

11. 都市街区スケールでの冷房エネルギー削減によるCO₂削減効果の数値シミュレーション

平野 勇二郎^{1*}・藤田 壮¹

¹ (独) 国立環境研究所 社会環境システム研究センター (〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)

* E-mail: yhirano@nies.go.jp

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、街区スケールでの各種の空調負荷軽減策の冷房エネルギーの削減によるCO₂排出削減効果を評価した。本研究では対象地域は川崎市、対象日は2002年7月29日を選択した。まず典型街区における地上気温および室内熱収支の計算結果から、街区タイプによる都市ヒートアイランドや空調負荷パターンの特徴をよく反映していることが確認された。次に各種の対策の導入シナリオを想定し、川崎市におけるシミュレーションを行った。今回の計算条件では窓面の日射遮蔽の効果が最も大きく、対象地域全域で500[t-CO₂/日]の削減効果が得られるという結果となった。空調設定温度の変更、高アルベド化、建物・地面緑化においても比較的大きな効果が得られるという結果を得た。

Key Words : urban thermal simulation, CO₂ reduction, air-conditioning load, built environment

1. はじめに

夏季の冷房用エネルギー消費は電力のピーク負荷を高める要因となっており、CO₂排出による地球温暖化や電力安定供給に関係する重要な問題である。また、都市部では都市ヒートアイランドも深刻な問題となっており、街路空間の快適性の損失だけでなく、さらなる冷房用エネルギー増大や電力ピーク負荷の増大を引き起こすことが指摘されている。こうしたことから、近年は行政レベルでの都市熱環境の対策やエネルギー利用の効率化などの種々の工夫を取り入れた様々な環境管理・計画が提案されている。ただし、これまでに個別の省エネルギー技術やCO₂排出量削減施策に関しては数多くの研究が行われてきたが、実際に導入する場合には、効果は土地利用・建物用途や気候などの様々な地域条件に依存することや^{1,2)}、外気温変化による冷房用エネルギーの変化などの間接的な効果が生じること³⁾などを考慮する必要がある。また、実際には、行政レベルでの計画のプロセスでは原単位法や統計データの按分などの単純な推計手法が用いられることが多いが⁴⁾、地域条件を踏まえて的確に評価することは難しいことや、対策導入の効果を事前に定量的に予測することが難しいといった問題がある。したがって今後は原単位法などの単純な手法だけではなく、

対策導入プロセスを組み込んだ物理的なシミュレーションを併用して地域スケールでの詳細な施策評価が必要である。

本研究は都市熱環境のシミュレーションにより街区スケールでの各種の冷房エネルギー削減策について、ヒートアイランド緩和効果とCO₂削減効果を評価することを目的とした。とくに本研究では、局地気象モデルと空調負荷計算モデルの連成計算により、屋外温熱環境とのインタラクションも含めて対策導入の効果を評価した。

2. シミュレーションの概要

本研究で用いたモデルは、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都市キャノピー・ビルエネルギー連成モデルである^{5,6,7)}。このモデルに含まれた都市キャノピーモデルは鉛直1次元の局地気象モデルであり、屋外温熱環境を解析する。ビルエネルギーモデルは都市キャノピーモデルに組み込んだ空調負荷計算モジュールであり、外気温の冷房用エネルギーへの影響と冷房排熱の外気温への影響の両者を同時に計算可能である。

