

マイクロフィルム用資料

I S S N 0386-5878

土木研究所資料第 3722 号

土木研究所資料

都市空間におけるヒートアイランド現象の 軽減に関する研究（その1）

—都市河川等の水熱エネルギー活用の効果—

平成 12 年 3 月

建設省土木研究所
河川部都市河川研究室

Copyright©(2000)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。

都市空間におけるヒートアイランド現象の 軽減に関する研究（その 1）

－都市河川等の水熱エネルギー活用の効果－

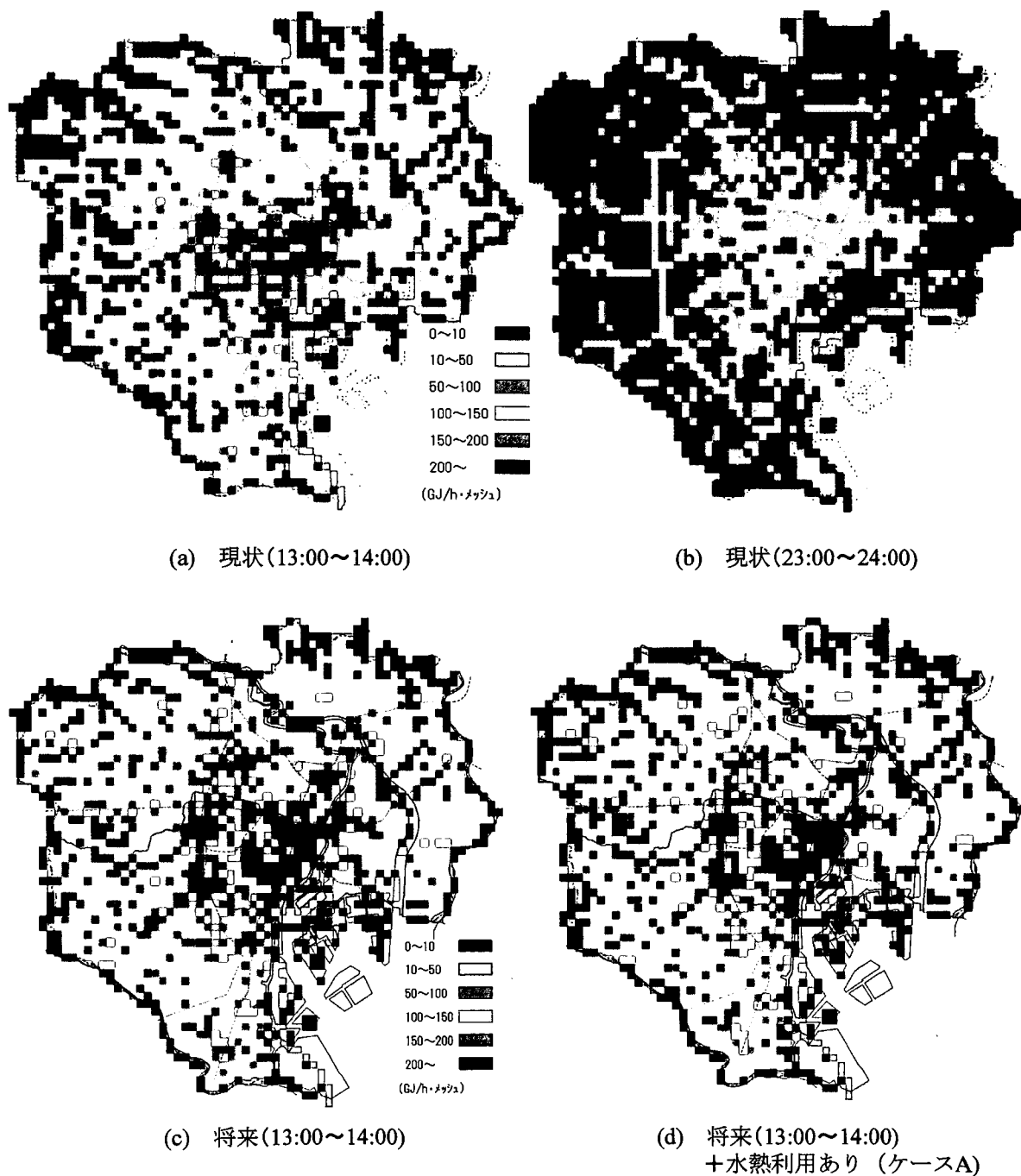
都市河川研究室	室 長	末次忠司
	主任研究員	河原能久
	主任研究員	木内 豪
	研 究 員	小林裕明*

要 旨

エネルギー消費の増大に伴う大気への排熱の増加は、都市のヒートアイランド現象の顕在化に大きく関与していると考えられている。本研究では、ヒートアイランド現象への対策を東京都 23 区で 2010 年を目標に実施することを想定して、2010 年時点での人工排熱の時空間分布を推計するとともに、都市河川や下水の有する水熱エネルギーを利用した地域冷暖房システムを導入できる地区および利用できるエネルギー量を算出すること、地域冷暖房システムの導入による省エネ効果と排ガスや人工排熱の抑制効果を推定すること、さらに地域冷暖房システムから河川への流入水が河川水温に及ぼす影響を検討している。

キーワード：ヒートアイランド現象、人工排熱、水熱エネルギー、地域冷暖房、河川水温

* 現 土木研究所企画部企画課



図－1 東京都区部の現状と将来における人工排熱量（建物排熱＋自動車排熱）の分布

500mメッシュでの1時間当たりの排熱量を示している。現状(1996年)、将来(2010年)ともに、主たる排熱源は、昼間では冷房・電力利用であるが、夜間では自動車排熱の重要となる。将来、排熱量の最大値が増加するとともに排熱量の大きな地区がさらに拡大すると予想される。また、河川、下水処理場や下水幹線の水熱エネルギーを利用した地域冷暖房システムを開発予定地区に導入すると（導入メッシュ数は59メッシュ：導入条件は本文参照）、導入地区では約25%の排熱を削減できる。また、省エネルギーや排ガス抑制の効果も期待できる。

まえがき

都市における社会・経済活動の活発化に伴い、都市環境は大きく変貌してきている。都市でのエネルギー消費の増大や二酸化炭素等の温室効果ガスの排出量の増加は、都市の熱環境のみならず地球環境にまで影響を及ぼしつつある。都市の持続的発展をはかるためには、水や物質、エネルギーについて、自然循環系の保全とそれに調和した人工循環系の形成が不可欠である。

エネルギー消費の増大による大気への排熱の増加は、都市域のコンクリート・アスファルト化や緑地・水面の減少等と並んで、都市のヒートアイランド現象の顕在化に大きく関与していると考えられている。特に、民生・運輸部門でのエネルギー消費量は高い伸びを示しており、排熱量も増加していると推測される。省エネルギーの推進や高効率システムの導入等による効果的な対策を速やかに行うことが急務である。

本研究は、土木研究所の重点研究プロジェクト「都市空間におけるヒートアイランド現象の軽減に関する研究」の一部であり、都市における河川や下水等の有する水熱エネルギーを活用することによって、どの程度人工的な排熱や排ガスを抑制することが可能かを試算するものである。具体的には、ヒートアイランド現象への対策を、2010年を目途に東京都23区で実施することを想定して、冷房利用に伴う排熱をはじめとする様々な人工排熱の時空間分布を推計するとともに、地域冷暖房システムの導入が有効な地区を特定すること、地域冷暖房システムの導入による省エネ効果、排ガスや人工排熱の抑制効果を推定すること、および地域冷暖房システムから河川への流入する温水の河川水温への影響を評価することを行っている。

目 次

まえがき

1. 序論	1
1. 1 都市における熱環境の変化	1
1. 2 人工排熱に関する研究	4
1. 3 未利用エネルギーの活用に関する研究	5
1. 4 本研究の目的と報告書の構成	5
2. 建物排熱の推定	8
2. 1 建物用途別総床面積の推定	8
2. 2 将来の床面積の推定	8
2. 2. 1 23区別の床面積推移と将来床面積の推計	10
2. 2. 2 開発メッシュにおける将来床面積の推計	12
2. 2. 3 その他のメッシュにおける将来床面積の推計	18
2. 3 建物エネルギー需要原単位の設定	20
2. 4 建物エネルギー需要量の推定	24
2. 4. 1 23区全体でのエネルギー需要量	24
2. 4. 2 エネルギー需要の空間分布	24
2. 5 排熱原単位の設定	29
2. 5. 1 冷房排熱原単位の設定	29
2. 5. 2 暖房排熱原単位の設定	31
2. 5. 3 建物給湯排熱原単位の設定	32
2. 5. 4 建物電力排熱原単位の設定	33
2. 6 現状及び将来の建物排熱量の推定	34
2. 6. 1 23区全体での建物排熱量	34
2. 6. 2 日排熱量の空間分布	35
2. 6. 3 時間排熱量の空間分布	40
3. その他の主要な人工排熱の推定	44
3. 1 火力発電所	45
3. 2 清掃工場	47
3. 3 民間工場	50
3. 4 自動車交通	52
3. 4. 1 道路交通センサスと燃料消費原単位を用いた排熱量の推計	52

3. 4. 2	燃料販売実績からの排熱量の推計	52
3. 4. 3	自動車交通からの排熱量の推計結果	52
3. 5	人工排熱量の比較	55
3. 5. 1	年間排熱量の比較	55
3. 5. 2	時間排熱量の特性	55
4.	水熱エネルギー利用の効果の算定	60
4. 1	水熱エネルギー利用の特徴	60
4. 2	水熱エネルギーの賦存量の算定	60
4. 2. 1	下水処理場	61
4. 2. 2	下水ポンプ所	61
4. 2. 3	下水幹線	64
4. 2. 4	河川	64
4. 2. 5	地下水	65
4. 2. 6	水熱エネルギー賦存量の比較	66
4. 3	水熱エネルギーの可採量の設定	66
4. 3. 1	可採量設定の方針	66
4. 3. 2	水源別可採量の設定	68
4. 3. 3	水熱エネルギーの可採量の分布	69
4. 4	水熱エネルギー利用地区の設定	74
4. 5	水熱エネルギー利用効果の算定	83
4. 5. 1	効果算定の方針	83
4. 5. 2	供給熱量	85
4. 5. 3	燃料消費量	86
4. 5. 4	省エネルギー及び環境保全効果	87
4. 5. 5	排熱量の削減効果	98
4. 5. 6	水熱エネルギー利用の効果のまとめ	102
5.	水熱エネルギー利用に伴う河川水温の変化	104
5. 1	流れと水温に関する 1 次元モデル	104
5. 2	1 次元モデルの検証	106
5. 2. 1	現地調査による感潮河川の流量・水温の実態把握	106
5. 2. 2	モデルのキャリブレーション	111
5. 2. 3	感潮河川における熱収支	113
5. 3	水熱エネルギー利用による水温変化の検討	113

6. まとめと今後の課題	115
--------------------	-----

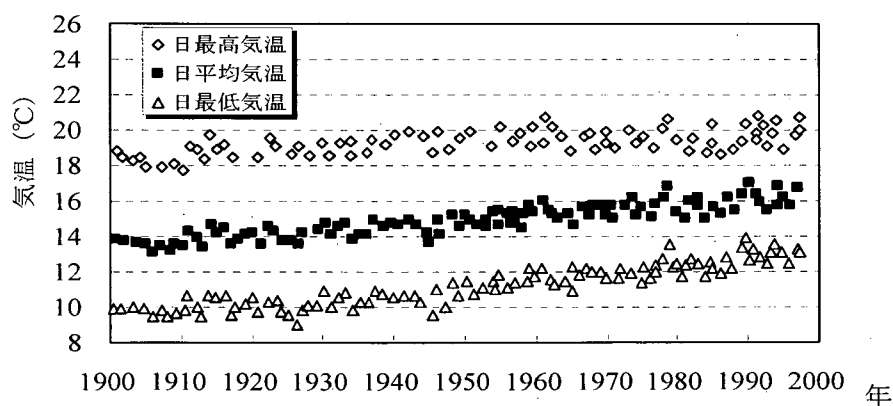
参考文献	117
------------	-----

1. 序論

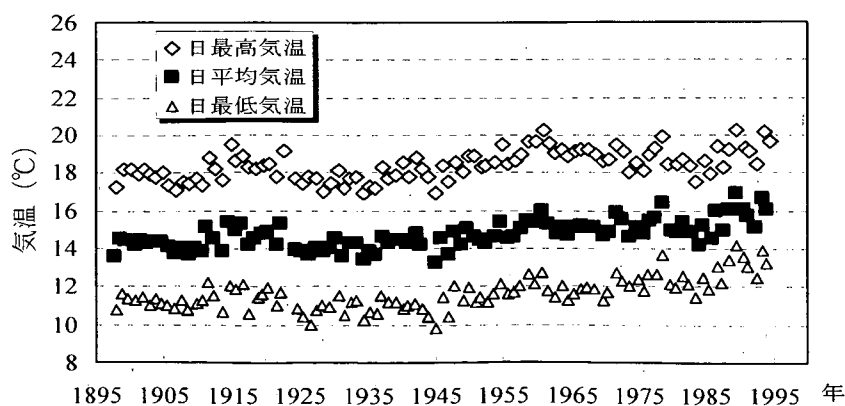
1.1 都市における熱環境の変化

都市における社会・経済活動の活発化に伴い、都市環境は大きく変貌してきている。図-1.1に大都市の熱環境の例として、東京と横浜における気温の経年変化を示す。図より、1950年代以降、気温、とりわけ最低気温が顕著に上昇していることがわかる。都市における気温が周辺地域より上昇する現象を都市のヒートアイランド (urban heat island) と呼ぶ。この現象は、19世紀から知られており、国内外の多くの都市で確認されている。この現象は、最低気温が生ずる夜間に顕著に現れること、また、地球温暖化に比べ顕在化するのに要する時間が短いという特徴を有している。

ヒートアイランドを形成する原因を図-1.2に示す。建物群による反射率や天空率の減少、風速の低下により、地表面が吸収する日射量が増加する一方で、地表面温度は冷えにくくなる。また、土地利用の改変により、緑被や水面が失われ、コンクリートやアスファルト面が増加すると、蒸発散が抑制され、地表面が高温化し、気温が上昇する。さらに、都市では多量の熱エネルギーが放出されているが、それが気温上昇に大きな影響を与えている。これらの中で、地表面の改変と人工排熱の2つがヒートアイランドの顕在化の主因と

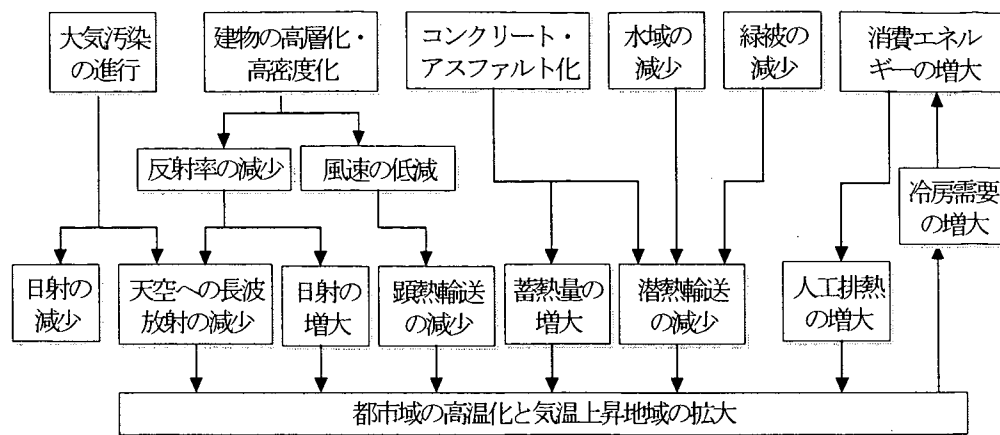


(a) 東京



(b) 横浜

図-1.1 最高気温、平均気温、最低気温の経年変化



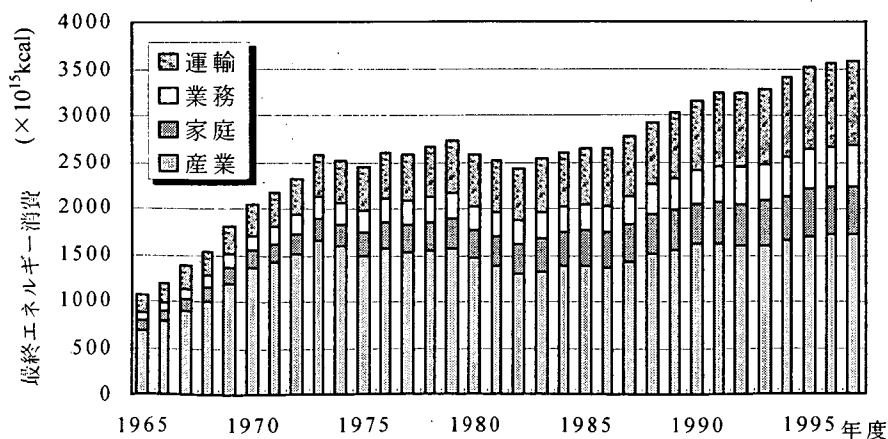
図－1. 2 都市におけるヒートアイランド現象の形成要因

考えられている。なお、日本の大都市は臨海部に立地し、海陸風の影響を受けているものが多い。このため、夏期において、海面温度や臨海部の気温が上昇したり、海風による冷気の吹き込みが弱まれば、気温が上昇することになる。本研究はヒートアイランドに与える人工排熱の影響に着目するものである。

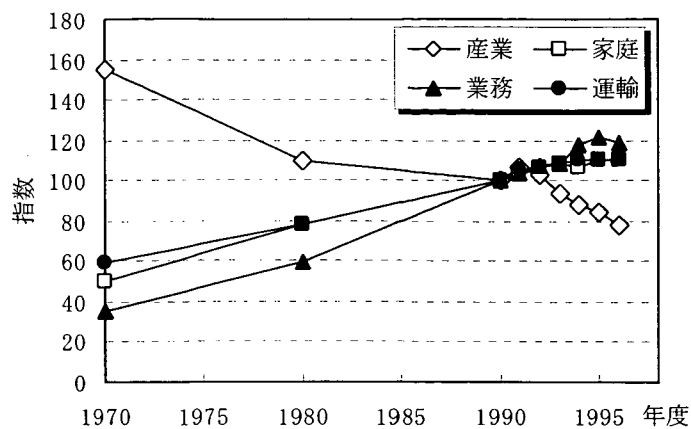
図－1.3に我が国における部門別のエネルギー消費量の推移を示している。産業部門（製造業・非製造業の合計）のエネルギー消費の増加は抑制されているが、民生部門（家庭と業務に分割して表示）と運輸部門でのエネルギー消費は高い伸びを維持している。また、図－1.4では、東京都におけるエネルギー消費を1990年を100とした指数の変化で表している。業務・運輸・家庭部門でのエネルギー消費の増加率が高いことが明らかである。このエネルギー消費の伸びは必然的に人工排熱の増加を招いている。

人工排熱の熱源としては様々なものが存在する。例えば、建物から排出される冷暖房、給湯、動力や照明などの使用に伴う排熱、自動車・電車などの交通機関からの排熱、工場からの排熱、清掃工場（ゴミ焼却場）や発電所からの高強度の排熱などがある。それらの排熱には、人間活動の様式の変化や新しい技術導入により減少させることが可能なものも多く、ヒートアイランド対策の中でも実行可能性が高いものと考えられる。

ヒートアイランドの都市の熱環境に与える悪影響は夏期に顕著である。すなわち、日中の気温上昇に伴い、



図－1. 3 日本における部門別の最終エネルギー消費の推移¹⁾



図－１．４ 東京都における部門別のエネルギー消費の変化（1990年を100とした指数）²⁾

冷房需要がさらに喚起され、その排熱が気温を一層上昇させるという悪循環を発生させている。また、気温上昇により熱中症などの暑熱障害を引き起こしやすくなる。さらに、熱帯夜の増加に代表されるように、夜間に気温が低下しないために十分な休息がとれないことは、生理的に大きなストレスを与えているといわれている。このように、都市活動を支える熱環境が劣化しつつあり、生活者に大きな負荷をかけるに至っている。

都市におけるエネルギー消費の増大、それに伴う二酸化炭素等の温室効果ガスの排出量の増加は、都市熱環境にとどまらず地球環境にまで影響を及ぼしつつある。都市の持続的発展をはかるためには、水や物質、エネルギーについて、自然循環系の保全とそれに調和した人工循環系の形成が不可欠である。

1.2 人工排熱に関する研究

都市のエネルギー消費に関する研究は、2つの観点から行われている。1つは、エネルギー消費に伴う人工排熱を都市の気温上昇をもたらす熱汚染源の一つとして位置付け、人工排熱の実態を把握するものである。他の1つは、主として省エネルギー、エネルギー有効利用の観点から進められているものである。ここではまず、第1の視点に立つ研究の動向を整理する。

エネルギー消費の実態を把握する研究では、民生、産業、運輸の3部門別に、燃料種別（電力・ガス・石油など）や利用用途別（冷房・暖房・給湯など）ごとに調査することが多い。

建築・都市環境工学分野では、建築設備や都市設備の検討のためにエネルギー消費を直接的に研究対象としてきたこともあり、多くの研究が行われている。建物別のエネルギー消費の実態調査や街区単位で地域冷暖房の導入可能性に関する基礎調査、都市のエネルギー消費構造をエネルギー消費マップとして広域的に捉える調査研究など、様々な研究が行われている。

民生部門でのエネルギー消費量の推定の多くは、メッシュデータである建物用途別延べ床面積に、エネルギー消費原単位を乗じることにより行われている。建物用途別延べ床面積のメッシュデータは、東京都をはじめとするいくつかの自治体で作成されているが、これが作成されていない場合には、日本全国で統一的に整備されている国土数値情報を利用し、土地利用種別単位土地利用面積当たりのエネルギー消費原単位を用いて推計されている。エネルギー消費原単位に関する調査研究は、建物用途別について網羅的に調査されており、データ整備^{例えば4,5)}が行われている。

しかし、人工排熱量の時空間分布を報告した例は限られている。代表的な研究として、一ノ瀬ら⁶⁾のものが挙げられる。東京23区を対象としてエネルギー消費原単位を業種別、用途別、燃料種別に算定するとともに、原単位の季節的、時間的变化も推定している。また、半田⁷⁾は東京と周辺の県における人工排熱を推計し、都市気候の数値解析への入力データとしている。

排熱方法に関しては、空調排熱は熱源機の屋外機より放出されるが、この屋外機が水冷式または空冷式の冷却塔のいずれかにより、潜熱輸送が主となるか顕熱輸送が主となるか、大きな相違が生ずることによる。また、屋外機の位置等、排熱される高さも重要である。しかし、それらに関するデータは殆ど把握されていない。

産業部門でのエネルギー消費に関する研究の多くは、エネルギーのカスケード利用の観点から未利用エネルギー源として位置づけ、これを積極的に活用するという目的から検討されている。しかし、年間値ベースのデータを報告しているものが多く、時空間分布を把握した例は、一ノ瀬ら⁶⁾の研究等、少数である。供給処理施設（火力発電所・下水処理場・清掃工場）からの排熱量の調査は、活用の容易さと既に実績があるため最も進んでいる。

運輸部門での人工排熱として、自動車や鉄道などの稼動に伴う排熱量が挙げられるが、それに関する調査は少ない。道路面積のメッシュデータをベースデータとし、市町村毎の自動車保有台数や走行台数キロ、自動車排熱発生原単位などにより自動車排熱量の分布が推定されている。しかし、実際の走行状況などを如何に反映させ、モデル化するかが課題である。一方、道路交通センサスと燃料消費原単位を用いた自動車排熱

量の推定も行われている^{8,9)}。金ら⁸⁾は東京都23区を対象に、建物排熱と自動車排熱を推計し、両者の比が23区全体の年間値ベースで約4:3であると推測している。この方法では交通量が計測されていないメッシュにおける排熱量を算定できないことに問題が残る。また、交通機関の種類(車、鉄道、航空機、船舶等)、車両の種類(自家用車・バス・トラック等)、走行状況、エアコンの利用の有無等による排熱量の差異などに関しては、不明なことが多く、今後の学際的な研究が必要である。

1.3 未利用エネルギーの活用に関する研究

水力・化石燃料・原子力等の従来のエネルギー源に替わるべきエネルギー源を未利用エネルギーと称している。これは存在形態から、自然エネルギー(太陽光、河川水、海水、地下水、風力、地熱等)、都市排熱エネルギー(下水処理水、下水汚泥焼却・溶融排熱、ごみ焼却排熱、工業排熱、発電所・変電所排熱、地下鉄・地下街等の排熱など)、固形廃棄物エネルギー(都市のごみ、下水汚泥、メタンガス、建築廃材、産業廃棄物等)に大別できるが、いずれも地域に広く散在する希薄な資源であることでは共通している。また、エネルギー変換技術の観点からは、電力変換型と熱変換型とに分類できる。熱変換型は数100℃の高温から5～25℃の低温の熱を直接的にまたはヒートポンプを用いて回収し利用するものである。

近年のヒートポンプ技術や蓄熱技術等の進歩が、従来使われてこなかった温度レベルの低い未利用エネルギーの活用や効果的な省エネルギーを可能としている。また、これらを用いた冷暖房システムは、従来の空調機と異なり、直接大気に放熱しないため都市のヒートアイランドの緩和に寄与すると期待されている。未利用エネルギーを活用した地域冷暖房システムやコージェネレーションシステムは、建物用途が混在した都市では省エネルギー的にもスケールメリットを得やすく、人工排熱・大気汚染物質の排出を管理する上でも、有効な方策のひとつである。

地域冷暖房システム、下水道の未利用エネルギーの活用に関しては既にいくつもの成書が出されている^{4,10～14)}。三原¹⁵⁾は、我が国の未利用エネルギーの総賦存量が1994年時点で、最終エネルギー消費量の約1.2倍であること、また、その約32%が河川、5%が下水処理場に賦存すると算定されていることを紹介している。さらに、河川水を利用した箱崎地区の地域熱供給プラントと下水処理水を用いた幕張地区の地域熱供給プラントを例に挙げ、1996年時点における省エネルギー効果(箱崎で約33%、幕張で約40%)とCO₂・NO_x排出量の削減(箱崎で約35%、幕張で約40%)の実績を報告している。

地域冷暖房システムに利用された水が河川に流入する場合には、河川の水温を変化させ、水質や生態系へ影響を与えることが懸念される。そのため、その影響を十分に検討しておくことが必要である。しかし、感潮河川における流れや水温の実態、水温変化の要因は必ずしも詳細に把握されていない。また、我が国では、感潮河川における水熱エネルギーの使用に伴う流れ、水温への影響予測に関する研究報告が数少なく^{15,16)}、解析手法を確立することが必要である。

1.4 本研究の目的と報告書の構成

本研究は2つの目的を持っている。1つは、都市のヒートアイランド現象に寄与している人工排熱の時空間特性を明らかにすることである。他の1つは、人工排熱の中で大きな割合を占める冷暖房需要に対して、

河川水や下水等の有する水熱エネルギーを利用する地域冷暖房システムを導入する場合の、省エネルギー効果、排熱や排ガスの抑制効果、河川水温への影響を把握することである。すなわち、冷暖房の用途に限られるものの、ヒートアイランド現象に対する緩和対策としての水熱エネルギー利用の有効性を検討することである。このために、具体的な対象地域を東京都23区とし、目標年次を2010年とした上で、次の項目について検討している。

1) 人工排熱の時空間分布データの整備

建物、自動車、工場、清掃工場、発電所など、排熱量の大きな熱源について、その分布、変動特性を現在と将来（2010年）に対して推計した。

2) 水熱エネルギーの可採量と利用効果の算定

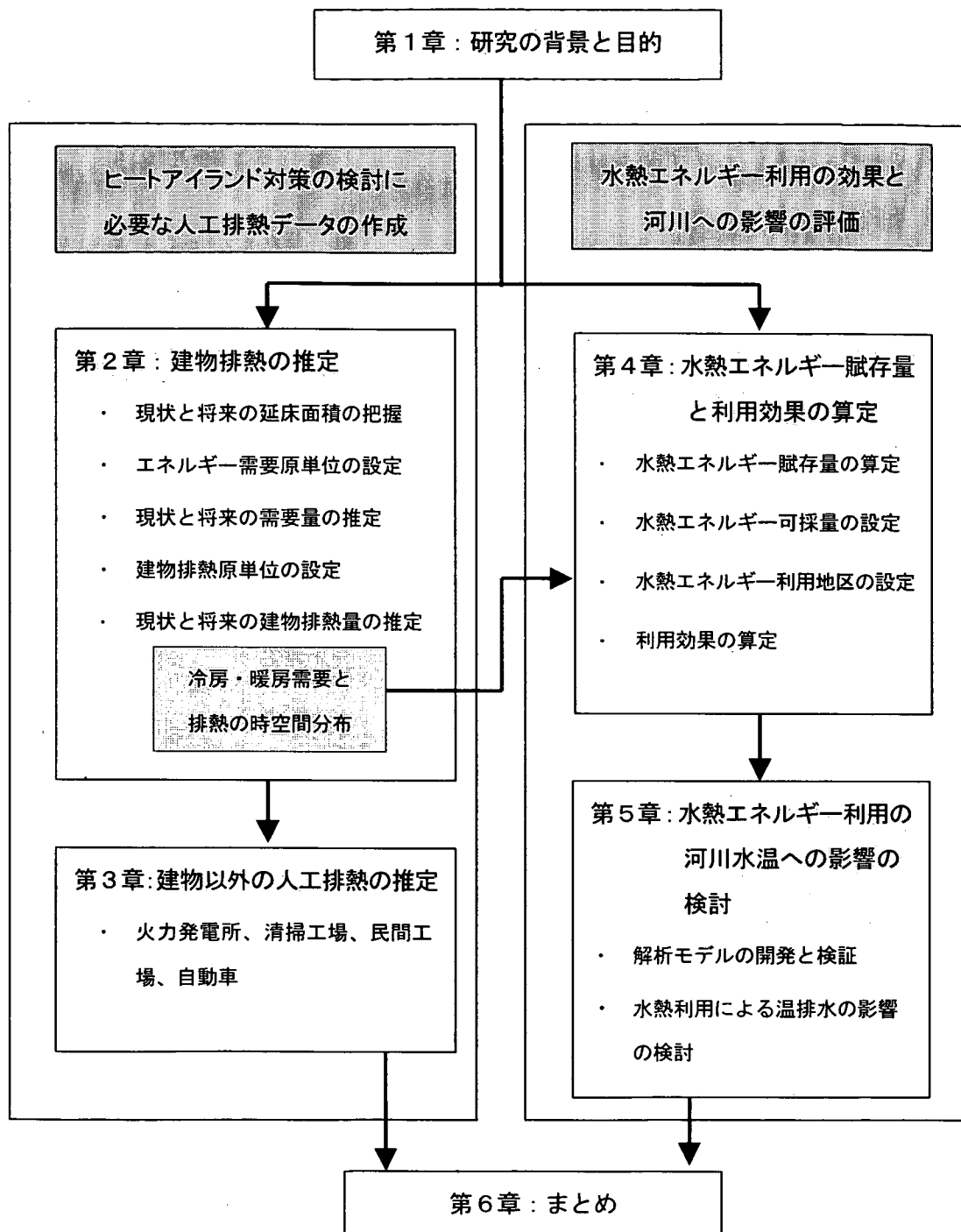
下水、都市河川、地下水の有する水熱エネルギーの賦存量と可採量を算出した。地域冷暖房システムを導入できる地域を設定し、水熱利用による省エネルギー効果、環境保全効果、及び人工排熱の抑制効果を算定した。

3) 水熱エネルギー利用の河川水温への影響の検討

水熱利用の結果として、温度の上昇した水が河川に流入するため、河川水の水温が上昇する。水温変化を予測する1次元モデルを開発し、水熱利用による水温変化を検討した。

本報告書の構成は以下のようなものである。第1章では、研究の背景を述べている。第2章では、建物からの排熱量の算定手法を詳述するとともに、現在と将来の排熱量およびその時空間分布を説明している。建物排熱以外の熱源からの排熱として、工場、火力発電所、清掃工場（ゴミ焼却場）、自動車交通をとりあげ、それらの分布特性を説明したのが第3章である。第4章では、水熱エネルギーを利用した地域冷暖房システムの導入地区と利用可能なエネルギー、および利用効果を検討している。第5章では、水熱エネルギー利用による河川水温の上昇に関するモデル解析の結果を説明している。最後の第6章では本研究の成果をとりまとめている。

図-1.5に研究の進め方と報告書の構成の関連を示している。



図－1． 5 研究の進め方と報告書の構成

2. 建物排熱の推定

建物からの人工排熱を図-2.1に示す手順に従って算定する。まず、建物用途別、エネルギー使用用途別のエネルギー需要量を総床面積×エネルギー需要原単位として算出する。次に、使用機器の種類や熱効率を考慮して、単位エネルギー需要に対する排熱原単位を設定する。それらを用いて、排熱量を推計する。

以下では、1996年時点（以降、現在と呼ぶ）と2010年（将来と呼ぶ）における建物排熱量の推定方法と結果を順次説明する。

2.1 建物用途別総床面積の推定

東京都23区における土地建物利用に関する最新の調査結果は1996年を対象に行われたものであり、GISデータベースとして整備されている¹⁸⁾。本研究では、GISソフトウェア（Arc View）上でこのデータに25mメッシュを重ね、メッシュの格子点でのデータを収集する、ポイントサンプリングを行った。さらに、そのデータを500m単位で集計することにより、現状での建物用途別延床面積を500mメッシュ単位で算出した。

表-2.1に示すように、東京都の土地建物用途は30分類されており、そのうち熱需要推定の対象となる15種（表中の網掛け部分）について面積を算出した。その結果を表-2.2に示す。23区全体では集合住宅と専用独立住宅（戸建住宅）が全床面積の約半分を占めており、次いで事務所が16%程度の面積を有している。

なお、後述するエネルギー需要量原単位をそれら15分類の建物用途別に対して設定することは容易ではないため、ここでは表-2.3に示す対応関係を用いて、建物用途を8分類（住宅、商業、業務、宿泊、医療、教育、娯楽、その他）に集約した。

2.2 将来の床面積の推定

将来での排熱量の推定も図-2.1の手順に従うが、そのためにはまず、建物用途別床面積を推計することが必要である。ここでは、メッシュデータによる現状（1996年）の延床面積をもとに、過去の床面積推移や都市開発状況等を踏まえ、東京都区部における将来時点（2010年を想定）の延床面積を推計した。現在予定されている都市開発事業を考慮するために、床面積の推計を次の3段階で行った。

1) 23区別の床面積推移と将来床面積の推計

23区別、住宅系・非住宅系別に過去からの床面積推移を踏まえて、2010年時点での23区別将来床面積を予測する。

2) 開発メッシュにおける将来床面積の推計

23区内において、現状または将来に都市開発事業が予定される地区に相当するメッシュを「開発メッシュ」とし、近年の市街地再開発事業の動向から開発メッシュ内の建物用途別将来床面積を想定する。

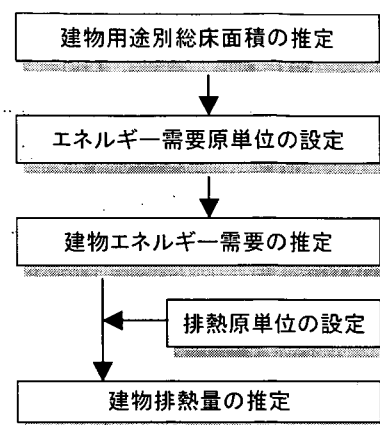


図-2.1 建物排熱量の推計手順

表－２．１ 平成８年土地利用現況調査：土地建物用途分類表⁽⁸⁾

公共用地	1. 官公庁施設	官公署及び出先機関、警察署及び派出所、消防署、郵便局、税務署、裁判所、大使館		
	2. 教育文化施設	幼稚園、小学校、中学校、高等学校、大学、専修学校、各種専門学校、研修所、研究所		
		美術館、博物館、図書館、公会堂		
		寺社、教会、町内会館		
3. 厚生医療施設	病院、診療所、保健所			
	保育園、託児所、高齢者福祉施設、障害者福祉施設、児童福祉施設			
4. 供給処理施設	上水道施設、電力供給施設(発電所、変電所)、都市ガス供給施設、卸売市場			
	ごみ焼却施設、廃棄物処理施設、下水道施設、屠畜場、火葬場			
商業用地	5. 事務所建築物	事務所、営業店舗(銀行、証券会社等)、新聞社、放送局、NTT		
	6. 専用商業施設	デパート、スーパーマーケット、小売店舗、卸売店舗、ガソリンスタンド、飲食店		
		公衆浴場、サウナ		
	7. 住商併用建物	住居併用店舗・事務所(物販・飲食・美容美容等の店舗、税理・会計・建築などの事務所)、住居地域併用作業所付店舗(とうふ・菓子・パン等の自家用製造販売)		
	8. 宿泊・遊興施設	ホテル、旅館、ユースホテル、バンケットを主とする会館		
		バー、キャバレー、ナイトクラブ、料亭、待合、ソープランド、モーテル、パチンコ店、麻雀屋、ビリヤード、ゲームセンター、カラオケボックス、ダンス教習所		
9. スポーツ・興行施設	(屋内または観覧席を有するもの)体育館、競技場、野球場、水泳場、スケート場、ボウリング場、競馬競輪場等			
	劇場、演芸場、映画館			
住宅	10. 専用独立住宅	専用户建住宅、住宅を主とする塾・教室・医院等の併用建物		
	11. 集合住宅	公団・公社・公営住宅、アパート、マンション独身寮、寄宿舎		
工業用地	12. 専用工場	右記の専用工場	工場、作業所、自動車修理工場、洗濯作業を行うクリーニング店	
	13. 住居併用工場	右記の併用工場		
	14. 倉庫運輸関係施設	自動車車庫、駐輪場、バスターミナル、トラックターミナル		
		倉庫、流通センター、配送所		
空地系	15. 屋外利用地・仮設建物	(屋外利用または仮設利用)材料置場、屋外駐車場、屋外展示場、飯場		
	16. 公園・運動場等	(屋外利用を主とするもの)公園緑地、運動場、野球場、遊園地、ゴルフ場、テニスコート、屋外プール、馬術練習場、フィールドアスレチック、墓地		
	17. 未利用地等	宅地で建物を伴わないもの、建築中で用途不明のもの、区画整理中の宅地、取り壊し跡地、埋立地		
	18. 道路	街路、歩行者道路、自転車道路、農道、林道、団地内通路		
	19. 鉄道・港湾等	鉄道、軌道、モノレール、空港、港湾		
農地	20. 農林漁業施設	温室、サイロ、畜舎、その他の農林漁業施設		
	21. 田	水稲、い草・蓮など灌漑施設を有し灌漑を必要とする作物を栽培する耕地		
	22. 畑	野菜、穀物、生花、苗木など草本性作物を栽培する畑		
	23. 樹園地	果樹園、茶・桑など木本性作物を集団的に栽培する畑		
	24. 採草放牧地	牧場、牧草地など人手の入った草地		
	25. 水面・河川・水路	河川、運河、湖沼、遊水池、海		
林野	26. 原野	樹林、竹林、はい松地、しの地、山地、竹木が集団的に生息する土地		
	27. 森林	野草地など小灌木類の生息する自然のままの土地、荒地、裸地		
	28. その他	自衛隊基地、在日米軍基地、火薬庫、採石場、ごみ捨て場		
	29. 不明	用途が不明のもの		
	30. 不整合	整合性のとれないもの		

表－２．２ 東京都区部の建物用途別延床面積（平成８年）

官公庁	教育文化	厚生医療	供給処理	事務所	
841	3,322	780	473	8,285	
専用商業	住商併用	宿泊遊興	スポーツ興行	専用独立住宅	
1,376	4,372	1,164	364	10,727	(単位：ha)
集合住宅	専用工場	住居併用工場	倉庫運輸	農林漁業施設	区部合計
15,414	1,703	1,105	2,144	8	52,079

表－２．３ 建物用途分類の対応関係

東京都	本研究	東京都	本研究	東京都	本研究
官公庁	業務	宿泊遊興	宿泊	集合住宅	住宅
教育文化	教育	専用商業	商業	専用工場	その他
厚生医療	医療	住商併用	住宅、商業 (1/2ずつ)	住居併用工場	その他
供給処理	その他	スポーツ興業	娯楽	倉庫運輸	その他
事務所	業務	専用独立住宅	住宅	農林漁業施設	その他

3) その他のメッシュにおける将来床面積の推計

1)と2)の差し引き分の床面積の比較から、住宅系・非住宅系別にその他のメッシュ床面積の「将来増加率」を設定し、全メッシュでの将来床面積を推計する。

2. 2. 1 23区別の床面積推移と将来床面積の推計

23区別、住宅系・非住宅系別に過去からの床面積推移¹⁹⁾を踏まえ、各区毎の将来床面積を推計した。なお、住宅系建物とは、東京都の建物用途分類における専用独立住宅と集合住宅であり、それ以外の分類は非住宅系建物としている。23区別の将来床面積の推計については、各区毎に過去の課税対象床面積の推移を基に1996年から2010年までの年平均伸び率を想定し、平成8年度の床面積から将来時点（2010年）の23区別将来床面積を推定した。ただし、年平均伸び率は、1986年から1990年のバブル期を除くものとし、次のように定めた。すなわち、

- 1996年を起点に過去 5年間の年平均伸び率（1991～1995）
- 1996年を起点に過去10年間の年平均伸び率（1981～1985,1991～1995の10年間の平均）
- 1996年を起点に過去15年間の年平均伸び率（1976～1985,1991～1995の15年間の平均）
- バブル期以前の過去10年間の年平均伸び率（1976～1985）

の4つの平均伸び率に対して、近年の都市開発の鈍化傾向を踏まえて、その中の最小値（伸び率が最もゼロに近いもの、マイナスについても同じ）を採用することとした。

23区別に設定した伸び率と将来の延床面積（2010年）の推計結果を表－2.4に示す。住宅系・非住宅系を合計した建物床面積は、23区全体で現状（1996年）から約1.3倍程度に増加するものと推計される。23区別でみると、住宅系では1.48倍(江戸川区)～0.94倍(千代田区)に変化し、非住宅系で1.89倍(豊島区)～1.02倍(墨田、中野、荒川区)に増加するものと推計される。

表-2. 4 23区別の将来延床面積と年平均伸び率 (単位: ha)

	現状延床面積(1996年)			設定伸び率(年平均)		将来延床面積(2010年)			増減率(2010年/1996年)		
	住宅系	非住宅系	合 計	住宅系	非住宅系	住宅系	非住宅系	合 計	住宅系	非住宅系	合 計
1 千代田	111	2,336	2,446	-0.45	2.03	104	3,095	3,199	0.94	1.33	1.31
2 中央	217	1,704	1,922	1.18	1.11	256	1,990	2,246	1.18	1.17	1.17
3 港	755	2,336	3,091	1.53	2.64	934	3,365	4,298	1.24	1.44	1.39
4 新宿	1,041	1,738	2,779	1.16	3.33	1,224	2,749	3,973	1.18	1.58	1.43
5 文京	629	742	1,371	1.23	1.95	746	973	1,718	1.19	1.31	1.25
6 台東	379	947	1,326	1.29	1.25	453	1,127	1,580	1.20	1.19	1.19
7 墨田	665	946	1,611	1.62	0.16	833	966	1,799	1.25	1.02	1.12
8 江東	1,250	1,761	3,011	1.34	0.78	1,505	1,962	3,468	1.20	1.11	1.15
9 品川	1,023	1,134	2,157	1.48	1.11	1,256	1,323	2,579	1.23	1.17	1.20
10 目黒	887	507	1,394	1.79	1.77	1,137	648	1,784	1.28	1.28	1.28
11 大田	1,989	1,952	3,940	1.91	1.20	2,593	2,306	4,899	1.30	1.18	1.24
12 世田谷	2,807	1,143	3,950	1.98	2.52	3,696	1,619	5,315	1.32	1.42	1.35
13 渋谷	738	1,077	1,815	1.07	2.42	857	1,505	2,362	1.16	1.40	1.30
14 中野	1,008	411	1,419	1.26	0.14	1,200	419	1,620	1.19	1.02	1.14
15 杉並	1,822	642	2,464	1.56	1.87	2,263	832	3,095	1.24	1.30	1.26
16 豊島	785	773	1,558	1.39	4.64	953	1,458	2,411	1.21	1.89	1.55
17 北	1,006	635	1,641	1.06	0.29	1,166	662	1,829	1.16	1.04	1.11
18 荒川	472	456	928	1.48	0.15	579	466	1,045	1.23	1.02	1.13
19 板橋	1,476	927	2,402	2.20	0.72	2,002	1,025	3,027	1.36	1.11	1.26
20 練馬	2,206	744	2,951	2.59	2.84	3,155	1,102	4,257	1.43	1.48	1.44
21 足立	1,825	1,145	2,970	2.02	1.79	2,414	1,468	3,882	1.32	1.28	1.31
22 葛飾	1,300	792	2,093	1.76	0.95	1,660	905	2,564	1.28	1.14	1.23
23 江戸川	1,751	1,085	2,836	2.83	1.37	2,589	1,313	3,902	1.48	1.21	1.38
その他	0	4	4	—	—	0	4	4	—	1.00	1.00
区部計	26,141	25,937	52,079	—	—	33,575	33,282	66,857	1.28	1.28	1.28

2.2.2 開発メッシュにおける将来床面積の推計

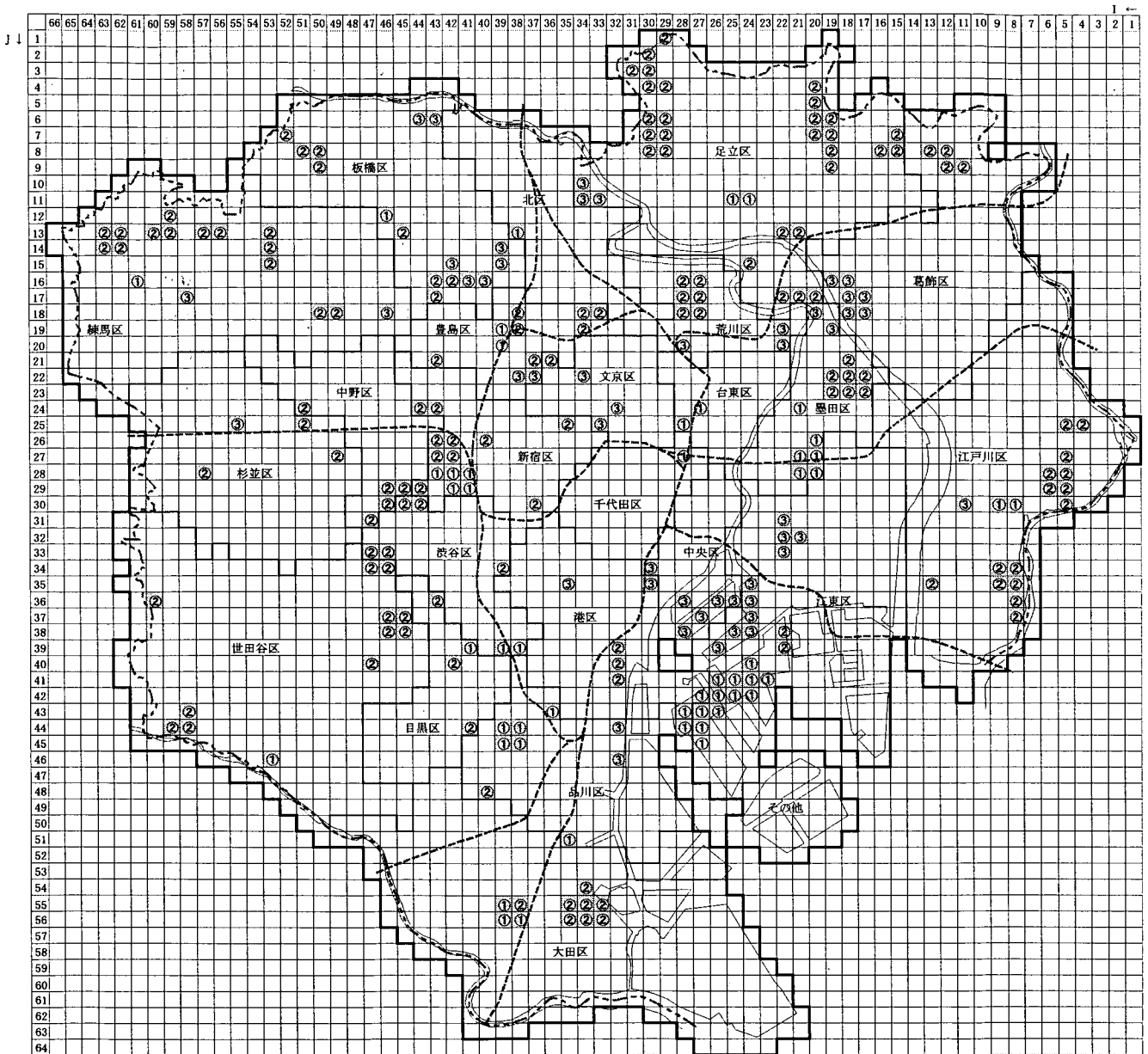
次に、23区内において都市開発事業が予想されている地区、すなわち建物床面積のまとまった増加が予想される地区を把握し、それらの地区と重なる500mメッシュを「開発メッシュ」と定義して、そこでの将来の床面積を推計した。今後都市開発が予想される地区としては、都市再開発方針（整備・開発・保全の方針）に基づく「再開発促進地区」（都市開発法に定める2号地区）を基準とした。その再開発促進地区は、地域における計画的な再開発が必要な市街地（1号市街地）のなかで、特に再開発を促進すべき地区として定められており、現在行われている都市開発の大半もこの2号地区内で実施されている。なお、2号地区とあわせて定められている「再開発誘導地区」については、2010年という時間設定を考慮し、ここでは対象から外した。また、メッシュ内のほぼ全域にわたって事業が完了している地区についても開発メッシュから除外した。本研究で設定した「開発メッシュ」を図-2.2に示す。

市街地再開発事業における平均規模の変化を図-2.3に示す。敷地面積、延床面積、容積率の推移をみると、平成2年以降の延床面積、容積率が増加傾向にある。しかし、これはバブル期の積み残しの影響と考えられる。

地区類型別、容積率別の延床面積の平均像を図-2.4に示す。地区類型別にみると、大都市都心の主な用途は店舗・事務所・ホテルとなっており、都心周辺では住宅、地方都市では店舗の用途が中心となる傾向がある。また、容積率別では、容積率が高くなる程、複合用途化が強まる傾向にある。

