

4月19日の日食時における太陽輻射および大気輻射の観測

植 村 八 郎*

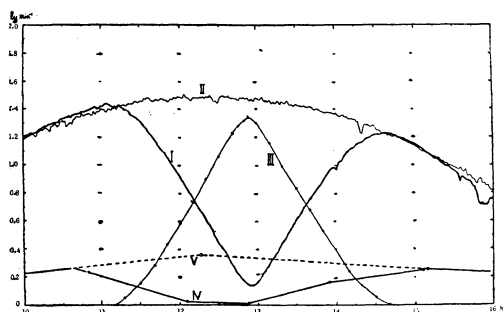
1. は し が き

1958年4月19日、種子島金環食の際は鹿児島では快晴に恵まれ、食甚食分0.919¹⁾の部分食が見られた。各地で同時にいろいろな観測が行われ、それらは天文学・地球物理学または電波科学などの研究に役立ったわけであるが、気象学的にみると日食は短時間内に太陽常数が変化する現象であり、太陽と気象現象の関係を調べるよい機会でもあった。

筆者ら**は直達日射・全天日射の観測とともに地上気象の変化や日食スケッチ、日食時の大気輻射の測定などを行った。そこでこれらの観測結果を整理し、日食時の気象要素の変化を理解する上に一番基本となる太陽輻射および大気輻射について解析した結果を述べてみることにする。

2. 水平面日射量

Eeppley水平面日射計によって記録した水平面日射量の10~16hの分を第1図(曲線I)に示した。初欠は11h 01.8m、食甚は12h 53.5mで復円は14h 42.7mであるが、図からわかるように11h10mころ(この時1.43 ly***



第1図 日射曲線

- I 4月19日の水平面日射量
- II 4月14日 同上(快晴)
- III (II)と(I)の差(欠損量)
- IV 4月19日の全天空(散乱)光成分
- V 4月14日の同上

* 鹿児島地方気象台 —1958年9月15日受理—

** 野田, 黒木, 利光, 押切, 東谷, 植村

*** ly=cal cm⁻²

min⁻¹)から漸次減り始め、食甚のころ最低値(0.14 ly min⁻¹)を示し、その後次第に増加して14h 40mころ再び極大(0.14 ly min⁻¹)となりもとに復している。この最低時の明るさは当日の快晴06h 50mころと同じであり、また夕方は快晴ではなかったが前後日の快晴から推定すると17h 50mころの明るさとなる。

次に欠損量を見積ってみよう。当日、日食がなかった場合の晴天日射量曲線が推定できるとよいわけであるが、それにはいろいろ計算上の仮定が入るので、むしろ19日に近い快晴日の日射曲線を代表させた方がよい、といってもあまり日数をはなれてもいけないわけで、4月14日が快晴であったので便宜上この日の日射曲線(II)と比較してみた。両者(曲線(II)と(I))の差が近似的に日食による欠損量と考えてよい。曲線(III)がそれである。最大減少量はやはり食甚ころで、1.34 ly min⁻¹であり、日食中の全欠損量は約172cal cm⁻²となる。

この二つの日射曲線で、初欠および復円の前後で(I)の日射量が(II)のそれよりも多いのが認められる。特に初欠直前の方が顕著で最大0.03 ly min⁻¹である。この原因は何であろうか? まず考えられることは19日の日射量が14日のそれよりも天文学的に多くなければならないということ。更に天気のごん濁度によってもこの程度の変化が現われるであろうということである。現に、14日のごん濁係数 τ_G は3.62で19日のそれは日食前後で平均して $\tau_G=3.30$ で、やや19日の方が大気清澄である。それでこれらの寄与のオーダーを調べた上でないと直接月による影響であるかどうか今のところ判断に難かしい。

3. 直達光鉛直成分と天空輻射成分

この水平面日射量を直達日射の成分と天空からの散乱輻射の成分に分けて、それぞれの変化について調べよう。水平面全天日射量をS、直達日射量をIとし、太陽の天頂角をzとすれば水平面に入る直達日射量はI cos z,

$$\cos z = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t \dots \dots (1)$$

(φ : 緯度, δ : 太陽赤緯, t: 時角)

