

偏光リモートセンシング研究会

会長 向井 苑生 (近畿大学)
幹事 佐野 到 (近畿大学)

〒577-8502 東大阪市小若江 3-4-1

Tel 06-6721-2332, Fax06-6730-1320, mukai@info.kindai.ac.jp

1. はじめに—研究の背景

大気エアロゾルは大気中に浮遊する万分の一ミリサイズの煙霧状微粒子の総称である。エアロゾルの寿命は短く、場所によって性質を変える。この変幻自在の小さな曲者が、あろうことか人類にとって最大の重要課題である地球温暖化問題の鍵を握っている。エアロゾルデータの不足から、地球大気放射収支シミュレーションにおいてエアロゾル自身もたらす放射強制力（直接効果）とエアロゾルが核となって形成される雲の放射強制力（間接効果）の定量的見積もりが確定していない。エアロゾル探索が地球温暖化予測の重要課題とも言える。変動の激しいエアロゾルを捉えるには、継続的に広域データを取得する衛星からのリモートセンシングが有効であるのはいままでのない。更に、エアロゾル探索に偏光情報がおおいに役立つ事もわかった。本研究会の活動基盤である偏光エアロゾル・リモートセンシングの幕開けである。

電磁波の進行方向に対し垂直な2成分の偏りを偏光と言う。地球大気に入射する太陽光は、無偏光とみなせる。従って、衛星観測データが偏光していたとしたら、その偏光成分は地球によって生じたものと言える。即ち、衛星センサで得られる偏光情報は大気粒子や雲特性を強く反映する事になる。これが、偏光リモートセンシングの原理である。宇宙から初めて地球大気の偏光観測を実現したのは、1996年、日本の宇宙開発事業団（NASDA/現JAXA）から打ち上げられたADEOS（みどり）衛星に搭載されたPOLDERセンサ（フランス航空宇宙局（CNES）開発）である。ADEOS/POLDERは偏光情報がエアロゾル・リモートセンシングに大いに有効である事を示した。POLDERセンサは2002年12月打ち上げのADEOS-2号機にも搭載された。現在PARASOL衛星（CNES、2004年12月）上で稼動中である。

2. 偏光エアロゾル・リトリール

比較的研究の進んでいる海洋域上空大気エアロゾルと異なり、陸域エアロゾル特性を得るには、従来の放射輝度データだけでは難しい。というのは、人が住み草木が繁る陸面は、海面とは比較にならない複雑な構造を持ち、かつ季節変化する。その上反射率も高い。それ故、衛星データから大気エアロゾル特性を導出（リトリール）するに際し、陸面の影響を無視できない。これが「陸域エアロゾル・リトリールは難しい」理由である。ここで偏光が登場する。偏光情報はストークスパラメタ(I, Q, U, V)で記述される。 I は通常の輝度センサが観測する放射強度、 Q が電磁波垂直2成分の差を表す直線偏光輝度、 U は偏光角情報、 V は円偏光成分を表す。

図1a, 1a'は陸面をランベルト反射面と仮定した地球大気—陸面モデルで多重散乱光計算を実施し得られた衛星観測シミュレーション値（即ち地球大気上面上向き放射のストークスパラメタ）のうち輝度値(I)を散乱角の関数として表したものである。陸面反射率($A=0.1\sim 0.6$)が値を大きく変化させ、エアロゾルモデル選定に強く影響することがわかる。一方、図1b, 1b'は同一条件での偏光輝度値(Q)を表す。偏光輝度シミュレーション値は、陸面反射率が変化しても、全て同じ値を示す。即ち、衛星で得られる偏光輝度値は陸面の影響を受けず、大気情報のみを有している事がわかる。これより、偏光輝度値が陸域エアロゾル特性導出に有用であると言える²⁾。

POLDERセンサは、2次元CCDを用いた画像撮影方式を採用し、連続的に2次元フレーム画像を取得することができる。画像は、順次重なり合って撮影されるので、一点を多方向から観測する事になる。こうして、得られるデータは豊富な角度情報を有する。偏光データの取得と多方向観測はPOLDERセンサの持つ

