

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*

落合 弘明** 土屋 清***

要 旨

飛行機に赤外線放射温度計を搭載して、1,000フィートの高さから真夏における名古屋・伊勢湾周辺の放射温度解析を行なった。

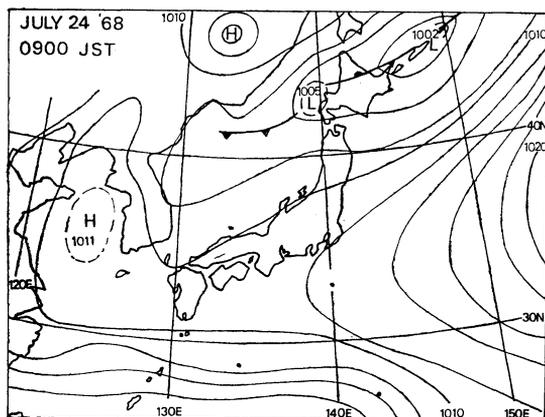
2日間延15時間にわたる観測の結果、巨大都市における気温分布と表面温度分布、伊勢湾上の気温分布と表面水温分布にはかなりの相関があることが判明した。また局所的に放射温度が高くなっているのは、陸上においては工業地帯、海上においては工場排水によって汚染された港やコンビナート周辺に集中していることも判明した。特にコンビナート周辺における表面温度分布は、陸上、海上を問わず目立って高くなっていることが立証された。

1. ま え が き

大気の窓領域を利用した放射温度計による空中からの表面温度の測定は、Combsら(1964)、Konoskiら(1964)をはじめ多くの研究者によって行なわれている。これらの結果は、比較的低い高度から測定すればかなりの精度で表面温度分布が得られることを示している。いっぽう藤田・土屋ら(1968)は水蒸気やスモッグの吸収の補正

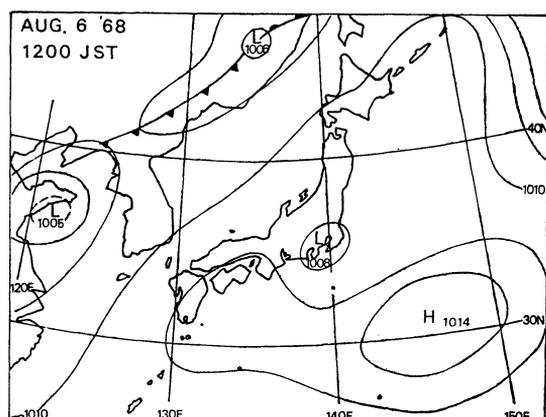
法を示し、夏の東京やその周辺や富士山の表面温度の推定をしている。

そこで今回は、藤田らと同じ方法により猛暑で知られている名古屋、公害問題の多い四日市などを中心とした伊勢湾周辺の真夏における表面温度分布を得る目的で、1968年7月24日と8月6日の両日に観測を実施したのでその結果について報告する。



第1図 a

第1回観測日の気圧配置 1968年7月24日9時



第1図 b

第2回観測日の気圧配置 1968年8月6日12時

* Aerial Measurement of Radiation Surface Temperatures over Nagoya and Ise Bay Areas in Midsummer

** 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)

—1969年3月19日受理—

—1969年6月30日改稿受理—

観測日はあいにく薄曇りで典型的な真夏の強い日射下の表面温度が得られなかったが、巨大都市における表面温度分布、コンビナート周辺の表面温度分布、冷水塊上の表面水温分布などについてかなり興味のある結果が得られた。

第1表 Bernes 社 PRT-5 型の要目および性能

Specifications	
Performance Data	
a. Temperature Measurement Range	-20 to +15°C +10 to +45°C +40 to +75°C } 切り換え装置で三つの範囲にできる
b. Accuracy	0.5°C
c. Sensitivity (°C in 0.3 cps bandwidth) at 25°C	Better than 0.1°C
d. Response (time constant)	0.3 cps 3.0 cps 30 cps
	500 milliseconds 50 milliseconds 5 milliseconds
e. Reference Temperature	55°C 1/4°C
f. Recorder Outputs	0 to 1 VDC with 10 k ohm source impedance 0 to 50 MVDC with 500 ohm source impedance
g. Ambient Temperature	-20°C~40°C
Optical Data	
a. Detector	Hyperimmersed thermistor bolometer
b. Lens	10 mm IRTRN 2 f/2.8
c. Filter Band	8 to 14 micron
d. Field of View	2° nominal
Electrical Data	
a. Input Power	115/230 V, 50~400 cps 1 φ 20 watts maximum
Mechanical Data	
Mechanical Data	
a. Carrying Case	17 H × 15 W × 6 D, 28 lbs. complete
b. Electronics Unit	10 H × 15 W × 6 D, 19 lbs
c. Optical Unit	5~1/2 diameter × 7 L, 3~1/2 lbs.

