

研究論文

気温変化が地域の電力消費に及ぼす影響

Effects of Temperature Change upon the Regional Electric Power Consumption

鳴 海 大 典* ・ 二浦尾 友佳子** ・ 下 田 吉 之*** ・ 水 野 稔****

Daisuke Narumi

Yukako Niurao

Yoshiyuki Shimoda

Minoru Mizuno

(原稿受付日2006年5月9日, 受理日2006年8月22日)

Abstract

In the present paper, temperature sensitivity was measured on the basis of the actual performance data on electric power supply by time and day in three regions of Osaka Prefecture. The result indicated that markedly high effects were observed during daytime business hours only in the business area, while markedly high temperature sensitivity was found during those periods when residents were waking up or spending time at home in the evenings in the residential area. In addition, based on the floor area data for the Osaka City area, an increase or decrease in electric power consumption in the Osaka City area was assumed when the year-round air temperature rose by 1 degree Celsius. As a result, for both residential and business applications, in "Osaka City" and "Osaka Prefecture excluding Osaka City", the increase in summertime electric power consumption exceeded the decrease in wintertime, and electric power consumption increased for the entire year.

1. まえがき

大気汚染や水質汚染などの地域環境問題は人間健康や生態系への影響被害が対策推進のトリガーとなっていたが、近年取り組みが本格化し始めた^{1), 2)} ヒートアイランド緩和対策に関しては影響被害の許容範囲や対策の優先対象が明示されないまま、気温低下のみが闇雲に議論されている感が強いのが現状である。国や地方自治体において、行政施策としてヒートアイランド対策を位置付ける為には、昇温に伴う各種影響被害を把握した上で、対策目標(影響閾値, 対策範囲)を明らかにすることが不可欠である。この点に関して、筆者らはヒートアイランド緩和対策の実施に伴う便益効果などを検討することを視野に入れ、都市の昇温に伴う各種影響を可能な限り定量的かつ多面的に評価してきた³⁻⁵⁾。本研究は各種影響の中でも特に関心の高いエネルギー消費への影響について詳細な定量評価を行う。

ヒートアイランド現象や地球温暖化による都市域の昇温は主として空調・給湯用エネルギー消費に影響を及ぼすが、気温上昇により冷房用エネルギー消費は増加する一方で、暖房用・給湯用エネルギー消費は逆に減少するため、季節や建物用途によってその影響程度が異なるものと予想され

る。この点に関して、平野⁶⁾は東京23区を対象として昇温影響を通年で評価すると、業務部門ではエネルギー消費が増大する一方で、家庭部門ではエネルギー消費が減少することを示唆している。また、荒井ら⁷⁾は札幌、東京、那覇の各都市を対象として空調用エネルギー消費の昇温影響を通年評価した結果から、影響の方向性(正負)は都市や建物用途によって異なることを示唆している。その他には亀卦川ら⁸⁾や環境省⁹⁾によって夏季のエネルギー消費影響を分析した事例がある。平野や荒井らによる検討は都市域の昇温がエネルギー消費の減少につながることを指摘した点で先駆的な事例と考えられるが、平野はアンケート調査によるエネルギー消費原単位を基に気温感度分析を行っていること、荒井らは標準的な建物を対象にデグリーデー法を用いて分析を行っていることから、いずれも情報や分析の精度が十分とは言えない。また、エネルギー消費の気温感度については、検討事例が絶対的に少ないのが現状である。特に電力消費については、過去に夏季ピーク電力の突出が問題となった経緯があることや、時別のロードプロファイルは電源構成や環境負荷に影響を与えることから詳細な気温感度評価を行っておくことが不可欠と考えられる。

本論文では以上の背景を鑑みて、都市域の昇温が地域の電力消費に及ぼす影響を検討することを目的に、大阪府内3地域における時日別電力供給実績データを基に、気温感度に関する各種解析を行った結果について報告する。

2. 調査概要

本報で使用するデータの概要について以下に述べる。本

*大阪大学大学院工学研究科環境・エネルギー工学専攻助手

E-mail: narumi-d@see.eng.osaka-u.ac.jp

**	〃	〃	〃	〃	大学院生
***	〃	〃	〃	〃	助教授
****	〃	〃	〃	〃	教授

〒565-0871 吹田市山田丘2-1

報では、関西電力(株)より提供を受けた大阪府内の3地域(供給区単位)における2001年4月1日～2002年3月31日までの時日別電力供給実績データを使用する。表1に対象地域内の業務・住宅別延床面積を示す。なお、床面積の算出には、A供給区およびC供給区に関しては大阪市より提供を受けた2001年の町丁目別建物用途別延床面積データ、B供給区に関しては大阪府より提供を受けた1999年の同データを使用した。以下に対象とする3地域の特徴を記す。

- A供給区…大阪市内、業務用途中心地区
- B供給区…豊中・吹田市内、住宅用途中心地区
- C供給区…大阪市内、住宅・業務用途混在地区

3. 月別平均電力供給量

各供給区における電力消費実態を把握することを目的として、代表月の各時刻における平日の平均電力供給量を図1(a)から(c)に示す。まず第一に、各地区間では供給量の時別変化パターンに大きな違いが見受けられた。業務用途が中心のA供給区に関しては、日中の業務時間帯に安定して高い電力供給量を示す一方で、夜間には電力供給量が極

