



REPORT  
OF  
MARINE ECOLOGY RESEARCH INSTITUTE

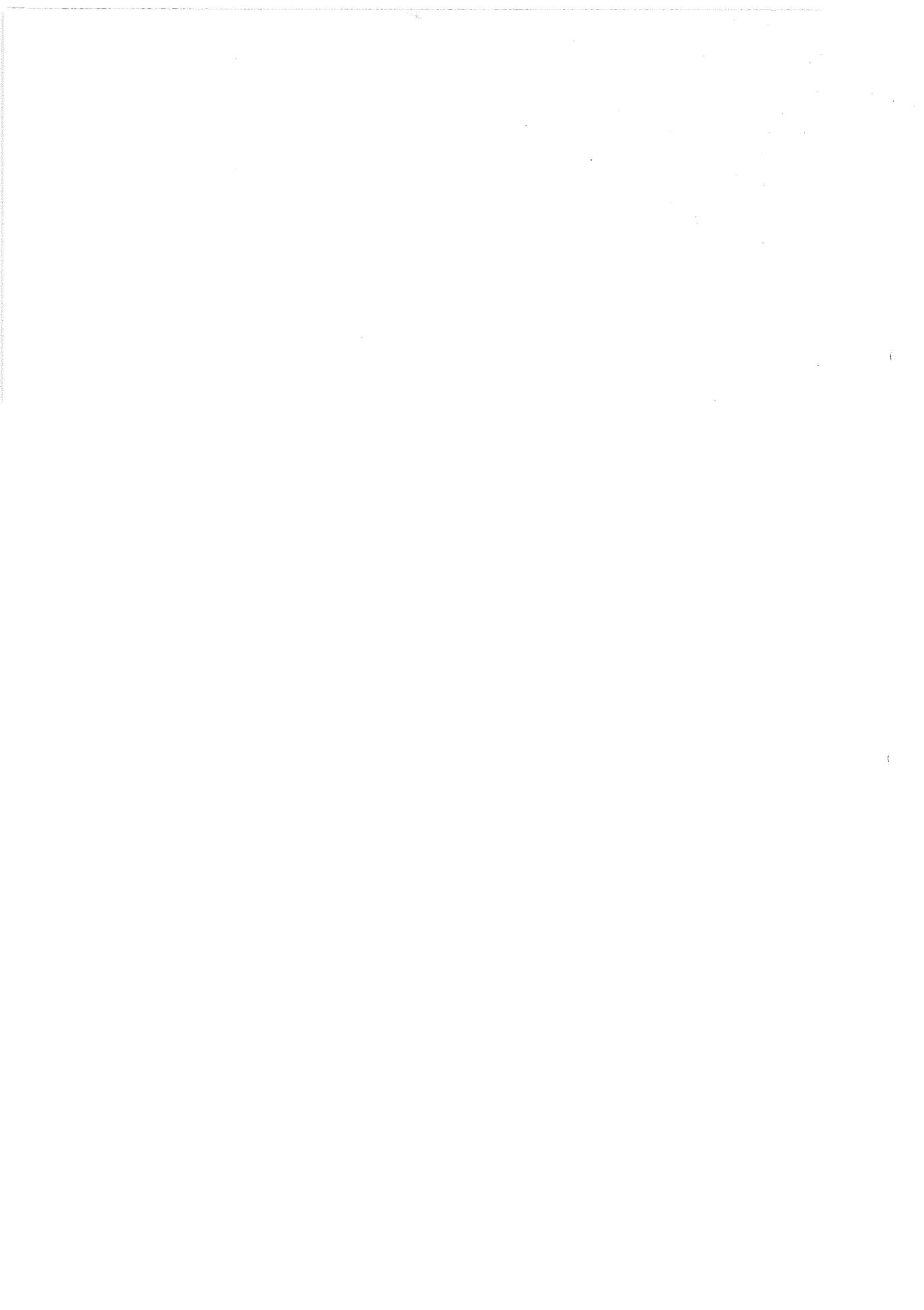
# 海洋生物環境研究所研究報告

No. 90301

## 航空機による赤外線温度測定の精度とシートルースの手法

平成 2 年 6 月

June, 1990



## 航空機による赤外線温度測定の精度とシートルースの手法

須藤 静夫

Accuracy of the Aerial Infra-red Temperature Measurements  
and Sea Truth Techniques

Shizuo Sudoh

Sudoh, S. (1990). Accuracy of the aerial infra-red measurements and sea truth techniques. *Rep. Mar. Ecol. Res. Inst.* No.90301 : 1 - 18.

**Abstract:** Aerial infra-red subsurface temperature measurements at about 4,000 to 5,000m heights and survey ship measurements using thermistors were carried out to study the diffusion of thermal water from power plants. In course of aerial measurements, sea truth data were obtained to convert digital voltage levels (256 levels) into water temperature and to correct the infra-red data for changes brought about by atmospheric phenomena.

Aerial data were compared with ship data. It was found that the standard deviation of differences between the subsurface temperatures measured by sea truth and the aerial measurement temperatures was about 0.5°C. It was also found desirable that water temperature measurement points be greater than 10 and the variance of temperatures by sea truth be more than 2 to minimize the error of aerial measurements.

**Keywords:** Infra-red temperature measurement, Sea truth, Thermal water diffusion.

須藤静夫 (1990) : 航空機による赤外線温度測定の精度とシートルースの手法. 海生研報告, No. 90301 : 1 - 18.

要約：航空機による高度約4,000~5,000mからの赤外線温度測定と調査船によるサーミスターを使用した温度測定によって、発電所から放出された温排水の拡がりを調査した。航空機による測定中には、デジタル電圧レベル(256レベル)を水温に変換するため、および大気中の諸現象に起因する赤外線データのいろいろな歪を補正するために、シートルースによるデータを取得した。

航空機によるデータと調査船によるデータを比較検討した。シートルースで得られた海面表皮温度と航空機による測定温度の差は、標準偏差で約 0.5°C であった。さらに、航空機による測定誤差を少なくするためには、シートルースによって10個以上の水温データを取得するとともに、取得された温度の分散が2以上になっていることが望ましいという知見が得られた。

キーワード：赤外線温度測定、シートルース、温排水の拡がり。

## 目 次

I. まえがき .....	3
II. 調査方法 .....	3
1. 調査海域 .....	3
2. 調査年月日と測定回数 .....	4
3. 測定方法 .....	5
III. 調査結果と考察 .....	6
1. 航空機と船による測定比較 .....	6
2. 航空機による測定精度の検討 .....	6
3. シートルースに関する測温条件 .....	11
IV. まとめ .....	17
引用文献 .....	18

