

## 5.2 東京 23 区における数値シミュレーション

### 1) 設定条件と入力データ

#### (1) 計算条件の概要

東京 23 区を含む図 5 - 1 のエリアを対象に 500mメッシュで区画した約 32.5km 四方( 65 × 65 メッシュ )、鉛直方向 1 km( 43 階層 )を計算の対象とした。また、シミュレーションのケースについては表 5 - 1 のように設定した。



図 5 - 1 東京 23 区シミュレーション範囲

表 5 - 1 東京 23 区シミュレーションのケース

ケース名	内容
現況	
建物対策 1	建物排熱 5 %削減
建物対策 2	同 10%削減
交通対策 1	自動車排熱 17%、鉄道排熱 7 %削減
交通対策 2	同 35%、同 15%削減
総合対策 2	建物排熱 10%、自動車排熱 35%、鉄道排熱 15%削減

#### (2) 都市気候予測モデル

UCSS (都市気候予測システム) モデルは、土地利用や気象情報、人工排熱などを推計するさまざまな情報のメッシュデータベースと、これらを地図上に表現するGIS (地理情報システム)、さらにこれらのデータを利用して都市気候を予測するモデルの

部分からなる。図5 - 2はその概要を示したもので、ヒートアイランド現象や対策効果をシミュレートする場合は、先ず現況の再現を行い、次いで対策によって変化する条件をデータとして入力し予測シミュレーションを行い、地表面を境界とした熱流量や気温等の変化を予測して対策の効果进行分析する。

本モデルの特徴は、キャノピー層内の風を考慮したドラッグフォースによるモデルを採用している。解析する主な項目は、気温、湿度、風向・風速、放射であり、都市空間内でこれらがどのように変化するかを時々刻々に予測することができる。海陸風などの広域的な気象、河川や海岸、市街地の分布などの都市形態に適した建物配置や構造、緑の配置、道路や工場などの点源の配置などを検討することができる。

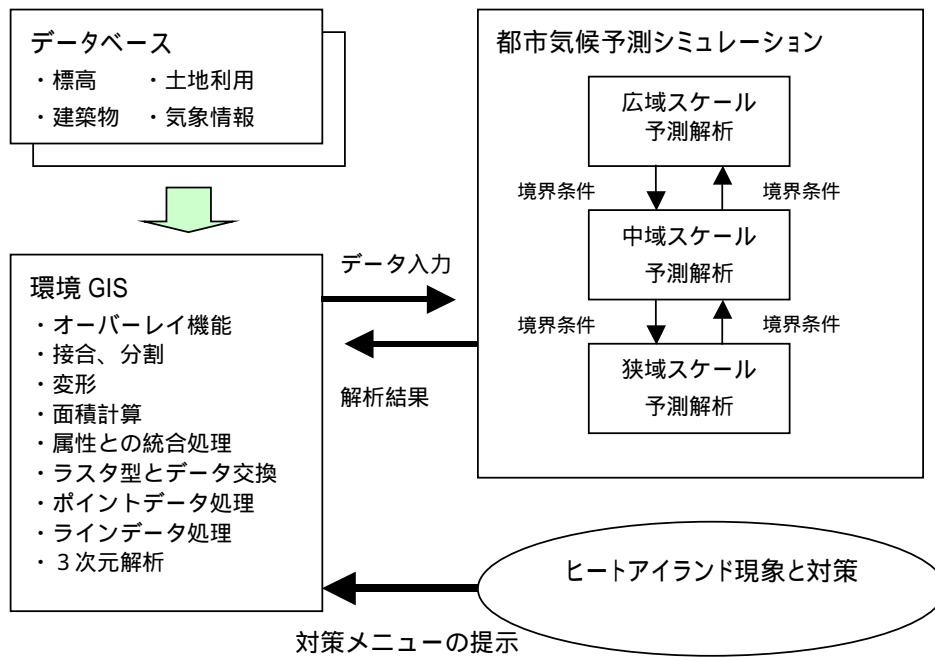


図5 - 2 UCSSモデルの概要

(3) 地表面条件

東京都GISデータの土地と建物(平成8・9年)の用途とUCSSの地表面被覆要素を以下のように対応させた。

表5-2 東京都GISの土地建物用途と地表面被覆パラメータの対応

土地建物主用途	地表面被覆パラメータ
官公庁施設	裸地・草地
教育文化施設	
厚生医療施設	
供給処理施設	
事務所建築物	アスファルト
専用商業施設	
住商併用建物	
宿泊・遊興施設	
スポーツ・興行施設	アスファルト
独立住宅	
集合住宅	
専用工場	
住居併用工場	裸地・草地
倉庫運輸関係施設	
農林漁業施設等	裸地・草地
屋外利用地・仮設建物	
公園・運動場等	
未利用地等	アスファルト
道路	
鉄道・港湾等	裸地・草地
田	
畑	
樹園地	
採草放牧地	水面
水面・河川・水路	
原野	裸地・草地
森林	
その他	

## 2) 排熱量設定

### (1) 建物排熱

各種計算方法による建物の排熱計算結果を、ヒートアイランド現象の解析データとして導入する手順を次図に示す。また、表 5 - 3 に東京都 GIS の建物用途と人工排熱算出用の用途分類の対応を示す。

