

建築—都市—土壌連成系モデルによる都市高温化の構造解析に関する研究

主査 谷本 潤
委員 片山 忠久 林 徹夫
萩島 理

[研究論文要旨]

都市高温化の構造解析を明らかにし、建築計画的、建築設備的、都市計画的諸要因の影響を定量的に把握することを目的として、まずその評価手法として建築—都市—土壌連成系モデルを理論構成した。提示モデルでは都市大気と建築物、さらに土壌および芝生植栽を全体として連成系として取り扱っている点に加え、従来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、著者が提案している各サブモデルを適用し、その土壌含水状態が考慮されている点が最大の特徴である。本稿ではまずモデルの概要を述べるとともに、典型的大都市として現況の東京を想定した条件データを入力とする基本解を示し、本モデルの有用性を明らかにした。

また、建築—都市—土壌連成系モデルを用いて、都市高温化要因として現況で想起しうる具体的な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を行い、まず影響度の強い因子を抽出した。次に、直交配列に基づく実験計画法による本数値実験を行い、因子間の交互作用を考慮してその影響度を評価し、もって統計的に有意な結論を導いた。すなわち、都市内気温、街路交差点中心MRT(平均放射温度)およびSET*(新標準有効温度)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することで、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。また、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、従来の認識の通り、地表面改変効果と都市内エネルギー消費密度の影響が大きく、加えて建築設備的要因、特に空調廃熱の顕熱・潜熱処理比の影響も無視しえないことがわかった。

A STUDY ON STRUCTURAL FACTORS OF SIGNIFICANT AIR TEMPERATURE RISING IN URBAN AREAS BY ARCHITECTURE-URBAN-SOIL SIMULTANEOUS SIMULATION MODEL

Ch. Jun Tanimoto
mem. Tetsuo Hayashi Tadahisa Katayama
Aya Hagishima

[SYNOPSIS]

Significant air temperature rising in urban areas is well recognized as so-called Heat Island phenomenon in a global scale. It is qualitatively grasped that an increase of anthropologic heat and an alternation of land usage are regarded as its main reasons. To analyze quantitatively on factors of the significant air temperature rising, a predicting methodology combined with simultaneous solutions for Architecture-Urban-Soil system was proposed. In the presented procedure authors proposed, a simplified numerical calculation method for evaporation rate from soil was considered with building air conditioning load calculations and a 1-dimensional heat balance model for an urban atmosphere. First of all, using realistic input data assumed a typical urban area, which is Tokyo, during summer season, a fundamental solution was obtained and an effectiveness of the proposed method was confirmed.

As the next stage of this study, in order 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 a variation study method, 6 primary factors were picked up. They have significant effects on the urban temperature and the thermal comfort in an urban-human space respectively. For a main numerical experiment the design of an experiment theory based on the orthogonal array was adopted to obtain quantitative and statistically significant results. Results indicate that the factors regarding the energy consumption density in an urban area and the 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.

建築—都市—土壤連成系モデルによる都市高温化の構造解析に関する研究

主査 谷本 潤*¹
委員 片山 忠久*² 林 徹夫*³
萩島 理*⁴

キーワード：1) 建築環境, 2) 都市環境, 3) 都市高温化, 4) 土壤蒸発, 5) 芝生蒸散, 6) 都市大気1次元熱収支モデル, 7) 建築伝熱・熱負荷計算モデル, 8) 連成モデル, 9) パリエーションスタディ, 10) 実験計画法

1. 研究の目的

都市高温化の主な原因として都市内の人工地被増大に伴う自然地被減少に代表されるいわゆる地表面改変の影響と、都市の高層高密度に伴い増加の一途を示すエネルギー消費密度の影響が大きいことは定性的には認識されてきたが、両者の定量的比較については未だ知見の蓄積に希薄の感は拭えない。とりわけ、都市緑化の熱的效果に関しては、情緒的議論とも相まって過大に評価されがちである。都市高温化の有効な制御・抑制手法を考える上で、エネルギー消費密度と地表面改変が都市熱環境に及ぼす影響を定量的に評価する必要があることは論を待たない。本研究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において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。

