



天 気

1983年5月
Vol. 30, No. 5

ドブソン分光光度計によるオゾン観測*

鈴木 剛彦**

1. はじめに

大気中のオゾンの存在が言われ始めたのは、今からおよそ100年前、Hartleyによるとされている。オゾンが実際に測定されるようになったのは、1925年 Dobson によってであり、彼が開発した分光光度計は、今では世界各地で使用されている。

大気中のオゾンは、太陽から入射する紫外線をよく吸収し、地球表面に到達する紫外線量を制御していることから、人間活動と密接な関係にあるとされている。近年、超音速旅客機の排気ガスや窒素酸化物、スプレーに使われるフロン等による、成層圏オゾンの破壊が指摘され、成層圏オゾンの減少が地上に到達する紫外線量の増加をもたらし、皮膚ガンの発生を高めるおそれがあると言われている。また、気象学的に見ても、オゾンは大気大循環のトレーサーとして欠かすことの出来ない要素である。

国際地球観測年 (IGY) を契機として発足したオゾン観測は、ドブソン分光光度計による定常観測の確立と共にオゾンゾンデによる鉛直分布の観測、人工衛星によるオゾン全量およびオゾン鉛直分布の観測等飛躍的な発展をとげた。しかし、これらのオゾン量は、ドブソン分光光度計観測で得られたオゾン全量を基準値にして補正され、再計算を行っている。このように、ドブソン分光光

度計による観測は、オゾン観測の基本であり、重要な観測項目であるが、分光光度計の原理、オゾン観測の方法、ならびに最近のオゾン観測 (地上における) の世界的動向やオゾン資料について、意外に知られていないと思われるので、これらについて解説する。なお、オゾンと人間との関り合いについては、「成層圏オゾン」島崎 (1979) を参照していただきたい。

2. 日本におけるオゾン観測

戦前、富士山で行われた日射観測の資料を用いて、オゾン量を算出する試みがなされているが、戦後の昭和22年 (1947)、高層気象台調査課に超高層係が設置され、オゾン観測のための調査・研究が始められたのが、日本におけるオゾン観測の草分けであろう。オゾン観測の方法として、水晶分光器による太陽スペクトルの写真方法や、オゾンゾンデによる方法等が研究開発された。その後、分光器に光電子増倍管を用いてのオゾン全量観測もできるようになったが、水晶分光器の内部散乱を除くことには非常な困難があった。そこで、昭和30年 (1955)、イギリス Beck 社からドブソン式オゾン二重分光光度計を購入することとなった。折しも、1957年からの IGY をひかえ、気象庁は、札幌、鹿児島、鳥島、南鳥島および南極で使用するための、ドブソン型を基本としたドブソン分光光度計を島津製作所に発注した。

高層気象台では、1957年7月1日から、他の官署でも1958年から定常観測が始められ、南極昭和基地では1961年から観測が開始された。IGY 終了後も引き続きオ

* Observation of ozone by the Dobson spectrophotometer.

** Takchiko Suzuki, 気象衛星センター(前 高層気象台).

ゾン観測を実施することになったが、南鳥島が1963年に、鳥島が1965年に中止となった。しかし、他の観測所では現在も一貫して観測を行っている。1974年からは那覇での観測が始まり、北は北海道から南は沖縄まで、およそ1000 kmの間隔で日本列島に沿う4観測所がゾン観測を実施している。

気象庁が所有しているドブソン分光光度計は、Beck社製がBeck 116, 119 および122の3台、鳥津製が56001, 5702, 5703, 5704, 5705 および5706の6台、計9台であり、Beck 116は国内準器（国際的には2次準

器）として高層気象台で使用されている。他の測器は札幌、鹿児島、那覇および昭和基地に配備され、4～5年毎に高層気象台において、整備・点検・改良等が行われる。

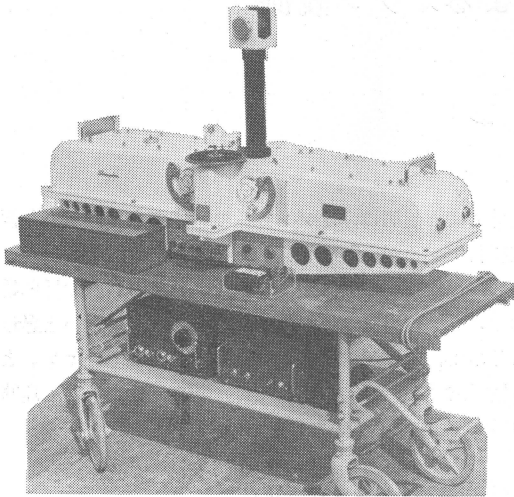
鳥津製の測器は製作後25年を経過しており、これまでに、電源装置、増幅器、同期製流器および各種点検装置の改良が行われてきた。また、Beck製についても同様の改良が行われると共に、サーボ機構を用いた自動記録装置の開発も行われた。

3. ドブソン分光光度計

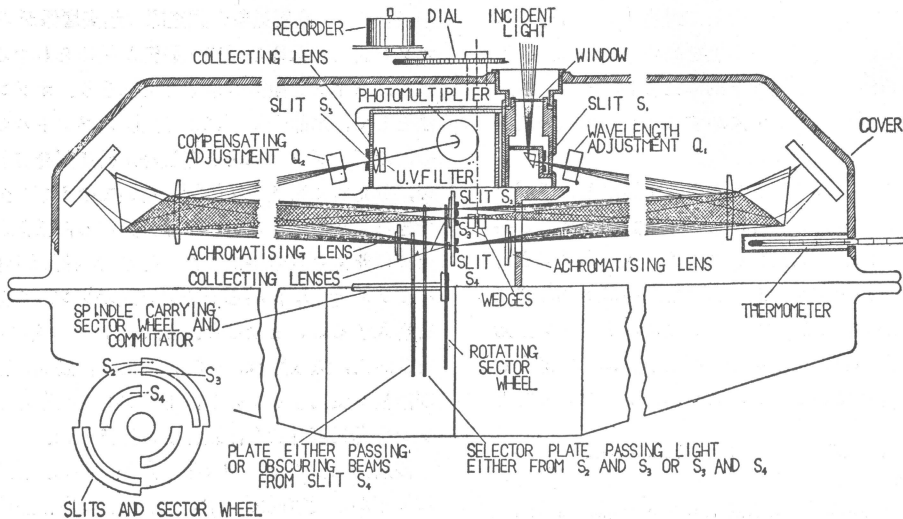
ドブソン分光光度計は第1図に示すような、長さ145 cm、高さ35 cm、幅47 cm、重量75 kgの測器である。測器は太陽の直射光下で使用されるため、外側はすべて白塗装がなされており、さらに、測定中測器内部の温度変化を少なくするために、綿入りのカバーをして使用する。内側は光の乱反射を防ぐために黒塗装がほどこしてある。

第2図は光学系の断面図で、内部散乱を防ぐため二重分光計となっており、レンズ、プリズム等はすべて水晶製である。

オゾンの吸収帯の2つの波長(たとえば3055Åと3254Å)の太陽紫外線はスリット S_1 と第1分光器(50 mmφ、 $f=45$ cmのレンズ、50 mm 60°プリズム、反射鏡)で分光される。分光された相対的にオゾンに吸収され易い短い波長(3055 Å)の光はスリット S_2 を、吸収されに



第1図 オゾン分光光度計の外観。



第2図 光学系の断面。

第1表 波長とオゾン吸収係数および空気分子の散乱係数.

波長組	スリット	平均波長 (Å)	オゾンの吸収係数			空気分子の散乱係数			$\frac{\beta-\beta'}{\alpha-\alpha'}$
			α	α'	$(\alpha-\alpha')$	β	β'	$(\beta-\beta')$	
A	S ₂	3055	1.882		1.748	0.491		0.116	0.066
	S ₃	3254	0.120			0.375			
B	S ₂	3088	1.287		1.140	0.470		0.113	0.099
	S ₃	3291	0.064			0.357			
C	S ₂	3114.5	0.912		0.800	0.453		0.110	0.138
	S ₃	3324	0.047			0.343			
D	S ₂	3176	0.391		0.360	0.416		0.104	0.289
	S ₃	3398	0.017			0.312			

注：これらの数値は I.O.C. Circular No. 4 により1957年7月以後の観測値に対し適用を勧告された値であるが、 $(\alpha-\alpha')$ の値は I.O.C. Luzern Conference 1967 により1968年1月1日以後の観測値に適用するよう勧告された値に改められたものであって、 α および α' から求めた数値と一致しない。しかしながら、A と D 波長組を使用した観測からオゾン量を算出する計算式中の $(\alpha-\alpha')_A - (\alpha-\alpha')_D$ の値は変わっていない。

長い波長 (3254 Å) の光はスリット S₃ を通り、第2分光器を経てスリット S₅ を通過し、光電子増倍管へと導かれる。スリット S₃ と第1分光器の間には光学くさびが置かれ、くさびを調節することによって、長い波長の光と短い波長の光の強さを等しくすることができる。

光学くさびは、濃度勾配を持った長さ 12 cm、幅約 1 cm のフィルター 2枚で構成され、レール上を水平に移動することによって、通過する光量を 1/2⁹ まで減衰することが可能である。くさびの水平移動は記録円板(ダイヤル)に伝達されており、記録円板の 0°~300° の回転変位が、くさびの約 10 cm の水平移動に相当している。

