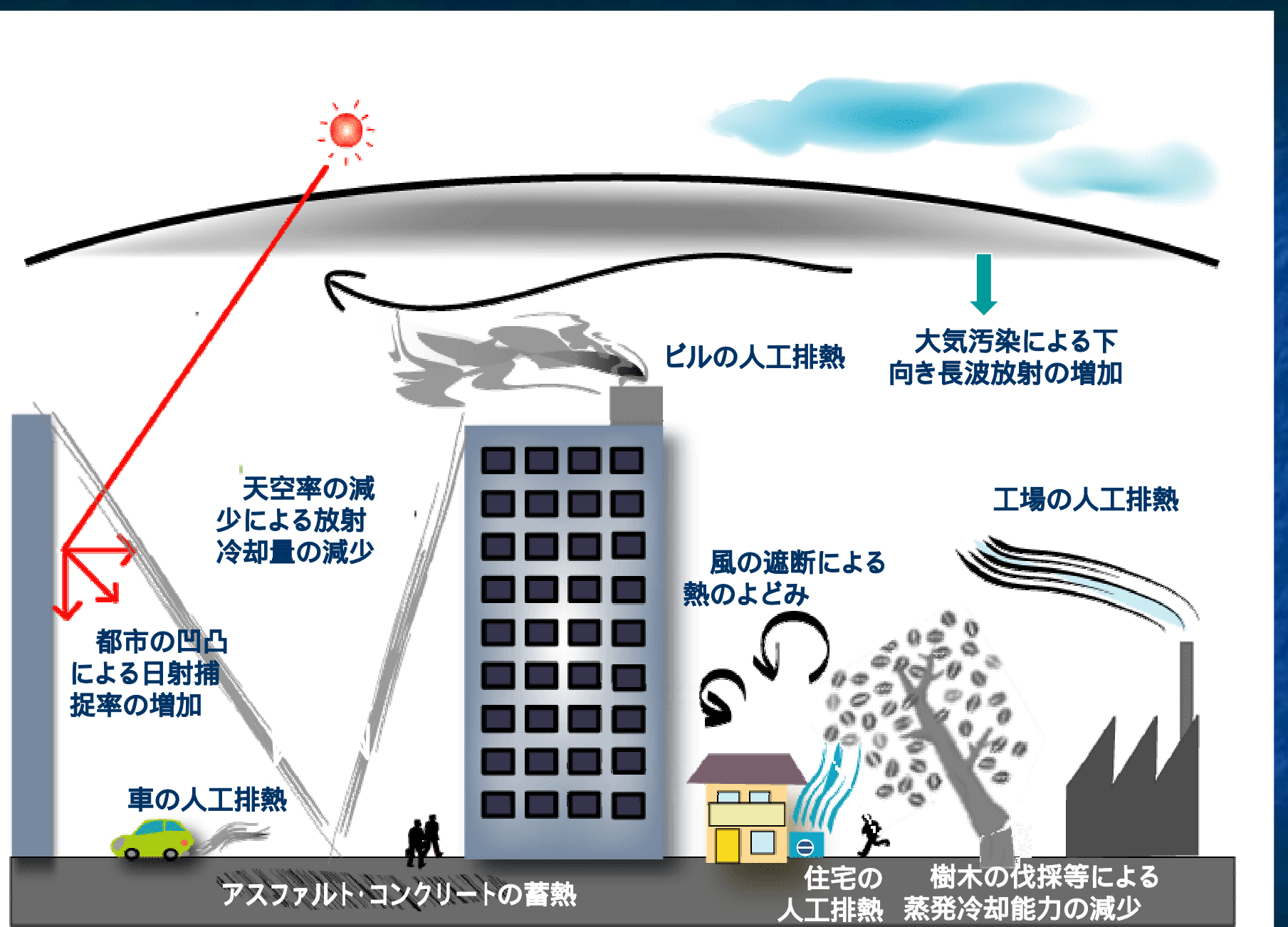


独立行政法人建築研究所講演会
平成16年3月3日
有楽町朝日ホール

ヒートアイランド対策効果の 定量化技術

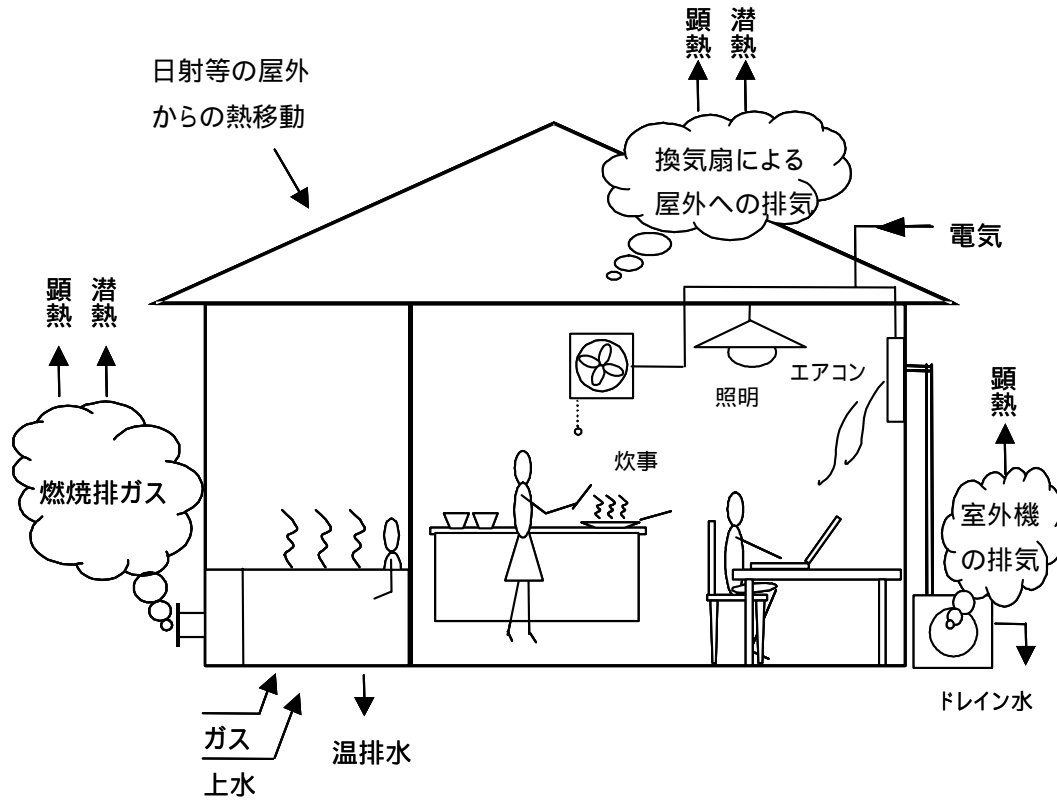
独立行政法人建築研究所 環境研究グループ
上席研究員 足永靖信

1 ヒートアイランドの原因を探る

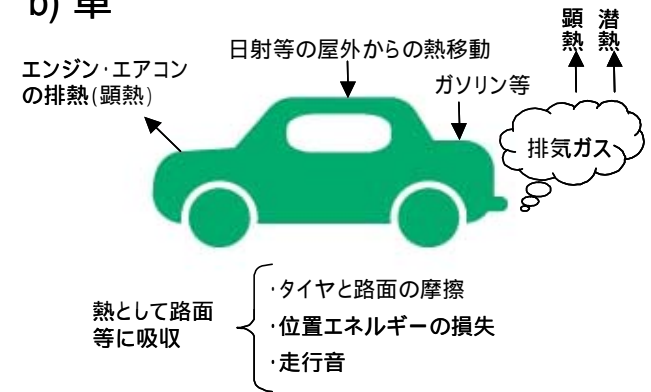


都市高温化の要因

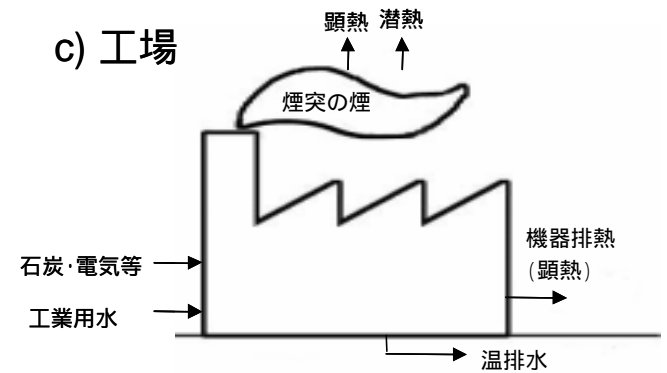
a) 住宅



b) 車



c) 工場



都市のエネルギー消費と人工排熱

<標準体重1kgあたりの摂取エネルギー量の表>

軽い	1時間程度の歩行・他のほとんどは座って作業 自宅にいる高齢者・主婦など	25～30キロカロリー
中程度	2時間程度の歩行・立位での作業が比較的多い 営業職・店員・小さい子供のいる主婦など	30～35キロカロリー
やや重い	一日の大半を歩行・立位 農業・漁業従事者・建築作業員など	35～40キロカロリー
重い	一日のうち数時間は激しい運動をする 激しいトレーニング・農繁期の農業従事者など	40キロカロリー ～

