

# HIP マップの作成によるメトロマニラ市街地の熱環境評価

飯野 秋成\*, 塚本 健二\*\*

(平成12年10月31日 受理)

Evaluation of urban thermal environment in Metro Manila by constructing HIP map

Akinaru IINO\* and Kenji TSUKAMOTO\*\*

The purpose of this study is to evaluate urban thermal environment in Metro Manila (MM) by constructing the heat island potential (HIP) map. First, we tried typification of all urban blocks in MM. We gave attention to 7 block parameters; land use, building coverage ratio of reinforced concrete structure, building coverage ratio of timber structure, floor area ratio of reinforced concrete structure, area average to the building of urban blocks, vegetation cover ratio, and paved road area ratio. By cluster analysis of these variables 122 typical urban blocks was selected. Next, numerical simulation of heat balance of all urban surfaces of selected blocks was calculated, and time series of thermal images were constructed. Using these images, diurnal change of HIP in the dry season was calculated. And also we constructed HIP map in Metro Manila, and a characteristics of urban thermal environment in Metro Manila was analyzed.

Keywords: Heat Island Potential (HIP), urban thermal environment, Metro Manila, numerical simulation of heat balance

## 1. はじめに

アジア地域の開発途上国の大都市では、爆発的なスプロール現象により、舗装化と自然地(緑地、農地など)の減少が進み、土地被覆の改変による熱環境の悪化が深刻化している。メトロマニラも例外でなく、市街地は土地利用・土地被覆の観点から検討がなされていない。また、民生・産業を含めて、エネルギー利用が特に多く、結果的に市街地中心部と郊外で熱環境に大きな違いの見られる地域である。

このような都市問題に対して、快適かつ省エネルギー的な都市づくりを目指し、「環境共生都市」や「エコシティ」などが提案されているが、実現するまでの具体的な方策と環境共生度合いの評価方法までの提案は少ない。しかし、その中で具体的な環境共生の実現方法の一例として都市緑化が注目されており、緑の持つ熱環境緩和効果が研究されている。メトロマニラに「環境共生都市」を提案し実現させることで、市街地の熱環境が大幅に緩和できると考えられるが、「環境共生都市」の実現という観点からは、メトロマニラには多くの課題が残されている。

筆者らは、都市や街区の熱環境をとらえるために、都市の気温に対して街区の持つ熱的なポテンシャルを大気との温度差によって表した指標で、都市の全地表面からの顕熱流量を表現するものと考えられるヒートアイランドポテンシャル(HIP)<sup>1)</sup>を提案し、日本の多くの都市における街区の空間形態・構成材料の特徴との考察から、都市気象の数値解析のための有効なデータとなり得ることを示した。また、それだけでなく、都市化の状況

\* 建築学科 助教授

\*\* 大学院工学研究科 大学院生

を明快に記述できる指標としても利用できることを明らかにしている。

本研究は、メトロマニラ市街地の HIP マップを作成し、メトロマニラ市街地の土地利用・土地被覆によって形成されている熱環境の実態を把握するとともに、「環境共生都市」の実現するためのシナリオを設定して HIP マップの予測図を作成する。これにより、将来の「環境共生都市」実現の可能性の評価を行う。本報では研究の第 1 段階として、HIP マップの作成という観点から、メトロマニラ市街地の街区の類型化を行う。そして、筆者らによる熱収支数値シミュレーション手法<sup>1),2)</sup>を用い、類型化により選出した街区の HIP を算出するとともに、HIP マップを作成し、メトロマニラ市街地の熱環境の実態を把握する。

## 2. 解析方法

本研究では、メトロマニラの街区は、3次元形状や構成材料の観点から類型化することが可能であると考えられる。すなわち、メトロマニラ全ての街区について HIP を計算するのではなく、いくつかのパラメータを用いることで街区をグルーピングし、そのグルーピングされた街区の中の代表街区の HIP をメトロマニラ全域に広げるといった方法を採用する。

