

◆ 都市気候特集 ◆

都市における人工排熱の時空間分布の推定

— 東京都23区の現在と将来 —

河原能久* 小林裕明** 末次忠司*** 木内 豪****

1. はじめに

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¹⁾、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となっている。本研究は、都市のヒートアイランド現象に対する緩和対策を検討するために不可欠な人工排熱に関するデータの整備を行ったものである。これまで、エネルギー消費・需要原単位に関する調査事例は多くあるものの、人工排熱に関するデータ、とりわけ、都市スケールでの排熱量の把握や排熱の時空間分布を報告した例は限られている^{2),3)}。さらに、都市での高温化抑制対策の効果を評価するためには、対策を実施する時点での排熱に関する情報を必要とするが、将来における排熱の時空間分布を推定する研究は行われていない。

本研究の内容は、東京都23区の1996年時点(以降、現状と呼ぶ)での人工排熱の時空間分布を把握すること、および、ヒートアイランド対策の目標年次を2010年と想定し、2010年時点(将来と呼ぶ)での人工排熱を推計することである。ここでは、土地利用面積でなく建物用途別の床面積を用いて建物排熱を算定しており、従来の研究より

も信頼性の高いデータを得ていると考えられる。

以下では、まず、建物、火力発電所、清掃工場、工場、自動車交通からの排熱の推計方法を説明する。次に、年単位、夏期における日・時間単位での排熱の推計結果を紹介し、排熱に関する特徴を述べる。

2. 建物排熱の推定方法

建物からの人工排熱を次のように算定する。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。一方、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、図-1に示す手順に従い、排熱量を推計する。

2.1 建物用途別総床面積の推定

東京都23区における最新の土地建物利用の調査結果は1996年を対象としており、GISデータベースとして整備されている⁴⁾。これに25mのメッシュを重ね合わせ、その格子点における建物分類、階数、床面積を算出した。その結果を基に、500mメッシュ単位で、8分類の建物用途(住宅、商業、業務、宿泊、医療、教育、娯楽、その他)別の総床面積を算出した。

2.2 エネルギー需要原単位の設定

建物用途別、エネルギー使用用途別の需要原単位の年間値、季節別変動パターン、時刻別変動パターンを設定した。本研究では、住宅、商業、業

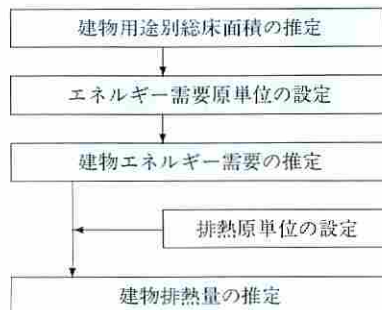


図-1 建物排熱量の推計手順

務、宿泊、医療の建物用途に対しては、(財)住宅・建築省エネルギー機構の原単位を、教育、娯楽施設に対しては、(社)日本地域冷暖房協会の結果を使用した⁵⁾。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、コンセントなど)の4分類とした。

2.3 排熱原単位の設定

エネルギー使用用途別に、建物エネルギー需要量に対する排熱の発生割合を建物排熱原単位として設定した。排熱量の考え方としては、正味の排熱量=機器への投入エネルギー量とした。また、熱量の変動パターンは需要パターンと一致するものとし、エネルギー消費と排熱との間の時間差を無視した。

エネルギー用途別の原単位を次のように設定した。冷房需要に伴う排熱原単位については、使用するヒートポンプ機器類の種類や熱効率が異なるため、住宅・非住宅別に設定した。建物内の暖房需要に対しては、熱源機器を2種類(ヒーター・ストーブ・ボイラ等の熱源機器とエアコンを含むヒートポンプ機器類)に大別し、暖房用エネルギー源(電力、都市ガス、LPG、灯油)別に年平均機器効率を設定し、住宅・非住宅別に原単位を定めた。給湯需要に対しては、調理や入浴等の使用目的に応じて、一部が下水排水の形で排出されると考えられる。ここでは、一ノ瀬ら²⁾に倣い、給湯機器への投入エネルギー量の50%が下水に、残りの50%が大気へ排出されるものとした。さらに、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、機器効率によるロス分までが電力需要量に含まれていると考えた。最終的に設定した用途別の排熱原単位を表-1に示す。

