

「地球変動のメカニズム」
平成11年度採択研究代表者

中島 映至

(東京大学気候システム研究センター 教授)

「アジア域の広域大気汚染による大気粒子環境の変調」

1. 研究実施の内容

(1) 研究の目的

大気エアロゾルと雲を総称して大気粒子と呼ぶことにすると、本研究ではアジア域の広域大気汚染に伴う大気粒子環境の変調が作り出す気候影響について調べる。すなわち、次の2つの問題を明らかにしたい(図1)。

アジア域とその隣接海域に関して、

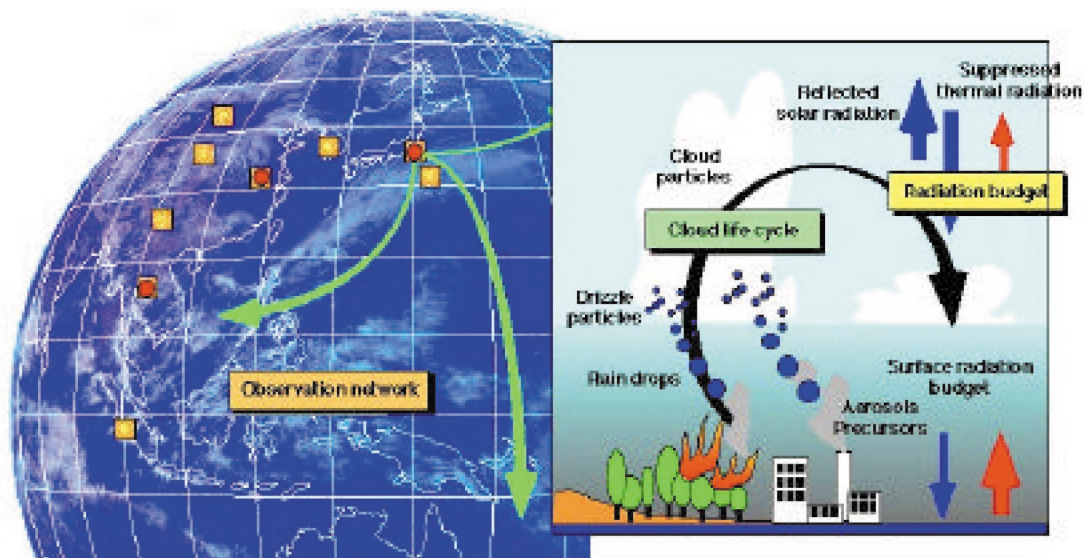


図1 APEX 研究の概念図

- (X) エアロゾル場と雲場が人間起源でどの程度変調されているのか？
- (Y) その影響として地表面放射収支と降雨能率がどの程度変調しているのか？

このような研究を通して、次のようなより具体的な疑問点に答えたい。

- X 1. 人間起源エアロゾルの光学的厚さの増加は全球平均で100年間に0.04程度か？

- X 2 . 広域大気汚染によって有効粒子半径は本当に最近10年間で10%も縮んだか？
- X 3 . エアロゾルの複素屈折率の虚数部は本当に-0.005程度で良いか？
- Y 1 . 人間起源エアロゾルの直接効果による放射強制力は全球平均で-0.5W/m²程度か？
- Y 2 . 炭素性エアロゾルは硫酸塩エアロゾルと同程度の放射強制力を持っているか？
- Y 3 . 雲場への人間起源エアロゾルの間接効果の影響は-1W/m²程度か？
- Y 4 . 異常吸収現象はアジア域で起こっているか？それは雲なのか、エアロゾルなのか？
- Y 5 . 大陸規模で考えても、対流雲の降雨能率に人間起源エアロゾル濃度は影響するか？

(2) 研究の方法と今年度の活動

- (1) 節で掲げた疑問に答えるために、次の3つの戦略的研究を立てる。これらはアジア域でほとんど研究されていない。

A . 粒子系の全粒径スペクトルの把握

エアロゾル前駆物質 - エアロゾル - 雲核 - 雲粒 - 霧粒と言った雲のライフサイクルに関わる各物質系の収支を衛星、航空機観測、ライダー、雲レーダーによって把握する。航空機搭載放射計や衛星による雲層の放射収支観測も同時に行う必要がある。

B . 粒子系に関する光学 - 化学特性の把握

工業起源と農業起源のエアロゾルの光学的厚さと光学特性、およびエアロゾル濃度と化学組成の関係を地上観測によって調査する。高精度放射収支計による地表面放射収支観測も同時に行う必要がある。

