

# 光散乱式粒子測定器で測定された長崎の 黄砂現象：1996～1998

荒生 公雄\*・坂口 千恵美\*\*

## Yellow Sand Events Measured by an Optical Particle Counter at Nagasaki University in 1996—1998

Kimio ARAO\* and Chiemi SAKAGUCHI\*\*

### Abstract

Yellow sand events at Nagasaki in Japan during the springs of 1996-1998 were analyzed based on the measurement of particle size distribution in the atmosphere by an optical particle counter(OPC). The yellow sand event (Kosa phenomenon in Japanese) means a significant dust storm in Japan, which is brought from the Asian Continent, so that, sometimes called the Asain duststorm.

The time series of aerosol number densities measured by the OPC at Nagasaki University indicate the threshold values of large particles in yellow sand events as;

number density of particles of diameter from 1 to 2  $\mu\text{m}$  : 4880 per liter

number density of particles of diameter from 2 to 5  $\mu\text{m}$  : 2220 per liter

number density of particles of diameter larger than 5  $\mu\text{m}$  : 80 per liter

### 1. はじめに

黄砂現象は、西日本地方では 春季（3～5月）に、毎年数回～5回（数日～10日間）程度の頻度で出現する。特に、長崎県地方は大陸に近いために、黄砂現象がもっとも頻繁に観測される地域である。地球規模の観点からみても、黄砂現象は特筆に値する「大規模な砂塵嵐」であるため、古くから気象学および気候学の研究対象とされてきた。そして、名古屋大学（1991）の総合的な研究成果報告集に詳述されているように、今日においても地球環境問題に関わる

広範な分野から黄砂現象に関する研究が行われている。

筆者らは、最近の3年間（1996～1998）にわたって、光散乱式粒子測定器（Optical Particle Counter；以下、粒子測定器またはOPCと略述する）を用いて、黄砂現象に焦点を絞って大気中のエアロゾル粒子の濃度を測定してきた。黄砂現象のもとでは、大粒子の濃度が大幅に増加することが知られており（たとえば、Tanaka et al., 1989）、本報では、黄砂現象をより詳しく理解するために、「黄砂」期間中およびその前後における大気中の粒子数の変動

\*長崎大学環境科学部自然環境保全講座

Faculty of Environmental Studies, Nagasaki University, Nagasaki 852-8521, Japan.

\*\*長崎市立片淵中学校

Katafuchi Junior High School, Nagasaki City, Nagasaki 850-0003, Japan.

Table 1 Yellow sand events at Nagasaki in 1996-1998

Year	Month Day	Weather* <sup>1</sup>	Times of yellow sand event* <sup>2</sup>	Lowest visibility* <sup>3</sup> (time)	Maximum density of 5 $\mu$ m-particles* <sup>4</sup>
1996	March 01	☉● ○	0830-1100	8 km ( 09h )	no observation
	April 07	○ ○	1510-2400	8 km ( 18, 21h )	no observation
		☉☉ ○	0000-0400	6 km ( 03h )	no observation
	April 17	☉● ☉	1120-2400	8 km ( 12~21h )	77 ( 23h )
		○ ☉●	0000-0200	15 km ( 21h )	57 ( 00h )
	May 02	○☉ ○	no event	15 km ( 15~21h )	77 ( 19h )
		☉○ ☉	no event	15 km (03, 06, 09h)	93 ( 09h )
	May 10	○☉ ☉	1000-2400	10 km ( 12~21h )	143 ( 22h )
		☉● ○	0000-0100	15 km (03, 06, 09h)	109 ( 01h )
	1997	March 07	○ ○	no event but haze	8 km ( 09, 12h )
○ ○			no event	15 km ( 03, 06h )	39 ( 01h )
March 30		○☉ ○	1630-2300	15 m ( 18, 21h )	118 ( 19h )
April 11		○ ○	1740-2050	10 km ( 18h )	22 ( 18h )
April 13		○ ○	1710-2350	6 km ( 21h )	31 ( 18h )
1998	March 29	☉ ○☉	1040-2030	8 km (12, 15, 18h)	no observation
		○☉ ☉	0930-2400	10 km ( 18, 21h )	no observation
		○☉ ☉	0000-1400	10 km (03, 06, 09h)	no observation
	April 17	○● ☉	1400-2400	10 km ( 21h )	86 ( 16h )
		○ ○	0000-2400	5 km ( 06h )	688 ( 06h )
		○ ○☉	00-05/1030-24	8 km ( 03h )	192 ( 16h )
		○☉ ☉	0000-2400	8 km ( 03, 09h )	137 ( 14h )
		●☉ ☉	0000-0430	10 km ( 03h )	96 ( 01h )

\*1 the former half shows the weather in daytime and the latter at night observed at Nagasaki Marine Observatory ; ○very fine, ○fine, ○slightly cloudy, ☉cloudy, ●rain

\*2 according to the careful observation by Nagasaki Marine Observatory

\*3 visibility at Nagasaki Marine Observatory observed in an interval of three hours

\*4 number density of particles larger than 5  $\mu$ m per liter measured at Nagasaki University

の実態と特徴を報告する。

## 2. 黄砂現象の概況 (1996～1998)

Table 1 は長崎海洋気象台で観測された3年間の黄砂現象の一覧表である。海洋気象台で観測された3月～5月の黄砂現象はすべて網羅している。さらに、海洋気象台の日原簿には黄砂現象の記載がないが、筆者らが「黄砂らしい」と推測した4日間(96年5月2～3日, 97年3月7～8日)も表に加えている。また、3年間では2月および6月に黄砂現象は出現していないので(長崎海洋気象台, 1996-1998), この表は春の3年間の長崎における黄砂現象のすべてを記載している。

Table 1 には、日付、天気、黄砂現象の出現時間帯、最小視程(起時)、OPCで観測された最大粒径の粒子数(起時)の順に表示している。なお、最後の欄の“no observation”という記述は本研究室でOPC観測を行っていないことを意味する。この表から明らかのように、長崎海洋気象台の観測による3年間の黄砂出現日数は、

1996年：7日(3月:1日, 4月:4日, 5月:2日)

1997年：3日(3月:1日, 4月:2日, 5月:0日)

1998年：8日(3月:3日, 4月:5日, 5月:0日)

