

吉野川流域における衛星降雨の降雨特性分析

THE ANALYSIS OF SATELLITE-BASED RAINFALL

IN YOSHINO RIVER BASIN

白石 芳樹¹・猪股 広典²・深見 和彦²

Yoshiki SHIRAISHI, Hironori INOMATA and Kazuhiko FUKAMI

¹株式会社建設技術研究所九州支社河川部(〒810-0041 福岡市中央区大名 2-4-12)

²独立行政法人土木研究所水災害・リスクマネジメント国際センター水災害研究グループ
(〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6)

1. はじめに

日本における降雨観測網はテレメータ雨量観測局を始め世界的に見ても時空間的に密度の高いものである。特に都市部においてはXバンドレーダによる詳細な降雨分布状況を把握することが可能となり、限定的な範囲においてはますます詳細な時空間降雨情報が得られるようになった。しかしながら、これらの観測密度の高さとは対照的に降雨予測情報は非常に少なく、予測精度の判断が困難となっている。

そもそも降雨量の真値は何なのか？地上雨量計による降雨観測では点データしか得られず空間的に利用する場合には、現在でもティーセン分割による面雨量への補正が主な手法のままである。1980年代から盛んに研究が進んだCバンドレーダ雨量観測であっても雨滴粒径分布や形状の違いによって系統的な誤差が発生しており、さらに降雨タイプや地形の影響がさらに真値を得ることを困難としている。近年ではより詳細な気象モデルの構築が行われているが境界条件の不確実性の課題がある。

一方で、近年では広域的な降雨状況を把握することができる衛星降雨観測技術が急速に発展してきた。特に、GSMaP (Global Satellite Mapping of Precipitation)¹⁾²⁾は、日本で開発された衛星降雨プロダクトであり、最新版となるGSMaP_MVK+³⁾(以下、MVK+)はマイクロ波放射計データと赤外雲移動ベクトルを用いた高い時空間分解能(時間1時間、空間0.1度)が大きな特徴である。つまり既存の観測網と異なり上空からの

降雨観測を全球で行うものであるため広域の降雨状況を把握することができ、気象モデルの境界条件としての利用価値がある。

しかしMVK+の精度について、瀬戸ら⁴⁾が日本全域での衛星降雨プロダクトとアメダス雨量計との精度検証を実施し、MVK+が過小評価であると示しているなど、実用に向けた精度を得るためには課題が残っている。

そこで本研究では衛星降雨を将来的に有効に活用するため、ケーススタディとして吉野川流域における地上降雨とのバイアスとその要因について検討した。

2. 衛星降雨の精度検証

(1) 衛星降雨プロダクトの概要

衛星降雨(衛星データを用いた降水分布図)は静止気象衛星搭載の赤外放射計データを元にして1970年代から作成されていたが、マイクロ波放射計搭載の衛星が5台(TRMM/TMI, Aqua/AMSR-E, DMSP F13,F14,F15/SSM/I)以上に増えたことから、短時間降水マップが作成されるようになった。これらは雨量観測所がない場所で降雨情報を容易に入手できるなどのメリットが多い。現在の主な衛星降雨プロダクトはCMORPH, 3B42RT, GSMaPの3つであるが使用されているセンサーはほぼ同じで降雨量に変換するアルゴリズムに違いがある。時空間解像度は $0.1^{\circ} \sim 0.25^{\circ}$, 1~3時間を有し、配信遅れ時間も4~12時間であるため、日本のような狭い流域よりも発展途上国などの降雨情報が少ない国際河川流域での利用の期待が高い。

しかし、これらのプロダクトは前述したように地上降雨と比較して月平均値などは概ね過小評価傾向であることがわかっているが、洪水のような短時間の強い降雨については明確な傾向は確認できていない。特に陸上におけるマイクロ波放射計による降雨は地上放射の影響を受けやすく、どのような要因がバイアスに関連しているかは研究事例が少ない。そのため洪水の要因となる豪雨時におけるバイアスに着目し、その誤差要因について検討するものとした。

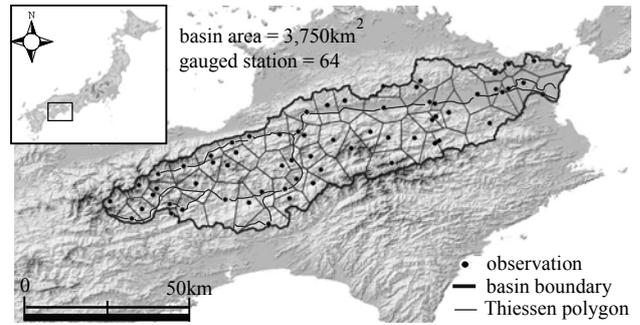


図 1 対象流域ティーセン分割図 (吉野川流域)

