

## 市街地における熱環境予測手法（その3）

— 環境調和型地域開発計画への適用 —

赤川 宏 幸 小宮 英 孝  
宮川 保 之

## Method for Predicting an Urban Thermal Environment (Part 3)

— Applying to Environmentally-Friendly Regional Development Plans —

Hiroyuki Akagawa Hidetaka Komiya  
Yasuyuki Miyagawa

## Abstract

This report describes two applications of the numerical method for predicting a thermal environment, to facilitate environmentally-friendly regional development plans. For residential-area development plans for city A, the original topography is retained in order to save the energy that would normally be used by heavy machinery. Land-use is assumed to moderate the summer microclimate in this region. This development plan is compared with a conventional one where ground surface is step-like in shape. For the waterfront redevelopment for city B, a densely housed block alongside a watercourse is redeveloped into a spacious one. Moreover, the land covering materials are changed and the green-covered ratio is increased in an attempt to improve the hot summer conditions. Each case is evaluated by using air temperature, wind, SET\* (Standard new Effective Temperature) quantitatively. In the new conceptual plans, lowered of SET\* indicates 2 °C in the former case, 1.2 °C in the latter.

## 概 要

本報告は当社で開発した三次元熱環境シミュレーション手法を、実際の環境調和型地域開発計画に適用した事例を紹介したものである。A市宅地造成計画(ケース1)では、自然地形を残し、造成によるエネルギー消費を抑え、夏季の暑熱環境の緩和を目指した土地利用計画案に基づき、微気候シミュレーションを実施した。従来型のひな壇造成による計画案との差異を比較検討し、夏季において温熱快適性を示す指標(SET\*)は日中約2°Cの差異が見られ、環境調和型案の有効性が示された。B市再開発計画(ケース2)では、水路周りの街区において、工場や密集住宅地を再開発し、夏季に水路の涼しい風を街区の奥まで導くという計画案に基づき、微気候シミュレーションを実施した。日中高温となるアスファルト舗装を減らし、緑陰を形成する高木を増やすことにより暑熱環境を緩和し、SET\*は日中約1.2°Cの差異が見られ、再開発の有効性が示された。

## 1. はじめに

近年、環境共生や環境配慮といったコンセプトのもとに地域開発が行われている。この際、省エネやCO<sub>2</sub>排出量の観点から見た評価はしばしば行われるが、地域内および周辺の居住者に対する微気候の影響を定量評価する例はこれまであまり行われていない。

本研究では、地域開発において関心の高い問題である夏季の暑熱環境の緩和を目指したモデルケースを例に、気温、風速、温熱快適性の評価を行う。

## 2. 計算方法

計算手法の詳細は前報<sup>1)</sup>に示したので、計算の流れのみを記す。まず各被覆表面からの熱流束を一次元熱収支モデルによって推定する。次に、得られた顕熱流束を三

次元気流計算の熱境界条件として計算し、気温、風速分布を得る。熱収支モデルでは、まず粗度高さより上の接地境界層内部においてMonin-Obukhovの相似則が成り立つと仮定し、接地境界層全体の対流熱伝達率を求め、粗度高さの気温を求める。次に、粗度高さの気温を上側境界条件として地表面の熱収支を解く。樹木に関しては、樹冠と樹木下の地表面について熱収支を解き、建物壁面に関しては、地表面の熱収支計算で得られる建物平均高さでの気温と風速、および室温を境界条件として熱収支を解く。計算条件をTable 1, Table 2に示す。また各土地被覆、壁面等の構成は筆者ら<sup>2)</sup>と同様である。

気流計算は、SIMPLE法による三次元非定常解析で行った。移流項には一次精度の風上差分を用い、乱流補正は標準k-ε型モデルを用いた。建物と樹木は抵抗として与えられる<sup>2)</sup>。気流計算の計算条件をTable 3に示す。Table 4は熱収支計算開始から5日目の12:00, 18:00の各被覆表

面からの顕熱流束である（ケース1の計算例）。水面の値は、東京湾における実測結果に基づいている<sup>3)</sup>。これらの値が体積発熱量として計算領域内の対応する計算格子（セル）に与えられる。地表面の場合は地表面第一セルに、樹木の場合は地表面第一セルと樹冠のセルに、建物の場合は四方壁面からの合計の顕熱流束を建物セルに与える。また建物最上部セルには屋上面からの顕熱流束と人工排熱がさらに加えられる。計算は12:00, 18:00を開始時間として約50~60分に相当する時間積分を行い収束する。ケース2の場合、収束せずに周期変動を示したため、結果は最後の約5分間の平均値で示した。

