

# 都市キャノピー・ビルエネルギー連成モデルを用いた東京都心部のヒートアイランド対策と冷房負荷削減策の評価

平野勇二郎<sup>1</sup>・大橋唯太<sup>2</sup>・亀卦川幸浩<sup>3</sup>・近藤裕昭<sup>4</sup>・玄地 裕<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 埼玉大学大学院理工学研究科 学振特別研究員 (〒338-8570 さいたま市桜区下大久保255)  
E-mail: hirano@1996.jukuin.keio.ac.jp

<sup>2</sup>岡山理科大学講師 総合情報学部生物地球システム学科 (〒700-0005 岡山市理大町1-1)

<sup>3</sup>明星大学助教授 理工学部環境システム学科 (〒191-8506 東京都日野市程久保2-1-1)

<sup>4</sup>(独)産業技術総合研究所 環境管理技術研究部門 大気環境評価研究グループ (〒305-8569 つくば市小野川16-1)

<sup>5</sup>(独)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 (〒305-8569 つくば市小野川16-1)

東京都心部を対象とし、都市キャノピー・ビルエネルギー連成モデルを用いて緑化や高アルベド化などの各種ヒートアイランド緩和・省エネルギー方策の効果を評価した。都市キャノピー・ビルエネルギー連成モデルとは、鉛直1次元の局地気象モデルに空調負荷計算モデルを組み込み、街区内の建物の熱負荷や空調によるエネルギー消費量、気温変動を計算するモデルである。まず典型街区を対象として夏季の晴天日の計算を行い、各街区タイプにおける空調負荷の生じ方について分析し、また各対策のヒートアイランド緩和効果と省エネルギー効果を定量化した。次に東京都心部を中心とした約20km×20kmの範囲での広域評価を行い、各対策の省エネルギー効果を評価した。

**Key Words :** urban heat island, energy saving, air-conditioning load, numerical simulation

## 1. はじめに

地球温暖化防止のために省エネルギーがきわめて重要な課題となっている。とくに都市域における空調用エネルギーは現在なお増加の一途を辿っており、対策が急務である。一方、都市域ではヒートアイランド現象の顕在化が古くから指摘されており<sup>1),2)</sup>、冷房用エネルギー消費の増大や電力ピーク負荷の増大といったインパクトが危惧されている<sup>3),4)</sup>。したがって都市域におけるヒートアイランド対策は地球温暖化対策とも結びつく重要な問題であると言える。このため近年では行政レベルでのヒートアイランド対策も始められている<sup>5)</sup>。しかしながらヒートアイランド現象に関して、現象解明や対策手法についての研究は数多く行われてきたものの、社会・経済的な影響評価については必ずしも十分になされているとは言い難い。このため多くの対策手法について、その気温低下効果は検証されているものの、例えば冷房負荷軽減効果などの具体的なメリットが必ずし

も明確でないまま、対策導入が進められているという感がある。今後、ヒートアイランド対策を進めるにあたり、その意義を具体的に明らかにしていくことが必要であると考えている。

これまでにもアメリカのLawrence Berkeley National Laboratoryなどでは、都市の表面の緑化や高アルベド化(日射反射率を高める方策)により気温や壁面温度を下げることで得られる建物の冷房負荷削減効果について、数多くの評価が行われている(例えば、Taha *et al.*<sup>6)</sup>; Akbari and Konopacki<sup>7)</sup>など)。しかしながら、日本の気候条件における検討事例はまだ多いとは言えない。また、Lawrence Berkeley National Laboratoryにおける検討事例は主に地表面を平板として扱ったメソスケール気象モデルと建築単体スケールの空調負荷計算モデルとを結びつけた評価事例であり、都市キャノピーの効果が考慮されていない。実際の都市域では外気や周辺建物との間での熱や放射のインタラクションがあり、とくに建物密度が高い密集市街地ではこの影響が無視し得ない

ものとなることが予想される。

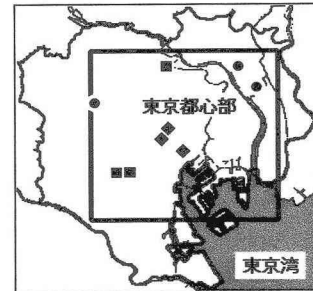
こうした背景から、近年では外気や周辺建物とのインタラクションを考慮して気温や空調エネルギーの計算が可能な都市キャノピー・ビルエネルギー連成モデル<sup>8),9)</sup>が開発され、ヒートアイランド対策の評価への適用も始められている。ただしこのモデルを用いたこれまでの評価事例は対象街区が限定的で、都市内に存在するさまざまな街区に対して、十分な評価が行われてきたとは言い難い。とくにこれまでの研究では主にヒートアイランド緩和効果に主眼が置かれているが、今日の地球温暖化対策の緊急性を考慮すれば省エネルギー効果についてさらに詳細に分析・評価することが重要である。また、こうした評価結果は気象条件に依存するため、一般的な知見を得るためには評価事例を増やしていく必要がある。そこで本研究の目的は都市キャノピー・ビルエネルギー連成モデル<sup>8),9)</sup>を用いて、主要なヒートアイランド対策である都市の表面の緑化と高アルベド化、および他の各種の空調負荷軽減方策について、ヒートアイランド緩和効果と省エネルギー効果の評価を行うことである。とくに本研究では各対策による空調負荷軽減効果の生じ方について考察を深め、最終的には都市スケールでのマクロ評価を行う。なお、本研究ではエネルギー消費量は全て最終需要ベースでの評価とする。

