

islands, J. Geophys. Res., 90, 12927-12936.
Solomon, S. R.R. Garcia, F.S. Rowland, and

D.T. Wuebbles, 1985: On the depletion of Antarctic ozone, Nature, 321, 755-758.

204 ; 206 (日射と黄砂)

日射観測からみた黄砂*

荒 生 公 雄**

1. 砂塵の大気混濁度への寄与

直達日射観測から得られる大気混濁度が、半球的な規模で春季に極大を示すことは古くから知られ、その主な原因は砂漠地帯の砂塵にあると考えられてきた (Ångström, 1961). そして、1960年代の後半には中国大陸における砂塵の存在と移動が人工衛星によってはっきりと検出された (Ing, 1972). サハラ砂漠から大西洋や地中海方面への輸送、および中国大陸から太平洋への輸送は特に顕著で、大気混濁度の観点からも注目を浴び、多くの研究がなされている。

ここでは、直達日射観測に基づく、黄砂の濃度と輸送量に関する Arao and Ishizaka (1986) の解析を中心に報告したい。なお、直達日射および大気混濁度に関する邦文の解説は村井 (1983) の総合報告によくまとめられているので、これを参考にされたい。

2. 黄砂の粒径分布モデル

長崎、岡山、名古屋の3地点でアンダーセンサンプラーによって実測された質量基準の黄砂の粒径分布を、砂塵の密度を 2.6 g/cm^3 として個数基準の粒径分布に変換し、さらに、それをモデル化した。これら3地点間で、黄砂の粒径分布には著しい違いはなかったから、日本上空での粒径分布モデルを2つの Zold 分布の和による次のような式で表現した。

$$\frac{dN_k}{dr} = \sum_{i=1}^2 C_{ki} \exp \left\{ - \frac{(\ln r - \ln r_{mi})^2}{2\sigma_{ki}^2} \right\} \dots \dots \dots (1)$$

なお、定数等は第1表に示す。本モデルは半径 $0.5 \sim 1.0 \mu\text{m}$ に顕著なピークをもつ対数正規分布型であるが、第2モードの追加分だけ半径約 $3 \mu\text{m}$ 以上の大粒子が対数正規分布よりも高濃度になっている。黄砂の粒径は、

第1表 粒径分布モデルの数値

	First Mode	Second Mode
Parameter	$r_{m1}=0.5\mu\text{m}$ $\sigma_{k1}=0.49$	$r_{m2}=1.0\mu\text{m}$ $\sigma_{k2}=0.63$
Relative Concentration	$C_{k1}:C_{k2}=1:0.0033$	
Volume and Mass	81.3%	18.7%

通常のエアロゾルに比べて、大粒子が非常に多いことが特徴である。

3. 黄砂の濃度と混濁パラメーター

この粒径分布モデルを用いて、黄砂を含む混濁した大気の光学的特性を理論的に考察し、Ångström (1961) の混濁パラメーターと砂塵濃度との間の関係を調べた。その際、大気中には、Junge 分布をもつバックグラウンドエアロゾルと黄砂とが球形で存在するものとし、それらの屈折率はともに 1.50 であるとした。Ångström の混濁パラメーターは、ミー散乱によるエアロゾル全体の光学的厚さを $\tau_M(\lambda)$ とすれば、

$$\tau_M(\lambda) = \beta \lambda^{-\alpha} \dots \dots \dots (2)$$

と与えられ、 α , β はそれぞれ波長指数、混濁係数と呼ばれる。多様な砂塵濃度について考察した結果、黄砂の濃度 (単位気柱内に含まれる砂塵の体積) は混濁係数 β によって推定できることがわかった。ただし、黄砂の体積の評価は半径 0.1 から $15 \mu\text{m}$ までの粒子について行った。

しかしながら、日本では組織的な直達日射の波長別観測が行われていないから、上の結果を直ちに应用することはできない。そこで、気象庁の直達日射観測データを活用するために、山本の混濁係数 β_r (Yamamoto *et al.*, 1968) と Ångström の混濁係数 β との関係を明らかに

* Yellow dust events as viewed from solar radiation measurements.

