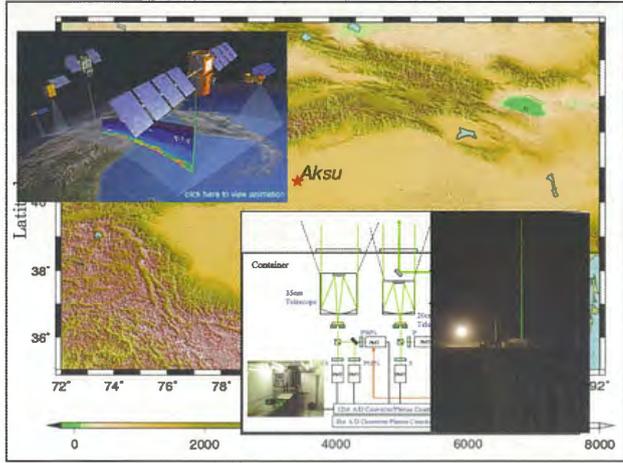


## スペースライダーで観測されたタクラマカン砂漠のダスト構造の検証

—地上設置ライダーとの比較—

◎神 慶孝<sup>1)</sup>, 甲斐 憲次<sup>1)</sup>  
張 克存<sup>2)</sup>, 周 宏飛<sup>3)</sup>

1)名古屋大学大学院環境学研究所  
2)中国科学院寒区旱区环境与工程研究所  
3)中国科学院新疆生态地理研究所

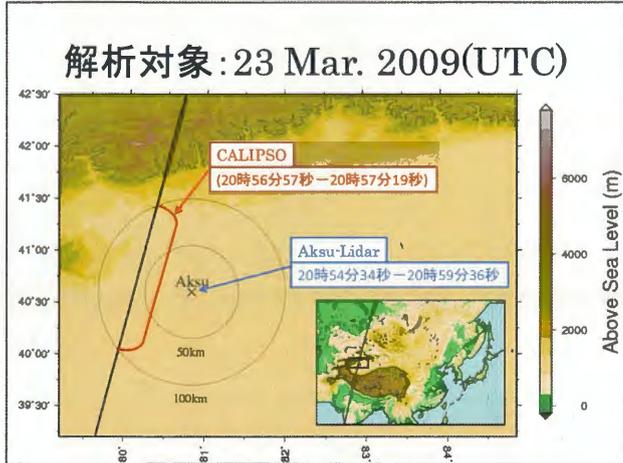


## 解析方法

**仮定条件**

1. ライダー比は、高さによって変化しない。
2. 地上ライダーとCALIPSOは同じ大気を見ている。

1. 地上ライダーとCALIPSOの軌道の距離が100km以内の場所のデータを抽出し、15個平均する。
2. Platt et al. (1999)の方法で雲の光学的厚さを求める。
3. 雲の光学的厚さが「1」をこえるプロファイルを除去し、平均する。
4. Fernald(1984)の解法により、CALIPSO(前方積分法)と地上ライダー(後方積分法)について後方散乱係数を算出する。この際、両者の差が最も小さくなるようなライダー比を求める。(Tao et al. 2008)
5. 求めたライダー比を用いて全プロファイルの後方散乱係数を計算し、2kmで全光学的厚さ(雲+エアロゾル)が「1」をこえるデータを除去する。
6. 抽出されたデータを再度平均し、「4」の方法により、最適なライダー比が得られる。



## 背景

- ▶ 雲やエアロゾルは、散乱や吸収によって地球の放射収支に影響を与える。(IPCC四次報告)
- ▶ スペースライダーは雲やエアロゾルの全球分布を測定するために効果的な装置である。(McCormick et al. 1993)
- ▶ CALIPSOの検証は大きなプロジェクトであり、検証のための装置として地上設置ライダーも含んでいる。(Kovacs et al. 2004)
- ▶ 光学特性(後方散乱係数や消散係数)を得るためには、正確なライダー比(消散係数/後方散乱係数)が必要である。(Schnell et al. 2009)
- ▶ 上空に雲が存在する時、レーザーの減衰のため、スペースライダーにおける下層のエアロゾル層の評価は難しい。

