

論文

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

野田俊輔^{*1}・ 笹重和史^{*2}・ 片上大輔^{*1}・ 牛尾知雄^{*2}・ 久保田拓志^{*3}・ 岡本謙一^{*1}・
飯田泰久^{*1}・ 木田智史^{*1}・ 重 尚一^{*1}・ 下村 卓^{*1}・ 青梨和正^{*4}・
井上豊志郎^{*4}・ 森本健志^{*2}・ 河崎善一郎^{*2}

Mapping Global Precipitation with Satellite Borne Microwave Radiometer
and Infrared Radiometer Using Kalman Filter

Shunsuke NODA^{*1}, Kazushi SASASHIGE^{*2}, Daisuke KATAGAMI^{*1}, Tomoo USHIO^{*2}, Takuji KUBOTA^{*3}, Ken'ichi OKAMOTO^{*1},
Yasuhisa IIDA^{*1}, Satoshi KIDA^{*1}, Shouichi SHIGE^{*1}, Suguru SHIMOMURA^{*1}, Kazumasa AONASHI^{*4},
Toshiro INOUE^{*4}, Takeshi MORIMOTO^{*2} and Zen-Ichiro KAWASAKI^{*2}

Abstract

Estimates of precipitation at a high time and space resolution are required for many important applications. In this paper, a new global precipitation map with high spatial (0.1 degree) and temporal (1 hour) resolution using Kalman filter technique is presented and evaluated. Infrared radiometer data, which are available globally nearly everywhere and nearly all the time from geostationary orbit, are used with the several microwave radiometers aboard the LEO satellites. IR data is used as a means to move the precipitation estimates from microwave observation during periods when microwave data are not available at a given location. Moving vector is produced by computing correlations on successive images of IR data. When precipitation is moved, the Kalman filter is applied for improving the moving technique in this research. The new approach showed a better score than the technique without Kalman filter. The correlation coefficient was 0.1 better than without the Kalman filter about 6 hours after the last microwave overpasses, and the RMS error was improved about 0.1 mm/h with the Kalman filter technique. This approach is unique in that 1) the precipitation estimates from the microwave radiometer is mainly used, 2) the IR temperature in every hour is also used for the precipitation estimates based on the Kalman filter theory.

Keywords : Kalman Filter, Infrared Radiometer, Precipitation Map, Microwave Radiometer

1. はじめに

地球的規模の降水マップは、水循環モデルの構築、生態系環境の維持、農業生産、天気予報精度の向上、洪水対策等にとって重要であるばかりでなく、科学的研究においても広く用いられている。その作成に際して、地上雨量計は、主に北半球先進国に偏在しており、地球表面の7割以上の面積を占める海上では極端に少ないため、地上雨量計で全球規模の降水量の時間空間変動を正確に測定することは困

難である。一方、衛星観測では、一般的には地上観測に比べるとはるかに均質な観測を行うことができるため、このような全球の降水マップの作成には、衛星データを用いた処理若しくは地上データとの複合処理が適している。

衛星による降水分布図の作成は WCRP (World Climate Research Program) の中の GPCP (Global Precipitation Climatology Project) に代表されるように、その重要性から既に行われている³⁾。GPCP では衛星搭載可視・赤外放射計、マイクロ波放射計ならびに地上雨量計のデータが使われているが、静止気象衛星搭載の可視・赤外放射計データを中心

(2007. 1. 24 受付, 2007. 10. 3 改訂受理)

*¹ 大阪府立大学大学院工学研究科
大阪府堺市学園町 1-1

*² 大阪大学大学院工学研究科
大阪府吹田市山田丘 2-1

*³ 宇宙航空研究開発機構

*⁴ 気象研究所

*¹ Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture University, 1-1 Gakuencho, Sakai, Osaka 599-8531, Japan

*² Graduate School of Engineering, Osaka University, 2-1 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, Japan

心に、赤外輝度温度とマイクロ波放射計による降水量との長期間のヒストグラムマッチングによって降水量を推定している。近年では、さらに時間分解能を上げるために、全球の降水を複数の衛星のマイクロ波放射計により高精度、高分解能で観測する衛星計画として、GPM (Global Precipitation Measurement) 計画が日本とアメリカを中心として、欧州、フランス、インド、中国等も含めた国際的な協力体制を視野に進められている。この計画では、降雨からのマイクロ波放射を観測するマイクロ波放射計が搭載された多数の低軌道衛星を利用し、地球上の一点における観測時間間隔がおよそ3時間となる予定である。一方、さらに、1時間分解能の降水分布を全球で得るため、1時間毎に得られる静止気象衛星搭載赤外放射計画像を用いて、連続する時間の2枚の画像から、雲の移動ベクトルを算出し、降雨推定精度の優れたマイクロ波放射計による降雨域の移動を行う手法の開発もなされている⁴⁾。このCMORPH (The Climate Prediction Center Morphing Technique) と呼ばれる手法では、赤外放射計による輝度温度は雨域の移動を算出する目的にのみ用いており、これによりマイクロ波放射計による観測間を補間し、高分解能で高精度な降雨推定がほぼ全球で可能となっている。そして、IPWG (International Precipitation Working Group)⁵⁾などのレーダデータなどを用いた地上検証によって、その有用性と精度が高く評価されている。