であり、平均的な頻度に比べて(荒生ほか, 1979), 5月の出現日数が少なかった。

黄砂現象が出現する気象条件にはかなり共通性がある。すなわち、大陸で発生した低気圧が砂漠地帯および黄土地帯で砂塵を舞い上げ、その低気圧が東進して北日本方面通過するとき、低気圧の南西側に伸びる寒冷前線の後面側には砂塵が多く含まれているため、ほとんどの黄砂現象は春の低気圧が日本海方面を通過するときに現れる。

## 3. 光散乱式粒子測定器による観測結果

### 3-1 粒子測定器の特性

本研究に用いた測定器(OPC)の機種は、<リオンRION KC-01B>であり、大気中の粒子の大きさを5段階に分別する。すなわち、小さい方から順に、直径0.3～0.5  $\mu\text{m}$ , 0.5～1.0  $\mu\text{m}$ , 1.0～2.0  $\mu\text{m}$ , 2.0～5.0  $\mu\text{m}$ , 5.0  $\mu\text{m}$ 以上、に分級され、測定値はプリンター<RION KP-04A>に印刷される。本稿の図では、直径の小さい方から順に、d03, d05, d10, d20, d50という記号を用いることにする。

本測定器の原理は、センサー部分を通過する空気にハロゲンランプの光を照射し、個々の粒子の散乱光の強度から粒子直径を判別するものである。本測定器の空気流量は毎分0.5リットルであるので、3年間の測定では、サンプリング時間をすべて20分間に設定し、流量10リットル中に含まれる粒子数を測定した。ただし、本稿のすべての図と表では1リットル中の粒子数に引き直して表示している。外気からセンサーに導くチューブは長さ2m、内径8mmである。サンプリングを行った地上高は、1996～1997年は約20m(教育学部6階)、1998年は約6m(環境科学部2階)である。

空気10リットルの測定には約20分を要するので、1時間間に3組のデータセットが得られる。ただし、サンプリング時間間隔は正確には20分間よりも10秒程度長いので(この10秒間はプリンターへのデータ印刷時間)、測定時間帯は徐々に後退していくため、常に00～20分、20～40分というようなキリのよいデータになるわけではない。これから示す1時間ごとの粒子密度の時系列は、特定の正時の1時間前からその正時までで得られた3組のうちで大粒子の濃度が最も高いものを選択した。しかし、3組の間にあまり差がない場合には20～40分の時間帯を含む1時間の中央部分のものを選んだ。たとえば、09時の粒子濃度は、08～09時の間の3組の

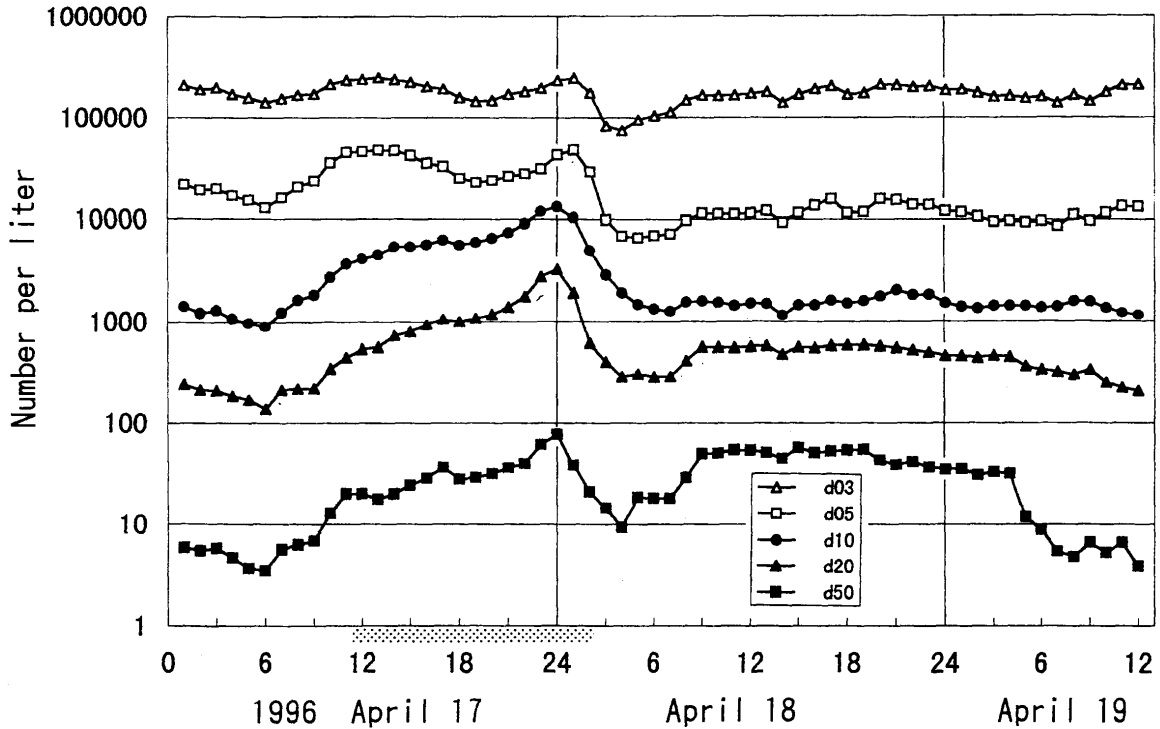


Fig. 1 Time series of number density of aerosols at Nagasaki University on 17 to 19 April 1996. Captions d03, d05, d10, d20 and d50 indicate diameters 0.3-0.5, 0.5-1.0, 1.0-2.0, 2.0-5.0 and 5.0  $\mu\text{m}$ ~ in order. The shaded belt under the time axis shows the yellow sand event observed at Nagasaki Marine Obervatory.

