

## 二波長赤外放射計について

菱田 耕造\*、 西山 勝暢\*\*、 小泉 宗三郎\*\*

### A Two-Wavelength Infrared Radiometer

Kozo HISHIDA,\* Katsunobu NISHIYAMA,\*\*  
and Sozaburo KOIZUMI \*\*

#### ABSTRACT

The two-wave length infrared radiometer was used by McAlister to measure the total heat flow from the air-sea interface at night. On the basis of his paper, authors have been attempted to construct this instrument in Japan, where the infrared radiometry was not so much advanced as in U. S. yet. In this paper, it may be preliminarily shown how to have approached the goal.

#### 序 言

海面からの熱輸送量の測定に二波長赤外放射計を用いる画期的な試みを発表した McAlister の論文 (1964) にならって、我が国でもこれを試作したいと考えて5年後の昭和44年度にはじめて予算化された。その年は試作に終り、翌年度はそれに改造を若干加え、実験及び観測の予備テストを行なった。

McAlister はその後着々と発表させ、航空機用にまで実用化した (McAlister 1970, 1971)。われわれのとりくんできた経過はまことに遅々としているが、ここにその大要をしるして、何等かの参考に資したい。

#### 原 理

海面をとおし垂直方向に空気中にでる熱量が海のごく表面の 1 mm 以内では、薄い層の海水を通り運ばれてゆくときは主として分子熱伝導によるものと考えられ、海面放射、蒸発および熱伝導による熱量  $Q$  は

$$Q = -K \frac{\partial T}{\partial Z} \dots\dots\dots(1)$$

により与えられる。ここに  $K$  は分子熱伝導率、 $T$  は水温であって、 $Z$  は垂直下方を正とする。

昭和47年3月20日受理 Received 20 March 1972.

\*神戸海洋気象台: Kobe Marine Observatory.

\*\*気象研究所: Meteorological Research Institute.

この水温の垂直傾度を求めるため、赤外線技術が用いられ、McAlister は光の水中での吸収係数の有効光学的深度 (Effective optical depth) として、 $3.5-4.0\mu$  帯における放射は  $0.06\text{ mm}$  の深さ、 $2.0-2.4\mu$  帯のは  $0.5\text{ mm}$  の深さにおける水温に関係するものとした (Fig. 1)。簡単のためこれらの帯域または深さを  $B, A$  で示すことにする。水温の測定には海面反射も考慮する必要があるので、ある深さの水温  $T_W$  は

$$T_W = T_B - \frac{(I_B - I_W) - (I_B - I_S)r}{eC} \dots\dots\dots (2)$$

により求められる。ここに  $T_B$  は測定器中に内蔵する比較黒体の温度、 $I_B$  は基準黒体からの放射、 $I_W$  は海面からの放射、 $I_S$  は天空からの放射、 $r=1-e$  は海面における反射率、 $e$  は透過率、 $C$  は検定によってきまる常数である。実際には  $I_B - I_W, I_B - I_S$  をまず一つのフィルターで測り、次にフィルターをかえて同様に行い、それぞれ  $T_W - T_B$  を求め、両者の差を得ることになる。

### 試 作

東芝に依頼して本計器を作るにあたり、受光体のPbSは冷却型であるから、これとフィルターは米国より輸入した。PbSは  $5\mu$  以上の波長では感度はなくなり、ドライアイスでたえず冷却しておく必要がある。また McAlister の使用した波長と若干異った  $1.5-2.5\mu$  および  $3.5-4.2\mu$  の波長のフィルターしか手に入らなかった。

試作途中で、温度についてかなり高い精度を必要とすることがわかり、大きい改造や工夫が行われた。測温は比較黒体と海面温度の差を  $1-2^\circ\text{C}$  以内にして行うようにし、比較黒体もつくり直し、その面を大にし、良質のブラックペイントを塗り、またその断熱性を良くし、その温度を調節する電子冷凍用の電流の制御をきめ細かく行えるようにした。その他、受光部内にある発熱体の影響をなるべくへらすように、フードやシールドを入れるなどを試み、また冷却水を小量にするなど若干の工夫をした。本器の外観を Fig. 2 に示す。

