

赤外線カメラと赤外放射計による夏期の 地表面および海面温度測定*

落合 弘明** 土屋 清***

要 旨

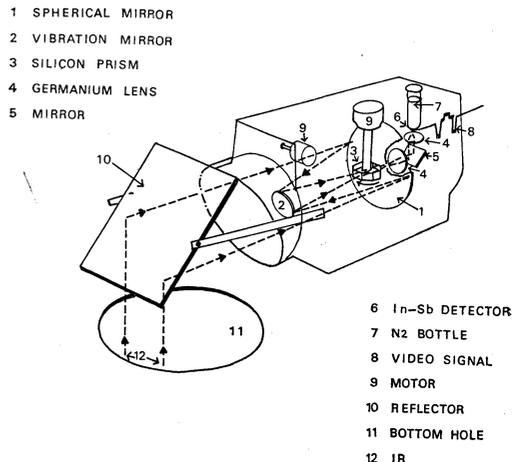
表面湿度の絶体値を自記できる放射計 Barnes PRT-4 と温度傾度を熱映像として表示できる AGA Thermovision-665 を併用し、飛行機を使って夏季の港内の汚染水域の表面水温および伊勢湾周辺の地表面温度を測定した。その結果港内の海面汚染のはげしい所では数度の表面水温の日変化水平傾度があり、表面水温の最高は 33°C にもなることがわかった。昨年度 (1968) の観測結果と比較した結果伊勢湾の表面水温分布の状況はほぼ同じであったが、川口付近では河川水の流入量により相当の変動がある。そのほか放射計と熱映像写真から建物、樹木、街路、駐車場などの表面温度の推定を行なった。特に高温を示したのは長い間駐車中の自動車の表面で、14時すぎに平均 60°C にもなった。

いっぽう芝生は 32°C ぐらいであった。地面は日向と日陰では14時ごろで 2°C ぐらいの差がある。

1. ま え が き

赤外放射計の発明により、物体の表面温度の測定が可能になってきた。赤外放射計の感度は非常にはやいので、飛行機を利用すると広い範囲の地表面温度の測定も可能になる。携帯用の放射計を利用したの地表面温度の観測は、すでに Cond ら (1965) をはじめ多くの人々によって行なわれており、Fujita ら (1968) は携帯用放射計を使って飛行機から観測した資料から真の地表面温度を推定することに対する新しい方法を提出し、真夏の京浜地区の地表面温度の推定を行なった。筆者ら (1969, a, b) も同じ型の放射計による、伊勢湾の表面水温や名古屋・地区の地表面温度分布の推定を行ってきた。手動による走査型の放射計は、ある固定点での観測には非常に利点があるが、走査線についてしか資料が得られないので広い面積の温度分布を得ることやセンサーを正しく目標物に向けることが困難である。AGA Thermovision は、視野角 $11^\circ \times 11^\circ$ の領域上の温度差

の分布を瞬時に一枚の写真上に表示でき、その中のある点の温度がわかれば各点の温度の推定が可能になるといふ利点がある。そこで筆者らは、飛行機を使い AGA Thermovision-665, Barnes PRT-4, 普通のカメラによるカラーフィルム撮影などを同時に行なって、伊勢湾、名古屋、四日市地区などの表面温度の観測を行なった。解析の結果わかったことや問題点などを報告する。



第1図 AGA Thermovision 665型のカメラ部

* Aerial Measurement of Infrared Imagery of Ground and Sea Surface in Mid-summer with Infrared Radiometer and Thermovision

** H. Ochiai 鳥羽商船高等専門学校

*** K. Tsuchiya 気象庁予報部, 気象研究所 (併任)

—1970年7月28日受理—

2. 測器の特性と観測方法

観測に使用した測器の特性は次のとおりである。

2.1 AGA Thermovision-665

概略は第1図に示すとおりで次の特性をもつ。

a) 検知器

型：インジウム・アンチモナイド (InSb) 光起電型。

感度を高めるために、液体窒素で、 -196°C に冷却。

捕捉波長域：2~5.6 μ

b) 光学系

レンズ：焦点距離134mm, f/1.8.

