

衛星による降水データの実利用に関する考察 -富山県を対象として-

Discussion on the Practical Use of Satellite-Based Precipitation Data - A Case Study for Toyama Prefecture -

越智士郎

OCHI Shiro

近年、豪雨災害や農作物の不作などを身近に見聞する機会が増えた。全国的にも異常気象・気象災害の対策に関心が高まっている。人工衛星による降水観測は、地球環境研究の一環として1990年代から行われているが、近年の技術的進歩により、空間分解能、時間分解能とも向上した。また、観測からデータ配信までの即時性も高まり、防災、水資源管理など実利用でのユースケースにも期待が寄せられている。本稿では JAXA(宇宙航空研究開発機構)がオープンデータとして公開している衛星観測による降水データ(GSMaP)を利用し、主に水災害・気象災害に対する実利用の可能性について、富山県での利用を念頭に検討した。

キーワード：衛星データ、降水、オープンデータ、富山県

1. はじめに

近年、豪雨・豪雪災害や天候不順による農作物の不作など、私たちの日常生活に直接関わる気象災害に関するニュースを頻繁に見聞する。地球温暖化は、地球の平均気温の長期的な上昇傾向を示すものであるが、それに関連し、極端な高温や大雨など異常気象の発生頻度の増加につながっているとも考えられている⁽¹⁾。豪雨災害としては、2023年7月14~16日の秋田豪雨、2024年9月21~24日の能登半島豪雨などが記憶に新しい。

降水(降雨、降雪)は、大気、水文学、エネルギー循環の重要な構成要素であり、降水観測は地球温暖化研究の観点からも重要である。そのため、日米欧を中心に、地球規模の降水量の把握に努力が続けられてきた。人工衛星を利用した降水観測もその一環として取り組まれてきた。衛星観測による降水量の観測(推定)技術は、当初は空間分解能、時間分解能ともに粗く、地球環境研究の補助的な役割に過ぎなかったが、近年の技術的進歩により、空間分解能で0.1度四方(赤道付近で約11km四方)、時間分解能で30分~1時間、しかも観測後1時間前後で速報データがインターネットで公開されるなど、データの精度、利便性が飛躍的に向上した。それに伴い、サイエンスとしての利用から、防災、水資源管理など実利用でのユースケースにも期待が寄せられている。JAXA(宇宙航空研究開発機構)と東京大学は「Today's Earth」と呼ばれる陸域水循環シミュレーターを開発し、水災害の監視・予測や水資源管理のための研究プロジェクトを実施している(https://www.eorc.jaxa.jp/water/index_j.html)。

本稿では、「Today's Earth」でも利用されている JAXA が開発した衛星観測による降水データ(通称 GSMaP)について、その特徴を理解し、今後の富山県での実利用の可能性について考えたい。

2. GSMaP の概要

2.1 衛星による降水量推定

インターネット上で公開されている衛星降水プロダクト (Satellite Precipitation Products:[SPPs]: 人工衛星を用いて地球上の降水量を観測し、解析したデータセット)としては、NASA(アメリカ航空宇宙局)が開発している IMERG(Integrated Multi-satellite Retrievals of GPM,マルチ衛星統合降水量推定)や JAXAが開発している GSMaP(Global Satellite Mapping of Precipitation)が広く知られている⁽²⁾。両者とも、降水量の観測(推定)には、複数の地球周回衛星(低軌道衛星：高度約 800km)と静止衛星(高軌道衛星：高度約 36,000km)が併用されている。低軌道衛星の降雨観測センサにはマイクロ波放射計が使われる。低軌道から降水(水蒸気を含む)を観測するため精度や空間分解能は高いが、衛星が地球を周回するため観測頻度(時間分解能)は低い。一方、静止衛星は高軌道のため降水自体を観測することは難しく、赤外面像による雨雲の観測を行う。日本の静止気象衛星ひまわり 8/9 号では、日本上空からの地球の画像を 10 分間隔で取得している。ただし、静止衛星は、例えばひまわり衛星の場合、日本が写る地球の片面しか撮影できないため、全球でデータを取得するためには、米国や欧州で運用されている気象衛星のデータと統合する必要がある。