C . 広域特性の把握

本研究では、粒子系の変調が作り出す様々な気候影響のうち、温暖化予測に重要なインパクトを持つ大気上下端の放射収支と降雨能率の変調に特化して調査する。そのために、上記研究AとBより得られるデータや既存の降雨データ等の局地情報を、衛星リモートセンシングとモデルに組み合わせて、広域で理解する。最終的には、アジア域の人為起源エアロゾルが引き起こす地球放射収支と降雨能率変化を算定したい。

初年度である平成11年度は次の項目を実施、または開始した。

- ・研究計画の詳細な検討をおこなった。
- ・雲とエアロゾルの微物理特性を人工衛星から得るための手法を開発した。
- ・エアロゾルの全球分布とその光学的特性を再現するモデルを開発した。

- ・エアロゾルと雲の相互作用を理解するためのモデル計算をおこなった。
- ・航空機搭載型低過飽和雲粒核計の作成を開始した。
- ・可視・近赤外雲放射計の作成を開始した。
- ・立坑を用いた低過飽和度における粒子の成長実験準備を行った。
- ・雲レーダーと同時に運用するライダーの作成を開始した。
- ・研究検討のためのワークショップを2回、開催した。
- ・研究検討のための会議を2回、開催した。

(3) 成果のまとめ

- ・研究の基礎となるアジア域の地表面気温と降雨量に関する統計を調べ、図2のような傾向を得た。図によるとアジア域等、人間活動の激しい地域で、気温と降雨量が他の地域と異なる傾向が得られた。これは温室効果ガスの増加では説明できない。

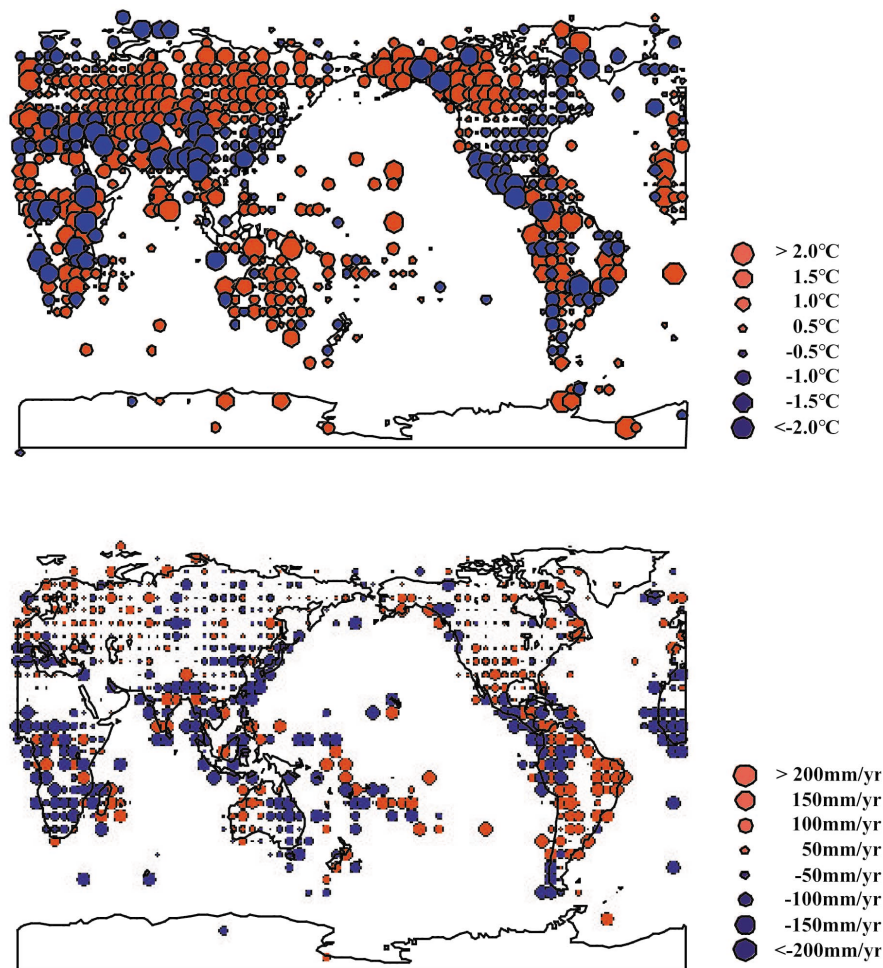


図2 1950年代を基準にした1980年代の地表面気温と降水量の変化量。10年間平均値。

- AVHRRとADEOS/OCTSの可視と近赤外波長を利用したエアロゾルの光学的厚さとオングストローム指数を求めるアルゴリズムを適用して、これらのパラメーターの全球分布やその長期時系列を求めた(図3)。それによると人間活動の激しい北半球中緯度と森林火災の激しい熱帯域で小粒子エアロゾルが卓越する様子が観測された。また、砂漠起源の大粒子エアロゾルがサハラ砂漠付近に観測された。

