

# 感度の良いフンク型正味放射計と熱流板の試作

The Economical, Sensitive Net Radiometer and Heat Flux Plate.

寄崎 哲弘\*・古藤田一雄\*\*

Akihiro YORISAKI and Kazuo KOTODA

## I はじめに

正味放射フラックス ( $R_n$ ) と地中熱フラックス ( $G$ ) の簡便かつ精度の良い測器の開発は、接地层における熱・水収支研究の進展に大きく寄与するものと考えられる。地中熱フラックスの測定器は Deacon (1950) が熱電対を応用して開発し、正味放射計は Funk (1959) が Deacon と同じ原理を用いて風防型を開発した。現在市販されている熱流板と正味放射計は Deacon と Funk の開発したものを原型としており、精度は良いが、高価である。従って、正味放射フラックスの同時多点観測や地中熱フラックスのプロファイルの観測を行う際に、複数個の熱流板や正味放射計を用いることは経済的に困難なことである。また、放射の発散や、地中熱フラックスの発散を観測する際には高感度の測器が必要である。低価格の自作の簡易正味放射計は齊藤 (1964)、山本 (1977) が報告しているが感度は良くない。自作の熱流板については内島 (1964) が報告している。本研究は、製作費が低廉でかつ市販の測器と同等以上の感度をもつ正味放射計と熱流板を試作した。

## II 原 理

正味放射フラックスと地中熱フラックスの測定原理を説明する (第1図)。水平面と平行な上側が黒体面になっている空気と断熱された板は上方からの放射フラックスと放射平衡にあるので、下向きの全波長のエネルギー ( $R\downarrow$ ) は黒体面の温度を  $T_1$  とするとステファン・ボルツマンの法則より

$$R\downarrow = \epsilon \sigma T_1^4$$

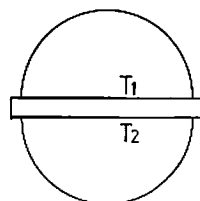
となる。ここで  $\epsilon$  は射出率、 $\sigma$  はステファン・ボルツマンの定数である。同様に下側が黒体面になっている板は

$$R\uparrow = \epsilon \sigma T_2^4$$

という上向き放射フラックスを受けている。正味放射フラックスは  $R\uparrow - R\downarrow$  であるから、

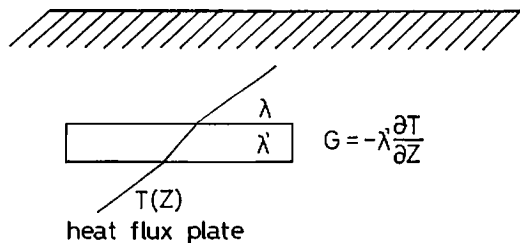
$$R_n = \epsilon \sigma (T_1^4 - T_2^4) \dots \dots \dots (1)$$

$T_1, T_2$  がともに  $-10 \sim 20^\circ\text{C}$  の範囲 ( $R_n < 100 \text{ W/m}^2$ ) では(1)式は次のように近似される。(Monteith, 1973)。



net radiometer

$$R_n = R\uparrow - R\downarrow = \epsilon \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$



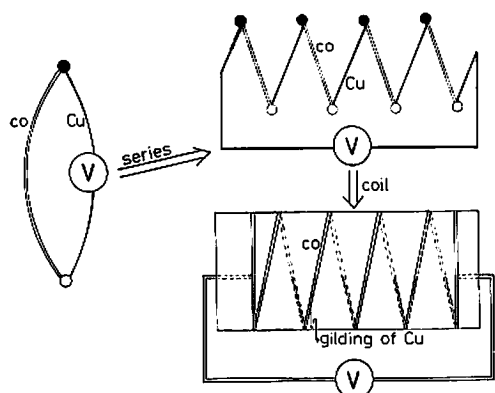
heat flux plate

第1図 正味放射フラックスと地中熱フラックスの測定原理

\* 筑波大学 (院) 環境科学研究科 (現日本気象協会)

\*\* 筑波大学水理実験センター

(1983年4月15日受理)