## 2. 計算条件

都市キャノピー・ビルエネルギー連成モデルとは、街区内の建物の熱負荷や空調によるエネルギー消費量、気温変動を予測するモデルである。都市キャノピーモデルは、街区を平均建物幅、平均建物間隔、鉛直方向の建物密度分布などでパラメタライズし、均一な街区形状が水平方向に連続している状況を鉛直1次元の多層モデルで表現した局地気象モデルである。ビルエネルギーモデルは空調負荷計算モジュールであり、都市キャノピーモデルに組み込むことで外気とのインタラクションも含めた街区スケールでの空調負荷計算が可能である。このモデルは既に数多くの利用実績があるため、説明は省略する。このモデルの都市キャノピーモデル部分は文献<sup>10)</sup>、ビルエネルギーモデル部分は文献<sup>8),9)</sup>に詳しい。また、このモデルは既に電力供給データとの比較によるオフィス街区の電力気温暖感度の検証<sup>8)</sup>や、住宅の空調負荷計算プログラムとの比較による再現性の検証<sup>9)</sup>、街区内の気象観測による屋外気象要素の再現性の検証<sup>11)</sup>などが行われている。

表-1 選択された典型街区の街区形状

	平均建物幅	平均建物間隔	平均建物高さ
事務所街区	28.2 m	11.7 m	24.3 m
耐火造住宅街区	20.8 m	9.68 m	11.6 m
木造住宅街区	15.1 m	6.55 m	7.55 m



解析対象地域

選択した典型街区:

- ◆ 事務所街区
- 耐火造住宅街区
- 木造住宅街区

図-1 本研究の対象地域と典型街区

本研究では対象地域として東京都心部を中心とした約20km×20kmの範囲を選択し(図-1)、この範囲を約600mの格子間隔で31グリッド(南北方向)×33グリッド(東西方向)に分割した。本研究のシミュレーションはこのグリッド単位で行う。建物関連の計算パラメータ作成のデータソースは、東京都都市計画局による東京都地理情報システムの建物用途データである。床面積算定は阪田・吉川<sup>12)</sup>が示した計算方法に従った。また次章で検討対象とする典型街区として、亀掛川ほか<sup>9)</sup>の方法に従い各グリッドを事務所街区、耐火造住宅街区、木造住宅街区の3タイプに分類し、平均建物幅・平均建物間隔・平均建物高さが平均的なグリッドをそれぞれ3つずつ選択した。選択された街区の位置を図-1、街区形状のパラメータ(3グリッド平均)を表-1に示す。街区によるばらつきを軽減するため、次章の検討では各街区タイプについて、それぞれ3つずつのグリッドにおける計算結果の平均値を用いる。

計算期間は、対象地域において晴天日が連続した2002年8月8～10日を選択した。このうち最初の2日間を助走計算期間とし、3日目を評価対象日とした。この期間におけるシミュレーションの再現性は、神田・日本橋地区において街区内の気象観測データにより既に確認されている<sup>11)</sup>。本研究においても初

期値・上部境界条件等は文献<sup>11)</sup>と同様の値を用いる。ただし本研究では一般的な都市街区の熱環境を評価するため、空調スケジュール等の建物側の計算条件は全て平日の設定とした。

本研究において対策導入ケースと比較するための標準ケースは、基本的には文献<sup>8),9)</sup>の計算条件に従って設定した。標準ケースの概要を表-2、対策導入ケースでの変更箇所を表-3に示す。対策導入ケースでは、緑化ケースも高アルベド化ケースも屋上・壁面の対策は面積比で60%まで導入可能と仮定した。ただし、地面の対策については、高アルベド塗料は

道路や駐車場等の舗装面に塗布できるが、緑化は舗装面には導入し難いという違いがある。このため、これらの実際の導入可能性に関しては検討が必要であるが、本研究ではあくまでシナリオとして、面積比で緑化は20%、高アルベド化は60%まで導入可能と仮定した。高アルベド化した場合のアルベドの設定は、著者らの高アルベド塗料の観測結果<sup>13)</sup>を参考に、屋上では0.86、壁面と地面では0.64とした。0.86は最もアルベドが高い白色塗料、0.64は淡い色の有色塗料を想定した値である。建物の屋上であれば白色塗料を塗布できるが、壁面や地面は街路空間

表-2 標準ケースにおける計算条件の概要

	事務所街区	耐火造住宅街区	木造住宅街区
冷房設定温度(°C)	26.0	27.0	27.0
冷房設定湿度(相对湿度:%)	50.0	60.0	60.0
窓面での日射総合透過率(-)	0.3	0.5	0.5
単位床面積あたり外気導入量(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h)	3.0	4.0	4.0
換気(外気導入)口の位置	各階	各階	各階
在室人員あたり占有床面積(m <sup>2</sup> /人)	10.0	25.9	25.9
ビル延床面積に占める空調面積割合(-)	0.75	0.40	0.40
床面積あたり人体発熱量(顕熱)(W/m <sup>2</sup> )	6.27	2.11	2.11
床面積あたり人体発熱量(潜熱)(W/m <sup>2</sup> )	5.34	2.47	2.47
建物階高(m/floor)	4.0	4.0	4.0
外壁の熱貫流率(W/m <sup>2</sup> /K)	屋根・側壁:0.68	屋根:1.35 側壁:1.94	屋根:1.54 側壁:1.65
外壁の単位断面積あたり熱容量(J/m <sup>2</sup> /K)	屋根・側壁:3.11×10 <sup>5</sup>	屋根:3.79×10 <sup>5</sup> 側壁:3.97×10 <sup>5</sup>	屋根:2.60×10 <sup>4</sup> 側壁:2.84×10 <sup>4</sup>
熱源方式・熱源機器構成比	直焚吸収式冷温水機:33.1% (水冷, 都市ガス, 屋上排熱) 空冷電動ヒートポンプ:24.9% (空冷, 電動, 各階排熱) 空冷パッケージ:42.0% (空冷, 電動, 各階排熱)	空冷パッケージ:100% (空冷, 電動, 各階排熱)	
表面被覆およびアルベド	屋上:表面のアルベド0.2, 屋上緑化なし, PVパネルなし 壁面:表面(窓以外)のアルベド0.2, 窓面積率32%, 壁面緑化なし 地面:表面(非緑被部分)のアルベド0.2, 緑被率27%		