IMERG と GSMaP のどちらも、データ公開のタイミングや地上観測データを用いた補正の有無、日次データや月次データなど編集の種類により複数のプロダクトが存在する⁽³⁾。各プロダクトの特徴を表 1 にまとめた。

表 1 SPPs の主なプロダクトの特徴

名称	遅延	時間解像度 (最小)	空間解像度	観測範囲
IMERG-E	4時間	30分	0.1度	Global
IMERG-L	14時間			
GSMaP-Now	0.5時間	1時間		北緯60度～ 南緯60度
GSMaP-NRT	4時間			
GSMaP-G/NRT				
GSMaP-MKV	3日			
GSMaP-G	3日			

2.2 GSMaP の精度に関する先行研究

GSMaP の精度に関する先行研究では、その信頼性について以下の指摘がなされている⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾。

- ①降水パターンをよく再現している。
- ②GSMaP の降水精度は、他の衛星データセットと同程度であり、特に夏季の降水検出率が高い。
- ③冬季(12～2月)の降水量を過小評価し、夏季(6～8月)を過大評価している。
- ④夏季の誤差の原因として、赤外面像データの補間方法が考えられる。
- ⑤冬季の誤差の原因として、積雪の影響、低層の降水の観測が難しいことなどが考えられる。
- ⑥精度のばらつきに地域性がある。例えば、米国西部より東部の方が精度が高い。
- ⑦精度の地域性の原因として、地形による影響や、補正用の地上観測点の偏在が考えられる。

⑧ポストリアルタイム製品(IMERG-F および GSMaP-Gauge)が最も精度が高い。

本稿では、先行研究で最も信頼性が高いとされた GSMaP-G(ver.8)の日次データおよび月次データを利用して以降の分析を進めた。データ名に含まれる「G」は Gauge を意味し、世界中に設置されている雨量計(Gauge)による実測データを用い補正を行っている。データは以下のサイトでユーザ登録することでダウンロードサイトから入手できる：<https://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/registration.html>。

3. 分析

オリジナルの GSMaP は、1時間毎の降水強度(単位は[mm/hr])である。空間解像度は東西方向、南北方向ともに 0.1 度(赤道付近で約 11km)で、データ範囲は西経 180 度～東経 180 度。画像サイズは 3600 カラム×1200 行。データタイプは 4 バイト実数(float)である⁽⁷⁾。

JAXA は時間毎データを編集し、日次データおよび月次データを作成し公開している。日次データ、月次データともに、データの単位は[mm/hr]である。そのため日降水量、月降水量に変換するには、それぞれ 24(時間)、720(時間、ひと月 30 日の場合)を乗じる。

本稿では、月次データ、日次データを用い、以下の考察を行った。

3.1 月次降水強度データ(全球スケール)

1998 年 1 月から 2024 年 12 月まで 27 年間(324 ヶ月)の月次データでデータキューブを作成し、全球スケールで月降水強度の 27 年間の変化をみた。本稿では月ごとの降水強度を把握することとし、降水量ではなく、降水強度として分析を行った。

分析には、地理情報システム(GIS)・リモートセンシング用フリーソフトの TerrSet-LiberaGIS (入手先：<https://github.com/ClarkCGA/TerrSet>) を用いた(以降 TerrSet とよぶ)。このアプリには時系列リモートセンシングデータからデータキューブを構築し、トレンド分析を行う機能がある。図 1 は作成したデータキューブのスナップショットである。

図 2 は全領域を分析対象にして求めた平均値(Mean)および中央値(Median)の 27 年間の変動を示したものである。平均値をみると、最初の年(1998 年)が不自然に高い。また、2015 年を境に平均値が不自然に上昇しているように見える。ただし中央値を見ると、そうした不自然な変化は見られない。ある時点以降のデータの不自然な変化は、観測に使用している衛星の入れ替わりや追加、また、それに伴う解析アルゴリズムの改訂などにより生じる可能性もある。将来時系列分析等を行う上では注意が必要である。

