135.97	33.69	18	⑤	桐原1	135.96	33.81
⑥	本宮	135.77	33.84	60	⑤	桐原2	135.97	33.81
⑦	玉置山	135.83	33.93	1077	⑥	大沼	135.97	33.93
⑧	御浜	135.98	33.85	130				

表(2)-1 図(2)-4で示した観測地点の地名と位置。左がアメダス（図の白数字）、右がMLIT（図の黒数字）。桐原1（2010年まで）と桐原2（2011年以降）は同一グリッド。MLITには標高情報がない。

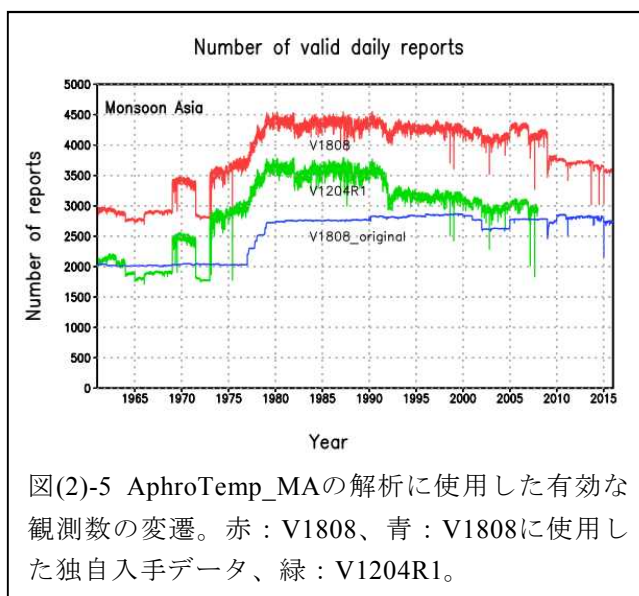
また、空間解像度の違いに関する極値再現性の検討として、0.05度のAPHRO_JPとRAPを0.25度、0.5度にアップスケーリングし、1時間から72時間までの様々な積算時間で、ダム集水域平均降水量の期間（2009年から2014年の6年間）最大値を比較する。

2) APHRO_JPを用いた極端現象発生領域の予測

APHRO_JP_V1207R1は、APHRODITE-1と2の活動によってすでに公開している1901年から2015年の日本域0.05度グリッドデータである。2015年以降も頻繁に各地で過去数十年で最大規模といわれる豪雨イベントが発生しており、中でも2018年の西日本豪雨は広範囲にわたり長時間激しい降水が続き、各地に大きな災害をもたらした。そこで、V1207R1を2018年7月までデータ期間を延長し、アメダスネットワークが構築された1977年以降の年最大日、2日、3日降水量を求め、その値の更新状況に着目して解析した。

(3) 日平均気温グリッドデータおよび気候値の作成

アジアモンスーン域(15S-55N, 60E-155E)の日平均気温グリッドデータセットを1961年から2015年の期間について、0.25度と0.50度で作成した。本データセット「AphroTemp」は地上気象観測データを元にしており、APHRODITEプロジェクトで開発された品質管理と空間内挿法が適用されている。解析に用いられた地点数はGTSに比べて2倍以上である。旧公開バージョンAphroTemp_V1207R1で不足していた、インド、パキスタン、タイなど多くの国から1960年代からのデータの提供を受けたため、全期間のデータを更新してAphroTempV1808として公開した。図(2)-5は解析に使用した有効な観測データ数の変遷を示している。V1808には、1961年からの全期間にわたりV1204R1の解析と比べて1000地点以上の新規データが追加されていることがわかる。



図(2)-5 AphroTemp_MAの解析に使用した有効な観測数の変遷。赤：V1808、青：V1808に使用した独自入手データ、緑：V1204R1。

V1808使用データの過半が本プロジェクトによる独自入手のデータである(V1808_original)。GTSなどオンラインで入手可能なデータと比較してデータ数の変動が少なく品質が良いことがわかる。

AphroTempは、中国・インド・パキスタン・ネパール・ブータンのヒマラヤ周辺諸国から観測データの提供を受けていることが大きな特徴である。この地域の降水と気温は、気候変動や水資源管理のために重要な変数であり、観測データが入力されることでどの程度の違いが得られるかを既存のデータセットCRU_TS4.01(Mitchell and Jones, 2005), UDel4.01(Willmott and Robeson, 1995; Willmott and Matsuura, 1995)と比較した。いずれも月平均、0.5度グリッド全球地上平均気温データであり、日平均気温グリッドデータであるAphroTempの月平均値との比較である。

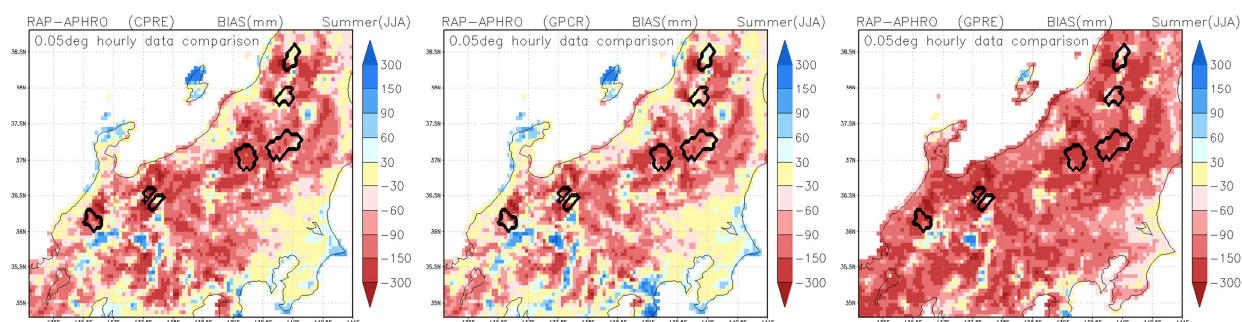
4. 結果及び考察

(1) 極端降水現象把握と気象解析のためのプロダクト開発

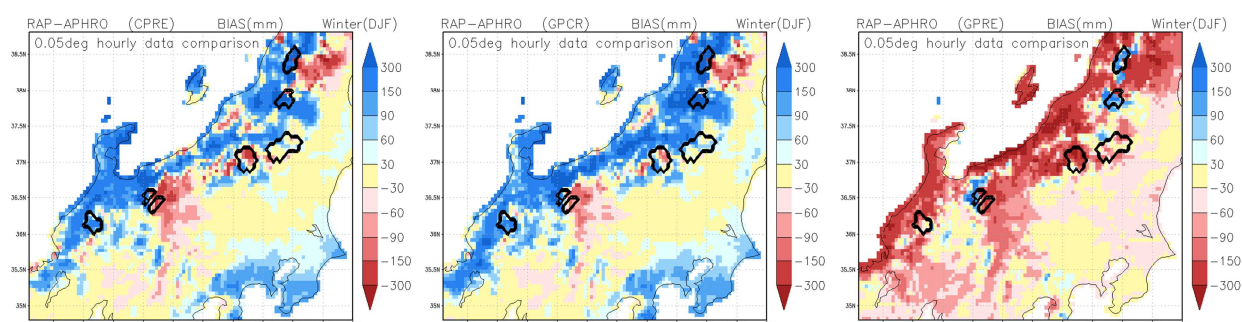
1) 統計的ダウンスケーリングによる日界補正手法の開発

時間雨量にダウンスケーリングしたAPHRO_JPとRAPを比較した。図(2)-6、(2)-7はそれぞれ夏季（6月～8月）と冬期（12月～2月）のRAPに対するバイアスである。いずれのプロダクトも夏季においては全体的にAPHRO_JPがRAPよりも過小評価となっている。冬季に関しては、ダウンスケーリングの際に、合わせて風速による雨量計の補足率補正を施したプロダクト（CPRE、GPCR）において、日本海側の広い範囲でAPHRO_JPがRAPよりも過大評価となり、雨量計の値をそのまま使うプロダクト（GPPE）ではAPHRO_JPがRAPよりも過少評価となっている。また、中部山岳の高標高域において、補足率補正が不十分であり、補正に用いる風速が弱すぎるのが原因である可能性がある。一部の盆地域などでは夏季、

冬季を通じてRAPがAPHRO_JPよりも過小となっている。これはレーダ観測の届かない影領域であり、APHRO_JPがRAPの改良に貢献できることを示唆している。

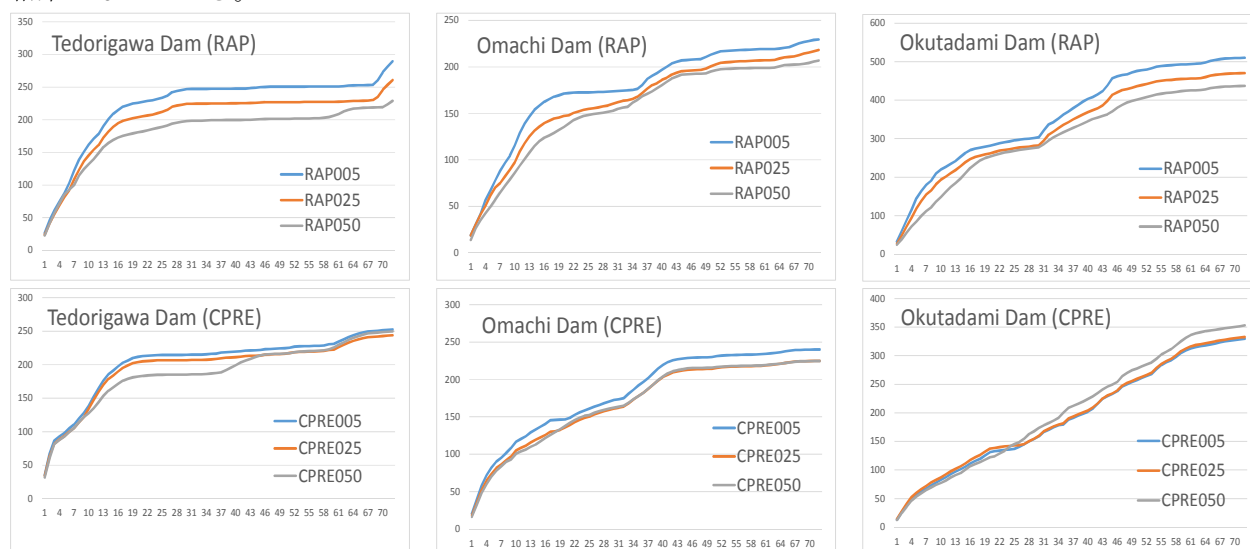


図(2)-6 夏季降水量のバイアス (APHRO_JP - RAP)



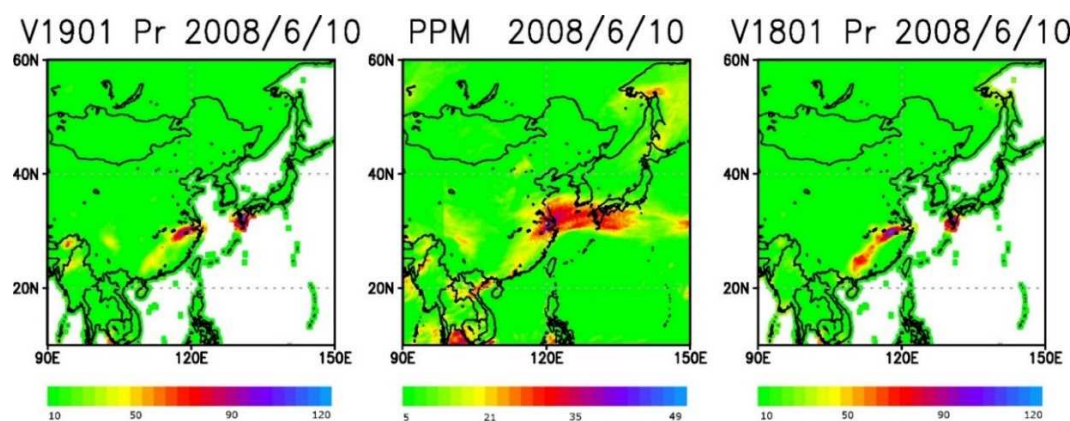
図(2)-7 冬季降水量のバイアス (APHRO_JP - RAP)

図(2)-8は0.05度、0.25度、0.5度の3つの空間解像度について、1時間から72時間までの様々な積算時間で、ダム集水域平均降水量の期間最大値を比較したものであり、上段はRAP、下段はAPHRO_JP (CPRE)である。元データの解像度が1kmのRAPは空間構造を良く捉えていることが期待できる。このため、解像度を0.05度から0.5度まで落とした場合に、ダム集水域スケール降水量の極値が減少し、スケール依存性が明確である。一方APHRO_JPでは、空間解像度を落とした際のスケール依存性が明確ではなく、元の0.05度解像度において、その解像度に見合う空間構造を十分に表現しきれていない可能性が示唆される結果となっている。



図(2)-8 様々な時間スケールのダム集水域平均降水量極値の空間解像度依存性 (左：手取川ダム、中：大町ダム、右：奥只見ダム、上段：RAP、下段：APHRO_JP (CPRE))

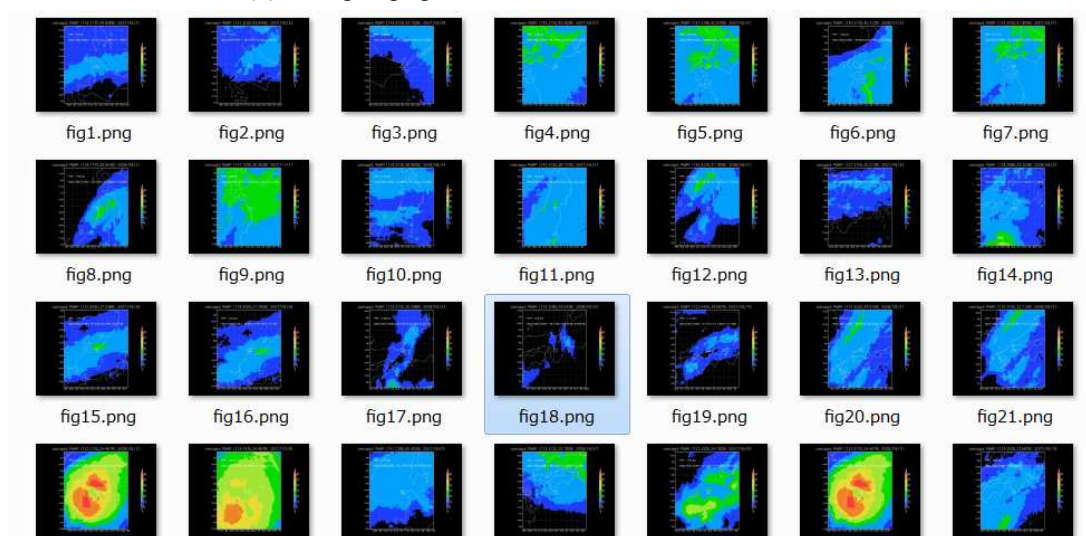
実際に日界補正を実施した雨量計データから作成したプロダクトV1901と、衛星に基づく降水確率を示したPPM、日界補正していない雨量計データを用いて作成したV1801のある日(2008/6/10)の降水分布を図(2)-9に示した。V1801のEOD混在実験で用いた中国データのEODは12UTC、日本は15UTCで、V1901のEODは24UTCである。日界補正したV1901の降水分布は、同じ積算時刻のPPMの降水分布と日本から中国にかけての梅雨前線の形状、ミャンマー・インドの降水ピークもよく表現している。EOD混在データの降水分布は中国では積算時刻が半日前になるため、梅雨前線の位置が南寄りの位置に戻っている。東南アジアのピークも顕著でない。日界補正をすることで同時刻の降水を精度よく可視化した。衛星データの降水分布と高く一致しており、衛星画像やレーダエコーの観測情報と相互に補完することもできる。



図(2)-9 2008年6月10日の降水量。(左)日界補正プロダクト(右)日界が混在しているプロダクト。単位はmm。(中)はPPMの積算値(UTC00-23)

