建築—都市—土壌連成系モデルによる都市高温化要因の定量的比較 に関する研究

第2報 数値実験による要因効果特性解析

QUANTITATIVE ANALYSIS ON FACTORS OF SIGNIFICANT AIR TEMPERATURE RISING IN URBAN AREAS BY ARCHITECTURE-URBAN-SOIL SIMULTANEOUS SIMULATION MODEL

Part 2 Analysis on significant factors by a series of numerical experiments

谷本 潤*, 林 徹夫**, 片山 忠久**, 大濱 淳司***, 笠間 幹雄****

Jun TANIMOTO, Tetsuo HAYASHI, Tadahisa KATAYAMA,

Junji OHAMA and Mikio KASAMA

To analyze factors of the significant air temperature rising, a series of numerical experiments were performed based on the Architecture-Urban-Soil simultaneous simulation model proposed in the former report. By a preliminary experiment based on so-called variation study method, 6 primary factors were picked up which have significant effects on urban temperature and thermal comfort in urban-human space respectively. For a main numerical experiment the design of experiment theory based on the orthogonal array was adopted to obtain quantitative and statistically significant results. Results indicate that the factors regarding energy consumption density in an urban area and mechanical performance of air conditioning system influence significantly on the air temperature rising in an urban area. In addition, MRT and SET* in a street canyon are affected by the earth's surface condition.

Keywords: significant air temperature rising in urban areas, Architecture-Urban-Soil simultaneous model, variation study method, design of experiment theory

都市高温化, 建築-都市-土壌連成系モデル, バリエーションスタディ, 実験計画法

1. 緒言

本研究では都市のエネルギー消費密度や地表面被覆状態、建物形態といった建築熱環境および都市熱環境の設計上、重要と思われる要因が都市高温化に及ぼす影響を定量的に把握することを目的としている。

本稿では第1報[1]で提示した建築-都市-土壌連成系モデル（概要を付録に示す）に基づく数値実験により、都市高温化をもたらす建築計画的、建築設備的、都市計画的各要因の定量的比較を行うものである。

既報で提案した建築-都市-土壌連成系モデルでは、

①都市を構成する建築、さらに地表面改変効果を評価する上で有意な影響を及ぼすと考えられる土壌を全体として連成系として取扱っている点

②従来、ぬれ具合に関して静的取り扱いがなされてきた土壌および芝生植栽からの蒸発量の評価について、土壌含水状態が考慮されている点が大きな特徴である。

本研究では予備数値実験として、まず想定した各因子に関するバリエーションスタディ¹⁾を行い、影響度の特に強い因子を抽出する。さらに、影響度の大きい要因については、直交配列に基づく実験計画法[2], [3]による数値実験を行い、もって都市高温化要因に関する定量的比較を行うものである。これは、都市高温化に影響を及ぼす因子は複雑多岐にわたり、因子間交互作用も無視し得ないとの前提から、効率的な数値実験で客観的かつ有意な結論を引き出す上では、統計学的に確立された手法である実験計画法がとりわけ有効であるとの認識に基づくものである。

* 九州大学大学院総合理工学研究科環境エネルギー工学専攻 助教授・工博

** 九州大学大学院総合理工学研究科環境エネルギー工学専攻 教授・工博

*** 八千代エンジニアリング(株) 工修

**** フジタ 工修

Associate Prof., Department of Energy and Environmental Engineering, Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu Univ., Dr. Eng. Prof., Department of Energy and Environmental Engineering, Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu Univ., Dr. Eng. Yachiyo Engineering Co. Ltd., M. Eng. Fujita Corporation, M. Eng.

