

研究論文

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

Development of a Numerical Simulation System toward Comprehensive Assessments of Urban Warming Countermeasures Including their Impacts upon the Urban Buildings' Energy Demands

亀卦川 幸浩*・玄地 裕**・吉門 洋***・近藤 裕昭****
Yukihiro Kikegawa Yutaka Genchi Hiroshi Yoshikado Hiroaki Kondo

(原稿受付日2000年3月24日, 受理日2000年10月6日)

Abstract

One of the detrimental effects caused by the urban warming phenomena is the increase of energy consumption due to the artificial 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 1.5GW of new demand is required as the daily maximum temperature increases by 1.0 °C. This huge demand of summer electricity is considered to be one of the common characteristics in big cities of Asian countries.

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 Ootemachi area, a central business district in Tokyo. 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 cooling energy saving up to 6% with the outdoor air temperature decrease by more than 1°C in the summer urban canopy over Ootemachi area.

1. はじめに

1997年京都にて開催されたCOP3以降, 地球温暖化抑止に向けたCO₂の排出削減は, 先進国にとり数値目標を伴う具体的課題となった。しかし, 我が国では民生, 運輸の両部門において, CO₂排出と密接な関係を有するエネルギー消費が今後とも増大を続けるものと予想されている¹⁾。この両部門でのエネルギー需要が偏在する大都市域での省エネは, 今後のCO₂削減に向け, 最重要課題の一つとして位置付けられる。

一方, 我が国の大都市域においては, 近年, 局地的な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²⁾, 冬季の日最低気温でみて4°C/100年³⁾に達する。このような都市の高温化は, 夏季

においては, 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, この問題について, 定量的検討はほとんど実施されてきていない。気温1°Cの上昇につき約150万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⁴⁾に鑑みれば, エネルギー問題としての観点からの都市高温化対策の検討が重要となる事は明白である。

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を考慮した総合的な都市熱環境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, 本研究ではまず夏季について, 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行った。

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。外気条件と建築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