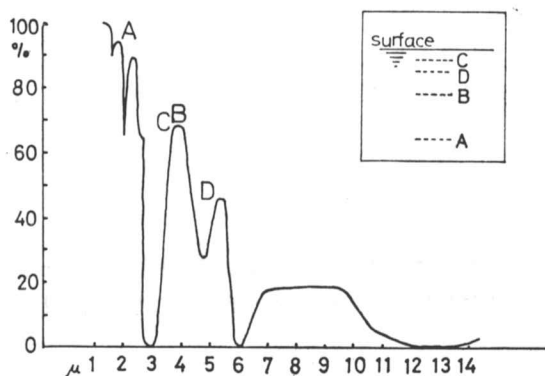


Fig. 1 Transmissivity of 0.03 mm of water.

### 結 果

上述のフィルターを用いて測定したところ、(2)式の反射率が2%程度にもかかわらず大変問題になってきた。これは両波長帯における大気による吸収の度合がかなり異なるためであると考

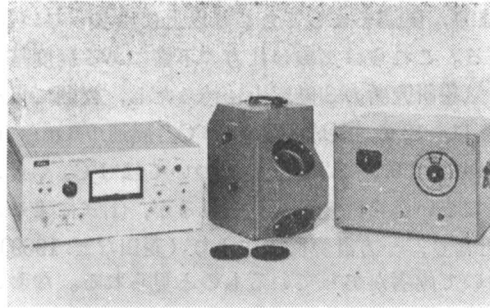


Fig. 2 Photograph of the radiometry.

えた (Fig. 3)。McAlister (1970) はその後  $3.5\sim 4.1\mu$  帯 (B) と  $4.5\sim 5.1\mu$  帯 (D) とを用いて航空機用としたが、これは両波長帯がともに大気吸収度が小さく、大差ないからである。しかし、それぞれの測定深度は約  $0.025\text{ mm}$  と約  $0.075\text{ mm}$  となるから、水温差の測定精度を大きく上げる必要がある。

この航空機用はわれわれの予算の10数倍を要することがわかったので、われわれには手がとどかない。そこで  $2.0\sim 2.4\mu$  帯 (A) の大気吸収率に近い波長帯  $3.0\sim 3.5\mu$  (C) をとり、船や塔など海面に近いところで大気の吸

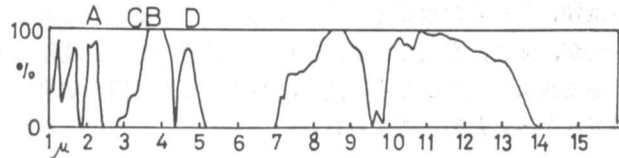


Fig. 3. Transmissivity of air.

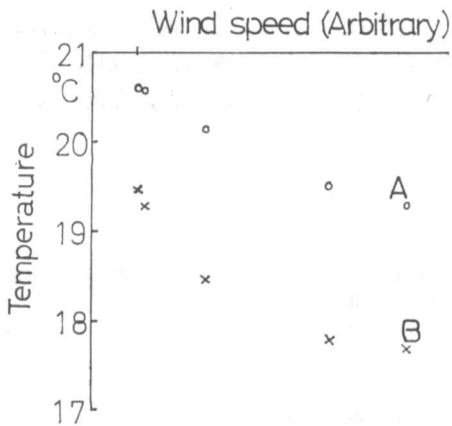


Fig. 4 Showing the relation between wind speed and temperature on March 15, 1972.

