

都市ヒートアイランドの計測制御システム

研究代表者 東京都立大学大学院理学研究科 三上岳彦

Monitoring and management of urban heat island

Takehiko Mikami, *Research Director of CREST*

Dept. of Geography, Tokyo Metropolitan University

1. 研究の概要

本研究は、都市における熱汚染の緩和を目的とし、都市熱環境、特に都市ヒートアイランド(UHI)の計測と制御に関するシステムを開発しようとするものである。このため、ヒートアイランドを中心とする都市熱環境の計測を行うとともに、それに大きく影響を与えている人工排熱、土地利用に関して計測・調査を行ない、モデルを作成する。そして、都市計画的立場から、人工排熱源の移転再配置や気候緩和策(緑化など)について数値シミュレーションを行ない、熱環境において負荷の低い構造を持つ都市へと誘導する方策を検討する。

本研究を遂行するに当たり、下記の4つのテーマを設定した。

テーマ1: 高精度衛星画像リモートセンシングによるUHI実態解明

テーマ2: グラウンドモニタリング(高密度観測網)によるUHI実態解明

テーマ3: モデル作成とUHI数値シミュレーション

テーマ4: 都市的土地利用制御によるUHI緩和計画

テーマ1では、高精度人工衛星を用いて、土地利用・被覆データを取得するとともにアルベドを計算する。また、建物高さ由来する地表の粗度の計測と熱映像を用いた気温分布の計測等を行い、都市ヒートアイランドの実態を解明する。このようにして得られたアルベドや地表粗度は、数値モデルの境界条件に適用可能である。

テーマ2では、東京首都圏に120箇所の温湿度観測点(小学校の百葉箱を利用)を設け、15分間隔で気温と湿度を測定し、データロガーに記録する。さらに、数カ所で風向・風速や日射量等の観測も実施し、ヒートアイランドの時間・空間変化の実態を明らかにする。これらの観測データは、数値シミュレーションの再現計算結果の検証にも用いられる。

テーマ3では、テーマ1と2で得られたデータを局地気象モデルの地表面境界条件として入力し、ヒートアイランド発生ならびに緩和・制御の数値モデルを走らせる。対象地域は、東京首都圏、上海、および首都移転候補地である。

テーマ4では、上記のモデルを用いて、土地利用を制御することにより都市の熱環境を緩和・制御する方策を検討する。大都市圏スケールでは、緑地の増加、埋め立て地の抑制、屋上緑化などが、また地域スケールでは「風の道」の確保などが、そして地区・街区スケールでは、熱環境を建物、放射、気流の3つのサブモデルを用いてシミュレーションし、建物素材や樹木の影響、建物配置の影響などを定量的に評価する。

