
 報 告

重回帰分析による人工排熱量の推定

萱場 亙起*・青柳 暁典**・高橋 俊二***

要 旨

気候情報課では、都市気候モデルを用いたシミュレーションに基づき、関東地方と近畿地方を対象としたヒートアイランドの調査を行っている。シミュレーションパラメータの一つである人工排熱量は、研究機関や大学で作成されたデータを用いているが、それぞれの作成手法や作成時期が異なることや、整備された範囲がシミュレーション領域と一致していないなどの問題がある。そこで、全ての対象地域において同じ条件でシミュレーション調査をすることを可能とするために、全国の任意領域に適用できる人工排熱量の推定を重回帰分析により行った。精度を確認するために、分析とは独立に求められている既存のデータセットと推定値との比較を行った。本稿では、その推定方法や精度調査の結果を報告する。

1. はじめに

気候情報課では、都市気候モデルを用いたシミュレーションを基に、ヒートアイランド現象の実態やメカニズム解明のための調査を行っている(気象庁, 2005～2009)。シミュレーションに用いるパラメータの一つである人工排熱量は、研究機関や大学で作成されたデータ(以下、「既存データ」)を用いている。既存データとしては、妹尾ほか(2004)によって作成された関東周辺域のデータセット(独立行政法人土木研究所)や鳴海ほか(2002)による近畿地方のデータセット(大阪工業大学の鳴海氏から提供)などが存在する。前者は建物用途別の延床面積や交通量などのデータを基にエネルギー消費原単位を求めたもので、後者は建物エネルギー消費実態調査の結果を参考にして作成したエネルギー消費原単位やガソリ

ン・軽油販売実績などからエネルギー消費量を推測したものである。これらのほかにも、人工排熱量の調査を独自に実施している自治体もあるが、当該自治体全体の排熱量は整備されても、メッシュデータ化していない場合が多い。また、名古屋市の人工排熱データ(名古屋市環境科学研究所提供)では、2月と8月について各メッシュ(500m)の月合計排熱量が整備されているのみで、特別の値は整備されていない。

都市気候モデルを用いたシミュレーションによるヒートアイランド調査を行うためには、当該地域における人工排熱量の分布が必要である。しかし、前述したように、既存データはその作成手法や作成時期が異なることや、シミュレーション対象領域の全ての領域をカバーしていないなど、利用に当たっての制限や課題が多い。これらの理由

* 地球環境・海洋部 気候情報課

** 気象研究所 環境・応用気象研究部

*** 気象研究所 環境・応用気象研究部(現 室蘭地方気象台)

から、これまでの調査対象地域は、人工排熱データを入手できた関東・近畿地方に限られてきた。

人工排熱データの推定には、環境省（2004）による人工排熱に関する調査のように、各排出源に対してそれぞれ原単位を設定し、国土交通省国土計画局が管理する Geographic Information System（GIS：地理情報システム）のデータなどから面積積分することで得られる。しかしながら、この手法で推定値を得るためには、個々の事業所や戸建住宅の床面積の情報が GIS データとしてそろっていないければならず、このような条件が満たされるのは現状では東京都 23 区や多摩地域など、ごく狭い領域に限定される。このため、このような手法で全国一律で特別の人工排熱量を推定するのは非常に困難である。

そこで、月ごとに特別値が 500m メッシュで整備されている東京都の人工排熱量データを予報変数とし、対応する人口分布・事業所数・土地利用データを説明変数とする重回帰分析を行い、それぞれの重回帰係数を推定した。これらの説明変数は日本全土で整備されているため、この重回帰係数を用いることによって、任意地点の人工排熱量を推定することが可能となる。本稿では、この手法による推定手順を示すとともに、複数の既存データとの比較結果について報告する。

2. データセット

ここでは、回帰式を求めるために用いたデータセットの概要を示す。また、回帰式の検証のために用いた既存の人工排熱データの概要についても簡単に記す。

重回帰分析の予報変数となる既存の人工排熱データとしては、月平均の特別値が建物延床面積の GIS データや交通量の実測データから作成されている、東京都の人工排熱データを用いた。

重回帰分析の説明変数としては、人工排熱の排出源、若しくはそれに関連していると考えられ、かつ全国的に整備されているデータが必要である。人工排熱の排出源は、日常生活では調理などのための燃焼や空調設備による熱交換、事業活動では事業所での空調、運搬・移動に使われる自動車による直接的な熱の排出などが主なものと考え

られる。このため、本調査では、全国規模で整備されている人口分布データ、事業所数分布データ（上記二つはいずれも地域メッシュ統計データ）、国土数値情報土地利用データを重回帰分析の説明変数として選択した。

回帰式の検証用データとしては、妹尾ほか（2004）による（東京都を除く）関東 6 県のデータセット、鳴海ほか（2002）による近畿地方のデータセット、及び、名古屋市環境保全局（1996）による名古屋市のデータセットの 3 種を用いた。

2.1 東京都の人工排熱データ

東京都の人工排熱データは、エネルギー利用に伴う排熱量と道路交通に伴う排熱量を 4 次メッシュ（国土数値情報 500m メッシュ）で月平均した特別値として与えられている。このうちエネルギー利用に伴う排熱量は、東京都都市計画地理情報システムの平成 8、9 年度建物用途データ（東西方向 250m、南北方向 308m）を元データとし、建物用途別の延床面積に単位面積当たりの建物用途別・エネルギー使用用途別のエネルギー消費量原単位を掛けることで年間のエネルギー消費量を求め、さらに既存調査を参考にして毎時排熱量を月別に整理したデータセットとなっている。また、道路交通に伴う排熱は、一般交通量データと道路交通センサス（全国道路街路交通情勢調査）による現況 OD 表（自動車起終点調査によって、ゾーン間の交通の移動量を表（行列）形式で表現したもの）を用い、幹線道路と細街路に分けて集計されている。データセットの作成については、妹尾ほか（2004）に詳しい。

2.2 地域メッシュ統計

説明変数のうち人口分布データと事業所数分布データについては、総務省統計局・政策統括官・統計研修所のホームページ（<http://www.stat.go.jp/data/mesh/teikyo.htm>）から、東京都の人工排熱データや用いた国土数値情報の土地利用メッシュ（平成 9 年度版）の収録時期に近い、平成 12 年度版人口総数（以下、居住人口）と平成 13 年事業所・企業統計調査 - 世界測地系の事業所データの従業者数を用いた。データは 1km メッシュである。

2.3 国土数値情報の土地利用メッシュ

土地利用メッシュデータについては、国土交通省国土計画局参事官室のホームページ (<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>) から、東京都の人工排熱データの収録時期に近い平成9年度版を用いた。データ解像度は1kmメッシュである。土地利用の種別は、田、その他の農用地、森林、荒地、建物用地、幹線交通用地、その他の用地、河川地及び湖沼、海浜、海水域、ゴルフ場となっている。

2.4 関東地方6県の人工排熱データ

関東地方6県の人工排熱データは、東京都の人工排熱データと同様、妹尾ほか(2004)で整備されたものである。東京都におけるデータがメッシュでの情報から作成されたのと異なり、これらのデータは県全体での人工排熱量を、細密数値情報(10mメッシュ土地利用)と国土数値情報の商業・業務用地、公共公益施設用地、建物用地の存在する割合を基にして各メッシュに配分されたものである。なお、各自治体におけるデータは、自治体独自で取り組んでいるため、分類区分、算出方法、算出年などは同様ではない。道路交通に伴うエネルギー消費量については、東京都と同様、一般交通量データとセンサベース現況OD表を用いた集計がされている。

2.5 近畿地方の人工排熱データ

近畿地方の人工排熱データの作成手法は、鳴海ほか(2002)で紹介されている。人工排熱量は以下に示す民生部門、産業部門、交通部門の三つの値の和である。なお、データは、3次メッシュ(国土数値情報1kmメッシュ)で作成されている。

●民生部門

民生部門の排熱データについては、1kmメッシュごとに建物用途別熱需要量(推計に用いた建物用途別エネルギー消費原単位には関西地区建物エネルギー消費実態調査の結果を参考)を月別時刻別に推計し、建物用途別機器比率や空調機器比率、機器別排熱特性などからメッシュごとに算出した。

●産業部門

産業部門の排熱データについては、大気汚染物質排出量総合調査(環境省:平成11年度)に記載されている燃原料使用量データを基に、燃焼機器別・燃焼種類別の排熱発生率からメッシュごとに算出した。

●交通部門

交通部門の排熱データについては、自動車由来の窒素酸化物に関する排出分布メッシュ情報と各府県別のガソリン・軽油販売実績値からメッシュごとに算出した。鉄道は大阪府のみを対象に整備されたデータが用いられている。

2.6 名古屋市の人工排熱データ

名古屋市のデータの作成手法については、名古屋市環境保全局(1996)で紹介されている。人工排熱量は、以下で示した電力、都市ガス、運輸、工場・事業所の四つの部門の値の和とする。その作成において使用した土地利用についても示した。なお、データは4次メッシュ(国土数値情報の500mメッシュ)で作成されている。

●電力部門

電力部門の排熱データについては、平成4年の中部電力(株)営業所別電力使用データを集計し、年間使用量を全て熱量に換算した。その合計値を土地利用のメッシュごとの面積割合により配分した。

●都市ガス部門

都市ガス部門の排熱データについては、平成4年の東邦ガス(株)の区別ガス使用量の合計を集計した。その合計値を土地利用のメッシュごとの面積割合により配分した。

●運輸(自動車・船舶・航空機)部門

運輸部門の排熱データについては、熱排出量を窒素酸化物の排出量から算出した。窒素酸化物の排出量から燃料使用量を求め、これに単位燃料当たりの発熱量を掛けて熱排出量とした(2,8月での配分は日数計算により求める)。

●工場・事業所部門

工場・事業所部門の排熱データについては、大気汚染物質排出量総合調査票の燃料使用量に燃料別の排熱量を掛けて算出した（2，8月での配分は日数計算により求める）。

●土地利用

土地利用については、人工土地被覆（住居系，商業系，工業系，道路・鉄道，その他の用途）「平成4年度メッシュ別用途地域別土地利用別面積及び面積比率データ」を参考にした。

2.7 各地域による人工排熱データについて

本調査で取り扱った、関東地方（東京都含む），近畿地方，東海地方の人工排熱データセットについては，本項で示したように，地域によって，作成者（機関）や分類区分，作成手法，作成時期などが異なるため，単純に値を比較できないことに注意しなくてはならない。

3. 重回帰係数の推定

重回帰分析は，データセットの4km格子化，最小二乗法による重回帰係数の推定，ステップワイズ法（変数増減法）による説明変数の取捨選択の順で行う。本章では，それらの手順の説明と，取捨選択された説明変数の寄与率について考察する。

3.1 データセットの4km格子化

重回帰分析では，予報変数として東京都の人工排熱データを，説明変数として，地域メッシュ統計による居住人口，従業者数，国土数値情報による土地利用面積の各データセットを使用する。重回帰分析を行う前には，これらのデータを全て統一した格子に再配置する必要があるため，基準とする格子として，気候情報課で使用している都市気候モデルの4km格子（デカルト格子）を採用した。