である。天空輻射量Hは残り

$$H = S - I \cos z \dots \dots \dots (2)$$

である。直達日射量の測定は銀盤日射計によって、欠ける前の11h, 日食中の12h, 13h, 14hおよび復円後の15hとおよそ1時間ごとに観測した。第1表にはこの観測結果を示した。表中 I/I_0 は無欠の時の太陽常数に対する直達日射量の比である。

第1表 直達日射量

月 日	IV 19				
測定平均日時刻 (中標)	h m	12 17	12 53	13 55	15 06
I	1.322	0.752	0.149	0.894	1.209
sec z (= m)	1.14	1.07	1.08	1.16	1.39
$I/I_0(I_0=1.885)$	0.701	0.399	0.079	0.472	0.641

かくして(2)から求めた H は第1図の曲線(IV)である。全天空からの散乱光は近似的に

$$H = \frac{1}{2} I_0(t) \cos z \frac{1-a^m}{1-1.41 \log_e a} \dots\dots\dots(3)$$

$I_0(t)$: 時刻 t の大気外の太陽輻射量

a : 大気の透過率

m (= $\sec z$): 通過大気路程

で表わされるので太陽輻射量 I_0 の変化に伴って天空散乱光 H も一樣に変化することが期待される。食分が進むにつれて H は減少し食甚時はほとんど零に近く、0.01cal程度を示した。当日の青空の色の変化は以上の天空輻射の変化に相応するものであり(第5表), 12h 50m ころにはSWに金星が見えた。この天空輻射量の減衰も同様にIV 14日のそれと対比してみればよい。第1図曲線(V)は14日のそれである。普通天空輻射量の水平面日射量に対する割合は、太陽天頂角 60° くらいまでは約20%程度を占めるが²³⁾, また実際、観測値も第2表の如くその程度を示すが、日食時は食分が進むとともにこの割合は少くなり食甚のころは10%以下となっている。

第2表 散乱光成分

日	IV 19					IV 14			
時刻 h	h m	1050	1217	1253	1355	1506	0910	1217	1510
S	1.39	0.73	0.15	0.94	1.12	0.96	1.49	1.08	
$I \cos z$	1.16	0.71	0.14	0.78	0.87	0.78	1.13	0.83	
H	0.23	0.02	0.01	0.16	0.25	0.18	0.36	0.25	
H/S	0.17	0.03	0.07	0.17	0.22	0.19	0.24	0.23	

4. 食分と太陽輻射量

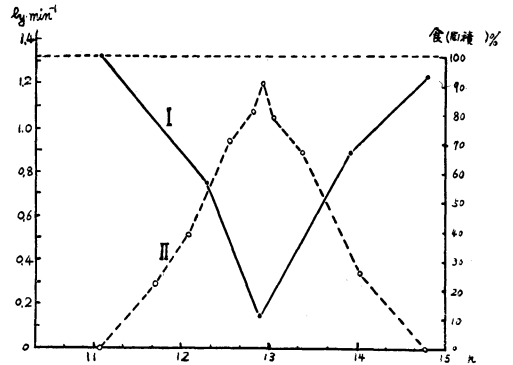
a) 直達日射量の変化

食分が進むにつれて大気外太陽輻射量は減ってくるわけであるが、今ある時刻 t の見かけの太陽常数(大気外

太陽輻射量)を $I_0(t)$ とすると、地上直達日射量 $I(t)$ は波長に平均して次式で表わされる。

$$I(t) = I_0(t) e^{-km} = I_0 a^m \dots\dots\dots(4)$$

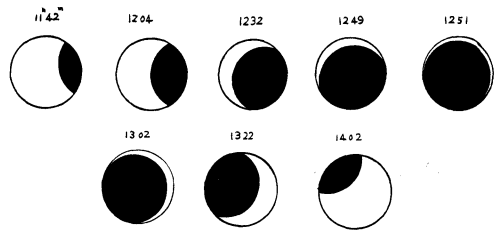
ここに k は消散係数である。この直達日射量 $I(t)$ の測定には銀盤日射計の場合10分間を要するので、厳密にその時間の瞬間値を示すことはできない。それで食分の変化が大きい時には誤差も大きくなるであろうが、大体10分間内の平均値を示すものとみてよい。第2図折線(I)に示したが後からみて直達日射の観測回数が少なかったのは残念であった。