表-3 各種対策導入ケースの概要

緑化	屋上:屋上面の60%を緑化 壁面:壁面(窓を除く)のうち60%を緑化 地面:地面の緑被率を20%増大
高アルベド化	屋上:屋上面の60%のアルベドを0.83とする 壁面:壁面(窓を除く)の60%のアルベドを0.64とする 地面:地面の60%(非緑被部分)のアルベドを0.64とする (3(2)での検討の結果に基づき, 最終的な評価では地面には適用していない。)
内部発熱削減	室内の内部発熱(空調を除く機器・照明発熱)を20%削減
高断熱化	文献 <sup>9)</sup> の想定に従い, 熱貫流率(W/m <sup>2</sup> /K), 単位断面積あたり熱容量(J/m <sup>2</sup> /K)をそれぞれ次の通りに設定(基本的には次世代省エネルギー基準相当)。 事務所街区・屋根および側壁:0.38(W/m <sup>2</sup> /K), 2.12×10 <sup>5</sup> (J/m <sup>2</sup> /K) 耐火造住宅街区・屋根:0.39(W/m <sup>2</sup> /K), 3.81×10 <sup>5</sup> (J/m <sup>2</sup> /K) 耐火造住宅街区・側壁:0.72(W/m <sup>2</sup> /K), 3.98×10 <sup>5</sup> (J/m <sup>2</sup> /K) 木造住宅街区・屋根:0.23(W/m <sup>2</sup> /K), 2.95×10 <sup>4</sup> (J/m <sup>2</sup> /K) 木造住宅街区・側壁:0.56(W/m <sup>2</sup> /K), 2.97×10 <sup>4</sup> (J/m <sup>2</sup> /K)
PVパネル	屋上面の60%に発電効率10%のPVパネルを導入 <sup>10)</sup> (ただし, パネル自体の空調負荷への効果のみを対象とし, 発電分は含まない。)

における眩しさの問題や街区の美的景観についての配慮が必要であるため、こうした設定とした。また、他の一般的な省エネルギー施策として表-3の通りに本研究では内部発熱削減ケース、PVパネル導入ケース、高断熱化ケースを想定した。内部発熱削減ケースは、室内の省エネルギーにより照明・動力機器等の発熱を削減するケースである。本研究ではこのシナリオによる省エネルギー分は含まず、機器発熱削減による空調負荷軽減効果のみを省エネルギー効果としてカウントとする。PVパネル導入ケースも同様に、本研究ではPVパネルによる表面熱収支

の変化や日射遮蔽の効果のみを評価対象とする。もちろんPVパネルの本来の省エネルギー効果としては発電が最重要であるが、PVパネルの性能評価は独立した研究テーマであり、暑熱環境緩和・空調負荷軽減に着目した本研究の評価の一環とすることは不適切であると判断した。したがって、パネル表面の熱収支計算では発電に使われた熱量を考慮しているが、発電された電力量を省エネルギー効果としてカウントしていない。

### 3. 典型街区における評価結果

#### (1) 標準ケースの結果

図-2に標準ケースにおける地上気温の計算結果を示す。この図から、事務所街区や耐火造住宅街区は木造住宅街区と比較して気温日変化幅が小さく、とくに夜間の気温が高めになっていることが分かる。これは建物の熱容量が大きいことや、天空率が小さいために夜間の放射冷却が抑制されることなどによるものであり、一般的なヒートアイランド現象の特徴がよく再現されていると言える。

図-3に標準ケースにおける室内の熱収支の計算結果を示す。この結果から、いずれも街区タイプの違

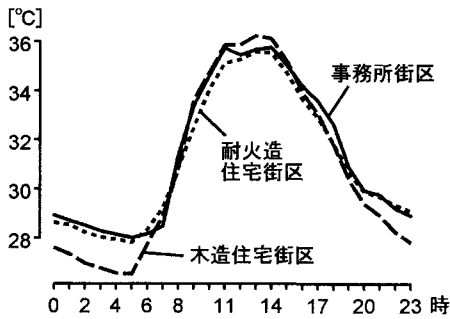


図-2 街区タイプ別の地上気温 (標準ケース)