第2図 熱電対による温度差測定原理

$$R_n = \epsilon \cdot 5 (T_1 - T_2) \dots\dots\dots (2)$$

従って、2つの面の温度差を測定することにより  $R_n$  を求めることができる。

地中熱フラックスは温度勾配より次のように表わされる。

$$G = -\lambda \frac{\sigma T}{\sigma z}$$

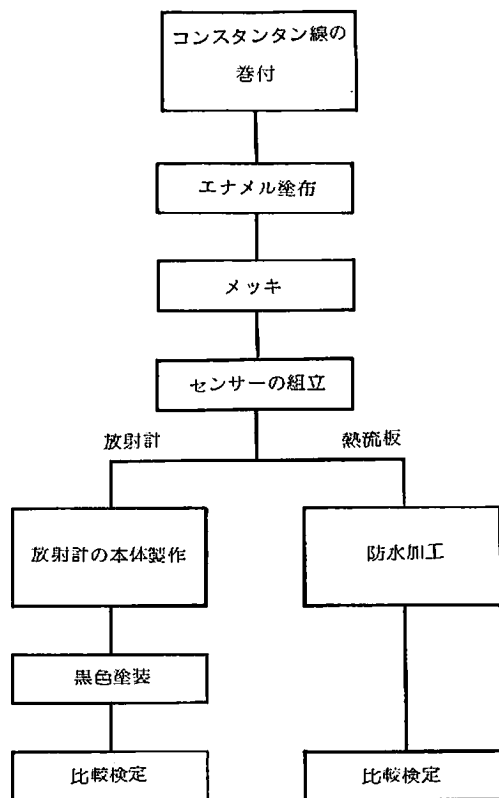
ここで  $\lambda$  は熱伝導率である。鉛直2点間の温度差を測定して、熱伝導率が既知であれば地中熱フラックスを求めることができる。正味放射フラックス、地中熱フラックスはともに2高度の温度差  $\Delta T$  を測定することによって求めることができる。

温度を電氣的に測定するものには、サーミスター、熱電対などがあるが、温度差を測定するには熱電対が単純で適している。熱電対による温度差の測定原理を第2図に示す。熱電対とは2種類の金属線の両端を接合して、異なる温度に接点をおいたとき、起電力を生じる性質のことを言う（詳しくは二木・村上、1978）。この起電力は金属の種類と接点の温度にのみ依存し、接触面積などとは無関係である。従って、熱電対を利用した温度計は測器間の差が小さく、容易に自作できるという利点がある。一方、欠点は熱起電力が小さいことである。銅・コンスタンタン熱電対の場合  $10^\circ\text{C}$  の温度差で約  $0.5\text{mV}$  の起電力である。ある温度差に対する熱電対の起電力は2種類の金属の組み合わせによって決まる。価格と起電力の大きさから、

銅・コンスタンタン（Ni 45%, Cu 55% の合金）熱電対を本研究では用いた。熱電対は起電力が小さいので、直列につないで起電力を増大させる。短い2種類の金属の線を交互につないで数百の直列熱電堆を作るとは技術的に困難なことなので、直列にすることと同様な効果をコンスタンタン線のコイルに銅メッキするという方法で得る。コンスタンタン線をコイル状に巻き、半分銅メッキすると銅メッキした部分とよとの線の境目が接点となる。ただし、2種類の金属を交互につないだものと比較して起電力は小さくなる。コイルは  $300\text{回}/10\text{cm}^2$  程度の巻数で約  $5\text{mV}/(100\text{w}/\text{m}^2)$  の出力を得ることができる。

### III 製作手順

作業の流れを第3図に示す。正味放射計、熱流板ともに原理は同じであり、結合までの工程も同



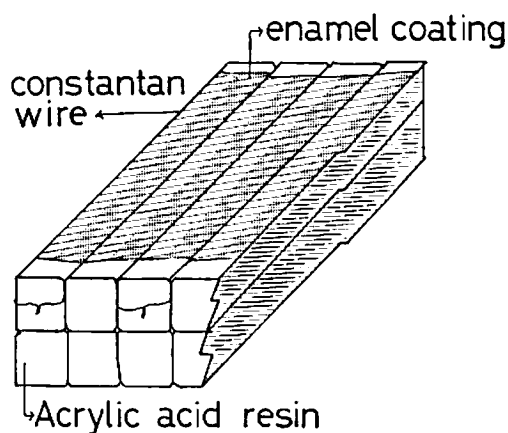
第3図 製作手順

じなので、正味放射の製作手順について以下説明する。

(1) はじめに、コンスタンタン線をコイル状に巻く作業を行う。長さ3 cm、断面3×3 mmの亚克力角棒を2本横につなげる（断面は3×6 mmの長方形）。その亚克力の角棒にコンスタンタン線を約20回/cmの密度で巻きつける。このようなコイルを巻いた長さ3 cmの亚克力棒を10組作製する。1組当たり60回なので10組で600回になる。

(2) 次にコイルの片面のメッキを行うが、コイルを半分メッキ液に浸すことは困難なので、メッキしない部分をエナメルで被覆する。エナメルは亚克力の角棒の3 mmの面が境目になるように塗る（第5図）。被覆はエナメルを数回重ね塗りして気泡が入らないよう十分に行う。