2.1 研究の成果報告

首都圏に設置した高密度気温観測データ(空間平均偏差)の補正值に主成分分析を適用して、

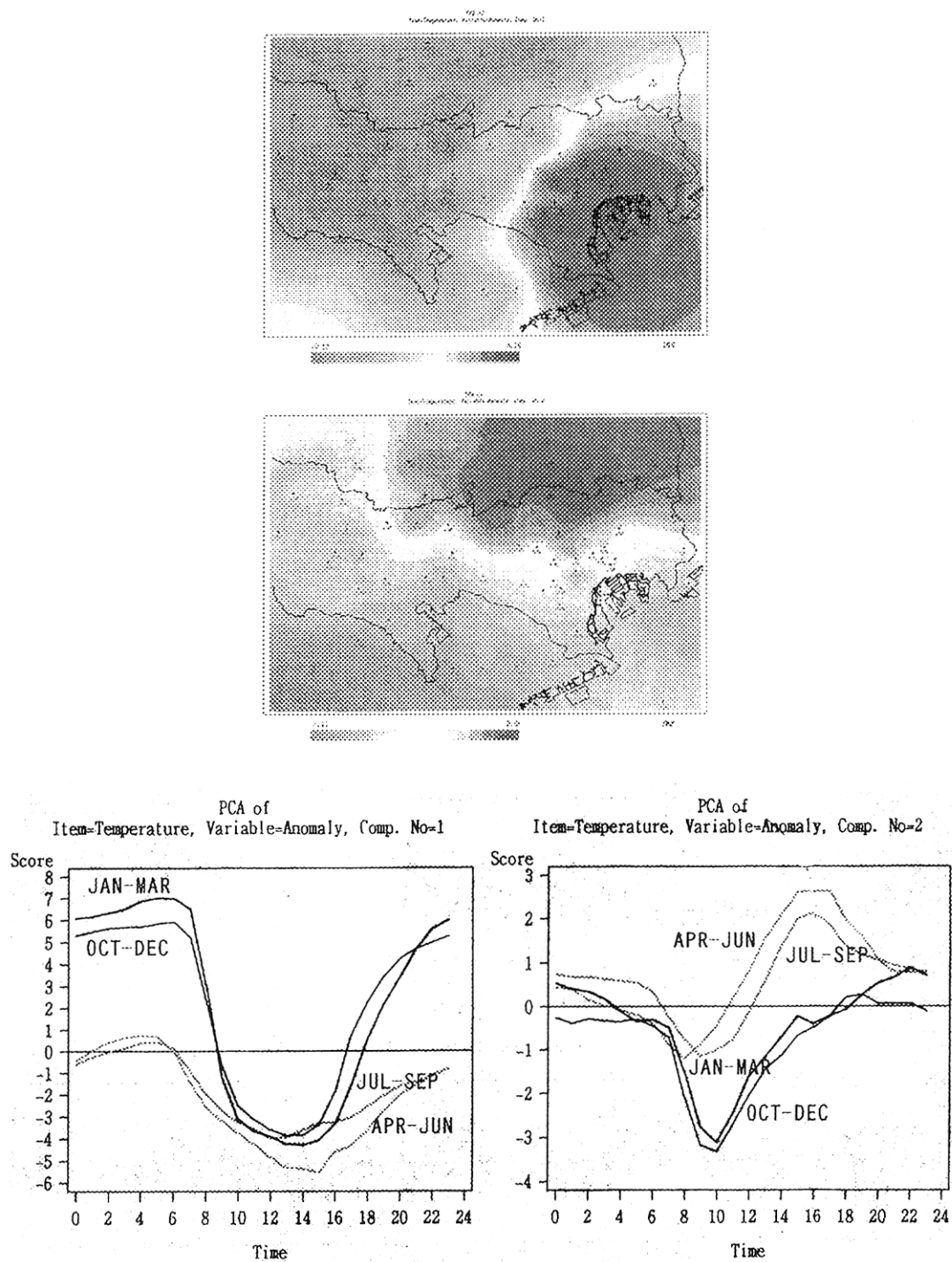


図1 上図：気温の主成分分析：第1成分（上）、第2成分（下）の固有ベクトル分布
 下図：季節別成分スコアの日変化：第1（左）、第2成分（右）

上位2成分の固有ベクトル分布と成分スコアの日変化パターンを季節別に解析した結果、第1成分は寒候期（10～3月）の夜間から早朝に最大となり、空間パターンから人工排熱による典型的な都心部中心のヒートアイランドを示すのに対して、第2成分は暖候期（4～9月）の午後から夕方に最大となり、空間パターンから明らかなように海風の侵入にともなう高温域の内陸部への移動（移流効果）を示すことがわかった（図1）。観測によってこのような詳細なヒートアイランドパターンの日変化が明らかになったことは注目に値する。

次に、東京首都圏を対象に夏季と冬季の典型日を選び、局地気象モデルを用いて気温や風の場の再現と熱環境緩和効果を定量的に評価する数値シミュレーションを行った。その結果、夏季の場合、人工排熱の20%削減では早朝の都心部で -0.22°C の気温低下が認められたが、日中はほとんど効果がないこと、そして都市部における緑地の10%増加で日中の都心北部で -0.3°C 以上の効果が認められた。さらに、都市部の建物屋上を緑化することで都心北部では -1°C 以上の気温低下が認められた。一方、東京湾の約半分を埋め立てて市街地化すると海風の移流効果が減じて、都心部では日中の気温が 2°C 以上上昇する結果となった。埋め立て地をすべて緑化したとしても 1°C 以上の気温上昇が認められた(表1、図2)。

表1 CONTROLとの気温差($^{\circ}\text{C}$) (夏季、14時)

	大手町周辺	新宿周辺	北区周辺	浦和周辺
人工排熱削減	-0.04	-0.07	-0.07	-0.06
緑地増加	-0.14	-0.36	-0.29	-0.23
屋上緑化1	-0.48	-1.34	-1.06	-0.91
屋上緑化2	-0.21	-0.59	-0.49	-0.39
東京湾埋立て(都市化)	2.13	0.5	0.88	0.72
東京湾埋立て(緑地化)	1.39	0.34	0.58	0.57

