

夜間の天気の判別に長波放射を利用すること*

藤 本 文 彦**

1. ま え が き

気象観測には器械観測の他に雲や天気などのように目視によるものがある。

工業・通信等各技術部門では器械化により人手を省き得ることは自動化するのが世界の大勢であるが、気象観測においても隔測方式や無線ロボット方式が開発され取り入れられている。気象庁のように日本全土にわたって生活に都合の悪い僻地を含めて観測網をもつ組織では、ある方面には思い切った自動化を行なうことが望まれる。器械観測による気象要素については今日の技術では普通の気候観測やシノプティックスに必要な精度では十分自動化が可能であるようだが、目視によるものは困難でありしかも天気や雲のように具象性をもつ要素は天気予報担当者にとっては省略できぬものである。この点は気象観測の完全自動化の隘路であるが、筆者は長波放射量の測定により雲や天気の状態を推定し得ることを述べる。昼間は日射量又は日照時間によって天気の推定が可能であるし、将来費用を掛ければテレビジョンを使用することもできるはずであるから問題を夜間に限ることにする。

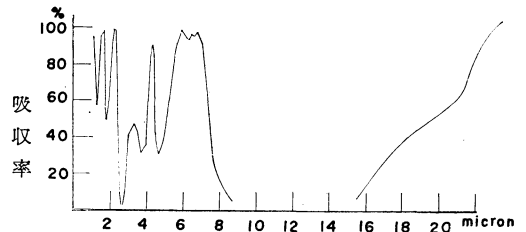
2. 長波放射

気象学では 4μ (ミクロン) より長い波長の放射を長波放射という。これは大気を含めた地球の出す放射に相当するものである。

地球放射は地表、雲、大気が出すものであるが、上空より地表に向うものを下向き、その反対のものを上向きと規約し下向き長波放射などと呼ぶ。大気を構成する N_2 , O_2 のような無極性分子は赤外線吸収・射出を行なわない。吸収・射出に関与するのは CO_2 , H_2O , N_2O , O_3 等の三原子分子で、そのうち量も多く広い範囲に複雑な吸収帯をもつ水蒸気が大きな役割をする。

上記物質の赤外吸収・射出は分子を構成する原子核の基準振動と分子の回転で選択律に従うものによって起

る。水蒸気は3つの基準振動をもつがこれはいずれも選択律に従い、それに対応した吸収・射出をするがそれらの倍振動・結合振動もこれに加わる。廻転も 15μ 以上の波長域に吸収帯をもっていて第1図のようなきわめて複



第 1 図

雑な吸収帯をもっている。大気は水蒸気を含み、ある温度分布をもっているので大きな放射源である。水蒸気と温度の垂直分布がわかれば放射伝達式の図式解法により大気の放射量を求めることができるのは周知のことである。雲は赤外放射に対しては黒体として扱われている。やかましく言えば問題はあるが、表面温度 T_e で σT_e^4 の放射を出していると考えてよい。地表もまたその温度 T_0 で σT_0^4 の放射をするとして扱うことが多い。雲の放射は広い波長域にわたり連続しているので、雲底温度の比較的高い下層雲の放射量は雲の無い大気の放射量に比べて遥かに大きいのが普通である。

3. 長波放射の測定

長波放射の測定は近年まではごく一部の研究者によって行なわれていたにすぎないが、最近では各方面の技術的進歩によって比較的簡単に継続的に測れるような測器が造られたので一般の気象観測にとり入れ得る段階になった。わが国で継続的に観測を行ったのは 1957—58 年の IGY のものが最初であったが、引続き高層気象台で続けられている。長波放射計には全天からの長波放射フラックスを測るものと、全天・地表の放射フラックスの差を測るものがある。前者を有効放射計 (Effective radiometer), 後者を収支計 (Balance meter) という。放射計はすべてその受感部と測定対象との間の放射エネルギーの交換を測る。下向きのフラックスを F_+ 受感部の温度を T_e とすると、有効長波計の場合は、 $F_+ - \sigma T_e^4$ を

* The Discriminating Method of Nocturnal Weather Condition with Aid of Long Wave Radiation.

