

ISSN 0386-5878

土木研究所資料第3578号



土木研究所資料

都市の熱環境に及ぼす緑被の効果に関する研究

平成10年11月

建設省土木研究所
環 境 部

Copyright © (1998) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

都市の熱環境が及ぼす緑被の効果に関する研究

環境部 部長 半田真理子*

要 旨

近年、ヒートアイランド現象など都市の熱環境の悪化が問題となり、その改善のための方策が必要になっている。そのため、本研究は、改善方策の一つとして植物の機能に着目し、都市の熱環境に及ぼす緑被の効果を都市スケールで明らかにすることを目的として、①衛星（ランドサット）データの解析及びシミュレーションに基づき、緑被の量の増加による温度低減効果を解明するとともに、②緑被は均一の配置よりも重点的な配置の方が温度低減に効果的であるという仮説をたて、各種の条件を設定したシミュレーションに基づき温度変化を解析し、仮説を検証したものである。またシミュレーションのモデルとした東京都区部について熱環境の側面から見た望ましい緑被の形態を示し、さらに緑被を活用した計画のあり方と課題について提言を行った。

キーワード：緑，緑被，熱環境，気温，都市計画

*博士（農学）

目 次

第Ⅰ章 研究の目的と方法	1
Ⅰ－１． 研究の背景と目的	1
Ⅰ－２． 研究の手順	2
第Ⅱ章 既往研究の概要	4
Ⅱ－１． 主 旨	4
Ⅱ－２． 緑被の量に関する既往研究	4
Ⅱ－３． 緑被の質に関する既往研究	5
Ⅱ－４． 緑被の配置に関する既往研究	5
Ⅱ－５． 既往研究の成果と課題	7
Ⅱ－６． 考 察	7
第Ⅲ章 緑波の量に関する解析	9
Ⅲ－１． 主 旨	9
Ⅲ－２． 地表面温度と緑被の関係の解析	10
2. 1 解析手法	10
2. 2 土地被覆形態と地表面温度の関係	11
2. 2. 1 土地被覆分類図	11
2. 2. 2 地表面温度分布図	11
2. 2. 3 土地被覆分類別地表面温度	13
2. 3 地表面温度と植生指標の関係	14
2. 3. 1 植生指標	14
2. 3. 2 植生指標と緑被の状態	14
2. 3. 3 地表面温度と植生指標の相関関係	16
2. 4 考 察	17
Ⅲ－３． 地表面温度と緑被率の関係の解析	17
3. 1 解析手法	17
3. 2 L緑被率及び地表面温度	21
3. 3 地表面温度とL緑被率の関係	35
3. 4 L緑被率の有効性	37
3. 4. 1 空中写真緑被率の判読	37
3. 4. 2 L緑被率と空中写真緑被率の関係	39
3. 5 考 察	40

Ⅲ－４．	地表面温度低減効果の季節間・昼夜間差の解析	41
4. 1	解析事項	41
4. 2	解析手法	41
4. 3	地表面温度の季節間・昼夜間差	42
4. 3. 1	昼間における季節間の差	42
4. 3. 2	夜間における季節間の差	42
4. 3. 3	昼夜間の差	45
4. 4	考 察	45
Ⅲ－５．	総合考察	46
第Ⅳ章	緑被の配置に関する解析	49
Ⅳ－１．	主 旨	49
Ⅳ－２．	解析の手順	50
Ⅳ－３．	配置シミュレーション	52
3. 1	シミュレーション対象地域及び前提条件の設定	52
3. 1. 1	シミュレーション対象地域	52
3. 1. 2	前提条件の設定	53
3. 2	シミュレーション手法の設定	73
3. 2. 1	シミュレーションシステムの概要	73
3. 2. 2	初期条件の設定	79
3. 2. 3	評価対象範囲の設定	79
3. 2. 4	緑被の条件設定	79
3. 2. 5	解析手法	102
3. 3	現況での解析結果	102
3. 3. 1	現況シミュレーションの結果	102
3. 3. 2	シミュレーションの精度の検証	103
3. 4	条件設定した緑被の配置による解析結果	105
3. 4. 1	解析の方針	105
3. 4. 2	各ケースの解析結果	105
3. 5	相互比較	135
3. 5. 1	気温分布の傾向	137
3. 5. 2	積算気温低減量及び気温低減効率	137
3. 5. 3	気温変化量	139
Ⅳ－４．	総合考察	143
4. 1	仮説の検証	143
4. 2	緑被による都市気象の変化	144
4. 2. 1	風速の低下	144
4. 2. 2	気温の上昇	145

4. 2. 3	気温低減の数値の意味	146
4. 3	計画への適用性	146
第V章 緑被の計画のあり方		48
V-1.	研究成果からの提言	148
1. 1	緑被の概念の導入	148
1. 2	緑被の量の増加	154
1. 3	適切な緑被の配置	155
1. 4	計画の可能性を拡大する技術の開発	156
V-2.	対象区域における緑被への提言	157
第VI章 研究成果のまとめと今後の課題		164
VI-1.	研究成果のまとめ	164
VI-2.	今後の課題	165
附属資料 1	対象都市の緑被形態パターン	167
附属資料 2	シミュレーションの数値モデル	172
附属資料 3	近未来の都市像	176
引用・参考文献		178

第 I 章 研究の目的と方法

I - 1. 研究の背景と目的

近年、都市への人口集中、都市化の進行、エネルギー消費の増加など都市への負荷の増大にともないヒートアイランド化、乾燥化など都市環境、とりわけ都市の熱環境^(註1)の悪化が大きな問題になり、その改善のための方策が緊急に必要なになっている。都市環境は都市住民の生活の場であるとともに地球環境の一端を占めており、都市環境の悪化は、都市住民の身近な環境の質の低下とともに、地球環境の悪化を意味している。したがって都市への負荷の軽減は、都市環境の観点だけではなく、地球環境の観点からも重要であり、国内・国外を問わず国際的な課題としてその解決が求められている。また、都市への負荷の軽減は1992年のリオデジャネイロにおける国連環境開発会議でうたわれた「持続可能な開発」の方針に即した課題でもあり、英知を集めて対応策を考えていく必要がある。

都市は人間が集中的に居住・活動し、大量のエネルギーを消費しているところであり、構造的にも大部分、アスファルト、コンクリートなど人工物で覆われている。また今後ますます都市化が進み、都市における人為的な発熱量は増加し、人工物は増えていくものと予想されている。

このような都市環境の悪化を改善するために、省資源・省エネルギーを目指して資材の再利用、燃費向上など各種の方策が講じられているが、むしろこれからは自然の力を利用した方策にもっと注目する必要がある、その代表として緑被^(註1, 2)が挙げられる。ここで言う緑被とは、従来考えられてきた土地利用形態のカテゴリーとしての緑被とは異なり、植物が集合した、機能複合体としての緑被である。

これからの都市は、自然の力を活用し自然環境と調和するような都市構造に転換していく必要があり、その実現のために緑被は基盤的な、極めて有効な要素である。何故ならば、一般的に、緑被の効果については高く評価されており、しかも他の方策は利用するためには更にエネルギーを必要とするが、緑被は更なるエネルギーを使わないで利用することができるからである。植物は日射を遮り、蒸散作用を通じて熱を減じ、大気中の水分量を増やすなどの機能を有しており、そのため緑被による効果があると考えられている。しかし都市政策的に見ると、従来、空間としての都市公園、緑地保全地区等の強化に力点が置かれ、植物で覆われたところを緑被という概念で一体的に捉えて都市政策に反映するという観点が弱かった。このような状況だからこそ緑被に一層注目する必要がある。

一方、研究の現状を見ると、都市の熱環境に及ぼす緑被の効果について局地的には定量的に把握されるようになってきたが、都市スケールで緑被の総体を人工物との関係で定量的に把握した研究はいまだに充分でなく、緑被による都市構造改善の手法は明らかになっていない。そのため研究を通じて都市の熱環境に及ぼす緑被の効果を解明し、都市における緑被の計画、都市政策等に資することは極めて重要な意義をもち、このような状況を背景に本研究を行うものである。

本研究は、都市の熱環境に及ぼす緑被の効果を解明するとともに、緑被の活用により都市気象を制御し熱環境を改善するための基礎的な知見を明らかにし、もって緑被の計画と政策的な応用に資することを目的としている。

I - 2. 研究の手順

以上の目的に従って、本研究の手順としては、既往研究の成果と問題点を「緑被の量」、「緑被の質」及び「緑被の配置」に整理して考察し（第Ⅱ章）、それらの問題点に対して新たに行った研究を、まず「緑被の量」について示し（第Ⅲ章）、次に「緑被の配置」について熱環境改善のための要点に着目した仮説を設定して東京都区部をモデルとしてシミュレーションを実施するとともに（第Ⅳ章）、これらの結果を踏まえて緑被の計画のあり方を考察し（第Ⅴ章）、最後に研究成果を総括して今後の課題を整理する（第Ⅵ章）。

研究のフローを図1-1に示す。

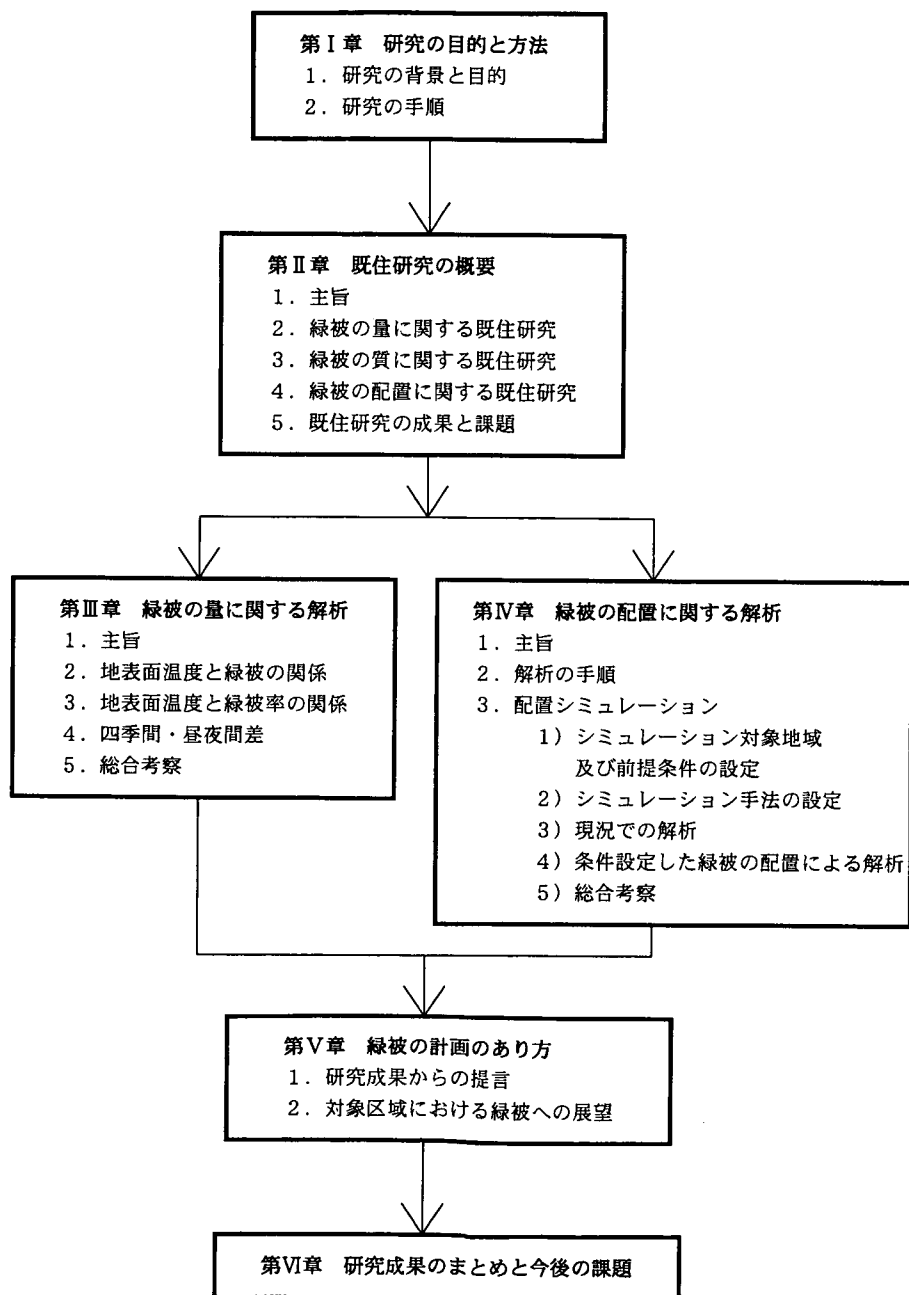


図1-1 研究フロー

[注]

(注1) 本研究においては緑被、緑化、熱環境、温度という言葉を決の意味で用いる。

①緑 被: 植物で覆われたところ

②緑 化: 緑被を増加させること

③熱環境: 生物が活動する場としての地球の環境は、気圏、水圏、地圏に分けられる。また、これらの圏域のそれぞれの環境に適応して各種の生物が活動する生物圏がある。このうち気圏について、熱という観点で捉えた概念が熱環境である。

④温 度: 熱平衡にある(熱的つりあいにある)系を特徴づける尺度。計測方法によってそれぞれの温度の意味は異なり、本研究では該当部で逐次解説する。

(注2) 緑被地という言葉を決めて研究に使用した田畑は、「緑被地 (greenery space) とは、一定の地域に独立または一団となった樹林地、草地、畑、水田、水辺など、植物の緑で覆われた土地もしくは、緑で覆われていなくても自然的環境状態にある土地の総称」(田畑、1995) と定義している。一方、本研究では、緑で被われていないところは緑被に含まれない。また、この定義で示された緑被地という言葉は土地概念であるが、本研究において緑被という言葉は、植物の機能複合概念として使用している。

第Ⅱ章 既往研究の概要

Ⅱ－１．主 旨

本章では、都市の熱環境と緑被の関係について既に定量的に解明されている事項及び今後必要な研究の観点に関して既往研究を分析し、考察する。分析に当たっての問題意識は、次の如くである。

- ① 既往研究は、緑被を都市構造に組み入れ、緑被により都市気象を制御する手法を解明する上で十分なスケール、内容になっているか。
- ② 緑被による都市気象の制御について論じるには地表面の構成要素としての緑被の有無や量を問うだけではなく、緑被の量や配置を検討することが重要であるが、既往研究では十分に検討されているか。

分析の手順としては、緑被をめぐる各種の側面に焦点をあてながら既往研究の成果の全体像が明らかになることを目指して、①緑被の量、②緑被の質、③緑被の配置の３つの側面について順次述べる。また、既往研究の要点をまとめた文中では各研究者による用語を原点のまま引用し、必要に応じて註釈を付ける。

Ⅱ－２．緑被の量に関する既往研究

緑被の量を表す指標としては緑被率、緑被の体積、高木本数等が挙げられるが、本研究では都市構造との関係、既往研究の実績等を考慮して緑被率を取り上げる。

緑被率に関する代表的な研究の要点は、次の如くである。

- a. 丸田・柳・小谷（1995）は緑被の量を表わす指標として緑被地率^(註1)を用い、緑被地率と気温の関係を夏季に調査し、緑被地率が増すと気温が低減することを解明した。緑被地率10%当たりの気温低減率は14時で0.30～0.43℃、4時で0.21～0.27℃であった。緑被地率の調査範囲は、気温の測定点を中心とした直径500mの範囲内である。
- b. 山田（1994）は緑被の量を表わす指標として緑被率^(註2)を用い、緑被率と気温の関係を夏季に調査し、緑被率が増すと気温が低減することを解明した。緑被率10%当たりの気温低減率は14時で0.21℃、22時で0.15℃、4時で0.13℃であった。緑被率の調査範囲は気温の測定点を中心とした直径500mの範囲内である。この他にも山田は気温と緑被の関係に関する一連の研究（1991、1992、1993 a、b、1994、1995 a、b）を通じて、緑被により気温の低減効果があることを実証している。

以上の既往研究では、夏季においては緑被率（または緑被地率）が増すほど気温低減効果があることが認められている。

このように既往研究によれば、都市の熱環境に及ぼす緑被の量の効果についてある程度定量的に解明されている。

II-3. 緑被の質に関する既往研究

緑被の質としては緑被要素（樹林地、草地、水田等）、樹種（常緑広葉樹、落葉広葉樹、常緑針葉樹、落葉針葉樹）、樹木の活力度等が挙げられるが、本研究では、都市構造との関係、既往研究の実績等を考慮して緑被要素を取り上げる。

緑被要素に関する代表的な研究の要点は、次の如くである。

- a. ピチャクム・丸田・柳井（1993）は緑地^(註3)の種類と気温低減効果の関係を夏季の調査データを用いて解析し、このうち緑被による気温低減量は、「最高気温の出現時刻である日中午後3時」（原文のまま）を中心とした計測データでは、樹林地率10%当たり $0.24^{\circ}\text{C} \pm 0.15^{\circ}\text{C}$ 程度、草地率10%当たり $0.19^{\circ}\text{C} \pm 0.06^{\circ}\text{C}$ 程度、水田率10%当たり $0.20^{\circ}\text{C} \pm 0.06^{\circ}\text{C}$ 程度であることを解明した。緑被率の調査範囲は、気温の測定点を中心とした直径500mの範囲内である。
- b. 山田（1993a）は緑被要素（樹林地、草地、水田）ごとの気温低減効果を夏季に調査し、どの緑被要素についても気温低減効果があること、また、これらの緑被要素の中でも樹林地の効果が高いことを解明した。数値で示すと緑被率^(註4)10%当たりの気温低減量は14時で $0.24^{\circ}\text{C} \pm 0.01^{\circ}\text{C}$ 、4時で $0.10^{\circ}\text{C} \pm 0.01^{\circ}\text{C}$ であった。緑被要素ごとには樹林地率10%当たりの気温低減量は14時で $0.34^{\circ}\text{C} \pm 0.03^{\circ}\text{C}$ 、4時で $0.14^{\circ}\text{C} \pm 0.02^{\circ}\text{C}$ 、草地率10%当たりの気温低減量は14時で $0.25^{\circ}\text{C} \pm 0.02^{\circ}\text{C}$ 、4時で $0.11^{\circ}\text{C} \pm 0.02^{\circ}\text{C}$ 、水田率10%当たりの気温低減量は14時で $0.19^{\circ}\text{C} \pm 0.01^{\circ}\text{C}$ 、4時で $0.09^{\circ}\text{C} \pm 0.01^{\circ}\text{C}$ であった。緑被率の調査範囲は、気温の測定点を中心とした直径500mの範囲内である。

以上の既往研究では、緑被要素（樹林地、草地、水田）の中では樹林地による気温低減効果が最も大きく、また、どの緑被要素についても、その率が増すほど気温低減効果があることが認められている。

このように既往研究によれば、都市の熱環境に及ぼす緑被の質の効果についてある程度定量的に解明されている。

II-4. 緑被の配置に関する既往研究

緑被の配置については都市の温度分布と緑被の配置の関係など直接的な事項に加えて、緑被による効果が及ぶ範囲、配置する緑被の規模による効果の違いなど間接的に緑被の配置に係る事項についても取り上げる。また、緑被の配置は都市構造と密接に関係することから、地形、建築物など都市における各種の要素と熱環境の関係についても緑被との関係において言及する。さらに、緑被の配置に関する既往研究の実績には定量的な内容が少なく、一方、定性的な内容の中にも重要な示唆があると判断されることから、定量的な内容と並んで定性的な内容についても取り上げる。

以上を、(1)温度分布の形態、(2)緑被による温度低減効果の及ぶ範囲、(3)緑被の規模と温度低減効果の3つの事項に取りまとめて順次述べる。

緑被に関する代表的な研究の要旨は、次の如くである。

(1) 温度分布の形態

- a. 東京都杉並区では夏季において最高気温、最低気温ともほぼ区域全体がヒートアイランド化し

ており、特に住宅密集地域、主要幹線道路周辺での高温化が顕著である。一方、まとまった緑地では明瞭な低温域が形成され、気象緩和作用が認められる。地形的には凸地で高温、凹地で低温を示す傾向があり、わずかな地形の変化でもかなり明瞭な影響を与えている。(山田、1989)

- b. 都市部から郊外への宅地化に伴いヒートアイランドは大規模化しているが、郊外の緑地によってヒートアイランドが抑えられ水田、樹林地によって分断され、穴あけされている可能性がある。研究対象地域は千葉市の都心部を中心とした地域で、ランドサットデータ（5月撮影）の画像解析上の対象区域は15.36km×15.36kmの区域である。(入江・平野、1995)
- c. 大都市の内部は郊外に比べると著しく高温でその中心部に向かって次第に気温が高くなり、大体都心で極大に達する。研究対象地域は大阪、名古屋、東京で、冬季の観測である。(福井、1941)
- d. 都市の気温分布は、谷、斜面、海岸線などの地形条件や市街地の存在、風などの影響を受けている。研究対象地域は熱海市付近で、冬季の観測である。(福井、1940)

(2) 緑被による温度低減効果の及ぶ範囲

- a. 濃密で大面積の樹林地による気温低減効果について見ると、緑地から流出する冷気の効果の及ぶ範囲は100～200mとなっている。研究対象地域は東京都杉並区で、夏季の計測である。(山田、1989)
- b. 緑被による地表面温度低減効果の及ぶ範囲としては125m以内の範囲と考えられる。研究対象地域は東京の新宿御苑・明治神宮・代々木公園を含む一帯及び小石川植物園周辺で、夏季のデータである。(半田・藤原・田畑、1996)
- c. 幅員100m以上の緑地にはさまれた地域では、緑地間の距離が約150m以内であるならば市街地の平均表面温度は低温となっている。この分布形態はヒートアイランドを緩和する可能性のある緑地の形態の一つではないかと考えられる。研究対象地域は千葉市の都心部を中心とした地域で、ランドサットデータ（5月撮影）の画像解析上の対象区域は15.36km×15.36kmの区域である。(入江・平野、1995)
- d. 都市内における緑地の存在効果は、緑地内部あるいはごく近辺の局所的な範囲で有効であるが、都市全体へ波及するほど大きくない。つまり、緑化はヒートアイランドの軽減に寄与するが、緑化された地区の気温のみを低減させるにすぎない。(山田、1995a)

(3) 緑被の規模と温度低減効果

- a. 都市内部の公園緑地や大学構内等のオープンスペースは、規模にかかわらずクールアイランドを形成する。(三上、1982)
- b. 都市内の緑地は規模が大きいほど、また自然緑地に近づくほど低温化が明白になる。(土屋、1972)

以上の(1)から(3)の研究をまとめると、概ね次の如くなる。すなわちヒートアイランド現象は、エネルギー排出が集中している都市部の高温帯を中心にしたほぼ同心円状の温度分布となる。この温度分布は地形、緑被の存在により変化する。これは、緑被による冷気流が谷地形などの地形的な条件に沿うように流れ出しているためである。また、緑被はその規模が小さくても温度低減効果があるが、大きいほど効果は上がる。さらに、緑被による温度低減効果は隣接する範囲に及ぶ。

このように既往研究によれば、都市の熱環境に及ぼす緑被の配置の効果についてある程度は定量的、定性的に解明されているが、この種の研究例は少ない。

Ⅱ－５．既往研究の成果と課題

以上のように既往研究は、緑被には都市の熱環境改善に及ぼす効果があるという主旨に則して展開されている。しかし、本研究が目的としている、都市の熱環境改善に役立つような緑被の計画、都市政策等のための基礎的な理論を明らかにするには、いずれも次の点で問題がある。

- (1) 緑被を組み入れた都市構造を論じるならば、都市スケールでの定量的な研究が不可欠であるが、既往研究は、その対象が都市内の局地的な範囲内の、地区スケールにとどまっており、都市スケールで緑被を定量的に調査し緑被の効果を論じたものではない。ここで地区スケールとは、住区単位での緑化施策の対象となるような範囲のことであり、形状は様々であるが一辺が数100mの範囲であり、緑化施策としては、例えば地区内の生け垣の緑化や樹木保護に対する支援等がある。一方、都市スケールとは、都市の中心部及びその周辺一帯を含む、都市の特徴的な形が把握できる範囲のことである。この場合も形状は様々であるが、一辺が少なくとも10km、ないし数10kmの範囲である。

既往研究によって解明されているのは、都市内の緑被の存在は緑被内、あるいは緑被に至近の局所的なヒートアイランド現象の軽減に寄与し、緑被のある地区においては有効であるということまでである。

- (2) 都市構造との係わりにおいて緑被を論じようとするならば、都市公園、神社境内など公共的ないし半公共的な緑地としての土地利用がなされている、まとまった緑被だけではなく、民有の樹木、庭など緑（植物）で被われたあらゆる空間を含む緑被を対象にする必要がある。しかし、既往研究では土地概念としての緑地に着目してはいるものの、複合的な緑（植物）の存在形態の概念としての緑被を対象とし、緑被の計画のあり方を論じた研究はほとんど無い。

既往研究には以上の問題があり、新たに、(1)都市スケールで熱環境と緑被の関係を分析する観点、(2)存在形態としての緑被を対象とした観点、という2つの観点を取り入れた定量的な研究が必要になっている。

Ⅱ－６．考 察

既往研究を概観した結果、新たな研究においては都市スケールで、緑被の存在形態を対象として、都市の熱環境に緑被が及ぼす効果を定量的に解明することが必要になっていると考察した。そのため、本研究では、まず都市スケールで熱環境と緑被の量の関係について定量的に解明し（第Ⅲ章）、次に、緑被の配置の違いに着目して条件設定したシミュレーションを通じて、都市における熱環境と緑被の配置の関係について定量的に解明する（第Ⅳ章）。

[注]

- (注1) ここで緑被地とは「樹林地+草地+水田」と定義され、緑被地率とは「一定の面積に占める緑被地の割合」である。気温については自動車による移動観測法により、研究対象地域である柏市で150カ所の観測点で測定した。(丸田・柳井・小谷、1996)
- (注2) ここで緑被とは「樹林地+草地+水田」、緑地とは「緑被地+裸地+水面」と定義されている。緑被率とは「一定の面積に占める緑被の割合」である。気温については自動車による移動観測法により、研究対象地域である埼玉県幸手市で30カ所の観測点で測定した。(山田、1994)
- (注3) ここで緑地とは「緑被(樹林地、草地、水田)、水面、裸地」と定義されている。気温については自動車による移動観測法により、研究対象地域であるバンコック、ミンブリー郡で測定した。(ピチャクム・丸田・柳井、1993)
- (注4) ここで緑被とは「樹林地、草地」と定義され、緑被率とは「一定の面積に占める緑被の割合」である。気温については自動車による移動観測法により、研究対象地域である千葉県野田市で30カ所の観測点で測定した。(山田、1993a)

第Ⅲ章 緑被の量に関する解析

Ⅲ-1. 主 旨

本章では、熱環境に及ぼす緑被の量の効果について解明する。なお、本章の解析過程において得られたデータとして、緑被の量だけではなく、緑被の質（樹林、草地、田畑などの緑被要素）についても言及しているが、本研究は、都市スケールの観点から、都市構造に緑被をいかに量的に組み込むかを主たる目的としている。

解析に当たっての計測・評価手法上の問題意識は、次の如くである。

- ① 具体的に、都市スケールに該当する範囲を計測する手法は何か。
- ② 緑被の量を示す指標は何か。

以上のうち①については次の如く方針をたてた。通常、温度の計測には、定点観測、自動車による移動観測、気球による観測、航空機による観測、衛星リモートセンシングによる観測等があるが、このうち都市スケールの、広域的な範囲の温度を計測するには、高位置の離れた所から対象物を同定あるいは計測する衛星リモートセンシングデータが適している。衛星リモートセンシングによって同一時刻の、同一条件にあるデータを多数得て、広域的な状況を定量的に把握することが可能になる。そのため本章では衛星リモートセンシングデータであるランドサットデータを使用した。解析の対象とした基本的な範囲は約14km×11kmであり、これはすべての対象都市（後述）の中心部をカバーしており、都市構造を緑被との関係で検討することが適当と判断されたため、本研究ではこの範囲をもって都市スケールとした。ここでランドサットによって計測された温度は、地表面温度である（詳細は後述）。

②については緑被の量を示す指標として、まず通常よく用いられている正規化植生指数（NDVI: Normalized Difference Vegetation Index. 以下、「植生指標」という）を用いたが、解析の過程で、都市の計画に応用するには若干問題がある（詳細は後述）と判明してきたため、その点を改善して緑被率を用いた。

以上の方針のもとに、都市スケールで熱環境に及ぼす緑被の効果を解明するため、都市の地表面温度と緑被との関係について、緑被の量として植生指標及び緑被率、緑被の質として緑被要素（田畑、草地、樹林）に焦点をあてて解析を行った。

解析の内容は、(1)地表面温度と緑被及び植生指標の関係、(2)地表面温度と緑被及び緑被率の関係、(3)地表面温度低減効果の季節・昼夜間差、である。ここで(3)は、(1)及び(2)の解析では高温のため熱環境の問題が最も問われる夏季・昼間のみを対象としているので、補完するために解析したものである。

本研究の目的に直接的に対応する(1)及び(2)については、どちらも熱環境に及ぼす緑被の存在自体の効果、緑被の量による効果及び緑被要素ごとの効果の大きさに関する解析を行った。

また、研究を(1)から(2)へと進めていく中で、次のような工夫を加えた。

まず対象都市に関しては、(1)については日本を代表する大都市である東京のみを抽出したが、(2)についてはさらに緑被形態を異にする都市で検証を行うため、国内・国外から8都市（東京・札幌・神

戸・ウィーン・パリ・ロンドン・ワシントンD.C.・デトロイト)を抽出した。

次に緑被の量を解析する指標に関しては、前述の如く(1)では植生指標を用いたが、(2)では緑被率を用いた。

Ⅲ－２．地表面温度と緑被の関係の解析

2. 1 解析手法

本項においては、日本における大都市の代表である東京を対象として、まず都市スケールで熱環境に及ぼす緑被の存在自体の効果を確認し、また緑被の質（緑被要素）による効果の違いを解明するため、土地被覆形態別に地表面温度を求め、緑被系の土地利用と人工構造物系の土地利用の間の地表面温度の違いを分析した。次に熱環境に及ぼす緑被の量（緑被率）の効果を解明するため、地表面温度と植生指数の関係について分析を行った。

対象範囲の選定に当たっては東京の都心部を抽出し、さらに解析上、さまざまな状態の緑被がその範囲に含まれることが望ましいため、当該東京の都心部から郊外にかけて連続する3か所の範囲（「対象地域」と呼ぶ）を抽出した。1か所当たりの範囲は、約14km×11kmである。図3－1に対象地域を示す。対象地域は、東から「東京東部」、「東京中部」、「東京西部」と呼ぶことにする。

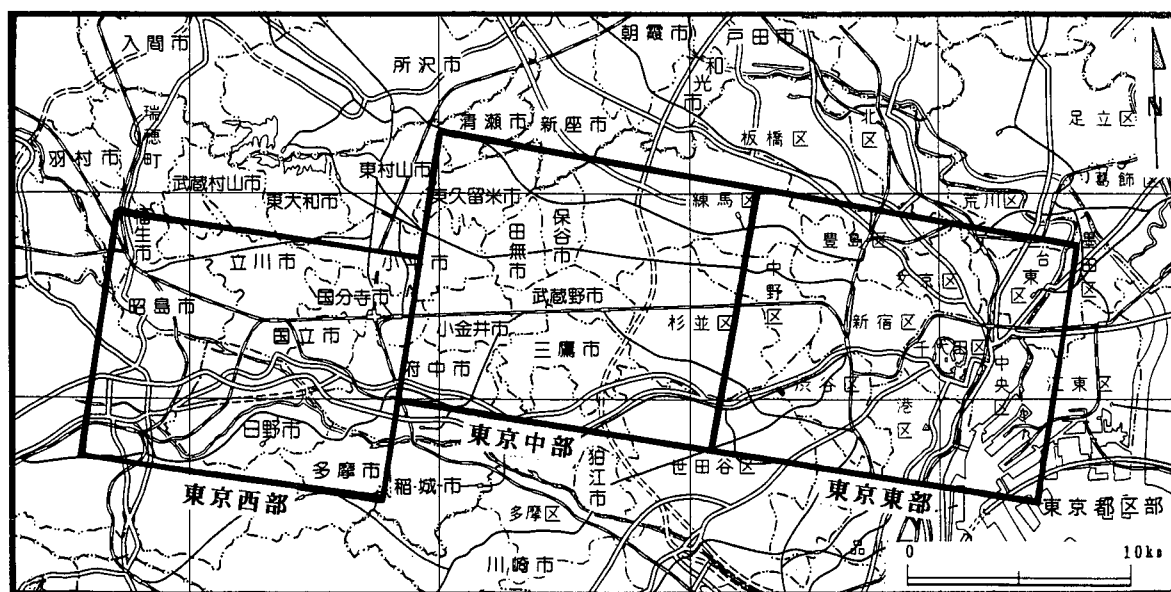


図3－1 対象地域

使用データの選定に当たっては、季節については高温が問題とされる夏季とし、対象地に雲のないことを条件にランドサットデータの検索を行い決定した。使用データの諸元は次の通りである。

- ① 衛星番号： ランドサット5号
- ② パスロー番号： 103-35
- ③ 観測日時： 1987年7月24日 9:45
- ④ センサー名： TM (Thematic Mapper)

2. 2 土地被覆形態と地表面温度の関係

2. 2. 1 土地被覆分類図

土地被覆分類は人工構造物系の土地被覆として工業地、商業・業務地、住宅地（高密度）、住宅地（低密度）の4分類、緑被系の土地被覆として田畑、草地、樹林の3分類、さらに裸地、水域、いずれにも属さないその他を加え、計10項目を分類項目とした。分類は教師付き分類（最尤法）により行い、分類に使用したバンドは1～5及び7の計6バンドである。分類項目の一覧、項目ごとに含まれる主要構成要素及びランドサット画像中の面積率を表3-1に、作成した分類図を図3-2に示す。なお、図中には日陰に分類した項目を加えて示している。分類図の精度は1画素30mである。

表3-1 土地被覆分類項目

土地被覆分類項目	項目に含まれるもの	画像中の面積率（3地域計）
工業地	工場の建物及び敷地、大規模倉庫、東京ドーム等	5.79%
商業・業務地	商業地区・業務地区・JR駅敷地	11.28%
住宅地（高密度）	住宅地区でかつ建物の密集地	31.13%
住宅地（低密度）	上記以外の住宅地	24.73%
田畑	畑（果樹園・樹木園を含む）、水田	5.23%
草地	河川敷・ゴルフ場の草地、芝生、荒地等	5.76%
樹林	公園・山林等の樹林、墓地等	12.30%
裸地	裸地、造成地、校庭、野外競技場等	1.45%
水域	海域、河川、池、堀、貯水槽等	2.18%
その他	木場の材木置場	0.15%

図3-2の分類図には皇居、明治神宮、小金井公園、国営昭和記念公園等の樹林、草地をはじめ、東京駅、新宿周辺の商業・業務地など土地被覆の分類が明確に示されており、地図上及び経験上から、対象地域の土地被覆がほぼ正しく分類されていると判断した。

2. 2. 2 地表面温度分布図

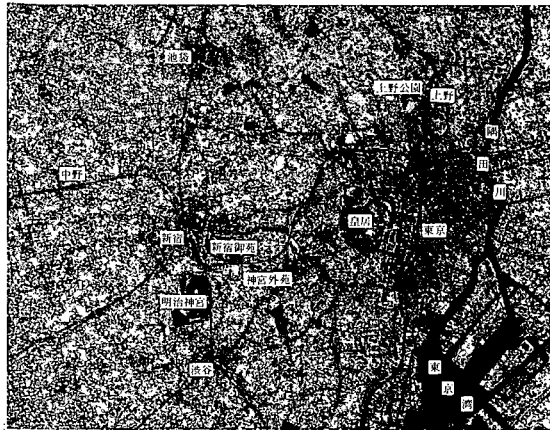
バンド6カウント値を地表面温度に換算し地表面温度分布図を作成した。換算式としては（財）リモートセンシング技術センターが公表しているTM温度換算式があり、今回使用したデータの範囲においては1次式で近似できるため、次の式を用いた^{（注1）}。

$$T = 0.4133 \times Vc - 33.21$$

T : 地表面温度℃

Vc : CCTカウント値（バンド6）

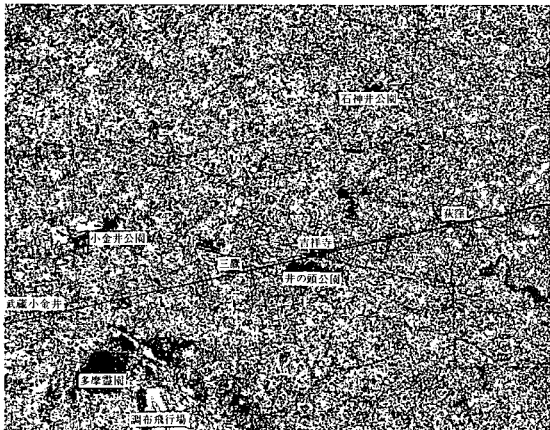
CCT : Computer Compatible Tape. 電子計算機適合テープ



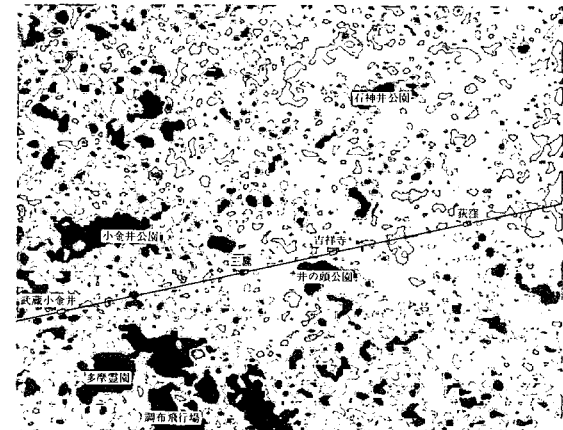
A 東京東部



A 東京東部



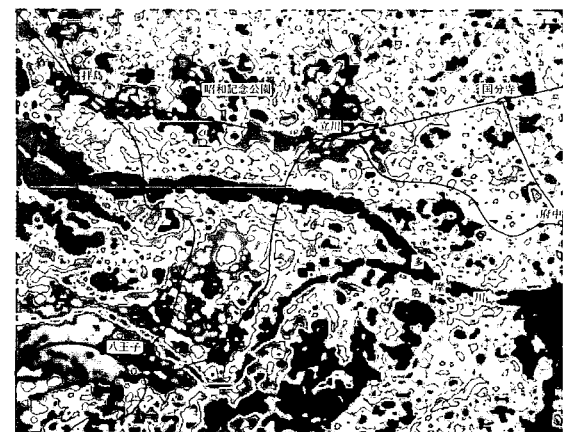
B 東京中部



B 東京中部



C 東京西部



C 東京西部

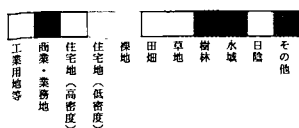


図3-2 土地被覆分類図



図3-3 地表面温度分布図

作成した地表面温度分布図を図3-3に示す。なお、バンド6の精度は1画素120mである。既往の研究例（本條・高倉、1986；Janet and Nichol, 1992；金子・前田・上野・井村、1994；渡辺、1993）から、バンド6のデータのみを使用して地表面温度を算出することは適切と判断した。

ここで、ランドサットで計測している温度は地表面温度であり、緑被については植物の上部、葉の茂った樹木の場合には樹冠上、草本の生えた広場の場合には草地上を計測している。より詳しく言うと、ランドサットが搭載している観測機器が取得したデータから換算式に基づいて算出した値を地表面温度としているわけである。この換算式は大気による吸収、散乱がないと仮定した式である。しかし、実際には地表面を被う物質の射出率、反射率の違い、大気に含まれる水蒸気、CO₂、ダストによる減衰、散乱等の影響により、現実の地表面温度とランドサットデータから導かれた温度とは若干異なっている（本條・高倉、1986）。しかし、本研究では絶対値自体に関心があるのではなく、緑被とそれ以外の要素を相対的に捉えて緑被による効果を解明することに関心があるので、算出された値をそのまま用いた。

2. 2. 3 土地被覆分類別地表面温度

土地被覆分類図（図3-2）と地表面温度分布図（図3-3）を重ね合わせて見ることにより、土地被覆と地表面温度の関係が概観でき、「樹林」、「水域」に分類される地域では、明らかに地表面温度が低いことがわかる。

土地被覆形態と地表面温度との関係のより詳細な解析を行うため、両図の画素を対応させ、土地被覆分類別に平均地表面温度を求めた。ただし、両図の画素のサイズが異なるため、算出に当たっては土地被覆分類の30m精度のデータを4×4画素毎にまとめ、その最頻項目を代表とすることにより再分類し、土地被覆分類の120m精度とした。また、土地被覆分類にかかわらず日陰部分については低温を示すため、新たに日陰を分類項目に加えた。表3-2に土地被覆分類別平均地表面温度を示す。なお、表の平均地表面温度は3地域すべての平均である。

表3-2 土地被覆分類別平均地表面温度

土地被覆分類項目	バンド6 平均カウント値	平均地表面温度
工業地	153.7	30.3℃
商業・業務地	152.9	30.0℃
住宅地（高密度）	154.3	30.6℃
住宅地（低密度）	154.2	30.5℃
田畑	151.4	29.4℃
草地	150.5	29.0℃
樹林	149.9	28.7℃
裸地	153.1	30.1℃
水域	142.0	25.5℃
日陰	149.4	28.5℃
その他	145.4	26.9℃

表3-2より、人工構造物系の土地被覆である工業地、商業・業務地、住宅地（高密度）、住宅地（低密度）では30.0～30.6℃を示したのに対し、緑被系の土地被覆ではより低い値を示しており、その差は、顕著な順に、樹林で1.3～1.9℃、草地で1.0～1.6℃、田畑で0.6～1.2℃であった。なお最も低い平均地表面温度を示したのは水域（25.5℃）であった。

以上より、都市における緑被は夏季において、人工構造物に被覆される土地よりも低温を示し、低温の程度は草地、田畑より樹林の方が大きいという結果が得られた。

2. 3 地表面温度と植生指標の関係

2. 3. 1 植生指標

緑色植物は、その分光特性として相対的に可視域で低く、近赤外域で高い反射率を有している。この特性を利用して植生の状態を示そうとしたものが植生指標であり、一般に植生指標の値が高いほど植生の量が多い、あるいは活力が高いと言われている。

植生指標の算定式として、一般には次の正規化植生指数（NDVI：Normalized Difference Vegetation Index）が多く用いられている（日本リモートセンシング研究会、1994^(註2)）。

$$NDVI = (NIR - VIS) / (NIR + VIS)$$

NIR：近赤外域のカウント値

VIS：可視域のカウント値

ここで、NIRとしてバンド4カウント値、VIS値としてバンド3カウント値を用いて計算したが、計算により得られるNDVI値は-1.0～1.0の範囲にあるため、画像処理を行う便宜上、0～255の範囲に変換し、本章ではこのようにして得られた値を植生指標とした。なお、値の精度は1画素30mである。

2. 3. 2 植生指標と緑被の状態

ここで得られた植生指標は単に0～255の範囲の数値として示されるため、その数値が実際にはどのような緑被の状態を示しているのかが重要な問題となる。

本城・高倉（1986）は樹林地の緑被率と植生指標から緑被率が推定できることを報告している。しかし、今回の解析では樹林地のみではなく、宅地内の植え込みや街路樹、草地、田畑までを含めて緑被としてとらえ、植生指標と緑被状態との関係を把握するため、対象地域の一部について、空中写真から土地被覆や緑被の状態を判読し、植生指標との関連付けを試みた。

その結果、植生指標100以下の画素は水域に該当すること、191以上の画素は樹林地等ほぼ全面的に植生に覆われた地域であることが読み取れた。さらに、植生指標101から190の範囲を3段階に区分し緑被率（ここでは、1画素に含まれる緑被の割合）との関係を見たところ概ね表3-3のように整理された。

表3-3より、植生指標101～130は緑被率10%以下の緑被がほとんど見られない建物用地等に該当し、131～160は緑被率50%以下の画素で住宅の植え込みや、街路樹など点あるいは線状の緑を含むものの、161～190は緑被率90%以下の画素で小さなまとまりのある緑を含むものと分析された。5ランクの分類により作成した植生指標図と空中写真の対比例を図3-4に示す。

表 3 - 3 空中写真判定による植生指標の目安

植生指標データ		空 中 写 真 判 読	
ランク	植生指標	緑 被 率	緑 被 の 状 態
1	100以下	0 %	海水域、河川、池、堀等の水域に該当し、緑被はない。
2	101～130	1～10%	工業用地、交通用地（道路、駅構内）、建物用地、空地（駐車場・校庭）等に該当し、緑被はほとんどみられない。
3	131～160	11～50%	密集住宅の植込み、街路樹、畑地、草地（競技場等）
4	161～190	51～90%	住宅を囲む小さいまとまりのある樹林、疎林、果樹畑、水田、草地（河川敷、公園、ゴルフ場）等
5	191以上	90～100%	まとまりのある樹林、草地（河川敷、公園、ゴルフ場）、水田等

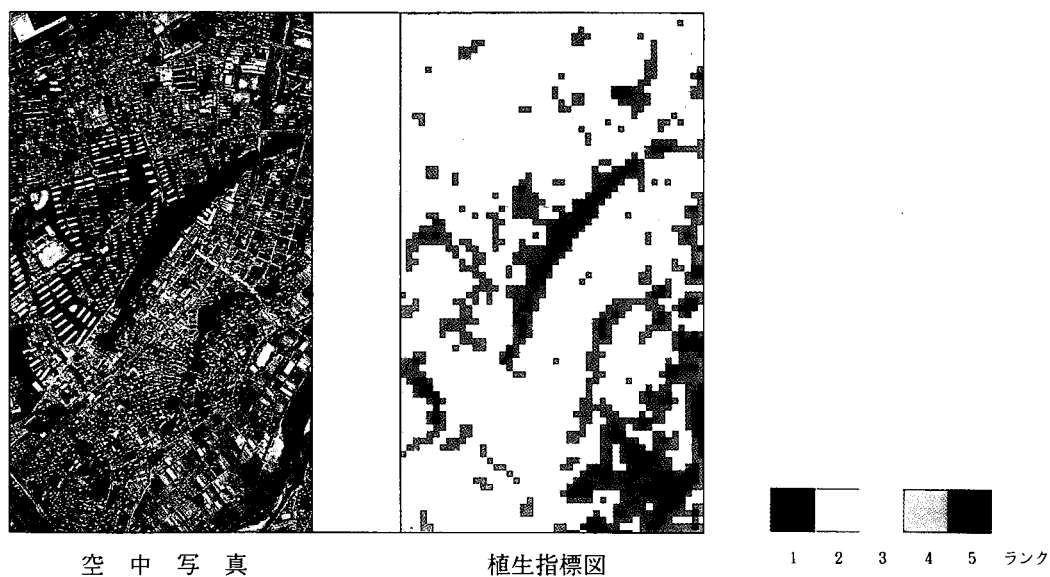


図 3 - 4 植生指標と空中写真対比例

2. 3. 3 地表面温度と植生指標の相関関係

前述の如く地表面温度データは1画素120mの精度であるため、植生指標の30m精度データを4×4画素毎に平均し地表面温度データに対応させ、対象範囲ごとに相関係数と1次回帰式を求めた。なお地表面温度についてはバンド6カウント値を換算せずに、そのまま使用した。結果を図3-5に示す。

図3-5より、地表面温度と植生指標の間には負の相関が認められ、相関係数は、東京中部で-0.75、東京西部で-0.74であった。

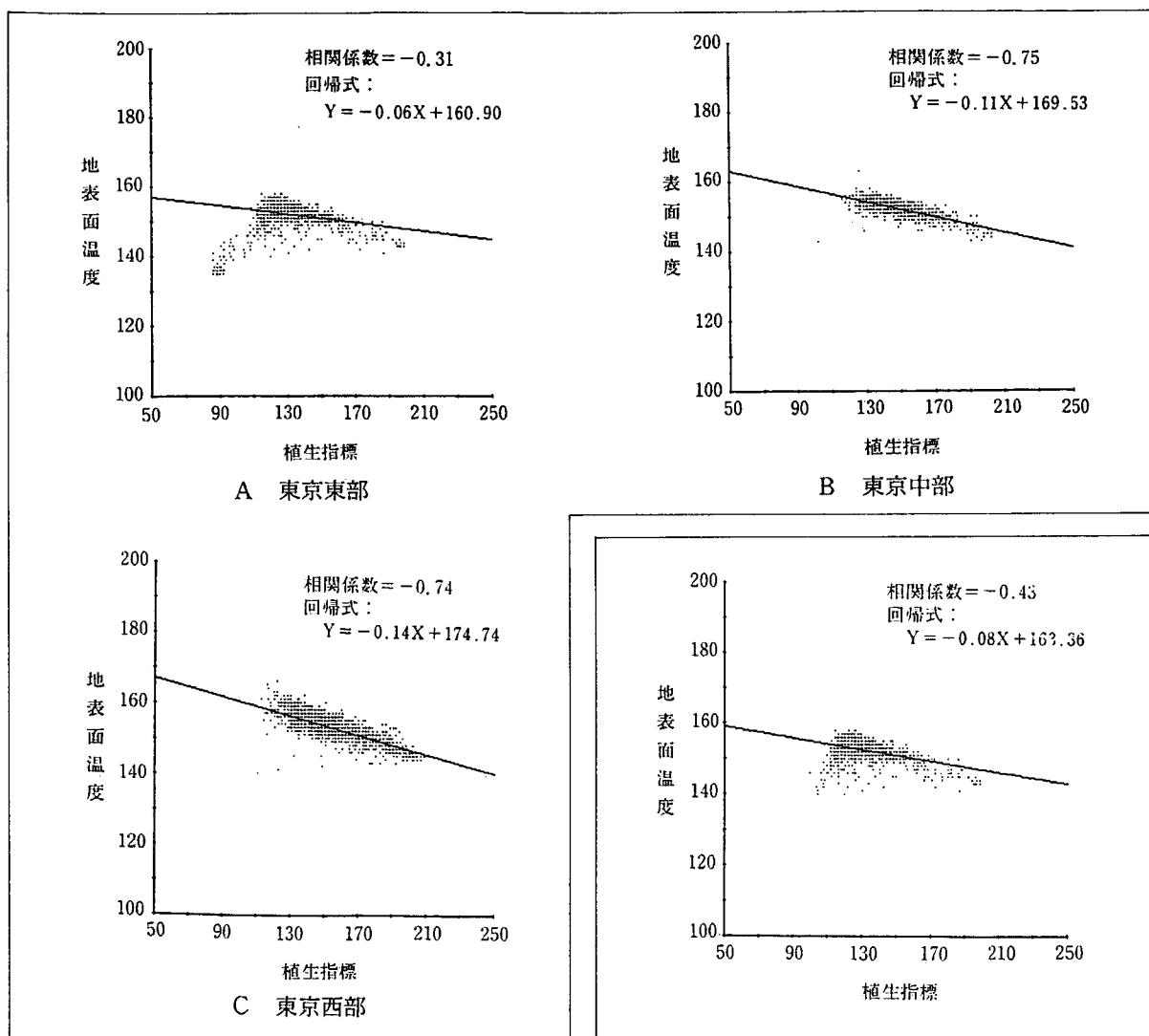


図3-5 相関分析結果

図3-6 相関分析結果(東京東部・水域除)

東京東部については、他の2地域に比べ相関が低い、これは東京東部には東京湾と隅田川が含まれており、水域の占める割合が大きいためと類推される。図上の植生指標100前後の位置に回帰直線から大きく離れたプロットの一群があり、これらは水域のプロットである。そこで、水域に該当する植生指標100以下の画素を取り除き、再度相関分析を行った結果、相関係数は-0.43と向上した。結果を図3-6に示す。

図3-6には依然として、植生指標が低くかつ地表面温度の低いプロットが多数存在しているが、これらのプロット(画素)が、どのような土地被覆、緑被状態にあるかは結論を得るには至らなか

った。

2. 4 考 察

以上、東京を対象として地表面温度と緑被の関係を分析した。まず緑被要素ごとに見ると、地表面温度の土地被覆分類ごとの比較では、植生により被覆される樹林、草地、田畑は、人工構造物により被覆されている工業地や商業・業務地、住宅地より低温を示したことから熱環境に及ぼす緑被の効果が確認され、その差は0.6~1.9℃であると解明された。また、低温傾向は樹林で最も大きく、ついで草地、田畑の順であり、植生の量が大きいほど低温の程度が大きいことが類推された。

次に地表面温度と植生指標の相関分析においては、植生指標が増加するにつれて地表面温度が低減し、両者の間に負の相関関係が確認された。植生指標と緑被率の関係については、5段階の区分の範囲ではあるが植生指標の大小は緑被率の大小と連動しており、相関分析の結果と合わせて見るならば、緑被の増加は地表面温度の低減をもたらすと考察した。

また、植生指標と実際の緑被の量との関係についての解析を試みたところ、植生指標の緑被の存在は関連があることは分かったが、緑被の状態まで把握した上での、定量的に充分な関連付けを得るには至らなかった。その理由としては、①バンド間演算値である植生指標は無植生地についても何等かの数値を示すこと、②植生地については植生の量だけでなく、その活力によっても変化すること、と考察した。

しかし、これらの問題が解決したにしても、1画像から得られる植生指標と緑被の量との関係は、対象とした1画像の範囲内に限られる。すなわち他の画像への適応は問題があり、指標として汎用性に欠けるおそれがある。

本項で得られた植生指標と緑被率の関係は、航空写真と植生指標との照合による目安程度のものである。緑被の量と地表面温度との関係について、より定量的に把握し、都市の計画に応用できるものにするためには、植生指標に代わる新たな緑被の指標を用いることが必要と考えられた。

III - 3. 地表面温度と緑被率の関係の解析

3. 1 解析手法

以上の如く、実際の緑被の量をよりの確に表現し、かつ異なる画像においても比較が可能となる指標を用いる必要性から、本項では植生指標よりもむしろ緑被率に着目し、熱環境に及ぼす緑被の効果を解明するべく、地表面温度と緑被率の関係を分析するとともに、緑被率を指標とすることの妥当性について検証した。

ランドサットデータにより緑被率を算出しようとする場合、土地被覆分類は画素ごとに得られ、緑被か否かの判断の最小単位となる。そこで一定の領域を設定し、その中での緑被地の画素の割合を求めることにより緑被率が得られる。ただし、現在得られる最も精度の良いデータは1画素30m（ランドサットTMデータ）であるため、その点を考慮し、ある程度の画素が含まれる領域を設定する必要がある。本項では、地表面温度との関係解析を目的にしており、ランドサットの熱バンドデータの精度は120mであるから、120mを領域として設定し、熱画像の1画素に対応する土地被覆分類の16画素の内、緑被に分類される画素の割合をもって緑被率とした（図3-7）。また、ここでは他の算定法

による緑被率と区分するため、これを「L緑被率」と呼ぶこととした。

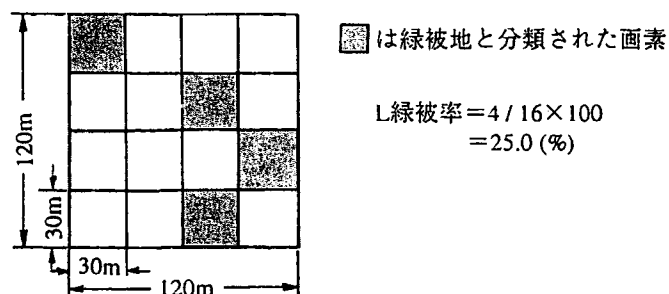


図3-7 L緑被率の算定方法

対象都市は様々な緑被形態を有する都市とすることが望ましいと考え、国内・国外から国の代表的な都市、人口100万人から数100万人の大都市という条件で8都市を抽出した。抽出された対象都市のうち東京・札幌・神戸・ウィーン・パリ・ロンドン・デトロイトはどちらの条件

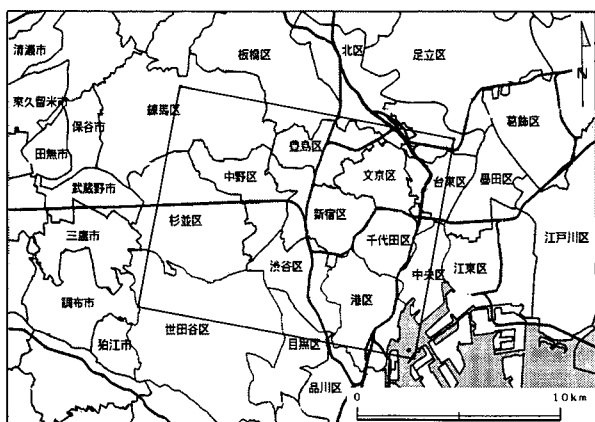
も満たしており、ワシントンD.C.は人口60万人ではあるが国を代表する都市という理由で適切と判断した。調査の対象範囲としては1都市当たり約14km x 11kmの範囲を抽出した。

対象都市の諸元は、表3-4の如くである。また、各対象都市における対象範囲を図3-8及び図3-9に示した。さらに、各対象都市の緑被形態のパターンについて附属資料1に示した。

表3-4 対象都市諸元

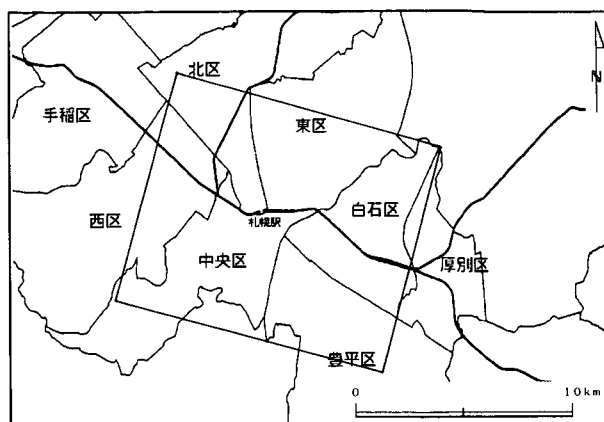
	位 置	面 積	人 口
東 京 (区 部)	北緯35度41分 東経139度46分	612km ²	787万人
札 幌	北緯43度03分 東経141度19分	1,121km ²	172万人
神 戸	北緯34度41分 東経135度10分	545km ²	148万人
ウ ィ ー ン	北緯48度30分 東経16度20分	415km ²	153万人
パ リ	北緯48度52分 東経2度21分	105km ²	217万人
ロ ン ド ン	北緯51度30分 西経0度10分	1,579km ²	675万人
ワシントンD.C.	北緯38度51分 西経77度02分	1,079km ²	60万人
デ ト ロ イ ト	北緯42度20分 西経83度01分	351km ²	103万人

- (出典) 1. 東京・札幌・神戸の経度・緯度
気象庁(1995): 気象庁年報 平成7年全国気象表
2. 東京の面積
東京都(1993): 東京の土地利用 平成3年東京都区部
3. 東京の人口、札幌・神戸の面積・人口
自治省(1994): 全国市町村要覧(平成6年版)
4. ウィーン・パリ・ロンドン・ワシントンD.C.・デトロイトの経度・緯度・面積・人口
朝日新聞社(1994): 知恵庫(世界都市ガイド300)



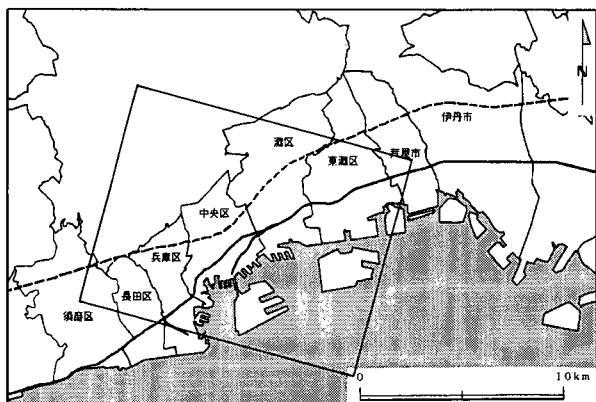
東京

対象範囲



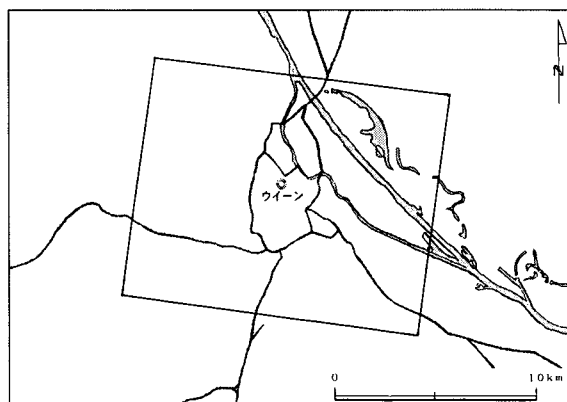
札幌

対象範囲



神戸

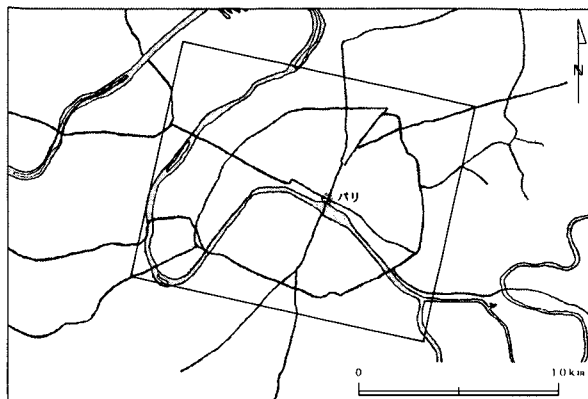
対象範囲



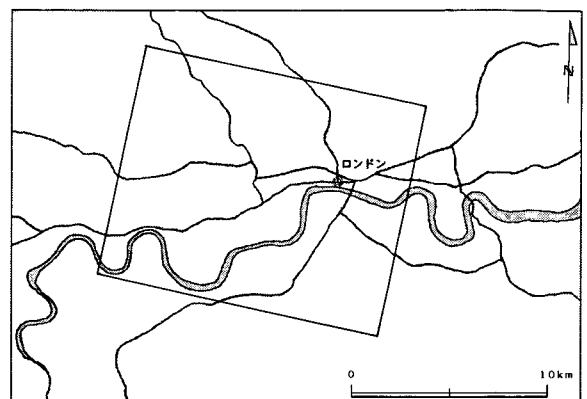
ウィーン

対象範囲

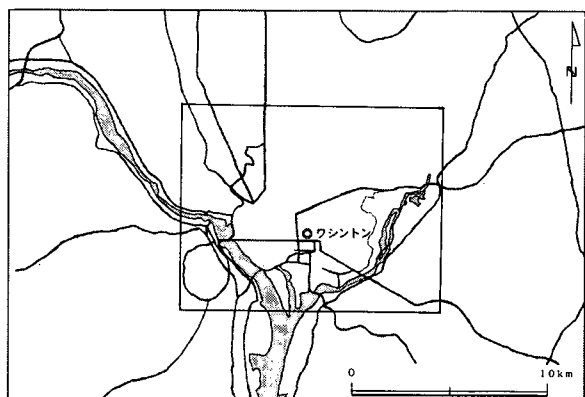
図3-8 対象範囲(1)



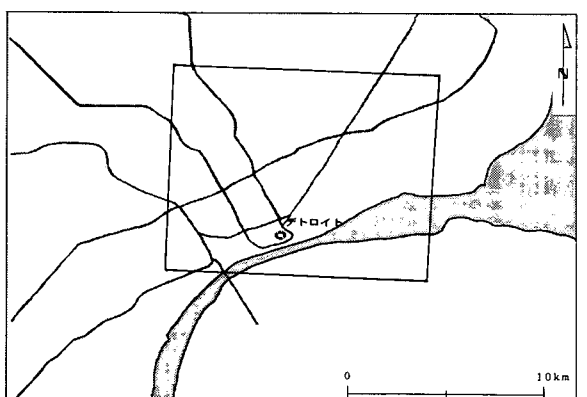
パリ
対象範囲



ロンドン
対象範囲



ワシントン
対象範囲



デトロイト
対象範囲

図3-9 対象範囲(2)

使用したランドサットデータの諸元を表3-5に示す。なお、観測時間は各都市とも現地時間で午前9時30分前後である。

表3-5 ランドサットデータの諸元

都 市 名	パスローウ	衛星No	センサー	観 測 日
東 京	107-35	L 5	TM	1987/8/9
札 幌	108-30	L 5	TM	1989/8/5
神 戸	110-36	L 5	TM	1985/8/24
ウ ィ ー ン	190-26	L 5	TM	1993/8/14
パ リ	199-26	L 5	TM	1990/7/20
ロ ン ド ン	201-24	L 5	TM	1989/7/20
ワシントンD.C.	15-33	L 5	TM	1988/8/22
デ ト ロ イ ト	20-30	L 5	TM	1990/8/31

3. 2 L緑被率及び地表面温度

L緑被率の算定に当たり、まず教師無し分類（クラスター分類）により土地被覆分類を行い、「樹林」、「草地」、「田畑」を緑被として抽出した。各対象都市の土地被覆分類図を図3-10及び図3-11に示した。また、対象全都市の緑被の土地被覆構成率を表3-6に示す。

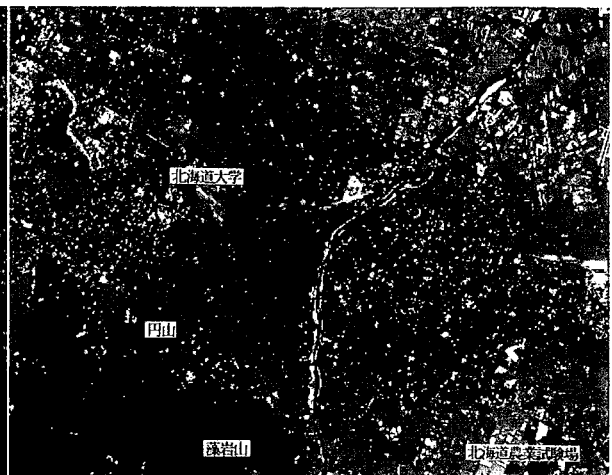
表3-6 土地被覆構成率（緑被）

（単位：％）

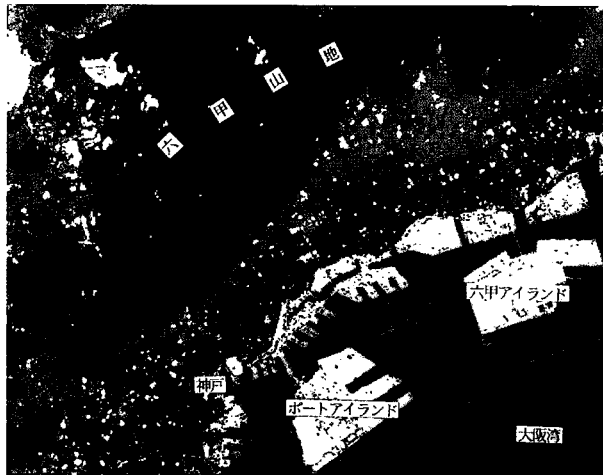
緑 被 種 別	東 京	札 幌	神 戸	ウ ィ ー ン	パ リ	ロ ン ド ン	ワシントン D.C.	デトロイト
樹 林	4.48	13.68	33.79	13.23	4.99	4.50	14.48	2.38
草 地 田 畑	0.93	13.68	1.35	24.27	2.68	11.27	10.64	5.73
全 緑 被	5.41	27.36	35.14	37.70	7.67	15.77	25.12	8.11



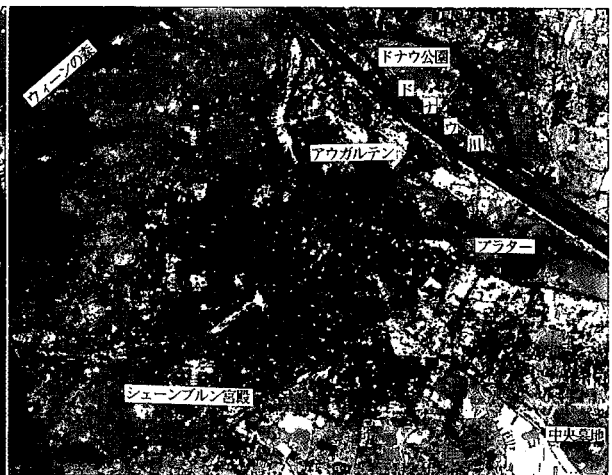
東京



札幌



神戸



ウィーン

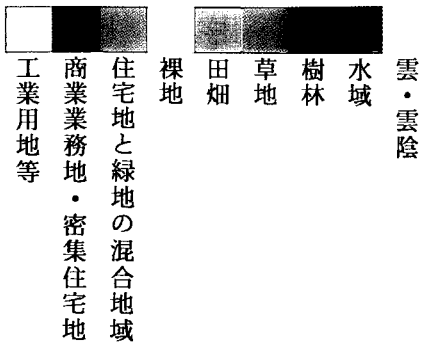
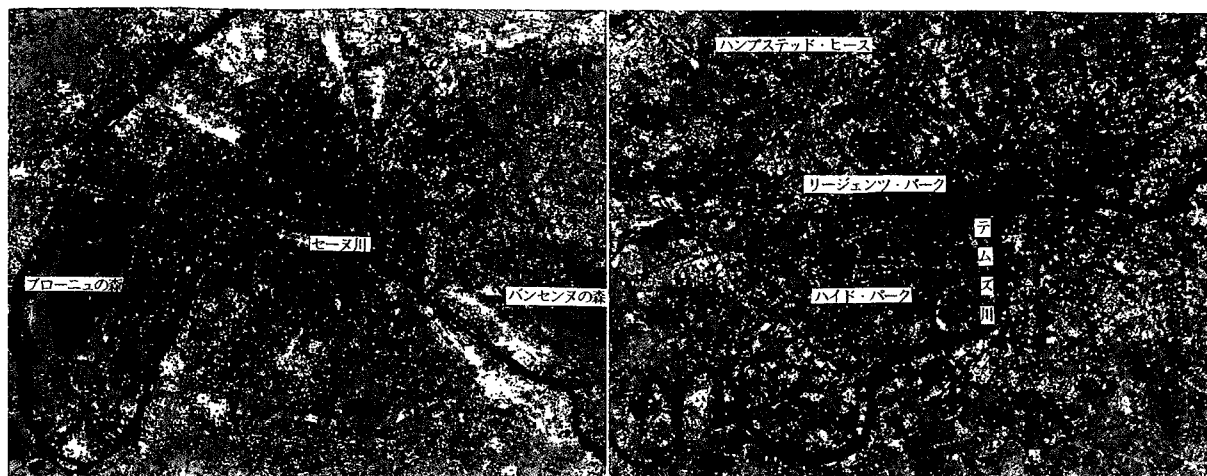