**地上設置ライダーとCALIPSOを同期させ、  
下層の(エアロゾル)ダストを評価する。**

Parameter	April 2004	March 2009
Laser	Nd:YAG Laser	Nd:YAG Laser
Wavelength	532 nm	532 nm, 1064 nm
Pulse Energy	300 mJ	300 mJ
Pulse Repetition Rate	10 Hz	10 Hz
Beam Divergence	0.2 mrad	0.2 mrad
Diameter of Telescope	350 mm, 200 mm	350 mm
Field of View(350mm)	2 mrad	2 mrad
Range Resolution	7.5 m	7.5 m
Temporal Resolution	5 min	5 min
Measurement Range	0~120 km	0~120 km
Detector	PMT	PMT(532nm), APD(1064nm)
Direction of Measurement	Vertical(Fixed)	Vertical(Fixed)
Voltage(PMT)	2000 V	2000 V
Voltage(APD)	—	340 V
PMT <sub>35-90</sub> Delay	10 μs	10 μs
Wrattenfilter(350mm)	10 %	100 %
NDfilter(350mm, II)	90 %	9 %
NDfilter(350mm, L)	50 %	1 %

## Fernald(1984) backward and forward inversion

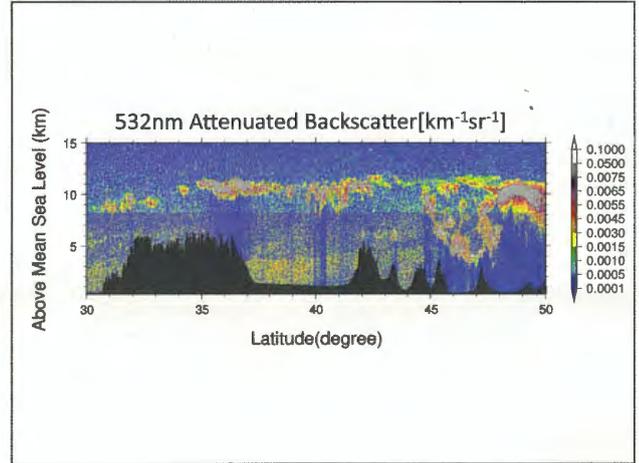
1. Backward inversion ( $z_c=13\text{km} - 15\text{km}$ ) ⇒ Aksu-Lidarに適用

$$\beta_m(z) + \beta_o(z) = \frac{X(z) \exp\left[2(Sp - Sr) \int_z^{\infty} \beta_m(z') dz'\right]}{\frac{X(z_c)}{\beta_m(z_c) + \beta_o(z_c)} + 2Sp \int_z^{\infty} X(z') \exp\left[+2(Sp - Sr) \int_z^{\infty} \beta_m(z') dz'\right] dz}$$

$$\sigma(z) = \sigma_m(z) + Sp \times \beta_o(z)$$

2. Forward inversion ⇒ CALIPSOに適用

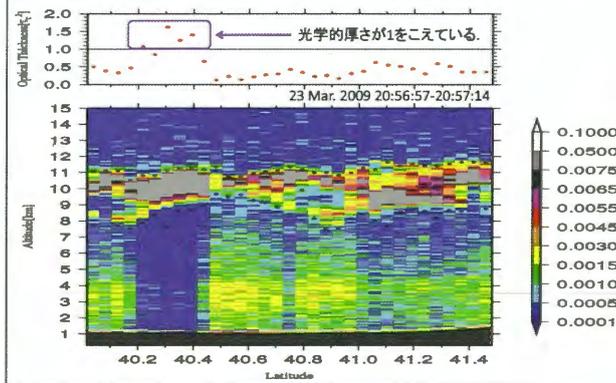
$$\beta_m(r) + \beta_o(r) = \frac{X(r) \exp\left[-2(Sp - Sr) \int_r^{\infty} \beta_m(r') dr'\right]}{\frac{X(r_c)}{\beta_m(r_c) + \beta_o(r_c)} - 2Sp \int_r^{\infty} X(r') \exp\left[-2(Sp - Sr) \int_r^{\infty} \beta_m(r') dr'\right] dr}$$