## 図表目次

第1図 航空機による測定水温とシートルースによる実測水温の比較(A海域) .....	8
第2図 航空機による測定水温とシートルースによる実測水温の比較(B海域) .....	9
第3図 航空機による測定誤差 .....	10
第4図 実測水温( $W_i$ )とMSS出力レベル( $X_m$ )の関係 .....	12
第5図 測温データ数別、回帰直線の勾配変動量( $ \Delta a $ )と分散( $\sigma^2$ )の関係 .....	14
第6図 測温データ数別、回帰直線の勾配変動量( $ \Delta a $ )と分散( $\sigma^2$ )の関係 .....	15
第7図 分散( $\sigma^2$ )別、最大 $ \Delta a $ と測温データ数( $n/N$ )の関係 .....	16
第8図 測温データ数( $n$ )と分散( $\sigma^2$ )の関係 .....	17
第1表 A, B発電所の温排水放出に係わる主な諸元 .....	4
第2表 調査年月日と測定回数 .....	4
第3表 使用波長帯とMSSの主な性能項目 .....	5

## I. まえがき

従来、温排水の拡がりを把握する調査では、船を使用して水温を測定する方法を中心となっていた。しかし、1970年代頃から航空機に搭載した赤外線放射温度計(Infra-red Radio Thermometer)を用いて、極く表面近くの厚さ20~30ミクロンにおける温度を測定する方法(IRT測定)が取り入れられるようになり、また最近では人工衛星によって取得される熱赤外像の利用が検討されるようになってきている。

IRT測定から得られるデータは、表皮水温(Skin water temperature)に依存した相対温度であって、これを現場温度(In situ temperature)に変換するためには船上からの水温測定(シートルース；Sea truth)が必要となり、この場合には何段階かのデータ処理を経た後に、最終的な等温線図ができあがる。そのため、航空機を使用して温排水の拡がり調査を行う場合には、測定誤差の程度を検討しておくことが、得られた結果を評価するうえで大切である。そこで、温排水調査の一環として当研究所がこれまでに実施してきた各種データのうちから、航空機と船によってほぼ同時に測定した温排水の拡がりに関するデータを比較検討することにより、航空機による測定に伴う誤差について若干の知見を得たので報告する。

なお、報告原稿を校閲していただいた東海大学教授杉森康宏博士に対し謝意を表するとともに、当研究所深滝弘前所長\*ならびに、調査に従事した当研究所の各位にお礼を申し上げる。

## II. 調査方法

### I. 調査海域

2つの海域で調査を実施した。そのうちの1つは日本海に面して建設されているA発電所の前面海域(以下、A海域と呼ぶ)であり、他の1つは太平洋に面して建設されているB発電所の前面海域(以下、B海域と呼ぶ)である。また、両発電所の温排水放出に係わる主な諸元は第1表のとおりである。

注) この報告のなかで使用したデータは全て水産庁から当研究所に委託された調査の際に得られたものである。  
\*現在：(財)海洋生物環境研究所 研究参与

## 2. 調査年月日と測定回数

調査年月日および航空機と船によるそれぞれの測定回数は第2表に示したとおりである。なお、測定回数とは、航空機の場合では1機を用いて異なる時間帯に所定の海域全体を測定した回数であり、また船の場合は、数隻を用いて異なる時間帯に同海域を測定した回数である。A海域では合計30回の航空機による測定と20回の船による測定を実施した。また、B海域では16回の航空機による測定と4回の船による測定を実施した。

第1表 A, B発電所の温排水放出に係わる主な諸元

項目	A発電所		B発電所		
	1号	2号	1号	2号	3号
電気出力 (万kw)	117.5	117.5	110	110	110
冷却水量 (m³/sec)	71	71	77.3	77.6	78.0
設計水温上昇幅 (°C)	7.5	7.5	7.0	7.0	7.0

第2表 調査年月日と測定回数

調査年月日	A海域での測定回数		B海域での測定回数	
	航空機	船	航空機	船
1979. 3. 16	2	2	1982. 6. 10	4
1979. 3. 19	2	1	1982. 6. 11	—
1979. 8. 23	—	2	1982. 10. 1	3
1979. 8. 31	—	2	1982. 10. 3	1
1979. 9. 6	3	—	1983. 9. 23	4
1979. 9. 8	3	—	1985. 1. 18	2
1980. 3. 17	3	—	1985. 8. 2	2
1980. 3. 19	3	—		
1980. 7. 28	2	3		
1980. 8. 2	—	3		
1980. 8. 5	—	3		
1980. 8. 12	2	—		
1980. 8. 13	3	—		
1980. 8. 24	3	—		
1981. 8. 3	4	2		
1981. 8. 4	—	1		
1981. 8. 7	—	1		
	計30	20		
			(当海域では調査船による沿岸近くの測定が困難であるため、1982年10月調査以降、船による測定を中止した)	

### 3. 測定方法

#### 1) 航空機による測定

航空機にはMSS(マルチ・スペクトル・スキヤナー; Multi-Spectral Scanner)を搭載して、高度4,000~5,000mから調査海域の表皮水温の情報を取得した。測定開始から終了までには5~10分間を要した。使用した波長帯等とMSSの主な性能項目に関する諸値は第3表のとおりである。

第3表 使用波長帯とMSSの主な性能項目

項目	A 海域	B 海域
使用機種	JSCAN-AT-12M	DS-1250
使用波長帯	8~14μm	8~14μm
測温可能範囲	-20~80°C	-10~45°C
瞬時視野	2.5ミリラジアン	2.5ミリラジアン
走查角度	80度	77度
走査回数	80回/秒	80回/秒
スキヤナーの分解能	± 0.2°C	± 0.2°C

#### 2) 船による測定

##### ① 温排水の拡がり測定

高感度サーミスタをとりつけた鉄パイプを調査船の舷側に固定し、船速を4~5ノットの範囲内で一定に保ちながら航走することによって、サーミスタからの出力電圧をアナログ記録した。なお、感温部の深さは、波静かな港内で水深0.1mおよび0.5mとしたが、測定中は船の揺れ等で測定水深に多少の変化が生じた。A海域では6隻、B海域では5隻の調査船を同時に使用して所定の測温コースを航走するという原則で測定を開始し、航走中の温度記録の状態から、適宜コースを変更したり、あるいは新たにコースを付加することによって、温排水の拡がり域全体をカバーできるようにした。測定開始から終了までに概ね90~170分間を要した。この測定によって得られたデータから、温排水の拡がり状況を把握した。