表 1 主な衛星降雨プロダクト一覧表

Product	Source Data	Longitude range (deg.)	Latitude range (deg.)	Spatial Resolution (deg.)	Temporal Resolution
CMORPH (by NOAA)	TRMM/TMI, Aqua/AMSR-E, AMSU-B, DMSP/SSM/I and IR	0~360	60S~60N	0.25	3h
3B42RT (by NASA)	Aqua/AMSR-E, AMSU-B, DMSP/SSM/I and TRMM/TMI and IR	0~360	60S~60N	0.25	3h
GSMaP_MVK+ (by JAXA)	TRMM/TMI, Aqua/AMSR-E, ADEOS-II/AMSR, SSM/I, IR data and AMSU-B	0~360	60S~60N	0.10	1h

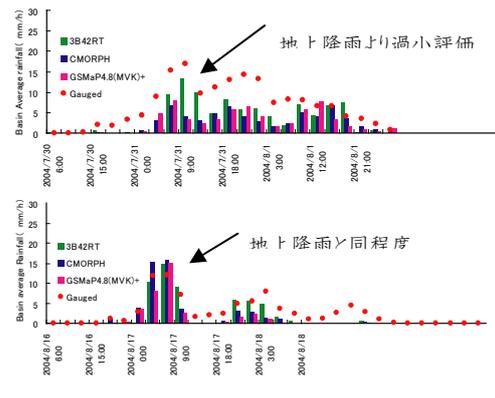


図 2 各衛星降雨プロダクトと地上降雨の比較結果

(2) 対象流域

図 2 に吉野川流域 (流域面積=3,750km²) における前述の 3 つのプロダクトにおける地上観測降雨データ (以下、地上降雨) との比較事例を示す。表示期間は 2004 年 8 月 16 日~18 日であり、地上降雨は図 1 に示すように流域内 64 箇所地上降雨データをティーセン分割し流域平均値として比較した。

その結果、全体的に地上降雨よりも過小評価傾向であるが、その差は一定ではなく、地上降雨と同程度になるなど、つまり、衛星降雨と地上降雨のバイアスにばらつきがあり一定倍率の補正が適用できないことが課題となる。さらに 3B42RT はややばらつき大きい結果となっており CMORPH, GSMaP とは異なる傾向を示す。これは 3B42RT がマイクロ波放射計のほか赤外放射データを降雨量推定に利用していることに起因している。CMORPHとGSMaPはともに赤外放射データを移動ベクトルとして利用しており、同様の傾向を示している。これらの結果と時空間解像度を考慮し、本研究で対象とする衛星降雨プロダクトを GSMaP とした。

3. GSMaP と地上降雨との関係

(1) GSMaP プロダクトの概要

GSMaP プロダクトは、観測データ等の現実的な降水物理モデルを放射伝達方程式に取り入れた降雨強度推定アルゴリズムを用いて詳細な降雨パターンに対応できるようになっている。表 2 に現在の GSMaP プロダクトの一覧表を示す。このうち GSMaP_MVK(+) が GSMaP_MWR⁵⁾ (マイクロ波放射計のみを使った降水マップ) を元に赤外雲移動ベクトルとカルマンフィルタを用いて補間した高解像度データとなる。GSMaP_NRT はフォワード計算のみで配信遅れ時間 4 時間の準リアルタイムデータである。

表 2 GSMaP プロダクト一覧表(2009 年 3 月現在)

product	period	sensor	longitude range (deg.)	latitude range (deg.)	spatial res. (deg.)	temporal res.
GSMaP_MWR(+)	Jan. 2003 - Dec. 2006	TRMM/TMI, Aqua/AMSR-E, ADEOS-II/AMSR, DMSP/SSM/I(F10, 11, 13, 14, 15)	0-360	60S-60N	0.25	1h
	Jan. 2003 - Dec. 2006	TRMM/TMI, Aqua/AMSR-E, ADEOS-II/AMSR, DMSP/SSM/I(F13, 14, 15), GOES-8/10, METEOSAT-7/5 & GMS by NCEP/CPC	0-360	60S-60N	0.1	1h
GSMaP_NRT	Dec 2007 - present	TRMM/TMI, Aqua/AMSR-E, DMSP/SSM/I(F13, 14, 15), GOES-11/12, METEOSAT-7/8 & MTSAT by JWA	0-360	60S-60N	0.1	1h

