

市街地街路空間の温熱性状に関する研究

A Study on Thermal Characteristics in Urban Canyon

平成 12 年 2 月 10 日 (提出日)

February 10, 2000

名古屋大学大学院工学研究科地圏環境工学専攻 (地圏安全工学講座)
Department of Geotechnical and Environmental Engineering, Nagoya
University

坪井宣治

Nobuharu TSUBOI

要旨

本研究は、都市高温化現象 (都市ヒートアイランド) の成因の 1 つにある、エネルギー消費に起因する建築物からの人工排熱に着目し、これら排熱を各種未利用エネルギー利用システムや自然エネルギー利用システム等により低減した場合に、夏季における都市域の温熱環境がどの程度改善されるかを定量的に把握することを目的とするものである。名古屋中心市街地 (栄) とその周辺部との気象データの比較を行ったところ、都心部では、特に夜間に、周辺部より高温となるヒートアイランド現象が観察された。また、テレビ塔による上空大気データを境界条件として構築した熱収支モデルにより、市街地街路空間を計算対象として行った試算によれば、建築物の室外機からの人工排熱を基準値 (一般的な空調機の利用を想定した値) の半分にした場合では日平均気温で 1.0 の低下が、ゼロにした場合では 1.9 の低下が見られた。

ABSTRACT

This paper discusses the effect of the anthropogenic heat from buildings on urban environment. In comparing the thermal condition between urban area (Sakae) and the surrounding area thermal difference was seen for three years (1995-1997). And we evaluated the thermal condition of the urban canyon using the model of heat balance. It concluded that when the anthropogenic heat from buildings is decreased to the half and zero (compared with that of the present state) the daily mean temperature drops by 1.0 degree and 1.9 degrees, respectively.

目次

1 序論	1
1.1 研究の背景及び目的	1
1.2 本論文の構成	1
2 名古屋市とその周辺地域の気候	1
2.1 はじめに	1
2.2 対象地域の概要	2
2.3 気象データ処理法	3
2.4 結果及び考察	3
2.4.1 年周期での性状比較	3
a 降水量及び日照時間	3
b 風向・風速	5
c 外気温	8
2.5 まとめ	11
3 夏季における名古屋中心市街地の温熱性状	12
3.1 はじめに	12
3.2 外気温	12
3.3 降水量及び日照時間	14
3.4 風向・風速	14
3.5 水蒸気圧	15
3.6 まとめ	16
4 市街地上空層の温熱性状	17
4.1 はじめに	17
4.2 月別の温位差鉛直分布	17
4.3 各季節における温位の日変化の考察	20
4.3.1 春季代表日	20
4.3.2 夏季代表日	20
4.3.3 秋季代表日	21
4.3.4 冬季代表日	22
4.4 まとめ	22
5 熱収支モデルを用いた市街地街路空間における温熱性状の検討	23
5.1 はじめに	23
5.2 解析対象の概要	23
5.3 熱収支モデルの基礎式	24
5.4 モデルに用いた気象データ及び入力するパラメータ値	26
5.4.1 境界条件としての上空大気温度と上空への熱流の検討	27
5.5 計算結果及び考察	29
5.5.1 空調排熱削減による温熱環境改善効果	31
5.5.1a 室外機からの排熱を半分にした場合	31
5.5.1b 室外機からの排熱をゼロにした場合	32
5.5.1c 建築物の室内負荷の検討	32

5.6 まとめ	33
6 総論	33
謝辞	34
参考文献	35
付録	37
A1 道路交通から排出される人工排熱の推定法	37
A2 建築物室内における内部発熱量の算出法	40
A3 空調機の冷凍機の COP (成績係数) の算出法	40

1 序論

1.1 研究の背景及び目的

都市気候の諸現象として顕著に見られる都市ヒートアイランドとは、都心部がその周辺部よりも高温になる現象であり、その主な成因には以下が挙げられている（斎藤、1996）[1]。

1. 工場のボイラーやビルの冷暖房、自動車からの排熱など、郊外に比べて都市域でのエネルギー消費が際立って大きいこと。
2. 道路の舗装や緑地の減少、さらに下水道の発達により都市域からの水分の蒸発量が減少すること。
3. 都市構造物の熱容量が大きいこと。
4. 地表面粗度が大きいこと。
5. CO₂、H₂O などによる温室効果。

近年都心部では、建築物の密集化、高層化及びアスファルト等の地表面被覆による高温化（都市ヒートアイランド）が問題となっており、この現象は建築物の密集化に伴う空調機からの排熱、道路交通からの排熱といった、いわゆる人工排熱をなお一層増大させる結果となっている。

そこで本研究では、都市高温化現象の成因の1つである、エネルギー消費に起因する建築物からの排熱を取り上げ、その中でも主に建築物の空調機により排出される排熱に着目する。そして、これら排熱を、各種未利用エネルギー利用システムや自然エネルギー利用システム等により低減した場合に、都市域の温熱環境がどの程度改善されるかを定量的に把握することを目的とする。

1.2 本論文の構成

本論文は1章以下6章立てで構成される。

第2章では、名古屋の中心市街地である栄、名古屋テレビ塔及びその周辺部の気象状況を、1995年から1997年（テレビ塔データは年度）の3年間の気象データを用いて、年周期での比較及び検討を行う。

第3章では、1995年から1997年の3年間における夏季のみを取り上げ、さらに詳細にその温熱性状の比較、検討を行う。

第4章では、市街地街路空間の温熱性状を予測する際に、重要な境界条件となる上空大気の状態の検討を、名古屋TV塔の実測データにより行う。

第5章では、第4章までの結果を基に、市街地の街路空間（アーバンキャニオン）に対して、熱収支モデルを構築し、建築物からの人工排熱を低減した場合に、どの程度市街地の街路空間での温熱環境が改善されるのかを定量的に検討する。

第6章では、総論として、5章までで得られた本研究での知見を基に、全体としての考察を行い、今後の可能性や課題を検討する。

2 名古屋市とその周辺地域の気候

2.1 はじめに

都市気候とは、次のように定義される。「都市によって作りだされる周囲の田園地域と異なる気候。田園地域が都市化されると都市域内の気候が変化し、都市内外で気候の差を生じる。そ

のおもなものは、都市域の大気汚染物質の増加、日射量の減少、高温（都市温度、ヒートアイランド）、乾燥、風速の減少と静穏日数の増加、風の乱れの増加、霧日数や微雨日数の増加などである」（吉野ら、1986）[2]。こういった都市特有の気候を形成する原因は、1章の1.1で述べたものが主なもので、その気候は人間活動の結果として作りだされたものであると言ってよいだろう。近年では特に地球環境問題が問題となっており、こういった都市域における大気汚染物質の増加や高温化現象は何らかの対策を考えなければ、今後さらに重大なものとなることが考えられる。

そこでここでは、近年における名古屋市中心部から周辺地域の気象環境の変化を検討するために、1995年から1997年の3年分の気象データを用いて、年周期での性状の比較及び検討を行った。

2.2 対象地域の概要

この節では、都心部とその周辺地区との各気象要素を検討するため、都心部として名古屋テレビ塔（名古屋市中区）その比較検討地域として名古屋地方気象台（所在は名古屋市千種区）、愛知県豊田を選定し、各地区で得られた気象データを用い、検討を行った。名古屋周辺部の地区としては、主に表2.1に示す8地区があり、その中のデータ比較により、豊田を比較対象地区とした。その理由の詳細は第3章に記す。

また、都心部の対象には、1995年度から1997年度の3年間の毎時データが得られていたのが名古屋テレビ塔であったため、テレビ塔のデータを都心部の代表値とし、位置的に名古屋市の中心部である栄から直線距離で5km程にある、名古屋地方気象台を郊外地区の対象とした。

よって各地区とデータの対応は以下となる。

- ・ 都心部 - 名古屋栄(実測値)、テレビ塔(名古屋市環境保全局) [標高 22 m]
- ・ 郊外地区 - 名古屋地方気象台(アメダス及び気象庁年報) [標高 51 m]
- ・ 田園地区 - 豊田(アメダス) [標高 75 m]

表 2.1 比較検討のために選定した気象観測地点一覧

地点	緯度	経度	標高[m]
名古屋	N 35 ° 10	E 136 ° 58	51
岐阜	N 35 ° 24	E 136 ° 58	13
大垣	N 35 ° 21	E 136 ° 37	6
多治見	N 35 ° 21	E 137 ° 06	120
八開	N 35 ° 13	E 136 ° 42	5
豊田	N 35 ° 09	E 137 ° 11	75
東海	N 35 ° 01	E 136 ° 54	10
岡崎	N 34 ° 55	E 137 ° 12	47
豊橋	N 34 ° 43	E 137 ° 28	23

（ が名古屋中心部及び名古屋と比較検討する田園地区）

2.3 気象データ処理法

1995年から1997年の3年分におけるアメダスによる名古屋気象台データと豊田のデータ、及び1995年度から1997年度の3年分における、名古屋テレビ塔のデータを本研究での検討に用いた。表2.2に今回の検討に用いた気象データの地点と要素を示す。アメダスのデータは気温、風向・風速、降水量及び日照時間の4要素が基本となっている。

気温データに関する処理では、月単位及び日単位で平均値を求めた。風向・風速データに関しては、風向では各月で最も頻度の多かった風向（最多風向）と日最高風速の最多風向を求め、風速では月平均風速と日最高風速の平均値を求めた。降水量及び日照時間データに関しては毎時データの積算値を日単位及び月単位で求めた。そうして処理したデータを、主に年周期での性状を比較する目的で検討を行った。

表2.2 検討に用いた気象データの地点及び要素（1995年～1997年）

気象要素	気温	風向**・風速	降水量・日照時間	相対湿度
名古屋栄	(8月のみ)			(8月のみ)
テレビ塔*-10m				
-32m				
-40m				
-60m				
-75m				
-80m				
-139m				
名古屋気象台				(8月のみ)
豊田				

(*以下ではTV10、TV40というように略記する。**風向は16方位)

2.4 結果及び考察

2.4.1 年周期での性状比較

a 降水量及び日照時間

図2.4.1aに1995年から1997年の名古屋気象台における月積算降水量を、図2.4.1bに豊田における同期間の月積算降水量を示す。

1995年と1996年は、1995年の名古屋における年積算値で1393mm、豊田における年積算値で1397mm、1996年の名古屋における年積算値で1156mm、豊田における年積算値で1180mmと、名古屋、豊田共にほぼ同じ年積算値を示すが、1997年は200mm程度、豊田より名古屋が降水量の多い年であった。梅雨期（7月）においては名古屋および豊田とも400mm前後の比較的高い降水量を示したが、1996年はそういった傾向は認められなかった。1996年は相対的に降水量の少ない年であったと言える。名古屋での平年値は1534.9mmであった（理科年表より）[3]。

図2.4.2aに1995年から1997年の名古屋気象台における月積算日照時間を、図2.4.2bに豊田における同期間の月積算日照時間を示す。年積算日照時間は何れの年も名古屋及び豊田とも2000時間程度であるが、各年とも名古屋の方が200時間程度多かった。しかしながら、日照の傾向は

ほぼ等しいと言える。1995年の8月は名古屋、豊田ともに日照時間が長く、こういった違いが各地区の気温日格差(日最高気温と日最低気温との差)に影響を及ぼすことが考えられる。6月は降水量がそれ程多くないのにも関わらず、相対的に最も少ない日照時間であった。これは雲量等の影響を受けた事が考えられる。名古屋での平年値は、2015時間であった[3]。

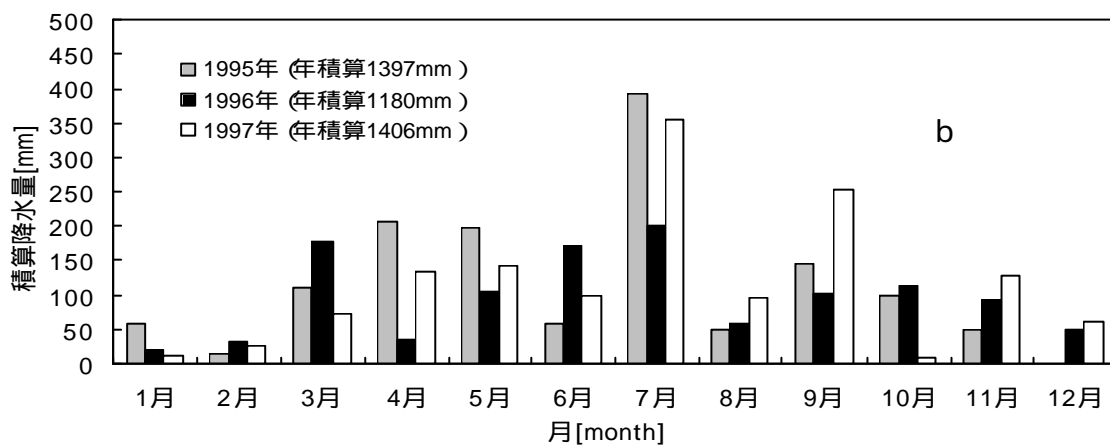
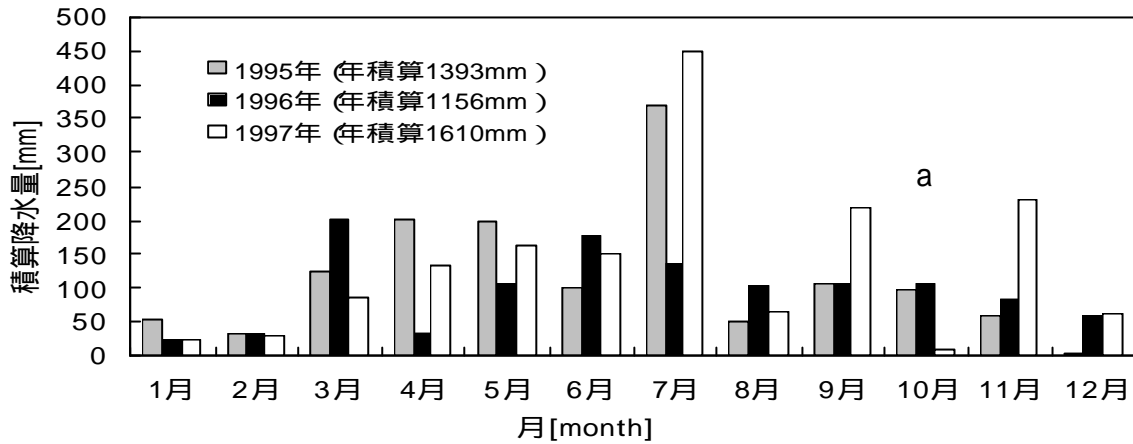
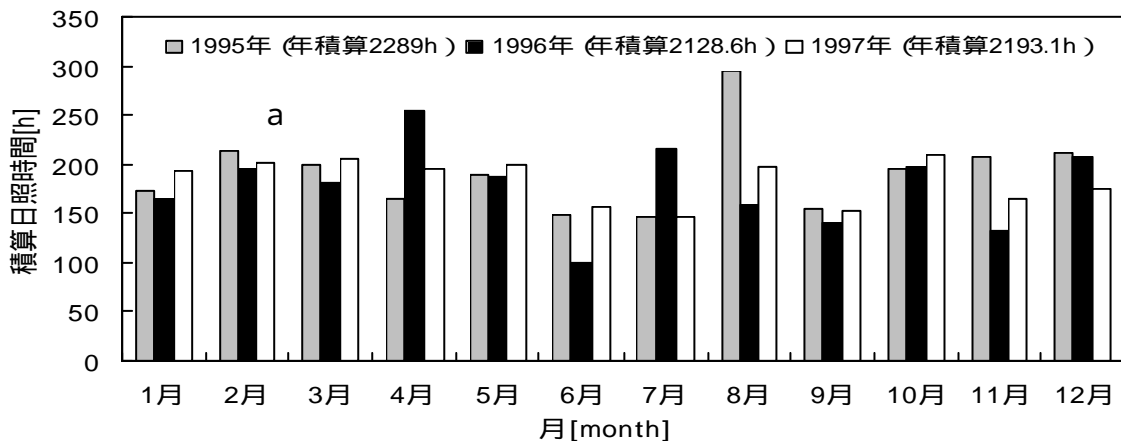


図 2.4.1 1995年から1997年における名古屋(a)及び豊田(b)の月積算降水量



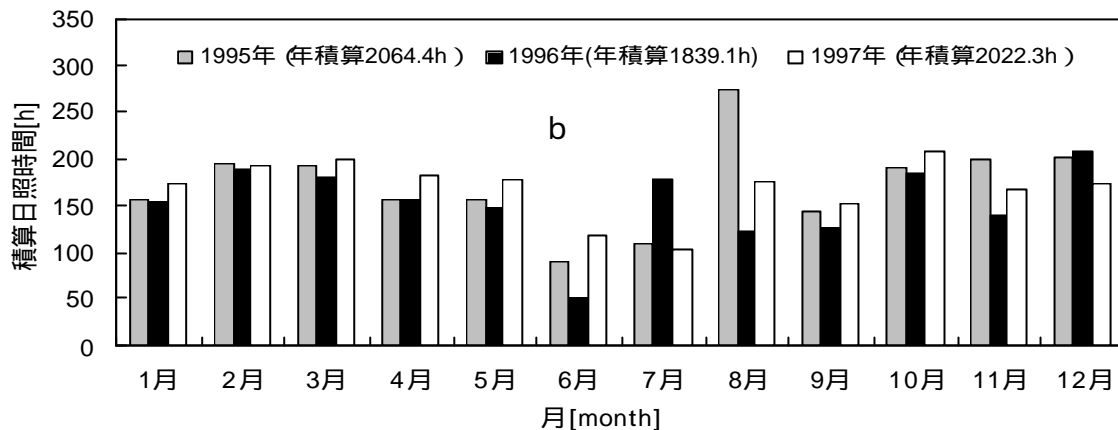


図 2.4.2 1995 年から 1997 年における名古屋(a)及び豊田(b)の月積算日照時間

b 風向・風速

表 2.3 に 1995 年から 1997 年の 3 年間に於ける豊田、名古屋及びテレビ塔の各月別の最多風向を、表 2.4 に月別の日最高風速の最多風向を示す。風向は 16 方位である。

表 2.3 より、いずれの年度とも豊田を除く各観測地点での風向は冬季には北寄り、夏季には南寄りであったが、1995 年度においては夏季でも北寄りの風向であった。一般に、東海地方は、北西に位置する伊吹山から吹く風、いわゆる“伊吹おろし”の影響により北西寄りの風が 1 年中吹くと言われていたが、夏季においては、南方向の海風がかなりの割合で吹き込んでいることが判る。また TV 塔観測地点の地上 75 m と 139 m 地点の各月の風向は 1 年を通じてほぼ等しい。このことから、上空の 2 地点間における風の乱れは、ほとんど無いものと推測される。一方、豊田では 3 年を通じて見ても静穏日が多く、風向は北東からのものが大半であった。このことから、豊田はおろしの影響を受けていないことが判る。表 2.4 に示した日最高風速の最多風向では、秋季や冬季に北西からの風が卓越し、夏季に南寄りの風向が卓越するという傾向は、表 2.3 の傾向と大差が無いが、豊田をみると北東からの風は秋季や冬季に見られ、春季には北西寄りの風が夏季には南西寄りの風が見られた。これは日最高風速においては、各季節に起因する気圧配置に加え、海風の影響が日最高風速に現れたことが考えられる。

