

## 都市冷房エネルギー需要への波及効果を考慮したヒートアイランド対策評価モデルの開発

Developing numerical models for evaluation of urban heat-island countermeasures from the viewpoint of the urban buildings' energy savings

亀卦川 幸浩<sup>1</sup>

Yukihiro Kikegawa

玄地 裕<sup>2</sup>

Yutaka Genchi

吉門 洋<sup>2</sup>

Hiroshi Yoshikado

近藤 裕昭<sup>2</sup>

Hiroaki Kondo

### ABSTRACT:

One of the detrimental effects caused by the urban warming phenomena is the increase of energy consumption due to the air conditioning of buildings in summer. In greater Tokyo, the temperature sensitivity of the peak electricity demand reaches up to 3%/°C in recent years, and about 1.6GW of new demand is required as the daily maximum temperature increases by 1.0 °C.

In order to simulate this increase of cooling energy demands and to evaluate urban warming countermeasures from the viewpoint of buildings' energy savings, a numerical simulation system was developed adopting a new one-dimensional urban canopy meteorological model coupled with a simple sub-model for the building energy analysis. Then, the system was applied to two contrastive urban districts in Tokyo. One is Ootemachi area, and the other Nerima area. The former consists of high-rise office buildings, and the latter of low residences. Preliminary verification of the simulation system using observational data on the outdoor and indoor thermal conditions showed good results. Simulations also indicated that the cutoff of the anthropogenic heat from air conditioning facilities could be produce a remarkable cooling energy saving up to 6% with the outdoor air temperature decrease by more than 1°C in Ootemachi area, but not in Nerima area.

KEYWORDS ; urban climate model, heat island countermeasures, energy saving, urban canopy

### 1 はじめに

近年、我が国大都市域においては、局地的温暖化現象が進行している。その速度は、東京の場合、夏季最高気温でみて 2°C/100 年<sup>1)</sup>、冬季日最低気温でみて 4°C/100 年<sup>2)</sup>に達する。このような都市の急激な高温化は、夏季、冷房エネルギー消費と共に建築物からの人工廃熱を増大させ、更なる気温上昇とエネルギー需要の増大を招く危険性を有する。しかし、この点について定量的検討はほとんど行われてきていない。気温 1°C の上昇につき約 160 万 kW ものピーク電力需要増大に見舞われる夏季首都圏の現況<sup>3)</sup>に鑑みれば、エネルギー問題 (CO<sub>2</sub> 排出削減対策) としての観点からの都市高温化対策の検討が重要である事は明白であろう。

以上の背景のもと、本研究は、都市高温化対策がもたらす冷暖房エネルギー需要への波及効果までを考慮した総合的なヒートアイランド対策評価手法の確立へ向けたものである。その将来的な適用対象としては、アジア巨大都市群を視野に入れている。この目標へ向け、著者らはまず夏季を対象とし、都市外気条件と建築物冷房エネルギー需要間の動的相互作用過程を表現可能な数値モデルの開発を進めて来た<sup>4)</sup>。本報では、東京 23 区域において対照的街区構造を有する都心業務地区と郊外低層住宅域の 2 街区に対し同数値モデルを適用し、各種実測データとの比較を通じその検証を行った。その結果について報告する。

<sup>1</sup> 株式会社富士総合研究所 Fuji Research Institute Corporation

<sup>2</sup> 通産省工業技術院資源環境技術総合研究所 National Institute for Resources and Environment

## 2 夏季都市高温化対策評価モデル

### 2. 1 モデルの全体構成

開発したモデルの構成を図1に示す。外気条件と建物空調エネルギー需要間の動的関係を解析する為には、ビルとビルの間の空間、即ち、都市キャノピー内の気象予測が必要となる。従来、都市高温化現象の数値予測にはメソスケール気象モデル（以降、MMと略す）がよく用いられてきた。しかし、同モデルは、空間スケールでみて数100km程度に達する海陸風等の局地風規模の大気現象を主な表現対象としており、その水平分解能は通常数km以上に達する為、ビル規模の地表面凹凸の効果を陽に考慮する事ができない。MM上で表現されるのは、厳密には都市の建造物上空（キャノピーよりも上）の空間に過ぎない。そこで、本研究ではMMに代わり、著者らが開発した一次元都市キャノピーモデル<sup>5)</sup>（以降、CMと略す）を採用した。また、上空一般風や海陸風といったMMが対象とする広域現象についても、その街区気象場への影響を考慮すべく、近藤<sup>6)</sup>によるMM（K-MM）を採用し、そのCMとの結合を試みた。更に、CMが算出する街区気象条件に対するビル側での熱的応答を表現すべく、新たにビルエネルギー・廃熱算定モデル<sup>7)</sup>（BEM）を作成した。

