

大気放射収支研究におけるライダー観測の展望

Prospects of the lidar observation for the atmospheric radiation budget study

中島映至 (T. Nakajima, teruyuki@ccsr.u-tokyo.ac.jp)

東京大学気候システム研究センター (Center for Climate System Research, The University of Tokyo, 4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo 153-8904)

ABSTRACT- A lidar use for various atmospheric measurements is getting popular in recent days. Here we introduce an application of lidar to an atmospheric radiation budget study and discuss the future prospect of lidar observation.

1. はじめに

15年前の私のライダーに対するイメージは高価、大きい、不安定であった。商売柄、日射計を使うことが多く、それに比べればちょっと観測測器として自分が管理したくない代物であった。1980年代初期、仙台でのエアロゾルと大気放射の総合観測 (Nakajima et al., 1986) のために当時の国立公害研究所から大型のトレーラーバスで運ばれてきた可搬型ライダーは巨大なもので、畏敬の念とともに感じたのは上のような印象であった。このイメージが壊れ始めたのは、1980年代後期の J. Spinhirne の航空機ライダーで、もちろん大型のものであったがずいぶん機能的になったと感じた。さらにイメージが変わったのは同じく J. Spinhirne が指導して作った CESI 社の MPL ライダー (Spinhirne, 1993) であった。これは eye-safe、連続運転可能というふれこみで、我々も早速、タイ Sri-Samrong に設営した GAME 高精度放射ステーションに導入したものである。結果は、すばらしいデータセットが得られたが、稼働して1年たつとぴたりと動かなくなった。まだ「不安定」と言う印象ははずせなかった。しかし、近年のレーザー技術と半導体技術によって、廉価、コンパクト、安定な最新のライダーが登場してきたと思う (Sugimoto et al., 2002)。

2. ライダーの応用

近年、我々は日射計やその他の大気観測測器を設置した SKYNET というネットワークを運営しているが、連続自動計測型ライダーも可能な限り導入するようにしている。図1には SKYNET サイトの位置と奄美大島サイトの外観を示す。この外観で見られるように、これらのサイトでは日射計、赤外放射計、スカイラジオメーター、マイクロ波放射計、エアロゾルサンプラーがライダーとともに設置してあり、観測された地表面放射収支を計算するための大気物理量の測定が同時に得られるようになっている。これらのデータは、地球大気系の放射収支の解析、リモートセンシングのための補助データ、エアロゾル輸送モデルや大循環モデルの検証などに使われ始めた (Nakajima et al., 2003)。SKYNET のみならずアジア域ではライダーが多く設置されており、黄砂研究などに利用されている (Shimizu et al., 2004)。国連環境計画 (UNEP) の Atmospheric Brown Cloud (ABC) プロジェクト (Ramanathan et al., 2003) でもライダーを含めて同様の測器群が計画されている。ABC プロジェクトでは10月にモルジブ、2005年3月には済州島 Gosan を中心に南アジアと東アジアの予備観測が開始される。

大気放射研究、特に最近、温暖化研究に関連して重要視されているエアロゾルの直接および間接放射強制力の評価にとって必要なパラメーターは、エアロゾルの光学的厚さ、一次散乱アルベ

ド、雲量、雲光学的厚さ、水蒸気量である。特にエアロゾルと雲の消散係数の鉛直プロファイルの情報は赤外放射フラックスの決定などに重要であり、ライダーからのデータ供給は重要である。もちろん、スカイラジオメータからの光学的厚さはもっとも正確な観測値であるが、雲量が多い場合には観測値を得ることができないことが多いので、ライダーデータを補完的に使うことが今後は必要であろう。図2に、観測船みらいの2001年5月の航海でライダーとスカイラジオメータで観測されたエアロゾルの光学的厚さ（ライダーに関しては波長532nm、スカイラジオメータに関しては500nm）および2つの人工衛星搭載センサーMODISとSeaWiFS（波長は500nmと532nm）から得られた値を示す（Higurashi et al., 2002）。ライダーに関しては東北大学によるアルゴリズムとNIESによるアルゴリズムを示す。図は東北大学のアルゴリズム以外は良くお互いに一致していることが分かる。NIESアルゴリズムではライダー散乱比を固定しているが、東北大学のアルゴリズムではライダー散乱比も同時に推定している。このような大きな違いが散乱比の違いのみから起こるかどうかが、今後の調査が必要であるが、このように複数の測器を複合的に利用する研究が可能になってきた。

