

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月17日現在

機関番号：13301

研究種目：若手研究（A）

研究期間：2010～2012

課題番号：22686045

研究課題名（和文） 衛星及びXバンドMPレーダによる観測情報を用いた統合的データ同化手法の開発

研究課題名（英文） Development of integrated data assimilation technique by using satellite and X-band MP Radar observation

研究代表者

谷口 健司（TANIGUCHI KENJI）

金沢大学・環境デザイン学系・准教授

研究者番号：20422321

研究成果の概要（和文）：衛星搭載マイクロ波放射計による観測データを用いた雲微物理衛星データ同化手法において、運輸多目的衛星による観測データから推定した雲頂高度情報を活用した同化結果及び降水予測精度の改善を行い、海洋上での予測降水量に顕著な改善の傾向がみられることを示した。さらに、雲底高度を変化させた感度実験と、シーロメータによる観測雲底高度を活用した同化実験を行い、同化結果に顕著な影響があることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：In this research, a cloud microphysics data assimilation technique using observation data by satellite microwave radiometer is improved by cloud top height estimated from Multi-functional Transport Satellite (MTSAT). Weather forecasting experiments using the data assimilation results show improvement of rainfall distribution over the ocean. At the same time, sensitivity assimilation experiments with varying cloud bottom height and an assimilation experiments with cloud bottom height observed by ceilometer show significant effects in assimilation results. These results indicate importance of cloud bottom height in the cloud microphysics data assimilation.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	11,500,000	3,450,000	14,950,000
2011 年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
2012 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	16,300,000	4,890,000	21,190,000

研究分野：水文気象学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：降水予測，衛星観測，データ同化，雲微物理，レーダ観測

## 1. 研究開始当初の背景

アジアモンスーン域に位置する日本においては、前線性豪雨や台風による大雨の被害から人命と財産を守ることは重要な課題である。また、2007年2月にまとめられた気候変動に関する政府間パネル（IPCC）作業部会報告書では、生じる可能性がある気候変

動事例として、陸域での強い降水現象の頻度増加と強力な熱帯サイクロン活動の増加が挙げられている（IPCC AR4 WG II 「気候変化 2007：影響、適応及び脆弱性」政策者向け要約）。2008年6月には社会資本整備審議会から「水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について（答

申)が提出され、適応策への具体的な提案の項では、施設整備・地域づくり・危機管理対応といった適応策が挙げられ、さらに洪水予報・土砂災害警戒情報や水防警報等の発令の必要性が述べられている。

水災害に対するソフト的対策の実現には、正確な雨域を再現し、精度の高い予測降水量情報を与える、信頼に足る気象予測が不可欠である。数値気象予測モデルは、長年の研究による進歩に伴い、モデル自身の問題点よりも、初期値・境界条件が予測結果に与える影響が大きくなり、より高品質の初期値作成のためのデータ同化手法の重要性が増している(気象庁数値予報課報告 別冊 43号)。これまでラジオゾンデ高層観測データ、GPS積算水蒸気量、衛星観測より推定された風など、多様な情報が気象予測モデルへ同化されてきた。研究代表者は、衛星搭載マイクロ波放射計で観測される輝度温度情報を用いた雲微物理衛星データ同化手法の開発・高度化に取り組んできた。物質から射出される熱放射を観測するマイクロ波放射計は、複数の周波数や偏波の輝度温度情報を組み合わせることで、鉛直積算水蒸気量・土壌水分量・海面水温など様々な物理量が推定でき、データ同化に有用である。また、2002年から運用中のマイクロ波放射計 AMSR-E の後継機である AMSR2 が、宇宙航空研究開発機構(JAXA)により 2012 年から打ち上げられる GCOM-W1, W2, W3 に搭載され、米国の衛星 DMSP-18, 19, 20 にはマイクロ波放射計 SSMIS が搭載予定で、マイクロ波放射計による観測データは一層の充実が期待される。なお、研究代表者が取り組んでいる雲微物理衛星データ同化手法では、その観測演算子である放射伝達式の制約から、適用範囲が海洋上に限定され、陸域上の大気条件の改善手法が課題である。