##### ② IRT測定に対応したシートルース

IRT測定と対応する時間に、①の測定を実施しながらET-5型電気水温計を用いて、可能な限り多くの測点で海面下極く表層における水温測定を実施した。この値を、IRT測定による相対温度を現場温度に変換するためのシートルースデータとした。

### III. 調査結果と考察

#### 1. 航空機と船による測定比較

第2表に示した測定のうち、航空機によるIRT測定と船による測定を同時に実施することができた事例がいくつかあった。ただし、1回の測定に要する時間が両測定で大きく異なることから、船による測定が開始されてから終了するまでに、航空機による測定が2回実施された場合もあった。そうした場合には、航空機による2回の各測定結果と、船による同一の測定結果を対応させて2例とした。A海域の測定では、1979年3月16日、3月19日、1980年7月28日と1981年8月3日に実施した調査から、合計8例のデータが得られた。また、B海域では、1982年6月10日実施の調査から3例のデータが得られた。

航空機と船によって得られた温排水の拡がり等に関する調査結果から、両測定の長所、短所を総合的に整理すると一般的に次のようなことが言えよう。

- ① 航空機による測定から得られる温度分布は海面表皮に限られているのに対し、船による測定では同時に多層の水温分布を得ることができる。
- ② 航空機による測定では、測定所要時間が船によるその数10分の1から数分の1程度であり、また面としての連続的なデータが取得できる。したがって、前者からは短時間内に詳細な温度分布の情報が得られるのに対して、後者の場合では時間的に歪んだ温度分布となる。
- ③ 温排水が特異的な拡がり方をしている場合、航空機による測定ではこれを詳細に表示することができるのに対して、船による測定ではデータが連続性に欠けることから、等温線を引く際に測温コース間の内挿に関する判断力が必要となる。
- ④ 航空機によるIRT測定と併行して正確なシートルースの実施が必要である。IRT測定とシートルースを同時に実施するためには、空と海の状態がそれぞれの測定に適していることが不可欠であり、船のみを使用する場合よりも測定条件の制約が厳しくなる。さらに、大気の減衰効果(Atmospheric attenuation effects)等に関する各種の補正が必要であり、これらが温度精度に大きな影響を及ぼす危険性を伴う。

#### 2. 航空機による測定精度の検討

IRT測定により収録されるアナログデータは、海面の厚さ20~30ミクロンにおける水温に相対的な信号であって、これを現場水温に変換するためには正確なシートルースが

必要になる。そのため、現地の測定およびデータ処理過程で使用される機器の精度のほか、大気と海の不確定要素に起因するものも最終的な誤差に関与すると考えられる。このうち、主な使用機器は一般的に次のような誤差をもっている (National Field Investigations Center, 1975)。

### 1) 使用機器の精度に起因する誤差

- ① 航空機に搭載されるスキャナーによって得られる画像には $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 程度に相当するノイズが含まれている ( $\Delta t_1 = \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ )。
- ② シートルースで一般的に使用される水温計の精度は $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 程度である ( $\Delta t_2 = \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ )。
- ③ スキャナーで収録されたアナログデータを電子計算機用のデジタルデータに変換する際に伴う A/D 変換誤差は $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 程度である ( $\Delta t_3 = \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ )。
- ④ デジタル・コンピュータによって画像処理を行う場合に伴う誤差は $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 程度である ( $\Delta t_4 = \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ )。

したがって、使用機器の精度に起因する全誤差 ( $\Delta t$ ) は次のようになる。

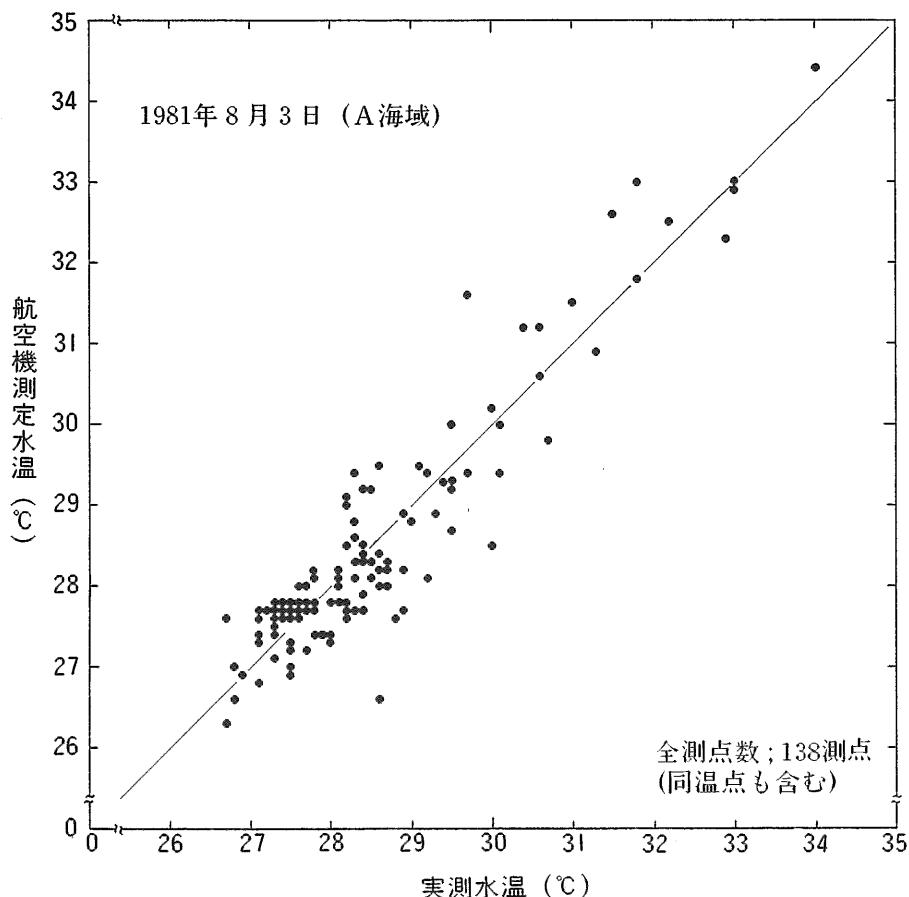
$$\Delta t = \pm \left[ \sum_{i=1}^4 (\Delta t_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\approx \pm 0.3^{\circ}\text{C}$$