図 3 - 10 土地被覆分類図(1)



パリ

ロンドン



ワシントン

デトロイト

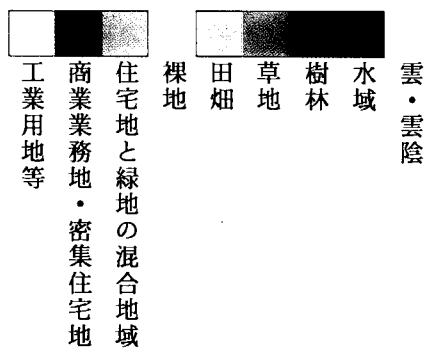


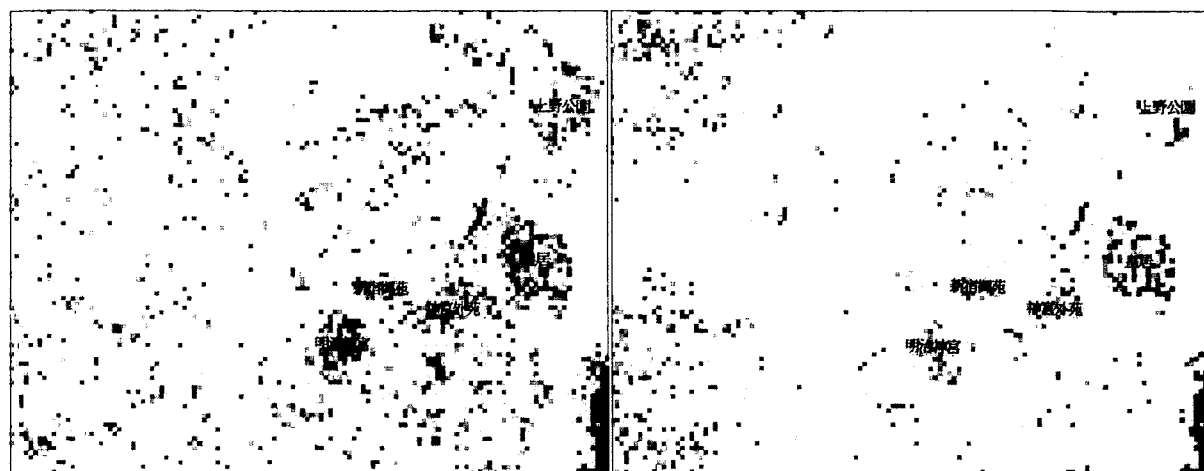
図3-11 土地被覆分類図(2)

図3-10及び図3-11の土地被覆分類図では、国内の対象都市はもとより、国外の対象都市におけるウィーンの森、プラーター、パリのブローニュの森、ヴァンセンヌの森、ロンドンのハイド・パーク、リージェント・パーク、ワシントンD.C.のモールなど樹林、草地はじめ他の土地被覆の分類が明確に示されている。したがって、地図上及び経験上から、土地被覆は、ほぼ正しく分類されたものと判断した。

次に、緑被データをもとに、120m（ $4 \times 4 = 16$ 画素）単位で緑被と判別された画素数を集計し、その割合を求め緑被率とした。緑被率は「樹林緑被率」、草地と田畑を合わせた「草地緑被率」、そして両者を合わせた「全緑被率」の3通りについて算出した。

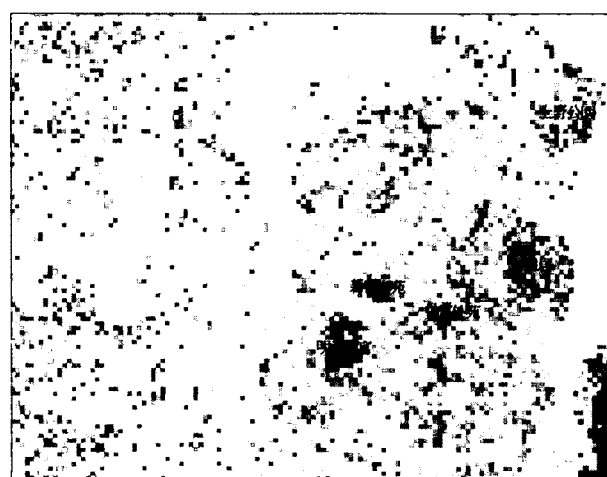
地表面温度は前述と同様に、バンド6 カウント値を（財）リモートセンシング技術センターが公表しているTM温度換算式^(注1)をもとに算出した。

各対象都市における緑被率（「樹林緑被率」、「草地緑被率」、「全緑被率」）の分布図を対象都市ごとに図3-12から図3-19に示した。また、各対象都市における地表面温度の分布図を図3-20及び図3-21に示した。



樹林緑被率

草地緑被率



全緑被率

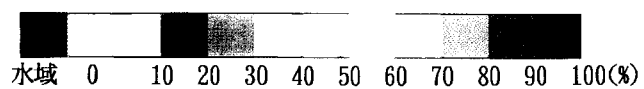
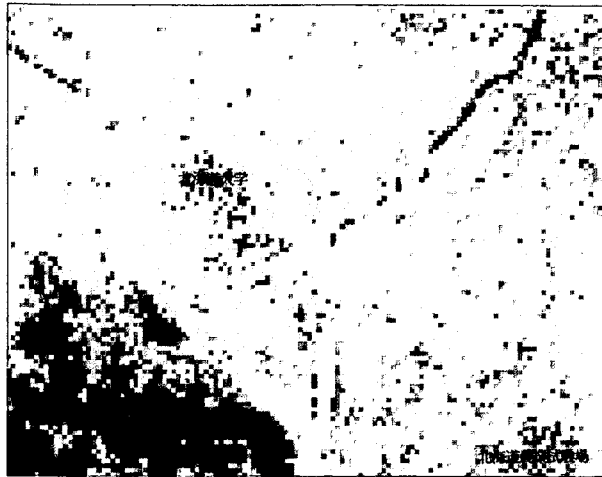


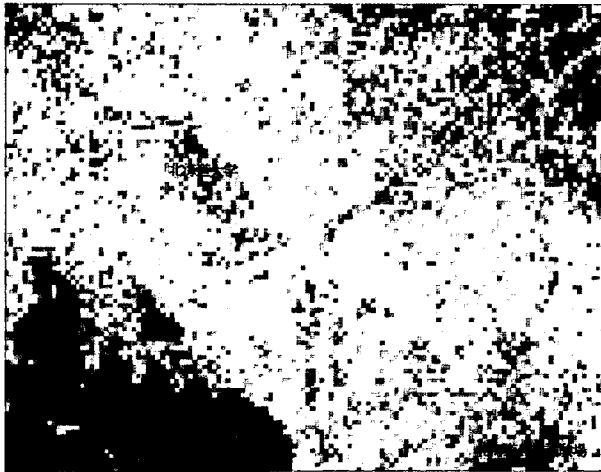
図3-12 L緑被率分布図(東京)



樹林緑被率



草地緑被率



全緑被率

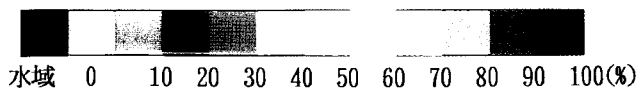
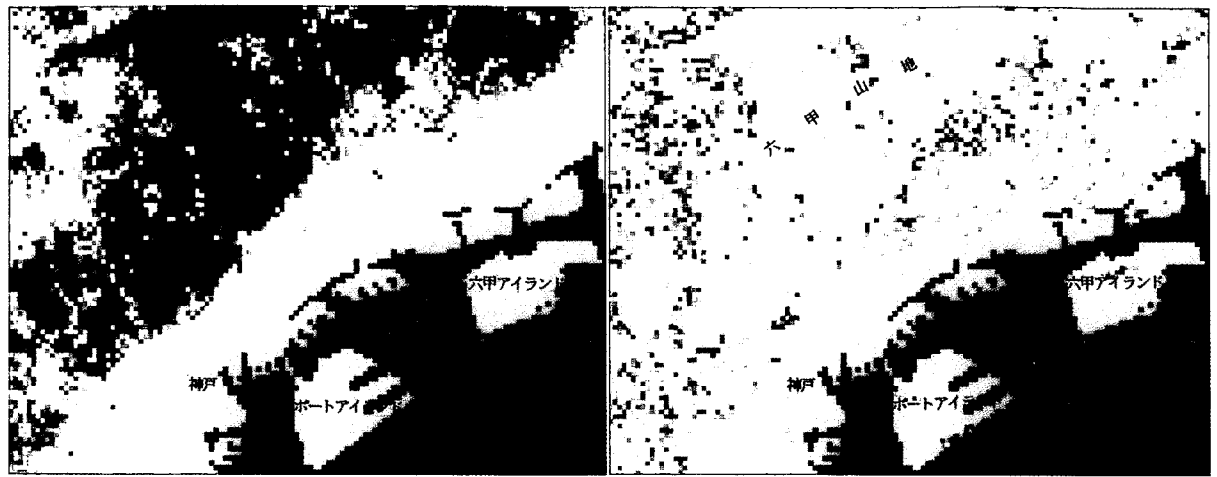


図3-13 L緑被率分布図(札幌)



樹林緑被率

草地緑被率



全緑被率

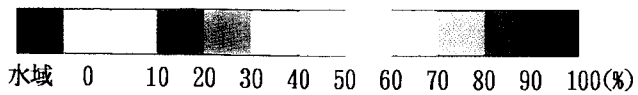
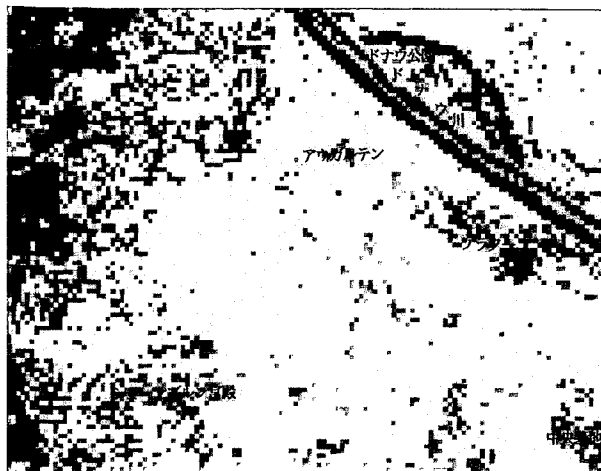


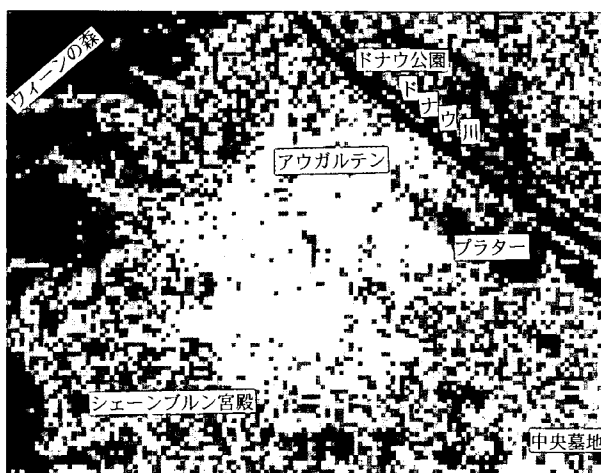
図3-14 L緑被率分布図(神戸)



樹林緑被率



草地緑被率



全緑被率

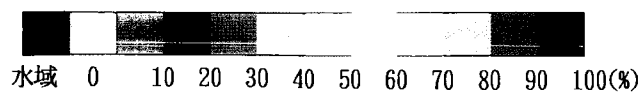
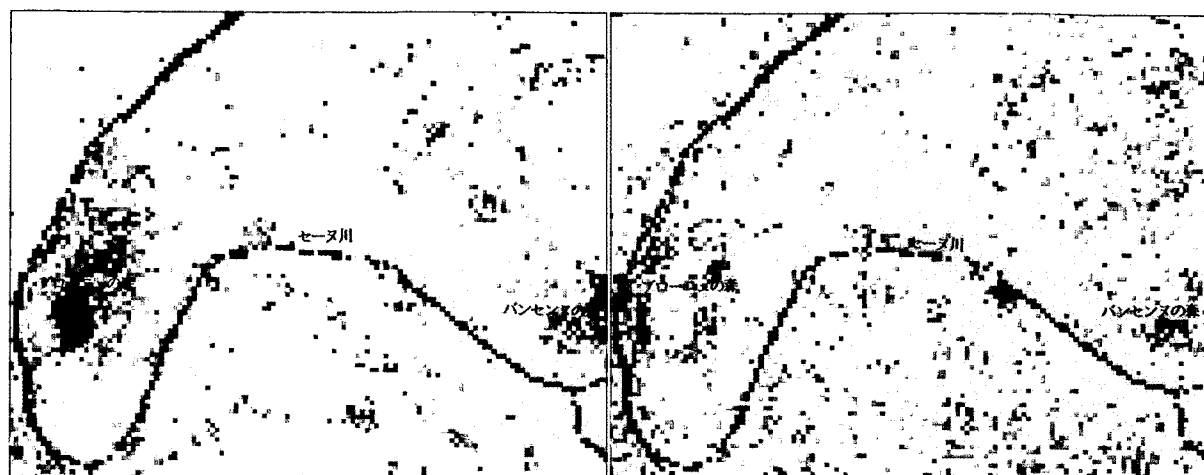
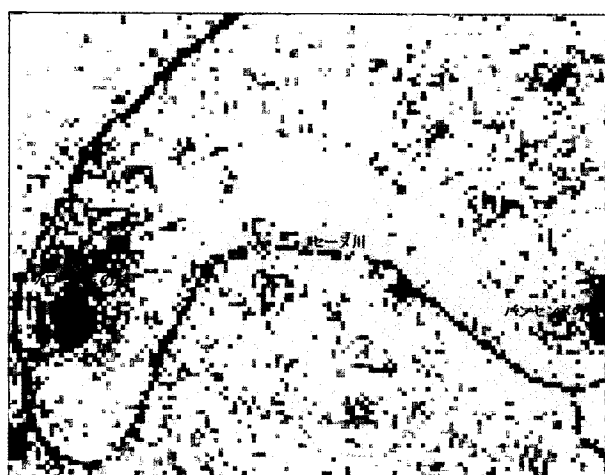


図3-15 L緑被率分布図（ウィーン）



樹林緑被率

草地緑被率



全緑被率

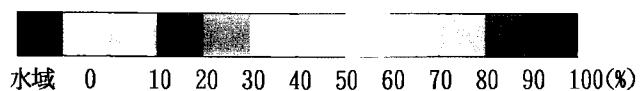
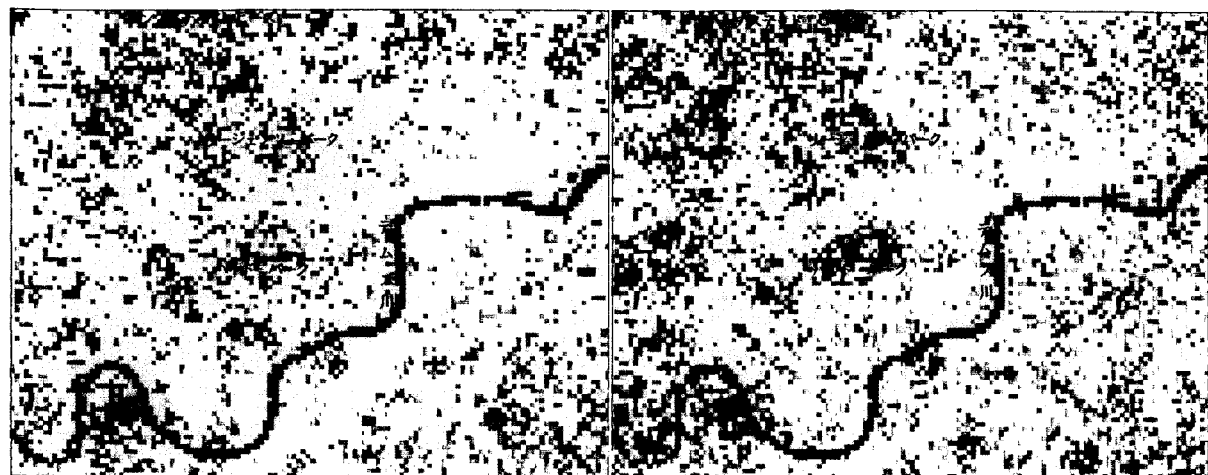


図 3-16 L 緑被率分布図 (パリ)



樹林緑被率

草地緑被率



全緑被率

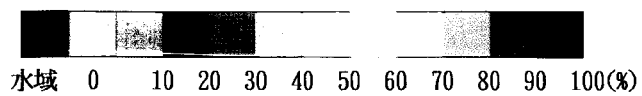
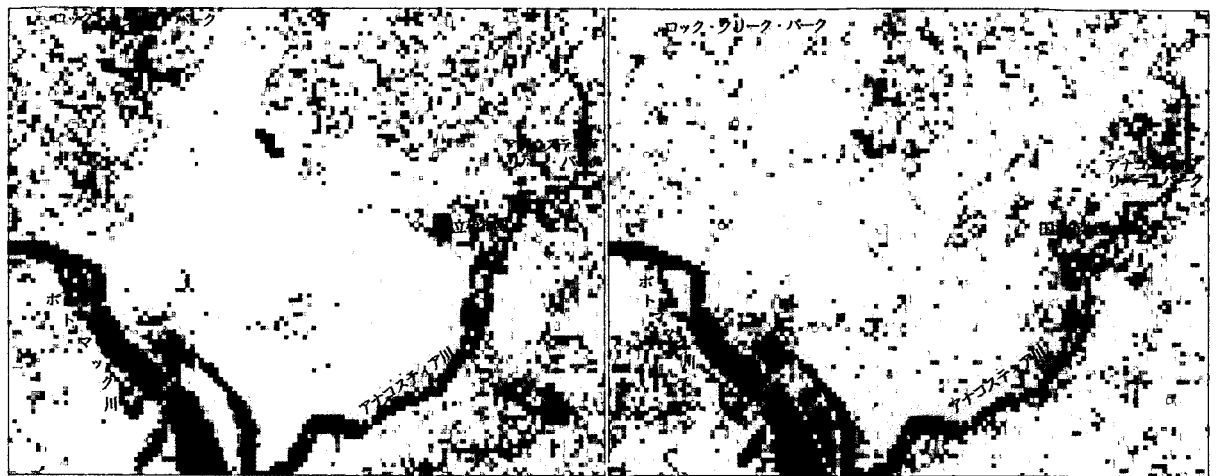


図3-17 L緑被率分布図(ロンドン)



樹林緑被率

草地緑被率



全緑被率

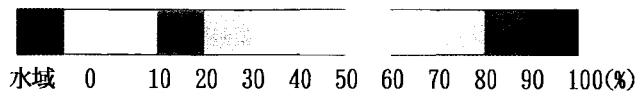
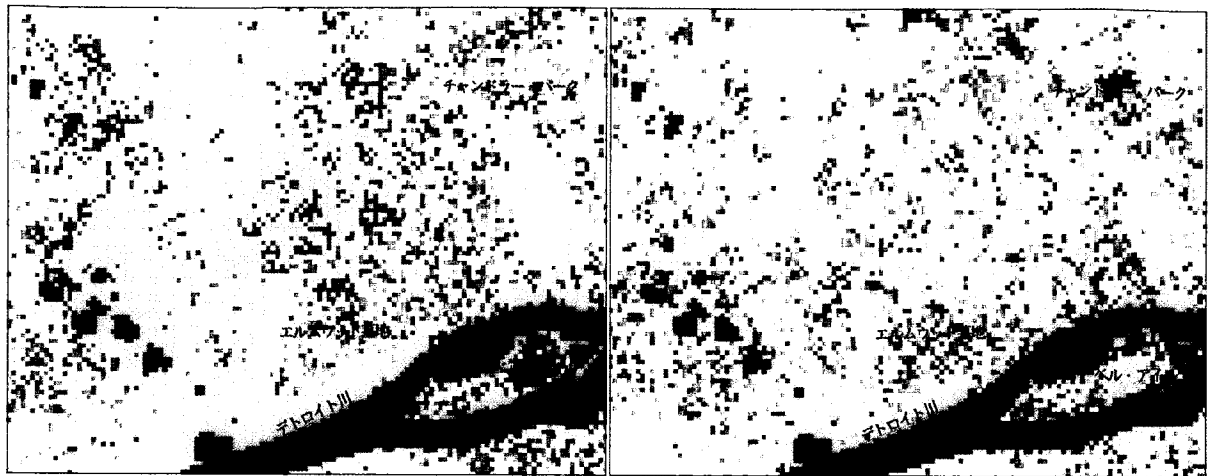
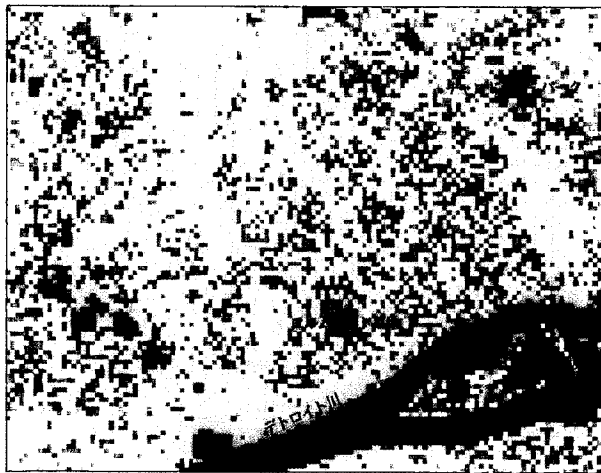


図3-18 L緑被率分布図(ワシントンD.C.)



樹林緑被率

草地緑被率



全緑被率

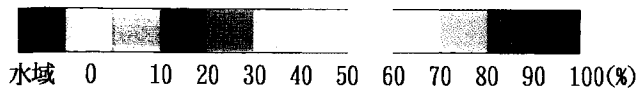


図3-19 L緑被率分布図(デトロイト)

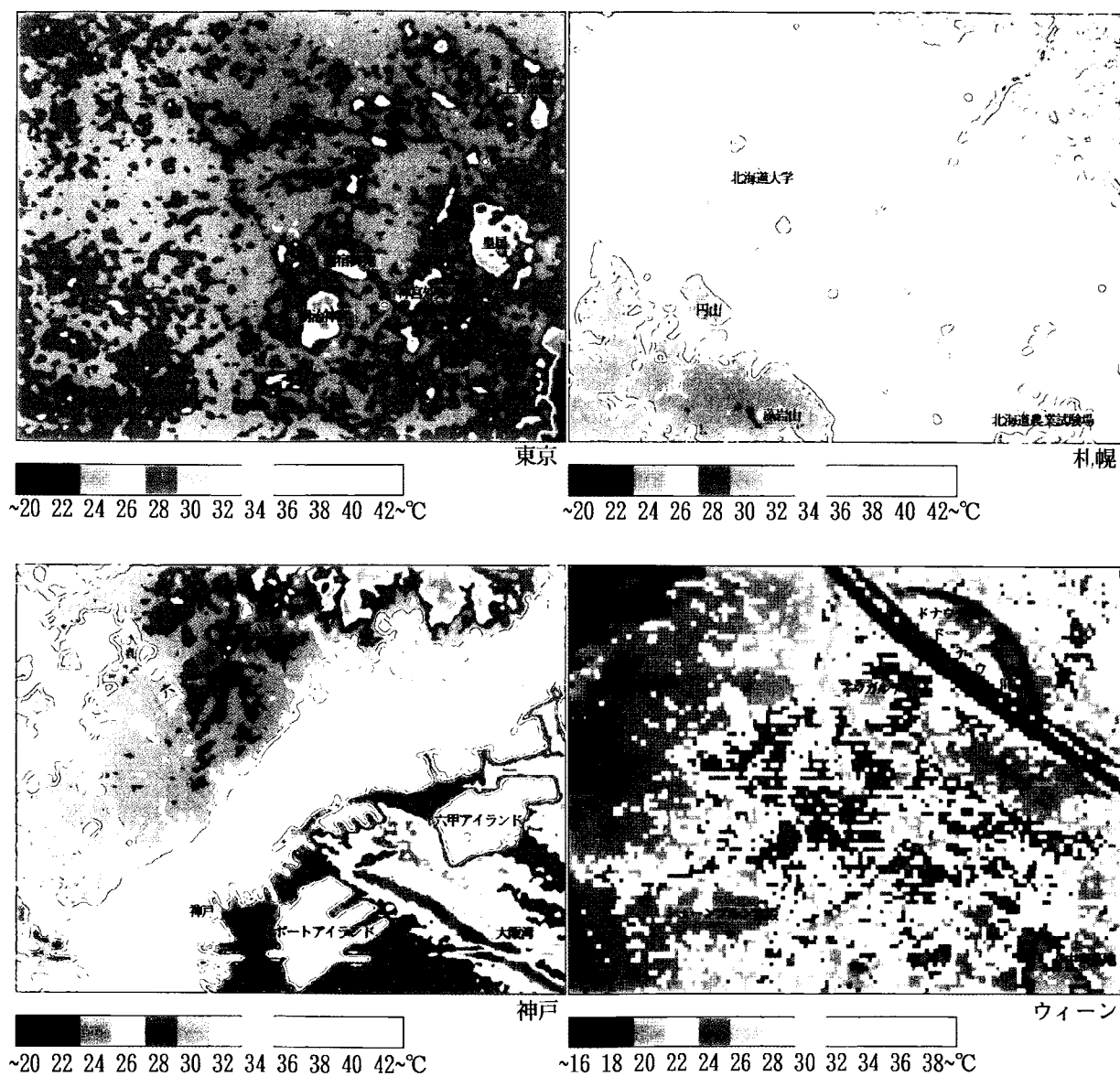


図 3 - 20 地表面温度分布図(1)

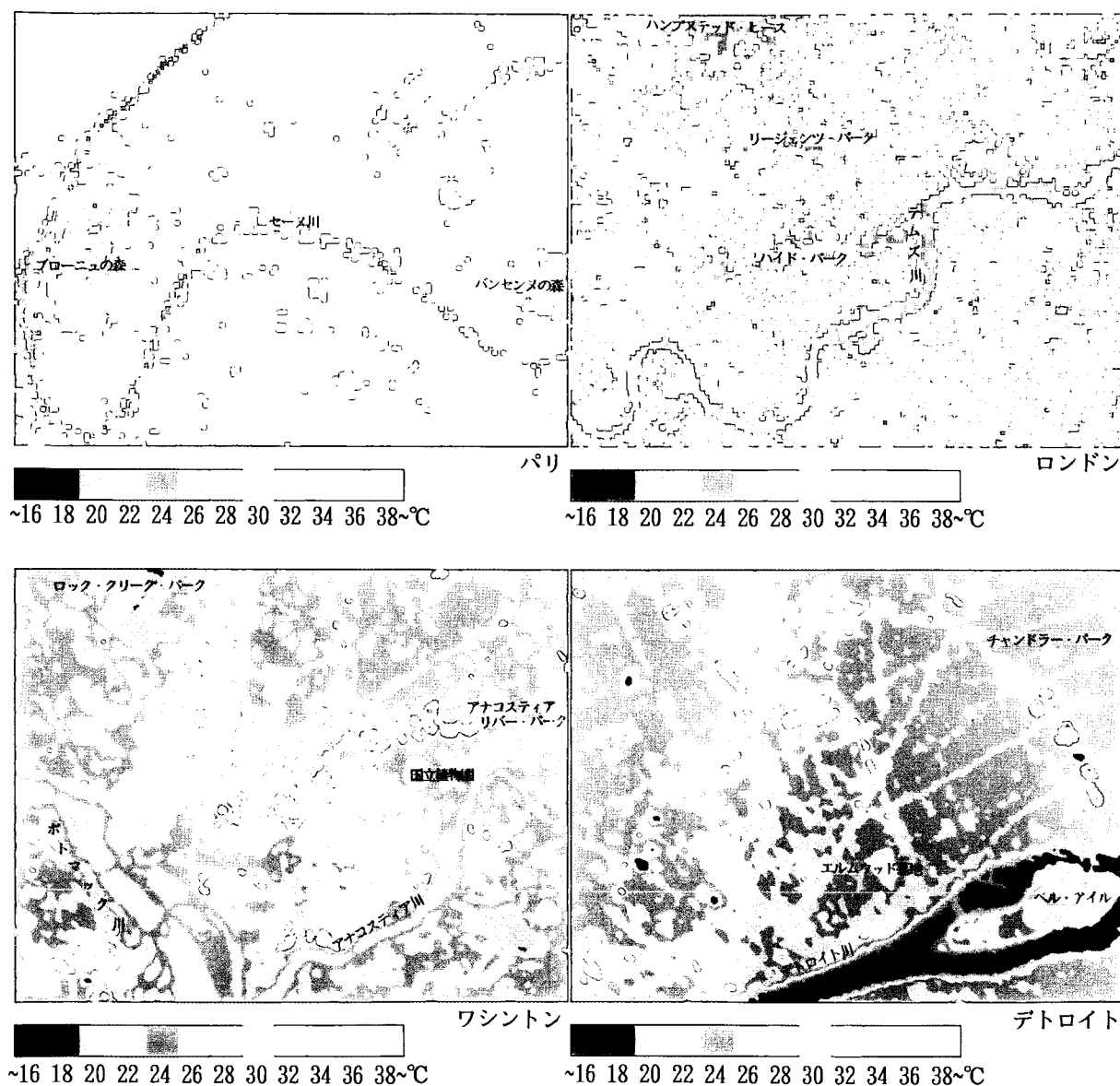


図 3 - 21 地表面温度分布図(2)

3. 3 地表面温度とL緑被率の関係

L緑被率別の地表面温度の平均値を図化したものを図3-22に示す。図3-22より樹林緑被率及び全緑被率については、L緑被率の増大に伴い地表面温度が低下することが明白に認められ、またL緑被率6%と94%の点に変化点が認められる。

草地緑被率については、札幌以外の都市では地表面温度との明白な関係は認められない。草地の地表面温度の低減効果は、樹林地に比べ小さいことが報告されており（ピチャクム・丸田・柳井、1993；山田、1993 a）、草地の構成比率がよほど大きくない限り、草地緑被率単独では、地表面温度の相違に対する説明力が低いものと考えられる。

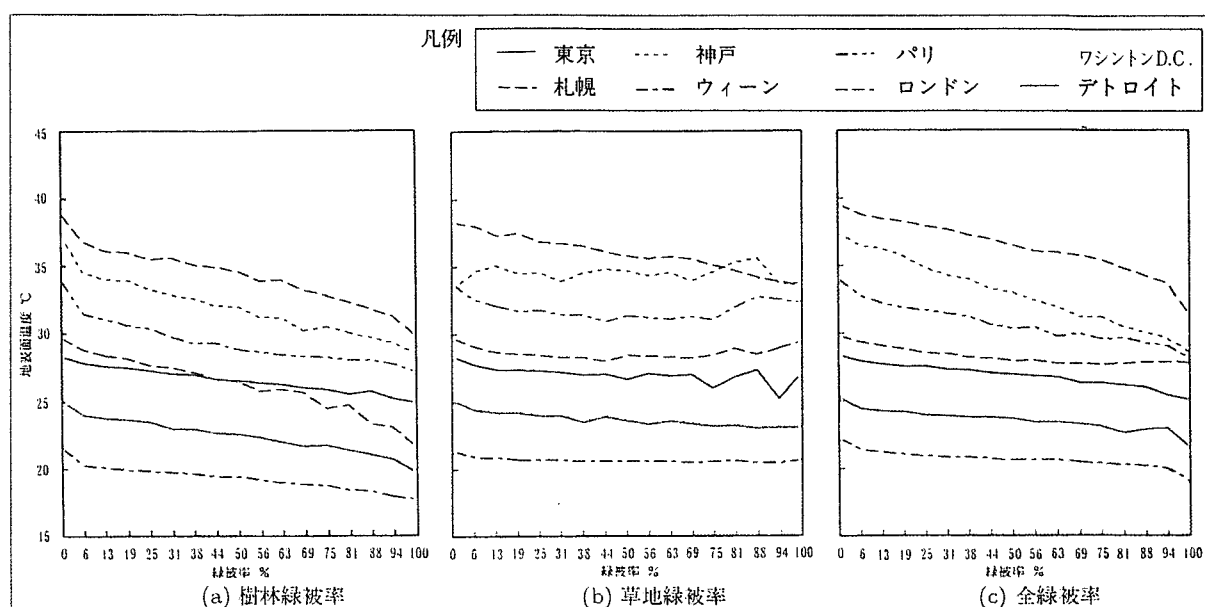


図3-22 L緑被率別地表面温度

地表面温度とL緑被率の相関係数を求めた結果を表3-7（表中の太字は各都市の最高値）に示す。表3-7より、いずれの都市においてもL緑被率は地表面温度に対し負の相関関係にある。相関関係をL緑被率別に見ると、樹林緑被率と全緑被率では、その差は大きいとは言えないが、どちらの相関が高いかは都市によって異なり、樹林緑被率に比べ全緑被率での相関の低下が目立つウィーン、ロンドン、ワシントンD.C.の3都市については、草地緑被率の構成率が大きくかつ草地緑被率の相関が低いことが共通点として挙げられる。

都市別の傾向としては、最も高い相関関数（表中の太字）で比較すると、神戸、札幌の-0.89が最高で、ワシントンD.C.の-0.77、ウィーンの-0.71がこれに続く。これらの都市はいずれも比較的規模の大きい公園緑地等があり、緑被の豊富な都市である。

表 3 - 7 L 緑被率と地表面温度の単相関係数

都 市 名	樹林緑被率	草地緑被率	全緑被率
東 京	-0.59	-0.27	-0.62
札 幌	-0.81	-0.36	-0.89
神 戸	-0.89	-0.06	-0.89
ウ ィ ー ン	-0.71	-0.12	-0.65
パ リ	-0.56	-0.20	-0.55
ロ ン ド ン	-0.57	-0.18	-0.43
ワシントンD.C.	-0.77	-0.14	-0.69
デ ト ロ イ ト	-0.47	-0.28	-0.49

注) 太字は各都市の中で最も高い数値を表す。

次に、各緑被率を説明変数として、地表面温度の重回帰分析を行った結果を表 3 - 8 に示す。表より、地表面温度と L 緑被率の重相関係数は、いずれの都市においても説明変数の組み合わせの違いによる差はほとんどない。また、各都市の重相関係数は、表 3 - 7 に示す単相関係数の最も高い値に近似している。

表 3 - 8 L 緑被率と地表面温度の重相関係数

都 市 名	説 明 変 数 (緑 被 率)				データ数
	X 1, X 2, X 3	X 1, X 2	X 2, X 3	X 1, X 3	
東 京	0.62211	0.62210	0.62206	0.62207	3165
札 幌	0.91925	0.91889	0.91901	0.91897	3184
神 戸	0.89299	0.89299	0.89298	0.89298	2406
ウ ィ ー ン	0.75589	0.75586	0.75580	0.75584	3073
パ リ	0.57775	0.57636	0.57665	0.57647	3108
ロ ン ド ン	0.58224	0.58218	0.58223	0.58219	3100
ワシントンD.C.	0.79563	0.79559	0.79563	0.79561	2981
デ ト ロ イ ト	0.54124	0.54081	0.54103	0.54090	2875

X 1 : 樹林緑被率 X 2 : 草地緑被率 X 3 : 全緑被率

そこで、樹林緑被率を説明変数として単回帰分析を行い、樹林緑被率の増加による地表面温度の低下の割合を見て見ると、表 3 - 9 に示す回帰式の係数より、樹林緑被率が10%増加すると、地表面温度は0.3~0.9℃低下すると考えられる。

表 3 - 9 樹林緑被率による単回帰式

都 市 名	単回帰式
東 京	$Y = -0.03 X + 28.30$
札 幌	$Y = -0.09 X + 38.72$
神 戸	$Y = -0.09 X + 37.14$
ウ ィ ー ン	$Y = -0.04 X + 21.36$
パ リ	$Y = -0.08 X + 33.70$
ロ ン ド ン	$Y = -0.07 X + 29.61$
ワシントンD.C.	$Y = -0.07 X + 25.65$
デ ト ロ イ ト	$Y = -0.06 X + 24.93$

Y : 地表面温度 (°C) X : 樹林緑被率 (%)

3. 4 L 緑被率の有効性

3. 4. 1 空中写真緑被率の判読

L 緑被率が指標としてどの程度の精度をもち得るのか、空中写真判読による緑被率（以下「空中写真緑被率」という。）との比較により検証を行った。

東京を対象に、ランドサットデータによる分析を行った範囲の中から、緑被分布の異なる次の2地域を抽出し、判読対象地域とした。

- ①新宿区代々木から渋谷区千駄ヶ谷周辺の商業・業務地（以下「新宿」と略す）。大きなまとまった緑被を有する公園（新宿御苑及び明治神宮）と街路樹が主な緑被である。
- ②杉並区成田から浜田山・永福寺周辺の住宅地（以下「杉並」と略す）。小さなまとまった緑被を有する公園と住宅庭園が主な緑被である。

1 地域当たりの大きさは1.8km×1.8kmとし、L 緑被率と対応するように120mメッシュを作成し、メッシュ毎に樹林、草地、田畑を緑被として判読した（メッシュ数は1 地域225個）。使用した空中写真は、1989年撮影、縮尺1 万分の1 のカラー写真である。判読した緑被は目視で可能な範囲（樹木の場合で写真上で0.2～0.3mm、実寸2～3 m）である。使用空中写真の例として新宿のものを図 3 - 23 に示す。



图 3-23 使用空中写真(新宿)

空中写真緑被率は、樹林緑被率、草地緑被率、全緑被率の3種を算定し図化した。新宿の結果を図3-24に示す。また、これに対応するL緑被率の図を図3-25に示す。

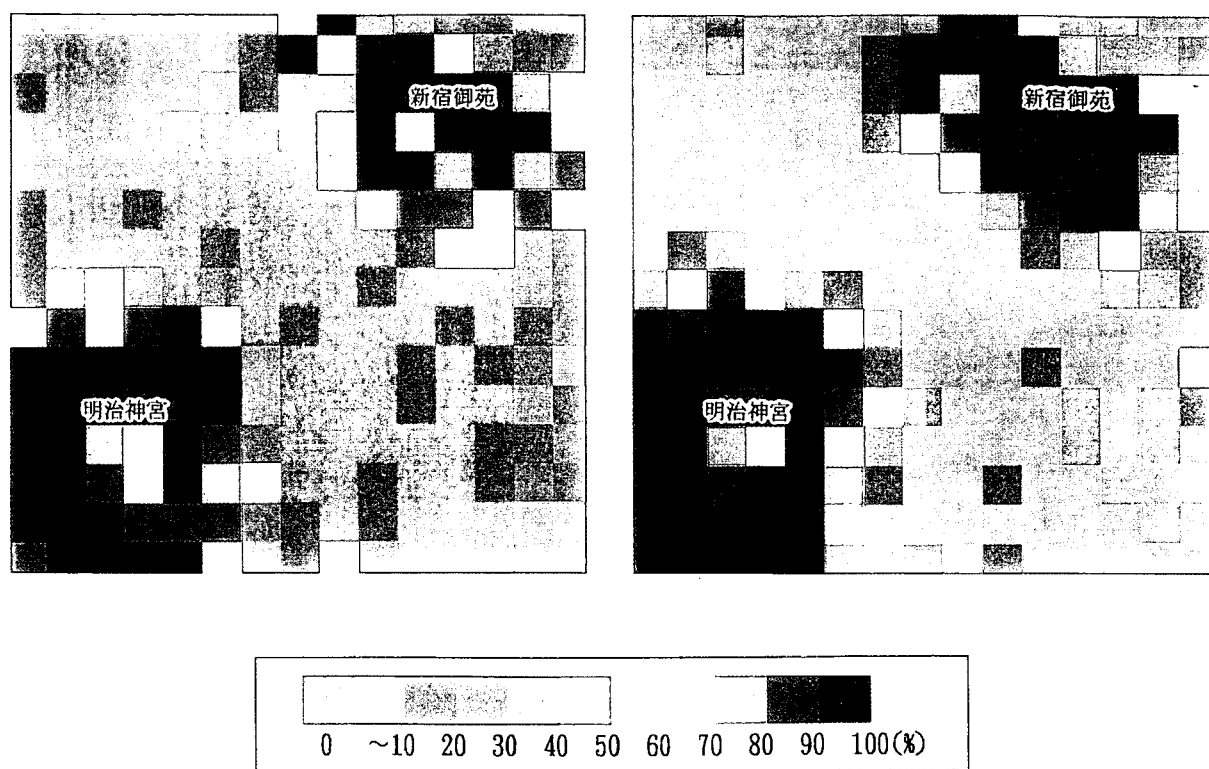


図3-24 空中写真緑被率（全緑被率、新宿）

図3-25 L緑被率（全緑被率、新宿）

3. 4. 2 L緑被率と空中写真緑被率の関係

L緑被率を説明変数とし、空中写真緑被率について単回帰分析を行った結果を表3-10に示す。分析は地域別と両地域を合わせた場合について、それぞれ3種の緑被率別に行っている。

表3-10より、相関係数を見るとL緑被率と空中写真緑被率は、全体に非常に高い相関があるといえるが、杉並では新宿に比べ相関係数は低い傾向にある。これは、杉並では個人庭園等ランドサットでは抽出できない小規模な緑被が多いためと考えられる。

小規模な緑被を抽出できないというランドサットデータの性質は、逆に大規模な緑被内の小規模な非緑被地を抽出できないことも意味しており、その結果、L緑被率は、空中写真緑被率に対し、住宅地など緑被率の小さな部分では、より小さな値を示し、逆に公園など大きな部分では、より大きな値を示す傾向にある。この傾向は図3-23と図3-24との比較からも読み取られ、L緑被率では0%のメッシュが、空中写真緑被率では10%までのメッシュに変わっている。また、新宿御苑と明治神宮内では90~100%のメッシュ（濃緑色）が増加している。

L緑被率と空中写真緑被率との差を、回帰式に $X = 0$ 、 $X = 100$ を代入して求めると、L緑被率(X)が0%の場合の差は樹林緑被率で7~11%程度、草地緑被率で1%程度、L緑被率(X)が100

%の場合は、それぞれ7～24%程度、32～48%程度となる。また、この差はいずれも新宿より杉並で大きい（表3-10）。

表3-10 L緑被率と空中写真緑被率の単回帰分析結果

地域	緑被率種別	相関係数	回 帰 式	Y(0)	Y(100)
新宿	樹林緑被率	0.95	$Y = 0.86X + 7.19$	7.19	93.19
	草地緑被率	0.88	$Y = 0.67X + 0.09$	0.09	67.09
	全地緑被率	0.96	$Y = 0.86X + 7.05$	7.05	93.05
杉並	樹林緑被率	0.81	$Y = 0.65X + 10.86$	10.86	75.86
	草地緑被率	0.64	$Y = 0.51X + 1.24$	1.24	52.24
	全地緑被率	0.77	$Y = 0.61X + 12.03$	12.03	73.03
新宿 及び 杉並	樹林緑被率	0.93	$Y = 0.81X + 9.15$	9.15	90.15
	草地緑被率	0.81	$Y = 0.63X + 1.06$	1.06	64.06
	全地緑被率	0.93	$Y = 0.08X + 9.43$	9.43	89.43

X : L緑被率 Y : 空中写真緑被率

Y(0), Y(100) : それぞれ $X = 0$, $X = 100$ の場合の Y の計算値

3. 5 考 察

L緑被率の精度について検証した。本研究で提案したL緑被率は、ランドサットデータから土地被覆分類（1画素30m×30m）を行い、ランドサットデータの1熱画素（120m×120m）に対応する16画素の内、緑被と分類される画素の割合を求めたものである。L緑被率は観測精度の関係から、住宅地のように庭木等の小規模な緑被を有する地域では、実際より小さめの値を示す傾向があるが、全般的には航空写真から算出した緑被率と高い相関を持つ、緑被の量的指標として有効である。また、観測日時の異なるデータでもL緑被率は量的指標として共通の尺度となりうる。

L緑被率（ランドサットデータによる120mメッシュ単位での緑被率）は、実際の緑被率（空中写真緑被率）と高い相関関係にあるが、住宅地等の緑被率の高い部分ではより低い値を、公園等の緑被率の高い部分ではより高い値を示す傾向にある。これは、ランドサットデータの精度（1画素30m）の限界から生じるものと考えられる。

緑被率の絶対的な差の大きさについての一般的な結論を述べるには分析が不十分であるが、今回の新宿と杉並を対象とした分析からは、L緑被率が0%であっても実際には7～11%程度の緑被が存在すると考えられた。なお、この差はL緑被率が増加するにつれて、抽出されない緑被内の非緑被と相殺され小さくなり、大規模な公園など緑被率の高い地域では逆にL緑被率の方が大きい値を示した。

以上のようなL緑被率の特性を踏まえて、地表面温度と緑被率の関係についてまとめるならば、草地は地表面温度の説明要因としては重要度が低く、指標としては樹林緑被率あるいは草地と樹林を合わせた全緑被率が適している。

本項における夏季・昼間の解析では、樹林緑被率と地表面温度は直線的関係にあり、単純に計算すると、樹林緑被率が10%増加すると地表面温度は0.3～0.9℃低下する。また、L緑被率6%と94%の点に変化点があり、6%以下で地表面温度は急激に増加し、94%以上で急激に低下する。ただしL緑

被率の特性を加味した場合、実際には、前者は10数%、後者は70~80%程度の緑被率と考えられる。

本研究で用いたL緑被率は、住宅庭園程度の緑被が土地被覆分類の過程において緑被率として分類されないため、小規模な緑被が混在する地域では精度が低くなると言える。しかし、L緑被率は緑被による地表面温度の低下の指標として大きな説明力を有しており、都市域レベルの環境計画の指標としての使用には有効であると考察する。

以上、L緑被率の指標としての有効性についての検証を行うとともに、L緑被率を用いて夏季・昼間を対象とした解析を行い、L緑被率の増加に伴い地表面温度が低下することを明らかにした。これにより緑被の量が増加するほど温度の低減効果があることが示された。

Ⅲ－4. 地表面温度低減効果の季節間・昼夜間差の解析

4. 1 解析事項

本項ではL緑被率の適用例を通じて、熱環境に及ぼす緑被の効果を一層明確にするために、緑被の温度低減効果の季節間・昼夜間差について解析する。

一般に温度分布の差は太陽からの受熱量、熱容量、水分蒸発散量などの差が要因とされ、緑被による温度低減効果は植物の蒸散作用によるところが大きいと考えられている。蒸散量は気温や光の条件により変化するため、四季や昼夜の違いにより温度低減効果もまた変わると考えられる。しかし、温度の低減が最も必要とされる時期は夏季の昼間とされることから、緑被の温度低減効果に関する研究の多くはこの時期を対象としたものであり、本研究においてもⅢ－2及びⅢ－3での研究は夏季の昼間を対象としている。

季節間の比較を行ったものとしては、昼間のランドサットデータを用いた本條・高倉（1986）の研究があり、地表面温度分布画像の目視による比較から、夏季には明確である緑被部分の低温の程度が、秋には小さくなり、冬ではなくなることを報告している。昼夜間の比較を行ったものとしては、夏季の気温測定から統計的解析を行った山田（1993b）の研究があり、夜間の気温低減の割合が昼間に比べ小さいことを報告している。

これらの研究から緑被の温度低減効果は、夜間より昼間、冬季より夏季において大きいものと想定されるが、本解析ではL緑被率を指標にし、同一地域における四季別、昼夜別の地表面温度分布との関係を解析することにより、緑被の温度低減効果の差を定量的に考察することを目的としている。

4. 2 解析手法

解析の対象範囲は東京都心部を含む約14km×11kmの範囲とした。

ランドサット5号TMデータの検索を行い、画像撮影時に雲が無くかつ最新のものという条件により、解析に使用する四季・昼夜8個のデータを選定した。表3－11にその一覧を示す。なお、ランドサット5号の観測時間は9：30前後（昼間^(注3)）と21：00前後（夜間）である。また、表3－11には東京管区気象台による地上気温観測値（観測時間9：00、21：00）を参考のため合わせて示している。

表3-11 使用データ一覧

季節	昼の観測年月日	気温	夜の観測年月日	気温
春	1991年4月30日	16.9℃	1986年5月16日	15.4℃
夏	1987年8月9日	30.6℃	1984年8月14日	28.3℃
秋	1991年10月23日	17.1℃	1991年10月2日	22.3℃
冬	1991年1月8日	3.6℃	1991年12月24日	13.1℃

地表面温度の算出はバンド6 カウント値を衛星リモートセンシング協会が公表するTM温度換算式を用いて行い、L 緑被率との関係について相関係数と単回帰式を求めることとした。

L 緑被率については、使用データが1984年～1991年にまたがるため、中間に位置する1987年8月9日（夏季・昼間）について算出し、春季・秋季・冬季及び各四季・夜間のデータにも適用した。なお、ここでは土地被覆分類において樹林、草地とされた画素を緑被とした。

4. 3 地表面温度の季節間・昼夜間差

4. 3. 1 昼間における季節間の差

昼間における各季節の地表面温度分布図を図3-26に示す。また、緑被分布図とL 緑被率分布図を図3-27、28に示す。

図3-26、27、28より、緑被の低温化は夏季において最も明瞭であり、新宿御苑や明治神宮等の大規模な緑被では周辺に比べ数℃低温であることが分析される。また、最も温度が低いのは水域である。このような夏季の地表面温度分布を基準にして他の季節の分布を見てみる。春季は、夏季とほぼ同じ分布パターンを示し、緑被と水域が相対的に低温であり、業務地や住宅地と考えられる地域では温度が高い。秋季では、最も低温な地域は緑被と水域であるが、都心一帯が相対的に低温であり、これを取り巻く住宅地と考えられる地域ではやや温度が高い。また、水域の低温の程度は夏季に比べれば小さくなっている。冬季では、水域が最も温度が高い。陸域は全体に低温となっている。

以上のような関係が目視により確認されるが、次に地表面温度とL 緑被率の相関係数（R）と単回帰式を求めた。なお、水域の温度はL 緑被率と無関係であることが明らかであるため、計算では水域のデータを除外した11,168個のデータを用いた。結果を図3-29に示す。春夏秋の3季では、地表面温度とL 緑被率の間に負の相関が認められ、その相関係数は、春-0.58、夏-0.59、秋-0.48であった。また、回帰式から得られる、L 緑被率の増加に伴う地表面温度低減の割合は、L 緑被率10%当たり、春0.4℃、夏0.2℃、秋0.3℃であった。一方、冬の相関係数は-0.02と小さく、L 緑被率と地表面温度の間に相関は認められない。

4. 3. 2 夜間における季節間の差

夜間における各季節の地表面温度分布図を図3-30に示す。また、相関係数と単回帰式を求めた結果を図3-31に示す。

夜間の地表面温度分布は、陸域では四季を通して共通した分布パターンが見られる。すなわち、都心部で最も高温を示し、郊外に向かうにつれて次第に低温になる。緑被は総体的に低温で郊外部と同程度の温度を示している。水域は春秋冬では相対的に高温を示すが、夏は低温を示す。L 緑被率と地表面温度との相関係数は、春-0.05、夏-0.12、秋-0.11、冬-0.03といずれも小さく相関は認められない。

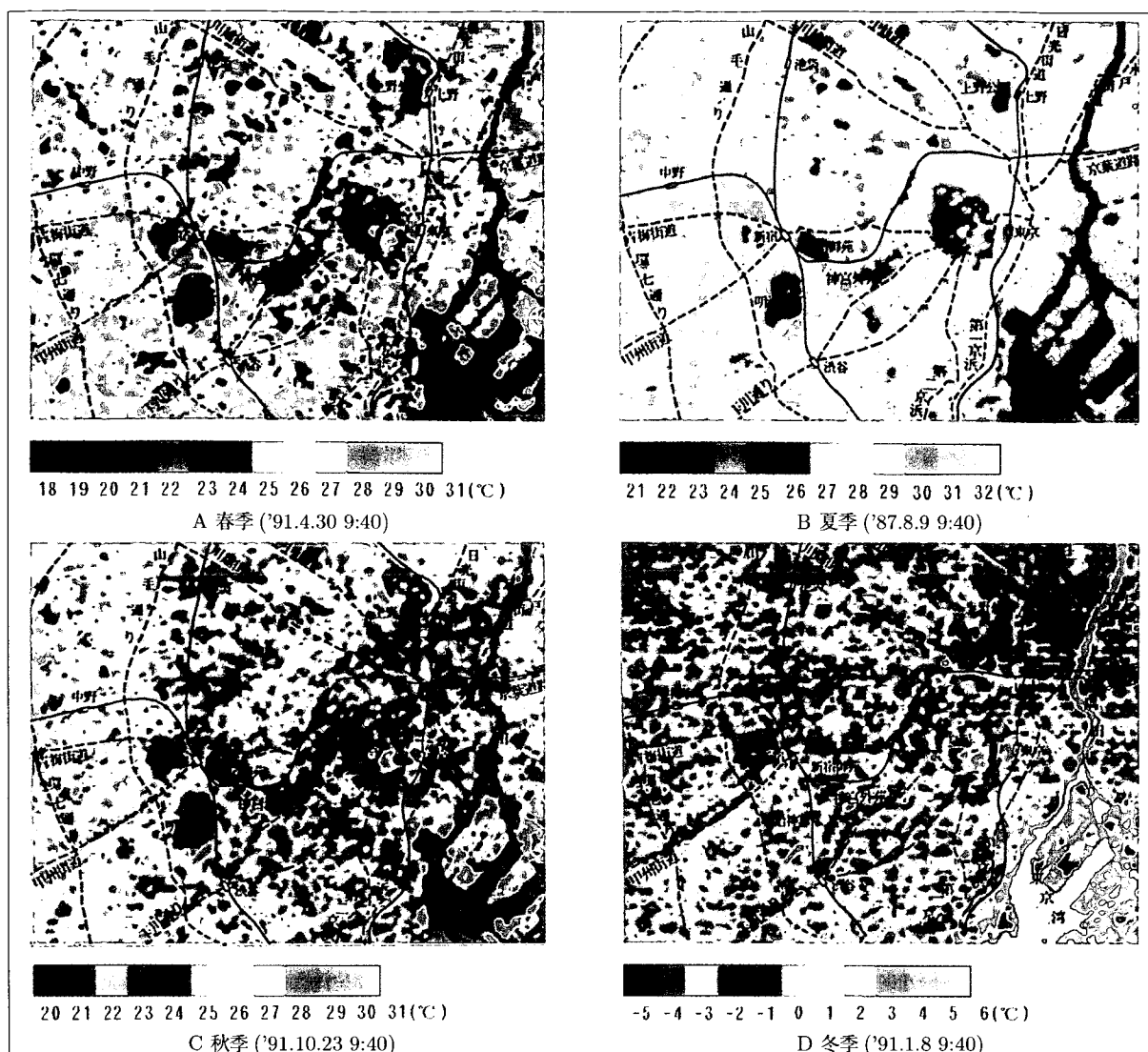


図3-26 昼間の季節別地表面温度分布図（東京）

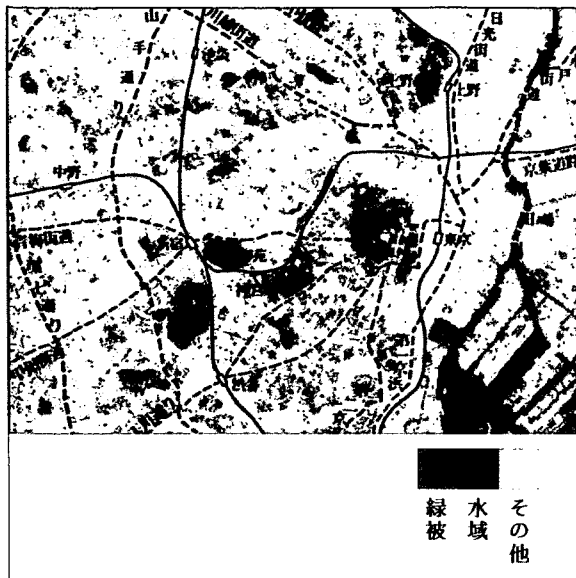


図3-27 緑被分布図（東京'87.8.9 9:40）

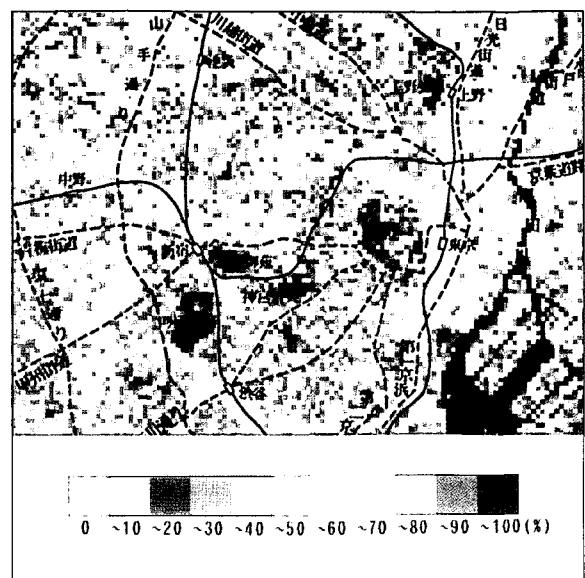


図3-28 L緑被率分布図（東京'87.8.9 9:40）

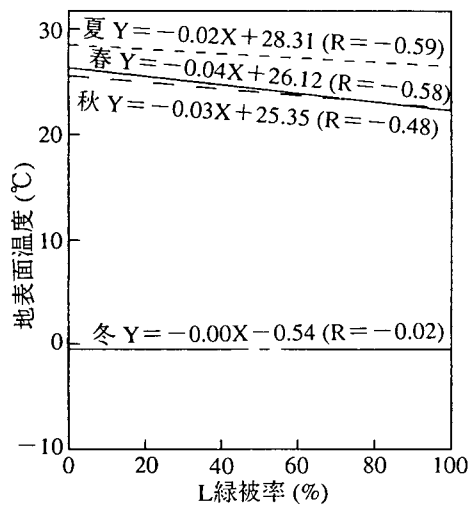


図3-29 昼間のL緑被率と地表面温度の関係

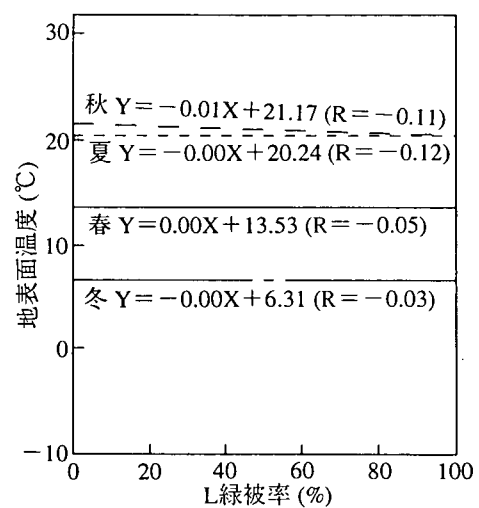


図3-31 夜間のL緑被率と地表面温度の関係

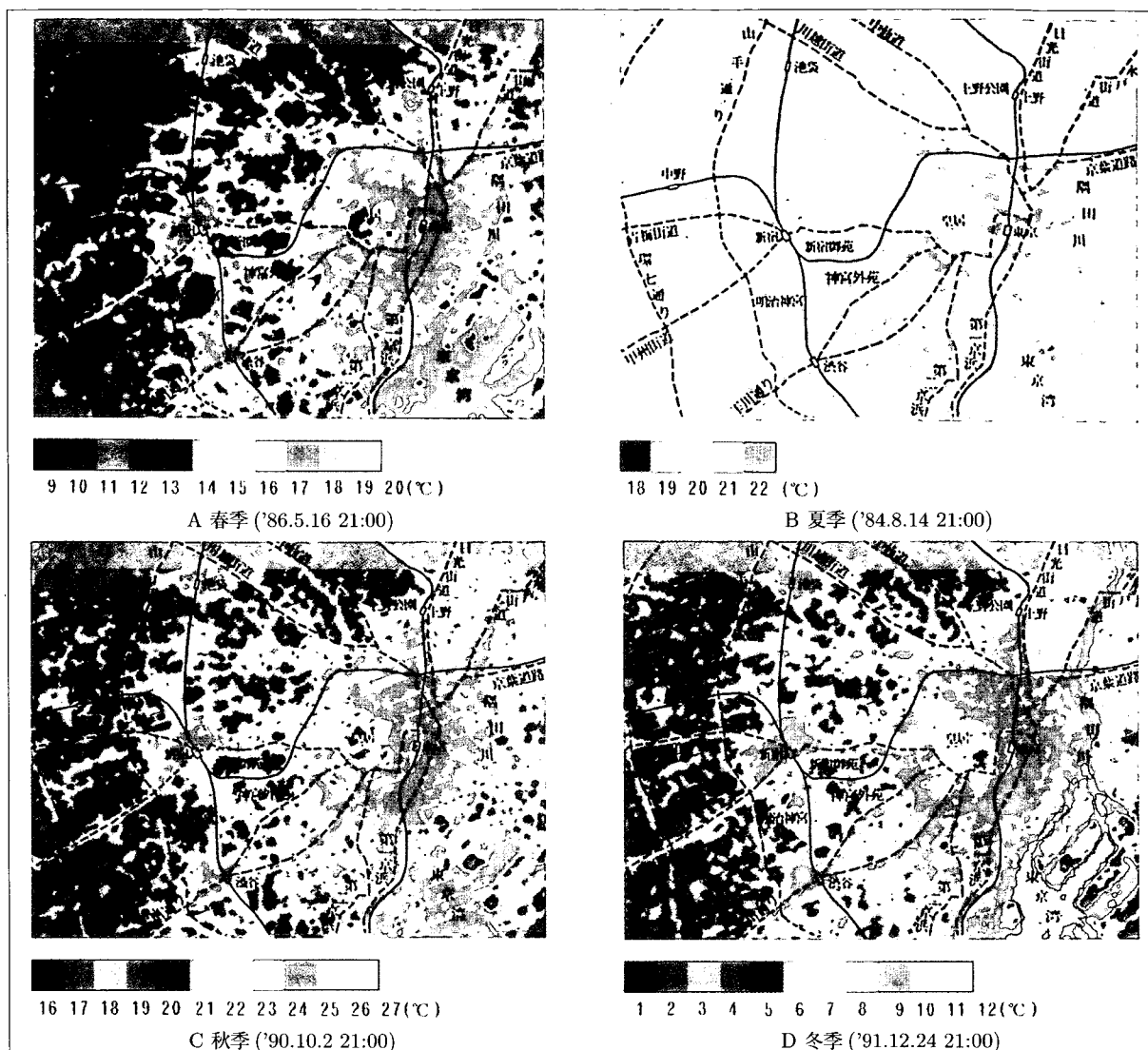


図3-30 夜間の季節別地表面温度分布図(東京)

4. 3. 3 昼夜間の差

緑被による温度の低減が認められる春夏秋の昼夜間の地表面温度分析パターンを比較すると、緑被は昼間においては相対的な低温域となる。しかし、夜間では都心の業務地域に対しては相対的に低温を示すが、郊外の住宅地域とは同程度の温度である。

ランドサットの昼夜の観測データは同一日のものではなく、また観測時間も限られたものであるため地表面温度の日変動幅を求めることはできないが、緑被の温度の日変動は業務地域や住宅地域に比べ小さく、その変動域は相対的に低温側であると考察した。

4. 4 考 察

緑被の温度低減効果は春夏秋の昼間でのみ認められた。地表面温度はL緑被率と負の相関関係を有し、温度低下は東京都心部を対象とした本項の解析では3季で大きな差はなく、L緑被率10%の増加により0.2~0.4°Cの低下となった。

先に述べたように、緑被の温度低減効果は植物の蒸散作用によるところが大きく、植物の蒸散作用は、一般に日照下、高温条件で活発となり、冬季の休眠下では行われないことから、緑被による影響が昼間・春夏秋でのみ認められたものと考えられる。高温季に効果を発揮し、低温季に小さくなる緑被の温度低減効果は、人間居住の観点からすれば、都合の良い仕組みである。

Ⅲ－５．総合考察

本章の解析結果から得られた主な結論を列記すると次の如くである。

- ①緑被と地表面温度の間には、植生指標の増加にともない地表面温度が低下するという相関関係がある。
- ②緑被の量を把握するうえで、L緑被率（ランドサットデータから算出した緑被率）が一般的な緑被率の代用の一つとなり得る。
- ③L緑被率と地表面温度の間には、樹林緑被率の増加にともない地表面温度が低下するという相関関係がある。
- ④緑被による地表面温度の低減効果は春、夏、秋の昼間のみに現れ、季節差は少ない。

以上のうち②は衛星データを用いて効率的に解析を進めるための基礎データとして有効であるが、緑被の計画上の問題に直接に反映する成果は①、③、④ということになる。

ところで本研究の主旨は、熱環境に及ぼす緑被の効果を解明することであるが、ここで熱平衡にある系を特徴づける尺度である温度について若干考察を加えておく。人間にとって最も直接的に感じる温度は体感温度である。体感温度とは「人間が感じる暑さ寒さなどの温熱感覚」（気象の事典、1993）であり、皮膚温度と気温との差、体の表面の熱の出入りなどによって決まる。ここで気温とは対象とする地点の空気温度である。日常的には、百葉箱内で測る地上の気温（地上気温）が身近な尺度であり、気象官署では、地上の気温とは、温度計の感部を地表面1.25 m～2.0 mの高さに置いて日射の影響を受けない所で測った空気温度であるとしている。

なお、夏季の日中の暑い時に木陰に入ると涼しく感じるといった経験から、植物による温度低減効果に大きな期待が寄せられているが、実際に地上の気温差を測ってみると人間が感じるほどではないといわれる。そのため太陽の直達日射量と大気の散乱による日射量を測定する温度計である黒球温度計（グローブ温度計）を用いて、できるだけ体感温度に近い温度差の定量的な表現を考えた研究（藤崎・半田、1994）もある。

一方、本章での解析はランドサットデータを用いているため、地表面温度に関する結果ということになる。ここで整理しておく必要があるのは、本研究におけ観点の特徴は、都市スケールで、すなわち都市という範囲全域で捉えられた熱環境に対して緑被が及ぼす効果を解析することであり、人間にとっての体感温度自体への効果の解明を直接の目的にしているわけではないということである。もとより研究の背景としては最終的には人間にとっての効果を当然考えているが、そのためにも、まずは都市スケールで解析し、相応しい計測手法による尺度で温度を把握するという主旨である。

なお、ランドサットデータから算出した地表面温度は、気温の形成原理からすれば、風など地表面温度の気象条件が一定の場合には、気温に変換できる値と見なせるため、本章における解析結果は、

次の第IV章での都市の気温と緑被の関係を論じるに当たっての傍証として十分に意義あるものといえる。

本章の結論を簡潔に言えば、地表面温度を低下させるためには、緑被を増やすことが最も有効ということである。地表面温度の低下は必然的に気温の低下を引きおこし、いわゆるヒートアイランドの軽減効果を緑被が有していることにつながる。都市の計画に際して緑被に求められる機能は多種多様にわたるが、都市の高温化の抑止を目的とした場合の計画方針は、緑被の量を増やすという方向に向けられるべきであると考察する。

本章の結論でもう一つ重要なのは、緑被の温度低減効果が春から秋の日中に発揮されていることを明確に示したことである。植物を取り入れた都市構造は自然のサイクルを活用した合理的なものであることを示唆する知見として、今回の解析は有意義な結果を得たと考察する。

[注]

(注1) 第III章では、ランドサットTMデータのバンド6 CCT値から地表面温度を算出している。地表面温度分布図の作成に当たっては衛星リモートセンシング技術センターが公表しているTM温度換算式(①と②)を用いて次の如く求めた。

①熱バンド補正済みCCTカウント値と放射輝度の関係式

$$N = \frac{Vc}{255} (N_{max} - N_{min}) + N_{min} \dots\dots\dots (1)$$

N : 放射輝度 (mW/cm²srμ)

Vc : CCTカウント値

N_{max} : 340° Kにおける放射輝度 1.53032 (mW/cm²srμ)

N_{min} : 200° Kにおける放射輝度 0.12378 (mW/cm²srμ)

②放射輝度と温度の関係式

$$N = (5.1292 \times 10^{-5} T_c - 0.017651) T_c + 1.6023 \dots\dots\dots (2)$$

N : 放射輝度 (mW/cm²srμ)

T_c : 絶対温度

(1)、(2)の式よりCCTカウント値と温度の関係式を求める。

$$\frac{1.40654}{255} \times Vc = (5.1292 \times 10^{-5} T_c - 0.017651) T_c + 1.47852 \dots\dots (3)$$

