

都市におけるヒートアイランド現象の
時空間特性を考慮した対策法に関する研究

2006年12月

大阪市立大学大学院
工学研究科

ますもと けいこ

梶元慶子

目次

第1章 結論	1
1.1 はじめに	1
1.2 本研究の背景	1
1.2.1 地球温暖化	3
1.2.2 地域温暖化	4
1.2.3 時空間特性	4
1.2.4 ヒートアイランド現象の時空間特性に関する既往の研究	5
1.3 本論文の要旨	6
参考文献	7
第2章 ヒートアイランド現象の原因(人工的要因)	8
2.1 緒言	8
2.2 対象地域の特徴	8
2.3 大阪市における気温変化	8
2.4 大阪市域におけるエネルギー供給量の把握化	10
2.5 大阪市域におけるエネルギー供給の時空間特性	14
2.5.1 調査方法	14
2.5.2 電力供給データ	14
2.5.3 都市ガス供給データ	18
2.6 エネルギー供給量の時空間分布とヒートアイランドの関係	20
2.6.1 調査結果に基づくエネルギー供給量の時空間特性	20
2.6.2 エネルギー消費原単位法によるエネルギー消費の時空間分布予測結果との比較検討	23
2.6.3 電力供給量の気温感応度	27
2.7 結言	31
参考文献	32
第3章 地域別現状把握	33
3.1 緒言	33
3.2 広域(大阪市域)における気温の時空間特性	33
3.2.1 ヒートアイランド観測網による大阪市域の気温分布	34
1) 2005年夏季の全国の気象概況	34
2) 2005年夏季の大阪の気象概況	34

3) ヒートアイランド観測網による気温分布の調査方法	35
4) 測定点の概要	36
5) 市域全体の気温分布	39
6) 東西方向の地域的特徴	41
7) 南港野鳥園との気温差の東西比較	48
3.2.2 広域的・典型的な地域ごとの気温の時空間特性	50
1) 地域の特徴	51
2) 調査方法	53
3) 調査結果	54
3.3 狭域における気温の時空間特性	55
3.3.1 繁華街における狭域の気温の時空間特性	55
3.3.2 屋上・地上、緑化・非緑化の狭域の気温の時空間特性	57
3.3.3 オフィス街や繁華街での狭域の気温の時空間特性	59
3.3.4 住宅地内の小規模緑地とその周辺の気温分布	63
3.3.5 オフィスビルの公開空地とその周辺の気温分布	66
3.4 結言	68
参考文献	70
第4章 対策の個別評価	71
4.1 緒言	71
4.2 屋上緑化オフィスビルにおける夏季の気温分布	71
4.2.1 新ダイビルにおける夏季の気温分布	71
4.2.2 大阪市役所本庁舎屋上緑化施設における夏季の気温分布	72
1) 調査方法	73
2) 気温測定結果	76
3) 地表面温度測定	77
4.2.3 建物と蒸発散モジュールを用いた物理モデルによる風洞実験	79
1) 物理モデルによる風洞実験の特徴	79
2) 風洞実験施設	80
3) 実験モデルと測定装置	81
4) 実験の手順	83
5) 実験結果	83
4.3 結言	86
参考文献	88
第5章 結論	89

資料	93
資料1 ヒートアイランド観測網の器材設置状況	94
資料2 広域・狭域気温観測点の周辺状況	95
資料3 帝塚山古墳周辺の測定点の周辺状況	99
資料4 新梅田シティ周辺の測定点の周辺状況	103
資料5 大阪市役所本庁舎屋上緑化施設の周辺状況	106
資料6 ハンブルク大学気象研究所における風洞実験の状況	109
本論文に関する著者の公表論文	111
謝辞	113

第1章 結論

1.1 はじめに

近年、「温暖化現象」が解決しなければならない環境問題として、大きくとりあげられるようになり、一時の地球環境ブームを経たものの、即座には解決できず、対策の成果も現れないため、依然として深刻さが増している。

この温暖化は、あたかも不可逆な現象であるかのように、長期的に、地球規模で進行している。その時空間スケールの大きさゆえか、人々はエネルギー消費などの生活習慣に対して日々の認識がおよびにくく、寒暖の変化に慣れることで、深刻な状況に至っても、すでに対応できない時局を迎えかねない。

熱環境の変化は、地球規模の問題だけではない。地域的な視点での熱環境の変化も無視できない。この地球規模で進行する温暖化現象に上乗せする形で、都市の気温が著しく上昇している。都市部が周辺部と比べて気温が上昇し、等温度線を描くと中心部が高い島のように見えるため、「熱の島」すなわちヒートアイランドと呼ばれる現象が、都市における大きな環境問題となってきた¹⁾。

それまでの低緯度地域の気候が中緯度に広がってきたともいえる地球の温暖化の中で、まさに「熱帯夜」の言葉に象徴されるように、高密度の都市の気候は熱帯の様相を示しているといえよう。毎年の気温の高低の変動はあっても、長期的な傾向として、これまで都市が経験したことのない高温環境への道をたどっていることは間違いない。

平成18年度5～9月における熱中症の患者発生は、救急車により搬送された数として、東京都特別区は363人、大阪市は240人(環境省熱中症予防情報サイト)にのぼる。直接、医療機関で手当てを受けた場合や、自己で適切な処置を行い、危機を免れた例は、この数字には含まれない。特に高齢者や心臓病などの疾病をもつ患者、体温の調節機能が十分でない乳幼児などは、酷暑の都市環境の中で、生命の危険にさらされているといえよう。

この深刻なヒートアイランド現象に対して、もはや、快適環境の創造というカテゴリではなく、「熱汚染」に対して、健康被害を防ぐために、早急で具体的な対策が求められている。

1.2 本研究の背景

このヒートアイランド現象を解決するために、これまでさまざまな研究的アプローチがなされている。

まず、現象の把握のために、地形とあわせて、気温や湿度、風向、風速、日射量など、過去から現在に至る変化を、気象学としてとらえるアプローチがある。また、田畑や緑地、水面などの地表面の被覆も、時代とともに変化し、建築物や道路などの人工構造物の配置、形態、密度、表面素材もあわせて、影響を評価する研究がなされている。そこには、地理学、水理学をベースに、土木学や農学、建築学、さらには、建設素材等の工学的な検討も加えられている。

重要な要素として、電気やガス、石油などによる人工排熱の量、時間変動を推定し、排熱を抑制するための手段を、熱工学的に検証する研究がある。

さらに、熱中症に関して、医学、生理学や、熱中症患者発生率や死亡率の変動などの疫学的アプローチはもちろんのこと、排熱の抑制には、地域住民の日常生活における、環境配慮行動へモチベーションが不可欠であり、快適性の指標、生活習慣の変化、環境倫理などの社会科学的な検討も必要となっている。

また、気温や水温の上昇に伴って、土壌や河海水中の微生物の生息状況も変化し、南方系の動植物の移入と繁殖などもみられ、生態学、微生物学においても、このヒートアイランド現象と無縁ではない。

言い換えれば、「ヒートアイランド学」は、学問領域として、地域の気象学にとどまらず、熱工学、省エネルギー、土木、建築はもちろんのこと、医学、疫学、さらには、社会科学にまでおよぶ広い分野の学理の集積が必要であり、決して、個々の分野の中の学術的な検討のみをいくら深めても、ヒートアイランド現象解決にはつながらない。多方面からの検討をあわせて、統一的な解釈を行いつつ、学問としての構築が重要である。

2005年3月、日本ヒートアイランド学会が設立され、これらの多方面の学術分野の研究者、さらには、自治体や企業、市民やNPO、NGOなどが参加している。研究が、技術開発に結びつき、そしてそれらの導入・普及をはかるための連携を目的とし、活動が開始されたばかりである。

こういったヒートアイランド学と、学理を活かして検討を重ねられた、より実効性のある技術による対策が、この深刻なヒートアイランド現象の解決策として重要視される。

本論文は、このヒートアイランド現象の時空間特性をとらえ、その特性に相応した対

策のあり方、またその効果についてとりあげ、ヒートアイランド学の中で展開し、ヒートアイランド学と、問題解決の実現へ貢献することを、意図している。

1.2.1 地球温暖化

温室効果ガスによる温暖化現象は地球的な規模で進行している。

1889年にアレニウスが、CO₂の排出による地球温暖化を指摘し、1970年代には科学的知見が注目されるようになったが、多くの研究者によって国際的な科学的検討が進んだのは1980年代に入ってからであった。²⁾

1985年、国連環境計画(UNEP)のフィラハ会議で、気温上昇は政策的課題としてとりあげる必要性が指摘され、1988年の先進国首脳会議直後に開催されたトロント会議では、具体的に長期的な数値目標と達成期限を設けた「トロント宣言」が出された。1988年、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)が設立され、1990年、IPCCによって、「2100年には地球の平均気温が約3°C上昇。現在のレベル維持のためには、人間の活動によるCO₂の排出を60%以上削減しなければならない。」とする一次報告書に至り、1997年12月、京都で開催された気候変動枠組条約締約国会議(COP3)において議定書が採択され、2005年2月16日、京都議定書は発効した。³⁾

このような経緯を経て、地球環境問題としての温暖化対策は、先進国、自治体、企業、環境NPOなど、各方面でとりくまれているが、その成果は上がっているとはいえない状況にある。

2004年の、国立大学法人東京大学気候システム研究センター(CCSR)、独立行政法人国立環境研究所(NIES)、独立行政法人海洋研究開発機構地球環境フロンティア研究センター(FRCGC)の合同研究チームによる、「地球シミュレータによる地球温暖化予測計算」⁴⁾では、世界が経済重視で国際化が進むと仮定したシナリオ(2100年のCO₂濃度が720ppm)では、全地球平均の気温は1971~2000年の平均に比較して、4.0°C上昇(2071~2100年で平均)、また気温上昇の地理分布は、北半球高緯度で大きく、海上に比べ陸上で大きいという予測結果が出ている。

また、2071~2100年で平均した日本の夏(6、7、8月)の日平均気温は4.2°C上昇、日最高気温は4.4°C上昇という予測結果となっている。しかし、この結果には、都市化による影響が考慮されていない。この都市化による影響は、地球環境問題というより、地域環境問題としてとらえなければならない。

1. 2. 2 地域温暖化

地球規模で進行する温暖化現象に上乗せする形で、都市での気温上昇、すなわちヒートアイランド現象は、近年、都市の熱汚染として、注目されるようになった。

全地球的規模の熱環境の変化とは異なり、都市の高密度化による、地表面構造の変化、エネルギー消費(人工排熱)の集中的な増大などを主な要因とし、都市部を中心に、相対的に気温が上昇する、都市特有の問題である。⁵⁾

都市部では、夏季、日射による昼間の気温上昇に伴い、エアコンなど人工排熱が増大するが、風の通らない建物が密集した場所では、夜間でも熱い空気が移動せず、気温の下がり方がゆるやかで熱帯夜が続き、快適な環境とはいえない。快適性だけでなく、人への健康影響も、無視できない。熱中症の発生、特に小児や高齢者などへの被害は深刻であり、またスポーツ観戦や野外の遊戯施設などからの救急搬送も目立っている。

人口が密集した都市の、人間のさまざまな活動により、燃料や電力などのエネルギー消費といったような、大気を直接加熱する人工排熱の増加だけではなく、地形の特徴や地表面の被覆、建造物の構造や都市活動の形態があげられ、地域によって、気温上昇の程度が異なると考えられる。

たとえば緑地や水面が減少すると、水分の蒸発が減り、大気への潜熱が減る。地表面が乾燥して高温化すると、さらに地表面から大気への赤外放射も増える。また建物が密集して、地表面の凹凸が増加すると、日射の反射率が下がり、地表面の熱の吸収が増え、放射冷却が減少する。

すなわち、都市部での地域温暖化問題は、都市全体としてとらえるのではなく、居住、生活空間の冷却などの対策を行い、地域での健康被害をなくし、快適環境を確保しつつ、その結果として、都市全体での効果を評価する方法が有効ではないかと考える。

1. 2. 3 時空間特性

これまでに、都市のエネルギー消費量の把握、公園、古墳などの小規模緑地や、ビルの屋上緑化による、ヒートアイランド現象を緩和する効果の程度について調査を行ってきた^{6),7)}。これらの効果は、ただ樹木や草地の存在により、その場の空気が冷却

されれば十分というわけではない。エネルギーの消費行動に結びつかないように、消費する場における気温の低下が期待されるわけである。緑地等で冷却された空気が、いかに周囲の住宅地や繁華街に流れ出すのか、冷却効果の程度(温度差)、効果の及ぶ範囲(距離、面積)等、詳細に把握する必要がある。

自治体が行うヒートアイランド対策は、現象をマクロ的にとらえ、省エネルギーの推進、緑化面積の増加など、包括的な対策がたてられることが多いが、ヒートアイランド現象をよりマイクロな「都市の微気象」の観点で、きめ細かな対策が求められるべきである。

同じ都市の中でも用途の異なる地域の建築物や地表面構造の差、都市活動の形態によるエネルギー消費構造に差があり、個々のエリアにおける温湿度の詳細な変化を比較することにより、地域や都市活動毎に分けた対策メニューを導入することが、より効果的、実地的であると考えられる。

とりわけ都心部では、自然緑地の確保が困難なため、ビルの屋上緑化の導入が進みつつあるが、この対策の評価については、屋上緑化を採用した建築の件数や面積の把握にとどまり、風や樹木の状態が対策として効果があるものか、質的な評価は十分に行われていない状況である。

1.2.4 ヒートアイランド現象の時空間特性に関する既往の研究

我が国においては、ヒートアイランド対策が国の政策大綱にも取り上げられる中で、都市活動とヒートアイランドの関係、また、対策立案のためにこれまでも数多くの研究が行われてきた。一ノ瀬は⁸⁾、細密地理情報を用いて、東京23区を対象に、都市のエネルギー消費と都市熱環境の関係について詳しく調べている。また、亀谷は⁹⁾、都市熱環境負荷源としての空調システムの評価を行う中で、関西地区を対象とした建物消費エネルギーの実態調査に基づき、大阪市について、都市域のエネルギーフローを明らかにしている。いずれの検討においても、地域的なヒートアイランド特性を論じるのに、エネルギー消費に着目し、地域別、並びに時刻別の特性、つまり時空間特性について検討を加えている。しかしながら、地域的なエネルギー消費特性のデータ取得の困難さから、その定量的な評価は不十分といわざるを得ない。また、地域ごとのエネルギー消費と気温の関係などについても論じられていない。以上のようなことから、今後、ヒートアイランド対策を実施するにあたっては、ヒートアイランドの特性を

現していると考えられる地域ごとの気温の時間変化や、それに大きな影響を与えていると考えられる地域ごとの時刻別エネルギー消費特性を明らかにすることが必要不可欠と考えられる。

1.3 本論文の要旨

本論文は、都市における熱環境の時空間特性を明らかにし、その特性に応じて対策する手法を提示し、その手法により、対策を講じることの有効性について論じることを目的とする。各章の要旨を以下に述べる。

第2章では、ヒートアイランド現象のひとつの人工的要因としての、エネルギー消費量と排出熱量の地域的、季節的・時間的変動を、土地利用状況、建物密度、人口分布とあわせて調べ、人工排熱による影響の程度と、その時空間特性を確認する。

第3章では、人工的要因・地理的要因による土地利用状況ごとに地域、オフィス街、繁華街、商工住宅混在地域、港湾域、河川沿い住宅地、田園の住宅地に分け、個々の地域の特徴と、時間帯別の気温変動を調べ、時空間特性を抽出する。また、都市内部の小規模緑地、水面、屋上緑化などによる、気温上昇の緩和の把握を行い、クールスポットとしての機能を評価する。

第4章では、対策としてあげられる屋上緑化施設における熱流や気温、土壌の温度の時間変動、降雨による効果を調べ、時空間特性を考慮した対策法が有効であることを検証する。また第2章でとりあげたエネルギー消費の時空間特性とあわせ、地域ごとの対策メニューが重要であることを論じる。

第5章では、本研究で得られた研究成果の総括を行う。

参考文献

- 1) 梶元慶子:「熱環境問題」その世界的課題と地域的課題 —地球温暖化現象とヒートアイランド現象—, 生活衛生, 50, 5, 317-322 (2006)
- 2) 全国地球温暖化防止活動推進センター:地球温暖化問題と国際交渉.
<http://jccca.org/content/view/799/566/>
- 3) 環境省:地球温暖化に係る国際交渉の経緯.
http://www.env.go.jp/earth/cop/koushou_keii.pdf (2005)
- 4) 国立大学法人東京大学気候システム研究センター(CCSR), 独立行政法人国立環境研究所(NIES), 独立行政法人海洋研究開発機構地球環境フロンティア研究センター(FRCGC):地球シミュレータによる最新の地球温暖化予測計算が完了. <http://www.env.go.jp/earth/earthsimulator/index.html> (2004)
- 5) 齋藤武雄, 伊藤 智, 山田 昇: 都市街路空間の熱環境計測とヒートアイランドシミュレーション, 日本ヒートアイランド学会論文集設立記念特集号, 30-42 (2006)
- 6) 今井長兵衛, 梶元慶子, 増田淳二, 夏原由博:都市緑地機能の研究 3. 上町台地斜面緑地の気温の通年測定, 大阪市立環境科学研究所報告 調査・研究年報, 58, 60-67 (1996)
- 7) 梶元慶子, 増田淳二, 夏原由博, 今井長兵衛:都市緑地機能の研究 2. ヒートアイランド現象緩和機能の実態調査, 大阪市立環境科学研究所報告 調査・研究年報, 57, 73-83 (1995)
- 8) 一ノ瀬俊明:細密地理情報にもとづく都市のエネルギー消費と都市熱環境の解析, 東京大学博士論文, (1996)
- 9) 亀谷茂樹:都市熱環境負荷源としての空調システムの評価に関する研究, 東京大学博士論文, (1998)

第2章 ヒートアイランド現象の原因(人工的要因)

2.1 緒言

ヒートアイランド現象に関わる熱収支を考察する場合には、熱の発生源として、自然要因としての日射量、人工的要因としての人工排熱の量を把握しなければならない。人工排熱の増大は、同じ緯度の周辺の地域に比べて、都市が、より高温になる原因であり、特に夏季におけるエネルギー消費が、劣悪な熱環境を招いている。

そこで、第2章では、大阪市を対象地域としてとりあげ、エネルギー消費量と排出熱量の地域的、季節的・時間的変動を、土地利用状況、建物密度、人口分布とあわせて調べ、人工排熱による影響の程度と、時空間特性を確認し、エネルギーの消費行動を制御するための基礎データとする。

2.2 対象地域の特徴

大阪市の面積は、222.11km²、一辺が20kmのほぼ正方形に収まる形状で、居住者人口は263万人、昼間人口は、361万人(大阪市、平成17年国勢調査結果抽出速報集計結果¹⁾)である。1990～2000年は減少していたが、2000年以降、増加に転じている。

市の西側は大阪湾に開き、市域のほぼ中央部は、南北方向に伸びた、オフィス街、繁華街があり、昼間人口が集中している。市域の北部には北東から南西方向に大阪湾にそそぐ一級河川の淀川が、また市域の南端を、大和川が流れる。市域のほぼ中央部には、南北方向に上町台地が隆起しているが、中央部では標高15m程度で、高低差は少なく、平坦な地形といえる。

中心部のオフィス街、繁華街に対して、西部は港湾地区で大規模工場や倉庫群と、大型レジャー施設や公園などが目立ち、東部は、中小工場や商業と住宅が混在する地域であり、北部や南部は、主に住宅地域と商業地域が混在している。

2.3 大阪市における気温変化

大阪市域での気温変化を調べるには、長期間にわたり観測されている、大阪管区気象台のデータ²⁾がある。ただし、1882年開設以来、焼失や数回の移転を経ており、測器の変更等もあった。しかし、100年以上にわたって継続して得られる、大阪市域

の代表的なデータともいえる。そこで、この100年間の変化を見ると、年平均気温が約2℃上昇し(図2-1)、熱帯夜(夜間の日最低気温が25℃以上)は、1970年代中盤からの約30年間で約2倍に増加している(図2-2)。

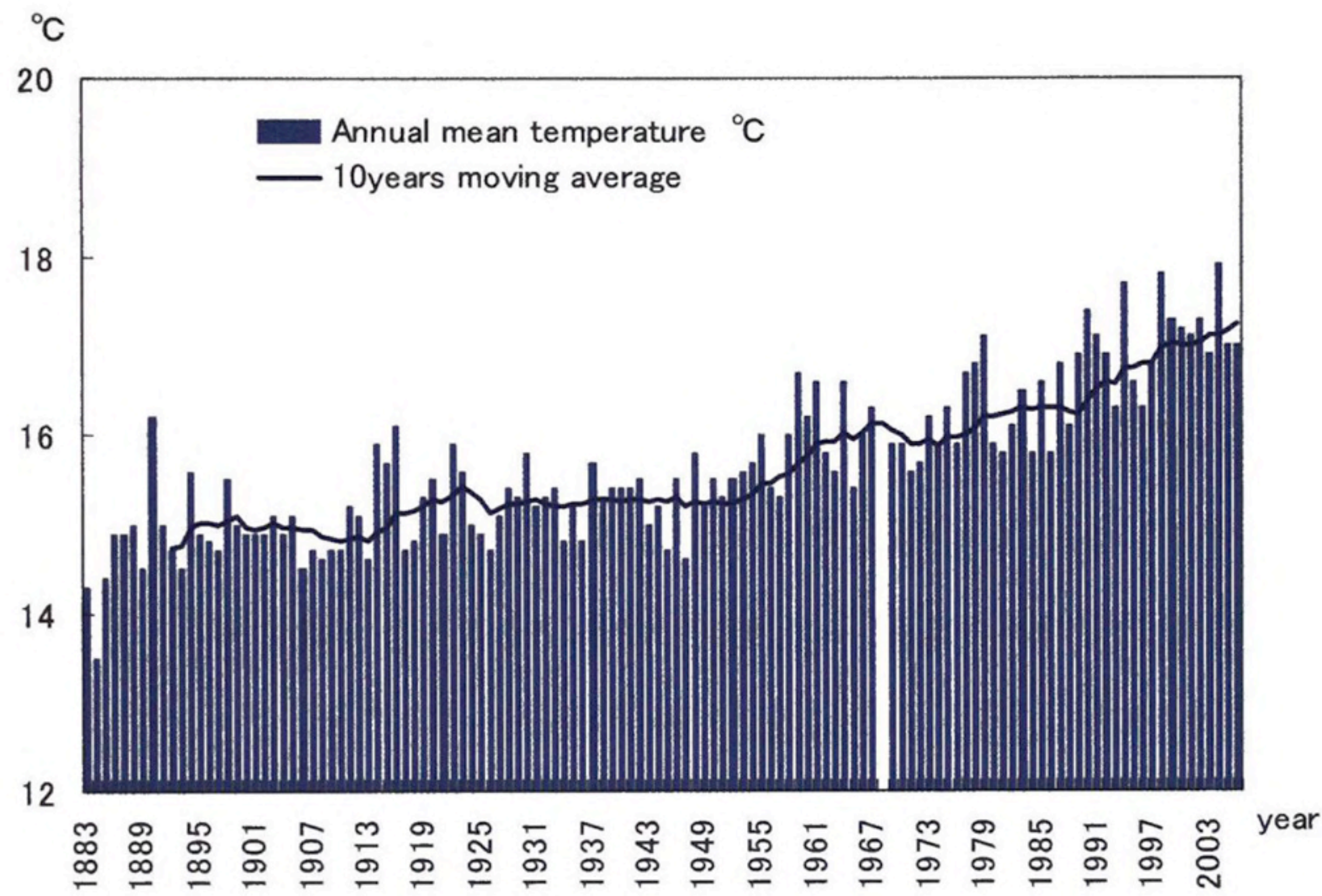


Figure 2-1 Annual mean temperature changes in Osaka City since 1883

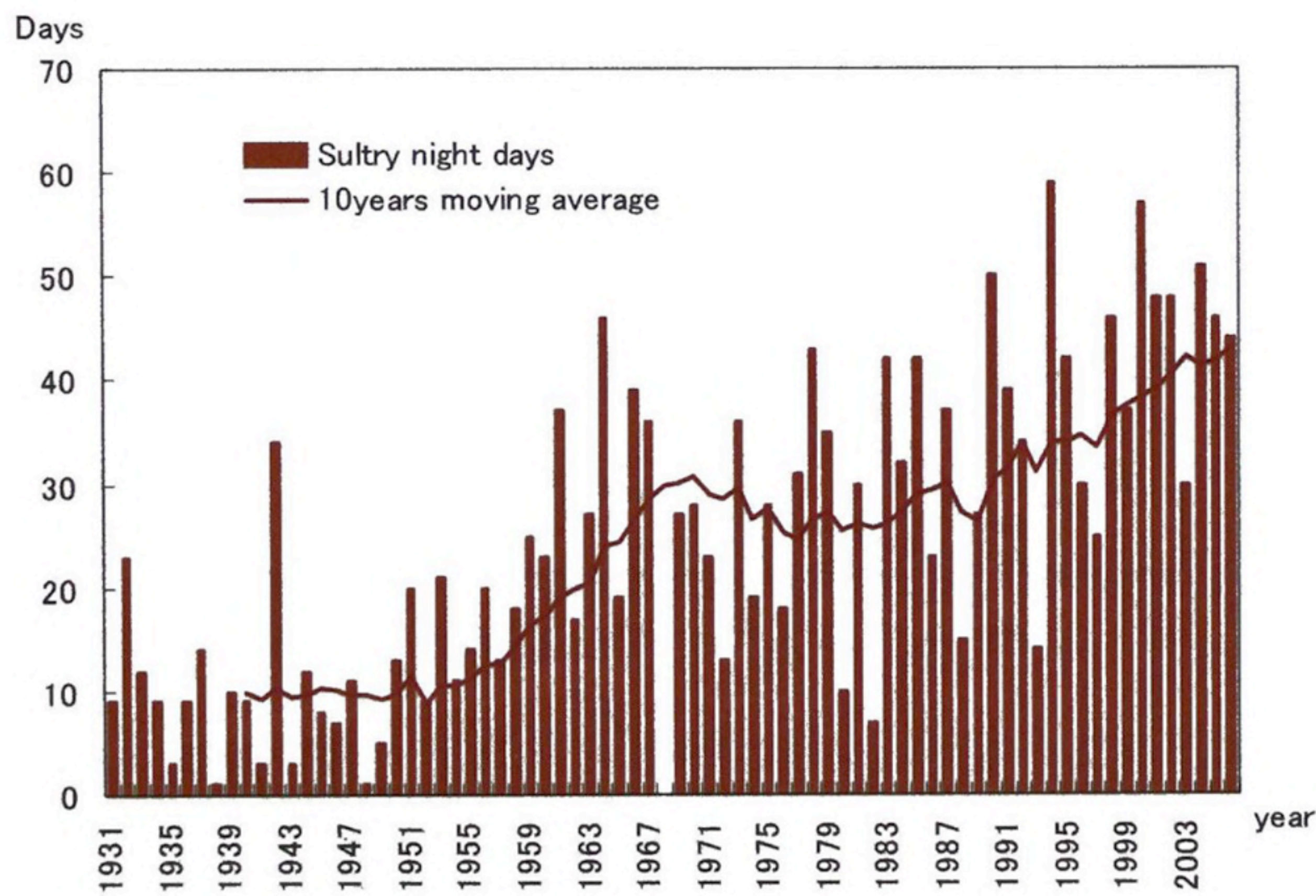


Figure 2-2 Numbers of sultry night of a year in Osaka City since 1883

一方で、この間の日本全体の年平均気温の上昇度は 1.0℃であり、大阪市域における気温上昇は、地球温暖化現象による気温上昇に加えて、明らかに都市特有の特徴であり、ヒートアイランドの影響であると言える。

都市の特徴すなわち、人工的要因として、まず、エネルギー消費に由来する排熱量を把握し、定量的な評価を加える必要がある。

2.4 大阪市域におけるエネルギー供給量の把握

大阪市内で供給されるエネルギーとして、まず大阪市統計書³⁾(昭和 33 年～平成 15 年版・大阪市計画調整局)を基に、電力・都市ガスの供給量についてのマクロ統計データを調べた。1953～2002 年の 49 年間の消費電力量を図 2-3 に、1945～2002 年の 57 年間の都市ガス需要(供給)量を図 2-4 に示す。都市ガス需要量については途中に行われた燃料転換による発熱量補正を行った。

図 2-3 に示す電力総供給量は、1953 年の 1.7 TWh(テラワットアワー)から 2000 年には 23.0 TWh になり、ここ 50 年弱の間に約 13.5 倍に増加したことがわかる。

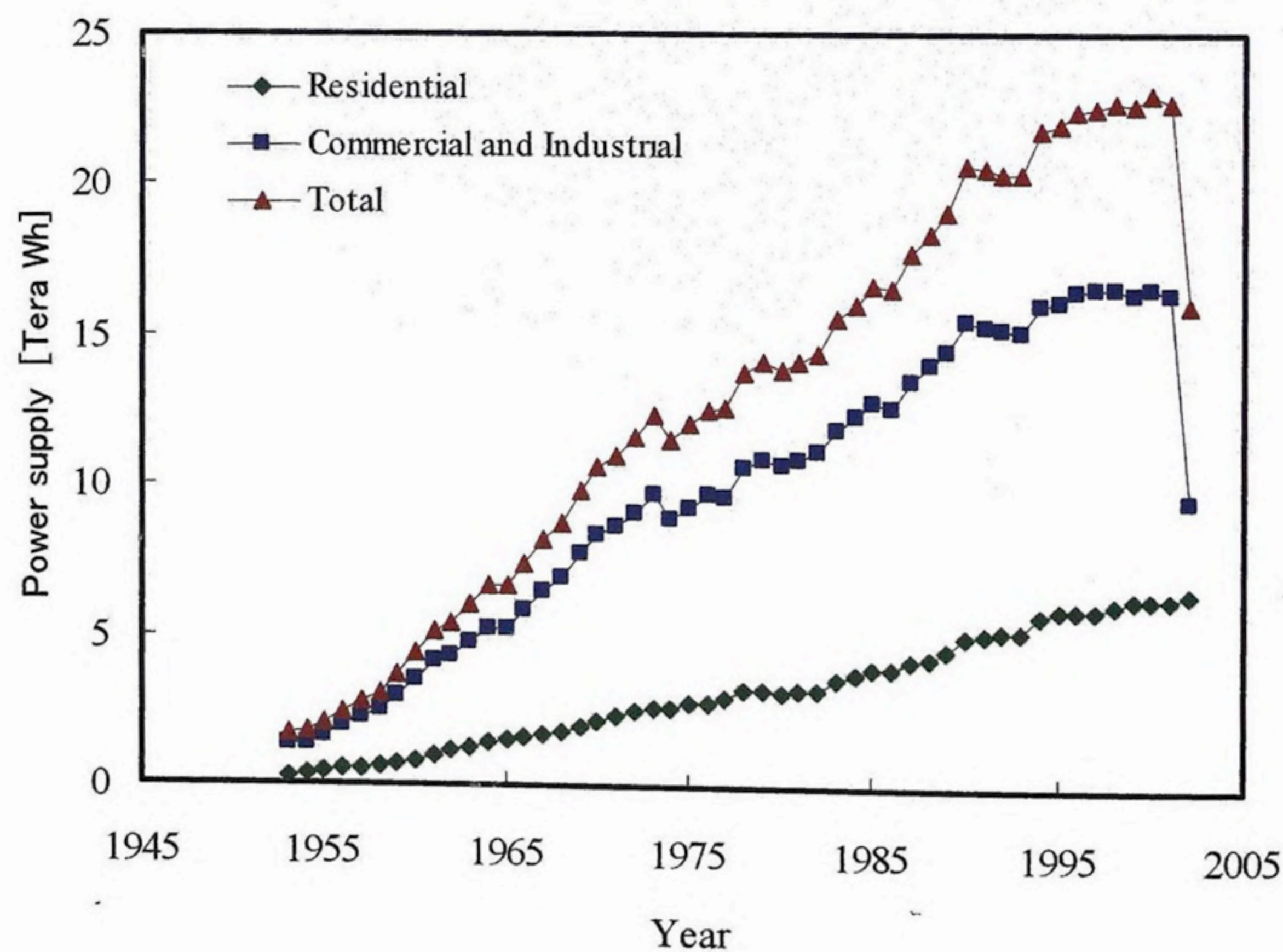


Figure 2-3 Annual electric power supply changes in Osaka City since 1958

なお、2002 年に供給量が急減しているのは電力自由化により 2 万ボルト以上(契約

電力原則 2,000 kW) の特別高圧電力が調査対象から除外されたためである。主に住宅や小規模事業所で契約される電灯使用量より、大規模事業所で契約される電力使用量の増加が著しい。

一方、図 2-4 に示す都市ガス需要も、年々増加する傾向にある。1950 年～2000 年の間に約 26.6 倍に増加している。また、近年、工業用の伸びが大きいのが、これは、 SO_x などの排気ガス対策や、1970 年代の石油ショック以降、石油依存度が改善され、エネルギーの多様化が図られるようになったこと、地球温暖化問題に関連して、天然ガスがクリーン燃料として、石油に代替していることが考えられる。

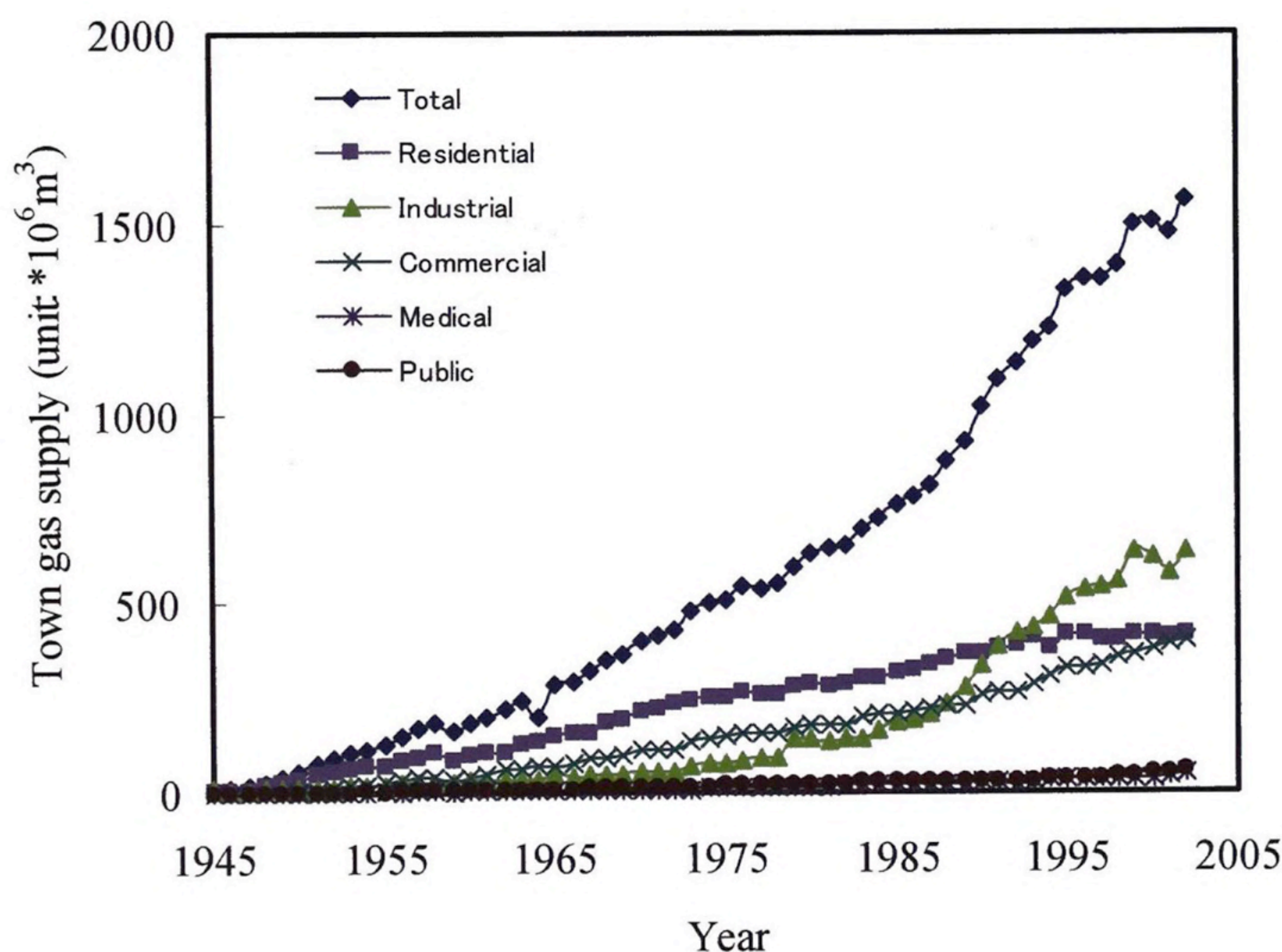


Figure 2-4 Annual town gas supply changes in Osaka City since 1945

このように、都市化の特徴といえる大阪市域における気温の上昇度、エネルギー供給量の上昇度の関係、すなわちヒートアイランドの要因としてのエネルギー消費と気温の関係を調べるため、電力・都市ガスによるエネルギー供給量(熱量換算: $46MJ/Nm^3$)と年平均気温の関係について調べた結果を図 2-5 に示す。

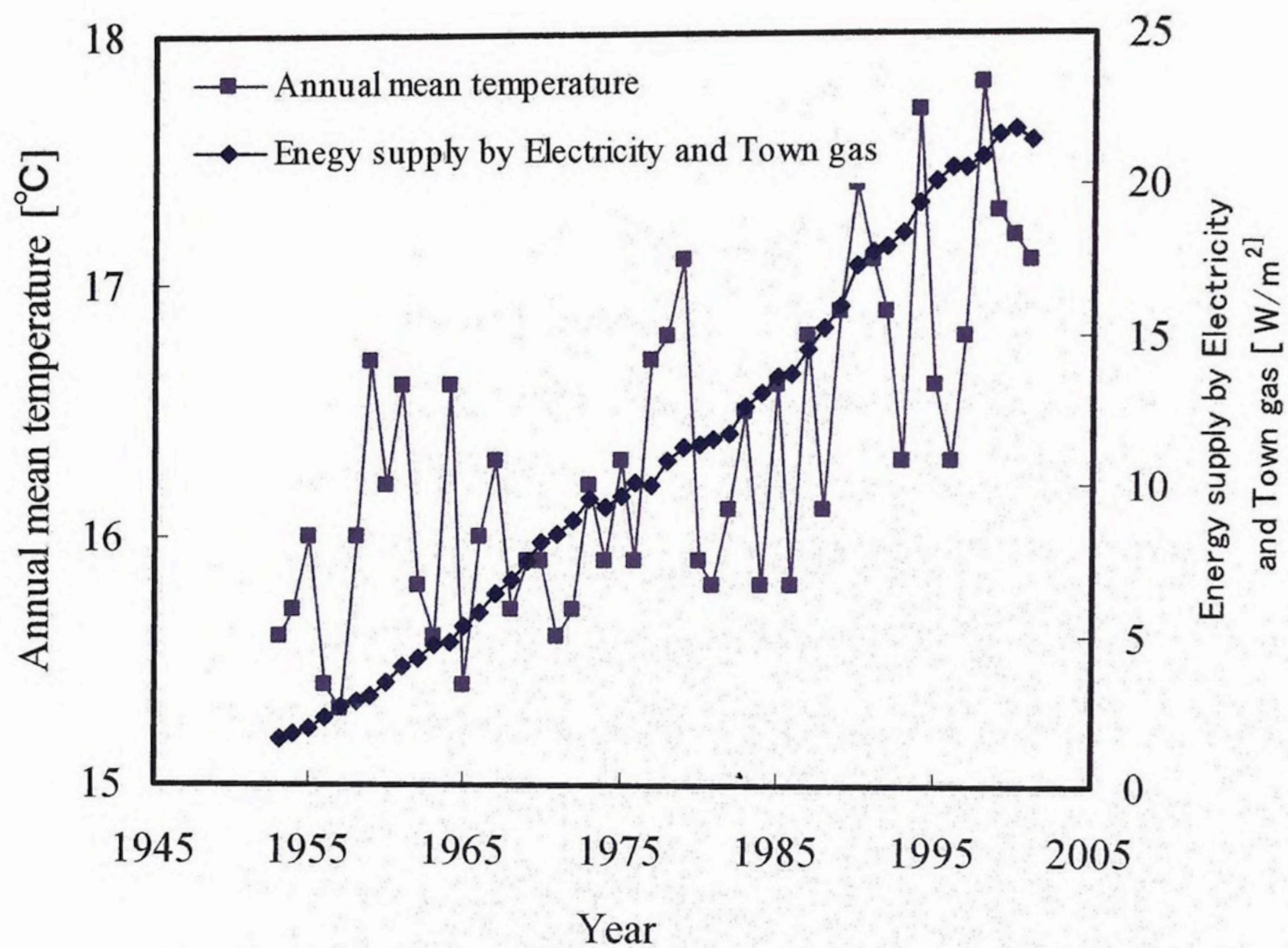


Figure 2-5 Relation between annual mean temperature and the energy amount of supply since 1953

1960年以降では、電力・都市ガスによるエネルギー供給量は、約11.2倍に増大し、この間に年平均気温は約1.5°C上昇しており、これらは密接に関係していることがわかる。

また、以上のデータより、大阪市(面積約220km²)における電力・都市ガスの単位地表面積当たりの年平均の単位時間当たり供給量を求めると、それぞれ11.9 W/m²、9.9 W/m²となり、日射に由来する地表面の受熱量(日平均約142 W/m²)に比べてかなり少ないことがわかる。

しかし、以上のような、市域全体として扱う統計データからは、具体的なヒートアイランド対策をたてるために必要な情報は得られない。エネルギーの消費動向は、用途地域によってまた、時間帯によっても異なることは容易に推定できる。したがって、市域内における時刻別ならびに地域別のエネルギー供給とそれに伴う人工排熱の排出の偏り、排出特性に関する情報は、さらに詳細なデータが必要となる。

大阪市域で使用されるエネルギーのうち、数値として把握できる量は、電力、都市ガスのほか、自動車・船舶など運輸関係の燃料、LPGなどの民生燃料、また、工場や

事業所で使用される石油、石炭等各種の燃料消費量が挙げられる。

消費されるエネルギー量の時空間特性を調べるにあたって、まず、空間特性としては、用途地域との関連を調べるために500m²~1km²程度のメッシュごとに把握し、時間特性としては、季節別、時刻別に把握して、そのパターンの特徴を抽出する必要がある。

1988年に行った排出熱量の調査研究⁴⁾では、関西電力の各営業所でまとめられる各種別の時刻ごとの電力使用量と、大気汚染物質の排出量シミュレーションなどを目的とした民生燃料を含む燃料調査、自動車交通量や船舶燃料調査などで得られた、燃料消費量データを、地域メッシュで配分し、エネルギー消費量の市域内メッシュ分布を求めた。

ただし、エネルギーの種類によって、得られる空間分布の精度が大きく異なる。まず、電力使用量の配分は、大規模営業所等での使用量は、変電施設の住所等でおおよそその場所を確定できるものの、電灯線など一般家庭や商業施設で使用される小規模の電力については、広い地域を管轄する営業所単位でとりまとめているため、精度の高い分布としては得られない。そこで、大阪市メッシュデータシステムから、メッシュごとの人口や延べ床面積の分布で、営業所単位のデータを配分する方法をとるなどしなければならなかった。

また、大気汚染物質排出量シミュレーションで使用される船舶燃料は、航路が限定されており、メッシュごとの燃料消費量は簡単に把握できるが、自動車交通量は、抽出された道路単位で得られるため、メッシュへ配分する際には、メッシュごとの道路面積を用いて配分する必要がある。

民生燃料を含む燃料調査は、市域で届出施設を有する全事業所に対して実施され、場所と燃料の種類ごとの消費量が把握でき、メッシュごとに排熱量のデータを集計することが可能である。ただし、時間的な特性は、全体の月別の変動パターンを、メッシュにもあてはめるなどの推定をしなければならなかった。

これら各種データは、それぞれ調査の目的が異なり、推定の精度が異なっているため、個々のメッシュに配分し、すべてを合計すると、実態と合わないと考えられるため、燃料別の地域分布の特徴把握、時間特性の把握にとどめ、排出熱量の定量的な評価には至らなかった。

2.5 大阪市域におけるエネルギー供給の時空間特性

2.5.1 調査方法

精度の高い、排出熱量の推計を行うため、時刻別ならびに地域別のデータが得られると考えられる電力ならびに都市ガスに特定して調査を行った。電力データに関しては、大阪市が行ったシミュレーションに対応させて、平成12年7月13日から27日までの時刻別電力供給データを、都市ガスに関しては、平成14年度(平成14年4月～平成15年3月)の市内各区の月別販売データ(46MJ/Nm³換算)を用いた。

大阪市のような広域領域におけるエネルギー供給の時空間分布を明らかにするためには、市内のおおのこの地域におけるエネルギー供給の時間的な変化を明らかにし、そのパターンの特徴を抽出することが必要不可欠である。そこで、本研究では、GISを用いて大阪市についてのエネルギー供給分布図を作成することにした。

2.5.2 電力供給データ

電力に関しては、大阪市が行ったシミュレーションに対応させる目的から、平成12年7月13日から27日までの時刻別電力供給データを用いた。大阪市内には100以上の二次変電所があるが、本研究では、変電所の供給エリアと営業所の使用電力量実績を勘案し、市内を都心(業務・商業)、工場地区、住・工混合地区ならびに住宅地に分類して調査を行った。図2-6に変電所の位置を示す。また、表1に変電所の位置する行政区を示す。

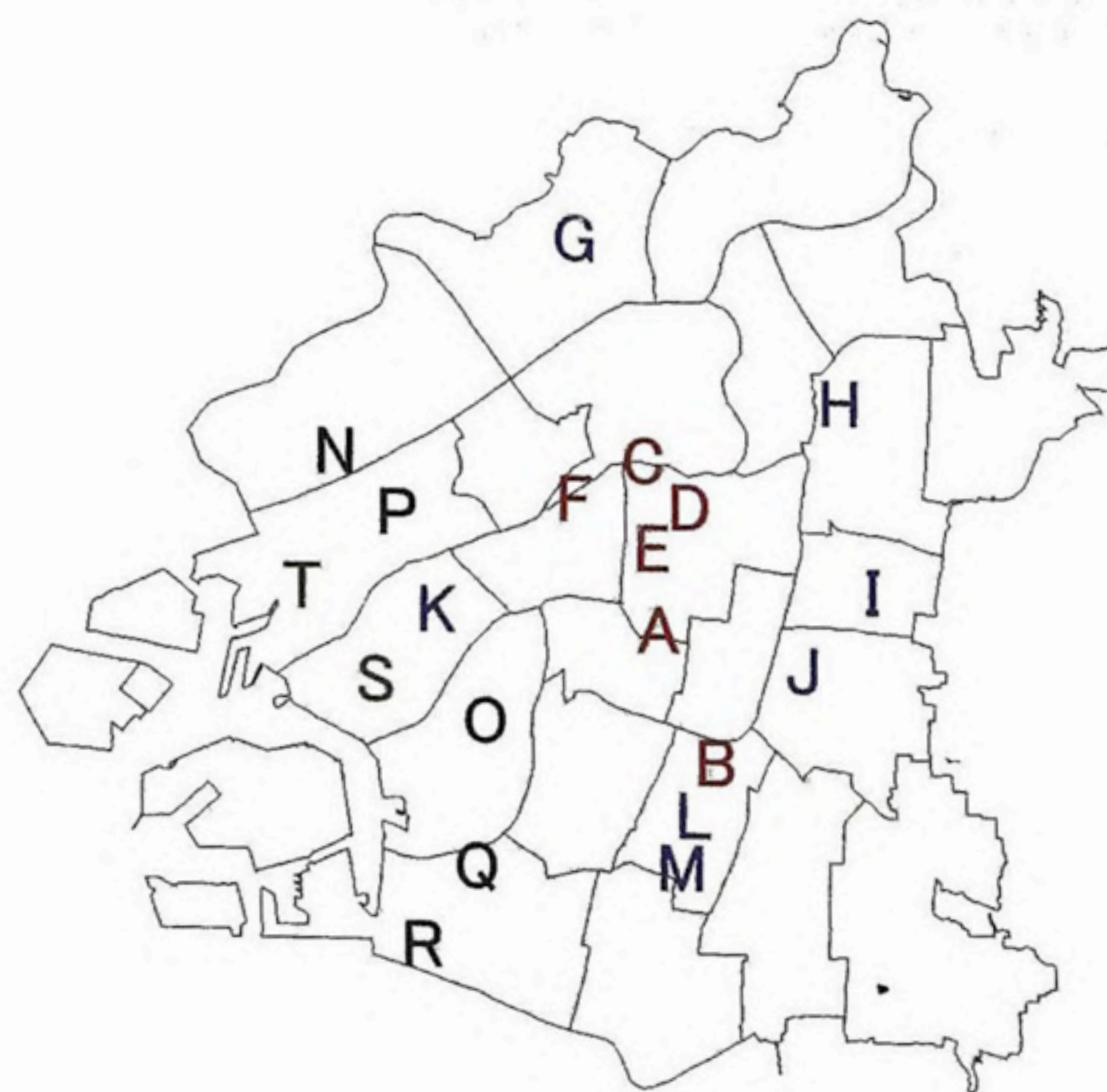


Figure 2-6 Locations of each secondary substation within Osaka City

Table 1 Locations of secondary substation

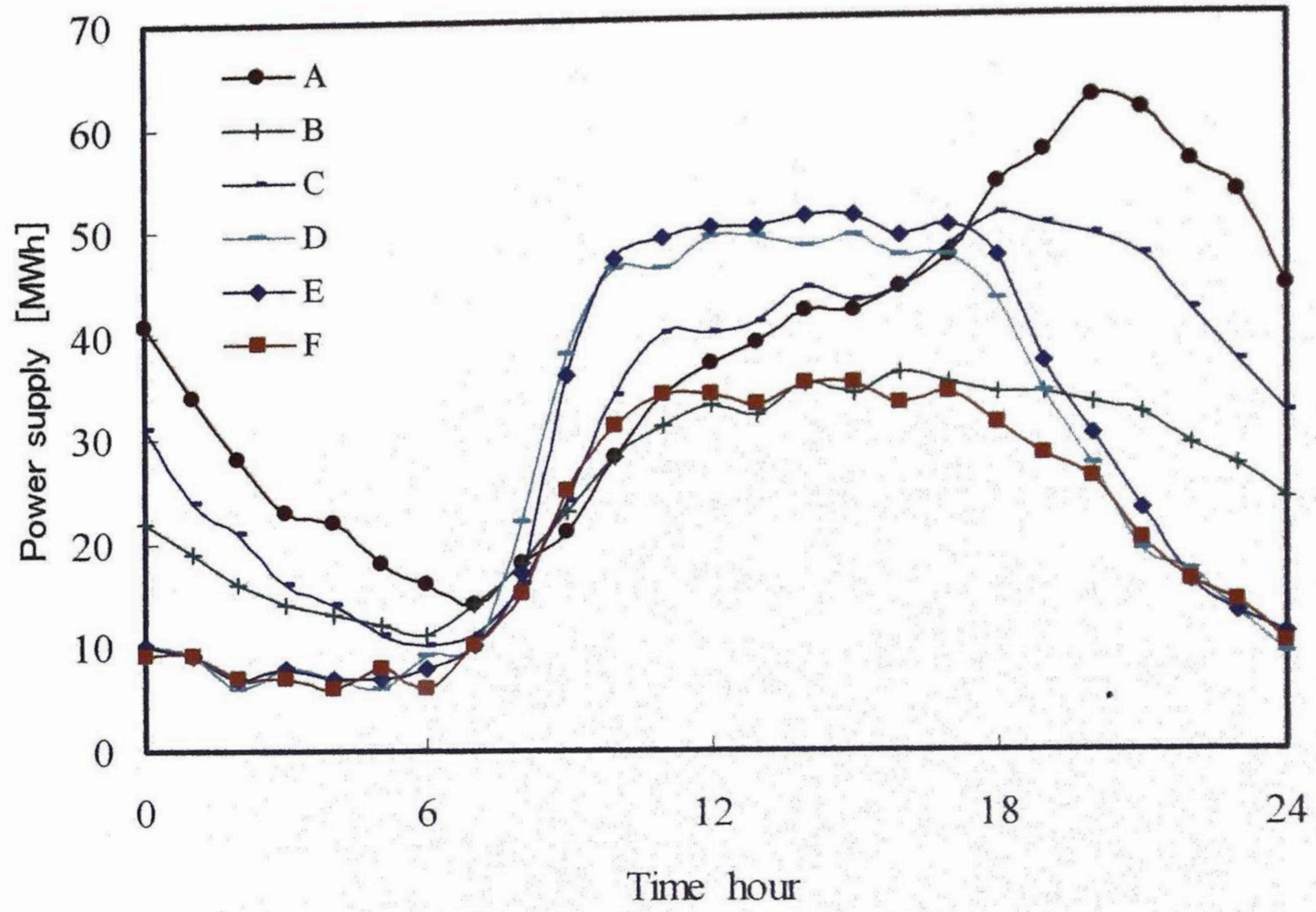
Area	Ward	Area	Ward
A,D,E	Chuo	J	Ikuno
B,L,M	Abeno	K,S	Minato
C,F	Kita	N	Nishiyodogawa
G	Yodogawa	O	Taisho
H	Joto	P,T	Konohana
I	Higashinari	Q,R	Suminoe

図 2-7 に、平日で最高気温が 36.0℃と高かった 7 月 19 日の都心ならびに住宅地の各変電所における電力供給量を示す。変電所の供給エリアの広さは地域により大きく異なるので、都心と住宅地の供給量の大小について考察することはあまり意味を持たない。ここではおのこのの地区における時刻別傾向について論じる。

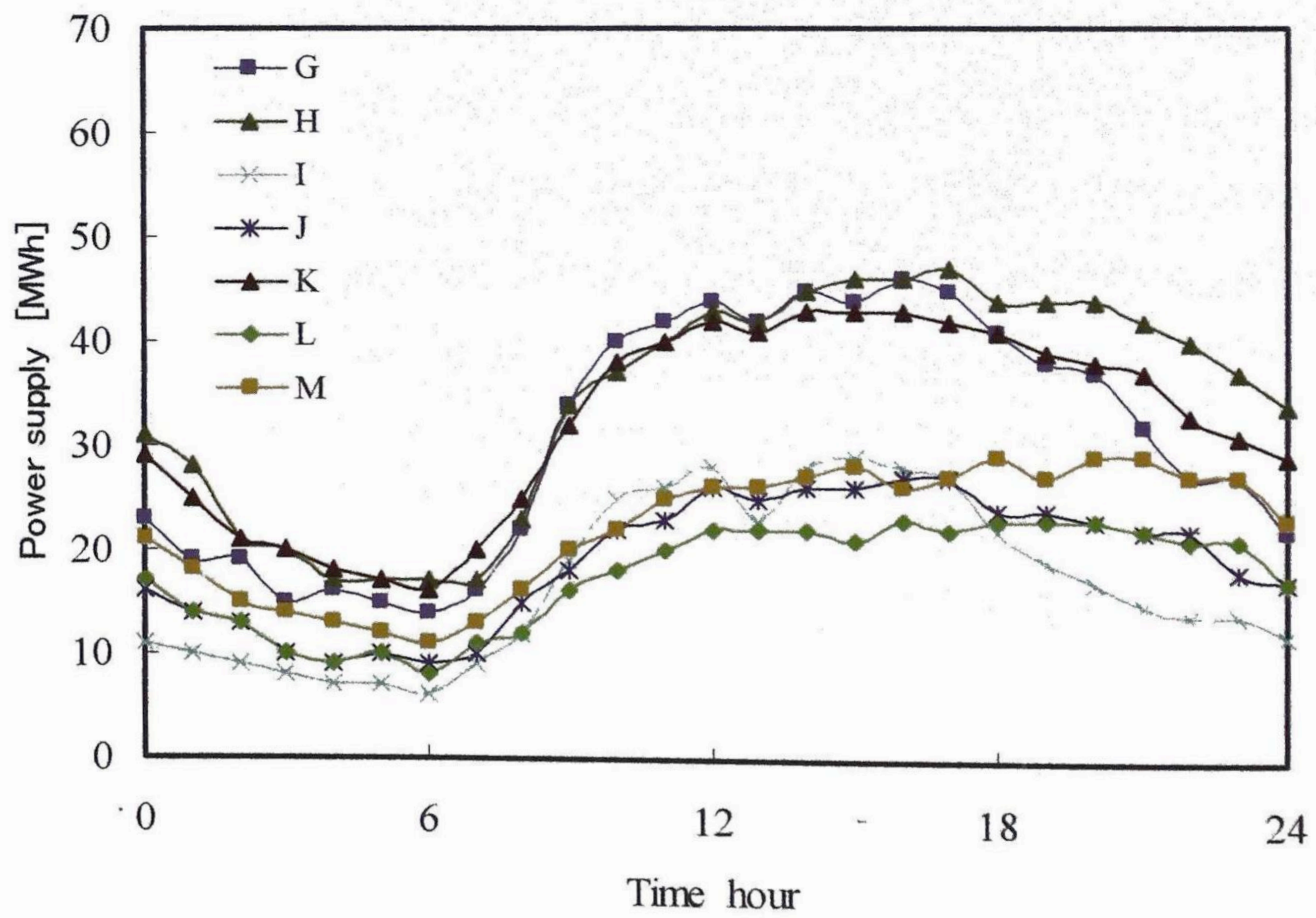
図 2-7(a)に示す都心ではそれぞれの地区の特性がよく現れている。業務地区である D、E では業務時間帯である 9 時から 18 時の間で供給量が多く、娯楽施設や飲食店・宿泊施設が多い A では 21 時ころに最大値をとり深夜遅くまで供給量が多い。大阪一の繁華街であり、また業務施設も多い C は両者の中間的な特性を示している。