一方、国土交通省では、近年頻発する局地的な大雨や集中豪雨による水害対策として、X バンド MP レーダの導入による実況監視強化の推進を発表した(平成 21 年 6 月 25 日 記者発表)。X バンド MP レーダは従来の C バンドレーダに比べ高空間・時間解像度での観測を行い、雨滴の数や粒径分布が推定可能であり、降雨初期段階における大気の状態を捉えることが可能である。レーダ観測情報は実況監視に有用であるだけでなく、データ同化に活用することで、陸域における大気情報が改善され気象予測精度の向上が期待される。

## 2. 研究の目的

本研究では、衛星観測情報等を用いたデータ同化手法の高度化と、X バンド MP レーダによる観測情報の気象モデルへの同化手法の開発に取り組む、さらに両者の連携による

統合的同化手法を開発し、海洋・陸域上の大気情報の改善による降水予測精度向上に向けた研究に取り組む。

### (1) 放射伝達方程式解法の高度化

これまで開発してきた雲微物理衛星データ同化手法では、観測演算子として放射伝達モデルを用いて輝度温度を算出し、AMSR-E による観測輝度温度との誤差が最小となるよう大気場を改善している(Mirza et al., 2005, 水工学論文集)。また、モデル演算子には Lin Ice Scheme (Lin et al. 1983, J. Climate Appl. Meteor.) を用いている。これらを解くには水蒸気量及び雲水量の鉛直分布が必要であり、それを与えるパラメータに雲頂及び雲底高度情報がある。従来の手法では全グリッドに定数を与えていたが、雲頂高度の値を様々に変えた実験から、実際の雲頂高度に近いほど同化結果が改善されるとの結果を得た。雲底高度は気温に依存し、雲頂高度に比べ空間一様性が比較的高い。雲頂高度の分布は MTSAT 等の衛星やラジオゾンデによる観測データを用いて推定可能であり、雲底高度はシーロメータ等による観測が可能である。本研究では衛星観測等から推定された雲頂高度情報とシーロメータ観測による雲底高度情報を与え、より正確に放射伝達方程式を解き、同化結果の改善を目指す。

### (2) 高周波数帯によるマイクロ波衛星観測情報を用いたデータ同化手法の開発

放射伝達方程式に与える水蒸気の鉛直情報は、同化の過程で決定される積算水蒸気量を、数値気象モデルによる第一推定値の鉛直分布と同じ割合で配分している。一方、米国の観測衛星 DMSP シリーズに搭載された Special Sensor Microwave/Temperature-2 (SSM/T2) は高周波数帯の利用により大気中の鉛直水蒸気分布の推定が可能である。SSM/T2 観測から推定される鉛直水蒸気分布情報を活用し、気象モデルによる推定値を用いた場合よりも正確に放射伝達方程式を解くことによって、データ同化手法の高度化と初期値の改善に取り組む。

### (3) X バンド MP レーダによる観測情報のデータ同化システムへの適用手法の検討

X バンド MP レーダは複数偏波による観測で雨滴の特性等を捕捉可能であるとともに、降雨減水の影響を受けず定量的な降雨量推定が可能である。本研究では X バンド MP レーダによる観測データの同化に、米国大気研究所を中心として開発された Weather Research Forecast system (WRF) を利用する。WRF ではレーダデータの同化機能を備えているが、偏波レーダから得られる観測情報には対応していない。WRF が備える既存

の同化手法を高度化し、XバンドMPレーダによる観測情報を気象予測へ有効活用する同化手法の開発に取り組むべく検討を行う。

#### (4) 地球観測衛星及びXバンドMPレーダによる観測情報の統合的同化手法の開発

現在の雲微物理データ同化手法は、陸域での放射伝達方程式を解くことが困難なことからその適用範囲が海洋上に限定される。一方、XバンドMPレーダの同化により、陸域の大気情報の改善が期待される。海洋・陸域両者の大気情報改善を図るため、衛星データ同化、レーダ観測データ同化の両手法を組み合わせ合わせた統合的データ同化手法の開発に取り組む。

### 3. 研究の方法

#### (1) 雲頂高度情報の改善による雲微物理衛星データ同化手法の高度化

JAXA が打ち上げた運輸多目的衛星 MTSAT は赤外 4 チャンネル及び可視光での観測を実施しており、これら MTSAT の複数チャンネルから雲頂高度分布を推定し、雲微物理衛星データ同化に適用することで正確に放射伝達方程式を解き、同化結果の改善を図る。雲頂高度の推定に関しては気象庁によるラジオゾンデ現業観測の情報も活用し、正確な推定を目指す。

