

## 東京都 23 区における人工排熱の時空間分布の推定

### Estimation of Anthropogenic Heat Release in 23 Wards of Tokyo

河原能久\*・小林裕明\*・末次忠司\*・木内 豪\*

Yoshihisa KAWAHARA\*, Hiroaki KOBAYASHI\*, Tadashi SUETUGI\* and Tsuyoshi KINOUCHI\*

**ABSTRACT;** Distributions of anthropogenic heat in 23 wards of Tokyo are estimated for two years of 1996 and 2010, which are of prime importance to discuss the effective counter-measures against urban heat island phenomenon. Anthropogenic heat discussed here includes heat release from household, commercial sector, office building, hotel, hospital, education facility, recreation sector and factory as well as automobile traffic, incineration plant and thermal power generation plant. Hourly change of heat release is calculated for cooling, heating, hot water supply and electric power supply, using the proposed unit energy consumption and the loading curve for each energy use. The variation in floor area for each building use in the future is estimated based on the recent increase rate and the urban development plans. The characteristics in exhaust heat in the wards of Tokyo are summarized and the increased rates of anthropogenic heat in the future are discussed.

**KEYWORDS;** anthropogenic heat, energy consumption, Tokyo, urban thermal environment

#### 1. はじめに

都市域での人工排熱の増加は、都市域のコンクリート・アスファルト化や緑地・水面の減少などと並んで、ヒートアイランド現象の顕在化に大きく寄与していると考えられている。とりわけ、家庭・業務部門でのエネルギー消費量は高い伸びを示しており、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。

都市の持続的発展をはかるためには、健全な熱環境の保全や改善を進めることが必要である。そのためには、土地利用などの基礎データとともに人工排熱量に関するデータを整備し、ソフト・ハード両面からの有効な対策を総合的に検討することが必要である。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、その時空間分布を報告した例は限られている。一ノ瀬ら<sup>1)</sup>は東京 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、時間的変化をも推定している。また、半田<sup>2)</sup>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。今後の都市において熱環境の改善対策を立てるためには、将来の対象時点における種々のデータを整備することが不可欠である。

本研究の目的は2つである。1つは、東京都 23 区の 1996 年時点（以降、現在と呼ぶ）での人工排熱の状況を把握することであり、他の 1 つは、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。得られたデータは、現在および将来での都市気候解析に使用するものである。それらの目的のために、東京都 23 区において得られている最新の土地利用現況調査結果や道路交通センサスなどに基づき、熱源別、用途別の人工排熱量の時空間分布を推計した。また、建物用途別の床面積の変化を予測し、それに伴う人工排熱量の変化を算出した。以下では、建物とそれ以外からの人工排熱量の推計方法の概略を説明し、次に、年・日・時間単位での排熱量の算

\* 建設省土木研究所 (Public Works Research Institute, Ministry of Construction)

出結果とそれらに見られる特徴を整理する。最後に、2010年での建物からの人工排熱の変化を示す。

## 2. 建物排熱の推定

建物からの人工排熱の算定手順を図-1に示す。

### 2.1 建物用途別総床面積の推定

東京都23区の土地利用現況の最新結果は平成8年(1996年：以降、現状と呼ぶ)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<sup>3)</sup>。土地建物用途は30種類に分類されている。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。次に、500mメッシュ単位で、建物用途を7分類(住宅、商業、業務、宿泊、医療、教育、娯楽)とその他に集約し、それぞれの総床面積を総計した。

なお、このポイントサンプリング集計による建物用途別の総床面積の結果と都のポリゴン集計による結果とは良好に一致している。

### 2.2 将来の建物用途別床面積の推定

#### (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・非住宅系別に課税台帳ベースの床面積推移を踏まえて、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することとした。ただし、年平均伸び率については、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とした。

#### (2) 開発メッシュにおける将来床面積の推計

現在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推計した。なお、開発予定地区としては、都市再開発方針に基づく「再開発促進地区」を基準とした。現在行われている都市開発の大半がこの地区内で実施されている。なお、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。また、メッシュ内のほぼ全域で開発事業が完了している地区も開発メッシュから除外した。そして、開発メッシュの整備の方向性(商業・業務系市街地、住宅系市街地、住宅・商業等複合的整備)に応じて床面積の変化を想定した。例えば、商業・業務系の整備をめざす地区では、宅地率は0.7倍に縮小し、容積率455%、宅地は業務(30.1%)、商業(14.0%)、住宅(10.8%)、宿泊(19.4%)、娯楽(10.8%)、その他(14.9%)に変化すると仮定した。それらの数値は平成元年から平成8年までに事業完了した地区の土地利用変化をもとに定めたものである。