一方、(b)に示す住宅地においては、純然たる住宅街と考えられる市南部の L や M においては、供給量が 6 時から増え始め 21 時ころまで徐々に増加している。一方、都心に近く業務用用途の多い G や H では業務地区に近い特性を示しているが、純然たる業務地区である D や E に比べて、昼夜の差が少なく、両者の中間的な特性を有している。図 2-8 に都心と住宅地の傾向の違いについてさらに検討するために平日と休日の電力供給量の比較を示す。

同図より、住宅地においては、平日および休日における時刻別供給特性がほとんど変わらないのに対して、業務地区では全く異なった傾向を示し、地区 E においては、休日の昼間の供給量は平日に比べて約 1/5 まで減少することが分かる。また、飲食・娯楽街である地区 A においても、休日の夜は供給量が減少している。

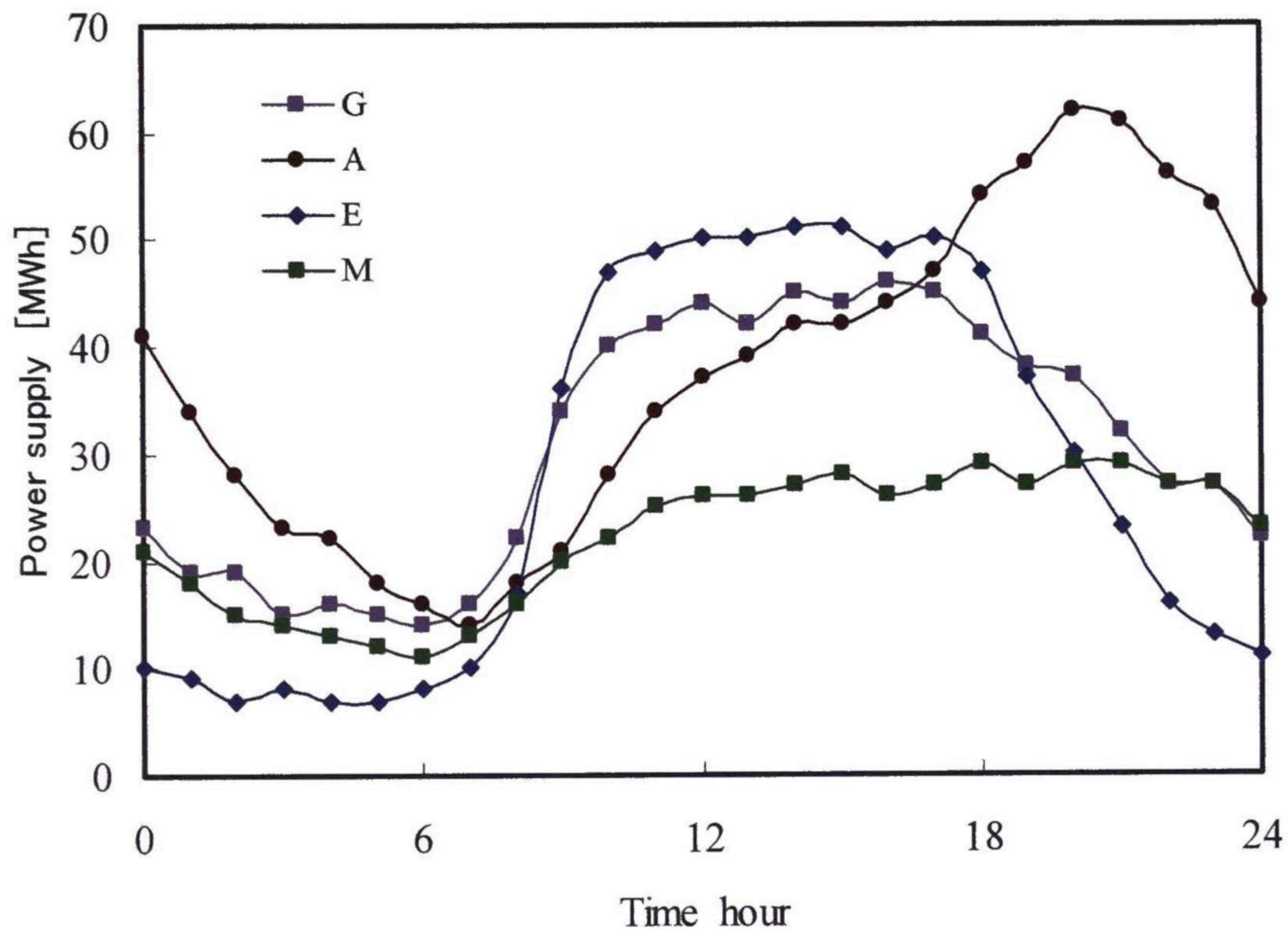


(a) Central area (Business, commerce and amusement)

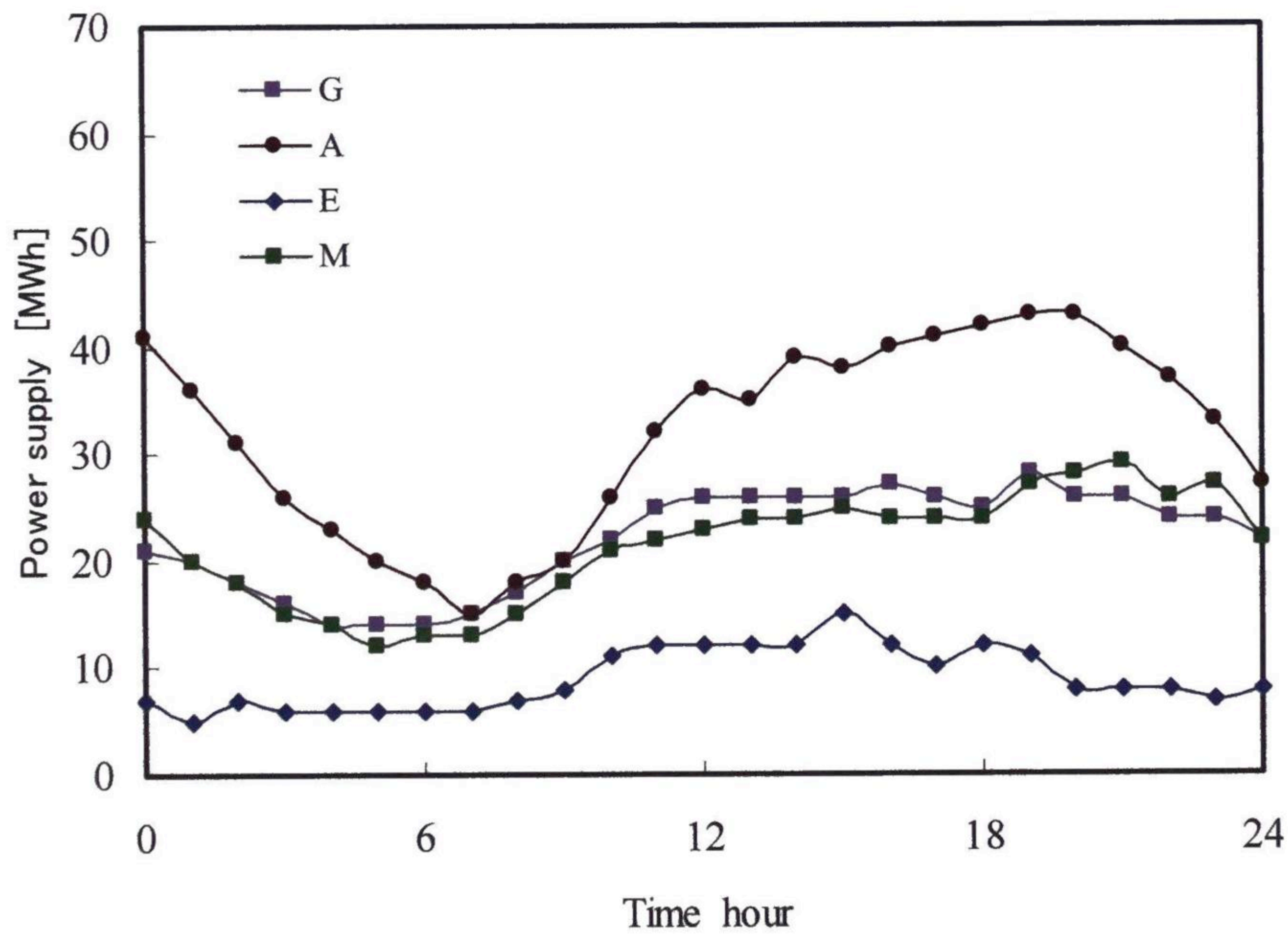


(b) Suburban residential area

Figure 2-7 Diurnal variations of electric power supply in central area and suburban residential area (July 19)



(a) Weekday (July 19)



(b) Holiday (July 20)

Figure 2-8 Comparison of diurnal variations of electric power supply between weekday and holiday

2.5.3 都市ガス供給データ

図2-9に平成14年7月ならびに平成15年1月の各行政区別の都市ガス供給量を示す。都市ガスの供給量は臨海部の工場地帯である此花区ならびに大正区で多いこと、また、市中心部の北区、中央区といった業務地区でも多いことが分かる。併せて、業務地区である中央区では夏場の販売量が冬場を上回ることも分かる。

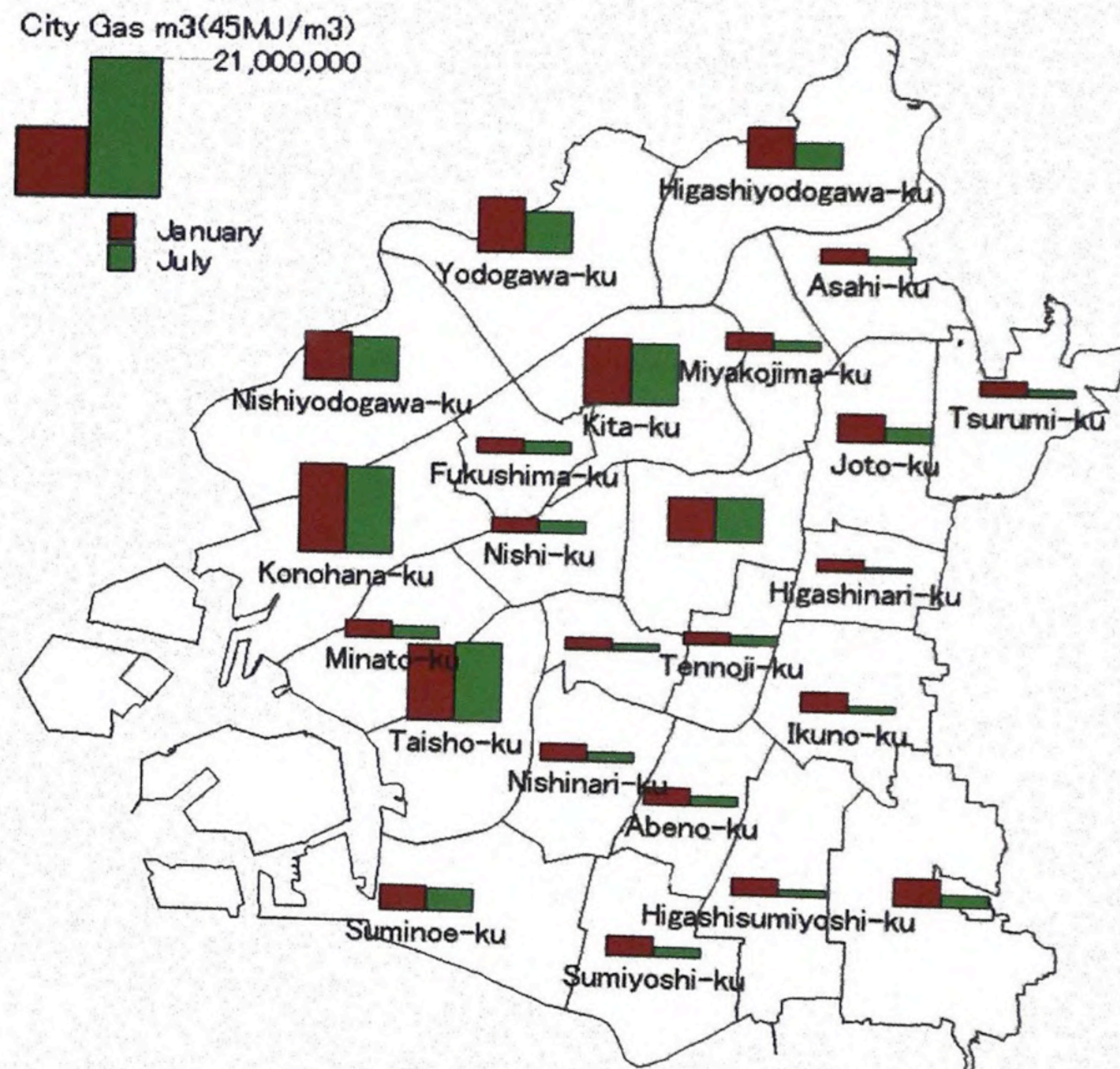


Figure2-9 Amount of town gas supply in Osaka City

本研究の目的である大阪市域におけるエネルギー供給量の時空間分布を明らかにするためには、都市ガスについて電力と同様に時刻別の供給量を知る必要がある。しかしながら、上述のように、都市ガスはその供給方法から時刻別データは存在せず、時空間分布は、建物の利用用途⁵⁾、延べ床面積⁶⁾、ならびに業務用ビルや住宅のエネルギー消費原単位[6、7]から、シミュレーションにより推定した。推算の手順を図2-10に示す。なお、月別データから日別データの変換においては、月中のすべての日における供給特性が同じものとした。したがって、以下に示す都市ガスの時刻別供給量は月平均を意味する。

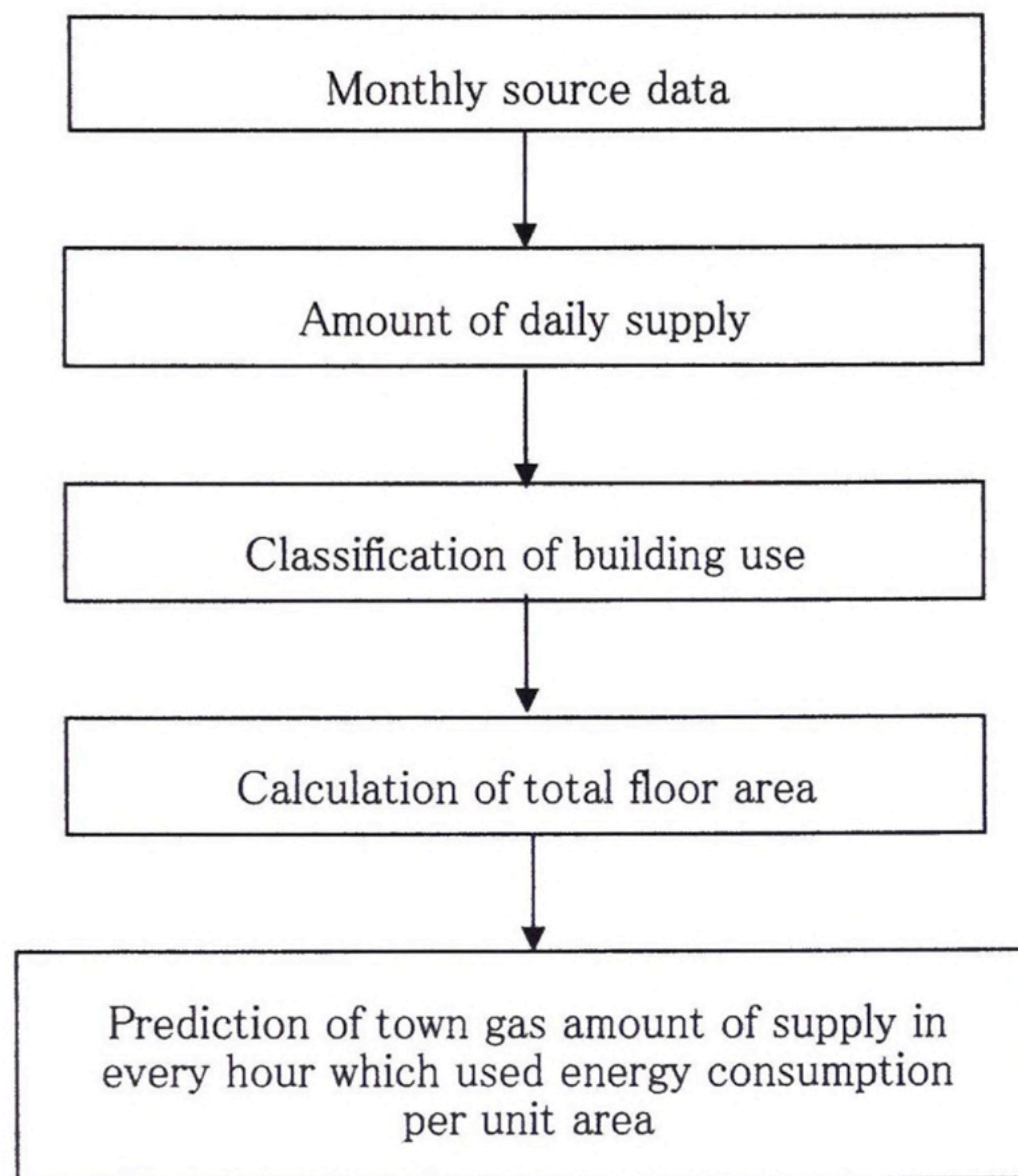


Figure 2-10 Prediction method of hourly town gassupply amount

以上の手順を踏んで、都市ガスに由来する大阪市各区のエネルギー供給量を推算する。商業・業務地区の北区、中央区、工業地区の此花区、大正区、住宅地区の住吉区の代表5区を例にとって、7月における推定結果の一例(熱量換算し、単位は W/m^2 に換算した)を図2-11に示す。7月の供給量は冬場の1月に比べて全体的に減少した。しかしながら、北区、中央区の商業・業務地区では、夏冬を問わず昼間の供給量はほぼ一定となった。これは、同地域の業務用ビルでは、夏期の冷房ばかりでなく冬場の暖房も含めて、ガス空調が多いことが原因の一つと考えられる。また、工業地区では、工場におけるガス消費の時刻別変化が少ないため、24時間通してほぼ一定となった。住宅地である住吉区はそもそも絶対量が少ないので、夜間に少し値が高くなっただけで、その他の地区と比較すると、供給量が極めて少ない。

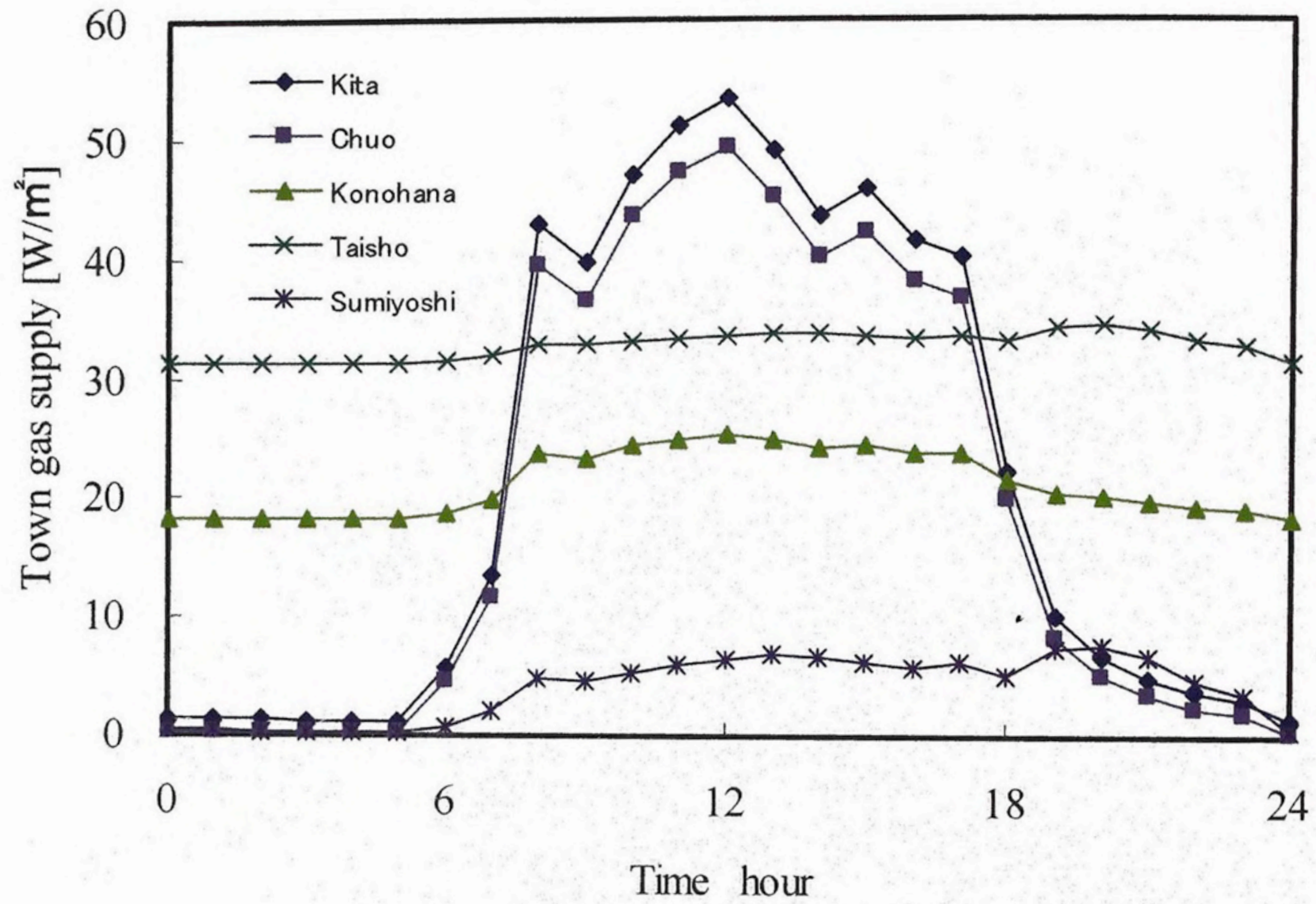


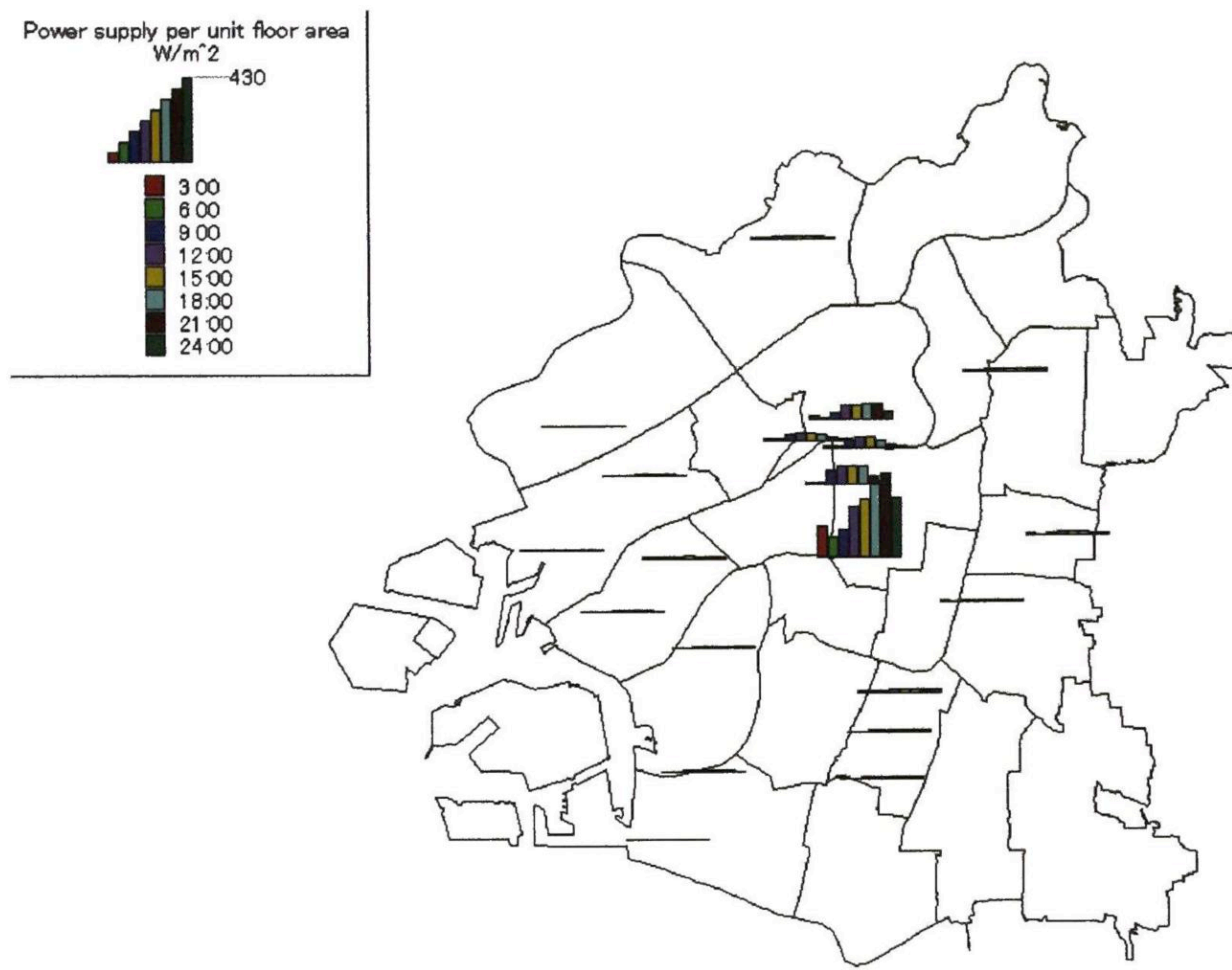
Figure 2-11 Prediction results of hourly town gas supply amount in July

2. 6 エネルギー供給量の時空間分布とヒートアイランドの関係

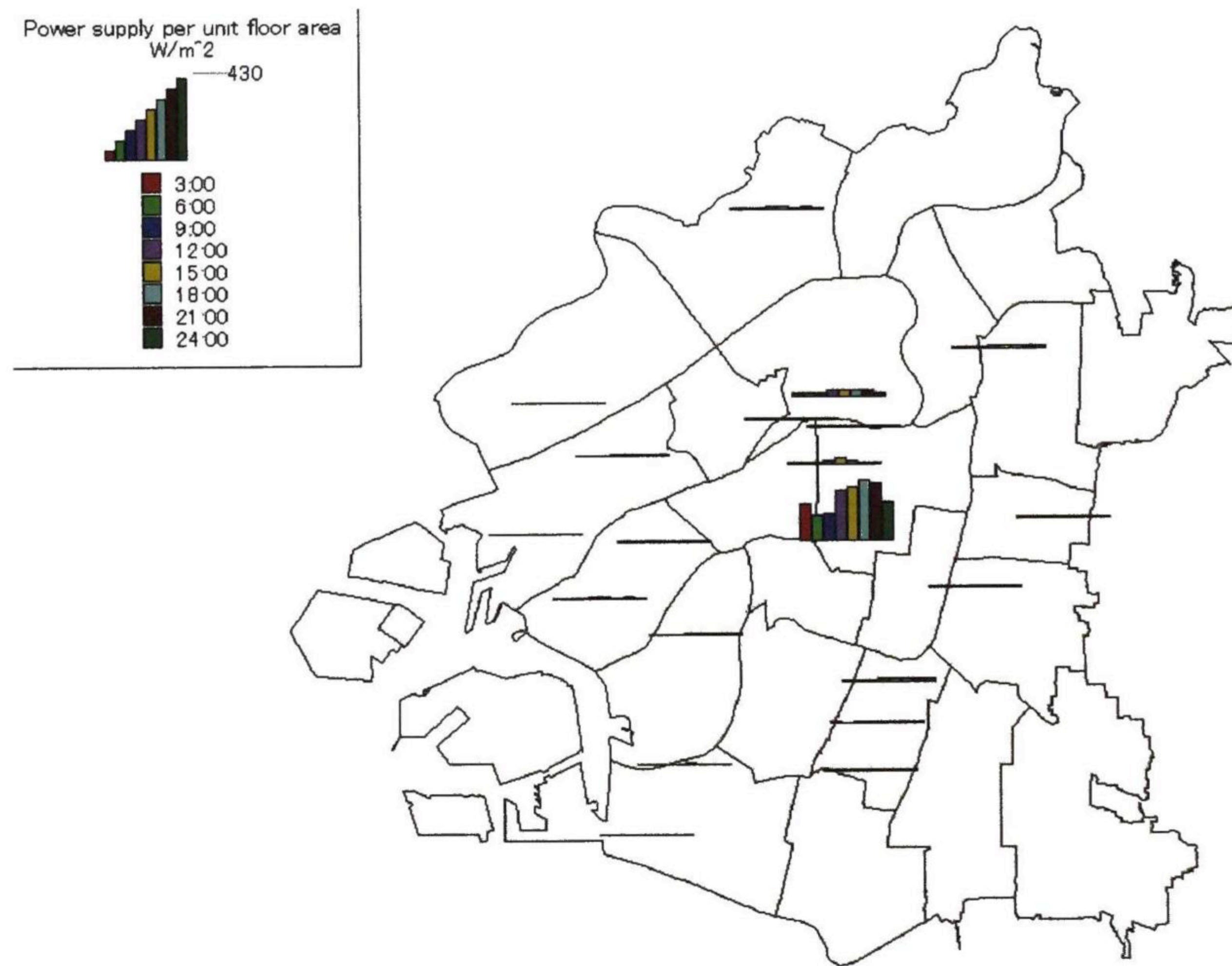
2. 6. 1 調査結果に基づくエネルギー供給量の時空間特性

以上に示した電力、都市ガスの供給・販売データから大阪市におけるエネルギー供給特性のあらましを知ることができた。しかし、ヒートアイランド解消のための対策を考えるには、供給面積の大小によらない地表面積当たりの時刻別エネルギー供給特性を知ることが極めて大切である。以下に検討結果の概略を示す。

図 2-12 に電力について、変電所ごとの建物単位床面積(1 階床面積基準)あたりの平日、休日の電力供給量の比較結果を示す。図には午前 3 時から 24 時までの 3 時間おきの供給量が示してある。図より、建物単位床面積当たりの供給量で比較すると、市中心部に位置し商業・娯楽施設が集積している地区 A が際立って多いことがわかる。図 2-7 に示したように同地区の電力供給ピークは 21 時頃であるが、この時刻における建物単位面積当たりの電力供給量、つまり電力に対するエネルギー需要密度は 430 W/m^2 に達している。



(a) Weekday



(b) Holiday

Figure 2-12 Comparison of diurnal variations of electric power supply in each area between weekday and holiday

なお、同地区の建物占有率が約60%であることを考慮すると、道路などの非建物部分も含めた単位地表面積当たりでも約260 W/m²の電力密度となる。また、大阪駅から本町地区周辺の都心でも100W/m²以上の供給量となった。これは、市中心部では建物の高層化が進んでいると言えればそれまでであるが、ヒートアイランドの視点からは重要な知見であるといえる。

図2-13に、調査期間は異なるが、電力と都市ガスの使用による、各変電所供給エリア単位地表面積当たりの合計エネルギー供給量の分布を示す。地区Aを中心に都心でエネルギー供給が極めて多いことが分かる。したがって、都心では、給湯など熱需要による排熱の下水道への流出分を差し引いても、エネルギー消費に伴う人工排熱の影響は無視できず、ヒートアイランドとの相関関係を解明しなければならない必然性が理解できる。

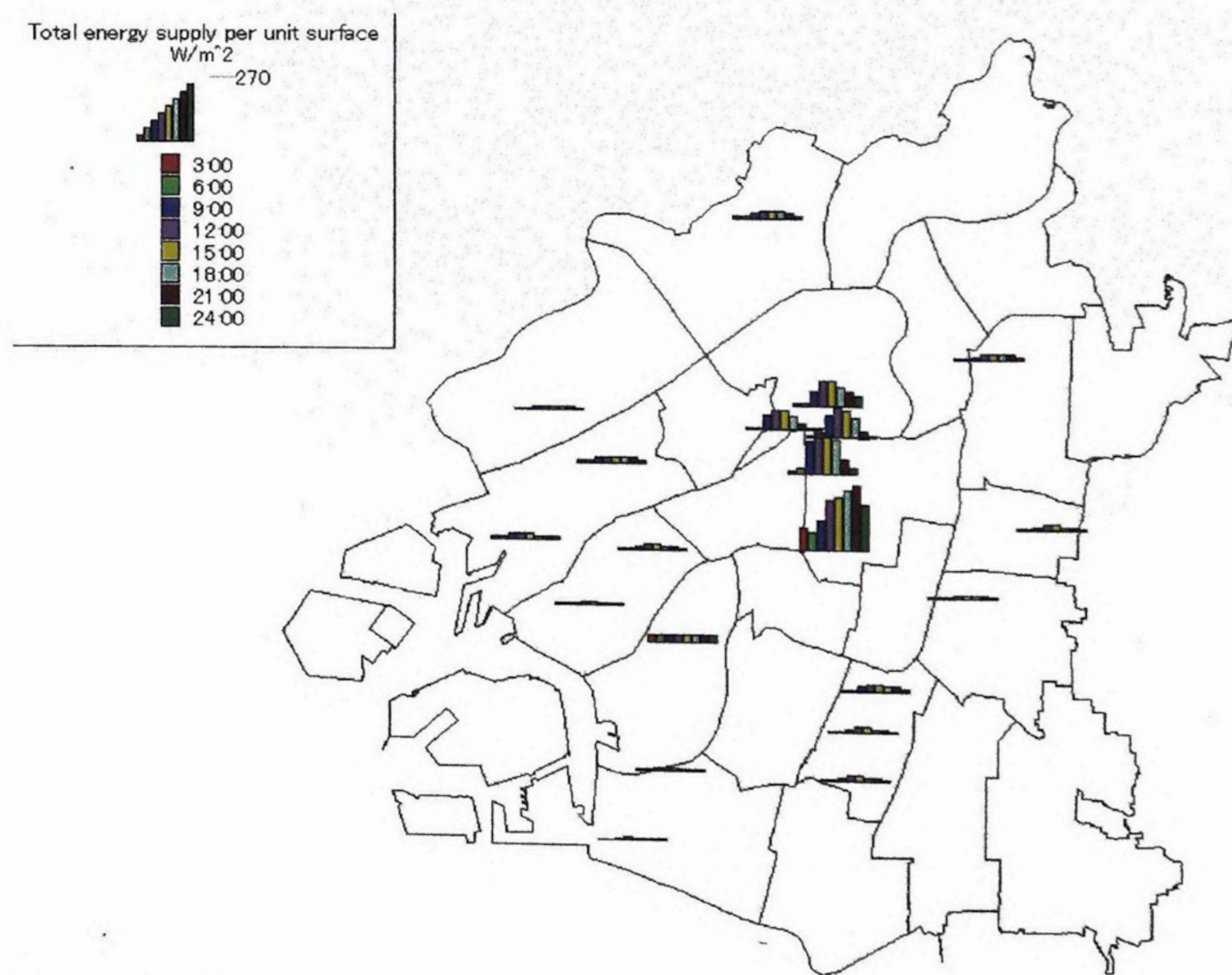


Figure 2-13 Total amount of energy supply by electricity and town gas in each area at weekday

なお、以上に示した都心におけるエネルギー供給量は、2.4で述べた大阪市の統計資料から得られる単位地表面積当たりの供給エネルギー量より4.5~12倍程度と

かなり大きく、大阪市の平均日射量を上回る地域も存在した。この結果から、ヒートアイランドの検討に当たっては、エネルギーの供給・消費の地域的な変化が大きいことを十分に考慮しなければならないことは明白である。

2.6.2 エネルギー消費原単位法によるエネルギー消費の時空間分布予測結果との比較検討

2.5および2.6.1において、電力・都市ガスの実供給データに基づく大阪市域のエネルギー供給の時空間特性について述べた。ここでは、この結果を、建物のエネルギー消費原単位を用いた従来法によるエネルギー消費の時空間分布推算結果と比較し、エネルギー供給の時空間特性を明確にするとともに、従来の予測法の正確さと適用限界について検証を行う。

Table 2-2 Existing land use of object areas

Area	Land use detail			Land use classification
	Residencial Use %	Commercial Use %	Industrial Use %	
A	3.5	87.4	7.0	Commerce
B	69.6	25.0	4.3	Residence
C	2.6	94.2	2.0	Commerce
D	2.8	93.4	3.2	Commerce
E	1.7	94.9	3.1	Commerce
F	7.8	88.0	3.0	Commerce
G	51.3	31.4	16.2	Semi-commerce
H	72.1	15.2	11.3	Residence
I	57.0	14.9	26.8	Residence
J	71.8	12.7	11.9	Residence
K	48.4	32.5	17.2	Semi-commerce
L	83.8	11.5	2.7	Residence only
M	85.5	9.3	3.3	Residence only
N	34.1	10.2	54.1	Mixture
O	59.8	13.1	25.7	Residence
P	67.7	13.1	17.6	Residence
Q	28.8	15.1	55.2	Mixture
R	41.2	25.3	32.8	Mixture
S	44.5	17.2	37.2	Mixture
T	7.7	17.0	74.8	Mixture

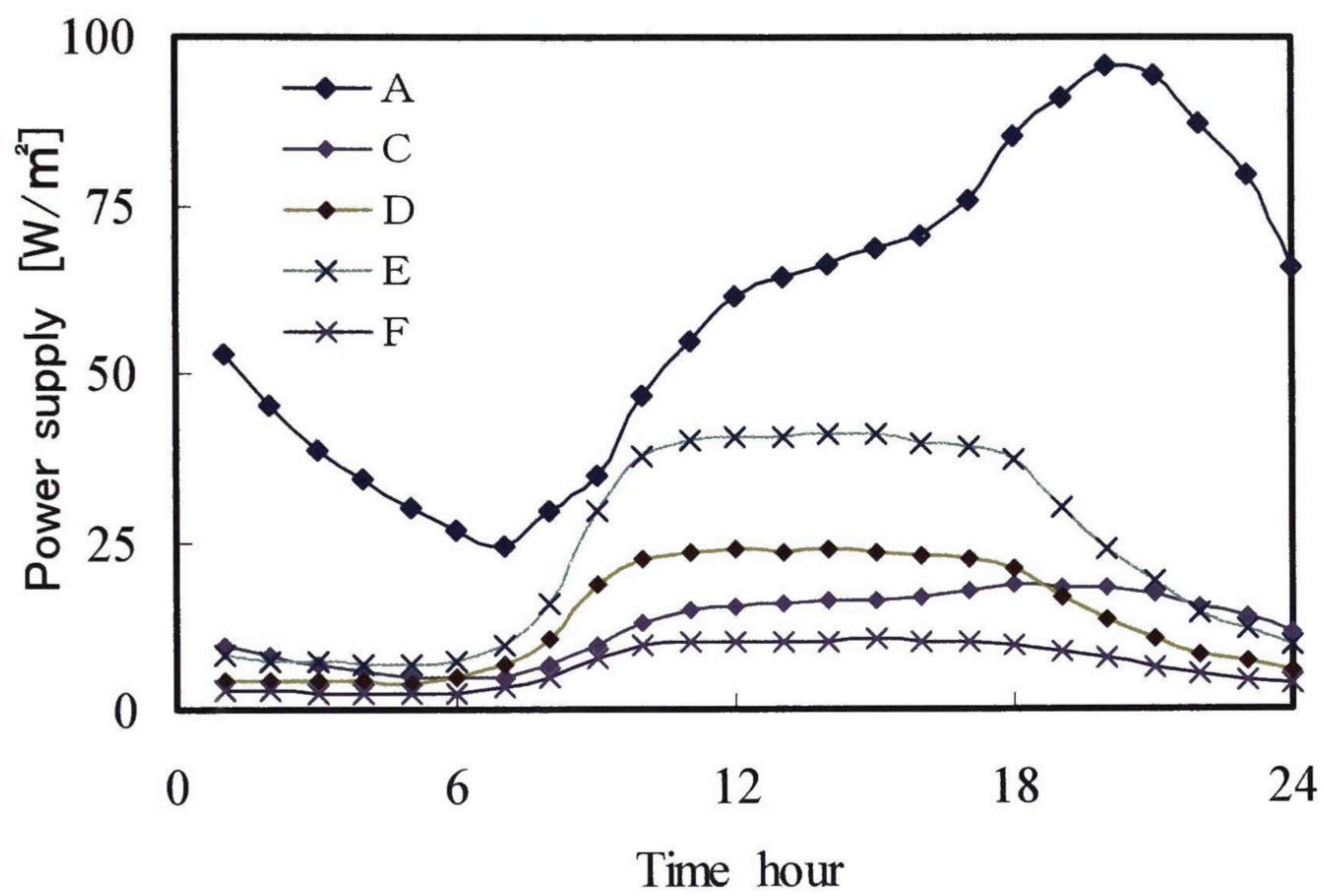
従来法による地域ごとの電力・都市ガスの消費量推算にあたっては、平成 12 年度土地利用現況調査データならびに平成 13 年建物床面積調査データ(いずれも大阪市計画調整局作成)を利用し、町丁目ごとに推算を行った。表 2-2 に各変電所供給エリアの土地利用状況の概要を示す。表中の土地利用型(Land use classification)は、同局の「三角座標による土地利用型判定基準」を元に、建物用途割合に応じて決定したものである。この表より、都心(A、C、D、E、F)、市南部の郊外(L、M)、西部の臨海地域(S、T)における土地利用は大きく異なっていることがわかる。また、エネルギー消費原単位としては、大阪市を含めた関西地区のデータが不可欠であると考え、空気調和衛生工学会の「関西地区建物エネルギー消費実態調査報告書」(1994 年度調査)によって整備されたデータ^{7),8)}を用いた。表 2-3 に使用した建物用途別原単位を示す。

Table 2-3 Energy consumption rates for every building use

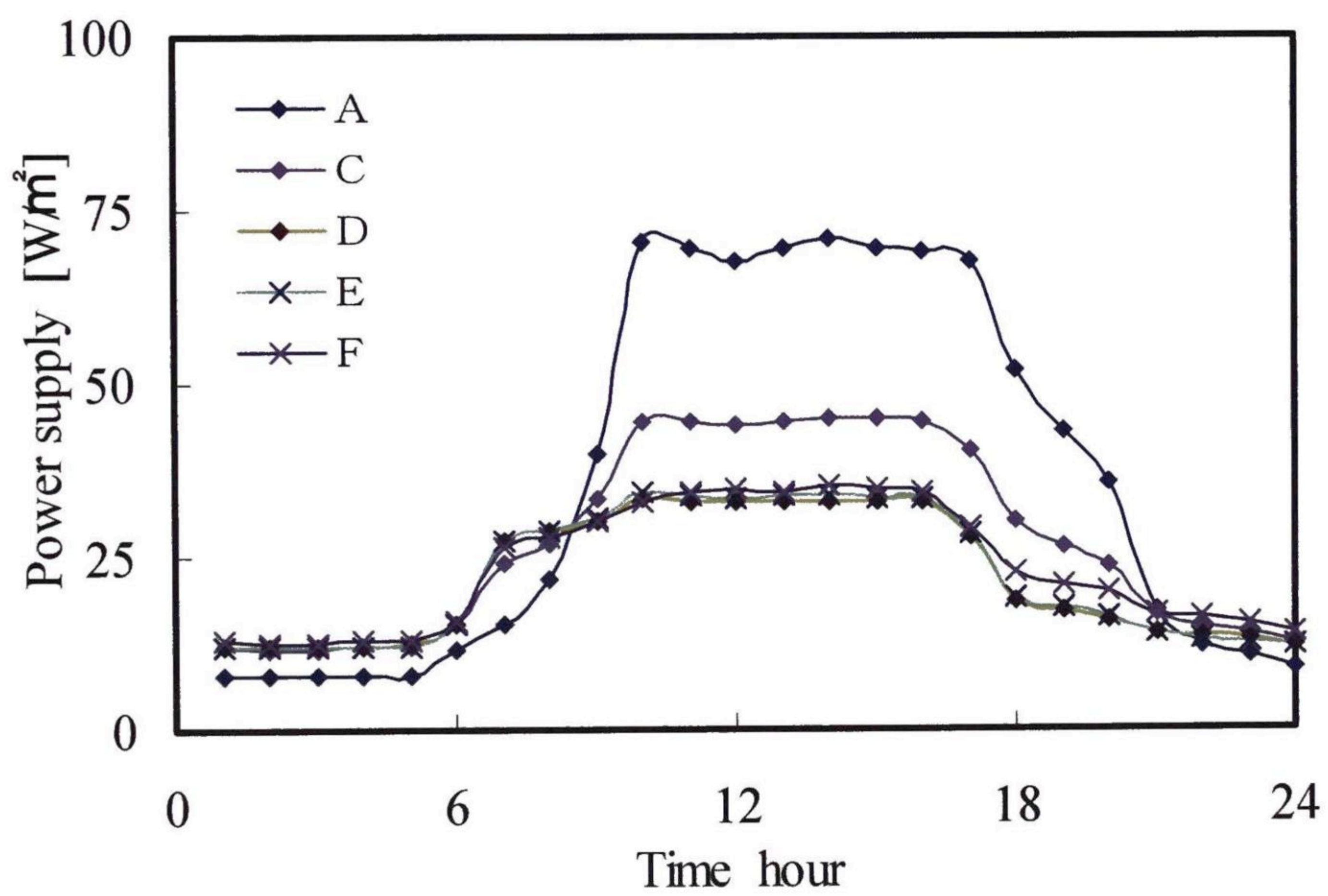
Building use	Energy consumption per unit area for every fuel kind MJ/m ² year			
	Electricity	Gas	Heavy Oil	Kerosene
House	241.4	205.4	0.0	58.2
Apartment	290.9	289.7	0.0	21.5
Shop	1353.6	464.6	8.9	85.6
Office	524.2	174.1	50.9	13.7
Amusement	490.2	471.9	0.0	52.2
Accommodation	733.7	1143.2	37.9	28.5
Culture	338.3	284.3	25.0	14.1
School	89.4	61.7	10.8	1.4
Hospital	568.8	593.6	193.0	21.9
Government facilities	230.6	67.8	20.7	86.1

なお、実供給データについても、比較検討のために、変電所供給エリアの建物の延床面積を用いて、単位延床面積当たりの電力供給量を算出した。よって、求めた結果は、図 2-12 および 13 に示した結果と比べて、都心の建物密集地区では小さく、一方、郊外の住宅地区ならびに臨海部の工場地区では大きくなる。

図 2-14 および図 2-15 に都心の商業・業務地区、および住宅地の電力の実供給量とエネルギー消費原単位法による算出値の比較結果を示す。

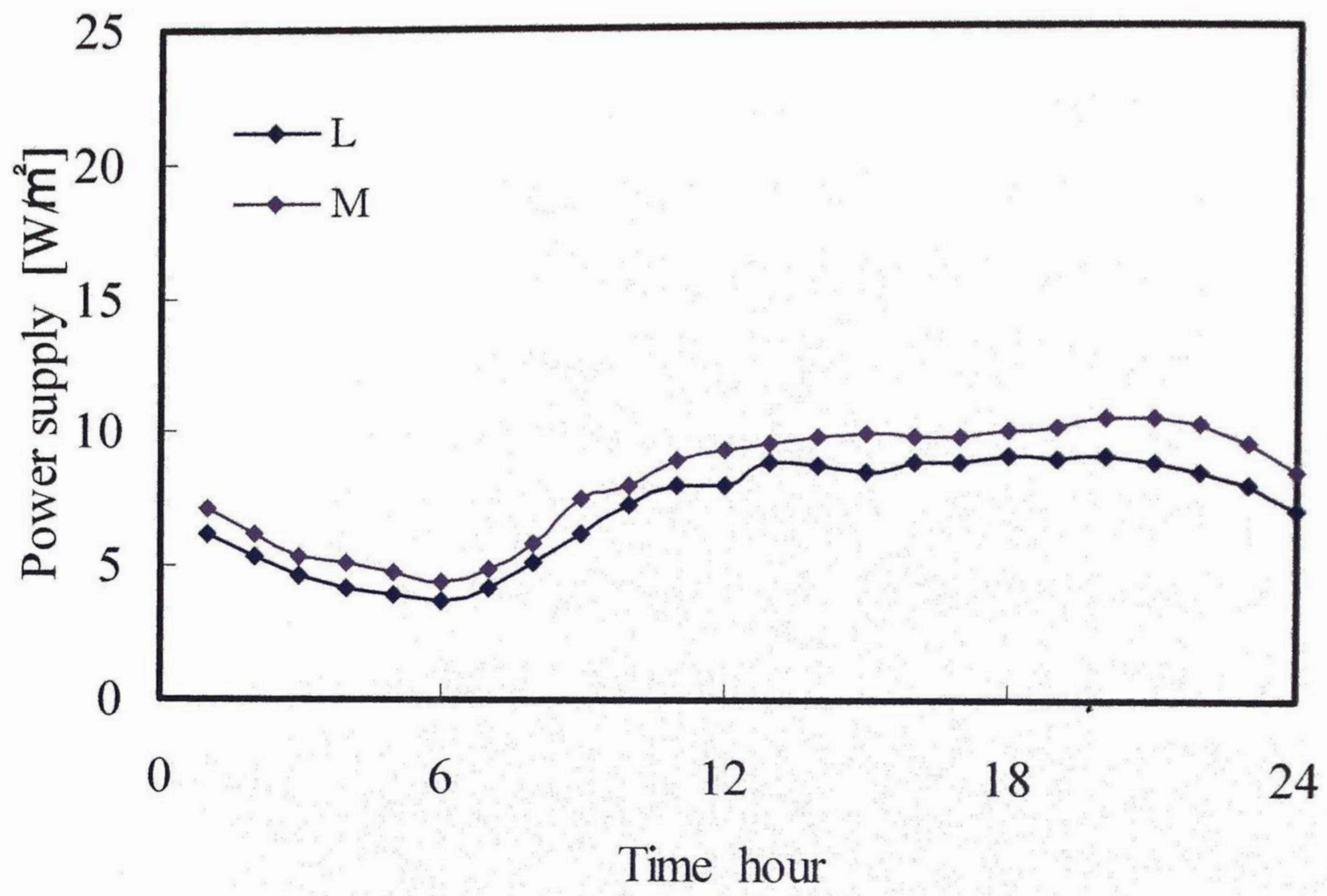


(a) Real power supply data

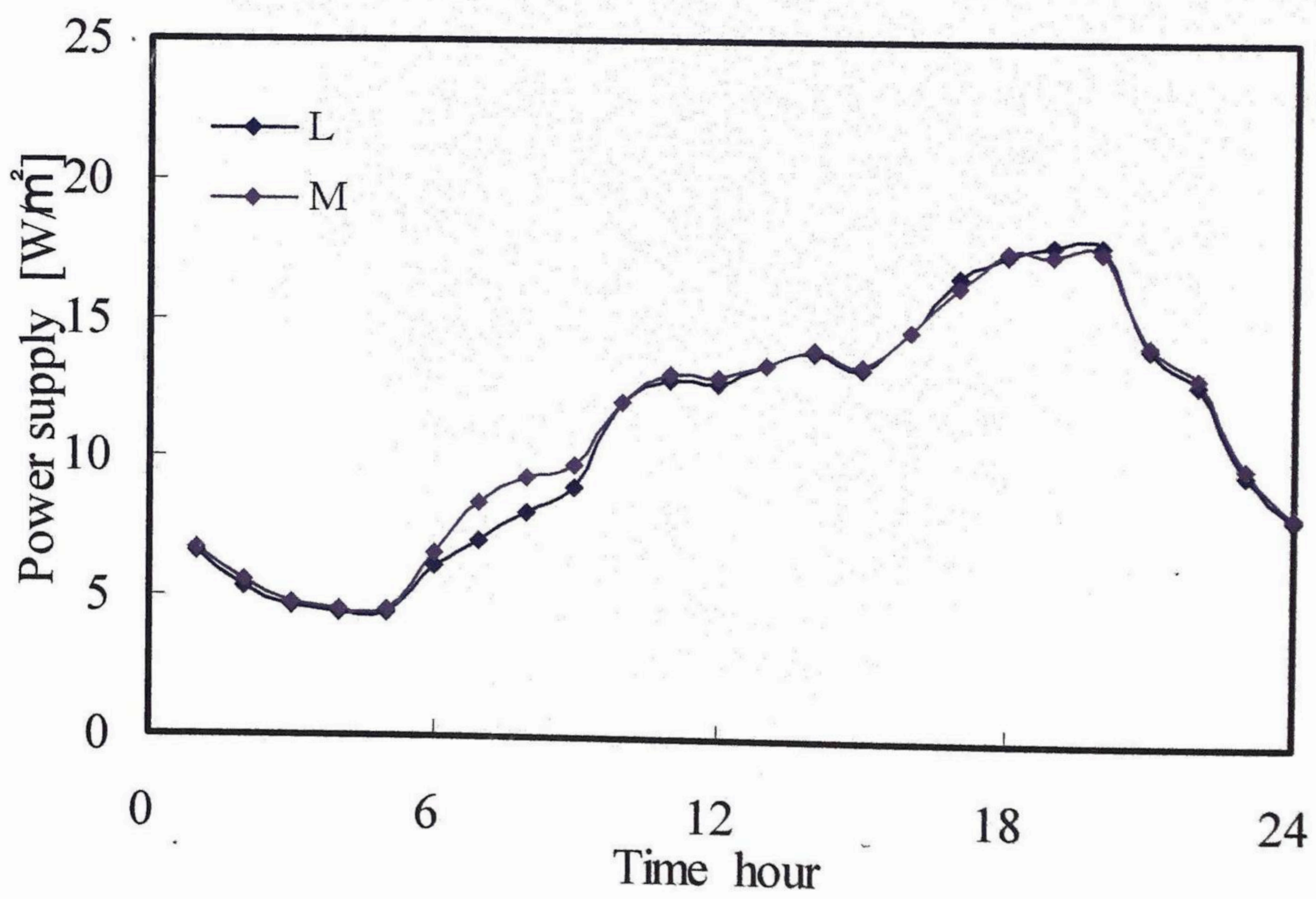


(b) Calculation by energy consumption table per unit area

Figure 2-14 Comparison of the power supply per unit area
(Central area : Business,commerce and amusement)



(a) Real power supply data



(b) Calculation by energy consumption table per unit area

Figure 2-15 Comparison of the power supply per unit area
(Suburbs : Residence)

まず、ほとんどの地区において原単位法による算出値が実供給量を上回る結果となった。この原因としては、

- ・実供給データには特別高圧電力が含まれていない。
- ・同じく自家発電分が含まれていない。
- ・省エネ製品の普及、建物の断熱性向上により、実際の建物のエネルギー消費量がエネルギー消費原単位より減少している可能性がある。

等が主に考えられる。

図 2-14 に示す都心の商業・業務地区についてみると、実供給量と原単位法による推定値の時刻別変動特性が異なっている地域が見られる。特に商業・娯楽施設が多い地区 A では全く異なった時間変化をしている。これは、原単位法の元となる各種のエネルギー消費調査において、同地区のような、比較的小規模な商業・娯楽施設が集積した地域における調査が実施面の困難さからほとんど行われていないためであると考えられる。この傾向は大阪駅に近い地区 C においても伺われる。

図 2-15 に示す住宅地についてみると、原単位法による推定値は午前 10 時頃から実供給量を大きく上回るようになり、17 時～21 時の時間帯において、その違いが顕著に現れた。住宅の電力消費は一般的に夕食時間帯である 19 時前後に最大になると考えられているが、実供給量からはそのような傾向は見られず、就寝時間帯を迎える 21 時頃まで緩やかに増加している。この結果から伺えることは、一般的にも知られているように世帯の家族構成やライフスタイルが多様化し、都市部においては、戸建住宅や集合住宅などの多い住宅地でさえ、原単位法によるエネルギー消費量の正確な推定が困難になっていることである。また、それ以外にも、工学的な観点からは、エアコンや照明を始めとして家庭電気機器の性能向上がめざましく、このために消費電力量が減少していると考えられること、一方、パーソナルコンピューターやデジタル映像機器などの急激な普及により、これら電気製品を常時稼働させることにより電力負荷ピークが鈍化している可能性があるなど、数多くの要因が考えられる。これらについても早急な調査・解決が待たれるところである。

2. 6. 3 電力供給量の気温感応度

気温が上昇することによって、冷房負荷の増加や熱源の COP の悪化、さらには室内滞在時間の長期化に伴い、建物におけるエネルギー消費量は増加する。ここで、

気温 1℃の上昇に伴って増加する電力消費の伸びを「電力消費に関する気温感応度」と呼ぶことにする。これは、今後、ヒートアイランド対策の必要性に関する判断材料としての活用が期待される指標である⁹⁾。そこで、夏季の気温上昇が地域の電力供給量に及ぼす影響を検討することを目的として、都心(業務・商業)の A、C、E、工場地区の S、住・工混合地区の N ならびに住宅地の M における気温感応度に関する感度解析を行った。

