

都市エネルギーシステムがヒートアイランド現象に及ぼす広域影響に関する研究

岡 和孝¹・富塚 孝之²・亀卦川 幸浩³

¹非会員 理博 みずほ情報総研(株) 環境・資源エネルギー部 (〒101-0054 東京都千代田区神田錦町3-1)

E-mail: kazutaka.oka@gene.mizuho-ir.co.jp

²非会員 理修 みずほ情報総研(株) 科学技術部 (〒101-8443 東京都千代田区神田錦町2-3)

E-mail: takayuki.tomizuka@gene.mizuho-ir.co.jp

³非会員 工博 明星大学 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)

E-mail: kikegawa@es.meisei-u.ac.jp

本研究では、著者らが開発した「都市気象・エネルギー連成モデル」を大阪を中心とする京阪神地域に適用し、建築における熱源・電源システムの構成の変化がもたらす夏季ヒートアイランド現象への影響について、シミュレーションによる予測評価を試行した。熱源、電源システムの変化としては、都市ガスコジェネレーションやヒートポンプ式給湯機器の導入等のシナリオを想定した。その結果、(1)シナリオ間での建築系人工廃熱の増減がもたらす大阪府域の地上気温への影響の感度は、昼間に比し夜間に増大する、(2)夜間の顕熱廃熱の変化をもたらすシナリオでは、昼間に比べて地上気温の変化がやや大きくなることが予測される、(3)昼間の廃熱増減に伴う気温影響は総じて減少し、かつ狭域化する傾向が認められる等が判明した。

Key Words : *heat island, urban thermal environment, building energy system, anthropogenic heat, numerical simulation, energy system*

1. イントロダクション

ヒートアイランド現象は、都市域の気温が周囲の地域に比べて上昇する局地スケールの温暖化現象であり、世界の都市域において進行しつつある。日本においても、昨今、ヒートアイランド現象は社会問題として広く認識されている。

このヒートアイランド現象が生じる主な要因としては、エネルギー消費の集中に伴う人工廃熱の増加や都市被覆の人工化・乾燥化による表面温度の上昇などが考えられている。夏季のヒートアイランド現象への対策として、前者については省エネ等による廃熱削減、後者については緑化等による都市表面の冷却などが考えられている¹⁾。

ヒートアイランド現象を生じさせる上記要因のうち、人工廃熱の排出構造(量や排出場所および時間変化)は、都市への電力供給方式や建築の空調方式等に左右されるものである。今後、このような都市のエネルギーシステムについては様々なシステム構成の変化も予期される。このようなシステム構成の変化の中には、高効率であっても都市内での発電廃熱の増加を伴う可能性を有する分散型電源の普及等、省エネが必ずしも廃熱削減に寄与し

ないケースも想定される。従って、都市のエネルギーシステムの変容に伴う廃熱構造の変化とその都市熱環境への影響度合いを評価することは、今後の都市エネルギーシステムのあり方を考える上で、非常に重要となる。しかし、現状としては数種の空調システムに着目しその熱環境影響を比較解析した既往研究²⁾などが散見されるのみで、総合的な評価研究の事例は未だ存在しない。

こうした問題意識のもと、本研究では都市エネルギーシステム構成の変化が都市気象・熱環境に及ぼす影響を著者らが開発した数値モデル^{3),4)}を用いて評価を行った。なお、本研究では対象地を大阪市域スケールとし、そこでの都市エネルギーシステム構成の変化を想定し、夏季の様々な気象条件下での気温影響についての予測評価を実施した。これにより、都市地域での熱源・電源システムが夏季ヒートアイランド現象に及ぼす影響について、その全体像の把握が可能となる。本研究では以上の研究成果について報告する。

2. シミュレーション条件に関する検討

シミュレーションを行うにあたり以下の内容の検討を

行った。

(1) 計算領域の設定

本研究ではメソ〜街区スケールに渡る以下のマルチスケールの計算領域（図-1）を採用した。

- ・領域-A: 関西・中国・四国地方を含む東西約 400km×南北約 300km の領域(水平格子間隔は東西, 南北方向ともに約 10km)。メソスケール気象モデル(MM)による低分解能の計算領域として定義。
- ・領域-B: 大阪府を中心とする東西約 90km×南北約 160km の領域(水平格子間隔は東西, 南北方向ともに約 2km)。メソスケール気象モデル(MM)による高分解能の計算領域として定義。
- ・領域-C: JR 環状線を含む大阪市の中心街区領域(約 8km 四方, 水平格子は約 500m 四方)。街区熱環境予測モデル(CMBEM)の計算領域として定義。