### 3. A市環境調和型宅地造成計画（ケース1）

#### 3.1 計画概要

当地区は南日本に位置し、山の南斜面14.7haを宅地造成する計画案である（巻頭上段図）。環境調和型のコンセプトのもと、造成に使われるエネルギーを減らし、自然地形を生かした開発を目指すものである。また、当地区はもともと森林であることを利用し、高い緑被率を保持することにより夏季の暑熱環境の緩和を計る。比較のため従来型のひな壇型造成を行う計画案（巻頭中段図）についても同様の評価を行う。Fig. 1には気流計算における両計画案の標高を、Table 5には土地被覆割合を示す。

#### 3.2 計算結果

**3.2.1 気温分布** 8月1日12:00の高さ3mにおける気温分布をFig. 2示す。従来型では地区全体に高温域の筋が分布する。一方、環境調和型では風上側半分のみで高温域が見られ、遊水池より風下側では低温域が広がる。どちらも道路に起因する高温域が目立つ。巻頭下段の図は18:00の気温分布を示す。従来型では、夕方になり風速が減少したこと、蓄熱効果の高いアスファルト、コンクリート舗装面が多いことの影響で、地区内に熱が滞留し全域で高温となる。一方、環境調和型では、緑被率が高く、蓄熱効果の低い被覆材料が多いこと、および風上の森林からの冷涼な風の侵入があることによつて、地区全体の暑熱環境が緩和される。

**3.2.2 温熱快適性** Table 6に両開発案の地区全体の平均気温、平均SET\*（標準新有効温度<sup>4)</sup>）を示す。SET\*とは環境側四要素（気温、放射温度、湿度、気流速）、人体側二要素（着衣量、代謝量）を総合して単一の温度で表す温熱指標である。両計画案の平均気温の差は12:00に0.24℃、18:00に0.49℃と夕方の方が差が大きくなる。一方、両開発型の平均SET\*の差は12:00に2.02℃、18:00に0.41℃と日射のある日中の方が大きくなる。SET\*に基づく12:00の温冷感指標<sup>9)</sup>（夏季屋外においては27.5℃付近が「中立(4)」となる）は、従来型が「暑い(1)」であるのに対し、環境調和型では「暖かい(2)~やや暖かい(3)」となり快適性のレベルが向上することが分かる。

Table 1 熱収支計算の設定条件  
Model Run Conditions  
in the Heat Balance Simulations

計算日時	8月1日		接地境界層高さ	100m
境界層 上端風速	ケース1	2.0m/s (12:00)	空気の水蒸気圧	21.0mmHg
		1.0m/s (18:00)	地中不易層	29.0℃ (0.5m)
	ケース2	1.7m/s (12:00)	建物内の室温	26.0℃
		1.2m/s (18:00)	樹木の葉面積密度	2m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>

Table 2 熱収支計算の土地被覆設定条件  
Conditions of Ground Covers  
in the Heat Balance Simulations

土地被覆	粗度高さ (m)	アルベド (-)	蒸発比 (-)
アスファルト	0.5	0.1	-
コンクリート	0.5	0.3	-
裸地	0.1	0.3	0.05
樹木	0.5	0.2	0.25
低木	0.1	0.2	0.20

Table 3 気流計算の設定条件  
Model Run Conditions in the Air-Flow Simulations

	ケース1	ケース2
計算領域	750×600×600	1150×1050×500
メッシュ分割	75×60×35=157500 (全領域: 10m×10mメッシュ)	85×75×20=127500 (評価対象領域: 10m×10mメッシュ)
流入風向	西	南西
流入風速	2.0m/s (12:00), 1.0m/s (18:00)	熱収支計算で得た鉛直プロファイル
流入気温	31.0℃ (12:00), 31.2℃ (18:00)	熱収支計算で得た鉛直プロファイル
流出境界	自然流入流出	流入境界と同じ
上空境界	フリースリップ	フリースリップ
地表面応力	対数則	対数則

Table 4 顕熱流束（気流計算の熱境界条件）  
Predicted Sensible Heat Fluxes Used as  
Thermal Boundary Conditions in Air-Flow Simulation