以上のことから、本研究は以下の方法により進める。

### 1) パラメータによる街区分類と代表街区の選定

HIP の観点からメトロマニラの土地利用・土地被覆を把握し、解析に用いるパラメータを選定する。選定したパラメータから街区の類型化を行い、HIP を算出するための代表街区を選定する。

### 2) 熱収支解析のための街区のシミュレーション支援データベース (SDB) の作成とその妥当性の検討

建物の構成や材料、植生の形状や樹高、気象条件についてメトロマニラに合う諸条件を設定する。熱収支シミュレーション手法<sup>1),2)</sup>により、各街区の全表面温度を算出して全表面温度の分布画像を作成し、その妥当性を示す。

### 3) HIP マップの特徴の解析

上記の方法をもとに代表街区の HIP を全域の街区に適応することにより、HIP マップを作成し、メトロマニラ市街地の熱環境の特徴を把握する。

なお、HIP の解析対象範囲は、ある街区の周囲に存在する街区の街区平均気温の上昇に寄与する割合を評価するため、メトロマニラ市街地を中心として半径 50km 圏内を解析対象地域とする。本報では、特にメトロマニラ市街地のみについて解析した。

## 3. パラメータによる街区分類と代表街区の選定

### 3.1 メトロマニラの土地利用・土地被覆の特徴

1/10,000 Digitized NAMRIA Contoured Map を用いて、MM 全域の土地利用の特徴をみる。Fig.1 は建ぺい率の分布である。植民地時代(1570~1946年)を経てきていることによって、主に EDSA (第四環状道路) の内外では都市体系・都市としての街区の形態が大きく異なってきた。EDSA 内側にはほぼ Residential および Commercial で占められており、建ぺい率も高い。また Residential はいくつかの地域に集中して存在する。一方、EDSA の外側

では Residential は点在する傾向にあり、同時に Residential, Commercial 以外の街区も多く分布する。

また、MM 全域の街区は基本的に「土地利用」「建ぺい率」「緑被率」で類型化することにより、土地利用・土地被覆の特徴と HIP との関係を考察できることを確認している<sup>3)</sup>。

以上のことから、HIP マップの作成においては、1)EDSA 内外の土地利用の違いによる HIP の違いを明確に表現する必要があること、2)特に EDSA 内の Residential, Commercial について、HIP を規定する要因となる街区パラメータによって街区を類型化し、その各カテゴリの HIP の挙動の違いを明確にする必要があることが指摘される。

### 3. 2 解析に用いる街区パラメータの決定

メトロマニラの地域性を反映した街区分類ができるようなパラメータとして、「土地利用」、「RC 建造物の建ぺい率」、「RC 建造物の容積率」、「木造建造物の建ぺい率」、「街区内の建物一戸あたりの平均面積」、「緑被率」、「舗装面積率」の計 7 つのパラメータを用いて街区を分類し、Residential, Commercial の代表街区をそれぞれ 72, 36 街区、それ以外の土地利用に関しては数街区、全 122 街区を HIP を算出するための MM の代表街区として決定した。このとき、EDSA 内の HIP の空間分布を考察するための要件である、EDSA 内の街区コードが空間的に分布することを地図上で確認した。

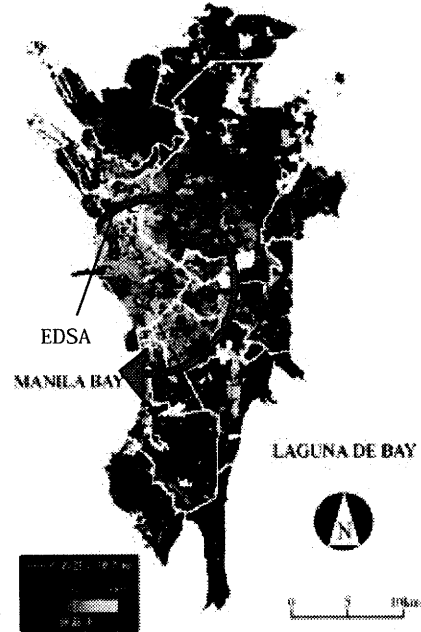


Fig.1 Building coverage ratio map of urban blocks in Metro Manila (gross)