図 2.4.3 に 1995 年から 1997 年の月平均風速を、図 2.4.4 に同期間の日最高風速の月平均値を示す。図 2.4.3、図 2.4.4 に示すように、月平均風速及び日最高風速の月平均値については、3 年を通じて TV139 が最も高い値を示した。何れの年度とも、TV75 と豊田は、名古屋気象台観測地点よりも標高が高いにも関わらず低い値を示した。理由には観測地点周辺の土地形状等の影響が考えられる。両図とも、秋季から春季にかけて風速が大きく、春季から夏季にかけて風速が小さくなる傾向を示した。日最高風速の平均値では、TV75 と名古屋の値が近くなっているが、月平均風速ではそうならず、名古屋が大きくなっている。月平均風速では、郊外地区にある名古屋気象台と、都心部にあるテレビ塔との間の都市化の程度（粗度の違い）が、テレビ塔における風速の減衰に現れたため、名古屋の月平均風速が大きくなることが考えられる。名古屋平年値における最多風向は、1 月で NW、4 月で NNW、7 月で SSE、11 月で N、そして年間で NNW であった[3]。

表 2.3 各地区における月最多風向

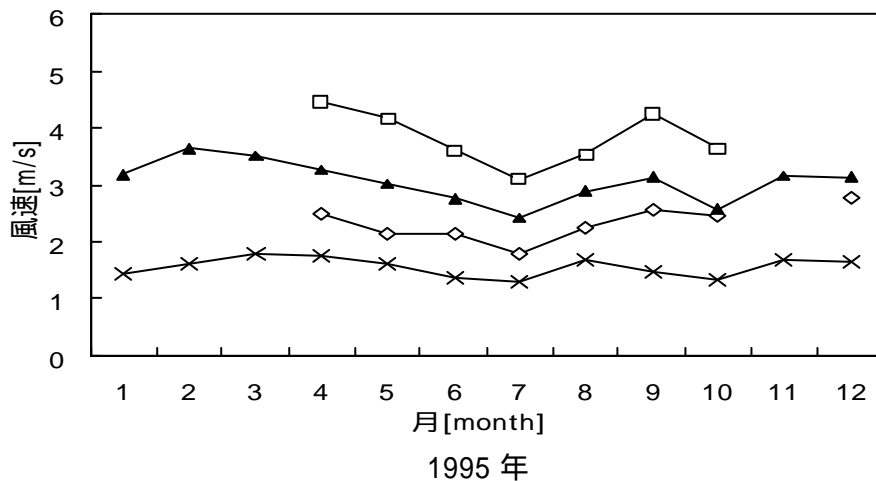
月	1995年				1996年				1997年			
	TV75	TV139	名古屋	豊田	TV75	TV139	名古屋	豊田	TV75	TV139	名古屋	豊田
1	-	-	NNW	-	NW	NW	NW	NE	NW	NNW	NNW	NE
2	-	-	NW	-	NW	NW	NNW	NE	NW	NNW	NW	NW
3	-	-	NW	0	NW	NNW	NW	NW	NNW	NNW	NW	NE
4	WNW	NNW	NNW	NE	NW	NW	NW	NE	NW	NNW	NNW	NE
5	WNW	NNW	SSE	0	NW	NW	NW	NE	NW	NW	NW	NE
6	WNW	NNW	NNW	0	SSW	SE	SSE	0	SSE	SE	SSE	0
7	0	NNW	SSE	0	SSE	SE	SSE	NE	SSE	SE	SSE	0
8	WNW	NNW	NNW	NE	SSW	SSE	SSE	0	SSW	0	SE/SSE	0
9	N	NNW	NNW	NE	NNE	N	NNW	0	N	NNW	NNW	0
10	N	NNW	NNW	NE	N	NNW	NNW	NE	NNE	NNW	NNW	NE
11	-	-	NNW	NE	NNE	NNW	NNW	0	NNE	NNW	NNW	0
12	N	-	NNW	NE	N	NNW	NNW	NE	NNE	NNW	NNW	0

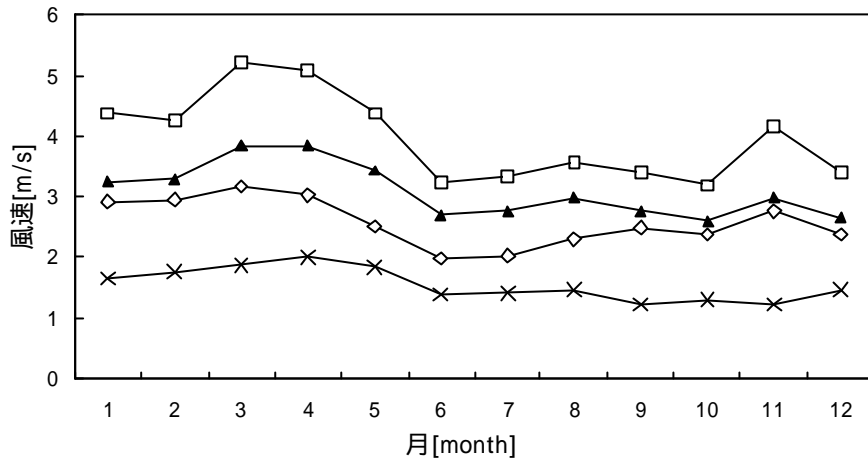
(図中の - はデータ無しか欠測を、0 は日平均風速が 0.2m/s 以下の静穏日を表す)

表 2.4 各地区における日最高風速の最多風向

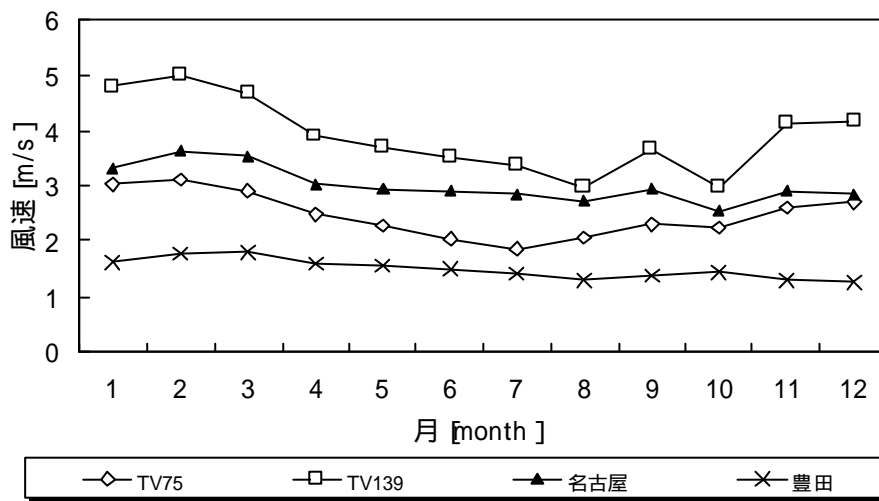
月	1995年				1996年				1997年			
	TV75	TV139	名古屋	豊田	TV75	TV139	名古屋	豊田	TV75	TV139	名古屋	豊田
1	-	-	NW	NE	NW	NW	NW	NNW	NW	NW	WNW	W
2	-	-	NW	WNW	NW	NW	NW	NE	NW	NW	WNW	W
3	-	-	NW	WNW	NW	NW	NW	NW	WNW	NNW	WNW	WNW
4	NNW	NNW	NNW	WNW	WNW	NNW	WNW	WNW	NW	NW	WNW	NE
5	WNW	NNW	SSE	ENE	SW	NNW	SSE	WNW	SW	NW	WNW	S
6	SSW	SSE	WNW	SW	SW	SSE	SSE	SSW	SW	SSE	SSE	SSW
7	SW	SSE	SSE	SSW	SW	SSE	SSE	SSW	SW	SE	SE	SSW
8	SW	NW	S	SSW	SW	SSE	S	SSW	SW	SE	SSE	SSW
9	N	NNW	NNW	NW	WSW	NNW	SSE	NE	WSW	NNW	WNW	WNW
10	N	NNW	NNW	NE	WSW	NNW	N	NE	WSW	NNW	WNW	NE
11	-	-	NNW	NW	N	NNW	NW	NE	NNE	NNW	NW	NW
12	N	-	NNW	WNW	NW	NNW	NW	NE	NW	N	NW	NE

(図中の - はデータ無しか欠測を表す)



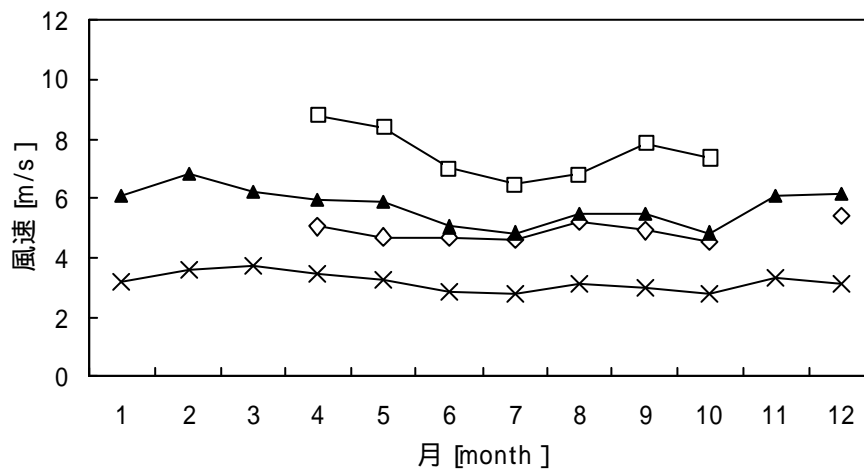


1996年

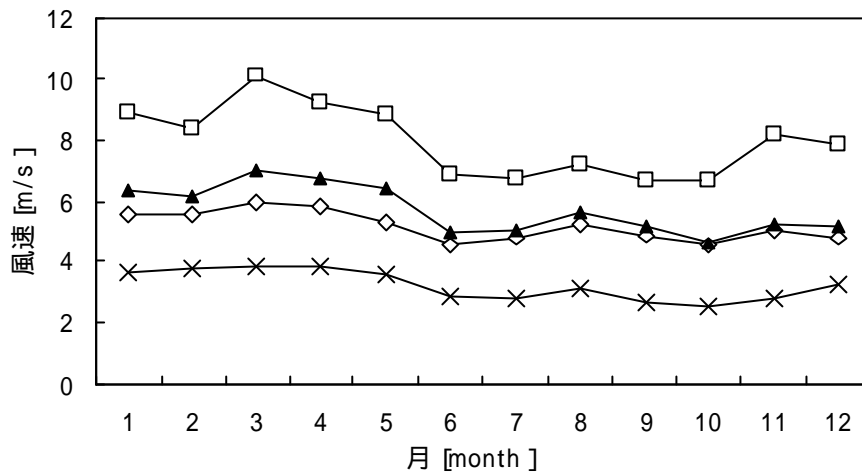


1997年

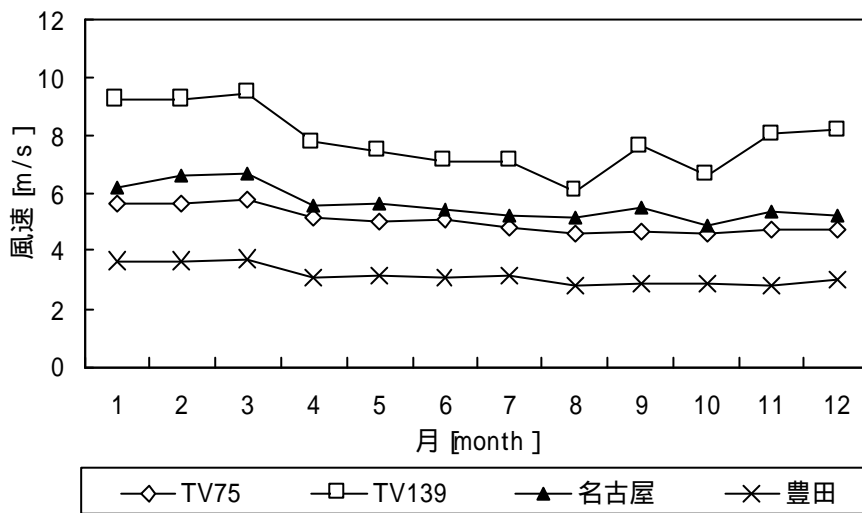
图 2.4.3 月平均風速



1995年



1996年



1997年

図 2.4.4 日最大風速の平均値

c 外気温

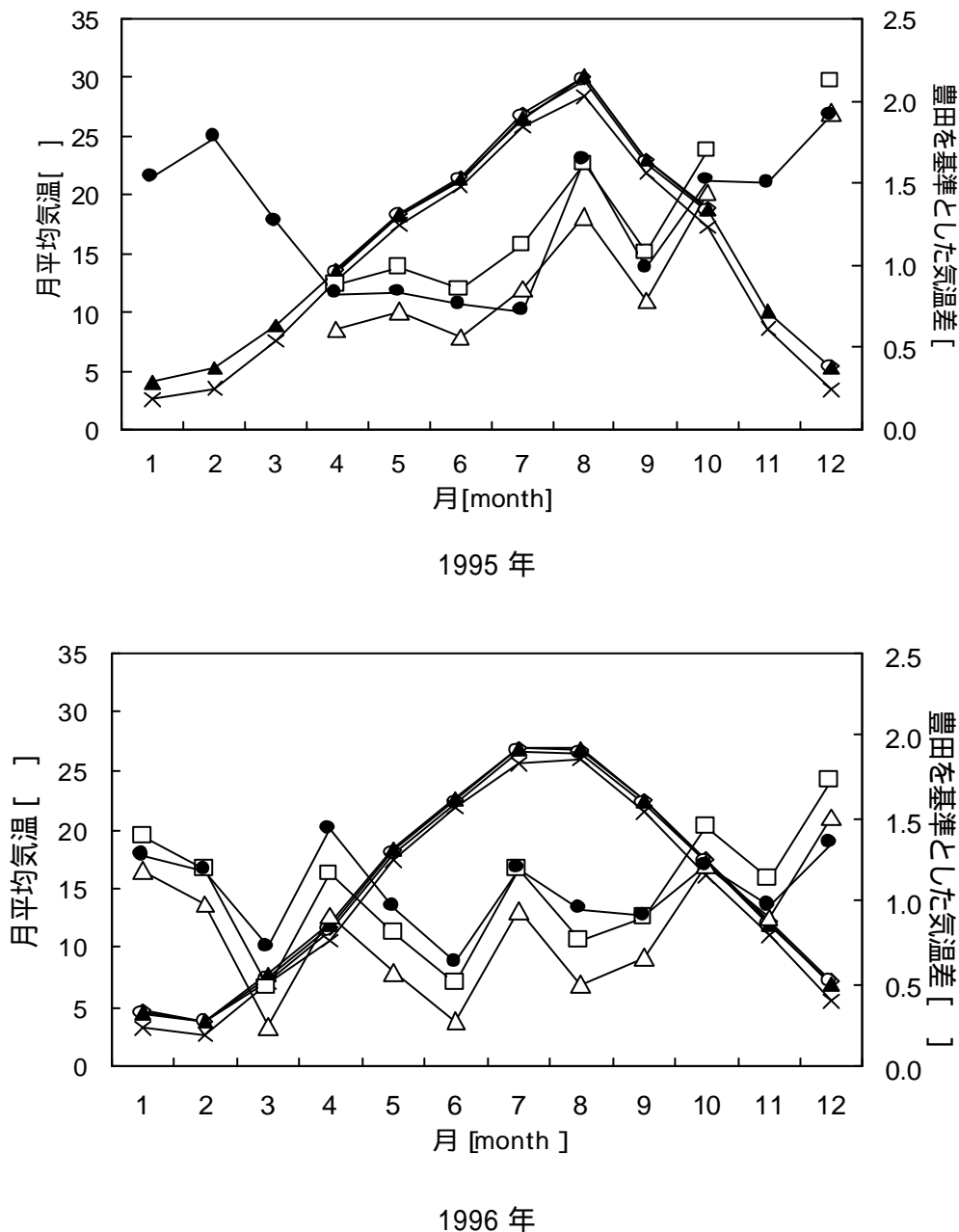
ここでは標高による外気温の違いを主に見るため、標高の比較的近いTV40(標高 62 m)と名古屋(標高 51 m) ならびに TV60(標高 82 m)と豊田(標高 75 m)を中心に検討した。

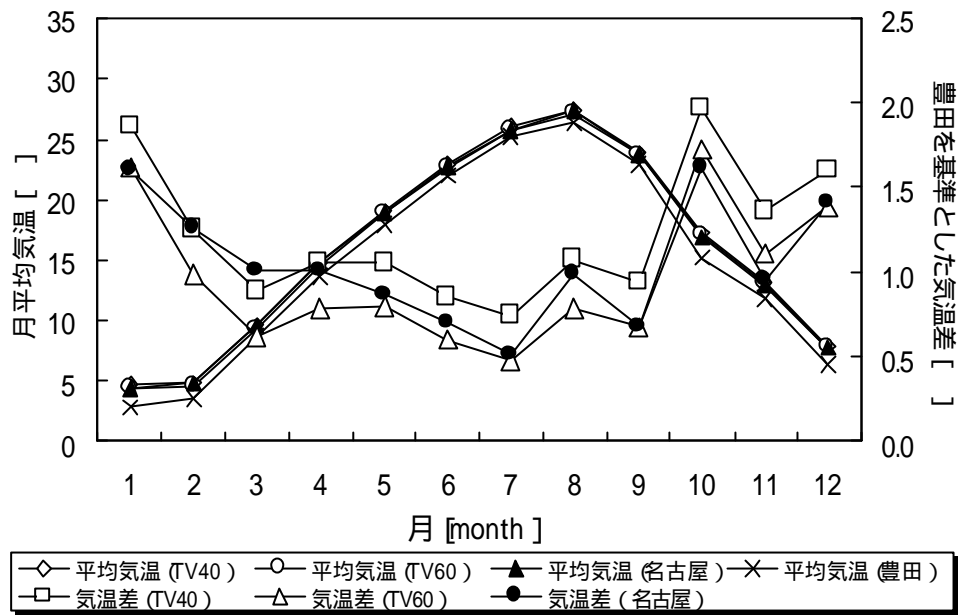
図 2.4.5 に 1995 年から 1997 年(テレビ塔は年度)の上記の 4 地点における月平均気温と、豊田の月平均気温を基準とした月平均気温差を示す。表 2.5 に上記の 4 地点における 1995 年から 1997 年の月平均気温と、月平均した気温日格差を示す。図 2.4.5 より、月平均気温では 3 年間を通して豊田が 4 地点で最も低くなったが、他の 3 地点ではほぼ同じ年変化を示した。この差は都市化の程度の差によるものと考えられる。月平均気温差を見ると、3 年間を通じて TV60 の月平均気温差が小さくなる傾向を示した。季節別では秋季から冬季にかけて気温差が大きくなる傾向が見られ、1996 年では春季に、名古屋气象台と豊田での月平均気温差が大きくなることを示し

た。

表 2.5 より月平均気温では、高い順から TV40、名古屋、TV60 となり、この傾向は 1995 年から 1997 年の 3 年間を通じてほぼ言える。3 年とも、豊田の値が最も低くなることが確認された。3 年間の名古屋の値を名古屋平年値と比較すると、年平均値では、1995 年で 0.3 名古屋が高く、1996 年は同じで、1997 年では 0.7 名古屋の値が平年値よりも高くなっている。

気温日較差では、何れの年、月も TV60、TV40、名古屋、豊田の順で、日較差が大きくなっている。各年の季節間での気温日較差は、明確な差が見られないが、1996 年 8 月と 11 月の日較差が全体の中で比較的低い値を示した。年平均値で見ると、名古屋平年値が 9.1、1995 年、1996 年、1997 年の名古屋で、それぞれ 8.3、8.3、8.5 であった。1995 年、1996 年で名古屋の値が、平年値より 0.8 小さく、1997 年では 0.6 小さいことより、近年における郊外地区の都市化に起因する、熱容量の増大傾向が考えられる。