スリットと第2分光器の間には、第2図左下に示す回転セクターがあって、これを回転させることにより、2つの光を交互に通過させ、光電子増倍管に入る光の強度変化に対応する交流の光電流出力がゼロになるようにくさびの位置を調整する。くさびの濃度とダイヤルの目盛との関係はあらかじめ検定してあるので、その目盛によって2つの波長の光の強度比がわかり、オゾン量を求めることができる。

Q₁, Q₂ プレートは測定波長をかえるための水晶板である。たとえば、Q₁ プレートを調整することにより、スリット S₂ に入る波長が 3000 Å から 3300 Å まで変えられる。

光電子増倍管には、東芝 MS9SY (RCA 1P28 相当管) が用いられていたが、最近では高感度の英国 EMI 社

製の 9781 B または 9781 A が用いられるようになった。光電子増倍管で得られた交流 (27 Hz) の光電流は、トランジスタで増幅され、回転セクターと同期した信号で整流されて直流となり、マイクロアンメータに与えられる。

観測時は、マイクロアンメータを見ながら、出力が0になるようにダイヤルを調整すれば、この時 S₂ を通る光と S₃ を通る光が同じ強さになったことを意味する。

各スリットの規定値を次に示しておく。

スリット	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅
長さ	22 mm	15	13	8	20
幅	0.4 mm	0.4	1.2	0.6	3.0
波長幅		9 Å	30		
S ₂ , S ₃ 間距離 7.5 mm. S ₃ , S ₄ 間距離 23.5 mm.					

4. 測定原理

4.1. 基本式

ドブソン分光光度計では第1表に示す4つの波長組を設定し、各波長組の光の強度比からオゾン量を算出する。

太陽からの光はオゾンによる吸収、空気分子による散乱、エアロゾルによる散乱等の影響を受けて減衰し、地上に到達する。波長 λ の太陽光が地球大気に入る時の強度を I_0 とし、これが地上に達した時の強度を I とすれば

$$I = I_0 \cdot 10^{-(\alpha x + \beta m + \delta \sec Z)} \quad (1)$$

で表わされる。ここで、 α はオゾン吸収係数、 β は空気分子散乱係数、 δ はエアロゾルによる散乱係数、 μ はオゾン層を通過する太陽光線の相対的路程（鉛直方向の厚さを1とする）、 m は大気を通過する太陽光線の相対的路程、 Z は太陽天頂角、 x は大気中のオゾン量で、純粹のオゾンが標準気圧、気温（1気圧0°C）のもとに層積したと仮定したときのオゾン層の厚さを cm 単位で表わしたものである。

2つの波長 λ (スリット S_2 を通る光) と λ' (スリット S_3 を通る光) で1対をなす波長組について考える時、(1) 式を λ, λ' について適用し、常用対数をとって引算すると、

$$\begin{aligned} \text{Log}(I/I') = & \text{Log}(I_0/I_0') - (\alpha - \alpha')\mu x \\ & - (\beta - \beta')m - (\delta - \delta')\sec Z \quad (2) \end{aligned}$$

となる。これは地上における両波長の強度比を表わしている。ここで

$$N^* = \text{Log}(I_0/I_0') - \text{Log}(I/I') \quad (3)$$

と置いて変形すれば

$$x = \frac{N^* - (\beta - \beta')m - (\delta - \delta')\sec Z}{(\alpha - \alpha')\mu} \quad (4)$$

を得る。この(4)式が太陽直射光からオゾン全量を算出するための基本式である。

μ と m は次式で表わされる。

$$\mu = \frac{R+h}{R\sqrt{\cos^2 Z + \frac{2h}{R} + \frac{h^2}{R^2}}}$$

$$\begin{aligned} m = & \sec Z - 0.0018167(\sec Z - 1) \\ & - 0.002875(\sec Z - 1)^2 \\ & - 0.0008083(\sec Z - 1)^3 \end{aligned}$$

ただし、 h はオゾン層の重心の高さで 22 km であり、 R は観測所の地球半径である。

μ と m は $\sec Z$ と共に太陽天頂角に関係した値で、観測時刻から計算できるので、 $(\alpha - \alpha')$ 、 $(\beta - \beta')$ および $(\delta - \delta')$ がわかっているれば N^* を測定して x を求めることができる。しかし、 $(\alpha - \alpha')$ と $(\beta - \beta')$ はわかっているものの、 $(\delta - \delta')$ は大気が混濁している限り日に変化しうる値で、定数として取り扱うことができない。

今、2つの波長組（たとえば A と D ）を使って観測した場合を考えると、(4) 式のかわりに

$$x_{AD} = \frac{(N^*_A - N^*_D) - \{(\beta - \beta')_A - (\beta - \beta')_D\}m - \{(\delta - \delta')_A - (\delta - \delta')_D\}\sec Z}{\{(\alpha - \alpha')_A - (\alpha - \alpha')_D\}\mu} \quad (5)$$

と表わすことが出来る。 $(\delta - \delta')_A$ と $(\delta - \delta')_D$ とは、 A

波長組での観測と D 波長組での観測 とが時間的に接近しておれば、互いにはほぼ等しいと考えられ、 δ の項を省略することが出来る。したがって、 α と β について第1表の数値を用い、 m は太陽天頂角 75° 以下で μ に近似的に等しいことから、(5) 式は

$$x_{AD} = \frac{N^*_A - N^*_D}{1.388\mu} - 0.009 \quad (\text{atm-cm})$$

となる。実際には N^* の代わりにこれを100倍した N^* を用い、オゾン量は m-atm-cm を用いるよう規定されているので

$$\Omega_{AD} = \frac{N^*_A - N^*_D}{0.1388\mu} - 9 \quad (\text{m-atm-cm}) \quad (6)$$

を計算式として使用することが出来る。他の波長組についても同様に、 Ω_{BD} 、 Ω_{CD} 、 Ω_{AC} 等がそれぞれの観測から求められるが、オゾン全量の定常観測では、 AD 波長組を用いた直射光観測に(6)式を適用してオゾン全量を算出する。

4.2. 光学くさび

地をに到達した波長 λ の光の強度 I は、分光光度計内の光学系を通過して光電子増倍管に達し、光電流 i に変換される。波長 λ' の光も同様であるが、これはさらに光学くさびをも通っている。したがって、これらの関係は次式で表わされる。

$$i = abcI, \quad i' = a'b'c'T(R)I' \quad (7)$$

ここに a, a' は波長 λ, λ' が通過するスリット S_2, S_3 の面積、 b, b' は光学系（レンズ、プリズム等）の透過率、 c, c' は光電子増倍管の波長感度に比例する定数、 $T(R)$ は光学くさびの透過率で、測定ダイヤルの読み R の関数である。測定ダイヤルを動かして、マイクロアンメータの指示が0となる時は $i = i'$ であるから

$$\frac{I}{I'} = T(R) \frac{a'b'c'}{abc} \quad (8)$$

となる。常用対数をとると、

$$\text{Log} \frac{I}{I'} = \text{Log} T(R) + \text{Log} \frac{a'b'c'}{abc}$$

または

$$\text{Log} \frac{I'}{I} = -\text{Log} T(R) - \text{Log} \frac{a'b'c'}{abc} \quad (9)$$

今、測定ダイヤル R と光学くさびの透過率の関係が $T(R) = T_0 10^{-kR}$ (10) のように作られているとすれば、(10) を (9) に代入し、

$$\text{Log} \frac{I'}{I} = kR - \text{Log} T_0 - \text{Log} \frac{a'b'c'}{abc} \quad (11)$$

を得る。ここに $K_1 = \text{Log} T_0 + \text{Log}(a'b'c'/abc)$ と置くと、 K_1 は測器の固有の定数で、器械定数である。

ある光の強度比が $(I'/I)_1$ の時の測定ダイヤルの読みが R_1 であって、この強度比が n 倍になった時の測定ダイヤルの読みが R_2 になったとすると、(11) 式から、

$$\text{Log}(I'/I)_1 = kR_1 - K_1$$

$$\text{Log} n + \text{Log}(I'/I)_1 = kR_2 - K_1$$

となり、 $\text{Log} n = k(R_2 - R_1)$ を得る。 $k=0.01$ であるように作られた光学くさびを理想的光学くさびといい、もし、光の強度比が2倍になったとすると、ダイヤルの変化量 $(R_2 - R_1)$ は 30.1° となるはずである。ところが、実際には理想的光学くさびを製作することが技術上困難であるので、光学くさびの透過率を一般に $T_0 10^{-\tau(R)}$ のように表現し、

$$\text{Log}(I'/I) = \tau(R) - K_1 \quad (12)$$

の関係式で取り扱っている。

この $\tau(R)$ は、上述の光の強度比が2倍になった時、 $R_2 - R_1 = 30.1^\circ$ という理論から、2 ランプ点検 (第6章で述べる) により、 $N(R) = 100\tau(R)$ なる R 対 N の関係を決定し、波長組毎に N_A, N_D で表わしておく。

4.3. 定数

(6) 式の N^*_A, N^*_D は、

$$\left. \begin{aligned} N^*_A &= 100N^*_A \\ &= 100\{\text{Log}(I_0/I_0') - \text{Log}(I'/I)_A\} \\ &= 100\{\text{Log}(I'/I) - \text{Log}(I_0'/I_0)\}_A \\ N^*_D &= 100N^*_D \\ &= 100\{\text{Log}(I_0/I_0') - \text{Log}(I'/I)_D\} \\ &= 100\{\text{Log}(I'/I) - \text{Log}(I_0'/I_0)\}_D \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