#### (3) 開発メッシュ以外のメッシュにおける将来床面積の推計

上記の(1)と(2)の差し引き分の床面積を比較し、開発メッシュ以外のメッシュにおける床面積の将来増加率を住宅系・非住宅系別に設定した。その増加率を用いて全メッシュでの将来床面積を推計した。

表-1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%程度増加することとなる。なお、開発メッシュ(計243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。

### 2.3 エネルギー需要原単位の設定と需要量の推定

建物用途別、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順次設定する。ここでは、建物用途(住宅、商業、業務、宿泊、医療、教育、娯楽)の前5者に対しては、多くの建物用途にわたり月別・時刻別パターンまでを報告している、(財)住宅・建築省エネルギー機構の原単位<sup>4)</sup>を設定した。ま

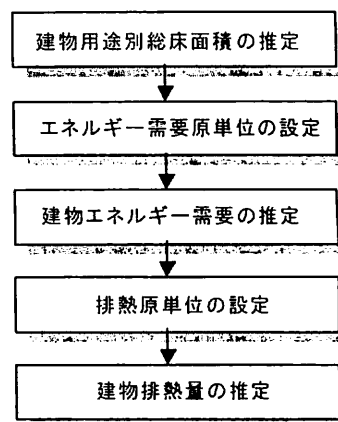


図-1 建物排熱の推計手順

表-1 23区全体の床面積の推計値(単位:ha)

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

\*その他は駐車場、工場、倉庫等の床面積を含む。

た、教育、娯楽施設の原単位として、(社)日本地域冷暖房協会の結果<sup>5)</sup>を使用した。なお、エネルギーの使用用途としては、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。

将来におけるエネルギー需要原単位は現状と変わらないと仮定した。なぜなら、生活の質的向上等により増加することが予想されるが、今後の省エネルギー化の進展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、業務部門に関しては、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、最近では床面積当りの原単位が増減を示しており、明確な方向性が認められない。

表-2に採用した年間のエネルギー需要の原単位を示す。なお、インテリジェントビルや通信施設等には冬期にも冷房需要が存在する。しかし、実際には熱回収ヒートポンプにより暖房用として利用されていることや冷房需要のある床面積が不明であることから、本研究では冬期の冷房需要をゼロとしている。

23区全体での建物用途別、使用用途別のエネルギー需要量を算出した結果を表-3、4に示す。建物用途別では、住宅、業務、商業が大きな需要をもっていること、今後、商業の需要が大幅に伸びると予想されることがわかる。また、使用用途別では電力需要が最大であり、冷房、暖房、給湯の順で続くことがわかる。なお、図示しないが、年間需要量の空間分布を見ると、現状では千代田区、新宿区を中心にエネルギー需要が高いが、将来ではさらに周辺の港区、渋谷区、豊島区にも需要の高い地区が拡大することが予想される。

#### 2.4 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する。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。なお、排熱量の月別・時刻別パターンは需要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を無視した。

用途別の原単位の設定は次のように行った。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の種類や効率が異なるため、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。建物内の給湯需要に対しては、調理用や入浴用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、一ノ瀬らの研究<sup>1)</sup>に倣い、給湯機器への投入エネルギー量の50%(下水に排出される5割分以外)を大気中への排熱量として扱うこととする。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られる。最終的に設定した用途別の原単位を表-5に示す。

表-6、7に23区全体での建物用途別、使用用途別、現状と将来での年間排熱量の推計値を示す。現状の建

表-2 建物用途別の年間エネルギー需要原単位 (単位: MJ/year/m<sup>2</sup>)

	住宅	商業	業務	宿泊	医療	教育	娯楽
冷房	33	502	268	251	209	92	293
暖房	84	75	126	402	419	239	180
給湯	126	21	10	52	753	0	268
電力	76	756	360	486	324	198	720

表-3 建物用途別エネルギー需要量 (単位: TJ/年)

	住宅	商業	業務	宿泊	医療	教育	娯楽	合計
1996年	90,191	48,255	69,722	13,871	13,298	17,562	5,321	258,220
2010年	106,900	97,921	92,685	22,075	16,153	21,312	10,770	367,817