** Fumihiko Fujimoto, 気象庁測候課
—1964年5月11日受理—

計器で記録するか読取ることになる (σ はシュテファン・ボルツマンの定数). 収支計では上向き放射 フラックスを F_- とすると

$(F_+ - T\sigma e^4) - (F_- - \sigma T_e^4) = F_+ - F_-$ を測ることになる. ただし両面の温度は近似的に等しいとしてある. 有効放射計の場合は F_+ を求めるのに T_e を知ることが必要であるが, 収支計では打消されて両面に入る放射の差のみが測られることになるので T_e は測らなくてもよい. しかし放射計の起電力が温度の影響を受けるので厳密には測る方がよい.

放射計は熱電対を使うのが普通で, 放射以外のエネルギー交換 (空気など) を防ぐ工夫が必要である. この工夫によって放射計を分類できる. 長波放射計には, 水平面日射計におけるエプリー型のように決定的なものがなく今までのところ各国の研究者によって各種各様のものが造られその数は20種類にもなっている. 現在良く知られているものを挙げると次の通りである.

(1) 通風式

Courvoisier 型; Gier-Dunkle 型; Skeib 型
Kew 型; Sontag 型; Suomi-Franssila 型

(2) 風防式

Schulze 型; Georgi 万能型; Funk 型

(3) 補償式

Ångström 型; Wagner 型

(4) 円筒式

Linke-Feussner 型

これらの放射計の長短は一概には言えない. ある測定目的のため設計されたものは他の目的には必ずしも良いと限らぬ.

たとえば一時間とか一晩というような積算量を求めるために設計したものは, “おくれ” が概して大きいから瞬間値を測る場合は誤差が大きいかも知れない.

IGY の際, 気象庁と東北大学では Gier と Dunkle が開発し Beckman & Whitley 社が商品にした通風式放射計を使用した. この型には有効放射計と収支計があるが, わが国では有効放射計が用いられた. 放射計の起電力は記録式直流電位差計により, また受感部の温度は測温用にとりつけられている熱電対と印画紙によって記録できるガルバノメーターによって測った.

4. 下向き長波放射と蒸気圧

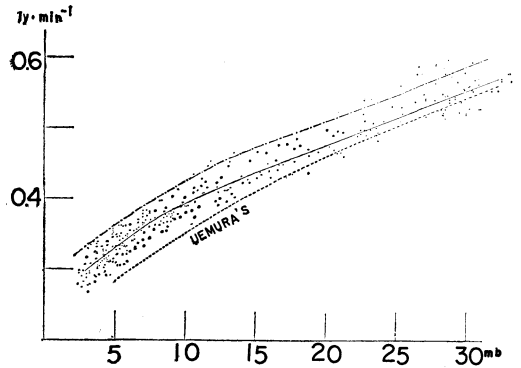
雲のない夜間の下向き長波放射は水蒸気と温度の垂直分布で大体決まる. そこで垂直気柱内の全水蒸気量が地上の蒸気圧に比例するとして, 雲の無い時の下向き長波

放射と蒸気圧の関係を図にすると第2図のようになる. 高層気象台では毎晩21時に放射に関係がありそうな気象要素, 気温・地表温度・蒸気圧・風向・風速・天気・雲量・雲形・頭上の雲の形・濃淡, を観測しているのでその使料を用いた. 縦軸は放射量の21時の瞬間値を $ly \cdot min^{-1}$ で, 横軸は蒸気圧を mb であらわしてある. 資料は1960—62年の3年にわたるものである.

図中の実線は平均値を, 鎖線はバラッキの上限を示している. この図では簡単のために温度は考えていないのでバラッキのうちにはその効果によるものが十分あり得る. また $10mb$ 付近から, 直線に近い関係が崩れているが, この程度の蒸気圧では気温が相当低いためにその影響があらわれているのであろう.

また IGY の資料を用いて1959年に植村八郎氏が求めた関係を点線で示してある.