データのうちから、上の基準に基づいて選んだものである。

### 3-2 黄砂現象と粒子濃度の変化

この小節では、黄砂現象に焦点を当てて粒子測定器から得られた粒子密度の時系列を年月の順に表示する。

#### (1) Fig.1 <1996年4月17~19日>

図の縦軸は1リットル当たりの粒子数、横軸は日時を表す。横軸の下にある帯状の半影部は黄砂現象が長崎海洋気象台で観測された時間帯を示す。この場合 (Table 1に示したように)、4月17日11時20分から18日02時まで黄砂が観測されていた。現象発現の直前数時間における、5階級すべての粒子数が増加の傾向を示し、特に大粒子の急増が顕著である。また、黄砂終了時付近では、すべての粒子数が急激に低下して

おり、深夜にもかかわらず、気象台観測者の観測とOPCの測定結果は見事に一致している。18日の09時から夜半までの大粒子の濃度は黄砂時とほぼ同じレベルにあるが、d05とd10の粒子が比較的低濃度であったためか？、海洋気象台は黄砂現象を記載していない。

#### (2) Fig.2 <1996年5月2~4日>

この日時には、海洋気象台は黄砂を観測していないが、本研究室では天気図型から「黄砂出現の可能性あり」と判断して5月1日にOPC測定を開始した。2日18時以降の大粒子濃度は4月17日の黄砂現象時よりも高い。ただし、小粒子側はそれよりも低濃度であったことがわかる。なお、3日の海洋気象台における最小視程は15km(09時)であったが、黄砂と結びつくような観測結果は記録されていない。しかし、長崎市の西約100kmに位置する福江測候所では2

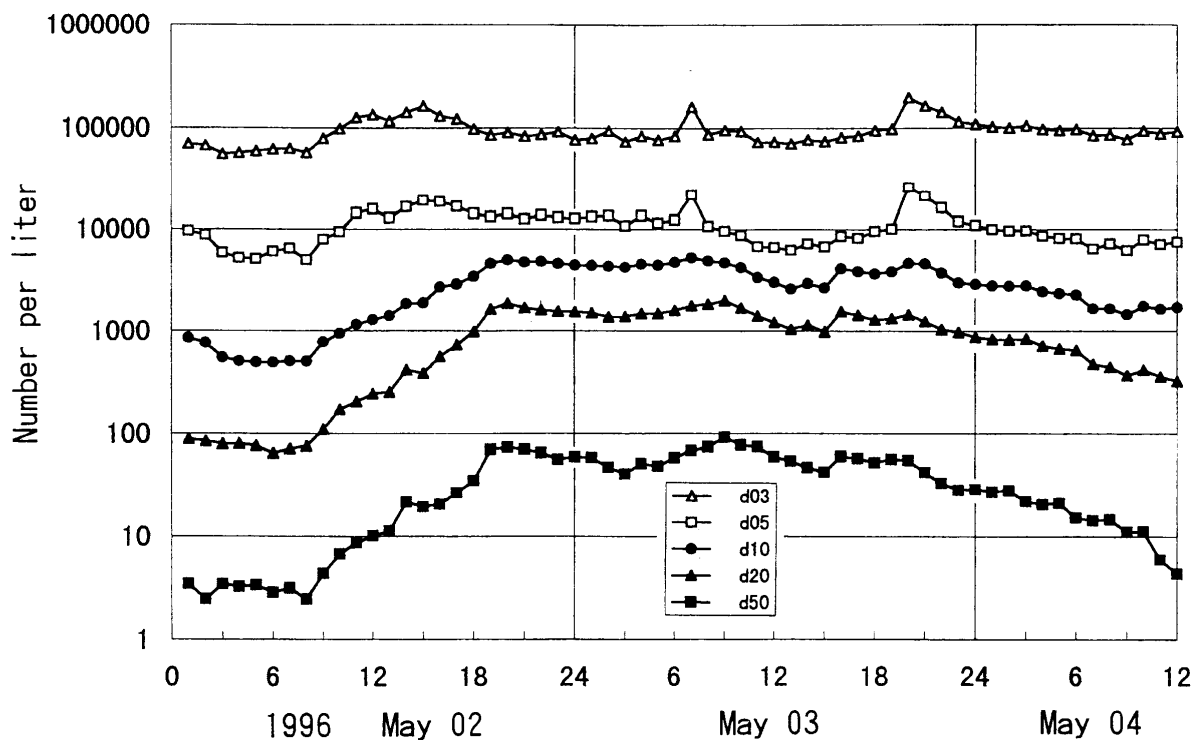


Fig. 2 Time series of number density of aerosols at Nagasaki University on 02 to 04 May 1996. Captions are same as Fig. 1.

～4日までの3日間にわたって煙霧を観測しており、「弱い黄砂状態」であったことも十分考えられる。

(3) Fig.3(a)(b) <1996年5月8～13日>

この時も「発現の可能性あり」と判断して8日13時過ぎに測定を開始した。8日夜には大粒子がかなり高濃度になっていたが、海洋気象台では黄砂現象を記載していない。9日の深夜も高濃度になっていたが、海洋気象台が黄砂を記載したのは、10日10時から11日01時までであった。黄砂現象時のd50粒子の濃度はほぼ100個/リットル、d20粒子は400/リットル程度であった。5月10日の黄砂に関する衛星画像の解析には甲斐・徳野(1997)の論文があるので、ぜひ参照されたい。

(4) Fig.4 <1997年3月7～8日>

この時も海洋気象台は黄砂を観測していないが、d50粒子はかなりの高濃度であった。ただ

し、d20粒子とd10粒子の濃度は1996年5月10日の黄砂時(Fig.4)よりも明らかに低濃度である。海洋気象台では7日に煙霧、福江測候所も7～8日に煙霧を観測しており、弱い黄砂であった可能性が考えられる。

(5) Fig.5 <1997年3月30～31日>

黄砂は30日の夕方から夜間に観測された。30日23時の黄砂終了時は大粒子側(d10～d50)の濃度の低下とよく対応している。

(6) Fig.6(a)(b) <1998年4月17～22日>

17日13時過ぎに測定を開始したが、海洋気象台は14時に黄砂を記録しているので、測定と黄砂現象は同時にスタートした。17日夜間の大粒子側の濃度が低下しても海洋気象台の黄砂現象はずっと継続し、19日朝まで続いた。その間、18日06時頃に大粒子の極めて異常な高濃度が観測され、さらに、同日16時の高濃度もかなり顕著であった。このときの2つの極値は3年間に

