

平成 30 年 6 月 11 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K17762

研究課題名(和文) 衛星搭載ライダーを用いた下層雲微物理量の全球特性解析

研究課題名(英文) Global low-level cloud microphysics retrieval by space-borne lidars

研究代表者

佐藤 可織 (SATO, KAORI)

九州大学・応用力学研究所・助教

研究者番号：00584236

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：衛星搭載ライダーを用いた下層雲微物理特性の高精度抽出には、衛星搭載ライダー観測量を高速に精度良く再現することのできる手法の開発が必要である。本研究課題では、高次の散乱位相関数及び経路積分の手法を用いることで大幅な計算時間の短縮を可能とし、ライダー観測量の単散乱過程から多重散乱過程、そして拡散過程までの遷移を良く再現する物理過程モデル(PM法)の開発を行い、膨大な計算時間を要するモンテカルロ法を用いたPM法の精度評価を実施した。

研究成果の概要(英文)：A physical model (PM) was developed to provide accurate and fast estimates of the time-space dependent multiple-scattered backscattered signal from space-borne lidars based on an analytical expression for the high-order phase function and on the path integral approach. Intensive error analyses showed that the estimated lidar observables by the PM over time and the actual range showed good agreement with Monte Carlo simulations.

研究分野：大気物理

キーワード：衛星搭載ライダー 多重散乱過程

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19(共通)

### 1. 研究開始当初の背景

CloudSat 衛星及び CALIPSO 衛星 (NASA) に搭載された雲レーダとライダーの全球観測が開始され、それまで限定的であったモデルにおける雲鉛直構造の検証が大きく前進した。しかし雲量や雲相についてモデルと観測の検証が広く行われてきたが、より定量的な雲微物理特性の検証には、更なる衛星能動型観測データの解析技術の開発が必要であった。特にこれらの衛星解析から水雲や混合相雲の微物理特性の定量化が全球 3 次元で進展していない大きな要因として、衛星ライダー信号に含まれる多重散乱光の解析を全球で行うのに十分実用的な手法が確立していないという事があった。

### 2. 研究の目的

本研究課題では、衛星ライダーの観測量に内在する物理機構を解明し、衛星信号に含まれる多重散乱光成分を高速に精度良く解析する事の出来る手法の開発を行う。様々な観測条件でバックワードモンテカルロ法 (Ishimoto and Masuda, 2002) によるライダー信号のシミュレーションを実施し、開発した手法の検証を行う。これらにより、衛星搭載ライダーを用いた下層雲微物理特性の高精度抽出手法の開発を目指す。

### 3. 研究の方法

ライダー後方散乱過程を単散乱成分  $ss$ 、時間の遅れのない多重散乱成分  $ms-on$ 、それから時間の遅れのある多重散乱成分  $ms-off$  (パルス・ストレッチング) に分解して取り扱い、モンテカルロ法を使用せずにそれぞれのメカニズムを再現する高速な物理過程モデルを開発する。

### 4. 研究成果

(1) 高速にライダー後方散乱過程の 3 つのメカニズムを取り扱うため、散乱回数に対応した高次の散乱位相関数及び経路の減衰過

程の見積もりに経路積分の手法を用いた物理過程モデルの開発を行った (Physical Model: PM 法)。

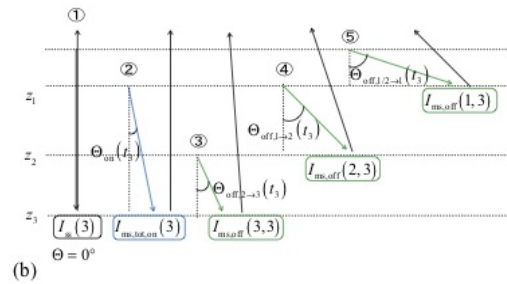


図: ライダ後方散乱の多重散乱過程のモデル化 (図: Sato et al., Opt. Express, 2018 より引用)

(2) (1) により、膨大な計算時間を要するモンテカルロ法のように全ての散乱過程を網羅せずに衛星搭載ライダー信号を再現する事が可能となった。

(3) 多様な衛星の仕様や均質・不均質な雲微物理量の鉛直構造に関してモンテカルロ法を用いた PM 法の検証実験を実施した。その結果、開発した手法により大幅な高速化が達成された事が分かった。また、モンテカルロ法と比較して光学的に厚い領域まで含め平均的に 15% 程度以内の相対誤差で後方散乱係数を推定可能な事、さらにこれは偏光を扱えない従来の統計的手法の後方散乱係数推定誤差を約 4 倍、分散を 1 桁以上改善する事等が分かった。

(5) これらの研究成果を日欧共同 EarthCARE 衛星の高次アルゴリズム開発や衛星搭載アクティブセンサを用いた雲微物理特性解析へ応用し国際誌に発表した。

### < 引用文献 >

- ① H. Ishimoto and K. Masuda, A Monte Carlo approach for the calculation of polarized light: application to an incident narrow beam, J. Quant.

Spectrosc. Radiat. Transf. 72(4),  
467-483, 2002.

