

社会環境工学研究連絡委員会

ヒートアイランド現象専門委員会報告

ヒートアイランド現象の解明に当たって
建築・都市環境学からの提言

平成 15 年 7 月 15 日

日本学術会議

社会環境工学研究連絡委員会

ヒートアイランド現象専門委員会

この報告は、第 18 期日本学術会議社会環境工学連絡委員会ヒートアイランド現象専門委員会の審議結果をとりまとめ、発表するものである。

ヒートアイランド現象専門委員会

- 委員長 尾島 俊雄（第 5 部会員、早稲田大学教授）
- 委員 足永 靖信（独立行政法人建築研究所上席研究員）
森山 正和（神戸大学教授）
三上 岳彦（東京都立大学大学院教授）
- オブザーバー 丹保 憲仁（第 5 部会員、放送大学学長）
中村 恒善（第 5 部会員、京都大学名誉教授）
野上 道男（日本大学教授）
藤部 文昭（国土交通省気象庁気象研究所主任研究官）
梅干 野晃（東京工業大学大学院教授）
村上 周三（慶応義塾大学教授）
木内 豪（独立行政法人土木研究所主任研究員）
- 協力委員 加藤 信介（東京大学生産技術研究所教授）
大岡 龍三（東京大学生産技術研究所助教授）
佐土原 聡（横浜国立大学大学院教授）
市川 徹（東京ガス株式会社）
李海 峰（独立行政法人建築研究所客員研究員）
村上 治（社団法人環境情報科学センター）

W.G.スタッフ

- W.G.-1 尾島俊雄・三上岳彦・足永靖信・森山正和、佐土原聡・加藤信介・市川徹
- W.G.-2 足永靖信・持田灯（東北大学大学院助教授）・大岡龍三
- W.G.-3 森山正和・梅干野晃・木内豪・村上周三・尾島俊雄・佐土原聡
- W.G.-4 三上岳彦・高橋洋二（東京商船大学大学院教授）・佐土原聡・足永靖信
石丸隆（社団法人環境情報科学センター）
安藤晴夫（東京都環境科学研究所主任研究員）
田村英寿（電力中央研究所主任研究員）・影山嘉広（東京電力株式会社）
福尾知明（東京ガス株式会社）・谷岡孝一（新日本製鉄株式会社）
小杉佐内（住友金属工業株式会社）
- W.G.-5 加藤信介・大岡龍三・市川徹・大森敏明（東京ガス株式会社）
小島弘（東京ガス株式会社）・李海峰・鳴海大典（大阪大学大学院助手）
原山和也（東京大学生産技術研究所）、黄弘（東京大学生産技術研究所）

要 旨

(1) 作成の背景

内閣府の総合規制改革会議「ヒートアイランド現象の解消」について調査・審議され、2002年3月「規制改革推進3ヶ年計画」として閣議決定した。この決定に先立ち、環境省ではヒートアイランド現象は都市の熱大気汚染現象であるとの見解を公表している。環境省・国土交通省・経済産業省等関係省庁からなる総合対策会議の設置によって、総合的な推進体制を構築するとともに、「解消対策に係わる大綱の策定」についても検討が始まっているが、問題は総合的にみた科学的研究成果があまりに少ないことである。

(2) 現状及び問題点

都市のヒートアイランド現象に関しては、1850年代ごろからヨーロッパで観測されていたが、1960年代から近代建築の冷房や車の増大がシカゴやニューヨークで顕著になり、排熱を河川に捨てるなどの対策がとられてきた。しかし、欧米先進諸都市に比べ、東京首都圏や近畿圏の都市規模の人工排熱は比較にならない程に大きい。

20世紀の100年間で東京首都圏の市街地面積と人工排熱はそれぞれ100倍になった。これがヒートアイランドの直接的原因であるが、その対策に最も有効なグリーンベルトが1930年当時、2万haが計画されていたが、その形骸すら残っていない。木造密集危険市街地が2万ha以上、さらに都市内河川の80%が埋め立てられてしまった。12万haあった東京湾の2万haが工業用地として埋め立てられ、火力発電所や石油・鉄鋼コンビナートが立地した。このような状況から、必然的に生じたヒートアイランド現象の解明は社会的にも急務である。

(3) 改善策、提言等の内容

都市再生・構造特区の指定並びに開発に当たって、ヒートアイランド現象を拡大させないよう十分な対策を立てる。都市再生事業等による都市開発行為がヒートアイランド現象を悪化させないようヒートアイランドアセスメントを実施する体制を整備する。

人口過密な大都市にあっては、アメダス測定点の10倍以上の観測点を立体的に配置する。少なくとも、政令都市における重要な測定点を明示し、その管理手法を検討する。

各地方自治体にあっては、それぞれ都市計画の前段階で環境計画の策定が義務付けられている。その環境計画の中で、都市環境気候図の作成を要望する。

目 次

提 言	1
1 研究が必要とされた背景	3
2 ヒートアイランド計算手法の提案と今後の研究の方向性	5
2 - 1 ヒートアイランド研究の背景	
2 - 2 ヒートアイランド計算手法の現状と課題	
2 - 3 ヒートアイランド研究に関する提案	
3 都市環境気候図の作成と建材がヒートアイランドに与える影響の定量化研究	12
3 - 1 都市環境気候図の作成	
3 - 2 建材がヒートアイランドに与える影響	
4 都市排熱を下水・河川・海水によった場合の環境影響	20
4 - 1 排熱処理システムの概要	
4 - 2 想定される温排水の環境影響	
4 - 3 今後の検討課題	
5 建物からの排熱処理を大気によった場合の解明	30
5 - 1 空調排熱の排出形態が広域都市領域の熱環境に及ぼす影響の検討	
5 - 2 人工排熱の排出形態が市街地空間の熱環境に及ぼす影響の検討	
5 - 3 まとめ	
附) ヒートアイランドによる環境影響に関する現状調査	42
A - 1 ヒートアイランドの実態把握	
A - 2 数値シミュレーションによるヒートアイランド対策研究	

提 言

〔1〕 都市再生・構造特区の指定並びに開発に当たって、ヒートアイランド現象を拡大させないよう十分な対策を立てる。

都市再生事業等による都市開発行為がヒートアイランド現象を悪化させないようにヒートアイランドアセスメントを実施する体制を整備する。そのためにはヒートアイランドアセスメント手法の確立が急務である。また文部科学省科研費の総合・新領域系の複合新領域の環境学の細目名に「ヒートアイランド研究」を新設する。さらに、総合科学技術会議の重点研究課題である環境分野に、ヒートアイランドイニシャティブを加える。学術会議第19期にあっては、「ヒートアイランド現象解明研究連絡委員会」を設置し、都市管理を総合的に実施するため、都市の生態系（エコハビテーション）、都市災害等の多角的視点からなる都市環境計画の新たな枠組みを創出し、さらに、地球環境負荷と都市環境負荷の両面に配慮した新しい都市像およびライフスタイルを人文科学分野を含む専門家協議から導く。また第5部社会環境工学研究連絡委員会において、本研究の継続性を明記する。

〔2〕 人口過密な大都市にあっては、アメダス測定点の10倍以上の観測点を立体的に配置する。少なくとも、政令都市における重要な測定点を明示し、その管理手法を検討する。

都市のヒートアイランド現象は土地利用や人工排熱など様々な要因に影響され、時間的にも空間的にも複雑な変動をしている。その実態を正確に捉えるには、気象庁アメダスによる現在の観測密度では不十分であり、より高密度の気象観測モニタリングが不可欠である。すでに、東京都では2002年度より都区内120地点に独自の観測システムを構築し、高精度・高密度の気象データを用いた詳細なヒートアイランドの実態解明に着手している。首都圏の一部では東京都のような都区内での自主的計測を始めているが、抜本的に全国の大都市とその周辺部での高密度気象観測モニタリングシステムを構築すべきである。さらに、ヒートアイランド現象緩和効果の予測を行い、有効な対策を策定するには、数値シミュレーションが不可欠である。これまで各研究分野で取り組まれてきたヒートアイランド研究のモデル群を総点検してヒートアイランドの全体像を捉えるために、理学、工学に渡る幅広い研究分野の専門家が結集する総合的研究体制を整備することが急務である。同時に、都市域で発生する膨大な熱量が都市環境に放出された場合の熱的影響を計測評価する手法の構築とその背景になる陸域、海域、空域の熱的環境容量と人間・生態系への影響に係わる調査実施を各方面の研究機関に働きかけるべきである。そして、これらのヒートアイランド研究を効率よく推進するため、地球シミュレータやその他のスーパーコンピュータの優先的な利用等、計算機環境の強化を図る必要がある。

〔3〕 各地方自治体にあっては、それぞれ都市計画の前段階で環境計画の策定が義務付けられている。その環境計画の中で、都市環境気候図の作成を要望する。

一般に、日本の都市における気流交換（風の道）は海陸風と山谷風のような局地循環風

が主役である。日中は海風が発達するため沿岸地域は比較的気温の上昇が緩和される。夜間は陸風が発達して新鮮な空気をもたらす、山に接した市街地には山風や斜面風の冷気が市街地に流入する。これらの風は、海、山、平野部といった都市の立地している自然の地形に基づくものであり、海や山に接して発達している都市の多いわが国では、これらの局地循環風を十分に考慮した土地利用計画や市街地形態の誘導などを取り入れてゆく必要がある。具体的には、海風と川筋や街路の方向が一致する場合にはそれに沿って海風は内陸へと侵入する。そのような風のあまり期待できない市街地、特に大都市の中心地域では、屋上緑化や高反射性塗料、保水性建材などの建物外皮によるヒートアイランド対策を積極的に推進してゆく必要がある。また、オープンスペース割合の多い市街地では上空の風は建物と呼応して上下の混合により地表付近に気流をもたらす、汚染空気の換気や暑熱緩和効果が期待できる。このような土地被覆や人為的活動の状況、地形や風の条件を都市計画的に適切に位置付け、計画に必要な気候情報を総合的に集約した「都市環境気候図」を作成し、自然の恵みをできるだけ効果的に享受し、その土地にふさわしい健康で快適な環境が形成しうるような都市や市街地、建築の計画を立案すべきである。

以上の点から、本専門委員会では半年の短時間で現在のヒートアイランドの研究成果を取り急いでまとめたもので、ヒートアイランド問題の抜本的解消には、幅広い分野の連携による総合的な研究が必要であり、学術会議において、本専門委員会を継承する総合的研究委員会の設置を要請する。

1 研究が必要とされた背景

内閣府の総合規制改革会議「ヒートアイランド現象の解消」について調査・審議され、2002年3月「規制改革推進3ヶ年計画」として閣議決定した。この決定に先立ち、環境省ではヒートアイランド現象は都市の熱大気汚染現象であるとの見解を公表している。環境省・国土交通省・経済産業省等関係省庁からなる総合対策会議の設置によって、総合的な推進体制を構築するとともに、「解消対策に係わる大綱の策定」についても検討が始まっている。

国土交通省では、「土地利用形態の変更に伴う気候変化の実験、借地公園・屋上・壁面の緑化、市街地の緑とオープンスペースの機動的確保、水面積の拡大、雨水の貯留、浸透、下水処理水の路面散水、都市排熱の区域外処理システム、水路、緑地、風の道」の連携による「緑の回廊構想」が具体的に検討され始めた。

環境省ではこれまでの実態調査と解析、対策手法の検討として、「都市環境気候図の作成、誰でも活用できる簡易シミュレーションモデルや技術データ集の作成」をすることに加えて、都市全体の熱収支バランスを管理する「熱の管理」の視点が重要であるとして、「潜熱・顕熱や放射等、自然状態と比較して人工化の影響について」検討している。

経済産業省では、新エネルギーや省エネルギーの面からヒートアイランドへの負荷をいかに少なくするかの政策を、また東京都では環境基本計画で定めた最も市民生活に影響を与えている実態の解明とモデリングの評価を目標としている。2015年までに熱帯夜を現状の30~40日から20日程度に減少させることとしているが、そのためには、水や緑の蒸発散効果を回復する地表面の被覆や省エネルギー対策を進め、東京湾からの海風や川沿いの風を生かした「風の道」に配慮した都市づくりを検討していくことになっている。

都市のヒートアイランド現象に関しては、1850年代ごろからヨーロッパで観測されていたが、1960年代から近代建築の冷房や車の増大がシカゴやニューヨークで顕著になり、排熱を河川に捨てるなどの対策がとられてきた。しかし、欧米先進諸都市に比べ、東京首都圏や近畿圏の都市規模の人工排熱は比較にならない程に大きい。特に東京首都圏は世界で最も急速に開発された地域であるが、アジアの諸都市は今、それ以上の勢いで開発されていることを考えれば、東京におけるヒートアイランド問題の解明は世界的にも大きな貢献策と考えられる。

20世紀の100年間で東京首都圏の市街地面積と人工排熱はそれぞれ100倍になった。これがヒートアイランドの直接的原因であるが、その対策に最も有効なグリーンベルトが1930年当時、1~2km×75km 2万haが計画されていたが、今やその形骸すら残っていないばかりか、木造密集危険市街地が2万ha以上、さらに都市内河川の80%が埋め立てられるか、蓋をかけられ下水道化されてしまった。12万haあった東京湾の2万haが工業用地として埋め立てられ、2,000万kW以上の火力発電所や石油・鉄鋼コンビナートが立地した。このような状況から、必然的に生じたヒートアイランド現象の解明は社会的にも急務である。

このような状況から個々の学会や研究室での報告を基に、学術会議第 5 部で 2002 年 12 月、急遽「ヒートアイランド現象専門委員会」を設置し、原因分析と学術的検討の必要性を指摘すると共に、今後は直接関連する第 4 部・第 6 部のみならず、内閣府で要望している社会科学的な影響要因から、この問題の解消には学問的研究を含めた抜本的対策を講ずる必要があると考えるに至った。

例えば、欧米に見られるような夏の長期バケーションによって都心居住者が減ることは、この問題の一番早急な解決策であること等を考えれば、単なる科学的問題のみならず、経済・社会問題となり、わが国のこれまでの価値観の転換やライフスタイルのあり方を変えることによって、ヒートアイランド現象の抜本的解決策も可能である。こうしたソフト・ハード面の多面にわたる問題解決には、日本学術会議での全面支援が不可欠と考えた次第である。

2 ヒートアイランド計算手法の提案と今後の研究の方向性

2 - 1 ヒートアイランド研究の背景

1) ヒートアイランド現象とは

ヒートアイランド現象とは、都心部の気温が郊外に比べて島状に高くなる現象である。IPCC 第3次報告書では地球の平均気温は20世紀の100年間に約0.6℃上昇したことが指摘されている。日本の場合、1960年代および1990年代に気温上昇傾向が顕著であり20世紀を通しての気温上昇は約1℃と見積もられている。一方、日本の大都市（札幌、仙台、東京、名古屋、京都、福岡）の最近100年間における気温上昇のスピードは2~3℃/100年と見積もられることから、地球の温暖化傾向と比べてヒートアイランド現象の影響は大きいと考えられている。都市の気温上昇に伴い各地の熱帯夜（日最低気温が25℃以上を記録した日）も増加傾向にあり、東京の場合20世紀初頭に年間熱帯夜日数は数日レベルであったのが近年は30~50日近くに及ぶ年が珍しくなく都市の居住性を損なっている。このようにヒートアイランドは、慢性化・深刻化の様相を極めており永らく都市環境問題の一つとされてきた。

2) ヒートアイランドの問題点

ヒートアイランドの問題点は環境省や学会等で指摘・議論されているところであるが要約すると以下のようなものである。

a. 夏期電力需要の先鋭化

夏期に都市気温が上昇すると、冷房負荷の増加や空調機器の効率低下等から電力需要が先鋭化する。東京電力管内（1都8県）の気温感応度は160万kW/℃であり、この値は中型原子炉2基分の容量に相当する莫大な電力量である。

b. 人間影響

夏期日中の高温化と熱帯夜の増加は、都市生活を送る上で暑さという不快感や熱中症のリスク等人間影響に係わる問題である。東京消防庁の資料から1980年代に比べて熱中症の搬送人員はここ20年間で倍増したという報告例が見られる。

c. 大気汚染

ヒートアイランドの上昇流が海風循環の構造を変化させ都市大気の拡散低下を招いて大気汚染が顕著化する現象や、気温上昇による光化学オキシダント発生の促進作用が指摘されている。

d. 集中豪雨、生態系

ヒートアイランドによる風系の変化が都市で発生する局地的な集中豪雨の誘因になるという指摘がある他、都市域の温度環境の変化が陸域・水域の生態系に影響を及ぼすのではないかと危惧されている。

3) ヒートアイランドの原因

都市気温を上昇させる要因として以下のものが考えられる。

- a. 都市域で発生する人工排熱
- b. 緑地の減少に伴う地表の蒸発冷却能力の低下
- c. コンクリート、アスファルト等の建材の蓄熱作用
- d. 市街地の通風阻害による熱のよどみ
- e. 天空率の低下による放射冷却の抑制作用
- f. 細塵や大気汚染物質による温室効果、等

環境省の試算によると、東京 23 区で発生する人工排熱の夏期日平均値（全熱）は約 32W/m^2 であり、この値は東京 8 月平均の全天日射量 15MJ/m^2 日（日平均 174W/m^2 ）の約 18% に相当する。新宿など高層市街地では人工排熱がさらに集中し、その地域に降り注ぐ全天日射量とほぼ等しい値に達する。人工排熱（顕熱）の内訳を見ると、オフィス、住宅等の建物の空調システムからの放熱、自家用車やトラック等交通からの放熱、工業生産やゴミ焼却等の工場からの放熱で構成されており、建物と道路で全体の 80% 以上を占める。特に夏期日中における建物の空調システムからは東京 23 区全体で中型原子炉 10 基分に相当する膨大な顕熱が大気に放出されている。

都市の地表面被覆は大きく見ると緑からアスファルト、コンクリート等の建材に置き換えられている。1960 年から 2000 年の間に使用されたコンクリートの量は膨大であり、日本全体の D I D 面積に均等に敷き詰めるとその厚さは 2.5m に達する。実際、ランドサット衛星画像で東京を眺めると 23 区の緑が周辺地域に比べて少ない様子を一見できる。そのため、都市域では蒸発による冷却機能が失われて表面温度が高温化することになり、地表面から大気に放出される対流顕熱が増加することが予想される。東京 23 区が全て緑で占められる自然状態を仮想的に考えてそこから現状に至る対流顕熱の増分と人工排熱の総量を比較すると両者はほぼ等しい量である。すなわち、人工排熱と同様に地表面被覆の影響を無視することは出来ない。

4) ヒートアイランドの対策

現在ヒートアイランド対策として以下のものが考えられる。

a. 地表面被覆の改善

公園・緑地や街路樹の整備、建物の屋上・敷地の緑化、水面の確保、高アルベド塗装や保水性・透水性舗装、保水性建材等の材料選択、により建物および地表の表面温度の高温化を抑制する。

b. 人工排熱の削減

建物の断熱等各方面の省エネルギーの更なる推進、冷却塔の活用による人工排熱の潜熱化（建築設備面の工夫）、地域冷房施設による都市排熱の回収と適正な排熱処理、分散型電源や夜間蓄熱システムの大気熱影響の検討、により大気への顕熱放熱量を削減する。

c . 市街地形態の改善

海陸風、山谷風等の地域風が持つ冷却力の活用、都市内の水面、緑地のネットワーク化による冷気の通り道の確保、街路や建物の配置による風通しや熱放射の改善、により都市の発生熱をため込まないような構造に改善する。

