

## 航空ふく射温度計 (A. R. T.) およびその水温測定法について

橋 口 行 男

### ON THE AIRBORNE RADIATION THERMOMETER AND ITS MEASUREMENT OF SEA SURFACE TEMPERATURES

Yukio Hashiguchi

*Received December 7, 1966*

#### Abstract

It is well known that useful data for oceanographic research are obtained by using an airborne radiation thermometer for measuring sea surface temperatures from aircraft. This method of measurement being applied to the Kuroshio regions of adjacent sea of Japan, many useful data in tracking the edge of the Kuroshio have been obtained rapidly since 1964.

The sensitivity in measuring sea surface temperatures is about  $0.2^{\circ}\text{C}$  and the absolute accuracy is about  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  in case of observations carried out by the Japanese Hydrographic Office.

The instrument consists of an infrared thermometer (which was imported from Barnes Engineering Company; Stamford Connecticut U. S. A.), a millivoltmeter (recorder) and an inverter.

Aircrafts employed in observations are the twin-engined Beachcrafts under command of the 2nd, 3rd and 10th Maritime Safety Headquarter's Air Bases (i. e. Sendai, Haneda and Kagosima Air Bases, respectively).

In this paper, outlines of the thermometer and its measuring method are described.

#### 1 緒 言

A. R. T. を航空機に積載し、上空から海水温度 (表面水温) を観測し、あわせて潮目や水色の目視観測を行えば、海況判断についての好資料を得ることができる。アメリカにおいては、1953年にストンメルが湾流の表面水温観測に A. R. T. を使用して以来、飛行機による水温観測が盛んに行なわれている。またその他の国においても、ソ聯・カナダなどでこの種のふく射温度計の研究開発がなされ、現在表面水温観測に利用されている。

水路部海象課においては、昭和36年度に A. R. T. の開発を始め、飯尾電機 K.K. に試作を依頼し、37年3月に一応でき上がったが、ノイズ (雑音) の発生が大きく、これを除去するためその後約二年間にわたり改良と調整を試み、昭和39年2月および5月に飛行実験を行なった結果、精度約  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、最小検出温度差約  $1^{\circ}\text{C}$  程度まで引き上げることができた。

一方、現在水路部で使用中の A. R. T. はアメリカから測定部 (インフラレッドサーモメータ) を輸入し、これに電源インバータ、管制器 (ろ波器および測定範囲切換回路)、記録計 (ミリボルトメータ) および防震構造固定装置を付け加えて完成したもので、S-1 A. R. T., S-2 A. R. T. (いずれも仮称) の二台を使用している。前者は昭和39年1月下旬完成し、十管区水路部で使用当中であり、後者は昭和40年8月下旬に完成し、三管区およ

び二管区水路部で使用しているものである。性能は S-2 A. R. T. のほうがよく、約  $0.2^{\circ}\text{C}$  の感度、 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  程度の精度で観測を行なっている。

A. R. T. 観測の大きな特色は、短時間に広い海域の観測ができることで、当庁所属ビーチクラフト機（巡航速度 130 kt）による観測では、1回の飛行について最大 600 M の観測線の水温観測を行なうことができ、明年度当庁に就航が予定されている YS-11 機によれば、1回の飛行によって約 1,700 M（約 7 時間）にわたる水温観測が可能で、これは観測船による観測行動の 2 週間分の航走距離にはほぼ匹敵するものである。

黒潮流域に A. R. T. 観測を適用すれば、短時間に広い範囲にわたって本流の所在をすみやかに把握することができ、大きな機動性を発揮するものである。以下に本器の原理、構成、性能および観測法についてその概要を述べる。

## 2 測定原理

一般に物体は、その分子の熱振動により、物体表面から赤外線を放射するが、表面温度  $T(^{\circ}\text{K})$  の単位面積から半球状に放射されるエネルギー  $E$  (erg/sec) は次の式で表わされることがよく知られている。

$$E = e\sigma T^4 \quad (1)$$

ここで  $e$  は物体表面の放射係数、 $\sigma$  はステファンボルツマン定数 ( $\sigma = 5.6699 \text{ erg} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{sec}^{-1} \cdot \text{deg}^{-4}$ ) である。この放射エネルギー  $E$  は、海水、水等では表面の 0.01 mm の層の温度のみに関係するもので、それ以深のものは関係しないとされている。また  $e$  は海水、水等では  $1\mu$  より長い波長の赤外線に対しては、黒体とほとんど同等で 1 としてよい。

Fig. 1. は、測定原理を図解するため測定部（インフラレッドサーモメータ）のヘッドの部分の断面を図示したものである。機械的運動部分はチョッパーのみで、これは表面反射率の良好な材料でできた 6 板羽根のものであ

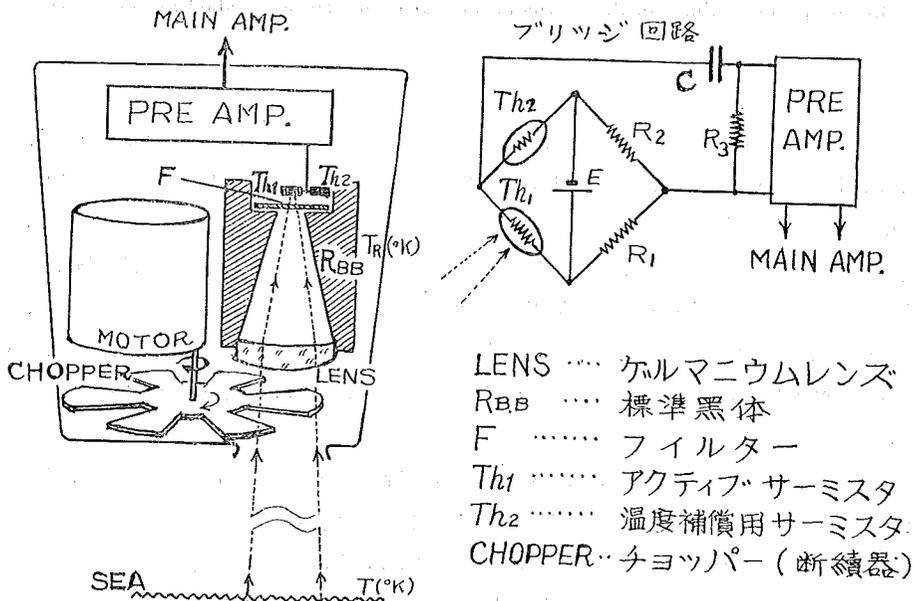


Fig. 1. Schematic diagram of the head of the infrared thermometer.

