

(3) 市街地におけるエネルギー消費量の推計手法に関する研究

RESEARCH ON THE PREDICTIVE METHOD OF THE ENERGY
WHICH IS CONSUMED IN THE URBAN DISTRICT

萱場 祐一 島谷 幸宏 平岡 規之
Yuichi Kayaba, Yukihiro Shimatani, Noriyuki Hiraoka

ABSTRACT: Recently, it becomes important to grasp the energy consumption in order to consider the effective use of non-utilized energy and thermal environment in urban district. From this point of view, many researchs on the grasping of the energy consumption is carried out, but most of that research is intended to the urban district in Tokyo so that there are little such data in other urban districts.

In this respect, we propose the predictive method of the consumed energy to heat and cool in the urban district, and which is based on the dependence on the climate condition. Consequently, using this method, we examine the correspondence of the predictive value to the actual value, and point out the problem to make some progress in this research.

KEYWORDS; energy consumption, dependence on the climate condition, urban district,
predictive method

1. 本研究の目的

近年、都市域における未利用エネルギーの有効利用、都市の熱環境を考える際に必要となる排熱量の算定など、エネルギー消費量を正確に把握することが重要な課題となってきた。

現在、このような観点からエネルギー消費量の算定に関して多くの研究・調査が行われてきており、部門別、業務別の等エネルギー消費量原単位が作成されている。しかし、これらの原単位の算定は、東京を中心とした市街地についてのみ行われており、東京圏外の市街地におけるデータは皆無に近い状況である。

本研究ではこのような現状を踏まえ、市街地においてエネルギーを多消費する建築用途として住宅、商業施設、事務所を選び、これらのエネルギー消費量原単位を東京以外の都市でも簡易に推計できる手法を提案する。

2. エネルギー消費量に関する既存文献及びデータ特性

エネルギー消費の推計手法を検討する前に、エネルギー消費量に関する既存データの特性について触れる。収集した文献は23種類で、表-1はその中の主要な文献を示す。地域冷暖房の普及に伴い、冷房、暖房に関連した文献が多く、また、対象地域もそのほとんどが東京を中心としたものである。このような状況の中で、文献15は対象業種別、用途別、エネルギー源別に詳細な調査を行っているだけでなく、地方都市に関するデータも扱っている特徴がある。

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

** (株)三菱総合研究所 Mitsubishi Research Institute, INC

図-1は、表-1に記載された文献の中で、特に、東京における冷房と暖房についてそのエネルギー消費量原単位を示す。尚、取り扱った建築用途は、集合住宅、一戸建て住宅、商業施設、事務所である。

集合住宅では、文献3を除いて冷房、暖房とも文献によらず比較的安定した値を示す。一戸建て住宅でも文献に関わらず安定した傾向が認められるが、集合住宅よりは原単位が大きい。

商業施設では、冷房に関する原単位に大きな開きがあり特徴的な傾向は認められない。一方、暖房は住宅と比べてもかなり低い値となっている。

事務所では、冷房に関して商業施設同様大きな差が認められるが、暖房に関しては比較的安定している他、値自体が小さくなっている。

以上をまとめると、①住宅では冷房・暖房の原単位は文献によらず変動の幅は小さい。また、集合住宅では、冷房、暖房の原単位に大きな差はないが、一戸建て住宅では暖房が大きくなっ

ている。②商業施設、事務所の冷房の原単位は文献により変動の幅は大きい。③商業施設、事務所の暖房は文献によらず変動の幅は小さく、しかも、冷房と比べると平均的にその値は小さい。

この様に、建築用途により調査データに特徴があるが、これらは冷暖房に関するエネルギー消費量に関する実態を表している。集合住宅、一戸建て住宅は商業施設、事務所に比べると比較的建築形態が同一であり、ある程度のサンプル数を収集すれば、かなり平均的な消費量を求めることができる。また、室内の排熱源も少ないことから、冷房に対する暖房の比率が、商業施設、事務所より大きい。一方、商業施設、事務所では、住宅に比べると建築形態が多様だけでなく、室内に照明やコンセント負荷による排熱源の密度も場所により変化するため、住宅における調査と同数のサンプルでは平均的な姿を捉えられない。特に、冷房に対する暖房の比率が小さいのは、室内の排熱源により暖房負荷が減少し、エネルギーの絶対消費量が小さい事が原因であろう。