2.4 将来の床面積の推定と原単位の設定

将来での排熱量の推定も図-1の手順に従うが、そのためには、将来の建物用途別床面積やエネルギー需要原単位や排熱原単位を設定することが必要である。ここではそれらを以下のように求めた。

(1) 建物用途別総床面積の推計

計画中の都市開発事業を考慮するために、床面積の推計を3段階で、すなわち、23区別の床面積の推定、開発予定地区の床面積の推計、開発予定地区以外での床面積の算出の順で行った。

まず、23区別、住宅系・非住宅系別に課税台帳

表-1 排熱原単位(単位: J/J)

	住宅	非住宅
冷房(排熱量/冷房需要)	0.50	0.77
暖房(排熱量/暖房需要)	1.04	0.95
給湯(排熱量/給湯需要)	0.77	0.71
電力(排熱量/電力需要)	1.00	1.00

ベースの床面積推移を基に、現在の床面積からそのトレンドを延長することで、将来での床面積を算出した。ただし、年平均伸び率としては、1986年から1990年のバブル期を除いた過去5、10、15年間における年平均伸び率の絶対値の最小値を採用した(表-2)。

次に、開発予定地区として、東京都の都市再開発方針に基づく「再開発促進地区」を対象とした。ただし、2010年という時間設定を考慮して、「再開発誘導地区」は対象外とした。開発予定地区に対応するメッシュを開発メッシュ(計243メッシュ)と位置づけ、整備方針に基づき3種類(商業・業務系、住宅系、住宅・商業等の複合)に分類した。そして、平成元年から平成8年までに事業完了した開発地区の土地利用変化に基づき、3分類ごとに開発メッシュ内の床面積の変化パターンを設定した。

最後に、23区別の床面積から開発メッシュの床面積を差し引き、その残りの床面積の将来増加率を修正することにより、当初推定した23区別の総床面積が得られるようにした。表-3は23区全体の床面積の推計結果を示している。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。

表-2 設定した床面積の年増加率(単位: %)

区	住宅	非住宅	区	住宅	非住宅
千代田	-0.45	2.03	渋谷	1.07	2.42
中央	1.18	1.11	中野	1.26	0.14
港	1.53	2.64	杉並	1.56	1.87
新宿	1.16	3.33	豊島	1.39	4.64
文京	1.23	1.95	北	1.06	0.29
台東	1.29	1.25	荒川	1.48	0.15
墨田	1.62	0.16	板橋	2.20	0.72
江東	1.34	0.78	練馬	2.59	2.84
品川	1.48	1.11	足立	2.02	1.79
目黒	1.79	1.77	葛飾	1.76	0.95
大田	1.91	1.20	江戸川	2.83	1.37
世田谷	1.98	2.52			

表-3 23区全体の床面積の推計値(単位: ha)

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

特に、商業用途の床面積が顕著に増加する。

(2) エネルギー需要原単位と排熱原単位の設定

将来におけるエネルギー需要原単位は現状と同一とした。生活の質的向上等により原単位が増加すると予想されるが、今後の省エネルギー化により原単位が減少することも考えられるためである。実際、最近では家庭部門、業務部門のどちらにおいても、原単位は増減を示しており、明確な方向性が認められない¹⁾。また、排熱原単位についても大きな変化はないものと仮定し、将来の原単位を現状と変わらないものとした。

3. 建物以外からの人工排熱量の推定方法

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の調査例によると、火力発電所、清掃工場から多量の熱を排出していることが推測されている。また、工場や自動車交通からの排熱量も大きいと考えられることから、それら4種類の排熱量を推定することとした。

3.1 火力発電所

23区内に立地する火力発電所は、現在、大井火力(約118万kW)、豊洲火力(約8万kW)の2施設であるが、2010年時点では品川火力(114万kW)を加えて3施設となる予定である。発電量の実績に基づき設定した発電量の変動パターンと設計熱効率を用いて、発電所毎に排熱量を推定した。