表1 各対象地域内の業務・住宅別延床面積

	住宅	戸建	集合	業務
A供給区	44,580	26,625	17,955	873,119
B供給区	1,143,789	281,878	861,911	184,070
C供給区	1,118,337	411,029	707,307	814,172

*「戸建」および「集合」は「住宅」の内数を示す。 UNIT[m²]

端に減少した。住宅用途が中心のB供給区に関しては、昼夜間の変動は小さいが、夜間にやや電力供給量が増加する傾向を示した。住宅用途と業務用途の混在地区であるC供給区に関しては、A供給区とB供給区の中間的な変化を示した。

供給量の月変化に関しては、いずれの供給区においても7月に供給量が極大を示す一方で、極小についてはA供給区は11月、B供給区は10月、C供給区は4月と地域毎に差異が認められた。但し、中間季に相当する月の月平均供給量の差はごく僅かであった。B供給区では夏季と冬季の差が他と比較して小さいが、冬季日中の供給量の落込みが大きいのが特徴的であった。

図2(a)から(c)に夏季の代表として7月の平日および休

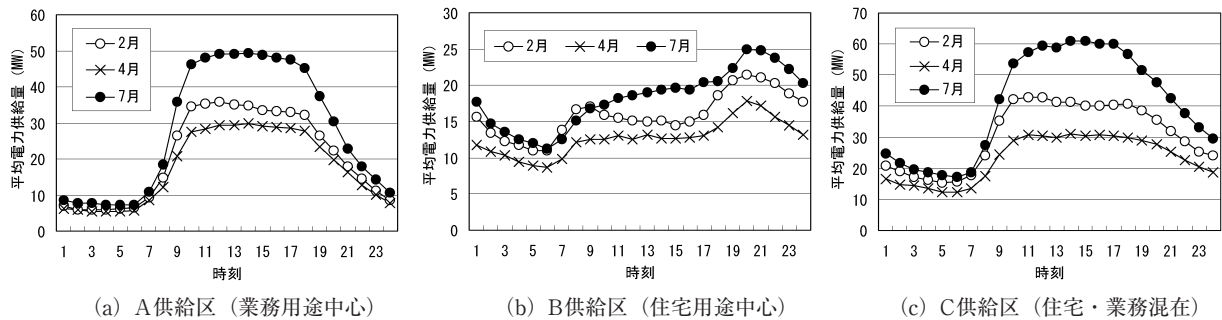


図1 月別の各供給区平均電力供給量(平日)

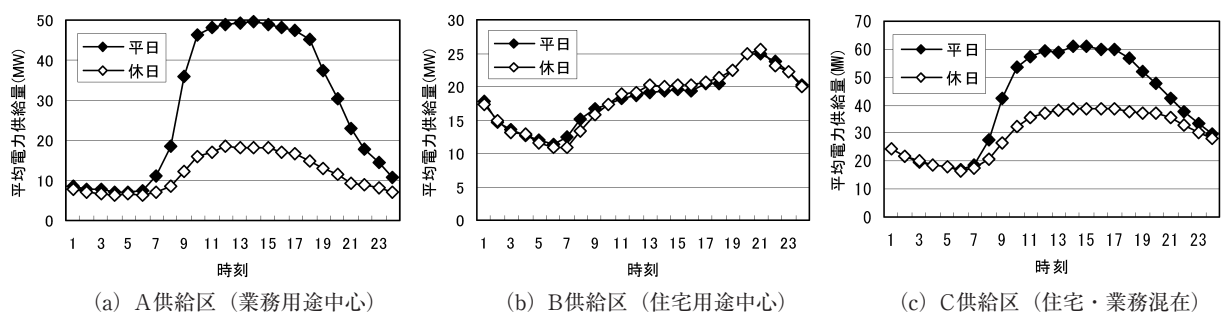


図2 平日休日別の各供給区平均電力供給量(7月期間平均)

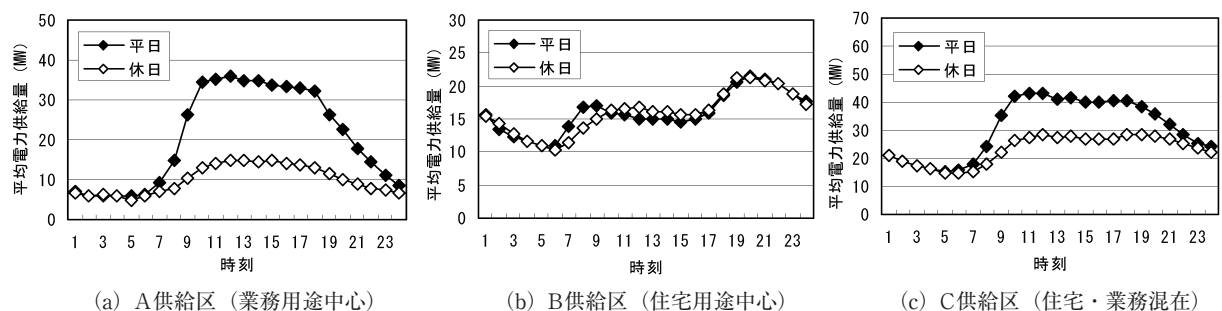


図3 平日休日別の各供給区平均電力供給量(2月期間平均)

