

海塩粒子とレーザー光透過率との観測*

横井 武 長**

要旨

1969年8月から1970年8月の間、地中海の海上でレーザー光の水平伝搬の実験を行なった。この実験では光透過率・気温・湿度・海塩粒子・非吸湿性粒子その他の観測を行なった。観測は52回にわたり、データは多量であるが、そのうち主として光透過率と海塩粒子の観測結果をまとめた。

観測された光透過率は非吸湿性粒子の観測結果により補正され、海塩粒子はサンプルごとに Junge 分布をしているものとして、平衡相対湿度 80~99% における C の値を計算した。一方、Junge 分布 (Junge, 1955) のモデルをつくり、これによって C に依存する形で透過率を計算し、観測から得られた C 値と比較して粒子の平衡相対湿度をきめた。その結果、周囲の空気の相対湿度と粒子の平衡相対湿度との間には直線関係が得られ、平衡相対湿度の方がかなり高くなった。

1. 緒言

大気中に浮遊する半径約 0.5μ から 0.08μ までの間の海塩粒子の観測では、直接測定法がないため、光を用いるのが有効とされる (Junge, 1963)。一方 Zuev (1970) は、大気中浮遊物の粒径分布と光の減衰との同時観測の行われた例の少ないことを指摘している。

海塩粒子の分布が Junge 分布であるとき、インパクターにより半径約 0.5μ 以上の巨大粒子を観測すると同時に光を伝播させればその減衰によって半径 0.5μ から 0.08μ までの間の粒子、即ち大粒子の分布を知ることができる筈である。Junge 分布は、粒子半径を r 、個数濃度を $dN/d \log r$ 、および β 、 C を定数として、

$$\frac{dN}{d \log r} = Cr^{-\beta} \quad (1)$$

として表わされる。この場合 C は一つの半径に対する個数濃度によりきめられる。しかし半径の値は、粒子表面上の平衡相対湿度によって変化するため、 C はまたこの平衡相対湿度にもよることになる。

1939年に Wright は相対湿度と大気混濁度 (Opacity) との間の関係について理論的考察を加えたが、その中で吸湿性粒子は周囲の空気の相対湿度において平衡に達しているという仮定をおいている。鳥羽 (1965) も、そ

の鉛直分布理論において同様の仮定をおいた。しかしその後、茶円 (1973) の海洋上での海塩粒子の鉛直分布の観測結果からは、周囲の相対湿度が 95% 以下の場合には 95% において平衡に達しているとすればよりよく観測結果と一致することが見出された。このように粒子表面上の平衡相対湿度が周囲の相対湿度と一致していなければ、実際の平衡相対湿度の値を知る必要がある。若しそれが知られなければ、インパクターできめられる粒子の滴としての半径も不確定であって、Junge 分布の場合、その C も決められないし、光の減衰により大粒子の個数濃度をきめることもできなくなる。また視程 (あるいは大気混濁度) と相対湿度との関係も意味をなさない。このように考えれば粒子表面上での平衡相対湿度を求めることは、エアロゾル物理あるいは気象光学上重要な意味をもつことは明らかである。

筆者は1969年8月から1970年8月までの間において、海上 2.26km の距離にレーザー光を水平に伝送し、その透過率を測定すると同時に、気温・湿度など気象要素の測定、更に吸湿性粒子 (海塩粒子) および非吸湿性粒子 (主に砂) の採集を行なって、この問題を実験・理論の両面から解明しようとした。本文では、そのうち光透過率と海塩粒子の観測について述べる。

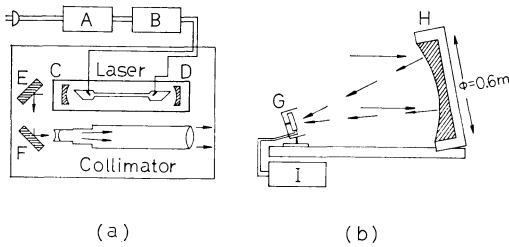
2. 観測の方法

2.1 光透過率測定の方法

光透過率測定には、出力 10mW、波長 0.6328μ 、CW のヘリウム・ネオンガスレーザを用いた。第1図 (a) に発信系を示す。第1図 (b) は受光系で、受光鏡は口

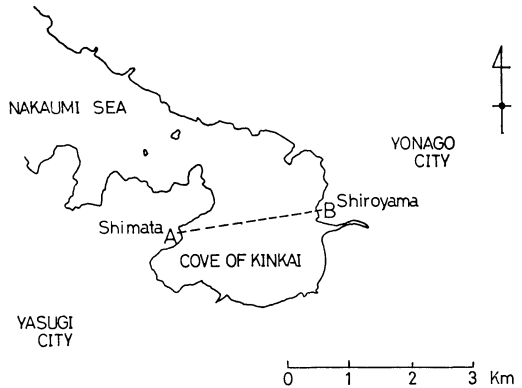
* The observations of the giant sea-salt particles and the laser-light-transmittances.