2. 観測方法

2.1 観測器具

7月24日の第1回の観測には Bernes 社の PRT-4 型, 8月6日の第2回の観測には PRT-5 型放射温度計を使用した。

このうち PRT-5 型は最も新しい放射温度計で極東で使用されるのは初めてである。

PRT-4 型放射温度計の性能については藤田・土屋ら(1968)の報告に示されているので, ここでは PRT-5 型放射温度計について述べる。形状は極めて小型で取り扱い易く性能についても第1表に示した如く PRT-4 型よ

り優れている。次に使用した飛行機は Beaver 単発上翼機(定員7名)で, 巡航速度は150km/h. 安定性がよく, 上翼機のため視野が広いので観測には最適な機種であるが, 客室中央底部に直径50cm の投下口があるのが何よりも便利であった。

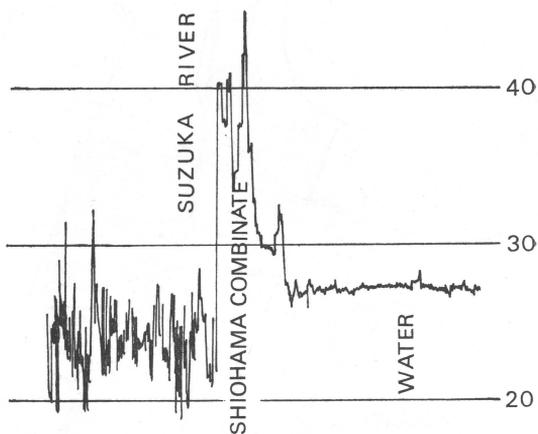
この投下口を利用して放射温度計のセンサーを真下に向けて固定し, 入射エネルギーは巻き取り式のレコーダーに連続記録させるよう装置した。なお使用電源は12V バッテリーを使用しコンバーターを径由させた。また1飛行に十分余裕のある容量のバッテリーを使用した。



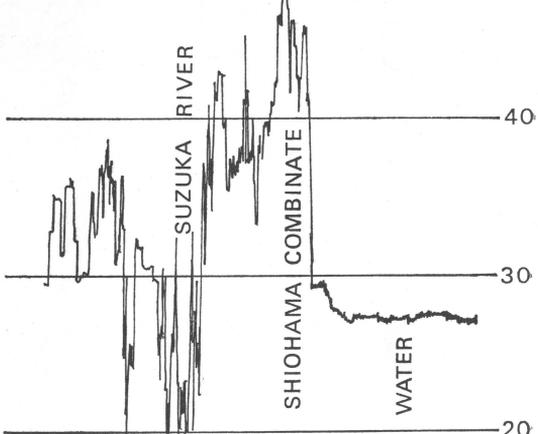
第2図 Barnes社 PRT-5型赤外線放射温度計(アスファルト道路の温度測定中)

JULY 24 '68 T_s C

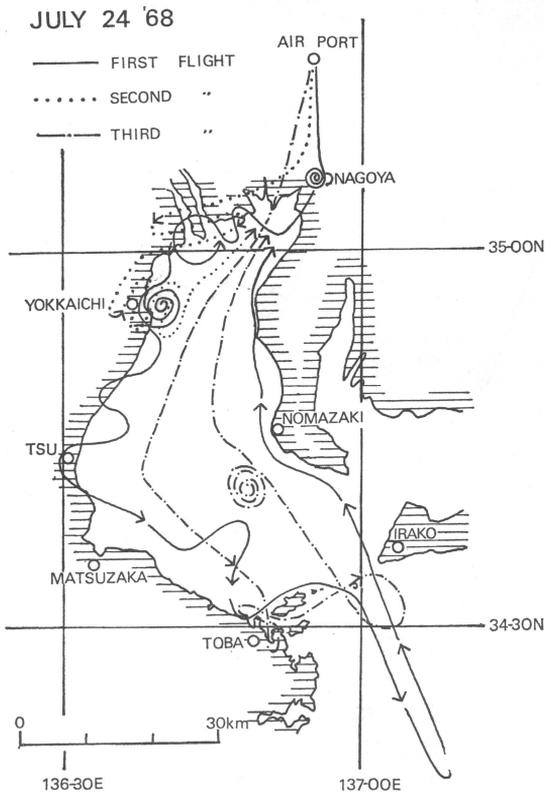
0621 JST (FROM 1000ft)