	アスファルト	コンクリート	裸地	樹冠	樹木下	低木	水面
12:00	190.9	97.7	103.6	132.5	-21.6	69.2	0.0
18:00	91.2	67.0	46.7	-23.7	-12.5	42.2	0.0
	東壁面	南壁面	西壁面	北壁面	屋上面	人工排熱	
12:00	103.6	79.6	55.8	48.1	161.0	30.0	
18:00	77.4	72.5	133.9	61.4	113.3	30.0	

建物高さは10mの場合。壁：ガラス=7：3。単位 W/m<sup>2</sup>。ケース1の場合のみ示す。

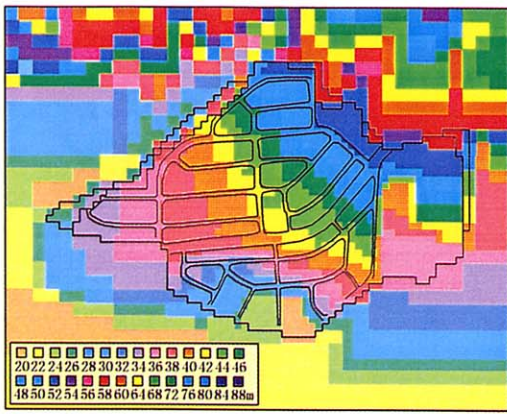
Table 5 土地被覆割合の想定  
Assumed Ground Covered Ratio

	アスファルト	コンクリート	裸地	樹木	低木	水面	木造建築	RC建築	合計	
従来型	面積 (ha)	2.57	2.79	3.29	1.61	2.44	-	1.83	0.13	14.66
	比率 (%)	17.5	19.0	22.4	11.0	16.7	-	12.5	0.9	100.0
環境調和型	面積 (ha)	2.05	1.09	2.80	4.73	2.04	0.32	1.27	0.36	14.66
	比率 (%)	14.0	7.4	19.1	32.3	13.9	2.2	8.7	2.4	100.0

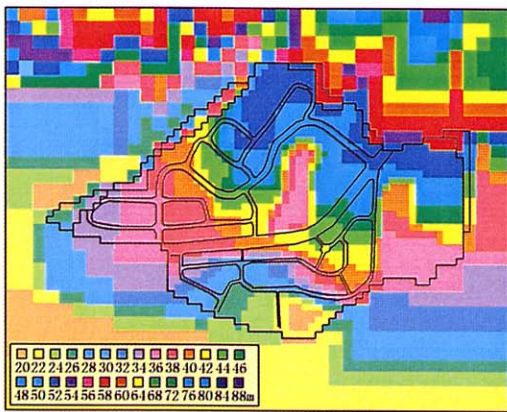
Table 6 計画地区内の平均気温と平均SET\*  
Mean Air Temperature and SET\* in the Region

		従来型 (a)	環境調和型 (b)	b-a
12:00	平均気温	32.38	32.14	▲0.24
	平均 SET*	32.68	30.66	▲2.02
18:00	平均気温	32.43	31.94	▲0.49
	平均 SET*	29.65	29.24	▲0.41

絶対湿度：21mmHg, 0.6clo, 1.2met, 日なたのグローブ温度：気温+10℃, 単位℃。

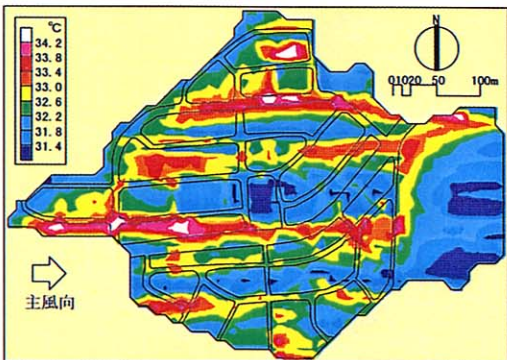


従来型

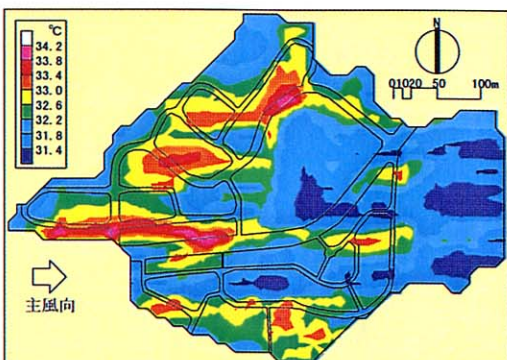


環境調和型

Fig.1 標高の設定  
Surface Elevation



従来型



環境調和型

Fig.2 気温分布（8月1日12:00，高度:3m）  
Horizontal Distributions of Air Temperature  
(August 1st. 12:00, Altitude: 3m)