東京都の格子の人工排熱量（ Wm^{-2} ）については，4次メッシュ（国土数値情報の500mメッシュ）の中央位置が都市気候モデルでの4km格子の範囲に入るメッシュを抽出し，4km格子での平均的

な人工排熱量を算出した。なお，東京都に位置する4kmの格子は78個である。

居住人口と従業者数については，3次メッシュ1km格子の中央位置が，都市気候モデル4km格子系で解析対象とする78個の東京都の格子に入るものを抽出し，その平均値を求めた。データセットの単位は，それぞれ4km格子での平均居住人口密度（ $人 km^{-2}$ ），4km格子での平均従業者数密度（ $人 km^{-2}$ ）となる。

国土数値情報の土地利用メッシュの11種別については，1km格子の中央位置が都市気候モデルでの4km格子の範囲に入るメッシュを抽出し，種別ごとに占有する面積の割合を算出した。値はそれぞれの種別ごとに0から1の値となる。

3.2 重回帰分析

重回帰分析については，東京大学教養学部統計学教室編（1991）やその他の専門書に詳しいので，ここでは概略を記す。今回適用するモデルには， M 個の説明変数を持つ線形重回帰方程式を用いる。

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1,i} + \beta_2 X_{2,i} + \dots + \beta_M X_{M,i} + \varepsilon_i$$

- Y_i : 目的変数，本調査では人工排熱量
- $X_{1,i} \sim X_{M,i}$: 説明変数
- M : 説明変数の個数
- 本調査では13（居住人口密度，従業者密度，土地利用11種の各面積比）
- i : 解析対象の各データ
- 本調査では東京を覆う78個のそれぞれの格子を表す（1～78）
- $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_M$: 偏回帰係数
- β_0 : 定数項
- ε_i : 誤差項

解析するデータセットに最もよく適合する偏回帰係数の組を求めるため，ここでは最小二乗法を使用する。具体的には，誤差項の平方和

$$S \equiv \sum_i \varepsilon_i^2 = \sum_i [Y_i - (\beta_0 + \beta_1 X_{1,i} + \beta_2 X_{2,i} + \dots + \beta_M X_{M,i})]^2$$

を考え，各偏回帰係数 β_0, \dots, β_M による偏微分がゼロとなる次の連立方程式を解く。

$$\frac{\partial S}{\partial \beta_0} = 0, \quad \frac{\partial S}{\partial \beta_1} = 0, \quad \frac{\partial S}{\partial \beta_2} = 0 \quad \dots \quad \frac{\partial S}{\partial \beta_M} = 0$$

この連立方程式の解を $\hat{\beta}_0, \dots, \hat{\beta}_M$ とすると，説明変数 $X_{1,i}, \dots, X_{M,i}$ で説明される目的変数（ここでは人工排熱量）の回帰値 \hat{Y}_i が以下の式で計算さ

れる。

$$\hat{Y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_{1,i} + \hat{\beta}_2 X_{2,i} + \dots + \hat{\beta}_M X_{M,i}$$

モデルとする重回帰方程式と最小二乗法で推定された偏回帰係数 $\hat{\beta}_0, \dots, \hat{\beta}_M$ のセットによって完全に目的変数が説明されない限り、この式から得られる \hat{Y}_i はオリジナルの目的変数 Y_i とは違った値が計算される。モデルの適合性を示す指標として、決定係数 R^2 が利用される。これは、オリジナルの目的変数群の平均 \bar{Y} を基準として、推定された重回帰方程式で説明された回帰値 \hat{Y}_i の変動 $\sum_i (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$ と、オリジナルの目的変数 Y_i の変動 $\sum_i (Y_i - \bar{Y})^2$ から以下の式で評価されるものである。

$$R^2 = \frac{\sum_i (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum_i (Y_i - \bar{Y})^2}$$

このように、決定係数 R^2 は、回帰値 \hat{Y}_i の変動がどの程度の割合で目的変数 Y_i の変動を説明できているかを表している。そのほか、重回帰式の妥当性の指標として重相関係数が使われることもあるが、これは決定係数の平方根で求められる。

3.3 F 判定とステップワイズ法 (変数増減法)

ステップワイズ法とは、説明変数の候補から予測や判別に有用な順に説明変数を採用するための方法である。後述する F 値による検定によって、説明変数の採用と除去が決定される。

重回帰分析において、複数の説明変数のうちいくつかは目的変数を説明していないのではないかと (例えば2個目と3個目が説明に寄与しないとすると $\beta_2 = 0$ かつ $\beta_3 = 0$ など)、ということを検定する際には、 F 検定を行う。検定したい仮説 (帰無仮説) として

$$H_0 : \beta_2 = 0 \text{ かつ } \beta_3 = 0$$

を、その対立する仮説 (対立仮説) として

$$H_1 : \beta_2 \neq 0 \text{ または } \beta_3 \neq 0$$

を考える。 H_0 が成立するとして重回帰方程式を推定した場合の回帰残差の平方和 $S_0 = \sum_i (Y_i - \hat{Y}_{i,H_0})^2$ と、 H_1 が成立するとした場合の回帰残差の平方和 $S_1 = \sum_i (Y_i - \hat{Y}_{i,H_1})^2$ を計算する。このとき、統計量 F は次のように計算することができ、 H_0 が成立する場合にはこの統計量が F 分布に従うとされ

ている。

$$F = \frac{(S_0 - S_1) \cdot (N - M)}{p \cdot S_1}$$

N : 解析データの個数、本調査では78

M : 説明変数の個数、本調査では最大で13

p : 帰無仮説 H_0 に含まれる制約式の数、例では2

この統計量 F を計算し、 F 分布表などからパーセント点 $F_\alpha(p, N - M)$ を求め、

$$F \geq F_\alpha(p, N - M)$$

であれば、帰無仮説 H_0 は成立しないと判定する (F 判定)。

ステップワイズ法では、最初に目的変数 Y_i と複数の説明変数それぞれとの単相関係数を求め、単相関係数が一番大きかった説明変数 (仮に X_1 とする) を第1候補として回帰方程式に組み入れて回帰式を求める (下式)。

$$\hat{Y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_{1,i}$$

次に、この式では説明できなかった部分 (回帰残差: $Y_i - \hat{Y}_i$) とほかの説明変数との単相関係数を求め、相関が良かった説明変数 (仮に X_3 とする) を2番目の候補として回帰方程式に組み入れるかどうかを F 検定によって判定する。この際の帰無仮説は $\beta_3 = 0$ 、対立仮説は $\beta_3 \neq 0$ である。判定の結果、帰無仮説が支持されれば、現時点での X_3 の組込みは見送られ、次に相関の良かった説明変数を候補として F 検定を行う。帰無仮説が棄却された場合には、 X_3 を説明変数として導入する。

$$\hat{Y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_{1,i} + \hat{\beta}_3 X_{3,i}$$

さらに、回帰残差との単相関の良い説明変数を3番目の候補 (仮に X_4 とする) として F 検定を実施し、この説明変数を導入する効果を判定する。このように、徐々に説明変数を加えていくのは変数増加法と同じであるが、ステップワイズ法では、説明変数が三つ以上となった場合には、第1候補であった説明変数に対しても F 検定をあらためて実施し、候補から外される可能性も考慮するところが異なっている。例えば、説明変数 X_1 の寄与は X_3 と X_4 の2変数を考慮することで十分説明

可能な場合、 X_1 は除外される（ただし、ステップが進むとまた復活する場合もある）。

このような判定ステップを繰り返すことにより、より適切な説明変数の組を抽出でき、最終的に、

$$\hat{Y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_{1,i} + \hat{\beta}_3 X_{3,i} + \hat{\beta}_7 X_{7,i}$$

などといった重回帰式を得ることができる。

3.4 データセットへの適用結果

第3.1節で整備した東京都の範囲にある78個の4km格子のデータセットを使用し、人工排熱量を予報変数、居住人口密度と従業者数密度、11種別の面積比の計13個を説明変数として、各月、各時間別（12か月24時間、計288例）にステップワイズ法を適用した。なお、変数選択時のF検定で用いるF値の閾値は、F分布のパーセント値から求める必要があるが、本調査では簡略化のため2で固定した。

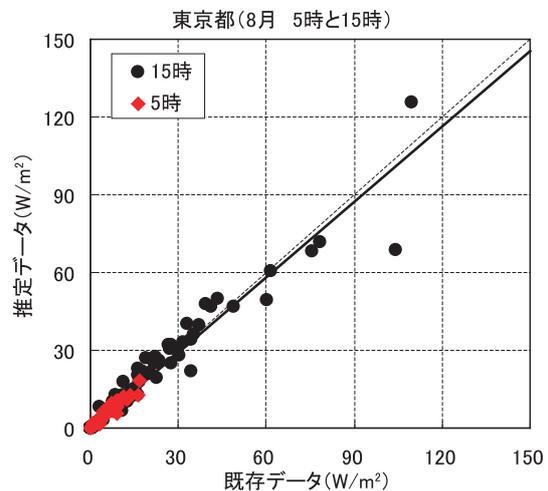
ステップワイズ法の適用の結果、全ての適用例において、居住人口密度と従業者数密度、幹線交通用地面積比の三つの説明変数が抽出された。数例の適用結果では、これら三つの説明変数に加えて、他の土地利用種別の面積比などが抽出される場合も見られた。しかしながら、その説明変数を回帰式に導入した場合の回帰残差平方和の減少量は、上記三つの説明変数をそれぞれ導入した場合の残差平方和の減少量に比べて非常に小さく、寄与度は小さいことが分かった。

このため、説明変数を居住人口密度と従業者数密度と幹線交通用地面積比の三つに限定し、あらためて全288事例についての重回帰式を求めた。各説明変数の偏回帰係数と定数項をAPPENDIXに示す。

今回求めた重回帰式には、定数項が存在し、さらにはそれが負の値を持つ場合も見られる。このまま回帰値を求めると、居住人口密度、従業者数密度、幹線交通用地面積比の値が全て0で明らかに人工排熱が存在しないと思われる格子でも一定の人工排熱推定量が見積もられる。また、説明変数の値にもよるが、回帰値が負となる格子も計算される可能性がある。APPENDIXに示した偏回

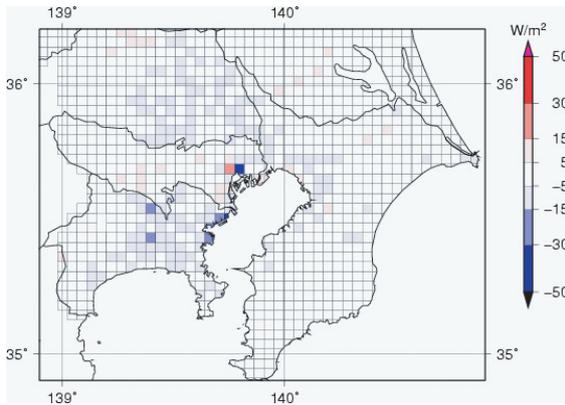
帰係数を用いて人工排熱量を推定する場合には、このような点に注意し、明らかに都市ではない格子や推定式により算出した値が負となった格子については人工排熱量を 0Wm^2 とするなどの処理が必要である。