(3)の式をグラフ化して図3-32に示す。

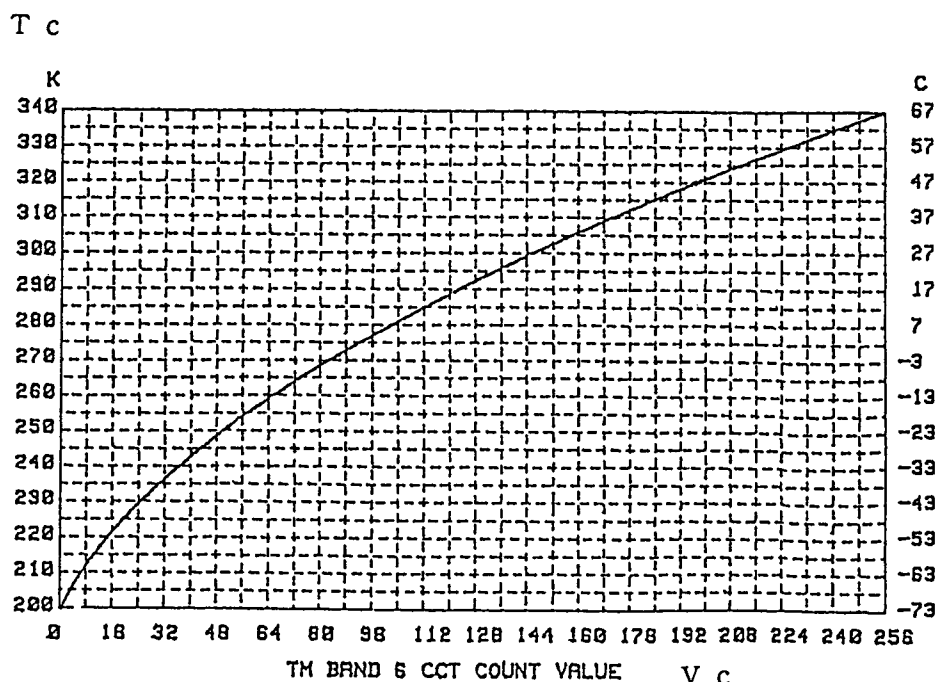


図3-32 CCT値(バンド6)と温度の対応グラフ

図3-32のグラフより、今回使用したデータの範囲（CCTカウント値136～165）においては1次式で近似できるため次の式を用いた。

$$T = 0.4133 \times Vc - 33.21$$

T : 地表面温度℃

Vc : CCTカウント値（バンド6）

（注2） 原典（日本リモートセンシング研究会、1994）では、NDVI（Normalized Difference Vegetation Index）のことを正規化植生指標と称している。

（注3） ここでは「日のあかるいあいだ」（岩波、国語辞典）の意味で「昼間」という言葉を用いている。また、「昼間」に対して「夜間」という言葉を用いている。

第IV章 緑被の配置に関する解析

IV-1. 主 旨

都市スケールで熱環境に及ぼす緑被の効果を解明するため、本章では、前章で解明された知見を踏まえつつ、シミュレーションにより、都市の気温と緑被の配置の関係について解析する。研究対象地域は東京都区部とする。

ここで、都市の気温と緑被の配置の関係について東京都区部を対象として解析する理由を記す。東京は日本を代表する大都市であり、人口、エネルギー消費、土地利用、ヒートアイランド現象など各種の面で世界でも希有の問題を抱えている。だからこそ「東京を省エネルギー、省資源型の都市にもっていく」(尾島、1991) ように効果的な緑被のあり方を明らかにすることは、国内・国外の都市に影響を与えるからである。また、緑被を用いた、大都市における都市気象の制御手法を科学的、定量的に把握するという理由もある。土屋(1972)は、「現代の都市計画は緑地帯(原文のまま)をたくみに取り入れることを主張している。しかし現に悪化の相当進んだ都市気候環境の実態と、その都市計画による改善による変化とを科学的に予測しているかという点になると疑問がある」とした上で、「東京のように現に活動中の大都市については、現状をはっきりつかむところから、有効な都市計画が生まれる」と述べている。このような考え方を背景にしながら、本研究は東京都区部を対象にして緑被の配置について解析する。

シミュレーションにより解析する理由は、次の如くである。都市スケールにおいて複雑な条件の集積である現実を対象として、緑被の量及び配置について各種のケースを設定し、その効果を現場での観測により調査し、解析することは、現実的な問題として困難であり、この場合、解析の手法として、気温の地域的な分布に影響すると考えられる要素に関する既存のデータを使用して都市スケールでの気温の分布に関するシミュレーションを行い、熱環境に及ぼす効果の高い緑被の配置を予測することが有効なためである。

もとより、シミュレーションにおいて気温の地域的な分布に影響する条件をすべて現実と同様に設定することは困難であるが、都市の気温に緑被が及ぼす効果に対する評価が求められている現在、限られたデータからではあるがシミュレーションを行うことは、緑被の計画により確実な手掛かりを与える。この意味で、本研究によるシミュレーションは有意義であると考ええる。

また、シミュレーションの基本となる地表面付近の熱収支のメカニズムに関する考え方は次の如くである。太陽エネルギー(正味放射: R_n)は、地表面から大気を暖めるのに使われるエネルギー(顕熱輸送量: H_s)、水の蒸発散に消費されるエネルギー(潜熱輸送量: LE)、地表面から地中に入り地中温度を上昇させるエネルギー(地中伝導熱: G)に分配される。熱収支は、次の式で表すことができる。

$$R_n = H_s + LE + G$$

熱収支の過程で空気の移流による影響が加わって気温が決定される。熱収支の概念図を図4-1に示す。

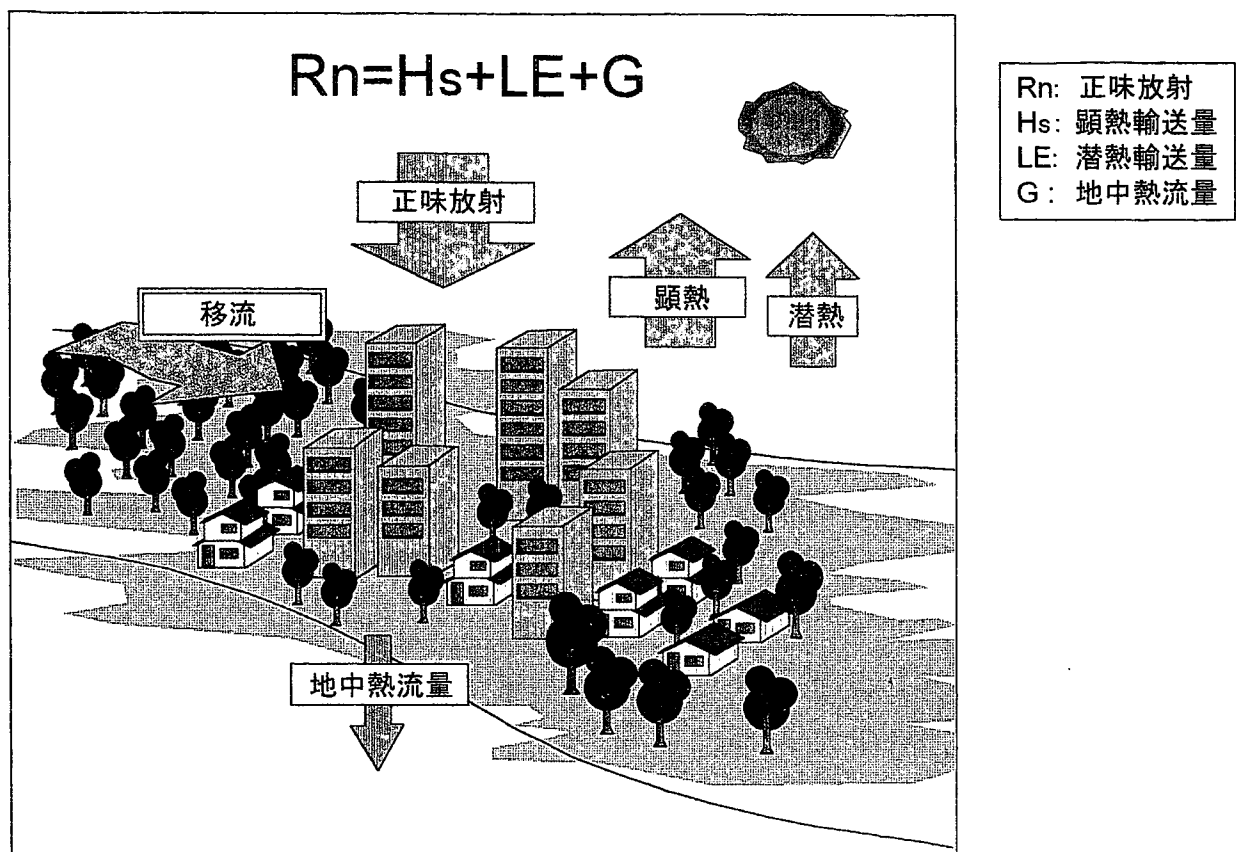


図 4 - 1 熱収支概念図

都市化の進展が都市気象に影響を与える大きな要因として、①土地被覆の改変、②大量のエネルギー消費などが挙げられる。①については、アスファルト舗装、コンクリート構造物、土木構造物、RC造建物など人工物が地面を被うことによって、日中に吸収された日射熱がより蓄熱されるという現象を引き起こす（梅干野、1995）。また、植物は葉からの蒸散により太陽エネルギーの一部を潜熱として消費しているが、緑被の減少によって潜熱による冷却作用が小さくなるという影響も加わる。②については、冷暖房、工場、自動車、鉄道等に起因する人工排熱が増加する。これらの要因は都市の温度に重大な影響を及ぼしている。

このような認識のもと、大都市・東京を対象として緑被の量と配置の条件の異なる 6 つのケース（詳細は後述）を設定し、都市の熱環境に及ぼす緑被の効果を解明する。

IV - 2. 解析の手順

解析の手順としては、(1)シミュレーション対象地域及び前提条件の設定、(2)シミュレーション手法の設定及び実施、(3)現況での解析、(4)条件設定した緑被の配置による解析の順で行う。解析の手順を示すフローを図 4 - 2 に示す。

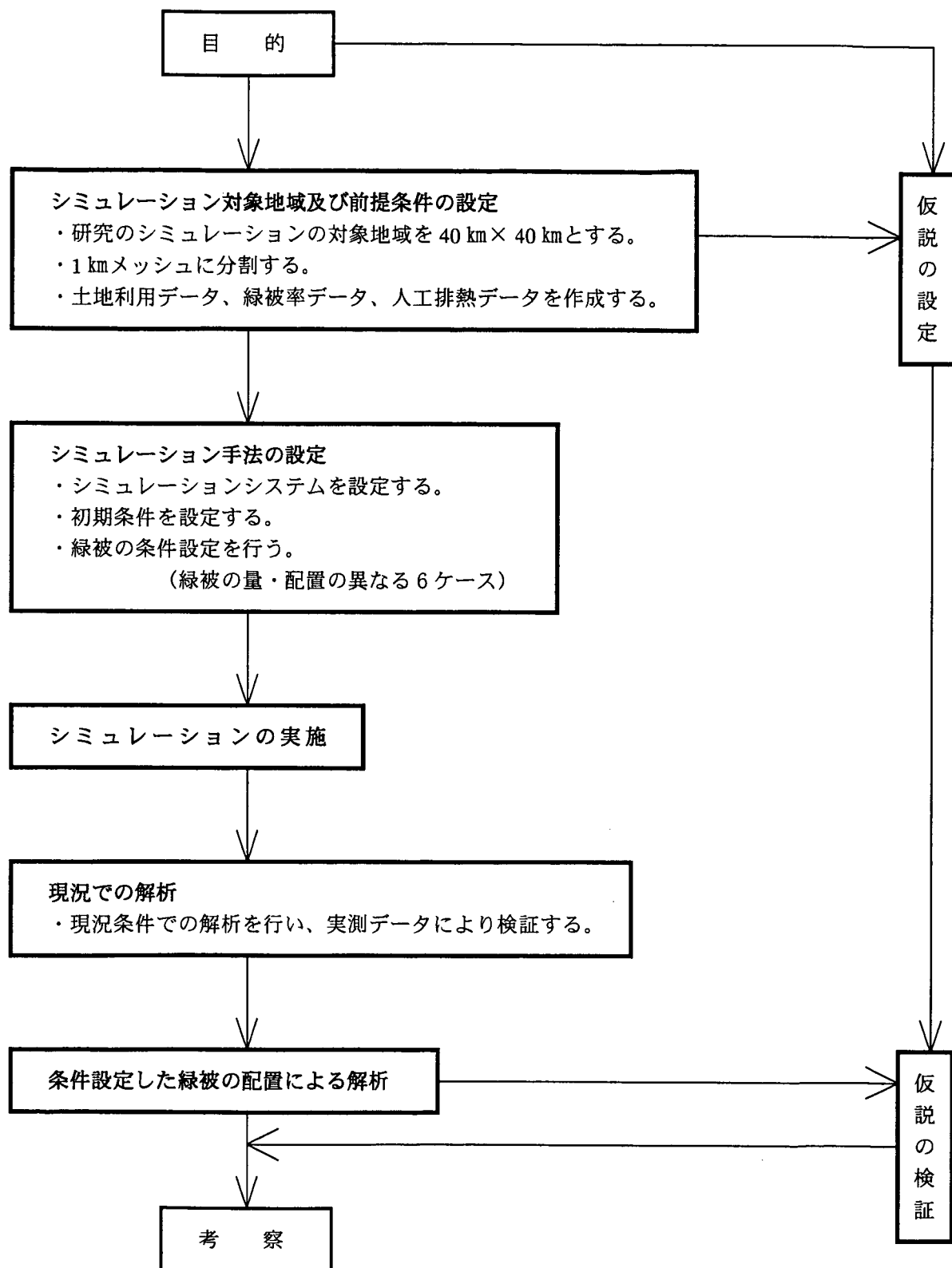


図 4 - 2 解析手順のフロー

IV-3. 配置シミュレーション

3. 1 シミュレーション対象地域及び前提条件の設定

3. 1. 1 シミュレーション対象地域

本章における研究対象地域は、東京都区部とする。また、そのためのシミュレーション対象地域は、東京都区部を包含する40km×40kmの範囲（図4-3）とし、この範囲内に関連するデータを整理し、解析に用いる。また、この範囲を1kmメッシュで1,600に分割し、各メッシュを解析の最小単位としてシミュレーションを実施する。メッシュ分割に際しては、 $x=20$ 、 $y=20$ のメッシュの右上頂点（北東の角）がシミュレーション対象地域の中心（東経139° 43.68'、北緯35° 40.92'）にあたるように設定している（表4-1）。なお、シミュレーション対象地域の中で東京都区部に全部ないし一部が該当しているメッシュ数は658である。

表4-1 メッシュデータ格子点座標位置

	X方向			Y方向				X方向			Y方向		
1	東経	139	30.48	北緯	35	30.08	22	東経	139	44.34	北緯	35	41.06
2			31.14			30.62	23			45.00			42.00
3			31.80			31.16	24			45.66			42.55
4			32.46			31.71	25			46.32			43.09
5			33.12			32.25	26			46.98			43.63
6			33.78			32.79	27			47.64			44.17
7			34.44			33.33	28			48.30			44.71
8			35.10			33.87	29			48.96			45.26
9			35.76			34.42	30			49.62			45.80
10			36.42			34.96	31			50.28			46.34
11			37.08			35.50	32			50.94			46.88
12			37.74			36.04	33			51.60			47.42
13			38.40			36.58	34			52.26			47.97
14			39.06			37.13	35			52.92			48.51
15			39.72			37.67	36			53.58			49.05
16			40.38			38.21	37			54.24			49.59
17			41.04			38.75	38			54.90			50.13
18			41.70			39.29	39			55.56			50.68
19			42.36			39.84	40			56.22			51.22
20			43.02			40.38	41			56.88			51.76
21			43.68			40.92							

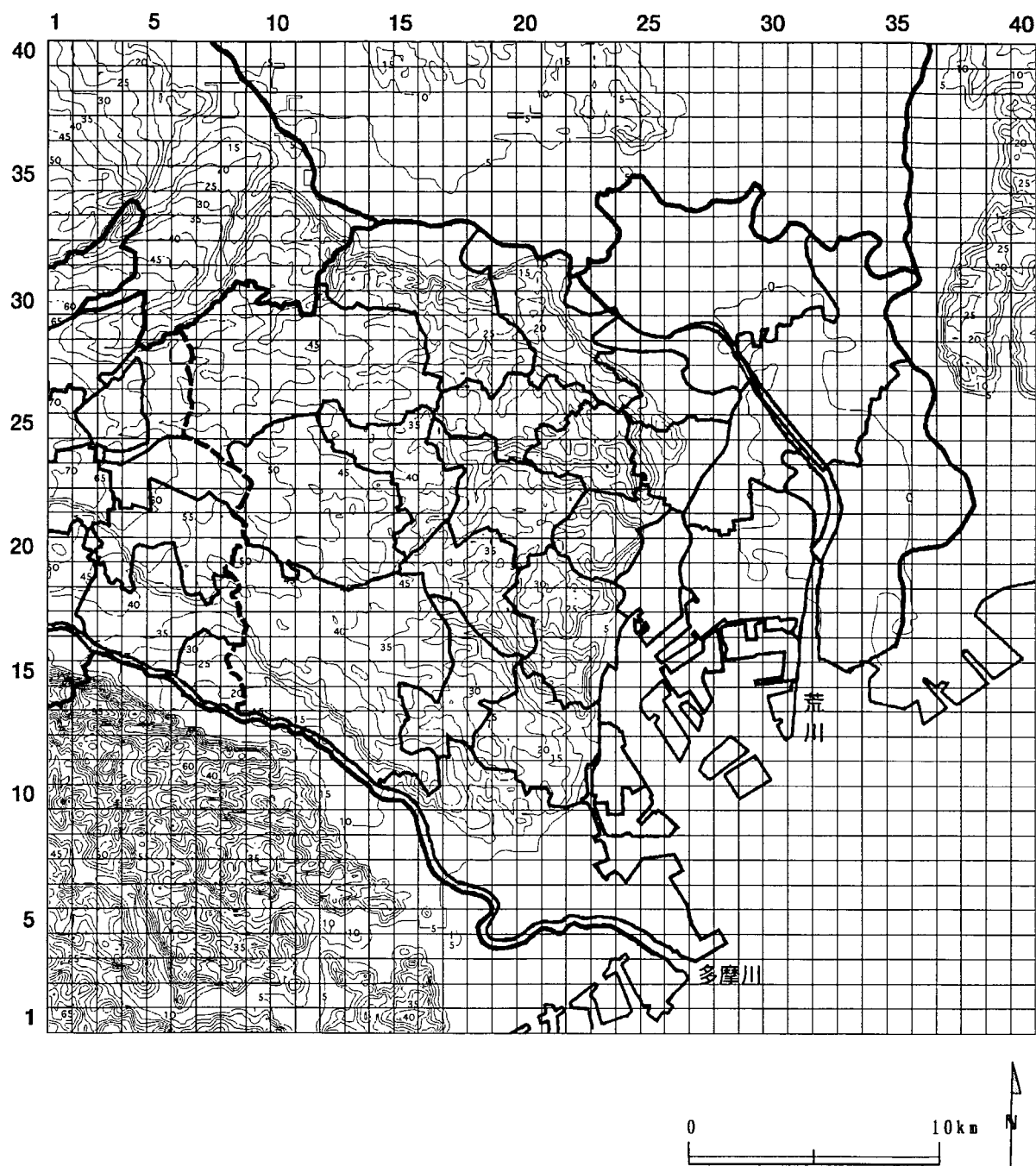


図4-3 対象地域とメッシュ分割

3. 1. 2 前提条件の設定

シミュレーションの前提条件となる初期入力データは次の如くである。

3. 1. 2. 1 土地利用データ

土地利用については、表4-2に示す12区分に分類し、各メッシュにおける土地利用区分ごとの被覆割合を求めた。

なお、この土地利用区分は、国土数値情報（土地利用ファイル、1/10細区分区画土地利用データ）（建設省国土地理院、1989）から作成したものであり、約100m角のメッシュデータで与えられている。

表 4 - 2 土地利用区分

区 分
田
畑
果樹園
その他の樹木
森林
荒地
建物用地
幹線交通用地
その他の用地
内水域
海浜
海水域

3. 1. 2. 2 緑被率データ

緑被率のデータに関しては、東京都区部全体については「'91東京都緑の倍增計画」(東京都環境保全局自然保護部、1991)に載せられた資料を用いた。東京都区部全体の緑被率は、表 4 - 3 にある如く、22.5%である。また、東京都の各区(23区)については各区で実施している各種の調査を基にして作成された資料(財団法人都市開発推進機構、1993)を用いた。各区のデータ及び出典は表 4 - 4 にまとめられている。各区では原則として東京都の「緑被率標準マニュアル」に基づき調査を行うこととしているが、区によって調査条件等が若干異なっているため、ヒアリング調査も加えながら作成されたのが、これらのデータである。表 4 - 4 にある如く、調査年は1976年から1992年まで各種あり、各調査によって緑被(緑地等)の捉え方は必ずしも統一されていない。このことから、これらのデータをそのまま用いるのは不適当と考え、補正を加えることとした。

すなわち前述の「'91東京都緑の倍增計画」によれば、東京都区部全体の緑被率は22.5%である。ところが表 4 - 4 の各区分の緑被面積と区域面積の合計から緑被率を求めると17.8%にしかない。そのため最終的には東京都区部全体の緑被率22.5%に合致させるように、各区のデータについて以下に述べるような補正を行った。

「'91東京都緑の倍增計画」においては、表 4 - 5 に示す東京都区部ブロック別緑被率が示されている。この値を基に、表 4 - 4 に示した各区分の元データの合計値との差を求め、その差を土地面積に比例配分した形で各区に加減した値を緑被率の補正值とした。そして補正した平均緑被率を、その区に属するメッシュすべてに当てはめて緑被率のメッシュデータとした。

東京都区部以外に属するメッシュについては、以下の資料に示される値を用いて一律に当てはめた。

東京都多摩地区：東京の土地利用－現況編－ 昭和57年東京都多摩・島しょ地域(東京都都市計画局、1984)

神奈川県：神奈川の土地利用、昭和62年

千葉県：千葉県土地利用現況把握調査報告書、昭和59年

埼玉県 : 土地利用の現況、昭和62年

複数の区または区と市町村の境界上に位置するメッシュについては、メッシュ内でのそれぞれの区域の面積割合を求めて、その面積に案分して比例配分した値を当てはめた。

最終的なデータは表4-6の如くであり、これらを図4-4の如く図化した。

表4-3 東京都区部現況緑被率一覧(1)

	区 域 (km ²)	緑 被 率 (%)	緑被面積 (km ²)	出 典
区域全域	612.41	22.5	137.80	'91東京都緑の倍增計画

表4-4 東京都区部現況緑被率一覧(2)

	区 域 (km ²)	緑被率 (%)	緑被面積 (km ²)	参 考 文 献
千代田区	11.53	21.5	2.48	'76 緑の実態調査報告書
中央区	10.15	7.3	0.74	'92 緑の実態調査 (Ⅱ)
港区	20.07	17.9	3.59	'91 第4次緑の実態調査
豊島区	13.00	12.5	1.63	'92 緑被現況調査
文京区	11.31	18.5	2.09	'90 第4次緑の実態調査
新宿区	18.25	17.9	3.27	'91 第3次緑の実態調査報告
渋谷区	15.11	22.7	3.43	'86 緑の実態調査報告書
荒川区	10.33	7.4	0.76	'89 自然環境調査報告書
台東区	10.00	9.3	0.93	'87 緑の実態調査報告書
墨田区	13.75	9.3	1.28	'90 第3回緑の現況調査
江東区	39.01	15.9	6.20	'91 緑の現況調査報告書
品川区	20.62	15.9	3.28	'81 緑の実態調査
大田区	46.65 (羽田空港、臨海部を除く)	19.7	9.19	'91 緑化基礎調査報告書
練馬区	48.17	25.1	12.09	'92 緑の実態調査
中野区	15.73	12.2	1.92	'86 第2次緑の実態調査報告
杉並区	33.54	19.9	6.67	'87 緑化基礎調査報告書
世田谷区	58.08	23.3	13.53	'90 緑の現況調査報告書
目黒区	14.42	17.9	2.58	'86 緑の実態調査報告書
板橋区	32.16	15.0	4.82	'91 緑地・樹木実態調査 (Ⅳ)
北区	20.55	15.2	3.12	'89 緑の実態調査報告書
足立区	53.25	21.3	11.34	'85 緑の実態調査報告書
葛飾区	33.90	17.9	6.07	'89 緑化推進計画調査
江戸川区	45.90	12.8	4.82	'84 樹木実態調査報告書

(出典) (財)民間都市開発推進機構 (1993) : 緑化分科会中間報告書

表 4－5 東京都区部ブロック別現況緑被率

ブロック	区	緑被率(%)
都 心	千代田、中央、港	14.2
山の手	豊島、文京、新宿、渋谷	22.3
下 町	荒川、台東、墨田、江東	16.2
南 部	品川、大田	21.5
西 部	練馬、中野、杉並、世田谷、目黒	29.0
北 部	板橋、北	20.4
東 部	足立、葛飾、江戸川	21.6
計		22.5

(出典) 東京都環境保全局自然保護部緑化推進室(1991) : '91東京都緑の倍增計画

(注) 平成3年の数値である。

表 4 - 6 東京都区部緑被率設定データ

	区域面積 (km ²)	緑被率 (%)	緑被面積 (km ²)
区部全域	612.41	22.5	137.80

	A 区域 面積 (km ²)	B 緑被率 (%)	C 緑被 面積 (km ²)	D ブロック別 面積 (km ²)	E 緑被率 (%)	F 緑被 面積 (km ²)	G 区別 面積 (km ²)	H 小計 (km ²)	I 緑被率 設定値 (%)
千代田区	11.53	21.5	2.48	41.75	14.20	5.93	2.16	5.93	18.7
中央区	10.15	7.3	0.74				0.64		6.3
港区	20.07	17.9	3.59				3.13		15.6
豊島区	13.00	12.5	1.63	57.67	22.30	12.86	2.01	12.86	15.5
文京区	11.31	18.5	2.09				2.58		22.8
新宿区	18.25	17.9	3.27				4.04		22.1
渋谷区	15.11	22.7	3.43				4.23		28.0
荒川区	10.33	7.4	0.76	73.09	16.20	11.84	0.98	11.84	9.5
台東区	10.00	9.3	0.93				1.20		12.0
墨田区	13.75	9.3	1.28				1.65		12.0
江東区	39.01	15.9	6.20				8.01		20.5
品川区	20.62	15.9	3.28	67.27	21.50	14.46	3.80	14.46	18.4
大田区	46.65	19.7	9.19				10.66		22.8
練馬区	48.17	25.1	12.09	169.94	29.00	49.28	16.20	49.28	33.6
中野区	15.73	12.2	1.92				2.57		16.4
杉並区	33.54	19.9	6.67				8.93		26.6
世田谷区	58.08	23.3	13.53				18.12		31.2
目黒区	14.42	17.9	2.58				3.46		24.0
板橋区	32.16	15.0	4.82	52.71	20.40	10.75	6.53	10.75	20.3
北区	20.55	15.2	3.12				4.23		20.6
足立区	53.25	21.3	11.34	133.05	21.60	28.74	14.66	28.74	27.5
葛飾区	33.90	17.9	6.07				7.85		23.1
江戸川区	45.90	10.5	4.82				6.2		13.6
合 計	595.48	17.8	105.83	595.48		133.87	133.8		

(注) A、B、C欄：表 4 - 4 より作成
D欄：区域面積をブロック別に合算
E欄：表 4 - 5 より作成
F欄：D欄×E欄
G欄：ブロックごとにF欄をC欄の緑被割合で配分
I欄：G欄÷A欄

図4-4 現況の緑被率設定データ

3. 1. 2. 3 人工排熱データ

人工排熱については、データを東京都と東京都以外（神奈川県、千葉県、埼玉県）に分けて収集し、(1)業務施設・住宅、(2)工場、(3)鉄道・自動車に分類してメッシュデータを作成した。

(1) 業務施設・住宅（東京都）

業務施設・住宅からの人工排熱は、その地区で消費されるエネルギーと等しいとみなし、図4-5の如くに分けて計算した。本研究のシミュレーションは夏季の日中を対象として実施するので、消費エネルギーは主に、①冷房用に使われる「冷房排熱」、②湯を沸かすために使われる「給湯排熱」で占められるものとして計算した。消費エネルギーの値は、建物用途ごとの床面積に原単位を乗じて算出した。

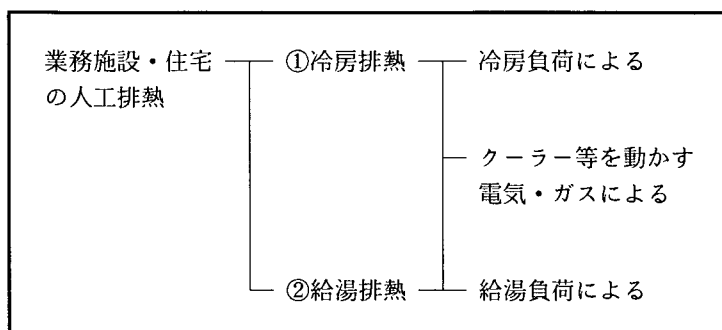


図4-5 業務施設・住宅の人工排熱

冷房排熱及び給湯排熱についての考え方は、次の如くである。

①冷房排熱

冷房排熱は、冷房負荷の値を基にして計算した。冷房負荷は、室内の温度を一定に保つために除去すべき熱量で、室内で発生する熱（室内の照明、コンピュータ等の電気による発熱、人間の体表面、呼吸による発熱など除去する必要のある熱）及び室外から室内に入ってくる熱（窓・外壁から入ってくる貫流熱、扉から入ってくる隙間風等）の合計である。また、冷房負荷を処理するためにクーラー等の機械を用いて室外に熱を排出するため、室外に排出される熱（排熱）の量は、冷房負荷+ α となる。ここで+ α は、クーラー等を動かすために使用された電気・ガス（エネルギー）であり、使用した機器の効率の逆数に等しい。すなわち、冷房排熱は次の式により算出した。

$$\text{冷房排熱} = \text{冷房負荷} + (\text{冷房負荷} \div \text{効率})$$

算出された冷房排熱は冷却塔より大気中に放散されるが、冷房のタイプが乾式と湿式では排出される熱の状態が異なる。そのため、算出された冷房排熱に乾式・湿式の比率を乗じて顕熱・潜熱別の排熱量を計算した。

②給湯排熱

給湯排熱は、給湯負荷の値を基にして計算した。給湯負荷は、家庭、職場、ホテル等で使われる湯を沸かすためのエネルギーである。給湯には電気貯湯式の給湯器、ボイラー、ガス湯沸器、ガスコンロ等の機器が用いられる。これらの機器の効率分は水の加温に使われ、さらに沸いた湯は茶を入れたり、食器洗いや風呂に使われるが、最後は下水道から川や海に放流される。そのため、効率分の熱の大気への排出は無視し、排熱量は100%から効率を減じた値に相当すると考え

て次の式により算出した。

$$\text{給湯排熱} = \text{給湯負荷} \times (1 - \text{効率})$$

手順としては、まず「東京都25mメッシュの建物床面積データ」（東京都都市計画局）を用いて各メッシュごとに建物用途別に建物床面積を計算し、次に建物用途ごとの、「地域暖冷房推進に関する指導要綱」（東京都環境保全局助成指導部、1991）に示された冷房・給湯負荷原単位を乗じてエネルギー消費量を算出した。その際、「東京都25mメッシュの建物床面積データ」（東京都都市計画局）で区分されている建物用途を、冷房用エネルギーの利用パターンにより、次の5グループに分類した。

- ①住宅系（専用独立住宅、集合住宅、居住併用工場・作業所、住商併用建物）
- ②事務所系（官公庁施設、事務所建築物、スポーツ・興業施設、専用工業・作業所）
- ③商業系（専用商業施設等）
- ④宿泊、医療施設系（厚生医療施設、宿泊・遊技施設）
- ⑤冷房負荷の生じない建物（教育文化施設、供給処理施設、倉庫・運輸関連施設）

業務施設・住宅の全ての人工排熱に対する顕熱・潜熱の比率については、次のような方針をたてた。

- a. 住宅系の建物からは全て顕熱として排熱される
- b. 住宅系以外で延床面積10,000㎡未満の建物からは全て顕熱として排熱される
- c. 住宅系以外で延床面積10,000㎡以上の建物からは全て潜熱として発生する。

そのうえで延床面積が10,000㎡以上の建物の面積比率から、次の如く設定した。なお、延床面積が10,000㎡以上の建物の比率は、東京都における昭和62年（1987年）から平成6年（1994年）の規模別・建物用途別着工面積実績（東京都（1987年～1994年））の平均値より設定した。

- | | |
|-----------|-------------------|
| ①住宅系 | 顕熱： 100%、 潜熱： 0 % |
| ②事務所系 | 顕熱： 55%、 潜熱： 45% |
| ③商業系 | 顕熱： 70%、 潜熱： 30% |
| ④宿泊、医療施設系 | 顕熱： 50%、 潜熱： 50% |

（上欄中の％の値は、業務施設・住宅の全ての人工排熱量に対する顕熱、潜熱の比率を示す。）

時刻ごとの排熱量は、時刻別変動量等に関する調査（助住宅・建築省エネルギー機構、1994）に示された値を使用した。

以上の如く算出した業務施設・住宅からの人工排熱量の分布を図4-6、図4-7及び図4-8に示す。

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
40	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
39	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
38	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
37	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
36	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
35	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
34	0.0	0.0	2.1	11.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
33	0.0	0.0	76.5	70.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
32	25.0	69.8	73.9	27.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.8	136.6	197.9	394.5	448.7	315.6	279.7	298.6	162.9	87.1	4.2	126.0	190.7	195.9	229.0	263.3	228.4	198.3	188.3	165.2	160.4	150.4	1.7	4.8	0.0	0.0	0.0	0.0	
31	92.5	141.7	81.1	22.5	0.0	0.0	0.0	56.0	24.3	0.0	32.1	397.5	225.1	158.4	214.0	300.1	383.0	394.3	270.8	479.0	433.4	128.0	176.9	390.2	278.6	359.8	317.6	285.6	188.2	208.8	279.0	118.8	258.5	157.9	59.3	0.0	0.0	0.0	0.0	
30	191.9	167.9	96.5	141.7	0.0	0.0	78.2	182.3	120.6	64.4	81.1	818.9	323.5	307.5	394.6	339.3	326.8	429.8	341.3	308.7	488.1	298.8	174.9	182.9	232.6	344.9	345.9	373.1	345.0	253.0	314.7	267.6	282.8	339.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
29	175.4	159.4	205.0	111.5	20.3	52.6	103.7	147.7	148.6	132.8	210.6	448.6	196.2	187.2	255.1	292.2	345.9	365.0	355.8	368.8	373.7	443.5	249.3	136.1	98.7	166.7	135.2	162.0	368.0	330.2	263.4	234.0	229.6	188.2	18.6	0.0	0.0	0.0	0.0	
28	136.0	94.0	136.0	296.5	142.3	173.3	173.8	273.2	246.3	171.9	169.0	150.5	205.8	213.1	285.6	228.1	326.8	390.4	441.8	338.6	382.9	380.7	390.7	399.5	248.3	334.2	448.6	385.7	109.5	312.5	325.9	368.8	222.3	270.0	117.1	0.0	0.0	0.0	0.0	
27	231.6	121.0	179.4	208.5	191.2	146.8	182.4	184.6	157.3	239.0	207.2	282.6	236.3	314.4	337.9	345.5	322.4	362.7	443.5	437.2	403.6	423.6	269.3	459.8	448.6	336.6	317.5	297.2	93.5	298.7	360.0	335.8	133.5	260.0	341.7	122.2	0.0	0.0	0.0	
26	184.8	165.5	248.8	299.2	280.7	157.8	194.4	187.0	202.8	198.3	234.5	282.4	303.2	338.4	360.4	318.9	363.4	392.0	1143.4	1238.5	592.1	440.2	454.9	347.8	555.1	522.5	406.1	97.8	410.4	121.9	397.2	241.1	180.2	256.0	517.7	113.4	0.0	0.0	0.0	
25	190.3	167.4	216.8	239.1	226.2	139.5	264.8	246.4	158.4	205.3	252.5	251.6	283.2	310.9	340.3	316.7	334.7	409.7	490.2	407.0	419.5	330.2	354.8	383.2	324.8	623.6	561.8	338.1	418.6	309.5	107.8	358.7	373.7	130.0	190.5	163.0	14.0	0.0	0.0	
24	103.8	79.7	210.0	123.0	191.7	344.5	140.3	162.7	245.5	318.3	251.1	312.0	303.3	334.1	324.6	295.4	368.2	462.5	601.6	398.0	407.8	494.0	669.0	319.2	250.3	709.6	777.1	369.5	445.4	388.4	225.9	147.8	421.8	314.9	164.5	47.2	0.0	0.0		
23	314.4	158.8	171.4	228.4	245.2	504.9	682.8	310.8	341.6	320.5	535.1	360.8	389.7	485.1	629.9	354.6	459.9	493.3	407.5	660.4	614.9	746.7	755.4	828.9	1229.9	805.5	585.4	574.1	475.7	474.7	373.9	153.3	283.9	375.0	137.0	190.5	163.0	14.0	0.0	0.0
22	291.2	181.8	193.5	265.7	273.7	356.3	180.9	329.4	305.6	267.0	270.7	307.6	409.4	313.0	456.8	419.5	659.2	1211.4	908.5	369.1	564.1	751.7	1025.5	1411.3	1322.4	1035.7	638.0	589.2	753.5	514.0	343.8	128.3	182.6	289.4	150.5	188.3	243.5	98.6	0.0	0.0
21	68.4	57.1	117.1	173.9	251.2	422.3	296.6	181.5	164.8	246.5	316.3	234.0	197.6	313.8	374.2	425.5	825.8	2065.4	819.7	733.3	627.3	999.0	132.8	2112.2	1955.2	1163.2	491.7	718.2	821.6	647.2	500.3	71.7	305.3	243.8	233.6	217.8	155.2	0.0	0.0	
20	69.3	88.3	97.3	131.1	134.5	151.1	129.0	55.1	202.4	196.7	194.7	259.2	280.0	330.2	395.7	543.7	410.4	213.7	606.8	749.8	615.8	1001.5	484.1	1524.9	2189.6	1001.5	403.5	417.9	579.9	605.4	290.2	145.8	282.9	258.8	138.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
19	140.1	84.5	41.0	138.8	96.8	141.0	162.0	132.8	298.0	280.2	300.5	319.1	260.0	313.7	401.1	341.9	408.9	239.8	630.6	638.6	835.3	1756.3	1025.0	2237.2	1043.2	458.8	433.2	450.0	728.8	304.6	224.2	176.2	537.5	256.8	124.7	0.0	0.0	0.0	0.0	
18	176.3	143.3	145.9	391.5	287.1	338.0	287.7	271.0	170.0	193.5	164.0	241.4	202.8	308.6	291.7	419.8	244.4	278.4	1288.9	875.5	461.1	659.1	783.0	1276.1	329.1	456.9	252.8	296.6	232.9	115.9	124.5	1.5	332.9	432.9	365.1	114.7	0.0	0.0	0.0	0.0
17	68.4	480.2	221.3	391.5	305.5	296.6	205.0	158.0	218.6	220.1	289.9	378.4	318.2	283.0	354.0	375.9	574.1	505.7	568.1	519.6	461.6	684.1	623.9	265.2	73.5	86.2	198.8	220.0	37.9	6.2	0.0	45.2	760.5	785.6	360.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
16	118.3	130.4	124.2	160.9	227.0	258.2	193.3	110.0	264.9	274.7	257.5	238.7	319.5	350.5	465.2	419.0	324.6	549.2	504.3	325.0	402.8	838.0	631.4	6.5	70.5	19.9	88.4	90.0	29.1	36.6	45.9	0.9	1183.2	1103.7	213.3	0.0	0.0	0.0	0.0	
15	63.3	63.2	0.0	0.0	0.0	7.9	7.2	62.8	219.1	115.9	255.6	375.6	313.3	388.7	275.0	475.0	374.0	592.0	504.0	477.5	39.9	154.1	0.9	0.4	53.4	18.6	3.0	38.5	32.9	20.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
14	5.6	6.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	146.8	139.6	7.8	122.8	162.7	309.3	247.0	225.2	234.8	300.2	405.6	394.8	423.6	1127.4	783.3	421.4	288.1	0.0	0.9	0.4	1.7	0.0	0.0	4.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
8	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.															

図4-6 業務施設・住宅からの顕熱発生量

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
40	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
39	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
38	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
37	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
36	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
35	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
34	0.0	0.0	0.0	0.4	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
33	0.0	0.0	0.0	10.5	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
32	3.2	2.2	2.2	16.0	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9	6.7	10.0	48.8	124.1	76.9	15.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	16.8	14.5	21.6	55.5	44.3	20.2	15.2	23.3	1.8	1.1	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	
31	1.7	16.6	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	7.7	0.0	13.8	94.6	18.9	11.3	10.6	37.7	119.3	146.6	60.4	107.9	32.0	65.6	67.2	18.9	44.2	100.7	59.2	71.4	20.5	60.5	26.3	12.4	26.5	9.6	16.6	0.0	0.0	0.0	
30	102.3	23.5	2.5	8.1	0.0	4.5	10.9	4.2	0.8	8.4	2.5	32.6	49.3	70.6	39.0	55.1	152.4	93.7	46.1	88.7	85.2	77.2	41.4	45.2	44.7	63.4	53.3	61.2	46.5	48.1	42.3	118.6	41.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
29	60.8	26.2	26.8	5.9	0.7	1.2	2.8	7.0	14.4	13.0	11.8	63.2	18.7	14.1	37.1	30.3	41.2	43.7	45.0	62.7	84.2	125.3	92.0	34.1	17.8	15.3	19.1	13.2	145.0	55.7	32.0	33.0	48.6	22.3	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	
28	12.5	4.7	13.6	42.1	11.6	14.7	9.6	32.2	43.2	9.0	40.1	9.2	10.7	5.6	17.5	38.4	49.9	71.1	92.7	83.1	48.9	131.7	94.8	52.9	23.8	68.6	110.2	86.6	33.3	30.1	63.7	103.0	39.8	16.8	8.7	0.0	0.0	0.0	0.0	
27	23.8	30.5	6.8	73.5	20.2	7.2	3.1	8.1	17.2	21.7	12.6	43.7	20.0	27.9	19.5	42.5	24.4	24.6	73.6	71.4	51.5	61.0	25.3	132.5	64.6	98.3	101.5	62.7	13.4	61.1	101.9	75.0	41.0	27.6	33.9	6.7	0.0	0.0	0.0	
26	18.8	23.3	46.0	55.6	11.9	9.4	12.4	15.8	8.7	17.3	7.0	35.4	21.7	72.7	79.2	28.2	23.1	65.1	590.4	729.9	184.6	134.3	154.1	41.6	112.8	124.7	54.3	17.5	55.6	11.5	84.2	55.6	28.6	24.4	49.9	111.2	12.0	0.0	0.0	
25	20.2	2.7	4.9	55.5	25.3	29.6	61.5	26.1	15.3	7.9	17.6	21.8	9.3	14.6	23.8	36.8	34.3	28.5	37.9	191.2	46.0	115.3	35.3	37.3	31.4	120.9	116.8	104.5	64.8	60.0	55.8	30.8	80.0	24.3	11.8	36.8	5.5	0.0	0.0	
24	21.9	13.3	38.2	20.5	22.5	64.8	3.3	3.9	21.4	77.8	11.5	10.3	9.9	17.7	25.2	10.5	26.4	109.7	239.9	58.4	119.1	95.9	78.0	82.1	141.9	242.8	331.2	88.6	75.6	107.2	42.5	16.0	73.4	100.4	13.9	16.6	15.1	0.0	0.0	
23	37.8	11.3	16.3	27.1	23.5	164.8	221.8	41.6	33.8	11.0	147.5	31.0	41.9	70.6	225.4	18.7	79.8	120.0	74.2	74.6	182.5	368.8	440.2	452.0	707.4	688.7	218.3	188.6	81.0	88.5	53.4	30.5	75.3	135.5	32.6	32.5	35.1	2.2	0.0	0.0
22	40.0	12.5	8.2	41.8	29.7	25.3	3.7	10.8	20.8	6.2	6.4	45.9	34.7	27.8	41.8	37.0	233.3	766.0	40.0	260.0	229.3	475.2	760.2	1044.8	947.7	824.5	264.4	155.6	328.6	168.9	69.2	37.9	25.0	85.3	17.7	39.4	73.4	40.3	0.0	0.0
21	8.8	8.8	52.0	27.2	27.7	165.6	113.2	8.3	9.5	30.1	72.3	17.6	7.1	61.5	75.3	34.2	432.3	1496.0	470.3	319.7	346.8	633.5	105.7	1729.6	1509.6	750.9	111.0	127.6	123.3	91.4	49.7	7.5	87.1	74.3	24.8	21.6	23.6	0.0	0.0	
20	4.0	5.7	38.7	20.4	18.2	56.2	8.9	14.1	32.1	29.5	21.3	27.3	24.1	27.7	25.4	112.1	59.1	53.8	295.9	395.7	785.9	242.4	503.2	1670.2	650.3	139.8	72.3	99.8	71.4	60.2	59.4	59.4	40.3	16.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
19	10.8	36.5	3.9	6.9	11.4	11.6	12.4	13.7	55.0	14.9	65.8	18.6	26.1	26.0	33.3	21.0	58.9	182.9	229.1	361.2	32.2	1382.1	1597.3	1684.1	652.4	102.8	90.2	156.0	306.5	71.9	58.5	19.9	108.2	32.2	27.7	0.0	0.0	0.0	0.0	
18	9.2	11.6	12.3	47.5	17.4	68.8	38.7	28.3	8.1	18.0	29.9	5.4	5.3	28.5	65.5	17.1	34.6	760.6	489.7	126.2	300.8	99.4	298.9	255.3	166.4	78.4	154.4	87.1	76.1	101.9	12.6	7.2	78.6	69.3	10.7	0.0	0.0	0.0	0.0	
17	14.5	247.2	58.5	91.8	57.7	62.0	5.8	6.2	11.7	15.6	35.4	31.1	21.7	18.2	24.2	60.5	195.3	187.6	186.3	134.6	122.1	343.9	912.2	197.5	134.0	36.4	94.9	63.7	6.4	2.4	0.0	2.8	63.7	21.7	48.1	0.0	0.0	0.0	0.0	
16	11.5	24.2	35.0	18.2	38.9	38.9	45.4	3.4	18.1	12.3	19.6	12.4	36.0	43.3	76.2	77.2	47.9	120.4	186.7	78.4	88.7	505.3	422.1	5.3	57.7	16.3	24.4	69.9	19.3	29.7	40.0	0.7	17.3	24.0	14.7	0.0	0.0	0.0	0.0	
15	13.3	22.1	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	14.7	13.5	18.8	66.6	23.3	53.7	61.0	23.4	34.9	17.0	43.8	51.2	119.9	222.9	255.9	96.3	0.7	0.7	32.0	8.1	2.9	31.5	26.9	16.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
14	4.6	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	2.4	4.2	13.3	16.0	65.6	28.8	15.6	108.6	36.3	90.5	52.8	73.9	521.2	407.4	228.2	244.8	0.0	0.7	0.4	1.4	0.0	0.0	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0																													

図4-7 業務施設からの潜熱発生量

図4-8 業務施設・住宅からの全熱発生量

63

(2) 工場の人工排熱（東京都）

工場からの人工排熱は、「東京都におけるエネルギー需要構造の現状と将来展望に関する調査」（東京都生活文化局、1993）に基づいて各地域区分ごとのエネルギー消費量を算出し、さらに各メッシュのエネルギー消費量を算出して、排熱量を推計した。この調査は、地域別業種別生産額に生産額当たりのエネルギー消費原単位を乗じ、都市ガス、電力の供給データを参考にして、地域別エネルギー源別エネルギー消費量を算出したものである。

1990年における各地域区分別のエネルギー消費量は、表4-7の如く示されている。そこで表中の値を用いて、工場からの人工排熱量の時刻変動を、次の手順で設定した。

① 1 kmメッシュの年間エネルギー消費量の算出

（各メッシュ内の年間エネルギー消費量を、そのメッシュに含まれる地域区分の比率に応じて算出する。）

② 1 kmメッシュの日間エネルギー消費量の算出

（①の値を240日（20日／月×12月）で除する。）（図4-9）

③ 時刻変動の想定、対象時刻ごとの値の算出

（工場の稼働時間は8時から18時で、時間当たりの排熱量は均等として②より時刻別エネルギー消費量を算出する。）

表4-7 工場の地域区分別エネルギー消費量

1990年 T cal

	燃料油	L P G	都市ガス	燃料計	購入電力	エネルギー計
	a	b	c	d = a + b + c	e	f = d + e
都心3区	187	31	166	384	692	1,076
副都心4区	286	38	240	564	581	1,145
住商工混在	3,649	264	2,392	6,306	2,851	9,157
その他区部	1,232	138	777	2,147	1,531	3,677
多摩4都市	216	207	220	682	434	1,116
その他多摩	986	1,135	1,156	3,536	1,924	5,461
島 嶼 部	3	1	0	4	2	6
東京都計	6,558	1,813	4,952	13,623	8,015	21,638

（注） 地域区分：

都心3区 （千代田区、中央区、港区）

副都心4区 （新宿区、台東区、渋谷区、豊島区）

住商工混在 （墨田区、江東区、江戸川区、北区、荒川区、品川区、大田区、足立区）

その他区部 （板橋区、練馬区、葛飾区、文京区、中野区、杉並区、世田谷区、目黒区）

多摩4都市 （武蔵野市、町田市、立川市、八王子市）

その他多摩地区 （保谷市、田無市、三鷹市、調布市、狛江市、清瀬市、東久留米市、小平市、小金井市、府中市、稲城市、東村山市、東大和市、国分寺市、国立市、多摩市、武蔵村山市、昭島市、日野市、福生市、羽村市、青梅市、あきるの市、日の出町、奥多摩町、檜原村）

(kcal/m²/日)[illegible]

図 4-9 工場からの発生熱量

(3) 鉄道及び自動車の人工排熱（東京都）

鉄道及び自動車からの人工排熱は、上記と同様に、「東京都におけるエネルギー需給構造の現状と将来展望に関する調査」（東京都生活文化局、1993）に基づいて各地域区分ごとのエネルギー消費量を算出し、さらに各メッシュのエネルギー消費量を算出して、排熱量を推計した。

1990年における各地域区分別のエネルギー消費量は、表4-8の如く示されている。

表4-8 鉄道・自動車の地域区分別エネルギー消費量

	ガソリン 千KL	軽油 千KL	LPG 千トン	電力 百万kwh	ガソリン Tcal	軽油 Tcal	LPG Tcal	電力 Tcal	計 Tcal
	a	b	c	d	e	f	g	h	i = e + f + g + h
都心3区	352	271	61	466	2,957	2,496	729	401	6,582
副都心4区	223	156	37	265	1,875	1,433	440	228	3,976
住商工混在区	720	715	115	577	6,046	6,574	1,375	496	14,491
その他区部	773	575	126	437	6,495	5,294	1,512	376	13,678
区部計	2,068	1,717	338	1,745	17,373	15,797	4,056	1,501	38,727
多摩4都市	398	233	10	120	3,347	2,143	120	103	5,713
その他多摩地区	1,045	553	26	196	8,780	5,088	313	168	14,350
多摩地区計	1,444	786	36	315	12,127	7,231	434	271	20,063
島嶼部	142	49	3	0	1,194	451	42	0	1,687
東京都計	3,654	2,552	378	2,061	30,694	23,480	4,531	1,772	60,477

そこで表中の値を用いて、鉄道・自動車からの時刻変動を、次の手順で設定した。

① 1kmメッシュの年間エネルギー消費量の算出

（各メッシュ内の年間エネルギー消費量を、そのメッシュに含まれる地域区分の比率に応じて算出する。）

② 1kmメッシュの日間エネルギー消費量の算出

（①の値を365日で除する。）（図4-10）

③ 時刻変動の想定、対象時刻ごとの値の算出

（全国道路交通情勢調査（道路交通センサス）（東京都建設局道路建設部、1991）より1時間ごとの交通量変動を想定し、②より時刻別エネルギー消費量を算出する。）

図4-10 鉄道・自動車からの発生熱量

(4) 東京都以外の人工排熱

東京都以外に属するメッシュの排熱量については、神奈川県、千葉県については「エネルギーとかながわ」(神奈川県、1986)より電力、都市ガス、ガソリン、重油、軽油の消費量を熱量に換算し、埼玉県については「埼玉県地域エネルギー開発利用調査報告書」(埼玉県、1982)にある部門別のエネルギー消費量より算出した。そして各メッシュのエネルギー消費量を算出し、排熱量を推計した。

推計に際しては、東京都の工場、鉄道・自動車の場合には1990年の値を用いたが、東京都以外では1980年代前半の資料を用いたため、次に述べる補正を加えた。

すなわち「東京都におけるエネルギー需給構造とその将来動向に関する調査」(1987)に示された1983年のエネルギー需要推定値は、187,411Tcal/年である。一方、「東京都におけるエネルギー需給構造の現状と将来展望に関する調査」(1994)に示された1990年のエネルギー需要推定値は、162,104Tcal/年と、85%に減少している。この値に基づき、神奈川県、千葉県、埼玉県における排熱量は、各資料に記された値に0.85を乗じたものを用いることとした。

以上の如く算出した東京都以外の人工排熱量の分布を図4-11に示す。

以上の(1)、(2)、(3)及び(4)で算出した値を合計し、シミュレーション対象地域における一日当たりの人工排熱量を図4-12、図4-13及び図4-14に示す。

[illegible]

図4-11 東京都以外の発生熱量

(kcal/m²/日)[illegible]

図4-12 顕熱発生量

(kcal/m²/日)

	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40		
39	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
38	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
37	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
36	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
35	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.5	11.6	9.7	0.0	0.0	0.0	4.2	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			
34	0.0	0.0	0.4	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.2	23.6	14.2	10.9	19.1	49.3	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			
33	0.0	0.0	10.5	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.7	10.0	48.8	124.1	76.9	15.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	16.8	14.5	21.6	55.5	44.3	20.2	15.2	23.3	1.8	1.1	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0			
32	3.2	2.2	16.0	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9	11.2	31.1	45.8	74.5	111.3	127.3	80.5	20.6	9.2	0.7	27.6	30.3	34.2	10.2	37.9	45.5	17.0	14.1	12.4	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			
31	1.7	16.6	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	7.7	0.0	13.8	94.6	18.9	11.3	10.6	17.3	119.3	146.6	40.0	107.9	82.0	66.5	67.2	18.9	44.2	100.7	59.2	71.4	20.5	26.3	12.4	26.5	9.6	16.6	0.0			
30	102.3	23.5	2.5	8.1	0.0	0.0	4.5	10.9	4.2	0.8	8.4	2.5	32.6	49.3	75.5	39.0	55.1	162.4	93.7	46.1	88.7	85.2	77.2	41.4	45.2	44.7	63.4	53.3	61.2	46.5	48.1	42.3	118.6	41.9	0.0	0.0	0.0	0.0		
29	60.8	26.2	26.8	5.9	0.7	1.2	2.8	7.0	14.4	13.0	11.8	63.2	18.7	14.1	37.1	30.3	41.2	43.7	46.0	62.7	84.2	125.3	92.0	34.1	17.8	15.3	19.1	13.2	145.0	55.7	32.0	33.0	48.6	22.3	4.9	0.0	0.0	0.0		
28	12.5	4.7	13.6	42.1	11.6	14.7	9.6	32.2	43.2	9.0	40.1	9.2	10.7	5.6	17.5	38.4	49.9	71.1	97.2	83.1	48.9	131.7	94.8	52.9	23.8	68.6	110.2	86.6	33.3	30.1	63.7	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
27	23.8	30.5	6.8	73.8	20.2	7.2	3.1	8.1	17.2	21.7	12.6	43.2	20.0	27.9	19.3	42.5	24.4	24.6	73.6	71.4	51.5	61.0	25.3	132.5	64.8	98.3	101.5	62.7	13.4	61.1	101.9	75.0	41.0	27.6	33.9	6.7	0.0	0.0		
26	18.8	23.3	76.0	55.6	11.9	9.4	12.4	15.8	8.7	17.3	7.0	35.4	21.7	72.7	79.2	28.2	23.1	65.1	590.4	729.8	184.6	134.3	154.1	46.9	112.8	124.7	54.3	17.5	55.6	11.5	84.2	55.6	28.6	24.9	111.2	12.0	0.0	0.0		
25	20.2	4.9	55.5	25.3	29.6	61.5	26.1	15.3	7.9	17.6	21.8	9.3	14.6	23.8	36.8	34.3	28.5	37.9	146.2	115.5	35.7	33.1	34.2	102.9	116.8	104.5	64.8	60.0	55.8	30.0	24.3	11.8	38.8	5.5	0.0	0.0	0.0			
24	21.9	13.3	58.2	20.5	22.5	64.8	3.3	3.9	21.4	77.8	11.5	10.3	9.9	17.7	25.2	10.5	25.4	109.7	239.9	58.4	119.1	95.9	78.0	82.1	141.9	242.8	331.2	88.6	75.6	107.2	42.5	16.0	73.4	100.4	13.9	15.6	1.5	0.0		
23	37.8	11.3	16.3	27.1	23.5	154.8	221.8	41.6	33.7	11.0	147.5	31.0	41.8	70.6	225.4	18.7	79.8	120.0	74.2	74.6	182.5	365.8	460.2	452.0	707.4	288.7	218.3	188.8	81.0	88.5	53.4	30.5	75.3	135.5	32.6	32.5	35.1	0.0		
22	40.0	12.5	8.2	41.8	29.7	25.3	3.7	10.8	20.8	6.2	5.4	45.9	34.7	27.8	41.8	37.0	235.3	768.0	400.0	260.0	229.3	478.2	740.2	1044.8	947.7	624.5	264.4	155.6	328.6	168.9	69.9	27.9	25.0	85.5	17.7	39.4	73.4	40.3	0.0	
21	8.8	8.8	52.0	27.2	27.7	165.6	113.2	8.3	9.5	30.1	72.3	17.6	7.1	61.5	75.3	34.2	432.3	1496.0	470.3	318.7	346.8	633.5	105.7	1729.6	1509.6	750.9	111.0	127.6	123.3	91.4	49.7	7.5	87.1	74.3	24.8	21.6	23.8	0.0		
20	4.0	5.7	38.7	20.4	19.2	56.2	8.9	14.1	32.1	29.5	21.3	27.3	24.1	27.7	25.4	112.1	59.1	53.8	295.9	242.4	503.1	785.9	395.7	1211.8	1670.2	652.0	139.8	72.3	39.8	71.4	60.2	59.4	59.4	40.3	16.9	0.0	0.0	0.0		
19	10.8	36.5	3.9	6.9	11.4	11.6	12.4	13.7	55.0	14.9	65.8	18.6	26.1	26.0	33.3	21.0	58.9	182.9	229.1	361.2	403.2	1382.1	1597.3	1684.1	1652.4	102.8	90.2	156.0	306.7	71.9	58.5	19.9	108.2	32.2	27.7	0.0	0.0	0.0		
18	9.2	15.6	12.3	47.5	17.4	68.8	36.7	28.3	8.1	18.0	29.9	5.4	5.3	28.5	17.1	34.6	760.6	489.7	122.3	308.9	444.2	889.9	255.3	666.4	78.4	154.4	87.1	76.1	101.9	12.8	7.2	78.6	69.3	10.7	0.0	0.0	0.0	0.0		
17	14.5	247.2	58.5	91.8	57.7	62.0	5.8	6.2	11.7	15.5	35.4	31.1	21.7	18.2	24.2	60.5	195.3	187.6	186.3	134.6	122.1	343.9	912.2	197.5	124.0	36.4	94.9	63.7	6.4	2.4	0.0	2.8	63.7	21.7	48.1	0.0	0.0	0.0		
16	11.5	24.2	35.0	18.2	38.9	38.5	14.4	3.4	18.1	12.3	19.6	12.4	36.0	43.3	76.2	77.2	47.9	120.4	186.2	78.4	88.7	505.2	422.1	8.3	57.7	16.3	24.4	69.7	19.9	29.7	40.0	0.7	17.3	24.0	14.7	0.0	0.0	0.0		
15	13.3	22.1	0.0	0.0	0.0	4.2	46.7	13.5	18.8	66.6	23.3	52.7	61.0	23.4	34.9	17.0	43.8	51.2	213.9	222.9	259.9	96.3	0.7	0.7	32.0	8.1	2.5	31.5	26.9	16.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
14	4.6	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	2.4	4.2	13.3	16.0	65.6	28.9	15.6	108.6	36.3	90.5	52.8	73.9	521.2	407.4	228.2	244.8	0.0	0.0	0.7	0.4	1.4	0.0	0.0	0.0	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.9	23.2	80.4	20.2	25.5	24.7	42.1	21.3	33.2	108.2	54.4	235.9	112.2	62.1	0.0	0.3	1.1	4.2	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.2	13.4	32.7	57.1	43.8	41.5	32.2	95.3	72.1	147.4	187.7	55.7	8.7	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.6	11.1	11.3	19.1	42.5	39.3	78.8	36.6	43.3	95.6	21.1	2.8	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0						

図 4-13 潜熱発生量

(kcal/m²/日)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
40	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8
39	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8
38	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8
37	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8
36	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8
35	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8
34	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8
33	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8
32	203.8	211.0	230.9	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8
31	235.2	295.4	225.3	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8
30	435.3	332.4	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8	203.8
29	377.4	322.1	372.8	258.4	203.8	266.1	324.8	367.0	375.2	358.1	434.7	724.0	427.1	409.1	504.4	534.8	603.0	620.9	630.0	716.5	751.2	862.0	634.6	463.5	409.6	475.2	447.5	464.3	785.8	638.5	507.6	479.2	480.4	422.7	320.2	320.2	320.2	320.2	320.2	320.2	
28	289.5	235.8	290.7	479.9	294.9	343.4	401.6	517.7	501.8	393.1	421.3	371.9	428.7	430.9	515.3	478.8	588.9	673.7	751.3	664.5	725.0	805.6	778.7	745.6	565.4	696.0	852.0	757.3	355.1	554.9	601.8	684.1	474.4	499.6	338.0	320.2	320.2	320.2	320.2	320.2	
27	396.4	292.5	327.2	423.0	352.4	309.3	397.8	404.8	386.8	473.0	432.0	538.5	468.5	554.6	569.4	601.2	572.2	625.7	755.4	777.5	740.5	773.0	587.7	885.4	806.3	728.0	712.2	653.1	359.4	572.1	674.7	622.8	386.7	516.0	668.8	422.1	320.2	320.2	320.2	320.2	
26	344.7	329.9	465.9	495.8	413.6	325.2	418.6	415.1	423.7	427.8	453.7	530.0	537.1	623.4	658.1	624.8	664.1	734.7	2011.5	2246.1	1054.3	832.3	954.6	678.2	961.1	940.4	753.6	408.5	751.0	361.7	693.6	509.0	421.1	517.4	922.2	418.6	378.4	378.4	378.4	378.4	
25	351.5	313.3	413.3	395.5	396.8	370.7	503.2	473.9	378.5	435.1	486.5	483.1	509.1	546.9	589.4	569.6	627.8	712.2	952.2	823.9	766.4	577.9	604.4	666.0	731.1	1024.4	944.6	688.3	771.8	637.9	358.6	651.0	485.3	395.7	631.7	377.8	378.4	378.4	378.4	378.4	
24	272.7	234.1	394.9	264.6	297.8	478.5	255.8	378.8	479.1	608.4	474.9	534.5	525.5	564.1	562.0	518.2	606.9	787.8	1099.3	701.2	739.2	802.2	759.2	632.9	669.8	1230.0	1387.5	749.9	814.3	788.8	537.4	392.1	771.9	707.7	466.1	474.3	341.9	378.4	378.4	378.4	
23	493.2	311.1	292.8	324.7	337.9	738.9	973.8	450.3	559.0	543.7	894.8	604.1	644.9	768.0	1067.6	585.5	765.0	877.8	821.9	709.3	1042.2	1373.0	1427.8	1493.2	2208.2	1371.8	1090.6	1056.0	849.9	856.3	720.5	498.1	652.4	804.4	462.8	516.3	491.2	378.4	378.4	378.4	378.4
22	472.2	335.4	321.1	391.0	430.2	499.0	297.1	331.6	531.3	478.7	488.7	565.7	656.3	553.0	710.8	668.8	1119.8	2255.0	1587.2	1206.7	1071.0	1626.6	2288.4	2958.7	2702.3	1990.9	1194.2	1038.0	1375.3	976.1	706.2	459.4	500.8	667.9	461.3	520.9	610.1	378.4	378.4	378.4	378.4
21	218.2	207.0	310.1	342.2	418.9	728.9	550.8	337.8	386.6	488.9	600.8	463.8	417.0	587.5	661.7	678.3	1529.0	3839.0	1567.0	1370.6	1354.6	2167.4	773.5	4376.8	3999.8	2400.5	895.9	1139.0	1238.3	1031.8	843.2	372.4	685.6	611.3	551.6	532.6	472.0	378.4	378.4	378.4	378.4
20	214.3	235.1	277.1	292.6	294.8	348.4	278.9	231.5	432.4	439.4	428.3	538.8	516.3	570.2	643.1	916.9	747.2	545.2	1180.3	882.6	1589.3	2322.4	1414.8	3271.8	4394.8	2140.8	836.5	783.5	972.9	969.9	643.6	498.5	635.4	590.4	448.1	294.0	378.4	378.4	378.4	378.4	378.4
19	292.0	262.1	185.9	286.7	249.2	293.7	329.6	359.8	565.6	507.3	578.6	549.9	498.9	551.9	652.9	633.7	746.3	700.4	1162.8	1496.2	1773.5	3673.4	4157.3	4456.3	2230.6	999.7	816.5	899.2	1328.7	669.8	575.9	489.3	938.9	582.5	445.6	262.0	262.0	262.0	262.0	262.0	262.0
18	326.5	295.9	299.3	427.2	296.4	497.2	448.2	381.9	413.9	394.3	483.5	420.4	526.1	531.9	697.5	493.1	570.8	2327.2	1720.1	1118.9	1502.9	1762.2	2800.9	1129.4	1158.3	793.3	744.0	613.3	485.2	519.6	320.7	633.2	804.6	727.6	418.7	262.0	262.0	262.0	262.0	262.0	262.0
17	223.9	868.4	420.9	624.4	504.2	499.7	351.8	369.1	442.6	447.9	537.5	621.7	552.2	513.4	590.4	648.6	988.0	957.8	1032.0	1060.3	1118.7	1563.0	2721.0	997.7	903.5	536.6	586.9	976.9	337.5	301.8	293.2	341.2	1117.5	1101.5	701.4	262.0	262.0	262.0	262.0	262.0	262.0
16	270.8	295.6	300.2	320.2	406.9	437.8	348.7	290.1	495.2	499.2	489.3	463.3	567.8	606.0	753.7	708.9	584.7	894.9	955.0	835.5	1026.4	1878.2	1568.5	11.8	128.1	329.4	406.0	452.9	342.2	359.5	382.0	294.8	1493.7	1420.9	521.2	262.0	262.0	262.0	262.0	262.0	262.0
15	217.6	226.3	174.7	174.7	174.7	174.7	217.9	426.0	374.4	396.6	498.7	351.5	521.6	649.0	549.0	636.9	504.3	656.8	637.5	1030.0	1159.0	1210.9	1185.4	785.4	1.8	0.8	378.6	320.0	5.5	70.0	352.9	36.9	0.0	0.0	262.0	262.0	262.0	262.0	262.0	262.0	
14	151.3	174.7	174.7	174.7	174.7	174.7	291.3	297.3	295.0	348.4	390.9	587.1	488.2	453.1	555.6	548.8	708.3	659.8	758.2	1941.8	1580.5	1111.8	1019.2	0.0	294.8	294.0	296.3	0.0	0.0	301.8	0.0	0.0	0.0	262.0	262.0	262.0	262.0	262.0	262.0	262.0	262.0
13	174.7	174.7	174.7	174.7	174.7	174.7	213.4	270.8	396.5	617.4	500.4	508.2	545.9	607.3	533.1	722.8	929.2	804.8	977.4	809.1	469.7	0.0	294.1	295.6	302.6	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
12	174.7	174.7	174.7	174.7	174.7	174.7	174.7	174.7	174.7	174.7	174.7	582.2	582.2	582.2	266.3	451.7	531.2	614.8	611.8	616.5	704.0	879.8	801.0	894.4	995.7	487.7	17.6	0.0	293.2												

3. 2 シミュレーション手法の設定

3. 2. 1 シミュレーションシステムの概要

シミュレーションシステムの設定に当たっては、「都市の熱環境に影響を与える要素として、地表面の熱収支のほか、気流の影響を受けた熱の水平移流の効果が大きい」（浦野・森川・西村、1994）とする結果を踏まえて、地表面の熱収支だけでなく熱の水平移流を考慮したシミュレーションシステムを組むこととした。シミュレーションモデルは、浦野ら（Urano, Morikawa and Nishimura, 1995）による大気乱流プログラムを用い、スーパーコンピュータ（富士通：VP-2600）により計算を行った。

もとより熱の水平移流を求めるシミュレーションシステムとしてはアメリカのロス・アラモス研究所でYamadaら（Yamada and Bunker, 1988）により開発された大気乱流プログラムHOTMACがある。これは3次元の乱流モデルで、気象学の分野で標準的に用いられているYamada-Mellorの大気乱流モデルの理論を基礎に開発されたものである。その特徴としては、「ensembleモデルであること、乱流クロージャー方程式を使っていること、複雑地形上の流れに多くの検証例があること等」（横山、1992）が挙げられる。これに基づき、浦野ら（Urano, Morikawa and Nishimura, 1995）は、国土地理院が作成した日本全国の標高、土地利用データ等を組み合わせて新たな改良システムを開発し、関東周辺の大気シミュレーションを行い、その有効性を検証した。すなわち本研究におけるシミュレーションシステムは、Yamadaらが開発した大気乱流プログラムHOTMACを浦野らが改良したものである。