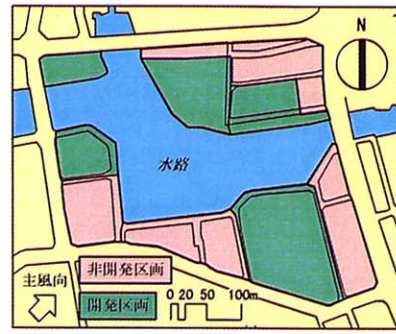


Fig.3 再開発地区  
Redevelopment Region



Fig.4 現況土地利用と再開発後の土地利用の想定  
Present Land-use and  
Assumed Land-use after Redevelopment

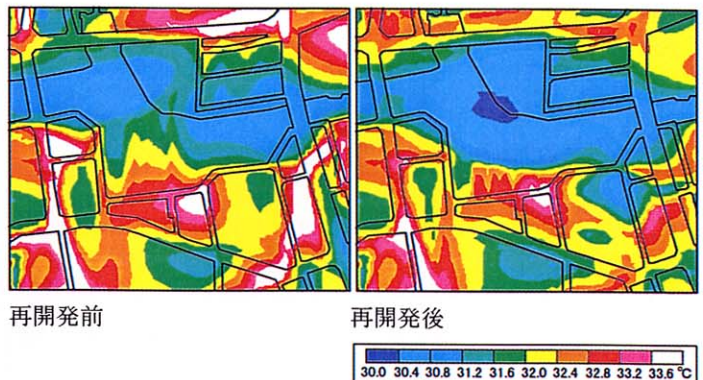


Fig.5 気温分布（8月1日12:00，高度:1.5m）  
Horizontal Distributions of Air Temperature  
(August 1st. 12:00, Altitude: 1.5m)

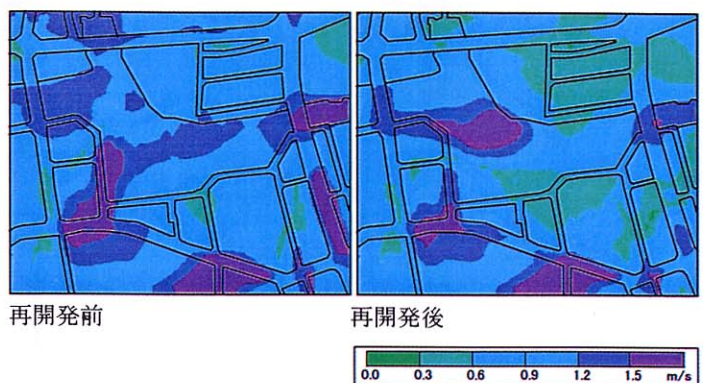


Fig.6 風速分布（8月1日12:00，高度:1.5m）  
Horizontal Distributions of Wind Speed  
(August 1st. 12:00, Altitude: 1.5m)

Table 7 再開発前後の土地被覆割合  
Ground Covered Ratio before and after Redevelopment

		アス phalt	コンク リート	裸地	樹木	低木	水面	木造 建築	RC 建築	合計
再開発 前	面積(ha)	0.92	1.60	0.61	0.55	0.61	-	0.88	2.78	7.95
	比率(%)	11.6	20.1	7.7	6.9	7.7	-	11.1	35.0	100.0
再開発 後	面積(ha)	0.49	1.28	0.24	1.96	1.59	0.11	0.88	1.40	7.95
	比率(%)	6.2	16.1	3.0	24.7	20.0	1.4	11.1	17.6	100.0

#### 4. B市環境調和型地域再開発計画 (ケース2)

##### 4.1 計画概要

当地区は低層住宅、工場、倉庫が並ぶ水路沿いの約8haの区画から成る。Fig. 3に示す五区画を再開発区画とし、他の四区画を非再開発区画とする。また再開発前後の区画内の土地被覆割合をTable 7に示す。再開発前後で樹木と低木を合わせた緑被率は、14.6%から44.7%に上昇する。気流計算に用いた土地利用の想定をFig. 4に示す。再開発後は区画を問わず道路や水路沿いに樹木を植え、さらにアスファルトの使用を極力避ける。街区、建物は平均建物高を基準に四段階に区分する。この時街区にはアスファルト、コンクリート、裸地、低木、建物が含まれる。