表-1 エネルギー消費量主要文献

文献番号	文 献 名	発行年	データの特徴	備 考
[1]	気象調和・衛生工学会、「気象調和・衛生工学便覧」	1991	東京都の熱負荷算定基準	
[2]	「14」技術開発センター、「次世代14」	1990	数十～数百のサンプルの実績	[2]-1 公営住宅 1977, 83, 84年度の平均 [2]-2 民間住宅 1971年度 [2]-3 [2]-4
[3]	東京都都市整備局公害防止計画部、「地域冷暖房計画の調査報告（総合）」	1970	東京都による地域別修正係数を用いた用途別熱負荷推定値	[3]-1 大規模 [3]-2 小規模
[4]	日本建築学会編、「建築設計資料集6」、丸善	1987		
[5]	尾島俊雄、「建築の光熱水費」、丸善	1987		
[6]	財団法人住宅・建築省1444-機構、「1444」1444-1444開発（その1、その2）」	1984 1985		
[7]	日本地域冷暖房協会、「地域冷暖房技術手引書」	1992	東京都の熱負荷算定基準	
[8]	東京都公害局、「地域冷暖房計画の推進に関する一般的研究（定量的検討）」	1973		
[9]	（財）省1444-1444、「分散型電源1444の最適化に関する調査」	1985		
[10]	東京都環境保全局、「地域冷暖房推進に関する指導要綱」	1991	平成2年度に実施したアンケート調査による	[10]-1 特大規模（延床面積 100,000㎡以上） [10]-2 大規模（延床面積 30,000～100,000㎡） [10]-3 中規模（延床面積 10,000～30,000㎡） [10]-4 小規模（延床面積 10,000㎡未満）
[11]	日本1444-経済研究所、「国民生活水準と民生用1444-需要」	1980	実態調査を基に、重層別エネルギー消費原単位の推計	
[12]	東京電力、「1444における1444-使用の実態調査報告書」	1975	契約電力500k以上の需要家を対象	
[13]	東京1444-1444-民生用1444-原単位の調査（家庭用・業務用）1444-1444-1444-導入にあたって基礎調査」	1978	既存文献の再編成	
[14]	日本1444-経済研究所、「民生部門1444-消費実態調査業務部門編」	1986	既存文献の調査	
[15]	1444-経済、「業務用1444-の消費実態」vol.15 vol.1	1993	アンケート調査	[15]-1 1985, 86年度の平均 [15]-2 1990, 91年度の平均
[16]	財団法人住宅・建築省1444-機構、「1444」1444-1444-1444-導入に関する検討調査」	1987	200～300戸を対象にしており、同時負荷率を加味	