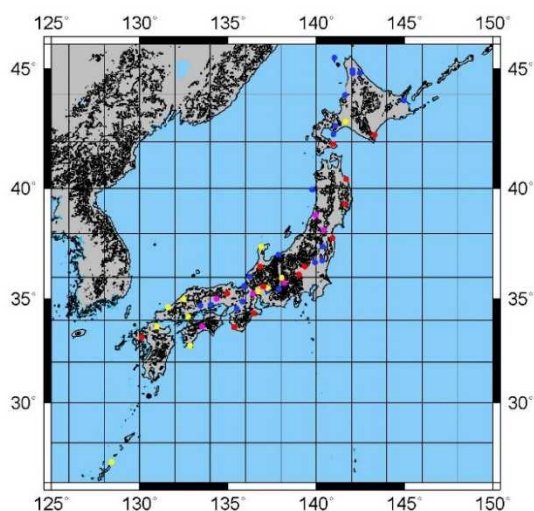
2) 衛星データを利用した品質管理手法の開発

日本について、アメダスとMLITデータで100mm/日以上降水イベントとPPMとの比較、QCで孤立降水と判定された記録のPPMとの比較を行った。日本については観測データの品質管理が行き届いていることから、QCで孤立降水と判定されたイベントの中で、実際に降水がなかった事例はなかった。したがって、孤立降水と判定されこれまでは解析から除去されていた極端降水イベントを、新たに開発したプロセスによって解析に戻すことができた。同様に、PPMの平均値・最大値が閾値に満たない100mm/日以上の降水イベントについて、広い領域でPPMを描画して実際の降水の有無を確認したところ、誤記録を見つけることができた(図(2)-10 fig18.png)。

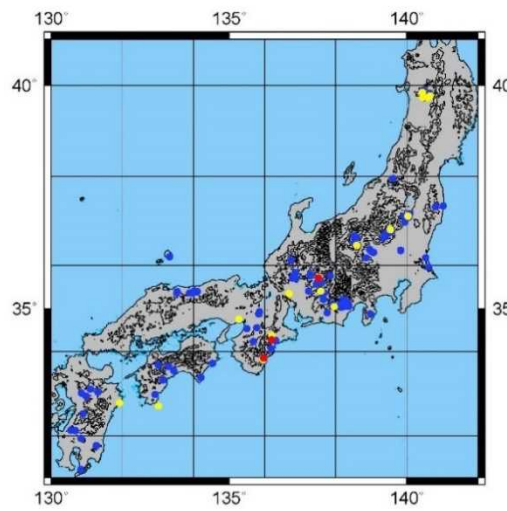


図(2)-10 孤立降水と判定された、あるいは100mm/日の観測値に対してPPMの最大値・平均値が閾値を下回った事例のPPMの分布を描画した品質管理プロセスの出力画像。観測地点を中心として緯度経度6度の領域の24時間平均PPMを描画。

QCで孤立降水と判定された地点は、周辺に十分な観測地点のない島嶼、半島・岬や、山地のふもとに多く分布していた（図(2)-11）。一方で、100mm/日以上が観測されていてPPMが閾値を下回る地点も山地のふもとに多く分布しており（図(2)-12）、衛星観測も地形によって狭い領域に集中する極端降水を捕捉するのが難しいということがわかった。



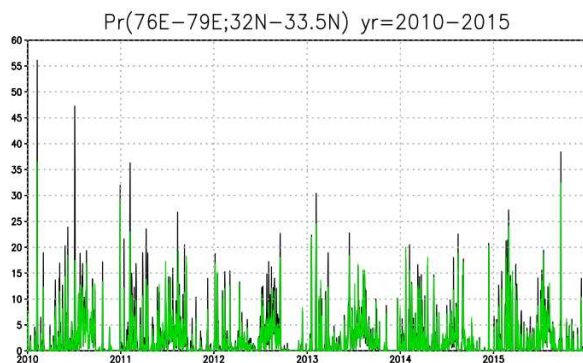
図(2)-11 QCで孤立降水と判定された観測地点の位置。降水量が100-200mm/日が青、200-300mm/日が黄、300mm/日以上は赤で示す。



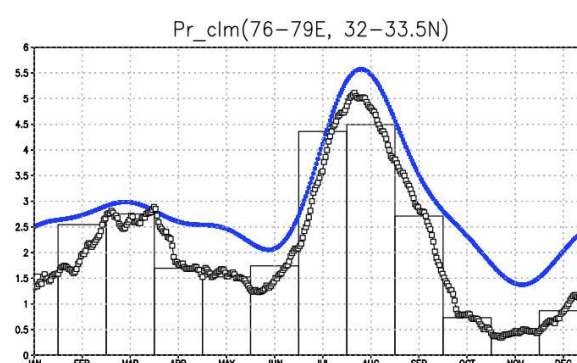
図(2)-12 地点観測値が100mm/日の降水について、その積算時間(00-23JST)のPPMの最大値が20未満あるいは平均値が5未満である地点。観測降水量の色は図(2)-11に同じ。

3) 日気候平均降水量グリッドデータ作成とその効果

下の図(2)-13、(2)-14はインド北部～ネパールの(76-79E, 32-33.5N)領域を平均した新旧気候値を用いてグリッド計算した日降水量変動(2010-2015)と気候値プロファイルを示している。この領域は、インド北部の高標高域に属しており、観測地点を2地点含み、山岳に沿ってモンスーン降水が卓越する。V1101気候値で計算した降水量は、データ期間の前半に観測のない場所で局所的に大きな雨量が内挿される計算誤差があったが、新気候値では改善されている。V1101気候値のプロファイルは、WorldClimに観測データの月平均値を加えてFFTフィルタリングをかけたものを使用しているが、少雨期に過大傾向にある。気候値が過大であると、気候値と観測値の比を内挿するという計算手法の効果によって観測値のない場所での降水量が過大になる場合があることがわかった。新気候値では、日気候平均値を直接計算することから、WorldClimの月平均値と対応した現実的なプロファイルになっており、少雨期・多雨期の降水分布の再現性が向上することが期待される。

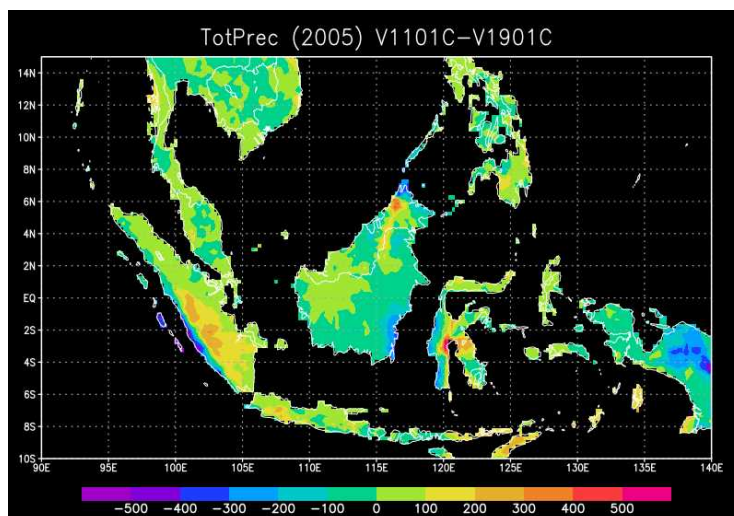


図(2)-13 インド北部(76-79E, 32-33.4N)の領域平均日降水量。黒がV1101気候値、緑がV1901気候値から計算した降水量(mm)。



図(2)-14 図(2)-13と同じ領域のV1101気候値(青線)とV1901気候値(黒鎖線)およびWorldClimの月平均気候値(棒グラフ)。単位はmm/日。

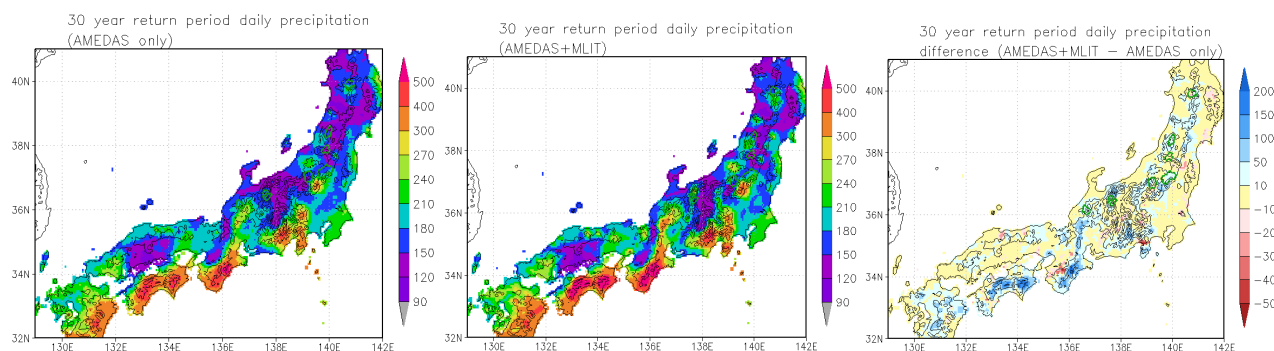
図(2)-15はインドネシア周辺の2005年の年降水量について、V1101気候値とV1901気候値を用いたプロダクト(0.25度)の差を示している。V1901では冬季のモンスーンによる沿岸の降水が増加し、山地で減少することがわかる。内挿計算の基礎となる気候値が変わったことでモンスーンによる降水の表現が変わった。



図(2)-15 気候値にV1101気候値とV1901気候値を用いて内挿計算した0.25度プロダクトの2005年積算降水量の差。単位はmm。

4) 日本の山岳域の降水量影響評価のためのグリッドデータ作成

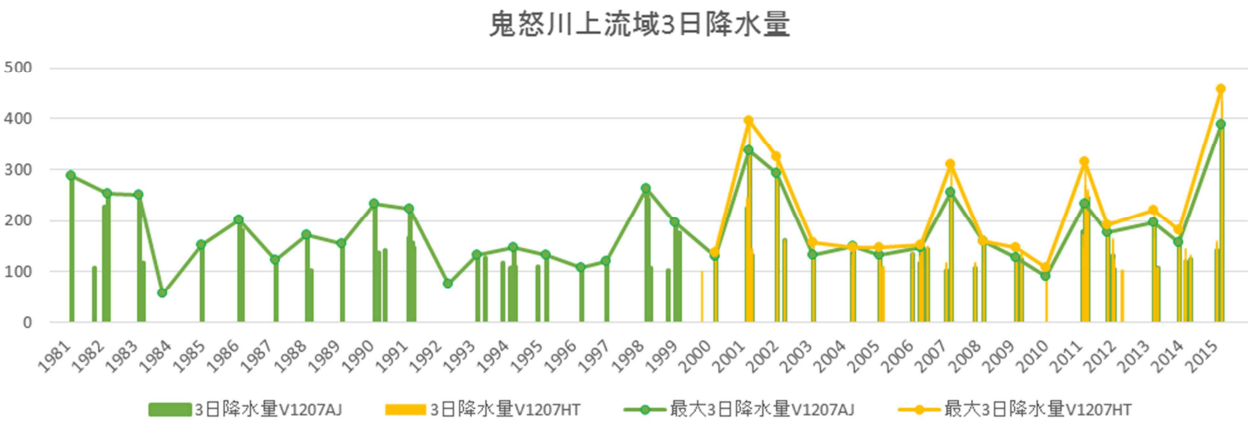
図(2)-16は2000年～2015年の16年間の年最大日降水量を用いてグンベル分布を適用して求めた30年確率年最大日降水量を比較したものである。このような降水量極値においても、太平洋岸域の強雨域などの大まかな分布に違いは見られないものの、両者の差を取ると、アメダスのみのプロダクトに対してMLITデータを追加することにより、大きな場所で290mm以上もの差が出た。



図(2)-16 30年確率年最大日降水量(左:アメダスのみ、中:アメダス+MLIT、右:両プロダクトの差)

鬼怒川上流域(図(2)-3 緑線で囲まれた領域)の3日降水量を図(2)-17に示した。アメダスにMLITデータが増えたことで、流域降水量が増加していることがわかる。特に降水量が多いときに増加幅が大きくなっており、山地や上流域で多くの雨を観測したMLITデータの入力が増えることで、極端現象の再現性が向上していることがわかる。表(2)-2には、鬼怒川上流域に位置する川俣ダムについて、関東・東北豪雨が発生した2015年の流域降水量とダムの流入量との関係を示した。表の値が1に近いほど水収支すなわち流域降水量とダムの流入量+蒸発散が一致することになる。関東・東北豪雨の直接的な影響を受ける2015年9月6日から15日に期間を限るといずれの降水量も過大、2015年1月から11月の年間(12月は欠測)を通して比較するといずれの降水量も過少であるが、関東・東北豪雨を含む9月、あるいは雨期である7月から

10月に期間を限るとMLITデータを入力し、気候値にも反映させたV1207HTの精度が非常に良いことがわかった。



図(2)-17 鬼怒川上流域の3日降水量(mm)。100mm以上の降水量を棒で示し、年最大値を点で示し、線でつないだ。緑がV1207AJ、オレンジがV1207HT。

表(2)-2 川俣ダムの(流域降水量)/(ダム流入量+蒸発散量)。MLITはダム水文・水質データベースによるダム流域降水量の値。解析期間はすべて2015年。

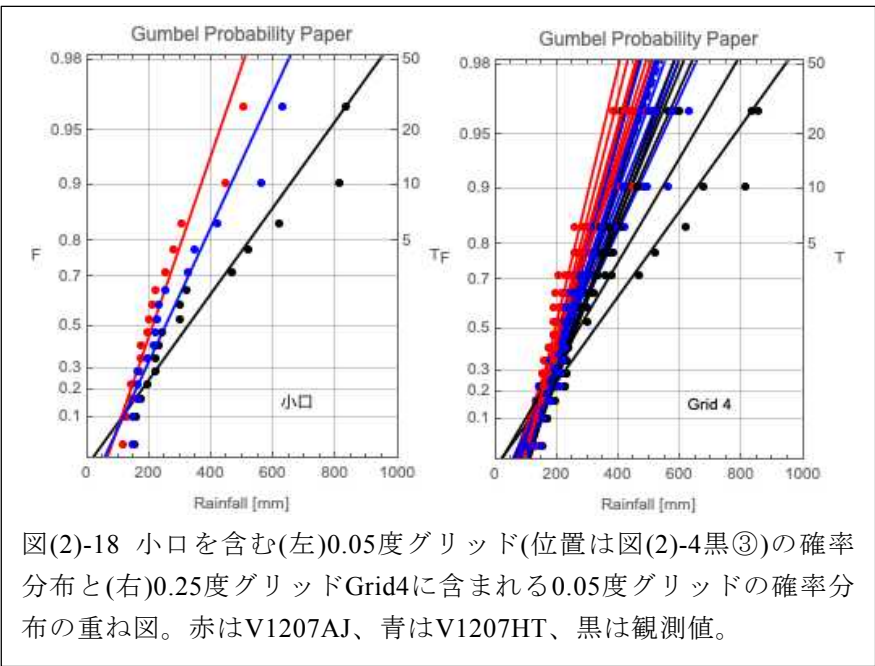
解析期間	MLIT	AJ	HT
9月6日-9月15日	1.401663	1.180365	1.283658
9月1日-9月30日	1.076875	0.94728	1.019114
7月1日-10月31日	0.90545	0.877653	0.93514
1月1日-11月30日	0.702018	0.738795	0.757795

(2) 統計的極端現象の評価

1) APHRO_JPを用いた地点観測データとグリッド値の極値再現性の解析

年最大日降水量はブロックサイズが1年間の降雨資料から最大値を抽出したものである。ブロック最大値に当てはめる分布として、極値理論により一般極値分布(GEV)が導出されている(高橋倫也・志村隆彰, 2016)。GEVの形状母数が0の場合、Gumbel分布となり、サンプルサイズが小さい場合などによく用いられる。ここでは、サンプルサイズが小さいのでGumbel分布によって確率評価を行う。

図(2)-18 左図は紀伊半島にある小口観測所(表(2)-1 M③)