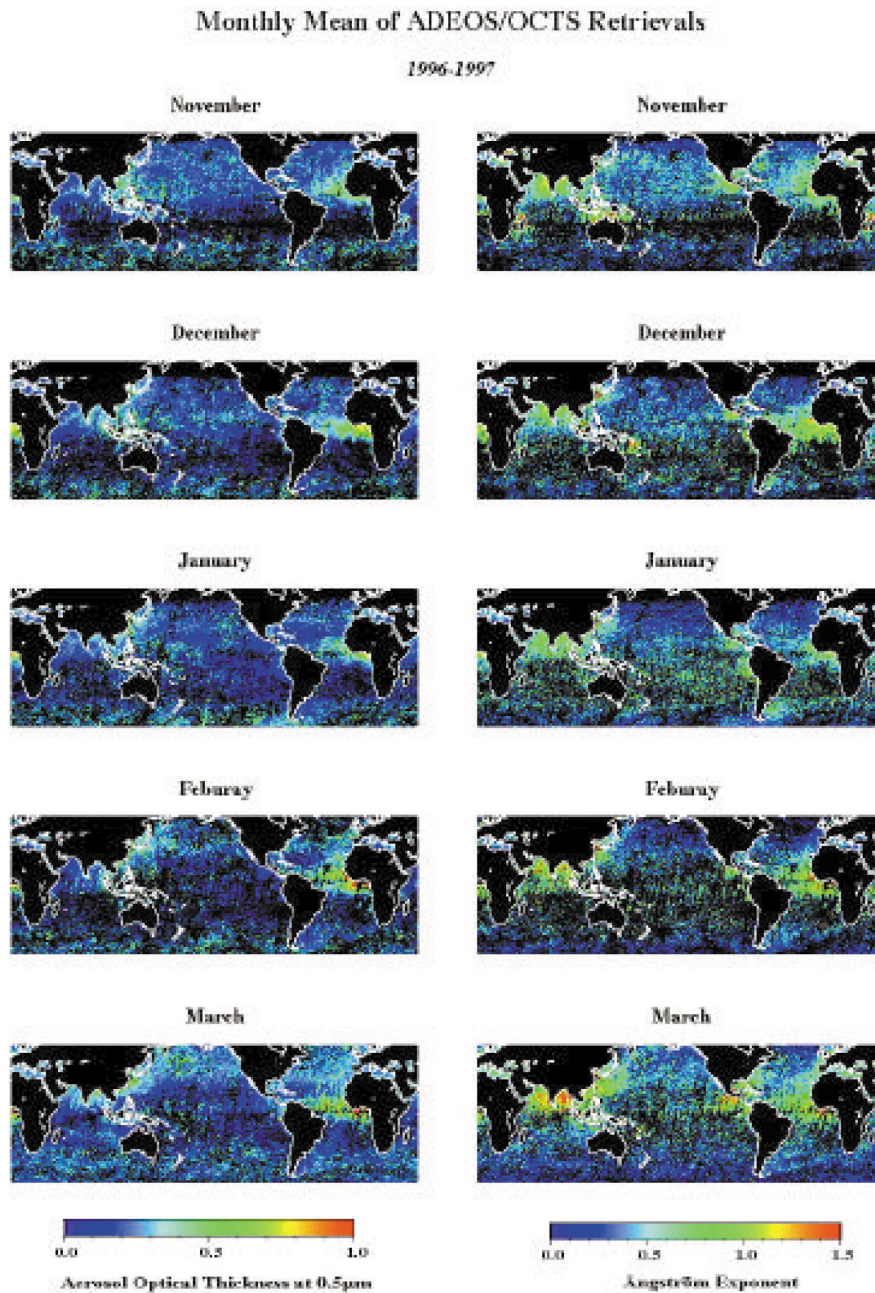


図3 ADEOS/OCTS から得られたエアロゾルの光学的厚さとオングストローム指数の時系列。

- AVHRRやOCTSの可視、中間赤外、熱赤外波長を利用して低層雲の有効粒子半径を求めた(図4)。それによると、大陸やその周辺で有効粒子半径が顕著に縮小する傾向が見られた。これはエアロゾルによって雲粒が収縮する現象によって説明できると思われる。