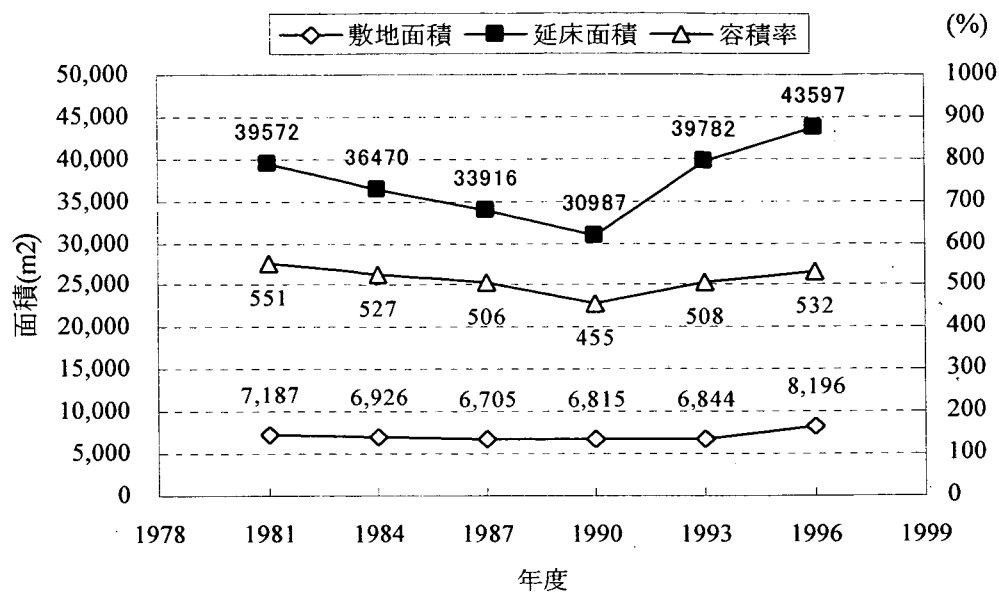
平成元年～5年度、平成4年～8年度に事業完了した地区（都市局所管）の土地利用状況の変化を表-2.5に、床利用の平均モデルを図-2.5に示す。土地利用変化では、事業の従前従後で宅地率が75%前後から50%前後へ縮小整理されていることがわかる。また、床利用では店舗・事務所とともに住宅の構成割合も高く、複合利用が進んできている。

東京都区部における過去の住宅供給型市街地再開発事業の実績を表-2.6に示す。従前の権利床に対して、保留床を加えた従後床は、平均して約5.5倍となっている。



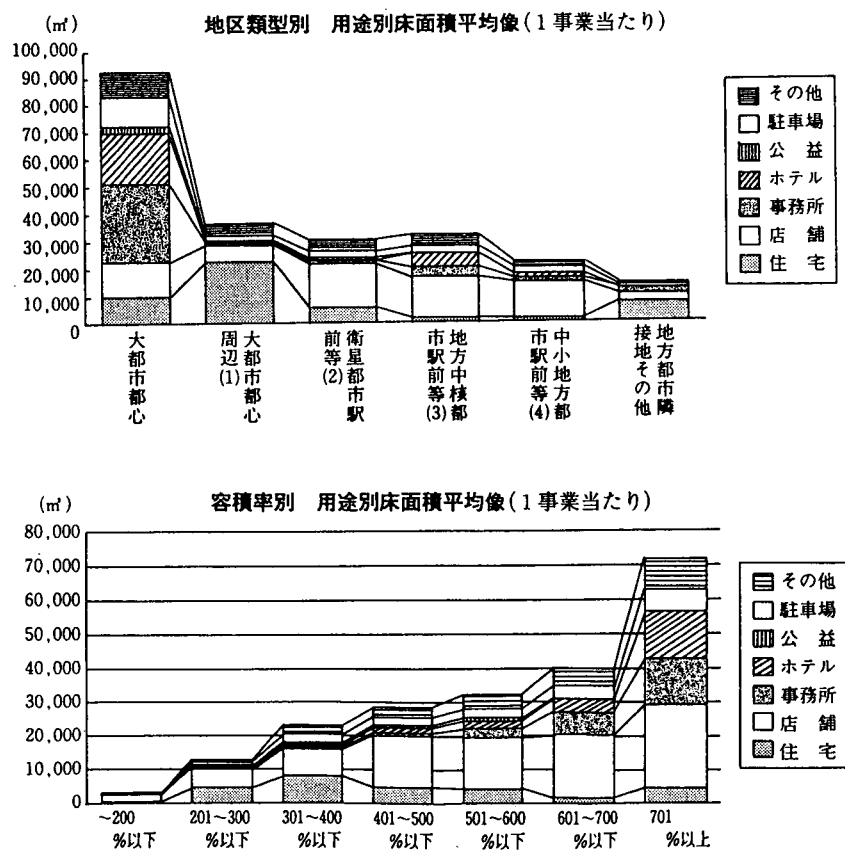
- ①:主に商業・業務系市街地の整備をめざすメッシュ
- ②:主に住宅系市街地の整備をめざすメッシュ
- ③:住宅・商業等複合的な整備をめざすメッシュ

図-2. 2 開発メッシュの位置 (総計243メッシュ)



図ー2. 3 市街地再開発事業の平均規模の推移²⁰⁾

* 5年間毎の都市局所管事業完了地区の平均(ex. 1996 : 1992~1996年度平均)



図ー2. 4 地区類型別・容積率別の用途別床面積平均像(1事業当たり)²¹⁾

表－2．5 最近の事業完了地区における土地利用状況の変化²⁰⁾

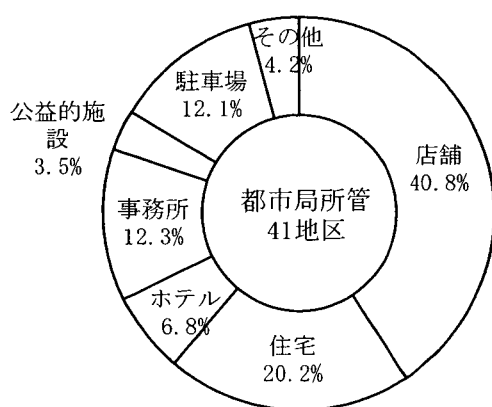
(a) 平成5年モデル

区 分		従 前		従 後	
		面 積(㎡)	構成比(%)	面 積(㎡)	構成比(%)
公 共 施 設	道 路	2,997	21.0	4,955	34.7
	駅前広場	386	2.7	2,295	16.1
	公 園	23	0.2	133	0.9
	そ の 他	248	1.7	63	0.4
	計	3,654	25.6	7,446	52.1
宅 地		10,636	74.4	6,844	47.9
合 計		14,290	100.0	14,290	100.0

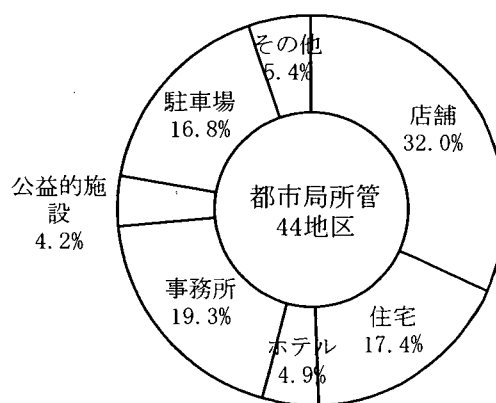
(b) 平成8年モデル

区 分		従 前		従 後	
		面 積(㎡)	構成比(%)	面 積(㎡)	構成比(%)
公 共 施 設	道 路	3,042	19.7	5,361	34.7
	駅前広場	334	2.2	1,807	11.7
	公 園	32	0.2	29	0.2
	そ の 他	229	1.5	25	0.2
	計	3,637	23.6	7,222	46.8
宅 地		11,809	76.4	8,224	53.2
合 計		15,446	100.0	15,446	100.0

<平成5年平均モデル (H元～H5)>



<平成8年平均モデル (H4～H8)>



図－2．5 近年の事業完了地区における施設建築物の床利用平均モデル²⁰⁾

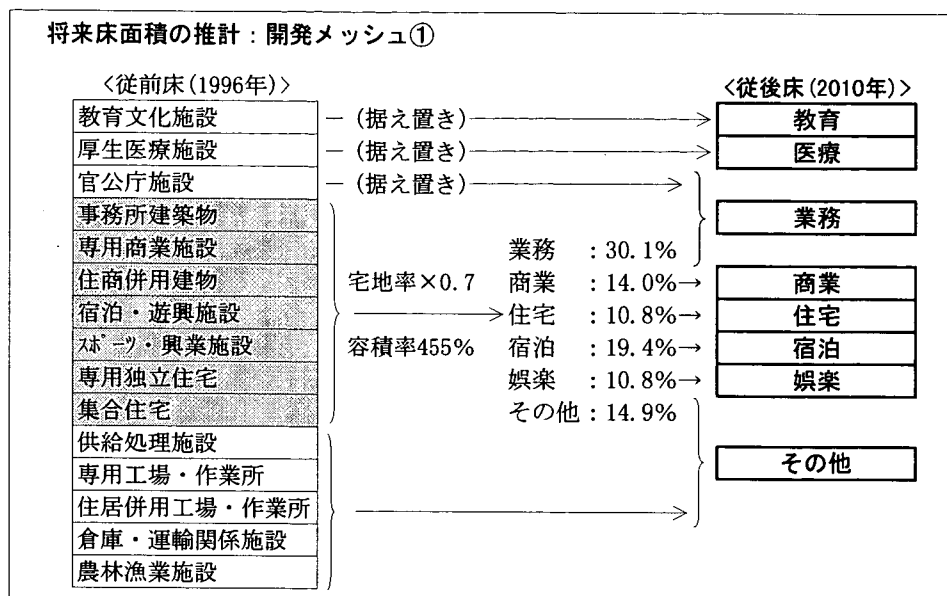
表-2. 6 東京都区部での住宅供給型市街地再開発事業の実績²²⁾

地区名	施行者	地区面積 ha	事業年度	住戸種別 (戸)								増床率
				合計	権利床	保 留 床						(従後/従前)
						公営	再住	公団	公社	公庫	民間	%
飯田橋	都	2.3	S47～S58	154						154		—
西大久保	都	2.9	S46～S56	443	88	207				148		503
白髭東	都	27.6	S47～S57	1,557	102	1,295				160		1,526
亀戸・大島・小松川	都	3	S50～S63	1,312	453	225	239		395			290
江戸川橋	組合	0.54	S47～S49	88	21				67			419
江戸川橋第 2	組合	0.43	S53～S54	81	45				36			180
立花一丁目	公団	1.2	S53～S59	198	54			144				367
西新宿浄風寺周辺	組合	1.2	S58～S61	15	15							100
音羽一丁目	組合	0.4	S58～S60	125	37			88				338
西大井一丁目	組合	1.1	S58～S60	266	13					164	89	2,046
綾瀬一丁目	組合	0.7	S59～S61	259	120				139			216
赤坂・六本木	組合	5.6	S57～S61	481	76						405	633
赤羽駅西口	公団	0.8	S56～S60	122	51			71				239
町屋駅前西	個人	0.2	S59～S63	45	4				41			1,125
音羽二丁目	組合	0.5	S59～S63	116	82				34			141
押上二丁目	組合	0.6	S60～H元	155	148				7			105
平均												549

以上の市街地再開発事業における動向を踏まえ、開発メッシュの将来用途別床面積を以下のように3種類に分けて推計する。

(1) 開発メッシュ①：主に商業・業務系市街地の整備をめざす地区

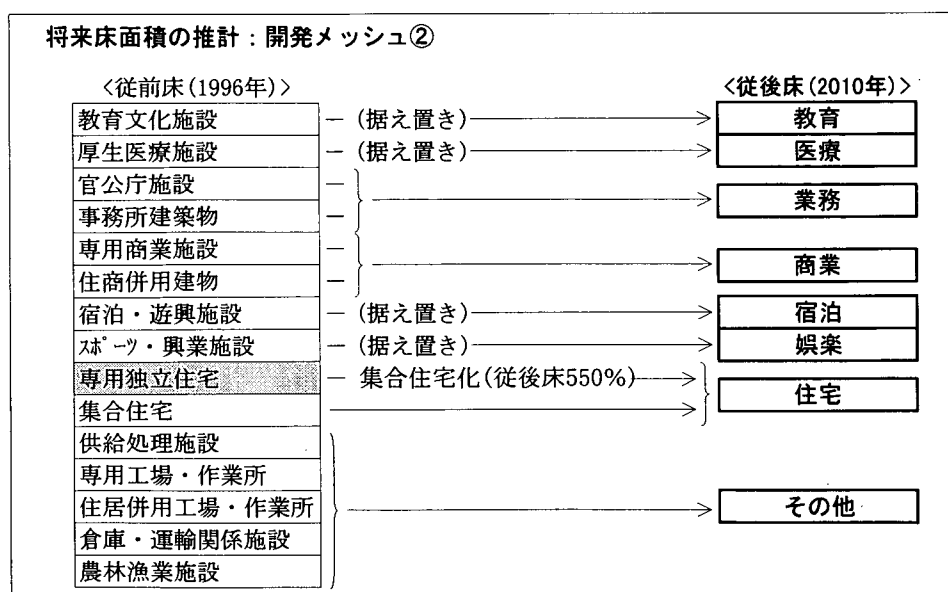
現メッシュでの宅地率は約0.7倍に縮小するものとし(表-2.5参照)、ネット容積率455%(図-2.3の1990年:バブル上昇前5年間の平均)、建物用途構成は店舗、事務所及びホテル中心の「大都市都心型」地区類型(図-2.4参照)になるものと設定した。ただし、現状でそれ以上の床面積を有する地区は据え置くこと、一部臨海部等の開発地区で現状の宅地率が極端に低いメッシュについては、メッシュデータ内の未利用地(建設中の土地など)の半分が宅地に土地利用転換されると仮定して、床面積を推計した。図-2.6に床面積の変化パターンを示す。



図－2. 6 開発メッシュ①の床面積の変化

(2) 開発メッシュ②：主に住宅系市街地の整備をめざす地区

図－2.7に示すように、宅地率は「開発メッシュ①」と同様とし、現メッシュの専用独立住宅が集合住宅への建て替わり、延床面積が550%に増加する(表－2.6より)と仮定した。



図－2. 7 開発メッシュ②の床面積の変化

3) 開発メッシュ③：住宅・商業等複合的な整備をめざす地区

宅地率・ネット容積率は開発メッシュ①と同様とし、建物用途構成は最近の事業完了地区の平均モデル(図-2.5の平成8年平均モデル)を採用した。ただし、現状でそれ以上の床面積を有する地区は据え置くこととする。また、宅地率が極端に低いメッシュについては、開発メッシュ①と同様の考え方で宅地率の増加を仮定し、床面積を推計した。図-2.7に想定した床面積の変化パターンを示す。

これらの前提条件に基づき、開発メッシュ毎に将来の床面積を推計した。集計結果を表-2.7と図-2.8に示す。開発メッシュ(計243メッシュ)における延床面積は、2010年の将来では現状の2倍程度に増加するものと考えられる。

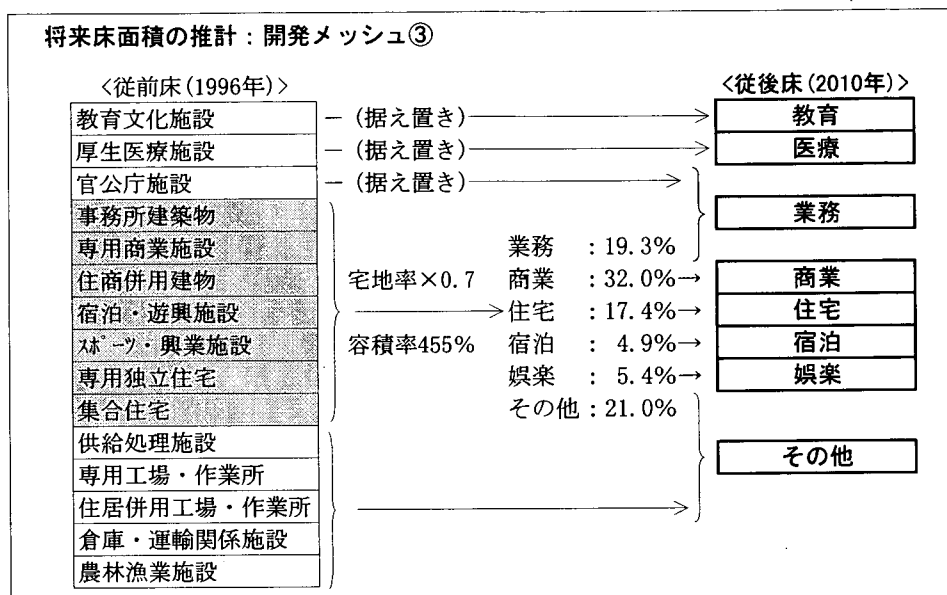


図-2.8 開発メッシュ③の床面積の変化

2.2.3 その他のメッシュにおける将来床面積の推計

2.2.1、2.2.2における検討結果を踏まえて、その他のメッシュにおける将来床面積を推計し、東京都区部全500mメッシュ単位での建物用途別将来床面積を推計する。推計の考え方を図-2.9に示す。

23区別、住宅系・非住宅系別に、23区別の将来床面積と開発メッシュでの将来床面積の差の床面積を比較し、その他のメッシュ床面積の将来増加率を設定した。各区内のその他のメッシュの床面積は、将来増加率(住宅系・非住宅系別)により一律に増加あるいは減少するものと仮定し、平成8年データにこれらを掛けることで500mメッシュ単位での将来床面積を推計した。

表-2.7 開発メッシュの将来床面積推計結果(単位: ha)

	業務	教育	医療	商業	住宅	宿泊	娯楽	その他	延床面積
現状(1996年)	1,054	300	75	524	2,792	248	41	597	5,631
将来(2010年)	1,657	301	75	1,242	5,701	630	328	1,275	11,208

23区全体の最終的な推計結果を建物用途別に集計した結果を表-2.8に示す。23区全体では床面積は約28%程度増加し、開発メッシュでは総床面積は約2倍に増加するものと予想される。特に、商業用途の床面積が顕著に増加する。

表-2.8 23区全体の将来床面積推計結果(単位:ha)

	業務	教育	医療	商業	住宅	宿泊	娯楽	その他	延床合計
現状(1996年)	9,127	3,322	780	3,562	28,327	1,164	364	5,432	52,079
将来(2010年)	12,132	4,031	947	7,229	33,575	1,853	737	6,352	66,857

2.3 建物エネルギー需要原単位の設定

現状及び将来の建物熱需要量の推定に必要な建物用途別・使用用途別のエネルギー需要原単位、その季節別・時刻別変動パターンを設定する。エネルギー需要原単位については、事務所、住宅の調査例は多いが、学校、ホテル、病院等の細かな業種に分けた調査は少ない。また、冷暖房・給湯・照明・動力などの使用用途別の把握、及びそれらの季節別・時刻別変動パターンまで把握されているものについては、調査例も限られている。本研究では、既存の調査結果の中から、多くの建物用途にわたって原単位が整備され、なおかつ月別・時刻別パターンまで調査されているものとして、(財)住宅・建築省エネルギー機構(IBEK)で整理された原単位⁴⁾をベースに用いることとした。ただし、教育・娯楽施設の原単位については、IBEKが報告していないため、(社)日本地域冷暖房協会による原単位¹¹⁾を用いることとした。また、エネルギーの使用用途は、冷房、暖房、給湯、電力(照明、動力、コンセント等の負荷であり、空調分は含まない)の4分類とした。表-2.9、2.10、2.11に使用した原単位の年間値、月別変動パターン、時刻別変動パターンを示す。

将来では用途別のエネルギー需要原単位が変化すると予想されるが、生活の質的向上等による増加要因とともに今後の省エネルギー化の進展による減少要因も考えられる。業務部門に関しては、延床面積自体の増加(1人当りオフィス床面積の増加)や省エネルギーに関する社会的・法制度的潮流も影響し、床面積当りの原単位は増減を示し、一定の傾向を示していない。このため、ここでは床面積当りのエネルギー需要原単位について、現状及び将来ともに同じものを用いることとする。

表-2.9 用途別年間エネルギー需要原単位^{4,11)}

(単位:上段: MJ/年・m²、下段: Mcal/年・m²)

	住宅	商業	業務	宿泊	医療	教育	娯楽
冷 房	33 [8]	502 [120]	268 [64]	251 [60]	209 [50]	92 [22]	293 [70]
暖 房	84 [20]	75 [18]	126 [30]	402 [96]	419 [100]	239 [57]	180 [43]
給 湯	126 [30]	21 [5]	10 [2.5]	52 [12.5]	753 [180]	0 [0]	268 [64]
電 力	76 [21]	756 [210]	360 [100]	486 [135]	324 [90]	198 [55]	720 [200]

表-2. 10 建物エネルギー需要の月別パターン^{4,11)} (単位: %)

		住宅	商業	業務	宿泊	医療	教育	娯楽
冷房	1月	0	0	0	0	0	0	0.57
	2月	0	0	0	0	0	0	0.57
	3月	0	0	0	0	0	0	0.72
	4月	0	2.6	0	2.8	0	0	2.42
	5月	0	7.5	8.8	9.6	2.4	11.2	6.27
	6月	8.3	14.3	21.9	14.9	15.4	27.7	15.55
	7月	34.6	23.2	25.4	21.0	26.6	32.1	23.54
	8月	51.6	23.6	26.6	26.6	34.5	6.8	23.82
	9月	5.5	17.7	17.3	17.7	18.2	22.2	19.40
	10月	0	8.5	0	7.4	2.9	0	5.42
	11月	0	2.6	0	0	0	0	1.00
	12月	0	0	0	0	0	0	0.72
暖房	1月	28.4	39.7	25.1	26.3	24.9	26.3	27.91
	2月	25.3	30.3	22.7	26.8	22.1	22.1	28.14
	3月	15.6	10.7	15.2	11.2	19.5	18.1	15.58
	4月	0	0	7.3	7.5	9.7	8.0	0.70
	5月	0	0	0	0	0	0	0
	6月	0	0	0	0	0	0	0
	7月	0	0	0	0	0	0	0
	8月	0	0	0	0	0	0	0
	9月	0	0	0	0	0	0	0
	10月	0	0	0	0	0	0	0
	11月	8.6	0	9.7	7.0	9.3	5.9	5.81
	12月	22.1	19.3	20.0	21.2	14.5	19.6	21.86
給湯	1月	12.9	11.9	10.5	10.3	11.6	0	10.4
	2月	11.9	12.1	10.4	10.3	11.6	0	10.4
	3月	11.0	9.2	9.8	10.0	11.0	0	11.3
	4月	9.0	8.1	8.6	8.5	7.6	0	9.6
	5月	7.7	6.5	7.8	8.6	7.6	0	7.7
	6月	5.0	7.6	7.5	6.9	6.0	0	5.8
	7月	4.3	6.2	6.8	6.5	6.0	0	5.7
	8月	3.9	6.0	5.7	6.5	6.1	0	5.7
	9月	5.0	5.9	6.2	6.3	6.5	0	6.1
	10月	7.2	6.2	7.7	7.2	7.0	0	7.3
	11月	10.1	8.2	9.0	9.0	8.3	0	8.5
	12月	12.0	12.1	10.0	9.9	10.7	0	11.5
電力	1月	9.41	8.62	8.06	8.62	8.15	8.23	7.29
	2月	8.64	6.98	7.61	6.98	8.15	8.23	7.24
	3月	9.27	7.56	8.70	7.56	8.15	7.50	7.59
	4月	8.36	7.65	8.42	7.65	7.77	7.50	7.50
	5月	8.62	8.43	7.61	8.43	7.96	7.68	7.90
	6月	6.81	8.82	9.06	8.82	9.17	9.68	9.25
	7月	7.49	9.69	8.88	9.69	9.36	9.32	9.75
	8月	8.25	9.30	9.06	9.30	9.27	6.22	10.70
	9月	9.30	9.21	8.06	9.21	8.80	7.68	10.45
	10月	7.83	8.82	8.24	8.82	7.77	8.96	7.90
	11月	7.88	7.85	8.15	7.85	7.68	9.68	6.94
	12月	8.14	7.07	8.15	7.07	7.77	9.32	7.49

表-2. 11 建物エネルギー需要の時刻別パターン^{4,11)}

(a) 冷房・暖房

(単位：%)

		住宅	商業	業務	宿泊	医療	教育	娯楽	
冷	1時	0.3	0	0.4	4.1	2.5	0	0	
	2時	0.3	0	0.4	2.4	2.4	0	0	
	3時	0.3	0	0.4	3.1	2.6	0	0	
	4時	0.3	0	0.4	2.9	2.8	0	0	
	5時	0.3	0	0.4	3.1	2.8	0	0	
	6時	0.3	0	0.4	1.3	2.8	0	0	
	7時	0.3	0	0.4	2.2	2.8	0	0	
	8時	1.4	0	3.7	3.8	6.5	0	0	
	9時	1.9	0	8.8	3.0	6.4	1.12	0	
	10時	2.3	2.6	8.4	2.9	5.6	5.09	11.5	
	11時	2.4	12.7	8.4	3.8	5.3	10.28	10.5	
	12時	3.1	10.4	9.3	5.1	6.0	10.19	11.2	
	13時	4.1	9.4	9.3	7.3	5.4	9.86	11.1	
	14時	6.1	10.9	9.3	4.9	5.8	10.85	11.1	
房	15時	6.7	9.9	8.3	6.5	6.1	10.29	10.4	
	16時	5.2	10.9	9.3	4.1	5.6	11.12	11.1	
	17時	4.4	8.5	8.5	6.3	4.9	10.49	10.5	
	18時	4.7	10.6	7.9	4.9	5.3	8.94	9.6	
	19時	4.7	5.6	2.2	5.5	4.3	5.90	2.8	
	20時	12.5	5.2	1.6	4.9	2.9	4.39	0.1	
	21時	13.8	3.1	1.0	5.9	3.7	1.48	0.1	
	22時	12.0	0.2	0.4	3.2	3.1	0	0.0	
	23時	6.7	0	0.4	4.4	2.0	0	0.0	
	24時	5.9	0	0.4	4.4	2.4	0	0.0	
	暖	1時	2.5	0	0.5	3.0	0.3	0	0
		2時	1.7	0	0.5	3.0	0.3	0	0
		3時	1.8	0	0.5	3.1	0.3	0	0
		4時	1.9	0	0.5	3.1	0.3	0	0
5時		2.0	0	0.5	3.1	0.3	0	0	
6時		4.2	0	0.5	3.1	5.1	0	0	
7時		7.5	0	0.5	3.1	4.7	0	0	
8時		6.9	0	4.7	3.1	4.7	6.6	0	
9時		5.7	1.1	9.5	4.8	10.2	7.9	6.9	
10時		4.2	11.5	9.4	4.8	8.4	7.5	10.8	
11時		3.3	13.2	9.5	3.8	7.5	8.4	10.8	
12時		3.2	12.1	8.6	3.8	6.8	7.8	9.7	
13時		2.9	11.0	9.1	5.3	6.4	7.8	10.9	
14時		2.7	8.4	6.9	5.3	5.1	7.9	7.9	
房	15時	2.7	8.5	6.9	4.8	5.0	7.8	7.9	
	16時	3.5	8.2	6.9	4.8	4.8	9.0	7.9	
	17時	4.2	7.1	6.5	4.9	4.9	8.9	7.4	
	18時	5.8	7.9	6.8	4.9	5.1	6.6	7.7	
	19時	6.7	7.5	4.7	5.0	5.1	6.6	5.2	
	20時	6.7	2.0	2.7	5.0	3.4	4.5	3.1	
	21時	6.4	1.5	2.8	3.8	3.4	2.7	3.2	
	22時	5.8	0	0.5	3.8	3.6	0	0.6	
	23時	5.2	0	0.5	5.3	4.0	0	0	
	24時	2.5	0	0.5	5.3	0.3	0	0	

表-2. 1 1 建物エネルギー需要の時刻別パターン^{4,11)}

(b) 給湯・電力

(単位: %)

		住宅	商業	業務	宿泊	医療	教育	娯楽
給湯	1時	1.7	0	2.0	3.0	0	0	2.0
	2時	1.6	0	2.0	3.0	0	0	2.0
	3時	1.6	0	2.0	3.1	0	0	2.0
	4時	1.7	0	2.0	3.1	0	0	2.0
	5時	1.7	0	2.0	3.1	0	0	2.0
	6時	2.2	0	2.0	3.1	8.9	0	2.0
	7時	3.1	0	2.0	3.1	5.1	0	4.3
	8時	3.9	0	4.2	3.1	6.2	0	4.4
	9時	4.0	0	8.1	4.8	6.8	0	4.1
	10時	3.5	21.1	8.0	4.8	7.8	0	5.0
	11時	3.3	6.1	8.0	3.8	7.0	0	8.5
	12時	3.0	6.7	7.2	3.8	7.2	0	6.3
	13時	2.5	8.3	7.7	5.3	5.8	0	5.6
	14時	2.5	9.2	5.9	5.3	6.1	0	5.2
	15時	2.5	10.7	5.9	4.8	6.3	0	6.3
	16時	2.5	5.3	5.9	4.8	6.7	0	5.7
	17時	2.7	5.3	5.4	4.9	5.6	0	5.0
	18時	4.0	4.4	5.7	4.9	4.5	0	5.5
	19時	7.5	7.9	3.7	5.1	5.4	0	5.2
	20時	11.1	6.9	2.3	5.1	4.0	0	5.5
	21時	12.1	7.5	2.0	3.7	3.9	0	4.9
	22時	10.8	0.6	2.0	3.7	2.7	0	2.5
	23時	7.5	0	2.0	5.3	0	0	2.0
	24時	3.0	0	2.0	5.3	0	0	2.0
電力	1時	1.88	0.67	0.94	2.73	2.24	2.5	0.46
	2時	1.88	0.67	0.77	2.60	2.45	2.3	0.92
	3時	1.88	0.67	0.94	2.47	2.24	2.5	0.46
	4時	1.88	0.67	0.94	2.21	2.24	2.8	0.92
	5時	1.88	0.67	0.77	1.88	2.38	2.5	0.46
	6時	1.88	0.67	0.94	1.88	2.59	2.1	0.46
	7時	2.69	0.67	0.94	2.01	2.66	3.2	0.92
	8時	3.94	0.67	3.49	2.47	4.13	5.1	4.71
	9時	4.23	1.34	4.59	2.92	4.13	5.1	6.10
	10時	3.43	3.82	6.80	4.22	5.95	5.5	7.02
	11時	3.14	9.35	7.91	5.19	5.95	6.7	7.48
	12時	3.00	7.83	7.91	5.19	6.80	7.4	7.48
	13時	3.66	7.55	7.30	5.51	6.31	6.9	7.02
	14時	3.37	8.40	7.91	6.49	5.95	7.1	7.48
	15時	2.37	9.35	8.49	5.91	7.01	6.0	7.48
	16時	3.68	9.17	7.91	6.16	6.59	5.1	7.48
	17時	2.94	9.17	7.91	5.78	5.53	4.6	7.48
	18時	3.49	9.55	7.30	6.16	4.76	4.1	7.02
	19時	6.11	6.78	6.29	6.10	4.34	4.1	7.02
	20時	10.32	4.97	4.00	5.32	4.13	3.7	6.10
	21時	8.23	4.01	3.57	5.06	3.64	2.3	1.85
	22時	9.32	2.01	1.02	4.48	3.15	2.8	1.38
	23時	8.35	0.67	0.68	3.76	2.59	2.8	1.38
	24時	6.45	0.67	0.68	3.50	2.24	2.8	0.92

2. 4 建物エネルギー需要量の推定

2. 4. 1 23区全体でのエネルギー需要量

設定した建物エネルギー需要原単位と、500mメッシュ単位で把握した建物床面積データを用いて全メッシュ合計（23区全体）での現状及び将来の年間エネルギー需要量について推計を行った。

表-2.12には、建物用途別の年間エネルギー需要量の集計結果を示している。現状の建物総エネルギー需要量258,220TJ/年に対して、将来（2010年）では約1.42倍の367,817TJ/年に増加するものと推計される。ちなみに、これは23区全体の床面積の将来増加率（前述：約1.28倍）に対して、エネルギー需要の高い商業、娯楽用途の延床面積の伸びが影響した結果として、約0.13ポイント上回る増加率となっている。建物用途別では床面積の半分を占める住宅での需要が大きい。

表-2.13はエネルギー使用用途別の年間エネルギー需要量を推計したものである。また、エネルギーの使用用途別では電力が最も大きく、冷房、暖房、給湯の順となっている。将来では、冷房と電力需要が大幅に増加するものと推測される。

表-2. 1 2 23区全体の建物用途別年間エネルギー需要量

(単位：上段：TJ/年,下段：Tcal/年)

	住宅	商業	業務	宿泊	医療	教育	娯楽	合計
現状(1996年)	90,191 [21,546]	48,255 [11,528]	69,722 [16,656]	13,871 [3,314]	13,298 [3,177]	17,562 [4,195]	5,321 [1,271]	258,220 [61,686]
将来(2010年)	106,900 [25,537]	97,921 [23,392]	92,685 [22,142]	22,075 [5,274]	16,153 [3,859]	21,312 [5,091]	10,770 [2,573]	367,817 [87,868]

表-2. 1 3 23区全体の使用用途別年間エネルギー需要量

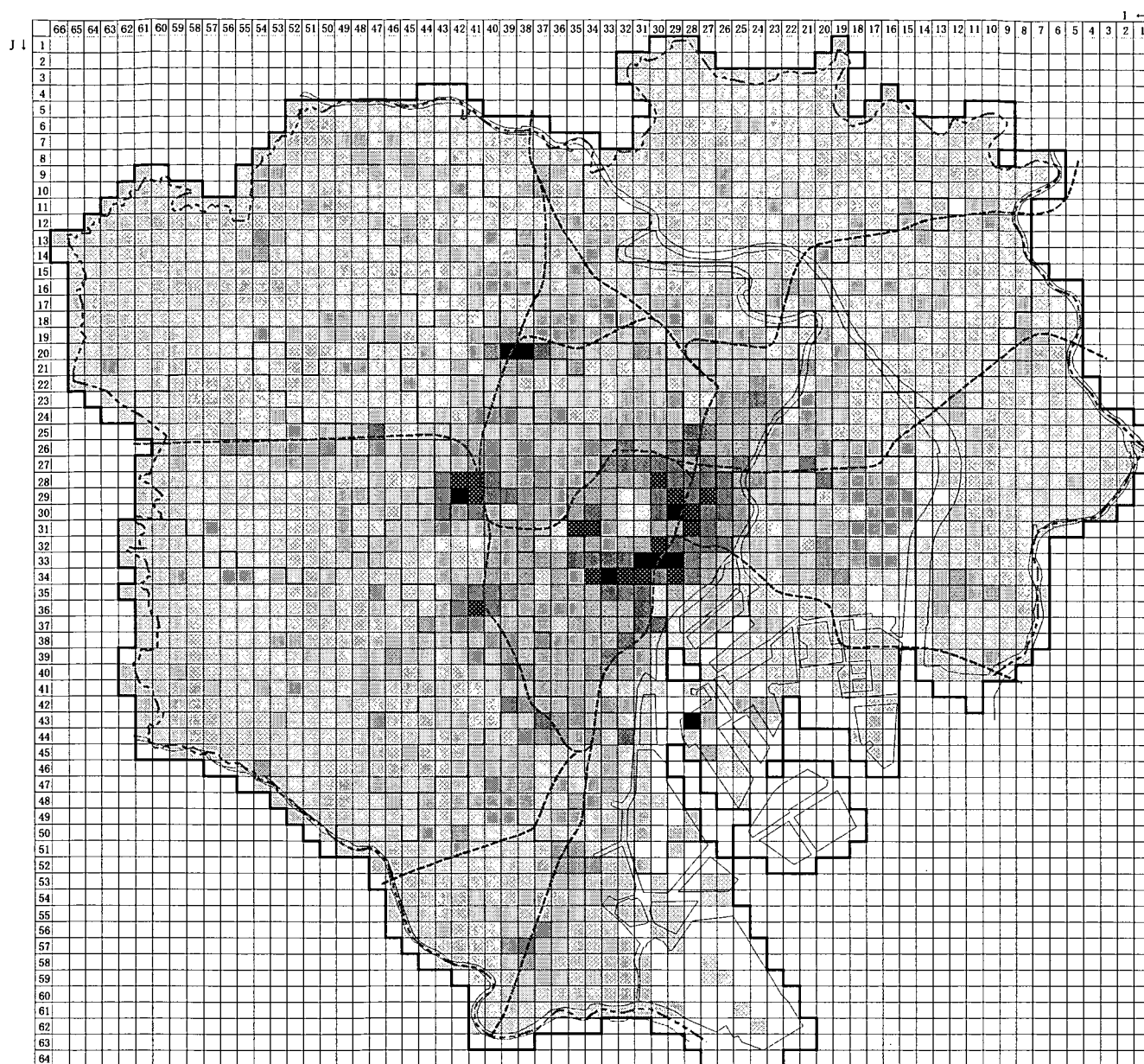
(単位：上段：TJ/年,下段：Tcal/年)

	冷房	暖房	給湯	電力	合計
現状(1996年)	60,513 [14,456]	54,385 [12,992]	44,735 [10,687]	98,586 [23,551]	258,220 [61,686]
将来(2010年)	92,568 [22,114]	71,148 [16,997]	55,028 [13,146]	149,073 [35,612]	367,817 [87,868]

2. 4. 2 エネルギー需要の空間分布

年間の建物総エネルギー需要量（冷暖房・給湯・照明・動力用）の空間分布を図-2.10に示す。現状では千代田区、新宿区を中心にエネルギー需要が高く、将来では需要の高い地区が港区、渋谷区、豊島区などに拡大することが予想される。

夏期（8月）代表日における1日の冷熱（冷房）需要量の空間分布を図-2.11に示す。年間総エネルギー需要量と同様に都心部での需要が高いが、冷房需要の少ない住宅が広く分布する周辺部の区に比較して、都心部への集中がより顕著にみられる。

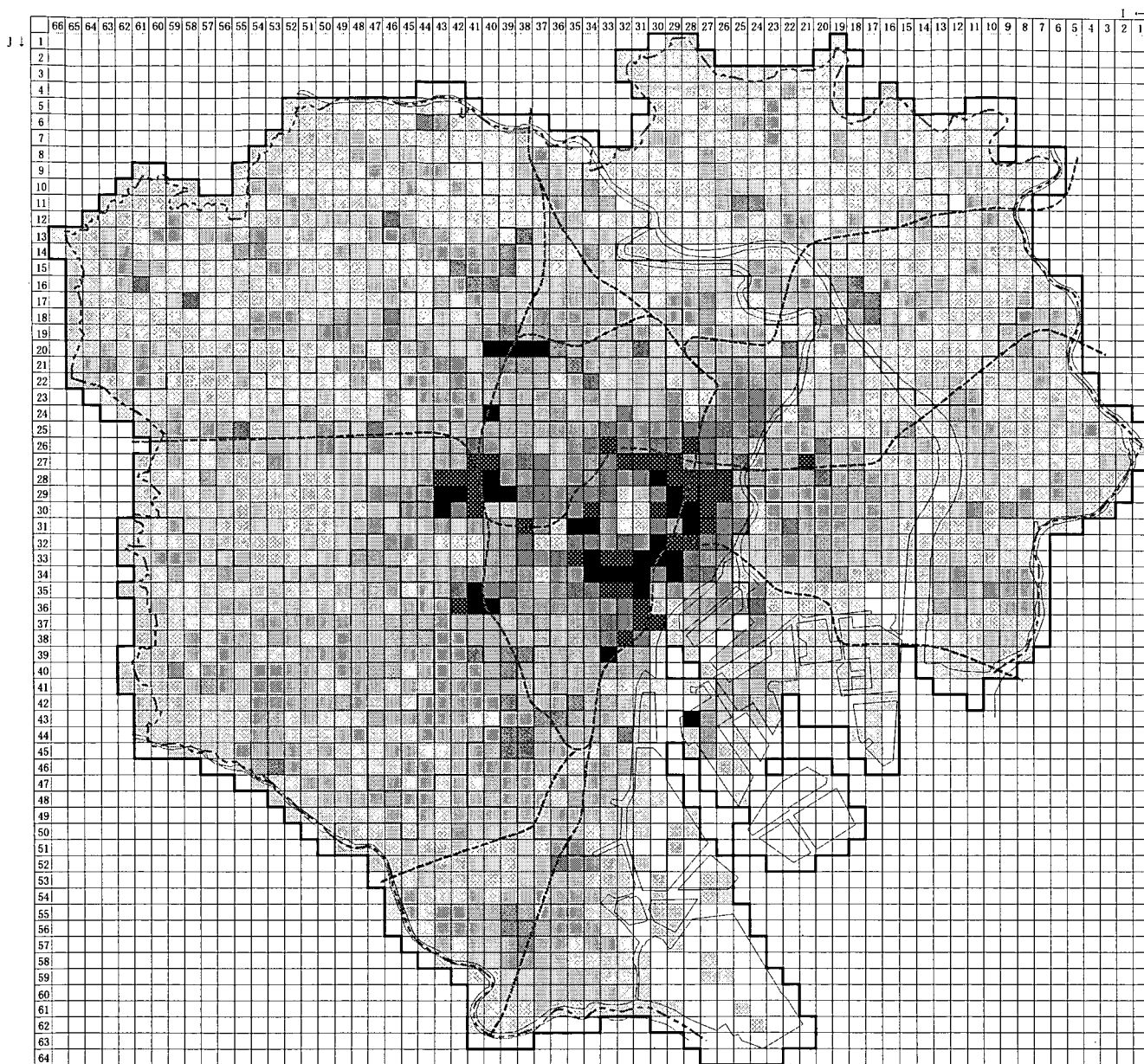


全メッシュ合計 : 258, 220TJ/年
 最大メッシュ : 1, 392TJ/年 (I, J)=(42, 29)

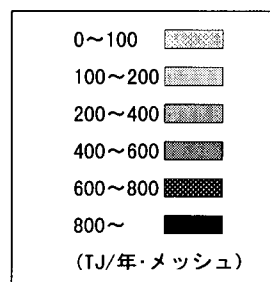
0~100
 100~200
 200~400
 400~600
 600~800
 800~
 (TJ/年・メッシュ)

(a) 現状

図-2. 10 年間建物総エネルギー需要量の分布

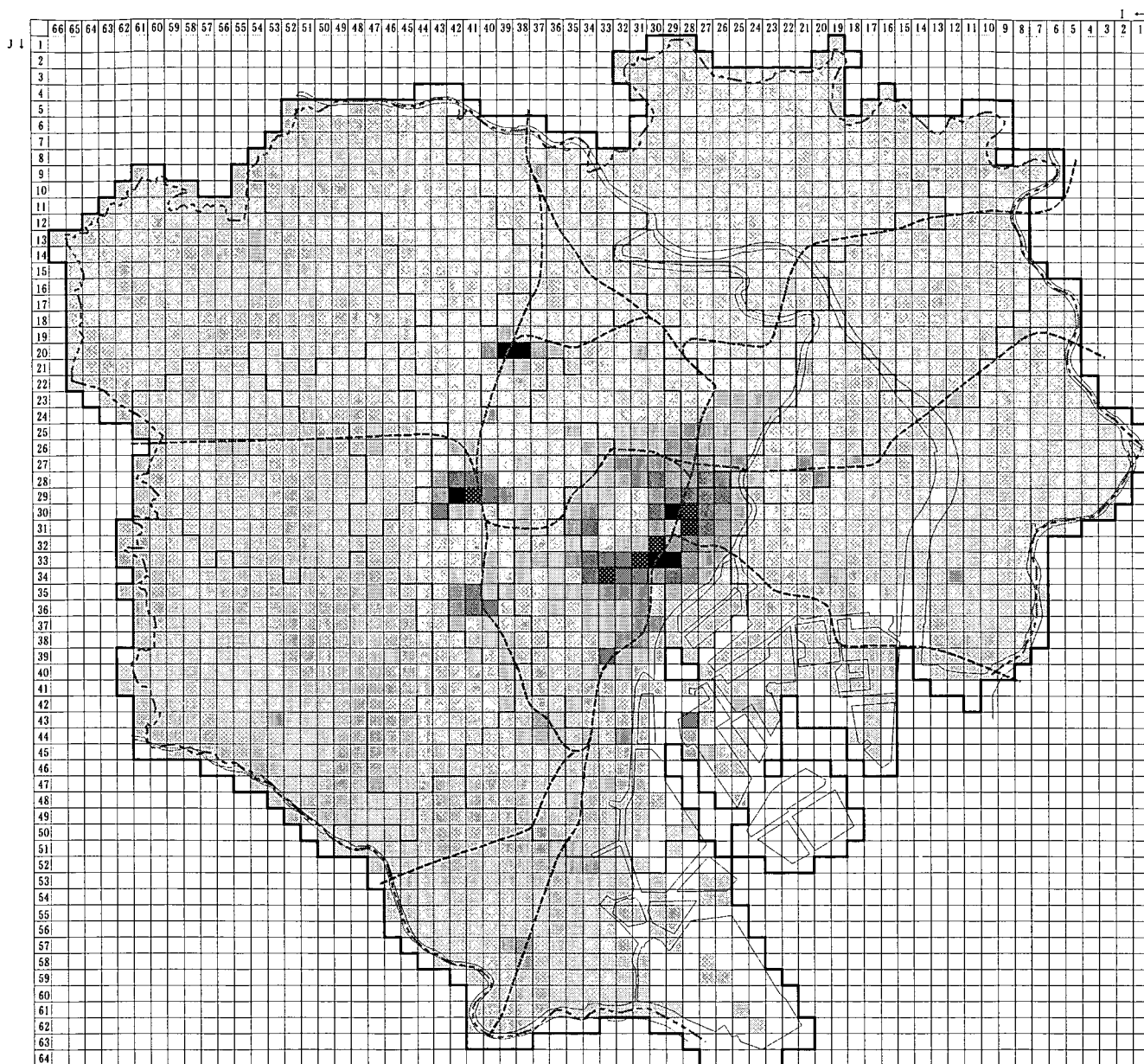


全メッシュ合計 : 367,817TJ/年
 最大メッシュ : 1,988TJ/年 (I, J)=(38, 20)

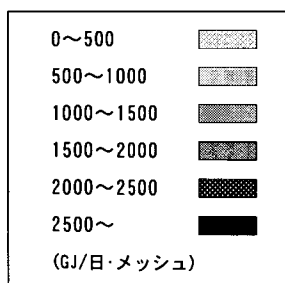


(b) 将来

図-2. 10 年間建物総エネルギー需要量の分布

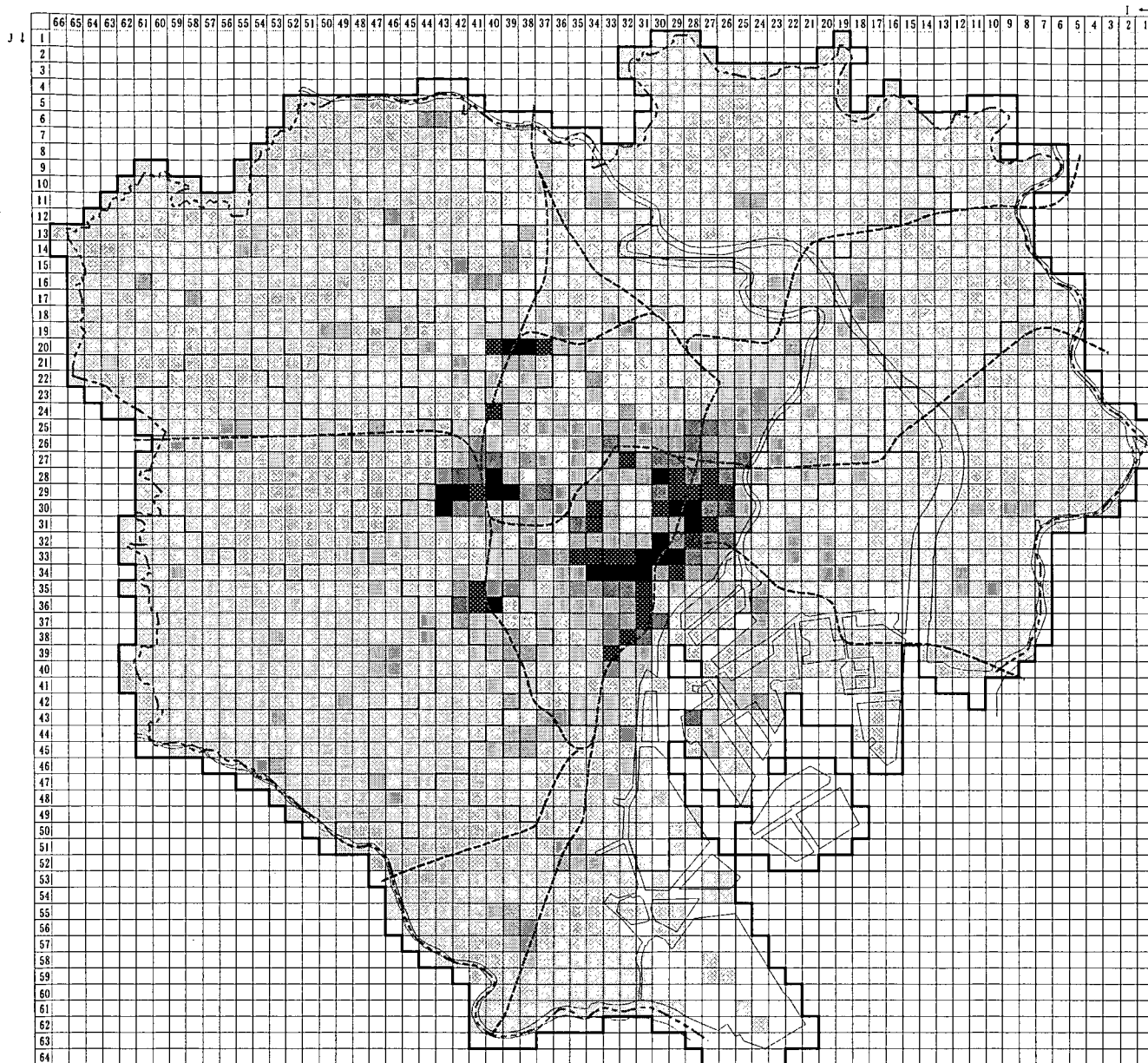


全メッシュ合計 : 580,830GJ/日
 最大メッシュ : 3,803GJ/日 (I, J)=(42, 29)

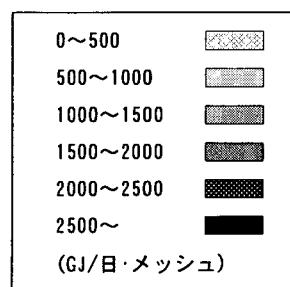


(a) 現状

図-2. 11 夏期代表日における日冷房需要量の分布



全メッシュ合計 : 856,868GJ/日
 最大メッシュ : 5,462GJ/日 (I, J)=(38, 20)



(b) 将来

図-2. 11 夏期代表日における日冷房需要量の分布

2.5 排熱原単位の設定

冷房、暖房、給湯、電力（照明・動力用）のエネルギー使用用途別に、建物内でのエネルギー消費に伴って大気中に放出される人工排熱量の考え方と取り扱い方を整理する。ここでは、エネルギー使用用途別の建物排熱原単位を次のように取り扱う。

- ・ 排熱原単位を建物エネルギー需要量に対する排熱の発生割合と定義する。
- ・ 建物排熱は建物エネルギー需要に比例して発生するものと考え、建物排熱原単位は無次元数[J/J]で表わす。
- ・ 排熱発生の季節別・時刻別変動パターンは需要の変動パターンに準じるものとし、エネルギー消費と排熱との間の時間差は無視できるものと仮定する。

