

(11) 熱環境による土地利用評価

THE EVALUATION OF LAND USE WITH THERMAL ENVIRONMENT

榛沢 芳雄* 岩井 茂雄* 福田 敦* 小川 考一**
Yoshio HANZAWA Shigeo Iwai Atsushi FUKUDA Kouichi OGAWA

ABSTRACT; The aim of this paper is an estimation of the waste heat distribution based on land use and waste heat in urbanized area. The waste heat distribution is estimated in 2 cases (the present and the future) in Kisarazu and Kimitsu cities in Chiba prebecture in which Tokyo Bay Road will be constructed in future. The waste heat distribution is shown on land use map by a mesh analysis. The mesh size is decided by calculating the area of influence which the change of a difference in temperature keeps constant. The waste heat is estimated by some source unit in the area. An allocation procedure of land use is led by the rearrangement of the waste heat distribution.

KEY WORDS; Land use, waste heat, mesh analysis, source unit

1. はじめに

都市では、業務機能の集積と市街地の外延的拡大により、都心に活動の急激な集中が起こるに伴い、エネルギーの消費量が増加し、そのため熱の排出量も急激に増大している。一方で、緑や水辺等の自然環境、生活環境等の空間が減少しており、これらの調和がとれていないのが現状である。その結果、都市全域での熱収支のバランスが崩れてきている。

この原因の1つは、土地利用の適切な配置がなされていないためである。都市の土地利用配置に関する研究は、以前から行われている。しかし、そのほとんどが経済性を重視した研究であり、環境を重視した研究はあまり行われていない。特に、環境要因の中でも熱は土地利用と大きな関係を持っていると考えられるが、現在までは両者の関係の分析に留まっている。そこで各土地利用から発生する熱量を把握し、適切な土地利用の再配置により局部的に集中している熱量を分散させて、都市全域での熱収支のバランスをとることができると考えられる。

本研究では、都市の土地利用形態を把握するとともに、土地利用別の発生熱原単位を求め、現状の都市全域の熱量分布を算定し、土地利用から発生する熱量を把握する。次に、将来の土地利用計画図を用いて、将来の都市全域での熱量分布の変化を分析する。

なお、本研究では人口や産業が集中している京浜地区に直結し、東京湾横断道路の開通により大きく変貌しようとしている木更津・君津地区を中心に、都市に発生する熱、主に人工排熱を対象とした。

* : 日本大学理工学部交通土木工学科 Dept. of Transportation Eng., Nihon Univ.

** : 日本大学大学院理工学研究科交通土木工学専攻 Post Graduate Student, Dept. of Transportation Eng., Nihon Univ.

2. 研究の手順

本研究は、以下の手順で行っていく。

- (1) 土地利用状況の把握：まず、国土地理院発行の土地利用図を用いて、東京湾横断道路の計画路線を含む地域を100m×100mのメッシュに分割し、メッシュデータを作成する。これを基本メッシュとする。
- (2) ゾーニング：ある地点における熱量変化が、どの程度の距離まで影響を与えるのかを推計し、その範囲を基準としてメッシュの大きさを決定する。
- (3) 発生熱原単位の決定：各統計書の人口、エネルギー消費量、生産額（工業地区）、販売額（商業地区）のデータより算出して求める。
- (4) 自動車排熱量：サンプル調査から自動車1台が排出する熱量（原単位）を求め、各統計書の地域交通量を乗じて求める。
- (5) 対象地域の熱量分布図の作成：(3)で決定した原単位を基に、各土地利用当りの人口（工業・商業地区は生産額）を乗じて基本メッシュ当りの熱量を算定する。次に(2)で決定したメッシュを用いてゾーン内の熱量を計算し、熱量分布図を作成する。
同様に、将来土地利用が変化した後の熱量分布図も作成する。
- (6) 土地利用の再配置：メッシュにおいて、土地利用を一定基準で再配置し、ゾーンの熱量を再計算して熱量分布図を作成する。
- (7) 評価：(5)、(6)で作成した熱量分布図を比較し、発生熱の熱量分布の変化を分析する。その結果、熱環境の改善がなされたかを評価する。

3. ゾーニング方法

環境を要因として土地利用評価する場合、問題となるのはその影響力と範囲である。特にメッシュ分析を行う場合、環境の変化が局所的に現れることが考えられるので、メッシュの大きさをどの程度にするかはメッシュ分析に大きな影響を与える。

そこで、本研究は熱のみを対象とし、その影響範囲を算定し、その値を参考としメッシュの大きさを決定する必要がある。熱の影響範囲を算定するにあたって、次の3点を仮定した。