であるから、 $\text{Log}(I_0'/I_0)$ を大気外定数として K_0 に置きかえ、(13) 式に (12) 式を代入して (6) 式を書き変えれば、

$$\Omega_{AD} = \frac{100\{\tau(R) - (K_0 + K_1)\}_A - 100\{\tau(R) - (K_0 + K_1)\}_D - 9}{0.1388\mu} \quad (14)$$

が得られ、これは測定ダイヤルの読み R からオゾン全量を求める式となる。それぞれの波長組について、定数項をそれぞれ $\Delta N_{0A}, \Delta N_{0D}$ と置くと、(14) 式の { } の項は

$$100\{\tau(R) - (K_0 + K_1)\}_A = N_A - \Delta N_{0A}$$

$$100\{\tau(R) - (K_0 + K_1)\}_D = N_D - \Delta N_{0D}$$

となり、ここで、 $\Delta N_{0A} - \Delta N_{0D} = \Delta N_{01}$ と置くと (14) 式から (6) 式と同じ形の式

$$\Omega_{AD} = \frac{N_A - N_D - \Delta N_{01} - 9}{0.1388\mu} \quad (15)$$

を得る。これが実際の観測にあたっての計算式となる。

ΔN_{01} は準器 (Beck 116) との比較観測より求めた暫定定数である。大気外定数は太陽活動に伴う長周期変化が起こりうるし、器械定数 K_1 は測器の経年変化によって変わるので、これらの変化分を ΔN_{02} と置いて補正し、 $(\Delta N_{01} + \Delta N_{02})$ なる確定定数を決定する。

ΔN_{02} は、南中時のオゾン全量が系統的に最大または最小となるような日変化は存在しないという実際の仮定に基づき、統計的に求められる。

毎日の定常観測が (15) 式で行われたとすると、ところが大気外または器械定数が変化したため、さらに ΔN_{02} の補正を必要としたとすると、この場合の正しい計算式は、

$$\begin{aligned} \Omega^*_{AD} &= \frac{N_A - N_D - \Delta N_{01} - \Delta N_{02} - 9}{0.1388\mu} \\ &= \Omega_{AD} - \frac{\Delta N_{02}}{0.1388\mu} \end{aligned} \quad (16)$$

となり、 $\mu = \mu_1$ および μ_2 の観測について (16) 式から

$$\Omega^*_{AD1} - \Omega_{AD1} = -\Delta N_{02}/0.1388\mu_1$$

$$\Omega^*_{AD2} - \Omega_{AD2} = -\Delta N_{02}/0.1388\mu_2$$

を得る。 $\Omega^*_{AD1} = \Omega^*_{AD2}$ と仮定すると

$$\begin{aligned} \Omega_{AD1} - \Omega_{AD2} &= \frac{\Delta N_{02}}{0.1388} \left(\frac{1}{\mu_1} - \frac{1}{\mu_2} \right) \\ \Delta N_{02} &= \frac{0.1388(\Omega_{AD1} - \Omega_{AD2})}{\frac{1}{\mu_1} - \frac{1}{\mu_2}} \end{aligned} \quad (17)$$

となる。

(17) 式は、 μ_1 および μ_2 に行った1組の観測から ΔN_{02} が求められることを示している。実際には、オゾン量の時間的変動があるので、誤差をできるだけ小さくするために、長期間の直射光観測から次式によって統計的に求める。

$$\Delta N_{02} = \frac{0.1388(\sum \Omega_{AD1} - \sum \Omega_{AD2})}{\sum \frac{1}{\mu_1} - \sum \frac{1}{\mu_2}} \quad (18)$$

このようにして ΔN_{02} を決定する方法を long method と呼んでいる。求まった ΔN_{02} は ΔN_{01} に加算され、新たな暫定定数 ΔN_{01} として取り扱われる。

5. オゾン観測

ドブソン分光光度計による観測からは、オゾン全量とオゾン鉛直分布が得られる。オゾン全量観測では、観測がどのような天空状態で行われたかをはっきりさせるために、観測方法を第2表のように分類し、数字で表わすよう定められている。

第2表 観測の方法、末尾の数字は、観測の方法を表わす符号 S.

オゾン全量	直射光観測	太陽による	太陽面雲なし	0
			薄い雲を通して	9-1
			霧を通して	9-2
			煙霧を通して	9-3
		月による		1
	天頂光観測	晴天	天頂に雲なし	2
			煙霧を通して	8
		曇天	明るくて一様な雲を通して	3
			中程度の明るさで、一様または中程度に変化する雲を通して	4
			暗くて、一様または中程度に変化する雲を通して	5
暗さが非常に変化する雲、降水を伴うまたは伴わない層雲を通して			6	
霧を通して	7			
オゾン鉛直分布	反転観測 (天頂光観測)	晴天	天頂に雲なし	

5.1. 直射光観測

直射光観測は分光光度計の理論に即した最も基本となる観測方法である。したがって、これが可能な場合は他の観測に優先して行うこととなっている。

太陽光はサンディレクターの 60°プリズムによって全反射屈折して、測器の窓へ垂直に入射される。測器の窓には、すり水晶板を置き、これによって太陽光を散乱光にしてスリット S₁ に入れる。

波長は A, D 波長組を用い、短時間内に A-D-A-D-A の5回測定し、A, D それぞれの測定値の平均値から計算する。1回の測定時間はおよそ20秒間で、各測定間の時間間隔を等しくし、5回測定の間測定時刻を観測時刻とする。

観測は、午前および午後の $\mu=1.5 (Z=48.4^\circ)$, $\mu=2.5 (Z=66.9^\circ)$ に行われる。高層気象台はさらに南中時にも行っている。しかし、観測時刻は観測地の経緯度および季節によって変わるので、南中時の太陽天頂角が 48.4° を越える場合 ($Z > 48.4^\circ$) は、 $\mu=1.5$ の観測に代わって南中時 (昭和基地では北中時) の観測を行うこととなっている。

月光による直射光観測は、太陽高度角が低い季節とか、太陽が全く出ない季節が長い高緯度地方においては、年間通してのオゾン資料を得るために、たいへん有効な方法である。しかし、光が弱いために、サンディレ

クターを通して月の光を窓に入れるのが困難であること、および観測が満月前後の数日しか可能でない等の理由から、今ではほとんど行われていない。

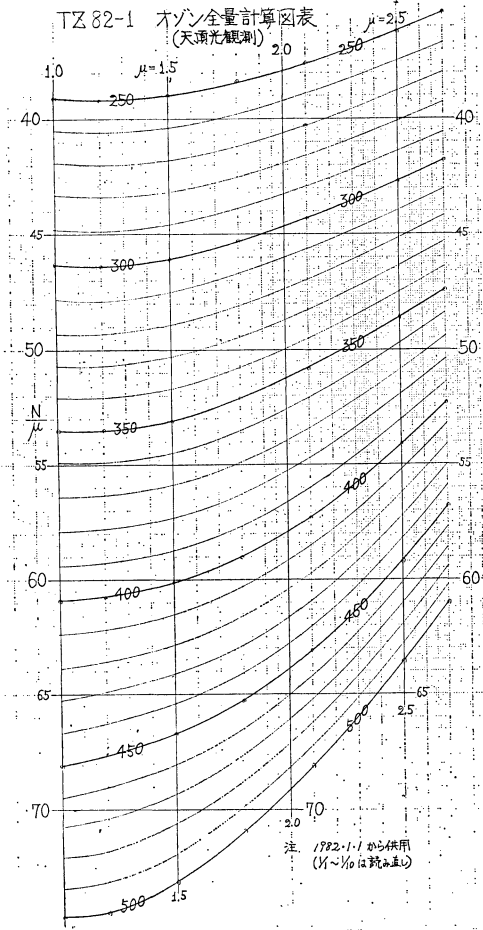
5.2. 天頂光観測

天頂光観測は、太陽が雲で遮られ、直射光観測ができない場合に行う観測で、天頂からの散乱光を測器の窓に入射して行う。使用波長と観測時刻は直射光観測と同じである。

天頂光観測では、天頂に雲がない時とある時で、晴天天頂光観測と曇天天頂光観測に区別している。晴天天頂光観測からは、理論式によって直接オゾン全量を求めることはできない。しかし、直射光観測から得られたオゾン全量 Ω^{DS} (Direct Sun) と、ほとんど同時に行った晴天天頂光観測から得られる $(N_A - N_D)^{ZB}$ (Zenith Blue) とは密接な関係にあるので、同時に行った直射光観測と晴天天頂光観測の沢山の組から、 Ω^{DS} , $(N_A - N_D)^{ZB}$, μ を関係づける経験図表 (天頂光観測図表) を作成しておき、これからオゾン全量 Ω^{ZB} を求めている。

天頂光観測図表 (第3図) は、特別な場合を除いて、曇天天頂光観測にも適用できることが経験的にわかっている。天頂光観測によるオゾン全量は、全て図表から求められる。

この図表は、年間を通して行われた DS-ZB 比較観測によって、 $\Omega^{DS} - \Omega^{ZB}$ の量が大きい場合に補正が施さ



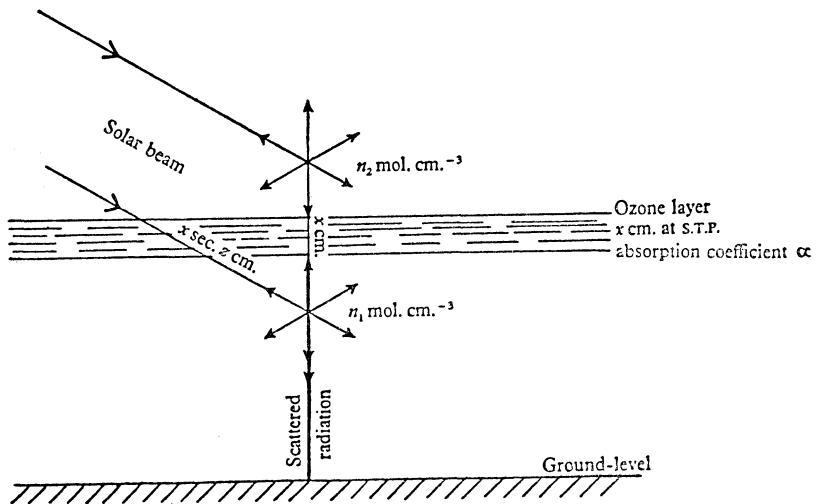
第3図 天頂光観測図表.

