# 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 一吉野川流域の事例解析ー THE PROPORSAL OF CORRECTION METHOD USING THE MOVEMENT OF

## RAINFALL AREA ON SATELLITE-BASED RAINFALL INFORMATION BY ANALYSIS IN THE YOSHINO RIVER BASIN

## 白石芳樹<sup>1</sup>・深見和彦<sup>1</sup>・猪股広典<sup>1</sup> International Centre for Water Hazard and Risk Management (ICHARM), Public Works Research Institute (PWRI),

<sup>1</sup>正会員 工修 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(ICHARM)
 水災害研究グループ(〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

Rainfall is the basic information that is needed for flood forecasting, and in many developing countries, measurements are not often carried out with sufficient temporal and spatial resolution. Satellite-based rainfall data have an advantage that they can be obtained world-wide in near real-time through internet. Since its temporal and spatial resolution has been being improved, this information has the potential to be utilized for flood forecasting and warning in developing countries. The characteristics of GSMaP product were studied in the Yoshino river basin in Japan. They were compared with the ground observed rainfall data, and it was found that the product underestimated the ground observed data. The authors investigated if any significant to affect the scatter of the relationship is noticeable for GSMaP, and then found out "the movement of rainfall area of satellite-based rainfall product was a key factor to understand its characteristics." The movement of rainfall area of satellite-based rainfall product. As a result, the error margin rate was so much reduced from 68.5% to 20.6%.

*Key Words* : flood forecasting, satellite-based rainfall, GSMaP, auto-correction, movement of rainfall area

### 1. 背景

発展途上国における洪水被害は年々増加傾向にある<sup>1)</sup>. それらの原因としては、近年の温暖化による気候変動に 起因するもののほかに洪水調節施設の不足、水文観測所 の整備・管理の問題、住民の洪水に関する基礎知識の不 足などが指摘されている.中でも、大流域においては、 降雨観測所を密に配置することが困難な場合もあり、降 雨量推定の不確実性が洪水被害を拡大させる一因とも なっている.このような地域では地上観測網の拡充が望 まれているものの、早急に対応するのは容易ではない. 一方、近年では様々な地球観測衛星で観測されたデータ を基に作成される高分解能の全球降水マップの開発が進 んでいる.これら衛星降雨プロダクトが地上観測網の少 ない地域での洪水対策に利用できれば、洪水被害の軽減 が期待できる.さらには、3B42RT(NASA)、 CMORPH(NOAA)を含む、多くの衛星降雨プロダクトは インターネットに接続するだけで入手できることから, 降雨観測所の建設・維持費の抑制といったメリットもある.

特に、GSMaP (Global Satellite Mapping of Precipitation)<sup>2)</sup> 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+<sup>3)</sup>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.さらに一般公 開が予定されている GSMaP\_MVK\_RT は、4時間という 短いリードタイムで公開される利点を有しているため、 降雨流出モデルを介した準リアルタイムでの洪水解析と いった今後の利活用が期待されている.

しかしながら、GSMaP\_MVK+の精度について、瀬戸 ら<sup>4)</sup>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、GSMaP\_MVK+が過小評価で あると示しており、その原因の一つとして固体降水層の 物理特性の解明が十分でないことを挙げている. Hapuarachchiら<sup>5</sup>は、日本国内およびアメリカの流域において、地上降雨量から算出した月平均雨量を基に衛星降 雨量を補正を行い、単純な衛星降雨量のスケーリングの みでは適切な流出計算結果が得にくいことを述べている. このように、衛星降雨プロダクトの実際の洪水解析への 応用に関して、更なるマイクロ波放射計のアルゴリズム 改良や詳細な降水物理モデルの解明による降雨量プロダ クトそのものの精度向上が求められている.一方で、途 上国をはじめとして公開中の衛星降雨量の応用に関する ニーズは高い.つまり、衛星降雨プロダクトの内部アル ゴリズムの改良だけではなく、公開されるプロダクトの 補正方法の開発も重要である.