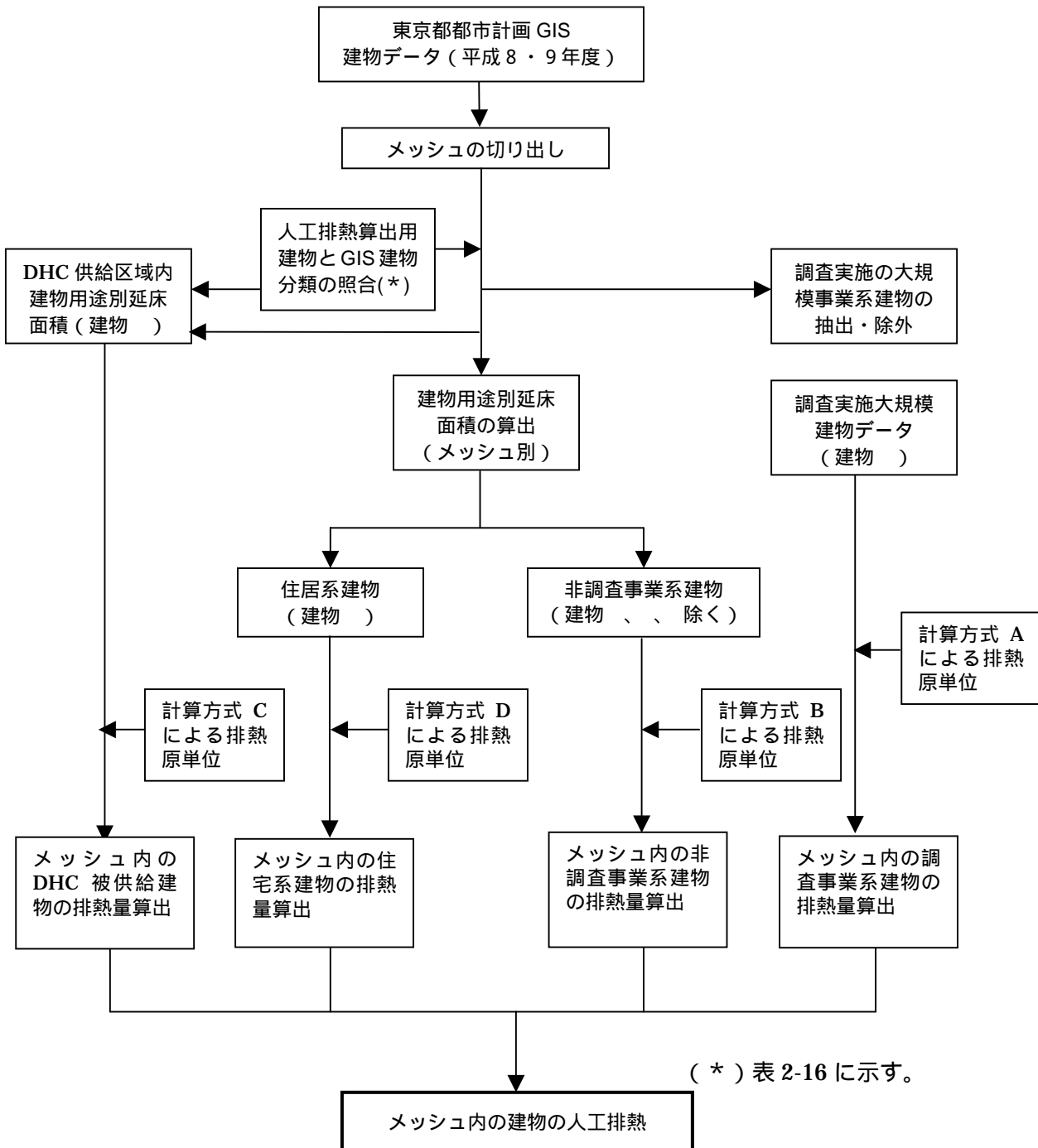


図 5 - 3 建物排熱データの UCSS への導入手順

表 5 - 3 人工排熱算出用建物と GIS 建物分類の照合表

東京都区分	本調査区分
官公庁施設	事務所
教育文化会館	学校
厚生医療施設	その他
供給処理施設	対象外
事務所建築物	事務所
専用商業施設	商業建物
住商併用建物	1F：商業建物、2～3F:戸建住宅、4F以上:集合住宅
宿泊・遊戯施設	ホテル
スポーツ・興行施設	商業建物
独立住宅	戸建住宅
集合住宅	集合住宅
専用工業	事務所
住居併用工場	1F：事務所、2～3F:戸建住宅、4F以上:集合住宅
倉庫運輸関係施設	対象外

(2) その他の排熱

建物以外の人工排熱については、表 1 - 4 で消費段階、排出段階ごとに示された人工排熱のうち、それぞれ以下の段階のメッシュ別顕熱/潜熱量を入力データとした。

表 5 - 4 人工排熱現況入力データ(合計値)(TJ/day)

熱源の種類		消費段階	排出段階
建物	業務ビル		
	地域冷暖房		
	地下施設	-	-
	集合住宅		
	戸建住宅		
交通排熱	自動車		
	鉄道(含地下駅)		
	船舶	-	-
	航空機	-	-
事業所	工場		
	清掃工場		
	火力発電所		
	下水処理場	-	-
その他	建設工事	-	-
	廃棄物埋立処分場	-	-

: 使用 - : 対象外

なお、対策ケースの建物・交通対策の入力排熱データは、上記の排熱量（顕熱、潜熱）に(1 - 削減率)を乗じたものとし、地域冷暖房は対策ケースから除外した。また、入力する排熱高さは以下のように設定した。

表 5 - 5 入力した排熱高さ

排熱の種類	排熱高さ
建物排熱	メッシュの建物平均高さを基本とし、建物平均高さが 20m を超える場合は 20m を上限として排出
交通排熱	地上からメッシュの建物平均高さの間に均一に排出
事業所排熱 (煙突を除く)	に均一に排出

