

赤外放射観測について

誌名	農業氣象
ISSN	00218588
著者	荒井, 哲男 山内, 豊太郎 徳力, 資夫 三木, 芳幸
巻/号	28巻3号
掲載ページ	p. 157-164
発行年月	1973年1月

赤外放射観測について

荒井哲男*・山内豊太郎**・徳力資夫***・三木芳幸****

(*気象大学校, **高松地方気象台, ***名古屋地方気象台, ****松江地方気象台)

Effects of the Change in ambient air temperature and wind on
radiation obserbation by Funk-Type radiometer

Tetsuo ARAI*, Toyotaro YAMANOUCI**, Motoo TOKURIKI*** and Yosiyuki MIKI****

(*Meteorological college, **Takamatsu-local meteorological observatory,
Nagoya local meteorological observatory, *Matsue local meteorological observatory,)

1 はしがき

赤外放射観測には現在まだ確実な準器もなく、検定装置やその方法などにも問題が残っているの、細かい観測上の問題を検討する段階ではないと思われるが、それでも何らかの異状があればその原因がありそれを追求することによって計器や観測法の改良につながるかも知れないと考えて我々は最も一般的に使用されており、実験的な取扱いにも都合のよいフンク放射計を中心に赤外放射観測についてなるべく詳細に実験室内と野外において検討を試みた。

その結果は基本的な問題解決に関連するような事項は少なく従来理論式上で無視された項の影響がやはり無視してよいことを立証したものが多く、その他につきの四つの興味ある結果もあるのでここに報告する。

1 純放射の連続記録には細かい変動があるがこれは、上向き又は下向き放射の変動を示すものではなくて放射計の周囲の気温と風の影響によるものであること。

2 純放射観測が雲の出現消滅を明らかに記録するので空の状態の観測に利用できる可能性があること。

3 アダプターを取付けて下向き又は上向きだけの一方の放射だけを記録することはできないこと。

4 記録の形と地表面温度計の記録から上向き又は下向き放射のいずれが変化したかを見分けることが可能であること。

2 放射計による測定原理

物理的な分類をすると、日射計も含めて放射計は温度計の一種である。温度計とは測定しようとする物体と熱平衡となり、温度計物体の物理量はその温度によって変

化する性質を利用してそれに予め検定によって目盛りを着けたものである。

熱平衡とは一般に伝導、対流、放射のそれぞれの熱伝達が全部平衡になっている状態を考えなければならない。(もちろん各瞬間の熱平衡を考えてその時間変化をみるとそこに「おくれ」の問題が現われてくる。)

気温を測定する温度計では対流と一部の熱伝射だけの熱平衡状態で示度に変化するようにし、熱放射と他の熱伝導の分は一定にするか誤差の範囲内に小さくしようとしている訳である。

放射計の場合には、逆に対流と伝導による熱伝達を一定にしたり誤差の範囲に小さくしようとしているもので、熱放射だけで示度に変化するようにした温度計である。赤外放射計には通風型、風防型、補償型などがあり、風防型にも幾つかのタイプがあるが、つぎに測定器の一般に通用する熱伝達方程式を記しておき我々の実験がそれのどの項を検定しているかの参考とする。

σ : ステファンボルツマンの定数

τ : 風防の放射透過率 (波長の関数としないのは、平均値を問題にしているからである)

γ : 風防の放射反射率

ϵ : 風防の熱放射率

α : 感部の熱放射吸収率

T_1 : 感部1の温度 (絶対温度)

T_2 : 感部2の温度 (")

T_3 : 風防内空気の温度 (")

T_4 : 風防の内面側の温度 (")

R_1 : 下向き放射量

R_2 : 上向き放射量

G_1 : 熱電対から支柱への熱伝導率

G_2 : 感部1と2の熱伝導率

G_3 : 感部と空気の熱伝導率

昭和45年4月3日 日本農業気象学会大会にて発表

昭和47年8月28日 受理

感部1についてのエネルギー平衡式は、

$$\alpha\tau R_1 + (1-\alpha)\tau R_1\gamma\alpha + \alpha^2\gamma\sigma T_1^4 + \alpha\varepsilon\sigma T_4^4 = \alpha\sigma T_1^4 + (G_1 + G_2)(T_1 - T_2) + G_3(T_1 - T_3)$$