表1 実験因子水準

因子	水準			
屋上仕様	スラブ露出	被土100mm	被土300mm	被土100mm+芝生
地被状態 (7スラブ:土壌:芝生)	1:0:0	1:1:1	0:1:0	0:0:1
建物形態				
容積率	750[%]	1000[%]	1250[%]	1500[%]
建ぺい率	39.0[%]	29.2[%]	23.5[%]	19.5[%]
建物高さ	24.0[m]	32.0[m]	40.0[m]	48.0[m]
街路幅	19.4[m]	23.7[m]	26.6[m]	28.8[m]
建物一辺長	32.2[m]	27.9[m]	25.0[m]	22.8[m]
日射吸収率	0.5	0.6	0.7	0.8
内部発熱量	顕熱 56[W/m ²] 潜熱 13[W/m ²]	顕熱 84[W/m ²] 潜熱 20[W/m ²]	顕熱 112[W/m ²] 潜熱 26[W/m ²]	顕熱 140[W/m ²] 潜熱 33[W/m ²]
交通廃熱	20[W/m ²]	30[W/m ²]	40[W/m ²]	50[W/m ²]
空調方式	間欠空調(8:00~20:00)		終日空調	
COP	2	3	4	5
空調機室外ユニットの 顕熱・潜熱処理比 (顕熱:潜熱)	1:0	2:1	1:1	0:1
建物断熱性	断熱材無し	断熱材50mm	断熱材100mm	断熱材150mm
窓面積率	10%	20%	30%	40%
降水状況	降水当日	降水翌日	降水と降水の間	降水前日

■は標準ケースを示す

- ・内部発熱の単位は建物床面積当たりを示す
- ・日射吸収率は建物壁面、地被面を一括して付与した

- ・交通廃熱の単位は街区面積当たりを示す
- ・壁体は断熱材、コンクリート、ガラスの厚及び面積を考慮した等価的熱物性を仮定した

2. 数値実験の方法

2-1 因子水準

本研究では都市高温化に影響を及ぼす要因として、まず12の因子を想定した。表1に因子水準を示す。ただし、表中のハッチ部分は後述するバリエーションスタディにおける標準ケースである。標準ケースの各水準は既報[1]の基本解の条件設定と同一で、現況の東京を想定している。

屋上仕様、日射吸収率、建物断熱性、窓面積率の各因子は建築計画的要因であり、特に屋上仕様では屋上被土化、芝生植栽化による建物パッシブ化の効果を見ようと云うものである。空調方式、空調システムCOP、空調機室外ユニット顕熱・潜熱処理比の各因子は建築設備的要因として想定した。これら建築側因子に対し、地被状態および建物形態は都市計画的因子であり、都市スケールでの高温化要因、都市熱環境設計要因として想定したものである。この2因子に屋上仕様を含めた3要因が、いわゆる地表面改変効果に対応するものである。なお、建物形態の標準ケースは既報で述べたように早稲田大学・尾島研究室による丸の内、銀座の屋根長率調査結果に基づく水準設定である。また、これを基本として都市を高層化した場合の影響を計量する上で、高層化に伴う建物群延べ床面積の増大が内部発熱の多寡に影響しないように、各水準で街区当たりの延べ床面積が同一となるようにグロス容積率は293%一定²⁾とした。内部発熱量、交通廃熱の2因子は、いわゆる都市におけるエネルギー消費密度に対応した要因である。いずれも既報で述べたように一ノ瀬らの新宿における調査結果を基に推定した値を標準ケースとし、将来のエネルギー消費密度増大を想定した水準割りとした。特に、内部発熱量の因子は、今後のOA化に伴う建物内での

発熱密度増加の影響、ひいてはこのことが都市におけるエネルギー消費密度の増大となり高温化に影響することを把握するための、いわば建物側、都市側双方に関わる横断的因子であると言えよう。降水状況の因子は、既報で述べたように周期定常解とする第2周期（計算開始後、第3日目に降水があり、その後土壌の含水率が初期含水率15%に復するまでが1周期）の解析対象日をいつにするかの水準設定であり、これにより自然地被からの蒸発量の多寡が左右される。

2-2 特性値

都市高温化要因を定量的に比較する上では、都市内気温そのものに直接影響を与える因子と都市キャンピ内街路空間の居住域レベルでの熱的快適性に関

与する因子とに分けて検討する必要があるものと考えられる。このことは、街路空間では気温そのものよりも一般に建物壁面、地表面を含む周囲からの放射の影響が顕著であることから推量される。そこで本研究では、評価項目として両者を分離して論ずることとし、数値実験における特性値としては、都市内気温、街路交差点中心地上高さ1mにおけるMRTおよびSET*の周期定常解の日最高値、日最低値、平均値を取り上げる。