2. 論文構成

上記の目的のもと、本稿では評価手法として理論構成した建築—都市—土壤連成系モデルの概要を述べ、併せて基本解について報告するとともに、一連の数値実験により都市高温化の構造解析を行った結果について論究する。

3. 建築—都市—土壤連成系モデルの概要^{*)1,2)}

本研究では建物内に発生した熱負荷が空調機屋外ユニットを介して、都市大気へ排出され高温化の要因となること等の建物側の影響が都市熱環境に及ぶことや、その逆効果を含めて、建築—都市熱環境にわたる相互作用^{*)3)}を模擬するため、建物側の伝熱・熱負荷計算モデルと1次元熱収支モデルによる都市大気側モデルを連成させた計算モデルを構成する。その際に土壤からの蒸発量については著者らが提案している計算手法^{*)4,5)}を適用し、

さらに芝生植栽については別途提示している実験データ^{*)6)}を用いる。これらのサブモデルにより、芝生植栽を含めて、土壤の含水状態を考慮した地表面被覆の評価が可能となり、従来の土壤のぬれ具合に関して静的な取り扱いでは評価困難であった、夕立の熱帯夜緩和効果などが評価しうることとなる。

本モデルでは接地層内はモニン・オブコフ相似則、ルイスの関係の成立を仮定し、接地層厚は100mとした。また、粗度を直接的に付与するのではなく建物形状を具体的に仮定するため、都市キャノピー内での建物壁面、地表面での短波・長波放射の授受は1次反射成分まで考慮している。キャノピー層および建物周りのモデルを図3—1に示す。キャノピー構成面各面の対流熱伝達率を求める際に要する風速は、モニン・オブコフ相似則をそのまま適用できないとの前提から、著者らが行った街区模型を用いた風洞実験結果^{*)7,8)}を用いる。都市廃熱の取り扱いについては、空調室外ユニットからの顕熱・潜熱、粗度長高さ節点にそのまま付与する交通廃熱、遅れを考慮した空調廃熱以外の建物起源の廃熱の3つに分離して考慮している。土壤、土壤+芝生植栽サブモデルの詳細については拙稿^{*)4,5,6)}を参照にされたい。

4. 基本解

夏期の東京の気象条件のもと、現況の東京を想定した表4—1に示す入力条件で、基本解を求めた。なお、数値解は周期定常解であり、降水日にあつては10時に5mm、11時に10mm、12時に10mm、13時に5mmの降雨を与えた。図4—1は周期定常解とみなし解析対象とした第2周期目(計算開始後、第3日目に降水があり、その後土壤の含水率が初期含水率15%に復するまでを1周期とした)の降水前日、降水当日、降水翌日、降水と降水の間日の各地表面被覆の表面温度時変動特性である。但し、

*1九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
*2,3九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

