

数値気候モデルによるモンスーン型気候下の  
高密度都市の環境解析とその改善に関する研究  
-数値気候モデルによるバンコクの局地風と都市温熱環境の解析-

Study on Thermal Environment of High Density City under Monsoon Climate  
-CFD Analysis of Flowfield and Thermal Environment in Bangkok-

村上周三<sup>\*</sup> 大岡龍三<sup>\*\*</sup> 持田 灯<sup>\*\*\*</sup> 金 相進<sup>\*</sup>

Shuzo MURAKAMI Ryozo OOKA Akashi MOCHIDA Sangjin KIM

<sup>\*</sup>東京大学生産技術研究所, <sup>\*\*</sup>福井大学工学部, <sup>\*\*\*</sup>東北大学大学院工学研究科

University of Tokyo, Fukui University and Tohoku University

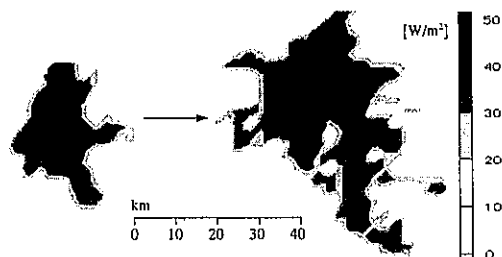
In this paper, urban climate in and around Bangkok city is analyzed by three-dimensional (3D) CFD method with two types of land use conditions : one is that in 1990 and the other is that in 1980. By comparing the results of these analyses, the effects of urbanization on the heat island in Bangkok city are investigated. Furthermore, SET\* proposed by Gagge et al., which is the index of thermal environment, is calculated in order to estimate the urban thermal environment. The effect of sea-breeze on human comfort in the outdoor thermal environment is then discussed. It is clarified that effect of wind velocity on human thermal comfort is the significantly large.

Key Words : Urbanization, Bangkok, Sea-Breeze, SET\*

1. はじめに 近年アジア諸国において、急激な経済成長に伴い、高密度の巨大都市が発生している。この巨大都市の発生は、劣悪な高密度居住環境やヒートアイランドの発生などの都市問題を引き起こしている。尾島ら<sup>1)</sup>は中国の上海を対象に、著者らの開発した数値気候モデル<sup>2),3),4)</sup>を用いて都市化の進展とヒートアイランド形成の関係について検討を行った。本研究では、元来高温多湿な暑熱環境下であり、今後エネルギー消費が爆発的に増加する危険性を孕む熱帯、亜熱帯に属するアジアの発展途上国の中で、特に発展の著しいタイのバンコクを対象とする。本報では筆者等が開発してきた数値気候モデル<sup>2),3),4)</sup>により、近年の急激な都市化が都市環境に与える影響を解析する。又、計算結果から温熱環境指標 SET\*<sup>7)</sup>の分布を算出し、海風が暑熱なバンコクの屋外環境の気候緩和に果たしている役割を評価している。

表 1 土地利用分類によるパラメータの設定値

土地利用分類	地表面の蒸発効率率 $\beta$	albedo $\alpha$	粗度長 $z_0$ (m)	人工排熱 (W/m <sup>2</sup> )
田	0.5	0.2	0.1	0
畑	0.3	0.2	0.1	0
果樹園 1	0.3	0.2	1	0
果樹園 2	0.3	0.2	0.5	0
森林 1 (高木)	0.3	0.15	2	0
森林 2 (低木)	0.3	0.15	1	0
湿地	0.5	0.2	0.1	0
建物用地 1 (オフィス等)	0	0.15	1	50
建物用地 2 (住宅等)	0	0.1	0.5	5
幹線交通用地	0	0.1	0.01	4
その他の用地	0.3	0.2	0.05	0
草地	0.3	0.2	0.1	0
河川地及び湖沼	1.0	0.03	0.001	0
海浜	0.6	0.3	0.005	0
海水域	1.0	0.03	0.001	0



(1) 1980年 (Case1) (2) 1990年 (Case2)