これらの回帰式から得られた8月の5時と15時について、既存データと推定量の散布図及び15時における回帰直線を第3.1図に示す。15時について、相関係数は0.97、決定係数(R^2)は0.94である。切片を0としたグラフの傾きは0.97で良い再現性を示す（若干の過小評価）。回帰直線から外れる格子も存在するが（第3.2図）、これは、既存データが用途別建物の延床面積を基に作成されているのに対し、推定量では、従業者数や居住人口数などを基に作成しているためである。特に都心域のような従業者数や居住人口数が大きな格子については、広い緑地や公園などが含まれる場合は、これらの説明変数の値が著しく変わり、推定量の変動が大きくなるためである。なお、夜間については、既存データと推定量の値がそれぞれ小さいため、差は小さい。



第3.1図 東京都における8月の人工排熱量の既存データ（横軸）と推定値量（縦軸）のプロット図 (Wm^2)

5時（赤ひし形）と15時（黒丸）を表す。直線は15時における回帰直線（切片を0とした）、点線は傾きが1、切片が0の線を示す。



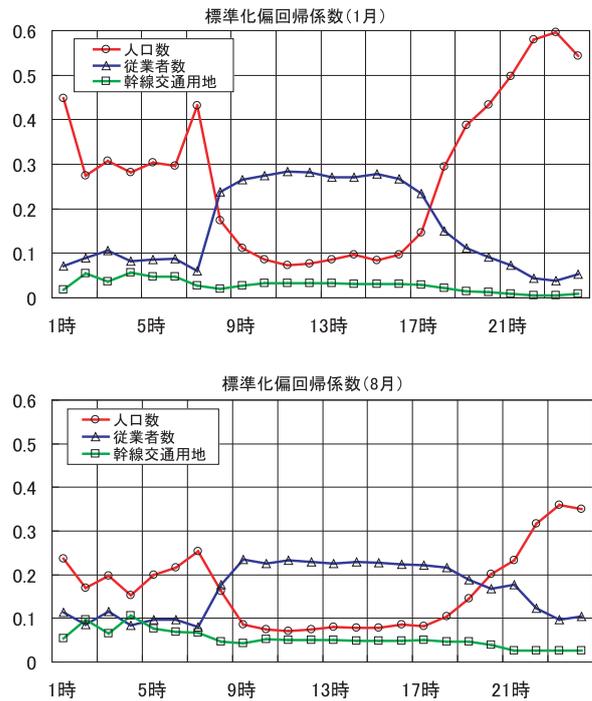
第3.2図 8月の15時における人工排熱推定量から既存データを引いた差の値 (W/m^2)
赤色が正、青色が負を示す。

3.5 説明変数の寄与

ここでは、求めた重回帰式の特徴をつかむため、三つの説明変数の人工排熱推定量に与える寄与について考察する。偏回帰係数そのものは、説明変数の単位や広がり依存して単純な比較はできない。このため、各説明変数の分散を1に規格化した標準化偏回帰係数を計算し、第3.3図に示す。

日中は、従業者数密度の標準化偏回帰係数が最も大きく、夜間の回帰式では居住人口密度の標準化偏回帰係数が最も大きいことが見てとれる。一方、幹線交通用地については、日中に減少する傾向が見られるものの、他の説明変数と比べると係数は小さい。これらの特徴は1～12月を通じ見られた。

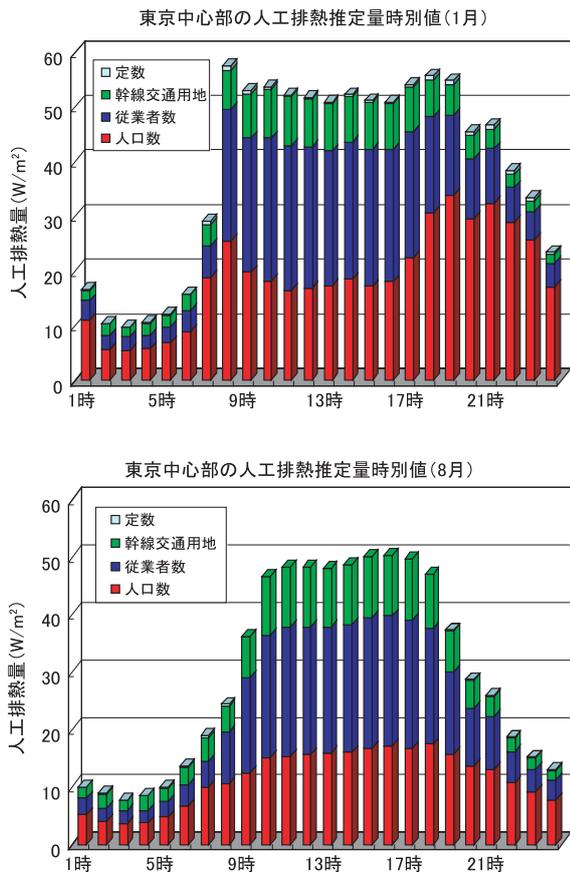
標準化偏回帰係数は、各時刻における回帰式での説明変数の寄与を表すが、例えば夜間に大きな寄与を持っていても、総排出量が小さければ、実際の排出量としては多くないことになる。第3.4図では、各説明変数による実際の排出量が時間的にどのように変化しているのか、東京都の中心部（大手町を中心とする周辺4格子）における人工排熱推定量を例にとって積み上げ棒グラフで示す。人工排熱量は1月、8月ともに朝方から日中にかけて大きくなるが、寄与が最大なのは従業者数である。一方、夕方から明け方にかけての人工排熱量は小さくなる中、居住人口密度が最大の寄



第3.3図 人工排熱量を推定する重回帰式における各説明変数（赤線：人口、青線：従業者数、緑線：幹線交通用地）の各時間の標準化偏回帰係数（各時刻における各説明変数の寄与を標準化した値を、時系列図にして示した）
図は、1月（上図）と8月（下図）を表す。

与をもたらしていることがわかる。居住人口密度だけではなく、従業者数密度の分布も説明変数として取り入れていることにより、人間活動の中心が住宅街（居住人口密度で代表）とオフィス街（従業者数密度で代表）とで時間とともに移り変わる様子が表現されているようで非常に興味深い。冬季と夏季の違いを見ると、1月において居住人口による寄与が朝方と夕方以降で明瞭に増加し、極大となる点は8月の場合と異なる傾向となっている。これは、給湯や暖房などによる排熱が冬季に大きくなるという特徴が表れているためと推測される。

今回、説明変数として使用した地域メッシュ統計と国土数値情報の土地利用データセットは、東京都に限らず全国一律に整備されている。このため、本調査で求めた重回帰式をこれらのデータセ

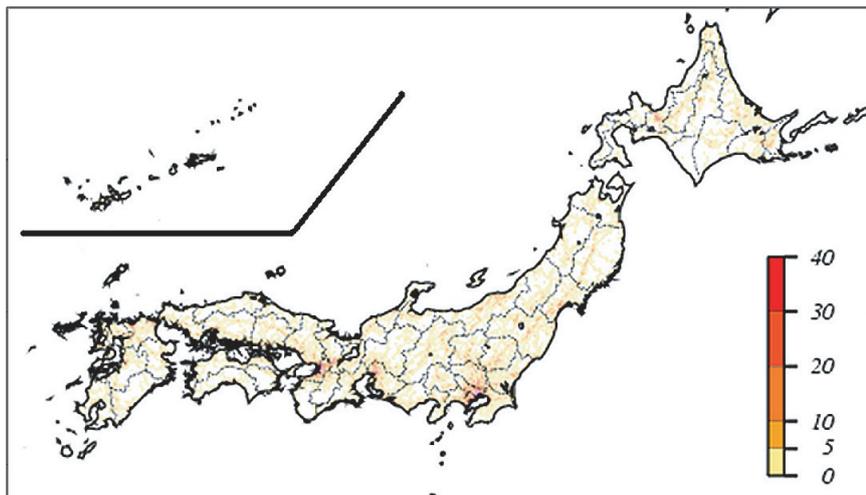


第 3.4 図 東京都大手町の地点を中心とする周囲 4 格子で平均した推定人工排熱量と推定に用いた重回帰式の各説明変数（赤：人口，青：従業者数，緑：幹線交通用地，水色：定数）の寄与 (Wm^{-2})

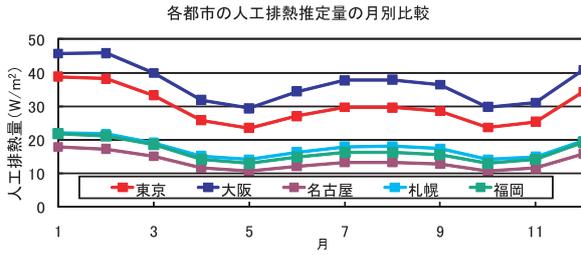
図は、1 月（上図）と 8 月（下図）を表す。

ットを基にして全国に適用すれば、人工排熱量の推定量を全国一律に時別で推測することが可能である。一例として、8 月の 15 時用の重回帰式から推定される人工排熱の推定量の全国分布を第 3.5 図に示す。推定された人工排熱量は、関東地方、近畿地方、東海地方の 3 大都市圏で特に大きい様子が見られる。また、札幌や福岡など、地方においても周囲に比べ大きな値となっており、想定される分布が得られている。他方、東北自動車道や関越自動車道など、高速道路での排熱が目につく。これは、東京都の交通量データから得られた既存の人工排熱データを基に重回帰分析を行った結果であるため、日本全国で東京都と同等の交通量があると考えた場合の排熱量が推定されているからである。関東周辺や近畿・東海などの大都市圏においては、この幹線道路からの推定排熱量はおおむね正しいと思われるが、交通量の少ない高速道路などにおいては過大評価となっているであろう。道路の交通量などのデータセットから補正をかけるなど、更なる改良の余地は残っている。

これらの大都市における人工排熱推定量の月変動を見るため、各都市に存在する管区气象台、地方气象台付近の格子を抽出し、各月における日平均人工排熱推定量を求めた（第 3.6 図）。各都市全て、冬季における値が大きく、次いで夏季の値



第 3.5 図 8 月の 15 時における重回帰分析により推定した人工排熱量 (Wm^{-2})



第 3.6 図 推定人工排熱量（各都市の官署付近の 4 格子平均）の月別値の比較 (Wm^{-2})
 値は各月における日合計値を 24 で割った 1 時間当たり値を示す。