表-4 使用用途別エネルギー需要量 (単位: TJ/年)

	冷房	暖房	給湯	電力	合計
1996年	60,513	54,385	44,735	98,586	258,220
2010年	92,568	71,148	55,028	149,073	367,817

表-5 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

表-6 23区全体の建物用途別年間排熱量（単位：TJ/年）

	住宅	商業	業務	宿泊	医療	教育	娯楽	合計
1996年	78,215	43,789	63,249	12,788	11,055	16,462	4,760	230,317
2010年	92,705	88,859	84,080	20,351	13,429	19,978	9,634	329,035

物排熱量約 230,000TJ/年に対して、将来では約 1.43 倍の 329,000TJ/年に増加するものと予想される。また、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。排熱量は需要量と同様に、

住宅、業務、商業が大きな割合を占めている。また、冷房・暖房の合計と電力とがほぼ同程度であり、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有効であると考えられる。

表-7 23区全体の使用用途別年間排熱量（単位：TJ/年）

	冷房	暖房	給湯	電力	合計
1996年	44,034	53,800	33,896	98,586	230,317
2010年	68,241	70,121	41,600	149,073	329,035

### 3. 建物以外からの人工排熱量の推定

既存資料による種類別の都市熱源（未利用エネルギーとしての熱賦存量）について検討したところ、火力発電所、清掃工場、工場（民間工場）から多量の熱を排出していることが推測された。また、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、これら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、将来では品川火力（114 万 kW）を加えて 3 施設となる予定である。火力発電所については、大井火力、豊洲火力の 2 施設を対象に、実績と設計熱効率をもとに算定した。なお、海水への温排水としての排熱量は考慮していない。

#### 3.2 清掃工場（ごみ焼却場）

23区内の清掃工場（ごみ焼却場）は現状 16 施設、合計処理能力 13,280t/日となっている。近年では、ごみ抑制策の効果から、焼却ごみ量は年々減少傾向にあるが、2000 年 4 月に予定される清掃事業の特別区への移管を踏まえ「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、合計処理能力 16,980t/日になる予定である。将来のごみ焼却量は増加せずに現状維持と仮定したこと（都の推計では 9%減少）、並びに新設・建替工場の熱有効利用率が向上することの 2 点に由来し、将来排熱量は減少するものと推計される。ごみ焼却量の実績値とごみ熱有効利用率を用いて算定した。時間変動はなしと仮定した。

#### 3.3 工場（製造業事業所）

23区内の民間工場は平成 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、ついで金属製品製造業、一般機械器具製造業と続く。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する。平成 10 年度策定の「東京都エネルギービジョン（中間まとめ）」<sup>6)</sup>では東京都全体の産業部門（鉱業・製造業・農業水産業）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。これより鉱業・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から、23区における民間工場エネルギー消費量を推計した。今後、工場数の減少に伴い、将来の人工排熱量も減少するものと推測されるが、ここでは変化しないものと仮定した。

#### 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、道路交通センサスと燃料消費原単位を用いて推定し、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、この積上げによる推計は、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、年間総排熱量のボリュームの把握にはあまり適した手法でないと考えられる。そこで、もう一つの方法として、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（中間まとめ）」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られると仮定した。なお、消費エネルギーの全てが排熱になると想定している。また、将来の交通量パターンの変化は現

状と同一としているが、今後、検討していく予定である。

表-8 23区での年間排熱量の比較(1996年)(単位: TJ/year)

建物排熱	火力発電所	清掃工場	工場	自動車
230,300	5,400	23,900	49,200	160,200

#### 4. 人工排熱量の推計結果と考察

##### 4.1 年間排熱量の特徴

表-8に23区内における排熱源別の年間排熱量を示す。23区全体では、建物排熱が最も大きく、次いで自動車、民間工場、清掃工場、火力発電所と続いている。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、次に清掃工場となっており、自動車、民間工場からの排熱は密度の低い排熱となっている。

##### 4.2 日排熱量の特徴

現在と将来における8月の建物からの日排熱量を示したものが図-2である。図より、今後、排熱量の高いメッシュがかなり増加することが予想される。建物排熱量が最も高いメッシュは、現状では新宿区の都庁付近であり、排熱量は約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、建物排熱量は約7,400GJ/日に達する。これは現在23区内最大のごみ焼却量を処理している江東清掃工場からの人工排熱量と同レベルの量となっている。ちなみに、8月の全天日射量の月平均値は3,650GJ/日・メッシュであり、約2倍となると予想される。ここには示さないが、夏と冬の排熱量を比較すると、夏期の建物排熱は冷房(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緩和され、暖房・給湯を中心とした住宅部からの排熱も影響し、周辺部のメッシュからの排熱発生も多く確認される。なお、自動車交通量の最大値は728GJ/日であり、幹線道路では自動車排熱の影響が無視できないと考えられる。