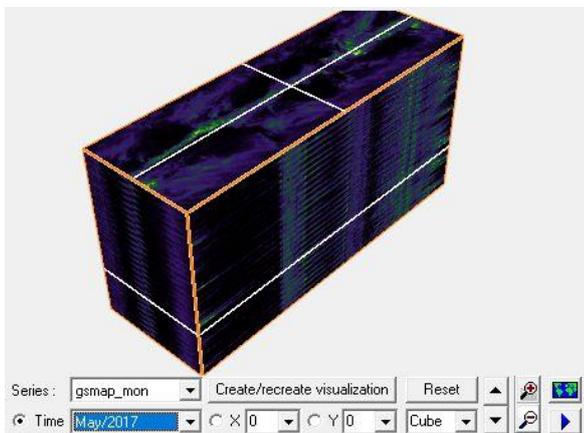


図 1 27 年間(324 ヶ月)のデータキューブ

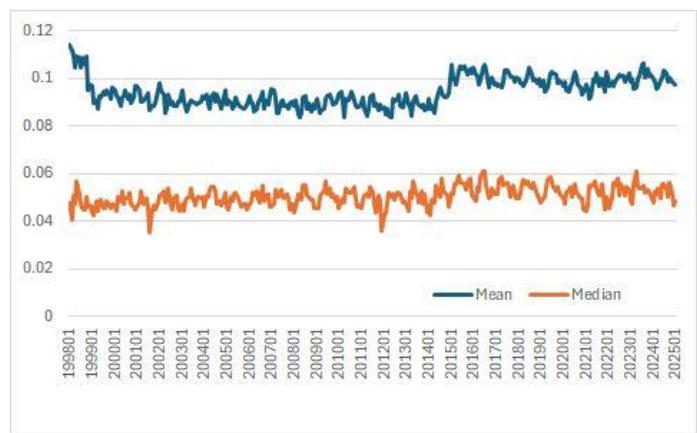


図 2 画像全体での平均値、中央値の 27 年間の変動

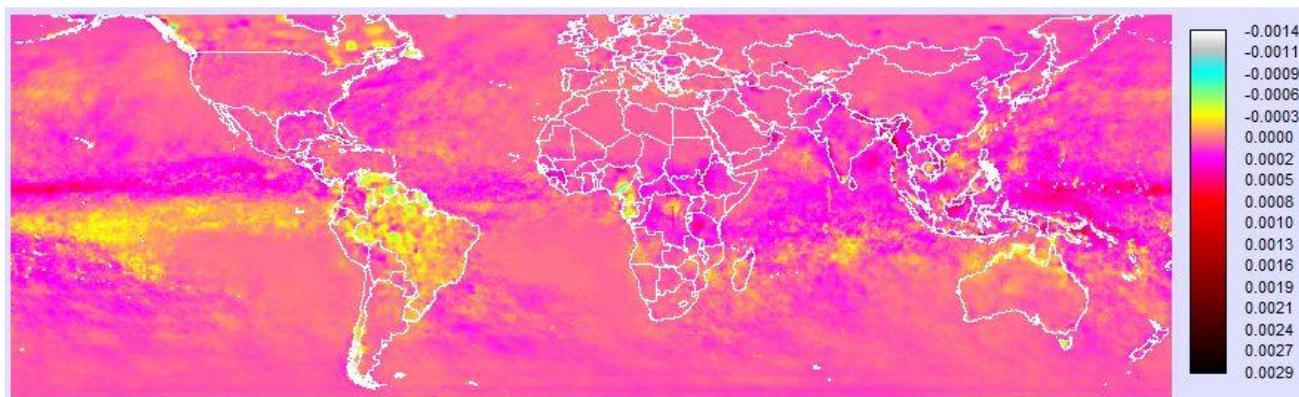


図3 27年間の降雨強度のトレンド

TerrSet を利用して降水強度のトレンド分析した結果を図3に示す。南米アマゾン地域からペルー沖太平洋中央部にかけて、降水強度の減少傾向が見られ、その北側領域に増加傾向が見られた。この地域はエルニーニョ・ラニーニャ現象が見られる地域と重なる。本稿では地球規模でのデータ分析は行わないが、オープンデータをデータキューブなど使いやすい形式で整備、共有することで今後の研究にも貢献できる。TerrSet はデータキューブを利用し、地球規模から地域スケールまで、さまざまな時空間分析を行うことができる。今後の研究課題としたい。