本研究では、現状で利用できる衛星降雨プロダクトの 洪水対策への活用の実現可能性を明らかにすることを目 的とする.そこで、衛星降雨プロダクトGSMaP\_MVK+ を対象に衛星降雨量と地上降雨量を比較することで両者 の関係性を詳細に調べる.さらに雨域移動情報が衛星降 雨プロダクトのみから得られる点に着目し、新たな衛星 降雨量補正方法を提案するとともに適用性について評価 する.

## 2. 吉野川流域における衛星降雨プロダクトと地 上観測降雨量との関係

#### (1) 対象流域と検証期間の選定

対象流域は地上雨量観測施設が比較的密に配置され ている吉野川流域(流域面積=3,750km<sup>2</sup>)とした.衛星 降雨量と地上降雨量の比較方法としてはある地上雨量観 測施設とそれに位置するグリッドを比較する方法もある が,地上降雨量データが有している地形や高度の違いに よる観測誤差の影響を最小限にするために、ティーセン 法による流域平均雨量(図-1)での検証を行うものとし た.一般的にティーセン法による面積平均値の許容誤差 については概ね1箇所/50km<sup>2</sup>とされているが、対象流域 内は1箇所/59km<sup>2</sup>(地上雨量観測所数は64箇所)と若干 広くなった.しかしながら、比較的等間隔で配置されて いるため、採用するものとした.

衛星プロダクトのデータ期間は、GSMaP\_MVK+で は2003年1月~2006年12月、GSMaP\_MVK\_RTでは2007



図-1 地上雨量観測局によるティーセン分割図

年1月~現在である. GSMaP\_MVK\_RTはフォワード計 算のみであるため、今回はより精度の高いGSMaP\_MVK +を用いて比較を行うものとした. なお、本研究では洪 水をもたらすような強い降雨の場合に着目するため、 GSMaP\_MVK+のデータ期間中から表-1のような強雨イ ベントを選定し、衛星降雨プロダクトと地上降雨量デー タとの関係性を考察する.

表-1 検証イベントー覧表

降雨イベント	日時
No.1	2003/5/31
No.2	2004/6/21
No.3	2004/7/31
No.4	2004/8/17
No.5	2004/8/30
No.6	2004/9/29
No.7	2004/10/20
No.8	2004/9/7
No.9	2004/8/1

#### (2) 衛星降雨量と地上降雨量の比較結果

地上降雨量データ及びGSMaP\_MVK+ともに1時間単 位での時間分解能を有しているが、前述した地上降雨量 データの観測誤差やGSMaP\_MVK+の時間分解能誤差 (マイクロ波放射計データの観測は3時間~6時間)<sup>6</sup>を 考慮すると、3時間以上の累加時間における評価の方が 関係性がわかりやすくなると判断した.まず3時間累加 降雨での比較を行い図-2に3時間累加降雨における比較 結果を示す.これは各降雨イベントのピーク値のみを示 している.これによると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.





さらにこの結果を詳細に分析するために、式(1)に示す 誤差率 $\varepsilon$ で表した.その結果が表-2であり、各降雨イベ ントによって誤差率が異なることがわかる.特にNo.4 とNo.8 は地上降雨量データ値がともに40mm程度なのに 対し、GSMaP\_MVK+は前者が同じく40mm程度、後者 が10mm程度と大きく異なる結果となった.

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

*R<sub>obs</sub>(j)*:地上降雨データ選定流域内平均値 (*mm/k*)
 *R<sub>sat</sub>(j)*:衛星降雨データ選定流域内平均値 (*mm/k*)
 *j*:降雨イベント (吉野川流域: *j* = 1~9)

表-2 地上降雨と衛星降雨(GSMaP)の誤差率一覧表

Event No.	Gauged	GSMaP	s (%)
Lvent ivo	(mm/3h)	(mm/3h)	c (/0)
No.1	33.8	12.1	64.3
No.2	46.9	5.4	88.4
No.3	51.7	18.5	64.3
No.4	41.7	41.6	0.4
No.5	71.6	12.0	83.2
No. 6	74.1	19.1	74.2
No.7	106.5	26.0	75.5
No.8	44.3	9.3	79.0
No.9	44.7	20.5	54.2