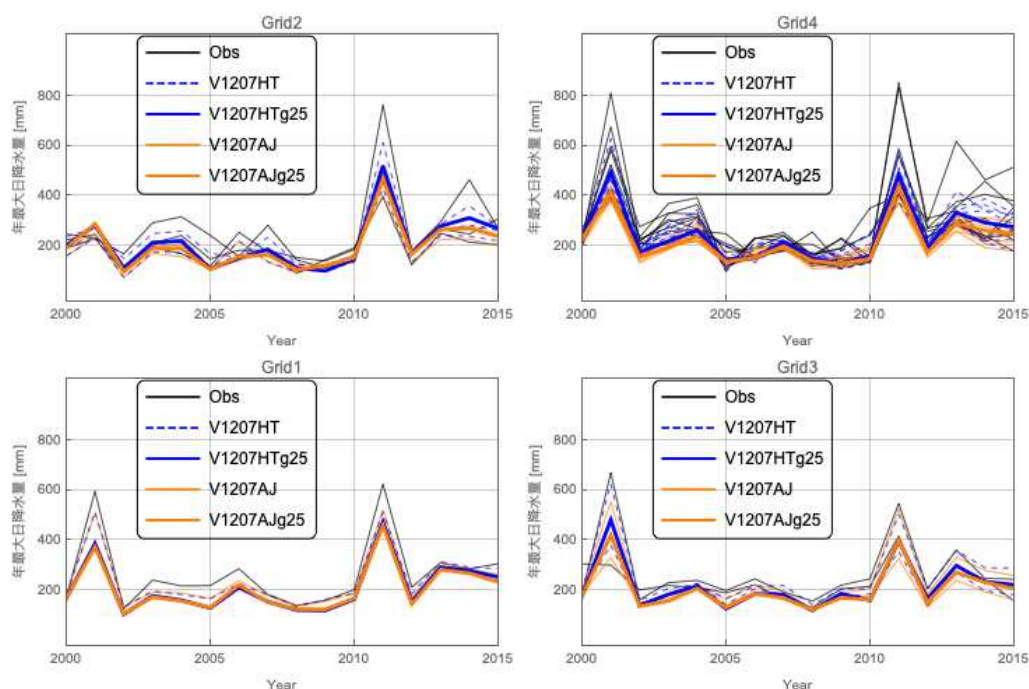


図(2)-18 小口を含む(左)0.05度グリッド(位置は図(2)-4黒③)の確率分布と(右)0.25度グリッドGrid4に含まれる0.05度グリッドの確率分布の重ね図。赤はV1207AJ、青はV1207HT、黒は観測値。

が含まれる0.05度のグリッドについて、アメダスのみを用いたプロダクトV1207AJ (赤) とアメダス+

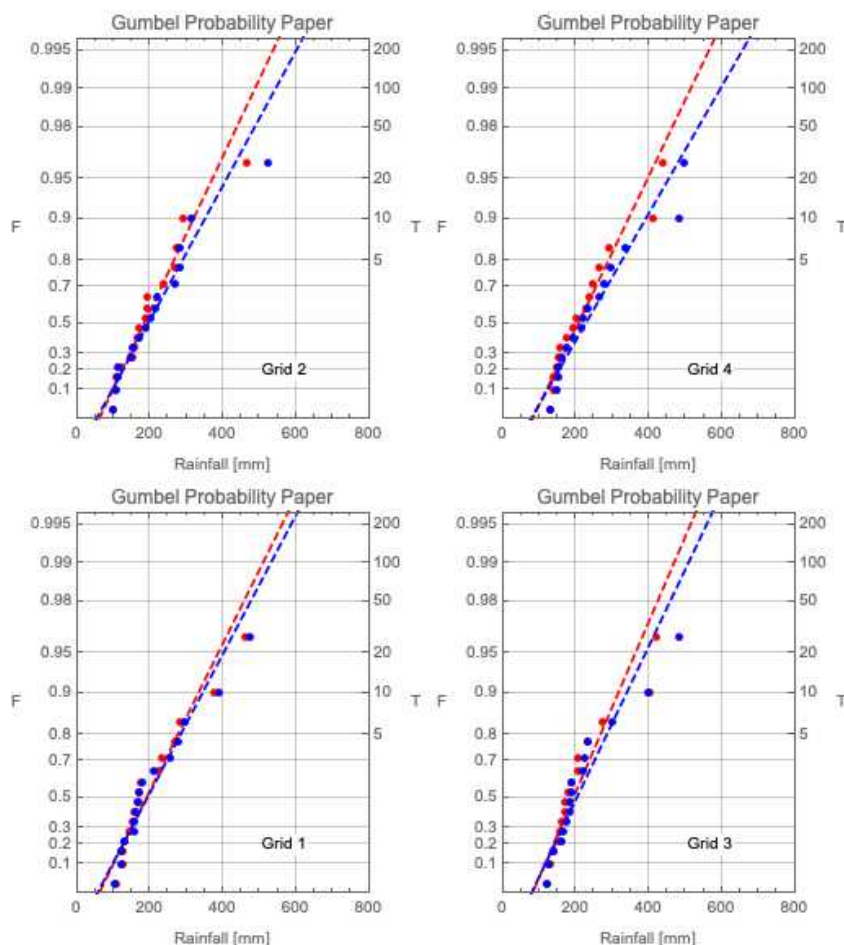
MLITを用いたV1207HT（青）の確率分布を比較したものである。参考までに小口地点の観測値の確率プロット（黒）も合わせて示している。200mm以下の点はプロダクトによる差が小さくほぼ重なっているが、それより大きな点は赤より青がかなり大きくなっている。このため、外挿する範囲の確率水文量はおおきくこととなることになる。なお、グリッド降水量と地点降水量は直接比べるものではないが、上位3点では青は黒に比べて200mm以上小さい。

図(2)-19は2.2(1)で示した紀伊半島の4つの0.25度グリッドGrid1-4とそれに含まれる0.05度グリッドおよび観測値の年最大日降水量について時系列を示した図である。この解析結果についても200mm/日をほぼ境にして0.25度グリッドにした時の値の減少幅が大きくなることがわかる。同様の解析を、関東平野でも行ってみたところ、年最大日降水量が200mm/日を超す年は少なく、大きく外れる極値がなく、観測値・グリッド値ともグンベル分布が良好にあてはめられた。



図(2)-19 紀伊半島南部のGrid1－Grid4(図(2)-4参照)の年最大日降水量。各グリッド内に含まれる雨量計観測値を黒線、観測地点を含む0.05度グリッド値(V1207HT：青破線、V1207AJ：オレンジ細線)、0.25度グリッド値(V1207HT：青太線、V1207AJ:オレンジ太線)。

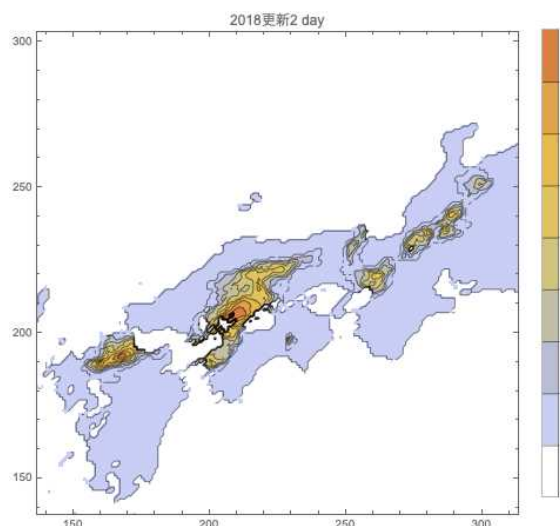
図(2)-20は0.25度グリッドの2種類のプロダクトについて確率分布を比較したものである。プロダクトによる差が、小さな極値で小さく大きな極値で大きいことから、外挿範囲の差が大きくなることがわかる。



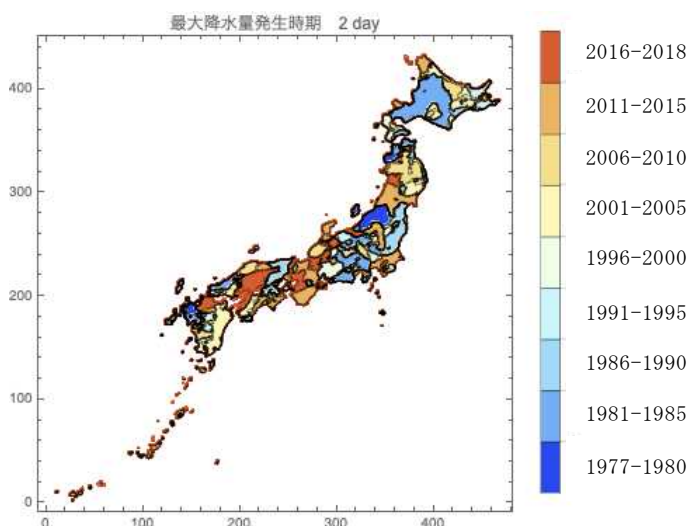
図(2)-20 0.25度グリッドの2つのプロダクトの確率プロットの比較（赤：V1207AJ、青：V1207HT）

2) APHRO_JPを用いた極端現象発生領域の予測

2018年に起きた西日本豪雨は、岡山・広島・愛媛などで大雨特別警報が発令され、大きな被害をもたらした。気象庁は「これまでに経験のない豪雨」への警戒を呼び掛けた。下の図(2)-21は1977年からのAPHRO_JP_V1207AJについて、2018年に最大2日降水量を更新したグリッドの更新量を示している。九州北部、愛媛、広島・岡山、京都、岐阜と西日本豪雨で大きな被害が出た地域で、過去の記録を大幅に更新していることがわかる。最大2日・3日降水量(図略)の更新幅はそれらの絶対値や最大日降水量の更新幅と比較して、土砂災害・洪水等の被害分布とよく一致していた。同様の手法で2015年について描画すると、関東・東北豪雨の被災地で更新幅が大きくなっており、「これまでに経験のない豪雨」という表現を可視化する新たな手段として有効であることがわかった。また、2018年の広島で特に更新幅の大きい地域は、それまでの最大2日降水量の記録が周辺と比較して小さかったことが、被害の大きさとつながったと考えられる。そこで、図(2)-22に最大2日降水量の発生時期を示した。北海道・東北など青系の色が目立つ領域では古い記録が更新されていない。このような地域で記録を更新するような極端降水が起きる場合には、行政の防災対策および市民への注意喚起が十分でない可能性が高く、今後の大きな被害の発生を警戒する必要がある。



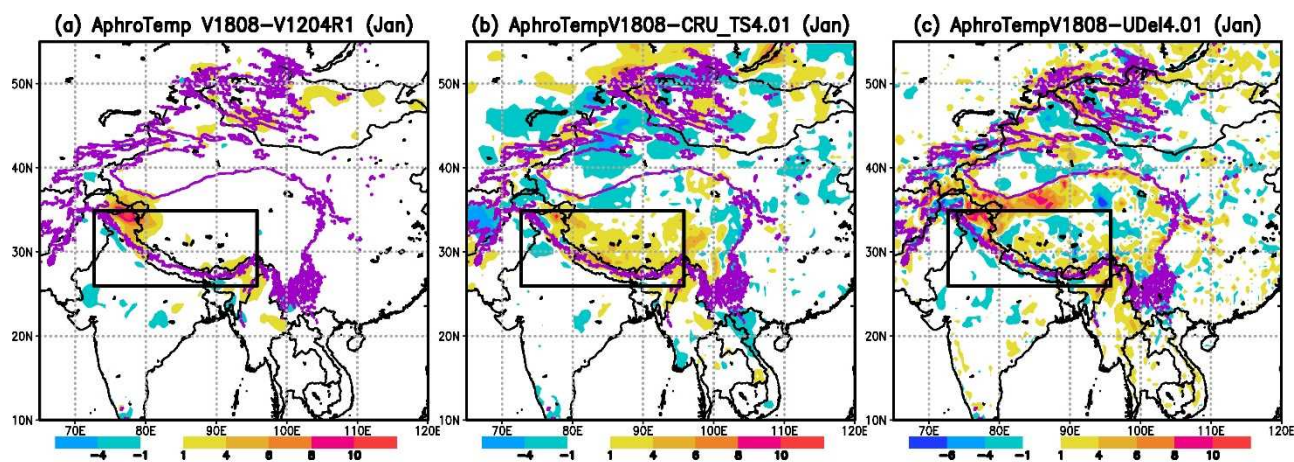
図(2)-21 最大2日降水量の記録が2018年に更新された領域とその更新量(mm)



図(2)-22 1977年以降の最大2日降水量が記録された年

(3) 日平均気温グリッドデータセットAphroTempの作成

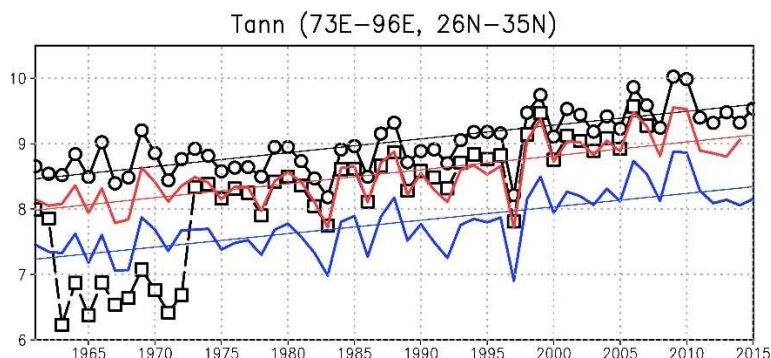
Delaware大学が作成した月平均気温データセット(UDel4.01)およびCRU_TS4.01とAPRHODITE日平均気温データセット(AphroTemp V1204R1)を新プロダクトAphroTemp V1808と比較し、地上観測点密度の増加の効果を確認した(図(2)-23参照)。沿岸部や平野部においては明確な違いは見られないが、チベット高原や中央アジアにおいては2~5度の差が見られた。V1808では新たにインドとパキスタンの国データを入手した。入力データ増のインパクトは、インド北部~パキスタンの高標高域で大きい。この差は夏季よりも冬季により顕著になる。



図(2)-23 AphroTemp V1808と他のプロダクトの差(1月気候値、(a)AphroTemp_V1204R1, (b)CRU_TS4.1, (c)UDel4.01)

図(2)-24にはヒマラヤーチベット域(図(2)-23内に長方形で図示)のAphroTempV1808, V1204R1, CRU_TS4.01, UDel4.01の1961-2015年の平均気温変化を示した。いずれのデータについても、10年間で約0.2度の上昇していることがわかった。V1207R1ではデータが少ない時期があり、その期間には大きなギャップがある。AphroTemp_V1808はCRU_TS, UDelと比較すると、変動と上昇率はほぼ一致しているが、

気温の絶対値ではCRU_TSとは約0.5度、UDeIとは1.2度の差があることがわかる。AphroTempV1808は、新しい入力が高標高域で増加したことによって、既存のデータよりも上昇することがわかった。



図(2)-24 領域(73E-96E;26N-35N)の年平均地上気温。赤線はCRU_TS4.01、青線はUDeI4.01、黒破線に□はAphroTempV1204R1、実線に○はAphroTempV1808。単位は℃。直線は各時系列の長期変化傾向。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

日界補正手法、衛星による品質管理手法、日平均気候値の改良によって極端降水の再現性が大幅に向上した。日界補正によって、日降水量をUTC24時の積算降水量に統一することができたため、国境をまたぐ降水域の分布が明瞭になった。これまでのAPHRODITEプロダクトでは異なる日界の観測データを混在させていたため、モデルの初期値あるいはバイアス補正の検証データとして、または衛星や再解析データなどとの比較解析には精度が十分でなかった。日界補正したことにより、UTC24時の積算降水量を明確に表現することになったため、データの精度と利用の利便性が大幅に向上した。

衛星データを用いて品質管理手法の精度の検証を行ったところ、APHRODITEの孤立降水検出プログラムでは、周辺に十分な観測値がない島嶼・半島・岬などに加えて、山地のふもとなど地形性の局地的な極端降水イベントを誤検出することがわかった。衛星データと比較したところ、地形性の比較的狭い領域に集中する降水イベントは、衛星でも検出しにくいいため、雨量計観測値、衛星観測データ、グリッドデータを相互補完的に使用が必要があると考えられる。

日本域を対象としたデータセットとして、気候値と入力値にアメダスに加えてMLITデータを用いたV1207HTデータを新たに作成した。MLITデータを入手して多くの山岳域と河川流域の観測値が増加したことで、日本域の山地の日降水量気候値が改善した。それを用いて作成したプロダクトも、流域降水量の精度が向上し、水収支が改善した。