蒸気圧の高い部分を除いて, 相当の開きがある. この喰違の理由は明らかではないが, 器械の常数の経年変化によるものかも知れない. Beckman & Whitley の放射計は感部を直接外気にさらすので消耗が甚しいという欠点がある.



第 2 図

同様に21時の天気が薄曇, 高曇, 本曇の場合, おのこのについて蒸気圧と放射量の関係を図示する.

曇天の場合の下向き長波放射量は曇底の温度が大きく効くので, 本曇り, 高曇り, 薄曇りの順に大きいのは当然である. しかし層積雲の比較的高いものと, 高層雲の低いものとは曇底の放射温度が近いので大きな差がないし, 巻雲の薄いものは赤外放射に対し素どおしに近いといわれているが放射量もごく少ないらしく, 晴天に近い場合もある.

また高温期になつて蒸気圧が $30mb$ 前後になると, 曇底がやや高い時には下層大気で吸収が大きく, 下向き長

表の1

日付	雲量	雲形	頭上の雲の状態		推定 天気	実際 天気	判定
			(雲形)	(濃淡)			
IV 18	0	—	—	—	○	○	
19	10	C _s , A _c	A _c , C _s	淡	⊙	⊗	△
20	10	A _s	A _s	中	⊗	⊗	
22	10	S _t	S _t	中	⊙	⊙	
23	1	C _c	—	—	○	○	
24	0	—	—	—	○	○	
25	2	C _i	—	—	○	○	
V 13	0	—	—	—	⊙	○	
20	2	C _i	—	—	○	○	
27	10	S _t	S _t	濃	⊙	⊙	
31	10	A _s	A _s	中	⊙	⊗	△
VI 4	0	—	—	—	○	○	
5	10	A _s	A _s	淡	⊗	⊗	
7	10 ⁻	A _s , S _c	S _c	濃	⊙	⊙	
8	10	S _c	S _c	中	⊙	⊙	
9	7	S _c	S _c	中	⊙	○	
12	9	S _c	S _c	濃	⊙	⊗	△
13	10	S _t	S _t	中	⊙	⊙	×
14	0	—	—	—	○	○	
15	8	C _u , S _c , A _c	S _c	中	⊙	⊙	
16	0	—	—	—	○	○	
15	10	F _N	F _N	濃	⊙	⊙	
20	5	A _c	—	—	⊙	⊙	
24	0	C _u	—	—	○	○	
25	10	S _t	S _t	濃	⊙	⊙	
26	8	S _c	S _c	淡	⊙	⊙	
28	3	C _i	—	—	○	⊙	
VII 1	10	N _s	N _s	濃	⊙	⊙	
2	10	S _c , N _s	N _s	濃	⊙	⊙	
3	10	N _s , F _N	F _N	濃	⊙	⊙	
4	10	S _t	S _t	濃	⊙	⊙	
6	10	A _s	A _s	中	⊙or⊗	⊗	
8	10	S _t	S _i	中	⊙or⊗	⊙	△
9	8	C _s , A _c	C _s , A _c	中	⊙	○	△
10	10	A _s , S _c	A _s , S _c	濃	⊙	⊙	×
11	10	N _s , F _N	F _N	濃	⊙	⊙	
12	10	N _s	N _s	淡	⊙	⊙	
13	10	N _s	N _s	濃	⊙	⊙	
14	10	N _s	N _s	濃	⊙	⊙	
15	10	N _s	N _s	濃	⊙	⊙	
16	4	A _c , F _N	—	—	⊙	⊙	
17	10	A _c	A _c	中	⊙	⊗	△