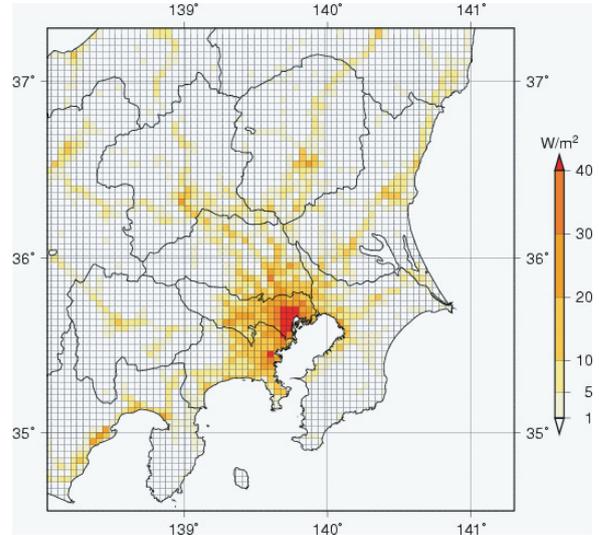
が極大となることわかる。1 年を通して、東京や大阪の中心域付近は他の都市に比べて 2 倍以上も大きい人工排熱量が推定された。

4. 人工排熱推定量と既存データとの比較

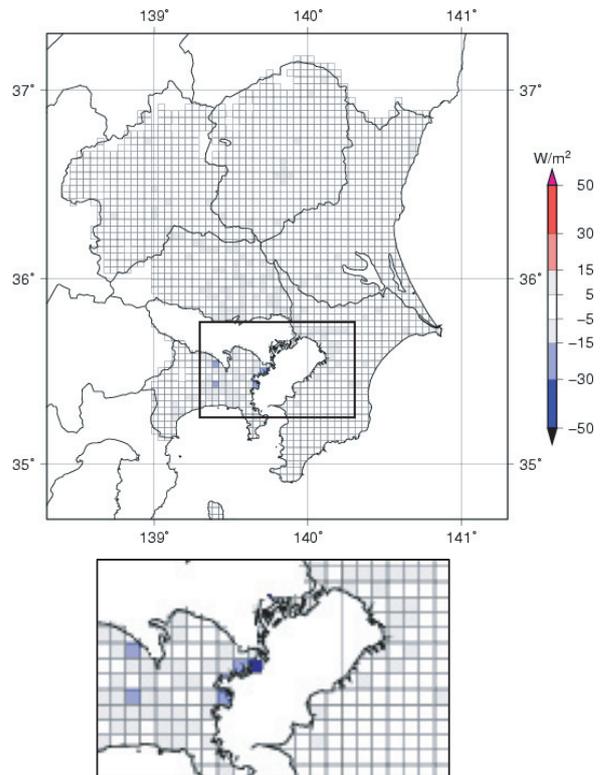
既存の人工排熱データを用いて、推定量との差を求めることで推定値の精度を調べた。重回帰分析で使った東京都以外の既存の人工排熱データとして、第 2.4 節～第 2.6 節で示した関東地方 6 県、近畿地方、名古屋市の各データセットを使用する。

4.1 関東地方 6 県

第 4.1 図に 8 月 15 時の人工排熱量の推定量を示す。都心域を中心に値が大きい格子は広がり、周囲の県にかけて線状ののびている。各県につながる線状の排出域は、高速道路での排出を表現するものである。従業者数密度や居住人口密度が多い、各県庁所在地においても人工排熱が多く推定されている。推定量と既存データとの差（第 4.2 上図）は、ほとんどの格子で $\pm 15Wm^{-2}$ の範囲に納まっているが、都市域で負偏差（神奈川県都市域では $-40Wm^{-2}$ の格子も見られる）、それ以外の地域で正偏差となる傾向があった。この要因について、関東地方 6 県の既存データは、県全体の排熱量を国土数値情報の土地利用を基に分配し推定されているのに対し、重回帰式による推定量では、居住人口数や従業者数を基に求められているため、人工被覆化しているが、居住人口数や従業



第 4.1 図 関東地方における 8 月の 15 時の人工排熱推定量 (Wm^{-2})



第 4.2 図 関東地方における 8 月の 15 時の人工排熱推定量から既存データの差 (Wm^{-2})
 下図に東京湾周辺の拡大図（上図中の黒四角域）を示した。赤色が正值、青色が負値を示す。

者数が比較的少ない格子については過小となるためと考えられる。

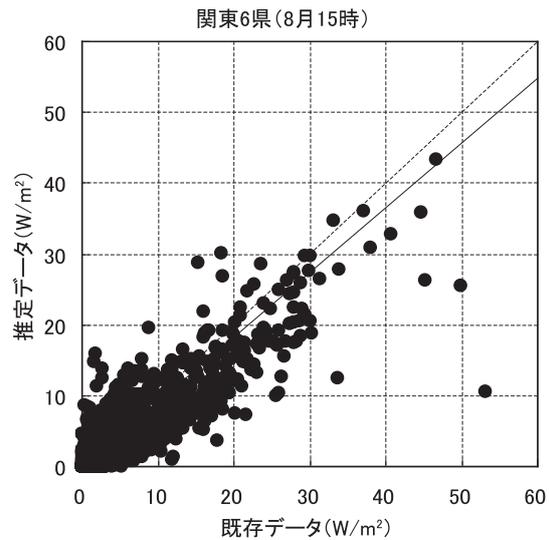
第4.3図に関東地方6県における8月の15時の既存データと推定量のプロット図 (Wm^{-2}) を示す。相関係数は0.91, 決定係数 (R^2) は0.82である。グラフの傾きは0.73(切片を0とした)で、既存データに比べ推定量は全体として若干過小な見積りとなっている。5時においては、相関係数は0.91, 決定係数 (R^2) は0.83, グラフの傾きは0.89(切片を0とした)で日中に比べてやや傾きは大きく、過小評価は改善される。この結果は1月においても同様であった。これらから、重回帰式によって推定した人工排熱量の再現性は、一部を除いておおむね良好であると考えられる。

4.2 近畿地方

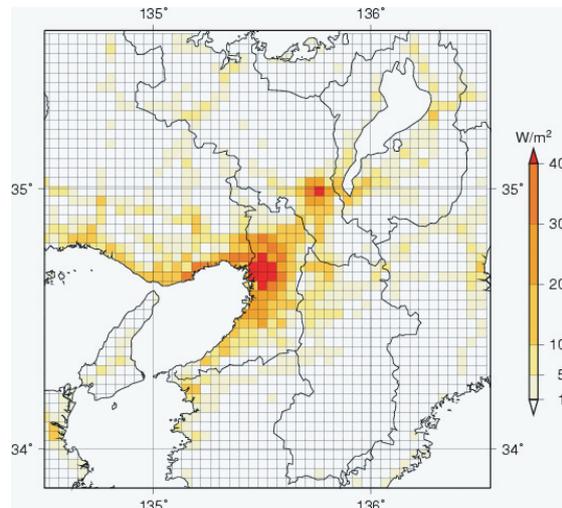
近畿地方において推定される人工排熱分布は、大阪・神戸・京都といった都市域を中心に大きな値の分布が広がっている。8月の15時には、大阪の都市域で人工排熱推定量が $90Wm^{-2}$ を上回る地域も見られた(第4.4図)。

第4.5図に、人工排熱推定量と既存データとの差分の一例を示す。8月の15時の差分図(右図)では、大阪の都市域中心部や京都付近で差が約 $+40Wm^{-2}$ の格子がある。一方、大阪の周辺地域や神戸には顕著な負の格子があり、特に大阪の湾岸域では既存データが推定量より $100Wm^{-2}$ 以上大きい地域も存在している。このように大きな差が現れるのは湾岸の工業地域で、日中に限らず朝方の5時においても約 $-50Wm^{-2}$ を示す格子が見られる。このような湾岸工業地域では、都市域に比べ居住人口密度や従業者数密度が少ないものの排熱量が顕著に大きいことが想定され、このため、都市域と同じ回帰式で表現した場合に過小評価となったものと思われる。

第4.6図には、近畿地方における8月15時の既存データと推定量の散布図を示す。赤丸は既存データとして、民生部門、産業部門、交通部門の和を取ったもので、青四角は既存データとして民生部門と交通部門のみの和を取ったものである。左図 ($0 \sim 100Wm^{-2}$) と右図 ($0 \sim 400Wm^{-2}$) では軸のスケールが異なることに注意。

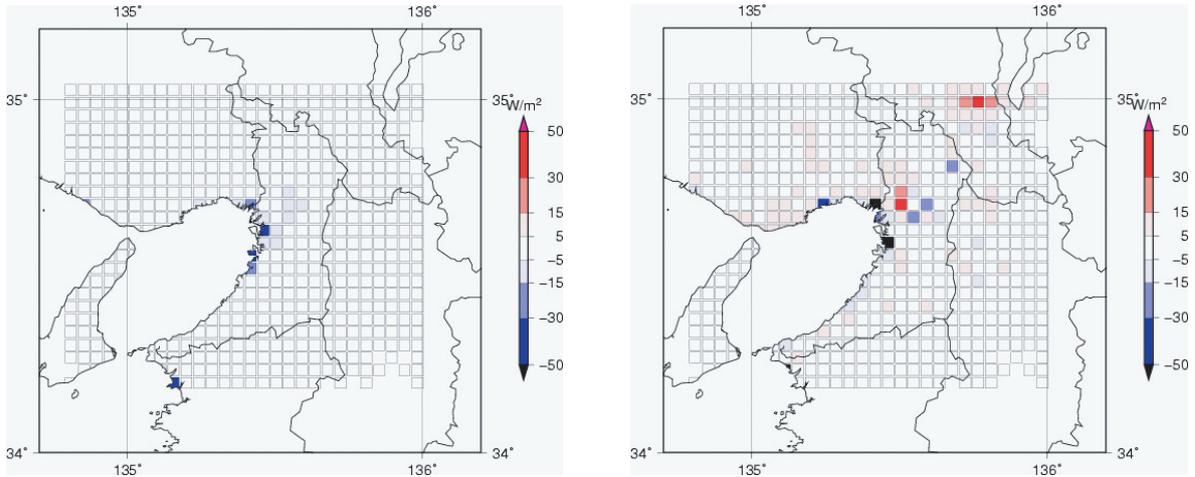


第4.3図 関東地方6県における8月の15時の既存データ(横軸)と推定量のプロット図 (Wm^{-2})。直線は回帰式直線(切片を0とした)、点線は傾きが1, 切片が0の線を示す。