2.5.1 冷房排熱原単位の設定

図-2.12に示すように、建物内の冷房需要に対しては、冷房機器（エアコンを含むヒートポンプ機器類）の室外機や冷却塔から、室内冷房負荷相当分の除去熱量に機器への投入エネルギー量を加えた熱量分が大気中へ排出されている。このうち、除去熱量は循環し再び冷房負荷になると考えられるため、正味の排熱量は機器投入エネルギーに等しいと考えられる。

建物毎に冷房に使用するヒートポンプ機器類の種類・効率が異なるため、冷房需要に伴う排熱原単位については、住宅・非住宅別に表-2.14のように設定した。住宅用冷房需要の排熱原単位の設定に際しては、機器の定格効率でなく、運転状況や屋外の空気条件の違い等による効率低下を見込んだ年平均値として設定した。排熱原単位（ β ）は、個々の使用機器の効率（ η_i ）、機器の使用割合（ α_i ）、及び投入エネルギー量（＝排熱量、 E_i ）、冷房需要（エネルギー消費量、 Q_i ）を用いると、次のように算出される。

$$Q_i = \eta_i E_i, \quad Q_i = \alpha_i Q, \quad \sum \alpha_i = 1$$

$$\beta = \frac{E_i}{Q_i} = \frac{\sum E_i}{\sum Q_i} = \frac{\sum Q_i / \eta_i}{Q_i} = \frac{\sum \alpha_i Q_i / \eta_i}{Q_i} = \sum \frac{\alpha_i}{\eta_i} \quad (2.1, 2.2)$$

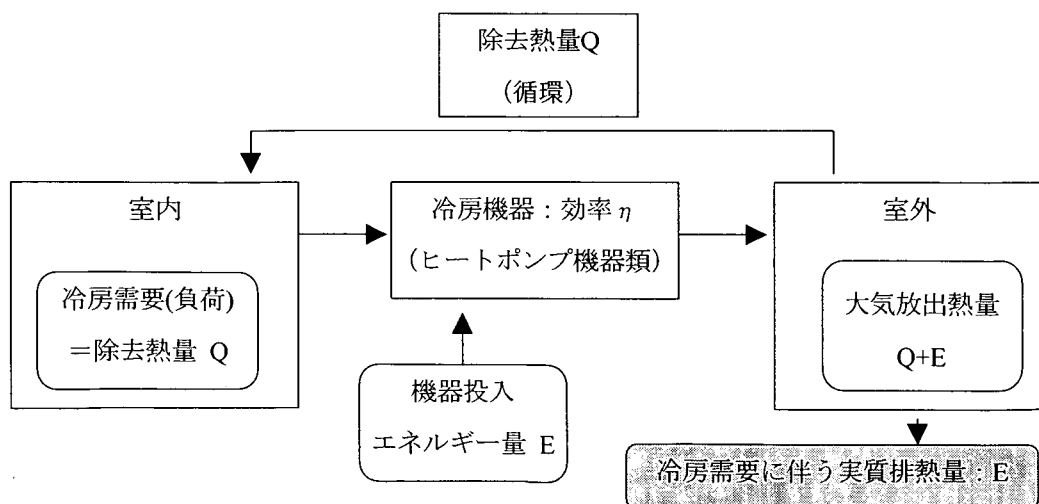


図-2.12 冷房需要に伴う排熱量の考え方

表－２．１４ 建物冷房需要に伴う排熱原単位の設定²³⁾

	住 宅	非 住 宅
冷房機器効率： η_i	2.0	2.8 (電力) 0.85 (都市ガス)
排熱原単位[J/J] (排熱量/冷房需要)	0.50	0.77
備 考	● 表－2.15より、エネルギー源は電力100%とする。	● 表－2.16より、エネルギー源の種別構成は、電力50%、都市ガス50%とする。

表－２．１５ 家庭用用途別エネルギー種別消費マトリックス (1993年：関東)²⁴⁾
(単位:Mcal/世帯・年)

	暖 房		冷 房		給 湯		照明・動力他		合 計	
電 気	376		56		157		2,840		3,429	
	14.6	11.0	100.0	1.6	3.8	4.6	74.8	82.8	32.6	100.0
都市ガス	618		-		2,534		585		3,737	
	24.0	16.5	-	-	62.1	67.8	15.4	15.7	35.5	100.0
L P G	149		-		972		373		1,494	
	5.8	10.0	-	-	23.8	65.1	9.8	24.9	14.2	100.0
灯 油	1,436		-		420		-		1,856	
	55.7	77.4	-	-	10.3	22.6	-	-	17.6	100.0
石 炭	-		-		-		-		-	
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
その他	-		-		-		-		-	
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
合 計	2,579		56		4,083		3,798		10,516	
	100.0	24.5	100.0	0.5	100.0	38.8	100.0	36.1	100.0	100.0

* 表中下段左はエネルギー種別構成比(%)、右は用途別構成比(%)を示す。

表－２．１６ ビル建物の個別冷暖房方式における使用燃料割合²⁵⁾

燃料の種類	冷 房	暖 房
ガ ス	50.4%	56.5%
灯 油	0.7%	2.1%
L S A重油	0.3%	0.4%
電 気	48.6%	40.9%

2.5.2 暖房排熱原単位の設定

建物内の暖房需要に対しては、熱源機器の種類によって排熱発生のプロセスを2通りに分けて考える。熱源機器は、一つにはヒーター・ストーブ・ボイラ等の熱源機器、もう一つにはエアコンを含むヒートポンプ機器類に大別できる。

ヒーター・ストーブ・ボイラ等を利用する場合の排熱量の考え方を図-2.13に示す。投入エネルギーのうち暖房負荷に対して有効に使われない損失分が、暖房運転時の排熱として大気へ排出されている。また、室内の暖房用に供給される熱も、熱損失により大気へ放出され、再び暖房負荷が発生することになる。このため、正味の排熱量は機器投入エネルギーに等しいと考えられる。

一方、エアコンを含むヒートポンプ機器類の場合には、図-2.14に表すように、室外機・加熱塔等からの吸熱により一旦は大気から熱を奪う形となり、さらに機器投入エネルギーを加えた熱量が暖房用に供給されている。このうち大気からの吸熱分は熱損失として再び大気へと放出され、いわば循環を保っていると考えられる。したがって、この場合においても正味の排熱量は機器投入エネルギーと同量であると考えられる。

以上の考え方から、いずれの場合においても正味の排熱量＝機器投入エネルギー量となる。

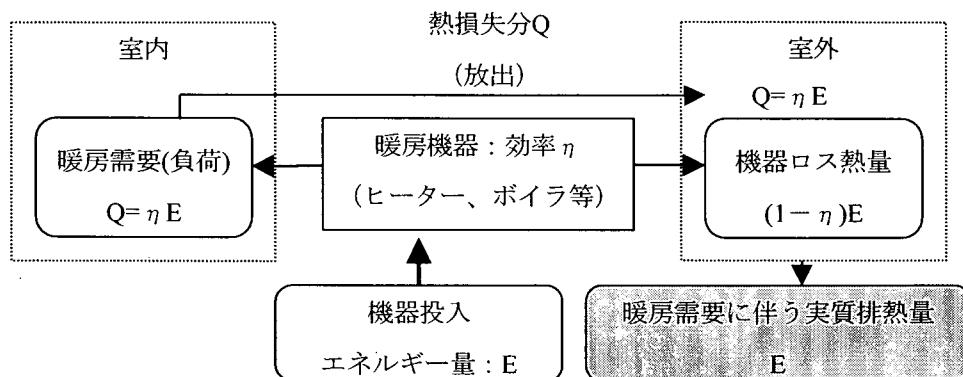


図-2. 13 暖房需要に伴う排熱量の考え方（ヒーター・ストーブ・ボイラ等を利用する場合）

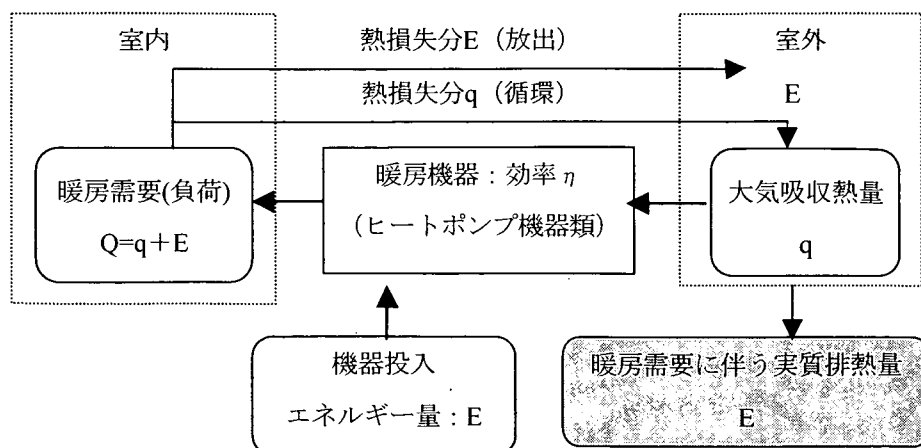


図-2. 14 暖房需要に伴う排熱量の考え方（ヒートポンプ機器類を利用する場合）

冷房と同様に暖房についても、建物毎に使用する熱源機器類の種類・効率が異なるため、暖房需要に伴う排熱原単位については、住宅・非住宅別に表-2.17のように設定する。

表-2. 17 建物暖房需要に伴う排熱原単位の設定

	住 宅	非 住 宅
暖房機器効率： η	2.0 (電力) 0.95 (都市ガス、LPG) 0.85 (灯油)	2.5 (電力) 0.75 (都市ガス、灯油)
排熱原単位[J/J] (排熱量/暖房需要)	1.08	0.95
備 考	- 表-2.15より、エネルギー源の種別構成を灯油55%、都市ガス24%、電力15%、LPG 6%とする。 - 灯油は石油ストーブ、都市ガス・LPGはファンヒータ、電力はエアコンでの使用とし、それぞれの年平均機器効率を設定する。	- 表-2.16より、エネルギー源の種別構成を都市ガス57%、電力41%、灯油2%とする。 - 都市ガス・灯油は直焚冷温水機、電力は空気熱源ヒートポンプでの使用とし、年平均機器効率を設定する。

2. 5. 3 建物給湯排熱原単位の設定

建物内の給湯需要に対しては、まず投入エネルギーのうち給湯機器による熱損失分が排熱として大気に排出される。また、昇温用に使われたエネルギーについても、調理用や入浴用等の使用目的に応じて、最終的には内部発熱や下水排水の形でその保有熱が奪われていくものと考えられる。ここで、昇温用に使われて湯水に閉じこめられた熱量のうちどれだけが大気中に排熱として放出されているかを把握する必要がある。水は熱容量が大きく、厳密には大気に拡散する時間も無視できない。また、下水道に排出される熱量の割合については、原単位のように一値化はされておらず、正確な把握が難しい。既存の調査例²⁶⁾によると、「家庭で消費されるガス及び深夜電力の37%に相当する熱が下水に入る」としており、「これを東京23区に当てはめた場合、給湯に用いられた熱の約5割が下水道に排出されることになる」としている⁶⁾。ここでは簡便の

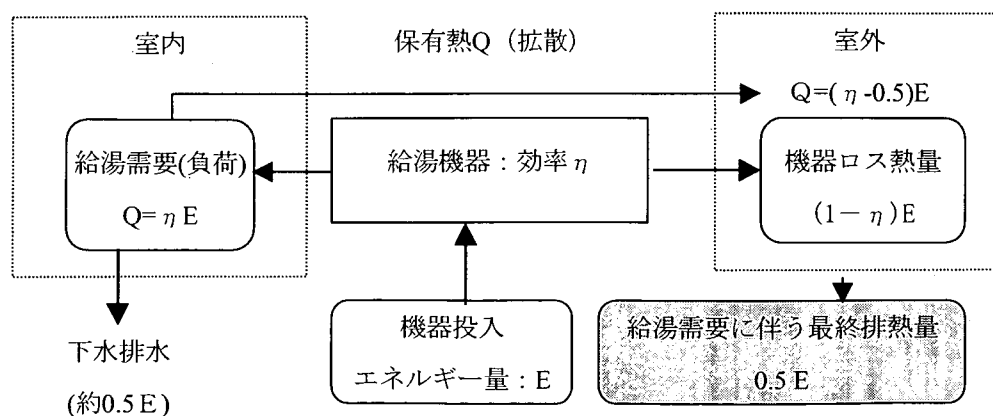


図-2. 15 給湯需要に伴う排熱量の考え方

ため、湯水の保有熱の大気に放出されるまでの時間差を無視し、給湯機器への投入エネルギー量の50%が大気に、残りの50%が下水に排出されるものとして扱うこととする。すなわち、建物給湯需要に伴う排熱原単位は式(2.1)のように算出される値の半分に設定する(図-2.15、表-2.18)。

表-2. 18 建物給湯需要に伴う排熱原単位の設定

	住 宅	非 住 宅
給湯機器効率: η	0.65(電力、都市ガス、灯油、LPG)	0.7(都市ガス、重油、灯油)
排熱原単位[J/J] (排熱量/給湯需要)	0.77	0.71
備 考	- 給湯用エネルギー源は都市ガス62%、LPG24%、灯油10%、電力4%とする(表-2.15参照)。 - 電気は貯湯型、その他は半貯湯または瞬間型の機器効率として設定する。	- 給湯用エネルギー源は都市ガス60%、LPG重油30%、灯油10%とする。 - 都市ガス、重油、灯油とも温水ボイラの年平均機器効率として設定する。

2.5.4 建物電力排熱原単位の設定

エネルギー需要原単位の項目で設定した建物内の電力需要は、空調用を除く照明・コンセント等での電力負荷を示している。照明や電気機器による消費電力量は、まず器具・機器の効率による損失分が熱となって放出され、さらに最終的にはすべてが熱エネルギーに変わって内部発熱または放熱の形で大気中へ放出されるものと考えられる(図-2.16)。ここで、各エネルギー需要原単位のうち電力については、メーター実測調査等に基づく消費電力量自体を電力需要量として原単位化しているため、機器効率による損失分までが電力需要量に含まれている。すなわち、消費電力量=電力需要量=最終排熱量と考えられる(表-2.19)。なお、厳密には発熱・放熱される時間差を考慮すべきであるが、ここでは電力需要のパターンに合わせて消費電力の排熱が発生するものとして扱う。

これまで検討してきた建物エネルギー需要に伴う排熱原単位を総整理すると、表-2.20のようになる。

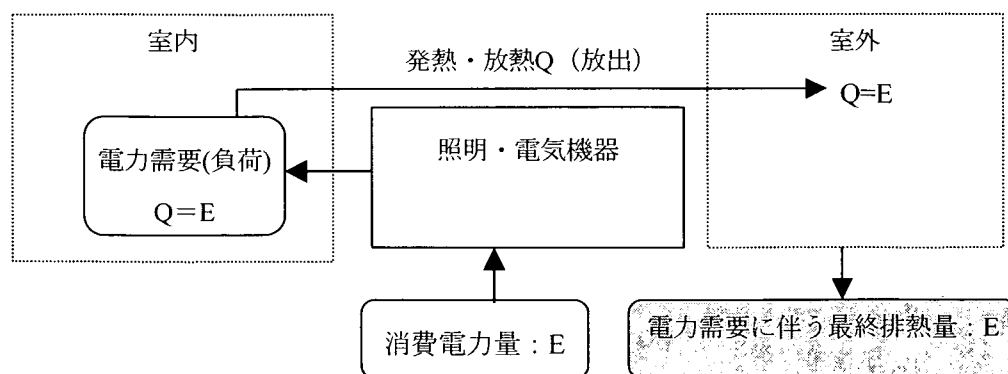


図-2. 16 電力需要に伴う排熱量の考え方

表－２．１９ 建物電力需要（照明・動力用）に伴う排熱原単位の設定

	住 宅	非 住 宅
排熱原単位[J/J] (排熱量/電力需要)	1.0	1.0

表－２．２０ 建物排熱原単位のまとめ

	住 宅	非 住 宅
冷房排熱原単位[J/J]	0.50	0.77
暖房排熱原単位[J/J]	1.08	0.95
給湯排熱原単位[J/J]	0.77	0.71
電力排熱原単位[J/J]	1.0	1.0

2. 6 現状及び将来の建物排熱量の推定

2. 6. 1 23区全体での建物排熱量

設定した建物排熱原単位を用いて、全メッシュ合計（23区全体）での現状及び将来の年間建物排熱量について推計を行った。結果を表－2.21～2.23に示す。現状では、住宅、業務、商業施設からの排熱量が多いが、将来では排熱原単位の大きな商業施設の床面積が倍増することにより、排熱総量が約1.4倍に増加することが予想される。なお、年間排熱量の原単位は、住宅を1とすると商業は4.5、業務は2.5である。また、冷房と暖房の合計と電力とがほぼ同程度であり、年間を通しての排熱量の削減には冷暖房のみでなく電力からの排熱量を抑制することも重要であることがわかる。ちなみに、23区全体での建物エネルギー需要量に対する排熱発生割合は、現状、将来ともに0.89となっている。

図－2.17に、23区全体の1日当たりの建物排熱量の季節別変化（現状及び将来）を示す。建物からの排熱は、量的には夏期より冬期の方が大きく、1月では、現状で918TJ/日、将来では1,249TJ/日（現状の1.36倍）に増加すると推計される。また、夏期のピークを示す8月では、現状で742TJ/日であるが、将来では1,112TJ/日（現状の1.50倍）になると算出されている。

表－２．２１ 23区全体の年間建物排熱量（建物用途別）

(単位：上段：TJ/年、[下段：Tcal/年])

	住宅	商業	業務	宿泊	医療	教育	娯楽	合計
現状(1996年)	78,215 [18,685]	43,789 [10,461]	63,249 [15,109]	12,788 [3,055]	11,055 [2,641]	16,462 [3,933]	4,760 [1,137]	230,317 [51,723]
将来(2010年)	92,705 [21,297]	88,859 [19,400]	84,080 [18,625]	20,351 [4,561]	13,429 [3,105]	19,978 [4,506]	9,634 [2,124]	329,035 [73,618]

表-2. 22 23区全体の年間建物排熱量（エネルギー使用用途別）

（単位：上段：TJ/年、[下段：Tcal/年]）

	冷房	暖房	給湯	電力	合計
現状(1996年)	44,034 [10,519]	53,800 [12,852]	33,896 [8,097]	98,586 [23,551]	230,317 [51,723]
将来(2010年)	68,241 [16,302]	70,121 [16,751]	41,600 [9,938]	149,073 [35,612]	329,035 [73,618]

表-2. 23 将来（2010年）における23区全体の建物排熱量（建物用途別・冷温熱別）

（単位：上段：TJ/年、[下段：Tcal/年]）

将来(2010年)	住宅	商業	業務	宿泊	医療	教育	娯楽	合計
冷熱(冷房)起因分	5,622 [1,343]	27,960 [6,679]	25,027 [5,979]	3,583 [856]	1,526 [365]	2,859 [683]	1,663 [397]	68,241 [16,302]
温熱(暖房+給湯)起因分	61,700 [14,740]	6,249 [1,493]	15,376 [3,673]	7,762 [1,854]	8,834 [2,110]	9,137 [2,183]	2,663 [636]	111,720 [26,689]
総熱(冷・温熱計)起因分	67,322 [16,083]	34,209 [8,172]	40,403 [9,652]	11,346 [2,710]	10,360 [2,475]	11,996 [2,866]	4,326 [1,034]	179,961 [42,991]

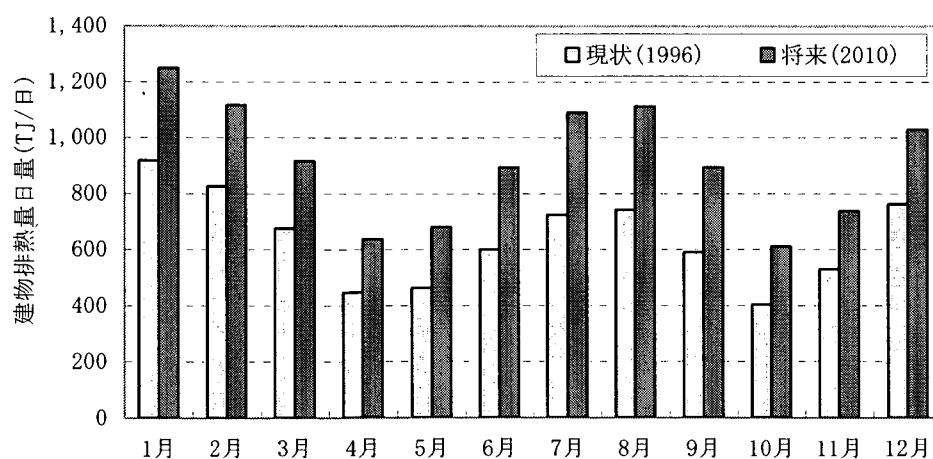
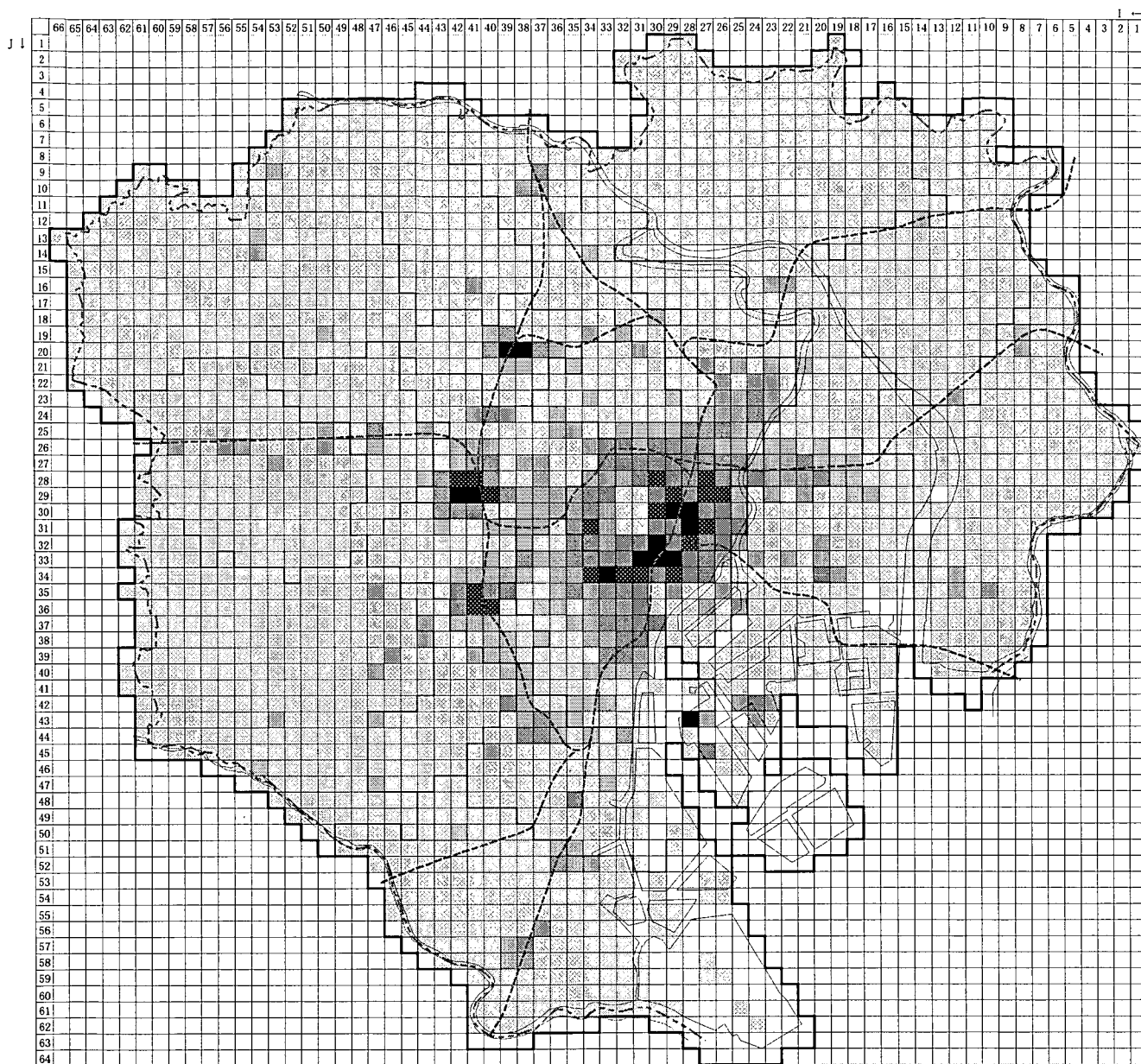


図-2. 17 東京23区全体の1日当たりの建物排熱量の季節別変化（現状及び将来）

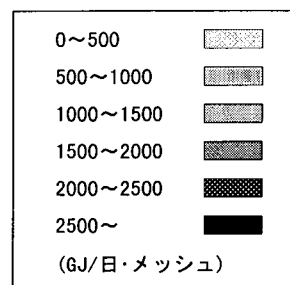
2. 6. 2 日排熱量の空間分布

設定した建物排熱原単位と500mメッシュ単位で把握した建物床面積データを用いて、建物排熱量の面的分布を算出する。ここでは、夏期（8月）及び冬期（1月）を取り上げ、現状、将来における日排熱量の空間分布を図-2.18、219に示す。

これらの図より、夏期、冬期ともに、現状から将来にかけて排熱量の高いメッシュが相当程度増加する

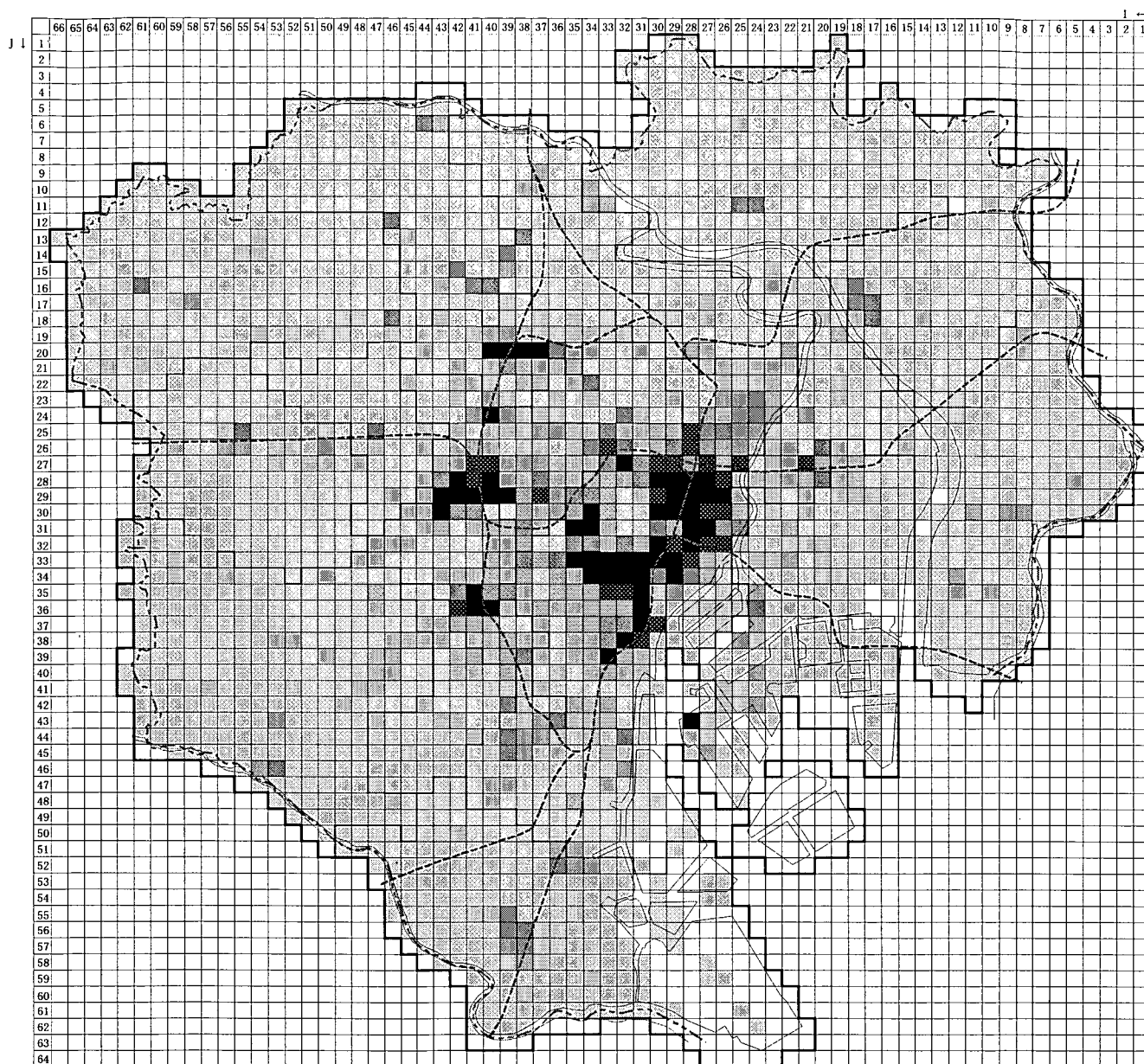


全メッシュ合計 : 741,817GJ/日
 最大メッシュ : 4,876GJ/日 (I, J)=(42, 29)

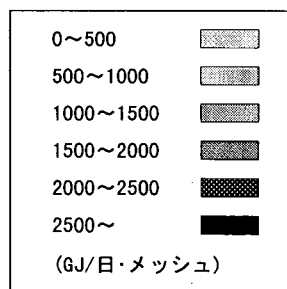


(a) 現状

図-2. 18 夏期代表日の日建物排熱量

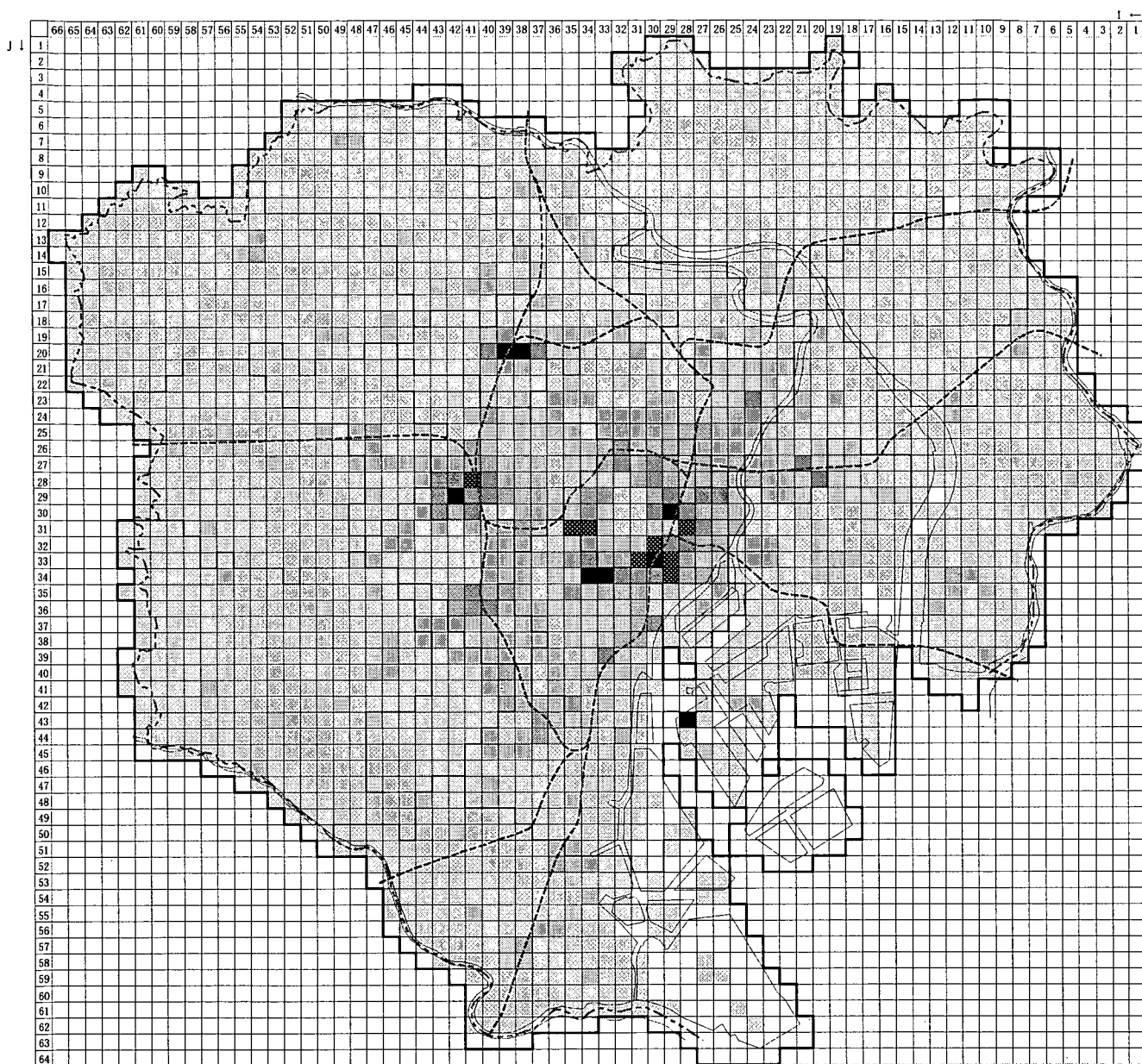


全メッシュ合計 : 1,112,100GJ/日
 最大メッシュ : 7,366GJ/日 (I, J)=(38, 20)

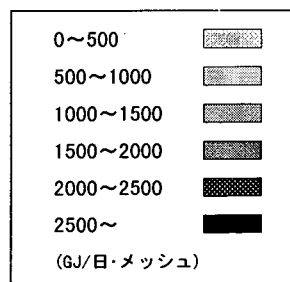


(b) 将来

図-2. 18 夏期代表日の日建物排熱量

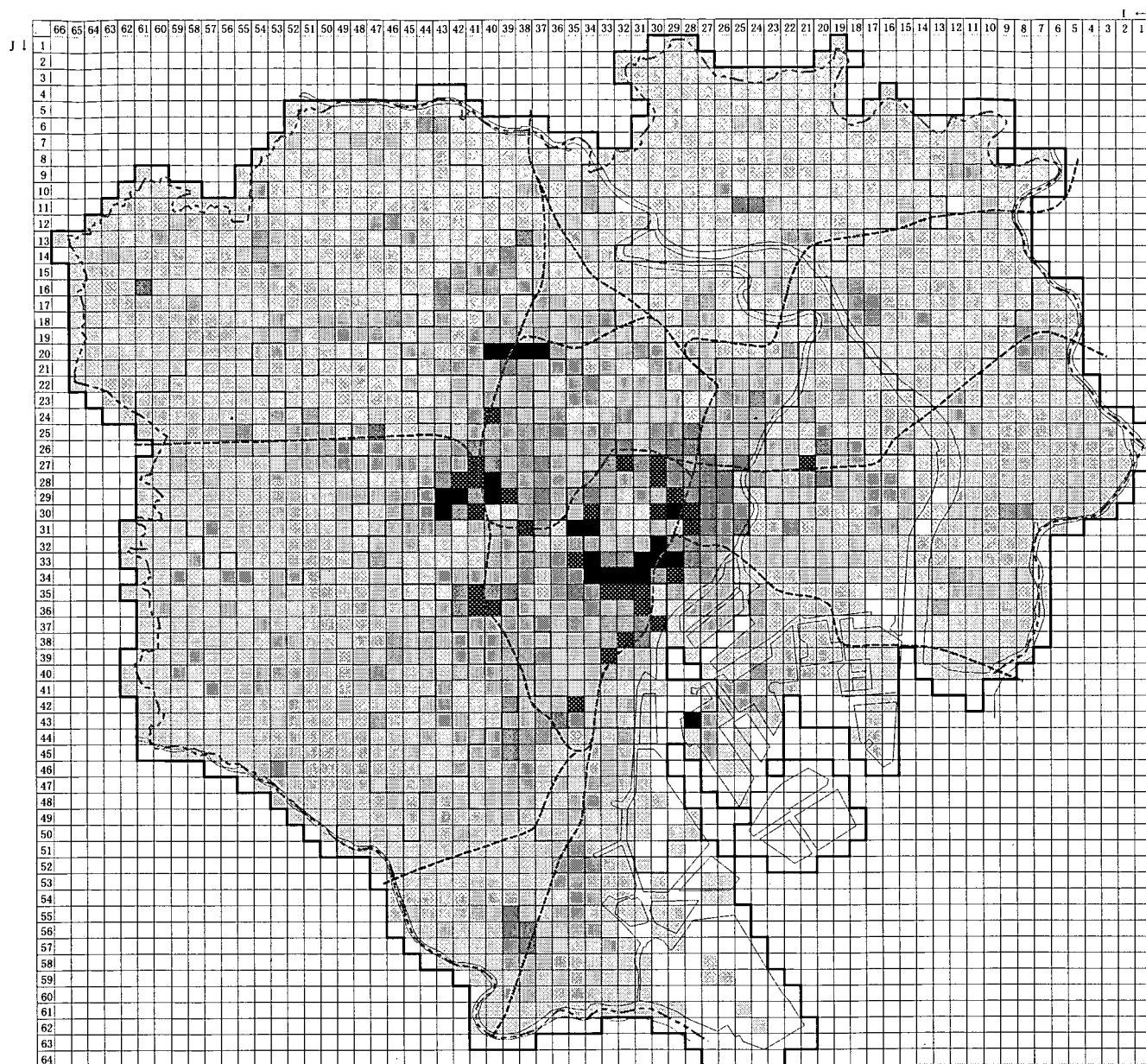


全メッシュ合計 : 917,630GJ/日
 最大メッシュ : 4,210GJ/日 (I, J)=(42, 29)

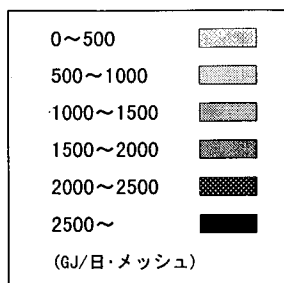


(a) 現状

図-2. 19 冬期代表日の日建物排熱量



全メッシュ合計 : 1,248,581GJ/日
 最大メッシュ : 5,390GJ/日 (I, J)=(38, 20)



(b) 将来

図-2. 19 冬期代表日の日建物排熱量

ことが予想される。また、夏期と冬期を比較すると、夏期の建物排熱は、後述するように冷房及び電力が主体であるため、都心部での集中度が高いが、冬期になると集中度はやや緩和されることがうかがえる。冬期では、暖房・給湯を中心とした住宅部からの排熱も影響し、量自体は少ないながらも周辺部からの排熱発生も増えることが確認される。

建物排熱量が最も高いメッシュは、現状では夏・冬ともに新宿区の都庁付近であるが、将来では夏・冬ともに豊島区の池袋駅東口付近になると推定される。なお、東京における日射量が最も高いのは8月であり、全天日射量の日積算量の月平均値では $14.6\text{MJ}/\text{m}^2$ である。これは $3,650\text{GJ}/\text{日}\cdot\text{メッシュ}$ に相当する。平成8年には東京都区部は計2,738メッシュから構成されているので、8月代表日に23区全体の地表面が受ける全天日射量（日積算値）は約 $10,000\text{TJ}/\text{日}$ となる。この値と23区全体の1日の建物排熱量とを比べてみると、8月代表日の日射エネルギーに対して、現状で約7%、将来では約11%の熱エネルギーに相当する排熱が、建物でのエネルギー消費によって排出されていることになる。また、メッシュ単位での建物排熱量が全天日射量を越えるメッシュが、現状で4メッシュ、将来では11メッシュ存在するものと推定されている。

2. 6. 3 時間排熱量の空間分布

現状の8月における23区全体の建物排熱量の時間変動を図-2. 20に示す。排熱量は、10時から17時まではほぼ一定で高い値を示しているが、深夜から早朝にかけては低い値で推移している。また、日中の排熱量は主に冷房と電力利用に伴うものであることがわかる。

図-2. 21では現状の昼間における建物排熱の内訳（冷房、電力、給湯）を比較している。なお、冷房、電力と給湯では凡例が異なっている。これらの図と図-2. 20より、図-2. 19(a)に見られる現状での夏期の日排熱量分布は、主に冷房と電力利用からの排熱で決められていることがわかる。

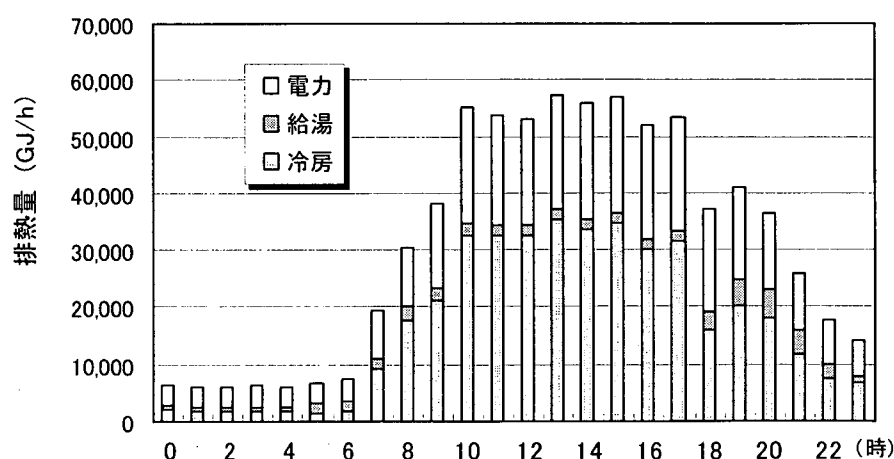
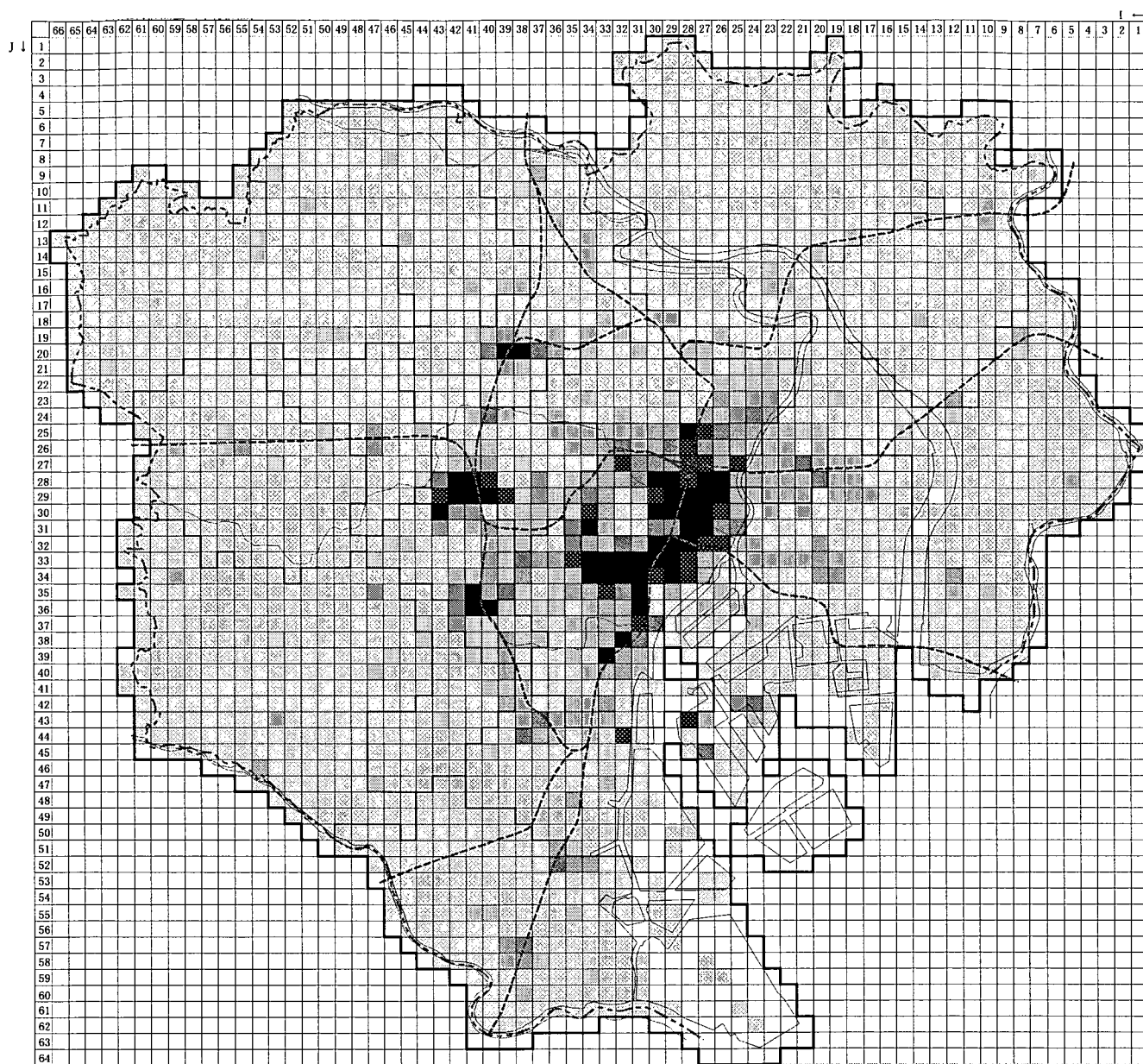


図-2. 20 時間当たりの建物排熱量の変化（現状）



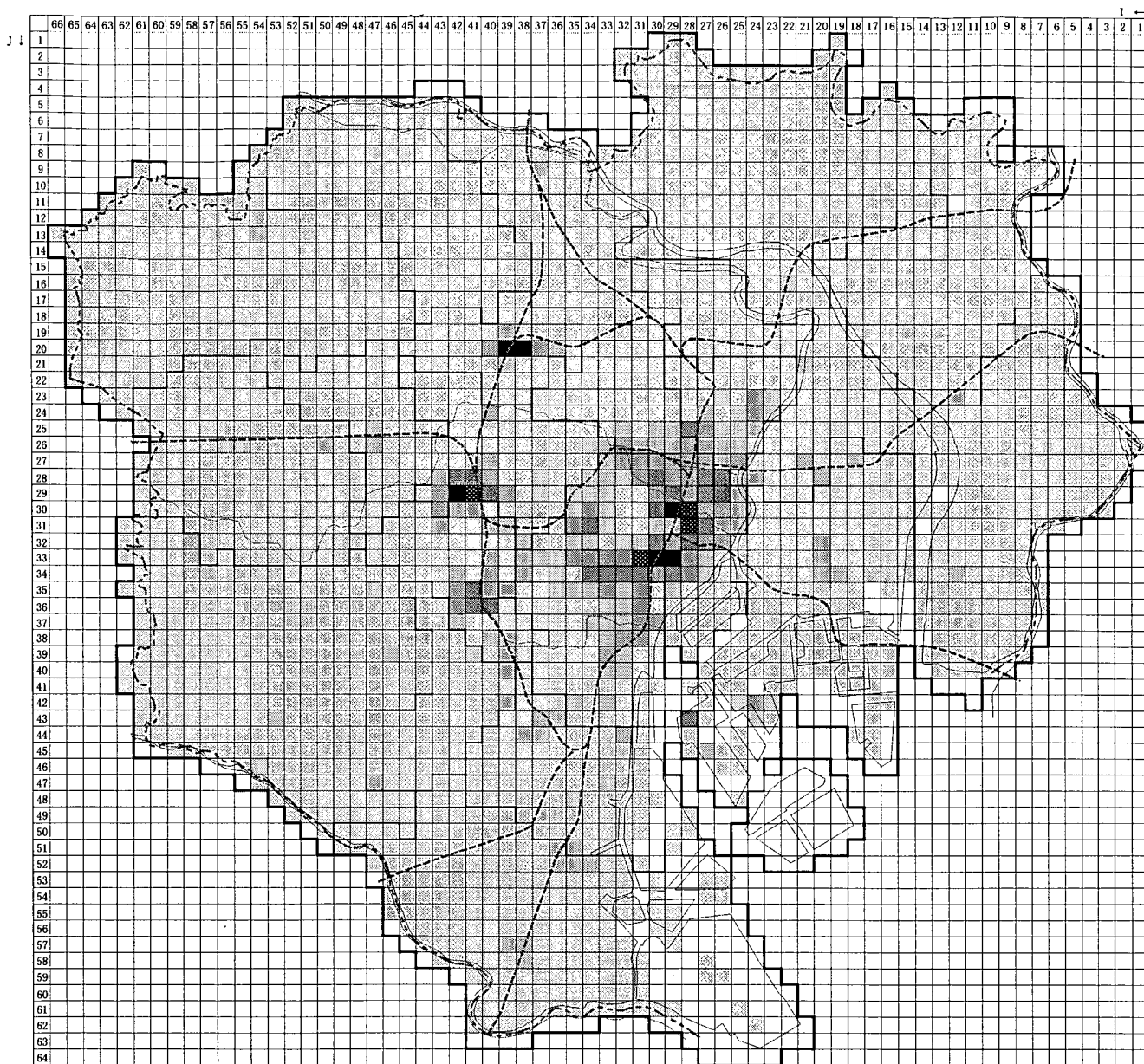
現状 8 月代表日 冷房排熱 13~14時

全メッシュ合計 : 35,436GJ/h
最大メッシュ : 265GJ/h (I, J)=(39, 20)

0	: 274メッシュ
0~20	: 2061メッシュ
20~40	: 213メッシュ
40~60	: 86メッシュ
60~80	: 36メッシュ
80~100	: 23メッシュ
100~	: 45メッシュ
(GJ/h・メッシュ) (計2738メッシュ)	

(a) 冷房

図-2. 21 時間当たりの建物排熱量の分布 (現状: 13時~14時)