以下に、23 区現況シミュレーション用の入力人工排熱（顕熱+潜熱）:500mメッシュマップを示す。

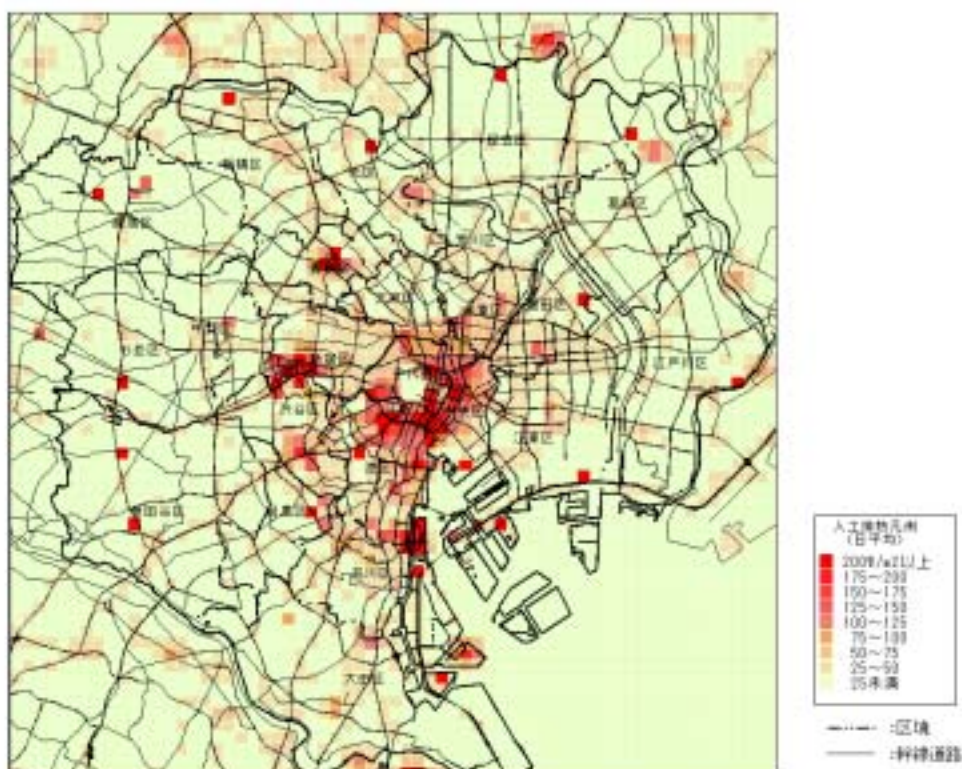


図 5 - 4 現況：日平均人工排熱（顕熱+潜熱）分布：東京 23 区

また、図 5 - 5 から図 5 - 7 に対策ケース（建物対策 2、交通対策 2、総合対策）における人工排熱削減量（日平均）のマップを示す。



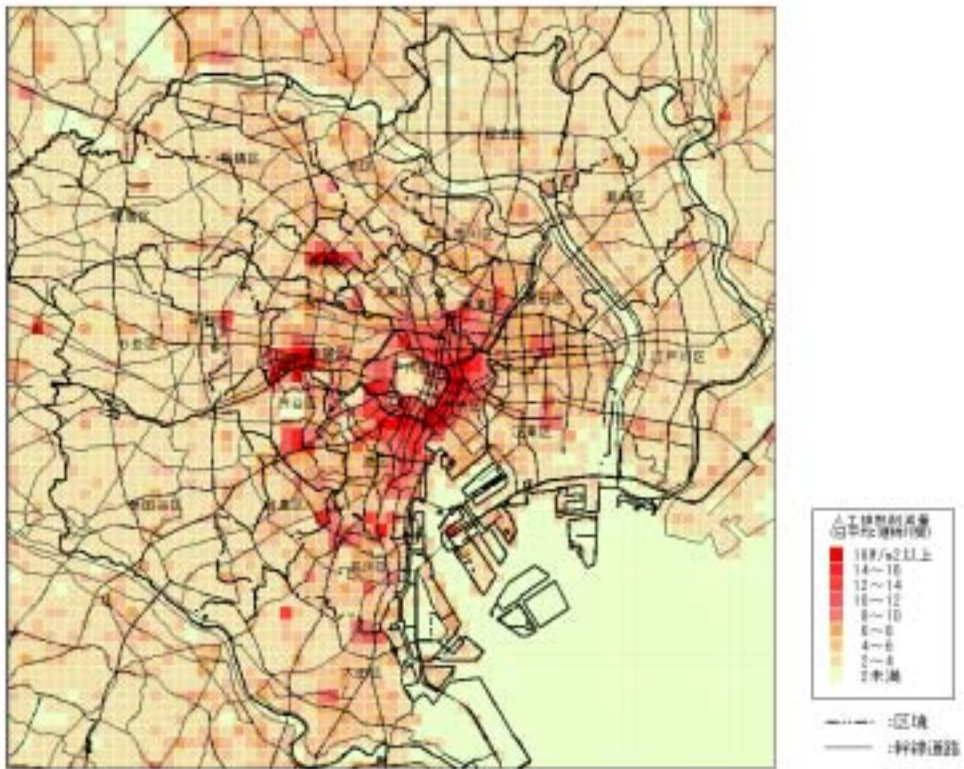


図5 - 5 建物対策2による人工排熱削減量(日平均)分布:東京23区

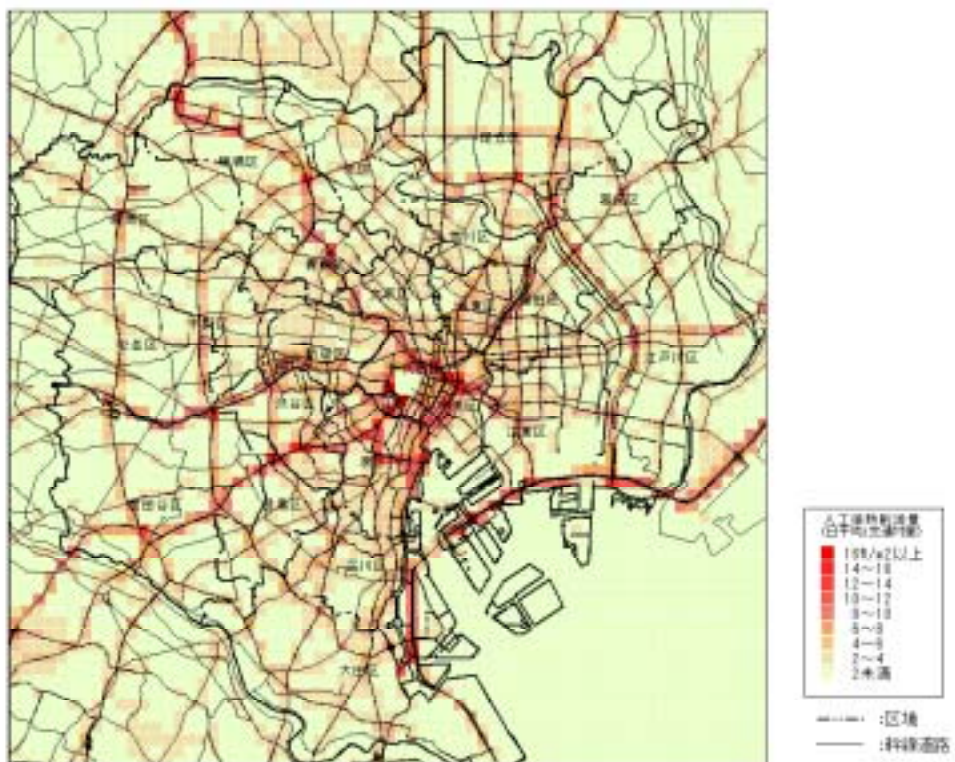


図5 - 6 交通対策2による人工排熱削減量(日平均)分布:東京23区

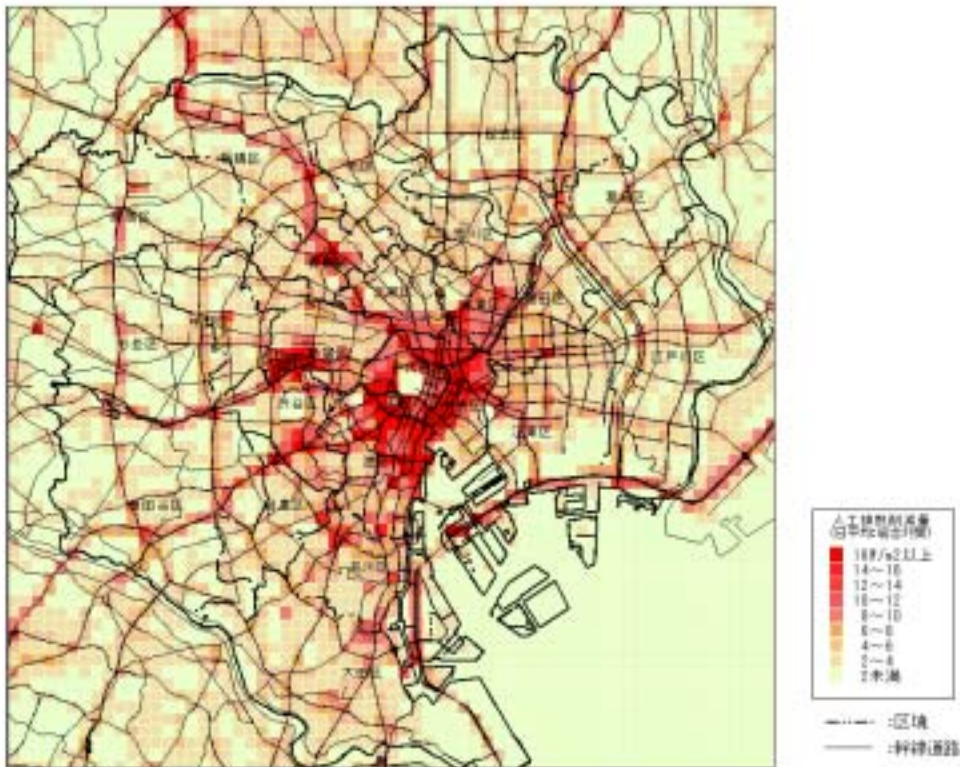


図5 - 7 総合対策による人工排熱削減量（日平均）分布：東京23区

3) 気象条件

風向風速については、1997～1999年のアメダスデータより夏季（6月～9月）の典型的な夏日（天気図よりモデル都市が太平洋高気圧に覆われた晴天、弱風日）を選定し、アメダス練馬の平均風速をモデルの境界条件として与えた（土地利用別地表粗度をもとにしたべき指数を用いたべき乗則で補正）。

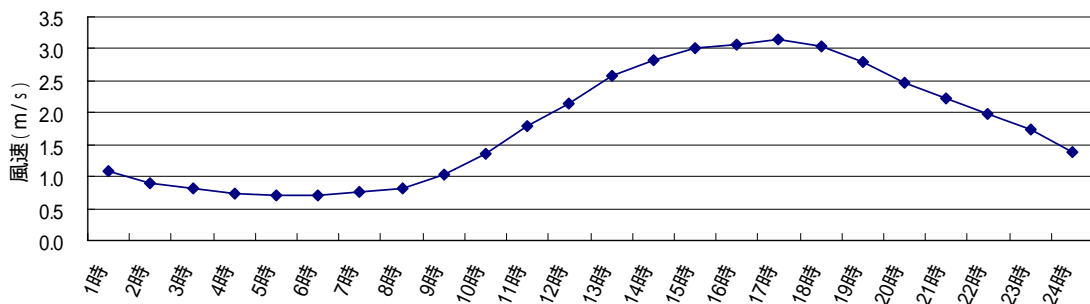


図5 - 7 練馬の風速時間変動（アメダス観測年報より作成）



#### 4) シミュレーション結果

##### (1) 現況

表5-6はUCSSのシミュレーション結果から、地表面における鉛直方向の熱量を日平均、昼間平均(6~18時)、夜間平均(18~6時)について見たもので、各第1列は実数、第2列は大気に放出される顕熱、潜熱の合計に対する構成比を見たものである。

表5-6 地表面における熱の出入り

		日平均値		昼間平均値		夜間平均値	
		W / m <sup>2</sup>	構成比	W / m <sup>2</sup>	構成比	W / m <sup>2</sup>	構成比
下向き	日射	328.1		649.3		7.0	
	放射	373.0		378.7		367.3	
	伝導	33.0		110.1		-44.1	
	計	734.2		1,138.1		330.2	
上向き	反射	68.5		134.9		2.0	
	放射	467.4		501.5		433.3	
	対流顕熱	98.8	51.1	173.4	52.0	24.3	45.8
	蒸発潜熱	63.5	32.8	116.5	35.0	10.4	19.7
	人工排熱	31.2	16.1	43.2	13.0	18.3	34.6
	(顕熱)	(26.4)	(13.7)	(35.6)	(10.7)	(17.3)	(32.6)
	(潜熱)	(4.7)	(2.4)	(7.6)	(2.3)	(1.1)	(2.0)
計	729.3		969.4		488.4		