3.2 清掃工場

現在、23区内の清掃工場(ごみ焼却場)は16施設、処理能力の合計は13,280t/日となっている。近年、ごみ抑制策の効果から、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、2010年時点の清掃工場は全25施設、処理能力16,980t/日になる予定である。清掃工場からの排熱量は、ごみ焼却による発生熱から発電等の有効利用熱量を差し引いたものであり、ごみ焼却量とごみ熱有効利用率を用いて算定した。また、排熱量の時間変動はなしとした。現在のごみ焼却量の合計は年間約337万トンであり、熱有効利用

率は29%と推定されている。一方、将来のごみ焼却量は現状と同一とし、新設・建替工場の熱有効利用率は33%に向上することとした。

3.3 工場(製造業事業所)

23区内の民間工場からの人工排熱として、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」⁶⁾では東京都全体の産業部門(鉱業・製造業・農林水産業)エネルギー消費量の推移及び将来予測値を報告している。その報告から、鉱業・製造業分を取り上げ、都全体と区部の工業製品出荷額の比を用いて、23区における民間工場エネルギー消費量と排熱量を推計した。その結果、工場数の減少に伴い、将来の排熱量は現在の約49,000TJ/年から約45,000TJ/年に減少するものと予想された。なお、排熱量は業種間の差異が大きく、また、業種別の工場の立地分布に関するデータが得られていないため、ここでは排熱量の概算を得るにとどまっている。排熱原単位の月別変化はなしと仮定し、時間変動パターンについては一ノ瀬ら²⁾の結果を用いることとした。また、将来の排熱原単位も現在と同一とした。工場の空間分布に関しては現在の土地利用面積を用いることとし、工場数の減少はメッシュ内の土地利用面積の変化として取り扱うこととした。

3.4 自動車交通

自動車交通による排熱量の推計には2通りの方法を用いた。1つは、1997年度の道路交通センサス⁷⁾と燃料消費原単位⁸⁾を用いて推定し、幹線道路の位置するメッシュに排熱量として与える方法である。しかし、この方法に基づく推計は、センサスで把握されない区道等での交通量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はあまり適した手法ではないと考えられる。そこで、別の方法として、燃料販売実績などの供給量から推計する方法を採用した。具体的には、「東京都エネルギービジョン」の運輸部門中の自動車によるエネルギー消費量を都全体と23区との登

録自動車台数の比で振り分けることで23区における年間排熱量を求めた。さらに、消費エネルギーの全てが排熱になると仮定した。ここでは、将来における交通量パターンや燃料消費原単位の季節変化や経年変化を無視したが、今後想定される変化を取り入れていくことが必要である。

4. 人工排熱の推計結果

4.1 年排熱量と日排熱量の季節変化

図-2に23区における排熱源別の年間当たりの排熱量を示す。23区全体では、建物排熱が最も大きく、自動車、民間工場、清掃工場、火力発電所と続いている。また、将来の建物排熱は現状の約1.4倍と大きく増加するものと予想される。なお、図-2の自動車交通からの排熱量は、燃料販売量から推定された値であるが、その値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りがある。後述するように、自動車交通からの排熱は夜間の気温に大きな影響を及ぼしていると考えられるため、今後、正確なデータの整備を進めることが必要である。

23区全体の建物排熱の内訳を示したものが図-3.4である。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、排熱量が激増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が重要であることがわかる。

図-5は現状と将来における23区全体の建物からの日排熱量の月別変化を示している。建物排熱は夏期よりも冬期の方が大きいことや夏期のピークを示す8月の排熱量が将来では現状の約1.5倍にまで増加することがわかる。

4.2 夏期代表日における日排熱量

都市の気温上昇が問題化する8月を対象に、現状と将来における建物からの日排熱量の空間分布を示したものが図-6である。現状では、千代田区や新宿区等で高い値を示しているが、今後、排熱量の高い地区が拡大するとともに、排熱量自体も増加すると予想される。排熱量が最も高い地点は、現状では新宿区の都庁付近であり、その値は