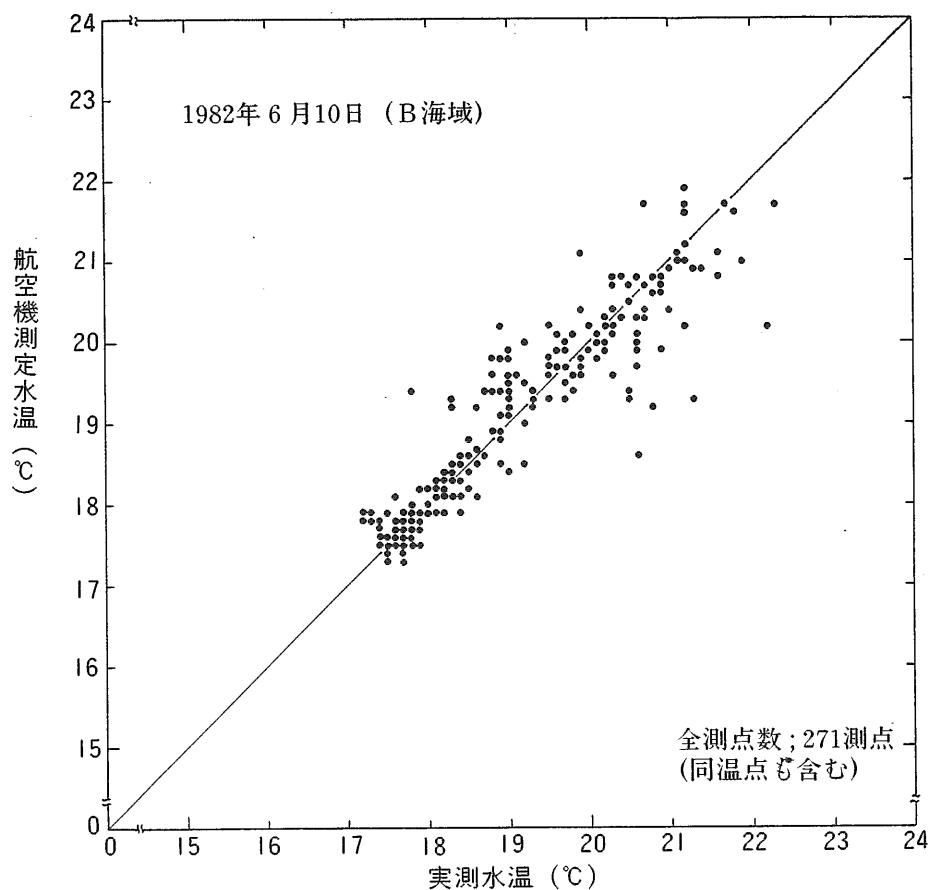
### 2) 不確定要素に起因する誤差を含む総合精度

最終的な精度はこの  $\Delta t$  ( $\approx \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ ) に不確定要素による誤差が加わったものである。この不確定要素による誤差に原因する主なものとして、大気の減衰効果、海面の静穏度に依存する海面直下の温度勾配の状態等が考えられる。大気の減衰効果に対しては、できる限り多くの点で正確なシートルースを行うことにより、これに伴う誤差を小さくすることが可能である。一方、海面直下の温度勾配については、海上が極めて静穏である場合には、その時の海面での熱収支関係から、海面下 2 ~ 3 mm 以内で強い温度勾配を生じることがあると言われている (木村, 1969; 渡辺, 1969; Madding et al., 1975)。このような海面直下における温度変化が、IRT測定によって得られる相対的な表皮水温の相違につながる。したがって、むしろ放水口の近くではその周辺よりも IRT測定による情報は正確であるとされている (Madding et al., 1975)。

第2表中、A海域では1981年8月3日、B海域では1982年6月10日の測定データに基づいて、シートルースによって得られた水温と、航空機による測定から求められた水温との比較を行った。A海域における138測点の比較を第1図に、B海域における271測点の比較を第2図に示した。いずれの場合でも、1:1ラインの両側にはほぼ均等にプロットされた。これらの値を使用して、シートルースによって得られた水温と航空機による測定から求めた水温との差の頻度分布(正規分布)から、誤差を推定した結果が第3図である。両海域の場合とも、 $1\sigma$ (68%)でおよそ $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ となった。