注) 表の対流顕熱(蒸発潜熱)には以下のものが含まれる。

[地表面]: 建物敷地、道路、水面等の地表面から大気に放出される対流顕熱(蒸発潜熱)

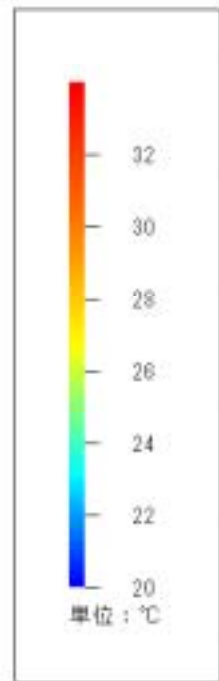
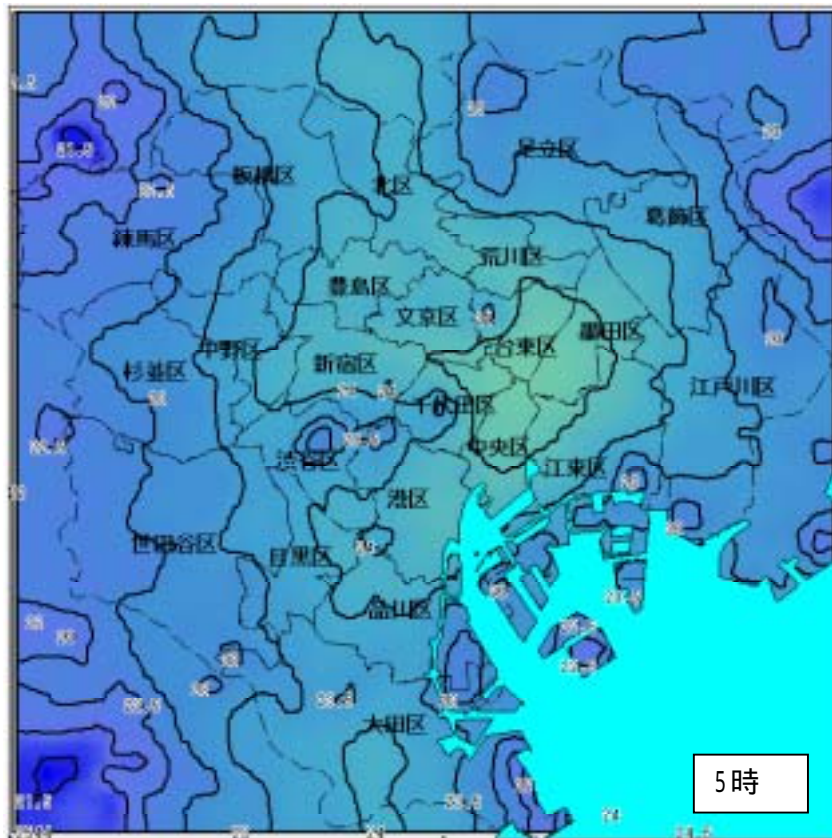
[建物表面]: ビル、住宅、工場建物等の建物表面(屋根・屋上面、壁面)から大気に放出される対流顕熱(蒸発潜熱)

[樹木]: 樹木から大気に放出される対流顕熱(蒸発潜熱)

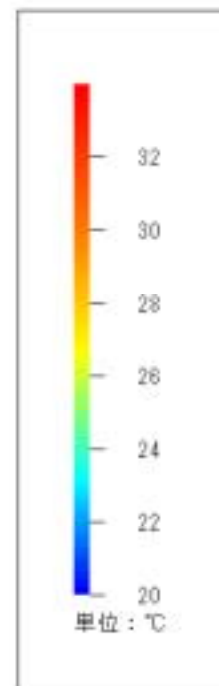
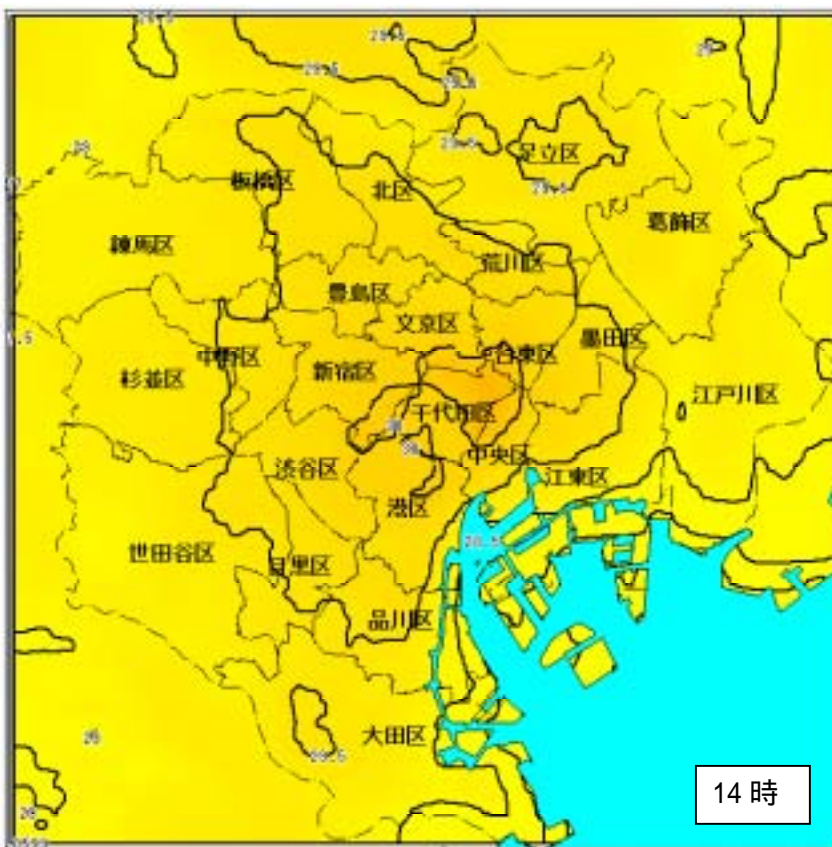
太陽から受ける日射や大気からの放射が地表面に入り、地表面からは反射、放射、対流顕熱、蒸発潜熱の形で放出され、人工排熱がこれに加わることになる。この上向き成分だけで考えると、反射と放射が大きな割合を占め日平均では73%、昼間平均では66%、夜間平均では89%がこの形で放出される。これらは放射として大気を通過するが、残りの対流顕熱、蒸発潜熱、人工排熱は大気に排出され、大気温度や湿度に作用する。大気に排出される熱のうち、特に気温に直接作用する顕熱としての対流顕熱と人工排熱は、それぞれ日平均で51%と16%、昼間平均で52%と13%、夜間平均で46%と35%を占めており、対流顕熱が約半分、残りの13~35%程度を人工排熱が占めている。放出される

熱量の少ない夜間では、人工排熱の割合が相対的に高くなり、気温に対する影響も相対的に大きくなっていることが伺える。

図5 - 8 ~ 10 に現況のシミュレーション結果、及び昼間（14時）と夜間（5時）の人工排熱（顕熱）の分布状況を示す。気温は日射が強くなる12時から午後にかけて千代田区、中央区、台東区を中心としたヒートアイランドが形成されており、この傾向は日没後も続く。最も気温が低くなる午前5時の気温分布でも都心部の高温域が残され、海岸部や区部周辺部、緑の多い明治神宮周辺に低温域が形成されている。人工排熱（顕熱）の分布では、14時で目立つのは火力発電所や清掃工場などの施設と千代田区・中央区、新宿、池袋、渋谷などの商業・業務施設が集積した地区の高排熱域である。これに対して5時の分布を見ると、24時間稼働している火力発電所や工場のほか、自動車からの排熱が相対的に高くなり、首都高速道路や放射・環状道路からの排熱が目立つようになっている。