標準体重(kg) = 身長(cm) × 身長(cm) × 0.0022

一日の摂取カロリー(kcal) = 標準体重(kg) × 標準体重1kgあたりの摂取エネルギー量(kcal)

170cmの標準体重は63kg

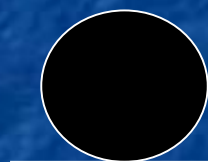
事務職の場合1日に必要なエネルギーは約2000kcal

摂取エネルギーの行方

基礎代謝 (発汗含む) 7割

運動代謝 (発汗含む) 2割

排泄物 1割



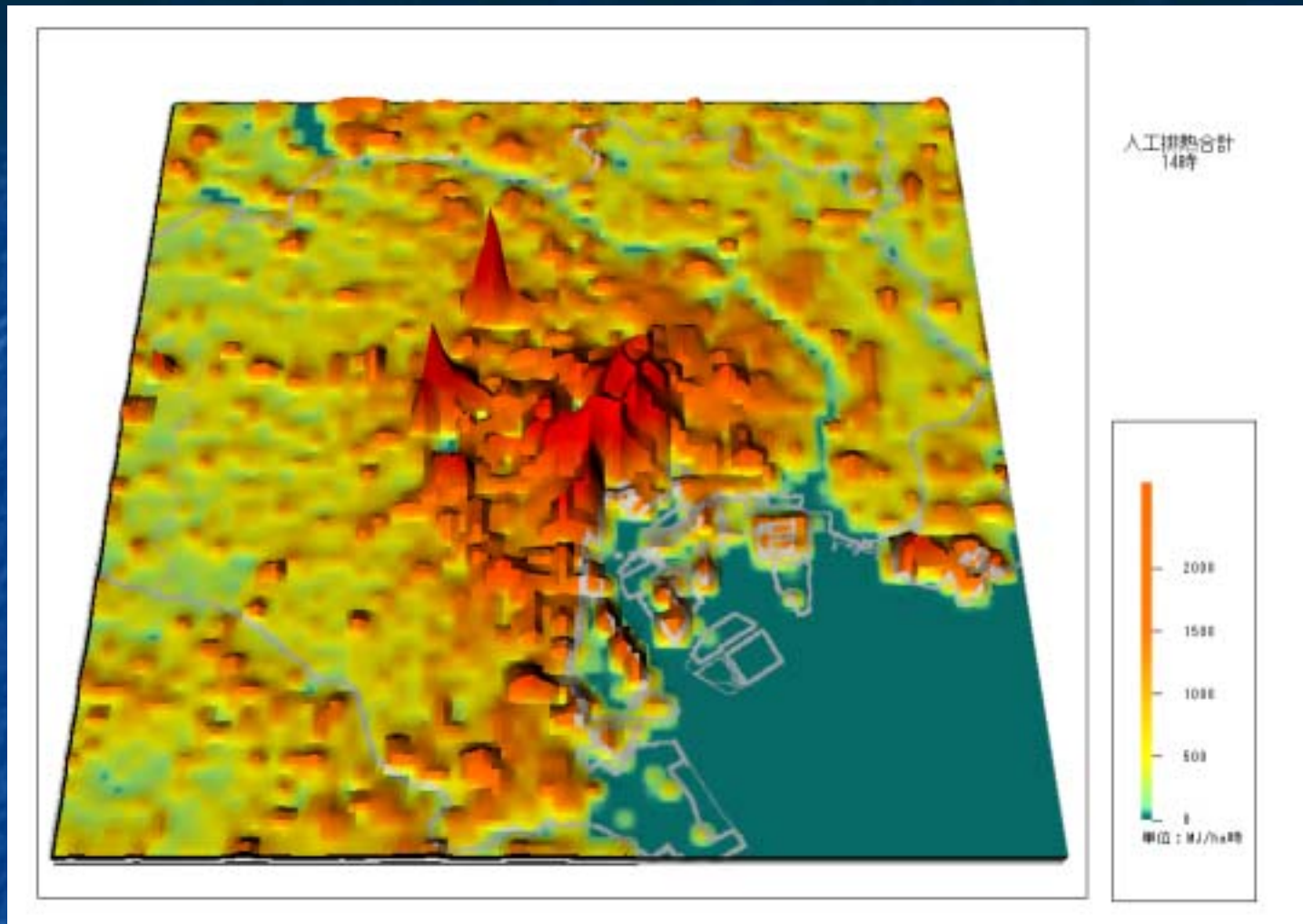
→ 呼気を含む熱 (顕熱・潜熱)

→ 皮膚の対流放熱 (顕熱・潜熱)

→ 放射による放熱

人が1人存在することは100Wの電球1つに相当する発熱

首都圏3千万人は300万kW

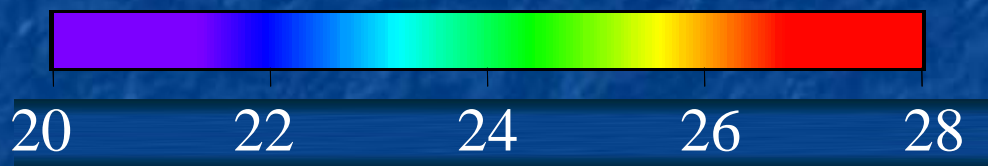
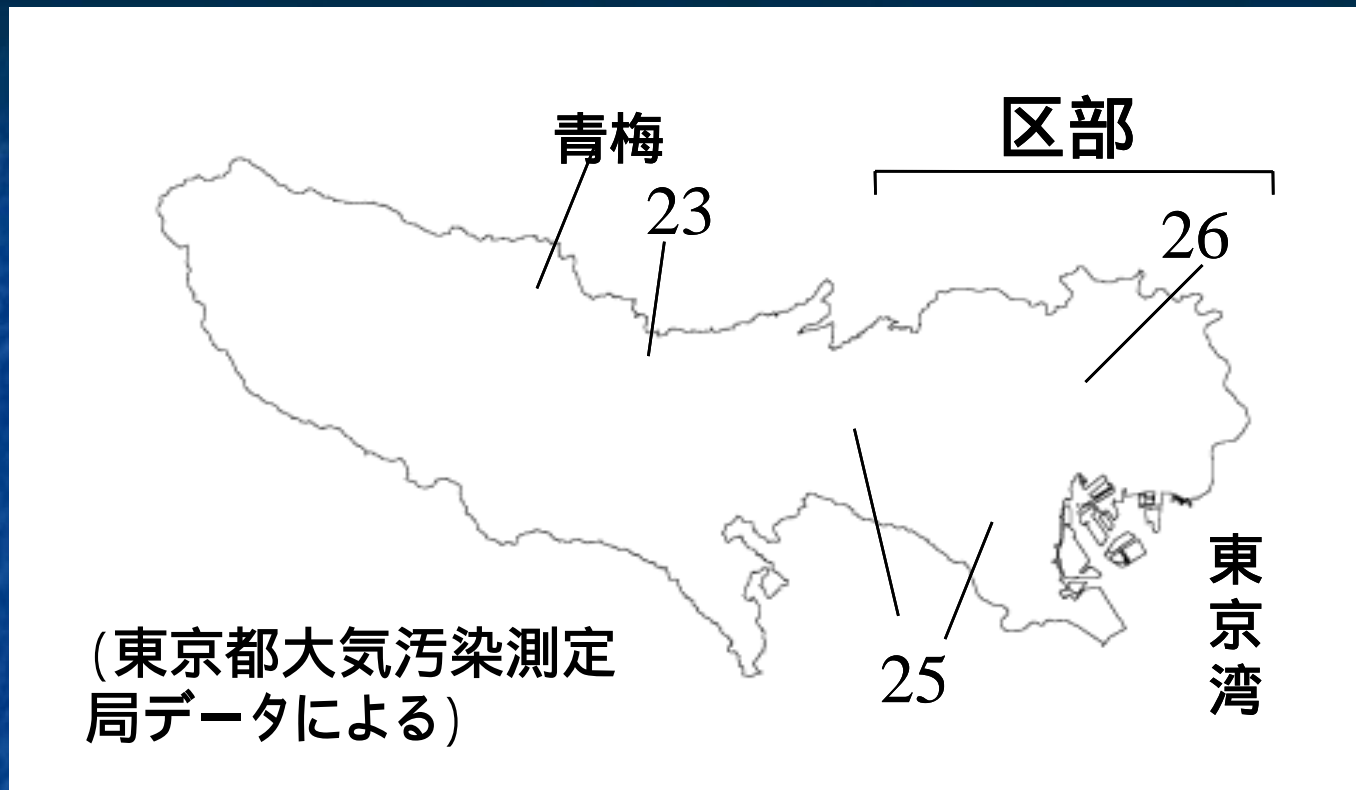