以上のK-MM、CM、BEMの統合により夏季都市高温化対策評価モデルを構築した。その計算フローの概略を図2に示す。CM大気の初期条件と上端境界条件は、K-MMの計算結果より与えた。この際、上端境界は、時間変化を伴う大気混合層高度を設定した。その算出はKimura<sup>8)</sup>によった。以上の条件下、CMにより算出された外気条件に基づき、BEMはビル側の冷房熱負荷（ $Q_c$ ）を動的に算出し、冷房機器のエネルギー効率（成績係数、以降はCOPと称する）を考慮し、その熱負荷を処理する為に必要となるエネルギー消費量（ $E_c$ ）を予測する。そして、 $Q_c$ と $E_c$ の和である空調廃熱をビル上での廃熱源高度より大気に対し出力する。この廃熱をCM側の気温計算過程に加熱項としてフィードバックする非定常の計算フローを構築し、CMとBEMを結合した（以降、この結合モデルをCM-BEMと称す）。

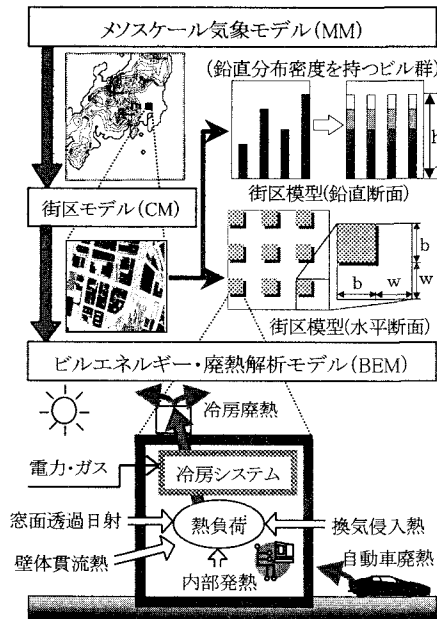


図1 夏季都市高温化対策評価モデルの構成

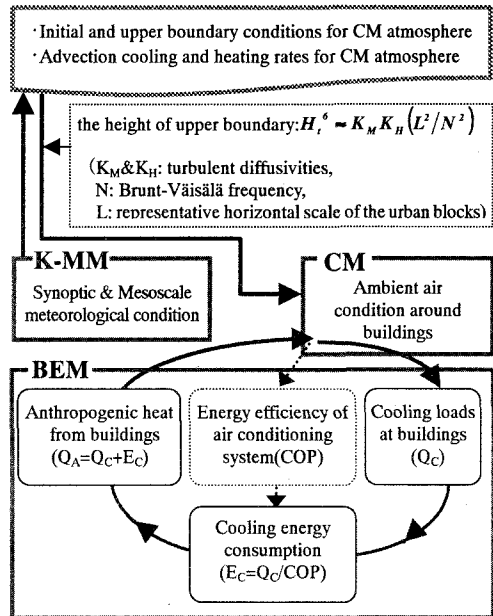


図2 モデル計算フロー

## 2. 2 サブモデルの概要

CM は、都市キャノピー内の気温、湿度、風速の時間変動を、建物による力学抵抗や人工廃熱源の分布等を考慮し計算可能な鉛直一次元モデルである。乱流過程については大気安定度を考慮した Gambo<sup>9)</sup> の拡散係数モデルを採用、乱流スケール長については植生キャノピー観測に基づく Watanabe and Kondo<sup>10)</sup> のモデルを用い、ビルによる日陰・短波反射等の放射過程も幾何学的に考慮している。街区内の平均ビル幅、平均道路幅に基づき、水平方向には同じ面積の正方形底面を有するビルの格子状配列、鉛直方向には域内のビル高度分布に基づく鉛直分布密度を有するビル群を想定する(図1)。また、K-MM は準静力学平衡を仮定したブジネスク近似の3次元局地気象モデルであり、計算領域は関東、中部地方の全域を含む(図1)。今回の計算における水平メッシュ間隔は10kmである。この他、CM と K-MM の詳細については参考文献<sup>5)6)</sup>に譲る。

