

「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

ヒートアイランドは、都市の気温が周辺に比べて高くなる現象であり、地球温暖化においても都市人口比率が 50% を超える現在においては大きな寄与をしている。この現象は、従来、中高緯度地方の冬期に顕著に観察されていたが、夏季、あるいは低緯度地方でも発生していることがわかつてきた。そこで、本研究においては東京、上海、バンコクの東アジアの巨大都市を選定し、リモートセンシングと気象観測からヒートアイランドの発生メカニズムを探るとともに、ヒートアイランドの緩和方法の研究をおこなっている。

2. 研究実施内容

(1) リモートセンシング班

今年度は既存の地図データから 3 次元高さデータ(粗度データ)を作成し、アルベド計算のための資料を収集・整理し、高解像度衛星画像による都市形態の解析と熱環境への影響分析を行った。主な成果は以下の通りである。

① 都市 3 次元粗度データの作成

東京に関しては、衛星画像などを用いた都市 3 次元粗度データ作成手法の検証用、ならびにシミュレーション用として、既存の地図データから 3 次元粗度データを作成することを試みた。すなわち、ゼンリンから市販されている住宅地図を利用して、建物の高さを抽出し、それを建物代表点データに与えることで、建物高さポイントデータを作成した。これを適当なメッシュに集計することで粗度データを作成することができる。なお、建物の高さは階数に 3.5m を乗ずることで推定した。また地表面の高さは国土地理院の 50m メッシュ標高データを利用した。10 年度末までに東京 23 区の内 10 区の粗度データの作成が完成した。

② 高解像度衛星画像による都市形態の解析と熱環境への影響分析

本研究は打ち上げ計画が進んでいる高解像度衛星を念頭に、リモートセンシングデータによる都市の土地利用情報と建物形態情報の取得方法を研究した。まず上海及び東京の衛星データ・航空写真データ・地図データを統合した GIS を構

築し、GIS と RS を統合した解析方法を用いて都市の土地被覆データを作成、その時系列変化も定量的に把握した。さらに、RS の画像解析技術と GIS のベクトル解析技術を統合して高解像度航空写真による都市の住宅形態の類型化を試みた。リモートセンシング画像から得たこれらの情報はヒートアイランド現象の原因究明及び予測シミュレーションの基礎情報となる。

(2) モニタリング班

① 東京

・首都圏モニタリングシステムの展開とデータ解析

平成 9 年度に引き続き、首都圏 120 箇所での気温・湿度（一部、風向、風速を含む）の自動観測（15 分間隔で観測・記録）とデータ回収を実施した。回収したデータは、各種補正作業を行った上で、データファイルに格納し、インターネットの Web Site（ホームページ）でプロジェクトメンバーに公開した。

モニタリング班では、このデータを用いた予備的解析を行って、いくつかの新しい知見を得た。特に、夜間から早朝、日中にかけての首都圏における気温分布の時間変化が明らかになり、日中に東京湾方面から侵入する海風によって、高温域が北上し、都内北部から埼玉県南部に移動することが確認された。

・夏期集中観測の実施

都市内河川が周辺市街地のヒートアイランド緩和に及ぼす影響を定量的に評価する目的で、8 月に荒川河川敷とその周辺で集中気象観測を実施した。その結果、川道内では川道外の市街地に比べて、低温であり、風下側への低温な空気の移流が認められた。

② バンコク・上海

平成 8・9 年度にバンコクに 7ヶ所、上海に 6ヶ所の観測ステーションを設置して、気象観測データの収集を実施している。また、バンコクの地表面温度の季節変化を知るために、1998 年 10 月の雨季と 1999 年 3 月の乾季にサーモグラフィを使用した地表面温度分布観測を実施した。一方、1999 年 3 月にはバンコクで集中観測を実施した。集中観測では、気球を使用した気温の鉛直分布観測、サーモグラフィを使用した地表面温度分布観測、アルベドメータによるアルベドの実測、レーザーレンジファイダによる中心部の建物高さ計測をそれぞれ実施した。

これらの集中観測および継続的気象観測により、バンコクのヒートアイランド現象の形成過程と時空間的特長、および季節特性が明らかとなった。また、1999 年 3 月の集中観測はバンコクに於ける初めての本格的都市熱環境観測となり、貴重なデータの収集ができた。集中観測と同時に実施した建物高さ計測ではシーロム通り、サトーン通り、スクンビット通りの主な高層建築物の高さを計測した。これは、今後ミクロスケールのモデルを構築し、シミュレーションを実行するパ

ラメータとする。また、IRS(高解像度衛星)が打ち上げられた際には、衛星画像から抽出された高さ情報の検証データとして使用する予定である。

(3) 土地利用班

本年度は、①メソスケール気候モデルを用いた、緑地の配置パターンによるヒートアイランド緩和効果の評価、②100地点の実測データによるメソスケールモデルの検証、③ヒートアイランド現象が都市エネルギー消費に与える影響の定量的分析、の3点について研究を実施した。

①については、昨年度と同じメソスケールモデルを用いて、ヒートアイランド緩和効果という点から見た、東京圏における緑地配置パターンの評価を行った。集中配置、分散配置など、5つの緑地配置パターンについて熱環境という観点から評価を行い、緑地の分散配置がヒートアイランド現象緩和に有効であるという知見を得た。

②については、東京都集中観測網の100地点実測データを用い、メソスケールモデルによるシミュレーションの再現性検証を行った。この結果、シミュレーションの誤差はほぼ1度程度に収まっていること、推定誤差には系統的な傾向が見られ、今後、モデルの精度を改善できる可能性があることなどが明らかになった。