東京23区における人工排熱分布
(環境省：夏期14時の建物、道路交通、工場の顕熱)

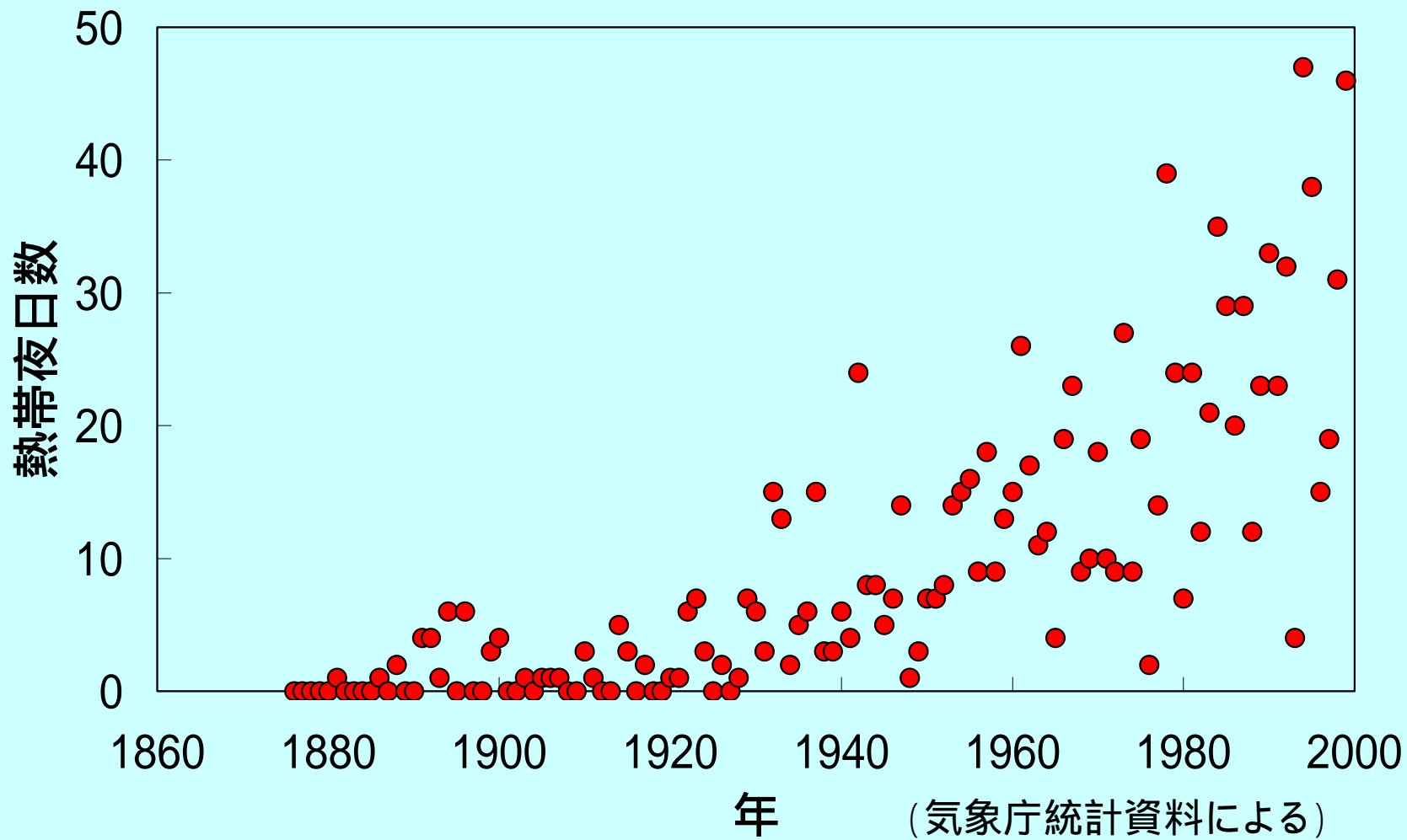
東京23区の人工排熱

区名	顕熱				潜熱				全熱
	建物	道路交通	工場	計	建物	道路交通	工場	計	
千代田区	44.6	18.4	2.2	65.2	40.1	1.4	0.4	41.9	107.1
中央区	49.0	19.1	1.4	69.5	18.7	1.4	0.2	20.3	89.8
港区	30.1	14.4	6.5	50.9	18.5	1.1	0.7	20.3	71.2
新宿区	29.6	10.9	2.3	42.8	20.4	0.8	0.4	21.6	64.4
文京区	18.8	11.8	1.4	32.1	4.3	0.9	0.3	5.5	37.6
台東区	28.8	15.5	0.8	45.1	6.4	1.2	0.1	7.7	52.8
墨田区	18.9	14.9	1.3	35.1	3.9	1.1	0.1	5.2	40.3
江東区	10.0	9.6	3.9	23.5	4.0	0.7	0.5	5.2	28.7
品川区	14.6	11.1	19.0	44.7	5.0	0.8	2.3	8.2	52.9
目黒区	13.1	10.6	3.2	26.9	3.5	0.8	0.4	4.7	31.6
大田区	8.7	8.5	4.4	21.6	1.4	0.6	0.6	2.6	24.2
世田谷区	7.3	10.0	1.5	18.8	0.3	0.8	0.2	1.3	20.1
渋谷区	21.9	12.6	0.9	35.4	10.5	1.0	0.1	11.6	47.0
中野区	11.0	9.1	0.4	20.5	1.1	0.7	0.1	1.9	22.4
杉並区	8.4	9.2	1.4	18.9	0.2	0.7	0.2	1.1	20.0
豊島区	21.5	11.6	0.5	33.6	11.8	0.9	0.1	12.8	46.3
北区	10.6	8.6	2.7	21.9	1.2	0.7	0.3	2.2	24.1
荒川区	13.0	9.3	1.9	24.2	1.0	0.7	0.2	1.9	26.1
板橋区	9.8	11.9	5.0	26.8	0.7	0.9	0.5	2.1	28.9
練馬区	6.5	7.7	1.2	15.5	0.4	0.6	0.1	1.2	16.7
足立区	7.2	11.2	4.2	22.6	0.5	0.8	0.6	1.9	24.5
葛飾区	8.1	10.7	5.7	24.6	0.4	0.8	0.5	1.8	26.4
江戸川区	7.7	10.8	2.4	20.9	0.5	0.8	0.3	1.6	22.4
23区	12.7	10.7	3.5	26.9	4.0	0.8	0.4	5.2	32.0