BEM は、都市キャノピー大気~空調建築物間における熱交換過程の簡易表現を目的とした BOX 型熱収支モデルである。CM 上の模型街区(図1)を構成する各建物は、BEM 上において1つの BOX として扱われる。BOX (1建物) 内の温度・湿度等については空間平均値を予測対象とする。BEM は、非定常計算により建物に発生する冷房熱負荷を顕熱分と潜熱分に分離して算出する。1建物 (BOX) あたりの冷房エネルギー消費  $E_c(W)$  と、冷房廃熱  $Q_A(W)$  の計算には、次式が用いられている。

$$E_c = \frac{H_{out} + E_{out}}{COP} \quad \left( \because COP = \frac{H_{out} + E_{out}}{E_c} \right), \quad Q_A = E_c + (H_{out} + E_{out}) = \frac{COP + 1}{COP} (H_{out} + E_{out})$$

式中、 $H_{out}(W)$  と  $E_{out}(W)$  は冷房システムによる顕熱負荷と潜熱負荷の処理量を指す。 $Q_A$  は、熱源機器が空冷型か水冷型かを考慮し、顕熱分 ( $Q_{AS}$ ) と潜熱分 ( $Q_{AL}$ ) に分けて算出される。また、CM ヘフィードバックする人工廃熱量については、この建物廃熱 ( $Q_A$ ) に加え、自動車廃熱を合わせて考慮した。その設定は文献<sup>11)</sup>によった。この他、BEM の詳細に付いては Kikegawa *et al.*<sup>7)</sup>を参照されたい。

## 3 モデル検証

### 3. 1 計算領域と実測データ

東京都心の代表的業務街区として大手町地区を選択し、前述したモデルによる数値実験を実施した。計算領域は図3に示した500m四方領域である。モデルの検証には、同領域中央に立地する25階建てオフィスビル(以降、Oビルと称す)にて1998年8月に取得した実測データを用いた。ここでいう実測とは、Oビル屋上(高度約100m)での連続気象観測、およびそれと同期したビル内空調実態に関わる毎時データ(フロア別温度・湿度と冷房用冷水循環量・利用温度差)の収集である。冷水データからはOビル全体での毎時の冷房熱負荷処理量の推定が可能であった。また、大手町地区と対照的な街区構造を有する郊外低層住宅街として、練馬アメダス観測点周辺の住宅街区を合わせて計算領域とした(図4)。



図3 計算領域と実測地点(大手町地区)



図4 計算領域と実測地点(練馬地区)

3. 2 計算条件

両計算領域について、CM 上での街区形状は、東京都土地利用現況調査<sup>12)</sup>による GIS データに基づき設定した。同データより大手町街区について、平均道路幅 (w) =23m、平均ビル幅 (b) =47mの水平街区形状と、平均高度 (h) =45mとなるビルの鉛直分布密度を導出し、街区形状を定義した。一方、練馬街区については、w=9.2m、b=8.3m、h=10.5m を得た。建物外壁構造に関しては、両街区における支配的建物種 (GIS データに基づき判定) を考慮し、大手町について事務所建物、練馬については耐火造集合住宅の設定とした。具体的には両街区建物とも総厚 22cm のコンクリート外壁を 16 層等分割にて設定、大手町建物については、屋根・側壁ともその室内側に 5cm の断熱材を挿入し内断熱壁とした。一方、練馬建物に関しては、断熱材の厚さを大手町の半分とし、屋根について外断熱、側壁について内断熱とした。地表面被覆については、航空写真判読により緑被率を設定 (大手町: 10%、練馬: 70%)、他の面はコンクリート被覆であるとした。街区構造物に関するその他の設定を表 1 に示す。

