

- layer and slab models, Bound.-Layer Meteor., 101, 329-35.
- Kusaka, H. and F. Kimura, 2004 : Coupling a single-layer urban canopy model with a simple atmospheric model : Impact on urban heat island simulation for an idealized case, J. Meteor. Soc. Japan, 82, 000-000.
- 日下博幸, 2004 : 都市の気象, 堀口郁夫・小林哲夫・塚本修・大槻恭一・真木太一編 局地気象学, 森北出版, 改訂中.
- Launder, B. E. and M. Kato 1993 : Modeling flow-induced oscillations in turbulent flow around a square cylinder, ASME Fluid Eng. Conf., 157, 189-200.
- Macdonald, R. W., 2000 : Modeling the mean velocity profile in the urban canopy layer, Bound.-Layer Meteor., 97, 24-45.
- Masson, V., 2000 : A physically-based scheme for the urban energy budget in atmospheric models, Bound.-Layer Meteor., 94, 357-397.
- 中川清隆, 1996 : 都市地表面アルベドの表面形状依存性に関する数値実験, 地理学評論, 69A, 415-435.
- Takamura, S., Y. Suyama and M. Aoyama, 1993 : Numerical simulation of flow field around buildings in an urban area, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 46/47, 765-771.
- Uno, I., H. Ueda and S. Wakamatsu, 1989 : Numerical modeling of the nocturnal urban boundary layer, Bound.-Layer Meteor., 49, 77-98.

109 : 304 (都市キャノピー ; ビルエネルギー連成モデル ; 冷房排熱)

2-2. 都市気象モデルからみた熱帯夜の形成機構

—都市キャノピー・ビルエネルギー連成モデルを用いた解析例—

大橋 唯太*

1. はじめに

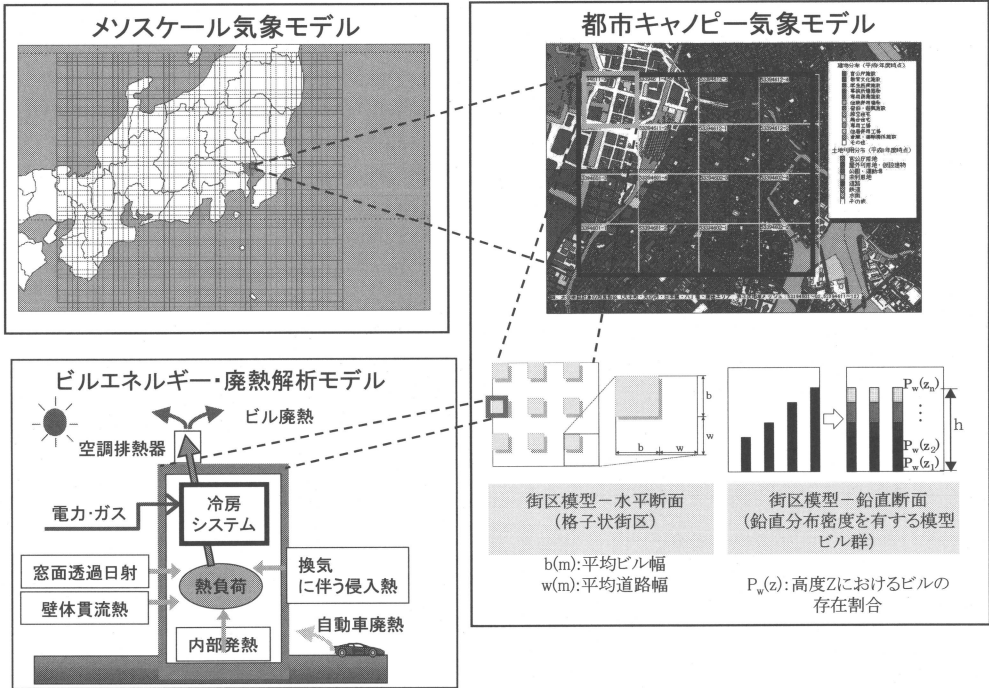
日本国内のエネルギー消費量の内訳は、運輸部門24%、産業部門50%、民生部門26% (1996年) となっているが、このうち都市域内では、運輸と民生部門でのエネルギー消費が大部分を占めている。将来的な見通しとして、運輸・産業部門ではエネルギー消費が減少傾向にあるが、民生部門は増加が予測されている。その民生部門におけるエネルギー需要の内訳は、冷暖房などの空調機器、OA 機器や照明などの一般電力、給湯・厨房に大別される。特に近年においては、OA 機器の急速な普及や、都市高温化に伴う冷房需要の増大などが、都市域内のエネルギー消費量の増加につながっている。これらのエネルギー消費は冷房排熱という形で大気中に捨てられており、夏季における都市気温の上昇に大きく寄与している可能性が指摘される。特に

