

# 夜間の晴・曇を判別する装置\*

矢 崎 敬 三\*\*

## 要 旨

昼間の晴・曇の天気の判別には日射計、日照計が用いられるが、夜間の晴・曇の天気を判別する簡易な適切な測器がない。ここにはサーモエレメントを用い、放射収支の多少から夜間の晴・曇を判別する方法について述べる。通年、測器で夜間の晴・曇を判別させるには、大気中の水蒸気張力の年変化、気温の年変化を考慮に入れねばならないので、その方途を講じた。その結果、通年の判別の成績として80%以上が得られた。

## まえがき

夜間の天気晴・曇を判別するには、本格的には赤外放射計を用い、全天の雲の量、雲の高さを観測することによって可能であるが、装置は高価になり、簡易に、大まかな天気を知ろうとするには不適當である。

簡易に、夜間の晴・曇の天気を判別する方法については、放射感部を用いて放射収支の多少による方法と、その方法による野外試験の一部を昭和41年気象学会春季大会に発表した。この段階で、短期間の野外試験では、一応、大まかな夜間の晴・曇の天気判別が可能の見通しは得られたが、なお、その後、一年を一サイクルとする長期野外試験を行った結果、水蒸気張力および気温の季節的变化を補正しなければ、一年を通じて、天気判別をすることは困難であることが明かになった。この結果に基づいて、水蒸気張力および気温の補正を行う方法を付加し、さらに野外試験を継続した結果、ほぼ80%台の成績で一年を通じて夜間の天気判別をすることができたので、昭和48年気象学会春季大会にその概要を発表したが、これらを取纏めて発表することとした。

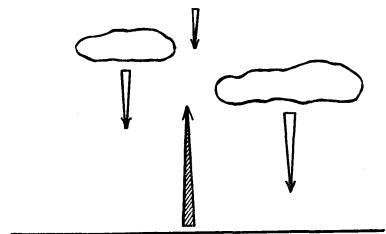
### 1. 天気判別感部

夜間の地表の放射収支を考えると、第1図に模図的に示すように、地表から天空へ向けての上向きの放射と、大気および雲から地表へ向けての下向きの放射との差が、地表の放射収支と考えられる。

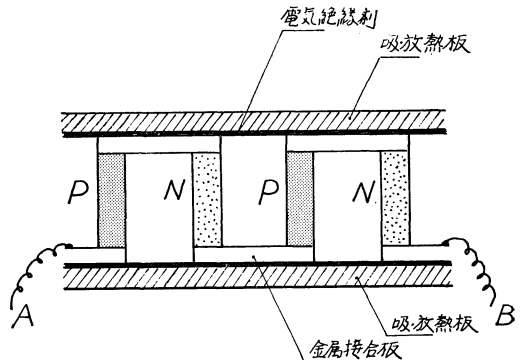
その絶対量はともかく、放射収支量の多少と、夜間の天気との関係を考えて見る。晴れた夜間には、上向きの

放射は、天空に遮るものがないので大きく、下向きの放射は天空からのみで、雲のような放射源がないので小さく、差引き、上向きの放射の量は多い。曇った夜間には、下向きには、天空からのものに加えて、雲からの放射があり、差引き、上向きの放射の量は少い。したがって、この放射収支の多少と、実際の晴・曇の観測結果との関係を求め、晴・曇の限界値(閾値)を設定すれば、これによって大まかな天気判別ができると考えられる。