*4九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 助手

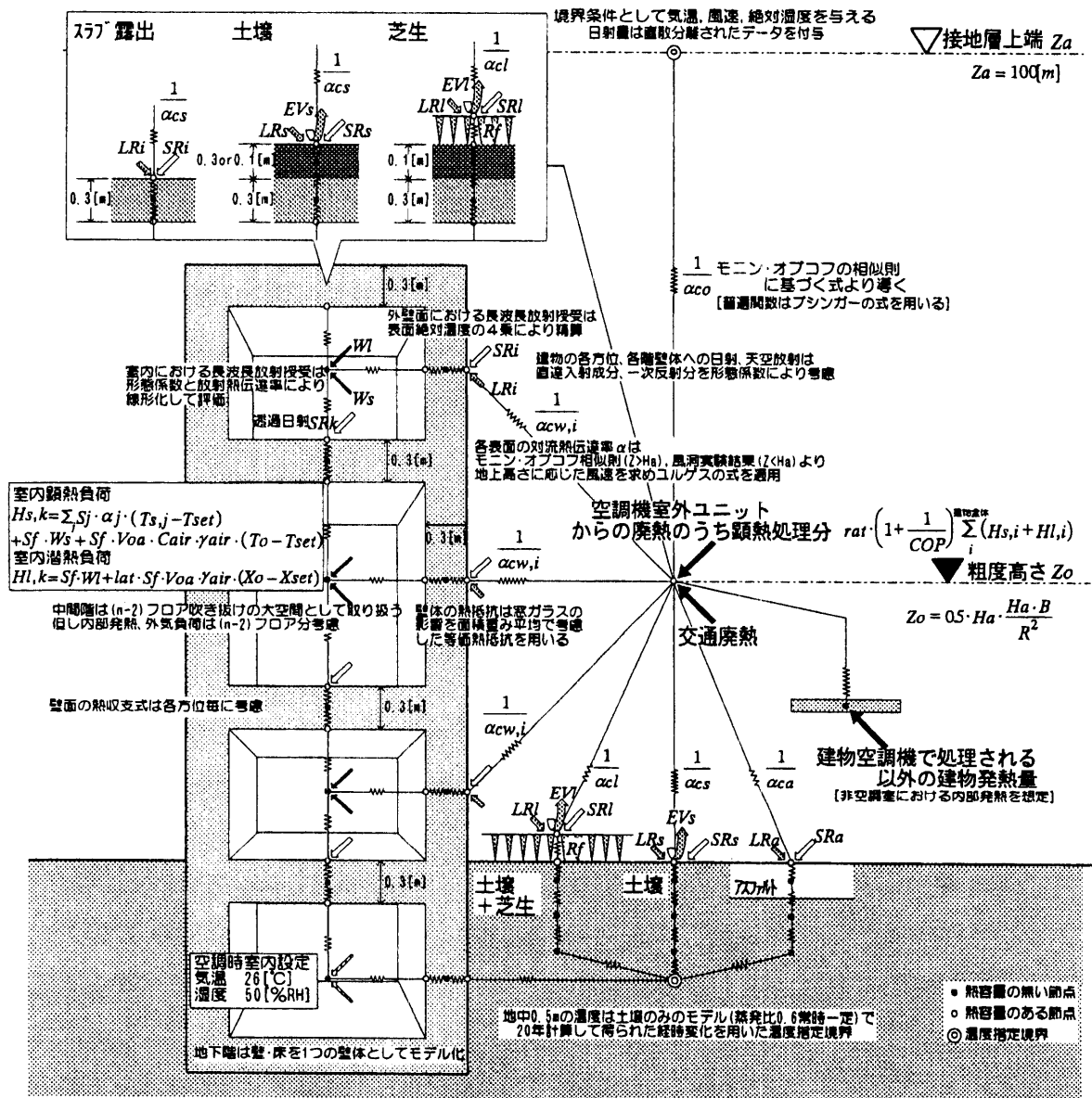


図3-1 建物周りのモデルの概要

表4-1 基本解と条件

①屋上仕様	コンクリートスラブ 露出
②地被状態	(アスファルト):(土壌):(芝生)=1:1:1
③建物形態	容積率 750%
	建ぺい率 39%, 建物高さ 24.0m, 街路幅 19.4m, 建物一辺長 32.2m
④建物壁面日射吸収率	0.8
⑤建物内部発熱	顕熱 56W/m ² , 潜熱 13W/m ² ($t^{\circ}C$ - h)
⑥交通廃熱	20W/m ² (常時一定)
⑦空調方式	間欠空調(8~20時 空調運転)
⑧空調システムCOP	3
⑨空調室外ユニット顕熱・潜熱処理比	(顕熱):(潜熱)=1:1
⑩建物断熱性	50mm
⑪建物窓面積率	30%
⑫建物空調機で処理される以外の建物発熱量	100W/m ² (常時一定)
⑬その他	外気導入量 2.7m ³ /床 m ² h 建物壁体、床、屋根スラブは厚さ30cmコンクリート