##### 4.2 計算結果

4.2.1 気温分布 Fig. 5は12:00の高さ1.5mにおける気温分布である。再開発前後ともに水路に沿って気温の低い領域が広がるのが見られる。高温部は道路沿いと低層建物区画に見られる。風上に当たる地区南側には建物の無い広い裸地(学校)があり、樹木地、水路と気温の低い領域の連続が現れる。再開発前には風を遮っていた水路沿いの建物が、再開発後、オープンスペースとなり、樹木の多い区画となることによって、特に風下部への気温の低い空気の侵入が顕著に見られる。

4.2.2 風速分布 Fig. 6は12:00の高さ1.5mにおける風速分布である。再開発前後ともに水路、道路上などの障害物の少ない場所で風速が高い。また気温分布に見られたように、学校、樹林地をつなぐ風の道が形成されている。再開発後に再開発区画において風速の低下が若干見られるが、これは樹木の増加に伴う抵抗の増加によるものである。但し街区内の風は気温が低く、風速の低下とのバランスが問題となる。全体としての効果については4.2.3項で示す。

4.2.3 温熱快適性 Table 8は非再開発区画と再開発区画の平均気温と平均SET\*を示している。平均SET\*は区画内の日なたと日陰の割合を算出し、加重平均したものである。12:00の平均気温では再開発区画、非再開発区画とも0.4℃以上の気温の低下が見られる。しかし、平均SET\*で比較すると、樹木の増加による日射遮蔽の効果と、風速低下の効果のバランスにより、非再開発区画では再開発前後ではほとんど変わらないのに対し、再開発区画では1.2℃以上の平均SET\*の低下が期待できる。この時、温冷感指標は「暑い(1)」から「暖かい(2)」へと1ランク移る。18:00には平均気温は非再開発区画でほとんど変わらず、開発区画でも0.17℃とわずかである。しかし、平均SET\*では両区画ともに0.5~0.6℃の低下が見られる。

Table 8 再開発前後の平均気温と平均SET\*  
Mean Air Temperature and SET\*  
before and after Redevelopment

		再開発前(a)	再開発後(b)	b-a	
12:00	非開発区画	平均気温	32.54	32.10	▲0.44
		平均SET*	32.57	32.58	+0.01
	開発区画	平均気温	31.89	31.47	▲0.42
		平均SET*	32.98	31.75	▲1.23
18:00	非開発区画	平均気温	32.21	32.22	+0.01
		平均SET*	30.68	30.15	▲0.53
	開発区画	平均気温	32.07	31.90	▲0.17
		平均SET*	30.46	29.86	▲0.60

絶対湿度：21mmHg, 0.5clo, 1.2met, 日なたのグローブ温度：気温+10℃, 単位℃。

#### 5. おわりに

今回紹介した事例は、どちらも1km程度の水平スケールを持つ開発地域を対象としたものである。今後は、数百m程度のより小さい場合についても対応していく予定である。そのためには、建物間のより詳細な熱流条件を把握する必要があり、計算の高精度化が求められる。特に快適性評価の大きな要素の一つである放射環境を適切に再現することが重要である。

今後、環境をコンセプトとした開発がますます増えると思われる。より望ましい開発計画を提案し、その効果を目に見える形で表現することにより、施主や地権者の理解を得ることを目指す。本研究における熱環境評価手法は、そのための有効な手段であると考えられる。同時に、屋外環境を改善するハードウェア技術の開発も今後の重要課題である。

#### 参考文献

- 1) 赤川, 小宮, 他: 市街地における熱環境予測手法(その2), 大林組技術研究所報, No. 54, (1997. 1)
- 2) 赤川, 小宮, 他: 地域開発における熱環境評価, 環境システム研究, Vol. 24, p. 586~592, (1996. 10)
- 3) 小宮, 岡, 他: 都心と東京湾における地表面上の熱流の測定, 日本建築学会計画系論文報告集, No. 463, p. 65~73, (1994)
- 4) 石井, 片山, 他: 屋外気候環境における快適感に関する実験的研究, 日本建築学会計画系論文報告集, No. 386, p. 28~37, (1988)
- 5) 山下, 石井, 他: 屋外環境における温熱感覚に関する申告実験 その6 温冷感と温熱指標の比較, 日本建築学会学術講演会梗概集, p. 751~752, (1991)