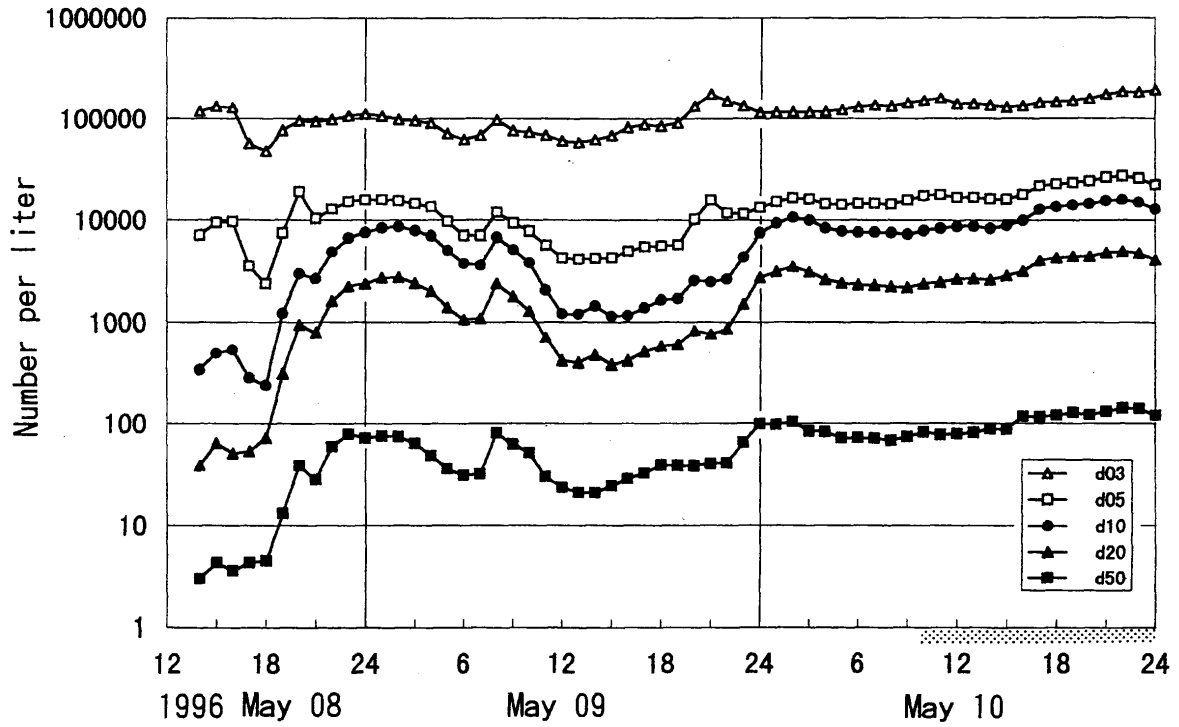


Fig. 3(a) Time series of number density of aerosols at Nagasaki University on 08 to 10 May 1996. Captions are same as former ones.

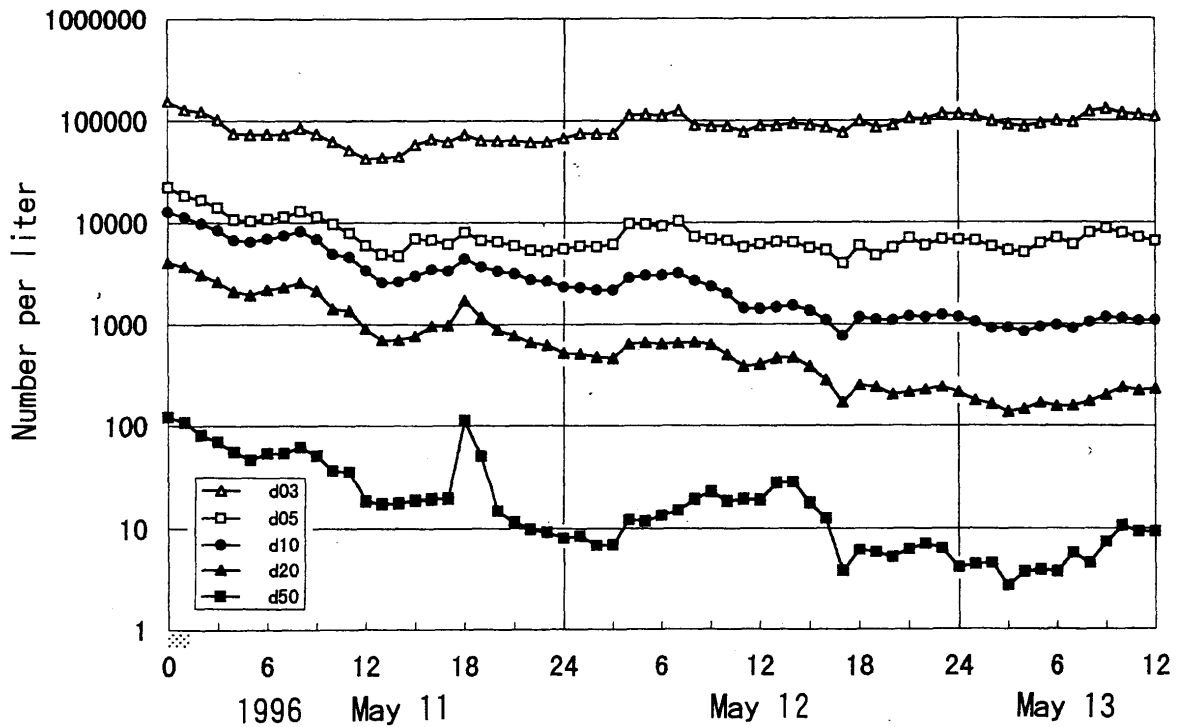


Fig. 3(b) Time series of number density of aerosols at Nagasaki University on 11 to 13 May 1996. Captions are same as formers.

