

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 7 日現在

機関番号：17301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25610142

研究課題名(和文) 衛星観測と数値モデルで抽出するエアロゾル第2種間接効果の雲微物理場と環境場の関係

研究課題名(英文) Relationships between cloud microphysics and environments of the aerosol 2nd indirect effect extracted from satellite observations and numerical models

研究代表者

河本 和明 (KAWAMOTO, Kazuaki)

長崎大学・水産・環境科学総合研究科(環境)・教授

研究者番号：10353450

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：受動型および能動型の衛星観測データから、数値気象モデルの出力を併用して雲の特性を解析し、以下の結果を得た。東シナ海の水温変化による雲の内部構造への影響を調べるため、黒潮上と周辺域の雲の幾何学的厚さを比較したところ、降水性の場合には黒潮上で雲の幾何学的厚さが顕著に増加していた。さらに黒潮上では下層から中層にかけて雲内部の降水強度が増加することを示した。一方、黒潮上の雲では正味の放射加熱率の強い下層から中層は2～4K/dayとなっており、潜熱・顕熱加熱に比べるとやや低いものの、気温を変化させる非常に重要な要因として考える必要があることを示唆した。

研究成果の概要(英文)：Following results on cloud characteristics were obtained through data from active and passive satellite sensors together with numerical meteorological model output. To investigate the effect of water temperature change in the East China Sea on the cloud internal structure, clouds over the Kuroshio current (hereafter, On-Kuroshio) and around the Kuroshio current (hereafter, Off-Kuroshio) were compared. Then precipitating clouds were geometrically thicker for On-Kuroshio remarkably. Moreover, rain intensity inside clouds increased from the bottom to middle parts for On-Kuroshio. On the other hand, On-Kuroshio clouds had a heating rate of 2-4K/day in the bottom to middle parts. This value is somewhat low compared to sensible/latent heats, but it was suggested that the heating rate was an important factor to change the temperature.

研究分野：大気物理学

キーワード：雲物理 衛星リモートセンシング エアロゾル間接効果

1. 研究開始当初の背景

エアロゾル(大気浮遊微粒子)による間接効果は、気候研究における最も不確定性の高い現象の一つと認識されて久しい。エアロゾルが増加することで雲凝結核も増加し、水蒸気量を一定とすると雲粒径が小さくなり、光学的に厚くなって反射率が增加する(第1種間接効果)。さらに、エアロゾルの増加に伴う雲粒子サイズの減少は、降水粒子までの成長を遅らせるため降水効率を下げ、雲として存在する時間が長くなる(第2種間接効果; Albrecht (1989), Aerosol Indirect Effect of the Second kind, 以降は AIES とする)。近年、Bennartz et al. (2011)は受動型衛星センサーを用いた過去 30 年程度の長期解析から、東アジア域における水雲の雲粒数密度の増加と降水頻度の低下を示した。逆に Levin and Cotton (2007)は、エアロゾルの増加とともにエントレインメントの影響も考慮すると必ずしも降水は減少せず、むしろ増加する場合もあると述べている。一方、氷雲の過程はさらに複雑なメカニズムが提案されている(Lohmann and Feichter, 2005)。

2. 研究の目的

大気環境の顕著な変化が報告される東アジア域を対象に、数値モデルと主に雲層の内部を観測できる能動型衛星センサーを利用して、現代気候科学が抱える難問の一つであるエアロゾル第2種間接効果の解明に資することを目的とする。そのために数値モデル出力と衛星データの比較手法を確立するとともに、水雲より不明な点が多い氷雲の解析にもチャレンジすることを通して、今後のモデリング・観測・室内実験を遂行する上での課題や要請を浮き彫りにする。

3. 研究の方法

本研究では 2006 年の 4 月に打ち上げられた CloudSat 衛星に搭載された 94GHz の

Cloud Profiling Radar (CPR)のデータを用いる。CPR は、TRMM で観測できる降雨よりも 100 分の 1 程度小さな雲粒子の三次元的構造を捉えることができる。これまでの研究で使用されてきた TRMM の Ku-band PR は、雲層下部の発達した降水粒子の検知に優れているが、小さな霧雨(ドリズル)や雲粒子には感度がないため、雲内部での暖流が与える詳細な変化は解明されていない。申請者は TRMM では見逃されてしまう小さな霧粒や雲粒子にも感度がある CloudSat の W-band CPR のデータを使用することで、雲層上部や非降水雲の粒子の内部構造についても、より詳細な解析を行った。

4. 研究成果

東シナ海の水温変化による雲の内部構造の影響を調べるため、申請者は CloudSat 人工衛星プロダクトおよび気象庁 Meso scale model(MSM)を用いて、黒潮上の上昇流が最大となる 2007 年~2010 年までの 5 月 15 日~6 月 15 日を対象とした解析を行った。MSM データを使用した場合でも Sasaki et al(2012)の結果と同様に黒潮上の上昇流の増加を確認できた(図 1 の色の濃い部分が上昇流の強い場所を示している)。

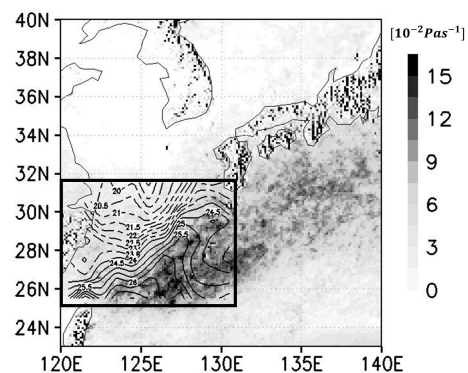


図 1 :対象期間における 400hPa の上昇流 - $\omega:10^{-2} \text{Pa s}^{-1}$ 、表面温度

黒潮上と周辺域の雲の幾何学的厚さ(雲頂高度-雲底高度)を比較した場合(図 2)、非降水性

の雲の場合はおおむね黒潮上の雲の方が幾何学的に厚くなる結果が得られた。また降水性の雲の場合は黒潮上ではっきりと雲の幾何学的厚さが増加しており、黒潮の影響は特に降水雲の幾何学的厚さに影響を与えることを明らかにした。