第2図 直達日射量 I と食(面積比) II

b) 食面積

次に食分の観測であるが、食分の変化は日食中にもっとも興味あるものであるが、時間とともにそれを正確に観測記録することはむずかしい問題である。初欠から復円にいたる間の各位相(太陽と月の相互位置)に応じて太陽を写真撮影して食分を測るということは、理論と比較する上からも大事なことであって実際行われていることであるが、これには専門的な技術が必要で、われわれの観測器ではよくするところではない。ごく粗朴的にスケッチ観測を行った。経緯儀(セオドライト)の接眼レンズの外側に衝立を置き、それに太陽の像を結ばせてすばやく描写した。もちろん完全にはできないので後で円弧を以て修正した。(第3図)。このスケッチに基い

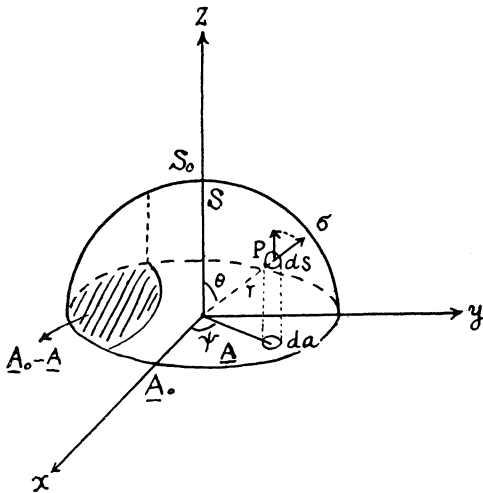


第3図 日食のスケッチ(ただし食分の方角は不正確)

て食面積比（完全な太陽像に対する食部分の面積の割合）を測って求めた結果第2図（Ⅱ）に示す折線ができた。

c) 面積比と輻射量

普通太陽像として見える所は光球（photosphere）と称せられる部分で、輻射エネルギーの主な源泉であるが、光球の比較的浅い各層からの放射によるものであるから、仮想的にそれは一つの球面光源とみなされている。しかし詳細に見れば太陽表面現象を示す黒点（Sun-spot）とか白斑（Faculae）、羊毛斑（Foloculi）あるいは紅焰（Prominence）などがあり決して一様な光源体ではない。今考察の便宜上球面の光度分布 σ の太陽が月によって食せられる場合を考える。第4図において太



第4図

陽中心を原点にとり半径を μ とする半球面 S_0 を考える。この面上の P 点の光度を $\sigma = \sigma(P)$ とすれば P 点をかこむ面要素 ds から Z 方向（地球方向）へ出る光の量は、 $\sigma ds \cdot \cos \theta$ 、面要素 ds の $x-y$ 平面への射影を da とすると

$$da = ds \cdot \cos \theta \dots\dots\dots(5)$$

である。非食部分の球面光源 S から Z 方向へ出る総輻射量 J は

$$J = \iint_S \sigma ds \cos \theta = \iint_A \sigma da \dots\dots\dots(6)$$

でこれは球面の光源を中心を通る切口面（ xy -平面）に射影してきた平板光源の明るさで代表できることを表わす。この半球面 S_0 からの輻射量に対する比は

$$\frac{J}{J_0} = \frac{\iint_S \sigma ds \cos \theta}{\iint_{S_0} \sigma ds \cdot \cos \theta} = \frac{\iint_A \sigma da}{\iint_{A_0} \sigma da} \dots\dots\dots(7)$$

理想的に $\sigma(P) = \sigma$ (const) の球面光度を考えると

$$\frac{J}{J_0} = \frac{\sigma A}{\sigma A_0} = \frac{A}{A_0} \dots\dots\dots(8)$$

となり輻射量は射影面積に比例することになる。

しかし実際には光球から出る光は、それをかこむ太陽大気により吸収拡散され、中心線（ Z 軸）から周囲にそれるにしたがってより長い路程を通るため減光され、また浅層からの輻射分となるので光球は周囲に行く程暗くなりいわゆる周囲暗化現象を示している。Abbot の測定²⁾によると光球の明るさの分布は、中心の明るさを σ_0 、中心角 θ （中心距離 $\sin \theta$ ）なる点の明るさを σ とすると

$$\sigma = \sigma_0 (1 - c + c \cos \theta) \dots\dots\dots(9)$$

で表わされる。ここに c は周囲暗化係数で肉眼観測に対して $c = \frac{2}{3}$ 、写真観測に対しては $c = \frac{3}{4}$ である。