現状8月代表日 電力排熱 13~14時

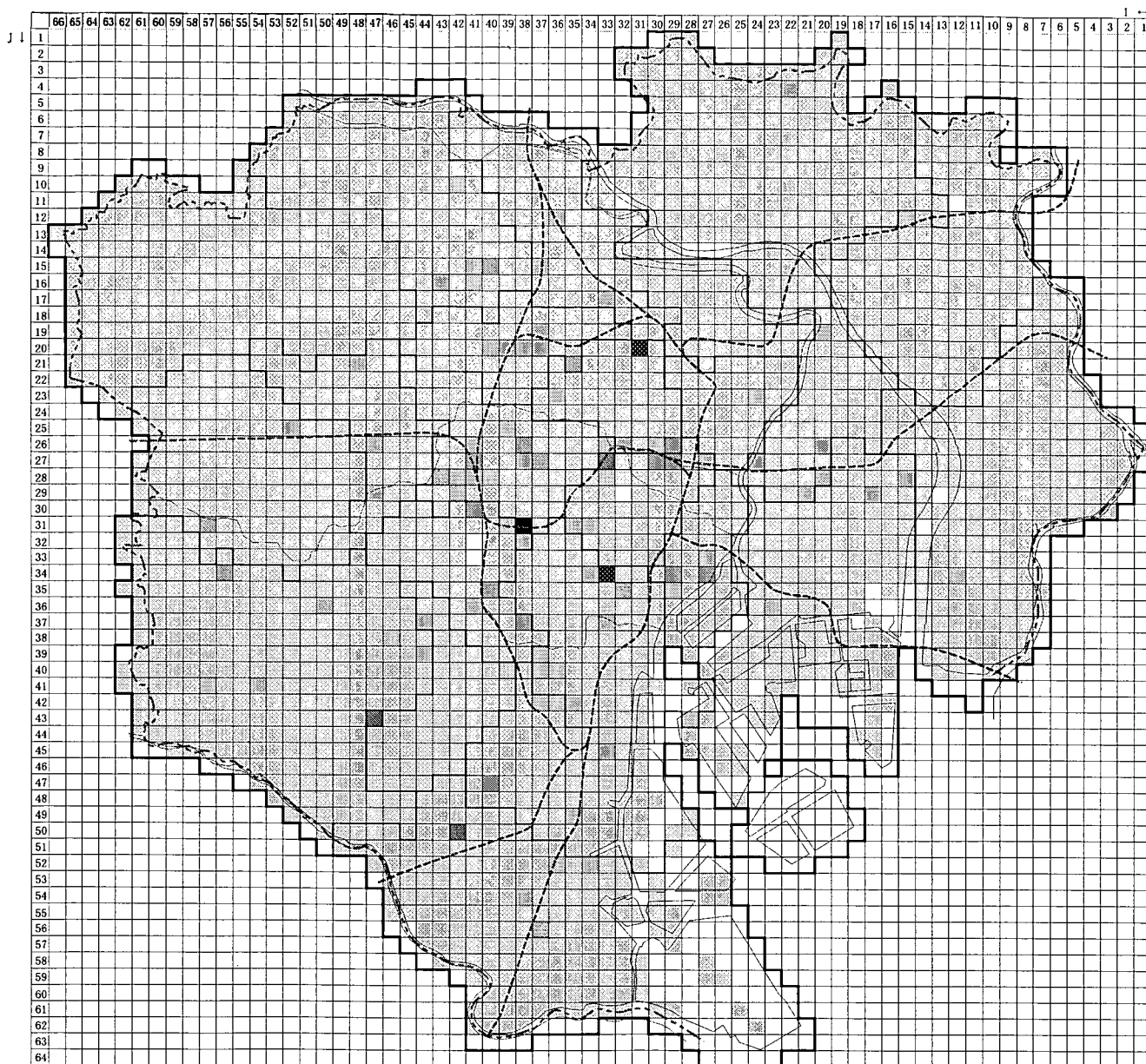
全メッシュ合計 : 20,117GJ/h
最大メッシュ : 158GJ/h (I, J)=(39, 20)

0	□	: 274メッシュ
0~20	▨	: 2247メッシュ
20~40	▩	: 129メッシュ
40~60	▧	: 54メッシュ
60~80	▦	: 24メッシュ
80~100	▤	: 4メッシュ
100~	■	: 6メッシュ

(GJ/h・メッシュ) (計2738メッシュ)

(b) 電力

図-2. 21 時間当たりの建物排熱量の分布 (現状: 13時~14時)



現状 8 月代表日 給湯排熱 13~14時

全メッシュ合計 : 1,699GJ/h
最大メッシュ : 10.7GJ/h (I, J)=(38, 31)

0 : 283メッシュ
0~2 : 2360メッシュ
2~4 : 69メッシュ
4~6 : 20メッシュ
6~8 : 3メッシュ
8~10 : 2メッシュ
10~ : 1メッシュ

(GJ/h・メッシュ) (計2738メッシュ)

(c) 給湯

図-2. 21 時間当たりの建物排熱量の分布 (現状: 13時~14時)

3. その他の主要な人工排熱の推定

第2章では、都市河川等の水熱エネルギーの利用対象となる民生建物系のエネルギー需要、及びそれに伴う排熱の発生状況について検討した。本章では都市の熱環境に影響を与える建物排熱以外の人工排熱について検討する。

表-3.1、3.2は、全国及び東京都23区における未利用エネルギーとしての熱賦存量について検討した結果である。これらの表より、火力発電所、ごみ焼却場（清掃工場）、工場（民間工場）については多量の熱を発生していること、また、河川水や下水は未利用エネルギー源として有望であることがわかる。そこで、ここでは、建物排熱以外の主要な人工排熱として、火力発電所、清掃工場、民間工場に自動車交通を加えた4つの対象を取り上げ、それぞれの排熱量を概算する。

表-3.1 全国の主な未利用エネルギー賦存量¹⁰⁾

種 類	箇所数等	熱賦存量(Tcal/年)
河 川	109 河川	1,310,000
海	33,889 km	2,033,000
下水処理場	5,750 ha	188,600
ごみ焼却場	1,893 箇所	65,049
地下鉄駅	415 箇所	1,494
変電所	3,300 箇所	4,858
地中送電ケーブル	10 箇所	13
工場	1.5×10^6 Tcal	440,000
発電所	479,245 GWh	473,973
LNG冷熱	4,200 万トン	8,400

表-3.2 東京23区の主な未利用エネルギー賦存量²⁷⁾

賦存源	熱賦存量 (Tcal/年)	対象施設数
清掃工場	2133.49	12
下水処理場	8573.96	10
ポンプ所	3103.54	13
工業用水	157.29	2
都営地下鉄	107.60	57(駅舎)
変電所	136.33	34
火力発電所	5018.68	2

3. 1 火力発電所

23区に立地する火力発電所は、現状では大井火力(約118万kW)、豊洲火力(約8万kW)の2施設であるが、将来は品川火力(114万kW)を加えて3施設となる予定である。

火力発電所からの人工排熱量は次式により算定する(図-3.1参照)。

$$Q = qE / \eta \quad (3.1)$$

ここで、 Q : 人工排熱量、 q : 大気へ排出される熱量の割合、 E : 発電電力量、 η : 発電端効率である。発電電力量の月別、時間別変動パターンは報告結果^{27,28)}をもとに作成した。なお、ここでは、火力発電所からの温排水が大気に与える熱量は考慮していない。

火力発電所からの年間人工排熱量の推計結果を表-3.3に示す。新規に品川火力が稼働するのに伴い、区部に立地する火力発電所の合計出力が現状の約2倍となるため、将来の人工排熱も2倍程度に増加するものと推計される。

図-3.2に、火力発電所の位置と将来の8月における日排熱量を例として示す。

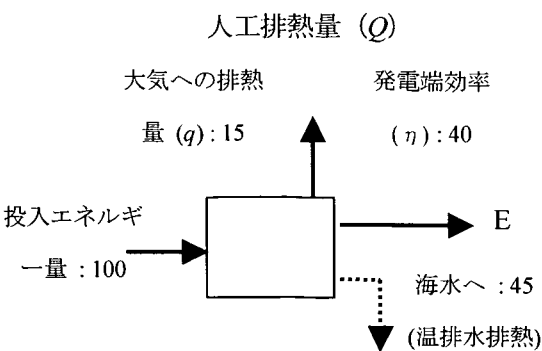
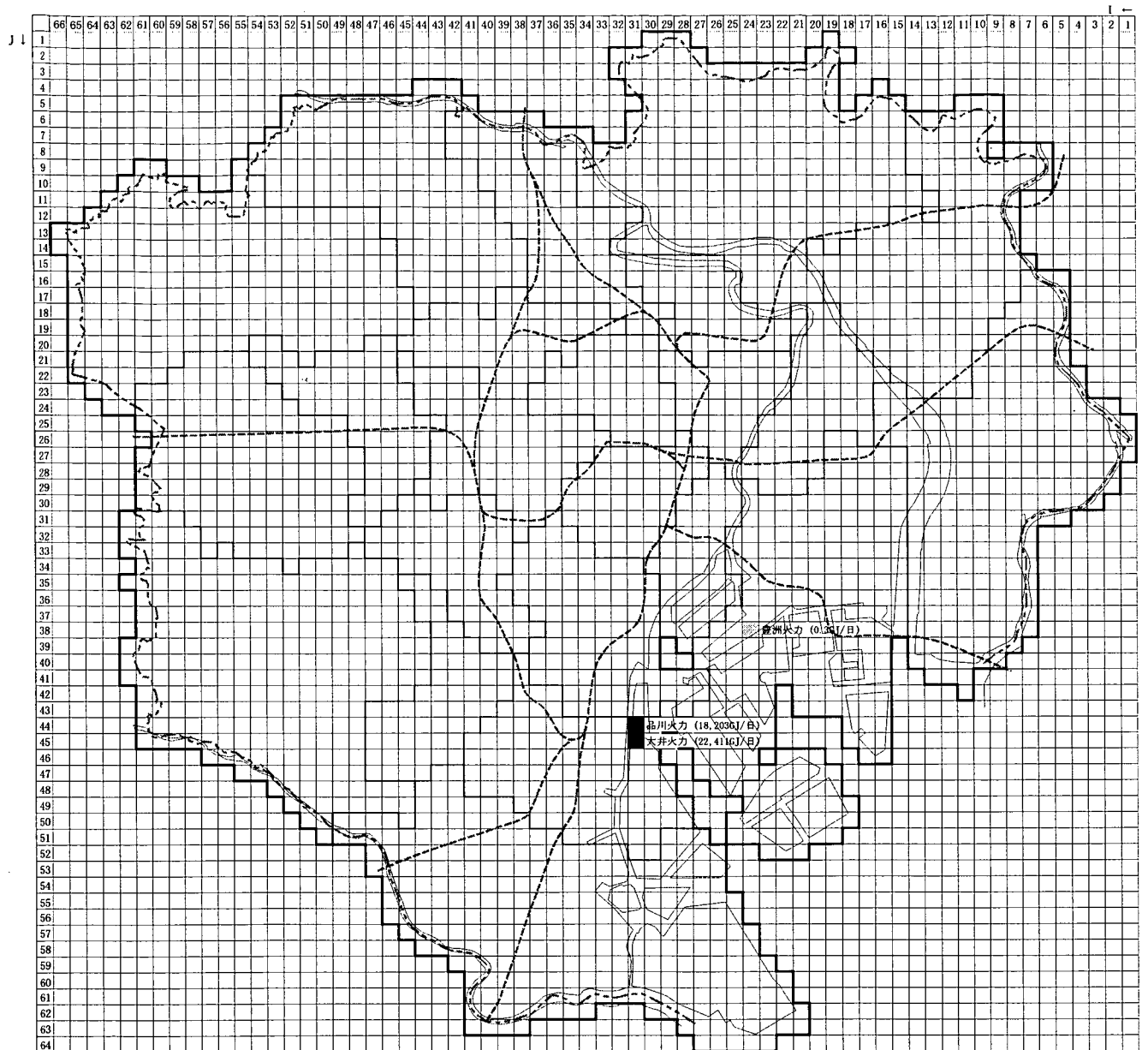


図-3. 1 火力発電所での熱バランス

* 図中の数字は一般的な火力発電所の熱バランス²⁷⁾

表-3. 3 発電所からの人工排熱量

項 目	現状(1996)	将来(2010)	備 考
施設数	2	3	
合計出力	約126万kW	約240万kW	- 大井: 1,177,000kW - 豊洲: 83,400kW (小規模ピーク対応) - 品川: 1,140,000kW (H14運開予定)
合計発電量	3969×10 ⁶ kWh (実績)	約7940×10 ⁶ kWh (想定)	- 現状発電量は1996年度実績値。 - 大井・豊洲は将来も現状の発電量を維持、品川については現状の大井と同程度の発電量と仮定した。
発電端効率 (設計熱効率)	約27～40%	約27～49%	- 設計熱効率 - 大井: 39.8 (汽力), 26.6 (ガスタービン) - 豊洲: 27.4 (ガスタービン) - 品川: 約49 (ACC:新コンバインドサイクル)
人工排熱量	約5,390TJ/年	約9,760TJ/年	- 参考) 建物排熱量 - 現状: 230,317TJ/年 - 将来: 329,035TJ/年



年間排熱合計 9,759TJ/年
8月代表日排熱合計 40,615GJ/日

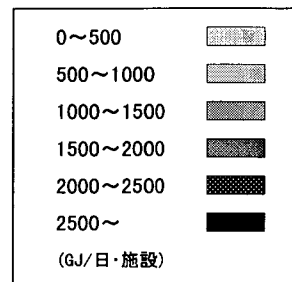


図-3. 2 火力発電所からの日排熱量 (将来: 8月)

3. 2 清掃工場

東京23区内の清掃工場（ごみ焼却場）は現状で16施設あり、合計処理能力が13,280t/日となっている²⁹⁾。近年各種のごみ抑制策の結果として焼却ごみ量は減少傾向にあるが、2000年4月に予定される清掃事業の特別区への移管に伴い、「自区内処理」を原則とした清掃工場建設計画が検討されている。これにより、将来2010年時点の清掃工場は25施設、合計処理能力16,980t/日になる予定である³⁰⁾。

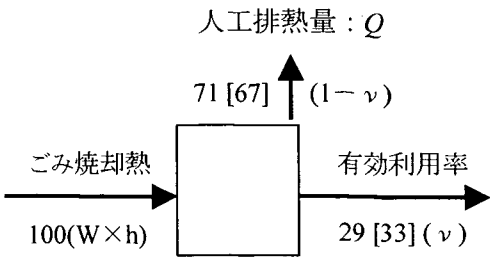
清掃工場からの人工排熱量は次式により算定する（図－3.3参照）。

$$Q = W \cdot h \cdot (1 - \nu) \tag{3.2}$$

ここで、 Q ：人工排熱量、 W ：ごみ焼却量、 h ：ごみ低位発熱量、 ν ：ごみ熱有効利用率である。ごみ焼却による発生熱から、「有効利用熱」（＝発電電力、場内使用熱、場外給熱）を除いたものが人工排熱量となる。

清掃工場からの年間人工排熱量の推計結果を表－3.4に示す。なお、将来のごみ焼却量は増加せずに現状維持とし、また、新設・建替工場の熱有効利用率が向上すると仮定している。このため、将来の排熱量は減少するものと推計される。

図－3.4、3.5に現状と将来における清掃工場からの日排熱量の分布を示す。現状においても、6,000GJ/日を越える施設が4カ所あり、清掃工場が高排熱源として点在していることがわかる。

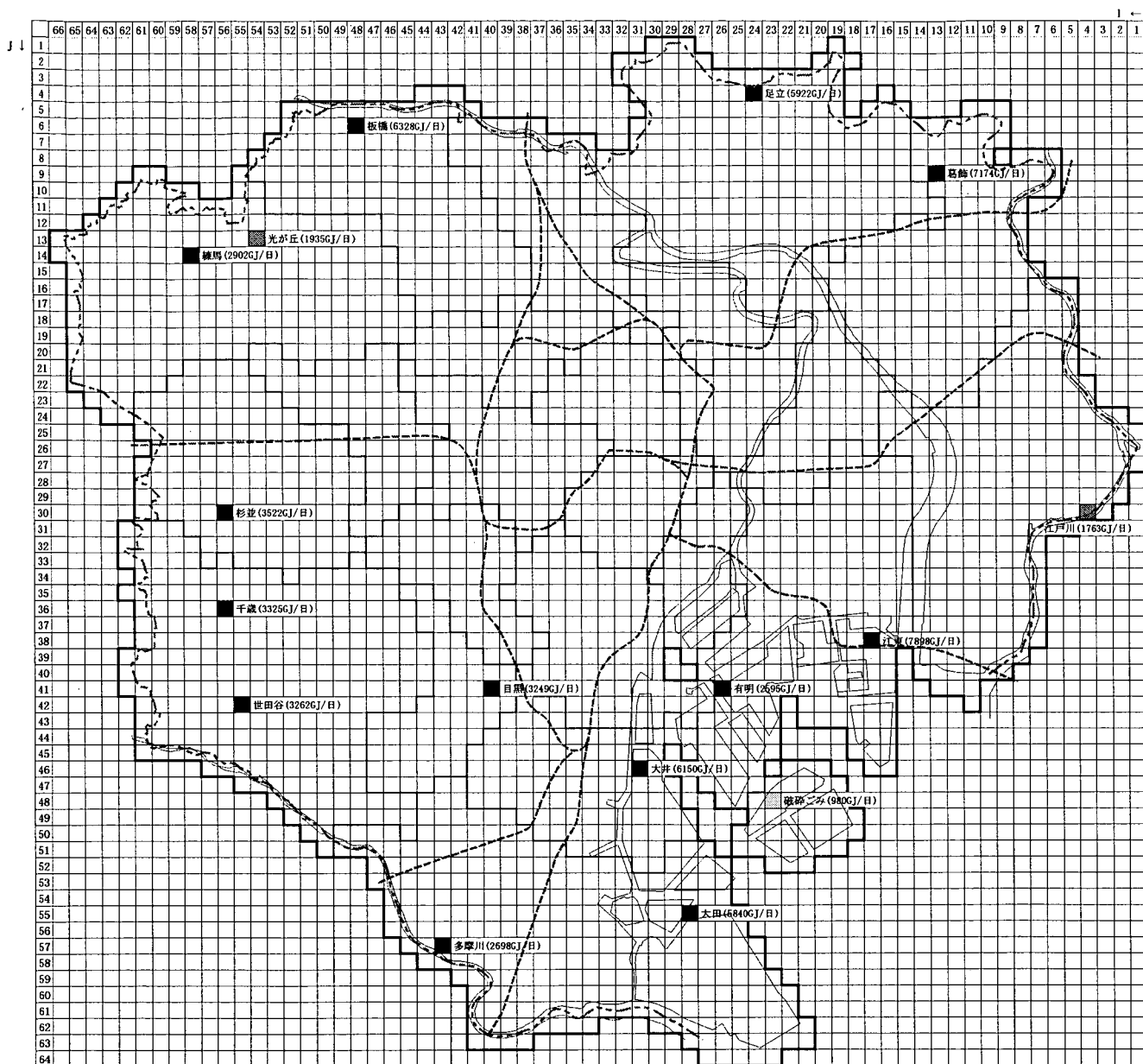


図－3. 3 清掃工場での熱バランス

* 現状の ν はH2年度区部全工場の平均値、[]内は将来値でありH8年竣工の千歳工場レベルとして設定。全工場一律に適用。

表－3. 4 清掃工場からの人工排熱量

項 目	現状(1996)	将来(2010)	備 考
施設数	16	25	●中央防波堤の破砕ごみ処理施設(焼却処理を実施)も清掃工場に含める。
合計処理能力	13,280t/日	16,980t/日	●施設別には江東工場(1800t/日)の処理能力が最大。
合計ごみ焼却量	3,369,532t/年 (実績)	約337万t/年 (想定)	●将来のごみ量は現状維持と仮定。 ●なお、東京都の一般廃棄物処理基本計画(東京スリムプラン21)では、2010年度の可燃ごみ量を311万tと推計している。
ごみ低位発熱量	10GJ/t	10GJ/t	●都の調査結果(近年は2000～2500kcal/kg程度で推移)を踏まえて設定。 ●容器包装リサイクル法施行後のごみ質は予測困難なため、現状・将来ともにこの値を用いる。
ごみ熱有効利用率	約29%	約33%	●図－3.2の注参照
人工排熱量	約23,920TJ/年	約22,580TJ/年	●参考) 建物排熱量 現状：230,317TJ/年 将来：329,035TJ/年



年間排熱合計 23,924TJ/年
8月代表日排熱合計 65,544GJ/日

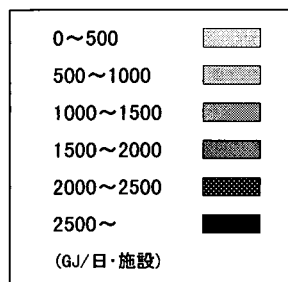
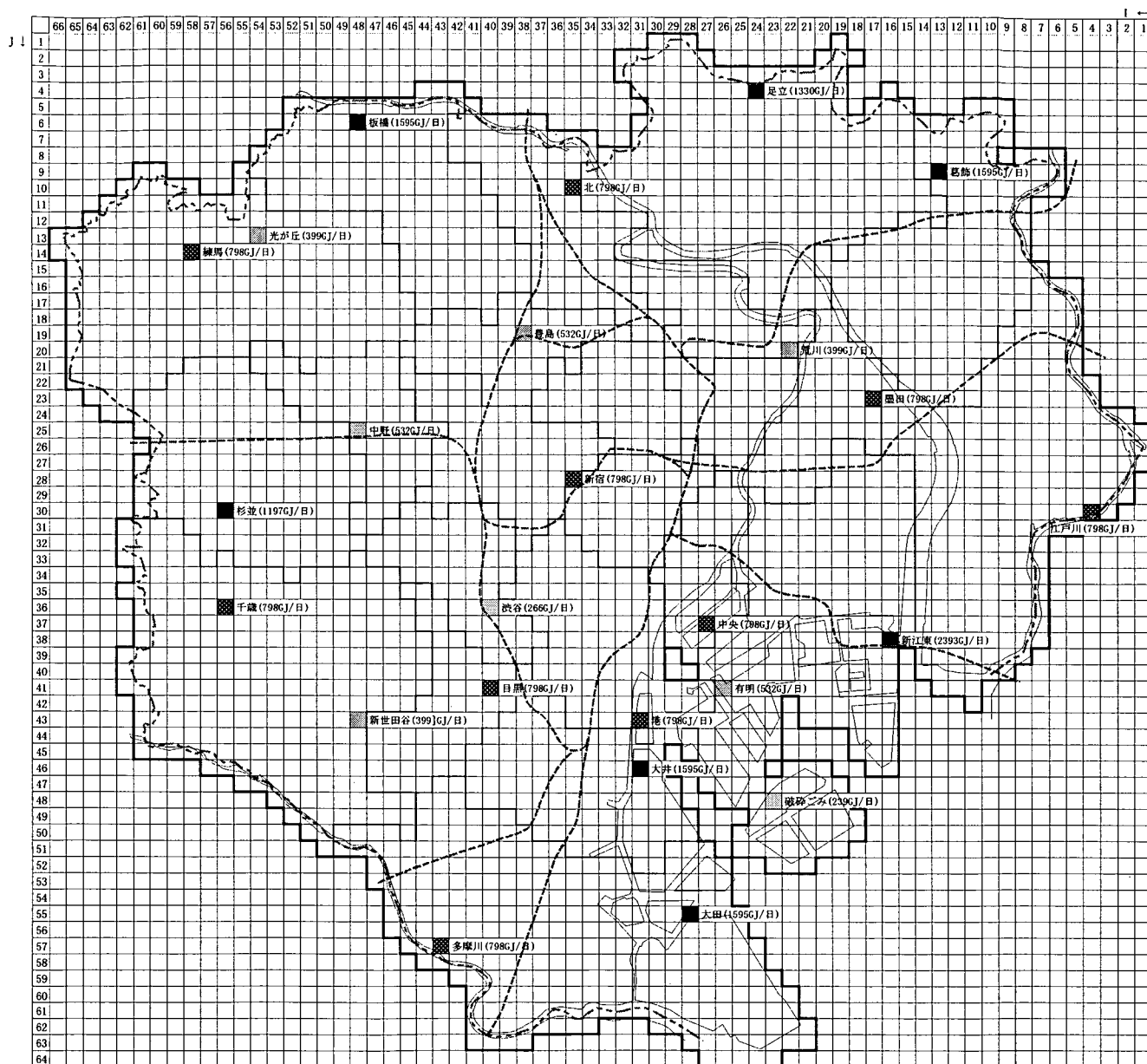


図-3. 4 清掃工場からの日排熱量（現状：8月）



年間排熱合計 22,576TJ/年
8月代表日排熱合計 61,852GJ/日

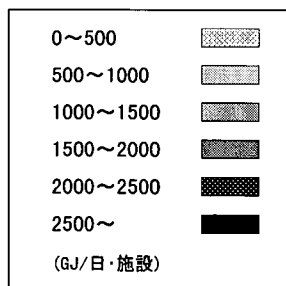


図-3.5 清掃工場からの日排熱量 (将来: 8月)

3.3 民間工場

東京23区内の民間工場（工業統計調査の対象となる製造業事業所）は、平成8年末で約27,000事業所となっている。業種別には出版・印刷関連が最も多く、次いで金属製品製造業、一般機械器具製造業と続いている。なお、23区内の工場数は年々減少傾向にある。民間工場からの人工排熱として、ここでは工場におけるエネルギー消費量をそのまま排熱量とみなして概算した。

平成10年度策定の「東京都エネルギービジョン」²⁾では、東京都全体の産業部門（鉱業・製造業・農業水産業）におけるエネルギー消費量の推移と2010年における予測値が掲載されている（図-3.6参照）。なお、その製造業のエネルギー消費量の予測では、従業員1人当たりのエネルギー消費量が将来においても変化しないものと仮定し、将来における従業者数の予測値をもとに算出している。ここでは鉱業・製造業分に着目し、東京都全体と東京都区部の工業製品出荷額の比から、東京都区部における民間工場エネルギー消費量を推計した。

表-3.5に、民間工場からの年間の排熱量の推計結果を示す。鉱業・製造業の従業員数（工場数）の減少に伴い、将来の人工排熱量が減少すると推計される。

また、図-3.7に工場からの日排熱量の分布を示す。

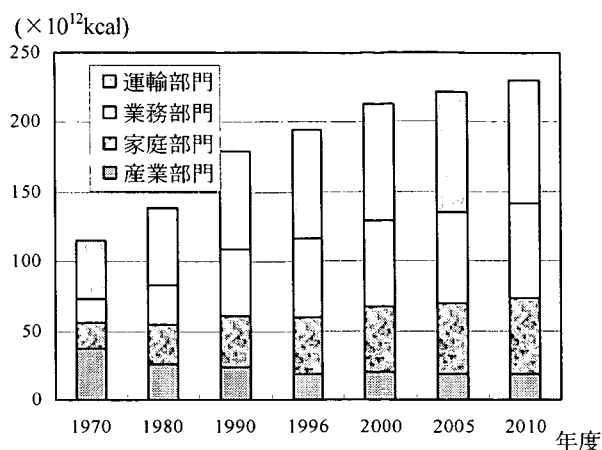
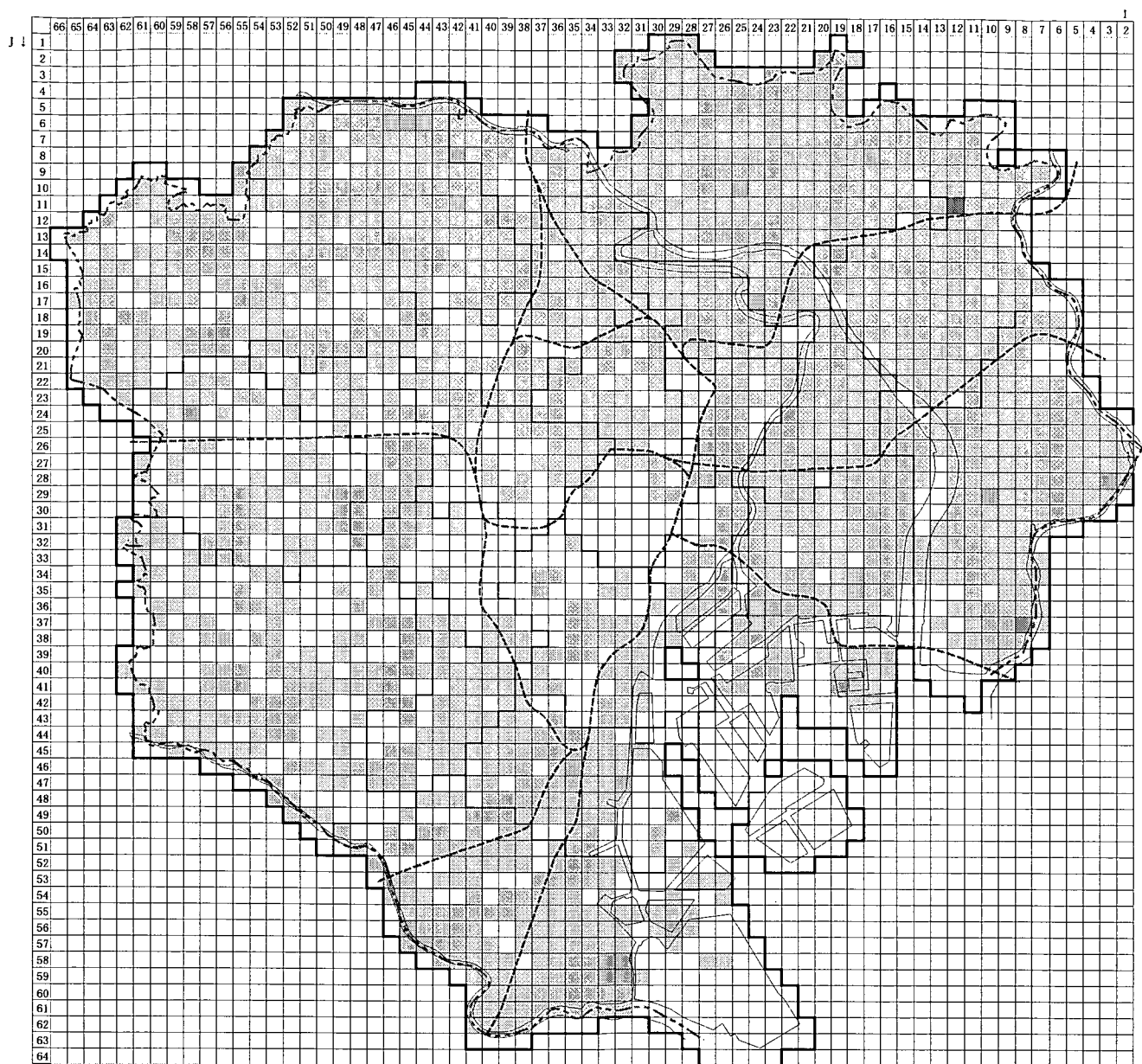


図-3.6 東京における年間エネルギー消費量の推移と将来予測

表-3.5 民間工場からの人工排熱量

項目	現状(1996)	将来(2010)	備考
工場数	26,774	—	●工業統計調査の対象となる日本標準産業分類の製造業を主業とする従業者4人以上の事業所（大都市統計協議会「大都市比較統計年表」より）
エネルギー消費量合計	11,763Tcal/年 (1995)	10,708Tcal/年	●東京都エネルギービジョンより、鉱業・製造業エネルギー消費量を取り上げ、都全体と23区の工業製品出荷額の比(100:59)により按分したもの。 ●「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）による推計では、燃料油・LPG・都市ガス・購入電力の合計として、1990年の区部工場エネルギー消費量を15,055Tcal/年としている。
人工排熱量	約49,240TJ/年 (1995)	約44,830TJ/年	●参考）建物排熱量 現状：230,317TJ/年 将来：329,035TJ/年



図－3. 7 民間工場からの日排熱量（将来：8月）

3.4 自動車交通

23区における自動車交通からの排熱量を2種類の方法で推計した。第1の方法は、道路交通センサスに基づく交通量データと燃料消費原単位を用いて、面的分布及び時刻変動までの把握を行うものである。しかし、この積上げによる推計には、センサスで把握されない交通量（区道等）の扱いや積算による誤差等が含まれ、年間総排熱量の把握に適した手法とは言えない。第2の方法は、燃料販売実績等の供給量ベースで把握された自動車エネルギー消費量の既存推計結果を用いて、東京都区部の自動車排熱量を推計する方法である。以下に2つの方法の概要を説明する。

3.4.1 道路交通センサスと燃料消費原単位を用いた排熱量の推計

自動車交通からの排熱量を、道路交通センサスと燃料消費原単位から推計する手順は次のようである。

- 1) センサスデータの観測地点に代表される調査路線図上に、500mメッシュの格子を重ねてメッシュ内を通る路線を読み取り、該当する路線番号（＝観測地点番号）を各メッシュに割り当てる。
- 2) 平成9年度のセンサスの交通量データ³¹⁾に基づき、観測地点毎の平日12時間または24時間の通過交通量を別途データ入力する。
- 3) 夜間データ（19時～翌7時）を欠く観測地点においては、24時間観測地点における高速道・一般道別の平均夜間時刻パターンをもとに、欠測分の夜間交通量を推計し、全観測地点について24時間データを整備する。
- 4) 調査時間帯における車種別（乗用車、バス、小型貨物車、普通貨物車別）合計台数を基に、観測地点毎の車種別、時刻別交通量を推計する。
- 5) 4) で求めた観測地点別・車種別・時刻別の交通量データを基に、運輸省データの車種別燃料消費量³²⁾を用いて、観測地点毎に調査路線0.5km（メッシュ内走行距離）区間内での時刻別排熱量を求める。
- 6) 各メッシュに割り当てた観測地点番号を基に、メッシュ内複数路線からの合計排熱量を各メッシュに算定し、メッシュ別の平日時刻別自動車排熱量データを得る。

この方法は、時間単位や日単位での排熱量の空間分布を算出することができる。しかし、ここでは将来の交通量パターンを予測していないため、将来の自動車交通からの排熱量やその空間分布の変化に関しては推計することができない。

3.4.2 燃料販売実績からの排熱量の推計

前出の「東京都エネルギービジョン」では東京都全体の運輸部門（自動車、鉄道、船舶、航空）エネルギー消費量の推移及び将来予測値が掲載されている。第2の方法ではそこでの値を引用した。東京都全体量から区部分への按分には、それぞれの保有台数の比率を用いた。さらにここでは、消費エネルギー分の全てが最終的に排熱になると想定した。

3.4.3 自動車交通からの排熱量の推計結果

（1）年間排熱量

燃料販売実績から推計した自動車交通からの年間排熱量を表-3.6に示す。供給量ベースでの推計では、建物排熱の5割から7割程度の排熱が自動車交通から排出されているものと予想される。なお、表中の自動車

交通からの排熱量は、道路交通センサスに基づいた結果の2倍弱となっており、両者の間に大きな隔たりがある。自動車交通からの排熱は気温の形成に大きな影響を及ぼしている可能性が高いため、今後、正確なデータの整備を進める必要がある。なお、ここで得られた排熱量の23区全体での平均値は305MJ/年m²であり、金らの推計値である341MJ/年m²と同程度となっている。

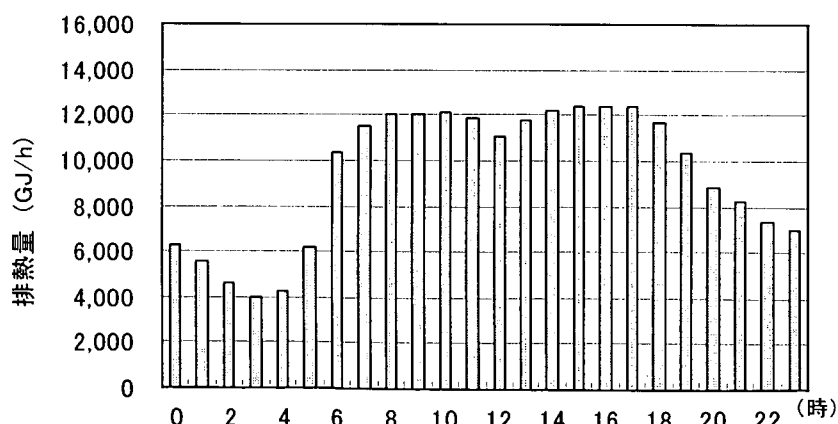
表－3. 6 自動車交通からの人工排熱量の推計結果

項 目	現状(1996)	将来(2010)	備 考
区部保有台数	2,385,162 台	—	●H8.3月末現在での東京23区内の登録自動車(貨物車、乗合車、乗用車、特種(殊)用途車)の合計台数
エネルギー消費量合計	38,264 Tcal/年 (1995)	39,798 Tcal/年	●東京都エネルギービジョンより、運輸部門中の自動車によるエネルギー消費量を取り上げ、都全体と23区の総登録自動車台数の比(≒100:65)により按分したもの。 ●参考として、「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)による推計では、ガソリン・軽油・LPGの合計として、1990年の区部自動車エネルギー消費量を37,226Tcal/年としている。
人工排熱量	約160,173 TJ/年 (1995)	約166,596 TJ/年	●参考) 建物排熱量 現状：230,317TJ/年 将来：329,035TJ/年

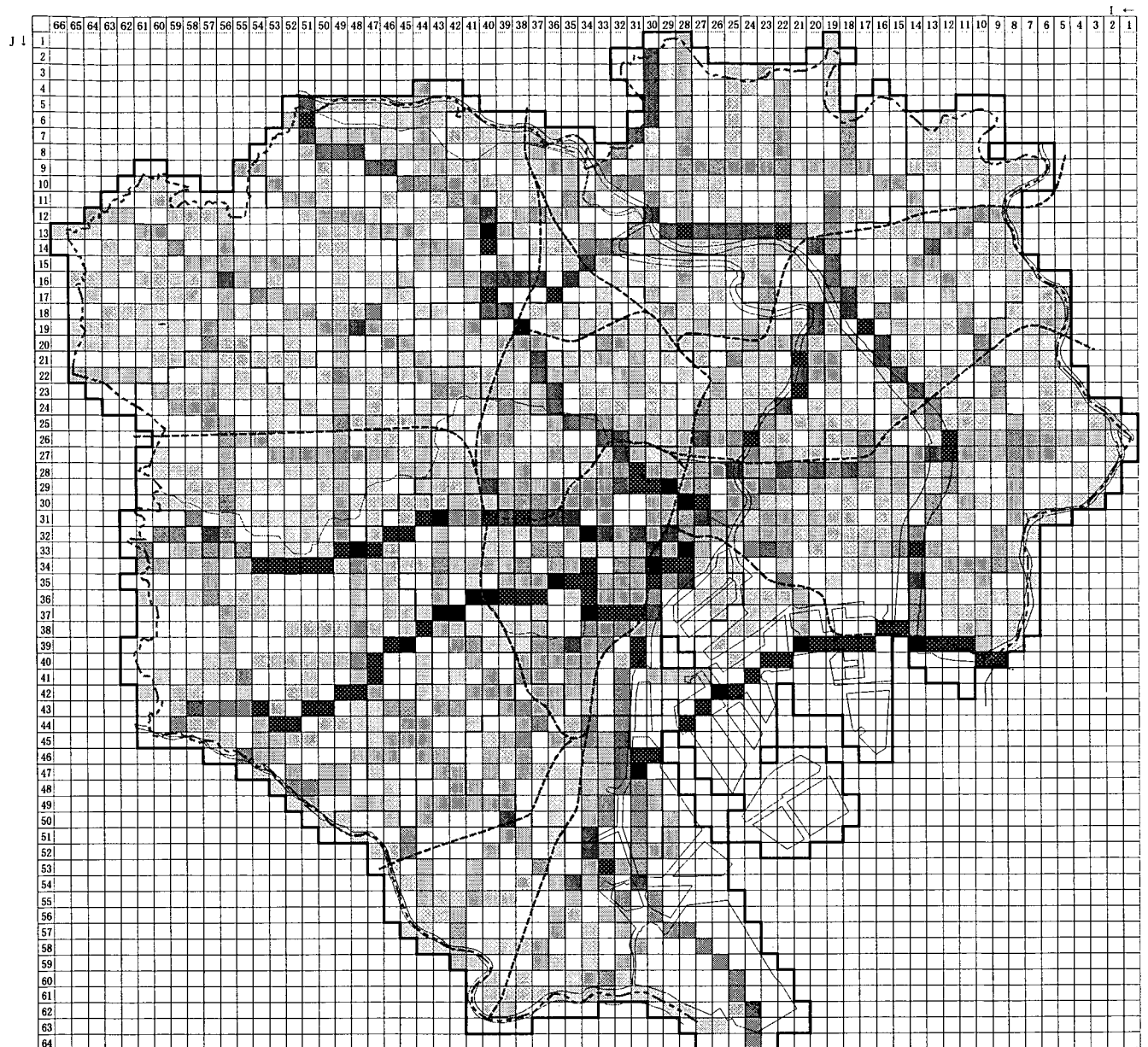
(2) 排熱量の時間的変化と日排熱量の分布

道路交通センサスに基づいた排熱量の時間変化を図－3.8に示す。排熱量は6時から19時頃まで高い値を示している。夜間の排熱量は、日中の半分程度に減少するが、夜間における建物排熱の総量(図－2.23参照)と同程度である。このため、日射のない夜間においては道路交通からの排熱が都市の熱環境に大きな影響を与えていると推測できる。

図－3.9に自動車交通からの日排熱量の分布を示す。1メッシュ当たりの自動車排熱量の最大値は728GJ/日であり、建物排熱と比較すると小さいものの、幹線道路にかかるメッシュではその影響を無視することはできない。



図－3. 8 自動車交通からの排熱の時間的変化



平日23区合計 : 226,389GJ/日
 最大メッシュ : 728GJ/日

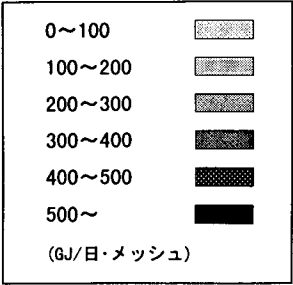


図-3.9 自動車交通からの日排熱量 (現状)

3. 5 人工排熱量の比較

上述の検討結果をもとに、東京23区内における主な排熱源別の人工排熱量について考察する。

3. 5. 1 年間排熱量の比較

表-3.7に排熱源別の人工排熱量をまとめている。これより、23区全体での年間排熱量としては、建物排熱が最も大きく、次いで自動車交通、民間工場、清掃工場、火力発電所と続いていることがわかる。

なお、1メッシュ当りの排熱量としてみると、火力発電所が最も大きく、次に清掃工場、建物排熱となっている。自動車、民間工場からの排熱は、排熱の発生源が広く分布しているため、1メッシュ当りでみると密度は低い。

表- 3. 7 主な排熱源別の23区全体での年間排熱量

排熱源	人工排熱量推計結果	
	現状(1996)	将来(2010)
火力発電所	5,390TJ/年	9,760TJ/年
清掃工場	23,920TJ/年	22,580TJ/年
民間工場	49,240TJ/年	44,830TJ/年
自動車交通	160,173TJ/年	166,596TJ/年
建物排熱	230,317TJ/年	329,035TJ/年

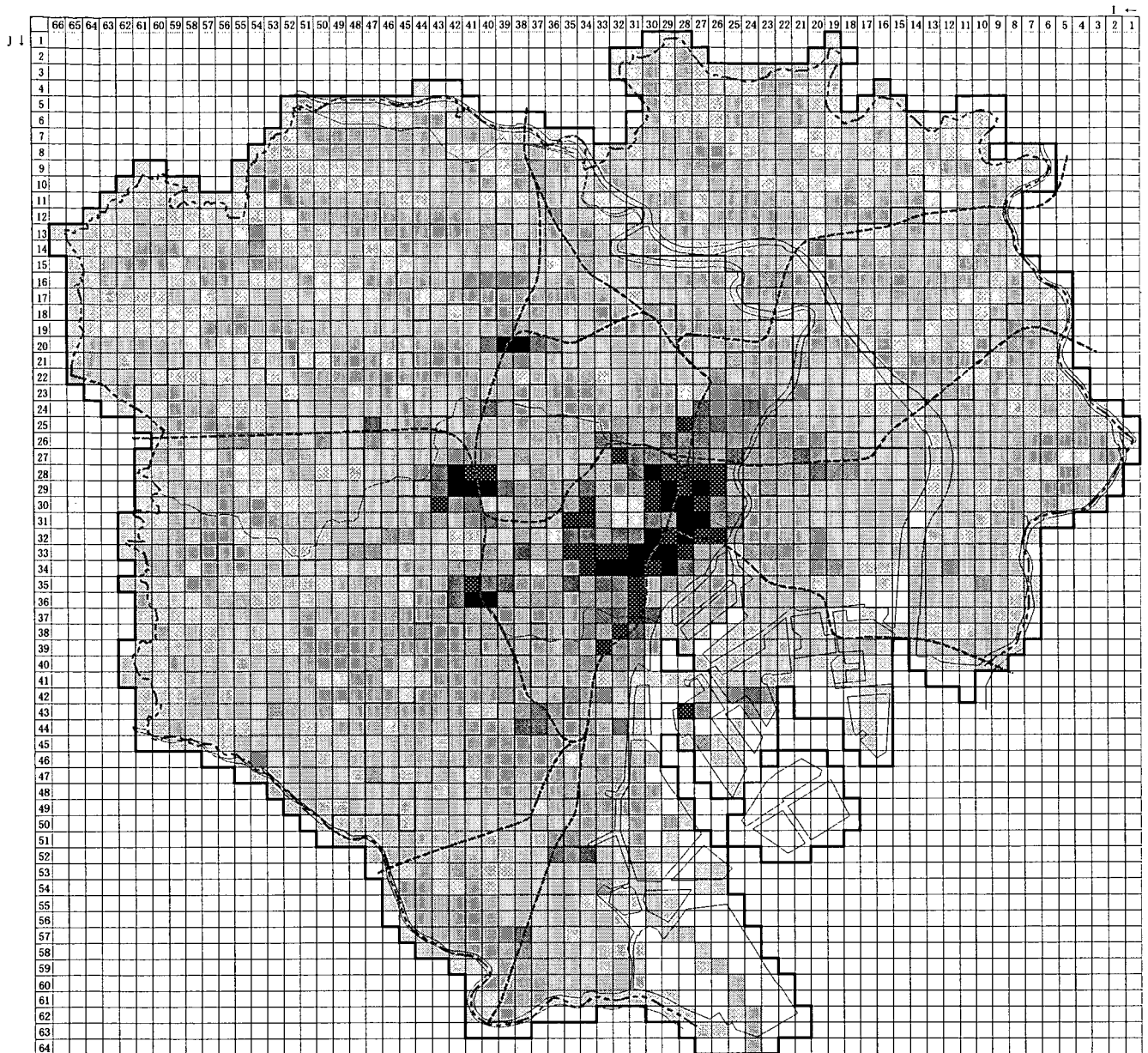
3. 5. 2 時間排熱量の特性

都市の気温上昇が問題化する8月を対象に、主たる排熱源である建物排熱と自動車排熱について、時間当たりの排熱量を示す。

まず、建物排熱と幹線道路上の自動車交通からの排熱の合計量を、現状の日中(13時から14時)と夜間(23時から24時)について例示したものが図-3.10である。日中の排熱量は、図-2.20の建物排熱と類似の分布形状となっており、千代田区や新宿区等で高い値を示している。一方、夜間では建物からの排熱量の減少に伴い、幹線道路の自動車からの排熱量の影響が顕著になる。日中においても一部の幹線道路の影響を認めることができるが、夜間では幹線道路が明瞭に判別できる程度に影響を与えていることがわかる。

将来の夏期の日中と夜間における建物排熱と自動車排熱の合計の分布を図-3.11に表す。現状を示す前図と比較すると、排熱量がさらに増加するとともに、高い排熱量の地区が昼夜に関わらず拡大していることがわかる。ちなみに、冷房と電力の需要の伸びにより、建物排熱の日中の最大値は1メッシュ当たり665GJ/h(約740W/m²)に達すると予想される。

このような高い人工排熱の地区の拡大は都市の熱環境を著しく悪化させることにつながりかねず、熱環境を改善するために、水面や緑地の保全と並行して、人工排熱を抑制するための様々な対策を実施することが必要である。



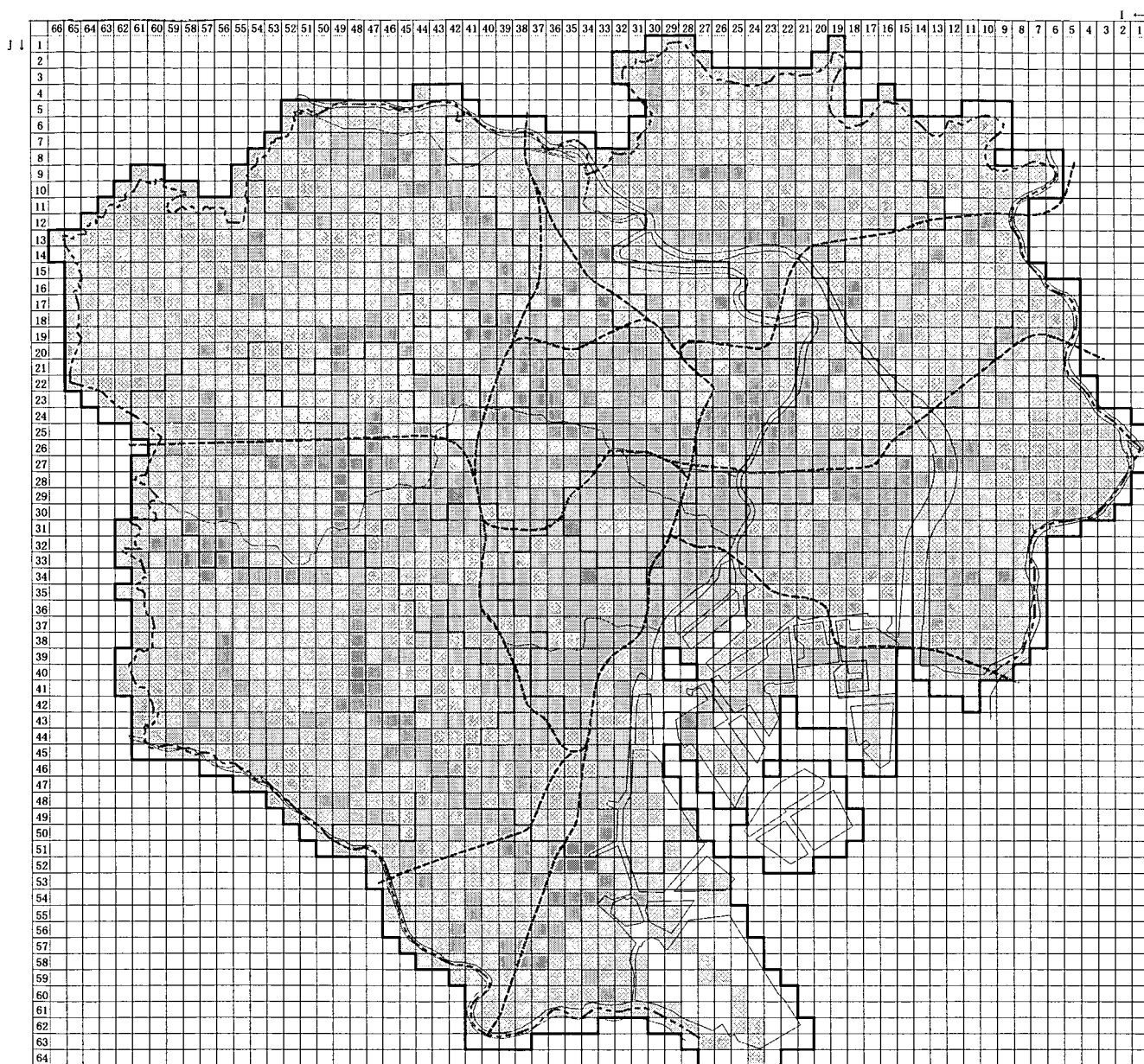
現状 8月代表日 建物総排熱+自動車排熱 13~14時

全メッシュ合計 : 68,982GJ/h
最大メッシュ : 435GJ/h (I, J)=(39, 20)

0	□	: 231メッシュ
0~10	□	: 742メッシュ
10~50	□	: 1454メッシュ
50~100	□	: 195メッシュ
100~150	□	: 58メッシュ
150~200	□	: 34メッシュ
200~	■	: 24メッシュ
(GJ/h・メッシュ) (計2738メッシュ)		

(a) 13時から14時

図-3. 10 建物と自動車交通からの排熱量の比較 (現状)