この装置は夜間の放射収支の絶対量を測定するもので



第1図 放射収支機構模図

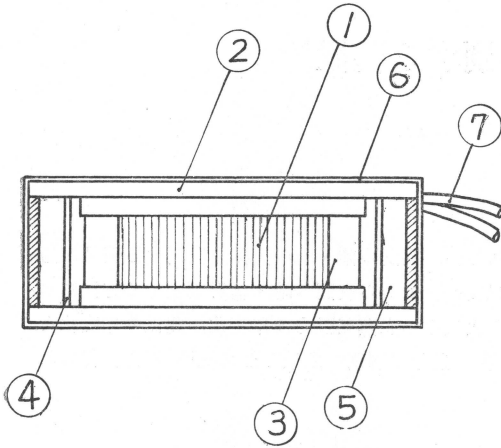


第2図 電子冷却素子の原理

\* Instrumental Method to Discriminate Fair or Cloudy at Night

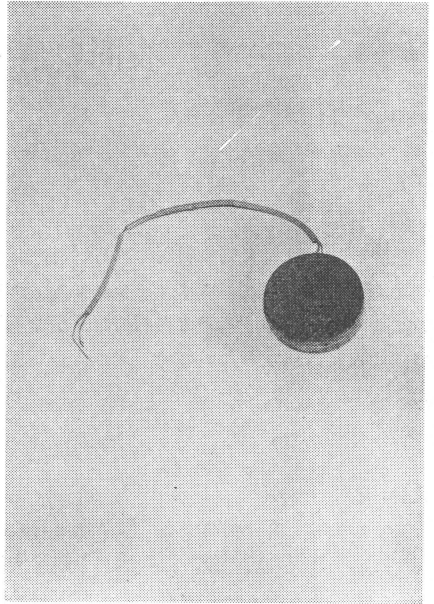
\*\* K. Yazaki 気象庁測器課

—1973年12月10日受理—



第3図 放射収支感部の構造

①サーモエレメント素子、②受熱板、③支柱、④テトロンフィルム、⑤発泡ポリウレタン、⑥ポリエチレンフィルム、⑦導線



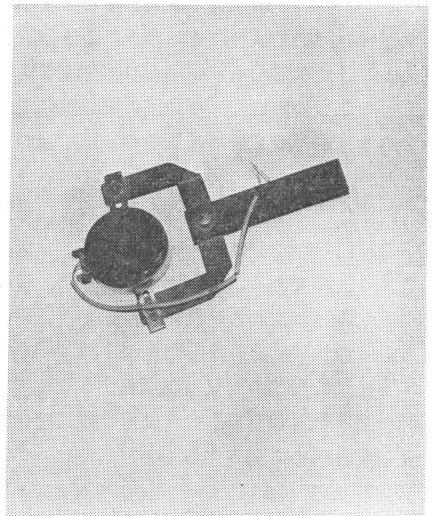
第4図a

なく、放射収支量の多少から、夜間の天気を判別するのが目的で、かつ、できるだけ廉価な装置でこの目的を果そうとするものであるから、感部に電子冷却素子（サーモエレメントまたはサーモジュールと呼ばれる）を用いた。

電子冷却素子は半導体のペルチェ効果を利用し、半導体を加熱器あるいは冷却器に用いようとするものである。N型およびP型の半導体を第2図のように接合し、その両面にそれぞれ熱伝導の良い金属板を電氣的に絶縁し、熱的に接合させ、導線A、Bを通じて直流電圧を加えると、金属板の一方側は温度が上昇し、他方側は温度が下降する。温度の上昇、下降の大きさは素子に流れる電流、すなわち加える電圧に比例する。逆に、上、下の2面に加えられた熱量の差によって温度差が生ずると、温度差に比例した起電力を生ずる。したがって、この熱量を放射量に置き換えると、放射収支に比例し、収支の差の方向に相当した方向への起電力を生ずる。

用いた放射収支感部の構造を第3図に示す。この感部は電子冷却素子200対を直径45mmφの円盤内に納め、その上下両面をそれぞれ金属板に、電氣的には絶縁し、熱的には接合している。この金属受熱面の表面は放射の吸収が良いように黒色塗装を施し、なお全体をポリエチレンフィルムを密着させて包むことによって、防水、防湿処置を施している。感部の外観と、ホルダーへ取付けた状態とを第4図に示す。