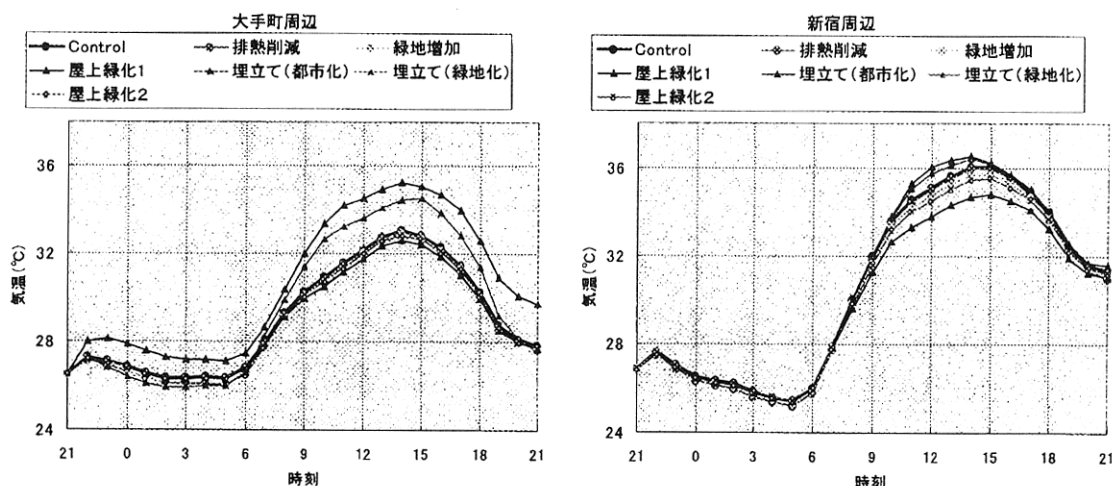


図2 数値シミュレーション(感度解析)による夏季(1998.7.3)の気温日変化

上記のシミュレーションでは、緑化シナリオや屋上緑化シナリオにおいて地表面パラメータの設定で土地利用データを用いたが、土地被覆別のパラメータを用いる方がより現実的である。そこで、本研究では、試験的に衛星データから緑被率を算出して設定した地表面パラメータを用いて、夏季典型日の東京圏における気温と風の場を数値シミュレーションによって再現した。図3に示されるように、緑化によって都の北部で $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 程度の気温低下効果が現れているが、都心から湾岸部ではほとんど変化のないことが明らかになった。

ところで、数値シミュレーションの精度を高めるためには、本研究で行ったような高密度の気象観測データが必要となるが、人工衛星による熱画像から得られる地表面温度から気温を求めることができれば、観測データのない地域についてもシミュレーションを行うことができる。そこで、高密度気温データの得られる東京首都圏において、LANDSAT-TM データから放射量

補正前後の表面温度と気温の関係を分析した結果、表2に示すように、夜間の衛星熱画像は都市のヒートアイランドの計測に有効に利用できることが明らかになった。

表2 放射量補正後の表面温度と気温との相関係数（地上観測局より600m半径で集計）

データ日付	981211(夜)	990213(夜)	990301(夜)	981213(昼)	990130(昼)
放射量補正前	0.64	0.77	0.81	0.07	0.14
放射量補正後	0.80	0.77	0.90	0.47	0.12

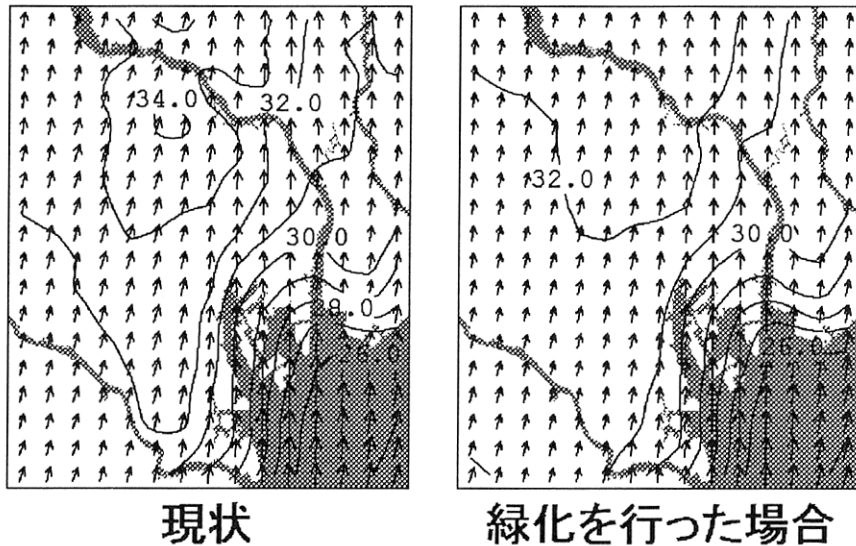


図3 緑化シナリオによる数値シミュレーションの結果（1998年7月3～7日15時）

本研究では、東京首都圏だけでなく、アジアの大都市として上海（中国）とバンコク（タイ）においても、現地での気象観測と数値シミュレーションを試みた。図4はバンコクにおける観測結果の一例で、都心部(CU)と北部郊外(AIT)では日没後の気温低下量に平均4℃程度の差が生じることが明らかになった。なお、バンコクにおいては日中のタイ湾からの海風侵入が都心部のヒートアイランド緩和に効果がある。そのため、図6に示すように建物配置を海風が通りやすいように設計することが望ましいと言える。