#### (3) 衛星降雨量と地上降雨量との差の要因

補正方法の糸口を見つけるため、表-2の誤差率 εの 違いをもたらす要因を考察した. 前述した実際の地上降 雨量データの値が同程度である降雨イベントNo.4とNo.8 の降雨タイプ<sup>7)</sup>の誤差率に着目すると,前線性降雨の No.4で誤差率が大きく、上陸を伴う台風性降雨(台風6 号)のNo.8で小さかった. なお, No.4以外はいずれも台 風であった. これらの点から, 誤差率と台風性降雨か前 線性降雨かの違いに関連性があることがわかる、そこで、 次に雲域および雨域の変化が早いか遅いかの違いが誤差 率に関係していると考え、雲の移動について検討した. 雲の移動そのものは測雲器などで計測されるが、近年で は雲画像の相互相関から移動ベクトルを算出する方法な どが用いられている. ここではGSMaP MVK+, GSMaP MV+などで使用されている赤外雲移動ベクト ルのデータを別途入手し、それを解析した.赤外雲移動 ベクトルとは静止衛星より観測された赤外放射計データ を用いて算出されるもので降雨時の雲の動きを確認する ことができる3). つまり, 台風性降雨では移動速度が早 く,前線性降雨では移動速度が遅いとされる.図-3にイ ベントNo.4とNo.8の赤外雲移動ベクトルを合成した移動 速度のコンター図を示す.これによると、No.4では吉野 川流域において移動速度が遅くなっているのに対し、 No.8では移動速度が早くなっていることがわかる. つま り、地上降雨量データとGSMaP MVK+との差異の要因 は少なくとも降雨現象や雲移動速度の違いに関連してい ることがわかる.



図-3 イベントNO. 4とNo. 8の雲移動コンター図 (JAXA提供)

ただし、GSMaP\_MVK+ではすでに前述した赤外放射 計の雲移動ベクトルを用い、さらにカルマンフィルタで 降雨量の増減を取り入れている.野田ら<sup>31</sup>はカルマン フィルタを適用した際の課題として観測周波数やマイク ロ波放射計アルゴリズムの違いを考慮していない点を挙 げており、強雨時の過小評価傾向の一因として考えられ る. また、マイクロ波放射計のみの降雨量と GSMaP\_MVKの降雨量を比較した図では、マイクロ波放 射計のみの降雨量の場合でも相関係数(レーダーアメダ ス)が時間変化に伴って大きく変化していることを示し ており<sup>31</sup>、マイクロ波放射計の降雨推定アルゴリズムも 関係しているといえる.

現段階では、本研究で目的とするような現地観測情報 の少ない発展途上国での洪水対策への活用(例えば予警 報への利用)を想定した場合,例えば降雨強度別に雲移 動速度との関連性を明らかにするなどの、特に強雨時の 衛星降雨プロダクト算定アルゴリズム面の改善を行う必 要がある.しかしながら、公開されている衛星降雨プロ ダクトのみから迅速に降雨補正できれば、非常に有効で あろう.そこで、衛星降雨プロダクトのみから得られる 雨域分布とその移動情報(変化速度)に着目し、降雨補 正の提案を行う.

#### 3. 雨域移動の表現方法の提案

降雨をもたらす雨域の分布形状を特定することは、 その大きさ・位置・移動速度・方向が一定ではないこと から簡単ではない.既往の研究では強雨域を等雨量線で 表現し選定する方法<sup>8)</sup> やレーダによる降雨予測で用いら れる移流モデル<sup>9)</sup> などがある.雨域の発達・減衰を考慮 することは重要な要素ではあるがGSMaPのような全球 降雨プロダクトの活用を行う場合(全球の補正を目標と するならば)実用的ではない.また、大倉ら<sup>10)</sup>の雨域追 跡法ではメッシュ値を2値化し、さらに平行移動による パターン化をして雨域の移動予測を実施している.本研 究で提案する雨域の表現方法は、このグリッド単位での 移動を指標とすることに着想を得た.つまり、衛星降雨 プロダクトGSMaP MVK+を用いて、ある累加時間内で のグリッド単位での雨域の移動特性(停滞性・移動性) を表現するものとした.