2-3 予備実験

予備実験は表1に示した12因子について、解析対象因子以外は標準ケースと同一とするバリエーションスタディにより行う。計算ケースは全体で35ケースである。

2-4 本実験

予備実験の結果から、都市内気温の日最高値およびMRTの日最高値ごとに、各因子内の水準差が大きい順に上位6位までの因子を取り上げ、実験計画法に基づく数値実験を行う。7位以下の各因子については、以降の実験では設定水準を標準ケースと同一とする。直交表は $L_{64}(4^3)$ を用い、6位の因子のうち上位3位は3因子間相互の交互作用を考慮し、4位から6位までの因子には他因子との交互作用は無視し得るものとした。計算ケースは2通りの実験ごとに、64ケースである。

3. 実験結果および考察

3-1 予備実験結果

予備実験結果を表2にまとめて示す。都市内気温に大きな影響を及ぼす因子としては、空調機室外ユニットの顕熱・潜熱処理比、建物形態、内部発熱量、建物断熱性、地被状態、COPの順であり、MRTについては、地被状態、降水状況、日射吸収率、建物形態、内

表2 バリエーションスタディ結果

計算バリエーション	評価項目	都市内気温[°C]			街路中心MRT[°C]			街路中心SET*[°C]			空調機室外ユニットからの廃熱 (顕熱+潜熱)日最高値[W/m ²]
		平均	最高	最低	平均	最高	最低	平均	最高	最低	
屋上仕様	スラブ露出	27.47	30.09	24.56	33.58	62.43	19.43	31.98	43.91	23.40	106.32
	被土100mm	27.46	30.09	24.54	33.57	62.43	19.43	31.98	43.91	23.40	105.34
	被土300mm	27.46	30.10	24.54	33.57	62.43	19.43	31.98	43.91	23.40	105.04
	被土100mm+芝生	27.47	30.09	24.55	33.57	62.43	19.43	31.98	43.91	23.40	105.66
地被状態 (アスファルト:土壌:芝生)	1:0:0	27.48	30.13	24.56	34.52	65.26	19.43	32.35	44.65	23.40	106.43
	1:1:1	27.47	30.09	24.56	33.58	62.43	19.43	31.98	43.91	23.40	106.32
	0:1:0	27.45	30.05	24.54	32.54	59.43	19.02	31.54	43.00	22.95	106.03
	0:0:1	27.47	30.08	24.57	33.66	62.57	19.84	32.01	43.94	23.75	106.48
建物形態	容積率 750%	27.61	30.34	24.63	33.57	62.47	19.43	31.04	42.53	22.73	108.98
	容積率 1000%	27.47	30.09	24.56	33.58	62.43	19.43	31.98	43.91	23.40	106.32
	容積率 1250%	27.38	29.93	24.51	33.53	62.25	19.50	32.49	44.55	23.84	104.63
	容積率 1500%	27.31	29.82	24.49	33.48	62.07	19.53	32.45	44.49	23.85	104.00
日射吸収率	0.5	27.45	30.06	24.55	33.94	63.18	19.29	32.06	44.13	23.28	103.72
	0.6	27.46	30.07	24.55	33.84	62.97	19.39	32.05	43.99	23.30	104.64
	0.7	27.46	30.08	24.55	33.71	62.71	19.43	32.02	43.95	23.40	105.50
	0.8	27.47	30.09	24.56	33.58	62.43	19.43	31.98	43.91	23.40	106.32
内部発熱量	顕熱 56W/m ²	27.47	30.09	24.56	33.58	62.43	19.43	31.98	43.91	23.40	106.32
	潜熱 13W/m ²										
	顕熱 84W/m ²	27.56	30.19	24.62	33.83	62.59	19.80	32.17	43.96	23.75	142.70
	潜熱 20W/m ²										
	顕熱 112W/m ²	27.63	30.29	24.68	34.05	62.70	19.97	32.35	44.01	23.98	179.04
	潜熱 26W/m ²										
交通廃熱	顕熱 140W/m ²	27.71	30.38	24.73	34.29	62.82	20.38	32.53	44.06	24.33	215.35
	潜熱 33W/m ²										
	20W/m ²	27.47	30.09	24.56	33.58	62.43	19.43	31.98	43.91	23.40	106.32
	30W/m ²	27.48	30.10	24.56	33.58	62.43	19.43	31.98	43.91	23.40	106.35
空調方式	40W/m ²	27.49	30.11	24.56	33.58	62.43	19.43	31.98	43.91	23.40	106.38
	50W/m ²	27.50	30.12	24.56	33.59	62.46	19.43	31.99	43.92	23.40	106.41
	間欠空調	27.47	30.09	24.56	33.58	62.43	19.43	31.98	43.91	23.40	106.32
	終日空調	27.51	30.06	24.57	33.21	62.32	18.88	31.77	43.88	22.93	98.98
COP	2	27.48	30.12	24.56	33.58	62.46	19.43	31.99	43.92	23.40	106.42
	3	27.47	30.09	24.56	33.58	62.43	19.43	31.98	43.91	23.40	106.32
	4	27.46	30.07	24.56	33.57	62.43	19.43	31.98	43.90	23.40	106.27
	5	27.45	30.06	24.55	33.57	62.43	19.43	31.97	43.90	23.40	106.24
空調機室外ユニット 顕熱・潜熱処理比	1:0	27.59	30.33	24.56	33.63	62.57	19.43	32.00	43.94	23.40	106.46
	2:1	27.51	30.17	24.56	33.60	62.46	19.43	31.98	43.91	23.40	106.36
	1:1	27.47	30.09	24.56	33.58	62.43	19.43	31.98	43.91	23.40	106.32
	0:1	27.31	29.79	24.55	33.51	62.39	19.43	31.98	43.90	23.40	106.26
建物断熱性	断熱材なし	27.47	30.09	24.56	33.58	62.43	19.43	31.98	43.91	23.40	106.32
	断熱材 50mm	27.59	30.17	24.71	33.65	62.55	19.46	32.08	43.94	23.51	104.81
	断熱材 100mm	27.68	30.24	24.82	33.71	62.57	19.63	32.15	43.96	23.74	104.06
	断熱材 150mm	27.75	30.29	24.90	33.75	62.57	19.67	32.21	43.97	23.85	103.61
窓面積率	10%	27.47	30.09	24.56	33.71	62.64	19.43	32.03	43.94	23.40	102.45
	20%	27.47	30.09	24.56	33.64	62.49	19.43	32.00	43.92	23.40	104.18
	30%	27.47	30.09	24.56	33.58	62.43	19.43	31.98	43.91	23.40	106.32
	40%	27.46	30.09	24.55	33.52	62.42	19.29	31.95	43.91	23.28	108.43
降水状況	降水当日	27.47	30.09	24.56	33.80	62.43	19.46	32.08	43.91	23.41	106.48
	降水翌日	27.47	30.09	24.56	33.58	62.43	19.43	31.98	43.91	23.40	106.32
	降水日と降水日の間	27.48	30.11	24.56	34.18	64.34	19.43	32.21	44.41	23.40	106.44
	降水前日	27.48	30.12	24.56	34.45	64.98	19.46	32.32	44.61	23.41	106.49