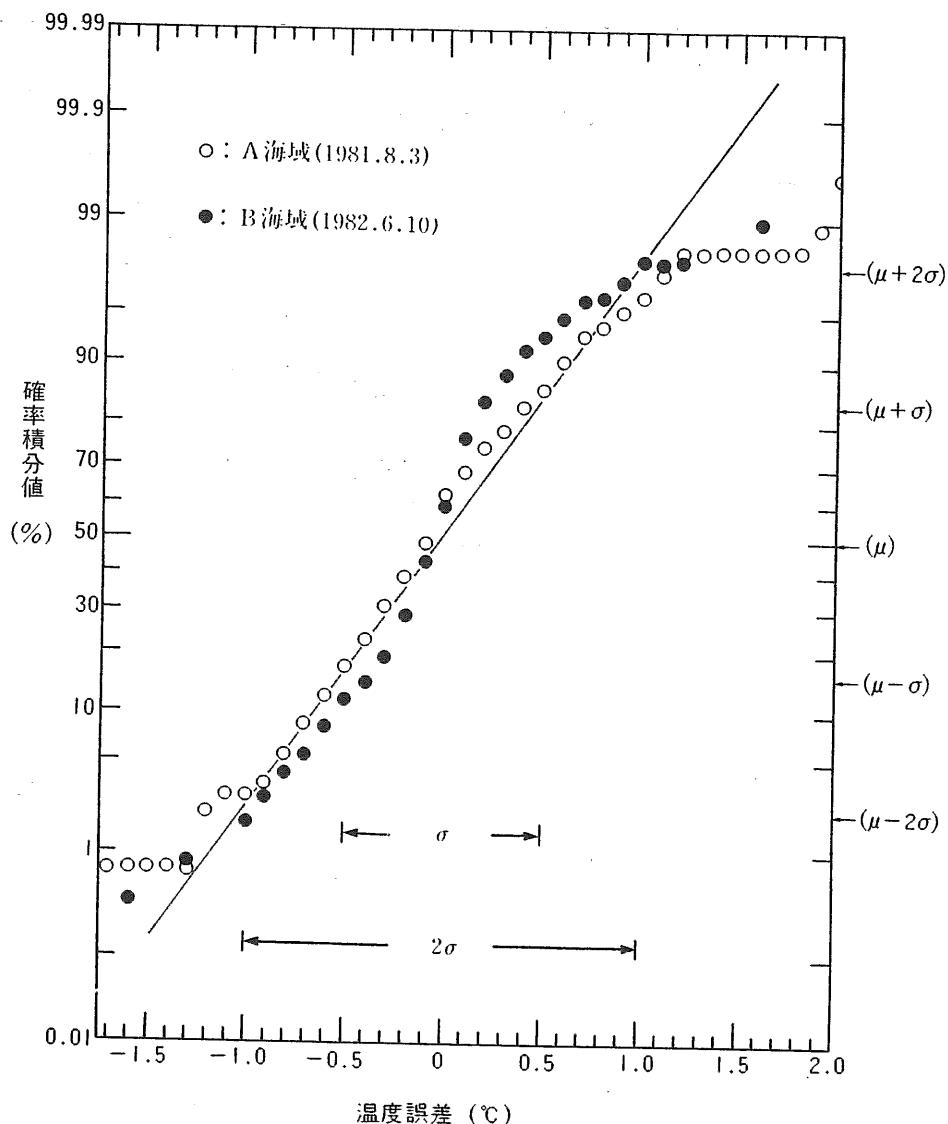


第1図 航空機による測定水温とシートルースによる実測水温の比較(A海域)



第2図 航空機による測定水温とシートルースによる実測水温の比較(B海域)

この点に関しては、いくつかの報告がある。Saunders(1967, 1970)は、走査角度(0~60°)に対して正確な補正を行えば、高度300mでは±0.2°Cまで精度を上げることができると述べている。Madding et al. (1975)は、8~14μmの波長帯を使用して、米国ウィスコンシン州のポイント・ビーチ原子力発電所からの温排水の拡がりを調査し、サーミスタ水温計を使用したシートルースと、航空機による測定から求めた水温値との間の差は0~±0.7°Cであったと報告している。Bland et al. (1977)は、米国フロリダ州のビスケイ湾(Biscay bay)等において、8~14μmの波長帯のIRT測定を使用した温排



第3図 航空機による測定誤差

水調査の結果から、一般に高度2,000ft(約609m)からの探査では、 $\pm 0^{\circ}\text{C}$ の精度で表皮水温を測定することが可能であると述べている。さらに、Schott(1977)は、米国ニューヨーク州のダンスカマー発電所からの温排水域の内外に8定点を設けて、そこに船を固定

してサーミスタ水温計と放射温度計を使用したシートルースを行い、放射温度計による表皮水温と、IRT測定から求めた計算値とを比較した。両者の差の絶対値は平均 $0.39^{\circ}\text{C}$ で、 $\sigma = \pm 0.33^{\circ}\text{C}$ であったと述べている。

これらの報告例と先に示したA, B両海域における比較結果とを総括すると、現時点においては、航空機による測定に基づいて画かれた等温線の精度は $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 程度であるとして取り扱うことが必要であろう。

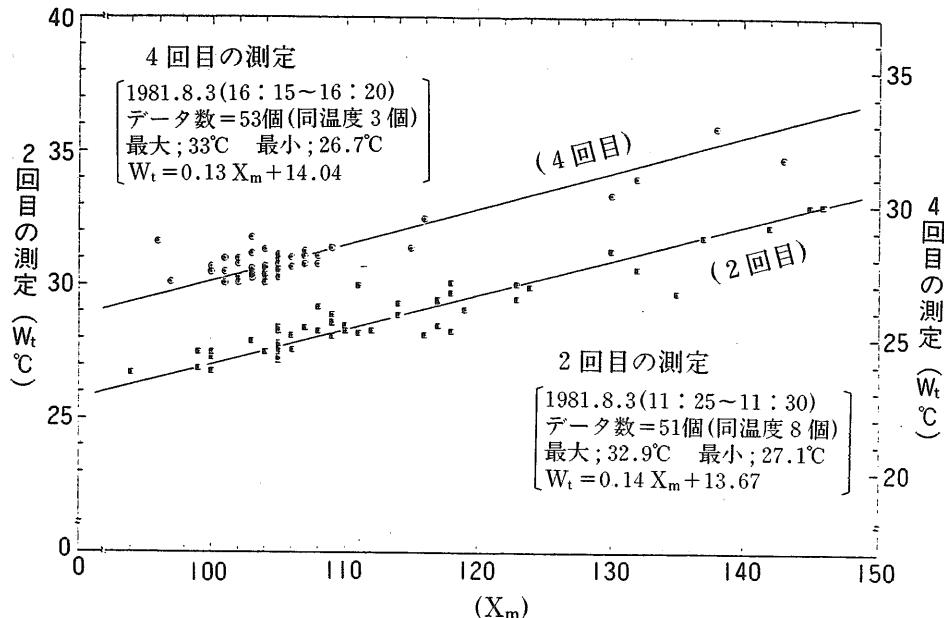
### 3. シートルースに関する測温条件

前述のとおり、航空機を使用した水温測定では $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 程度の機械的誤差が常に伴う。また、調査時の大気や海の状況等によっても各種の系統的誤差、偶発的誤差が発生する。したがって、精度の良いデータを得るためににはこれらの誤差を極力小さくするように測定条件を設定することが必要である。そこで、シートルースに関する水温測定条件の合理的な設定について検討した。

IRT測定によって得られたアナログデータは、データ処理過程のなかで、最大から最小までの密度に対して 256段階の出力レベルにデジタル化される。すなわち、これらの出力レベルは相対的な水温を表している。次に、シートルースで明確となっている位置の水温に対して、その位置における出力レベルを対応させる。本調査の場合には、六分儀と電波測位機を併用して測定したシートルースデータに対して、地形補正を行うことによってシートルース使用図面と縮尺を同じにした画像処理から、IRT測定データを対応させた。これによって、実測した水温と出力レベルとの関係を得た。この関係には通常、近似値として一次式が適用される。

第4図はA海域において1981年8月3日に実施した2回目の測定(11時25分～11時30分)と4回目の測定(16時15分～16時20分)から実測水温と出力レベルとの関係を示したものである。この時のシートルースによる測点数は6隻の調査船を使用して、2回目の測定では51点(同温点8点を含む)の測温を行い、このうち最高は $32.9^{\circ}\text{C}$ 、最低は $27.1^{\circ}\text{C}$ であった。また4回目の測定では、53点(同温点3点を含む)の測温を行い、その最高は $33.0^{\circ}\text{C}$ 、最低は $26.7^{\circ}\text{C}$ であった。これらのデータから決定された回帰直線式(第4図)をIRT測定より得られた全部の出力レベルに適用した。したがって、この回帰直線式の精度が最終的に画かれる等温線の精度に大きく関係することになる。