** Kimio Arao, 長崎大学教育学部地学教室.

第2表 黄砂の質量輸送量に関する推定値

Author	Total Mass (ton)	Note
Iwasaka <i>et al.</i> (1982)	1.63×10^6	a very severe duststorm in April 1979
Uematsu <i>et al.</i> (1983)	$2.3-5.6 \times 10^6$ $5.8-12 \times 10^6$	per year in $25^{\circ}-40^{\circ}\text{N}$ per year in $0^{\circ}-50^{\circ}\text{N}$
Uematsu <i>et al.</i> (1985)	20×10^6	per year in $0^{\circ}-50^{\circ}\text{N}$
Arao and Ishizaka(1986)	$3.5-4.5 \times 10^6$ $4.1-5.3 \times 10^6$	in spring in $30^{\circ}-41^{\circ}\text{N}$ per year in $30^{\circ}-41^{\circ}\text{N}$

し、それらの関係から砂塵の濃度を推定した。

4. 黄砂の濃度と質量輸送量

黄砂の濃度に関する解析は、1981~1983年の3例の黄砂現象について、沖縄の2官署を除く12官署について行った。そして、日本列島の西岸に位置する官署の高層気象資料を併用して、日本上空に流入する砂塵の質量を推定した。おもな結果はつぎの通りである。

- (1) 黄砂現象を実際に記録した気象官署における砂塵濃度は $150-400\text{ l/km}^2$ ($0.4-1.0 \times 10^{-4}\text{ g/cm}^2$) の範囲にあった。
- (2) 濃度 150 l/km^2 以下の官署ではほとんど黄砂を記録していないから、希薄な黄砂現象は見逃されている可能性が強い。
- (3) 日本上空の北緯 $30-41^{\circ}$ の緯度帯における砂塵の質量フラックスは、 $2-3 \times 10^4\text{ ton/hour}$ 、 $50-70 \times 10^4\text{ ton/day}$ となった。
- (4) 同じ緯度帯における総流入質量は、春季に $3.5-4.5 \times 10^6$ トン、年間で $4.1-5.3 \times 10^6$ トンとなった。

5. 他の研究結果との比較

これまでに報告されている黄砂の質量輸送に関する評価を第2表にまとめる。Iwasaka *et al.* (1982) はレーザー観測から、Uematsu *et al.* (1983, 1985) はアルミニウムの微量分析による大気化学的手法でそれぞれ黄砂の mass loading を評価している。それぞれの推定方法や質量の定義には微妙な違いがあるが、第2表の結果は割合よく合っていると見ることが出来る。Iwasaka *et al.* と Arao and Ishizaka の結果は、2~3日間も継続するような非常に顕著な黄砂現象時の日本上空における mass loading が $1.5-2 \times 10^6$ トン程度である、という意味でよく一致している。

Uematsu *et al.* (1985) は、彼らの前報 (1983) のものより約2倍大きく、北太平洋に降下する鉱物粒子の量を年間 20×10^6 トンと見積もっているが、2倍になった理由は彼ら自身の実測によって washout による洗浄率を新しく決め直したことによる。さらに、彼らは太平洋上で直径 $20\text{ }\mu\text{m}$ 以上の大粒子をかなり多く検出し、このような粒子を加えれば年間の降水量がさらに $20-50\%$ も大きくなると報告している。

6. 今後の課題

最後に、黄砂問題の多角的な研究の発展を期待し、日射観測による研究の弱点と関連づけて、残されている今後の問題を記す。

- (1) 日射観測では夜間にデータが得られないばかりでなく、天候にも左右されるから、連続的な観測が困難である。
- (2) 大気混濁度はエアロゾルの光学的厚さを基礎的情報としており、詳細な砂塵濃度の鉛直分布は観測出来ない。
- (3) 黄砂が中部山岳地帯でブロックされ、その風下側では鉛直分布が著しく変容することも考えられる。
- (4) 質量輸送量を正しく評価するためには、雲や降水過程に取り込まれる砂塵の量にも注意を払うとともに、希薄な黄砂状態の出現頻度を明らかにする必要がある。

文 献

- Ångström, A., 1961: Techniques of determining the turbidity of the atmosphere, *Tellus*, 13, 214-223.
- Arao, K. and Y. Ishizaka, 1986: Volume and mass of yellow sand dust in the air over Japan as estimated from atmospheric turbidity, *J.*