** T. Yokoi, 米子工業高等専門学校
—1974年2月12日受理—



第1図 レーザ装置 (a) と受光装置 (b)

A : 定電圧装置, B : 直流電源, C, D : 光共振器, E, F : 平面鏡, G : 太陽電池, H : 記録電圧計



第2図 観測点付近の地図. A, Bは観測地点

径60cm, 焦点距離120cmの凹面鏡である。この鏡によって受けられた光は太陽電池により測光される (Yokoi, 1968)。

レーザ出力のモニターの方法としては、はじめ洩れ光束法によった。これはレーザ管の後方に洩れ出る出力と、前方出力との関係を時々測ることにより、必要なときの出力を洩れ出力からきめる方法である。洩れ・前方両出力の関係は、レーザの使用時間によって一定でないため、実験の後半ではビーム遮断法によった。これは受光鏡の他に口径20cm, 焦点距離約150cmの凹面鏡を用い、両者にレーザ光を照射したときの反射光強度の関係から出力を求めるものである。測定法は別稿に詳述されている (Yokoi, 1974b)。

2.2 海塩粒子観測の方法

海塩粒子 (以下において粒子という) のサンプリングは鳥羽と田中 (1967) によって設計された手動インパクターと試薬フィルムとを用いて行なった。サンプリングの後、フィルムを現像し、顕微鏡写真を撮影し、読取フィルムによって一つ一つの粒子に含まれる海塩の質量を決定した。この方法では半径1μ以上の巨大粒子が100%捕集される。

粒子半径 $r(\mu)$ は、海塩質量を $m(10^{-12}\text{gm 単位})$ 、密度 $\rho(\text{gm/cm}^3)$ 、塩分を $S(\%)$ として、

$$r = \left(\frac{3 \times 10^3 \cdot m}{4\pi\rho S} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2)$$

で与えられる。また $S=35\%$ のときの粒子半径を r_s 、密度を ρ_s 、塩分を S_s とすると

$$\frac{r}{r_s} = \left(\frac{\rho_s S_s}{\rho S} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3)$$

で与えられる (Toba, 1966)。

中海の場合は岸岡による最近10年間の観測結果 (Kishioka, 1964) を検討した結果、 $S=14.53\%$ を得た。従って鳥羽の総合報告 (1966) の Table IV と本文の (1) によって、 ρm を与えれば r を得ることができる。この場合、平衡相対湿度は99.3%となっていて、塩分35%の海の場合の98.2%とは異っている。

3. 実験の場所

第2図に観測点の位置を示す。レーザは安来市側の海岸 (A地点)、受光器は米子市側の海岸 (B地点) にある観測小屋内に固定した。A, B2地点間の距離は2.255kmで、海面からのビームの高さは平均1.57mであった。またビームは海面にほとんど水平に伝搬させた。光透過率と同時に空気の相対湿度、気温、水温、ビームの高さ・径を測定した。また海塩粒子・非吸湿性粒子のサンプリングを行なった。これらの観測は両観測点で海へ突き出した棧橋を作りその先端において、水温以外はビームの高さにおいて行なった。

4. 観測結果

光透過率および気温・湿度等の観測は52回、測定は1,217回行なった。巨大粒子の観測は質量・個数を決定できたもので、試薬フィルム156枚となった。サンプリング時における光透過率、湿度等を第5表に示す。表中、 I はB地点におけるレーザ光強度、 I_0 はA地点を発信するときのレーザ光強度で、 I/I_0 は光透過率である。このときの光の経路の長さを l 、消衰係数を σ とすると、

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\sigma l} \quad (4)$$

であるが、 $l=2.255\text{km}$ とすると、 σ は、

$$\sigma = - \left[\frac{\ln I/I_0}{2.255} \times 10^{-5} \right] \text{ cm}^{-1} \quad (5)$$

第1表 海塩質量 m と平衡相対湿度99%における粒子半径 r との関係

$\log m$	0	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50
r	2.92	3.40	3.97	4.49	6.00	7.28	8.82	10.68	12.95	15.68	
$\log m$	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00				
r		18.96	22.98	27.87	33.77	40.94	49.58				

として計算される。

一方、非吸湿性粒子（主に砂と土壌）の観測結果は、筆者の他の論文（Yokoi, 1973）に述べられているが、その中において、サンプル中の粒子の直径を顕微鏡接眼移動測微計を用い、約 0.8μ 単位で測定した結果から、非吸湿性粒子による光の減衰係数 σ_s が計算されている。海塩粒子による光の減衰係数を σ_p とすると