アスファルトの表面温度については、降水条件にかかわらずほぼ同様の変動を示すため、降水前日の結果のみ図示している。また、表4-2に降水前日、降水当日、降水翌日、降水と降水の中間日の都市気温を示した。図4-2は降水翌日の街路交差点中心地上高さ1mにおけるMRT(平均放射温度)、SET*(新標準有効温度)および都市気温、相対湿度の時変動特性である。

図4-1から明らかなように、地表面温度のピーク時と比較すると、蒸発が生じる被覆である芝生および土壌については、降水条件により変動特性が大きく異なることがわかる。含水状態が最も乾燥している降水前日と降水当日あるいは降水翌日とを比較すると、芝生、土壌いずれの表面温度も10℃以上の差異が認められる。また、降水当日についてみると、降水が始まる10時に表面温度上昇勾配が急減し、12時以降急激な低下傾向が認められ、この影響は降水翌日まで残留することがわかる。芝生表

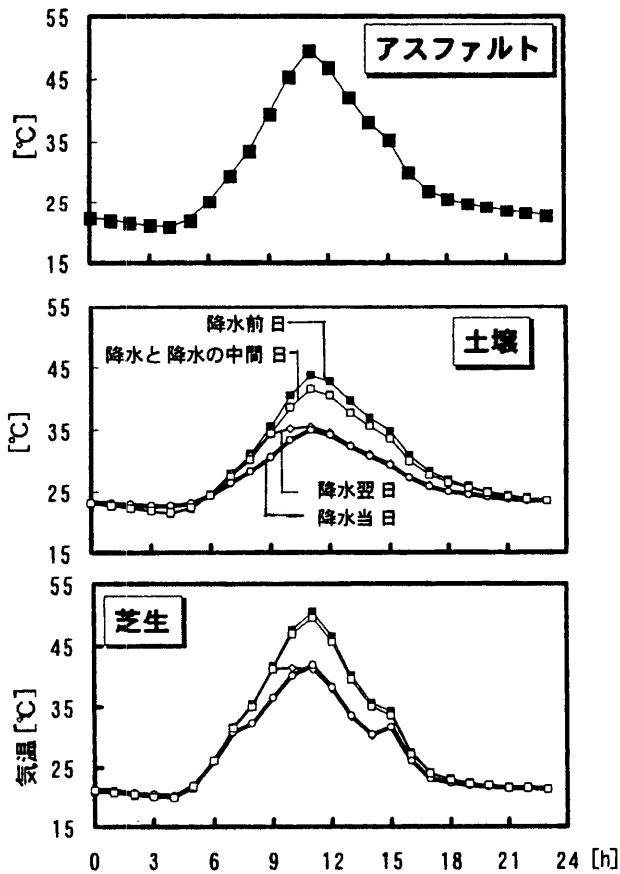


図4-1 降水条件に対する各地表面被覆の表面温度

表4-2 降水条件に対する都市気温の日最高,日平均,日最低値

単位[°C]	降水当日	降水翌日	降水と降水の中間日	降水前日
日最高値	30.09	30.09	30.11	30.12
日平均値	27.47	27.47	27.48	27.48
日最低値	24.56	24.56	24.56	24.56