MTSAT の水蒸気チャンネル (IR3) による衛星観測情報と雲微物理衛星データ同化より得られる水蒸気分布を比較し、改善の結果を検証する。また、同化結果を用いた数値気象予測を行い、レーダアメダス解析雨量と比較し、降水予測への影響を検証する。

#### (2) WRF におけるレーダ観測データ同化の予備実験および観測データ前処理の検討

X バンド MP レーダによる観測データの同化は WRF が有する既存のデータ同化システムを基本として行うが、複数偏波による多様な観測情報に対応する手法の開発に先立ち、既存の同化システムを用いて単一波によるレーダ観測情報を用いた同化システムの動作確認と観測データ前処理の検討を行う。

#### (3) アンサンブルカルマンフィルタによる衛星データ同化手法の高度化に向けた検討

現在の雲微物理衛星データ同化手法はアリゾナ大学で開発された Shuffled Complex Evolution 法を最適化手法として用いている変分法的手法である。本手法では、ランダムに与えた大気状態を用いて観測演算子である雲微物理過程を実施しているが、本来の変分法で行われるアジョイントモデルの時間積分を行っておらず、物理的整合性が不十分である。これは、非線形成の強い雲微物理過程ではアジョイントモデルの構築が困難

であるためである。一方、近年のデータ同化で注目されているアンサンブルカルマンフィルタ (EnKF) は、統計的手法であるが非線形システムへの実装も可能である。本研究では、EnKF の雲微物理衛星データ同化手法への適用に向けた検討に取り組む。

### 4. 研究成果

#### (1) MTSAT 観測から推定した雲頂高度情報を活用した雲微物理衛星データ同化

科学研究費補助金「複数の衛星観測データの統合的活用による雲微物理データ同化手法の開発 (H20~H21, 代表・谷口健司)」において、従来定数としていた雲頂高度を変化させることで同化結果に顕著な影響がみられ、適切な雲頂高度情報による同化結果の改善が示唆された。そこで、MTSAT による観測輝度温度と気象庁によるラジオゾンデ観測データから雲頂高度の推定を行い、得られた雲頂高度分布を用いて同化を行った結果、従来の定数より雲頂が高い領域では雲水量に感度を持つ 89GHz 輝度温度で改善され、水蒸気に感度を持つ 23GHz では誤差が拡大した。現在の同化手法では、雲層では相対湿度が 100% になるように水蒸気量を定義するが、気温によっては実際の水蒸気量との誤差が拡大する可能性があるためと考えられる。雲が低い領域では 23GHz で改善がみられ、89GHz で誤差が拡大した。低い雲頂高度や雲が無い場合には、現在の手法では雲水量をゼロとするが、実際には完全にはゼロではなく、それが誤差の原因と考えられる。これらについては、水蒸気量及び雲水量の鉛直配分手法の改善が必要である。

同化結果を用いた降水予測では、同化後の予測再開直後にスピンドウンがみられ、同化なしの場合よりも降水予測的中率の低下が多く見られた。この点については、水蒸気量及び雲水量に加えて、他の物理量の修正も必要と考えられる。一方、MTSAT の効果については、MTSAT を用いない場合に比べて的中率に顕著な改善がみられた。(図 1)

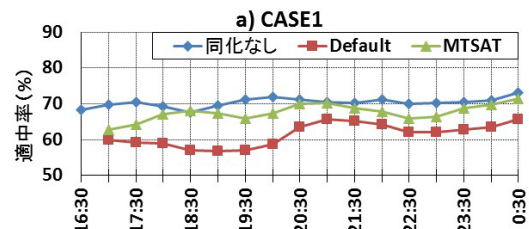


図 1 予測降水量の的中率の時間変化

一方、予測降水量の空間分布について比較したところ、同化なしのケースでは海洋上の雨域はわずかであるのに対し、MTSAT データを用いた結果では実際の降水分布のように海洋上に広く降水域が分布し、降水分布が改



善される可能性が示唆された (図2).