ここ 100 年間で東京の気温は 3 上昇したが、その間に東京の姿の変貌は極めて大きいものがある。1930 年代と現在を比較すると、東京の土地に占める建物の面積は 2 倍増、建物の平均高さは 3 倍増の変化を遂げた。それだけにヒートアイランドを弱体化させるには都市は相当変わらなくては行けない。また、人間活動の主たる舞台である都市を対象とする以上、社会経済性や法律など様々な制約を避けることは出来ない。現在の都市活動の水準を維持することを前提としてヒートアイランドの総合的対策を導く難問に果敢に取り組むことが求められている。一方、ヒートアイランド対策の一つ一つを見ていくと、緑・オープンスペースの確保により現状の建て詰まった街へあらたに風を呼び込み水・緑の潤いを与えるとともに省エネルギー型都市を指向したものであることが理解できる。結局のところ、これらの対策を等閑視することは許されないのである。したがって、ヒートアイランド対策を持続可能な社会基盤形成の重要なキーワードとして受け止める必要があると言える。

5) ヒートアイランド計算手法の必要性

ヒートアイランドは様々な都市的効果が集積して現れる複雑な現象であり、そのメカニズムの解明は従来からの検討課題である。内閣府総合規制改革会議は「規制改革の推進に関する第 2 次答申 - 経済活性化のために重点的に推進すべき規制改革 - 」(平成 14 年 12 月 12 日)の中で具体的施策として「ヒートアイランド現象のメカニズム等に係る調査研究の推進等」を掲げている。ヒートアイランドの原因と結果を結びつけ対策の有効性を見積もる有力な方法としてヒートアイランド計算手法があげられる。ヒートアイランドのメカニズムを完全に掌握することは至難の業であるが、ヒートアイランド計算手法の研究を推進することにより、ヒートアイランドの原因究明、現象解明、対策評価での適用場面が拡大すると期待される。次章以降はヒートアイランド計算手法を中心に述べていく。

2 - 2 ヒートアイランド計算手法の現状と課題

1) ヒートアイランド研究の経緯

ヒートアイランド現象は 19 世紀にヨーロッパで発見されて以来、世界中の多くの都市で確認されてきたが、その計算に至るには暫くの期間を要した。流体運動を司る基本原理自体はナビエストークス方程式として 19 世紀に確立されていたものの膨大な計算が必要であったため実際に数値計算が可能になったのは人類が大型汎用コンピュータという道具を手中にした 20 世紀中盤以降であった。1970 年代に入ると計算機能力の向上に伴って欧米の気象分野を中心として大気境界層のモデル開発や数値解析が数多く実施されるようになり、

ヒートアイランド計算手法の基礎が築かれた。我が国では理学分野を中心にしてヒートアイランド研究の取り組みが見られ、特に 1980 年代には気象分野でのヒートアイランドの力学や統計資料による調査、地理分野では実測による現象解明が活発に行われた。1990 年代になると理学分野ではヒートアイランドに係わる一団の研究成果が整い、地球温暖化監視におけるノイズとしてのヒートアイランドや集中豪雨などの複合現象としてのヒートアイランドが研究対象にされるようになった。その一方で、建築、土木等の工学分野ではヒートアイランドを都市の暑さ対策やエネルギーの問題として捉えるようになり、都市計画的視点から様々な検討が行われるようになった。都市の熱環境の実態や緑地、河川の気象緩和効果については数多くの実測調査が実施され、様々なスケール、用途を対象にした数値シミュレーションモデルが提案されるに至っている。

政策的対応は遅れ気味であったがここ数年は今までにない急激な変化が見られた。まず、環境省が 2001 年 8 月に都市の熱大気汚染現象という見解を公表したためヒートアイランド対策が政策的課題として急浮上した。それを受けて 2002 年 3 月にはヒートアイランド対策が閣議決定され、国土交通省、経済産業省、環境省、内閣府都市再生本部で構成される総合対策会議がヒートアイランド大綱策定に向けた検討が現在行われている。2002 年 7 月に閣議決定された都市再生基本方針では都市再生施策の具体的施策例としてヒートアイランド対策が掲げられており、同基本方針に沿って指定される都市再生緊急整備地域の整備にあたっては、緑、水、大気、エネルギー等、都市の環境の保全・改善へも配慮する旨明記されている。ヒートアイランド対策は都市再生の機運と同期するかのよう政策の場面に一気に躍り出た感がある。

以上のように、ヒートアイランドは理学、工学の研究分野を駆け抜け、政策論にいきついた成熟した研究テーマであるとも言える。総合対策会議の設置からも分かるようにヒートアイランドは 1 つの省庁では解決がつかない問題である。また、気象、地理、建築、土木など数多くの研究分野が関与している。したがって、これらの研究分野の幅広い知見を集結して省庁を連携した総合的な政策に係わる研究支援を行うことが急務であると考えられる。

2) ヒートアイランド計算手法の現状

ヒートアイランドの計算は基本的にはヒートアイランドの成因をパラメータ化し大気モデルに組み入れて気温を評価する方法によるものである。その基本的考え方は都市の熱収支や都市気温の評価を初めて行った Myrup(1969)、Atwater(1972)らによる研究の頃から現在まで変わっていない。当初は、建物や樹木等で構成される都市表面を粗度面として一括して取り扱うラフネスモデルが考えられており、都市の熱収支パラメータの整備が進むにつれ数多くの計算事例が蓄積されてきた。1980 年代後半に入ると都市キャノピー層の熱、運動量の輸送現象の精緻化を目指して、建物や樹木等の抗力を基礎方程式に組み入れ、さらに建物群の放射解析や空調システム解析等の熱的特性も考慮した都市キャノピーモデルが用いられるようになってきた。都市キャノピーモデルは比較的新しいモデルであり、検

証データは十分とは言えないが、工学的見地からも都市・建築の大気影響を知ることが重要になってきていることからこのモデルに係わる研究が先駆的に取り組まれている。ラフネスモデル、都市キャノピーモデル共に気象モデルに適用することにより都市気温を数値計算することが可能になる。メロー&ヤマダ(1974)は気象モデルの分類としてレベル1からレベル4の4段階を提唱している。レベル1が最も簡素でレベル値が上がるほど輸送方程式をたくさん取り扱うので精度が向上すると言われている。レベル2とレベル3の中間に位置するレベル2.5は気象モデルとしてコストパフォーマンスが良いとされており活用例が数多く見られる。

一方、建物の周辺を細かくメッシュ分割して風速、気温の詳細な分布を計算可能な手法としてCFD(Computational Fluid Dynamics;数値流体力学)があげられる。CFDはビル風のアセスメント等に活用されてきたが、最近ではCFDにビル間の放射交換や樹木の蒸散効果などを連成して温熱指標を用いることにより屋外の温熱環境の評価に拡張する試みが見られる。また、メソスケールモデルの結果からCFDの境界条件を与える方法により自在な場所をCFDで詳細に再予測する手法が提案されている。この方法はヒートアイランド現象が人間の体感温度に対してどの程度影響するのかを分析可能とする。

3) ヒートアイランド計算手法の課題

a. ヒートアイランド対策のリアリティの欠如～解析スケールのギャップ

現状のヒートアイランド計算手法にはヒートアイランド現象を把握するマクロスケールの手法と個々の開発影響を把握するミクロスケールの手法が存在するが、ミクロとマクロの中間スケールの有力な方法が完成されていないことがヒートアイランド対策のリアリティを失わせている。実際の開発は大部分が建物数棟のスケールで実施され、そのような個々の都市的効果が都市全体のスケールで集積してヒートアイランド現象が表出している。このようなプロセスをヒートアイランド計算手法に反映させて個々のヒートアイランド対策がマクロスケールでどの程度効果を発揮するのかを評価するツールの構築が必要である。

b. モデリングの問題意識の多様性～研究分野間のギャップ

ヒートアイランドのモデルは様々な研究分野で検討されているが、それだけに各研究分野の歴史の影響を強く受けており他分野への適用が困難な場合に遭遇する。例えば、建築分野では建物とその周辺の熱環境評価の視点からモデル構築されているのに対して気象分野では都市、建物の表面は大気から見た境界条件であり大気側への各種の輸送量の把握を一意にモデルが開発されている。同様のスケールを対象にしてもモデルの構造は研究分野によっては随分異なることがある。したがって、個々の研究分野の目的を達成しているモデル群について、ヒートアイランドを焦点とした統合化、総合化が求められている。

c. 未開拓の研究領域～社会的要請とのギャップ

ヒートアイランド計算手法は全て出揃っているわけではない。ヒートアイランドが誘引

する集中豪雨の発生等現象の存在は指摘されているものの数値計算では再現できていないものがある。ヒートアイランドが生態系に及ぼす影響については当面の定量化は困難であると思われる。これらは社会的要請が強い要素でもあるが、従前未開拓の研究領域であったためヒートアイランド計算手法はその全てに答え切れていないのが現状である。

2 - 3 ヒートアイランド研究に関する提案

2 - 2 章で述べたヒートアイランド計算手法の現状を踏まえて、今後のヒートアイランド研究の方向性について以下の提案を行いたい。

1) ヒートアイランドイニシャティヴ

ヒートアイランドの全体像を捉えるには各研究分野で取り組まれているヒートアイランド研究のモデル群を総点検してパースペクティブ化を行うのが良い。そのためには、理学、工学に渡る幅広い研究分野の専門家が結集する総合的研究体制を整備すべきである。その結果、各研究分野の取り組み状況や研究分野間のギャップの現況が明らかになり、ヒートアイランド計算手法に係わる今後推進すべき研究の羅針盤を得ることが可能になる。

2) アセスメント体制の整備

都市再生事業等による都市開発行為がヒートアイランド現象を悪化させないようにヒートアイランドアセスメントを実施する体制を整備すべきである。そのためにはヒートアイランドアセスメント手法の確立が急務である。また、都市域で発生する膨大な熱量が都市環境に放出された場合の熱的影響を計測評価する手法の構築とその背景になる陸域、海域、空域の熱的環境容量と人間・生態系への影響に係わる調査実施を各方面の研究機関に働きかけるべきである。

3) 計算機環境の強化

建物周辺のマイクロスケールから都市全体のマクロスケールまで網羅的に数値解析を行うためには高速な計算機環境の整備が不可欠である。都市の環境情報は空間スケールの割に余りにも膨大でかつ貴重である。したがって、ヒートアイランドシミュレーションを実施するための計算機環境として、地球シミュレータやその他のスーパーコンピュータを優先的に利用可能とする配慮が望まれる。

4) サステナブル都市の構築に向けて

都市管理を総合的に実施するには、都市の生態系（エコハビテーション）、都市災害等の多角的視点からなる都市環境計画の新たな枠組みを創出することが必要である。さらに、地球環境負荷と都市環境負荷の両面に配慮した新しい都市像を総合的に議論するためには、ハード技術のみでは不十分であり、ライフスタイル等を含めて人文分野の専門家との協議が不可欠である。以上のような視点からサステナブル都市のあり方に係わる懇談会を設置

すべきである。

3 . 都市環境気候図の作成と建材がヒートアイランドに与える影響の定量化研究

3 - 1 都市環境気候図の作成

1) 都市環境気候図の概要

a . 背景

都市環境気候図はドイツのシュツットガルト市で作成されていた「クリマアトラス」 ” KlimaAtlas ” ¹⁾からヒントを得て提案されたものであり、一言で言えば「都市計画・建築計画のための気候図集」である。ドイツ語で「クリマ」は気候、「アトラス」は地図集を意味する。一般的な視点からは特殊な専門用語ではないが、以下に述べるようなシュツットガルト市においては気候環境の研究成果を大気汚染対策や都市環境計画に生かすという視点からクリマアトラスという地図集を作成している¹⁾。また、気候分析図(又は気候解析図) ” KLIMAANALYSE ” という言葉もよく用いられ、ドイツの多くの都市でこのような地図がつけられている。シュツットガルト市環境局都市気候課のバウミュラー教授によれば、このようなクリマアトラスは 1970 年代の初めにルール地域市町村連合 (KVR) によりデュースブルクを対象に赤外線熱画像により作られた²⁾という。その後これまでに都市の大小を問わずドイツの多くの都市でこのようなクリマアトラス(気候分析図)が都市計画のために作られている。この背景には近年の環境意識の高まりがあり、また、1987 年に施行された建設法典の中に環境保全、自然管理、気候などに対する考慮の項があり、作成する根拠になっていると言われる。ドイツの都市計画の基本はFプラン(土地利用計画)とBプラン(地区詳細計画)である。クリマアトラスは別に作られるランドスケープ計画図とともにBプランを作成するときの基礎資料とされる。一方、「風の道」という用語はドイツ語や英語に直訳的に当たる単語は見当たらない。日本語の語呂のよさと、「風」に対する日本人の夏の体感的な心地よいイメージから好んで使われるようになったのではないかと推察できる。

b . 目的

都市環境気候図は、自然環境保全の視点から「風土に適応した都市づくり(または循環型都市づくり)」の一環として、気候情報を活かして建築及び都市を計画するために作成する地図集である。土地利用(または土地被覆)や地形との相互作用のもとに、あらゆる場所は特有な気候が形成される。クリマアトラスの目的は、対象地域を気候学的視点から分析し、その結果を用いて地域総体として自然環境が保全され、かつ省エネルギーとなるような都市計画や建築計画の最適解を見つけようとするものということができるであろう。その中で、都市環境クリマアトラスは気候分析結果を上述したような目的のもとに、都市計画担当者、建築家、地域住民、研究者などが、都市計画や建築計画などに際して、共通に用いられるツールとしての地図集や図面集を意味している。ドイツにおいては、大気汚染対策、新鮮空気の都市への導入といった視点がかかり意識されているが、本来、対象地域の地形、土地被覆の特性などにより具体的な計画や改善の目標は異なってくるもので

あろう。例えば、我が国では夏季の熱環境の緩和を含めた次のような項目が考えられる。

ヒートアイランド対策 特に、蒸暑気候下の都市化による夏季夜間の気温上昇対策、及び冷暖房用エネルギー消費量の削減とそれに伴う CO₂ 排出量の削減。

大気汚染対策、主に自動車、工場による NO_x、光化学オキシダント対策。

都市環境クリマアトラスの対象領域は、一般に、その用いられ方から行政区域単位（10～30km 四方）であり、地図の縮尺は、1/10,000 から 1/50,000 である。一方、具体的な開発計画に適用する際には、それに応じたスケールの図面が必要となり、概略の考え方はいわゆる「環境アセスメント」と基本的に同じである。そのような場合には、「熱環境アセスメント」や「気候環境アセスメント」と呼ばれる方が適切であるかも知れない。空間スケールから見れば、行政区域全域を対象としたものが都市スケールのクリマアトラス、開発計画の際に作られるものは建築スケールの熱環境（気候環境）アセスメントと区別することができるであろう。

c . 構 成

一般に、クリマアトラスは基本的に次の3つの図集から構成される。

気候要素及び関連要因の基礎的な分布図（分析のためのデータベースで1次図に対応）：気流分布、気温分布、大気汚染など気候調査結果や計算結果を表した地図、及び土地利用図、排熱分布図などの関連要因の分布図。

気候分析図（又は気候解析図で2次図に対応）：熱環境や大気汚染の評価や対策を意図した気候分析結果を表す地図。都市気候専門家が市民や都市計画担当者にわかりやすく気候分析結果を伝えることを目的とする。

計画指針図（対策・提言のための地図や図面で3次図に対応）：基本的には気候分析図で目的は達成されるので、作られない場合も多い。

の気候要素別の基礎的な分布図を集めた地図集もクリマアトラスと呼ばれることがある。ここに述べているクリマアトラスは、都市計画や建築計画に活かすことを意識した地図集を指している。その意味で、最も重要なのは気候分析図である。気候分析図は都市計画・建築計画に気候調査の結果を活かすために、気候を分析した専門家がその重要な要点を地図上に表現したものである。そして、専門家がその地図を使用して市民や都市計画家、建築家に気候学的視点による計画の提言を行うためのものである。計画指針図は土地利用計画や用途地域制度と深く関係し基本的に各地域（又は各自治体）で作成されるべきものであり、作成方法については確立されていないが、ワークショップによる作成事例などがある。また、各地図には説明のためのドキュメントが添付される必要がある。

2) 気候分析図

気候分析図は、計画のための最低限の気候情報を集約したものであり、シュツットガルト市のクリマアトラス¹⁾（又はドイツ技術協会 VDI 3787³⁾）を参考として、クリマトープ（土地被覆状況）、気流性状（海陸風、山谷風、気流の乱れ性状などで地形との関連が深い）

人為的排出（汚染）源と汚染の範囲、以上のような項目をわかりやすく1枚の地図上に重ね合わせて総合的に表現したものである。一般的には、1/25,000 または 1/50,000 の国土基本図の上に、上記のような項目をオーバーレイしたものと言える。「気候分析図」の作成を容易かつ統一的にするため、凡例の一例を示す。

a . クリマトープ

クリマトープとは、ひとまとまりの最も小さな気候空間単位を意味しており、気候的特徴に基づく土地利用を表現している。土地利用と気温及び表面温度との関係はかなりよく知られており、この意味でクリマトープは地表付近の温度環境を表現していると見ることができる。例えばクリマトープとして、以下のような種類が考えられる。

水域気候：熱容量が大きく温度の変動が小さいのが特徴であり、沿岸地域には風を妨げる建物は避けること、あるいは森などを計画することが望ましい。大気質は新鮮な空気が供給され良好である。

森林気候：樹木により風は弱まり、温度、湿度の変動も小さくなり、周辺地域の熱環境、空気環境の改善に貢献する。保護、拡張することが望ましい。

公園緑地気候：熱環境、空気環境に及ぼす影響は規模により異なるが、周辺地域の環境改善に貢献する。できる限り保存し、適切な間隔で都市の中に点在させることが望ましい。

郊外気候：緩やかな建て込み具合の比較的良好な環境を持つ住居地域である。起伏や緑被の影響を受けて街区内の微気候は大きく変化するため、地域の開発には注意が必要である。

市街地気候：密集した地域であり、都市気候として特徴付けられる様々な問題を抱える。屋上を含めた庭園や街路樹の適切な配置、排熱の適切な処理などの対応が必要である。

都心気候：密集した高層建築とわずかなオープンスペースで特徴付けられる。地域熱供給による排熱対策や街路樹の配置などの対応が必要である。

工場気候：生産、保管、輸送などが主目的の地域であり、大気汚染に対する配慮が必要である。排熱利用や植栽などの対応が必要である。

b . 夜間の冷気流

夜間の冷気流としては、山風、斜面風などが主なものであり、冷気流出域、冷気集積域、冷気流への障壁、冷気流の経路、斜面温暖帯を分類するのが適当であると考えられる。

冷気流出域：山の斜面における森林などで、放射冷却により表面温度が低下し、周辺大気を冷却し続ける地域。斜面温暖帯はこの中に含まれる。

冷気集積域：山の谷間などの地形的に冷気が集積されやすい場所で、その地域と下流側では冷気流の恩恵を最大に受けることができる。

冷気流への障壁：丘陵などの地形的に冷気流の障壁となる地域で、冷気の流れに対して、その方向を変化させる等の影響を及ぼす。

冷氣流の経路：矢印で表現される。流出域、集積域、障壁の影響を受けて定まる経路であり、経路の周辺地域では冷氣流による熱環境緩和効果の恩恵を受けやすい。

c. 海 風

海風の風向、海風の影響範囲、海風による風通しの良い地区、風通しの悪い地区、を示すことが適当であると考えられる。

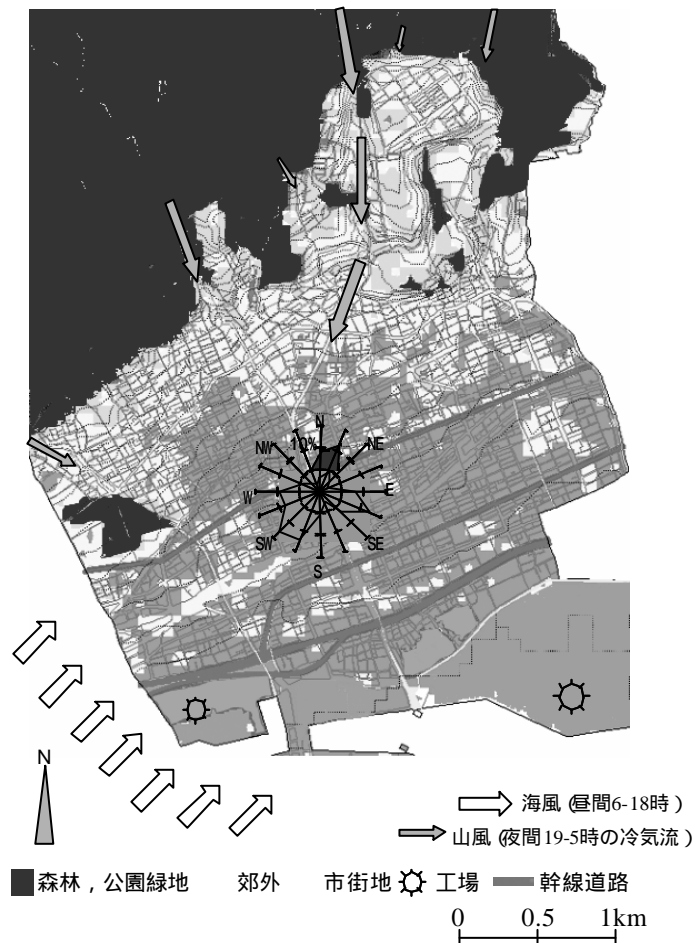
海風の風向：海風は海岸線に対して直角に侵入するとは限らないため、その角度が矢印により示される。その風向に従って、都市の換気計画が行われるのが望ましい。