BEM 上でのビル側空調条件の設定を表 2 に示す。各設定値は参考文献<sup>13)14)</sup>によった。冷房熱源機器のうち、空冷型 (電動ヒートポンプを想定) については、文献中<sup>15) 16)</sup>の COP 推定式を用い、COP の部分負荷率と外気温への依存性を考慮した。事務所用の他熱源については、都市ガス駆動・冷却塔廃熱型の吸収式冷温水発生機を想定、その COP は 1.2 に固定した。また、冷却塔廃熱の全量を潜熱、空冷室外機廃熱の全量を顕熱とした。この他、在室人員密度等、時間変動を伴うパラメータの設定を図 5 に示す。

両街区での CM 大気初期条件、上端境界条件を導出すべく、まず K-MM による数値実験を行った。人工廃熱は、関東地方を対象とした 10km メッシュ平均の特別概算値<sup>11)</sup>を用いた。対象期間は、1998 年 8 月 2 日より 5 日までとした。同期間中、関東地方は概ね太平洋高気圧の支配下にあり、最高気温は連日 32℃を超えるほぼ典型的真夏日の条件であった。この K-MM 計算結果の下、CM-BEM により上述 4 日間の計算を行った。

表1 計算条件 (地物の熱・放射物性値)

| 部位           | 表面アルベド     | 熱容量 (Jm <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup> ) | 熱伝導率 (Jm <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ) | 材質               |
|--------------|------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------|
| 地表 (植生面)     | 0.2 (0.15) | 1.93×10 <sup>6</sup>                    | 1.39                                                     | コンクリート           |
| 地中層          | -          | 1.74×10 <sup>6</sup>                    | 1.00                                                     | 土壌               |
| 屋上・断熱層       | -          | 0.06×10 <sup>6</sup>                    | 0.04                                                     | ポリイソシアヌレート発泡板    |
| 屋上・非断熱層      | 0.2        | 1.93×10 <sup>6</sup>                    | 1.39                                                     | コンクリート           |
| 側壁・断熱層       | -          | 0.06×10 <sup>6</sup>                    | 0.04                                                     | ポリイソシアヌレート発泡板    |
| 側壁・非断熱層 (窓面) | 0.2 (0.4)  | 1.93×10 <sup>6</sup>                    | 1.39                                                     | コンクリート (窓面: 30%) |

表2 計算条件 (ビル側空調条件)

| パラメータ                                                                  | 設定値         |           |
|------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------|
|                                                                        | 大手町 (事務所設定) | 練馬 (住宅設定) |
| 冷房設定温度 (℃)                                                             | 26.0        | 27.0      |
| 冷房設定湿度 (%)                                                             | 50.0        | 60.0      |
| 熱源構成 (空冷熱源比率) (%)                                                      | 30          | 100       |
| 空調面積比率 (%)                                                             | 60          | 40        |
| 単位床面積あたり外気導入量 (m <sup>3</sup> ・m <sup>-2</sup> ・h <sup>-1</sup> )      | 5.0         | 4.0       |
| 全熱交換器熱効率 (%)                                                           | 60 (夜間停止)   | 0 (機器無し)  |
| 一人あたり占有床面積 (m <sup>2</sup> /人)                                         | 5.0         | 20.0      |
| 人体発熱量 (顕熱) (W/人)                                                       | 54.7        |           |
| 人体発熱量 (潜熱) (W/人)                                                       | 64.0        |           |
| 窓面日射透過率 (グライント 想定)                                                     | 0.3         | 0.5       |
| 単位建物容積あたり空気熱容量* (×10 <sup>4</sup> J・m <sup>-3</sup> ・K <sup>-1</sup> ) | 2.0         | 1.5       |

※家具・内壁等の熱容量を含む

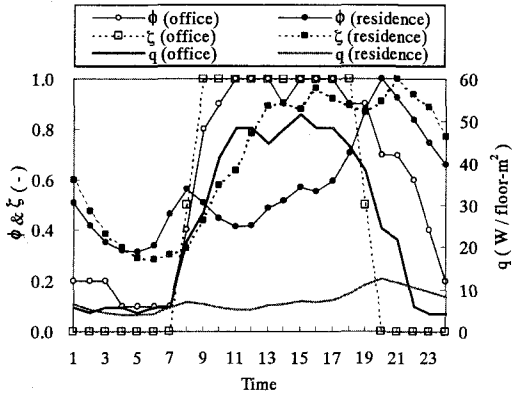


図5 各種パラメータの時間変化  
( $\phi$ : 在室人員密度、 $\xi$ : 空調運転スケジュール、 $q$ : 機器発熱)  
( $\phi$ と $\xi$ はピーク値を 1.0 として表示)