本研究で用いたシミュレーションシステムのフローを図4-15に示す。

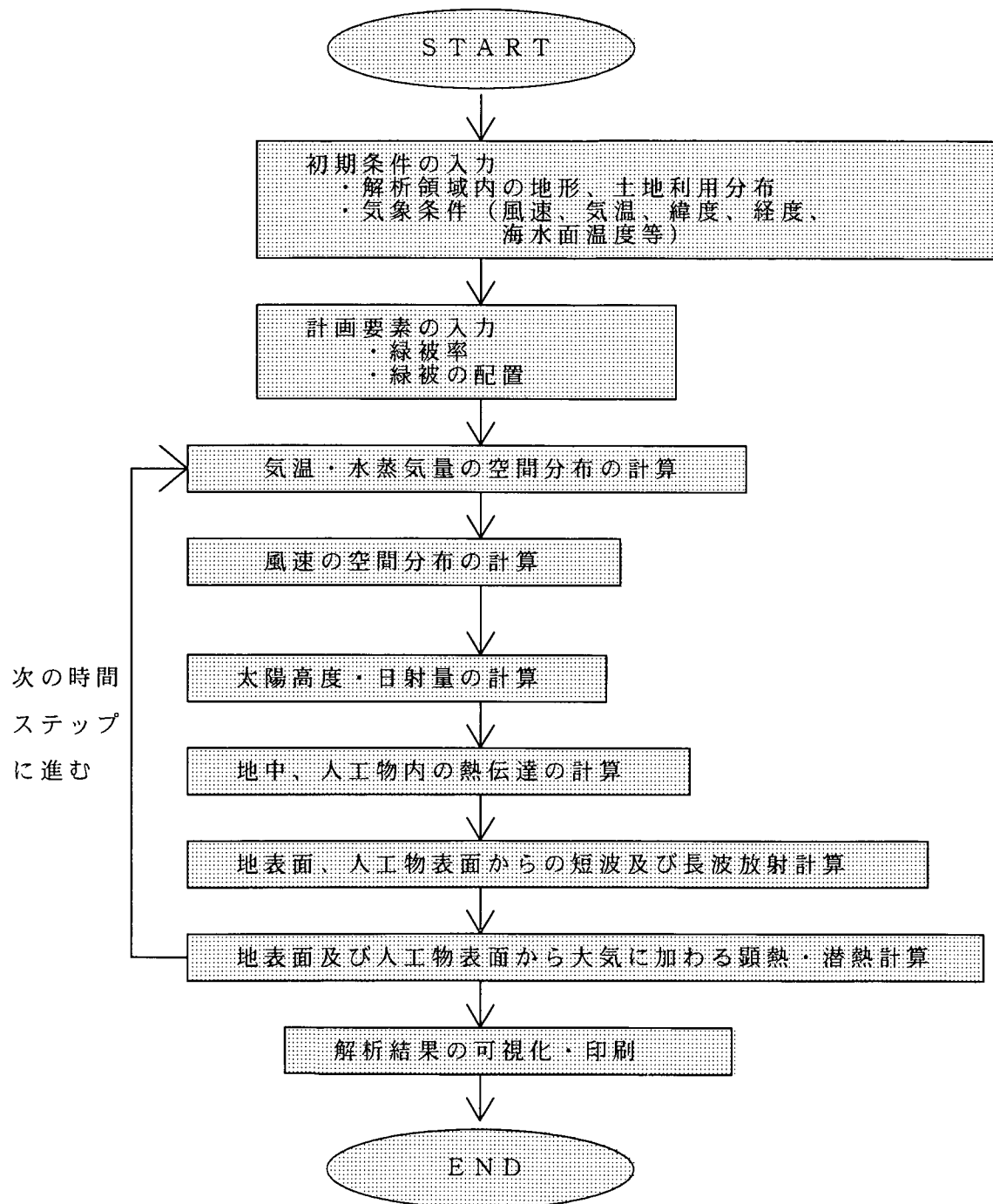
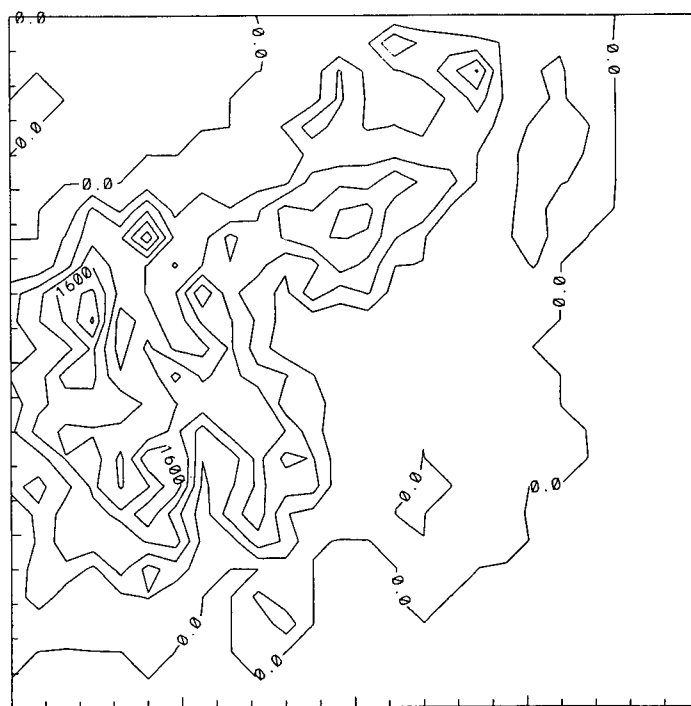


図4-15 シミュレーションのフロー

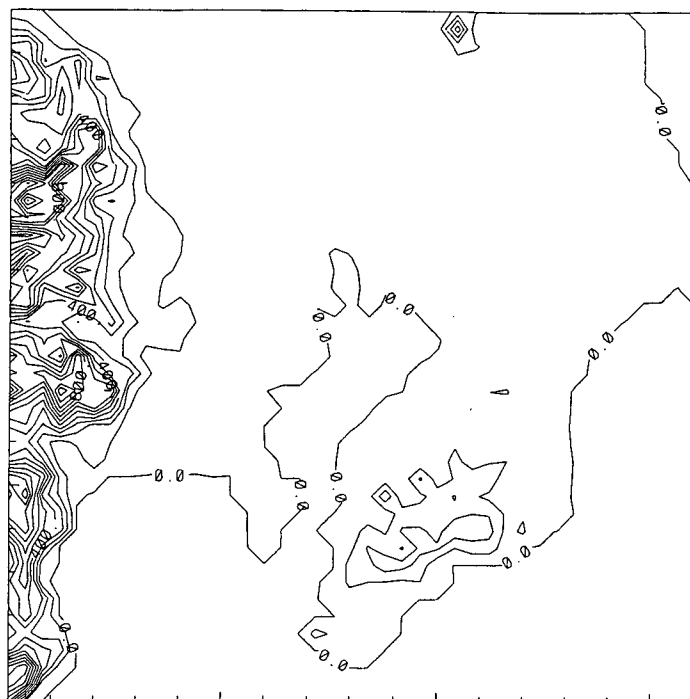
シミュレーションの解析領域については次のような観点で設定した。すなわち本研究で解析対象とした東京都区部が位置する関東平野の海陸風は、中部山岳地帯の影響を強く受けている。そのため、海陸風を正確に再現するためにはシミュレーションの解析領域を、これら山岳地帯を含む数100km以上の範囲に取る必要がある。しかしながら、実際の計算作業を考えた場合、このスケールで最小1 kmメッシュまでの大気運動を一度に求めることは、コンピューターのメモリー容量を越える作業となり、実行不可能である。

そこで、Yamada and Bunker (1988) によるnested gridの手法を用いて計算を行った。気流は広域的な気流との間に相互作用があるため、対象領域を、まず関東地方を中心とした 400×400 km (GRID-1)、次に 160×160 km (GRID-2)、最後に 40×40 km (GRID-3) の3段階 (図4-16、図4-17、図4-18) にとり、各々の計算結果を互いに連携させて処理している。シミュレーション作業は、はじめに 400×400 kmの範囲で気流の初期条件を計算し、その結果をもとに 160×160 kmの範囲の気流を計算し、さらにその結果から 40×40 kmの範囲の気流を求める、という3段階のステップを踏んだ。



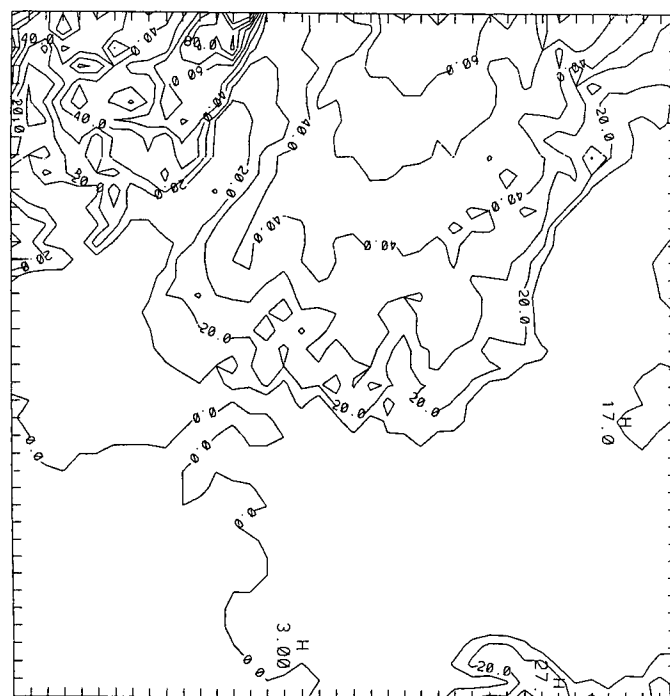
(注) 図中の等値線は標高を表す。(単位 : m)

図4-16 解析領域 (GRID-1)



(注) 図中の等値線は標高を表す。(単位：m)

図 4-17 解析領域 (GRID-2)



(注) 図中の等値線は標高を表す。(単位: m)

図 4-18 解析領域 (GRID-3)

鉛直方向については、いずれの解析も高度5,000mまでを16段階（15層）（表4-9）に分割して計算を行った。本研究では、高さ方向のメッシュのうち微気象の条件変化の影響を最も受けやすい地面に直近の位置を避けるとともに、できるだけ生活空間に近い位置を採用するという観点から、地面に最も近い高さの2mを避けて、その次に地面に近い高さである地上6mにおける気温分布の計算結果を用いて考察を行った。

表4-9 上空の鉛直メッシュの高さ

単位：m

番号(k)	格子の境界(z)	物理量の定義位置(z m)
16	5000	4559
15	4139	3739
14	3359	3000
13	2661	2342
12	2044	1767
11	1510	1273
10	1057	861
9	685	530
8	395	281
7	187	114
6	61	28
5	16	14
4	12	10
3	8	6
2	4	2
1	0	0

地表面境界条件としての土地利用別の効果は、12種類の分類それぞれに対して、アルベド、土壤湿度、比熱、熱拡散率、密度を設定した。表4-10に示すこれらの値は、Pielke (1984)、Yamada (1994)を参考に定めたものである。

人工排熱による効果は、地表面の固体最上層に熱量として与えた。

地表面の粗度長は0.1で一定とし、建物用地における建築物の放射、大気の運動量、熱量に与える効果については無視した。

緑被については、全て高さ10mの樹木に覆われているものと仮定した。また、大気の運動に与える影響については建築物の場合と同様に無視した。

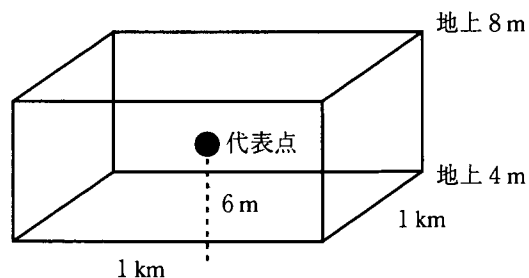
放射の解析は、樹木層上端での熱収支式を解くとともに、樹木層上端から樹木層内に入射した短波放射は樹木層で吸収されるものとみなし、大気への加熱量に変換した。本研究のシミュレーションでは、蒸発量4mm/日に相当するように、ボーエン比（顕熱量と潜熱量の比）を0.2とした。

各メッシュにおいて、樹木の場合の熱収支と裸地の場合の熱収支を別々に求め、緑被率に合わせて荷重平均することにより、熱の寄与量を計算した。

表 4-10 土地利用区分と各パラメータの設定値

土地利用区分	アルベド	土壌湿潤度	緑被率	比熱	熱拡散率	密度
田	0.2	1	0.3	4.18	$1.00E-15$	1
畑	0.1	0.9	0.3	0.762	$1.05E-07$	1.56
果樹園	0.2	0.8	0.7	0.762	$1.05E-07$	1.56
その他の樹木	0.2	0.8	0.7	0.762	$1.05E-07$	1.56
森林	0.15	0.9	0.9	0.762	$1.05E-07$	1.56
荒れ地	0.2	0.7	0.5	0.762	$1.05E-07$	1.56
建物用地	0.15	0.5	0.2	0.91	$1.07E-08$	2.23
幹線交通用地	0.1	0.5	0	0.915	$4.87E-09$	2.03
その他の用地	0.2	0.7	0.5	0.762	$1.05E-07$	1.56
内水地	$-0.0139+0.0467\tan Z$	1	0	4.18	$1.00E-15$	1
海浜	0.3	0.9	0.5	0.588	$6.12E-09$	1.72
海水域	$-0.0139+0.0467\tan Z$	1	0	4.18	$1.00E-15$	1

解析で得られる気温の値の意味については次のように考えた。この解析では、本来連続して変化する各物理量（時間的・空間的）を離算化（時間的には数秒、空間的には水平的に $1 \times 1 \text{ km}$ 、鉛直的に数 m ～ 数 10 m）して解を求めている。したがって、解析で得られる気温の値の意味は、時間的・空間的に「平均化」された値ということになる。解析結果の高さ 6 m の気温は、水平面で $1 \times 1 \text{ km}$ 、高さ 4 ～ 8 m の範囲の空間で平均された値である。解析における気温の概念図を示す（図 4-19）。ここで気温は、ある境界条件下での移流、拡散、熱等の要因の影響を受けて形成されるものとして求めている。気温の形成要因の概念図を示す（図 4-20）。



1 km × 1 km × 4 m の直方体の平均温度
を代表点の温度とする

図 4-19 解析における気温の概念

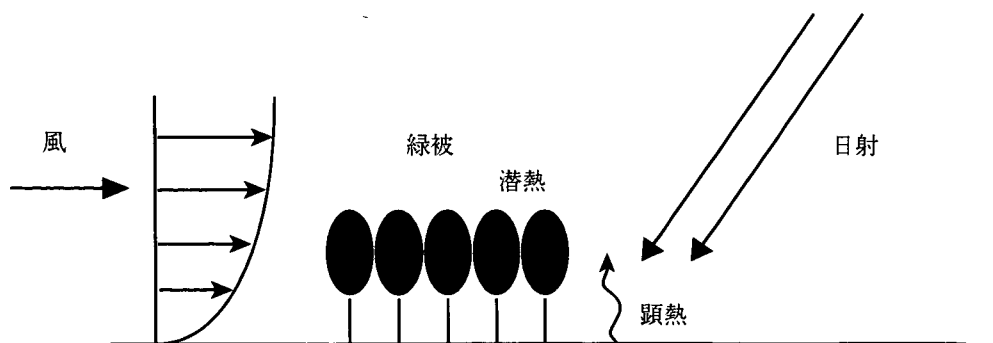


図4-20 気温形成の要因

3. 2. 2 初期条件の設定

解析の初期条件は次の如くである。

- ① 時期は、一年中で最も高温である夏季のうち、建築に必要な冷房負荷の計算の基準となる7月29日（1月1日から210日目）とした。
- ② シミュレーションの開始時刻は午前6時とし、シミュレーションの想定時刻は、9時、12時、15時の3つの時間帯とした。これらの時刻は、シミュレーション結果と気温の実測データを比較し精度を検証するためにアメダスの観測時刻に合わせたものである。本研究では、主に、気温の日変化の中で気温が最高となる14時に最も近い15時の計算結果を用いて解析し、考察した。
- ③ シミュレーションの開始時刻における温度は、高さ2mにおいて、対象地域全体がこの地域のほぼ平均気温である22℃とした。
- ④ シミュレーションの開始時刻における風速については、地上は無風とした。上空にはこの季節に南からの季節風が絶えず吹いているが、ヒートアイランド現象は経験的に上空の季節風が弱い時に顕著であると言われているため、上空（高さ10m）の風は極めて弱い2mの南風とした。

3. 2. 3 評価対象範囲の設定

予備的に行った現況での解析結果を検討した結果、本研究で解析対象とした40×40km圏内のうち、図4-18で左上角（北西端）に示される部分で、明らかに異常と考えられる高温地域が認められた。これは、nested gridを用いた場合の欠陥である、計算領域の境界付近での誤差が大きく現れたものと考えられる。特に北西端で顕著になったのは、この部分が大気流の収束帯にあたるため、もともと風速が非常に小さいことが原因と考えられる。

いずれにしても、この部分の結果を全体の評価に加えることは、本論の結論部分に多大な影響を与えることとなり、誤差の増大につながることが明らかと判断されたので、北西端の約10×10kmの範囲に現れる弱風、高温域については解析上、評価対象範囲から外すことにした。

3. 2. 4 緑被の条件設定

3. 2. 4. 1 条件設定の要点

緑被の条件設定に当たり、都市における緑被の量及び配置のあり方に関する要点を次の如く整理した。

(1) 緑被の量に関する要点

第Ⅲ章の結果によれば、緑被の量が増加するほど熱環境は改善されることになる。一方、都市における緑被の計画に当たっては、都市の安全性と快適性を確保しながら、人間の居住・活動と自然環境

とを如何にバランスさせるかが問題であり、その数値の設定の仕方が重要である。それも、①現実的な数値と、②できることなら確保したい望ましい数値がある。そのため、本研究では①の観点からは当面の目標数値として「緑のマスタープラン」に示された数値を、②の観点からは既往研究に示された数値を参考として条件設定する。

①の当面の目標値に関しては、「緑のマスタープラン」における確保すべき緑地の目標水準は、市街化区域の周辺に計画する緑地で隣接性、地形的一体性、緑地の同質性等から市街化区域内の緑地と同等の効用を有するものを含めて、原則として、市街化区域面積に対しておおむね30%以上を標準とすることとされている。ここで言う緑地とは、自然的環境を有するオープンスペースとして制度上緑地としての永続性が将来とも担保されているもの及び将来担保され得るもの、社会通念上緑地として現在及び将来とも永続性を有するものを対象としている。具体的には、都市公園、公共施設緑地（河川緑地、道路環境施設帯、市民農園等）、民間施設緑地（公開空地、開放している企業グラウンド、社寺境内地等）などの施設緑地及び地域制緑地等（緑地保全地区、風致地区、緑化協定による緑地、条例による緑地等）を指す（図4-21）。

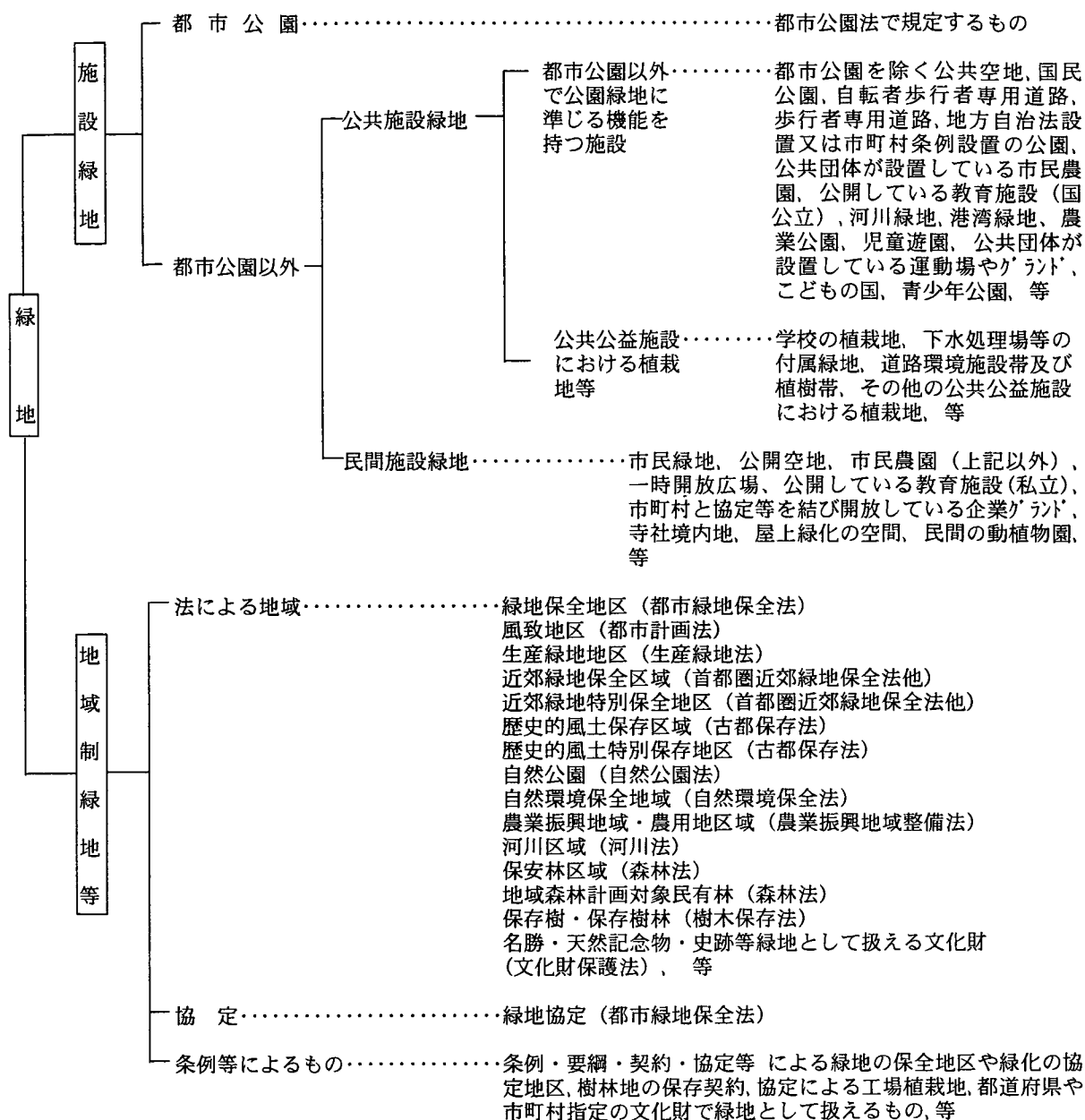


図4-21 緑のマスタープランにおける緑地

（出典）（株）日本公園緑地協会 編集、建設省都市局都市計画課・公園緑地課 監修（1996）、緑の基本計画ハンドブック 改訂版

②の望ましい目標数値に関しては、緑被の必要量に関する各種の学説を整理した。それぞれ基本とする概念や根拠は異なるが、目標値として概ね30%から40%、できれば50%ないし60%が望ましいとされている（表4-11）。なお、表中では文献を要約したため数値としては20%台も見られるが、望ましい目標値としては30%であると理解される。

表 4-11 緑被の目標数値

氏 名	項 目	目 標 値
中 島 巖	緑被率	30% (出典) 1
田 中 隆 壮	緑地量	22%~30% (出典) 1
吉 良 竜 夫	都市緑地	市街地全面積の 3 ~ 4 分の 1 (出典) 1
沼 田 真	みどりに代表された自然	20%~30% (出典) 1
品 田 穰	緑地率	50% (出典) 1
進士五十八	自然面率	50%~60% (出典) 2

(出典) 1. (株)日本公園緑地協会 編集、建設省都市局都市計画課・公園緑地課

監修 (1996) : 緑の基本計画ハンドブック 改訂版

2. 進士 (1987) : 緑からの発想

世界の都市の中でも緑被が豊かとされるウィーン (市域全体の緑被率は約40%) での居住経験から、快適な居住環境として少なくともウィーン並みの緑被が必要と確信する。ウィーンではそれでも不足として現在なお緑化を推進しており、上記の学説と併せて検討した結果、本研究では緑被の目標値の下限として40%、できれば50%が望ましいとする。

以上のことから、シミュレーションに際しては、緑被の量に関しては当面の目標値として緑被率30%、望ましい目標値の下限として40%を条件設定する。

(2) 緑被の配置に関する要点

温度低減の効果が大きい緑被の配置として、次の4つのケースを想定した。

① 風上への配置

ドイツのシュツットガルト、カールスルーエ、ミュンヘン、フライブルク、フランクフルト、ボン、オーストリアのウィーン等の都市では、都市計画に都市気象を制御する考え方が導入されており、緑被の計画にあたっては都市に冷たく新鮮な空気を送り込むために風向が考慮されている。

このうちシュツットガルトでは、都市気象の改善や大気汚染の緩和を目的として、市街地における卓越風の風向や丘陵から谷を下る冷気流の方向など自然条件を活用した計画がたてられている (図4-22)。また風の通り道となる「風のみち」を活かして緑被の導入を図り、オープンスペースを確保するなど各種の手法を実施している。シュツットガルトの都市整備計画では森林、公園、道路、建築物等の再配置を総合的にとらえ、市街地周辺の丘陵地帯における緑地の保全・整備、植林による冷気の溜まる「空気ダム」の形成などを図るほか、立地によっては建て替え以外の建築を禁止し、建築物に高さや間隔を規制するなどきめ細かい対策を行っている (一ノ瀬、1993)。

このような事例を参考にすると、風を利用して緑被を配置すれば効果が上がる可能性があると考えられる。



凡 例

- | | | | |
|---|-----------------|---|--------------|
|  | 森林・緑地 |  | 山・谷の風システム |
|  | 住宅地・商業
・工業用地 |  | 空気の通り道(非汚染) |
|  | 水域 |  | 空気の通り道(大気汚染) |
|  | 道路 |  | 風配図 |
|  | 鉄道 |  | 大気負荷風配図 |

0km 5km



(出典) Landeshauptstadt Stuttgart (1991)、Umweltatlas・Klima Klima-Analyse、から作成した。

(注) 図中の等値線は標高を表す。(単位：m)

図4-22 気象を考慮した都市計画図(シュツットガルト)

一方、シュツットガルト、ウィーン等の都市は盆地型の地形に位置しているが、本研究の対象である東京都の場合は海に面し背後には丘陵地さらには広大な平野部を控えるなど、ドイツ、オーストリアにおけるこれらの都市とは自然条件を異にしており、むしろ海陸風の影響を考慮するべきである。

以上のことから、東京都の場合、風上である臨海部に緑被を設けて低温域をつくれば効果が大きいと考えられる。

② 河川沿いへの配置

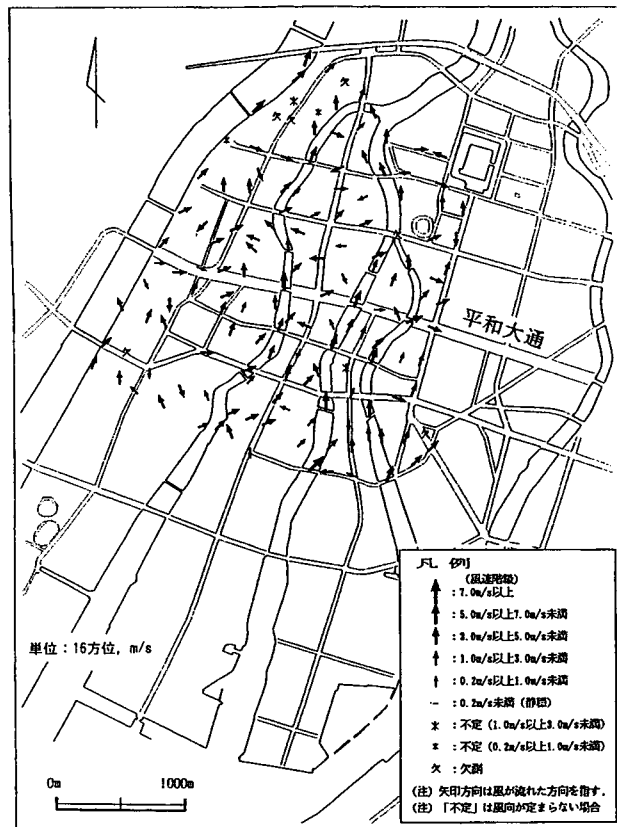
河川は、気温を冷却する効果をもち、風の通るオープンスペースとして機能するなど都市気象の制御に寄与すると考えられる。都市政策的にも、河川は都市におけるオープンスペースとして位置付けられ、冷たい空気をオープンスペースに沿って都市に導入するために河川沿いの緑被を増加させることが推奨されている。

広島の本田川では複数の河川沿いに低温域が明瞭に認められ、また、河川沿いが海風の通り道（「風の道」）になっており、海風の内陸部への進入の経路として効果的に機能している（図4-23）。したがって、河川を、①冷たい空気の通り道として活用するとともに、②水面上の空気をさらに冷却するスペースとして活用する手法が効果的と考えられる。

また、水面と緑被の相乗効果を狙って、③河川沿いに緑被を配置し、緑被によりさらに空気を冷却する、という手法も効果的と考えられる。仙台の広瀬川における温度の横断分布を見ると、左岸側130mまでは比較的低い温度で、それに隣接する市街地で一度高温化し、その後、街路樹（青葉通り）の影響で温度は徐々に低下していることが認められる。また、右岸側は、森林（青葉山）の存在の影響で、広範囲に低温化している（図4-24）。

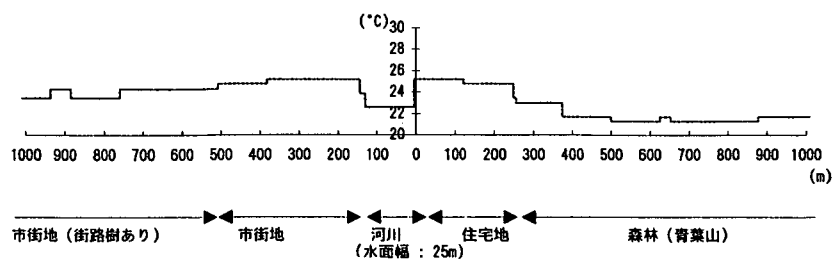
これから類推して、河川沿いの緑被を十分に確保すれば、より効果的であろう。

以上のことから、河川沿いの緑被も大きな効果を持つと考えられる。



(出典) 建設省河川局河川環境課・建設省土木研究所(1995)：第49回建設省技術研究会論文集

図 4-23 風向・風速の平面分布(太田川)(平成7年8月11日14時)



(出典) 建設省河川局河川環境課・土木研究所都市河川研究室(1996)：第50回建設省技術研究会論文集

図 4-24 地表面温度の横断分布(広瀬川)(平成6年7月27日)

③ 都心部への配置

最も発熱源が集中し、人工排熱が大量に発生する都心部に緑被を配置することも、効果が大きい可能性があると考えられる。

④ 均一な配置

緑被による熱的影響のみを考えた場合、緑被を分散させて配置するのがよいという考え方があり、

全域の緑被率が等しくなった場合に効果が最も大きくなる可能性があると考えられる。

(3) 仮説

以上の検討を経て、都市の熱環境改善に資する緑被のあり方として、次の仮説を設定した。

- ① 現況の緑被率を増加させた方が効果的である。
- ② 同じ緑被率でも重点的に緑被の配置を行った方が効果的である。ここで重点的な緑被の配置とは東京都区部の場合、「風上配置」、「川沿い配置」、「都心部配置」のことであり、どのケースも均一的な緑被の配置（「均一配置」）よりも効果的である。また、これらの効果の度合いは異なり、そのうち最も効果的なケースを定量的に検出することは可能である。
- ③ 望ましいケースとして、「東京都区部における平均の緑被率は40%で、かつ複合的に緑被を配置するケース」を提案できる。

3. 2. 4. 2 条件設定

以上の仮説を立証するため、緑の配置及び量を変更要素として次の如く6ケースの条件を設定して、シミュレーションを実施することとした。

(1) 均一の緑被率（緑被率30%）

東京都区部の中に位置するメッシュの緑被率を一律30%とするケースである。区部全域の平均緑被率は30%である。緑被率を増加させた以外、他のパラメーターはすべて現況のままである。（図4-25）

(2) 臨海部に重点を置いた緑被率の増加

東京湾に面した臨海部の120メッシュについて、緑被率を38%ずつ増加させるケースである。区部全域の平均緑被率は30%である。緑被率を増加させた以外、他のパラメーターはすべて現況のままである。（図4-26、図4-27、図4-28）

(3) 河川部に重点を置いた緑被率の増加

多摩川、荒川沿いの部分（河川部）の120メッシュについて、緑被率を38%ずつ増加させたケースである。区部全域の平均緑被率は30%である。緑被率を増加させた以外、他のパラメーターはすべて現況のままである。（図4-29、図4-30、図4-31）

(4) 都心部に重点を置いた緑被率の増加

東京都23区の中央部分（都心部）の120メッシュについて、緑被率を38%ずつ増加させたケースである。区部全域の平均緑被率は30%である。緑被率を増加させた以外、他のパラメーターはすべて現況のままである。（図4-32、図4-33、図4-34）

(5) 均一の緑被率（緑被率40%）

東京都23区に位置するメッシュの緑被率を一律40%としたケースである。区部全域の平均緑被率は40%である。緑被率を増加させた以外、他のパラメーターはすべて現況のままである。（図4-35）

(6) 複合部に重点を置いた緑被率の増加

以上の(3)、(4)及び(5)の3つのケースを複合的に合体して、臨海部、河川部及び都心部を合わせた複合部の合計282メッシュについて、緑被率を38%ずつ増加させたケースである。区部全域の平均緑被率は40%である。緑被率を増加させた以外、他のパラメーターはすべて現況のままである。（図4-36、図4-37、図4-38）

以上の(1)から(6)のケースを一覧表にして表4-12に示す。

表 4-12 各ケースの条件設定一覧

番号	緑被の配置の手法	緑被率	略 称
(1)	均一に配置	30%	均一30%緑被
(2)	臨海部に重点を置いて配置	30%	臨海部重点緑被
(3)	河川部に重点を置いて配置	30%	河川部重点緑被
(4)	都心部に重点を置いて配置	30%	都心部重点緑被
(5)	均一に配置	40%	均一40%緑被
(6)	複合部に重点を置いて配置	40%	複合部重点緑被

(注) 複合部とは臨海部、河川部、都心部を複合した区域である。

ここで具体的な区域のとり方について説明を加える。ケースの(1)、(2)、(3)及び(4)では区部全域の緑被率を30%とするため、現実性を考慮して、ケースの(2)、(3)及び(4)における増加させる緑被率を38%、増加対象メッシュ数を120（東京都区部全域の約1/5）とした。この結果、臨海部は海岸線から約4 kmの区域、河川部は荒川、多摩川沿いの約2 kmの区域、都心部は霞ヶ関から半径約6 kmの区域となった。ただし各ケースにおいて緑被の増加メッシュ数を120に統一するために、実際に設定した区域には、前述の区域に比べ若干の凹凸が生じている。また、設定した区域は一部他県にかかっているが、メッシュ内で増加させる緑被率は東京都区部内で38%が確保されるものとした。

図4-25 緑被率設定データ (単位: %)

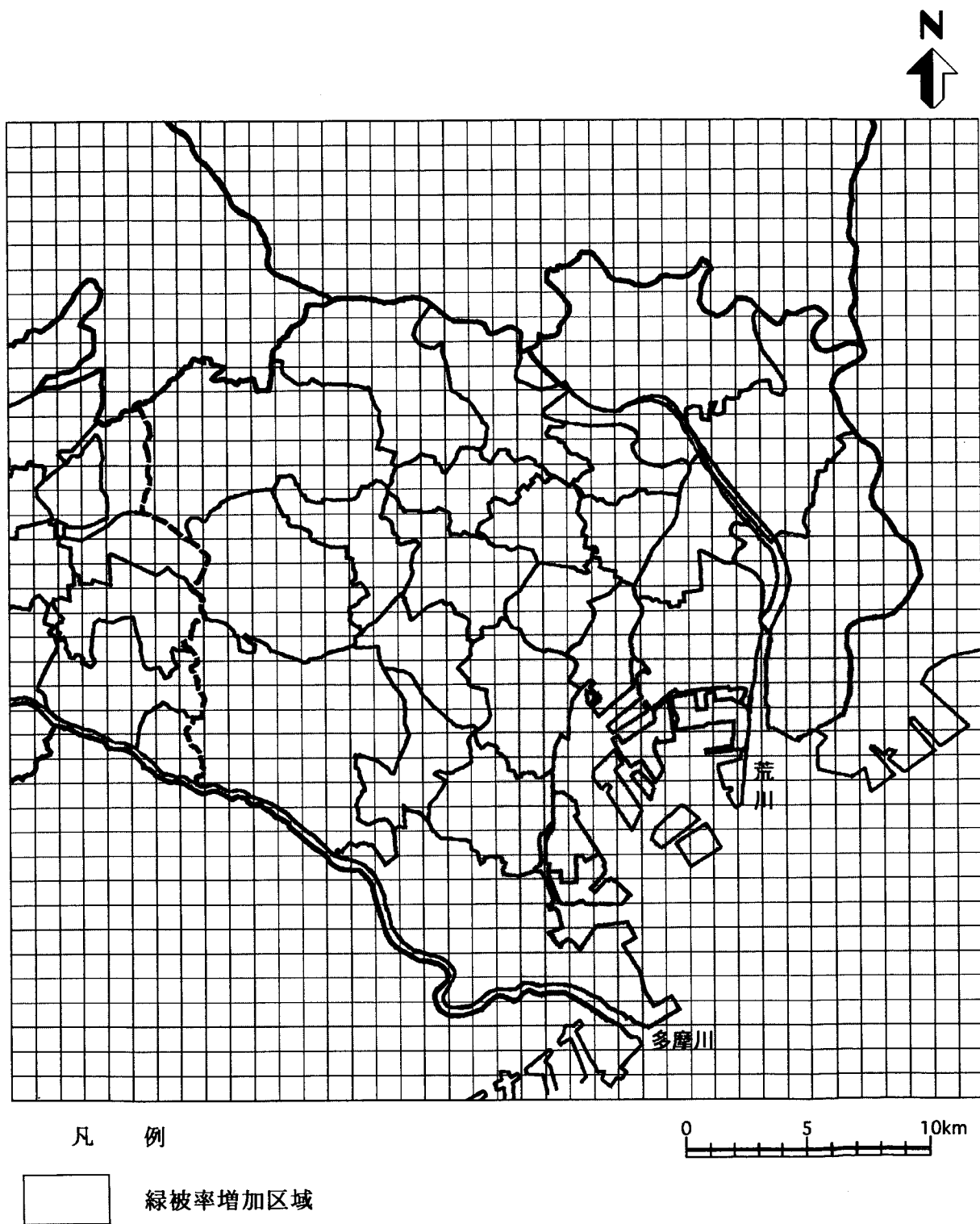


図 4 - 26 臨海部に重点を置いた緑被率の増加区域

図 4-27 緑被率増加データ (臨海部重点緑被) (単位: %)

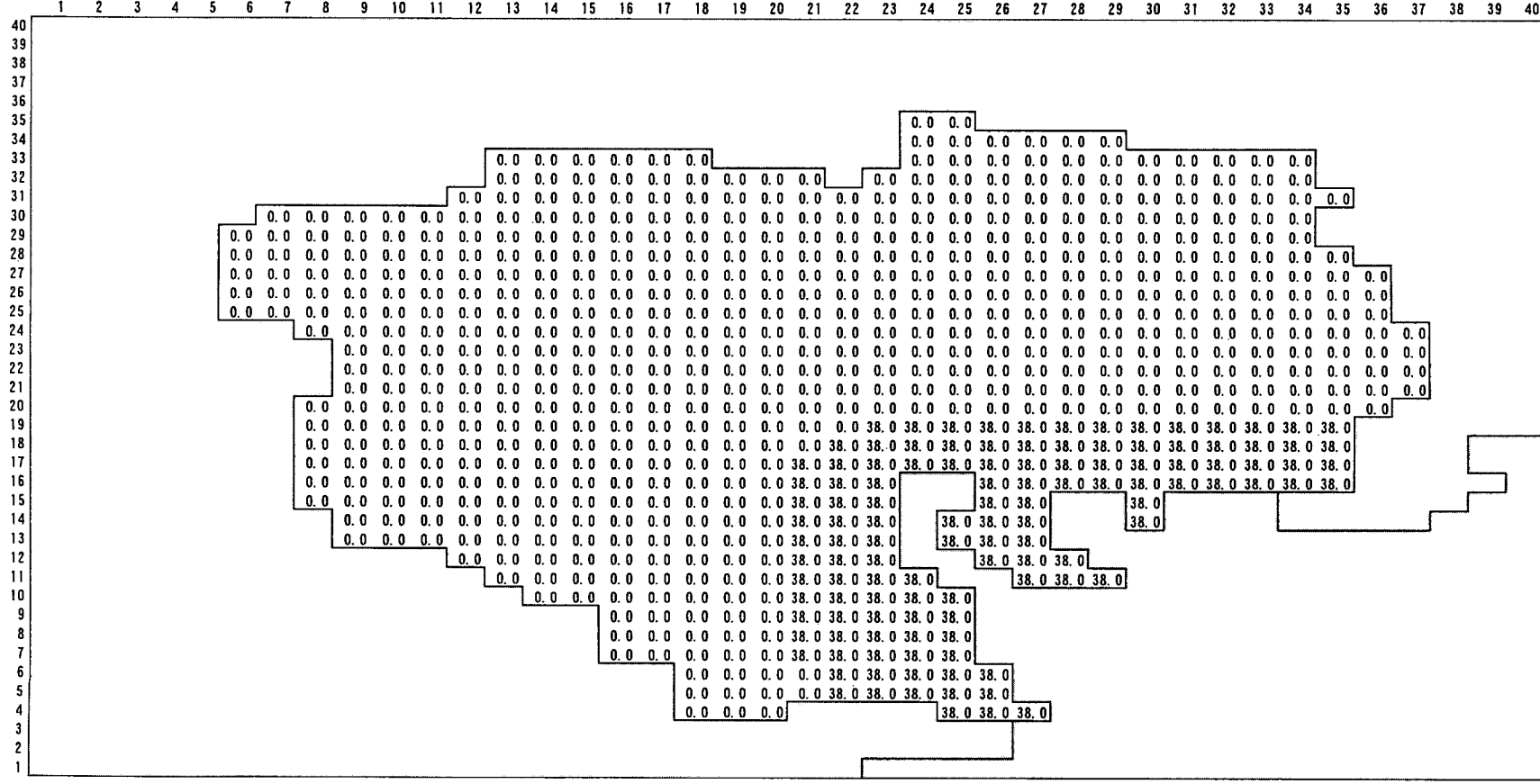
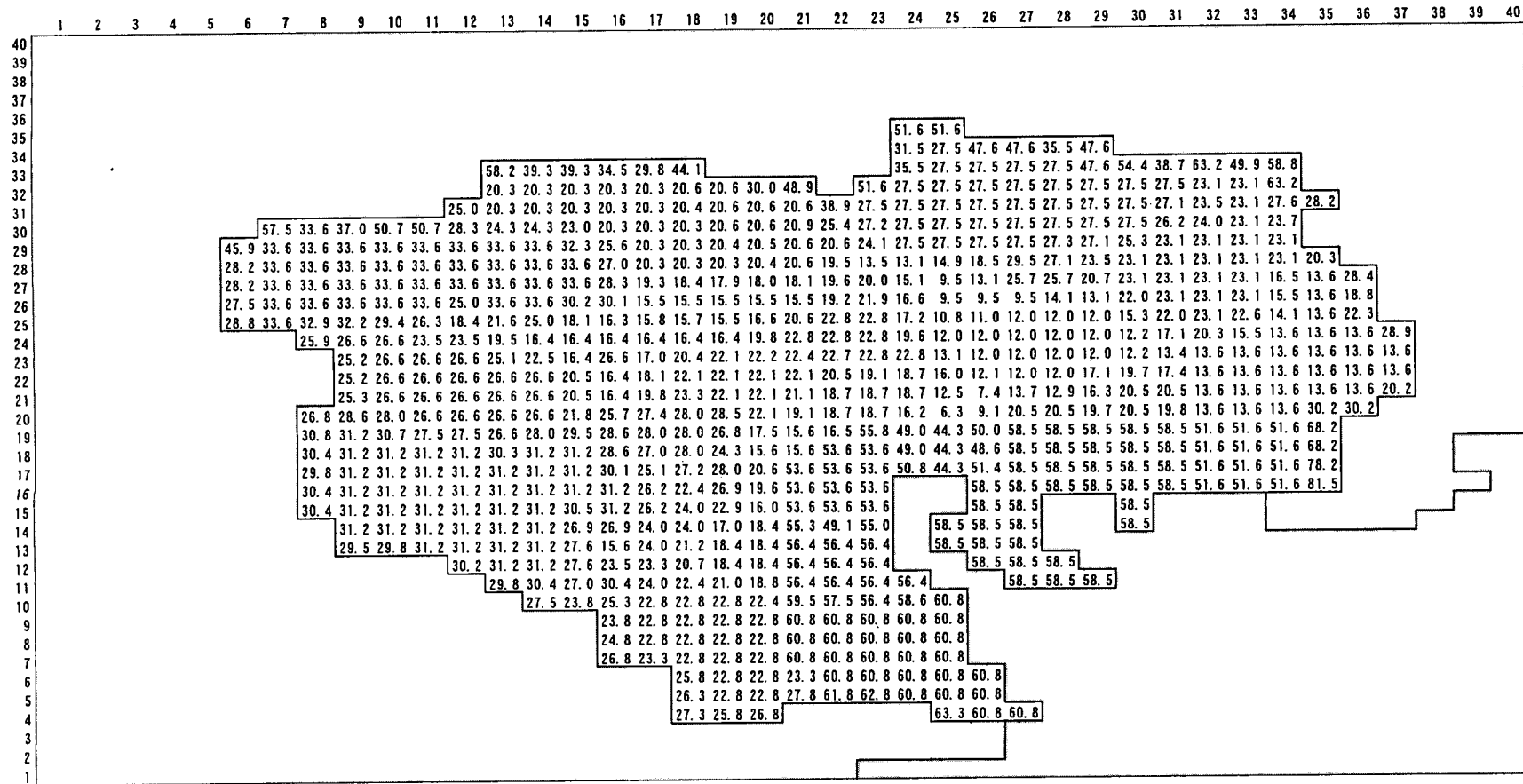


図 4-28 緑被率設定データ (臨海部重点緑被) (単位: %)



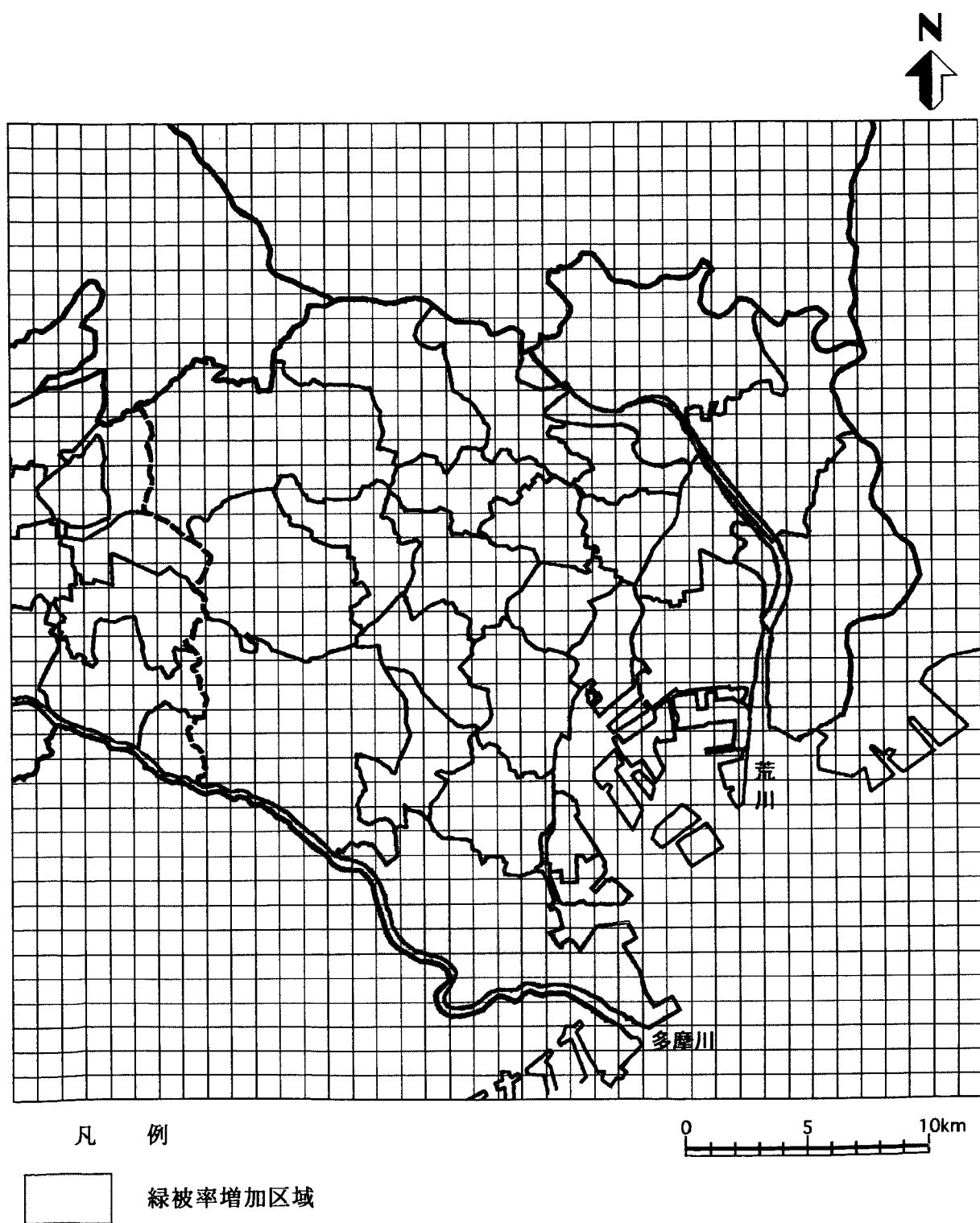
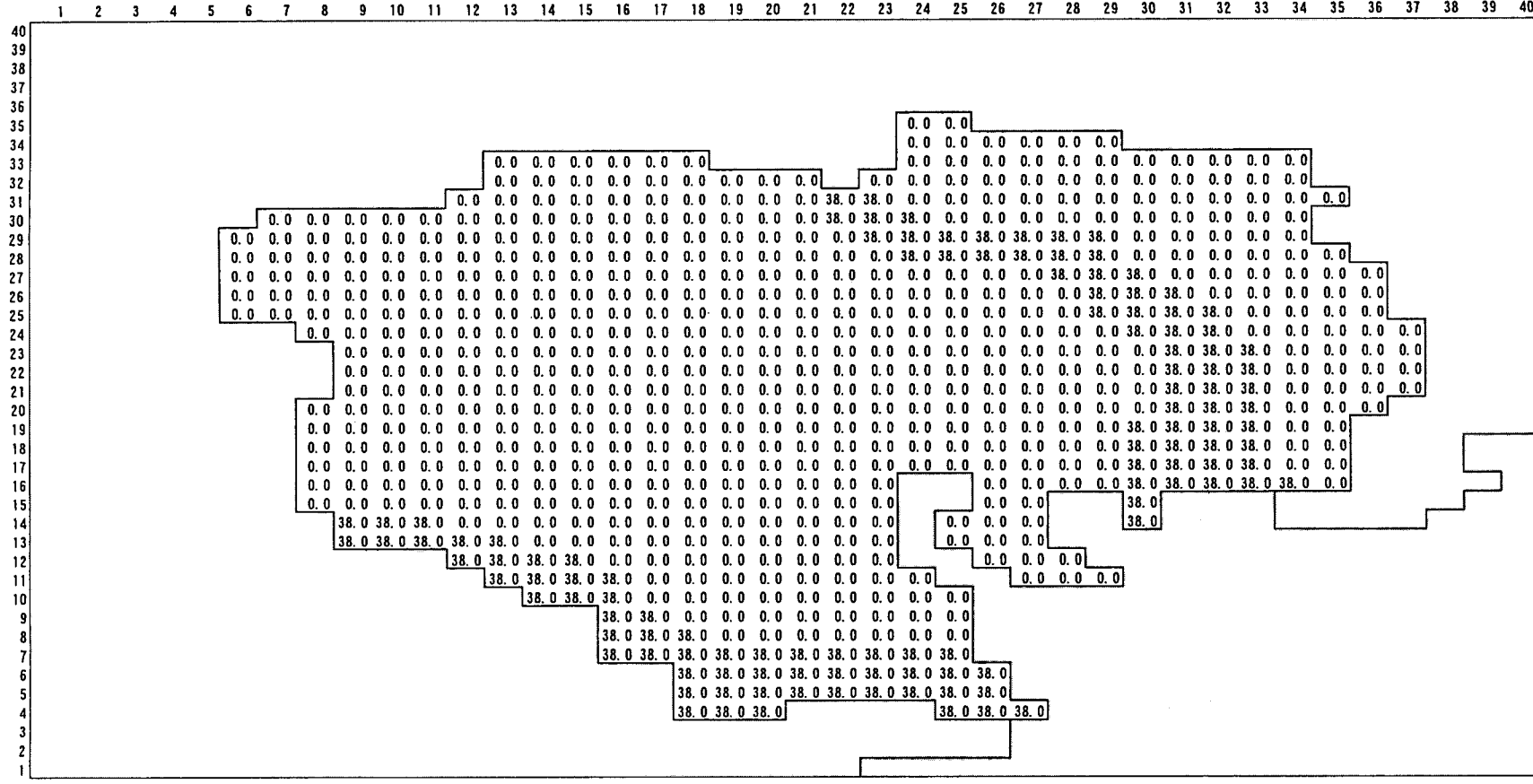
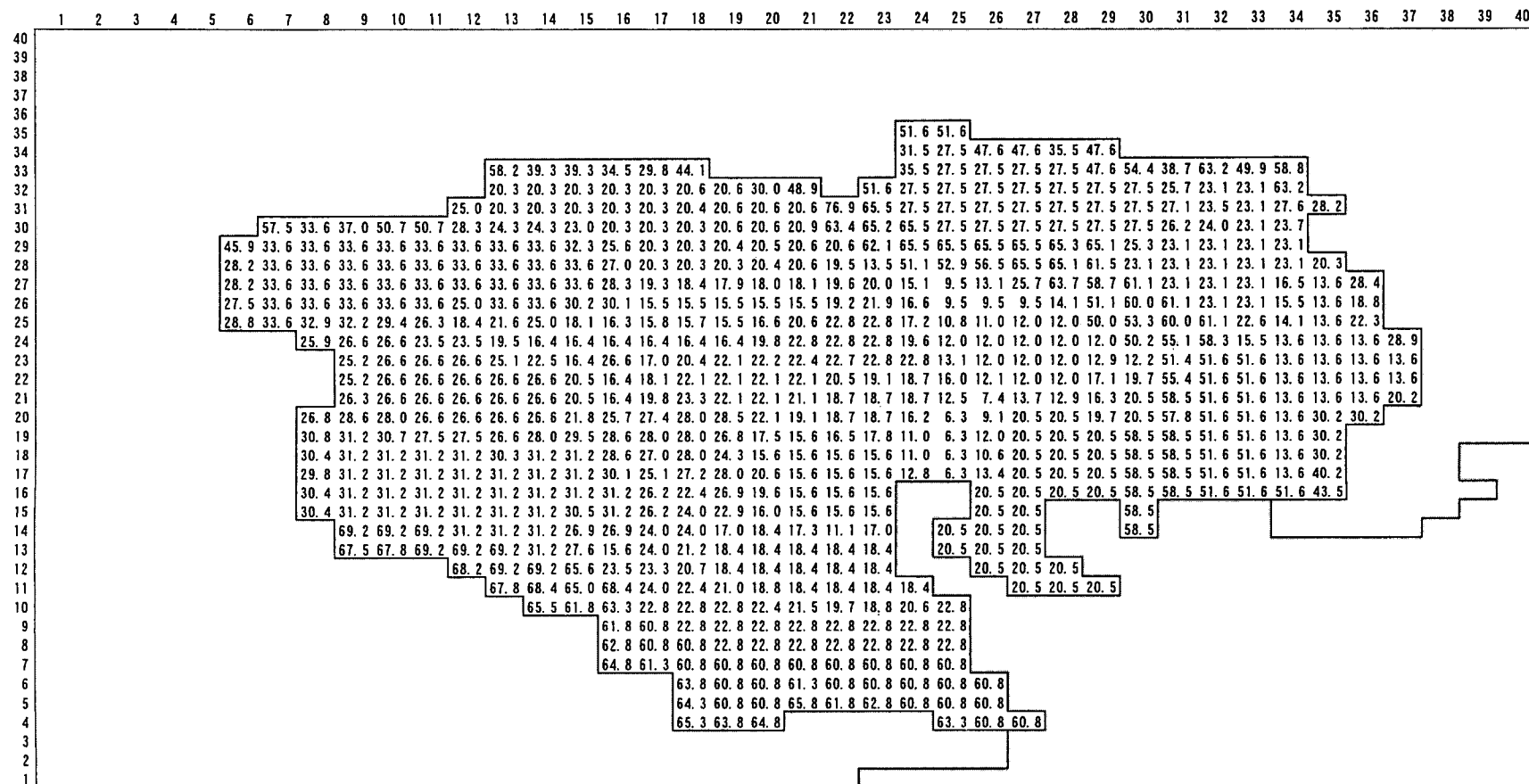


図4-29 河川部に重点を置いた緑被率の増加区域





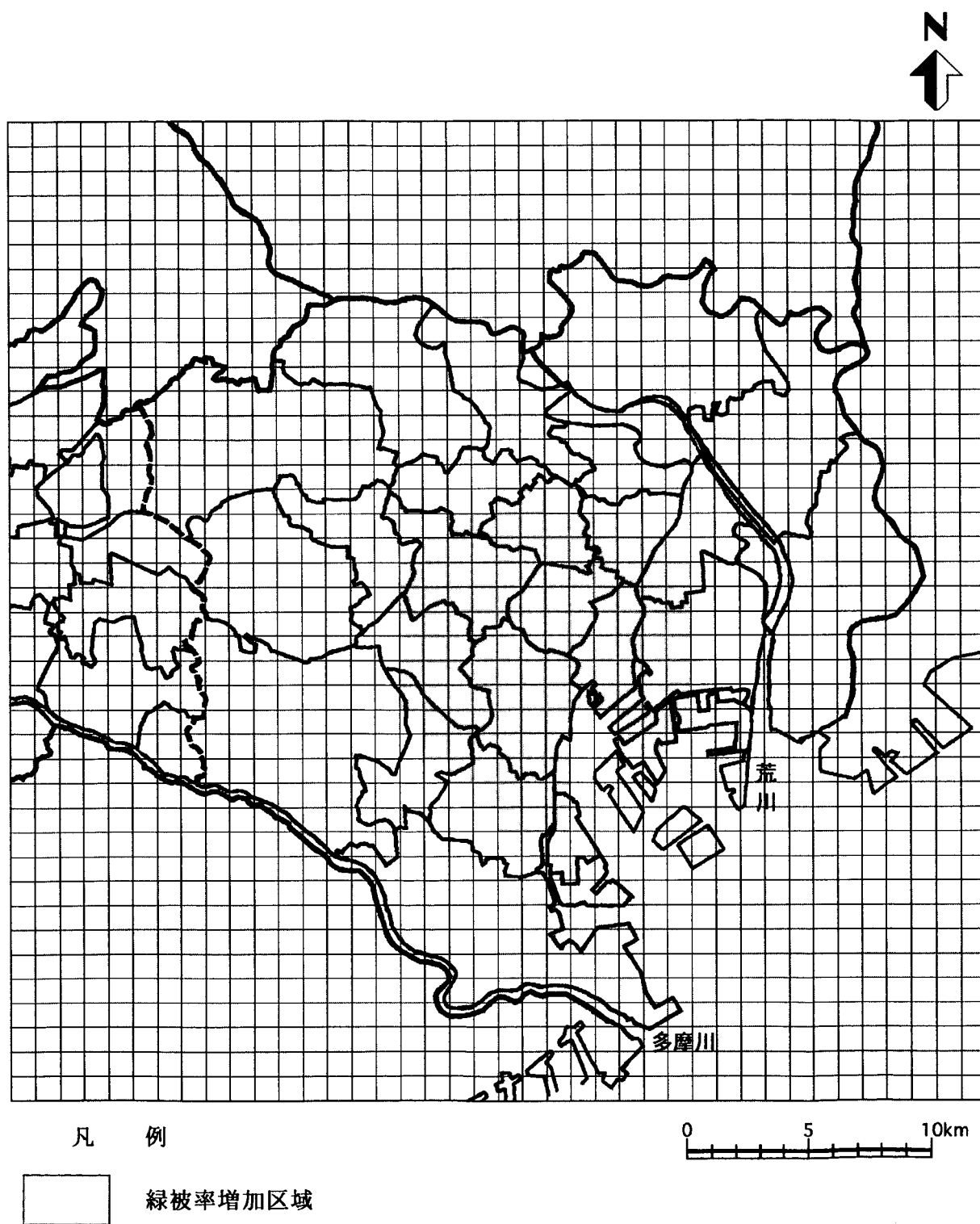
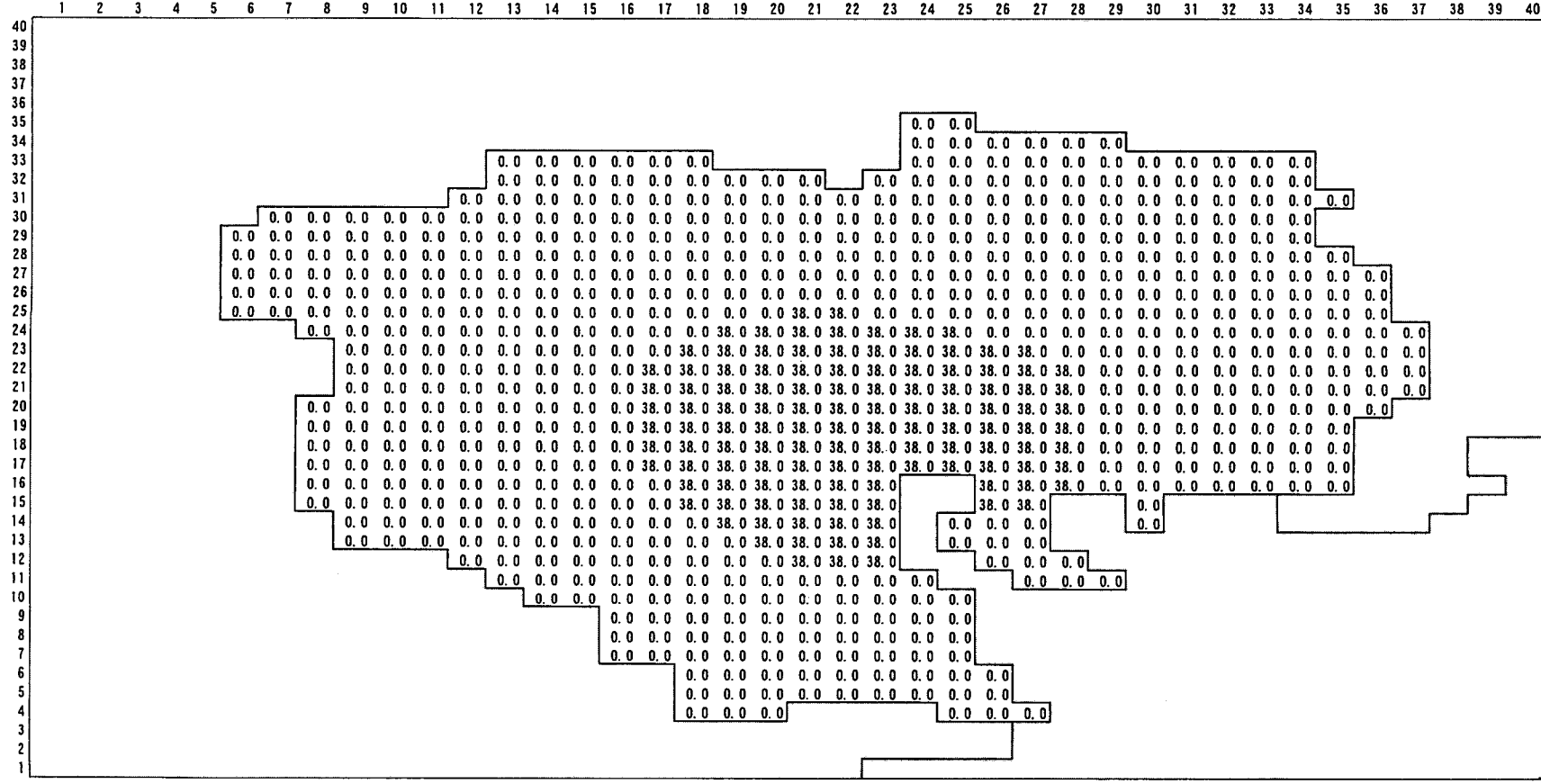


図4-32 都心部に重点を置いた緑被率の増加区域



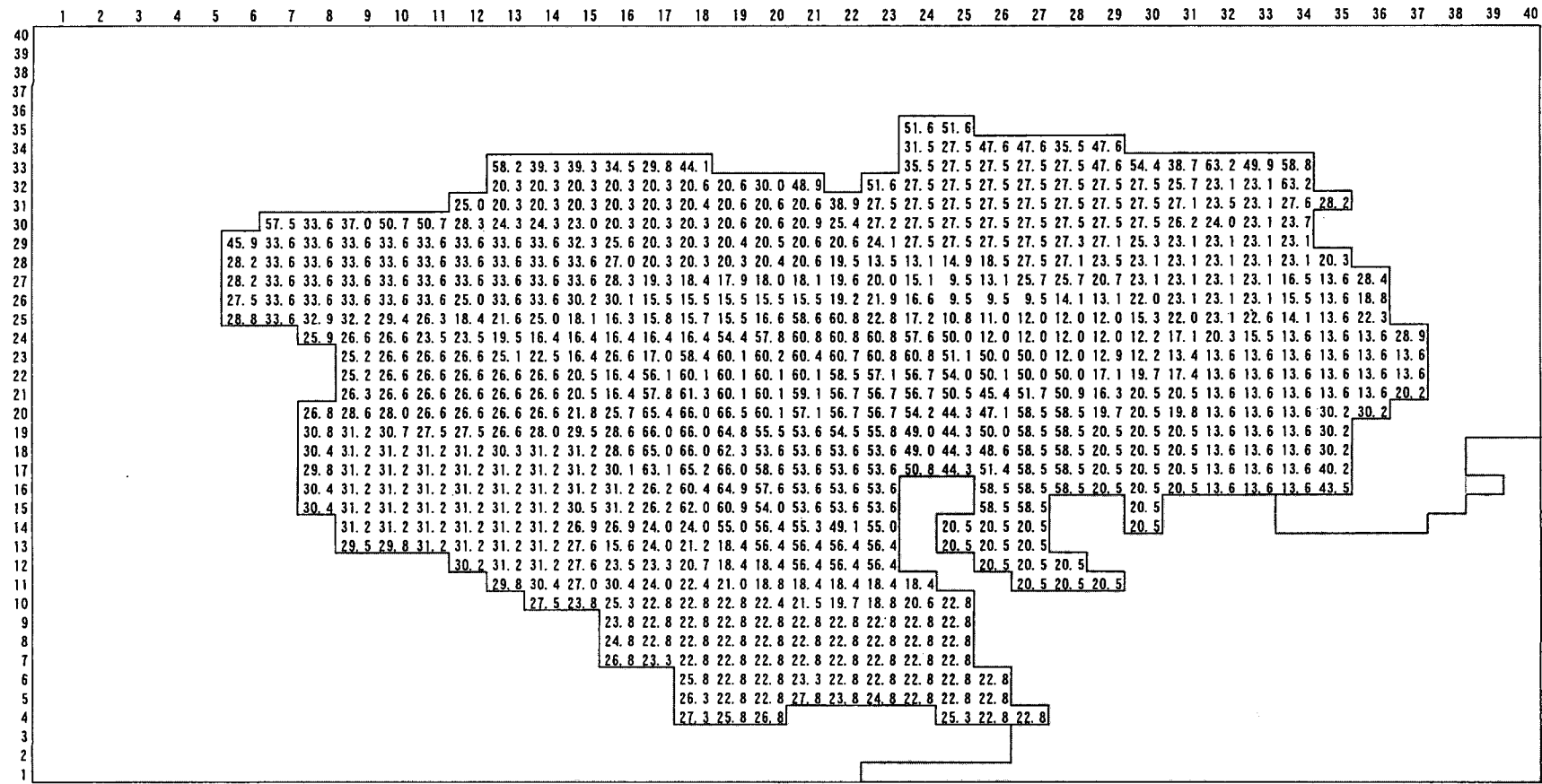
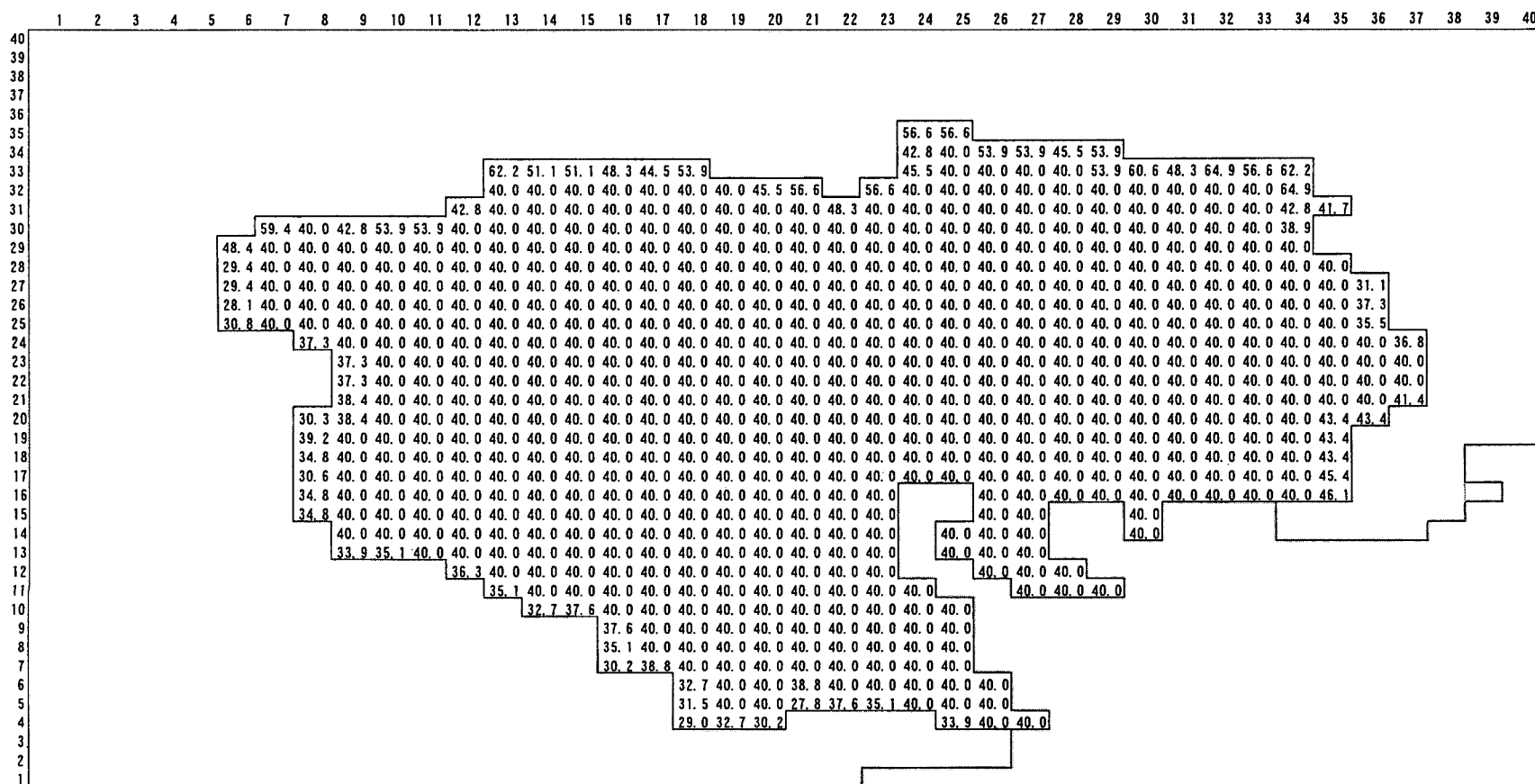