(+) products use the data from AMSU-B sensors as well

本研究では最も精度が高いデータである MVK+で比較を行った。

(2) 降雨イベントの選定

表 3 に降雨イベント一覧表を示す。選定したイベントは 9 イベントであり、一連降雨ごとに地上降雨の最大時間雨量、総雨量、降雨継続時間を示す。地上降雨及び MVK+ともに 1 時間単位での時間分解能を有しているが、前述した地上降雨の観測誤差や MVK+の時間分解能誤差(マイクロ波放射計データの観測は約 3 時間ピッチ、それ以外は補間)を考慮し、3 時間累加時間における評価を実施した。

表 3 降雨イベント一覧表

Event No	start date (UTC+9)	max (mm/h)	total (mm)	period (h)
No.1	2003/5/30 7:00	15.0	141.2	48
No.2	2004/6/19 14:00	16.3	152.8	49
No.3	2004/7/31 0:00	18.5	188.6	24
No.4	2004/8/17 18:00	14.5	246.1	67
No.5	2004/8/30 2:00	29.7	251.7	34
No.6	2004/9/28 12:00	27.7	237.8	40
No.7	2004/10/19 0:00	45.9	392.7	51
No.8	2004/9/6 0:00	16.0	176.1	47
No.9	2004/7/31 22:00	15.6	314.4	46

(3) 比較結果

図 3 に 3 時間累加降雨における比較結果を示す。図中のプロットは各降雨イベントのピーク 3 時間累加降雨を抽出しており、降雨量の多い場合の地上降雨と MVK+(3h)の関係性を示したものである。

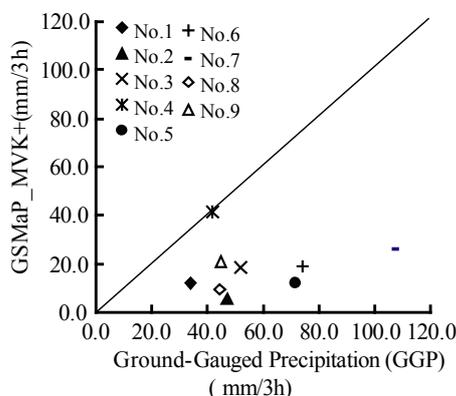


図 3 地上降雨—MVK+の関係 (3 時間累加降雨)

これによると 3 時間累加降雨で比較した場合でも概ね

過小評価傾向であることがわかる。しかし、この中では No.4 のように必ずしも過小評価でないイベントも存在し、そのことが MVK+の補正を困難とさせており、一律のスケールリングで補正できない一因となっている。

その違いの要因の一つとしては、前線性降雨と台風性降雨の違いが考えられる。No.4 は前線性降雨であるのに対し、他のイベントは台風性降雨であった。そこで図 4 に示すように誤差率 ε (式 (1))と風速について調べた(図 4 a)。台風による降雨時には吉野川流域の特徴から地形性降雨が発生している可能性がある。地形性降雨の発生要因となる地形性上昇流は簡単に示すと山地の傾斜と水平方向の風速の積で表現されるため、過小評価の要因が地形性降雨であるとする、誤差率 ε と風速に関係性があると考えた。その結果、誤差率 ε と風速は比例することがわかった。

また、誤差率 ε と MVK+(3h)の流域内における標準偏差との関係について調べた(図 4 b)。一般的に、台風性降雨の場合には前線性降雨の場合に比べ時間降雨量よりも日単位降雨量が強くなる傾向がある。つまり短時間降雨が卓越するような変化の著しい降雨量の変化はない。加えて降雨域の移動が著しいことから、広範囲で同等の降雨量が持続すると考えられる。グリッド単位で求められる MVK+(3h)を流域内の 35 グリッドをサンプルとして標準偏差を求め、その値が小さい場合は流域内で同程度の MVK+(3h)が算定されていることから、台風性降雨である可能性が高い。その結果、(図 4 b)に示すように誤差率 ε と MVK+(3h)標準偏差には反比例の関係があることがわかった。