雨量計観測値が、0.05度グリッド値、0.25度グリッド値と解像度を変更することでどのくらい極値が小さくなるかを検証した。雨量計観測値がおおよそ200mm/日を超えると、観測値に比べてグリッド値が大きく減少することがわかった。一方で、それよりも小さな値では、0.05度グリッドが5km四方の領域降水量を示すことを考慮すれば、大きく減少することなく十分な精度を保っているといえる。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

国連事務総長と世界銀行総裁が世界10カ国の大統領および首相と協力して、2016年4月に設立した「水に関するハイレベルパネル(HLPW)」は、同年9月にレジリエントな経済と社会構築に水災害軽減が必要

であるとする活動計画を採択した。また、同年12月の国連総会で「国連水と持続可能な10年」が2018年3月から開始されることが決議された。現在それを受けて、アジア各国において、その実施項目が検討されており、その第一の取り組みとして、国内行政機関と学術機関が協力して水災害軽減に取り組むため、すでにスリランカ、フィリピン、パキスタンでプラットフォーム設置が認められ、ミャンマー、インドネシア、ベトナムで設置準備が進んでいる。この各国の水政策支援にAPHRODITE-2の貢献が強く期待されており、本事業の事務局を担っている水災害・リスクマネジメント国際センター(ICHARM)からAPHRODITEは協力要請をうけている。

2016年度から実施している文部科学省による統合的気候モデル高度化研究プログラムでは、気候モデルによる気候変動の理解、将来予測、研究成果の社会実装を目的とした、高度化させた気候変動予測データセットの整備に取り組んでいる。京都大学防災研究所では、領域テーマD:統合的ハザード予測を担当しており、新しいAPHRODITEプロダクトをGCMのバイアス補正に使用したり、豪雨危険性評価に活用することが見込まれている。日界補正を施したデータが整備されたことで、比較解析すべき極端現象等が明確になり、GCMアンサンブル評価の比較データとして議論をしやすくなった。

6. 国際共同研究等の状況

- ・2016年8月26日から28日にかけて（コロンボで開催されるIAHR-APD2016の直前）、スリランカ北西部の半島および島嶼部の水資源事情に関する現地調査を実施した。18世紀末にイギリス人によって、多くの灌漑施設が建設された。Malwath Oya流域には大小合わせて1700のため池があり、総貯水量は6億トン、17000haの農地に灌漑用水を供給している。過去の洪水の記録によると、2014年が最大、ついで2011年、2012年となっており、近年洪水が頻発している。また現地の水管理においては、3ヶ月および6ヶ月のSPI（Standardized Precipitation Index）が用いられている。
- ・2016年12月12日から18日にかけて米国サンフランシスコで開催された2016年アメリカ地球科学連合秋季大会（AGU Fall Meeting）にて、大会期間中に開催された降水専門委員会（Precipitation Committee Meeting）に参加し、APHRODITEの現状や今後の計画について報告を行った。また、降水や水循環、気候変動、極端現象に関するセッションを聴講し研究討議を行った。
- ・2017年1月19日から26日にかけてミャンマーを訪問し、シタン川流域の水資源事情に関する現地調査を行うとともに、ヤンゴン工科大学においてプログラミングや極値水文量解析のトレーニングを実施した。プログラミングにおいては、現地の気象庁から配布される元ファイルを直接Fortranプログラムで読み込み、様々な統計処理をするとともに、APHRODITEやGPCC、GCMなど様々なグリッドデータとの比較をしてバイアスを計算するプログラムを習得させた。極値水文量解析においては、MATHEMATICAを用いて年最大値資料を解析する方法について習得させた。また比較的観測期間が短い場合や大規模な事象しか記録されていないような場合でも良好な推定値が得られる閾値超過資料（POT）による解析方法についても習得させた。

7. 研究成果の発表状況

（1）誌上発表

<論文（査読あり）>

特に記載すべき事項はない

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 田中茂信：d4PDFを用いた利根川流域降水量の極値評価, 京都大学防災研究所年報, 第60号B, pp.757-764, 2017.

- 2) 田中茂信 : AMeDAS降水量とd4PDFを用いた面積平均降水量の極値の比較, 極値理論の工学への応用 (15), 統計数理研究所共同研究レポート401, pp.87-94, 2018.
- 3) 田中茂信 : 平成30年7月豪雨災害調査報告書, 京都大学防災研究所 (2019) 降雨極値統計解析

(2) 口頭発表 (学会等)

- 1) Natsuko YASUTOMI: National Center for Environmental Information. Ashville, USA (2016)
Introduction of APHRODITE (2006-2010) and APHRODITE-2(2016-2018)
- 2) Shigenobu Tanaka: IAHR-APD2016, 2d-4, Colombo, Sri Lanka (2016)
POT analysis of precipitation over Japan
- 3) Toshiyuki NAKAEGAWA: APHRODITE-2 Workshop, Kyoto (2017)
Sector-specific climate indices bridge a gap between potential users and climate information providers
- 4) Kenji TANAKA: APHRODITE-2 Workshop, Kyoto (2017)
Comparison of new APHRO_JP products with radar analysis precipitation (RAP).
- 5) Natsuko YASUTOMI: APHRODITE-2 Workshop, Kyoto (2017)
APHRODITE temperature products and its climatology
- 6) 田中茂信 : 統計数理研究所研究集会「極値理論の工学への応用」, 2017,
「流域平均雨量の極値の特性」
- 7) Natsuko Yasutomi, Akiyo Yatagai, Shigenobu Tanaka, Kenji Tanaka, Atsushi Higuchi, Kenji Toyoshima:
ICSU-WDS Asia-Oceania Conference, Kyoto (2017)
APHRODITE-2 activities: for better presentation of extreme rainfall events
- 8) Natsuko Yasutomi, Tribhuvan University, Kathmandu, Nepal (2017)
Estimated changes in climatological mean temperature in highland region of South Asia by increasing observational data input
- 9) 安富奈津子, 平成29年度京都大学防災研究所研究発表講演会 (2018)
雨量計観測データがアジアの高地の気候平均場の再現性に及ぼす影響
- 10) Natsuko Yasutomi, Japan Geoscience Union, Annual meeting 2018, Chiba, (2018) Estimated changes in climatological mean temperature in highland region of South Asia by increasing observational data input
- 11) Natsuko Yasutomi, Kenji Tanaka, Shigenobu Tanaka, Hitoshi Hirose, Koichi Toyoshima, Atsushi Higuchi, AOGS 2018, Honolulu, USA (2018) Estimation of Detection error of Extreme Precipitation Events in APHRODITE Quality Control using Rain Potential Map
- 12) Natsuko Yasutomi, APHRODITE2 SAKURA Science Workshop in Hirosaki, Aomori (2018)
Development and Improvement in APHRODITE daily mean temperature product AphroTemp and its climatology
- 13) Natsuko Yasutomi, APHRODITE2 SAKURA Science Workshop in Hirosaki, Aomori (2018)
Changes in monsoonal rainfall in Japan for 100 years analyzed in APHRO_JP
- 14) 田中賢治, 安富奈津子, 田中茂信, 樋口篤志, 豊嶋紘一, 谷田貝重紀代: 水文水資源学会2018年大会, 三重大学 (2018)
日本域高解像度日降水量グリッドデータ APHRO_JPの改良
- 15) 安富奈津子 : 水文水資源学会2018年大会、三重大学 (2018)
地上観測に基づく日平均気温グリッドデータ AphroTempの気候気温平均場 AphroClimの概要
- 16) Kenji Tanaka, Natsuko Yasutomi, Shigenobu Tanaka, Atsushi Higuchi, Koichi Toyoshima, Akiyo Yatagai: AGU Fall Meeting 2018, WashingtonDC (2018)
Improvement of the high resolution gridded precipitation dataset in Japan
- 17) Shigenobu Tanaka, THA 2019 International Conference on Water Management and Climate Change towards Asia's Water-Energy-Food Nexus and SDGs, Bangkok, Thailand (2019)
Interesting Statistical Characteristics of Precipitation Extremes in Major River Basins of Japan using a Large

Ensemble of Climate Simulations "d4PDF"

- 18) 田中茂信：平成30年度京都大学防災研究所研究発表講演会 (2019)
膨大なアンサンブル情報を用いた降水量極値の確率分布の将来変化.
- 19) 安富奈津子、田中賢治、田中茂信：平成30年度京都大学防災研究所研究発表講演会 (2019)
APHRODITE日降水量グリッドデータの地形性降雨と極端降水の再現性に対する気候値の効果
- 20) Shigenobu Tanaka: Pioneering Workshop on Extreme Value and Distribution Theories in honor of Prof. Sibuya, Institute of Statistical Mathematics, Tokyo (2019)
Future Change in Relationships among Extreme Precipitation Statistics using “d4PDF”

<ポスター発表>

- 1) 安富奈津子：日本気象学会2016年秋季大会、名古屋大学 (2016)
観測データに基づく気候気温平均場
- 2) Natsuko Yasutomi: American Geophysical Union Fall Meeting 2018, Washington DC, USA (2018)
Effects of surface observation input in highland Asia on gridded analysis of daily mean temperature and its climatology

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 田中茂信、京都市市民防災センター、2018年、京都市防災協会主催「災害に強いまちづくり講座」
第1回 おもてなし防災のすすめ—助かるだけではもったいない—
- 2) 田中賢治、アクロス福岡、2018年、2018年度京都大学防災研究所公開講座「災害を知り、災害に備える 九州の近年の災害とこれから」 気候変動で水資源はどうなる？

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1) Hamada, A., O. Arakawa, A. Yatagai. 2011. An automated quality control method of daily rain-gauge precipitation over Monsoon Asia. *Global Environmental Research*, 15, 165–172.
- 2) Hijmans, R. J., S. E. Cameron, J. L. Parra, P. G. Jones, A. Jarvis. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25, 1965–1978.
- 3) Kamiguchi, K., O. Arakawa, A. Kitoh, A. Yatagai, A. Hamada and N. Yasutomi, 2010. Development of APHRO_JP, the first Japanese high-resolution daily precipitation product for more than 100 years, *HRL*, 4: 60-64.
- 4) Hirose, H., M.K. Yamamoto, S. Shige, A. Higuchi, T. Mega, T. Ushio, A. Hamada: Online Letters on the Atmosphere (SOLA), 12,297-301, doi:10.2151/sola.2016-058 (2016), A rain potential map with high temporal and spatial resolutions retrieved from five geostationary meteorological satellites
- 5) Mitchell, T. D. P. D. Jones. 2005. An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. *International Journal of Climatology*, 25, 693-712.
- 6) 高橋倫也, 志村隆彰. 2016. 極値統計学, ISM シリーズ：進化する統計数理 5, 近代科学社, 262pp.

- 7) Willmott, C. J., K. Matsuura. 1995. Smart interpolation of annually averaged air temperature in the United States. *Journal of Applied Meteorology*, 34, 2577–2586.
- 8) Willmott, C. J., S. M. Robeson. 1995. Climatologically aided interpolation (CAI) of terrestrial air temperature. *International Journal of Climatology*, 15, 221-229.
- 9) Yasutomi, N., A. Hamada, A. Yatagai. 2011. Development of long-term daily gridded temperature dataset and its application to rain/snow judgment of daily precipitation, *Global Environmental Research*, 15, 165-172.
- 10) Yatagai, A., A. Kitoh, K. Kamiguchi, O. Arakawa, N. Yasutomi, A. Hamada. 2011. APHRODITE: Constructing a Long-term Daily Gridded Precipitation Dataset for Asia Based on a Dense Network of Rain Gauges. *Bulletin of American Meteorological Society*, 93, 1401-1415, DOI:10.1175/BAMS-D-11-00122.1

Ⅱ－３ 衛星・再解析データを使用したアルゴリズム改良

国立大学法人千葉大学 環境リモートセンシング研究センター

樋口 篤志

豊嶋 紘一

<研究協力者>

国立大学法人千葉大学 環境リモートセンシング研究センター

広瀬 民志 (2017.10－2019.3) ・

加藤 章子 (2017.1－2017.3,
2018.4－2019.3) ・

平野 みさ (2017.1－2018.3)

国立大学法人千葉大学 大学院理学研究科 理学部

濱 侃 (2016.11－2017.3) ・

小笠原 千香子 (2016.11－2017.3) ・

高橋 佑助 (2016.11－2017.3) ・

土佐 拓道 (2016.11－2017.3) ・

勝部 豪 (2016.11－2017.3) ・

庄司 悟 (2016.11－2017.3) ・

比嘉 花鈴 (2016.11－2017.3)

国立大学法人千葉大学 大学院工学研究科

末永 義樹 (2016.11－2018.3)

東京大学大気海洋研究所

高藪縁

平成28～30年度累計予算額：25,024千円

(うち平成28年度：8,901千円、平成29年度：8,044千円、平成30年度：8,079千円)

累計予算額は、間接経費を含む。

【要旨】

時空間変動の激しい降水現象をより精確捉えるためには、宇宙からの目、すなわち人工衛星による観測データを活用することが望ましい。一方、APHRODITE等の雨量計ベースの降水量データセットに対して直接的に貢献させるには、間をつなぐ研究要素が存在する。本サブチームはこれに対し、雨量計観測データの日界同定、および日界を統一するために人工衛星データを用いる手法（アルゴリズム）開発を主に行った。加えて、極端降水現象に対して更なる理解に資するため、国土交通省（MILT）河川局雨量データも収集・利活用を行った。

【キーワード】

人工衛星、雨量計の日界（End Of Day）、日界補正、地形性降水

1. はじめに

時空間変動の激しい降水現象をより精確捉えるためには、宇宙からの目、すなわち人工衛星による観測データを活用することが望ましい。一方、TRMM PR や GPM DPRの登場および長期観測により、降水システムに対する理解は飛躍的に向上したが、APHRODITE等の雨量計ベースの降水量データセットに対して直接的に貢献させるには、間をつなぐ研究要素が存在する。加えて、陸域降水を考える上で重要な地形性降水に対する理解を深めるためには、複雑地形を持ち、かつ多彩な四季を持つ我が国での観測データの更なる収集・利活用が必要である。基盤情報としてAMeDASがあり、APHRO-JPはこれに基づいているが、山岳域のデータ密度が高い国土交通省（MILT）河川局管理データセットも存在しているため、本サブチームにてデータ取得、利活用を行った。

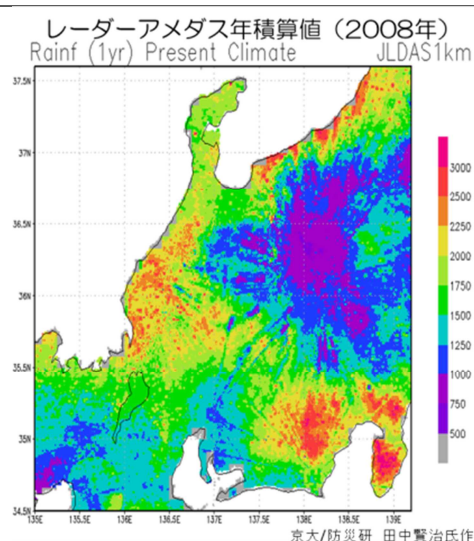
2. 研究開発目的

(1) 衛星データの収集、および活用

本サブテーマでは衛星データを活用するために衛星データの整備を継続して行った。本整備の目的は、a.アルゴリズム改良に資するデータ整備、および b.降水現象のさらなる理解に向けた解析用のデータ整備の二つの側面がある。a.は千葉大学のみならず、代表機関である弘前大学に集中してデータがアーカイブされた方が運用上望ましいため、プロジェクト開始時に弘前大学へ研究代表者が移ったこともありサーバーそのものの整備からスタートさせた。後者はAPHRODITEアルゴリズム改良に直接的に利用可能な衛星複合降水プロダクトのみならず、頻度は少ないが降水の3次元構造が直接的に計測できるTRMM PR、GPM DPRも含まれる。一方、直接的に降水を計測するものではないが、大気の大気対流活動の時空間変動をおさえるためには、静止気象衛星データを活用することが望ましい。千葉大学では2007年度より世界の静止気象衛星データの収集・処理・アーカイブを継続しているため、これらを継続した。