## 4. 熱収支解析のためのシミュレーション支援データベース (SDB) の作成とその妥当性の検討

### 4. 1 選出した街区の熱収支数値シミュレーションにおける入力データ

入力データは、「シミュレーション支援データベース(以下、SDB)」<sup>1),2)</sup>として与える。本報の数値計算における全ての SDB の設定は、以下のとおりとした。

#### 1) 建物

1:10,000 NAMRIA Planimetric Map から平面形状を与え、現地の写真を用いて高さを与えた。屋根は陸屋根、壁面は鉛直面とし、屋根上のペントハウス、壁面上のバルコニーや屋外階段などの凹凸は無視した。窓の分布は、現地の写真に基づいて個々に位置と大きさを与えた。建物の熱物性値は、建物の特徴が出るように Table1 のように与えた。日射吸収率は、写真判読による建物壁面の色彩と材料に基づいて、文献 4) より与えた。

#### 2) 舗装面

一般的と考えられるアスファルト舗装を想定し、1:10,000 Planimetric Map, および現地調査をもとに舗装面の分布を決定した。アスファルトの熱物性値は、容積比熱を  $1800\text{KJ/m}^3$ 、熱伝導率を  $0.15\text{W/mK}$ 、層厚を  $100\text{mm}$  と設定した。

Table1 Materials of each building for numerical simulation

数字は左から容積比熱 (kJ/m<sup>3</sup>K)熱伝導率 W/mK,層厚(mm)を表す。ただし、空気層の熱抵抗の値は、実用的な値として0.2 m<sup>2</sup>K/Wを採用し、熱伝導のシミュレーションでは、相当層厚(かっこ内の値)を与えて計算した。

Commercial				
壁体	モルタル	1520	1.5	30
	コンクリート	2000	1.6	200
	合板	1100	0.19	20
屋根	防水モルタル	1520	0.96	20
	アスファルトルーフィング	1100	0.11	10
	コンクリート	2000	1.6	250
	空気層	1.3	0.022	300 (5)
	合板	1100	0.19	10
Residential				
壁体	合板	1100	0.19	10
	空気層	1.3	0.022	100 (5)
	合板	1100	0.19	10
屋根	トタン	3620	0.45	3
	合板	1100	0.19	20
	空気層	1.3	0.022	80 (5)
	合板	1100	0.19	20

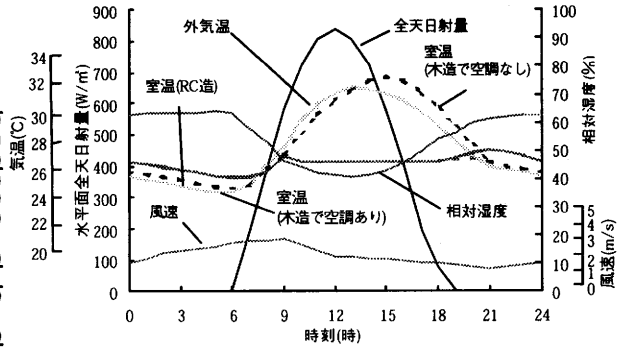


Fig.2 Weather data in the dry season in Metro Manila constructed for numerical simulation

長波放射率は、日射吸収率ほど表面温度に影響を与えない。また、建物表面と同様に放射率を 1.0 と設定する。また、街区内の道路交通はないものとした。

2) 裸地及び植生

芝地、裸地、樹冠の表面温度は、回帰式<sup>5)6)7)</sup>をフィリピンの気象条件下を外挿して適用する。樹冠の日射透過率および樹冠の形状は、現地調査や文献<sup>8)</sup>から設定する。