地球静止軌道衛星搭載赤外放射計データから計算される移動ベクトルを用いる手法は、高分解能降水マップの作成に非常に有効であることが示されてきているが、問題点も存在する。このような手法では、マイクロ波放射計アルゴリズムによって推定された降雨量は、移動ベクトルによって降水量を変化させず移動させているため、降雨の発達や消滅過程が考慮されていない。これが降雨推定精度の劣化に影響する。この欠点を補うため、CMORPHでは、時間軸上で逆方向にマイクロ波放射計による推定雨量を移動ベクトルに基づいて移動させるバックワードプロセスを導入している。しかしながら、リアルタイム性が損なわれるなどの欠点があり、洪水予測などの準リアルタイム性が要求されるアプリケーション用途では、フォワードプロセスのみで精度向上が図られることが望ましい。

そこで、本研究では、こうした欠点を補い、フォワード計算における、マイクロ波及び赤外放射計データを併用した、0.1度、1時間分解能の全球降水マップの精度向上手法について報告する。基本的にCMORPHと同様な移動ベクトルを利用した降水マップの作成を行うが、移動ベクトルによって降水量を変化させずに移動させると上述で述べた問題があるため、赤外放射計輝度温度とマイクロ波放射計から推定した降水強度との間にはある関係があることに着目し、カルマンフィルタの手法を用いて再度推定することによって、0.1度・1時間分解能の降水マップの精度向上を図る。

Table 1 Characteristics of geostationary infrared data used in this study.

衛星	天頂位置(赤道上)	波長(μm)
GMS-5	140E	11.0
GOES-8	75W	10.7
GOES-10	135W	10.7
Meteosat-7	Greenwich	11.5
Meteosat-5	63E	11.5

Table 2 Characteristics of microwave radiometers used in this study.

衛星	高度(km)	マイクロ波放射計	周波数(GHz)
TRMM	402	TMI	10, 19, 21, 37, 85
AQUA	705	AMSR-E	7, 10, 19, 24, 37, 89
DMSP-F13	803	SSM/I	19, 37, 85
DMSP-F14	803	SSM/I	19, 37, 85
DMSP-F15	803	SSM/I	19, 37, 85

2. 解析データ

本研究では、衛星搭載マイクロ波放射計及び静止気象衛星搭載赤外放射計データを併用して、降水マップを作成する。解析に用いたデータを以下に示す。

・赤外放射計(静止衛星搭載)

米国NOAAのCPC(Climate Prediction Center)は、Table 1にある静止衛星から赤外放射計のデータを取得し、合成したデータを1時間毎に提供している。配布されている赤外放射計格子状データの緯度・経度の解像度は、0.03635度(赤道上では4km)である。緯度の範囲は60'N-60'Sである。

また、赤外放射計のデータはオフナディア角に依存するために修正を加えている。つまり衛星直下から遠い位置の輝度温度は幾何学的效果と減衰効果のため低く見積られる。そのためCPCは衛星直下から遠い位置では、複数の静止衛星からのデータを組み合わせて修正している。また衛星搭載の赤外チャンネル(以降、IRと略称を用いる)には衛星間でわずかに異なる特性があるが、センサ同士のキャリブレーションは行われていない。しかしこの効果はオフナディア角の効果よりかなり小さい。

・マイクロ波放射計(低軌道衛星搭載)

本研究では、Table 2にある5機の低軌道衛星搭載のマイクロ波放射計のデータを用いている。これらのセンサによって観測された輝度温度データから変換された雨量データを入力として用いている。輝度温度-雨量変換アルゴリズムには、科学技術振興機構(JST)戦略的創造研究推進事業(CREST)研究領域「水の循環系モデリングと利用システム」の研究課題「衛星による高精度高分解能全球降水マップ作成」(研究代表者:岡本謙一)が開発中のアルゴリズムを用いている^{6)~8)}。このアルゴリズムによる一連のプロ

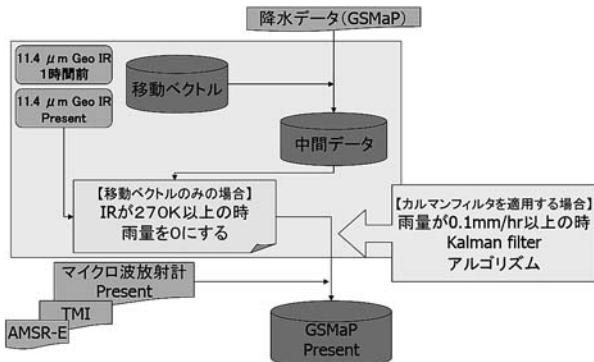


Fig. 1 Flow chart of the algorithm used for the present analysis.

ロダクトは、GSMaP (Global Satellite Mapping of Precipitation) と呼ばれ、本論文でも以後、この名称を用いることとする。また、本論で議論するカルマンフィルタを用いたプロダクト、移動ベクトルのみを用いたプロダクトをそれぞれ、GSMaP MVK、GSMaP MVとする。

・レーダアメダス

本研究では日本気象協会が配布しているレーダアメダス合成データを検証用のデータとして用いる。気象レーダは、降水パターンを把握することができるが、その推定雨量には誤差を伴う。この誤差をアメダスの実測雨量を用いて補正し、精度の良い高空間分解能な雨量分布（5 km 格子ごと）を把握できるようにしたのが、レーダアメダス解析雨量である。

3. 解析手法

Fig. 1 に、本研究で開発した全球降水マップ作成のアルゴリズムの概要を示す。本研究のアルゴリズムでは、連続する 1 時間毎の赤外放射計データの緯度・経度 6.5' 領域内で、IR の輝度温度ピクセルの空間的な相関係数を計算することによって、Fig. 1 にある移動ベクトルを導出する。そして、1 時間前の全球降水マップを移動ベクトルを用いて移動させ、Fig. 1 にある中間データを作成する。そして、現在の輝度温度が 270 K 以上の時は雨量をゼロとして、雨量が 0.1 mm/hr 以上の時にはカルマンフィルタを適用し雨量を再定義する。最後に、現在のマイクロ波放射計データを挿入し、現在の全球降水マップを作成する。