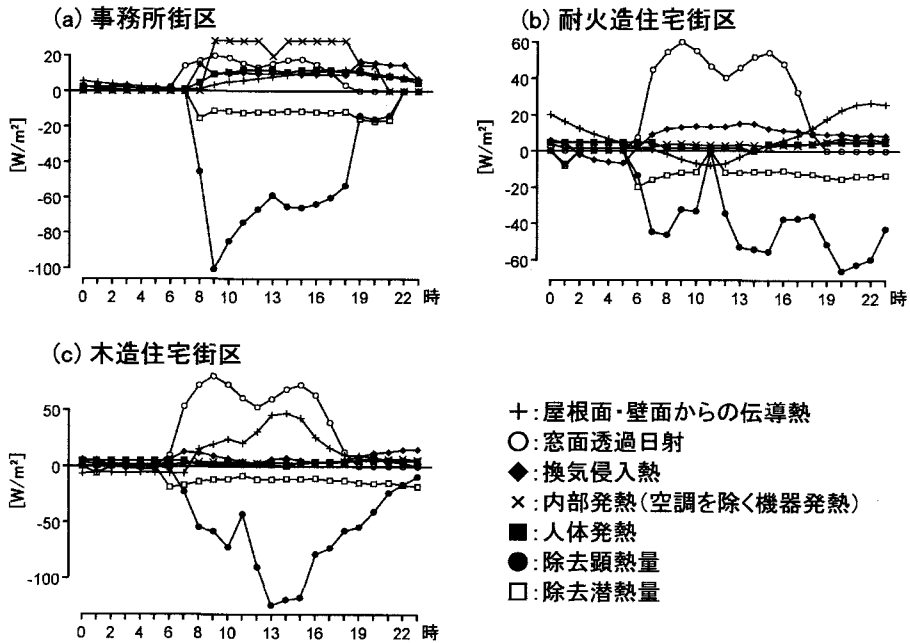


図-3 街区タイプ別の室内熱収支 (標準ケース, 床面積あたり)

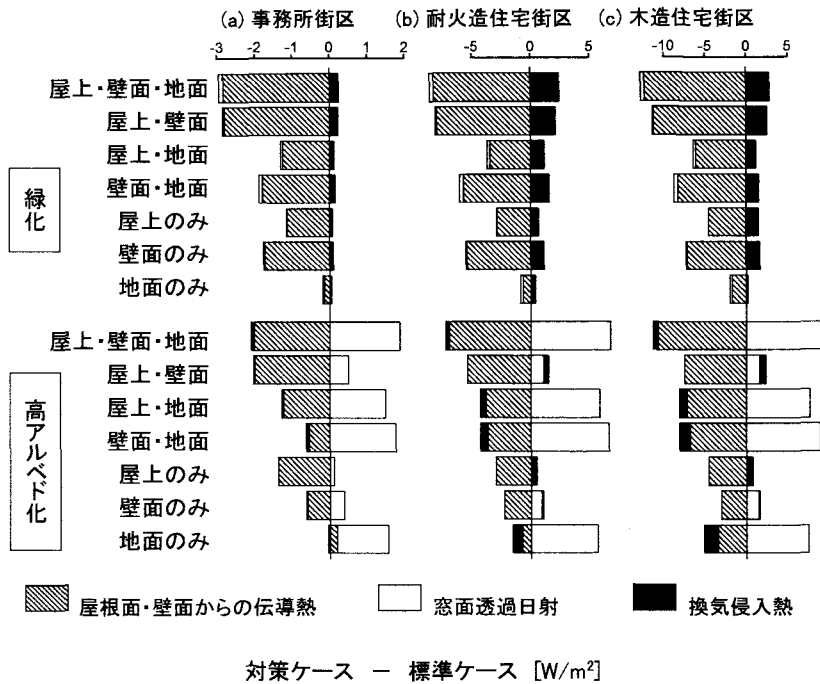


図-4 緑化，高アルベド化による各熱負荷要素の変化

いをよく反映していると考えられる。窓面透過日射が2つのピークを持つパターンとなっているのは、主に太陽高度が低い時刻の方が窓からの日射が入りやすいためである。ただし本研究のモデルでは直方体の建物が規則的に並んだ仮想的な街区を想定しているため、正午頃に南側の建物の影の影響を受けやすくなっている可能性もあるので、この点は今後検証が必要である。また、耐火造住宅街区では、屋上面・壁面からの伝導熱量が負となっているが、本研究で設定した住宅の空調運転スケジュールでは日中は稼働率が低いため、窓からの日射などの影響により、非空調部分を含んだ平均室温が気温を上回っているためであると推察される。これらはいずれも定性的には概ね妥当な結果であると考えているが、現時点では十分な検証データが得られていないため、今後検証が必要である。

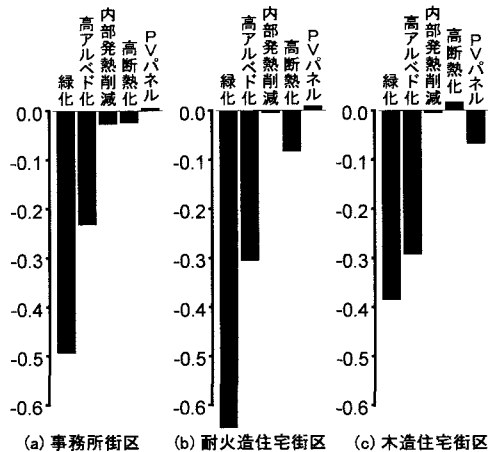
## (2) 対策適用部位についての検討

表-3に緑化と高アルベド化の屋上・壁面・地面のそれぞれの設定を示したが、どの部位に対策を導入するかによって得られる効果は異なる。そこで図-4の通りに7通りの組み合わせについて対策導入ケースのシミュレーションを行い、結果を比較した。