まず、本研究の方法では、累加雨量を算出する.降雨 量分布の変化が少ない、つまり、雨域が停滞している場 合は降雨が特定の場所に集中すると想定される.一方、 降雨量分布の変化が大きいとき、つまり、雨域が顕著に 移動する場合は均等に分布すると想定される.これを模 式的に示したのが図-4であり、ある地点での3時間累加 のGSMaP\_MVK+の降雨量分布を縦軸に表現した例であ る.



図-4 累加プロダクトによる降雨特性の判別イメージ

次に、式(2)に示すGSMaP MVK+の降雨累加グリッ ドX,を考えた場合に、図-5に示すようなある当該グ リッド とその周辺に位置するグリッド との比較によっ て雨域の移動判定を行う. つまり, X<sub>e</sub> とX<sub>i</sub> との差が顕 著である場合には停滞性降雨、その差が小さい場合には 移動性降雨であると仮定する.本研究ではGSMaP MVK +の1グリッドを基本単位とした.その理由は一般的に 豪雨をもたらすような積乱雲は10kmスケールの現象で あり、これが複数集まることでメソ対流系(50-100km) となり、メソ対流系が複数並ぶと線状降水帯(前線など、 数100km)を形成するといわれているためである.また X<sub>c</sub>とX<sub>i</sub>との距離、つまり移動の判定基準については一 般的な雨域の移動速度を参考とした.移動性の定義につ いては明確に定義されていないが、気象庁では20km/hを 移動速度が遅い11)としており、また台風の移動速度はお よそ10~100km/hである<sup>12</sup>)ことを考慮すれば、概ね 1=3(約30km)が妥当であると判断した.



図−5 衛星降雨プロダクトによる雨域移動を表現する模式図

また,  $X_c \ge X_i \ge 0$ 差を表現するために,式(3)に示す ような標準偏差の考え方を用いた.この式より導かれる  $S_n$ により  $X_c \ge X_i$  の相対的な差異を定量化することがで き,以下の検討で用いる.

$$X_{i} = \frac{1}{k} \sum_{t=1}^{k} x_{i}(t)$$
 (2)

$$S_n^2 = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^{4} \left( X_c - X_i \right)^2$$
(3)

*X<sub>i</sub>* :グリッド*x<sub>i</sub>*の累加降雨(*mm*)

*k* :累加時間(*h*)

 $S_n$ :X<sub>c</sub>とその周辺グリッドX<sub>i</sub>との二乗誤差

#### 4. 雨域の移動と雨量補正係数

#### (1) 補正係数 m<sub>i</sub> との関係性

ると考えられる.

定義した $S_n$ が停滞性降雨と移動性降雨との判別基準として適用できるかどうかについて、同じく吉野川流域での実測降雨量データを利用して検証する.なお、比較降雨量は流域平均値とした.まず式(4)に示すように $S_n$ の流域平均値を $D_{basinaverage}$ と定義し、式(5)から得られる補正倍率 $m_i$ との関係性を検討する.

$$D_{\text{basinaverage}}(j) = \frac{1}{f} \sum_{r=1}^{f} S_n(f)$$
(4)  
$$R_{obs}(j) = m_j \times R_{sat}(j)$$
(5)

*D*<sub>basinaverage</sub>: *S*<sub>n</sub>の選定流域内平均値
 *f*: 選定流域内のグリッド数(吉野川流域: *f* = 35)
 *m*<sub>i</sub>: 地上降雨に対する衛星降雨の補正倍率

**図-6**に累加時間を3時間とした場合の各降雨イベント における $D_{basinaverage} - m_j$ 関係を示している. イベントNo.4 のような停滞性降雨の傾向がある場合には $D_{basinaverage}$ が大 きく $m_j$ が小さくなり、イベントNo.3のような移動性降 雨の傾向がある場合には $D_{basinaverage}$ が小さく $m_j$ が大きく なることがわかる. さらにその関係は一つの曲線で表現 できる可能性があり、その曲線が補正式として利用でき



図-6  $D_{basinaverage}$  と $m_j$ の相関関係(3時間累加雨量)

#### (2) 任意累加雨量における補正係数 m;

発展途上国においては現在でも日雨量単位での観測だ けが行われている国もあることから、日雨量単位をはじ めとする種々の累加雨量にも適用できるように補正式を 作成できれば非常に有用である.前項まで、1時間単位 での衛星観測データ(GSMaP\_MVK+)を利用して累加時 間が3時間の場合を検討したが、ここでは同様の検討を6, 12,24時間の累加時間について行う.対象とした降雨イ ベントは前述した9ケースとし、 $D_{basinaverage} - m_j$ 関係を算 出した(図-7).この結果から、累加時間が異なる場合で も $D_{basinaverage} - m_j$ 関係はそれぞれ一つの曲線として表現で きることがわかる.