③については、やはりメソスケールモデルを用いて、ヒートアイランド現象と都市エネルギー消費の関係を定量的に分析した。その結果、東京圏の場合、ヒートアイランド現象はむしろ消費エネルギーの減少をもたらすという知見を得た。

本年度は都市の集積度とヒートアイランドの関係について統計的に分析をすすめ、気温分布予測を行った。具体的にはGISを利用して土地利用や建物形状、階数などの市街地データから気象観測地点周辺の各土地利用の面積比率および容積率を算出して説明変数とし、被説明変数は各観測点の平均気温からの差とした。土地利用現況図と建物利用現況図の整備や高密度気象観測の実施などデータが充実している東京23区を対象として重回帰分析を行ったところ、十分に有意な結果が得られた。この結果から気温分布図を得て、都心部のヒートアイランドおよび荒川のクールアイランドを確認した。

(4) モデリング班

本年度は、モデル作成のための基礎データとして、都市境界層の熱・放射収支の実測を2箇所で（①多摩ニュータウン・ちはら台、②下北沢）実施した。

メソスケール気候モデルに基づく数値シミュレーションにより、都市の熱的活動を3次元的に再配置した効果を解析した。再配置により、集中化をすすめると地表面の温度分布は減少する影響がみられた。集中化の影響は日中の熱的環境に現れる一方、エネルギー消費量削減の影響は夜間に現れた。建物の幅と高さを変化させてドラッグの影響を解析する感度解析により、地表面付近の環境に与える影響が示さ

れた。また、熱放射モデルと流体モデルを組み合わせて、仮想的な街区における建物の間の空間の快適性を SET*（標準新有効温度）で評価した。この方法を用いれば、建物群の容積率や建ぺい率のような都市計画的な要素と熱環境の関係を解析することが可能である。比較的簡単な街区に対して解析した結果、風向きと建物の位置関係や建ぺい率によって街路の平均的な SET* がかなり異なることがわかり、都市計画による制御の可能性が示された。

シミュレーションモデルのパラメータ取得を目的として、下北沢住宅街で都市境界層の熱・放射収支の実測を 10 月 1 日から 11 日まで実施した。観測結果から、従来大気境界層モデルの基盤となってきたモーニンオブコフ則の不成立を示すとともに新しい相似関数の存在を示した。

今年度は計算結果の考察を示すとともに、地上観測気温に対する都市化のもたらす局地的な温暖化の影響と、地球温暖化等より広域の気温変動の影響の分離を試みた。また 2 時点の差が顕著であった 21 時における 1850 年頃と 1985 年頃の気温差に注目した。関東では、+0.3°C 以上の高温化領域は碓冰峠を越え、上田盆地にも広がっている。宇都宮付近や甲府盆地、中信地域にも高温化が見られる。関東平野では熊谷付近で +1.1°C 以上、浦和以南では +1.9°C 以上である。海風の発達していなかった 15 時に比べるとかなり北上・拡大しており、大規模海風の発達とともに高温化領域が拡大しながら関東平野を北上した結果と考えられる。これは Kimura and Takahashi (1991) が指摘した「首都圏の都市効果は夏の昼間には関東平野の内陸部に及ぶ」という事実に対応する。大阪周辺では、大阪の市街地 (+2.4°C 以上)を中心として同心円状に高温化が見られ、奈良でも +1.6°C 以上に及ぶ。海風の影響を受けていない京都では、+0.4°C 程度となっている。風系の変化としては中国山地における山風の強化が特徴的であるが、山陽地域の高温化 (+0.8°C 以上)との関係を考えられる。関東平野の例に比べると、海風の進入等局地循環のスケールが小さいためか、高温化領域が内陸に広がる程度は小さい。しかし大阪の市街地における高温化は東京のそれを上回っている。福岡、仙台、札幌では、東京、大阪に見られたような大きな気温上昇が見られなかった。また最高気温出現領域と高温化領域は一致しない。海風による熱輸送効果や盆地の効果が表れているためと考えられる。2 時点の気温差における低温化領域は、主に山岳域や海上に現れているが、程度も時間帯もまちまちである。また、-0.5°C 以内の地域がほとんどであり、より広域の長期的な気温変動によってキャンセルしてしまう可能性が高い。よって、低温化を森林の回復の影響とみなすのは困難である。次に、東京(大手町)における 1876 年以降の観測データ(月平均日最高・最低気温)から推定される 1850 年頃の推定値(日最高・最低気温)と計算結果との比較を行った。それに先立ち、様々な総観条件の影響を含む月平均値と本研究で対象とした静穏日における値との差を 2 時点で共通と仮定

し、過去における静穏日の値を推定する手法を開発した。計算値は 1985 年頃の日最高・最低気温、1850 年頃の日最高気温との高い一致を示していたが、1850 年頃の日最低気温は 2°C 以上高めに与えられた。この原因を調べるため、ローカルな土地利用変化に起因するものよりも広域の気候変動として、海面水温を 2K 下げて再計算を行った。その結果日最低気温における不一致はこれだけでは説明できないことが明らかになった。これは日最高気温と日最低気温での経年上昇速度の差と関係しており、都市キャノピーの形成による夜間放射冷却の抑制効果等が関係するものと思われるが、本モデル(CSU-MM)ではこれを表現できていない。

3. 主な研究成果の発表（論文発表）

9 件