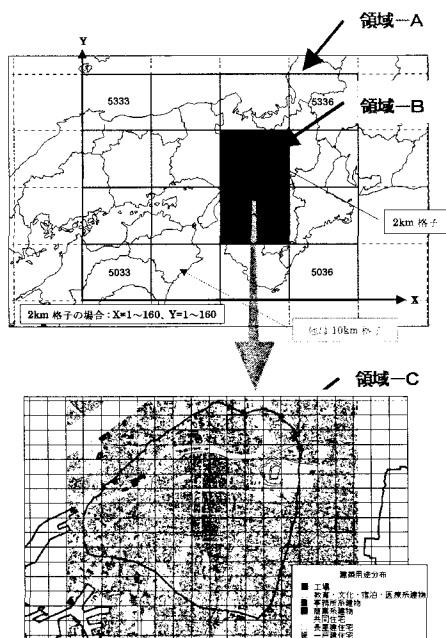


図-1 メソスケール気象モデル (MM) および都市キャノピーモデル (CMBEM) による計算領域

(2) 実測気象データに基づくシミュレーション対象期間の選定

日射量や上空風速および局地風系等の気象条件の観点より, 夏季京阪地域に出現する気象パターンの多様性を内包する期間として, 1ヶ月程度の夏季におけるシミュレーション対象期間を選定すべく, 各種気象資料の解析を行った。解析対象としたのは, 関西, 中国, 四国地方

における気象庁AMeDAS資料であり, 計51測定局の2001年夏季における地上気象観測データを収集・解析した。あわせて, 上空の気象条件についても検討すべく, 米子, 潮岬におけるAMeDASと同期間の高層気象資料(ゾンデデータ)についても収集し, シミュレーション期間選定のための各種解析作業を実施した。

収集した前述のAMeDASおよび高層気象データに基づき, 2001年夏季の少雨期間として, 2001年7月20日~8月19日の1ヶ月間をシミュレーション期間として選定するに至った。ここで少雨期間に着目したのは, 本研究にて用いるメソスケール気象モデル (MM) と街区熱環境予測モデル (CMBEM) の両モデル上, 降水が都市表面の熱収支に与える影響が現段階では考慮不能であったことに依った。

(3) 大阪府域における人工廃熱量の推定

シミュレーション時に必要となる大阪府域での人工廃熱量は各種統計値をもとに推計した。なお, 統計値をもとに推計した廃熱は全熱ベースであるため, この全熱を, 既往研究⁹⁾を参考に顕熱・潜熱に分離した。同研究では, 大阪府の産業・民生・運輸の全部門を対象に人工廃熱の推定が試みられている。本研究では, この既往研究⁹⁾における部門別の顕熱廃熱総量と潜熱廃熱総量の比をとり, 同比に基づき本研究で推定された全熱廃熱の顕熱・潜熱への分離を行った。なお, 推定された各部門の顕熱・潜熱比は, 民生部門で 8.0:2.0, 産業部門で 8.2:1.8, 運輸部門で 9.4:0.6 である。

表-1 電源・熱源構成に関わるケース設定

ケース名	説明	適応対象	電源設定	空調熱源設定	
				エネルギー源	熱源構成 ^(注1)
CASE-0	環境熱源構成	業務ビル	系統	電力 +都市ガス	CAWDCH CEASCH MEACH1
CASE-11	全電気空調・顕熱廃熱		系統	電力	MEACH1
CASE-12	全電気空調・潜熱廃熱		系統	電力	CEWTR0
CASE-21	全都市ガス空調・顕熱廃熱		系統	都市ガス	MGACH0
CASE-22	全都市ガス空調・潜熱廃熱		系統	都市ガス	CAWDCH
CASE-31	都市ガスCGS導入		系統 +自家発電	都市ガス +CGS廃熱	CAWDCH CAWSR0
CASE-32	空調熱源削減	住宅街	(空中熱媒全量の大気系外放熱を想定)		
CASE-51	ヒートポンプ給湯導入		(全給湯機器を電気ヒートポンプ式に置換; COPh=3)		
CASE-92	ヒートポンプ給湯導入		(全給湯機器を電気ヒートポンプ式に置換; COPh=2)		