この式を用いると J は

$$J = \iint_A \sigma da = \iint_A \sigma_0 (1 - c + c \cos \theta) \gamma \sin \theta \cdot d\psi \cdot d(\gamma \sin \theta) \dots\dots\dots(10)$$

で全輻射量 J_0 は

$$J_0 = \int_0^{2\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sigma_0 \gamma^2 (1 - c + c \cos \theta) \sin \theta \cdot \cos \theta \cdot d\theta = \left(1 - \frac{c}{3}\right) \pi \gamma^2 \cdot \sigma_0 \dots\dots\dots(11)$$

これは(8)と比べて等価的に $\sigma = \sigma_0 \left(1 - \frac{c}{3}\right)$ の一様な密度の円板光源で置きかえられる。

(10)と(11)の比は

$$\frac{J}{J_0} = \frac{\sigma_0 \iint_A \gamma^2 (1 - c + c \cos \theta) \sin \theta \cos \theta d\psi d\theta}{\sigma_0 \left(1 - \frac{1}{3} c\right) \pi \gamma^2} \dots\dots\dots(12)$$

$$\text{今 } \frac{\iint_A \gamma^2 (1 - c + \cos \theta) \sin \theta \cos \theta d\psi d\theta}{\left(1 - \frac{1}{3} c\right)} = A' \dots\dots\dots(13)$$

なる相当面積 A' を定義すれば

$$\frac{I}{I_0} = \frac{A'}{A_0} \quad (A_0 = \pi r^2) \dots\dots\dots(14)$$

I は A' と比例することになる。 A' と実際の A との違いは(13)を計算してみればよいわけであるが、それには食の位相と A を解析的に表す必要がある。(11)から $\frac{3}{4}\sigma_0$ の等円板光源としてよいのでおおまかに $A' \approx A$ のオーダーと見ておこう。

第2図で食(面積比)とその時の直達日射量から上のべた A と I の関係を実際に調べることができる。(4)から

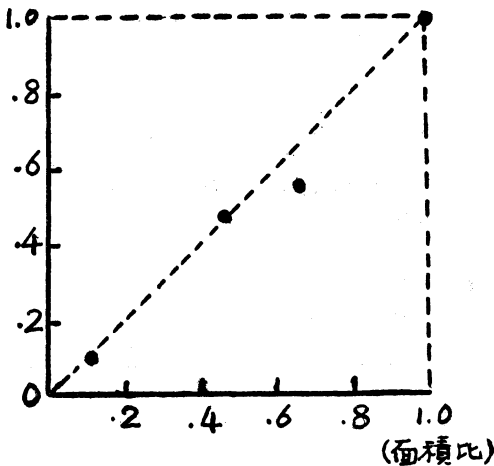
$$\frac{I(t)}{I_0(t)} = e^{-km} = a^m \dots\dots\dots(15)$$

今 $t=t_1, t_2, \dots\dots t_i$ における太陽常数及び直達日射量をそれぞれ 1, 2, $\dots\dots i$ の添数 (suffix) を付けて表わすことにすれば、 $t=t_i$ では

$$I_i = I_{0i} a_i^{m_i} \dots\dots\dots(16)$$

今、日食直前(複円後)の測定を1番目とする。そして日食時間中は大気の透過率が変らないもの。すなわち

(輻射比)



第5図 太陽面積と輻射量の関係

$$a_i = \text{const} = a_1 \dots\dots\dots(17)$$

ここに
$$a_1 = \left(\frac{I_1}{I_{01}} \right)^{\frac{1}{m_1}}$$

とすれば(16)から、 $t=t_i (i \neq 1)$ において輻射比は I_{01} で割つて

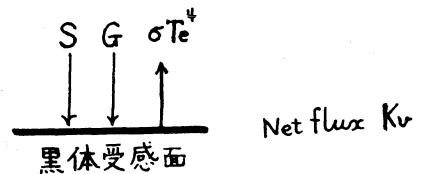
$$\frac{I_i}{I_{01}} = \frac{I_{0i}}{I_{01}} a_1^{m_i}$$

$$\therefore \frac{I_{0i}}{I_{01}} = \left(\frac{I_i}{I_{01}} \right) a_1^{-m_i} \dots\dots\dots(18)$$