- Meteor. Soc. Japan, 64, 79-94.
- Ing, G.K.T., 1972: A duststorm over central China, April 1969. *Weather*, 27, 136-145.
- 岩坂泰信, 箕浦宏明, 長屋勝博, 小野 晃, 1982: 黄砂の輸送とその空間的ひろがり—1979年4月にみられた黄砂現象のレーザレーダ観測—, *天気*, 29, 231-235.
- 村井潔三, 1983: エアロゾルの気象に与える影響—日射に対する効果—, *気象研究ノート*, No. 146, 99-114.
- Uematsu, M., R.A. Duce, J.M. Prospero, L. Chen, J.T. Merrill and R.L. McDonald, 1983: Trans-

port of mineral aerosol from Asia over the North Pacific Ocean, *J. Geophys. Res.*, 88, 5343-5352.

- , ——— and J.M. Prospero, 1985: Deposition of atmospheric mineral particles in the North Pacific Ocean, *J. Atmos. Chem.*, 3, 123-138.
- Yamamoto, G., M. Tanaka and K. Arai, 1968: Hemispherical distribution of turbidity coefficient as estimated from direct solar radiation measurements, *J. Meteor. Soc. Japan*, 46, 287-300.

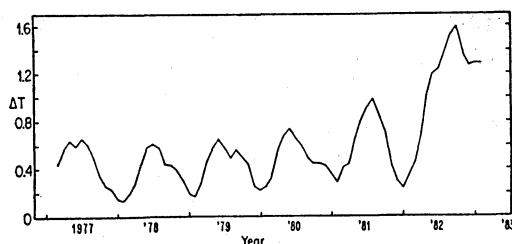
102; 204 (黄砂; エアロゾル)

黄砂性エアロゾルの光学的特性*

中 島 映 至**

1. はじめに

大陸性の乾燥した地域では、エアロゾルのかなりの部分が、風によって巻き上げられた土壌粒子から生成されている。黄砂現象はその顕著な例であるが、年間を通じて見た場合、はっきりと黄砂現象と記録される日数は長崎においても平均5日程度 (Arao *et al.*, 1979) とそれほど多くない。しかし、長崎において偏光解消度等の光学的な観測を行ってみると、一回の黄砂現象で黄砂性の大気状態が5日程度とかなり長く続くことが分かった (Tanaka *et al.*, 1986)。名古屋におけるライダーによる偏光解消度の観測からも、地上では黄砂現象と認められない場合でも、上空5~6 kmに黄砂層と思われる大きな偏光解消度を示す層が見いだされた例が報告されている (Kobayashi *et al.*, 1985)。従って、顕著な黄砂現象の観測と併せて、このような潜在的な土壌粒子による大気の混濁現象を把握することが、大気の放射収支や光環境への影響を知る上で大切である。例えば、アリゾナ、グランド・キャニオンでの視程低下の20%程度は、年間を通じて見ても、これらの土壌性エアロゾルと思われる半径1ミクロン以上の大粒子によって引き起こされている (Malm and Johnson, 1984)。また、第1図に示す、アリゾナ・ツーソンでの日射観測から得られた大気混濁



第1図 アリゾナ・ツーソンにおけるリンケのエアロゾル因子の3カ月移動平均値。約0.06倍すると波長1ミクロンでのエアロゾルの光学的厚さになる。(Szymer and Sellers, 1985より)

度の顕著な季節変化は、7月に多くなる土壌性エアロゾルに起因している (Szymer and Sellers, 1985)。

2. 熱収支への影響

まず、一般のエアロゾルが、地球—大気系の熱収支にどの程度影響を及ぼすかを、Coakley・Cess (1983) によるモデル計算で見てみる (第2図)。図によると、エアロゾルの存在は、地表気温を3度程度下げるのに寄与している。冷却の絶対値については、モデルの詳細に強く依存し、いくつかのモデルによって1度から3度程度の値が提案されているが、このような冷却効果はモデルに共通して見られる。これは、エアロゾル層の高度が1km

* Optical characteristics of aerosols in a Yellow Sand event.

** Teruyuki Nakajima, 東北大学理学部