大きな特徴である。POLDERの偏光観測は、3つの偏光角(0, 60, 120°)で実施され、ストークスパラメタ4成分のうちの3成分(I , Q , U)が算出され、標準プロダクトのレベル1データとして提供される³⁾。POLDERの瞬時視野は衛星直下で約7×6 km, 画像の端では約12×9 kmで、空間分解能は良くない。観測バンドの中心波長は、0.443, 0.490, 0.565, 0.670, 0.763, 0.765, 0.865, 0.910 μm で、偏光観測は、0.443, 0.670, 0.865 μm に限られる。

エアロゾル・リトリーバルの流れを簡単に紹介する。衛星データと放射計算シミュレーション値の比較照合から大気エアロゾル特性を求める。エアロゾルを含む地球大気モデルを作成し、大気-地表システムにおける多重散乱・多重反射シミュレーションを実施する⁴⁾。算出された衛星観測シミュレーション値をデータベースに蓄え、衛星データと比較照合の上、最もよく一致するエアロゾルモデルを選定する⁵⁾。

図2はADEOS-1&-2/POLDER偏光輝度データから導出した4月、5月、6月のエアロゾルの光学的厚さ(波長0.55 μm)の月平均全球分布図である。寒色から暖色に向かうにつれ値が高くなる。左側の図が1997年を、右が2003年の結果を表す⁶⁾。図より、外洋上空ではエアロゾル量も少なく大気はクリアだが、陸域ではエアロゾルの光学的厚さは大きい事がわかる。また、沿岸域では陸域からの高濃度エアロゾルの吹き出しが見られる。アフリカ中西部、東アジアにエアロゾルの高濃度域が存在する。これらは1997年、2003年に共通して見られる特徴パターンである。しかし、どの月においても、2003年の方が高い値を示している。エアロゾル量が年々増えていると言って良いのだろうか? 少なくとも、1997年と2003年を比べると、2003年の方がエアロゾル量は多いと思われる。

3. 偏光データを用いた水雲/氷雲の識別

POLDER偏光輝度データから雲頂面の熱力学的状態、即ち水/氷雲を識別する手法を紹介する⁷⁾。図3aは、1996年11月10日ヨーロッパ上空雲の2点(w), (i)において、POLDERで観測された波長0.865 μm の偏光輝度値の散乱角変化を表す。点(w)で観測された偏光輝度値は散乱

角140°でピークを持つ。点(i)では急激な変化は見られず、散乱角と共にゆるやかに減少する。

偏光輝度値の角度変化をシミュレーションで検証する。エアロゾルと同様に、雲粒子モデルは、大きさ・化学組成・量・形状で表される。組成を表す複素屈折率は、水に対し $1.3284-i0.3518\times 10^{-6}$ 、氷は $1.3037-i0.23877\times 10^{-6}$ の値を取る。形状に関しては、水雲を構成する水滴は球形とし、ミー散乱から算出する。しかし、ミー散乱は球形を仮定しており、氷雲を構成する氷晶には適用できない。ここでは、氷晶の基本形である六角柱(板)を採用する⁸⁾。図3bは、偏光輝度値のシミュレーション値である。太陽天頂角は65°、衛星天頂角は45°とした。観測値とシミュレーション値を比較すると、散乱角140°で急激な値の増加を示す(w)点のデータ特性は水滴粒子に見られる特徴である。一方、(i)地点で観測された偏光輝度値は、散乱角100°まで水滴粒子より値が高く、散乱角とともに減少する氷晶粒子の特性を示している。これより、散乱角100°、140°での偏光反輝度値の比が水/氷雲識別指標として役立つ事がわかる⁹⁾。比が1以下の値を示す場合を氷雲、1より大きい場合を水雲として分類した結果を図4に示す。図4は図2と同様にADEOS-1&-2/POLDER偏光輝度データから導出した4月、5月、6月の1ヶ月間の水雲、氷雲の出現頻度を表している。

4. おわりに-入会案内

研究会の現メンバーは、近畿大学の向井苑生(代表)・佐野到(幹事)・保本正芳(地上偏光観測)、佐賀大の新井康平(佐賀大偏光グループの取りまとめ)、奈良女子大の久慈誠(雲・水蒸気リモートセンシング)、神戸大学の岡田靖彦(非球形偏光散乱)の6名で、世帯は小さい。本稿では紹介しなかったが、地上偏光観測も実施している。衛星データ解析、地上観測、モデルシミュレーション等... 偏光に関心のある方は是非ご参加下さい。新メンバーを常時募集中です。