### 3. 3 計算結果と実測データの比較

数値実験におけるケース設定を表3に示す。各ケース間の相違は建物冷房廃熱源の配置にある。CASE-O1、N1 は基準ケースであり、両街区の実態に近いと考えられる廃熱源配置を想定した。

まず、気温の実測とモデルによる計算結果との比較について述べる。図6は、大手町街区での比較であり、気温の参照高度は0ビル観測高度と等しい地上100mである。K-MM 単独での結果は実測と比べ、気温の日振幅をやや過大評価する傾向にあり、夜間における実測との乖離が著しい。この結果は、ビル街区を一樣平坦なコンクリート面と見なす K-MM 上で、街区の熱容量が過小に評価された事、加えて、ビル長波輻射によるキャノピー内の夜間放射冷却の抑制過程が考慮されなかった事、に依ると考えられる。これに対し、これらキャノピーの効果を考慮した CM-BEM は夜間の気温変化をほぼ再現出来ている (CASE-O1)。8月3日と4日午後における急激な実測気温の降下への追従が不十分であるが、この気温降下はモデル上での考慮が困難な広域気象条件の急変 (一時的な梅雨前線の再南下に伴う冷涼な北寄り地上風の卓越) に伴うものであった。この点に付いては、MM に与える初期・境界条件の精度の問題が主要因として考えられた。図7は、練馬街区におけるアメダス地上気温とモデル計算結果 (CASE-N1) との比較である。大手町街区の場合と同様、CM-BEM は、地上気温に関しても、K-MM 単独の場合と比べより現実的な気温日変化を再現可能であった。

図8は、大手町街区における建物内平均室温、冷房熱負荷処理量の実測とそれらの CM-BEM による予測計算結果 (CASE-O1) との比較である。ここでの実測とは O ビルにおける値を指す。CM-BEM による結果は、各実測値と概ね良好な一致を示した。冷房熱負荷処理量について見られた日中  $10\text{W/m}^2$  (20%) 程度の過小評価は、総熱負荷の過半を占める機器発熱の設定 (図5) に起因するものと考えられた。なお、練馬街区については、建物側での実測が得られておらず検証には至っていない。この点に付いては今後の課題としたい。

表3 CM-BEM シミュレーションのケース設定

| 対象街区 | ケース名 | 計算条件 (ビル冷房廃熱源の配置) |
|------|------|-------------------|
| 大手町  | O1   | 廃熱源を各ビル屋上に設定      |
|      | O2   | 廃熱源を各ビル地上 3m 部に設定 |
|      | O3*  | 廃熱は外気へ放出されないものと仮定 |
| 練馬   | N1   | 廃熱源をビル各階に設定       |
|      | N2   | 廃熱源を各ビル屋上に設定      |
|      | N3*  | 廃熱は外気へ放出されないものと仮定 |

※下水熱源ヒートポンプ等、大気以外を熱源利用する冷房システムの導入を想定したケース。

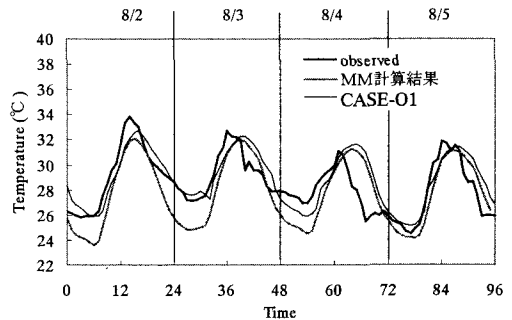


図6 気温 (地上100m) の実測と計算結果の比較 (1998年8月2日~5日、大手町街区)