1131 JST (FROM 1000ft) T_s C



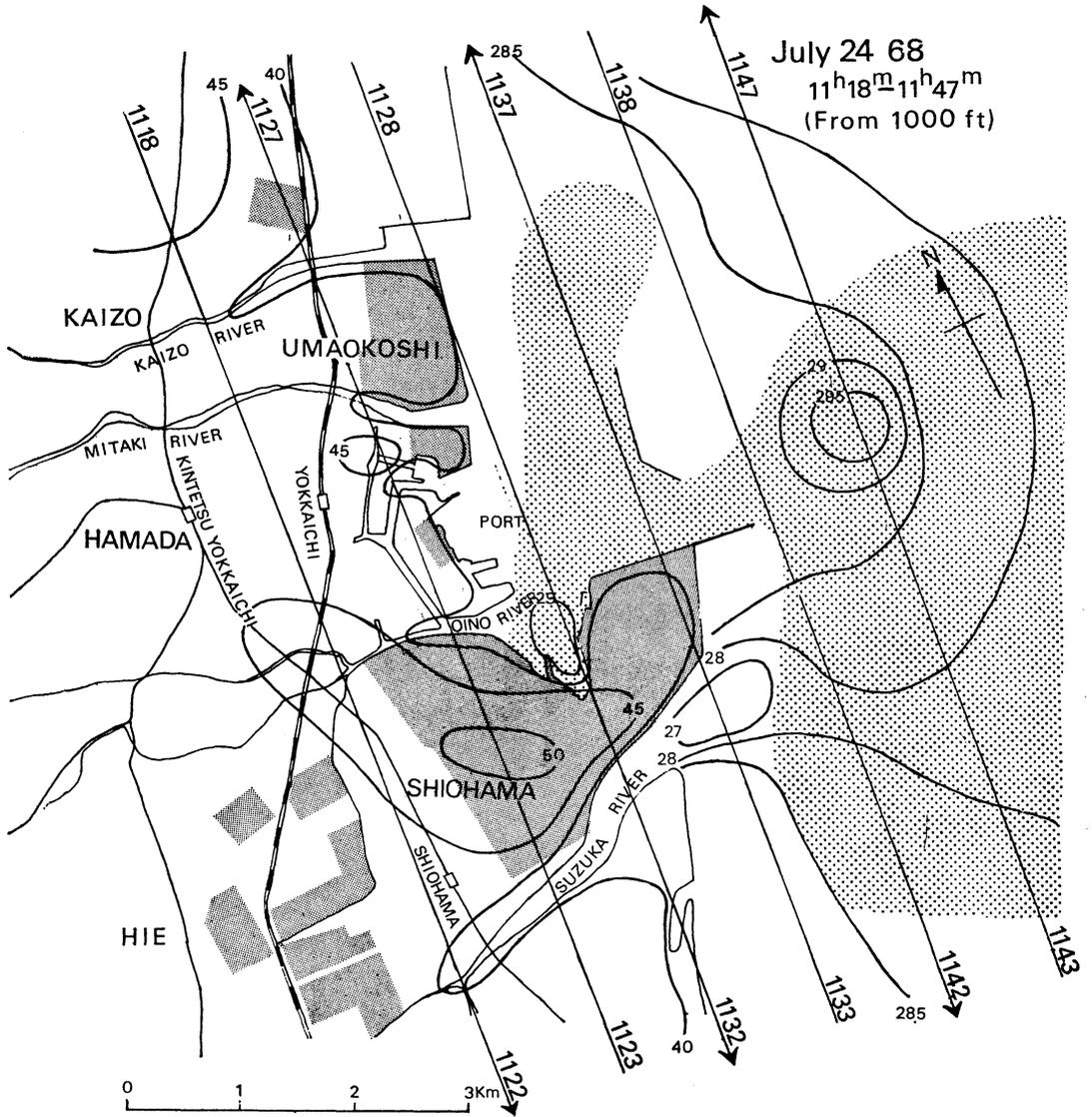
第4図 四日市塩浜石油コンビナート周辺の表面温度
1968年7月24日6時21分および11時31分



第3図 観測飛行経路 1964年7月24日

2.2 観測方法

観測高度は1,000フィートを基準とし、名古屋のテレビ塔、四日市港沖、野間崎沖では10,000フィートまで上昇した。これは3地点における鉛直気温分布およびスモッグ分布の測定の可能性および2,000フィート以下各高度における(500フィート毎)地面または水面温度を観測して下層大気による減衰の有無を確かめる目的である。前記の目的のためには、投下口から真下を測定したほかに、放射計を窓から水平方向にも向けた。観測高度を1,000-