感部2についても同様

$$\alpha\tau R_2 + (1-\alpha)\tau R_2\gamma\alpha + \alpha^2\gamma\sigma T_2^4 + \alpha\varepsilon\sigma T_4^4 = \alpha\sigma T_2^4 + (G_1 + G_2)(T_1 - T_2) + G_3(T_1 - T_3)$$

両感部の差より

$$(R_1 - R_2)\{\alpha\tau + (1-\alpha)\tau\gamma\alpha\} = \sigma(T_1^4 - T_2^4)(\alpha - \alpha^2\gamma) + 2(G_1 + G_2)(T_1 - T_2) + G_3(T_1 - T_2)$$

ここに

$$\left. \begin{aligned} \alpha\tau + (1-\alpha)\tau\gamma\alpha &= a \\ R_1 - R_2 &= R_N \\ \sigma(T_1^4 - T_2^4) &= 4\sigma T^3(T_1 - T_2) \\ T_1 - T_2 &= \Delta T \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(1)$$

とおくと、

$$\Delta T = \frac{aR_N}{2(G_1 + G_2) + G_3 + G_4} \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{ただし } G_4 = 4\alpha\sigma(1-\alpha\gamma)T^3 \dots\dots\dots(3)$$

熱対応を感部1と2の温度差 ΔT を測定する示差熱電対にすることにより、その起電力 $E(mV)$ は ΔT に比例するから、

$$E = \kappa\Delta T = KR_N$$

したがって検定装置によって一定量の黒体放射を放射計の片方の感部に当てて他の感部を一定温度に保てば、定数 K が決定される。しかし、 K が定数であるためには(2)式右辺の R_N 以外の項がすべて一定でなければならない。このためにはそれぞれの物理量に経年変化や温度変化のないものが選ばれればよいが、 G_4 は(3)式により T の関数であり、 T は(1)式の3に示すように両感部の平均温度である。したがって G_4 は気温の年数差による10分の1以下のオーダーで年変化をするので、 K におよぼす効果は100分の1のオーダーになる。これは、一応問題としなくてもよい。

つぎの三点を室内実験で検討することにした。

1 G_3 の感部と空気の熱伝導率は感部の附近の空気の流れとその乱れによって異なるので風防内の通風速度によって K が異なるおそれがある。

2 G_1 および α が両感部共同の値でなければならないのでそれを検査する。

3 赤外放射観測では風防に熱放射透過率のよい薄いポリエチレン膜が用いられている。上の理論では上下の風防からは同量の風防自身の放射が来射することになっているが、若し風防の温度 T_4 が上下で異なると無視できなくなる。

風防の温度は風防の熱放射吸収係数 α と、熱放射量、

附近の空気からの熱伝達量によって決まる。空気と風防との熱伝達量は風速によって異なる。したがってある一定の熱放射の下では風防の温度は風速と気温の関数になっている、したがって風防の近くの風速と気温によって起電力がどのように影響されるかを検査する。

3 室内実験

実験(A) 風防内に送り込む乾燥空気の流量、温度の変化

Funk 型純放射計感部を銅板で作られた円筒形の測定槽の中央に設置する。測定槽からの放射は、ほぼ黒体放射である。測器はその中央に設置してあるから感部1、2が受ける放射量が同じになる。

風防内の空気の流量は、送風器にかける電圧をスライダックで調節することにより変化される。

送風空気の温度を変化させる装置として、熱交換器を用いる。外側の円筒の中に湯を入れて、内側の円筒の中に入っている空気を暖め、その温度を温度計で測定する。

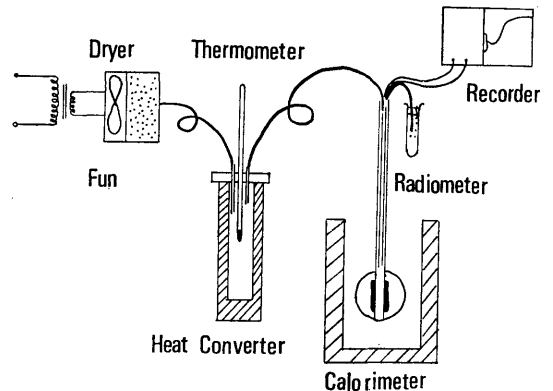


Fig. 1 Schematic diagram of the experiment

はじめに送風していない状態で放射計の記録をしながら風防内通風の流量を一定値にする。送風流量は0から正常な送風状態の1.5倍ぐらいまでとし、送風の温度は室温(21.5°C)から50°Cまでについて実験を行なった。