日の時刻別平均電力供給量を、図3(a)から(c)に冬季の代表として2月の平日および休日の時刻別平均電力供給量を示す。A供給区に関しては、平日と休日間の差が非常に大きくなる傾向が見受けられた。B供給区に関しては、平日と休日間の差がごく僅かであるが、休日には起床時の供給量の伸びが緩やかであることが確認された。C供給区に関してはA供給区とB供給区の中間的な傾向を示した。これらの地域差は、対象地区内の活動パターンが供給量に反映された結果を直接的に示している。

4. 電力供給量に関する気温感応度

4.1 時刻別電力供給量に関する気温感応度

ここでは、時刻別に電力供給量の特性を解析することによって、時刻別電力供給量に関する気温感応度（以下、時刻別気温感応度と記す）の算出を試みる。時刻別気温感応度は、時間帯に応じて地域の気温変化による影響をより詳細に定量化できるだけでなく、例えば夜間の気温感応度が高ければ夜間気温の緩和策を優先的に導入するなど、都市熱環境緩和対策を検討する上での有意義な指標になり得る。なお、ここでは平日のみを対象として解析を行った。また、気温データに関して、A供給区およびC供給区についてはAMeDAS大阪観測所、B供給区についてはAMeDAS豊中観測所の当該日時のデータを用いて解析を行った。

図4に代表的な時間帯の各供給区における電力供給量と気温との関係を示す。これらの図より、一部の時刻を除き電力供給量が感応し始める気温分岐点が高気温側（冷房開始時期）および低気温側（暖房開始時期）について2点存在することが確認できる。本研究では図5に示すように、冷房使用季については高温側分岐温（夏季分岐温）より高い気

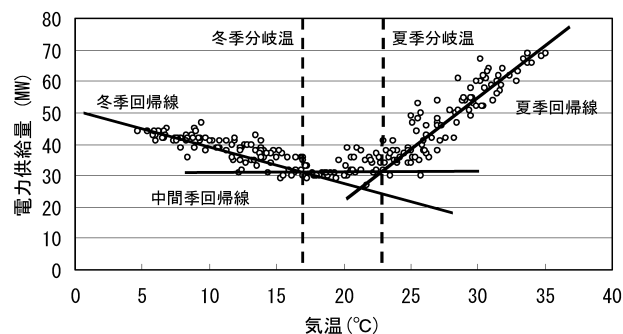


図5 分岐外気温の判定方法

温段階を、暖房使用季については低温側分岐温（冬季分岐温）より低い気温段階を対象として回帰直線を求め、その傾きによって夏季および冬季それぞれの気温感応度を地区別および時刻別に定義した。図6に結果として得られた各供給区における時刻別分岐外気温を示す。なお、A供給区については、夜間1時～7時について分岐点の確認が困難であったため、24時の値が7時まで継続するものと仮定した。結果として、供給区の間では分岐外気温に違いが見られた。特に住宅用途中心のB供給区の日中における夏季分岐温が高い値を示し、夏季分岐温と冬季分岐温の差が大きい特徴を示した。日中の夏季分岐温と冬季分岐温の差は、B供給区の9.5°Cに対してA供給区は4.7°Cとその差はほぼ2倍であった。なお、各供給区ともに分岐外気温には昼夜間に違いがあった。

図7(a)から(c)に算出された時刻別気温感応度を示す。なお、夏季は気温上昇に対して供給量が増加、冬季は気温上昇に対して供給量が減少することを意味する。また、ここで得られた気温感応度は供給区単位の絶対量であり、供給区全体の供給量に依存するものであることに注意された