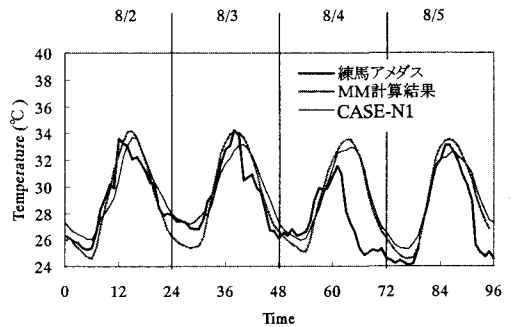


図7 アメダス地上気温と計算結果の比較 (1998年8月2日~5日、練馬街区)

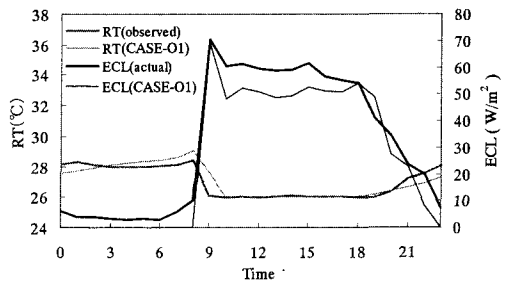


図8 室温 (RT)、単位床面積あたり冷房負荷処理量 (ECL) の実測と計算結果の比較 (大手町街区)

## 4 考察

### 4. 1 広域電力需要気温感応度との比較

図9は、東京電力23区支店における98年6月～8月平日の日最大電力需要と気象庁アメダスによる日最高地上気温との比較である。図中には、23区都心域と郊外域の2支店の結果が示されている。ここで、都心域支店とは大手町を含む都心業務エリア全域を管轄する支店であり、需要家の60%以上を事務所ビルが占める。一方、郊外域支店においては、練馬街区と同様、需要家建物の過半を住宅が占める。図中、全冷房システムがほぼ稼働していたと見なせる日最高気温28℃以上の日を対象に、回帰分析にてまず日最大電力需要の気温感応度を算出した。結果として、都心域において53.75MW/℃（相関係数=0.85）、郊外域においては、84.75 MW/℃（相関係数=0.86）を得た。同値は、単位昇温に伴う冷房用途電力のピーク時需要増分量（冷房電力需要気温感応度）と見なせた。次に、この増分量をピーク時の総冷房電力需要と対比させた。ここで、各日のピーク冷房需要は、22℃未満日の平均需要を冷房用途外のベース需要とし、各日の総電力需要より差し引く方法にて推定した。そして、上述の冷房電力需要気温感応度のこれら最大冷房需要電力に対する比をとり、31℃以上日の平均値として、都心域にて5.66%/℃（1℃の昇温に付きピーク時冷房電力需要が5.66%増大）、郊外域で8.13%/℃を得た。ここで、31℃以上日を対象としたのは、CM-BEM数値実験における気温レンジ（図6、7）との整合性を考慮したためである。なお、両支店域で感応度が異なるのは、支配的建築物（事務所ビルと住宅）の断熱性能の差を反映した結果であると推察された。

一方、図10はCM-BEMによる大手町、練馬、両街区での全ケース（O1～O3、N1～N3）における日最高地上気温と日最大冷房電力需要との比較である。両者は明瞭な線形関係にあり、気温感応度として大手町街区にて6.6%/℃、練馬街区にて9.4%/℃を得た。これらの値は、上述の23区都心域と郊外域での広域気温感応度（5.66%/℃、8.13%/℃）とそれぞれほぼ整合しており、モデルの妥当性を示唆するものであった。

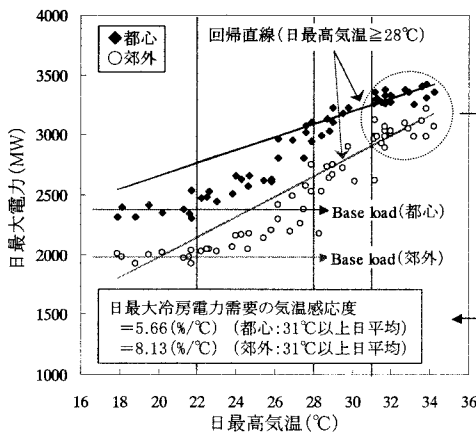


図9 日最高気温.vs.日最大電力需要  
(東京電力23区都心供給エリア&郊外エリア)  
(98年6～8月 平日)