その結果は温度による起電力の差異はほとんどなく僅かに測定誤差内で変化があるだけであるが、送風を開始してから1~2分間は示度が変動するのがみられた。この変動は両感部の温度が一定になるまでの間両感部間の温度差として現われるものでこれもその値は1万分の1ly/minのオーダーでほとんど問題にしなくてもよい。したがって定格附近の送風を連続している限り通風の温

度とその速度が変動しても誤差は現われない。

この実験はさきの理論式で G_0 の項を定数としてよいことを示している。

実験(B) 純放射計の両面感部の比較

両感部の特性が一致しているかどうかをつぎのような方法で検定した。第2図に示すように熱放射を凹面鏡で感部に照射した。感部はほとんど黒体なので熱放射は赤外でなくともよいから点滅調整のしやすいキセノンランプを用いた。また光源の熱のため風防附近の温度が変わらないことおよび照射がなるべく風防全体にわたるように凹面鏡が用いられた。

放射計は、木製の箱の中に垂平に設置してある。凹面鏡に向かっていない感部は、木箱からの放射を受けている。木箱の内面は黒く塗ってあり、ほぼ黒体放射をしている。この装置を用いて先づ実験を行なう前に、(1) 木箱の前にシャッターを立てたまま平衡状態の記録をとる。(2) シャッターを除き、ある時間感部に放射を入れる。(3) シャッターを木箱の前に再び立て平衡状態に達するまで記録する。反対側の感部について上と同様な事を行なう。

この実験の結果、両感部はそれぞれ0.538mV, 0.536mVの出力でほとんど同じ特性を持ち100分の1以内の誤差で一致するからその差異は問題にしないでよいことになる。また、この実験からこの放射計の時定数が求められその値は14秒であった。

また、実験の前よりも零点が僅かに上にあって微小変動がみられるがこれは熱放射で風防が加熱された影響であると思われる。

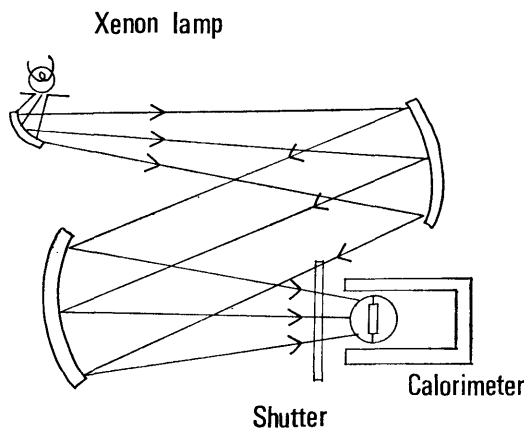


Fig. 2. Arrangement for illumination of the sensors.