る。行動中は15回転/秒で定速回転をする。今、被測定物温度（表面水温）を  $T(^{\circ}\text{K})$ 、標準黒体温度を  $T_R(^{\circ}\text{K})$  とすると、この両者からの赤外線が、チョッパーの回転にしたがって交互にアクティブサーミスタ  $\text{Th}_1$  に作用するもので、すなわち海面からの赤外線がチョッパーによってその進入を断続され、その「断」の状態の時に標準黒体からの赤外線がチョッパーの羽根の上面に当たって反射され、上方に進入して  $\text{Th}_1$  に達するものである。 $\text{Th}_2$  は周囲温度補償用サーミスタである。このようにして、サーミスタブリッジ回路には  $(T_R^4 - T^4)$  に基づく交流信号が抵抗  $R_3$  の両端に現われる。この信号を  $V_0$  とし、今、定数  $K$  をもって次式を満たすように設計がなされるとする。

$$V_0 = K (T_R^4 - T^4) \quad (2)$$

そうすると、比較的狭い温度範囲の温度測定、つまり  $(T_R - T) = \Delta T$  が  $T_R$  に比べて小さければ、(2) 式は次のようになる。

$$V_0 = 4KT_R^3 \Delta T \quad (3)$$

すなわち  $V_0$  は  $\Delta T$  に大体比例し、直線性を示すものである。

S-1, S-2 A. R. T. とも、 $T_R$  は約  $45^{\circ}\text{C}$  で、 $V_0$  は90サイクルの交流電圧である。 $V_0$  は微弱であるため、増幅器で増幅し、整流器により直流に変換した後、管制器を経て記録計に記録される。記録計に記録される直流電圧  $V$  は、被測定物温度  $T$  に対してかなり直線的となっている。

### 3 A. R. T. の構成と各部の機能

構成をブロックダイアグラムにすると Fig. 2. のようになる。

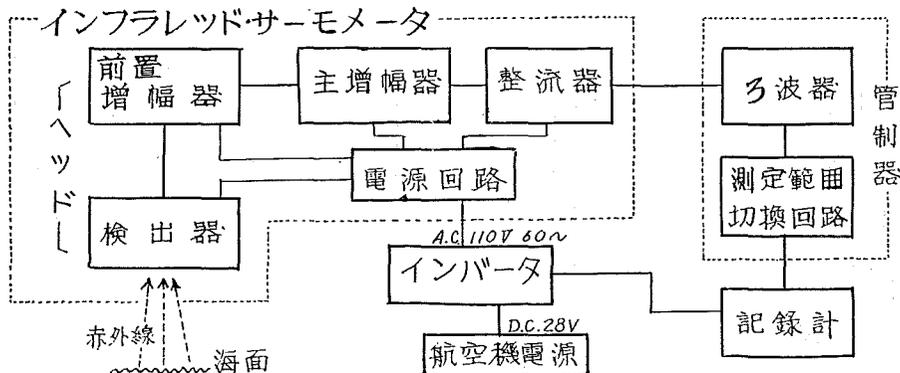


Fig. 2. Block diagram of the A. R. T.

S-1 および S-2 A. R. T. の各部とその重量をそれぞれ示すと TABLE 1. のとおりである。A. R. T. 1台当たりの総重量は同表でわかっており約 70kg で、大体人間 1 人分の重量である。水温観測の場合に、観測員 2 名が乗れば、ビーチクラフト機が 7 人乗りであるため、機の運航要員 4 名と A. R. T. 1 台を積載してちょうど好都合となっている。なお記録計については、S-1 A. R. T. のほうは 17kg で S-2 A. R. T. のものに比べて 8kg 程重いものを使用しているが、これは軽い記録計と交換すればそれだけ重量を減らすことが可能である。

インフラレッドサーモメータは、S-1 A. R. T. の IT-2 型および S-2 A. R. T. のほうの IT-3 型とも

価格、性能の面でほとんど同じである。この測定部として使用できるものに、インフラレッドサーモメータのほか、同じパーズ社のポータブルラジエーションメータ PRT-4 型があるが、これは価格が IT 型の 2 倍強で 260 万円程度であるが、これは性能の面で IT 型より若干すぐれているようである。

TABLE 1.

名 称	S-1 A. R. T.	S-2 A. R. T.
測 定 部	インフラレッドサーモメータ IT-2/S (パーズ社製)	インフラレッドサーモメータ IT-3/S (パーズ社製)
インバータ	バイブレータ式インバータ (日進電波 K.K. 製)	トランジスタ式インバータ (長野日本無線 K.K. 製)
周波数計	指針型周波数計 60~用 (横河電機)	S-1 に同じ
記 録 計	飯尾電機ワンペンレコーダー	東亜電波 K.K. EPR-2 T 型
管 制 器	海象課において製作	海象課において製作
固 定 装 置	防震構造固定装置	防震構造固定装置
付 属 品	工具類, 補用品その他	工具類, 補用品その他
総 重 量	68	70

Fig. 3. は、S-2 A. R. T. を航空機内に設置した状態を示す略図である。

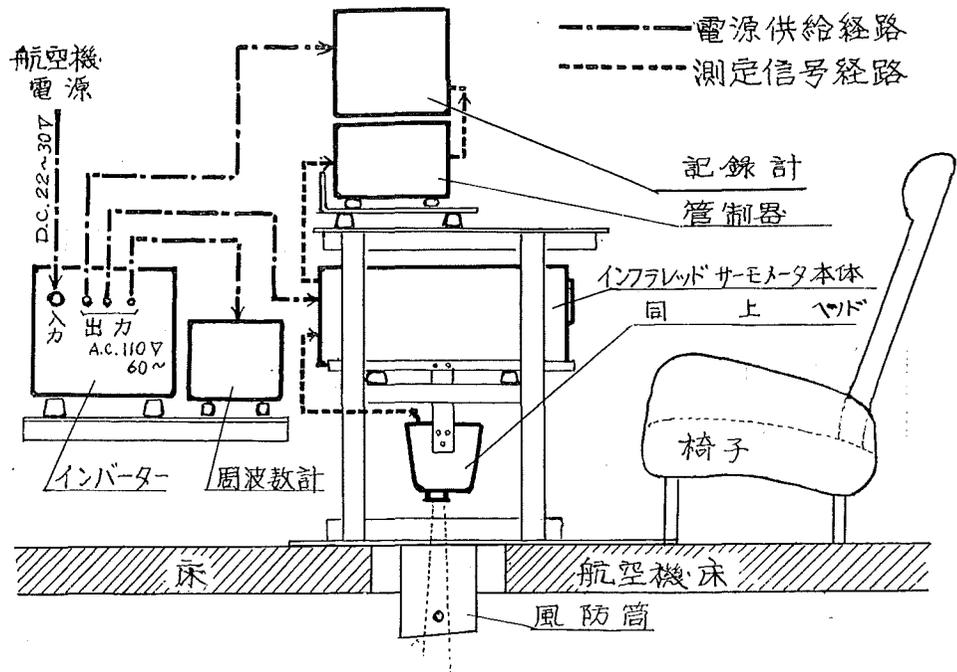


Fig. 3. Composition of the A. R. T.

