

都市ヒートアイランド現象の民生用エネルギー消費への影響

The Effects of Urban Heat Island Phenomenon on Residential and Commercial Energy Consumption

平野 勇二郎* 茅 陽一**

Yujiro HIRANO* and Yoichi KAYA**

ABSTRACT: The purpose of this research is to clarify the effects derived from heat island phenomenon on residential and commercial energy consumption in the Tokyo area. There are many indications of the fact that energy consumption for air conditioners will increase because of the heat island phenomenon, but since energy consumption for heating and hot water supplies will decrease, there is the need to consider both effects. First, formulae estimating the energy consumption temperature based were made. On the other hand, monthly and hourly temperature distribution was estimated using mesh as units. Also, the temperature distribution estimation in the case of a less intense heat island phenomenon was carried out in the same way. With this, for each temperature distribution, the spatial distribution was estimated using mesh units and the results were compared. As a result, it was clarified that due to the occurrence of heat island phenomenon in Tokyo, there was a decrease in residential and an increase in commercial energy consumption.

Key Words: heat island, energy consumption, urban thermal environment, climatic condition

1 はじめに

ヒートアイランド現象により冷房用エネルギー消費が増大することはよく指摘されるが¹⁾、その一方で暖房・給湯用エネルギー消費は減少すると考えられるため、これらを総合的に評価する必要がある。そこで本研究は、東京大都市圏におけるヒートアイランド現象が空調・給湯用エネルギー消費に与えている影響を定量化することを目的とした。

エネルギー消費の気温感応度を根拠とし、暑夏・冷夏といった気候現象がエネルギー消費へ与える影響の評価を行なった例は多い²⁾。しかしながら、こうした研究は対象地域全体の平均気温と総エネルギー消費量を関連づける形で行なわれることが多く、対象地域内の詳細な空間分布を把握することは困難である。したがって、ヒートアイランド現象のような複雑な空間分布を形成する現象の影響評価にこれを適用することはできない。

一方、エネルギー消費の空間分布に関しても多くの研究がなされている。こうした研究は、延べ床面積や居住世帯数の空間分布のデータに床面積・世帯あたりのエネルギー消費量（エネルギー消費原単位とよぶ）を乗じるという手法により行われている³⁾。しかしながらこの手法は、エネルギー消費原単位が場所によらず一定であるという仮定のもとに成立するものであり、気温の影響を評価することはできない。

そこで本研究では図1に示した方法により影響評価を行なう。まずヒートアイランド現象の有無に対応した気温分布をメッシュ単位で推定する。一方で、エネルギー消費原単位を気温の関数として表現する。これを、最初に作成した気温のメッシュに当てはめ、エネルギー消費原単位の空間分布をメッシュ単位で推定する。これに、床面積あるいは世帯数を掛け合わせ、エネルギー消費量の空間分布を推定する。同様にヒートアイランドがない仮想的な場合についても、エネルギー消費量をメッシュ単位で推定し、結果を比較する。これにより、ヒートアイランド現象がエネルギー消費に与える影響を明らかにする。