- (1) 空気は流動せず、等媒質の物質である。
- (2) 風や空気の対流現象は起こらない。
- (3) 熱の環境範囲は二次元である。

また、上の3点より、

- 1) 熱伝導率が一定
- 2) 境界の温度が不変
- 3) 熱伝達率が一定

という3つの条件が成り立つことがいえる。

まず、熱の影響範囲の算定に当り、次の二次元定常熱伝導方程式を用いる。

ラプラスの方程式

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad (1)$$

フーリエの式

$$q_x = -kA_x \frac{\partial T}{\partial x}, \quad q_y = -kA_y \frac{\partial T}{\partial y} \quad (2)$$

次に、空気を二次元物体とし、 x 方向、 y 方向に等分割し、その増分を Δx 、 Δy とすると、空気中の任意の節点の温度 T_i は、抵抗要素を用いた数値解法により式(3)で表される。

$$T_i = \frac{q_i + \sum_j (T_j / R_{ij})}{\sum_j (1 / R_{ij})} \quad (3)$$

ここで、前述した3つの条件を用いると、式(4)が導出される。

$$R = \frac{\Delta y}{k \Delta y} = \frac{\Delta x}{k \Delta y} = \frac{1}{k}, \quad q_i = 0 \quad (4)$$

よって式(3)は、式(5)に変換される。

$$T_i = \frac{\sum_j k_j T_j}{\sum_j k_j} \quad (5)$$

各節点は4方向の抵抗をもち k は一定であるので、式(6)が成り立つ。

$$\sum_j k_j = 4k \quad (6)$$

ここで式(6)を式(5)に代入すると、式(7)が導出される。

$$T_i = \frac{1}{4} \sum_j T_j \quad (7)$$

式(7)において T_i を計算することにより、空気中の任意の節点の温度が求められる。

本研究では、ガウス-ザイデルの反復法を用いて任意の節点温度を計算する。この際、発生熱と外温との差を ΔT とし、発生熱が影響を与える範囲を l とし、空気中の節点数を増減させることによって、 ΔT 、 l との関係を導く。この関係より、熱の影響範囲を算定する。

まず、ガウス-ザイデルの反復法を用いるに当たり、初期値を以下のようにして影響範囲 l_1 を算出した。

$$\Delta x = \Delta y = 10 \text{ (m)}$$

$$\Delta T = 5, 10, 15, 20, \dots, 100 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

次に、算出した l_1 を自己回帰させ、影響範囲の限界値 l_f を求めた。自己回帰は以下の一次自己回帰モデルを用いた。

$$l_j = \beta_0 + \sum_{s=1}^n \beta_s l_{j-s} \quad (8)$$

$$l_f = \frac{\beta_0}{1 - \sum_{s=1}^n \beta_s} \quad (9)$$

$n=1$ において回帰を行うと、

$$l_j = 29.73 + 0.936 l_{j-1} \quad (10)$$

$$l_f = 464.73 \text{ (m)}$$

となり、設定した条件の下では、温度変化が発生した地点から465mを超えると影響がなくなることが求められた。メッシュ分析を行うのに最適な大きさは、なるべく小さく、かつこの影響範囲を含むことが条件となるので、半径450mの円を含む $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ とする。

4. 発生熱原単位

本研究では、都市の熱量を算定するために発生熱量単位を用いる。発生熱量 q と発生熱原単位 U との関係を式 (11) で表す。

$$q = a \times U \quad (\text{Mcal/メッシュ}) \quad (11)$$

この式は根津ら⁹⁾の人工排熱量算定の式と同一であるが、本研究で算定する発生熱量は基本メッシュ当たりの熱量を算定するため、発生熱原単位の単位を人口（生産額）当たりの発生熱量とする。活動量 a は基本メッシュ当たりの人口（生産額）として、原単位に乗じて発生熱量を算定する。

また、自動車による排熱は都市の温度上昇の大きな原因となるため、上記の活動による発生熱量の他に自動車の排熱量も考えなければならない。自動車の排熱量は、地域交通量 c に原単位 U_c を乗じたものと考えられ、式 (12) で表される。

$$q_c = c \times U_c \quad (\text{Mcal/メッシュ}) \quad (12)$$

ここで原単位 U_c の単位を自動車 1 台当たりの排熱量とし、上記の原単位と区別する為に自動車排熱原単位と呼ぶことにする。

都市全域で発生する熱量は、式 (11) を用いて算出した発生熱量 q と式 (12) を用いて算出した自動車排熱量 q_c の和で表すことができる。

ここでは、都市が発生する熱量を算定するための原単位を決定する。

まず、発生熱原単位 U を求めるために、対象地域の土地利用状態を 15 種類に分類し、各統計書より土地利用別の電力、ガス消費量、人口、生産額（工業、商業地区のみ）を算出した（表 - 1）。そして、発生熱原単位を統計書から得られたデータより求める。発生熱原単位は、地域の総熱量 Q_i をその地域の土地利用別の活動量 A_i で割ったものであり、式 (13) で表すことができる。