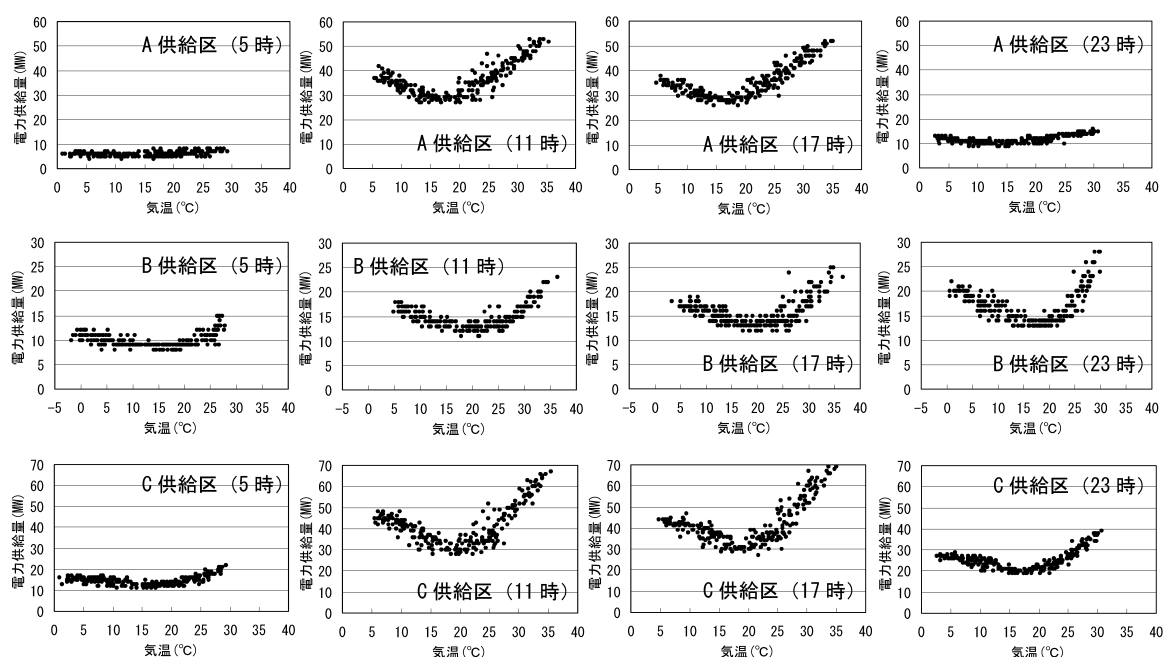


図4 代表的な時間帯の電力供給量と気温との関係（上段：A供給区，中段：B供給区，下段：C供給区）

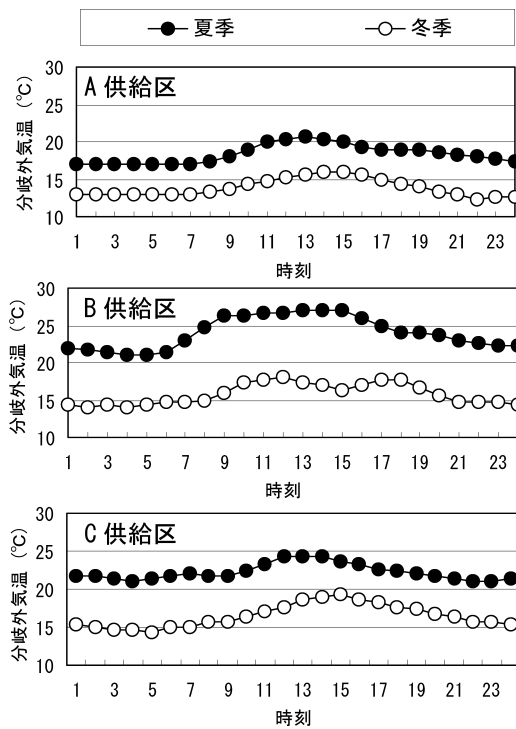


図6 時刻別分岐外気温
(上：A供給区，中：B供給区，下：C供給区)

い。結果として、各供給区ともに時刻別気温感応度の変化パターンは図1で示した平均電力供給量の変化パターンに良く似た傾向を示しており、時刻別変化の大部分が冷暖房使用によるものであることを示唆している。A供給区に関しては、夜間や早朝に気温影響をほとんど受けない一方で、日中には強い影響が認められた。また、夏季には午前中から夕方にかけて高い値を維持する一方で、冬季には特に午

前中の立ち上がりが顕著であった。B供給区に関しては、夏季には起床時間帯や夜間団らん時の気温感応度が顕著に高い値を示し、特に午前7時～8時にかけては急激な変化が確認された。冬季の日変動は比較的緩やかであった。C供給区に関しては、住宅用途のみならず業務用途の占める割合も大きいことから、昼間から夜間にかけては業務用途による影響が、夜間には住宅用途の影響も加わることによって、気温感応度の高い時間が長く継続する特徴を示した。

前述のように、図7に示した気温感応度は供給区全体の供給量に依存する値であることから、得られた気温感応度を夏季は7月、冬季は2月の当該供給区における月平均電力供給量に対する変動度として表現することによって供給区間の比較を可能とした。図8に気温1℃の変化に伴う時刻別供給変動度を示す。夏季に関しては、A供給区の日中に3[%/℃]程度の変動を示すのに対して、夜間には2[%/℃]程度の変動を示した。B供給区では日中に4[%/℃]から8[%/℃]の間で大きく変動し、夜間にも5[%/℃]から8[%/℃]の間で大きく変動した。C供給区では一日を通してほぼ5[%/℃]前後で安定していた。変動度はB供給区、C供給区、A供給区の順に大きくなっており、住宅用途の占める割合が増加すると変動度が上昇する傾向を示した。この原因に関して、住宅では事務所や商業施設とは異なり冷房を任意に発停できる環境にあることから、可能な限り冷房を控える一方で、暑さを感じ始めると急激に冷房利用率が高まることによるものと考えられる。冬季に関しては、A供給区では夜間の落ち込みが見受けられるものの、日中には夏季と比較して大きな違いが見られないのに対して、