ここで、1回のIRT測定時間(5分前後)内にシートルースによって測定可能な測点数

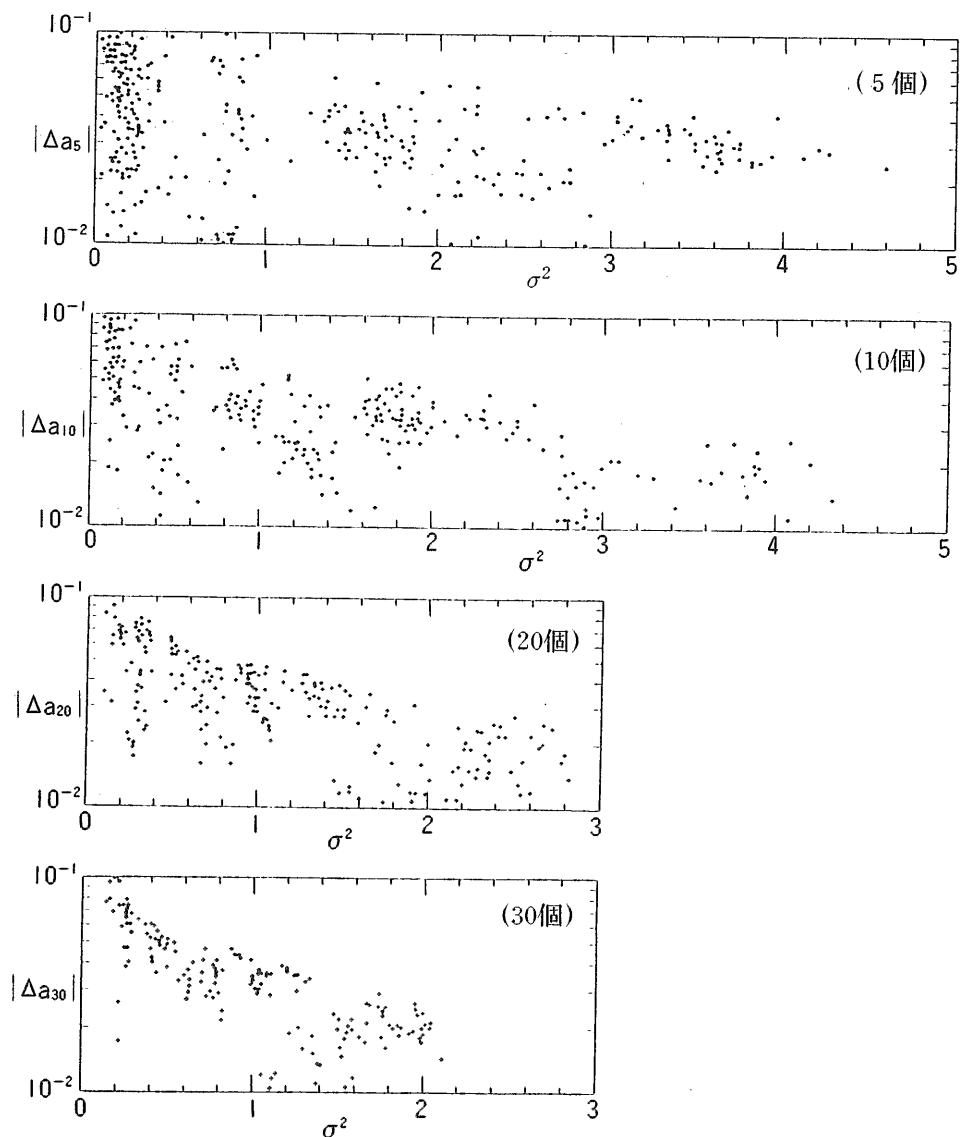


第4図 実測水温( $W_t$ )とMSS出力レベル( $X_m$ )の関係

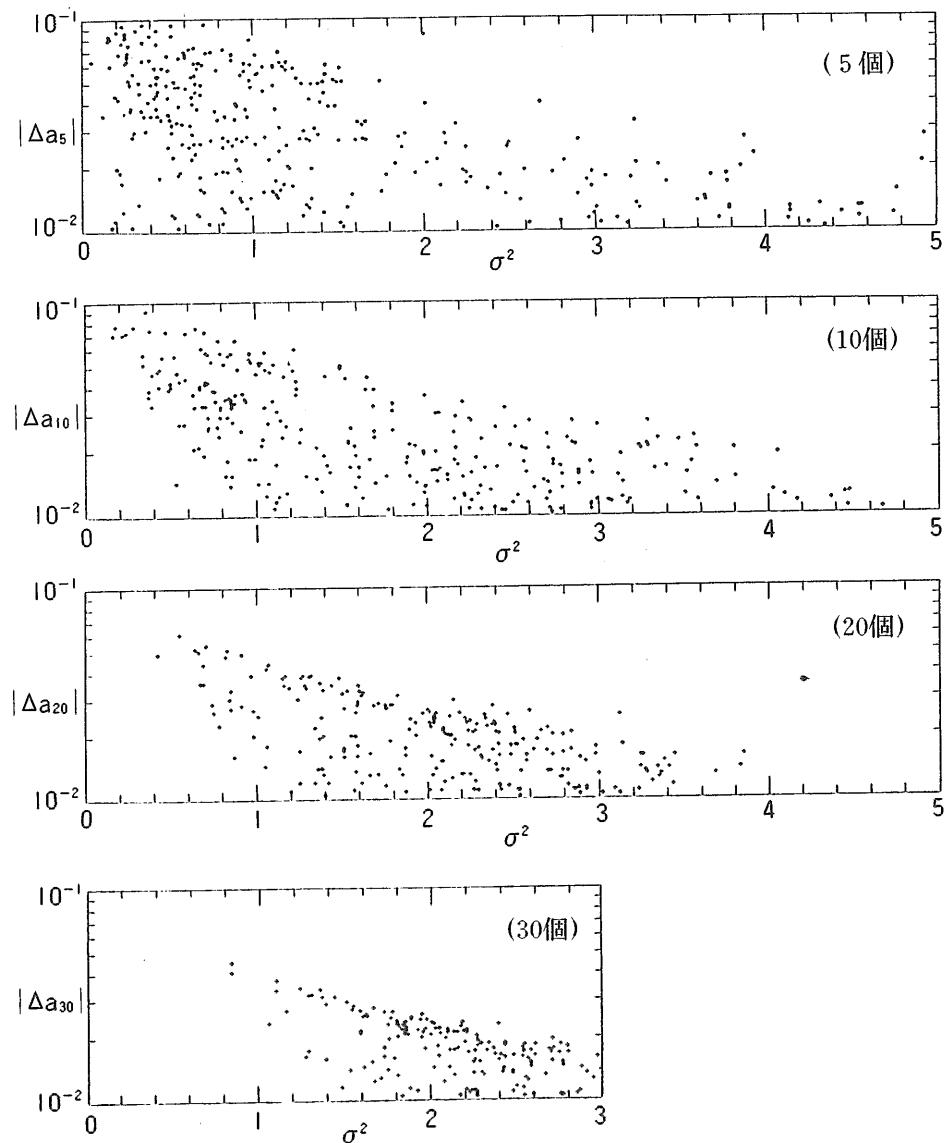
について考える。位置の測定→水温測定→測点間移動の1サイクルに対して、最小でも30秒前後が限度であろう。こうした場合に、1船であれば5分間に約10測点における水温測定が可能である。普通、航空機を使用して温排水の拡がり調査のみを行う場合には、シートルース用として1船のみを使用することが多い。いま仮に、同時に5船を使用して50測点における水温を測定したとする。通常行われているシートルースの場合、費用等を考慮すると、この程度の水温データを備えるのが努力限界であろう。また、温排水を対象とした場合には、実質的に測定できる水温幅は5～6°Cである。小数点以下1桁まで正確に測定できる水温計を使用すれば、最高50～60段階の水温を取得することが可能となるが、実際の測定からこれだけの異なった水温を取り出すことはほとんど不可能である。これらのことから、実際上のことを考えると、1回の測定に対して、同温点も含まれていると考えられる50測点前後のデータから決定された回帰直線が、現状ではIRT測定データを最も高精度で現場水温に変換できる可能性をもっているとしなければならない。