注1) 数値名に照し, 表2を参照。

(4) 熱源・電源構成に関わるケース設定

本研究では表-1に示すケースを設定した。シミュレーションにおいて考慮する熱源機器の仕様については表-2に, 都市ガスコージェネの設定については表-3に示してある。また, 本研究では住宅建築への電気式ヒートポンプ給湯器の普及ケース (CASE-91&92) も考慮した。ヒートポンプ給湯システムの導入に伴う建築廃熱の増減の推計に必要な需要条件および給湯システム側の性能条件については, 表 4^{9), 7), 8)}に示す設定を施した。ここで, 給湯の熱需要条件については, 空気調和・衛生工学会の集合住宅用の標準熱負荷データ⁹⁾を採用し, 夏季8月の

需要条件を想定することとした。また、戸建て住宅の熱負荷に関しては標準的な公開データが存在しないことを踏まえ、上述の集合住宅用の設定を戸建てを含む住宅建築の全般に適用することとした。

表-2 シミュレーションの対象とした熱源機器の仕様

機器名称	略称	空調方式	エネルギー源	定格COP	廃熱源
直燃吸収式冷暖発生機	CAWDCH	中央式	都市ガス	0.97	冷却塔
温水吸収式単効用冷凍機	CAWSR0	中央式	廃熱(温水)	0.70	冷却塔
ガスエンジンHPマルチ(ビルマル)	MGACH0	個別式	都市ガス	0.95	室外機
空冷電源ヒートポンプ	CEASCH	中央式	電力	2.73	室外機
空冷パッケージ(ビルマル)	MEACH1	個別式	電力	2.58	室外機
水熱源ターボ冷凍機	CEWTR0	中央式	電力	4.71	冷却塔

注1) 全熱源に關し、下層負荷率を20%とするon-off運転を想定。

表-3 都市ガス CGS に関する条件設定

設定項目	CASE-31	CASE-32	CASE-33
運転方式	電主熱従		
運転時間帯	9:00～18:00		
発電効率(%) ^(注)	27.7		
排熱回収効率(%) ^(注)	47.4		
排熱利用率(%)	100.0	0.0	
CGS総合効率(%)	75.1	27.7	
ピーク電力需要(W/floor-m2)	50.0		
ピーク電力需要に対する発電容量比(%)	30.0	100.0	
余剰回収熱の排熱形態	-	顕熱	潜熱

※各種効率は、全室定常発電基準の値。

注) ガスエンジンCGS(発電容量≤200kW)の複数社カタログ仕様より平均効率を設定。

表-4 ヒートポンプ給湯器の導入に伴う住宅地区廃熱の増減に関する試算条件

項目	設定内容
給湯熱需要	空調調和・衛生工学会(1994)の熱環境負荷データより集合住宅値を設定 (年間の給湯熱需要=30Mcal/floor-m ² /年、年間需要の7月への按分比率:5.41%)
従来型給湯器に関する設定	■COP=0.75 ^(注1)
ヒートポンプ給湯器に関する設定	■CASE-91→COP=3.0 ^(注2) ■CASE-92→COP=2.0 ^(注2) ■ヒートポンプによる貯熱運転時間帯:午前1時~午前5時 ^(注3)

注1) 文献7)における実測結果を採用

注2) 文献8, 7, 8)の既往研究を参考とし、HP給湯器のシステムCOPについて2通りを設定。

注3) 文献7)のモニタリング調査結果に基づき設定。

(5) 大阪市域における街区構造等のパラメータ化

メソ〜街区スケールの気象・熱環境のシミュレーションに際して必要となる街区形状、被覆構成等の地表面条件に関するパラメータの同定を行った。

a) 地表被覆条件の同定

メソスケール気象モデル(MM)に与える被覆条件については、国土数値情報土地利用データ(KS-200-1; 100mメッシュ土地利用データ)を用いて、計算領域における格子毎の土地利用を定義する方法で被覆条件を設定した。土地利用の用途別に粗度長(ZO)やアルベド(AL)等の地表面パラメータを設定した。

街区熱環境モデル(CMBEM)において、植生からの潜熱(水蒸気)輸送量の計算に關し、コンダクタンス法を使用している。その際に必要となる蒸散速度は植生の種類により異なるため、植物種別の緑被率の設定が必要となる。そこで、CM上の計算スキームにあわせ、高精度な緑被率を設定すべく、本研究では領域Cについて