この感部について入力放射量と出力起電力との関係を



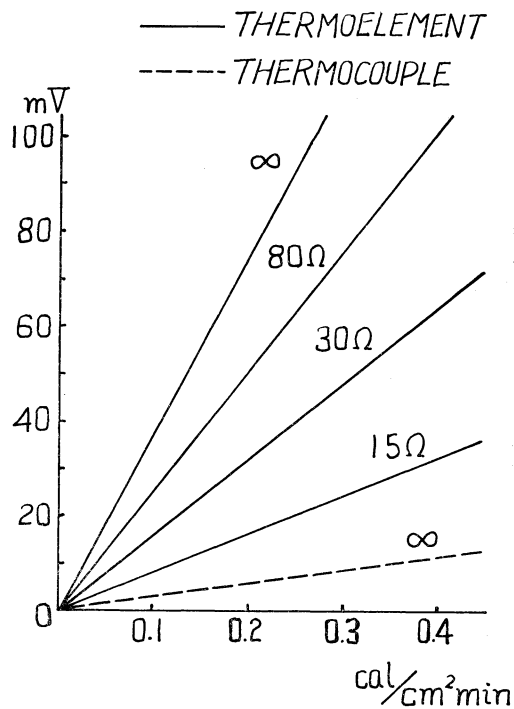
第4図b

第4図 放射収支感部外観

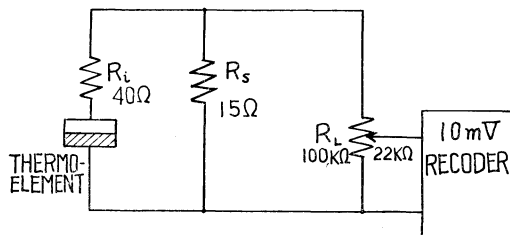
求めると第5図のようになり、同じ入射量に対して、熱電対より小型で遙かに大きな起電力を得ることができる。

## 2. 野外試験の経過

(1) 短期試験 この放射収支感部を地上約1mの高さに、その下面を草地表面に平行に設置し、第6図のような回路で、夜間の放射収支感部の起電力を連続記録



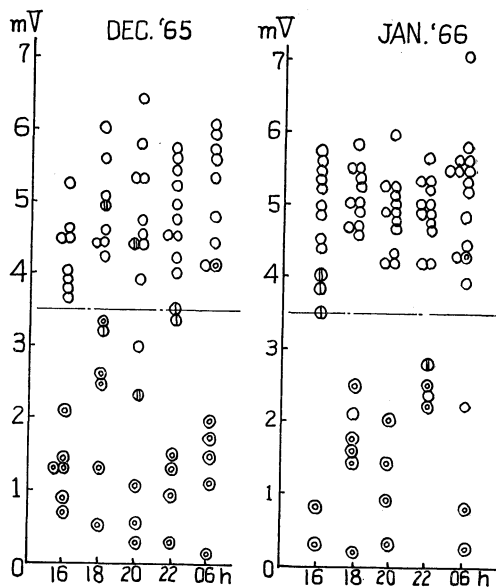
第5図 放射収支感部の入出力特性



第6図 初期の試験回路

させ、これと天気の実測との比較を試みた。その結果、第7図のような成績を得た。図において、縦軸は記録計の目盛をそのまま mV の値で表わし、感部の起電力あるいは放射量には換算していない。天気を晴、曇に大別しようとするれば、この図から、3.5mV の辺を限界値とすれば、おおよその区分が可能であることが判る。

(2) 通年試験 前項の試験は12月から翌年2月にかけて、冬期3か月間の短期間のものであったので、なお1か年にわたって観測を継続した。その各月の観測の結果のうち、4例を第8図に、快晴の夜だけの通年の観測値を第9図に示した。第9図に示されるように、晴・曇の限界値は一年を通じて変化することが明かになった。夜間の長波長放射収支は大気中の水蒸気の存在に關係す



第7図 短期試験結果

ることが、この原因の一つと考えられる。この観測期間中の水蒸気張力を自記温度計、自記湿度計の記録から求め、記録計で読んだ感部の起電力との関係を求めた結果は第10図のようになり、大気中の水蒸気張力が大きいとき、放射収支出力が小さくなることが明かである。