映像サイズ： $10^{\circ}\times 10^{\circ}$. 焦点範囲は0.05mから無限大まで。

c) 走査部

画像サイズ：90mm \times 90mm. コマ数：16コマ/秒. 一コマの走査線100本

d) 測定可能温度

被写体の温度が 30°C のとき 0.2°C 弱の温度差があれば測定可能。測定可能範囲は、 $-30^{\circ}\text{C}\sim 200^{\circ}\text{C}$ 。

映像表示は被写体の温度分布の変動をあらかじめ想定して、範囲を決める。例えば熱映像として映る領域内の温度分布の最高、最低の差が 20°C 以下と思われる場合、温度感度を20に設定すると、その中で最低温度が一番黒く、最高の所が一番白く写し出され、同時に映像の下部に温度に対する色階調が出る。温度分布がパターンとして表示されるから、その中に一点規準になる点があれば各点の絶対値もわかる。

2.2 Barnes PRT-4型放射計特性については参照論文

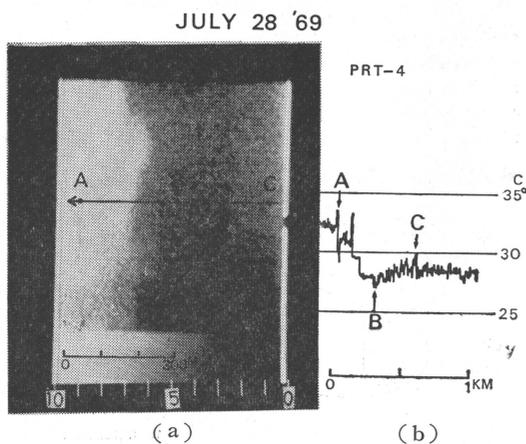
(3)に報告してある。

2.3 観測方法

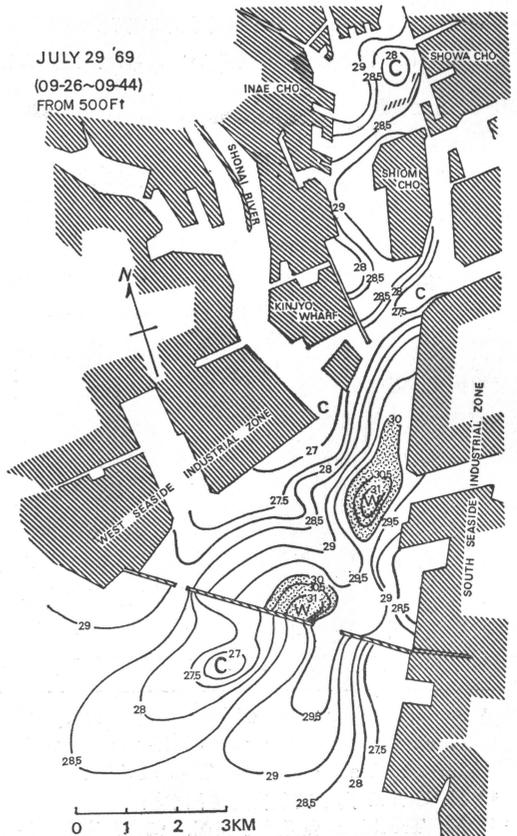
ふたつの測器を飛行機に取りつけ、客室の床にあけられている広告物投下口から真下に向けた、AGA Thermovision は16mm 映画撮影機と同期させ、毎秒8コマの撮影を行ない、特に詳しい解析を行なう地点についてはボラロイド・カメラによる撮影を行なったほか、カラーフィルムによる写真撮影も行なった。飛行高度は原則として2,000mとし、特に海面汚染、地表面温度解析を行なう場合については高度をいろいろと変えて観測を行なった。なお16mmフィルムはKodakの超微粒子ネガ・フィルムを使用したか、実際に引伸ばすと膨大な枚数になるので、この点問題になる。