東京23区全体で人工排熱は日射の18%に相当する量

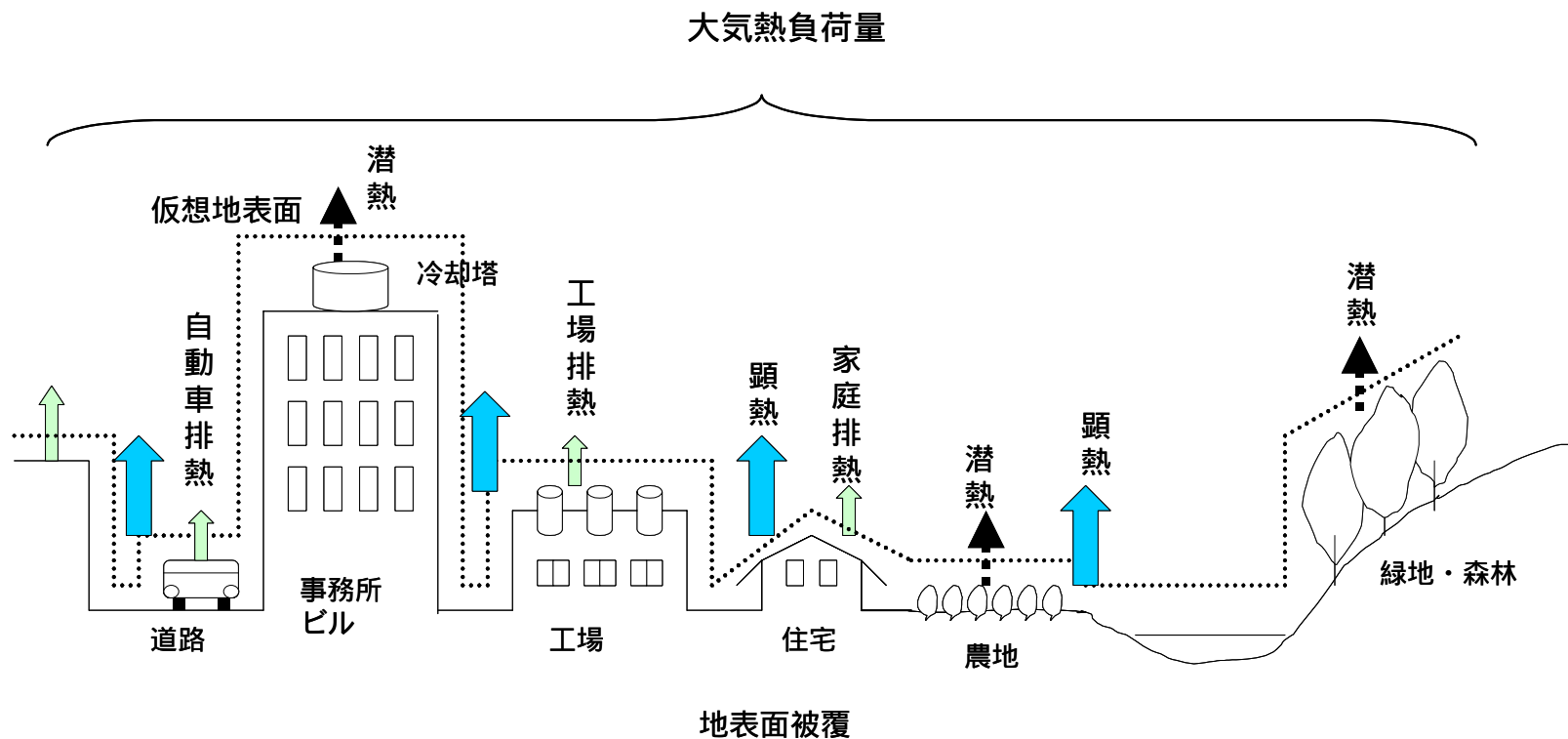


東京における夏期夜間の気温分布(1997年8月21日5時)

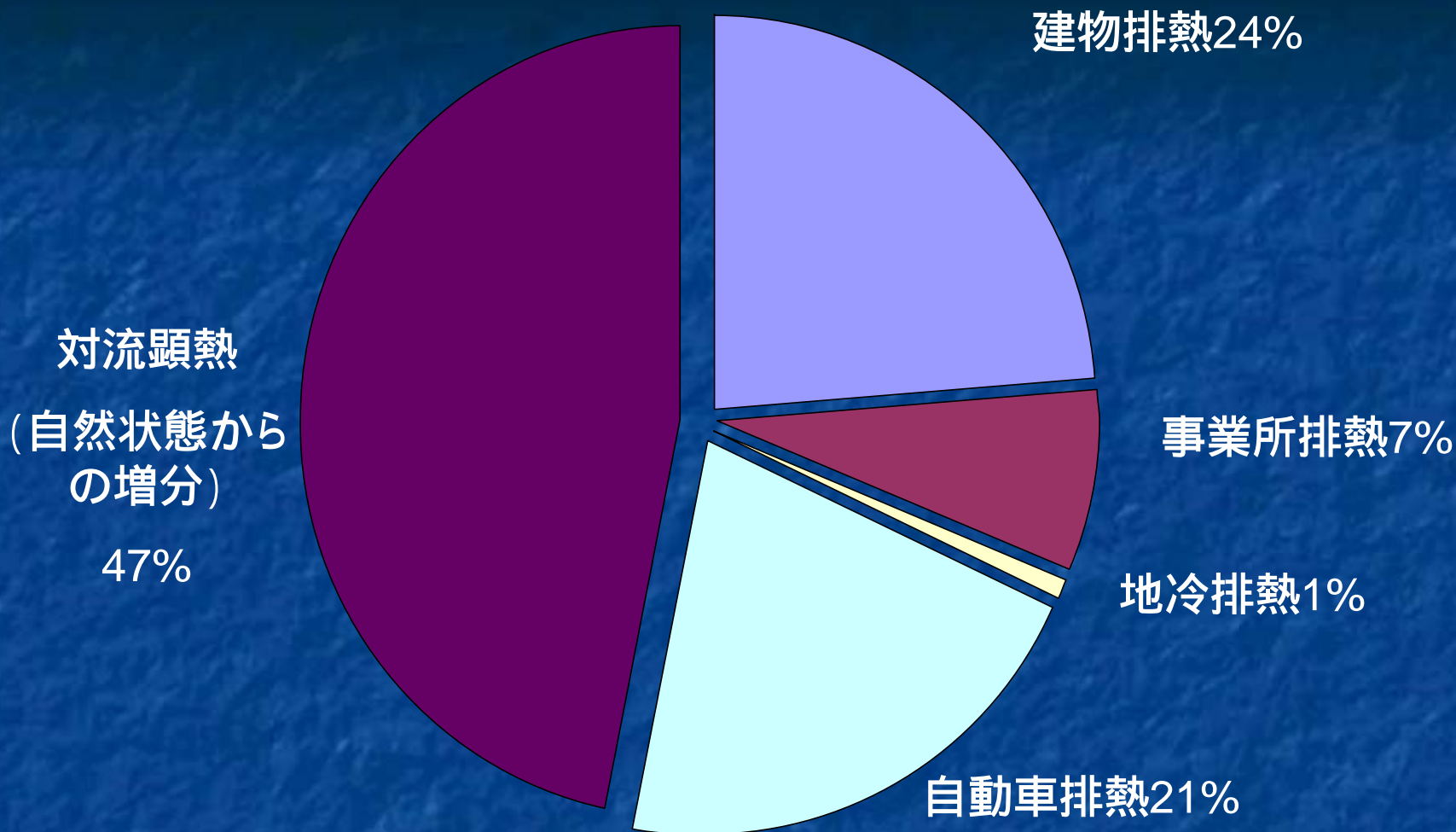


ヒートアイランド対策の指標 大気熱負荷量

対象地域における地物の対流放熱量と人工排熱の
が大気を加熱すると考え、これらを総和した量

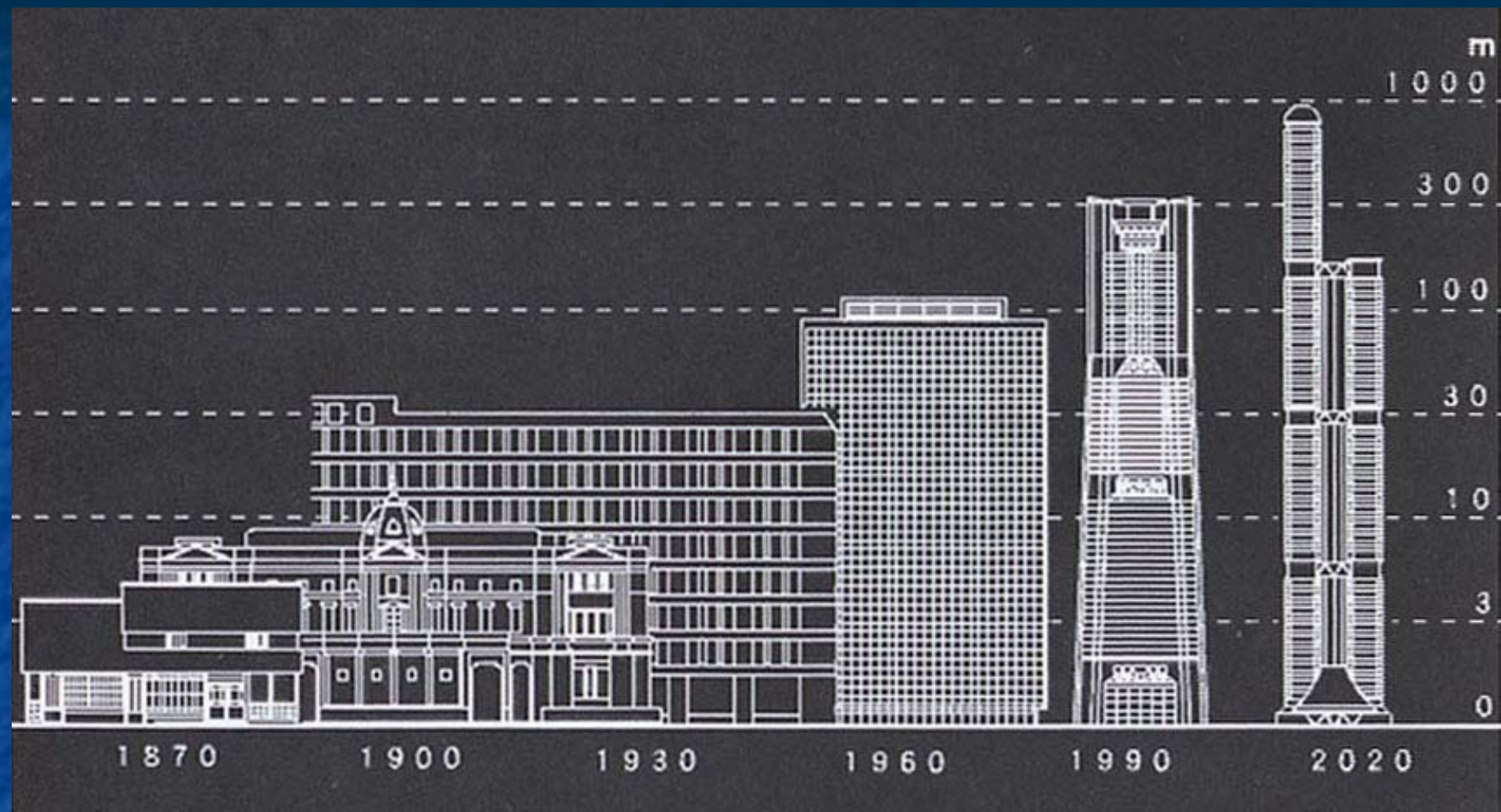


出典:平成12年度 ヒートアイランド現象の実態解析と対策のあり方
について、ヒートアイランド実態解析調査検討委員会、平成13年3月



東京23区の顕熱発生 (環境省)