(2) 国土交通省河川局雨量データの収集、および活用

衛星降雨観測は高頻度の観測が可能であり、災害対策分野等で需要が高まる一方、空間不均一性の高い極端降水現象の推定には、地上降雨観測網との相互比較によるさらなる精度向上が必要である。気象庁アメダスレーダによる観測では山岳域が遮蔽されることにより、降水量が過小評価（図(3)-1）されることがある一方、アメダス雨量計は比較的標高の低い地域に観測点が分布しており山岳域での観測密度が比較的低く、地形性に伴う極端な降水を十分に捉えていないため、山岳域における観測データの補完が必要である。国交省（MLIT）河川局雨量計データは河川流域に沿った山岳域に密な観測点をもつ観測データであり、これを用いることでこれまでよりも山岳域の極端降水を反映した降水プロダクトが期待される。今回は全観測地点、長期にわたるMLIT雨量計データの取得を試み、データの特徴を理解することとした。



図(3)-1 2008年のレーダーアメダスによる年間積算降水量分布。中部山岳域に明確なレーダ遮蔽域が存在する。現在のレーダーアメダス解析雨量は国土交通省河川局の雨量計データも利用されているため、こうした明示的な遮蔽は無い。京都大学田中賢治博士提供。

(3) 衛星による高時間分解能降水観測データを用いた日界補正アルゴリズムの開発

APHRODITE地上雨量計観測データの重要な課題の一つとして、温暖化等の長期気候変動の影響による極端降水現象の発生の仕方の移り変わりを解析することが挙げられる。しかしAPHRODITEは多種多様な国々から提供されたデータを用いるため、国による時差や日降水量の観測時刻が異なり、その結果世界時を基準にした日降水量の観測時刻（日界）が異なるデータが混在してしまっている。日界が異なるデータでは極端降水現象など短時間に発生・収束する現象の観測日に違いが生じてしまう可能性があるため、極端降水現象を適切に評価するためには日界問題を取り除く必要がある。観測点毎に異なる日界を用いる国も存在するため、日界の問題を取り除くためにはまず観測点ごとの正確な日界の値を推定する必要がある。そこで本サブテーマでは1時間毎の高時間分解能を持つ衛星降水観測データを用いて、観測点ごとの日界を推定する手法を開発した。さらに衛星降水観測データを用いてAPHRODITE日降水観測データを内挿することで、APHRODITE時間降水量データを作成し、任意の日界で日降水量を計算し直すことで日界を補正する手法を開発した。開発した手法を用いてAPHRODITE全地上観測点の日界

を揃えることで、観測点密度を落とすことなく均一な日界を持つAPHRODITEプロダクトの作成を可能にすることを目的とした。

3. 研究開発方法

(1) 衛星関連データの取得・整備

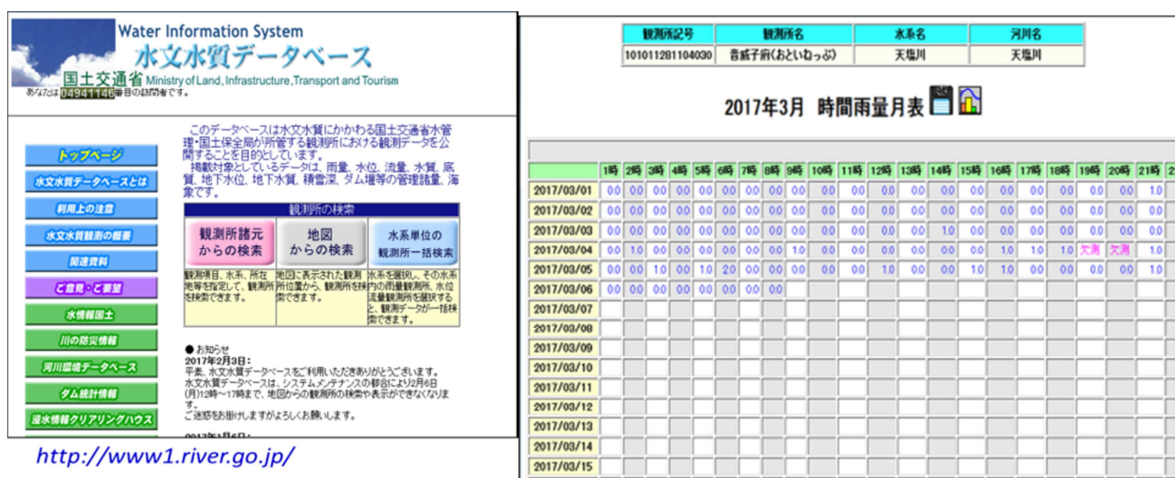
約40TBの容量を持つデータアーカイブ・計算用途のサーバーを、千葉大学から弘前大学に2016年度前半に搬入し、ハードの設置を行った。弘前大学側でのサーバーのソフト側の設定完了を待ち、プロジェクトで使用する衛星関連データの取得を行い、各サブチームが衛星データを共同で利用しうる環境整備を支援した。整備したプロダクト群を表(3)-1に示す。

表(3)-1 弘前大学サーバー上に整備した衛星関連プロダクト、データの取得先および期間

プロダクトの種類	データの取得先	データ期間
TRMM3B42 version7	NASA pps	1997 - 2017
GSMaP version6 reanalysis	JAXA / EORC	2000 - 2014
Rain Potential MAP	Chiba University	2007 - 2009
GPCP version 1.2	NOAA/NCDC	1996 - 2015
IMERG	NASA pps	2014 - 2018
PERSIANN	NCAR UCAR	2000 - 2018
PRISM	Oregon State University	1981 - 2017
CMORPH_V1.0	NOAA/CPC	1998 - 2016
GPM/DPR	NASA pps	2014 - 2018

(2) 国土交通省河川局雨量データの取得・整備

国土交通省河川局雨量データはMILTが運営する「水文水質データベース(<http://www1.river.go.jp>)」で公開されている(図(3)-2(左))。このwebサイトでは雨量計データをはじめとし、雨量・水位・流量・水質・底質・地下水位・地下水質・積雪深・ダム堰等の管理諸量といった観測データが公開されている。公開データはwebで閲覧する形式で取得できるようになっており、それぞれの観測点ごとのページから日時を指定して動的に作成されるリンクを辿ることで取得できる(図(3)-2(右))。観測地点数は約2750におよび、年数は1930年代から現在まで閲覧可能である。これらのデータの取得を複数のスタッフで分担して行い、年数・エリアで分けけて全期間のデータを取得した。



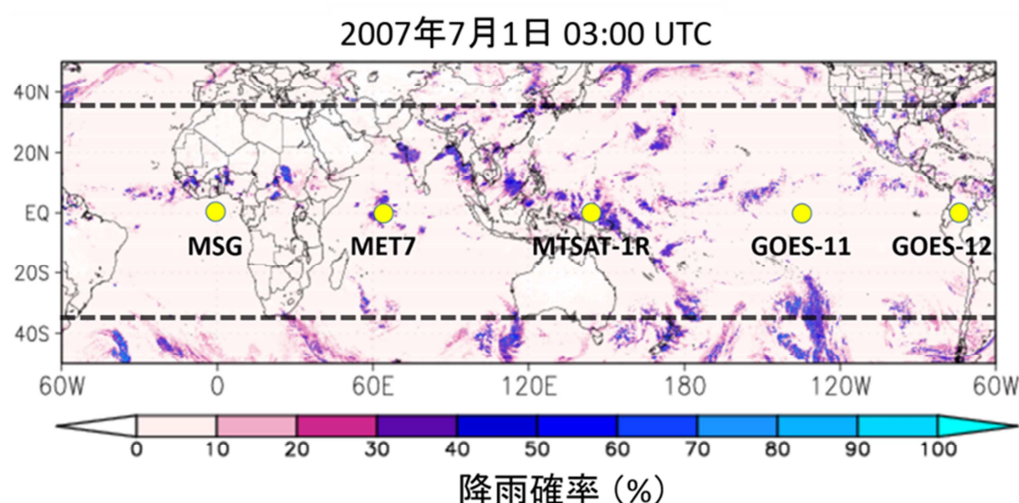
図(3)-2 国土交通省「水文水質データベース」webページ(左)、雨量計データ閲覧ページ(右)

(3) 衛星による高時間分解能降水観測データを用いた日界補正アルゴリズムの開発手法

衛星降水観測データを用いてAPHRODITE地上観測点の日界を同定するために、3種の衛星全球降水観測データを用いた。CMORPH (Joyce et al. 2004) および全球衛星降水マップ (GSMaP_MVK; Ushio et al.

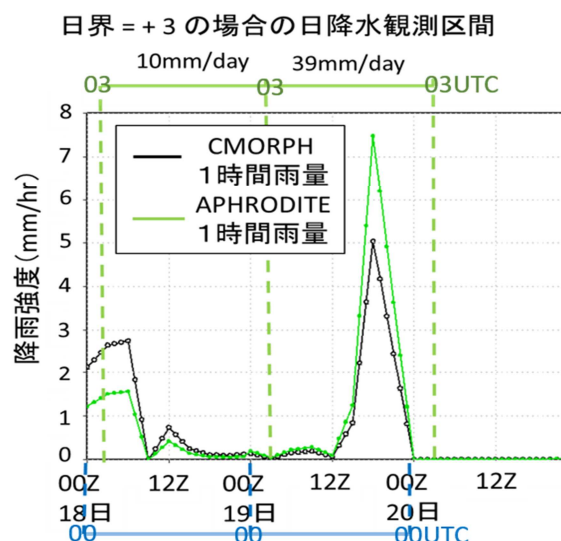
2009) は共にマイクロ波放射計 (MWR) 搭載衛星と静止気象衛星の赤外観測を組み合わせることで、1 時間毎で全球の降水を観測することを可能にしたデータセットである。MWR衛星と静止気象衛星の複合プロダクトはそれぞれの衛星で観測した領域の間で精度に差が生じるという特徴があるため、さらに本サブテーマで開発した静止気象衛星観測のみで1時間毎で全球の降雨確率を推定可能なデータである、降雨ポテンシャルマップを用いた (図(3)-3; Hirose et al. 2016)。この手法では全球を観測する5台の静止気象衛星とTRMM PRの同時観測を収集することで、静止気象衛星の観測輝度温度をTRMM PRの観測降雨確率に変換するルックアップテーブルを作成した。降雨ポテンシャルマップは千葉大学でアーカイブされた多量の静止気象衛星データ群を利用することで初めて作成が可能になったものである。

衛星降水観測データは1時間毎の降水変動の情報を持つため、1 時間ずつ平均区間をずらした日平均データを作成可能である。この平均区間の異なる多数の衛星降水観測データの1年間の時系列データと、APHRODITE日降水量時系列データとの相関を取ると、実際の日界と同じ区間で作成したデータが最も相関が高くなるはずである。このようにして相関係数が最も高くなる時刻から日界の値を推定することが可能になる。



図(3)-3 降雨ポテンシャルマップのスナップショット。黄色のドットは各静止気象衛星の衛星直下点を示し、破線はTRMM PRの観測領域 (36°S—36°N) を示す。

本サブテーマではAPHRODITEの各観測点に対して日界を同定するだけでなく、各観測点の日界を補正する手法の開発も行った。この手法では衛星降水観測データの持つ1時間毎の高時間分解能の降水時系列データを用いて、APHRODITEの各観測点の日降水量を分配することで1時間毎の降水量時系列に変換する処理を行う (図(3)-4)。この手法は元となるAPHRODITE日降水量を完全に保存したまま日界だけを別の値に変換できるという優れた特徴を持っており、このようにして得られたAPHRODITEの各観測点の1時間毎の降水量時系列データを任意の日界で日積算しなおすことで、APHRODITEの各観測点の日界を同一の値に揃えることが可能になる。



図(3)-4 日界補正手法説明図。図上部の日降水量の数値は日界=+3であるインド国内のあるAPHRODITE観測点の日降水量を示す。黒線は地上観測点と最も近いグリッドにおけるCMORPHの1時間毎の降水量時系列を示し、緑線はCMORPHの1時間毎の降水量時系列を元にしてAPHRODITEの日降水量を分配することで作成したAPHRODITEの1時間毎の降水量時系列を示す。

4. 結果及び考察

(1) 衛星関連データの取得・整備

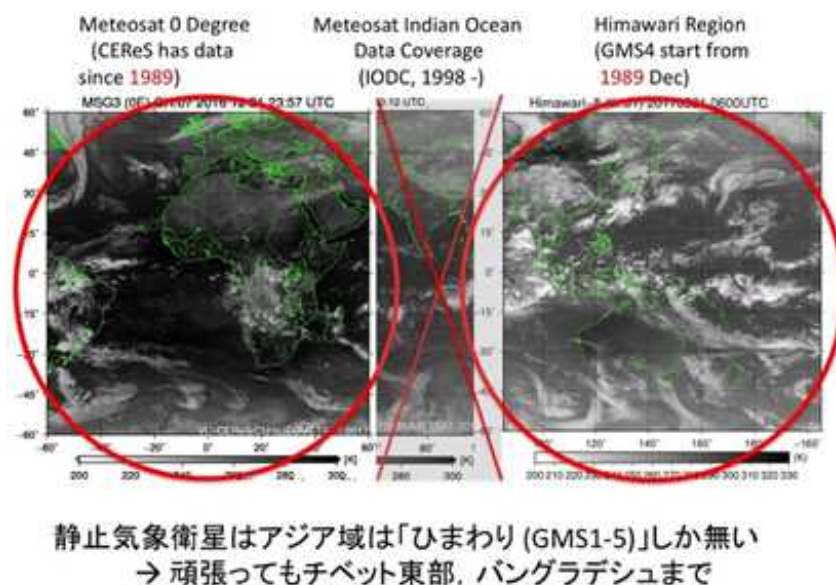
弘前大学サーバーでのデータ整備に関しては3.(1)に記載したが、千葉大学環境リモートセンシング研究センター（以下、千葉大学CEReS）における静止気象衛星データのアーカイブ状況を表(3)-2に示す。全球をカバーしうるのは、Meteosat-IODCが開始された1998以降であり、TRMM衛星打ち上げも1997年であることから、1998前後で利用可能な衛星データ数に大きな差が生じることがまずわかる。