 は標準ケースを示す

 は効果の大きな因子上位6項目

部発熱量、窓面積率の順となっている。このことから、都市高温化を都市内気温そのものと都市キャノピー内の熱的快適性の2つの側面に分離して考えるとき、想定した因子の影響の仕方には大きな差異が認められることがわかる。各因子の影響の程度等については次節で詳述するが、各要因効果は大略既往の知見に合致する向きに表れていることが確認できる。地被状態の因子に較べて、都市内気温に及ぼす屋上仕様の影響に要因効果が認められない。これは、周期定常解を得る際、計算上の1周期の長さは都市キャノピー底部の地盤土壌（以下、地上の土壌と表記する）の含水率を

対象として決定しており、地上面より正味の放射を多く受け、水分容量の少ない屋上被土では、乾燥が早く進み、解析対象の2周期目にあつては、土壌含水率が地上の土壌よりも低くなっていることに起因しているものと考えられる。また、都市キャノピー内の建物壁面近傍風速（既報で述べたように風洞模型実験結果から風速を得ている）よりも、モニン・オブコフ相似則に基づく風速プロファイルにより求める屋根面近傍風速の方が大きく、これにより屋上面での物質移動係数の方が大きな値となっていることも、屋上面での蒸発が促進される理由として挙げられる。