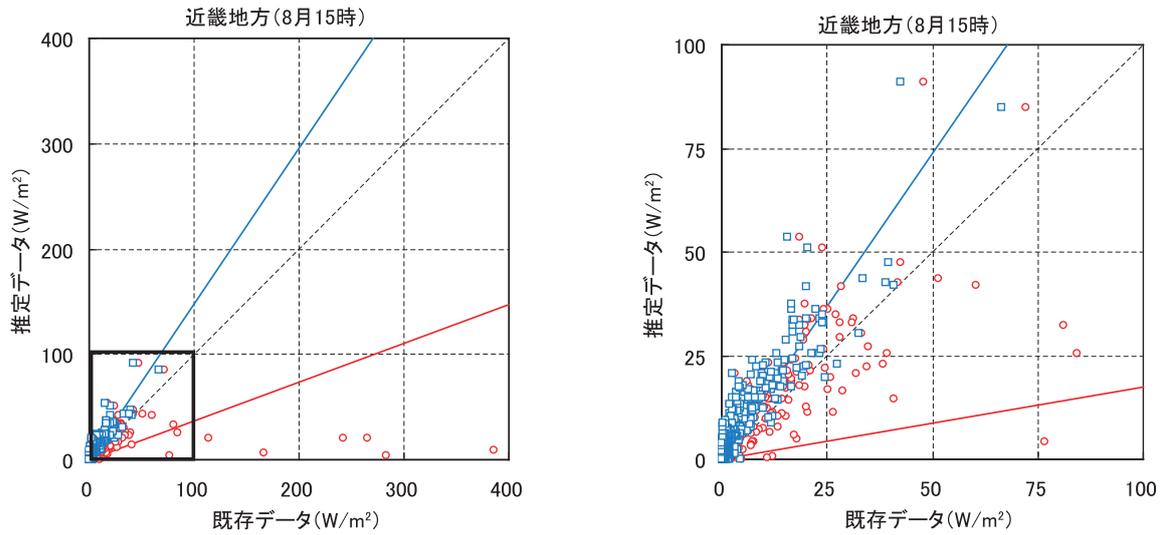
第4.4図 近畿地方における8月の15時の人工排熱推定量 (Wm^{-2})

排熱量を三部門の合計で評価した場合、相関係数は0.34, 決定係数 (R^2) は0.11だった。グラフの傾きは0.17(切片を0とした)で、推定した値は既存データに比べて極めて過小である。5時についても(図略), 相関係数は0.66, 決定係数 (R^2) は0.43, グラフの傾きは0.40(切片を0とした)で、15時ほどではないものの、推定量は過小な



第 4.5 図 近畿地方における人工排熱推定量から既存データを引いた差の値 (W/m^2)

左図は 8 月の 5 時，右図は 8 月の 15 時を示す．赤色が正值，青色が負値を示す．既存データが存在する範囲を示した．



第 4.6 図 近畿地方における 8 月の 15 時の既存データ（横軸）と推定量（縦軸）のプロット図

単位は W/m^2 ．赤丸（既存データを「民生部門」，「産業部門」，「交通部門」の和とした場合）と青四角（既存データを「民生部門」，「交通部門」の和とした場合）を示している（よって，赤丸と青四角の差は「産業部門」の差を表す）．右図は左図の黒四角の範囲を示しスケールが異なる左図は $0 \sim 400 W/m^2$ ，右図は $0 \sim 100 W/m^2$ ．赤線は赤丸についての回帰直線（切片を 0 とした），青線は青四角についての回帰直線（切片を 0 とした），点線は傾きが 1，切片が 0 の線を示す．

見積みだった．これは，既存データにおいて，日中を中心とする湾岸地域での排熱量が顕著に大きい格子が数点あることが原因である．第 4.6 図を見ても，人工排熱推定量が $50 W/m^2$ 未満であるにもかかわらず，既存データが $100 W/m^2$ から約 $400 W/m^2$ と非常に大きな値に達する格子の存在が

見られる．この既存データに見られる顕著に大きな値は，湾岸域の工業地帯で見られることから，大規模な工場の煙突などから排出される熱量によるものと考えられる．これらの影響を除くため，試みに 15 時における既存データの値が $50 W/m^2$ 以下の格子のみについて評価したところ，相関係係

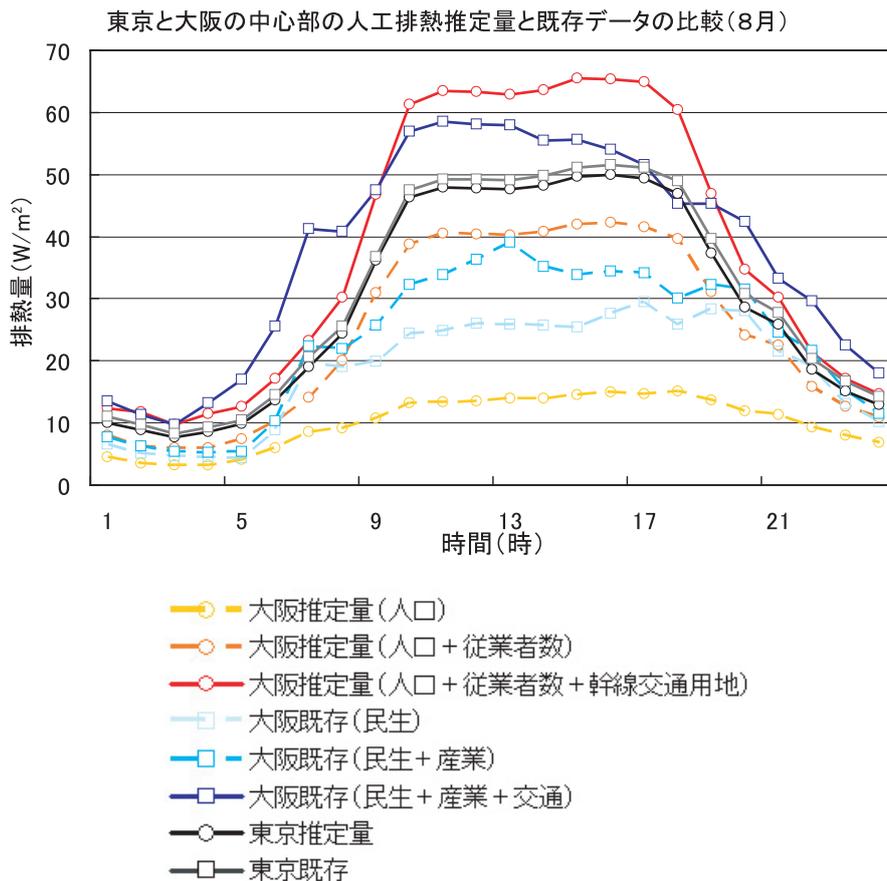
数は0.87, 決定係数 (R^2) は0.73, グラフの傾きは1.04 (切片を0とした) となった. このため, 大規模な工業地帯域以外においては, この方法は良い近似を与えると考えられる.

既存データを民生部門, 交通部門の和とした場合 (青四角) の相関係数は0.92, 決定係数 (R^2) は0.84, グラフの傾きは1.48である. このように, 産業部門全てを除外すると, 人工排熱推定量が過大評価となる (既存データが小さすぎる) ことから, 人工排熱推定量が全く産業部門を表現しないというわけではないことがわかる.

第4.7図には, 大阪管区気象台近傍の4格子平均 (以下大阪と称する) における8月平均値各時間の人工排熱推定量 (及び各説明変数の寄与) を示す. 比較のため既存データや大手町付近の4格

子平均 (以下東京と称する) のデータについても示している. 各時間における大阪の人工排熱推定量の各説明変数の寄与の特徴は, 東京の場合と同様で, 夜間は居住人口密度の寄与が大きく, 日中は従業者数密度の寄与が大きい. また, 各時間の推定量は既存データとおおむね良い近似であることがわかる. さらに, 大阪の推定量の幹線交通用地面積比と既存データの交通部門の寄与がほぼ同様な値だった.

東京の値と比較すると, 大阪の人工排熱推定量のピーク値は東京の値を上回る結果となっており, 既存データでも同様である (第4.7図). このように, 人工排熱が特に大きな都市間比較にも有効であろうことが示唆された.



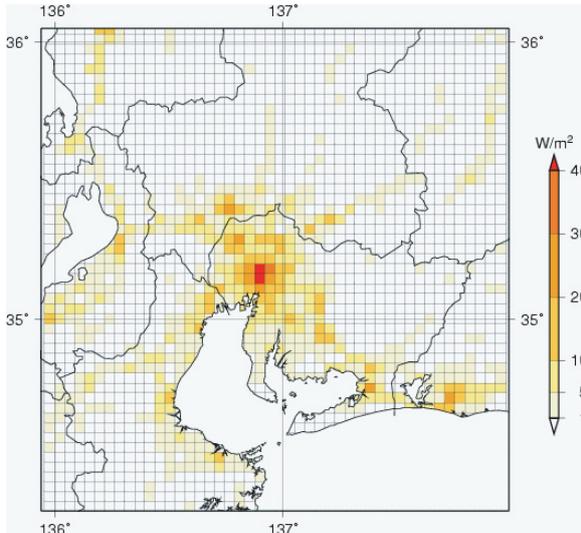
第4.7図 大阪(官署付近)の4格子で平均した8月の推定人工排熱量と既存データの比較 (Wm^{-2})

大阪における推定量は暖色, 既存データは寒色で示す. 実線は合計, 点線は内訳を示す. 白抜き丸は推定量, 黒四角は既存データを示す. 比較のため東京(大手町付近)についても示す(黒色).

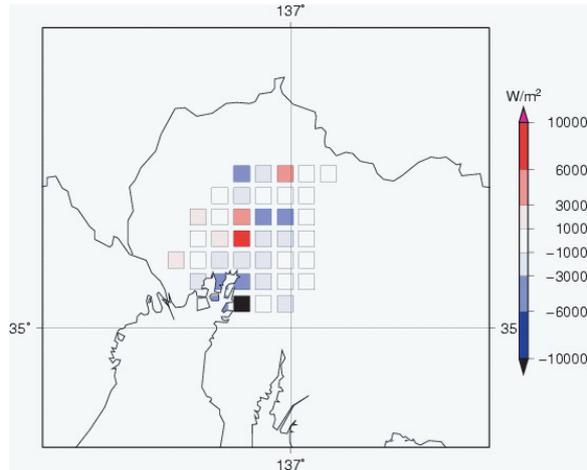
4.3 名古屋市

人工排熱推定量は、東海地方では名古屋市を中心に大きな格子が広がっており、8月15時では都心域で約 30Wm^{-2} の格子があった(第4.8図)。

既存データは月合計値のみが整備されていることから、人工排熱推定量も月合計値を計算した上で、両者の比較を試みる。推定量と既存データと



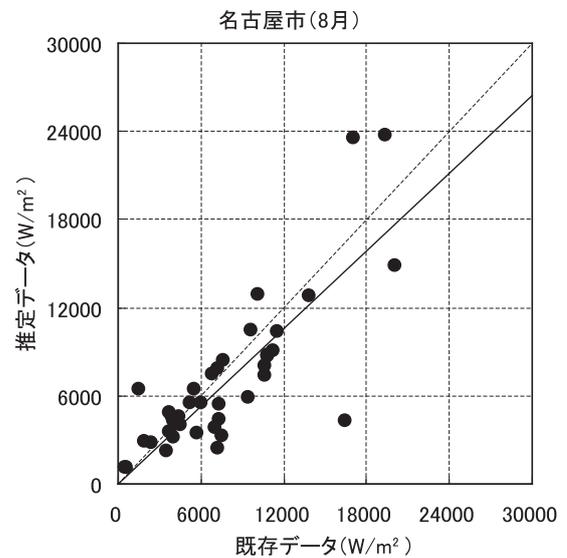
第4.8図 東海地方における8月の15時の人工排熱推定量 (Wm^{-2})