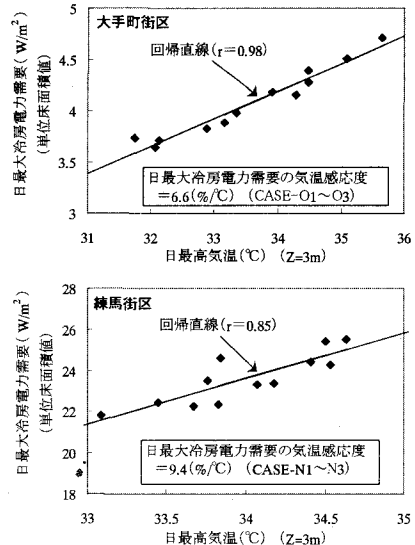


図10日最高気温.vs.日最大冷房電力需要  
(1998年8月2～5日のシミュレーション結果)

#### 4. 2 廃熱分布が冷房エネルギー需要に及ぼす影響

CM-BEMにより算出された冷房熱源機器駆動用の電力、都市ガス需要について、その日積算値と日平均地上気温とを街区別にケース間で比較したのが表4である。比較はCASE-O1、N1を基準とした。大手町街区において、ビル廃熱源の屋上から地上へのシフト(O1→O2)は、日平均地上気温を0.62℃押し上げる一方、外気への冷房廃熱の全量削減(O1→O3)は、1.28℃気温を降下させている。これに伴い、日積算の冷房エネルギー需要は、

表4 冷房エネルギー需要と日平均気温の比較

| 対象街区 | ケース名 | 冷房エネルギー需要 ( $\text{Jm}^{-2}\text{day}^{-1}$ )<br>(単位床面積あたり街区平均) |        |         |           | 日平均気温(z=3m) |           |
|------|------|-----------------------------------------------------------------|--------|---------|-----------|-------------|-----------|
|      |      | 都市ガス                                                            | 電力     | 計       | 増減率(%)    | (℃)         | 気温差(℃)    |
| 大手町  | O1   | 1358.23                                                         | 174.86 | 1533.09 | (control) | 30.37       | (control) |
|      | O2   | 1386.88                                                         | 189.02 | 1575.90 | 2.79      | 30.99       | 0.62      |
|      | O3   | 1284.27                                                         | 159.71 | 1443.98 | -5.81     | 29.08       | -1.28     |
| 練馬   | N1   | 0.00                                                            | 942.34 | 942.34  | (control) | 29.49       | (control) |
|      | N2   | 0.00                                                            | 937.80 | 937.80  | -0.48     | 29.44       | -0.06     |
|      | N3   | 0.00                                                            | 918.08 | 918.08  | -2.57     | 28.92       | -0.57     |

2.79%の増大、5.81%の減少となった。後者の省エネは、1.28℃の気温降下に伴い、冷房熱負荷が換気熱負荷を中心に約6%削減された事に依った。大手町街区での廃熱源分布の実態はCASE-O1(屋上廃熱)に近い。従って以上の結果は、大手町のような中高層業務街区での冷房廃熱削減による夏季気温緩和と冷房エネルギー需要削減の1ポテンシャルを示す結果と考えられる。この冷房廃熱削減の一具体策として、著者らは土壤熱源型地域冷暖房システムの導入を提案している<sup>17)</sup>。

一方、練馬街区についてみると、廃熱源の各階から屋上への配置変更(N1→N2)は、外気温に対しても冷房エネルギー需要に対してもさほど影響を及ぼしていない。これに対し、冷房廃熱の全量削減(N1→N3)による効果は、外気温に対し-0.57℃であり、これに伴う冷房エネルギー需要削減効果は2.57%に止まった。大手町街区と比較し廃熱削減による効果が小さいのは、廃熱の総量自体が大手町と比べ小さい事、また、キャノピー大気の支配的加熱源が人工廃熱ではなく建築物躯体表面からの顕熱輸送である事(CM上キャノピー大気の熱収支解析を通じ確認)、に拠る。従って、練馬街区のような低層住宅街の場合、屋根面の高アルベド化等の建物表面に関わる対策がより大きな効果をもたらす可能性がある。

#### 5. まとめ

都市の高温化抑制によりもたらされ得る省エネ・CO<sub>2</sub>排出削減効果の定量的予測・評価へ向け、夏季都市キャノピー外気条件と建物冷房エネルギー需要間の動的相互作用過程を表現可能な数値モデルを開発した。