I_{01} はその日の(無欠の場合の)太陽常数 (I_0) であるからすでにわかっているし、 I_i は実測で得られている(第1表)から、 $t=t_i$ の太陽常数の比 I_{0i}/I_0 が求まる。この I_{0i}/I_0 と同時刻の光輝面積分の比との関係を第5図に示した。両者はほぼ直線的な関係を示している。

5. 大気輻射の観測

日食中に大気および地表面の輻射放熱がどのように起っているかを知るために Gier-Dunkle の太気輻射計* を作動せしめ大気輻射を観測した。この場合受感面に入る輻射熱は、長波長の太気輻射のみならず短波長の日射エネルギーも入るわけである。受感面の波長特性は短波・長波域でいくらか異なる吸収を示すであろうが、たいいていの場合全波長域で完全黒体として取扱われるので、その程度の許容を認めれば、(黒体)受感面 (Sensing element) での熱の出入りは次のように表わされる。第6図で上から入る大気輻射束を G 、全天日射量を S 、受感



第6図

面から出る上向き黒体輻射量を σT_e^4 (T_e は受感面の温度、 σ は Stefan-Boltzman の常数) とすれば、この面での正味の輻射束 (net flux) Kv は

$$Kv = G + S - \sigma T_e^4 \dots\dots\dots(19)$$

これから

$$G = \sigma T_e^4 - S + Kv \dots\dots\dots(20)$$

T_e は測定し、 S はその時の Eeppley 水平面日射量(記録)から、また Kv は Gier-Dunkle 輻射計の記録値として読取ればよいから G は(20)で容易に求められる**。しかしこの輻射計は平素は専ら夜間輻射(地表面での有

* この輻射計については山本成一 気象輻射学(気象学講座4) 地人書館 99~100を参照されたい。
** Eeppley 日射計に感ずる光の波長は 3μ 以下で、一方地球大気の輻射線の波長は $3\sim 80\mu$ であるから長波大気輻射量と短波(日射量)は分離できるものとする。

効輻射のこと)を記録する目的に作られてあるので日中日射量の多い時にはスケール・アウトして記録できない。それで日食中特に日射量が少くなり約 0.8 ly min^{-1} 以下になった12h 10mころから13h 40mころまでの食甚時を中心に約1時間半程 Net flux Kv を記録させ、(第7図(I))同時にこの受感面の温度を10~20mおきに測定した。これらの観測値と、同時に大気輻射計の

(II)に示す。

この第7図からわかることは、日射量の方が食とともに大きく変化するのにもかかわらず、大気輻射の方は日食中ほとんど変化していないことである。平均して 0.38 ly min^{-1} となっている。ちなみに19日の夜間快晴時の大気輻射と比較すると第4表に見るごとく夜間は平均 $0.377 \text{ ly min}^{-1}$ でほとんど昼間と等しいことがわかる*。これは今度はじめて確められたことで大気輻射に関しては夜のそれを昼間に外挿することの可能性を示唆する。