図 1 バンコクの都市圏の拡大状況<sup>注1)</sup>  
(人工排熱量の空間分布の変化)

表 2 計算領域、メッシュ分割、メッシュ幅(図 2)

	計算領域 (X)×(Y)×(Z)	メッシュ 分解	水平方向 メッシュ幅
Grid 1	280km×280km×5km	35×35×20	8km
Grid 2	104km×104km×5km	26×26×20	4km
Grid 3	64km×64km×5km	32×32×20	2km

## 2. バンコクにおける都市の発展状況<sup>5),6)</sup>

タイは1980年代後半以降急速な経済成長を遂げてきた。なかでもバンコク首都圏の成長は著しく、その人口はタイ全体の人口の約10%を占めるとともに、タイの国内総生産の5割以上を産出する等、顕著な一極集中傾向を見せている。これに伴い、旧来の都心地域の外側の地域にオフィスが急速に立地するなどスプロール化が激しく大規模な都市構造の再編が進行している<sup>5),6)</sup>。図1に1980年と1990年のバンコクの都市圏の拡大状況を示す(注1)。1980年から1990年までの10年間の間に首都圏の面積が約2倍程度にまで拡大している。

## 3. 解析概要

1) 計算ケース 1980年(Case1)と1990年(Case2)の土地利用データを利用した2 Caseの解析を行った。土地利用データはタイのDepartment of land developmentの土地利用データを利用した。この土地利用データは衛星データに基づき土地被覆分類されたものである。この土地利用分類に応じて各パラメータを設定した(表1)。両Caseでは土地利用データ以外の条件はすべて同一条件とした。

2) 乱流モデル 既報と同様に、Mellor-Yamadaモデルのlevel 2.5<sup>7),8),9)</sup>を使用。筆者等は同モデルに基づく関東地方の局地気候解析の結果を各種観測データと比較し、その予測精度が良好な

ことを確認している<sup>2),3),4)</sup>。

### 3) 解析領域、メッシュ分割

水平方向に280km×280km、鉛直方向に5kmの解析領域を設定した(図2、表2)。特に詳細な解析を必要とする領域ではメッシュを順次細かくするネスティング手法(図2、表2: Grid 2, 3)を利用している。メッシュ分割は水平方向には等間隔に、鉛直方向には不等分割としている(注2)。

4) 計算条件 タイにおいて本格的な雨季に入る直前である5月を対象として計算を行った。観測結果<sup>10)</sup>を参考に地表付近の温度の初期値を27.5℃とし、温位の鉛直分布の初期値は高度1.8kmまでは勾配1.8K/kmで、1.8kmから上空は4.4K/kmと与えた。海水面温度は28℃で一定。上空の風向風速は観測結果に従い南西風0.7m/sとした。計算は午前6時に開始し、翌日の午後3時までの33時間行った。