3) 気象条件の設定

街区の熱収支シミュレーションに必要な気象データは筆者らが行ったマニラ市街地における 1998 年 3 月の観測データ<sup>9)</sup>に基づいて作成した (Fig.2)。

室内側総合熱伝達率は実用値として使われている値として 9.3W/m<sup>2</sup>K を与えた<sup>10)</sup>。

4. 2 熱画像の作成

各代表街区の全表面の表面温度分布の計算結果の一例を示す (Fig.3)。計算結果は、各街区の表面温度分布の特徴をほぼ再現できている。例えば、13:30 においてはアスファルト舗装道路の表面温度は 50℃、トタン屋根は 60℃以上である。20:00 では、アスファルト道路は 30℃、トタン屋根は急激な冷却の進行により 26℃となるが、RC 造建物の屋根は熱容量が大きく 30℃を示している。

5. HIP マップの特徴の解析

5. 1 代表街区の HIP の日変化

選択した代表街区全てに対して HIP を計算した。その結果を Fig.4 に示す。8:00~10:00 では、residential の HIP の増加が著しく、commercial の RC 造建物に比較して建物壁体の熱容量が小さいことの影響が表れている。13:00 における街区の HIP の分布幅は 11℃(11.5~22.5℃)である。ここで、全て樹木で覆われている街区の HIP (点線)は、13:00 では 1℃未満であり、街区内の植樹方法によって街区の HIP は 1.0~22.5℃の幅をとりうるようになる。14:00~19:00 まではいずれの街区も急激に HIP は減少する。19:00 以降は commercial の HIP は他に比較して減少の割合は小さく、その他の街区の建物に対して熱容量が大きいことの影響が表れている。0:00 における HIP の幅は 3.0℃(-3.0~0.0℃)であった。

5. 2 メトロマニラの HIP マップの特徴

メトロマニラ全域における HIP の分布を把握するためにこの代表的と考えられる 3 つの

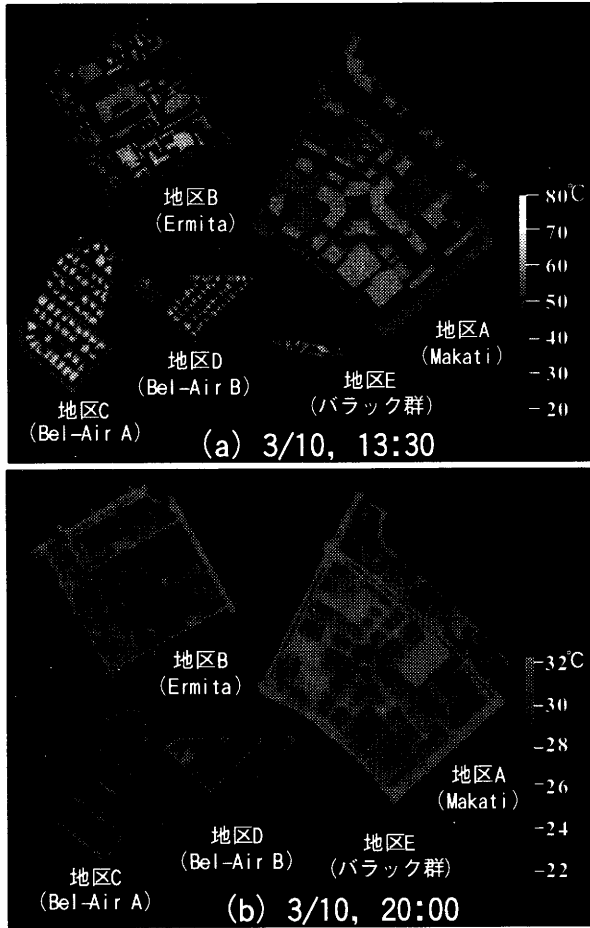


Fig. 3 Examples of numerical simulation result of surface temperature distribution of each blocks