航空写真判読により緑被部分の抽出を試みた。緑被は草地と樹木に分け判読し、500m四方メッシュ単位での緑被率を推定した。

b) 街区形状パラメータの同定

大阪市の平成12年建物現況数値地図データ(建物ポリゴンGISデータ)を解析し、街区熱環境予測モデル(CMBEM)への入力条件となる街区形状に關するパラメータ、つまり、i)街区の平均ビル幅、平均道路幅、建物の鉛直方向の分布密度、ii)街区平均の路上天空率、iii)ビルの空力抵抗係数を左右する空気力学的パラメータ(側壁の面積密度等)を算出した。

表-5 建物用途・構造に基づく街区分類

街区TYPE	建物用途 ^(注1)	耐火造比率(%) ^(注2)		建物構造 ^(注3)	該当メッシュ数
		平均	標準偏差		
I	事務所街区	96.89	4.02	耐火造	33
II	住宅街区	67.19	19.90	耐火造	25
III				非耐火造	114
IV	その他街区	87.32	11.05	耐火造	134

注1) 事務所、住宅街区とは、床面積ベースで50%以上を事務所、住宅が占める街区。その他街区は、事務所、住宅とも構成比50%未満。

注2) 500mメッシュ街区毎の建物耐火造比率の領域内統計値

注3) 耐火造比率でみて、平均±3σ標準偏差≥50%な耐火造街区、住宅街区は50%未満の為、建物の過半が耐火造ならTYPE-I、それ以外をTYPE-IIへ分類。

c) 建物用途構成の分析にもとづく街区の分類

街区熱環境予測モデル(CMBEM)は、街区キャノピー内の気象条件とあわせ、建築側の空調熱負荷と冷房エネルギー需要を予測し、気象条件に対する建築側の廃熱応答を表現するモデルである。その街区区域への適用に際しては、建築の空調シミュレーションに必要な外壁構造や空調のスケジュールや機器構成等、建築側についても数多くの条件設定を要する。

本研究では、街区を構成する建築種を現実的に考慮し建物側の条件設定を行うべく、JR環状線領域(計算領域C)の500mメッシュ街区を、GISデータ上の建物用途と建築構造(耐火造か否か)のメッシュ別構成に基づき、表-5の4種類の街区(I〜IV)へ分類した。

CMBEMによる領域Cの数値実験に際しては、I〜IVの街区分類別に、支配的建物用途(Iは事務所建築、IIは耐火造集合住宅、IIIは木造戸建住宅)を考慮し、街区毎に建築側の躯体条件や空調条件を設定することとした。

(6) メソスケール気象モデル(MM)の改良

広域かつ長期間のシミュレーションに向け、本研究で実施したMMの改良内容を以下に述べる。

a) ネスティングスキームの導入

長期積分に伴う計算機負荷の増大に対処すべく、2段階格子を採用し、10km格子系→2km格子系への1段階ネスティングの計算スキームを新たに開発した(図-1)。関西・中国・四国地方を含む約300km四方の広域計算(領域Aの計算)には10km格子系を採用し、そのシミュレ

ーション結果より大阪府を中心とする詳細計算領域（2km 格子領域）の側面境界条件を生成し、その条件下で領域 B の気象場をシミュレートする計算スキームを導入した。

b) データ同化による広域気象条件の取り込み

MM 上では表現不能な気圧配置や前線活動に伴う総観規模の気象変動（一般風の変化・上空での気温増減など）を、シミュレーションにて外生条件として考慮可能とすべく、RSM-GPV データ（気象庁広域モデルの計算結果）を MM のシミュレーション過程に取り込むデータ同化機能を整備した。10km 格子系を採用する領域 A の広域の MM 計算においては、以上のデータ同化を行う一方、2km 格子系の狭域（領域 B）の MM 計算においては同化を行わない計算手法をとった。

c) 雲量分布等を考慮した放射計算の高精度化

RSM-GPV に含まれる大気下層・中層・上層の雲量データと水蒸気量データをシミュレーション過程に取り込み、日射量と天空放射量を予測する放射計算スキームを新たに導入することとした。