### 3. 夜間の放射収支

地上での夜間の大気放射の測定については、幾つかの実験公式が知られている。すなわち、

A. Ångstrom

$$R = \sigma T^4 (a - b e^{-\gamma e}) \quad (1)$$

$R$ : 地表における下向きの放射 cal/cm<sup>2</sup>・min

$T$ : 地表温度 K

$e$ : 地表付近の水蒸気圧 mb

$a, b, \gamma$ : 常数,  $a=0.806, b=0.236, \gamma=0.052$

W.H. Brunt

$$R = \sigma T^4 (a + b \sqrt{e}) \quad (2)$$

$a, b$ : 常数,  $a=0.53, b=0.065$

W.M. Elsasser

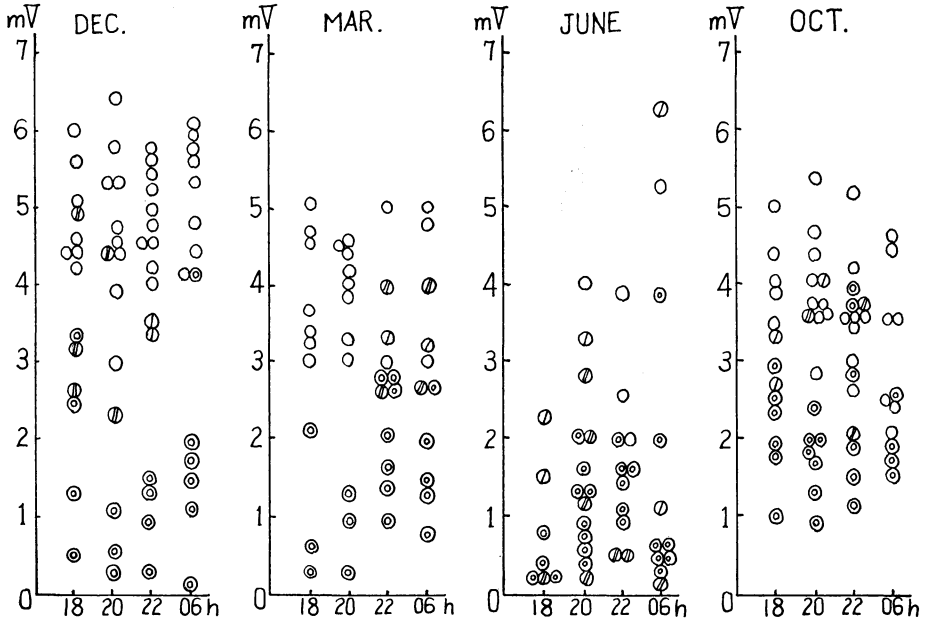
$$R = \sigma T^4 (a + b \log 10 e) \quad (3)$$