事務所系ビルが集中した街区では、大気に供給される顕熱の多くを空調排熱が占めており、例えば東京都千代田区や中央区においては50~60%がそれに相当すると言われている (環境省, 2001)。

人工排熱の増加に伴う気温上昇は冷房エネルギー消費、即ち空調室外機からの排熱を増大させ、更なる気温上昇が生じることにつながる。この悪循環が、近年の東京や大阪などの大都市中心部での熱環境の急激な悪化を引き起こしている要因の一つと言われている。産業技術総合研究所では、このような相互作用を伴った熱環境の問題を解決するために、建物エネルギー消費に伴う人工排熱と街区内気温の間で起こる相互作用を考慮した、都市熱環境の評価を可能とする数値モデル (都市気象・ビルエネルギー連成モデル) の開発に取り組んでいる。本稿ではそのモデルの概要とともに、我々が行っている具体的な応用研究について紹介を行っていく。

* 産業技術総合研究所, oohashi-y@aist.go.jp

© 2004 日本気象学会



第1図 都市気象・ビルエネルギー連成モデルの模式図. 亀卦川幸浩氏(富士総合研究所)からの提供.

2. 都市気象・ビルエネルギー連成モデル

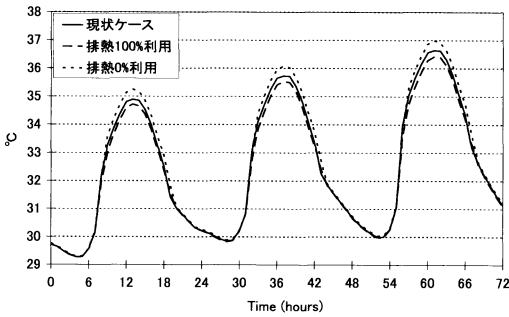
都市気象・ビルエネルギー連成モデルは、メソスケール気象モデル (Kondo, 1989 ; Ohashi and Kida, 2002), 都市キャノピー気象モデル (近藤・劉, 1998), ビルエネルギー・排熱解析モデル (亀卦川ほか, 2001) の3つのサブモデルによって構成されている (第1図)。メソスケール気象モデルでは主に局地循環を表現することを目的としており、数 km の水平格子間隔で風、気温、湿度といった物理量が計算される。都市キャノピー気象モデルは数百 m の街区スケール気象場の表現を目的としており、都市キャノピー層内を鉛直方向に解像したモデルである。このモデルでは、1 格子内に同一の大きさを持った直方体ビルが整形配列しており、鉛直方向には高度毎にビルの存在密度が与えられるようになっている。各気象要素は鉛直1次元にしか計算されないが、放射環境を3次元的に扱うことによって、屋上・東西南北の各壁面と路面の表面温度や顕熱輸送が計算される。メソスケール気象モデルと都市キャノピー気象モデルの結合方法としては、前者のモデルで計算された結果を後者のモデルの上端境界条件に用いるワンウェイ・ネスティングを採用している。

ビルエネルギー・排熱解析モデルでは、建物を1つのボックスとして取り扱うことによって室内の熱収支計算を行っている。ここでは、窓面からの透過日射、壁体からの貫流熱、換気に伴う熱の流入、照明・OA機器や人体からの発熱量を求めることによって建物内への熱負荷を計算する。室内の冷房運転によって、その熱負荷と電力・ガスの消費エネルギーは排熱として外気へと除去される。この除去排熱が、都市キャノピー気象モデルで計算される気温・湿度の場に反映されることになる。