* 株富士総合研究所環境資源エネルギー研究部主事研究員

〒101-8443 東京都千代田区神田錦町2-3竹橋スクエア

** 産業技術総合研究所 ライフサイクルアセスメント
研究センター研究員

*** 〃 化学物質リスク管理研究センター
大気圏環境評価チームリーダー

**** 〃 環境管理研究部門
大気環境評価研究グループ長

〒305-8569 茨城県つくば市小野川16-1

第16回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス
(2000年1月27日~28日)にて発表

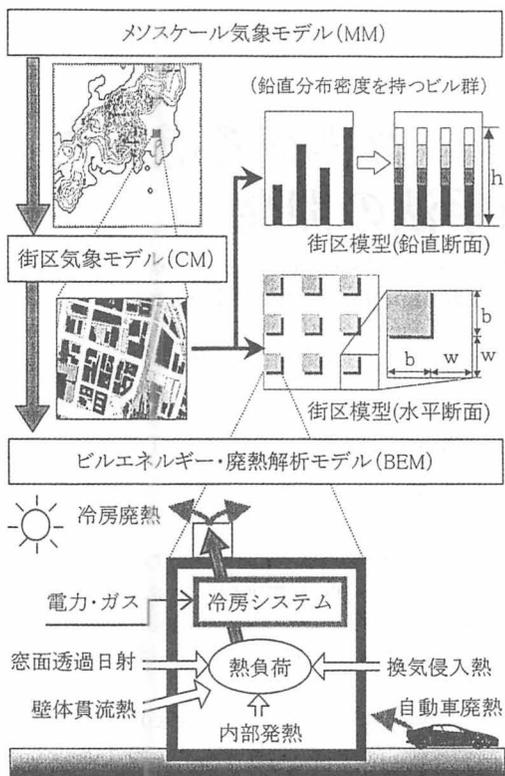


図1 夏季都市高温化対策評価モデルの構成

とビルとの間の空間、即ち、都市キャノピー内の気象条件の予測が必要となる。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がよく用いられてきた。しかし、水平メッシュサイズが通常2 km以上に達する同モデル上では、ビル規模の地表面凹凸の効果を陽に考慮する事はできない。同モデルで表現されるのは、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、本研究ではメソスケールモデルに代わり、著者らが開発した一次元都市キャノピーモデル⁵⁾（以降、CMと略す）を街区スケールの気象予測モデルとして採用した。また、上空一般風や海陸風といった広域現象が街区気象に及ぼす影響については、近藤⁶⁾によるメソスケール気象モデル（MM）とCMとの結合によりその表現を試みた。更に、CMが算出する街区気象条件に対するビル側での冷房エネルギー消費と人工廃熱の応答を表現すべく、新たにビルエネルギー・廃熱算定モデル⁷⁾（BEM）を作成した。

以上のMM、CM、BEMより構成される夏季都市高温化対策評価モデルの計算フローを図2に示す。CMの大気初期条件と上端境界条件は、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Kimura⁸⁾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

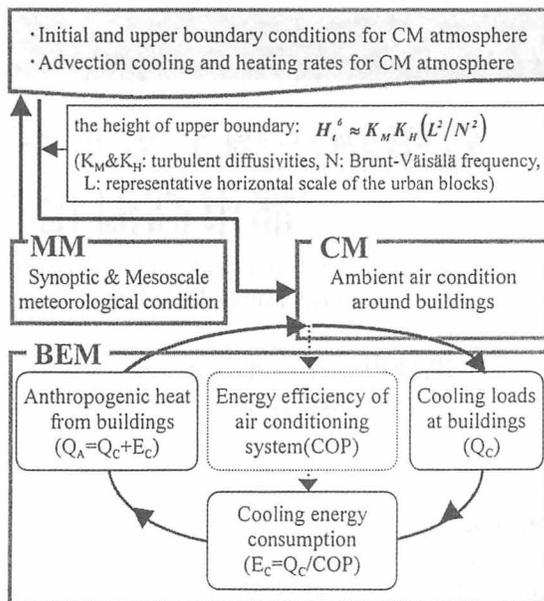


図2 モデル計算フロー

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。

2.2 サブモデルの詳細

CMは、都市キャノピーにおける気温、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次元のモデルである。ビルによる日陰・短波反射等の複雑な放射過程を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、MMは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。その他、CMとMMの詳細については参考文献^{5),6)}に譲る。以下には、今回新たに開発したBEMの詳細とそのCMとの結合方法を述べる。

BEMは冷房熱負荷を顕熱分と潜熱分に分離して算出する。顕熱負荷 H_{in} (W)と潜熱負荷 E_{in} (W)の計算は、それぞれ、以下の(1)と(2)式によった。

$$H_{in} = \sum_i A_i h_{ci} (T_{wi} - T_r) + \sum_j A_j \eta_j S_j + (1-\beta) C_p \rho V_a (T_a - T_r) + A_f q_E + A_f P \phi_p q_{hs} \dots (1)$$

$$E_{in} = (1-\beta) \rho V_a (q_{va} - q_{vr}) + A_f P \phi_p q_{hl} \dots (2)$$

ここで、 i と j は、ビル屋上および側壁の室内側表面と窓面上の各面要素を指し、 A_i (m^2)、 A_j (m^2)はそれらの面積を表す。(1)式の右辺各項は顕熱負荷の各成分に対応し、第1項は壁体貫流熱、第2項は窓面透過日射、第3項は換気顕熱負荷を指す。第4項、第5項は室内の照明・機器と在室人員からの内部顕熱発熱をそれぞれ表す。潜熱負荷