第5図 四日市上空1,000フィートから測定した表面温度分布
(矢印は飛行機の進路を示す) 1968年7月24日11時18分~11時47分

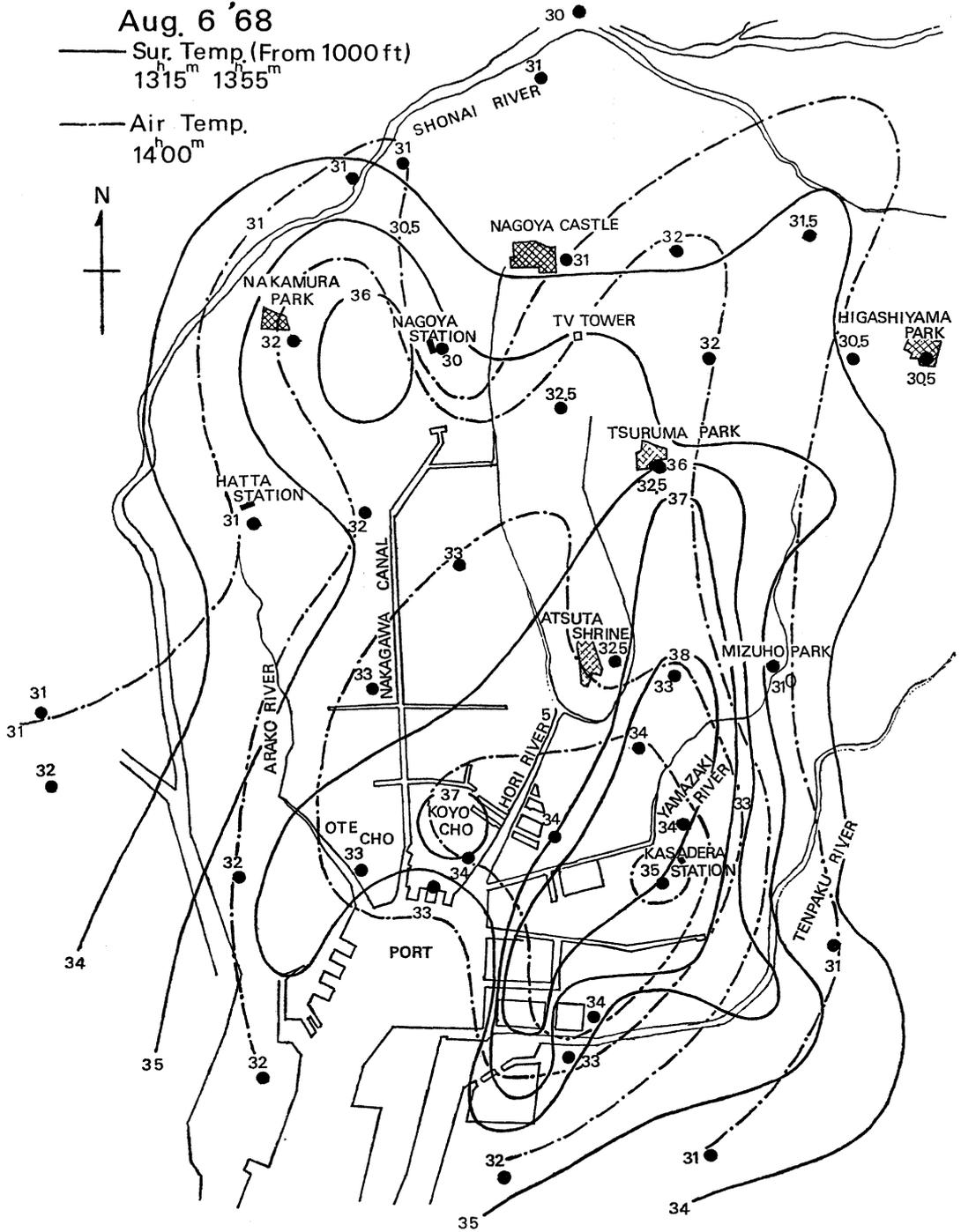
フィートとしたものは水蒸気による吸収の影響を少なくするため、市街地上空では飛行制限高度は最低が495フィートとなっているから長時間飛行制限高度ぎりぎりの500フィートを飛行する場合の危険度も考慮したのである。1,000フィートの観測高度では放射温度計のセンサーの視野が2度であるから直径10mの円内の平均地表面温度が得られるので、観測目的を十分満足させる記録が得られる。次に観測に先立って放射温度計の目盛、記録指示の調整を行ない、観測中機上での感度を点検する