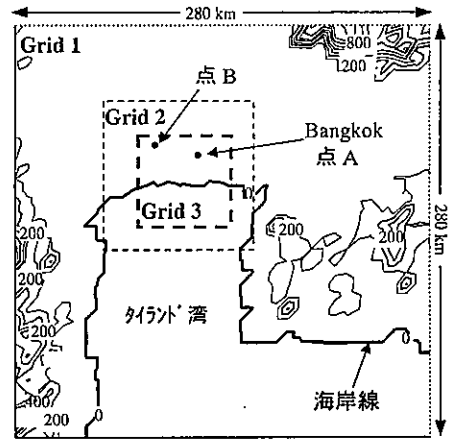
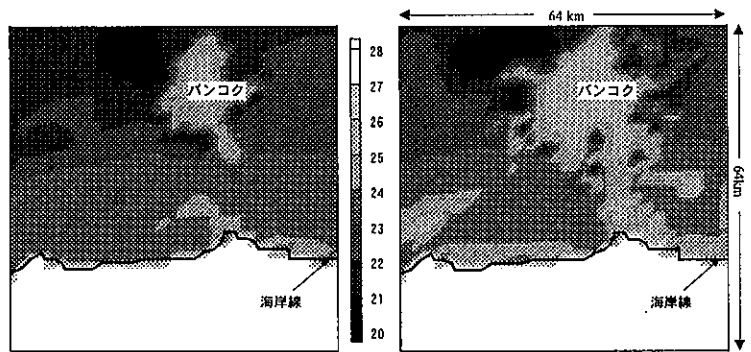
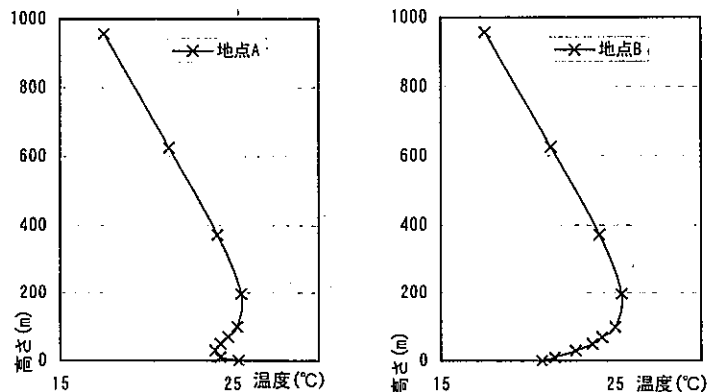


図2 解析領域



(1) Case1 (1980年) (2) Case2 (1990年)

図3 地表面温度 (午前4時, Grid 3)



(1) バンコク中心部(点A) (2) 郊外(点B)

図4 鉛直温度分布 (1990年, 午前4時, Grid 3)

#### 4. 計算結果と考察

1) 地表面温度分布 図3に2日目の午前4時のGrid 3内の地表面温度分布の比較を示す。1980年(Case1)に比べて1990年(Case2)では、都市域の拡大(図1)に伴い高温領域が拡大しており、夜間のヒートアイランド現象が進展していることが確認される。

2) 鉛直温度分布 図4にCase2(1990年)の午前4時における鉛直温度分布を示す。郊外(図2点B)では、夜間地表面付近の気温が低下しているために高さ0m~200mの範囲で強い逆転層が生じる(図4(2))。一方、バンコク中心部(図2点A)も上空において温度勾配が正となる逆転層が確認されるが、バンコクの中心部の地表面付近の気温が高いため、郊外に比べ逆転層の強さが減衰する(図4(1))。又、バンコクの中心部では逆転層の下に高さ方向の温度勾配が負となる領域が生ずる。現象としては早朝逆転層形成後に日射が差し込むことにより、逆転層下部で温度勾配が負となる領域が生ずる現象に似ているが、今回の結果は日射により生じたものではなく、都心部の蓄熱効果や人工排熱等により生じたものと推定される。バンコク中心部において地表面付近の気温が高いにも係わらず、上空において逆転層が形成されるのは、夜間においても継続する発達した海風により郊外部の低温空気が移流されたためであると推察される。

3) 風系と気温分布 図5にCase2(1990年)における全領域での正午の高さ100mの位置の水平方向風速分布を示す。又、図6に、A-A断面の風速ベクトル分布を示す(表示位置：図5参照)。海風がよく発達しており、バンコク上空では循環流が形成していることが確認できる。その風速はバンコク上空100mで約3m/s程度であり、高さ10mにおいて約1m/sである。バンコクの実測値<sup>10)</sup>では高さ約70mで約2m/s程度の海風となっており、本計算結果はこれと概ね対応していると言える。ここには示さぬがこの海風の発達した風系は夜間も含めて終日持続する(注3)。図7、8に同じくCase2(1990年)におけるGrid 3内の正午の水平並びに鉛直気温分布を示す。本計算ではバンコクでの気温は約31℃であり、実測値<sup>10)</sup>の32℃とよく対応している。図7の28.5℃~30℃の等温線を見ると、海岸線にほぼ平行して並んでおり、内陸に行くほど高温となる。これは海風が内陸部よりも低温の海上の空気を輸送し、バンコクの都市の熱環境に対して重要な冷熱源となっていることを示している。