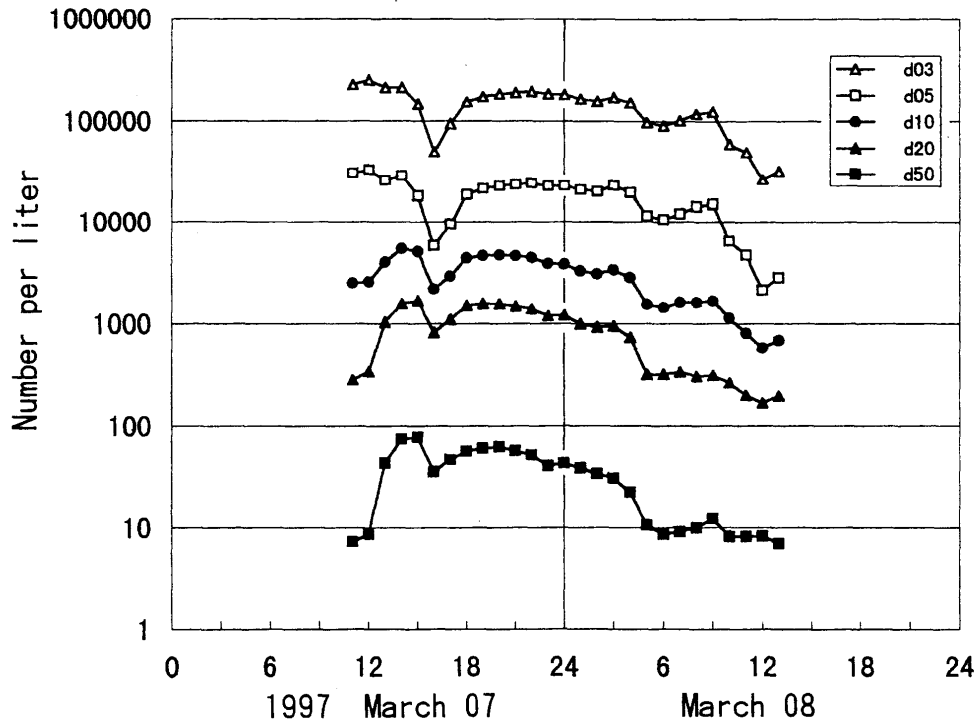


Fig. 4 Time series of number density of aerosols at Nagasaki University on 07 to 08 March 1997. Captions are same as formers.

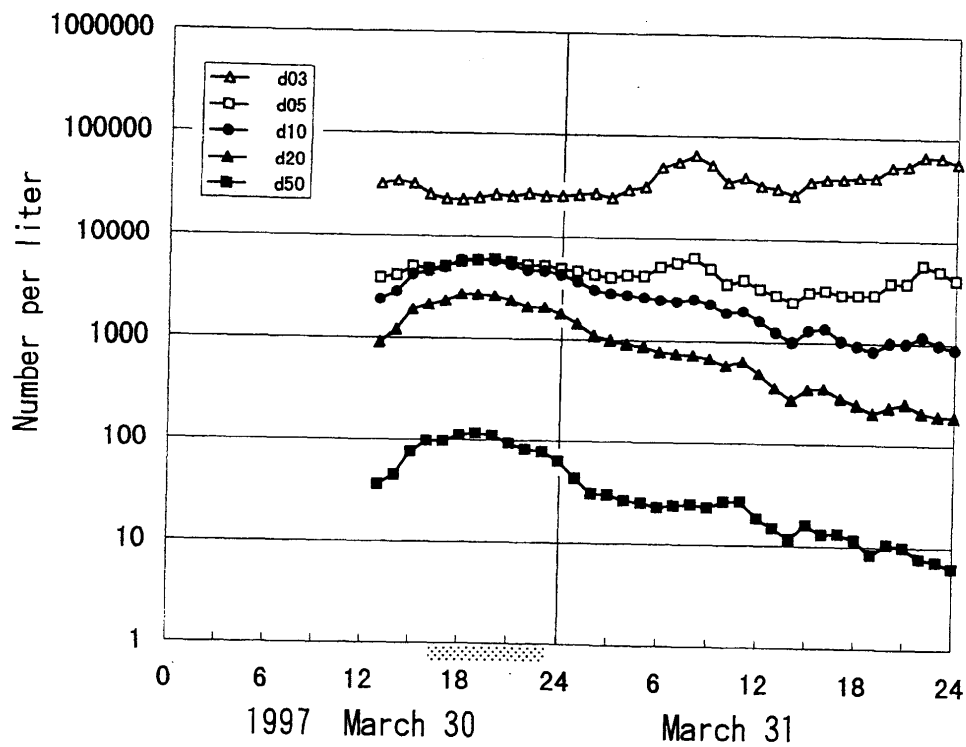


Fig. 5 Time series of number density of aerosols at Nagasaki University on 30 to 31 March 1997. Captions are same as formers.

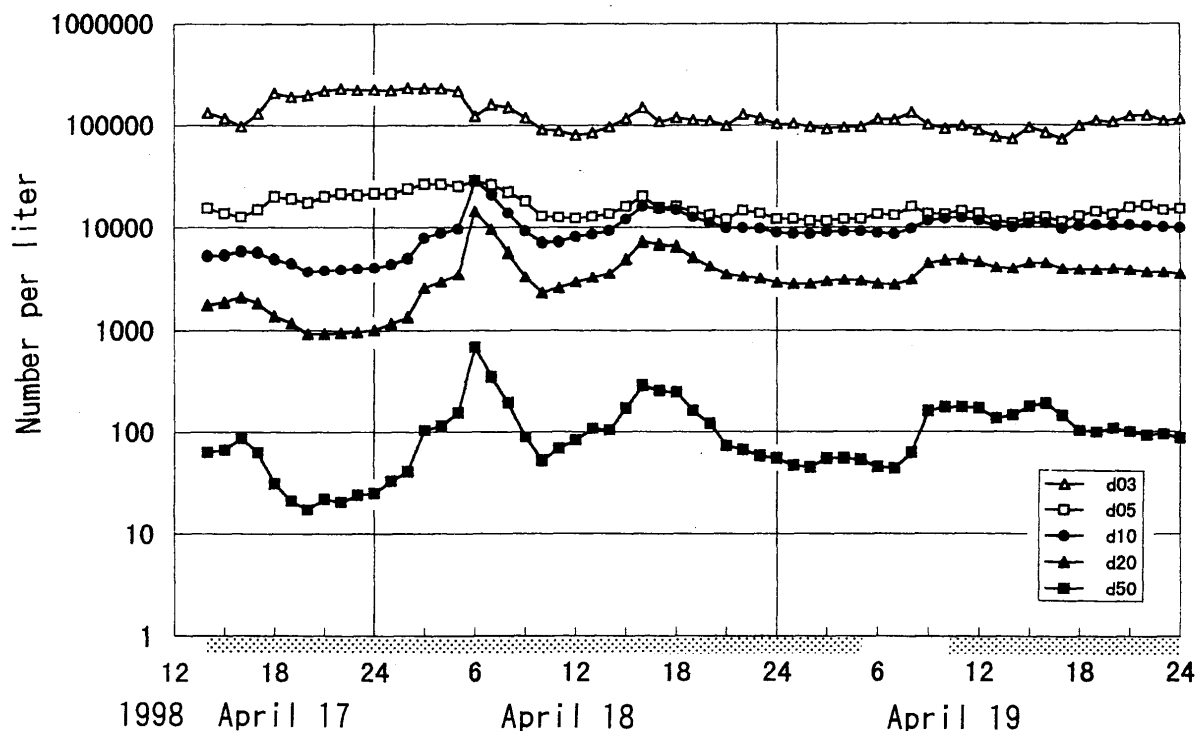


Fig. 6(a) Time series of number density of aerosols at Nagasaki University on 17 to 19 April 1998. Captions are same as formers.