本研究の対象地域を図2に示す。本研究は強い気温感応を持つと考えられる民生部門の暖房用・冷房用・給湯用エネルギー消費の一次換算値について評価する。

* 東京大学 生産技術研究所（博士課程）

Institute of Industrial Science, University of Tokyo

** 慶應義塾大学 政策・メディア研究科

Media and Governance, Keio University

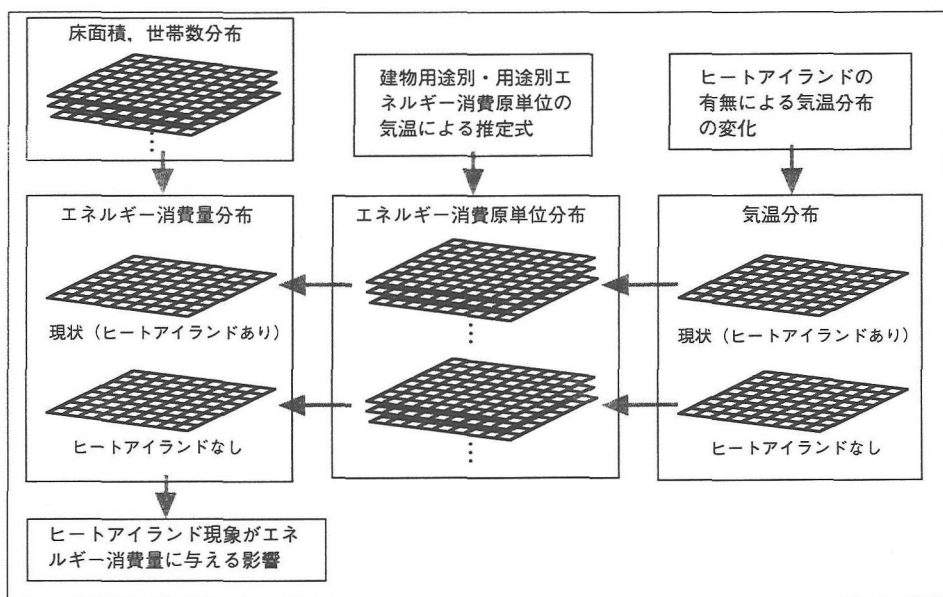


図1 本研究の全体構成

2 月別・時刻別気温分布のメッシュ推定

まず現状の気温分布と都市の影響がない場合の気温分布をメッシュ単位で推定する。通常、こうした土地利用変化の気温への影響は、物理モデルの数値シミュレーションにより予測することが一般的である。しかしながら、本研究では気候値（長期間の平均値）として平均気温の分布を予測する必要があるのに対し、シミュレーションはある特定の気象条件を再現する手法であるため、必ずしも適切とはいえない。そこで本研究では重回帰分析を用い、統計手法による予測を行った。

本研究と同様の対象地域において、月別・時刻別平均気温を平均二乗誤差 $0.3\sim 0.6^{\circ}\text{C}$ 程度の精度でメッシュに展開する方法がすでに示されている⁹⁾。この方法は、まず気温観測点の周辺の地域条件から月別・時刻別平均気温を説明する重回帰式を作成し、次にそれを説明変数のメッシュデータに当てはめることにより、各メッシュの気温を推定するというものである。地域条件として周辺の土地利用・土地被覆率や地形因子、海岸からの距離などを用いている。そこでまず、この方法を用いて対象地域の現状の月別・時刻別平均気温分布を 1km メッシュで推定した。

次に、説明変数のメッシュデータの土地利用・土地被覆から都市を取り除き、同様の重回帰式を当てはめることにより、都市の影響がない場合の気温分布を推定した。ここでは対象地域内で都市的土地利用が比較的少ない地域として神奈川県秦野市を選択し、対象地域内の全メッシュについて、植生指標が秦野市の平均値未満のメッシュの土地利用・土地被覆をすべて秦野市の平均値により置き換えた。この結果得られた推定気温分布の例を図3に示す。また、大手町の月別・時刻別の気温差（現状－都市の効果なし）を図4にアイソプレスとして示す。

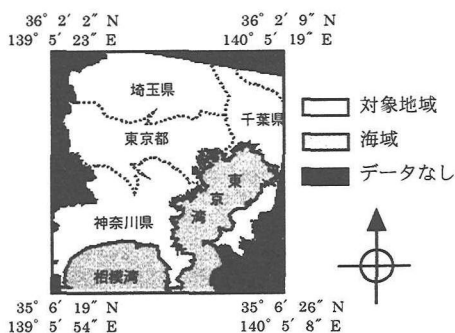


図2 本研究における対象地域

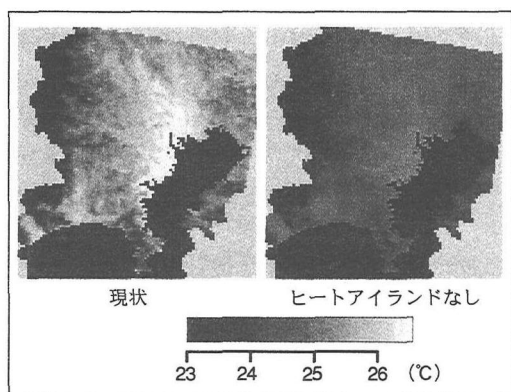


図3 気温分布のメッシュ推定値（8月20時の例）

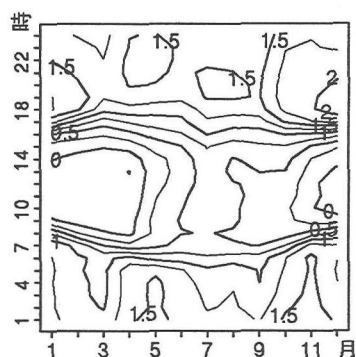


図4 気温差のアイソプレス(℃)

3 気温分布を考慮したエネルギー消費の空間分布推定

本研究で用いたエネルギー消費原単位のデータの出典を表1に示す。用途は暖房・冷房・給湯の3分類で、建物用途は家庭部門は戸建住宅・集合住宅、業務部門は病院・事務所・商業施設・ホテル・娯楽施設・文化施設・学校に分類されている。なお、日本地域冷暖房協会の資料には「冷熱消費」という語が用いられているが、出典である早稲田大学・尾島研究室資料から、これは除去熱量ではなく冷房用エネルギー消費の意味であることがわかる。