表3 分散分析結果

要因	特性値	顕熱潜熱処理比	建物形態	内部発熱量	建物断熱性	地状態	COP	顕熱潜熱処理比 ×建物形態	顕熱潜熱処理比 ×内部発熱量	建物形態 ×内部発熱量
都市内 気温	日平均値	59.791	181.954	58.234	66.207	2.918	2.933	2.282	4.276	1.264
	日最高値	243.332	384.554	83.657	51.986	4.329	6.153	5.479	6.893	1.256
	日最低値	1.289	82.071	35.134	74.213	5.259	1.342	0.642	2.607	1.175
要因	特性値	地状態	降水状況	日射吸収率	建物形態	内部発熱量	窓面積率	地状態 ×降水状況	地状態 ×日射吸収率	降水状況 ×日射吸収率
MRT	日平均値	5611.592	4630.211	810.063	344.400	2880.815	292.984	811.941	1.149	0.707
	日最高値	13254.063	8439.409	541.581	266.370	118.927	166.799	1138.957	0.979	1.413
	日最低値	39.548	58.789	15.858	7.328	2370.102	48.271	172.426	1.260	3.236
要因	特性値	地状態	降水状況	日射吸収率	建物形態	内部発熱量	窓面積率	地状態 ×降水状況	地状態 ×日射吸収率	降水状況 ×日射吸収率
SET*	日平均値	11.278	12.391	1.162	186.119	39.195	0.642	2.834	0.950	0.991
	日最高値	41.612	26.273	1.539	183.616	3.631	0.912	3.551	1.080	1.023
	日最低値	2.275	2.668	1.746	168.011	168.497	1.589	9.038	0.872	1.060

は0.1%有意差が見られなかったもの

3-2 本実験結果

分散分析結果を都市内気温、MRT、SET*の特性値ごとにまとめて表3に示す。日最低都市内気温への空調機室外ユニット顕熱・潜熱処理比の効果が有意でないのは、空調停止時に日最低値が発生するためであろう。また、都市内気温に関しては、地状態、COPの因子は有意とならなかった。SET*では、都市内気温の影響が加味されるため、壁面日射吸収率、窓面積率の影響は日平均、日最高、日最低、いずれの特性値についても有意とは判定されなかった。

表4から表6には、F検定0.1%で有意となった因子について、特性値ごとに主効果と交互作用に分けて要因効果推定値を示した。また図1から図3は日最高都市内気温、日最高MRT、日最高SET*に対する有意と判定された主効果を図示したものである。

提示した要因効果推定表により、交互作用を含めて、統計的に有意な要因について、各因子の影響度の客観的かつ定量的比較が可能となる。

都市内気温についてみると、地表面改変効果に影響する地状態に有意性は認められなかったが、同じく地表面改変効果に関する因子である建物形態は最大の水準差を生じることが特徴的である。本実験結果からは、建物高層化は都市高温化抑止に効果的であると言える。これは容積率を上げ、建ぺい率を下げること、放射に対する総括的な反射率が上昇することや、建ぺい率を下げることで結果的に自然地状態が増大することなどが理由として考えられる。このように建物形態は自然地状態の面積に対しても間接的に影響を及ぼす因子であり、各地状態の構成比を表す因子である地状態に有意性が認められないからと云って、直ちに自然地状態の効果が相対的に小さいとは言えない。しかし、従来の認識のように自然地状態の效果に過大な期待を寄せるのも危険であり、地表面改変効果としては自然地状態の效果を含めた建物形態の影響が大きいと結論付けるべきであろう。また、自然地状態そのものの影響を明確化する上では、本実験における建物形態の因子水準設定に自然地状態の影