さて、次に検出部内にあるレンズとフィルターに言及し、次いで管制器、インバータ等について順次述べる。

#### 1) インフラレッドサーモメータのレンズおよびフィルター

本器に用いる集光用レンズは赤外線を通すものでなければならない。そのために普通のガラス製レンズは役

に立たない。ゲルマニウム単結晶によるレンズが使用されている。

フィルターは、 $8\sim 14\mu$ の波長の赤外線のみを通すバンドパスフィルターが使用されているが、この意味を説明する前に順序として赤外線の性質について若干の説明を加える。電磁波の中で可視光線より波長の長い $0.8\sim 1000\mu$ 程度のものを広義に赤外線と呼んでいるが、常温程度前後の温度のものからの放射で問題となるのは大体 $30\mu$ 以下である。波長による赤外線の特徴を簡単に列記すると

i)  $5\sim 7.5\mu$ ,  $16.5\sim 24\mu$

大気中を通過する際、水蒸気によって吸収を受け勢力が衰える。

ii)  $12.5\sim 16.5\mu$ ,  $4\sim 5\mu$

大気中を通過する際、炭酸ガスによって吸収を受け勢力が衰える。

iii)  $8\sim 14\mu$

大気中を非常に良く透過する。

iv)  $0.2\sim 6\mu$

太陽光線の全エネルギーが含まれる。

v)  $4\sim 30\mu$

地表、海面および大気のおよび大気のふく射のほとんどが含まれる。

今、 $0^\circ\text{C}$ 、 $15^\circ\text{C}$ および $30^\circ\text{C}$ の黒体の放射するエネルギーのスペクトル分布を示すと Fig. 4. のとおりである。これは、 $30^\circ\text{C}$ の場合の最強値を100とする相対強度分布である。Fig. 5. は、波長 $2\sim 16\mu$ の各波長について等量の赤外線、ある大気中を通過させた場合のエネルギーの低下を示す1例である。図の示すとおり $8\sim 14\mu$ の赤外線は大気透過に際してロスが非常に小さい。

一方 Fig. 4. において、 $0^\circ\text{C}$ から $30^\circ\text{C}$ までの黒体放射による赤外線については、エネルギーが最大値をと

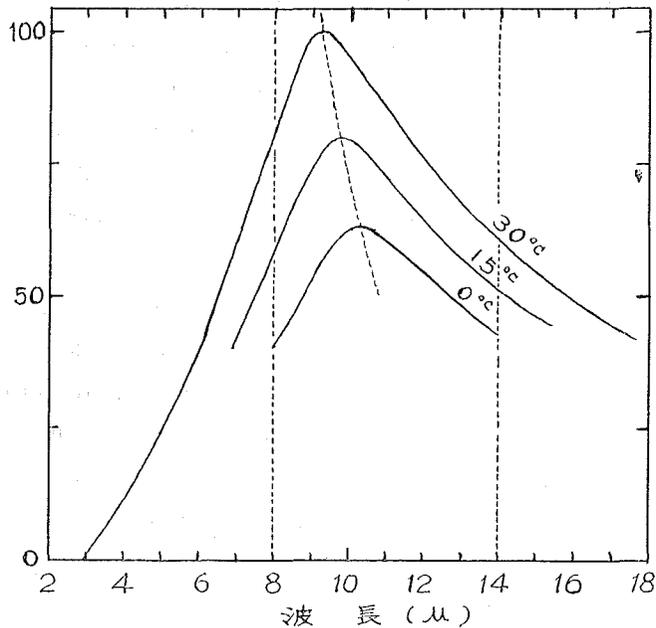


Fig. 4. The spectral distribution of energy from black bodies.

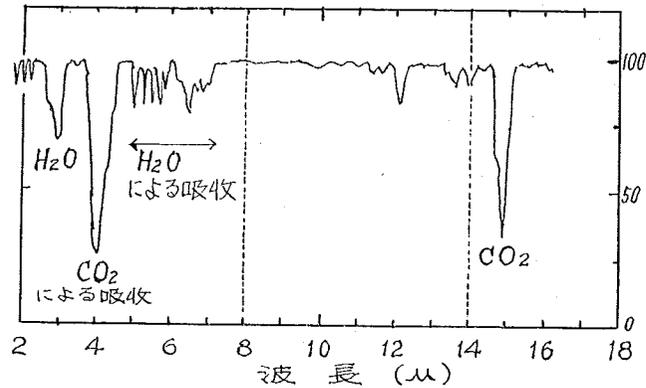


Fig. 5. An illustration of the spectral transmission of infrared ray in the air.

る部分の波長は  $10\mu$  前後となっているが、これらの全エネルギーは大体  $3\mu$  から  $30\mu$  程度までの間にすべて含まれてしまっている。この全エネルギーを検出器でキャッチし測定を行なうと、大気通過に当たって損失を生じる波長のものも含まれているので、同一温度の海水を測定するに、飛行高度や気象条件によってエネルギーの差が現われて不都合であるので、 $8\sim 14\mu$  のもののみ通すバンドパスフィルターとして次の (A)、(B) の複合フィルターが用いられている。

(A) 三硫化砒素系フィルター； $13\mu$  より長い波長のものをカットオフする。

(B) インジウム・アンチモナイド系フィルター； $8\mu$  より短い波長のものをカットオフする。

なお、このフィルターは、太陽光線 ( $0.2\sim 6\mu$ ) の海面反射による悪影響をも除去できるわけである。

また、本器の視野角度は  $3^\circ$  で、これは飛行高度  $1,000\text{m}$  の場合に直径  $50\text{m}$  の円形の海面を指向することになるものであり、幾何光学的には、キャッチするエネルギーの量は飛行高度が変化しても全く変わらず、海面の温度のみによることは簡単な計算でわかる。すなわち海面の単位面積から半球状に放射される総エネルギーの中で、検出部レンズに飛び込む赤外線量は飛行高度の2乗に反比例するが、指向する円形の海面の面積は飛行高度の2乗に比例して広がるので、結局飛行高度に無関係であることが幾何光学的には言えるわけである。