$a, b$ : 常数,  $a=0.51, b=0.22$

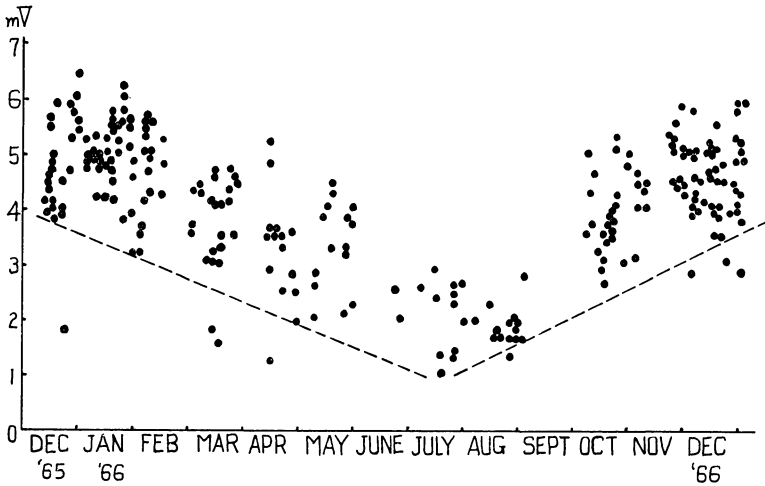
M. Robitzsch

$$R = \sigma T^4 \left( \frac{0.135p + 6.0e}{T} \right) \quad (4)$$

$p$ : 気圧 mb



第8図 通年試験結果例



第9図 通年試験における快晴・晴の例

これらの式から下向きの放射は地表温度および水蒸気張力の函数であることが判る。また、上記の諸式はそれぞれ観測から定められた実験式なので、下向きの放射に

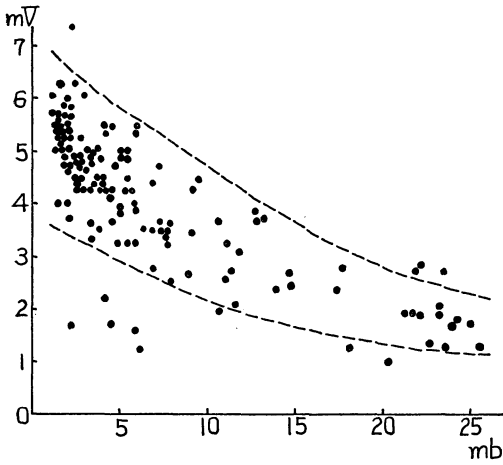
(2) の Brunt の実験式を用いると、放射収支は、ここでは上向きを正にすれば

$$R_e = \sigma T^4 (1 - (a + b\sqrt{e})) \quad (5)$$

となる。

$T, e$  はともに年変化する要素であるが、さきの通年試験の快晴の場合の観測結果を示す第9図において、快晴の場合の出力の下限が年変化を示して、夏期に出力が小さく、冬期に大きいのは、 $T$  の年変化によるよりも、遙かに大きく  $e$  の年変化が関与しているからと考えられる。

(5) 式から、晴・曇の限界値も、放射収支と同じように



第10図 放射収支感部出力と大気中の水蒸気張力との関係

$$T^4\{1-(a+b\sqrt{e})\} \quad (6)$$

の年変化に相応するものと考えられる。したがって、通年、自動的に晴・曇を判別しようとするには、限界値をこの(6)式の線に沿って変化させなければならない。

国内の数か所の地点を拾って、月平均気温、月平均水蒸気張力を用いて放射収支量の変化を(5)式によって調べて見ると、第11図 a, bの例のようなになる。地点に

第1表 回路に用いる抵抗の変化比(VR+R)/R

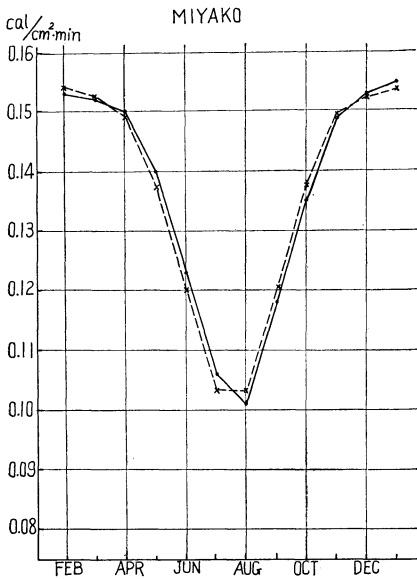
7, 8月	1
6, 9月	1.250
5, 10月	1.233
4, 11月	1.319
3, 12月	1.301
2, 1月	1.283

よって変化の形は異っているが、いずれも夏期に最小となり、ほぼ半年で対称の形となっている。図中で破線を示すものが、半年で折り返した平均値を示している。したがって、晴・曇の限界値の年変化も、この破線に沿った形になるものと考えて良からう。

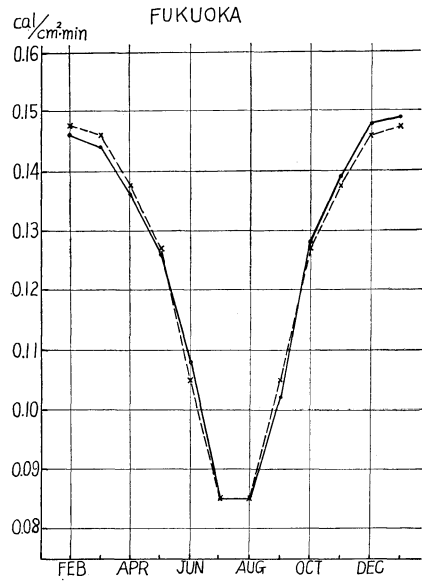
#### 4. 装置の機構とその野外試験の結果

前節に述べたように、通年の夜間の天気晴・曇の判別には第11図に示す破線に沿って限界値を変化させる必要がある。

しかし、記録計の警報装置やメーターリレーの設定針を自動的に前記の破線に沿って変化させることは機構上複雑であって、第12図のような回路において、設定針の位置は一定にしておいて、VRの可変抵抗器を変化させる方がより容易である。第12図に示す方法はメーターリレーの設定点は固定にして、分圧回路の分圧比を時間的



a.