1997 年

図 2.4.5 TV40、TV60、名古屋及び豊田における月平均気温と豊田の平均気温を基準とした各地区における気温差

表 2.5 TV40、TV60、名古屋及び豊田における月平均気温と月平均した日気温格差

月	1995 年				1996 年			
	TV40	TV60	名古屋	豊田	TV40	TV60	名古屋	豊田
1	-	-	4.0	2.5	4.7	4.4	4.5	3.3
2	-	-	5.3	3.5	3.8	3.6	3.8	2.7
3	-	-	8.9	7.6	7.5	7.3	7.8	7.0
4	13.6	13.3	13.5	12.7	11.8	11.5	12.0	10.6
5	18.5	18.2	18.3	17.5	18.2	18.0	18.4	17.4
6	21.6	21.3	21.5	20.7	22.5	22.3	22.7	22.0
7	26.9	26.6	26.5	25.8	26.9	26.6	26.9	25.7
8	30.1	29.8	30.1	28.5	26.8	26.5	27.0	26.0
9	23.1	22.8	23.0	22.0	22.5	22.2	22.5	21.6
10	18.9	18.6	18.7	17.2	17.6	17.3	17.3	16.1
11	-	-	10.1	8.6	12.2	12.0	12.0	11.1
12	5.4	5.2	5.2	3.3	7.3	7.0	6.9	5.5

月平均した気温日較差

月	1997年				平年値[3]	1995年			
	TV40	TV60	名古屋	豊田		TV40	TV60	名古屋	豊田
1	4.6	4.3	4.3	2.7	3.7	-	-	7.1	9.7
2	4.8	4.5	4.8	3.5	4.3	-	-	9.2	12.5
3	9.5	9.3	9.6	8.6	7.6	-	-	8.7	11.4
4	14.7	14.4	14.7	13.7	13.8	7.8	7.6	8.9	11.1
5	19.1	18.8	18.9	18.0	18.4	7.5	7.3	8.5	10.3
6	22.9	22.6	22.7	22.0	22.0	7.0	6.8	7.6	9.1
7	26.0	25.7	25.8	25.3	25.8	6.4	6.2	6.8	8.2
8	27.5	27.2	27.4	26.4	27.1	7.9	7.6	9.3	12.2
9	23.9	23.6	23.6	23.0	23.1	7.0	6.8	7.8	9.7
10	17.2	17.0	16.9	15.3	17.0	7.8	7.6	8.5	10.9
11	13.2	13.0	12.8	11.8	11.5	-	-	9.1	12.2
12	7.9	7.7	7.7	6.3	6.2	6.6	6.5	8.8	11.8

月	1996年				1997年				平年値[3]
	TV40	TV60	名古屋	豊田	TV40	TV60	名古屋	豊田	
1	6.0	5.9	7.7	10.4	6.5	6.4	8.4	10.7	8.6
2	7.2	7.1	8.8	10.9	7.3	7.2	9.2	11.7	9.1
3	7.2	7.0	8.8	10.8	8.2	8.1	10.0	12.8	10.1
4	8.3	8.2	10.1	13.2	8.2	8.1	9.7	12.0	10.2
5	7.6	7.4	9.1	11.5	7.6	7.6	9.1	11.2	10.0
6	5.9	5.9	6.8	8.2	6.4	6.4	7.5	9.2	8.3
7	6.8	6.6	7.8	9.5	6.0	5.9	6.7	8.1	7.9
8	6.0	5.9	7.3	9.0	6.8	6.7	7.8	9.9	8.7
9	6.6	6.5	7.6	9.3	6.4	6.4	7.4	9.0	8.2
10	7.8	7.7	9.1	10.9	8.1	8.1	9.4	11.9	9.3
11	6.2	6.1	7.3	9.7	8.0	7.9	9.1	11.6	9.6
12	7.5	7.4	8.8	11.3	6.8	6.8	7.9	10.6	9.1

(- はデータ無しか欠測を表す。単位はいずれも)

2.5 まとめ

名古屋市とその周辺地域との年周期での気候環境の比較検討を、1995年～1997年の気象データを用いて行った。その結果、降水量及び日照時間では、名古屋と豊田ではほぼ同じ年周期性が見られることが確認された。月最多風向では、豊田をTV75、TV139及び名古屋では、冬季は北より、夏季には南よりの風向が卓越していた。TV75とTV139の各月の風向は、1年を通じてほぼ等しいことが確認された。豊田での日最高風速の最多風向では、各季節での気圧配置の影響を受けることが考えられる。月平均風速及び、日最高風速の月平均値では、3年を通じてTV139が最も高い値を示し、TV75と豊田より標高の低い、名古屋気象台での観測値が3地点の中でも最も大きいことが示された。これは地表面の粗度による影響が考えられる。月平均風速、日最高風速の月平均値とも、秋季から春季にかけて大きく、春季から夏季にかけて小さくなる傾向を示した。月平均気温では、高い順でTV40、TV60、名古屋、豊田となった。気温日較差では、TV60、TV40、名古屋、豊田の順で大きくなる。1995年～1997年の名古屋での気温日較差は、年平均

で、平年値より 0.7 ほど小さくなっていた。

3 夏季における名古屋中心市街地の温熱性状

3.1 はじめに

ここでは、夏季（8月）における名古屋市の中心市街地である栄（都心部）、名古屋気象台（郊外地区）、及び豊田（田園地区）の実測データとを比較し、夏季の温熱性状を、外気温を始めとした各気象データから検討する。栄のデータは、高さ約 30 m の建物屋上で実測された値である。名古屋周辺部の検討対象地区として、豊田を選定した理由を以下に記す。

まず、気象データ（アメダス）の存在する名古屋周辺地区として第 2 章の表 2.1 に示したように、八開、豊田、東海、岡崎、豊橋、大垣、岐阜、多治見の 8 地区を取り上げた。各地区の 8 月における月平均気温、月積算降水量及び月積算日照時間を比較、検討した結果、岐阜を除く 7 地区の外気温の平均値は何れも 29 前後とほぼ同じ値であったのに対し、月積算日照時間が、名古屋の 293.6 時間に対して豊田の 274.1 時間、月積算日射量が、名古屋の 51.0 mm に対して豊田の 50.0 mm と、豊田の値が岐阜を除く 7 地区の中で、最も名古屋の値に近いものだったため、名古屋周辺地区の田園地区として豊田を比較対象に選定した。

3.2 外気温

図 3.1、3.2、3.3 に 1995 年から 1997 年の 8 月（31 日間）における、名古屋栄、名古屋気象台及び豊田の外気温経時変化を示す。栄における平均気温は 1995 年から 1997 年で、それぞれ 30.5、27.7、28.3（名古屋平年値は 27.1）気温日較差の平均値は 6.6、5.3、6.0（名古屋平年値は 8.7）であった。図を見ると、いずれの年も天候状態に関わらず、都心部（栄）の特に夜間での気温がその周辺部（豊田）よりも高くなるヒートアイランド現象が観察される。月平均気温では、1995 年から 1997 年で、栄の値が豊田の値よりそれぞれ 1.6、1.0、1.0 高く、月平均の気温日較差では、それぞれ 2.9、1.7、2.1 小さい。月平均気温の差は、自動車や建築物におけるエネルギー消費から生じる、都心部と周辺地区の人工排熱量の差に起因することが考えられる。また気温日較差の違いは、1 章の成因にもあるように、都心部における地表面の凹凸（天空率の減少）や、地表面被覆の材質による熱容量の増大化が、数値として現れたことが考えられる。

図 3.4 に同期間の最大ヒートアイランド強度（都心部の気温日変化から田園地区（ここでは豊田）のそれを引いた値の中の最大値）を示す。31 日間の平均では、1995 年から 1997 年でそれぞれ、5.5、4.4、4.6 の値を示した。第 2 章での 8 月の日照時間の違いからも判るように、快晴日が多い月ほど、最大ヒートアイランド強度の値が大きくなる傾向が確認された。

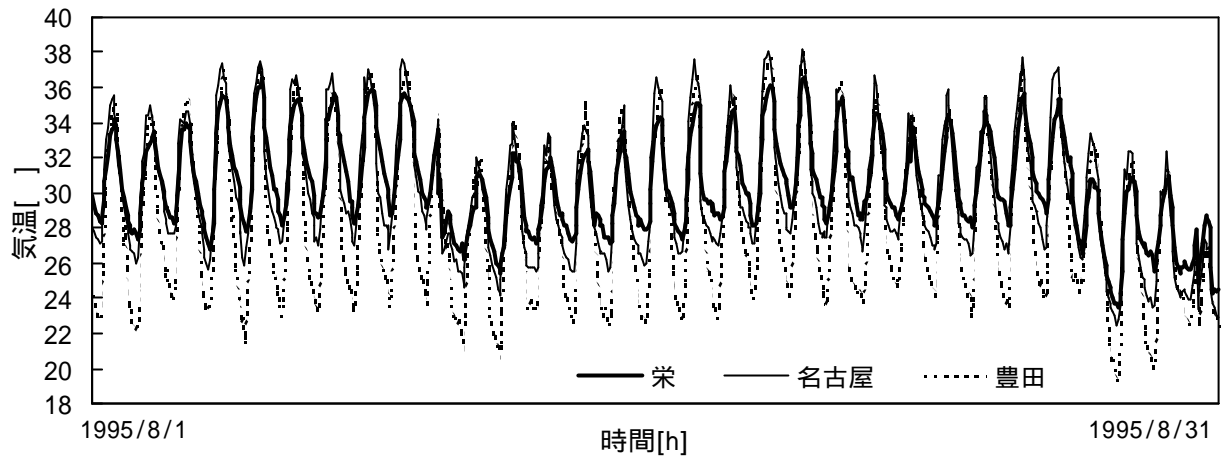


図 3.1 1995 年 8 月における外気温の経時変化

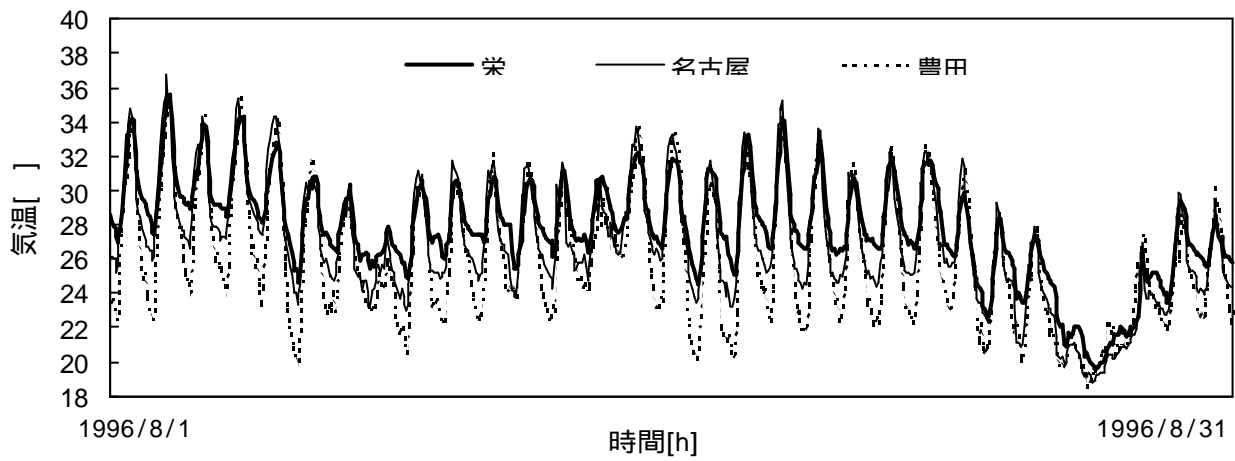


図 3.2 1996 年 8 月における外気温の経時変化

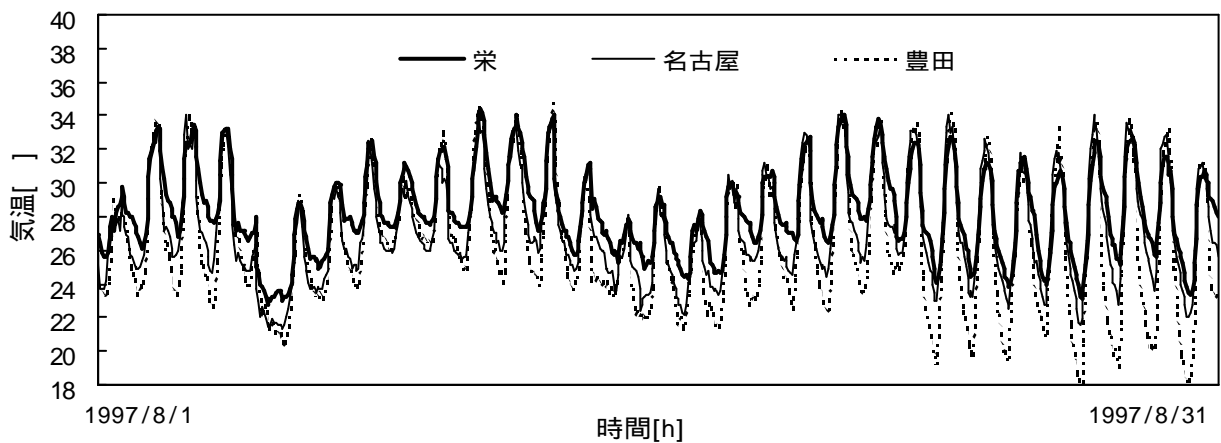


図 3.3 1997 年 8 月における外気温の経時変化

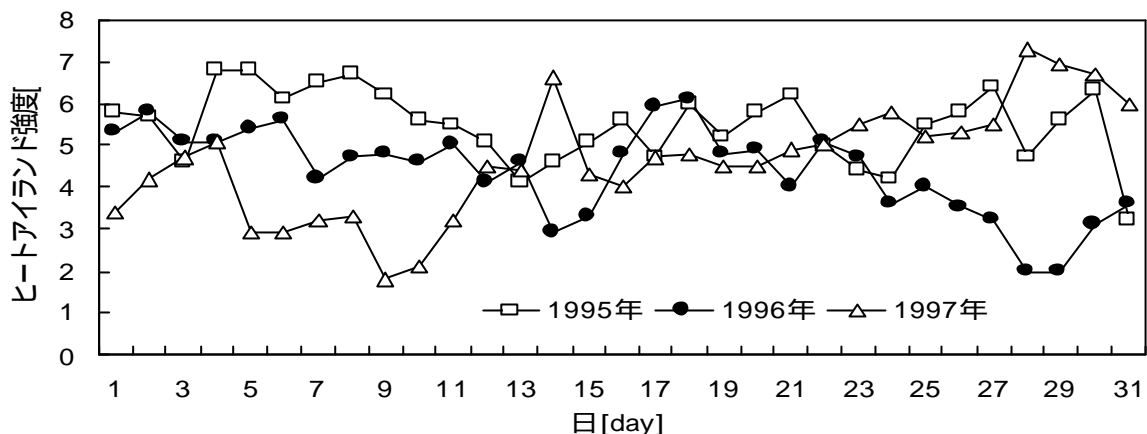


図 3.4 夏季（8月）における最大ヒートアイランド強度

3.3 降水量及び日照時間

表 3.1 に 1995 年から 1997 年の名古屋、豊田における月積算の降水量及び日照時間を示す。地域間の差は、降水量、日射量の順でこの 3 年間の年毎では、名古屋及び豊田でそれぞれ 71.7 mm、69.7 mm、180.3 h、190.5 h であることから、この 2 地点間では大差はないが、8 月の名古屋平年値が降水量で 145.1 mm、日照時間で 196 h という値から、この 3 年間の名古屋の年平均は、平年値り降水量で 73.4 mm、日照時間で 15.7 h 少ない値であった。

表 3.1 8 月における名古屋及び豊田の月積算降水量、月積算日照時間

年	月積算降水量[mm]		月積算日照時間[h]	
	名古屋	豊田	名古屋	豊田
1995 年	51.0	52.0	162.2	274.1
1996 年	101.5	61.0	193.7	122.2
1997 年	62.5	96.0	185.0	175.3
平年値[3]	145.1		196.0	

3.4 風向・風速

図 3.5、3.6 に同期間の名古屋と豊田における日平均風速の月変化を示す。各年の間で、それほど大きな性状の違いは見られないが、1995 年と 1997 年の中旬では比較的大きな値を示した。3 年間の年平均した月平均値で、名古屋が 2.9 m/s、豊田が 1.5 m/s と名古屋が 1.4 m/s 大きい値を示した。このことは、第 2 章における、表 2.3 の 1996 年と 1997 年の最多風向の値から、海陸

風、もしくは、ヒートアイランドによる循環風の影響に起因すると考えられる（吉野ら、1986：尾島ら、1998）[2,4]。

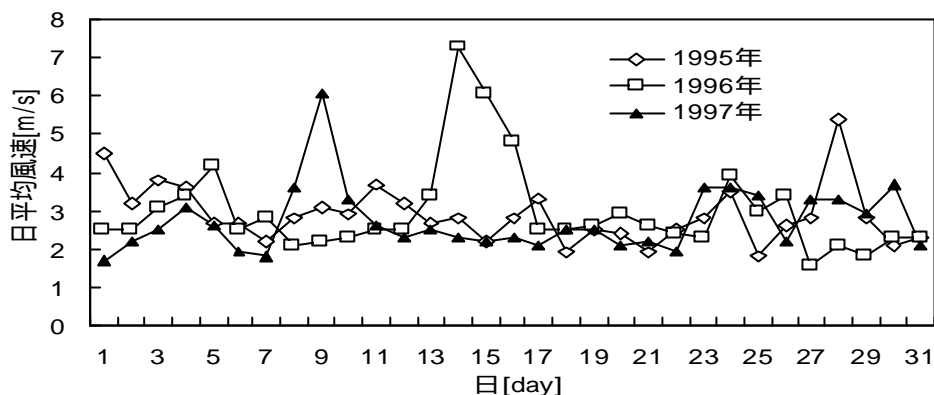


図 3.5 1995 年から 1997 年 8 月の名古屋における日平均風速の月変化

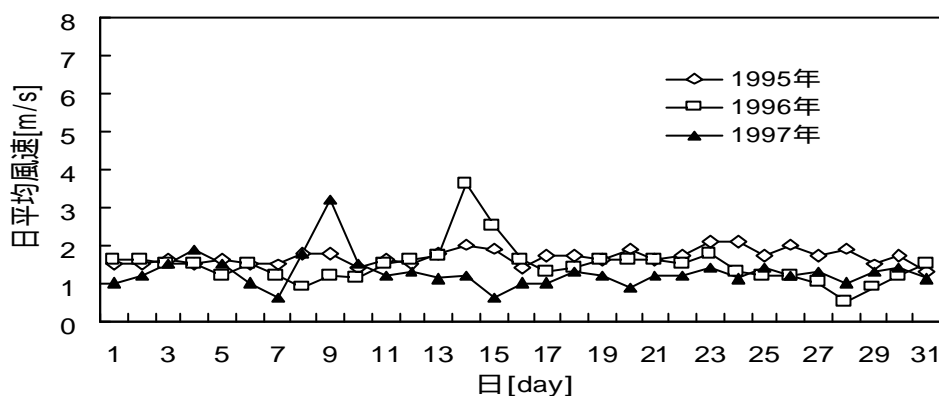


図 3.6 1995 年から 1997 年 8 月の豊田における日平均風速の月変化

3.5 水蒸気圧

ここでは栄、テレビ塔及び名古屋の水蒸気圧を示す。各水蒸気圧の値は、以下の Goff-Gratch の実験式により算出した（永井、1996）[5]。その結果を表 3.2 に示す。

$$\log_{10} E_w = 10.79574 \times (1.0 - T_1/T) - 5.028001 \times \log_{10} \times (T/T_1) + 1.50475 \times 10^{-4} \times (1.0 - 10^a) + 0.42873 \times 10^{-3} \times (10^b - 1.0) + 0.78614 \quad (3.3)$$

$$a = -8.2969 \times (T/T_1 - 1.0), \quad b = 4.76955 \times (1.0 - T/T_1)$$

ここに、 E_w は、hPa で表した水面に対する飽和水蒸気圧、 T は、K で表した気温（ $+273.15$ ）、 T_1 は、水の三重点温度（ 273.16 K）である。