これらのデータにより、総消費量を変動パターンで配分する形で用途別・建物用途別・月別・時刻別のエネルギー消費原単位を算出した。さらに、この原単位と月別・時刻別平均気温のデータを用い、エネルギー消費原単位の気温による推定式を作成した。用いた気温のデータは東京23区内の観測点の平均値である。

以下に事務所における14時の冷房用エネルギー消費原単位を例として、その方法を説明する。まず、原単位と平均気温の散布図を図5に示す。この図から、4月頃の気温を境界として傾きが変化していることが読みとれる。これを折れ線により近似した。この式は、

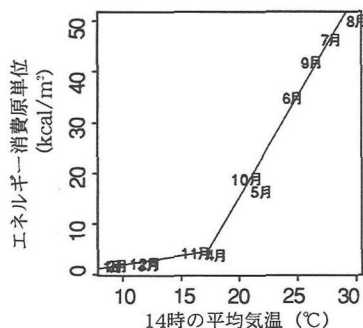


図5 平均気温とエネルギー消費原単位の散布図（事務所における冷房用、14時の例）

$$T \leq 17.25 \text{ の場合} \\ E = -1.79 + 0.36 T$$

$$T > 17.25 \text{ の場合} \\ E = -63.97 + 3.96 T$$

T : 平均気温 (℃)

E : エネルギー消費原単位
(Kcal/m²・時)

である。

また、暖房用エネルギー消費原単位も同様に、傾きが変わる傾向が生じたので折れ線により近似した。給湯用

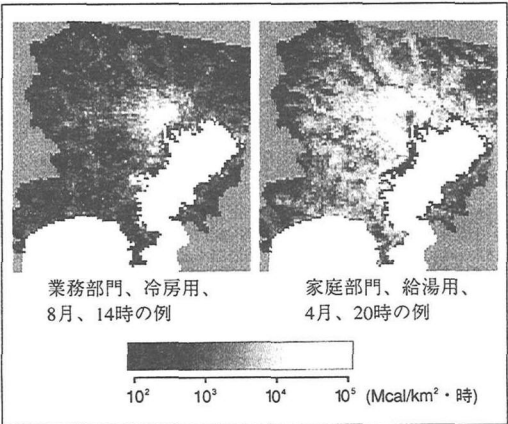
表1 エネルギー消費原単位データの出典

家庭部門 (世帯あたり、年合計値)	澤地 ほか (1994): 日本建築学会 計画系 論文集, No.462, pp.41-48.
家庭部門 (月別・時刻別パターン)	財団法人 空気調和・衛生工学会 (1994): 『都市ガスによる コージェネ レーションシステム計画・設計と評価』, pp.138-142.
業務部門 (床面積あたり、年合計値、 月別・時刻別パターン)	日本地域冷暖房協会 (1995): 『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』, pp.22-27.

に関しては気温との関係が直線的であるため、通常の単回帰式を作成し、これを推定式とした。

同様の方法により建物用途別・用途別・時刻別の推定式を作成した。この推定式の相関係数は冷房用はすべて0.96以上、暖房用はすべて0.97以上、給湯用はほとんどが0.80以上であり、十分に利用可能な精度であると判断した。

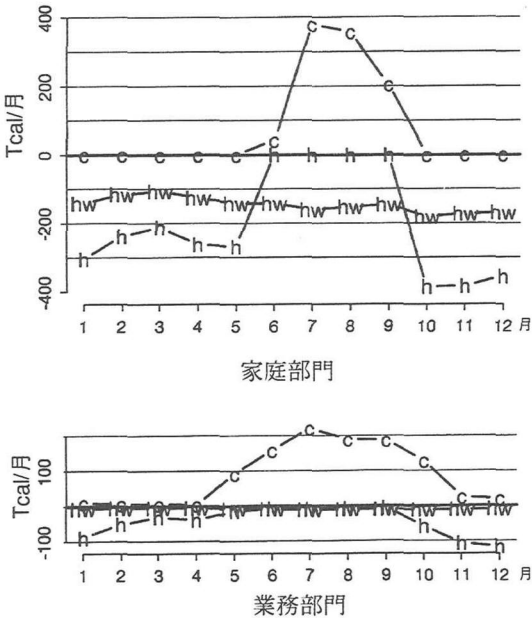
次に、この推定式を前章で推定した気温分布の各メッシュに当てはめることにより、用途別・建物用途別・月別・時刻別のエネルギー消費原単位の分布をメッシュ単位で推定した。さらに、これに家庭部門は世帯数、業務部門は床面積をメッシュ単位で掛け合わせ、エネルギー消費量の空間分布を推定した（図6）。床面積のメッシュデータは渡辺⁷⁾が作成したデータを用いた。世帯数は、行政区ごとの統計データ⁸⁾を各行政区について床面積に比例する形で各メッシュに配分することにより推定した。ここで、建物用途は家庭・業務の2部門に集約し、部門別・用途別・月別・時刻別のメッシュ推定値とした。また、ヒートアイランドがない場合の気温分布についても同様にエネルギー消費量を推定した。