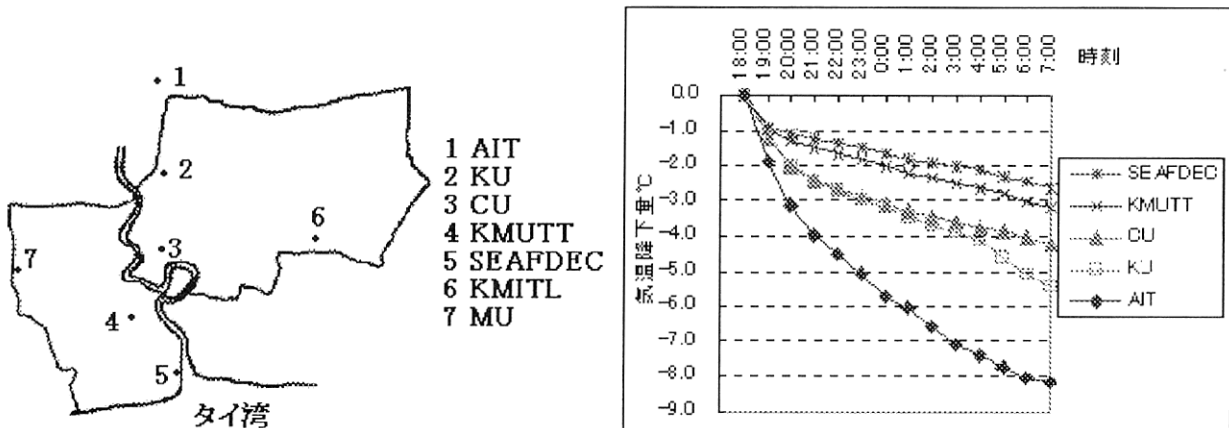


図4 バンコクの気象観測計設置点と観測地点毎の日没後の気温低下量（1998年2月）

次に、都市内土地利用の望ましい配置をエネルギー消費と言う観点から検討した。これまでの議論では、現実の都市を対象にしたが、結果の一般化と言う点で仮想都市を想定し、その内部の土地利用配置から図5に示す4つに都市内の全メッシュですべての土地利用が均一に混在する「用途混在型都市」を加えた5つの土地利用配置に対して局地気象モデルによる数値シミュレーションを行った。その結果、都市内エネルギー消費の観点からは、用途混在型都市が最も望ましく、一心型空地混在都市、十六心型都市、四心型都市、一心型都市の順でエネルギー消費が増大することが明らかになった。また、都市内エネルギー消費と言う観点に立つと、都心の数だけでなく、公園緑地や運動場といった空地系土地利用の都市内配置も重要な要素であること、特に、空地を都市内全域に均等に配置する方が、都市縁辺部に配置するよりも望ましいといえる。

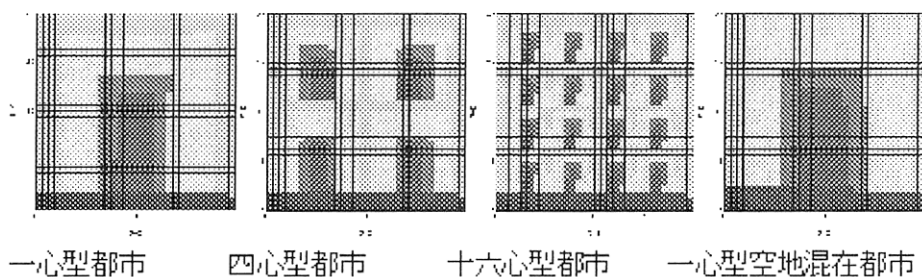


図5 仮想都市内の土地利用配置

最後に街区スケールに関して、熱帯地域のバンコクを中心地に対して建物配置の効果を定量的に評価するシミュレーションを行った。得られる情報が限られているため、街区形状については、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た。場の気象条件については、Chulalongkorn 大学における観測結果を用いた。バンコクの乾期には風向が一定しており、この風向に対する建物配置を仮想的に90度回転させた場合についてもシミュレーションを行った。図6に示すように、現状ではこの街区では南南東の季節風が建物によって遮られて不快な環境が形成されているが、仮に建物の配置が90度回転していれば、街路上を風が吹き抜けることができ、快適性が向上することが示された。これらの効果をSET*の変化として定量的に示した。