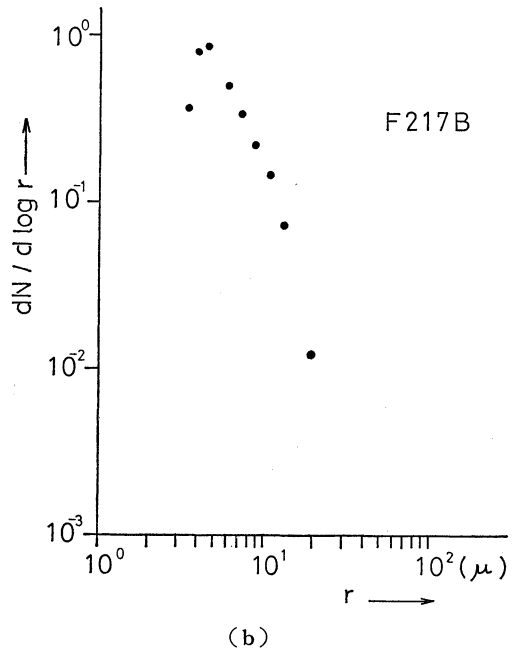
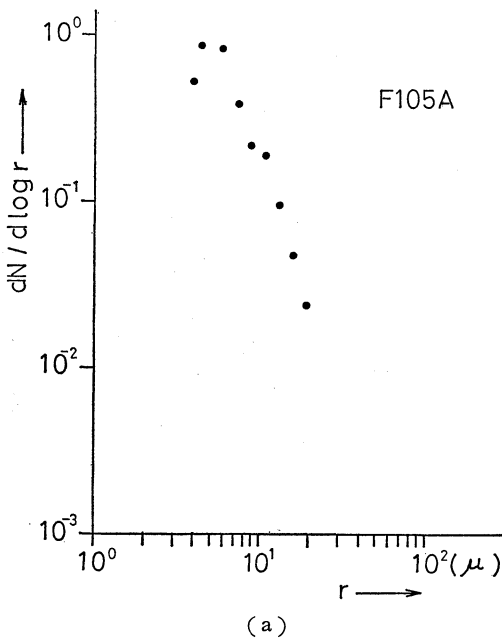
$$\sigma = \sigma_p + \sigma_s \quad (6)$$

の関係から σ_p を求めれば、非吸湿性粒子の影響をとり除いた透過率を求めることができる。このようにして光透過率を補正した結果、補正量の最大値は透過率の単位（%）で13.3%、その平均値は約2%となった。平均値の方は、Rayleigh 散乱による減衰とほぼ同じであるが、全体としてばらつきが大きいため、すべてのデータを

非吸湿性粒子の観測結果を用いて補正した。その結果は第5表に示す。

サンプリングされた粒子の粒径・個数の読み取りは、大粒径の部分で正確に行われているが小粒径側では多小読み落されている。第3図に例として示すように粒径の小さいところで個数が少なくなっている。粒子の分布はJunge 分布に近似できるものとして、分布の β あるいは C を観測結果から決めることを目的として読み取ったため小粒径側の読み落しがみられるのである。

読み取られた海塩質量は2.2に述べた方法により平衡相対湿度99.3%における粒子半径に換算した。観測された海塩質量と粒子半径との関係は第1表のようになる。この r の値においては、 $d \log r$ の平均値は0.837となる。これを用いて $dN/d \log r$ の値を計算し $dN/d \log r$ vs r を両対数紙上にプロットした。その一つの例が上



第3図 (a), (b) サンプリングされた海塩粒子の分布。横軸は粒子半径、縦軸は個数濃度である。F105A, F217BのFは海塩粒子サンプルをあらわす記号、数字はサンプル番号で、A, Bは観測地点をあらわす。

第2表 平衡相対湿度と $r/r_{99.3}$

平衡相対湿度	$r/r_{99.3}$
99.3%	1.000
98.0	0.701
97.0	0.611
95.0	0.526
92.5	0.468
90.0	0.432
85.0	0.388
80.0	0.361
75.0	0.339

記の第3図である。次にフィルムごとに半径の平均値 \bar{r} を求め、第1表中の \bar{r} に近い半径を粒子半径の代表値とし、平衡相対湿度99.3%における Junge 分布の β を 2.8745 として C の値を(1)から求める。

\bar{r} に近い半径が代表値として適当かどうかは $dN/d \log r$ vs r の図から一つ一つ検討し、適さない場合は他の適当な半径を用いた。以上の結果は第5表に示す。

粒子半径は平衡相対湿度によって変動する。平衡相対湿度98.2% (塩分35%) のときの半径 r_s に対する粒子半径の値は鳥羽の総合報告(1966)に与えられている。地中海の場合は平衡相対湿度は99.3%である。このときの半径を $r_{99.3}$ と書いて、他の r の $r_{99.3}$ に対する比を計算すれば第2表のようになる。

$dN/d \log r$ の値は平衡相対湿度による変化はほとんどないから、 $r/r_{99.3} = p$ (定数)、また平衡相対湿度99.3%における C の値を $C_{99.3}$ とかくと、

$$C = p^\beta \cdot \left[\frac{dN}{d \log r} \cdot r_{99.3}^\beta \right] = p^\beta \cdot C_{99.3} \quad (7)$$

なる関係を得る。

海から出た直後の粒子の平衡相対湿度が99.3%で、ビームの高さにおけるA、B両地点での空気の相対湿度を平均したものを RH 、粒子の平衡相対湿度を $EqRH$ と書くと、 $RH \leq 99.3$ に対し

$$RH \leq EqRH \leq 99.3\% \quad (8)$$

なる関係があるものとして、粒子の C 値を計算した結果を第5表中に示す。

5. Junge 分布のモデル

観測された粒子の平衡相対湿度をきめるために、粒径分布が Junge 分布であるモデルを考える。一つのモデルごとに平均消衰効率 (Averaged extinction efficiency

factor) を計算し、更に C 値のみに依存する透過率を計算すれば、上述の観測された C 値と比較して観測された粒子の平衡相対湿度をきめることができる。

Junge の1955年の論文あるいは1963年の著書に述べられているモデル分布はデータが充分多いときの平均的分布であり、大陸型分布 (Continental Aerosols) の場合は次のような条件によって成立っている。