3.1 移動ベクトルの導出

移動ベクトルは、連続する時間の赤外放射計のデータ画像同士の比較から求めるが、そのときの赤外放射計のデータ画像の空間的な範囲を、本研究では緯度・経度 6.5° と決定した。移動ベクトルを求めるための空間的な範囲が小さければ、規模の小さな雲系の流れは捉えられるが、規模の大きな雲系の流れは捉えられない。また空間的な範囲が大きければ、個々の雲系の流れが画一的になるため、それぞれの雲系の動きが捉えられない。このため本研究では、

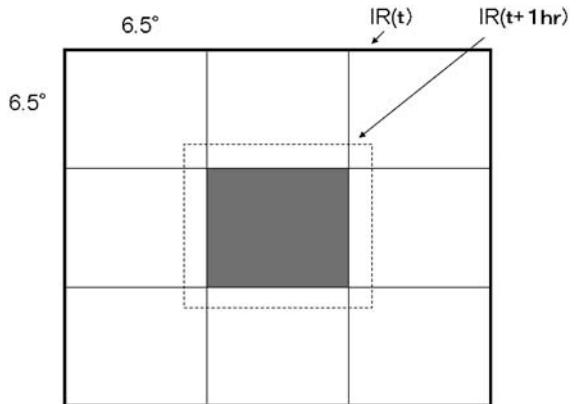


Fig. 2 Schematic diagram of the moving vector derivation to calculate the correlation coefficients of the successive IR images.

様々な緯度・経度の範囲で移動ベクトルを求めた結果、緯度・経度 $6.5'$ で最も高い相関係数が得られたので、 $6.5'$ を選択した。この処理により、数百キロスケールの雲の移動を、比較的短時間に求めることが出来るようになった。

Fig. 2 にその概念図を示す。ある時刻 ‘t’ で IR の輝度温度を含んだ緯度・経度 6.5' の領域と、次の時間の ‘t+1hr’ での同じ領域で IR の輝度温度のピクセル同士の間で空間的な相関係数を求める。実線の四角は、時間 ‘t’ における雨域を示しており、塗りつぶした領域を点線の四角で示されている範囲内で、東西方向、南北方向に 1 ピクセル（赤外放射計の最小解像度）毎に移動させて ‘t+1hr’ における画像との相関係数を求める。そしてこの相関係数の最も大きな値になった東西、南北方向の移動ピクセルの数が、移動ベクトルとして算出される。このようにして求めた移動ベクトルで、その領域にあるマイクロ波放射計から得られた降水を移動させる。

3.2 カルマンフィルタの適用

移動ベクトルのみを用いた全球降水マップでは、マイクロ波放射計で推定した降水強度を移動ベクトルによって変化させずに移動させるため、降水の発達や消滅が扱われていない。この降水の発達プロセスや消滅プロセスを導入するために、降水強度が 0.1 mm/hr^{-1} 以上の場合にカルマンフィルタを用いることにした。本研究では、赤外放射計輝度温度とマイクロ波放射計から推定した降水量との関係に着目する。Fig. 3 にその関係を示す。横軸にマイクロ波放射計によって推定した降水強度、縦軸に赤外放射計の輝度温度を示す。この図からわかるように、赤外輝度温度対降水量の間には、大きな偏差を伴うものの、統計的には反比例の関係が存在することが示されている。本研究では、この統計的な関係と赤外放射計のデータは 1 時間毎に得られることに着目し、それをカルマンフィルタに利用し、移動ベクトルによって移動した降水強度を再度推定する。

以上のように赤外放射計輝度温度とマイクロ波放射計から推定した降水量との関係に着目することによって、状態

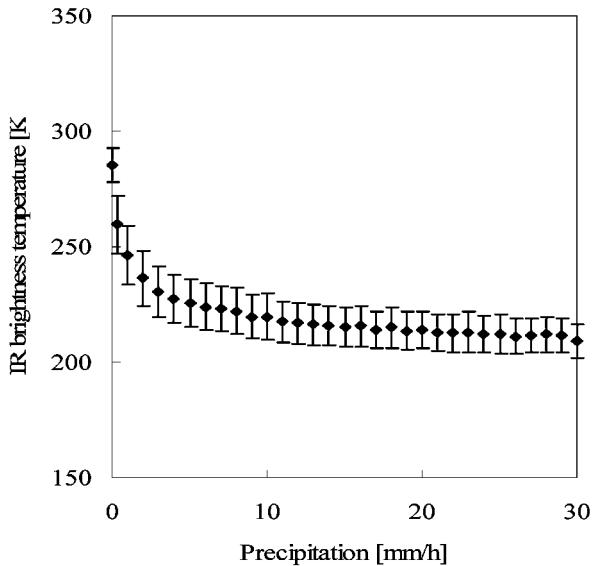


Fig. 3 Geostationary satellite IR brightness temperature (ordinate) relative to precipitation estimated from microwave radiometers (abscissa) during July 2005.