2 ヒートアイランドの現在・過去・未来

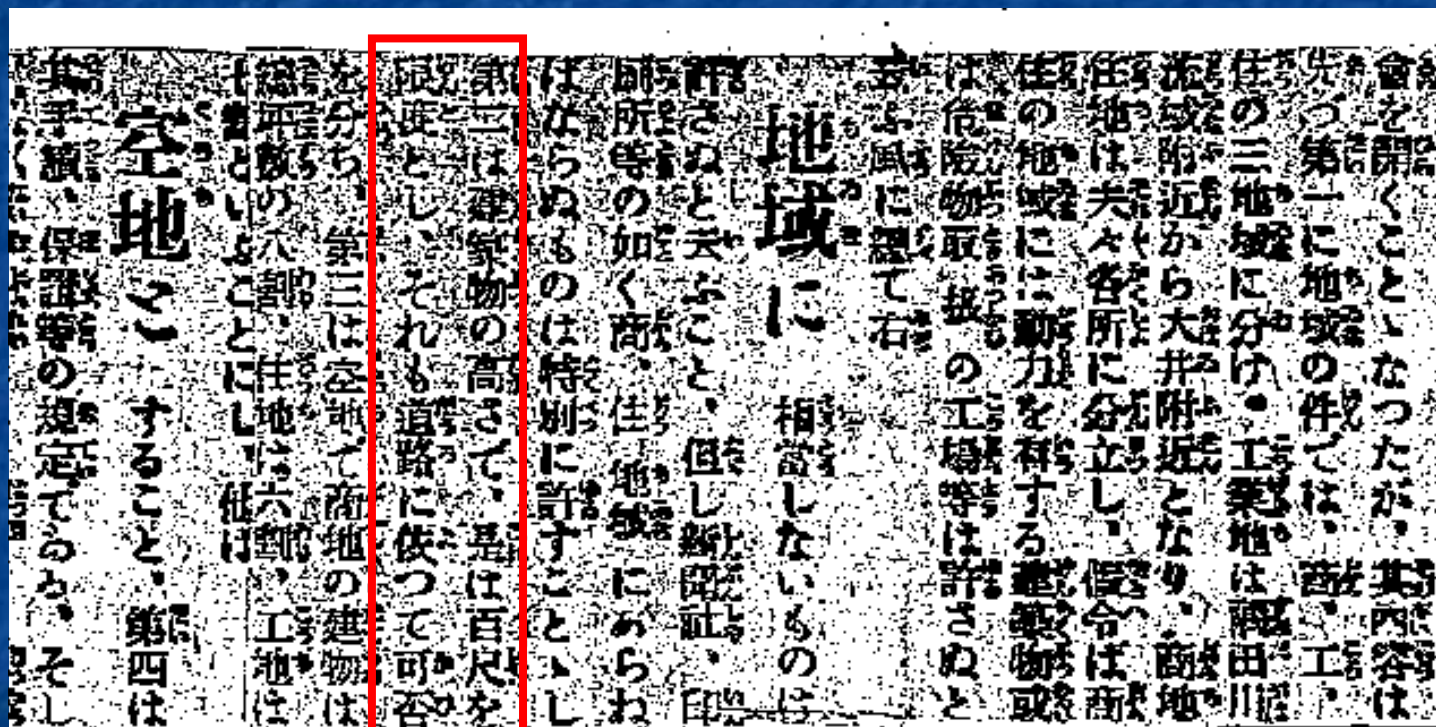


都市の高さの変遷(尾島俊雄)