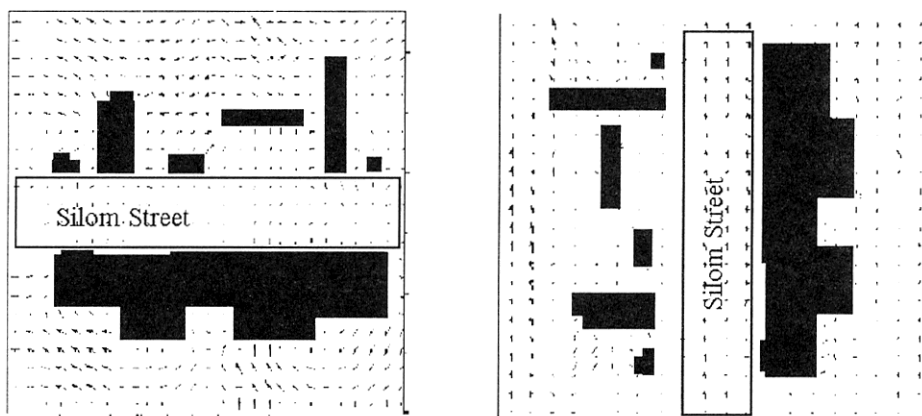


図6 街区熱環境シミュレーションによるバンコク Silom 通り周辺の風向・風速分布計算結果
(左：実際の街区 右：90度回転した仮想街区)

2.2 発表論文

1)

Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millennium, WMO/TD No.1026, 491-495 (2000)

“Investigation of Urban Heat Islands in Tokyo Metropolis based on the Ground Monitoring System” (T.Mikami, A.Kannari, Y.Yamazoe, C.Suzuki, K.Kimura and S.Kubo)

東京首都圏において気温と湿度の自動測定装置を多数設置して、ヒートアイランドの時間的・空間的变化を詳細に検討・考察した。その結果、ヒートアイランド強度は1月の夜間に最大6°Cに達するが、日中には季節に関わらず1°C以下と小さいことが明らかになった。また、日最低気温の空間分布は人工排熱パターンと相関が高いこと、日中から午後にかけての高温域は東京湾からの海風侵入による移流効果で都北部から埼玉県南部に出現することなどが明らかになった。

2)

環境システム研究論文発表会講演集, 28, 437-442 (2000)

「都市緑化によるヒートアイランド緩和効果とその省エネルギー効果の検討」(平野勇二郎・泉岳樹・柴崎亮介・一ノ瀬俊明)

都市緑化によるヒートアイランド緩和効果とそれによる冷房の省エネルギー効果を評価した。まず衛星リモートセンシングによる現状の緑被率および緑化シナリオにしたがった緑化後の緑被率のそれぞれについて都市気候シミュレーションを行った。また、それぞれの計算結果について冷房用エネルギー消費量を算出し、これらを比較することにより、都市緑化の省エネルギー効果を示した。

3)

天気(日本気象学会)掲載予定(2001)

「内陸複雑地形での新都市開発による気候変化の数値シミュレーション」(泉岳樹・佐藤尚毅・岡部篤行・貞広幸雄・一ノ瀬俊明)

首都機能移転先候補地が内陸部に決定されたことを受け、新都市開発による気候変化の戦略的環境アセスメントを目指して、メソスケール気象モデルによる数値シミュレーションを行った。まず、内陸複雑地形におけるモデルの現状再現性について検討を加え、良好な結果を得た。次に、GISを活用して対象地における開発可能地を抽出し、その中でいくつかの開発シナリオを設定し、数値実験を行った。その結果、(1)一極集中開発で山麓、丘陵、盆地へ立地させた場合、新都市での平均気温上昇は、それぞれ0.63°C、0.65°C、0.75°Cとなること、(2)開発方法を一極集中開発から八極分散開発にすると、新都市区域内での影響は10-12%減少するが、周辺地域も含めた全体への影響は約2倍となること、(3)開発規模の縮小により、新都市区域内の気温上昇は効果的に抑制されること、(4)人工排熱の削減は、新都市と周辺地域の全体の気温上昇の抑制に効果的であること、などが明らかとなった。