第4.9図 名古屋市における8月の人工排熱推定量の月合計値から既存データ(月合計値)を引いた差の値 (Wm^{-2})
赤色が正值、青色が負値を示す。

の差は、ほとんどの格子でその差は小さかったが、第4.9図から約 -12000Wm^{-2} (日合計値に換算すると約 400Wm^{-2}) や都市域付近で約 $+6400\text{Wm}^{-2}$ (日合計値に換算すると約 210Wm^{-2}) など、ばらつきがある格子もあった。

第4.10図に、8月合計値で比較した既存データと推定量のプロット図を示す。相関係数は0.81, 決定係数 (R^2) は0.65だった。グラフの傾きは0.88 (切片を0とした)。根平均二乗誤差 (RMSE) は 3171Wm^{-2} (日合計値に換算すると約 110Wm^{-2})、バイアスは -784Wm^{-2} (日合計値に換算すると約 -26Wm^{-2}) であった。また、2月では、相関係数は0.82, 決定係数 (R^2) は0.67, グラフの傾きは1.15 (切片を0とした), RMSEは 3368Wm^{-2} (日合計値に換算すると約 120Wm^{-2})、バイアスは 1272Wm^{-2} (日合計値に換算すると約 45Wm^{-2}) だった。



第4.10図 名古屋市における8月の既存データと推定量のプロット図 (Wm^{-2})

直線は回帰直線(切片を0とした), 点線は傾きが1, 切片が0の線を示す。値は月合計値。

4.4 推定量と既存データの比較についての注意

本項では、重回帰解析から推定した人工排熱推定量について、既存データとの比較による精度調査を行った。人工排熱推定量は東京都の人工排熱データを基に作成しているため、季節変化は東京のライフスタイルに似たものとなっていることが予想される。特に札幌や東北、北陸など、東京と明らかに気候が異なる地域については、精度調査や検証、あるいは全く別の回帰式の推定が必要であると考えられる。

5. まとめ

全国の都市や付近の地域において、一律な条件でヒートアイランド現象に関するシミュレーション調査をするために必要な人工排熱量を、全国で整備されている地域メッシュ統計や国土数値情報を用いて、毎月、時間別で整備されている東京都の人工排熱量を基に、人工排熱量を重回帰分析により推定した。ステップワイズ法から居住人口密度、従業者数密度、交通幹線用地面積比が説明変数として妥当であることが示され、これら三つの説明変数の基、人工排熱量を推定する重回帰式を決定した。

人工排熱量は朝方から日中にかけて大きくなるが、標準化偏回帰係数による各説明変数の寄与の解析から、日中最も大きな寄与を与える説明変数は従業者数密度であることが示された。人工排熱量の人間活動による変動を表現する上で、居住人口や幹線交通用地のほか、ここで用いた従業者数密度が有効な説明因子であることが示唆される。このように、算出した人工排熱推定量には、日中は産業活動、夜間は生活活動の寄与が大きいという日変化が示され、また、季節の違いなどの人間のライフスタイルも表現されていた。

関東地方6県、近畿地方、名古屋市において、今回実施した重回帰分析とは独立な、既存のデータセットと比較した結果、都市域においては、一部を除いておおむね良い推定値が得られた。全ての季節（月）において、時別でメッシュ化された人工排熱データを自治体や研究機関などから得ることは困難であるが、今回求めた重回帰式を適用

すれば、任意の地域、季節で排熱量を推定することができる。

しかし、課題点や排熱量の改善の余地もある。一つは、近畿地方の既存データで見られたように大規模な工場からの顕著に大きい排熱の熱量の取扱である。今回推定した重回帰式では、このような局所的に存在する工場などからの大きな排熱は表現できていない。これは、推定のもととした東京都の人工排熱データには、工場の煙突などからによる排熱量が考慮されていないためである。

そのように大きな排熱が地上気温に与える影響を湾岸域での排熱が顕著な近畿地方を対象に、気象庁気候情報課が管理している都市気候モデル（気象庁、2005～2009）を用いて見積もった結果、排熱が大きな地点の周辺（約8km）程度の地域で0.5～1.0℃程度の寄与があることが推測された。このような大規模な工場からの排熱は、接地層よりも高い煙突から排出されていると考えられることから、地上付近での事務所や民生等の活動によるものに比べ、地上付近の気温への影響は比較的小さくなる可能性がある一方、排熱量が非常に大きなことから、無視することができないとも考えられる。このように、局所的な排熱の考慮や大気モデルへの組み込み手法も含め、取扱いについての注意が必要である。

もう一つの課題は、推定量が東京都の人工排熱データのみを基に見積もられている点である。東京と明らかに気候が異なる地域については、精度調査や検証、あるいは全く別の回帰式の推定が必要である。

本調査によって推定した人工排熱量は、気象モデルにおける境界値として、今後のシミュレーションによるヒートアイランドの調査で活用されることが期待される。その一方、不確実性な要素が含まれることにも留意が必要である。シミュレーションによるヒートアイランドの調査結果の精度を向上させるには、気象モデルの改善、更新はもちろんだが、境界値である人工排熱量の見積方法の考案や改善、また、気象モデルにおける人工排熱量の取扱方法についてもより詳細に考慮することが重要であり、今後の課題と考える。

最後に、本調査により考案した人工排熱量の

推定に用いた重回帰式の各説明変数の係数を APPENDIX に示した。これは、4km 格子において推定したものである。用いる説明変数の数値は、それぞれ、第 2 章で示したホームページにて無償で公開されている。

謝辞

本報告で用いた人工排熱量データは、関東地方は土木研究所、近畿地方は大阪大学（現 横浜国立大学）の鳴海大典氏、東海地方は名古屋市環境科学研究所からご提供いただいたものです。ここに厚くお礼を申し上げます。

参 考 文 献

- 気象庁（2005～2009）：ヒートアイランド監視報告。
<http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/himr/index.html>
- 妹尾泰史・神田学・木内豪・萩島理（2004）：潜熱割合を考慮した人工排熱時空間分布の推計と局地気象に対する影響。水工学論文集，48。
- 鳴海大典・大谷文人・近藤明・下田吉之・水野稔（2002）：都市における人工廃熱が都市熱環境に及ぼす影響－都市熱環境評価モデルを用いたヒートアイランドの改善策に関する検討 その 1－。日本建築学会計画系論文集，No.562，pp.97-104。
- 名古屋市環境保全局（1996）：ヒートアイランドに関する基礎的調査のまとめ。
- 環境省（2004）：平成 15 年度 都市における人工排熱抑制によるヒートアイランド対策調査報告書。
<http://www.env.go.jp/air/report/h16-05/index.html>
- 東京大学教養学部統計学教室編（1991）：統計学入門。pp.307。

APPENDIX - I

人工排熱量の推定量を算出する重回帰式における係数と定数項 (1月～6月)

第I表

1月	人口	従業者数	幹線交通用地	定数項	2月	人口	従業者数	幹線交通用地	定数項
1時	7.07294E-04	1.59879E-04	2.99486E+01	2.47048E-01	1時	6.35609E-04	1.56320E-04	3.07210E+01	2.13801E-01
2時	3.61209E-04	1.17528E-04	3.42227E+01	1.38759E-01	2時	3.40836E-04	1.17788E-04	3.58778E+01	1.33539E-01
3時	3.51144E-04	1.16815E-04	2.56042E+01	1.23758E-01	3時	3.30990E-04	1.16947E-04	2.64434E+01	1.16064E-01
4時	3.69137E-04	1.13192E-04	3.50514E+01	1.46997E-01	4時	3.48811E-04	1.13764E-04	3.67263E+01	1.41606E-01
5時	4.37389E-04	1.31528E-04	3.65762E+01	1.30370E-01	5時	4.17057E-04	1.32405E-04	3.74869E+01	1.22555E-01
6時	5.66151E-04	1.75551E-04	4.82914E+01	2.05005E-01	6時	5.46009E-04	1.76632E-04	4.92301E+01	1.97715E-01
7時	1.20878E-03	2.55745E-04	6.43199E+01	6.81896E-01	7時	1.11622E-03	2.51370E-04	6.58904E+01	6.45221E-01
8時	1.63283E-03	1.08648E-03	1.17616E+02	7.54962E-01	8時	1.45798E-03	1.14427E-03	1.23959E+02	6.58989E-01
9時	1.26431E-03	1.10415E-03	1.33149E+02	6.43595E-01	9時	1.14981E-03	1.16986E-03	1.41435E+02	5.83076E-01
10時	1.16127E-03	1.17607E-03	1.49637E+02	4.37745E-01	10時	1.08660E-03	1.25166E-03	1.59483E+02	3.95298E-01
11時	1.05680E-03	1.18503E-03	1.51051E+02	2.99883E-01	11時	1.00218E-03	1.26499E-03	1.61501E+02	2.56926E-01
12時	1.07482E-03	1.16419E-03	1.46772E+02	2.80958E-01	12時	1.02136E-03	1.24440E-03	1.56918E+02	2.38233E-01
13時	1.10437E-03	1.10993E-03	1.44610E+02	2.84970E-01	13時	1.04764E-03	1.18139E-03	1.54198E+02	2.41815E-01
14時	1.18183E-03	1.12739E-03	1.40051E+02	3.21227E-01	14時	1.10960E-03	1.20140E-03	1.49448E+02	2.68770E-01
15時	1.09942E-03	1.13135E-03	1.42397E+02	2.91223E-01	15時	1.04538E-03	1.20788E-03	1.51970E+02	2.44917E-01
16時	1.15448E-03	1.08779E-03	1.38990E+02	3.31643E-01	16時	1.09539E-03	1.15786E-03	1.48089E+02	2.85963E-01
17時	1.43961E-03	1.03726E-03	1.34239E+02	4.99669E-01	17時	1.33240E-03	1.09989E-03	1.42922E+02	4.27185E-01
18時	1.96206E-03	7.93294E-04	1.12205E+02	6.92090E-01	18時	1.78993E-03	8.30292E-04	1.18981E+02	5.92181E-01
19時	2.16849E-03	6.61542E-04	9.16528E+01	7.53106E-01	19時	1.96218E-03	6.82752E-04	9.66647E+01	6.46150E-01
20時	1.89692E-03	4.92734E-04	7.10048E+01	6.88859E-01	20時	1.71835E-03	5.02580E-04	7.43574E+01	5.93743E-01
21時	2.07344E-03	4.50041E-04	5.87864E+01	7.40303E-01	21時	1.85542E-03	4.56330E-04	6.11719E+01	6.31243E-01
22時	1.84987E-03	2.86480E-04	3.95764E+01	6.91320E-01	22時	1.64156E-03	2.80597E-04	4.02754E+01	5.88713E-01
23時	1.64076E-03	2.35026E-04	3.35246E+01	6.21697E-01	23時	1.45282E-03	2.26507E-04	3.37922E+01	5.31089E-01
24時	1.09366E-03	1.93162E-04	2.84692E+01	3.47192E-01	24時	9.85380E-04	1.89414E-04	2.86797E+01	2.96498E-01