東京23区域において対照的街区構造を有する大手町(高層業務街)、練馬(低層住宅街)の両街区に対し同数値モデルを適用し、各種実測データとの比較を通じその検証を試みた。その結果、モデルは、両街区外気温と建築物内熱環境(室温・冷房熱負荷量)の夏季時間変化を概ね再現可能である事を確認した。モデルにより算出されたピーク時冷房電力需要の街区内気温感応度は、東京電力の夏季需要データより推計された広域実態感応度とほぼ整合した。冷房廃熱源の街区内配置が、外気温と建物冷房エネルギー需要とに与える影響を調べた結果、シミュレーション上、大手町では外気への全廃熱源を無くす事で、地上気温は1℃強降下し、冷房エネルギー消費は約6%削減される事が示された。これに対し、練馬における廃熱削減効果は、外気温について-0.57℃、冷房エネルギー消費にして2.57%の削減に止まった。これは、練馬地区キャノピー大気の支配的加熱源が人工廃熱ではなく建築物面からの顕熱輸送である事に依るものと推察された。

以上、開発したモデルは、夏季の業務・住宅街区の双方に対し適用可能である事が確認できた。今後は、冬季へのモデル適用について検討を進め、様々な都市高温化対策について、年間を通じた都市スケールでの省エネルギー性評価に適用可能なモデルへと発展させていく予定である。

## 謝辞

本研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の平成11年度新規産業創造型提案公募事業の一環として行われた。本研究に対し、電力需要実績に関する貴重なデータをご提供頂いた東京電力殿に対し、ここに感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 藤部文昭；関東内陸域における猛暑日数増加の実態と都市化の影響についての検討，天気，Vol.45，No.8(1998)，35-45
- 2) 藤部文昭；都市気象官署における気温極値の経年変化，天気，Vol.44，No.2(1997)，19-30
- 3) 酒井均，中村桂一；電力会社における気象情報の活用，空気調和・衛生工学，Vol.73，No.7(1999)，39-45
- 4) 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（2000年3月投稿、審査中）
- 5) 近藤裕昭，劉発華；1次元都市キャノピーモデルによる都市の熱環境に関する研究，大気環境学会誌，Vol.33，No.3(1998)，179-192
- 6) Kondo,H.; The Thermally Induced Local Wind and Surface Inversion over the Kanto Plain on Calm Winter Nights, J. Appl. Meteor. Vol.34, No.6(1995), 1439-1448
- 7) Kikegawa, Y. et al.; A study on the dynamical interaction between thermal environment and building energy consumption in the urban canopy, Proc. International Conference on Urban Climatology in Sydney (1999)
- 8) Kimura, R.; Dynamics of Steady Convections Over Heat and Cool Islands, J. Meteor. Soc. of Japan, Vol.53, No.6(1975), 440-457.
- 9) Gambo, K.; Notes on the turbulence closure model for atmospheric boundary layers, *ibid.*, Vol.56, No.5(1978), 466-480
- 10) Watanabe, T. and J. Kondo; The influence of canopy structure and density upon the mixing length within and above vegetation, *ibid.*, Vol.68, No.2(1990), 227-235
- 11) 資源環境技術総合研究所；大都市における夏季高温化対策技術の評価手法の開発，環境影響予測部研究資料 97-1(1997)
- 12) 東京都都市計画局編；東京の土地利用(1998)
- 13) 井上宇市編；空気調和ハンドブック(1996)，丸善
- 14) 宿谷昌則著；数値計算で学ぶ光と熱の建築環境学(1993)，丸善
- 15) 足永靖信，山本亨，田中稔；事務所建物の空調システムの排熱特性に関する研究，空気調和・衛生工学会論文集，No.75(1999)，89-97
- 16) IBEC；住宅の熱環境負荷量の算定業務報告書（1999）
- 17) 玄地裕，近藤裕昭，亀卦川幸浩，小宮山宏；土壌熱源型ヒートポンプ式地域冷暖房システムの西新宿地区におけるフィジビリティと夏季廃熱削減効果，エネルギー・資源，Vol.20，No.6(1999)，60-67