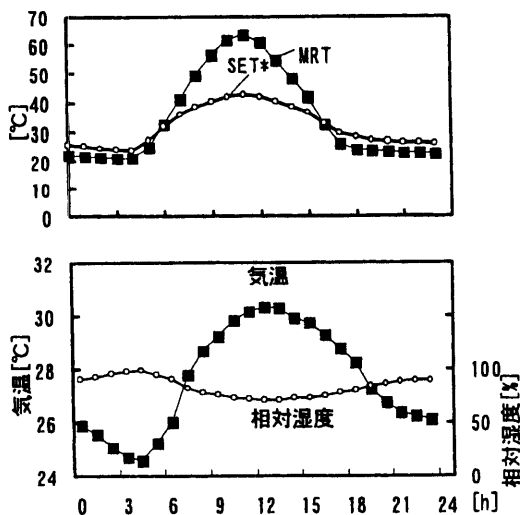


図4-2 都市気温, 相対湿度およびMRT, SET*

面温度については、15時に一旦昇温傾向がみられるが、これは既述した筆者らの実験データによると、芝生の蒸発散特性が日射量 $250\text{W}/\text{m}^2$ を閾値として、それ以下の場合、芝生が直下土壌からの蒸発に対して抵抗として作用することによるものと考えられる²¹⁾。また、芝生表面温度が土壌よりも全般的に高温なのは、芝生の等価的熱抵抗によるものである。以上のように、土壌含水率に応じた蒸発冷却効果の差異が実現象と同様の傾向で模擬されており、提示した定量化手法の有効性が確認できる。

街路交差点中央のMRTの推移をみると、計算ポイントが建物近傍の街路空間に比して日射の影響を受けやすい地点であるため、日中ピーク時は 60°C にも達し、SET*の値も都市気温に比較してはるかに高温である。

表4-2より、土壌の含水状態による地表面被覆からの蒸発量の多寡が影響する都市内気温の差異は僅少である。これは建物形態の条件がきいて、蒸発が生じる地表面被覆の表面温度の影響よりも、グロスとしては大きな面積となる垂直壁面からの顕熱流の影響が支配的に作用するためであろう。基本解の建物形態等の条件設定が現況の東京を想定していることを踏まえると、これらのことは現実の都市においても、建物が高層化するなかで建築面積以外の街路空間、さらには屋上面を含めた自然地被化にはそれなりの効果は期待できるものの、都市高温化への直接的影響の程度としては上限があることを物語っており、きわめて興味深い結果である。

5. 数値実験

5.1 実験方法

5.1.1 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5-1に因子水準を示す。但し、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みようというものである。空調方式、空調システムCOP(成績係数)、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^{21), 22)}。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

表5-1 実験因子水準

因子	水準			
屋上仕様	スラブ露出	被土100 mm	被土300 mm	被土100 mm+芝生
地被状態 (アスファルト: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	断熱材なし	断熱材50 mm	断熱材100 mm	断熱材150 mm
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

・交通廃熱の単位は街区面積当たりを示す

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、参考文献1)、2)で述べたように一ノ瀬らの新宿における調査結果をもと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、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。

5.1.2 特性値

都市高温化要因を比較する上で、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ノピー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の影響強度が異な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。

5.1.3 予備実験

予備実験は表5-1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。

5.1.4 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L₆₄(4²⁴)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うるものとした。計算ケースは2通りの実験ごとに、64ケースである。

5.2 実験結果および考察

5.2.1 予備実験結果

予備実験結果を表5-2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。地被状態の因子に比べて、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（風洞模型実験結果から風速を得ている^{※1}）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5-2 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 (7:7:1:1:1:1:1:1:1:1:1:1)	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										
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											
交通廃熱	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
	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
空調方式	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
	顕熱・潜熱比 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

5.2.2 本実験結果

都市内気温, MRT, SET*の日最高値を特性値とした場合(他に日平均値, 日最低値も解析対象特性値として), F検定0.1%有意となった因子の主効果のみについて, 図5-1~図5-3に示した。また, 交互作用を含め