方程式と観測方程式を次のように定義する。

$$x_{k+1} = Fx_k + w \quad (\text{状態方程式})$$

$$y_k = Fx_k + v \quad (\text{観測方程式})$$

x_k : 現在の降水量

x_{k+1} : 1 時間後の降水量

w : システム雑音

v : 観測雑音

F : 移動ベクトルによる効果

y_k : 赤外放射計によって観測される輝度温度

H : 赤外放射計輝度温度とマイクロ波放射計から推定した降水量との関係
(Fig. 3 参照)

状態方程式 :

移動ベクトルによって降雨を移動させる時、移動ベクトルのみによるマップ作成では、移動する座標系で見た場合、降雨量に変化は生じない。しかし、実際の降雨現象では、時間の経過と共に、雨量は増減する。この効果がシステム雑音になっており、状態方程式に示す通りとなっている。システム雑音は、マイクロ波放射計で推定した降水強度を移動ベクトルによって1回移動させた時に、再びマイクロ波放射計が通った時に推定した降水強度との差を求めて計算している。マイクロ波放射計は、各衛星で緒言が異なり、また、降水量を算出するアルゴリズムも異なる場合があるが、本研究では、均一な入力としている。そのため実際には、異なるセンサから導出される降水量には統計的な差異が存在すると思われるが、その扱いについては、今後の課題としたい。

観測方程式 :

一方、上述のように地表面付近の降雨量と赤外放射計で観測される輝度温度の間には、統計的には緩やかな反比例

関係が存在するので、この関係を用いて観測方程式を決定した。観測雑音の計算においても、緯度毎、1ヶ月の積算値で求めている。

4. 解析結果及び議論

以上のような手法に基づき、1時間、0.1度分解能の全球の降水マップが作成される。Fig. 4 に、一例として、作成された2005年7月3日午前0時(UTC)の1時間、0.1度分解能の南緯60度から北緯60度までの降水マップを示す。このように、マイクロ波放射計の未観測域が、IRデータによる補完手法によって、補完され、南緯60度から北緯60度に至るほぼ全球の降水マップが1時間、0.1度分解能で作成されている。全般的な降水パターンを見ると、熱帯においては、対流活動に伴うと思われる散在的な降水パターンが見られるのに対し、中緯度帯から高緯度にかけては、前線などに伴う帶状の降水域が現れている。さらに、各々の降水イベントに着目すると、例えば、朝鮮半島から本州太平洋沖にかけて梅雨前線が見られる。この梅雨前線に伴って、中国・四国地方で7月3日に200 mm/day を越える豪雨が気象庁によって実際に観測されており、この梅雨前線によってもたらされたものであることが示されている。この拡大図をFig. 5に示す。中国、四国地方を中心とする広い地域で、レーダアメダス雨量計が強い降雨量を示しており、同様な地域において、本研究で作成している降水マップが、過小評価気味ではあるものの同様な降雨域を示していることがわかる。さらに一時間後の降水マップ(Fig. 6)では、移動ベクトルのみによる降水マップ(GSMaP_MV)に比して、カルマンフィルタを用いた降水マップ(GSMaP_MVK)は、降水量の増減を表現しているのが見て取れる。

このようにして作成された降水マップの評価について、現時点では、長期間にわたる処理が施されていないため、長期変動のデータに基づく妥当性の検証は難しい。そのため、本論文では、衛星搭載マイクロ波放射計を真値とした評価と、日本付近におけるレーダアメダスを真値とした評価について報告する。

降水マップの作成手順では、マイクロ波放射計によって推定された降雨域を移動ベクトルに基づいて移動を行い、次にマイクロ波放射計が通過した時に、その推定値で上書きを行う。この上書き時には、同時に、移動ベクトルによる推定値も存在するため、マイクロ波放射計による雨量推定値を真値と考えた場合、移動に伴う誤差及びカルマンフィルタの効果を定量的に評価することが出来る。さらに、マイクロ波放射計による雨量推定は地域や季節による拘束を受けないので、より一般的な評価が可能である。

Fig. 7に、マイクロ波放射計が通過してからの時間が経るに従い、移動ベクトルによる推定及びカルマンフィルタを加えた場合の推定値のマイクロ波放射計による推定値に対する相関係数がどのように変化するのかを示す。この図に示されているように、時間が経るに従い、単調に相関係

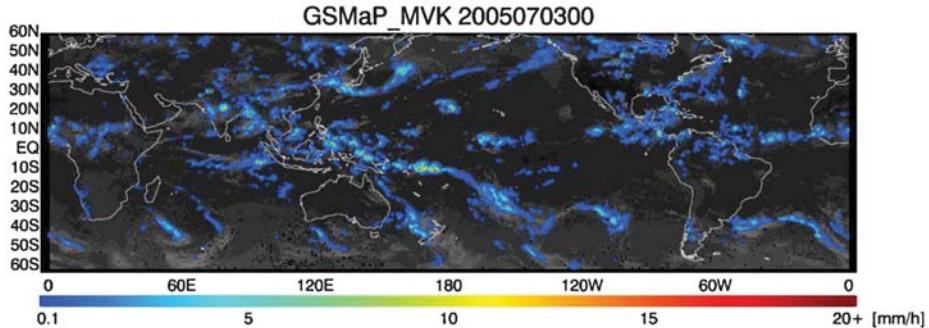


Fig. 4 The global 0.1 degree hourly rainrate map at 0 UTC on 3 July 2005 in mm/h. GSMaP_MVK stands for Global Satellite Mapping of Precipitation using Moving Vector with Kalman filter.