海風の影響範囲：時刻と共に内陸へ浸入する海風の影響範囲が示される。海風による熱環境緩和効果の恩恵を受ける範囲が示され、街区の換気計画に活用される。

風通しの良い地区：建物が密集しておらず、上空の海風等の影響が地上付近にまで及びやすい換気効率の良い地区。

風の障壁となるような建築物を計画する際には注意が必要である。

風通しの悪い地区：建物が密集し、上空の海風等の影響が地上付近にまで及びにくい換気効率の悪い地区、熱がこもりやすいので、適宜オープンスペースを設けるなどの対応が必要である。



d. 汚染源の位置と範囲

汚染源の位置と範囲については、汚染源の位置、汚染の範囲、を示すことが適当であると考えられる。それぞれの説明は以下のとおりである。

汚染源の位置：工場、道路が主要な汚染源として示される。汚染物質の排出量や交通量等の汚染の質に関しても明記されることが望ましい。

汚染の範囲：工場や道路周辺に汚染の影響を受ける範囲が示され、それを受けて街区の換気計画等の検討を行う必要がある。

風配図は灘監視局の夏季晴天日観測結果
 図 3.1 気候分析図の作成事例（神戸市灘区）

3) 計画指針図の作成

「計画指針図」は、「気候分析図」以上に環境工学（気候）分野の専門家、計画分野の専門家や実務者、それに行政関係者との共同作業が必要である。その方法の一つとしてワークショップによる計画指針図の作成例がある。神戸で行われた事例では、標高、緑、風、等の分布図および気候分析図の試作図が与えられた条件で、計画指針図の作成が試みられた。その結果、「計画の指針」として議論された「風の道」は以下の3点に集約される。

- a．夏季日中の主風向（海風）による河川や街路に沿った風の道
- b．風の流れや熱環境の改善に基づいた緑のネットワークの提案
- c．夜間冷気流（陸風、山風や斜面風）に基づいたゾーニング・建物配置

全体として大きく見ると、都市環境気候図の具体的な目標は、与えられた地域の「クリマトープ」と「風の特長」に関する情報をいかに計画に活かすかである。夏季に地表付近の熱環境を支配する最も大きな要因は「みどり」であり、クリマトープはそれを表現している。みどりのかたまりや広がり、街路樹や壁面緑化、屋上庭園などの線や面で結び、その結果、街全体が緑のネットワークで結ばれ、ビオトープが随所に配置されるような計画が望まれていることが知られた。

4) 課題

都市環境気候図の建築・都市計画への活用のために、今後の課題として以下の項目が挙げられる。

- a．適切な気候分析図の作成のためには、都市の上空を含めた観測の充実と、シミュレーション技術、コンピュータを活用した図化、表現技術の向上などが重要である。
- b．気候分析図の凡例について標準化の検討が必要であり、このためには作成事例を増やしてゆく必要がある。
- c．計画指針図の作成に当たって、行政との連携、地域住民の合意形成方法、コミュニケーション技術の研究、などが必要である。

3 - 2 建材がヒートアイランドに与える影響

1) 検討対象建材の種類

a. ヒートアイランド緩和効果の評価指標

ヒートアイランド緩和効果は建物表面の熱収支において、大気への顕熱流の放出割合の小さなものほど評価が高いと考えられる。表 3.1 に、夏季夜間と夏季日中における顕熱流の大きさによる建物外皮建材（建物外皮の建材とその構成）の定性的な評価を示している。また、冷暖房負荷の大きさに対する相対的、定性的な評価も併せて示している。

表 3.1 建物外皮のヒートアイランドに対する緩和効果の定性的な評価

: ヒートアイランド緩和効果あり

× : 逆効果

: 効果なし、または、効果に疑問

		夏季夜間 顕熱抑制効果	夏季日中 顕熱抑制効果	冷房負荷 抑制効果	暖房負荷 抑制効果
1) RC 内断熱 (外側熱容量)		×			
2) 外断熱			×		
3) 木造瓦屋根			×		
クール ルーフ	4) 屋上緑化	*			or *
	5) 高反射性塗料	*			×*
	6) 保水性建材 (又は散水)	*			or *

*: 定量化研究の不足

b. 検討対象とする建材の種類

ヒートアイランドに影響を与える視点から建物外皮建材を分類すると、表 3.1 のようになる。表 3.1 において、*で示した項目は特に詳細な定量化研究が必要とされると思われる項目である。

RC 内断熱（外側熱容量）：RC のような熱容量の大きな建材が建物外側に使われている場合（断熱は内側、もしくは RC ない場合もある）。この場合には日射の蓄熱が大きく、夜間でも表面温度が下がりにくく、ヒートアイランド緩和効果の評価は低くなる。しかし、舗装道路、舗装駐車場ほどの夜間への日射蓄熱量はないと考えられる。

外断熱：建物外側に断熱的な建材が使われている場合。この場合には、日射は蓄熱しないので夜間評価は高いが、日中の表面温度は高くなり顕熱排出量は大きいと見られる。なお、いずれの場合も表面における日射吸収率は評価に大きな影響を与えるが、その影響の詳細はここでは無視している。

木造瓦屋根：一般的な瓦屋根は日中、日射を受けてかなり高温になるが、夜間は蓄熱の影響が現れることなく放射冷却により相対的に低温になる。

屋上緑化：夏季日中、植物の蒸散作用、及び日影効果により表面温度は上がらない。夜間においても日中の日射による蓄熱の影響がない。

高反射性塗料（高反射率塗料）：日射の蓄熱が防げるため、日中、夜間とも評価が高い。

保水性建材または散水：日中の日射熱を蒸発により消費してしまうため表面温度は高温とはならない。但し、乾燥すれば効果は失われる。

2) 測定による熱収支係数の検討

地表境界条件がヒートアイランドに与える影響を検討するには、一般に、メソスケールの数値シミュレーションが必要とされる。そのシミュレーションにおける地表境界条件は、複雑な都市表面を平均化したパラメータにより与えるのが一般的である。ここでの検討のように、建材の影響を見ようとするると建材（建物）空間スケールを最小単位とした表面顕熱流の合成が必要となる。その計算を行うには各建材に対する熱収支係数を決定する必要がある。建物外皮建材に関する主要な熱収支係数には、以下のようなものがある。

- a. 日射反射率及び放射率
- b. 熱定数（熱伝導率、比熱、密度）
- c. 蒸発効率（濡れ率）
- d. 対流熱伝達率
- e. 湿気伝達率

これらの係数は表面熱収支の測定により決定される。そのために、測定に基づいた熱収支係数の信頼できる数値が確立される必要がある。

3) 数値計算による検討

屋上緑化や高反射性塗料などによるヒートアイランドへの影響については、既にいくつかの数値計算による検討例があるが、今後さらに定量的な研究が必要である。

4) 課題

- a. 建物外皮建材のヒートアイランド緩和効果に関する重要な指標としては、夏季夜間及び日中の顕熱抑制効果があり、深く関連するものとして冷房及び暖房負荷の削減効果がある。夏季夜間顕熱削減効果、暖房負荷削減効果については、定量的評価の研究が不足していると思われる。
- b. 建物外皮建材のヒートアイランド抑制効果の定量的評価のためには、各建材に対する熱収支係数を決定する必要がある。熱収支係数には、(1)日射反射率及び放射率、(2)熱定数(熱伝導率、比熱、密度)、(3)蒸発効率(濡れ率)、(4)対流熱伝達率、(5)湿気伝達率、があり、測定に基づいた信頼できる数値を求める必要がある。

参考・引用文献

- 1) Nachbarschaftsverband Stuttgart KLIMAATLAS-, 1992
- 2) Juergen Baumeller, Ulrich Reuter (Office for Environmental Protection, Stuttgart): Demands and requirements on a climate atlas for urban planning and design、環境設計シンポジウム(神戸)講演原稿,1999.3.17(文献7)CD-ROMに所収)
- 3) VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE: Umweltmeteorologie Klima-und Lufthygienekarten fuer Staedte und Regionen (Environmental meteorology Climate and air pollution maps for cities and regions), VDI 3787 Blatt 1, 1997.12
- 4) 日本建築学会編著:都市環境のクリマアトラス - 気候情報を活かした都市づくり、ぎょうせい、2000.9
- 5) 森山正和:ヒートアイランドの緩和方策「風の道とクリマアトラス」、エネルギー・資源(特集 ヒートアイランド)、Vol.22、No.4 通巻128号、2001.7

4 都市排熱を下水・河川・海水によった場合の環境影響

東京は、世界各国の中で、ヒートアイランド現象が最も深刻な都市の一つである。東京都においても、ヒートアイランド問題の深刻化から、重要施策の一つとして取り組みに着手している。その一環として、集中豪雨発生との関連等を含めて、現象の解明と対策の実施に向けて、3年間の測定を予定し、高精度の観測体制を整備した。

東京都心部の冷房排熱を、東京湾(図 4.1)に温排水として放出する排熱処理システムは、屋上緑化や透水性舗装等の、ヒートアイランド対策代替案に比し、即効性、費用対効果の面で、優位性が認められる。但し、温排水による海水の温度上昇とそれに伴う生態系への影響面、大気温度への影響面で問題がないことが前提となる。

この点に関しては、本構想が公表されて以後、社会的な関心、反響が極めて大きい。事業化に向けては、所定の環境アセスメントが必要なことは言うまでもないが、その前に、環境影響についての予備的な確認が必要とされる。

そこで、学識経験者、関連事業者から成る「東京湾温排水影響検討WG」(座長：三上岳彦東京都立大学大学院教授)を設置し、平成14年11月から平成15年3月の間、検討を行った。

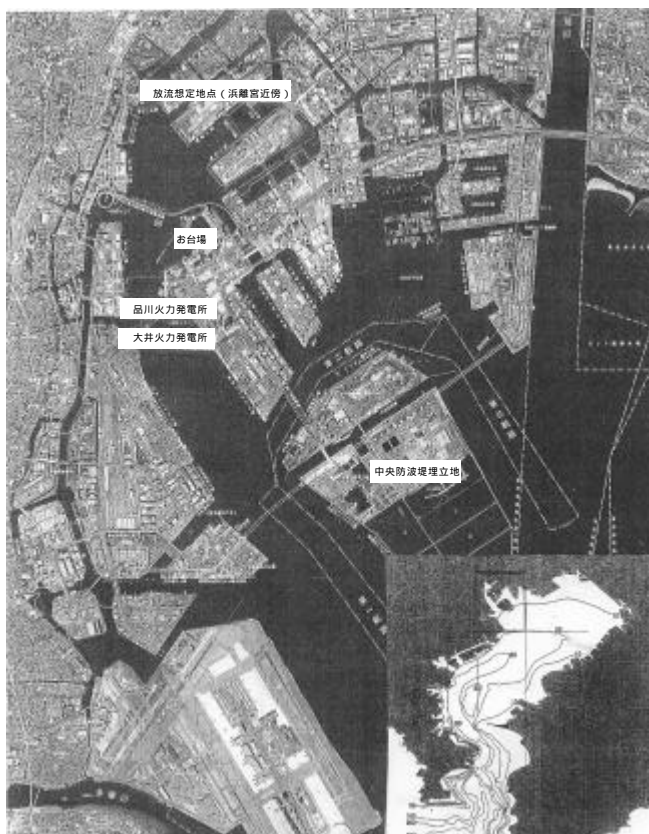


図 4.1 温排水放流想定地点概念図

4 - 1 排熱処理システムの概要

排熱処理システムは、平成13年度に、国土交通省と(社)日本地域冷暖房協会により設置された「適切な都市排熱処理を実現する都市熱供給処理システム導入検討調査委員会」(委員長：尾島俊雄早稲田大学教授)により検討、提案された。

このシステムは、東京駅を中心とする都心部の人工排熱の主たる要因である冷房排熱を、都心部の大気に放出する代わりに、冷却水の役割を持つ清水を、導管により東京湾奥部(浜離宮近傍を想定)まで導水し、海水と熱交換(海水に熱を放出)し循環させる。対象とする冷房排熱は、主に地域冷暖房プラントから回収されるものである(図 4.2)。なお循環する清

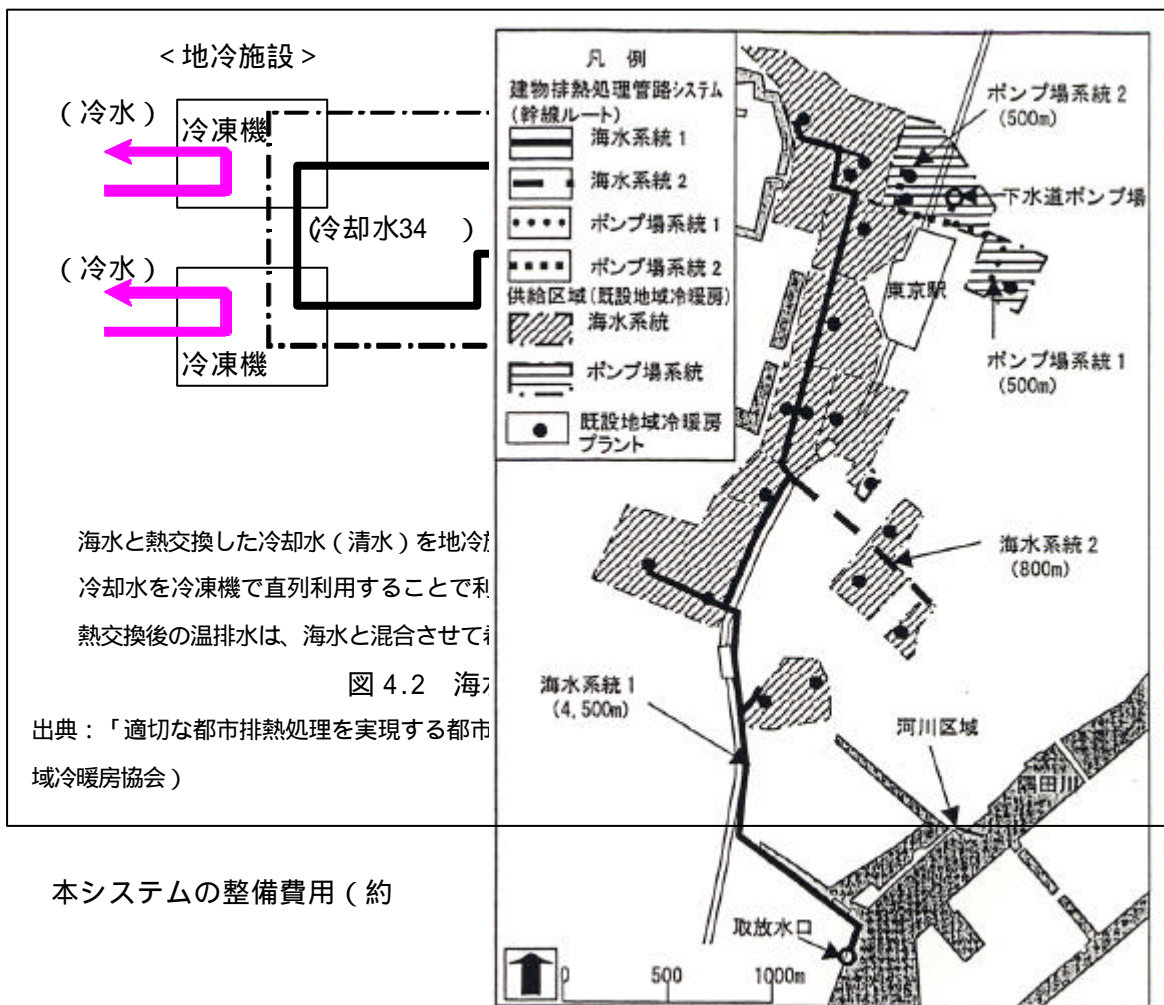
水は、冬季には暖房用の熱源水としても利用される。

類似の事例として、ニューヨークのハドソン川の水を活用する例、日本でも隅田川の水を活用する例や、海水を活用する例（福岡シーサイドももち地区、大阪南港コスモスクエア地区等）がある。いずれも単体の地域冷暖房地区を対象とする、比較的小規模な事例である。

なお、本システムの概念としては、既往事例に見られるように、冷房排熱を海に捨てるというより、夏は大気より冷たく、冬は大気より温かい河川水や海水を、未利用エネルギーとして活用する、効率的な冷暖房システムとしても位置付けられ、小規模なシステムとしては実績も比較的多い。但し、既往事例で、ヒートアイランド解消を動機に河川水や海水利用を図った例はない。

主に地域冷暖房整備区域を対象とすること、排熱放出先の東京湾との距離に限度があることから、整備対象地区は、東京駅周辺の大手町、丸の内、八重洲から、有楽町、銀座にかけての地区を基本に考える。この基本ケースでの最遠部までの導管延長は約5kmである。

対象区域の拡大ケースとしては、霞ヶ関から赤坂、六本木にかけての地区を含めることが考えられる。将来的にも冷房排熱を東京湾に放出するのはこれらの地区が限度であり、新宿、池袋等の内陸部では、別の方法（近傍の下水処理水等への放熱等）を考えることになる。（図 4.3）