ためには、人体温度(センサーを手に向ける)を随時記録させた。

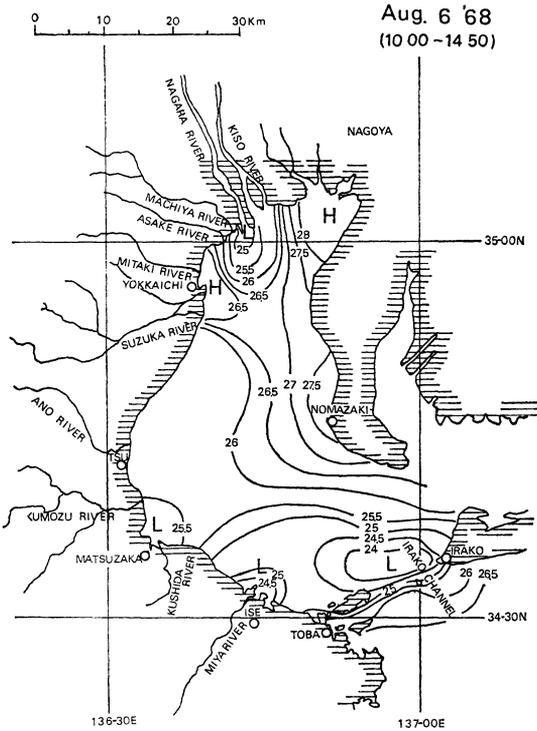
2.3 観測経路

第3図に示したのは7月24日の観測経路であり8月6日の場合もほぼおなじである。

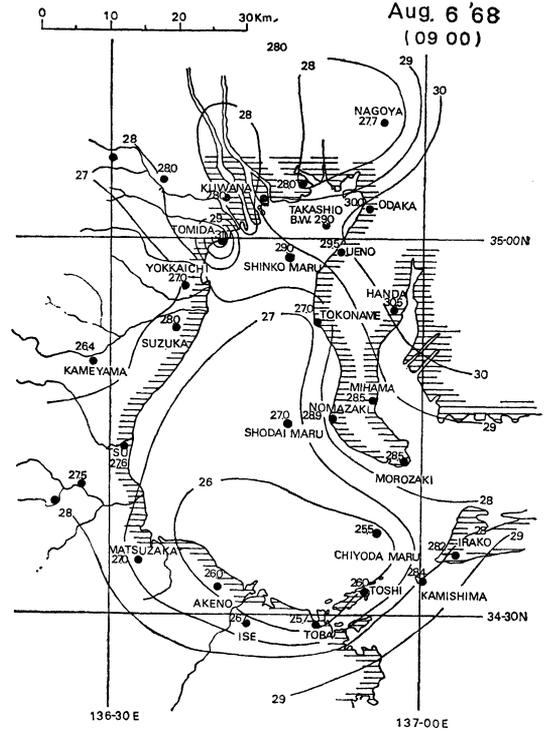
しかし8月6日には名古屋上空で、7月24日には木曾・長良川下流上空および四日市上空で試みたジグザグ飛行を行なった。ジグザグ飛行とは、観測目的地上空を北から南、反転して南から北と飛行しながら東から西へと径



第6図 名古屋上空1,000フィートから測定した表面温度分布
および14時における気温分布 (黒丸印は気温の観測点) 1968年8月6日13時15分~13時55分



第7図 伊勢湾の表面水温分布1968年8月6日
10時00分—14時50分



第8図 伊勢湾周辺の気温分布（黒丸印は気温の観測点）1968年8月6日9時

路をずらす方法で、詳細な地面温度分布を得るのに極めて都合がよい。四日市上空では3往復、名古屋上空では4往復のジグザグ飛行を行なった（第5、6図参照）。

2.4 観測高度の影響

観測高度による影響を調べるために、名古屋テレビ塔、四日市港沖、野間崎沖の3か所で地面および表面水温の減衰の有無をチェックしたことは前に述べたが、四日市測候所と鳥羽商船高等専門学校で観測した地面温度、名古屋港高潮防波堤信号所、四日市港防波堤灯台と鳥羽商高専の練習船による桃取水道の3か所での表面水温の測定値との比較では測定高度、1,000フィート以下では飛行機から測定した値とほとんど同じであった。地面および水面温度の測定は相当の技術を要するので、測候所、海上保安部、名古屋港管理組合観測課などの専門家に依頼して正確を期した。

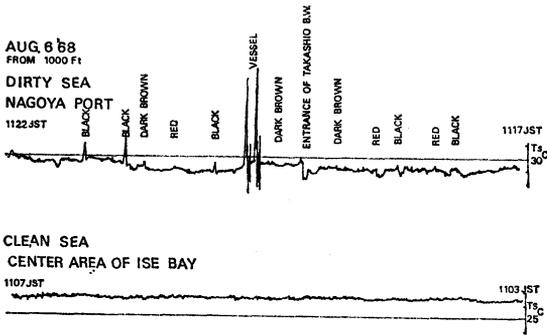
しかし放射温度計による測定値は直径やく10mの円の平均表面温度であるから、温度計による測定値とは完全には一致しないことは考慮しなければならない。