POLDERデータの使用に際し、フランスCNES及びJAXAのご協力を得ました。

参考文献

1) J.W. Hovenier, C. Van de Mee, and

- H. Domke, *Transfer of Polarized Light I in Planetary Atmospheres: Basic Concepts And Practical Methods* (Kluwer Aca. Publ.), 2005.
- 2) J.L. Deuzé *et al.*, Remote sensing of aerosols over land surfaces from POLDER ADEOS-1 polarized measurements, *J. Geophys. Res.*, **106**, pp.4913-4926, 2001.
 - 3) 佐野 到, 向井苑生, POLDER データを用いたエアロゾル特性の導出 1. データの切り出しからフレーム画像表示まで, 日本リモートセンシング学会誌, **17**(5), pp.153-158, 1997.
 - 4) S.Mukai, I.Sano, K.Masuda and T.Takashima, Atmospheric correction for ocean color remote sensing : Optical properties of aerosols derived from CZCS imagery", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **30**, pp.818-824, 1992.
 - 5) 向井 苑生, 佐野 到, POLDER 多方向データから導出したエアロゾル特性の全球分布, 日本リモートセンシング学会誌, **20** (3) , pp.85-93, 2000.
 - 6) I.Sano, Optical properties and Angstrom exponent of aerosols over the land and ocean from space-borne polarimetric data, *Adv. Space Res.*, **34**, pp.833-837, 2004.
 - 7) 保本正芳, 向井苑生, ADEOS/OCTS と POLDER データの複合利用 2. 雲検出と雲頂位相の識別, 日本リモートセンシング学会誌, **21** (3) , pp. 252-259, 2001.
 - 8) A.Macke, Scattering of light by polyhedral ice crystals, *Appl. Opt.*, **32**(15), pp.2780-2788, 1993.
 - 9) P.Parol, J.-C. Buriez, C.Vanbauce, P.Couvert,G.Seze, P.Goloub and S.Cheinet. First results of the POLDER "Earth Radiation Budget and Clouds" operational algorithm, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, **37**(3), pp.1597-1612, 1999.

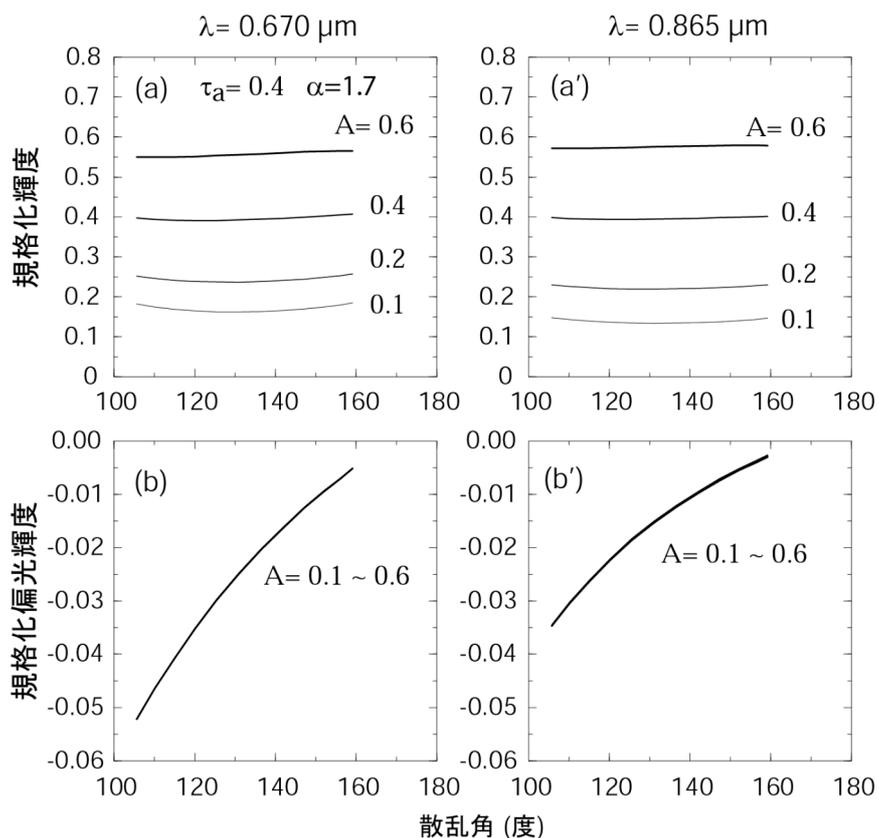


図1 偏光輝度シミュレーション値の散乱角変化。
 (a, a')規格化輝度, (b, b') 規格化偏光輝度. (Aは陸面反射率, 左: 0.670, 右: 0.865 μm)