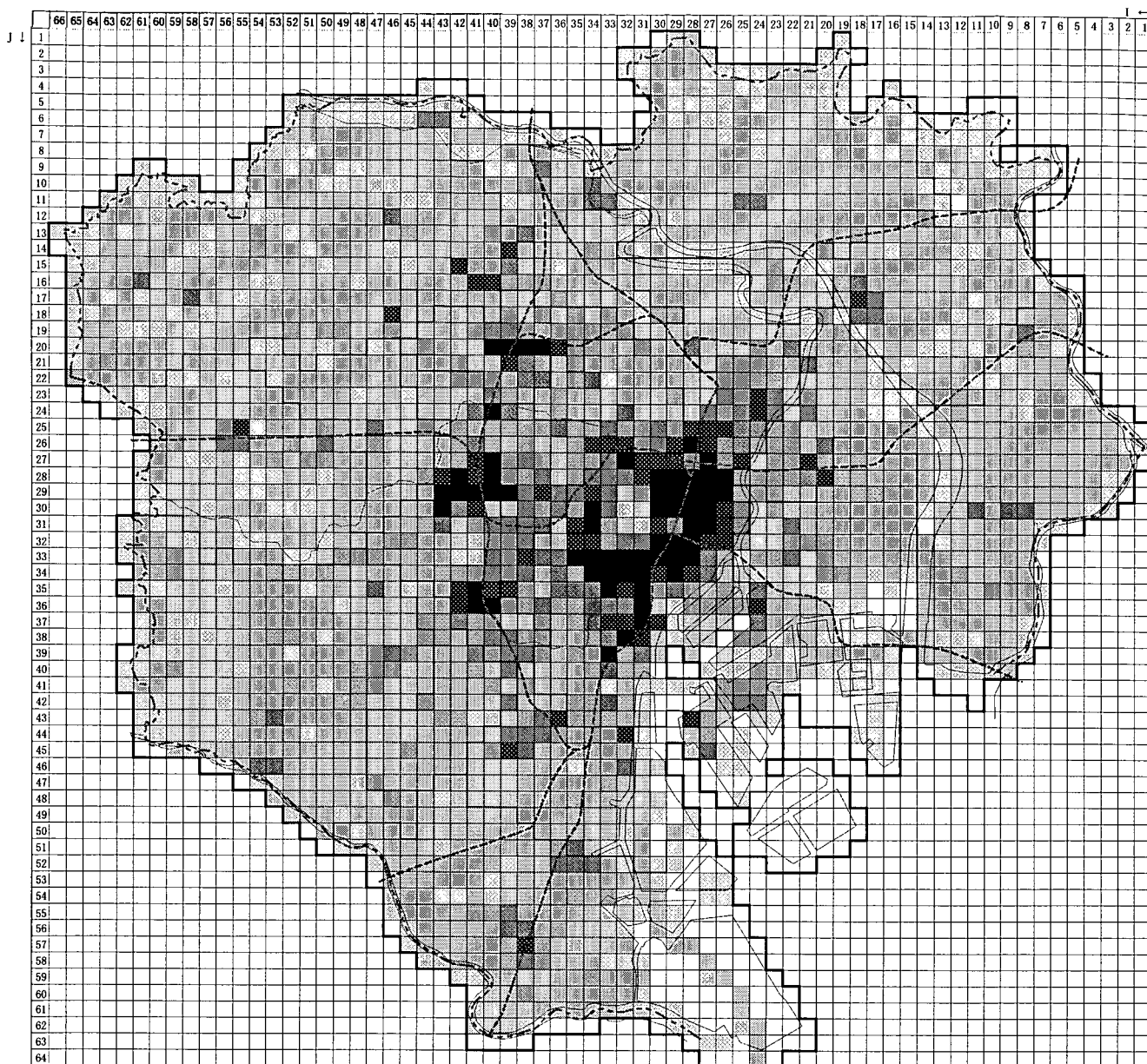
現状 8月代表日 建物総排熱+自動車排熱 23~24時

全メッシュ合計 : 21,162GJ/h
最大メッシュ : 80GJ/h (I, J)=(28, 43)

0 : 231メッシュ
0~10 : 1744メッシュ
10~50 : 758メッシュ
50~100 : 5メッシュ
100~150 : 0メッシュ
150~200 : 0メッシュ
200~ : 0メッシュ
(GJ/h・メッシュ) (計2738メッシュ)

(b) 23時から24時

図-3. 10 建物と自動車交通からの排熱量の比較 (現状)



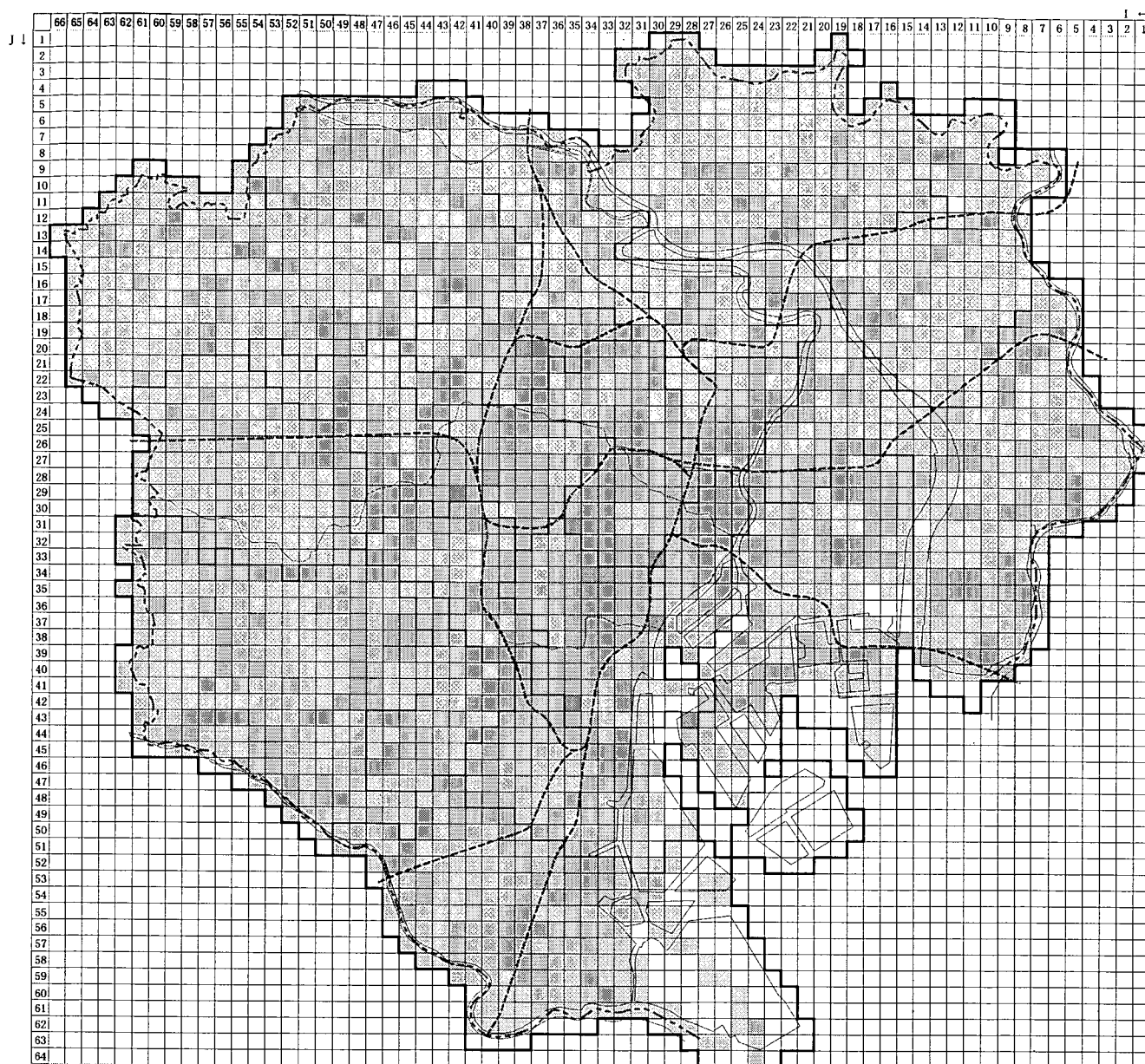
将来8月代表日 建物総排熱+自動車排熱 13~14時

全メッシュ合計 : 101,169GJ/h
最大メッシュ : 674GJ/h (I, J)=(38, 20)

0	□	: 229メッシュ
0~10	░	: 496メッシュ
10~50	▒	: 1506メッシュ
50~100	▓	: 252メッシュ
100~150	■	: 137メッシュ
150~200	■	: 58メッシュ
200~	■	: 60メッシュ
(GJ/h・メッシュ) (計2738メッシュ)		

(a) 13時から14時

図-3. 11 建物と自動車交通からの排熱量の比較 (将来)



将来8月代表日 建物総排熱+自動車排熱 23~24時

全メッシュ合計 : 25,203GJ/h
最大メッシュ : 93GJ/h (I, J)=(34, 34)

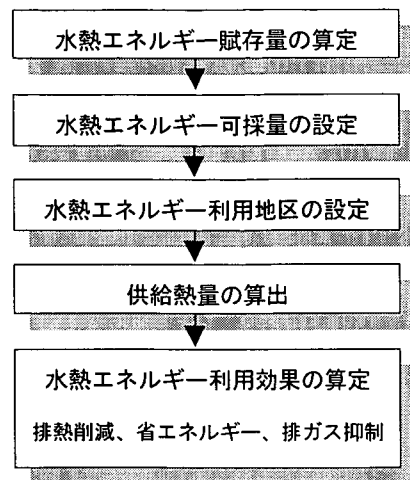
0 : 229メッシュ
0~10 : 1535メッシュ
10~50 : 963メッシュ
50~100 : 11メッシュ
100~150 : 0メッシュ
150~200 : 0メッシュ
200~ : 0メッシュ
(GJ/h・メッシュ) (計2738メッシュ)

(b) 23時から24時

図-3. 11 建物と自動車交通からの排熱量の比較 (将来)

4. 水熱エネルギー利用の効果の算定

この章では、東京都23区内の下水、河川水、地下水の熱エネルギーを活用する地域冷暖房システム（DHC：District Heating and Cooling System）を2010年時点で整備することにより、ヒートアイランドに寄与する人工排熱をどの程度削減できるかを評価する。同時に、水熱エネルギー利用による排ガスの抑制、省エネルギー効果も検討する。そのため、図-4.1に示すように、潜在的な水熱エネルギーの賦存量の推計、実際の利用を想定した場合の利用可能な量（可採量）の設定、DHCの導入地区の設定を行い、供給できる熱量を算出するとともに、水熱エネルギー利用の効果（排熱削減、省エネルギー、排ガス抑制）を算定する。



4.1 水熱エネルギー利用の特徴

図-4.1 水熱エネルギー利用効果の算定手順

まず、水熱エネルギーの算出に先立ち、従来のエネルギーシステムとの比較により、水熱エネルギー利用システムの主な利点と問題点を整理する。

〔利点〕

- 熱製造効率の向上による年間エネルギー消費量の削減
- CO₂やNO_x等の排ガスを削減することによる環境の保全
- 夏期の室外機・冷却塔からの排熱がなくなることによる都市のヒートアイランドの緩和
- 電力・熱需要のピークカット
- 冷却・加熱塔が不要になることによる上水消費量の削減
- 電力、上水消費量の削減による建物ランニングコストの削減

〔問題点〕

- 取放水及び熱源水搬送等での許認可手続き、管理者との調整：制度面の問題
- 水域の温度変化に伴う環境影響上の制約、水熱エネルギー量の安定性：利用可能量の問題
- 取放水・導水・熱交換等の付帯施設整備に伴う初期投資負担の増加：コスト面の問題
- 水質対応のための機器耐久・耐食性への配慮、スケール対策等メンテナンスの手間：技術面（ハード）の問題
- システム計画の煩雑性、アセスメント調査等の労力：技術面（ソフト）の問題

4.2 水熱エネルギーの賦存量の算定

東京都23区内に賦存する水熱エネルギーとして、下水（下水処理場、汚水ポンプ所、下水幹線）、河川水（荒川、隅田川、神田川、日本橋川、渋谷川）、及び地下水を取り上げ、潜在的なエネルギー量である賦存量を順次推計する。

4. 2. 1 下水処理場

23区では、平成8年度末で12の下水処理場が稼働しており、将来計画ではさらに2ヶ所の下水処理場（台東区：蔵前処理場、北区：新河岸東処理場）を建設する予定である。下水量については、現状12施設の合計処理能力約638万 m^3 /日に対して、平成8年度実績は約 $1,699 \times 10^6 \text{ m}^3$ /年、日平均で約466万 m^3 /日となっている³³⁾。処理場における水熱エネルギーとしては、流入下水（未処理水）よりも機器の耐食・耐久性の面で有利な二次処理以上の処理水（高級または高度処理水）の利用を想定する。全処理場の高級または高度処理水放流量の合計は、平成8年度実績で約 $1,545 \times 10^6 \text{ m}^3$ /年、日平均で約423万 m^3 /日である。

下水処理場の水熱エネルギー賦存量は次式により算定する。

$$Q = 4.186 \cdot V \cdot \Delta t \cdot c \quad (4.1)$$

ここで、 Q ：水熱エネルギー賦存量(単位：MJ)、 V ：高級または高度処理水放流量(m^3)、 Δt ：ヒートポンプ設計温度差（ $=5^\circ\text{C}$ ）、 c ：水の比熱（ $=1.0 \text{ (Mcal/m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ ）である。現状の高度処理水の放流量については、平成8年度の処理場別月報の実績値を使用するが、将来の放流量については次のように推計した。

- 1) 全処理場の合計処理能力の将来増加率（現状6,384千 m^3 /日→将来6,894千 m^3 /日：約1.08倍）をもとに、将来の全処理場からの放流量を算出する。
- 2) 上記の全放流量を、現状の処理区別放流量の比率で配分し、将来の処理区別の放流量を設定する。
- 3) 上記の処理区別放流量を、現状の処理場別放流量の比率で配分し、将来の処理場別放流量を想定する。

ただし、処理場が新設される三河島と新河岸処理区については、将来の処理場別処理能力の比率で配分し、将来の処理場別放流量を算出する。

この方法に基づき推計した下水処理場の年間水熱エネルギー賦存量を表-4.1に示す。2010年時点での賦存量は合計で34,925TJ/年と推計される。また処理場別では、森ヶ崎水処理センターの東処理施設が最も大きく、6,110TJ/年となっている。

4. 2. 2 下水ポンプ所

ポンプ所については、定常的なエネルギー利用が可能な污水ポンプ所を対象とし、雨水ポンプ所は除外した。23区では現在55の污水ポンプ所が稼働している。平成8年度の污水揚水量実績は全ポンプ所合計で約 $520 \times 10^6 \text{ m}^3$ /年、日平均で約142万 m^3 /日となっている。なお、将来計画における污水ポンプ所は、基本的に既設の更新となる。

污水ポンプ所の水熱エネルギー賦存量は次式により算定する。

$$Q = 4.186 \cdot V \cdot \Delta t \cdot c \quad (4.2)$$

ここで、 Q ：水熱エネルギー賦存量、 V ：污水揚水量、 Δt ：ヒートポンプ設計温度差（ $=5^\circ\text{C}$ ）、 c ：水の比熱である。将来の施設数は現状維持とし、将来の揚水量は前述の下水処理場での処理量の増加率（約1.08倍）を用いて想定した。

表-4.2に推定結果を示す。2010年における污水ポンプ所の水熱エネルギー賦存量は、合計で11,755TJ/年と推計される。また、ポンプ所別では施設間の差が大きく、最大の湯島ポンプ所（三河島処理区：1,677TJ/年）から、小さいものでは1TJ/年に満たないポンプ所まである。

表-4. 1 下水処理場の水熱エネルギー賦存量

	処理場名	創設	処理能力 m³/日		処理区	メッシュno.		高級+高度処理水放流量 m³/年		水熱エネルギー賦存量 TJ/年	
			現状	将来		I	J	現状(H8実績)	将来(想定)	現状(1996)	将来(2010)
1	芝浦水処理センター	S6.3	1,130,000	1,130,000	芝浦	33	41	221,705,400	239,360,500	4,640	5,010
2	三河島処理場	T11.3	700,000	700,000	三河島	25	17	176,246,600	175,259,500	3,689	3,668
3	中川処理場	S59.4	225,000	225,000	中川	14	10	56,180,850	60,654,700	1,176	1,270
4	小台処理場	S37.4	358,000	358,000	小台	32	14	107,747,800	116,328,100	2,255	2,435
5	新河岸処理場	S49.9	705,000	705,000	新河岸	49	5	184,539,500	121,611,000	3,862	2,545
6	砂町水処理センター	S5.2	680,000	680,000	砂町	17	36	142,463,600	153,808,500	2,982	3,219
7	有明処理場	H7.9	30,000	30,000	砂町	26	41	1,093,970	1,573,300	23	33
8	小菅処理場	S52.6	250,000	250,000	小菅	19	15	59,275,700	63,996,000	1,241	1,339
9	葛西処理場	S56.9	400,000	400,000	葛西	13	38	102,759,190	110,942,200	2,151	2,322
10	落合処理場	S39.3	450,000	450,000	落合	42	24	89,457,350	96,581,100	1,872	2,021
11	中野処理場	H7.7	46,000	46,000	落合	48	23	9,719,830	10,493,900	203	220
12	森ヶ崎水処理センター		1,410,000	1,410,000	森ヶ崎			394,021,100	425,398,300	8,247	8,904
	(東処理施設)	S42.4	(930,000)	(930,000)		31	55	(270,407,000)	(291,940,400)	(5,660)	(6,110)
	(西処理施設)	S50.3	(480,000)	(480,000)		32	57	(123,614,100)	(133,457,900)	(2,587)	(2,793)
14	蔵前処理場	(建設中)		60,000	三河島	24	26		15,022,200		314
15	新河岸東処理場	(建設中)		450,000	新河岸	42	7		77,624,000		1,625
合 計			6,384,000	6,894,000				1,545,210,890	1,668,653,300	32,341	34,925

* 水熱エネルギー利用の検討は、将来2010年時点を対象に行う。

* 落合処理場は高級+高度処理。有明処理場は全量高度処理(H8.7月稼働開始)。

* 将来の高級又は高度処理水放流量は以下の手順で想定した。

1. 全処理場合計処理能力の将来増加率(約1.08倍)をもとに、将来の全処理場合計放流量を想定。

2. 上記合計放流量を、現状の処理区別放流量の比率で配分し、将来の処理区別放流量を想定。

3. 上記処理区別放流量を、現状の処理場別放流量の比率で配分し、将来の処理場別放流量を想定。但し、処理場が新設される三河島及び新河岸処理区については、将来の処理場別処理能力の比率で配分し、将来の処理場別放流量を想定。

表-4. 2 下水ポンプ場の水熱エネルギー賦存量

	ポンプ所名	揚水能力 m ³ /分	処理区	メッシュno.		汚水揚水量 m ³ /年		水熱エネルギー賦存量 TJ/年	
				I	J	現状(H8実績)	将来(想定)	現状(1996)	将来(2010)
1	銭瓶町	918,720	芝浦	28	30	56,294,540	60,798,100	1,178	1,273
2	品川ふ頭	17,280	芝浦	31	44	270,240	291,900	6	6
3	天王州	21,600	芝浦	32	44	446,420	482,100	9	10
4	南千住	69,120	三河島	23	18	2,640,630	2,851,900	55	60
5	橋場	11,520	三河島	21	19	391,890	423,200	8	9
6	汐入	47,520	三河島	22	18	1,114,510	1,203,700	23	25
7	和泉町	47,520	三河島	27	27	1,423,040	1,536,900	30	32
8	町屋	191,520	三河島	25	16	14,841,140	16,028,400	311	335
9	湯島	604,800	三河島	29	25	74,197,200	80,133,000	1,553	1,677
10	梅田	367,200	中川	24	13	14,737,380	15,916,400	308	333
11	志茂	69,120	小台	35	10	2,441,690	2,637,000	51	55
12	新田	132,480	小台	33	11	2,578,230	2,784,500	54	58
13	浮間	669,600	新河岸	43	7	19,848,690	21,436,600	415	449
14	木場	612,000	砂町	20	33	56,502,460	61,022,700	1,183	1,277
15	東雲	95,760	砂町	21	36	5,186,490	5,601,400	109	117
16	有明	8,640	砂町	24	44	66,890	72,200	1	2
17	東雲南	72,000	砂町	22	40	3,703,470	3,999,700	78	84
18	青海ふ頭	41,760	砂町	26	44	2,955,980	3,192,500	62	67
19	新砂	92,160	砂町	16	37	4,882,850	5,273,500	102	110
20	新木場	10,080	砂町	18	40	159,540	172,300	3	4
21	若州	8,640	砂町	17	43	97,460	105,300	2	2
22	三之橋	241,920	砂町	22	29	21,302,620	23,006,800	446	482
23	大島	515,520	砂町	16	28	30,592,450	33,039,800	640	692
24	小松川		砂町	16	26	6,225,150	6,723,200	130	141
25	業平橋	164,160	砂町	22	25	8,653,410	9,345,700	181	196
26	吾嬬	403,200	砂町	17	23	8,681,400	9,375,900	182	196
27	限田		砂町	20	19	3,189,470	3,444,600	67	72
28	佃島		砂町	25	35	39,880	43,100	1	1
29	千住		砂町	20	18	1,390,590	1,501,800	29	31
30	千住西		砂町	24	15	555,770	600,200	12	13
31	台場その1	25,920	砂町	28	43	326,150	352,200	7	7
32	台場その2	25,920	砂町	27	42	544,550	588,100	11	12
33	青海その1	28,800	砂町	27	45	186,930	201,900	4	4
34	青海その2	34,560	砂町	27	44	55,850	60,300	1	1
35	有明南その1	23,040	砂町	24	43	214,320	231,500	4	5
36	有明南その2	28,800	砂町	24	42	265,460	286,700	6	6
37	有明北その2	17,280	砂町	26	41	20,550	22,200	0.4	0.5
38	本田	331,200	小菅	15	21	7,694,310	8,309,900	161	174
39	堀切	285,120	小菅	18	18	6,439,790	6,955,000	135	146
40	亀有	80,640	小菅	12	14	2,371,140	2,560,800	50	54
41	東小松川	777,600	葛西	12	29	27,276,760	29,458,900	571	617
42	西小松川	82,080	葛西	12	25	3,386,060	3,656,900	71	77
43	篠崎	1,483,200	葛西	3	29	45,746,730	49,406,500	957	1,034
44	新小岩	365,760	葛西	14	23	7,211,010	7,787,900	151	163
45	平和島	172,800	森ヶ崎	33	53	10,026,370	10,828,500	210	227
46	大森東	358,560	森ヶ崎	33	54	8,071,460	8,717,200	169	182
47	鮫州	120,960	森ヶ崎	33	48	5,617,300	6,066,700	118	127
48	浜川	28,800	森ヶ崎	33	49	1,037,400	1,120,400	22	23
49	東海	60,480	森ヶ崎	29	50	504,850	545,200	11	11
50	八潮	172,800	森ヶ崎	32	50	2,928,360	3,162,600	61	66
51	京浜島	15,984	森ヶ崎	30	55	948,970	1,024,900	20	21
52	羽田	207,360	森ヶ崎	31	59	22,818,000	24,643,400	478	516
53	六郷	99,360	森ヶ崎	37	61	8,406,730	9,079,300	176	190
54	矢口	101,376	森ヶ崎	42	58	12,277,000	13,259,200	257	278
55	城南島	37,440	森ヶ崎	28	53	257,500	278,100	5	6
合 計		10,399,680				520,045,030	561,648,700	10,885	11,755

4. 2. 3 下水幹線

23区内の下水管渠総延長は、平成8年度末現在で約14,900kmであり、そのうち幹線部分の延長は約960kmとなっている。

下水幹線の水熱エネルギー賦存量については、重複計上を避けるために、末端部分の流量、即ち処理区毎の処理場流入の下水流量合計に利用温度差を乗じたものを総量とし、これを下水道局の資料による各幹線の流量比率で振り分けたものを各幹線における賦存量とした。また、将来の幹線数は現状維持とし、将来の流入下水流量については下水処理場水の将来増加率（約1.08倍）を用いて想定した。これにより1幹線1箇所での利用として340の汚水幹線の水熱エネルギー賦存量を推計した。

具体的には、第*i*処理区の幹線賦存量は次のように算出した。

$$Q_i = 4.186 \cdot V_i \cdot \Delta t \cdot c \quad (4.3)$$

Q_i : *i* 処理区内賦存量、 V_i : *i* 処理区内処理場流入下水流量、 Δt : ヒートポンプ設計温度差（=5℃）、 c : 水の比熱である。これより、第*i*処理区内の*j*幹線の賦存量を次式により求めた。

$$q_{ji} = \alpha_j Q_i \quad (4.4)$$

ここで、 q_{ji} : *i* 処理区内の*j*幹線賦存量、 α_j : *j* 幹線の流量比率である。

将来時点での下水幹線の水熱エネルギー賦存量は、表-4.3のように、合計で38,410TJ/年と推計される。

表-4. 3 下水幹線の水熱エネルギー賦存量

項 目	現状(1996)	将来(2010)	備 考
下水幹線数	340	340	将来も現状維持と仮定。 1 幹線 1 箇所として熱利用地点を設定。
流入下水流量計	1,699,243,540 m ³ /年(実績)	1,835,183,300 m ³ /年(想定)	末端流量である処理場への流入下水流量を総量と考える。 下水処理場で検討した将来増加率(約1.08倍)をもとに将来流入下水流量を想定。
水熱エネルギー 賦存量	35,565TJ/年	38,410TJ/年	参考) 建物熱需要量 現状 : 159,634TJ/年 将来 : 218,744TJ/年

4. 2. 4 河川

対象河川は、荒川、隅田川、神田川、日本橋川、渋谷川の5河川とする。

河川の水熱エネルギー賦存量は次式により算定する。これは年間を通じて低水流量（または平常時の観測流量の平均値）^{34,35)}の全量の温度差を利用すると想定した場合の賦存量である。

$$Q = 4.186 \cdot V \cdot \Delta t \cdot c \quad (4.5)$$

ここで、 Q : 水熱エネルギー賦存量、 V : 河川水量、 Δt : ヒートポンプ設計温度差（=5℃）、 c : 水の比熱である。将来の河川流量については現状維持と仮定し、河川毎に水熱エネルギー賦存量を推計した。

5河川合計の賦存量は、表-4.4に示すように、12,666TJ/年と推計される。

表－4. 4 河川の水熱エネルギー賦存量

項 目	現状(1996)	将来(2010)	備 考
対象河川数	5	5	都市内を流れる荒川、隅田川、神田川、日本橋川、渋谷川の5河川に設定
想定年間流量計	605,175,840 m ³ /年	605,175,840 m ³ /年	河川別の流量データ(低水流量、または平常時の観測流量の平均値)をもとに、単純に年流量を算出(×3600×8760)
水熱エネルギー 賦存量	12,666TJ/年	12,666TJ/年	参考) 建物熱需要量 現状：159,634TJ/年 将来：218,744TJ/年

4. 2. 5 地下水

東京地域では、過去地下水の大量の揚水に伴い地盤沈下が生じていたが、揚水規制により現在では沈静化し、地下水位も回復しつつある。地下水揚水規制に関する主な施策には、揚水施設の構造の規制と地下水の使用合理化の指導がある。揚水施設の構造の規制は「工業用水法」、「建築物用地下水の採取の規制に関する法律（ビル用水法）」、及び「東京都公害防止条例」に基づいて行われる。このうち法律では、規制対象地域内において、吐出口断面積とストレーナー深度が一定の要件に該当しない井戸の設置は、既設・新設とも禁止とし、条例では新設のみを禁止している。既設の揚水施設の揚水量は毎年報告されている³⁶⁾。

ここでは、地下水の水熱エネルギー賦存量算定に用いる水量として、東京都区部における地下水の総量ではなく、全揚水量（工場用、指定作業場用、上水道等用の合計）を用いて試算を行う。

$$Q = 4.186 \cdot W \cdot \Delta t \cdot c \quad (4.6)$$

Q ：水熱エネルギー賦存量、 W ：地下水揚水量（現状の全揚水施設を対象）、 Δt ：ヒートポンプ利用温度差（＝7℃）、 c ：比熱である。なお、利用温度差 Δt については、高崎市の地下水利用地域冷暖房地区における実績（夏期冷房用に $\Delta t=18^{\circ}\text{C}$ 利用：取水 18°C →還水 36°C ）の例も考慮し、年平均 $\Delta t=7^{\circ}\text{C}$ （メーカー資料より設定）として賦存量を算定する。また、揚水量の経年推移は微減の傾向を示すものの安定化しているため、将来の揚水量については現状維持と仮定した。

表－4.5に23区全体での地下水の水熱エネルギー賦存量を示すが、1,172TJ/年と推計される。

表－4. 5 地下水の水熱エネルギー賦存量

項 目	現状(1996)	将来(2010)	備 考
事業所数	287	同左	揚水量報告義務のある一定規模以上の揚水施設(揚水機吐出口断面積合計21cm ² 以上)の設置者
井戸数	408	同左	上記設置者のみによる合計井戸数
年間総揚水量	39,989,850 m ³ /年	39,989,850 m ³ /年	揚水量報告義務のある一定規模以上の揚水施設：実績(揚水機吐出口断面積合計21cm ² 以上) 工場合計：6千m ³ /日、指定作業場合計：17千m ³ /日 上水道等合計：9千m ³ /日 吐出口断面積合計21cm ² 未満：推定 工場合計：20千m ³ /日、指定作業場合計：55千m ³ /日 上水道等合計：3千m ³ /日 上記数値はH8年度東京都地下水揚水量調査報告書より把握 将来揚水量は現状維持と仮定
水熱エネルギー 賦存量	1,172TJ/年	1,172TJ/年	参考) 建物熱需要量 現状：159,634TJ/年 将来：218,744TJ/年

4. 2. 6 水熱エネルギー賦存量の比較

水源別の年間水熱エネルギー賦存量を表-4.6に整理する。地下水以外は利用温度差を5℃と想定しているため、賦存量の大小は利用可能な水量に因っている。水源別の賦存量では下水幹線が最も大きく、次いで下水処理場、河川、汚水ポンプ所、地下水と続く。ただし、ここでは合計量を示しており、1施設（または1つの利用想定地点）における賦存量としては、下水処理場が最も大きい水熱エネルギー源である。地下水については、現在揚水されている地下水の全量を熱エネルギー利用したとしても、河川の1/10程度、下水（処理場）の1/30程度のエネルギー量しか期待できない。

なお、ここに示した賦存量は、潜在的な年間熱エネルギー量であって、全てが利用可能な量ではない。実際の利用に際しては、需給間のバランス、水量の変動、取水上の制約条件などについて考慮する必要がある。

表-4. 6 各水熱エネルギー賦存量の比較（将来2010年：23区全体、単位：TJ/年）

対象	下水処理場	汚水ポンプ所	下水幹線	河川	地下水	建物熱需要量
賦存量	34,925	11,755	38,410	12,666	1,172	218,744

4. 3 水熱エネルギーの可採量の設定

上述の水源別の水熱エネルギー賦存量に対して、実際の利用を想定した場合の利用可能な水熱エネルギー量としての可採量を検討する。

4. 3. 1 可採量設定の方針

実際に水熱エネルギーの利用を考える場合には、利用する水源の水量変動や取水上の制約条件、及び需給間バランス（需要地との距離的・エネルギー量的なバランス）等を考慮することは必要である。需給間バランスについては次節で検討することとし、ここでは主に水量面での制約を考慮に入れて、各水源別の可採量を設定する。設定方針は以下のようである。

1) 共通の方針

- ・ 可採量を日量単位で把握

効果算定時の需給バランスを見る際に、熱需要と日量単位で比較する。このため、賦存量は年間量の把握としたが、変動を考慮して日量単位の水熱エネルギー量を把握する。

- ・ 冬期・通常期別の設定

水熱エネルギー利用では、流量や温度面での制約から一般的に冬期の利用可能熱量は小さくなる傾向があるため、冬期・通常期別に日可採量を設定する。12、1、2月を冬期、それ以外を通常期とする。

- ・ 年間を通じて安定的に利用できる水量を設定

日量把握において、水熱エネルギー利用機器となる水熱源ヒートポンプの容量設定上、高い通年負荷率が得られるように最低日水量等を設定する。

- ・ 取水制限等の考慮

河川、地下水については、熱需要地側から考えた利用箇所当りの取水限度量を設定しておく必要がある。

り、関連法や事例地区での実績等を踏まえて設定する。

2) 下水処理場

日可採量[GJ/日] (処理場別) = 処理場別賦存量[TJ/年] × 最低日放流量比率 (冬期・通常期別) × 10³

- ・ 高度処理水の年放流量に対する最低日放流量比率を設定し、処理場別賦存量から日可採量を求める。
- ・ 最低日放流量比率については処理場月報に基づき設定する。

3) 汚水ポンプ所

日可採量[GJ/日] (汚水ポンプ別)

= 汚水ポンプ所別賦存量[TJ/年] × 最低日揚水量比率 (冬期・通常期別) × 10³

- ・ 汚水ポンプ所における年間汚水揚水量に対する最低日揚水量比率を設定し、将来の汚水ポンプ所別賦存量から日可採量を求める。
- ・ ポンプ所における最低日揚水量比率については、処理場への流入下水量の比率として、処理場月報に基づき設定する。

4) 下水幹線

日可採量[GJ/日] (幹線別) = 幹線別賦存量[TJ/年] × 最低日下水量比率 (冬期・通常期別) × 10³

- ・ 年間の下水量に対する最低日下水量比率を設定し、将来の幹線別賦存量から日可採量を求める。
- ・ 幹線における最低日下水量比率については、処理場への流入下水量の比率として、処理場月報に基づき設定する。

5) 河川

日可採量[GJ/日] (利用箇所当り)

= 利用箇所取水限度量[m³/日] × 利用温度差 (冬期・通常期別) × 4.186 × 10⁻³

- ・ 水熱利用の事例における取水量を参考に、利用箇所当りの取水限度量を設定し、日可採量を求める。
- ・ 表-4.7に示す取水量を参考に、取水限度量については、荒川・隅田川は5万m³/日、神田川・日本橋川・渋谷川は2.5万m³/日と設定する。ただし、利用箇所合計の可採量が河川毎の合計可採量を越えない範囲で、利用箇所数を設定する。
- ・ なお、利用水量は通年一定と仮定し、冬期・通常期別には利用温度差を変化させる (冬期3℃、通常期5℃)。

表-4.7 河川水熱利用事例地区(熱供給事業地区)における取水量

事例地区	利用河川	取水量 (想定日量)	備 考
箱崎地区 (東京都中央区)	隅田川	約 100,000 m ³ /日	取水ポンプ合計能力: 76.2 m ³ /minより想定
富山駅北口地区 (富山市)	いたち川 (神通川水系)	夏: 約 63,900 m ³ /日 冬: 約 26,700 m ³ /日	夏期取水量: 0.74 m ³ /s 冬期取水量: 0.31 m ³ /s より想定
天満橋1丁目地区 (大阪市)	大川 (旧淀川)	夏: 約 28,800 m ³ /日 冬: 約 19,400 m ³ /日	夏期取水量: 1,200 m ³ /h 冬期取水量: 810 m ³ /h より想定

6) 地下水

日可採量[GJ/日] (利用箇所当り) = 利用箇所揚水限度量[m³/日] × 利用温度差 (7℃) × 4.186 × 10⁻³

- ・ 表-4.5における、吐出口断面積21cm²未満の指定作業場における合計揚水量：55,000 m³/日を越えないこととする。
- ・ 東京都公害防止条例による揚水規制（揚水機吐出口断面積合計が21cm²以上のものは新設禁止）から、利用箇所当りの揚水限度量を約180 m³/日と設定する（構造規制に該当するポンプ能力から水量を想定）。

4.3.2 水源別可採量の設定

以上の方針に基づいて、各水源別・施設別に水熱エネルギー可採量を設定した。集計結果を表-4.8に整理する。水量変動または利用温度差を考慮した結果、冬期の日可採量は、地下水を除き、通常期に比べて低い値となる。水源別の合計可採量については賦存量と同様の大小関係となっている。また、施設別の可採量(下水)、利用箇所当りの可採量(河川・地下水)については、それぞればらつきが大きくなっている。

表-4.8 各水源別水熱エネルギー可採量（将来2010年：23区全体）

	施設数	合計賦存量	合計可採量		施設別可採量	
			冬期	通常期	冬期	通常期
下水処理場	15	34,925TJ/年 (日平均： 95,685GJ/日)	61,978GJ/日	70,546GJ/日	49GJ/日 ～ 11,298GJ/日	86GJ/日 ～ 13,061GJ/日
汚水ポンプ所	55	11,755TJ/年 (日平均： 32,205GJ/日)	20,503GJ/日	23,027GJ/日	1GJ/日 ～ 2,738GJ/日	1GJ/日 ～ 3,141GJ/日
下水幹線	340	38,410TJ/年 (日平均： 105,233GJ/日)	63,952GJ/日	74,331GJ/日	2GJ/日 ～ 5,427GJ/日	2GJ/日 ～ 6,635GJ/日
	数	合計賦存量	合計可採量		利用箇所当り可採量	
			冬期	通常期	冬期	通常期
河川	(5河川)	12,666TJ/年 (日平均： 34,702GJ/日)	20,821GJ/日	34,702GJ/日	628GJ/日 (荒川、隅田川) 314GJ/日 (神田川、日本橋川) 260GJ/日 (渋谷川)	1,047GJ/日 (荒川、隅田川) 523GJ/日 (神田川、日本橋川) 434GJ/日 (渋谷川)
地下水	—	1,172TJ/年 (日平均： 3,211GJ/日)	1,612GJ/日	1,612GJ/日	5GJ/日	5GJ/日

4.3.3 水熱エネルギーの可採量の分布

水源別の水熱エネルギー可採量の分布を通常期について示したものが図-4.2～4.5である。水源別には次の特徴がある。

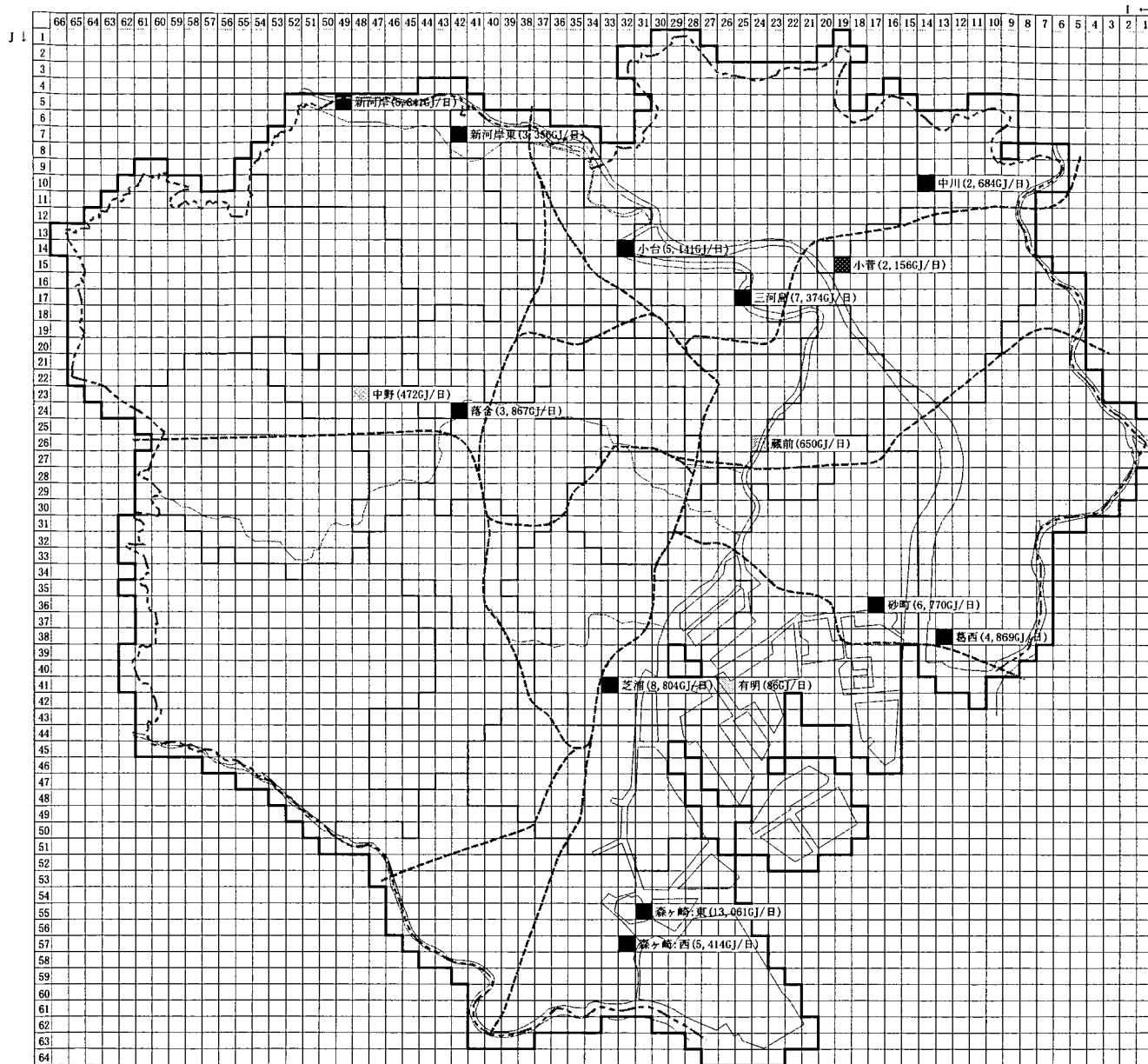
下水処理場については23区内に適度に分布するが、自然流下の都合上及び放流先との関係上、武蔵野台地を除いた河川または海沿いに位置している。他の水熱源に比べて各施設あたりの可採量が大きく、周辺メッシュでの有効利用が期待される。

汚水ポンプ所については分布の偏りが顕著であり、区部の東半分へ集中している。熱量的には中・小規模の施設が多くなっている。

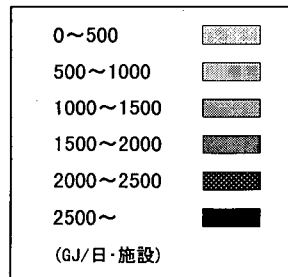
下水幹線については、23区内に適度に分布しており、可採量の大きな地点も幾つかみられる。しかし、大半は可採量規模が小さく、また活用事例も少ないため、活用の期待度は小さいと考えられる。

河川については下水施設のような点的な分布と異なり、流路に接する需要地が多く連担することになる。先に設定した河川別の可採量と利用箇所当りでの可採量を考慮すると、河川毎での利用地区数は制限されることになる。ちなみに利用箇所数は、荒川で19箇所、隅田川で9箇所、神田川と日本橋川は合わせて10箇所、渋谷川で1箇所程度となる。

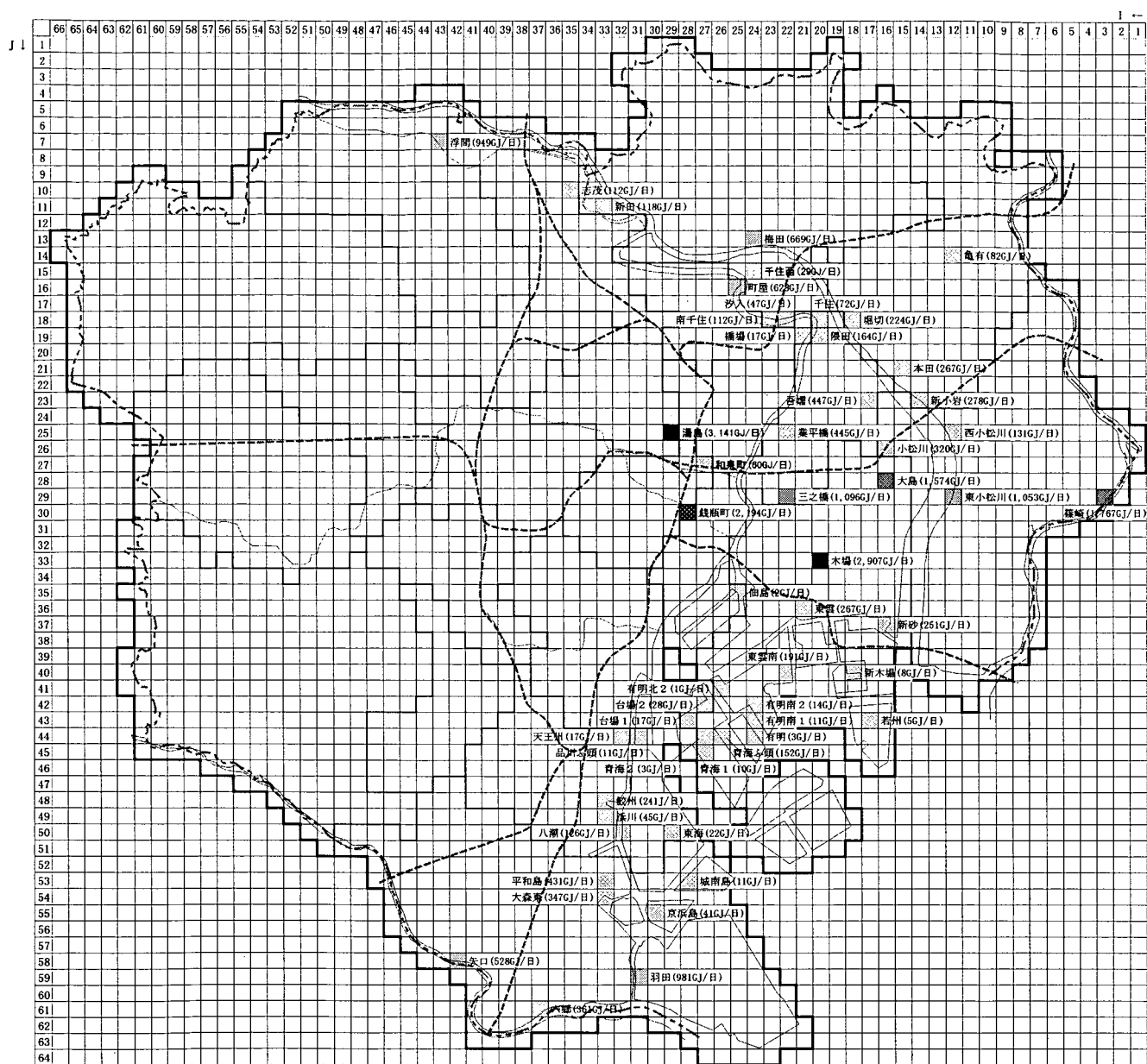
地下水については、分布上の制約はないが、区部全域が揚水規制の対象となっており、新たな熱利用は現実的に困難である。また、1箇所当り取水限度量から設定した可採量は約5.3GJ/日・箇所と極めて小さい。ちなみに限度量から求めた利用箇所数は最大約300箇所となる。



年間水熱賦存量合計 34,925TJ/年
通常期日可採量合計 70,546GJ/日



図－4. 2 下水処理場における水熱エネルギーの可採量（通常期）



年間水熱賦存量合計 11,755TJ/年
通常期日可採量合計 23,027GJ/日

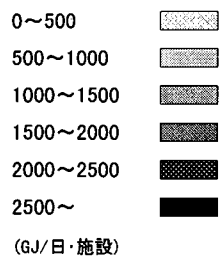
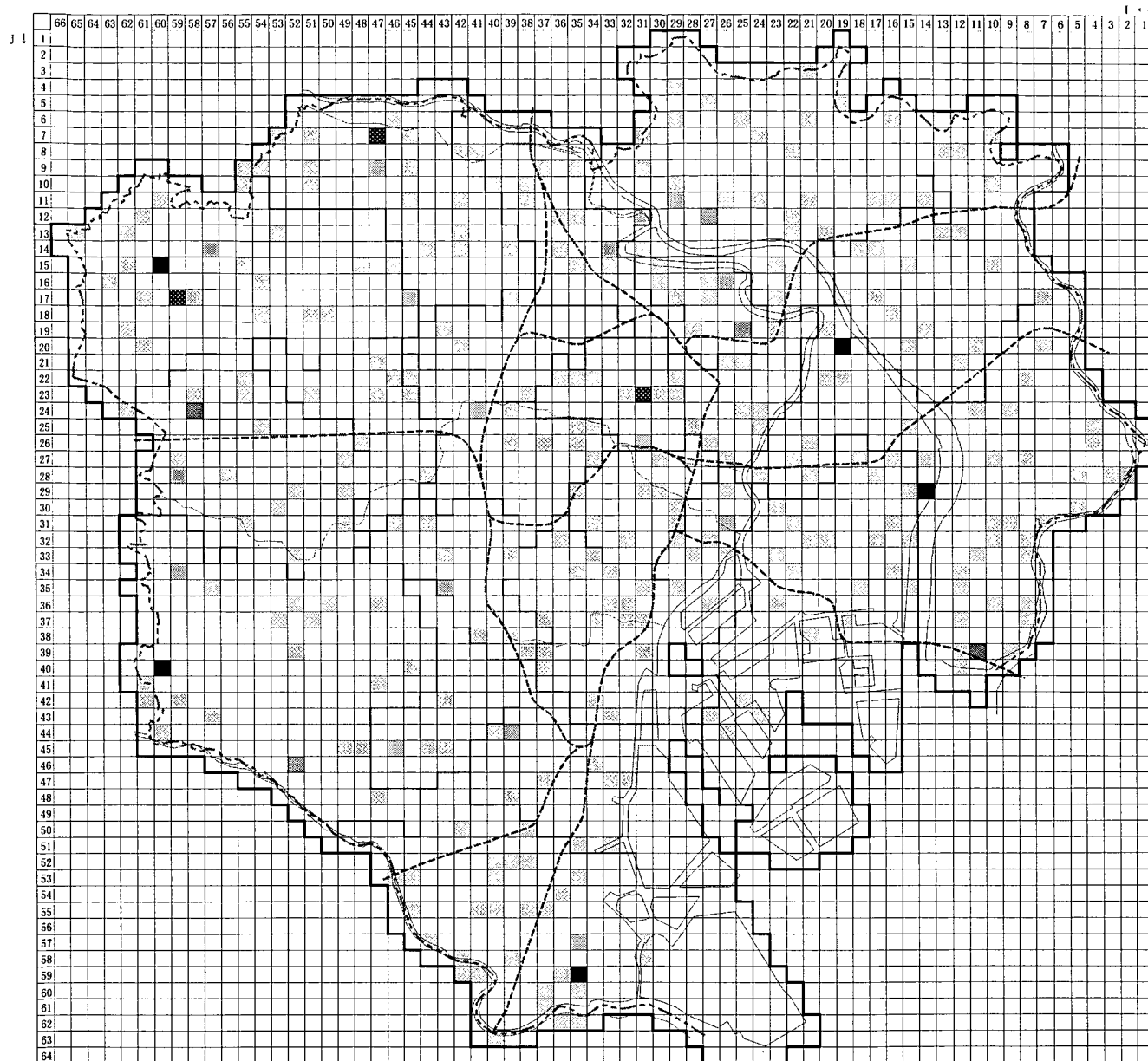