3月	人口	従業者数	幹線交通用地	定数項	4月	人口	従業者数	幹線交通用地	定数項
1時	5.51284E-04	1.40160E-04	2.92650E+01	1.71697E-01	1時	3.31652E-04	1.23231E-04	2.88854E+01	6.05976E-02
2時	3.14959E-04	1.06633E-04	3.40990E+01	1.18666E-01	2時	2.50783E-04	9.92028E-05	3.39326E+01	8.64335E-02
3時	3.04540E-04	1.05208E-04	2.50912E+01	1.01783E-01	3時	2.39782E-04	9.70303E-05	2.46863E+01	6.75360E-02
4時	3.22130E-04	1.03071E-04	3.50187E+01	1.25792E-01	4時	2.57374E-04	9.61440E-05	3.49050E+01	9.24426E-02
5時	3.90521E-04	1.21260E-04	3.62258E+01	1.08261E-01	5時	3.25763E-04	1.14751E-04	3.59467E+01	7.42344E-02
6時	5.19572E-04	1.65743E-04	4.79427E+01	1.83338E-01	6時	4.54575E-04	1.58759E-04	4.76572E+01	1.48857E-01
7時	1.00442E-03	2.31783E-04	6.37740E+01	5.84250E-01	7時	3.75622E-04	2.10371E-04	6.32663E+01	4.46036E-01
8時	1.26259E-03	9.06015E-04	1.06676E+02	5.71746E-01	8時	7.53044E-04	5.54641E-04	8.29744E+01	3.22343E-01
9時	1.01997E-03	9.47146E-04	1.18687E+02	4.96379E-01	9時	7.03791E-04	6.49040E-04	9.26406E+01	2.96098E-01
10時	9.77292E-04	1.04107E-03	1.33617E+02	3.43717E-01	10時	7.96622E-04	8.01879E-04	1.10161E+02	1.89224E-01
11時	8.99554E-04	1.06180E-03	1.36279E+02	2.17574E-01	11時	7.38454E-04	8.46005E-04	1.14632E+02	6.45728E-02
12時	9.23175E-04	1.04725E-03	1.33120E+02	1.98415E-01	12時	7.80659E-04	8.41588E-04	1.13224E+02	5.21789E-02
13時	9.43854E-04	9.98199E-04	1.30456E+02	1.97884E-01	13時	7.80231E-04	8.08327E-04	1.10792E+02	4.28358E-02
14時	9.87716E-04	1.01921E-03	1.28610E+02	2.24827E-01	14時	7.72361E-04	8.35415E-04	1.12381E+02	5.40280E-02
15時	9.44793E-04	1.02805E-03	1.31203E+02	2.05943E-01	15時	7.80455E-04	8.51313E-04	1.15284E+02	4.96811E-02
16時	9.90134E-04	9.88224E-04	1.28254E+02	2.42350E-01	16時	8.16979E-04	8.24319E-04	1.13494E+02	8.22469E-02
17時	1.16995E-03	9.46488E-04	1.25104E+02	3.53063E-01	17時	8.41893E-04	8.04545E-04	1.13422E+02	1.10284E-01
18時	1.55395E-03	7.42277E-04	1.06004E+02	4.77576E-01	18時	1.04452E-03	6.88471E-04	1.00945E+02	1.41447E-01
19時	1.69188E-03	6.12622E-04	8.74097E+01	5.27295E-01	19時	1.12983E-03	5.65083E-04	8.47542E+01	1.97403E-01
20時	1.49986E-03	4.51451E-04	6.82246E+01	4.86699E-01	20時	9.92271E-04	4.05693E-04	6.54953E+01	2.08153E-01
21時	1.59934E-03	4.10564E-04	5.59866E+01	5.07666E-01	21時	1.01190E-03	3.68555E-04	5.24111E+01	1.95584E-01
22時	1.40323E-03	2.50104E-04	3.80419E+01	4.75805E-01	22時	8.15038E-04	2.12621E-04	3.70594E+01	1.75788E-01
23時	1.23799E-03	2.02212E-04	3.25111E+01	4.29426E-01	23時	7.04355E-04	1.70332E-04	3.22119E+01	1.63331E-01
24時	8.60671E-04	1.71076E-04	2.75185E+01	2.39556E-01	24時	5.65486E-04	1.51694E-04	2.70742E+01	9.38590E-02

5月	人口	従業者数	幹線交通用地	定数項	6月	人口	従業者数	幹線交通用地	定数項
1時	2.87347E-04	1.07344E-04	2.76825E+01	4.16984E-02	1時	2.84690E-04	1.17442E-04	3.02200E+01	4.12432E-02
2時	2.36264E-04	8.77119E-05	3.31565E+01	8.19993E-02	2時	2.32364E-04	9.57705E-05	3.73250E+01	8.74008E-02
3時	2.25288E-04	8.49440E-05	2.36872E+01	6.23516E-02	3時	2.20076E-04	9.35443E-05	2.60693E+01	6.12207E-02
4時	2.42429E-04	8.54981E-05	3.42188E+01	8.72716E-02	4時	2.35909E-04	9.35952E-05	3.83553E+01	9.17936E-02
5時	3.10838E-04	1.04204E-04	3.51018E+01	6.87131E-02	5時	3.03989E-04	1.12987E-04	3.74962E+01	6.73277E-02
6時	4.39649E-04	1.48130E-04	4.68059E+01	1.43198E-01	6時	4.32388E-04	1.56700E-04	4.92025E+01	1.41626E-01
7時	6.64700E-04	1.91278E-04	6.18397E+01	4.14471E-01	7時	6.40221E-04	1.98076E-04	6.57495E+01	4.11007E-01
8時	6.50575E-04	3.34514E-04	6.71946E+01	2.82881E-01	8時	6.48437E-04	3.75838E-04	7.21811E+01	2.74336E-01
9時	6.34232E-04	5.29236E-04	8.61227E+01	2.18041E-01	9時	6.87716E-04	6.79601E-04	1.04987E+02	1.21985E-01
10時	7.55352E-04	6.92529E-04	1.08876E+02	1.17948E-01	10時	8.58969E-04	8.63358E-04	1.42557E+02	-9.08347E-03
11時	7.29333E-04	7.47434E-04	1.13507E+02	3.43185E-03	11時	8.78775E-04	9.33227E-04	1.46930E+02	-1.19752E-01
12時	7.65167E-04	7.47010E-04	1.12635E+02	-9.56129E-03	12時	9.01723E-04	9.32254E-04	1.46415E+02	-1.30024E-01
13時	7.64023E-04	7.25696E-04	1.10948E+02	-1.54015E-02	13時	9.02574E-04	9.12026E-04	1.44320E+02	-1.23912E-01
14時	7.50080E-04	7.53780E-04	1.12795E+02	-6.81536E-03	14時	8.94914E-04	9.41465E-04	1.46283E+02	-1.11298E-01
15時	7.72226E-04	7.71059E-04	1.15941E+02	-1.32696E-02	15時	9.20418E-04	9.58061E-04	1.49900E+02	-1.32052E-01
16時	7.99367E-04	7.55265E-04	1.14854E+02	1.42338E-02	16時	9.46474E-04	9.44513E-04	1.48087E+02	-1.01312E-01
17時	7.94763E-04	7.50347E-04	1.16402E+02	2.76335E-02	17時	9.36487E-04	9.38534E-04	1.50121E+02	-8.28269E-02
18時	9.35440E-04	6.75005E-04	1.05547E+02	5.43154E-02	18時	1.01697E-03	8.45516E-04	1.34123E+02	-1.31417E-02
19時	9.54354E-04	5.14683E-04	8.51695E+01	1.22690E-01	19時	9.58875E-04	6.07859E-04	1.03812E+02	1.01770E-01
20時	8.49393E-04	3.67541E-04	6.39416E+01	1.46875E-01	20時	8.36982E-04	4.27706E-04	7.29939E+01	1.36685E-01
21時	8.26983E-04	3.31764E-04	4.98374E+01	1.17298E-01	21時	7.89616E-04	3.82741E-04	5.44128E+01	8.80759E-02
22時	6.64477E-04	1.93012E-04	3.56875E+01	1.10052E-01	22時	6.36565E-04	2.19101E-04	3.82971E+01	9.25215E-02
23時	5.68607E-04	1.49402E-04	3.06887E+01	1.05984E-01	23時	5.41599E-04	1.60987E-04	3.20379E+01	9.36532E-02
24時	4.77873E-04	1.34325E-04	2.56517E+01	5.93644E-02	24時	4.55201E-04	1.43700E-04	2.66418E+01	4.80578E-02

- ※1 回帰係数の値は指数表記とした。
- ※2 表中の説明変数について、人口と従業者数は密度 (人 km²)、幹線交通用地は面積割合 (0 から 1 の値) とする。
- ※3 説明変数 (人口、従業者、幹線交通用地) の値が全て 0 となる格子や推定した値が負となった格子については人工排熱量を 0 とした。

APPENDIX - II

人工排熱量の推定量を算出する重回帰式における係数と定数項 (7月~12月)