図 2-16 に平成 12 年 7 月 13～26 日までの各供給地区の最大電力供給量を示す。これと同期間における大阪市日最高気温(大阪管区气象台データ)より図 2-17 に示す日最高気温と最大電力供給量の関係を求めた。なお、本来ならば対象となる変電所エリアごとの気温データを用いなければならないが、そのような観測データは公表されていない。したがって、以下の結果は、対象エリアの気温が管区气象台による測定結果に応じて変化する仮定したものであり、得られた結果も定性的な傾向であることを断っておく。同図から分かるように、地域ごとにばらつきは見られるが、日最高気温が 1℃上がるごとに、電力の最大供給量は 0.5～1.2 MWh 増加することがわかる。

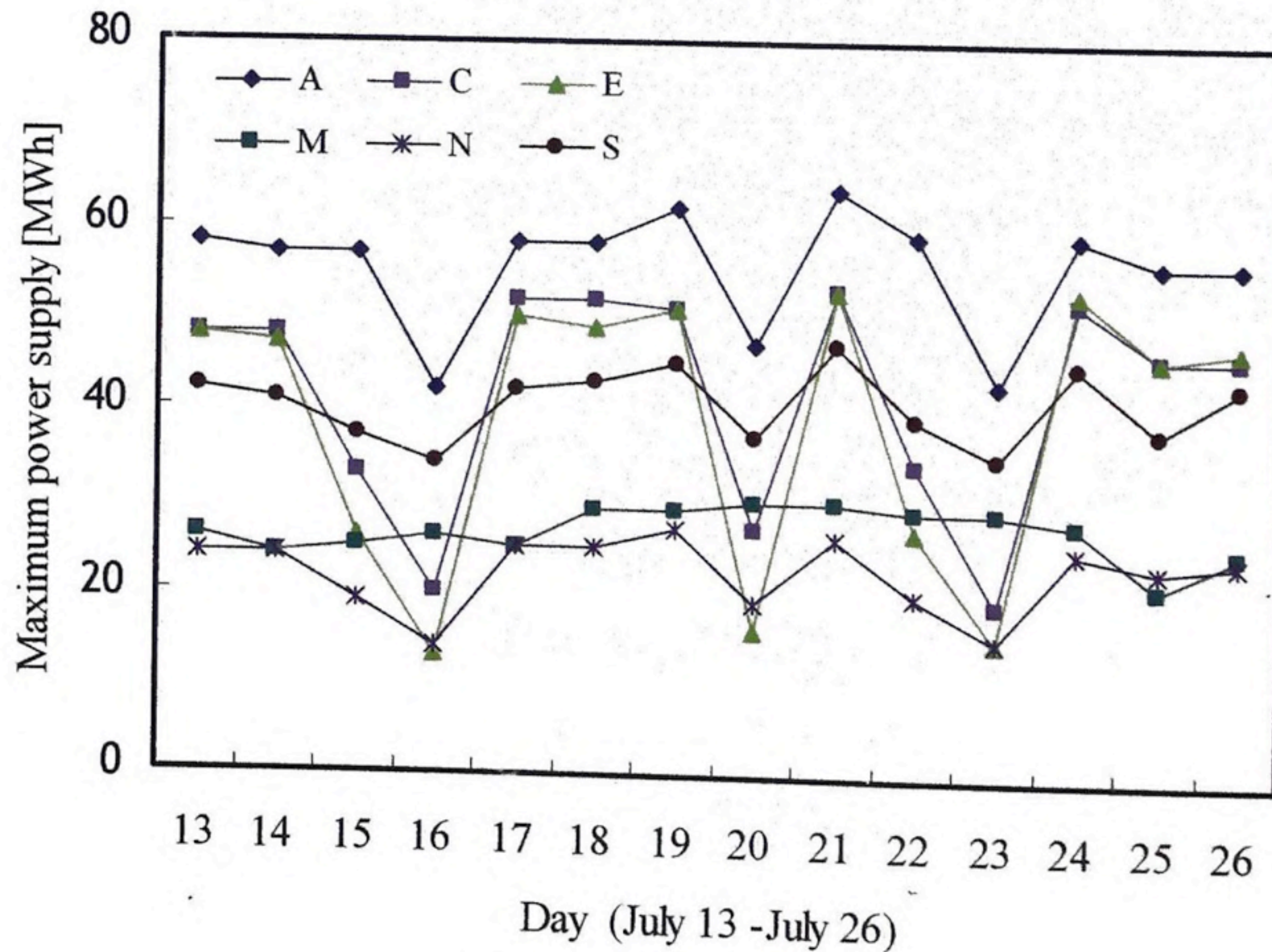


Figure 2-16 Daily fluctuation of maximum electric power amount

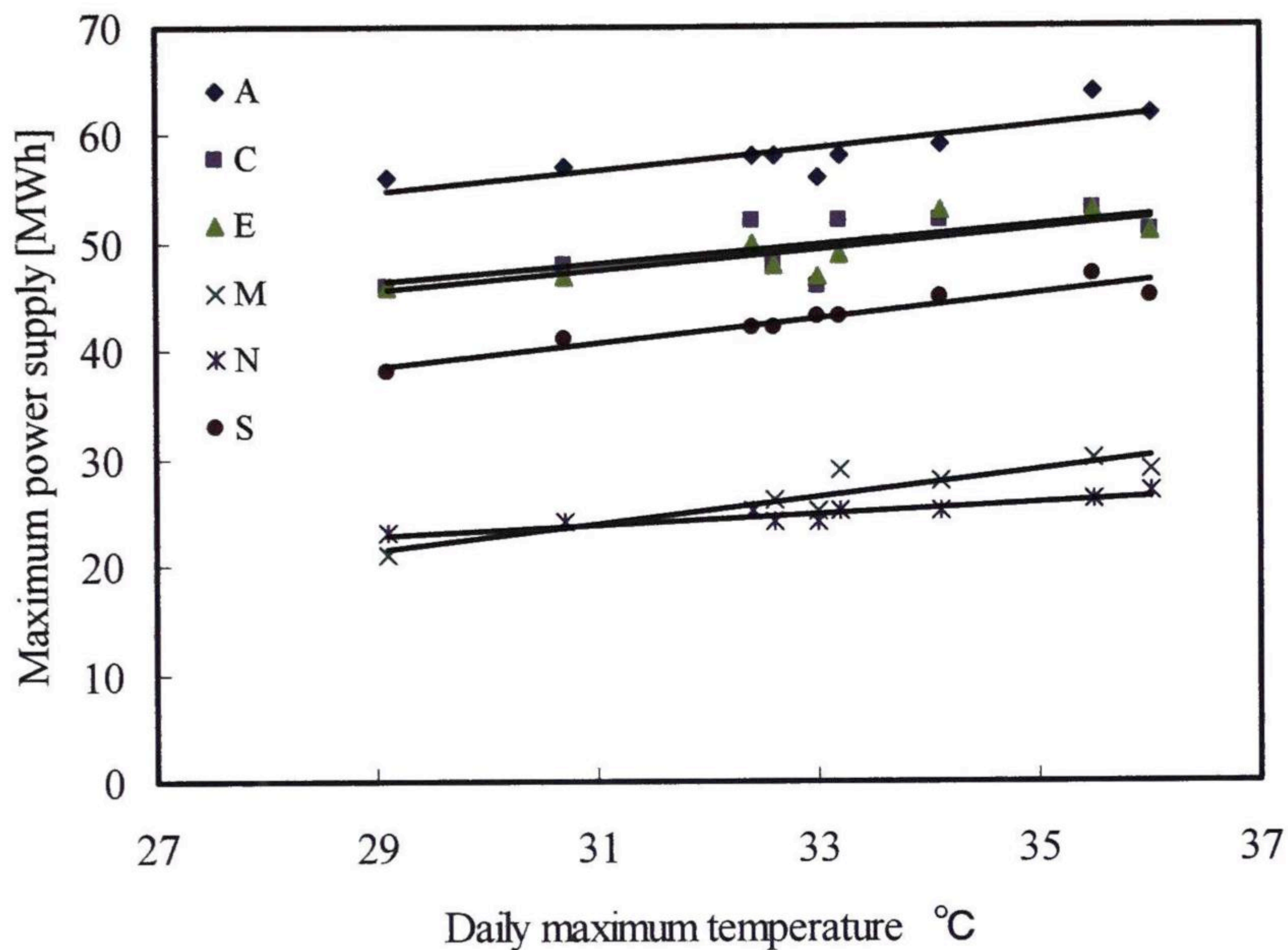


Figure 2-17 Relation between the maximum temperature and the maximum power supply

図 2-18 および図 2-19 に、各時刻の気温変化に伴う時刻別電力供給量変化から求めた気温感応度を示す。同図は平成 12 年 7 月 13 日の、都心(業務・商業)ならびに住宅地の時刻別気温感応度を比較したものである。図 2-18 に示す都心では、全体として、午前 8 時～10 時の間に、午前 6 時ごろまでの $0.2\sim 0.6\text{MW}/^\circ\text{C}$ から急激に上昇し、17 時ごろに最大値 $1.0\sim 1.6\text{MW}/^\circ\text{C}$ をとり、18 時ごろから減少している。ただし、娯楽施設や飲食店・宿泊施設が多い地区 A では、21 時ごろに最大値として $2.0\text{MW}/^\circ\text{C}$ に近い値をとり深夜遅くまで大きい値を示している。図 2-19 の住宅地においても、気温感応度は都心と同様午前 6 時ごろから増加するが、G、H、K は最大値が $1.4\text{MW}/^\circ\text{C}$ であるのに比べ、I、J、L、M は最大値が $1.0\text{MW}/^\circ\text{C}$ 未満であり、最小値はすべて $0.2\text{MW}/^\circ\text{C}$ である。

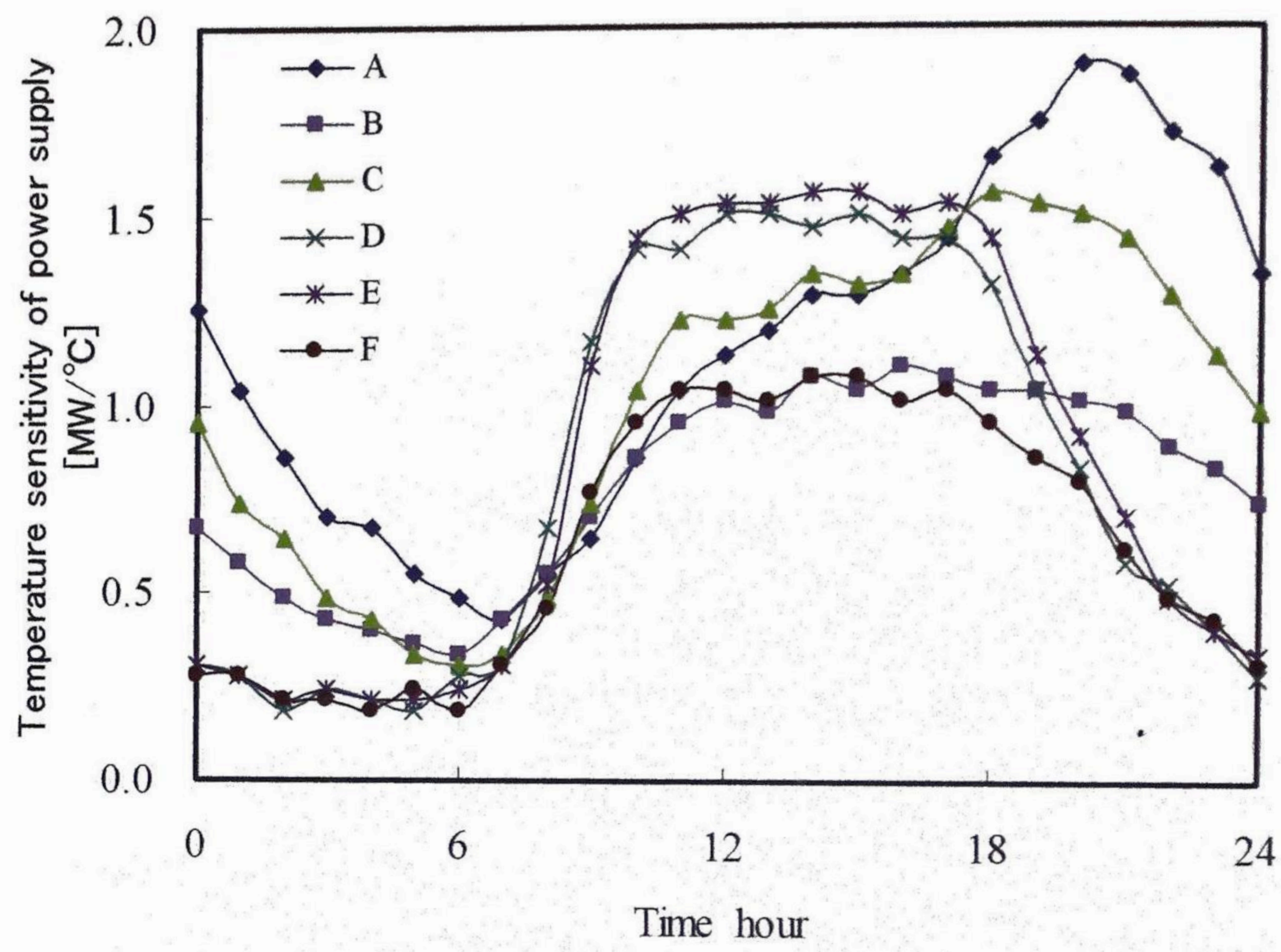


Figure 2-18 Temperature sensitivity of power supply (Central area)

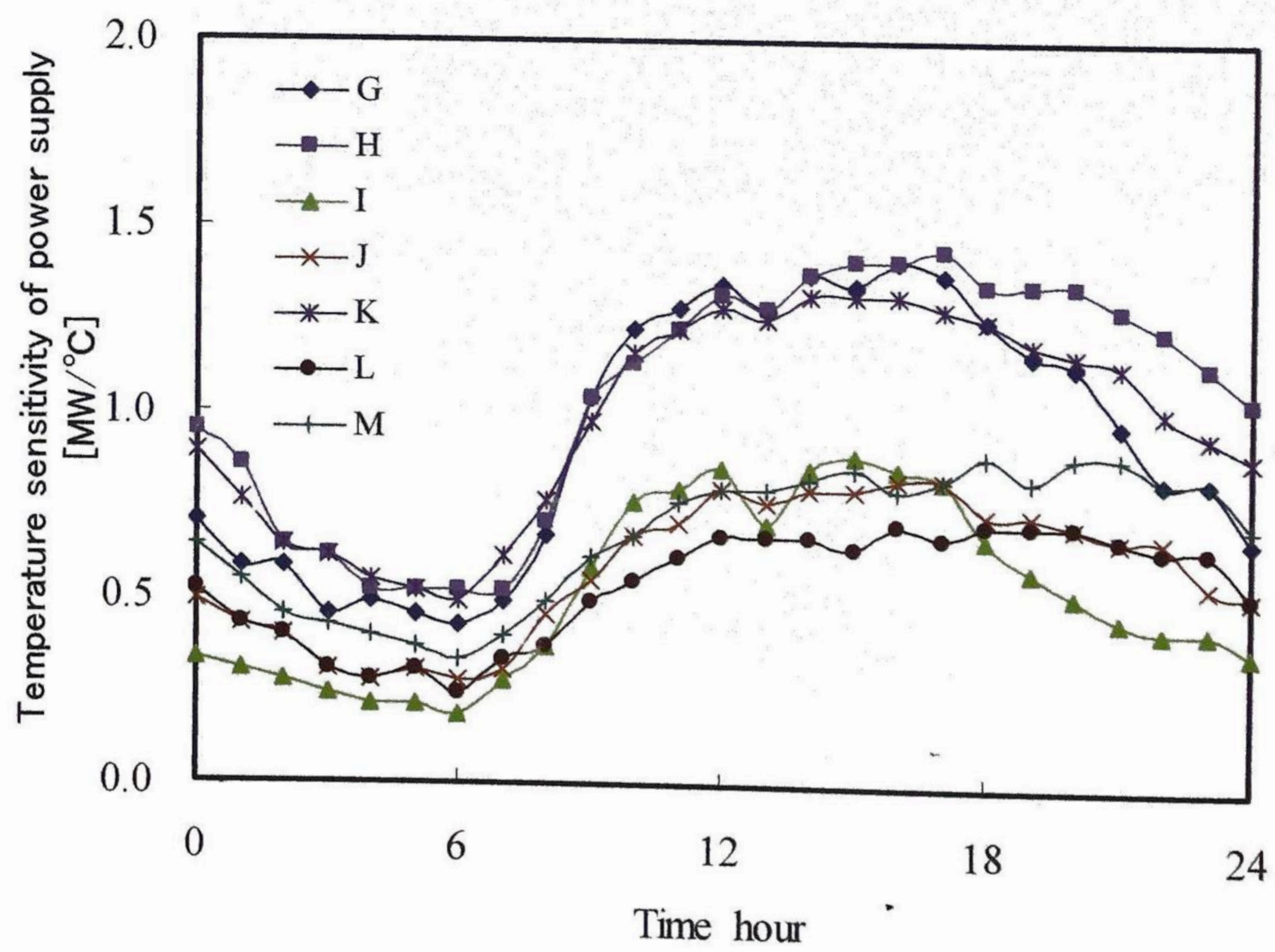


Figure 2-19 Temperature sensitivity of power supply (Suburban residential area)

2.7 結言

- (1) 大阪市内で供給・消費されるエネルギー量の時空間分布の推算を行うにあたって、まず、大阪市作成の統計データに基づき、過去約 50 年間の電力、都市ガスの需要量の経時変化について調べた。その結果、大阪市における 2000 年の電力供給量は単位地表面積当たり 11.9 W/m^2 、都市ガス供給量は 9.9 W/m^2 となった。そして約 50 年の間に、各々の供給量は電力が約 13.5 倍、都市ガスが約 26.6 倍と急激に増加したことが分かった。
- (2) 大阪市が行ったヒートアイランド予測の数値シミュレーションに対応させる目的から、大阪市内に存在する二次変電所のうち、土地利用用途の異なる 20 箇所を対象に、猛暑であった 2000 年夏(7 月 13~27 日)の時刻別電力供給量の時空間特性について調べた。その結果、商業・業務施設の多い都心部と住宅の多い郊外部では、時間的な電力供給特性が大きく異なることが判った。
- (3) 電力の需要密度について調べるために、土地利用用途や建物床面積に関する大阪市の調査データを利用して、単位地表面積当たり、また、単位延べ床面積当たりの電力供給量を算出した。その結果、都心の商業・娯楽施設が集積した地区においては 21 時頃に供給ピークを迎えること、そして建物の単位床面積(1 階床面積基準)当たり約 430 W/m^2 (単位延べ床面積当たり約 100 W/m^2)にもなることを明らかにした。また、これらの結果をエネルギー消費原単位による従来の予測法による結果と比較したところ、実際の電力供給・消費の時間特性は、原単位法によるものと大きく異なることを示した。全体的に、エネルギー消費原単位法による推定値は実供給量を上回ったが、市中心部の商業・娯楽施設が多い地区 A については実供給量が推定値を大きく上回った。そして、時刻別の供給特性も大きく異なった。
- (4) 2002 年度の市内 24 行政区ごとの月別・用途別都市ガス販売データを用いて、都市ガス利用に伴うエネルギー消費の時空間分布について検討を加えた。その結果、都市ガスの需要は市西部の臨海工業地区ならびに北西部の住宅・工場混合地区で多いことが判った。また、市中心部の業務地区においても年間を通して供給量が多いことが判った。この原因としては業務ビルにおけるガス空調の普及などが考えられ、人工排熱の時空間分布を予測する観点からは注意しなければならないことである。

参考文献

- 1) 大阪市:平成17年国勢調査結果抽出速報集計結果(2006)
- 2) 気象庁:気象統計情報(電子閲覧室) (2006)
- 3) 大阪市計画調整局: 大阪市統計書, 第 46 回(昭和 33 年版)ー第 91 回(平成 15 年版)
- 4) 梶元慶子, 河野仁, 中野博支, 梶野繁, 尾田晃一, 山本武:大阪におけるヒートアイランド現象に関する研究 - エネルギー消費量と排出熱量について -, 第 33 回大気汚染学会講演要旨集, 421 (1992)
- 5) 大阪市計画調整局: 大阪市の土地利用データ, 平成 12 年土地利用現況調査, 49-97 (2004)
- 6) 大阪市計画調整局: 平成 13 年建物床面積調査, CD-ROM (2 枚組)
- 7) 空気調和・衛生工学会近畿支部: 関西地区建物エネルギー消費実態調査報告書(1997)
- 8) (社)環境情報科学センター: 平成 16 年度ヒートアイランド現象による環境影響に関する調査検討業務報告書, 38-49 (2005)
- 9) 鳴海大典ほか 4 名: 大阪府域を対象とした電力供給量に関する気温感応度, 空気調和・衛生工学会平成 16 年度大会学術講演論文集, 1071-1074 (2004)

第3章 地域別現状把握

3.1 緒言

「ヒートアイランド」という言葉は、マスコミ等で頻繁に使用されるようになり、都市の環境問題のひとつとして「熱汚染」は、市民の快適で健康的な環境づくりの上で、対策を講じるべき深刻な問題となってきた。大阪市では、平成3年から実態調査に取り組むなど、対策の必要性については、早くから着目していたものの、対策の具体的な計画については、平成16年度にようやく「大阪市ヒートアイランド対策推進計画」¹⁾が策定されたところである。

その中で対策として、人工排熱の削減のほか、「『気温を上げる』作用を抑制し、『気温を下げる』作用を増やす」ための地表面の被覆の改善として、「公園等の緑地整備や街路等における現有樹木を利用した木陰の創出(緑陰の確保)」「保水性舗装の実施」を推進するべきとしている。

公園緑化や道路の舗装などを改善するための対策は、日常の生活空間レベルとして、暑さを直接感じ、制御することが可能な、比較的狭い範囲を扱っている。

一方、港湾域や内陸部などの地理的な特性、住宅地域やオフィス街など、用途地域の時空間特性などは、上記の生活空間レベルより、比較的広い範囲も、評価に含まねばならない。

狭域における個別の対策を実施する際に、広域としては、どのような時空間特性のある地域であるか、考慮する必要がある。そこで、この章では、広域における気温の時空間特性について把握し、狭域における気温の差異から、地表面被覆の改善による対策効果の程度を評価する。

3.2 広域(大阪市域)における気温の時空間特性

「大阪市ヒートアイランド対策推進計画」の目標は、「平成32年度(2020年度)までの15年間に、年平均気温の上昇傾向を抑え、熱帯夜日数の増加を食い止める」こととなっており、明確な数値目標は設定されていない。しかし、対策の評価のためには、熱帯夜日数や夏季の気温変化をとらえねばならないが、これまでに述べたように、市域内での気温分布には偏りがあり、地域特性に応じた効果的な対策を構築するために、気温上昇の形成要因、地域的な傾向を、観測データから明らかにしなければな

らない。そこで、ここでは、2005年の夏期の気温分布の状況から、その広域的な時空間特性を抽出する。

3. 2. 1 ヒートアイランド観測網による大阪市域の気温分布

1) 2005年夏季の全国の気象概況

気象庁の気象概況によると、2005年の夏季は、太平洋高気圧の勢力は平年に比べやや強かったが、熱帯の海面水温が高く全球的に対流活動が活発だったため、北半球全体で気温が高く、夏平均気温は全国で高温となった。

また、梅雨入りは南西諸島を除き平年よりも遅く、特に九州南部、北陸、東北北部では平年より2週間程度遅かった。梅雨明けは沖縄地方で4日遅く、東北地方で10日程度遅かった他はほぼ平年並から早かった。

東日本太平洋側の一部と西日本では、6月の降水量が記録的に少なかったが、その後、7月前半を中心に梅雨前線の活動が活発となり多雨となったものの、梅雨明け後の西日本では太平洋高気圧に覆われ再び少雨となり、四国地方を中心に渇水状況が続いた。また、梅雨後半の活発な梅雨前線の活動や盛夏期に暖湿流や上空の寒気の影響を受けたため、ほぼ全国的に雷日数が平年を上回った。

9月には太平洋高気圧の日本付近への張り出しが強く、全国的に暑い日が多かった。10月には太平洋高気圧の張り出しは弱まったものの、日本付近は寒気の入りにくい大気の流れが続き、暖かな日が続いた。台風が発生は、10個で平年程度であった。

平均気温は全国的に高く、特に西日本ではかなり高かった。真夏日日数は、ほぼ全国的に平年を上回った。また、降水量は、北日本から東日本にかけては平年並だったが、西日本では少なかった。東海地方から九州地方にかけての所々で、平年の60%未満となった。日照時間は、東北地方から近畿地方にかけて少なく、南西諸島ではかなり少なかった。そのほかの地方では平年並だった。

2) 2005年夏季の大阪の気象概況

大阪管区气象台のデータ²⁾から、2005年7～9月における大阪の気温は、表3-1に示す通り、8月が最も暑く、最高気温は37.0℃、熱帯夜日数は23日で、日最高気温が35℃を超える日(猛暑日)は、6日であった。

Table3-1 Air temperature, Number of days in Max.T over 25°C, 30°C and 35°C at Osaka Weather Station of Japan Meteorological Agency in summer, 2005

2005 Month	Temperature			Number of days			
	Ave. °C	Max. °C	Min. °C	Max.T Over 25°C	Max.T Over 30°C	Max.T Over 35°C	Min.T Over 25°C
7	27.5	36.0	21.2	30	23	2	14
8	28.7	37.0	22.5	31	27	6	23
9	26.1	34.6	17.7	28	19	0	6

3) ヒートアイランド観測網による気温分布の調査方法

大阪市域の夏季の気温と相対湿度の分布を把握するために、平成17年度に大阪市ヒートアイランド観測網が設置された。これは、大阪市全 24 区内の小中学校を各1校選び、地上に既設の百葉箱内に、サーミスタ温度センサ、佐藤計測器 SK-LTH II-2 を設置し、夏季のデータを収集している。

観測網の各観測点百葉箱内に設置した、温湿度センサ付きデータロガーの仕様は下記の通りである。なお、その他観測点における温湿度計、風向・風速計については、省略する。

佐藤計測器 データロガー SK-L200TH II

佐藤計測器 センサ SK-LTH II-2

湿度センサ: 高分子抵抗変化型湿度センサ (HSK-III)

温度測定範囲: $-10^{\circ}\text{C} \sim 60.0^{\circ}\text{C}$

湿度測定範囲: $20.0\% \text{rh} \sim 98.0\% \text{rh}$ (at 23°C)

温度精度: $15.0 \sim 35.0^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ その他 $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$

湿度精度: 10.0°C 以下および 50.0°C 以上 $\pm 7.0\% \text{rh}$

$15.0 \sim 35.0^{\circ}\text{C} \pm 3.0\% \text{rh}$ ($30.0 \sim 90.0\% \text{rh}$) その他 $\pm 5.0\% \text{rh}$

さらに、これらのデータに加えて、大阪市の大気汚染の常時監視ステーション等や、

大阪管区气象台、環境省(南港野鳥園)、環境科学研究所が独自に設置した大阪市役所本庁舎屋上緑化施設の温湿度や風向・風速などの観測データも解析に用いた。

観測網の各観測点における測定期間は、6月下旬から10月上旬までとし、測定間隔は10分毎とした。

4) 測定点の概要

ヒートアイランド観測網の測定点は、大阪市全24区において比較的区の中央に位置する小学校が各1校(表3-2)、さらに、観測網以外で、データを収集した地点は18カ所(表3-3)である。

Table3-2 Address of monitoring points of air temperature
Osaka City heat island monitoring network in 2005

区名	小学校名	所在地
北区	大阪北小学校	曾根崎 2-15-14
都島区	都島小学校	都島本通 3-10-3
福島区	吉野小学校	吉野 3-10-5
此花区	四貫島小学校	四貫島 2-16-29
中央区	南大江小学校	農人橋 1-3-3
西区	堀江小学校	北堀江 3-2-16
港区	磯路小学校	磯路 3-7-7
大正区	北恩加島小学校	泉尾 5-17-31
天王寺区	味原小学校	味原町 8-19
浪速区	大国小学校	大国 1-9-3
西淀川区	佃南小学校	佃 5-12-12
淀川区	新高小学校	新高 1-15-53
東淀川区	豊新小学校	豊新 4-17-26
東成区	深江小学校	深江南 1-4-6
生野区	田島小学校	田島 3-7-38
旭区	生江小学校	生江 1-10-21
城東区	聖賢小学校	新喜多 2-4-35
鶴見区	みどり小学校	緑 2-4-45
阿倍野区	阿倍野小学校	阪南町 2-17-21
住之江区	清江小学校	御崎 5-7-18
住吉区	南住吉小学校	南住吉 3-5-1
東住吉区	田辺小学校	田辺 2-3-34
平野区	長吉小学校	長吉長原 2-6-55
西成区	千本小学校	千本中 2-8-8

Table3-3 Address of monitoring points of air temperature
Other stations

区名	小学校名	所在地
北区	済美小学校	北区中崎西 1-6-18
此花区	此花区役所	此花区春日出北 1-8-4
大正区	平尾小学校	大正区平尾 2-21-28
西淀川区	淀中学校	西淀川区大和田 6-13-6
淀川区	淀川区役所	淀川区十三東 1-18-21
生野区	勝山中学校	生野区勝山北 3-13-37
旭区	大宮中学校	旭区中宮 4-7-11
城東区	聖賢小学校	城東区新喜多 2-4-35
住之江区	清江小学校	住之江区御崎 5-7-17
平野区	摂陽中学校	平野区平野西 3-4-7
西成区	今宮中学校	西成区花園北 1-8-32
西区	堀江小学校	西区北堀江 3-2-16
住之江区	南港中央公園	住之江区南港東 8
北区	大阪タワー	北区大淀町 2-2
住之江区	南港野鳥園	住之江区南港北 3-5-30
中央区	長堀グリーンプラザ	西区新町3丁目6
中央区	大阪管区気象台	中央区大手前 4-1-76
北区	大阪市役所	北区中之島 2-1-1

小学校の既設の百葉箱は、ほとんどが校庭の隅の、狭い緑地などに建てられており、日照や風の影響は均質ではない。またモニタリングステーションのような、建物の屋上に設置された器材とまったく同等に扱うことはできないが、屋上設置の器材も周囲の建物の影響を受けることがあり、いずれの場合も狭域の影響を含むことを認識した上で、大まかな地域の特色を把握するために、観測データをまとめて扱った。

5) 市域全体の気温分布

最も暑い8月上旬の日中、全体的な特徴を把握するために、市内観測点のうち高度の異なる大阪タワーや欠測の多い点を除く 29 ヲ所における気温を地図上にプロットし、コンターマップを作成した。

コンター作成には Fortner Research 社製 Transform Extras を使用し、市域を東西南北それぞれ22メッシュにわけ、大まかな傾向をとらえるため、近隣法による補間で5点のスージングを行って表示した。

図 3-1 から図 3-3 に、晴天で気温の高かった8月3～5日の正午における市域の気温分布を示す。

いずれの日も、海側の市西部から内陸の市東部にかけて、高温になり、等温線は南北にのびる縦縞の特徴がみられた。

そこで、降雨がなく、継続して気温が高かった8月1～5日の正午から午後 5 時 50 分までの各地点の気温を平均すると、図 3-4 のような分布となり、東西方向の特徴が把握できた。

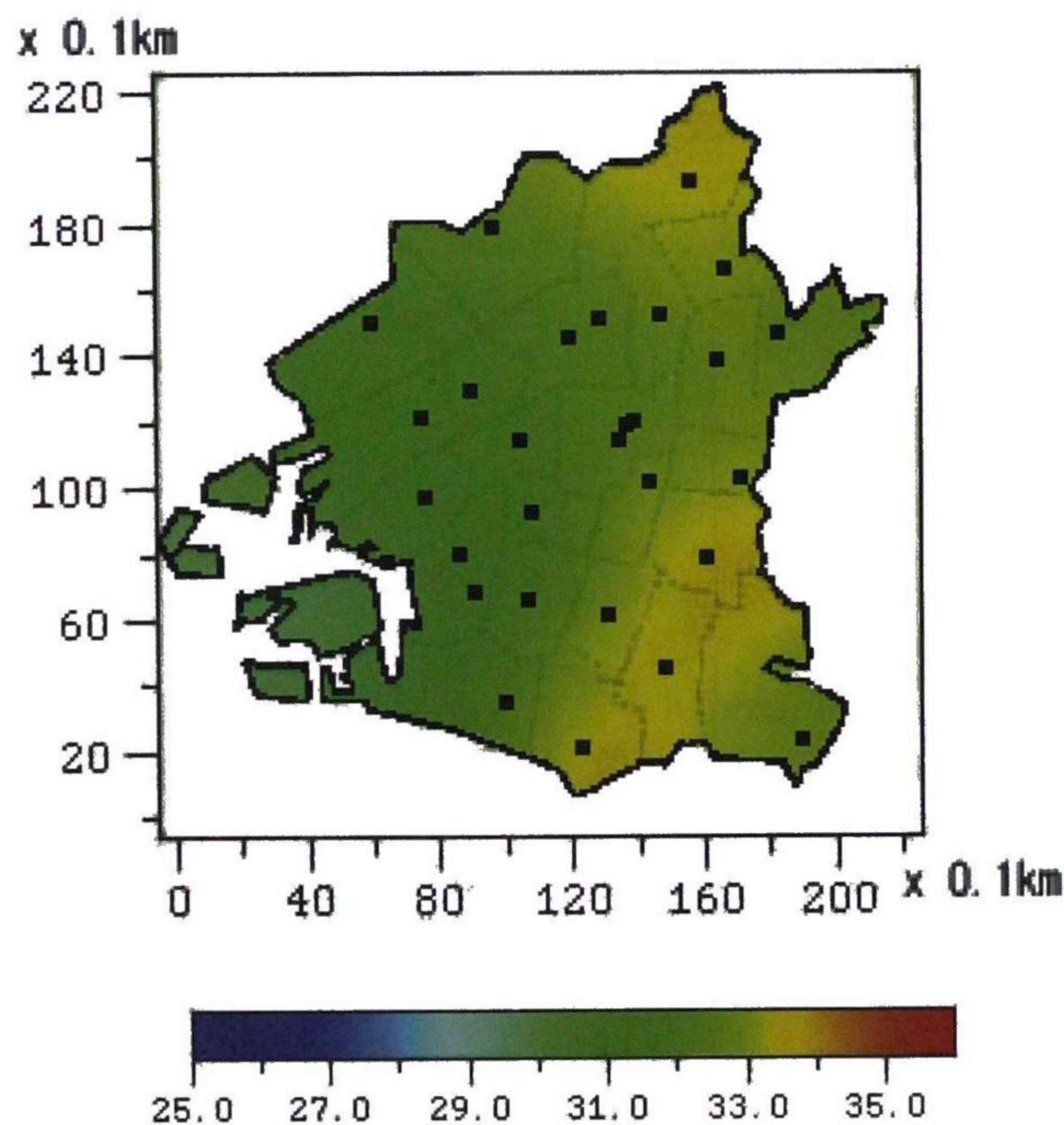


Figure3-1 Distribution of air temperature in Osaka City, 8/3 , 2005 at 12:00

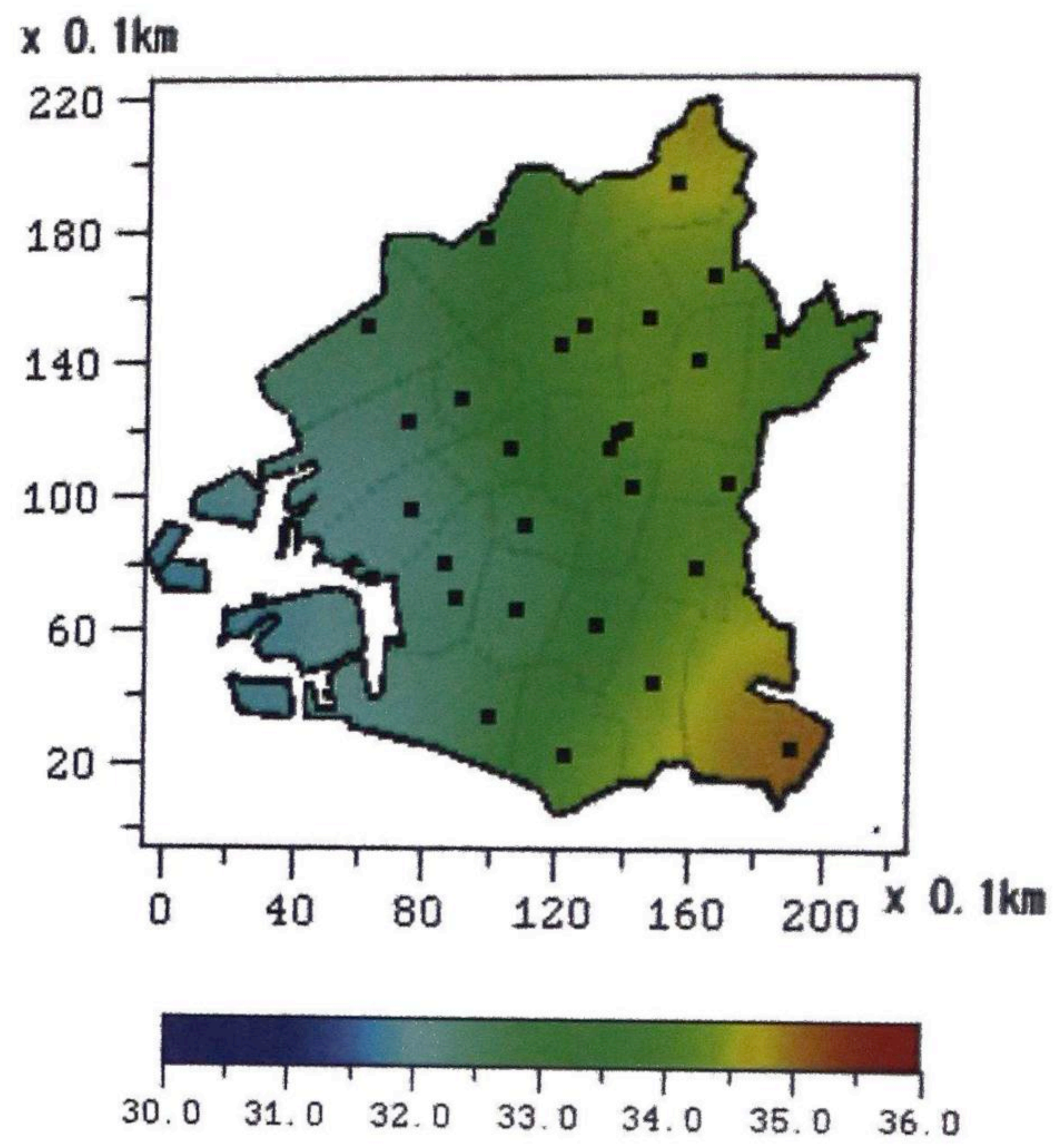


Figure 3-2 Distribution of air temperature in Osaka City, 8/4 , 2005 at 12:00

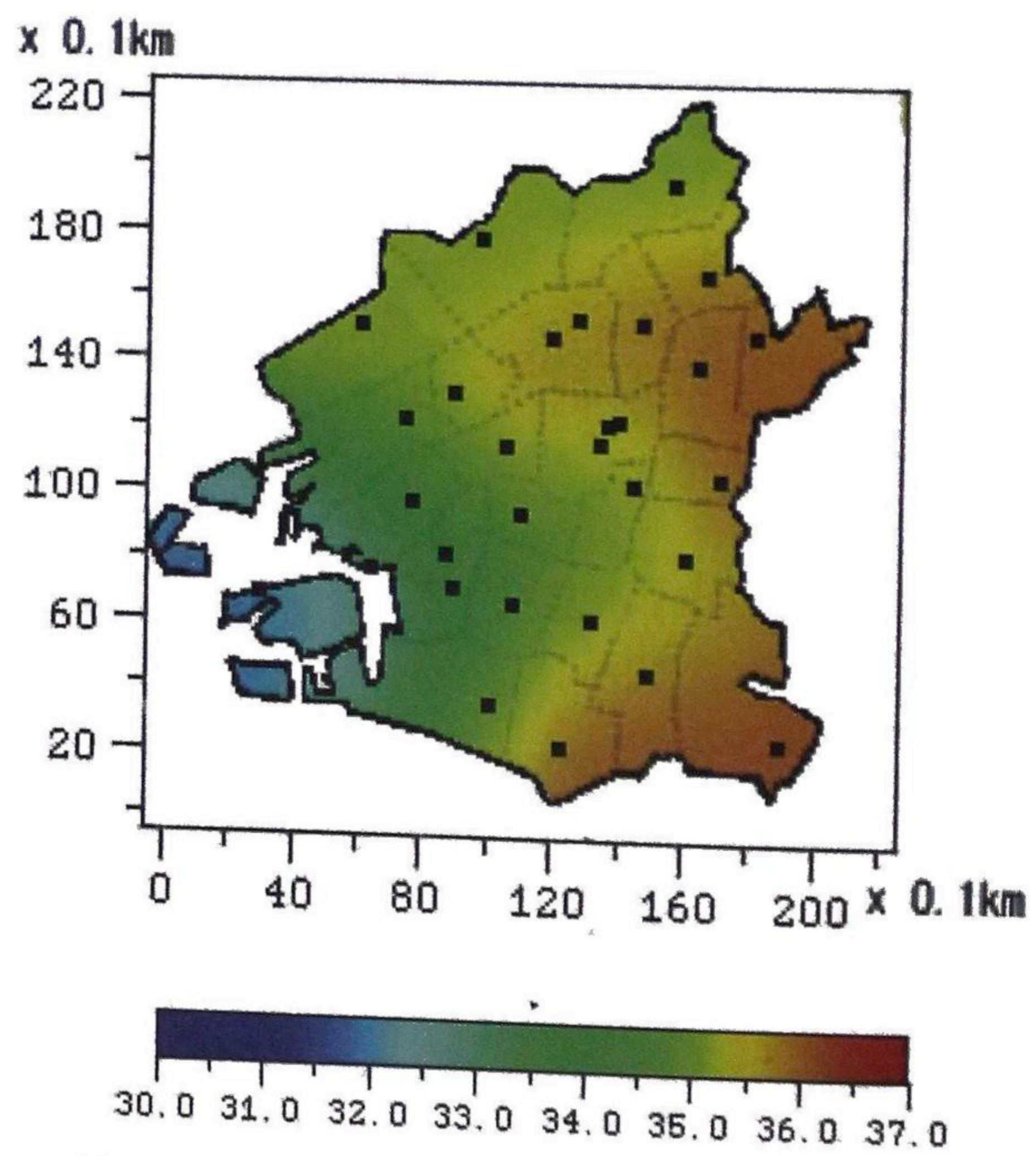


Figure 3-3 Distribution of air temperature in Osaka City, 8/5 , 2005 at 12:00

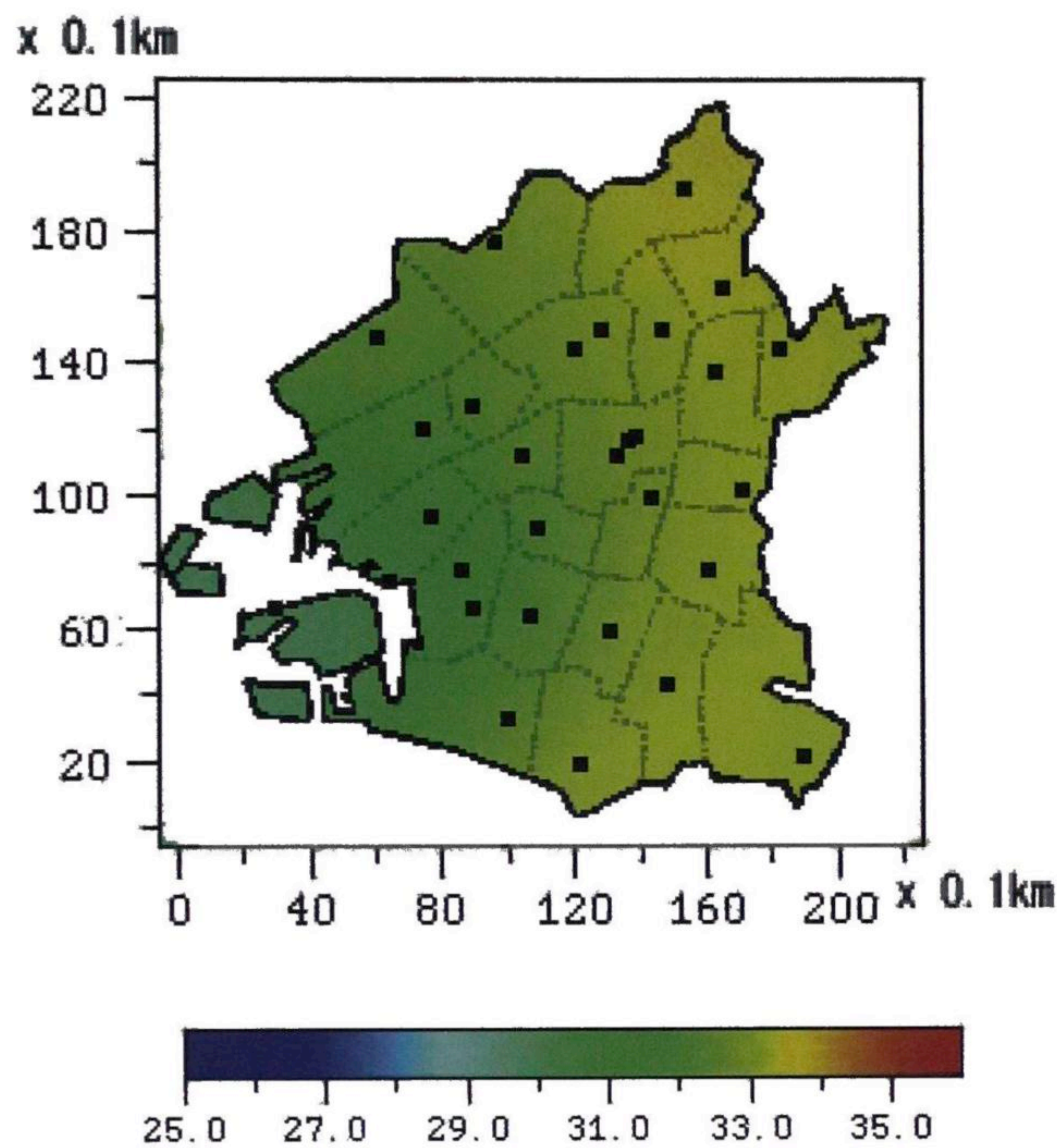


Figure 3-4 Distribution of air temperature in Osaka City, average of afternoon 8/1-8/5, 2005

Table 3-4 Monitoring Points of Three Areas
 T: Number of Monitoring Points for Air Temperature
 W: Number of Monitoring Points for Wind

West Area	Central Area	East Area
T: 9, W: 8	T: 6, W: 5	T: 9, W: 9
Name of Ward		
Nishiyodogawa-ku Fukushima-ku Konohana-ku Nishi-ku Minato-ku Nishinari-ku Naniwa-ku Taisho-ku Suminoe-ku	Yodogawa-ku Kita-ku Chuo-ku Tennoji-ku Abeno-ku Sumiyoshi-ku	Asahi-ku Higashiyodogawa-ku Miyakojima-ku Joto-ku Tsurumi-ku Higashinari-ku Ikuno-ku Higashisumiyoshi-ku Hirano-ku

6) 東西方向の地域的特徴

日中には、東西方向に大きな差が出る特徴が把握できたため、気温の観測点を、

港湾域の西部9カ所、オフィスや繁華街の集中する中央部6カ所、住宅や商工地域の混在する西部9カ所に分けて、地域別の比較を行った。風向・風速観測点は、西部8カ所、中央部5カ所、東部9カ所である。(表 3-4、図 3-5)

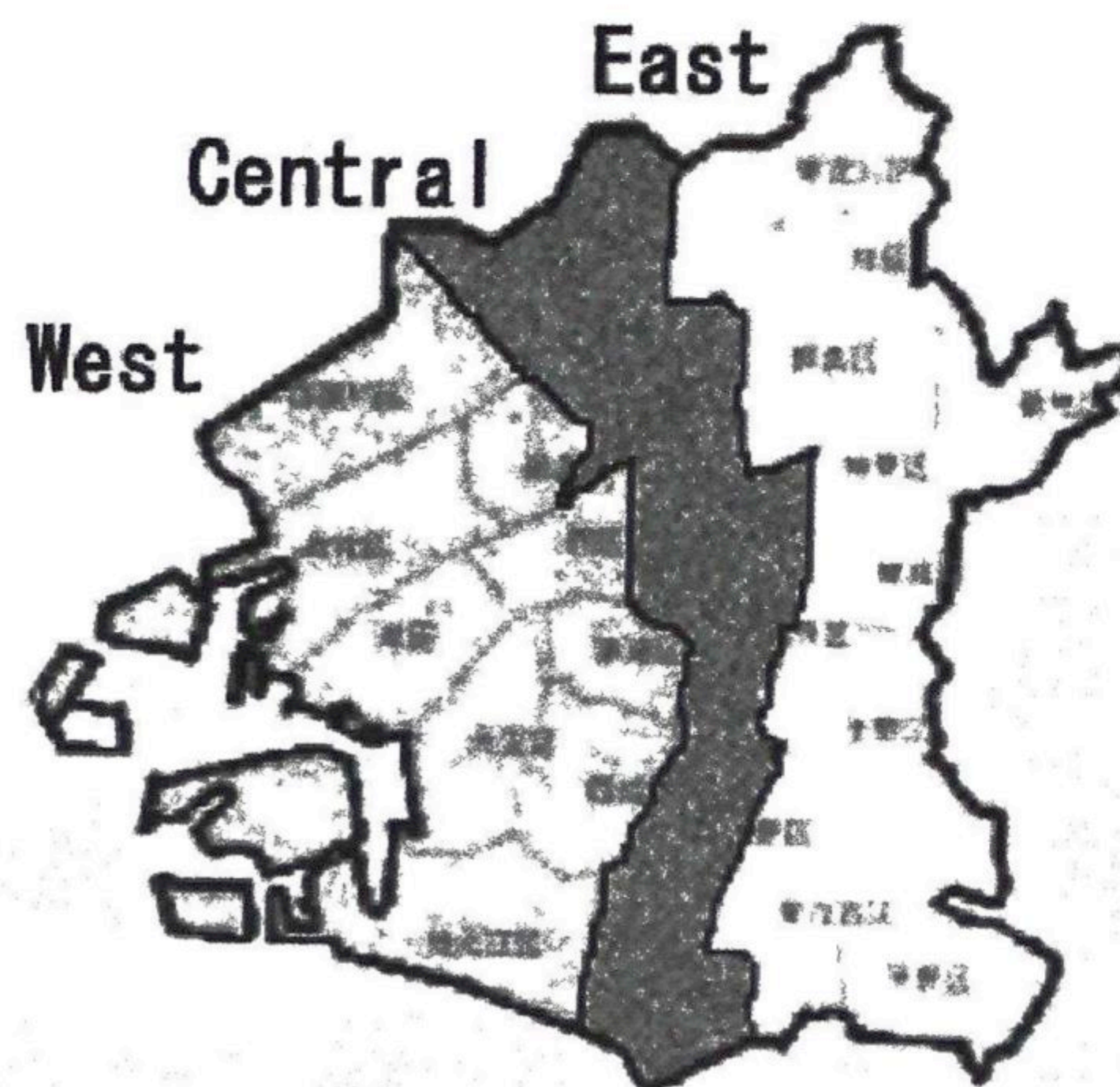


Figure 3-5 Map of West, Central and East area of Osaka City

まず、比較的気温が安定して高温であった7月12～26日と、最も暑さの厳しかった8月1～15日について、各地域別の平均気温の変動を、図 3-6、図 3-7 に示す。

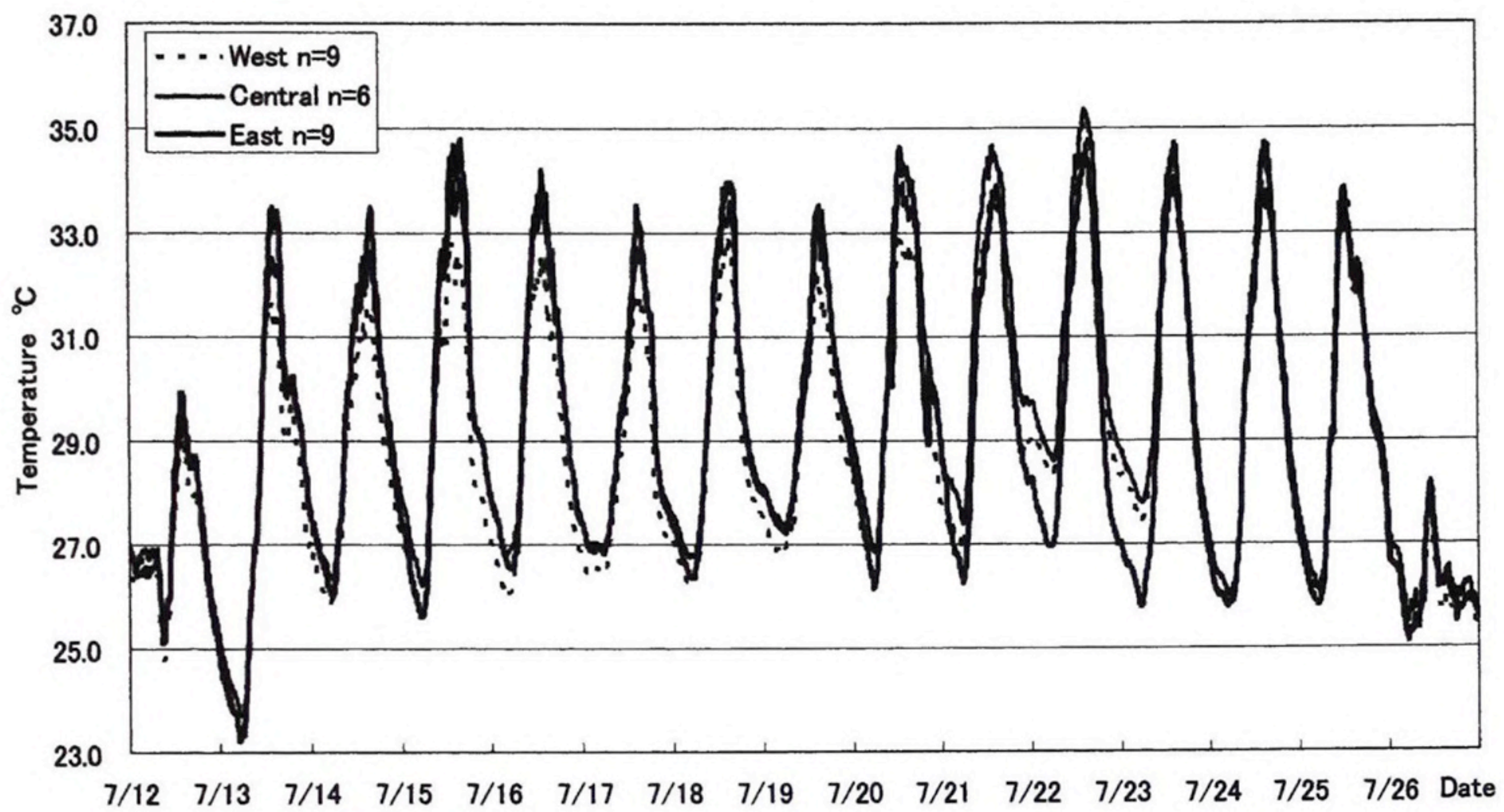


Figure 3-6 Average of air temperature in each area of Osaka City, 7/12-7/26, 2005
n: Number of Monitoring Points for Air Temperature