成分としては、換気に伴う建物内への湿気流入（(2)式右辺第1項）と人体からの水分蒸発（同式右辺第2項）を考慮した。なお、式中、 h_{ci} ：対流熱伝達率 ($Wm^{-2}K^{-1}$)、 T_{wi} ：室内側壁面温度 (K)、 T_r ：室温 (K)、 T_a ：外気温 (K)、 η_j ：窓面日射透過率 (-)、 S_j ：窓面日射入射量 (Wm^{-2})、 β ：全熱交換器熱効率 (-)、 C_p ：空気比熱 ($Jkg^{-1}K^{-1}$)、 ρ ：空気密度 (kgm^{-3})、 V_a ：外気導入量 (m^3s^{-1})、 A_f ：空調床面積 (m^2)、 q_E ：機器発熱 (Wm^{-2})、 P ：ピーク時人員密度 ($人m^{-2}$)、 ϕ_P ：人員密度時間変動係数 (-)、 q_{hs} ：人体顕熱発熱 ($W人^{-1}$)、 q_{hl} ：人体潜熱発熱 ($W人^{-1}$)、 ι ：蒸発潜熱 (Jkg^{-1})、 q_{va} ：外気比湿 ($kgkg^{-1}$)、 q_{vr} ：室内比湿 ($kgkg^{-1}$)、である。 T_{wi} の算定は、壁体室内側表面での熱収支式と壁体内一次元熱伝導方程式との連立計算による。

また、(1)、(2)式中の未知変数 T_r （室温）と q_{vr} （室内比湿）の計算は、次の(3)、(4)式による。

$$Q_B \frac{dT_r}{dt} = H_{in} - H_{out}, \quad H_{out} = \phi_p H_{in} \dots\dots\dots(3)$$

$$\rho V_B \frac{dq_{vr}}{dt} = E_{in} - E_{out}, \quad E_{out} = \phi_p E_{in} \dots\dots\dots(4)$$

Q_B (JK^{-1})、 V_B (m^3)は建物内空気の総熱容量と総容積を指す。 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表す。以上の2式は、各時刻に発生した冷房熱負荷とその処理量の差分量 (=未処理負荷)に比例した室温 (T_r)と室内比湿 (q_{vr})の変動過程を表現したものである ($\phi_p=1$ の連続空調時には T_r 、 q_{vr} とも空調設定値に固定制御されると仮定)。また、顕熱未処理負荷を室温変動へ換算する際、ビル内の家具・内壁等での蓄熱の影響を加味すべく、 Q_B にそれら構造物の熱容量を加算し見かけ上の総熱容量と見なす方法⁹⁾をとった。なお、 T_r と q_{vr} はビル内全空調スペースを通じ一様であると仮定した。

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、次の(5)、(6)式を用いた。

$$E_C = \frac{H_{out} + E_{out}}{COP}, \quad \left(\because COP \equiv \frac{H_{out} + E_{out}}{E_C} \right) \dots\dots\dots(5)$$

$$Q_A = E_C + (H_{out} + E_{out}) = \frac{COP+1}{COP} (H_{out} + E_{out}) \dots\dots(6)$$

ここでのCOPは熱源単体での値であり、 E_C は熱源機器動力としてのエネルギー消費を指す。冷却水ポンプ等の空調補機動力は算定の対象外とした。 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})に分けて算出した。

(7)式は、CMの気温予測式である。 θ (K)と K_h (m^2s^{-1})は、大気温位と顕熱乱流拡散係数を指し、 m (-)はキャノピー各高度での大気の有効体積割合を表す。



図3 計算領域と実測地点

$$C_p \rho \frac{\partial \theta}{\partial t} = C_p \rho \frac{1}{m} \frac{\partial}{\partial z} \left(K_h m \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) - \underbrace{C_p \rho (\alpha \cdot \vec{V}_M) \cdot \vec{\nabla} \theta}_M + \underbrace{Q_{AS} + Q_{VS}}_{BEM} \dots\dots(7)$$

BEM上で算出した人工廃熱 (Q_{AS})は、ビル~外気間の換気に伴う顕熱交換量 (Q_{VS})と共に、式中の右辺第3項にて考慮した。また、右辺2項には、MM上で算出した海陸風等の大気移流に伴う冷却・加熱率を、キャノピー内での風速減衰を考慮しつつ導入した。ここで、 V_M と θ_M はMMによる風速と温位、 α はCM風速の V_M に対する比である。この改良をCMの湿度予測式に対しても施し、CM、MM、BEM間の結合を行った。