3. モデルの検証

前節の改良を施した MM を領域 A と領域 B（図-1）に適用し、気象シミュレーションを実行した。前述したシミュレーション期間（2001 年 7 月 20 日～8 月 19 日）における計算結果を AMeDAS 等の実測気象データと比較する方法にて改良後の MM の妥当性について検証を試みた。その結果、本研究で用いた MM の地上気温予測は Keyser and Anthes¹⁰⁾の誤差判定基準をクリアしており、概ね良好な予測精度を有する事が検証された。また、ネスティングスキームを使うことにより地上風の再現精度が向上していることが確認できた。

4. 影響評価シミュレーション

(1) 熱源・電源構成の廃熱量への影響

改良・検証がなされた気象モデルに対し、表 1 で想定した熱源・電源構成の各シナリオ下で予測される大阪市域での廃熱の増減を投入し、各シナリオが及ぼす広域の地上気象への影響をシミュレートした。その結果、顕熱廃熱のみで昼間に最大の廃熱増が予測された CASE-21（GHP による全ガス空調ケース）においては、8 月の 15 時の時間帯では大阪市中心部（中央区業務街）にて 30～40%の廃熱増をもたらすことが予測された。しかし、この廃熱増の領域は中心部に限定され、その周辺エリアにおける地域廃熱の増加率は概ね 10%未満に止まるものと予測された。事務所廃熱について最大の削減を想定した CASE-51（事務所冷房廃熱の大気系外放出ケース）においては、8 月の午後 3 時における顕熱の削減

率は大阪市中心部にて最大 50%に達するものと予測された。

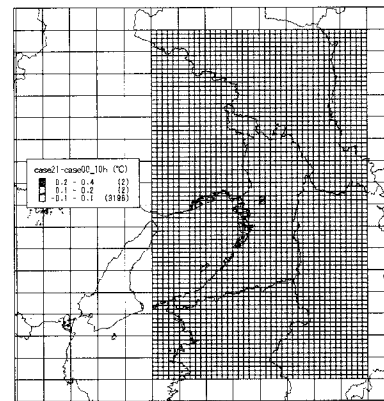
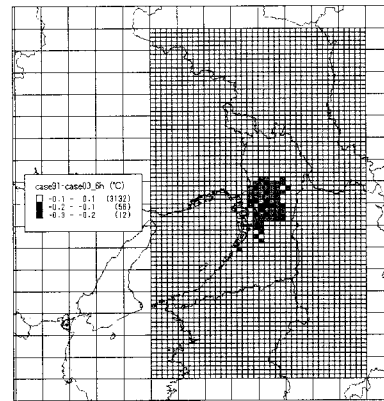


図-2 シミュレートされた地上気温の増減（上図: CASE-91, 6 時; 下図: CASE-21, 10 時）

(2) 熱源・電源構成の気温への影響

大阪府の全域を対象に推計された各ケース下での廃熱分布を気象モデルへ投入し、各ケースにおける熱源・電源構成が大阪平野規模のメソスケール地上気象に及ぼす影響についてシミュレートした。図-2 はケース 91 において予測された地上気温の CASE-0 からの増減を時刻別・格子別に算出した後、格子毎にシミュレーション期間における特別平均の気温偏差を図化したものである。なお、ケース中、昼間を中心に顕熱が最も増加する CASE-21（全 GHP 空調ケース）においては、日中（10 時・14 時・18 時）に大阪市中心部の業務エリアで最大 0.4℃程度の気温上昇がシミュレートされた。この CASE-21 に次ぐ昼間廃熱の増加が想定された CASE-32（モノジェネ顕熱廃熱ケース）では CASE-21 と同じ大阪市中心部の領域で 0.2℃程度の昇温が予測されている。しかしながら、これら昼間気温の上昇域は、大阪市中心部を含む 4km 四方程度の領域に限定され、

この業務建築の密集街区を除けば大阪平野部での気温影響は無視可能と予測された。一方、これらのケースとは反対に昼間の顕熱について最大の削減が想定された CASE-51（事務所空調廃熱の全量削減ケース）では、廃熱増加ケース（CASE-21&32）と同様の大阪市中心部領域にて昼間に最大 0.3℃の気温低下がシミュレートされた。以上、想定した熱源・電源構成の変化に伴う業務エリアでの昼間廃熱の増減は、大阪市中心部の数 km 四方の密集業務街区のみの局所的気温影響に止まるが、その影響幅はおおよそ±0.5℃に及ぶものと予測された。

大気を熱源とする貯湯運転により夜間の顕熱廃熱の削減が想定されたヒートポンプ給湯器の普及ケース（CASE-91&92）においては、深夜、大阪市およびその周辺市街域において最大 0.3℃に達する広域の気温低下がシミュレートされた。