#### 3) 温熱環境指標 SET\*の分布

図9にGrid 3内の正午のSET\*<sup>11)</sup>(Standard Effective Temperature)の分布を示す(注4)。図9(1)はCase2(1990年)の計算結果よりSET\*を算出した。図9(2)は風速が直接に人体の温熱感に与える影響を検討するため、Case2の計算結果のうち、風速のみを0m/sとして、気温分布や湿度分布、地表面温度分布等は同じとしてSET\*を算出している。現状でのバンコクの

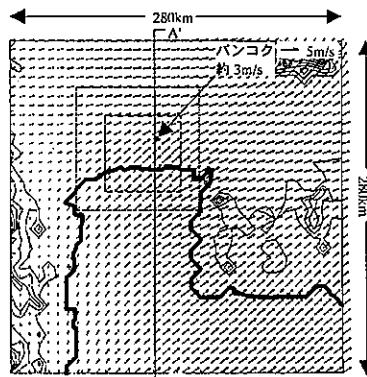


図5 水平方向風速分布  
(Case2,正午,全領域,高さ100m)

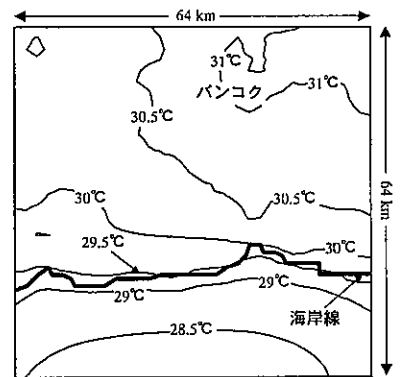


図7 気温分布  
(Case2,正午,Grid 3,高さ10m)

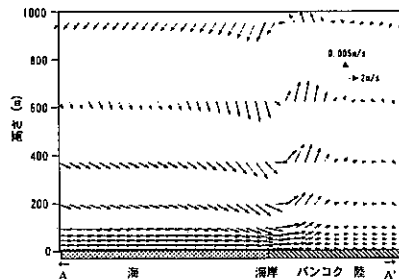


図6 風速ベクトル  
(Case2,正午,図5中のA-A断面)

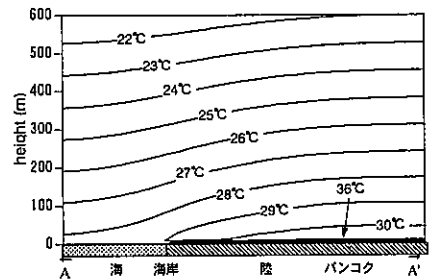


図8 気温の鉛直断面分布  
(Case2,正午,A-A断面のgrid3の部分)

SET\*(図9(1))は、44℃以上と非常に高く、蒸暑環境であることを示している。次に、風速のみを0m/sとした場合のSET\*(図9(2))は、現状のSET\*(図9(1))よりも更に約8~9℃上昇しており、屋外温熱環境はさらに著しく劣化する。これにより、沿岸部において海風は冷熱の移流効果を有するのみならず、その風速自身が屋外の人体の温熱感に及ぼす影響も非常に大きいものと考えられる。従って、適切な屋外温熱環境の制御のためには、発達した海風を遮断せずに積極的に取り入れるような都市計画が肝要であると考えられる。

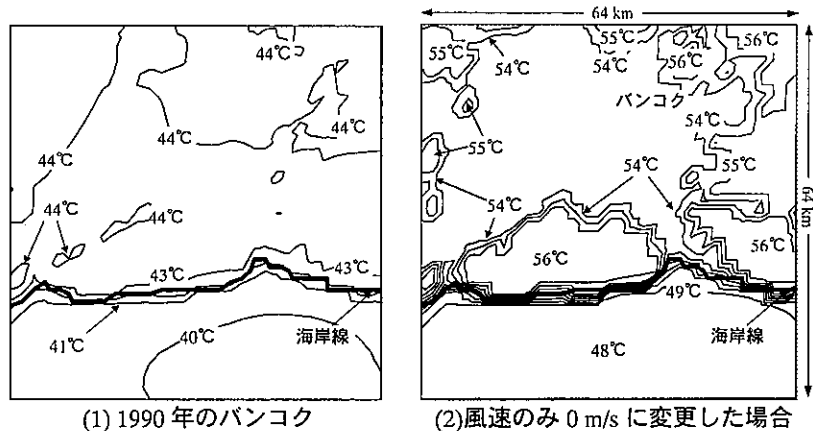


図9 SET\*の分布 (正午, Grid 3, 高さ 10m)