市街地建築法

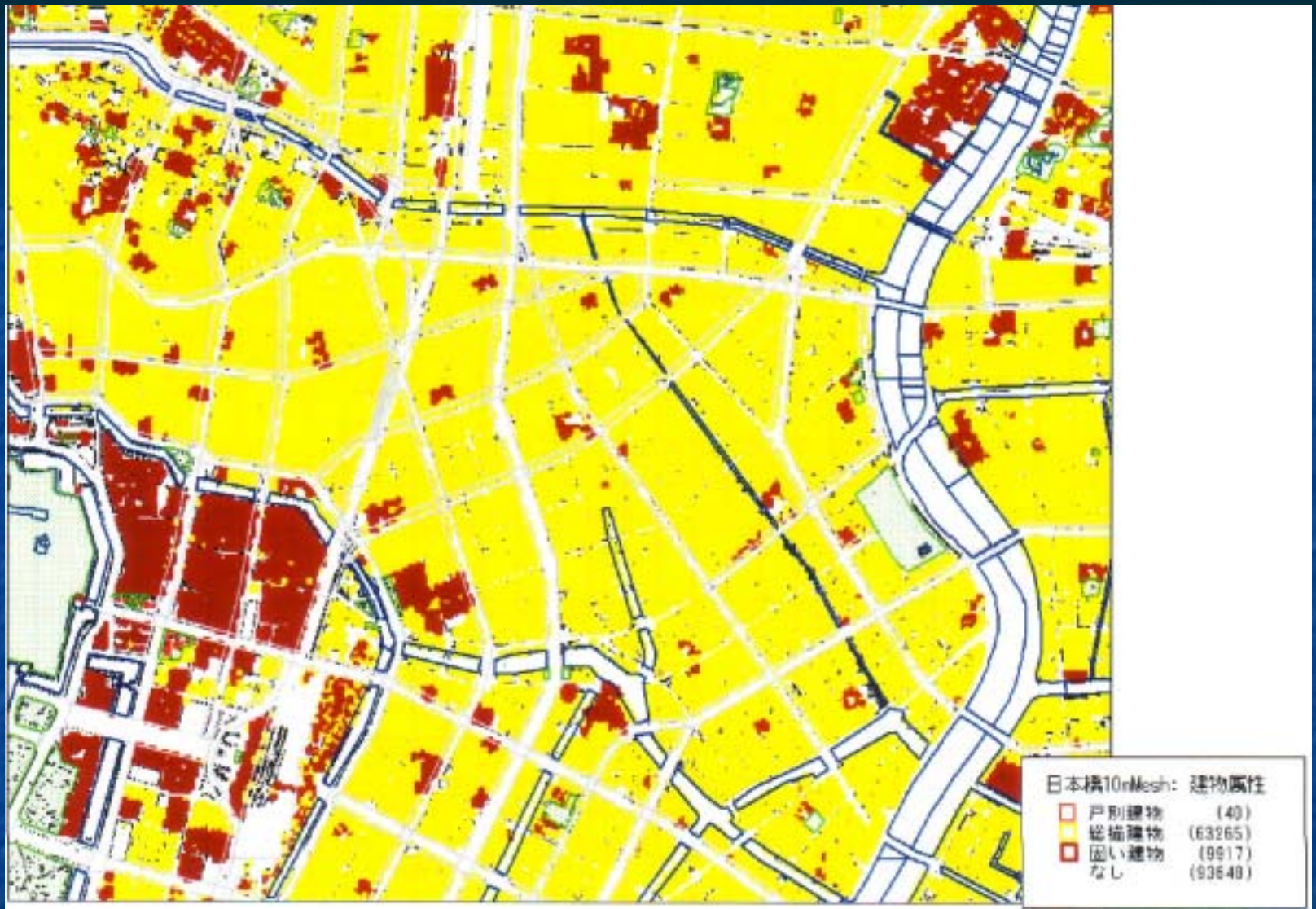
～ 百尺制限 ～

百尺 = 約30m

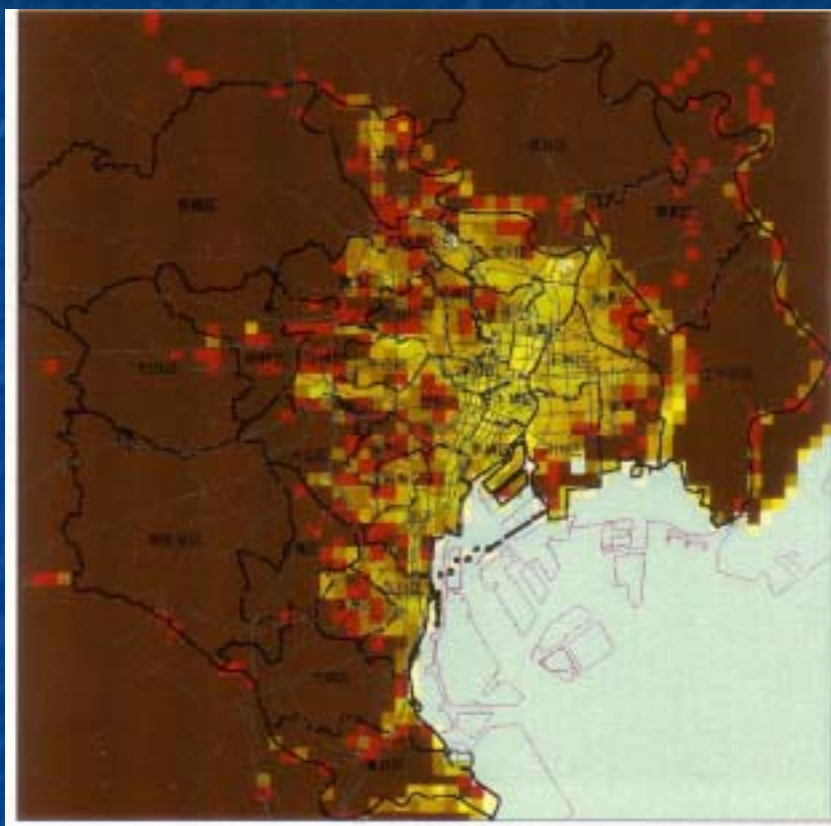


市街地建築法の制定を知らせる当時の新聞

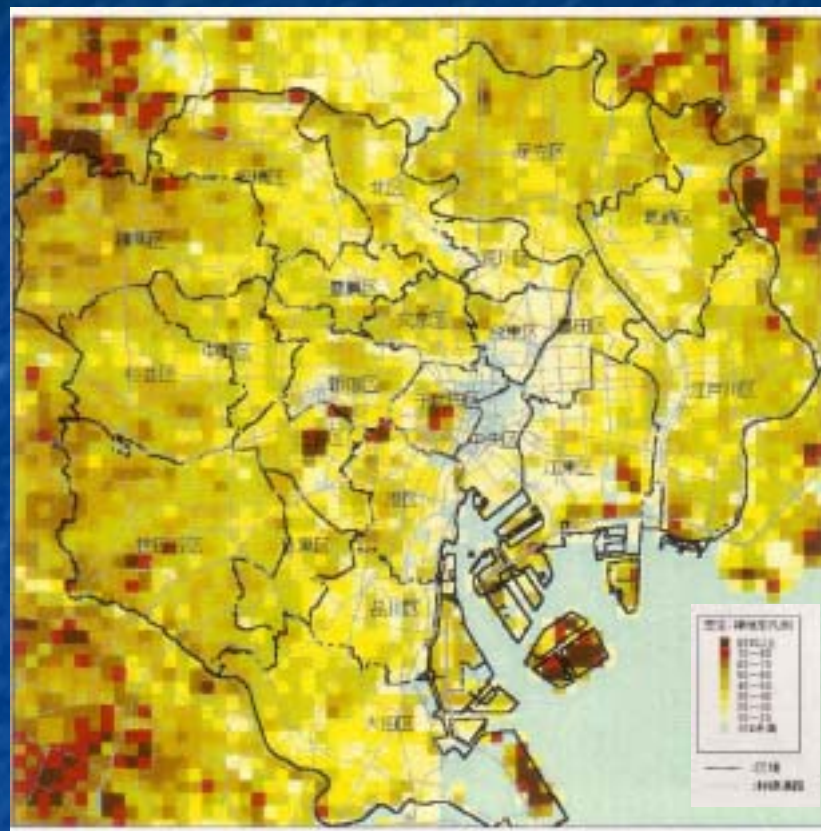
時事新報 1919.11.10 (大正8)



1930年頃の日本橋



草地・裸地の分布(1930年)



草地・裸地の分布(現在)



水面の分布(1930年)



水面の分布(現在)



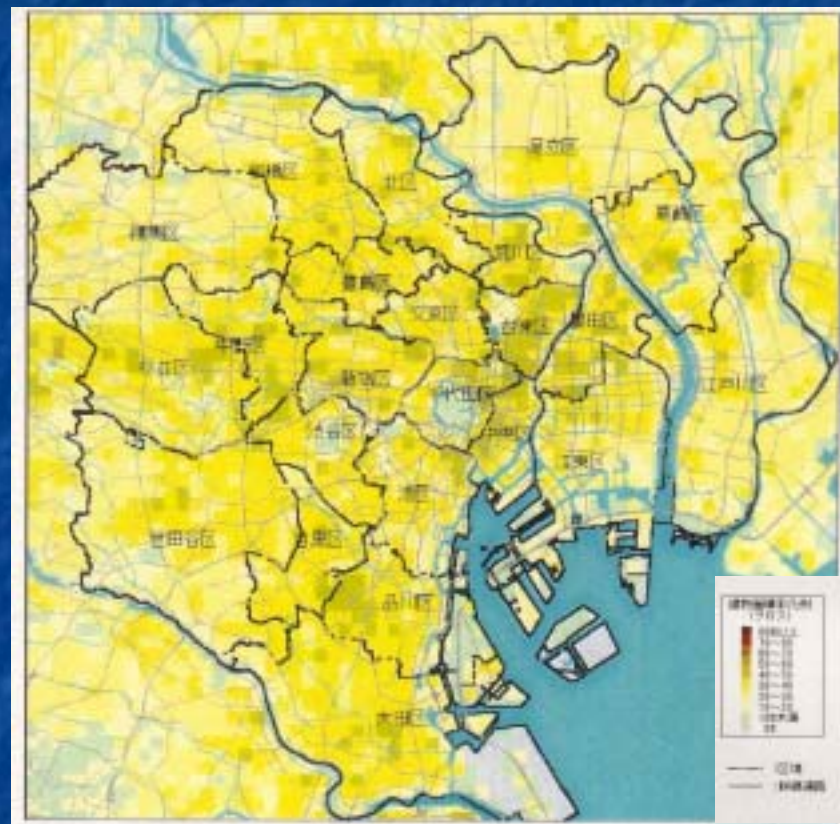
舗装率の分布(1930年)



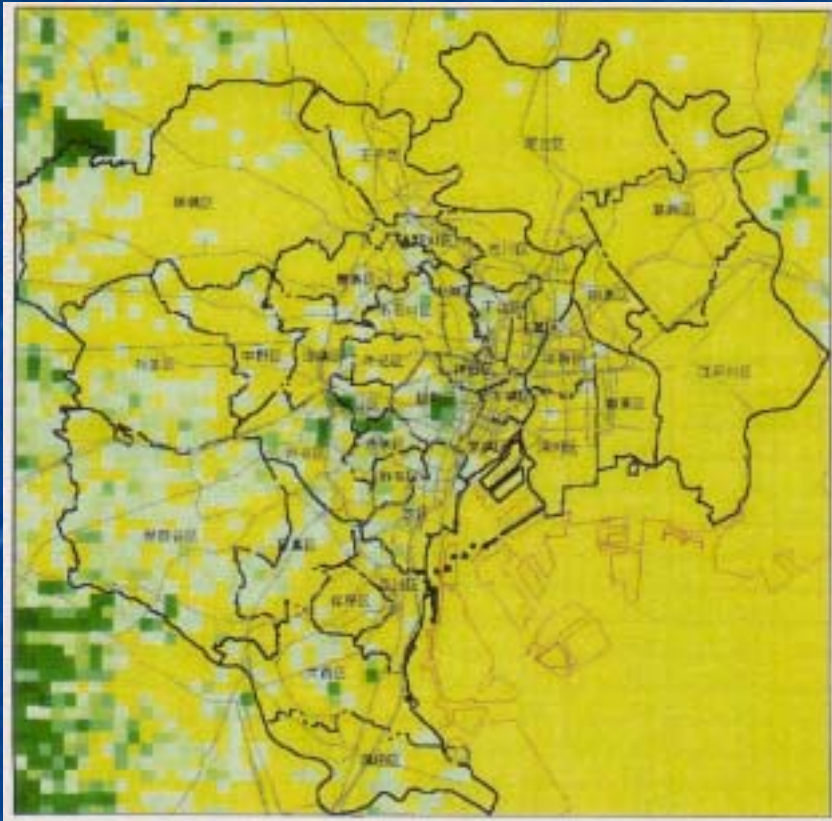
舗装率の分布(現在)