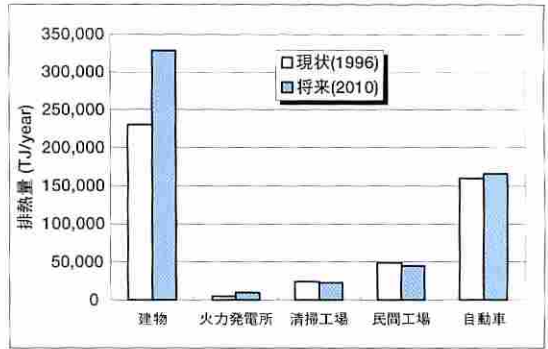


図-2 排熱源別の年排熱量

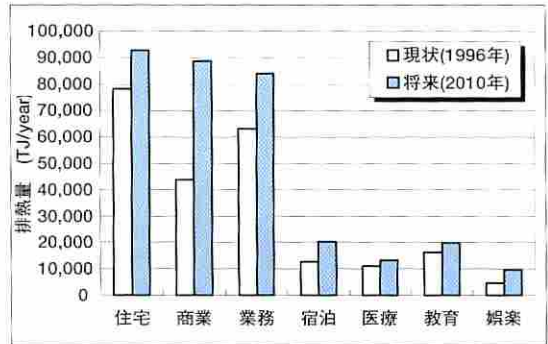


図-3 建物用途別の年排熱量

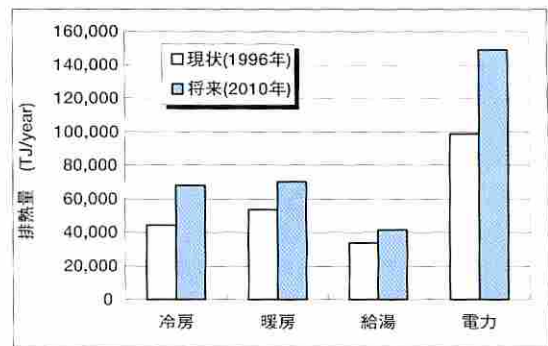


図-4 エネルギー用途別の年排熱量

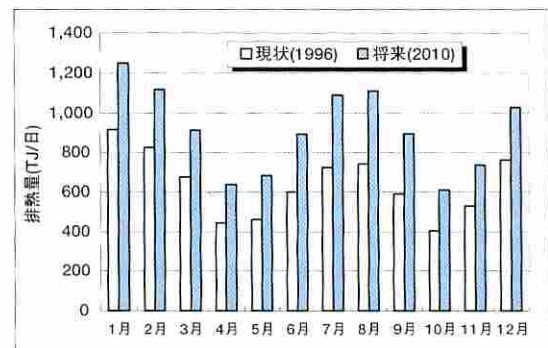


図-5 1日当たりの建物排熱量の月別変化

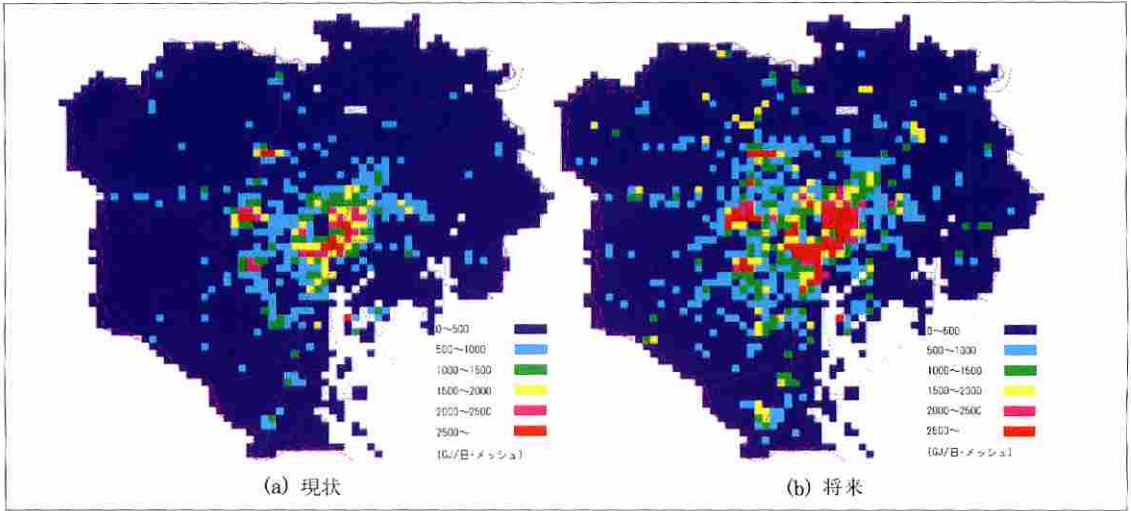


図-6 建物からの日排熱量

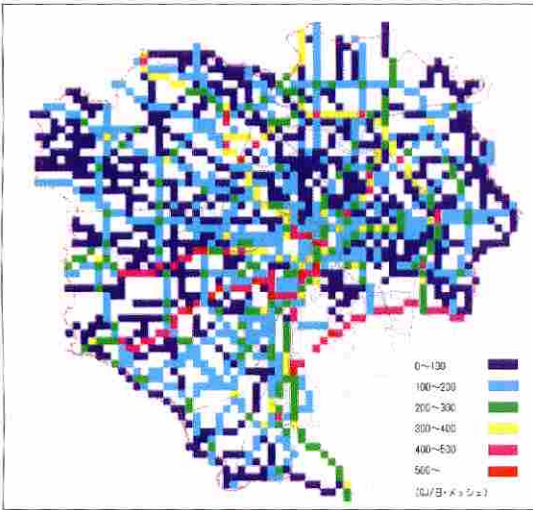


図-7 自動車交通からの日排熱量

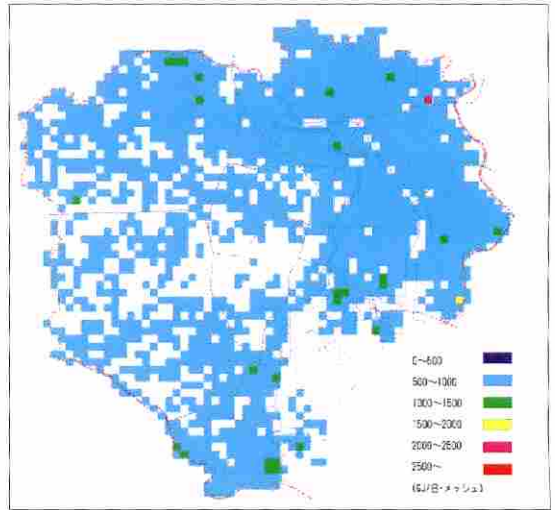