## 5. 結論

- 1) 近年、発展の著しいタイのバンコクを対象として、1980年と1990年の土地利用データを利用して都市気候の数値解析を行った。
- 2) バンコクは、1980年と1990年の10年間に急激に都市部が拡大しており、これに伴い夜間のヒートアイランドが進展する結果となった。
- 3) 解析結果を用いてSET\*の空間分布を算出した。
- 4) バンコクの屋外の蒸暑な温熱環境は、終日吹く海風(注3)によりかなり緩和されており、適切な温熱環境制御のためには、発達した海風を含む風系の積極的利用が重要であることが示された。
- 5) 今後、気象データ、観測データとの比較・照合に基づく数値解析結果の信頼性の検討を進める必要がある。

### <謝辞>

本研究を遂行するにあたり、東京大学生産技術研究所沖大幹助教授、同柴崎亮介助教授、同客員研究員 Perapol 氏(タイ気象庁)には貴重なデータをいただいた。ここに記して深甚なる謝意を表する。

注1) 図1は本解析に用いた人工排熱分布のコンタ図である。本解析では人工排熱は、様々な土地利用分類のうち建物用地、幹線交通用地からのみ排出されている(表1参照)。従って、図1はこれら都市構造物の全土地面積に占める割合の拡大状況を示していることになる。ここで、土地利用分類は衛星データに基づいている(本文3.1参照)。

注2) Grid 1~3ともに、地表に接する大気側のメッシュの鉛直方向の幅は20mで共通である。

注3) 1996年5月15日~29日のタイ気象庁のデータの平均値によれば、終日海風が吹く傾向は観測値においても同様に確認されている。

注4) 今回のSET\*の算出における放射受熱量の計算において人体形状は微小球体であると仮定した。天空からの長波放射は下向き大気放射量より、地表面からの長波放射は地表面温度より算定した。着衣量を0.5 clo、人体の代謝量は1.5 Metとした。

### <参考文献>

- [1] 尾島俊雄, 村上周三, 光本和宏, 生産研究, 49巻, 1997.10
- [2] 村上周三, 持田灯, 金相進, 大岡龍三, 日本建築学会計画系論文報告集 第491号, pp.31-39, 1997.1
- [3] 村上周三, 持田灯, 金相鯉, 大岡龍三, 吉田伸治, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学I pp.877-880, 1997.9
- [4] 金相鯉, 村上周三, 持田灯, 大岡龍三, 吉田伸治, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.1257-1264, 1997
- [5] 城所哲夫, 瀬田史彦, 大西隆, 第31回日本都市計画学会学術研究論文集, pp.745-750, 1996年
- [6] 白田裕一郎, 蔽網林, 久保幸夫, 日本住宅学会 第22回学術講演会論文集, pp.91-94., 1997.5
- [7] George L.Mellor. and Tetsuji Yamada., Journal of Applied Meteorology, Vol.13, No.7, pp 1791-1806., 1974
- [8] Tetsuji Yamada. and Susan Bunker., Journal of Applied Meteorology, Vol.27, No.5, pp 562 - 578. , 1988
- [9] Tetsuji Yamada. and Susan Bunker., Journal of Applied Meteorology, Vol.28, pp 545- 554. , 1989
- [10] Center for Climate System Research , University of Tokyo, Enhanced Rawinsonde Observation In Thailand.1997
- [11] A.P.Gagge et al. , AHSRAE Transactions, 92(1), 709-731, 1986