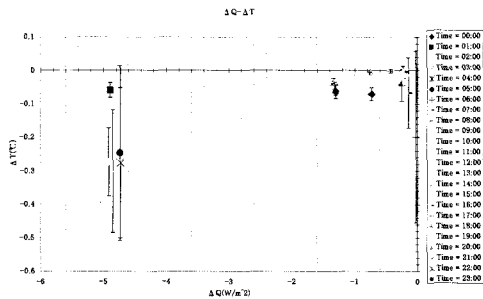


図-3 住宅最密集街区（3821）における地上気温変化量（ ΔT ）と廃熱増減量（ ΔQ ）の関係

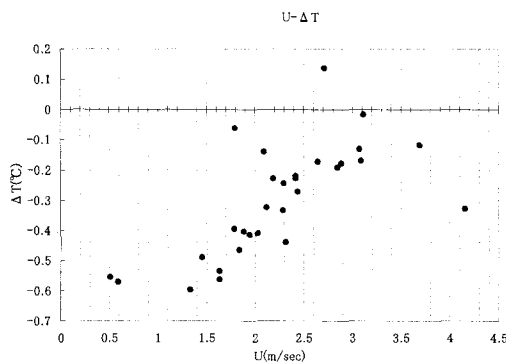


図-4 住宅最密集街区（3821）における地上気温変化量（ ΔT ）の地上風速（ U ）への依存性【午前3時の分析結果】

(3) 熱源・電源構成の不快感への影響

本研究では、気温影響と湿度影響を不快感の増減として統合化する方法にて、快適性の観点からの影響評価を試みた。不快感の解析結果より、ケース中、不快感に及ぼす影響が顕著であった CASE-51、CASE-91 について CASE-0 を基準とした不快感の増減マップ（シミュレーション期間における格子別・時刻別平均の指数増

減値の分布図）を作成した。その結果、空調廃熱削減ケースである CASE-51 においては昼間で最大 0.2 ポイント程度の不快指数の低減が示された。一方、住宅地域へのヒートポンプ式給湯システムの普及を想定した CASE-91 においては、夜間に最大 0.4 ポイント程度の不快指数の低減が示された。

5. 考察

熱源・電源構成に関するシナリオ評価シミュレーションの結果より、計算領域中において最大の廃熱の増減が想定された事務所街区である大阪市中心部エリア、および住宅地域として廃熱の増減が最大であった大阪市阿倍野区エリアでのシミュレーション結果を抽出し、シナリオがもたらす気温影響と気象条件の関係について解析・考察を行った。評価対象としたシナリオ中、夜間廃熱の変化により顕著な気温変化が予測された住宅街区（阿倍野区エリア）での CASE-91（ヒートポンプ式給湯システム普及ケース）について、シミュレーション期間における時刻別平均の地上気温変化量（ ΔT ）と廃熱増減量（ ΔQ ）の関係を分析した。その結果を図-3 に示す。街区での ΔT （絶対値）は深夜（1 時～5 時）に増大し、CASE-91 の阿倍野区エリアでは午前 3 時に ΔT が最大となる。気温影響がもっとも大きいこれらの時間帯における ΔT の平均値は、-0.3℃（気温低下）であるが、そのシミュレーション期間内でのばらつき（標準偏差）は±0.2℃に達し、日によって相当の変化が認められた。同シナリオに関するこれらの時間帯における日別の ΔT と地上風速の関係を図-4 に示す。当該エリアにおける ΔT の絶対値は、地上風速の増加と共に減少していることが分かる。

一方、昼間の廃熱削減に伴い大阪市中心部の業務エリアで気温緩和が予測された CASE-51（事務所空調廃熱の全量削減ケース）について、同様に ΔT に関する分析を行った（中央区エリアを抽出）。同ケース上、廃熱の削減量（ ΔQ ）が最大となる午後 3 時において、気温の緩和効果は約 0.2℃±0.05℃と予測された。この傾向は、他シナリオとの比較検討の結果、気象条件（大気安定度および風速条件）の相違によって廃熱が地上気温に及ぼす感度が大きく減少することに依っていることが分かった。即ち、夜間とは異なり地上 500m～1km 程度の高度範囲にて混合層が発達する昼間においては、大気がより広域的に混合されることで、廃熱削減の地上気温への影響がより限定的になる事がシミュレートされたものと解釈できる。この CASE-51 の昼間（午後 3 時）の ΔT について、その地上風速と日射量への依存性についても分析を行った。CASE-91 の夜間の解析と同様に、風速の増大につれ ΔT が減少する傾向が見られるが、日射条件（即