図-8 工場からの日排熱量 (将来)

約 4,900GJ/日であるが、将来では豊島区の池袋駅東口付近となり、排熱量は約 7,400GJ/日にも達すると推定される。これは現在 23 区内で最大量のごみを焼却している江東清掃工場からの排熱量(約 7,900GJ/日)と同じレベルである。また、8 月の東京における全天日射量の平均値は 1 メッシュあたり 3,650GJ/日であるが、それを越える排熱を放出しているメッシュは、現状でも 4 メッシュあり、将来では 11 メッシュになると予想される。

図-7 は、道路交通センサスから算出した自動車交通からの排熱量の分布である。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。

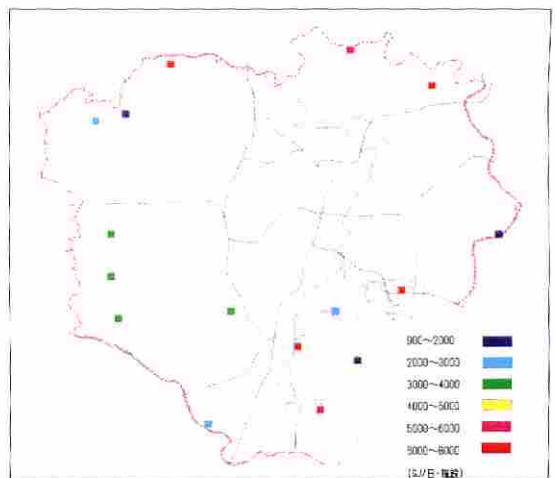


図-9 清掃工場からの日排熱量 (現状)