1995 年で 2 hPa ほど栄の値が、TV32 及び名古屋のそれより低く、1996 年では 8 hPa の間隔で、TV32、名古屋の順で高くなっており、1997 年では TV32 の値が 3 地点の中で最も高くなった。この様に、栄よりも TV32 の水蒸気圧の値が高くなる理由は、TV 塔は都心部の中でも、周辺より比較的樹木の多くある栄セントラルパークに位置しており、そういった樹木の量の差が栄と TV32 の値に現れた事が考えられる。各年における名古屋の値が、平年値よりも 1 hPa ほど低くなっていることから、ここでも郊外地区名古屋では都市化による蒸発散量の低下が確認された。参考までに表 3.3 に、TV10、TV40、TV60 及び栄における 8 月の平均気温の値を示す。1996 年、1997 年では、ほぼ栄と同じ高さの TV40 の値は、栄より 1 程度低いことより、テレビ塔付近は樹木による蒸発潜熱の効果が大きいものと推察される。

表 3.2 8 月における各地区の月平均水蒸気圧[hPa]

年/地点	栄	TV32	名古屋
1995 年	23.4	25.3	25.2
1996 年	23.8	24.6	25.3
1997 年	23.2	25.8	25.6
平年値	-	-	26.5

表 3.4 8 月における TV10、TV40、TV60 と栄の月平均気温[]

年/地点	TV10	TV40	TV60	栄
1995 年	30.6	30.1	29.8	30.5
1996 年	27.3	26.8	26.5	27.8
1997 年	27.8	27.5	27.2	28.3

3.6 まとめ

第 3 章では、夏季における熱環境の比較検討を、8 月の気象データを用いて、栄、テレビ塔、名古屋气象台、豊田を対象に行った。その結果、都心部（栄）では、その周辺部（豊田）より夜間気温の気温の高くなる、ヒートアイランド現象が観察された。第 2 章の表 2.5 の 8 月と比較しても、月平均気温では、栄、名古屋、豊田の順で高く、月平均の気温日較差では、その順で大きくなることが判り、この差の原因は、その地区の熱容量や人工排熱量の違いが考えられる。快晴日が多いほど、最大ヒートアイランド強度の値が大きくなる傾向が見られた。1995 年から 1997 年の名古屋の年平均値では、平年値と比べて、月積算降水量では 73.4 mm、月積算日照時間では 15.7 h 小さい値を示した。風速では、年平均した月平均値で、豊田より名古屋は 1.4 m/s 大きい値を示した。風向を考慮すると、8 月の毎時の値において、夜間では NNE（北北東）が多いことから、ヒートアイランドの循環風の影響によることも考えられる。地区ごとの水蒸気圧の比較では、栄の水蒸気圧が最も低くなった。TV32 の値は名古屋气象台の値に近かったことから、月平均気温の値から判断して、テレビ塔のある地区（セントラルパーク）では、都心部特有のクールアイランド現象が観察された。

4 市街地上空層の温熱環境

4.1 はじめに

一般に、ヒートアイランド現象が観察される都市域では、汚染源から大気中に排出された汚染物質が、乱流拡散や対流活動によって鉛直方向に運ばれ、周囲の大気との混合希釈が行われるという混合層が存在し、その混合層の高さは、夜間に低く（300 m 以下）、日の出後急速に上昇し、日中過ぎには 500 m ~ 3000 m に達すると言われている（吉野ら、1986；Leahey ら、1971）[2,6]。この層よりも上空では、都市域とその周辺地域での気温格差はほとんど無いことが示されている（Clarke ら、1970）[7]。この混合層の高さは、都市の規模によって大きく異なり、大都市ほどその高さが高いことも報告されており（浅井、1996）[8]、さらにその高さは日周期、あるいは年周期で変化することも考えられる。

仮にこの混合層の高さが推定できれば、第 5 章で行う、市街地街路空間の熱収支モデルにおける、上空大気に対する境界条件として、この混合層の高さでの気温データを用いることが可能となる。

そこで 4 章では、市街地街路空間の熱収支モデルにおける境界条件として、都心部と田園地区で殆ど温度に差の無い、上空大気の使用温度が使用できるのかを検討するため、1995 年度から 1997 年度までの 3 年間における、名古屋テレビ塔での地上 10 m（標高 32 m）から上空 139 m（標高 161 m）までの気温（及び風向・風速）データを用いて、上空大気の状態を検討した。使用したデータの計測地点と要素は表 2.2 の通りである。

4.2 月別の温位差鉛直分布

図 4.1、4.2 に、1995 年度から 1997 年度における各月のテレビ塔観測気温から算出される、温位差の鉛直分布を示す。図中横軸の温位差は、各高さ地点の実測気温の月平均値から次式により温位を算出し、最下点である TV 塔 10 m 地点との温位の差を示している。縦軸は観測地点における標高 [m] を表す。

$$T(z) = T(z_0) + \gamma \cdot (z - z_0) \quad (4.2)$$

ここで、 $T(z)$ は高さ z における気温 [°C]、 z_0 は基準高さ [m]（1000 hPa における高さ）、 γ は乾燥断熱減率 [= 0.00976 /m] を表す（文字ら、1998）[9]。式（4.2）により求められる温位は、通常の大気状態であれば自然対流によって鉛直方向で一定になるが、上空ほど大気温度が高くなっている（温位が高い）場合には、上空への移流が抑制されるため大気が非常に安定な状態にあることを示し、逆に上空の温位が低くなっている場合には、大気は不安定な状態であることを示す（伊藤ら、1999；永井ら、1999）[10,11]。

図 4.1、4.2 に示すように、各月間での鉛直方向温位分布は、異なった温度分布を示すが、各月毎の分布は 3 年間ともほぼ同様な温度分布となっており、秋季から冬季にかけては、この高さ付近の大気は安定型、夏季においては、不安定型と言える。以上のことから、名古屋市の中心市街地にある栄における混合層の高さは、秋季から冬季にかけては、大略、標高 100 m 付近に存在し、春季から夏季にかけては標高 100 m よりも高い位置に存在するという、年周期的な変動があるものと推察される。

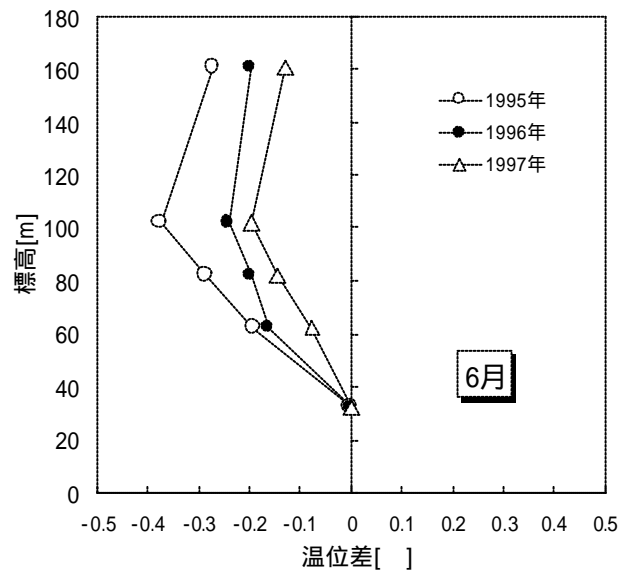
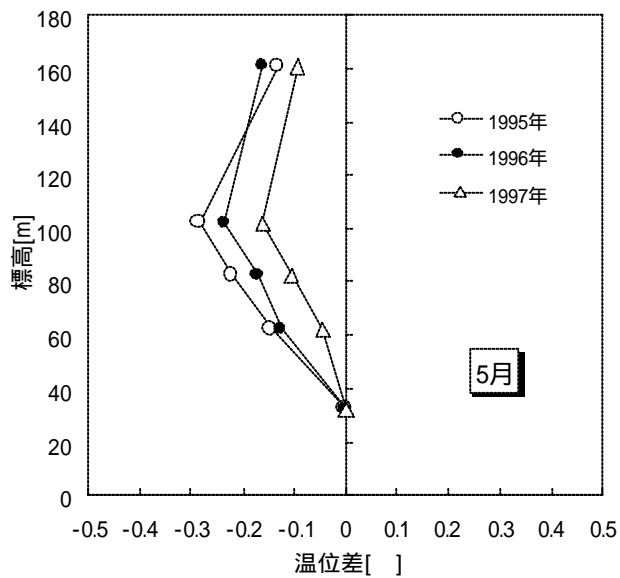
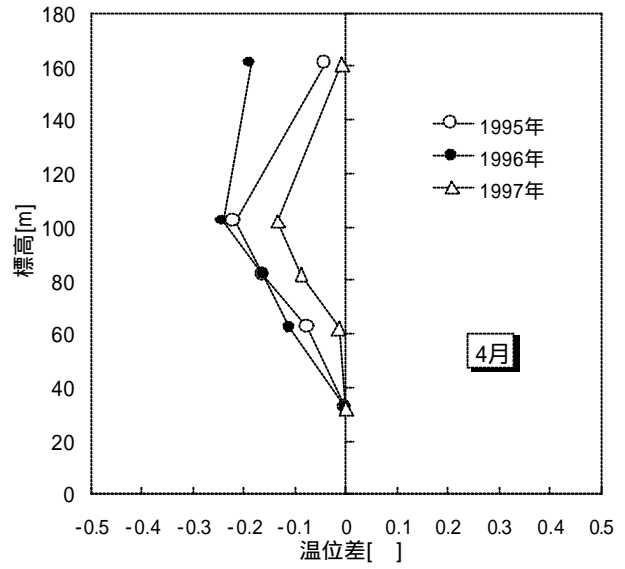
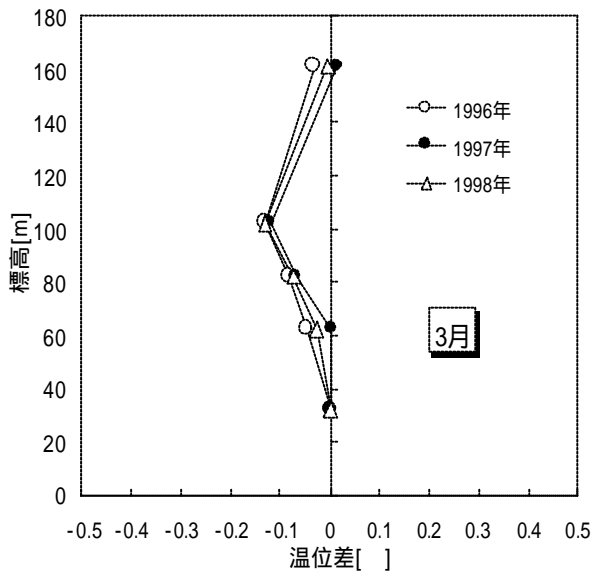
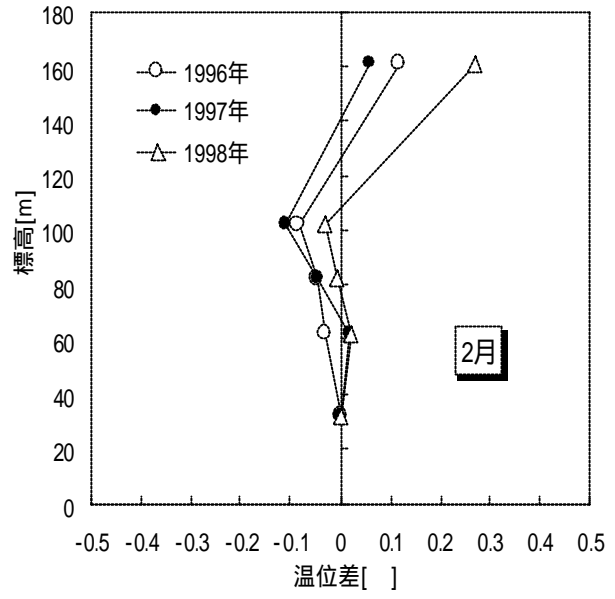
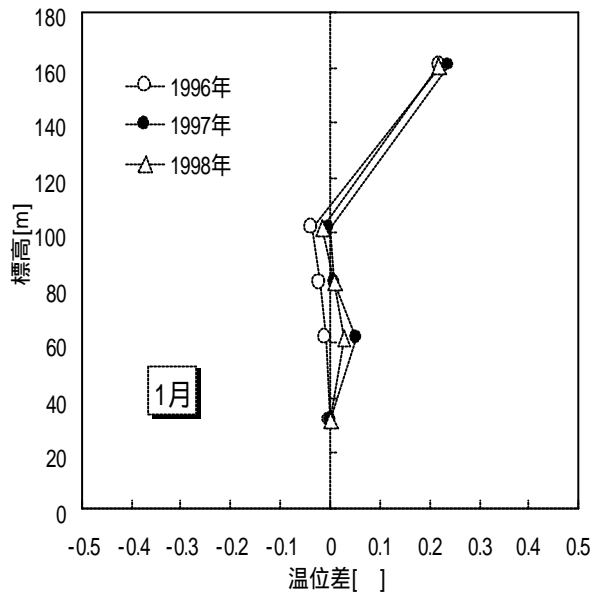


図 4.1 1995 年度から 1997 年度の各月 (1~6) における平均温位差の鉛直分布

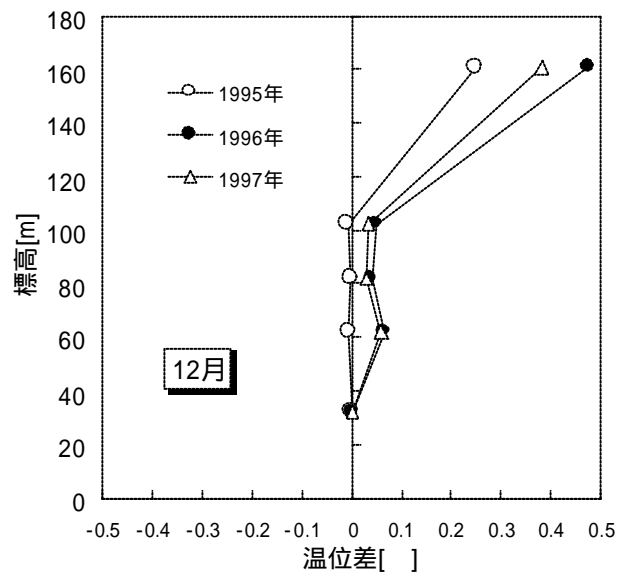
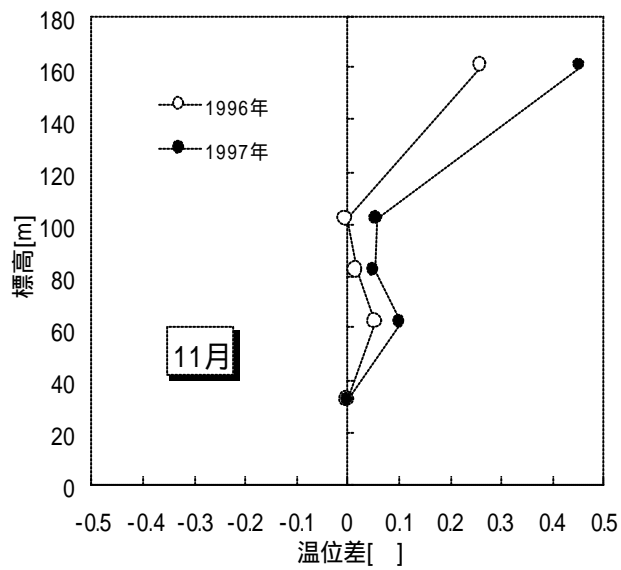
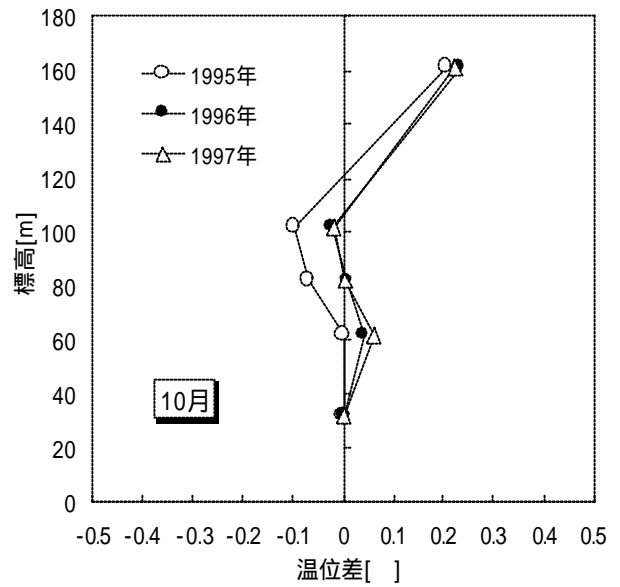
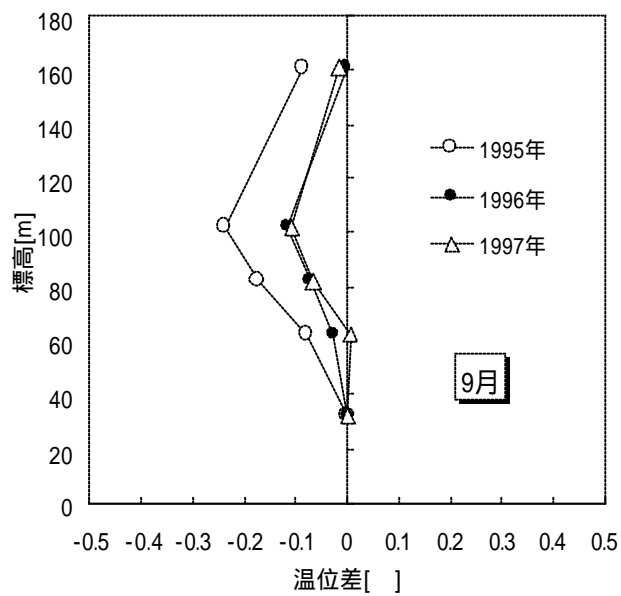
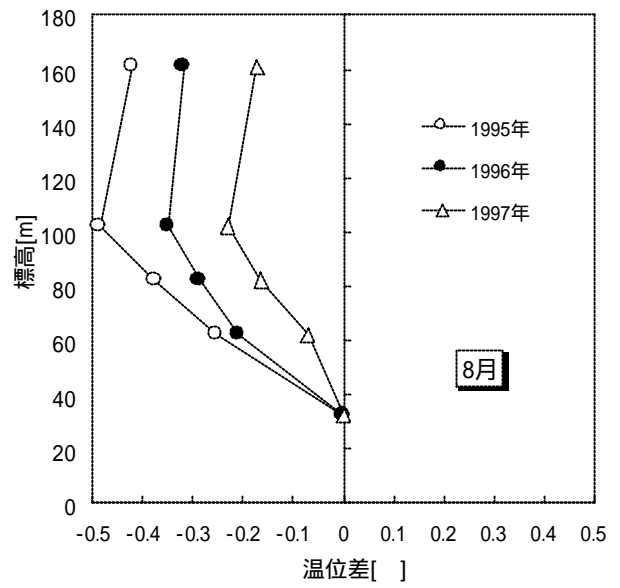
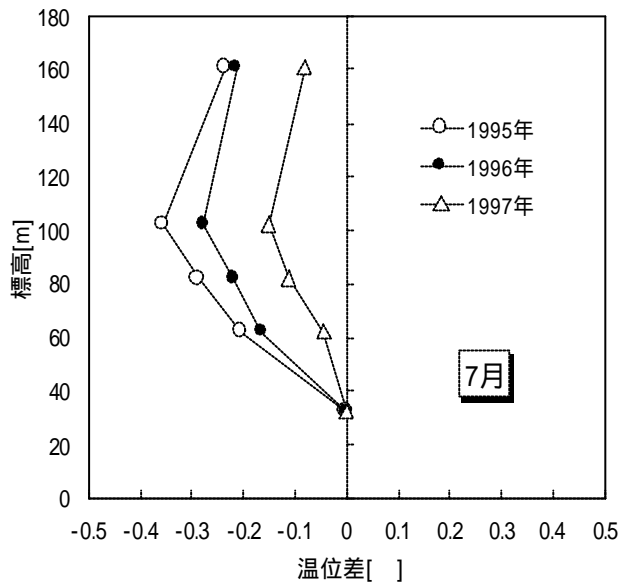