3. Thermovision による観測資料と PRT-4 の観測資料

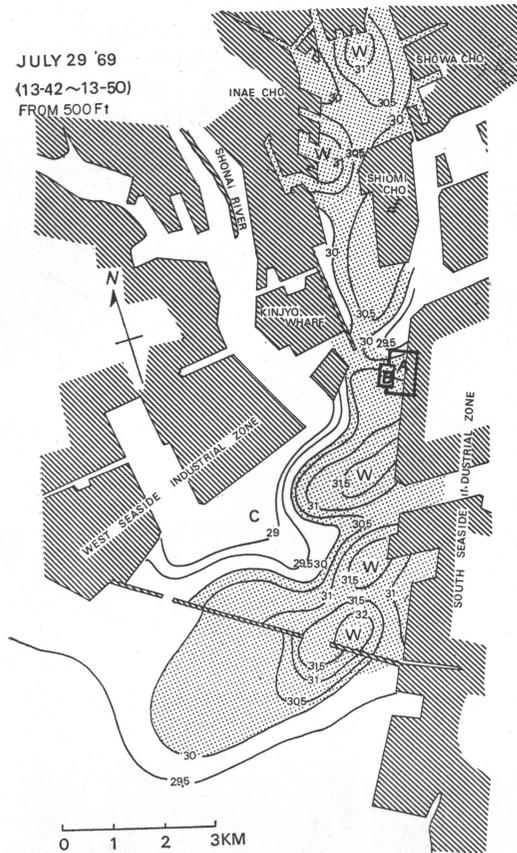
第2図は Thermovision による熱映像と PRT-4 の観測資料の比較の例である。PRT-4 のセンサーの視野角



第2図 測定記録例。(a) AGA Thermovision, 温度範囲は 5°C . 高温ほど白色。下の数字は色階調。(b) PRT-4.



第3図 名古屋港の表面水温。1969年7月9日 (a) 9時26分~9時44分



第3図 (b) 13時42分~13時50分

は half energy で 2° であるのに対し、Thermovision は $11^{\circ} \times 11^{\circ}$ の領域を100本の走査線で写真表示しているから、1本当たり $11^{\circ}/100 \text{本} = 0.11^{\circ}$ になり、PRT-4 よりもずっと細かい分布が得られる。ただ写真表示のため温度の絶対値については色階調から主観的に決めなければならないという不便さはあるが、PRT-4 から得られるものよりはずっと細かい分布が得られる。従ってある決った面積上の平均温度の推定には PRT-4 のほうが便利であるのに対して、詳しい温度分布のパターンだけを得るためには、Thermovision はそのまま温度分布を表示しているからはるかに勝れている。第2図は名古屋港南部の製鉄所付近の温排水の影響について比較したものの例であるが、PRT-4 による水温変化と Thermovision による熱映像の温度差とはよく一致している。PRT-4 による測定値の高温と低温域の温度差は 4.5°C であるのに対して、この熱映像の温度範囲は 5°C にしてあるから、A点とB点における色階調の差は 4.5°C ぐらい

1971年4月

であることがわかる。

PRT-4 の資料では A, B, C 点の飛行経路に沿った温度変化のプロファイルしか得られないが、Thermovision による熱映像は温度分布をパターンとして表示できる。