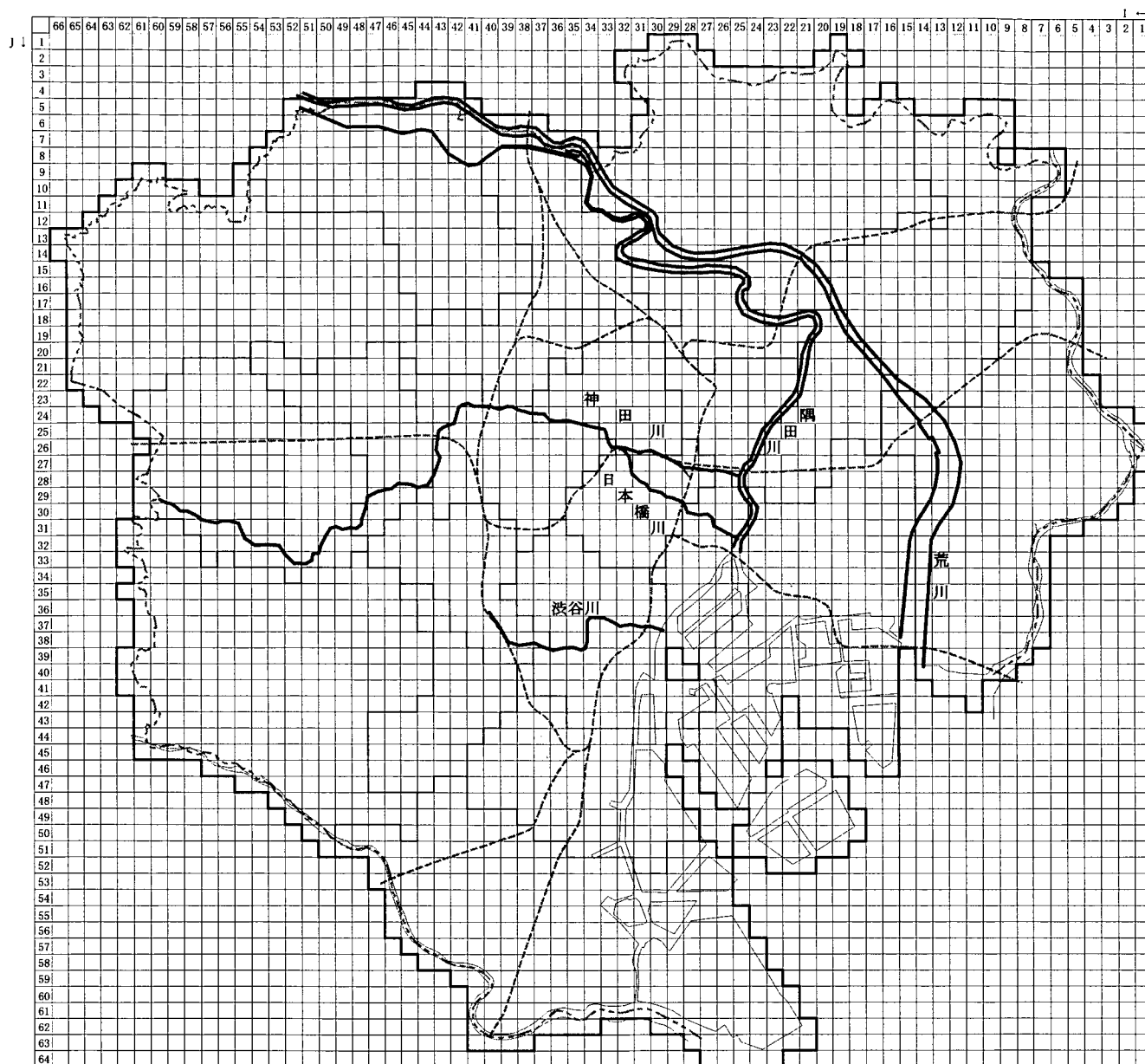
図-4. 3 汚水ポンプ所における水熱エネルギーの可採量（通常期）



年間水熱賦存量合計 38,410TJ/年
通常期日可採量合計 74,331GJ/日

0~500
500~1000
1000~1500
1500~2000
2000~2500
2500~
(GJ/日・施設)

図-4. 4 下水幹線における水熱エネルギーの可採量（通常期）



年間水熱賦存量合計 12,666TJ/年

通常期日可採量合計 34,702GJ/日

通常期日可採量内訳（利用箇所合計限度量）

- ・荒川 19,892GJ/日
- ・隅田川 9,223GJ/日
- ・神田川 2,577GJ/日
- ・日本橋川 2,577GJ/日
- ・渋谷川 434GJ/日

通常期利用箇所当り可採量（利用箇所毎限度量）

- ・荒川、隅田川 1,047GJ/日
- ・神田川、日本橋川 523GJ/日
- ・渋谷川 434GJ/日

図－4. 5 河川の水熱エネルギーの可採量（通常期）

4.4 水熱エネルギー利用地区の設定

エネルギー需給間の位置的関係や熱量的バランス等を考慮しながら、水熱エネルギー利用地区を設定する。以下のように利用地区を選定した。

- 1) 候補となるメッシュは、熱源水の搬送距離を考慮して水熱エネルギー源から周囲1メッシュの範囲内(500m～1km程度)とする。ただし、河川や運河等により水熱源と分断されるメッシュは除く。
- 2) 熱量的バランスの判断は将来の夏期冷房ピーク日を基準に考えるものとする。需要側は8月代表日の冷房需要量、水熱源側は通常期の可採量をもとに、比較する。
- 3) 周囲1メッシュ範囲内での利用地区、及び利用水源の設定に関しては、水源別の現実的な利用可能性、及び需要側への現実的な供給可能性などを踏まえて、以下の2ケースについて検討する。

〔ケースA〕：現実的な普及促進をはかるケース

- ・ 水熱源側から周囲1メッシュ範囲内のうち、開発メッシュ及び既存地域冷暖房地区（以下、DHCメッシュと呼ぶ）のみを供給対象とする（一般的な熱供給事業としての利用を想定）。
- ・ 水熱源別の優先順位を、1）下水処理場、2）ポンプ所、3）河川とし、利用地区の設定を行う。下水幹線と地下水の利用は行わない。
- ・ 周囲1メッシュ内に複数の開発メッシュまたはDHCメッシュが存在する場合は、可採量の範囲内で熱需要の高いメッシュから順次利用地区として設定していく。

〔ケースB〕：積極的に利用拡大をはかるケース

- ・ 水熱源側から周囲1メッシュ範囲内の全メッシュを、開発メッシュか否かに関わらず、検討対象とする（既成市街地での熱供給事業、及び個別建物レベルでの利用まで含めた場合を想定）。
- ・ 周囲1メッシュ範囲内の熱需要メッシュに対しては、可採量の範囲内で、熱需要の高いメッシュから順次利用地区として設定していく。
- ・ 利用する水熱源の対象に下水幹線と地下水も含める。ただし、下水幹線については可採量の小さな小規模幹線は除外する。可採量が自メッシュ熱需要量よりも大きく、周辺部への余剰供給力のあるものを対象とする。
- ・ 水熱源別の優先順位を、1）下水処理場、2）ポンプ所、3）下水幹線、4）河川、5）地下水とし、利用地区を設定する。地下水利用については、下水処理場から河川までの利用地区から外れる残りのメッシュのうち、熱需要の高いメッシュから順に1メッシュ1利用箇所として利用地区を設定する（300箇所）。

図-4.6に将来の8月における冷房需要、開発メッシュ及びDHCメッシュの位置を示す。図-4.7には、ケースAで利用対象とする水熱源と開発メッシュ及びDHCメッシュを示す。図-4.8は、図-4.7の下水処理場と汚水ポンプ所の位置に可採量を表記したものである。また、図-4.9にはケースBで利用対象とする下水処理場、ポンプ所、下水幹線及び河川の位置を示しており、水熱源位置に可採量を表示したものが図-4.10である。

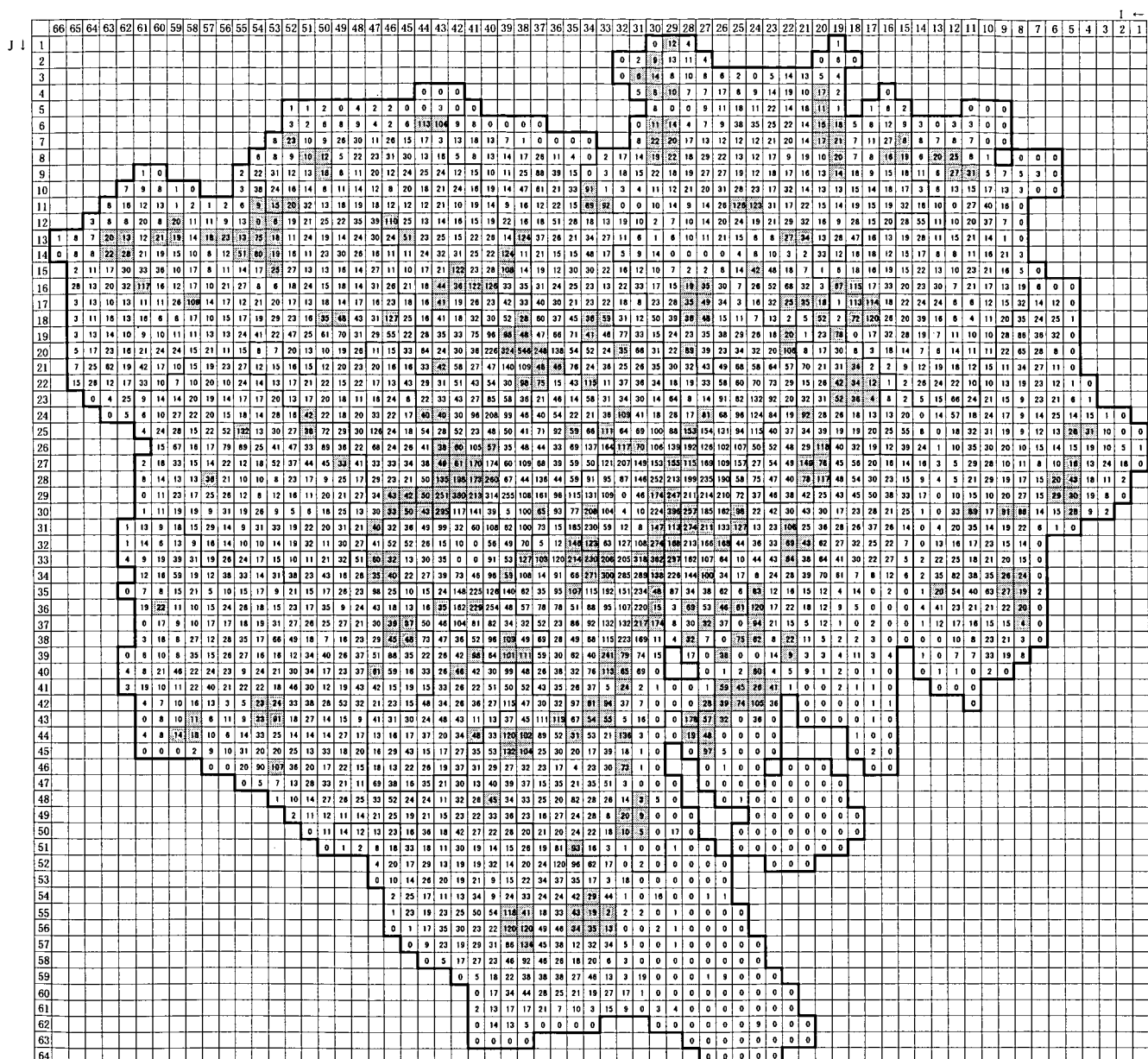


図-4. 6 将来の8月における冷熱需要と開発メッシュ及びDHCメッシュの位置

*数字は日冷熱需要量(単位: 10GJ/日) 網掛け部: 開発メッシュ+DHCメッシュ

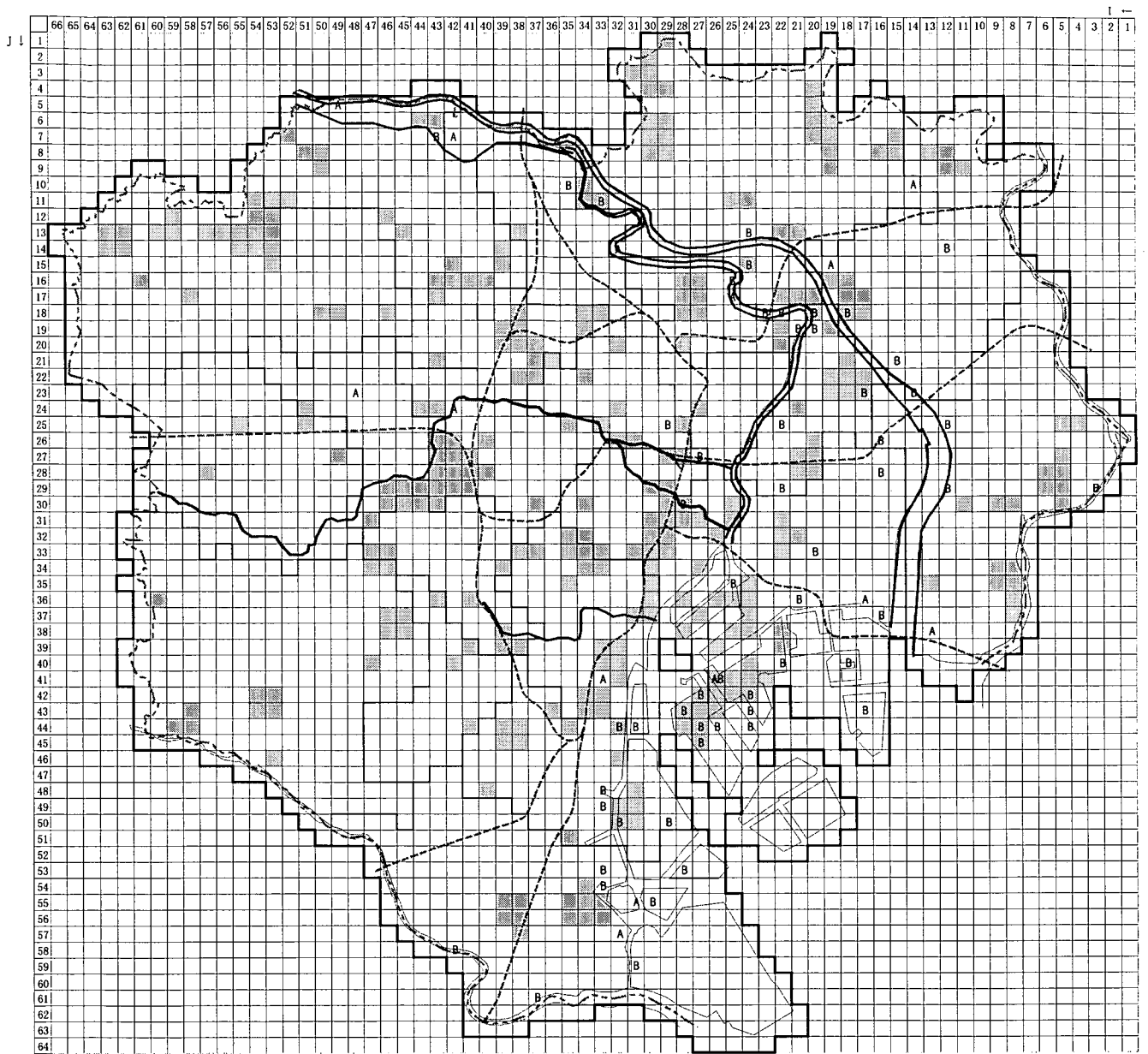


図-4. 7 下水処理場、汚水ポンプ所、河川、開発メッシュと既存の地域冷暖房地区の位置

*A: 下水処理場 B: 汚水ポンプ所 網掛け部: 開発メッシュ+既存の地域冷暖房地区

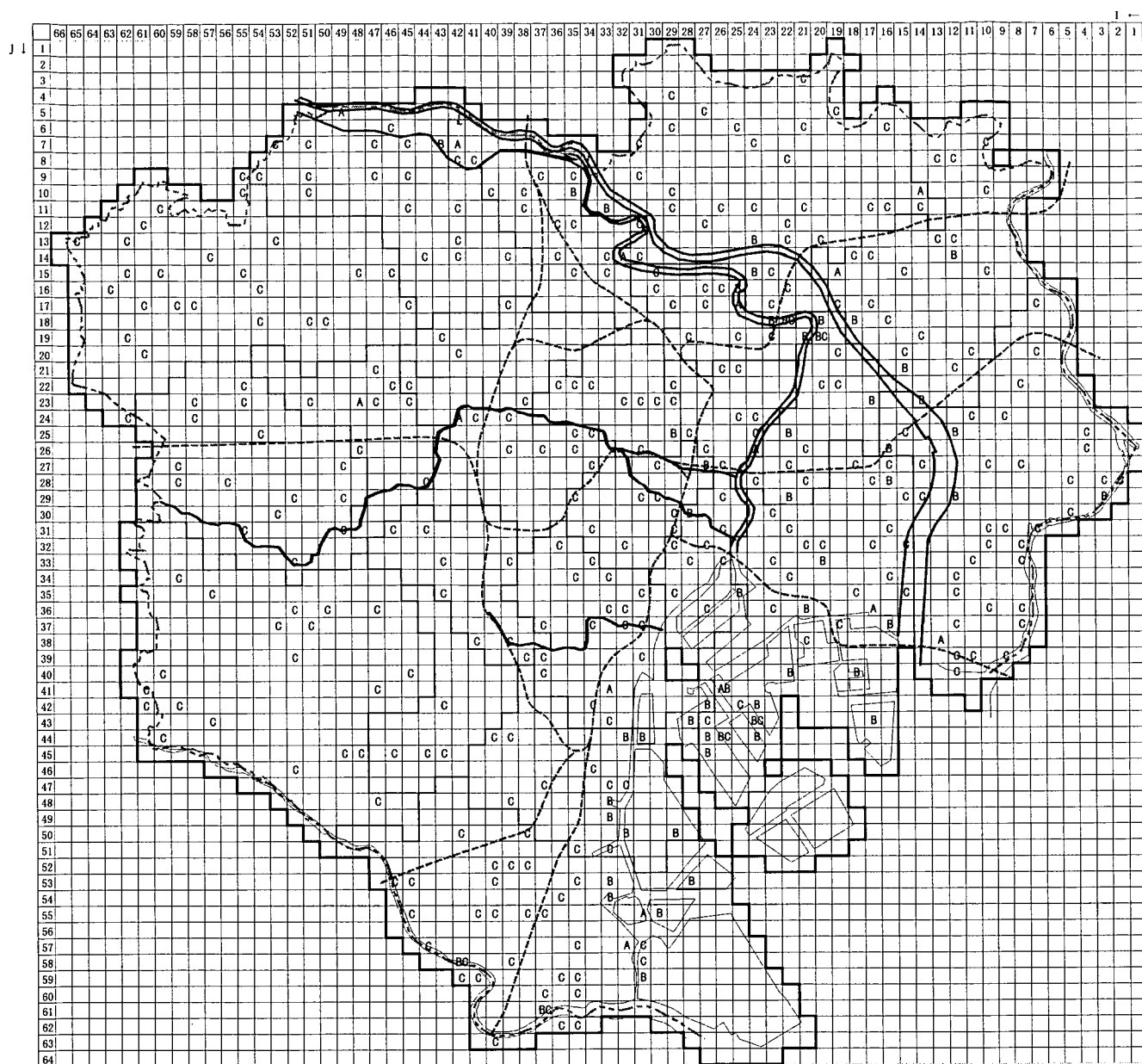
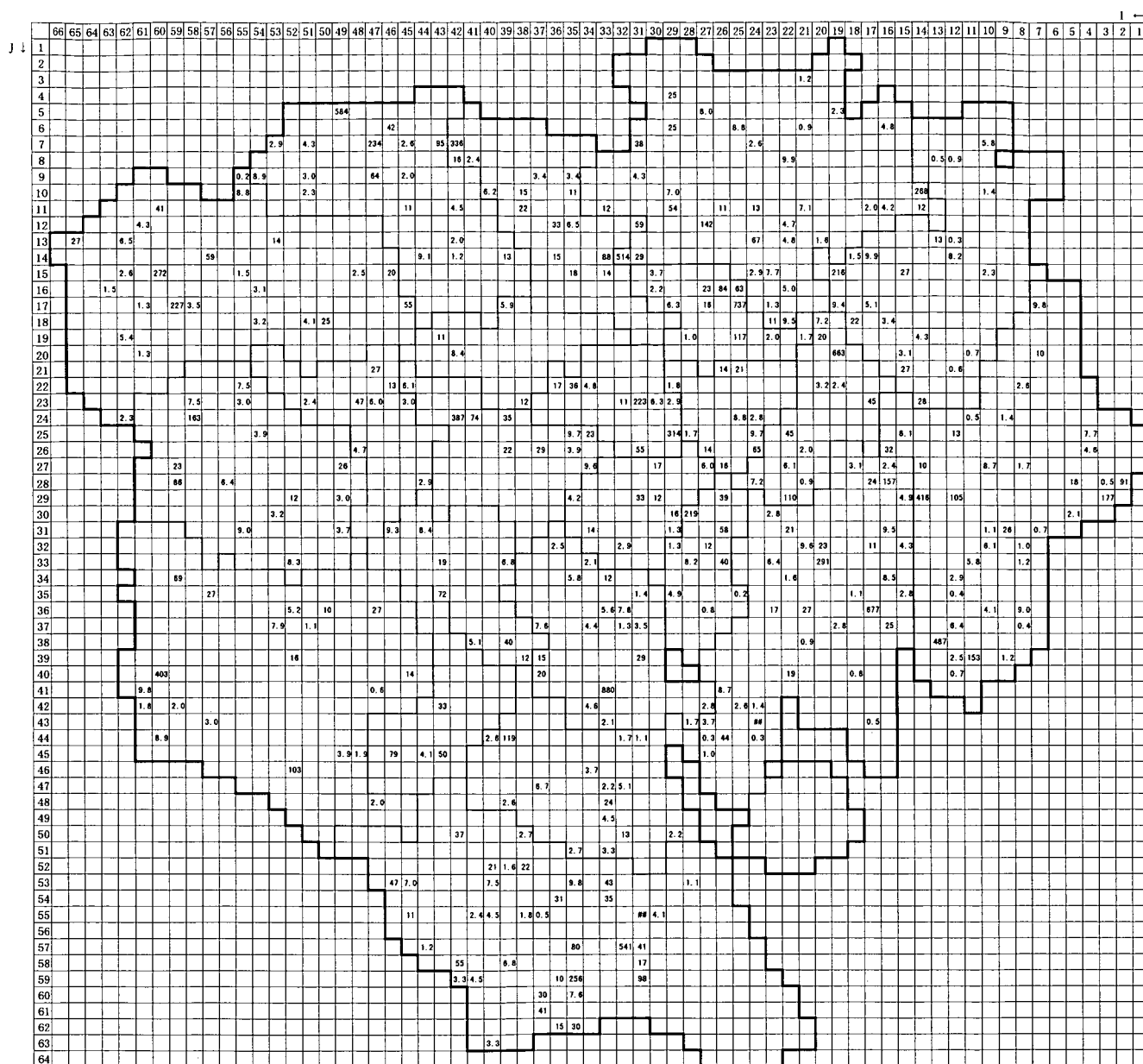


図-4. 9 下水処理場、汚水ポンプ所、下水幹線及び河川の位置

*A : 下水処理場 B : 汚水ポンプ所 C : 下水幹線 (利用箇所)



図ー 4. 1 0 下水処理場、汚水ポンプ所及び下水幹線での可採量合計 (単位: 10GJ/日)

前述の方針に沿ってケースA、ケースB別に水熱エネルギー利用地区を設定する。

ケースAでは、図-4.6の網掛けメッシュのみを対象に、図-4.7、4.8に示す水熱源との位置的・熱量的バランスを比較することで利用地区を設定した。また、ケースBでは、図-4.6の全メッシュを対象に、図-4.9、4.10に示した水熱源との位置的・熱量的バランスを比較し、さらに下水・河川の利用地区設定後の残りのメッシュにおいて地下水の利用地区の設定について検討した。ケースA、ケースBに対応する利用地区の分布を図-4.11、4.12に示す。ケースAの利用地区数は合計59メッシュに対して、ケースBでは637メッシュとなった。なお、利用箇所数については、ケースAで54箇所、ケースBでは417箇所となった。

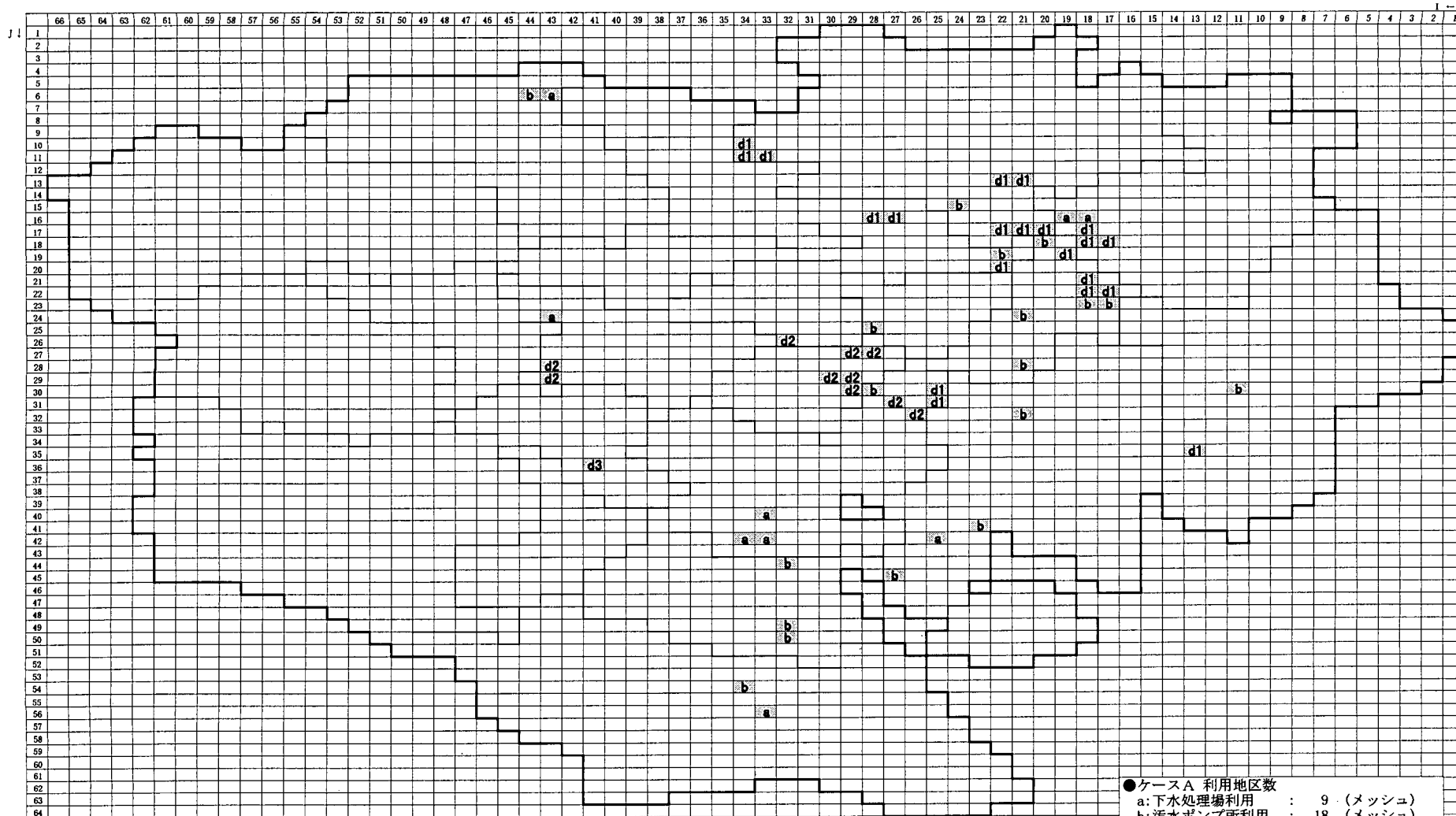


図-4. 11 水熱エネルギー利用地区 (ケースA)

* 記号は当該メッシュで利用する水熱源の種類を表す。

a : 下水処理場、b : 汚水ポンプ所、d : 河川 (d1 : 荒川・隅田川、d2 : 神田川・日本橋川、d3 : 渋谷川)

●ケースA 利用地区数	
a: 下水処理場利用	: 9 (メッシュ)
b: 汚水ポンプ所利用	: 18 (メッシュ)
c: 下水幹線利用	: 0 (メッシュ)
d: 河川利用	: 32 (メッシュ)
e: 地下水利用	: 0 (メッシュ)
●ケースA 利用地区合計熱需要量 (将来)	
8月代表日冷熱	: 54,723 (GJ/日)
1月代表日温熱	: 39,311 (GJ/日)

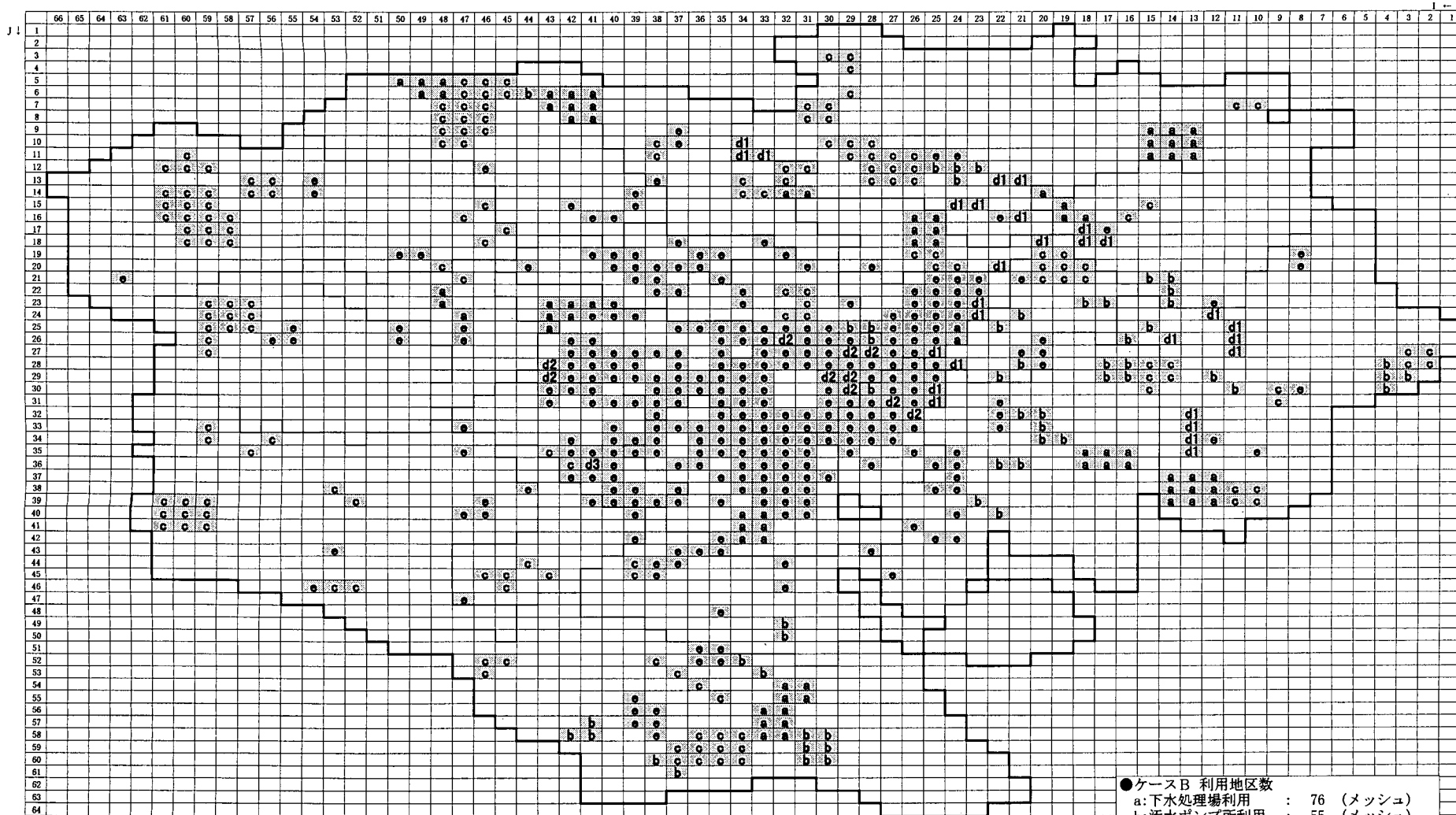


図-4. 12 水熱エネルギー利用地区 (ケースB)

* 記号は当該メッシュで利用する水熱源の種類を表す。

A: 下水処理場、B: 污水ポンプ所、D: 河川 (D1: 荒川・隅田川、D2: 神田川・日本橋川、D3: 渋谷川)

●ケースB 利用地区数		
a: 下水処理場利用	: 76	(メッシュ)
b: 污水ポンプ所利用	: 55	(メッシュ)
c: 下水幹線利用	: 167	(メッシュ)
d: 河川利用	: 39	(メッシュ)
e: 地下水利用	: 300	(メッシュ)

●ケースB 利用地区合計熱需要量 (将来)		
8月代表日冷熱	: 488,513	(GJ/日)
1月代表日温熱	: 376,482	(GJ/日)

4.5 水熱エネルギー利用効果の算定

水熱エネルギー利用地区を対象に、可採量をもとに製造できる冷熱または温熱量と、利用地区毎の季節別熱需要変動とのバランスを考慮した、実質的な供給熱量を計算する。また、DHC導入による省エネルギー効果、環境保全効果、及び建物排熱量の削減効果を算定する。

4.5.1 効果算定の方針

水熱エネルギーの利用効果を把握するために、まず、熱需要量と可採量をもとに水熱エネルギー利用による供給熱量を算定し、次に、水熱エネルギーの利用分と従来の熱機器の利用分それぞれにおける燃料消費量を把握する。

(1) 供給熱量算定の方針

各利用地区における月別の熱需要変動、及び可採量をもとに水熱源ヒートポンプ（以下、WHPと表す）を介して製造可能な冷温熱量を把握し、利用地区別・季節別に両者の比較から実質的な供給熱量を求め、それを積算し、年間値を算出する。

(2) 燃料消費量算定の方針

燃料消費量については、WHP利用に必要な電力消費量、及び水熱エネルギー利用後に不足する熱需要分を従来システムで補うのに必要な各種燃料消費量を把握し、「水熱利用なし」、「ケースA」、「ケースB」について算定した結果を年間にわたり積算する。

また、燃料消費量に、燃料別の1次エネルギー換算値、CO₂排出原単位、NO_x排出原単位を掛けることにより、省エネルギー量及び環境負荷削減量を算定する。

(3) 供給熱量算定の条件

(1) で示した利用地区別・季節別の供給熱量の算定方針に関する細部の条件を設定する。

可採量から製造可能熱量の算定、及び熱需要量との比較による供給熱量の把握については、月別の日量単位の熱量を基準とする。また、可採量をもとに製造する熱については、23区全体の月別冷温熱需要量の比率を考慮して、5月～10月期は専ら冷熱製造、11月～4月期は温熱製造のみを行うこととする。したがって、熱量計算の対象となる熱需要量と可採量については、月別に表-4.9のように設定する。

表-4.9 水熱エネルギーの利用パターンの設定

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
供給熱量	温熱				冷熱						温熱	
水熱可採量	冬期		通常期									冬期
WHPのCOP	COP _h	COP _h	COP _h	COP _h	COP _c	COP _c	COP _c	COP _c	COP _c	COP _c	COP _h	COP _h

WHPの効率（COP：成績係数）については、上記のように、5月～10月期は冷熱側成績係数：COP_c、11月～4月期は温熱側成績係数COP_hを用いた。COP_c、COP_hの値については、メーカーの資料をもとに水温別の性

能曲線を作成し、利用水源別の月別平均水温から求めた定格効率に実稼働による効率低下を見込んで設定した（表-4.10）。

表-4.10 WHP月別COPの設定値（利用水源別）

		処理水	未処理水	河川水	地下水
1月	COPh	3.9	3.6	3.1	4.0
2月	COPh	3.8	3.6	3.2	4.0
3月	COPh	4.0	3.7	3.3	4.0
4月	COPh	4.0	3.8	3.8	4.0
5月	COPc	4.8	4.6	4.9	5.2
6月	COPc	4.4	4.2	4.7	5.2
7月	COPc	4.2	4.0	4.1	5.2
8月	COPc	4.0	3.8	4.1	5.2
9月	COPc	4.3	4.1	4.2	5.2
10月	COPc	4.6	4.4	4.9	5.2
11月	COPh	4.2	4.0	3.9	4.0
12月	COPh	4.0	3.8	3.5	4.0

水熱エネルギーの可採量と冷熱・温熱の製造量、WHPの成績係数との関係を図-4.13に示す。

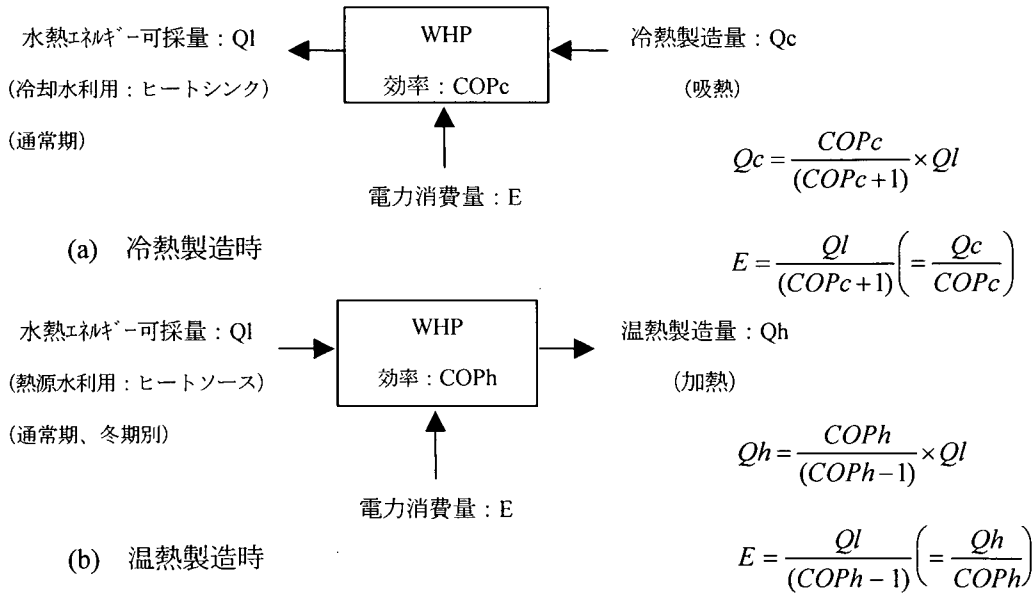


図-4.13 冷温熱の製造量の算出

(4) 燃料消費量算定の条件

(2) で示した従来の熱機器の燃料消費量の算定条件を設定する。

「水熱利用なし」のケースにおける冷温熱需要、及び水熱利用後に不足する冷温熱需要に対しては、2.5節の「排熱原単位の設定」で示した冷温熱源機器の効率（冷熱：冷房、温熱：暖房・給湯）をもとに、住宅・非住宅別に各種の燃料消費量を算定する。

省エネルギー効果・環境負荷削減効果の計算に用いる燃料種別の各種原単位については、既存資料をもとに以下のように設定する。

表－４．１１ 燃料種別の各種原単位（効果算定用）

	燃料消費量 換算値	1次エネルギー 換算値	CO ₂ 排出 原単位	NO _x 排出 原単位	備 考
電力	1/860 kWh/kcal	2400 kcal/kWh	0.326 kg-CO ₂ /kWh	0.143 g/kWh	H8東京電力実績 (CO ₂ 、NO _x は全電源ベース)
都市ガス	1/9940 Nm ³ /kcal	11000 kcal/N m ³	2.355 kg-CO ₂ /N m ³	1.208 g/N m ³	東京都環境保全局資料 (NO _x :60ppm,O ₂ =0%)
灯油	1/8300 m ³ /kcal	8800 kcal/ m ³	2.488 kg-CO ₂ / m ³	1.38 g/ m ³	東京都環境保全局資料 (NO _x :80ppm,O ₂ =0%)
L P G	1/11460 kg/kcal	12000 kcal/kg	3.007 kg-CO ₂ /kg	0.89 g/kg	空調調和衛生工学便覧 (CO ₂ は環境庁資料より推計)
重油	1/8600 m ³ /kcal	9200 kcal/ m ³	2.623 kg-CO ₂ / m ³	1.413 g/ m ³	東京都環境保全局資料 (NO _x :80ppm,O ₂ =0%)

4.5.2 供給熱量

効果算定の方針に沿って、ケースA、ケースB別に月別・利用地区別の供給熱量を算定した。WHPによる年間の供給熱量を集計した結果を表－4.12に示す。ケースAで冷熱3,658TJ/年、温熱3,673TJ/年、ケースBで冷熱9,661TJ/年、温熱12,517TJ/年であり、利用地区における年間熱需要量に対する供給熱量（冷温熱合計）の割合は、ケースAで約64%、ケースBで約21%となる。また、23区全体の年間熱需要量に対する供給熱量の割合は、ケースAで約3.4%、ケースBで約10.1%である。

なお、これらの冷温熱製造（供給）のためにWHPで消費した電力量は、ケースAで529GWh/年、ケースBで1,587GWh/年となっている。

表－４．１２ 水熱エネルギー利用による供給熱量（年間）

		ケースA	ケースB
水熱エネルギー利用地区数		59 ヲツシュ	637 ヲツシュ
a.利用地区熱需要量（将来）	冷熱 TJ/年 温熱 TJ/年 合計 TJ/年	6,176 5,305 11,481	55,712 50,636 106,348
b.WHP供給熱量	冷熱 TJ/年 温熱 TJ/年 合計 TJ/年	3,658 3,673 7,331	9,661 12,517 22,178
c.WHP供給率 （対 利用地区熱需要量：b／a）	冷熱 % 温熱 % 合計 %	59.2 69.2 63.8	17.3 24.7 20.9
d.23区全体熱需要量（将来） ：2738ヲツシュ合計	冷熱 TJ/年 温熱 TJ/年 合計 TJ/年	92,568 126,176 218,744	
e.WHP供給率 （対 23区全体熱需要量：b／d）	冷熱 % 温熱 % 合計 %	4.0 2.9 3.4	10.4 9.9 10.1

4. 5. 3 燃料消費量

算定した供給熱量の製造に要するWHP消費電力量、及び水熱利用後に不足する熱需要量を従来システム（熱源機器）により賄った際の燃料消費量について、2.5節で示した従来熱源機器の燃料消費効率を用いて、冷房暖房給湯需要別、住宅非住宅需要別に計算した。結果を表-4.13に示す。

水熱エネルギー利用分の効果により、年間の燃料消費量は電力を除いていずれも減少している。23区全体の年間建物燃料消費のうち、都市ガス、灯油、LPG、重油については「水熱利用なし」の場合に比べて、ケースAで2～4%、ケースBで10%程度の削減となっている（表-4.13参照）。電力については、水熱エネルギー利用のためのWHPへの投入電力分だけ増加するため、「水熱利用なし」、ケースA、ケースBの順に消費電力量が大きくなっている。なお、ここでの「電力」は熱源機器による消費分であり、建物の照明、動力等の電力需要については対象外としている。

表-4. 13 水熱エネルギー利用後の燃料消費量（23区全体・年間）

		水熱利用なし	ケースA	ケースB
WHP供給熱量	冷熱TJ/年	—	3,658	9,661
	温熱TJ/年		3,673	12,517
	合計TJ/年		7,331	22,178
水熱利用後不足熱需要量	冷熱TJ/年	92,568	88,910	82,906
	温熱TJ/年	126,176	122,503	113,659
	合計TJ/年	218,744	211,413	196,565
WHP電力消費量	(GWh/年)	—	529	1,587
従来システム分電力消費量	(GWh/年)	8,863	8,549	7,946
電力消費量合計	(GWh/年)	8,863	9,078	9,533
都市ガス消費量合計	(10^6Nm^3 /年)	3,338	3,224	3,001
灯油消費量合計	(10^6m^3 /年)	796	780	719
LPG消費量合計	(10^6kg /年)	362	355	327
重油消費量合計	(10^6m^3 /年)	153	148	138

4. 5. 4 省エネルギー及び環境保全効果

これまでの供給熱量と燃料消費量の算定結果に基づき、2010年時点における水熱エネルギー利用による省エネルギー効果（1次エネルギー削減効果）、環境保全効果（CO₂、NO_x排出量の削減効果）を算定する。

表－4.14は23区全体での効果を集計した結果を示している。水熱エネルギー利用による年間の省エネルギー効果（1次エネルギー消費量の削減率）をみると、ケースAで1.4%、ケースBで4.7%である。また、年間にわたるCO₂、NO_x排出量の削減効果は、ケースAでそれぞれ1.9%、2.1%であり、ケースBではそれぞれ6.4%、6.8%となっており、削減が期待される。なおここでの効果は、将来の建物総エネルギー需要のうち照明動力等の電力需要分を除く「熱需要分」を対象としている。また、電気式の熱源機器の利用に伴う発電所での燃料消費、環境負荷（CO₂、NO_x）排出分を含む広域的な評価である。

表－4. 1 4 23区全体での水熱エネルギー利用による省エネルギー・環境保全効果

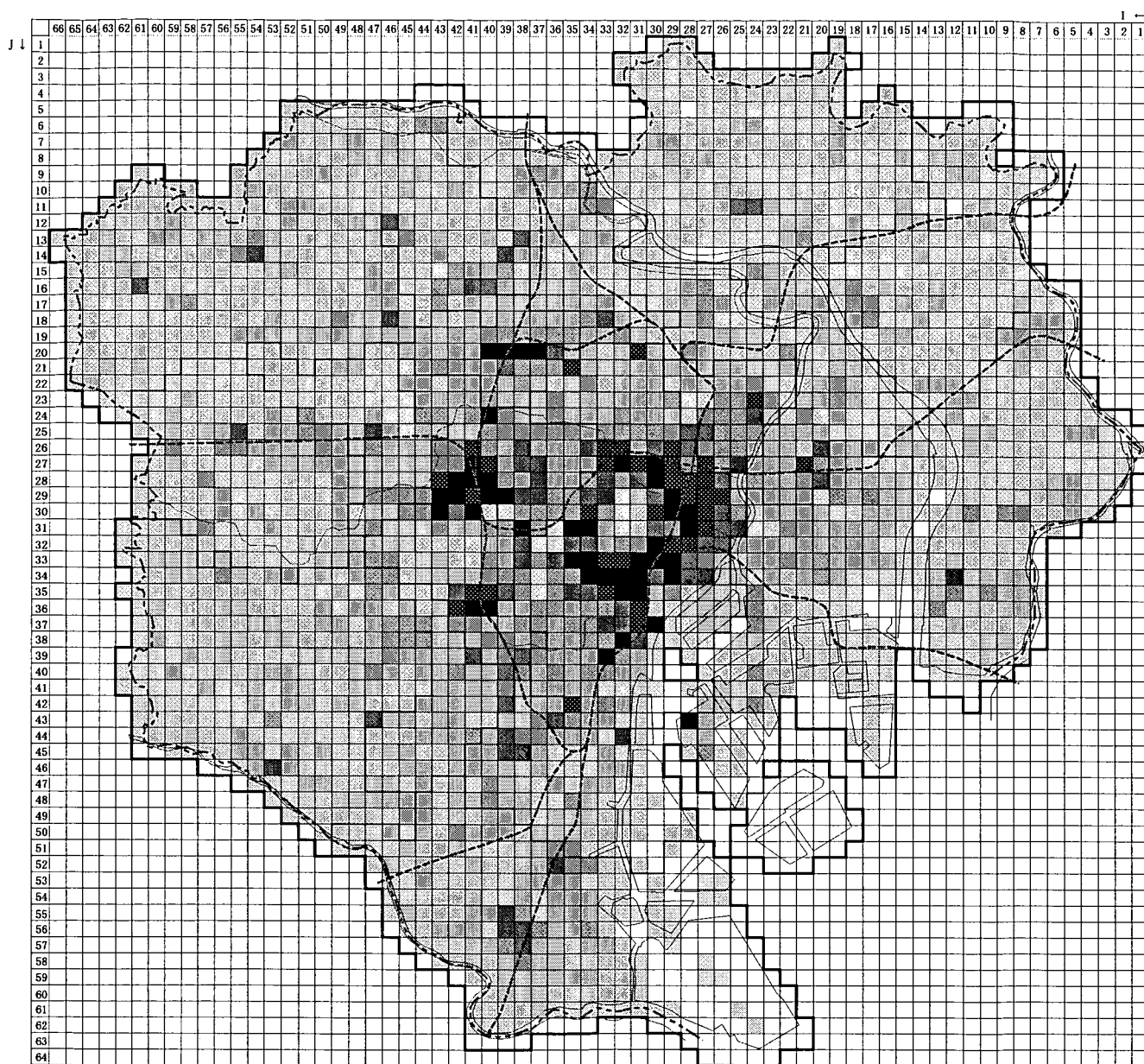
	水熱利用なし	ケースA	ケースB
1次エネルギー消費量 (TJ/年)	296,127	291,890	282,169
省エネルギー量 (TJ/年)	—	4,237	13,958
省エネルギー率 (%)	—	1.4	4.7
CO ₂ 排出量 (t-C/年)	3,878,169	3,803,540	3,629,605
CO ₂ 削減量 (t-C/年)	—	74,630	248,564
CO ₂ 削減率 (%)	—	1.9	6.4
NO _x 排出量 (t/年)	6,937	6,793	6,466
NO _x 削減量 (t/年)	—	143	470
NO _x 削減率 (%)	—	2.1	6.8

23区全体での効果ではなく、供給対象となる「水熱エネルギー利用地区」（ケースA：59メッシュ、ケースB：637メッシュ）における効果をみてみた結果を表－4.15に示す。水熱エネルギー利用前後での省エネルギー率はケースAで約29%、ケースBで約10%、CO₂、NO_x削減率についてはケースAで約40%、43%、ケースBで約14%、15%と高い値を与えている。ケースBの効果が小さいのは、可採量の小さな地下水利用地区を熱需要の高い順に300メッシュ設定したため、供給可能熱量に対してベースとなる熱需要量が極端に大きくなっているからである。

図－4.14～4.16に、年間ベースの1次エネルギー消費量、CO₂排出量、NO_x排出量の分布を、「水熱利用なし」、ケースA、ケースBについて比較している。エネルギー消費量の大きな地区（都心、副都心など）における水熱エネルギー利用が限られているため、利用効果は顕著には認められない。

表－４． １５ 水熱エネルギー利用地区における省エネルギー・環境保全効果

		ケースＡ		ケースＢ	
		利用前	利用後	利用前	利用後
利用地区数	(メッシュ)	59		637	
冷温熱合計需要量	(TJ/年)	11,482		106,349	
WHP 供給冷温熱量	(TJ/年)	—	7,331	—	22,178
1次エネルギー消費量	(TJ/年)	14,788	10,551	137,306	123,348
省エネルギー量	(TJ/年)	—	4,237	—	13,958
省エネルギー率	(%)	—	28.7	—	10.2
CO ₂ 排出量	(t-C/年)	187,359	112,729	1,743,184	1,494,620
CO ₂ 削減量	(t-C/年)	—	74,630	—	248,564
CO ₂ 削減率	(%)	—	39.8	—	14.3
NO _x 排出量	(t /年)	337	194	3,143	2,673
NO _x 削減量	(t /年)	—	143	—	470
NO _x 削減率	(%)	—	42.5	—	15.0