$$\sigma(r) = \sigma_m(r) + Sp \times \beta_o(r)$$


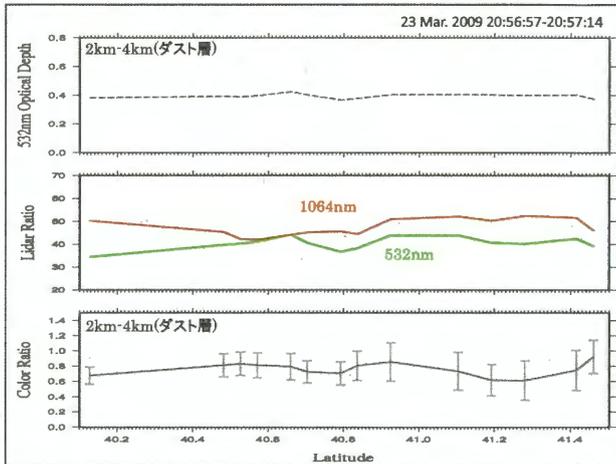
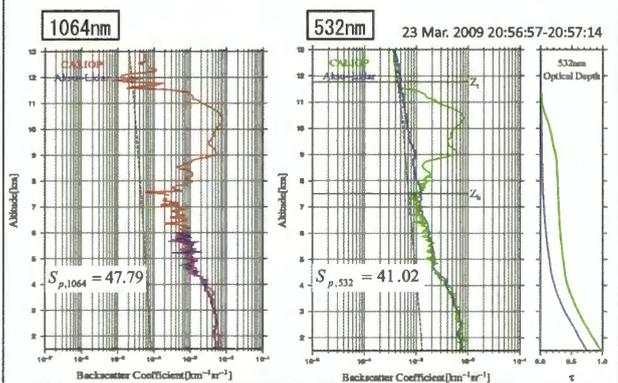
MODIS画像:23 Mar. 2009 5:30(UTC)



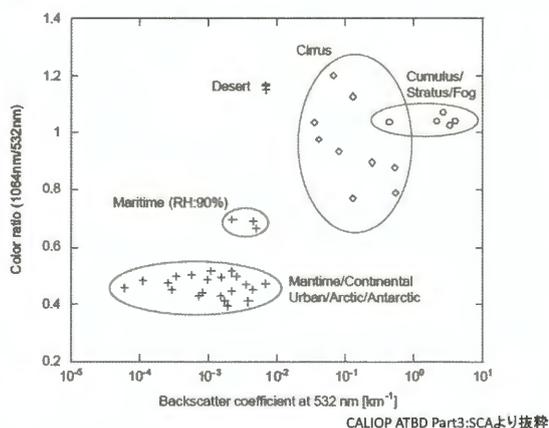
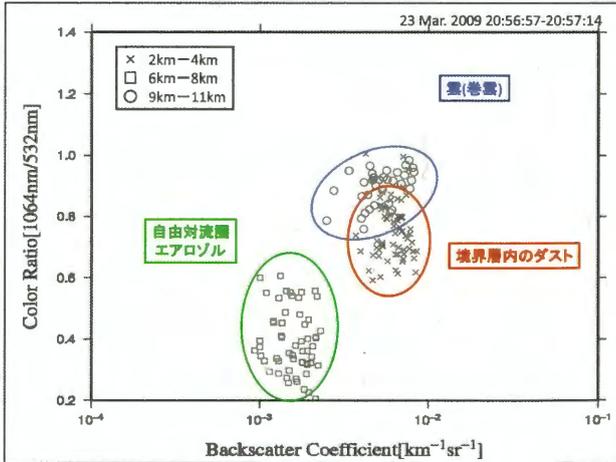
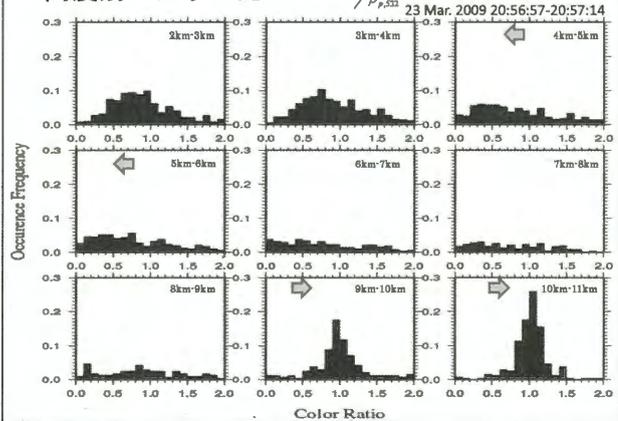
15個平均(水平分解能5km)と光学的厚さ