図 4-34 緑被率設定データ (都心部重点緑被) (単位: %)



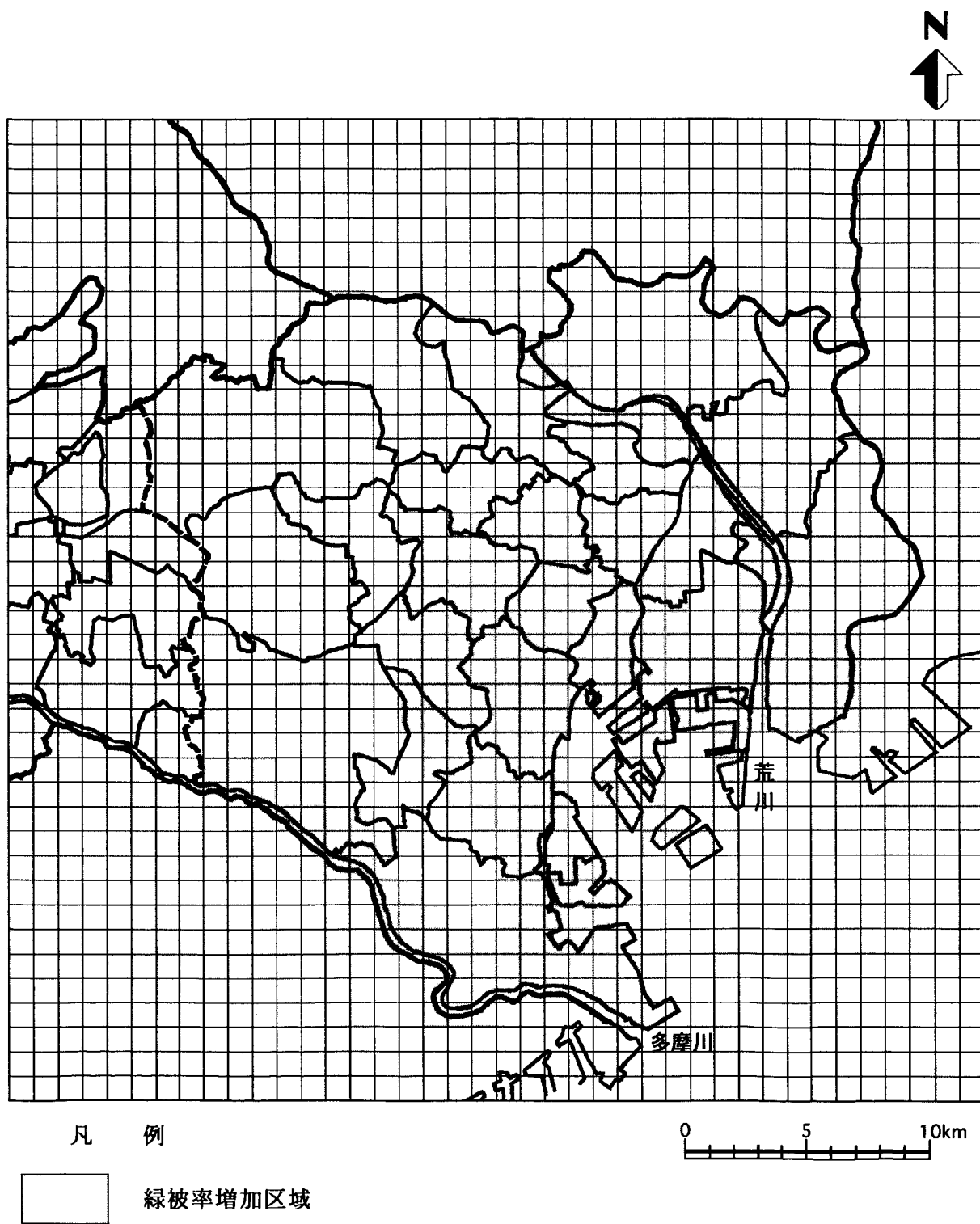
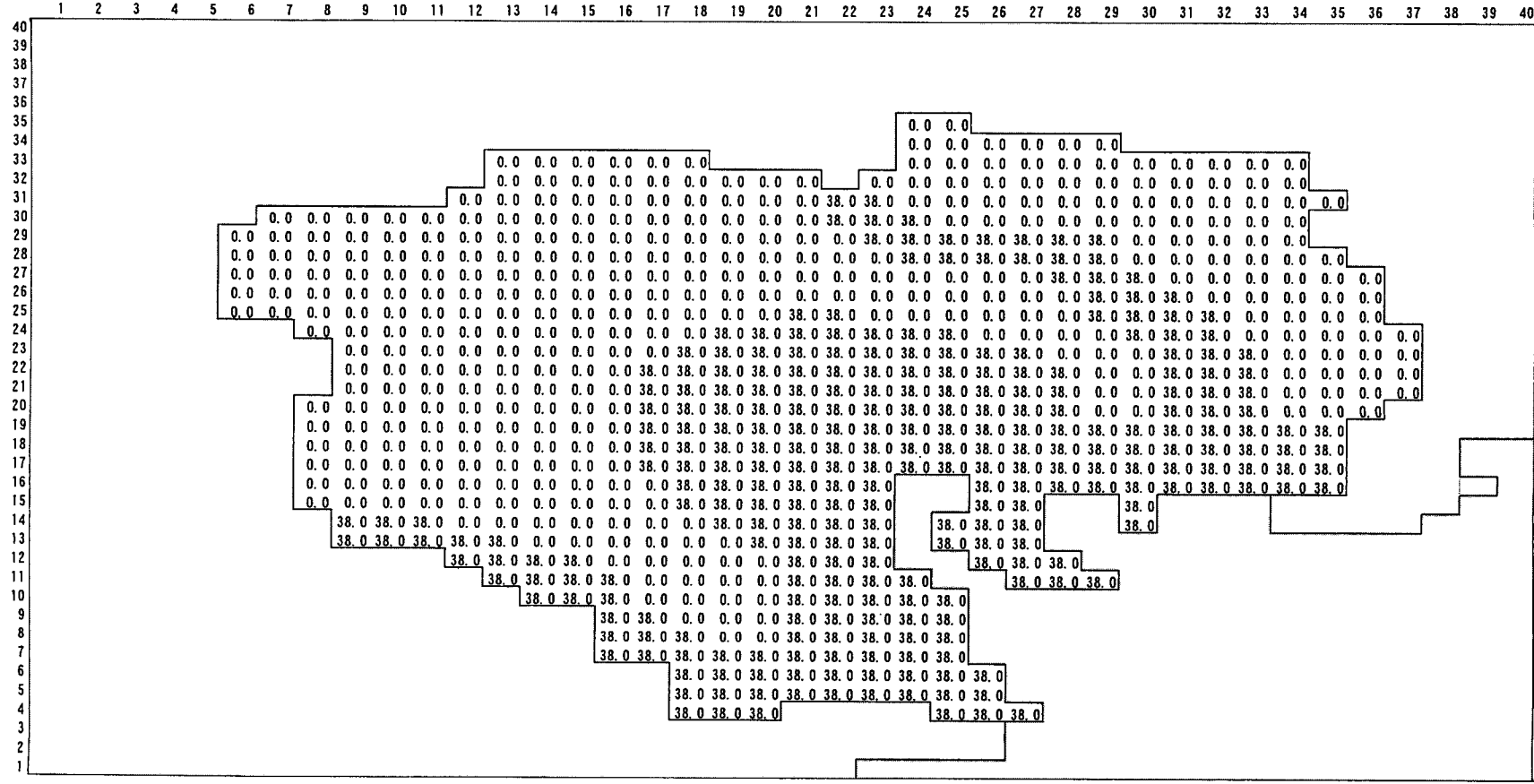
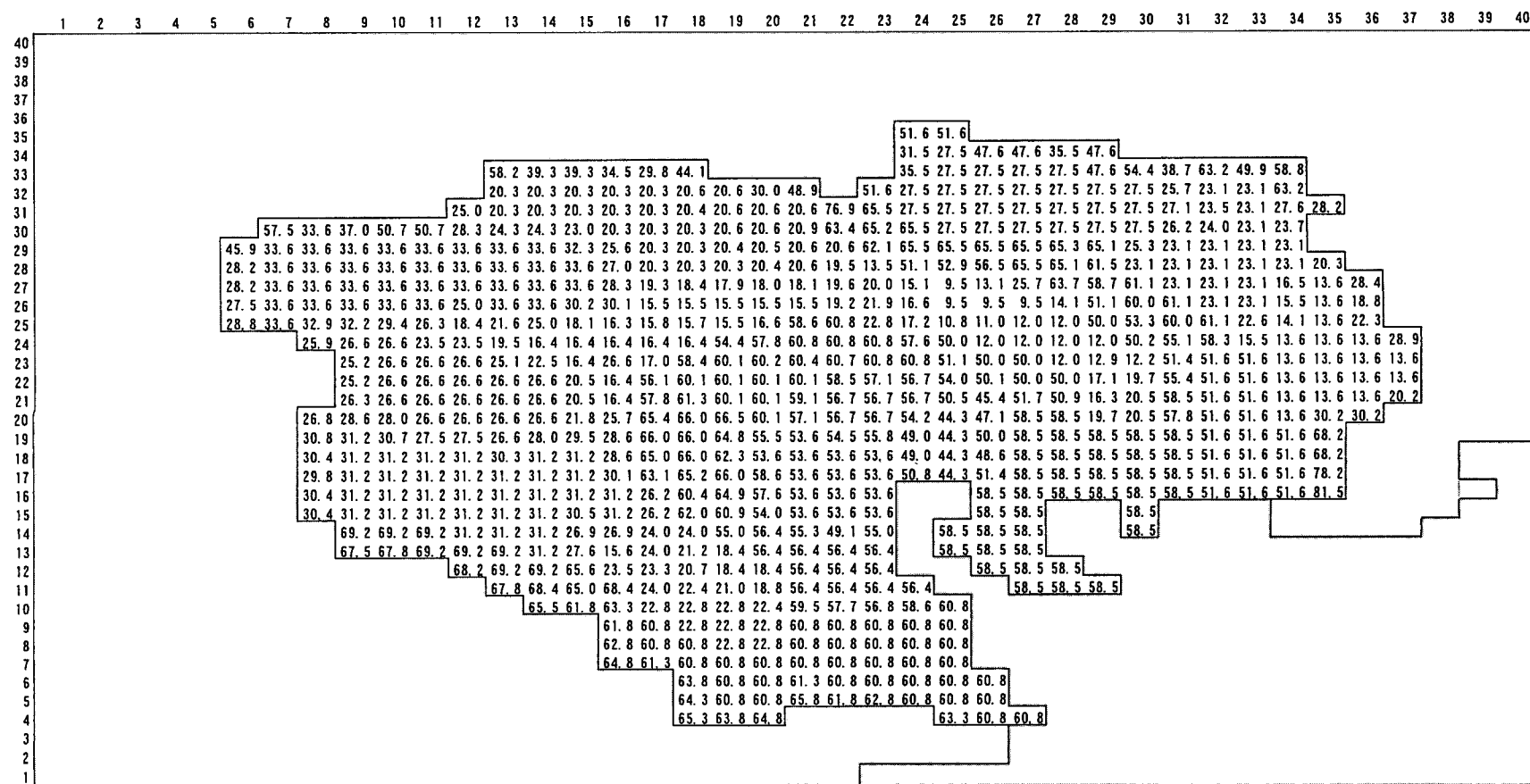


図 4 - 36 複合部に重点を置いた緑被率の増加区域

図 4-37 緑被率増加データ (複合部重点緑被) (単位: %)





3. 2. 5 解析手法

解析を行うに当たっての方針としては、上記の(1)から(6)のシミュレーション結果を現況のシミュレーション結果と比較し、定量的には東京都区部に該当する全メッシュの気温の変化量を積算した「積算の気温変化量」を評価の指標とし、それに定性的な評価を加えて、都市の熱環境に及ぼす緑被の効果を考察することとした。

3. 3 現況での解析結果

3. 3. 1 現況シミュレーションの結果

現況の条件を与えて計算した結果を図4-39、図4-40に示す。

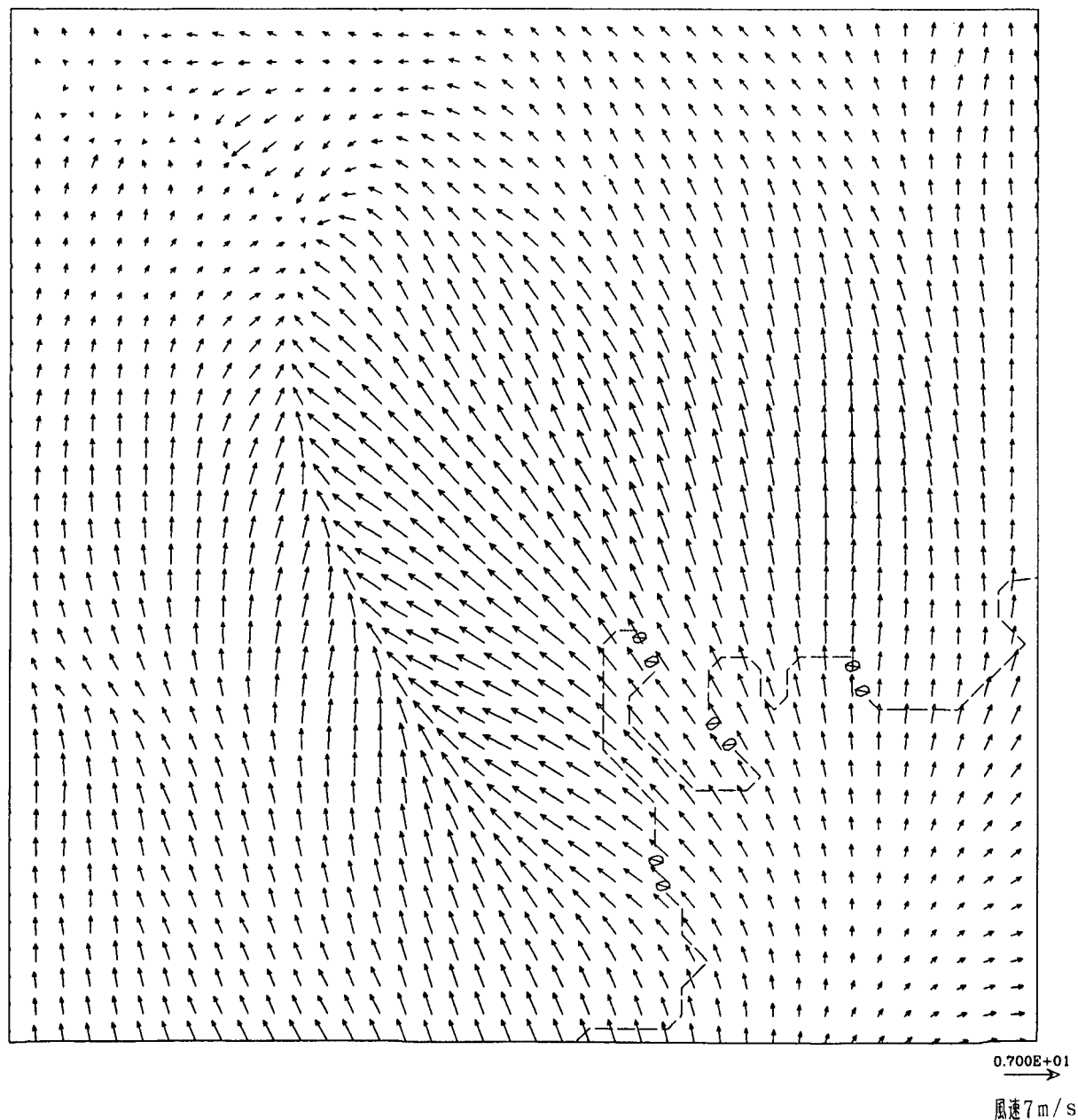
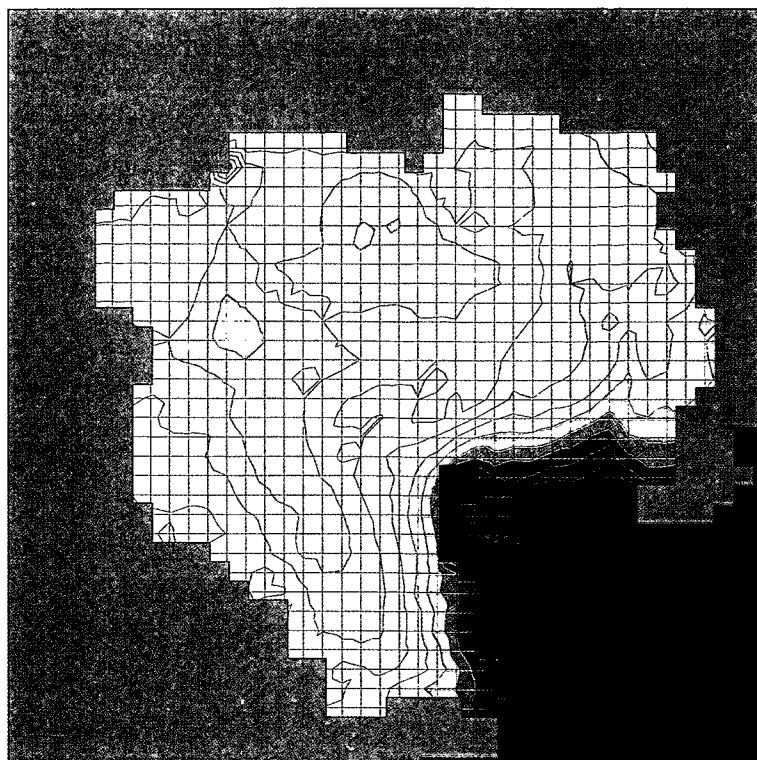


図4-39 風向・風速図（現況、地上6 m）



凡例（単位：℃）

■	33.50-34.00
■	33.00-33.50
■	32.50-33.00
■	32.00-32.50
□	31.50-32.00
□	31.00-31.50
□	30.50-31.00
□	30.00-30.50
□	29.50-30.00
□	29.00-29.50
□	28.50-29.00
□	28.00-28.50
□	27.50-28.00
□	27.00-27.50
□	26.50-27.00
■	26.00-26.50
■	25.50-26.00
■	25.00-25.50
■	24.50-25.00
■	24.00-24.50

図4-40 気温分布図（現況、地上6m）（単位：℃）

風向・風速図（図4-39）には、東京湾から吹き込む南東ないし南の風が、相模湾方面から吹き込む風と武蔵野台地上でぶつかり、概ね環状8号線に沿った形で収束帯（風が集まる地帯）が形成されている様子がうかがえる。これは、いわゆる「環8雲」の形成理由として気象学者によって説明されてきたことを再現しているものとする。収束帯の部分では風速が弱まっている。また、微妙な差ながら、多摩川、荒川を遡上する風も認められる。

現実の東京都区部においては、高層建築物の影響などにより、地上6mの大気がこのようにスムーズに移動しているものとは考えられないが、全体のパターンとしては、概ね妥当な結果が得られたものと考えられる。

気温分布図（図4-40）では、先述した北西端での顕著な高温域が目立つが、これを除いて見れば、東京湾から流れ込む低温な空気が、内陸に遡上するに従って高温化している状況を再現している様子が分かる。東京湾に面する海岸べりと比較すると、内陸では最大で約5℃高温になっている。

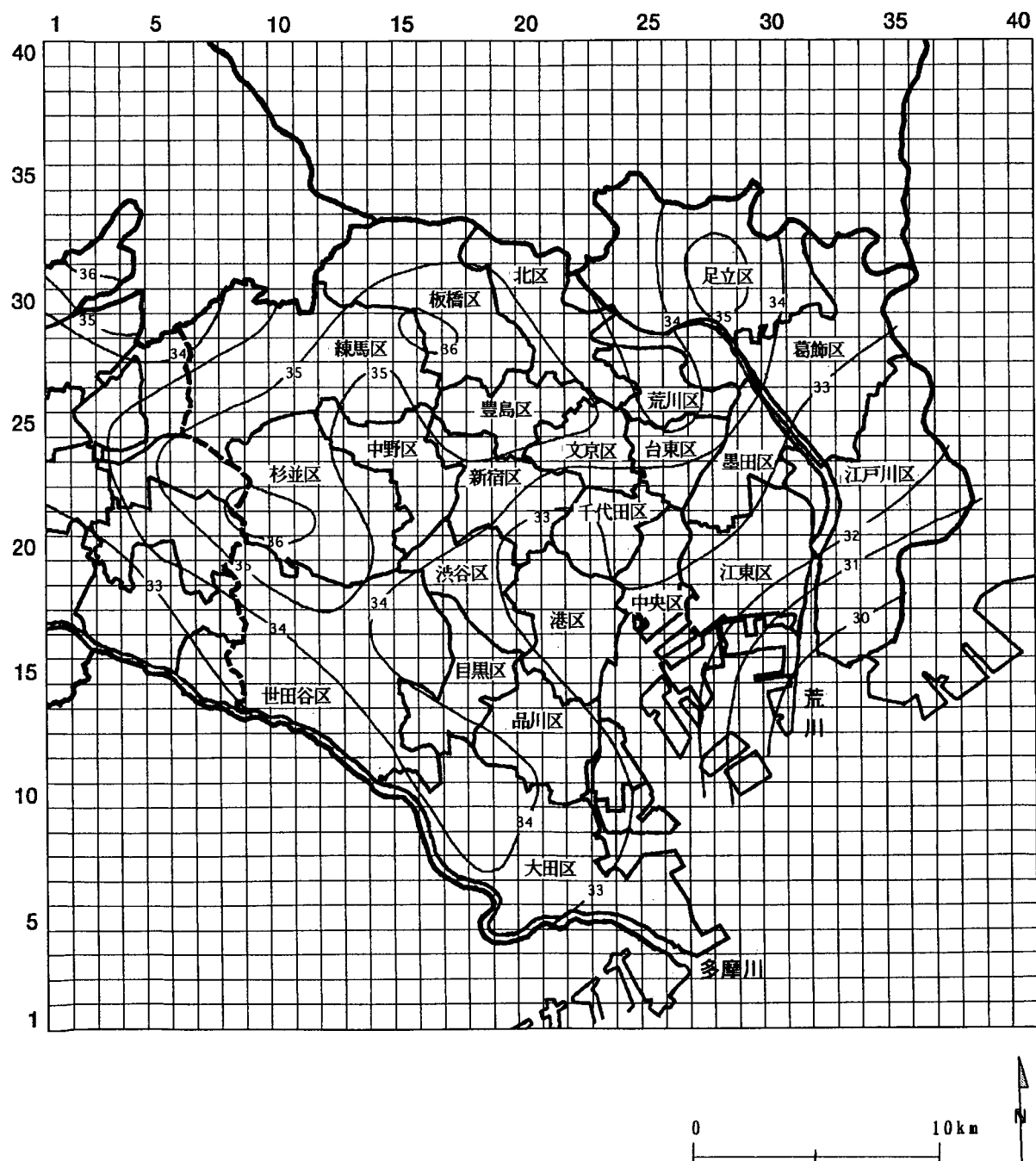
3. 3. 2 シミュレーションの精度の検証

シミュレーション結果と比較する対象は、アメダス（4点）及び東京都環境保全局大気汚染常時測定局（19点）測定の日データとした。後者のデータは、計測地点周辺の条件に左右されるものの、都内を統一的に計測している唯一の日データである。現在入手できる夏のデータは1995年夏のものであるが、7月の前半が天候不順で典型的な夏季の気候ではなかった。ここでは、シミュレーション対象日に近い7月31日15時の温度を比較対象とする。

実測データ（図4-41）はばらつきがあるが、シミュレーションデータ（図4-40）と比較すると概ね次のような一致点を見ることができる。すなわち海岸部は最も低温であり、低温域は中心部の東側で内陸に広がっている。一方、北西部と南西部には高温域が形成されている。中心部は周辺より低

温だが、海岸部よりは気温が高い。

また、最も気温の低い東部の海岸べりと、最も気温の高い北西部の温度は、実測では29℃台後半と35℃前後であるのに対し、シミュレーションでは24℃と29℃の間で、その温度の差は双方とも約5℃である。このようにシミュレーション結果は実測データと多くの点で類似しており、シミュレーションによりある程度精度の高い気温分布が得られたものと考えられる。



(注) アメダス、東京都環境保全局大気汚染常時測定局によるデータである。(観測日時：1995年7月31日 15時00分)

図4-41 実測データ

3. 4 条件設定した緑被の配置による解析結果

3. 4. 1 解析の方針

条件設定した緑被の配置によるシミュレーションの結果について、各ケースの結果と現況の予測結果との間の気温差を用いて解析する。解析の対象とする時刻は、気温が最高となるとされる14時に最も近い15時、高さは地上6 m（高さ方向のメッシュのうち、地上に最も近い2 mを除いた、次の高さ）とする。

3. 4. 2 各ケースの解析結果

(1) 均一の緑被（均一30%緑被）

東京都区部に位置するメッシュの緑被率を一律30%としたケースについて計算を行った結果を示す。

図4-42は風向・風速図、図4-43は現況の風向・風速図との比較から求めた風向・風速の変化量のベクトル図である。都心部の緑被率が増加して、海水面と都心部の気温差が減少するために、全体として海陸間の風速が弱まることが分かる。また、収束帯部分での風速変化が最も大きくなるということも顕著な特徴である。

図4-44は気温分布図、図4-45及び図4-46は現況の気温分布図との比較から求めた気温の変化図及び変化した気温のデータである。

収束帯の東側で、全体に0.1~0.15℃程度の気温低減が見られる。収束帯の西側では逆に0.1~0.15℃程度上昇しているが、これは、この地域では、もともと緑被率が30%を越えている部分が多かったために、一律30%という設定では緑被率が現況よりも減少してしまうためと、全体に風速が低下することの相乗効果によるものと考えられる。

区部内の全メッシュの積算の気温変化量は-29.17℃となった。

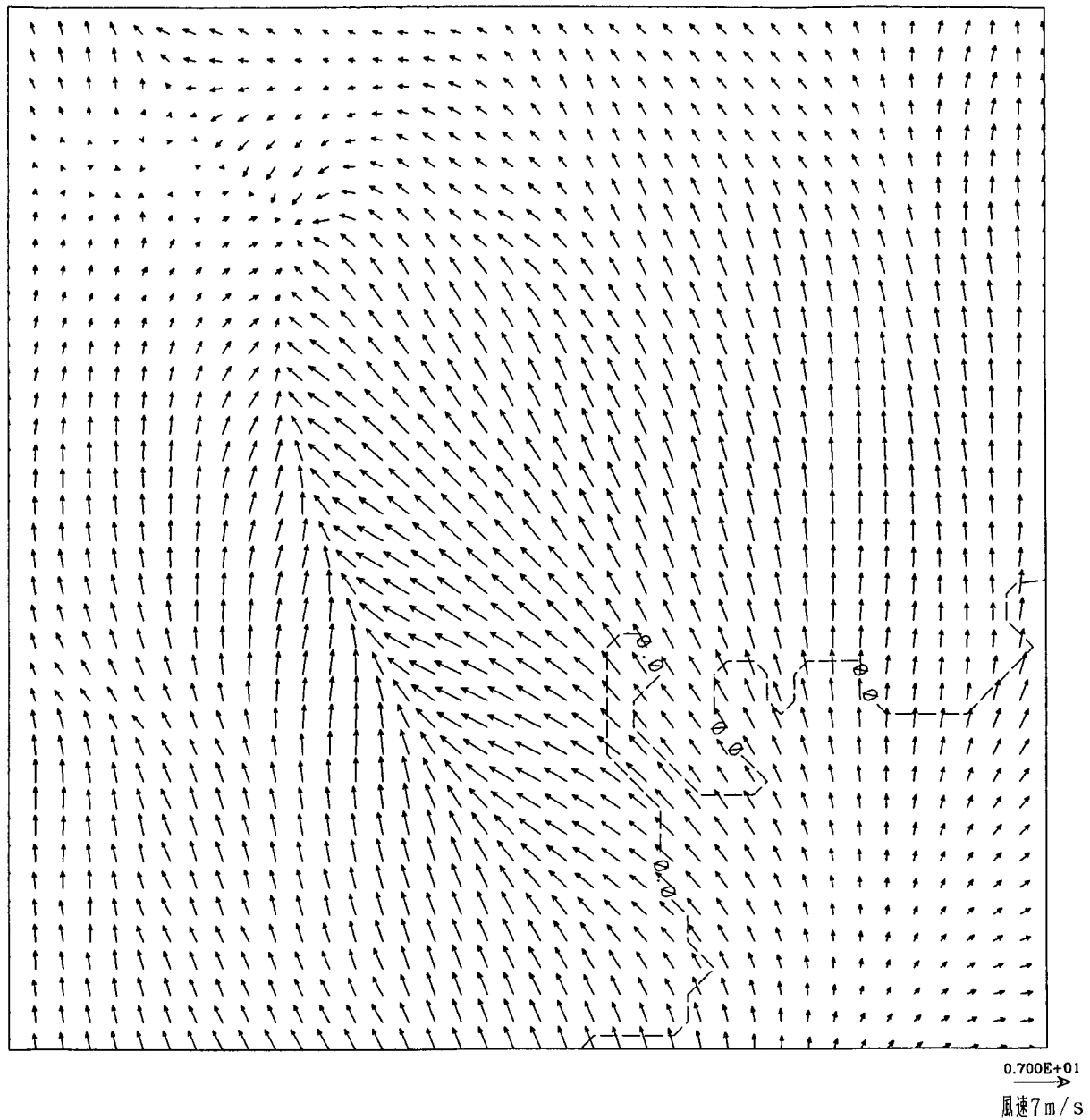


図4-42 風向・風速解析図（均一の緑被）（緑被率30%）

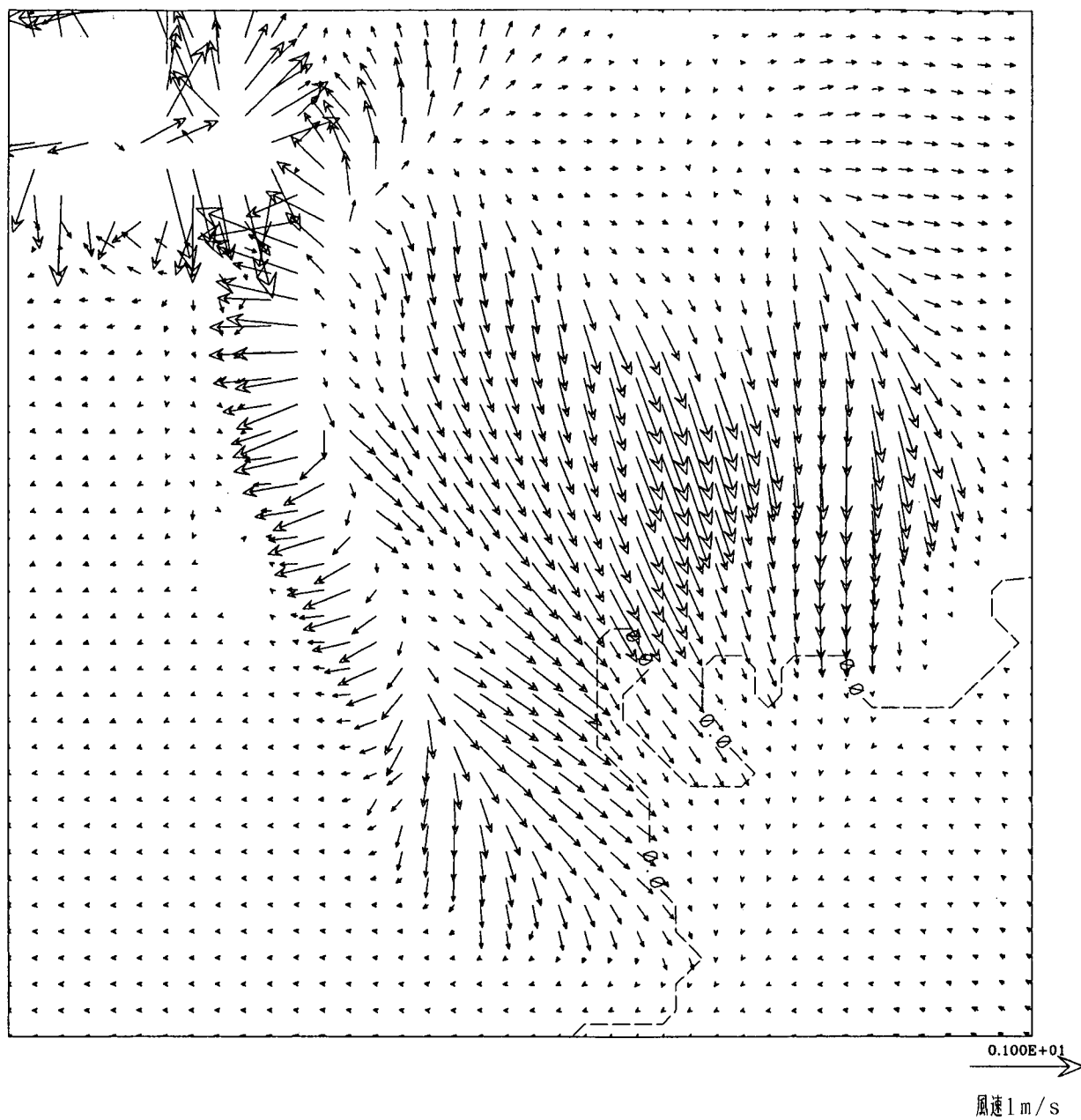
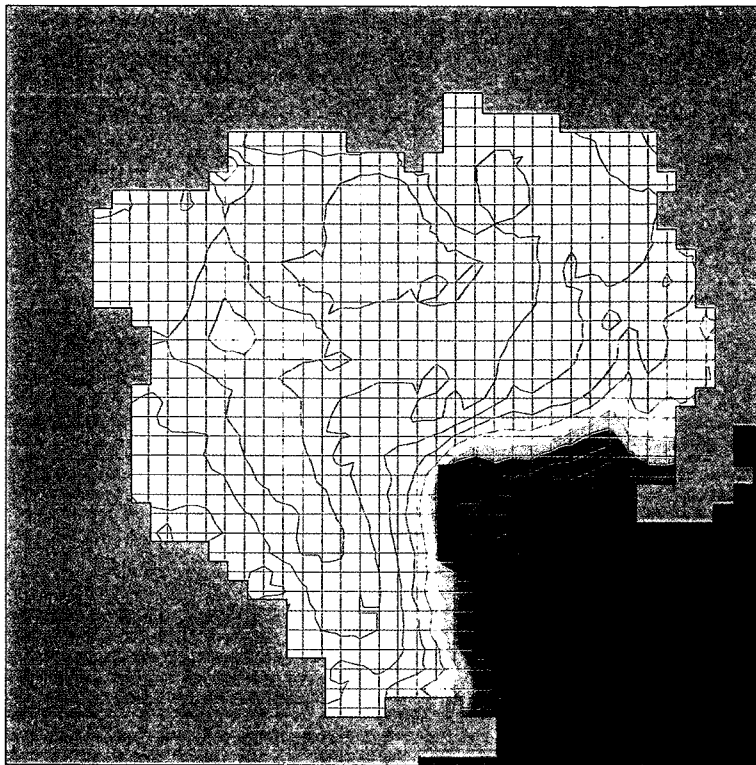


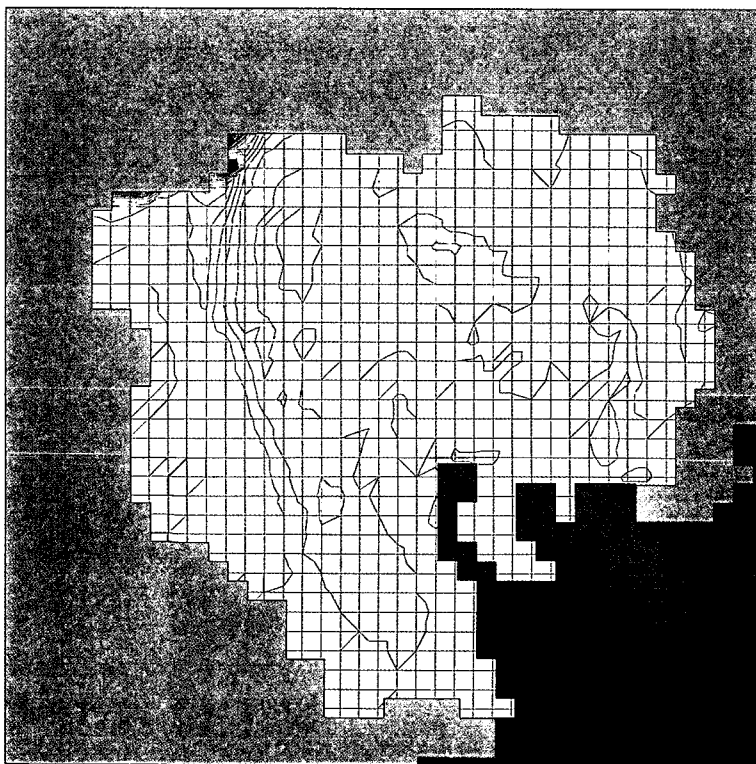
図 4-43 風向・風速変化図（均一の緑被）（緑被率30%）



凡例 (単位: °C)

■	33.50-34.00
■	33.00-33.50
■	32.50-33.00
■	32.00-32.50
□	31.50-32.00
□	31.00-31.50
□	30.50-31.00
□	30.00-30.50
□	29.50-30.00
□	29.00-29.50
□	28.50-29.00
□	28.00-28.50
□	27.50-28.00
□	27.00-27.50
□	26.50-27.00
□	26.00-26.50
□	25.50-26.00
■	25.00-25.50
■	24.50-25.00
■	24.00-24.50

図 4 - 44 気温分布図 (均一の緑被) (緑被率30%) (単位: °C)



凡例 (単位: °C)

■	-0.60--0.55
■	-0.55--0.50
■	-0.50--0.45
■	-0.45--0.40
■	-0.40--0.35
■	-0.35--0.30
■	-0.30--0.25
□	-0.25--0.20
□	-0.20--0.15
□	-0.15--0.10
□	-0.10--0.05
□	-0.05-0.00
□	0.00-0.05
□	0.05-0.10
□	0.10-0.15
□	0.15-0.20
□	0.20-0.25
□	0.25-0.30
□	0.30-0.35
■	0.35-0.40

図 4 - 45 気温変化図 (均一の緑被) (緑被率30%) (単位: °C)

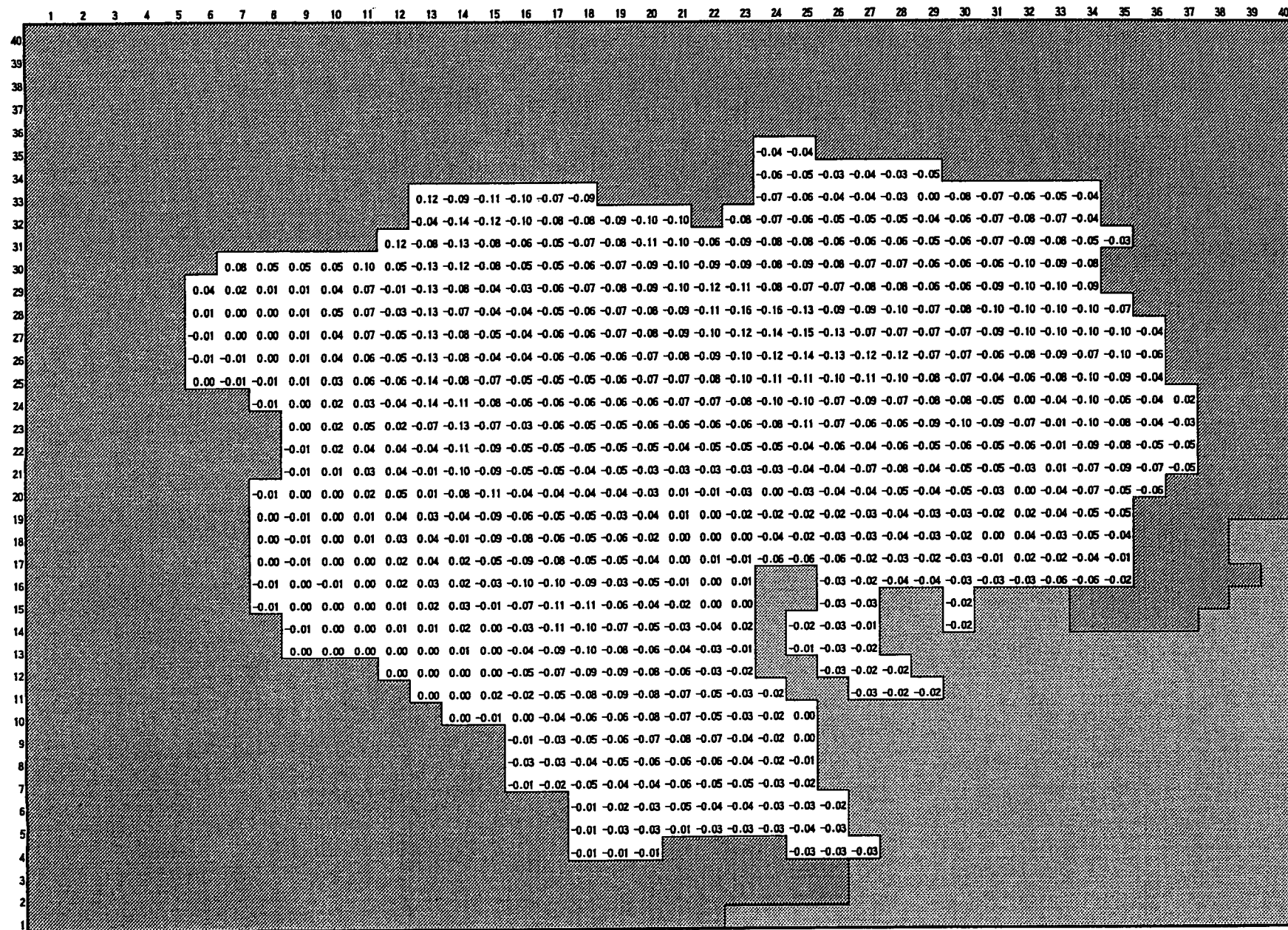


図4-46 気温変化データ(均一の緑被)(緑被率30%)(単位:℃)

(2) 臨海部に重点を置いた緑被（臨海部重点緑被）

東京湾に面した臨海部の120メッシュについて、緑被率を38%ずつ増加させたケースについて計算を行った結果を示す。

図4-17は風向・風速図、図4-48は現況の風向・風速図との比較から求めた風向・風速の変化量のベクトル図である。緑被率が增大した臨海部での風速低下が顕著に現れ、それが東京湾上にまで及んでいる。収束帯付近での大きな風速変化は、均一緑被の場合と同じような傾向であるが、収束帯東側の内陸部では、風速低下量が小さくなっている。

図4-49は気温分布図、図4-50及び図4-51は現況の気温分布図との比較から求めた気温の変化図及び変化した気温のデータである。

緑被率を増加させた臨海部で、顕著な気温低減が認められ、最大で0.45℃以上の気温低減が見られる。この低温域は収束帯の東側に沿って内陸部にまで達しており、均一緑被の場合よりも顕著に収束帯周辺での気温変化が認められる。収束帯西側の昇温も最大で0.15℃程度に達しており、ほぼ全体に昇温傾向となっている。

内陸部では微小ではあるが、低温傾向が認められ、臨海部の緑被の影響が内陸部にまで及ぶことを示唆するものと考えられる。

区部内の全メッシュの積算の気温変化量は-52.81℃となり、積算温度で比較すれば、30%均一緑被の場合の約1.8倍の気温低減効果であると評価できる。

臨海部に重点を置いた緑被による区部内の平均緑被率は30%であり、緑被の増加量は同じである。都市内部に均一に緑被を配置するよりも、臨海部に重点的に配置する方が積算温度評価では1.8倍有効であるという結論が得られた。

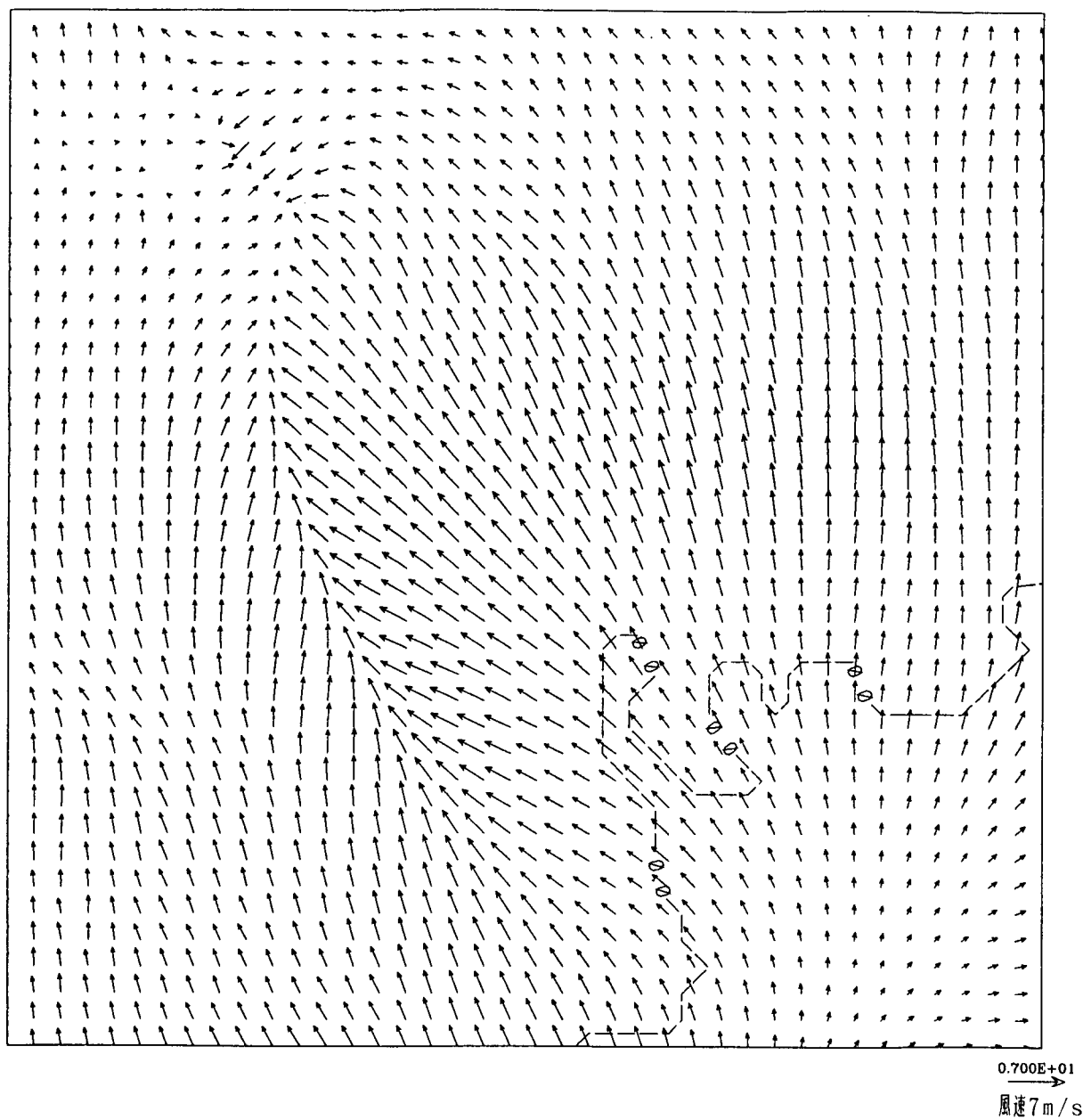


図4-47 風向・風速解析図（臨海部に重点を置いた緑被）

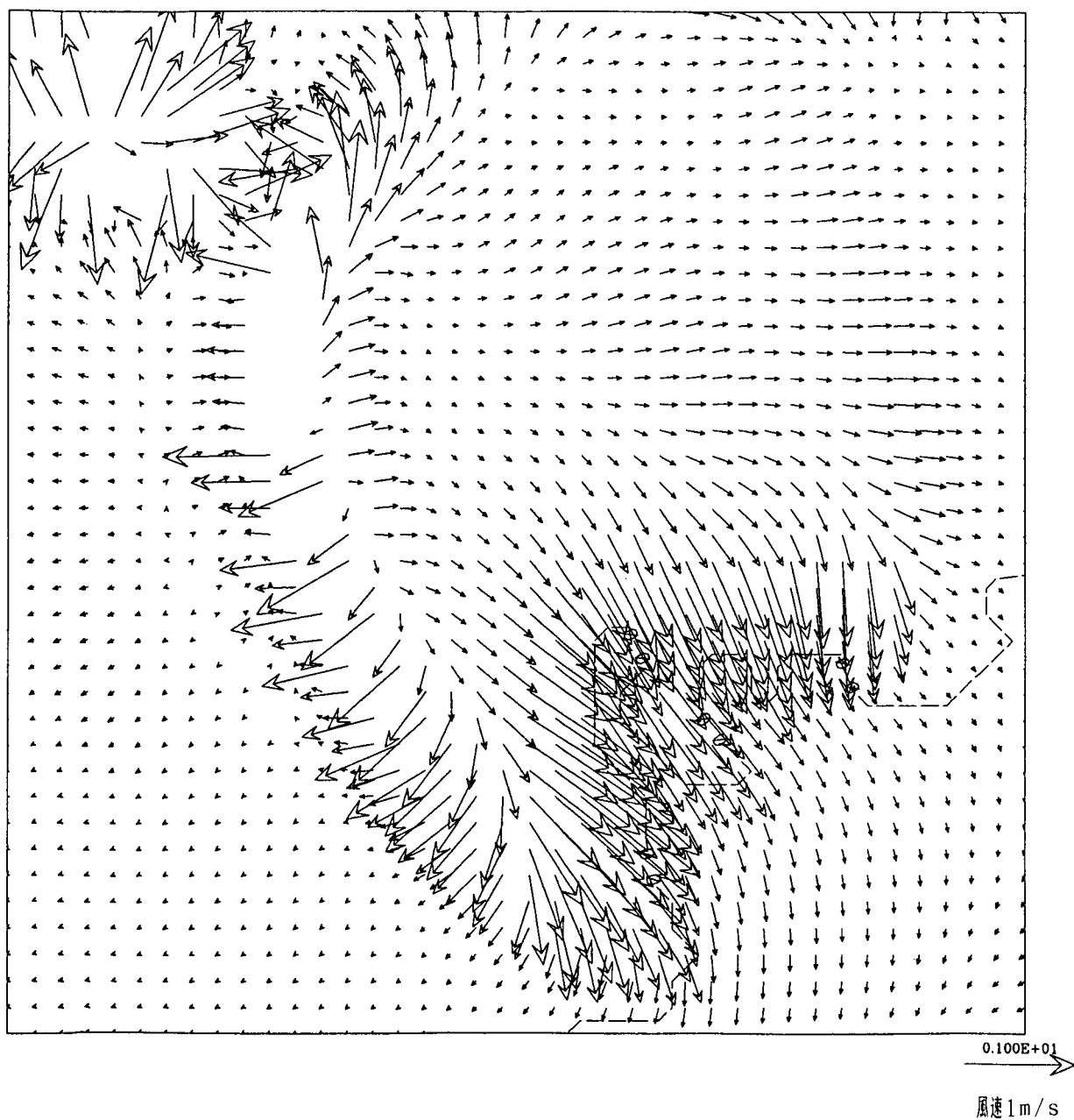
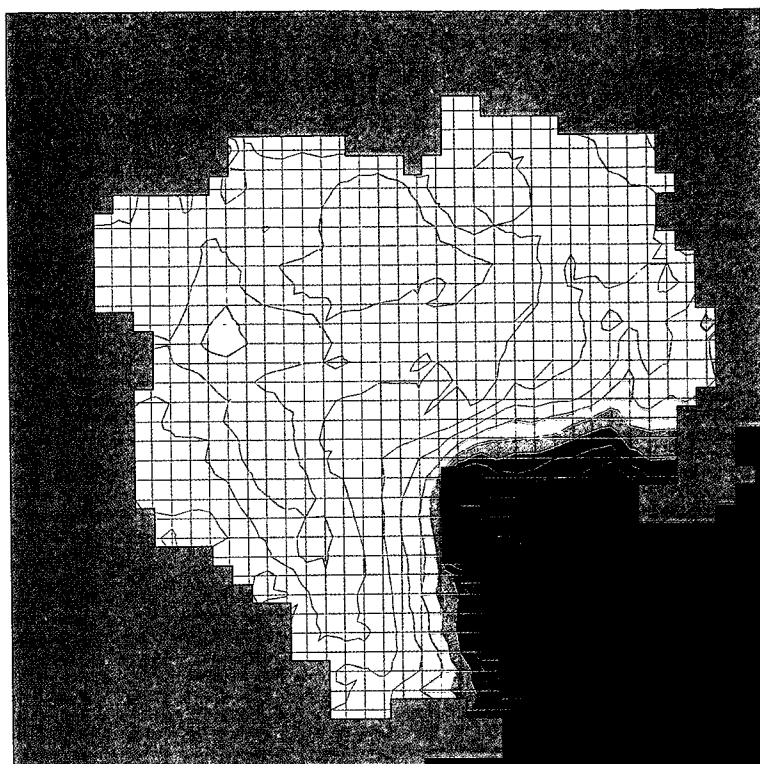


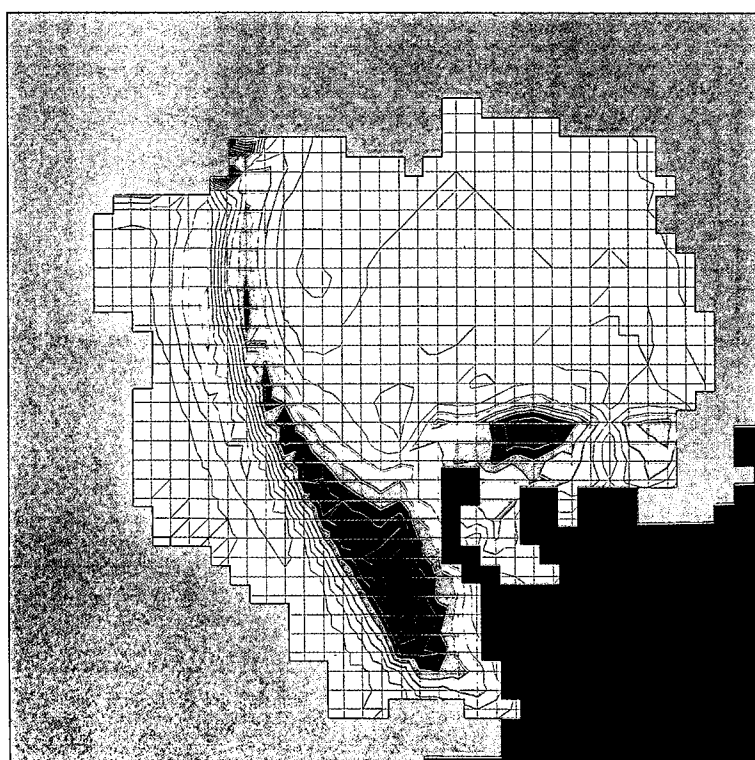
図 4-48 風向・風速変化図（臨海部に重点を置いた緑被）



凡例 (単位: °C)

■	33.50-34.00
■	33.00-33.50
■	32.50-33.00
■	32.00-32.50
■	31.50-32.00
■	31.00-31.50
■	30.50-31.00
□	30.00-30.50
□	29.50-30.00
□	29.00-29.50
□	28.50-29.00
□	28.00-28.50
□	27.50-28.00
□	27.00-27.50
□	26.50-27.00
■	26.00-26.50
■	25.50-26.00
■	25.00-25.50
■	24.50-25.00
■	24.00-24.50

図 4-49 気温分布図 (臨海部に重点を置いた緑被) (単位: °C)

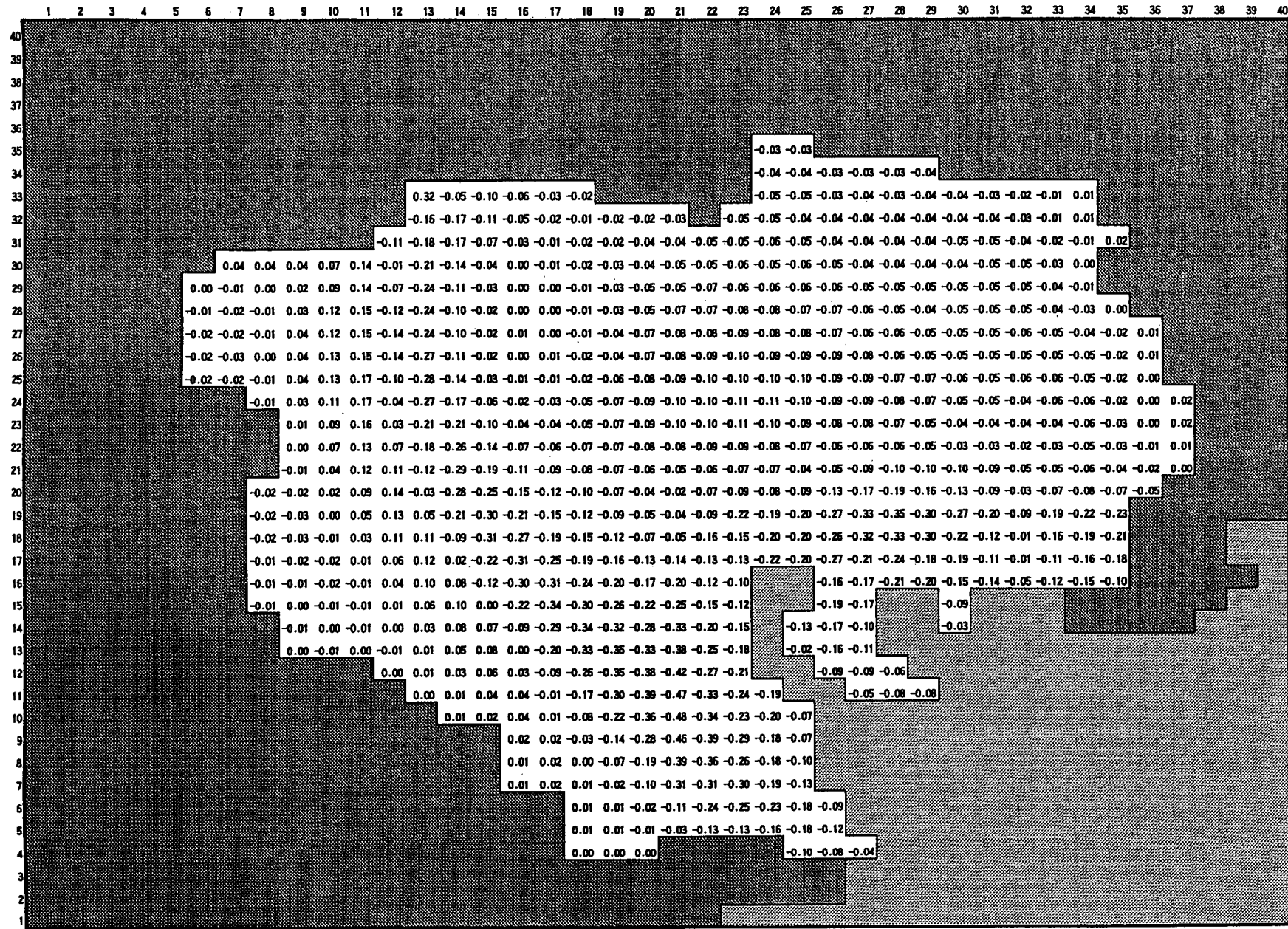


凡例 (単位: °C)

■	-0.60--0.55
■	-0.55--0.50
■	-0.50--0.45
■	-0.45--0.40
■	-0.40--0.35
■	-0.35--0.30
■	-0.30--0.25
□	-0.25--0.20
□	-0.20--0.15
□	-0.15--0.10
□	-0.10--0.05
□	-0.05--0.00
□	0.00-0.05
□	0.05-0.10
□	0.10-0.15
□	0.15-0.20
□	0.20-0.25
□	0.25-0.30
□	0.30-0.35
■	0.35-0.40

図 4-50 気温変化図 (臨海部に重点を置いた緑被) (単位: °C)

図4-51 気温変化データ (臨海部に重点を置いた緑被) (単位: °C)



(3) 河川部に重点を置いた緑被（河川部重点緑被）

多摩川と荒川沿いの河川部の120メッシュについて、緑被率を38%ずつ増加させたケースについて計算を行った結果を示す。

図4-52は風向・風速図、図4-53は現況の風向・風速図との比較から求めた風向・風速の変化量のベクトル図である。緑被率が増大した河川部分に沿って風速低下が顕著に現れ、この場合も東京湾上にまで影響が及んでいる。収束帯付近での風速変化は相変わらず認められるが、均一緑化、臨海部重点緑被の場合と比べると、偏位方向が大きく異なり、むしろ風速が増大している場所も身受けられる。都心部については、風向・風速ともにほとんど変化が認められない。

図4-54は気温分布図、図4-55及び図4-56は現況の気温分布図との比較から求めた気温の変化図及び変化した気温のデータである。緑被率を増加させた河川部で顕著な気温低減が認められ、最大で0.35℃以上の気温低減が見られる。低温域は基本的に河川沿いの部分に限定されており、その他の場所では無変化もしくは昇温となっており、収束帯東側の都心部において最大で0.05℃程度の昇温となっている。従って、都心の気温低減を考えた場合、河川部重点緑被は有効な手法とはならないものと考えられる。

区部内の全メッシュの積算の気温変化量は-42.39℃となり、積算温度で比較すれば、30%均一緑被の場合の約1.5倍の気温低減効果であると評価できる。

都市内部に均一に緑被を配置するよりも、河川部に重点的に配置する方が積算温度評価では1.5倍有効であるということになるが、都心部では逆に昇温傾向にあることも分かった。

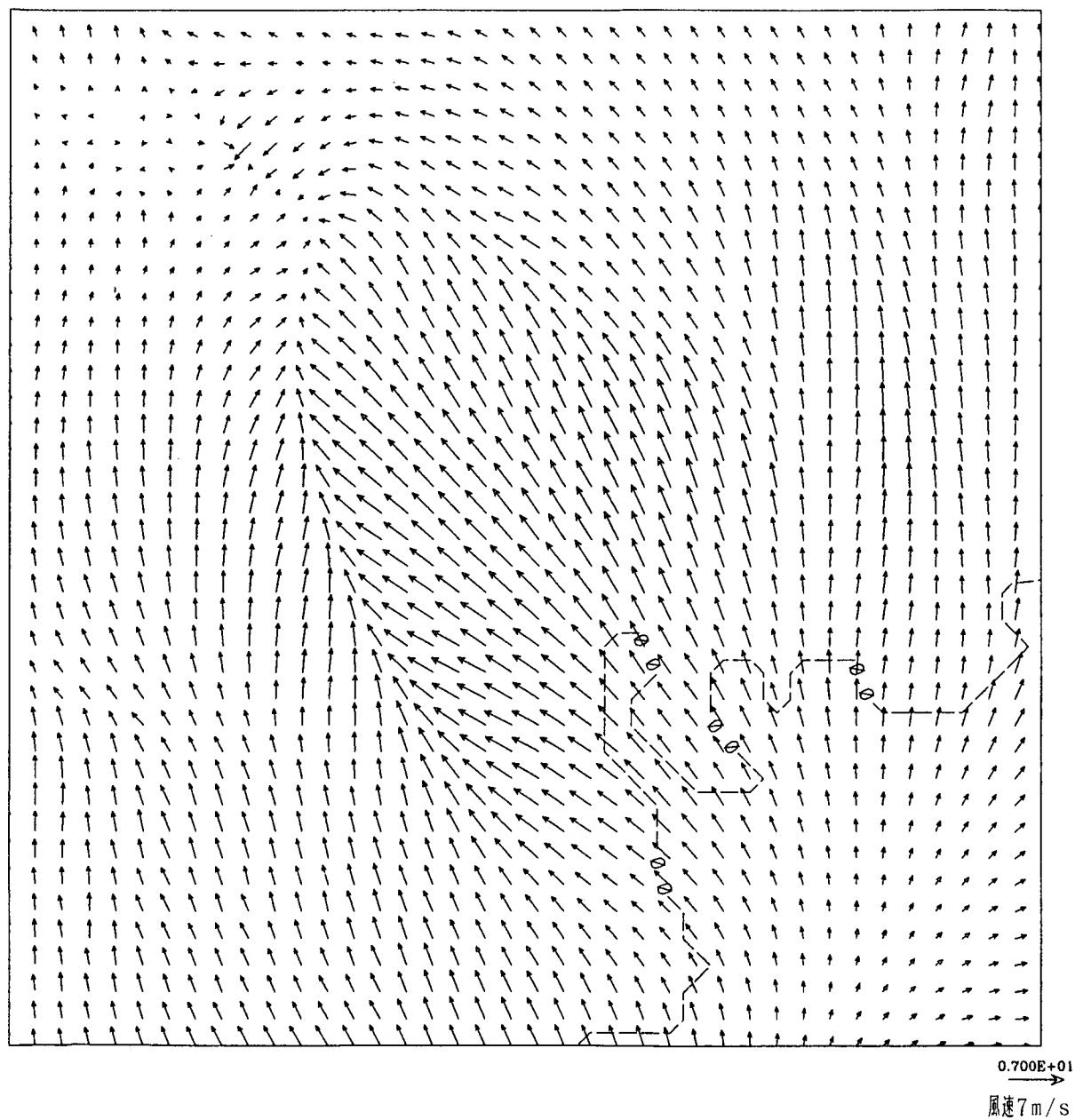


図 4 - 52 風向・風速解析図（河川部に重点を置いた緑被）

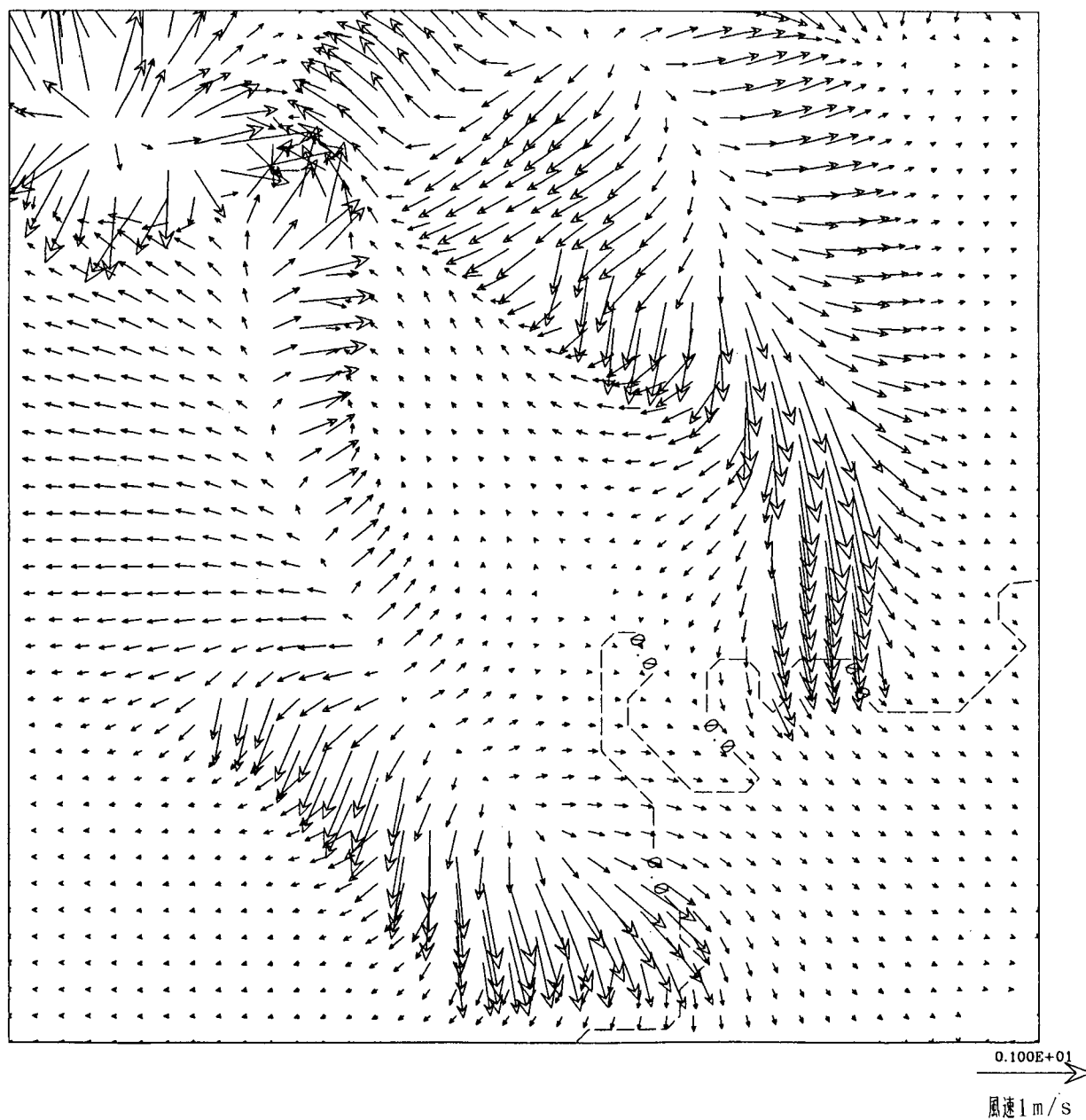
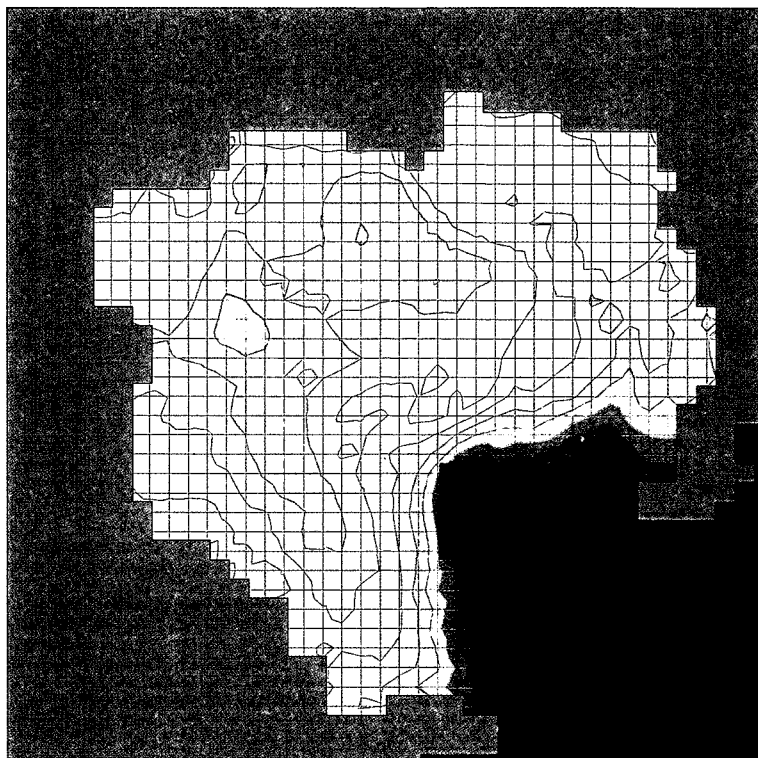