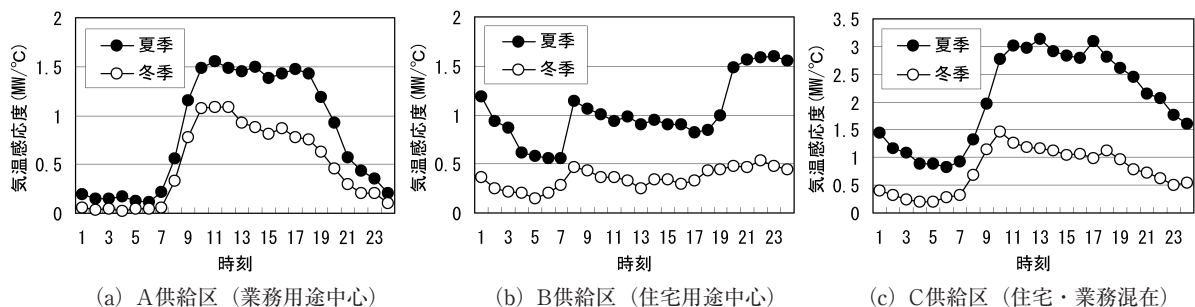


図7 電力供給量に関する時刻別気温感応度(平日)

(※夏季は気温上昇に対して供給量が増加，冬季は気温上昇に対して供給量が減少することを意味する。)

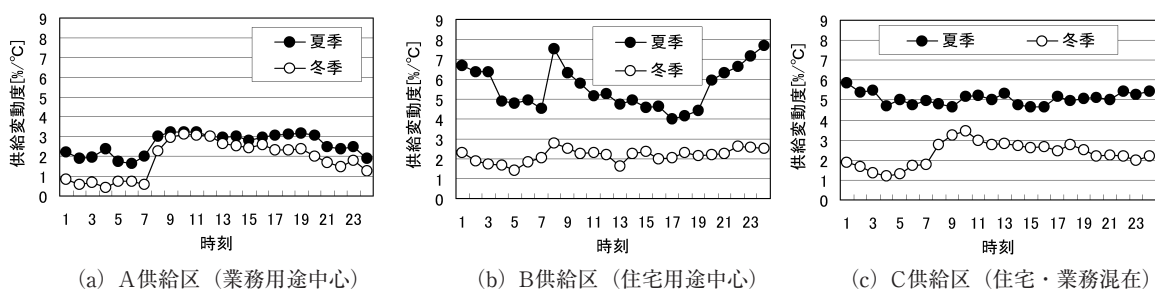


図8 気温1℃の変化に伴う時刻別供給変動度(平日)

(※夏季は気温上昇に対して供給量が増加，冬季は気温上昇に対して供給量が減少することを意味する。また、夏季は7月，冬季は2月の月平均電力供給量に対する変動度として表現している。)

B供給区とC供給区では夏季と比較して大差が認められた。これは、住宅では夏季の空調熱源をほぼ全て電力に依存する一方で、冬季は都市ガスや灯油の依存率が高まり、エネルギー源構成に大きな違いを生じることによるものと考えられる。

4.2 建物用途別の延床面積による原単位化

本節では業務用途と住宅用途別に供給区内の建物延床面積による原単位化を行い気温感応度の標準化を試みた。なお、原単位化に際しては、表1で示した延床面積データを用いた。建物用途は業務用途と住宅用途の2種に大別し、各供給区別に各々のデータを用いて作成した式(1)を2供給区間で連立することによって、建物用途別の原単位化気温感応度であるEres(住宅)ならびにEcom(業務)を求めた。

$$Ares_j \times Eres_{i,j} + Acom_j \times Ecom_{i,j} = Eall_i \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここでAresは住宅延床面積[m²]、Acomは業務延床面積[m²]、Eresは原単位化住宅気温感応度[W/m²・℃]、Ecomは原単位化業務気温感応度[W/m²・℃]、Eallは供給区全体の気温感応度[W/℃]、添え字i、jはそれぞれ時間、供給区を表す。

業務用途と比較して外部環境の影響を受けやすいと考えられる住宅用途に関しては、典型的な郊外としてB供給区、典型的な都心部としてC供給区の結果をそれぞれ位置付けた。算出結果を図9に示す。

夏季の結果から、床面積あたりのピーク値に関しては、業務用途で最も高い値を示したが、住宅用途でも夜間には同程度の高い値を示した。住宅用途に関して、郊外(B供給区)と都心(C供給区)間の比較を行ったところ、郊外(B供給区)で確認された日中の落ち込みが都心(C供給区)では確認されず、起床時から就寝前まではほぼ一日を通して高い値を示した。なお、就寝時から起床時にかけてはほぼ同様の値を示した。この要因としては、都心(C供給区)においては郊外(B供給区)に比べて店舗・事務所併用住宅の割合が高く、日中の在室率が高い可能性があることや、騒音や過密立地などの外的要因により自然通風利用が妨げ

られることで冷房に依存せざるを得ない環境にあることなどが考えられる。

冬季の結果に関しては、業務用途の1.3[W/℃・m²]に対して、住宅用途では郊外(B供給区)及び都心(C供給区)のいずれも0.4[W/℃・m²]程度でその差は夏季よりも顕著であった。住宅用途の郊外(B供給区)と都心(C供給区)間の違いは夏季ほど明確ではなく、都心(C供給区)で日中にやや高い値を示すものの、一日を通して両供給区ともにはほぼ同じ傾向を示した。