- ② Sato K., Okamoto H., H. Ishimoto,  
2018, Physical model for multiple  
scattered space-borne lidar returns  
from clouds, Opt. Express 26, 6, doi.  
org/10.1364/OE.26.00A301, 2018

#### 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 14 件)

- ① Sato K., Okamoto H., H. Ishimoto,  
2018, Physical model for multiple  
scattered space-borne lidar returns  
from clouds, Opt. Express 26, 6,  
doi.org/10.1364/OE.26.00A301, 査  
読有.
- ② Okamoto H., Sato K. 2018, Cloud  
Remote Sensing by Active Sensors:  
New Perspectives from CloudSat,  
CALIPSO and EarthCARE, Springer  
Remote Sensing/Photometry, 10,  
doi.org/10.1007/978-3-319-72583-3\_  
8, 査読有.
- ③ Kikuchi M., Okamoto H., Sato K.,  
Suzuki K., Cesana G., Hagihara Y.,  
Takahashi N., Hayasaka T., Oki R,  
2017, Development of Algorithm for  
Discriminating Hydrometeor Particle  
Types with a Synergistic Use of  
CloudSat and CALIPSO, J. Geophys.  
Res., 122. doi.org/10.1002/2017JD  
027113, 査読有.
- ④ Yamauchi, K. Kawamoto, H. Okamoto, K.  
Sato, 2017, Differences in cloud  
characteristic between Barents Sea  
and East Siberian Sea using CALIPSO  
data, Journal of The Remote Sensing  
Society of Japan, 37 (5), 434-441  
査読有.
- ⑤ Sato K., Okamoto H., 2017,  
Information Content of Cloud  
Physical Properties Derived From  
Satellite Active Remote Sensors, AIP  
Conference Proc., doi:10.1063/1.497  
5515, 査読有
- ⑥ Okamoto, H., Sato K., Nishizawa, T.,  
Sugimoto, N., Makino, T., Jin, Y.,  
Shimizu, A., Takano, T., Fujikawa,  
M., 2016, Development of a multiple-  
field-of-view multiple- scattering  
polarization lidar: Comparison with  
cloud radar, Optics Express. 24, 26,  
p. 30053-30067, doi.org/10.1364/OE.  
24.030053, 査読有.
- ⑦ A. V. Konoshonkin, A. G. Borovoi, N.  
V. Kustova, Okamoto H., K. Sato, 2016,  
Optical and microphysical prop  
erties of cirrus clouds retrieved  
from combined lidar and radar  
measurements, Proc. SPIE 10035, 22nd  
International Symposium on  
Atmospheric and Ocean Optics, doi:  
10.1117/12.2249115, 査読有.
- ⑧ Sato K., H. Okamoto, and H. Ishimoto,  
2016, Modeling Lidar Multiple  
Scattering, EPJ Web of Conferences  
119, 21005, 査読有.
- ⑨ Illingworth, A., H. Barker, H.  
Chepfer, J. Delanoe, C. Domenech, D.  
Donovan, R. Hogan, A. Huenerbein, P.  
Kollias, T. Nakajima, T. Nakajima, T.  
Nishizawa, Y. Ohno, H. Okamoto, K.  
Sato, M. Satoh, U. Wandinger, T. Wehr,  
G. Zadelhoff, 2015, THE EARTH  
CARE SATELLITE: THE NEXT STEP FORWARD IN  
GLOBAL MEASUREMENTS OF CLOUDS,  
AEROSOLS, PRECIPITATION AND

RADIATION, Bulletin of the American Meteorological Society, doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00227.1, 査読有.

[学会発表] (計 11 件)

- ① Sato K., Global water cloud micro-physics from active sensor synergy toward the EarthCARE mission, JpGU-AGU Joint Meeting, 2017, 招待講演
- ② Sato K., Cloud observations from the Arcs and EarthCARE project, Clouds, their Properties, and their Climate Feedbacks meeting, 2017, 招待講演
- ③ Sato K., 衛星搭載ライダーを用いた新しい水雲プロダクト, 日本気象学会秋季大会, 2016
- ④ Sato K., Information content in cloud physical properties derived from satellite active remote sensors, International Radiation Symposium, 2016
- ⑤ Sato K., Space-borne active sensor cloud retrievals and evaluation by ground-based MFMSPL measurements, AGU fall meeting, 2015
- ⑥ Sato K., Modeling lidar multiple scattering, The 27th International Laser Radar Conference, 2015
- ⑦ Sato K., Satellite remote sensing of vertically resolved cloud micro-physics and water vapor, 26th IUGG General Assembly, 2015

[図書] (計 1 件)

- ① 岡本 創, 佐藤 可織, 気象研究ノート 第 231 号 「人口降雨・降雪研究の最前線」 13.1 地上リモセンシナジー観

測による雲物理量の推定, 第 231 号 239-253, 2015

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
出願年月日 :  
国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
取得年月日 :  
国内外の別 :

[その他]  
ホームページ等

6. 研究組織  
(1) 研究代表者  
佐藤 可織 (Sato Kaori)  
九州大学・応用力学研究所・助教

研究者番号 : 00584236

(2) 研究分担者  
該当無し ( )

研究者番号 :

(3) 連携研究者  
該当無し ( )

研究者番号 :

(4) 研究協力者  
該当無し ( )