##### 4.3 夏期代表日における時空間分布

図-3, 4は、現在と将来における8月の建物排熱量と道路交通センサスから求めた自動車排熱量の合計値の分布を示している。日中での分布形状は図-2の結果と良好に対応しており、冷房のためのエネルギー消費と関係している。一方、夜間に高い排熱量を示すメッシュは、都心、副都心、及び主要幹線道路の位置する地区であり、道路交通の影響が大きいことが示唆される。将来の分布形状は現状と類似しており、高い排熱量の領域が拡大すると予想される。

#### 5. おわりに

人工排熱に関する基礎資料を東京都23区に対して得た。今後、対象を東京周辺地域に拡大しGISデータベースとして整備するとともに、のヒートアイランド現象の数値解析に使用し有効な対策の評価を行う予定である。

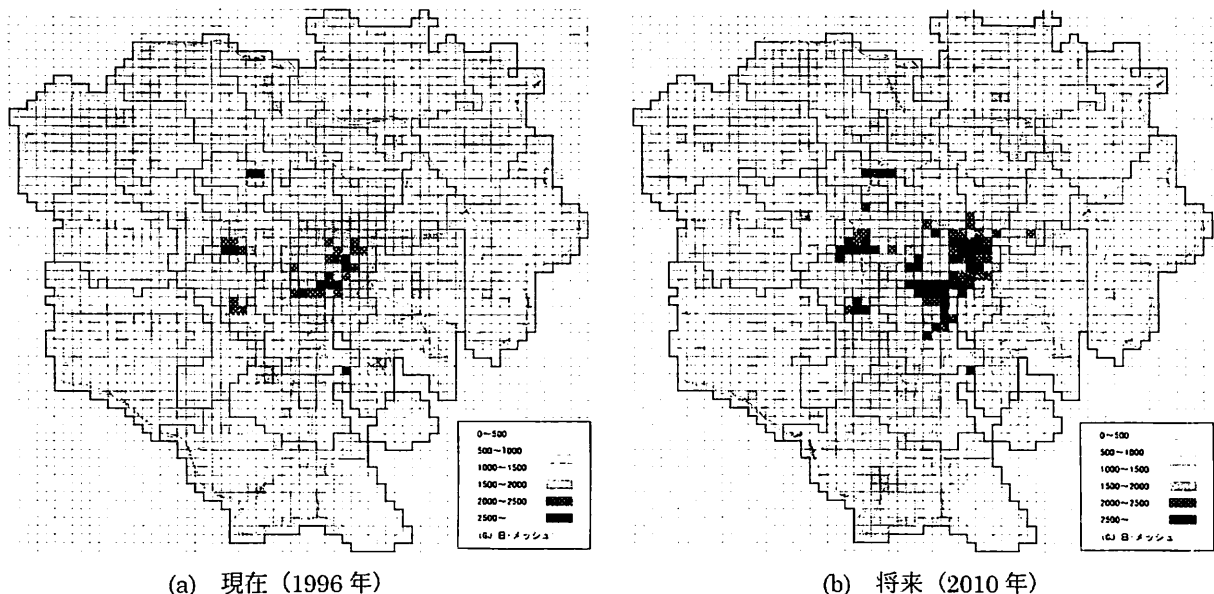
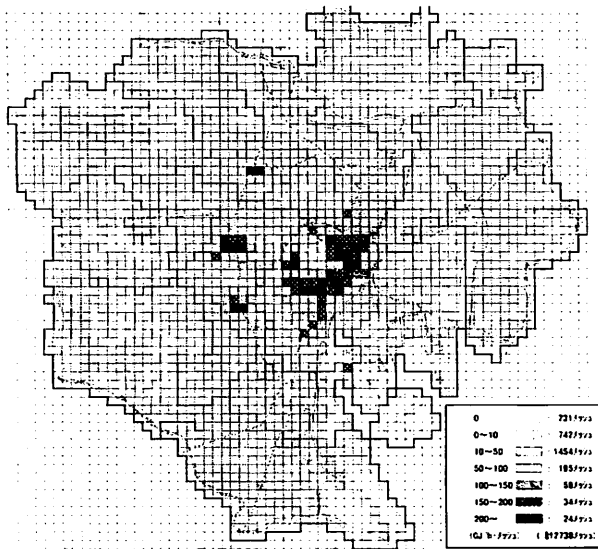
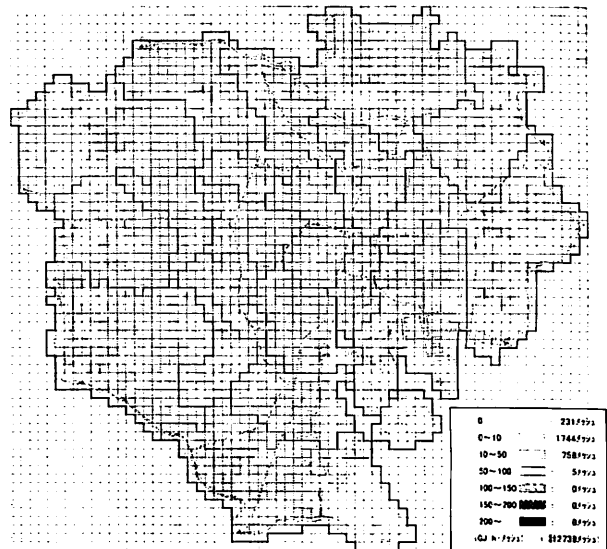