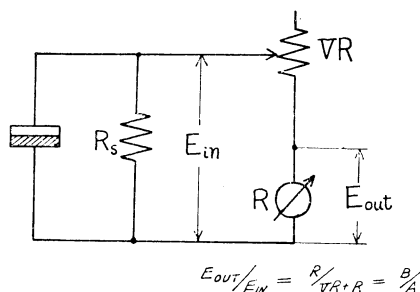


b.

第11図 各地の放射収支量の計算結果例

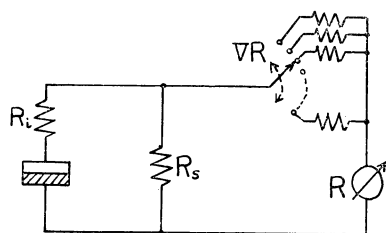
第2表 短期試験における晴・曇判別成績

判別 \ 実測		11月総回数170		12月総回数111		1月総回数135		2月総回数99	
		晴	曇	晴	曇	晴	曇	晴	曇
晴		65	7	92	1	83	4	60	1
曇		3	95	6	32	7	41	3	35

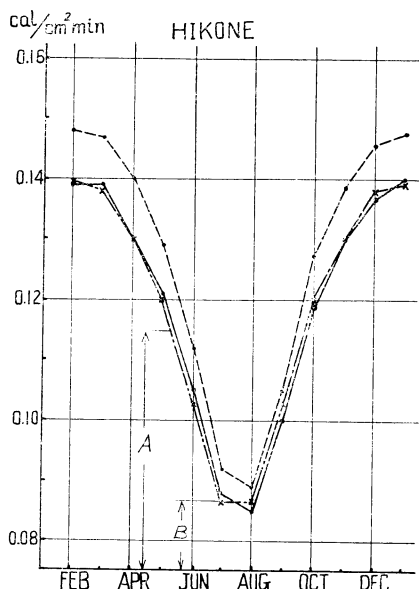


第12図 本試験回路 (I)

$$E_{out}/E_{in} = R/VR+R = B/A$$



第14図 本試験回路 (II)



第13図 彦根の放射収支量の計算結果. 破線は気温から計算した結果, 実線は地表面温度から計算した結果, 鎖線は半年で折返えした平均値

第11図 a ~ g に見られるように, (5) 式の値の年変化は直線的でなく, かつ, 地点によっても異なるので, VR の時間的変化も一樣に定めるわけにはいかない.

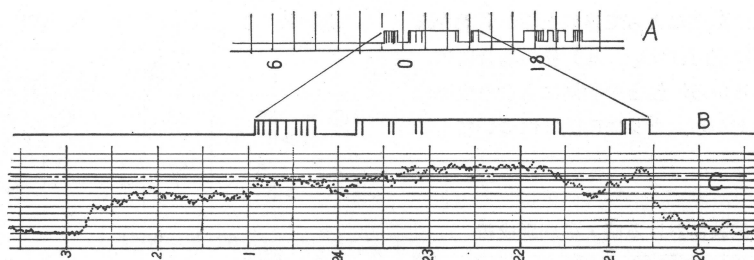
第11図 a を例にとると, VR+R/R の月別の比は第1表のように変化する. したがって, VR を関数巻きにして, ブラシを一定速度で連続的に移動させることも, 均等巻きの VR のブラシを比に応じた可変速度で連続的に移動させることも, 実行上は仲々難しい. それで, ここでは便宜的に VR を固定抵抗群に置きかえて, この群を1旬毎に間歇的に, 順序に切り換えることによって, 擬似的に上記の変化に合せた. この方法により, 気象測器工場 (茨城県利根町所在) の構内で, 昭和44年11月から昭和45年2月まで試験観測を行った結果は第2表に示すようで, 分圧比の変化の少い冬期の短期間の観測であったが, ほぼ満足できるものであった. この試験では1旬毎の抵抗の切換えは手動で行った.

