

「環境低負荷型の社会システム」
平成7年度採択研究代表者

久保 幸夫

(慶應義塾大学環境情報学部 教授)

「都市ヒートアイランドの計測制御システム」

1. 研究実施の概要

本研究では、都市における熱汚染の緩和を目的として、都市熱環境、特にヒートアイランドの計測システムを確立するとともに、都市の高温化を緩和・制御するための方策を検討する。

基本的な研究の流れとしては、東京・上海・バンコクの3都市におけるヒートアイランドの計測システムの構築、リモートセンシングによる上記3都市の地表面画像の解析、および土地利用データを用いた土地利用最適計画モデルの開発を実施し、最終的に、計測と数値モデルを統合した土地利用制御によるヒートアイランド緩和計画を作成して提示する。

すでに3都市のヒートアイランド計測システムの構築をほぼ終了し、平行して実施しているリモートセンシングデータの解析と土地利用最適化モデルの開発結果に基づいて具体的なヒートアイランド緩和・制御の方策の検討を試みている。

2. 研究実施内容

(1) 首都圏モニタリング班

東京を中心とする首都圏モニタリングシステムの構築がほぼ終了し、120箇所の気温・湿度データ（一部、風向・風速を含む）はすべてデータファイルとしてCD-ROMに記録保管するとともに、ホームページでプロジェクトメンバーに公開している。

これらのデータの詳細な解析を行った結果、次のことが明らかになった。

- 1) 気温分布の日変化で特徴的なのは、夜間から早朝にかけては都心部に高温域の中心が出現するが、日中から夕方にかけての海風侵入時には高温域が東京北部から埼玉県南部に移動する。これは、海風による移流効果と考えられる。
- 2) ヒートアイランド強度（都心部と郊外の気温差）は、季節的には冬季（特に1～2月）の夜半から早朝に6℃で最大となるが、日中は季節に関係なく1～2℃と小さくなる。
- 3) 年平均気温と熱消費量の関係について、相関解析を行った結果、観測点からの距離に応じて熱消費量との間に有意な相関見いだされた。ちなみに、各観測

点を中心に半径10kmの円内に熱消費量との相関係数は0.81と高く、年平均気温が周辺の熱消費量と関係が深いことが明らかになった。

4) 冬季の北西季節風速とヒートアイランド強度との関係については、平均風速が5 m/sec以上の場合にはヒートアイランド強度が2 程度で小さいが、風速が5 m/sec以下の弱風日には、最大6 に達して都心と郊外の気温差が大きくなることが明らかになった。

(2) 海外モニタリング班

タイのバンコクにおいて気球観測と高アルベド実験を実施した。

1) 気球を使用した鉛直観測

1999年3月31日から4月2日にかけて、係留気球を使用した鉛直気温分布を観測した。チュラロンコン大学と大規模緑地(バンカチャオ)での観測結果から、海風の市街地への導入によるとみられるhot air massの南から北への移動を捕らえることができた。同時に緑地内では日没直後から気温の逆転層が夜間形成されていることが判明した。

2) 高アルベド塗料実験

バンコクにおけるヒートアイランド現象緩和のための方策として、高アルベド塗料を使用した実験を2000年3月以降、バンコクのAITで実施した。実験では、同一形状、素材の実験小屋を2軒建設して、屋根に塗布する塗料を通常のもの(高アルベド特殊塗料(商品名サーモシールド))を使用した場合とで、比較実験を実施した。内部気温、屋根温度はサーモレコーダとサーモグラフィ装置で観測し、上向きの長波放射量とアルベドは日射計により観測した。濃緑色の場合では、高度1.5mでの気温差はおよそ2 。屋根の温度差はおよそ5 であった。淡緑色の場合では1.5mでの気温差はおよそ3 、屋根の温度差はおよそ7 であった。この実験により、高アルベド塗料の有効性を実証することができた。

(3) 土地利用班

本年度は、前年度研究成果をふまえ、1)100地点の実測データによるメソスケールモデルの再現性評価と改良、2)ヒートアイランド現象とエネルギー消費の関係の分析、3)メソ~ミクロスケールモデルの適用検討、の3点を実施した。