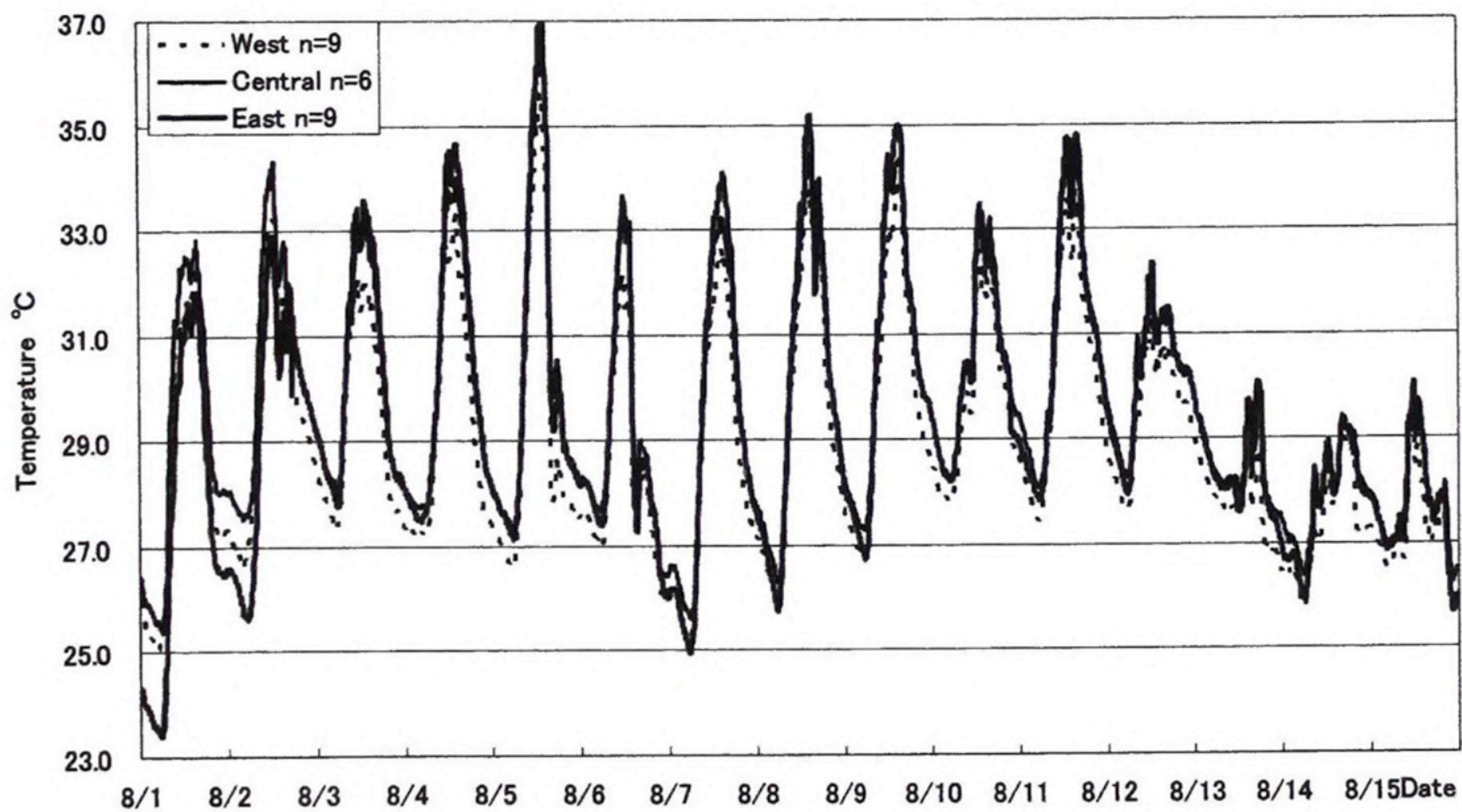


Figure 3-7 Average of air temperature in each area of Osaka City, 8/1-8/15, 2005
n: Number of Monitoring Points for Air Temperature

降雨によって低温になった日を除き、7月下旬、8月上旬とも、日中の最高気温を示す時刻は、東部が他の地域に比べて最も高温となり、西部が最も低温を示した。

夜間、早朝においても、西部は低温を示したが、東部よりも中央部が高くなる傾向

にある。

そこで、8月1～5日の、西部、中央部、東部の各平均気温と、大阪管区气象台における風速について、比較を行った(図3-8)。

早朝の、各所が最低気温を示す時刻において、中央部が東部より高温になり、同時に、風速が最も低いことがわかった。

そこで、この東西方向の地域による差を定量化するために、中央部と西部の差(C-W)、東部と西部の差(E-W)、東部と中央部の差(E-C)を求め、時刻による変化を、図3-9、図3-10に示した。

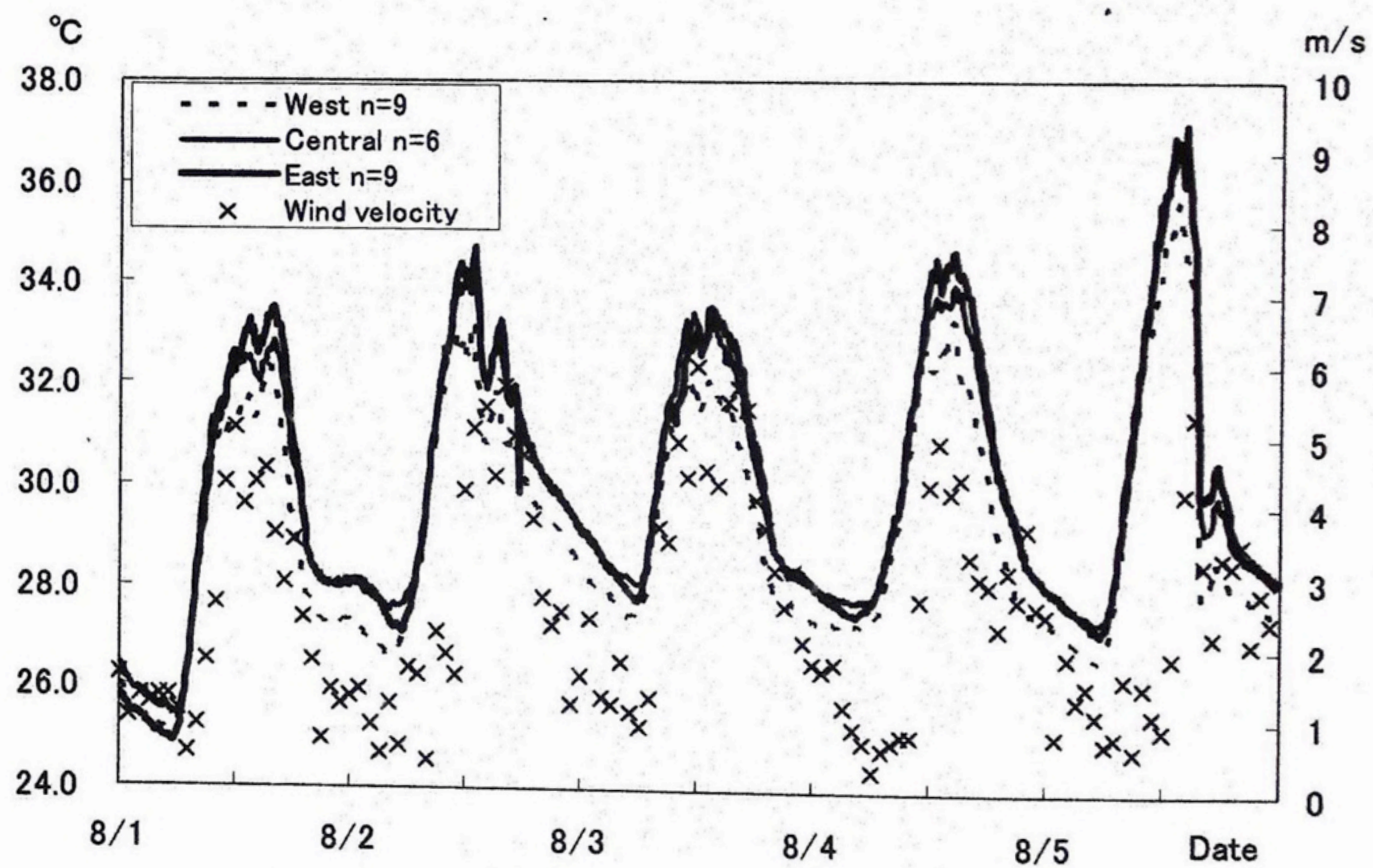


Figure 3-8 Average of air temperature in each area of Osaka City, and wind velocity at Osaka Weather Station of Japan Meteorological Agency 8/1-8/5, 2005

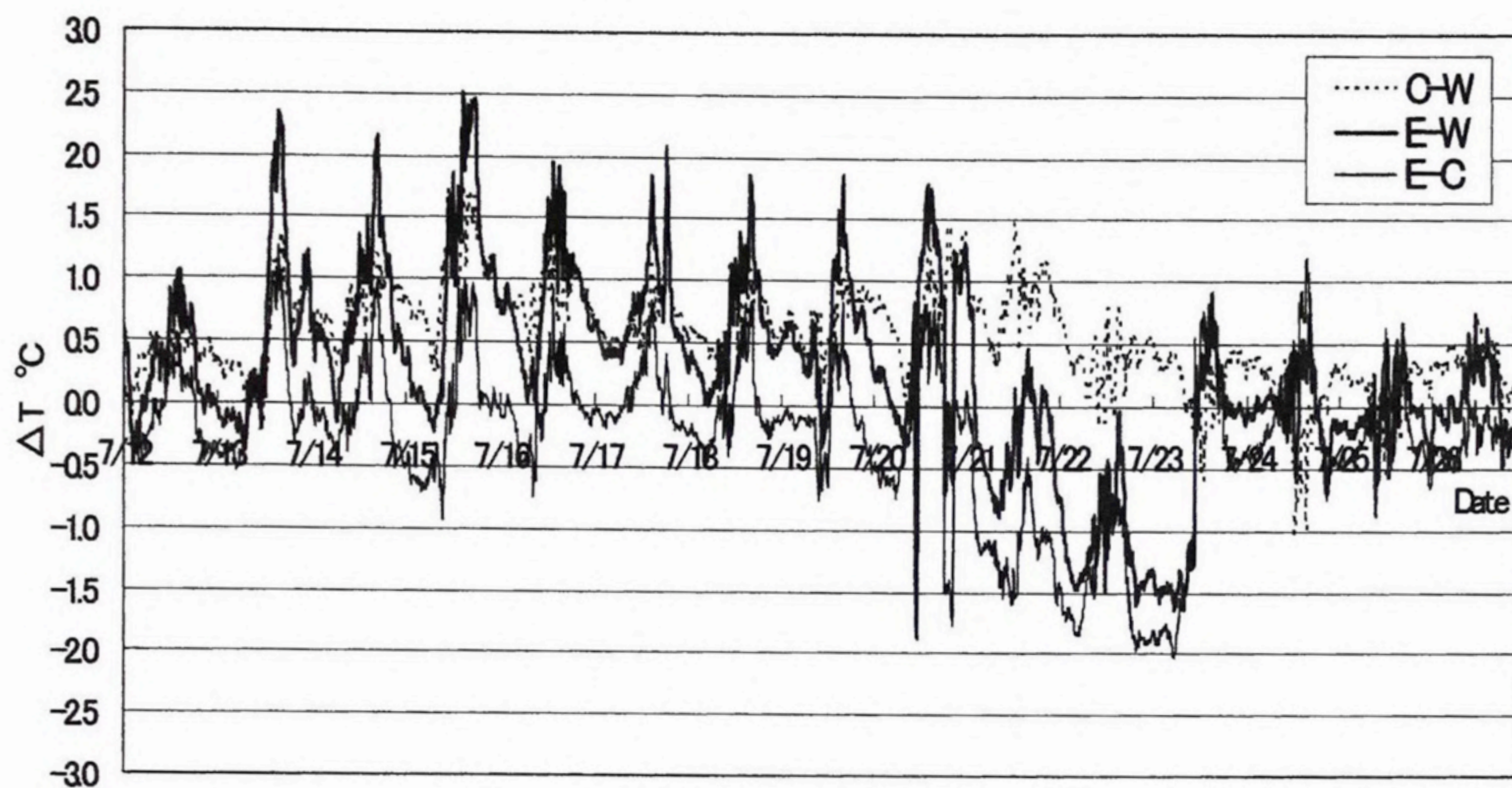


Figure 3-9 Difference of air temperature in each area of Osaka City, 7/12-7/26, 2005

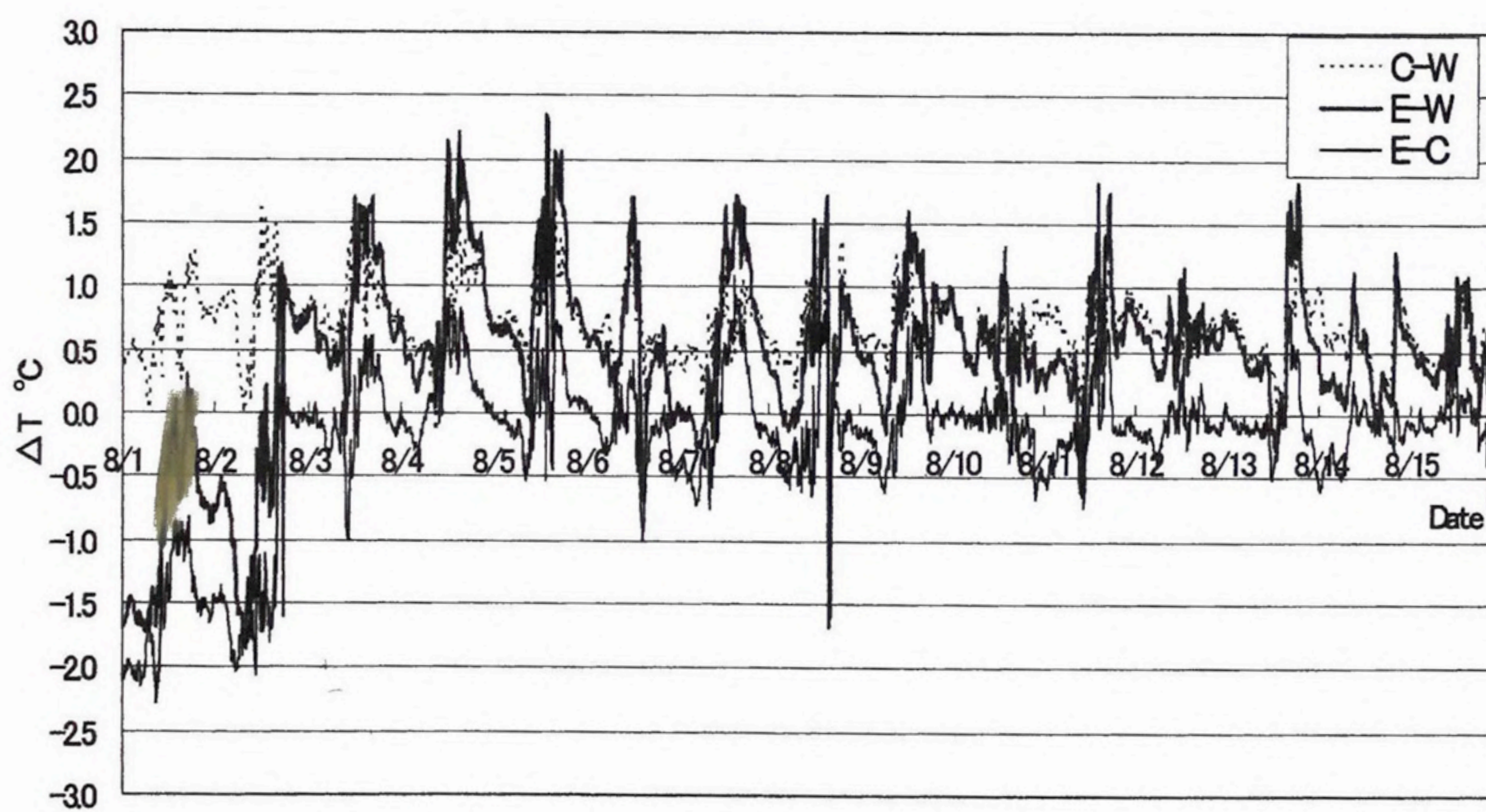


Figure 3-10 Difference of air temperature in each area of Osaka City, 8/1-8/15, 2005

7月14～20日、すなわち図3-9の前半部分は、最高気温を示す時刻近傍で、西部に比べて、東部は約 2°C 高く(E-W)、中央部は 1.5°C 程度高くなった(C-W)。

一方、天候のくずれた7月21日以降、すなわち図3-9の後半部分は、逆に西部よ

りも東部が低く(E-W)、中央部と比べても、1.5~2°C低くなった(C-W)。

図 3-10 の 8 月 1、2 日も、天候が回復しつつあるため、同様に東部が低かったが、それ以降は、ほぼ、最高気温を示す時間帯で、西部に比べて 1.5~2°C、東部が高くなった(E-W)。

東部と中央部の差(E-C)は、両図に示した期間では、ほぼ日内変動があり、早朝には-0.5°C、日中 0.5°C程度で変動していることがわかった。

これらの結果から、西部はほぼ全期間を通じて気温が低いこと、東部と中央部の差は日中と夜間で逆転することがわかる。

Table 3-5 Time zone for average

Morning	6:00 - 11:50
Afternoon	12:00 - 17:50
Evening	18:00 - 23:50
Night	0:00 - 5:50

次に、地域別、時間帯別の特徴を定量化するために、表 3-5 に示す時間帯に分けて、それぞれの観測点における気温を平均を求め、比較したものを、図 3-11、図 3-12 に示す。

雨天時も含む7月下旬の2週間、8月上旬の2週間の平均値としては、昼は東部が暑く、その他時間帯では、中央部が高温になった。

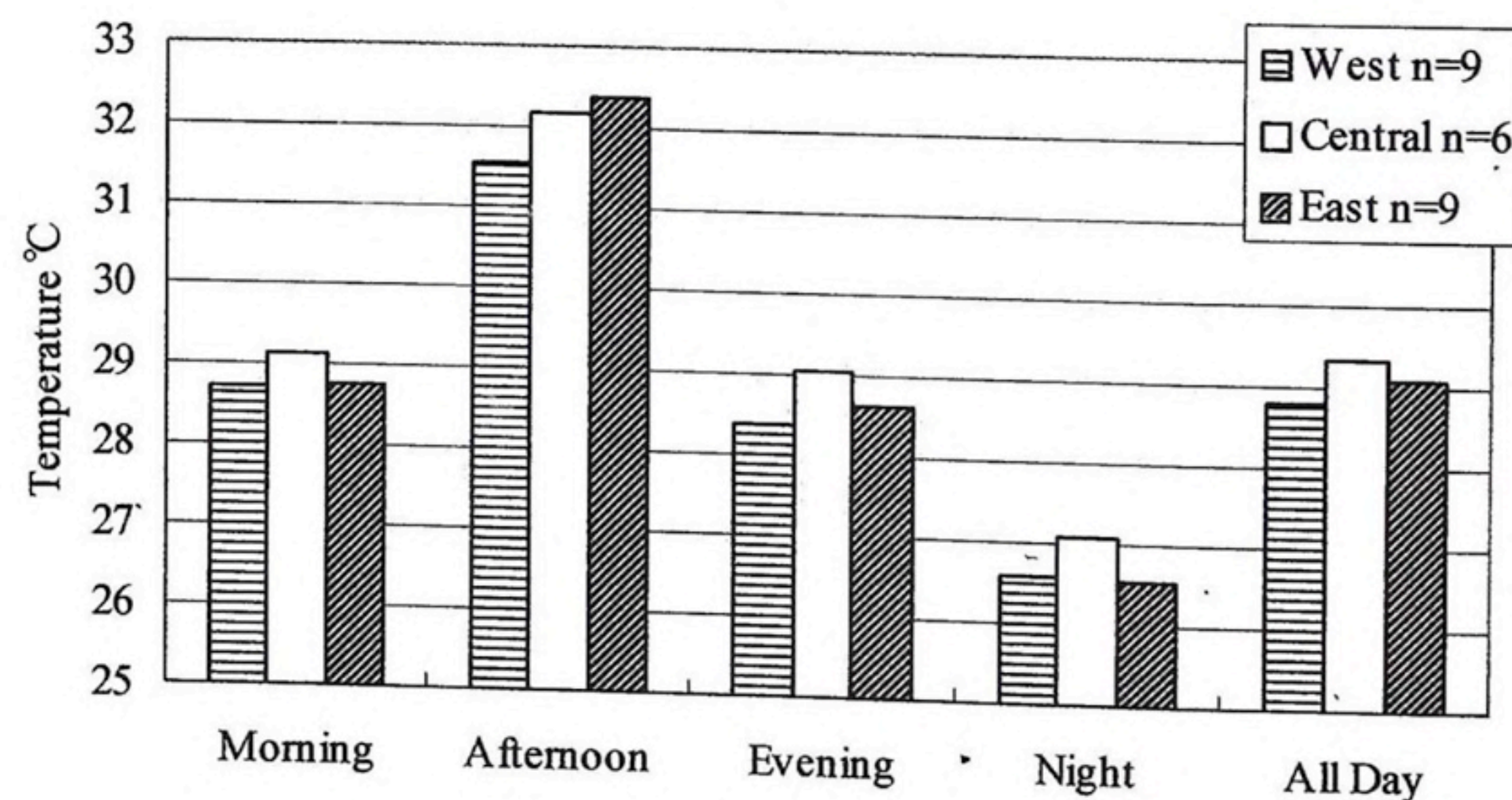


Figure 3-11 Average of air temperature by time zone at Osaka City, 7/12-7/26, 2005

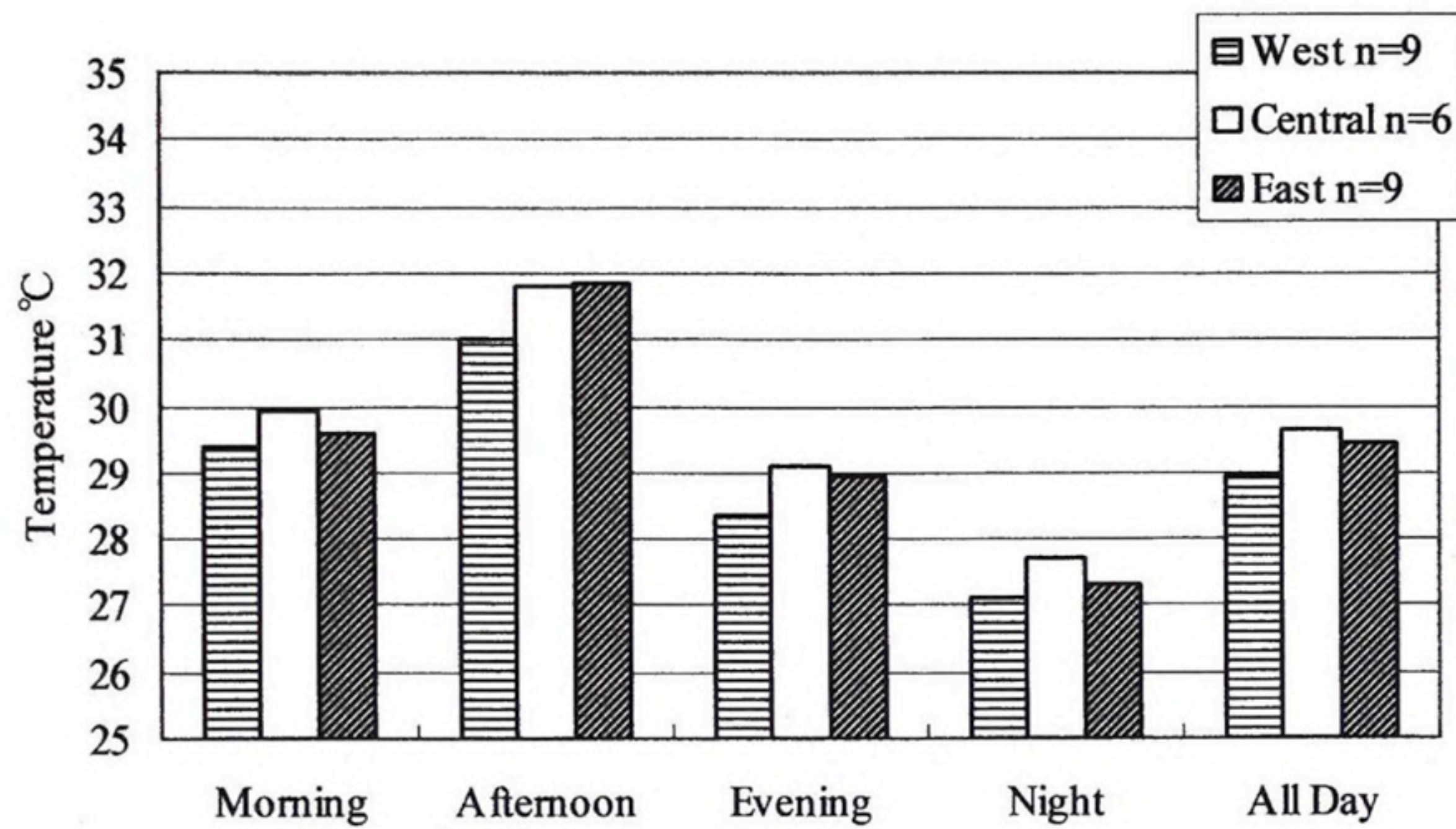


Figure 3-12 Average of air temperature by time zone at Osaka City, 8/1-8/15, 2005

また、それぞれの地域の差を図 3-13、図 3-14 に示す。7月下旬の2週間の平均では、昼は東部と西部の差は 0.8°C 、夕方は 0.3°C 、東部の方が高い。東部と中央部では、昼は 0.2°C 東部が高くなる一方、深夜・早朝では、逆に中央部が 0.5°C 高くなった。

また、8月上旬の2週間では、昼は西部のみが 0.8°C 低く、中央部と東部の差はほとんどなく高温域が広がっていることが類推できる。夕方になっても昼の影響が残っている点で、7月下旬とは異なる状況がみられた。

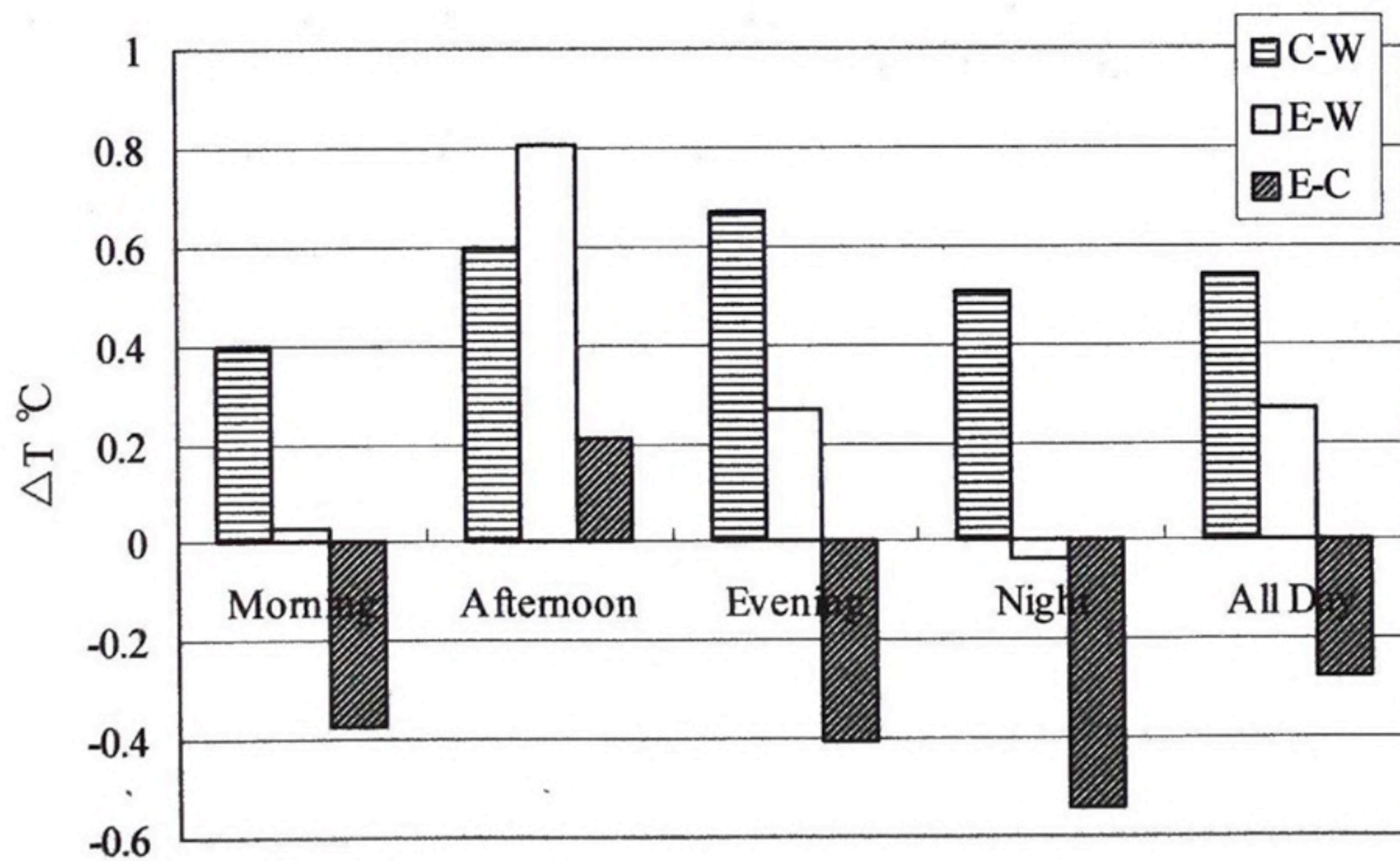


Figure 3-13 Difference of air temperature in each area of Osaka City, 7/12-7/26, 2005

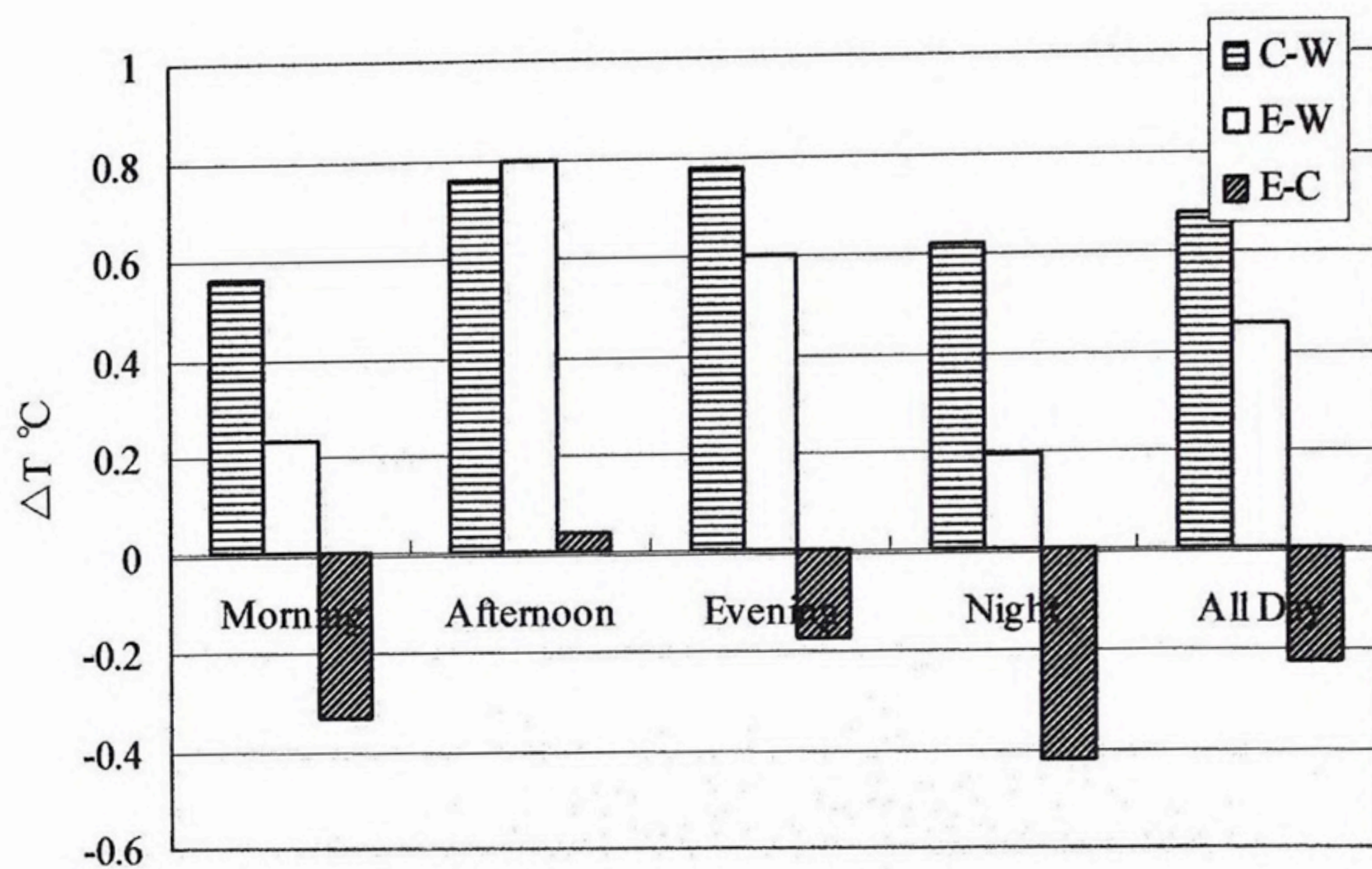


Figure 3-14 Difference of air temperature in each area of Osaka City, 8/1-8/15, 2005

7) 南港野鳥園との気温差の東西比較

南港野鳥園は、市域全域の中で最も気温の低い観測点であるといえる。大阪市域は、夏季、日中、夜間にかけて西からの海風が強く、深夜、早朝には風が弱まるという特徴がある。西端の観測点では、市内の熱負荷の影響が及びにくい。そこで、この観測点を基準点とし、市内各所の気温が、南港野鳥園に比べてどの程度高いかを、地域別、時間帯別に比較した。

また、不安定な気象条件を除くため、最も暑い期間であり、降雨がほぼなかった8月1～5日を選び、各観測点と南港野鳥園との差の平均を求めたものを、図 3-15 に示す。

西端である南港野鳥園と比べて、市域全域は1～3°C高く、また、昼や夕方は、東部が最も暑くなる傾向がみられ、特に昼は、西部で 1.5°C、中央部で 2.8°C、東部で 3.3°Cも高かった。

一方、朝と夜は中央部が最も高く、南港野鳥園と比べて朝は 1.7°C、夜は 2.0°Cの差があり、東部よりも 0.1～0.2°C高かった結果から、市域の中央部が高温になるヒートアイランド現象は、夜から朝に顕著になることがわかった。

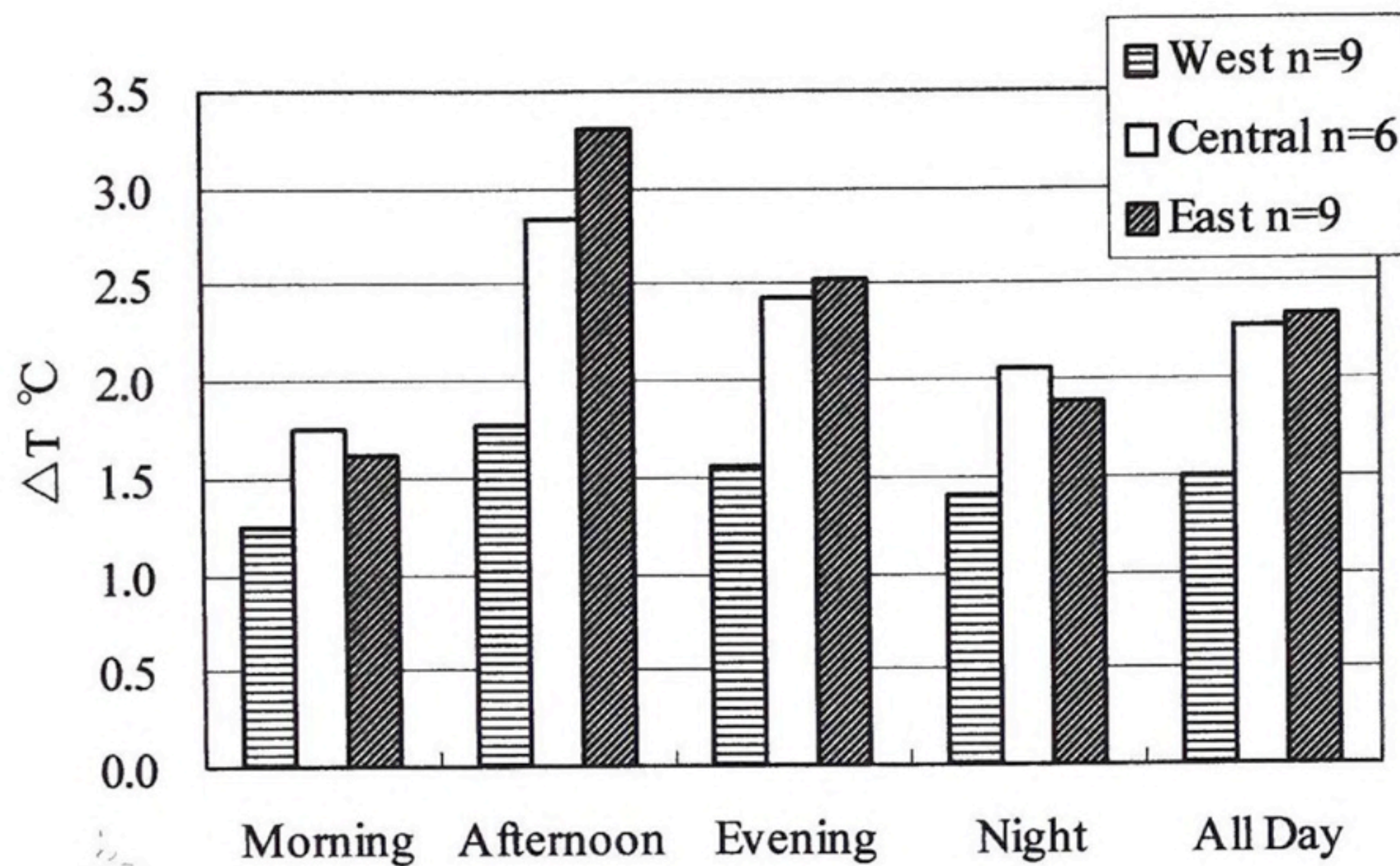


Figure 3-15 Difference of air temperature in each area from Nanko Bird Sanctuary in the west side of Osaka City, 8/1-8/5 of 2005

また 10、11 日についても、同様の差を求め、図 3-16 に示す。昼や夕方は、東部が最も暑くなる同様の傾向を示したが、全時間帯で平均すると、東部よりも中央部がやや高い結果となった。

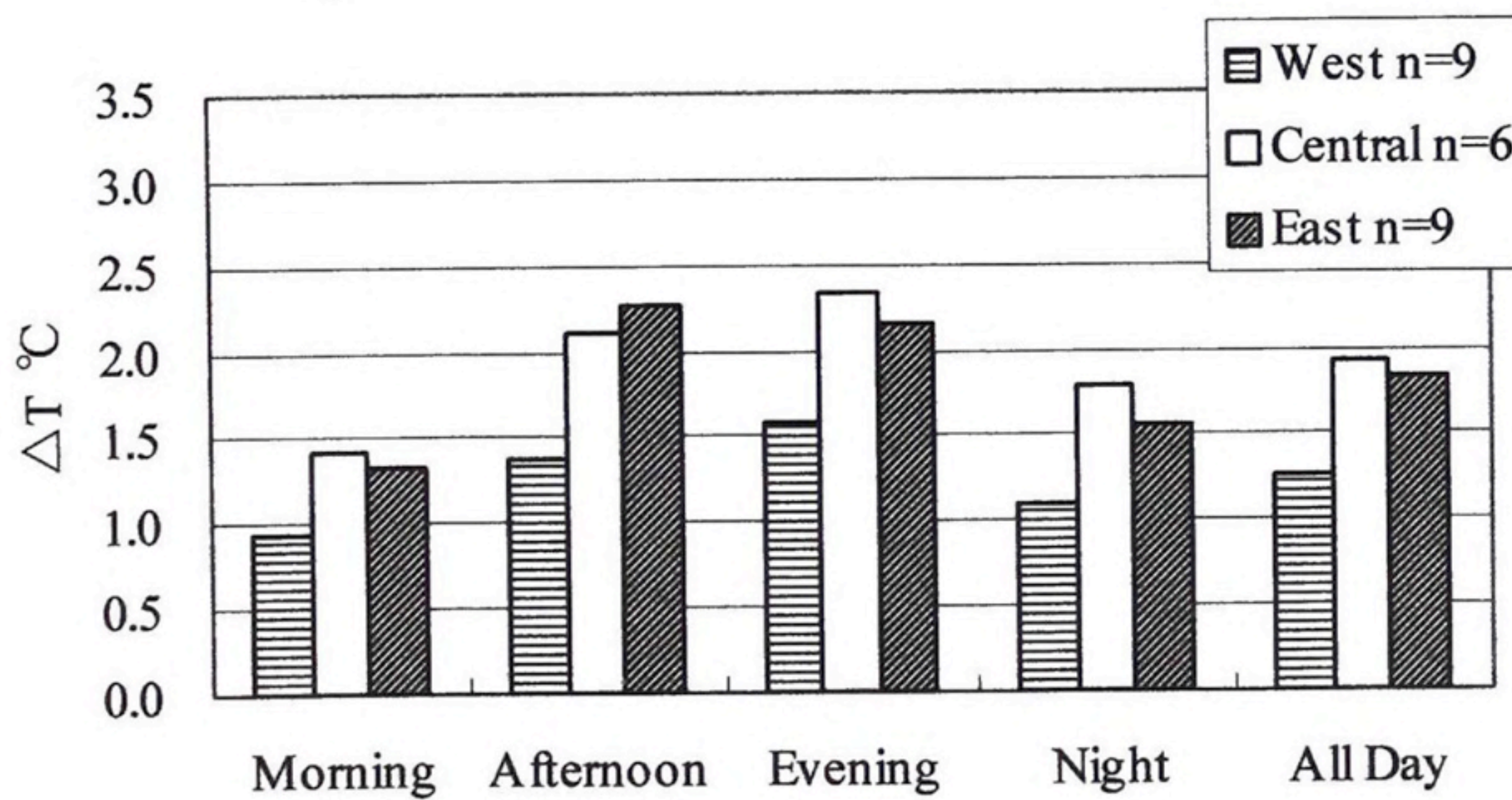


Figure 3-16 Difference of air temperature in each area from Nanko Bird Sanctuary in the west side of Osaka City, 8/10-8/11 of 2005

8月1～5日の地域別、時間帯別の最多風向と平均風速について、表 3-6 と表 3-7 に示す。風向風速計の設置場所は、一部を除き地上 10～15m である。

日中の風速は、2mから4mで、他の時間帯に比べて強く、夜間、早朝では1m未満

と弱くなる傾向がみられた。

一方、風向については、日中、特に西部においては、西風が最も多く、他の風向を示す頻度は少ないが、朝は、中央部では東風、東部では南南東の風向が最も多かった。

これらの結果から、日中に南西から西風の強い風が、市内の中央部で発生した熱を東部に運び、風の弱まる夜間においては、運ばれずに中央部に熱がとどまることが、これらの実測値から類推できた。

Table 3-6 Average of wind velocity of each area of Osaka City, 8/1-8/5, 2005 (m/s)

No. of Station	West	Central	East	All area
	n=3	n=4	n=7	n=14
Morning	1.6	0.9	1.5	1.4
Afternoon	3.0	2.2	4.0	3.1
Evening	2.1	1.5	2.4	2.0
Night	1.1	0.8	1.2	1.1
All day	1.9	1.3	2.2	1.9

n: Number of Monitoring Points for Wind

Table 3-7 Most frequent wind direction of each area of Osaka City, 8/1-8/5, 2005

No. of Station	West	Central	East	All area
	n=3	n=4	n=7	n=14
Morning	W	E	SSE	W
Afternoon	W	SW, WSW	WSW	WSW
Evening	W	WSW	WSW	W
Night	W	WSW	WSW	W
All day	W	WSW	WSW	W

n: Number of Monitoring Points for Wind

3. 2. 2 広域的・典型的な地域ごとの気温の時空間特性

第2章で、人工排熱の時空間特性では、エネルギーの消費行動が、用途地域毎、時間帯によって異なることを示唆しており、それらと気温の実態を比較するためには、オフィス街や繁華街、住宅地など、エネルギー消費や建造物の構造などの特徴が異なる地域、さらに港湾域や河川の周辺など、都市活動や建造物などの典型的な地域に分けた詳細な気温の実態把握が必要である。

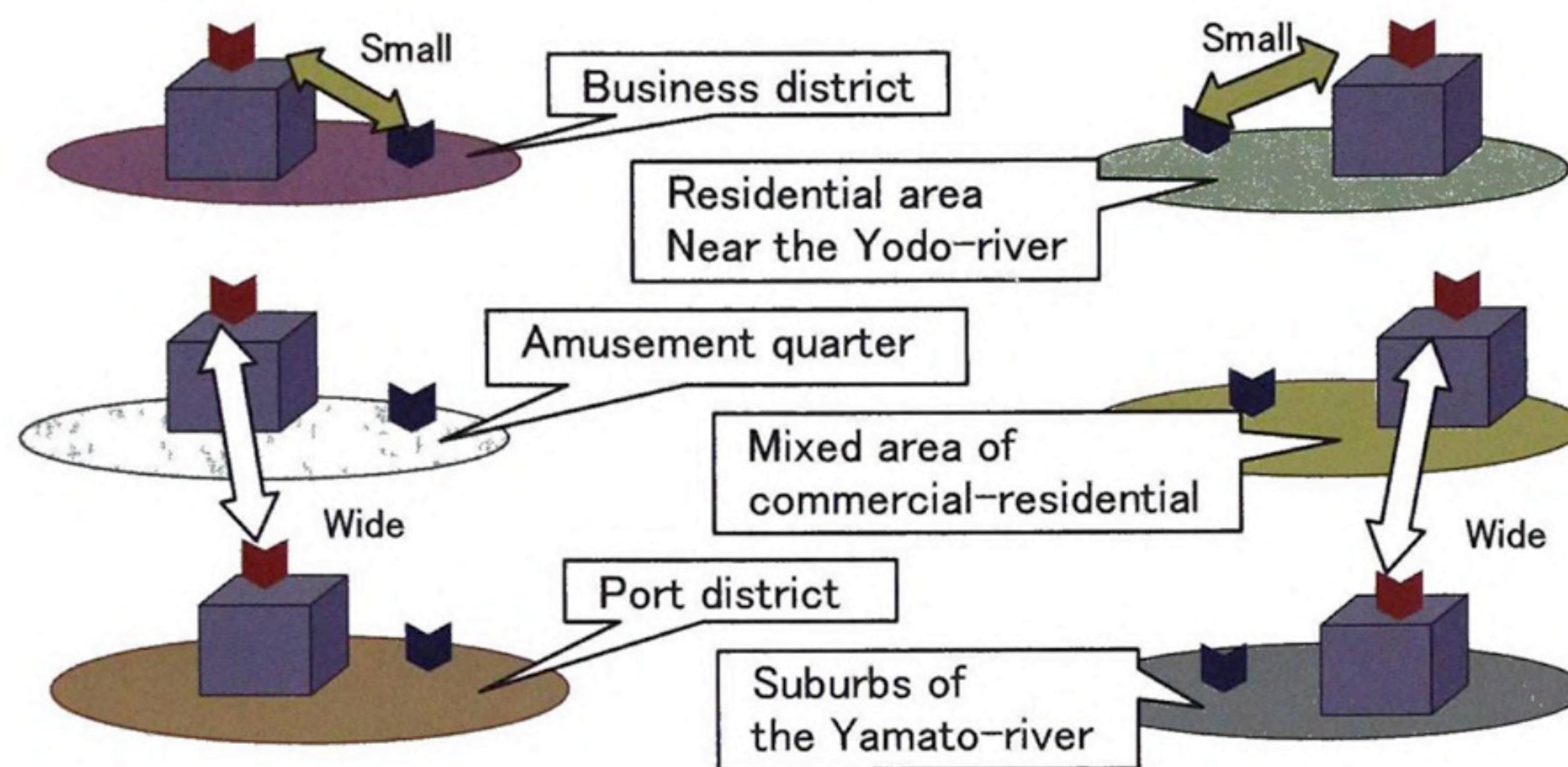


Figure 3-17 Wide-area measurement points on the roof and small-area measurement points on the ground

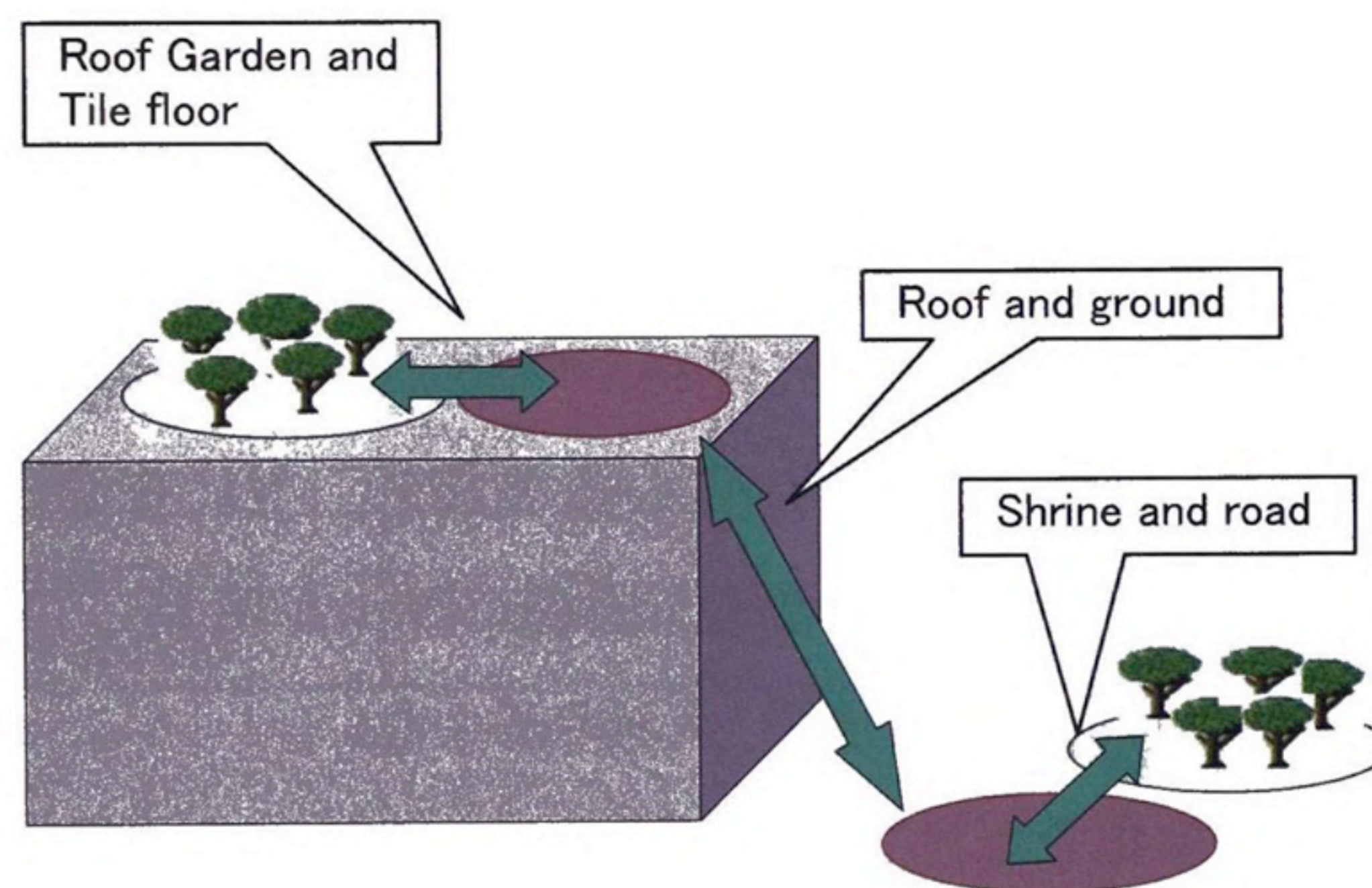


Figure 3-18 Difference of air temperature between planted area and not planted area

広域的・典型的な地域ごとに、屋上と地上の測定点、必要に応じて、ベランダなどの測定点を設け、各地域の屋上の測定点を比較することで、広域の気温の特徴を把握した(図 3-17)。また、個々の地域内、同じ建物内での、屋上と地上の比較、緑化部分と非緑化部分の差を求めて、狭域の気温の特徴を把握した(図 3-18)。

1) 地域の特徴

オフィス街や繁華街、住宅地など、地域毎にエネルギーの使用状況や建造物の構造などの特徴が異なる地域、さらに港湾域や河川の周辺など、地形や気象に特徴が気温へ影響すると考えられる地域として、下記に示す5つの地域と3つの建物を選び

(表 3-8)、個々の地域の気温変化の特徴を比較した。

- ① 都心部のオフィス街・相愛高等学校・中学校(中央区本町)。従業者など昼間人口が多く、市内の主要道路である御堂筋に接しており、交通量、電力などのエネルギー消費も多い。
- ② 港湾域・南港光小学校(住之江区南港中)。港湾の交通や、工業地域としてのエネルギー消費も特徴がある。また住宅地域が、緑地帯によって、港湾施設と分離され、車の進入を制限している長所も備えている。
- ③ 淀川周辺の住宅地・桜宮高等学校(都島区毛馬町)。都市の住宅地としての特徴と、淀川による緩和効果の程度をみる。
- ④ 大和川周辺の住宅地・川辺小学校(平野区长吉川辺)。田畑が残り、淀川とは異なる環境資源をもつ住宅地域としての特徴がみられる。
- ⑤ 商工住宅混在地域・今里小学校(東成区大今里)。商店街、中小の工場や住宅など、用途が混在し、道路が狭く建物が密集した地域の特徴をもつ。
- ⑥ 繁華街・新日本三ツ寺ビル(中央区心斎橋筋2)。主に夜間に営業する飲食店中心のいわゆる雑居ビルで、周辺も同様のビルが密集している。夜間の活動が盛んな一方、昼間は営業せず、人通りが少ない。
- ⑦ オフィス街の屋上緑化をほどこした中層ビル・新ダイビル(北区堂島浜1)。堂島川の北側に面している9階建てビルで、屋上の北側は緑化されており「屋上樹苑」と呼ばれている。南側はタイル床で日当たりがよく、堂島川からの風と、西側の高層ビル全日空ホテルシェラトンからの風が通る。
- ⑧ 繁華街にある神社の樹木林・御津八幡宮(中央区西心斎橋2)アメリカ村に近く店舗の集まる中にあり、境内全体が樹木に覆われている。

Table 3-8 Measurement points of the survey

Area	Name	Measurement point (height)
①Business district	Soaigakuen High School	on the roof (18.3m), on the ground
②Port district	Nankohikari Elementary School	on the roof (17.6m), on the ground
③Residential area near the Yodo-river	Sakuranomiya High School	on the roof (15.9m), on the ground
④Suburbs of the Yamato-river side	Kawanabe Elementary School	on the roof (15.8m), on the ground
⑤Mixed area of commercial-residential-industrial buildings	Imazato Elementary School	on the roof (12.5m), on the ground
⑥Amusement quarter	Shinnippon Mitsutera Building	on the roof (14.5m), at the veranda (11.4m), on the ground
⑦Business district - roof greening	Shindaibiru Building	in "Roof Garden" (30m), on the tile floor (30m)
⑧Amusement quarter - woods of the shrine	Mitsuhachimangu Shrine	in the garden (ground), facing the sidewalk(ground)

2) 調査方法

これらの典型的な土地利用のみられる①～⑤では、建物の屋上(地上高 12.5～18.3m)と地上(1.3～1.6m)の2カ所に百葉箱を設置し、温湿度データロガー(TR-72「おんどとりRH」ティアンドディ社製)を用いて、10分ごとの気温と相対湿度の測定を行った。また屋上には風向・風速計を設置して、1時間毎の測定を行った

⑥では、後述の狭域における気温比較も含めて、地上(地上約 3m、三ツ寺筋電話柱と厨房脇の2カ所)と4階ベランダ(地上高 11.4m)にシェルターを設置し、空調室外機の並ぶ屋上部分3カ所(地上高約 15m、屋上北、屋上南、屋上中)に百葉箱を設置、その内部に温湿度計を取り付けて、測定を実施した。

⑦では、樹苑の内外2カ所に温湿度計を入れた百葉箱を設置した。

⑧では、境内中央部と南側の歩道に面した塀の付近の2カ所に、温湿度計を入れた百葉箱を設置した。

3) 調査結果

図 3-19 に、最も日中の気温が高くなった日の、各所の 1 日の気温変化を示した。

都心部のオフィス街にある相愛学園は、深夜早朝の気温が高い傾向があった。また他の学校屋上のデータと比べて、平均気温、最高、最低気温とも最も高かった。また日没後の気温の下がり方が、他の学校屋上に比べてゆるやかな傾向があった。また最も暑かった期間は特に、深夜になっても気温が下がりにくい現象がみられた。

港湾域の南港光小学校では、全般的に最高気温が低く、相対湿度も高い。これらは、日中海風が吹き、風速が強いなど、海の影響を受けやすく、都心部からの影響は少ないと考えられる。しかし風向が変わって市域中心部から吹き込む時の気温上昇もみられた。