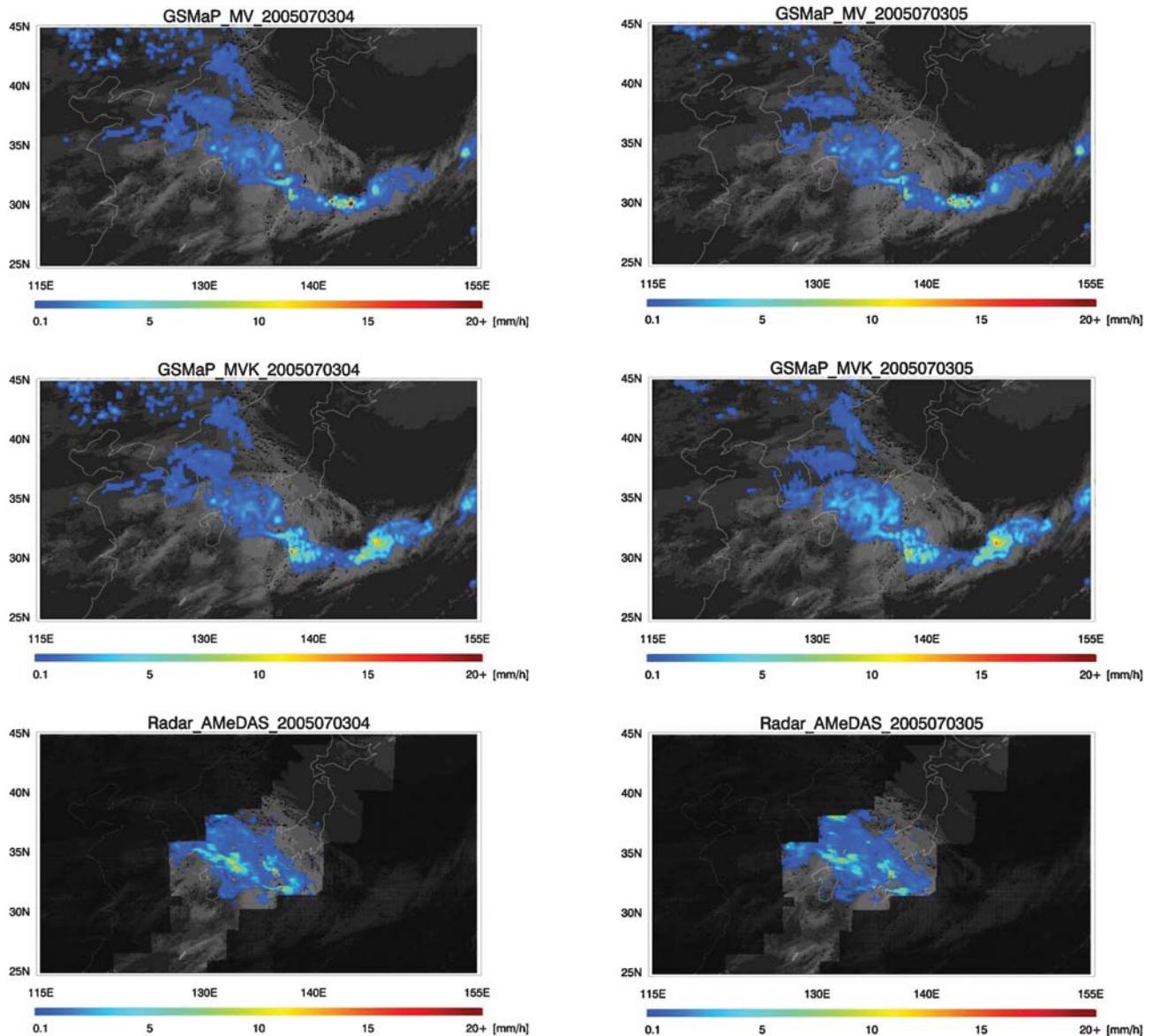


Fig. 5 GSMaP_MV (Moving vector only) and MVK (Moving vector+Kalman filter) around Japan at 4 UTC on 3 July 2005 in mm/h together with Radar-AMeDAS data (bottom panel).

Fig. 6 GSMaP_MV (Moving vector only) and MVK (Moving vector+Kalman filter) near Japan at 5 UTC on 3 July 2005 in mm/h together with Radar-AMeDAS data (bottom panel).

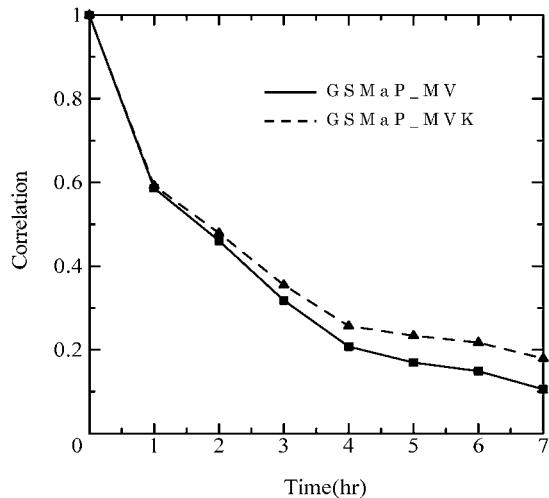


Fig. 7 Correlation coefficient between the GSMAp_MV (Solid line) and the GSMAp_MVK (Dashed line), and the precipitation estimated from microwave radiometers for the period of July 2005 as a function of the past microwave radiometer overpasses.