図-4では標準ケースの室内熱収支(図-3)との差について、日平均値を示した。

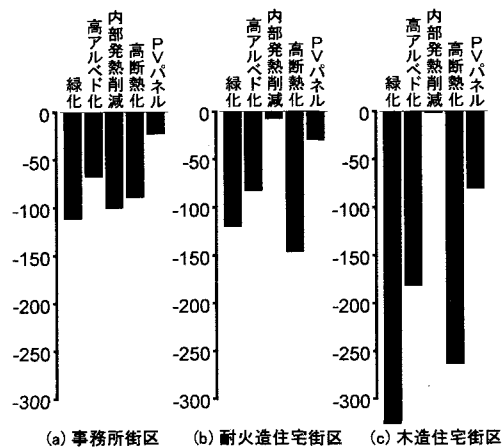
図-4から緑化ケースでは、いずれも熱負荷は減少していることが分かる。とくに屋上面・壁面を緑化した場合の伝導熱量の減少が顕著である。地面のみを緑化した場合も、気温低下によって伝導熱量はわずかに減少するが、これは相対的に小さい。一方、換気侵入熱は緑化により増大している。これは主に、気温低下による顕熱負荷軽減よりも湿度上昇による潜熱負荷増大の方が大きいためである。

高アルベド化ケースでは、とくに屋上・壁面を高アルベド化したケースで伝導熱量が大きく減少している。事務所街区では地面のみを高アルベド化したケースのみ、熱伝導量は若干増大しているが、これは地面からの反射日射が壁面へ入射するためであると考えられる。一方、窓面透過日射は亀卦川ほか<sup>9)</sup>の実験と同様にいずれの組み合わせでも増大している。とくに地面を高アルベド化したケースでの窓面透過日射の増大は顕著に生じており、熱負荷増大要因となっている。また、換気侵入熱の変化は小さく、外気温低下による空調負荷軽減効果は相対的に小さいと考えられる。ただし、今回の計算条件では事務所街区では全熱交換器が導入されていることを想定



各種対策ケース - 標準ケース [°C]

図-5 地上気温の日平均値の差



各種対策ケース - 標準ケース [kJ/m²/日]

図-6 エネルギー消費量の差 (床面積あたり)

しているため、結果として換気侵入熱が相対的に小さく生じている。実際のオフィスビル街区では必ずしも全ての建物が全熱交換器が導入されているわけではないので、この結果は外気温低下による空調負荷軽減効果を過小評価している可能性がある。また、住宅街区では高アルベド化により換気侵入熱が増大しているケースがあるが、これは伝導熱量の減少に伴い室温が低下したために生じた結果である。住宅の空調運転スケジュールでは日中に空調稼働率が低く、日中の室温の変動が大きいためこうした結果となった。これは必ずしも高アルベド化によるエネルギー消費量の増大を意味しているわけではないので、結果を解釈する上で注意する必要がある。

本節の検討結果に基づき、次節以降の評価では緑化ケースは屋上・壁面・地面へ適用したケース、高アルベド化ケースは屋上・壁面へ適用したケースを代表事例として取り上げる。

### (3) 省エネルギー効果とヒートアイランド緩和効果

表-3に示した各ヒートアイランド緩和・省エネルギー方策について、気温低下効果を比較した(図-5)。この結果、いずれの街区も緑化ケースの気温低下効果が最も大きく、日平均0.4~0.6°Cに及んでいる。また高アルベド化ケースも0.3°C程度の気温低下効果が生じており、暑熱環境緩和策として十分に有益であると考えられる。他のケースでは建物表面の熱収支変化と人工排熱削減の効果が複雑に生じるため、今回の結果では明確な傾向が読み取れない

が、いずれも変化幅は緑化、高アルベド化と比較して小さい。

次にこれらの各方策について、省エネルギー効果を比較した(図-6)。この結果、今回の計算条件では緑化ケースや高断熱化ケースで比較的大きな省エネルギー効果が得られていることが分かる。ただし、これはあくまで表-3のシナリオに従って各対策を導入した場合の評価事例である。今回設定したシナリオでは、必ずしも各ケースを対等に比較できる設定とは言えないため、どの対策が最も有益かといった各対策の優劣に関する相互比較はここでは避ける。また内部発熱削減ケースは住宅街区ではほとんど効果は得られないが、事務所街区では大きな効果が得られている点も特徴的である。エネルギー消費量が多い事務所では、冷房負荷の要因として内部発熱が大きいため(図-3参照)、室内の省エネルギーは冷房用エネルギー削減のためにも重要であると言える。各街区タイプ間を比較すると、とくに緑化や高アルベド化などの表面被覆の対策では、床面積あたりの省エネルギー効果は木造住宅街区で最も大きく、事務所街区では比較的小さいことが分かる。これは主に、RC造を想定している事務所街区・耐火造住宅街区と比較して木造住宅は断熱性能が良くないことや、規模が小さいために床面積に対して表面積が相対的に大きいことから、外気温や表面温度の影響を受けやすいためであると考えられる。