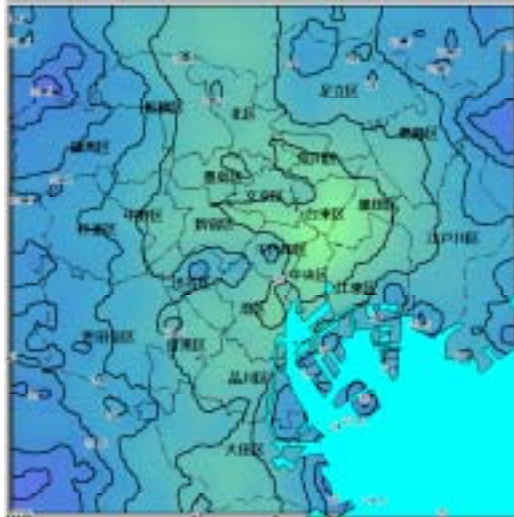


現況\_気温\_5時

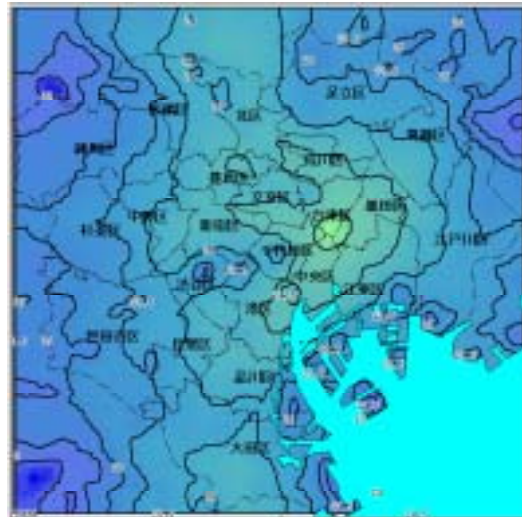


現況\_気温\_14時

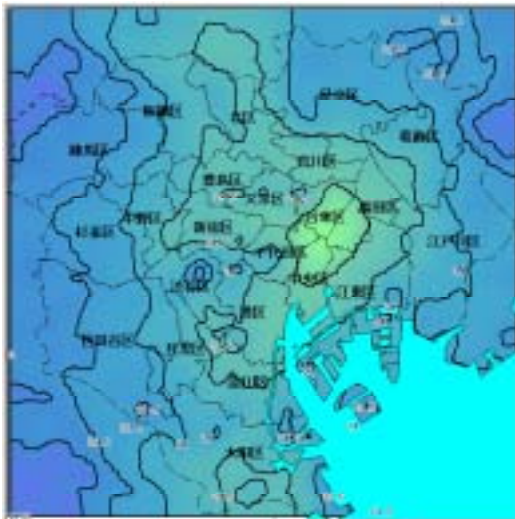
図 5 - 8 東京 23 区現況気温分布



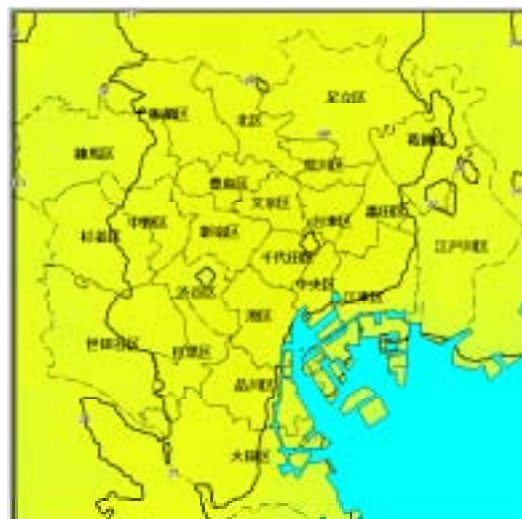
( 2 時 )



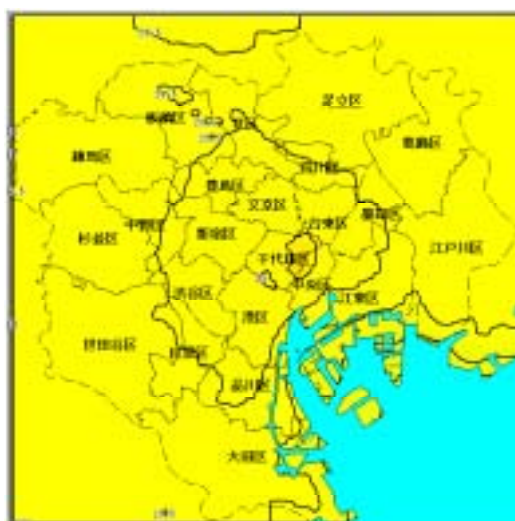
( 4 時 )



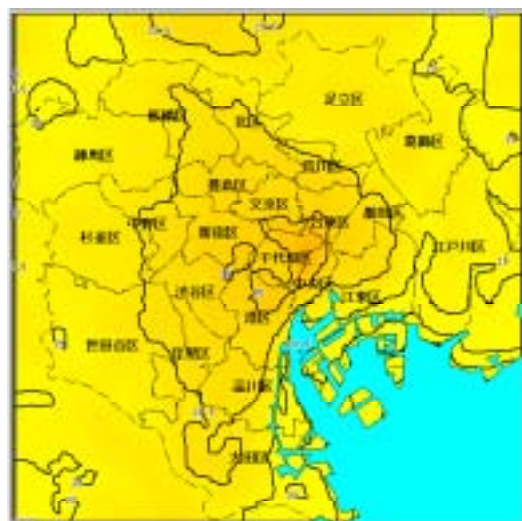
( 6 時 )



( 8 時 )



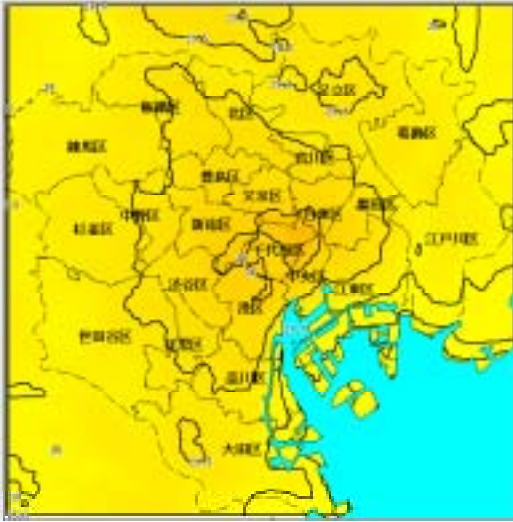
( 10 時 )



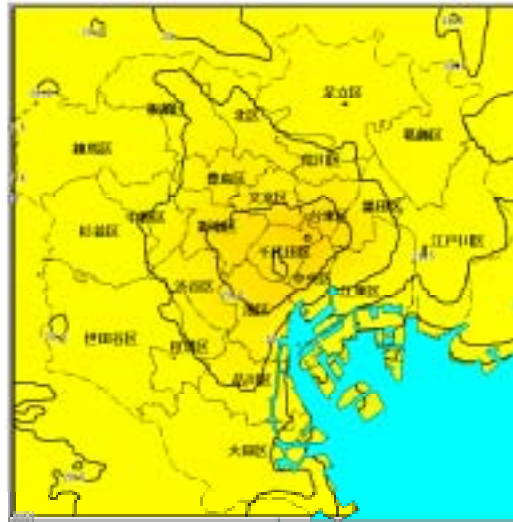
( 12 時 )

図 5 - 9 東京 23 区現況気温の時間変動 ( 1 )





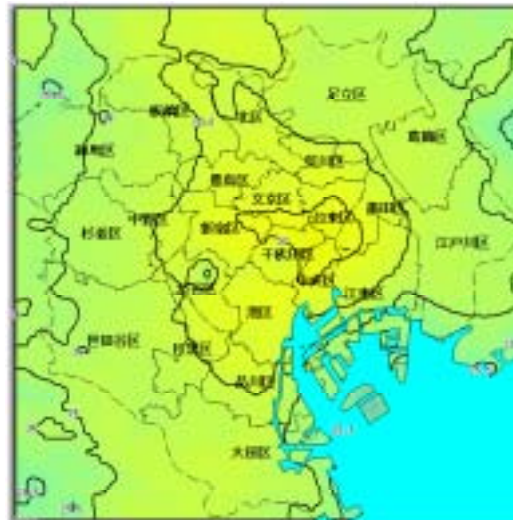
(14時)