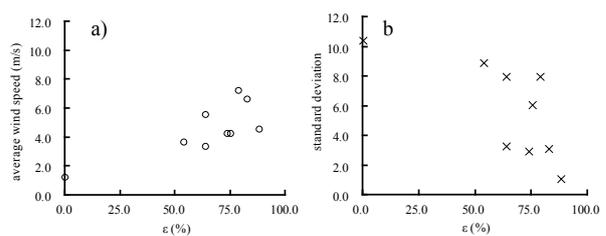


図 4 a) 誤差率 ε — 風速, b) 誤差率 ε — 標準偏差

$$\varepsilon (\%) = \frac{R_{obs} (n) - R_{sat} (n)}{R_{obs} (n)} \times 100 \quad (1)$$

$R_{obs}(n)$: average basin rainfall based on GGP (mm/kh)

$R_{sat}(n)$: average basin rainfall based on GSMaP_MVK+ (mm/kh)

n : number of rainfall events ($n = 9$)

4. まとめ

本研究から吉野川流域における3時間累加雨量(強雨イベント)でMVK+と地上降雨との比較を行い、過小評価傾向である一因が台風性降雨であることを確認した。

5. おわりに

MVK+などの衛星降雨プロダクトの中核となる陸上におけるマイクロ波放射計降水リトリバルアルゴリズムは様々な影響(地上の放射、氷・雪の散乱)を受けているため、複数の周波数の組み合わせによって降雨量を推定している⁵⁾。ただし台風のような時間スケールの変化が俊敏な現象では、瞬時値のデータのみから推定された降水量に時間変化に伴う降水量の増加が見込まれていない可能性がある。たとえば地形による局所的な上昇流の発生に伴う地形性降雨など雨域の移動によって強制的に上昇流が発生したことによる降雨を観測できていないとすれば、台風時に過小評価傾向であることが説明できる。

謝辞: 本研究に際しては、独立行政法人 宇宙航空研究開発機構(JAXA)地球観測研究センター(EORC)よりデータの提供を頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Okamoto K., T. Iguchi, N. Takahashi, T. Ushio, J. Awaka, S. Shige and T. Kubota, : "High precision and high resolution global precipitation map from satellite data", ISAP 2007 Proceedings, pp.506-509, 2007.
- 2) Okamoto, K., T. Iguchi, N. Takahashi, K. Iwanami and T. Ushio, : "The global satellite mapping of precipitation (GSMaP) project", 25th IGARSS Proceedings, pp.3414-3416, 2005.
- 3) Ushio, T., T. Kubota, S. Shige, K. Okamoto, K. Aonashi, T. Inoue, N. Takahashi, T. Iguchi, M. Kachi, R. Oki, T. Morimoto, and Z. Kawasaki, : "A Kalman Filter Approach to the Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) from Combined Passive Microwave and Infrared Radiometric Data", J. Meteor. Soc. Japan, in press, 2009.
- 4) 瀬戸心太, 芳村圭, 沖大幹:「高分解能衛星降水マップによる日本域の洪水検出能力」, 水工学論文集, 第52巻, pp355-360, 2008.
- 5) Kubota T., T. Ushio, S. Shige, S. Kida, M. Kachi, and K. Okamoto, : "Verification of high resolution satellite-based rainfall estimates around Japan using gauge-calibrated ground radar dataset", J. Meteor. Soc. Japan, in press,

2009.

- 6) 白石芳樹, 猪股広典, 深見和彦, Prasantha Hapuarachchi, 可知美佐子:「衛星降雨データの洪水予測への適用性及び誤差特性の検討」, 水文・水資源学会2008年度研究発表会要旨集, pp.108-109, 2008.
- 9) 白石芳樹, 深見和彦, 猪股広典:「雨域移動情報を活用した衛星降雨データ補正方法の提案—吉野川流域の事例解析—」, 水工学論文集, 第53巻, pp.385-390, 2009.
- 11) Shiraishi Y., K. Fukami and H. Inomata : "APPLICABILITY OF A CORRECTION METHOD USING RAINFALL AREA MOVEMENT OF GSMAP FOR REAL TIME FLOOD FORECASTING", 4th IPWG Workshop on Precipitation Measurements Proceedings, pp.307-313, 2008.
- 12) Shiraishi Y., K. Fukami H. Inomata and M. Kachi: "Applicability of a correction method for real time flood forecasting based on satellite-based rainfall information", 4th Conference of APHW Proceedings, Beijing, 2008.

(2009. 10. 29 受付)