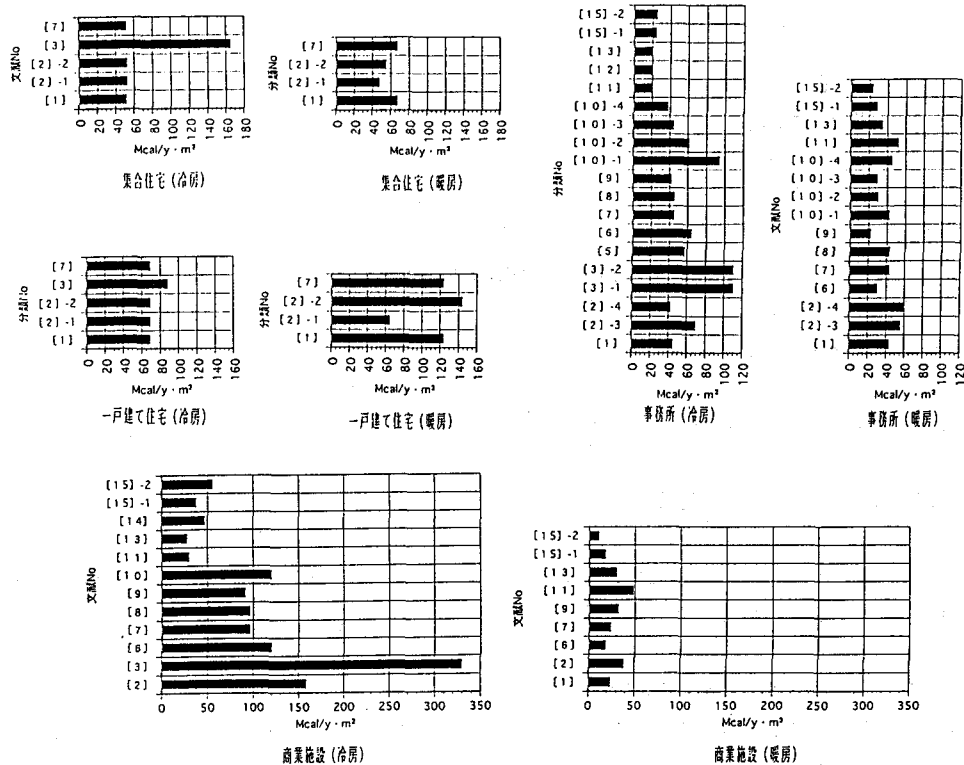


図-1 主要文献におけるエネルギー消費量原単位

3. エネルギー消費量原単位の推計手法

住宅、商業施設、事務所で使用されるエネルギー用途としては、分類の仕方にもよるが、冷房、暖房等の空調、給湯・厨房、照明、動力等に分類するのが一般的であるが、この中で、冷房、暖房にかかるエネルギー消費量は、建築形態だけでなく、気象条件や室内の熱源量といった様々な因子によって変化する。従って、建築形態や平均的構造や室内の熱源量の平均値が地域に依らずば一定と考えれば、当該地域における冷房、暖房のエネルギー消費量原単位はほぼ気象条件で説明できる。

では、冷房、暖房のエネルギー消費量と気象条件との関係を説明する。既存の研究から¹⁾、冷暖房エネルギー消費量 Q は次の式で表わすことができる。

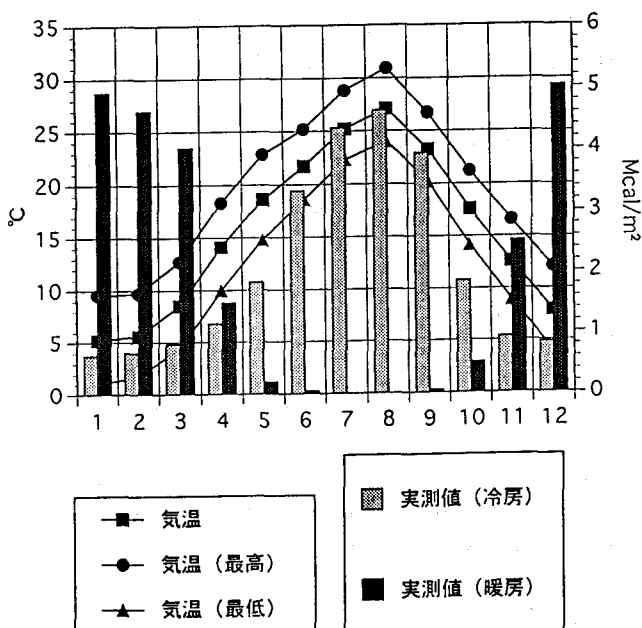


図-2 月別エネルギー消費量と平均、最高、最低気温

$$Q = q_s + q_t + q_l + q_m + q_{oa} \quad - (1)$$

q_s : 日射因子

q_t : 伝熱因子

q_l : 照明発熱因子

q_m : 在室者因子

q_{oa} : 外気因子

以下に6つの因子についてそれぞれ気象条件との関係を検討する。

- ・ 日射因子 (q_s)、伝熱因子 (q_t)

日射因子及び伝熱因子は以下の式で表せる。

$$q_s = \text{窓面積} \times \text{輻射熱} \times \text{遮断係数}$$

$$q_t = \text{伝熱面積} \times \text{熱貫流率} \times \text{温度差}$$

ここで、各地域において平均的な建築形態が同じであり、室内の気温が一定であるとすれば、上式はそれぞれ対象地点の日射量と外気温の一次式で表わすことができる。

- ・ 照明発熱因子、在室者因子、機器発熱因子

各地域において、自然照明の状況が同程度であり、かつ在室者と機器発熱の密度が同じであるとすれば、これらの因子は、気象条件によって変化することはない。

- ・ 外気因子 (q_{oa})