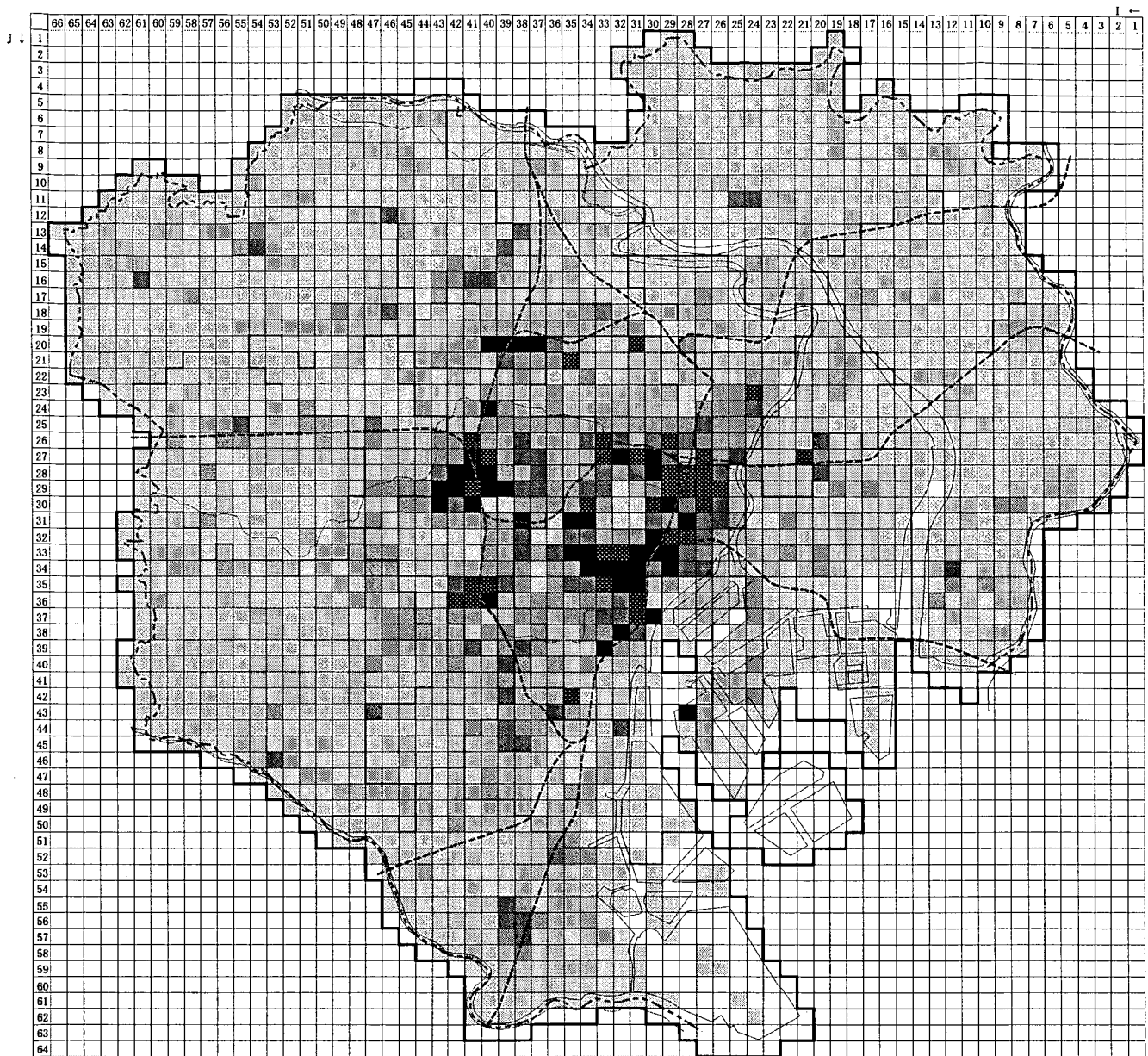


全メッシュ合計 : 296,127TJ/年
 最大メッシュ : 1,205TJ/年 (I, J)=(38, 20)

0 : 270メッシュ
 0~100 : 1382メッシュ
 100~200 : 720メッシュ
 200~300 : 209メッシュ
 300~400 : 77メッシュ
 400~500 : 36メッシュ
 500~ : 44メッシュ
 (TJ/年・メッシュ) (計2738メッシュ)

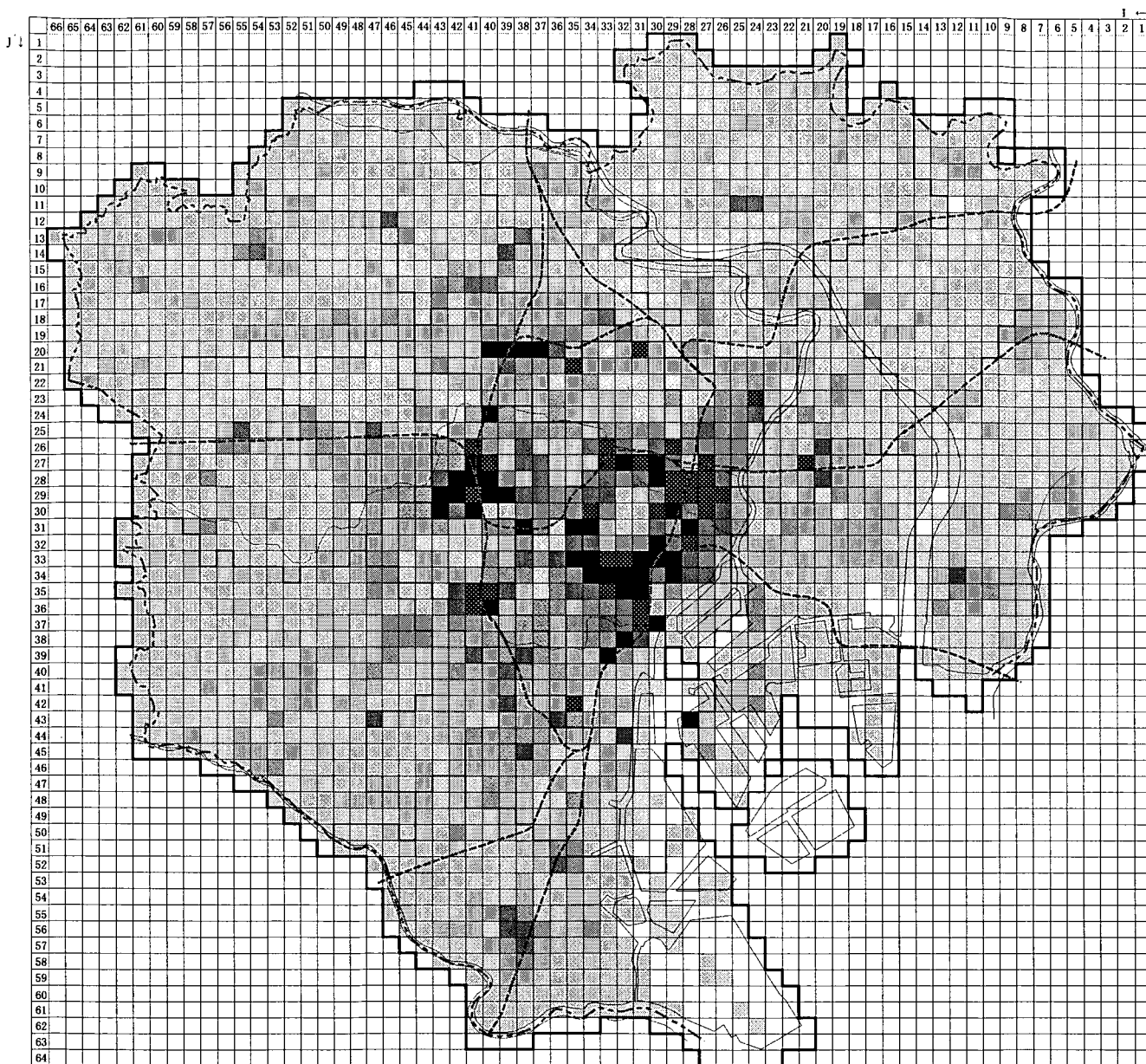
(a) 水熱エネルギー利用なし

図-4. 14 年間1次エネルギー消費量の分布



(b) ケースA

図-4. 14 年間1次エネルギー消費量の分布

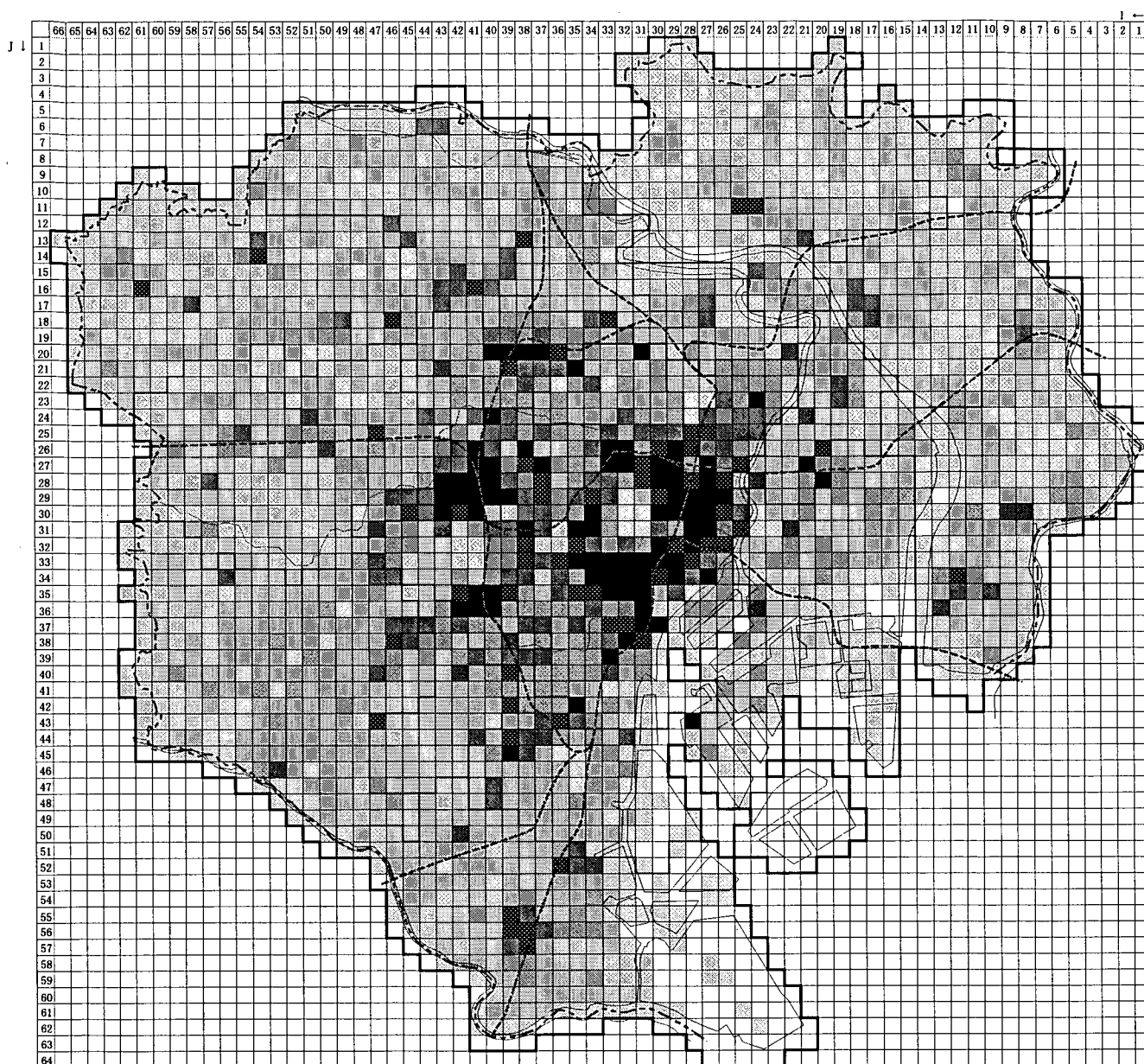


全メッシュ合計 : 282,169TJ/年
 最大メッシュ : 1,204TJ/年 (I, J)=(38, 20)

0	□	: 270メッシュ
0~100	▤	: 1468メッシュ
100~200	▥	: 667メッシュ
200~300	▦	: 188メッシュ
300~400	▧	: 72メッシュ
400~500	▨	: 32メッシュ
500~	■	: 41メッシュ
(TJ/年・メッシュ) (計2738メッシュ)		

(c) ケースB

図-4. 14 年間1次エネルギー消費量の分布

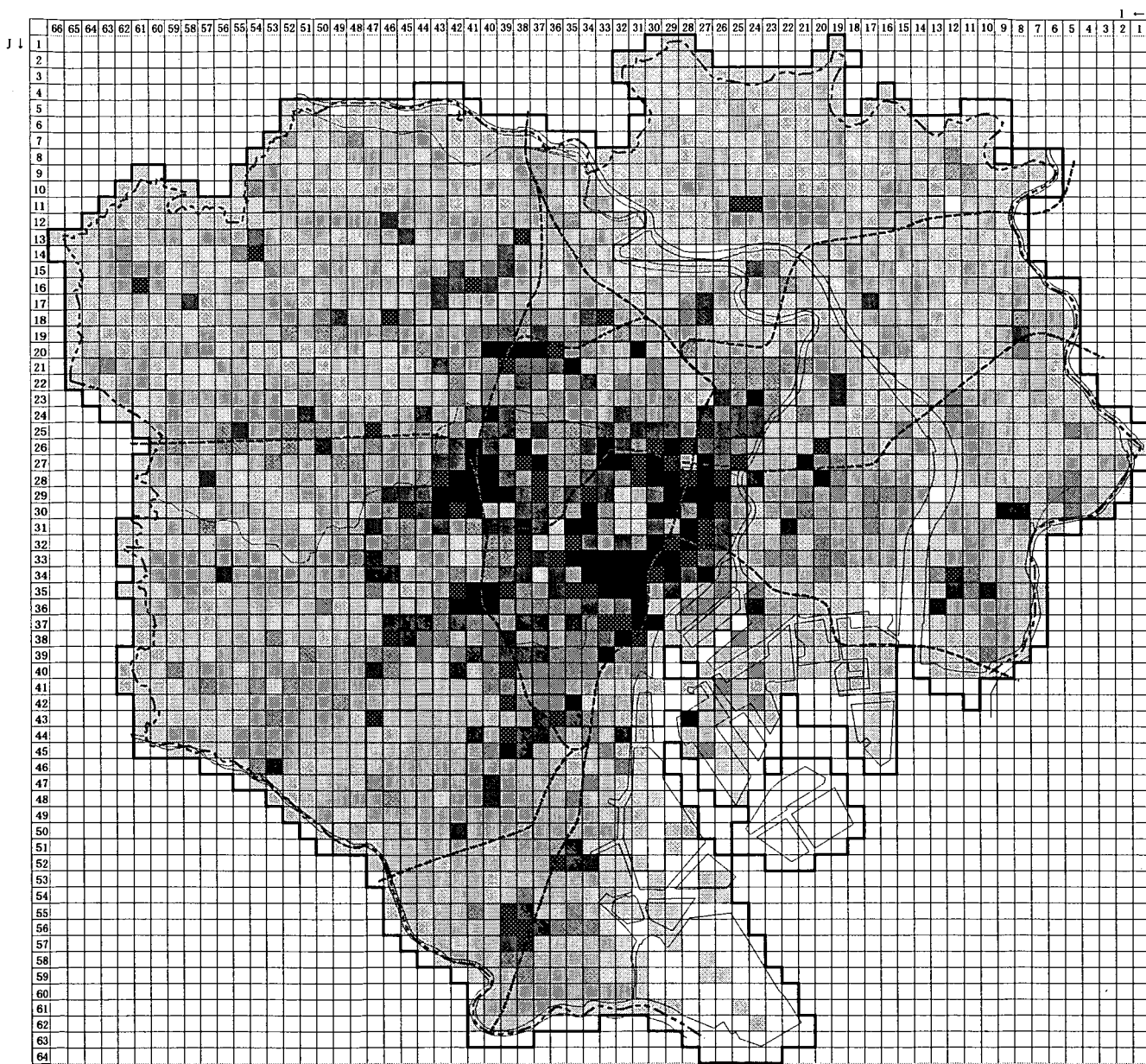


全メッシュ合計 : 3,878,169t-C/年
 最大メッシュ : 14,702t-C/年 (I, J)=(38, 20)

0	□ : 270メッシュ
0~1000	▨ : 890メッシュ
1000~2000	▩ : 1026メッシュ
2000~3000	▤ : 267メッシュ
3000~4000	▥ : 145メッシュ
4000~5000	▦ : 58メッシュ
5000~	■ : 82メッシュ
(t-C/年・メッシュ) (計2738メッシュ)	

(a) 水熱エネルギー利用なし

図-4. 15 年間CO₂排出量の分布

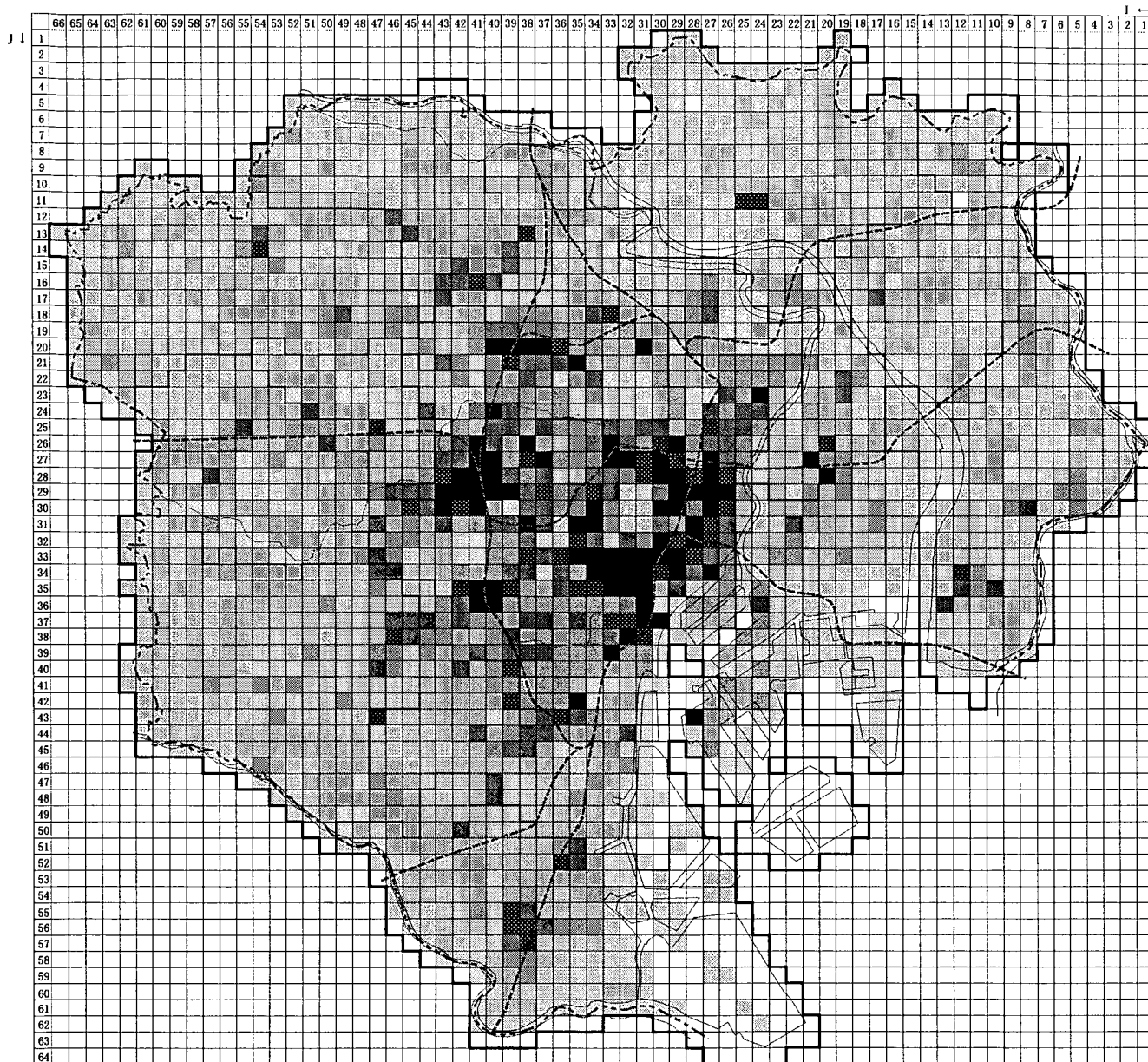


全メッシュ合計 : 3,803,540t-C/年
 最大メッシュ : 14,702t-C/年 (I, J)=(38, 20)

0	: 270メッシュ
0~1000	: 903メッシュ
1000~2000	: 1042メッシュ
2000~3000	: 250メッシュ
3000~4000	: 139メッシュ
4000~5000	: 57メッシュ
5000~	: 77メッシュ
(t-C/年・メッシュ) (計2738メッシュ)	

(b) ケースA

図-4. 15 年間CO₂排出量の分布

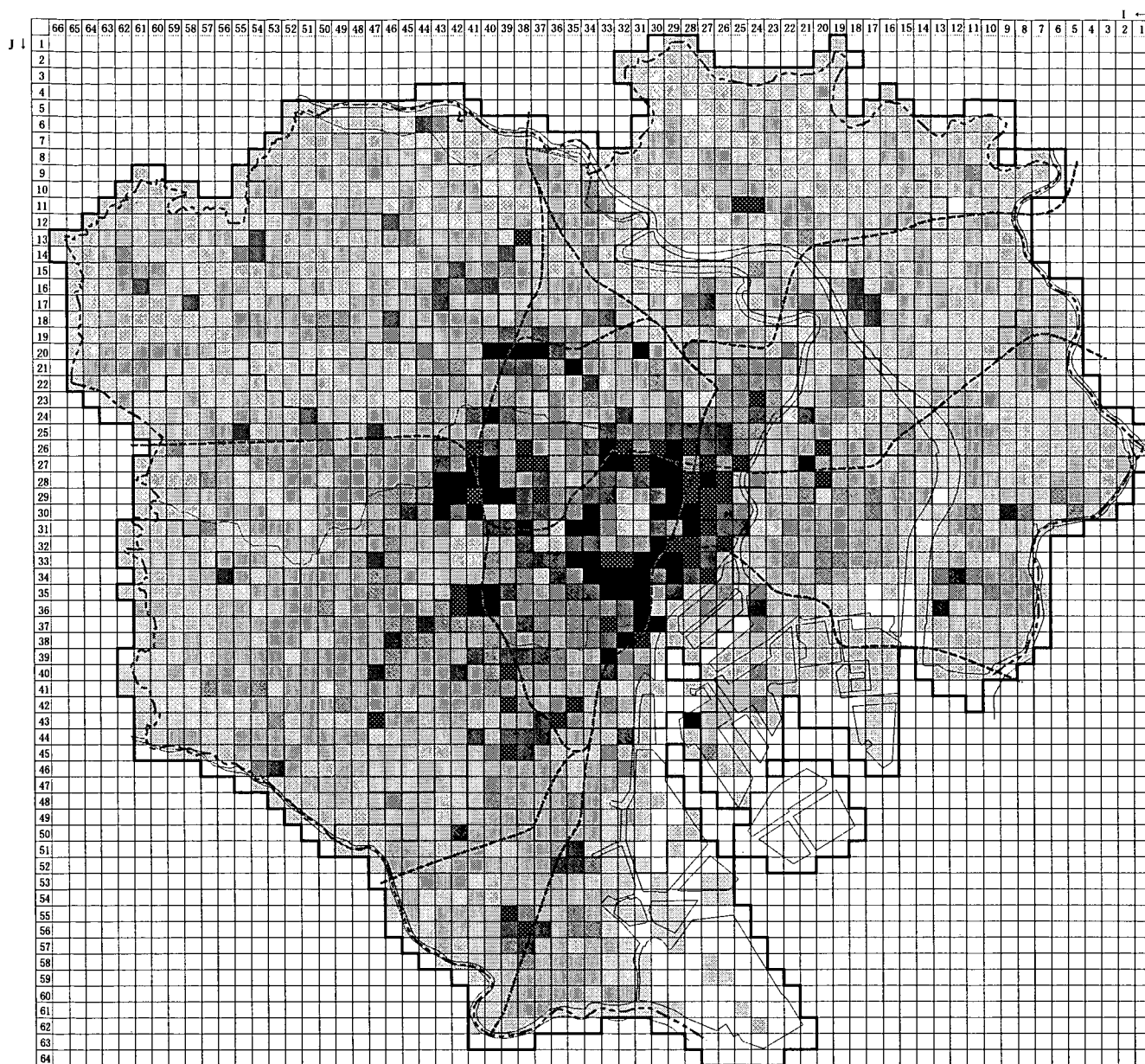


全メッシュ合計 : 3,629,605t-C/年
 最大メッシュ : 14,680t-C/年 (I, J)=(38, 20)

0	: 270メッシュ
0~1000	: 1020メッシュ
1000~2000	: 951メッシュ
2000~3000	: 241メッシュ
3000~4000	: 131メッシュ
4000~5000	: 50メッシュ
5000~	: 75メッシュ
(t-C/年・メッシュ) (計2738メッシュ)	

(c) ケース B

図-4. 15 年間CO₂排出量の分布

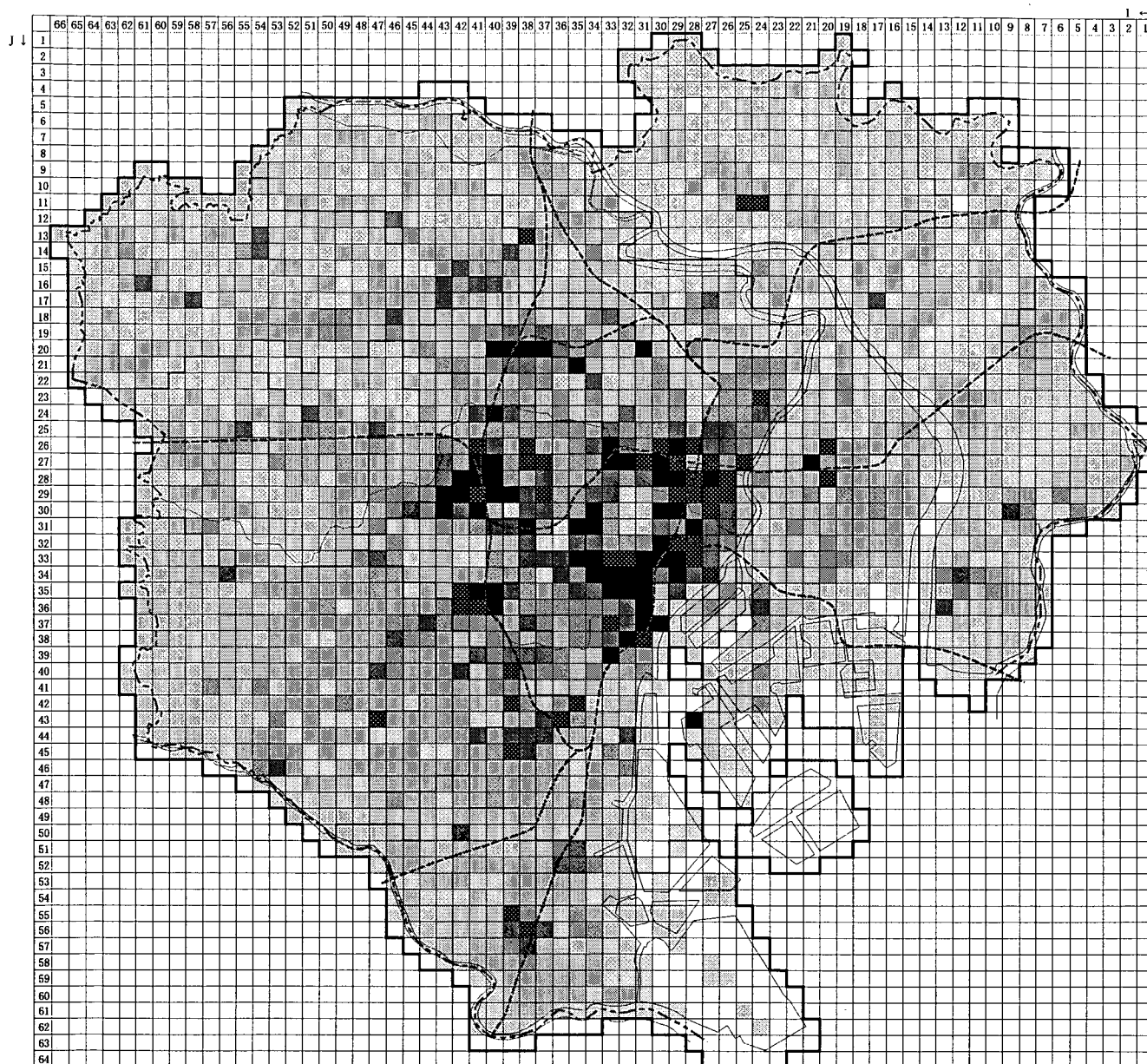


全メッシュ合計 : 6,937t/年
 最大メッシュ : 26.64t/年 (I, J)=(38, 20)

0	□ : 270メッシュ
0~2	▨ : 1057メッシュ
2~4	▩ : 955メッシュ
4~6	▤ : 241メッシュ
6~8	▥ : 109メッシュ
8~10	▦ : 44メッシュ
10~	■ : 62メッシュ
(t/年・メッシュ) (計2738メッシュ)	

(a) 水熱エネルギー利用なし

図-4. 16 年間NO_x排出量の分布

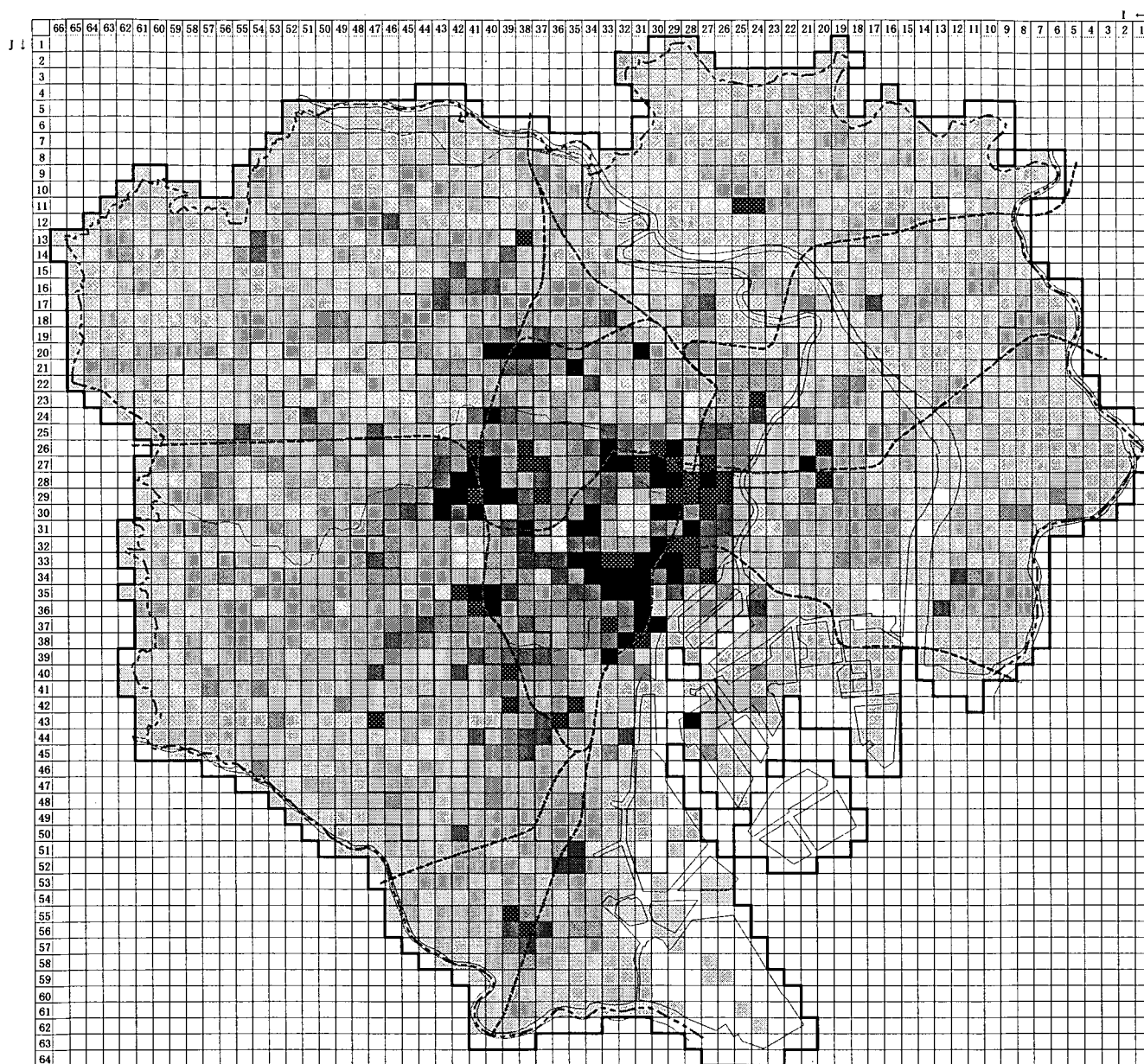


全メッシュ合計 : 6,793t/年
 最大メッシュ : 26.64t/年 (I, J)=(38, 20)

0	□	: 270メッシュ
0~2	▤	: 1073メッシュ
2~4	▥	: 966メッシュ
4~6	▦	: 225メッシュ
6~8	▧	: 103メッシュ
8~10	▨	: 44メッシュ
10~	■	: 57メッシュ
(t/年・メッシュ) (計2738メッシュ)		

(b) ケースA

図-4. 16 年間NO_x排出量の分布



全メッシュ合計 : 6,466t/年
 最大メッシュ : 26.59t/年 (I, J)=(38, 20)

0	: 270メッシュ
0~2	: 1181メッシュ
2~4	: 877メッシュ
4~6	: 222メッシュ
6~8	: 91メッシュ
8~10	: 40メッシュ
10~	: 57メッシュ
(t/年・メッシュ) (計2738メッシュ)	

(c) ケース B

図-4. 16 年間NO_x排出量の分布

4.5.5 排熱量の削減効果

WHP利用分の排熱（水熱利用による供給熱量分からの排熱）と従来のシステム利用分の排熱（水熱利用後の不足熱量分からの排熱）の双方を考慮した建物排熱量を計算し、「水熱利用なし」の場合と比較して、ケースA、ケースBそれぞれの排熱量の削減効果を把握する。

ケースA、ケースBでのWHP利用分からの排熱については、5月～10月の冷熱供給期では水源をヒートシンクとして利用するために、大気への排熱量はゼロとなる。一方、11月～4月の温熱供給期では水源をヒートソースとした取得熱と投入電力の合計（＝供給温熱量）が大気への損失熱となるため、排熱量＝供給温熱量であると考えられる。

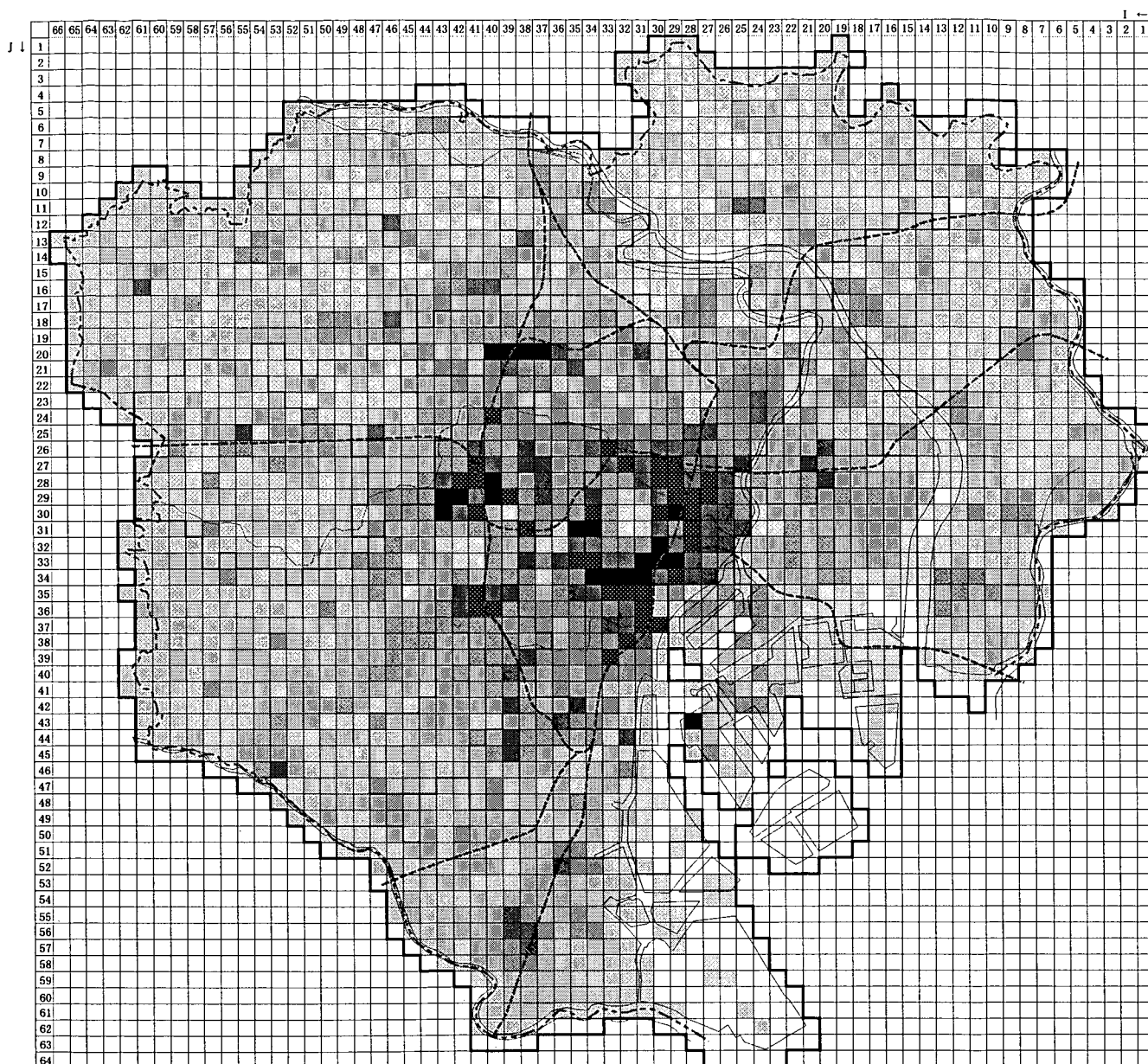
「水熱利用なし」、ケースA、ケースBでの従来のシステム利用分からの排熱については、第2章で設定した排熱原単位を用いて、月別代表日のメッシュ別熱需要量（冷房、暖房、給湯別、住宅、非住宅別）に基づいて排熱量を算定する。なお、効果把握の対象とする建物排熱については、水熱エネルギー利用の検討対象となる熱需要分に起因するものに限定した場合（「熱需要ベース」と呼ぶ）、及び照明・動力等の電力需要分に起因するものも含めた場合（「総エネルギー需要ベース」と呼ぶ）、の2通りに分けて検討する。

以上の条件にもとづき、「水熱利用なし」ケースA、ケースB毎に、各月代表日のメッシュ別建物排熱量を計算し、23区全体で年間集計した結果を表－4.16に示す。23区全体での年間建物排熱量は、熱需要分に起因する排熱を対象とした「熱需要ベース」で、「水熱利用なし」：179,961TJ/年、ケースA：177,533TJ/年、ケースB：174,002TJ/年である。また、照明・動力等の電力需要分に起因する排熱を含めた「総エネルギー需要ベース」では、「水熱利用なし」：329,035TJ/年、ケースA：326,607TJ/年、ケースB：323,076TJ/年となっている。「水熱利用なし」と比較した年間建物排熱の削減量は、ケースAで2,428TJ/年、ケースBで5,959TJ/年となり、削減率で表すと、「熱需要ベース」ではケースAが1.3%、ケースBが3.3%、「総エネルギー需要ベース」ではケースAが0.7%、ケースBが1.8%という結果になる。

図－4.17に冷暖房と給湯利用に伴う排熱量の年間値に及ぼす水熱エネルギー利用の影響を示している。

表－4. 16 水熱エネルギー利用による建物排熱の削減効果（23区全体・年間）

	水熱利用なし	ケースA	ケースB
建物排熱量 (熱需要ベース) (TJ/年)	179,961	177,533	174,002
建物排熱量 (総エネルギー需要ベース) (TJ/年)	329,035	326,607	323,076
排熱削減量 (TJ/年)	—	2,428	5,959
排熱削減率 (熱需要ベース) (%)	—	1.3	3.3
排熱削減率 (総エネルギー需要ベース) (%)	—	0.7	1.8

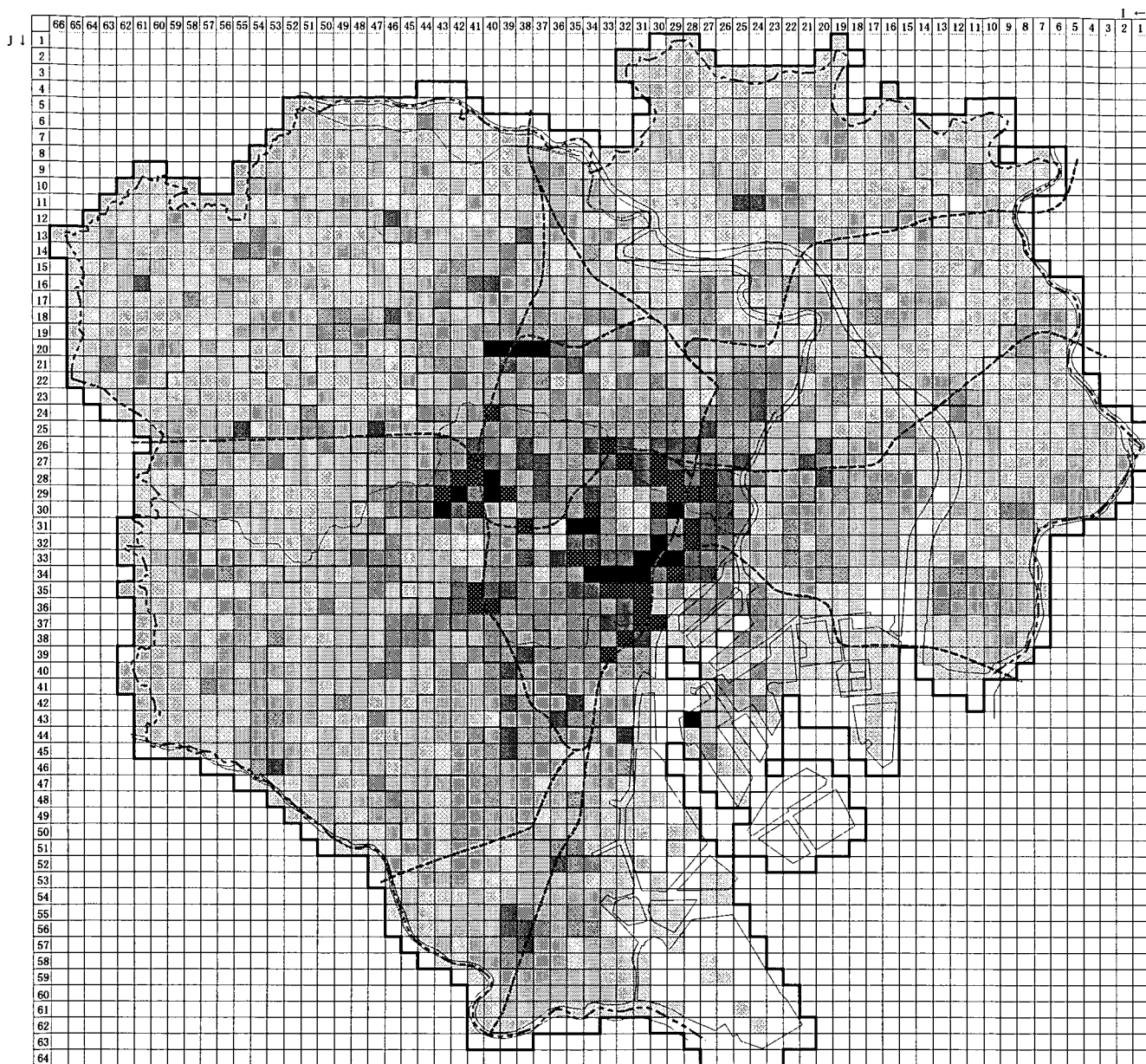


全メッシュ合計 : 179,961TJ/年
 最大メッシュ : 804.3TJ/年 (I, J)=(38, 20)

0	□	: 270メッシュ
0~50	▤	: 1129メッシュ
50~100	▥	: 858メッシュ
100~200	▦	: 335メッシュ
200~300	▧	: 89メッシュ
300~400	▨	: 36メッシュ
400~	■	: 21メッシュ
(TJ/年・メッシュ) (計2738メッシュ)		

(a) 水熱エネルギー利用なし

図-4. 17 熱需要ベースでの年間建物排熱量の分布

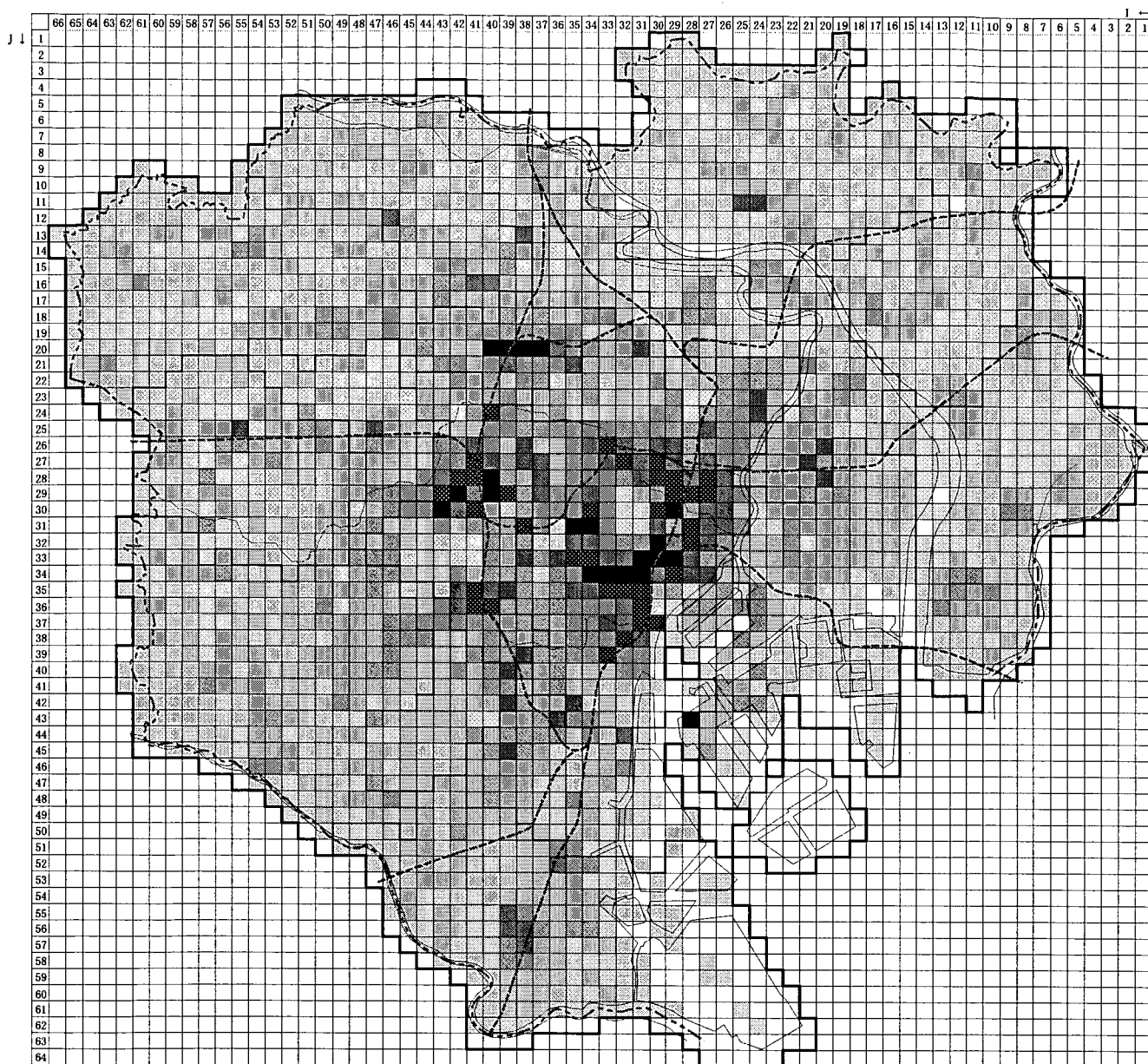


全メッシュ合計 : 177,533TJ/年
 最大メッシュ : 804.3TJ/年 (I, J)=(38, 20)

0	□	: 270メッシュ
0~50	▤	: 1132メッシュ
50~100	▥	: 874メッシュ
100~200	▦	: 321メッシュ
200~300	▧	: 86メッシュ
300~400	▨	: 35メッシュ
400~	■	: 20メッシュ
(TJ/年・メッシュ) (計2738メッシュ)		

(b) ケースA

図-4. 17 熱需要ベースでの年間建物排熱量の分布



全メッシュ合計 : 174,002TJ/年
 最大メッシュ : 803.7TJ/年 (I, J)=(38, 20)

0	□	: 270メッシュ
0~50	░	: 1172メッシュ
50~100	▒	: 850メッシュ
100~200	▓	: 311メッシュ
200~300	■	: 80メッシュ
300~400	■	: 35メッシュ
400~	■	: 20メッシュ
(TJ/年・メッシュ) (計2738メッシュ)		

(c) ケースB

図-4. 17 熱需要ベースでの年間建物排熱量の分布

23区全体では水熱エネルギー利用の排熱量への効果は顕著でないが、「水熱エネルギー利用地区」（ケースA：59メッシュ、ケースB：637メッシュ）においては明確な効果が生じている。表－4.17に水熱エネルギー利用地区を対象を限った場合の効果を整理している。水熱利用前後での排熱削減率は、「熱需要ベース」の場合で、ケースAが約26%、ケースBが約7%、「総エネルギー需要ベース」の場合では、ケースAが約13%、ケースBが約3%となる。ケースAに比較してケースBの効果が小さい理由は、前述のようにケースBでの地下水利用地区における排熱量が極めて大きいためである。

表－4. 1 7 水熱エネルギー利用地区における建物排熱削減効果（年間）

	ケース A		ケース B	
	利用前	利用後	利用前	利用後
利用地区数 (メッシュ)	59		637	
冷温熱合計需要量 (TJ/年)	11,482		106,349	
WHP 供給冷温熱量 (TJ/年)	—	7,331	—	22,178
建物排熱量 (熱需要ベース) (TJ/年)	9,422	6,994	87,411	81,452
建物排熱量 (総エネルギー需要ベース) (TJ/年)	18,817	16,389	172,986	167,027
排熱削減量 (TJ/年)	—	2,428	—	5,959
排熱削減率 (熱需要ベース) (%)	—	25.8	—	6.8
排熱削減率 (総エネルギー需要ベース) (%)	—	12.9	—	3.4