図-2 8月における日建物排熱量

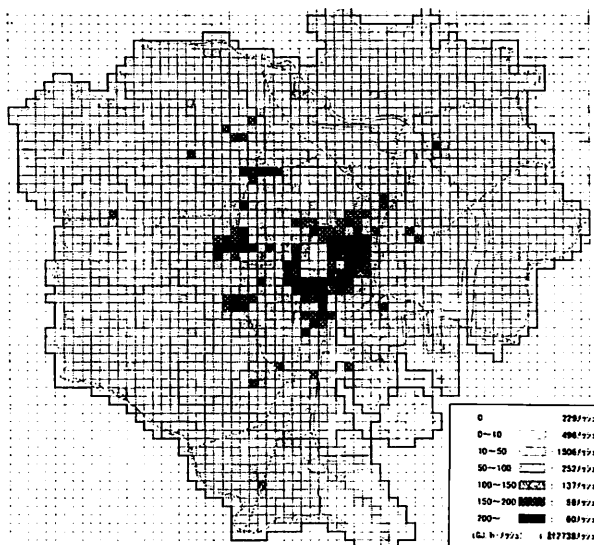


(a) 13時から14時

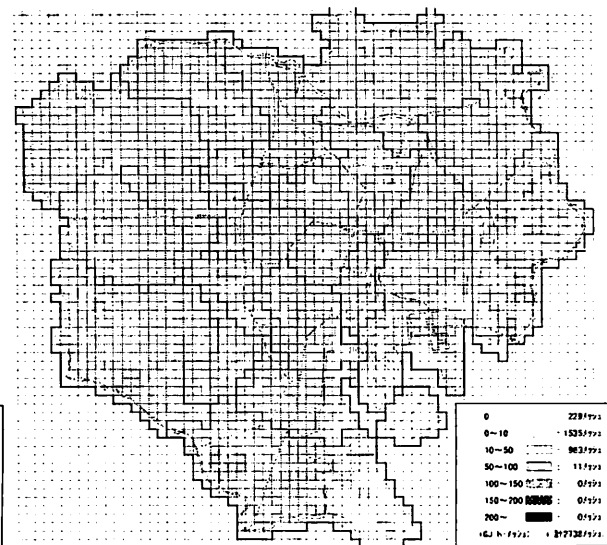


(a) 23時から24時

図-3 8月における建物と自動車交通からの排熱量（1996年）



(a) 13時から14時



(a) 23時から24時

図-4 8月における建物と自動車交通からの排熱量（2010年）

#### 参考文献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 東京都: 東京の土地利用, 平成8年度東京都区部, 1998.
- 4) (財)住宅・建築省エネルギー機構: コンパクトエネルギーシステム開発, 1985.
- 5) (社)日本地域冷暖房協会: 地域冷暖房技術手引書, 1997.
- 6) 東京都環境保全局: 東京都エネルギービジョン(仮称)中間のまとめ, 1998.
- 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.
- 8) 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.