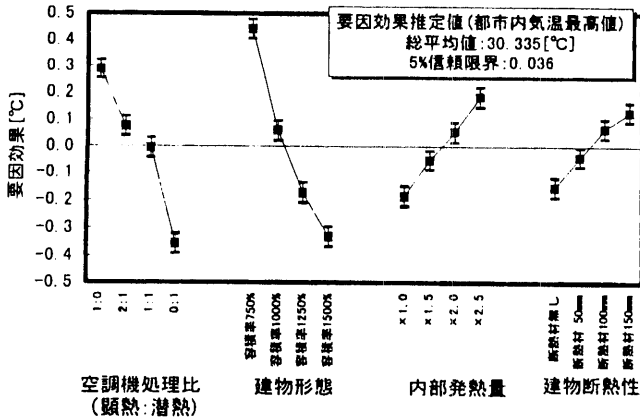


図5-1 日最高都市内気温を特性値とする要因効果

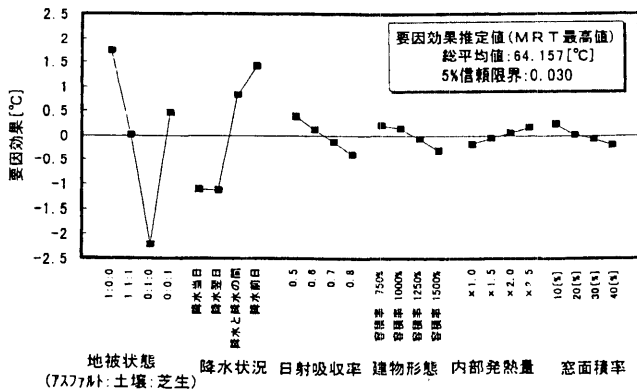


図5-2 日最高MRTを特性値とする要因効果

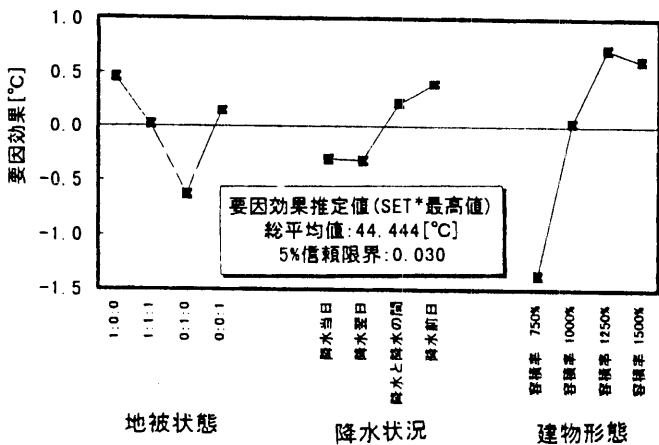


図5-3 日最高SET*を特性値とする要因効果

た要因効果推定表を表5-3~表5-8にまとめて示す。日最高値については, 都市内気温では空調機室外ユニット顕熱・潜熱処理比と内部発熱量, MRTでは地被状態と降水状況との間に交互作用が認められた。

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, 地表面変化効果に影響する地被状態に有意性は認められなかったが, 同じく地表面変化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で, 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被が増大することなどが理由とし

表5-3 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
95%信頼限界		0.039	0.036	0.043
平均値		27.749	30.335	24.859
空調機室外ユニット 顕熱・潜熱処理比 (顕熱:潜熱)	1:0	0.160	0.288	
	2:1	0.031	0.074	
	1:1	0.000	-0.006	
	0:1	-0.190	-0.356	
建物形態	容積率 750%	0.333	0.444	0.245
	容積率 1000%	0.044	0.059	0.030
	容積率 1250%	-0.130	-0.173	-0.098
	容積率 1500%	-0.246	-0.331	-0.179
内部発熱量	顕熱 56[W/m ²]			
	潜熱 13[W/m ²]	-0.167	-0.185	-0.141
	顕熱 84[W/m ²]			
	潜熱 20[W/m ²]	-0.046	-0.052	-0.040
内部発熱量	顕熱 112[W/m ²]			
	潜熱 26[W/m ²]	0.046	0.053	0.035
	顕熱 140[W/m ²]			
	潜熱 33[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
地被状態 (7:7:7材:土壌:芝生)	1:0:0			
	1:1:1			
	0:1:0			
	0:0:1			
COP	2			
	3			
	4			
	5			