れ、新ためて作図される。

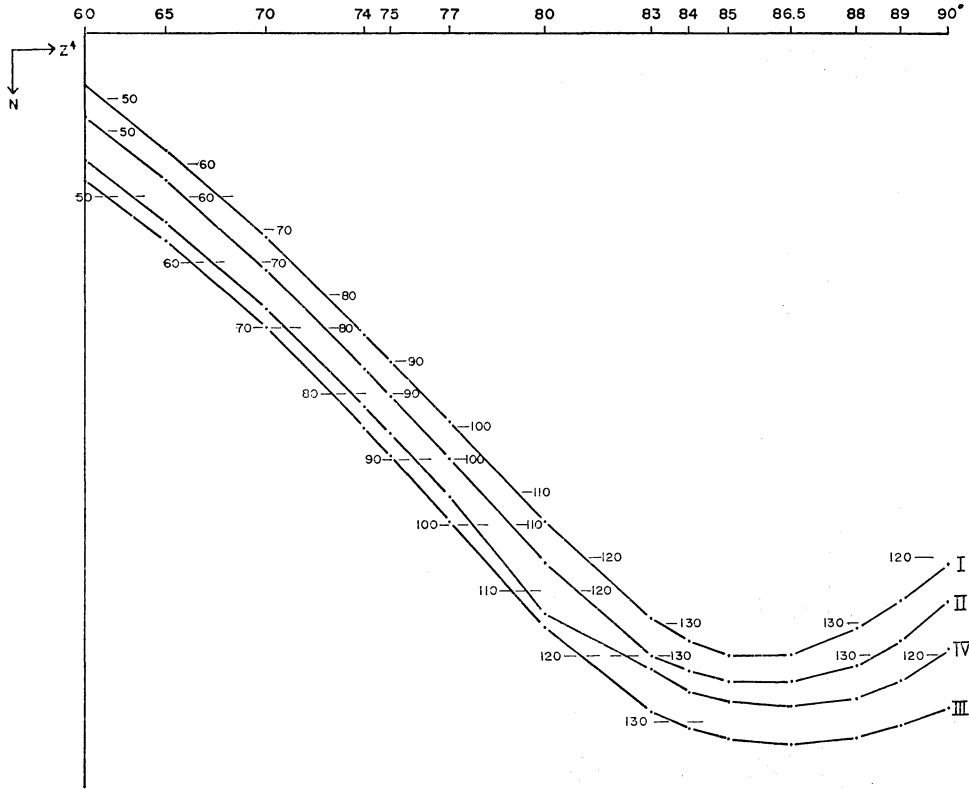
5.3. 反転観測

晴天天頂光観測による $\text{Log}(I'/I)$ は、太陽天頂角が増すと共に増加するが、天頂角が 85° を越える頃から再び減少する。この現象は Götz によって発見され、彼はこの現象を「反転効果 (Umkehr effect)」と呼び、これによってオゾンの鉛直分布を知ることができると考えた。

今、第4図に示すモデルを考える。地上で受ける散乱光は、散乱の起きている高さの大気分子数と吸収による減衰によって変化する。オゾンの吸収を受け易い波長の I について考えると、オゾン層の下からくる光は、 $n_1 \exp(-\alpha x \sec Z)$ に比例し、上からくる光は、 $n_2 \exp(-\alpha x)$ に比例する。 n は高さと共に減少するので、天頂角が小さい時 ($\sec Z \approx 1$) は、 $n_1 \gg n_2$ から $n_1 \exp(-\alpha x \sec Z) > n_2 \exp(-\alpha x)$ であり、地上に到達する散乱光は、オゾン層の下からの散乱光の方が多い。天頂角が大きくなると ($\sec Z \rightarrow \infty$)、たとえ $n_1 \gg n_2$ であろうと、 $n_1 \exp(-\alpha x \sec Z) \rightarrow 0$ となって、 $n_1 \exp(-\alpha x \sec Z) < n_2 \exp(-\alpha x)$ から、地上に到達する散乱光は、オゾン層の上からの散乱光の方が多くなる。すなわち、地上に到達する主たる散乱光の高さは、 $\sec Z$ の増加と共に次第に高くなり、ついにはオゾン層の上に出てしまうという現象が起きる。ところが、オゾンの吸収を受けにくい波長の I' については、この現象が I より遅れるので、散乱光 I の減少度合は、 I' に比べて鈍くなる。したがって、 $\sec Z$ が大きくなるにつれて、 I'/I の変化率が增加から減少に転ずるといことが起こりうる。この時の天頂角がおおよそ 85° である。



第4図 反転効果の原理 (R.M. Goody, 1954).



第5図 反転観測結果 (Z^0 対 N)

第3表 気層の分割

気層番号	高度 (mb)
0	地上—500
1	500 —250
2	250 —125
3	125 — 62.5
4	62.5 — 31.2
5	31.2 — 15.6
6	15.6 — 7.8
7	7.8 — 3.9
8	3.9 — 1.96
9	1.96— 0.98
10	0.98以下

反転観測は、C波長組による一連の(連続的な)晴天天頂光観測である。オゾン鉛直分布を求めめるには、指定された太陽天頂角(60°, 65°, 70°, 74°, 75°, 77°, 80°, 83°, 84°, 85°, 86.5°, 88°, 89°, 90°)における

N_c 値が使われる。 N_c 値を天頂角の4乗に対してプロットした曲線を反転曲線といい、第5図に示す。

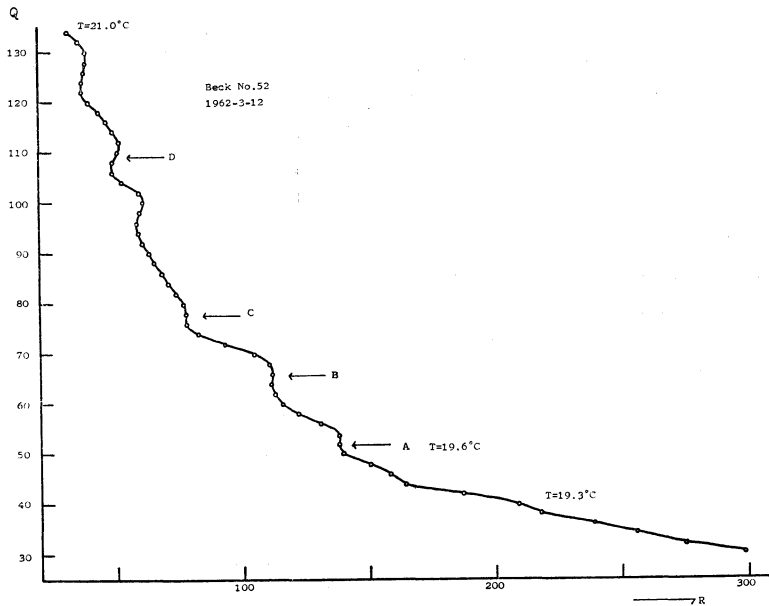
オゾン鉛直分布の計算は、あるオゾン鉛直分布を仮定し、この分布から観測されるであろう各指定太陽天頂角における晴天天頂光の $\text{Log}(I/I_0)$ ($=N$) を計算する。この結果を反転観測から得た結果と比較し、もし差があれば仮定した鉛直分布を少し変更し、再度 $\text{Log}(I/I_0)$ を計算する。この結果がある許容範囲内で実測と一致するまで繰り返し、最終的に得られた分布が鉛直分布となる。

実際の計算では、大気を約 5~6 km 毎に第3表のように分割し、500 mb の高度から下のオゾン量は、第1気層にはほぼ等しく、0.98 mb の高度より上のオゾン量は、第9気層の54%であるという仮定をおいて計算する。

観測結果からのオゾン鉛直分布計算は、計算法の統一を計るため、オゾンデータセンター(カナダ)において一括して電算処理で行われ、観測所では行わないので、

第4表 点検種目と回数.

点検種目		回数
波長点検	水銀ランプ	毎月1回
	天頂光	夏期, 冬期各1回および水銀ランプ点検に異常を認めた場合
標準ランプ点検	ランプNo. 1	毎週1回
	ランプNo. 2	月1回およびランプ No. 1 に異常を認めたとき
測器の感度点検		毎月1回
2 ランプ点検		4カ月ごとに1回(2月, 6月, 10月) A, C, D波長組について行う



第6図 晴天天頂光による Q と R との特性.