海水と熱交換した冷却水（清水）を地冷冷却水を冷凍機で直列利用することで熱交換後の温排水は、海水と混合させて

図 4.2 海

出典：「適切な都市排熱処理を実現する都市地域冷暖房協会）」

本システムの整備費用（約

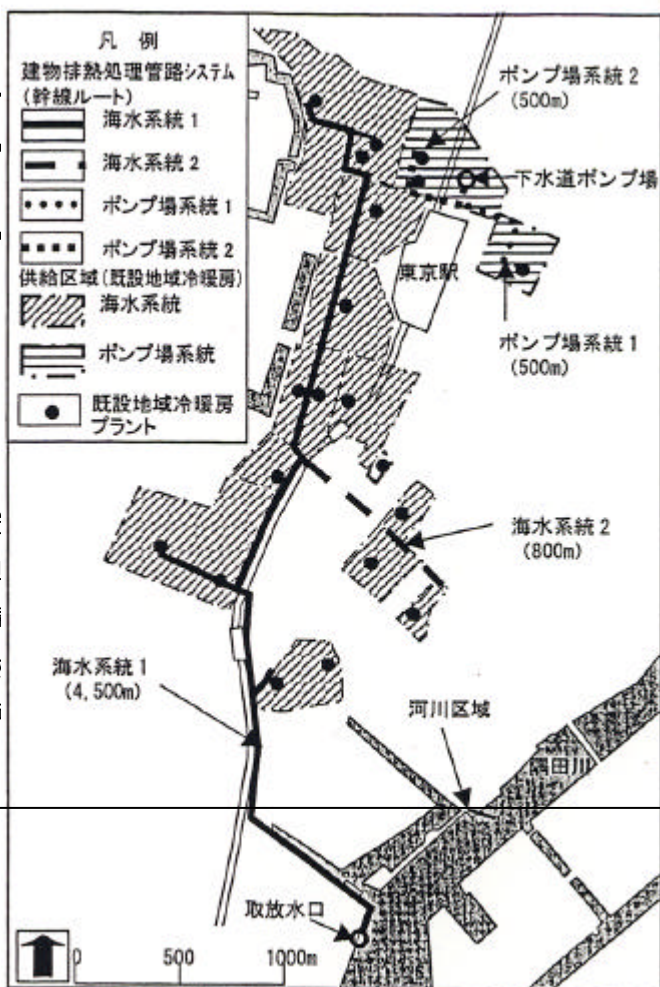
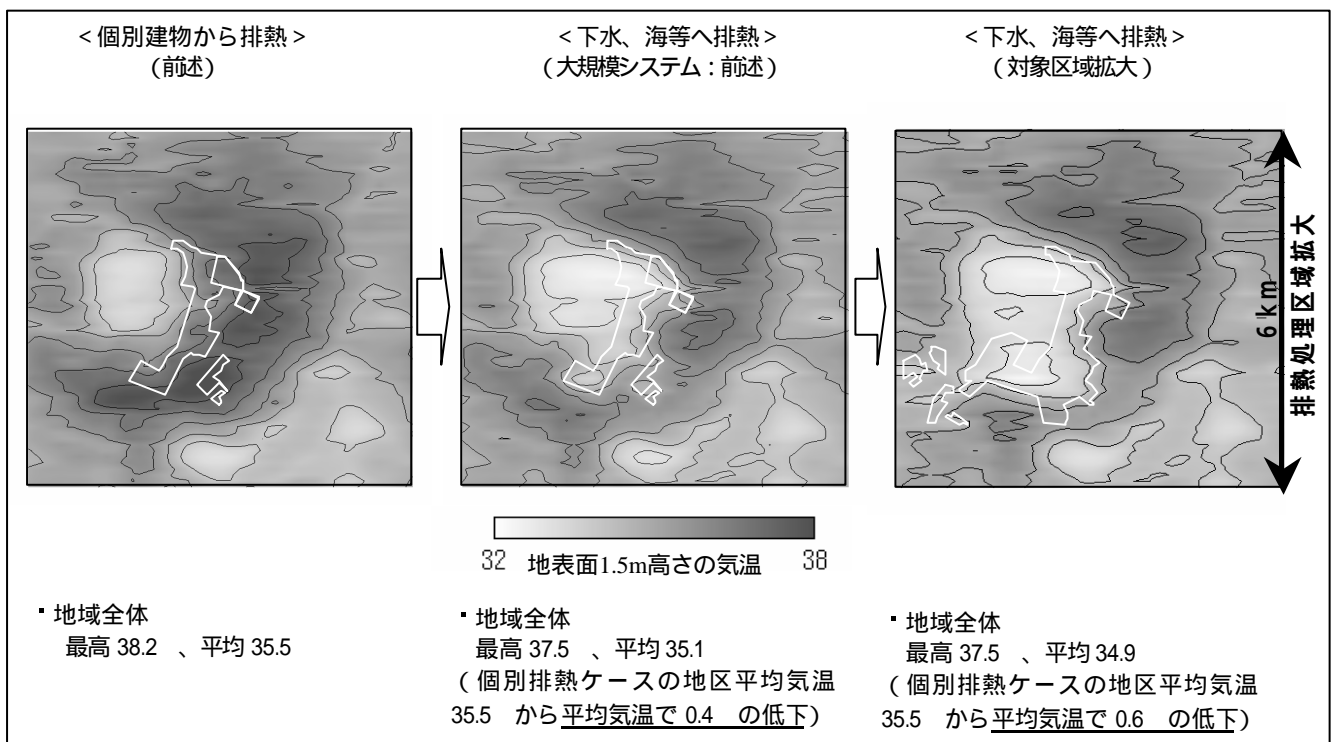
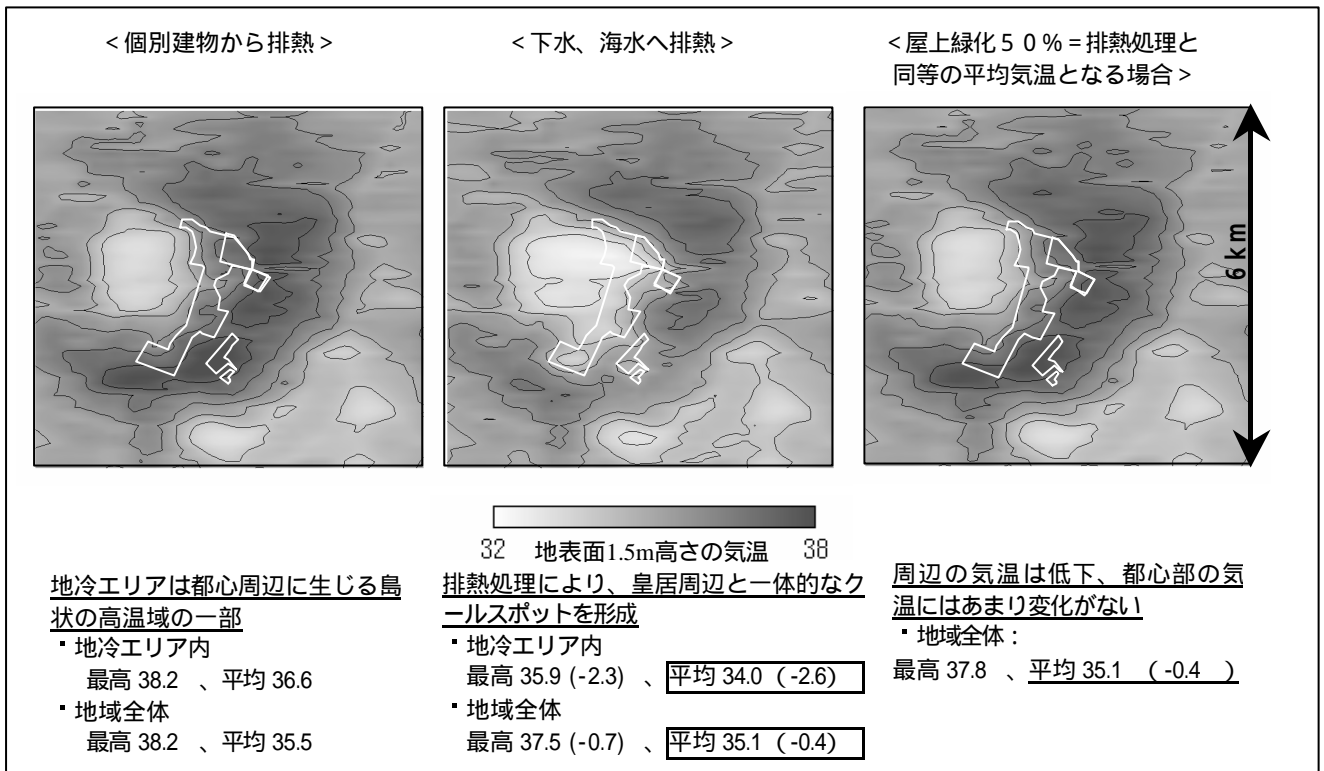


図 4.3 排熱利用システムルート図

400 億円)の大半は導管整備費用である。東京湾への環境影響面から、放流点を南下させ、より開放性の高い海域まで導水するのは、整備費用をアップさせ、実現性を低下させてしまう。また、その場合に、品川・大井火力発電所の温排水影響域と重なり、当該水域の海水温度の上昇につながる恐れがある。

気温緩和効果についての過年度シミュレーション結果によれば、本システムの導入により、東京都心部(東京駅を中心とする 6km 四方)の夏季の最高気温を平均 0.4 低下させる(図 4.4)。概ね 20 年前の気温が再現されることになる。これに伴い、冷房用エネルギー消費量の削減、CO₂ 排出量の削減による地球温暖化防止にも資するものである。



(シミュレーションによる夏季13時の気温分布、6km四方、100mメッシュ、地表面高さ1.5m)

*シミュレーションの初期条件：計算開始時刻：12時、初期気温：32.4 (2001年7月24日の平均気温)

図4.4 排熱利用システムの導入による気温緩和効果

出典：「適切な都市排熱処理を実現する都市熱供給処理システム導入検討調査」報告書 (H14.5(社) 日本地域冷暖房協会)

4 - 2 想定される温排水の環境影響

1) 近傍火力発電所からの温排水の環境影響

本システムの温排水の放熱量は、放流想定地点近傍の火力発電所（大井火力、品川火力）からの放熱量（水量・水温）を下回る値であり、放流地点周辺の水温上昇域等は、品川火力発電所（図 4.5）更新事業（114 万 kW、コンバインドサイクル発電）の環境影響評価が参考になる。すなわち、本冷房排熱処理システムの夏季ピーク日の水量は約 9 万 /時、温度差 6 : 夏季の水温 26 で取水、32 で放流する。これに対して火力発電所の場合は、更新の品川火力で約 10 万 /時の冷却水を、温度差 7 : 26 で取水、33 で放流する。既設の大井火力で約 13 万 /時の冷却水を、温度差 10 で放水している（表 4.1、4.2）。法定の排水基準による温度の許容限度は、東京都公害防止条例によれば 40 以下で、これらいずれの場合も、排水基準水温を下回る。（当該地区の発電所の場合、「その他の工場」の「第 1 類工場」の「東京湾水域」の規制基準が該当）。品川火力の環境影響評価書によれば、直近の既設大井火力からの温排水の影響と合わせて、シミュレーションにより温排水拡散が検討された。結果は、海水表面水温 1 上昇域は 14、3 上昇域は 4 と予測された（図 4.6、表 4.3、4.4）。

また、火力発電所からの温排水による水生生物への影響についての評価は、「当該海域の水生生物は、主に広域に分布すること、既設設備での温排水拡散範囲に比べて新設設備での拡散範囲の増加はわずかであり（1 上昇域で約 7%、3 上昇域で約 3%）温排水による生育環境の変化は少ないこと、また、水温変化への耐性等環境変化に適応可能な生物特性を有することから、温排水が水生生物に及ぼす影響は少ないものと考えられる」

（注）以上の品川火力についての環境影響評価の結果は「環境影響評価書の概要

品川火力発電所更新事業」平成 7 年 5 月東京都公報別冊による

表 4.1 処理水量等の比較

施設名称		水量	備考
本システム(冷房排熱処理システム)	基本ケース	(冷房時) 89,700 /hr(t=6) (暖房時) 21,700 /hr(t=3)	対象地区; 大手町・丸の内 ・有楽町・銀座
	拡大ケース	(冷房時) 120,600 /hr(t=6) (暖房時) 29,200 /hr(t=3)	対象地区; 上記+霞ヶ関 ・赤坂・六本木
火力発電所	品川火力	97,200 /hr(t=7)	114 万 kW、 コンバインドサイクル発電
	大井火力	133,900 /hr(t=10)	105 万 kW、汽力発電
cf. 河川流量	荒川	76,700 /hr	平水量(日量/24)
	隅田川	158,300 /hr	同上、なお内処理水 50-60%
	多摩川	67,000 /hr	同上、なお内処理水 30-40%
cf. 下水処理場排水量	葛西処理場	12,900 /hr	日量/24
	砂町処理場	17,900 /hr	同上
	芝浦処理場	27,500 /hr	同上
	森崎処理場	48,800 /hr	同上

表 4.2 熱量等の比較(参考)

施設名称	熱量等	備考
本システム(処理冷房廃熱量)	(基本ケース) 83 万 kW (拡大ケース) 111 万 kW	各々地区内計画 需要を含む cf. 大阪御堂筋計画; 30 万 kW
東京区部地冷冷房設備容量	約 150 万 kW	cf. 新宿地冷; 5 万 kW 箱崎地冷; 2 万 kW
全国地冷冷房設備容量	約 300 万 kW	
東京湾内火力発電所容量	約 2,700 万 kW	東京電力分認可 出力ベース、 品川火力を含む

出典：「適切な都市排熱処理を実現する都市熱供給処理システム導入検討調査」報告書
(H14.5(社)日本地域冷暖房協会)

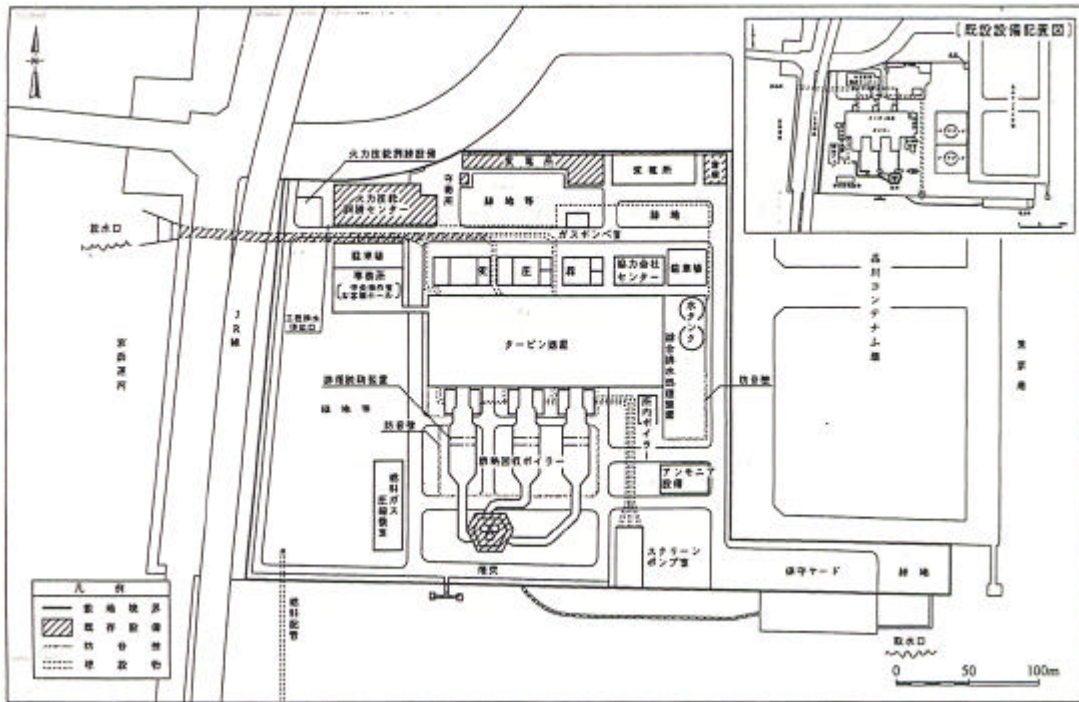


図 4.5 品川火力発電所全体配置計画

表 4.3 温排水拡散面積予測結果

深度	上昇値	拡散面積 (km ²)
海面	1 以上	14.4
	2 以上	6.8
	3 以上	4.0

注：拡散面積は品川及び大井火力発電所を含めた包絡範囲の数値を示す

表 4.4 予測地点における水温上昇値（海面）
（単位：℃）

		1	2	3	4	5
水温上昇値		1.5	1.7	1.3	3.0	1.7
水温（参考）	公共用水域調査点	St.23	St.23	St.6	St.11	St.5
	夏季（8月）	25.8	25.8	26.0	25.5	25.3
	冬季（2月）	9.2	9.2	9.0	9.3	9.2

注：夏季及び冬季の水温は、「公共用水域の水質測定結果」（東京都環境保全局水質保全部）の上層（海面 0.0m）における、8 月及び 2 月の平均水温（昭和 58 年度～平成 4 年度）である

出典：「環境影響評価書案の概要 品川火力発電所更新事業」H7.5（東京都公報別冊）



図 4.6 温排水拡散予測範囲（海面、包絡線）

2) 本システムからの温排水による環境影響

今回、本システム（冷房排熱処理システム）からの温排水による水温上昇について、簡易モデルによるシミュレーションを行った。このモデルは、(財)電力中央研究所により開発された「温排水拡散簡易予測モデル」で、水深方向の温度等の分布を平均化して扱うモデルである。前述した品川火力の環境影響評価のような、環境アセスメントで正式に用いられる数値モデルとは異なる。但し、今回のようなアセスメントの前段での評価には適切とされるモデルである。

今回のシミュレーションの条件は、夏季（気温 26、風速 2.0m/s）、環境水温 26、放流水温 26、取水、32、放水（温度差；6）、水量は基本ケース；89,700 /h、拡大ケース；120,600 /h、放水口幅 100m、厚さ 5m とした。上げ潮時、下げ潮時について計算し、水平計算グリッドは 50m×50m である。流況、上げ潮、下げ潮時の流速その他の海水側の条件は、品川火力の環境影響評価の際の条件を活用している。

結果は、温排水拡散による海水表面水温上昇域は、最も拡散する下げ潮時で、1 上昇域は 2.0（拡大ケースで 2.4）、3 上昇域は 0.5（拡大ケースで 0.8）と予測された。品川・大井火力による拡散水域の 12～

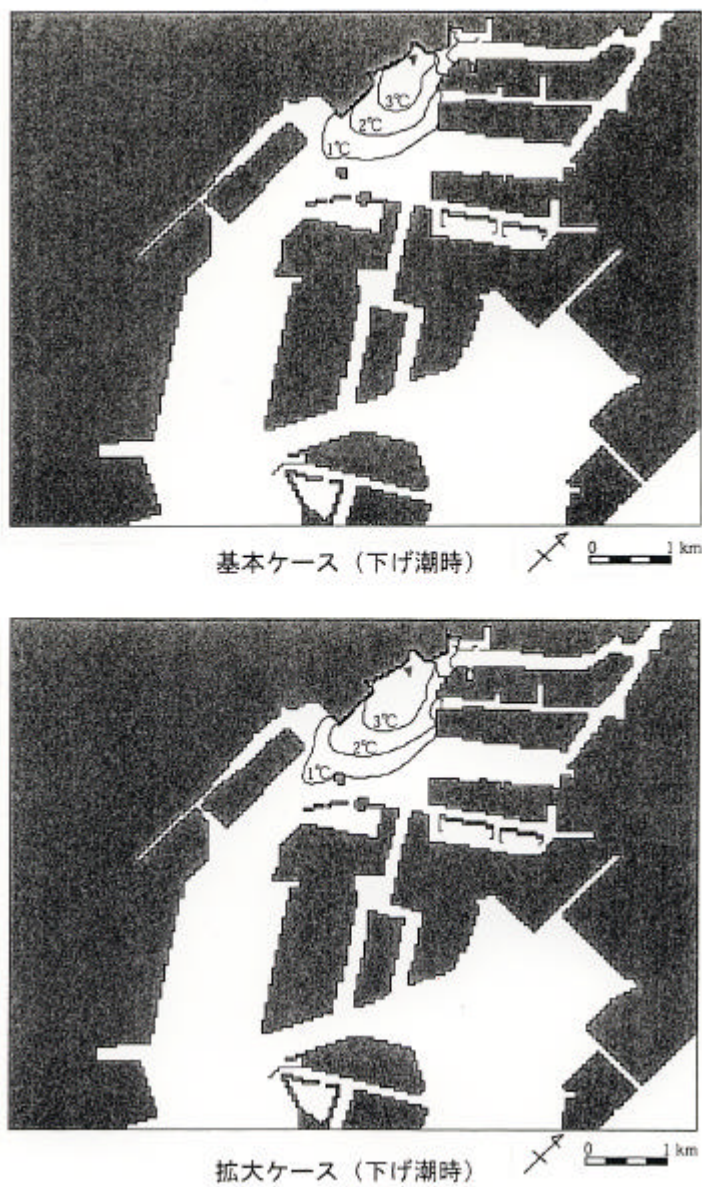


図 4.7 排熱処理システムによる温排水拡散予測範囲

表4.5 温排水拡散面積予測結果(km²)