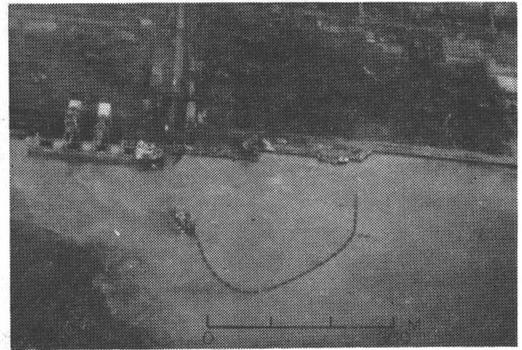
4. 解析結果

4.1 海水汚染地区の表面水温分布のメソ解析

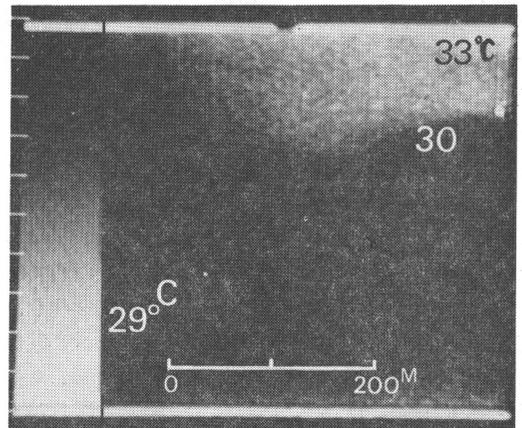
表面水温は、海の深さ、海流、流入水、汚染度などによってかなり影響され、とり扱いも簡単にはいかない。特に近くに大工場がある場合には冷却水の流入もあって複雑である。

(i) 名古屋港

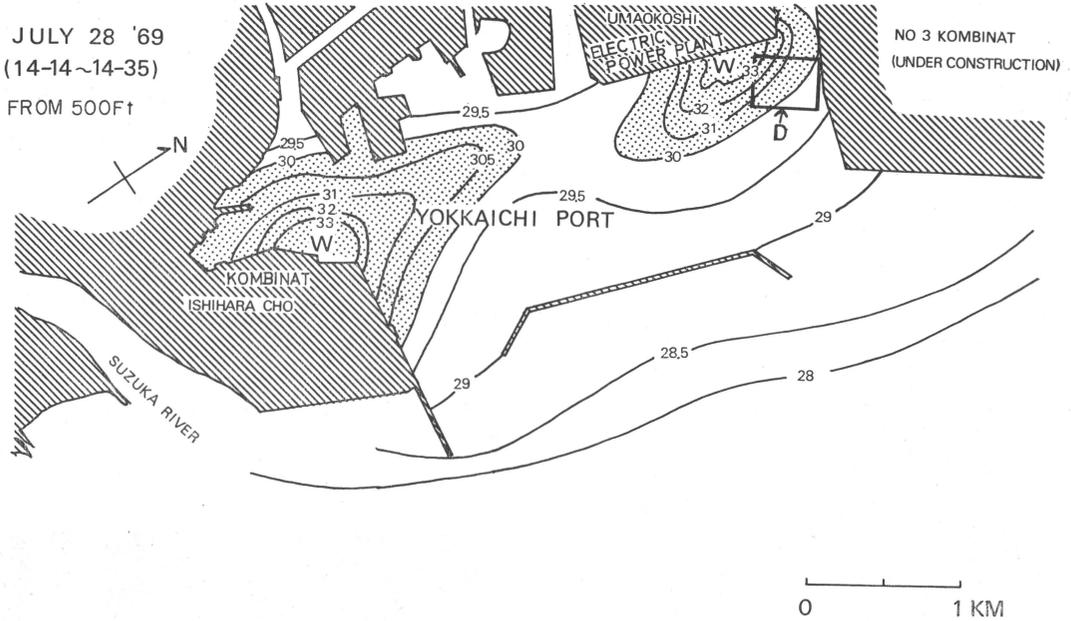
第3図 (a) と (b) は Thermovision の熱映像と PRT-4 の観測資料から得た名古屋港南部の1969年7月29日の9時35分頃と13時46分頃の水面温度である。



第4図 第3図 (b) の大きな四角形 (A) を普通のカメラで写したネガカラーを白黒の印画紙に焼いたもの。白色の所が汚染域。1969年7月20日12時07分。高度2,000m。



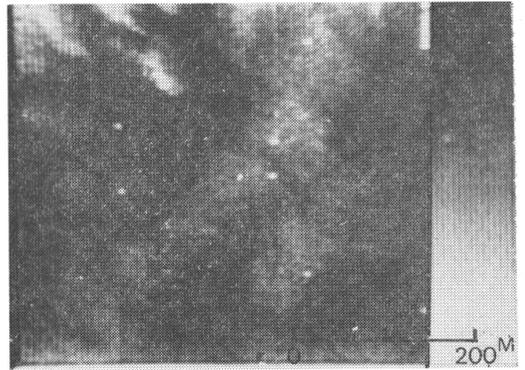
第5図 第3図 (b) の小さな四角形 (B) の熱映像。温度範囲 5°C 、日時は第4図と同じ。



第6図 四日市港の表面水温分布. 1969年7月28日14時14分~14時35分.