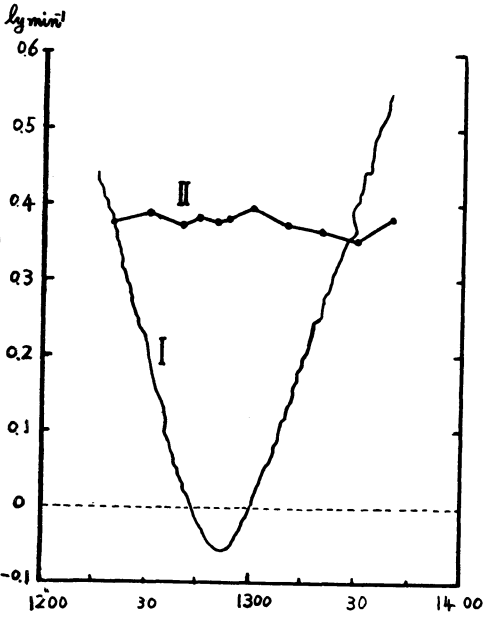
第4表 夜間の大気輻射

時刻	23 μ	24	1	2	平均
Kv	-0.144	-0.140	-0.135	-0.132	
T_e	10.1	9.2	8.6	8.2	
σT_e^4	0.522	0.516	0.511	0.509	
$G = \sigma T_e^4 + Kv$	0.378	0.376	0.376	0.377	0.377
地上(百葉箱)温度 °C	10.9	10.0	9.4	9.0	
蒸気圧 (mb)	11.1	10.8	10.6	10.3	
天気	○ ₀ -	○ ₀ -	○ ₀ -	○ ₀ -	

またこの下向き大気輻射量 (G) が変わらないということは次のようなことを意味する。今大気中の輻射吸収物質 ρ (おもに H_2O , CO_2 など) の垂直分布を $\rho = \rho(Z)$, 同温度分布を $T = T(Z)$ とすれば、

$$v_z = \int_0^z \rho(Z) dZ \dots\dots\dots (2)$$

として、地表面における下向き大気輻射束 $G(0)^{(6)}$ は晴天の場合



第7図 有効輻射量 (I) と下向き大気輻射量 (II)

ある屋上の気温と水蒸気圧の観測値を第3表に示した。これらに基づいて計算した大気輻射量 G を同じく第7図

第3表 有効輻射上各種要素の観測値

時刻	12h20m	30	40	45	50	54	1300	10	20	30	40	平均
Kv (ly min^{-1})	0.362	0.220	0.042	± 0.000	-0.044	-0.057	-0.008	0.103	0.238	0.364	0.520	
T_e (°C)	21.5	20.0	18.8	18.2	17.7	17.4	17.2	17.5	18.5	19.5	20.4	
σT_e^4 (ly min^{-1})	0.612	0.599	0.590	0.585	0.581	0.578	0.577	0.579	0.587	0.595	0.603	
S (ly min^{-1})	0.60	0.43	0.26	0.20	0.16	0.14	0.18	0.31	0.46	0.61	0.74	
$G (= \sigma T_e^4 - S + Kv)$	0.37	0.39	0.37	0.39	0.38	0.36	0.39	0.37	0.37	0.35	0.38	0.38
屋上気温 (アスマン温度計)	19.6		18.7		18.8		18.2	17.9	18.2		18.9	
水蒸気 (mb)	10.3		10.1		10.1		10.3	10.7	11.1		11.3	

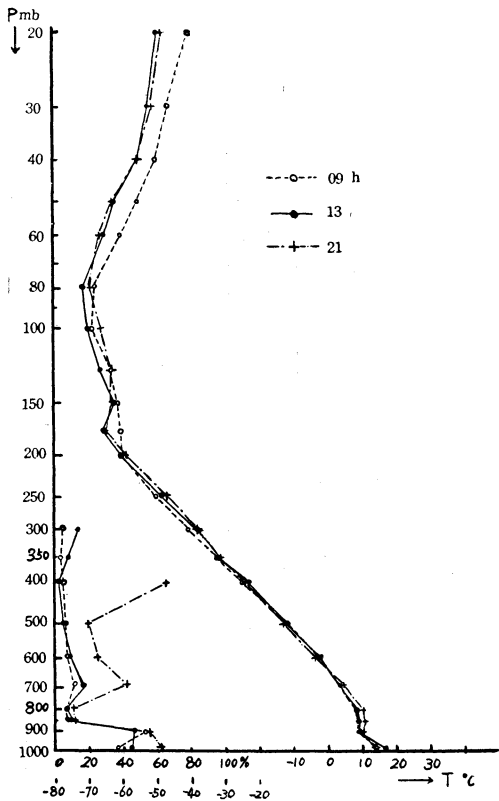
* 大気輻射は雲によって非常に影響されるので同じ空の状態と比較せねばならない。

$$G(0) = - \int_0^{\infty} dy \int_0^{\infty} \pi B_{\nu}(T(u)) \frac{d}{du} \tau_f(l, u) du \quad (22)$$