1)については、東京都内100地点で得られた実測データを利用し、メソスケールモデルの適合性評価と改善案の検討を行った。まず始めに、実測データの内容を、メソスケールモデルのデータ形式に適合させるために、kriging等による空間補間を実施した。補間形式としては、最近隣補間、重みつき平均補間、universal krigingの3つを実施し、相互評価と比較の結果、最も適合度の高かったkrigingを採用した。次に、補間した実測データの内容を、メソスケールモデルのデータと比較し、その誤差の空間分布を分析した。その結果、東京都区部において、気温

の絶対誤差が最大2.66度となり、ヒートアイランド緩和を考える上で無視できない程度であることが明らかになった。特に、夜間の東京北西部と、日中の都心部における再現性の低さが顕著であった。以上の結果を踏まえ、最後に、地表面パラメータ等の操作によるメソスケールモデルの改善を試みた。ここでは、初期風向風速、日射量、人口排熱の3つを取り上げ、それぞれの変更によるモデル精度の向上を定量的に評価した。その結果、この中では初期風向風速が日射量や人口排熱と比べてシミュレーション結果に大きく影響し、この数値を適切に与えることがメソスケールモデルの再現性向上において重要であることがわかった。

2) についてはまず、4つの仮想的な土地利用パターンを考え、それぞれについてメソスケールモデルを適用、都市部の気候を再現した。具体的には、海に南面した仮想都市において、中心業務地区が一極に集中した型、4極に分散した型、16極に分散した型、及び、都市全域に分散した型の4つを取り上げている。次に、得られたシミュレーション結果を基に、原単位法によって消費エネルギーを計算、その比較を行った。その結果、中心業務地区が一極に集中した型と、4極及び16極に分散した型とでは、消費エネルギーの大きな違いは見られなかった。しかし、中心業務地区が都市全域に分散すると、都市全域の気温が低下し、結果的に、消費エネルギーも大幅に減少した。このことから、ミクロ純化・マクロ混合という、都市計画上好ましいとされる土地利用パターンは、消費エネルギーという観点から見ると必ずしも適切ではなく、ミクロ混合の方が望ましいということが明らかになった。

3) については、コロラド州立大学で開発されたメソミクロスケールの気候モデルを利用するためのプログラム取得と変換を行った。プログラムの送付が予定よりも遅れたため、今年度はプログラムの変換(ソースコードの移植)までを実施するに止まった。データ取得と実際のプログラム適用は来年度行う予定である。

(4) リモートセンシング班

11年度はヒートアイランド解明のための都市構造の解析を行い、特に3次元空間情報を取得し、Landsatデータによるアルベド計算手法を開発した。いずれの結果もWeb上に公開されており、他の班がそれらのデータを簡単に使えるようにした。主な成果を次にまとめる。

1) 都市3次元空間データの整備及びWeb上での公開

次のデータセットを構築し、インターネットによるダウンロードシステムを構築した。

<http://shiba.iis.u-tokyo.ac.jp/res/tokyo/>

東京都23区の建物の高さの分布(10mメッシュ)

東京都23区の建物の高さの分布(25mメッシュ)

東京都23区の建物の上部の標高の分布（25mメッシュ）

東京都23区の建物の上部の標高の分布（250mメッシュ）

2) アルベドの計算

Landsat MSS画像を用いて東京、バンコク、上海三都市のアルベドを計算し、インターネットによるダウンロードシステムを構築した。Webサイトアドレスは次の通りである。

<http://shiba.iis.u-tokyo.ac.jp/albedo/>

(5) モデリング班

メソスケールでの都市気候の改善と並行して重要なのは、街区規模での快適性の向上である。本研究では、本プロジェクトで検討の対象としているバンコクに対して得られた気象観測のデータと、建物に関する情報を元に、街区規模でのシミュレーションを行った。バンコクの中心部においては急速な高層化が進展しており、それによる街区熱環境の悪化が懸念されているが、また適切な街区計画によってその悪化を未然に防ぐことも可能と考えられる。これらの点を明らかにするのが本研究の目的である。