3. 実測データとの比較によるモデルの検証

3.1 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（計算領域-1）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各種データの収集である。収集可能であったデータ（フロア別温度・湿度と冷房用冷水使用実績に関する毎時データ）のうち、冷水データ（循環水量と利用温度差）からは毎時の冷房熱負荷処理量の推定が可能であった。

3.2 モデル計算条件

計算領域（以降、Oビル街区と称す）について、CM上での街区形状は、東京都土地利用現況調査¹⁰⁾によるGISデータに基づき設定した。同データより平均道路幅23m、平均ビル幅47mの水平街区形状と、平均高度45mとなるビル

表1 計算条件 (地物の物性値)

部位	表面アルベド	熱容量 (Jm ⁻³ K ⁻¹)	熱伝導率 (Jm ⁻¹ s ⁻¹ K ⁻¹)	材質
地中(上層)	0.2 (0.15)	1.93×10 ⁶	1.39	コンクリート (植生面:10%)
地中(下層)	-	1.74×10 ⁶	1.00	土壌
屋上(断熱層)	-	0.06×10 ⁶	0.04	ポリエチレン発泡板
屋上(その他)	0.2	1.93×10 ⁶	1.39	コンクリート
側壁(断熱層)	-	0.06×10 ⁶	0.04	ポリエチレン発泡板
側壁(その他)	0.2 (0.4)	1.93×10 ⁶	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
冷房設定温度	26.0℃
冷房設定湿度	50.0%
延床面積に占める空調面積比率	60%
全館冷房時間帯	9~18時 (8時より予冷運転)
外気導入量(単位床面積あたり)	5.0m ³ ・m ⁻² ・h ⁻¹ ¹³⁾
全熱交換器熱効率(夜間は停止)	60% ¹³⁾
一人あたり占有床面積	5.0 m ² /人 ¹³⁾
人体発熱量(顕熱)	54.7 W/人 ¹³⁾
人体発熱量(潜熱)	64.0 W/人 ¹³⁾
窓面日射透過率(ブラインドを想定)	0.3 (-) ⁹⁾
単位建物容積あたり空気熱容量 (家具・内壁等の熱容量含む)	2.0×10 ⁴ J・m ⁻³ ・K ⁻¹ ⁹⁾

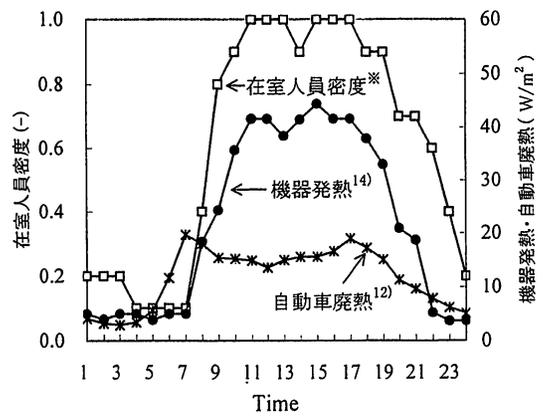
の鉛直分布密度を導出し、街区形状を定義した。ビル外壁は、事務所建物における典型的構造として、厚さ22cmのコンクリート壁体の室内側に5cmの断熱材を配する内断熱壁を16層等分割にて設定した。地中は33cmまでをコンクリート、その下層を土壌とし、地下1.4mまでを計算領域とした。街区構造物に関するその他の設定を表1に示す。

BEM上でのビル側空調条件は、標準的事務所ビルの設定とした(表2)。冷房熱源は、領域内に存在する地域冷暖房システムの熱源構成を考慮し、設備容量比で70%を都市ガス駆動・冷却塔廃熱型の吸収式冷温水発生機とした。残り30%は、電気駆動型の空気熱源ヒートポンプを仮定し、足永¹¹⁾によるCOP推定式を採用する事で、COPの部分負荷と外気温への依存性を考慮した。一方、これら運転条件への依存性が低い吸収式冷温水発生機のCOPは1.2の標準的固定値とした。また、冷却塔廃熱の全量を潜熱¹¹⁾、空冷室外機廃熱の全量を顕熱と見なした。その他、在室人員密度等、時間変動を伴うパラメータの設定を図4に示す。