4. 5. 6 水熱エネルギー利用の効果のまとめ

これまで検討してきた水熱エネルギー利用による効果を整理すると、表－4.18のようになる。23区全体での効果はいずれも数%程度となっている。これは、水熱エネルギー利用の検討対象となる利用地区数がケースAで59メッシュ、ケースBで637メッシュであるのに対して、23区全体が合計2738メッシュあることと、エネルギー消費量の極めて高い地区で利用できる水熱エネルギーが限られていることによる。

今回の水熱エネルギー利用の検討においては、コスト面の考慮は行っていないものの、水源からの可採量や利用地区の設定、需給間の熱量バランス等について、多分に現実性を加味した絞り込みを行っており、その意味でも今回得られた結果は妥当な値であると考えられる。実際の水熱エネルギー利用について、地域熱供給事業や処理場場内利用などの形で利用事例も徐々に増えてきており、省エネルギーや環境保全および排熱抑制の観点からも、今後より一層の普及・拡大が望まれる。

表-4. 18 水熱エネルギー利用効果のまとめ (年間)

			ケース A	ケース B
省エネルギー率	23区全体 利用地区		1.4%	4.7%
			28.7%	10.2%
CO ₂ 削減率	23区全体 利用地区		1.9%	6.4%
			39.8%	14.3%
NOx削減率	23区全体 利用地区		2.1%	6.8%
			42.5%	15.0%
排熱 削減率	熱需要ベース	23区全体	1.3%	3.3%
		利用地区	25.8%	6.8%
	総エネルギー 需要ベース	23区全体	0.7%	1.8%
		利用地区	12.9%	3.4%

5. 水熱エネルギー利用に伴う河川水温の変化

前章での検討から、水熱エネルギーの可採量や利用地区の分布からみて利用可能性の高い河川として荒川下流部や隅田川などの感潮河川が選定された。これらの河川水の水熱エネルギー利用を推進するには、設置コストや適地の問題を解決することは勿論のこと、排熱が河川水温に与える影響を把握しておく必要がある。都市内を流れる感潮河川では潮汐に対応して流れが往ったり来たりするばかりでなく、海水の遡上により密度成層が形成され、鉛直方向の混合が起こりにくくなる。また、流域の下水処理区から処理水が排水されたり、小河川との分合流が生じている。したがって、河川の水温もこれらの現象の影響を受けて複雑な変化を示すものと予想されることから、このような現象を考慮した数値モデルにより水熱エネルギー利用に伴う水温変化の予測を行う必要がある。

水温変化は魚類の生息領域を脅かすばかりでなく、微生物による分解の反応速度を変えることから、水質変化予測や河川生態系評価にとっても重要な要素であるが、荒川のような感潮河川における水温や流れの実態、水温変化の要因は必ずしも詳細に把握されていない。また、感潮河川における水熱エネルギーの利用に伴う流れ、水温への影響予測に関する研究報告も数少ない²⁾。そこで、本章では感潮河川を対象とした1次元の水温予測モデルを作成し、荒川にて実施した流れと水温等の現地観測結果によりモデルの検証を行った上で、地域冷暖房システムの導入可能性と将来熱需要予測に基づくシナリオを与えて、水熱エネルギー利用に伴う水温変化を計算し、水熱エネルギー利用による河川水温への影響予測を行う。

5.1 流れと水温に関する1次元モデル

都市内を流れる感潮河川における水温形成には、小河川に分合流、下水処理水の流入、密度流の発生、放射、大気との熱交換などの要因が複雑に関連している。本来ならば、これらのすべてを考慮した3次元的なモデリングが望ましいが、ここでは断面平均的な水温変化を簡便に予測することを念頭におき、河川の流れ、水温ともに鉛直方向に平均化した流下方向1次元モデルを採用した。

流れの基礎方程式は式(5.1)、(5.2)で表される。

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\beta Q^2/A)}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial h}{\partial x} - S_o + S_f \right) + L = 0 \quad (5.1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} - q = 0 \quad (5.2)$$

ここで、 Q ：流量、 h ：水深、 A ：流水断面積、 t ：時間、 x ：流下距離、 g ：重力加速度、 S_o ：河床勾配、 S_f ：摩擦勾配($=n^2|Q|Q/A^2R^{4/3}$)、 L ：運動量のもち出し($=qQ/A$)、 B ：水面幅、 n ：粗度係数、 R ：径深、 q ：単位長さ当りの横流入量である。運動量補正係数 β の値は後述する横断面における流速分布の計測データを用いて算出した。 β の値は断面平均流速が小さくなるほど大きくなる傾向が見られたものの、後述の計算では、 β の推定精度や計算結果に及ぼす感度を勘案し、一定値 $\beta=1.1$ を与えた。

熱輸送は移流拡散方程式を用いて次のように表す。

$$\frac{\partial(AT)}{\partial t} + \frac{\partial(\eta QT)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(AD_L \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{RB}{\rho C_p} + qT_0 \quad (5.3)$$

ここで、 η : 断面補正係数 ($= \iint \eta dA / VAT$)、 T : 断面平均水温、 D_L : 縦分散係数、 R : 熱収支残差、 ρC_p : 水の熱容量、 $\rho = 1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 、 T_0 : 基準温度、 v 、 τ : 横断面内任意の地点における流下方向流速と水温である。横断面内の温度分布は、後述の観測結果によると上下流における横流出入の有無や干満の状態によって影響を受けるため、相似的な温度分布を与えることは難しい。一方、 η の値が温度の計算結果に与える影響を検討したところ、 $\eta = 1.1$ と仮定したときの水温計算値と $\eta = 1.0$ の計算値とは最大で 0.1°C の差であった。そこで、本計算では $\eta = 1.0$ と仮定し、式(5.2)、(5.3)から導かれる式(5.4)を適用した。また、熱収支項は式(5.5)のように表される。

$$A \frac{\partial T}{\partial t} + Q \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(AD_L \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{R_{net} B}{\rho C_p} + q(T_0 - T) \quad (5.4)$$

$$R_{net} = L\downarrow - \varepsilon \sigma T_s^4 + (1 - \alpha) S\downarrow - H - \ell E - G \quad (5.5)$$

ここに、 R_{net} : 水表面上の正味放射量、 H 、 ℓE : 水面から大気へ向かう顕熱と潜熱の輸送量、 G : 河床から地中への熱伝導量、 $L\downarrow$: 下向きの長波放射、 T_s : 水表面温度、 α : 水表面のアルベド、 ε : 放射率、 σ : ステファンボルツマン定数、 $S\downarrow$: 全天日射量である。水表面温度は断面平均水温 T に等しいと仮定した。河床の熱伝導量 G は対象河川の水深が大きいことから無視した。また、荒川下流部では河川沿いの植生や構造物による日射の遮断もほとんどないことから無視した。

水表面からの顕熱、潜熱輸送の算定にはバルク法を用い、大気の安定度を考慮したMonin-Obkhov相似則を適用した。バルク法を用いると顕熱輸送量 H 、潜熱輸送量 E 、摩擦速度 u_* は次式により算出される。

$$\frac{c_p \rho}{H} k u_* (\theta_s - \theta) = \int_{\zeta_T}^{\zeta_z} \frac{\phi_h(\zeta)}{\zeta} d\zeta \equiv \Psi_h \quad (5.6)$$

$$\frac{\rho_a}{E} k u_* (q_s - q) = \int_{\zeta_q}^{\zeta_z} \frac{\phi_e(\zeta)}{\zeta} d\zeta \equiv \Psi_e \quad (5.7)$$

$$\frac{l}{u_*} k U = \int_{\zeta_0}^{\zeta_z} \frac{\phi_m(\zeta)}{\zeta} d\zeta \equiv \Psi_m \quad (5.8)$$

ここで、 $\zeta_z = z/L$ 、 $\zeta_q = z_q/L$ 、 $\zeta_T = z_T/L$ 、 k : カルマン定数 ($= 0.4$)、 u_* : 摩擦速度、 θ : 温位、 θ_s : 水表面の温位、 $\rho_a = 1.2 \text{ kg/m}^3$ 、 c_p : 空気の比熱、 ϕ_e 、 ϕ_h 、 ϕ_m : 比湿、気温、風速の鉛直勾配に関する普遍関数、 Ψ_e 、 Ψ_h 、 Ψ_m : 比湿、気温、風速の積分普遍関数、 L : 大気の安定度スケールである。普遍関数 ϕ_m 、 ϕ_h 、 ϕ_e は大気の安定度に応

じた式で表す。大気の安定度スケール L と運動量、顕熱、潜熱輸送に関する粗度高さ z_0 、 z_T 、 z_q は式(5.12)により算出した。

$$\phi_m = (1 - 16\zeta)^{-1/4}, \quad \phi_h = \phi_e = (1 - 16\zeta)^{-1/2} \quad \text{不安定時 } (-1 < \zeta < 0) \quad (5.9)$$

$$\phi_m = \phi_h = \phi_e = 1 + 7\zeta \quad \text{安定時 } (0 < \zeta) \quad (5.10)$$

$$L = \frac{u_*^2 \theta}{kgT_*} = -\frac{c_{pa} \rho_a u_*^3 \theta}{kgH} \quad (5.11)$$

$$z_0 = 0.135 v / u_*, \quad z_q = 0.624 v / u_*, \quad z_T = 0.395 v / u_* \quad (5.12)$$

ここで、 v ：空気分子動粘性係数である。これらの式に対してある高度での気温、相対湿度、風速を与えることにより顕熱輸送量と潜熱輸送量が求められる。

5.2 1次元モデルの検証

5.2.1 現地調査による感潮河川の流量・水温の実態把握

(1) 対象河川と計測手法

現地調査区間は、荒川本川の新荒川大橋より下流およそ15kmの区間である(図-5.1)。この区間の横断面測量データに基づき算出される河床勾配は、観測区間下流部で1/6000程度と非常に緩い。

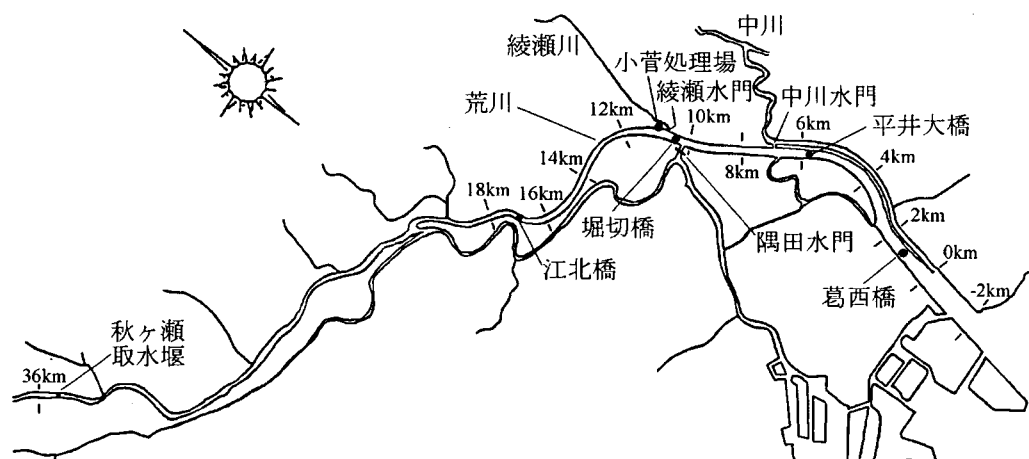


図-5.1 検討対象区間の平面図(荒川下流部)

荒川の現地調査は1998年9月18日～21日にかけて行った。調査項目は荒川の水力、分合流の水力、気象に関するものに大別される。荒川本川では、ボート2隻を用いて6横断面(5.5km(平井大橋下流)、9.25km、11.5km(小菅処理場付近)、13.5km(西新井水位観測所上流)、16.5km(江北橋下流)、18.5km(鹿浜橋下流))における流速、水温、塩分濃度、電気伝導度の計測を19日と20日に実施した。流速分布はADCP(RD Instrument社製1200kHz及び2400kHz)を用いた横断面内移動測定により層厚25cmの解像度で把握した。計測

はある時刻で1カ所あたり2回行った。ADCPはボートの後部に1台設置し、横断方向に一定速度でボートを移動させる間にデータのサンプリングを行った。水温等は横断面内の数箇所まで停泊して測定機器（アレック社製のアレック・メモリーSTD）を投下し、着床するまでの間、水面下50cmから50cm間隔でデータを収集した。水表面温度もとらえるため、表層水に差込んだ白金温度計からの信号をデータロガーに記録した。9.25kmと16.5km地点では河川の中央のみで水温の鉛直分布を測定した。

気象計測は、約11.5km地点（小菅処理場近く）の高水敷上水際近傍にて実施した。計測項目は全天日射量、長波放射量、10mまで4高度における気温、湿度、風速、風向等である。また、西新井水位観測所地点でも気温、湿度、風速、日射量の測定を行った。計測データは1分間隔でデータロガーに記録させた。

分合流に関しては、隅田川、綾瀬川、中川及び木下川と荒川本川との間で水門等を介して流れが行き来している。この絶対量は従来よく把握されていないことから、今回の調査では隅田川（隅田水門）、中川（中川水門）、綾瀬川（綾瀬水門）、木下川（木下川水門）からの流入・流出流速、水温、水質を測定した。流速は水門内の流路区間10～30mを利用して浮子による表面流速測定により求めた。水温は表層水をバケツにより採水し、棒温度計により測定した。

計測とは別に荒川下流工事事務所による定期観測データ（荒川本川の水位、水温データ、荒川の河道横断面データ、事務所屋上での気温、湿度、風速、風向、気圧データ）、東京都下水道局による小菅処理場からの放流量、放流水温データ等を入手した。水温データは葛西橋、平井大橋、堀切橋、江北橋、新荒川大橋地点それぞれにおいて、深さの異なる3カ所で測定されている。

（2）気象状況

観測船を用いた詳細観測を行った9月19日、20日のうち、19日の午前中は霽のかかった状態だったが、それ以外はほぼ快晴であった。観測当日の気温、湿度、風速データを図-5.2に示す。これらの値は高水敷上高度約7m（小菅地点）において測定されたものである。19日の午前11時頃からは河川上を海風が吹き始め、最大で8m/s以上に達した後、夕方から翌朝にかけては徐々に減衰していく傾向を示した。20日には再び海風が発現し、19日と同様の傾向をたどった。気温は日中最高30度以上を記録するほどの残暑であった一方、水温は図-5.3に示すように20～24度程度と低かった。両日もとも雲が少なく、日射量は最大800W/m²程度に達した。

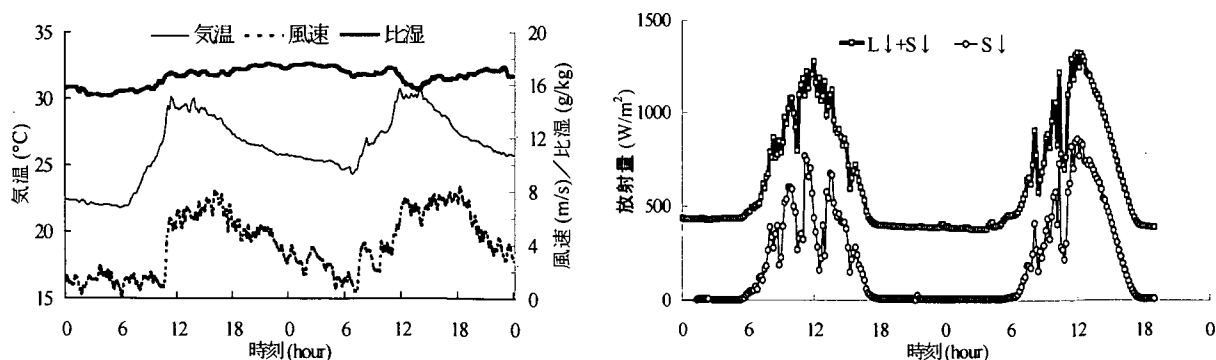
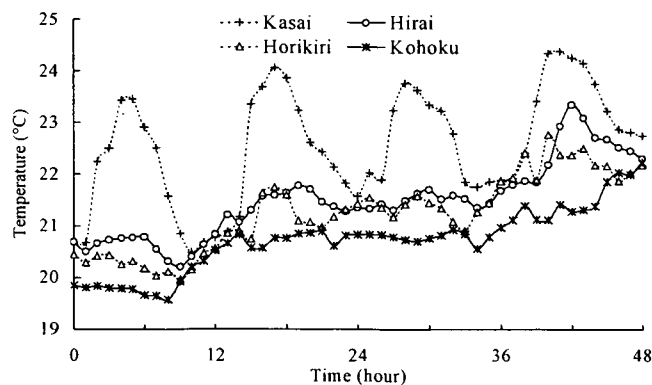


図-5.2 現地調査時の気象状況



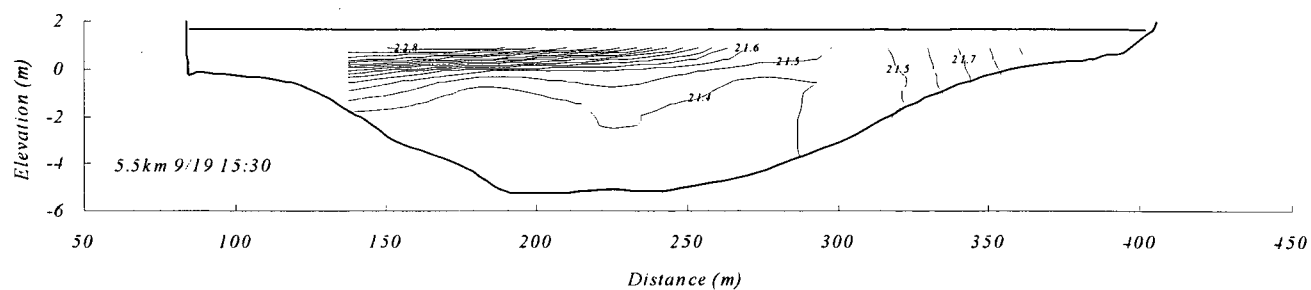
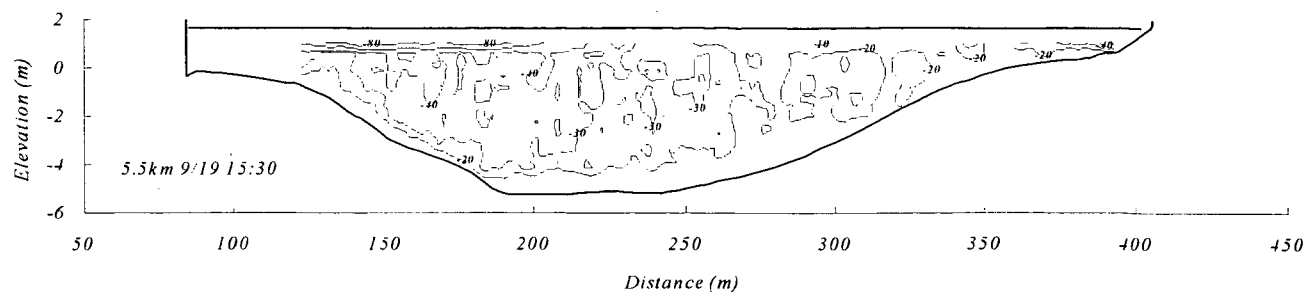
図－5．3 水温の時間変動（観測結果）

（3）流れと水温の特徴

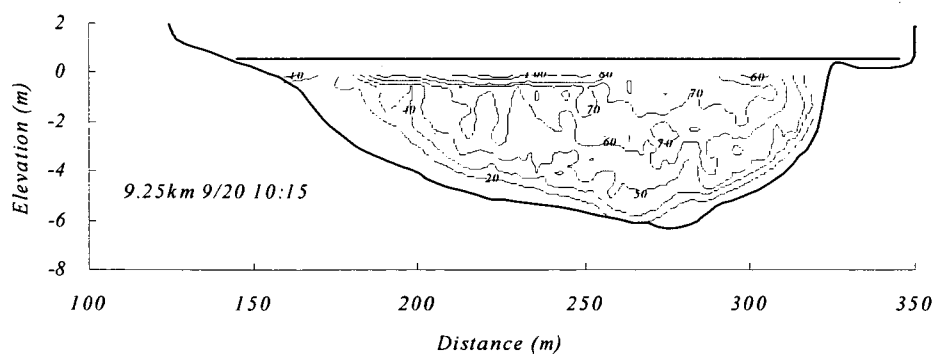
観測期間は洪水の逓減期にあたり、観測区間の上流側にあたる水資源公団秋ヶ瀬管理所の秋ヶ瀬取水堰下流放流量データによると、観測初日の0:00には約 $220\text{m}^3/\text{s}$ あった流量が徐々に減少し、観測終了日の9月20日24:00には約 $120\text{m}^3/\text{s}$ であった。

ADCPとSTDの計測データを用いて描いた横断面の流速と水温分布の例を図－5.4～5.8に示す。満潮時、5.5km地点の左岸表層近傍で最も流れが速く、左岸表層部の水温がそれぞれ横断面中央部の水温よりも約 1.4°C 高くなっている。葛西橋の水温変化（図－5.3）を見てみると、この2つの時間帯に河口部の暖かい水塊が上流に移動してきていることが推定されることから、この水塊の影響が流れの速い左岸側に顕著に現れたものと考えられる。

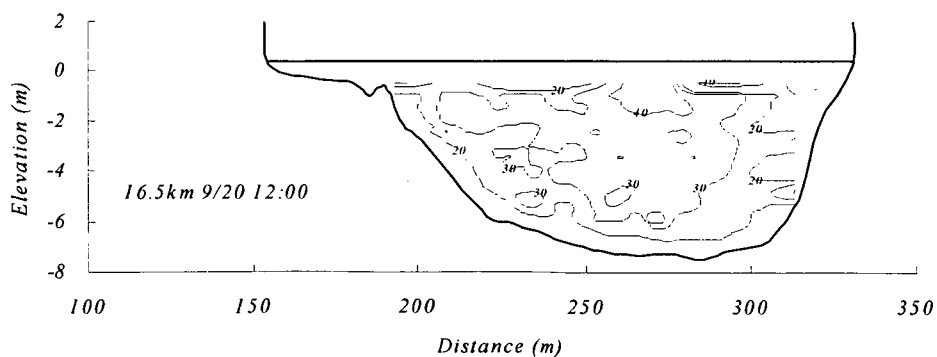
各断面の水温分布には表層で水温が高く、下層に行くに従って水温が低下するという一般的傾向が見られたが、これに加えて、11.5km地点や18.5km地点の計測結果からは、水深の浅い河岸に近づくに連れて水温が高くなる特徴も見られた。11.5km地点では右岸寄りに水温の最も低くなる部分がある。これは、この地点では左岸から小菅処理場の下水処理水が流入してきていることと何らかの関係があるのではないかと推察されるものの、これより少し上流の13.5kmで9月20日の10:00頃（順流時）に測定した結果にも同様の傾向が出ていることを考えると、横断面内の流速分布によって引き起こされた可能性もある。横断面内の流速分布に関するより詳細なデータは文献3)に掲載してある。



図－5. 4 河口から5.5km地点（平井大橋付近）における流速（上）と水温（下）の横断面内分布



図－5. 5 河口から9.25km地点における流速の横断面内分布



図－5. 6 河口から16.5km地点（江北橋付近）における流速の横断面内分布

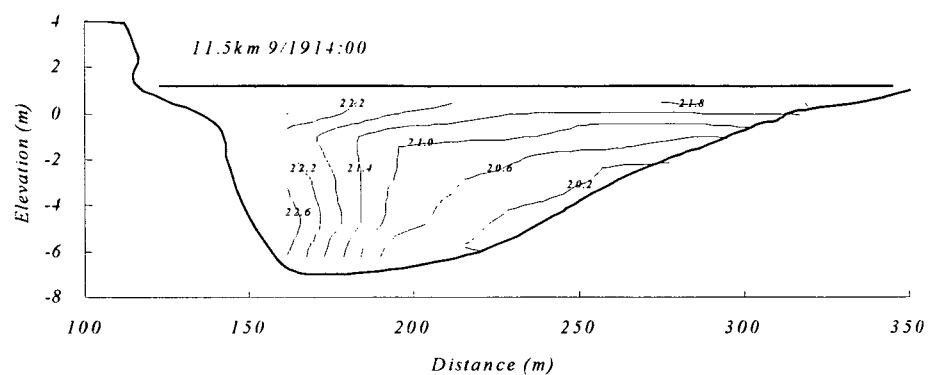
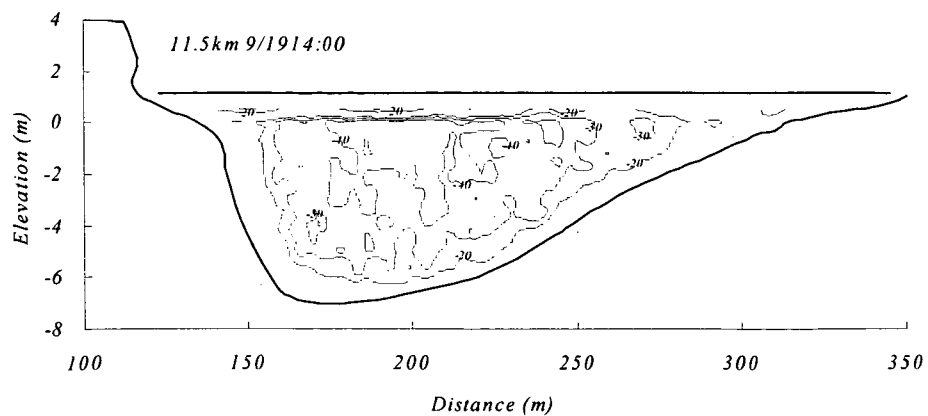


図-5. 7 河口から11.5km地点小菅処理場付近)における流速と水温の横断面内分布

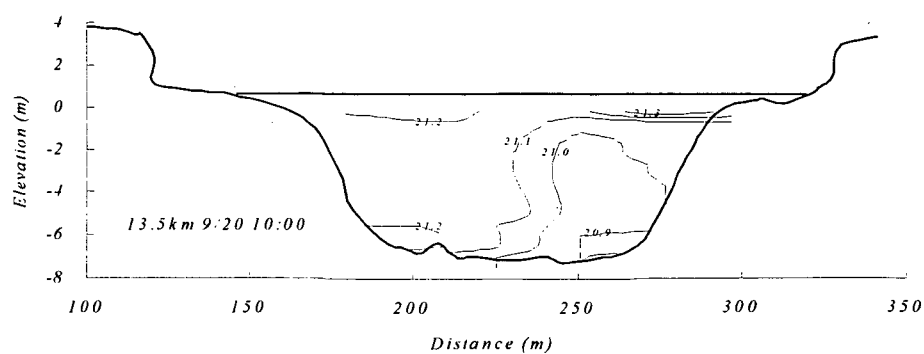
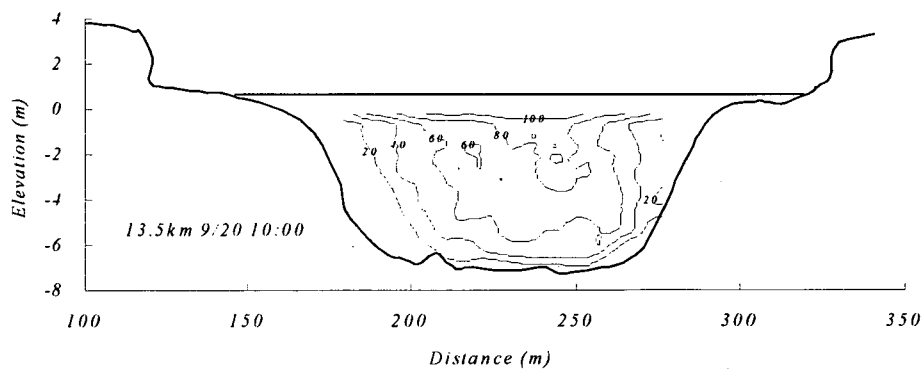


図-5. 8 河口から13.5km地点における流速と水温の横断面内分布

5.2.2 モデルのキャリブレーション

流れの計算範囲は、秋ヶ瀬取水堰地点から河口部（-0.5km）までとし、上流端境界条件には秋ヶ瀬取水堰の放流量、下流端境界条件には南砂町水位観測所の水位データを与えた。水温の計算範囲は時間毎の計測データが得られた江北橋（河口から17km）から葛西橋（河口から1.3km）までとし、両地点における水温の測定値を上下流端の境界条件として与えた。

流れの基礎方程式は、4点陰形式差分法により差分化し、Double Sweep法を用いて解いた。また、拡散方程式の移流項は風上差分、拡散項は中央差分を行い、Crank-Nicolson法を用いた逐次近似により解いた。河川の横断面形状は、200～400m間隔の測量値をもとに整備されているデジタル情報を50m間隔に変換して用いた。河床勾配はこのデジタル情報から算出した。

今回の現地観測からの同定が困難な基底流量、粗度係数、縦分散係数については流量、水位、水温の計算値と実測値との整合性を勘案して定めた。粗度係数については水位の計算結果が実測値と最も整合するように対象範囲で一定値0.015を与えた。基底流量は流量の現地観測値や上流端流量、横流出入量に含まれる誤差を考えると、正確な同定は難しいことから、ここでは無視した。

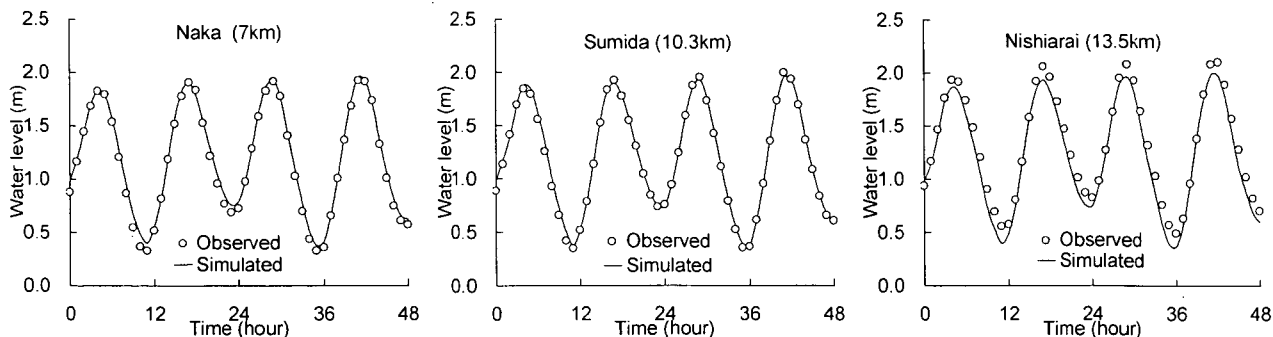
観測区間内の4カ所に設置されている各水門を通過する流量を各水門の表と裏の2カ所で計測されている水位情報から算定できるように、式(5.13)中のパラメータを浮子観測の結果に基づき同定した。なお、木下川排水機場樋管に関しては水位の観測データが入手できなかったことと、流量的には他の水門に比べ小さいことから、数値モデルでは木下川との分合流は、本川が順流時にのみ一定値（合流量 $17\text{m}^3/\text{s}$ 、水温 25°C ）を与えた。

$$q_i = aB_g dH_i^{1/2} H_i^{5/3} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (5.13)$$

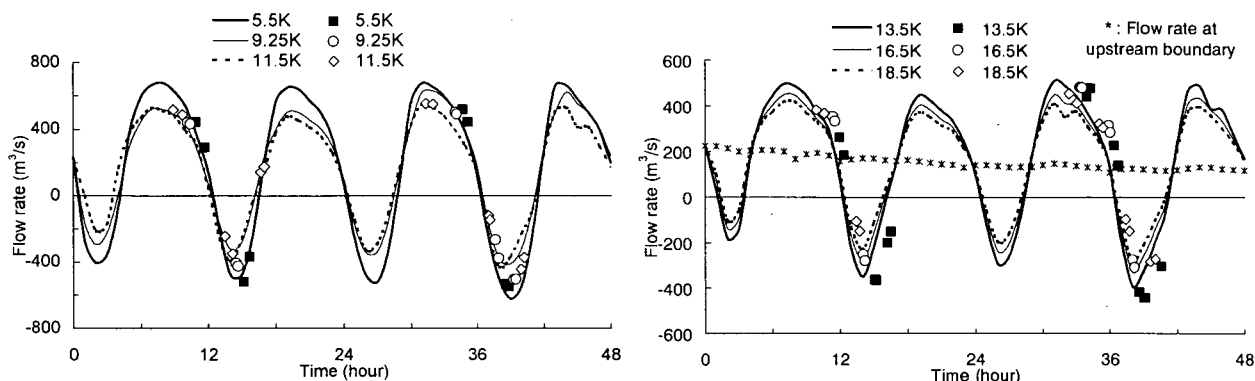
ここで、 q_i ：水門を通過する流量、 B_g ：水門の幅、 dH_i ：水門前後の水位差、 H_i ：水門での水深である。

水面からの熱輸送量を算出する際、本来ならば河川の縦断方向数カ所で水面上の風速、湿度、気温データが必要であるが、本検討では河川縦断方向に一定値を仮定し、近似的に水面近傍の高水敷上7mの計測値を与えて式(5.6)～(5.12)により求めた。なお、当日は大気が安定しており接地層厚も薄くなっていたものと考えられるが、観測データから、高度7mの地点はコンスタントフラックスが成り立つ接地層中に位置していたものと推定された。

図-5.9に水位の計算結果を示す。計算は2地点での実測水位をほぼ再現している。図-5.10は下流の3断面における流量を比較しているが、計算結果と観測値とは良く整合している。しかし、上流3断面では若干計算値が実測を下回る傾向が見られた。これはADCPによる測定で完全に捉えきれない表層50cmにおける流速の影響によるものと考えられる。

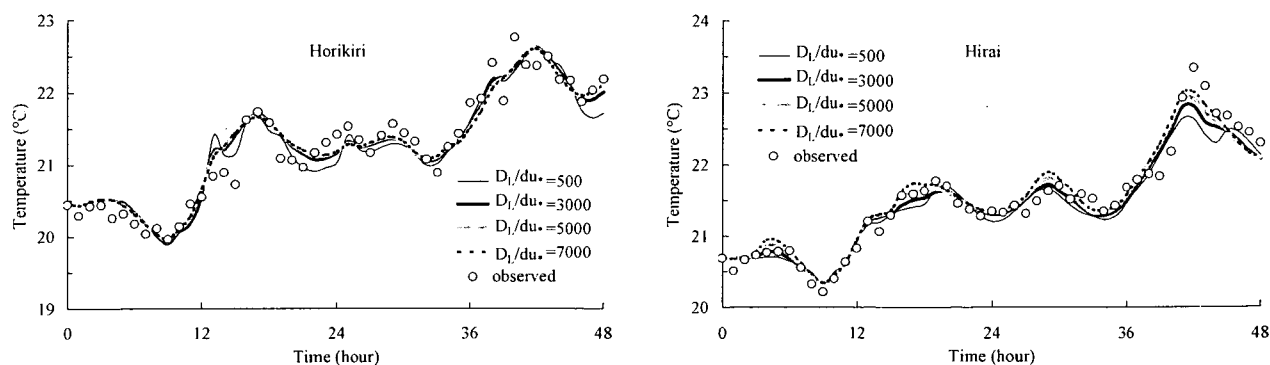


図－5. 9 観測値と計算値の比較（水位）



図－5. 10 観測値と計算値の比較（流量）

縦分散係数 D_L についてはいくつかの実測値が報告され⁵⁾定式化の試みがなされているものの、その同定は現地データとの照合に基づくのが最も精度が高いと考えられる。また、本モデルを用いた予備的検討によると縦分散係数の大小は計算結果に無視できない影響をもたらした。そこで、 D_L を一定値で与えた場合とElderの式形⁵⁾を用いて $D_L = kdu_*$ （ d ：径深）と仮定した場合について実測値との適合性を検討した。その結果、図－5.11に示すように後者で $k=5000$ とした時に最も良く実測値を再現した。 $D_L = kdu_*$ で $k=5000$ とし、今回の水理条件に当てはめたときの縦分散係数は $0 \sim 600 \text{ m}^2/\text{s}$ となった。なお、縦分散係数の同定に与える数値拡散の影響は小さいと推定された。数値計算上の不安定性はみられなかった。



図－5. 11 観測値と計算値の比較（水温）

キャリブレーションでは下流端境界条件の与え方に起因する計算誤差を最小限にするため、葛西橋地点での水温計測値を下流端条件として与えた。しかし、予測計算においては下流端水温が既知ではないため別の方法で与える必要があることから、河口部（-2.0km）における一定水温値を下流端条件とする方法について検討した。その結果、-2.0km地点で24.3度の一定値を与え、移流項に風上差分を用いた場合、葛西橋地点での水温変化をよく再現できることがわかった。このため、5.3節ではこの境界条件の設定手法を用いた。

5.2.3 感潮河川における熱収支

計算した流量、水位、水温が実測値とほぼ整合する結果となったため、計算結果を用いて河川における熱収支の特徴を把握した。観測対象区間における河川水と周囲との熱移動量を顕熱輸送量、潜熱輸送量、正味放射量、横流入量（水門からの流入量、下水処理場からの流入量）について比較したのが図-5.12である。大気との熱交換量は顕熱で大気から河川へ最大約75 W/m²、潜熱は同じく最大33 W/m²が輸送されている計算となった。19日の午前中には靄が発生しており、潜熱が負となっていることと整合している。また、河口部では上流より水温が高いため、潜熱の輸送がより多く行われる。横流入熱量は対象区間の平均値でみても無視できない。

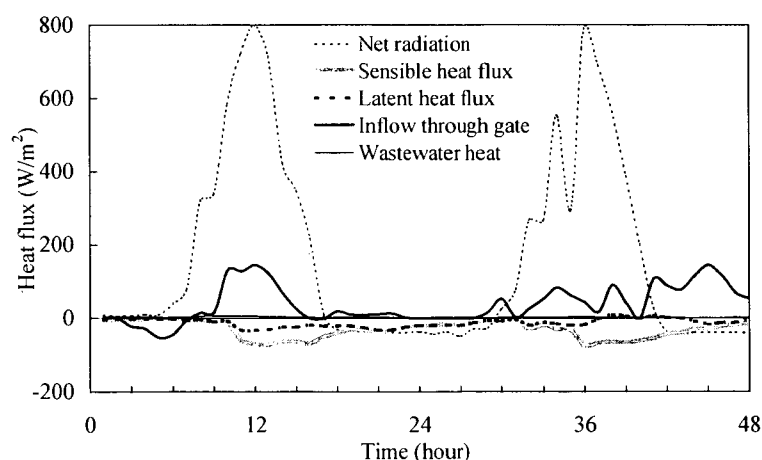


図-5. 12 観測期間中の河川熱収支の計算結果

5.3 水熱エネルギー利用による水温変化の検討

ここでは、前節において検証したモデルを用いて河川の水熱エネルギーを沿川の再開発地域で地域冷暖房システムに利用した場合の水温変化を予測する。水熱エネルギー利用地区や供給熱量については、第4章でのケースAを対象としている。8月代表日の冷房需要を対象とし、供給冷熱量と利用温度差を5℃としたときのヒートポンプの成績係数（COP）を用いて日平均の正味排熱量(q_{DHC})を次式により算出した。

$$q_{DHC} = \text{供給冷熱量} \times (\text{COP} + 1) / \text{COP} \quad (5.14)$$

将来の再開発適地は対象区間内に7カ所存在しており、そのうち6カ所は直接荒川から取水して、排熱を荒川に放出する。残りの1カ所は小菅処理場の下水処理水熱を利用するもので、これは熱損失なしで荒川に放出されると仮定した。このようにして算出された7カ所の排熱量は9.5～1651 GJ/hの範囲内である。排熱

qDHCは式(5.4)の右辺に付け加えられ、計算上は1格子点に付加した。計算上の水理条件（河口水位）、気象条件（気温、湿度、風速）には観測日のものを与えた。これは夏期晴天日の強混合状態を前提としたものである。河口(-2.0km地点)での水温は25℃、上流端水温は21℃に設定した。また、隅田川等との間の分合流はないものと仮定した。

図-5.13、5.14はDHCを導入した場合の水温上昇量を河口から0km、5km、10km、15km、20kmの5地点について示したものである。秋ヶ瀬取水堰地点での流量として2ケース（20m³/s、50m³/s）を想定しており、当然ながら自流量の少ない図-5.13の方が水温上昇量は大きくなる。これらの図より、今回の検討条件下では水温上昇は最大で約0.4℃程度と無視できない量であり、排熱が放出される区間のほぼ中央にあたる10km地点で最も水温上昇量が大きくなることがわかる。また、仮に同じ7カ所から予測の2倍の排熱水を放流した場合についても計算したところ、水温上昇量は最大で約0.85℃であった。魚類生息や河川生態系に及ぼす長期的あるいは短期的影響という観点からこの程度の水温上昇量がどのような意味を持つのかについては最新の研究成果をもとに整理していく必要がある。

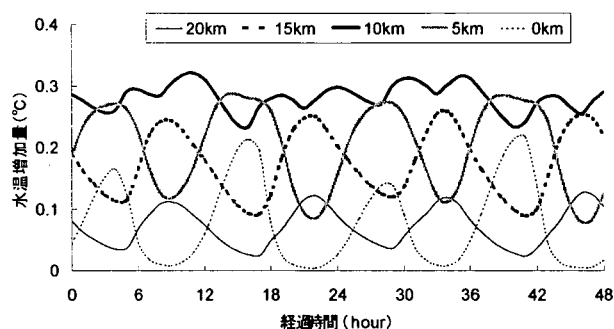


図-5.13 DHCの導入による水温上昇の計算結果
(上流端流量20m³/s)

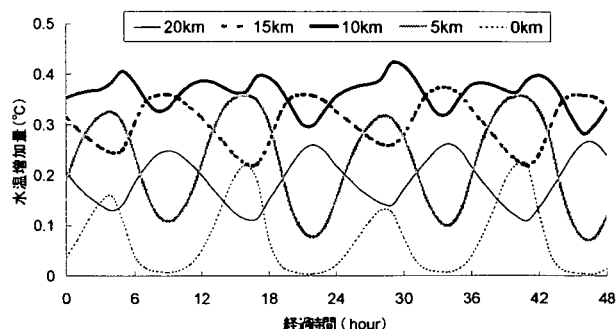


図-5.14 DHCの導入による水温上昇の計算結果
(上流端流量50m³/s)

今回の検討により、強混合状態においては簡易な1次元の影響予測モデルでも十分な精度の水温予測が可能であることが明らかとなった。また、水熱エネルギー利用の将来シナリオをもとに算出される荒川への排熱量の影響により、今回の検討条件のもとでは、最大で0.4℃程度の水温上昇になることが明らかとなった。河川水温は気象条件や上流からの流量、河口の水温変動など多くの要因により変化することから、冬期の温熱利用も含めて、年間を通じた水温、水質予測を行う必要がある。そのためには、温度成層の影響を考慮するとともに、境界条件の設定、特に隅田川などの中小河川との間での河川水の交換を適切に取り扱うことが必要である。また、排熱の放流口付近での水温の3次元性や水温変化が生態系に及ぼす影響に関して知見を蓄積していく必要がある。

6. まとめと今後の課題

都市における社会・経済活動の活発化に伴う、エネルギー消費の増大や二酸化炭素等の温室効果ガスの排出量の増加は、都市の熱環境のみならず地球環境にまで影響を及ぼしつつある。今日、国内外を問わず多くの都市で顕在化が確認されているヒートアイランド現象に何らかの対策を施すことが、都市の持続ある発展のためには不可欠な状況が生じつつある。

本研究は、都市のヒートアイランドに対する緩和対策を検討する上での必要な人工排熱に関するデータを整備した。また、具体的な緩和対策の一つとして、河川水や下水等の有する未利用熱エネルギーを、都市内の地域冷暖房などに活用した際の省エネルギー効果、環境保全効果、及び人工排熱の抑制効果を算定し、水熱エネルギー利用の有効性について検討したものである。得られた成果を要約すると以下のようなものである。

(1) 人工排熱の時空間分布データの整備

- 東京都23区における主要な排熱源に対して、500mメッシュ、1時間単位で人工排熱に関するデータを現状と将来に対して整備した。これまでの土地利用の種類に基づく方法ではなく、床面積を利用した方法であり、より高い信頼性を期待できる。
- 夏期における23区全体の排熱量としては、建物排熱が最も多く、次に自動車交通、工場からの排熱へと続く。
- 2010年までに、再開発事業の進展により、冷房や電力利用からの排熱量が大幅に増大するものと予想される。
- 道路交通センサスから推計した自動車交通からの排熱量はかなり大きく、特に夜間の熱環境に大きな影響を与えることが予想される。
- 人工排熱量は、夏期より冬期の方が高い。冬期の排熱量のピークは1月であるが、夏期のピークは8月である。

(2) 熱エネルギーの可採量と利用効果の算定

- 下水、都市河川、地下水の各水源別・施設別に水熱エネルギー可採量を設定した。
- エネルギー需給間の位置的関係と熱量的バランス、及び制度上の問題等の現実的な制約条件も加味しながら、水熱エネルギー利用地区を設定した。
- 現実的な水熱エネルギー利用を想定した場合には、利用地区における年間熱需要量の約64%を供給できる。省エネルギー率は約29%、CO₂、NO_xの削減率については約40%、43%と大幅な効果を期待することができる。
- しかし、水熱エネルギー利用を有効に導入できる地区は限られているため、23区全体からみた省エネルギー率は1.4%、CO₂、NO_xの削減率は1.9%、2.1%にとどまる。

(3) 熱エネルギー利用の河川水温への影響の検討

- 強混合状態においては簡易な1次元の影響予測モデルでも十分な精度の水温予測が可能である。
- 水熱エネルギー利用の将来シナリオをもとに算出される荒川への排熱量の影響により、秋ヶ瀬取水堰

下流への放流量が $20\text{m}^3/\text{s}$ に対して最大で 0.4°C 程度の水温上昇が生ずると予測される。

今後の課題として次のことが挙げられる。

- 1) 東京におけるヒートアイランド現象の解析を、正確な人工排熱を考慮して行うためには、23区のみでは不十分であり、東京周辺部での排熱量も推定することが必要である。今回の解析結果に基づき、細密数値情報等を用いて推定する方法を確立することが必要である。また、データベース化を進める必要がある。
- 2) 今回の排熱データを用いて都市気候シミュレーションを行い、排熱の気温上昇への影響を検討することが必要である。
- 3) 水熱エネルギー利用の導入するための費用の算定と地域冷暖房システムを導入する際の問題点を整理する。
- 4) 水熱エネルギー利用の河川への影響を評価するためには、年間を通して河川の水温、水質を予測する必要がある。そのためには、温度成層の影響を考慮するとともに、境界条件の設定、本川支川間での河川水の交換を適切に取り扱うことが必要である。また、排熱の放流口付近での水温の3次元性や水温変化が生態系に及ぼす影響に関して知見を蓄積していく必要がある。

参考文献

- 1) (財)日本エネルギー経済研究所、エネルギー計量分析センター：エネルギー・経済統計要覧(1999年版)、1999.
- 2) 東京都環境保全局：東京エネルギービジョン、1999.
- 3) 日本建築学会地球環境委員会：都市熱環境の実態・予測・評価に関する研究成果集、1999.
- 4) (社)日本地域冷暖房協会：地域冷暖房技術手引書、1997.
- 5) 尾島俊雄研究室：建築の光熱水原単位（東京版）、早稲田大学出版部、1995.
- 6) 一ノ瀬俊明、花木啓祐、松尾友矩：細密地理情報にもとづく都市人工排熱の時空間分布の構造解析、環境工学研究論文集、第31巻、263-273、1994.
- 7) 半田真理子：都市の熱環境に及ぼす緑被の効果に関する研究、土木研究所資料、第3578号、59-72、1998.
- 8) 金鐘敏、松尾陽、坂本雄三、永田明寛、西岡真稔：東京都区部の人工排熱量マップ（都市表面の伝熱に関する研究・その2）、日本建築学会大会学術講演梗概集、環境工学、559-560、1996.
- 9) 日本建築学会地球環境建築特別研究委員会：地球環境保全のための都市・建築の計画手法に関する総合的研究、1995.
- 10) 新エネルギー・産業技術総合開発機構：未利用エネルギー活用ガイドブック、1998.
- 11) (社)日本地域冷暖房協会：プロジェクト2010 日本全国地域冷暖房導入可能性調査研究 平成6年度報告書、1995.
- 12) 早川一也監修：地域冷暖房システム、井上書院、1992.
- 13) (財)日本地域開発センター：下水熱利用システム計画マニュアル、1998.
- 14) 中本至監修、下水熱利用促進研究会：最新下水道 未利用エネルギー活用の手引き、1994.
- 15) 三原一伸：都市域のエネルギー利用、雨水技術資料、第35号、43-51、1999.
- 16) 坂本雄三、中原信生：感潮河川における地域冷暖房温排水の影響シミュレーション、空気調和衛生工学会学術講演会講演論文集、1269-1272、1992.
- 17) 建設省河川局監修、(財)国土開発技術研究センター：河川水熱エネルギー利用に係る河川環境影響評価検討指針（案）、
- 18) 東京都都市計画局：東京の土地利用、平成8年度東京都区部、1998.
- 19) 東京都総務局：東京都統計年鑑、東京都統計協会、各年度分.
- 20) 建設省都市局：都市再開発ハンドブック 平成10年度版、ケイブン出版、1998.
- 21) 建設省都市局：都市再開発ハンドブック 平成9年度版、ケイブン出版、1997.
- 22) 建設省住宅局監修、(社)全国市街地再開発協会：市街地再開発'91、1991.
- 23) 建設省住宅局監修、(財)住宅・建築省エネルギー機構：省エネルギーハンドブック'98、1998.
- 24) 住環境計画研究所：家庭用エネルギー統計年報 1993年版、1995.
- 25) 東京都環境保全局：地域暖冷房推進に関する指導要綱、1991.

- 26) 三好伸浩、楠田哲也、井村秀文：都市における下水廃熱の利用性に関する研究、環境システム研究、第18巻、118-123、1990.
- 27) 早稲田大学理工学研究所：未利用エネルギー等データベースの作成委託報告書、1992.
- 28) 東京電力（株）広報部：数表でみる東京電力 平成10年度、1998.
- 29) 東京都清掃局：清掃局年報 平成8年度事業実績、1997.
- 30) 東京都清掃局：東京都一般廃棄物処理基本計画 東京スリムプラン21、1998.
- 31) 東京都建設局：平成9年度 全国道路交通情勢調査（道路交通センサス）交通量調査報告書（1／2区部）、1998.
- 32) 運輸省運輸政策局情報管理部：自動車輸送統計年報（平成8年度分），第34巻，第13号，1997.
- 33) 東京都下水道局：東京都下水道事業年報 平成8年度、1998.
- 34) 東京都環境保全局：平成9年度 公共用水域及び地下水の水質測定結果、1998.
- 35) 東京都環境保全局：平成8年度 中小河川環境実態調査報告書 目黒川・古川・呑川編、1998.
- 36) 東京都環境保全局：平成8年 都内の地下水揚水の実態（地下水揚水量調査報告書）、1998.