表(3)-2 千葉大学CEReS における静止気象衛星収集・処理状況（2019年3月29日現在）

静止気象衛星収集・処理状況

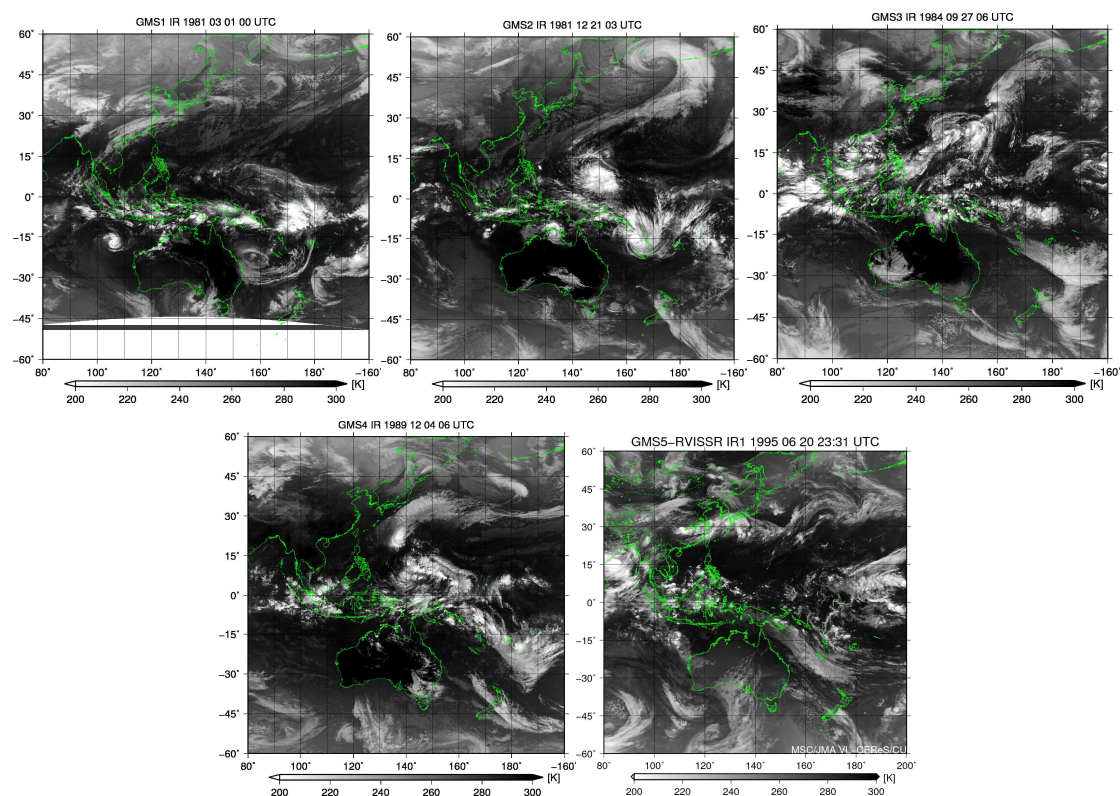
	*1: 3hourly data only			ftp://hmwr127.cr.chiba-u.ac.jp/ で公開					
Asia 1 (HIMAWARI)	GMS1 ^{*1} 198103- 198406	GMS2 ^{*1} 198112- 198409	GMS3 ^{*1} 198409- 198912	GMS4 198912- 199506	GMS5 199506- 200305	GOES9 200305- 200507	MTSAT1R 200506- 201007	MTSAT2 201006- 201507	H-08 201507- 現在
Asia 2 (FY2 Series)	ftp://fy.cr.chiba-u.ac.jp/					FY2-C 200605- 200809	FY2-D 200809- 201512	FY2-E 201512- 201901	FY2-G 201902- 現在
Asia 3 (Meteosat-IODC)	ftp://meteosat.cr.chiba-u.ac.jp/ だが、 EUMETSATデータポリシーのため、 IP制限による公開			MFG5 199804-200702			MFG7 200607- 201703	MFG7 200607- 201703	MSG1 201702- 現在
EU- Africa (0Deg)		MFG4 198912- 199402	MFG5 199402- 199707	MFG6 199610- 200212	MFG7 199806- 200607	MSG1 200401- 200612	MSG2 200609- 現在	MSG3 201212- 201802	MSG4 201802- 現在
America (GOES- EAST)	ftp://goes.cr.chiba-u.ac.jp/			GOES08 199409-200303		GOES12 200304-201004		GOES13 201004- 201801	GOES-R 201712- 現在
Pacific (GOES- WEST)	ftp://goes.cr.chiba-u.ac.jp/		GOES07 -199509	GOES09 199507- 199807	GOES10 199807-200606		GOES11 200606- 201112	GOES15 201112- 201811	GOES-S

APHRODITEプロジェクトで重要となるモンスーンアジア域に関しては Meteosat-0Degree 域とひまわり観測領域のちょうど合間にインド・アフガニスタン等中央アジア域が空白となってしまう（図(3)-5）ため、表(3)-2の状況も踏まえ、APHRODITE-2での対象期間は1998年以降と設定された。



図(3)-5 Meteosat 0 Degreeとひまわり観測域の間に1998年以前に生じる観測空白域

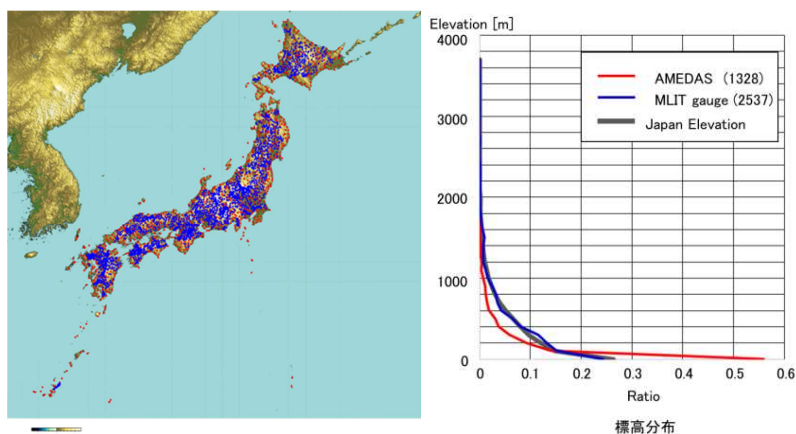
一方、モンスーンアジア域でもひまわりが観測する範囲ではGMS1号が観測する1981年より、オリジナルデータがプロジェクト開始時には気象庁から提供されており、これらのデータもPPM計算に必要なため、千葉大学CEReSで処理・公開している MTSAT gridded product Version 2 と同等の計算スキームを京都大学理学研究科重グループの山本宗尚研究員より、千葉大学CEReS共同利用研究の枠組みより提供していただき、本プロジェクトの支援を受け、GMS1～5の取得済みすべてのデータに対して処理・公開を行った (<ftp://hmwr127.cr.chiba-u.ac.jp/>; 図(3)-6)。なお、ひまわり1号から7号 (MTSAT-2) 終了までの全てのgridded データを用いた20年以上に及ぶひまわり動画 (等倍で再生すると2時間以上かかる) を千葉大学CEReS youtube ひまわりサイトにて公開している。



図(3)-6 ひまわり1号～5号(GMS1-5)の最初に取得されたIR1データをgridded 化したもの

(2) AphroJPの観測点密度を補うための国交省河川局雨量計データ取得

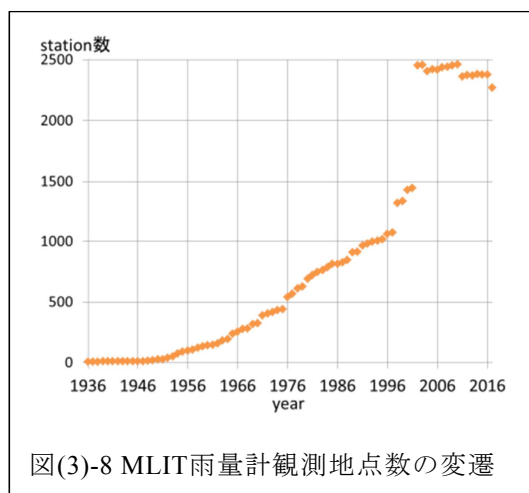
データ取得を行った観測地点分布を図(3)-7 (左) に示す。赤色は気象庁AMeDASを示し、青色がMLIT雨量計を示しており、主に山岳域に密に分布していることが分かる。観測地点分布を標高別に示したのが図(3)-7 (右) である。赤線のAMeDASが100m以下の分布割合が多い一方、青線のMLIT雨量計分布は日本の標高分布 (黒線) に沿った分布をしていることが確認できる。



図(3)-7 MLIT雨量計(青)とAMeDAS(赤)観測地点分布(左)とそれぞれの観測地点分布の標高分布(右)

観測地点数について調べてみると、1936年から2000年に至るまで純増を続け、2001年を境におよそ1500から2500地点に達し現在に至るまでグリッド化プロダクト作成に十分なサンプル数を維持 (図(3)-8) している。

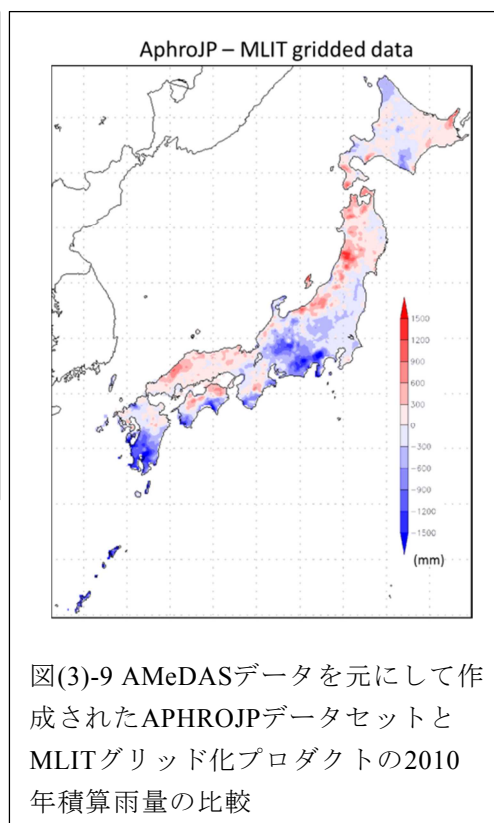
図 (3)-9 は MLIT雨量計のみを用いたグリッド化プロダクトと、アメダスデータのみで作成されたグリッド化プロダクトの2010年積算雨量の差を示している。とりわけ中部地方山岳域で青色とな



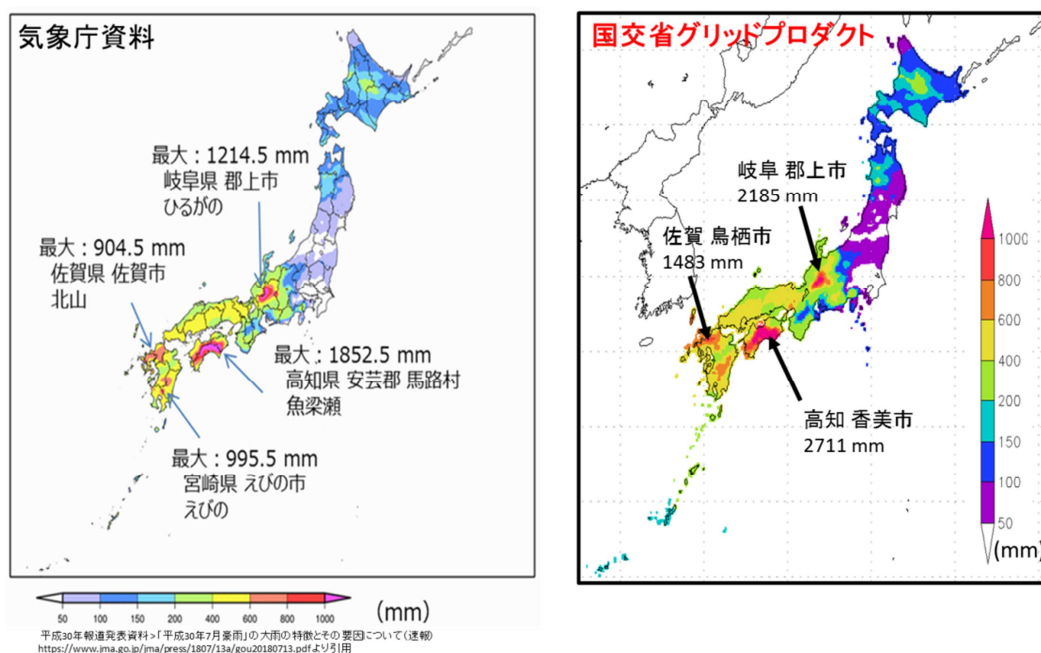
図(3)-8 MLIT雨量計観測地点数の変遷

っている地域はMLIT雨量計データがより多くの降雨を捉えていることが分かる。東北地方日本海側でMLITデータ降雨プロダクトは、その性質上観測点分布に偏りがあり、観測点密度が疎となっている紀伊半島南部や高知県といった内挿処理によるエリアのデータの信頼性は十分ではない点に注意が必要である。

極端降雨の解析事例として、西日本豪雨 (平成30年7月豪雨) の降水分布比較を行った (図(3)-10)。この事例は2018年 (平成30年) 6月28日から7月8日にかけて西日本を中心に台風7号や梅雨前線に伴って観測された局地的大雨である。下図は6月28日から7月8日の積算値を気象庁報告の資料と比較した。



図(3)-9 AMeDASデータを元にして作成されたAPHROJPデータセットとMLITグリッド化プロダクトの2010年積算雨量の比較

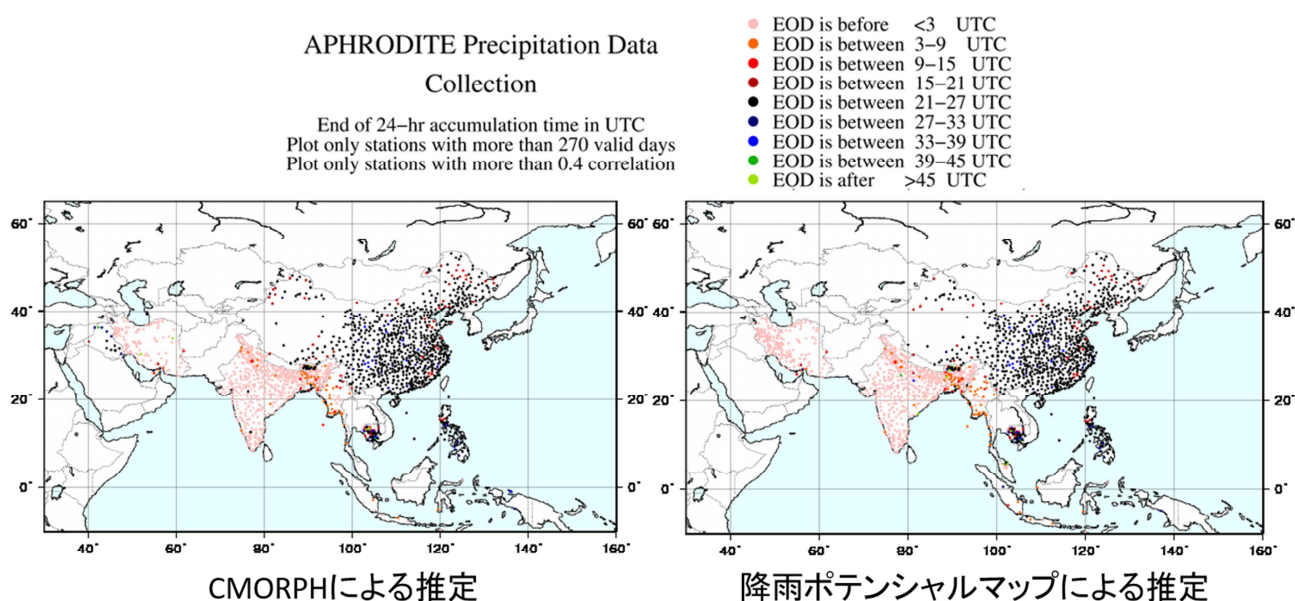


図(3)-10 西日本豪雨事例における気象庁公開資料（左）とMLITグリッド化プロダクト（右）の比較

積算降水量の高い中部地方・四国・九州北部の山岳域ではMLIT雨量計プロダクトの定性的な分布は気象庁資料と非常によく似ている。そのなかでも記録的な降水量を観測した地点に着目すると岐阜県郡上市では気象庁の1214.5mmに対してMLIT雨量計では2倍近い降水量である2185mmを観測しており、山岳域においてAMeDASでは捉えきれない降水を密な観測で捉えていることがわかる。

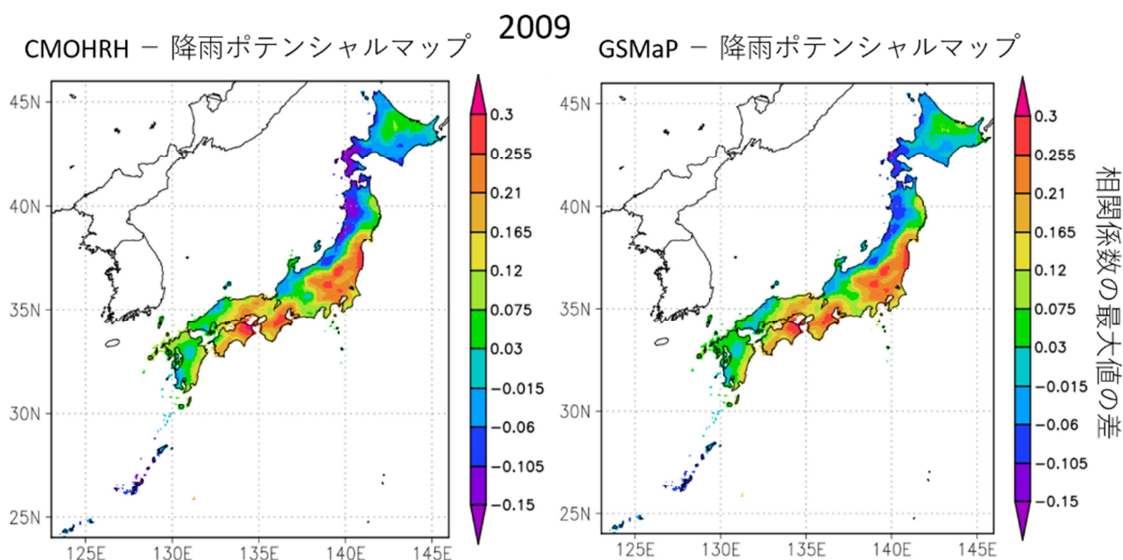
（3）衛星による高時間分解能降水観測データを用いた日界同定・補正結果

衛星による高時間分解能降水観測データを用いた日界同定についてはサブ1がCMORPHを用いて先行して解析を行っており、それらの結果とサブ3の結果を比較することでスムーズに進行させることが可能であった。サブ3で降雨ポテンシャルマップを用いて推定した日界はサブ1がCMORPHを用いて求めた日界と非常によく一致していた（図(3)-11）。