$$U_i = Q_i / A_i \quad (\text{Mcal/人または、Mcal/億円}) \quad (13)$$

式 (13) を用いて土地利用別の発生熱原単位を求め、その結果を表 - 1 に示した。

表 - 1 木更津・君津地区のエネルギー消費量と発生熱原単位表

土地利用別	電力の熱量 Kcal	ガスの熱量 Kcal	総熱量 Kcal	人数 人	生産額 億円	原単位の単位	発生熱原単位
一般住宅地区	69,831,936	48,929,400	118,761,336	84,284		Mcal/人	1,409.06
中高層住宅地区	37,317,024	26,153,820	63,470,844	31,696			2,002.49
業務地区	55,303,776	3,470,040	58,773,816	14,661			4,008.85
商業地区	27,775,008	16,698,420	44,473,428		2,940	Mcal/億円	15,127.02
工業地区	81,044,064	3,084,480	84,128,544		1,223		68,788.67

次に自動車排熱原単位 U_c を求める。この原単位は、以下の手順で求めていく。

まず、走行距離と走行年数のサンプル調査を行った。そして、そのデータより一次回帰式を求めて、自動車 1 年間の走行距離を算出した。

次に、自動車の燃費を 10km/l とし、算出した 1 年間の走行距離から 1 年間当たりのガソリン消費量を算出した。ここで、ガソリン消費量を発生熱量に換算することにより、1 年間の自動車 1 台当たりの熱量、つまり自動車排熱原単位 U_c を求めることができた。

5. 木更津・君津地域の発生熱量の算定

5.1 土地利用別の発生熱量

ここでは、4. 発生熱原単位で求めた土地利用別の発生熱原単位を用いて基本メッシュ当たりの発生熱量を算定する。土地利用別のデータは、昭和52年現在のものと、東京湾横断道路開通後、土地利用状態が変化した場合の土地利用別データを用いて、発生熱量を算定することにした。発生熱量は、発生原単位に活動量に乗じて求めるが、活動量に関しては、現在のままと仮定し、基本メッシュ内における人口（生産額）で表す。ここで活動量の算出は、地域の人口を現在の土地利用別のメッシュ数で割って求めた。土地利用別の発生熱量を表-2に示した。

表-2 土地利用別の発生熱量

土地利用別	人数 人	生産額 億円	メッシュ数	活動量 人/メッシュ	活動量 億円/メッシュ	熱量 Mcal/メッシュ
一般住宅地区	84,284		881	95.67		134,802.88
中高層住宅地区	31,696		21	1,509.33		3,022,421.14
業務地区	14,661		3	4,887.00		19,591,272.00
商業地区		2,940	70		42.00	635,334.69
工業地区		1,223	49		24.96	1,716,909.06

5.2 対象地域の自動車排熱量

自動車の排熱量は交通量の多い場所で高い値を示すが、本研究では対象地域全体の温度を上昇させると考え、基本メッシュの差はないものとした。

自動車排熱量の算定は、自動車排熱原単位に地域交通量に乗じて求めるものとし、原単位については、求めた値を用いる。地域交通量は、基本メッシュ当たりの交通量とし、次の手順で求めるものとする。まず、統計書の道路別の総道路長に幅員を乗じて道路面積を算出する。次に、地点交通量を算出した面積で割って単位面積当たりの交通量を導く。そして、単位換算を行って基本メッシュ当りの交通量を推計する。

東京湾横断道路が開通した場合の自動車排熱量の算定は、道路面積が増加した分、交通量が増加したと考え、基本メッシュ当りの交通量を推計して求めるものとした。

6. 分析結果

発生熱原単位を用いて、都市全体の熱量を算定した結果をCGで表したのが写真-1と写真-2である。

写真-1は、昭和52年現在の土地利用データを基に、木更津・君津地区の熱量の分布を表したものである。熱量の分布状態を見ると木更津駅付近の業務地区は非常に熱量が高い値を示していることがわかる。また、君津の工業地区も広い範囲で熱量が高い値を示した。

写真-2は、東京湾横断道路が開通したときの土地利用データを基に、木更津・君津地区の熱量の分布を表したものである。熱量の分布状態を見ると、写真-1と同様に、木更津駅付近の業務地区は非常に熱量が高い値を示していることがわかる。また、土地利用が変化した地区（金田地区）では、熱量が高い値を示していることがわかる。