このようなモデルによって計算される街区内気温の予測検証を、実測値との比較を通して行ったが (大橋ほか, 2004), 特に地上付近の気温を昼夜ともに高精度で再現できることが確認されている。

3. 人工排熱の影響に関する計算事例

上述のように、都市キャノピー気象モデルとビルエネルギー・廃熱解析モデルの間では動的な相互作用計算が行われる。即ち、都市キャノピー気象モデルで計算された街区内の気温と湿度に応じて冷房排熱量が決定され、その排熱が街区内の気温と湿度に影響を与え



第2図 コージェネレーションシステム普及ケースでの地上気温の時間変化(2001年7月30日0時～8月2日0時の大阪市中央区北浜街区でのシミュレーション結果)。実線は、現状の電源構成(ビルマルチ式電動空冷パッケージ、電動空冷ヒートポンプ、都市ガス駆動冷温水発生機)を用いた計算結果、破線がコージェネレーション(都市ガス駆動)導入で排熱を全て利用できた場合の計算結果、点線がコージェネレーション導入で排熱を全く利用できなかった場合の計算結果。

るといふフィードバック作用が考慮されている。これは、都市気象・ビルエネルギー連成モデルの大きな特徴であり、屋上や側壁面の緑化、高アルベド塗料、地下や河川など大気以外への排熱といったヒートアイランド対策や、省エネルギー策として注目される太陽光発電システムやコージェネレーション(電熱併給)システムが将来、都市域に導入された際に、熱環境にどのような影響を与えるかを街区スケールで検討することが可能になる。産業技術総合研究所ではこのような研究を通して、熱環境的にもエネルギー的にも最適な都市構造の提言を行おうとしている。本稿ではその一例として、コージェネレーションシステム普及時の都市気温への影響に関するポテンシャル評価(亀卦川ほか、2003)を紹介する。

コージェネレーションシステムは、発電と同時に発生する排熱を冷暖房や給湯に有効利用する分散型電源であり、その省エネルギー性が現在注目されている。従来の系統電力の場合、各家庭に届く段階でのエネルギー効率率は40%弱と言われているが、コージェネレーションシステムの場合には熱を利用することによってそれが70～80%になる。しかしその熱を全て利用することは難しく、一般には余剰熱を大気へと排出している。このことは、従来ならば海岸付近に設立された発電所から海や大気へと捨てられていた熱が都市域内に持ち込まれることを意味しており、コージェネレーショ

ンシステムが都市で大規模に普及した場合には熱環境に何らかの影響を与える可能性がある。そこで、都市気象・ビルエネルギー連成モデルを用いて、事務所系ビルが集中する大阪市中心部の中央区北浜周辺街区(500 m 四方)で、コージェネレーションシステム普及時の夏季気温への影響を評価した。メソスケール気象モデルの計算領域は大阪平野を含む320 km 四方とし、水平格子間隔10 km で計算を行った。そのうち評価対象街区を含む格子点での計算結果を境界条件として、都市キャノピー気象モデルとビルエネルギー・排熱解析モデルから街区内の気象場と冷房排熱量を計算する。対象街区の平均ビル幅、平均道路幅、高度毎の建物存在密度をGIS(地理情報システム)データから与えることによって、都市キャノピー気象モデルでの街区構造を定義している。冷房運転は日中(9～18時)のみとし、空調室外機からの排熱は全てビル屋上階から発生していると仮定した。一般的な普及が考えられる都市ガスを使用したコージェネレーションシステム導入時の気温変化を第2図に示す。2001年7月29日から8月2日までの期間を対象として計算を行い、そのうち2日目以降の結果について掲げている。回収した排熱を100%利用できた場合(破線)と、全く利用しなかった場合(点線)の極端な2ケースの実験について現状ケースと比較すると、それぞれ最大で -0.3°C 、 $+0.5^{\circ}\text{C}$ の差が現れる。即ちこの結果は、コージェネレーションシステム普及時の都市熱環境の変化が回収した排熱の利用率に大きく左右されることを意味している。