この期間の結果が満足できるものであったので, 抵抗の切換えを時計仕掛で行う装置を用意し, 1年余にわたり, 彦根地方気象台の露場で試験を行った. 時計仕掛は1日1回転の同期電動機を用い, 1日1回のパルスを作り, 10パルス毎にロータリースイッチを歩進させ, ロータリースイッチの各ポイント片に接続した抵抗群を1旬毎に切り換えさせるようにしたものである. 彦根の月平均気温, 月平均水蒸気張力の年変化から求めた放射収支はほぼ第13図の破線で示すような変化をし, 月平均気温の代りに夜間の接地温度の月平均値を, 月平均水蒸気張力の代りに夜間の水蒸気張力の月平均値を用いて求めた

に

$$E_{out} = E_{in} \times \frac{R}{VR+R} (= E_{in} \times \frac{B}{A})$$

なるように VR を変化させる方法である.



第15図 試験観測記録例

第3表 彦根における試験に用いた回路の抵抗変化比  $VR+R/R$

旬		$VR+R/R$
7月11~20日		1
7月21~31日	7月1~10日	1
8月1~10日	6月21~30日	1
11~20日	11~20日	1.058
21~31日	1~10日	1.121
9月1~10日	5月21~31日	1.185
11~20日	11~20日	1.243
21~30日	1~10日	1.301
10月1~10日	4月21~31日	1.387
11~20日	11~20日	1.410
21~31日	1~10日	1.468
11月1~10日	3月21~31日	1.503
11~20日	11~20日	1.531
21~30日	1~10日	1.555
12月1~10日	2月21~28日 (29)	1.590
11~20日	11~20日	1.601
21~31日	1~10日	1.607
1月1~10日	1月21~31日	1.613

放射収支は図中で実線で示すような年変化をする。鎖線で示す平均値から定めた固定抵抗群の抵抗値  $VR$  と  $R$  との比  $VR+R/R$  は第3表のようになる。この観測回路を第14図に示す。抵抗の切換は半年で折り返すようにすることによって、抵抗変化は第13図に示す鎖線を辿ることになる。この観測において、晴・曇の限界値の設定は、晴れたり曇ったりの天気の日を選び、天気の実測とメーターリレー出力との比較を数回繰り返すことで、容易に定めることができる。この場合、第5図と第13図との関係から、予めおおよその限界値を見当付けて置くことができる。

この1年余の間の試験観測の結果は第4表に示すよう



第16図 熱電対を素子とした放射収支感部

に、年間を通じて80%以上、平均88%の判別の成績を得た。

第15図に観測記録の例を示す。記録中の上欄のAはメーターリレーのON・OFFの記録、Cは放射収支のアナログ記録で図中の鎖線を限界値としたものがAのON・OFFの記録に相当する。BはCとAとを対比させるため、Aの時間軸をCの時間軸に合せたものである。

### 5. 試験結果の検討

1) 上記の経過と結果から、夜間の天気を単純に晴・曇に判別することは、この方法では80%以上の成績で可能である。

2) この方法で、なお曇を快晴と晴に、曇を薄曇と曇に細分して判別することは困難である。

3) 放射量・放射収支量を観測する場合には、風の影響を除去することを考えねばならないが、頭初に述べたように、天気を簡易に判別する目的で、上記のような成績程度で可とするならば、とくに風の影響を除去する工夫を加えることを考慮する必要はない。

4) 感部が雨に濡れ、雨が止んだ後では、i) 晴れる

と、感部上面の雨水は蒸発によって感部上面から熱を奪うので、晴との判別に支障はない。ii) 曇の場合には、この蒸発が僅かであるから、曇との判別にも余り支障はない。このような考えから、とくに雨除けについても考慮しなかった。