本研究では図-1に示した通り、対象地域として川崎市

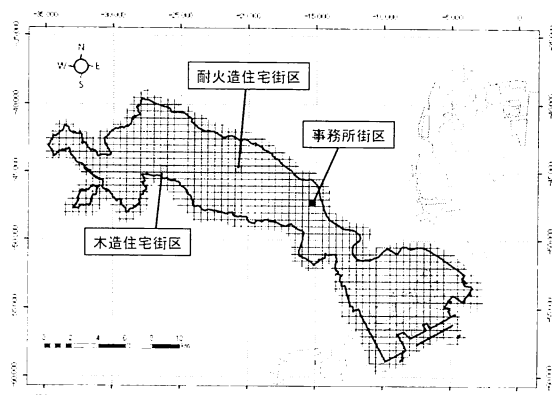


図-1 対象地域のグリッド分割と典型街区

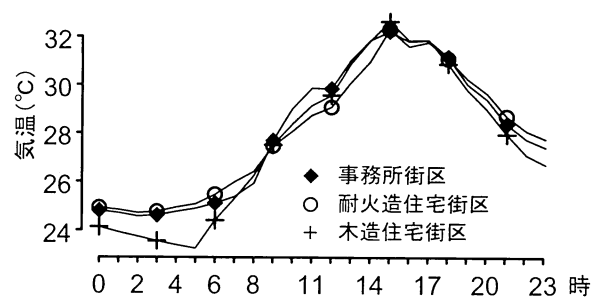


図-2 典型街区群における地上気温の計算結果

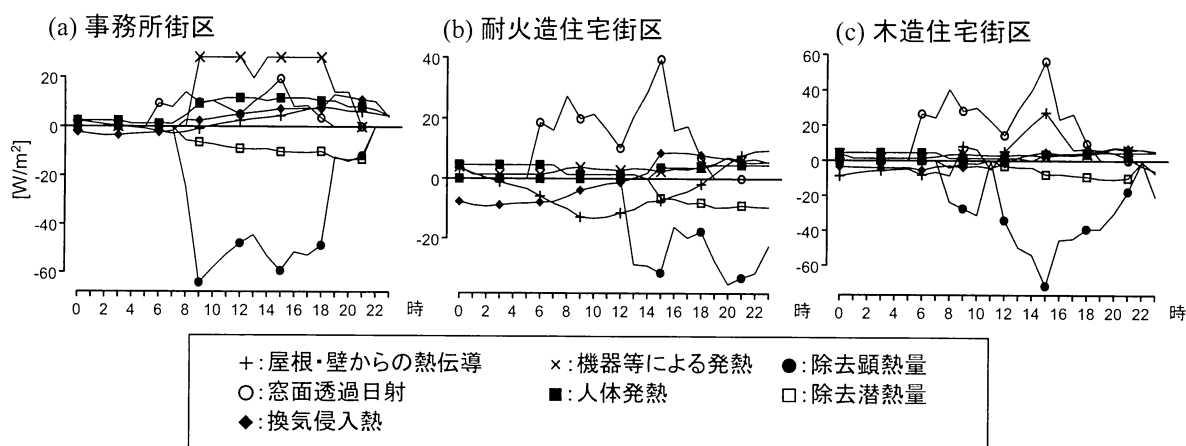


図-3 室内熱収支の計算結果

を選択し、格子間隔500mの計算グリッドに分割した。本研究のシミュレーションはこのグリッド単位で行う。本研究では計算期間を2002年7月27～29日の3日間とし、始めの2日間は助走計算期間、3日目を解析対象日とした。計算対象とする街区タイプは、亀卦川ほか⁷⁾の方法に従い、典型街区として事務所街区、耐火造住宅街区、木造住宅街区を選択した(図-1参照)。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⁶⁾の計算条件に従って設定した。

3. 標準ケースの計算結果

まず各街区タイプにおける地上気温の計算結果を図-2、室内熱収支の計算結果を図-3に示す。図-2では、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と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では、除去顕

熱量、除去潜熱量が空調機器により除去された熱量を示しており、空調負荷パターンと対応している。この結果から、街区タイプの空調負荷の特徴は概ね再現できていると考えられる。ただし、耐火造住宅街区において貫流熱が負となっている点には注意が必要である。本研究で設定した住宅の運転スケジュールでは日中の稼働率が低いため、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は外気温を上回っているためにこうした結果となった。この結果の妥当性については今後精査が必要である。

4. 対策導入ケースの計算結果

本研究において想定した対策導入ケースの計算条件の概要を表-1に示す。ただしこれらのシナリオは各対策を対等に比較できる条件設定ではないため、対策間の定量的な比較評価は本研究では行なわない。また、本研究はあくまで冷房用エネルギー削減の効果を定量化することが目的であるため、PVパネル導入シナリオではパネルによる日射遮蔽などの効果による冷房用エネルギー削減