5. 大阪府における年間電力消費量への気温影響

5.1 年間冷暖房時間の推定

4.1節および4.2節において作成した気温感応度は、夏季と冬季で影響の方向性(正負)が異なる。したがって、通年での電力消費影響を評価するためには、冷房期間や暖房期間、さらには冷暖房を行わない期間を把握する必要がある。そこで、本項では気温感応度を作成する際に得られた時刻別分岐外気温(図6)を冷暖房発停の閾値と仮定して、建物用途別に年間冷暖房時間比率の推計を行った。夏季分岐外気温より高い気温を「冷房使用」、冬季分岐外気温より低い気温を「暖房使用」、夏季と冬季の分岐外気温間の気温を「冷暖房なし」と定義し、建物用途別・時刻別にそれぞれの時間数を求めた。なお、この時間数は近年の平均的な値とするために1998年～2002年までの5年間の時日別気温データを用いて時間数を求めた結果から、1年間での冷暖房時間比率として定義した。業務用途にはA供給区の分岐外気温を、住宅用途にはB供給区の分岐外気温を用いた。気温データはA供給区にはAMeDAS大阪観測所、B供給区にはAMeDAS豊中観測所の1998年1月～2002年12月までのデータを用いた。図10に推定された建物用途別の時刻別冷暖房時間割合を示す。冷房利用に関して、業務用途では日中に50%以上の日数割合が該当するのに対して、住宅用途では最大30%程度にとどまった。業務用途で冷房利用割合が最も高くなる時刻は15時であるのに対して、住宅用途では18時と違いが見られた。暖房利用に関しては、住宅用途では35%～50%程度の日数割合が該当するのに対して、

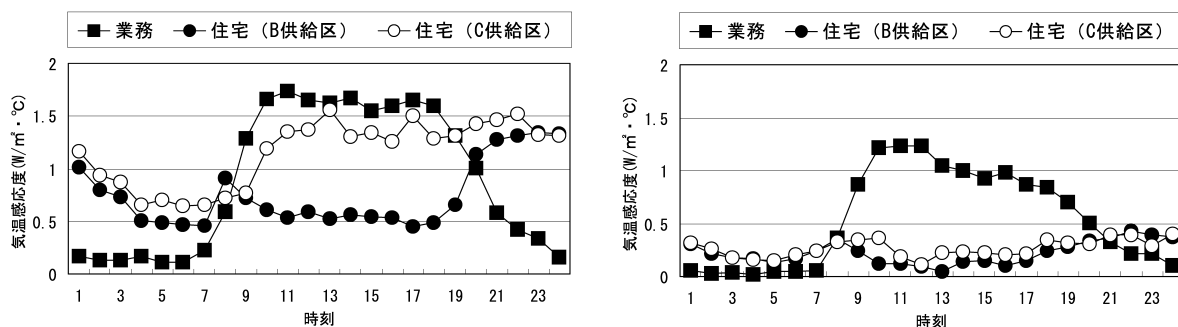
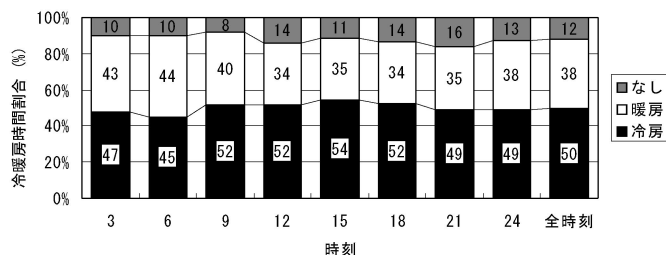
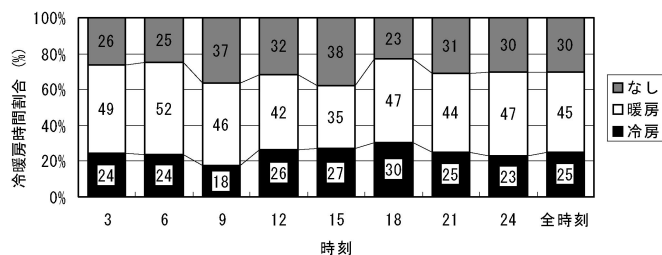


図9 床面積あたりの原単位化気温感応度(左:夏季, 右:冬季)

(※夏季は気温上昇に対して供給量が増加, 冬季は気温上昇に対して供給量が減少することを意味する。)



(a) 業務用途 (A供給区)



(b) 住宅用途 (B供給区)

図10 時刻別分岐外気温から求めた建物用途別の時刻別冷暖房時間割合

業務用途では最大45%程度にとどまった。冷暖房を利用しない期間には顕著な違いが見られ、住宅用途では25%程度～40%程度の割合を占めるのに対して、業務用途では最大でも15%程度にとどまった。

5.2 年間電力消費量への気温影響

本節では、4.2節で得られた建物用途別の原単位化気温感応度情報を大阪市および大阪府に展開することによって、両地域における年間電力消費量への気温影響について検討を試みた。