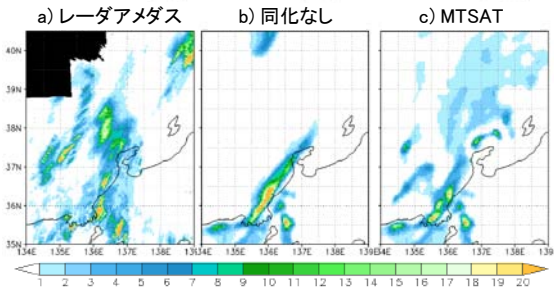


図2 観測雨量と予測降水量の比較

### (2) 雲底高度の影響に関する感度実験

雲微物理衛星データ同化における雲底高度の影響を検討するため、雲底高度を様々に変化させた雲微物理衛星データ同化及びその結果を用いた降水予測の感度実験と、シーロメータによって観測された実際の雲底高度情報を与えたデータ同化及び降水予測実験を行った。従来の雲微物理衛星データ同化手法では1500mとしていた雲底高度に加えて、1000m, 2000m, 2500mと変化させて、複数の降水イベントに対して同化を行い、衛星観測及び同化後の輝度温度を比較した結果、垂直偏波よりも水平偏波において顕著な影響がみられた。また、雲が比較的薄い領域において、雲底高度を変化させる影響が大きかった。

同化結果を用いた降水予測実験においても、予測降水量に顕著な違いがみられた。雲水や水蒸気分布の変化に伴う降水システムの変化等により影響は様々ではないが、基本的には雲層の増減と降水量の増減が対応するとの結果を得た (図3)。これは、各降水イベントに即した適切な雲底高度を与えることによる降水予測精度向上の可能性を示唆するものである。一方で、雲層が厚くなるよう雲底高度を変化させた場合でも、降水イベントにより降水量の増減の傾向が異なるなど、複雑な挙動を示した。また、雲底高度が0°C高度をまたぐ場合、雲水量と雲氷量の割合が顕著に変化するが、その影響と考えられる挙動もみられた。今後、気温に応じた雲水量と雲氷量の割合の変化を考慮した雲微物理量設定手法の高度化を図る必要がある。

シーロメータによる観測結果を与えた同化実験では、対象とした降水イベント時に観測された雲底高度が従来の雲底高度の値 (1500m) と近く、同化結果及び予測降水量に顕著な変化はみられなかった。また、領域気象モデルの鉛直分解能より小さな雲底高度の差では、同化結果に何ら影響を与えないとの知見を得た。これは、雲底高度の水平分布情報が得られた場合に、それを十分活用するには、観測結果が適切に反映されるようモデル内の鉛直分解能を細かくする必要があることを示唆するものである。