1) 対象地区

バンコクの市街地の大通りの1つ、Silom通りでは、1990年代の不動産ブームにより、もともと5、6階建てが中心だった通り沿いの建物に20階を超えるような高層建築が建ち並ぶようになり、街区環境が如実に変化してきている。とりわけ東西方向に伸びる道路の南側に高層建築が建ち並んでおり、暑さの厳しい乾期に吹き込む南からの季節風を遮ることが懸念される。このSilom通りを挟む約300m×300mの範囲を解析対象とした。

2) シミュレーション方法

対象街区の解析に対して適用したモデルは建物内外の熱のやりとりを含む放射モデルと流体モデルである。これらのモデルから、最終的には標準新有効温度（SET*）として街区の快適性を評価した。

放射モデル（ラジオシティ法）：完全拡散面によって囲まれた閉空間における平衡時の放射バランス式によって放射計算を行うもので、同様によく用いられるレイトトレーシング法などのように反射光を一定に扱わずに全て計算するため、膨大な時間はかかるものの正確さは増している。

流体モデル（k-ε法）：比較的単純な境界層流を予測するために開発されたものではあるが、様々な乱流を計算できるため、現在最も良く用いられている。

3) 入力データ

街区形状：現地の建物の形状を写真から判定して、一辺6mの立方体のメッシュとして入力し、放射モデルでは均一サイズのメッシュで計算を行った。一

方、建物間の空間を対象とする流体モデルにおいては建物付近は細かく、離れば粗く1.5mから60mまでの大きさで区切った。建物の素材は写真から判断した。ただし、一部の建物では熱線反射ガラスが使われており、指向性反射をするが、等方性反射として扱った。

気象情報：本プロジェクトの一環として行われているChulalongkorn大学（Siam Square）における観測結果を用いた。計算期間はバンコクにおいて乾季にあたり、風向が一定で気温が高く、雨の降らない3月の中旬を対象とした。

4) 計算結果

(A) 放射環境

バンコクは北緯14度付近に位置するため、わが国に比べ太陽高度が日中は高い。そのため、太陽が傾く日の出や日の入り付近では影はできるものの、最も暑い日中は南側に高層建築があっても影はほとんどできず、わずかに建物の隙間の細い道路の放射が低くなっているのみであることが分かる。

(B) 気流環境

流体モデルによって対象地域の風向と風速を求めた。南から吹いてくる季節風が、南側の高い建物に遮られており、そのため対象街区の中心部分ではほぼ無風になっていることが分かる。

ここで、比較のために、街区が90度回転した配置になったと仮定して計算を行ったところ、道路内部でも2m/s程度の風が吹くことがわかり、建築物の配置によって気流環境は大きく影響を受けることが定量的に示された。

(C) 快適性（SET*）

上記で求めた結果から放射環境と気流環境、湿度から与えられるSET*を比較した。その結果、仮想的に90度回転した場合、現状に比べて2度から4度程度SET*が低下し、快適性が向上することがわかった。バンコクのように暑熱環境の厳しい都市では数度程度の体感温度の上昇は大きな影響を人間の健康に及ぼすと考えられる。

今回のシミュレーションによって、建物の配置によって街区の快適性がかなり変化する可能性があることが示された。今後は更に現実的な場合について熱環境の比較を行う必要がある。

3. 主な研究成果の発表（論文発表）

Mikami, T., Kannari, A., Yamazoe, Y., Suzuki, C., Kimura, K. and Kubo, S.

Investigation of urban heat island in Tokyo metropolis based on the ground monitoring system. Proceedings of the 15th International Congress of Biometeorology and International Conference on Urban Climatology(1999)

Mikami, T., Kimura, K., Yamazoe, Y. and Kannari, A.

The ground monitoring system of urban heat islands in Tokyo Metropolitan area. Proceedings of International Symposium on Climate Change and Variability, and their Impacts.152-157.(2000)

Niitsu,K.

Urban heat island in Bangkok and its impact. Proceedings of International Symposium on Climate Change and Variability, and their Impacts. 170-176. (2000)

Bai,Y. and Kubo,S.

Urban heat islands in Shanghai and their impacts. Proceedings of International Symposium on Climate Change and Variability, and their Impacts. 250-255. (2000)