表4-1 要因効果推定表（特性値：都市内気温・主効果）

		都市内気温		
		日平均値	日最高値	日最低値
空調機室外ユニット 顕熱・潜熱処理比 (顕熱:潜熱)	95%信頼限界 平均値	0.039	0.036	0.043
	1:0	27.749	30.335	24.859
	2:1	0.160	0.288	
	1:1	0.031	0.074	
	0:1	0.000	-0.006	
建物形態	容積率 750%	-0.190	-0.356	
	容積率 1000%	0.333	0.444	0.245
	容積率 1250%	0.044	0.059	0.030
	容積率 1500%	-0.130	-0.173	-0.098
内部発熱量	顕熱 56[W/m ²]	-0.246	-0.331	-0.179
	潜熱 13[W/m ²]	0.333	0.444	0.245
	顕熱 84[W/m ²]	0.044	0.059	0.030
	潜熱 20[W/m ²]	-0.130	-0.173	-0.098
	顕熱 112[W/m ²]	0.046	0.053	0.035
	潜熱 26[W/m ²]	0.169	0.185	0.145
建物断熱性	断熱材無し	-0.195	-0.154	-0.230
	断熱材 50mm	-0.035	-0.040	-0.033
	断熱材 100mm	0.075	0.066	0.085
	断熱材 150mm	0.156	0.128	0.177
地状態 (7:2:1:0:0)	1:0:0			
	1:1:1			
	0:1:0			
	0:0:1			
COP	2			
	3			
	4			
	5			

表4-2 要因効果推定表（特性値：都市内気温・交互作用）

		空調機室外ユニット顕熱・潜熱処理比			
		1:0	2:1	1:1	0:1
内部発熱量	顕熱 56[W/m ²]	-0.089	-0.166	-0.141	-0.272
	潜熱 13[W/m ²]				
	顕熱 84[W/m ²]	0.069	-0.061	0.009	-0.201
	潜熱 20[W/m ²]				
	顕熱 112[W/m ²]	0.256	0.121	-0.037	-0.156
	潜熱 26[W/m ²]				
	顕熱 140[W/m ²]	0.404	0.231	0.171	-0.129
	潜熱 33[W/m ²]				

響が生じない工夫をすべきであったとの考え方もあり得るが、現実の都市計画を考えると、建物高層化は余剰地を生み結果的には自然地被を増加させるとの認識から、敢えて標記の条件設定とした。

以上の諸点については、建築基準法の改正と規制緩和に関わる重要な問題を含んでおり、一層の知見の蓄積を踏まえた上で、慎重に議論する必要がある。

都市内気温に関しては、空調機室外ユニット顕熱・潜熱処理比の影響も大きく、亀谷らが指摘[4]するように、今後益々顕熱処理が主体となる建築設備の動向を踏まえると、憂慮すべき結果といえよう。また、都市内エネルギー消費密度に関わる建物内部発熱量の因子についても、都市内温度の上昇に直接大きく影響することがわかる。空調や交通等の廃熱の効果に関しては、排気高さが建物建込み方との関係の中で大きな影響を及ぼすものと考えられるが、大気側を1次元熱収支モデルで表現している本モデルでは、その点を模擬し得ない。今後、都市大気側を1次元運動量・熱輸送方程式で表現した都市キャノピーモデル[5]による詳細な検討が必要であろう。

MRT, SET*に関しては、都市内気温に対しては有意性の認められなかった地被状態さらに降水状況の因子が大きな水準差を生むことが特徴的である。また、これに関連して、地被状態と降水状況との間の交互作用が一部で有意な影響を及ぼしている。これらは含水状態による自然地被の表面温度の差異が大きく、これが都市キャノピー内の放射環境に大きく影響することによる。また、既述したように自然地被面積に関連するため、建物形態の要因効果も大きい。一方、都市内気温への影響が大きかった建築設備、都市内エネルギー消費密度に関連する要因の影響は、相対的には僅少である。

4. 結論

既報で提示した建築-都市-土壤連成系モデルを用いて、都市高温化要因として12因子を想定し、バリエーションスタディによる予備実験、実験計画法に基づく本実験を行い、以下の知見を得た。

(1) 都市内気温、街路交差点中心MRTおよびSET*の日平均値、日最高値、日最低値の各特性値に対する要因効果推定表を提示した。本表により、交互作用を含めた各因子の影響度の定量的比較が可能となった。

(2) 都市高温化を都市内気温そのものと都市キャノピー内の温熱快適性の観点から分離して考えると、想定した要因効果の様態は大きく異なることがわかった。前者に関しては、従来の認識通り、地表面変化効果と都市内エネルギー消費密度の影響が大きく、加えて建築設備の要因、特に空調廃熱の顕熱・潜熱処理比の影響も無視し得ないことがわかった。ただし、ここで云う地表面変化効果は自然地被面積の影響を含んだ建物形態の効果を指す。後者に関しては、地表面被覆状態の影響が顕著で、これに関連し、土壌のぬれ具合の影響が大きいことが明らかとなった。