第II表

7月	人口	従業者数	幹線交通用地	定数項	8月	人口	従業者数	幹線交通用地	定数項
1時	3.29880E-04	1.27500E-04	3.15222E+01	4.82235E-02	1時	3.28579E-04	1.28834E-04	3.29155E+01	4.80005E-02
2時	2.59770E-04	1.03452E-04	3.85583E+01	9.15257E-02	2時	2.57030E-04	1.04001E-04	4.08987E+01	9.46194E-02
3時	2.37405E-04	1.00605E-04	2.70255E+01	6.22376E-02	3時	2.33430E-04	1.01343E-04	2.83445E+01	6.19463E-02
4時	2.42955E-04	1.00334E-04	3.94899E+01	9.06828E-02	4時	2.37328E-04	1.00376E-04	4.18119E+01	9.28787E-02
5時	3.09123E-04	1.19785E-04	3.84183E+01	6.51929E-02	5時	3.03807E-04	1.20480E-04	3.97357E+01	6.42883E-02
6時	4.37623E-04	1.63426E-04	5.01118E+01	1.39326E-01	6時	4.32809E-04	1.64177E-04	5.14037E+01	1.38920E-01
7時	6.48441E-04	2.04149E-04	6.68168E+01	4.09598E-01	7時	6.34551E-04	2.03398E-04	6.90879E+01	4.09711E-01
8時	6.81675E-04	3.97291E-04	7.44546E+01	2.75739E-01	8時	6.76282E-04	4.01748E-04	7.63084E+01	2.71902E-01
9時	7.90850E-04	7.38758E-04	1.15184E+02	2.25186E-02	9時	7.94633E-04	7.46164E-04	1.19540E+02	-2.05815E-02
10時	9.91354E-04	9.31071E-04	1.63174E+02	-1.49502E-01	10時	9.68935E-04	9.52024E-04	1.69233E+02	-2.02420E-01
11時	1.02044E-03	1.00150E-03	1.66896E+02	-2.68613E-01	11時	9.82696E-04	1.00867E-03	1.73233E+02	-3.37245E-01
12時	1.03525E-03	9.92202E-04	1.66492E+02	-2.83335E-01	12時	9.96483E-04	9.98710E-04	1.72806E+02	-3.53609E-01
13時	1.05874E-03	9.72263E-04	1.64456E+02	-2.70681E-01	13時	1.02245E-03	9.79210E-04	1.70635E+02	-3.38768E-01
14時	1.06262E-03	9.99587E-04	1.66188E+02	-2.52158E-01	14時	1.02411E-03	9.99158E-04	1.72272E+02	-3.24382E-01
15時	1.09763E-03	1.01746E-03	1.70143E+02	-2.78937E-01	15時	1.06412E-03	1.02456E-03	1.76445E+02	-3.45642E-01
16時	1.13652E-03	1.00675E-03	1.67914E+02	-2.44730E-01	16時	1.09987E-03	1.01257E-03	1.74244E+02	-3.14055E-01
17時	1.10633E-03	9.98731E-04	1.70192E+02	-2.25877E-01	17時	1.07419E-03	1.00185E-03	1.76343E+02	-2.95774E-01
18時	1.14631E-03	9.17571E-04	1.51582E+02	-9.91336E-02	18時	1.11417E-03	9.08679E-04	1.56440E+02	-1.67140E-01
19時	1.04637E-03	6.55900E-04	1.15658E+02	7.57031E-02	19時	1.00090E-03	6.49162E-04	1.18871E+02	3.55005E-02
20時	9.09947E-04	4.59009E-04	7.81682E+01	1.38826E-01	20時	8.73018E-04	4.52201E-04	8.04898E+01	1.15972E-01
21時	8.65123E-04	4.12235E-04	5.73487E+01	8.76933E-02	21時	8.34543E-04	4.13803E-04	5.85239E+01	7.02513E-02
22時	6.97926E-04	2.38735E-04	4.03278E+01	9.72872E-02	22時	6.83318E-04	2.42662E-04	4.12286E+01	8.85673E-02
23時	6.00813E-04	1.71859E-04	3.32645E+01	1.03660E-01	23時	5.87578E-04	1.73194E-04	3.39389E+01	9.74785E-02
24時	5.09197E-04	1.52922E-04	2.77091E+01	5.66810E-02	24時	4.97102E-04	1.53956E-04	2.82583E+01	5.04496E-02

9月	人口	従業者数	幹線交通用地	定数項	10月	人口	従業者数	幹線交通用地	定数項
1時	2.99925E-04	1.24202E-04	3.24508E+01	4.33439E-02	1時	2.82448E-04	1.12675E-04	2.80469E+01	3.96620E-02
2時	2.40847E-04	1.00302E-04	4.06645E+01	9.30359E-02	2時	2.30641E-04	9.25971E-05	3.34939E+01	7.95181E-02
3時	2.24483E-04	9.81999E-05	2.80619E+01	6.16431E-02	3時	2.19836E-04	8.97921E-05	2.40134E+01	6.00885E-02
4時	2.35668E-04	9.75489E-05	4.16601E+01	9.50181E-02	4時	2.37097E-04	9.04903E-05	3.45483E+01	8.50667E-02
5時	3.03367E-04	1.17662E-04	3.94891E+01	6.63965E-02	5時	3.05376E-04	1.09064E-04	3.54288E+01	6.63732E-02
6時	4.32192E-04	1.61344E-04	5.11731E+01	1.40941E-01	6時	4.33978E-04	1.52668E-04	4.71146E+01	1.40780E-01
7時	6.28549E-04	2.00851E-04	6.89761E+01	4.11424E-01	7時	6.40290E-04	1.95404E-04	6.20276E+01	4.07670E-01
8時	6.84073E-04	3.85931E-04	7.48585E+01	2.71744E-01	8時	6.52728E-04	3.40954E-04	6.75505E+01	2.83165E-01
9時	7.34483E-04	7.17140E-04	1.12857E+02	5.74732E-02	9時	6.30338E-04	5.53087E-04	8.84989E+01	2.02550E-01
10時	9.32905E-04	9.02150E-04	1.56820E+02	-1.31625E-01	10時	7.39654E-04	7.25816E-04	1.11895E+02	7.15944E-02
11時	9.69510E-04	9.69237E-04	1.61223E+02	-2.54186E-01	11時	7.29334E-04	7.78791E-04	1.16957E+02	-4.75738E-02
12時	9.81415E-04	9.69020E-04	1.60873E+02	-2.65324E-01	12時	7.53516E-04	7.79453E-04	1.16086E+02	-6.37709E-02
13時	9.92569E-04	9.53388E-04	1.58837E+02	-2.52719E-01	13時	7.58505E-04	7.58471E-04	1.14369E+02	-6.63056E-02
14時	9.87876E-04	9.79435E-04	1.60666E+02	-2.35278E-01	14時	7.44940E-04	7.86032E-04	1.16293E+02	-5.02576E-02
15時	1.02418E-03	9.97060E-04	1.64521E+02	-2.61050E-01	15時	7.71175E-04	8.05282E-04	1.19618E+02	-6.53290E-02
16時	1.05154E-03	9.84851E-04	1.62488E+02	-2.30356E-01	16時	7.89788E-04	7.87801E-04	1.18544E+02	-4.60776E-02
17時	1.03656E-03	9.80114E-04	1.64704E+02	-2.08939E-01	17時	7.92099E-04	7.84809E-04	1.20114E+02	-4.41199E-02
18時	1.08668E-03	8.91943E-04	1.47007E+02	-1.12834E-01	18時	9.09440E-04	7.08388E-04	1.08667E+02	-6.3423E-03
19時	9.78276E-04	6.36462E-04	1.13108E+02	3.63944E-02	19時	8.87517E-04	5.36309E-04	8.66382E+01	7.59230E-02
20時	8.44756E-04	4.43375E-04	7.79521E+01	1.13277E-01	20時	7.95067E-04	3.79326E-04	6.49780E+01	1.18989E-01
21時	7.83622E-04	3.99323E-04	5.68838E+01	6.00897E-02	21時	7.54423E-04	3.44062E-04	5.08340E+01	8.84153E-02
22時	6.41218E-04	2.31784E-04	4.01265E+01	7.89327E-02	22時	6.24366E-04	1.99889E-04	3.61136E+01	9.60048E-02
23時	5.43835E-04	1.67452E-04	3.32853E+01	8.79176E-02	23時	5.32508E-04	1.53617E-04	3.09101E+01	9.51408E-02
24時	4.56407E-04	1.49300E-04	2.76807E+01	4.20850E-02	24時	4.43382E-04	1.38319E-04	2.58757E+01	4.85131E-02

11月	人口	従業者数	幹線交通用地	定数項	12月	人口	従業者数	幹線交通用地	定数項
1時	3.62028E-04	1.23184E-04	2.78733E+01	7.59407E-02	1時	6.08884E-04	1.51741E-04	2.98925E+01	1.97262E-01
2時	2.56174E-04	9.90588E-05	3.24231E+01	8.75520E-02	2時	3.30329E-04	1.13474E-04	3.44103E+01	1.23219E-01
3時	2.45641E-04	9.67414E-05	2.37835E+01	7.14364E-02	3時	3.20079E-04	1.12591E-04	2.55542E+01	1.06763E-01
4時	2.63350E-04	9.64614E-05	3.34126E+01	9.41189E-02	4時	3.38180E-04	1.09521E-04	3.52637E+01	1.31018E-01
5時	3.31370E-04	1.14608E-04	3.50629E+01	7.77621E-02	5時	4.06342E-04	1.27881E-04	3.65779E+01	1.13625E-01
6時	4.60074E-04	1.58488E-04	4.67776E+01	1.52572E-01	6時	5.35123E-04	1.71823E-04	4.82972E+01	1.88473E-01
7時	7.51205E-04	2.11150E-04	6.15305E+01	4.60020E-01	7時	1.06203E-03	2.44345E-04	6.43067E+01	6.13422E-01
8時	8.34773E-04	4.81986E-04	7.61599E+01	3.73121E-01	8時	1.42002E-03	8.68074E-04	1.02793E+02	6.49578E-01
9時	7.44048E-04	5.82217E-04	8.84186E+01	3.41230E-01	9時	1.11561E-03	9.08383E-04	1.17508E+02	5.56872E-01
10時	7.94877E-04	7.33748E-04	1.05285E+02	2.22655E-01	10時	1.03039E-03	1.00180E-03	1.34060E+02	3.84141E-01
11時	7.60529E-04	7.81798E-04	1.10089E+02	9.88110E-02	11時	9.70508E-04	1.02666E-03	1.37022E+02	2.52967E-01
12時	7.89750E-04	7.80126E-04	1.08478E+02	8.06569E-02	12時	9.83457E-04	1.01221E-03	1.33444E+02	2.28239E-01
13時	7.97335E-04	7.50331E-04	1.06786E+02	7.29862E-02	13時	1.01198E-03	9.69265E-04	1.31741E+02	2.30564E-01
14時	7.99720E-04	7.79446E-04	1.07526E+02	8.52121E-02	14時	1.07130E-03	9.90875E-04	1.28716E+02	2.61470E-01
15時	8.04500E-04	7.96117E-04	1.10548E+02	7.86675E-02	15時	1.01735E-03	9.99014E-04	1.31366E+02	2.35835E-01
16時	8.31778E-04	7.71503E-04	1.09165E+02	1.05114E-01	16時	1.05867E-03	9.63262E-04	1.28734E+02	2.69936E-01
17時	8.84895E-04	7.59680E-04	1.09390E+02	1.44970E-01	17時	1.28378E-03	9.28622E-04	1.25741E+02	4.01715E-01
18時	1.08616E-03	6.66418E-04	9.86962E+01	1.79702E-01	18時	1.69718E-03	7.43369E-04	1.08096E+02	5.43049E-01
19時	1.12753E-03	5.46118E-04	8.20456E+01	2.18254E-01	19時	1.81640E-03	6.18086E-04	8.82820E+01	5.88168E-01
20時	1.00860E-03	3.95579E-04	6.39161E+01	2.25065E-01	20時	1.61755E-03	4.63026E-04	6.95498E+01	5.38035E-01
21時	1.01324E-03	3.58071E-04	5.17092E+01	2.12815E-01	21時	1.72228E-03	4.21305E-04	5.69704E+01	5.65276E-01
22時	8.54128E-04	2.10930E-04	3.62063E+01	2.05939E-01	22時	1.54152E-03	2.65788E-04	3.88495E+01	5.41866E-01
23時	7.40660E-04	1.70275E-04	3.13685E+01	1.91443E-01	23時	1.36136E-03	2.18389E-04	3.31878E+01	4.90234E-01
24時	5.69881E-04	1.50652E-04	2.64107E+01	1.04790E-01	24時	9.20366E-04	1.82077E-04	2.80806E+01	2.68822E-01

- ※1 回帰係数の値は指数表記とした。
- ※2 表中の説明変数について、人口と従業者数は密度 (人 km²)、幹線交通用地は面積割合 (0 から 1 の値) とする。
- ※3 説明変数 (人口、従業者、幹線交通用地) の値が全て 0 となる格子や推定した値が負となった格子については人工排熱量を 0 とした。