1) $dN/d \log r$ の値は、ほぼ $10^4 \sim 10^{-2}$ の範囲である。

2) 粒径はほぼ $0.01 \sim 20 \mu$ の範囲内にある。(エイトケン粒子の個数濃度の最大値は、粒径 $0.01 \sim 0.1 \mu$ の範囲内にある。)

3) $dN/d \log r$ は $r^{-\beta}$ に比例する。比例定数 C は含有される塩質量と粒子の表面における平衡相対湿度とに依存する。この関係はまた $(dN/d \log m) \cdot m = C'$ (定数) と考えられる。ただし m は塩質量である。

4) 視程はエイトケン粒子の濃度によらない。

以上の条件によりきめられるモデルをつくるに当たり、3) の定数 C または C' をどのようにきめるかが問題になる。 β , C および $dN/d \log r$ からきめられる最大・最小粒径は、平均散乱効率 F の値に影響するが、モデルの C 値としては、最小径の光に対する効果が無視できる程度になればよい。従って上記 Junge の著書(1963)に示されている分布のうち平衡相対湿度95%におけるものが大体一致するようにきめた。そのためには $C' = 3.644 \times 10^{-12}$ となった。

m , r および $EqRH$ の間の関係は、

$$\frac{EqRH}{100} = \left(\exp \frac{2\sigma' M}{\rho_L' R T r} \right) \cdot \left\{ 1 + \frac{imM}{W \left(\frac{4}{3} \pi r^3 \rho_L' - m \right)} \right\}^{-\left(\rho_L / \rho_L' \right)} \quad (9)$$

と与えられる (Mason, 1957)。飽和の場合は近似式

$$\frac{EqRH}{100} = \left(\exp \frac{2\sigma' M}{\rho_L' R T r} \right) \left\{ 1 - \frac{8.6m}{W r^3} \right\} \quad (10)$$

を用いることができる。ここに σ' は溶液滴の表面張力、 M , W は水、溶質の分子量、 ρ_L , ρ_L' は水、溶液の密度、 R は Universal gas constant, T は気温、 i は Van't Hoff's factor である。

平衡相対湿度: 95%, 98%, 99%, 100% について(10)を用いて r と m との関係を計算して β を求めた。結果は第3表に示す。

第3表 モデル分布の β , C , r_{min} , r_{max} および \bar{r} の値

E_pRH	β	C	r_{min}	r_{max}	\bar{r}
70%	3	1.8	0.056	5.63	0.084
80	3	2.7	0.064	6.44	0.097
90	3	5.3	0.081	8.10	0.12
95	3	10.6	0.11	10.2	0.15
98	2.9181	23.5	0.13	14.3	0.19
99	2.8745	42.6	0.15	18.3	0.23
100	2	441.0	0.21	210.0	0.42

第4表 平衡相対湿度 (E_qRH) と平均消衰効率 (F)

E_qRH	70%	80	90	95	98	99	100
F	0.7503	0.7520	0.9982	1.2387	1.6285	1.8483	2.1921

平衡相対湿度が95%以下の場合の分布は、95%のときの分布のうち任意の $dN/d \log r$ を一つきめてそれに対応する r をきめれば表2の $r/r_{99.3}$ の値と(1)の関係とから C をきめることができる。また(10)を用いてもきめることができる。両方の方法で得られる C の値には大差はない。次に $dN/d \log r$ の最大値・最小値から r の最小値、最大値をきめることができる。平均粒子半径 \bar{r} は、 $f(r)=dN/dr$ および N を 1 cm^3 当りの粒子数とすると

$$N = CM \int_{r_{min}}^{r_{max}} r^{-\beta-1} dr$$

$$= C \left[\frac{M}{\beta} (r_{min}^{-\beta} - r_{max}^{-\beta}) \right], \quad (11)$$

$$\bar{r} = \frac{\int_0^{\infty} f(r)r dr}{N} = \frac{\int_{r_{min}}^{r_{max}} r^{-\beta} dr}{\int_{r_{min}}^{r_{max}} r^{-\beta-1} dr}$$

$$= \frac{\beta}{\beta-1} \cdot \frac{[r^{-\beta+1}]_{r_{min}}^{r_{max}}}{[r^{-\beta}]_{r_{min}}^{r_{max}}} \quad (12)$$

より計算することができる。ただし $M=0.4343$ である。計算の結果は第3表に示す。

平均消衰効率 F は

$$F = \frac{\alpha(\lambda)}{Q} = \frac{\int_0^{\infty} \pi r^2 k(q, \xi) f(r) dr}{\int_0^{\infty} \pi r^2 f(r) dr} \quad (13)$$