と表わされる。u は地上から高度 Z までの吸収物質の量、 $B_{\nu}(T)$ は振動数 ν の比黒体輻射強度であり、 $\tau_f(l, u)$ は散光の透過係数 (Transmission Function) と呼ばれるものである。そうすると、G は大気中の u と T によって定まる量

$$G = F(u(z), T(Z)) \quad (23)$$

で u 及び T の垂直分布が変らなければ G は変わらないわけである。日食中 u は変化しないとしてよいから大気温度がほとんど変化していないと考えてよい。これは大気が日射に対してほとんど吸収しないで通過せしめてしまうことを意味する。当日の高層観測データ(第8図)を見ると13hの状態曲線は21hのそれとほとんど一致し、9hの状態曲線が100mb 辺から上層でそれらよりわずかに高温を示している。これから日食中は、上層で



IV. 19.

第8図 IV.19の高層観測(09h, 13h, 21h)

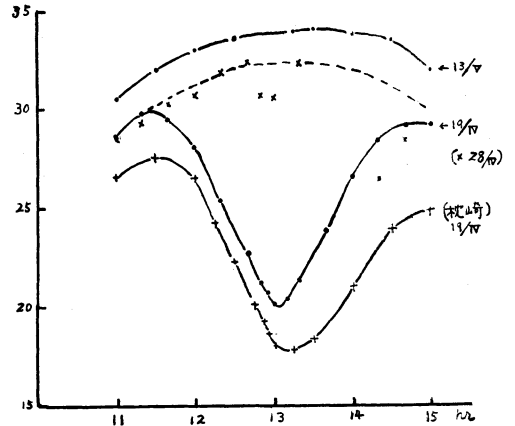
いくらか冷却したのではなからうかという感がするが評価できる程度ではない。

当日の雲などの上層目視観測にもべつに変化を認めなかった。

6. 地上気象の変化

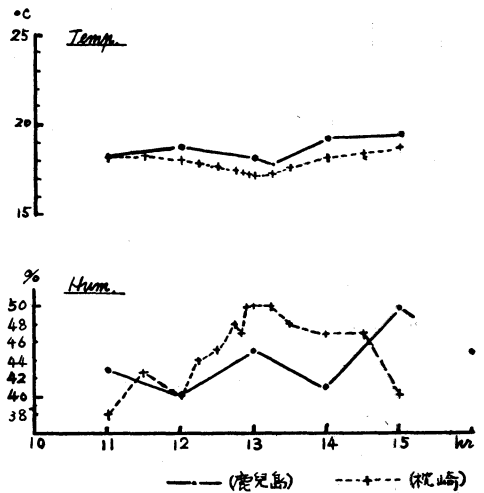
a) 観測の結果

輻射の影響を最も直接的にうけたのは地上気層であろう。地上気象は気温・気圧・蒸気圧・湿度・地面温度・風向風速などの諸要素の観測が行われた。そのうちで最も大きい変化を示しているのは地面温度で第9図に見るごとく、4月28日(13h ころより雲出現)および5月13



第9図 地面温度

日(快晴)の実測結果から類推すると最大12°C くらいの温度下降を示している。一方地上(百葉箱内)気温は



第10図 気温と湿度

4月14日のそれから推して1~2°C くらいの変化がみとめられる。(第10図) 湿度の方も当然気温の減少に伴って増加し、約5%程度の増加が察せられる。(第10図)

b) 地面での日射吸収について
上の結果で、地面および気温変化を調べることは興味がある。地表面での熱平衡は、日射に対する地面の反射率を r とすると

$$S(t) + G = rS(t) + \sigma T_s^4 + B + L + V + \dots \dots (24)$$

(T_s は地面温度, $S(t)$ は $t=t$ の水平面日射量)

で与えられる⁷⁾。ここに B は地中との熱交換 (伝導), L は大気との熱交換 (伝導や乱渦拡散). V は蒸発 (凝固) の潜熱である。地面および気層の温度変化を知るにはそれぞれ地中および大気中での熱流を定める式 (熱伝導式) を (24) の境界条件と、地表面で温度が連続であるという条件などを入れて解けばよいわけであるが、この際問題になるのは、地面が日射を何割吸収するかを知ることである。 α を地面の日射吸収率とする (ただし赤外