表の2

日付	雲量	雲形	頭上の雲の状態		推定 天気	実際 天気	判定
			(雲形)	(濃淡)			
VII 19	10	N _s , F _N	F _N	濃	⊙	⊙	
20	0 ⁺	A _c	—	—	○	○	
21	10 ⁻	C _s	C _s	淡	○	⊙	△
23	10	C _i	C _i	淡	⊙	⊙	
24	10	N _s	N _s	淡	⊗	○	△
25	1	C _b	—	—	○	○	
26	10	A _s	A _s	濃	⊙	⊗	△
27	0	—	—	—	○	○	
28	10	C _i	C _i	淡	⊙or⊗	⊙	
29	0	—	—	—	⊙	○	
30	0	—	—	—	○	○	
31	0	—	—	—	⊗or⊙	○	×
VIII 1	0	—	—	—	○	○	
2	10	S _t	S _t	中	⊗	⊙	△
3	10	∞	∞	淡	⊙	⊙	
4	10	N _s , F _N	F _N	濃	⊙	⊙	
6	4	C _u	—	—	⊙	⊙	△
7	10	S _t	S _t	濃	⊙	⊙	
9	10	S _t	S _t	濃	⊙	⊙	
11	10	N _s , S _c	N _s	濃	⊙	⊙	
12	10	N _s	N _s	濃	⊙	⊙	
13	10	F _c	F _c	濃	⊙	⊙	
14	0	—	—	—	○	○	
15	10	C _s , C _c , C _u	C _c	淡	⊙	⊙	
16	—	—	—	—	○	○	
17	10	A _c	A _c	淡	⊗or⊙	⊗	
18	10	C _b , A _c	A _c	濃	⊗	⊗	
19	10	A _s , S _c	A _s , S _c	中	⊗	⊗	△
21	9	C _i	C _i	淡	⊙	⊙	×
22	10	S _c , A _c	S _c	淡	⊙	⊗	△
24	10	A _s	A _s	淡	⊙	⊗	△
25	10	C _i	C _i	淡	⊙	⊗	△
26	10	A _s , F _c	A _s , F _c	淡	⊙	⊗	△
27	0	C _i	—	—	⊙	○	△
28	0	—	—	—	○	○	
29	2	C _b	C _b	—	⊗	○	×
30	1	C _s	—	—	○	○	
31	6	C _s	C _s	淡	⊙	⊙	△
IX 1	4	C _i	C _i	淡	○	⊙	
3	10	S _c , N _s	S _c , N _s	淡	⊙	⊙	
4	10	N _s , F _N	F _N	淡	⊙	⊙	
5	10	F _s , S _t	F _s , S _t	中	⊙	⊙	

表の3

日付	雲量	雲形	頭上の雲の状態		推定 天気	実際 天気	判定	
			(雲形)	(濃淡)				
IX	6	6	A_c	—	①	①	△	
	7	10 ⁻	S_t	S_t	⊗	⊙	△	
	9	3	A_s, A_c	—	①	①	△	
	10	10	A_c	A_c	⊙	⊗	△	
	11	10	S_c	S_c	⊗	⊙	△	
	12	10	A_c, S_c	A_c	⊙	⊙		
	13	10	N_s	N_s	⊙	⊙		
	14	10	A_s, F_c	A_s	⊙	⊗		
	15	8	F_c, A_c	F_c, A_c	⊗	⊙	△	
	18	10	C_i, C_s, F_N	C_i	⊗or①	①		
	19	8	A_c	A_c	⊗or①	⊗		
	20	2	C_s	—	○	○		
	21	9	A_s, C_u	C_u	⊙	⊙		
	22	10	S_c	S_c	⊙or⊗	⊙		
	23	1	A_s	—	○	○		
	24	10	N_s	N_s	×	⊙		
	27	10	S_c	S_c	⊙	⊙		
	28	10	A_s	A_s	⊙	⊗	△	
	29	10	A_s, N_s	A_s	⊙	⊗	△	
	30	1	C_u	—	○	○		
	X	1	7	A_c	A_c	⊗	①	×
		2	10	N_s, F_N	F_N	⊙	⊙	
		3	10	S_c, A_c	A_c	⊙	⊙	
		5	7	S_t	—	○	①	
		6	10	A_s	A_s	⊗	⊗	
		8	0	—	—	○	○	
		9	8	A_c, S_c	A_c	⊗	⊗	
		11	6	A_c, S_c, C_b	A_c	○	①	
		12	8	S_c	S_c	⊗	⊙	△
		13	7	S_c	S_c	①	①	△
14		0	—	—	○	○		
15		9	C_i	C_i	○	①	△	
17		10	S_c	S_c	⊙	⊙		
19	10	S_c	A_c	⊙	⊙			
20	7	A_c	A_c	○	①			
24	0	—	—	○	○			
25	0	—	—	○	○			
26	0	—	—	○	○			
27	3	A_c	—	○	①			
28	10	N_s	N_s	⊙	⊙			
29	10	S_c	S_c	⊙	⊙			
30	10	N_s	N_s	⊙	⊙			