図-8は将来における工場からの日排熱量の分布を示している。ここでは業種別の立地分布が不明であるため、排熱量が低密度で広範囲に広がるという推計結果となっている。

現状での清掃工場からの日排熱量を図示したものが図-9である。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。

4.3 夏期代表日における時空間分布

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-10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よることがわかる。

図-11は道路交通センサスをもとに算出した23区全体の幹線道路上の自動車交通からの排熱量の変化を表している。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、日中の半分程度であるが、図-10の夜間における建物排熱量と同程度である。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熱環境に大きな影響を与えていることが推測できる。

以下では時間当たりの排熱量の空間的分布の中から代表的なものを選び示す。まず、主たる排熱源である建物排熱と幹線道路上の自動車交通からの排熱の合計について、現状の日中(13時から14時)と夜間(23時から24時)について比較した(図-12)。日中の排熱量は、図-6の建物排熱と類

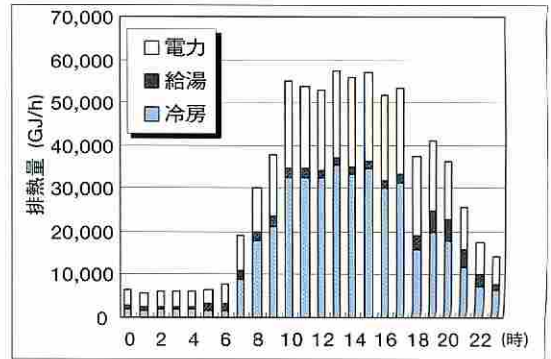


図-10 建物排熱の時間的変化

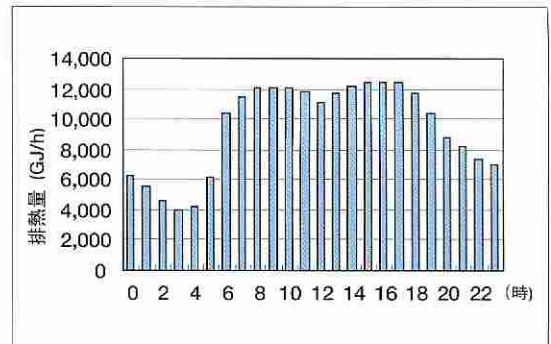


図-11 自動車交通からの排熱の時間的変化

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強まる。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。

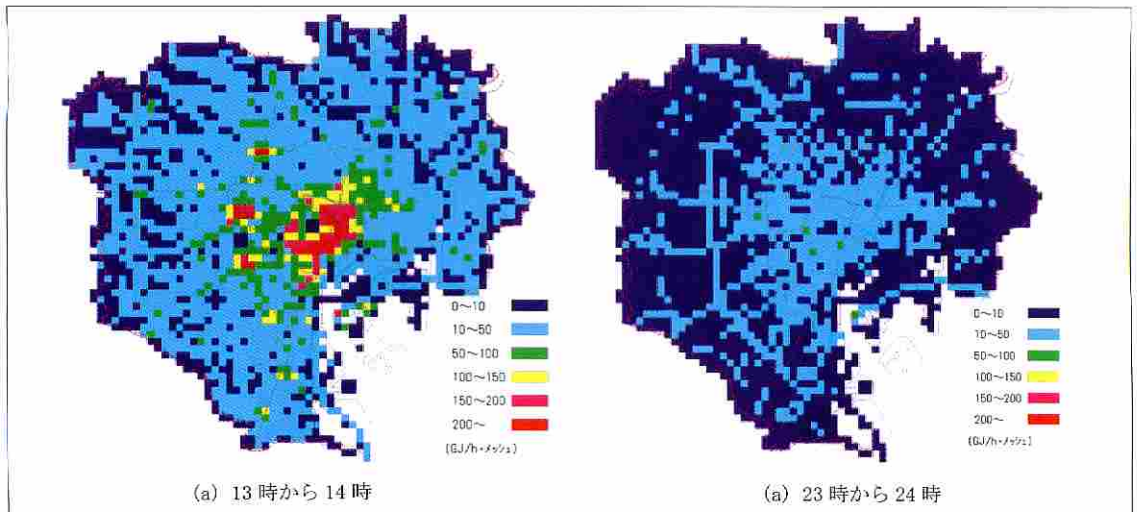


図-12 建物と自動車交通からの排熱量の比較 (現状)