## 2) 管制器

フィルター回路(ろ波器)と、温度範囲切り換えのためのバイアス電圧発生回路およびその切り換え回路を Fig. 6. のような回路で作製した。これは S-2 A.R.T. のもので、S-1 A.R.T. については、また別の回路で作製した。インフラレッドサーモメータは、S-2 の場合で  $-15^\circ\text{C}\sim +45^\circ\text{C}$  の  $60^\circ\text{C}$  の温度幅を  $0$  から  $50\text{mV}$  の電圧として出力するので、記録計(フルスケール100目盛)の1目盛が  $0.6^\circ\text{C}$  に当たり、ラフな温度読み取りしかできない。これを2倍半または5倍に拡大してフルスケール  $20\text{mV}$  または  $10\text{mV}$  の記録計で測定し、 $0.1^\circ\text{C}$  までの読み取りを行なう目的で、 $-14\text{mV}$  から  $-42\text{mV}$  まで  $4\text{mV}$  間隔の8種のバイアス電圧を切り換えスイッチで選択できるようにすると、8種の測定温度レンジが得られる。切り換えスイッチ番号と測定範囲の対応を示すと大体 TABLE 2. のようになる。

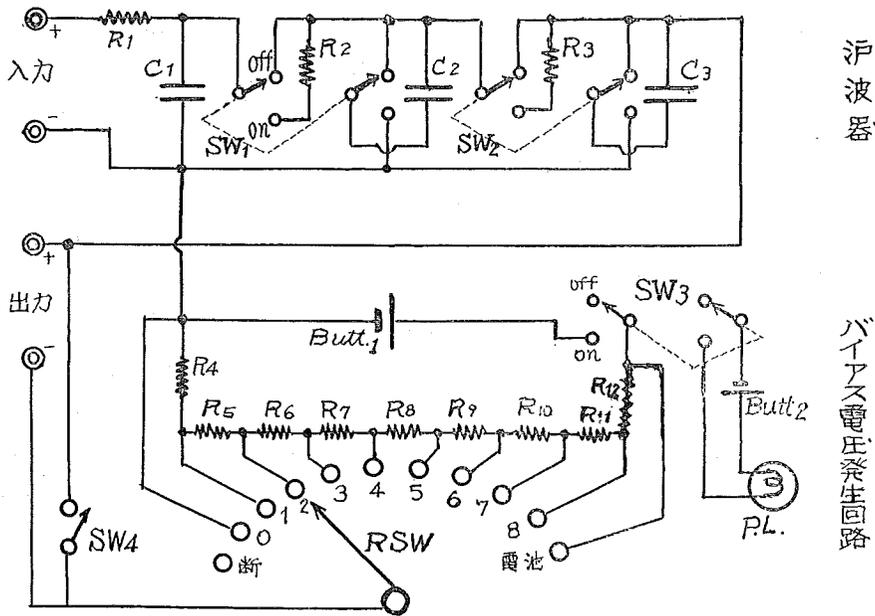


Fig. 6. The control circuit (S-2 A.R.T.)

TABLE 2.

スイッチ番号	4	5	6	7	8
測定範囲 (°C)	14 ~ 19	36.5 ~ 14.5	32 ~ 10	27.5 ~ 5.5	23 ~ 1

なお、このようにして2倍半または5倍に拡大して記録できるようにすると、ノイズもそれに伴って拡大されるのでRC回路によりフィルターを構成し、これを通すことによってノイズを減少させているもので、Fig. 6. では3段のRC回路を備え、1段目、2段目はそれぞれ  $10\text{ K}\Omega \times 100\mu\text{F}$  で3段目は  $20\text{ K}\Omega \times 100\mu\text{F}$  とした。1段目は常時はいっている状態とし、2段目、3段目をスイッチ  $SW_1$  および  $SW_2$  で順次加えて行く方式となっている。フィルター能力は3段目まで入れた時が最大で4秒である。コンデンサーとしては、ノイズ発生が非常に少ないと言われる進相用MPコンデンサーを使用した。現在、観測に当たっては3段目は使用せず2段目までで十分のようである。

### 3) インバータ

航空機の電源は直流 28V であるが、インフラレッドサーモメータは交流 110V 60c/s が必要である。このために DC-AC インバータを使用している。インフラレッドサーモメータは、微弱な入力信号を増幅率のきわめて大きい増幅器で増幅するので、電源の交流 110V は、その良否がノイズの発生を左右することになり、したがってノイズを小さくする必要上、ひずみ率がきわめて小さく高調波の発生が少ない正弦波交流で、周波数、電圧の変動率の小さいものが望まれる訳である。またチョッパー回転数の変動は直ちに検出された信号電圧の変動となり、測得値の誤差となって現われるので、チョッパーモーターの回転数の安定を計るためにも周波数変動は極力押えなければならない。カタログ上のインフラレッドサーモメータの電源周波数の許容変動範

囲は、S-1 の場合で  $60 \pm 0.5c/s$ 、S-2 のほうで  $60 \pm 1.3c/s$  となっている。

S-1 A.R.T. のインバータは、パイブレータ型正弦波インバータ（日進電波 K.K. 製）で、パイブレータによる機械的スイッチング方式によるものである。S-2 A.R.T. のものはトランジスタ型正弦波インバータ（長野日本無線 K.K. 製）で、トランジスタ回路により電氣的にスイッチングを行なわせる方式で、機械的な振動部分や回転部分は全くなく、行動中もきわめて静かである。両者とも、交流 110V の周波数の変動は、4 時間の観測の間に約  $0.5c/s$  低下する程度であるが、微調整装置を付け手動でつまみを回して微調ができるようにし、周波数計で監視しながら  $60c/s$  に保って観測している。なおインバータ内に定電圧回路も設けてあるが、これも微調整用のつまみを付けて、わずかの違いも調整ができるようにしている。

両インバータを実際使用し、水温観測を行なった結果から言えば、トランジスタ型インバータのほうがよいようで、パイブレータ型インバータのほうを使用している S-1 A.R.T. では、現在ノイズが大きくなってきており、観測記録紙に記録される測定値の精度がかなり落ちてきている。電源インバータの出力波形が悪化しひずみ率が上昇しているのではないかと考えられるが、元来パイブレータ型では、スイッチングの際の波形の不連続の間が、トランジスタ型に比べて長く、またスイッチングにおける立ち上りあるいは立ち下りに際して高調波が発生し易いと言われており、ひずみ率の小さいきれいな波形にするのが困難のようであり、長時間使用している間に性能の劣化の進みが早いようである。この点、トランジスタ型ではスイッチングが電子の流れのスイッチングであるから、波形の不連続もほとんどなく、高調波も余り出ないようで、今のところ一年程使用してみて別に劣化現象が見られない。