室内の空気は、常に外気と交換されながら、一定の温度と湿度を保っている。外気を所望の温度及び湿度に保つために必要なエネルギーは以下の式で表わすことができる。

$$q_{oa} = 1.2 \times (i_o - i_r) \times \text{換気量} \text{ [m}^3/\text{h]}$$

i_o : 外気のエンタルピ [kcal/kg]

i_r : 室内空気のエンタルピ [kcal/kg]

ここで、室内空気のエンタルピ及び換気量が一定であるとすれば、外気因子は外気のエンタルピに依存する。ここで、40℃以下の常温では、エンタルピは以下の式で表わすことができる²⁾。

$$i = c \theta + L_w X \quad c: \text{空気の定圧比熱}, \theta: \text{外気温}, c_w: \text{水蒸気の定圧比熱}, x: \text{絶対湿度}$$

従って、外気因子については、外気温 θ と外気の絶対湿度 x の関数として表わすことができる。

以上の検討結果から冷暖房エネルギー消費量は日射因子、伝熱因子及び外気因子によって説明され、しかも各因子の気象条件への依存性はすべて線形であることから、式(1)は以下の様に、表わすことができる。

$$Q = \alpha \cdot (\text{気温}) + \beta \cdot (\text{絶対湿度}) + \gamma \cdot (\text{日射量}) + \delta \quad - (2)$$

では、この式を東京のエネルギー消費データと気象条件のデータに当てはめ回帰分析を行い、各係数を決

定する。算定を行った建築用途は、東京以外でのエネルギー消費量原単位が存在するという理由から、事務所を対象にした。また、算定に用いたエネルギー消費量データもこの理由から文献15を利用し、このデータを、文献10に記載されている年間熱使用パターンに従い、各月のエネルギー消費量を算定した。また、気象条件については、「理科年表（平成5年版）」を利用した。図-2は、文献15を元に算定した冷房、暖房のエネルギー消費量と日最高、最低気温の月別平均値（以下、最高、最低気温）、月別平均気温（以下、平均気温）との関係を示す。室内の所望温度を18℃とし、気象条件だけから冷暖房のエネルギー消費が決まっているとすると、最低、最高気温18℃が冷暖房の需要の有無を決定する一つの目安である。しかし、最低気温が18℃を上回る、6～9月は暖房がほぼゼロとなっているのに対し、最高気温が18℃を下回る11～4月頃までは、依然として冷房需要が認められる。従って、この期間の冷房需要は気象条件よりも室内の排熱量に大きく依存している可能性が高い。そこで、最高気温が18℃に達する場合の平均気温15℃と想定し、この気温を境として2つの回帰式を用いることにする。

事務所（冷房）

5月～10月
$$Q_c = 169.22 \times \text{温度} - 115.51 \times \text{絶対湿度} - 38.18 \times \text{日射量} - 2302.4$$

(15℃以上)
$$R^2 = 0.99$$

- (3)

11月～4月
$$Q_c = 294.42 \times \text{温度} - 407.09 \times \text{絶対湿度} - 15.61 \times \text{日射量} + 933.77$$

(15℃以下)
$$R^2 = 0.99$$

- (4)

事務所（暖房）

$$Q_h = -505.07 \times \text{温度} + 224.95 \times \text{絶対湿度} - 58.46 \times \text{日射量} + 7259.3$$

$$R^2 = 0.96$$

- (5)