表-1 対策導入ケースにおける想定

窓面の日射遮蔽	ブラインドまたはカーテンの利用を想定 (日射総合透過率:事務所:0.3→0.1, 住宅:0.5→0.2)
高断熱化	屋根・外壁を高断熱化(次世代省エネ基準相当)
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
建物・地面緑化	屋上:屋上面の60%を緑化 壁面:壁面のうち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:壁面の60%のアルベドを0.64とする
PVパネル(日射遮蔽等の間接効果)	屋上の60%にPVパネルを導入(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。)
空調設定温度の変更	冷房設定温度を1℃高める (事務所:26℃→27℃, 住宅:27℃→28℃)

効果のみを評価対象とした。このため、本来はPVパネルの効果としては発電が最重要であるが、本研究では発電量を省エネルギー効果やCO₂削減効果としてカウントしていない。今後、別途に太陽エネルギー利用技術の研究を行う際には、本研究の結果を結びつけて評価することに意義があると考えている。

対策導入ケースにおける各街区タイプのヒートアイランド緩和効果を図-4、省エネルギー効果を図-5に示した。図-4から、今回の計算条件では緑化では0.6～1℃、高アルベド化では0.2～0.6℃の気温低下効果が得られていることが分かる。他の対策については外気温への影響は非常に小さい。PVパネルでは若干気温が上昇したが、これは表面のアルベドが低く温度が上がりやすいためであると考えられる。図-5から、今回の計算条件では窓面の日射遮蔽や高アルベド化、空調設定温度の変更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。内部発熱削減の効果は、事務所街区では大きく生じてい

るが、住宅街区では小さいことも特徴的である。これは室内の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である。このため、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。また、高断熱化の効果は、本研究では冷房のみを対象としたため、大きいとは言えない。とくに、耐火造住宅街区では前述した通り日中には室温が外気温を上回るため、今回の計算条件では負値となっている。実際には住宅では暖房を含めれば高断熱化による省エネルギー効果が大きいことは十分に予想できるため、今後は暖房を含めた通年評価が必要である。

次に同様のシミュレーションを図-1に示した川崎市の全グリッドにおいて行なった。図-6に、対象エリア全体でのCO₂削減効果を示す。この結果、今回の計算条件では、窓面の日射遮蔽が最も大きく、約500[t-CO₂/日]の削減効果が得られるという結果となった。また、空調設定温度の変更、高アルベド化、建物・地面緑化の順で続いており、いずれも300～400[t-CO₂/日]の削減効果が得られるという結果となった。ただし、前述した通り今回の計算条件では各対策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間の比較評価はここでは避ける。図-5では床面積あたりの省エネルギー効果は事務所街区においても比較的大きく生じていたが、図-6では川崎市全域での建築ストック数の違いが反映され、住宅街区におけるCO₂削減効果が大きいという結果となった。ただし、本研究では川崎市全域に対策を導入した想定で計算を行なったが、実際には効果が大きい地域へ集中的に対策導入することも十分に想定でき

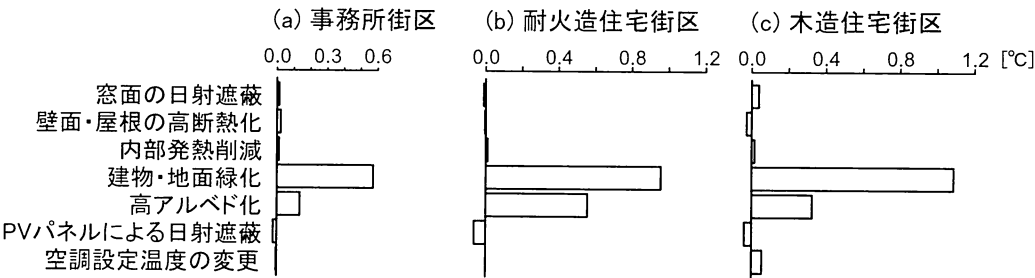


図-4 各施策による気温低下効果 (標準ケースー各種対策ケース)