#### 4) 記録計

インフラレッドサーモメータは測定温度を直流電圧として出力するが、記録計を用いてこれを測定し記録するものである。本器に使用する記録計としては、入力抵抗のなるべく高いものが望ましい。これは、管制器のろ波器の抵抗が最大  $40K\Omega$  あり、これを通過する際に信号電圧がドロップするので、この電圧降下をなるべく小さくしたいために、入力抵抗の大きな記録計が望ましい。ろ波器の抵抗を小さくすれば電圧降下もそれだけ減るが、ろ波器の能力“ $R \times C$ ”の抵抗  $R$  を小さくすればコンデンサー容量  $C$  を大きくしなければならず、MP コンデンサーにおいてはコンデンサーの容積がかなり大きいので、 $C$  を大きくすることには限度があるので  $R$  を小さくするにも限度があって一定値以下には下げられない。ろ波器の抵抗を  $R_f$  とし、インフラレッドサーモメータの信号出力電圧を  $V_i$  とすると、ろ波器を通してから記録計に測定される電圧  $V_r$  は次式のようなになる。

$$V_r = V_i \frac{R_r}{R_r + R_f} \quad (4)$$

ただし  $R_r$  は記録計の入力抵抗である。また電圧降下量  $\Delta V$  は次のようになる。

$$\Delta V = V_i - V_r = V_i \frac{R_f}{R_r + R_f} \quad (5)$$

$R_r$  が  $R_f$  に比べて十分大きければ  $\Delta V$  は無視してさしつかえなくなる。内部抵抗の高い記録計としては、現在、東亜電波 K.K. が出している EPR 型の一連の製品がある。いずれも不平衡時  $1.2M\Omega$  以上、平衡時  $2M\Omega$  の入力抵抗を有している。S-2 A.R.T. には EPR-2T 型を使用している。S-1 A.R.T. では、当初ろ波器を付ける計画がなかったこともあって、入力抵抗  $50K\Omega$  の飯尾電機 K.K. 製 1 ペン式記録計 E-601 型を使用しており、前者のトランジスタ式記録計に対し後者は電子管式記録計である。それらの仕様および性能などについてはのちに述べる。

#### 4 A. R. T. および各部の性能

温度測定上の感度 (Resolution), 確度 (Absolute Accuracy) はほとんどインフラレッドサーモメータのそれによって決まるが, 先に述べたように管制器を付けたり, 性能の良い電源インバータを使用したり, 測定値に対する各種の補正を適切にすることなどによって, 感度および確度を良くすることが可能で, S-2 A. R. T. については, 現在のところ感度 0.2°C, 確度 0.5°C 程度の観測値を得ている. インフラレッドサーモメータのカタログ上の感度および確度は 0.5°C および 1.2°C となっている.

以下, 各部にわたってその性能あるいは仕様などについて述べる.

##### 1) インフラレッドサーモメータ

カタログによる仕様および性能は TABLE 3. のとおりである.

TABLE 3.

項 目	S-1 A. R. T. IT-2 型	S-2 A. R. T. IT-3 型
測定範囲 (Temperature Range)	-12~+43°C	-12~+43°C
感 度 (Resolution)	0.6°C	0.5°C
確 度 (Absolute Accuracy)	1.2°C	1.2°C
視 野 (Field of View)	3°	3°
応 答 時 間 (Response Time)	50 or 500ms to 63 %	50 or 500ms to 63 %
出 力 (Electronic Output)	0 to 200mV, 200 Ω	0 to 50mV, 1000 Ω
通過波長域 (Spectral Bandpass)	8 ~ 13 μ	8 ~ 14 μ
所 要 電 源 (Power Required)	105~125V 60±0.5c/s 25W	105~125V 60±1.3c/s 25W
許容周囲温度 (Ambient Temperature)	2 ~ 41°C	4 ~ 43°C

##### 2) インバータおよび周波数計

S-1 および S-2 A. R. T. の電源インバータについてその仕様および性能の概要を示すと TABLE 4. のとおりである.

TABLE 4.

	S-1 A. R. T. 用インバータ	S-2 A. R. T. 用インバータ
型 式	パイプレータ型正弦波インバータ	トランジスタ型正弦波インバータ
入 力 電 圧	22 ~ 30V D. C.	22 ~ 27V および 25~30V D. C.
出 力 電 圧	100V および 110V A. C.	105 ~ 115V の任意の電圧にセット可能
出 力 容 量	50 + 30VA (30VA のみ A. V. R. 付)	40VA (A. V. R. 付)
周 波 数	60 ± 0.5c/s	60 ± 0.5c/s
正弦波ひずみ率	不 明	4.0 ~ 7.0 %
能 率	53.6 ~ 55.1 %	50.5 ~ 51.0 %

TABLE 4. において S-1 用インバータの出力波形ひずみ率は不明であるが, S-2 用インバータに比べてかなり大きな値をとっていると思われる. 能率は後者のほうが悪くなっているが, ひずみ率をきわめて小さくするために能率が犠牲となっているが, 元来はトランジスタインバータのほうが能率は良好とされている.

出力交流の周波数を知るために指針型周波数計を用いている. これは, 横河電機 K. K. の D P F 型を採用し, 許容誤差定格 ±0.2c/s の製品であるが, 検査成績によると, 57~65c/s において ±0.02c/s となってい

る。なお、消費電力は 5 VA である。

### 3) 記録計

本器に使用している記録計の仕様の概要は TABLE 5. のとおりである。

TABLE 5.

	S-1 A. R. T. 用	S-2 A. R. T. 用
型式 レ ン ジ	電子管式自動平衡記録計 (E-601) 0 ~ 200mV	トランジスタ式自動平衡記録計 (EPR-2 T) ±5, 10, 25, 50, 100, 250, 500mV ±1, 2.5, 5, 10, 25, 50, 100V
最小目盛 感 度	フルスケールの 1/100 (2mm) 0.1 %	フルスケールの 1/100 (1.5mm)
精 度	フルスケールの 0.5%	
平衡速度	フルスケール 2 秒以内	フルスケール 0.3 秒以内 (300mm/s 以上)
記 録 紙	有効幅 200mm 1 巻 20m	有効幅 150mm 1 巻 20m
記 録 紙	10, 20, 50mm/M 3 段	20, 60, 180mm/M 20, 60, 180mm/H 6 段
入力抵抗	50 K $\Omega$	不平衡時 1 M $\Omega$ 以上, 平衡時 2 M $\Omega$
電 源	交流 100V 50 および 60c/s 消費電力 40VA	交流 100V 50 および 60c/s 電池使用の場合 単一乾電池 6 個 消費電力 交流の場合, 直流の場合とも約 1.5VA

## 5 A. R. T. による表面水温観測法

S-1 および S-2 A. R. T. について、現在行なっている観測法を述べるが、まずあらかじめ出測前に室内実験により水の温度を種々に変えて測定を行ない、対応する測得電圧（記録計電圧）を読み取り両者の関係である  $T-V$  曲線を作成する。実際の観測を行なったら、この  $T-V$  曲線を用いて測得電圧から水温を求め、更にこれに飛行高度による補正を行なって表面水温値としている。飛行高度は大体 1,000~2,000 ft で観測を行ない、ビーチクラフト機で 1 行動 4 時間程度の間 2 回程度 100~200 ft までの旋回降下を行なって、各行動ごとの高度補正值を出している。