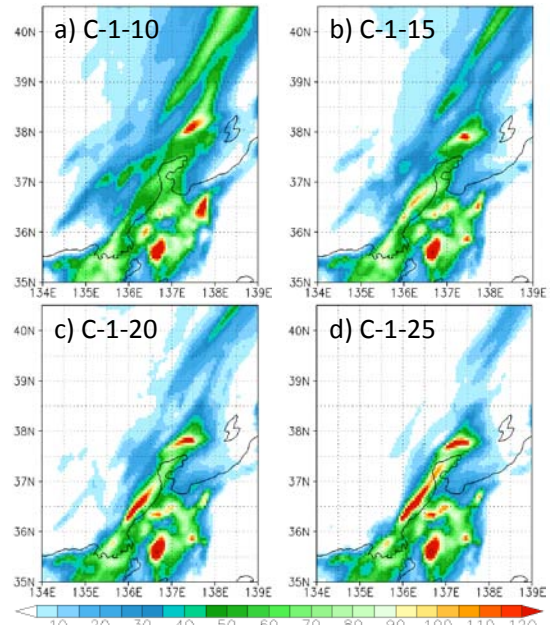


図3 雲底高度を様々に変えた同化結果を用いた予測降水量

### (3) EnKFの実装に向けた検討

アンサンブルカルマンフィルタ (EnKF) を用いた雲微物理衛星データ同化手法の実装にあたっては、様々な初期値による複数のシミュレーション結果 (アンサンブルシミュレーション) が必要である。アンサンブルシミュレーションの実施に向け、気象衛星ひまわり (MTSAT) による観測データを用いた雲水量及び水蒸気量分布の変更が気象予測結果に与える感度実験を行った。MTSATによる観測輝度温度から推定した雲頂高度と、定数として与えた雲底高度の間で雲水量を鉛直配分させた実験では、MTSAT データを用いない場合に比べ顕著な変化がみられた。鉛直配分の際の雲水量の最大値を変化させた感度実験では、降水量変化が小さいことが示された。一方、雲底高度を変化させた感度実験では、雲底高度の増加に伴う降水量の顕著な減少が見られた。本手法では雲層の相対湿度を100%と設定しているため、雲底高度増加による水蒸気量の減少が降水量に大きな影響を与えたものと考えられる。また、雲水量を2次式、4次式、6次式の放物線状に鉛直配分させたが、影響はわずかであった。MTSAT観測データを用いて与えた雲域は、元のシミュレーションにおいて雲が存在する領域では維持されるが、それ以外では長時間維持されず、雲水量・水蒸気量の変化に加えて、鉛直流等の大気場の最適化が不可欠であることが示唆された。

今後、これらの感度実験から得られた知見をもとに、アンサンブルシミュレーション実施の際の初期値設定手法を検討し、EnKFによるデータ同化の実装に取り組む予定である。

(4) XバンドMPレーダ観測データの同化に向けた検討

領域気象モデルWRFにおけるXバンドMPレーダによる観測データの同化に先立ち、同化システムの動作確認と、実装に必要なデータの前処理に関する検討を行った。

空間解像度の高いXバンドMPレーダ観測データをデータ同化へ活用するには、モデルの空間解像度との対応及び観測誤差特性からデータを間引く必要がある。観測データの空間解像度の変更手法を検討し、最近隣法による空間解像度の変更においては、空間解像度を2000mとした場合でも、詳細な観測による局地情報等の反射因子の空間分布特性が保持され、観測情報が損なわれず、同化効果が期待されることが示された。

本研究では当初計画で予定していたXバンドMPレーダの同化が実現されなかったが、上記の検討をもとに同化を行うとともに、XバンドMPレーダの特性である偏波情報を活用した同化手法の開発を進める予定である。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① 谷口健司, 小池俊雄, 雲微物理衛星データ同化手法における雲底高度の影響, 査読あり, 水工学論文集, 第57巻, 2013, pp. I\_313-I\_318, 査読有
- ② 谷口健司, C. R. Mirza, 小池俊雄, MTSAT観測より推定した雲頂高度情報を用いた雲微物理データ同化手法の高度化, 査読あり, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol. 67, No. 4, 2012, I\_439-I\_444, 査読有

[学会発表] (計3件)

- ① 谷口健司, 雲微物理衛星データ同化手法における雲底高度の影響, 第57回水工学講演会, 2013年3月5日, 愛知工業大学 (愛知県)
- ② 谷口健司, MTSAT観測より推定した雲頂高度情報を用いた雲微物理データ同化手法の高度化, 第55回水工学講演会, 2011年3月8日, 東京大学駒場リサーチキャンパス (東京都)
- ③ Taniguchi, K, Integrated Use of Satellite Remote Sensing Observation Products in Data Assimilation for Precipitation Forecast, 2010 International Symposium on Environmental Monitoring in East Asia, 28th September, 2010, Kanazawa University (Ishikawa)

[その他]

- ① 市民向け講演, 人工衛星を活用した雨の予測, 日本海イノベーション会議「北陸の雨と雪を測る最新のテクノロジー」, 2011年1月29日, 北國新聞交流ホール (石川県)
- ② ポスター展示, 雨の予測に活躍する人工衛星観測～衛星リモートセンシングとデータ同化～, 国立大学フェスタ2010, 2010年11月6日, 金沢大学 (石川県)
- ③ 招待講演, 気象予測と衛星マイクロ波リモートセンシング, 気象予報士会東海支部「局地気象に関する勉強会」, 2010年4月17日, ウィンク愛知 (愛知県)
- ④ ホームページ (研究成果など):  
<http://www.ce.t.kanazawa-u.ac.jp/suiko/taniguti/achievement.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

谷口 健司 (TANIGUCHI KENJI)  
金沢大学・環境デザイン学系・准教授  
研究者番号: 20422321

### (2) 研究分担者

該当なし

### (3) 連携研究者

該当なし