図 4.2 1995 年度から 1997 年度の各月 (7~12) における平均温位差の鉛直分布

4.3 各季節における温位の日変化の考察

第2章及び4.2節の考察により、名古屋市を中心市街地である栄上空では、その風向、風速及び、温度性状は月平均的には、大略、年周期的な性状を示すことが明らかとなった。従って、月平均的な都市域の温熱性状を予測する際には、大略その年周期的な取り扱いを行えばよいものと言える。そこでここでは、各季節における晴天日を代表日として、1日周期での上空大気の熱性状について考察を行った。

考察を行った各季節の代表日は、快晴日（本研究では、日照時間が6時間以上の日と定義）が3日以上続き、かつ月平均風速の値よりも日平均風速の値が小さい日を抽出し、1日の4時間刻みで検討を行った。

4.3.1 春季代表日

図4.3に、春季代表日の一例（1996年5月26日）の温位差鉛直分布を示す。図に示すように、日の出前の大気は比較的安定な状態となっており、日中の気温上昇とともに大気は不安定な状態へと推移し、日没後、安定な状態へ向かうという日周期の変動を示した。しかしながら、春季においては、風の穏やかな快晴日でも、日による大気性状の時間変化のばらつきは比較的大きく、明確な日変動の傾向は観察できなかった。

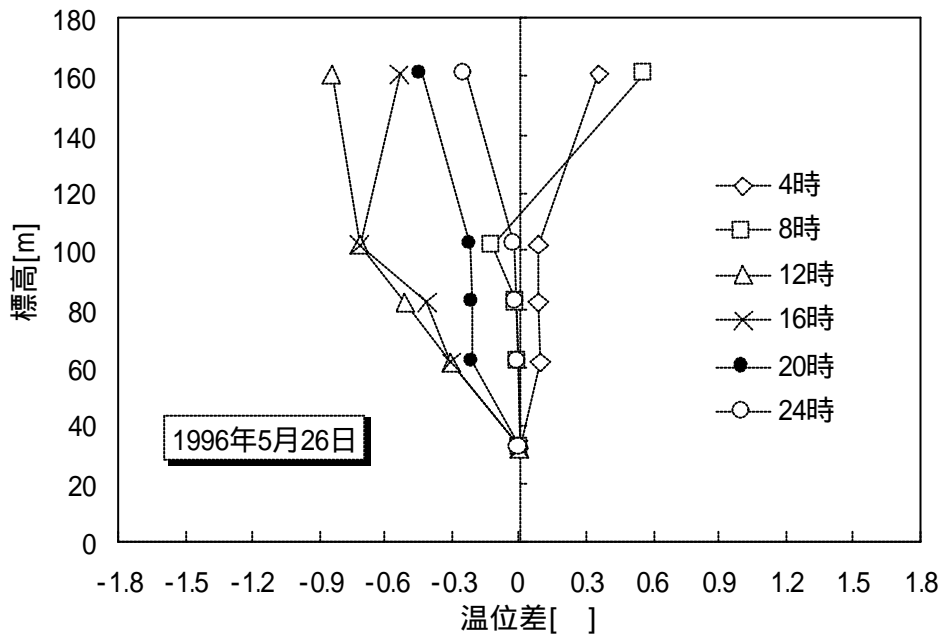


図 4.3 日温位差の鉛直分布（春季代表日）

4.3.2 夏季代表日

図4.4に夏季代表日の一例（1996年8月18日）の温位差鉛直分布を示す。図に示すように、夏季においても先の春季代表日と同様に、日の出前は安定な状態で、その後気温の上昇とともに不安定な状態になるが、夏季では深夜（24時）においても不安定な状態が続く。20時頃に、不安定な状態から一旦中立的な大気性状を示すのは、この季節においては、19時から21時頃に、夕風（海風から陸風へ交替するときの無風状態）の状態が生じることが考えられる。

夏季においては、日による変動のばらつきは小さく、いずれの快晴日とも、ここで示した代表日と同様な傾向を示した。

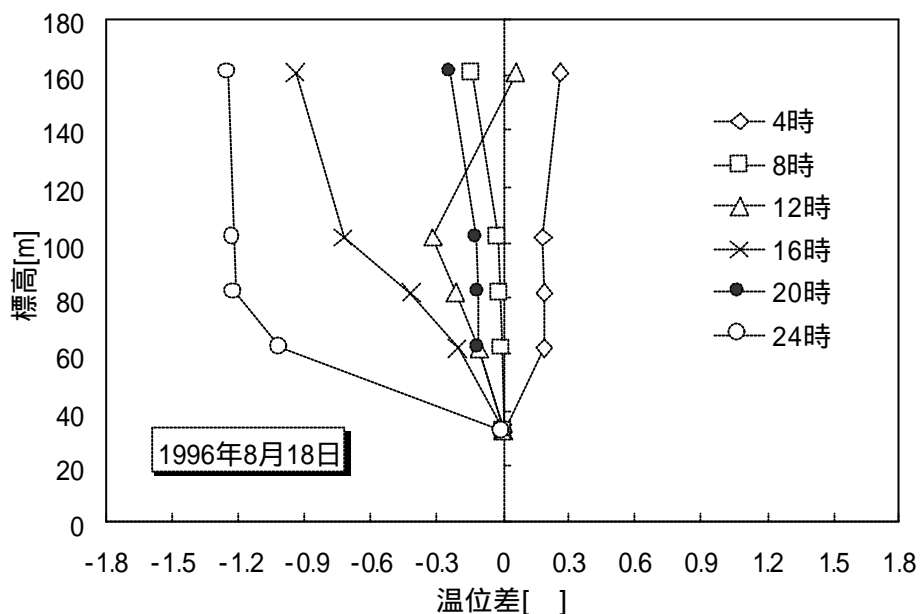


図 4.4 日温位差の鉛直分布（夏季代表日）

4.3.3 秋季代表日

図 4.5 に、秋季代表日の一つ（1996年10月6日）の温位鉛直分布を示す。秋季における大気性状の時間変化は春季とほぼ同様の傾向を示すが、大気の安定度は、春季よりも大きい傾向を示した。なお、秋季も春季同様、日による大気性状のばらつきは比較的大きかった。

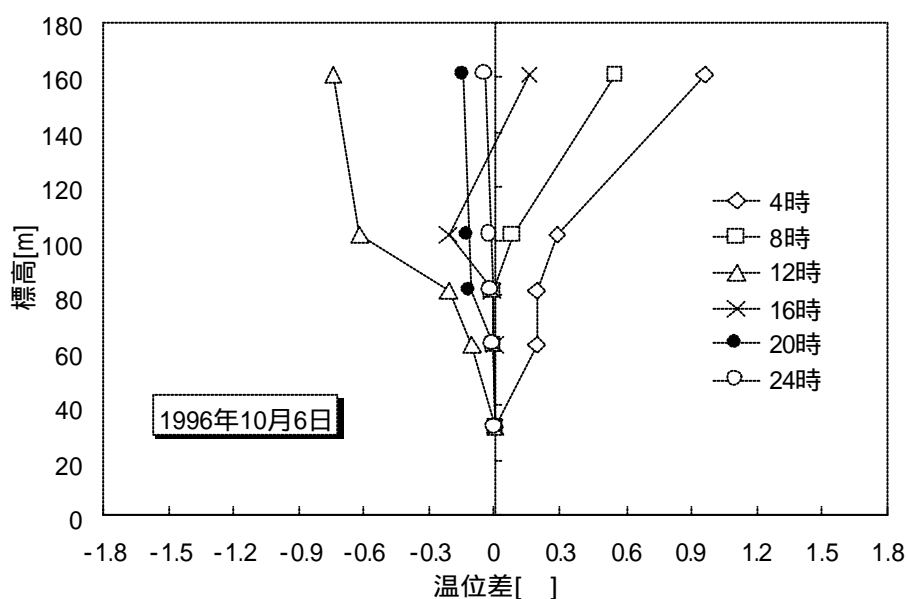


図 4.5 日温位差の鉛直分布（秋季代表日）

4.3.4 冬季代表日

図 4.6 に冬季代表日の一例（1996 年 1 月 28 日）の温位差鉛直分布を示す。冬季における大気性状の日変化も、春季及び秋季と同様の傾向で日変動するが、夜間（24 時）から明け方（8 時）にかけての大気の安定度は、他の季節と比べて大きい。また、日による大気性状のばらつきは春季、秋季と比べて小さく、いずれの快晴日とも、大略ここで示した大気性状であった。

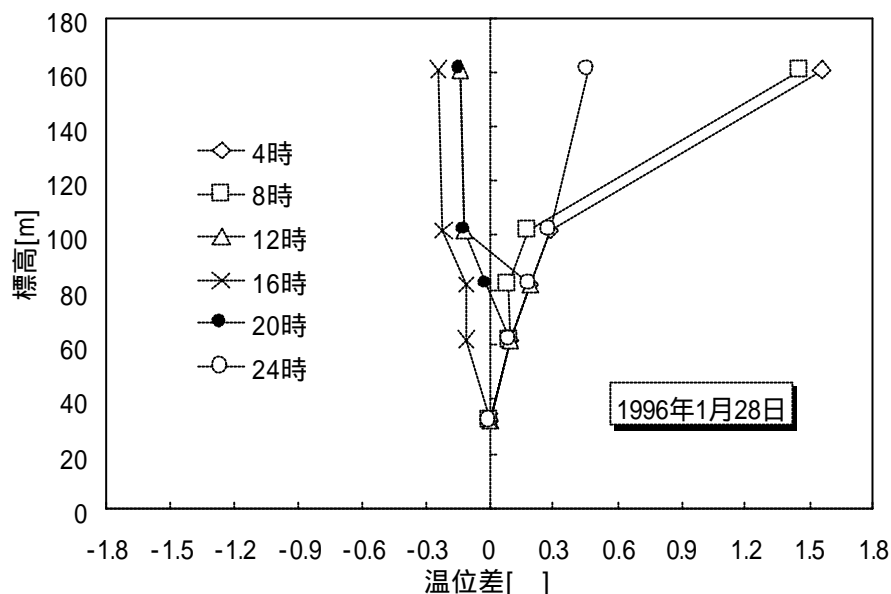


図 4.6 日温位差の鉛直分布（冬季代表日）

4.4 まとめ

第 4 章では 1995 年度から 1997 年度の 3 年間における、名古屋市中区の中核市街地にあるテレビ塔での温度データを用いて、都市上空での大気熱性状の検討を行った。本章で得られた知見をまとめる。

テレビ塔での地上高さ 139 m 地点までの月平均気温による温位差の鉛直分布は、各月間で異なった性状を示したが、各月とも 3 年間に見られる傾向はほぼ同様であり、各月毎に年周期的な変動があることが明らかとなった。

テレビ塔上空での温位差鉛直分布の日変動は、夏季及び冬季においては、特徴的な傾向が見られたが、春季および秋季においては、日間の差が比較的大きく、明確な傾向は観察されなかった。これは、春季や秋季においては、天気が不安定であることがその一因であると考えられる。

5 熱収支モデルを用いた市街地街路空間における温熱性状の検討

5.1 はじめに

第1章でも述べたように、都心部の高温化現象は、種々の要因が複合的に影響を及ぼしあうことによって引き起こされている。建築環境という見地から考えると、建築物の形状（建物の凹凸）による成因を考慮し、改良することで、都市の温熱環境の緩和を図ることも1手段ではある(Oke、1988)[12]。しかしながら、建築物や自動車等に付随する設備機器からの人為的な活動に起因する熱（人工排熱）を減少させることも、建築物の冷房負荷の低減に寄与し、非常に有効な省エネルギー手法であると言える。

第5章では、都心部市街地の街路空間を対象とし、その街路空間に対して熱収支モデルを構築することによって、街路空間の温熱性状を理論的に解析し、その熱環境の形成において、主に建築物による人工排熱が、どの程度影響を及ぼすのかを定量的に把握し、検討することが目的である。

市街地における街路空間内での熱環境形成に関する研究には、海外では、SWAIDら（1990/1991）[13]の、そして国内では内藤、水野ら（1983）[14]、中村、平岡（1986）[15,16]、銚井、辻（1999）[17]の研究がある。SWAIDらは、単純なアーバンキャニオンを想定し、キャニオン内の温度は一様と仮定した上で、田園地区の平均気温を基礎気温と捉え、そこからキャニオン内外の短波及び長波放射のやり取りを考慮して、キャニオンの温度を算出している[13]。内藤らは凹凸モデルとして二次元直角キャビティを用い、数値計算によって都市気温形成に関し、凹凸の効果と他の因子のそれを比較している[14]。中村らは、二次元長方形キャビティ内の気流性状に伴う表面温度と熱流の違いを考慮し、キャビティの方位、地面材質の違いが、キャビティ内の熱環境形成に及ぼす効果を数値計算によって調べている[15,16]。銚井らは、夏季を対象として、住宅密集地における路地空間の温熱環境に関する解析を行い、種々の要因が路地空間の温熱環境に与える影響を熱収支計算や流体解析によって行い、住宅密集地での路地空間の温熱環境の改善策を提案している[17]。

5.2 解析対象の概要

熱収支モデルでは、実測データの得られた、名古屋栄の天津通り（名古屋市中区栄三丁目：道路はほぼ南北方向に走る）における街路空間を、図5.1に示すような二次元長方形のストリートキャニオンとみなし、街路空間内の温度について数値計算を行った。図5.1では、紙面手前が南、紙面奥が北、紙面左が西、紙面右が東となっている。

数値計算を行う際に、以下を仮定した。

空間内の気温分布は無く、街路空間の温度は一様である（中村・平岡、1984）[18]。

ストリートキャニオンは南北方向に無限の長さを持ち、かつ東西方向には同様のキャニオンが無限につながる。

想定した街路空間は、現地での実測により、建造物群の平均高さ（ H ）が約23 m、街路幅員（ W ）が約23 m（すなわち、アスペクト比が1.0）及び建造物群の幅（ D ）が約66 mの二次元長方形空間とする。よって、街路長さ（ L ）は、単位長（ $L=1.0\text{ m}$ ）となる。

以下の計算では、街路空間より上空では、東西建造物群幅の半分（ $D/2$ ）の範囲を対象として考えることとする。

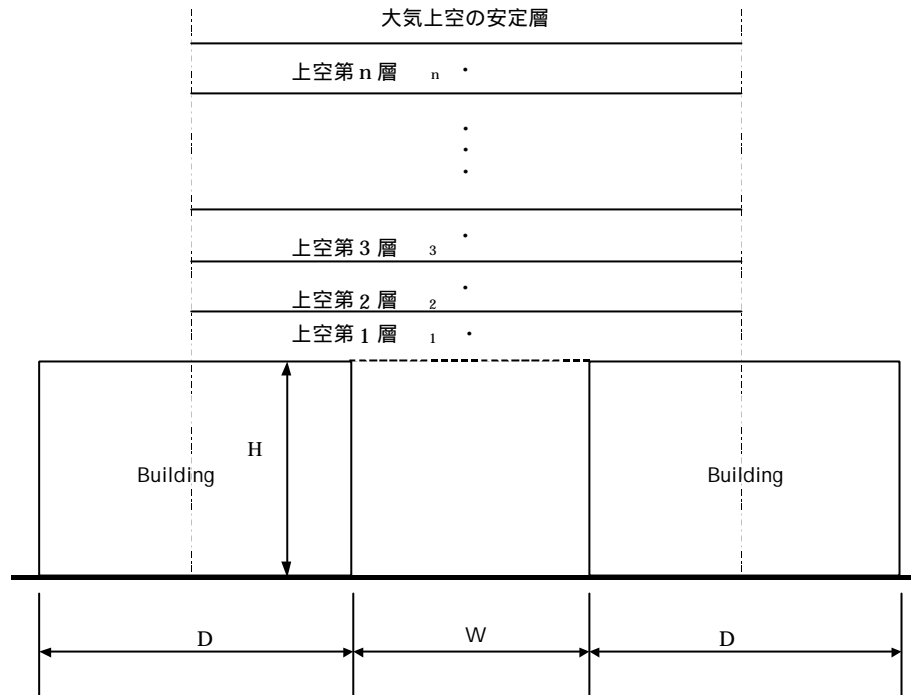


図 5.1 解析対象とした街路空間の概念図

5.3 熱収支モデルの基礎式

街路空間に関する熱収支式は次式となる。

$$c g V \frac{\partial q}{\partial t} = Q_w + Q_E + Q_g - Q_u + Q_s + Q_{car} \quad (5.1)$$

ここに、 c は空気容積比熱 [kcal/(m³)]、 V は街路空間の体積 [m³]、 q は街路空間の温度 [°C]、 t は時間 [h] である。次に式 (5.1) の右辺各項を示す。

Q_w 、 Q_E は、西側及び東側の壁面から流れる熱流 [kcal/h] で、次式で与えられる。

$$Q_w = S_w \cdot c \cdot (w - q) \quad (5.2)$$

$$Q_E = S_E \cdot c \cdot (E - q) \quad (5.3)$$

ここに S_w 、 S_E は西側及び東側壁面の面積 [m²]、 c は対流熱伝達率 [kcal/hm²]、 w 及び E は東側壁面及び西側壁面の温度 [°C] である。

Q_g は、街路空間内の地表面から流れる熱流 [kcal/h] で、次式で与えられる。

$$Q_g = S_g \cdot c \cdot (g - q) \quad (5.4)$$

ここに、 S_g は街路空間における地表面の面積 [m²]、 g は街路空間における地表面の温度 [°C] である。ただし、各面からの長波放射は、ステファンボルツマンの式に形態係数を考慮することによって w 、 E の中に算入されている。

Q_u は、街路空間から街路空間上空第 1 層へ流れる熱流 [kcal/h] で、以下で表される。

$$Q_u = C \cdot (t_1 - t_2) \cdot W \cdot l \quad (5.5)$$

ここに、 C は街路空間と上空第1層間における熱コンダクタンス [kcal/hm²] である。ただし、ここでは各層間についても同様の熱コンダクタンス C を用いた。 l は街路空間の単位長さ [m]、 t_1 は上空第1層の温度 [°C] である。 Q_s は、街路空間で吸収された第2次反射以降の日射量 [kcal/h]、 Q_{car} は、街路空間における道路交通より排出された人工排熱 [kcal/h] である（付録参照）。

排熱が排出される室外機のある上空第1層の熱収支式は以下となる。

$$c g V_1 \frac{\partial q_1}{\partial t} = Q_u + Q_r - Q_{u1} + Q_a \quad (5.6)$$

ここに、 V_1 は街路空間上空第1層の体積 [m³] である。次に右辺各項について示す。

Q_r は、建築物群の屋根表面から上空第1層へ流れる熱流 [kcal/h] で、以下で表される。

$$Q_r = S_r \cdot c_r \cdot (t_r - t_1) \quad (5.7)$$

ここに、 S_r は建築物の屋根面積 (= $D \times l$)、 t_r は屋根表面の温度 [°C] である。屋根面からの長波放射は、プラントの式を考慮することにより求めた。