4 ヒートアイランド現象の影響評価

前章までにおいて作成したエネルギー消費量のメッシュデータから、部門別・用途別年間総エネルギー消費量を算出した。その上で、現状とヒートアイランドがない場合の比較により、ヒートアイランド現象によるエネルギー消費の増大・減少を明らかにした（表2）。この結果、ヒートアイランド現象により空調・給湯用エネルギー消費は、家庭部門では3.6%減少、業務部門では1.3%増大し、両部門をあわせると2.3%減少していることが示された。

次に、このエネルギー消費の増大・減少の季節変化を調べるため、これを月別に算出した（図7）。この図から、給湯用エネルギー消費は年間を通じて同程度の減少が生じているが、空調用エネルギー消費は季節により影響が全く異なることが読み取れる。さらに、これらの日変化パターンを調べるため、1月の暖房、8月の冷房、4月の給湯について時刻別に算出した（図8）。この図から、いずれも18～22時頃に影響が大きいことが読みとれる。ヒートアイランド現象は夜間に顕著であるのに対し、エネルギー消費量が多いのは22時頃までなので、結果として夕方過ぎに影響が大きく生じるという解釈が可能である。



h. 暖房用、c. 冷房用、hw. 給湯用
（現状－ヒートアイランドなし）

図7 月別消費量の差

表2 年間総消費量算定結果

		暖房用	冷房用	給湯用	計
家庭部門 (Tcal/年)	現状	29762.78	4041.45	50343.04	84147.27
	HIなし	32173.37	3052.64	52093.96	87319.97
	増大量	-2410.59	988.81	-1750.93	-3172.71
	(増大率)	(-7.49%)	(32.39%)	(-3.36%)	(-3.63%)
業務部門 (Tcal/年)	現状	10607.55	14536.32	8745.12	33888.98
	HIなし	11139.73	13484.17	8842.64	33466.54
	増大量	-532.18	1052.15	-97.52	422.44
	(増大率)	(-4.78%)	(7.80%)	(-1.10%)	(1.26%)
計 (Tcal/年)	現状	40370.32	18577.78	59088.15	118036.25
	HIなし	43313.10	16536.81	60936.60	120786.51
	増大量	-2942.78	2040.96	-1848.45	-2750.26
	(増大率)	(-6.79%)	(12.34%)	(-3.03%)	(-2.28%)

現状：ヒートアイランドあり、HIなし：ヒートアイランドなし

増大量：現状－HIなし、増大率： $\frac{\text{現状}-\text{HIなし}}{\text{HIなし}} \times 100$ (%)

5 まとめ

本研究の結果、東京ではヒートアイランド現象によりエネルギー消費が減少していることが示された。したがって、ヒートアイランド緩和策の提案は数多いが、エネルギー消費の増大を招く可能性があるため、その点では慎重な検討が必要であるといえる。

この他に重要な点としては、業務部門においてはヒートアイランド現象により通年エネルギー消費が増大していること、夏季は業務・家庭の両部門ともエネルギー消費が増大していることなどがあげられる。このため、海陸風の利用や落葉樹による緑化など、夏季に強い冷却効果が得られる対策がとくに有効であると考えられる。また、業務地区が集中する都心部においては、ヒートアイランド緩和策によりエネルギー消費を削減できる可能性が高い。

また、ヒートアイランド現象によるエネルギー消費の増減は、その都市の気候・風土や都市活動のあり方などにより異なると考えられる。例えば、本研究で対象とした東京大都市圏においてはエネルギー消費が減少することが示されたが、より温暖な地域では増大する可能性が高い。したがって、今後様々な都市においてこうした検討を行う必要があると考えられる。