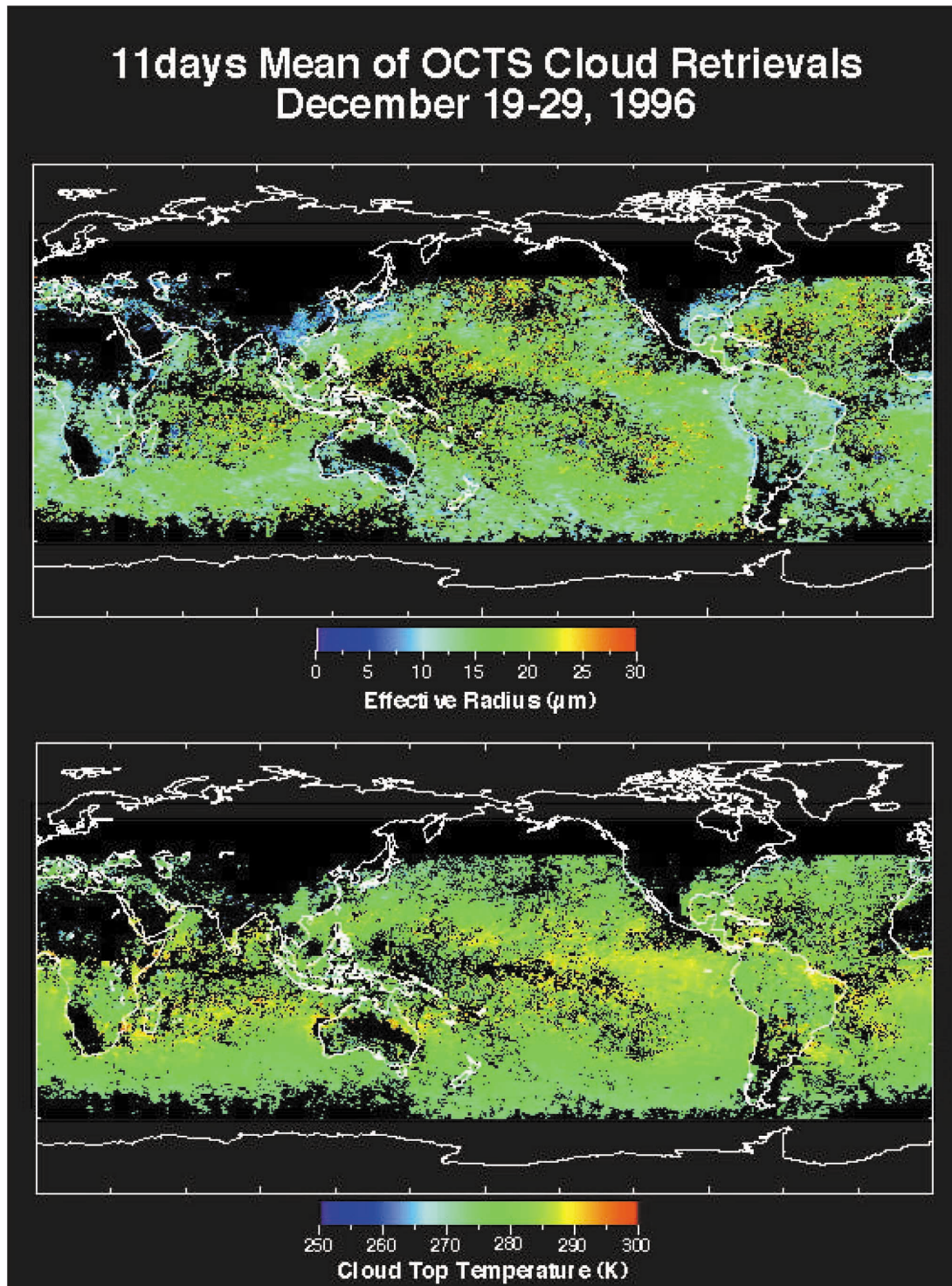


図4 ADEOS/OCTS から求めた低層雲の有効粒子半径と雲頂温度。

- ・モデルによってこれらの衛星観測結果を説明した。それによると、炭素性エアロゾルの光学的特性のモデル化、エアロゾルの雲による取り込みのモデル化を精緻化することが重要なことが明らかになった。
- ・地上観測によってエアロゾルと雲の光学的特性を導出する方法を検討した。その結果、図5に示すような、可視波長からマイクロ波波長にわたる広範囲の放射輝度の観測や、アクティブセンサーの導入が必要なことが明らかになった。