Q_a は、街路空間上空第1層にある空調機の室外機から排出される排熱 [kcal/h] であり、以下で表される。

$$Q_a = (Q_{ir} + Q_{iE} + Q_{iW} + Q_i) \times \left(1 + \frac{1}{COP} \right) \quad (5.8)$$

ここに、 Q_{ir} は屋根面からの貫流熱 [kcal/h]、 Q_{iE} 及び Q_{iW} は、西側及び東側壁面からの貫流熱 [kcal/h] である（ここでは、建造物幅が $D/2$ [m] であることに注意）。 Q_i は室内における内部発熱量で、ここでは約 18,500 [kcal/h] とした（付録参照）。

成績係数 COP は、以下で表される（付録参照）。

$$COP = -0.0679 \times t_1 + 5.0801 \quad (5.9)$$

上空第 n 層 ($n \geq 2$) の熱収支式は以下となる。

$$c g V_n \frac{\partial q_n}{\partial t} = Q_{n-1} - Q_n \quad (5.10)$$

ここに、 V_n は街路空間上空の第 n 層の体積 [m³]、 t_n は上空第 n 層の温度 [°C] である。次に右辺について示す。

Q_n [kcal/h] は、上空第 n 層から第 $(n+1)$ 層へ流れる熱流であり、以下で示される。

$$Q_n = C \cdot (t_n - t_{n+1}) \cdot (W + D) \cdot l \quad (5.11)$$

ここに、 t_n は第 n 層の温度 [], $(W+D) \cdot l$ は、上空大気第 n 層の面積 [m^2] である。

5.4 モデルに用いた気象データ及び入力するパラメータ値

計算対象とした期間は、第 3 章の図 3.1 の栄、名古屋及び豊田における外気温の経時変化で示す様に、8 月の 1 ヶ月間で最も気温の日変化が安定していた、1995 年 8 月の 4 日～9 日の 6 日間とした。以下、各データの 24 時間値は、この期間における時刻別の平均値から算出したものである。

熱収支モデルでは、解析対象を名古屋栄における街路空間とするため、直接都心部における日射量のデータが得られなかったことから、水平面全天日射量のデータは、名古屋地方気象台での上記の期間における毎時の値を、直達日射量と散乱日射量とに分離することにより用いた（木村、1992）[19]。その結果を図 5.2 に示す。また参考のため、計算対象日における栄及びテレビ塔の気象データと、名古屋気象台で得られるその他の値を表 5.1 に示す。

計算対象期間における太陽高度と太陽方位角により算出した、街路空間での日向率（直達日射のあたる面積の割合）を街路空間の地表面、街路空間の西側及び東側の壁面に対してそれぞれ求めた（田中ら、1985）[20]。結果を図 5.3 に示す。

熱収支モデルに入力した形状値及び各物性値を表 5.2 に示す。

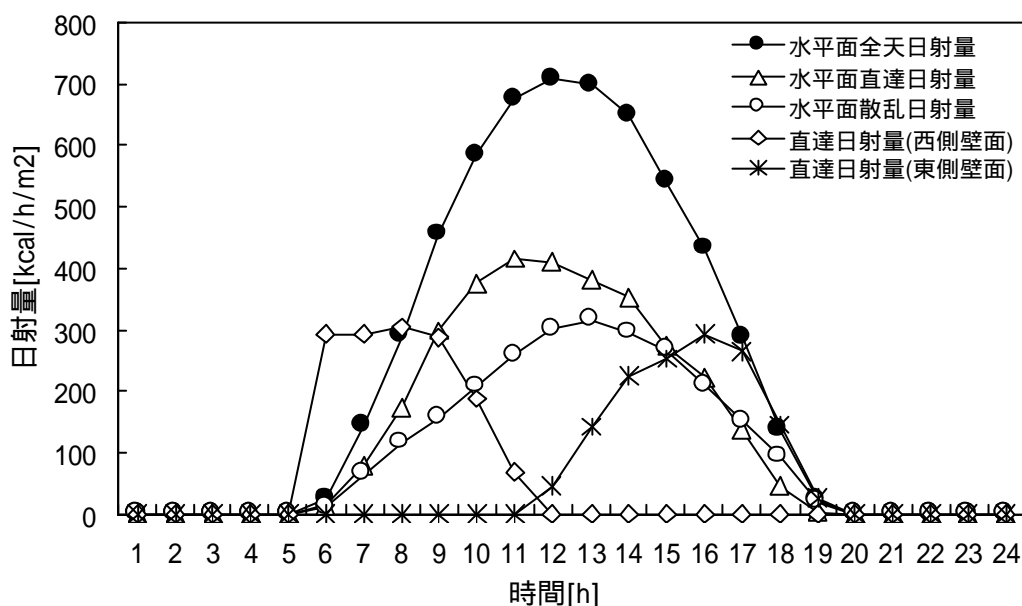


図 5.2 全天日射量より推定した計算対象日における各日射量

表 5.1 計算対象日における名古屋及び栄の気象データの平均値及び積算値

地点	気温 []	相対湿度 [%]	風速 [m/s]	最多風向	気圧 [hPa]	日照時間** [h]	降水量** [mm]	視程 [km]
名古屋	31.7	53.3	2.8	NNW	1004.3	11.8	0	14.0
栄	32.0	46.4						
TV 塔	32.3*	52.5*	2.5/3.4*	N/NNW				

*気温は TV10、相対湿度は TV32、風速・風向は TV75/TV135 の値

**日照時間及び降水量は日積算値

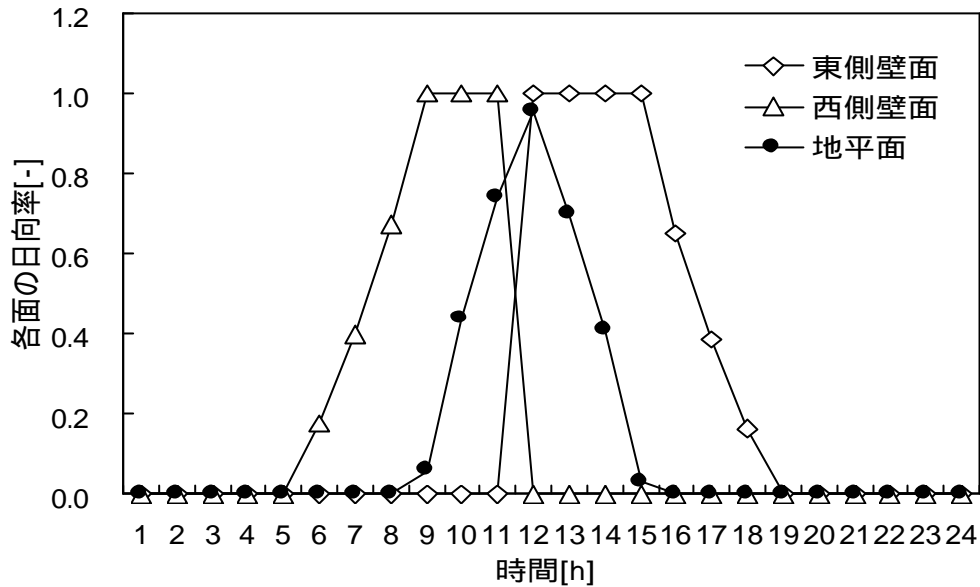


図 5.3 計算対象日における日向率

表 5.2 固定したキャニオン内外の条件及び各物性値

建物(群)の幾何構造	平均高さ(H) [m]	23
	建築物間の幅員(W) [m]	23
	建築物群の幅(D) [m]	66
	壁の厚さ [cm]	20
壁・屋根(コンクリート)の物性値	短波放射の吸収率 [-]	0.9
	長波放射の放射率 [-]	1.0
	熱伝導率 [kcal/mh]	1.41
	容積比熱 [kcal/m ³]	462.0
室内	総合熱伝達率 [kcal/m ² h]	8.0
	室温 []: 一定	26.0
室外	対流熱伝達率() [kcal/m ² h]	5.3
街路内の地表面(アスファルト)	短波放射の吸収率 [-]	0.95
	長波放射の放射率 [-]	1.0
	熱伝導率 [kcal/mh]	0.63
	容積比熱 [kcal/m ³]	491.0
	アスファルト厚さ [cm]	5.0
地表面下の土壌	熱伝導率 [kcal/mh]	1.3
	容積比熱 [kcal/m ³]	400.0
空気	容積比熱(c) [kcal/m ³]	0.30

5.4.1 境界条件としての上空大気温度と上空への熱流の検討

街路空間から上空大気へ流れる熱流を考慮するため、この熱収支モデルの中では、上空大気への熱コンダクタンス (C) [kcal/hm²] を以下の方法により与えた。

モデルに $C = 500 \sim 2000$ [kcal/m²h] の範囲の値を入力し、計算により求めた TV10、TV40、TV60 及び TV80 におけるそれぞれの気温日変化の温度差間隔と実測値での温度差間隔とを比較し、最も対応の良い値を検討した結果、1250 [kcal/m²h] の値を今回の計算におけるコンダクタ

ンス C の値とした。気温日変化の計算結果を図 5.4 に示す。また、実測による気温日変化を図 5.5 に示す。

第 4 章で行った上空大気の状態の検討より、夏季においては、1 日を通じて温位差が正となる安定した大気状態は、地表から上空 139 m までの間では見られなかった (図 4.4 参照)。よって今回の対象日における計算では、大気上空の境界条件として用いる前提であった、上空大気の安定層における温度データが存在しないため、TV139 の値をその境界条件として用いることとした。しかしながら、計算対象日において TV139 地点の温度は混合層の中に入るため、TV139 の温度は大気汚染物質からの長波放射や、地表からの顕熱及び潜熱が含まれた値となることが考えられる。参考までに、計算対象日の温位差鉛直分布を図に 5.6 に示す。

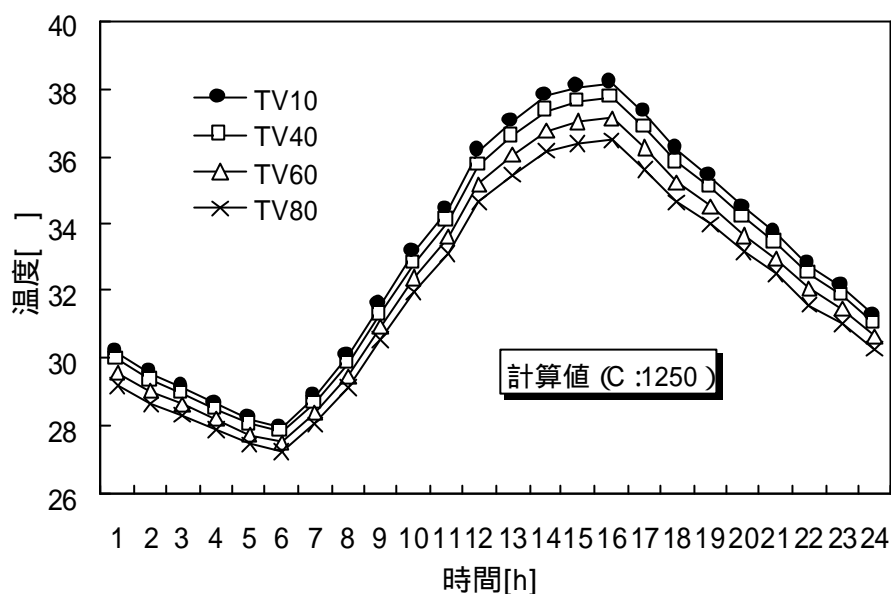


図 5.4 気温日変化の計算値 (上空へのコンダクタンス $C:1250$)

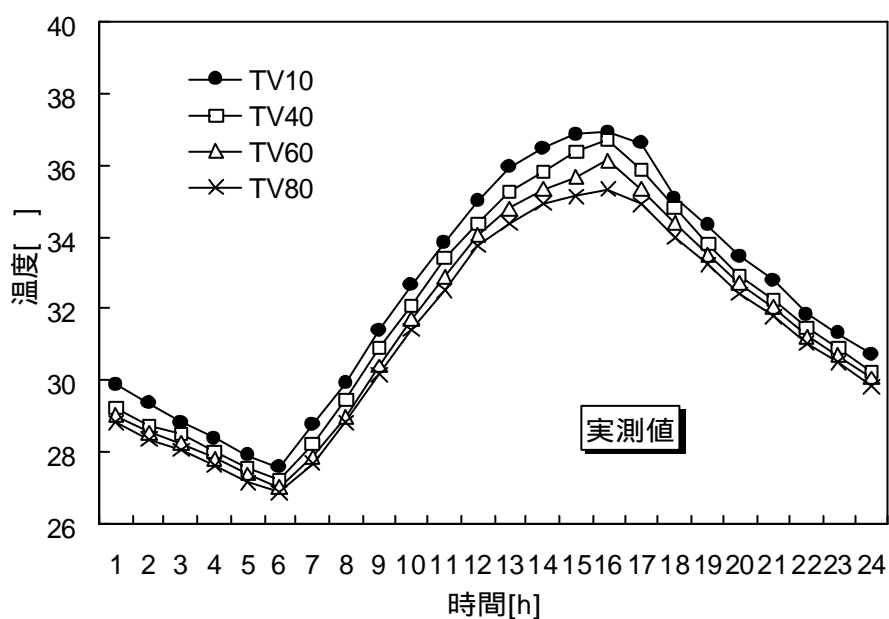


図 5.5 計算対象日における気温日変化の実測値

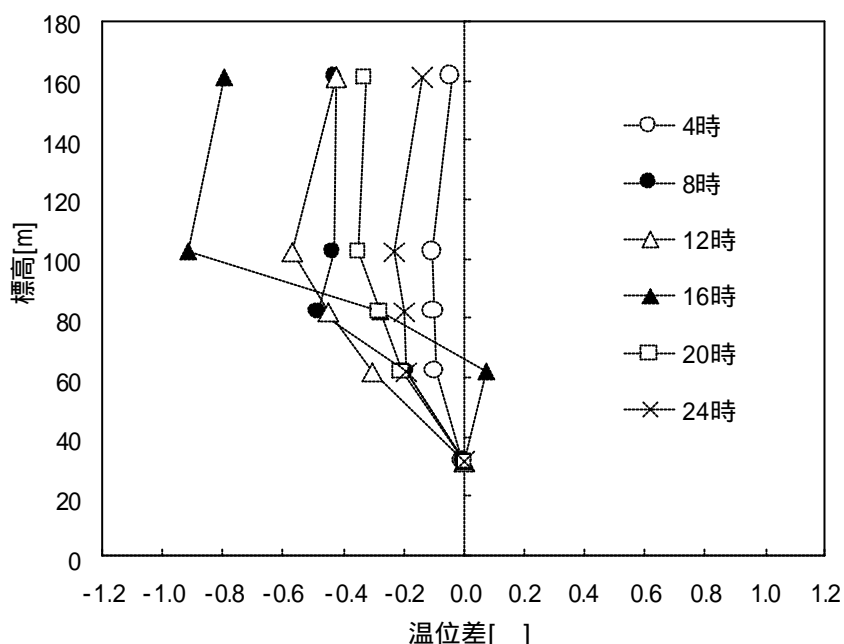


図 5.6 計算対象日の温位差鉛直分布

5.5 計算結果及び考察

図 5.7 に、計算より得られた街路空間温度の日変化を示す。参考として、この期間での栄及び TV10 の実測値を並べて示す。表 5.2 の値による計算値では、日平均気温が 33.0、気温日格差が 10.2 となった。

図 5.8 に、計算より得られた各部温度の日変化を示す。上空の温度は TV139 の実測値である。日影の影響を受けないため、屋根面の温度が計算上最も高い値を示した。街路空間の地表面の温度では、日中の太陽位置により最も日射を受けるため、日中が最も高い値を示しており、1 日を通じて街路空間の温度、及び各表面の温度より高くなった。壁面温度では、西側壁表面においては日射の取得量が多い午前が高く、街路空間の温度が日中に高くなることから、午後もそれほど低くなってはいない。東側壁表面温度は、午後において高くなる。街路空間と上空との温度差は日中で 3.0 前後であった。

図 5.9 に、計算より得られた街路空間に流出入する各熱流を示す。午前中には西側壁面、午後には東側壁面への日射量が多くなることを考えれば、午前中は西側壁面からの熱流が、午後は東側壁面からの熱流が大きくなるのが解る。東側の壁面からの熱流が午前中に負となっていることは、図 5.8 に示すように、午前中は東側の壁表面温度が街路空間の温度よりも低くなっていることによるものと考えられる。西側壁面では、午後もそれほど壁面の温度が低くならないことから、午後にも熱流が見られる。地表面からの熱流は、日射取得の最も多い日中に多くなり、またアスファルト下の土壌における蓄熱により、1 日中街路空間への熱流が見られる。上空への熱流が明け方に負となるのは、24 時間空調による空調排熱の影響が考えられる。それ以外は、街路空間から街路空間上空へ熱が流れており、13～14 時あたりに最も大きくなる。