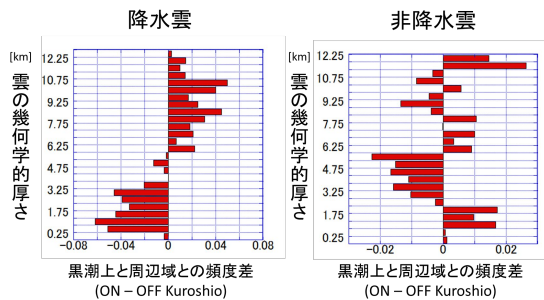


図2: 黒潮上と周辺域の雲の幾何学的厚さの頻度差(黒潮上-周辺域)。左: 降水雲、右: 非降水雲

黒潮上では周辺域に比べて下層から中層(1-6km)にかけてレーダ反射率の高い頻度が増加しており(図3)、黒潮上では下層から中層にかけて雲内部の降水強度が増加することを明らかにした。

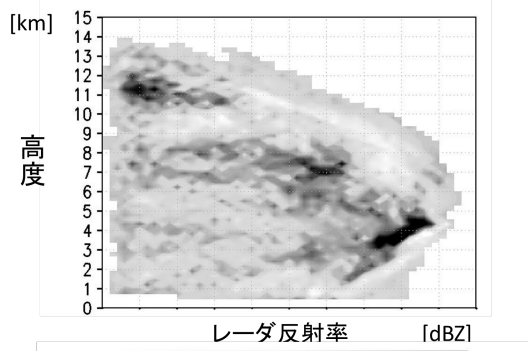


図3: 黒潮上と周辺域の高度とレーダ反射率の頻度の差(黒潮域-周辺域)

黒潮上での降水強度の増加は、強い上昇流によって雲の内部での雲粒子の併合過程が促進されたことに由来すると考えられる。申請

者は、CloudSat プロダクトを使用し、雲粒子に着目して解析を行うことで、黒潮の影響が表面近くの大気下層だけではなく、TRMM では確認することができなかった、雲内部の小さな雲粒子領域における雲の物理過程に対しても影響を及ぼすことを観測的に実証した。

一般に雲内部では長波放射は大気を冷やす方向に、短波放射は加熱する方向に働き、黒潮の内外の雲でも同様である。しかし正味の放射加熱率(図4(c))では大きく異なった結果を表している。強い放射加熱は黒潮領域では下層から中層(1~7km)に、周辺領域では中層から上層(7~11km)で発生している。強い放射加熱を示す高度は、雲の発生頻度(図4(d))と対応しており、雲の発生頻度が高いほど、加熱率が強くなっている。この放射加熱率・雲発生頻度は、気温の分布差(ON-OFF Kuroshio。ここで黒潮上をON黒潮、黒潮周辺をOFF黒潮と呼ぶ)を描いた図4(e)とも対応しており、ON黒潮の方が放射加熱の強い下層から中層では、ON黒潮とOFF黒潮の気温の分布差は広がっており、一方で、OFF黒潮の方が放射加熱の強い中層から上層は気温の分布差は縮まっている。ON黒潮に雲が存在する場合、正味の放射加熱率の強い下層から中層は2~4 K/dayとなっており、潜熱・顕熱加熱に比べるとやや低いものの、気温を変化させる非常に重要な要因として考える必要がある。

< 参考文献 >

Albrecht, 1989, Science
 Bennartz et al. 2011, GRL
 Levin and Cotton, 2007, WMO
 Lohmann and Feichter 2005, ACP
 Sasaki et al. 2012, J. Climate

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Kawamoto, K. and K. Suzuki : Distributional correspondence of 94-GHz radar reflectivity with the variation in water cloud properties over the northwestern Pacific and China. J. Quant. Spectros. Radiat. Transfer, 153, 38-48, 2015. (査読有)
doi:10.1016/j.jqsrt.2014.10.012

〔学会発表〕(計 3 件)

山内晃, 河本和明, 万田敦昌
CloudSat 衛星から導出された放射加熱率に着目した黒潮上の雲特性解析
日本気象学会 2015 年度秋季大会
京都テルサ(京都府京都市), 2015 年 10 月 30 日

A. Yamauchi, K. Kawamoto, A. Manda

Impact of warm ocean currents on the three-dimensional cloud structure from space
The 26th General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics
Prague (Czech Republic), Jun. 27. 2015

山内晃, 河本和明, 早坂忠裕, 岡本創, 萩原雄一朗

CloudSat-CALIPSO から導出された氷雲の広域特性解析
日本気象学会 2014 年度秋季大会
福岡国際会議場(福岡県福岡市), 2014 年 10 月 21 日

(1)研究代表者

河本 和明 (KAWAMOTO, Kazuaki)
長崎大学・水産・環境科学総合研究科(環境)・教授
研究者番号: 10353450

(2)研究分担者

無し

(3)連携研究者

坪木 和久 (TSUBOKI, Kazuhisa)
名古屋大学・宇宙地球環境研究所・教授
研究者番号: 90222140