図-7 D<sub>basinaverage</sub> - m<sub>j</sub> 関係 (累加時間3,6,12,24時間)

降雨量の累加時間ならびに地域を変えて補正手法を 適用する際、それぞれに補正式を求めることは可能であ る.しかし、得られる補正精度の地域間比較を行う場合、 地域ごとに時間単位か日単位かといった観測時間間隔の 差異があるが、補正式を一つの式として表現できれば統 一的に比較できるため都合が良い.

累加時間が異なる場合,一般的に累加時間が異なる降雨量算出時に,累加時間が長くなると降雨量が相対的に小さくなる傾向があるが,図-7に示すように $D_{basinaverage}$ も累加時間が長くなるにつれ相対的に小さくなることがわかる.また,停滞型降雨であっても $D_{basinaverage}$ は小さくなる可能性がある.そのため, $D_{basinaverage}$ に何らかの倍率をかけることで一つの式になるようにし,最も決定係数が高くなる倍率を選定する.図-8に設定倍率とその結果得られる決定係数の分布を示す.累加時間の増加に伴う倍率を線形と仮定し,その傾きを変化させた場合のすべての累加時間における決定係数が最も高くなる勾配を選定した.その結果,式(6b)に示す線形式で $D_{basinaverage}}$ に倍率をかけた場合が最も決定係数が高く,倍率を考慮しない場合のR<sup>2</sup>=0.621 (図-7) に対してR<sup>2</sup>=0.785であった(図-9).



#### 5. 補正方法の適用結果

前項で導き出された補正式を式(6a)(6b)に示す.式(6b) は累加雨量補正を行うための式であり,式(6a)は選定さ れた流域内平均衛星降雨に対する補正倍率*m*<sub>j</sub>を示す式 である.

この補正式による補正結果を図-10に示す.前述では3時間累加降雨の補正前結果しか示していないが,過小評価傾向であった分布図が45°ライン,つまり誤差率  $\varepsilon = 0\%$ ラインに近づいていることがわかる.他の累加降雨についても同様に45°ラインに近づいている.

補正結果を誤差率 ε で比較した表を**表-3**に示す.補正 前では3,6,12,24時間の各累加時間の誤差率 ε の平均値が 約68.5%であったのに対し,補正後の誤差率 ε の平均値 は約20.6%にまで低減させることができた.

$$R_{cor}(j) = R_{sat}(j) \times \left[-2.3671 \ln(D_{basinaverage}(j)^*) + 5.8583\right]$$

$$D_{\text{basinaverage}}(j)^* = D_{\text{basinaverage}}(j) \times (0.080k + 0.84) \tag{6b}$$

 R<sub>cor</sub>(j)
 :補正後の選定流域内平均雨量(mm)

 D<sub>basinaverage</sub>(j)\*
 :累加時間による倍率補正後のD<sub>basinaverage</sub>

 k
 :累加時間(h)