	基本ケース		拡大ケース	
	上げ潮	下げ潮	上げ潮	下げ潮
1 上昇域	1.80	1.95	2.22	2.43
2 上昇域	0.98	1.12	1.37	1.49
3 上昇域	0.42	0.49	0.70	0.77

注：東京湾の水面積は 1,380 km²

14%（拡大ケースで20%程度）の範囲にとどまる。また、懸念された放流地点対岸のお台場海浜公園への影響はなく、品川・大井火力による水温上昇域との重合についても、ほとんど影響がないと考えられる(図 4.7、表 4.5)。

水温上昇に伴う水生生物への影響についての詳細は、別途環境アセスメントに際しての貴重生物種調査等を待たねばならない。ただ、品川火力での調査結果から類推すると、当該海域についても、現存の生物種は広域に分布する種であり、温排水の拡散範囲も限られていることから、生育環境の変化は少ないものと考えられる。

3) 温排水の大気温度に与える影響

都心部から移動させた冷房排熱の温排水による水温上昇が、当該水域の大気温を上昇させ、海風によって、都心部の気温を上げてしまうのではないかと、特に放流点の陸側に位置し、開発が進む汐留地区の超高層ビル群が、海風を遮り、局地的な高温域を発生させるのではないかと、といった素朴な疑問がある。

そこで、前述の簡易シミュレーション結果により推定した海水面の温度分布を条件に、大気温度の上昇の程度とその範囲についての簡易シミュレーションを行った。

シミュレーションモデルは、(財)電力中央研究所が開発したもので、都市域のヒートアイランドや海陸風を対象とした空間スケール 100 km程度、時間スケール 1 日程度の現象を扱うモデルであり、今回の目的には適ったものといえる。気象条件は典型的な夏日とし、海水面は、水温が最大となる拡大ケース、下げ潮時の水温とした。

結果は、大気温度の上昇は最大でも放流口直上 10mの高さの日平均気温で 0.035 程度、内陸への影響を 0.01 上昇の範囲で見ると 2 km程度となった。過年度検討の結果である、冷房排熱処理システム導入により予測した都心部の気温低下効果 0.4 に比し、無視し得る影響と考えられる(図 4.8)。

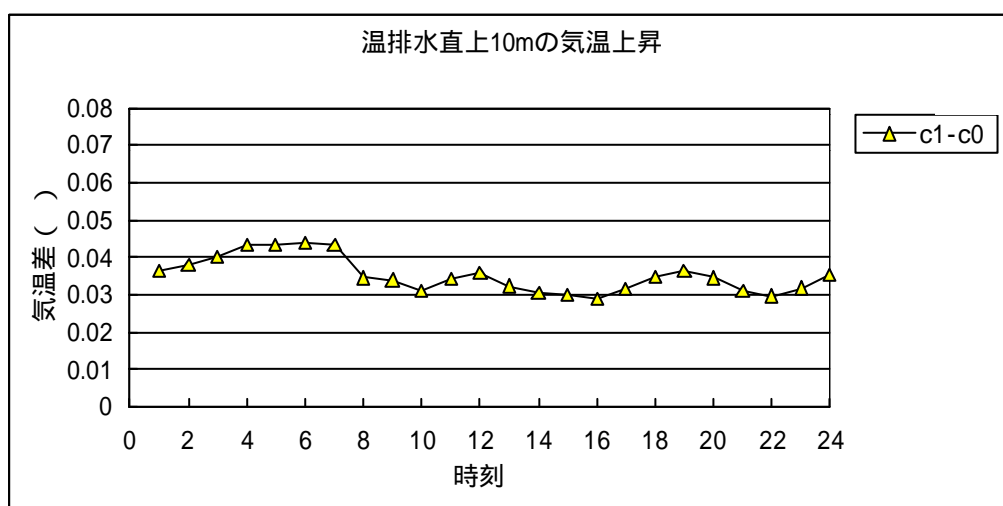


図 4.8 温排水の大気温度に与える影響
(放流口直上 10mの高さ、気温上昇の時間変動)

4 - 3 今後の検討課題

今回の検討により、冷房排熱処理システムによる温排水の拡散は、簡易シミュレーションによる水温上昇域の範囲が限られることから、近傍の火力発電所の例に照らしても、貴重水生生物等生態系に影響を与え難い。また水温の上昇が大気温度の上昇に与える影響についても、無視し得る程度であるものと考えられる。

今後の事業化に当たっては、所定の詳細な環境アセスメントが行われることになる。本検討を通じて提起される、アセスメントに際しての留意事項として、以下が挙げられる。

東京湾全体の水温の上昇傾向が認められる。(1980年代後半から上昇) その原因は必ずしも明確ではないが、地球温暖化も一因と考えられる。東京湾全体の水の交換頻度(1ないし3ヶ月に1回とも言われている)についても未解明な点が多い。本システム関連水域の水温の中長期的な動向を考慮する必要がある。

上記に関連して、本システムの放流想定地点が隅田川河口に位置すること、沖合いに相当する中央防波堤の埋め立ての進展が予定され、東京湾奥部での河口域ともいえる水域が拡大する傾向にあることから、隅田川河口部の流れについての詳細な把握、水域変化に伴う流況の変化、閉鎖系水域の拡大による温排水拡散への影響等についての検討を加える必要がある。

水生生物への影響に関しては、関連水域での貴重生物等の詳細調査が必要とされる。植物性プランクトンなどの水生生物の発生限界が、極めて水温に敏感な例もあり(例えば30℃がクリティカルな種もあり)、放流口近傍での注意深い検討が必要である。なお、本システムからの放流水温については、放流点での希釈度を増すことにより低下させることも可能である。(前述の3℃上昇域を縮小させる)

上記に関連して、本システムを冬季に熱源水として活用することにより、放流口から低温排水が放出される。水量は夏季の2分の1以下、温度差も3℃程度であるが、低温水のため放流口近傍の底生生物への影響が懸念される。底生生物の確認が必要であるが、排熱処理システム側で、処理すべき暖房負荷を下水処理水で分担する等の対応は可能であり、また、夏季の温排水と同様、放流点で希釈度を増すことで放流水温を上昇させることも可能である。

以上4点を挙げたが、これらの解明に当たっては、東京湾の水温環境とその生態系への影響全般にわたる課題でもある。東京湾は東京圏の都市活動、産業活動を支える巨大な冷却水槽、蓄熱槽としての機能を有している。また年間を通じた水温の変化は東京を中心とするヒートアイランド現象解明の鍵の一つでもある。水温環境の解明と、水生生物等生態系の実態や水温環境の変化に伴う影響を把握することは、国家的に取り組むべき部分が大きい。

加えて、本システムの認知度を増すために取り組むべき課題を挙げる。東京湾奥部の海域、特にお台場周辺(お台場海浜公園、芝浦運河周辺運河部など)は、東京湾の中でも、親水面、景観面でシンボリックな空間として、重点的に整備、保全すべき地域である。東京都による水質浄化対策も着手されている。この地域は、放流想定地点の近傍、下流域に位置することから、適切な配慮が必要とされる。同水域の水質管理機能を併せ持つような

水循環システムの形成も検討に値する。

さらに、本システムの環境影響が、既存の火力発電所による環境影響と同程度としても、これまでに例を見ない施設であり、社会的に評価が定着している施設でもないことから、適切な合意形成システムの構築が重要となる。

5 建物からの排熱処理を大気によった場合の解明

ヒートアイランドの形成要因の一つであると考えられる空調排熱が、実際の都市温熱環境に及ぼす影響について、広域都市領域と市街地空間の二つを対象に数値シミュレーションにより検討を行う。特に空調排熱の排熱形態、潜熱排熱か顕熱排熱か（広域都市領域、市街地空間）屋上排熱か地上排熱か（市街地空間）に着目した検討を行う。

5 - 1 空調排熱の排出形態が広域都市領域の熱環境に及ぼす影響の検討

1) 解析対象

図 5.1 に解析対象を示す。首都圏を中心とした 480km(X)×400km(Y)×9.6km(Z) を 60×50×49 メッシュに分割した領域を対象とする。ここでは、水平方向には 8km の等間隔、鉛直方向には地表面から高度 9.6km までの大気を不等間隔な 49 メッシュ（地表に接する大気側メッシュ幅 20m）に分割している。また、地表より地下は深さ 1m までを不等間隔な 5 メッシュ（地中第 1 セルの幅 10mm）に分割している。

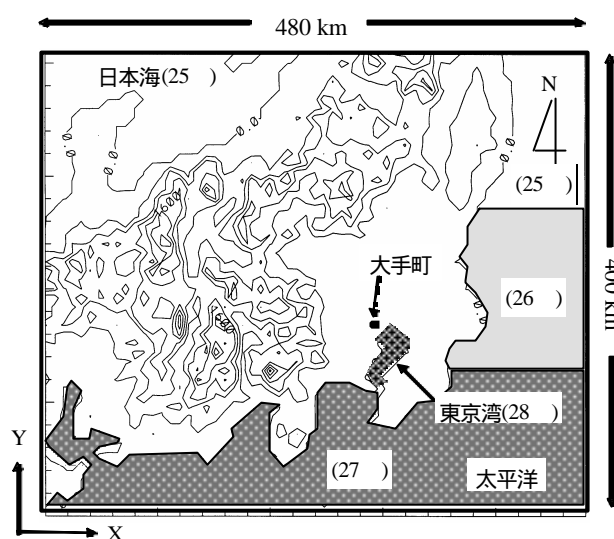


図 5.1 解析対象

2) 解析ケース

表 5.1 に計算ケースを示す。case A は空調排熱を全て顕熱で放出した場合である。case B は、冷却塔排熱を想定し¹⁾、その放出比率を顕熱 10%、潜熱 90%として放出した場合である。

表 5.1 解析ケース

	ケースの概要
case A	人工排熱を全て顕熱で放出する場合
case B	人工排熱のうち、顕熱で 10%、潜熱で 90%放出する場合

3) 空調排熱の取り扱い

東京都のエネルギー消費関連資料²⁾から与えられた人工排熱データのうち、民生からの人工排熱の構成としては、冷暖房機器の稼働、給湯機器の利用、厨房からの放熱、その他の内部発熱が考えられる。このうち、
は各建物の冷房機器の COP（ここでは 3.0 と仮定）に対応する建物空調負荷分と機器発熱量を大気への放熱量とした³⁾。図 5.2 に人工排熱・空調排熱の大気への排熱量の時間変化を示す。

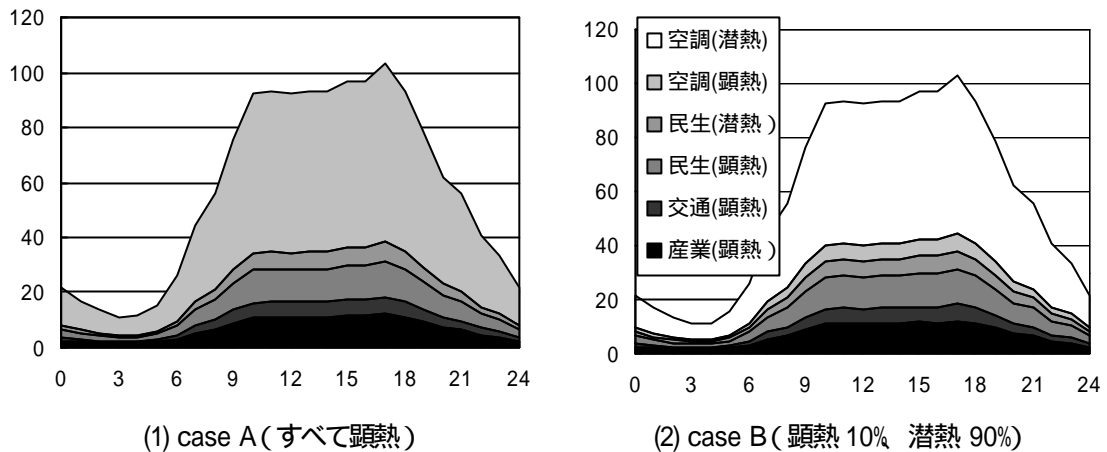


図 5.2 大気中に放熱される人工・空調排熱量（大手町を含む 8km メッシュ平均）(W/m²)

4) 乱流モデル

複雑地形に適用可能な形に拡張された Mellor-Yamada モデルのレベル 2.5 を利用。

5) その他の計算条件

本研究では、国土庁の国土数値情報の土地利用データ(100m メッシュ)を基に、領域内の地表各メッシュの土地利用状況に応じた数値設定を行っている。上空風速は 2m/s の南風とした。解析は 8 月上旬の太陽高度に基づき午前 6 時からスタートし、その後 42 時間の時間積分を行った。

6) 解析結果

a. 流れ場、温度場の性状

図 5.3 に 15:00(計算開始から 33 時間後)における case A の高さ 10m の風速ベクトルを示す。既往の観測結果^{文4)}に見られる関東平野への海風の流入がよく再現されている。風速は 2~5m/s 程度の値となる。

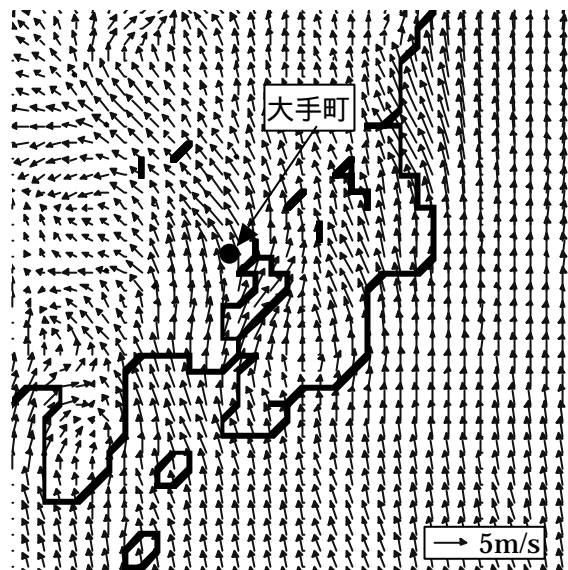


図 5.3 風速ベクトル分布
(case A、15:00、高さ 10m)

b. 地表面温度の比較

図 5.4、図 5.5 に高さ 10m における 8 月 6 日 4 時(計算開始後 22 時間目)と 15 時(計算開始後 33 時間目)気温の水平分布を示す。また図 5.6 に同じく高さ 10m の 15 時の絶対湿度の水平分布を示す。各図共に、(1)に case A(全て顕熱にて放出) (2)に case B(顕熱 10%、潜熱 90%) (3)に両ケースの差(case B - case A)をそれぞれ示す。人工排熱を全て

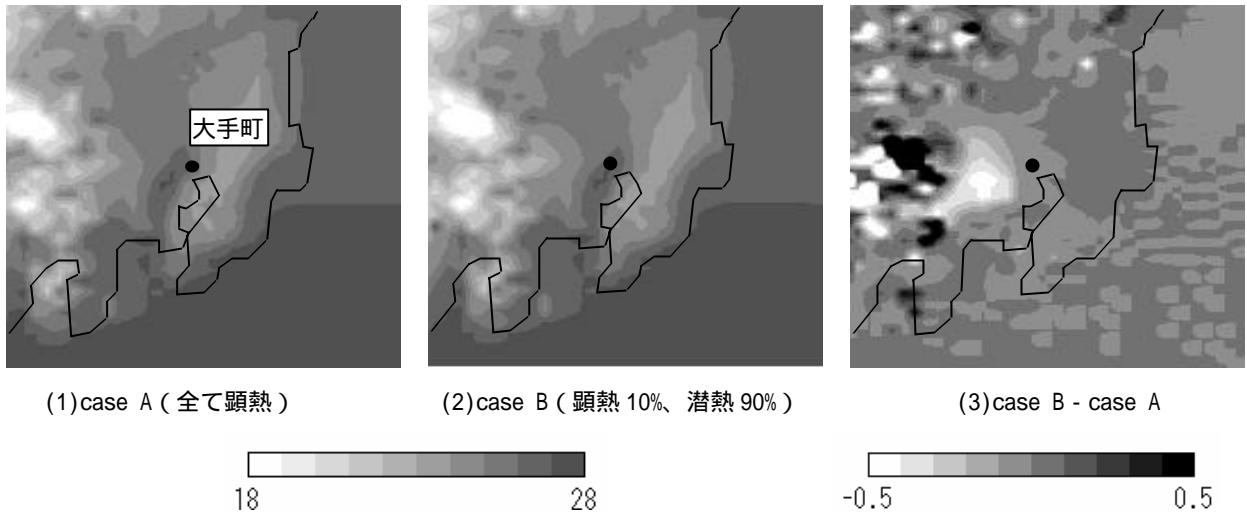


図 5.4 気温分布 (8月6日4時、高さ 10m) [単位:]

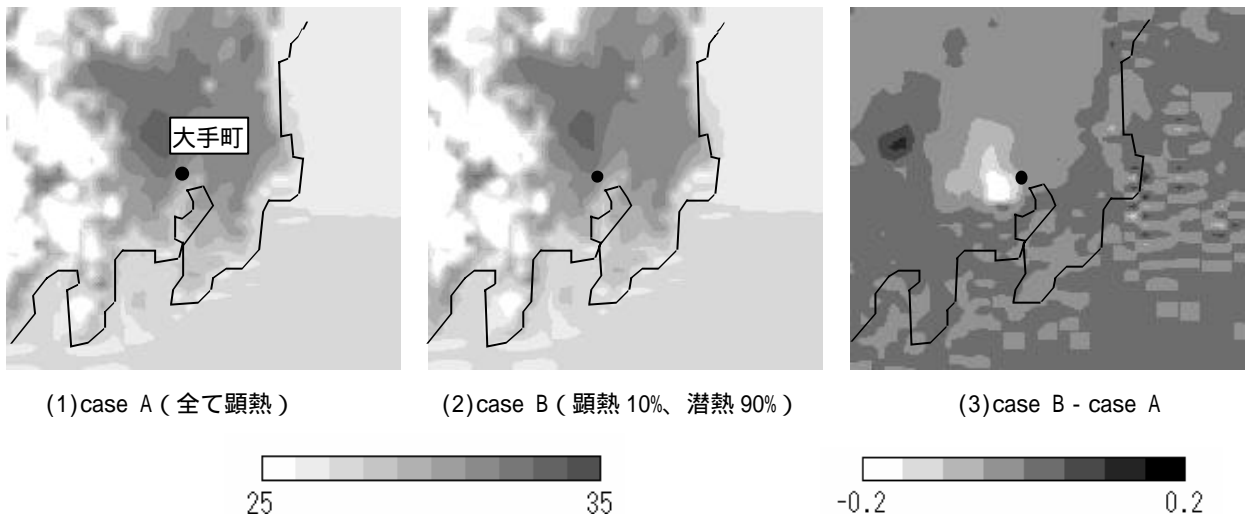


図 5.5 気温分布 (8月6日15時、高さ 10m) [単位:]

