

# 寒冷都市（札幌）におけるヒートアイランドによるエネルギー消費削減に関する研究

環境工学 - その他

ヒートアイランド 住宅 エネルギー消費

準会員 伊藤 智<sup>\*1</sup> 正会員 望月 健太<sup>\*4</sup>  
 正会員 堀 英祐<sup>\*2</sup> 正会員 原 英嗣<sup>\*5</sup>  
 正会員 尾上 佳宏<sup>\*3</sup> 名誉会員 尾島 俊雄<sup>\*6</sup>

## 1. 研究背景および目的

近年、都市圏におけるヒートアイランドの問題が注目され、その原因や実態について活発に研究が行われている。ヒートアイランドは熱中症や熱帯夜の増加、集中豪雨など、都市環境に悪影響を及ぼしている。しかし寒冷都市のエネルギー消費は特に暖房用エネルギー消費影響から、他都市に比べ高く、エネルギー消費削減に貢献すると捉えることもできる。ヒートアイランドによる都市内の温暖化によって暖房用エネルギー消費量を抑制でき、都市全体の省エネルギーに寄与すると考えられる。

そこで、本研究では各都市における気温とエネルギー消費量の相関関係について分析を行う。また、寒冷都市である札幌市において、ヒートアイランド有効利用によるエネルギー消費削減量を算定することを目的とする。

## 2. 地域気候とエネルギー消費の関係

### 2-1 寒冷都市における省エネルギー性

気温が上昇することによる省エネルギー性を、札幌と東京で比較する。2003年の気温と、2003年の気温から平均3上昇した場合について、暖房デGREEアワー（Dh18-18、以下暖房 Dh）と冷房デGREEアワー（Dh24-24、以下冷房 Dh）の増減を比較し、その結果を図1、図2に示す。

3 気温が上昇することにより東京では、冷房 Dh は 6,246[・h]増加し、暖房 Dh は 12,966[・h]減少した。同様に札幌では冷房 Dh は 1,098[・h]増加し、暖房 Dh は 19,514[・h]減少した。札幌では冷房 Dh の増加に対する暖房 Dh の減少は約 20 倍、東京では約 2 倍となった。札幌は年間平均気温が低く、1年の大部分の時間が 18 以下であることからこうした結果となったと思われる。ヒートアイランドは夏期の温度上昇よりも、冬季の温度上昇が大きく、また、空調の機器効率を考えると冷房よりも暖房の機器効率の方が悪い。このことから寒冷都市でのヒートアイランドによる省エネルギーが見込まれる。

### 2-2 用途別建物のエネルギー消費と気温の関係

次に寒冷都市における用途別建物のエネルギー消費と気温の関係を分析する。

東北 6 県の県庁所在都市の業務建築と住宅の、エネルギー消費と暖房デGREEアワー（Dd18-18、以下暖房 Dd）の相関を調べ、その結果を図3に示す（参考文献1）。業務建築の相関性が全般的に低い。特に事務所と商業施設の相関性が低いのはOA機器や人間による内部発熱が大きいものと思わ