実験(C) 風による示度の変化

放射計の風防外面に、風を人工的に吹きつけた場合、出力の変化がどう変わるかを調べた。

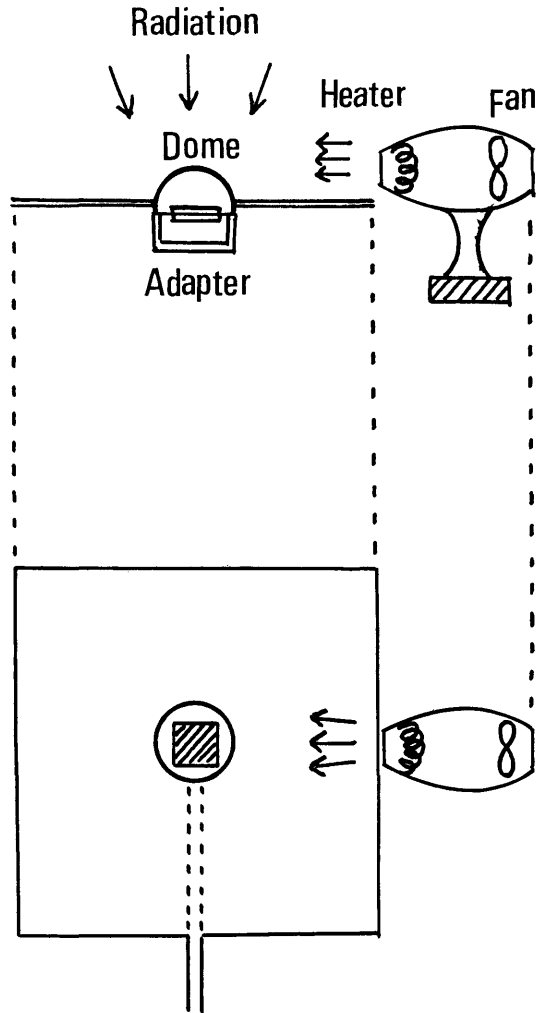


Fig. 3. Arrangement for applying controlled wind to the dome.

第3図は、装置の正面図と側面図を示す。この装置に第2図と同じようにして、キセノンランプの放射が与えられるようにしてある。

送風器にはヘヤードライヤーを用いた。上向き感部の風防はポリエチレン膜とし、反対側の感部には内面を黒塗りしてある金属アダプターを取付けた。風は両感部の境界面に一致するように設けたアルミ板によって上部の風防だけにあたるようにしてある。風速と温度は風防の近くでアネモマスター風速計によって測定された。

風速とその温度を変えて放射計示度を読みとりその実験結果をまとめたものを第4図に示す。

風速が強いほど風防の温度は風の温度に近くなり、また、室温との温度差に比例して起電力が増加している。これらは明らかに風防からの熱放射によるものと考えら

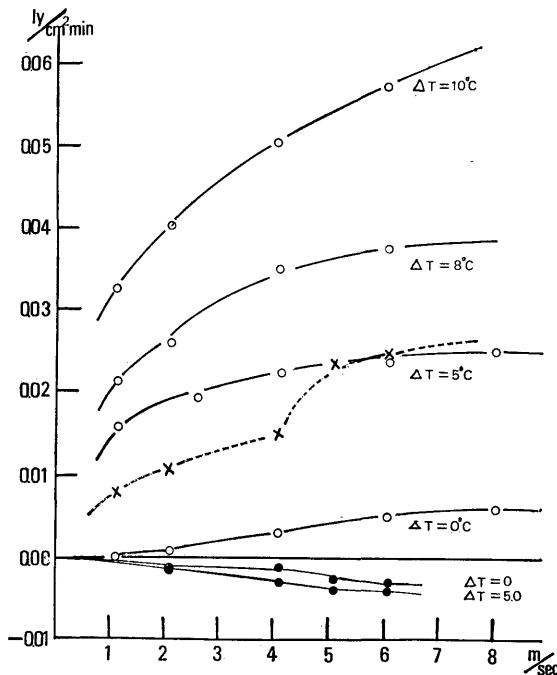


Fig. 4 Change in the measured value of radiation associated with the change in the speed of external wind and its temperature, ΔT denotes the wind temperature minus air temperature. Dotted line shows the value of the glass dome attached, and black circle is the value by Beckman radiometer.

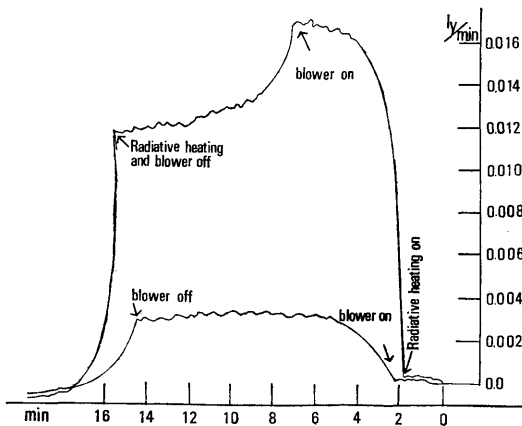


Fig. 5. The changes of measured radiometric power with the wind velocity outside of the dome. The upper figure, there was radiation shining on the dome, when the blower on the power decrease, the lower is no radiation.