海面上の大気温と水温の差が大きい場合は、A. R. T. による表面水温（海面の厚さ 0.01mm の層の表皮温度）と一般に言う表面水温（水深数センチメートルから数十センチメートルのところの水温）とは当然異なっていることが考えられるが、東北水産研究所の黒田博士の実験式によると、表面水温 20°C で気温が ±5°C 異なっておれば表皮温度は ±0.7°C だけ違ったものとなっていると発表されている。ただしこれはセスナ機による実験であるので比較的平穏な天気の日ばかりの実験であり、水路部において、セスナより大型のビーチクラフト機によって風の強い日に、海面荒れ模様状態における観測の測定値に対して適応できるかどうか疑問である。

なお、飛行高度による補正は、同水産研究所では一律に 1,500ft について +0.3°C とされているが、これはのちに述べるが水温と気温の差にかなり左右され、まちまちの値となっており、一概に (+) ではなく、気温が水温より高い場合は (-) を取ることもあり、襟裳岬沖で夏期に 1,000 ft について -0.5°C という補正值を得たことがある。この飛行高度による補正数は、測定部の集光レンズの焦点距離その他にも関係するもので、測定部が異なれば違ったものとなる。東北水研の場合は測定部にパーズ社のラジェイションサーモメータ PRT-4 型である。

以下に A. R. T. による水温観測法について順を追って説明してゆく。

1)  $T-V$  曲線の作成

Fig. 7. に示した  $T-V$  曲線は、S-2 A.R.T. のもので、 $12^{\circ}\text{C}$  から  $20^{\circ}\text{C}$  の範囲にわたって図示したものである。温度と電圧は大体直線的な関係になっている。同図でわかるとおり、検定のたびにカーブが多少ずれているが、この主たる原因は測定部に起因するもので、周囲温度の変化その他測定条件の変化である。もともと測定部は精度  $1.2^{\circ}\text{C}$  の測定器であって、周囲温度の  $2^{\circ}\text{C}$  から  $41^{\circ}\text{C}$  の変化および電源周波数の  $\pm 1.3\text{c/s}$  の変化などに対して、測得値の誤差が最大  $\pm 1.2^{\circ}\text{C}$  以下ならば合格としてパーンズ社が販売している製品である。これでは海洋観測の測器として使用するに精度が今一步足りないのので、測定誤差をより小さくして測定精度を上げるために、観測直前に検定を行なってその都度  $T-V$  曲線を作成して観測に使用するようになっている。幸いにして、 $T-V$  曲線の変動はおおむね平行移動をしており、ゆえに1回の観測についての相対的な温度としてはかなりの正確さを持つ訳で、検定に際しても1回の検定については Fig. 7. のようなカーブから余り離れた測定値は出ず、かなりよくカーブに乗っているものである。

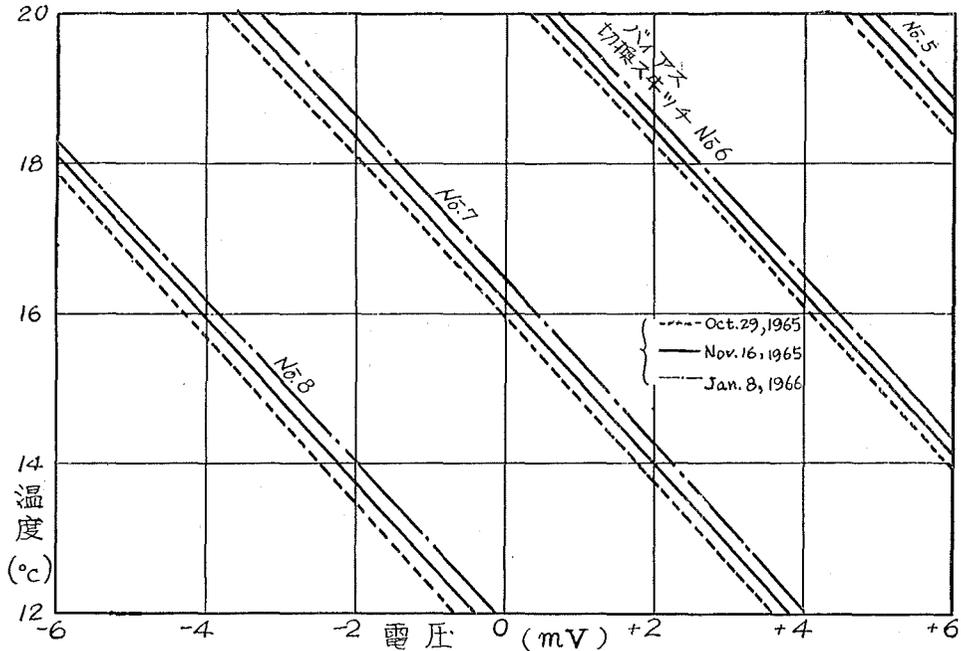


Fig. 7.  $T-V$  Curve (Temperature-voltage relation).

実際の検定作業は、バケツまたはバットに水を吸み、その直上に測定部をセットし、測定海域の予想水温にしたがって適当な温度範囲についての測定を行なう。水温を上げたり下げたりするのは、熱湯および氷で行なう。水面と測定部の距離は  $30\text{cm}$  から  $1\text{m}$  くらいの適当な距離が良いが、指向角度  $3^{\circ}$  の視野より水面が広いことが必要である。実験によると、測定部の位置は水面上数  $\text{cm}$  から  $2\text{m}$  まで変化させても測定値の変動は無視できる程わずかなものであった。なお、検定に当たってはバケツの水は十分にかき回しながら記録計の電圧を読み取ってゆくことが必要である。また電源周波数の影響は、S-1 A.R.T. では  $\pm 0.5\text{c/s}$  の変動で  $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$  の変化、S-2 A.R.T. では  $\pm 1.0\text{c/s}$  の変動で  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$  の変化がそれぞれ測得値に現われた。これはインフラレッドサーモメータの性能の違いによるもので前者のは IT-2 型で、後者のものは IT-3 型で、両者とも価格は同じであるが、後者のほうが改良型で性能が向上しているものである。