3.2 月次降水強度データ(富山県)

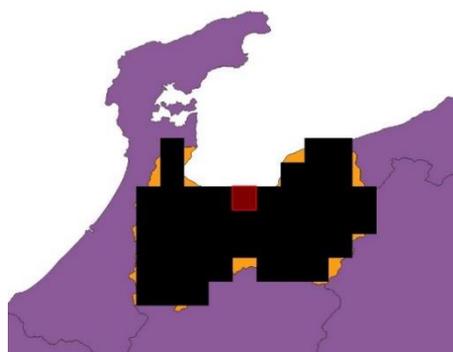


図4 富山県をカバーする画素

GSMaP の解像度は 0.1 度(約 11km 四方)である。富山県全体は図4の黒色で塗りつぶされた領域(46画素)で概ねカバーできる。GSMaP から富山県領域を抽出し、富山県全体での月平均降水強度を求めた。

図5は月別平均降水強度の平均(27年間)を示す。この数値に各月の時間数(2月は28日間とする)を乗じ月降水量とし、気象庁が公表している富山県の月間降水量(30年の平均値)⁽⁸⁾と比較した(図6)。

図6より、全体として、月降水量のパターンはよく再現されている。ただし、年間を通して GSMaP は降水量を過小推定した。

2.2節③において、衛星観測による降水量推定は夏季の降水が過大推定される傾向があるとの指摘があったが、今回の分析ではその傾向は見られなかった。ただし、先行研究では時間降水強度についての指摘であり、本稿での値は月平均降水量を対象にしたものである。

続いて月平均降水強度の27年間のトレンド分析を行った。27年間のデータをプロットし Microsoft Excel を使って回帰直線を求めた(図7)。回帰直線はわずかながら増加傾向を示すが、回帰直線の傾きを危険率5%で検定したところ有意性は棄却され、統計的に増加傾向にあることは示せなかった。

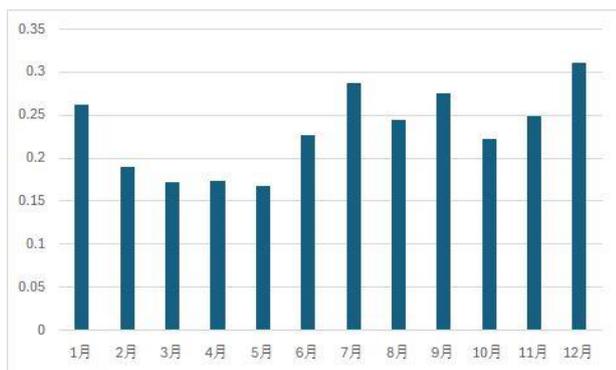


図5 月別平均時間降水量の例(富山空港周辺)
(単位[mm/hr])

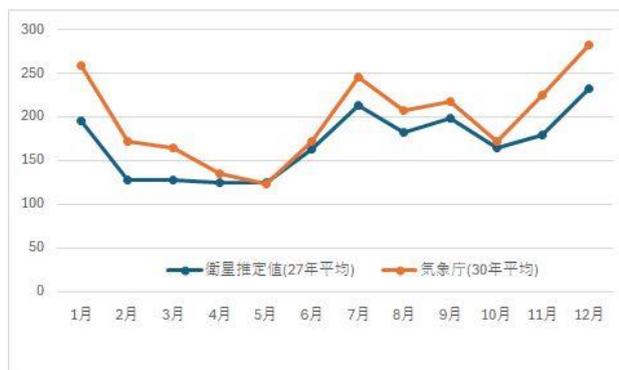


図6 気象データ(気象庁)と衛星による推定値の比較(単位[mm/月])