数が減少していく。マイクロ波放射計の通過からの時間が比較的短い1時間あるいは2時間の場合では、カルマンフィルタを加えた場合と移動ベクトルのみによる推定値とは、ほとんど差が見られないのに対して、4時間後、5時間後では、差が徐々に大きくなり、カルマンフィルタの効果が現れてくる傾向にあることがわかる。

一方、日本付近におけるレーダアメダスデータを用いて、相関係数及び平均2乗誤差(RMSE)の観点から評価を行った結果をFig. 8及びFig. 9に示す。実線はカルマンフィルタを用いない移動ベクトルのみによるもので、破線はカルマンフィルタを適用したものである。縦軸がそれぞれ相関係数、平均2乗誤差となっており、横軸は移動ベクトルによってマイクロ波放射計によって推定した降雨を移動した回数(時間)となっている。従って、横軸が0の点はマイクロ波放射計によって推定した降水強度とレーダアメダスとの比較となっている。Fig. 8及び9より、移動ベクトルによって移動した回数が増加すると相関係数は徐々に減少し、平均2乗誤差はなだらかに増加している。どちらの結果でもカルマンフィルタを適用した方が優れた結果が出ていることがわかる。

また、降水マップは1時間毎に作成されるので、作成した1時間毎の日本域のマップとレーダアメダスを比較した図をFig. 10に示す。実線は移動ベクトルのみによるもので、破線はそれにカルマンフィルタを適用したものである。縦軸に相関係数、横軸は、2005年7月2日0時から24時までを示す。この図からも移動ベクトルだけではなく、カルマンフィルタを併用した方が優れた結果が出ていることがわかる。また+点はマイクロ波放射計のみで作成した降水マップとの比較である。マイクロ波放射計は低軌道衛星搭載のため、毎時間通過しない。このような場合は、図中、

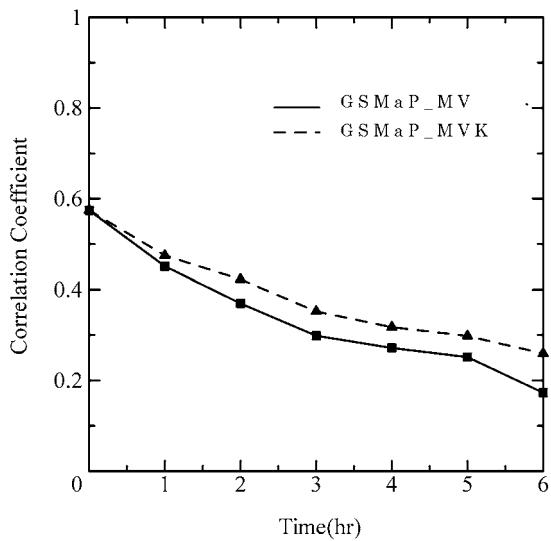


Fig. 8 Correlation coefficient between the GSMAp_MV (Solid line) and the GSMAp_MVK (Dashed line), and Radar AMEDAS for the period of July 2005 as a function of the past microwave radiometer overpasses.

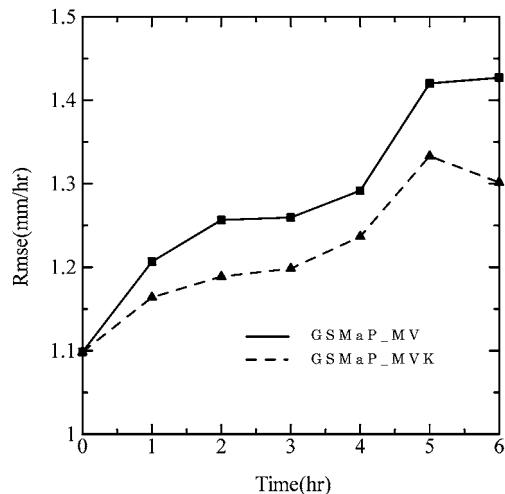


Fig. 9 Rmse between GSMAp_MV (Solid line) and GSMAp_MVK (Dashed line), and Radar AMEDAS for the period of July 2005 as a function of the past microwave radiometer overpasses.

欠損値として処理している。1時間分解能のマップには、マイクロ波放射計で推定した降水強度の他に、それを移動ベクトルによって1回移動した降水量や2回移動した降水量等が含まれているが、作成された降水マップが、全体として、マイクロ波放射計のみのマップと比べると、本手法でサンプリングエラーが大きく低減されている事がわかる。

4. ま と め

本論文では、0.1度、1時間分解能の全球降水マップを作

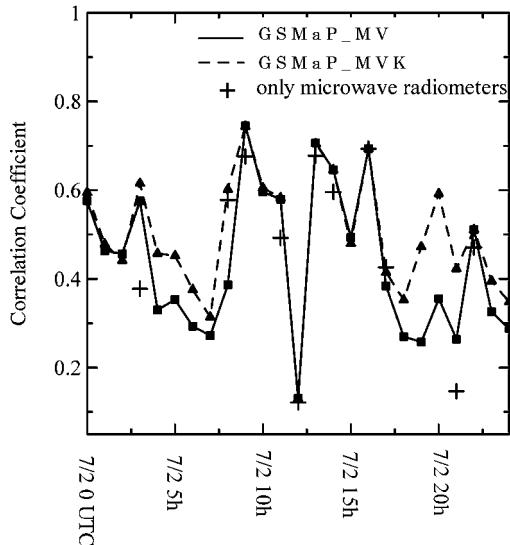


Fig. 10 Time series of correlation coefficient between the GSMAp_MV(Solid line) and the GSMAp_MVK (Dashed line), and the Radar AMeDAS during 00 UTC through 24 UTC on 2 July 2005. The product only from the microwave radiometer is also added to this figure indicated by “+”.