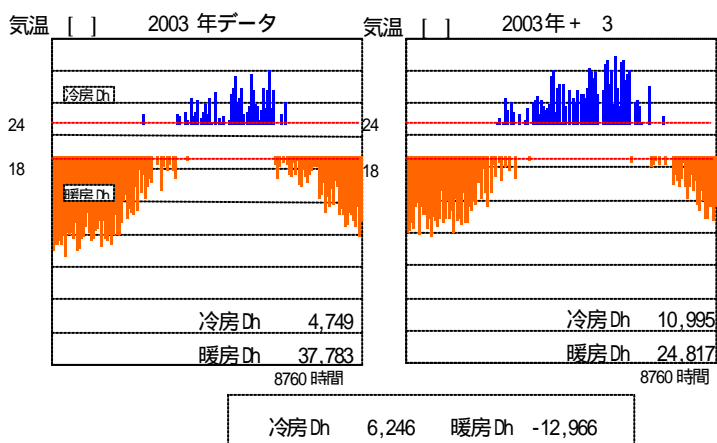


図1 東京のデGREEアワーの増減

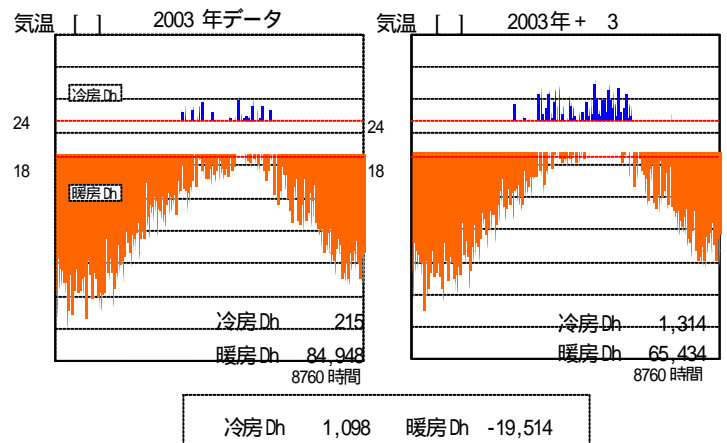


図2 札幌のデGREEアワーの増減

れる。業務建築に対して住宅の相関は 0.811 と高い。これは建物の機密性によるものと思われ、外気温の変動に対してエネルギー消費が変化していると考えられる。

### 2 - 3 住宅のエネルギー消費と気温の関係

エネルギー消費と気温の相関性が住宅で非常に高いことから、全国の県庁所在都市の気温と住宅のエネルギー消費の関係について分析を行う。

評価は1 上昇するあたりの、エネルギー消費減少量の度合いで行い、最小二乗法によって求める(式1)、また、エネルギー消費については給湯用、暖房用、冷房用エネルギー消費の3つを重回帰分析によって算出する(参考文献1、表1~3)、この重回帰分析の説明変数は、冷房デグリーデーD24-24、暖房デグリーデーD18-18、年平均気温[ ]、冬期日照時間[h/月]、居住面積[m<sup>2</sup>]、建築時期[%]、世帯人員[人/世帯]、年間収入[万円/年]であるが、ここでは気温とエネルギー消費の関係を見るので、気象に関係する冷房 Dd、暖房 Dd、年平均気温、冬季日照時間のみを有効な変数と設定し、エネルギー消費を算出する。エネルギー消費は、冷房・暖房・給湯エネルギーの和と定義する。この手法を用いて、関東以北の(北海道、東北、関東地方の一部)県庁所在都市について、エネルギー消費減少量の度合いを評価した(図4)。

図4より、主な寒冷都市のエネルギー消費減少度合いが大きく、また温暖な都市ほど減少度合いは低いことがわかる。特に減少度合いが高い都市は、札幌市(3.77[GJ/世帯・年])、青森市(3.71[GJ/世帯・年])、秋田市(3.68[GJ/世帯・年])となり、逆に、東京は0.57[GJ/世帯・年]と最も小さく、さいたま・千葉などの関東圏の都市も同様に減少度合いが低い。

$$E = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n X_i \right] \left[ \sum_{i=1}^n Y_i \right] - n \sum_{i=1}^n X_i Y_i}{\left[ \sum_{i=1}^n X_i \right]^2 - n \sum_{i=1}^n X_i^2} \quad (\text{式1})$$

E : 住宅の給湯用・暖房用・冷房用エネルギー消費減少度合い [GJ/世帯・年]  
 Y<sub>i</sub> : i年の住宅の給湯用、暖房用、冷房用エネルギー消費量[GJ/世帯・年]  
 X<sub>i</sub> : i年の年間平均気温[ ]  
 n : n年間の値