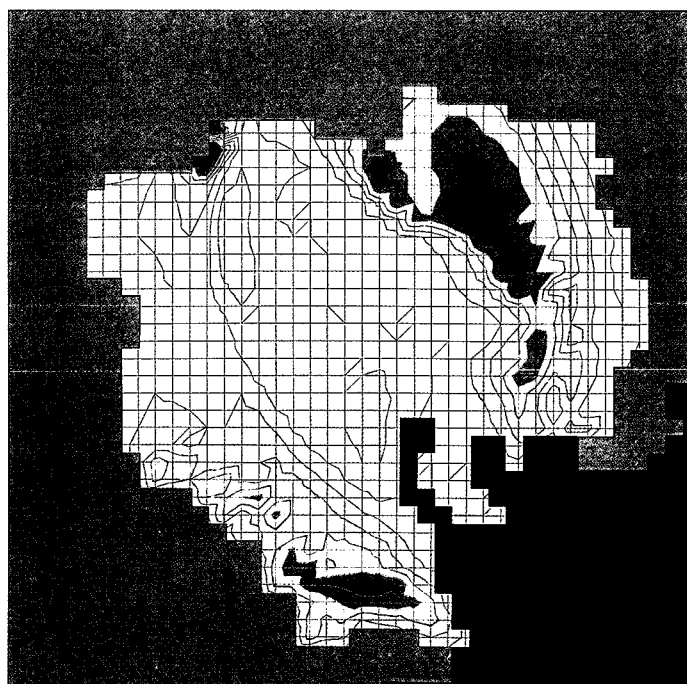
図4-53 風向・風速変化図（河川部に重点を置いた緑被）



凡例 (単位: °C)

■	33.50-34.00
■	33.00-33.50
■	32.50-33.00
■	32.00-32.50
■	31.50-32.00
■	31.00-31.50
■	30.50-31.00
□	30.00-30.50
□	29.50-30.00
□	29.00-29.50
□	28.50-29.00
□	28.00-28.50
□	27.50-28.00
□	27.00-27.50
□	26.50-27.00
■	26.00-26.50
■	25.50-26.00
■	25.00-25.50
■	24.50-25.00
■	24.00-24.50

図 4 - 54 気温分布図 (河川部に重点を置いた緑被) (単位: °C)

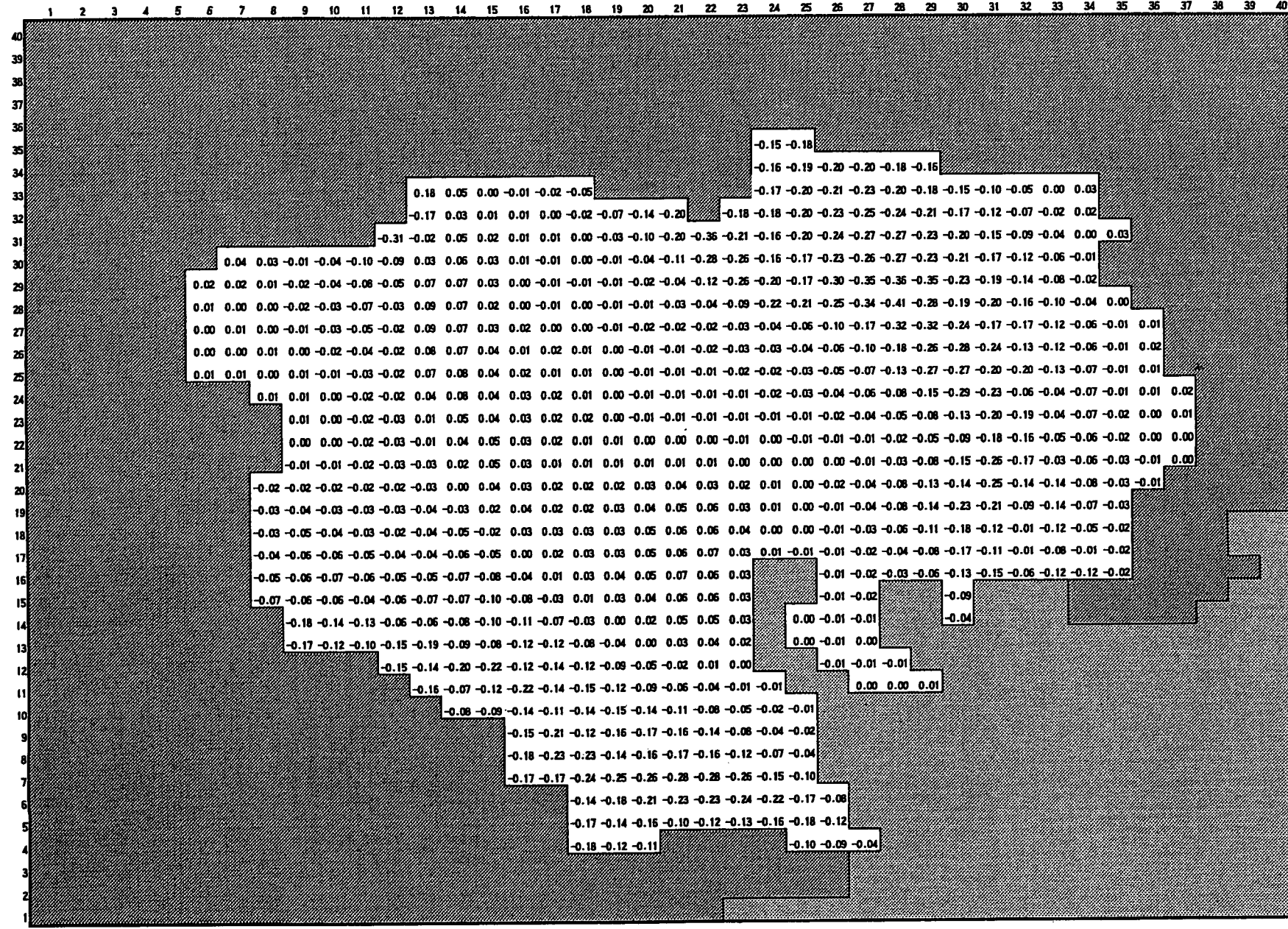


凡例 (単位: °C)

■	-0.60--0.55
■	-0.55--0.50
■	-0.50--0.45
■	-0.45--0.40
■	-0.40--0.35
■	-0.35--0.30
■	-0.30--0.25
■	-0.25--0.20
□	-0.20--0.15
□	-0.15--0.10
□	-0.10--0.05
□	-0.05--0.00
□	0.00--0.05
□	0.05--0.10
□	0.10--0.15
□	0.15--0.20
■	0.20--0.25
■	0.25--0.30
■	0.30--0.35
■	0.35--0.40

図 4 - 55 気温変化図 (河川部に重点を置いた緑被) (単位: °C)

図 4-56 気温変化データ (河川部に重点を置いた緑地) (単位: °C)



(4) 都心部に重点を置いた緑被（都心部重点緑被）

東京都区部における中央部分である都心部の120メッシュについて、緑被率を38%ずつ増加させたケースについて計算を行った結果を示す。

図4-57は風向・風速図、図4-58は現況の風向・風速図との比較から求めた風向・風速の変化量のベクトル図である。緑被率を増大させた都心部から収束帯に至るまでの範囲で顕著な風速低下が認められ、収束帯の周辺でも風速低下が起きている。これ以外の場所については、ほとんど変化が無い。東京湾上に達する影響も認められない。

図4-59は気温分布図、図4-60及び図4-61は現況の気温分布図との比較から求めた気温の変化図及び変化した気温のデータである。

緑被率を増加させた都心部から収束帯東側の地域にかけて顕著な気温低減が認められ、最大で0.45℃以上の気温低減が見られる。低温域は都心部全域に及んでいるが、その他の場所では昇温傾向にある。収束帯西側の部分において最大で0.20℃程度の昇温となっている。これは、全シミュレーション結果の中で最大の昇温である。

区部内の全メッシュの積算の気温変化量は-52.28℃となり、積算温度で比較すれば、30%均一緑被の場合の約1.8倍の気温低減効果であると評価できる。

積算温度で評価した場合、臨海部に重点を置いた緑被と同等であるが、昇温域も広いという欠点もあり、手法としては臨海部重点に劣るという結果になった。

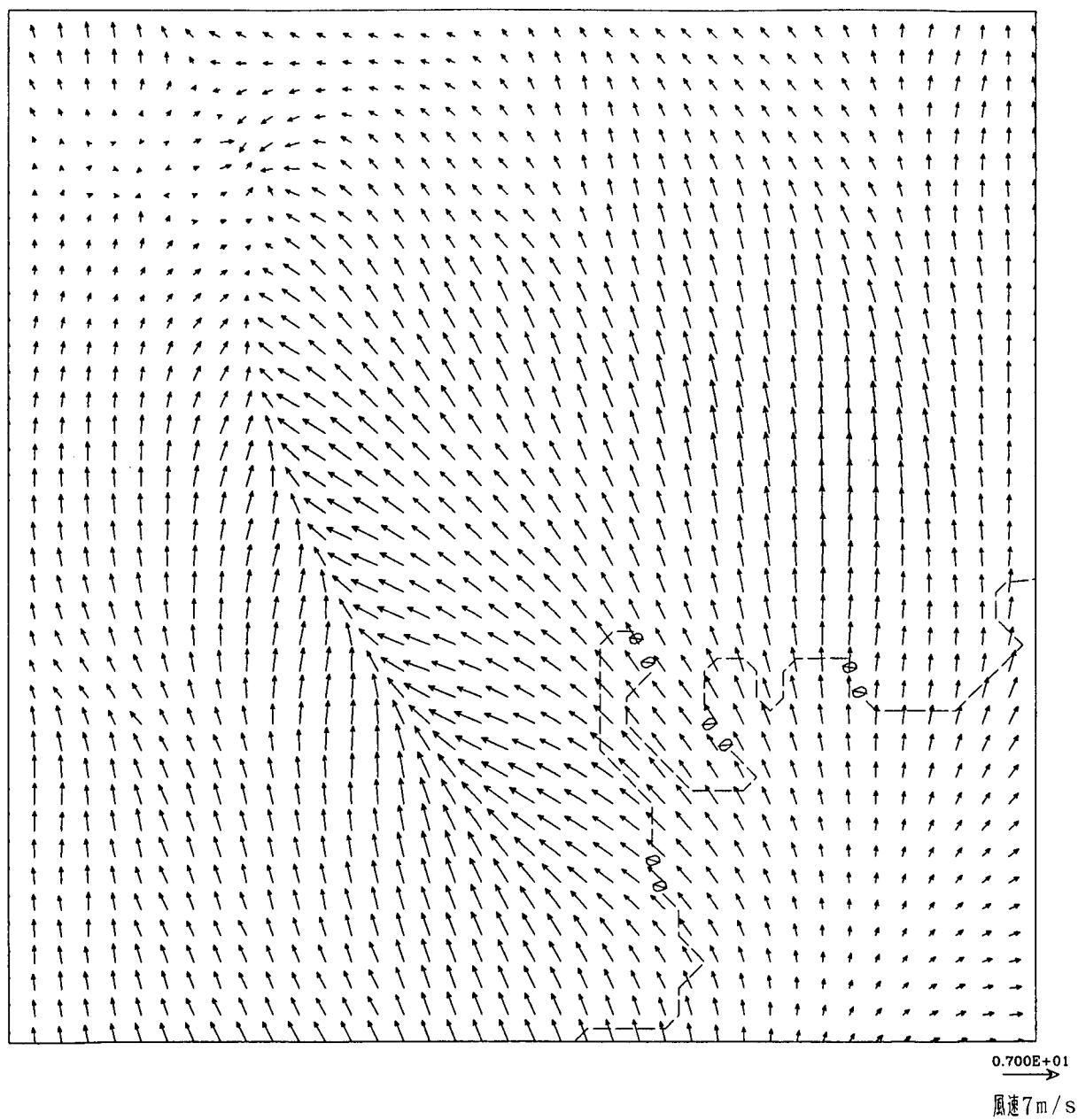


図 4-57 風向・風速解析図（都心部に重点を置いた緑被）

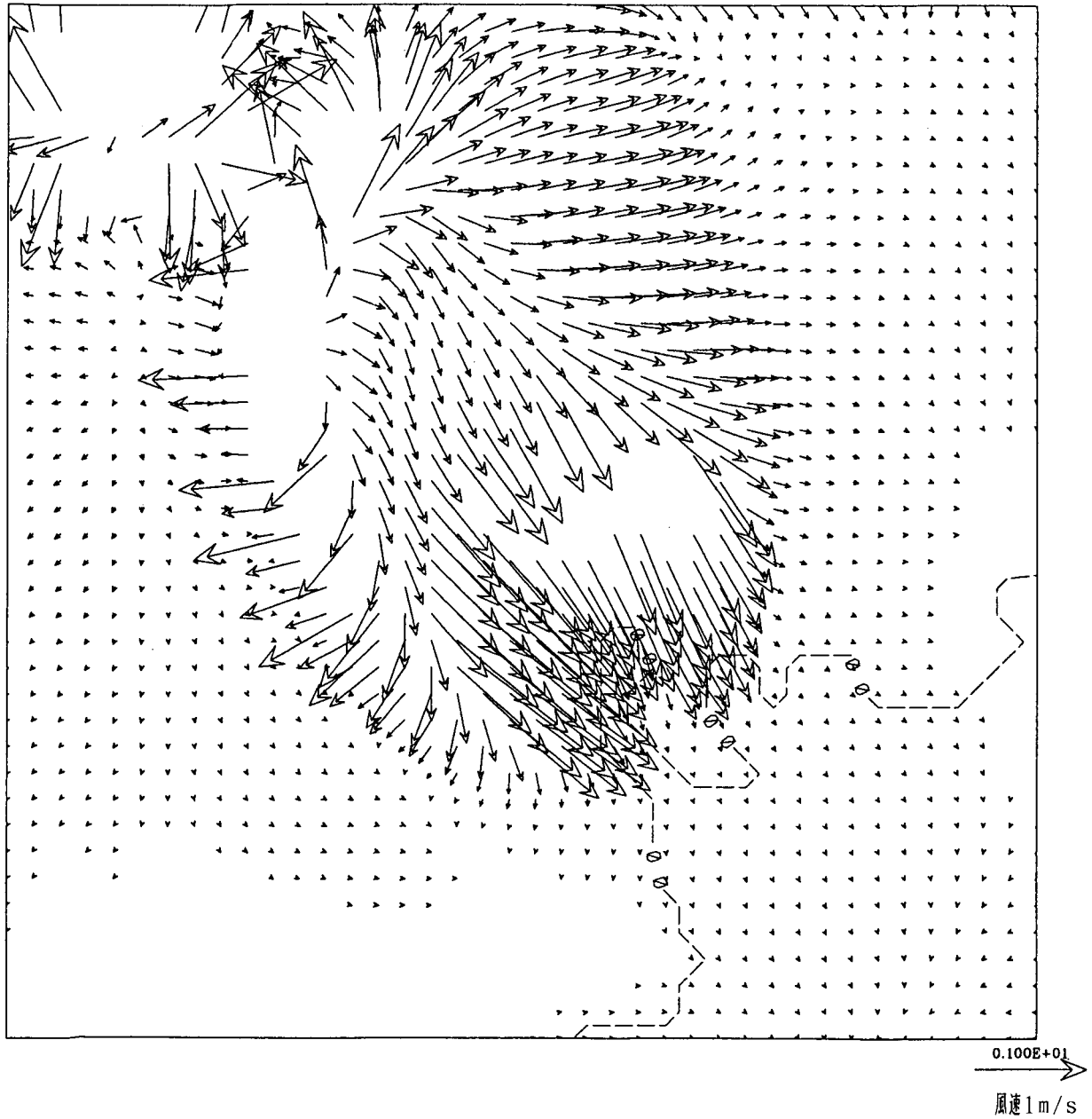
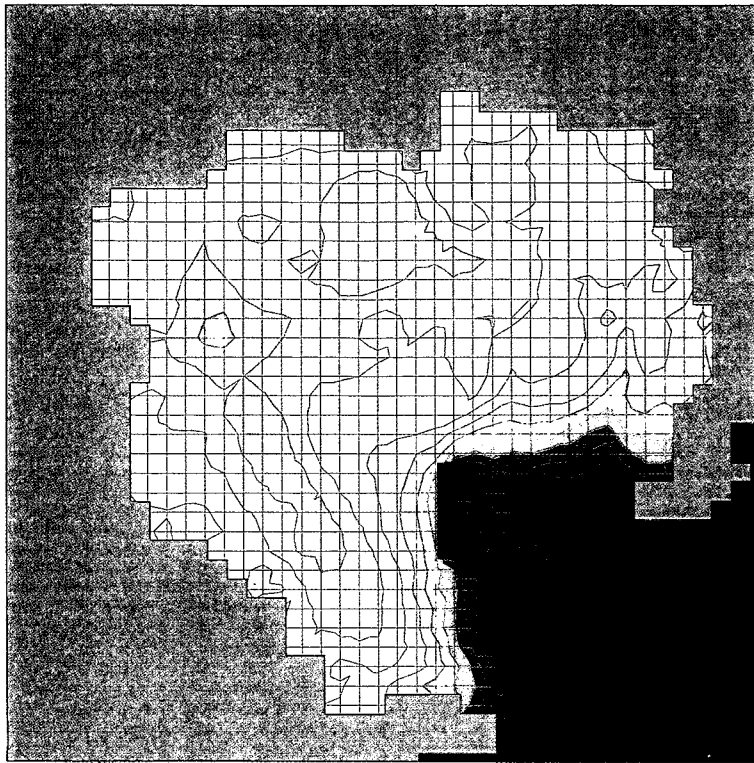


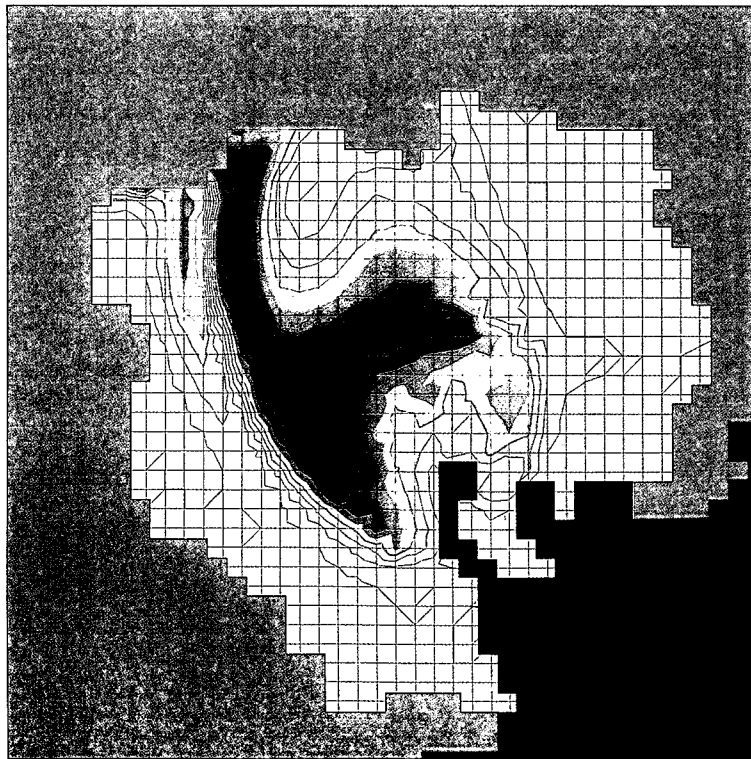
図 4 - 58 風向・風速変化図（都心部に重点を置いた緑被）



凡例 (単位: °C)

■	33.50-34.00
■	33.00-33.50
■	32.50-33.00
■	32.00-32.50
□	31.50-32.00
□	31.00-31.50
□	30.50-31.00
□	30.00-30.50
□	29.50-30.00
□	29.00-29.50
□	28.50-29.00
□	28.00-28.50
□	27.50-28.00
□	27.00-27.50
□	26.50-27.00
□	26.00-26.50
□	25.50-26.00
■	25.00-25.50
■	24.50-25.00
■	24.00-24.50

図 4-59 気温分布図 (都心部に重点を置いた緑被) (単位: °C)

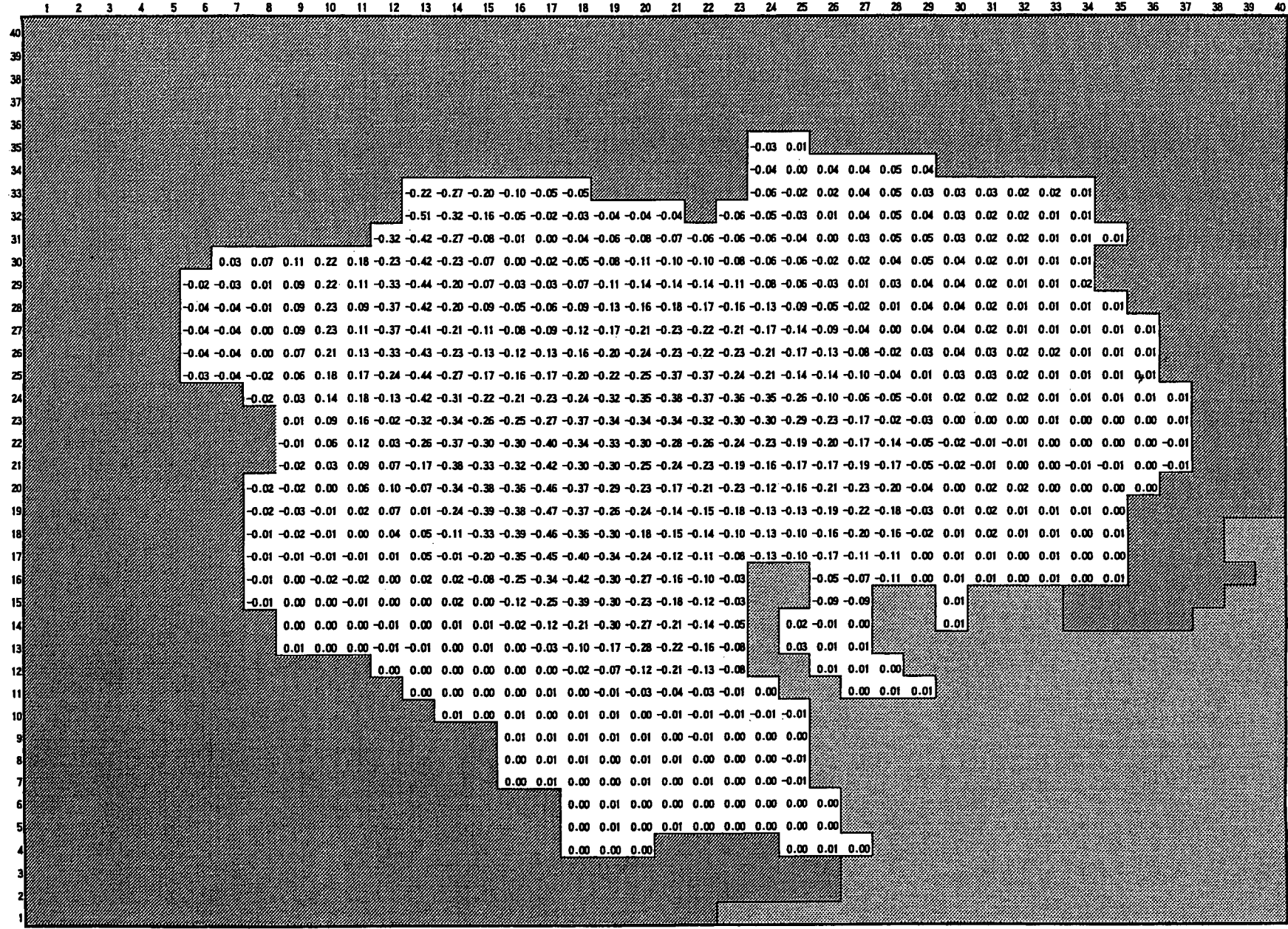


凡例 (単位: °C)

■	-0.60--0.55
■	-0.55--0.50
■	-0.50--0.45
■	-0.45--0.40
■	-0.40--0.35
■	-0.35--0.30
■	-0.30--0.25
□	-0.25--0.20
□	-0.20--0.15
□	-0.15--0.10
□	-0.10--0.05
□	-0.05-0.00
□	0.00-0.05
□	0.05-0.10
□	0.10-0.15
□	0.15-0.20
□	0.20-0.25
□	0.25-0.30
□	0.30-0.35
■	0.35-0.40

図 4-60 気温変化図 (都心部に重点を置いた緑被) (単位: °C)

図4-61 気温変化データ (都心部に重点を置いた緑被) (単位: °C)



(5) 均一の緑被（均一40%緑被）

東京都区部に位置するメッシュの緑被率を一律40%としたケースについて計算を行った結果を示す。

図4-62は風向・風速図、図4-63は現況の風向・風速図との比較から求めた風向・風速の変化量のベクトル図である。全体の傾向は30%均一緑被の場合と同じであり、その程度が顕著になったことが相違点である。

図4-64は気温分布図、図4-65及び図4-66は現況の気温分布図との比較から求めた気温の変化図及び変化した気温のデータである。当然のことであるが、30%均一緑被と比べると気温低減量が大きくなり、収束帯の東側全域で気温低減が認められ、最大で0.25~0.30℃程度の気温低減が見られる。収束帯の西側で若干の昇温域が認められるが、30%均一緑被の場合に比べると目立たない。40%均一緑被では、緑被率が現況よりも減少するメッシュはほとんど無いことが大きな理由であろうが、それでもなお、風速低下に伴うと考えられる昇温が認められるのは本研究のシミュレーションによって新たに得られた、注目すべき特徴である。

区部内の全メッシュの積算の気温変化量は-74.50℃となり、積算温度で比較すれば、30%均一緑被の場合の約2.5倍の気温低減効果であると評価できる。

現況からの緑被量の増加は、30%均一緑被の場合で7.5%増、40%均一緑被の場合で17.5%増である。つまり、緑被の増加量は、40%均一緑被の方が約2.3倍ということになる。気温低減効果は約2.6倍であり、この結果を見る限りにおいては、緑被率の増加と気温低減効果は相関関係があると考えられ、これは第Ⅲ章の解析結果とも整合している。

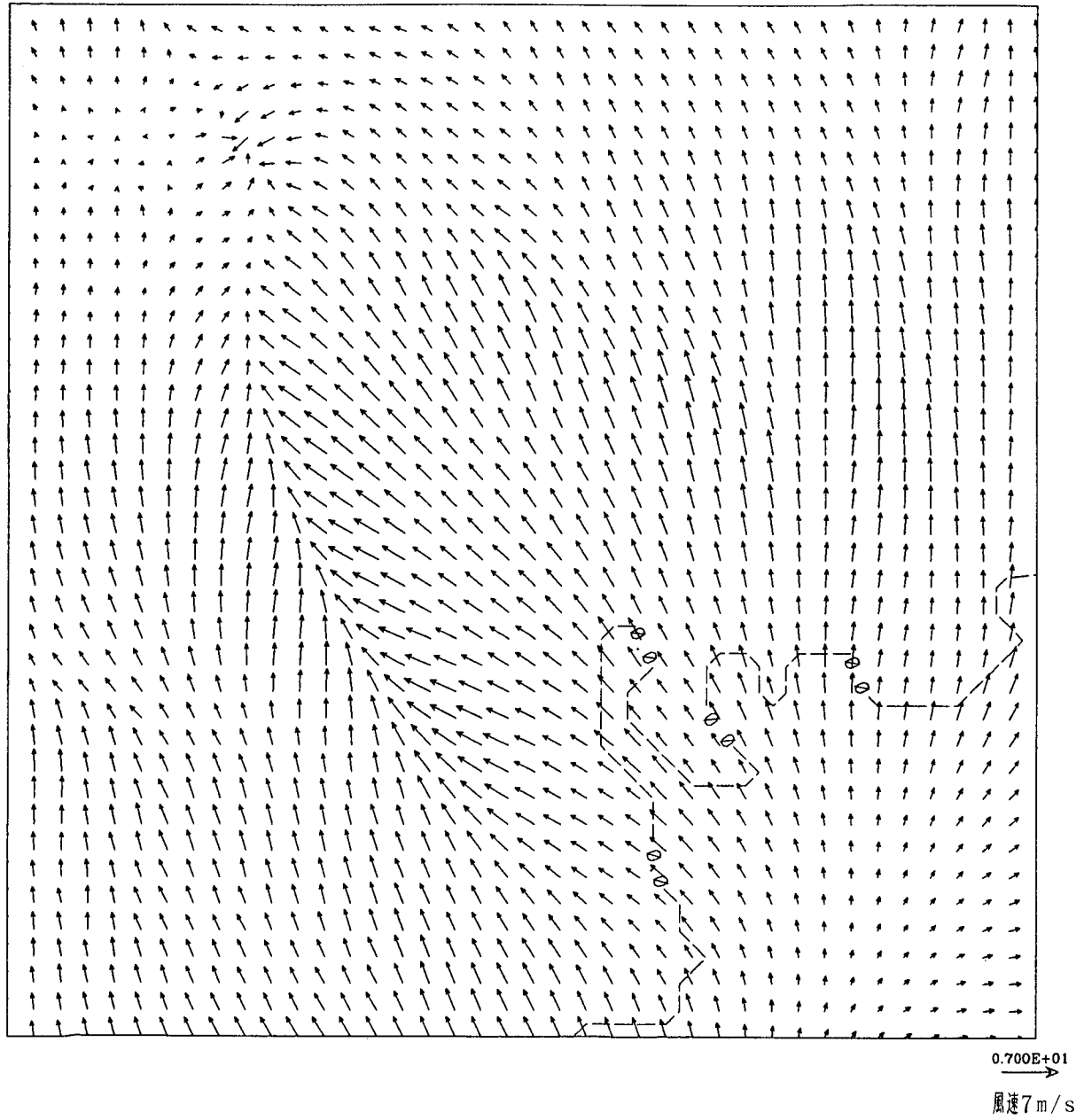


図4-62 風向・風速解析図（均一の緑被）（緑被率40%）

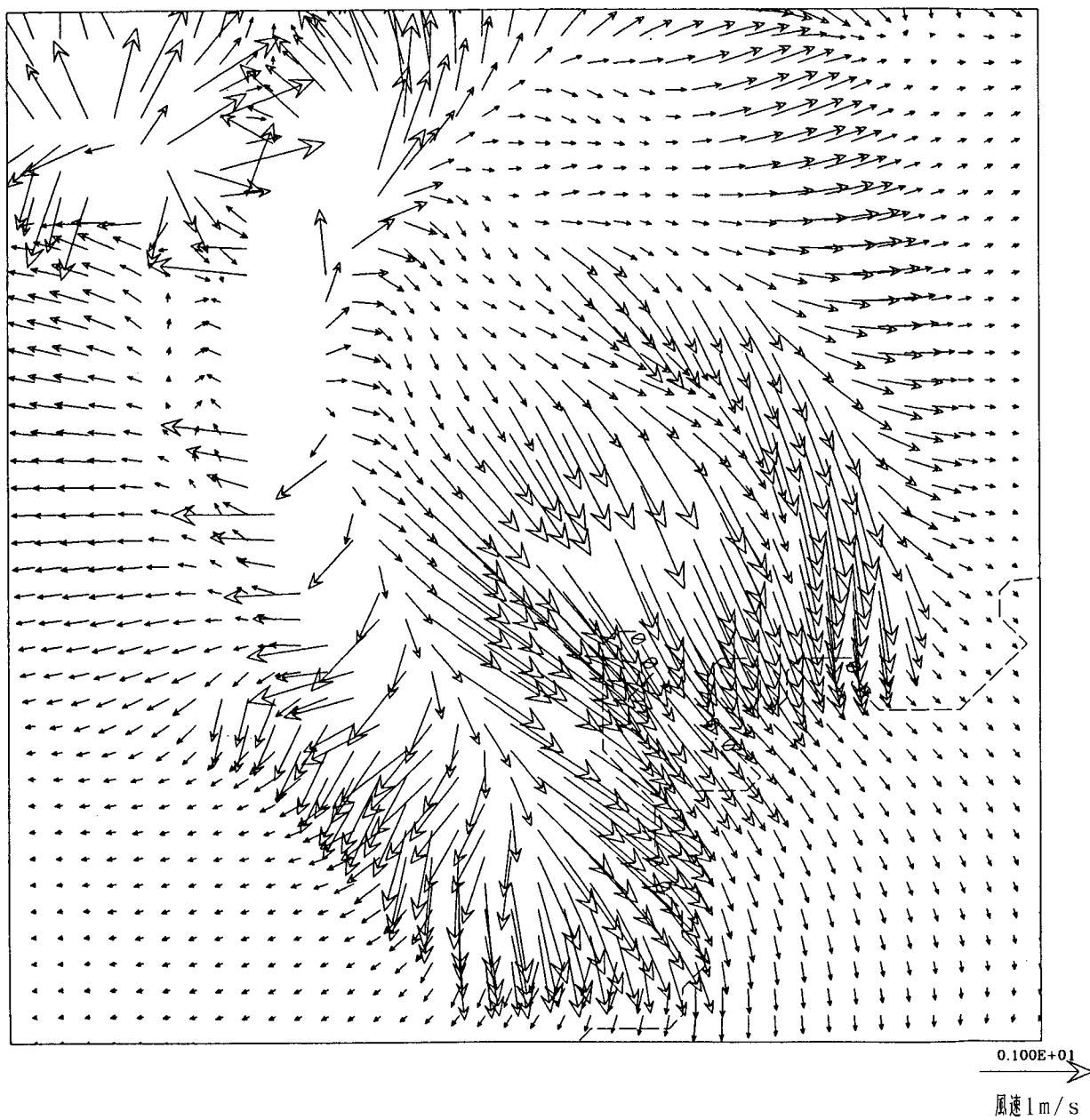
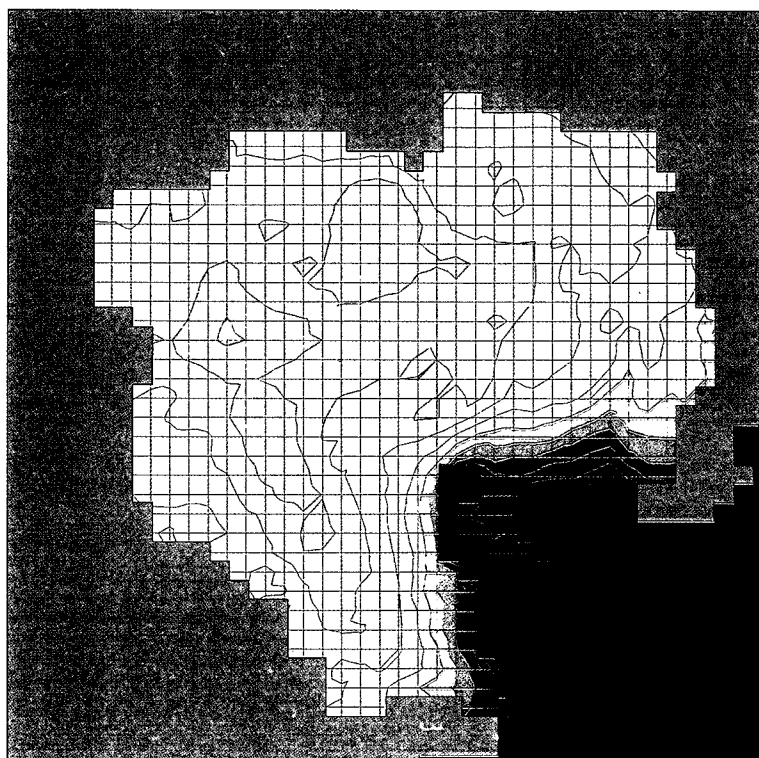


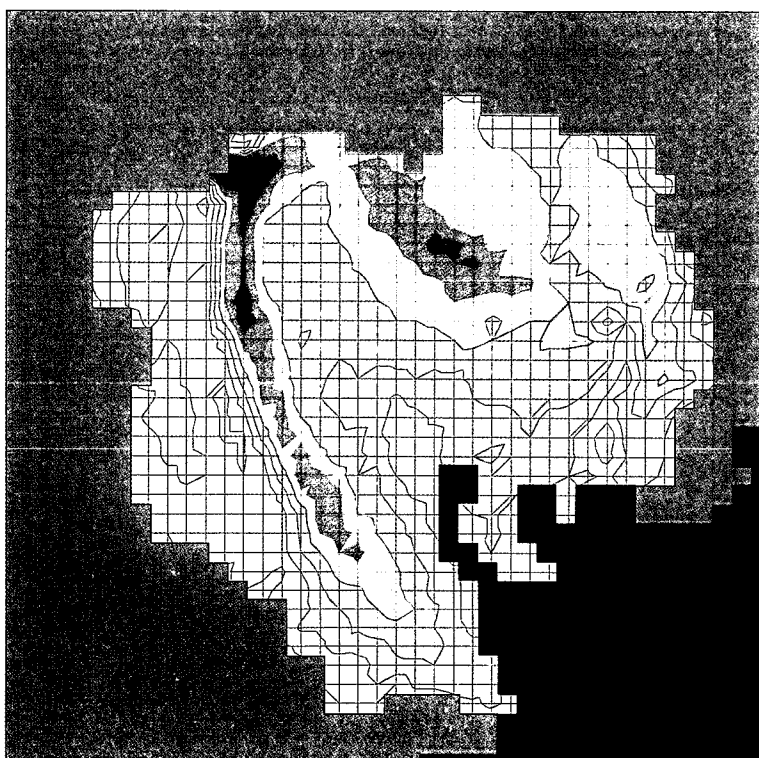
図 4 - 63 風向・風速変化図（均一の緑被）（緑被率40%）



凡例 (単位: °C)

■	33.50-34.00
■	33.00-33.50
■	32.50-33.00
■	32.00-32.50
▣	31.50-32.00
▣	31.00-31.50
▣	30.50-31.00
□	30.00-30.50
□	29.50-30.00
□	29.00-29.50
□	28.50-29.00
□	28.00-28.50
□	27.50-28.00
□	27.00-27.50
□	26.50-27.00
□	26.00-26.50
▣	25.50-26.00
■	25.00-25.50
■	24.50-25.00
■	24.00-24.50

図4-64 気温分布図 (均一の緑被) (緑被率40%) (単位: °C)



凡例 (単位: °C)

■	-0.60--0.55
■	-0.55--0.50
■	-0.50--0.45
■	-0.45--0.40
■	-0.40--0.35
■	-0.35--0.30
▣	-0.30--0.25
□	-0.25--0.20
□	-0.20--0.15
□	-0.15--0.10
□	-0.10--0.05
□	-0.05-0.00
□	0.00-0.05
□	0.05-0.10
□	0.10-0.15
□	0.15-0.20
□	0.20-0.25
□	0.25-0.30
□	0.30-0.35
■	0.35-0.40

図4-65 気温変化図 (均一の緑被) (緑被率40%) (単位: °C)

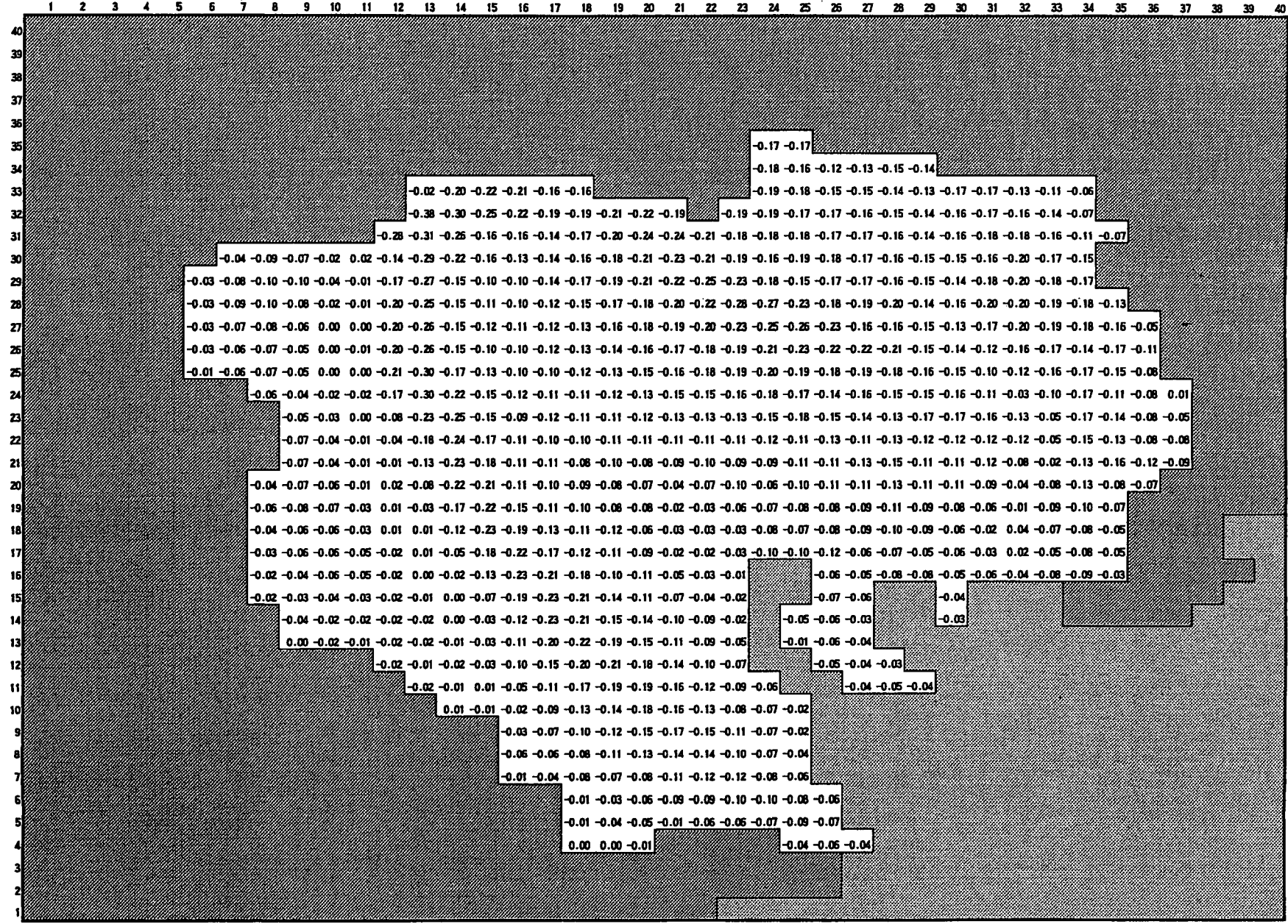


図4-66 気温変化データ (均一の緑被) (緑被率40%) (単位: °C)

(6) 複合部の緑被（複合部重点緑被）

臨海部、河川部、都心部を合わせた複合部の282メッシュについて、緑被率を38%ずつ増加させたケースについて計算を行った結果を示す。

図4-67は風向・風速図、図4-68は現況の風向・風速図との比較から求めた風向・風速の変化量のベクトル図である。全体の傾向は40%均一緑被の場合と同じであるが、それに加えて、緑被率を増加させた地域での一段と大きな風速低下が認められる。

図4-69は気温分布図、図4-70及び図4-71は現況の気温分布図との比較から求めた気温の変化図及び変化した気温のデータである。

40%均一緑被の場合と同様、ほぼ全域で低温化しており、特に収束帯東側の地域で顕著である。気温低減量は最大で0.50℃以上になる。一方で収束帯西側及び区部の東端の地域で昇温化が認められ、収束帯西側では0.20℃以上の昇温も認められる。

区部内の全メッシュの積算の気温変化量は-117.00℃となり、積算温度で比較すれば、30%均一緑被の場合の約4.0倍、40%均一緑被の場合の約1.6倍の気温低減効果であると評価できる。

複合部重点緑被による区部内の平均緑被率は40%であり、緑被の増加量は40%均一緑被の場合と同じである。都市内部に均一に緑地を配置するよりも、臨海部、河川部、都心部にそれぞれ重点的に配置する方が積算温度評価では約1.6倍有効であるということが示された。

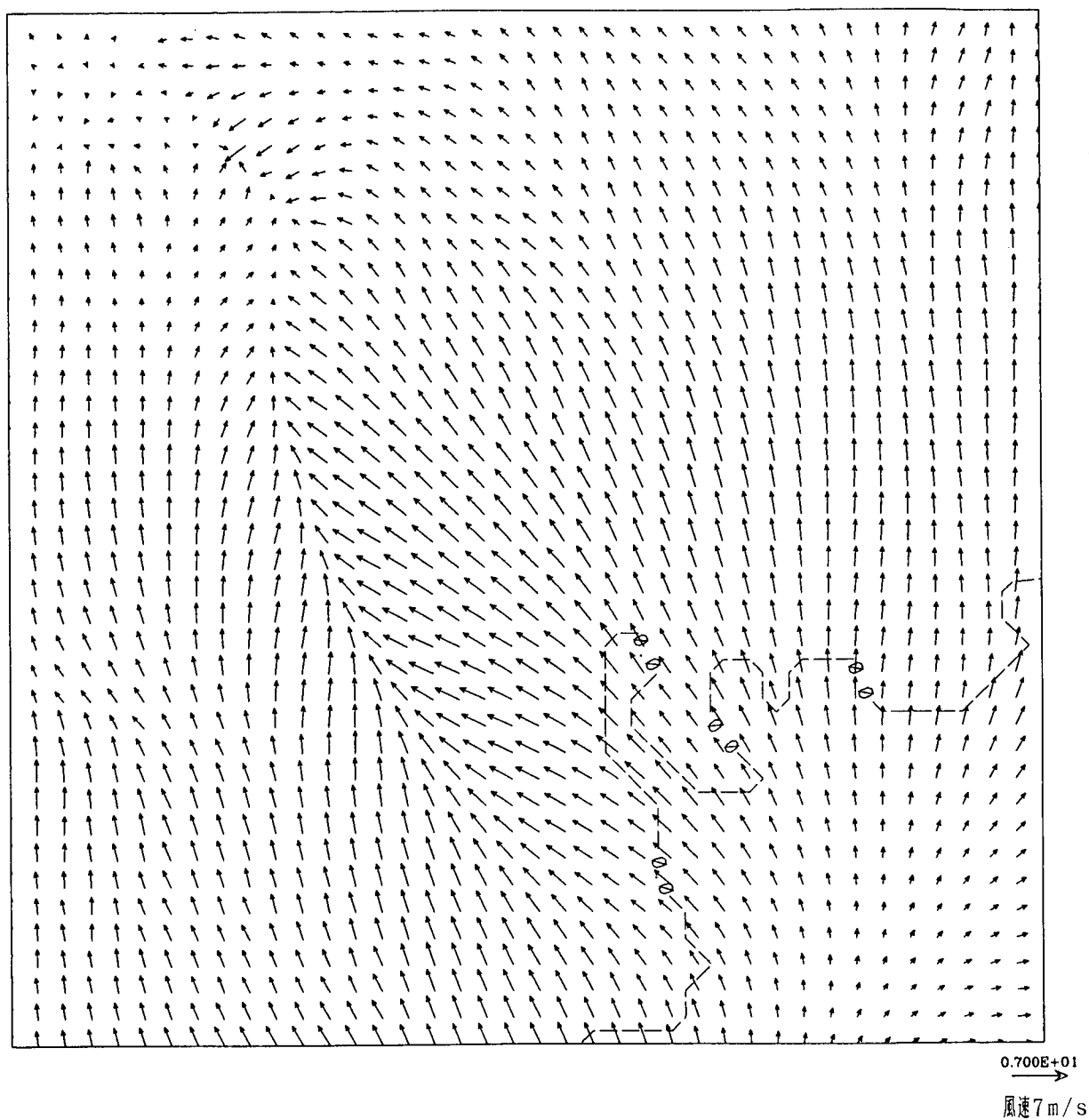


図 4 - 67 風向・風速解析図（複合部に重点を置いた緑被）（緑被率40%）

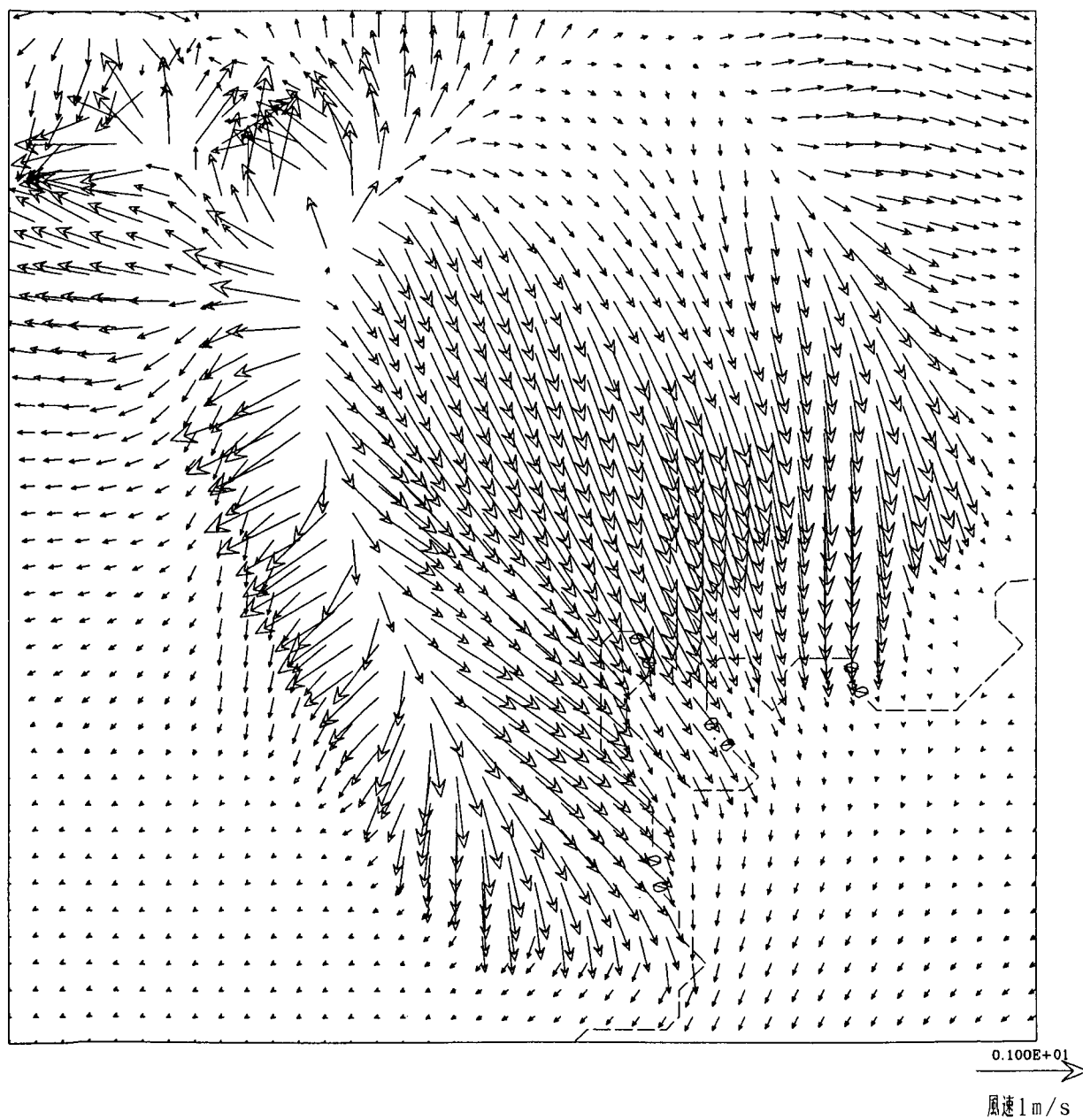
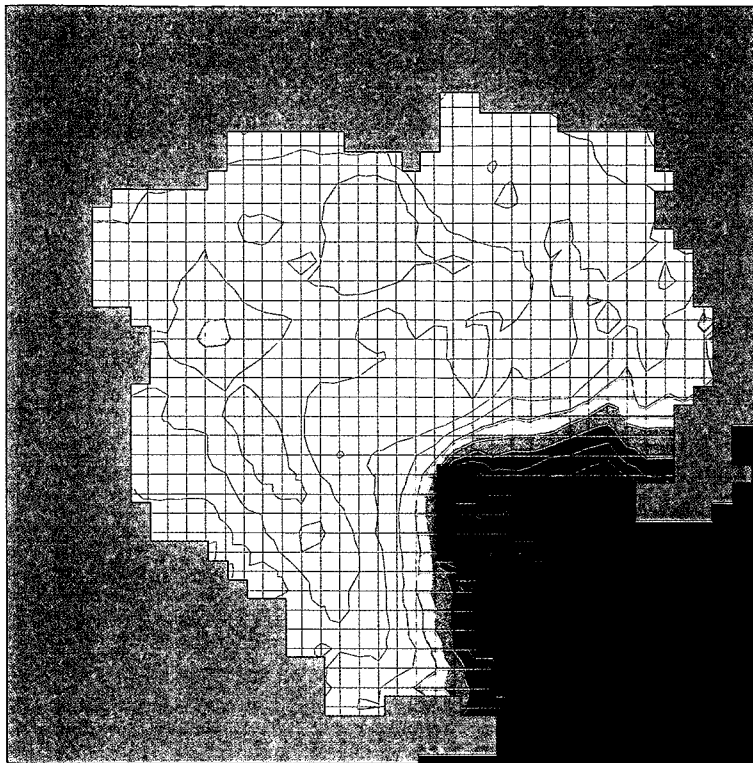


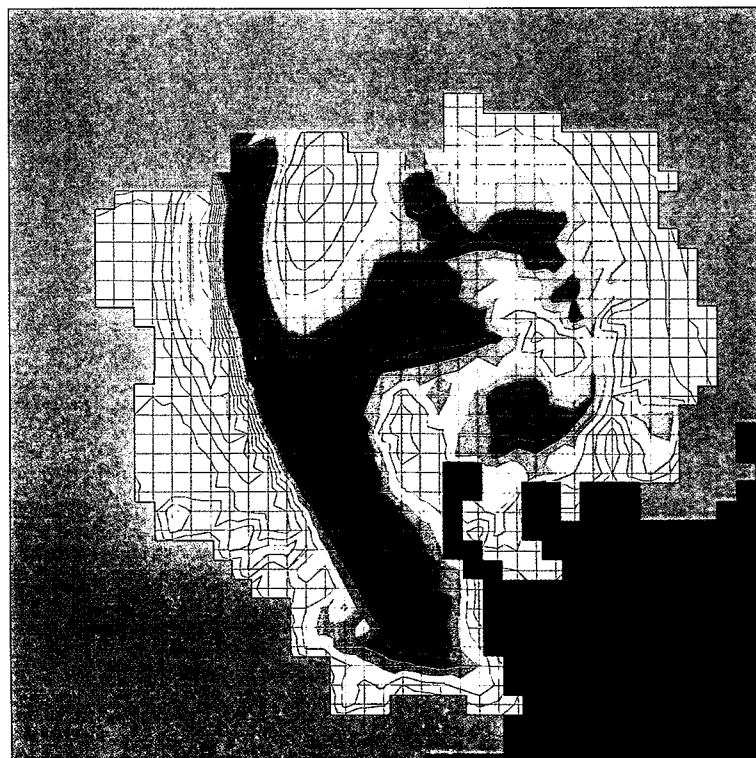
図4-68 風向・風速変化図（複合部に重点を置いた緑被）（緑被率40％）



凡例 (単位: °C)

■	33.50-34.00
■	33.00-33.50
■	32.50-33.00
■	32.00-32.50
□	31.50-32.00
□	31.00-31.50
□	30.50-31.00
□	30.00-30.50
□	29.50-30.00
□	29.00-29.50
□	28.50-29.00
□	28.00-28.50
□	27.50-28.00
□	27.00-27.50
□	26.50-27.00
□	26.00-26.50
■	25.50-26.00
■	25.00-25.50
■	24.50-25.00
■	24.00-24.50

図 4-69 気温分布図 (複合部に重点を置いた緑被) (緑被率40%) (単位: °C)

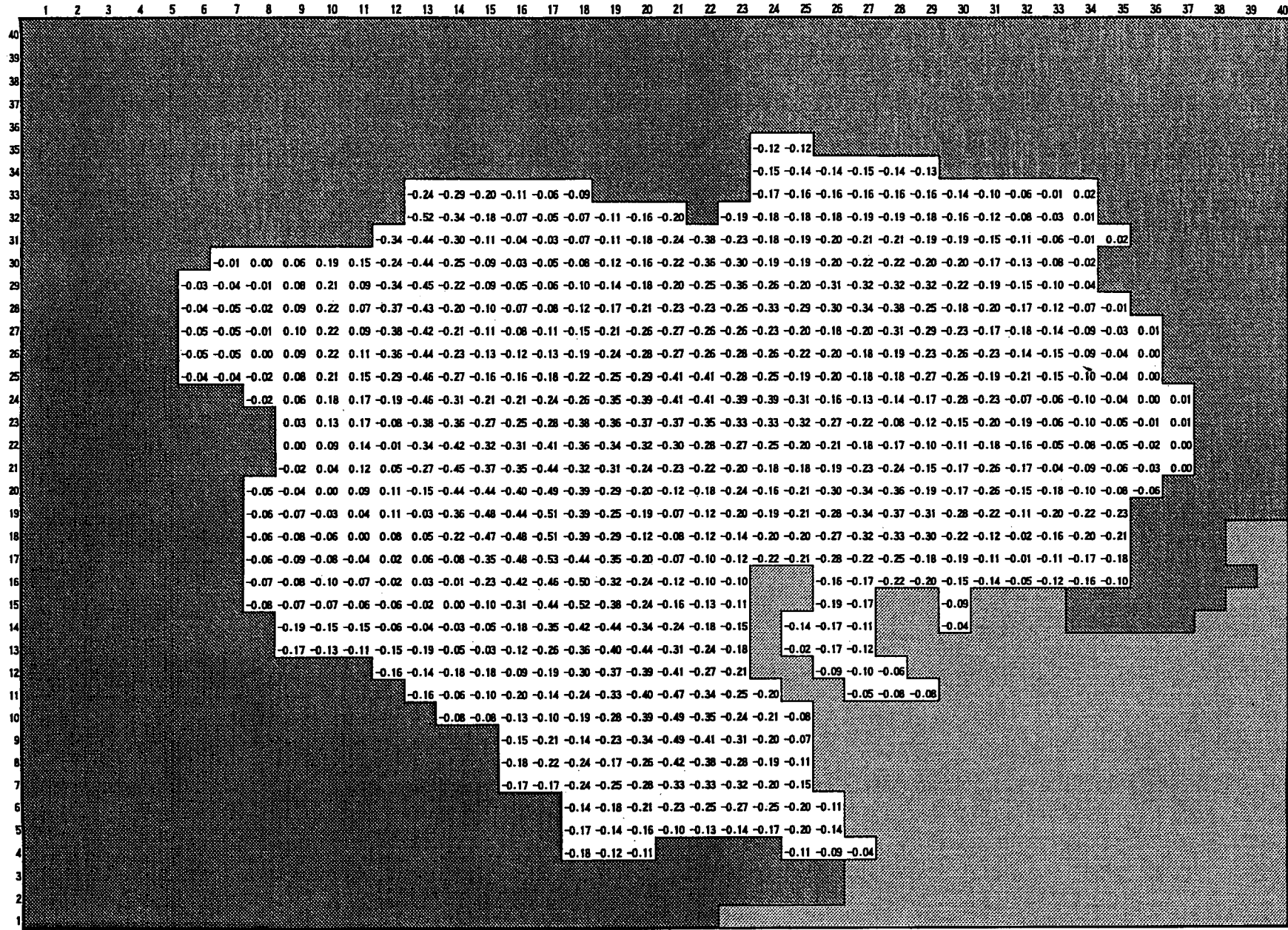


凡例 (単位: °C)

■	-0.60--0.55
■	-0.55--0.50
■	-0.50--0.45
■	-0.45--0.40
■	-0.40--0.35
■	-0.35--0.30
■	-0.30--0.25
□	-0.25--0.20
□	-0.20--0.15
□	-0.15--0.10
□	-0.10--0.05
□	-0.05--0.00
□	0.00-0.05
□	0.05-0.10
□	0.10-0.15
□	0.15-0.20
□	0.20-0.25
□	0.25-0.30
□	0.30-0.35
■	0.35-0.40

図 4-70 気温変化図 (複合部に重点を置いた緑被) (緑被率40%) (単位: °C)

図4-71 気温変化データ (複合部に重点を置いた緑被) (緑被率40%) (単位: °C)



3. 5 相互比較

以上、各ケースごとに解析結果を見てきたが、ここで各ケースを総括して相互比較を行う。まず、全6ケースの結果を一覧にして図4-72に示す。

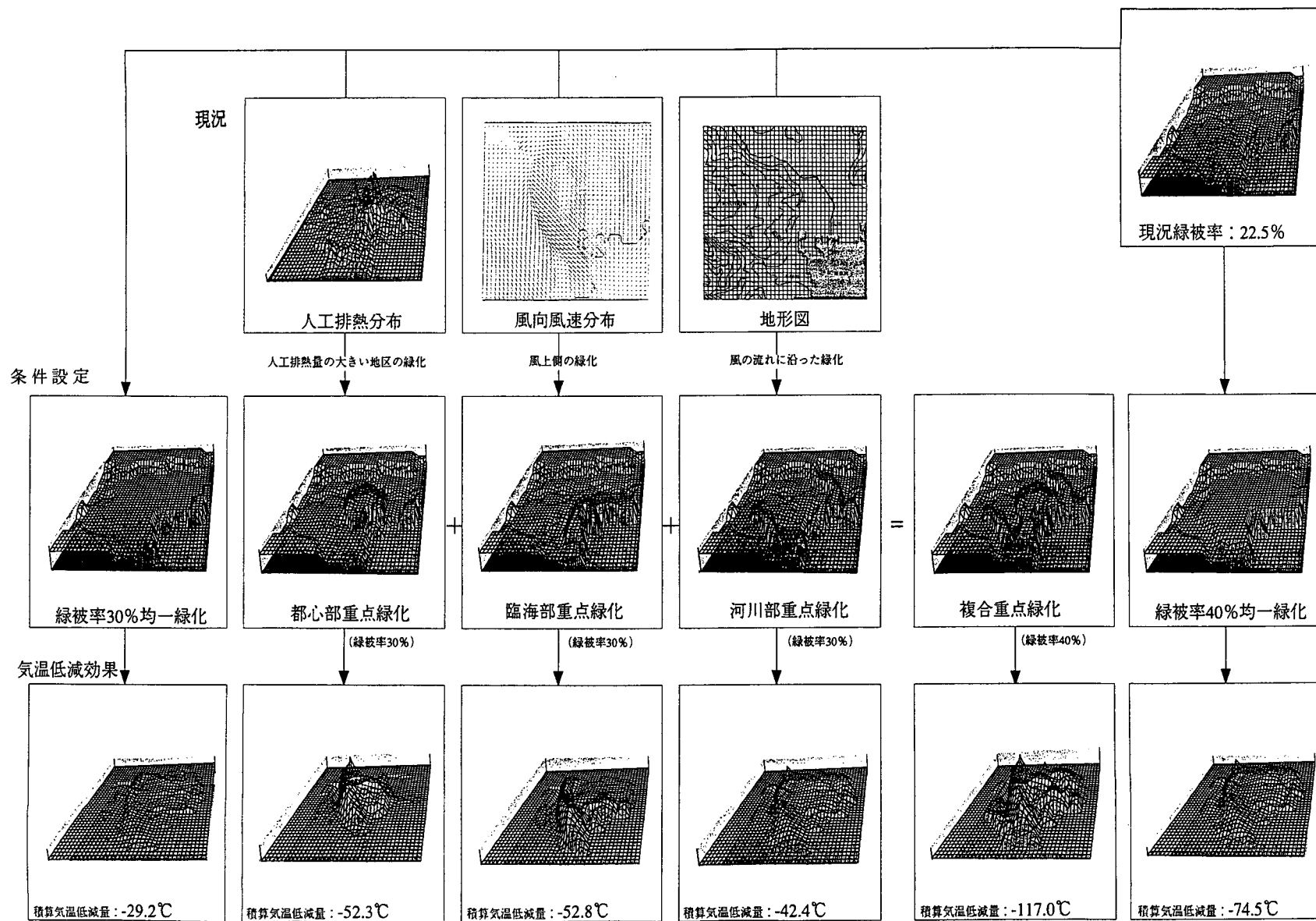


図4-72 緑地の配置による熱環境改善効果の比較

本研究は、当初のねらいとして、緑被を増やすと気温低減効果が上がることに焦点をあてていた。解析結果を見ると、すべてのケースにおいて、東京都区部全域でとらえた積算の気温変化量は減少していた。そのため、当初、解析に当たって評価の指標に「積算の気温変化量」という名称を付けていたが、この相互比較の段階から、名称を通じて緑被による効果を強調するという主旨にしたがって、その名称を「積算気温低減量」に変更する。

一方、解析結果を見ると東京都区部全域を累計した値で見ると明白に気温低減効果は上がっていたが、ケースによっては部分的に昇温する現象が認められた。また、気温低減域と昇温域の分布（広がり）も各ケースによって特徴があることが分かった。そのため相互比較に際しては、気温低減だけでなく昇温も含めた気温変化という観点から、東京都区部全域における気温分布の傾向、積算気温低減量及び気温低減効率（詳細は後述）、気温変化量などの事項に力点を置くこととする。また、熱環境に及ぼす緑被の効果を定量的に評価するための指標は、①積算気温低減量、②気温低減効果、③気温変化量とする。

3. 5. 1 気温分布の傾向

6 ケースの気温分布図を概観して比較すると、均一緑被の場合は30%緑被率及び40%緑被率のどちらのケースも、ほぼ全域に対して気温低減効果が及んでいた。一方、臨海部、河川部、都心部といった一部の地域に集中的に緑被を増加させたケースでは、いずれも緑被を増加させたメッシュ部分では顕著な気温低減が認められたが、一部地域で昇温傾向となることが明らかになった。とりわけ昇温現象は、もともと風速の小さかった環状8号線の収束帯付近で顕著に現れたが、都心部重点緑被、河川部重点緑被のケースでは昇温域がさらに広がり、緑被増加域以外のほとんど全域に及ぶことが認められた。特に都心部重点緑被のケースでは、6 ケースの中で昇温域が最も広範囲に発生した。

3. 5. 2 積算気温低減量及び気温低減効率

各ケースごとに計算された結果をまとめると表4-13の如くなる。評価の指標は積算気温低減量及び気温低減効率とする。ここで気温低減効率とは、積算気温低減量を緑被増加量で除した値であり、緑被の増加に伴って最も効率的に気温低減効果を発揮させる手法を明らかにするために求めた。つまり気温低減効率は、緑被率を1%増加させることによってどれだけ気温低減の効果が上がるかということを示しており、緑被の増大に伴う気温低減量の大きさを同一尺度で比較するための値ということになる。