で定義される。ここに $\alpha(\lambda)$ は散乱係数、 $k(q, \xi)$ は一つの粒子の散乱効率、 q は相対粒径、 $q=2\pi r/\lambda$ 、 λ は

波長、 ξ は屈折率、 Q は粒子の幾何学的総断面積である。 $\lambda=0.6328\mu$ 、 $\xi=1.33$ ととると、数値積分;

$$F = \frac{[k(r_{min})r_{min}^{1-\beta} + k(r_{max})r_{max}^{1-\beta}] \frac{dr}{2} + \sum_{x=1}^{n-1} [k(r_x)r_x^{1-\beta}] dr}{[1/(2-\beta)] \cdot [r_{max}^{2-\beta} - r_{min}^{2-\beta}]} \quad (14)$$

から F を計算できる。 $k(r)$ の値として、Pendorf の表 (Pendorf, 1957) を用いて数値積分を行なった結果を第4表に示す。

光透過率は、

$$\frac{I}{I_0} = \exp(-\pi \bar{r}^2 l F \cdot N) \quad (15)$$

$$= \exp \left[\left\{ -\pi \bar{r}^2 l F \cdot \frac{M}{\beta} (r_{min}^{-\beta} - r_{max}^{-\beta}) \right\} C \right]$$

から計算できる。ここに l は光の伝送距離で $l=2.255 \text{ km}$ である。平衡相対湿度をきめれば、 F 、 β 、 \bar{r} 、 r_{min} 、 r_{max} がきまるので I/I_0 を C のみの関数として表わすことができる。平衡相対湿度50%~100%、 C の値0.2~300に対するすべての I/I_0 の値を(15)により計算した。

6. 観測された粒子の平衡相対湿度の決定

観測された粒子による光透過率と C 値とはそれぞれ第5表中に示されている。一方、Junge 分布のモデルの C 値による光透過率が計算されているので、両者を比較することによって観測された粒子の平衡相対湿度をきめることができる。実際の作業としては、周囲の空気の湿度との関係をとともにきめる。平衡相対湿度99%、

第5表 光透過率の観測値とその補正值, 空気の相対湿度, C 値および平衡相対湿度の観測値

Sam. No.	Date	Observed $I/I_0(\%)$	Corrected $I/I_0(\%)$	Observed $RH(\%)$	C at $99\%E_{QRH}$	C at $95\%E_{QRH}$	C at $90\%E_{QRH}$	C at $80\%E_{QRH}$	Type of E_{QRH}
31 B	1970 4. 21	62.5	66.6	74.0	247	40	26	15	h
33 B	"	66.0	69.8	78.9	345	56	35	21	i
34 B	"	67.0	70.3	80.4	210	52	22	13	h
35 B	"	69.1	72.5	80.7	34	6	4	2	c
41 B	4. 25	36.4	37.3	95.7	18	—	—	—	a
46 B	4. 27	59.6	62.9	77.5	227	37	24	14	g
47 B	"	60.8	64.3	77.3	216	35	23	13	g
48 B	"	62.1	65.7	77.0	101	16	10	6	d
49 B	"	59.4	63.0	82.0	54	8	5	3	c
50 B	"	57.5	60.9	83.0	173	30	19	—	f
51 B	4. 29	63.8	67.0	63.4	54	9	6	4	c
54 B	4. 30	68.3	81.6	73.9	117	19	12	7	h
65 A	5. 12	74.4	76.0	57.0	395	64	40	24	i
66 A	"	63.4	64.8	59.0	289	47	30	18	i
67 A	"	72.0	73.8	85.5	250	40	27	16	SS
69 B	"	73.6	75.2	63.1	1460	250	160	98	i
70 B	"	73.3	74.9	60.9	848	137	86	51	i
71 B	"	64.6	66.0	62.6	247	40	26	16	h
72 B	"	71.0	72.8	72.8	181	30	19	11	h
82 A	5. 21	76.8	78.5	44.0	144	23	15	9	h
83 A	"	76.9	79.7	52.4	28	5	3	2	c
84 A	"	69.6	73.2	59.3	21	3	2	1	c
85 A	"	69.1	72.6	72.3	16	3	2	1	c
86 B	"	70.6	72.2	55.5	374	30	40	21	i
87 B	"	79.9	81.7	47.3	115	19	12	7	h
88 B	"	81.5	83.3	44.5	299	28	32	19	i
90 B	"	69.0	72.5	70.5	58	9	6	3	c
100 A	7. 12	74.8	76.0	81.3	126	20	13	8	g
102 A	7. 15	73.9	78.1	68.0	199	32	21	13	i
103 A	"	76.2	80.6	68.0	190	31	20	12	i
104 A	"	68.2	70.4	65.0	68	11	7	4	c
105 A	"	73.9	75.1	63.2	144	19	15	9	g
108 B	"	78.4	83.4	82.6	165	27	18	10	i
109 B	"	77.0	81.4	76.3	101	16	11	6	g
110 B	"	74.9	78.7	74.7	62	10	6	4	e
111 B	"	85.8	87.1	75.6	79	13	8	5	h
112 A	7. 18	84.6	90.7	52.6	276	45	29	17	i
113 A	"	80.5	81.2	53.3	68	10	6	4	e
115 A	"	85.6	88.2	59.2	113	19	12	7	i
116 A	"	85.0	87.4	55.1	82	13	9	5	h
117 B	"	86.3	92.6	56.2	72	11	7	4	i
118 B	"	82.9	86.3	55.5	234	38	24	14	i
119 B	"	75.7	77.2	57.5	183	30	19	11	i