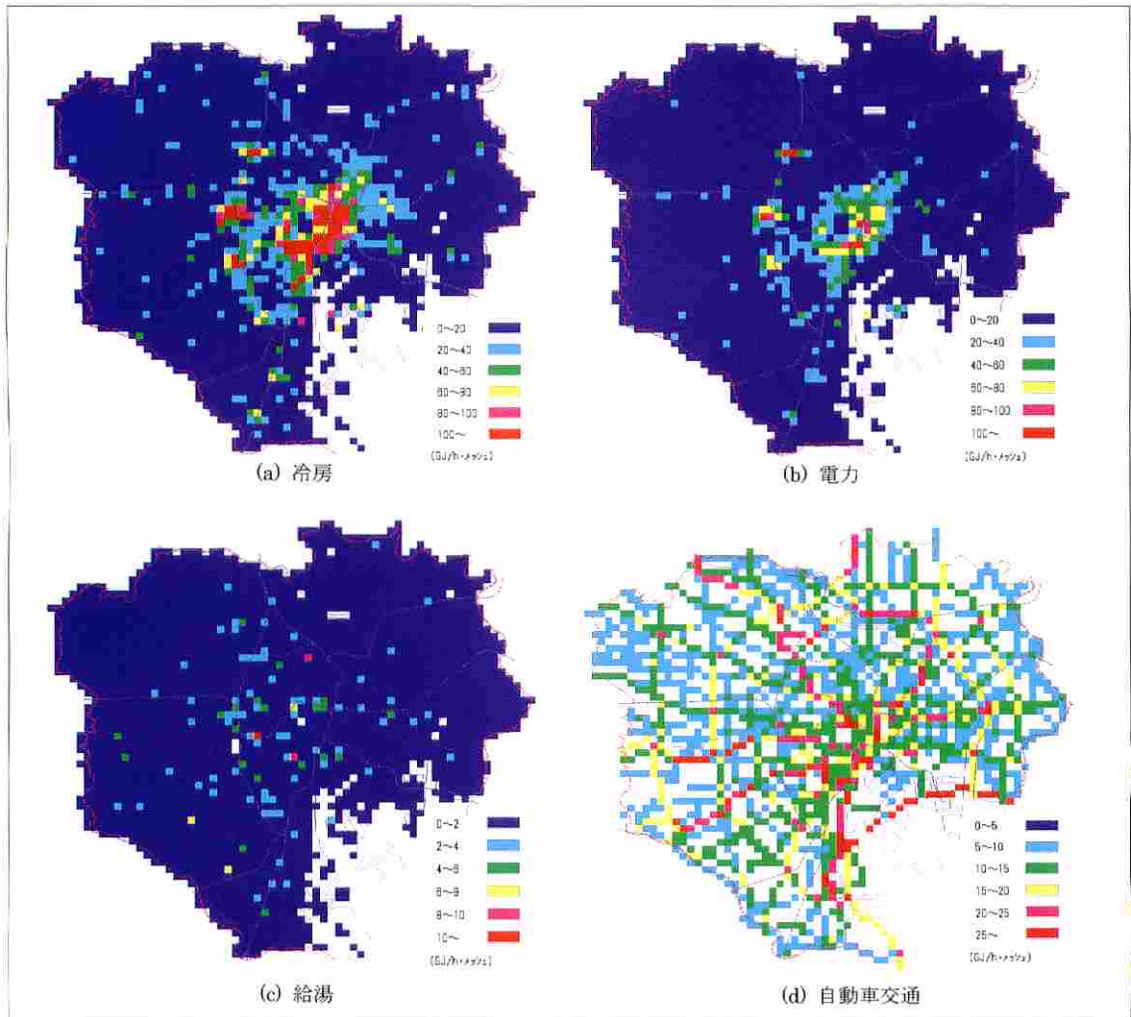


図-13 建物と自動車交通からの排熱量の分布 (現状 : 13時~14時)