なお管制器のバイアス電圧発生回路の電源に 1.3mV, 850mAH の水銀電池を使用しており、消費電流は 0.6mA であるが、これの電圧降下に注意する必要がある、これを知るには管制器のバイアス電圧切り換え用ロータリースイッチを「電池」のところに合わせ、出力の(-)側と入力(-)側との間に水銀電池の電圧が現われるので、これを記録計で測定するとよい。なお出力側(-)点がこの場合は(+)の電位となっている。検定に先立って水銀電池の電圧を測るが、電圧が負荷をかけた状態で 1.28V 以下なら取り換える。新しい電池にに取り換えたなら十数時間電流を消費させた後に検定を行なう。検定後  $T-V$  曲線を作成したら、検定時の気温、前記の水銀電池電圧その他参考条件を記録しておく。検定時の気温は、観測海域の飛行予定高度における気温を予想し、この温度と同一温度に室温を保って検定を行なえば理想的である。航空機上では  $T-V$  曲線を使って電圧から水温を求めるより、換算数表を作ってこれによって水温を求めるほうが容易である。

## 2) 観測作業

観測作業は最低2名の人員を要し、計器類のウォッチ、観測記録紙への記入、測得電圧からの水温換算および海面上における潮目その他の目視観測等を分担して作業するものである。観測飛行高度は、観測値の精度上は低い程良いが、低空飛行は機体の動揺が激しいことが多く、また安全飛行のうえからも余り好ましくないもので、現在はビーチクラフト機で 1,000~2,000 ft 間の適当な高度を採用し、同一高度で1行動分の観測を終わることを原則としている。高度補正値を求めるために1行動に2回程度は 100~200 ft まで降下を行なっている。観測記録紙の記入欄としては、現在は、5分ごとに時間、位置、飛行高度、測得電圧、換算温度、高度補正値、補正済水温の欄を作ってあり、その他電源周波数、インフラレッドサーモメータのパネル面の水温値の概略値を記入する欄および記事欄を設けている。飛行中に位置を除いてその他の欄は全部機上で記入し、位置だけは帰投後において、航空図上において5分ごとの時間で分割して出しているが、飛行中、島や岬等を通過した際の時間を秒単位で正確に記入しておけばより正確な位置を出すことができる。なお今まではロランを積載していない飛行機で観測するのがほとんどであったため、島や岬のない沖合での観測の位置は、特に風の強い場合にかなり不正確なものしか得られなかったが、当庁においてもおいおいとロランを積載しているので、航跡の決定で苦心することもしだいになくなるであろう。

気流状態の良いときの観測では、飛行高度が絶えず数十フィートも変動を行なうので、そのような時には特に読み忘れのないように高度計によって飛行高度を5分ごとに記入する。測得値の高度補正の材料にするものである。また、操縦席に外気温度計があるので、飛行中の外気温度を読み取って記入しておけば、資料整理に当たって水温値の不審なものを検討する時の参考に供することができる。その他、観測中注意を要する点は、電源周波数の変動を監視し、変動があれば遅滞なくインバータの所定のつまみにより 60c/s に調整することと管制器の零点を見るための所定のスイッチを入れてしばしば零点のチェックを行なうことが必要である。

なお、観測海域に船舶による水温観測があれば、その船舶のデータをのちに入手するか、またはその場で無線により入手すれば重要な参考資料となる。

## 3) 測得値の飛行高度による補正

飛行高度によって同一地点の測得水温値がどのように変わるかその実例を Fig. 8. に示す。一般に気温(海面と航空機間の大気温度)が表面水温と比較して同程度または低い場合は、飛行高度が高くなるにしたがって測得温度、つまり見掛け温度はだんだん低くなっている。逆に、真夏の親潮海域のように表面水温は低く気温は高いという場合は、飛行高度が高くなるにつれて見掛け温度はだんだんと高くなっている。これらは大気の熱放射が影響しているものである。Fig. 8. におけるおのおのカーブの水平に対する傾斜の度合が大きい程、飛行高度による補正数が大きくなるが、この傾斜度合は海水温度、海面と航空機間の大気温度および湿度な

らびに炭酸ガスの量等に関係することが考えられるが、炭酸ガスの量は大体一定していると見なしてよいので、大体、水温、気温、湿度の3つの要素によって種々に前記 Fig. 8. のカーブの傾斜度合が決まると考えられる。この3つの条件の種々なる状態に対して数多くの実験飛行を行なって Fig. 8. のようなカーブを多数取ることができれば、実際の高度補正値を表わすカーブにかなり近いものを得ることができであろうが、このことは実際にはきわめて困難なことであって、現在は前に述べたように、その都度1行動ごとに巡回降下を行なって補正値を求めている。

なお、水温、気温および湿度によって大体見掛け温度と高度のカーブが決まると述べたのは、あくまで同一 A.R.T. の場合であって、測定部の集光レンズの焦点距離、指向角度および赤外線バンドパスフィルター等が異なっておれば、当然カーブは異なってくるのが考えられる。

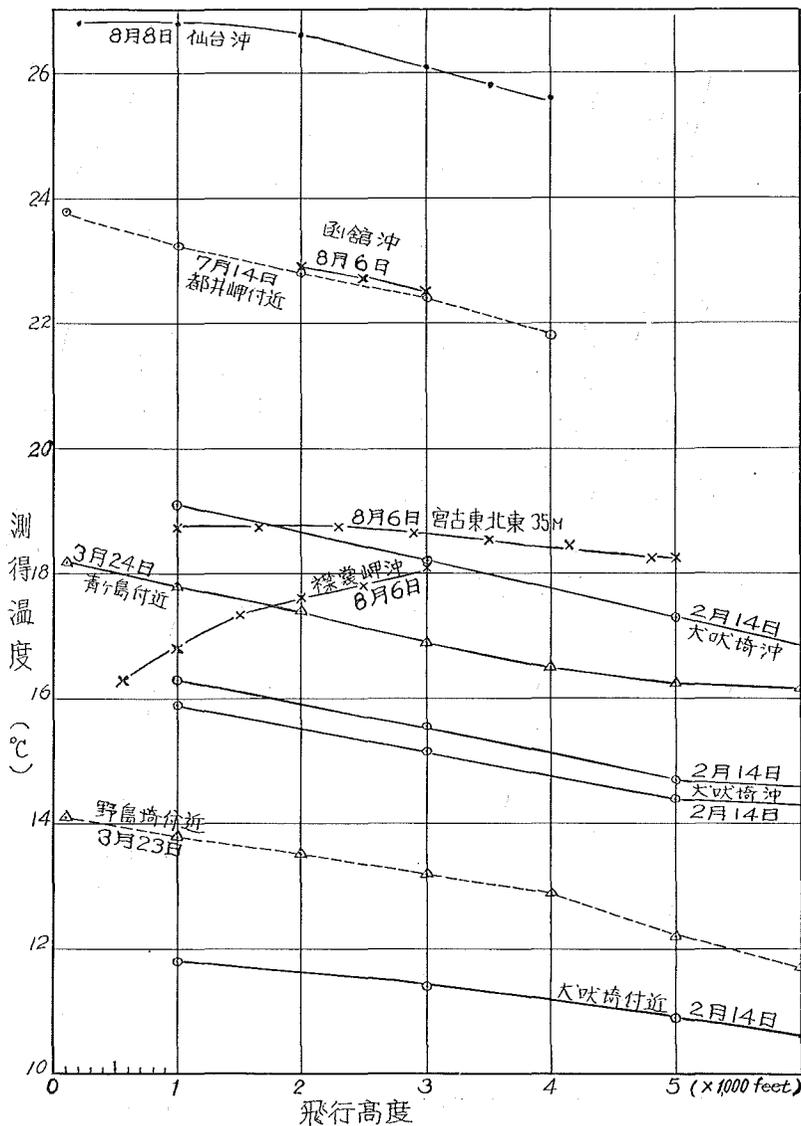


Fig. 8. Apparent temperatures as a function of flight altitude.