大手町地区でのCM大気初期条件、上端境界条件、移流冷却・加熱率を導出すべく、まずMMによる数値実験を行った。人工廃熱は、10kmメッシュ平均の著者らによる時

表3 シミュレーションのケース設定

ケース名	計算条件 (ビル廃熱源の配置条件)
CASE-1	冷房廃熱源を各ビル屋上に設定
CASE-2	冷房廃熱源を各ビルの地上3m部に設定
CASE-3	ビルの冷房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、大気以外を熱源として利用する冷房システムの導入を想定したケース)



※Oビル照明電力消費の夏季時間変動より推定、ピーク値を1.0として表示

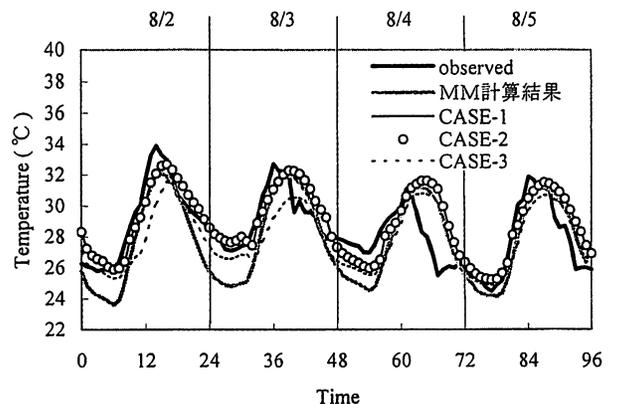
図4 各種パラメータの時間変化

別概算値¹²⁾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な真夏日の条件であった。このMM計算結果の下、CM-BEMにより上述4日間の計算を行った。ここで、日射条件については、理論値ではなくOビル屋上での全天日射量観測の結果を採用し、現実的な設定とした。

3.3 計算結果と実測データの比較

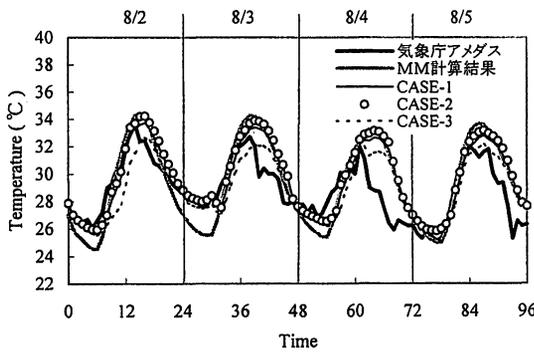
CM-BEMによる数値実験は、ビル廃熱源の配置に関し、CASE-1~3の3ケース(表3)を想定し行われた。

まず、Oビル観測高度(地上100m)における気温の実測と計算結果との比較を図5に示す。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(過小評価)が著しい。この結果は、ビル街区を一様平坦なコンクリート面と見なす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。日中は、冷房廃熱を無しとしたCASE-3に対し、CASE-1(屋上廃熱)とCASE-2(地

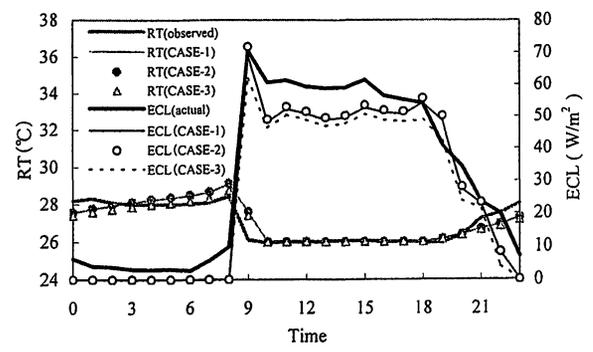


(1998年8月2日~5日, Oビル街区)