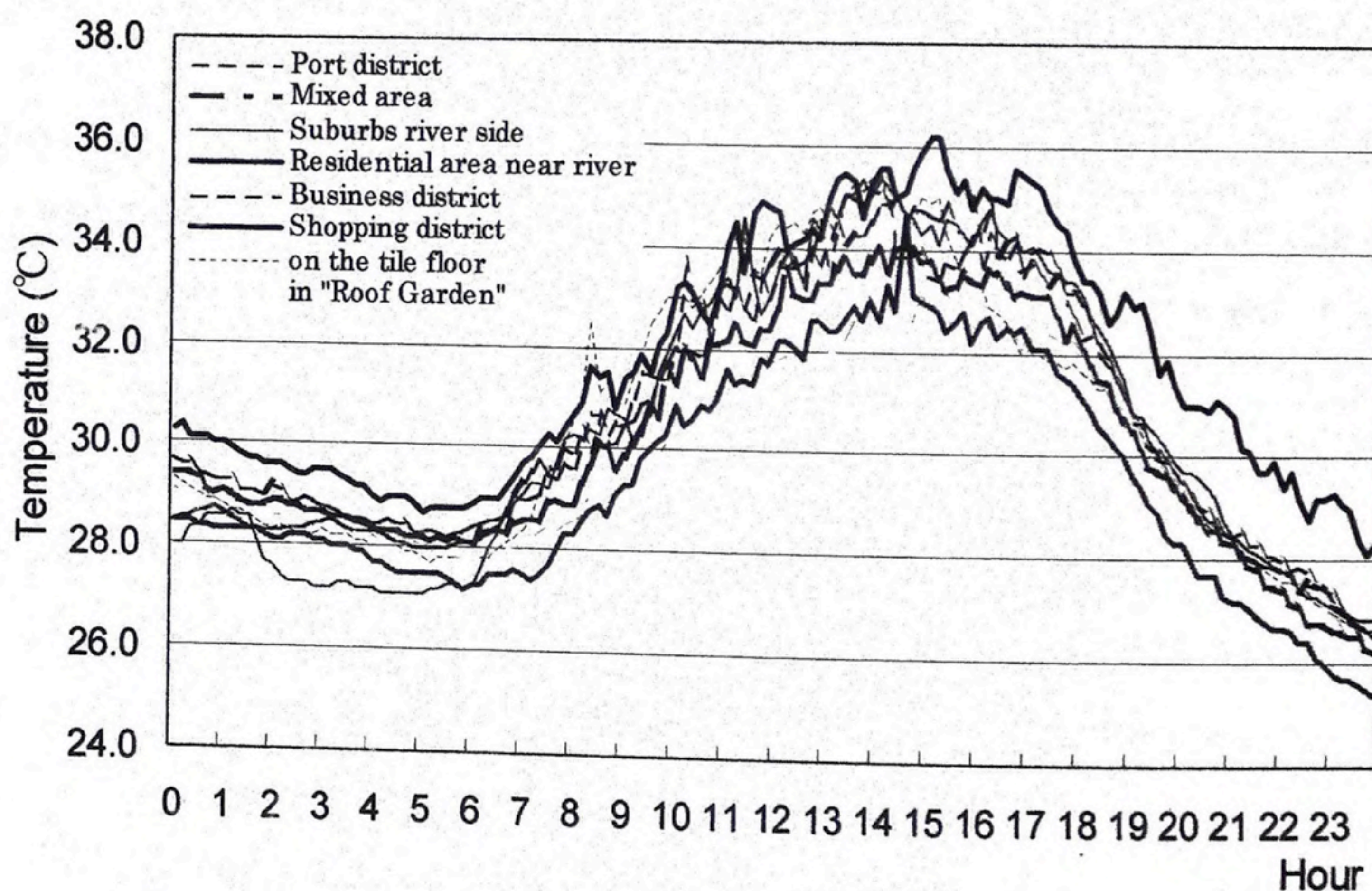


Figure 3-19 Changes of air temperature on August 5 in 1996 at typical urban area

淀川の河川敷に近い桜宮高校では、1996 年夏季調査で最低気温が広域的測定地点の中で最低であった。晴天の日は、日中も低かった。河川敷を含めて対岸までの幅が約 700m あり、淀川は南西風が川下から吹き上げるときの風の道となっていること、また河川敷にヨシ原があることも影響していると考えられる。

大和川に近い川辺小学校では、暑さが本格的になった7月後半において最低気温が各所の中で最低であった。最高気温は、淀川に比べるとやや高い傾向であった。大和川は、河川敷を含めて対岸までの幅が約250mと、淀川に比較して狭く、河川敷のみどりも少ない。ヒートアイランド現象緩和効果としては、大和川は淀川より規模は小さいながら、都心部に比べて、気温を低下させていると考えられる。

商工住混在地域の今里小学校では他と比べ、最高気温が高く、最低気温では、都心部と港湾や河川などの周辺部との中間的な下がり方を示した。比較的低層の建造物が密集し、昼間人口や交通量は都心部ほど多くないが、市域の東部に位置しており、西風による都心部からの影響が考えられる。

①から⑧の測定地点の中で、一日を通して最も気温が高かったのは、繁華街の新日本三ツ寺ビルで、日中では、もっとも低い地点と比べて最大約3℃、深夜早朝でも約2℃高く、人工排熱の多さと建物の密集による影響が推測された。

3.3 狭域における気温の時空間特性

エネルギー消費が最も多いと思われるオフィス街や繁華街において、屋上と地上の気温の差、緑化と非緑化地点の気温の差を求め、時間帯による変化や、曜日によって異なる特徴を抽出した。これらは、対策を講じる上で、地域の特徴を考慮した、詳細なメニューが必要であることを示唆している。

狭域の気温調査方法は、3.2.2 1)の表3-8に示した広域的・典型的測定点を含む①～⑧の各地点において、それぞれ狭域の気温把握のために、同じ地域内または同じ建物内に複数設置した測定点の気温を比較し、特徴を抽出した。

3.3.1 繁華街における狭域の気温の時空間特性

繁華街の新日本三ツ寺ビルには、地上の三ツ寺筋電話柱と厨房脇の2カ所、また4階ベランダ、屋上部分3カ所での気温を比較した。

繁華街の新日本三ツ寺ビルは、深夜まで営業している飲食店が多数入っており、飲食店の厨房に近い1階の測定地点は、平日の深夜から未明に気温が高くなる一方、日曜日には高くならなかった。これは営業中の厨房の排気の影響を直接受けていると考えられる。同じく1階で厨房の影響を直接受けない場所であっても、深夜から未明になってもゆるやかにしか気温は下がらない。深夜の繁華街の気温と河川周辺の

気温とを比較すると、最も暑かった期間において約3℃の差があり、最低気温でも30℃を超える日があった。

同ビルの4階の測定地点はベランダで、ビルで営業している各店舗の空調の室外機が集中して並んでおり、ベランダの下は道路である。ここでは最高気温と最低気温の差が小さかった。また同ビルの屋上は、各店舗の空調の室外機が送風の方向は内側に向けて並んでいる。屋上には北、中央、南の3カ所の測定地点を設置したが、北は空調の室外機に近く、南がやや室外機から遠い場所である。北は最高気温で高くなる傾向があった(図 3-20)。

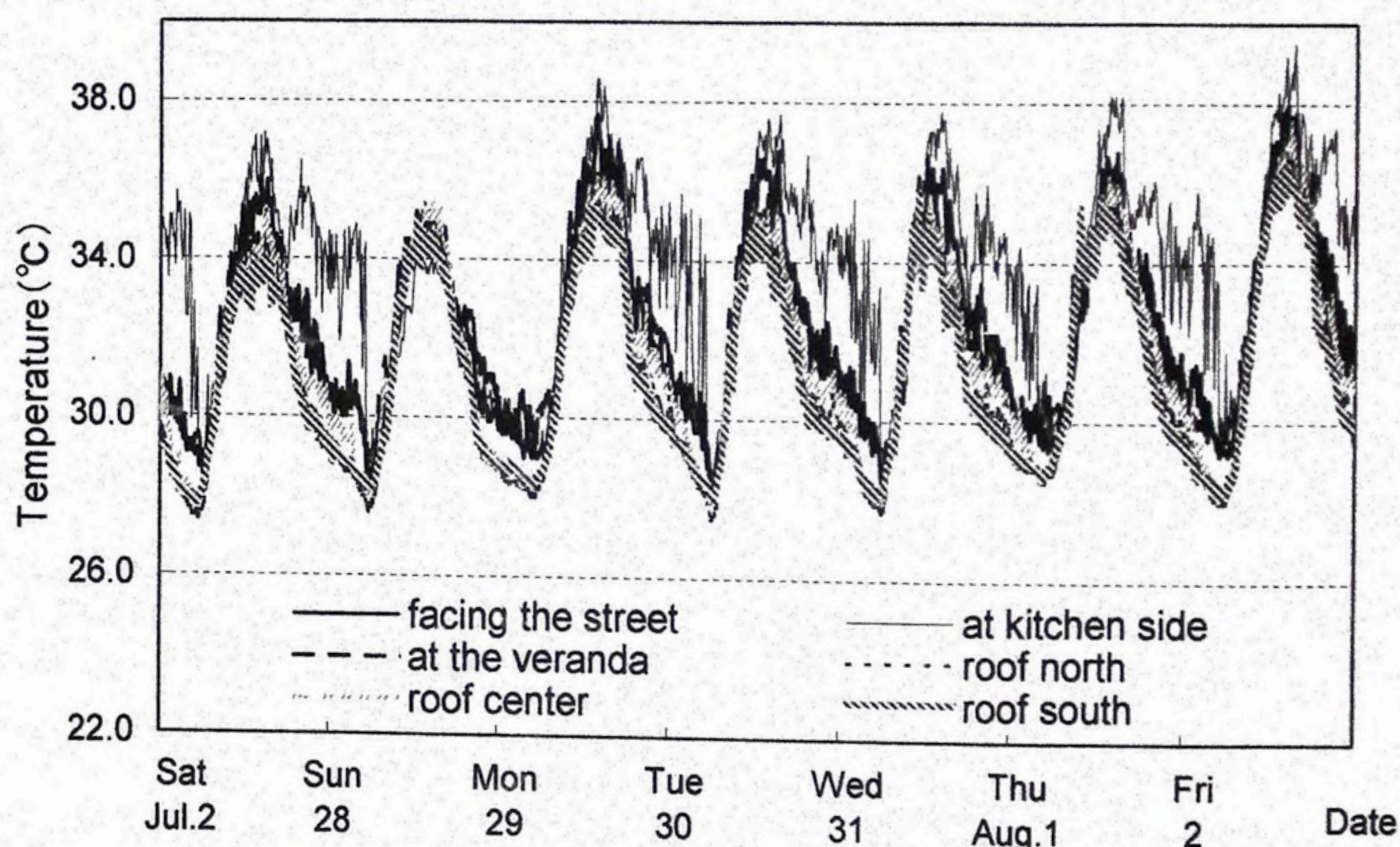


Figure 3-20 Changes of air temperature at the shopping district

広域的気温把握の測定地点と比較すると、早朝、昼間とも繁華街のビルの方が全体的に高く、営業の始まる夕方深夜にかけては、顕著に高くなった。同じ都心部でもオフィス街よりも高くなっているといえる。

これらの結果から、繁華街の細い街路や、空調の集中する場所は、人工排熱が、周囲の気温を著しく上昇させ、大阪市域の中でも顕著な高温域となっていることが明らかであり、エネルギー消費の低減、エネルギーシステムの改善などの対策を、重点

的に施す必要を示唆している。

3. 3. 2 屋上・地上、緑化・非緑化の狭域の気温の時空間特性

3. 2. 2における広域的気温把握の測定地点のうち、地上の測定地点は、土地の被覆や周辺の緑化状況に影響される場所でもあるので、地域の代表点としての屋上と、狭域的な影響を受ける地上の気温差の、時間帯別変化を比較した。

また、オフィス街の屋上緑化ビルの緑化地点とタイルの非緑化地点、また繁華街内の神社内(緑化地点)と外部の歩道(非緑化地点)も、同様に比較した。

1996年7月25日～8月5日は、熱帯夜が続き、最も暑い期間であったが、この特徴のある期間について、朝(6:00～11:00)、昼(11:00～18:00)、夕(18:00～0:00)、夜(0:00～6:00)の時間帯別に、各測定地点における、緑化と非緑化の差、屋上と地上の差について図3-21に、まとめた。左から、⑦オフィス街屋上緑化ビル、⑧繁華街内神社、②港湾域、⑤商工住宅混在、④大和川周辺、③淀川周辺、①オフィス街、⑥繁華街ビルにおける気温差を示している。

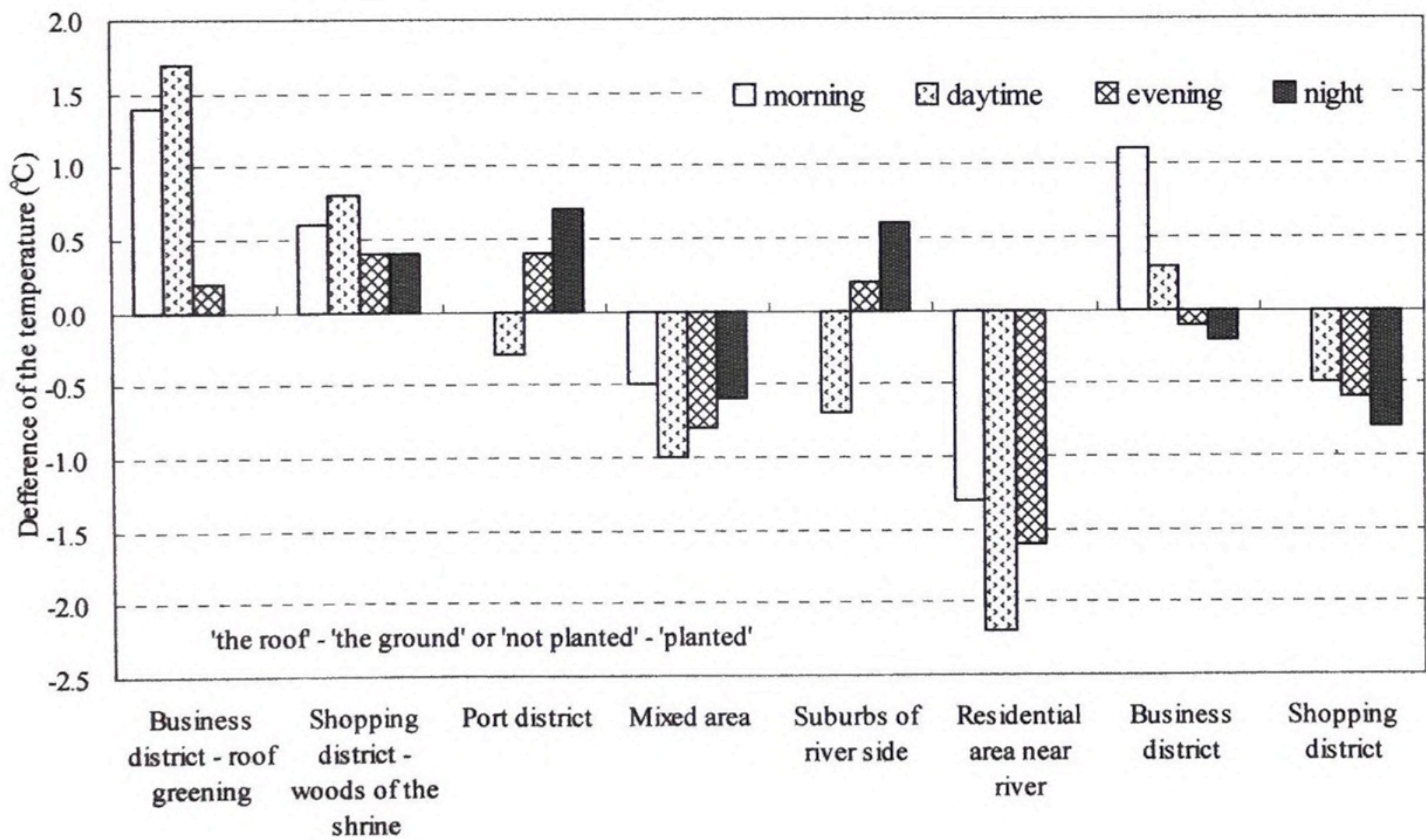


Figure 3-21 Difference of averaged air temperature from July 25 to August 5 in 1996.

Values were subtracted the ground from the roof or planted area from not planted.

オフィス街の相愛学園の地上の測定地点は、周辺が校舎に囲まれているグラウンドの隅にあり、周囲は低木が密植され、日中の日射時間は他の地点より短いと考えられる。深夜・早朝の気温は高く、最高気温は屋上ほど上昇しない。

港湾域の南港光小学校は、高木の茂る道路のそばにあり、周囲が花壇や学習用の畑となっており散水も施される。平均、最高気温が低く、周辺の緑化や散水による影響が考えられる。

淀川周辺の桜宮高校の地上の測定地点は、乾燥した砂地の広いグラウンド囲っている塀に近く、塀の向こうは細い道路を挟んで淀川の河川敷である。地面が熱せられて乾燥しており、最高気温が最も高かった。

大和川周辺の川辺小学校の地上の測定地点は、グラウンドの端の最も大和川河川敷に近くにあり、周囲は教育用のせせらぎ水路があり、野草が地面を覆うように茂っている。桜宮高校のグラウンドに比べるとあまり乾燥しておらず、最低気温は南港光小学校と同じく最も低かった。

商工住宅混在地域にある今里小学校の地上の測定地点は、砂地のグラウンドの端にあり、近くに樹木が植えられているが、あまり多くはない。塀の向こうは狭い一般道路である。早朝の気温は低いが、昼間は高くなり、屋上と同じ傾向であった。

今里小学校と桜宮高校では、屋上より地上の気温の方が高く、砂地のグラウンドの影響であると考えられる。

また、屋上では淀川が大和川より涼しい傾向があったが、地上では桜宮高校と川辺小学校のグラウンド表面の違いがあり、屋上の結果と異なってあらわれたと考えられる。南港光小学校では、夏季での最高の気温が、異なる日に記録されるなど、他の測定地点と異なる挙動が見られた。

オフィス街の屋上緑化ビルである新ダイビルの緑化地点では、昼の気温が平均して 1.7°C 低く、繁華街にある御津八幡宮では 0.8°C 低かった。一方深夜・早朝では、新ダイビルは差がなく、御津八幡宮は 0.4°C とかろうじて低くなった。繁華街の新日本三ツ寺ビルでは、屋上より1階が全般に暑く、特に夜間・早朝においては、差が $0.7\sim 0.8^{\circ}\text{C}$ だった。

この図から、地域によって、また、時間帯によって、狭域の気温変化に特徴がある、すなわち、狭域での気温の時空間特性を把握することが、重要であることがわかった。

3.3.3 オフィス街や繁華街での狭域の気温の時空間特性

人工排熱の著しい都心部のオフィス街や繁華街では、エネルギー消費の低減、地表面被覆の改善など、具体的な対策を行った場合に、どの程度まで気温を下げる事ができるのか、地上・屋上、緑化・非緑化地点における気温の差や、曜日ごとの気温変化の特徴について、さらに詳細な検討を行った。

図3-22の左側のグラフは、オフィス街の9階建て屋上緑化が施されたオフィスビル、新ダイビル（Shindaibiru Buld.）の7月下旬と8月上旬の緑化、非緑化地点の気温差を、また、同右側は、繁華街にある神社、御津八幡宮（Mitsuhachimangu Shrine）の緑地内と歩道部分の気温差を示している。オフィスビルでは、夜間は緑化、非緑化地点の気温差がほとんどないのに比べ、神社では、終日、緑地内がほぼ0.5～1.0℃低かった。地上では屋上に比べて、夜間、風が弱く冷気が拡散しにくいことが推察される³⁾。

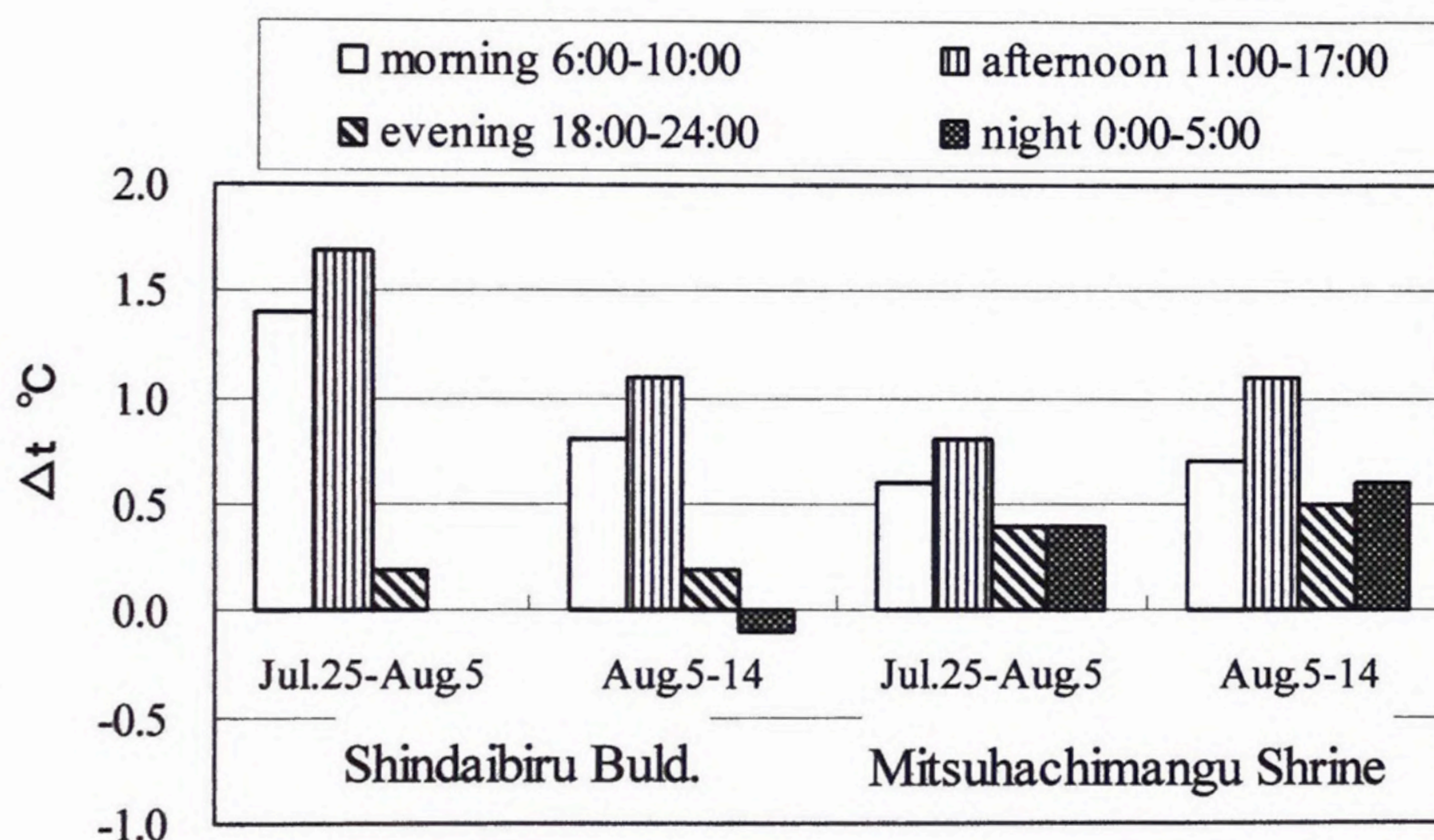


Figure 3-22 Difference of average air temperature from July 25 to August 5 and August 5 to August 14 in 1996. Values(Δt) were subtracted air temperature in "planted area" from one of "not planted area" at each place.

これらから推定されることは、オフィスビルでは、日射により熱せられたレンガ色のタイルが、非緑化地点の日中の気温を上昇させ、日射の影響がなくなる深夜・未明に

なると、緑化地点と変わらない気温となったと考えられる。

一方、周囲に密集している建物の影響で、風が弱くなる地上の神社では、深夜・未明になっても、冷却された空気が流れ出しにくいと考えられる。

次に、曜日毎の時間変化を見るため、これらの地点の非緑化—緑化、屋上—地上の差を、1996年で最も暑かった7月25日～8月5日の期間を曜日毎に集計し、比較した。

まず、繁華街の神社では、日曜の早朝は他の曜日に比べて差が大きく、昼は差が小さかった(図 3-23、太線)。また同じく繁華街の雑居ビルでは、日曜が他の曜日と異なる変化を示した(図 3-24)。

一方、オフィス街の屋上緑化ビルでは、日曜の昼は気温差が大きかった(図 3-25)。

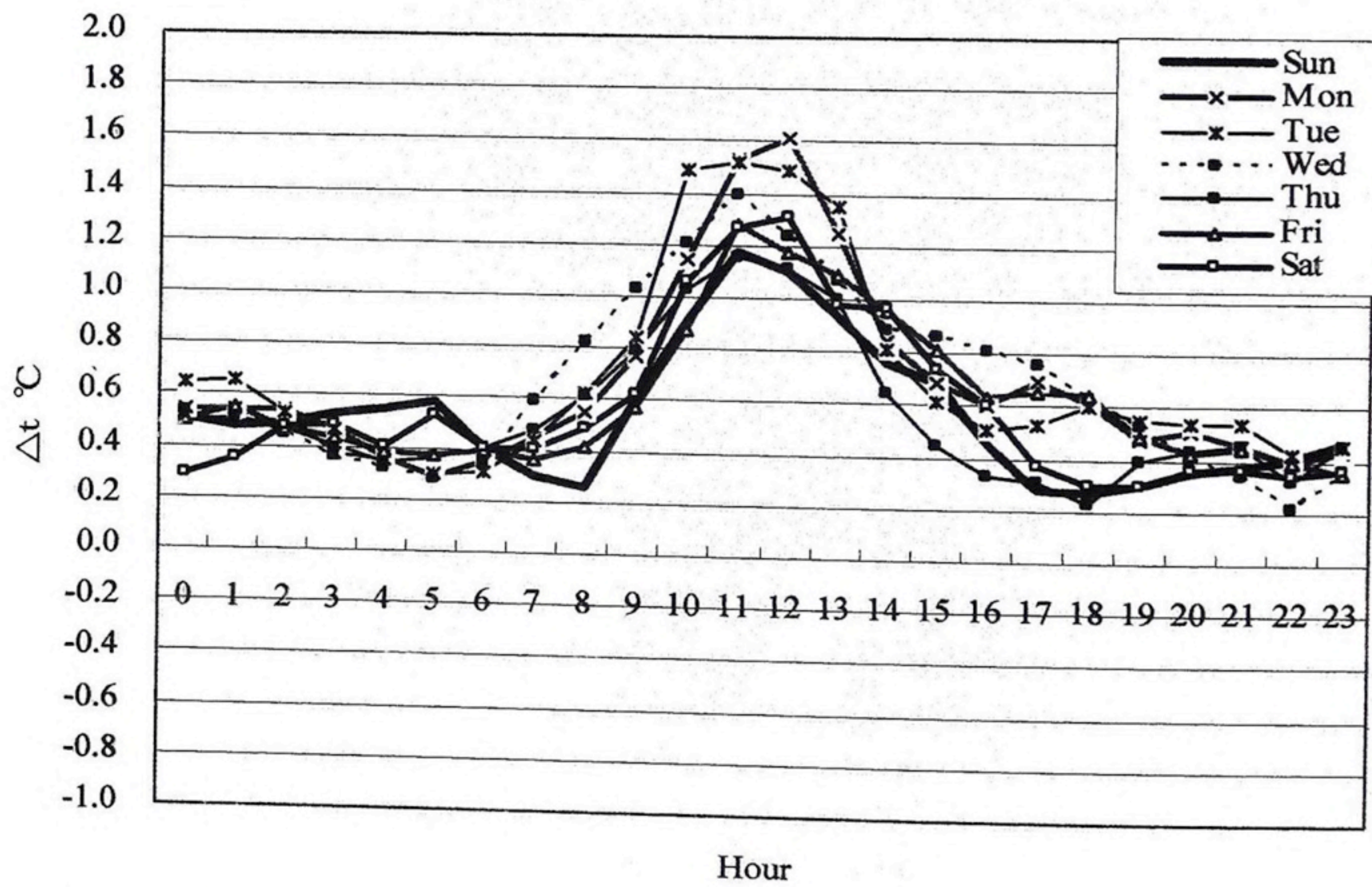


Figure 3-23 Changes of air temperature of every day of the week from July 25 to August 15 in 1996.

Values(Δt) were subtracted air temperature in "planted area" from one of "not planted area" at Mitsuhachimangu Shrine in the amusement quarter.

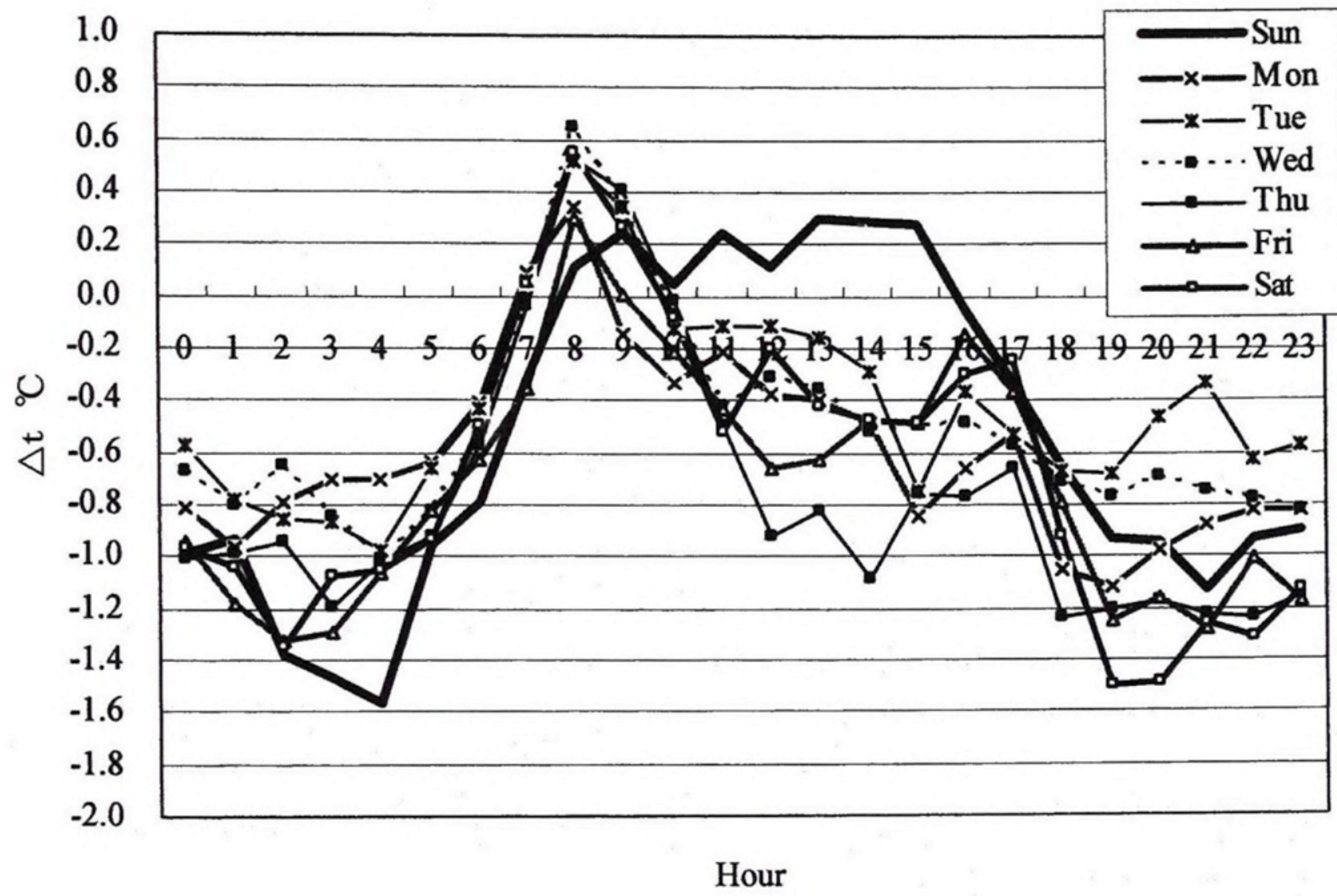


Figure 3-24 Changes of air temperature of every day of the week from July 25 to August 15 in 1996. Values(Δt) were subtracted air temperature on the ground from one on the roof at Shinnippon Mitsutera Building in the amusement quarter.

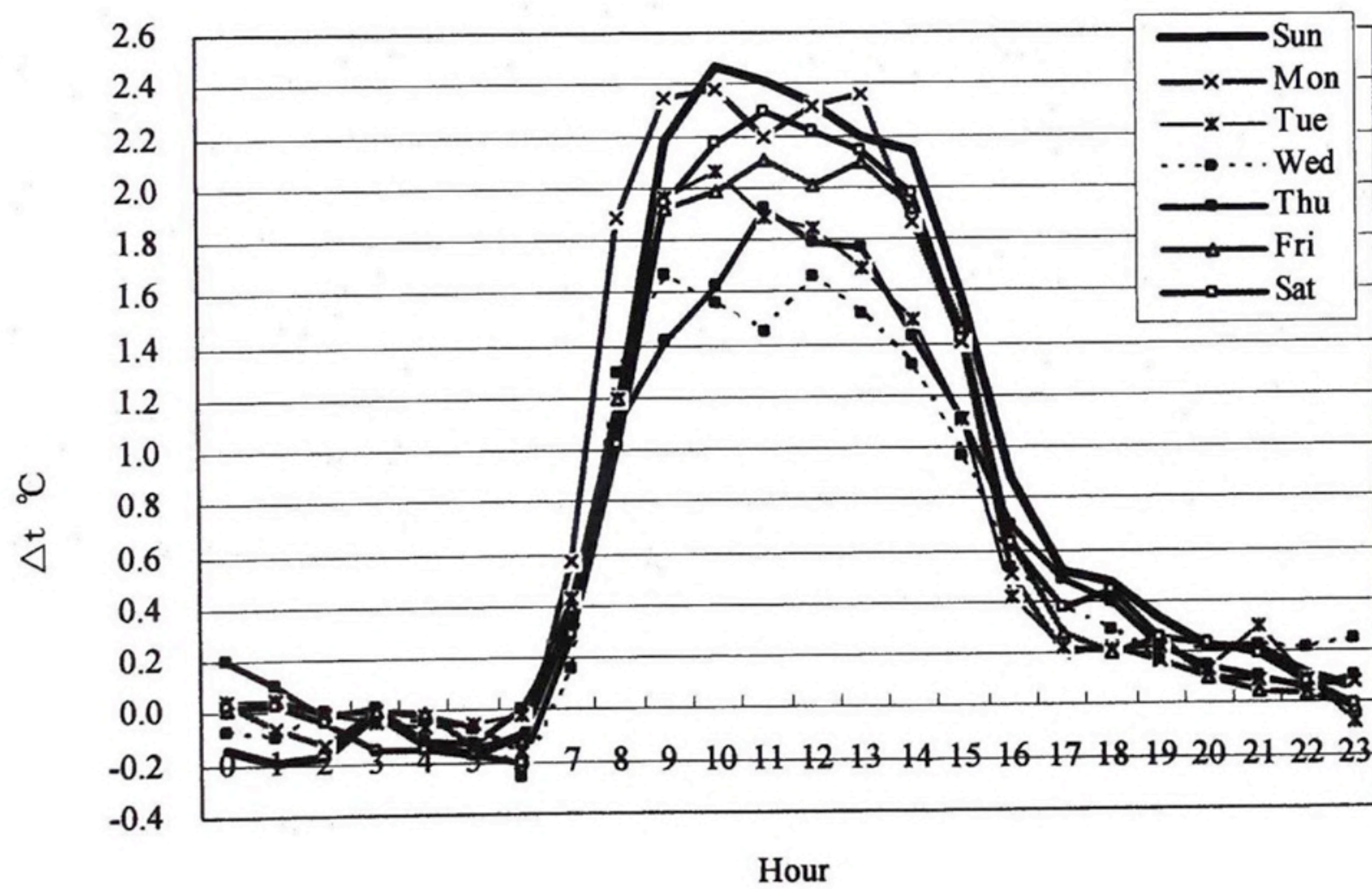


Figure 3-25 Changes of air temperature of every day of the week from July 25 to August 15 in 1996. Values(Δt) were subtracted air temperature in "planted area" from one of "not planted area" at Shindaibiru Bulding in the business district.

これらの結果から、オフィス街や繁華街での狭域の気温変化は、時間帯のみならず、曜日によっても、特徴がみられ、人々の活動、すなわちエネルギー消費の特性が、気温に影響を及ぼしていることが明らかになった。

また、この繁華街の近くを、東から西に流れる道頓堀川の、最も繁華街に近い戎橋と、その西約 600m 下流の住吉橋において、1997 年 7 月 25 日～8 月 20 日の期間、同様の気温測定を行い、気温を比較した(表 3-9)。ただし、晴天で気温が高い日の特徴をとらえるため、雨天日を除く 18 日間のデータを集計した。百葉箱は、いずれも護岸内の側道、係留地に設置した。

その結果、戎橋の気温は、いずれの時間帯でも、住吉橋より高く、特に、繁華街でのエネルギー消費が高くなると推定される夜間において、0.3℃高かった。

この場所における風向は、朝以外はほぼ西南西であり、下流の中低層商業ビル街から上流の繁華街へ流れている。

したがって、繁華街の中を流れる河川がいわゆる「風の道」となり、繁華街で熱せられた空気を運び、拡散する機能が期待できる。

Table 3-9 Difference of air temperature in the Dohtonbori River of 18 days excluded rainy days from July 25 to August 20 in 1997

time zone	most frequent wind direction	up (East) Ebisu Bridge at amusement quarter average of air temp. °C	down (west) Sumiyoshi Bridge* at commercial and business town average of air temp. °C	difference** of air temp. °C
6:00-10:00	ESE	28.8	28.6	0.1
11:00-17:00	WSW	32.3	32.2	0.1
18:00-24:00	WSW	29.1	28.8	0.3
0:00-5:00	WSW	27.5	27.3	0.2
All day	WSW	29.6	29.4	0.2

*Sumiyoshi Bridge is 600m down Dohtonbori River to the west from Ebisu Bridge.

** difference of air temperature : Ebisu Bridge, - Sumiyoshi Bridge

これらの結果から、都心部の緑地や水面の気温の低減効果を評価する場合、その地点における建物の密集状況や風速が重要な要素となる。

これらの特性を活かして、日中の気温低減策が必要な場所、夜間の対策が必要な場所、平日の対策が必用な場所、風を活かした対策が有効な場所など、時空間特性を考慮した対策メニューが重要であることがわかる。

3.3.4 住宅地内の小規模緑地とその周辺の気温分布

大阪市住吉区の低層住宅地にある小規模な水辺と緑地として、万代池公園と帝塚山古墳を選び、夏季の晴天日に24時間の気温測定を行った。測定点は、およそ10m 間隔で緑地内部 10 地点とその周辺 10 地点に設け(図 3-26)、アスマン式乾湿度計にて、2時間おきに測定した。

合計 20 地点における気温を地図上にプロットし、コンターマップを作成した。コンター作成には Fortner Research 社製 Transform Extras を使用し、近隣法による補間を行って表示した。

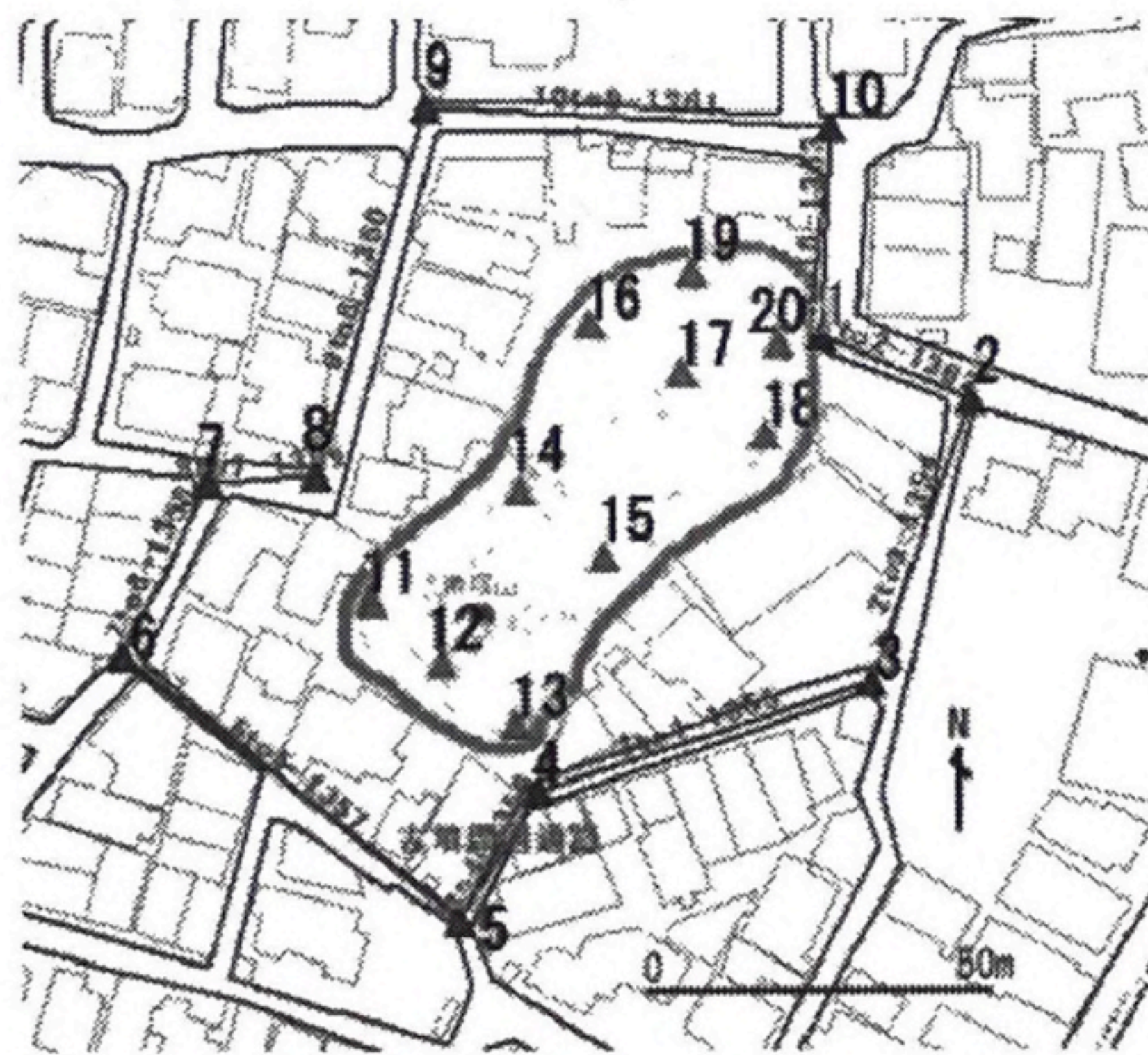


Figure 3-26 Points for the measurement of the air temperature at the Tezukayama Old Tomb around 10points : inside 10 points

1993 年 8 月 12~13 日の測定⁴⁾では、14 時には、帝塚山古墳内外の気温差は、5

～6℃に達した(図 3-27)。また、古墳に近接する住宅の外側の道路付近まで低温域が及んだ。この日は、2時間おきに24時間測定を継続したが、日没後も風による低温域の位置のずれをともないつつも、数度の温度差が保たれていた。

また、地球館パートナーシップクラブと共同で実施した2005年8月7日の調査⁵⁾では、日中のみの測定であったが、14時に最大で2.0℃となり、各地点間の差の最大は3.7℃となった(表 3-10)。

Table 3-10 Average of air temperature and relative humidity at the Tezukayama Old Tomb around 10 points : inside 10 points

hour	11		12		13		14		15	
Measurement Point	Air Temp. °C	R.H. %	Air Temp. °C	R.H. %	Air Temp. °C	R.H. %	Air Temp. °C	R.H. %	Air Temp. °C	R.H. %
Osaka Weather Station of Japan Meteorological Agency	31.9	55.0	32.6	52.0	32.8	51.0	33.0	46.0	33.3	42.0
Around 10 points	32.0	55.5	32.6	53.4	33.4	54.2	33.6	45.6	33.1	46.3
Inside 10 points	30.7	62.8	30.9	60.4	31.7	53.4	31.6	48.1	31.3	50.5
Difference	1.3	-7.3	1.7	-7.0	1.7	0.8	2.0	-2.5	1.8	-4.2

同じく、住吉区にある万代池公園は、池の周囲に緑地帯があり、池の中央の島を結ぶ橋がかかっており、噴水も設置されている。ここでも、同様にアスマン式乾湿度計にて、2時間おきに気温を測定した。島の高さは低く、周囲にも高層建築物がないため、池の上は、風通しがよい。

1992年8月14～15日の測定では、14時には、万代池内外の気温差は、約3℃であった(図 3-28)。帝塚山古墳ほどの顕著な結果は得られなかったが、水辺の緑地が、ヒートアイランド緩和機能を有していることがわかった。

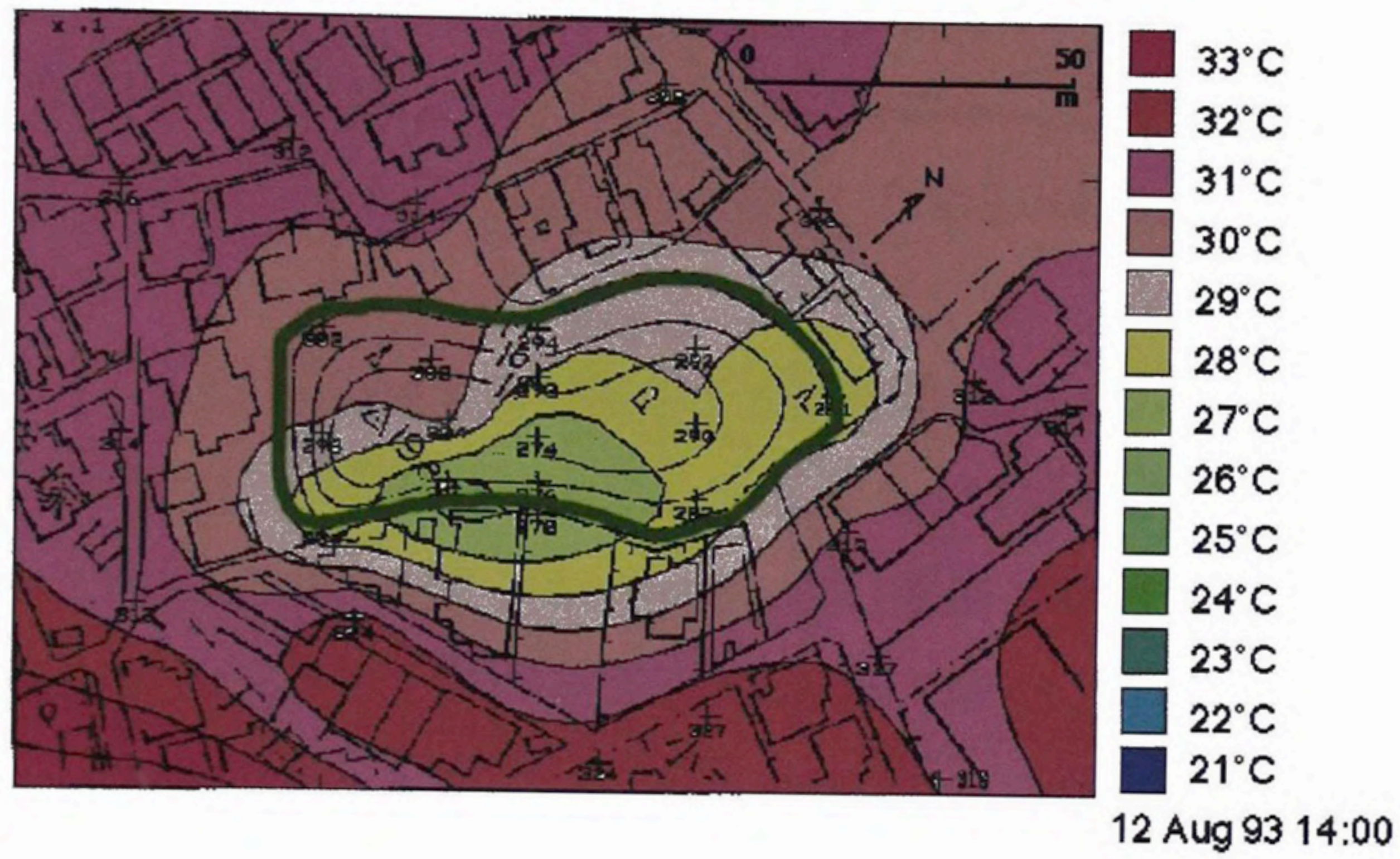


Figure 3-27 Distribution of temperature in the Tezukayama Old Tomb on August 12 at 14:00 in 1993

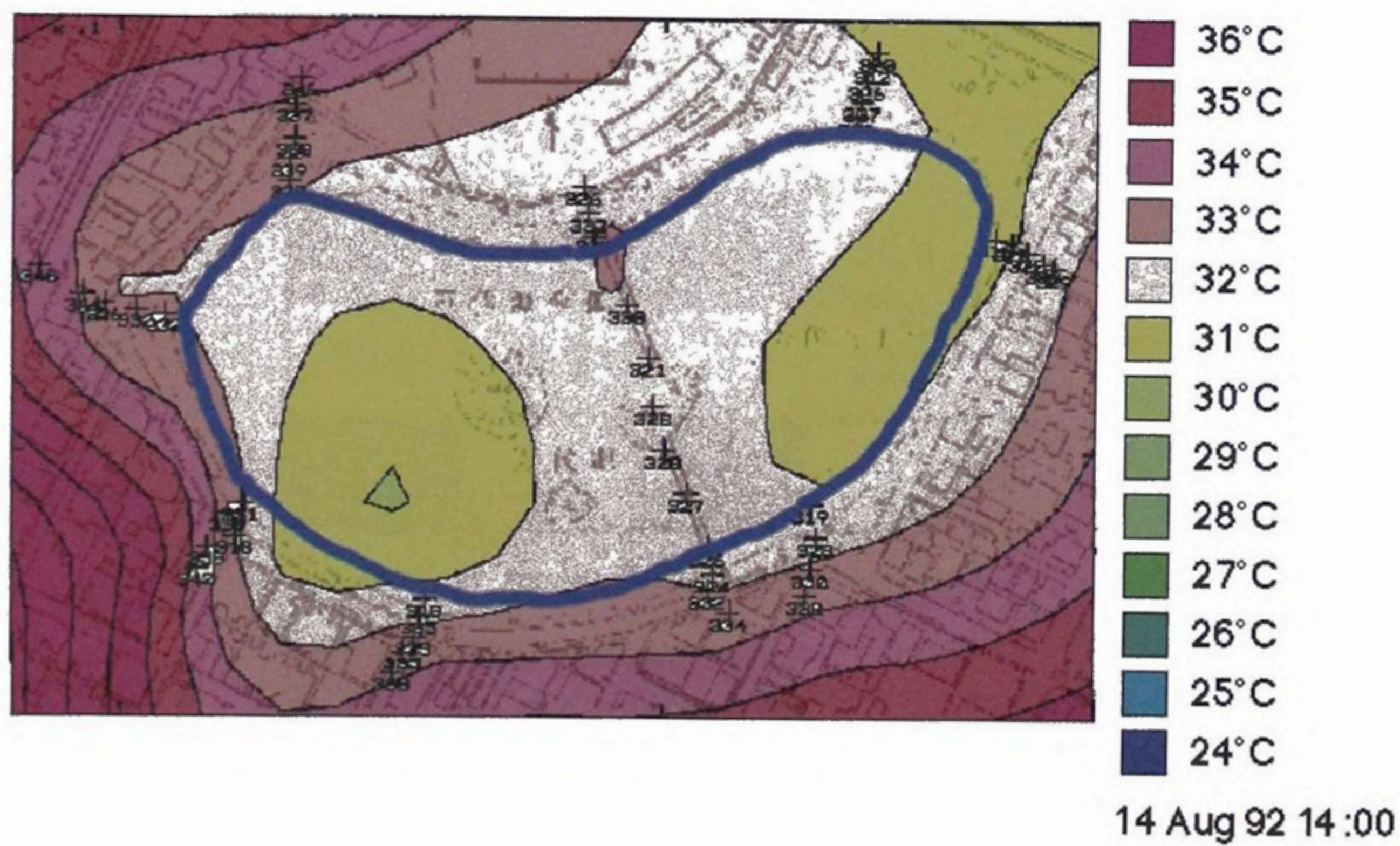


Figure 3-28 Distribution of temperature around the Mandai Pond on August 14 at 14:00 in 1992

大阪市内には、大規模公園として、大阪城公園、長居公園、鶴見緑地があるが、市域を気温緩和するためには、数、面積ともに不十分であると考えられる。帝塚山古墳と同程度の面積の公園は、各区内に点在するが、グラウンドとして利用されていることが

多く、気温低減効果が期待できるような高木が茂る小規模緑地は、やはり不十分であるといえよう。上町台地の斜面緑地など、古くから存在する樹木の多い小規模緑地は、大阪市内に残存するところは減少しつつあり、ヒートアイランドを緩和する有効な資源として、その保全に努めるなど、活用する価値があると思われる。

3.3.5 オフィスビルの公開空地とその周辺の気温分布

高層のオフィスビルには、公開空地が設けられている。これも新たな都市の小規模緑地として、気象緩和に機能しているかどうかを調べるため、人工の緑地が配置されている新梅田シティ(大阪市北区)の「中自然の森」、「花野」と周辺道路において、この調査を行った。

測定は2004年8月8日に、地球館パートナーシップクラブと共同で実施した。測定点は、およそ10m間隔で緑地部分10地点と周辺の歩道部分10地点に設け(図3-29)、アスマン式乾湿度計にて、2時間おきに測定した。

正午における気温分布では、観測点中で最高の気温を示したのは、東南角の歩道で32.8℃、また、同時刻、最低の気温を示したのは「中自然の森」内で、30.0℃であった。(図3-30)

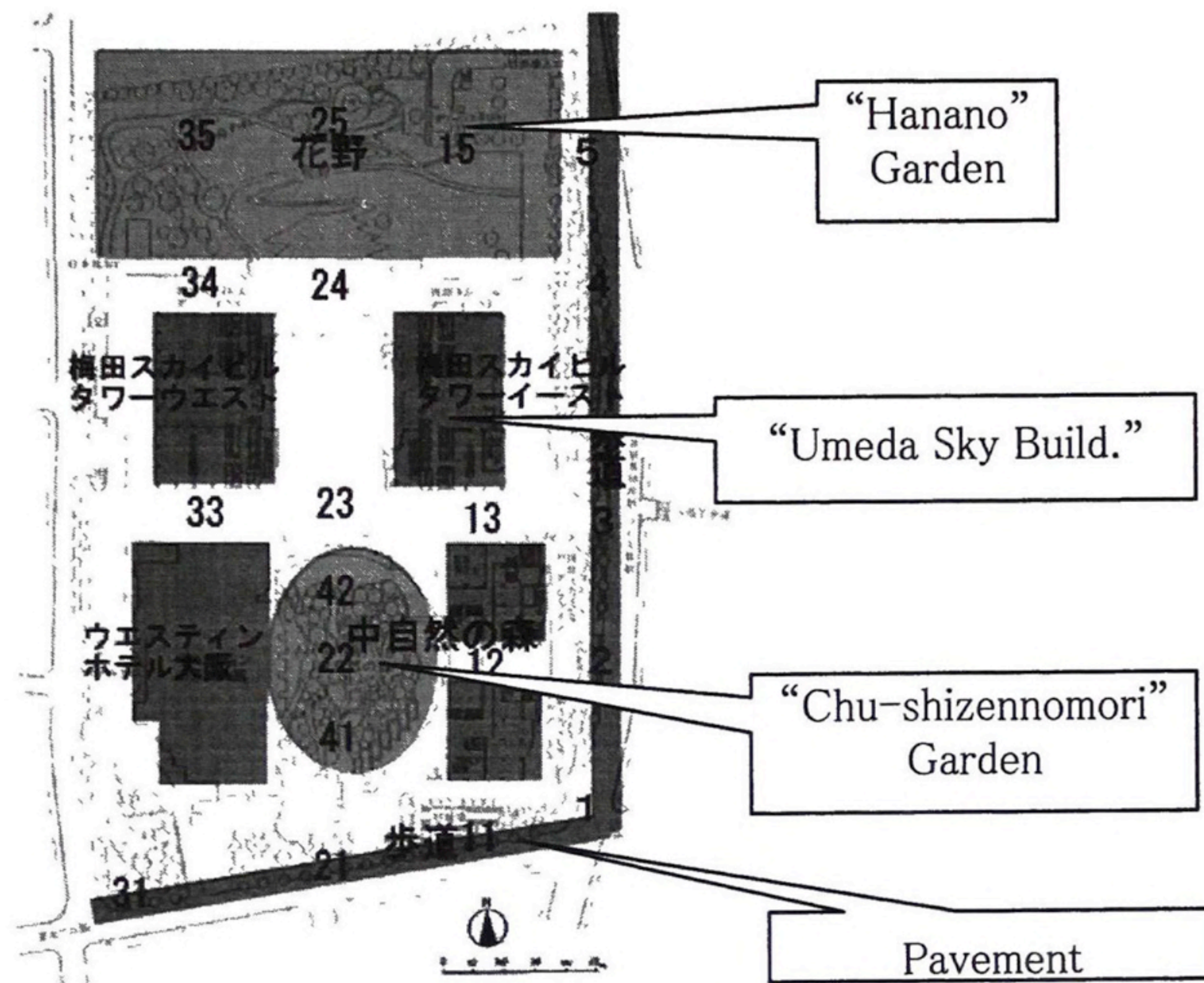


Figure 3-29 Points for the measurement of the air temperature at the Shin-umeda City
Number means the measurement point.