表の4

日付	雲量	雲形	頭上の雲の状態		推定 天気	実際 天気	判定
			(雲形)	(濃淡)			
X	31	9	S_c	S_c	⊙	⊙	
	1	9	S_t	S_t	⊙	⊙	
XI	2	10	N_s, S_t	N_s, S_t	⊙	⊙	
	3	10	N_s	N_s	⊙	⊙	
	4	4	A_c	A_c	①or⊗	①	×
	5	1	S_c	—	○	○	
	7	0	—	—	○	○	
	8	2	A_c	—	○	○	
	9	10	S_t	S_t	⊙	⊙	
	10	10	S_t	S_t	⊙	⊙	
	11	10	S_c	S_c	⊙	⊙	
	12	10	N_s	N_s	⊙	⊙	
	13	10	A_s, F_s	A_s, F_s	⊙	⊙	
	14	0	—	—	○	○	
	15	0	—	—	○	○	
	17	0	—	—	○	○	
18	10	S_t	S_t	⊙	⊙		
19	10	A_s	A_s	⊙	⊗	△	
20	0	—	—	○	○	△	
22	4	A_c	A_c	①	①	△	
23	10	A_s	A_s	⊙	⊗	△	
24	10	C_s, S_c	C_s	○	①	△	
25	10	S_c	S_c	⊙	⊙		
26	10	C_s	C_s	①	①		
27	10	A_s	A_s	⊙	⊗	△	
28	10	S_c, N_s	S_c	⊙	⊙		
29	0	—	—	○	○		
30	0	—	—	○	○		
XII	1	0	—	—	①	○	
	2	0 ⁺	A_c	—	①	○	△
	3	8	A_s, A_c	A_s	①	⊗	△
	4	0	—	—	○	○	
	5	4	C_s, A_s	C_s	⊗	①	×
	6	1	C_u	—	○	○	
	7	0	—	—	①	○	△
	8	10	C_i	C_i	①	①	
	9	0	—	—	①	○	
	10	10	S_c	S_c	⊙	⊙	
	11	0	—	—	○	○	
	12	10	S_c	S_c	⊙	⊙	
	13	8	C_i	C_i	①	①	
	14	10	A_c	A_c	⊙	⊗	△

表の5

日付	雲量	雲形	頭上の雲の状態		推定 天気	実際 天気	判定
			(雲形)	(濃淡)			
XII 15	10	N_s	N_s	濃	☉	☉	
16	10	S_c	S_c	中	⊕	☉	△
18	10	C_c	C_c	淡	○	⊕	△
19	10	C_s, A_c, S_c	C_s	淡	⊖	⊕	△
20	10	S_t	S_t	濃	☉	☉	
21	0	—	—	—	○	○	
22	10	A_c, S_c	A_c	淡	⊗	⊗	
23	4	A_c	A_c	淡	⊕	⊖	△
24	0	—	—	—	○	○	
25	0	—	—	—	○	○	
26	0	—	—	—	○	○	
27	0	—	—	—	○	○	
28	1	C_i	—	—	○	○	
29	2	N_s, S_c	—	—	○	○	
30	0	—	—	—	○	○	

として第3図により推定するのである。パラメーターによつて決まる点が晴天の平均値を示す線の近傍にあれば快晴又は晴と考えられるし×印を付した点群の中に落ちれば曇と想像して良からうというわけである。

問題になるのは第1図でバラッキの上限を示す線の近傍に点がおちる場合である。その時は線を境にして内側を晴、外側を簿曇または高曇とした。推定値は、表の第9行目に気象庁で使用している日本式天気記号により示した。第7行目には21時の観測による天気を同じ記号で示してある。