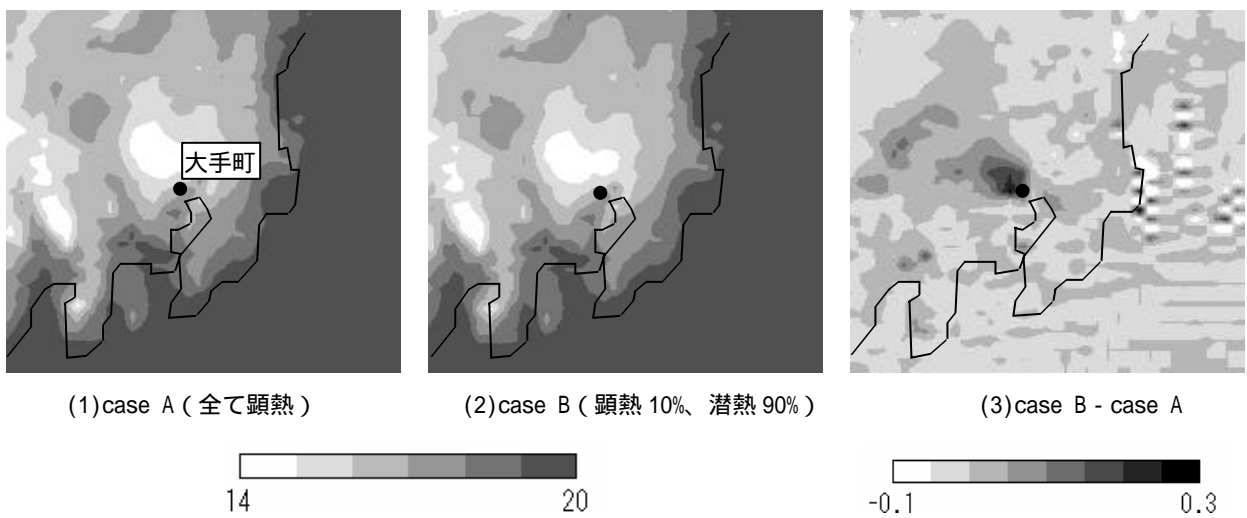


図 5.6 絶対湿度分布 (8月6日15時、高さ 10m) [単位: g/kg]

顕熱にて放出した case A に対して、90%を潜熱として放出する case B では、地表面温度、気温については都心を中心にその値が低下し、逆に絶対湿度は増加する結果となった。これは case A に対して case B では人工排熱の顕熱による放出が減少し、潜熱による放出が増加したためであり、変化の傾向としては妥当なものといえる。また深夜(図 5.4)と昼間の(図 5.5)の気温分布を比較すると、深夜のほうが顕熱排熱の影響が強く、またその影響範囲も大きいことが確認される。

c. 大手町の環境変化

図 5.7 に大手町を含む 8km×8km メッシュについての気温、絶対湿度の日変化を示す。気温については、case A の方が case B に対して 0.4~0.7 程度低下する。一方、絶対湿度については case B の方が case A より 0.3~0.9g/kg 程度高い値となる。空調排熱の放出量自体が比較的少ない夜間の方が、両ケース間の差異が大きい結果となった。

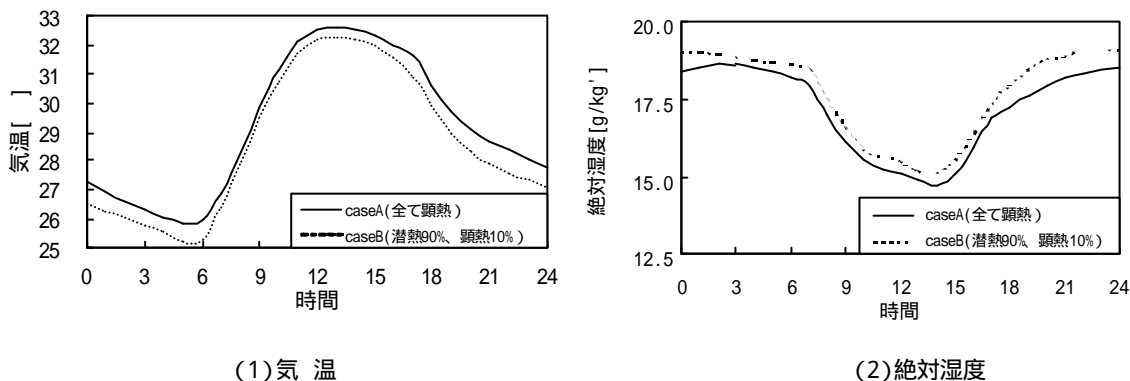


図 5.7 大手町を含む 8km×8km メッシュでの気温、絶対湿度の時間変化

5 - 2 人工排熱の排出形態が市街地空間の熱環境に及ぼす影響の検討

空調排熱の排熱形態が市街地空間レベルの温熱環境に及ぼす影響について、中層規模のモデル街区を中心として数値シミュレーションにより検討を行う。特に顕熱排出か潜熱排出か、排熱高さ等に注目した検討を行う。

1) 解析対象

環境省 13 年度報告書を参考に中層オフィス街区をモデル化し(建蔽率 50%、建物高さ 20m、容積率 250%)、解析対象とする。

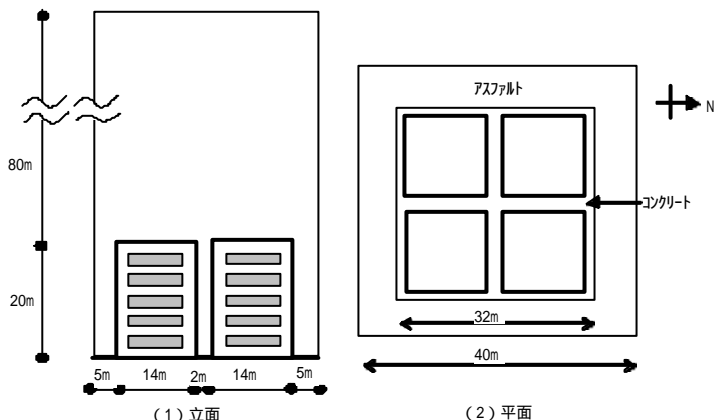


図 5.8 街区モデル(中層オフィス)

建物は 5F を想定した。空調面積は延べ床面積の 60% とする。(図 5.8)

2) 計算ケース

表 5.2 に計算ケースを示す。基準ケース(case 0)として建物周辺からの排熱がないケース、その他として熱源機器や排出位置を変化させた四つのケースを検討した。図 5.9 に空調排熱排出位置を示す。

表 5.2 計算ケース

	熱源機器	排出位置・時間	排出熱	COP
case 0	なし	なし	なし	
case 1	空冷チラー	屋上	顕熱	3.0
case 2		地上	顕熱	
case 3	水冷チラー + 冷却塔	屋上	潜熱*	3.0
case 4		地上	潜熱*	

*冷却塔からの潜熱排出の場合の潜熱・顕熱比は文 1) より 9:1 とする。

*排出する水蒸気の温度は外気温と等しいとする。

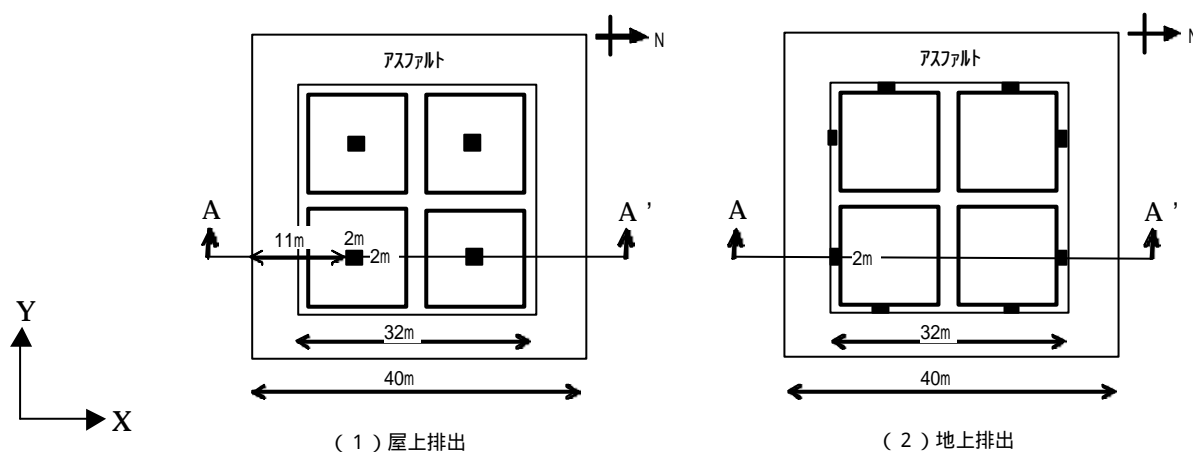


図 5.9 熱の排出位置

3) 解析手法

計算には吉田ら^{5) 6)}が開発した都市温熱環境予測プログラムを使用した。まず、モンテカルロ法に基づく非定常放射伝導連成計算を行う。次にこの放射計算から得られた建物・地表面温度ならびに、建物熱負荷の時系列データを境界条件として対流・湿気輸送連成計算を実行する。これらにより街区内の風向、風速、気温、湿度の空間分布を求める。対流計算に使われる乱流モデルは、通常の標準型 k- ϵ モデルに対して 乱流熱フラックスの評価への浮力の効果の組み込み^{7) 8)}、建物風上側での乱流エネルギー k の過大生産を抑制する改良型 Launder-Kato モデルの組み込み^{7) 9) 10)}の 2 つの修正を施した改良モデルを使用した。

4) 解析日時・気象条件

東京の7月22日0時～23日24時の48時間を計算し、23日15時を検討対象とする。気温は1999年度気象年報に基づいた。また大気中の水蒸気分圧の初期値は2.8Pa（絶対湿度17.7g/kg'）を解析領域一様に与える。図5.10に上空の気温と相対湿度を示す。計算は水平方向に周期境界条件を利用し、上空の風向・風速に関しては、風向は南、風速は高さ74.6mにおいて3.0m/sとした。

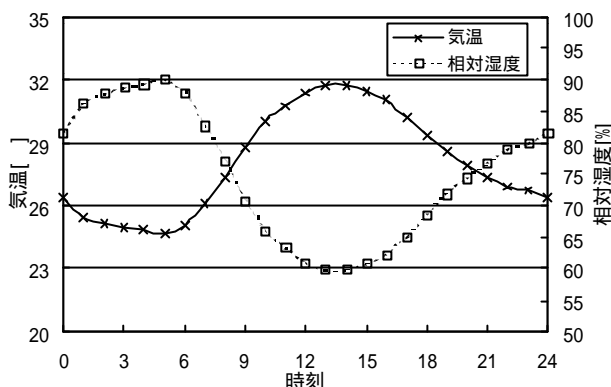


図 5.10 気温と相対湿度

5) 建物構成と地面構成について

建物の壁体と屋根構成に関しては、空気調和衛生工学会の中規模事務所ビル標準問題を参考に与えた。熱貫流率はそれぞれ $0.71\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ と $1.04\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ である。また、窓面の外壁に対する占有率を同じく標準問題に準じて0.21と与えた。窓は6mm厚のシングルガラスである。

6) 建物内部負荷について

建物内部負荷は図5.11に示すように与えた。換気量は在室時間8:00～20:00の間のみ $4\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ とした。また、室内空調時間帯は8:00～18:00とし、その間は室温一定(26)とし、他の時間帯は室温を成り行きとした。放射計算により算出した1棟あたりの建物熱負荷(外部負荷+換気負荷+内部負荷)の時間変化は図5.12に示す。空調運転時間中はこの値がその建物の空調負荷となる。空調排出熱 A_G は(1)式に空調負荷量 Q を代入することにより算出し、図5.9に示した熱の排出位置より直接大気に放出する。本計算では空調機の成績係数 COP は一日を通して3.0とする。

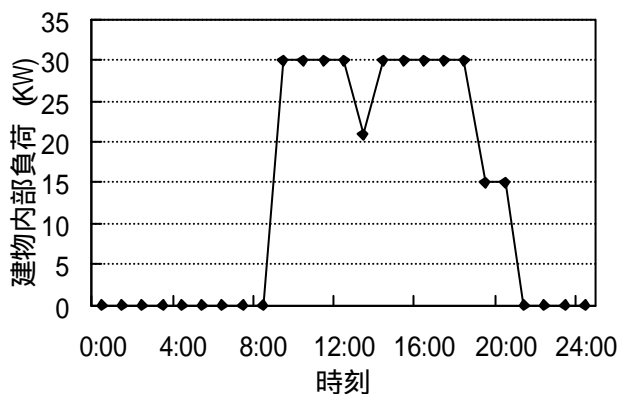


図 5.11 建物内部負荷の時間変化

$$A_G = \left(\frac{1 + \text{COP}}{\text{COP}} \right) Q \quad [\text{W}] \quad (1)$$

COP : 空調機の成績係数 [-]

Q : 空調負荷 [W]

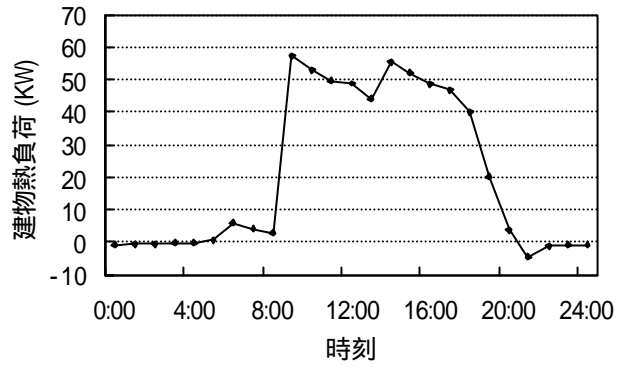


図 5.12 建物熱負荷の時間変化

7) 計算結果

図 5.13 に各ケースの高さ 1.5m における風速ベクトルの水平分布、図 5.14 に高さ 1.5m における気温の水平分布、図 5.15 に高さ 1.5m における case 0 を基準とした気温差の水平分布を示す。

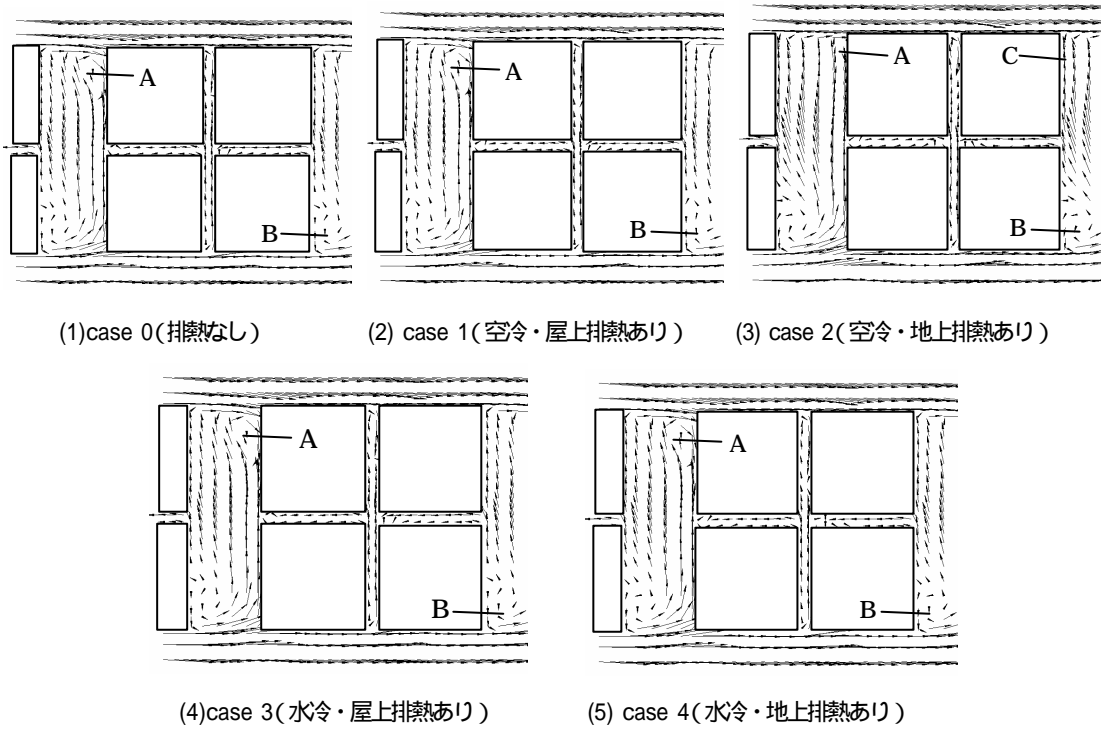


図 5.13 風速ベクトルの水平分布 (高さ 1.5m) → 2m/s

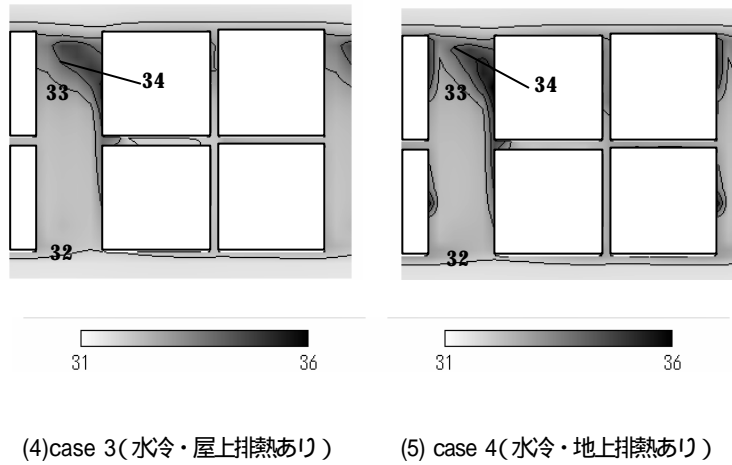
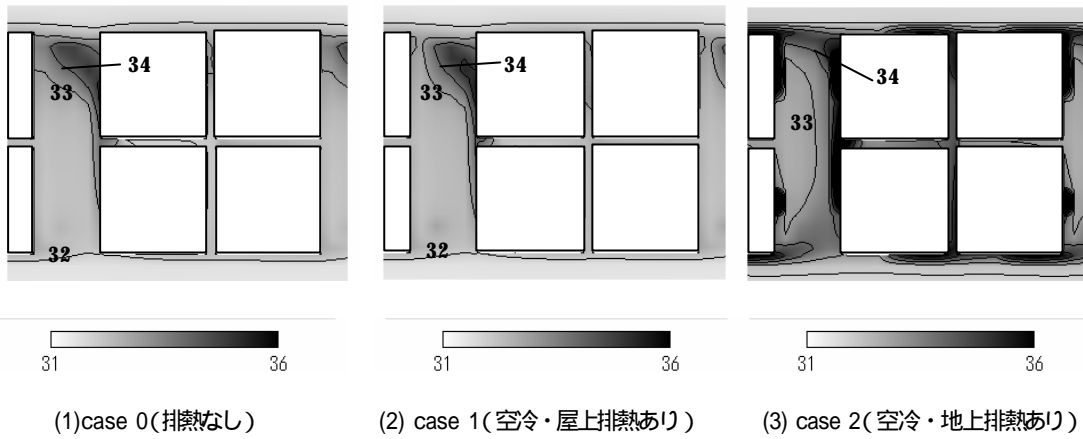
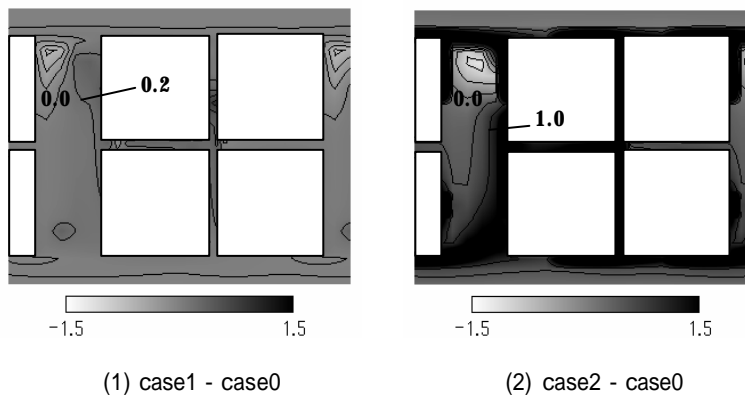


図 5.14 気温の水平分布 (高さ 1.5m) ()

また、表 5.3 に高さ 1.5m における平均気温を示す。case 0、case 1、case 3 は風速の水平分布に大きな差が見られなく、共に A、B 点に 2 つの渦が形成されており、屋上排出は風速分布に与える影響が少ないと言える。case 2 において、A 点と C 点で東よりの風が強くなっており、これは case 2 では地面付近からの顕熱排出があるため、排出口から熱流が拡散していることが原因と考えられる。case 4 は顕熱排出が少なく、この傾向があまり現れていない。