計算理論は割愛する。

以前は、指定天頂角に相当する時刻の値が正確に得られるような時間間隔で、数十回の連続観測を行っていたが、現在では自動記録装置によって、 $Z=60^\circ\sim 90^\circ$ 間の R を連続記録し、指定天頂角の時刻に対する値を読み取ることによって、 N_c 値が得られるようになった。

6. 測器の点検

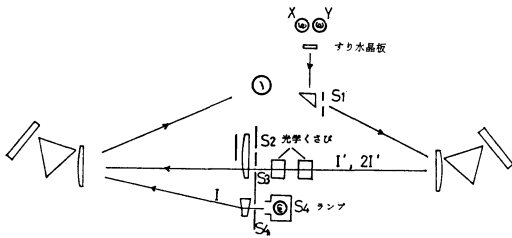
精度の高い資料を得るためには、測器は常に最良の状態に置かれていなければならない。ドブソン分光光度計は、定期的に行う各種点検によって、自己検定ができる

という特徴を持っており、また、観測にあたっては測器を室内外に出し入れしていることから、測器の定期点検は重要である。各種点検は第4表に基づいて行われる。

6.1. 波長点検

波長点検は、波長の基準点が正しく保たれているかどうかをチェックする点検である。

ドブソン分光光度計では、Qプレートと本体基底とのなす角が直角の時、水銀スペクトルの3129, 3342および4356Åの光がそれぞれスリット S_2, S_3, S_4 に入射するように調節されている。また、この時の Q 目盛は 84°



第7図 2ランプ点検の原理

を指すのが最良とされている。実際には、測器の温度によって、光学系の屈折率も変わり、光線の経路が変わってくるので、温度変化に応じて Q プレートをおわずかにずらす必要がある。すなわち、測器の温度と Q 目盛の対応を正しく決めておかなければならない。この対応を表にしたのが Q 表で、波長点検は、水銀スペクトル 3129Å を正しくスリット S₂ に入射させた時の Q 目盛と温度とが正しく対応 (Q 表) しているかどうかを確認することにある。

晴天天頂光についての Q 値と R との関係は、Q の値を 30°~150° まで 1° ずつ順に変えて観測すると、第 6 図のような曲線が得られる。曲線の凹凸のある所は、オゾンの吸収によって光の強度の減衰の大きい部分で、その波長域に観測のための A, B, C, D, 4 つの波長組を指定している。

晴天天頂光波長点検では、A, C, D 各波長組の 2 つの指定波長の光が、正しくスリット S₂ および S₃ に入射しているか否かを点検するために、各波長組の Q をはさむ狭い範囲について観測を行い、各波長組の Q 表が正しいかどうかを点検する。

6.2. 標準ランプ点検

この点検は、スリット S₂, S₃ を通る光の強度比の変化から、光学くさびやレンズ等光学系の汚れを調べるためのものである。

光源 (標準ランプ) には、長期間の間けつ使用に対して、光の強度が安定している溶融石英グローブのタングステンハロゲン電球を用いている。光源に変化がなければ (光源の変化をチェックするため、ランプは 2 つ用意されている)、オゾン分光光度計に入った光の強度比は一定であるから、測定ダイヤルの読み R も一定のはずである。点検では、標準ランプを規定電圧 (または電流) で作動させ、測定ダイヤルの読み R の変化を点検する。

6.3. 感度点検

測器の感度は、光電子増倍管の感度特性と増幅器の増

幅度で決定される。これらの状態変化を監視するのが感度点検で、弱い光を使って測定した記録トレースの幅の変化、または、測定ダイヤルを 1° ずらした時のマイクロアンメータの指針の振れ幅等で判断する。光源には、標準ランプ点検と同じ電球を用いている。

6.4. 2ランプ点検

この点検は光学くさびの濃度勾配特性が一定に保たれているか否かを確かめるためと、R 対 N の関係を決定するために行う。

標準ランプと同じタングステンハロゲン電球 2 つ (X, Y) を光源とし、相対的基準となる S₄ ランプ (ミニチュアランプ) をスリット S₄ の前に置いて、スリット S₃ を通る光の強度 I' とスリット S₄ を通る光の強度 I との比を測定する (第 7 図参照)。X と Y の電球の光の強度を同じくすると、S₄ ランプの光を基準にして、X または Y 単独点燈の時のダイヤル目盛 R₁ と、X, Y 同時点燈の時のダイヤル目盛 R₂ との N 値の差が、Log 2=0.301 から 30.1° (N の値は前に述べたように 100 倍した値を用いている) になっているかどうか点検できる。測定ダイヤルの R=0°~300° を点検するには、S₄ ランプの光量を変化させることによって行える。

7. オゾン資料

日本のオゾン資料は、各オゾン観測官署から、オゾン全量資料が気象庁報告型式高-11 で毎月、高-11 の 2 (WMO Form O-1 B) で隔月に、反転観測資料が高-12 (WMO Form O-2 B) で毎月気象庁高層課に報告される。この内、Form O-1 B と Form O-2 B はカナダのオゾンデータセンターに送付される。前者の資料と、後者の資料から計算されたオゾン鉛直分布の資料は、Ozone Data for the World (気象庁高層課と高層気象台に配布されている。また、オゾンゾンデによるオゾン鉛直分布も掲載されている) として各国の資料と共に出版されている。また、高-11 とデータセンターで計算された鉛直分布は、Aerological Data of Japan にも掲載されている。昭和基地の資料は、Antarctic Meteorological Data にも掲載されている。最新の資料の利用に当たって注意しなければならないのは、日本の場合、第 4 章 3 節で述べたように、器械定数と大気外定数の変化分 ΔN₀₂ は、毎年 2 月頃、前年の資料から統計的に求められて、(ΔN₀₁ + ΔN₀₂) が決定されるため前年の資料は、ΔN₀₂ による補正がなされてからでないかと確定資料にならない、ということである。すなわち、1983年1月の資料は、1983年

第5表 オゾン全量観測報告 高-11.

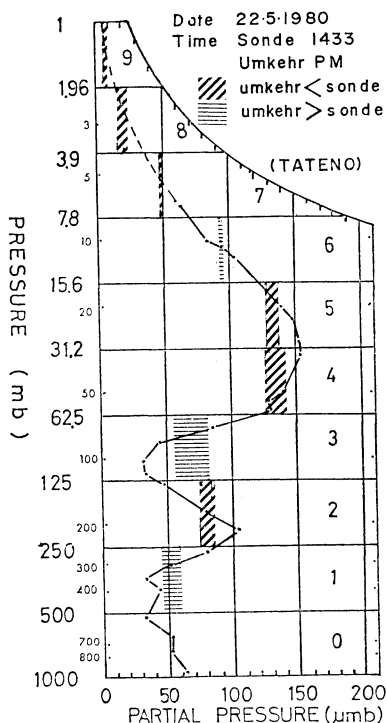
TOTAL AMOUNT OF OZONE

March 1982											Station Tateno (47646)												
YY	GG	EEE	HHH	AS	DDD	YY	GG	EEE	HHH	AS	DDD	YY	GG	EEE	HHH	AS	DDD	YY	GG	EEE	HHH	AS	DDD
07	23	025	2541	04	326	14	22	546	2469	05	314	21	22	406	2517	00	388	28	22	305	2502	00	425
08	01	005	1504	05	335	15	00	416	1502	05	306	22	00	391	1442	00	387	29	00	075	1514	00	408
08	02	445	1324	09	335	15	06	436	2480	06	317	22	02	416	1228	00	389	29	02	485	1189	00	411
08	04	375	1491	04	345							22	05	076	1496	00	388	29	05	165	1487	00	401
08	06	415	2588	05	335							22	06	516	2490	00	386	29	06	580	2484	00	384
01	23	088	2612	09	420	08	23	022	2515	00	331	15	22	533	2463	05	306	22	22	403	2493	00	382
02	01	218	1497	09	412	09	01	002	1494	00	330	16	00	363	1514	09	306	23	00	203	1512	00	375
02	02	368	1376	09	409	09	02	422	1317	09	326	16	02	423	1266	09	323	23	02	523	1222	09	368
02	04	208	1493	05	410	09	04	432	1503	00	334	16	04	463	1456	00	337	23	05	003	1458	00	374
02	06	288	2493	06	443	09	06	397	2533	00	346	16	06	433	2455	00	339	23	06	525	2489	04	385
30	07	222	3033	04	372																		

YY: 日 (グリニッチ標準時による日付), GG: 時 (グリニッチ標準時による時刻), ggg: 分 (グリニッチ標準時による分の10位, 1位および1/10位), μμμμ: オゾン層を通過する太陽光線の相対的経路 (1位, 1/10位, 1/100位および1/1000位), λ: 観測に使用した波長組 (0=AD), S: 観測の方法, ΩΩΩ: オゾン全量 (m-atm-cm 単位の100位, 10位および1位).

第6表 オゾン全量観測報告 高-11の2.