3. 観測の結果

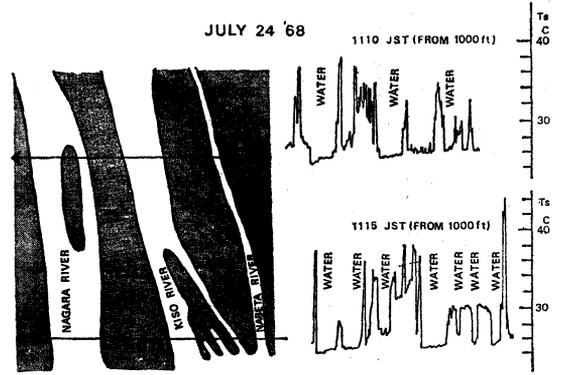
3.1 コンビナート周辺の表面温度分布

7月24日の第1回目の観測では第4図に示すように四日市塩浜コンビナートは最高値が45°Cであるが、第2回目の観測では最高値は50°C以上で周囲にくらべて非常に高温であることが判る。次にジグザグ飛行に基づく地面温度分布を描くと、塩浜コンビナートを中心として四日市南部地区に高温域が形成されており、午起地区にも2次的な高温域が形成されていることが判る。一方海面状況について述べると、コンビナート周辺は想像以上に汚染されており、真赤な工場排水が遠く四日市港外にまで拡げられている。汚染された海域では表面水温はかなり高くなっており、ここでもコンビナートの影響のはっきり現われている。当日は南寄りの風であったからコンビナート上で熱せられた空気は市街地に流れ込んでおるものと思われる。南北2か所のコンビナートの間に更に第3の霧ヶ浦コンビナートの建設が進行しているので、これが完成すればさらにその影響は大きくなるものと思われる。

以上のことは、わずか2日間の数回観測でこのような



第9図 名古屋港付近(汚染された水域)および野間崎西方10km(汚染されない水域)における表面水温 1968年8月6日



第10図 木曾川・長良川の表面水面 1968年7月24日

結果が判明したわけであるから四季を通じて観測すればかなり興味ある結果が出るものと期待される。

3.2 巨大都市名古屋の表面温度分布

8月6日13時15分から45分に至る30分間、名古屋の表面温度を測定した結果第6図のような分布となった。当日は薄曇り、温度上昇は期待されたほど激しくはなかったが、市内37か所で測定した気温の分布とほぼおなじような分布を示している点が注目される。そして

a) 名古屋市内で一番表面温度が高いのは、笠寺西方を中心とする南部工業地帯で、港区、南区、瑞穂区など南部一帯が高く、36℃の等温線は鶴舞公園方向に伸びている。

b) 国鉄名古屋駅西方にも36℃という2次的な高温域があるがその範囲はあまり広くない。

c) 市の中心地栄町から名古屋駅にかけてのビル街は低温域に属している。

d) おなじ名古屋市内でも温度差が4度と予想以上にある。

e) 気温分布の高温域は港区、南区などやはり南部一帯が高く、国鉄笠寺駅では35℃という最高値が測定されている。地面温度分布と同じく名古屋駅付近も幾分高くなっており、中心部ビル街はやはり低温域に属している。

などいくつかの事実が判明したが、当時の風向は名古屋港ではSWと測定されていることから地面温度、気温とも高温域が北東に伸びており、ここでも南部工業地帯が大きく影響していることが立証される。

3.3 伊勢湾の表面水温分布と気温分布

伊勢湾の表面水温分布を描くと、木曾、長良川付近お

1969年12月

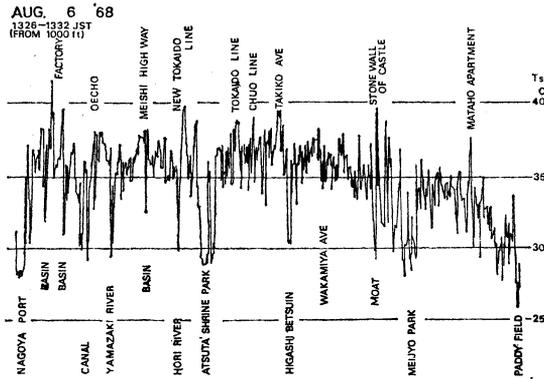
よび伊勢湾口から松阪附近に低温域、名古屋港、四日市港および野間崎付近に高温域が存在する。表面水温分布の詳しい解析については別の報告にゆずり、ここでは当日の気温分布との関係について述べる。伊勢湾沿岸の気象官署をはじめとし、消防署、学校、灯台など約30か所および伊勢湾内を航行中の大型船舶にも測定を協力してもらって描いた気温分布が第8図である。これによると表面水温分布とおなじく、伊勢湾北部と伊勢湾南部に低温域が見受けられ、特に南部の低温域はかなり広がっている。