写真-1と写真-2を比較してみると、商業地区が集中している場所では、他の商業地

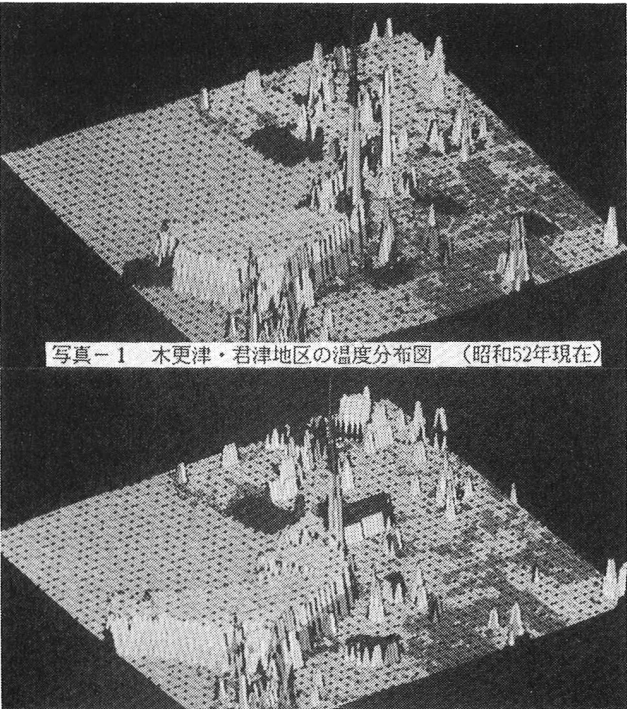


写真-1 木更津・君津地区の温度分布図（昭和52年現在）

写真-2 木更津・君津地区の温度分布図（東京湾横断道路開通後）

区よりも熱量が高い値を示し、隣接している地区の熱量も高い値を示している。また、工業地区に隣接した中高層住宅や一般住宅の熱量は、他の中高層住宅地区などよりも非常に高い値を示していることがわかる。

この原因を考慮して、土地利用の再配置を行った結果が写真-3である。写真-1と比較すると、局部的に熱量が高い値を示していた地区は若干低くなった。

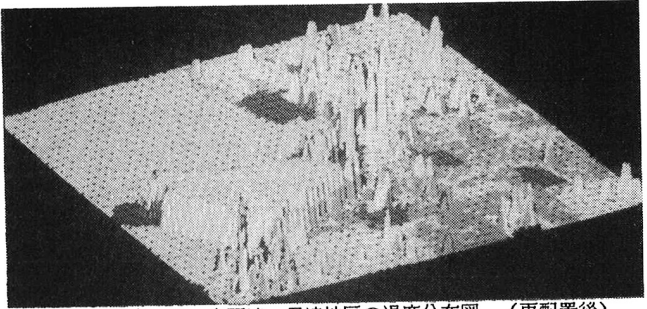


写真-3 木更津・君津地区の温度分布図（再配置後）

7. 結論

本研究では、都市の熱量を算定するため、都市に発生する人工排熱のみを考え、熱による影響範囲を導くとともに発生熱原単位を決定し、都市の熱量分布状態を分析した。さらに、都市全域で土地利用を再配置し、その熱量分布の変化を分析した。その結果、都市全域で土地利用を再配置することにより、局部的に集中している熱量を分散させることを示した。

今後の課題として、人工排熱以外の熱（自然熱）や状況に応じて風・地形などを考慮した熱による影響範囲を算定し、都市全域の熱量分布状態を考える必要がある。また、熱以外の環境要因を含んだ都市の環境状態を把握するべきである。

謝辞

本研究を行うに当たり、資料を提供して下さいった木更津市役所・君津市役所の皆様、千葉県国道工事事務所の大野氏に感謝致します。

参考・引用文献

- 1) 尾島俊雄；「環境場設定の Space Modular Co-ordination Chart その1」，日本建築学会論文報告集（第319号），1982.9
- 2) A.Asaka；「OBSERVATIONAL PROCEDURE OF SETTLEMENT PREDICTION」，SOILS AND FOUNDATIONS Vol.18. No.4,1978.12
- 3) 長谷部厚；「高階自己回帰モデルによる沈下予測の簡便法」，第34回年次学術講演会講演概要集第3部，1979.10
- 4) 浅岡顕；「標準圧密の新しい整理法」，第15回土質工学研究発表会，1980.6
- 5) 浅岡顕；「逆問題としてみた圧密沈下の解析・予測手法」，第14回土質工学研究発表会，1979.6
- 6) P.W.オカラガー；省エネルギー建築，森北出版，1981.6
- 7) J.P.ホールマン；「伝熱工学（上）」，ブレイン図書出版（株），1982.3
- 8) 総合研究開発機構；大都市圏におけるエネルギー消費による熱の影響分析，財団法人産業研究所，1976.9
- 9) 尾島・村上根津・増田；新建築学大系9 都市環境，彰国社刊，1982.5
- 10) 木更津市統計書 昭和61年度版，1987.3
- 11) 君津市統計書 昭和62年度版，1988.8
- 12) 星 満編；自動車の熱管理入門，山海堂，1979.6
- 13) 白岩・田中・藤森；実例パソコン立体地図，講談社，1986.6