れる。

それでは通風型放射計は、風防がないのでこのような現象は起きないはずである。ベックマン放射計によって同様な実験を試みた結果は予想通りにほとんどこの影響はみられなかった。

しかし、温度差のない風をあてたときにフックの場合と逆に第4図に示したような僅かに負の値を示している。

実験にくわしい方にはこれらの値をとるのにどのような点でとっているか。熱放射が夜間放射のように冷却効果に働くときにはこの逆に起電力が風と共に負の方に变化するはずである。また、風防の熱放射吸収係数が大きければ、それに比例して大きい値になるはずである。という疑問をもたれると思われるのでつぎにこれらについての実験結果を記述しておく。

第5図は二つの自記々録を重記したもので、下の曲線は風速4.2m/sで $\Delta T = 0$ の記録である。このように風を当ててしばらくすると平衡状態を示すのでこの平均値としてここでは0.0031ly/minが読みとられる。

上の曲線は風のない状態で弱い熱放射をあてて示度が上昇したときに6m/s $\Delta T = 0$ の風を当てたものの記録である。このように初めの熱放射で風防が気温よりも高温になっているときは風によって風防温度が下り起電力が下ることが明らかである。

つぎに赤外放射に対する吸収係数の大きいガラス風防を取り付けて前と同様な実験を行なった。この結果は第4図の点線で $\Delta T = 5^\circ\text{C}$ の値を示してある。期待に反してポリエチレンとほとんど同じ値になった原因について考究してみるとつぎのように結論されてやはり吸収係数に比例して値が大きくなることが確かめられた。

$$\text{ガラス内面の熱放射} = 4\varepsilon_g \sigma T_a^3 a_g \Delta T$$

$$\text{ポリエチレン内面熱放射} = 4\varepsilon_p \sigma T_a^3 a^4 \Delta T$$

上の比をとると温度差と風速が同じならば、

$$\text{両風防の熱放射比} = \frac{\varepsilon_g a_g}{\varepsilon_p a^4}$$

ここに ε は赤外放射率、 a は外気温に対する内面温度の変化率で膜の熱伝導率とその厚さ、風速による外壁温度、内壁と内部の空気の熱交換率による。いま、風速と温度差が同じときは、ガラスとポリエチレンの風防について上の比の値が1になっていけばよいことになる。

ポリエチレンの放射率は約0.2、ガラスは約1.0で $\varepsilon_g/\varepsilon_p \approx 5$ になる。ポリエチレン膜は厚さ0.1mm、熱伝導率 $0.7 \times 10^{-3} [\text{cal cm}^{-1} \text{sec}^{-1} \text{deg}^{-1}]$ 、ガラス風防は厚さ0.5mm 熱伝導率 1.72×10^{-3} であるからこれより外部の温度が両方共に同じであるとき内部温度の比、すなわち $a_g/a_p \approx 1/5$ となる。

実験中気付いた更に細かい点を参考として述べておくと、

風防型に温度差のない風を当てただけで起電力が生じる原因は不明であるが、風により室内の空気の成層を乱して天井や床の温度が僅かに変化したとも考えられる。ガラス風防を用いた場合にはこの値がほとんど0になりガラスの吸収係数が大きいのでこの僅かな変化量を指示しないと思われる。しかし、ベックマン放射計ではこれが僅かに負の値になることの説明にはならない。何れにしてもこれらの値は測定誤差の範囲内ではあってもこのように系統的に現われるにはその原因に興味はありこれが床や天井の温度変化とすると10分の1°C以下の変化を問題とするので究明することができなかった。

前にガラス風防の内部温度がポリエチレン温度と同じになるので双方が同じぐらいの変化となることを証明したが、内部温度は風防内の通風速度を変えるといくらか異なるはずでガラス風防では上記の実験で通風を増すと熱伝達がよくなり出力が少くなるのが現われるはずである。しかし可能な通風の変動範囲ではその示度に及ばず効果は小さく 5×10^{-4} ly/min以下の変化しかみられないが明らかに内部流速が増加すると起電力の減少がみられた。

以上の実験結果より野外の赤外放射観測の場合について考察してみると、放射計の検定は風防附近は一定温度で風のない状態でなされているから野外観測において風速と気温の変化があれば風防の温度は検定の際の異なって示度に影響することになる。

しかし、純放射観測のときには上下の風防が共に同じぐらいの変化をするからその影響は極めて小さいと想像される。果して上下の風防が細かい変化まで同じになるかどうかそしてそれが示度に現われるものかを観測してみることにした。