WMO/OMM											TOTAL AMOUNT OF OZONE											MSC/SMC																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
March, April											Tateno (47646)											Japan																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
month mois											station											country/pays																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Days of Month	STN	MONTH	YEAR	Day 1		Day 2		Day 3		Day 4		Day 5		Day 6		Day 7		Day 8		Day 9		Day 10		Day 11		Day 12		Day 13		Day 14		Day 15		Day 16		Day 17		Day 18		Day 19		Day 20		Day 21		Day 22		Day 23		Day 24		Day 25		Day 26		Day 27		Day 28		Day 29		Day 30		Day 31		Day 32		Day 33		Day 34		Day 35		Day 36		Day 37		Day 38		Day 39		Day 40		Day 41		Day 42		Day 43		Day 44		Day 45		Day 46		Day 47		Day 48		Day 49		Day 50		Day 51		Day 52		Day 53		Day 54		Day 55		Day 56		Day 57		Day 58		Day 59		Day 60		Day 61		Day 62		Day 63		Day 64		Day 65		Day 66		Day 67		Day 68		Day 69		Day 70		Day 71		Day 72		Day 73		Day 74		Day 75		Day 76		Day 77		Day 78		Day 79		Day 80		Day 81		Day 82		Day 83		Day 84		Day 85		Day 86		Day 87		Day 88		Day 89		Day 90		Day 91		Day 92		Day 93		Day 94		Day 95		Day 96		Day 97		Day 98		Day 99		Day 100		Day 101		Day 102		Day 103		Day 104		Day 105		Day 106		Day 107		Day 108		Day 109		Day 110		Day 111		Day 112		Day 113		Day 114		Day 115		Day 116		Day 117		Day 118		Day 119		Day 120		Day 121		Day 122		Day 123		Day 124		Day 125		Day 126		Day 127		Day 128		Day 129		Day 130		Day 131		Day 132		Day 133		Day 134		Day 135		Day 136		Day 137		Day 138		Day 139		Day 140		Day 141		Day 142		Day 143		Day 144		Day 145		Day 146		Day 147		Day 148		Day 149		Day 150		Day 151		Day 152		Day 153		Day 154		Day 155		Day 156		Day 157		Day 158		Day 159		Day 160		Day 161		Day 162		Day 163		Day 164		Day 165		Day 166		Day 167		Day 168		Day 169		Day 170		Day 171		Day 172		Day 173		Day 174		Day 175		Day 176		Day 177		Day 178		Day 179		Day 180		Day 181		Day 182		Day 183		Day 184		Day 185		Day 186		Day 187		Day 188		Day 189		Day 190		Day 191		Day 192		Day 193		Day 194		Day 195		Day 196		Day 197		Day 198		Day 199		Day 200		Day 201		Day 202		Day 203		Day 204		Day 205		Day 206		Day 207		Day 208		Day 209		Day 210		Day 211		Day 212		Day 213		Day 214		Day 215		Day 216		Day 217		Day 218		Day 219		Day 220		Day 221		Day 222		Day 223		Day 224		Day 225		Day 226		Day 227		Day 228		Day 229		Day 230		Day 231		Day 232		Day 233		Day 234		Day 235		Day 236		Day 237		Day 238		Day 239		Day 240		Day 241		Day 242		Day 243		Day 244		Day 245		Day 246		Day 247		Day 248		Day 249		Day 250		Day 251		Day 252		Day 253		Day 254		Day 255		Day 256		Day 257		Day 258		Day 259		Day 260		Day 261		Day 262		Day 263		Day 264		Day 265		Day 266		Day 267		Day 268		Day 269		Day 270		Day 271		Day 272		Day 273		Day 274		Day 275		Day 276		Day 277		Day 278		Day 279		Day 280		Day 281		Day 282		Day 283		Day 284		Day 285		Day 286		Day 287		Day 288		Day 289		Day 290		Day 291		Day 292		Day 293		Day 294		Day 295		Day 296		Day 297		Day 298		Day 299		Day 300		Day 301		Day 302		Day 303		Day 304		Day 305		Day 306		Day 307		Day 308		Day 309		Day 310		Day 311		Day 312		Day 313		Day 314		Day 315		Day 316		Day 317		Day 318		Day 319		Day 320		Day 321		Day 322		Day 323		Day 324		Day 325		Day 326		Day 327		Day 328		Day 329		Day 330		Day 331		Day 332		Day 333		Day 334		Day 335		Day 336		Day 337		Day 338		Day 339		Day 340		Day 341		Day 342		Day 343		Day 344		Day 345		Day 346		Day 347		Day 348		Day 349		Day 350		Day 351		Day 352		Day 353		Day 354		Day 355		Day 356		Day 357		Day 358		Day 359		Day 360		Day 361		Day 362		Day 363		Day 364		Day 365		Day 366		Day 367		Day 368		Day 369		Day 370		Day 371		Day 372		Day 373		Day 374		Day 375		Day 376		Day 377		Day 378		Day 379		Day 380		Day 381		Day 382		Day 383		Day 384		Day 385		Day 386		Day 387		Day 388		Day 389		Day 390		Day 391		Day 392		Day 393		Day 394		Day 395		Day 396		Day 397		Day 398		Day 399		Day 400		Day 401		Day 402		Day 403		Day 404		Day 405		Day 406		Day 407		Day 408		Day 409		Day 410		Day 411		Day 412		Day 413		Day 414		Day 415		Day 416		Day 417		Day 418		Day 419		Day 420		Day 421		Day 422		Day 423		Day 424		Day 425		Day 426		Day 427		Day 428		Day 429		Day 430		Day 431		Day 432		Day 433		Day 434		Day 435		Day 436		Day 437		Day 438		Day 439		Day 440		Day 441		Day 442		Day 443		Day 444		Day 445		Day 446		Day 447		Day 448		Day 449		Day 450		Day 451		Day 452		Day 453		Day 454		Day 455		Day 456		Day 457		Day 458		Day 459		Day 460		Day 461		Day 462		Day 463		Day 464		Day 465		Day 466		Day 467		Day 468		Day 469		Day 470		Day 471		Day 472		Day 473		Day 474		Day 475		Day 476		Day 477		Day 478		Day 479		Day 480		Day 481		Day 482		Day 483		Day 484		Day 485		Day 486		Day 487		Day 488		Day 489		Day 490		Day 491		Day 492		Day 493		Day 494		Day 495		Day 496		Day 497		Day 498		Day 499		Day 500		Day 501		Day 502		Day 503		Day 504		Day 505		Day 506		Day 507		Day 508		Day 509		Day 510		Day 511		Day 512		Day 513		Day 514		Day 515		Day 516		Day 517		Day 518		Day 519		Day 520		Day 521		Day 522		Day 523		Day 524		Day 525		Day 526		Day 527		Day 528		Day 529		Day 530		Day 531		Day 532		Day 533		Day 534		Day 535		Day 536		Day 537		Day 538		Day 539		Day 540		Day 541		Day 542		Day 543		Day 544		Day 545		Day 546		Day 547		Day 548		Day 549		Day 550		Day 551		Day 552		Day 553		Day 554		Day 555		Day 556		Day 557		Day 558		Day 559		Day 560		Day 561		Day 562		Day 563		Day 564		Day 565		Day 566		Day 567		Day 568		Day 569		Day 570		Day 571		Day 572		Day 573		Day 574		Day 575		Day 576		Day 577		Day 578		Day 579		Day 580		Day 581		Day 582		Day 583		Day 584		Day 585		Day 586		Day 587		Day 588		Day 589		Day 590		Day 591		Day 592		Day 593		Day 594		Day 595		Day 596		Day 597		Day 598		Day 599		Day 600		Day 601		Day 602		Day 603		Day 604		Day 605		Day 606		Day 607		Day 608		Day 609		Day 610		Day 611		Day 612		Day 613		Day 614		Day 615		Day 616		Day 617		Day 618		Day 619		Day 620		Day 621		Day 622		Day 623		Day 624		Day 625		Day 626		Day 627		Day 628		Day 629		Day 630		Day 631		Day 632		Day 633		Day 634		Day 635		Day 636		Day 637		Day 638		Day 639		Day 640		Day 641		Day 642		Day 643		Day 644		Day 645		Day 646		Day 647		Day 648		Day 649		Day 650		Day 651		Day 652		Day 653		Day 654		Day 655		Day 656		Day 657		Day 658		Day 659		Day 660		Day 661		Day 662		Day 663		Day 664		Day 665		Day 666		Day 667		Day 668		Day 669		Day 670		Day 671		Day 672		Day 673		Day 674		Day 675		Day 676		Day 677		Day 678		Day 679		Day 680		Day 681		Day 682	



第8図 反転観測によるオゾン鉛直分布とオゾンゾンデによるオゾン鉛直分布の比較(手塚慶二, 1983).