すでに9時半ごろ水面温度はかなり高く 31°C にもなっている所があり、分布もかなり複雑である。外洋では水面温度の日変化や水平傾度は小さいが、港内で水面が汚れている所では第3図(a), (b)に示すように、かなりあり、大きい所では 2.1°C/1 km, 2.5°C/4 hrs にもなった。おもな原因は、汚染した水面ほど太陽からの放射熱の吸収が大きいことと工場から排出される冷却水の影響であると考えられる。

分布が複雑になっているのは水面汚染や工場の冷却水の流入などの集中度、さらに水深や湾内の流れ、風速などが複雑に影響しているものと思われる。なお9時35分すでに 31°C の高温になっていた所は午後になってもわずか 0.5°C ぐらいいく上昇しなかったが、これは高温の所ほど蒸発が盛んになるため蒸発熱を奪われるからであろうと考えられる。港の防波堤内では流れが小さいため汚染の度合は甚だしい。第4図は、第5図(b)に示した大きな四角形(A)の範囲を普通のカメラで撮影したものである。写真の白っぽい所は、実際は赤黄色である。この写真からも汚染のひどいことが推定できよう。第5図は同図の小さな四角形(B)の範囲を示す熱映像であるが、汚染区域と高温域はよく一致している。この熱映像の温度範囲は 5°C にしてあるから、汚染区域とそうでない区域との温度差は 4°C あることになる。

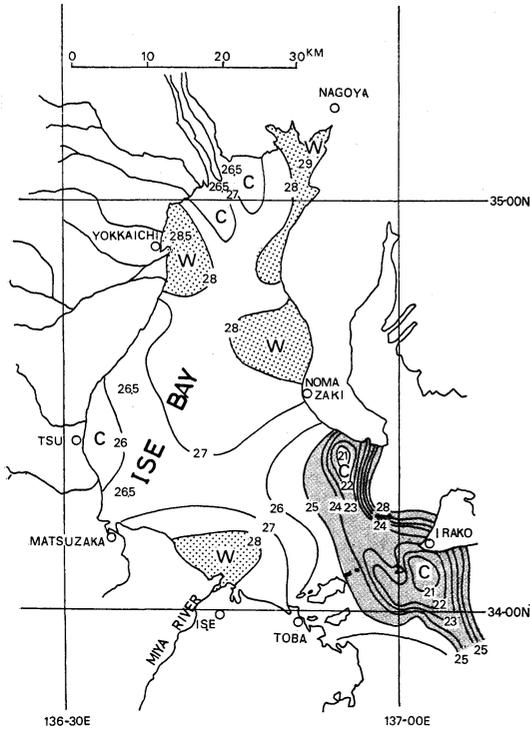


第7図 第6図の四角形(D)の区域の熱映像. 1969年7月28日 10時00分. 高度2,000m, 温度範囲5°C.

(ii) 四日市港

第6図は四日市港の1969年7月28日14時20分頃の水面温度である。特に高温な所は塩浜コンビナートの石原地区付近と午起コンビナートの火力発電所付近で、最高は 33°C にもなっていた。このうち石原地区は汚染のはげしい所で、複雑な模様を呈している。高温域はほぼ汚染区域と一致している。いっぽう午起地区では水面の汚染はそれほどはげしくないのに高温であるのは発電所や工場からの冷却水の影響であろう。第7図は、第6図に示

JULY 29 '69 (09:45~11:10)