における最大粒子 (d50) 濃度の第 1 位 (688 個/リットル) と第 2 位 (280 個/リットル) になっている。長崎大学で観測された従来の d50 の極値は 460 個/リットルであったので (Tanaka et al., 1989), 18 日早朝の黄砂は極めて稀な高濃度であったとすることができる。さらに, 19 日 10 時 30 分に再び黄砂状態となったが, 大粒子の濃度は 09 時には急激に増加していた。この 18 日の大規模な黄砂現象については, 地上天気図と 500hPa 面天気図, 「ひまわり画像」およびそれらの解説記事から成る田中 (1998) の報告があるので参照されたい。

(7) Fig.7 <清澄時の粒子濃度>

比較のために, 非常に清澄であった 1997 年 3 月 24~25 日の濃度分布を示す。清澄状態を観測したため測定を開始したもので, 24 日午後の視程は筆者らの推定値で 50km 以上になっていた。

平均的な黄砂状態と比べて, 大粒子側 (d10~d50) の濃度はほぼ一桁小さく, 小粒子も半分以下になっている。25 日未明の濃度はさらに低下し, 著しい低濃度となっている。これは, 高気圧のために深夜から早朝にかけて大気が安定な状態にあったので, 大気最下層の粒子が閉じ込められて, ゆっくりと降下したためと考えられる。そして, 日の出とともに, 大気が次第に不安定になると, 人々の朝の活動とが重なって, 朝 06 時を境に濃度が上昇に転じている。ただし, 一見, 高濃度にみえる 25 日 11 時の濃度でも, 24 日の日中より若干高いだけで, 清澄状態はほとんど維持されていた。



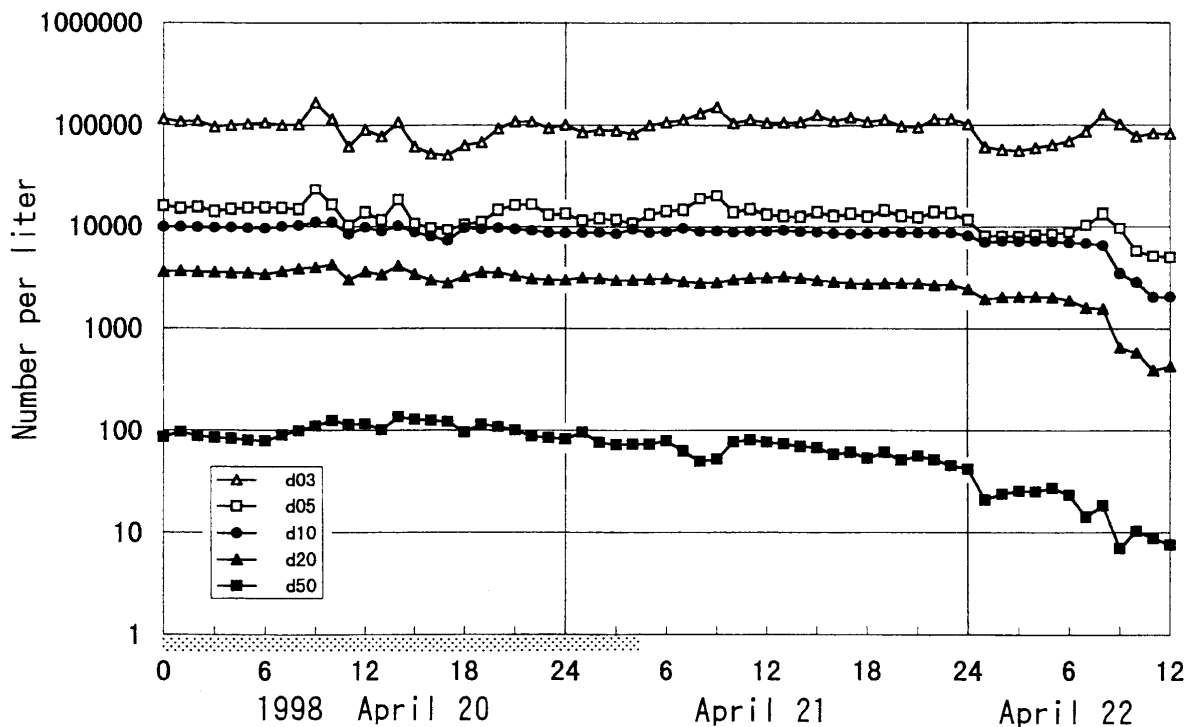


Fig. 6(b) Time series of number density of aerosols at Nagasaki University on 20 to 22 April 1998. Captions are same as formers.