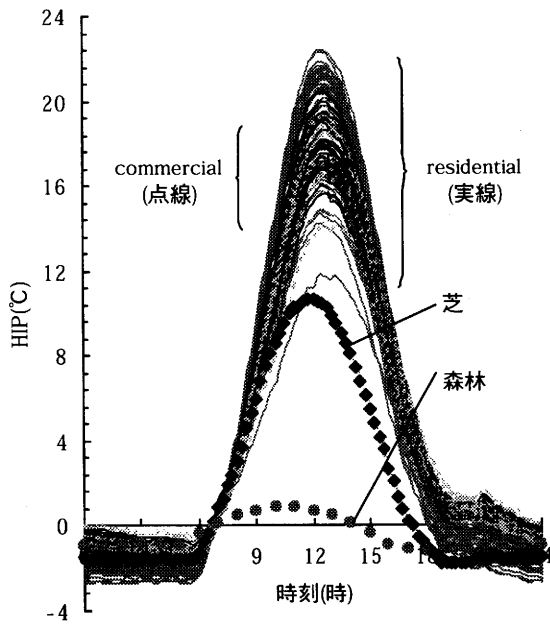


Fig. 4 Diurnal change of HIP in Metro Manila

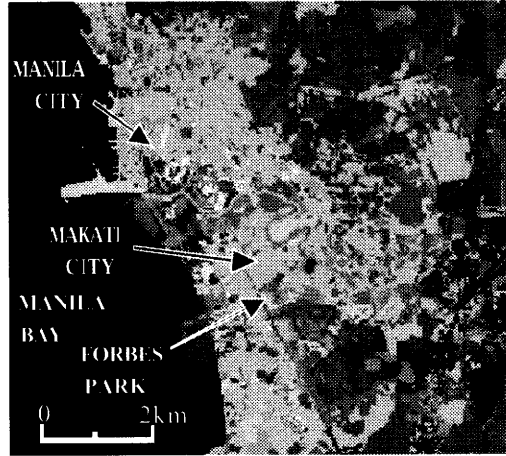


Fig. 5 HIP map of a part of city in Metro Manila (13:00)  
(Color code of HIP is the same as Fig. 6)

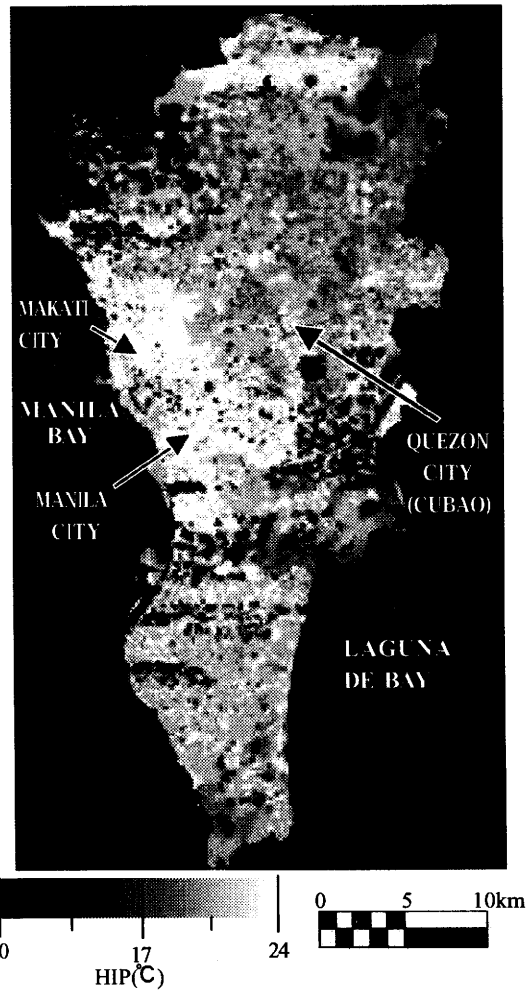


Fig. 6 HIP contour map in Metro Manila (13:00)