表 4-13 シミュレーション結果総括表

番号	ケース	平均緑被率	増加緑被率	積算気温低減量	積算気温 低減量倍率 (1)を1.0	積算気温 低減量倍率 (5)を1.0	気温低減効率	気温低減 効率倍率 (1)を1.00	気温低減 効率倍率 (5)を1.00
		a	b	c	d	f	$g = c / b$	h	i
(1)	均一30% 緑被	30%	7.5%	-29.17℃	1.0	0.4	-3.89℃/%	1.00	0.91
(2)	臨海部重点 緑被	30%	7.5%	-52.81℃	1.8	0.7	-7.04℃/%	1.81	1.65
(3)	河川部重点 緑被	30%	7.5%	-42.39℃	1.5	0.6	-5.65℃/%	1.45	1.32
(4)	都心部重点 緑被	30%	7.5%	-52.28℃	1.8	0.7	-6.97℃/%	1.79	1.63
(5)	均一40% 緑被	40%	17.5%	-74.50℃	2.6	1.0	-4.27℃/%	1.10	1.00
(6)	複合部重点 緑被	40%	17.5%	-117.00℃	4.0	1.6	-6.69℃/%	1.72	1.57

3. 5. 2. 1 積算気温低減量

積算気温低減量を指標とした場合の結果は次の如くである。ここで「効果的」とは「積算気温低減量が多い」ことを意味している。

- ① 緑被の量を増加させた方が効果的である。(均一40%緑被は均一30%緑被の2.6倍)
- ② 同じ緑被率であれば均一よりも重点を置いた配置の方が効果的である。
- ③ 同じ30%の緑被率の中では臨海部重点緑被が最も効果的である。(均一30%緑被の1.8倍)
- ④ 同じ30%の緑被率では、臨海部重点緑被>都心部重点緑被>河川部重点緑被>均一緑被の順で効果的である。
- ⑤ 同じ40%の緑被率では複合部重点緑被は均一緑被に比べて非常に効果的である。(均一40%緑被の1.6倍)
- ⑥ 設定したケースの中では複合部重点緑被(緑被率40%)が最も効果的である。(均一30%緑被の4.0倍)

3. 5. 2. 2 気温低減効率

気温低減効率を指標とした場合の結果は次の如くである。ここで「効率がよい」とは「1%当たりの気温低減効率の値が比較的に大きい」、「効率がわるい」とは「1%当たりの気温低減効率の値が比較的に小さい」を意味している。

- ① 均一緑被の場合、増加させる緑被率が多いほど効率がよい。
(均一40%緑被は均一30%緑被の1.1倍)
- ② 同じ緑被率であれば均一よりも重点を置いた配置の方が効率がよい。
- ③ 設定したケースの中では臨海部重点緑被が最も効率がよい。(均一30%緑被の1.8倍)
- ④ 臨海部重点緑被(緑被率30%)は、もっと緑被率が多い(緑被率40%)均一緑被及び複合部重点緑被のケースよりも効率がよい。

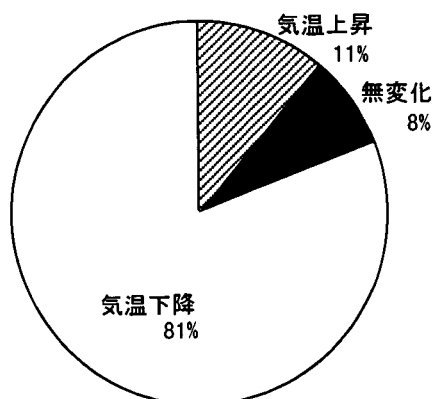
- ⑤ 同じ30%の緑被率で重点的に配置するケースの中では、河川部重点緑被は最も効率がわるい。
それにも拘らず、河川部重点緑被はもっと緑被率の多い（緑被率40%）均一緑被のケースよりも効率がよい。
- ⑥ 同じ40%の緑被率では複合部重点緑被は均一緑被に比べて非常に効率がよい。（均一40%緑被の1.6倍）

3. 5. 3 気温変化量

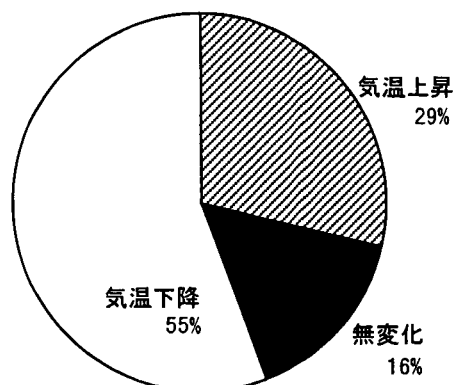
気温変化量について気温の下降・上昇・無変化といった観点からさらに詳しく見てみよう。

図4-73は、6 ケースそれぞれの計算結果ごとに、東京都区部すべての対象メッシュ（658メッシュ）における気温変化の内容について、①気温が0.01℃以上、上昇したメッシュの割合、②±0.01℃未満の変化量で無変化であったメッシュの割合、③0.01℃以上、下降したメッシュの割合を求めて円グラフで表したものである。

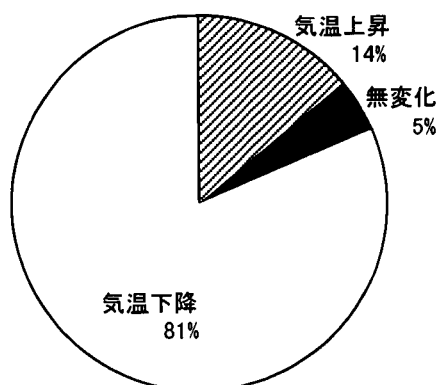
また、図4-74は、各ケースについてメッシュの気温変化量を0.05℃間隔の階級に分け、ヒストグラム化したものである。



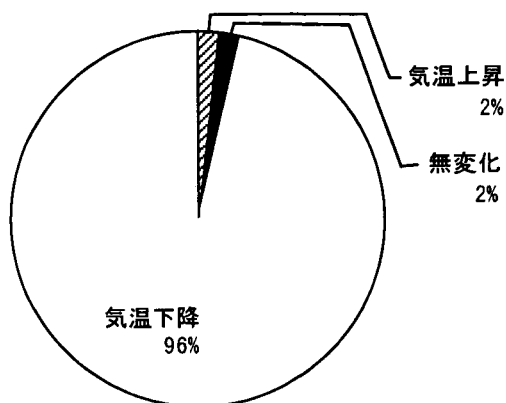
ケース(1) 均一30%緑被



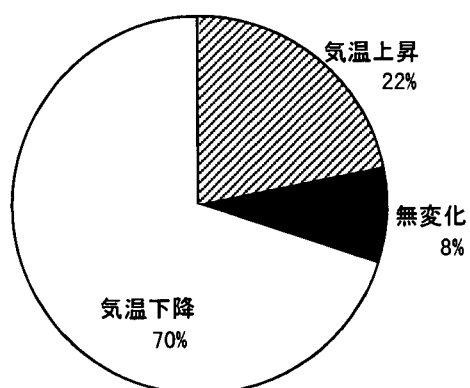
ケース(4) 都心部重点緑被



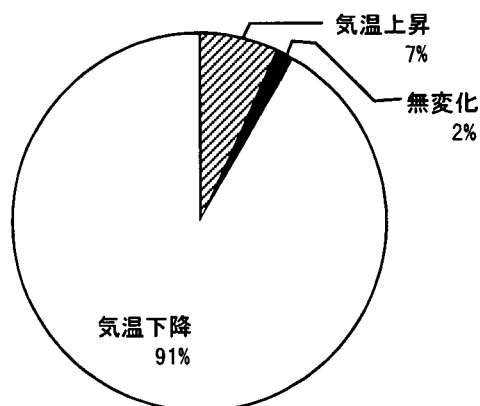
ケース(2) 臨海部重点緑被



ケース(5) 均一40%緑被



ケース(3) 河川部重点緑被



ケース(6) 複合部重点緑被

[注]

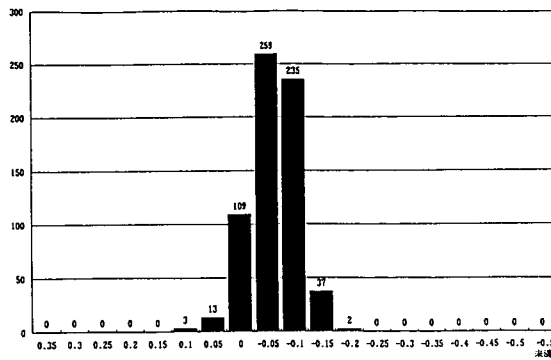
気温変化の内容別メッシュ数の割合(円グラフ)に関する用語の定義は、次の如くである。

気温上昇：シミュレーション上、 $+0.01^{\circ}\text{C}$ 以上($+0.01^{\circ}\text{C}$ を含む)の気温上昇があったメッシュ

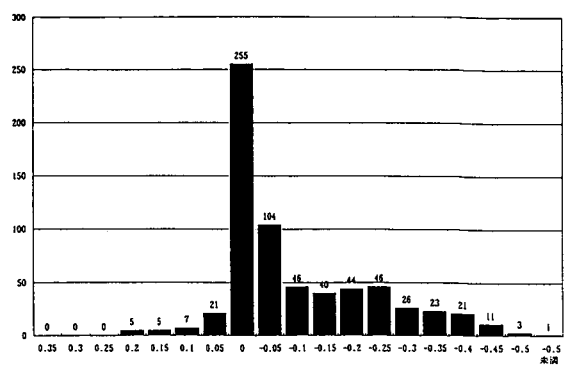
無変化：シミュレーション上、気温変化が0であったメッシュ($\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ 未満の気温変化)

気温下降：シミュレーション上、 -0.01°C 以上(-0.01°C を含む)の気温低下があったメッシュ

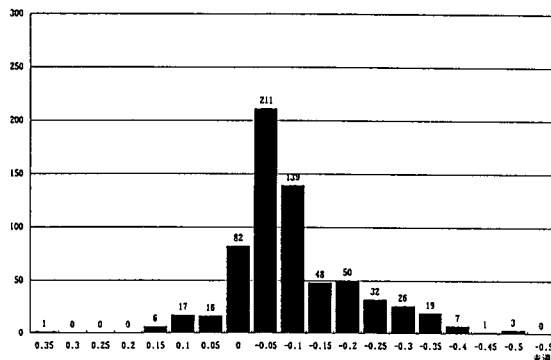
図4-73 気温変化の内容別メッシュ数の割合



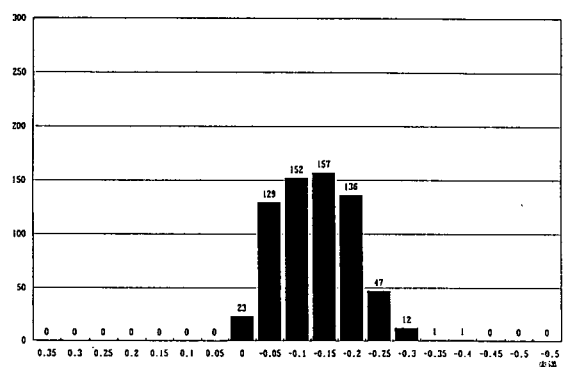
ケース（１） 均一 30% 緑被



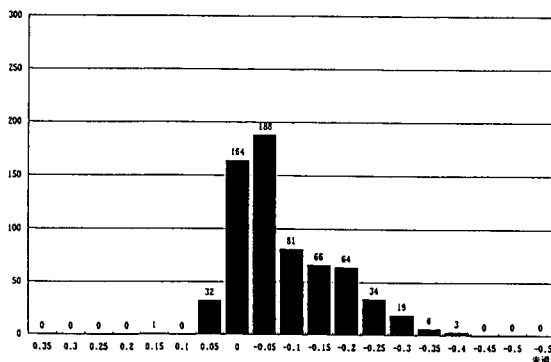
ケース（４） 都心部重点緑被



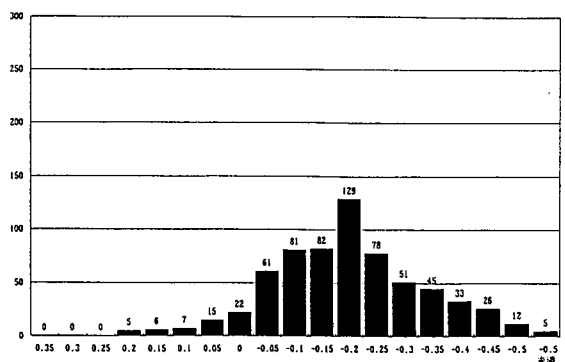
ケース（２） 臨海部重点緑被



ケース（５） 均一 40% 緑被



ケース（３） 河川部重点緑被



ケース（６） 複合部重点緑被

[注]

気温変化のヒストグラムに関する表現の意味は、次の如くである。

0.05℃以上の昇温：ヒストグラムでいえば、0.05の階級を含んで、これより大きな（気温が上昇した）値の階級に属するメッシュの個数を合計した値。

0.10℃より大きな気温低減：ヒストグラムでいえば、-0.15の階級を含んで、これより小さな（気温が低減した）値の階級に属するサンプルの個数を合計した値。（-0.10の階級は「-0.10以上、0未満」のメッシュを含むという意味である。

-0.10より大きい気温低減の（大きく気温が低減した）メッシュではない。）

図 4-74 気温変化量のヒストグラム

図4-73及び図4-74から、各ケースにおける気温変化量の状況は次の如くと把握できる。

(1) 均一の緑被（均一30%緑被）

均一30%緑被のケースでは、全体の11%（71メッシュ）で気温が上昇し、8%（54メッシュ）で無変化であった。気温上昇量自体は非常に小さく、0.05℃以上の昇温が認められたのは16メッシュに留まった。一方、気温低減効果自体の大きさも小さく、0.10℃より大きな気温低減となったのは、全体の6%（39メッシュ）であった。

(2) 臨海部に重点を置いた緑被（臨海部重点緑被）

臨海部重点緑被のケースでは、全体の14%（91メッシュ）で気温が上昇し、5%（31メッシュ）で無変化であった。0.05℃以上の昇温が認められたのは39メッシュで、全体の6%であった。気温低減効果は、均一緑被の場合と比べると顕著であり、0.10℃より大きな気温低減となったのは、全体の28%（186メッシュ）であった。

(3) 河川部に重点を置いた緑被（河川部重点緑被）

河川部重点緑被のケースでは、全体の22%（143メッシュ）で気温が上昇し、8%（54メッシュ）で無変化であった。0.05℃以上の昇温が認められたのは33メッシュで、全体の5%であった。気温低減効果は、均一緑被の場合よりも顕著であるが、臨海部重点緑被には及ばない。0.10℃より大きな気温低減となったのは、全体の29%（192メッシュ）であった。

(4) 都心部に重点を置いた緑被（都心部重点緑被）

都心部重点緑被のケースでは、全体の29%（189メッシュ）で気温が上昇し、16%（104メッシュ）で無変化であった。気温の上昇したメッシュの割合、無変化の割合ともに、全ケースの中で最大であった。0.05℃以上の昇温が認められたのは38メッシュで、全体の6%であった。気温低減効果は顕著であり、0.30℃、0.40℃といった大きな階級の気温低減量を示すメッシュもあった。0.10℃より大きな気温低減となったのは、全体の33%（215メッシュ）であった。

(5) 均一の緑被（均一40%緑被）

均一40%緑被のケースでは、全体の2%（11メッシュ）で気温が上昇し、2%（12メッシュ）で無変化であった。気温の上昇したメッシュの割合は全ケースの中で最小であった。気温上昇量も非常に小さく、0.05℃以上の昇温が認められたメッシュの数は0であった。気温低減効果自体の大きさは、30%均一緑被の場合よりも大きくなったものの、臨海部重点緑被、河川部重点緑被、都心部重点緑被の各ケースのように大きな気温低減量を示すメッシュは出現しなかった。0.10℃より大きな気温低減となったのは、全体の54%（354メッシュ）であった。

(6) 複合部に重点を置いた緑被（複合部重点緑被）

複合重点緑被のケースでは、全体の7%（44メッシュ）で気温が上昇し、2%（11メッシュ）で無変化であった。気温の上昇したメッシュの割合、無変化の割合は、40%均一緑被率のケースに次いで少ない。0.05℃以上の昇温が認められたのは33メッシュで、全体の5%であった。気温低減効果は顕著であり、0.50℃よりも大きな気温低減量を示すメッシュもあり、気温低減量自体は全ケースの中で最大である。0.10℃より大きな気温低減となったのは、全体の70%（461メッシュ）であった。

以上の6ケースを気温変化量を指標として相互比較した結果は、次の如くである。ここで「広範囲である」ないし「範囲が広い」とは「全域に占めるメッシュの割合が大きい」ことを意味し、「範囲が狭い」とは、「全域に占めるメッシュの割合が小さい」ことを意味している。

- ① 緑被の量を増加させた方が広範囲で気温が下降する。(40%の緑被率ではどちらのケースも全域の90%以上の範囲で下降した。一方、30%の緑被率では下降する範囲は55%から81%である。)
- ② 同じ30%の緑被率の中では臨海部重点緑被において最も広範囲に気温が下降し、昇温の範囲は最も狭い。(下降は全域の81%、昇温は14%)
- ③ 同じ30%の緑被率の中では、臨海部重点緑被>河川部重点緑被>都心部重点緑被の順で気温下降の及ぶ範囲が広い。
- ④ 同じ30%の緑被率の中では都心部重点緑被において気温下降の範囲が最も狭く、気温上昇及び無変化の範囲が最も広い。
- ⑤ 同じ緑被率の割合には均一の緑被の方が重点を置いた緑被よりも昇温の範囲は狭い。
- ⑥ 同じ40%の緑被率では均一緑被の方が複合部重点緑被よりも気温下降の範囲が広く、昇温の範囲が狭い。

IV-4. 総合考察

以上の如くに得られた各種の解析結果に基づき、都市の熱環境に及ぼす緑被の効果について総合的に考察を行う。本研究を進めてきた過程を顧みると、緑被による気温低減効果に焦点をあて、都市スケールにおいて、緑被の量及び緑被の配置という観点から、地表面の構成要素だけでなく都市気象のうち風の影響も考慮しながら仮説を立て、ヒートアイランドの顕著な大都市を代表する東京都区部を対象に、6ケースの条件を設定してシミュレーションを行った。その結果、仮説を検証する結論は得られたが、同時に、部分的に緑被の増加による風速の低下、気温の上昇といった、当初あまり焦点があてられていなかった現象が都市の熱環境と深い関係があるものとして明らかになってきた。そのため総合考察の順序としては、まず仮説が検証されたことを改めて整理し、次に緑被による都市気象の変化について風速の低下、気温の上昇等を中心に考察し、最後に第V章への橋渡しとして、これらの結論を緑被の計画に適用する可能性について考察する。

4. 1 仮説の検証

シミュレーションを行った結果、当初に設定した3つの仮説は次の如く検証された。

- ① 現況の緑被率を増加させた方が効果的である。
効果の度合いを表す数値としては、積算気温低減量を指標にした場合には、均一30%緑被の1.0に対して均一40%緑被は2.6倍、効果的である。
- ② 同じ緑被率でも、均一の緑被の配置よりも重点的に緑被を配置する方が効果的である。
すなわち同じ30%の緑被率でも均一緑被よりも重点緑被の方が効果的である。また、同じ30%の緑被率で重点的に配置する場合でも、ケースによって効果の度合いは異なる。同じ緑被率30%という条件下では臨海部への配置が最も効果的である。順位としては、臨海部重点緑被>都心部重点緑被>河川部重点緑被の順で効果的である。効果の度合いを表す数値としては、積算気温低減量を指標にした場合には、均一緑被1.0に対して効果的な順に、臨海部重点緑被1.8倍、都心部重点緑被1.8倍、河川部重点緑被1.5倍である。

さらに、同じ40%の緑被率でも均一緑被よりも複合部重点緑被の方が効果的である。効果の度

合いを表す数値としては、積算気温低減量を指標にした場合には、均一緑被1.0に対して、複合部重点緑被1.6倍、効果的である。

当初の条件設定にもどって考察すると、都市の熱環境を改善するために緑被を活用する場合、緑被による効果を一層上げるには緑被の増加と緑被の適切な配置が重要なポイントである。また、配置にあたっては風（卓越風）、河川などを利用した緑被の増加、人工排熱の多い部分（都心）への緑被の増加が効果的である。さらに、これらの中では風を利用した、風上への緑被の増加が最も効果的であると考察した。

③ 望ましいケースとして緑被率40%かつ複合部重点緑被を提案できる。

本研究では緑被が多い方が効果的であるとした上で、望ましい緑被率の下限として40%を挙げている。それを裏付けるように、今回のシミュレーションにおいては、緑被率30%よりも緑被率40%のケースの方が、積算気温低減量、気温低減効率、気温変化量のどの指標においても優れていた。同じ緑被率40%の2ケースの間では、複合部重点緑被の方が均一緑被に比べて非常に効果的であり、効率がよいことが明らかになった。すなわち均一緑被1.0に対して複合部重点緑被では積算気温低減量で1.6倍効果的であり、気温低減効率で1.6倍効率的であった。

この結論には次の点を解説しておく必要があるだろう。つまり気温分布量を指標にすると、同じ40%の緑被率でも複合部重点緑被では均一緑被よりも気温下降の範囲が若干縮小し、逆に昇温の範囲が若干拡大する現象が認められた。換言すれば緑被の増加によるメリットを享受できるメッシュが減り、逆にデメリットを被るメッシュが増えたことになる。しかし、本研究においては、部分ではなく東京都区部全域の気温低減量で捉えることを基本とするので、複合部重点緑被をもって望ましいケースとした。

また、今回設定した6ケースの気温低減効率を指標にすると、緑被率30%にも拘らず臨海部重点緑被が最も効率がよい。しかし、前述のように本研究ではそもそも望ましい緑被率の下限として40%を設定したので、この意味で比較の問題として緑被率40%を有する複合部重点緑被の方が臨海部重点緑被よりもまさっている。なお、緑被率40%でかつ臨海部だけに重点的に緑被を配置しようとする、臨海部の緑被率は極端に多くなり、あまりにも現実から離れたものになる。

以上の理由から、望ましいケースとして緑被率40%かつ複合部重点緑被を提案した。

4. 2 緑被による都市気象の変化

緑被による都市気象の変化として、本研究では当初、緑被を増加させた場所とその風下側での気温低減を主に想定していた。しかしシミュレーションの結果、それ以外にも、①風速の低下、②気温の上昇といった現象が認められた。特に地域と関連して特徴的な現象は、風の収束帯東側での気温低減及び西側での気温上昇であった。また、都市スケールで把握した場合の気温低減の数値の意味について、ここで言及しておく必要がある。そのため、これらの事項について考察を加える。

4. 2. 1 風速の低下

風速の低下については以下のように考えられる。まず、シミュレーション対象地域においては、設定した夏季の気圧配置下では、基本的には南東から北西に向けての風が吹くことになる。これに対して海上と地上の気温差に伴う海陸風の影響が加わる。本研究で解析対象としている15時には、海上が低温、内陸部が高温となり、風は海から陸に向けた方向に加速されることになる。したがって、この

場合には南東風が加速されることとなり、内陸部が高温になるほどこの傾向は強まるということになる。南東風は東京湾からの低温空気の吸入を促進し、また、風速自体が増大することにより顕熱の拡散が促進され、地表面の温度は下がる方向に変化する。

一方、緑被の増加による風速への影響は次の如くである。すなわち内陸部の緑被の増加により地表面温度が下がると、結局、前述の風速増加の作用が打ち消されることとなり、全体的な風速低下が引き起こされる。この現象自体は、気温を上げる方向に作用することとなる。しかし、緑被を増加させることで、その対象区域は潜熱拡散による気温低減作用を受け、緑化された区域の風下側には低温空気の流出効果をもたらす。いずれも緑被の増加は気温を下げる方向に作用することとなる。

この都市スケールでのシミュレーションで解明された、緑被の増加にともない風速が低下するという現象は、都市の熱環境と緑被に関する新たな知見として重要な示唆を与えてくれる。すなわち、従来は緑被の増加による気温の低減効果が強調されることが多かったが、今後は、緑被の増加によって風速が低下し得ることも、合わせて考慮する必要がある。

4. 2. 2 気温の上昇

緑被の増加による気温の低減と、風速の低下に伴う気温の上昇という2つの作用のバランスにより、それぞれの場所における気温変化が生じるわけであるが、シミュレーション結果を概観すると、河川部重点緑被、都心部重点緑被及び臨海部重点緑被のケースでは非緑化域（緑被を増加させなかった区域）で昇温傾向がまさる、特に臨海部重点緑被のケースでは収束帯付近で昇温傾向がまさる、均一緑被と複合部重点緑被のケースではほとんど大部分の区域において気温低減傾向がまさるという結果になった。すなわち緑被を増加させても緑被の配置によっては部分的に気温の上昇もあり得るという結果である。

ここで収束帯付近での気温の変化について説明しておく。収束とは風が集まる状態を差し、収束帯とは風が集まる地帯のことである。収束帯付近では一般に風速が弱まり、上昇気流を伴うといわれている。東京都区部の場合、環状8号線付近は風の収束帯である。首都圏では夏の午後に南風が吹くが、東京湾周辺では風向が若干、南東寄りになり、相模湾から吹いてくる南風と東京の西部で合流する傾向があるという（藤部、1996）。なお、夏の午後に環状8号線付近に、南北に並んだ積雲ができることがあり、これは「環八雲」と呼ばれている。

さて前述のように、それぞれの場所における気温変化は緑被の増加による気温の低減と、風速の低下に伴う気温の上昇のバランスにより生じるわけであるが、収束帯付近ではもともとの風速が小さいため、僅かな風速の変化が熱の移動に強い影響を与える。そのために、収束帯付近で顕著な昇温、気温低減が生じたものと考えられる。すなわち臨海部重点緑被のケースでは、東京湾からの冷たい空気と、緑被増加区域で生産された冷たい空気が風によって内陸に移流するのであるが、その際、風速が比較的低下した状態で移流し、収束帯に集まることになる。すると、収束帯付近では、現況の緑被の場合でも存在していた気温の高い部分が、より気温を上げながら若干風下側（西側）に移り、逆に風に運ばれてきた冷たい空気が収束帯沿いに集まって気温低減の部分的形成することになる。したがって、収束帯付近に顕著な昇温、気温低減が見られるのである。このことは、収束帯付近は海陸風を活かした熱拡散システムを利用しにくい場所であることを示しており、このような地域で熱拡散を促すためには、風による熱移動システム以外の方法を模索する必要がある。

気温の上昇という現象は、都市の熱環境と緑被に関する新たな知見として重要な示唆を与えてくれ

る。すなわち、従来は緑被の増加による気温の低減効果が強調されることが多かったが、今後は、緑被の増加によって風速が低下し、気温の上がる部分、あるいはそれほど気温が低下しない部分が生じ得ることも、状況に応じて、併せて考慮する必要がある。

また、風速の低下、気温の上昇などの現象は、一般的な気象現象の理にかなったものであり、これらの結果は、シミュレーション自体が的確に行われたことの傍証でもあると考察する。

4. 2. 3 気温低減の数値の意味

今回のシミュレーション結果で得られた気温低減効果は、最大でも 0.5°C 程度と、気温の低減量としては一見、非常に些少なものである。例えば、屋外に固定した測定点で、気温を連続して測定した場合の気温微変動の標準偏差ですら 0.5°C を越えており、 0.5°C の気温差というのは、言うなれば気温測定の見誤差の範囲内の値である。

今回のシミュレーションで得られた値は、微気象的には問題にならないような小さな効果という評価になるが、実際にはこの 0.5°C 、あるいはそれ以外の低減量であっても、以下に述べるような理由により重要な意味を持つものと考えられる。

最も肝心なことは、今回の計算結果は $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ を最小単位とした平均的な温位で示されていることである。一般に気象観測により得られる気温というのは、温度センサー部分あるいは百葉箱内での極めて限定された空間の平均温度である。空気は熱の不良導体であり、部分部分での温度の不均一は乱流により混ぜ合わされて均一化の方向に向かうが、日射により熱が絶え間なく供給されている日中においては、例えば $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ の範囲が均一の温度となることなどはあり得ない。都心内にいる人間が感じるのは、あくまでもその人がいる場所の微気象的な気温であり、これは本質的に「都市の温度」とは直接的な関係のない事象である。

都市スケールで、都心全体としての熱の移動、冷房用電力の低減などの事項を論じるためには、この「都市の温度」を対象に議論する必要がある。本研究で得られた結果は、まさにこの「都市の温度」の変化を捉えているわけであり、都市全体の熱と緑被の計画を論じるためには、このような都市スケールでの温度現象を基にしなければならない。

換言すれば、気象観測により得られたデータは、そもそもこのような議論の材料とするには問題が多く、本研究のようなシミュレーションによって初めて純然たる都市スケールでのデータが得られる。

平均的な温位（温度）が 0.5°C 下がるということの意味は、あくまで都市全体での熱的現象の中で捉えて評価しなければならないのであり、その効果の大小は体感的、微気象的な温度とは切り離して見ていく必要がある。気象庁（東京都千代田区大手町）の夏季の最高気温はここ数十年の間ほとんど変化していないという事実と照らし合わせれば、15時の温度が 0.5°C 低下するということは十分に意味を持つ数字であると考察する。

4. 3 計画への適用性

今回のシミュレーション結果からは、東京都区部を対象に考えた場合、緑化イコール気温低減というように、単純に結びつくわけではないということが分かってきた。緑被の量を増加させた地域では、ほぼ間違いなく気温低減効果は得られると考えられるが、区部全域といった広い範囲で見た場合には、ある場所の緑被の量の増加が、他の地域の気温上昇の原因となる可能性が示された。いわゆる“風の道”を考える場合には、単純に風の通り道を確保し、緑地帯を設けるといった方法では不十分であり、

地域の風配特性と、緑化による熱バランスの変化に留意した考え方が必要となろう。

積算気温低減量という指標で評価した場合は、設定したケースの中では河川部、臨海部、都心部においてそれぞれ緑被を増加させた複合部重点緑被が最も効果的であり、気温低減効率という指標で評価した場合は、臨海部重点緑被が最も効果的という結果になった。

この場合の臨海部重点緑被は、冷却対象地域に対する風上側への緑化という形式を取っており、これが対象地域に対する直接的な緑化である都心部重点緑被よりも効果が大きいというのは重要な結論である。高密度利用がなされている市街地中心部について緑被を増大させるのは不可能ではないにしろ非常な困難を伴うことであり、風上側の周辺地を重点的な緑化施策の対象地とする方が、はるかに現実的であるからである。

同じ緑被率30%の条件下では、臨海部の緑被の増加が比較的大きな気温低減効果を持っており、ヒートアイランドの緩和や新たに緑被のためのスペースを生み出す容易さから、夏季の温度低減効果については東京都区部においては臨海部の緑被率を重点的に高めることが効果的で現実的な手法である。

現況の気温のシミュレーション結果で高温とされる区域の気温が最も低減の幅が大きく、ヒートアイランドの弊害を被っている部分の温度を低減させるという意味では、臨海部の緑被を増加させることが望ましい。また、臨海部は、かつての工場用地から業務用地へと土地利用が変化しつつあり、埋め立て地の新たな開発も行われているなど、新たな緑被を生み出すことも都心部と比較すれば容易であると考えられる。これらのことを考え合わせると、臨海部の緑被率を重点的に高めることは非常に効果的である。

なお、気温変化量を指標にすると、同じ40%の緑被率でも複合部重点緑被の方が均一緑被よりも気温低下の範囲が狭く、昇温の範囲が広がった。換言すれば、各メッシュの居住者の立場になってみれば、複合部に重点的に緑被を配置すると、緑被の増加によって得られる筈の気温低減のメリットを享受できない範囲や、昇温というデメリットを被る範囲が拡大することになる。この点に関しては、公平性の確保、昇温域に対応した土地利用のあり方といった議論に発展する問題であり、今後の都市政策上の課題として整理しておく。

本研究の解析結果そのものは東京都区部を対象とした一事例にすぎないが、地表面温度の変化に起因する海陸風の変化、それに伴う気温の変化を明確に捉えている点などから考え、市街地と周辺地の温度差に起因する風が気温形成に影響を与えているような地域に対しては、風上側緑化の優位性というものは広く普遍的に適用できる結論であると考察する。

第V章 緑被の計画のあり方

V-1. 研究成果からの提言

本研究の成果を踏まえて、緑被の計画のあり方を述べる。

1. 1 緑被の概念の導入

本研究の成果から、都市の熱環境を改善するには、都市計画上の施設としての緑地だけではなく、植物の機能複合体としての緑被という概念の導入が必要であることが明らかになった。したがって緑被の計画の対象としては、従来は公園緑地がその大部分を占めていたが、今後は公園緑地のみならず道路、河川、下水処理施設、教育施設等の公共的な空間とともにオフィスビル、個人のにわ等の民有の空間における植物が包含される必要がある。気温低減効果を有する緑被が一貫性のある概念で把握されコントロールできる状況になって、はじめて実際の都市の気温低減のための緑被の計画が可能となる。

以上のことについて、もう少し詳しく述べる。

都市における緑被に関連した施策は太政官布達（明治6年）により「公園」の制度が発足したことにはじまり、以来、当初は公園という概念で、後には公園を中心とした「緑地」という概念でその主な対象を捉えてきた。「緑のマスタープランの策定の推進について」（建設省都計発第12号、昭和52年4月1日）では、「緑地としては、自然的環境を有するオープンスペースとして制度上緑地としての永続性が将来とも担保されているもの及び将来担保され得るもの、社会通念上緑地として現在及び将来とも永続性を有するものを対象とするものとする。」とされている。すなわち「緑のマスタープラン」は、都市公園、公共施設緑地、民間施設緑地、緑地保全地区、風致地区等の永続性の高い緑地だけを対象としており、すべての緑被を包含するものではない。通常、個人のにわの植物、独立木、屋敷林、生け垣、屋上庭園の植物等は永続性が保証されているわけではないので緑地の対象から外れている。一方、ここで緑地とされる空間の中には、公園内の舗装された広場のように実態として植物の植えられていない、緑被とはカウントできない空間も含まれている。

もとより都市計画中央審議会答申「今後の都市公園等の整備と管理は、いかにあるべきか」（平成7年7月18日）の内容（スキーム）を模式化した図（図5-1）に見られるように、都市公園等の整備と管理はさまざまな社会経済情勢の変化に呼応しながら幅広く展開されている。なお、図中にある「緑のオープンスペースの保全・創出」という言い方に見られるように、近年では施策において「緑」という言葉がよく用いられるので、説明を加えておく。通常、行政上の用語は学問的な検討を基本にしながらも、最終的には国民の理解を得やすいもの、ひいては人口に膾炙されやすいものという観点を加えながら決められることが多く、一般的に緑被を意味する用語として、ゆとり、うるおいといった精神的なニュアンスを加えながら「緑」、「みどり」などが使われることもある。

環境政策大綱（建設省、平成6年1月）、緑の政策大綱（建設省、平成6年7月）、緑の基本計画（都市緑地保全法改正、平成6年）、また緑の基本計画のアクションプログラムとなる「グリーンプラン2000」（平成8年12月）など近年の施策では、緑被という言葉こそ用いられていないが、望ましい

生活環境を目指す主旨からしてできるだけ対象を広く、総合的に捉えようとする方向がうかがえる。しかし、すべての緑被を対象とし、施策として有効に関与し支援できるかという意味では、まだ不十分である。

そこで緑被の計画の対象となる都市の緑の構成を分類し、図化して示した（図5－2）。図5－2に見るように、都市においては永続性のある緑以外に、法的な規制・支援のない緑が存在し、計画にあたってはすべてを包括して捉える必要がある。

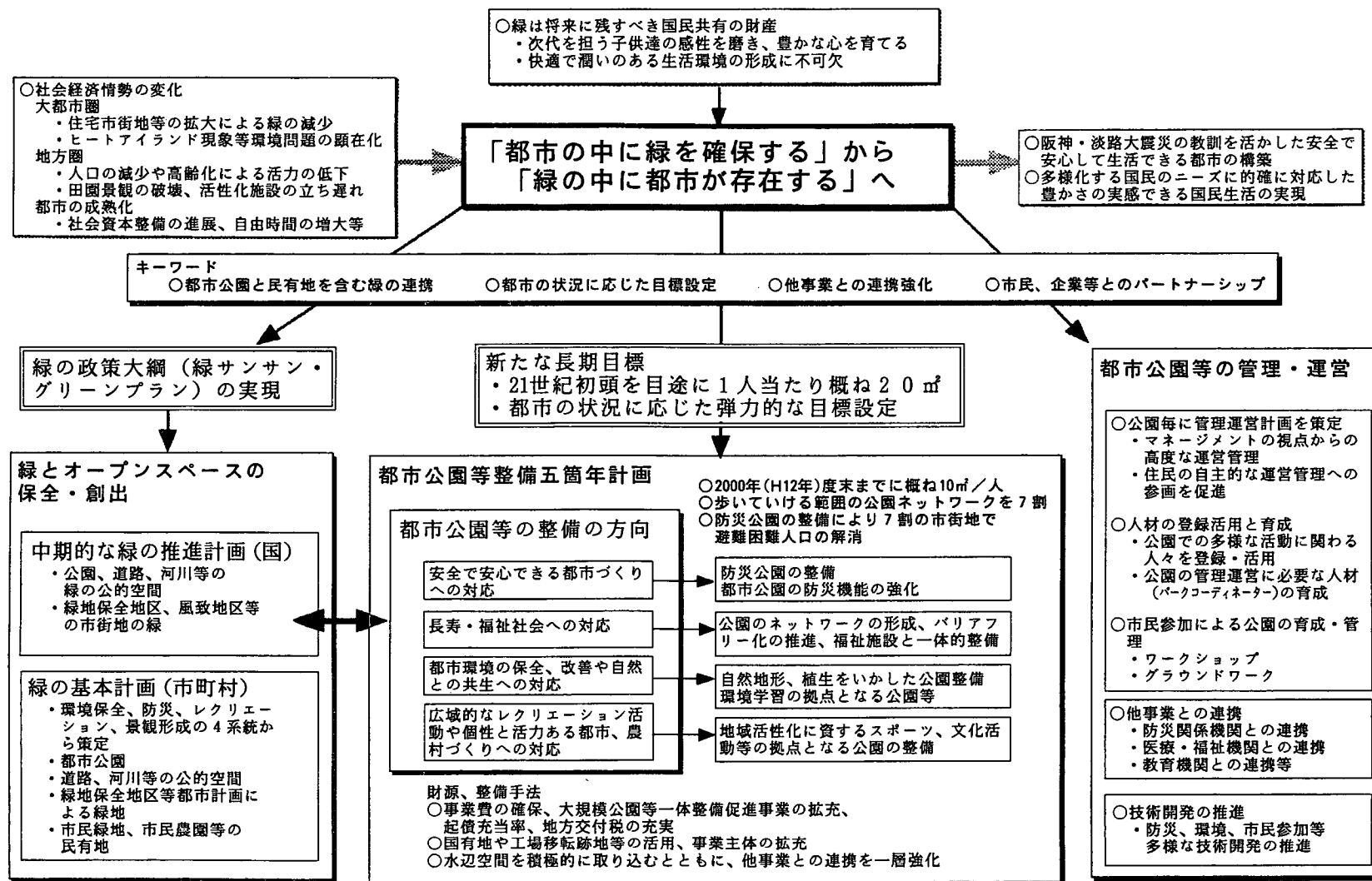
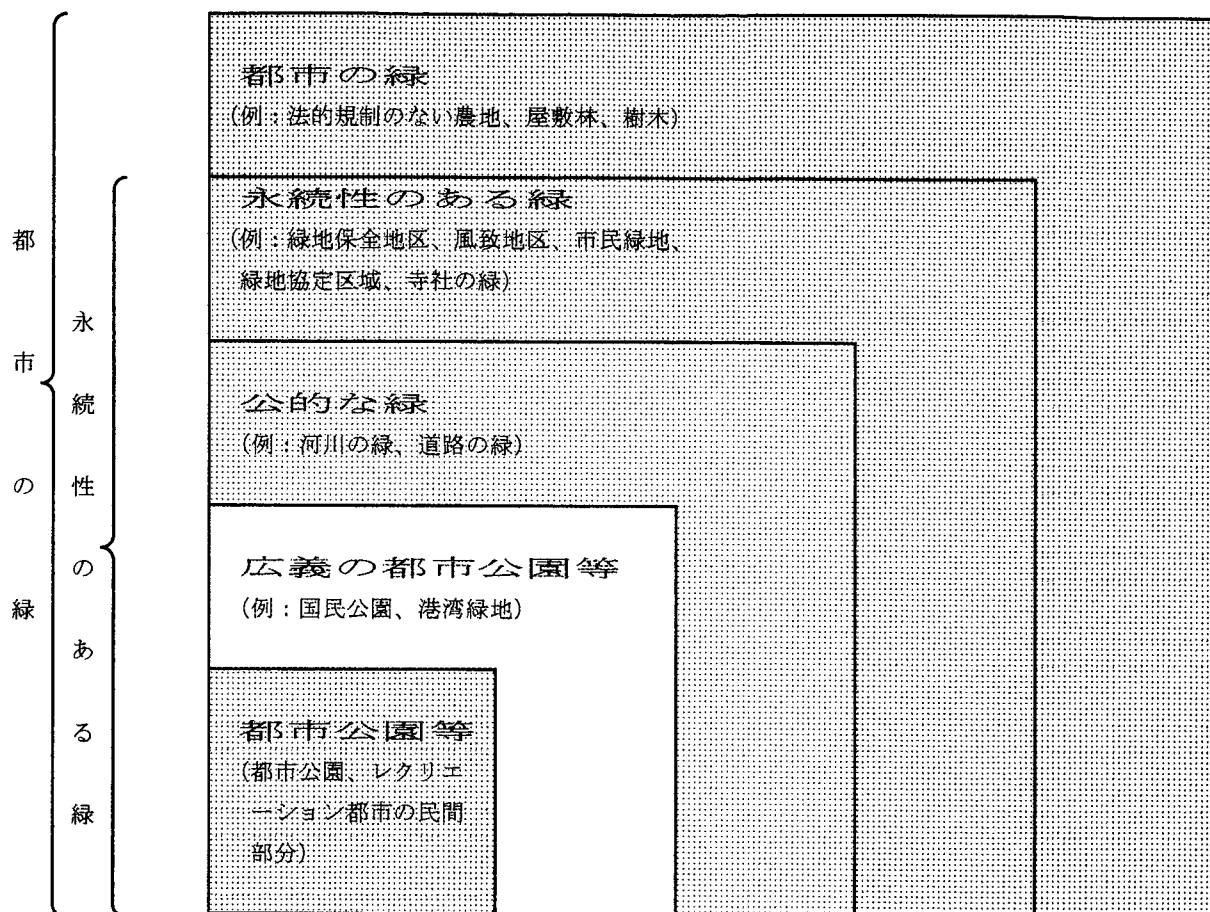


図5-1 「今後の都市公園等の整備と管理は、いかにあるべきか」
都市計画中央審議会答申（平成7年7月18日）のスキーム
（出典）建設省都市局公園緑地課（1996）



(注) 1. 用語の説明

都市公園等：都市公園等整備緊急措置法の対象となる公園(a)

広義の都市公園等：都市公園と同等の機能を有する公的主体が設置する公園・緑地(b)+(a)=(c)

公的な緑：河川、道路等公共公益施設の緑(d)+(c)=(e)

永続性のある緑：法的規制があるか、慣習的に永続性がある緑(f)+(e)=(g)

都市の緑：法的規制がない緑(h)+(g)=(i)

2. 本研究では概ね図中の「永続性のある緑」(a)+(b)+(d)+(f)=(g)を「公園緑地」としている。

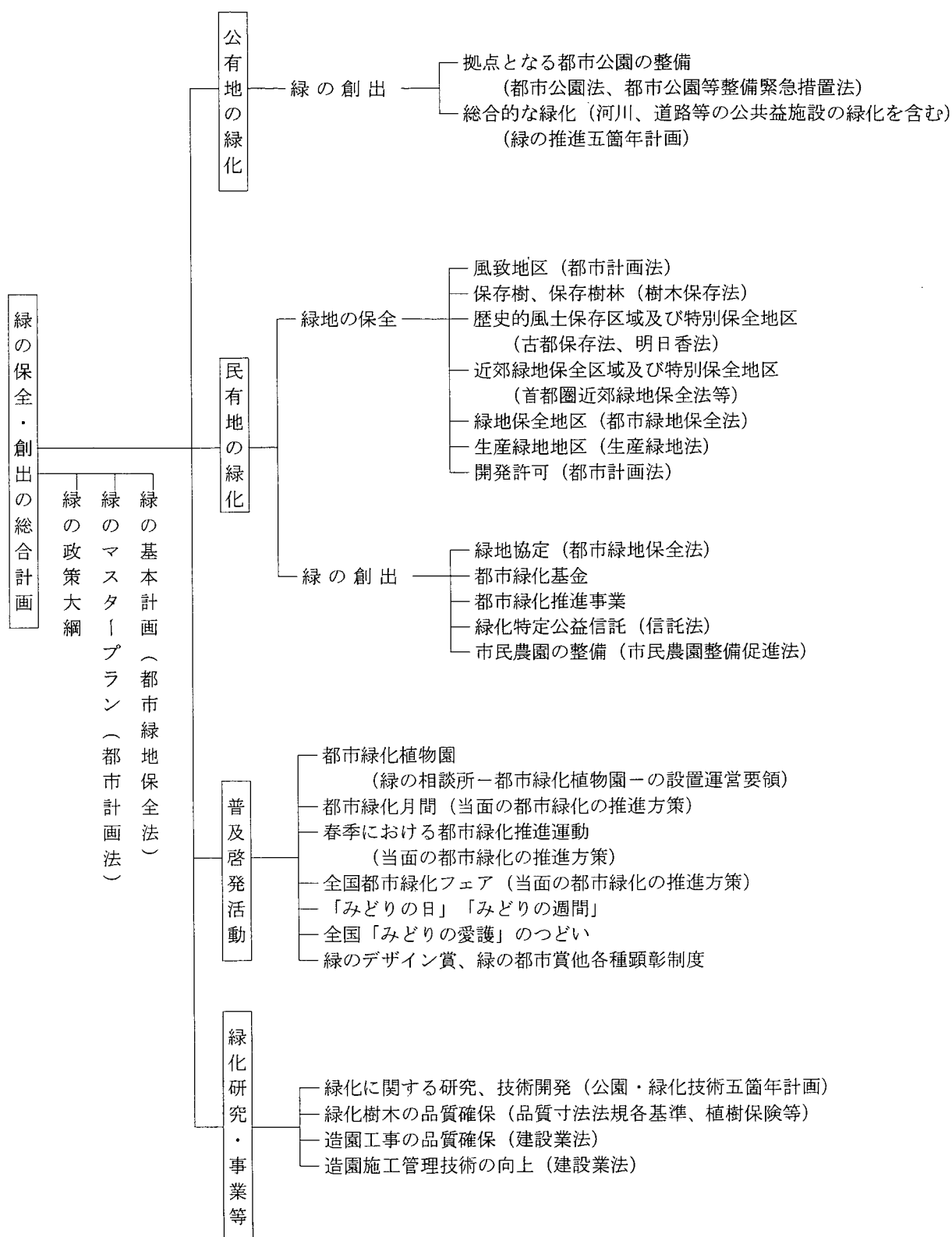
3. 図中の「都市の緑」(a)+(b)+(d)+(f)+(h)=(i)は、本研究でいう「都市の緑被」と概ね同義である。

図5-2 都市の緑の構成

ここで現行の、緑の保全・創出のための施策について主として建設省の所管に係わる緑を体系図にまとめて示した(図5-3)。図に見るように、緑の保全・創出のための施策は、緑の政策大綱、緑のマスタープラン、緑の基本計画を柱としつつ、大別して公有地の緑、民有地の緑、普及啓発活動、緑化研究・事業等から構成されている。

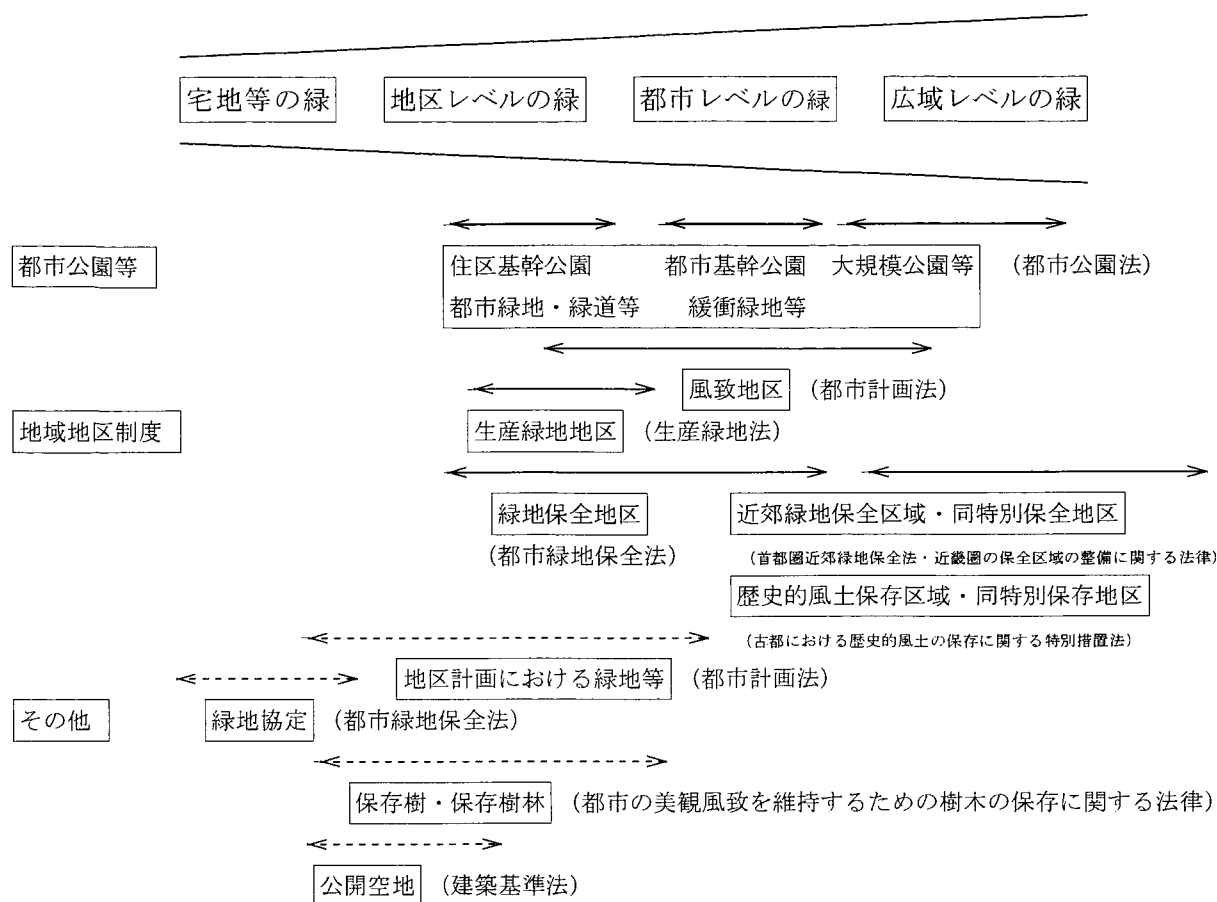
これらの施策を空間のレベルに対応させて示したのが図5-4である。これに見るように、とりわけ宅地等の緑(個人のにわ、生け垣、民有の樹木、屋敷林等)、地区レベルの緑(民有の、公園緑地的に使われている空間、人工地盤上の緑地、屋上庭園等)の保全・創出を図るには、制度的な根拠が不充分であることが分かる。

計画上、緑被に求められる効果は多種多様に亘るが、都市の高温化の抑制、気温の低減を目的とした場合の計画は、まずは緑被の確保という方向に向けられるべきであり、公有地だけでなく民有地の樹木なども緑被として有効に機能していることから、制度上、それらを緑被としてカウントする仕組みが必要である。さらに、緑被の概念の普及は緑被の計画に役立つとともに、住民自身が緑の豊かな都市づくりの主要な役割を担っているという自己認識を深め、緑化への意識を高めることに資すると期待される。



（注）大貫（建設省都市局公園緑地課都市緑地対策室長、当時）による文献（都市緑化の推進について、1994）を基に新たな施策を加えて作成した。

図5-3 緑の保全・創出のための施策体系



1. 2 緑被の量の増加

しかし、緑被を構成する上でとりわけ主要な施設である都市公園の現状をとってみても、日本の都市公園の整備水準の立ち遅れ、ひいては緑被の少なさが指摘される。一つの指標として一人当たりの都市公園面積を見ると、日本の都市の現状は、著しく低い水準となっている（図5-5）。また、個々の都市公園の内容自体についても、既存の植物の保全、新たな植栽を考慮して緑被の割合の向上に努める必要がある。

に「グリーンプラン2000」に統合された。さらに、緑の政策大綱には21世紀初頭までに、①道路、河川、公園等の公的空間の緑のストックを3倍にする、②所管の公共施設等の高木本数を3倍にする、③市街地における永続性のある緑地の割合を3割以上確保することを基本目標にして施策の総合的な展開を図ることとしている。

国 名	都 市 名	一人当たり 面積 (㎡/人)	調査年度	都 市 名	一人当たり 面積 (㎡/人)	調査年度
アメリカ合衆国	ワシントンD.C	45.7	昭和51	札幌市	8.62	平成6
	ニューヨーク	23.0	平成元	仙台市	7.66	平成6
	シカゴ	23.9	昭和59	千葉市	7.89	平成6
	ロサンゼルス	21.5	昭和59	東京23区	2.84	平成6
イギリス	ロンドン	25.6	昭和59	横浜市	3.74	平成6
フランス	パリ	11.6	平成元	川崎市	3.60	平成6
ドイツ	ボン	37.4	昭和59	名古屋市	6.41	平成6
	ライプチヒ	51.1	昭和63	京都市	2.79	平成6
チェコスロバキア	プラハ	39.2	昭和63	大阪市	3.25	平成6
ポーランド	ワルシャワ	25.3	昭和59	神戸市	15.22	平成6
ニュージーランド	クライストチャーチ	72.6	昭和59	広島市	7.24	平成6
カナダ	バンクーバー	30.2	昭和63	北九州市	7.97	平成6
韓国	ソウル	17.4	昭和63	福岡市	9.03	平成6
ケニア	ナイロビ	22.1	昭和59			
				全国平均	6.88	平成6

(注) 建設省調べ

図5-5 国外・国内の都市における一人当たり公園面積の比較

以上のように緑被の量的な拡大が図られているが、都市の熱環境の改善という観点から見ると、なお一層、緑被の量の確保が必要である。また、公園緑地の中に占める植物で被われた面積をできるだけ増やすことも併せて必要である。緑被の量を示す指標として、市街地など一定の面積に対する緑地の割合だけではなく、緑被率を併用することによって現況のより正確な把握、より適切な計画が可能になるようにする必要がある。さらに、公共施設で緑被の量を増すことはもとより、民有地における緑被の確保や規制・誘導を図ることが重要であり、民有地が熱環境改善に果たす「公共的な」役割を評価し、民有地の緑化に対する制度的な支援を行うことが望まれる。

1. 3 適切な緑被の配置

本研究の成果から、都市の熱環境の改善と緑被の配置には関係があり、地形や河川を考慮し風などの自然の要素を活用しながら緑被を配置することが効果的であることが明らかになった。

一方、従来の施策においては緑被の配置に配慮する必要性は言及されていたものの、その具体的なあり方については示されていなかった。一般的には、「緑地のマクロパターン（原文のまま）は、環状、放射状、放射環状、クラスター状、格子状等のパターンがある」（内山、1987）というように緑

地パターンで認識されることが多い。「緑のマスタープラン策定の推進について」(昭和52年4月1日建設省都市局長通達)の中では、「緑地の配置計画は、良好な生活環境を確保し及び創造するために必要な緑地について、緑地の有する都市の骨格の形成に資する諸機能を十分ふまえつつ、計画の目標水準を達成するよう定めることとする」という基本的な考え方に続き、「緑地の系統別配置計画の指針」として、環境保全系統については「既存の樹林地、河川等を積極的に取り込み、都市の骨格の形成を図るよう緑地を配置すること」、「気温、湿度の調節、通風作用等に資する河川、水面等は積極的に取り込むように配置すること」等と記されているが、さらに詳細な配置のあり方については言及されていない。また、エコシティ(環境共生都市)の重要な要素として位置づけられている「風のみち」に関連して、「緑地をつくれば風のみちになる」、「風の通る道筋は緑地帯である」といった短絡的な考え方があるのは問題である。

これは、計画に応用できるような、緑被の配置のあり方に関する基礎的な知見が蓄積されていないことに問題がある。本研究で、東京都区部を対象とした一定の条件下のシミュレーションではあるが、同じ緑被率でも配置の仕方によって温度低減効果が異なることが解明された。今後は、具体的に緑被の適切な配置の手法、いわば「緑のレイアウト」の手法を計画に入れていく必要がある。

1. 4 計画の可能性を拡大する技術の開発

以上、計画面から考察したが、ここでさらに技術面から述べる。従来は一般に、計画と技術ではレベルが異なるものと考えられていた。しかし、緑被の計画においては技術の捉え方と計画とは関係が深く、技術の開発が計画の可能性を拡大することがあり、計画と技術は一貫性を保つ必要があると予想されることから、ここで敢えて計画に関連した技術について考察する。

先に緑被の量の増加が必要と述べたが、現実には、一般に、緑被の量を増加させるには土地不足、用地取得といった問題があり、とりわけシミュレーションの対象地とした東京都区部のような大都市の条件下においては用地取得が極めて困難であり、通常の緑化手法だけでは目標に到達しにくい。

このような問題を解決し緑被を増加させるためには、まとまった土地(地面)に木や草を植えるという従来の普通の発想だけではなく、緑化が困難あるいは緑化には不適とされていた空間に植栽し緑被を生み出すという発想をもつ必要がある。屋上、壁面、ベランダ、高架上等人工地盤上に植栽基盤を整えて植栽する緑化技術は、その発想を実現化する技術である。半田らは、これにアトリウム、屋内、高架下等の空間を緑化する技術を加えて総称して「特殊緑化技術」と命名し、その開発、推進を図ってきた(半田・石坂、1994;建設省、1994)。特殊緑化技術とは、特殊緑化空間(人工的に生み出され、通常の植栽技術では植物の健全な生育が望めず、緑化が必要とされる空間。基本的に建築物、土木構造物等と一体となって存在する)に植栽を施すことの総称である。特殊緑化技術は、植物の健全な生育のために必要な土・水・光等の基本的条件が不足した、厳しい条件下にあり、緑化が比較的困難とされてきた空間の緑化を可能にする。

特殊緑化空間は、植栽を施す上での環境条件及び空間的な類似点から、大きく①屋上、②屋内、③壁面に区分できる。ここで言う屋上とは、基本的に天水がかかり、水平かそれに近い人工地盤上を指している。具体的にはビル・家屋等の屋上(業務、商業、住宅、工場、倉庫、駐車場等の建物屋上空間)、高架上(高架道路、立体高架橋、歩道橋、橋等の高架上の空間)、人工地盤上(人工地盤上の広場等の空間)等である。屋上での植栽は緑被の増大につながり、当初から特殊緑化技術の発想を取り

入れれば、計画の可能性は拡大することになる。

地面に植栽する従来の緑化技術に加えて、特殊緑化技術も活用しながら緑被を増加させていく必要がある。また、屋上庭園等の特殊緑化空間は民間の建物が大半を占めるため緑化への動機付けが緑化の実現に役立つため、特殊緑化技術を活用して重点的に緑被を増加させる（緑化する）区域を「緑化重点地区」などの形で指定し、当該地区において助成制度、税制面での優遇措置、緩和措置（屋上緑化に対する建築物容積率の緩和）等を制度化し、緑化が促進されるようにすることが望まれる。

参考までに附属資料3に、従来の緑化に加えて特殊緑化技術を組み入れた近未来の都市のイメージ図を示した。総じて、今後目指すべき都市像としては、緑被の豊かな、緑被が効果的に配置された計画に基づき、新しい技術も活用しながら「都市の中に緑がある」状態を越えて、「緑の中に都市がある」状態を目指す必要がある。

V-2. 対象区域における緑被への提言

以上、場所を特定しないで全般的に緑被の計画のあり方について考察した。本研究は特定な場所の即地的な緑被の計画自体を第一の目的にしているわけではないので、全般的な計画論という意味では本研究の主な目的は達成されたといえる。一方、本研究では成果の一つとして、シミュレーションの対象区域である東京都区部における望まれる緑被の在り方として複合型（区部の緑被率を40%とし、緑被を複合的に配置する型）の緑被配置を挙げた。ここでは臨海部、都心部及び河川部から成る複合的な区域（以下、「複合区域」という。）を重点的に緑化し、複合区域内の緑被率を現況から38%増加させることが前提条件になっている。すると次の段階として、この複合区域で緑被率を38%増加させるにはどうしたらよいかという問題が出てくる。また、複合区域の中でも臨海部は、その開発と保全をめぐる激しく議論が交わされているところである。そこで、この問題に対応し、シミュレーションにおける仮定としての前提条件がより現実的なものとして活かされるようにするために、本研究の成果を踏まえつつ、複合区域の緑化に向けて提言できることを述べる。

東京都における長期的な緑の計画は、「東京都緑の倍增計画」及び「東京都緑のマスタープラン」という枠組みで捉えられている。前者に関しては1984年に「東京都緑の倍增計画」が策定され、また、これを踏まえて「'91東京都緑の倍增計画」（以下、「倍增計画」という。）が、さらに、倍增計画をフォローするかたちで、倍增計画をもとにした実施計画である「'91東京都緑の倍增計画 '95実施計画（平成7年度～平成9年度）」が策定されている。また、後者の「東京都緑のマスタープラン」に関しては、1981年に「東京都緑のマスタープラン」が策定され、その後の社会状況の変化等に対応して1995年に「東京都緑のマスタープラン改訂基本方針」が決められている。これらの計画の詳細については原典を参照することとして、ここでは本研究の成果と関係が深い事項に焦点を絞って考察する。

まず緑被の対象と量に関する事項であるが、倍增計画では緑の量を倍に増加させることを目標としており、その計画の指標として緑被率を挙げている。地域における緑被率目標（原文のまま）については「地域の緑の現状と地域の構造に基づき設定」されなければならないとした上で「区市町村と共同で目標設定の手法を確立し、地域の緑被率目標の設定」をすすめることとしている。なお、ここでは緑被率と並んで快適緑視率を指標として取り上げ、今後、調査方法や設定方法の確立を図ると記されている。現況の緑被率はランドサット画像を使用して把握されている。「倍增」を掲げた計画の、

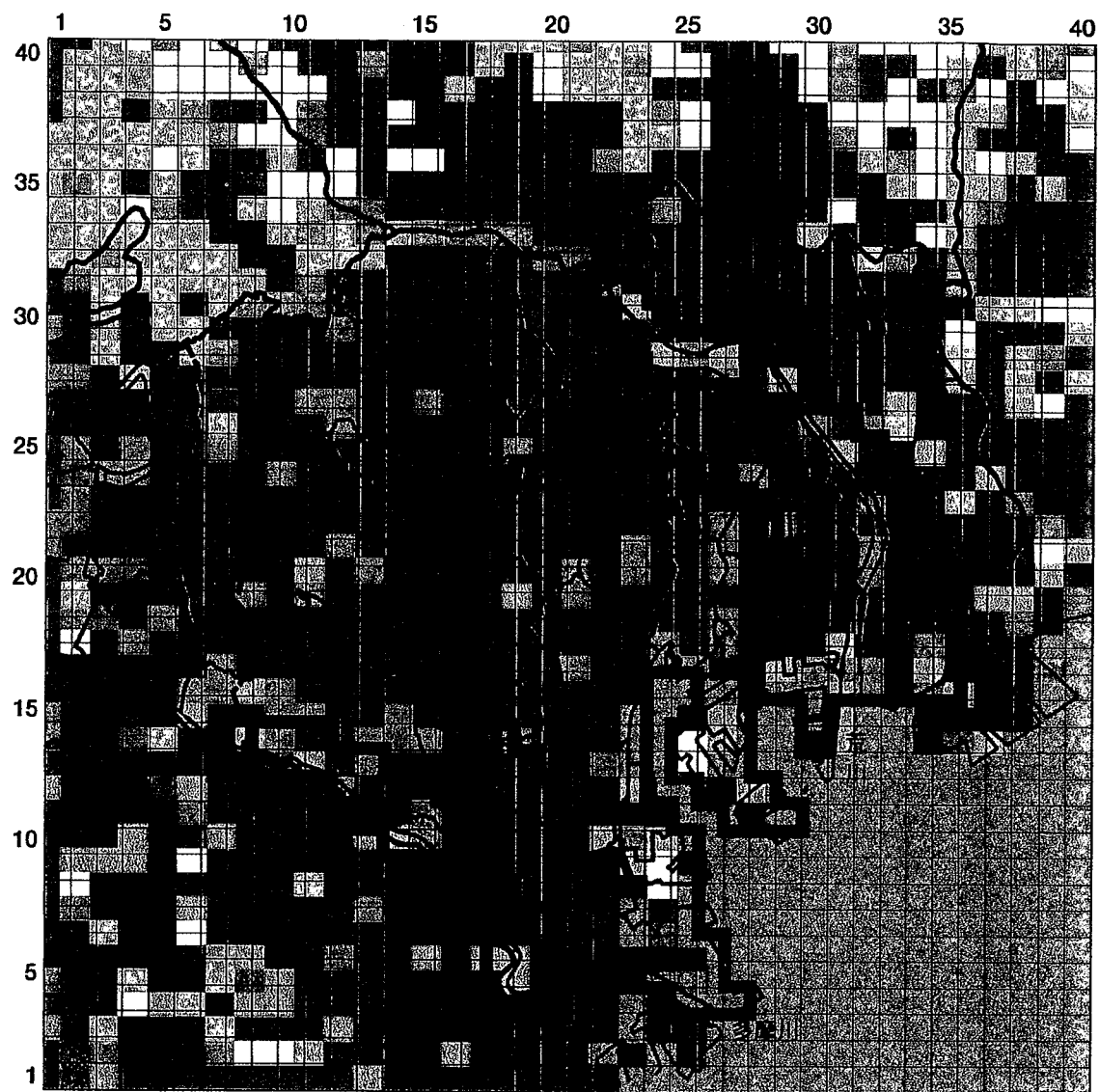
より具体的な緑被率の目標を示し、計画本来の目的が達成されるようにしていく必要がある。

また、東京都緑のマスタープラン改訂基本方針（東京都、1995）では緑地の確保目標量として、「都市計画区域の面積に対して区部については概ね20%、多摩地域については概ね40%とし、全都市計画区域の面積の概ね30%を確保する。」とされている。ここで対象としている緑地は、「公園緑地等の施設とする緑地や緑地保全地区などの地域制の緑地など制度上安定した緑地と、社寺境内地や大学などの緑地で社会通念上安定した緑地をいう。」と定義されている。また、都市公園等の都市施設とする緑地の確保目標量については、「区部で1人当たり11.9㎡、多摩地域で1人当たり20.0㎡とし、各都市計画区域の現行の緑のマスタープランの確保目標量を下回らない量を確保する」とされている。この数値を参考にとすると、区部全体で約99km²（区部面積の約16%）の都市公園が確保されると推計される。緑のマスタープラン（建設省）では一人当たり約20㎡が目標とされていることなどを考えると、この数値の更なる上乗せを図ることが望ましい。

東京都区部における緑被の量については、目標を設定して計画的に増加を図っていること自体は評価されるが、もともと現況の緑被が不十分なことに加えて、緑被が減少していることから、一層の量の確保が必要である。

ここで東京都区部の中でも複合区域に焦点を当てて検討をくわえる。複合区域で緑被の量を増やすには、緑被率という数値だけでなく緑被の内容や土地利用の状況を把握し、戦略的に計画することが重要と考えて、第3回自然環境保全基礎調査（環境庁）の植生データファイルを使用して複合区域の植生の状況を見た。本研究の対象地域と植生ファイルを重ねて作成した図が図5-6である。なお植生ファイルデータのメッシュの大きさは約1km×1km（3次メッシュ）であるが、その位置は対象区域のメッシュとは一致していない。植生データファイルは、各メッシュの中央に直径5mmの測定円（約5ha）を設定し、円内で最も広い面積を占める群落をそのメッシュの代表とする手法（小円選択法）を用いており、その条件下での精度になっている。なお、この調査は、本来は全国の、ある程度自然地が存在する地域における植生の状況を把握するために使われることが多い。

図による複合区域内においては自然の、ないし自然的な植生は、わずかに河川沿いに「河川荒れ地、草地」や「竹林」が残されているにすぎない。むしろ大部分を占めるのは「市街地、集落」である。一方、臨海部には「広いコンクリート地」が残されている。また都心部を中心として要所に「緑の多い住宅地、公園」が点在している。



- | | |
|----------------|----------|
| 水域 | アカマツ群落 |
| 市街地、集落 | 竹林 |
| 緑の多い住宅地、公園 | 果樹園 |
| 工場、造成地 | 畑地、休耕畑地 |
| 広いコンクリート地 | ゴルフ場、飛行場 |
| シラカシ、ケヤキ、河辺低木林 | 水田、休耕田 |
| 河川荒れ地、草地 | |