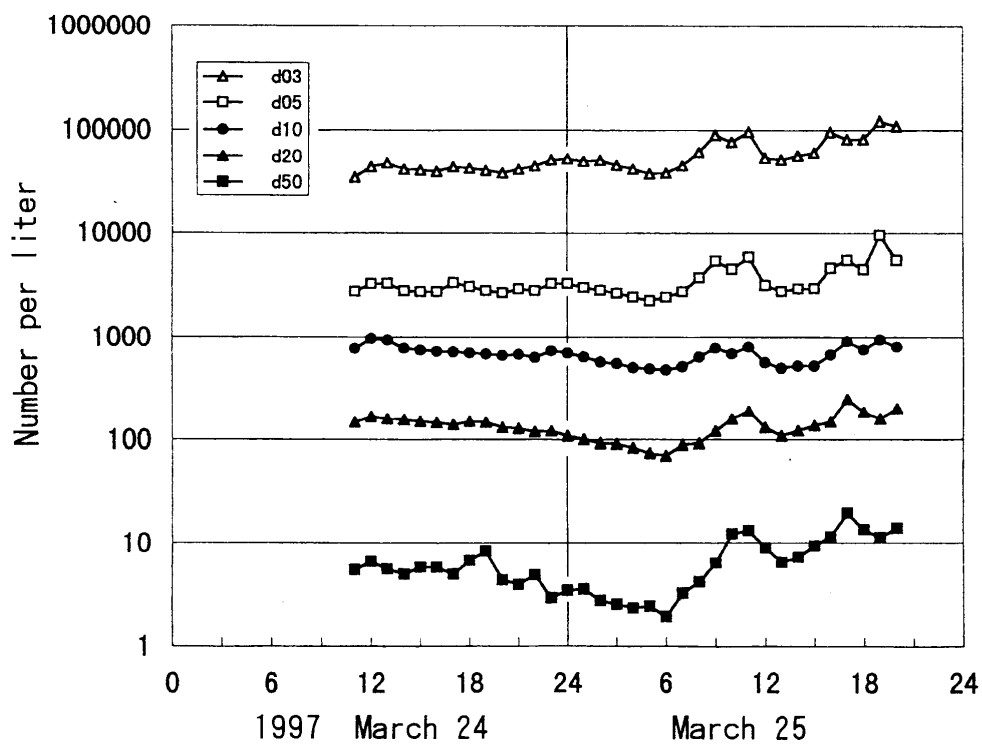


Fig. 7 Time series of number density of aerosols at Nagasaki University on 24 to 25 March 1997 when atmosphere is in a very clear condition. Captions are same as formers.

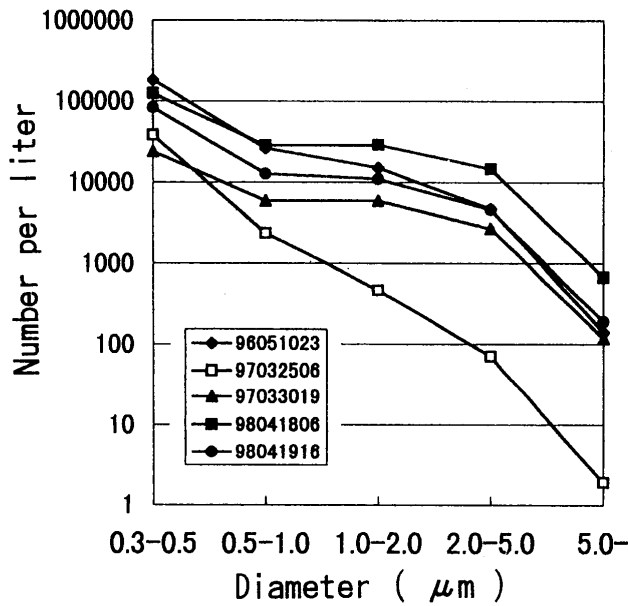


Fig. 8 Typical distributions of particle number spectrum in yellow sand events at Nagasaki University with a very clear condition denoted by 97032506. Captions in the figure indicate year, month, day and hour.

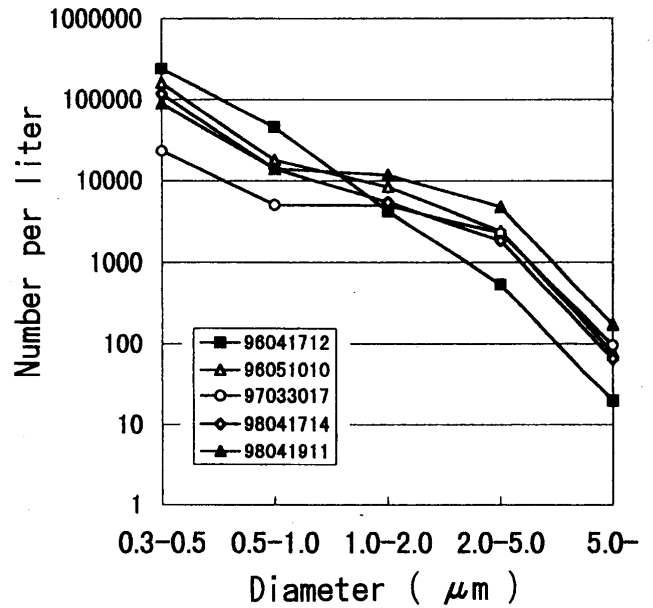


Fig. 9 Particle number spectra at Nagasaki University at the times when a yellow sand event was newly observed at Nagasaki Marine Observatory. Captions in the figure are same as Fig. 8.

Table 2 Typical data of optically counted particles (number/liter)

particle diameter (μm)	10 May '96 23h	30 Mar '97 19h	18 Apr '98 06h	19 Apr '98 16h	25 Mar '97* 06h
0.3~0.5	183082	23885	124601	84715	38234
0.5~1.0	26231	5934	28671	12619	2388
1.0~2.0	14946	5905	28972	11001	476
2.0~5.0	4735	2732	14569	4626	70
5.0~	142	118	688	192	1.9

\* very clear condition in which the visibility was greater than 50km

#### 4. 考察

##### (1) 大気中の粒子数の変動の範囲

Fig.8は、3年間のうちで代表的な4例の黄砂現象時における5段階の粒径分布と、非常に清澄な状態における粒径分布1例を示す。また、Table 2にはそれらの粒子数の数値を示す。4つの黄砂現象時の粒径分布は、それぞれの黄砂

で大粒子が最大濃度になったときのデータである。また、清澄時のデータはOPCの3年間の測定において大粒子側が最小濃度であったものである。これらの図と表から、清澄時に比較して、通常の黄砂状態においても大粒子側で20~50倍も高濃度になることわかるとともに、1998年4月18日早朝の黄砂現象は大粒子側で異常に高濃度(通常の黄砂の3~5倍)であったこと

がわかる。

### (2) 黄砂を観測した時刻の粒子濃度

気象台や測候所では、黄砂現象がない大気状態から混濁状態が悪化したことにより「黄砂」と判定し、その時刻と現象の強さを記載するとともに、それ以後も注意深い観測を行って、現象の解消時刻も記録している。そこで、長崎海洋気象台が新規に「黄砂」と判定した時刻（の1時間以内）における長崎大学のOPC測定値に注目してみる。