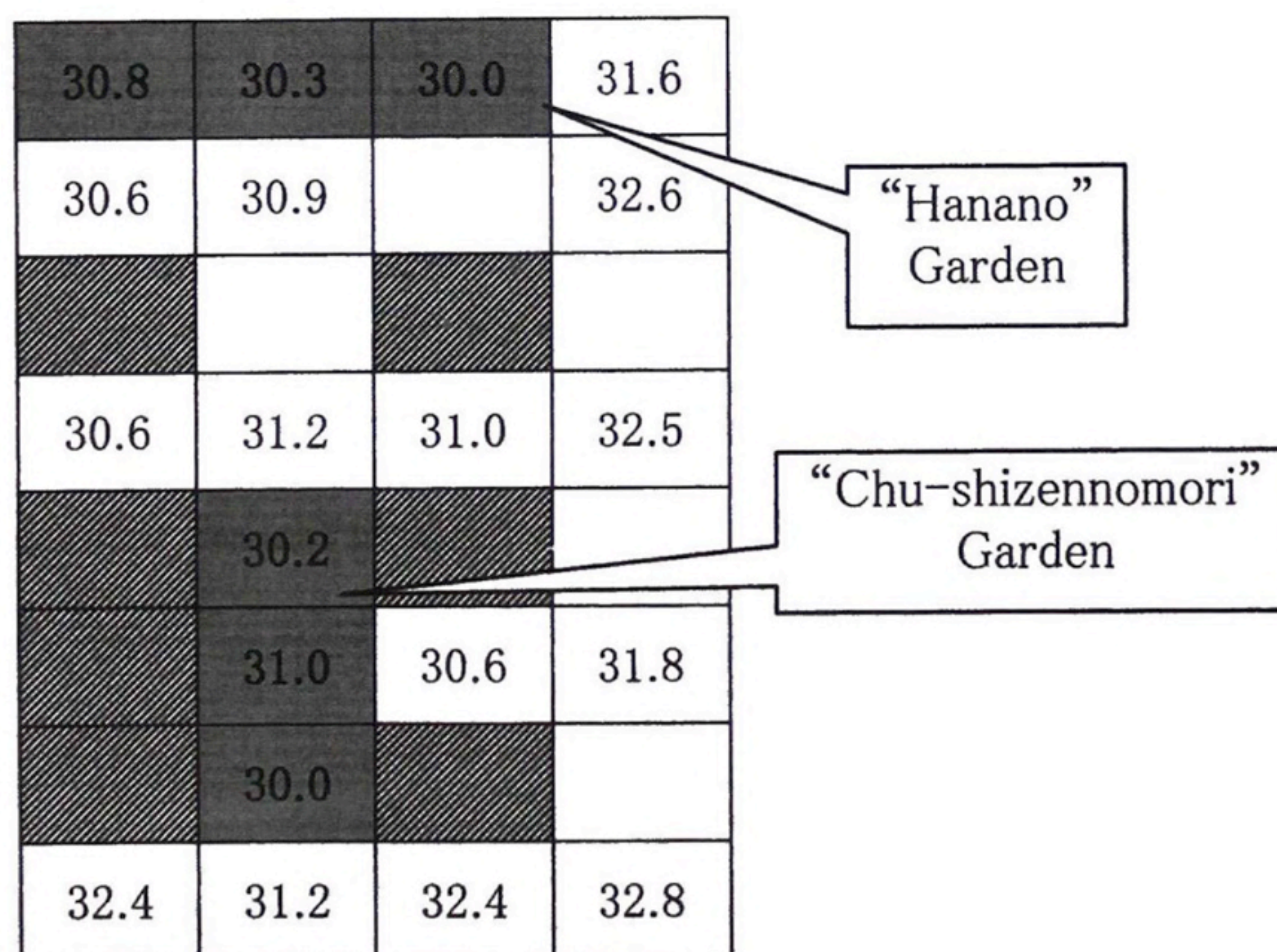


Figure 3-30 Distribution of air temperature (°C) in the Shin-Umeda City on August 8 at 12:00 in 2004
Gray cells with value mean the garden.

Table 3-11 Average of air temperature at the Shin-Umeda City and Difference temperature of Garden from Pavement.

Hour	10	11	12	13	14	15	16
In the garden °C	28.8	29.4	30.4	29.5	28.7	29.4	28.9
Pavement °C	30.0	31.2	32.2	31.0	29.9	30.6	30.2
Other °C	28.4	29.5	30.8	29.9	28.6	29.6	29.2
Difference °C	1.3	1.8	1.8	1.5	1.2	1.2	1.3

緑地部分 10 地点の平均と歩道部分 10 地点の平均の気温差は、正午には 1.8°C となった(表 3-11)。

この緑地の特長は、北摂山地の樹木を中心に高木が茂る「中自然の森」に、せせらぎと噴水があり、スカイビルから吹き降ろすビル風も吹く。また「花野」にもせせらぎがあるが、特に広いオープンスペースは、近くの淀川から強い西風が吹く。

正午には、人や車の通行量の多い東南角の歩道地点が最も暑く、「中自然の森」内の南地点との気温差は 2.8°C、同じく「花野」内の東地点との差も 2.8°C となり、最大の気温差となった。

3.4 結言

ヒートアイランド対策を講じる際には、最も暑い時期に、その場所が広域的には、どのような時空間特性のある地域であるか、また、狭域でどのような対策が有効かを、検討する必要がある。

- (1) 都道府県のスケールから見れば、大阪市域全体が暑い地域であると位置づけられがちであるが、市域内を地理的に、西部、中央部、東部に区分することで、広域的な時空間特性が把握できた。日最高気温値を比較する上で、大阪市域での日中の気温は、「熱の島」と呼ぶよりも、港を底にした「すり鉢」のような分布形態をとっているといえる。これは、大阪湾に特徴的な強い西風の影響によると示唆される。一方、熱帯夜に影響を与える、風の弱まる時間帯である夜、特に早朝においては、中央部が最も高温で、「熱の島」の存在を示唆しているといえる。定量的には、海に近いかどうかの地理的条件、風向・風速の要素によって、0.2~0.8°Cの

気温差が生じることがわかった。

- (2) 土地の用途の特徴を抽出すると、オフィス街は日中に、繁華街は終日、気温が高くなり、周辺の住宅地と比較すると3℃の気温差が生じている。
- (3) 既存の小規模緑地では、狭域の気温低減に大きな効果が見られ、高木の茂る古墳では、2～5℃の気温差が、また、水や風の道を考慮した高層オフィスビルの人工緑地では、平均して1.2～1.8℃の気温差が生じている。
- (4) 狭域における個別の対策を実施する際には、広域の時空間特性と、風や水辺など、地理的条件を活かした効果的な活用が重要であり、さらに緑化による気温低減を期待するには、樹種や密度を考慮し、灌水の量や頻度などの工夫、緑陰の創出が、対策の効果に影響していることが示唆された。

参考文献

- 1) 大阪市：大阪市ヒートアイランド対策推進計画（2005）
- 2) 気象庁：気象統計情報（電子閲覧室）（2006）
- 3) 榎元慶子，西村伸也，野邑奉弘：都市のヒートアイランド現象の発生要因の解析
実測に基づく典型的な都市地域の特性の影響，日本ヒートアイランド学会，第1回
全国大会講演要旨集，68-69(2006)
- 4) 榎元慶子，増田淳二，夏原由博，今井長兵衛：都市緑地機能の研究 2. ヒートア
イランド現象緩和機能の実態調査，大阪市立環境科学研究所報告 調査・研究年
報，57，73-83(1995)
- 5) 地球館パートナーシップクラブ，中谷 憲一，榎元 慶子：都市の小規模緑地とその
周辺の気温測定 新梅田シティと帝塚山古墳，日本ヒートアイランド学会，第1回全
国大会講演要旨集，74(2006)

第4章 対策の個別評価

4.1 緒言

前章において、狭域における対策として、風や水辺と組み合わせるなど、地域別の時空間特性を考慮すれば、緑の創出は、効果的な対策のひとつとなりうることがわかった。しかし、都市において、新たな広域緑地を求めることは困難であり、都心部のオフィス街や繁華街には、小規模な緑地も少なく、新たな緑地の確保の方法として、ビルの屋上や壁面の緑化が注目されている。

ビルの屋上に、水辺や緑地を設置する場合に、ヒートアイランド現象の緩和効果は、建物に直接効果を与えるものと、周囲の空気を冷却することによって広がる効果がある。

そこで、この章では、実際に対策として設置されている屋上緑化施設などにおいて、夏季の気温や地表面温度が、どの程度低減することができるのかを評価する。

4.2 屋上緑化オフィスビルにおける夏季の気温分布

4.2.1 新ダイビルにおける夏季の気温分布

大阪市北区堂島のオフィス街にある中層のオフィスビルにある新ダイビルには、南側に堂島川があり、その上を高速道路が通っている。西側に高層ビルがあり、屋上の風通しはよい。屋上面積の約6割に緑化が施されており、「屋上樹苑」と呼ばれている。厚さ70cmの土壌に、ケヤキ、ツバキなど中高木を配した緑地である(写真4-1,2)。

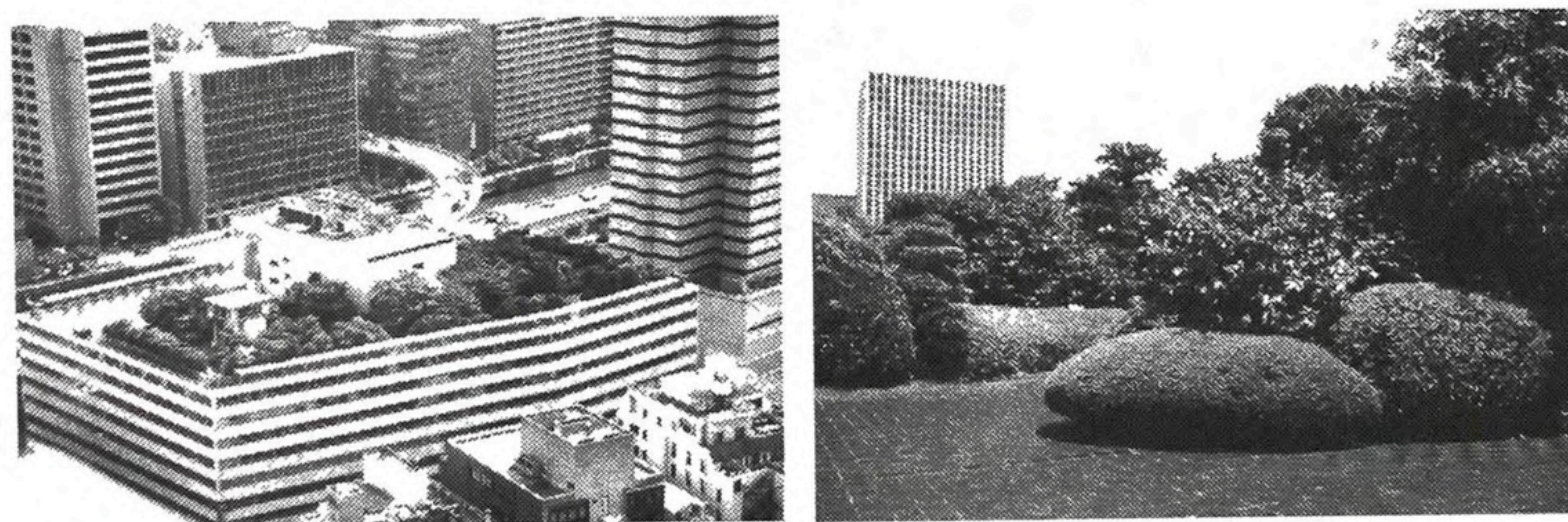


Photo 4-1, 4-2 Shindaibiru building (left)
and the Roof garden (right)

この屋上樹苑の気温の緩和効果¹⁾を調べるため、夏季の晴天日の日中、気温測

定を行った。測定点は、中央の構造物部分を除く、約10m間隔のメッシュの格子点で、アスマン式乾湿度計にて、2時間おきに測定した。

図4-1は、最高気温を示した14時の気温分布である。コンター作成にはFortner Research社製 Transform Extrasを使用した。

このときの緑化地点(図上部)と非緑化地点(図下部)の気温差は、3~4℃あり、朝夕でも1~2℃、緑化地点の気温が低かった。この気温差は、地上の小規模緑地におけるヒートアイランド緩和効果に近い値である。

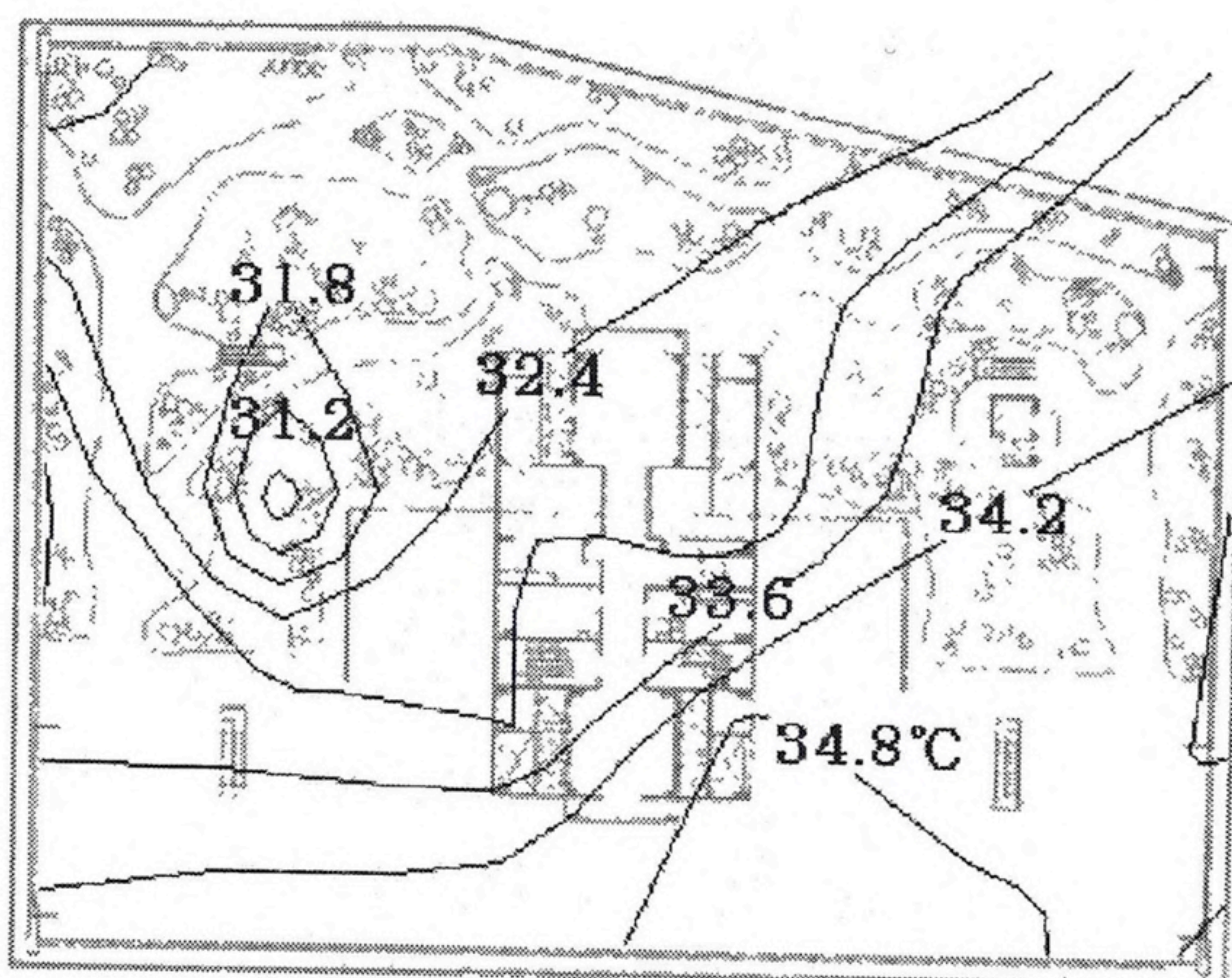


Figure 4-1 Distribution of temperature(°C) on the roof with the Roof garden in business district on August 5 in 1996 at 14:00

この「屋上樹苑」は、ビルの建設時点から、厚さ70cmの土壌と高木を配置する設計が施されており、昨今の既存の建物に新たに創設するヒートアイランド対策用の屋上緑化施設とは、趣を異にする。この地上の小規模緑地に匹敵するヒートアイランド緩和効果の高さは、土壌や灌水、緑陰の質によるものと推定できる。

4.2.2 大阪市役所本庁舎屋上緑化施設における夏季の気温分布

大阪市は、屋上緑化等助成事業の設置などの取り組みをすすめてきたが、より一層の推進のため、公共施設のシンボリックな建築物である市役所本庁舎(既設)の屋

上を緑化整備し、平成 16 年 6 月に一般公開した。

植樹前の平成 15 年夏季と、植樹後の平成 16,17 年夏季において、屋上の気温、地中の熱流を測定し、ヒートアイランド現象緩和効果の実態調査²⁾を行った。



Photo 4-3(left) North block with wild flowers and nuts trees

Photo 4-4(right) South block with loan and flowers

June 9 in 2004

1) 調査方法

屋上に整備されたのは、南北に約 770m²の植樹帯で、北ブロック(写真 4-3)には、実のなる木や野草類を中心に鳥や昆虫が好む植物を配し、自然環境を創出し、南ブロック(写真 4-4)には、修景面に配慮して花木や地被類を配している。

タイル面の上に、断熱シート、樹木を固定するネットなどを敷き、厚さ 30cm 程度の軽量土壌を積み(写真 4-5)、灌水は写真 4-6 のようなパイプを、土壌中、あるいは表面付近に配置している。

この施設の各ブロック2地点計4地点(北東、北西、南東、南西)に温湿度センサー(TANDD サーモレコーダー おんどとり TR-72S)を、北東角に地中熱流板(クリマテック CPR-PHF-01)とサーミスタ温度計を、北西角に風向・風速計(小笠原計器製作所 C-W800)を設置し、測定を行った。

温湿度センサーは、簡易百葉箱に収納し、三脚で花壇内に設置した(写真 4-7)。

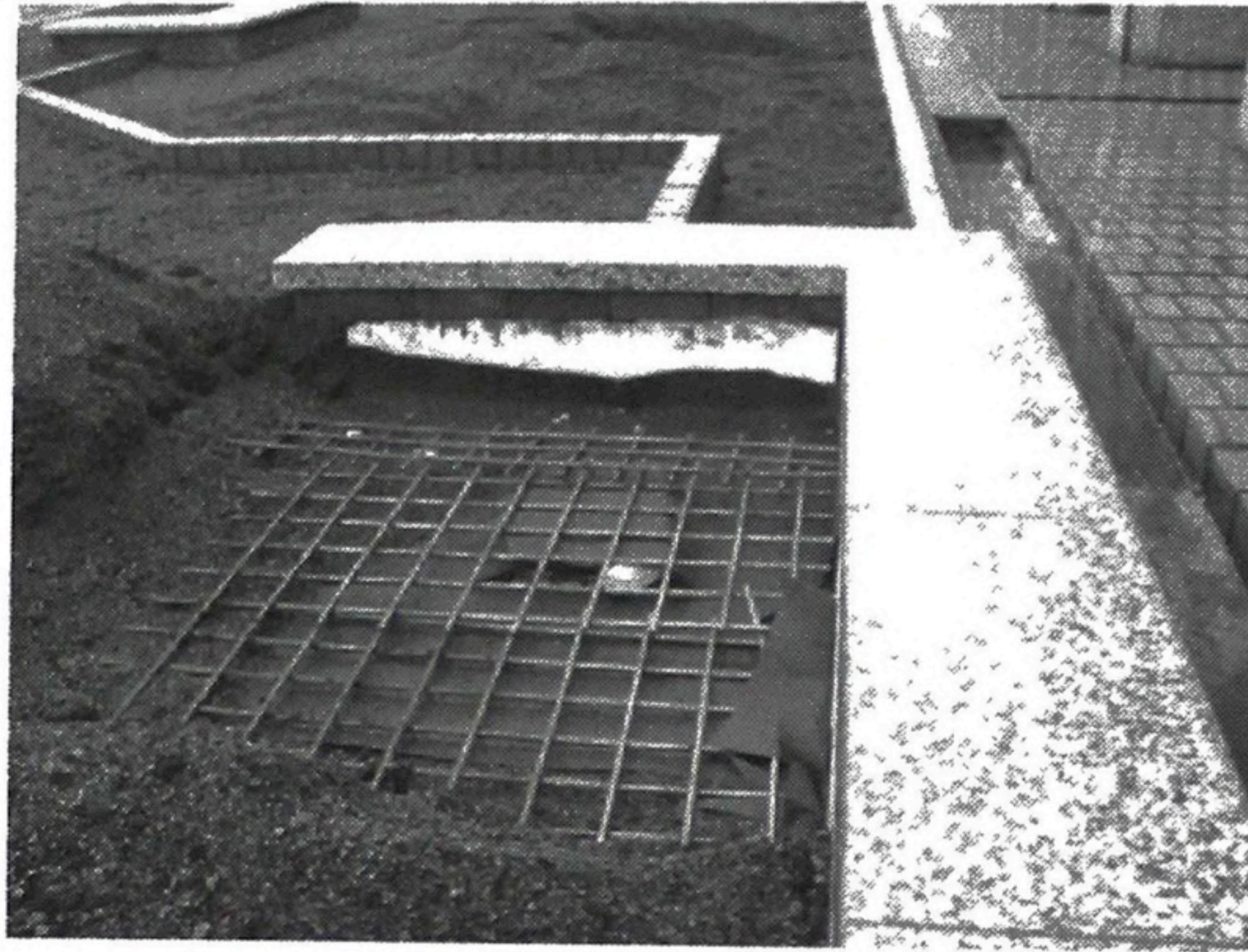


Photo 4-5 Construction of soil before plantation
August in 2003



Photo 4-6 Pipe line for watering
June in 2004

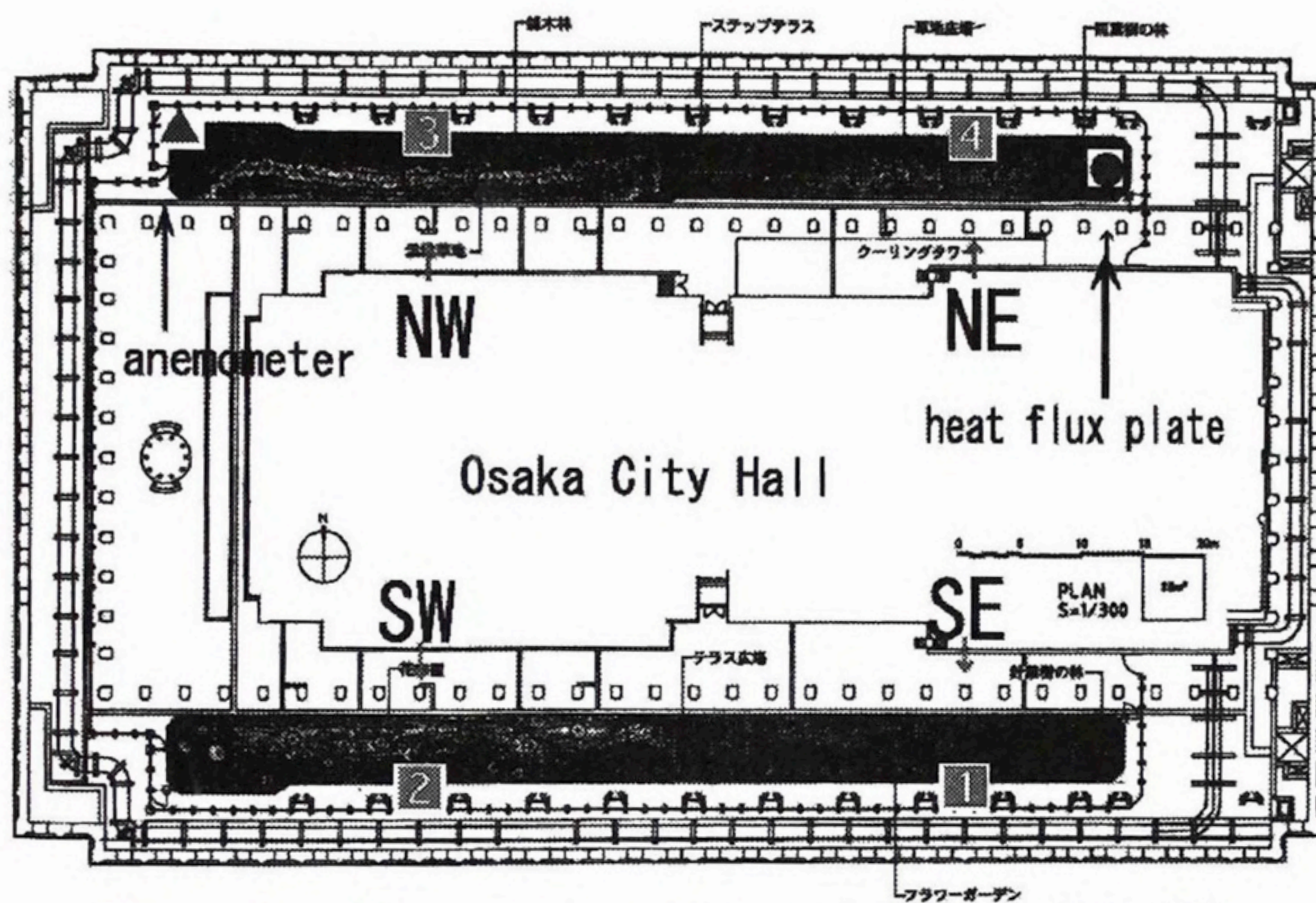


Figure 4-2 Place of thermometers (NW, NE, SW, SE) ,
 heat flux plate and anemometer
 Shadow parts mean the greenery blocks.



Photo 4-7 Instrument shelter at SE point

2) 気温測定結果

例年では太平洋高気圧が安定する8月初旬を選び、データの比較を行っているが、平成16年は、8月4日に台風11号の影響で強い降雨があったため、その後に晴天となった7日～11日の5日間について、気温、地中温度等、測定データを抽出し各種の比較検討を行った。

まず、南北両ブロックの東西(南東、南西、北東、北西の4地点、図4-2)に設置した簡易百葉箱内の温湿度センサーによる気温変化を比較した。

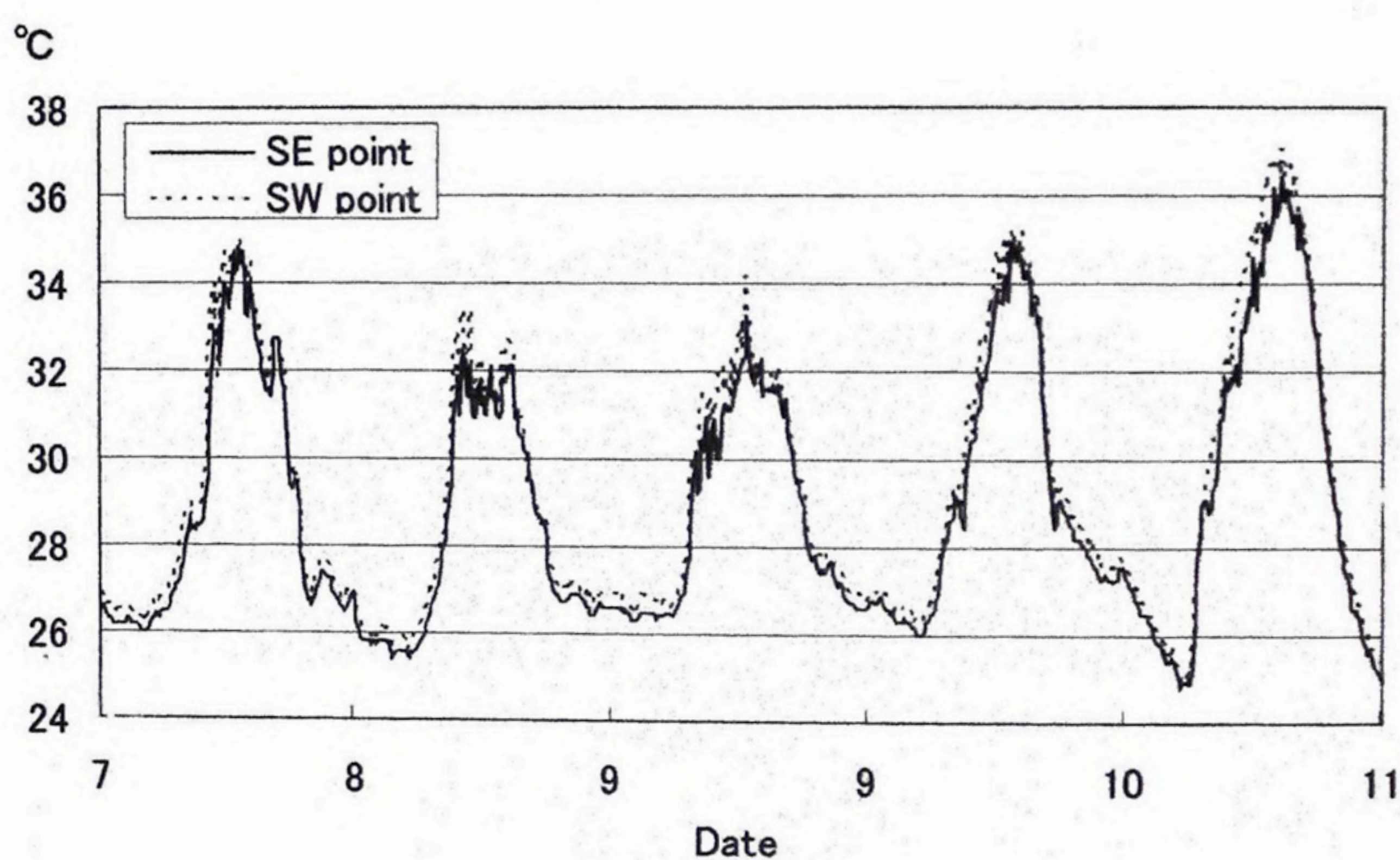


Figure 4-3 Comparison of variations of air temperature between east and west in the south block of roof garden August 7-11, in 2004

堂島川、土佐堀川にはさまれた中之島では、夏季の日中は、南西風が強く、南ブロックの西側では周囲に遮られることなく直接風を受けるが、東側では緑地を通った風のほか、屋上の中央部に位置する建屋壁面に当たった風が、周囲に回り込むこともある。南ブロックの東西を比べると、日中では、南東に比べて南西が0.2～1°C、高温になる傾向がみられた(図4-3)。逆に北ブロックでは、0.2～1°C気温が低かった。植樹前の2003年夏季は、これほど顕著な差は現れなかった。また、この期間の最多風向は南西風であったが、深夜・早朝に現れる東北東の風の出現頻度とあわせて検討すると、必ずしも風向と気温差に強い相関があるとはいえなかった(図4-4)。

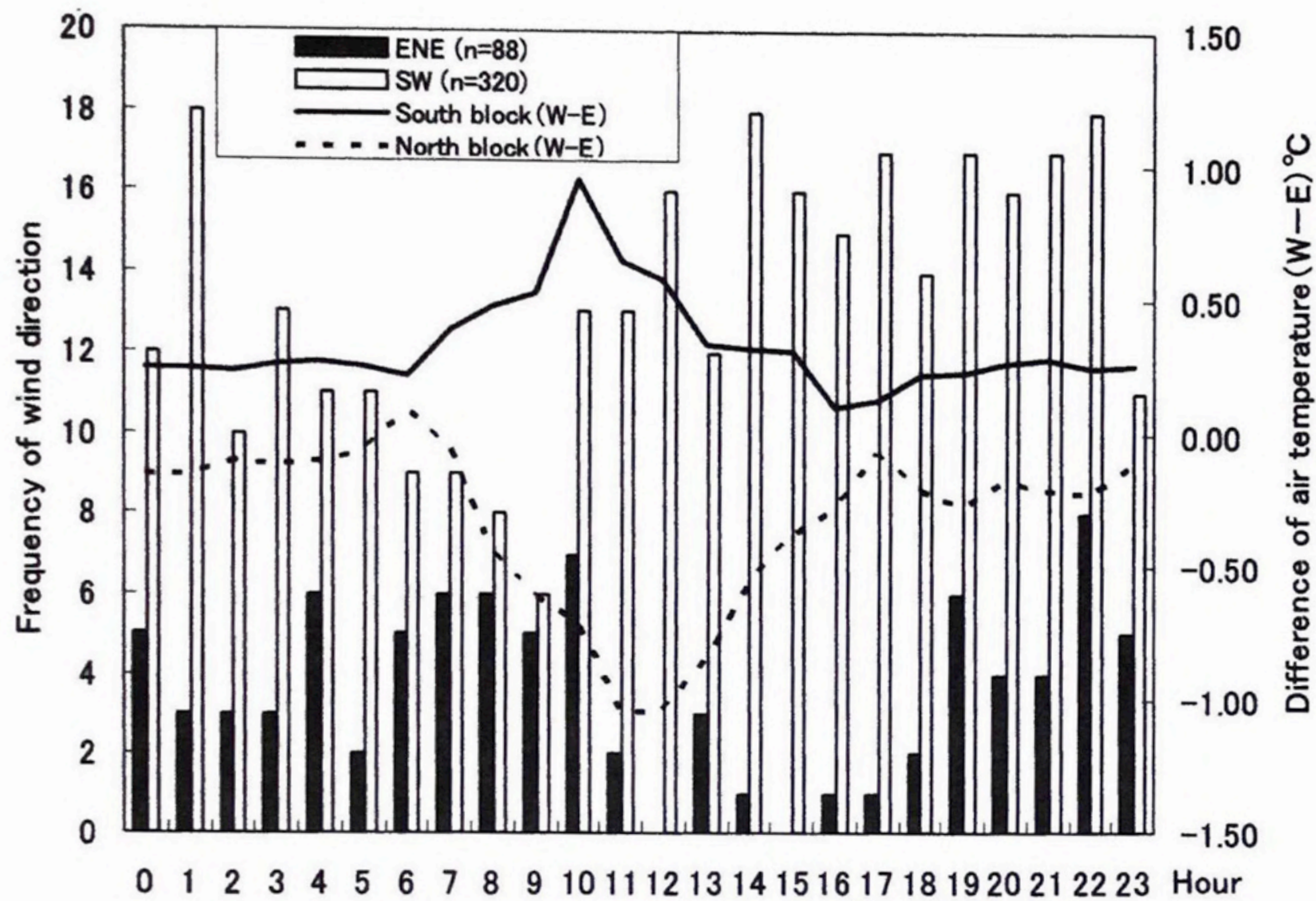


Figure 4-4 Temperature difference of west point from east point, and frequency of wind direction SW and ENE August 7-11, in 2004

3) 地表面温度測定

建物内部への熱流を、タイル部分と植栽部分で比較するため、土壌の底面にあたる深さ約 30cm の地中に、熱流板とサーミスタ温度計を埋め込み、タイル表面と比較した。

日中は屋上タイル面から建物方向に、最大で約 400W/m^2 が入り、夜間は逆に約 50W/m^2 が放出されていた。一方、植栽土壌底面への熱流は、ほとんど変動がなく、常に下向きに $0.5\sim 0.9\text{W/m}^2$ となった(図 4-5)。また、タイル上の表面温度は、日中は最大で約 $45\sim 50^\circ\text{C}$ になる一方で、土壌中の地中温度は、この期間中 $29.7\sim 29.9^\circ\text{C}$ と、ほぼ一定の値を示した。

日中最大で約 15℃と高く、土壌中は逆に 5℃気温より低かった。夜間は、タイル表面が気温より低くなることはなく、土壌中は約 2~3℃気温より高くなった(図 4-6)。

屋上緑化は、周囲を冷却する効果と、建物への熱の移流を抑制する効果の両面が期待されるが、周囲への冷却効果については、一定の傾向がみられたが、空調設備や通風口からの排熱も、屋上緑化の効果を評価する上で、詳細な検討が必要であることがわかった。建物への熱流は、タイル面と土壌被覆部分では、顕著な差がみられた。

4. 2. 3 建物と蒸発散モジュールを用いた物理モデルによる風洞実験

屋上緑化のヒートアイランド現象の緩和効果としては、日射による最上階の天井部分の高温化を防ぐための緑陰や、屋上の土壌を断熱材として期待できることが、これまでの実態調査で明らかになったが、一方で、外断熱が施工されている建物では、屋上緑化は不要なのだろうか。

単に、表面温度を下げて、建物への負荷を低減させるだけでなく、植物の蒸発散作用によって、周囲の気温を低減する効果もある。その効果が、単に屋上にいる人だけが感じるのではなく、ビルの上部から、どのように拡散するのかを、建物と蒸発散モジュールを用いた物理モデルによる風洞実験によって推定を行った。

ハンブルク大学気象研究所には、大型風洞の WOTAN を始め、各種風洞を備えた実験施設がある。ライトル博士(Dr. Bernd Leitl, The Physical Modeling Group, Technical Meteorology Division, Meteorological Institute of Hamburg University)を中心とした研究グループでは、これらの風洞で、自動車の排気ガスや煙突からの粉塵など大気中の大気汚染物質の拡散や、建築物による風環境の予測を、物理モデルを用いた実験を行い、研究成果を挙げている。

そこで、都心部の特徴的なビルに対策を施す場合に、風の影響や樹木の状態について、一定の条件をつくって物理モデル実験を行い、質的な評価の必要性を論じる。

1) 物理モデルによる風洞実験の特徴

物理モデル実験は、風洞の中に大気境界層、すなわち都市域の大気の状態に相当するものを作り、一定の風速、風向の風を流して、実際に近い模型を置いて測定する方法である。

大気境界層とは、地表から高さ数100m から数 km までの大気を表し、地表での流れは最も複雑なものとなる。数値モデルによるシミュレーションで表現しにくい境界層における気流の挙動を調べるためには、風洞実験が有効である。

風洞実験では実際のサイズより縮小した模型を使うため、「絶対値」は実際と違ったものになる。そのため、予測したい成分を決め、流速や境界層の厚さで、その成分を無次元化(規格化)し、絶対値ではなく、「比率」で予測を行う。

2) 風洞実験施設

今回使用した風洞“BLASIUS”は、風洞の風の吸い込み口からの流れる風を、ターブレンス・ジェネレーターとスパイアで制御し、底面に配置するラフネス・ブロックによって乱流をつくり、実験に用いる模型の建物周囲を通過して、ファンで排出される構造となっており、これは乱流状態にある大気境界層をつくる一般的な境界層実験風洞である。風洞の模式図を図 4-7 に示す。

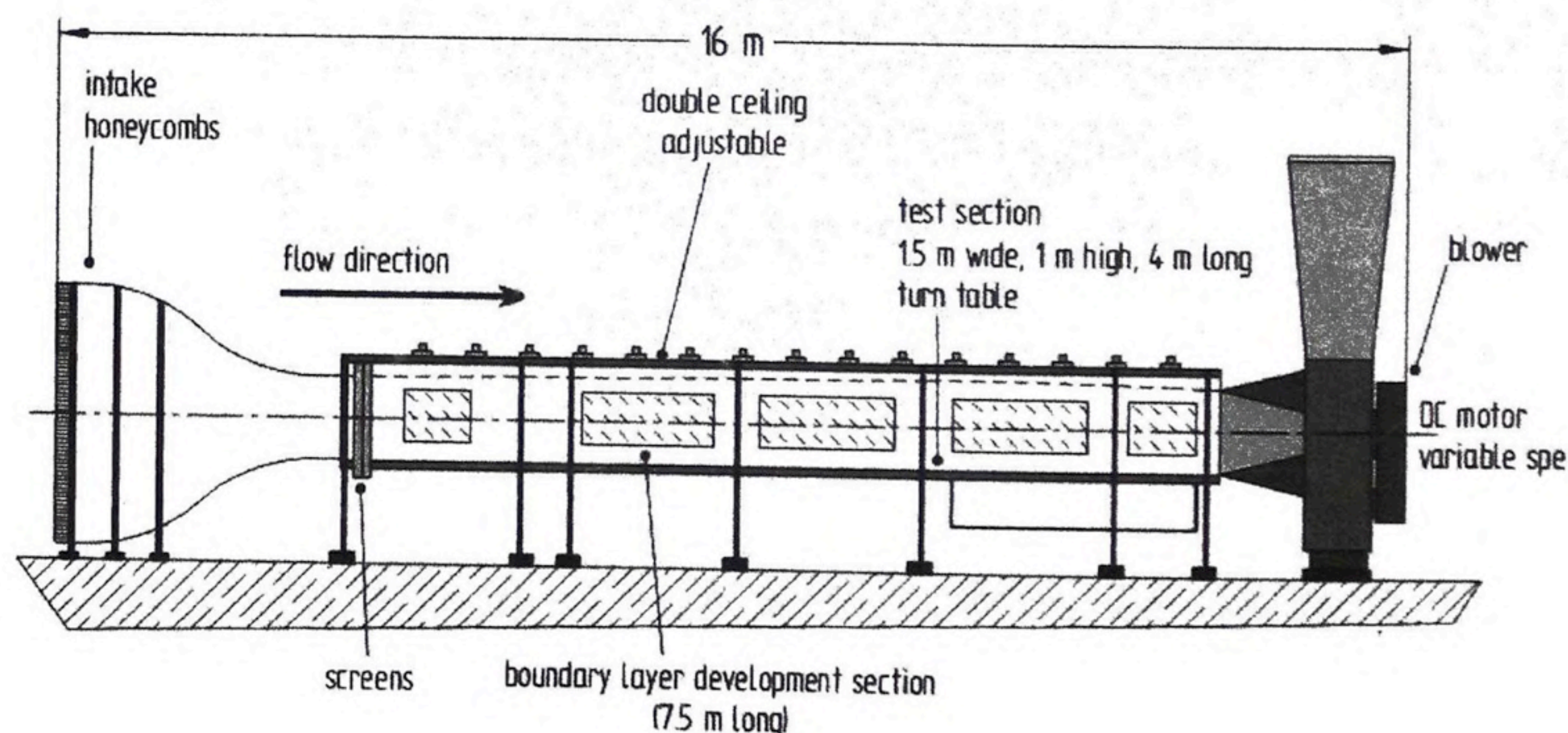


Figure 4-7 Wind tunnel “BLASIUS”
Facilities and Instrumentation

BLASIUS の内部は、長さ 9m、高さ 1m、幅 4m で、0~10m/s の風速を、上下方向 9 層それぞれに与えることができる。また風には 80°C までの温度を与えられ、床部分の冷却も可能となっている。

実験の第一段階として、風洞の中に大気を相似したような気流をつくるために、高さによる速度分布や乱流強度など、相似に使うパラメタを把握して、実際の大気の状態に合わせねばならないが、この実験では、ハンブルク大学気象研究所のライトル博士の指導の下、これらの条件を調整した。

3) 実験モデルと測定装置

建物模型の縮小率にあわせて、水蒸気のサイズを縮小することはできず、気温を規格化して表すことはできない。そのため、水辺や樹木により、冷却された水蒸気を含む空気の移動を、90%エチルアルコールの蒸発に置き換えて、その濃度分布を3次元的に把握することで、その影響範囲を推定することとした。

オフィス街の中層ビル、幅 60m、奥行 60m、高さ 30m を想定し、1/300 の縮尺にて、アクリル樹脂製模型 (20cm×20cm×10cm) を作成した。屋上全面に、深さ 1cm の真鍮製プールを設け、エチルアルコールで満たし、プールモデルとした。

制作したモデルの模式図を図 4-8 に示す。

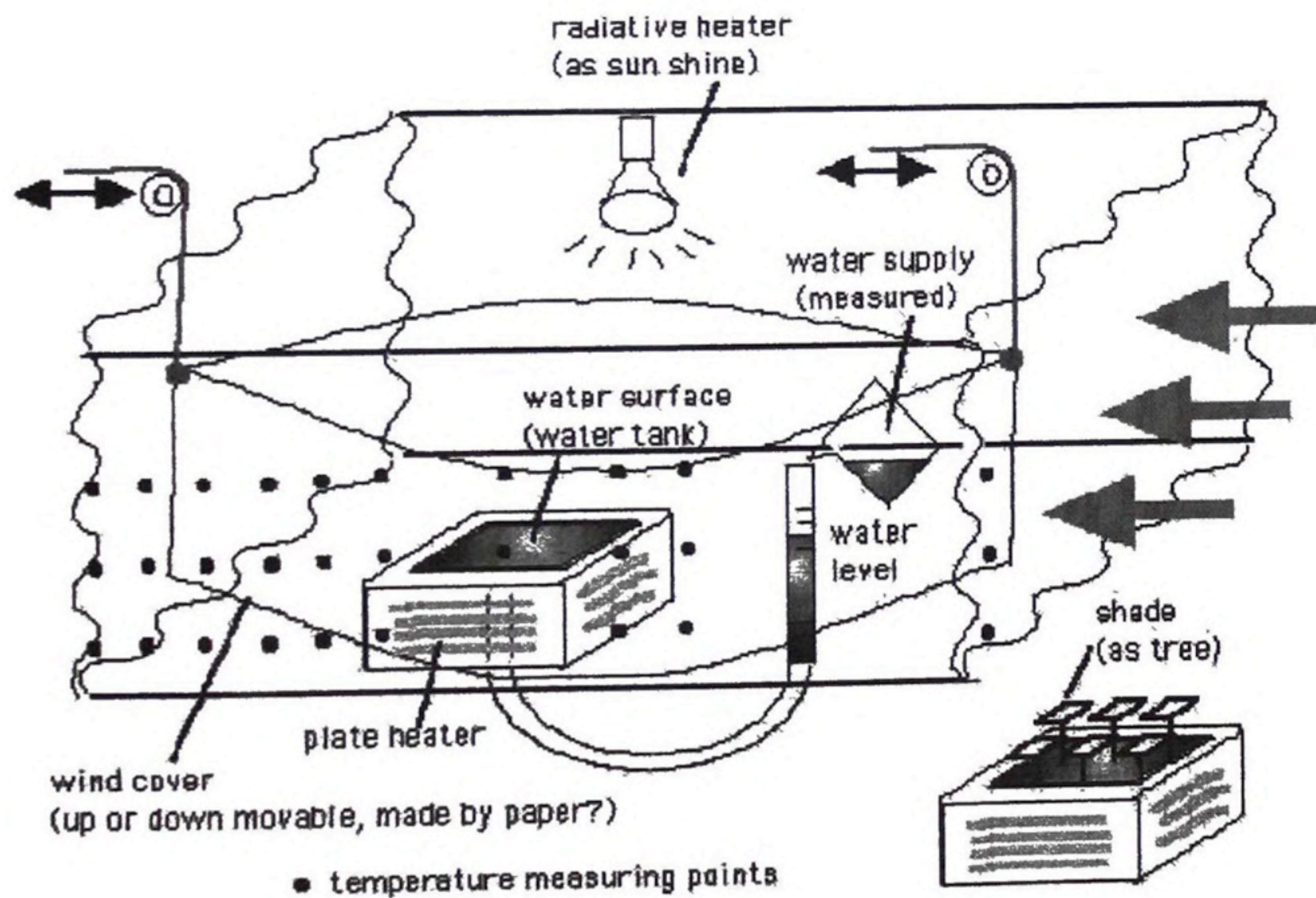


Figure 4-8 Schematic of test section and evaporation model

また、直径 15mm の濾紙 (TOYO ADVANTEC 社 No.5C) 製円盤を、脱脂綿を詰め
た内径 4mm、長さ 15mm のプラスチック管にはさみ、樹木模型を作成した。また銅板
上に、長さ 15mm の銅線を 17mm 間隔で縦横 10 本ずつ、ハンダで固定し、この銅線
に差し込む形で、樹木模型を合計 100 本立てた。この樹木モデルは屋上プールの内
部にはめ込み、プールをエチルアルコールで満たすことによって、濾紙部分からも蒸
発する構造になっている(写真 4-8)。

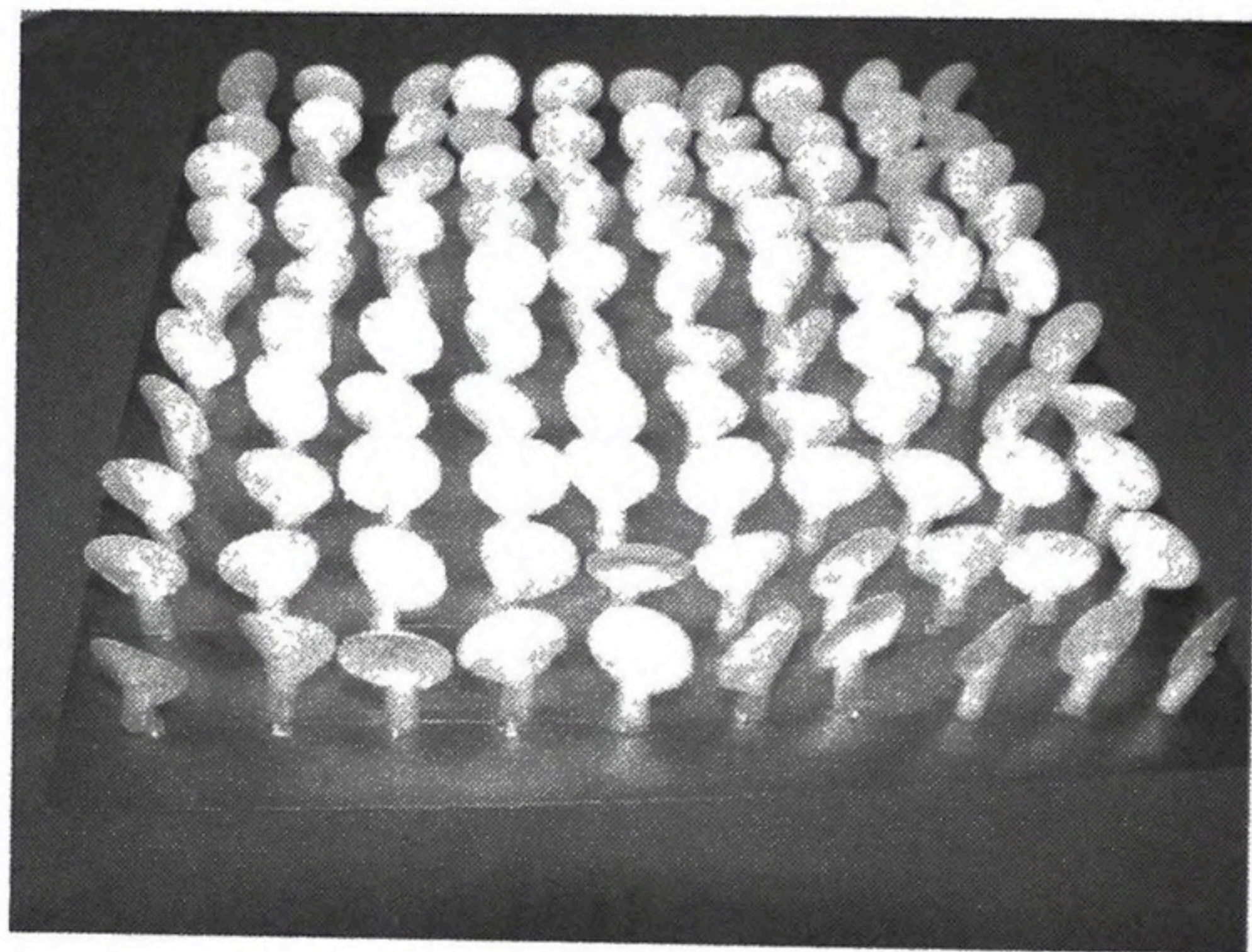


Photo 4-8 Tree model for the roof top of the building

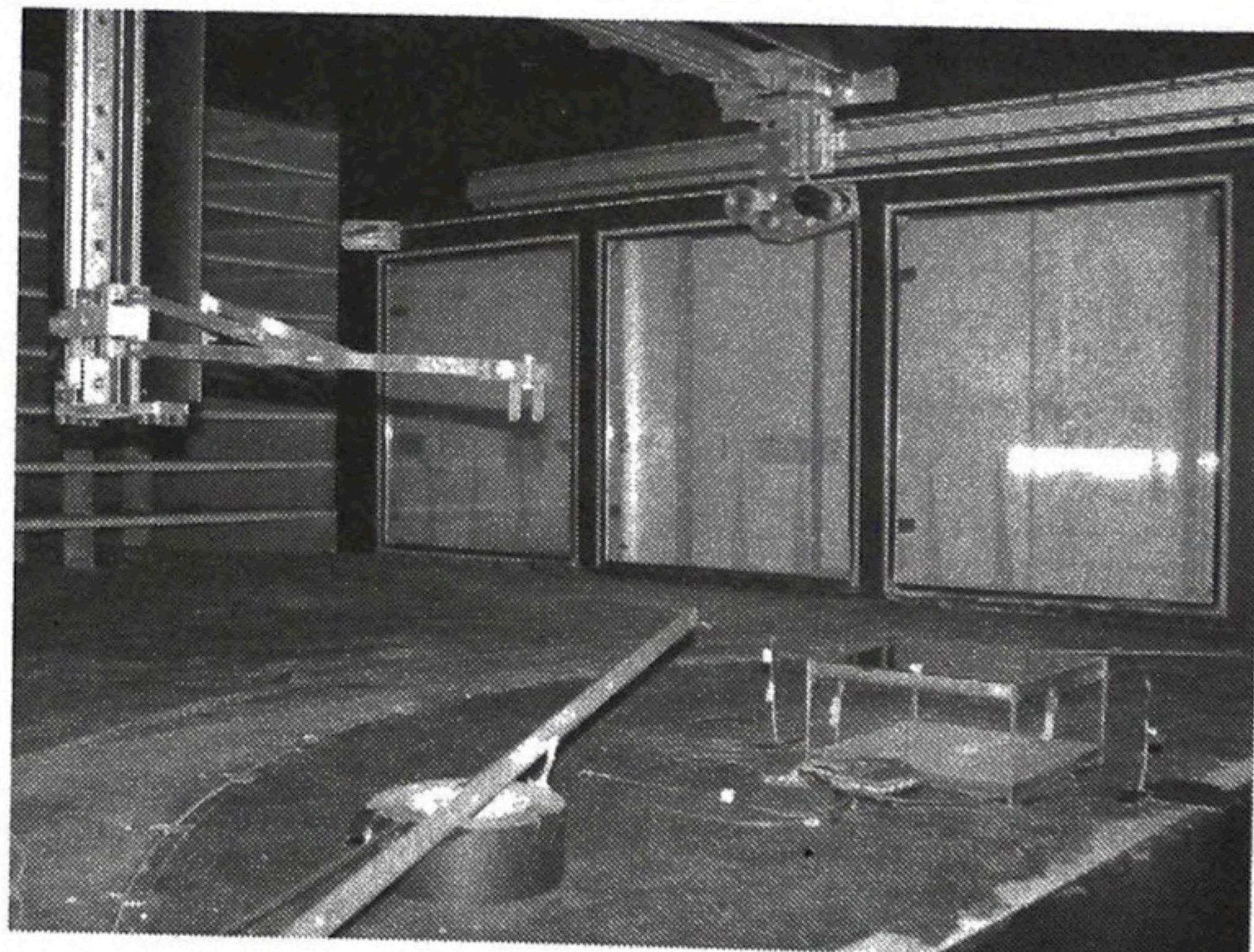


Photo 4-9 Test section and Traverse apparatus

風洞内部には、プローブやセンサーなどの装置をつけて、風洞内を3次元方向に移動させることのできる自動制御のトラバース装置が設置されている(写真4-9)。このトラバース装置に、風洞内のガスをサンプリングするための吸引チューブを取り付け、FID センサ(スキャンレート 200Hz)で、プールから蒸発するエチルアルコールの濃度を測定した。風向はビルの1壁面に沿った方向とし、測定点は図4-8に示す黒丸印のとおり、ビルの周囲を、風向方向とその垂直方向に26点選んだ。

4) 実験の手順

風速は、定常的に1m/sと、2m/sの2条件で与えた。気温はほぼ20°C前後で一定の条件とした。風洞内の気流は循環しているため、エチルアルコール濃度が風上でも上昇してきた場合には、風洞内の窓を取り外し、適宜換気を行った。

エチルアルコール濃度を測定するFIDのキャリブレーション後、トラバース装置で各測定点を順に移動させながら、ガスのサンプリングを行った。

5) 実験結果

プールモデルを風洞内に設置し、プールから蒸発したエチルアルコール濃度の分布のコンターを、図4-9に示した。コンター作成にはFortner Research社製Transform Extrasを使用した。

屋上から風下に向かって気流によって、水平方向に濃度の高い部分が伸び、また風下側の壁に沿って鉛直方向にも、濃度の高い部分が広がった。風上で定常的に与えた風速2m/sに比べて、1m/sの方が、水平方向、鉛直方向とも、より高い濃度で拡散していることが把握できた。

また、樹木モデルでは、図4-10に示した通り、プールモデルに比べて、高濃度で分布し屋上全体から上方向にも高い濃度分布が見られ、風速2m/sよりも1m/sの方が、より高濃度層が厚く、また水平方向にも長く伸びていた。

具体的な物理量としての気温を推定することはできないが、先に述べた屋上緑化ビルにおける、緑化部分での気温の低減効果が、典型的な夏日の日中で3~4°Cあったことを考慮すると、屋上の緑化部分において、周囲よりも冷やされた冷気は、屋上だけにとどまらず、緑化部分と同程度の気温の気流となって、風下方向に広がっていることが推定できる。水平方向だけでなく、鉛直方向に下降した冷気が、建物に隣

接する道路部分にも、流れ込むことも推定できる。

またプールモデルよりも樹木モデルの方が、蒸発面が大きく、冷却効果が高いことも、この結果から推定される。

さらに、風速が弱い場合、蒸発しても拡散が遅く、ビルの周辺といった局所的な区域における緩和効果を持続させることができると考えられる。

もし、対面するビルにも同等の緑化設備があった場合には、建物高さにおける冷気の面的な拡がりが確保され、緩和効果が広く及ぶ可能性が考えられるが、その場合の道路部分における効果については、建物高さや道路幅などの条件に依存すると考えられる。