図3はさらに同じ航海のライダーシグナルをSPRINTARS全球エアロゾル・モデル（Takemura et al., 2000）によるライダーシグナルの再現値と比較する。図によるとモデルに比べて上空に様々なシグナルが実際には観測されていることがわかる。最近の全球気候モデルでは、人為起源エアロゾルの雲への間接気候影響を調べるために、エアロゾルから雲粒生成を行っているが、中上層でエアロゾル濃度が適切に再現されないと中上層の雲場もうまく再現できない。従って、ライダーによるこのようなモデルの検証は今後、緊急にすすめなければならない課題である。

3. 今後の展望

ここで簡単に見てきたようにライダーによる連続観測には、多くの応用が期待できる。近年では95GHz（波長3mm）の雲ライダーも比較的安価に得られるようになってきており、降雨レーダー、ウィンドプロファイラーまで含めてこれらのアクティブセンサーの組み合わせは、強力な観測手段になると思われる。SKYNETやABCサイトにおいてもこれらの測器の導入を行うように努力する予定である。

参考文献

- Higurashi, A., and T. Nakajima, 2002: Detection of aerosol types over the East China Sea near Japan from four-channel satellite data. *Geophys. Res. Lett.*, **29**(17), 1836, doi:10.1029/2002GL015357.
- Nakajima, T., T. Takamura, M. Yamano, M. Shiobara, T. Yamauchi, R. Goto, and K. Murai, 1986: Consistency of aerosol size distributions inferred from measurements of solar radiation and aerosols. *J. Meteor. Soc. Japan*, **64**, 765-776.
- Nakajima, T., M. Sekiguchi, T. Takamura, I. Uno, A. Higurashi, D.H. Kim, B.J. Sohn, S.N. Oh, T.Y. Nakajima, S. Ohta, I. Okada, T. Takamura, and K. Kawamoto, 2003: Significance of direct and indirect radiative forcings of aerosols in the East China Sea region. *J. Geophys. Res.*, *ACE-Asia Special Issue*, in press.
- Ramanathan, V., and P.J. Crutzen, 2003: New directions: Atmospheric Brown Clouds, *Atmos. Environ.*, **37**, 4033-4035.
- Shimizu, A., N. Sugimoto, I. Matsui, K. Arai, I. Uno, T. Murayama, N. Kagawa, K. Aoki, A. Uchiyama, and A. Yamazaki, Continuous observations of Asian dust and other aerosols by polarization lidar in China and Japan during ACE-Asia, *J. Geophys. Res.*, 2004 in press.
- Spinhirne, J.D., 1993: Micro Pulse Lidar. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **31**, 48-55.
- Sugimoto, N., I. Matsui, A. Shimizu, I. Uno, K. Asai, T. Endoh, T. Nakajima, 2002: Observation of dust and anthropogenic aerosol plumes in the Northwest Pacific with a two-wavelength polarization lidar on board the research vessel Mirai, *Geophys. Res. Lett.* **29**, 10,1029/2002GL015112.
- Takamura, T., H. Okamoto, Y. Maruyama, A. Numaguti, A. Higurashi, and T. Nakajima, 2000: Global three-dimensional simulation of aerosol optical thickness distribution of various origins. *J. Geophys. Res.*, **105**, 17853-17873.