また参考のため同時刻の全雲量、雲形、またとくに頭上の雲の状態を記してある。これは長波放射には頭上の雲の状態の影響が大きいためである。

第八行目に推定した天気と実際の天気の違いを判定してある。天気は、快晴と晴・薄曇・高曇・本曇、の四階級に分け二階級以上の違、たとえば⊖と⊗または☉、⊕と☉は判定を×とし、一階級⊗と⊕、⊗と☉は判定を△としてある。雨天の時はこの型の放射計は観測できぬので一切除いてあるが、雨については以前から立派な自動観測装置があるので問題外である。また1～3月は資料が全くないし、4、5月はとびとびの観測値しかないが、これはこの時の観測の整備状況によるものである。

182例の中、×印が8、△印が40あった。

6. 食い違いについての検討

天気を推定する根拠となつた第2、3図は長波放射と蒸気圧それに雲というきわめて簡単なもので温度は考に入れてない。各点のバラッキの中には温度の影響もあるかも知れない。

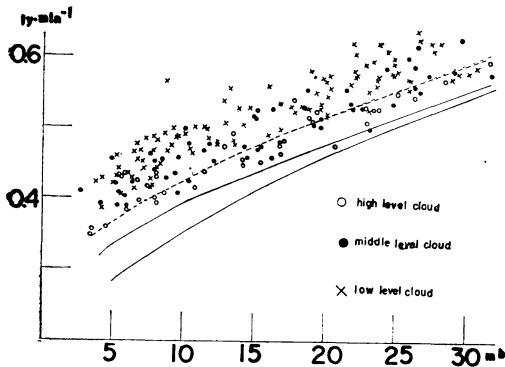
これらを考慮することによりいくらか精度が良くなるかもしれないが簡単という要請にはやや遠くなる。

ごく薄い巻雲が全天をおおった薄曇りは単に数値だけで晴天と見分けるのは難かしいし高層雲の雲底が低い時には層積雲と区別することは困難である。

また層積雲の雲量が5～7程度で晴ではあるが、それが頭上にあるような時は本曇と変らぬ放射量があるから曇りと判断する場合もある。逆に高層雲の雲量8で高曇りであるがちょうど頭上があいていて晴と誤まることもある。これらはこの方法の限界であろうと思われる。

7. 長波放射量の記録より天気を推定する

気候観測を自動化する場合は即時の通報は必要としないから翌日になって記録を見て夜間の天気・気象要素を知ればよい。このような時には放射量の連続記録は天気の判定にきわめて有効である。晴れた日の下向き長波放



第3図

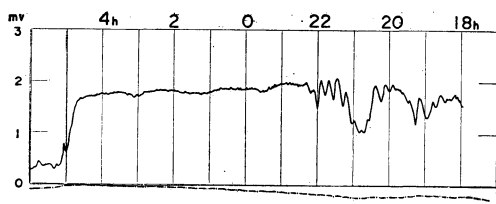
波放射は地表付近の蒸気圧によるものが大きく効くようになることは十分考えられる。従つて曇天と晴天の放射量の差は寒候期に比してやや小さくなる。

5. 下向き長波放射量と蒸気圧から天気を推定する

観測所の自動化が行なわれる場合、観測目的がシノプティックスならば、気象要素は通報されねばならない。気象要素は測器の示す数値またはコード化されたものでVHFかマイクロウェーブで送られる。使用者はコード化されたものならただちに翻訳することになる。天気の推定も簡単にできることが必要である。それで蒸気圧と下向き長波放射の値だけでどの程度推定が可能であるかをテストしてみよう。1959年の4月から12月までの高層気象台の下向き長波放射量と蒸気圧の値をパラメーター