観測の記録紙をみると純放射の時間変化には細かい変動が現われており、放射計の近くにおいた時定数が放射計と同じぐらいの温度計の記録にも同じく細かい変動がみられる。

これは、温度計が赤外放射の影響を受けて変動しているのか気温の変動なのか、或いは赤外放射の変動ならば上向き、下向きどちらの放射がこのような細かな変動をしているのかについても考察しようとした。

また、上向き放射と下向き放射の分離、空の状態の観測の可能性について考察するために観察を行なうこととした。

さきに述べた G_4 の温度による変化は現在の観測精度においては誤差の範囲と考えてよいが、ここに問題として

提起しておきたいことはさきの2章に述べた理論式において両感部の差をとることによって消滅した左辺の最後の項 T_4 に関するものである。

前述のようにポリエチレンは吸収係数が小さくて、この項を小さくはなっているが、下向きと上向きの異なる熱放射を受けているのであるから当然上下の温度 T_4 に差異がある。これは一応検定によって定数 K を決めるときに除去されるようであっても検定は風のない状態でなされ風があれば対流熱伝達が増加して風防温は気温に近づく、この変化が無視できないことは第5図の上の曲線が示している。

風速の変化により定数がどれぐらい変動するかはここで見積ることも実験することもできない。これには検定装置を改良して検定の際に風防に風を当てたときに定数がどれだけ変化するかを実験しなければ判明しないものと考えられる。

4 野外観測

気象大学校露場において、1967年10月から1968年2月の間と1969年7月から10月までの間、地上1.5mのところに設置したフック放射計による純放射を測定し、同時にそこの地面上芝生の上と、0.3, 0.7, 1.5, 2.5mにそれぞれ横河製白金抵抗温度計(直径15φ, 長さ10cm)を設置して記録させた。

晴れた夜間にアスマン通風温度計と比較観測を行なって白金抵抗温度計の記録と $\pm 0.1^\circ\text{C}$ の範囲内で一致していることが確かめられた。

これらの放射計の記録を温度計の記録とそれに目視観測の結果を合せて比較検行を行なった結果、上向き、下向きそれぞれの放射と状態と空のが記録から判読されることが判明したのでこの分類を記載する。

第6図には記録の1例を示すために1967年12月9日夜間の記録をまとめて同じ図中に画いてある。

第1の型は風防附近の気温と風速の変化に起因しているもので、記録の周期振巾共に小さく細かな変動である。温度計の変動にも同じものが現われており上部の温度計ほど僅かづつ振巾が大きくなっており地表面ではほとんど現われていない。

地表面温度に細かな変動がないのは上向き放射にはこのような変動がないものと考えてよい。下向き放射は全空の積分値であってこれがこのような細かな変動をするとは考えられない。さきの実験から考察すると細かな変動は上下の風防温に差ができる結果このような変動をするものと考えられる。