表5-1 要因効果推定表 (特性値:MRT・主効果)

		MRT		
		日平均値	日最高値	日最低値
95%信頼限界		0.013	0.030	0.019
平均値		34.666	64.157	20.084
地被状態 (7スファルト:土壌:芝生)	1:0:0	0.511	1.742	-0.063
	1:1:1	0.035	0.022	0.055
	0:1:0	-0.580	-2.214	-0.029
	0:0:1	0.032	0.452	0.037
降水状況	降水当日	-0.203	-1.111	-0.041
	降水翌日	-0.452	-1.128	-0.017
	降水と降水の間	0.194	0.832	0.030
	降水前日	0.460	1.409	0.028
日射吸収率	0.5	0.192	0.382	-0.041
	0.6	0.069	0.134	-0.017
	0.7	-0.058	-0.122	0.030
	0.8	-0.203	-0.393	0.028
建物形態	容積率 750%	0.118	0.214	
	容積率 1000%	0.058	0.152	
	容積率 1250%	-0.044	-0.063	
	容積率 1500%	-0.133	-0.301	
内部発熱量	顕熱 56[W/m ²]	-0.372	-0.184	-0.509
	潜熱 13[W/m ²]			
	顕熱 84[W/m ²]	-0.126	-0.053	-0.161
	潜熱 20[W/m ²]			
	顕熱 112[W/m ²]	0.125	0.055	0.184
	潜熱 26[W/m ²]			
窓面積率	顕熱 140[W/m ²]	0.371	0.183	0.486
	潜熱 33[W/m ²]			
	10[%]	0.102	0.244	-0.054
	20[%]	0.053	0.021	0.072
	30[%]	-0.023	-0.069	0.030
	40[%]	-0.133	-0.194	-0.048

表5-2 要因効果推定表 (特性値:MRT・交互作用)

		MRT(平均値)			
		降水状況			
		降水当日	降水翌日	降水と降水の間	降水前日
地被状態 (7スファルト:土壌:芝生)	1:0:0	0.538	0.528	0.502	0.480
	1:1:1	-0.182	-0.428	0.243	0.513
	0:1:0	-0.902	-1.513	-0.233	0.333
	0:0:1	-0.265	-0.390	0.267	0.517
		MRT(最高値)			
		降水状況			
		降水当日	降水翌日	降水と降水の間	降水前日
地被状態 (7スファルト:土壌:芝生)	1:0:0	1.766	1.773	1.736	1.696
	1:1:1	-1.125	-1.129	0.876	1.466
	0:1:0	-3.697	-4.125	-1.177	0.141
	0:0:1	-1.390	-1.032	1.893	2.336
		MRT(最低値)			
		降水状況			
		降水当日	降水翌日	降水と降水の間	降水前日
地被状態 (7スファルト:土壌:芝生)	1:0:0	-0.087	-0.087	-0.009	-0.072
	1:1:1	0.116	-0.011	0.014	0.104
	0:1:0	0.241	-0.546	-0.026	0.216
	0:0:1	-0.029	0.334	-0.122	-0.037

【謝辞】

実験計画法の適用に際しては、東京都立大学・教授・石野久彌先生の指導を得た。また、本研究は、住宅総合研究財団、旭硝子財団の援助を受けている。記して謝意を表する。

表6-1 要因効果推定表 (特性値: SET*・主効果)