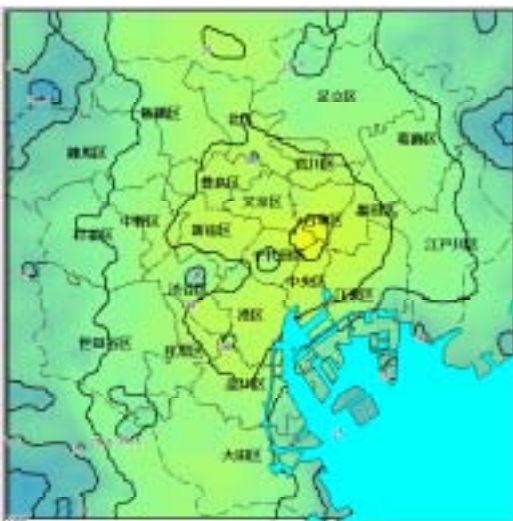
(16時)



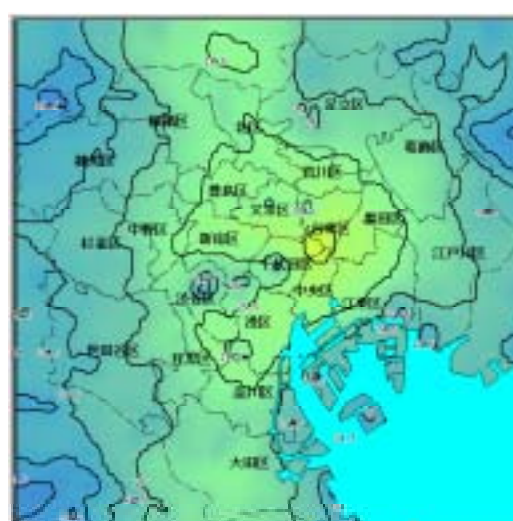
(18時)



(20時)



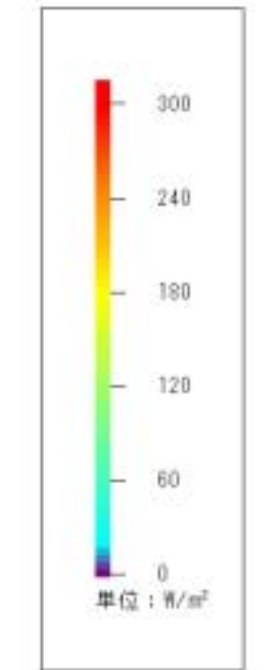
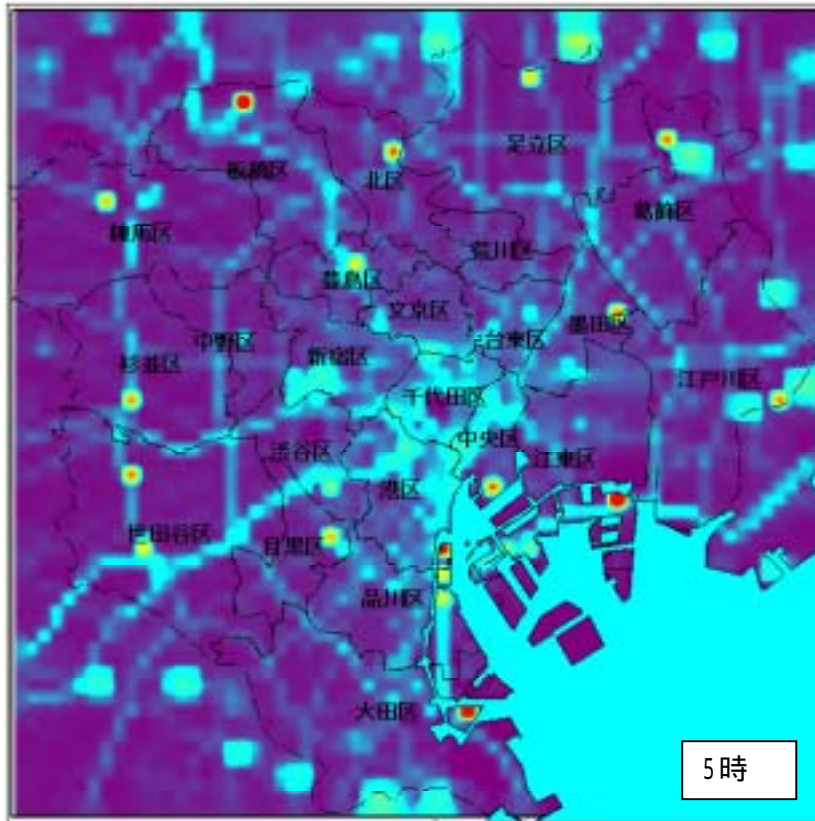
(22時)



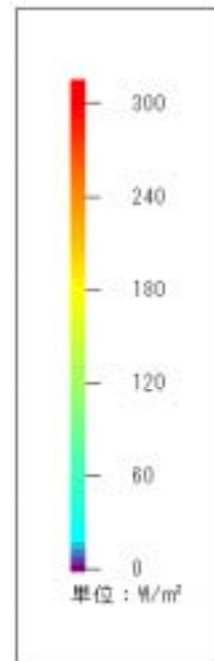
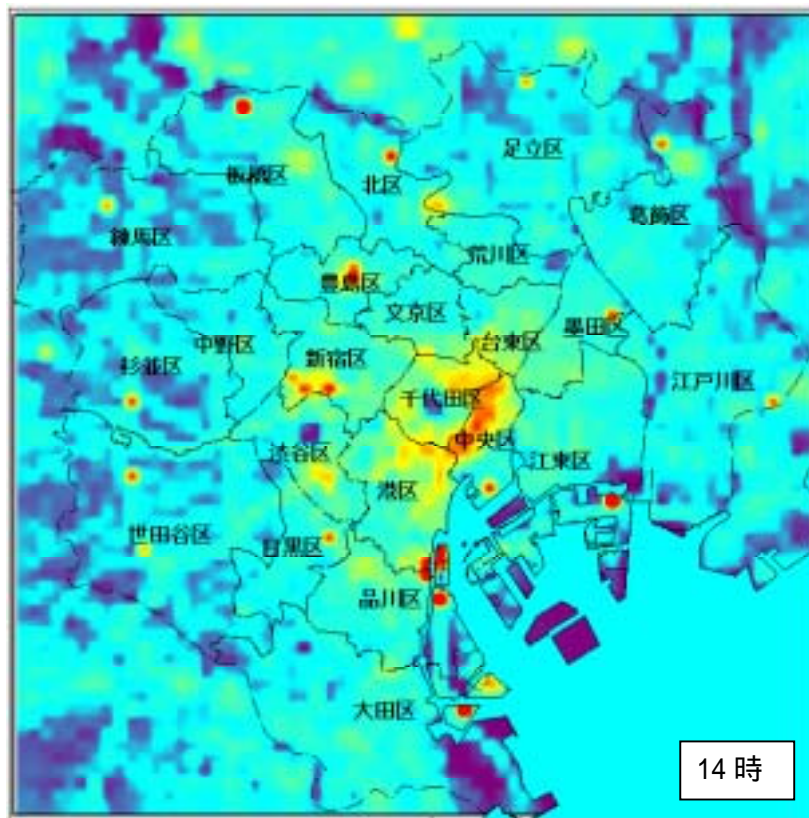
(24時)

図5 - 9 東京23区現況気温の時間変動(2)