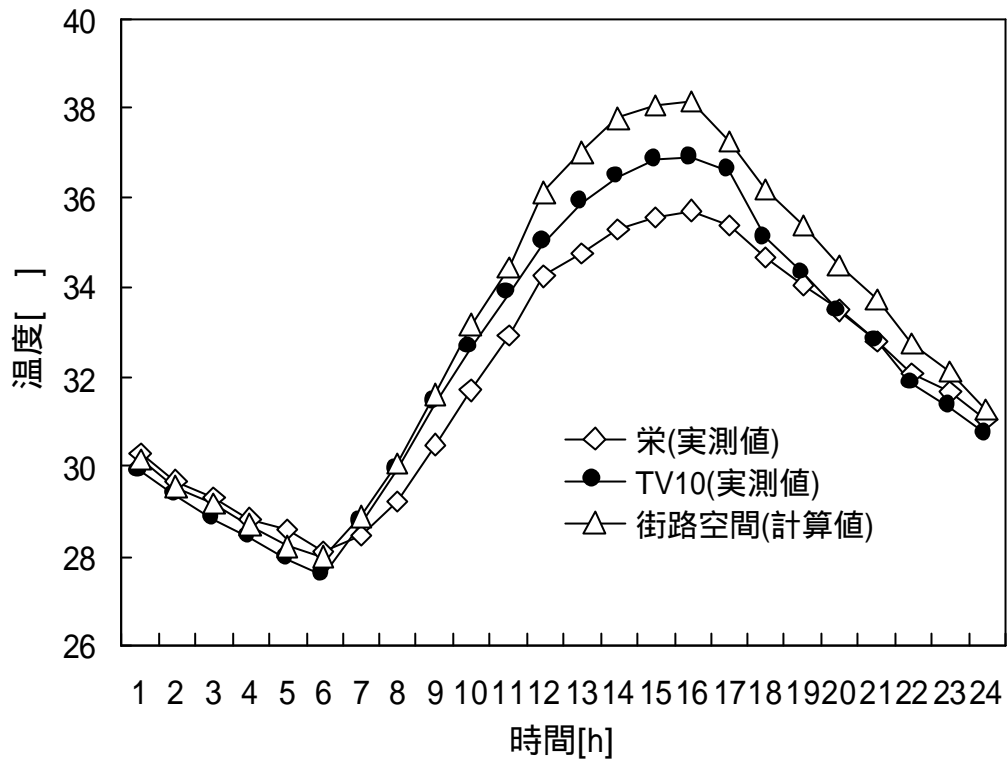


図 5.7 計算結果

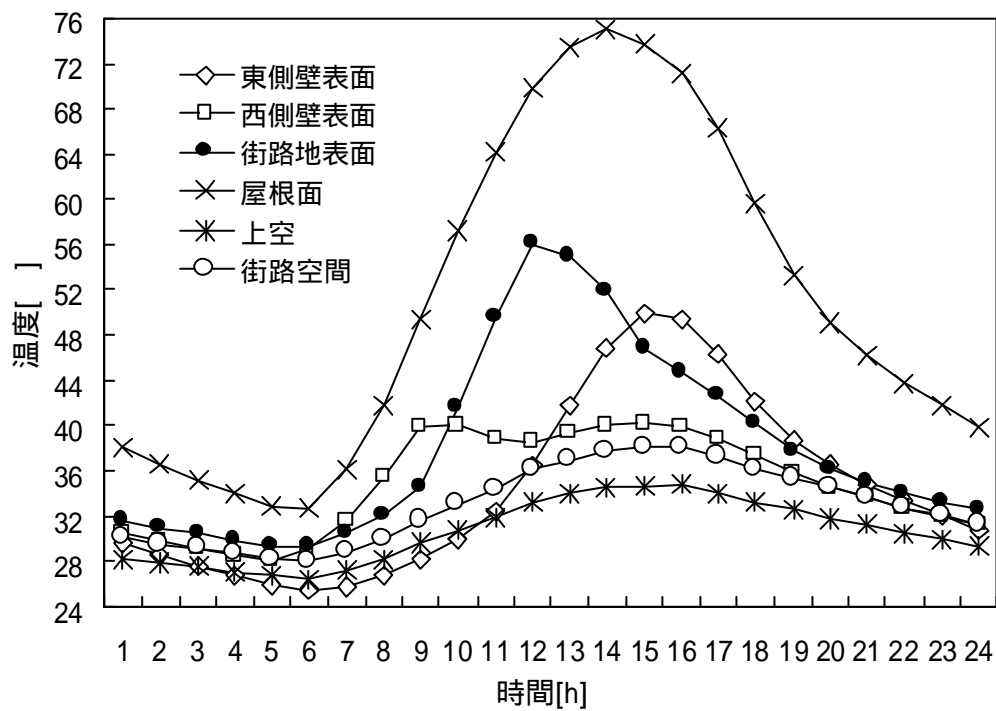


図 5.8 各部温度の日変化

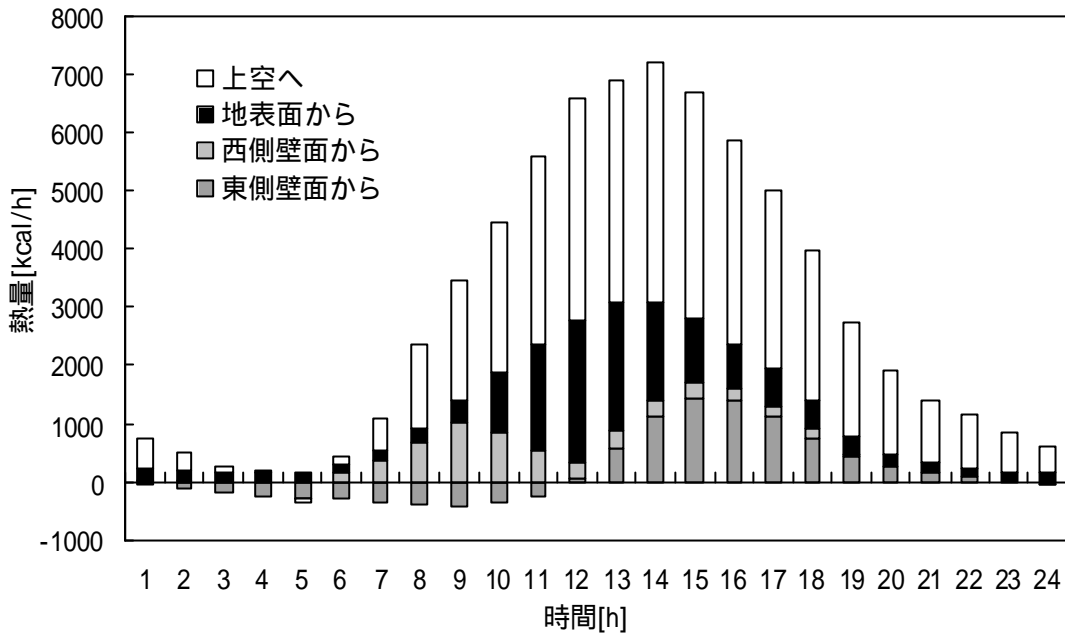


図 5.9 街路空間に流出入する各熱量

5.5.1 空調排熱削減による温熱環境改善効果

5.5.1a 室外機からの排熱を半分にした場合

図5.10に、建築物屋上にある空調機の室外機からの排熱量 Q_a を半分にした場合の計算結果を、基準値（初期条件での排熱）と並べて示す。各時刻の温度差平均で、基準値と比べて約 1.0 の温度低下が見られ、16時では 1.25 と最も大きい温度低下が見られた。日平均値では 1.0 の低下が見られ、日較差では 0.55 の温度低下が見られた。

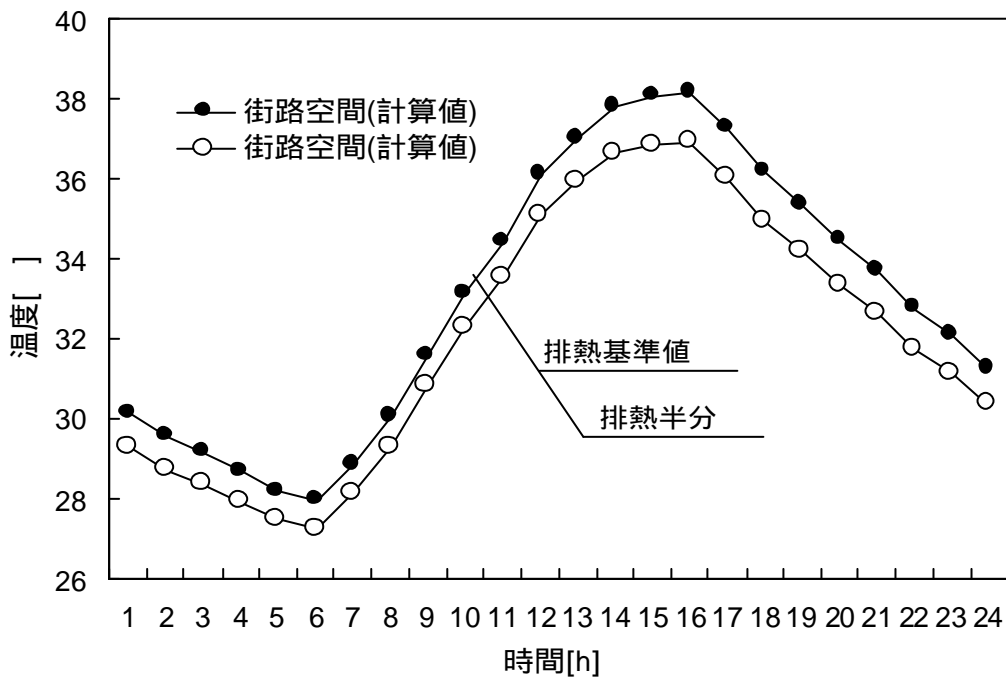


図 5.10 室外機からの排熱量を半分にした場合の計算値の日変化

5.5.1b 室外機からの排熱をゼロにした場合

図 5.11 に、室外機からの排熱をゼロにした場合の計算結果を基準値と並べて示す。排熱ゼロの場合は、基準値と比べて各時刻の気温差平均で 2 程度の温度低下が見られ、平均値では 1.9 、日較差では 1.0 低くなった。

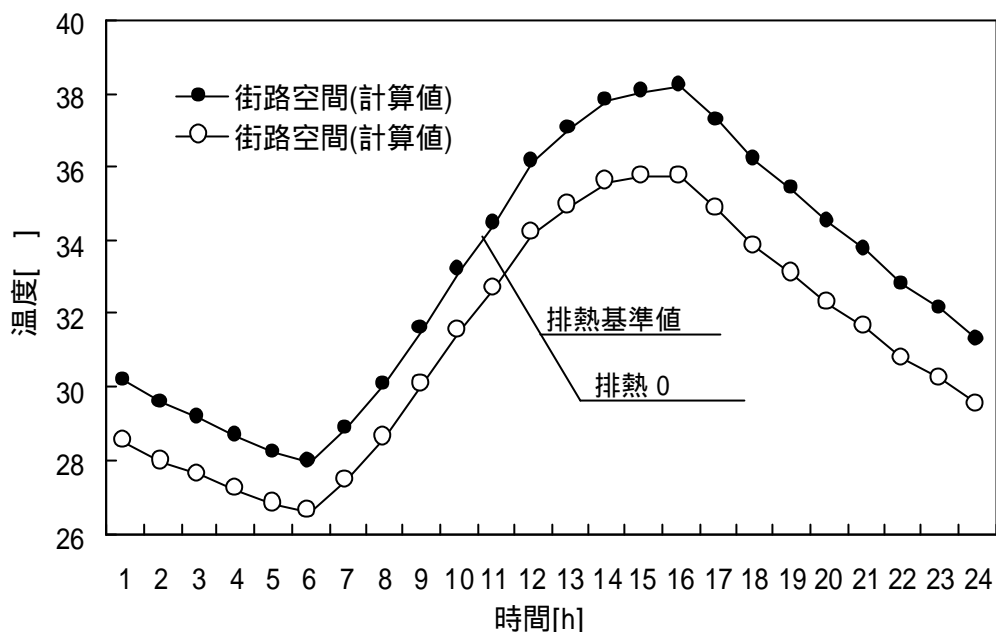


図 5.11 室外機からの排熱量をゼロにした場合の計算値の日変化

5.5.1c 建築物の室内負荷の検討

図 5.12 に、室外機からの排熱量を半分、及びゼロにした場合における室内での冷房負荷の変化を示す。表 5.3 に室内負荷の日積算値を示す。表に示すように、排熱が基準値の半分の場合には日積算値で 2.9 %、ゼロの場合には 5.6 %の冷房負荷の削減が見られた。この理由は、室外機からの排熱量の減少により、街路空間内（図 5.10、5.11）の温度が低下し、壁からの貫流熱が減少すること、さらに換気による外気導入負荷が低減されるためである。この傾向は夜間から明け方にかけて強くなる結果となった。

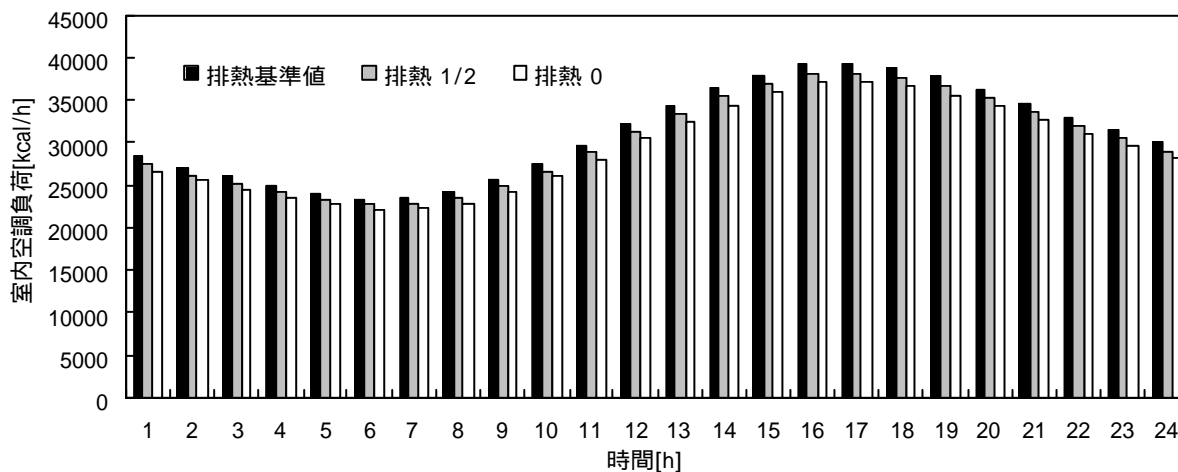


図 5.12 室内における冷房負荷の日変化

表 5.3 室内空調負荷の日積算値

	日積算値 [kcal/day]	省エネ率 [%]
基準値	747,258	
半分	725,457	2.9
ゼロ	705,166	5.6

5.6 まとめ

本章では、建築物による人工排熱が市街地街路空間の熱環境に及ぼす影響を、単純な二次元ストリートキャニオン熱収支モデルを用いて定量的に検討した。その結果、上空大気層間での熱流を決定する熱コンダクタンスは、 1250 kcal/hm^2 とすれば、大略、実測上空大気間の温度差に近い値が得られることが明らかとなった。但し、第4章で考察を行った様に、上空大気層間での熱交換量は本来、場所的、時間的に変化するものであるため、この点については今後さらに詳細に検討を行う必要がある。本モデルの計算により、室外機からの排熱量を基準値の半分にした場合には、日平均値で 1.0、日較差で 0.55 温度低下し、排熱をゼロにした場合、日平均値で 1.9、日較差で 1.0 低下する結果となった。さらにこの時の室内負荷については、排熱を基準値の半分にした場合には 2.9%、ゼロの場合には 5.6% の冷房負荷が低減される結果となり、各種未利用エネルギー利用システム等の導入による、大気への排熱低減効果は極めて大きいことが明らかとなった。

6 総論

本研究では、都市高温化（ヒートアイランド）の成因の1つであるエネルギー消費に起因する建築物からの排熱を取り上げ、その中でも主に、建築物の空調機により排出される排熱に着目した。夏季を対象として、これら排熱を、各種未利用エネルギー利用システムや自然エネルギー利用システム等により低減した場合に、都市域（本研究では密集市街地の街路空間を対象とした）の温熱環境がどの程度改善されるかを定量的に把握しようとした。

まず、名古屋市を中心とした全般的な気候環境の比較検討を 1995 年～1997 年の 3 年間の名古屋テレビ塔、名古屋气象台及び豊田における気象データを用いて行った。その結果、降水量及び日照時間に関しては、年周期で見ると、名古屋と豊田ではほぼ同じ周期性が見られること、風向では豊田を除く他の地域では冬季には北より、夏季には南よりの風が卓越すること、風速では TV139、名古屋、TV75、豊田の順で大きいことを示した。気温の日較差では、比較的標高の近い地点を選び、比較したところ、TV60、TV40、名古屋、豊田の順で大きくなることが示された。

次に、夏季における温熱環境の比較を目的として、栄、名古屋气象台、そして豊田の気象データの比較検討を行った。その結果、都心部（栄）ではその周辺部（豊田）より夜間気温の高くなるヒートアイランド現象が観察された。8月の月平均気温では栄、名古屋、豊田の順で高く、気温日較差では、栄、名古屋、豊田の順に大きくなることを示した。また、快晴日が多い程、最大ヒートアイランド強度の値が高くなる傾向が見られた。降水量及び日照時間では、この3年間に限っては、名古屋は平年値より低い値を示した。風速では豊田より名古屋が大きく、水蒸気圧では栄が最も低い値を示した。

次に、街路空間での熱収支モデルの境界条件として用いることを前提に、テレビ塔の気温データを用いて、上空大気の熱性状を検討した。その結果、月平均気温による温位差鉛直分布では、

夏季及び冬季では特徴的な傾向が見られたが、春季や秋季では明確な傾向は観察されなかった。各季節の代表日における日温位差分布の評価でも、同様の傾向が見られた。

そして、熱収支モデルを用いて、夏季における市街地街路空間を対象とした温熱性状を解析及び検討した。その結果、室外機からの排熱を基準値の半分とした試算では、日平均値で 1.0 の低下が見られ、排熱をゼロとした場合には、日平均値で 1.9 の温度低下が見られた。また建築物の室内負荷では、排熱を半分とした場合には 2.9 %、ゼロとした場合には 5.6 %の省エネルギーを効果があるという結果が得られた。

ここで得られた結果は、従来から多く検討されているメソスケールでの研究成果（例えば、田村ら：1999）[20]とは異なり、局所的な都市域の温熱環境に対して、人工的な排熱が大きく影響する結果となった。

しかしながら本モデルは、上空大気層間の熱コンダクタンスを一定値としている点、不安定層内にある上空温度を境界条件とした点、さらには建築物の幾何形状などの各種パラメータに関して、今後さらに詳細に検討を行う必要があると考える。

謝辞

1998年4月から1999年3月までの1年間、名古屋大学工学部建築学科を併担なされながら、名古屋大学工学研究科地圏環境工学専攻地圏安全工学講座の指導教官をして頂きました、久野覚教授には日頃の授業、そしてゼミなどで有益なご助言を頂き、心より感謝しております。ここに記して感謝の意を表します。

またこの2年の間、環境工学、特に環境設備工学の分野において、ゼミ等で、時には個人的に時間を割いて頂きながら、常に丁寧なご助言とご指導をして頂いたこと、そして時には叱咤激励の言葉を送って頂きました名古屋大学理工学総合研究センター助教授・奥宮正哉先生には心から感謝しております。ここに記して感謝の意を表します。

またこの2年の間、常に学生の視点で見守って下さり、時には厳しく、時には激励の言葉を頂きました地圏環境工学専攻地圏安全工学講座助手（当時）・田中英紀先生には、ゼミ等で常に、有益なご助言、及び丁寧なご指導を頂きましたことを、心より感謝しております。ここに記して感謝の意を表します。

またこの2年の間、名古屋大学工学部建築学科講師・斎藤輝幸先生には、ゼミ等で、研究の流れや各事項を詳細に渡ってご助言、ご指導頂きましたことを、心より感謝しております。ここに記して感謝の意を表します。

また、名古屋大学工学部建築学科助手・原田昌幸先生にはゼミにて有益なご助言、ご指導を頂きましたことを心より感謝しております。ここに記して感謝の意を表します。

1999年4月から2000年3月までの1年間、名古屋大学大学院工学研究科地圏環境工学専攻地圏安全工学講座の指導教官でありました、辻本誠教授には、日頃の研究室でのお話や、英語ゼミ論文でのご指導、就職の相談など数々のお世話して下さいましたことを、心より感謝しております。ここに記して感謝の意を表します。

また、名古屋大学工学研究科地圏安全工学専攻地圏安全工学講座助教授・河野守先生にはパソコンの使用法や、プログラムのアドバイス等を、時には電子メールにて懇切丁寧に指導していただきましたことを心より感謝しております。ここに記して感謝の意を表します。

また本論文を作成するに当たり、最もお世話になりました、名古屋大学工学研究科地圏環境工学専攻地圏安全工学講座助手・永井久也先生には、私が入学した1998年4月から2000年3月

までの2年の間、終始一貫としてご指導をして頂き、環境工学の初歩的なことから、プログラミング、そして投稿論文の作成といった数多くの事柄を、決してさじを投げずに、粘り強くご指導して下さったことを、心より感謝しております。時には厳しい、時には優しい、数え切れないほどの叱咤激励のお言葉を下さったことにも、心より感謝しております。私が本論文をまとめることができたのも、ひとえに永井久也先生の長期的視野に立たれた、一貫したご指導に他ならないと思っております。要領の悪さなどで、数々のご迷惑をお掛けしたとは思いますが、改めてこの論文を作成することができたのは、永井先生の根気強い、ご指導のお陰だと思っております。ここに記して感謝の意を表します。ありがとうございました。

また、大阪府立大学農学部地域環境科学科大気環境学研究室講師・青野靖之先生には、卒業論文でご指導頂いたのにも関わらず、修士課程になっても、以前と全く変わらぬご指導を電子メールによりして頂いたことを、心より感謝しております。ここに記して謝意を表します。