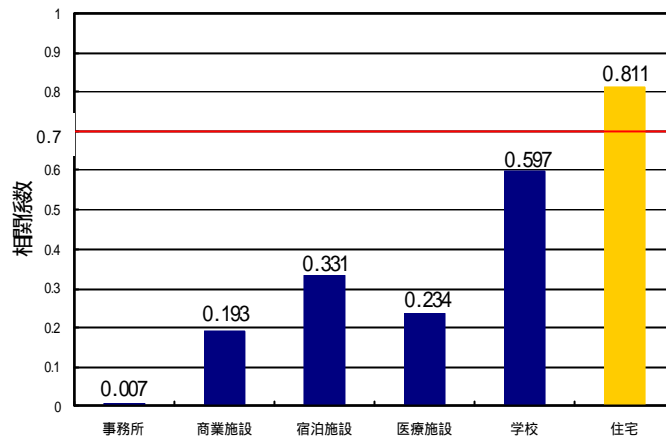


図3 東北6県県庁所在都市の用途別建物のエネルギー消費と暖房 Dd の相関係数

表1 暖房用エネルギー消費の重回帰分析

説明変数	偏回帰係数	標準偏回帰係数
暖房デグリーデーD18-18	0.01026	0.7959
冬期日照時間(h/月)	-0.06661	-0.3315
居住面積(m <sup>2</sup> )	-0.03940	-0.0354
建築時期(%)	10.30631	0.0637
世帯人員(人/世帯)	-2.66553	-0.0435
年間収入(万円)	0.00155	0.0232
定数項	10.83150	-

表2 冷房用エネルギー消費の重回帰分析

説明変数	偏回帰係数	標準偏回帰係数
冷房デグリーデーD24-24	0.01411	0.9622
居住面積(m <sup>2</sup> )	-0.00059	-0.0027
建築時期(%)	2.95086	-0.0967
世帯人員(人/世帯)	-0.57016	-0.0494
年間収入(万円)	0.00176	0.1374
定数項	0.39649	-

表3 給湯・コンロ用エネルギー消費の重回帰分析

説明変数	偏回帰係数	標準偏回帰係数
年平均気温( )	-0.85796	-0.6422
建築時期(%)	3.36079	0.0500
世帯人員(人/世帯)	4.91334	0.1931
年間収入(万円)	0.00904	0.3242
定数項	6.38073	-

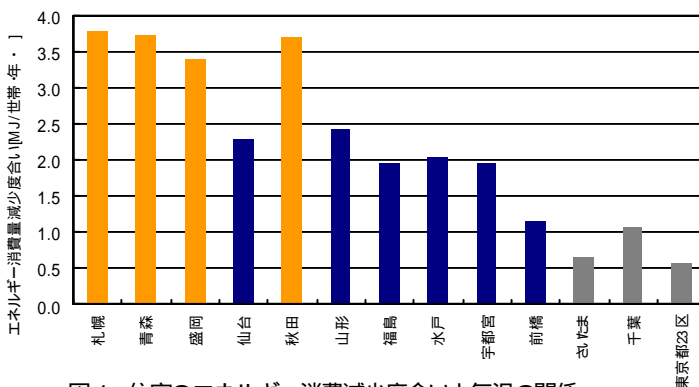


図4 住宅のエネルギー消費減少度合いと気温の関係

### 3. 寒冷都市におけるヒートアイランドによるエネルギー消費削減の算定

#### 3-1 シミュレーションケース設定概要

寒冷都市のヒートアイランドによる省エネルギー効果を、ケーススタディーにより検証する。寒冷都市として札幌、その比較都市として東京を選び、熱環境シミュレーションにより対象都市の平均気温を解析し、その気温からエネルギー消費を算出する。その際、札幌・東京それぞれにおいて、ヒートアイランドが起きていないケースとして、原野（地表面の被覆を裸地・芝生と水面のみとする）を設定する。その原野ケースとヒートアイランドがおきている現状都市の2ケースでシミュレーションを行う。

平均気温とエネルギー消費量について、原野と現状の比較、更に札幌と東京の比較により寒冷都市におけるヒートアイランドによる省エネルギーの有効性を検証する。

シミュレーション対象範囲は、札幌はJR札幌駅、東京はJR東京駅を中心とした10km×10kmのエリアとし、このエリアを500mメッシュに区切り解析する(図5)。メッシュには以下の情報を入力する。

地形：国土地理院「数値地図 50mメッシュ標高」

気象：「拡張アメダスデータ」の標準年データ

(各月、各時間帯の平均気温、風向・風速)

地表面被覆(札幌)：GISデータ(平成15年度・札幌市)

(東京)：GISデータ(平成10年度・東京都)

人工排熱：用途別、規模別に分別された原単位と、メッシュ毎の用途別延床面積より算定する。

#### 3-2 シミュレーション結果(平均気温)

札幌と東京の原野ケースでの熱環境シミュレーションによる平均気温の算出結果を図6、表4a・4bに示す。

図6より、札幌では、藻岩山と豊平川周辺の気温が低い他はほとんど一定の気温となっている。東京でも札幌と同様、水面の温度は低くなっている他はほぼ一定の気温分布となっている。