現況\_\_人工顕熱\_\_5時



現況\_\_人工顕熱\_\_14時

図5 - 10 東京23区人工排熱（顕熱）分布

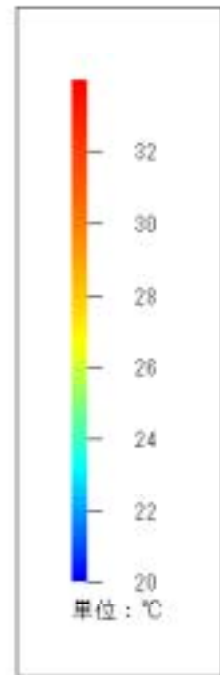
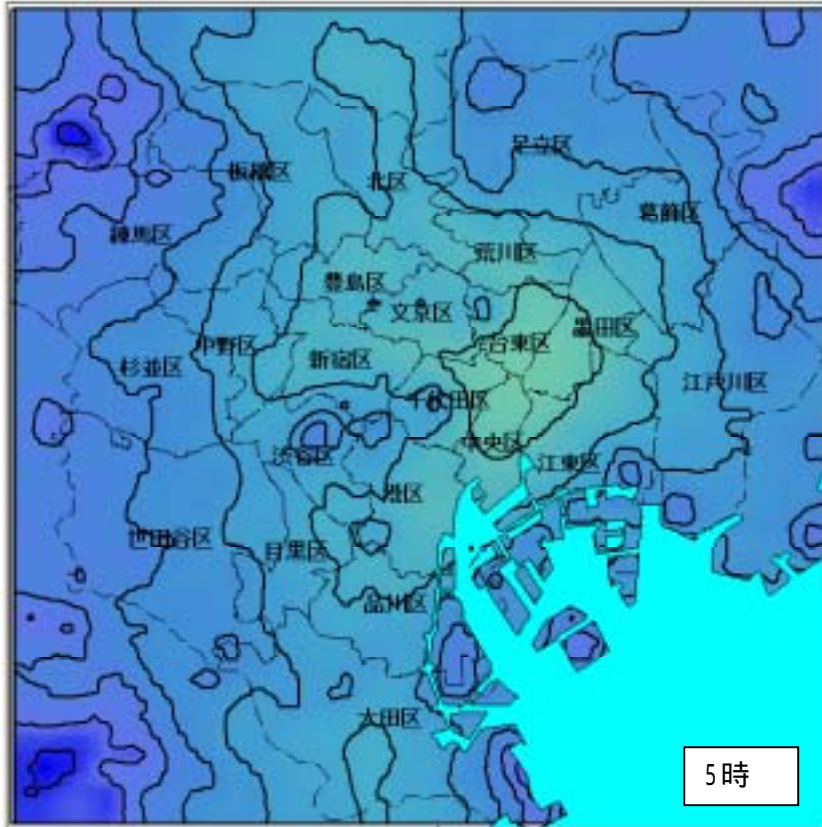
## (2) 対策

建物対策（5%、10%）、交通対策（17%、35%）についてそれぞれシミュレーションを行った。シミュレーションでは、これらのケースを建物排熱、自動車・鉄道排熱についてそれぞれの割合で削減しており、UCSS内では下表のように、建物対策1（5%）は実質的に全人工排熱の2.5%を削減したこと、総合対策（建物10%、交通35%）は全人工排熱の約15%を削減したこととして表現されている。

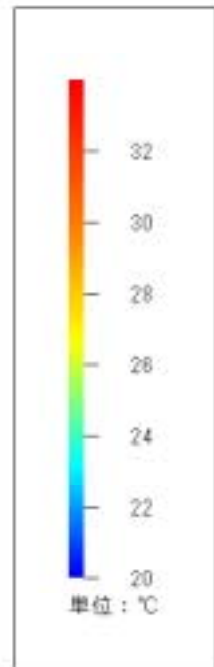
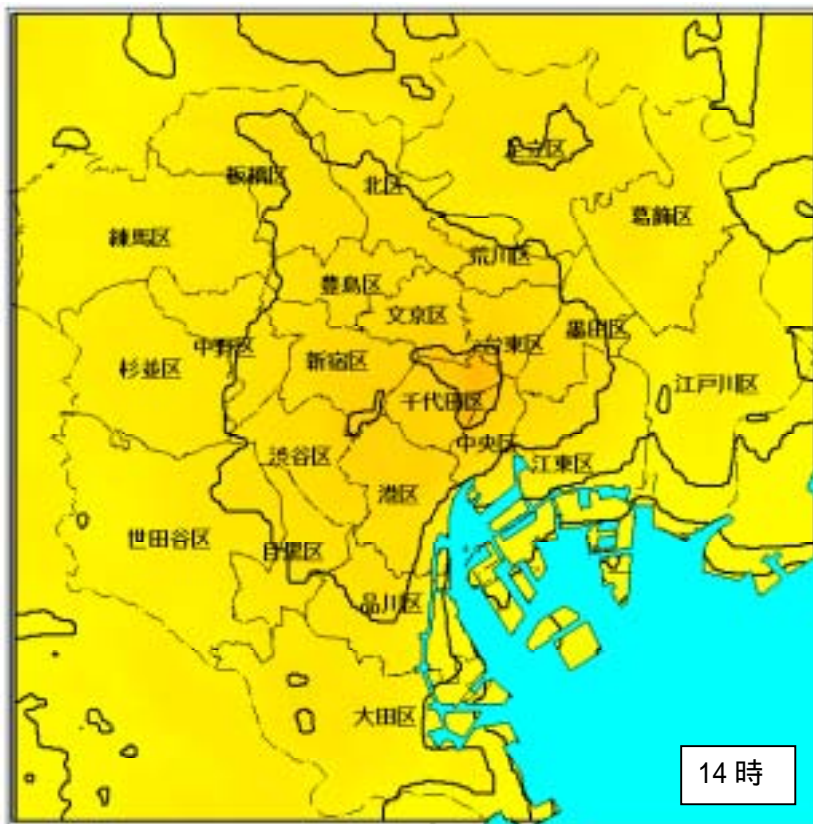
表5 - 7 対策ケース別入力人工排熱 (W/m<sup>2</sup>)

	建物	工場	地域冷 暖房	自動車	鉄道	合計	削減率 (%)
現況	15.6	4.8	1.7	8.5	0.6	31.2	0.0
建物対策1	14.8	4.8	1.7	8.5	0.6	30.4	2.5
建物対策2	14.0	4.8	1.7	8.5	0.6	29.6	5.0
交通対策1	15.6	4.8	1.7	7.1	0.5	29.7	4.8
交通対策2	15.6	4.8	1.7	5.6	0.5	28.1	9.9
総合対策2	14.0	4.8	1.7	5.6	0.5	26.5	14.9

図5 - 11 ~ 12 は総合対策の5時と14時の気温分布及び現況との気温差を示している。14時の分布では千代田区を中心としたエリアで0.06~0.05の気温低下が見られ、周辺部では0.02程度の低下が見られた。また、5時の分布では台東区、中央区を中心としたエリアで0.05の低下が見られた。



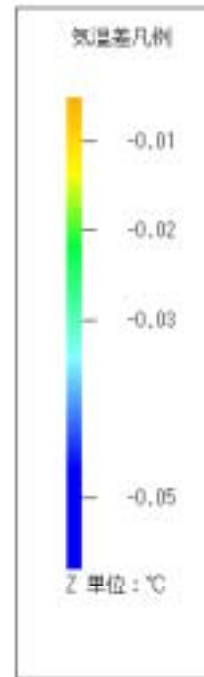
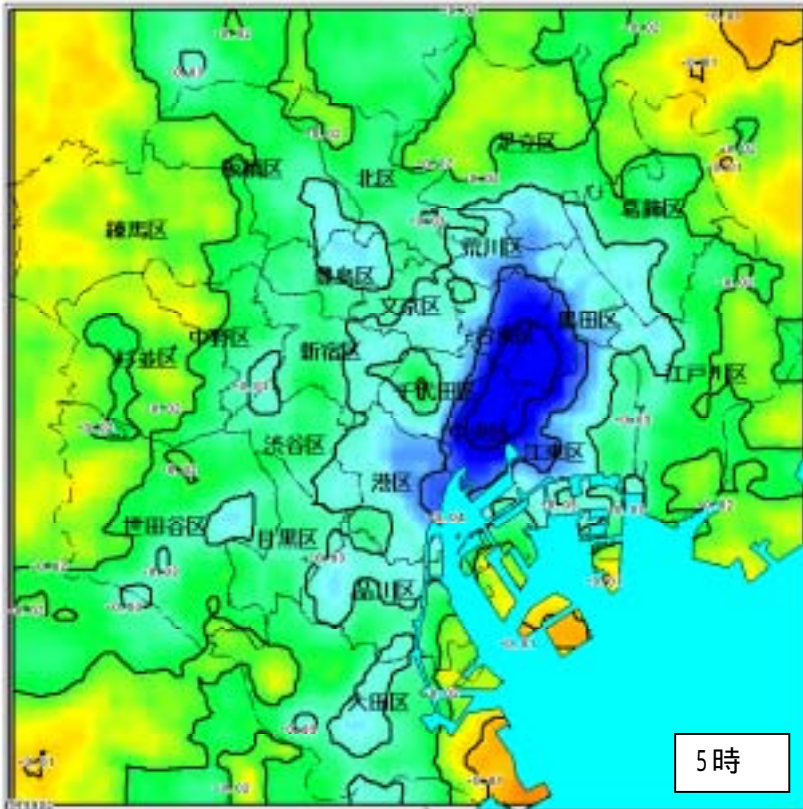
総合対策2\_気温\_5時