る場合顕著に表われている。

7.3. 世界のオゾン観測資料

現在、オゾンデータセンターに登録されている世界のオゾン観測所はおよそ200ヶ所である。実際に観測資料を報告しているのは、第9表の他にソ連製のフィルター式オゾノメータを使用している東ヨーロッパ、ソ連およびアジアの一部の20数ヶ所を含めておよそ90ヶ所で、毎年数ヶ所増加している。

オゾン全量観測の時刻は観測所によってまちまちで、1日数回行っている所もあれば、直射光観測だけの所もあるが、総じて、太陽高度角の高い時刻(太陽南中、北中時)には行われており、月平均値を求めるのに十分な観測日数が得られている。

ソ連製オゾノメータは第9図に示すように、太陽高度角の変化によってオゾン量変動が大きく、精度の面で問題の多い測器と思われるので、この測器を使用している観測所を第9表に載せなかった。

反転観測は第9表の「反転」欄の○印の観測所で行われている。日の出後、または日の入前約3時間、天空が

晴天でなければならぬという観測条件から、その資料数は、年間資料数10個以下の観測所が約半数、50個以下の観測所は4ヶ所と少ない。しかし、館野の反転観測資料数(年間90~140個)はスイスのArosaに続いて2番目に多く、オゾン全量資料数と共に、世界に誇れる数である。

8. オゾン観測に対する世界の動向

オゾン観測はIGY(1957~1958)を契機として世界的に開始された。第3回世界気象会議(1959)は、国際的にオゾン観測作業を拡充する目的で、オゾン全量観測所の設立とオゾンゾンデ観測計画の確立を要請する決定を行っている。その後、Atmospheric Environment Service of Canadaがオゾンデータセンターとしてデータ収集とその刊行を実施する一方、Climate Impact Assessment Programにより、オゾン量の減少による紫外線の増大と気候変動に対する危険に関する研究・調査が進められてきた。これらの結果を重視した第7回世界気象会議(1975)は、オゾン量減少の度合を調査する必要性があると決定し、オゾン破壊の主原因の一つであるクロロフルオロメタンについての調査と全球規模のオゾンモニターシステムの必要性を強調した。

WMOは、第28回執行委員会(1976)において、オゾン観測網の整備・拡充、オゾン測器の整備・開発・標準化、オゾン観測データの迅速な収集・刊行と解析・調査を骨子とした“WMO Global Ozone Research and Monitoring Project”を決議し、World Dobson Spectrophotometer Central Laboratoryとして、NOAAのAir Resource Laboratory(A.R.L.)を指名し、ここが使用しているBeck 83を世界の分光光度計の第一標準と決めた。

日本では、WMOの要請により、1977年ドブソン分光光度計Beck 52をWMOへ贈与し(現在フィリピン、マニラで使用されている)、アメリカのコロラド州ボルダーで行われる分光光度計の国際比較観測と西ドイツでのオゾンゾンデの国際比較観測参加を決定した。

ドブソン分光光度計の国際比較観測(1977)には、オーストラリア、カナダ、東ドイツ、エジプト、インド、日本、イギリスおよびアメリカが参加し、デンマーク、アイスランド、ノルウェイは分光器の調整・改良および較正のために参加した。この比較観測の目的は、オゾン全量資料の均一性を計るために、全世界の観測網を地域分割して各地域内の分光器を較正するため、この地域

第9表 世界のオゾン観測を行っている観測所 (1981年現在).

観測所	国名	緯度, 経度	オゾン全量	反転
Aarhus	デンマーク	56.10N, 10.12E		
Arosa	スイス	46.46N, 9.40E	DS のみ	○
Aspendale	オーストラリア	38.02 S, 145.06E		○
Bangkok	タイ	13.44N, 100.30E		
Barrow	アメリカ	71.19N, 156.36W	noon および 2 時間前後	
Belsk	ポーランド	51.50N, 20.47E	noon, $\mu=2.0, 2.6$	○
Biscarrosse	フランス	44.22N, 1.14W		○
Bismarck	アメリカ	46.46N, 100.45W	noon および 2 時間前後	
Boulder	アメリカ	40.01N, 105.15W	noon および 2 時間前後	○
Bracknell	イギリス	51.23N, 0.47W		
Brisbane	オーストラリア	27.28 S, 153.02E		
Bucharest	ルーマニア	44.29N, 26.08E		
Budapest	ハンガリー	47.26N, 19.11E	$\mu=1\sim 3.5$	
Buenos Aires	アルゼンチン	34.35 S, 58.29W		
Cairns	オーストラリア	16.55 S, 145.44E		
Cairo	エジプト	30.05N, 31.17E		○
Caribou	アメリカ	46.52N, 68.01W	noon および 2 時間前後	
Casablanca	モロッコ	33.34N, 7.40W		
Churchill	カナダ	58.45N, 94.04W	noon, $\mu=2.0, 2.5\sim 3.0$	○
Edmonton	カナダ	53.34N, 113.31W	noon, $\mu=2.0, 2.5\sim 3.0$	○
El Arenosillo	スペイン	37.06N, 6.44W		
Goose	カナダ	53.19N, 60.23W	noon, $\mu=2.0, 2.5\sim 3.0$	○
Haute Provence	フランス	43.55N, 5.45E		○
Hobart	オーストラリア	42.53 S, 147.20E		
Hohenpeissenberg	西ドイツ	47.48N, 11.01E	noon $\sim\mu=3.0$	
Hradec Kralove	チェコ	50.11N, 15.50E	noon $\sim\mu=3.0$	
Huancayo	ペルー	12.03 S, 75.19W	noon および 2 時間前後	
Invercargill	ニュージーランド	46.25 S, 168.19E	noon	○
Kagoshima	日本	31.38N, 130.36E	$\mu=1.5, 2.5$	○
Kodaikanal	インド	10.14N, 77.28E	noon, $\mu=2.0, 3.0$	○
Kunming	中国	25.01N, 102.41E		
Lerwick	イギリス	60.09N, 1.09W		
Lisbon	ポルトガル	38.46N, 9.08W		○
Macquarie Is.	オーストラリア	54.29 S, 158.58E		
Magny-Les-Hameaux	フランス	48.43N, 2.04E		
Mahe, Seychelles	イギリス	4.41 S, 55.32E		
Maputo	モザンビーク	25.58 S, 32.36E		
Mauna Loa	アメリカ	19.32N, 155.35W	noon および 2 時間前後	
Mexico City	メキシコ	19.20N, 99.11W		
Mount Abu	インド	24.36N, 72.43E		○
Naha/Kagamizu	日本	26.12N, 127.40E	$\mu=1.5, 2.5$	○
Nampula	モザンビーク	15.06 S, 39.17E		
Nashville	アメリカ	36.15N, 86.34W	noon および 2 時間前後	
New Delhi	インド	28.38N, 77.13E	noon, $\mu=2.0, 3.0$	○

(第9表つづき)

観測所	国名	緯度, 経度	オゾン全量	反転
Oslo	ノルウェー	59.55N, 10.43E		
Palestine	アメリカ	31.48N, 95.43W		○
Perth	オーストラリア	31.57S, 115.51E		
Poona	インド	18.32N, 73.51E	noon, $\mu=2.0, 3.0$	○
Potsdam	東ドイツ	52.23N, 13.03E		
Quetta	パキスタン	30.11N, 66.57E	noon, $\mu=2.0, 3.0$	
Resolute	カナダ	74.43N, 94.59W	noon, $\mu=2.0, 2.5\sim 3.0$	○
Reykjavik	アイスランド	64.08N, 21.54W		
Samoa	アメリカ	14.15S, 170.34W	noon および2時間前後	
Sapporo	日本	43.03N, 141.20E	$\mu=1.5, 2.5$	○
Shiangher	中国	39.46N, 117.00E		
Singapore	シンガポール	1.20N, 103.53E		
Srinagar	インド	34.05N, 74.50E	noon, $\mu=2.0, 3.0$	○
St. Helena	イギリス	15.56S, 5.39W		
Syowa	日本	69.00S, 39.35E	noon, $\mu=1.5, 2.5$	
Tallahassee	アメリカ	30.26N, 84.20W	noon および2時間前後	
Tateno	日本	36.03N, 140.08E	noon, $\mu=1.5, 2.5$	○
Tronto	カナダ	43.47N, 79.28W	noon, $\mu=2.0, 2.5\sim 3.0$	
Uccle	ベルギー	50.48N, 4.21E		
Varanasi	インド	25.27N, 82.52E	noon, $\mu=2.0, 3.0$	○
Vigna Di Valle	イタリア	42.05N, 12.13E	noon $\sim\mu=3.3$	
Wallops Is.	アメリカ	37.52N, 75.31W	noon および2時間前後	
White Sand	アメリカ	32.23N, 106.29W	noon および2時間前後	

第10表 オゾン分光光度計の国際比較観測結果 (W.D. Komhyr, 1980).

測器番号	国名	オゾン全量 0.300 atm-cm に対する補正值 (%)			
		$\mu=1$	$\mu=2$	$\mu=3$	平均
41	イギリス	1.70	0.83	0.57	1.03
71	東ドイツ	10.37	5.20	3.46	6.34
77	カナダ	-1.83	-0.93	-0.60	-1.12
83	アメリカ	標準器			
96	エジプト	-4.33	-2.17	-1.43	-2.64
105	オーストラリア	4.50	2.27	1.50	2.76
*108	ソ連	-1.23	-0.60	-0.40	-0.74
112	インド	0.36	0.20	0.13	0.23
116	日本	-1.07	-0.53	-0.33	-0.64