Fig.9は5例の黄砂発現時刻におけるOPCの粒径分布である。3例の大粒子密度は、対数グラフ上ではあるが、非常に接近している、それらが5例のほぼ中央の位置を占めている。そこで、その3例の大粒子側の粒子密度の平均を求めると、

粒子直径1～2 $\mu\text{m}$  : 4880個/リットル

粒子直径2～5 $\mu\text{m}$  : 2220個/リットル

粒子直径5 $\mu\text{m}$ 以上 : 80個/リットル

となり、この程度の粒子密度が「黄砂」の「しきい値」になっていると見なすことができる。

この図のなかで、1996年4月17日12時の場合は、大粒子密度がかなり少ない。12時の時点で「黄砂」と判定するのはOPCの観点では早過ぎるという印象をもつ。しかし、この時の小粒子は非常に高濃度であった（Fig.1も参照されたい）。中島（1987）が指摘しているように、視程の低下は大粒子よりも小粒子の密度に強く依存するので、この時は大粒子よりも小粒子によって、視程が8km(12時)まで低下し、気象台職員は「黄砂」と判定したものと推察することができる。さらに、1998年4月19日11時の場合は黄砂発現時の値としては大粒子が多過ぎるレベルである。Fig.6(a)を見ると、この時の約1時間半前(09時)に大粒子が急増していた。それゆえ、実際には09時頃から黄砂状態に突入していたと推定できる。

### (3) 黄砂現象がなかった時の高濃度状態

Fig.2とFig.4では、海洋気象台で黄砂現象を観

測していない。しかし、両者とも大粒子はかなり多く、黄砂状態に匹敵するレベルになっていた。Fig.2の1996年5月2～3日では、小粒子側が比較的低濃度であったために視程の低下がなかったことと、大粒子の高濃度が夕方の薄明時に始ったことが重なって、黄砂現象を確認できなかった可能性が強い。

一方、Fig.4の1997年3月7日の場合は、海洋気象台では09時と12時に視程が8kmであったために「煙霧」と記録された。この時点での煙霧は非常に正確な判定であったと考えられる。午前中から煙霧であったことが災いして、14～15時段階の大粒子の急増による黄砂現象を確認できなかった可能性がある。ただし、これはあくまでもOPCのデータ上での考察である。

以上のように、気象台の黄砂発現記録とOPCの測定値の間には若干の差異がある。しかし、それはかなり軽微な差であり、大部分の場合は「見事に一致している」と認めることができる。長崎海洋気象台職員の優れた観察能力に敬意を表したい。

### 謝辞

本研究に関する気象資料の収集に当たっては、長崎海洋気象台、日本気象協会長崎支部、気象業務支援センターの御援助を頂いた。また、3年間のあいだに、青木一真氏（北海道大学博士課程）、岡田菊夫博士（気象庁気象研究所）、中島映至教授（東京大学）、植松光夫助教授（東京大学）、村山利幸助教授（東京商船大学）、竹内延夫教授（千葉大学）、高村民雄教授（千葉大学）、新村典子博士（千葉大学）、甲斐憲次助教授（名古屋大学）からさまざまな御援助と御教示をいただいた。記して謝意を表します。なお、本研究は下記のプロジェクトの一環として実施したものである。

1996年：ADEOS衛星海色観測計画（日本宇宙開発事業団〈NASDA〉）

1997~98年：黄砂ライダーネットワーク観測  
LINK-J(Lidar network for the obser-  
vation of Kosa in Japan ; [http://  
info.nies.go.jp:8094/kosapub/](http://info.nies.go.jp:8094/kosapub/))

参考文献(50音順)

- 荒生公雄, 牧野保美, 永木嘉寛, 1979 : 黄砂に  
関する若干の統計的研究, 長崎大学教育学部  
自然科学研究報告, No.30, 65-74.
- Arao, K. and Y. Ishizaka, 1986 : Volume  
and mass of yellow sand dust in the air  
over Japan as estimated from atmos-  
pheric turbidity. *J. Meteor. Soc. Japan*,  
64, 79-94.
- 荒生公雄, 岩坂邦彦, 福井理作, 1993 : 島原市  
における大気中の雲仙火山灰の濃度と粒径分  
布の変動, 雲仙火山災害の調査研究, 第2報  
(長崎大学調査研究グループ), 20-27.
- 荒生公雄, 1997 : 黄砂現象の光学, 千葉大学環  
境リモートセンシング研究センター (センサ  
/大気放射研究部門) 研究報告集, No.1,  
46-53.
- 甲斐憲次, 徳野正己, 1997 : 衛星画像による黄  
砂, エアロゾル研究, 12, No.1, 6-12.
- 田中武夫, 1998 : 寒冷渦と黄砂, 気象, 1998年  
6月号, 20-21.
- Tanaka, M., T. Nakajima, M. Shiomara, M.  
Yamano and K. Arao, 1989 : Aerosol op-  
tical characteristics in the yellow sand  
events observed in May, 1982 at Nagasa-  
ki-Part I Observations. *J. Meteor. Soc.  
Japan*, 67, 267-278.
- 長崎海洋気象台, 1996-1998 : 長崎県気象月報  
(月刊)
- 中島映至, 1987 : 黄砂性エアロゾルの光学的特  
性, 天気, 34, 185-188.
- 名古屋大学水圏科学研究所 (編), 1991 : 大気  
水圏の科学--黄砂, 古今書院 (東京), pp.328.  
<現在, 同研究所は大気水圏科学研究所と改  
称されている>
- Murayama, T., N. Sugimoto, I. Matsui, K.  
Arao, K. Iokibe, R. Koga, T. Sakai, Y.  
Kubota, Y. Saito, M. Abo, N. Hagiwara,  
H. Kuze, N. Kaneyasu, R. Imasu, K. Asai  
and K. Aoki, 1998 : Lidar network obser-  
vation of Asian dust(Kosa) in Japan.  
*Optical Remote Sensing for Industry and  
Environmental Monitoring*, SPIE Proceed-  
ing Series, Vol.3504.

(1999年1月29日受理)