収の影響の小さい場合に用いられるように考えた。しかし、 $3.0\sim 3.5\mu$  帯 (C) は水中では約  $0.015\text{ mm}$  に相当するから、この場合の深度差は約  $0.015\text{ mm}$  と約  $0.5\text{ mm}$  と大きくなる点は都合よいが、分子熱伝導のほか、表面での放射、下面での擾乱の影響が若干きいてくる恐れがある。(McAlister 1969)

試作器を室内と屋外実験および現場観測により検討してみた。先ず室内実験としては  $60\times 60\times 30\text{ cm}^3$  の水に水槽を一杯にはって、暗室内で、風を水面上に吹かし、風速を変化させつつ水温を  $3.5\sim 4.2\mu$  帯 (A)、 $1.5\sim 2.5\mu$  帯 (B) および  $3.0\sim 3.5\mu$  帯 (C) のフィルターについてそれぞれ測った。Fig. 4 にそ

の結果の一例を示すように A, B とともに風速がますと水温は降下し、その差も増す。従って風により蒸発をますと温度差がますことになり、一応原理的には使えるものとわかった。これは C の場合でも同様である。なお、温度差は A, B の場合は  $0.2\sim 0.3^\circ\text{C}$ 、A, C の場合は  $0.3\sim 0.4$

°C ぐらいにまでにとどまり、風速をましてもこれ以上にはならないし、また風速 0 のときにもわずかの温度差が生ずる。これらは実験の仕方の不備にある程度基くものであろう。屋外実験としては、この水槽を気象研究所の3階屋上に持ちだし、夜間に自然状態のまま測定を試みた。水温 17~18°C、気温 11~12°C、湿球温度 7~8°C、風速 0.3 m/s 前後、雲量 0 の条件の場合に A、C の差は水については 0.1~0.2°C、空については 1°C ぐらいの差が見られた。もちろん、風の吹き方が一様でないから、変動が見られるが、(1)式により水面からの放熱量を求めると、0.2~0.3 ly/min となり、一方計算図表により(菱田など 1969) 求めると 0.2 ly/min 程度であるから、大体において両者があっているものと見られる。なお A、B 温度差はある程度風速に比例しており、熱流もいつも上向きであった。参考のため A、B のフィルターで行ったところ、水については約 1°C、空については約 20°C となり、空の影響が大きく及んでくることがわかった。すなわち A、B の組合せでは現場には使えないのである。

野外観測としては、1971年3月24日静岡県伊東市の海岸で、検出部を突堤先端におき、18時から約2時間に3回の測定を試みた。当日はほぼ晴れて、水温 13.2°C、気温 9°C の状態であったが、その間 A、C の温度差は空については終始約 2°C ぐらいであり、海については 0.2~0.7°C、0~0.15°C および 0~0.2°C の間の変化が見られた。風速は微風であるが、風速の変化が微妙にこれらの水温差の変化に関係しているようである。なお、翌晩には場所をかえて行なったが、気温、水温などや A、C の空についての温度差は前日の場合と大差ないのに、C の方が逆に A より 0.1°C ぐらい高く、熱流は下方に向う結果になったが、これは観測点の地形が適当でなかったためと考えられる。

## 結 び

二波長放射温度計の試作の経過と予備的なテストの結果について概要を述べた。器械の取扱いを楽に精度をよくするため、フィルター切換操作を自動的にし、また(2)の演算を即時行えるよう配慮する必要がある。なお、水槽の大きさや風の吹かせ方などの実験方法の改良、現場における連続的な観測など残されている点が多くあることは申すまでもないが、今後の機会に譲りたい。

## 文 献

1. McAlister, E. D. (1964): Infrared Optical techniques applied to oceanography. 1. Measurement of total heat flow from the sea surface. *Applied Optics*, **3**, 609-612.
2. McAlister, E. D. and W. McLeish (1969): Heat transfer in the top millimeter of the ocean. *Jour. Geophys. Res.* **74**, 3408-3414.
3. McAlister, E. D. and W. McLeish (1970): A radiometric system for airborne measurement of the total heat flow from the sea. *Applied Optics*, **9**, 2697-2725.
4. McAlister, E. D., W. McLeish and E. A. Corduan (1971): Airborne measurements of the total heat flux from the sea during BOMEX. *Jour. Geophys. Res.* **76**, 4172-4180.
5. 菱田耕造, 西山勝暢 (1969): 海面における熱交換量の計算図表について, *海と空*, **45**, 1-10.