		SET*		
		日平均値	日最高値	日最低値
95%信頼限界		0.098	0.030	0.019
平均値		32.622	44.444	24.144
地被状態 (アスファルト:土壌:芝生)	1:0:0	0.179	0.460	-0.065
	1:1:1	0.037	0.017	0.056
	0:1:0	-0.188	-0.628	-0.020
	0:0:1	-0.029	0.151	0.029
降水状況	降水当日	-0.068	-0.303	
	降水翌日	-0.183	-0.314	
	降水と降水の間	0.067	0.216	
	降水前日	0.184	0.401	
日射吸収率	0.5			
	0.6			
	0.7			
	0.8			
建物形態	容積率 750%	-0.876	-1.370	
	容積率 1000%	0.009	0.032	
	容積率 1250%	0.463	0.721	
	容積率 1500%	0.404	0.617	
内部発熱量	顕熱 56[W/m ²]			
	潜熱 13[W/m ²]	-0.369		-0.572
	顕熱 84[W/m ²]			
	潜熱 20[W/m ²]	-0.044		-0.127
	顕熱 112[W/m ²]			
	潜熱 26[W/m ²]	0.112		0.197
窓面積率	顕熱 140[W/m ²]			
	潜熱 33[W/m ²]	0.301		0.502
	10[%]			
	20[%]			
	30[%]			
	40[%]			

表6-2 要因効果推定表 (特性値: SET*・交互作用)

		SET*(最低値)			
		降水状況			
		降水当日	降水翌日	降水と降水の間	降水前日
地被状態 (アスファルト:土壌:芝生)	1:0:0	-0.086	-0.086	-0.002	-0.084
	1:1:1	0.096	0.004	0.031	0.094
	0:1:0	0.231	-0.491	-0.026	0.206
	0:0:1	-0.049	0.299	-0.109	-0.024

[注記]

*1 本稿では、特定因子に関する計算ケースにおいて、それ以外の因子は標準ケースの水準設定に固定して、当該因子の要因効果を推定する数値実験手法をバリエーションスタディと表記する。

*2 容積率およびグロス容積率293%から決まる各水準のパラメータは以下の通り。

容積率	750%	1000%	1250%	1500%
建ぺい率	39.0%	29.2%	23.5%	19.5%
建物高さ	24m	32m	40m	48m
街路幅	19.4m	23.7m	26.6m	28.8m
建物一辺長	32.2m	27.9m	25.0m	22.8m

[付録]

建築-都市-土壌連成系モデルの概要

大気側は接地層を100mとし、モニン・オブコフ相似則を仮定した、いわゆる1次元熱収支モデル。これに建物側の伝熱・熱負荷計算モデルを連成させたモデル構成である。本文中に記した特徴に加え、キャノピー層内の風速として風洞実験結果を用いている点、地表面及び建物各壁面間の長波、短波放射授受は形態係数により1次反射成分まで考慮している点が、特色として上げられる。建物まわりのモデル概要を付図1に示す。

[本論文に関連する既発表]

- [1]大濱淳司・片山忠久・林徹夫・谷本潤・笠間幹雄, 都市高温化要因の定量的比較に関する研究 その1, 日本建築学会九州支部研究報告 第36号2, pp.369~372, 1997
- [2]笠間幹雄・片山忠久・林徹夫・谷本潤・大濱淳司, 建築-都市-土壌連成系モデルによる都市高温化要因の定量的比較に関する研究 その1, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1997
- [3]大濱淳司・片山忠久・林徹夫・谷本潤・笠間幹雄, 建築-都市-土壌連成系モデルによる都市高温化要因の定量的比較に関する研究 その2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1997

[参考文献]

- [1]谷本潤・林徹夫・片山忠久・大濱淳司・笠間幹雄, 建築-都市-土壌連成系モデルによる都市高温化要因の定量的比較に関する研究 第1報 理論構成手法と基本解, 日本建築学会計画系論文集 第504号
- [2]鷲尾泰俊, 実験計画法入門, 日本規格協会, 1988
- [3]田口玄一, 実験計画法, 丸善, 1995
- [4]亀谷茂樹・下田吉之・水野稔・西隆良, 空調システムをもつ建物からの熱環境負荷に関する研究 第2報 地域による廃熱特性の相違とモデル地区における都市熱環境負荷の推定, 空気調和・衛生工学会論文集 No.64, 1997.1
- [5]萩島理・片山忠久・林徹夫・谷本潤, 建築-都市-土壌連成系モデルによる都市高温化予測, 日本建築学会九州支部研究報告 第37号2, 1998.3

図1 日最高都市内気温を特性値とする要因効果

図2 日最高MRTを特性値とする要因効果

図3 日最高SET*を特性値とする要因効果

付図1 建物周りのモデルの概要

(1997年9月26日原稿受理, 1998年3月9日採用決定)