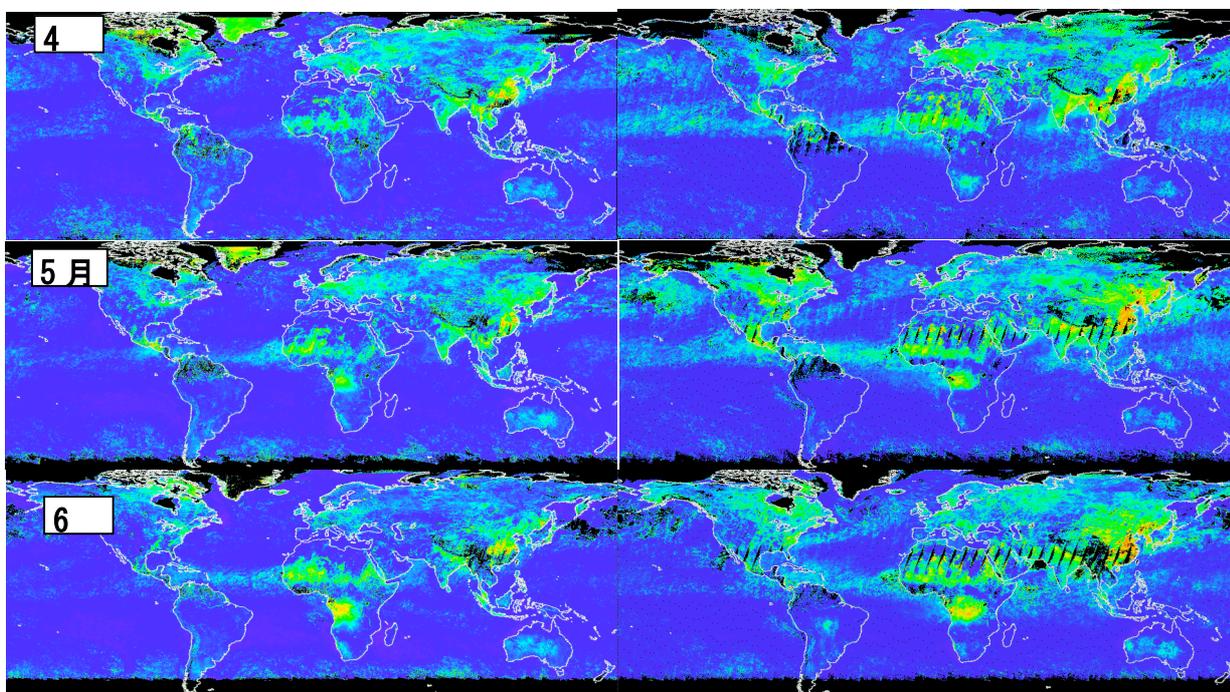


図2 ADEOS/POLDER から導出したエアロゾルの光学的厚さ分布.
 1997年 (左図), 2003年 (右図).

