



# 非球形粒子の光学モデリングによる衛星リモートセンシング技術の改良

石元裕史、増田一彦、林 昌宏、谷川朋範（気象研究所）



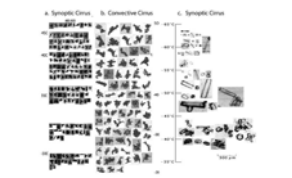
## はじめに

雲・エアロゾル・降雪・積雪の衛星リモートセンシングでは、対象粒子の光（電磁波）散乱特性とその波長依存性を利用して観測データと放射理論計算をもとに各種物理量を推定している。粒子の散乱特性は粒子の組成・サイズ・形状に依存する。特に氷晶・ダスト・スス・火山灰・降雪・積雪など非球形性の強い粒子では、現実的な粒子形状による散乱特性モデルを用いることで衛星解析アルゴリズムの精度が大きく改善する。また広い波長域で計算された散乱特性データは、異なる特性の衛星センサーを複合的に利用した新しい衛星データ解析手法の開発に利用できる。気象研究所では、これら非球形粒子の形状モデリングと高精度な電磁波散乱特性計算手法の開発により、気象衛星ひまわりをはじめとする各種衛星センサーに対応した粒子散乱特性データベースを構築している。またそれを用いた新しい衛星データ解析手法の開発研究を行っている。

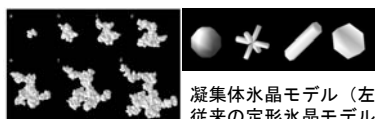
## 粒子形状モデル

大気中の微小粒子は、3次元形状を直接調べるのが困難

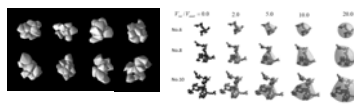
フラクタル形状やボロノイ構造を利用して、画像データによる平均的形状情報に整合する粒子モデルを開発



氷雲の種類と氷晶形状との関係[1]



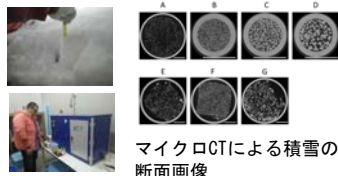
凝集体氷晶モデル（左）[2]と従来の定形氷晶モデル（上）



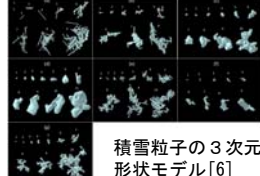
ダスト粒子（左）と内部混合粒子（右）の電子顕微鏡画像[3][4]

ダスト形状モデル（左）[3]と、フラクタル形状に数値シミュレーションで水溶性物質を付着した内部混合スス粒子モデル（右）[5]

積雪のX線マイクロCTデータから抽出した雪粒子モデル



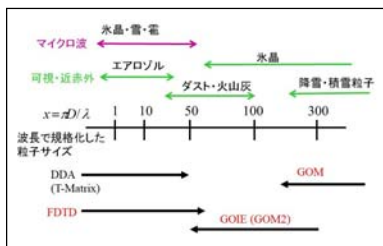
マイクロCTによる積雪の断面画像



積雪粒子の3次元形状モデル[6]

## 散乱特性の計算とデータベース構築

衛星データ解析に必要な広範囲の波長と粒子サイズでの散乱特性データを得るためには、適用可能な複数の計算手法での計算結果を統合する必要がある

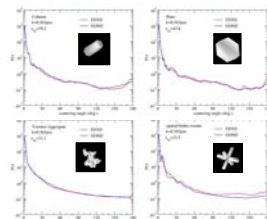


非球形・複雑形状に適用できる代表的な電磁波散乱計算手法

- ・ DDA, FDTD: 厳密解法
- ・ GOIE: 電磁場表面積分を取り入れた改良型GOM
- ・ GOM: レイトレーシングに回折光を加えた従来の幾何光学近似法

粒子形状・計算コード  
散乱特性データベース  
ひまわり8/9号, GCOM-C(しきさい)  
EarthCAREなど

モデル粒子の散乱特性

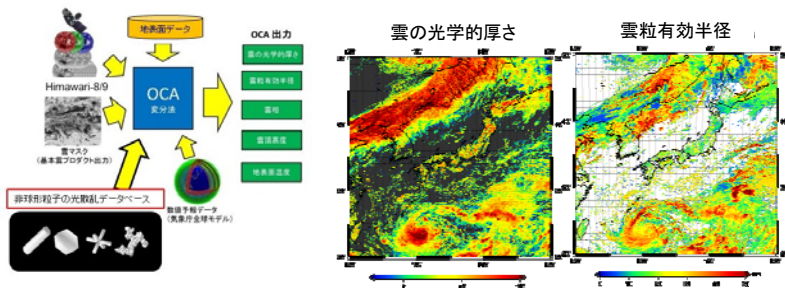


提供

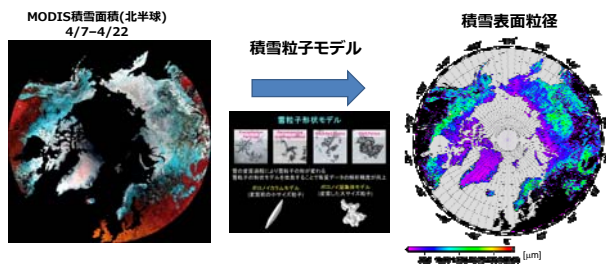
衛星データ解析用放射伝達モデル  
(RSTAR, PSTAR, OCA, ARTMASS ...etc.)

## 解析例

①最適雲推定 (OCA) を用いたひまわり8号プロダクト[7]



②極軌道衛星データを用いた北極域の積雪面解析



## まとめ

粒子形状モデルとその散乱特性は、大気・地上系の放射伝達計算結果に影響し、気象分野における衛星・地上リモートセンシングや衛星データ同化など、様々な気象研究と関係している。また散乱特性計算手法の改良・開発と散乱特性データベースは、新しい衛星センサーを利用した解析に不可欠な基盤的技術であり、最新の知見を考慮したデータ更新が今後も必要になると考えられる。

## 参考文献

- [1] Baum et al. (2011), J. Appl. Meteor. Climatol., 50, 1037–1056.
- [2] Ishimoto et al. (2012), J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer, 113, 632–643
- [3] Ishimoto et al. (2010), J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer, 111, 2434–2443.
- [4] Adachi et al. (2018), Aerosol Sci. Technol, doi: 10.1080/02786826.2017.1373181
- [5] Ishimoto et al. (2018), Atmos. Meas. Tech. Discuss., https://doi.org/10.5194/amt-2018-249.
- [6] Ishimoto et al. (2018), J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer, 209, 113–128.
- [7] Hayashi (2018), Meteorological Satellite Center Technical Note, 63 Mar.

## 謝辞

本研究はJAXA GCOM-C 6th RA (PI#211), 科学研究費補助金15H01733, 16H01772, 環境省地球環境保全試験研究費(国1753)の支援を受けています。