#### 4. 東京都心部における広域評価

##### (1) 計算概要と結果

次にこれらの各種対策ケースについて、広域的に導入・普及した場合のエネルギー消費量の削減ポテンシャルについて検討した。ここでは対象地域(図-1)に含まれる全グリッドについて前節までと同様のシミュレーションを行った。ただし、こうした範囲では600mグリッド内に異なる街区タイプが混在することが問題となる。このため、ここでは簡便な方法として、前節と同様に3つの街区タイプについて別々に計算した上で、得られた床面積あたりエネルギー消費量を各街区タイプの床面積に乗じるという形で算出した。したがって今回の計算では、同一グリッド内に存在する異なる街区タイプの建物間では、外気を介した相互作用を表現していない。得られた標準ケースにおけるエネルギー消費量を図-7に示す。

##### (2) 既存の調査データによる推計との比較

このモデルによるエネルギー消費量の気温感応度の再現性に関しては文献<sup>9)</sup>において供給側のデータと対応させることにより検証しているが、文献<sup>9)</sup>ではエリア面積の影響を除去するために1℃あたりの増減率(%)で比較しているため、絶対値の検証が別途に必要である。そこでこのエネルギー消費量の計算結果の妥当性を確認するため、既存の調査データによる推計結果との比較を行った。まず簡便な方法として、8月の時刻別エネルギー消費原単位(事務所は床面積あたり・住宅は世帯あたり)に床面積・

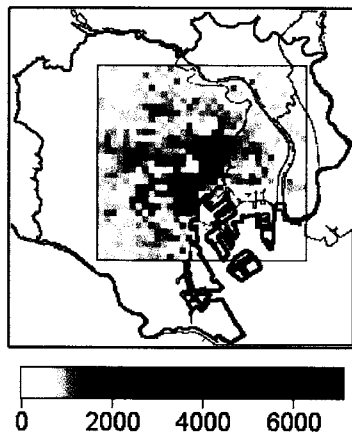


図-7 グリッド別エネルギー消費量  
(標準ケース, 土地面積あたり, kJ/m<sup>2</sup>/日)

世帯数を乗じることにより対象地域のエネルギー消費量を概算した(以下、原単位法と呼ぶ)。原単位データは資料によるばらつきが大きい信頼性については検討が必要であるが、ここでは年合計値は東京都の実態に合わせて需要側・供給側データや機器の普及状況等から推計された文献<sup>15)</sup>の最終需要ベースの値を用いた。月別・時刻別パターンは著者らによる既報<sup>16,17)</sup>に合わせて、事務所は文献<sup>18)</sup>、住宅は文献<sup>19)</sup>のデータを用いた。原単位に乗じる床面積・世帯数のデータは文献<sup>17)</sup>において整備したメッシュデータを用いた。また、本研究のシミュレーションは快晴日を対象としており、外気温は8月の月平均気温より約5℃程高いため、8月の平均原単位とは一致しないことが予想される。このため、ここでは気温の影響を考慮したエネルギー消費量の算定手法<sup>16,17)</sup>を用い、対象地域のエネルギー消費量を概算した(以下、気温感応度法と呼ぶ)。その際、原単位や床面積・世帯数等のデータソースは上述の原単位法と同様とし、気温データは気象庁による大手町の観測データを用いた。本研究の計算結果および原単位法、気温感応度法による対象地域の冷房用エネルギー消費量の日変化を図-8に示す。

図-8から、事務所街区および耐火造住宅街区に関

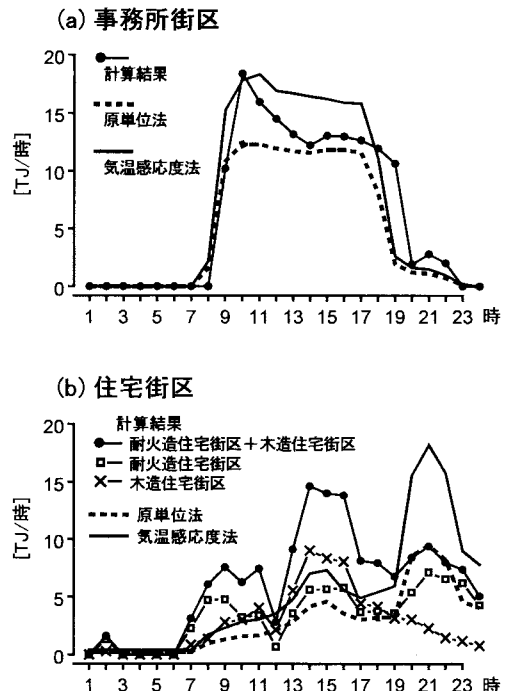
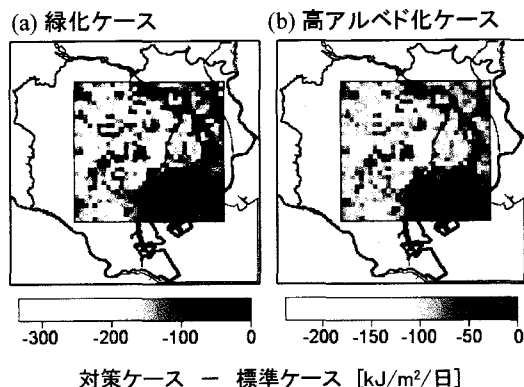