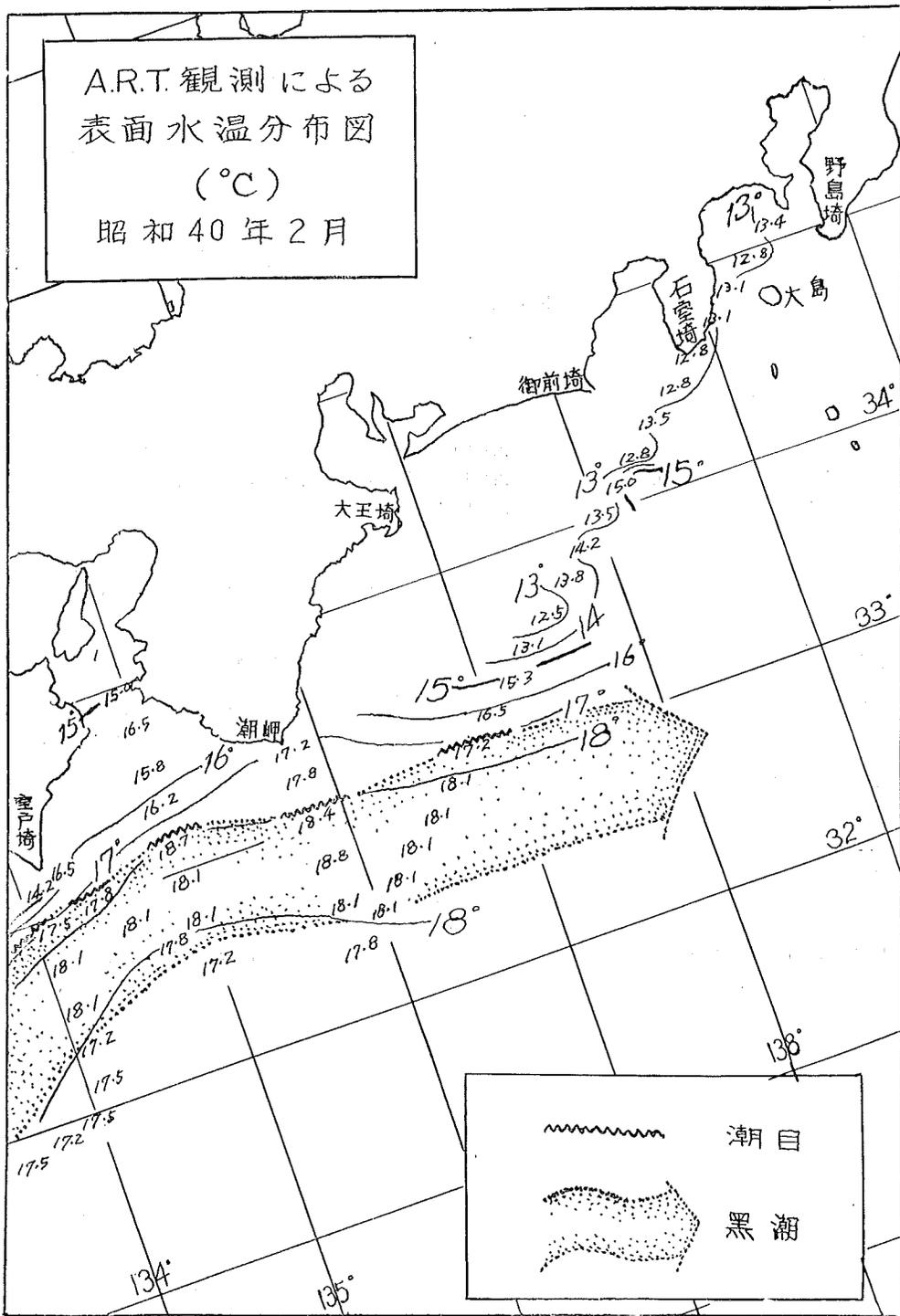


Fig. 10. Horizontal distribution of surface temperatures by A. R. T. measurements, Feb. 1965.

## 6 後記

以上 A.R.T. の概要と、これを用いて表面水温をどのようにして測定しているかについてそのあらましを述べてきたが、測定部に用いているバーンズ社製インフラレッドサーモメータ I T 型は、要するところ、海洋観測の表面水温測定用としては今一步精度のうえで不足しているの感をぬぐい切れないのであって、もっと精度の良い同社の製品 PRT-4 型を用いるのがよく、なお予算が許せば同じくバーンズ社の製品で最高級の航空ふく射温度計 14-322 型を使用すると、航空機による水温観測データとしては最も信頼できる値を得ることができるであろう。

価格について少し述べると、PRT-4 型は I T 型の 2 倍、14-322 型は I T 型の 20 倍である。三者の性能上の比較について、感度 (Minimum Detectable Difference) および確度 (Accuracy) をとってみると次のとおりになる。

測定部種類	感 度	確 度
I T 型	約 0.5°C	約 ±1.2°C
PRT-4 型	約 0.3°C	約 ±1.1°C (at -12°C), ±0.3°C (at 43°C)
14-322 型	約 0.1°C	約 ±0.5°C

なお、観測結果については、Fig. 9. および Fig. 10. にその例を示す。これらは同一時期に実施した観測によるもので、お互いに連続した海況を示すものである。

ここに報告を終わるにあたり、警救部航空管理官、第二・第三・第十管区海上保安本部およびそれらの航空基地の関係職員の御協力に対し厚く御礼申し上げるとともに、御指導を賜った庄司海象課長、笹森享氏（防衛庁技術研究本部第一研究所）および飯尾電機 K.K. の諸氏と、予算関係で御便達を賜った科学技術庁研究調整局岩田憲幸技官（現防災センター）、木村邦雄技官（現水産庁）の諸氏に対し深く感謝の意を表する次第である。

（海象課）

## 参 考 文 献

- Richardson, S. and Wilkins, H. 1958, "An airborne radiation thermometer" *Deep-Sea Research* Vol. 5.