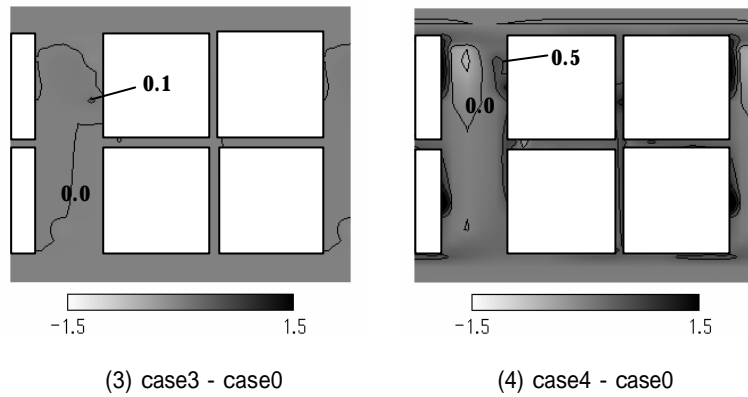


図 5.15 case 0 を基準とした気温の水平分布 (高さ 1.5m) ()

気温分布について、建物間のキャニオン空間では、34 以上の高温となる領域も見られる。また、case 0 を基準とした場合、地上顕熱排出の case 2 ではほとんどの領域で 0.5 以上の値となり、気温が上昇している。屋上潜熱排出の case 3 では気温は case 0 に比べてほとんど変化しない。また、平均気温をみても同様の傾向が得られる。

表 5.3 高さ 1.5m における平均気温 ()

ケース	case 0 (排熱なし)	case 1 (空冷・屋上 排熱あり)	case 2 (空冷・地上 排熱あり)	case 3 (水冷・屋上 排熱あり)	case 4 (水冷・地上 排熱あり)
平均気温	32.3	32.4	33.7	32.3	32.5

図 5.16 に case 3 と case 4 の高さ 1.5m における絶対湿度の水平分布、図 5.17 に case 0、case 3 と case 4 の高さ 1.5m における相対湿度の水平分布を示す。屋上排出の case 3 の場合は、case 0 に比べ、大きな変化が無いが、地上排出の case 4 の場合は歩行者レベルの湿度は高くなる。

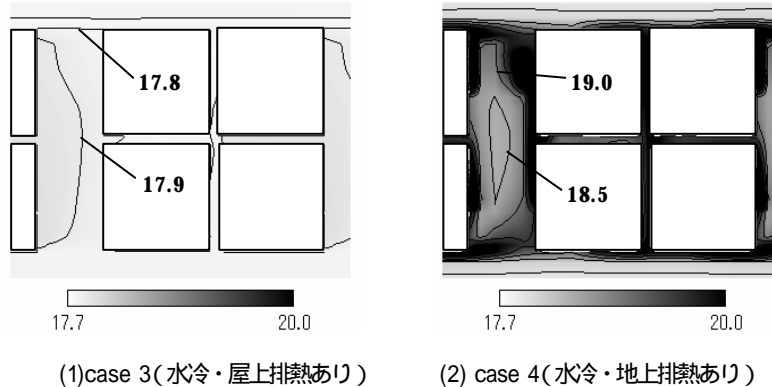


図 5.16 絶対湿度の水平分布 (高さ 1.5m) (g/kg ')

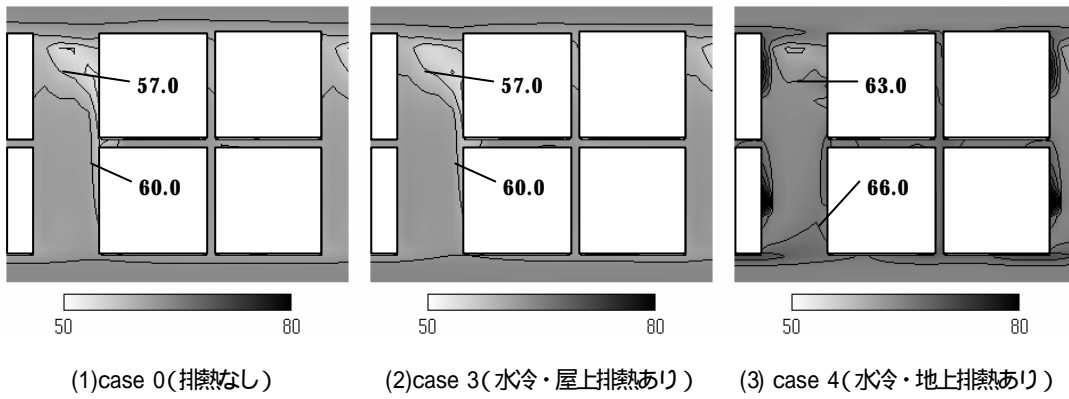


図 5.17 相対湿度の水平分布 (高さ 1.5m) (%)

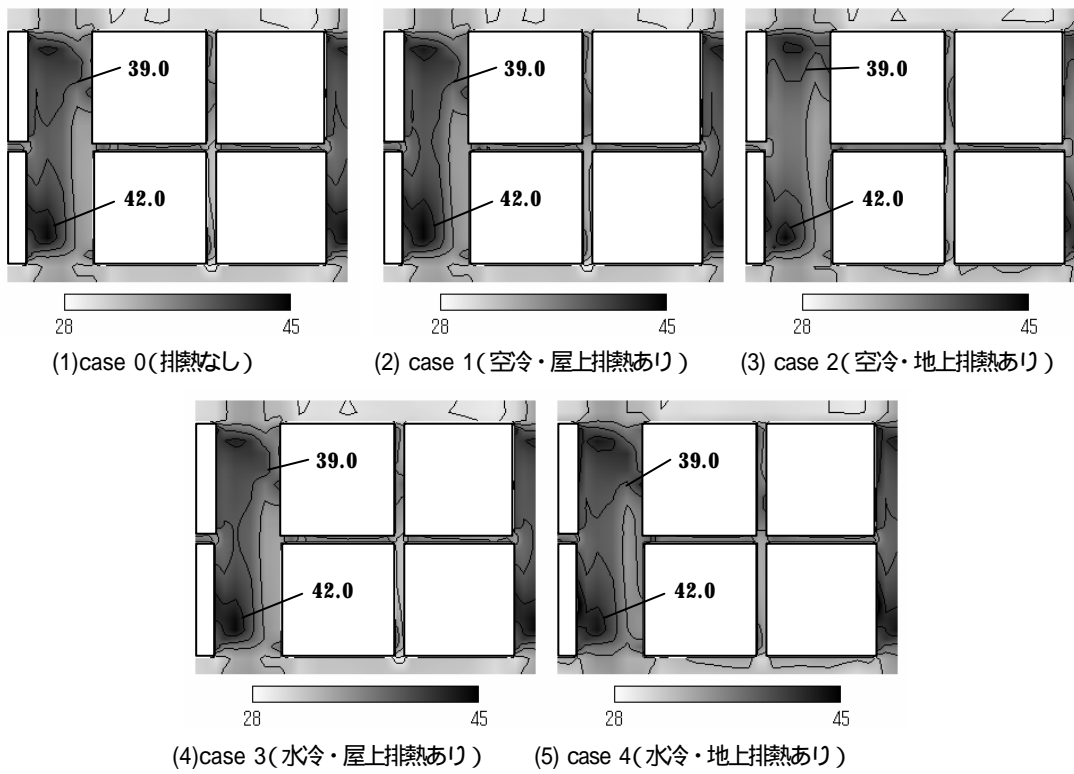


図 5.18 SET*の水平分布 (高さ 1.5m) ()

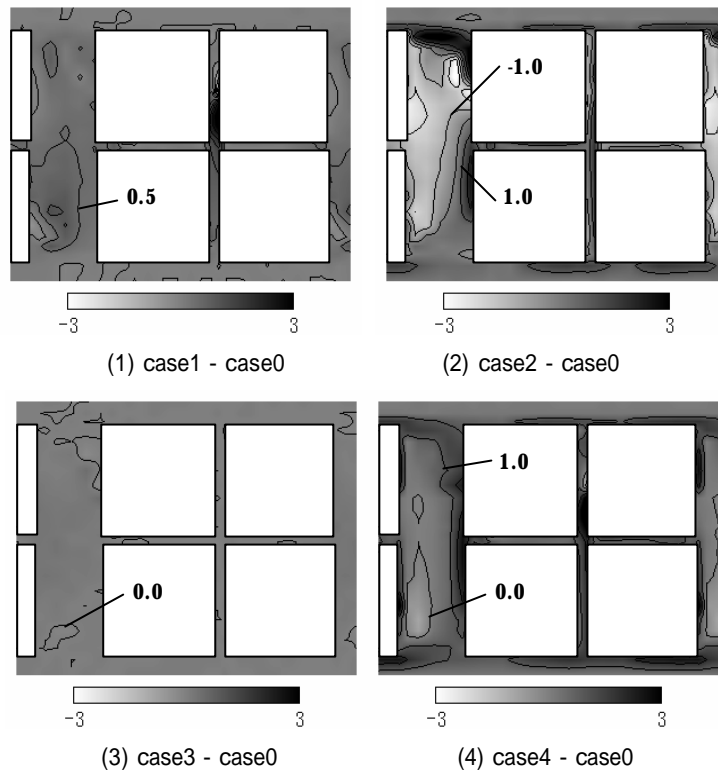


図 5.19 case 0 を基準とした SET*の水平分布 (高さ 1.5m) ()

図 5.18 に高さ 1.5m における SET*の水平分布、図 5.19 に case 0 を基準とした SET*の水平分布を示す。すべてのケースにおいて、キャニオン空間にほとんどの領域で 35 以上に達しており、夏の暑さと不快感が感じられる。case1 と case3 について、屋上排出なので、地面に与える影響が少ない。case0 に比べ、case1 の場合は顕熱を排出したため、SET*が若干上がり、case3 の場合はほとんど変わらなかった。case2 と case4 について、case0 に比べ、両ケースともに排出口付近で、SET*が増加する。case2 の場合、キャニオンの中心部に SET*が下がり、これは中心部に風速が強くなったためと考えられる。

5 - 3 まとめ

ヒートアイランドの形成要因の一つと考えられる空調排熱が、実際の都市温熱環境に及ぼす影響について、広域都市領域と市街地空間の二つを対象に数値シミュレーションにより検討を行った。特に空調排熱の排熱形態、潜熱排熱か顕熱排熱か(広域都市領域, 市街地空間), 屋上排熱か地上排熱か(市街地空間)に着目した。広域都市領域において、数値気候モデルを用いて関東地方の局地気象解析を行い、空調排熱の取り扱いの差異が予測結果に及ぼす影響を検討し、空調排熱を顕熱から潜熱主体の排熱にすることより、気温で最高 0.7 程度の低下が見られた。中層街区において、屋上排出より地上排出のほうが、潜熱排出より顕熱排出のほうが大きい気温上昇が見られた。潜熱排出の場合は気温が抑えられるが、湿度が高くなっている。

参考文献

- 1) 亀谷、水野、下田、葛原、西隆: 空調システムをもつ建物からの熱環境負荷に関する研究 第1報 空調システムの相違による建物からの排熱特性の検討、空気調和・衛生工学会論文集、62号、pp1-11、1996.
- 2) 資源環境技術総合研究所環境影響予測部: 大都市における夏季高温化対策技術の評価方法の開発、1997.
- 3) 吉田、大岡、村上他、18回エネルギー・経済・環境コンファレンス論文集、pp499-502、2002.
- 4) 桑形、近藤、天気、pp55-59、1990.3.
- 5) 吉田伸治、村上周三、持田灯、大岡龍三、富永禎秀、S. Kim: 対流・放射・湿気輸送を達成した屋外環境解析に基づく緑化の効果の分析、日本建築学会計画系論文集、529号、pp77-84、2000.3.
- 6) 原山和也、吉田伸治、大岡龍三、持田灯、村上周三: 非定常放射・伝導解析による数値解析と精度検証、日本建築学会計画系論文集、556号、pp99-106、2002.6.
- 7) 吉田伸治、村上周三、持田灯、大岡龍三、富永禎秀、S. Kim: 対流・放射・湿気達成解析による屋外環境共生空間の解析(その2) 改良型 k-εモデルを利用した緑地効果の影響の検討、日本建築学会関東支部、pp305-308、1998.3.
- 8) 野口康仁、村上周三、持田灯、富永禎秀: 都市の温熱環境の数値シミュレーション(その3) k-εモデルの乱流熱フラックスの評価への浮力効果の組み込み、日本建築学会大会学術講演梗概集(環境工学)、pp65-66、1994.9.
- 9) B. E. Launder、 M. Kato、 Modeling Flow-induced Oscillations in Turbulent Flow Around Stationary and Vibrating Square Cylinder、 ASME Fluid Eng.Conference、 pp20-24、 1993.6.
- 10) 近藤宏二、村上周三、持田灯: 改良 k-εモデルによる建物モデル周辺気流の数値計算、第8回数値流体力学シンポジウム、pp363-366、1994.

附) ヒートアイランドによる環境影響に関する現状調査

ヒートアイランド現象に関する具体的な調査解析に関しては、今後本格的に取り組まなければならない課題であるが、ここではこれまでに報告されている環境省を中心として集録したデータを参考資料として以下に記す。

A - 1 ヒートアイランドの実態把握

1) 現況の観測体制

ヒートアイランド現象は広域にわたるため、広域をカバーする気象データが必要になる。本稿では以下のようなデータの利用を検討し、比較的観測密度が高いアメダスと東京都立大学のデータを利用することとした。(表 A.1、図 A.1)

表 A.1 利用を検討したデータの例

	測定項目	測定値	期間	備考
官署气象台 測候所	気温、湿度、風、 雨量、日照時間、 気圧、積雪	1時間値	1976年～現在 (電子閲覧)	
アメダス	気温、風、雨量、 日照時間	1時間値	1976年～現在 (電子閲覧)	首都圏 76箇所
常時監視局 (一般局)	気温、湿度、 風 大気汚染濃度	1時間値	1976年～現在 (国立環境研究所で 電子提供)	
研究機関 (都立大)	気温	15分毎	1997.6～1999.12 (測定期間)	首都圏小学校 120地点
自治体(東京都)	気温、湿度、気 圧、風、雨量	10分毎	2002.7～ (測定期間)	都内20地点 小学校100箇所 (自記温湿度)
NGO	定時気温	-	-	仙台市科学館
衛星画像 (terra/ASTER) Landsat	地表面温度	2回/日 朝・夜		

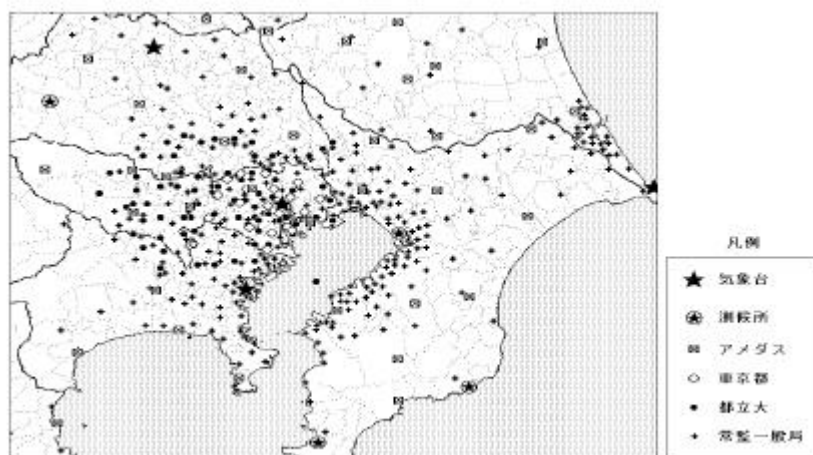


図 A.1 首都圏の既存測定点

2) 夏季の30以上の延べ時間分布

図 A.2 は、首都圏を中心としたアメダス観測結果から、夏季の30以上の延時間数を集計し分布図に表したもので、高温に暴露されている状況を示している。練馬付近から埼玉県南部にかけて、4ヶ月間で300時間近く30以上の環境におかれている高温暴露域が見られる。また、図 A.3 は同時期の東京都立大学によるデータから集計して分布図を作成したもので、さらに細かな分布状況を読みとることができる。

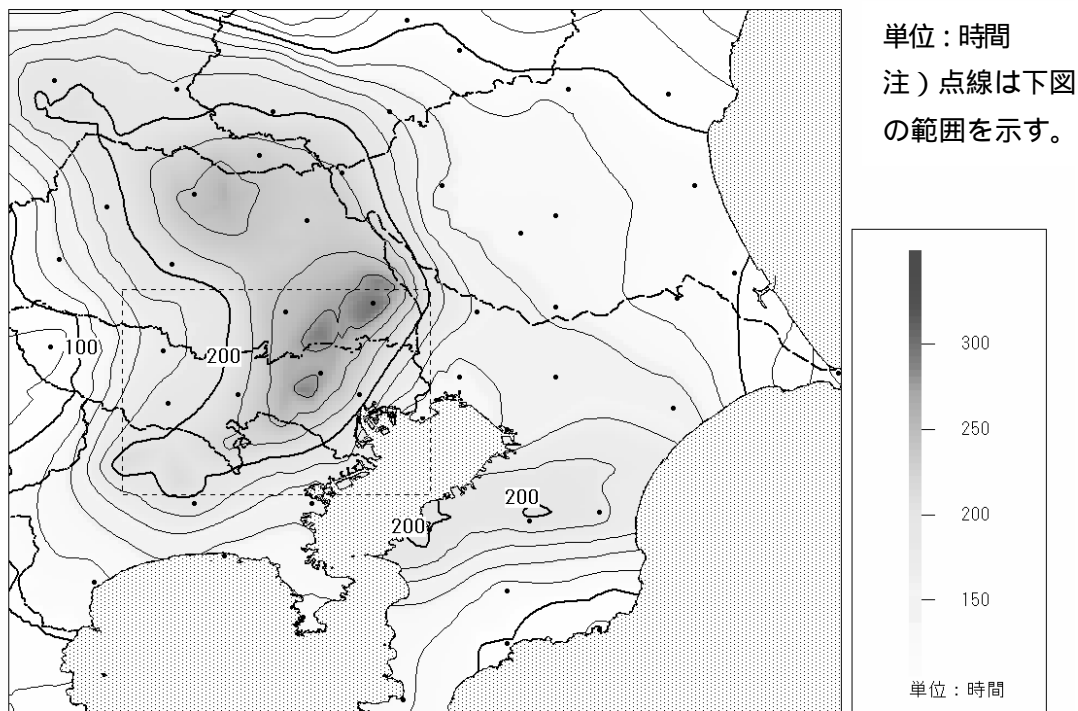


図 A.2 30 以上の延べ時間分布 (アメダス 1998 年 6~9 月)

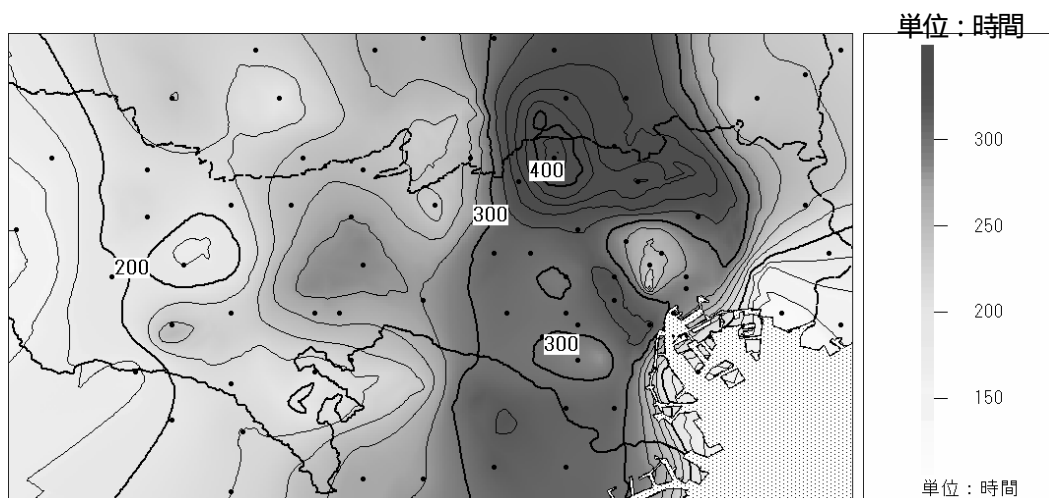


図 A.3 30 以上の延べ時間分布 (東京都立大学 1998 年 6~9 月)