図5 気温(地上100m)の実測と計算結果の比較



(1998年8月2日～5日, アメダス街区)
 図6 アメダス地上気温と計算結果の比較



(Oビル街区特別平均)
 図7 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

上廃熱) がより実測に近い結果を与えている。Oビル街区において多数の冷房廃熱源が各ビル (主に屋上) に存在する実態と整合する結果といえる。なお、廃熱に伴う昇温幅は、計算期間を通じた日平均気温にして約1℃であった (CASE-1と2の間に差は見られず)。この他、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った点を除き、CM-BEMはキャノピー上部での気温をより現実的に再現可能であった。なお、この急激な気温降下は一時的な梅雨前線の再南下に伴う雲量増加と風の変化 (冷涼な北寄り地上風の卓越) によるものであった。MM, CM-BEMはこの局地的な風況変化を完全には再現できておらず、実測気温を過大評価する結果となった。この点については、MMに与える広域の初期・境界条件の精度の問題等が原因として考えられた。

図6は、Oビルの北西約700mに位置する気象庁アメダス観測点での地上気温と計算結果との比較である。計算は、キャノピー底部での気温を対象とすべく、観測点近傍の150m四方狭領域 (図3) のGISデータより局所的な街区形状を再定義し、地表面植生割合を航空写真判読に基づき40%へ変更して行われた。その他の条件は、Oビル街区の場合と同じとした。Oビル街区での結果と同様、CM-BEMは、地上気温に関しても、MMと比べより現実的な日変化を再現可能であった (3日と4日午後の実測気温からの乖離の理由は図5の場合と同様)。

図7は、Oビルの館内平均室温、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との比較である。CM-BEMによる室温、冷房熱負荷処理量は、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10W/m² (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4) に起因するものと考えられた。

以上の数値実験において、CM-BEMによる人工廃熱の鉛直積算値はCASE-1, 2において、日中約450W/m² (街区土地面積あたり) に達し、その顕熱と潜熱の内訳は1.0:2.2となった。顕熱廃熱に対する自動車の寄与は12%

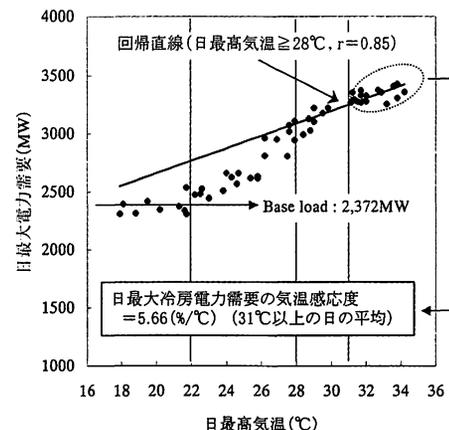
に止まり、ビル廃熱が支配的であった。

以上、CM-BEMは、大手町街区キャノピーの外気温とビル内熱環境 (室温・冷房熱負荷) の夏季時間変化を概ね再現可能である事が明らかとされた。

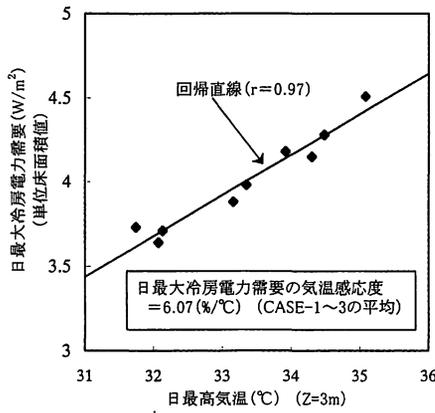
4. 考察

4.1 広域電力需要気温感応度との比較

図8は、東京電力A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。ここで、A支店とは大手町を含む東京都心業務エリア全域を管轄する支店である。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、回帰分析にて日最大電力需要の気温感応度を算出した。結果として、53.75MW/℃ (相関係数=0.85) を得た。同値は、単位昇温に伴う冷房用電力のピーク時総需要増分量と見なせた。次に、この増分量をピーク時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 (=2,372MW) を冷房用途外のベース需要とし、各日の総需要より差し引く方法にて推定した。そして、上述の感応度 (53.75MW/℃) のこれら最大冷房需要電力に対する比をとり、日最高気温31℃以上の日の平



(東京電力A支店 98年6～8月 平日)
 図8 日最高気温 .vs. 日最大電力需要



(98年8月3日~5日, Oビル街区)