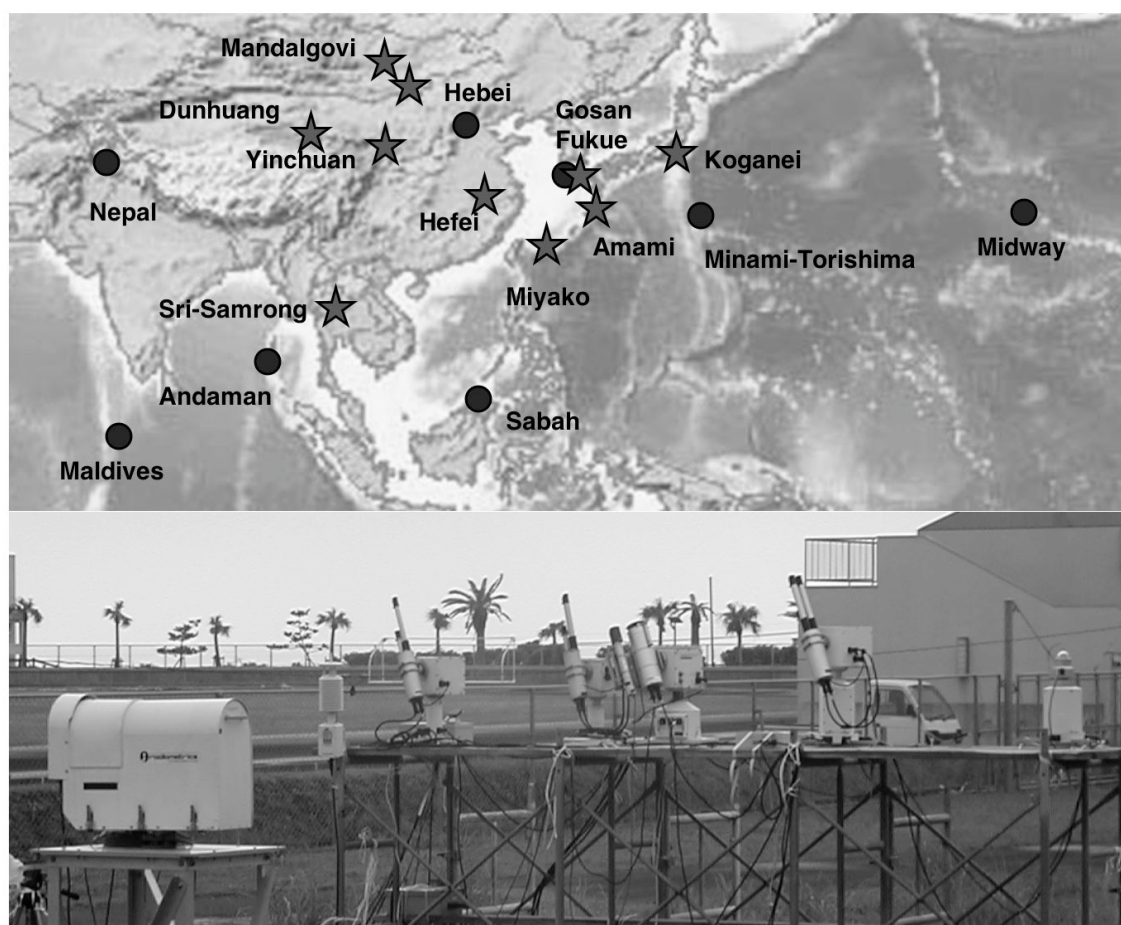


Fig. 1 SKYNET and ABC sites for atmospheric radiation measurements (upper panel), and a view of Amami-Oshima site.