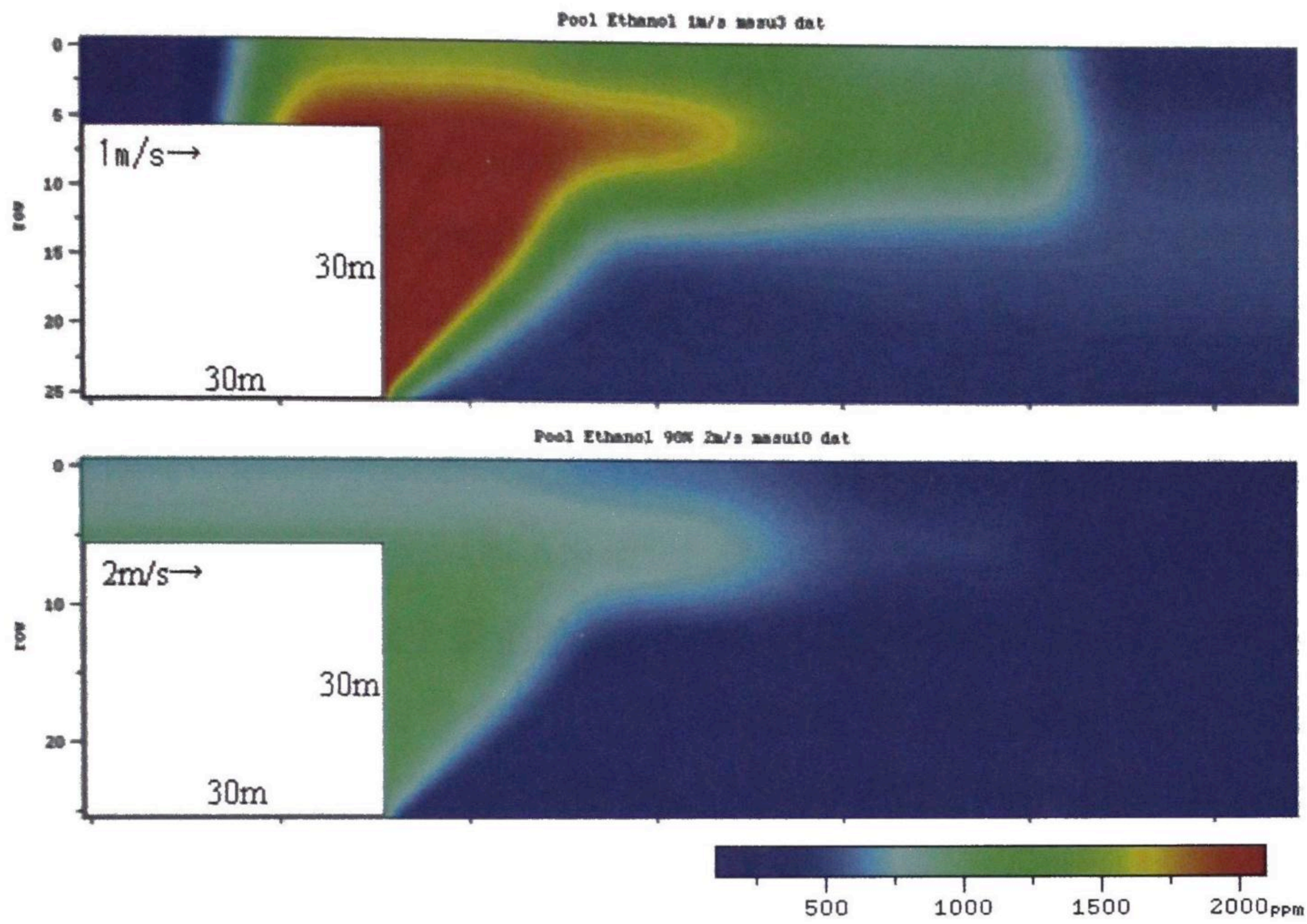


Figure 4-9 Distribution of cooled gas concentration from the pool model
 upper : wind velocity = 1m/s, lower: wind velocity = 2m/s

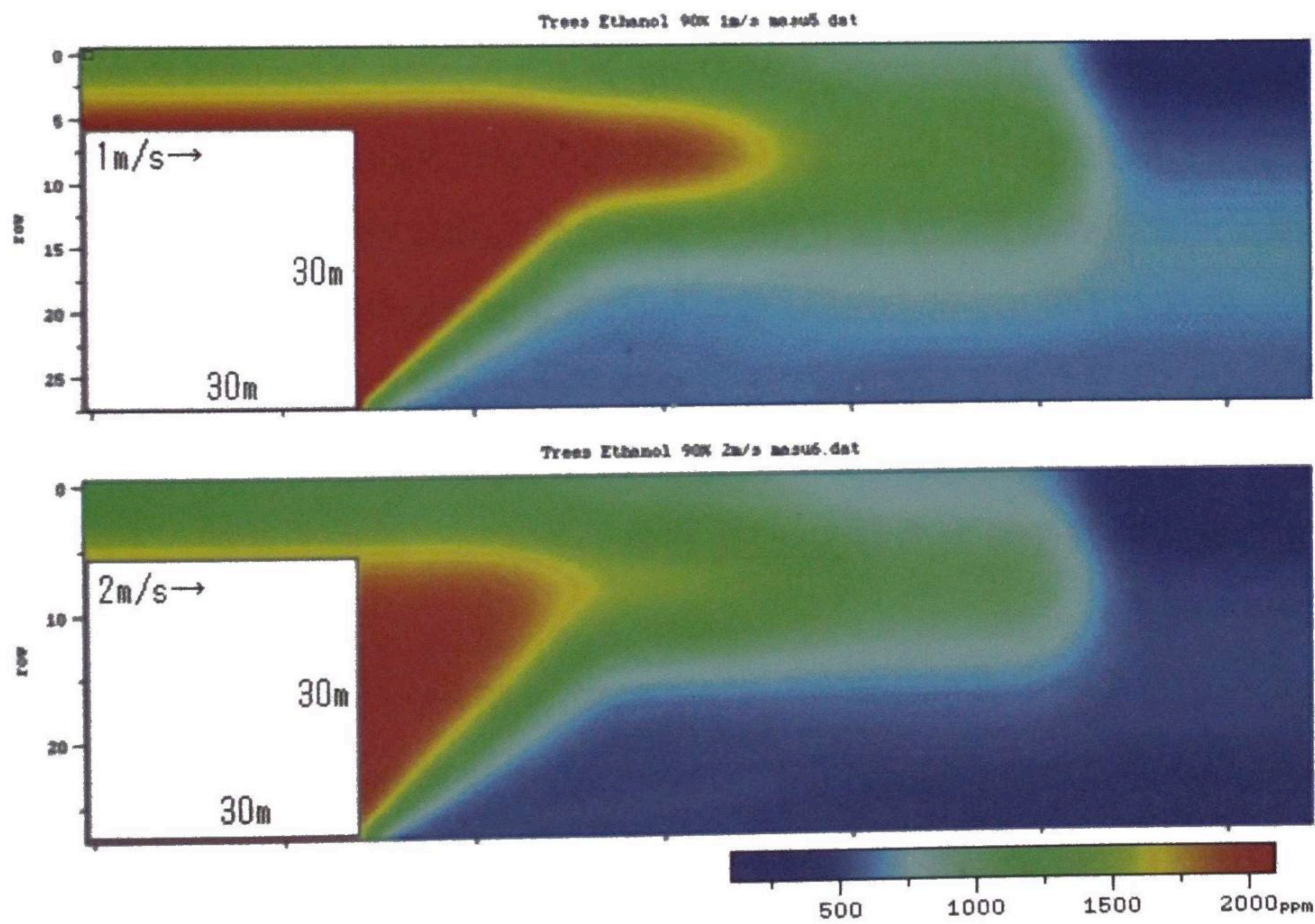


Figure 4-10 Distribution of cooled gas concentration from the trees model
 upper : wind velocity = 1m/s, lower: wind velocity = 2m/s

4.3 結言

緑地や水辺などの快適環境づくりは、都市計画にも積極的に取り入れられ、防災面からの評価も加わり、ヒートアイランド現象の緩和への寄与も期待されている。樹木の蒸散機能に加えて、直射日光をさえぎる木陰と、木立を抜ける風、湿った土壌が、緑地周辺の気温を下げていると考えられる。

都市内の小規模緑地は、その周辺にも気温上昇の緩和効果があり、中高層のビルが少ない住宅地では、公園などのクールスポットとして機能している。

一方、商業ビルが密集した都心部では、エネルギー消費の抑制はもちろんであるが、小規模でも緑地の確保が困難であるため、屋上緑化が対策として取り上げられることが多い。

屋上緑化設備によって得られる、ビルへの直接的効果として

- 1) 蒸発潜熱によって、屋上床面が冷却される。
- 2) 日射を遮る(昼のみ)ことによって、屋上床面の温度上昇を抑える。

といったものが挙げられるが、それは間接的に、そのビルでのエネルギー消費を抑制する効果も期待される。

一方、屋上緑化設備によって、気流が冷されることにより、ビル以外の空間への直接的な効果も期待できることが、今回の実験で明らかになった。すなわち、建物周辺や道路といった公共空間の気温上昇をも緩和することができると考えられる。

ただし、散水の手間のかからない、管理の容易な植栽や、軽量土壌を薄く敷設し保水量の少ない施工などは、今回取り上げた新ダイビルのような気温低減効果は期待できない。すなわち施工方法によって、緩和効果は著しく異なるといえる。

また、風速の強弱や日射の程度など、建物の密度や、地理的条件によって、効果が異なるといえる。

屋上緑化設備を施す事例は増加してきており、大阪市内でも総合設計制度や大規模事前協議制度にかかる民間建築物における申請事例、緑化指導指針にかかる申請事例は増加の一方である。しかし、建築時に、その建物に限定した省エネルギーの効果予測をすることはあっても、周辺地域に対するヒートアイランド対策としての効果の程度が、具体的に予測されることはほとんどない。

本章の物理モデルによる風洞実験の結果や、実態把握の結果をあわせ、緑化設

備の3次元的评价の必要性が明確になった。量的な評価にあわせて、周囲の環境によって異なる質的な評価が重要である。

- (1) 「屋上樹苑」は、ビルの建設時点から、厚さ 70cm の土壌と高木を配置する設計が施されており、昨今の既存の建物に新たに創設するヒートアイランド対策用の屋上緑化施設とは異なる土壌や灌水、緑陰の質の高さがあり、地上の小規模緑地に匹敵するヒートアイランド緩和効果が見られた。ただし、夜間・早朝の効果はあまり認められなかった。
- (2) 「大阪市役所本庁舎屋上緑化施設」では、植栽部分が細長く、施設内を通る気流が冷却される程度は、日中でも $0.2\sim 1^{\circ}\text{C}$ であった。また、土壌厚さが30cm程度の、高木の植栽土壌部分においては、底面への熱流の変動がほとんどなく、地中温度もほぼ一定であった。
- (3) 建物と蒸発散モジュールを用いた物理モデルによる風洞実験から、プールモデルよりも樹木モデルの方が、蒸発面が大きく、冷却効果が高く、風速が弱い場合、蒸発しても拡散が遅く、ビルの周辺といった局所的な区域における緩和効果を持続させることができる。また近接して同等の緑化設備があった場合には、建物高さにおける冷気の面的な拡がり確保され、緩和効果が広く及ぶ可能性が考えられるが、その場合の道路部分における効果については、建物高さや道路幅などの条件に依存すると考えられる。

参考文献

- 1) 榊元慶子, 福永勲, 福山丈二, 今井長兵衛, 夏原由博, 増田淳二, 大西正記, 野邑奉弘: 都市のヒートアイランド現象の発生要因の解析(実測に基づく典型的な都市地域の特性の影響), 日本機械学会第8回環境工学総合シンポジウム'98 講演要旨集, 299-302 (1998)
- 2) 榊元慶子: ヒートアイランド対策としての屋上緑化 大阪市役所屋上緑化施設における気温と熱流の測定, 第32回環境保全・公害防止研究発表会講演要旨集, 8-9(2005)

第5章 結論

本論文は、重大な環境汚染のひとつ「熱汚染」としてクローズアップされてきたヒートアイランド現象について、その時空間特性をとらえ、特性に相応した対策のあり方、その効果についてとりあげ、理論だけにとどまらず、多角的な実態調査を踏まえながら、問題解決の実現へ貢献することを目的とし、検討を行ったものである。

以下に、各章で得られた結言を総括し、本論文の結論とする。

第2章では、ヒートアイランド現象のひとつの人工的要因としての、エネルギー消費量と排出熱量の地域的、季節的・時間的変動を調べ、人工排熱による影響の程度と、その時空間特性を確認したところ、以下の内容が明らかになった。

- (1) 大阪市内で供給・消費されるエネルギー量の時空間分布の推算を行うにあたって、まず、大阪市作成の統計データに基づき、過去約 50 年間の電力、都市ガスの需要量の経時変化について調べた。その結果、大阪市における 2000 年の電力供給量は単位地表面積当たり 11.9 W/m^2 、都市ガス供給量は 9.9 W/m^2 となった。そして約 50 年の間に、各々の供給量は電力が約 13.5 倍、都市ガスが約 26.6 倍と急激に増加したことが分かった。
- (2) 大阪市が行ったヒートアイランド予測の数値シミュレーションに対応させる目的から、大阪市内に存在する二次変電所のうち、土地利用用途の異なる 20 箇所を対象に、猛暑であった 2000 年夏(7 月 13~27 日)の時刻別電力供給量の時空間特性について調べた。その結果、商業・業務施設の多い都心部と住宅の多い郊外部では、時間的な電力供給特性が大きく異なることが判った。
- (3) 電力の需要密度について調べるために、土地利用用途や建物床面積に関する大阪市の調査データを利用して、単位地表面積当たり、また、単位延べ床面積当たりの電力供給量を算出した。その結果、都心の商業・娯楽施設が集積した地区においては 21 時頃に供給ピークを迎えること、そして建物の単位床面積(1 階床面積基準)当たり約 430 W/m^2 (単位延べ床面積当たり約 100 W/m^2)にもなることを明らかにした。また、これらの結果をエネルギー消費原単位による従来の予測法による結果と比較したところ、実際の電力供給・消費の時間特性は、原単

位法によるものと大きく異なることを示した。全体的に、エネルギー消費原単位法による推定値は実供給量を上回ったが、市中心部の商業・娯楽施設が多い地区Aについては実供給量が推定値を大きく上回った。そして、時刻別の供給特性も大きく異なった。

- (4) 2002年度の市内24行政区ごとの月別・用途別都市ガス販売データを用いて、都市ガス利用に伴うエネルギー消費の時空間分布について検討を加えた。その結果、都市ガスの需要は市西部の臨海工業地区ならびに北西部の住宅・工場混合地区で多いことが判った。また、市中心部の業務地区においても年間を通して供給量が多いことが判った。この原因としては業務ビルにおけるガス空調の普及などが考えられ、人工排熱の時空間分布を予測する観点からは注意しなければならないことである。

第3章では、ヒートアイランド対策を講じる際に必要不可欠となる、最も暑い時期に、その場所が広域的には、どのような時空間特性のある地域であるか、また、狭域としては、どのような対策が有効かを検討し、以下の結論を得た。

- (1) 都道府県のスケールから見れば、大阪全域全体が暑い地域であると位置づけられがちであるが、市域内を地理的に、西部、中央部、東部に区分することで、広域的な時空間特性が把握できた。日最高気温値を比較する上で、大阪全域での日中の気温は、「熱の島」と呼ぶよりも、港を底にした「すり鉢」のような分布形態をとっているといえる。これは、大阪湾に特徴的な強い西風の影響によると示唆される。一方、熱帯夜に影響を与える、風の弱まる時間帯である夜、特に早朝においては、中央部が最も高温で、「熱の島」の存在を示唆しているといえる。定量的には、海に近いかどうかの地理的条件、風向・風速の要素によって、 $0.2\sim 0.8^{\circ}\text{C}$ の気温差が生じることがわかった。
- (2) 土地の用途の特徴を抽出すると、オフィス街は日中に、繁華街は終日、気温が高くなり、周辺の住宅地と比較すると 3°C の気温差が生じている。
- (3) 既存の小規模緑地では、狭域の気温低減に大きな効果が見られ、高木の茂る古墳では、 $2\sim 5^{\circ}\text{C}$ の気温差が、また、水や風の道を考慮した高層オフィスビルの人工緑地では、平均して $1.2\sim 1.8^{\circ}\text{C}$ の気温差が生じている。

(4) 狭域における個別の対策を実施する際には、広域の時空間特性と、風や水辺など、地理的条件を活かした効果的な活用が重要であり、さらに緑化による気温低減を期待するには、樹種や密度を考慮し、灌水の量や頻度などの工夫、緑陰の創出が、対策の効果に影響していることが示唆された。

第4章では、対策のひとつとしてあげられる屋上緑化施設における熱流や気温、土壌の温度の時間変動、降雨による効果を調べ、時空間特性を考慮した対策法が有効であることを検証した。

- (1) 「屋上樹苑」は、ビルの建設時点から、厚さ70cmの土壌と高木を配置する設計が施されており、昨今の既存の建物に新たに創設するヒートアイランド対策用の屋上緑化施設とは異なる土壌や灌水、緑陰の質の高さがあり、地上の小規模緑地に匹敵するヒートアイランド緩和効果が見られた。ただし、夜間・早朝の効果はあまり認められなかった。
- (2) 「大阪市役所本庁舎屋上緑化施設」では、植栽部分が細長く、施設内を通る気流が冷却される程度は、日中でも $0.2\sim 1^{\circ}\text{C}$ であった。また、土壌厚さが30cm程度の、高木の植栽土壌部分においては、底面への熱流の変動がほとんどなく、地中温度もほぼ一定であった。
- (3) 建物と蒸発散モジュールを用いた物理モデルによる風洞実験から、プールモデルよりも樹木モデルの方が、蒸発面が大きく、冷却効果が高く、風速が弱い場合、蒸発しても拡散が遅く、ビルの周辺といった局所的な区域における緩和効果を持続させることができる。また近接して同等の緑化設備があった場合には、建物高さにおける冷気の面的な拡がり確保され、緩和効果が広く及ぶ可能性が考えられるが、その場合の道路部分における効果については、建物高さや道路幅などの条件に依存すると考えられる。

都市部特有のヒートアイランド現象は、詳細に調べると地域によって、時空間特性が異なり、さらに、街区レベルでは、土地利用の形態によっても異なる。また、効果があるとされている対策にも、適不適が存在し、それらを組み合わせる必要がある。

地球温暖化も含め、さらに、高温化する都市の中で、都市が居住空間として適切で

なくなるような危機も訪れかねない。すみやかに対応を検討しなくてはならない課題であると考える。

日中高温化する東部(内陸部)は、日射をさえぎり、建物への蓄熱を防ぐ対策が必要で、高木などの植栽、屋上緑化や打ち水などの蒸散、日中不在になる住宅では、断熱もしくは通風・換気などの具体的な対策が期待される。

夜間高温化する中央部は、現在、高層マンションの建設などにより、単位面積あたりの夜間のエネルギー排出が懸念される。効率の高い新たなエネルギーシステムの導入が不可欠であろう。しかし、高層ビルの屋上緑化は、個別に見れば、夜間は気温低減に効果が少ない。ただし大規模開発に伴う屋上や建物周囲の緑地の増設は、狭域の気温低減が期待できる。

ヒートアイランド対策の効果を予測することは、都市構造についての政策提言に大きく寄与すると考えている。

今後、行政は、包括的なヒートアイランド対策ではなく、地域レベルでの対策の評価方法を構築する必要があるだろう。

資料

資料1 ヒートアイランド観測網の器材設置状況

3. 2. 1 ヒートアイランド観測網による大阪市域の気温分布

資料2 広域・狭域気温観測点の周辺状況

3. 2. 2 広域的・典型的な地域ごとの気温の時空間特性

3. 3. 1 繁華街における狭域の気温の時空間特性

3. 3. 3 オフィス街や繁華街での狭域の気温の時空間特性

資料3 帝塚山古墳周辺の測定点の周辺状況

3. 3. 4 住宅地内の小規模緑地とその周辺の気温分布

資料4 新梅田シティ周辺の測定点の周辺状況

3. 3. 5 オフィスビルの公開空地とその周辺の気温分布

資料5 大阪市役所本庁舎屋上緑化施設の周辺状況

4. 2. 2 大阪市役所本庁舎屋上緑化施設における夏季の気温分布

資料6 ハンブルク大学気象研究所における風洞実験の状況

4. 2. 3 建物と蒸発散モジュールを用いた物理モデルによる風洞実験

資料1 ヒートアイランド観測網の器材設置状況

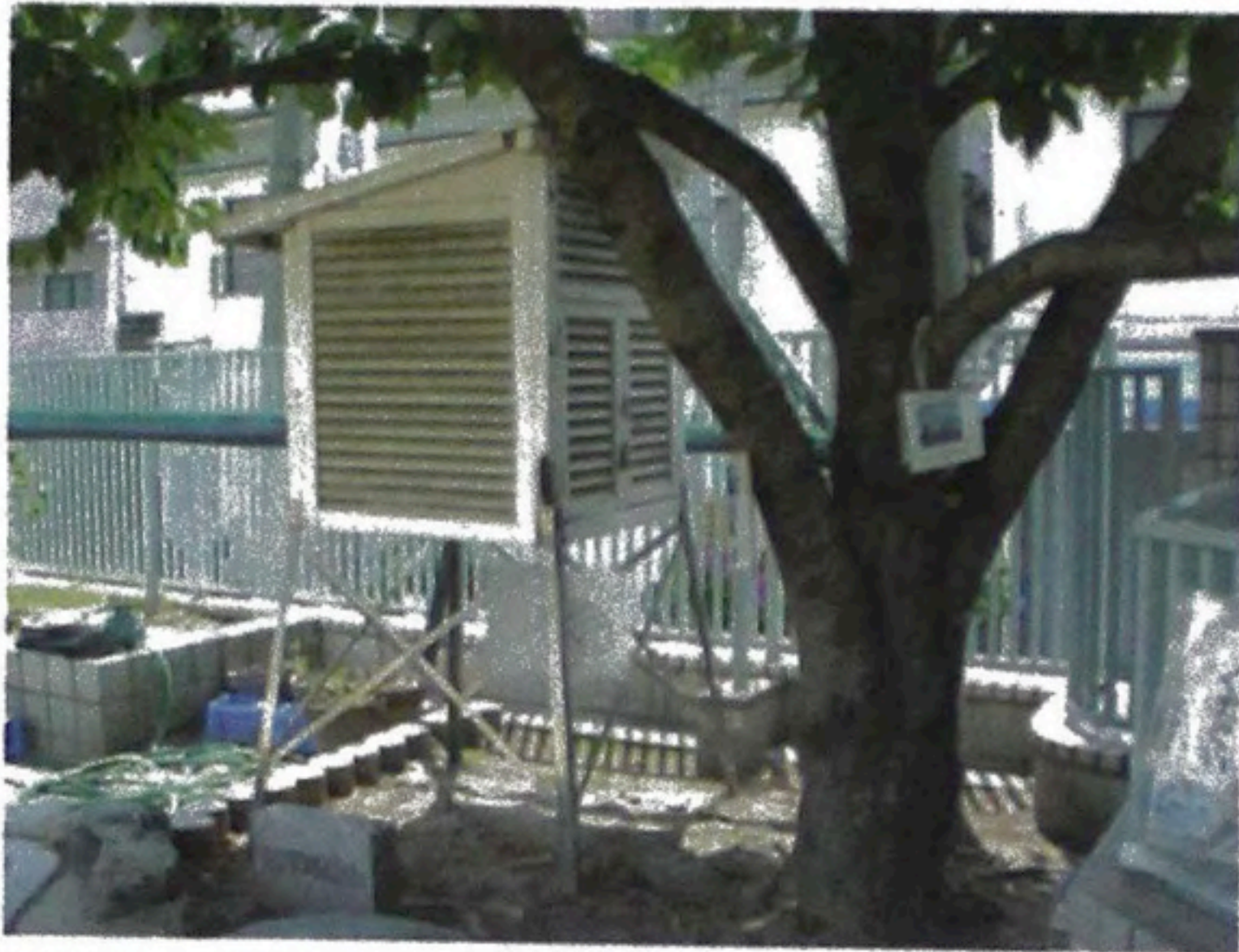
第3章 地域別現状把握

3.2.1 ヒートアイランド観測網による大阪市域の気温分布

撮影時期:2005年6~7月

ヒートアイランド観測網は、市内24区に各1校の小学校を選び、校庭の既設の百葉箱内に温湿度センサーを設置して測定を実施した。

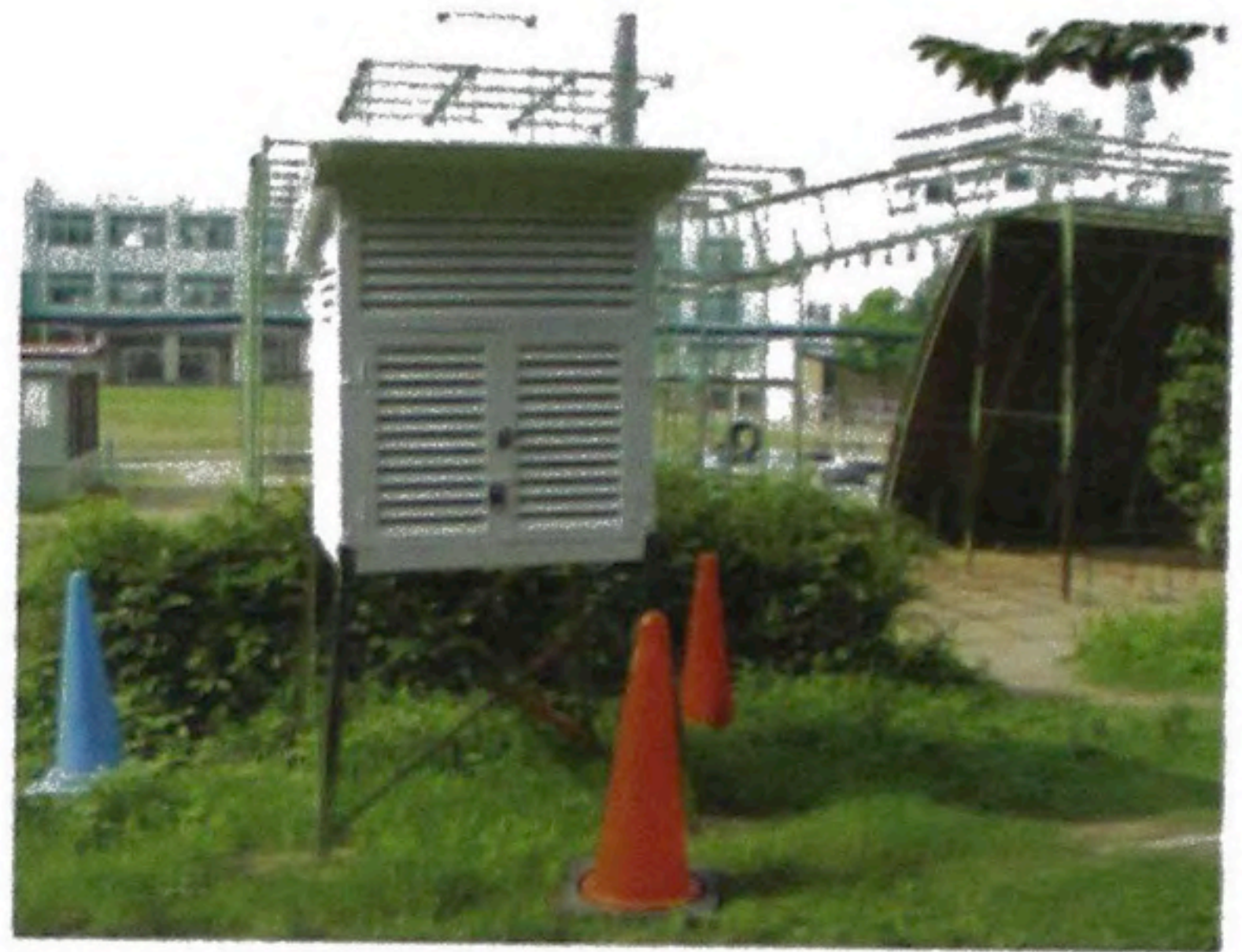
設置状況の例を示す。



資料写真 3.2.1-1 ヒートアイランド観測網測定点
味原小学校校庭百葉箱
(大阪市天王寺区味原町)



資料写真 3.2.1-2 ヒートアイランド観測網測定点
深江小学校校庭百葉箱
(大阪市東成区深江南)



資料写真 3.2.1-3 ヒートアイランド観測網測定点
田辺小学校校庭百葉箱
(大阪市東住吉区田辺)



資料写真 3.2.1-4 百葉箱内部
中央にセンサー、
右にデータロガーを設置。
既設の水銀温度計は使用せず



資料写真 3.2.1-5 百葉箱内部
左上部のデータロガーから、
パソコンにデータを転送

資料2 広域・狭域気温観測点の周辺状況

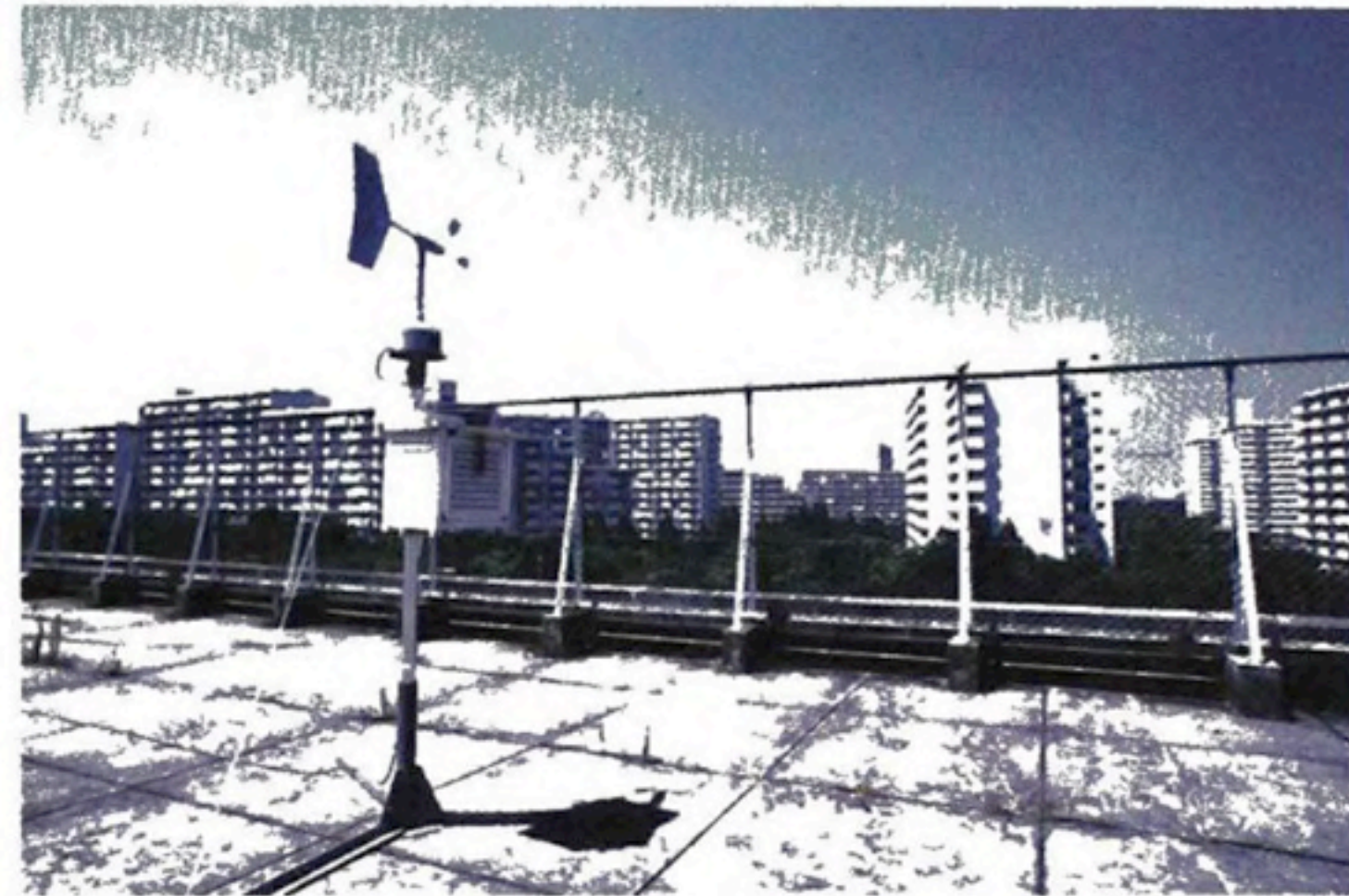
第3章 地域別現状把握

3.2.2 広域的・典型的な地域ごとの気温の時空間特性

撮影時期:1996年7~8月



資料写真 3.2.2-1 都心部のオフィス街
相愛高等学校・中学校屋上
(大阪市中央区本町)



資料写真 3.2.2-4 南港光小学校
屋上に設置した風向風速計



資料写真 3.2.2-2 港湾域
南港光小学校屋上
(大阪市住之江区南港中)



資料写真 3.2.2-5 大和川周辺の住宅地
川辺小学校屋上から
(大阪市平野区长吉川辺)



資料写真 3.2.2-3 南港光小学校
百葉箱のある校内園とポータウンの街路樹



資料写真 3.2.2-6 川辺小学校の百葉箱
右奥に大和川右岸の堤防

第3章 地域別現状把握

3.2.2 広域的・典型的な地域ごとの気温の時空間特性

3.3.1 繁華街における狭域の気温の時空間特性

撮影時期:1996年7~8月



資料写真 3.2.2-7 淀川周辺の住宅地
桜宮高等学校屋上から
(大阪市都島区毛馬町)



資料写真 3.3.1-2 新日本三ツ寺ビル
4階ベランダの空調室外機
入居するスナック、バーなど各店舗が設置



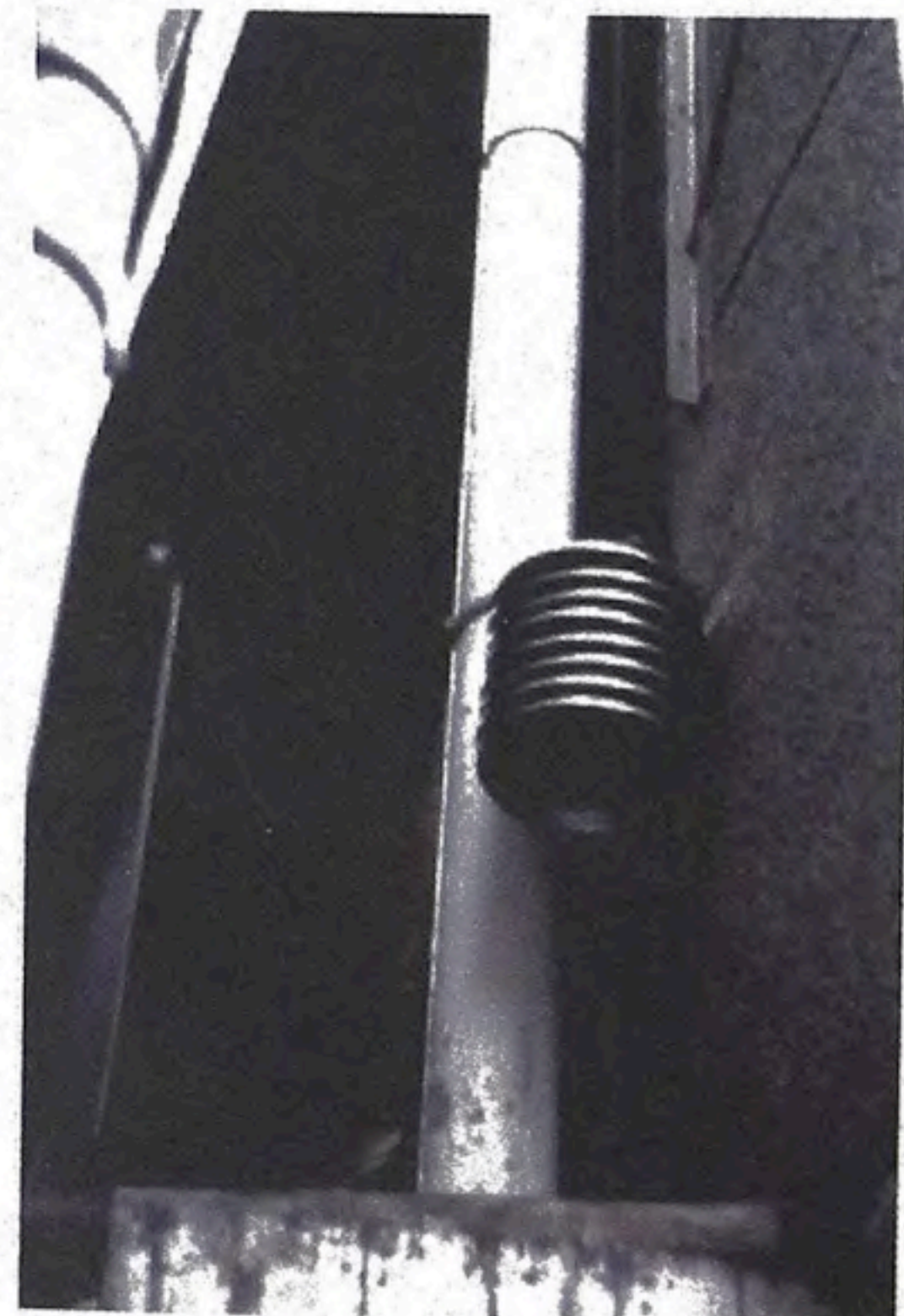
資料写真 3.2.2-8 商工住宅混在地域
今里小学校屋上から 右下に百葉箱が見える
(大阪市東成区大今里)



資料写真 3.3.1-3 新日本三ツ寺ビル
屋上の空調室外機



資料写真 3.3.1-1 飲食店が並ぶ繁華街
三ツ寺筋周辺
(大阪府中央区心斎橋筋2)



資料写真 3.3.1-4 新日本三ツ寺ビル
1階建物横に設置した簡易シェルター
奥に厨房の排気口

第3章 地域別現状把握

3.3.3 オフィス街や繁華街での狭域の気温の時空間特性

撮影時期:1996年7~8月



資料写真 3.3.3-1 オフィス街と繁華街
堂島と北新地の建物
(大阪市北区曾根崎新地~堂島浜周辺)



資料写真 3.3.3-4 新ダイビル
緑化の施されていないタイル床部分



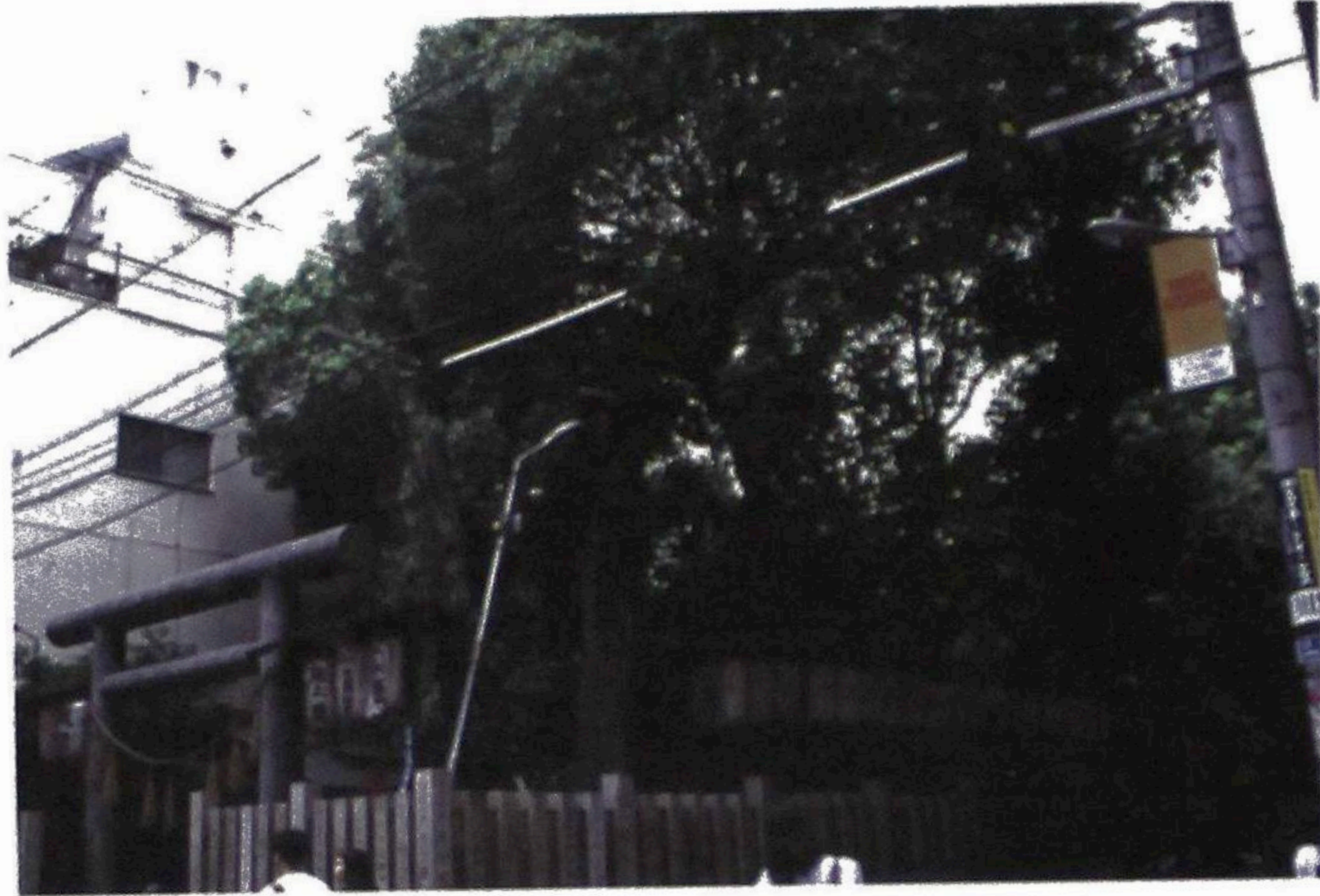
資料写真 3.3.3-2 オフィス街
屋上緑化を施した新ダイビル
(大阪市北区堂島浜1)



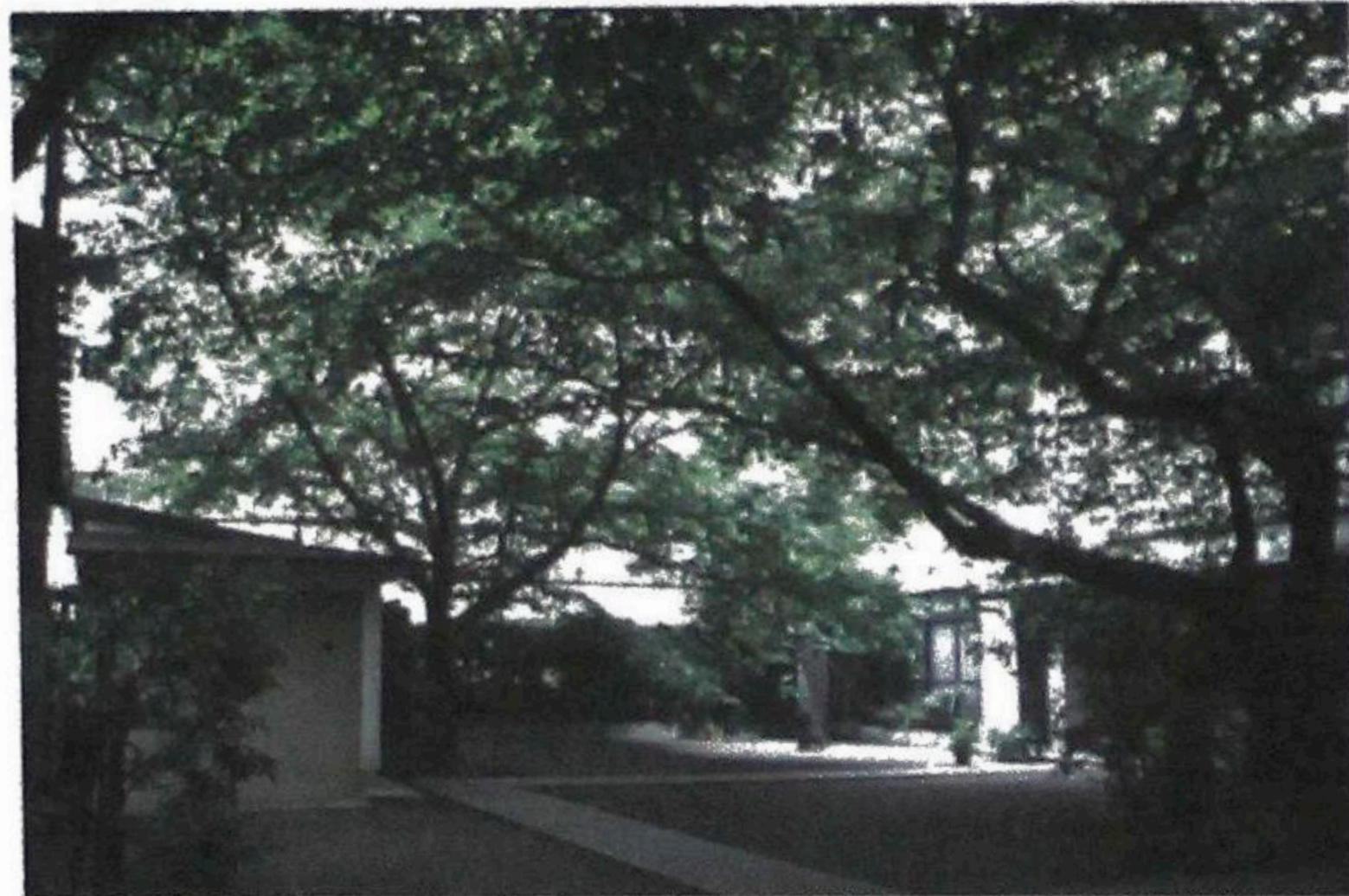
資料写真 3.3.3-5 新ダイビル
「屋上樹苑」の土壌



資料写真 3.3.3-3 新ダイビル
「屋上樹苑」



資料写真 3.3.3-6 繁華街の小規模緑地
御津八幡宮
(大阪市中心区西心齋橋2)



資料写真 3.3.3-7 御津八幡宮
サクラなどの高木が植えられた境内



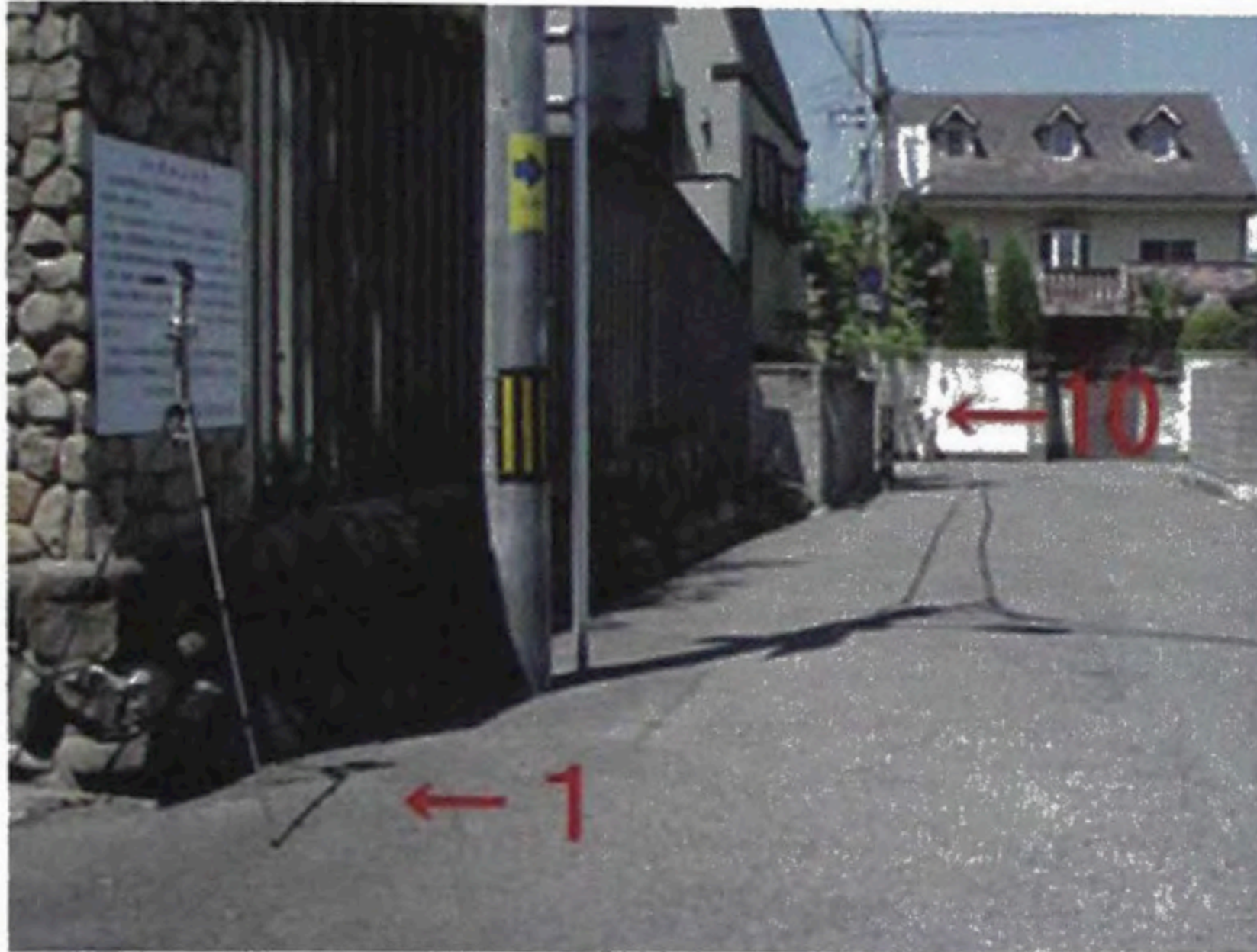
資料写真 3.3.3-8 御津八幡宮
八幡筋に若者向けのショップが並ぶ

資料3 帝塚山古墳周辺の測定点の周辺状況

第3章 地域別現状把握

3.3.4 住宅地内の小規模緑地とその周辺の気温分布

撮影時期:2005年8月



資料写真 3.3.4-1 古墳周辺道路測定点
No.1とNo.10



資料地図 3.3.4-1 帝塚山古墳測定点
(大阪市住吉区帝塚山西)



資料写真 3.3.4-2 古墳周辺道路測定点
No.1とNo.2



資料写真 3.3.4-4 古墳周辺道路測定点
No.3とNo.4



資料写真 3.3.4-3 古墳周辺道路測定点
No.2とNo.3



資料写真 3.3.4-5 古墳周辺道路測定点
No.4とNo.5



資料写真 3.3.4-6 古墳周辺道路測定点
No.5 と No.6



資料写真 3.3.4-8 古墳周辺道路測定点
No.7 と No.8



資料写真 3.3.4-9 古墳周辺道路測定点
No.8 と No.9



資料写真 3.3.4-7 古墳周辺道路測定点
No.6 と No.7



資料写真 3.3.4-10 古墳周辺道路測定点
No.9 と No.10



資料写真 3.3.4-11 古墳内測定点 No.11



資料写真 3.3.4-14 古墳内測定点 No.14



資料写真 3.3.4-12 古墳内測定点
No.12 から No.17 方向



資料写真 3.3.4-15 古墳内測定点 No.14,15



資料写真 3.3.4-13 古墳内測定点 No.13



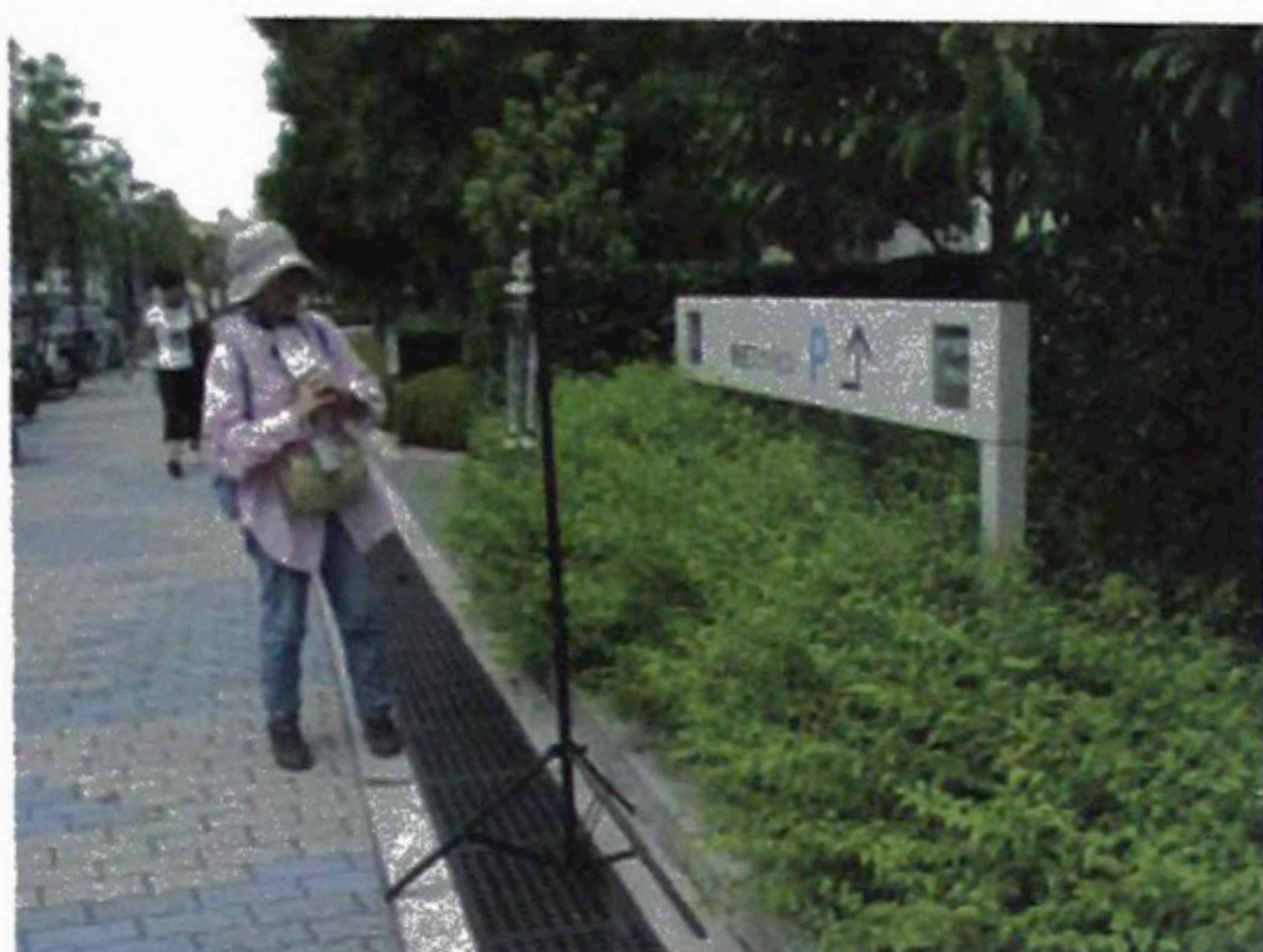
資料写真 3.3.4-16 古墳内測定点 No.15

資料4 新梅田シティ周辺の測定点の周辺状況

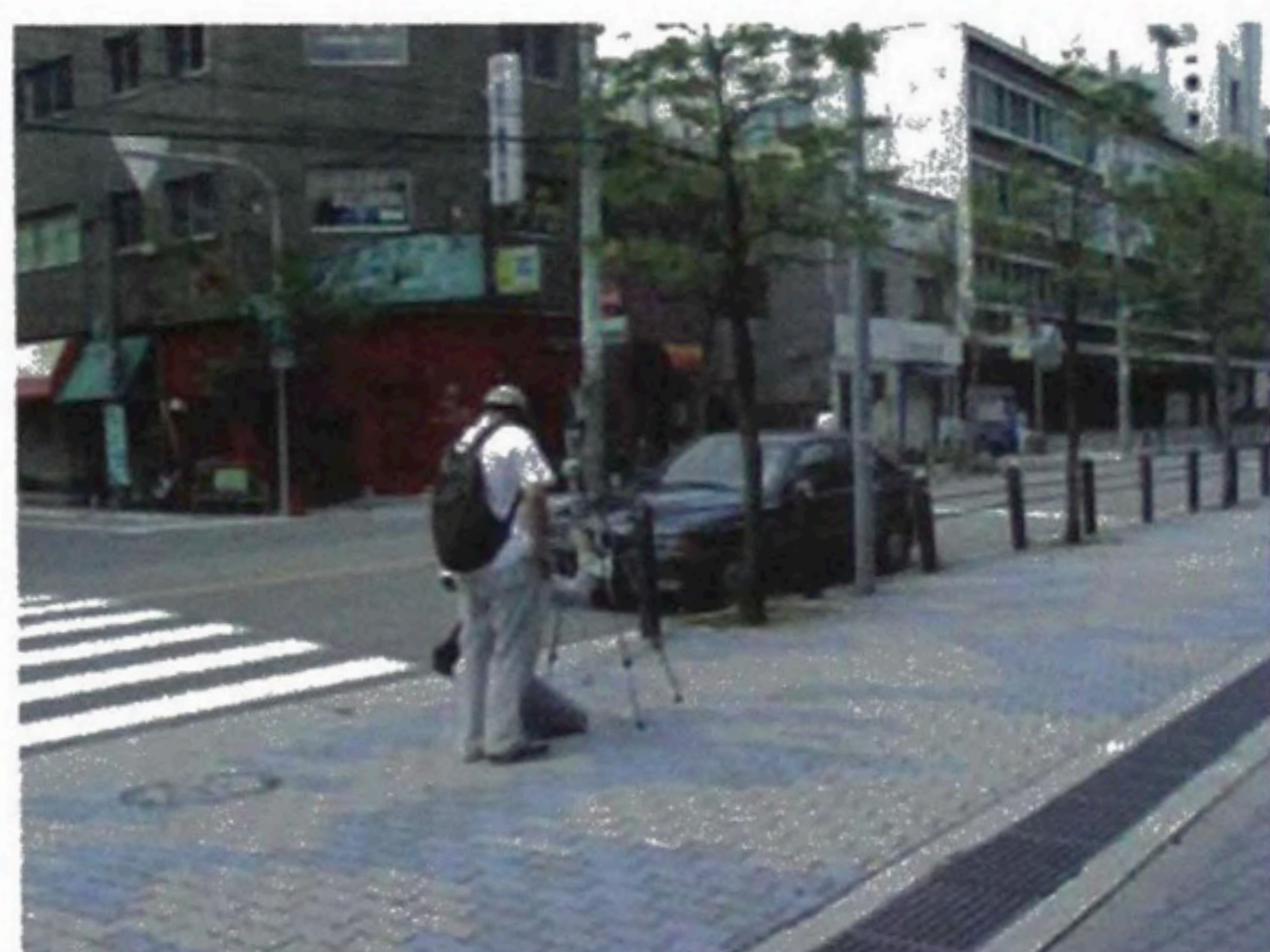
第3章 地域別現状把握

3.3.5 オフィスビルの公開空地とその周辺の気温分布

撮影時期:2004年8月



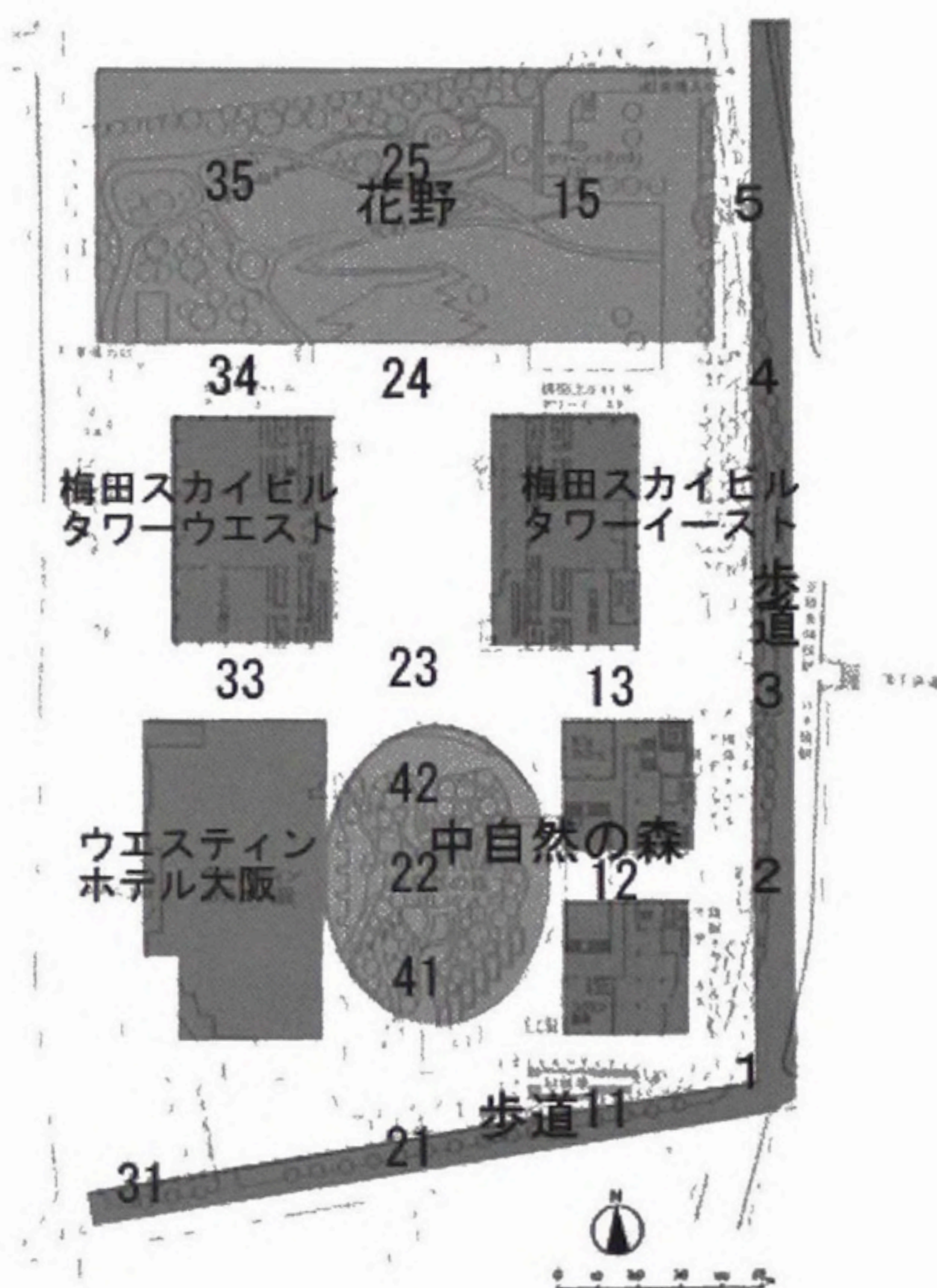
資料写真 3.3.5-1 新梅田シティ測定点
南側歩道 No.11



資料写真 3.3.5-2 新梅田シティ測定点
南側歩道 No.21



資料写真 3.3.5-3 新梅田シティ測定点
東側歩道 No.3



資料地図 3.3.5-1 新梅田シティ測定点
配置図(番号)
(大阪市北区大淀中)