図-3は、回帰式の結果と実測値とを示す。多少のばらつきはあるが概ね良い一致を示している。

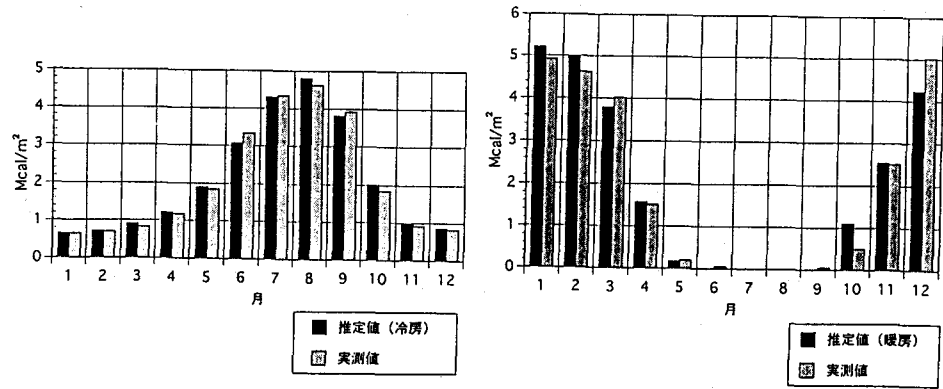


図-3 回帰式推定値結果と実測値との関係

4. 推計手法の適用とその問題点

3で算出した係数と北海道、名古屋、大阪、福岡におけるエネルギー消費量原単位及び気象条件を用い、上式の妥当性を検証する。尚、北海道は札幌における気象条件を用いている。また、これらのデータは、年平均原単位で与えられているため、検証に当たってはそれぞれの地域で各月のエネルギー消費量原単位を算出し、この合計値、つまり、年間消費量との比較を行うことにする。

図-4は、推定による年間エネルギー消費量原単位と実測値との比較を示す。暖房においては札幌を除いて良い一致が認められるが、冷房については全体的に実測値との間に差が見られる。また、冷房は福岡で、暖房は札幌で実測値との開きが大きく、気象条件がそれぞれの消費量を増大させる地域において整合が悪い。これは、平均気温では東京27.6℃、福岡27.1℃であるが、最高気温では東京30.7℃、福岡31.8℃といった様に平均気温だけでは、それぞれの消費量をうまく説明できない事と、札幌と東京の様に、一月の平均気温差が約10℃もある場合には、気象依存性が2地域間で大きく異なる事等がその大きな原因であると考えられる。

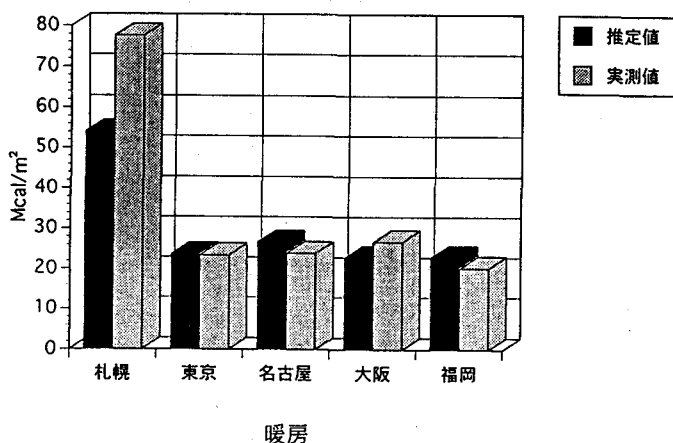
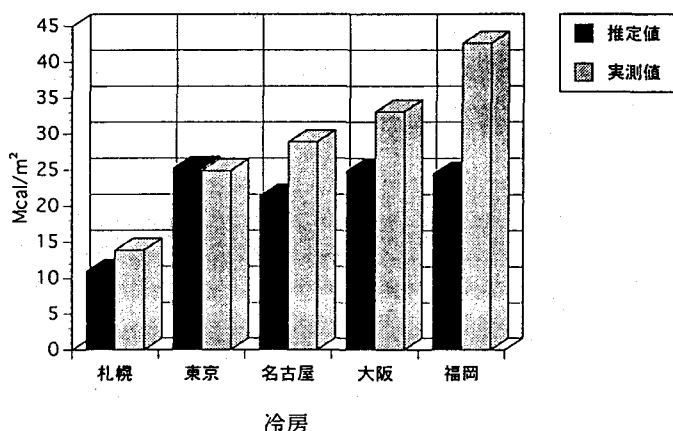


図-4 地域別年間エネルギー消費量（推定値及び実測値）

5. 結論と今後の問題点

本研究では、エネルギー消費量に関する既存のデータを収集・検討するとともに、この結果を用い、気象条件の違いといった観点から、冷暖房のエネルギー消費量の推計手法を提案し、実測データとの比較を行った。この結果、気象条件が東京と大きく異なる札幌、福岡といった地域では整合が悪いが、その他の地域では概ね良い一致をみた。今後は、上述した問題点を改善することにより精度の高い推定が可能になるであろう。しかし、このような研究を進める上では、より信頼性の高いエネルギー消費量に関するデータが必要不可欠であり、データ収集の方法等について今後十分検討していくことも重要な課題である。

6. 参考文献

- 1) 早川一也、「地域冷暖房計画」、丸善
- 2) 松尾陽他、「建築と気象」、朝倉出版