4.2節の原単位化気温感応度は時刻別に整備されている。したがって、時刻ごとに、夏季気温感応度に年間冷房時間を、冬季気温感応度に年間暖房時間を乗じて24時間を積算することで、気温が年間を通して全空間で一様に1℃上昇した場合の冷房および暖房用電力消費の単位床面積あたり変動量が求まる。求められた変動量に地域全体の延床面積を乗じることにより、対象地域における年間電力消費量の変動総量を求めることが可能となる。本節では、その一例として大阪府を対象とする変動総量の推計を行った。

表2に大阪市および大阪府の建物用途別延床面積と用途比率を示す。延床面積データには4.2節で述べた大阪市と大阪府の町丁目別建物用途別延床面積データを用いた。高密度業務集中地区が多数存在する大阪市に比べて、大阪市を除く大阪府では住宅用途の延床面積比率が大きくなるのがわかる。大阪市の総延床面積が大阪府全体の総延床面積に占める割合は37%であった。以降では、「大阪市」、「大阪市を除く大阪府」を評価エリアとして設定し、それぞれで変動量に関する評価を行う。なお、図9で得られた住宅用途の気温感応度に関して、都心型(C供給区)の対象地域は大阪市内でも特に高密度住宅・業務混在地域であり、この

表2 大阪市および大阪府における建物用途別延床面積

	大阪市		大阪市を除く大阪府		大阪府全域	
	延床面積[m ²]	比率	延床面積[m ²]	比率	延床面積[m ²]	比率
住宅用途	88,499,512	63%	191,795,956	80%	280,295,469	74%
業務用途	52,223,377	37%	48,719,057	20%	100,942,434	26%
合計	140,722,889	100%	240,515,013	100%	381,237,903	100%

値を評価エリアに展開した場合、特に夏季日中の影響が過大評価される可能性が考えられる。そこで、「大阪市」を評価エリアとする場合、住宅用途に関しては郊外型(B供給区)の気温感応度を使用した場合についても評価し、両者の比較検討を行った。「大阪市を除く大阪府」については郊外型の気温感応度を用いて評価した。また、業務用途に関しては、全ての評価エリアで同じ気温感応度を用いて評価した。

気温が年間を通して全空間で一様に1℃上昇した場合の年間電力消費量の変動量に関して、住宅用途の推計結果を図11に、業務用途の推計結果を図12にそれぞれ示す。なお、変動量は今後ガスや灯油などの変動量と比較することを想定して、一次エネルギー換算値として表現した。結果より、住宅用途と業務用途のいずれに関しても、「大阪市」と「大阪市を除く大阪府」の両地域で、夏季の電力消費増加が冬季の減少を上回り、通年では電力消費量が増加することが示された。なお、年間電力消費量に対する影響が最も大きいのは、都心型の住宅用途であり、通年では2.5% (1.6 [PJ/℃year]) の増加となった。これに対して、郊外型の住宅用途における変動割合は1.2% (0.8 [PJ/℃year]) であった。「大阪市を除く大阪府」では郊外型の気温感応度を使用しているにも関わらず、都心型の「大阪市」と同等の変動量を示したが、これは住宅用途の延床面積が「大阪市」に比べて倍以上を占めていることによる。

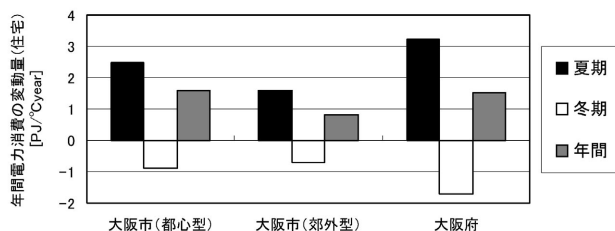


図11 通年気温が1℃上昇した場合の電力消費変動量 (住宅用途)

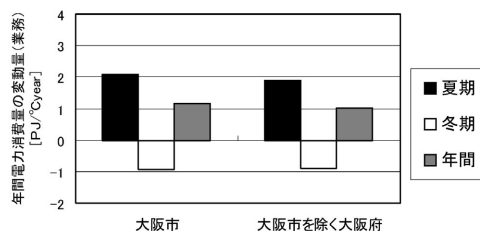


図12 通年気温が1℃上昇した場合の電力消費変動量 (業務用途)