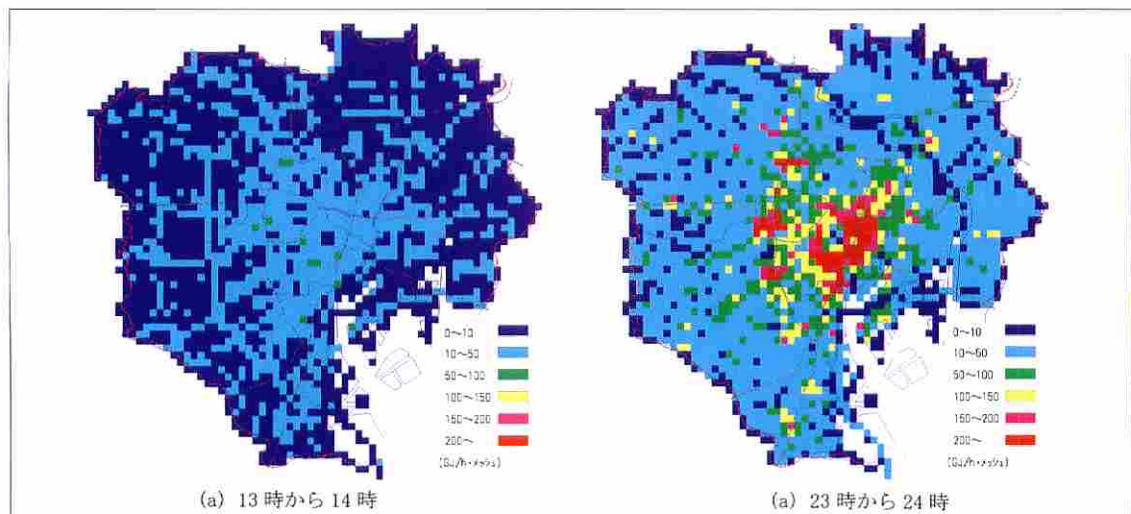


図-14 建物と自動車交通からの排熱量の比較 (将来)

図-13では現状の昼間における建物排熱の内訳(冷房、電力、給湯)と自動車からの排熱を比較している。なお、給湯と自動車交通については凡例が異なっていることに注意されたい。これらの図より、図-12の日中にみられる都心や副都心の高い排熱量は、主に冷房と電力利用によるものであることがわかる。都心から放射状にのびる高速度路や湾岸道路での自動車交通からの排熱量の影響も部分的に認められる。しかし、給湯からの排熱は僅かである。

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-14に表す。現状を示す図-12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、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ているが、これは冷房と電力の需要の伸びによる。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。

5. おわりに

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整備した。その結果、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こと、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こと、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等を説明した。

今後、都市気候の数値解析を通して、熱環境の改善対策の有効性を検討する予定である。

参考文献

- 1) (財)日本エネルギー経済研究所:EDMC/エネルギー・経済統計要覧,(財)省エネルギーセンター,1999.3.
- 2) 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,pp.263-273,1994.
- 3) 半田真理子:都市の熱環境に及ぼす緑地の効果に関する研究,土木研究所資料,第3578号,1998.
- 4) 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,東京都政策報道室,1998.3.
- 5) (社)日本地域冷暖房協会:地域冷暖房技術手引書,(社)日本地域冷暖房協会,1997.6.
- 6) 東京都環境保全局:東京都エネルギービジョン,東京都政策報道室,1999.6.
- 7) 東京都建設局道路建設部: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),1998.12.
- 8) 運輸省運輸政策局情報管理部:自動車輸送統計年報,第34巻,第13号,1997.

河原能久*



建設省土木研究所河川部
都市河川研究室
主任研究員、工博
Dr.Yoshihisa KAWAHARA

小林裕明**



同 企画部企画課
企画係長
Hiroaki KOBAYASHI

末次忠司***



同 都市河川研究室長
工博
Dr.Tadashi SUETSUCI

木内 豪****



同 都市河川研究室
主任研究員
Tsiyoshi KINOUCHI