0km 5km



(注) 次のデータから作成した。

名称： 第3回自然環境保全基礎調査 植生ファイル

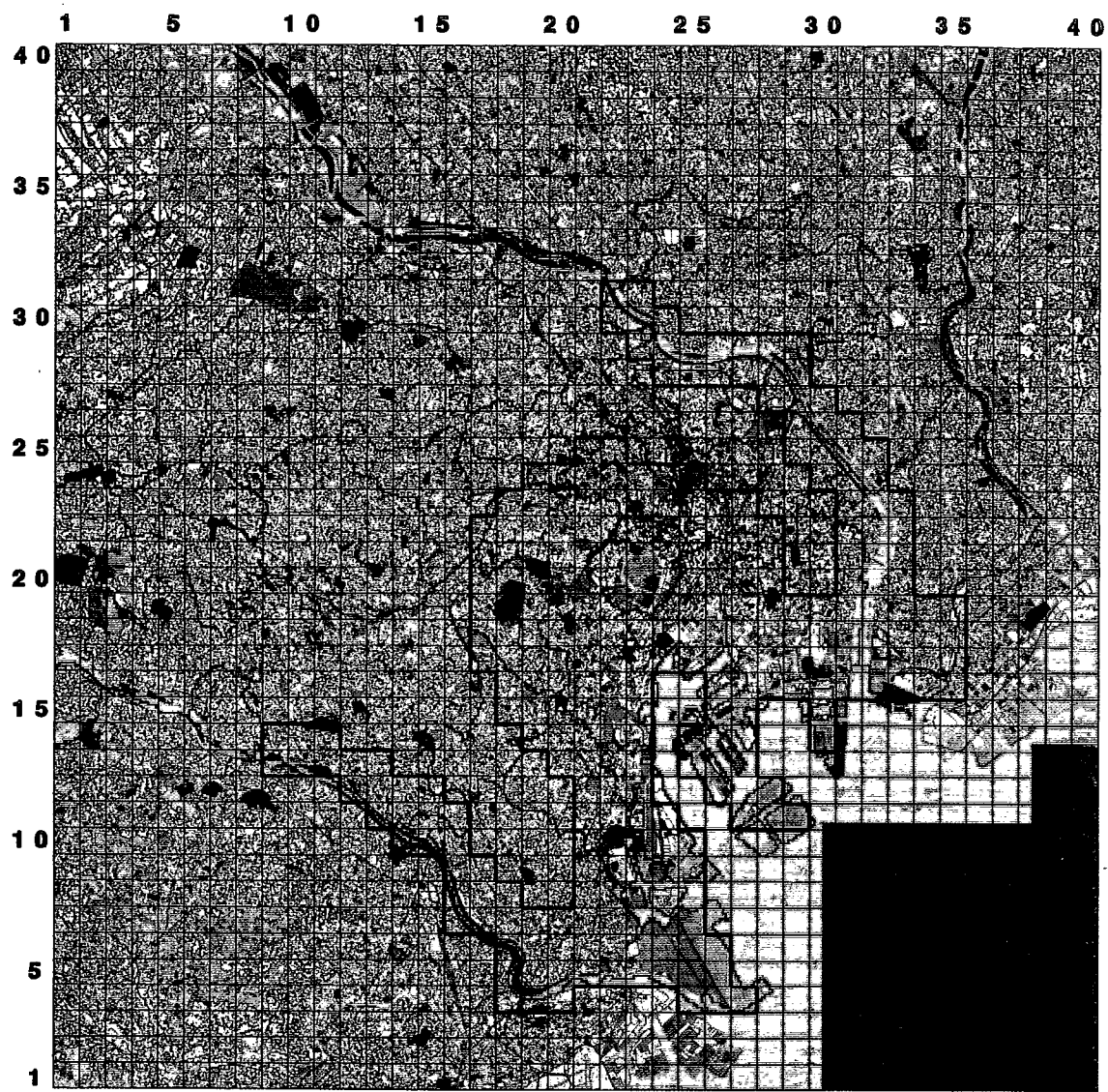
調査実施時期： 昭和58年度～昭和62年度

調査機関： 環境庁

図5-6 植生図

次に複合区域の詳細な土地利用について、細密数値情報資料（建設省国土地理院）を用いて図5-7を作成した。国土細密地理情報は、首都圏、近畿圏、中部圏を対象として、建設省が実施している宅地利用動向調査に基づき、土地利用現況を10mメッシュでデータファイルにしたものである。また、土地利用に加えて、関連する行政コード、D I D（人口集中地区）、用途地域、容積率、土地利用規制、土地利用基本計画、土地区画整理事業区域、地形等に関する情報が100mメッシュで集約ファイルとしてデータ化されている。

以上の図面から複合区域においては自然の植生はもはやほとんど存在せず、大規模な緑化は不可能であり、既成の市街地の比較的に中規模ないし小規模な地区において緑化ないし緑被の創造・保全を工夫する必要があることがうかがえる。一方、臨海部にはまだ非建蔽地が残されており、この部分にまとまった緑化の可能性が見込まれる。また、これらの土地を取り囲むようにして臨海部から内陸にかけて工場や造成地があり、限られた条件下ではあるが、ここに緑化を工夫しうることが分かる。さらに要所に分散した公園緑地を核としながら緑被を増加させるようにする必要がある。すなわち比較的に緑化し易い臨海部から実現化を図り、次に市街地で既存の公園緑地を核にしながら緑化を実施していくような段階的な計画が提唱できる。緑被を増加できれば、その結果、複合区域の大部分が緑被の豊かな様相を呈し、東京湾岸に幅広いグリーンベルトが形成され、河川沿いの緑被が繋がって、現在とはかなり異なる東京になると予想される。



- | | |
|---------|--------------|
| 山林・荒地等 | 商業・業務用地 |
| 田 | 道路用地 |
| 畑・その他用地 | 公園・緑地等 |
| 造成中地 | その他の公共公益施設用地 |
| 空地 | 河川・湖沼等 |
| 工業用地 | その他 |
| 一般低層住宅 | 海 |
| 密集低層住宅 | 対象地域外 |
| 中・高層住宅 | 緑被率増加区域 |

0 10Km



(注) 次のデータから作成した。

名称： 細密数値情報資料

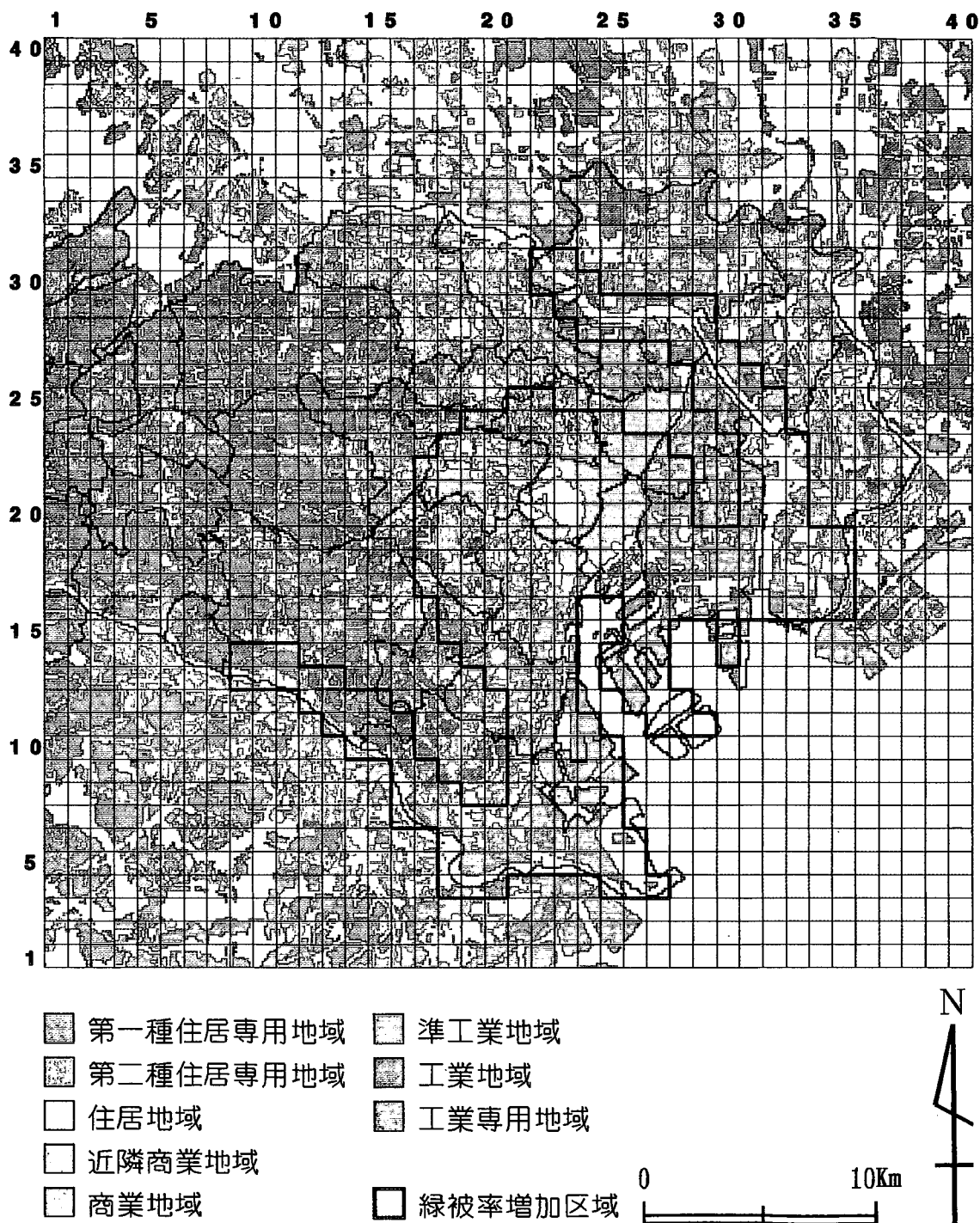
種別： 土地利用第4時期（平成元年、10m単位）

調査機関： 建設省国土地理院

図5-7 土地利用図

さらに複合区域について、特殊緑化技術を用いれば技術的には今後増やすことが可能な緑化空間の量を推計した。推計の根拠としたのは、「緑化空間創出のための基盤技術の開発 報告書」(建設省、1995)の中、建設省土木研究所が実施した特殊緑化空間に関する調査結果である。この調査は全国11都市を対象として、特殊空間緑化によって創造される可能性のある緑被の規模(特殊緑化可能面積)を推計したものである。この調査では、屋上・屋内・壁面など特殊緑化空間のうち建物屋上における特殊緑化可能面積を推計するために、用途地域ごとに、特殊緑化の対象となり得る建物屋上面積を算出し、それに特殊緑化可能面積率(実際に植栽される面積の割合)を掛けている。特殊緑化可能面積率の設定に際しては建物の現況を踏まえて緑化モデル設計を行っている。設定した条件の概要としては、建物屋上の場合については、陸屋根等の場合、屋上に設備機器等が置かれているため緑化可能な最大面積は屋根面積の86%であるという研究結果(並木、1992)があるのでこの値を採用し、また、一般屋根(陸屋根等以外の屋根)では屋根面積の8%を緑化可能面積としている。これにより東京都区部で特殊緑化により増加させることが可能な緑被面積は合計2,961haと推計されている。これらの空間がすべて緑化された場合には、東京都区部の緑被率を5.0%引き上げることになる。

本研究では、以上と同様な手法により、複合区域における特殊緑化可能面積を推計した。その際、用途地域の面積の算出には細密数値情報資料を使用した。その結果、複合区域において陸屋根等については1,619ha、一般屋根については327ha、合計1,946haが緑化可能と推計した。これらの空間がすべて緑化された場合には、複合部の緑被率を3.0%引き上げることになる。もとより、基本的には都市公園等を積極的に整備し、通常の技術によって緑被をより増加させていく必要があるが、それと併せて特殊緑化空間が増えていけば複合区域の緑被率は一段と増すことだろう。今後、一層、特殊緑化技術を普及し、特殊緑化空間を増やしていく必要がある。



(注) 1. 次のデータから作成した。

名称： 細密数値情報資料

種別： 集約ファイルV (第3回、100m単位)

調査機関： 建設省国土地理院

2. 用途地域については集約ファイルの作成時期(平成3年度)の時点の8種類である。その後、都市計画法の改正(平成4年)により用途地域の種類は12種類になっている。

図5-8 用途地域図

第VI章 研究成果のまとめと今後の課題

VI-1. 研究成果のまとめ

本研究は、都市の熱環境に緑被が及ぼす効果を解明するとともに、緑被の活用により都市気象を制御し熱環境を改善するための基礎的な知見を明らかにし、もって、緑被の計画と政策的な応用に資することを目的として行った。本研究の特性は、これらを解明するための観点として従来の地区スケールでの研究に対して、都市スケールによって定量的に解明したことである。第VI章では、前章までに解明された成果について、目的が達成されたことを確認しながら総括的に取りまとめる。

1) 都市の熱環境に緑被が及ぼす効果について得られた主な成果は次の如くである。

第一に、地表面の構成要素の一種としての緑被に着目し、緑被の存在が地表面温度の低減に効果があること、緑被の量が増すとより効果が上がることをランドサット画像によるデータを使用して解明した。その解明にあたって対象とした都市は東京のみであったが、さらに緑被形態の異なる国内・国外の8都市を対象とした分析を行い、緑被率が増すとより温度の低減効果が上がることを解明した。また、東京を対象として季節間・昼夜間の効果の差を分析したところ、緑被による温度低減効果は春夏秋の昼間でのみ認められた。総じて、植物の蒸散作用を利用し緑被を都市構造に組み入れることは、自然の摂理にかなった効果的な手法であると考察した。

第二に、緑被の存在とともに大気の流れ、拡散に着目し、緑被の量及び配置による温度の低減効果の違いについて仮説をたて、東京都区部を対象としたシミュレーションにより解析した。その結果、①現況の緑被率を増加させた方が効果的である、②同じ緑被率でも均一の配置よりも重点的に配置した方が効果的であり、配置の仕方については東京都区部の場合には臨海部（風上側）＞都心部＞河川部の順に効果的である、③東京都区部の場合、区部の平均緑被率を40%とし、臨海部・都心部・河川部を複合的にした区域（複合区域）に重点的に緑被を配置することが最も望ましいことを解明した。

2) さらに緑被の効果に関する基礎的な知見に付随して得られた成果は次の如くである。

第一に、従来、漠然としていた「風のみち」の具体的な内容や風のみちの有効な活用手法についての知見が得られたことである。「風のみち」とは、文字通り風の吹く通りみちであるが、風のみちを都市スケールで捉えて、都市の気象制御に活用しようとした場合には海陸風、季節風等の卓越風の風向が重要なポイントになる。すなわち卓越風の流れに沿った空地部分は①オープンスペースにしておく、②できるだけ遮蔽物を設けない、などが基本であり、卓越風をさらに活用するには、③風上に冷たい空気を生産する要素（森林、樹林地、海等）があることが望ましく、④風上に冷却効果のある要素（緑被、水面等）を保全または創造する、⑤風が吹き込んでいく空間の要素（河川、広幅員の道路等）に沿って冷却効果のある要素（緑地帯、植樹帯等）を保全または創造する、などが有効であることが解明された。東京都区部の場合、同じ平均緑被率であれば、臨海部・河川部・都心部の中では風上である臨海部に緑被を重点的に配置することが最も効果的であることが分かった。また、河川部（河川沿い）に緑被を配置すれば、均一に緑被を増加させるよりも効果的であることも明らかになった。

第二に、都市スケールで見ると緑被増加によって温度が低減する一方、局部的には温度が上がる部分が生じることもあるという知見を得た。緑被の増加によって海陸の温度差が減少し、かえって風速

が弱くなって熱の拡散効果が下がり、それに地形、風向など各種の条件が加わって局地的な昇温がおきるものと考察した。東京都区部の場合、臨海部への緑被の重点的な配置は、区部全体の積算気温低減量を指標とすれば最も効果的である。しかし、緑被部分の温度低減によって風上側の海上との温度差が減少し、風速が弱くなる部分が生じてくる。緑被の均一配置の場合には海からの冷たい空気が緑被を通過してほぼ区部全体に温度低減効果が及んでいたが、臨海部配置の場合には部分的に風速が弱くなり、気流が変わり、区部全体としては温度低減効果が上がるが、風の収束帯である環状8号線の上空付近に昇温部が生じた。総じて、従来は緑被を増やせば温度が低減することのみが強調されていたが、都市スケールで見た時には大気の流れを考慮すると昇温部が生じる可能性もあることが分かった。なお温度という側面を越えて今後の展開を考えると、当該部の土地利用形態と温度は密接に関係することから、都市計画と連携させて緑被の配置を行う必要性があることが認識された。

第三に、都市スケールで温度を把握し緑被の効果を分析する指標の一つとして、本研究で用いた積算気温低減量という理論上の「都市の温度」が有効であることが分かった。これは、人間の体感温度とはスケールの違う空間の範囲における温度であり、体感温度ほどには人間にとっての直接的な現実を表しているわけではない。しかし、都市における緑被の計画に反映させるような、都市スケールでの検討には適しているものと考察した。

3) 以上の成果をもって、緑被の計画及び政策的な応用に、基礎的な知見として資することができるかと考察した。その主な要点は次の如くである。

第一に、都市計画上の施設としての緑地だけではなく、植物の機能複合体としての緑被という概念を計画に導入することが必要である。その上で、現在は法的な規制・支援が担保されていない緑被のための制度が必要である。

第二に、緑被の量の一層の増加を図ることが必要である。

第三に、緑被の配置のあり方をより具体的に示して、計画に導入することが必要である。

第四に、緑被の計画の可能性を拡大し、緑被を増加させる技術の一つとして人工地盤上における特殊緑化技術を活用する必要がある。

4) 最後に、シミュレーションの対象とした東京都区部で、平均緑被率40%かつ複合型（臨海部・河川部・都心部の複合）の緑被の配置について、緑化の具体的な推進方法の方向を検討した。

VI-2. 今後の課題

研究上の今後の課題としては次の事項が挙げられる。

1) 今回の研究では、臨海部に位置する大都市である東京都区部を対象にシミュレーションを行ったが、条件を異にする他の都市ではどのような結果になるか、検証する必要がある。その際に対象都市の抽出の観点としては、①同様に臨海部に位置する大都市であって具体的な条件を異にする都市、②地理的条件を異にする都市（盆地に位置する都市、丘陵地・谷間など地形的な変化のある都市等）、③規模を異にする都市などが挙げられる。

2) 最近、1mの解析精度を有する高分解能衛星データを利用した画像の開発が進んでおり、これらの動向に呼応した、より精度を上げた計測手法に基づく解析が必要である。

3) 今回の研究では言及しなかったが、植物の種類（常緑樹、落葉樹等）、活力度など緑被の質と熱

環境の関係について説明する必要がある。

4) 風のみちを活用するには、できるだけ障害物を避けることが望ましく、緑被であっても内容や形態を検討することが必要である。例えば建物の密集地では建物間の間隔をあけ、まとまりのある樹林地では樹林を密に植えないで適度に粗な状態にすることが有効と予想される。草地に樹林ないし樹林群を適度に配し、それらの間をぬって冷たい空気がさらに冷却されながら吹き抜ける形態が望ましいのではないか。同じ緑被であっても樹林と草地による効果の違い、植物や建物の密度・間隔・配置による効果の違いなどについて説明する必要がある。

5) 次の段階の研究として、今回の対象地域の中から市街地内のモデル的な街区を抽出し、植栽、建物・道路の位置、日射、風向・風速等の条件を設定した街区レベルのシミュレーションを行い、温度低減を目的とした場合の都市構造への緑被の効果的な組み入れ方、道路空間・河川空間及びその周辺部のあり方等に関する知見を充実させる必要がある。

6) 今回は主として緑被の効果を対象とした研究であるが、熱環境を含め広く環境の保全・創造に重要な機能を有するといわれる水面も対象としてその効果をさらに説明し、「水と緑のネットワーク」の計画手法に関する知見を充実させる必要がある。

附属資料 1 対象都市の緑被形態パターン

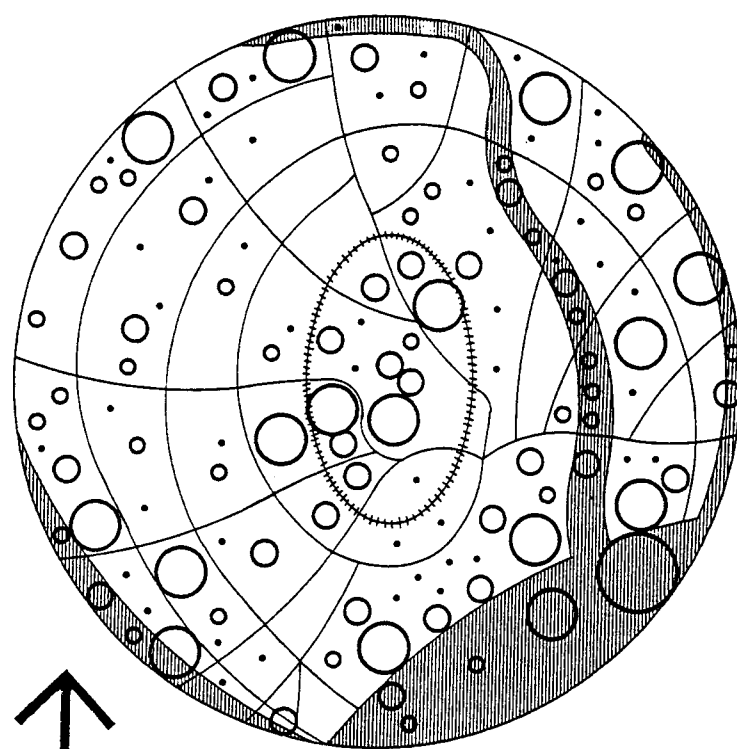
第Ⅲ章で対象とした国内・国外の都市から、国内からは東京及び神戸、国外からはウィーン、パリ、ロンドン、ワシントンD.C.及びデトロイトについて各都市の緑被形態をパターン化した図を参考として示す。各都市の緑被の主要な構成要素である公園緑地等の配置形態をイメージとして把握するために作成した。

図中、各都市中心部の骨格的な構造を模式化して円形の中におさめた。また、各都市の公園緑地等を規模ごと（4 ha未満、4 ha以上10ha未満、10ha以上30ha未満、30ha以上100ha未満、100ha以上）に抽出して図面におとし、公園緑地等の配置の特徴を捉えてパターン化し、名称を付けた。

名称は、各都市の特徴を最も表す、簡潔な言葉を付けるようにした。

例：ウィーン[都市林環状・分散型]

都市林（ウィーンの森）が市街地を環状に取り巻き、そのなかで各種の公園緑地がほどよく分散している。（都市林環状型と分散型の合体したパターン、を意味する。）

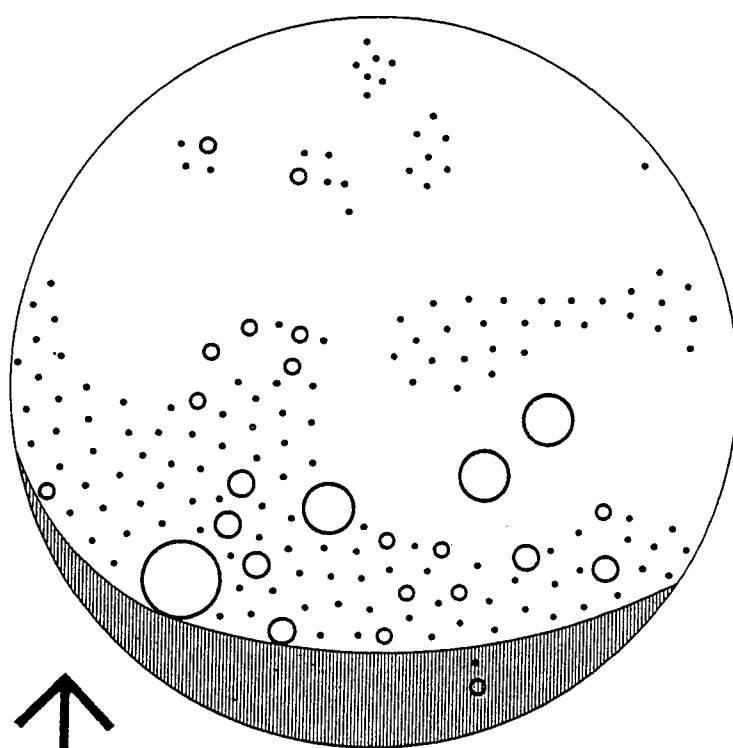


10km

東京〔環状・中心集中型〕

凡 例	
4 ha未満 の公園緑地等	・
4 ha以上10ha未満 の公園緑地等	○
10ha以上30ha未満 の公園緑地等	○
30ha以上100ha 未満 の公園緑地等	○
100ha 以上 の公園緑地等	○
河川・海	▨
道 路	—
鉄 道	+++++

（注）東京都区部を表す。

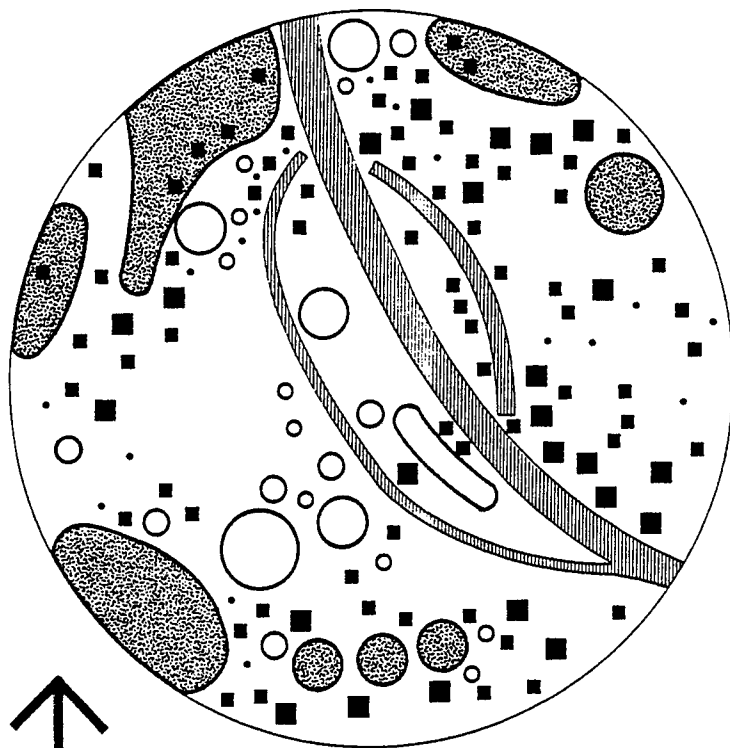


10km

神戸〔地区分散型〕

凡 例	
4 ha未満 の公園緑地等	・
4 ha以上10ha未満 の公園緑地等	○
10ha以上30ha未満 の公園緑地等	○
30ha以上100ha 未満 の公園緑地等	○
100ha 以上 の公園緑地等	○
海	▨

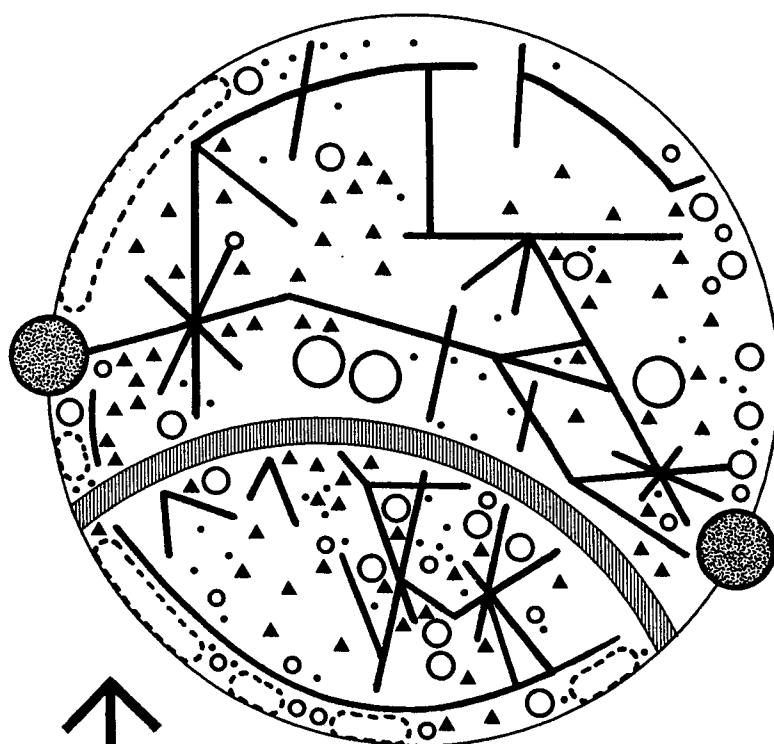
図・附1-1 緑被形態パターン(1)



10km

ウィーン [都市林環状・分散型]

凡 例	
4 ha未満 の公園緑地等	・
4 ha以上10ha未満 の公園緑地等	○
10ha以上30ha未満 の公園緑地等	○
30ha以上100ha 未満 の公園緑地等	○
100ha 以上 の公園緑地等	○
都市林	■
クラインガルテン	■
河 川	▨



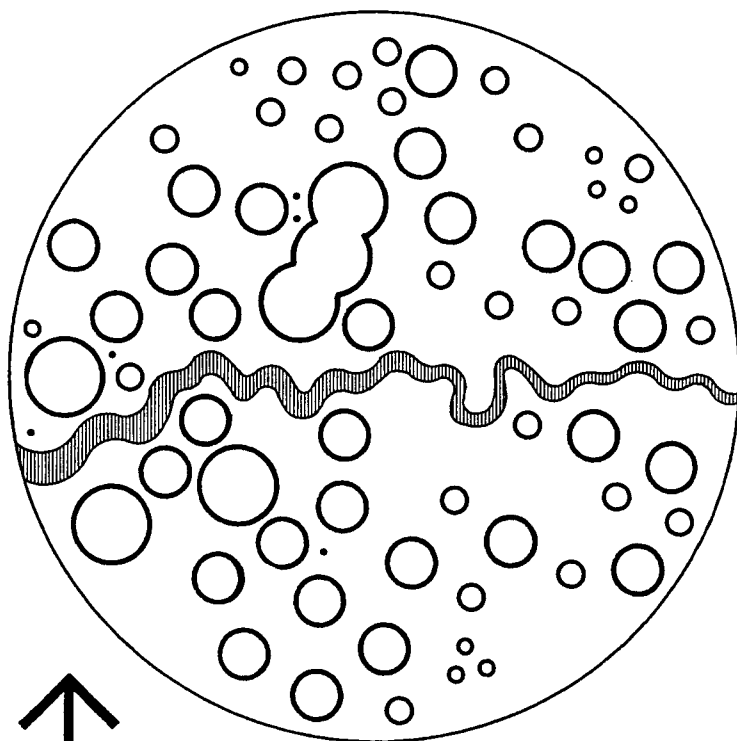
10km

パリ [都市林付随・分散型]

凡 例	
4 ha未満 の公園緑地等	・
4 ha以上10ha未満 の公園緑地等	○
10ha以上30ha未満 の公園緑地等	○
30ha以上100ha 未満 の公園緑地等	○
100ha 以上 の公園緑地等	○
都市林	■
私有庭園	▲
大街路樹	—
河 川	▨

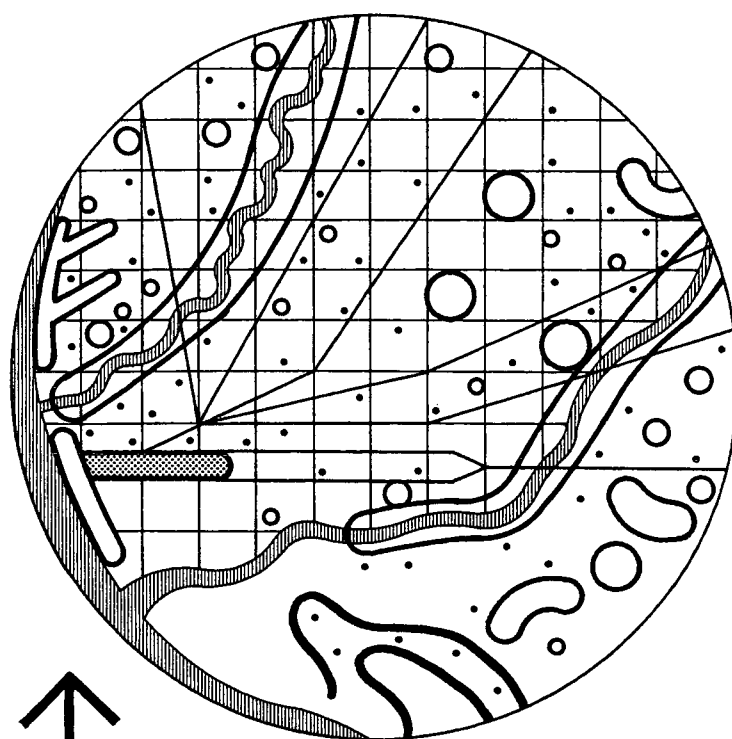
※点線は計画

図・附1-2 緑被形態パターン(2)



ロンドン [中規模・分散型]

凡 例	
4 ha未満 の公園緑地等	・
4 ha以上10ha未満 の公園緑地等	○
10ha以上30ha未満 の公園緑地等	○
30ha以上100ha 未満 の公園緑地等	○
100ha 以上 の公園緑地等	○
河 川	

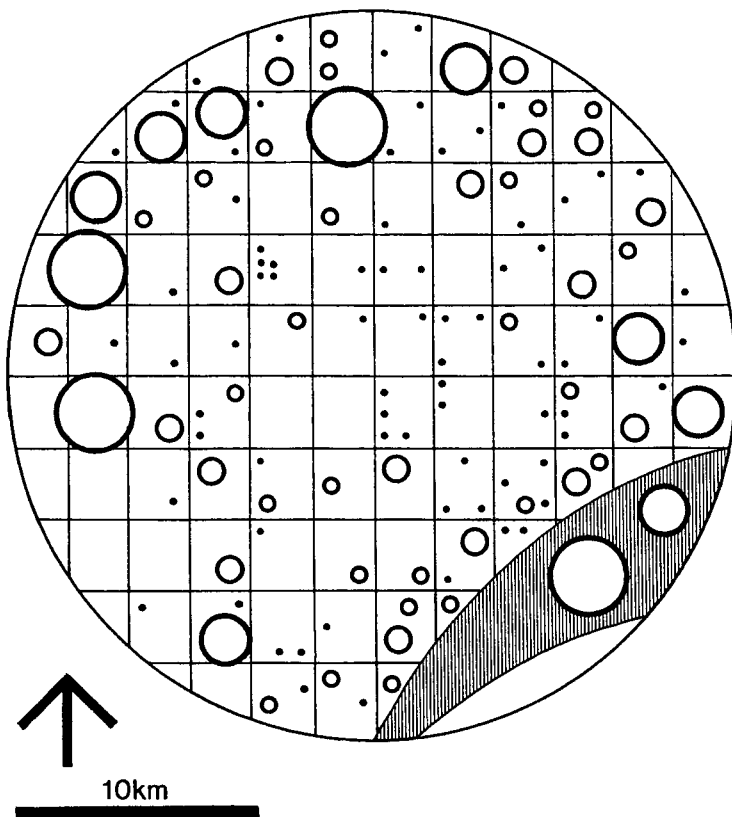


10km

ワシントンD. C. [河川流域・均等分散型]

凡 例	
4 ha未満 の公園緑地等	・
4 ha以上10ha未満 の公園緑地等	○
10ha以上30ha未満 の公園緑地等	○
30ha以上100ha 未満 の公園緑地等	○
100ha 以上 の公園緑地等	○
パークウェイ	—
モール	
河 川	
道 路	—

図・附1-3 緑被形態パターン(3)



凡 例	
4 ha未満 の公園緑地等	・
4 ha以上10ha未満 の公園緑地等	○
10ha以上30ha未満 の公園緑地等	○
30ha以上100ha 未満 の公園緑地等	○
100ha 以上 の公園緑地等	○
河 川	▨
道 路	—

デトロイト [格子状均等分散型]

図・附1-4 緑被形態パターン(4)

附属資料2 シミュレーションの数値モデル

[数値モデルの概要]

解析に用いたシミュレーションシステムは、大気乱流プログラムHOTMAC (Yamada and Bunker, 1988) をもとに、浦野らにより改良されたもの (Urano, Morikawa and Nishimura, 1995) である。

HOTMACは3次元の乱流モデルで、その特徴は「ensembleモデルであること、乱流クロージャー方程式を使っていること、複雑地形上の流れに多くの検証例があること等である」(横山、1992)。

数値モデルに使用した記号を表・附2-1に示す。

表・附2-1 記号

z	: 座標交換前の鉛直座標
z^*	: 座標交換後の鉛直座標
z_g	: 地面の座標
H	: z 座標系での計算領域上限
$\bar{H}$	: z^* 座標系での計算領域上限
U, V, W	: x, y, z 方向の風速
U_g, V_g	: x, y 方向の地衡風
W^*	: z^* 座標系における風速
l	: 乱流の長さスケール
q^2	: 乱流エネルギー ($q^2 = u^2 + v^2 + w^2$)
u, v, w	: x, y, z 方向の風速の変動値
$\overline{uw}$	: レイノルズ応力 (x 方向、 z 方向の変動成分の平均値)
$\overline{vw}$	: レイノルズ応力 (y 方向、 z 方向の変動成分の平均値)
K_x, K_y	: x, y 方向の渦動拡散係数
K^{xy}	: 渦動拡散係数
S_a, B_1, α	: 無次元定数
a	: 地表面の短波放射反射率
$(1-a)S$	: 地表面の下向き短波放射量
LE	: 潜熱
$RL \downarrow$	: 大気から地面への長波放射量
$RL \uparrow$	: 地面から大気への長波放射量
HS	: 顕熱
G	: 土壌への熱フラックス
θ	: 温位
$\langle \theta \rangle$	: θ の平均
θ_v	: 仮温位
θ'_v	: 仮温位の変動値
$\theta(z_i)$	: 高さ z_i における空気温度
$\theta(z_c)$	: 地表面温度
Q_v	: 水蒸気混合比
g	: 重力加速度
T^*	: 摩擦温

Pr	: 乱流プラントル数
κ	: カルマン定数
z_0	: 運動量の粗度
z_{01}	: 熱量の粗度
ϕ	: 密度成層の補正項
k_s	: 土壌等の熱伝導係数
z_s	: 地表面からの深さ
β	: 空気の膨張率
ρ	: 空気の密度
C_p	: 定圧比熱
R_N	: 純放射量 (正味放射量)
B	: ボーエン比

水平方向にはデカルト座標系、鉛直方向には Z^* 座標系を用いた。 Z^* 座標系は地面近くで地形に沿うよう鉛直座標であり、デカルト座標系からの変換式を(1)式に示す。

$$z^* = H \frac{z - z_g}{H - z_g} \quad (1)$$

解析の輸送方程式は以下に示す(2)、(3)の水平方向の運動量、(6)式の乱流エネルギー、(7)式の熱量、及び(8)式の水蒸気混合比である。

モデルの基礎方程式

$$\begin{aligned} \frac{DU}{Dt} = f(V - V_g) + g \frac{\bar{H} - z^*}{\bar{H}} \left(1 - \frac{\langle \theta_v \rangle}{\theta_v}\right) \frac{\partial z_g}{\partial x} \\ + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{xy} \frac{\partial U}{\partial y} \right) + \frac{\bar{H}}{H - z_g} \frac{\partial}{\partial z^*} (-\overline{uw}) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{D}{Dt} \left(\frac{q^2}{2} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left[K_x \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{q^2}{2} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K_y \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{2} \right) \right] \\ + \left(\frac{\bar{H}}{H - z_g} \right)^2 \frac{\partial}{\partial z^*} \left[q l S_q \frac{\partial}{\partial z^*} \left(\frac{q^2}{2} \right) \right] - \frac{\bar{H}}{H - z_g} \\ \times \left(\overline{uw} \frac{\partial U}{\partial z^*} + \overline{uv} \frac{\partial V}{\partial z^*} \right) + \beta g w \theta_v - \frac{q^3}{B_1 l} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \frac{DV}{Dt} = -f(U - U_g) + g \frac{\bar{H} - z^*}{\bar{H}} \left(1 - \frac{\langle \theta_v \rangle}{\theta_v}\right) \frac{\partial z_g}{\partial y} \\ + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xy} \frac{\partial V}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial V}{\partial y} \right) + \frac{\bar{H}}{H - z_g} \frac{\partial}{\partial z^*} (-\overline{vw}) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K_x \frac{\partial \theta}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K_y \frac{\partial \theta}{\partial y} \right] \\ + \frac{\bar{H}}{H - z_g} \left[\frac{\partial}{\partial z^*} (-w \theta) + \frac{1}{\rho C_p} \frac{\partial R_N}{\partial z^*} \right] \end{aligned} \quad (7)$$

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W^*}{\partial z^*} - \frac{1}{H - z_g} \left(U \frac{\partial z_g}{\partial x} + V \frac{\partial z_g}{\partial y} \right) = 0 \quad (4)$$

where

$$\frac{\partial Q_v}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K_x \frac{\partial Q_v}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K_y \frac{\partial Q_v}{\partial y} \right] + \frac{\bar{H}}{H - z_g} \frac{\partial}{\partial z^*} (-w q_v) \quad (8)$$

$$W^* = \frac{\bar{H}}{H - z_g} W + \frac{z^* - \bar{H}}{H - z_g} \left(U \frac{\partial z_g}{\partial x} + V \frac{\partial z_g}{\partial y} \right) \quad (5)$$

$$l = l_0 \frac{kz}{kz + l_0} \quad l_0 = \alpha \frac{\int_0^\infty |z| q dz}{\int_0^\infty q dz} \quad (9)$$

鉛直方向の運動量は、静力学平衡を仮定し(4)式により求めた。乱流モデルは2次モーメントの乱流量を予測するアンサンブル平均モデルであるYamadaによるlevel 2.5の closure model (Yamada and Bunker, 1988) を用いており、乱流の長さスケール l はBlackadarによる代数式(9) (Blackadar,

1962) を用いた。

地表面境界条件は、Yamadaによるモデル (Yamada, 1982) を用いた。熱の伝導式

$$\frac{\partial \theta(z_g)}{\partial T} = \frac{\partial}{\partial z_s} \left[K_s \frac{\partial \theta(z_g)}{\partial (z_s)} \right] \quad (10)$$

を解いて求めた地表面温度を境界条件にして、地表面における長波放射・短波放射及び顕熱・潜熱収支を求める次式を用いた。

$$(1 - a) S + R L \downarrow - R L \uparrow = L E + H s + G \quad (11)$$

また顕熱の熱収支は水平方向に一樣な地表面における経験則に基づいたDyer and Hicks の式 (Dyer and Hicks, 1970)

$$\frac{\theta(z_l) - \theta(z_g)}{T^*} = \frac{Pr}{k} \left\{ l_n \left[\frac{z + z_{ot}}{z_{ot}} \right] + l_n \left[\frac{z_o}{z_{ot}} \right] - \phi \right\} \quad (12)$$

によった。

地表面境界条件として考慮される土地利用別の効果は、12種類の土地利用区分に対してPielke (1984)、Yamadaによるデータ、緑被率データを参考に、表・附2-2に示すようにアルベド・土壌湿潤度・緑被率・地表面構成物質の比熱・熱拡散率・密度を設定した。また人工排熱による効果は地表面の固体最上層に熱量として与えた。

地表面の粗度長は0.1で一定とし、建物用地の物性値は平面のコンクリートで代表させているため、建物用地における建築物の凹凸の放射・大気の運動量・熱量に与える効果については無視した。

緑被については、全て高さ10mの樹木に覆われていると仮定し、樹木層における短波放射の吸収量の算出について、Yamada (1982) を用いた。なお、樹木層による、大気の運動量及び乱流エネルギーに与える影響については無視した。

放射の解析は、樹木層上端での熱収支の式を解くとともに、樹木層上端から樹木層内に入射した短波放射は、樹木層で吸収されるものとみなし、樹木層の高さに応じて設定した葉面積密度の分布関数を用いた各鉛直格子での短波放射の吸収量を求めて大気への加熱量とした。短波放射の吸収量を大気への加熱量に変換する際のボーエン比 (顕熱量と潜熱の比) は、

$$B = H_s / L E$$

により定義される。本研究のシミュレーションでは、夏の晴天日の蒸発量が4mm/日に相当する $B = 0.2$ により解析を行った。

各メッシュにおいて、樹木の場合の熱収支と裸地の場合の熱収支を別々に求め、緑被率に合わせて荷重平均することにより、そのメッシュにおける熱の寄与量を計算した。

表・附 2 - 2 土地利用区分と各パラメータの設定値

土地利用区分	ア ル ベ ド	土壌湿潤度	緑被率	比 熱	熱拡散率	密 度
田	0.2	1	0.3	4.18	$1.00E-15$	1
畑	0.1	0.9	0.3	0.762	$1.05E-07$	1.56
果樹園	0.2	0.8	0.7	0.762	$1.05E-07$	1.56
その他の樹木	0.2	0.8	0.7	0.762	$1.05E-07$	1.56
森林	0.15	0.9	0.9	0.762	$1.05E-07$	1.56
荒地地	0.2	0.7	0.5	0.762	$1.05E-07$	1.56
建物用地	0.15	0.5	0.2	0.91	$1.07E-08$	2.23
幹線交通用地	0.1	0.5	0	0.915	$4.87E-09$	2.03
その他の用地	0.2	0.7	0.5	0.762	$1.05E-07$	1.56
内水地	$-0.0139+0.0467\tan Z$	1	0	4.18	$1.00E-15$	1
海浜	0.3	0.9	0.5	0.588	$6.12E-09$	1.72
海水域	$-0.0139+0.0467\tan Z$	1	0	4.18	$1.00E-15$	1

附属資料 3 近未来の都市像

第Ⅴ章で述べた、通常の緑化技術とともに特殊緑化技術を活用した、近未来の都市像の図を参考までに示す。



図・附3-1 近未来の都市像
(出典) 半田・石坂(1994): 特殊緑化技術による緑の創造について

〈引用・参考文献〉

[A]

Akbari, H., Davis, S., Huang, J. and Winnet, S. (1992) : Cooling our communities - A Guide-book on tree planting and light-colored surfacing, United States Environmental Protection Agency, Office of Policy Analysis, Climate Change Division.

朝日新聞社出版局書籍第二編集室 編集 (1994) : 朝日現代用語1994年別冊付録 知恵庫 (世界都市ガイド300)、朝日新聞社、p.100、p.124、p.132、p.215、p.228.

浅川昭一郎 (1976) : 札幌市における住民の緑地意識について (Ⅱ) - 緑地満足度と緑地指標との関係 -、造園雑誌、40(1)、pp.18-28.

[B]

バイエルン州食糧農林省 (1987) : 森林 バイエルン州における環境保護、バイエルン州、p.8.

Beckröge, W. (1989) : Climate as a factor of a planning project - demonstrated by the example of Dortmund Bornstrasse, Energy and Buildings, 11, pp.129-135.

Blackadar, A. (1962) : The vertical distribution of wind and turbulent exchange in neutral atmosphere, Journal of Geophysical Research, 67, pp.3095-3102.

Bründl, W. (1988) : Climate Function Maps and Urban Planning, Energy and Buildings, 11, pp.123-127.

[D]

Deutscher Wetterdienst (1994) : Zur Berücksichtigung von Klima in der Stadtplanung, Die Bauverwaltung, Bauamt & Gemeindebau, Sonderdruck 3/94.

導入推進調査委員会 (1994) : 都市再開発におけるコージェネレーションシステム導入推進に関する調査③、クリーンエネルギー、'94.2.、pp.61-64.

Dyer, A. J. and Hicks, B. B. (1970) : Flux-gradient relationships in the constant flux layer, Quarterly of J. R. Meteorological Society, 96, pp.715-721.

[F]

藤部文昭 (1996) : 人間活動が地域の気候を変える、気象学のみかた、朝日新聞社、pp.72-76.

藤野毅、浅枝隆、中北英一 (1996) : 市街地スケール都市気象モデルによる風・熱環境評価の検討、水工学論文集、第40巻、土木学会・水理委員会、pp.231-236.

藤野毅、浅枝隆、和気亜紀夫 (1996) : 夏季の乾燥地における大規模灌漑緑地の気象観測と環境評価、水工学論文集、第40巻、土木学会・水理委員会、pp.261-266.

藤崎健一郎、半田真理子 (1994) : 公園、街路等の植栽が微気象に及ぼす影響、造園雑誌、第57巻第5号、pp.151-156.

福井英一郎 (1940) : 熱海市附近における気温分布 小気候研究法の吟味、地理学評論、16-3、pp.

170-181.

福井英一郎(1943) : 本邦大都市に於ける気候の変化、気象集誌、21-9、pp.168-174.

福井英一郎(1968) : 日本における最近の気温上昇、地理学評論、41-8、pp.472-490.

福井英一郎、和田憲男(1941) : 本邦の大都市に於ける気温分布、地理学評論、17-5、pp.354-372.

福岡義隆(1977) : 都市温度日 ー都市大気の環境アセスメントとしての意義ー、環境情報科学、6-1、pp.44-49.

[H]

半田真理子(1983) : 都市の緑地率はどうか、これからどうなる、岩波書店、pp.399-400.

半田真理子(1985) : 都市に森をつくる ー私の公園学、朝日新聞社.

半田真理子(1996) : 緑の創造の新たな視点、ジャパンランドスケープ、第37号、pp.16-17.

半田真理子、藤原宣夫、田畑正敏、藤崎健一郎(1993) : ランドサットデータによる都市域の地表面温度と緑被との関係解析、土木技術資料、35-11、pp.57-62.

半田真理子、藤原宣夫、田畑正敏(1995) : ランドサットデータによる都市域の地表面温度と緑被との関係解析(Ⅱ) ー緑被率による解析ー、土木技術資料、37-2、pp.54-59.

半田真理子、藤原宣夫、田畑正敏(1996) : ランドサットデータによる都市域の地表面温度と緑被との関係解析(Ⅲ) ー緑被の温度低減効果の季節・昼夜間差及び影響範囲ー、土木技術資料、38-5、pp.56-61.

半田真理子、飯塚康夫(1994) : コンクリート構造物の緑化手法、コンクリート工学、32、Vol.32 No.11、pp.70-73.

半田真理子、石坂健彦(1994) : 特殊緑化技術による緑の創造について、公園緑地、Vol.55 No.2、pp.118-121.

半田真理子、浦野明(1996) : 緑被の熱環境に及ぼす効果、土木技術資料、38-12、pp.38-43.

日野幹雄、大橋正和、原田敬志、金子大二郎(1996) : サーモグラフによる緑と熱環境の解析、水工学論文集、第40巻、土木学会・水理委員会、pp.1121-1124.

本條毅(1990) : 緑地が都市熱環境に及ぼす影響、学位論文.

本條毅(1991) : 植生による都市気候の制御、シンポジウム「都市の気候変化と制御」講演論文集、日本学術会議環境工学研究連絡委員会、pp.23-26.

本條毅、高倉直(1986) : リモートセンシングによる都市内緑地の温度分布の解析、造園雑誌、第49巻第5号、pp.229-304.

梅干野晃(1995) : 都市緑化と熱環境、都市緑化技術、1995 SUMMER No.18、特集 緑による都市の熱環境改善、pp.9-15.

[I]

一ノ瀬俊明(1993) : シュトゥットガルトにおける「風の道」 ー都市計画で都市気候を制御する試みー、天気、40.9、pp.31-33.

猪俣隆行、廣瀬葉子、甲斐祐子(1995) : 人工衛星データを主体とした緑地周辺の熱環境解析の試み、第8回環境情報科学論文集、pp.5-8.

入江彰昭（1996）：都市の緑と都市気候：都市気象緩和に有効な緑地形態、国際景観生態学会日本支部会報、Vol.3 No.2、pp.17-19.

入江彰昭、平野侃三（1995）：ランドサットTMデータ解析による都市の気象緩和に有効な緑地形態に関する基礎的研究－千葉市域を事例として－、1995年度第30回日本都市計画学会学術研究論文集、pp.325-330.

石野久弥、郡公子、谷本潤（1993）：東京首都圏における空調設計用外気温度の分布特性に関する研究、日本建築学会計画系論文報告集、第453号、pp.17-27.

石坂健彦、半田真理子、田中隆（1995）：特殊空間緑化による緑の創造、土木技術資料、37-10、pp.60-65.

[J]

自治省行政局振興課（1994）：全国市町村要覧（平成6年版）、第一法規出版.

住宅・都市整備公団南多摩開発局、財団法人日本緑化センター（1995）：多摩ニュータウンにおける緑化と大気熱環境、住宅・都市整備公団南多摩開発局、財団法人日本緑化センター.

[K]

神奈川県（1986）：昭和60年度 エネルギーとかながわ、神奈川県.

神田学、木内豪、小林祐明（1996）：新しい屋外用温熱感指標による河川の熱環境評価－多摩川河川敷における観測を例に－、水工学論文集、第40巻、土木学会・水理委員会、pp.237-242.

神田学、西村修、福田忠弘、竹内邦良、清水源治（1996）：河川に沿った海風フロントの侵入挙動、水工学論文集、第40巻、土木学会・水理委員会、pp.243-248.

金子慎治、前田利家、上野賢仁、井村秀文（1994）：リモートセンシング輝度温度による都市域気温分布の推定－北部九州、関西、関東3地域への適用と比較－、環境システム研究、Vol.22、pp.267-273.

環境庁企画調整局 編、大都市圏における環境資源の保全創造に関する懇談会、東京湾地域の開発と環境保全に関する専門部会（1989）：東京湾・その保全と創造に向けて、大蔵省印刷局.

環境庁水質保全局 編（1990）：かけがえのない東京湾を次世代に引き継ぐために、大蔵省印刷局、p.56.

片山忠久、石井昭夫、西田勝、堤純一郎、森川明夫、橋田光明（1987）：水面を有する市街地の熱環境に関する調査研究、日本建築学会計画系論文報告集、第372号、pp.21-29.

河村武（1977）：都市気候の分布の実態、気象研究ノート、No.133、pp.26-47.

風間聡、沢本正樹（1995）：植生環境評価を用いた人間活動の評価、土木学会、第50回年次学術講演会、pp.166-167.

建設省（1994）：緑の政策大綱－21世紀「緑の文化」形成を目指して－、建設省.

建設省（1995）：緑化空間創出のための基盤技術の開発 報告書、建設省.

建設省河川局河川環境課・建設省土木研究所（1995）：第49回建設省技術研究会論文集 指定課題、建設省、pp.6-1-6-22.

建設省河川局河川環境課・土木研究所都市河川研究室（1996）：第50回建設省技術研究会論文集 指

定課題、建設省、pp.21-1-21-22.

建設省広報室 編集(1996) : 特集 都市公園法施行40周年、建設月報、No.569.

建設省都市局環境問題研究会 編集、伊藤滋・高橋潤二郎・尾島俊雄 監修(1993) : 環境共生都市づくり - エコシティ・ガイドー、ぎょうせい.

建設省都市局公園緑地課 (1996) : 平成9年度都市公園等整備事業予算概算要求の概要について、公園緑地、Vol.57 No.4、pp.69-pp.83.

Kikuchi, Y., Arakawa, S., Kimura, F., Shirasaki, K. and Nagano, Y. (1981) : Numerical study on the effects of mountains on the land and sea breeze circulation in the Kanto district, Journal of Meteorological Society of Japan. Vol.59 No.5, pp.723-738.

木村富士男(1991) : 都市の大気境界層、シンポジウム「都市の気候変化と制御」講演論文集、日本学術会議環境工学研究連絡委員会、pp.11-16.

気象庁(1995) : 気象庁年報 平成7年全国気象表、気象庁.

清田信、伊藤孝美、高橋裕司(1993) : 都市域(大阪)の熱環境と緑地の熱環境緩和、第8回環境情報科学論文集、pp.9-14.

清田信、北宅善昭、原蘭芳信、矢吹万寿(1991) : 林地と芝地における熱収支の比較、環境情報科学、20-2、pp.62-66.

小宮英孝、岡建雄、下川泰三(1993) : 都市の内外における熱流の測定、日本建築学会計画系論文報告集、第453号、pp.37-44.

[L]

Landeshauptstadt Stuttgart (1991) : Umweltatlas • Klima, Klima-Analyse.

Landsberg, H. E. (1981) : The Urban climate, International Geophysics Series, Volume 28, Academic Press.

Lenz, J. C. (1996) : Energieumsetzungen an der Erdoberfläche in Gegliedertem Gelände, Von der Fakultät für Physik der Universität (TH) Karlsruhe genehmigte Dissertation.

[M]

Mayer, H. (1989) : Results from the research program "STADTKLIMA BAYERN" for urban planning, Energy and Buildings, 11, pp.115-121.

丸田頼一 他(1986) : 市街地の高木が住民意識にもたらす影響、昭和61年度第21回日本都市計画学会学術研究論文集、pp.451-456.

丸田頼一、島田正文、橋本宏治(1988) : 臨海埋立地に位置する住宅地の緑の状況と住民意識に関する考察、造園雑誌、第51巻第5号、pp.299-304.

丸田頼一、柳井重人、小谷幸司(1995) : 柏市における気温および表面温度分布の実態に関する一考察、第8回環境情報科学論文集、pp.15-19.

三上岳彦(1982) : 都市内部における公園緑地の気候、お茶の水女子大学人文科学紀要、35、pp.21-36.

蓑茂寿太郎(1977) : 都市公園の配置計画理論に関する研究、造園雑誌、第40巻第4号、pp.40-51.

村上雅博、馬淵泰、K.E.シータラム、浅枝隆（1995）：都市環境と地理情報システム、GIS－理論と応用、Vol.3、No.2、pp.19-25.

村上三郎、関根毅、成田健一、西名大作（1988）：都市内河川が周辺の温熱環境に及ぼす効果に関する研究、日本建築学会計画系論文報告集、第393号、pp.25-34.

[N]

長山宗美、吉田博宣、糸谷正俊（1992）：京都市民の緑の満足度に関する研究、造園雑誌、第55巻第5号、pp.337-342.

中村英夫 編集代表（1992）：都市と環境－現状と対策－、ぎょうせい.

中辻啓二、佐藤歩、重光泰宗、村岡浩爾（1996）：沿岸都市域の土地利用の変化が大気環境に与える影響評価、水工学論文集、第40巻、土木工学・水理委員会、pp.255-260.

並木裕（1992）：人工地盤緑化による波及効果、緑の読本、シリーズ25 第28巻第16号、公害対策技術同友会、pp.20-30.

Nichol, J. E. (1992) : Landsat thermal data finds Singapore "Hot Spots", Landsat Data Users Notes, Volume 7 Number 1, pp.3-4.

日本リモートセンシング研究会 編（1994）：図解リモートセンシング、(株)日本測量協会、p.194.

新田伸三、東集成、石井昭夫（1981）：環境緑化における微気象の結成、鹿島出版会.

[O]

大林成行 編著（1995）：実務者のためのリモートセンシング、フジ・テクノシステム.

尾島敏雄（1991）：都市の温暖化とエネルギー消費、シンポジウム「都市の気候変化と制御」講演論文集、日本学術会議環境工学研究連絡委員会、pp.3-10.

岡建雄（1974）：都市における熱的環境に関する研究（その1）－熱拡散の基礎理論解析－、大林組技術研究所報、No.9、pp.148-151.

岡建雄（1975）：都市における熱的環境に関する研究（その2）－東京における熱的環境調査－、大林組技術研究所報、No.10、pp.162-166.

岡建雄（1976）：都市における熱的環境に関する研究（その3）－関東地方の土地利用と熱環境調査－、大林組技術研究所報、No.12、pp.153-157.

オーク、斉藤直輔・新田尚 訳（1981）：境界層の気候、朝倉書店.

屋上開発研究会（1995）：屋上利用ガイドブック、屋上開発研究会.

大貫誠二（1994）：都市緑化の推進について、公園緑地、Vol.55 No.3、pp.20-30.

[P]

ピチャクム ナース、丸田頼一、柳井重人（1993）：バンコック、ミンブリー郡における都市気温分布と緑地の気象緩和作用に関する研究、造園雑誌、第56巻第5号、pp.325-330.

Pielke, R. A. (1984) : Mesoscale meteorological modeling, Academic Press.

[S]

- 埼玉県 (1982) : 埼玉県地域エネルギー開発利用調査報告書、埼玉県.
- 榊原保志 (1982) : 草加松原団地における小気候学的調査 — ヒートアイランドを中心にして —、天気、29.2.、pp.31-40.
- サトクリフ J.、佐藤庚 訳 (1986) : 植物と温度、ASAURA-ARNOLD Biology 22、朝倉書店.
- (株)日本公園緑地協会 編集、建設省都市局都市計画課・公園緑地課 監修 (1995) : 緑の基本計画ハンドブック、(株)日本公園緑地協会.
- (株)日本公園緑地協会 編集、建設省都市局都市計画課・公園緑地課 監修 (1996) : 緑の基本計画ハンドブック 改訂版、(株)日本公園緑地協会.
- 下田吉之、水野稔、内藤和夫 (1988) : 都市化による地中温度上昇に関する研究、空気調和・衛生工学会論文集、No.37、pp.11-19.
- 下田吉之、水野稔、内藤和夫 (1989) : 都市化による地中温度上昇に関する研究 第2報 — 異なる地表面下における地中温度の実測とモデル化、空気調和・衛生工学会論文集、No.41、pp.85-93.
- 品田穰 (1979) : 都市の自然、科学、Vol.49 No.10、pp.664-670.
- 進士五十八 (1987) : 緑からの発想、思考社、pp.17-18.
- Spirn, A. W. (1984) : The granite garden, Basic Books Inc. Publishers, New York.

[T]

- 田畑貞寿 (1979) : 都市のグリーンマトリックス、鹿島出版会.
- 田畑貞寿、樋渡達也 編集 (1995) : 造園の事典、朝倉書店、p.8、p.27、pp.84-86、p.203.
- 大成建設(株) (1988) : 昭和63年度環境庁委託 都市再開発と環境に関する調査 — 都市エコシステムの再生に向けて —、大成建設(株).
- 高橋浩一郎 (1977) : 二次元拡散モデルによる熱使用限界の推定、気象研究ノート、19、pp.69-78.
- 高橋理喜男、野田俊秀 (1975) : 都市環境における快適性の指標としての緑の量的質的基準化に関する研究、造園雑誌、第39巻第1号、pp.10-19.
- 竹林征三 編著 (1995) : 実務者のための建設環境技術、山海堂.
- 武内和彦 (1994) : 環境創造の思想、(株)東京大学出版会.
- 武内和彦、恒川篤史 編 (1994) : 環境資源と情報システム、古今書院.
- 竹内清秀 (1989) : 東京湾岸の気候変化とヒートアイランド現象、環境研究、No.75、pp.90-99.
- 田中一美、斉藤庸平、山田恵子、根岸茂、岩河信文 (1987) : 屋敷林が微気象に与える影響について、日本造園学会関東支部大会研究・報告発表要旨、第5号、pp.15-16.
- 坪松学、井下雅博 (1995) : 都市化に伴う地表から大気への熱伝達量変化に関する考察、土木学会第50会年次学術講演会、pp.150-151.
- 土屋巖 (1972) : 緑地と都市気候 — 都市における自然緑地・人工緑地・河川等の熱的特性 —、水利科学、16-1、pp.29-56.
- 土屋巖 (1973) : 地表面温度の都市環境に果たす役割、建築雑誌、昭和48年7月号、pp.777-778.
- 東京都 (1995) : 東京都緑のマスタープラン改定基本方針、東京都.

- 東京都環境保全局助成指導部助成地課地域冷暖房係（1991）：地域冷暖房推進に関する指導要綱、東京都環境保全局助成指導部助成地課地域冷暖房係、pp.67-68.
- 東京都環境保全局自然保護部（1991）：'91東京都緑の倍增計画、東京都.
- 東京都環境保全局自然保護部（1996）：'91東京都緑の倍增計画、'95実施計画（平成7年度～平成9年度）、東京都.
- 東京都環境保全局自然保護部緑化推進室（1988）：緑被率標準調査マニュアル、東京都環境保全局.
- 東京都建設局道路建設部（1991）：平成2年度全国道路交通情勢調査（道路交通センサス）（その2）交通量調査報告書（1／2・区部）、東京都建設局道路建設部.
- 東京都生活文化局（1987）：東京都におけるエネルギー需要構造とその将来動向に関する調査、東京都生活文化局.
- 東京都生活文化局価格流通部取引指導課（1993）：東京都におけるエネルギー需給構造の現状と将来展望に関する調査、東京都生活文化局価格流通部取引指導課.
- 東京都都市計画局地域計画部土地利用計画課（1984）：東京の土地利用 ー現況編ー 昭和57年東京都多摩・島しょ地域、東京都都市計画局.
- 東京都都市計画局地域計画部土地利用計画課（1993）：東京の土地利用 平成3年東京都区部、東京都情報連絡室.
- 東京都都市計画局建築指導部調査課（1987、1988、1989、1990、1991、1992、1993、1994）：建築統計年報、東京都都市計画局建築指導部調査課.

[U]

- 宇田川満、早福正孝、伊藤政志（1991）：赤外線映像装置による地表面温度分布 ー公園緑地周辺ー、東京都環境科学研究所年報、1991-2、pp.46-53.
- 浦野明、森川泰成、西村正和（1994）：都市温熱環境の予測手法の開発 その3 広域大気環境シミュレーション、大成建設技術研究所報、第27号、pp.275-282.
- Urano, A., Morikawa, Y. and Nishimura, M. (1995) : Urban environment analysis of the Kanto plain with 1-dimensional and 3-dimensional numerical simulations, Pan Pacific Symposium on building and urban environmental conditioning in Asia, Nagoya, Japan, pp.183-192.

[W]

- 渡辺浩文（1993）：土地被覆による熱環境の推定、都市設備シンポジウム資料、日本建築学会、pp.16-19.
- Werner, G. (1979) : Regionale Luftaustauschprozesse und ihre Bedeutung für die räumliche Planung, LANDSCHAFT+STADT, 11(1), pp.17-25.

[Y]

- 山田宏之（1993a）：千葉県野田市における都市気温分布と緑地の気温低減効果について、日本農業気象学会1993年度全国大会・日本生物環境調節学会第31回合同大会講演要旨、pp.220-221.

- 山田宏之 (1993 b) : 埼玉県栗橋市における都市気温分布と緑地の夏季の気温低減効果について、造園雑誌、第56巻第5号、pp.331-336.
- 山田宏之 (1994) : 埼玉県幸手市における夏季の都市気温分布と緑地分布の関連についての解析、造園雑誌、第57巻第5号、pp.157-162.
- 山田宏之 (1995 a) : 都市気温分布と緑地分布の関連についての都市間比較、ランドスケープ研究、58-5、pp.253-256.
- 山田宏之 (1995 b) : 最高・最低気温の四季別平均値を用いた都市気温トレンドの検定、日本農業気象学会1995年度全国大会・日本生物環境調節学会第33回集会・平成7年度農業施設学会大会合同大会講演要旨、pp.220-222.
- 山田宏之、半田真理子、赤松潤 (1996) : 高架橋上を使った大規模な人工地盤植栽試験について、日本造園学会関東支部大会研究・報告発表要旨、第14号、pp.43-44.
- 山田宏之、丸田頼一 (1987) : 樹木の日射軽減作用に関する研究、造園雑誌、第51巻第2号、pp.84-94.
- 山田宏之、丸田頼一 (1989) : 都市における緑地の気象緩和作用についての実証的研究、造園雑誌、第52巻第5号、pp.127-132.
- 山田宏之、丸田頼一 (1990) : 小規模樹林内における夏季の気温の低減について、造園雑誌、第35巻第5号、pp.163-168.
- 山田宏之、丸田頼一 (1991) : 緑地による都市気象緩和作用の定量的解析、造園雑誌、第54巻第5号、pp.299-304.
- 山田宏之、丸田頼一 (1992) : 埼玉県庄和町における都市気温分布と緑地の気象緩和作用について、造園雑誌、第55巻第5号、pp.349-354.
- 山田宏之、丸田頼一、中村雅展 (1992) : 長野市における気温・湿度分布と緑地の気象緩和作用について、造園雑誌、第55巻第4号、pp.291-308.
- Yamada, T. (1982) : A numerical model study of turbulent airflow in and above a forest canopy, Journal of Meteorological Society Japan, 60, pp.439-454.
- Yamada, T. and Bunker, S. (1988) : Development of a nested grid, second moment turbulence closure model and application to the 1982 ASCOT brush creek data simulation, Journal of Applied Meteorology, vol.27, pp.562-578.
- 横山長之 総合編集 (1992) : 大気環境シミュレーション - 大気の流れと拡散 -, 白亜書房.
- 吉野正敏 (1986) : 新版 小気候、地人書館.

[Z]

- （財）住宅・建築省エネルギー機構 (1984) : コンパクトエネルギーシステム開発その1、（財）住宅・建築省エネルギー機構.
- （財）住宅・建築省エネルギー機構 (1985) : コンパクトエネルギーシステム開発その2、（財）住宅・建築省エネルギー機構.
- （財）民間都市開発推進機構 (1993) : 緑化分科会中間報告書、（財）民間都市開発推進機構、pp.14-15.
- （財）日本地図センター 編集、建設省国土地理院 監修 (1992) : 数値地図ユーザーズガイド、（財）日本

地図センター。

(財)土地総合研究所・環境都市研究会 編集、建設省都市局都市計画課 監修(1994)：環境都市のデザイン、ぎょうせい。

(財)都市緑化技術開発機構(1995 a)：平成5年度都市樹木蒸散量測定等調査報告書、平成6年度都市樹木蒸散量測定等調査報告書。

(財)都市緑化技術開発機構(1995 b)：都市緑地計画と都市気象の緩和ー日本でのアプローチを考えるー、都市緑化技術、1995 SUMMER No.18、pp.4-8.

(財)都市緑化技術開発機構 編集、興水肇 監修、古谷誠治・平松清房 編集協力、(株)アスコット 編集・作成、名古屋市農政緑地局 発行協力(1993)：特殊緑化空間の緑化、(財)都市緑化技術開発機構。

(財)都市緑化技術開発機構特殊緑化共同研究会(1995)：特殊空間緑化シリーズ① 新・緑空間デザイン普及マニュアル、(財)都市緑化技術開発機構。

(財)都市緑化技術開発機構特殊緑化共同研究会(1996 a)：特殊空間緑化シリーズ② 新・緑空間デザイン普及マニュアル、(財)都市緑化技術開発機構。

(財)都市緑化技術開発機構特殊緑化共同研究会(1996 b)：特殊空間緑化シリーズ③ 新・緑空間デザイン普及マニュアル、(財)都市緑化技術開発機構。