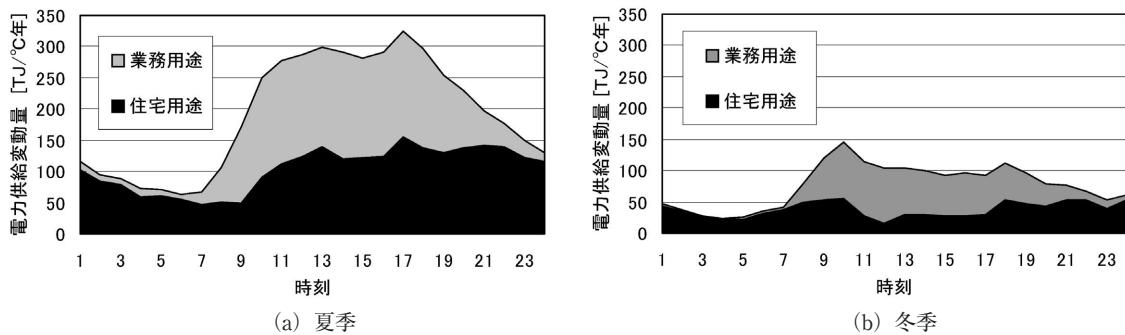


図13 通年気温が1℃上昇した場合の大阪市における電力消費の増減（時刻別）

業務用途に関しては、「大阪市」と「大阪市を除く大阪府」で気温感応度に違いはないが、延床面積が若干大きいことから「大阪市」の方がわずかに大きな影響を示した。「大阪市」における年間電力消費量に対する影響は通年で1.9% (1.2 [PJ/℃year]) の増加となった。

図9で得られた気温感応度は時刻別に整理されたものであり、気温影響による変動量の見積もりについても期間積算値のみならず、時刻別に評価を行うことが可能である。この特色を活かして、気温が年間を通して全空間で一様に1℃上昇した場合の電力消費量の変動量を時刻別に推計した結果を図13に示す。なお、図13の評価エリアは「大阪市」とし、住宅用途には都心型の気温感応度を用いて評価を行っている。結果として、夏季には1℃の上昇によって1時間当たり最大324TJ/yearの増加が見込まれ、日中には特に業務用途の影響が強い一方で、夜間には住宅用途の影響が強くなることが示された。冬季には1℃の上昇によって1時間当たり最大146TJ/yearの減少が見込まれることが示された。

6. まとめ

本論文では、都市域の昇温が地域の電力消費に及ぼす影響を検討することを目的に、大阪府内3地域における時日別電力供給実績データを基に、電力供給量に関する気温感応度の算出を行った。以下に得られた知見を整理する。

- 1) 電力供給量が感応を始める分岐外気温には住宅用途中心地区と業務用途中心地区で傾向に違いが見られた。
- 2) 時刻別気温感応度を求めた結果、業務用途中心地区では日中の業務時間帯のみに顕著な影響が見られる一方で、住宅用途中心地区では起床時間帯や夜間団らん時の気温感応度が顕著に高い値を示した。
- 3) 気温が1℃上昇した際の全体供給量に対する変動度を求めた結果、住宅用途の占める割合が増加すると変動度が上昇する傾向を示した。
- 4) 建物用途別に気温感応度を求めた結果、住宅用途では都心と郊外の供給区間で違いが見られた。
- 5) 建物用途別に年間冷暖房時間を推定した結果、冷房利

用時間が業務用途で顕著に長いこと、冷暖房を使用しない期間が住宅用途で顕著に長いことが示された。

6) 大阪府を対象として気温が年間を通して全空間で一様に1℃上昇した場合の冷暖房電力消費の変動量を求めた結果、住宅用途と業務用途のいずれに関しても、「大阪市」と「大阪市を除く大阪府」の両地域で、夏季の電力消費増加が冬季の減少を上回った。

本論文では電力消費を対象として気温影響に関する分析を行った。評価対象地域の総合的なエネルギー消費影響を定量化するためには、ガスや灯油などの他のエネルギー源に対する検討を行う必要が残されている。

注記 感応度計算に資する電力データとして、本論文では毎正時の供給データを使用している。しかしながら、感応度は（時間的な）離散データではなく連続データであることから、特に気温影響に関する期間積算値を計算するためには、可能な限り微小な時間間隔で分析を行い、結果を積分することが望ましいと考えられる。

参考文献

- 1) 環境省；ヒートアイランド対策大綱，(2004)。
- 2) 大阪府；大阪府ヒートアイランド対策推進計画，(2004)。
- 3) 鳴海大典，水野稔，下田吉之；大阪府域の都市ヒートアイランド現象が住民の意識・生活面に及ぼす影響，環境情報科学論文集，19 (2005)，13-18。
- 4) Yoshiyuki Shimoda, Daisuke Narumi and Minoru Mizuno ; Environmental Impacts of Urban Heat Island Phenomena - Cause effect chain and evaluation in Osaka City -, Journal of Life Cycle Assessment, Japan, 1-2, (2005), 144-148。
- 5) 鳴海大典，水野稔，下田吉之；大阪府域における昇温化影響の各種報告事例，シンポジウム「地球温暖化・適応策」，気候影響・利用研究会，(2005)，14-15。
- 6) 平野勇二郎；ヒートアイランド緩和策の気温低下効果とそのエネルギー消費量への影響，日本建築学会環境系論文集，591 (2005)，75-82。
- 7) 荒井良延，武田仁；都市温暖化のエネルギー・熱環境に及ぼす影響，日本建築学会環境工学委員会 熱環境運営委員会 第25回熱シンポジウム，(1992)，93-100。
- 8) 亀卦川幸浩，玄地裕，吉門洋，近藤裕昭；建築物空調エネルギー需要への影響を考慮した都市高温化対策評価手法の開発，エネルギー・資源，22-3，(2001)，55-60。
- 9) 環境省；平成13年度 ヒートアイランド現象の実態解析と対策のあり方について報告書，(2001)。