第8図 伊勢湾の表面水温。1969年7月29日
9時45分～11時10分。

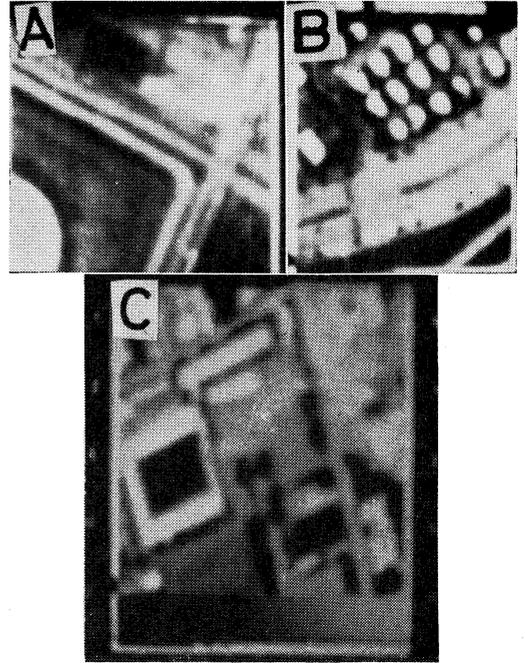
した四角形(D)の区域の同日10時00分の熱映像であるが、この図から細い高温域が南の方に伸びていることがわかる。

これは高温な冷却水や汚染水がこの方向に、流れ出していて、その影響が600m以上にわたっていることがよくわかる。この熱映像の温度範囲は 5°C であるから、最高と最低の差は 5°C ぐらいになる。

4.2 伊勢湾の表面水温

第8図は今回の観測から得た7月29日の伊勢湾の表面水温である。港の中では日変化はかなりあったが港外の伊勢湾上で日変化はあまり認められなかった。高温域は名古屋港、四日市港、知多半島の野間崎、低温域は伊勢湾口や木曾川、長良川の川口などで、筆者らの前年同時期の観測(落合・土屋, 1969)と宮川の河口付近を除きほぼ同じであった。宮川の河口付近は、前年の観測では低温域であった。この相違の主原因は、今回の観測時には宮川の水量が前年に比べて著しく減っていたため、流入水温のほうが湾の水温よりも高かったためであると考えられる。

1971年4月



第9図 熱映像。1969年7月28日。高度400m, 温度範囲 20°C 。

- (A) 石油コンビナート。白色円形物はタンク、細長い物はパイプ。14時15分
(B) 道路と駐車場。14時45分
(C) 市街地の小公園。四角形黒色部はプール。14時50分。

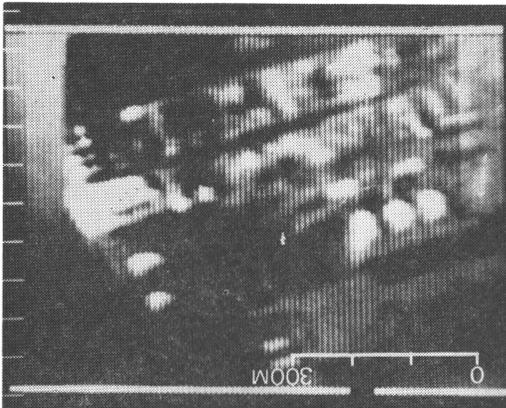
三河湾の湾口には非常に大きな水平温度傾度がある。これは三河湾内は河川の流入量が少なくかつ湾内の流れが弱いため比較的表面水温が上昇し易いのと、伊勢湾口では流れが早く、表面水温が低いためである。このためにこの強い水平温度傾度のある区域には潮目ができ易く、特に落潮時には巨大なものになる。

4.3 建造物、地物の表面温度

飛行機からの携帯用放射計による夏の地面や建物などの表面温度測定については、Combsら(1965)、Fujitaら(1968)の報告もあり、筆者ら(1969)もすでに報告した。今回は携帯用放射計とそれよりも解像度のよいThermovisionを併用して多くの対称物の温度測定をした。後者は瞬間的に写真としてとれるので位置は携帯用放射計の場合に比べて非常に正確になる。三例ほど実測結果を次に述べる。

a) 石油コンビナート

第9図の(A)は1969年7月28日14時15分における名古屋港南部の石油コンビナートの熱映像である。写真の



第10図 第9図(a)の冬期の熱映像, 1968年12月23日11時08分, 高度3,500m, 温度範囲, 20°C.