* は1978年に行われた。

内に2次準器を置いて、2次準器と Beck 83 を比較することになった。

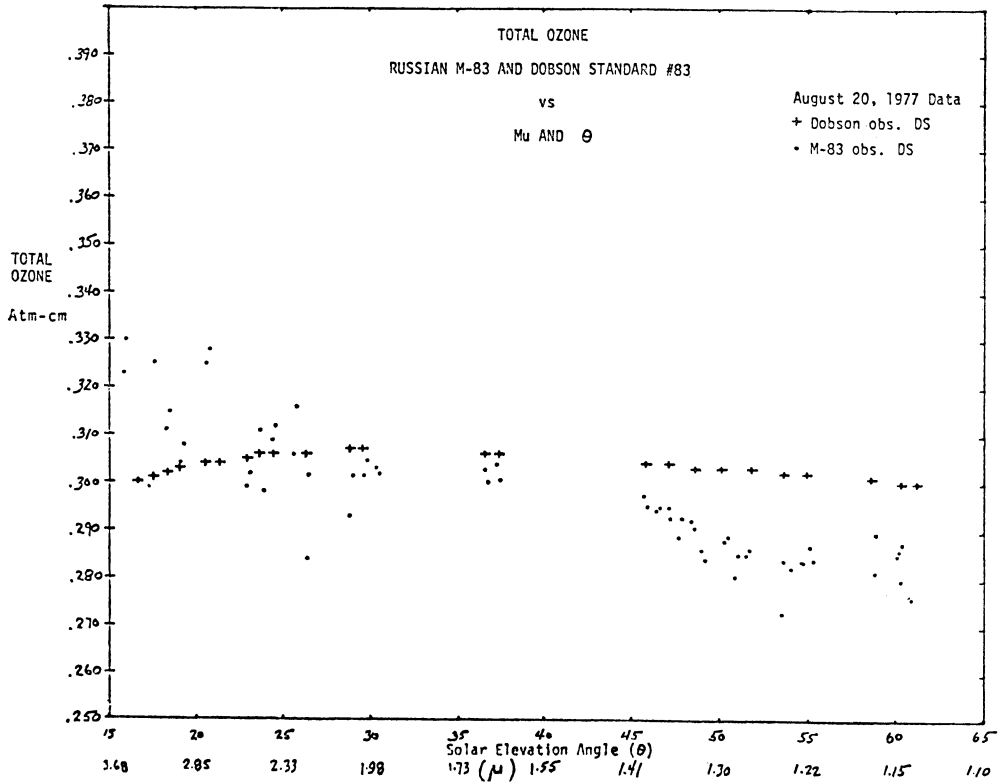
2次準器としては、光学系の調整が適正であること、

1983年5月

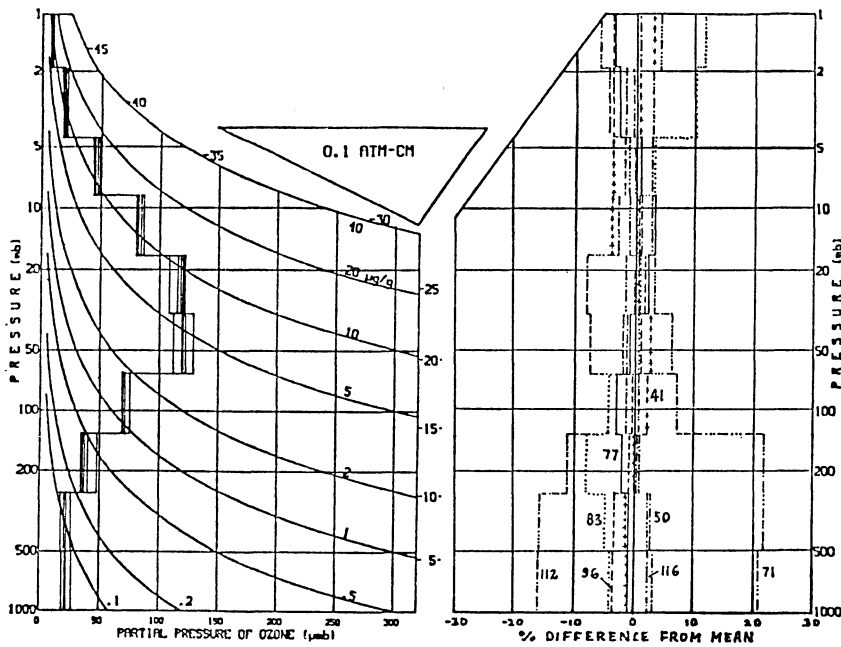
電気系(増幅, 整流)が十分改良されていることが条件とされ、これらの条件を満たさない分光器は NOAA の A.R.L. によって改良が行われたが、日本の Beck 116 は何の手を加えることもなく、2次準器(国内準器)となった。

各国の分光光度計と Beck 83 との比較観測は、各分光光度計の N 値の補正值、オゾン全量の補正值、内部散乱の有無等について行われ、Beck 77 と Beck 116 がたいへん良い結果を得た(第10表, 第10図参照)。また、これらの結果は1974年ポーランドのベルスクで行われた比較観測の結果より精度が向上しており、比較観測の有意義性を示している。しかし、こうした比較観測には、多大の経費と時間を要するため、国際巡回標準ランプによる比較点検の実施への運びとなった。

この国際巡回標準ランプ点検は、Beck 83 であらかじめ点検された標準ランプを各地域毎に巡回させるという方法で行われ、1981~1982年に実施された。点検結果は、NOAA の A.R.L. で解析され、Beck 83 を基準と



第9図 ドブソン型オゾン分光光度計とフィルター式オゾンメータとの比較 (V.S. Szwarc, 1980).



第10図
同時観測による8台の
オゾン鉛直分布の比較観
測結果 (W.D. Komhyr,
1980).

した各測器毎の N 補正值が決められるはずである。

成層圏オゾンの変動の調査、研究は、多くの科学者によって取り組まれており、オゾン資料のより高い精度と均一性が要求され、世界のオゾン観測はこれに答えるべく動いている。また、最近、オゾン吸収係数についても検討が進められ、近い将来変更になる可能性もでてきた。日本では、分光光度計の光学くさびを使用しない新しい測定方式への改良と、分光光度計と小型電算機とのオンライン接続によるオゾン全量の計算、資料の蓄積・集計および補正作業の簡素化に向け取り組んでいる。

9. むすび

気象庁が行っている各種観測は、観測業務毎に観測指針が刊行され、これに基づいて実施されている。オゾン観測業務は1957年に開始されているが、当時の指針は「オゾンスペクトロフォトメータによるオゾン観測指針(案)(1957)」であった。これはBeck社の「Observer's Handbook for the Ozone Spectrophotometer」の全訳であり、国産の測器も加わったことから、実状に即した指針の刊行が強く要望され、「オゾン観測指針(1970)」が刊行された。その後、電子技術の急速な発展と共に、測器の改良や電子機器の更新が行われ、これらに伴う取り扱い方法の変更と改善によって、指針の全面改訂を行い、「オゾン観測指針(1980)」の刊行となった。

この稿では、こうした観測指針の変遷の中で、基本的には変わりうることのない項目についての解説に留めた。読者にとっては、今一つ物足りなさを感じられる部分もあるだろうが、「オゾン観測の手引き」とでもいう解説書として、少しでも皆様のお役に立てただけであれば幸いである。また、これによって、オゾン観測に興味を持たれ、理解を深められて、「オゾン観測に従事してみよう」、「オゾン資料を利用してみよう」という方が1人でも多くなることを期待するものである。

謝 辞

この解説をまとめるに当たり、清水正義 高層気象台長をはじめ、手塚慶二観測第三課長、大越延夫 主任研究官、松原廣司 研究官から有益な助言と校閲をいただき、私自身、オゾン観測について理解を深めた点が多々

あった。ここに、深く感謝する次第である。

文 献

- 忠鉢 繁, 1980: コンピュータを利用したドブソン分光光度計 R 対 N 表の作成について, 高層気象台彙報, 41, 41-45.
- Dobson, G. M. B., 1957: Observer's handbook for the ozone spectrophotometer, Annals of the IGY, 5, 46-81.
- , 1957: Adjustment and calibration of ozone spectrophotometer, Annals of the IGY, 5, 91-114.
- Goody, R. M., 1954: The physics of the stratosphere, Cambridge Univ, 81-124.
- 長谷部文雄, 1982: 気象衛星による成層圏オゾンの観測—Nimbus 4号 BUVによる試み—, 天気, 29, 905-933.
- 気象庁, 1980: オゾン観測指針.
- 観測部, 1977, 高層技術打合せ会資料.
- Komhyr, W. D., 1980: Operations handbook—Ozone observations with a Dobson spectrophotometer—, WMO Global Ozone Research and Monitoring Project Report, No. 6.
- , R. D. Grass and R. K. Leonard, 1981: WMO 1977 international comparison of Dobson ozone spectrophotometers.
- 高層気象台第二観測課, 1957: 館野におけるオゾン全量観測について, 高層気象台彙報, 6, 17-35.
- 大越延夫, 鈴木剛彦, 1982: 天頂光観測オゾン全量の見かけ上の増加, 高層気象台彙報, 42, 24-31.
- Ramanathan, K. R. and J. V. Dave, 1957: The calculation of the vertical distribution of ozone by the Götz Umkehr-effect (Method B), Annals of the IGY, 5, 23-45.
- 関口鯉吉, 1933: 富士山頂に於ける太陽紫外線の観測による大気オゾンの定量, 気象集誌, 11, 145-164.
- 島崎達夫, 1979: 成層圏オゾン, 東京大学出版会.
- Szwarc, V. S., 1980: An Evaluation of the U.S.S.R. M-83 Ozonometer, Proceedings of the Quadrennial International Ozone Symposium, Vol. 1, 57-63.
- 手塚慶二, 1983: 日本におけるオゾン量の鉛直分布について, 高層気象台彙報, 43, 28-46.
- 和達清夫, 1974: 気象の事典, 東京堂出版.
- 山本義一, 1956: 気象輻射学, 地人書館, 58-78.
- 山崎正博, 清水正義, 福田寿彦, 秋田貞一, 1957: 自記分光写真器によるオゾンの垂直分布の観測, 高層気象台彙報, 6, 45-54.