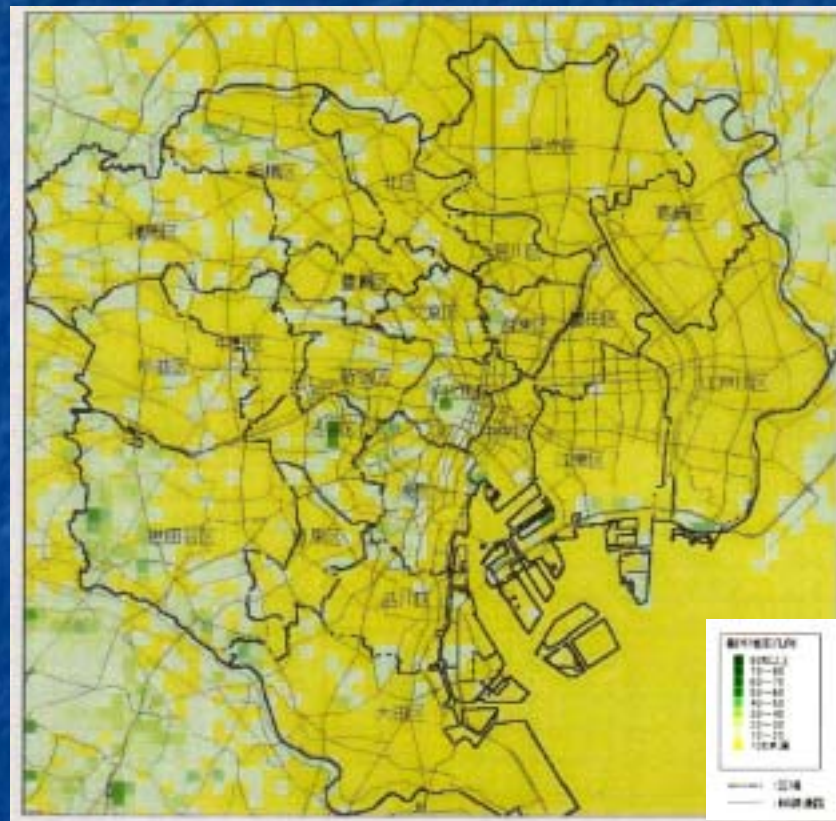
建物面積率の分布(1930年)



建物面積率の分布(現在)



樹木率の分布(1930年)



樹木率の分布(現在)

表2-2 区別自然的な地覆の減少量 (%)

現区名	1930年	現況	減少量
大田区	94.4	41.9	52.5
目黒区	91.1	42.5	48.6
中野区	91.3	43.4	47.9
杉並区	95.4	47.5	47.8
板橋区※	97.8	50.4	47.4
葛飾区	96.7	49.3	47.4
世田谷区	98.1	51.2	46.9
足立区	96.0	49.4	46.6
江戸川区	98.0	51.6	46.4
渋谷区	83.3	40.8	42.5
品川区	81.2	39.7	41.5
豊島区	77.1	36.9	40.3
中央区	70.4	31.6	38.8
江東区	89.0	50.4	38.6
新宿区	72.3	37.9	34.4
北区	78.6	44.7	34.0
墨田区	65.8	32.0	33.7
港区	71.1	38.5	32.5
荒川区	64.0	35.7	28.3
千代田区	63.8	36.2	27.6
文京区	67.8	41.2	26.6
台東区	52.5	27.3	25.3
23区	89.1	45.5	43.6

※ 1930年に練馬区は板橋区の一部であったため、練馬区は板橋区に含めて集計した

自然的被覆(河川や樹木、草地)は1930年頃と比較すると

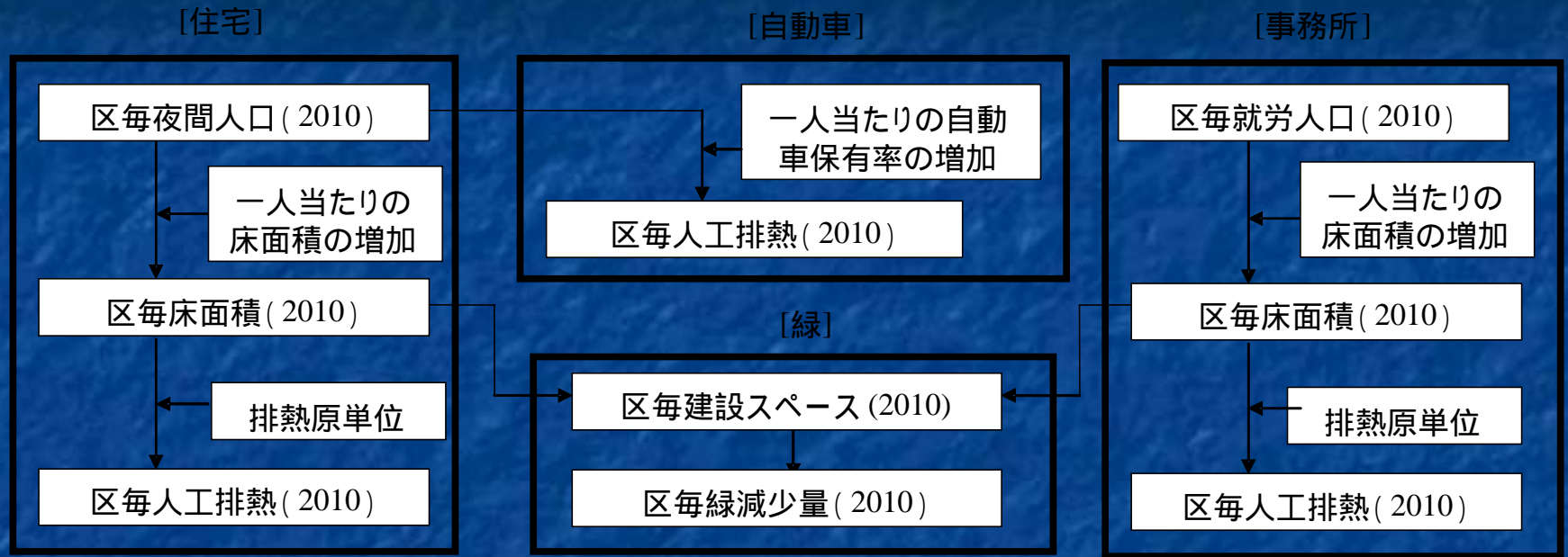


43.6%の減少・ほぼ半減

一方、

建築面積 3.2倍に増加

舗装面積 11.0倍に増加



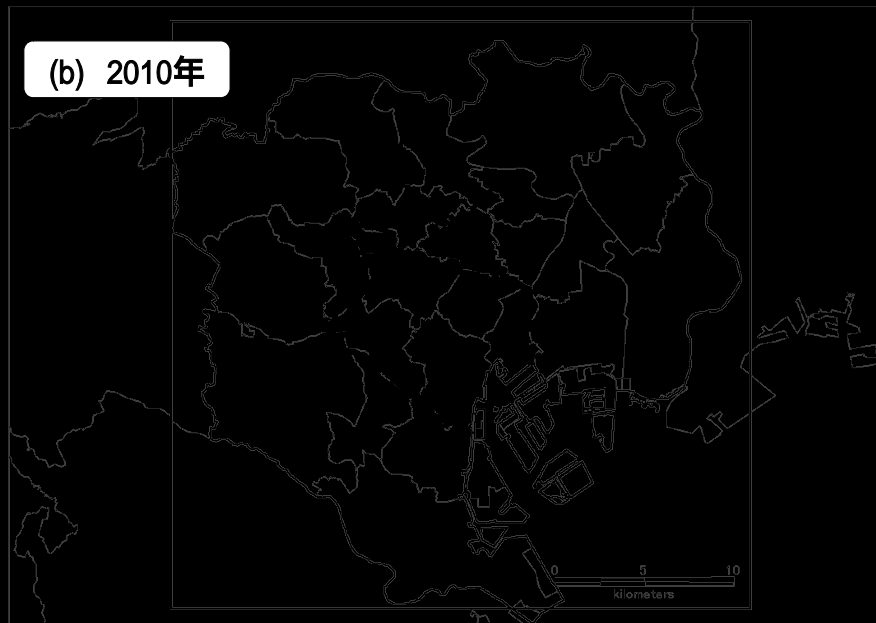
都市再生による緑の減少と人工排熱の増加を予想

- ・芝生面積率 4%減
- ・樹木面積率 2%減
- ・人工排熱 14%増 (1995年と2010年との比較)