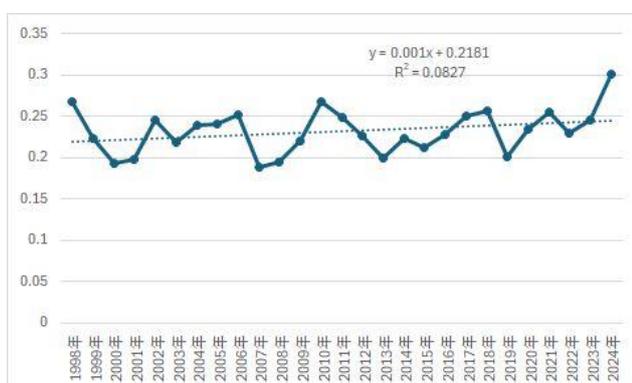


図7 富山県全体の月平均降水強度の27年間の変化

3.3 日次降水量データ

日次データは、27年間で約9,855(27[年]×365[日])個のデータが対象となる。本稿では豪雨災害につながるような豪雨イベントが空間解像度 0.1 度の日次データから見つけることができるか、という点に注目して、データを分析した。

対象としたのは2024年9月21日に能登半島に大きな被害をもたらした豪雨とした。気象庁の報告書によると、9月21日09時07分に石川県能登に顕著な大雨に関する気象情報を発表している⁽⁹⁾。10時50分には輪島市、珠洲市、能登町に大雨特別警報を発表している。報告書に記載されている時刻は日本標準時であるため、GSMaPで使われている世界標準時(UTC)は、この時刻より9時間前の時刻となる。GSMaPは2024年9月21日のデータを分析対象データとし9月22日のデータを比較用データとした。

図8(a)、図8(b)はそれぞれ2024年9月21日と9月22日のGSMaP画像である。能登半島北部の数値は5[mm/hr]を超えている。珠洲市周辺の画素(黄色四角、以下「珠洲」とよぶ)を示すピクセル値は9.0[mm/hr]である。日雨量に換算すると216mm/dayとなる。同日の富山空港周辺の画素(赤色四角、以下「富山空港」とよぶ)は2.9[mm/hr]で、日雨量に換算すると約70mm/dayとなる。翌日の22日の2地点の降水強度はそれぞれ0.7[mm/hr]と0.3[mm/hr]で、日雨量に換算すると、約17mm/day、7mm/dayとなっている。