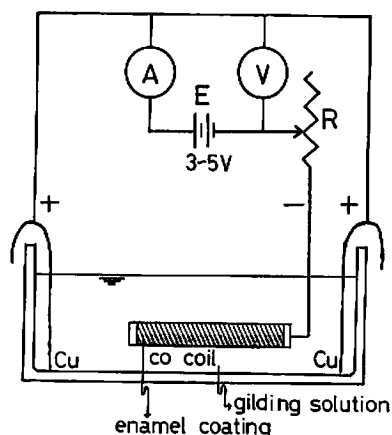
(3) 次にメッキを行う（第4図）。青化銅メッキ液（水1 l に対して、CuCN 22.5g、NaCN 34.0g、Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 15.0g）にコイルを完全に浸し、銅板を陽極、コイルを陰極にして電流を流す。電圧は3～5 V（電池でもよい）で、可変抵抗（1 K $\Omega$ ）により電流を調節（0.5～1 A/dm<sup>2</sup>）して10分程度メッキする。エナメルで被覆した部分から気泡がでるようだと、被覆が十分でないことを示して



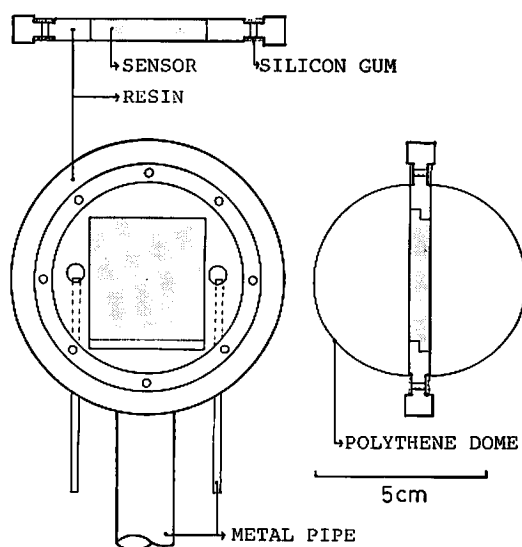
第5図 センサの組立て

いる。なお、気泡の中の気体はシアンを含む有毒なものなので、メッキ液とともに取扱いと換気には十分注意する必要がある。

(4) メッキしたコイルは温度差を上下面で作って出力の極性を調べ、直列に結合する（第5図）。結合する際にはエナメル塗布面が同じ方向を向くようにして、更にラップまたはセロテープを間にはさんでコイル相互を十分絶縁する。結合は両端を亚克力の棒ではさむように亚克力用接着剤



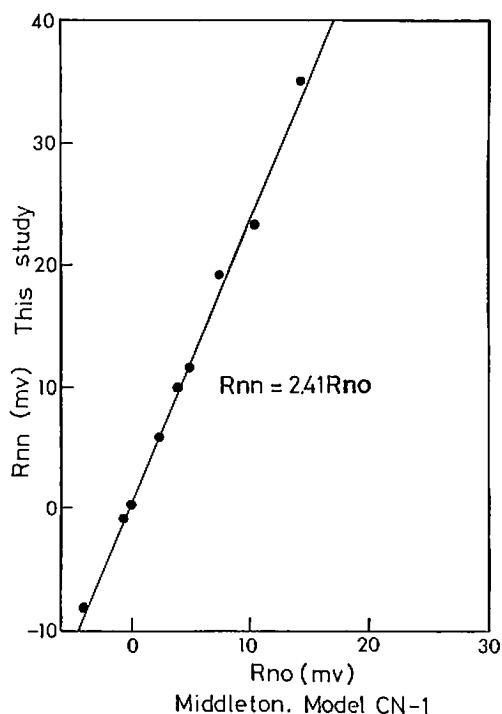
第4図 メッキ方法



第6図 正味放射計本体

で接着する。上下面はほぼ  $3 \times 3$  cm の正方形で、その面にアルミ板を接着する。アルミ板は黒体平面を作ることと、面的な温度の均一性を得るために用いる。コイルとアルミ板は絶縁しなければならないので、まず結合したコイルの上下面に薄くシリコンゴムを塗ってラップを接着する。更にラップの上にシリコンゴムを塗ってアルミ板を接着する。コイルとアルミ板の間は出来る限り接近することが望ましい。

(5) 放射計の本体はポリドームの装着とセンサーの保護を目的としている(第6図)。材質はポリアセタール(商品名デルリン、サンコープラスチックK.K製)を用いる。ポリアセタールは白色堅固で、機械加工に適する。センサーの入る長方形の部分はジグソーで切削し、その他の部分は旋盤で加工する。ポリエチレンドームを固定するリングもポリアセタールで作る。ポリエチレンドームが本体と接する溝の部分にはシリコンゴムを塗ってドームと本体の密着を計る。ドームはリングと8本のネジで固定する。通風用の穴はドリルであける。通風用の2本のパイプは電極も兼ねてい