東邦ガス(株)都市・産業営業部、都市開発グループ、石田裕久氏には、栄での貴重な資料を提供して頂きましたことを、ここに記して感謝の意を表します。

また、名古屋テレビ塔での貴重な実測データをご提供して頂きました名古屋市環境保全局には、心より感謝しております。ここに記して謝意を表します。

本付録の作成にあたって、有益な御助言と御助力をいただいた名古屋大学大学院工学研究科地圏環境工学専攻第1講座の中村英樹助教授、及び修士課程の宮木毅氏に慎んで感謝の意を表します。

最後になりましたが、名古屋大学工学部建築学科環境設備工学講座の皆様、及び名古屋大学工学研究科地圏環境工学専攻地圏安全工学講座の皆様には、孫元得氏を始めとして、パソコンの使用方法やプログラミングの作成などで非常にお世話になりました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 斎藤武雄(1996): 数値伝熱学、養賢堂、260p.
- [2] 吉野正敏・浅井富雄・河村武・設楽寛・新田尚・前島郁雄(1986): 気候学・気象学辞典、二宮書店、742 p.
- [3] 国立天文台編(1997): 理科年表、丸善、1054p.
- [4] 尾島俊雄・村上處直・根津浩一郎・増田康広(1998): 新建築学体系 9 都市環境、彰国社、333p.
- [5] 永井久也(1996): 長期蓄熱媒体としての地盤の有効利用法に関する研究、神戸大学博士論文、231p.
- [6] DOUGLAS M. LEAHEY AND JAMES P. FRIEND (1971): A Model for Predicting the Depth of the Mixing Layer Over an Urban Heat Island with Applications to New York City, J. of Appl. Meteor., Vol.10, pp.1162-1173
- [7] Clarke, J. F., and McElroy, J. L. (1970). Experimental studies of the nocturnal urban boundary layer. In "Urban Climatology," WMO Tech. Note, No. 108, pp.108-112
- [8] 浅井富雄(1996): ローカル気象学、東京大学出版会、pp.200-211
- [9] 文字信貴・平野高司・高見晋一・堀江武・桜井哲夫(1998): 農学・生態学のための気象環境学、丸善、199p.
- [10] 伊藤章記・高橋一郎・永田陽子・猿渡英之・千葉光一・原口ひろき(1999): 名古屋市にお

- ける都市大気中メタン濃度変化と煙霧層形成の関係、地球化学、No.33、pp.55-64
- [11] 永井久也・坪井宣治 (1999): 市街地街路空間の温熱性状に関する研究(その3)、日本建築学会東海支部研究報告集第38号
- [12] T.R. Oke (1988) : Street Design and Urban Canopy Layer Climate, Energy and Buildings., vol.11, pp.103-113
- [13] HANNA SWAID and MILO E. HOFFMAN (1990/91): Thermal Effects of Artificial Heat Sources and Shaded Areas in the Urban Canopy Layer, Energy and Buildings, vol.15-16, pp.253-261
- [14] 内藤和夫・水野稔・漆崎昇 (1983): 都市気温形成因子としてのアーバンキャニオンの重要性、空気調和・衛生工学会論文集、No.22、pp.41-49
- [15] 中村泰人・平岡久司 (1986): 二次元長方形市街地空間における表面の温度および熱流に関する解析的研究、日本建築学会計画系論文報告集、No.367、pp.8-14
- [16] 中村泰人・平岡久司 (1986): 二次元長方形市街地空間の路上にある人体の熱負荷に関する解析的研究、日本建築学会計画系論文報告集、No.369、pp.12-21
- [17] 辻政弘・銚井修一 (1999): 住宅密集地域の温熱環境解析
- [18] 中村泰人・平岡久司・西村浩一・吉田篤正 (1984): 二次元長方形キャビティ空間の熱環境制御に関する研究、日本建築学会近畿支部研究報告集、No.4020、pp.77-80
- [18] 木村建一 (1992): 建築環境学、丸善、261p.
- [19] 田中俊六・足立哲夫・武田仁・土屋喬雄 (1985): 最新建築環境工学、井上書院、300p.
- [20] 田村英寿・平口博丸・水鳥雅文・丸山康樹 (1999): 名古屋市域を対象とした熱環境対策導入効果の数値実験、電気学会セミナー、No.11、pp.95-100

付録

A1 道路交通から排出される人工排熱の推定法

ここでは市街地の街路空間における、自動車交通からの排熱量の試算方法を記す。

排熱量の試算は以下の手順に従って行った。

対象とする道路区間の自動車交通量の推定

対象とする街路区間における、自動車の平均走行速度の算出

平均速度で走行中の自動車における燃料消費量の算出

燃料消費量とガソリンの（低）発熱量との関係

熱勘定による排気ガス等の発熱量の算出

である。以下順に示す。

対象とする道路区間の自動車交通量の推定

まず対象とした街路における交通量を調べるため、24時間値のある、1985年度における道路交通センサス一般交通量調査の24時間調査表を用いた。それより、栄付近の道路を抽出し、平均化することによって相対度数を求めた。1985年度のデータでは、久屋町線（栄三丁目）大津町線（栄三丁目）錦通線（錦三丁目）及び前津町線（富士見町）である。その結果を図A1.1に全体平均と並べて示す。そして、1997年度道路交通センサス一般交通量調査箇所別基本表における、名古屋市中区栄丁目の大津町線の自動車類24時間交通量（44465台）より、10月14日における前1時間自動車類交通量を推定した（図A1.4参照）。

対象とする街路区間における、自動車の平均走行速度の算出

地区内走行調査表から、対象とする街路区間における9～18時の各時刻における所用時間[s]を抽出し、地図により測定した道路の長さより、その街路区間における自動車類の各時刻の平均走行速度を求めた。結果を図A1.2に示す（南 北：赤ルート、北 南：青ルート）（9～18時の平均値で、17.9 [km/h]）。

平均速度で走行中の自動車における燃料消費量の算出

ここでは、道路を走行中の自動車が消費する燃料を以下の式より算出した（二村、1998）[1]。

$$Y=(1462/V+0.00236V^2+17.78)\cdot 0.001\cdot 1.084 \quad (60 < V) \quad (A1)$$

ここに、Yは燃料消費量 [l/km]、Vは速度 [km/h]である。式(A1)は、走行速度が60kmより低い場合の式である。この式により燃料消費量 [l/km]が推定された（9～18時の平均値で0.12 [l/km]）。

ガソリンの（低）発熱量と燃料消費量との関係

ここでは、ガソリンの（低）発熱量を文献より7950 [kcal/l]と算出した（黒田、1990）[2]。よって、燃料消費量 [l/km]×ガソリンの（低）発熱量 [kcal/l]より、1 kmの走行あたりの発熱量 [kcal/km]が求められる（9～18時の平均値で961.7 [kcal/km]、単位長さに直して0.962 [kcal/m]）。

熱勘定による排気ガス等の発熱量の算出

川井（1980）による、供給熱量（この場合はガソリン）の有する低発熱量を100%とした時の供給熱量のヒートバランスを図A1.3に示す[3]。よって、0.962 [kcal/m]の42%が排気や放射損失などの発熱量となる。

以上の過程を経て、自動車交通からの発熱量を求めた。結果を図のA1.4に示す。尚、最終的な値として、0.4 [kcal/(m・台・h)]を用いた。参考までに図A1.5に、自動車交通からの排熱量をゼロ

とした場合の街路空間温度を基準値と並べて示す。平均値及び日較差で 0.1 の低下が見られた。

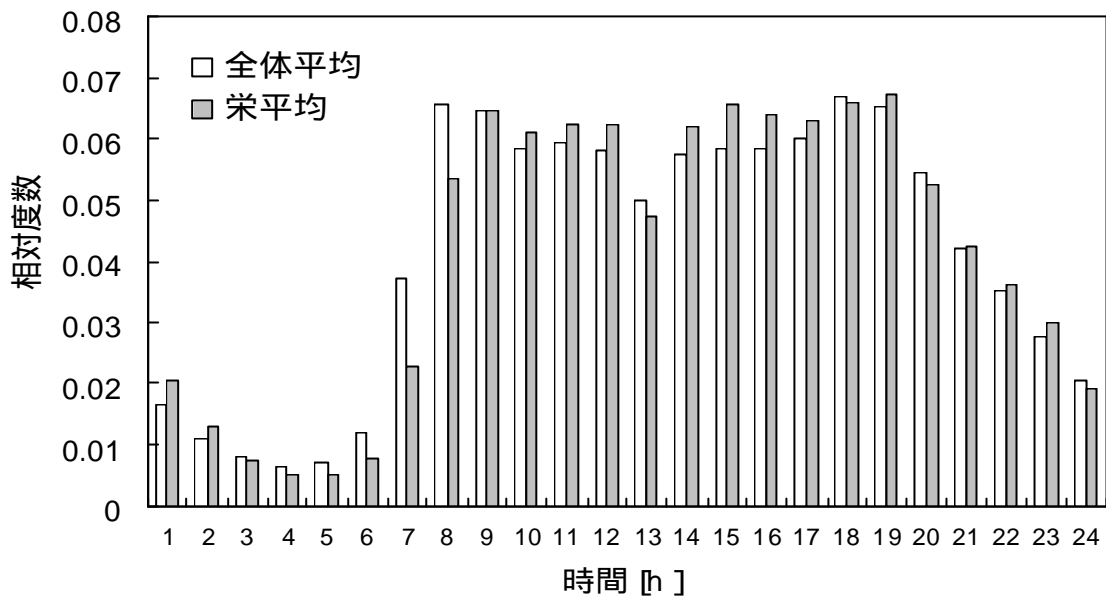


図 A1.1 名古屋市全体及び栄平均による相対度数

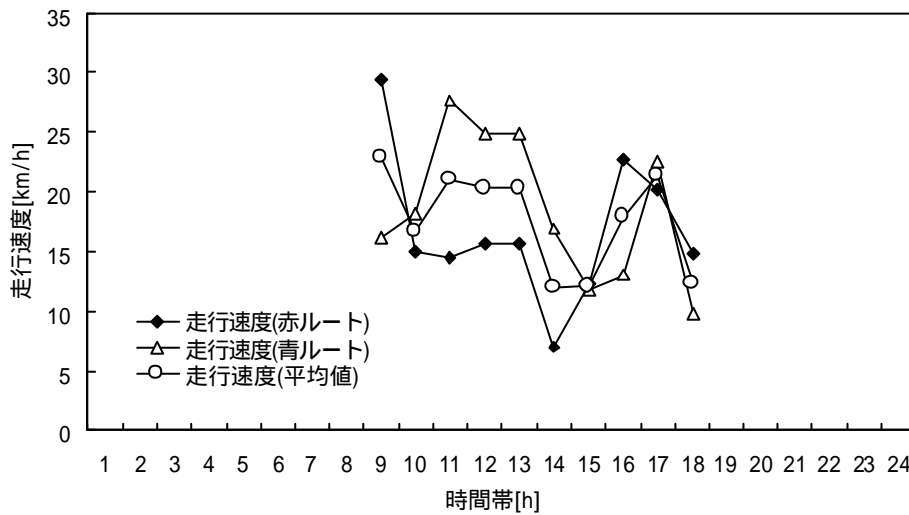


図 A1.2 地区内走行調査表より算出した平均走行速度

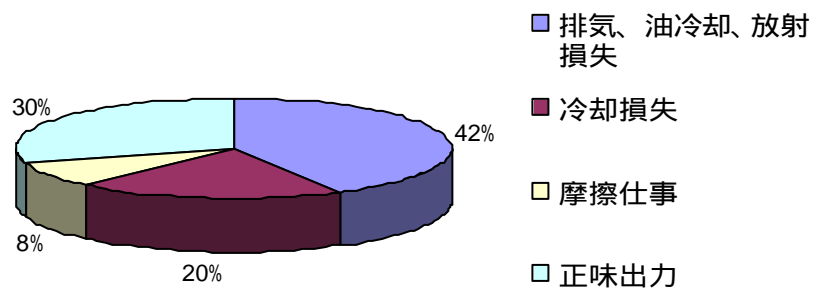


図 A1.3 供給熱量（ガソリン）の有する低発熱量を 100 %としたときのヒートバランス

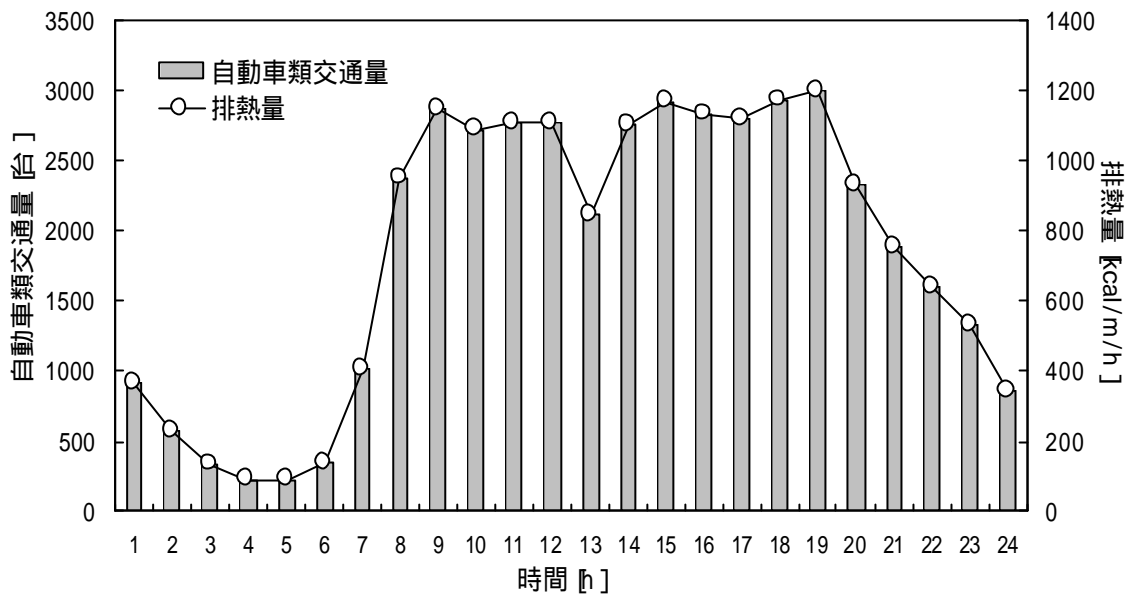


図 A1.4 前 1 時間交通量及び自動車からの排熱量

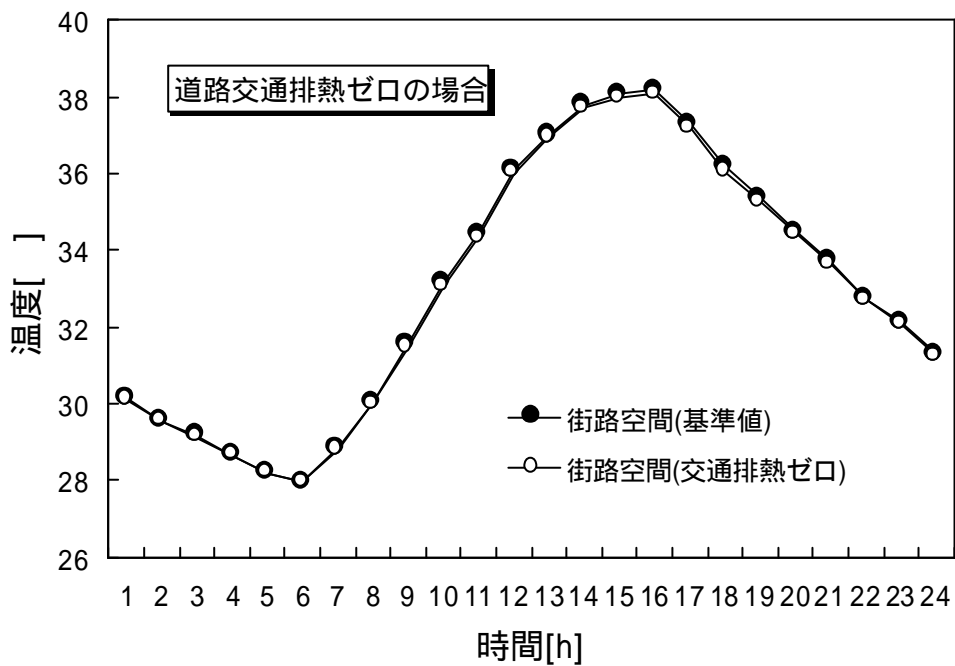


図 A1.4 街路空間温度（基準値）と自動車排熱をゼロとした場合の街路空間温度

参考文献

- [1] 二村達（1988）：都市間道路を対象とした横断面構成の評価に関する研究、名古屋大学工学研究科修士論文、pp.21
- [2] 黒田光彦（1990）：自動車工学入門、グランプリ出版、pp.27-31
- [3] 川井正男（1980）：自動車工学全書 4 巻 ガソリンエンジン、山海堂、pp.48-49

A2 建築物室内における内部発熱量の算出法

ここでは、建築物室内における内部発熱量の推定法を示す。

まず、想定した建造物群の高さが約 23 m であることより、3 m/階として建物は 7 階建てとする。建造物群の平均幅は約 66 m。室内には、5 m²あたり 1 人存在するとし、人体からの発熱を 100 kcal/(人・h)とする。よって、人体からの発熱量は 20 kcal/(m²・h)となる。照明からの発熱量を 21.5 kcal/(m²h)とすると、人体及び照明からの発熱量を加えて、内部発熱量は約 40 kcal/(m²h)となる。

街路長は単位長さであるから、1 階あたり、40 kcal/(m²h) × 66 m × 1 m = 2,640 kcal/h。
7 階より、2,640 kcal/h × 7 = 18,480 kcal/h となる。

よって、建築物の室内における内部発熱量は、約 18,500 kcal/h となる。

A3 空調機の冷凍機の COP (成績係数) の算出法

冷水出口温度が 7.0 の場合の能力 [kW]と消費電力 [kW]の関係から、成績係数 COP (= 能力/消費電力) [-]を求め、COP と外気温度との関係より下図を得た。結果を図 A3 に示す[4]。

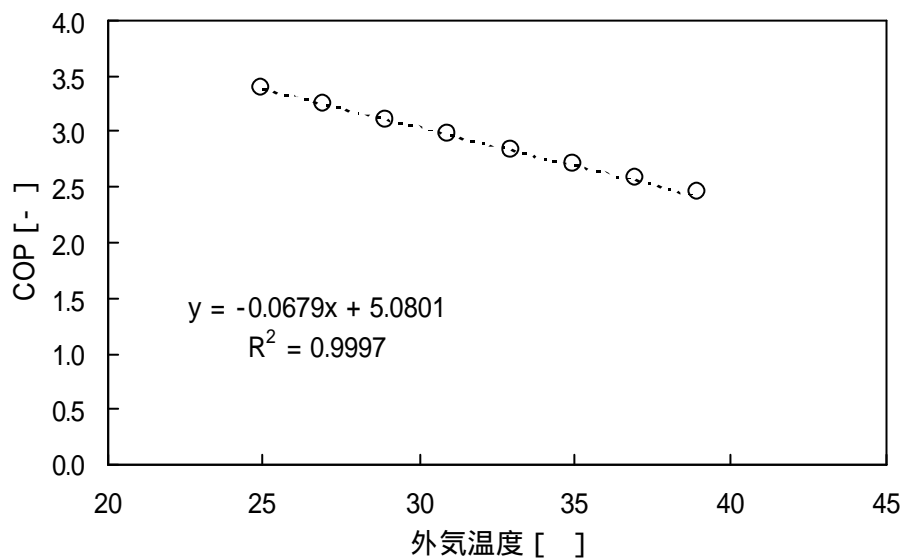


図 A3 外気温度と COP の関係 (冷水出口温度 7)

参考文献

[4] ダイキン 技術資料 (1997): 熱源・産業空調編