表5-4 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]				
	潜熱 13[W/m ²]	-0.089	-0.166	-0.141	-0.272
	顕熱 84[W/m ²]				
	潜熱 20[W/m ²]	0.069	-0.061	0.009	-0.201
内部発熱量	顕熱 112[W/m ²]				
	潜熱 26[W/m ²]	0.256	0.121	-0.037	-0.156
	顕熱 140[W/m ²]				
	潜熱 33[W/m ²]	0.404	0.231	0.171	-0.129

表5-5 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スツルト: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]			
	潜熱 13[W/m ²]	-0.372	-0.184	-0.509
	顕熱 84[W/m ²]			
	潜熱 20[W/m ²]	-0.126	-0.053	-0.161
	顕熱 112[W/m ²]			
	潜熱 26[W/m ²]	0.125	0.055	0.184
窓面積率	顕熱 140[W/m ²]			
	潜熱 33[W/m ²]	0.371	0.183	0.486
	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5-7 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 (7スツルト: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]	-0.389		-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5-6 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スツルト: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	-0.802	-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スツルト: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スツルト: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

て考えられる。このように建物形態は自然地被の面積に対しても間接的に影響を及ぼす因子であり、各地被の構成比を表す因子である地被状態に有意性が認められないからといって、直ちに自然地被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被の効果が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被の効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、自然地被その

表5-8 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 (7スツルト: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

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被の影響が生じない工夫をすべきであったとの考え方もありうるが、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、あえて標記の条件設定とした。

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、今後ますます顕熱処理が主体となる建築設備の動向を踏まえると、憂慮すべき結果と言えよう。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。

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。

6. 結語

建築-都市-土壌連成系モデルを用いた数値実験により、都市高温化要因の定量的比較検討を行った。その結果、都市内気温そのものに対しては、地表面改変効果と都市内エネルギー消費密度の影響が大きく、加えて建築設備的要因、特に空調廃熱の顕熱・潜熱処理比の影響も無視しえないことがわかった。都市キャノピー内の熱的快適性に関しては、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。

<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No.504, pp.87~93, 1998.2
- 2) 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2報 数値実験による要因効果特性解析，日本建築学会計画系論文集No.510, pp.53~60, 1998.8
- 3) 松尾陽・西岡真稔・永田明寛：都市キャノピーにおける建築からの放散熱とその影響 その1・2，日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.585~588, 1995
- 4) 谷本潤・林徹夫・片山忠久：屋上被土からの蒸発量の簡易計算手法に関する研究，日本建築学会計画系論文集 第492号, pp.23~29, 1997.2
- 5) 河上貴子・笠間幹雄・片山忠久・林徹夫・谷本潤・萩島理：都市熱環境評価のための地表面からの蒸発量の簡易計算手法に関する研究 その4・5，日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp.127~130, 1998
- 6) 香川治美・林徹夫・谷本潤・片山忠久：芝生植栽が都市熱環境に及ぼす影響に関する研究 第1報 土壌の含水状態を考慮した芝生植栽の蒸発散特性の定量的特定，日本建築学会計画系論文集 第507号, pp.7~12, 1998.5
- 7) 片山忠久・林徹夫・谷本潤・堤純一郎・何平・福留秀和・三原靖之：建物配置と街路の風速分布に関する風洞模型実験 その2・3，日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.577~580, 1996
- 8) 片山忠久・林徹夫・谷本潤・堤純一郎・三原靖之：建物配置と街路の風速分布に関する風洞模型実験 その4・5，日本建築学会九州支部研究報告 第36号, pp.341~348, 1997