Sam. No.	Date	Observed $I/I_0(\%)$	Corrected $I/I_0(\%)$	Observed $RH(\%)$	C at 99%EqRH	C at 95%EqRH	C at 90%EqRH	C at 80%EqRH	Type of EqRH
120B	7. 18	81.9	84.4	54.3	309	50	31	18	i
122B	"	85.0	87.2	50.8	181	30	19	11	i
126A	7. 20	47.7	48.9	71.5	11	2	1	0.6	a
127A	"	46.1	47.0	70.0	6	1	0.6	0.4	a
131B	"	50.3	51.5	68.8	16	8	2	1	a
133B	7. 22	49.4	50.2	89.0	445	73	46	27	SS
134B	"	44.2	45.2	90.3	255	42	26	—	f
135B	7. 23	44.5	46.9	88.0	639	104	66	38	SS
136B	"	45.6	46.0	90.3	675	109	72	40	SS
139B	"	45.8	46.1	90.8	134	20	13	—	c
141B	"	44.7	45.1	90.0	48	8	5	—	c
142A	7. 22	43.5	44.5	92.5	223	33	22	—	e
143A	"	37.3	38.2	93.3	173	28	—	—	c
148B	7. 23	61.4	62.5	88.3	126	20	13	—	e
149B	"	55.6	57.5	90.5	57	8	4	—	c
150B	7. 24	31.2	32.8	94.0	250	40	—	—	d
151B	"	31.3	31.5	95.8	99	16	—	—	c
153B	"	24.0	24.3	96.0	417	67	—	—	SS
154B	"	16.4	16.6	94.7	144	24	—	—	c
157A	"	30.5	32.1	95.8	75	12	—	—	c
158A	"	29.9	30.1	94.8	108	19	—	—	c
159A	"	27.4	27.7	97.5	90	13	—	—	c
160A	"	21.6	21.9	96.0	72	12	—	—	c
161A	"	12.4	12.6	97.5	152	23	—	—	c
163A	7. 25	1.6	1.6	97.5	22	—	—	—	a
164A	"	1.1	1.1	97.5	11	—	—	—	a
169B	"	1.1	1.1	96.3	27	—	—	—	a
170B	"	0	0	96.8	54	—	—	—	a
172B	7. 26	32.8	33.4	65.3	22	4	2	1	a
174B	"	40.2	40.9	70.0	150	24	16	9	c
176A	"	38.7	39.7	68.8	13	2	1	0.8	a
178A	"	40.2	40.9	64.3	17	3	2	1	a
179A	"	41.3	42.0	71.0	14	10	6	0.9	a
180A	"	37.7	38.1	73.3	72	12	7	4	c
184B	7. 27	80.6	83.6	71.7	124	20	13	7	h
185B	"	82.2	85.3	66.5	34	6	3	2	d
186B	"	81.8	84.9	70.0	174	30	19	11	i
187A	"	86.0	87.3	59.0	9	2	1	0.6	c
189A	"	79.9	82.9	71.5	87	14	9	5	g
190A	"	80.8	83.8	71.3	22	4	2	1	c
191A	"	81.9	85.0	71.5	7	1	0.7	0.4	b
192B	7. 28	88.1	92.0	60.5	40	6	4	2	g
196B	"	75.4	75.9	65.8	66	11	7	4	d
197A	"	88.9	92.9	58.5	33	5	3	2	g
198A	"	88.1	92.0	61.8	80	13	8	5	i