また、表4aより札幌は年平均気温が6.42、暖房Ddは4251度日、冷房Ddは0度日であった。また、東京の年平均気温は13.3、暖房Ddは2142度日、冷房Ddは6.30度日である。

同様に、札幌と東京の現状ケースの熱環境シミュレーションによる平均気温の算出結果を図6・表5に示す。

図6より、札幌では札幌駅を中心とした地域の気温が高い。駅の東側には地域冷暖房のプラントが複数あり、また、大通公園の南側に商業用建築物が集まっているためであると考えられる。

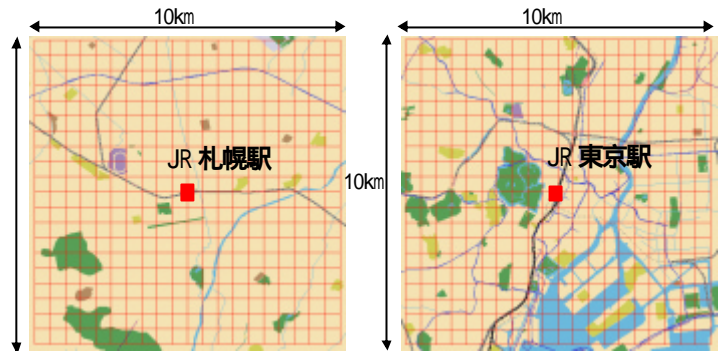
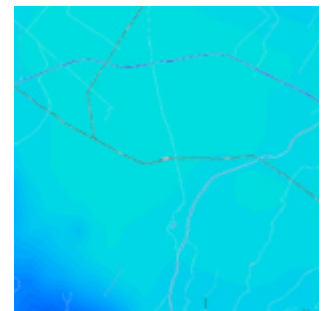
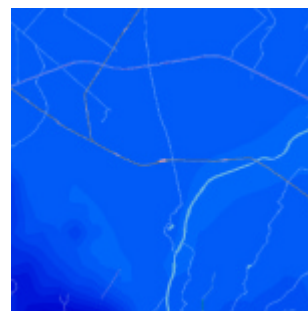


図5 シミュレーション対象範囲(左：札幌、右：東京)

札幌 原野ケース

札幌 現状ケース



東京 原野ケース

東京 現状ケース

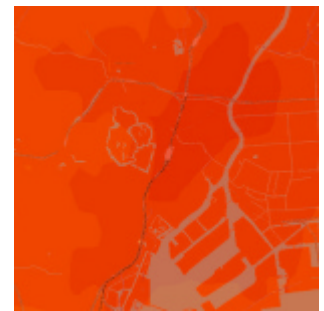
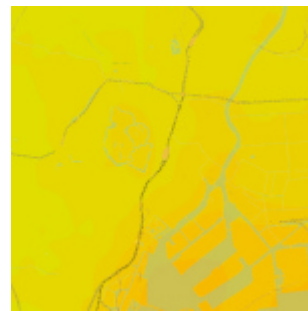


図6 札幌・東京の各ケースの年平均気温等温線図

表4a 原野ケースのシミュレーション結果

原野ケース	札幌	東京
年平均気温( )	6.42	13.27
暖房Dd18-18	4250.61	2141.91
冷房Dd24-24	0.00	6.29

表4b 現状ケースのシミュレーション結果

現状ケース	札幌	東京
年平均気温( )	8.80	16.02
暖房Dd18-18	3551.36	1530.90
冷房Dd24-24	0.00	171.94

一方、南西に位置する藻岩山周辺は気温が低いことが分かる。東から南へと流れる豊平川周囲の温度が1年を通して低いことが分かる。

東京では、エリア中心部の東京駅周辺、特に地域冷暖房プラントが集中している地域の温度が高い一方、皇居周辺や、東京湾の気温は低い。

また、札幌の年平均気温は8.80[ ]、暖房Ddは3,551[度日]、冷房Ddは0[度日]であり、東京は年平均気温が16.02[ ]、暖房Ddは1,531[度日]、冷房Ddは172[度日]である(表4b)。札幌の暖房Ddは東京の約2倍となっており、年平均気温が低いためにエネルギー消費の大半を暖房用が占めると考えられる。