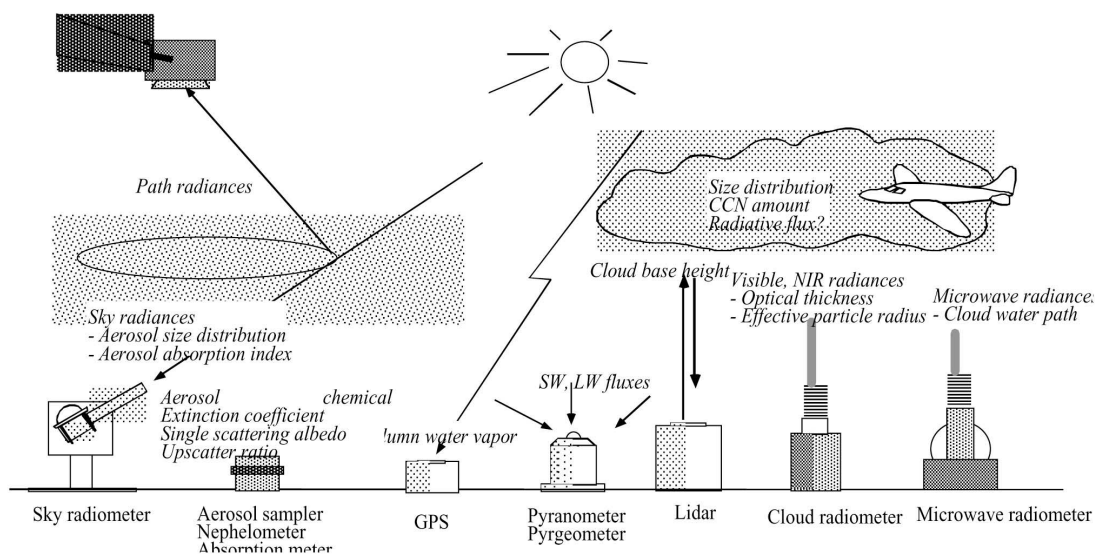


図5 地上観測によるエアロゾルと雲の微物理特性の観測構想。

3. 主な研究成果の発表（論文発表）

Ackerman, S.,P. Artaxo, O. Boucher, M. Y. Danilin, B. Karcher, P. Minnis, T. Nakajima, and O. B. Toon, 1999: Aviation- produced aerosols and cloudiness. Chapter 3 of IPCC Special Report'Aviation and the global atmosphere',Cambridge University Press, 65- 120.

Emori, S.,T. Nozawa, A. Abe- Ouchi, A. Numaguti, M. Kimoto and T. Nakajima, 1999: Coupled ocean- atmosphere model experiments of future climate change with an explicit representation of sulfate aerosol scattering. *J. Meteor. Soc. Japan*, 77, 1299- 1307.

Higurashi, A.,and T. Nakajima, 1999: Development of a Two Channel Aerosol Retrieval Algorithm on Global Scale Using NOAA/AVHRR. *J. Atmos. Sci.*,56, 924- 941.

Meerkotter, R.,U. Schumann, D. R. Doelling, P. Minnis, T. Nakajima, and Y. Tsushima, 1999: Radiative forcing by contrails. *Ann. Geophysicae*, 17, 1080- 1094.

Nakajima, T.,A. Higurashi, K. Aoki, T. Endoh, H. Fukushima, M. Toratani, Y. Mitomi, B. G. Mitchell and R. Furuin, 1999: Early phase analysis of OCTS radiance data for

aerosol remote sensing, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing.*,37, 1575- 1585.

Nakajima, T.,A. Higurashi, N. Takeuchi, and J. R. Harman, 1999: Satellite and ground-based study of optical properties of 1997 Indonesian forest fire aerosols. *Geophys. Res. Lett.*,26, 2421- 2424.

Nakajima, T.,T. Y. Nakajima, M. Nakajima, and the GLI Algorithm Integration Team(GAIT),1999: Development of ADEOS- II/GLI operational algorithm for earth observation. *SPIE* , 3870, 314- 322.

Narukawa, M.,K. Kawamura, N. Takeuchi, and T. Nakajima, 1999: Distribution of dicarboxylic acids and carbon isotopic compositions in aerosols from 1997 Indonesian forest fires. *Geophys. Res. Lett.*,26, 3101- 3104.

Narukawa, M.,K. Kawamura, N. Takeuchi, and T. Nakajima, 1999: Molecular composition of dicarboxylic acids in size- segregated aerosols collected during forest fire in Southeast Asia. *Res. Org. Geochem.*,14, 11- 18.

Ru, J.,N. Takeuchi, T. Uezono, S. Kaneta, M. Minomura, H. Kuze, T. Takamura, A. Higurashi, and T. Nakajima, 2000: Optical properties of biomass burning smoke in South- east Asia studied by NOAA/AVHRR and ground- base monitoring. *Adv. Space Res.*,25, 1029- 1032.