3) 熱帯夜の発生日数

図 A.4 は、アメダスの観測結果から夏季の熱帯夜の日数（最低気温が 25 以下に下がらなかった日）を集計し分布図に表したもので、図 A.5 東京都立大学のデータで同様の集計を行ったものである。アメダスでは臨海部を中心とした分布に見えるが、都立大学のデータでは中央・墨田区に中心が見られる。

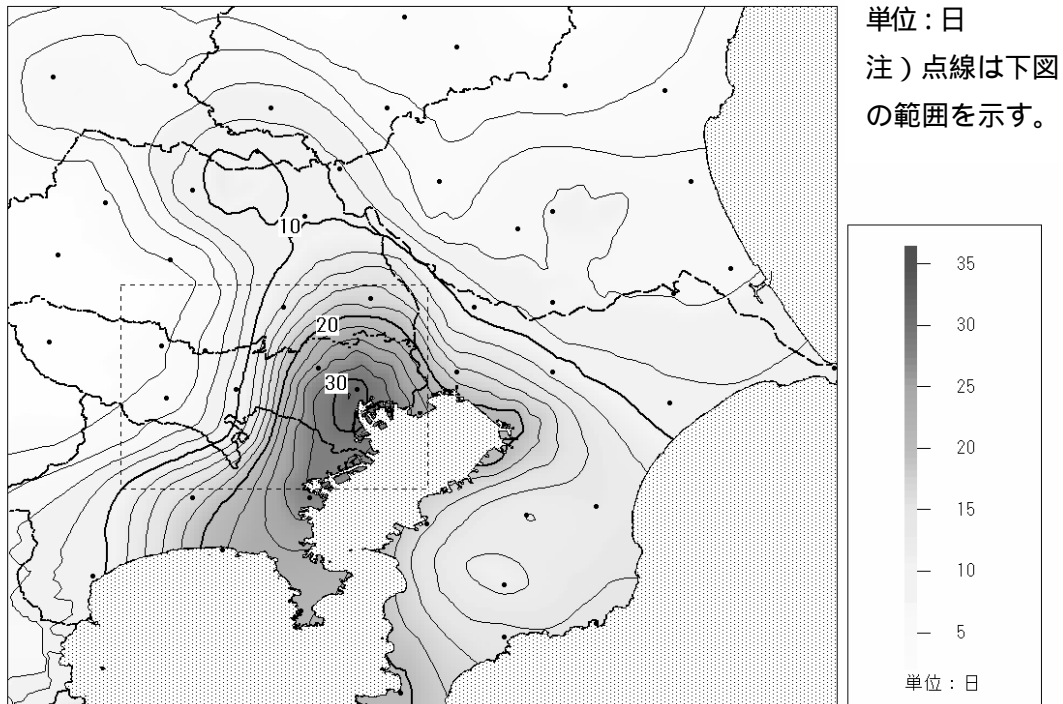


図 A.4 熱帯夜の出現日数分布（アメダス 1998 年 6~9 月） 単位：日

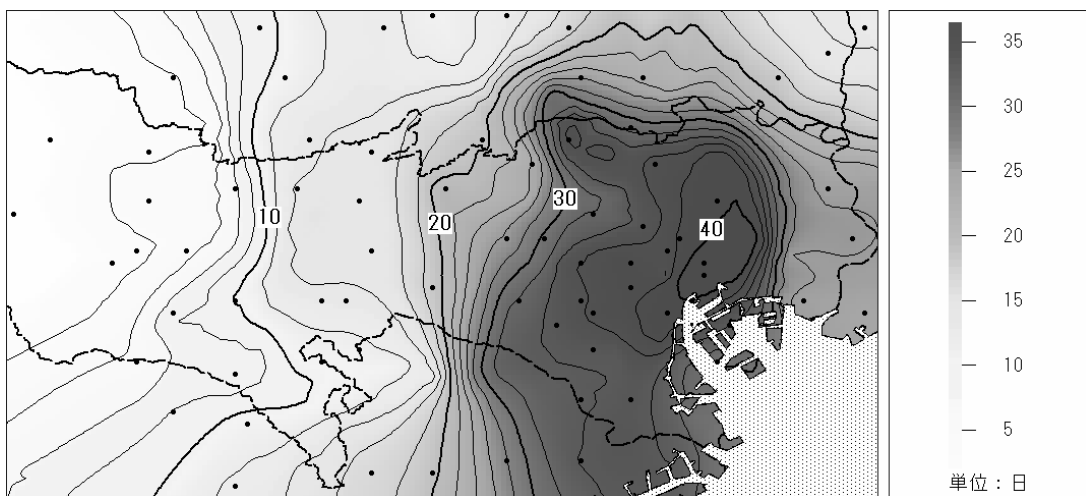


図 A.5 熱帯夜の出現日数分布（東京都立大学 1998 年 6~9 月）

4) 参加型の観測

小学校や市民が参加して地域の気温を測定する試みも行われている。仙台市では仙台市科学館で市内の小学校の参加による定時の気温観測を実施している。また、20校についてはリアルタイムで気温が収集され分布図が Web で提供され、環境教育の一環として役立てられている。

仙台市内の各小学校では、同一時刻での各小学校での気温を 1999 年 8 月に試験的に測定をしました。2000 年 4 月以降には、毎月 21 日 16:30(土日あるいは祝祭日の時には、その前の該当日)に、2002 年 11 月以降は毎月 21 日 17:00 に行ってきました。各校からのデータの登録ありがとうございます。2003 年もよろしくお願いたします。

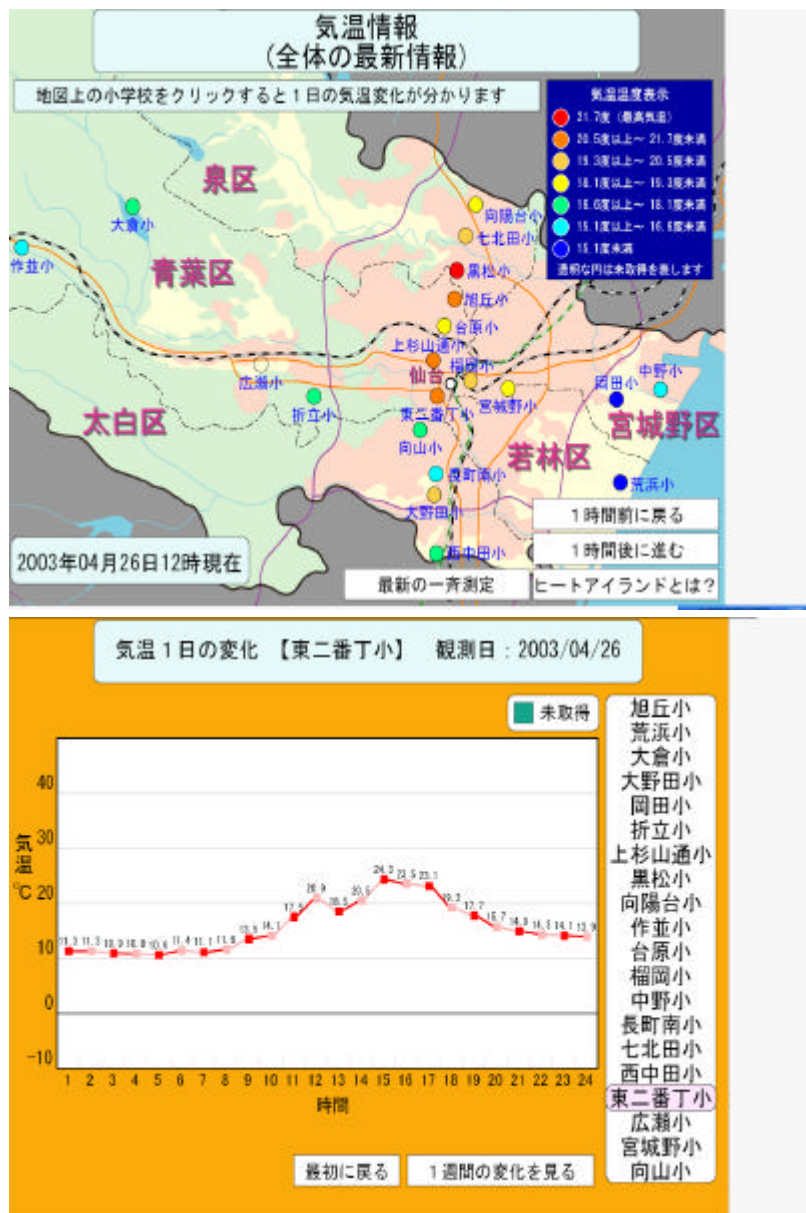


図 A.6 仙台市内小学校での気温測定の公開ホームページ
(<http://www.kagakukan.sendai-c.ed.jp/himawari/kion/index.ht>)

A - 2 数値シミュレーションによるヒートアイランド対策研究

1) 自然状態との比較

平成 13 年度に行った東京 23 区における「自然状態」と「現況」の数値シミュレーション結果から、地表面を境界とした鉛直方向の熱収支の比較を行った（数値シミュレーションは独立行政法人建築研究所の UCSS による）。これは当該地域が本来自然に持っている熱収支と現況がどの程度乖離しているかを見ることを目的としたものである。

入力条件は以下の通り、自然状態の「裸地」減少分が現況の「建物面積」と「アスファルト面積」に置き換わり、地表面を被う「樹木面積」も約 15%に縮小するとしたものである。また、人工排熱として、用途別建物排熱、事業所排熱、自動車排熱を加えた。（表 A.2、図 A.7）

表 A.2 東京 23 区シミュレーションケース概要

ケース	内容
自然状態	地表面がすべて自然の土壌で覆われ、標高 10m以上の丘陵地はその 80%が高さ 15mの樹木で覆われ、標高 10m未満の低地部はその 50%が高さ 10mの樹木で覆われている状態を仮定した。
現況	現況の建物、道路面積に樹木面積を重ね、建物の用途・規模別排熱、事業所排熱、自動車排熱を加えた。

	(ha)					(TJ/day)	
	水面面積	裸地面積	建物面積	アスファルト面積	樹木面積	人工顕熱	人工潜熱
自然状態	18,643	86,982	0	0	56,075	0	0
現況	18,642	40,984	23,096	22,903	7,733	1,824,147	316,490

出典：「環境省ヒートアイランド対策手法検討委員会報告書」（H14.3（社）環境情報科学センター）

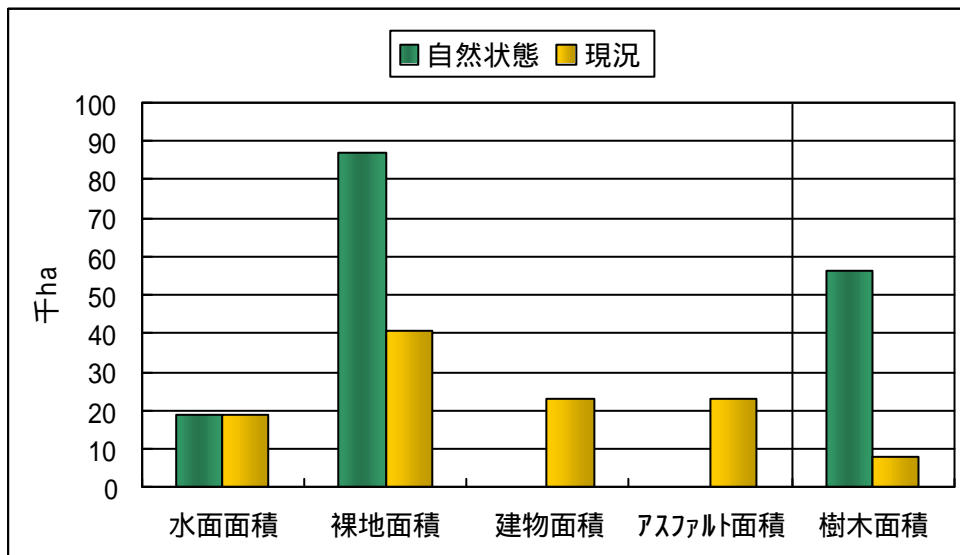


図 A.7 地表面被覆の入力条件

出典：「環境省ヒートアイランド対策手法検討委員会報告書」（H14.3（社）環境情報科学センター）

結果は表 A.3、図 A.8 に示すとおり、自然状態に比べ現況は、地表面被覆の人工化によ

り対流顕熱が 37%増加し、蒸発潜熱が 58%減少している。また、対流顕熱の 30%に相当する人工顕熱が新たに加わり大気を直接暖める熱負荷が増大している。このことから、現況をより自然状態に近づけるためには、人工排熱の削減のほか人工顕熱の潜熱化を進める必要があると考えられる。

自然状態と現況の対流顕熱の差 $24.6\text{W}/\text{m}^2$ と追加された人工顕熱 $26.9\text{W}/\text{m}^2$ は、それぞれ地表面の人工化、人工排熱の増加の影響を代表していると考えられ、その影響程度は約 50%ずつに相当すると推察される。

表 A.3 東京 23 区の自然状態と現況の地表面における日平均熱収支の比較

一日当たりの平均値 (単位: W/m^2)

項目	自然状態	現況	内容
日射	328.1	328.3	
反射	68.5	69.4	地表面被覆で反射される日射
放射 (上向き)	426.2	458.3	地表面被覆から上空に放出される放射熱
放射 (下向き)	351.3	358.1	大気から地表面に放出される放射熱
対流顕熱	65.9	90.5	地表面被覆から大気への顕熱
蒸発潜熱	126.6	53.2	地表面被覆から大気への潜熱
人工顕熱	0.0	26.9	エアコン、自動車から大気への顕熱
人工潜熱	0.0	5.2	冷却塔などから大気への潜熱
伝導	- 7.8	14.9	地表面から地中への熱伝導
気温	19.3	26.7	地上 2.5m、23 区平均
風速	0.3m/s	0.8 m/s	地上 2.5m、23 区平均

出典:「環境省ヒートアイランド対策手法検討委員会報告書」(H14.3(社)環境情報科学センター)

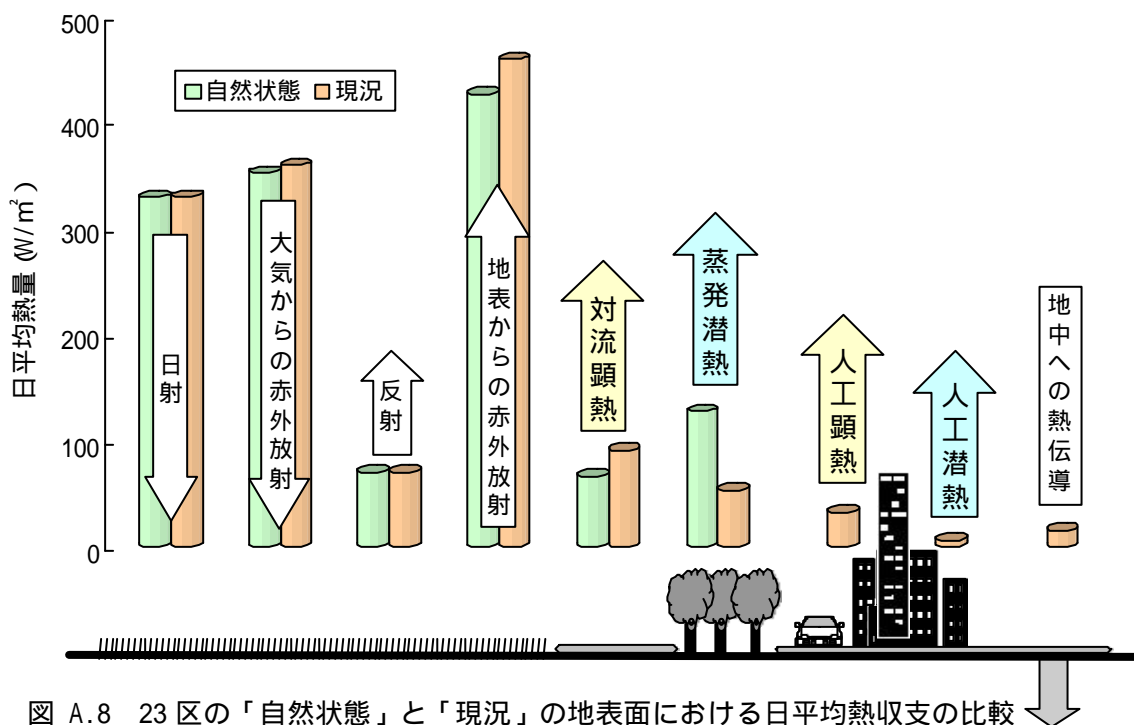


図 A.8 23 区の「自然状態」と「現況」の地表面における日平均熱収支の比較
出典:「環境省ヒートアイランド対策手法検討委員会報告書」(H14.3(社)環境情報科学センター)

2) 簡易計算手法による対策効果の予測システムの開発

簡易計算手法は、UCSS をメッシュ数が限定された均一な地区（建物等の地表面被覆や人工排熱）に適用することにより計算時間を大幅に削減すると共に、連続的に大量かつ系統的に計算を行うためのインターフェースを組み込んだシステムである。このシステムによれば、同一条件の建物面積、裸地面積、建物高さ等に対して、樹木面積を 10～50%まで連続的に増加させた場合の効果、気温や対流顕熱、蒸発潜熱の変化で見ることができる。このシステムを利用して予め主要なパラメータ変化の組合せを計算しておき、その結果を補完計算を組み込んだ検索システムで閲覧できるシステムも合わせて開発した。

簡易計算手法によれば、行政等が一団の地域に対してヒートアイランド対策を検討する際、地域の条件を入力して対策を検討したい部分のパラメータを変化させることで、予めその効果を予測することができる。

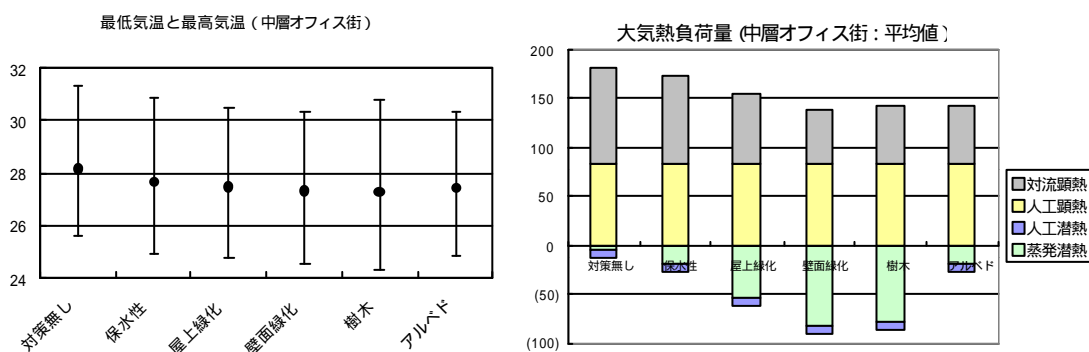


図 A.9 簡易計算手法による対策効果の予測

出典：「環境省ヒートアイランド対策手法検討委員会報告書」(H14.3 (社)環境情報科学センター)