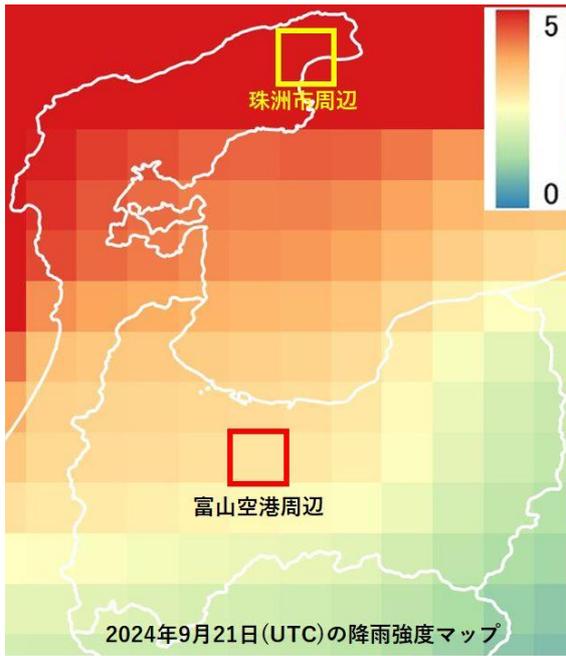


図 8(a) GSMaP・2024 年 9 月 21 日

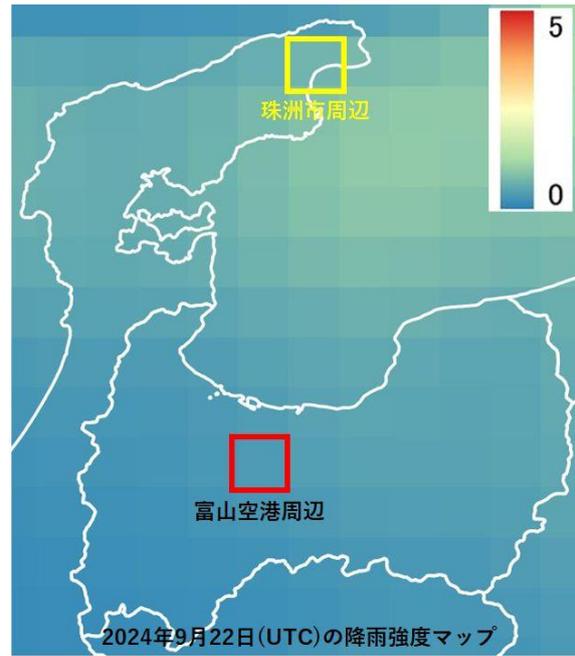


図 8(b) GSMaP・2024 年 9 月 22 日

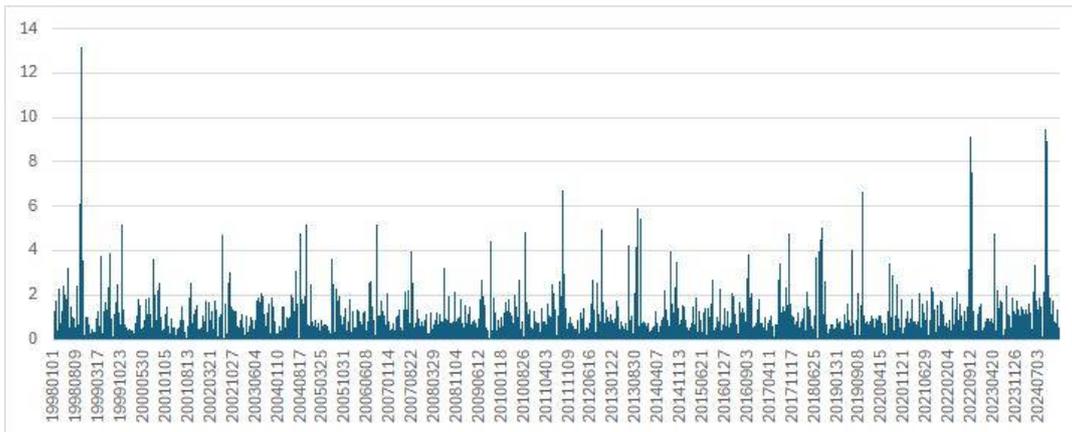


図 9 「珠洲」地点における日次降水強度の 27 年間の変化

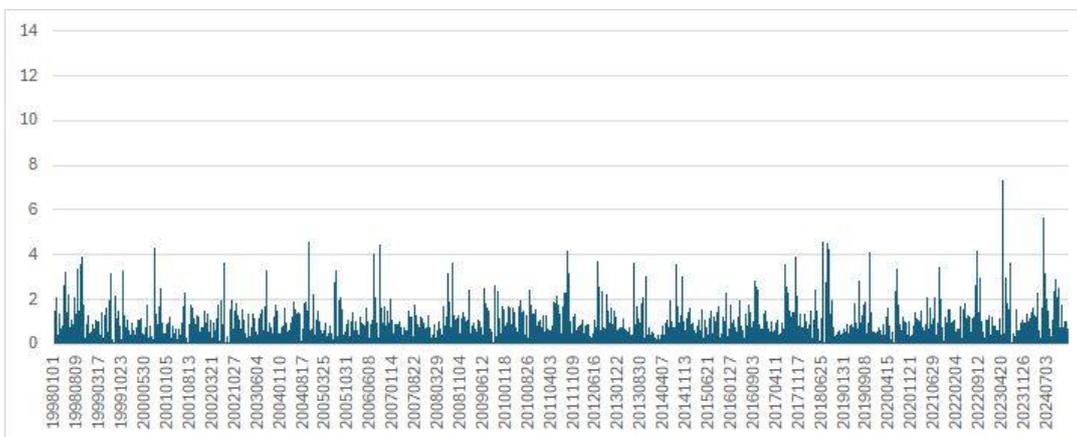


図 10 「富山空港」地点における日次降水強度の 27 年間の変化

図9、図10はそれぞれ「珠洲」と「富山空港」における日次降水強度の27年間の変化を示したものである。2地点を比較すると、「珠洲」は強度8[mm/hr](日雨量換算で192mm/day)を超える降雨イベントが27年間で4回発生しているのに対して、「富山空港」では0回である。また強度4[mm/hr](日雨量換算で96mm/day)を超える降水イベントは「珠洲」では25回に対して、「富山空港」では12回にとどまっている。水文学の分野では『確率降水量』と言われるが、このことは豪雨に見舞われる確率は地域によって異なることを示している。地域によって地形や外水(集水域)、排水能力の影響は異なるため、どの程度の大雨で災害が発生するかを一概に求めることはできないが、地域毎に過去の降水イベントを分析することは、それぞれの地域で水防災を考える上で重要な情報を提供するものと考えられる。

4. 今後の課題

本稿では、地域(富山県)や地点(珠洲市、富山空港)を絞って試験的な分析を試みた。月次データの降水パターンの再現性は高く、今回の分析では実測値に対して過小推定する傾向が見られたものの、27年間にも及ぶ長期間のデータを利用することで水資源管理や農作物の作況への影響を評価する指標となりうることを示唆された。また日次データは、広範囲の豪雨災害をもたらすような降水イベントを感知できると考えられる。分析対象を広げると共に、予測を含め、早期警戒につながるようなデータ利用の方法を考えたい。また、今回は時間データについては分析を行わなかった。時間データは27年間でおおよそ24万個の画像データを処理することとなる。ビッグデータに対応するデータ処理手法についても検討を続けたい。

謝辞

本研究は「富山第一銀行奨学財団」の助成を受けた。本研究で使用したGSMaPデータは、JAXAより提供された。関係者・関係機関に対し、ここに謝意を表します。

参考文献

1. 江守正多、「異常気象と地球温暖化の関係について」、地球環境研究センター(国立環境研究所),<https://www.cger.nies.go.jp/ja/news/2013/130911.html>(参照日 2025-02-28)
2. Ziteng Zhou et al., Comprehensive evaluation of latest GPM era IMERG and GSMaP precipitation products over mainland China, Atmospheric Research Vol.246, 2020 : <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105132>