Sam. No.	Date	Observed $I/I_0(\%)$	Corrected $I/I_0(\%)$	Observed $RH(\%)$	C at 99% E_{qRH}	C at 95% E_{qRH}	C at 90% E_{qRH}	C at 80% E_{qRH}	Type of E_{qRH}
199A	7. 28	78.1	80.3	62.5	112	20	12	7	h
200A	"	77.3	79.6	61.8	16	3	2	1	c
202B	7. 29	69.7	72.1	80.3	6	1	0.7	0.4	a
203B	"	68.1	70.5	79.5	9	2	1	0.6	a
204B	"	73.0	75.2	81.0	12	2	1	0.7	b
205B	"	72.4	74.5	80.5	22	3	2	1	c
207A	"	72.6	75.1	70.3	4	0.5	0.4	0.2	a
208A	"	68.1	70.5	74.5	25	4	3	2	c
209A	"	73.0	75.2	75.3	56	9	6	3	d
211B	7. 30	85.1	86.0	79.5	29	5	3	2	d
213B	7. 31	83.1	84.4	71.5	55	8	5	3	f
214B	"	79.3	80.6	79.8	45	7	5	3	d
215B	"	83.8	85.3	81.0	52	8	5	3	f
216B	"	86.5	88.1	70.0	107	17	11	6	i
217B	"	87.1	90.5	75.0	82	13	8	5	i
219A	7. 30	84.7	85.7	68.6	57	8	6	3	f
220A	"	84.8	86.0	71.3	68	11	7	4	g
221A	7. 31	82.7	84.0	76.8	9	1	0.9	0.5	c
222A	"	80.3	81.7	76.2	6	1	0.6	0.4	a
223A	"	87.1	90.5	79.5	19	3	2	1	d
231A	"	83.5	87.9	77.3	8	1	0.9	0.5	c
232A	8. 1	82.8	84.6	75.8	3	0.2	0.1	0.1	a
233A	"	82.0	83.1	76.0	7	1	0.7	0.4	b
234B	8. 5	76.8	78.7	80.5	87	14	9	1	f
235B	"	53.7	55.0	86.3	132	22	14	—	d
238A	"	68.5	70.2	74.3	206	34	21	12	h
240B	8. 6	73.0	73.6	74.0	100	16	11	6	f
241B	"	72.9	73.5	71.0	20	3	2	1	c
242B	"	73.7	83.3	60.8	29	5	3	2	c
243B	"	74.8	77.4	65.5	275	44	29	18	i
244A	"	74.6	75.2	60.5	58	9	6	4	d
245A	"	72.3	75.0	64.5	103	17	11	6	f
246A	"	73.6	79.7	60.5	125	19	12	7	g
247A	"	72.6	82.1	56.3	29	5	3	2	c
248A	"	72.0	74.5	61.5	223	36	23	14	i
249A	"	73.8	76.3	66.5	101	16	11	6	g
252B	8. 8	60.2	61.3	90.5	25	4	3	—	c
254A	"	56.8	57.8	95.0	199	32	—	—	SS
255B	"	72.6	74.6	76.5	87	14	9	5	e
256B	"	73.3	75.0	77.8	72	12	8	4	e
257B	"	67.2	68.5	86.3	75	12	8	—	c
258B	"	53.1	53.9	91.0	151	24	16	—	e
259A	"	72.6	74.6	78.0	23	4	3	1	c
260A	"	73.7	75.4	78.5	8	1	0.9	0.5	a
261A	"	66.0	67.3	83.5	103	17	11	—	e

Sam. No.	Date	Observed I/I_0 (%)	Corrected I/I_0 (%)	Observed RH (%)	C at 99% E_{qRH}	C at 95% E_{qRH}	C at 90% E_{qRH}	C at 80% E_{qRH}	Type of E_{qRH}
262 A	8. 8	52.7	53.5	85.3	124	20	13	—	c
265 B	8. 12	39.8	40.1	91.0	11	2	1	—	a
271 B	8. 19	45.4	45.8	94.8	13	—	—	—	a

第1列の Sam. No. はサンプル番号. 列中の数字がサンプル番号で, 数字の後の A, B は, 採集地点(第2図参照)をあらわす. 第2列は1970年の日付をあらわし, 例えば 4. 21 は4月21日である.

95%, 90%, 80%の一つごとにそれぞれ I/I_0 vs RH として第5表のデータ点を C 値とともにプロットし, 更に C の代わりにサンプル番号を記入したものをつくる. 一方モデルの C 値による透過率の計算値を同じ大きさの図に記入して重ね合わせる. 一致する場合はそのサンプル番号の観測時の粒子の平衡相対湿度はきまり, 一致しない場合は上記の99%~80%の四つの計算値とデータを比較することにより平衡相対湿度の範囲をきめる. このようにしてデータは, a) $E_{qRH} > 99\%$, b) $E_{qRH} = 99\%$, c) $99\% > E_{qRH} > 95\%$, d) $E_{qRH} = 95\%$, e) $95\% > E_{qRH} > 90\%$, f) $E_{qRH} = 90\%$, g) $90\% > E_{qRH} > 80\%$, h) $E_{qRH} = 80\%$, i) $80\% > E_{qRH}$ の9個の型に分けることができる. このうち c, e, g の三つの型の E_{qRH} はそれぞれの中間点をとって97%, 92.5%, 85%を代表値とする. b, d, f, h はデータと計算値とが丁度一致しているが, この一致は C の値で±1程度までをとった. このように分けたデータは計算値と比較再確認してある. 分類の結果は第5表の最右列に示す. この列で SS と書いたものは, 海洋型の分布 (Maritime Aerosol, Junge, 1963) の sea-spray 成分であると推定できるものである. これは大陸型の分布を仮定すれば, そのデータの平衡相対湿度が, 周囲の空気相対湿度より低いという結果になることから判断された.