成するために、赤外放射計データから算出される移動ベクトル及びカルマンフィルタを用いて、マイクロ波放射計データを補間する手法を検討した。そして、作成した全球降水マップの検証をレーダアメダスを用いて行った。結果、移動ベクトルのみを用いる手法に比べて、マイクロ波放射計通過から6時間後の比較で、相関係数が0.1程度、RMSEが0.1mm/h程度改善されることがわかった。今後、バックワードプロセスの導入を進めると共に、洪水予測などの応用を考えていきたい。また、本論文では、マイクロ波放射計のそれぞれの機器の違いを考慮せず、全球のマップを作成しているが、実際は観測周波数やマイクロ波放射計アルゴリズム等の違いがあるため、カルマンフィルタを用いる時のシステムノイズ・観測ノイズに機器の違いを考慮に入れた検討を今後計画している。

謝辞：本研究は、科学技術振興機構（JST）戦略的創造研究推進事業（CREST）研究領域「水の循環系モデリングと利用システム」の研究課題「衛星による高精度高分解能全球

降水マップ作成」の助成を受けて成されたものであり、ここに謝意を表します。また、本研究を行うにあたり、貴重な助言をして下さった、「衛星による高精度高分解能全球降水マップ作成」研究チームの方々に、深く感謝いたします。

引用文献

- 1) C. Kummerow, Y. Hong, W. S. Olson, S. Yang, R. F. Adler, J. McCollum, R. Ferraro, G. Petty, D. B. Shin and T. T. Wilheit : The Evolution of the Goddard Profiling Algorithm (GPROF) for Rainfall Estimation from Passive Microwave Sensors, *J. Appl. Meteorol.*, vol. 40, no. 11, pp. 1801–1820, 2001.
- 2) Iida, Y., K. Okamoto, T. Ushio and R. Oki : Simulation of sampling error of average rainfall rates in space and time by five satellites using radar-AMeDAS composites, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L01816, doi : 10.1029/2005GL024910, 2006.
- 3) Huffman, G. J., R. F. Adler, M. Morrissey, D. T. Bolvin, S. Curtis, R. Joyce, B. McGavock, J. Susskind : Global : Precipitation at One-Degree Daily Resolution form Multi-Satellite Observations. *J. Hydrometeor.*, 2, 36–50, 2001.
- 4) R. J. Joyce, J. E. Janowiak, P. A. Arkin and P. Xie, : CMORPH : A Method that Produces Global Precipitation Estimates from Passive Microwave and Infrared Data at High Spatial and Temporal Resolution, *J. Hydrometer.*, vol. 5, No. 3, pp. 487–503, 2004.
- 5) E. Ebert, J. Janoviak, and C. Kidd : Comparison of Near-Real-Time Precipitation Estimates from Satellite Observations and Numerical Models, *Bulletin of the American Society*, Vol. 88, pp. 47–64, 2007.
- 6) K. Aonashi, A. Shibata and G. Liu : An over-ocean precipitation retrieval using SSM/I multi-channel brightness temperature, *J. Meteor. Soc. Japan*, vol. 74, pp. 617–637, 1996.
- 7) K. Aonashi and G. Liu, : Passive microwave precipitation retrievals using TMI during the Baiu period of 1999. Part I : Algorithm description and validation, *J. Appl. Meteor.*, vol. 39, pp. 2024–2037, 2000.
- 8) T. Kubota, S. Shige, H. Hashizume, K. Aonashi, N. Takahashi, S. Seto, M. Hirose, Y. 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.*, in press, 2007.

[著者紹介]**●野田 俊輔（ノダ シュンスケ）**

所属：大阪府立大学大学院工学研究科航空宇宙工学分野。平成17年大阪府立大学航空宇宙工学科卒。平成19年大阪府立大学大学院工学研究科航空宇宙工学分野修了。現在、新日鉄株式会社勤務。

●笹重 和史（ササシゲ カズシ）

所属：大阪大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻情報通信工学部門光電波工学講座環境電磁工学領域。平成18年大阪大学工学部電子情報エネルギー工学科卒。現在大阪大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻情報通信工学部門光電波工学講座環境電磁工学領域博士前期課程。マイクロ波放射計データと赤外放射計データを用いた全球降水マップの研究に従事する。

●片上 大輔（カタガミ ダイスケ）

所属：大阪府立大学大学院工学研究科航空宇宙工学分野。平成18年大阪府立大学工学部航空宇宙工学科卒。現在、大阪府立大学工学研究科航空宇宙海洋系専攻航空宇宙工学分野博士前期課程。マイクロ波放射計データと赤外放射計データを用いた全球降水マップの研究に従事する。日本リモートセンシング学会員。

●牛尾 知雄（ウシオ トモオ）

所属：大阪大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻。平5大阪大学工学部電気卒。平7同大大学院工学研究科修士課程修了。平10年同大大学院工学研究科博士課程修了。同年アメリカ航空宇宙局（NASA）マーシャル宇宙飛行センター National Space Science and Technology Center/Global Hydrology and Climate Center USRA 研究員。平12大阪府立大学大学院工学研究科航空宇宙工学分野助手。平15同講師。平18大阪大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻准教授。工学博士。電波リモートセンシング、地球観測、雷放電などの研究に従事。電子情報通信学会、電気学会、気象学会、日本大気電気学会、IEEE、アメリカ地球物理連合会員。