伊勢湾南部にはしばしば霧が発生し海難事故が起きているが、冷水塊上の空気は冷却されて低温域を形成し霧発生の一因となるものと思われる。

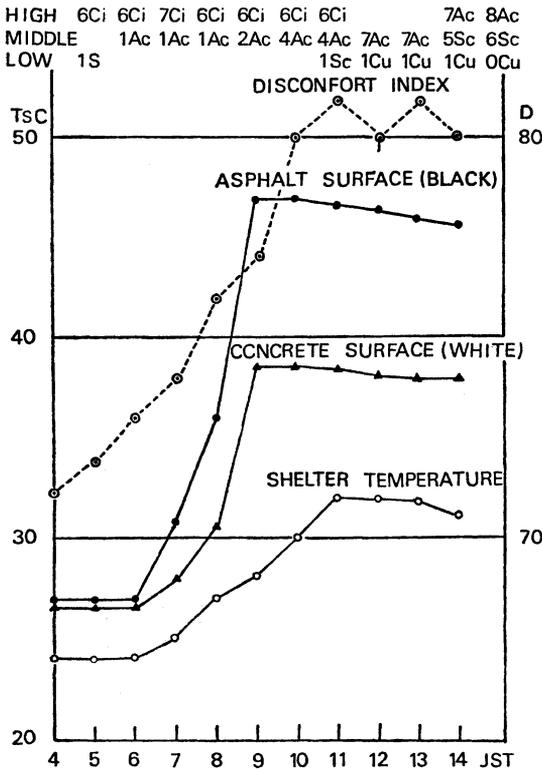
3.4 汚染水域の表面水温分布

3.1項でも指摘したが、四日市における石油コンビナート周辺や名古屋港南部工業地帯の周辺の海面汚染は想像以上に進行している。これらの水域では海水は赤、茶、黒、黄、白色とまるで染色工場の染物タンクの内部の染料液とおなじ状態にまで汚染されている。従って汚染の度合いや色によって放射熱が異なるので、表面水温は非常に激しく変化する。第9図は名古屋港における汚染水域の表面水温の変化と海水の色との関係を示したものであるが、とす黒く汚染された所では急激な温度上昇が記録されている。

赤、焦茶色に汚染された所でも温度上昇が見受けられることから、定期的な観測を行なえば海面の汚染の度合を知るという面でもかなりの成果が期待できる。伊勢湾中部の汚染されていない水域における表面水温分布はほとんど変化しない、勿論海面温度は水深や潮流に大きく支配されるが、汚染の影響も非常に大きいことが判る。



第11図 名古屋の表面温度南北断面図 1968年8月6日13時26分~13時32分



AUG. 6 '68

第12図 名古屋における路面温度の日変化(気温, 不快指数, 雲形, 雲量も示した) ▲- コンクリート路面 1968年8月6日

おなじようなことは河川についてもいえる。大都市内や周辺の河川は海面同様非常に汚染されている。

第10図は流量が非常に大きい木曽川および長良川の表面水温の分布を示したものであるが、木曽川の方が長良川より1℃高くなっているのに気付く。木曽川の方が流量が多いけれど、流域に尾西、羽鳥、津島市など名古屋の衛星都市が存在するので河口付近でかなり汚染されていて、飛行機から見ると、木曽川は河面が薄黒くなっており、表面水温の高いことが納得できる。

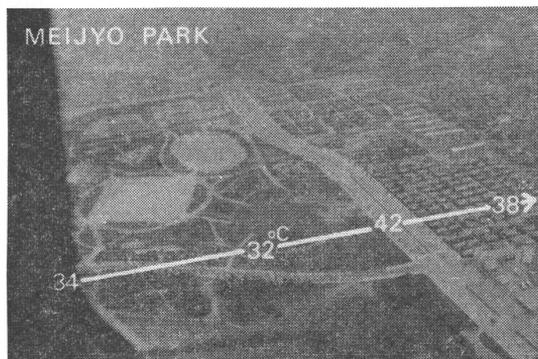
4. 地面温度の日変化

表面温度は日射量、表面の物質や色彩に大きく影響される。一例としてアスファルト舗装とコンクリート舗装道路の表面温度日変化を第12図に示す。観測日は薄曇りで日射はそれほど強くはなかったが、路面温度は日の出とともに急上昇し、6時~9時の3時間に黒色のアスファルト舗装の路面は20℃も上昇した。これに対して灰色のコンクリート舗装路面では12℃で、前者の半分ぐらいにしかならなかった。いっぽう気温の上昇は4℃で、アスファルト路面の場合の1/4であったが、快晴の日にはその差はさらに大きくなる。9時以後は中層雲が多くなったために路面温度は下降し始めたが気温はさらに上昇し続け、2時間後に最高気温がでた。6時~9時の建造物の表面温度上昇は小家屋の密集地帯や工場などが15~16℃、ビル街は10℃ぐらいであった。背の低い地面の見える草地はコンクリート道路と同じぐらい、繁茂した背の高い草地や森は気温よりも少し大きい程度であった。