3. Wenchao Ma et al., A New Generation of Hydrological Condition Simulator Employing Physical Models and Satellite-Based Meteorological Data, Earth and Space Science, 11(11), 2024: <https://doi.org/10.1029/2023EA003228>
4. Xiaoyu Lv et al., Evaluation of GSMaP Version 8 Precipitation Products on an Hourly Timescale over Mainland China, Remote Sensing, 16(1), 2024 : <https://doi.org/10.3390/rs16010210>
5. Jiayong Shi et al., Statistical Evaluation of the Latest GPM-Era IMERG and GSMaP Satellite Precipitation Products in the Yellow River Source Region, Water, 12(4), 2020 : <https://doi.org/10.3390/w12041006>

6. Yudong Tian, Evaluation of GSMaP Precipitation Estimates over the Contiguous United States, J. of Hydrometeorology, 11(2), 2010: <https://doi.org/10.1175/2009JHM1190.1>
7. JAXA、Data Format Description for Global Satellite Mapping of Precipitation Microwave-IR Combined Product(GSMaP_MVK) and Gauge-calibrated Rainfall Product (GSMaP_Gauge),Version 8:https://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/document/new/DataFormatDescription_MVK_RNL_v8.0000.pdf
(参照日：2025-02-28)
8. 気象庁、富山(富山県)平年値(年・月ごとの値)主な要素、
https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/view/nml_sfc_ym.php?prec_no=55&block_no=47607 (参照日：2025-02-28)
9. 気象庁、低気圧と前線による大雨 令和6年(2024年)9月20日~9月22日
https://www.data.jma.go.jp/stats/data/bosai/report/2024/20241029/jyun_sokuji20240920-0922.pdf
(参照日：2025-02-28)