●久保田 拓志（クボタ タクジ）

所属：宇宙航空研究開発機構。平成11年京都大学理学部卒。平成13年京都大学大学院理学研究科修士課程修了。平成16年京都大学大学院理学研究科博士課程修了。同年京都大学防災研究所研究機関研究員。平成17年科学技術振興機構研究員として大阪府立大学にて勤務。平成19年より宇宙航空研究開発機構 地球観測研究センター研究員。理学（博士）。衛星による降水観測、物理気候学などの研究に従事。日本リモートセンシング学会点 IEEE、日本気象学会、アメリカ気象学会点アメリカ地球物理連合会員。

●岡本 謙一（オカモト ケンイチ）

所属：大阪府立大学大学院工学研究科航空宇宙工学分野。1968年東京大学教養学部基礎科学科卒。1973年同大学大学院理学研究科相関理化学専攻博士課程卒。1973年郵政省電波研究所（現 情報通信研究機構）入所。1993年同地球環境計測部長、1999年同総合研究官、2000年同退職。同年大阪府立大学大学院工学研究科航空宇宙工学分野教授。地球環境の電波リモートセンシングの研究に従事。IEEE GRS Society会員、電子情報通信学会フェロー会員、日本リモートセンシング学会会員、日本気象学会会員。1990年日本リモートセンシング学会論文賞、1993年日本気象学会堀内基金奨励賞、1994年日本リモートセンシング学会優秀論文発表賞、1995年郵政大臣表彰、1998年前島賞、2002年武田賞。

●飯田 泰久（イイダ ヤスヒサ）

所属：大阪府立大学大学院工学研究科航空宇宙工学分野。1979年3月生。02年大阪府立大学工学部航空宇宙工学科中退（飛び級）、04年同大学大学院工学研究科航空宇宙工学分野博士前期課程修了、07年同大学大学院博士後期課程修了。工学博士。人工衛星による降雨観測のためのサンプリングシミュレーションに関する研究に従事。日本気象学会会員。日本リモートセンシング学会会員。

●木田 智史（キダ サトシ）

所属：大阪府立大学大学院工学研究科航空宇宙工学分野。平成17年大阪府立大学工学部航空宇宙工学科卒。平成19年大阪府立大学大学院工学研究科航空宇宙海洋系専攻航空宇宙工学分野博士前期課程修了。現在、大阪府立大学大学院工学研究科博士後期課程1年。熱帯降雨観測衛星（TRMM）搭載降雨レーダ（PR）および、TRMMマイクロ波観測装置（TMI）の観測データを用いた研究に従事する。日本気象学会、日本リモートセンシング学会会員。

●重 尚一（シゲ ショウイチ）

所属：大阪府立大学大学院工学研究科航空宇宙工学分野。1995年京都大学理学部卒業、1997年京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻修士課程修了、2001年京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻博士課程修了。博士（理学）。1999年日本学術振興会特別研究員、2001年宇宙開発事業団（現 宇宙航空研究開発機構）招聘研究員。2004年大阪府立大学大学院工学研究科航空宇宙工学分野助手。2007年同助教。メソスケール対流系組織化の研究や、衛星データからの潜熱加熱プロファイルおよび降水推定アルゴリズムに関する研究に従事する。日本気象学会、米国気象学会、米国地球物理学連合、日本リモートセンシング学会会員。

●下村 隼（シモムラ タカシ）

所属：大阪府立大学大学院工学研究科航空宇宙工学分野。1988年大阪大学大学院基礎工学研究科博士前期課程（制御工学）修了。同年科学技術庁航空宇宙技術研究所研究員、1992年大阪大学基礎工学部システム工学科助手、1997年同大学院基礎工学研究科助手、2002年大阪府立大学大学院工学研究科（航空宇宙工学）講師、2007年同研究科准教授となり現在に至る。この間、1998～1999年スタンフォード大学客員研究員。システム制御理論とその応用に関する研究に従事。とくに、LMI（Linear Matrix Inequality）に基づく多目的制御系設計やゲインスケジューリング制御などの研究に従事。博士（工学）（大阪大学）。IEEE, AIAA, システム制御情報学会、日本航空宇宙学会などの会員。

●青梨 和正（アオナシ カズマサ）

所属：気象庁気象研究所。昭和57年気象大学校卒業。平成9年理学博士取得（東京大学）。昭和63年より気象研究所予報研究部に勤務する。研究分野は、リモートセンシングデータの数値予報モデルへの同化、マイクロ波放射計からの降水のリトリーバル。日本気象学会所属。

●井上 豊志郎（イノウエ トシロウ）

所属：東京大学気候システム研究センター。気象衛星データ（特に分割窓領域（Split Window））からの雲パラメータや気象要素抽出法の開発、気象衛星データを用いた気候や熱帯気象・モンスーンなどの研究に従事。日本気象学会、日本リモートセンシング学会、アメリカ気象学会会員。理学博士。

●森本 健志（モリモト タケシ）

所属：大阪大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻。2000年大阪大学工学部電子情報エネルギー工学科卒。2005年同大学院博士後期課程修了。博士（工学）。同年同大学院工学研究科助手。現在に至る。

●河崎 善一郎（カワサキ ゼンイチロウ）

所属：大阪大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻。1973年大阪大学工学部通信工学科卒。1978年同大学院博士課程終了（工学博士）。1979年、名古屋大学助手 空電研究所。1985年スウェーデン国ウツラ大学気象研究所客員講師。1989年大阪大学講師、1991年同助教授、2000年大阪大学大学院工学研究科教授。2007年 国際大気電気学委員会（ICAE）委員長。日本大気電気学会学術賞、電気学会進歩賞、レーザ学会進歩賞各賞受賞。