温度範囲は20°Cではほぼ範囲一杯である。温度の推定値は, タンク(白色円形)50°C, パイプ42°C, タンク周辺の芝生35°C, 日影30°C, 第10図は同じ場所を1968年12月23日11時08分, 3500m高度から温度範囲2°Cで観測したものであるが, 冬期は正午近くでもタンクと芝生の温度差は小さく, わずか1°Cぐらいである。冬期は日射も弱いうえに強い季節風でタンクの表面から失う熱量もかなり大きいと考えられる。

b) 道路, 駐車場

第9図(b)が14時45分の道路と駐車場の熱映像である。熱映像は最初にセットした温度範囲以上になってしまっているので写真だけからはこの写真に映っている対称物の温度差が明確には推定できないが, PRT-4の記録を参照して推定した値は次のとおりである。駐車中の車は57~67°C, 路面45~47°C, 周囲の芝生(黒い部分)32°C, 道路の中央分離帯37°C。

c) 市街地の小公園

第9図(c)が14時50分における市街地の小公園の熱映像である。この場合もセットした温度範囲以上になっている。PRT-4の記録を参照して推定した値は, プールの水温26°C, グランド44°C, 建物の屋根53°C。

5. むすび

以上述べたことから次のような結論が得られる。

a) 名古屋港および四日市港などの汚染水域の真夏の晴れた日の表面温度はかなりの日変化や水平温度傾度があり, 日中の最高は31~33°Cにもなる。部分的にはさ

らに数度ぐらい高い場合もあり得る。

b) 汚染や温排水の影響は防波堤などによって大きく左右される。とくに名古屋港においては高潮防波堤を境いにして, 汚染状態と表面水温分布にかなりの差がある。

c) 伊勢湾の表面水温分布は, 名古屋, 四日市および野間崎付近が高温, 木曾川の河口および伊勢湾口付近が低温というパターンはそれほど変動しないが, 小河川の河口では水量による前年の低温域が高温域になる場合もある。

d) 市街地における野外の駐車場は, 夏には熱源として作用する。

e) 街路樹や芝生の中央分離帯は道路の表面温度をかなりやわらげる。

最後に今回の観測に際して飛行機の提供をはじめ種々の御高配を賜った中日新聞社, 観測器材の面で御協力願ったガゼリウス, 日本テクニカルサブライズ, アジア航測の各社, 気象資料の面で世話していただいた伊勢湾周辺の気象官署, 名古屋および四日市港管理組合に対し, 感謝の意を表す。とくに同乗して観測を手伝っていただいた松野虎夫, 近藤誠宏の両氏には深謝します。

引用文献

- 1) Ambrose O. Poulin and T.A. Harwood, 1966: Infrared Imagery in the Arctic under Daylight Conditions, Proceedings 4th Symposium on Remote Sensing of Environment, 231-241.
- 2) Combs, A.C., H.K. Weickman, C. Mader and T. Tebo, 1965: Application of Infrared Radiometers to Meteorology. J. Appl. Meteor. 4, 253-262.
- 3) Fujita, T., G. Baralt and K. Tsuchiya, 1968: Aerial Measurement of Radiation Temperature and Their Application to the Determination of Ground and Water Surface Temperatures. J. Appl. Meteor., 7, 801~816.
- 4) 落合弘明・土屋 清, 1969: 赤外放射温度計による夏の伊勢湾の海面温度, 海と空, 45, 11-20.
- 5) 落合弘明・土屋 清, 1969: 飛行機による真夏の名古屋・伊勢湾周辺の地表面放射温度観測, 天気, 539-548.
- 6) Richard Blytho and Ellen Kurath, 1968: Infrared Images of Natural Subjects. Applied Optics, Vol. 7, No. 9. 1772-1775.