以上のような前提に基づいて、A海域における1981年8月3日の2回の測定値（第4図）から次のような計算を行った。第4図のなかの2回目の測定(11:25~11:30)によって得られた51個のデータをベースとして、これらの中からランダムに抽出した5個の水温を1組として、これらを500組取り出し、各組ごとに回帰直線と温度の分散( $\sigma^2$ )を計算した。得られた回帰直線の勾配( $a_5$ )と基礎データ(51個のデータ)をもとにしたときの勾配( $a_{51}=0.14$ )との差の絶対値 $|a_5 - a_{51}|$ を $\sigma^2$ に対してプロットした。これは、1回のIRT測定に対して、シートルースによる水温データが5個しかなかった場合に、5個のデータから求めた回帰直線の勾配が温度の隔たり具合(分散)によって、現状では最も高精度であるとした回帰直線の勾配とどの程度相違するかを推定したものである。

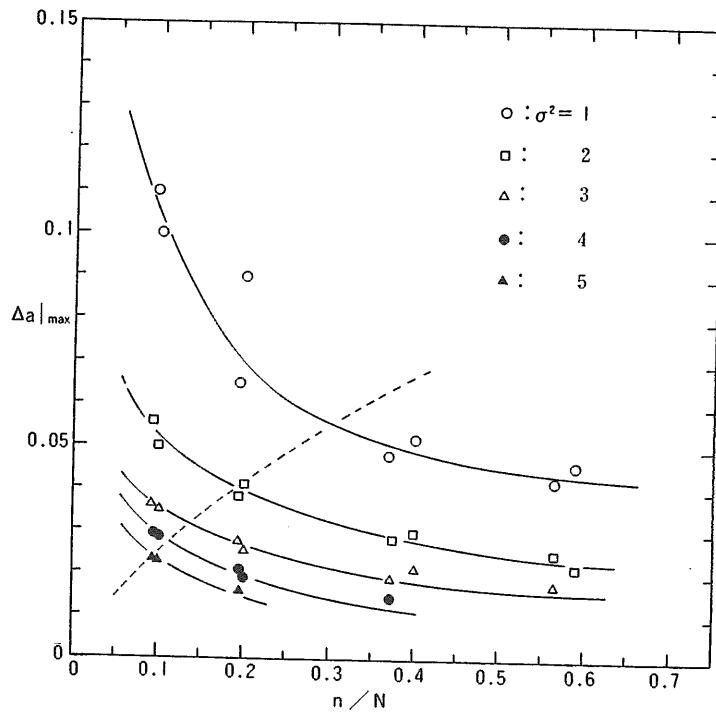
同様に、10個(400組)、20個(300組)、30個(200組)を取り出した場合についても計算した。また、第4図のなかの4回目の測定(16:15~16:20)によって得られた53個のデータを用いた場合についても同様の計算を行った。第5図は前者のデータ(51個)を、第6図は後者のデータ(53個)をベースとして計算した結果である。差(縦軸の値)が $10^{-2}$ 以下になる値、および $10^{-1}$ 以上になる値(この値のほとんどは $\sigma^2 < 1$ の範囲にある)については、これらの値の表示を割愛した。したがって、プロットされている点の個数は取り出した組の数よりも少なくなっている。計算結果が示すように、1組のデータ数( $n$ )、および分散( $\sigma^2$ )が大きくなるほど、勾配の差は当然のことながら小さくなる。そこで、これらの結果から推定される勾配の差の最大値( $|\Delta a|_{\max}$ )と、 $n/N$ ( $N=51, 53$ )で表した測温データ数との関係を、 $\sigma^2=1, 2, 3, 4, 5$ について示したものが第7図である。この関係から、 $\sigma^2 < 2$ である場合には、測温データの数が多くても誤差が大きくなる可能性の度合が、 $\sigma^2 \geq 2$ に比べてかなり高くなることがわかる。したがって、 $\sigma^2 \geq 2$ となる水温データを取得することが望ましい。また、たとえ分散の大きい水温データを備えたとしても、水温データの数が少なければ誤差が大きくなる可能性の高いことをも示している。さらにこの関係から、誤差の急増する位置(水温データの数)が分散によって異なることがわかる。この位置を第7図中に破線で示した。この破線と各曲線との交点における水温データの数( $n$ )を求め、この値と分散との関係を示した結果が第8図である。第8図は、通常の方法でシートルースを行う場合に生じる大きな誤差を避けるのに必要と考えられる水温データの数と、それらのデータが備えておくべき温度幅(分散)との関係を示したものである。因に、両者の関係は概ね、