図-10 地上降雨データと補正後の衛星降雨データとの相関図

	3時間	6時間	12時間	24時間
補正前	64.8%	68.5%	69.4%	71.3%
補正後	21.5%	18.2%	16.4%	26.3%

表-3 補正前後の誤差率 ε 一覧表

#### 6. おわりに

本研究では、水文観測施設の少ない発展途上国におけ る洪水予警報を目的とし,衛星降雨プロダクト (GSMaP MVK+)の活用のための補正方法について検討 した. 衛星降雨プロダクト自体の過小評価傾向の原因が マイクロ波放射計アルゴリズムもしくは降水物理モデル にあるとしても,新たな観測を実施しアルゴリズムを改 良するとなれば、多大な時間を必要とすることになる. そのため、本研究では現段階での衛星降雨プロダクトを 役立てることを重要視した.まず,GSMaP MVK+と地 上降雨量データを用いて特に強雨イベント降雨量を比較 したところ、両者の差異にGSMaP\_MVK+の降雨量分布 の時間変化と関連性があることを確認した. 次に降雨量 分布の時間変化を累加した降雨量分布の形状を考慮とす ることで雨域の移動を定量的に判断できるようにし、衛 星降雨量の補正倍率との一義的な関係性を求めた. この 関係性から補正式を導き、吉野川流域に適用したところ、 十分な精度の向上が認められた.

本研究で提案した衛星降雨データ補正方法の特徴は, 洪水を引き起すような強い降雨について,補正精度が高 いことである.さらに,GSMaP\_MVK+のみを使用する ことから,流域内での自立的補正も可能となると考えら れる.また,本手法は比較的簡便な方法であるため迅速 に補正できることから,雨量観測施設が少ない発展途上 国における早期洪水予警報システムに適用する際にも有 用である.一方で,衛星降雨プロダクト作成時のマイク ロ波放射計のアルゴリズムとの関連性についても,より 詳細に解析を進めるとともに、海外諸国においても事例 解析を増やすことで信頼性および補正手法の改善を進め る予定である.また、より現実的な適用を目指し、フォ ワード計算のみのGSMaP\_RTに適用した場合や、配信遅 れ時間を考慮した場合の課題についても取り組む予定で ある.

謝辞: 本研究で用いた吉野川流域における地上降雨 データは、国土交通省四国地方整備局から提供して頂い た.また、衛星降雨プロダクトGSMaP(Global Satellite Mapping of Precipitation)における雲移動ベクトルなどの 詳細なデータについては独立行政法人宇宙航空研究開発 機構を通じて提供して頂いた.記して謝意を表す.

#### 参考文献

- 1) 沖大幹, 沖明:水の世界地図, 丸善株式会社, 2006
- K. Okamoto, 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
- 3) 野田 俊輔, 笹重 和史, 片上 大輔, 牛尾 知雄, 久保田 拓志, 岡本 謙一, 飯田 泰久, 木田 智史, 重 尚一, 下村 卓, 青梨 和正, 井上 豊志郎, 森本 健志, 河崎 善一郎: カルマン フィルタを用いた衛星搭載マイクロ波放射計及び赤外放射 計による全球降水マップの作成, 日本リモートセンシング 学会誌, Vol. 27, No. 5, pp. 474-482, 2007
- 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
- Prasantha Hapuarachchi., H. Inomata, K. Fukami, M. Kachi & R. Oki : *Applicability of satellite based precipitation data for near real-time flood forecasting*, IPWG Workshop on the Evaluation of High Resolution Precipitation Products, Geneva, 3-5 December, 2007
- 6) T. Kubota, S. Shige, H. Hashizume, K. Aonashi, N. Takahashi, S. Seto, M. Hirose, Y. N. Takayabu, K. Nakagawa, K. Iwanami, T. Ushio, M. Kachi, and K. Okamoto: *Global Precipitation Map using Satelliteborne Microwave Radiometers by the GSMaP Project*, Production and Validation, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., Vol. 45, No. 7, pp.2259-2275, 2007
- 7) 気象庁編:気象年鑑,気象業務支援センター,2005
- 8) 中根和郎:雨域の移動を考慮した伊那谷における短時間降 雨予測について、国立防災科学技術センター研究報告、第 27号、pp.89-108, 1982
- 9) 椎葉充晴, 高棹琢馬, 中北英一:移流モデルによる短時間降 雨予測手法の検討, 水理講演会論文集, 第28回, 1984
- 10) 大倉 博, 石崎勝義, 中尾宏臣, 森本陸世:レーダ雨量計を 用いた短時間降雨予測, 水理講演会論文集, 第27回, 1983
- 11)気象庁編:予報作業指針予報用語,気象業務支援センター, 2008
- 12) 気象研究所:台風の構造の変化と移動に関する研究―台風 7916の一生―,気象研究所技術報告第14号,pp.85-94,1985 (2008.9.30受付)