結果:ライダー比と後方散乱係数



高度別のカラー比



ライダー比とカラー比の文献比較

Lidar Ratio

Dust	532nm	1064nm	Reference
(Saharan)	26±4.8	35±18.3	Vaughan et al.2004
(Saharan)	41±3	52±5	Liu et al.2008
(Korea)	45.5±8.6		Noh et al. 2007
(Asian Dust)	47±18		Sakai et al. 2003
(Asian Dust)	42-55		Liu et al.2008
(Asian Dust)	43.1±7.0		Murayama et al.2004
(Taklimakan)	40.02±5.9	47.79±9.1	this study
	40	30	CALIPSO Algorithm

Color Ratio

Dust	1064nm/532nm	Reference
(Saharan)	0.86±0.01	Vaughan et al.2004
(Saharan)	0.74±0.07	Liu et al.2008
(Taklimakan)	0.76±0.25	this study

## 結論

- 2009年3月23日20時54分-59分において、地上設置ライダーとスペースライダー(CALIPSO)の比較検証を行った。
- スペースライダーと地上設置ライダーを同期させることにより、雲底下のエアロゾル層でもライダー比・後方散乱係数などの光学特性を得ることができた。
- 1064nmのライダー比・後方散乱係数に関しては他波長を利用した間接的な方法(Vaughan et al. 2004, Liu et al 2000, Sasano and Browell 1989)ではなく、直接1064nmから得ることができた。
- 得られたライダー比は、532nmに対して $41.02 \pm 5.9$ 、1064nmに対して $47.79 \pm 9.1$ であった。
- ダスト層のカラー比は $0.76 \pm 0.25$ であった。
- ダストの光学的厚さ(2km-4km)は $0.40 \pm 0.04$ であった。

## 今後の課題

- CALIPSOのLevel 2のデータと比較。
- モデル大気を使った、エラー解析。
- 他の事例の解析。
- CALIPSOと地上ライダーで観測された偏光解消度の比較。

### Platt et al. 1999

雲より高いところと低いところの散乱比 $R(z_t)$ 、 $R(z_b)$ から透過率を得る。

$$\frac{R(z_t)}{R(z_b)} = \frac{\beta_m(z_t)[\beta_m(z_b) + \beta_o(z_b)]}{\beta_m(z_b)[\beta_m(z_t) + \beta_o(z_t)]} T_{eff}^2$$

$$\approx T_{eff}^2$$

$$(\beta_o(z_t) \ll \beta_m(z_t), \beta_o(z_b) \ll \beta_m(z_b))$$

以上のようにして求めた透過率を以下の式に代入し、雲のライダー比を得る。

$$S^* = \frac{1 - T_{eff}^2}{2\gamma'} \quad (\gamma' = \int_{top}^{base} \beta(r) T_{eff}^2(r) dr)$$