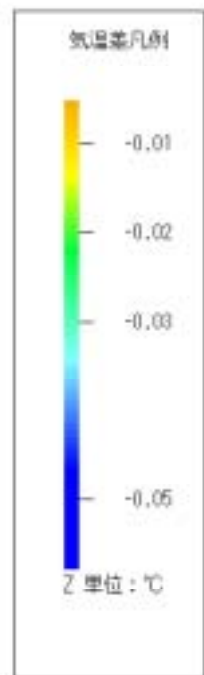
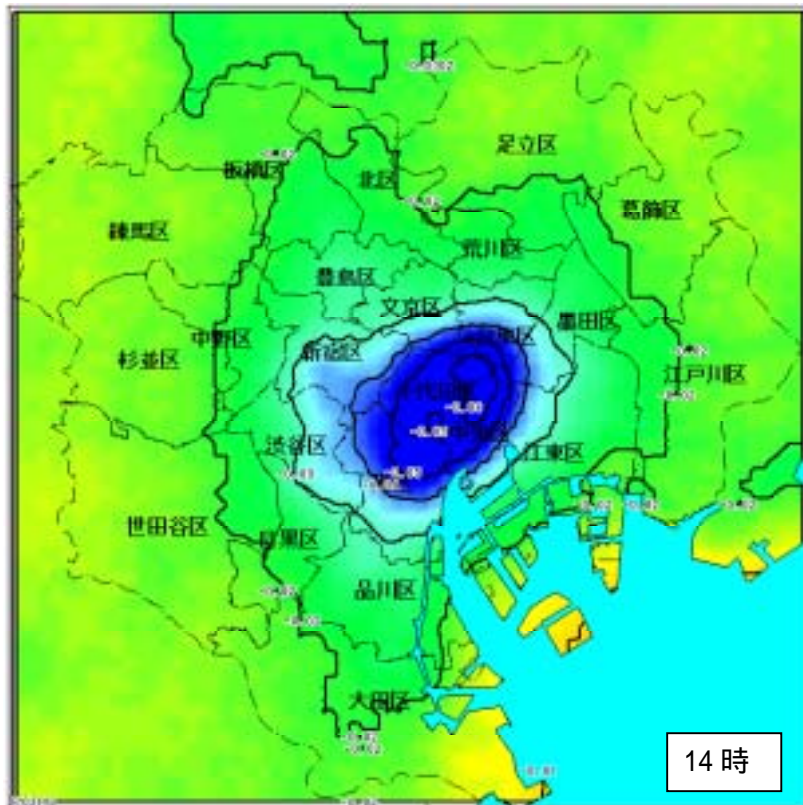
総合対策2\_気温\_14時

図5 - 11 東京 23 区総合対策 2 の気温分布





総合対策との気温差\_5時



総合対策との気温差\_14時

図5 - 12 東京 23 区現況と総合対策 2 の気温差の分布

表5-8は、各対策で削減された排熱量と低下した気温を23区平均で求め、人工顕熱削減量/低下気温を求めたものである。概念的には、気温を1℃低下させるために削減すべき人工排熱量を表している。

- ・ 日平均で見ると1℃気温を低下させるためにはメッシュ当たり約200W/m<sup>2</sup>の排熱削減が必要と推計される。この値は現在の人工排熱量(表の人工顕熱)の約8倍にあたり、人工排熱の削減だけで実現できる量ではないことが分かる。
- ・ 一方、メッシュ別に見ると千代田・中央区の商業業務地区や新宿池袋などでは200W/m<sup>2</sup>の人工排熱(顕熱)を排出しているメッシュもあり、こうしたメッシュでは人工排熱が気温を押し上げている大きな要因になっていることが考えられる。
- ・ 昼間と夜間で比べると夜間の方が値が小さく、昼間よりも夜間の方が人工排熱が気温低下に効果的に作用することが示唆されている。
- ・ 建物対策と交通対策を比べると、交通対策の方が値が低く、交通対策の方が効果が高いように見える。これは、排熱の位置が交通対策は地表面であるのに対し、建物対策は建物の高さに応じた排熱位置が設定されているために、評価位置(地上2.5m)との位置関係が影響していると考えられる。

表5-8 対策別削減排熱量と低下気温

人工顕熱	現況 - 対策		平均温度		1 当たりの人工顕熱
	W / m <sup>2</sup>	W / m <sup>2</sup>			

日平均

現況	26.44		26.691		
建物対策1	25.80	0.64	26.688	0.003	205
建物対策2	25.15	1.29	26.684	0.007	197
交通対策1	25.02	1.42	26.683	0.008	174
交通対策2	23.52	2.92	26.674	0.017	172
総合対策2	22.23	4.21	26.667	0.024	177

昼間平均

現況	35.60		28.078		
建物対策1	34.74	0.87	28.075	0.003	258
建物対策2	33.87	1.74	28.071	0.007	248
交通対策1	33.63	1.97	28.069	0.009	218
交通対策2	31.54	4.06	28.059	0.019	218
総合対策2	29.80	5.80	28.052	0.026	225

夜間平均

現況	17.28		25.303		
建物対策1	16.86	0.42	25.301	0.003	143
建物対策2	16.44	0.83	25.297	0.006	137
交通対策1	16.41	0.86	25.296	0.007	119
交通対策2	15.50	1.78	25.288	0.015	117
総合対策2	14.66	2.62	25.282	0.022	120

以上見てきたように、大気に放出される熱量全体から見ると人工排熱の割合は決して大きくはないが、削減することによって気温を下げる効果があることはシミュ



レーションからも確認された。特に、日射がなくなる夜間では人工排熱の割合が相対的に大きな割合を占めるようになり、大気に排出される顕熱  $41.6\text{W}/\text{m}^2$ のうち人工排熱（顕熱）の占める割合は42%に達する。このため、夜間に排出される人工排熱（顕熱）の抑制は熱帯夜の緩和に寄与することが示唆された。ちなみに、夜間の人工排熱（顕熱）は48%が建物排熱、28%が自動車排熱、20%が事業所排熱でそれぞれ占められている。

一方、UCSSで得られた地表面からの上向きに放出される熱量と都市の要素についてみると、以下のように表すことができる。このことから見ても、都市のヒートアイランド対策は人工排熱の削減に留まらず、地表面被覆や都市の形態からも総合的な対策を講ずる必要があるといえよう。

表5 - 9 UCSSの上向き熱量と都市の要素の関係

熱の種類	日平均値 $\text{W}/\text{m}^2(\%)$	昼間平均値 $\text{W}/\text{m}^2(\%)$	夜間平均値 $\text{W}/\text{m}^2(\%)$	対応する都市の要素
反射	68.5(9.4)	134.9(13.9)	2.0(0.4)	地表面被覆(反射率)
放射	467.4(64.0)	501.5(51.7)	433.3(88.7)	都市形態(天空率等) 地表面被覆(表面温度等)
対流顕熱	98.8(13.6)	173.4(17.9)	24.3(5.0)	地表面被覆(蓄熱等) 都市形態(風等)
蒸発潜熱	63.5(8.7)	116.5(12.0)	10.4(2.1)	地表面被覆(裸地率、緑被率等)、都市形態(風等)
人工排熱(顕熱)	26.4(3.6)	35.6(3.7)	17.3(3.5)	人工排熱(表1-14参照)
人工排熱(潜熱)	4.7(0.6)	7.6(0.8)	1.1(0.2)	人工排熱(表1-14参照)
合計	729.3(100.0)	969.4(100.0)	488.4(100.0)	