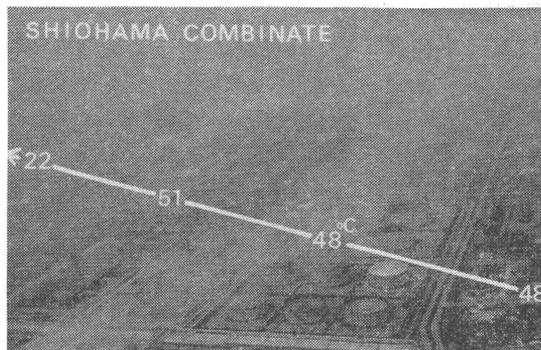
5. 考察

以上の結果を考察すると、放射温度の高い地域は気温も高くなっていることが判る。しかし表面温度と気温の関係の一般則を求めるためには、工場地帯、市街地住宅地(民家の密集地帯)、団地などにおける表面温度や気温、スモッグなどの詳しい観測が必要であろう。第11図は8月6日における名古屋の表面温度の南北断面図であるが、市の南部が高くなっていることが判る。工場、鉄道、道路などで急激に高く、反対に水田、公園、神社など樹木や草類の多い所ではかなり低くなっている。

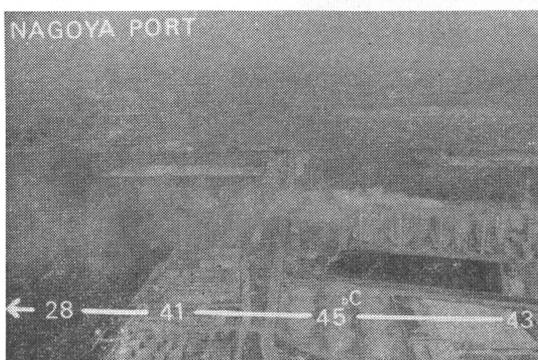
興味あることは、若宮大通りと滝子大通りの間に5度の温度差がある事実である。両大通りは名古屋の中心を東西に走る代表的な道巾が特に広い道路であるが、若宮大通りは中央が公園状の緑地帯となっているため空中から測定した表面温度は低く現われたものと思われる。都市における緑地帯はただ単に美観の面ばかりでなく都市気候の調節という面からも考慮すべきであろう。



a



b



c



d

第13図 各地の表面温度

- a. 1968年7月24日12時02分 名古屋市名城公園付近（芝生のところは温度が低い）
- b. 1968年7月24日13時31分 四日市市塩浜コンビナート付近（コンビナート付近は非常に高温である）
- c. 1968年8月6日11時24分 名古屋港南部地域
- d. 1968年8月6日13時28分 名古屋市栄町付近（都心部の道路はそれほど暑くない）

5. まとめ

以上述べたことから次のような結論が得られる。

a) 表面温度が特に高いのは工業地帯および石油コンビナート周辺である。

b) 民家の密集地帯も予想以上に暑い。

c) 工業地帯および石油コンビナート周辺は海面汚染が激しくここでは表面水温が高い。

d) 安井の説によれば名古屋の酷暑は北西風の場合に起るといわれるが、南風のときも、汚染された海面と工業地帯で熱せられた湿度の高い風に見舞われて相当暑い。このことは四日市についてもおなじことがいえる。

e) 名古屋の中心地ビル街は市街地の表面温度分布では低温域に属するがこれは藤田・土屋の説とおなじく冷房などの影響もあるように思われる。

f) 都市の酷暑をやわらげるためには緑地帯を設けることはプラスになる。

g) 道路はコンクリート舗装の方がアスファルト造りより暑くならない。街路樹や緑地帯は暑さをかなりやわらげる。

h) 暑さをやわらげるためには建物はおうとつを少なくし白色にすると効果がある。

i) 伊勢湾における冷水域上の気温は周囲に比較してかなり低い。

終りに当って種々の便宜を図って頂いた中日新聞、旭産商、アジア航測の各社、観測に当ってわざわざ名古屋までお出でのうえ直接御指導下さったシカゴ大学藤田哲也教授、観測を手伝って頂いた松野虎夫、田中俊光の両氏をはじめ資料を頂いた気象庁、海上保安庁関係の各官

署に感謝の意を表します。

(註) 第12図以外の表面温度はすべて1,000フィートの高度から測定した温度そのまま、水蒸気、スモッグの吸収、大気放射の影響の補正はしていない。このためには放射伝達の式の数値積分が必要であるが、その量は藤田・土屋の計算によれば、この高度で夏の日本の都市の空気の場合、4~5°C ぐらいである。

引用文献

- 1) Combs, A. C., H.K. Weickman, C. Mader and T. Tebo, 1965: Application of infrared radiometers to meteorology, *J. Appl. Meteor.*, **4**, 253-262.
- 2) Koneski, Carl F., 1964: Water and ground temperatures measured from U-2 aircraft, *Bull. American Meteor. Soc.*, **45**, 581-586.
- 3) Fujita, T., G. Baralt and K. Tsuchiya, 1968: Aerial measurement of radiation temperatures over Mt. Fuji and Tokyo areas and their application to the determination of ground and water-surface temperatures, *J. Appl. Meteor.*, **7**, 801-816.
- 4) 安井春雄, 1966: 名古屋の酷暑について, *天気* **13**, 59-65.