図-8 既存調査データによる推計との比較

しては、朝方のエネルギー消費の立ち上がりなどには若干の傾向の違いがあるものの、全体としては類似性が読み取れる。一方、木造住宅街区に関しては、計算結果ではピークが日中に生じているのに対し、原単位法や気温感応度法では夜間に生じており、明らかな日変化パターンの違いが生じている。この理由として、原単位は月平均値であるため、窓開け換気の効果が含まれていることが考えられる。一般に住宅では窓を開けることにより日中の冷房負荷が解消される効果が大きいと言われており、供給側のデータからも住宅地ではエネルギー消費の気温感応度が比較的小さいことが示されている<sup>20),21)</sup>。これに対し、本研究のシミュレーションでは換気量を固定しており、窓開け換気効果を再現していないため、こうした差異が生じたものと推察される。実際に、本研究の対象日は外気温が冷房室温を大きく上回っていることを考慮すれば(図-2参照)、こうした気象条件で窓開け換気が行われるとは考え難いため、月平均値である原単位法とは当然差異が生じると考えている。気温感応度法においても、気温上昇に伴い窓を閉めることにより窓面透過日射や内部発熱が空調負荷となるといった不連続な変動は表現できないため、やはりピークは夜間に生じている。したがってこの差異については定性的には妥当であると考えている。その他、図-8の各手法には前提条件に種々の違いがあり、当然ながら完全には一致しないものであるため、ここでの検討はあくまでオーダーチェックと位置付けておく。今後、供給側のデータとの比較や原単位データの精査を行い、さらなる検証と精緻化を行なう予定である。

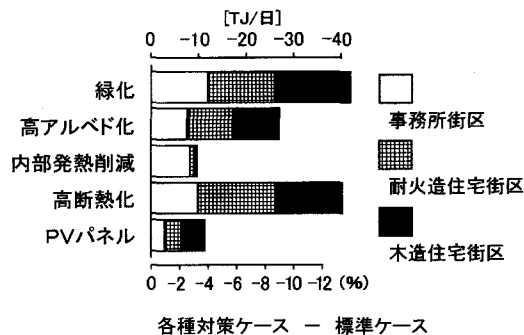
### (3) 対策ケースの導入効果の算定結果

対策導入による省エネルギー効果について緑化ケースと高アルベド化ケースの例を図-9に示す。この結果、省エネルギー効果は都心部の密集市街地付近で大きく生じていることが分かる。床面積あたりのエネルギー消費削減量は木造住宅街区が最も大きい(図-6参照)、土地面積あたりで見ただけの場合は、当然ながら床面積が大きい密集市街地の方が相対的に大きな効果が得られるという結果となった。他の対策ケースも同様に図化を行ったところ、絶対値には違いがあるものの、分布形はいずれも類似していたため、ここでは他の図は省略する。次に表-3に示した5通りの対策ケースについて同様にこの対象エリア全体でのエネルギー消費削減量を算出した(図-10)。この結果、今回の計算条件では緑化と高断熱化の省エネルギー効果がとくに大きいという



対策ケース - 標準ケース [kJ/m<sup>2</sup>/日]

図-9 グリッド別エネルギー消費量の差



各種対策ケース - 標準ケース

図-10 総エネルギー消費量の差

結果となった。また、高アルベド化でも比較的大きな省エネルギー効果が得られるという結果を得た。ただしこれはあくまで表-3のシナリオに従った評価結果であり、各対策を対等に比較しているとは言えないので、決して各対策間の優劣について判断できる結果でないことは、ここで再度念を押しておく。また、図-10には分かりやすさを考慮し、標準ケースの冷房全体に対する削減率(%)の軸も併記した。ただし、今回は盛夏期の晴天日のみを解析対象日としているため、この削減率は冷房期間全体で生じる実際の削減効果を過小評価している可能性がある。著者らの経験では、分母となる絶対量が多い盛夏期のみでパーセントで表記すると値が小さくなることが多いため、結果を解釈する上では注意する必要がある。今後、より定量的に省エネルギー効果を把握するには、通年評価を行う必要があると考えている。



## 5. まとめ

本研究では都市キャノピー・ビルエネルギー連成モデルを用いて、緑化や高アルベド化などの各種ヒートアイランド緩和・省エネルギー方策の効果を評価した。この結果、本研究の計算条件では緑化と高アルベド化の気温低下効果はそれぞれ  $0.4\sim 0.6^{\circ}\text{C}$  および  $0.3^{\circ}\text{C}$ 、省エネルギー効果は住宅地であればそれぞれ  $300\text{ kJ/m}^2/\text{日}$  および  $150\text{ kJ/m}^2/\text{日}$  (床面積あたり、最終需要ベース) という結果を得た。また東京都心部の約  $20\text{km}\times 20\text{km}$  の範囲での広域評価を行い、各対策の導入・普及時におけるエネルギー消費量の削減ポテンシャルについて明らかにした。ただし本研究の結果はあくまで設定した対策シナリオに基づく試算結果であり、一般的な知見を得るためには今後さらなる評価事例の蓄積が必要である。今後は各対策の導入可能性を考慮したより現実的な評価や、冬季も含めた通年評価を行う予定である。

**謝辞：** 本研究を進めるにあたり(独)国立環境研究所地球環境研究センターの一ノ瀬俊明主任研究員、(独)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の井原智彦研究員にご指導を頂きました。また、本研究の計算を行うにあたり(独)国立環境研究所大気圏環境研究領域の中根英昭上席研究員にご協力頂きました。ここに深謝の意を表します。本研究は文部科学省科学研究費補助金(特別研究員奨励費)を受けて実施された。

## 参考文献

- 1) 一ノ瀬俊明: 土壌環境システムとしてのヒートアイランド研究の来しかた行くすえ, 環境情報科学, Vol.32, No.3, pp.8-12, 2003.
- 2) 持田 灯: 都市気候変動, 日本建築学会総合論文誌, No.1, pp.128-133, 2003.
- 3) 尾島俊雄: 都市汚染, 空気調和・衛生工学, Vol.64, No.9, pp.729-733, 1990.
- 4) 水島雅文: ヒートアイランド現象とエネルギー問題, 電気協会雑誌, pp.32-36, 1997.
- 5) 一ノ瀬俊明: 地方自治体におけるヒートアイランド対策一環境省委員会の活動一, 大気環境学会誌, Vol.37, No.6, pp.A71-84, 2002.
- 6) Taha, H., Konopacki, S. and Gabersek, S.: Impacts of large-scale surface modifications on meteorological conditions and energy use: a 10-region modeling study, *Theor. Appl. Climatol.*, Vol. 62, pp.175-185, 1999.