図(3)-11 衛星降水観測データを用いて推定した日界分布

3種の衛星降水観測データの中で日界の推定に最も適しているデータを特定するために、日本域でAPHRODITE時系列データと各衛星降水観測時系列データの相関を取りその結果を比較した(図(3)-12)。図は相関係数が最大となる時の値を各衛星データ間で比較したもので、低緯度側ではCMORPHとGSMaPの方が降雨ポテンシャルマップより相関が高いが、一方で高緯度側では降雨ポテンシャルマップの方が高い相関係数を示していることがわかる。これはMWR衛星による降雨推定アルゴリズムの地表面が低温になる状況、特に積雪下における降雨・降雪推定の困難さに起因するものと考えられる。

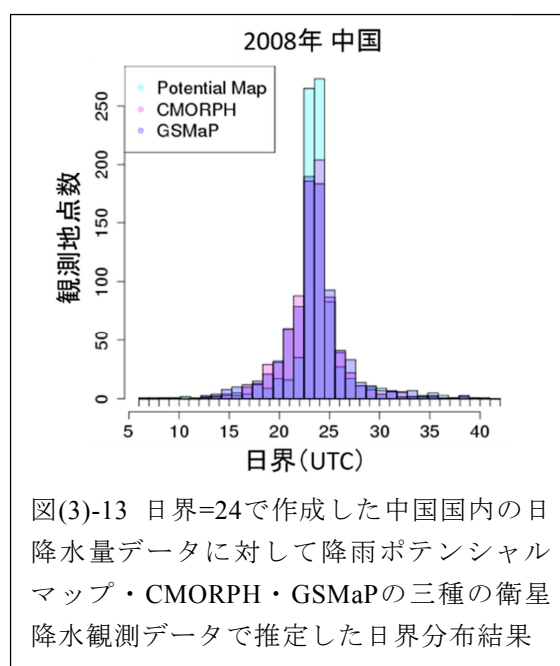


図(3)-12 APHRODITEと衛星降水観測データの相関係数が最大となる時の値の衛星間比較結果

日本域における衛星データ間の相関係数最大値の比較結果からは、高緯度域や降雪が存在する地域などによって最適な衛星降水観測データセットを使い分ける必要性が示唆された。日本域では解析範囲が極端に限定されていたため、積雪域を含む広範な国土面積を持つ中国でさらに衛星降水観測データの日界推定精度を比較した。中国では地上観測の1時間降水量データが与えられているため、日界=24の日降水量データを作成し、3種の衛星降水観測データで推定した各観測点の日界分布を比較した(図(3)-13)。

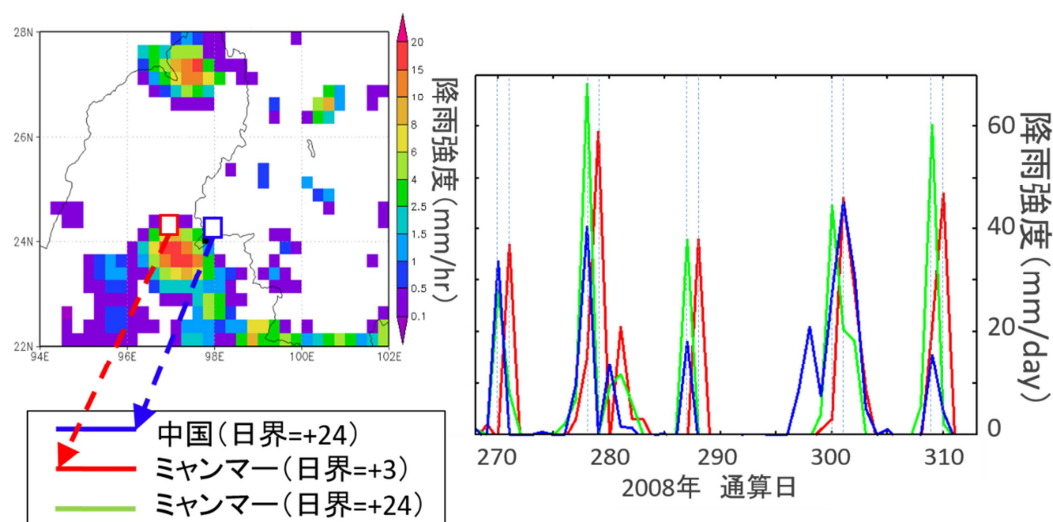
その結果相関係数の最大値には日本域の解析と同様に地域ごとに差が生じていたが、推定された日界分布は全ての衛星データで非常によく一致していることがわかった。異なる3種の衛星降水観測データを用いて個別に推定した日界分布がよく一致しているという結果から、サブ3で用いた日界同定手法は非常に信頼性の高いものだと考えられる。衛星降水観測データを用いて日界を補正する場合には、広域で均質なプロダクトを作成するために使用する衛星データは1種に統一することが望ましい。中国における比較解析の結果から十分な観測点数が存在する場合はどの衛星降水観測データを用いても精度よく日界を同定可能であることが示された。サブ1が先行して解析を行っていたCMORPHによる日界同定結果が活用可能であることを踏まえ、サブ1と協議した結果以降の日界補正アルゴリズムではCMORPHを用いて解析を行うこととした。またAPHRODITE各観測点の日界の最終的な推定値は各衛星データで推定した日界分布図の結果と、各国の地上観測データ提供者から与えられた日界に関情報を考慮して総合的に決定した。

サブ3で作成した日界補正手法が適切に機能するのかを確認するために、日界が大きく異なる中国(日



図(3)-13 日界=24で作成した中国国内の日降水量データに対して降雨ポテンシャルマップ・CMORPH・GSMaPの三種の衛星降水観測データで推定した日界分布結果

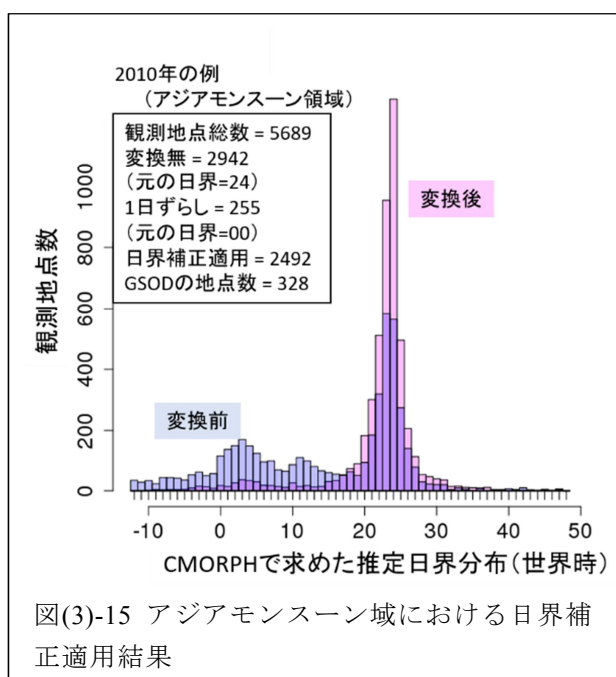
界=+24)とミャンマー(日界=+3)の国境付近に存在する隣接した2つの観測点の日降水時系列に日界補正を適用することを試みた(図(3)-14)。図を見ると大規模な降水システムの通過に伴い日降水量のピークが観測されているが、青線で示される中国の観測点と赤線で示されるミャンマーの観測点では日界が1日近く異なるため、日降水のピークが発生する日付が異なっていることがわかる。これに対して日界補正を用いて日界=+24に直した緑線で示される補正後のミャンマーの日降水量時系列ではピークの観測日が1日前にシフトしており、青線で示される日界=+24の中国の観測ピークと日付が一致するように補正がなされていることがわかる。



図(3)-14 ミャンマー国内のある観測点に対する日界補正適用事例

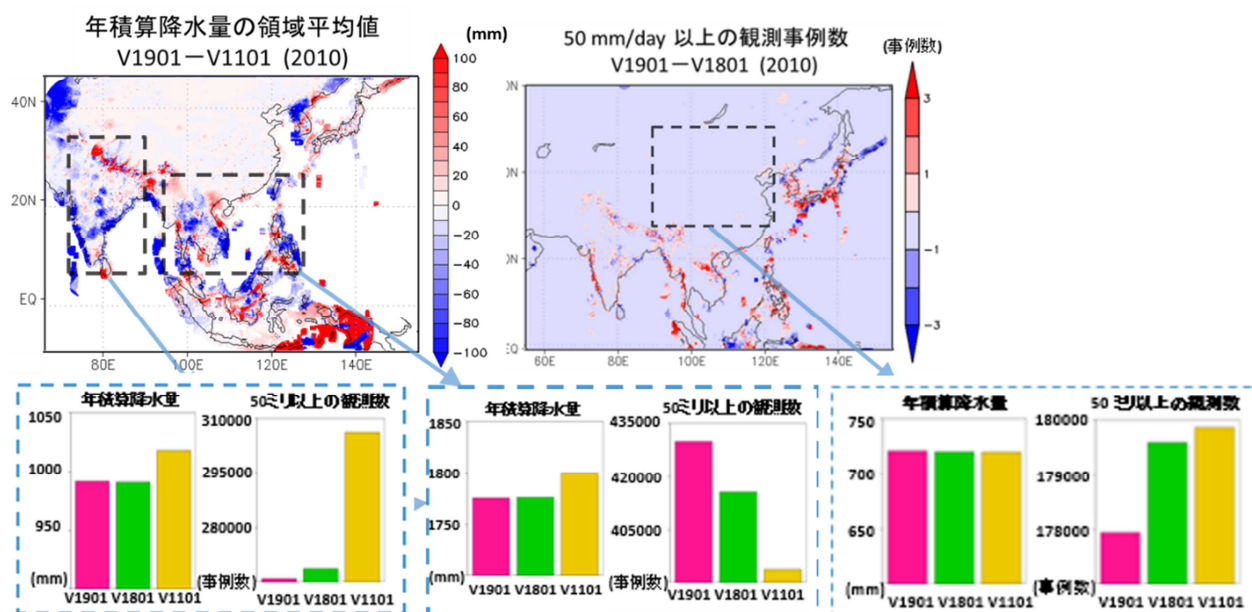
衛星降水観測データを用いた日界補正手法をアジアモンスーン域全体のAPHRODITEデータに適用し、全ての観測点で日界=+24に一致するように補正を行った(図(3)-15)。日界補正適用前のAPHRODITEデータの推定日界分布は-12~36の範囲で大きくばらついていたが、補正適用後の結果では多くの観測点がEOD=+24付近にピークを持つよう修正されていることがわかる。補正適用後の各観測点のデータに対してAPHRODITEグリッド化プロダクト作成アルゴリズムを適用することで、日界=+24に統一されたAPHRODITEプロダクト(V1901)の作成が可能となる。

日界補正がAPHRODITEプロダクトの降水量にどのように影響を与えているのかを検証するために、3つのバージョンの異なるAPHRODITEプロダクトを用いて年積算降水量および50ミリ以上の降水観測日数を比較した(図(3)-16)。日界が混在したプロダクト(V1101)と国ごとに日界が混在しないよう分離してからグリッド化したプロダクト(V1801)、そして日界補正によって日界=+24に統一したプロダクト(V1901)の結果を比較した結果、グリッドデータを作成する際に同一の観測点のみを用いて3種のグリッドデータが作成された中国域では年積算降水量はほぼ一致することがわかった。一方インド域や東南アジア域ではV1101の年積算降水量が最も多いという結果が得られたが、これはV1101が日界の混在を考慮せず可能な限り多くの観測点を利用してグリッドデータを作成していることが原因だと考えられる。V1901とV1801の50ミリ以上の降水観測日数の差を取った結果では特に国境付近で値の増減が顕著にみられたが、これはV1901では日界補正によって国境をまたいだ日界のズレが取



図(3)-15 アジアモンスーン域における日界補正適用結果

り除かれていることによるものと考えられる。インド域と東南アジア域の統計値での差も同様の原因で生じていると思われる。



図(3)-16 年積算降水量および50ミリ以上の降雨観測日数に対する日界の影響。棒グラフで示す各統計量は2010年の1年間における図中の破線の枠内の範囲で計算を行った。

(4) 考察

気象学、水文学など様々な分野において、より精度の高い降水観測データの需要はますます高まってきている。GSMaPなどの衛星降水観測データは観測域の制限を受けないという長所を持つ一方、アジアモンスーン域の沿岸部山岳域で降水量を著しく過小評価してしまう問題が報告されている (Kubota et al. 2009)。Sohn et al. (2010) は朝鮮半島におけるモンスーン期の豪雨は、従来考えられていたよりも雲頂高度の低い雲によってもたらされることを示した。Hamada et al. (2014、2015) は極端な豪雨は雲頂高度の高い雲ではなくむしろ比較的低い雲頂高度の雲からもたらされることを示した。彼らは極端降水現象に着目した場合、そのような降雨は熱帯から亜熱帯域の幅広い範囲で発生していると報告している。Shige et al. (2013) はGSMaPの降雨過小評価の原因はアジアモンスーン域特有の比較的背の低い雲からもたらされる地形性降雨であり、そのような降雨は背の高い雲ほど強い雨をもたらすという仮定の元作られた従来の降雨推定アルゴリズムでは推定が困難であることを報告している。彼らは大気客観解析データを用いて地形性降雨の有無を判別することで、マイクロ波観測が利用可能な場所における過小評価を改善した。しかし、マイクロ波観測が利用できない場所では依然として推定降雨の過小評価傾向が残されており、さらなる精度向上のためには信頼できる降雨観測の真値としての地上観測が必要不可欠である。適切なクオリティ・コントロールと日界補正を施したAPHRODITE-2プロダクトはその条件を満たしており、グリッド化が施されているため衛星観測データや衛星シミュレータの結果との比較も容易に行うことが可能である。実際にGSMaPは地形性降雨の補正アルゴリズムを開発する際に日本のレーダ・アメダス観測を十分な観測点密度を持つ降雨の真値として用いているが (Taniguchi et al. 2013)、サブ3によるMLITの解析から、アメダスの観測点密度でさえ、観測点密度の不足が原因で山岳域の降雨強度を過小評価していることが示されている。これらの結果は高品質の地上降雨観測データであるAPHRODITE-2プロダクトの重要性を再度裏付けるものである。モンスーンオンセットの解析や、APHRODITE-2プロジェクト本来の主題である気候変動に伴う極端降水現象の特性の移り変わりも、日界補正が施されたことにより初めて適切に評価することが可能になったと言える。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

マイクロ波観測が利用できない場所では推定降雨は過小評価しており、さらなる精度向上のためには信頼できる降雨観測の真値としての地上観測が必要不可欠である。適切な品質管理と日界補正を施したAPHRODITE-2プロダクトはその条件を満たしており、グリッド化が施されているため衛星観測データや衛星シミュレータの結果との比較も容易に行うことが可能である。サブ3によるMLITの解析から、アメダスの観測点密度でさえ、観測点密度の不足が原因で山岳域の降雨強度を過小評価していることが示されている。これらの結果は高品質の地上降雨観測データであるAPHRODITE-2プロダクトの重要性を再度裏付けるものである。モンスーンオンセットの解析や、APHRODITE-2プロジェクト本来の主題である気候変動に伴う極端降水現象の特性の変化も、日界補正が施されたことにより適切に評価することが可能になったと言える。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