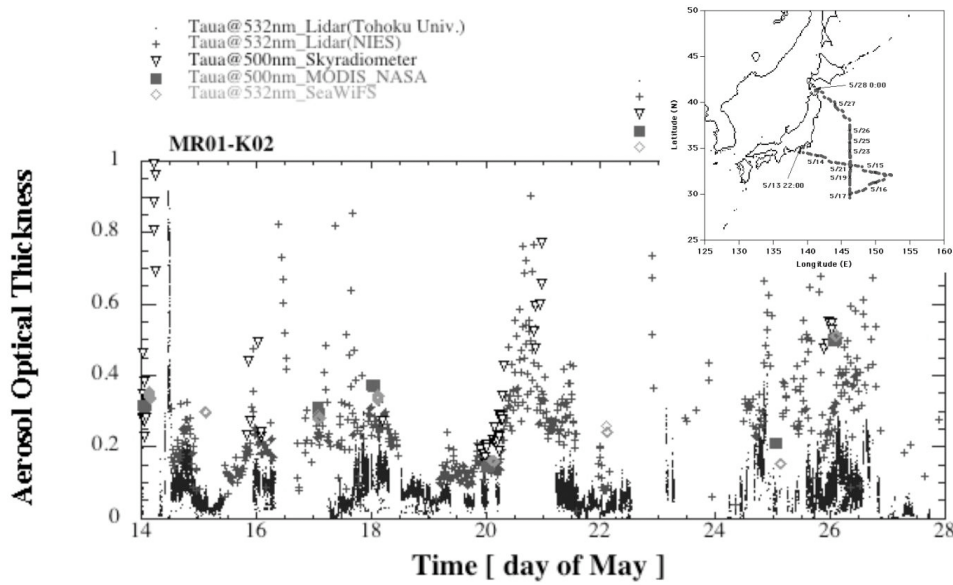


Fig. 2 Time series of aerosol optical thicknesses as derived from lidar algorithm of Tohoku University and NIES algorithm, and from skyradiometer, MODIS, and SeaWiFS. The upper right panel shows the map of KR01-K02 Mirai cruise in May 2001.

(国立環境研究所 日暮明子氏提供)

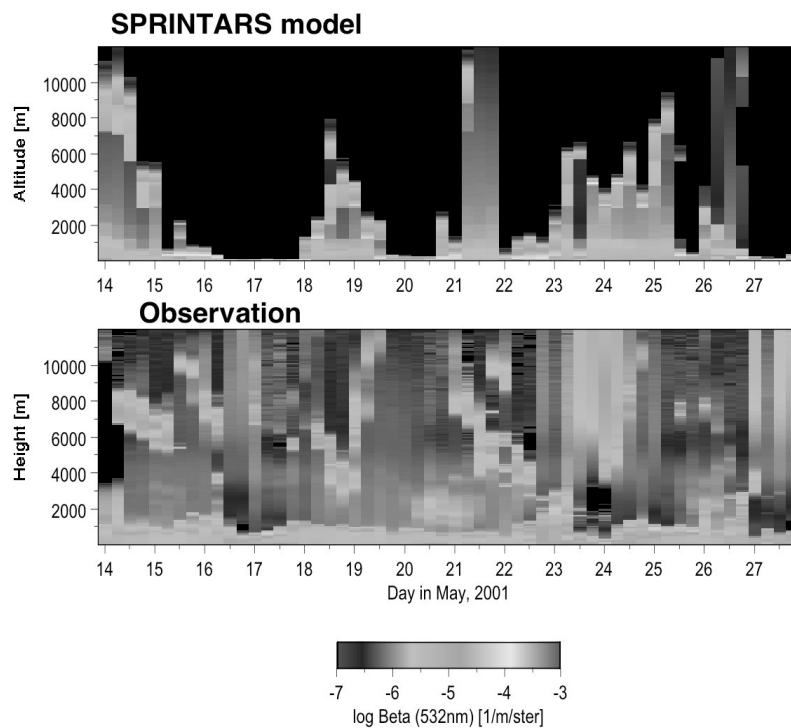


Fig. 3 Time series of observed and model-simulated lidar signals for K02 Mirai cruise in May 2001. (東北大学大気海洋変動観測研究センター 岡本 創氏提供)