ち晴れか曇りか)への依存性は不明瞭であった。

6. まとめ

検証されたモデルに対し、熱源・電源の各構成シナリオ下で予測される大阪府域における人工廃熱の増減条件を投入し、各シナリオがもたらす大阪平野スケールでの広域の気温影響をシミュレートとした。その結果、以下の知見が得られた。

- ・シナリオ間での建築系人工廃熱の増減がもたらす大阪府域の地上気温への影響の感度は、昼間に比し夜間に増大することが予測された。この主な原因は、昼間に比し夜間において大気が安定化することに依っている。
- ・以上のメカニズムにより、夜間の顕熱廃熱の変化をもたらすシナリオである住宅街区でのヒートポンプ式給湯システムの普及ケースにおいて廃熱削減に伴い0.3℃程度の大阪市全域に及ぶ広域の気温低下が予測された。
- ・以上の夜間の影響に比し、昼間の廃熱増減に伴う気温影響は総じて減少し、かつ狭域化する傾向が認められた。シナリオ中、昼間の廃熱増の増加が最大となる業務街区でのガスエンジンヒートポンプ冷房普及ケースにあっても、昼間気温の上昇域は大阪市中心部4km四方の密集業務エリアに限定されるが、昇温幅は0.4℃に及ぶものと予測された。
- ・加えて、以上の廃熱増減に伴う地上気温の変化の度合いは当該地域の風速条件により支配的に左右される事が判明した。廃熱の移流・拡散が促進される強風条件下では、弱風条件の場合に比し地上気温の変化量は大きく減少することが予測された。
- ・以上により各シナリオがもたらす気温影響は、昼夜間での大気成層状態の変化および風速条件といった気象条件の影響下で動的に変化するものであり、夏季の好天静穏条件下のみならず、強風や曇天といった様々な気象条件にて影響を評価することの重要性を確認するに至った。

参考文献

- 1) ヒートアイランド実態解析調査検討委員会：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，2001。
- 2) 鳴海大典，下田吉之，水野稔，近藤明：建物からの人工廃熱が都市熱環境および空調熱負荷に及ぼす影響，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集，pp.701-704，2003。
- 3) Kikigawa, Y., Genchi, Y., Yoshikado, H. and Kondo, H.: Development of a numerical simulation system toward comprehensive assessments of urban warming countermeasures including their impacts upon the urban building's energy-demands, *Applied Energy*, Vol.76, pp.449-466, 2003.
- 4) 大橋唯太，平野勇二郎，玄地裕，亀卦川幸浩，近藤裕昭，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。
- 5) 下田吉之，高原洋介，亀谷茂樹，鳴海大典，水野稔：大阪府におけるエネルギーフローの推定と評価，日本建築学会計画系論文集，No.555, pp.99-106，2002
- 6) 水谷圭一，増田正，岡田忠夫，向山洋：住宅用省スペース型自然冷媒ヒートポンプ給湯機の開発，第21回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集，pp.139-142，2002
- 7) 柴田善朗，村越千春，田中昭雄，増田貴司：実使用状況下におけるCO₂冷媒ヒートポンプ給湯器と従来型給湯器の性能評価（その2），第20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.247-250，2004
- 8) 田村英寿，岩坪哲四郎，平口博丸：東京23区内を対象としたヒートポンプ給湯機による熱環境変化の数値解析，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集，p.721-724，2003
- 9) 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
- 10) Keyser, D. and Anthes, R.A.: The applicability of a mixed-layer model of the planetary boundary layer to real-data forecasting, *Mon. Weather Rev.*, 105, 1351-1371, 1977

Impacts of the Urban Energy System upon Heat Island Phenomena

Kazutaka OKA, Takayuki TOMIZUKA and Yukihiro KIKEGAWA

This study numerically quantifies the possible impacts of waste heat release from air conditioning system and power supply system on heat island in summer. In this study the authors' multi-scale simulation system for urban thermal environment prediction is applied to a typical office buildings' canopy in Osaka city. We find that the changes in anthropogenic heats bring larger effect on temperature during nighttime than during daytime.