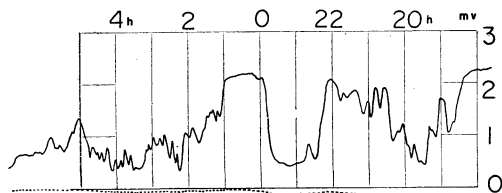
射量は概して安定していて変動が少ないものである。雲が無ければ連続記録は空気との熱交換と思われる微小振動を除いては直線状である。記録上に目につく変動が現われるのは雲の去来による。団塊状の雲では放射量の変動が殊に激しいが層状の雲でも濃淡のあるうちは快晴の時と違い変動がある。雨が降り出す前は、余り多くの例は持つていないがこの変動はごく少なくなるようである。従って単なる数値から判断できぬ場合でも記録を参照して正しい推定が可能である。

放射連続記録の例を2, 3示す。これは IQSY のため気象庁で開発した風防型放射計によるものである。放射量を示す縦軸は放射計の起電力、横軸は時間である。



10_h 8_h 0_h 2_h - - - 0_h 4_h 9_h 4_h 7_h

第4図



⊗	⊙	⊙	⊙	①	①	⊙	①	⊙	①
8 _h	10 _h	10 _h	10 _h	4 _h	5 _h	10 _h	5 _h	9 _h	10 _h 7 _h 0

第5図

記録の曲線と0線との間隔は、 $F_+ - \sigma T_e^4$ を示す。記録紙上に同時に点線で記録されている受感部の温度から T_e がわかるから、 F_+ を知ることができるが、 T_e は近似的に地表の温度と考えてよい。雲の状態を知るためならば、0線と曲線の間隔に注目すればよい。

第4図で22時半ころより翌朝5時近くまではこの間隔が大きく18時—22時ころまでの記録に比らべると変動はほとんどない。

東京管区気象台の定時観測より天気を抜き書きしてあるがこの間は快晴であった。

22時以前の変動は観測によれば高積雲の去来に対応している。21時ころは一時高積雲が拡がり高曇りとなった。早朝5時少し前より0線との間隔が小さいのは層積

雲が急速に全天に拡がり本曇りとなったものである。

21時ころの高曇りと5時過ぎの本曇りとを比べると放射量の差は明らかである。

第5図は雲の変化の激しい時の記録である。図中の記録の変化を見て推定した天気(上段)と観測した結果(下段)を併記してある。

低い雲ほど下向きの放射量が大きいので、 $F_+ - \sigma T_e^4$ は小さくなる。

18時前後と0時から1時までの間は雲のない記録であるが観測結果もそのとおりであった。19時、20時30分ころの割合大きな振巾は、雲に相当大きな隙間があることを示している。4時ころの小さな振巾の変動は下層雲に相当濃淡があったためであろう。

8. 結 び

米国の気象衛星タイロスが放射計をのせているがそのうち8—12 μ の波長の放射を測るものにより地表温度・海面温度・雲頂温度を測ることができてその温度から広い区域の雲の部分の推定することが行なわれている。

タイロスによっても薄い巻雲はとらえ難いようである。また放射計が相当広い区域を走査するので解像力による精度の限界があると思う。本文のように放射によって天気を推定するのに水蒸気がある程度邪魔になるから、水蒸気の吸収帯のない領域、“大気の窓”(8—12 μ)を利用するのが望ましい。これは三硫化砒素ガラスにインジウムアンチモナイドを塗り付けたフィルターがよいが費用がかかるし、半球状にすることは難かしいであろう。

赤外全波長を用いるのは比較的簡単で、ある程度の推定は可能である。

ただし放射計の器械常数は一定に保つ努力は必要で長波放射計を相当な精度で検定する装置が必要である。

終りに、本文で使用した資料は高層気象台観測第三課の努力によるもので、厚くお礼を申し上げたい。またIGYの資料整理に最初に手をつけられた植村氏にはいろいろ教えられるところがあった。また放射固有の問題をはずれてこのようなことに手を着けたのは測候課長木村博士の御指示によるもので、いずれも厚くお礼を申上りたい。

参 考 文 献

- 1) 水島三一郎：分子，岩波書店。
- 2) 山本義一：大気輻射学，岩波書店。
- 3) Radiation Commission of IAM: IGY Instruction Manual Part VI, 1957.
- 4) 植村八郎, 1959: 大気放射について, 研究時報 11巻9号, 781~788.