第2の型は上向きの放射量の変化によるもので前の型

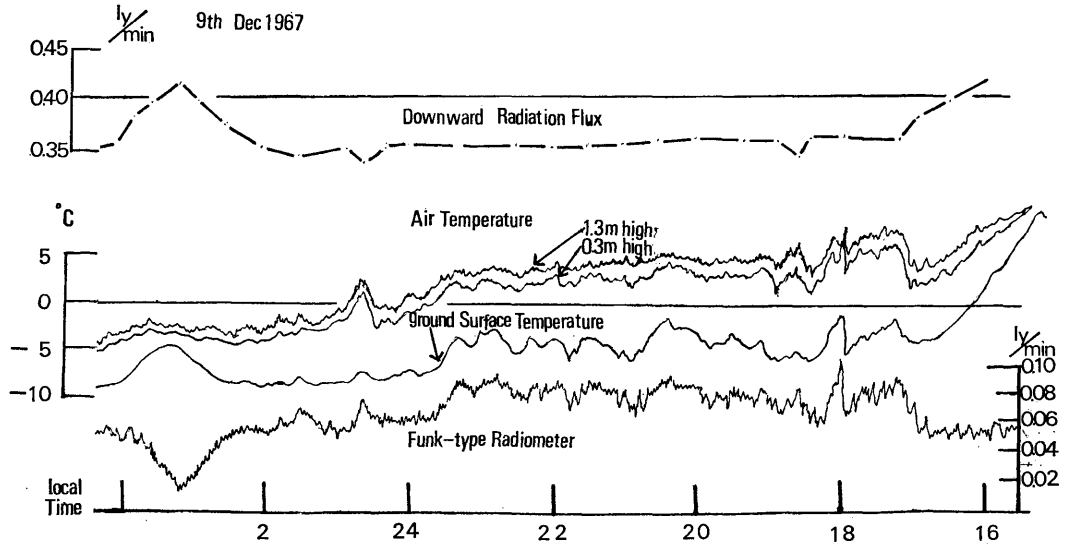


Fig. 6. example of traces and calculated downward flux. (1), (2), (3) are Type 3, and (4) is Type 4-2. see English abstract for designation of types.

と同じく放射記録と各温度計とは同時変化をしており、周期は大きくて10分以上、時には2時間近いものもある。振巾も大きくて1~2°Cぐらいのものが多い。時には、5°Cにもおよぶものがある。周期はすべて一致しているがその振巾は前とは逆に地表面が一番大きい。下向き放射の変化ならばそれによって地表面温度が変化してその変化が熱拡散によって上方に伝わるので各高度の温度計に時間のおくれが現われるので接地附近の気層と地表面が同時変化しているのは上向き放射の変化であるとしてよい。

第3の型は下向き放射の変動を示すもので、30分以上の大きな周期変化が多い。この型は前の二つと異なり高さによる温度変化のおくれが明らかに見られる。先づ放射計が変化してつづいて地表面温度記録が変化し、順次上方の温度記録がおくれて変化している。そしてその振巾は地表面温度が最も大きく1°C~10°Cぐらいはあり、上方に至るにしたがっておくれと共に振巾の減少も明らかにみられる。

1例を第7図に示してある。また第6図では2時30分から4時ごろにかけてこれが現われている。

下向き放射の変化には三つの型があって、雲などの出現による放射の増加と、逆に雲の隙間ができたり雲が消散した場合などによる下向き放射の減少、更にはっきりした周期変化はみられないが、放射計記録と温度記録との間隔が順次大きく又は小さくなっているもので空の状態が徐々に変化していくときに現われている。

これら下向き放射の変化が様々な天候のとき何回か夜間

の空の状態変化の観察をした上で確められた。

片積雲が天頂附近を通過するとき第6図のような型が記録される。また薄い巻積雲が発生したり、もやがかかってそれが消滅するまでの間もこれに似た形になる。これと逆にほとんど全天を覆っていた高積雲の天頂附近に隙間ができると第7図のような形になる。全天を覆っていた巻雲などが一時的に晴れたときもこれに似た形となる。

雲の移動のはげしいときには、これらが複雑に現われる。しかし前述の二つの型と異なり放射計附近の温度計

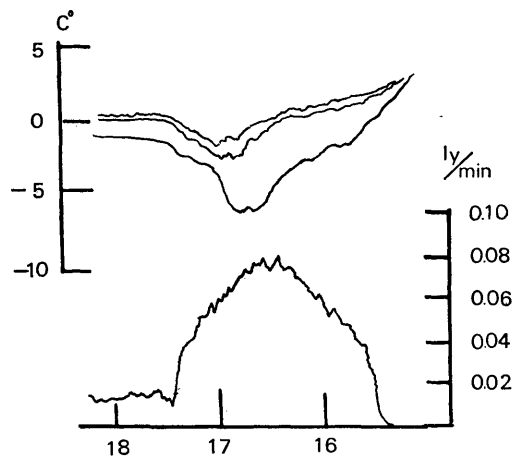


Fig. 7. An example of type 4-1. Upper figure shows air temperatures at 1.0m, 0.3m and ground surface from top to bottom, respectively.