資料写真 3.3.5-4 新梅田シティ測定点
南側歩道 No.31



資料写真 3.3.5-5 新梅田シティ測定点
内部通路 No.13



資料写真 3.3.5-7 新梅田シティ測定点
内部通路 No.33



資料写真 3.3.5-6 新梅田シティ測定点
内部通路 No.23



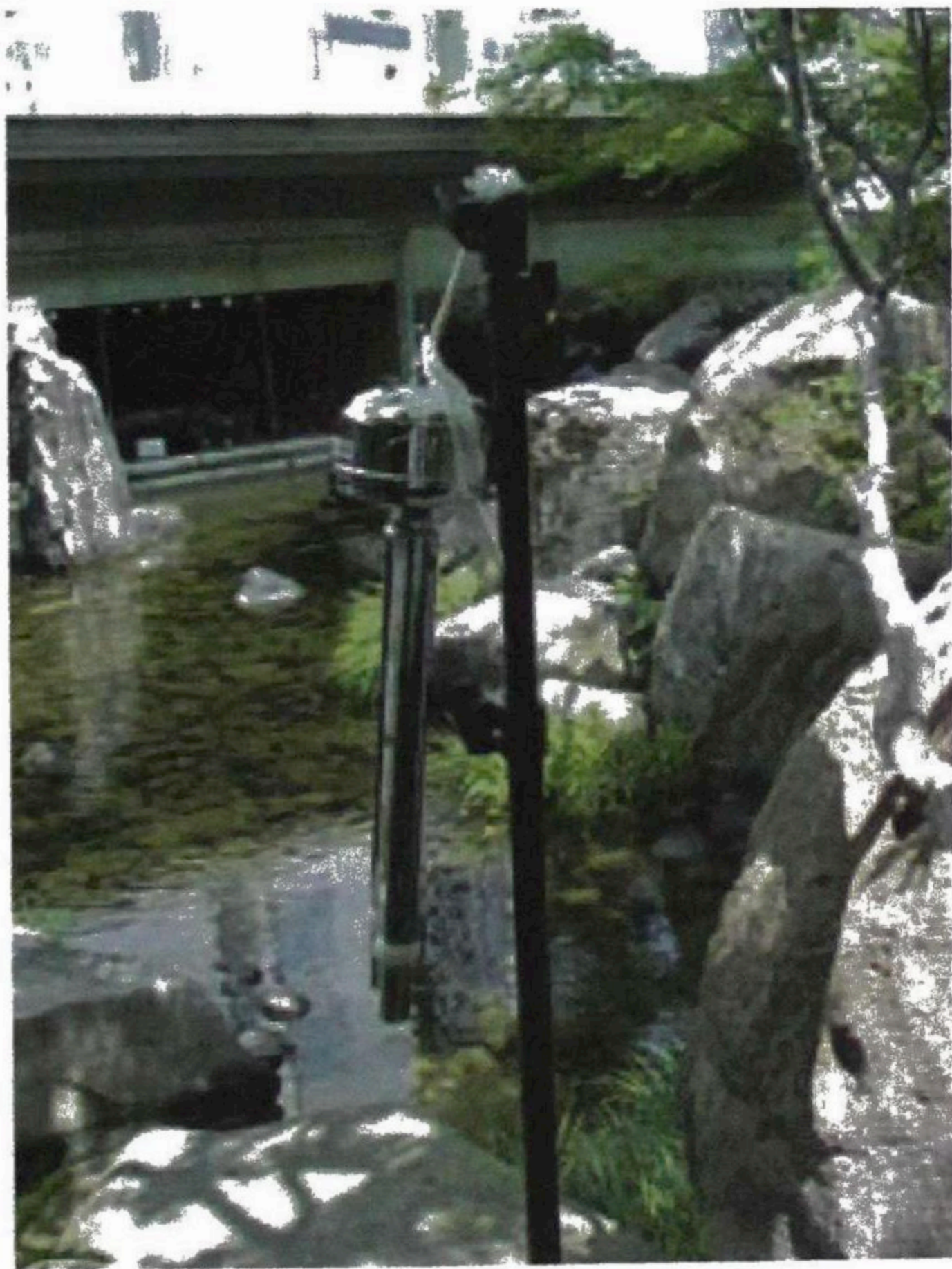
資料写真 3.3.5-8 新梅田シティ内
梅田スカイビル



資料写真 3.3.5-9 新梅田シティ測定点
中自然の森 No.22



資料写真 3.3.5-11 新梅田シティ測定点
花野 No.25



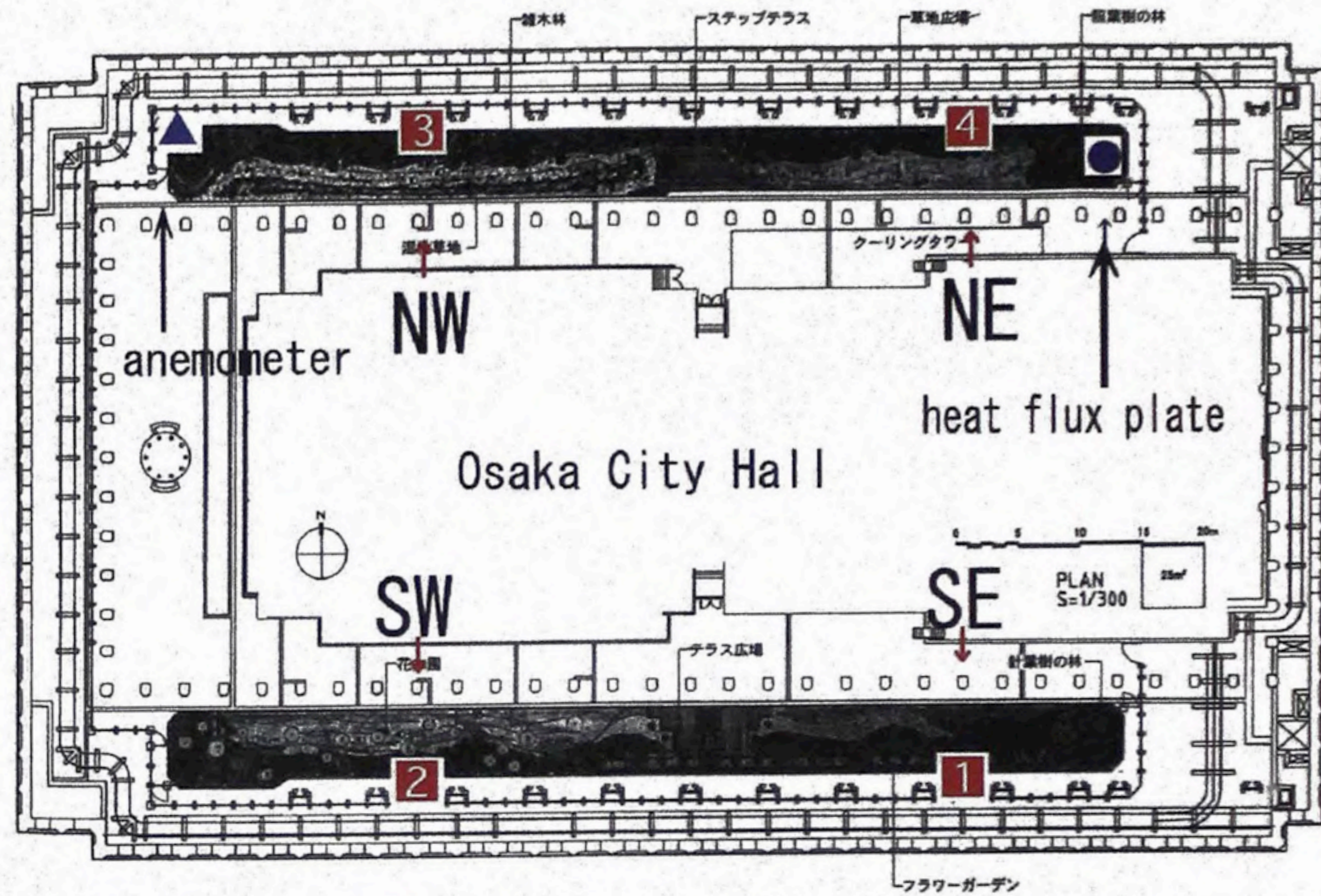
資料写真 3.3.5-10 新梅田シティ測定点
中自然の森 No.42

資料5 大阪市役所本庁舎屋上緑化施設の周辺状況

第4章 対策の個別評価

4.2.2 大阪市役所本庁舎屋上緑化施設における夏季の気温分布

撮影時期:2003~2005年



資料地図 4.2.2-1 大阪市役所本庁舎屋上緑化施設 (大阪市北区中之島)

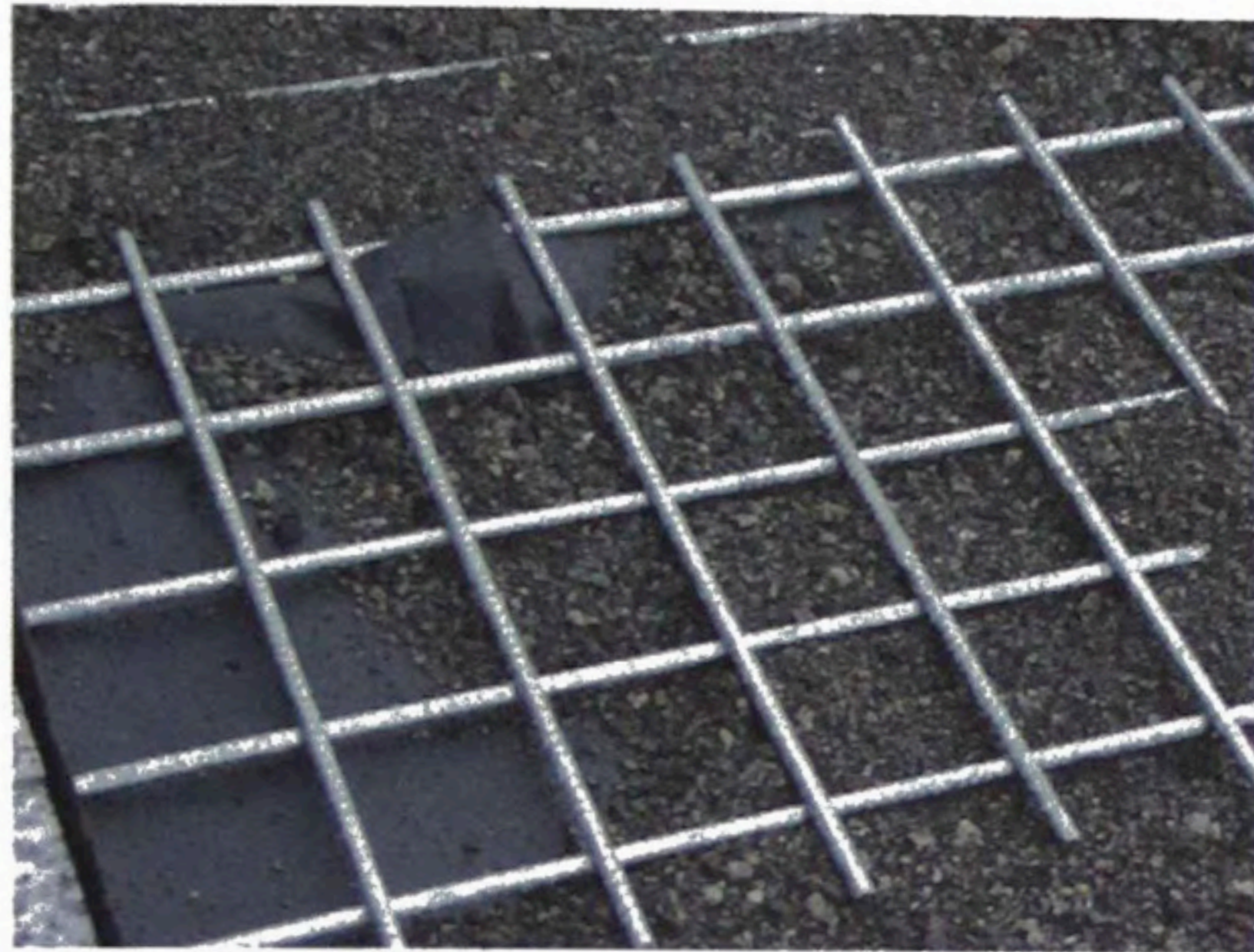
1~4番は百葉箱、▲は風向風速計、●は熱流板設置場所
黒は緑化部分で、北ゾーン(上)と南ゾーン(下)に分かれる



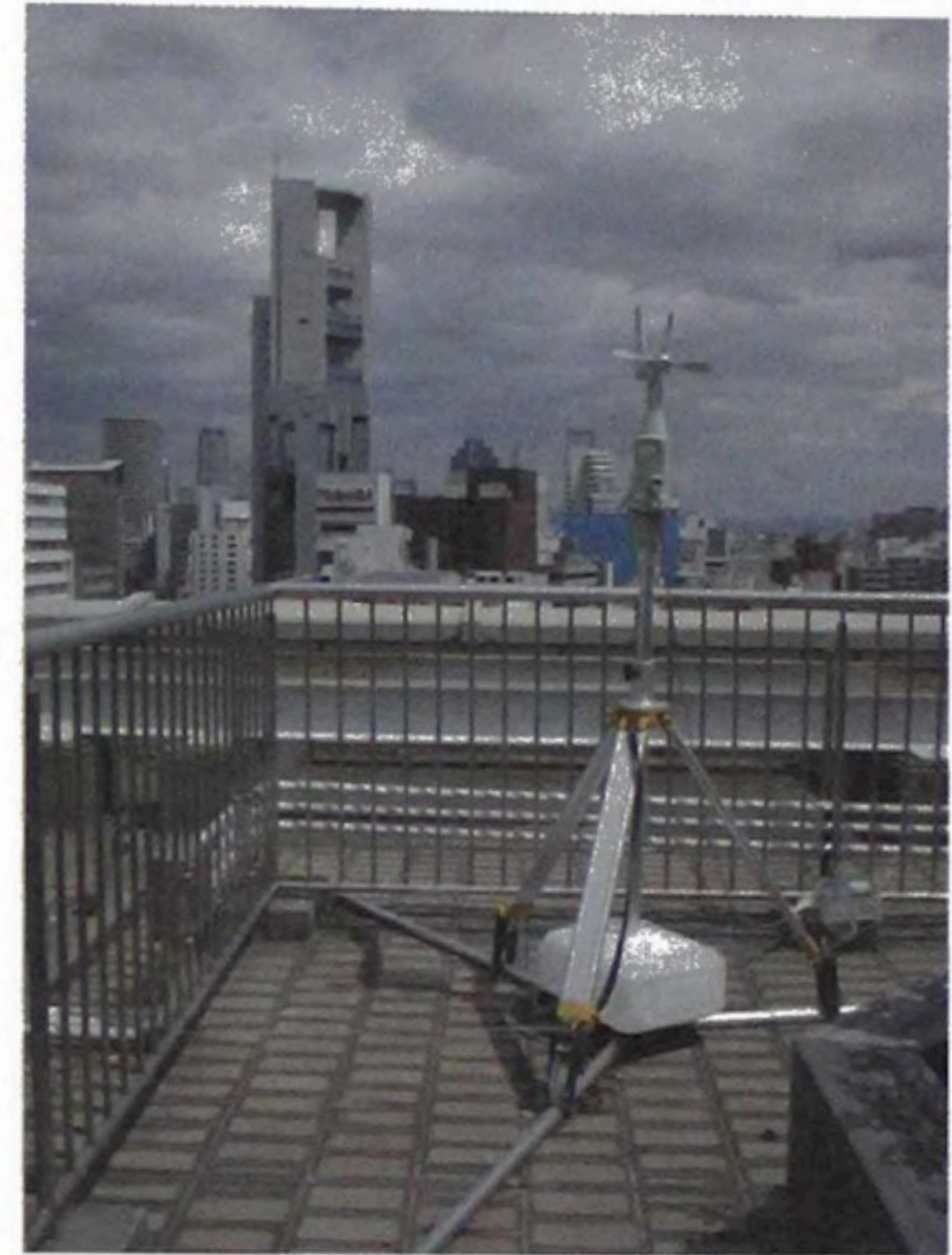
資料写真 4.2.2-1 本庁舎屋上緑化施設
施工中の南ゾーン(2003年6月)



資料写真 4.2.2-2 本庁舎屋上緑化施設
施工中の北ゾーン(2003年6月)



資料写真 4.2.2-3 本庁舎屋上緑化施設
施工中の土壌部分(2003年6月)



資料写真 4.2.2-6 本庁舎屋上緑化施設
北西角に設置した風向風速計



資料写真 4.2.2-4 本庁舎屋上緑化施設
施工中の土壌部分(2003年8月)



資料写真 4.2.2-7 本庁舎屋上緑化施設
北東角の土壌部分



資料写真 4.2.2-5 本庁舎屋上緑化施設
灌水用パイプ(2004年6月)



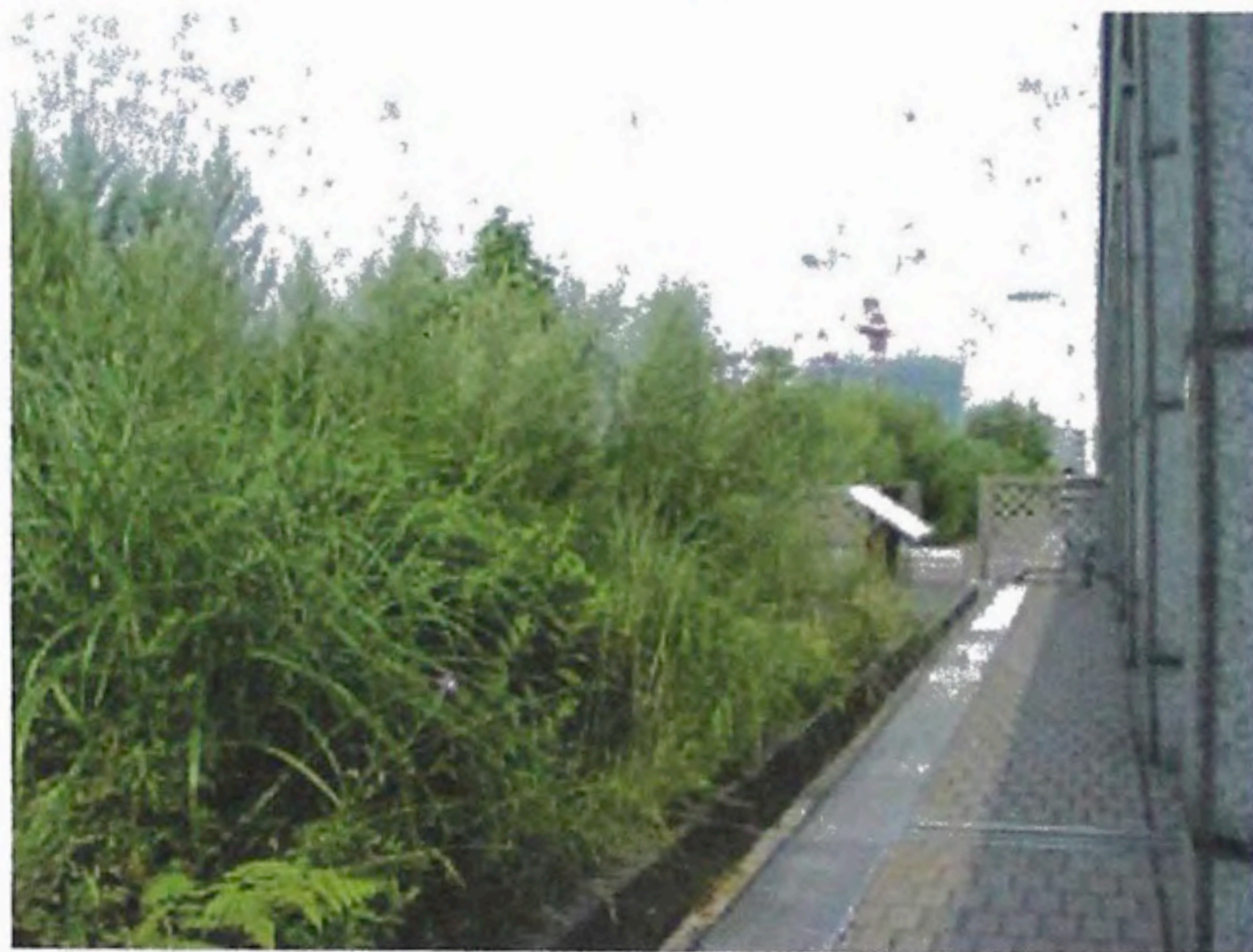
資料写真 4.2.2-8 本庁舎屋上緑化施設
熱流板を埋設した周辺の植栽



資料写真 4.2.2-9 本庁舎屋上緑化施設
南ゾーン (2005年7月)



資料写真 4.2.2-12 本庁舎屋上緑化施設
南西の百葉箱 (2005年6月)



資料写真 4.2.2-10 本庁舎屋上緑化施設
北ゾーン (2005年7月)



資料写真 4.2.2-13 本庁舎屋上緑化施設
北西の百葉箱 (2005年6月)



資料写真 4.2.2-11 本庁舎屋上緑化施設
南東の百葉箱 (2005年6月)



資料写真 4.2.2-14 本庁舎屋上緑化施設
北東の百葉箱 (2005年6月)

資料6 ハンブルク大学気象研究所における風洞実験の状況

第4章 対策の個別評価

4.2.3 建物と蒸発散モジュールを用いた物理モデルによる風洞実験

撮影時期:2002年7月



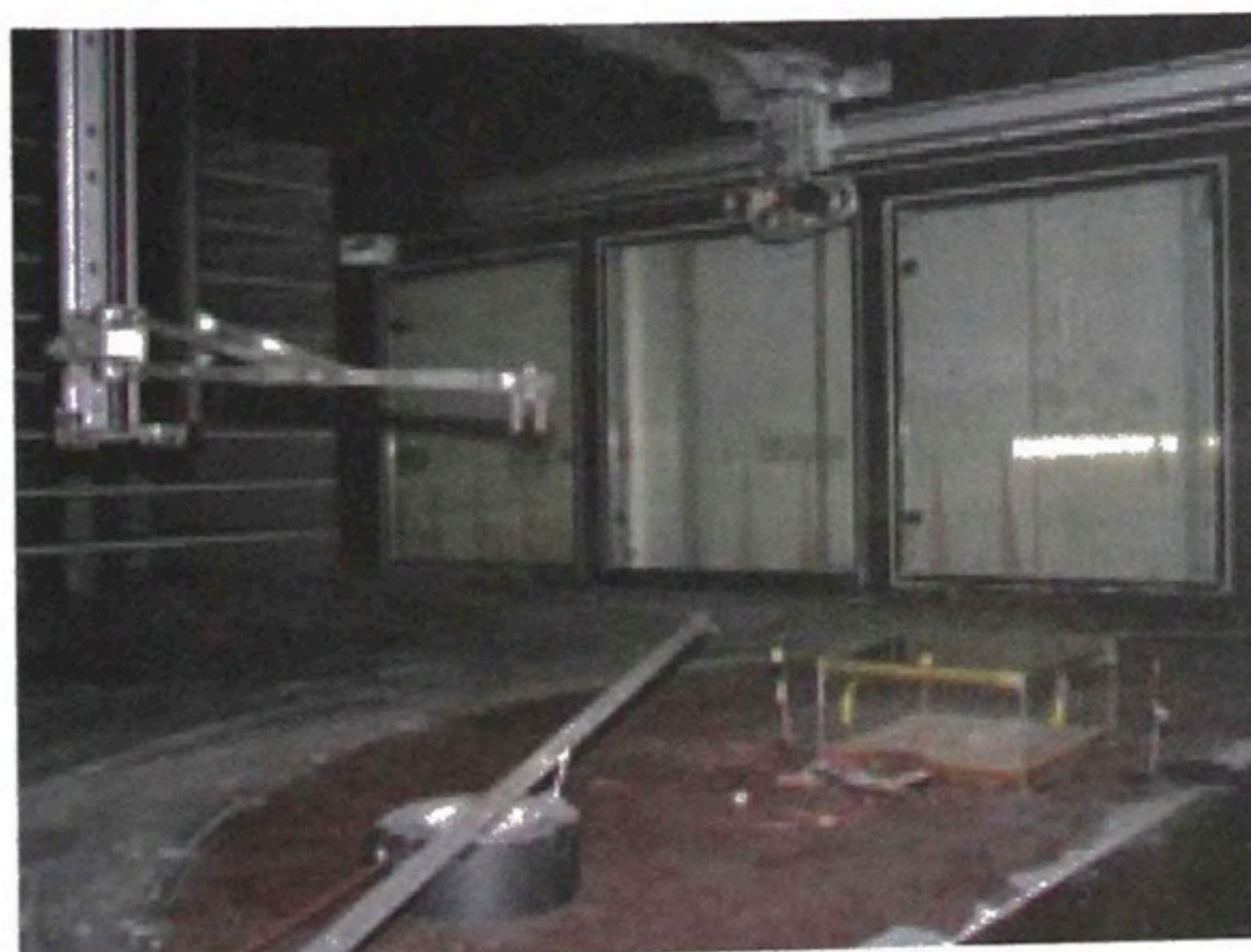
資料写真 4.2.3-1 ハンブルク大学気象研究所
風洞“BLASIUS”内のラフネスブロック(風上)



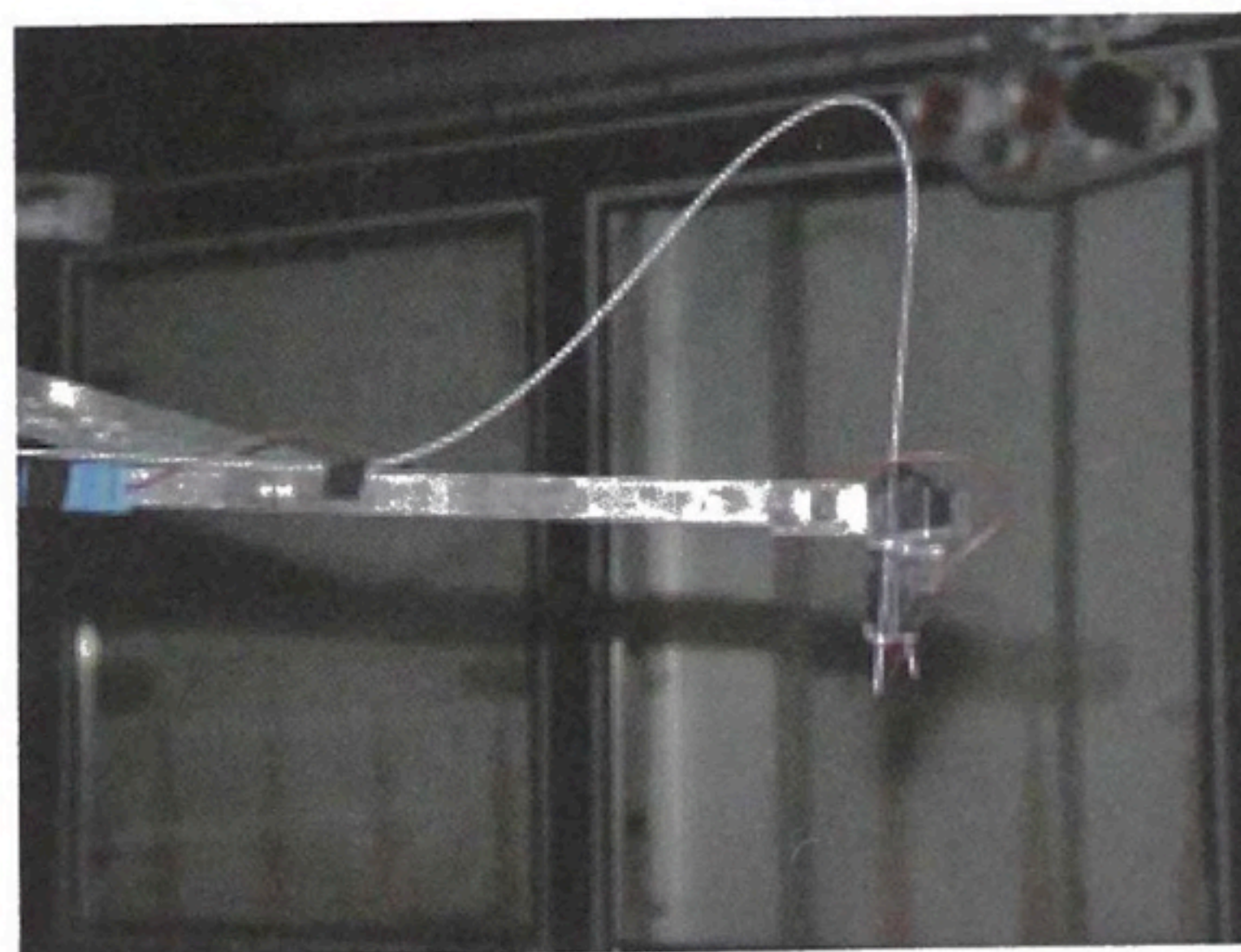
資料写真 4.2.3-4 “BLASIUS”
建物モデル上部にライトを設置



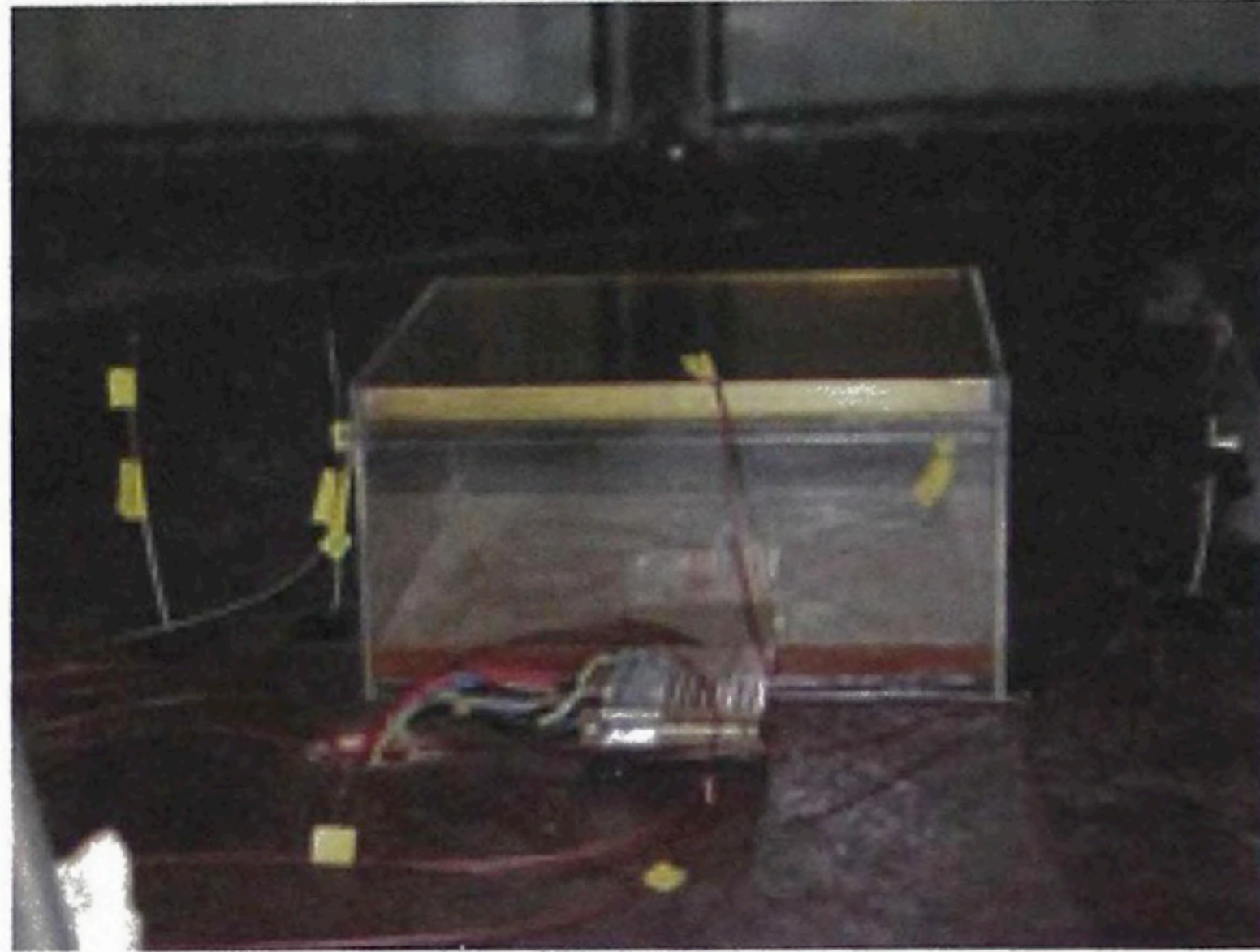
資料写真 4.2.3-2 “BLASIUS”
トラバース装置とファン吸入口(風下)



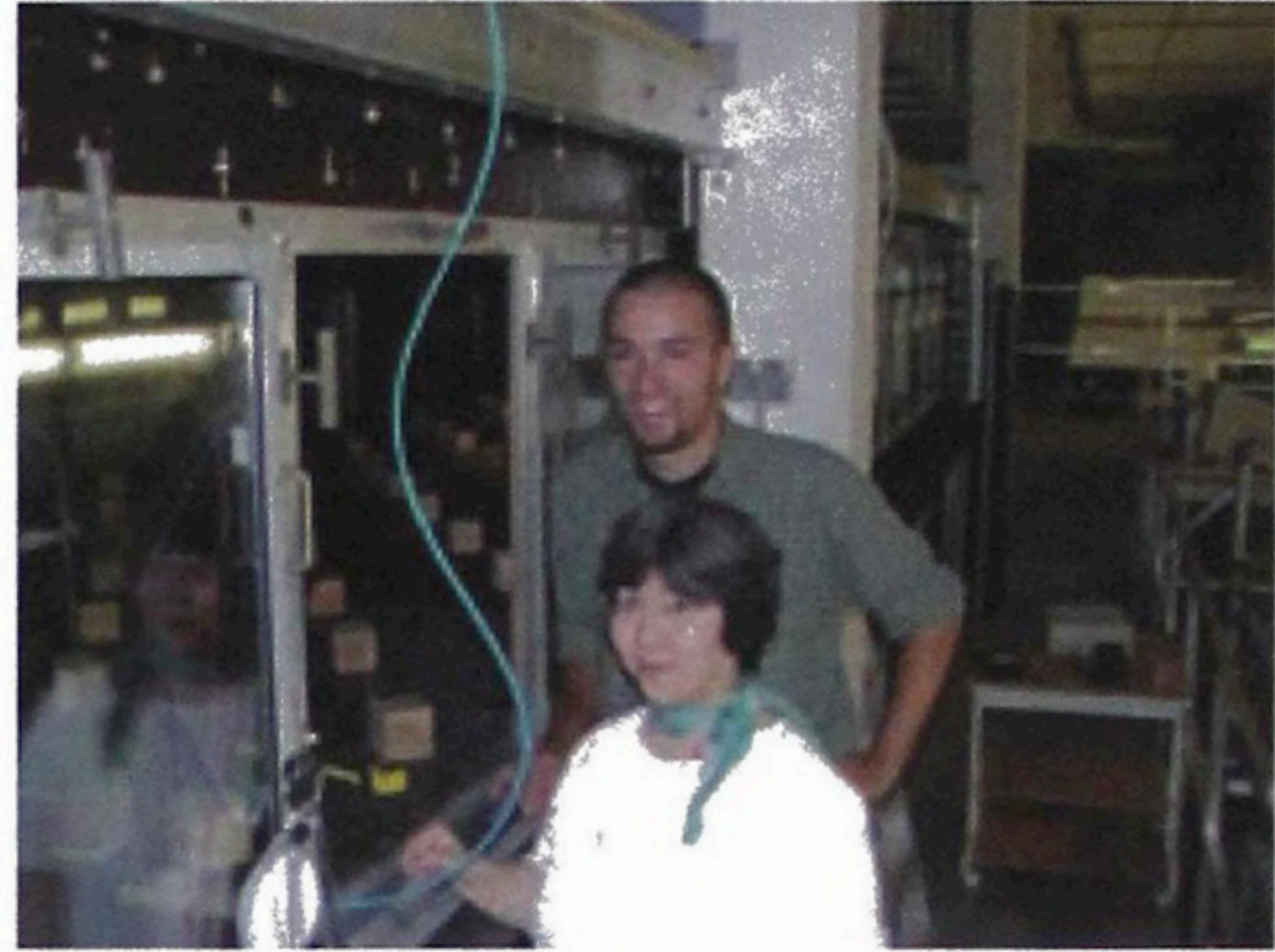
資料写真 4.2.3-3 “BLASIUS”
建物モデルの設置



資料写真 4.2.3-5 “BLASIUS”
トラバース装置に取り付けたガス採取管



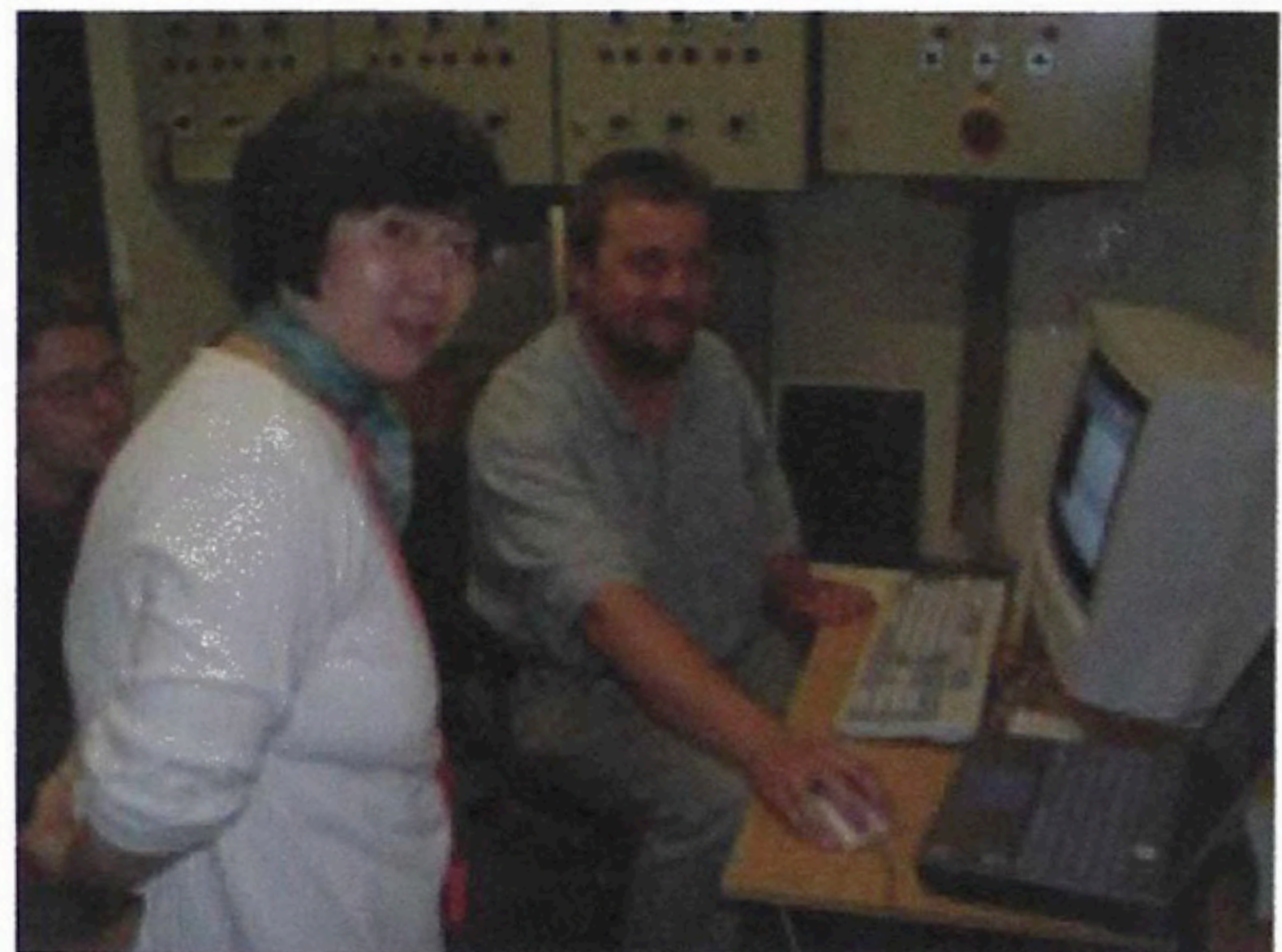
資料写真 4.2.3-6 “BLASIUS”
建物モデルの屋上部分に
プールを設置したプールモデル



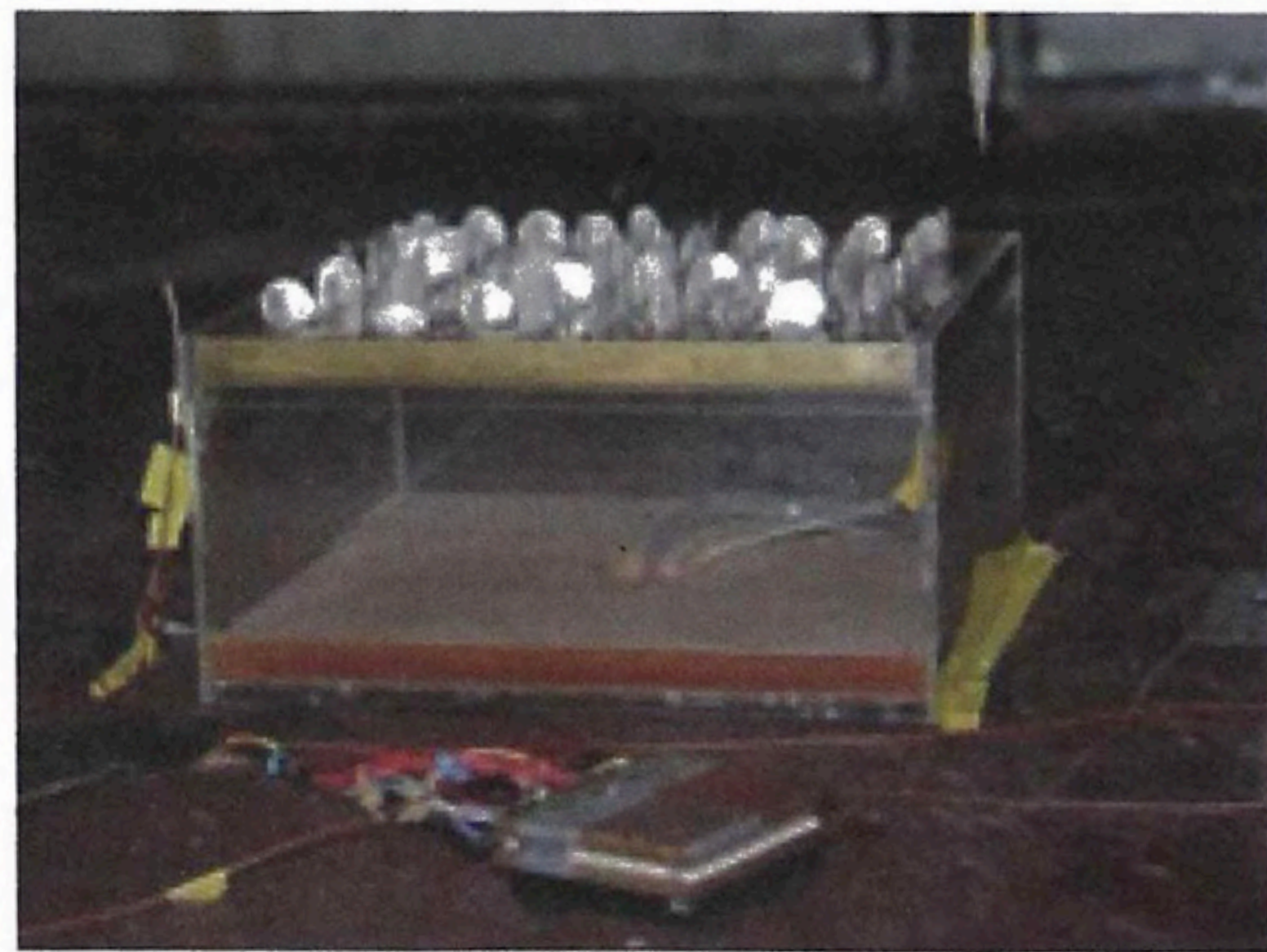
資料写真 4.2.3-9 “BLASIUS”
風洞内部は、長さ9m、高さ1m、幅4m
実験助手と筆者



資料写真 4.2.3-7 “BLASIUS”
樹木模型



資料写真 4.2.3-10 “BLASIUS”
Dr. Bernd Leitl と環境制御盤



資料写真 4.2.3-8 “BLASIUS”
建物モデルの屋上プールに
樹木模型を設置した樹木モデル

本論文に関する著者の公表論文

第1章(公表論文)

梶元慶子, 「熱環境問題」その世界的課題と地域的課題 -地球温暖化現象とヒートアイランド現象-, 生活衛生, 50, 5, 317-322 (2006)

第2章(公表論文)

西村伸也, 鍋島美奈子, 西岡真稔, 谷口一郎, 梶元慶子, 野邑奉弘, ヒートアイランドから見た大阪市域におけるエネルギー供給の時空間特性, 日本ヒートアイランド学会論文集設立記念特集号, 43-50 (2006)

第3章(公表論文)

梶元慶子, 谷口一郎, 野邑奉弘, 2005年の大阪市域における気温分布の特徴とヒートアイランドの発生状況, 日本ヒートアイランド学会論文集設立記念特集号, 57-62 (2006)

同(国際会議論文)

K. Masumoto, I.Fukunaga, M.Ohmori, M.Ohnishi, H.Iyota, N.Nishimura, T. Nomura, The factor analysis of the heat island phenomena in Osaka city - The effects by environmental of typical urban areas based on measurement, International Workshop on Physical Modelling of Flow and Dispersion Phenomena (2001)

第4章(国際会議論文)

梶元慶子, ヒートアイランド現象緩和対策としての屋上緑化 大阪市役所屋上緑化施設における効果の測定, 第8回 SEOUL 特別市-OSAKA 市環境問題 SYMPOSIUM, Proceeding, 71-75(2005)

(その他)

1. 今井長兵衛, 梶元慶子, 増田淳二, 夏原由博, 都市緑地機能の研究 3. 上町

台地斜面緑地の気温の通年測定, 大阪市立環境科学研究所報告, 調査・研究
年報, 58, 60-67, (1996)

2. 榊元慶子, 増田淳二, 夏原由博, 今井長兵衛, 都市緑地機能の研究 2. ヒート
アイランド現象緩和機能の実態調査, 大阪市立環境科学研究所報告, 調査・研
究年報, 57, 73-83, (1995)
3. 榊元慶子, 都市のヒートアイランド現象について, 生活衛生, 46, 45-51, (2002)
4. 榊元慶子, 広がる校庭の芝生化の取り組み - 維持管理の実際と期待される効
果 -, 都市環境, 38, 21-32, (2005)

(口述発表論文)

1. 榊元慶子, 河野仁, 中野博支, 梶野繁, 尾田晃一, 山本武, 大阪におけるヒート
アイランド現象に関する研究 - エネルギー消費量と排出熱量について -, 第 33
回大気汚染学会講演要旨集, 421, (1992)
2. 榊元慶子, ヒートアイランド対策としての屋上緑化 大阪市役所屋上緑化施設に
おける気温と熱流の測定, 第 32 回環境保全・公害防止研究発表会講演要旨集,
8-9(2005)
3. 榊元慶子, 福永勲, 福山丈二, 今井長兵衛, 夏原由博, 増田淳二, 大西正記,
野邑奉弘, 都市のヒートアイランド現象の発生要因の解析(実測に基づく典型的
な都市地域の特性の影響), 日本機械学会第8回環境工学総合シンポジウム'98
講演要旨集, 299-302, (1998)
4. 榊元慶子, 西村伸也, 野邑奉弘, 都市のヒートアイランド現象の発生要因の解析
実測に基づく典型的な都市地域の特性の影響, 日本ヒートアイランド学会, 第 1
回全国大会講演要旨集, 68-69(2006)
5. 大阪市立今宮小学校5年生, 山尾 学, 榊元慶子, 校庭の気温を比較してみよう
芝生化モデル校環境学習会, 日本ヒートアイランド学会, 第 1 回全国大会講演要
旨集, 76(2006)
6. 地球館パートナーシップクラブ, 中谷 憲一, 榊元 慶子, 都市の小規模緑地とそ
の周辺の気温測定 新梅田シティと帝塚山古墳, 日本ヒートアイランド学会, 第 1
回全国大会講演要旨集, 74(2006)

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、終始ご懇切なるご指導、ご鞭撻、ご激励をいただき、さらに本論文のご高閲の労を賜りました、大阪市立大学大学院工学研究科教授 野邑奉弘博士に対し、心より感謝の意を表します。

また、有益なご教示とご討論を賜りました大阪市立大学大学院工学研究科教授 中尾正喜博士、同教授 東恒雄博士、同教授 佐藤嘉洋博士に厚くお礼申し上げます。

さらに、本研究の推進にあたって、学会、国際会議の発表等に、ご懇切なるご指導を賜りました、大阪市立大学大学院工学研究科助教授 西村伸也博士、同講師 伊與田浩志博士に、厚くお礼申し上げます。

ハンブルク大学気象研究所のB.ライトル博士には、2週間にわたってご指導をいただきながら、風洞実験施設を使用させていただきました。これは極めて貴重な体験となり、本研究の幅を広げ、知見を深めることができましたことを、心より感謝いたします。

ついで、研究遂行にあたって、課題設定や解析結果の検証など、多方面からの有益なご教示とご激励をいただきました大阪市立環境科学研究所の、今井長兵衛博士、福山丈二博士、鶴保謙四郎博士、山本攻博士ほか諸先輩方、また、数々のご助言、ご協力をいただいた大気環境課の職員の方々に、深く感謝の意を表します。

とりわけ、研究所の先輩である大阪人間科学大学人間環境学科教授 福永勲博士には、長きにわたり、多大なるご指導、ご激励をいただきました。心より深く感謝申し上げます。

また、本研究の観測網データの提供や、行政面から、きめ細かいご助言をいただいた大阪市都市環境局光岡和彦理事、同西山健一郎技術監、谷口一郎担当係長にも、厚くお礼申し上げます。

また、エネルギー消費量のデータの解析には、大阪ガスの諸氏、また、関西電力大西正記氏には、数々のご尽力を賜るとともに、ご助言をいただきました。厚くお礼申

上げます。

さらに、大阪市教育委員会事務局整備課、同ゆとりとみどり振興局緑化課、大阪市立環境学習センター生き生き地球館のご担当職員の方々、地球館パートナーシップクラブの方々、大阪市立今宮小学校をはじめ、環境教育実施校の諸先生方に、研究の幅を広げ、対策に結びつける場を、多々ご提供いただき、本論文の作成、ならびに研究を遂行するにあたり、本当に大きな助けとなりました。心より感謝の意を表します。