第5図 測温データ数別、回帰直線の勾配変動量( $|\Delta a|$ )と分散( $\sigma^2$ )の関係



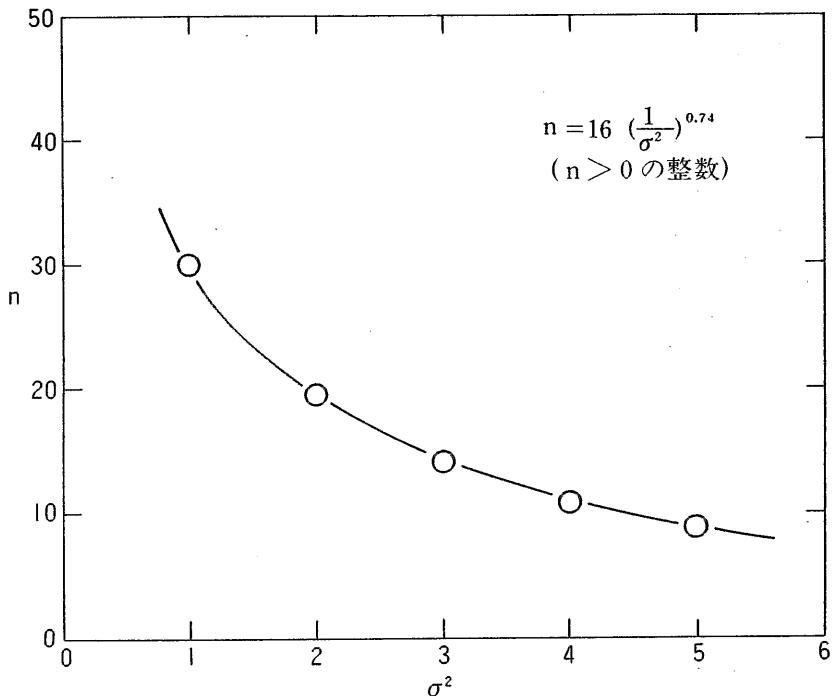
第 6 図 測温データ数別、回帰直線の勾配変動量( $|\Delta a|$ )と分散( $\sigma^2$ )の関係



第7図 分散( $\sigma^2$ )別、最大 $|\Delta a|$ と測温データ数( $n/N$ )の関係

$$n = 16 \left( \frac{1}{\sigma^2} \right)^{0.74}$$

となる。これから得られる  $n$  と  $\sigma^2$ とのいくつかの組合せを、例えば、 $(n, \sigma^2) = (16, 1)$ ,  $(10, 2)$ ,  $(7, 3)$ ,  $(6, 4)$ ,  $(5, 5)$  の水温測定から生じる誤差は、第7図のように分散の小さいものほど大きくなる可能性が高い。すなわち、上式で得られる水温データの数と分散の組合せに対しては、前述のように大きな誤差を避けるための必要最小限の各値であって、いずれの組合せで測定した場合にも同精度の結果が得られるというものではないことに留意しておく必要がある。一般の温排水調査で測定された温度から分散を求めた場合、第5図と第6図の結果が示すように、 $\sigma^2 \geq 3$ となる水温データを抽出できる確率は非常に低いことが推測される。このことから、温排水の拡がり調査を対象としたシートルースに際しては、水温測定の条件を  $n \geq 10$ ,  $\sigma^2 \geq 2$ と設定しておくのが安全であると考えられる。



第 8 図 測温データ数( $n$ )と分散( $\sigma^2$ )の関係

#### IV. ま と め

温排水の拡がりを把握する調査方法には、船を使用して水温計を曳航する方法と、航空機を使用したIRT測定とシートルースとを併行して行う方法等がある。このうち、前者の方法では、1回の測定に要する時間が長くなり、得られるデータ数にも限りがあるため、等温線は時間的に歪んだものとなり、またそれによって細部の温度分布を表示することが困難である。しかしながら、海面下多層の温度を同時に測定できることから、鉛直方向の現象について検討する場合にはこの方法は有効である。一方、後者の方法では短時間に広域の温度分布を詳細に把握できることから、平面的な温排水の拡がり状態を調査する場合には、この方法は船を使用する方法よりも有効である。ただし、等温線の精度は $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 程度である。

誤差を小さくするためには、精度の高いシートルースを行うことが不可欠である。シートルースに伴う誤差の要因にはいろいろな種類のものがある。このうち、測定点の数( $n$ )と測定温度の隔たり度合(分散； $\sigma^2$ )については人為的にコントロールすることができ、またこの2つの要因が大きな誤差を生じさせる源となる。したがって、この2要因に伴う誤差を出来る限り小さくすることが、温度分布の精度を高めるうえで重要なポイントになる。測点数と分散が大きくなるほど高精度が期待できるが、通常の温排水調査から $\sigma^2 \geq 3$ となる温度データを取得できる確率は低い。そのため、水温測定条件として、測定点数( $n$ )を $n \geq 10$ 、温度の分散( $\sigma^2$ )を $\sigma^2 \geq 2$ とした調査計画を設定することが望ましい。

### 引　用　文　献

- Bland, R. A., Hiser, H. W., Lee, S. S. and Sengupta, S. (1977). Aerial remote sensing of thermal plumes. pp. 1-11. In : Lee, S. S. and Sengupta, S., Proceedings of the Conference on Waste Heat Management and Utilization. Department of Mechanical Engineering, University of Miami.
- 木村竜治(1969). 赤外線放射温度計による表皮水温測定上の問題点. 海と空, 45(2) : 87-98.
- Madding, R. P., Tokar, J. V. and Marmer, G. J. (1975). A comparison of aerial infra-red and in-situ thermal plume measurement techniques. PP. 163 -186. In : Proceedings Series, Environmental Effect of Cooling Systems at Nuclear Power Plants. International Atomic Energy Agency.
- National Field Investigations Center (1975). Remote sensing report, Lake Ontario. A study of thermal discharges from Ginna Nuclear Power Station, Oswego Steam Power Station, and Nine Mile Point Nuclear Power Station. PB Rep.,PB-255591. 88pp.
- Saunders, P. M. (1967). Aerial measurement of sea surface temperature in the infra-red. *Jour. Geophys. Res.*, 72(16) : 4109-4117.
- Saunders, P. M. (1970). Corrections for airborne radiation thermometry. *Jour. Geophys. Res.*, 75(36) : 7596-7601.
- Schott, J. R. (1977). Thermal remote sensing calibration techniques. Calspan Report No.NA-6019-M-1, New York State Energy Research and Development Authority, 97pp.
- 渡辺貫太郎(1969). 表面水温における問題点. 海と空, 45(2) : 99-122.