また、第2図からわかるように、夜明け前の最低気温は7月31日午前5時前後で 30°C 近くにまでなっている一方で、大阪 AMeDAS で7月31日午前5時に実測された気温は 28°C であった。大阪 AMeDAS 測定露場の被覆・天空率条件を与えて同様の計算をした場合には、昼夜を通して AMeDAS 気温にほぼ一致した(図省略)。このことから、再現された対象街区の夜間気温は、キャニオン構造が持つ熱的・幾何学的特性の効果が顕在化した結果のものであることが言える。

謝辞

本稿の内容は、(株)富士総合研究所の亀卦川幸浩氏、(独)産業技術総合研究所の玄地裕氏、近藤裕昭氏との共同研究による成果の一部です。本稿作成にあたり、多くのご意見ご助言を頂きましたことを深謝致します。

参 考 文 献

環境省, 2001: 環境省ヒートアイランド対策委員会報告書.
 亀卦川幸浩, 玄地 裕, 吉門 洋, 近藤裕昭, 2001: 建築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, 22, 235-240.
 亀卦川幸浩, 玄地 裕, 大橋唯太, 近藤裕昭, 2003: 電源・空調システムの構成が夏季の都市熱環境に及ぼす影響, 第19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, 69-74.
 Kondo, H., 1989: Description of NRIPR mesoscale model, Technical Report of the National Research

Institute for Pollution and Resources, (44), 76pp.
 近藤裕昭, 劉 発華, 1998: 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, 33, 179-192.
 Ohashi, Y. and H. Kida, 2002: Local circulations developed in the vicinity of both coastal and inland urban areas: A numerical study with a mesoscale atmospheric model, J. Appl. Meteor., 41, 30-45.
 大橋唯太, 平野勇二郎, 玄地 裕, 亀卦川幸浩, 近藤裕昭, 吉門 洋, 2004: 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, 土木学会水工学論文集, 48, 印刷中.

109:304:501 (ヒートアイランド; 不均性質)

3-1. 観測から見た熱帯夜の形成機構

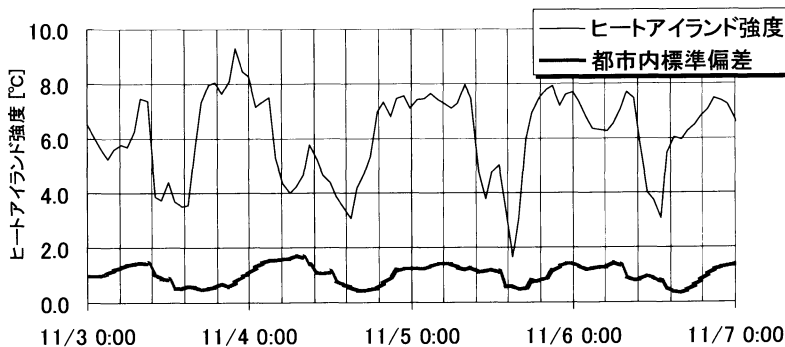
ー現象を理解する上での観測の問題点ー

菅 原 広 史*

1. 気温測定値の空間代表性の問題

本稿では実測をもとにヒートアイランド現象を理解する際の注意点について論じる。

ヒートアイランド強度(都市と郊外での気温差)については数多くの研究が行われている。Oke(1973)によれば、各都市の年最大ヒートアイランド強度はおおよそ1~10°Cである。一方、たとえばNarita(1997)の広島における観測によれば、同じ都市内でも最大2°Cぐらいの気温の分布が存在している。また第1図に示した東京におけるヒートアイランド強度についても、その20%程度の大きさで都市内気温の空間的なばらつきが存在することがわかる。したがって、都市内の気温を何処で測るかによってヒートアイランド強度の絶対値は大きく異なる。同様の問題は郊外においても存在し、このような気温の不均質性は異なる都市



第1図 東京のヒートアイランド強度。比較的晴天弱風の状態が続いた2002年11月3-7日の日変化。東京都環境局による常時監視局のデータを用いた。都市気温は区内20地点の平均値で、その標準偏差も示した。郊外の地点は檜原。

* 防衛大学地球海洋学科, hiros@nda.ac.jp