日本域の雨量計ベースの降水把握については、気象庁によってアメダスとMLIT河川局雨量計、地方自治体運用の雨量計を用いた統合的なモニタリングシステムによって既に現業運用がなされており、本研究結果のプロダクトはこれを研究・一般ユーザー向けに過去分データを利用可能とした位置づけである。加えて本課題では、国交省河川局の10分毎の準リアルタイムデータ取得のルーチン作成も行っており、ニーズに応じて10分毎の準リアルタイムプロダクト作成ルーチンの提供が可能である。過去データの行政への応用可能性については「生物多様性」や「環境モニタリング」の一環として、今回の気象庁アメダス雨量計+MLIT河川局のgridded化のみならず、レーダーアメダス解析値や都市域に展開された国交省Xバンドレーダー(XRAIN)、さらには衛星搭載レーダ(TRMM/PR、GPM/DPR)を複合的にブレンド・補正した降水量プロダクトを構築することが、国土基礎情報としてきわめて重要である。こうした地道な基盤研究は大学や研究所での試行がしばらく必要であるが、より精緻な国土基礎情報を統計情報として整備することは、省庁の枠組みを超えて大事である。

アジア諸国の中で日本が果たす役割を明示することの重要性は、東アジア域の政治的情勢を踏まえるとますます高まると考えられる。災害対策分野における日本の技術水準は依然として世界有数のものであり、特に水災害に対して蓄積されてきた膨大な防災・復興技術は他の追随を許さないものである。それらの恩恵を東アジア諸国の災害対策に用いることは日本の社会的な役割として極めて重要な意味を持つと考えられる。日本の研究チームが開発したGSMaPによる広域衛星降水観測データは0.1°グリッドで1時間毎という高い時・空間解像度を持つため、地上レーダ観測による観測網が十分に整備されていない東南アジア諸国における水災害に対する活用が期待されている。GSMaPの複数あるプロダクトの中で最も信頼度の高いものはNOAA Climate Prediction Center (CPC)が提供する地上雨量計データを用いて降水量を補正したGSMaP_gaugeであるが、東南アジア域の研究者から現地の地上雨量計の観測点密度が低い場所では実際の観測値と大きくズレが生じる事例が数多く報告されている。APHRODITE-2の地上雨量計観測は各国の気象機関に協力を依頼する形で本プロジェクトが独自に収集したものであり、CPCの地上雨量計データの観測点密度が不足する多くの場所で、より信頼度の高い降雨観測を提供することが可能となっている。サブ3で日界補正を施した新しいAPHRODITE-2プロダクトを用いることで、特にアジアモンスーン域におけるGSMaPの信頼度を向上させることは、NOAA CPCの提供する類似した衛星全球降水観測データであるCMORPHに対するGSMaPの優位性を示すためにも大きな意味を持つと思われる。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) Hirose, H., M.K. Yamamoto, S. Shige, A. Higuchi, T. Mega, T. Ushio, and A. Hamada: *Online Letters on the Atmosphere (SOLA)*, **12**,297-301, doi:10.2151/sola.2016-058 (2016)

“A rain potential map with high temporal and spatial resolutions retrieved from five geostationary meteorological satellites”

<査読付論文に準ずる成果発表>

- 1) 樋口篤志、豊嶋紘一、村田健史、可知美佐子: 気象研究ノート 第238号「静止気象衛星ひまわり8号・9号とその利用」 岡本幸三・別所康太郎・吉崎徳人・村田英彦編、187p、ISBN 978-4-904129-21-0、pp. 1-9 (2018)、(2018/11、査読有)
「第1章 ひまわり8号が観測した地球の姿」

<その他誌上発表(査読なし)>

- 1) 樋口篤志: 日本水文科学会誌、**46** (2)、167-168 (2016)
「書評：持続可能な地下水利用に向けた挑戦 -地下水先進地域熊本からの発信-」

(2) 口頭発表(学会等)

- 1) 樋口篤志、広瀬民志、豊嶋紘一、牛尾知雄、妻鹿友昭、重尚一、山本宗尚、谷田貝亜紀代: 2016年度水文・水資源学会研究発表会、2016年9月15日～17日、コラッセふくしま (2016)
「静止気象衛星群を活用した降水関連情報の抽出、およびその利用」
- 2) 勝部豪、樋口篤志、豊嶋紘一: 日本気象学会2016年度秋季大会、2016年10月26日～28日、名古屋大学 (2016)
「APHRO JPに見られた沖縄梅雨の数十年規模変動」
- 3) 豊嶋紘一、樋口篤志、竹中栄晶、坂下太陽: 日本気象学会2016年度秋季大会、2016年10月26日～28日名古屋大学 (2016)
「ひまわり8号 Griddedプロダクトの公開と精密幾何補正前後の位置補正比較」
- 4) Higuchi, A., K. Toyoshima, H. Hirose, K. Tanaka, and A. Yatagai: *International Workshop on Evaluating Precipitation Extremes and Their Relation to Disasters*, 2017年3月7-8日, 京都 (2017)
“Utilize geostationary meteorological satellites for the improvements of time resolution of gauge-based precipitation product: Its overview”.
- 5) Toyoshima, K., A. Higuchi, H. Hirose, A. Yatagai, and K. Tanaka: *International Workshop on Evaluating Precipitation Extremes and Their Relation to Disasters*, 2017年3月7-8日, 京都 (2017)
“Utilize geostationary meteorological satellites for the improvements of time resolution of gauge-based precipitation product: Comparison between rain gauge and satellite data”
- 6) Hirose, H., A. Higuchi, K. Toyoshima, and K. Tanaka: *International Workshop on Evaluating Precipitation Extremes and Their Relation to Disasters*, 2017年3月7-8日, 京都 (2017)
“Global estimation of the diurnal cycle of precipitation with geostationary meteorological satellites”
- 7) Tanaka, K., H. Hirose, S. Tanaka, A. Yatagai, M. Masuda, and A. Higuchi: *International Workshop on Evaluating Precipitation Extremes and Their Relation to Disasters*, 2017年3月7-8日, 京都 (2017)

“Comparison of new APHRO-JP products with radar analysis precipitation (RAP)”

- 8) 谷田貝亜紀代、田中茂信、樋口篤志、田中賢治、上口賢治、安富奈津子:日本気象学会2017年度春季大会、2017年5月25日～28日、国立オリンピック記念青少年総合センター、東京 (2017)
「極端降水評価と気象解析のための APHRODITE アルゴリズムの改良 - APHRODITE-2 紹介 —」
- 9) 谷田貝亜紀代、増田南波、田中賢治、樋口篤志: 2017年度水文・水資源学会研究発表会、2017年9月19日～21日、北見工業大学、北見 (2017)
「APHRODITE-2 によるグリッド降水量作成アルゴリズム改良～初期成果～」
- 10) 勝部豪、樋口篤志、豊嶋絃一:日本気象学会2017年度秋季大会、2017年10月30日～11月2日、北海道大学学術交流会館、札幌 (2017)
「近年の沖縄梅雨における少雨日増加の要因解析」
- 11) 豊嶋絃一、樋口篤志、秋元文江、増永浩彦:日本気象学会2017年度秋季大会、2017年10月30日～11月2日、北海道大学学術交流会館、札幌 (2017)
「GPM Ku・Ka レーダーにおける降水地域特性比較」
- 12) Hirose, H. and A. Higuchi: *Annual Meeting of Asia Oceania Geoscience Society (AOGS)*, 2018年6月3日～8日, ホノルル, ハワイ (2018)
“Correction of end of day gap of APHRODITE-2 rain gauge data using geostationary meteorological satellites”
- 13) 豊嶋絃一、樋口篤志、安富奈津子、田中賢治、谷田貝亜紀代:平成30年7月豪雨に関する緊急対応研究会、2018年8月17日、理化学研究所計算科学研究センター、神戸市 (2018)
「国交省河川局雨量計データのグリッド化プロダクト作成と、西日本豪雨事例について」
- 14) 田中賢治、安富奈津子、田中茂信、樋口篤志、豊嶋絃一、谷田貝亜紀代:水文・水資源学会 2018年度総会・研究発表会・創立30周年記念学術シンポジウム、2018年9月12日～14日、三重大学生物資源学部環境情報科学館、津市 (2018)
「日本域高解像度日降水グリッドデータ APHRO_JP の改良」
- 15) 豊嶋絃一、広瀬民志、加藤章子、樋口篤志: 第21回環境リモートセンシングシンポジウム、2019年2月14日、千葉大学けやき会館、千葉市 (2019)
「国交省河川局雨量計データを用いた降水グリッド化プロダクトの作成について」
- 16) 豊嶋絃一、広瀬民志、加藤章子、樋口篤志、安富奈津子、田中賢治、谷田貝亜紀代: GPMおよび衛星シミュレータ合同研究集会、2019年3月18日～19日、名古屋大学環境総合館1F レクチャーホール、名古屋市 (2019)
「国交省河川局雨量計データを用いた降水グリッド化プロダクトの作成について」

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 樋口篤志:「千葉芸術文化塾」にて一般市民向けに千葉市民会館にて2016年9月8日に講演(参加者100名程度)
「気象衛星ひまわり」
- 2) 豊嶋絃一:シンポジウム「温故知新:東北の気候と農業」にて一般市民向けに弘前大学岩木ホールにて2017年3月15日に講演
「静止気象衛星「ひまわり8号」の画像から」
- 3) APHRODITE-2 Workshopのホストを行った(参加者16名、2017年9月11-14日、千葉大学工学部、千葉大学 CEReS Newsletter No.142 に報告あり)
- 4) 豊嶋絃一:千葉市科学フェスタ2017「大人が楽しむ科学教室」にて一般市民向けに千葉市中央区 Qiball (きぼーる) にて2018年2月4日講演(千葉大学 CEReS Newsletter No.147 に報告あり)

「ひまわり8号の観測から」

- 5) シンポジウム「様々な手法で関東の、世界の降水を測る」を 2018年3月3日、千葉大学けやき会館大ホールにて開催した。(参加者31名、千葉大学 CEReS Newsletter No. 148 に報告あり)
 - ー 豊嶋紘一：「TRMMからGPMへ」
 - ー 広瀬民志：「TRMM GPMの成果を広域に広げるひまわり8号による降雨推定」
- 6) 樋口篤志：「第81回知の拠点セミナー」にて一般市民向けに東京大学地震研究所1号館2階セミナー室にて2018年12月21日に講演(参加者40名程度、千葉大学 CEReS Newsletter No.157 に報告あり)「第3世代静止気象衛星の地球環境研究への利活用」
- 7) 樋口篤志：「Hitachi アカデミックシステム研究会第42回研究会」にて一般市民向けにTKPお茶の水カンファレンスセンターにて 2019年2月22日に講演(参加者80名程度、千葉大学 CEReS Newsletter No. 159 に報告あり)「第3世代静止気象衛星の地球環境モニタリング」

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1) Cetrone, J. and R. A. Houze Jr. (2011) Leading and trailing anvil clouds of West African squall lines, *Journal of the Atmospheric Sciences*, **68**, 1114–1123.
- 2) Hamada, A., Murayama, Y. and Takayabu, Y. N. (2014) Regional characteristics of extreme rainfall extracted from TRMM PR measurements, *Journal of Climate*, **27** (21), 8151–8169.
- 3) Hamada, A., Takayabu, Y. N., Liu, C. and Zipser, E. J. (2015) Weak linkage between the heaviest rainfall and tallest storms, *Nature Communications*, **6** (6213), doi:10.1038/ncomms7213.
- 4) Hirose, H., M.K. Yamamoto, S. Shige, A. Higuchi, T. Mega, T. Ushio, and A. Hamada (2016) A rain potential map with high temporal and spatial resolutions retrieved from five geostationary meteorological satellites, *Online Letters on the Atmosphere (SOLA)*, **12**, 297–301.
- 5) Joyce, R. J., J. E. Janowiak, P. A. Arkin, and P. Xie (2004) CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution, *Journal of Hydrometeorology*, **5**, 487–503.
- 6) Kubota T., T. Ushio, S. Shige, S. Kida, M. Kachi, and K. Okamoto (2009) Verification of high-resolution satellite-based rainfall estimates around Japan using a gauge-galibrated ground-radar dataset, *Journal of Meteorological Society of Japan*, **87A**, 203–222.
- 7) Shige S., S. Kida, H. Ashiwake, T. Kubota, and K. Aonashi, 2013: Improvement of TMI rain 749 retrievals in mountainous areas. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, **52**, 242–254.
- 8) Sohn B. J., G.-H. Ryu, H.-J. Song, and M.-L. Ou (2013) Characteristic features of warm-type rain producing heavy rainfall over the Korean peninsula inferred from TRMM measurements, *Monthly Weather Review*, **141**, 3873–3888.
- 9) Taniguchi, A, S. Shige, M. K. Yamamoto, T. Mega, S. Kida, T. Kubota, M. Kachi, T. Ushio, and K. Aonashi (2013) Improvement of high-resolution satellite rainfall product for Typhoon Morakot (2009) over Taiwan. *Journal of Hydrometeorology*, **14**, 1859–1871.
- 10) Ushio, T., K. Sasashige, T. Kubota, S. Shige, K. Okamoto, K. Aonashi, T. Inoue, N. Takahashi, T. Iguchi, M.

- Kachi, R. Oki, T. Morimoto, and Z. Kawasaki, (2009) A Kalman filter approach to the Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) from combined passive microwave and infrared radiometric data, *Journal of Meteorological Society of Japan*, **87A**, 137–151.
- 11) Ushio T., T. Tashima, T. Kubota, and M. Kachi (2013): Gauge Adjusted Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP_Gauge), Proc. 29th ISTS, 2013-n-48

III. 英文Abstract

Asian Precipitation – Highly-Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation (APHRODITE) of the Extreme Events

Principal Investigator: Akiyo YATAGAI

Institution: Hirosaki University

3, Bunkyo-cho, Hirosaki-shi, Aomori-ken, 036-8561, JAPAN

Tel: +81-172-39-3685 / Fax: +81-172-39-3685

E-mail: yatagai@hirosaki-u.ac.jp

Cooperated by: Kyoto University, Chiba University

[Abstract]

Key Words: Extreme Precipitation, APHRODITE, Downscaling, Global warming

The Asian Precipitation -- Highly Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation (APHRODITE) study of water resource products (Yatagai et al., 2009, 2012) collected rain-gauge observation data over Asia and created long-term (1951–2007) precipitation datasets. APHRODITE data have been used for many scientific and operational purposes, including the evaluation of water resources and the assessment of the effects of global warming on water resources. The present study (APHRODITE-2, Global Environment Research Fund, 2-1602) aims to improve the APHRODITE algorithm and thus contribute to studies/policy making on extreme precipitation and meteorological analyses, including improving forecasts. To this end, we 1) improve our quality control scheme, 2) check the 24-hour accumulation period (end of the day, EOD) of all station data, 3) develop an algorithm that conserves the station value within a cell, and 4) further develop the climatology/interpolation scheme.

First, to judge the EOD, we compared each precipitation time series with a satellite-based hourly product in addition to the meta-information of each datum. We then released the V1801R1 product (1998–2015), which does not mix different EOD data for a country and which conserves the station value within a 0.05-degree cell. We also released the updated V1101EX product (2007–2015), which uses as many station data as possible. We are now validating the change in statistics of the EOD-adjusted daily product (where the EOD of all data is 24 UTC) with that of the previous product. We released daily grid temperature products for monsoon Asia (V1808_temp).

Using the APHRODITE gridded products with climate/meteorological model outputs, such as Coupled Model Intercomparison Project phase-5 (CMIP5), we developed a synthetic and downscaling approach of minimizing errors. We applied this method to data for Southeast Asia, Central Asia, the Middle East, and Japan. We compared extreme precipitation events with atmospheric circulation fields (including moisture transport) and disaster records (e.g., those of landslides). We also developed various adjustment schemes for the quantitative estimation of orographic/snowy precipitation in Japan. Above all, following the devastating heavy precipitation that fell on western Japan from 28 June to 8 July of 2018, we created an hourly

precipitation product and analyzed the probability of heavy precipitation events over Japan.

In addition to the above-mentioned efforts for reducing uncertainty in precipitation estimates of models using APHRODITE data, we held many workshops/events to communicate with people from 15 Asian countries and local Japanese people, which should contribute to policy making and the activities of the Ministry of the Environment, including activities at the Asia Pacific Platform.