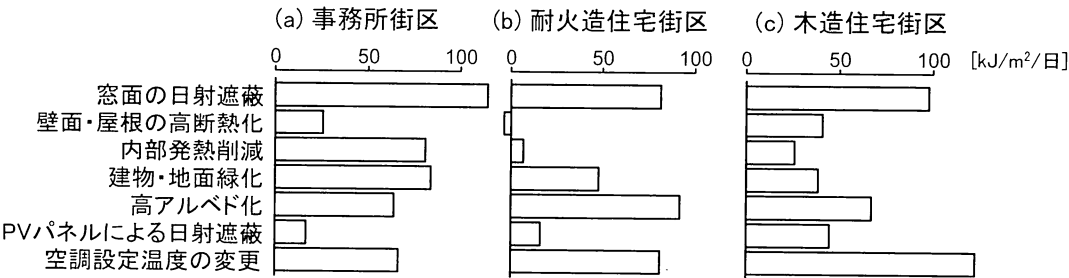


図-5 各施策による省エネルギー効果 (標準ケースー各種対策ケース, 床面積あたり)

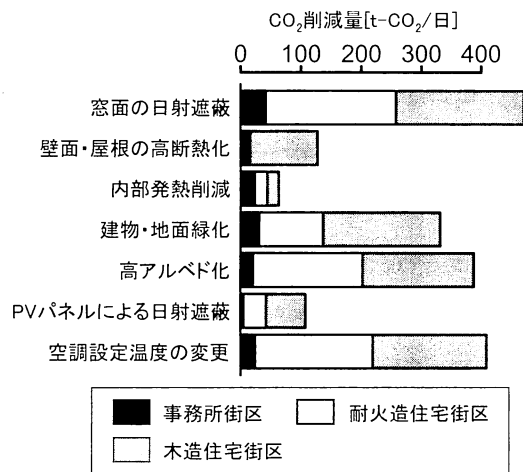


図6 川崎市におけるCO₂削減効果の計算結果

る。その場合は、高密度地域である事務所街区において相対的に大きな効果が得られる可能性が高いため、今後は地域を分けて対策導入量と削減効果との関係を検討する必要があると考えられる。

5. まとめ

本研究は都市熱環境のシミュレーションにより街区スケールでの各種の冷房負荷軽減策のCO₂削減効果を評価した。具体的には外気温と室内の空調負荷を同時に計算できる都市キャンノピー・ビルエネルギー連成モデルを用いて、事務所街区、耐火造住宅街区、木造住宅街区の3通りの街区タイプを対象とし、例えば高断熱化や高アルベド化などの種々の対策の省エネルギー効果を明らかにした。これらの結果、典型街区において現状および各対策ケースでの地上気温や室内熱収支、空調負荷パターンの特性が明らかになった。また、屋外温熱環境との相互作用も含めて典型街区における対策導入効果を定量化することができた。この評価手法を川崎市全体へ適用し、各対策によるCO₂削減効果を算定した。この結果、今回の計算条件では、窓面の日射遮蔽の効果が最も大きく、空調設定温度の変更、高アルベド化、建物・地面緑化の対策の順でそれにくつという結果を得た。ただし、本研究における対策導入シナリオは必ずしも各対策を対等に

比較し得る導入条件とは言えず、対策間の定量的な比較ができなかったため、今後シナリオ設定については検討が必要である。また、本研究では夏季の冷房のみを評価対象としたが、行政レベルの対策に貢献し得る定量評価を行なう際には、暖房も含めた通年評価を行なうことが必要である。

謝辞：本研究を進めるにあたり岡山理科大学准教授の大橋唯太氏にご指導を頂きました。本研究は環境研究総合推進費E-1105「低炭素社会を実現する街区群の設計と社会実装プロセス」（代表：加藤博和）の支援により実施されました。ここに深謝の意を表します。

参考文献

- 1) 平野勇二郎, 藤田 壮, 高橋俊樹: 全国主要都市の家庭におけるCO₂排出量の構造分析とエネルギー用途の推定手法. 環境システム研究論文集, Vol.38, pp.309-316, 2010.
- 2) 平野勇二郎, 亀卦川幸浩, 玄地 裕, 近藤裕昭: 事務所および住宅における空調・給湯用エネルギー消費量の気温感応度算定に関する各種手法の相互比較. エネルギー・資源, Vol.27, pp.218-224, 2006.
- 3) 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.
- 4) 環境省; 地球温暖化対策地方公共団体実行計画（区域施策編）策定マニュアル（第1版）, 2009.
- 5) 近藤裕昭, 劉 発華: 一次元都市キャン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.
- 6) 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.
- 7) 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.