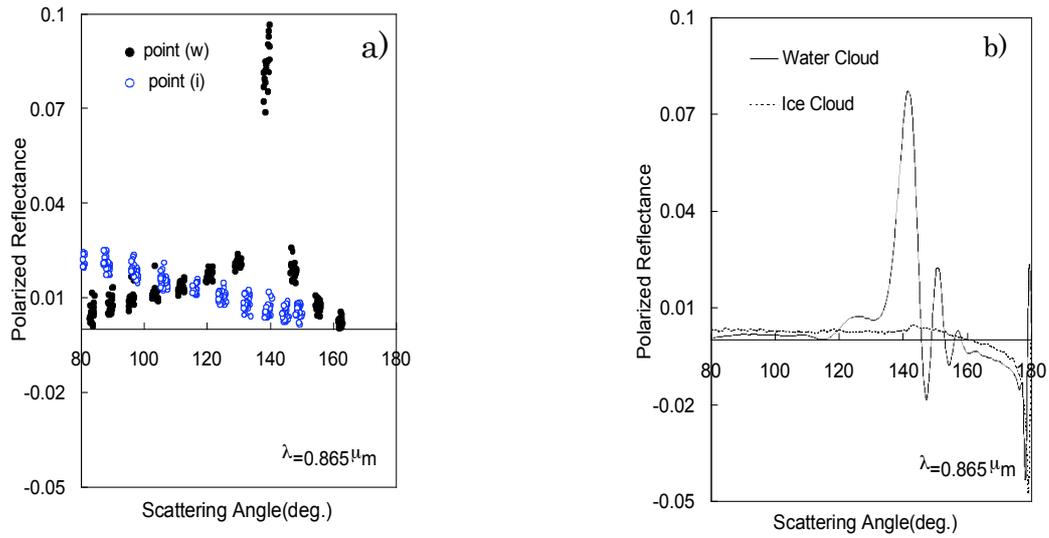


図3 偏光輝度値 (波長 0. 865 μm). a) POLDER 観測値 b) 計算値

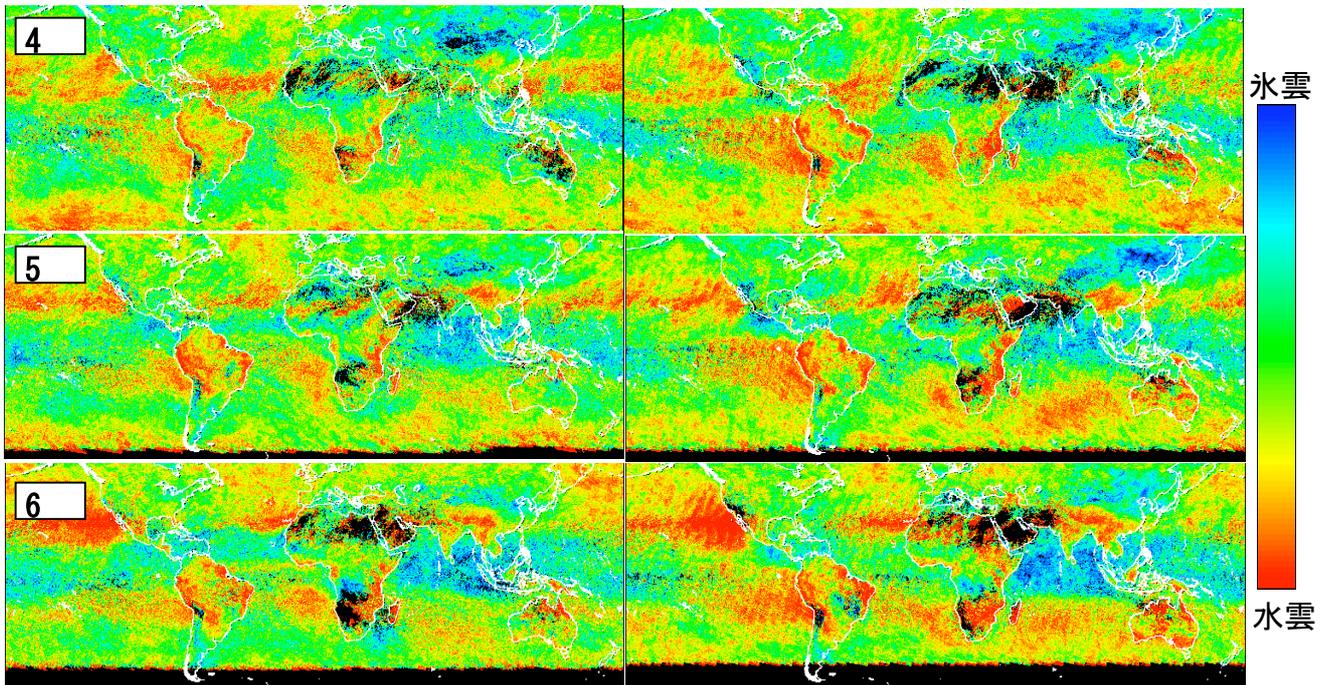


図4 ADEOS/POLDER から導出した水雲, 氷雲の出現頻度.
1997年 (左図), 2003年 (右図).