### 3-3 シミュレーション結果(省エネルギー性の検証)

エネルギー消費量は気温との相関が高い住宅のみを有効とするため、住宅のみについて算出する。算出方法は2-3で分析した気温と暖房用、冷房用、給湯・コンロ用エネルギー消費量の関係式から算出する(式2・3)

$$\text{札幌} \quad E = -3.7749t + 94.396 \quad (\text{式} 2)$$

$$\text{東京} \quad E = -0.5668t + 43.094 \quad (\text{式} 3)$$

E: 暖房・冷房・給湯年間エネルギー消費量[GJ/世帯・年]  
t: 年間平均気温[ ]

札幌と東京の年間平均気温と、式2・3を用いて算定したエネルギー消費量の比較結果を表5に示す。

札幌では、現状ケースは原野ケースに比べて、年間平均気温は2.4[ ]上昇し、エネルギー消費は8.98[GJ/世帯・年]減少した。これは気温が上昇したことによる暖房用エネルギー消費の減少が大きな要因となっていると思われる。

一方、東京では現状ケースは原野ケースに比べて、2.7[ ]上昇し、エネルギー消費量は1.55[GJ/世帯・年]減少した。気温の上昇と、暖房Ddの減少にもかかわらず、それほどエネルギー消費に変化がなかったのは、夏期冷房用エネルギー消費量が増加したことが主な原因と考えられる。

さらに札幌と東京を比較すると、暖房、冷房、給湯・コンロ用エネルギー消費量は、札幌は東京の5.8倍減少した。

表5 札幌・東京のシミュレーション比較結果

	札幌			東京		
	原野	現状		原野	現状	
年平均気温 [ ]	6.4	8.8	2.4	13.3	16.0	2.7
エネルギー消費量 [GJ/世帯・年]	70.2	61.2	-9.0	35.6	34.0	-1.6

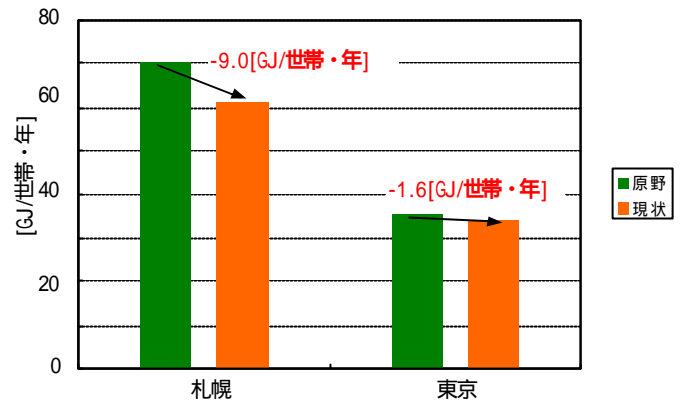


図7 札幌・東京のエネルギー消費量比較結果

## 4. まとめ

本研究では用途別建物のエネルギー消費量と気温(暖房Dd)の関係を調べた。また札幌と東京における原野の状態と現状のヒートアイランドを熱環境シミュレーションによって調べ、エネルギー消費量をそれぞれ比較した結果、以下の事がわかった。

- ・ 住宅のエネルギー消費量は気温との関係性が高く、温度上昇による省エネルギー性が大きい
- ・ 札幌ではヒートアイランドによる暖房用エネルギー消費削減が大きく、有効である
- ・ 東京ではヒートアイランドによる冷房用エネルギー消費が増加し、暖房用エネルギー消費削減はそれほど見込めない

今後さらに、他の都市での解析を行うことで、地域特性を考慮したヒートアイランド対策や省エネルギー都市の提案ができると考えられる。

### 参考文献

- 1) 三浦秀一:『全国における住宅の用途別エネルギー消費と地域特性に関する研究』日本建築学会計画系論文集第510号, pp77-83, 1998
- 2) 東北都市環境研究グループ『東北地方における業務用建築のエネルギー消費実態調査<第2版>』, 2000

\*1 早稲田大学理工学部建築学科 4年

\*2, \*3 早稲田大学大学院理工学研究科 修士1年

\*4 早稲田大学大学院理工学研究科 修士2年

\*5 早稲田大学建築学科 助手 博士(工学)

\*6 早稲田大学理工学部建築学科 教授 工学博士