第5表 地上気象要素の観測値

要素	海気面圧 (mb)	気温 (°C)	蒸気圧 (mb)	湿度 (%)	風向	風速	地温面度 (°C)	大気	空の色
IV. 19 時 (hr)									
11	1022.6	18.3	9.1	43	SSW	2.8	28.6	○ ₀ ⁺ ci	10
12	1022.1	18.8	8.8	40	SSE	3.0	28.1	○ ₀ ⁺ ci	12
13	1021.2	18.1	9.3	45	SSW	2.2	20.1	○ ₀ -	17
14	1021.5	19.2	9.2	41	S	1.5	26.6	○ ₀ -	13
15	1020.4	19.4	11.3	50	SSE	5.2	29.2	○ ₀ -	-

の α_1 の値も右欄に示した。晴天時は大体0.26を示している。

7. あとがき

以上不完全であるが一応整理した結果を記した。今後の研究でもっと重要な結果が導かれることと思うが、すでにこれらについて研究された方もあろうと思う。これらについて御指導とこの文へ御叱正を承れば幸甚に思います。

最後に、安井観測課長には始終御指導と御教示を仰いだ。黒木・利光両係長には種々便宜を計っていただいた。ここに深く感謝致します。また日食資料を送って

第6表 α_1 の 値

日	IV 19																IV. 14	
	h m 時刻	h m 1100	20	40	1200	20	40	50	54	1300	10	20	40	1400	20	40		1500
T_s	28.6	29.8	29.5	28.1	25.3	22.7	21.2	20.7	20.1	20.4	21.4	23.9	26.6	28.4	29.2	29.2	33.9	
σT_s^4	0.673	0.684	0.681	0.668	0.644	0.622	0.609	0.605	0.600	0.603	0.611	0.632	0.655	0.671	0.678	0.678	0.723	
G	(0.38)	(0.38)	(0.38)	(0.38)	0.37	0.37	0.38	0.38	0.39	0.37	0.37	0.38	(0.38)	(0.38)	(0.38)	(0.38)	0.330	
$S(s)$	1.42	1.40	1.19	0.91	0.60	0.26	0.16	0.14	0.18	0.31	0.46	0.74	0.98	1.18	1.23	1.14	1.48	
α_1	(0.21)	(0.22)	(0.25)	(0.32)	0.46	0.97	1.44	1.61	1.17	0.75	0.53	0.34	(0.28)	(0.25)	(0.24)	(0.26)	0.26	

輻射に対しては地面は黒体として完全吸収をするものとする) と

$$\alpha = 1 - \gamma$$

であるから (24) から

$$\alpha = \frac{\sigma T_s^4 - G}{S(t)} + \frac{(B+L+V)}{S(t)} \dots \dots (25)$$

$$= \alpha_1 + \alpha_2$$

但し $\alpha_1 = \frac{\sigma T_s^4 - G}{S(t)}$, $\alpha_2 = \frac{(B+L+V)}{S(t)}$

この α_1 は夜間輻射量に対する日射エネルギーの比である。 G について測定のないところは平均値 0.38 ly min^{-1} を代用して計算すると α_1 に対して第5表の値がえられた。4月14日の地面温度が最高値 (平衡) を示した13h

ただいた枕崎測候所に対しても心から謝意を表します。

文 献

- 1) 伊藤精二 (1958): 4月19日の日食の見え方, 天文と気象 24 4 地人書館, 2~3.
- 2) 関原彊他 (1957): 地球大気の大気熱経済付録, 気研ノート. 10 3, 153~164.
- 3) 山本義一 (1956): 気象輻射学, 気象学講座. 4. 地人書館, p. 39.
- 4) 月報アルバム (1958): 金環食の観測 (1), 天文月報, 51. 6 天文学会.
- 5) 荒木俊馬, 荒木雄豪 (1956): 現代天文学事典. 恒星社厚生閣, p. 371.
- 6) 山本義一 (1954): 大気輻射学, 岩波書店. 174, pp.
- 7) 東修三 (1957): 地面温度の日変化の理論. 日本気象学会関西支部研究発表会論文集.