第7図 試作正味放射計と市販の正味放射計との比較

第 1 表 主 な 材 料

材 料	規 格	数 量	単 価*
センサー			
コンスタンタン線	直 径 0.1mm	50 g	1,000円/100 g
エナメル	色つき	適量	300円/80cc
アクリル角棒	$3 \times 3$ mm	2 m	
アルミ板	厚 さ 0.5mm	20cm <sup>2</sup>	
シリコンゴム	透 明	適量	
ラ ッ プ	家庭用	適量	
メッキ液			
Cu CN	22.5 g	+ 水 1 ℓ	2,000円/500 g
Na CN	34.0 g		
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	15.0 g		
放射計本体			
ポリアセタール	外径 80mm	5 cm	14,500円/m
銅パイプ	" 2 mm	20cm	
"	" 12mm	10cm	
ポリエチレンドーム	直径 56mm	2 個	800円/1 個
黒色塗料	Person's optical black	100cc	30,000円/500 cc

\* 1982年現在のおよその価格

るので、センサーの2本の端子をパイプにハンダ付けしてから、通風用の穴にパイプを挿入し、固定する。本体自体の固定用の腕は本体のまわりにアルミ板をまいて、長さ10cm直径約10mmのパイプに固定する。本体とアルミ板は数ヶ所でネジどめする。観測する際には固定用の腕を更に長いパイプに取付ける。

(6) 本体にセンサーを装着したら、センサーのアルミ部分に黒色塗装を行う。塗装は均質かつ耐久性を持たすために噴霧塗装が望ましい。模型用のスプレーセットに塗料を入れて均質に噴霧して黒体面を得る。塗料は日本に輸入されているもの(第1表参照)を用いる。これは市販の正味放射計が用いているものと同じ塗料である。

(7) 塗料を塗って完成したならば、あらかじめ検定定数が既知の正味放射計と比較検定を行う。野外の同高度に2台の正味放射計をできるだけ近くに並べて快晴の日に1日中データーをとる。2台の正味放射計の出力の回帰式より補正係数を求める。第7図に本試作品の検定の例を示す。この検定は傾向をみるために屋内で電燈を用いて行なったもので厳密なものではない。ほぼ1対1の関係があり、試作品は市販品の約2.4倍の感度であった。試作品のコイルの巻数は約600回/ $9\text{cm}^2$ であり、市販品は約300回/ $9\text{cm}^2$ であるから、ほぼコイルの巻数に比例した出力が得られた。感部の面積を大きくすれば総巻数が増えて出力は増大するが、単位面積当りの放射フラックスの測定精度は悪くなるので、単位面積当りの巻数を大きくすることが望ましい。

最後に、試作品の主な材料を第1表に示す。

#### IV ま と め

市販の正味放射計より感度がよく、かつ低廉な価格の正味放射計を自作できることが確認された。作り方によっては更に高感度の放射計や熱流板を得ることが期待できる。現在の問題点は1台

当りの製作時間が正味放射計の場合は3日、熱流板は1日位必要でやや手間がかかることである。またシアンを使用するため、その管理を完全にすることも必要である。

なお本研究では触れなかったが、ポリドーム内の乾燥空気は次のようにして得ることができる。金魚鉢用のポンプをスライダックで調節して空気をシリカゲルを充填したアクリルパイプの中に通し、これをポリドーム内に通気させる。または、 $\text{N}_2$ ガスでも良い。霜、露除けは、加熱リングよりもドームの外側を送風機又は掃除機の排気などを用いて通風した方が良いと思われる。

#### 謝 辞

本研究をまとめるにあたって水理実験センターの職員、院生の方々には大変有意義な御助言をいただいた。また、小島豊盛技官には、工作する際懇切な御指導をいただいた。これらの方々に心から感謝いたします。

#### 文 献

- Deacon, E. L. (1950) : The measurement and recording of the heat flux into the soil. *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, **76**, 479~483.
- Funk, J. P. (1959) : Improved polythene-shielded net radiometer. *J. Scientific Instruments*, **36**, 53~53.
- Monteith, J. L. (1973) : *Principles of environmental physics*. Edward Arnold, London, 222p.
- 二本久夫・村上孝一 (1977) : 『温度センサ』日刊工業新聞社, 227p.
- 斉藤隆幸 (1964) : 放射量測定計器, 気象研究ノート, **15**, 472~493.
- 内島善兵衛 (1964) : 技術者のための農業気象学講座, 農業技術, **19**, 290~295.
- 山本雄二郎 (1977) : ハウス内微気象, 農業気象観測, 測定に関する手引書第2部, 日本農業気象学会関東支部, 63~78.