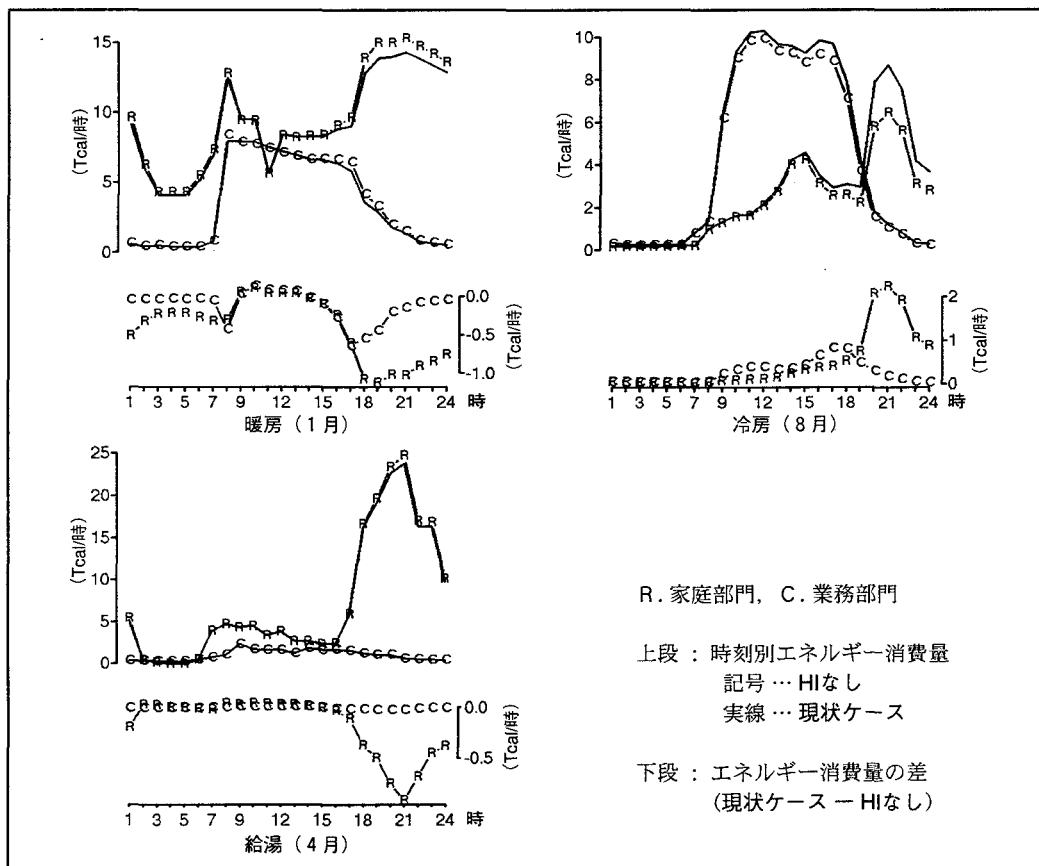


図8 時刻別消費量およびその差

謝辞

本研究を進めるにあたり、東京大学の柴崎亮介教授、慶應義塾大学の清水 浩教授、鈴木広隆助手に適切な御指導を頂いた。また、本研究で用いた床面積のメッシュデータは東北科学技術短期大学の渡辺浩文講師に、気温推定結果の比較に用いたシミュレーション結果は気象庁の高橋俊二氏に、それぞれ提供して頂いた。ここに記して謝意を表します。

なお、本研究において使用した大気汚染常時監視測定局のデータは国立環境研究所環境データベースによるものである。

文献

- 1) 水野 稔: 24時間都市の環境をめぐる諸問題 —都市のヒートアイランドを中心に—, 日本音響学会誌, Vol.49(11), pp.832-838, 1993.
- 2) 石野友夫: 家庭用暖房需要と気温の関係 ~灯油と電力の競合を考える~, エネルギー・資源学会 第9回 エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, pp.125-130, 1993.
- 3) 守田 優: 都市人工熱源の熱環境負荷原単位について, 土木学会 環境システム研究, Vol.24, pp.593-600, 1996.
- 4) 気象庁: 9-4 都市化と気候変動, 『異常気象レポート'94』, 1994.
- 5) 平野勇二郎・茅陽一: 関東平野南部における都市気温分布の時空間構造解析, GIS—理論と応用—, Vol.6(2), 1998.
- 6) 山添 謙・一ノ瀬俊明: 東京およびその周辺地域における秋季夜間の晴天時と曇天時のヒートアイランド, 地理学評論, Vol.67A(8), pp.551-560, 1994.
- 7) 渡辺浩文: 東京首都圏における熱汚染のメッシュ別定量化に関する調査研究, 早稲田大学博士論文, 1994.
- 8) 総務庁統計局: 『平成5年 住宅統計調査報告 第3巻 都道府県編』, 1995.