の振巾より放射計の変化が大きい事と、放射計と温度計に時間のおくれがあることおよび各温度計の高さによりおくれの差異があることより区別できる。

なおフンク放射計でもベックマン放射計でも下側の感部に金属アダプターを取付けて下向き放射だけを記録することはできない。この記録は純放射よりも10%ぐらい小さい値になるだけでほとんど変わらない記録を示す。

下向き放射量を求めるには地表面温度の黒体放射から純放射を差し引いて求める。このようにして求められた下向き放射量と、館野の高層観測値を用いて山本の放射図より求めた値とは第1表のようによく一致している。そしてベックマン或はフンクの金属アダプターを用いた値はその5分の1ぐらいになっている。

夜間の連続した下向き放射量の変化を求めるには前述の3型だけを取り出して考慮すればよいので一般の場合には、幾つかのこのような計算より求めた点をつないで一晩の下向き放射の変化を画くことが可能である。第6図の最上の曲線はこのときの下向き放射量が示してある。

Table 1 Values of nocturnal downward radiation at 2100 JST (*I_y*/min)

Date	5 Nov. 1969	9 Dec. 1969	6 Jun. 1970
Yamamoto's radiation chart	0.356	0.330	0.471
Calculated from the ground surface temp. and net flux	0.349	0.331	0.508
Measured with adapter attached	0.078	0.075	0.083

5 結 語

フンク型放射計について実験的にその風防内部の通風速度と通風する空気の温度の影響が調べられた。また、

両感部の感度の比較がなされてその性能は良好であることが確められた。

風防の外側に気温と異なる温度の風を当てると風防の温度変化のために純放射の示度が変わる。これは、純放射の実際の観測の場合には細かな示度のゆれの現象に現われてくるだけである。しかし、検定するときには風防に風の当たらない状態で定数が決められているので、実際の測定では風速によって定数自身が変わることになる。この変化は検定装置を改良して風防だけに風のあたるようにして定数の変化を調べる必要がある。

つぎには野外の純放射の記録と地面附近の温度計の記録に目視観測による空の状態の観測を合せて純放射の記録から風のためによる細かい変動と上向き放射の変動、下向き放射の変動がそれぞれ分離できる可能性のあることが判明した。

この研究は、気象大学卒業研究として行なわれたもので実験は三木が担当し、1968年度の観測は山内が、1970年度は徳力が担当してそれぞれが独自に行なったもののうちから荒井が取捨総合して追試を加えてまとめたものである。

最後に有益な指導助言を頂いた鈴木敏文教授に厚く感謝の意を表わす。

引 用 文 献

- Funk, J.P. 1959 : An improved polyethylene shielded net radiometer. *J.Sci. Instrum.* **36**, 267-270.
- Funk, J.P. 1960 : Measured radiation flux divergence near the ground at night. *Quart. J.R. Met. Soc.* **86** 382-389.
- Suomi, V.E. and Kuhn, P.M. 1958 : An economical net radiometer. *Tellus* **10**, 160-163.
- Tanner, C.B. Businger, J.A. and Kuhn, P.M. 1960 : The economical net radiometer. *J.Geophys. Res.* **65**, 3657-3667.

Summary

A Funk-type net radiometer was calibrated under various conditions. Errors appeared when the temperature of the dome's inner surface is changed by the ambient condition.

A Funk-type net radiometer has been operated in the field, several months during 1967-69, together with platinum-resistance thermometers on the ground surface and 0.3, 0.5, 1.0, 1.5 meter above the ground.

Various types of the change in nocturnal net flux are classified into three types in view of the change in ambient temperature and sky cover. They are as follows.

Type 1: continuous small fluctuations corresponding to similar fluctuations in air temperatures, with larger amplitudes in the temperature at higher levels.

This type seems to be caused by eddy turbulence which changes the temperature of the radiometer's dome.

Type 2: slightly longer periods, and larger amplitudes than former in the surface temperature and occurs more frequently.

This type indicates the change in upward radiation.

Type 3: Similar to Type 2 but, with longer periods. Corresponding surface temperature change shows apparent time lag, and that of air temperature lags further behind with smaller amplitude.

This type indicates the change in downward nocturnal radiation. This type is further classified into three sub-types.

Type 4-1: The phase coincides with the surface temperature. This type occurs when a spec of cloud passes overhead or a thin high cloud layer appears for a time.

Type 4-2: The phases of the change in the surface temperature and net radiation are opposite. This type occurs with a break in the cloud layer or disappearance of thin cloud layer or fog.

Type 4-3: Radiation and air temperatures change gradually and independently accompanied by gradual change in sky cover. This type indicates gradual change in downward flux.