第4表 通年試験における晴・曇判別成績

MAY '70 観測回数44					JUNE '70 観測回数82				
	○, ①	②, ③	●			○, ①	②, ③	●	
○	17	2		○	19	0			
×	5	15	5	×	1	44	18		
32/39=82%					63/64=98%				
JULY '70 観測回数109					AUG '70 観測回数91				
	○, ①	②, ③	●			○, ①	②, ③	●	
○	24	1		○	21	4			
×	15	62	7	×	8	58			
86/102=84%					79/91=87%				
SEPT '70 観測回数74					OCT '70 観測回数121				
	○, ①	②, ③	●			○, ①	②, ③	●	
○	19	0		○	47	1			
×	7	39	9	×	16	42	15		
58/65=89%					89/106=84%				
NOV '70 観測回数82					DEC '70 観測回数96				
	○, ①	②, ③	●			○, ①	②, ③	●	
○	26	1	4	○	29	6			
×	13	30	8	×	8	43			
56/70=80%					72/86=84%				
FEB '71 観測回数71					JAN '71				
	○, ①	②, ③	●			○, ①	②, ③	●	
○	20 (①6~7 1)	1		○	44 (①6, 7 3)	3			
×	5 (①6~7 2)	45		×	9 (①6, 7 3)	40			
65/71=92%					84/96=88%				

MAR '71				APR '71			
	○, ①	②, ③	●		○, ①	②, ③	●
○	35 (>5 0)	2		○	55 (>5 3)	4	
×	5 (>5 2)	27		×	3 (>5 1)	42	
62/69=90%				97/104=93%			
MAY '71							
	○, ①	②, ③	●		○, ①	②, ③	●
○	26 (>5 2)	3		○	26 (>5 2)	3	
×	3 (>5 2)	41		×	3 (>5 2)	41	
67/73=92%							

5) 前述のように彦根においては、偶々接地気温、夜間の水蒸気張力の観測値の利用できるものがあつたが、月平均気温及び月平均水蒸気張力を用いても、第13図で明かなように、放射収支の年変化の形は殆んど変わらないので、一般に月平均気温、月平均水蒸気張力を用いても差支えない。

6) サーモエレメントのような半導体の放射出力特性は周囲温度の影響を受け易いが、一応、この影響を除去する方途を講じないままでの試験を行ったが、とくにこの点を考慮しなくとも良いと考える。

温度影響を受けることのより少い感部として、第16図に示すような熱電対を用いた放射収支感部も併用したが、表面のポリエチレン被膜が劣化、剝離し、表面のカーボン被膜の剝離にまで進行して、試験を継続することができなくなった。製作上のこれらの欠陥が除去されれば、当然、サーモエレメント同様に使用できるであろう。

7) 昼間でも、太陽遮蔽器を用いて直達日射を遮れば、放射収支は下向きには天空及び雲からの放射、上向きには地表からの放射と太陽放射のアルベドとなり、上向きの放射を正とした場合、晴・曇と放射収支との関係は夜間と同じになる。したがって、この方法で昼、夜とも晴・曇の天気判別も可能と考えられる。ただし、昼と夜とでは限界値を別々に設定しなければならないと考えられる。

結 び

この試験に用いたサーモエレメント素子は住友電気工



業株式会社を，熱電対素子は英弘精機産業株式会社を煩  
 はして試作されたものである。両社の御協力に対し謝意

### 訂 正

天気 VoL. 21, No. 1 の44ページ

$$R_i = \frac{g}{\theta} \frac{\frac{\partial \theta}{\partial Z}}{\left(\frac{\partial V}{\partial Z}\right)^2} \approx \frac{980 \text{ CGS}}{29^\circ \text{ C}} \dots\dots\dots \text{は}$$

\dots\dots\dots \approx \frac{980 \text{ CGS}}{290 \text{ CGS}} \dots\dots\dots \text{の誤りにつき，お詫びして，訂正します。}

### お 詫 び

天気 VoL. 21, No. 2 に送り状の綴込みを，手違いにより落しましたことをお詫  
 びします。