- 7) Akbari, H. and Konopacki, S.: Calculating energy-saving potentials of heat-island reduction strategies, *Energy Policy*, Vol.33, pp.721-756, 2005.
- 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, Vol.22, pp.235-240, 2001.
- 9) 亀卦川幸浩, 玄地 裕, 近藤裕昭, 花木啓祐: 街区構造に応じた高温化対策の導入が都市空調エネルギー需要に及ぼす影響, エネルギー・資源, Vol.23, pp.200-206, 2002.
- 10) 近藤裕昭, 劉 発華: 一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, pp.179-192, 1998.
- 11) 大橋唯太, 平野勇二郎, 玄地 裕, 近藤裕昭, 亀卦川幸浩, 吉門洋: 都市気象・ビルエネルギー連成モデルを用いた事務所街区内気温の数値シミュレーション, 水工学論文集, Vol.48, pp.133-138, 2004.
- 12) 阪田知彦, 吉川 徹: GIS 建物データとメッシュシステムに立脚した東京都区部における延べ床面積規模別事業所系建築物の地理的分布の分析, 日本建築学会計画系論文集, No.545, pp.189-196, 2001.
- 13) 平野勇二郎, 新津潔, 大橋唯太, 一ノ瀬俊明: 高アルベド塗料を塗布したコンクリート面の表面温度と熱収支の観測, 環境情報科学論文集, Vol.18, pp.247-252, 2004.
- 14) 玄地 裕, 大橋唯太, 稲葉敦, 石崎雅子, 亀卦川幸浩, 高橋宏: 太陽電池パネル大規模設置の夏季気温と冷房負荷への影響, 第 22 回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集, pp.255-258, 2003.
- 15) 東京都環境保全局: 都におけるエネルギー需給構造調査報告書, 東京都環境保全局環境管理部環境計画室, 1999.
- 16) 平野勇二郎, 茅 陽一, 柴崎亮介: 都市ヒートアイランド現象の空調・給湯用エネルギー消費への影響評価, 土木学会論文集, No.629/VII-12, pp.83-96, 1999.
- 17) 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 東京都心部の地上緑化を対象とした夏季・冬季のケーススタディー, 日本建築学会環境系論文集, No.591, pp.75-82, 2005.
- 18) 日本地域冷暖房協会: プロジェクト 2010 日本全国地域冷暖房導入可能性調査研究平成 6 年度報告書, 1995.
- 19) 空気調和・衛生工学会: 都市ガスによる コージェネレーションシステム計画・設計と評価, 1994.
- 20) 鳴海大典, 下田吉之, 水野 稔: 気温変化が地域の電力消費に及ぼす影響, 第 21 回 エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, pp.109-112, 2005.
- 21) 玄地 裕, 大野創介, 亀卦川幸浩, 山口和貴: 東京都における電力需要の分析 ～事務所系, 住宅系街区の電力需要量と気温の関係について～, 第 24 回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集, pp.265-268, 2005.

# EVALUATING HEAT-ISLAND MITIGATION AND ENERGY SAVING MEASURES USING A COUPLED URBAN-CANOPY AND BUILDING-ENERGY MODEL

Yujiro HIRANO, Yukitaka OHASHI, Yukihiro KIKEGAWA, Hiroaki KONDO  
and Yutaka GENCHI

We investigated the cooling and energy-saving effects of measures for mitigating urban heat islands, such as urban greening and high-albedo painting. Several other typical energy conservation techniques for buildings, such as reducing internal heat sources, installing photovoltaic panels, and increasing insulation, were also assessed. To simulate the city-block-scale interaction between outdoor air and cooling energy demands, we used a coupled urban-canopy and building-energy model. This model includes a vertical one-dimensional local atmospheric model and a box-type building model for calculating air-conditioning loads, and predicts the heat loads of buildings and the effects of air conditioning operation on energy consumption and air temperature changes.

An approximately 20 × 20-km region that included metropolitan Tokyo was selected as the target study area, and divided into 31 districts north to south and 33 districts east to west with a grid size of 600 × 600 m. Three prototypical districts were extracted from the study area: an office-building district, a fire-resistant residential district, and a wooden-housing residential district. To simulate typical summer days, we selected 8-10 August 2002, a period of continuous clear weather over the study region.

The calculation results for the prototypical districts showed that urban greening and increasing the urban albedo in residential areas can decrease air temperatures by 0.6 and 0.3 °C, respectively, and reduce energy consumption by 300 and 150 kJ/m<sup>2</sup>/day (per floor area), respectively. A large scale assessment was performed on a 20 × 20-km region in central Tokyo to quantify the effects of various heat island mitigation strategies.