図9 シミュレーション結果における日最高気温と日最大冷房電力需要の関係

均値として5.66%/°C (1°Cの昇温に付きピーク時冷房電力需要が5.66%増大)を得た。ここで、31°C以上の日を対象としたのは、Oビル街区計算における気温レンジとの整合性を考慮したためである。ここでの冷房電力需要は、厳密には空調補機動力も含むが、その気温依存性は無視できる事¹¹⁾から、同感応度は熱源機器電力需要の気温感応度と見なせた。

一方、図9はCM-BEMによるCASE-1~3での日最高地上気温と日最大冷房電力需要(熱源機器電力需要)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A支店での値とほぼ一致する6.07%/°Cを得た。この結果もまた、モデルの妥当性を示唆するものであった。

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をCASE-1を基準として比較したのが表4である。計算はOビル街区を対象とした。ビル廃熱源の屋上から地上へのシフト(CASE-1→2)は、日平均地上気温を0.62°C押し上げる一方、外気への冷房廃熱の全量削減(CASE-1→3)は、1.28°C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、2.79%の増大、5.81%の減少となった。後者の省エネは、1.28°C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。Oビル街区での廃熱源分布の実態はCASE-1(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

表4 冷房エネルギー需要と日平均気温の比較(Oビル街区)

ケース名	冷房エネルギー需要 (Jm ⁻² day ⁻¹) (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 (%)	(°C)	気温差 (°C)
CASE-1	1358.23	174.86	1533.09	(control)	30.37	(control)
CASE-2	1386.88	189.02	1575.90	2.79	30.99	0.62
CASE-3	1284.27	159.71	1443.98	-5.81	29.08	-1.28

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、著者らは土壌熱源型地域冷暖房システムの導入を提案している¹⁵⁾。

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・CO₂排出削減効果の定量的予測・評価へ向け、夏季都市キャンビ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。

東京大手町地区を対象とした数値実験の結果、モデルは、同地区外気温とビル内熱環境の夏季時間変化を概ね再現可能である事が実測データとの比較により確認された。モデルにより算出されたピーク時冷房電力需要の同地区における気温感応度(6.07%/°C)は、東京電力の夏季需要データより推計された都心業務エリア全域での実態感応度(5.66%/°C)と整合した。次に、街区内部での冷房廃熱源の分布が、外気温とビル冷房エネルギー需要とに与える影響を調べた。大手町地区の場合、外気への全廃熱源を無くす事で、地上気温は1°C強降下し、冷房熱源機器エネルギー消費は約6%削減される事が示された。

以上、開発したモデルは、夏季業務街区に対し適用可能である事が確認できた。今後は、住宅街区等の条件が異なる街区、および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) 資源エネルギー庁総合エネルギー調査会需給部会 中間報告(1998年6月)
- 2) 藤部文昭; 天気, Vol.45, No.8 (1998), 35-45
- 3) 藤部文昭; 天気, Vol.44, No.2 (1997), 19-30
- 4) 東京電力編; 数値で見る東京電力 (1998)
- 5) 近藤裕昭, 劉發華; 大気環境学会誌, Vol.33 (1998), 179-192
- 6) Kondo,H.; J. Appl. Meteor. Vol.34, No.6 (1995), 1439-1448
- 7) Kikegawa, Y. et al.; Proc. International Conference on Urban Climatology in Sydney (1999)
- 8) Kimura,R.; J. Meteor. Soc. Japan, Vol.53, No.6 (1975), 440-457
- 9) 宿谷昌則著; 数値計算で学ぶ光と熱の建築環境学 (1993), 丸善
- 10) 東京都都市計画局編; 東京の土地利用 (1998)
- 11) 足永靖信, 山本亨, 田中稔; 空調調和・衛生工学会論文集, 75巻 (1999), 89-97
- 12) 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)
- 13) 井上宇市編; 空調調和ハンドブック (1996), 丸善
- 14) 尾島俊雄研究室; 建築の光熱水原単位 (1995), 早稲田大学出版部
- 15) 玄地裕, 近藤裕昭, 亀卦川幸浩, 小宮山宏; エネルギー・資源, Vol.20, No.6 (1999), 60-67