時間帯において前述の HIP マップ作成の考え方に基づきメトロマニラ全域の HIP マップを作成した。一例として 13 時の HIP マップの一部を Fig.5 に示す。

MANILA, MAKATI 地区の街区は、大規模なショッピングモールやオフィス街が存在していることから熱容量の高い RC 造街区が多くなっているが、このとき確かに、周辺地区の街区と比較して HIP が約 10℃高くなっている街区が多い。その一方で、MAKATI の高級住宅地である FORBES PARK は建ぺい率が約 30~40%、緑被率 30~40%であり、樹木が住宅を覆うように生えているため、HIP が小さい。

さらに、メトロマニラ全域における HIP の分布をみるための HIP の平滑化処理を行い、HIP マップをコンターマップで表現した (Fig.6)。これより特にメトロマニラの中心部である MANILA, MAKATI そして QUEZON の大規模ショッピングモールが存在する CUBAO の周辺部に HIP のコンターのピークが位置していることがわかった。

## 6. まとめ

本研究により、以下の知見を得た。

- 1)メトロマニラの街区を、街区の 3次元形状と構成材料の観点から類型化した。HIP マップを作成するための街区全表面の熱収支数値シミュレーションにおいて、メトロマニラの街区を代表できる街区を決定した。
- 2)熱収支数値シミュレーションのための SDB (シミュレーション支援データベース) を作成した。これを用いたシミュレーション結果の妥当性を示した。
- 3)メトロマニラの熱環境を把握する手段として熱環境指標である HIP を用い、メトロマニラの熱環境を定量的に評価した。さらに HIP マップを作成し、よりわかりやすい表現方法を工夫することで視覚的にも熱環境を把握することができた。

今後は、メトロマニラ市街地を中心として半径 50km 圏内の HIP マップを作成するとともに、特に空調による建物のエネルギー消費を合わせた形で、「環境共生都市」を志向した将来の HIP マップの作成による熱環境評価予測の評価を行う。

本研究は平成 11 年度日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業「アジア地域の環境の保全」(代表 大町達夫) の一環として行ったことを付記する。

### 引用文献

- 1)Iino, A. and Hoyano, A., Development of a method to predict the heat island potential using remote sensing and GIS data, *Energy and Buildings* 23, pp.199-205, 1996
- 2)飯野秋成, 梅干野晃: 都市の全地表面の熱収支シミュレーションによる熱画像の作成と都市の熱環境評価 (その 1~その 5), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (環境工学), pp.631-640, 1995 年
- 3)飯野他: メトロマニラの HIP マップの作成による熱環境の評価 (その 2, その 3), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (環境工学), pp.661-665, 2000 年
- 4)渡辺要編, 建築計画原論 II, p.47, 丸善, 1965 年
- 5)梅干野晃, 何江, 堀口剛, 王革: 芝生葉群層の熱収支特性に関する実験研究, 屋上芝生植栽の熱環境調整効果第 1 報, 日本建築学会計画系論文集, 第 462 号, pp.31-39, 1994 年
- 6)梅干野晃, 萩原賢二: 屋上の芝生植栽による照り返し防止・焼け込み防止効果, 日本建築学会建築環境工学論文集, pp.133-140, 1983 年
- 7)下川, 片山他: 樹木のある街路樹の熱環境予測その 5, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (環境工学), p.132, 1996 年
- 8)飯山他: 都市緑地バイオマス蓄積量評価法の検討, 第 3 回「メトロマニラの環境保全」研究会発表論文, 1999.1
- 9)飯野他: メトロマニラの HIP マップの作成による熱環境の評価 (その 1), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (環境工学), pp.715-716, 1999 年
- 10)宿谷昌則: 光と熱の建築環境学, pp.89-90, 丸善