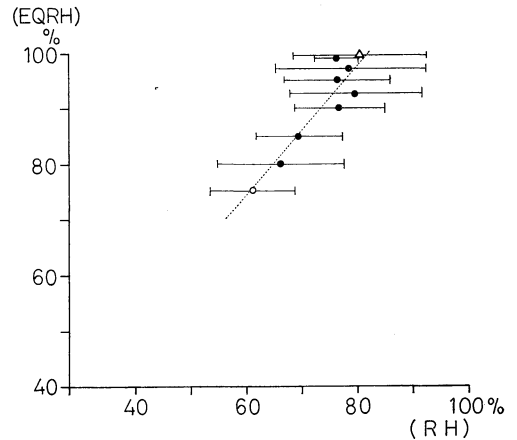
次に平衡相対湿度の各型ごとに, 周囲の相対湿度の観測値を平均し, E_{qRH} vs RH として第4図に示す, 図中, 点線は黒丸(b~h型のデータ点)による回帰直線で, 次の式により表わされる.

$$\left. \begin{aligned} E_{qRH} &= 1.16 (RH) + 4.7 \\ R &= 0.85 \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

ただし R は相関係数である. また $RH > 82.15\%$ に対する平衡相対湿度の実験値は100%とする.

むすび

1) 平衡相対湿度が99%を超えるもの, 即ち a 型の分布にあっては, 粒子が海から99.3%の平衡相対湿度で



第4図 E_{qRH} vs RH

黒丸印は E_{qRH} , RH の代表値, 平均値, 白丸印は $80\% E_{qRH}$ より低いデータ点で, その RH は平均値, E_{qRH} は仮に75%においた. 白三角印は $99\% E_{qRH}$ より高いデータ点で RH は平均値, E_{qRH} は仮に99.5%においた.

横軸に平行な実線は標準偏差値, 斜の点線は黒丸による回帰直線である.

てきたとき, i) 周囲の空気が水蒸気で飽和されているかまたはそれに近い状態で粒子が成長した場合, ii) 分布の β が2.8745より大きい場合, などが考えられる. i型は周囲の空気の相対湿度が80%より低い場合に, E_{qRH} が80%以下の場合であるが, 粒径分布が大陸型でないときは, E_{qRH} はもっと大きくなる可能性がある. 即ち i 型には海洋型の分布の場合が含まれる可能性があると考えられる.

2) b型からh型までの E_{qRH} と RH との関係は(16)で与えられるが, E_{qRH} をきめるための要素は必ずしも RH のみでないこと, 分布は必ずしも大陸型でないことなどが偏差の大きくなる原因であろうし, また82.2% RH 以上において E_{qRH} を100%とするなど詳しい関係を得ることはできないことになる. しかし, データの大体の傾向はつかみ得ているものと考え

られる。

茶臼の海水滴の鉛直分布の観測(1973)の結果からは、空気の相対湿度が95%以下の場合には平衡相対湿度95%、周囲の空気が95%以上のときはその湿度で平衡に達しているとして分布理論とよく一致すると報告されている。第4図において、b型~f型の E_pRH の平均値は約95%であり周囲の空気の RH の平均値は76~80%であるからこの範囲では互に矛盾しない結果になっている。

現在、粒子に含まれている塩質量をきめる方法は確立されているので、平衡相対湿度をきめることは粒子の大きさをきめることになる。筆者は、その決定のための理論を他の論文(Yokoi, 1974C)において述べている。

謝 辞

本研究の最初から京都大学理学部山元竜三郎教授に御指導を賜り、多くの貴重な御助言をいただきました。記して深く謝意を表します。観測およびその整理には米子高専卒研生の諸君、特に現在、日新電機(株)の小谷光氏の御助力を賜りました。また電算機による計算においては米子高専山根一典技官の御援助をいただきました。記して謝意を表します。

文 献

- Chaen, M., 1973: 海面のくずれと海面境界過程—海水滴の生成を中心に—, 海洋科学, **5**, 318-323.
 Junge, C., 1955: The size distribution and aging of natural aerosols as determined from electrical and optical data of the atmosphere., J. Met.,

12, 13-25.

- , 1963: Air Chemistry and Radioactivity., Academic Press, New York and London, 120-124.
 Kishioka, T., 1964: 中海と赤潮, 米子市立弓ヶ浜中学校科学部, 22-24.
 Mason, B.J., 1957: The Physics of Clouds, Oxford at the Clarendon Press., 26-27, 108.
 Pendorf, R.B., 1957: New Tables of Total Mie Scattering Coefficients for Spherical Particles of Real Refractive Indexes ($1.33 \leq n < 1.50$)., J. Opt. Soc. Am., **47**, 1010-1015.
 Toba, Y., 1956c: On the giant sea-salt particles in the atmosphere II. Theory of the Vertical Distribution in the 10-m Layer over the Ocean., Tellus, **17**, 365-382.
 —, 1966: 海塩粒子—大気と海洋との相互作用の1要素として—, 海と空, **41**, 72-118.
 —, and M. Tanaka., 1967: Simple Technique for the measurement of giant sea-salt particles by use of a hand-operated impactor and a chloride reagent film., Spec. Cont., Geoph. Inst., Kyoto Univ., **7**., 111-118.
 Yokoi, T., 1968: レーザトランスミッションメータの機器特性について(1), 米高専研報, **4**, 127-134.
 —, 1973: 大気中に浮遊する非吸湿性粒子の観測, 米高専研報, **9**, 93-103.
 —, 1974b: Observation on laser-light-transmittance over the sea. (投稿予定)
 —, 1974c: A theoretical Study on the laser-light-transmittance observed over the sea. (投稿予定)