(a) 1995年



(b) 2010年



都市再生とヒートアイランド影響

都市再生事業による人工排熱の増加と緑の減少を想定し、数値シミュレーションで現状と将来の夏期夜間の気温分布を比較したもの

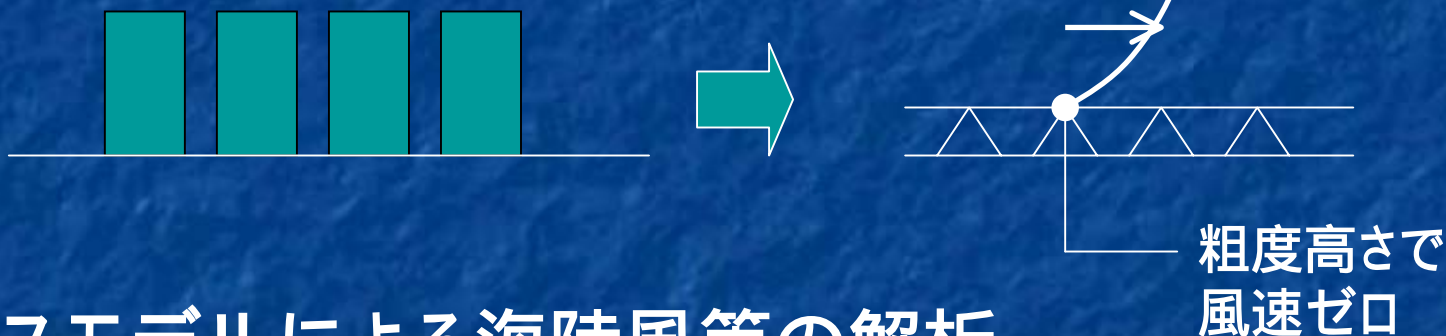
3 都市気候予測システム UCSS

従来のヒートアイランド予測モデル

- ・CSUMM (Pielkeら) 一ノ瀬らの活用例
- ・RAMS(Pielkeら) 神田らの活用例
- ・HOTMAC(Yamadaら) 村上らの活用例
- ・Kimuraらの解析モデル 電力中研の活用例
- ・Kondoらの解析モデル 産総研の活用例

都市の建物を粗度面として扱う

<ラフネスモデル>



ラフネスモデルによる海陸風等の解析

都市建築スケールの評価には不向き

建築分野における都市キャノピー層のモデル研究

- ・森山らの解析モデル(1986)

ラフネスモデル

- ・松尾、西岡(1993)

- ・谷本らの解析モデル(1998)

ラフネスモデル + キャノピー放熱を加算

- ・萩島らの解析モデル(2001)

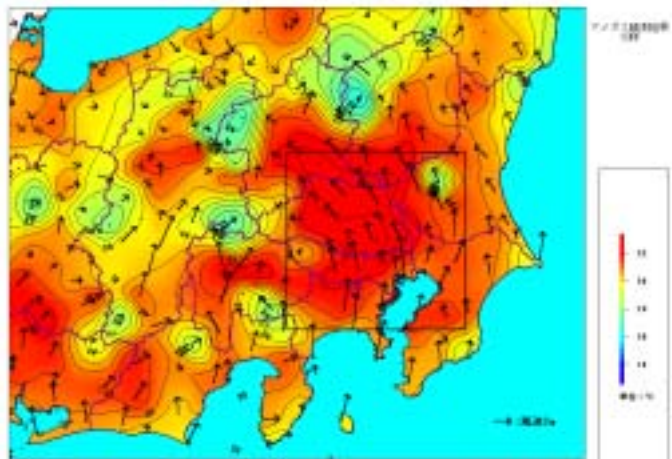
マルチレイヤー・ドラッグモデル

鉛直一次元の前提 配置評価に適用できない

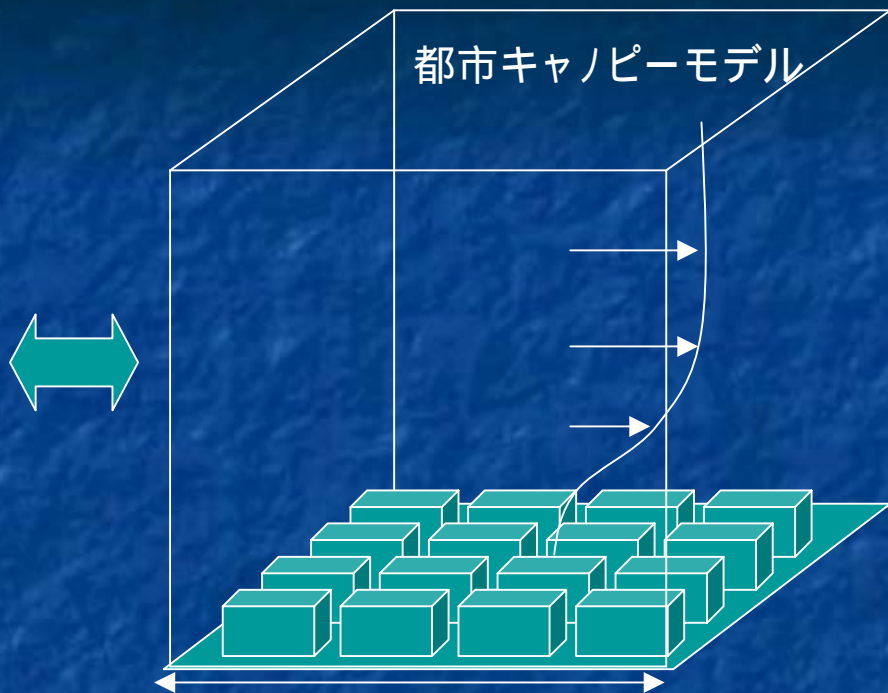
キャノピーのモデル化 都市建築スケールの評価に前進

* 但し、気温の評価精度は十分に検討されていない

都市キャノピーモデルとメソ解析の連成



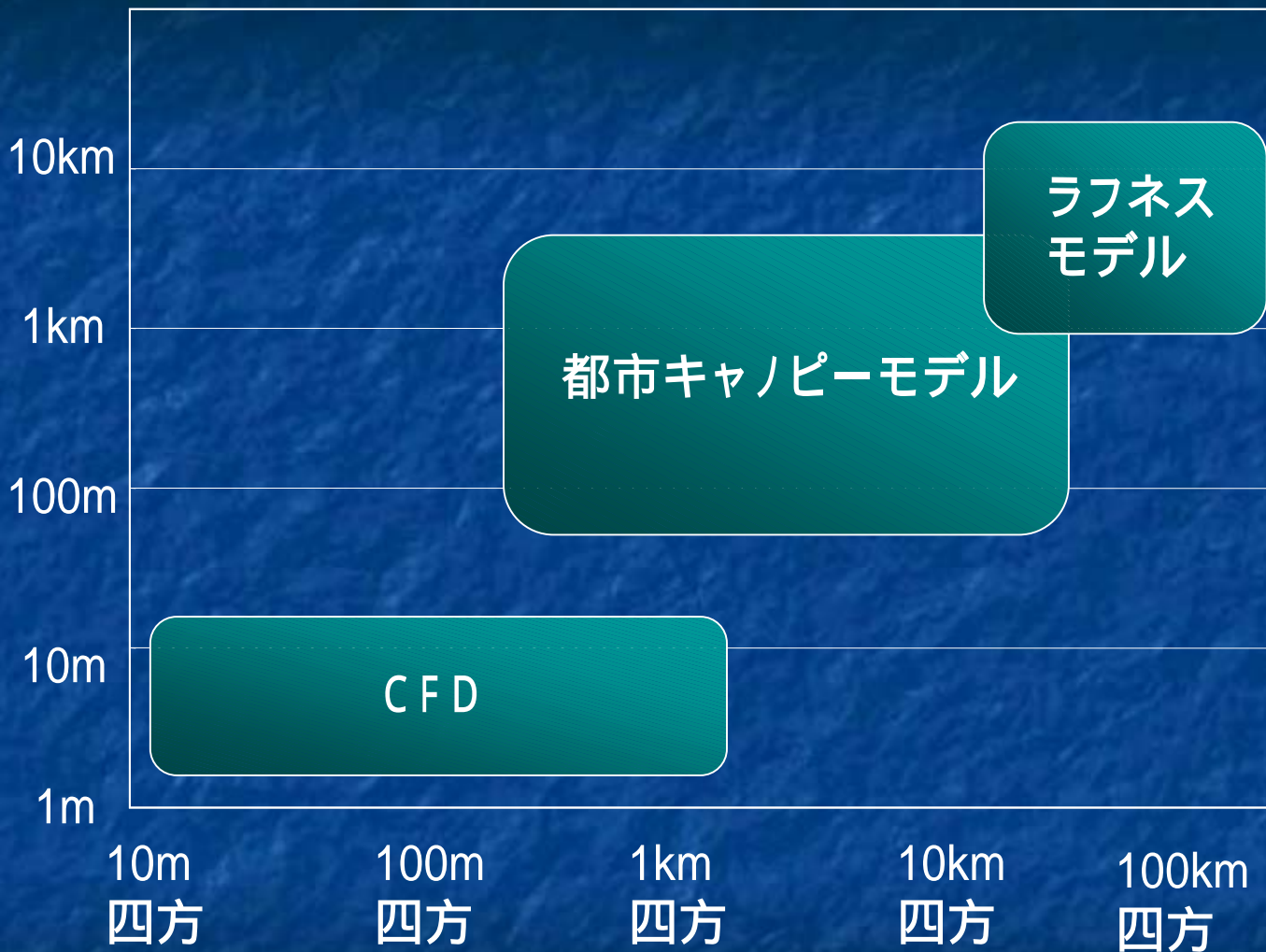
メソ解析



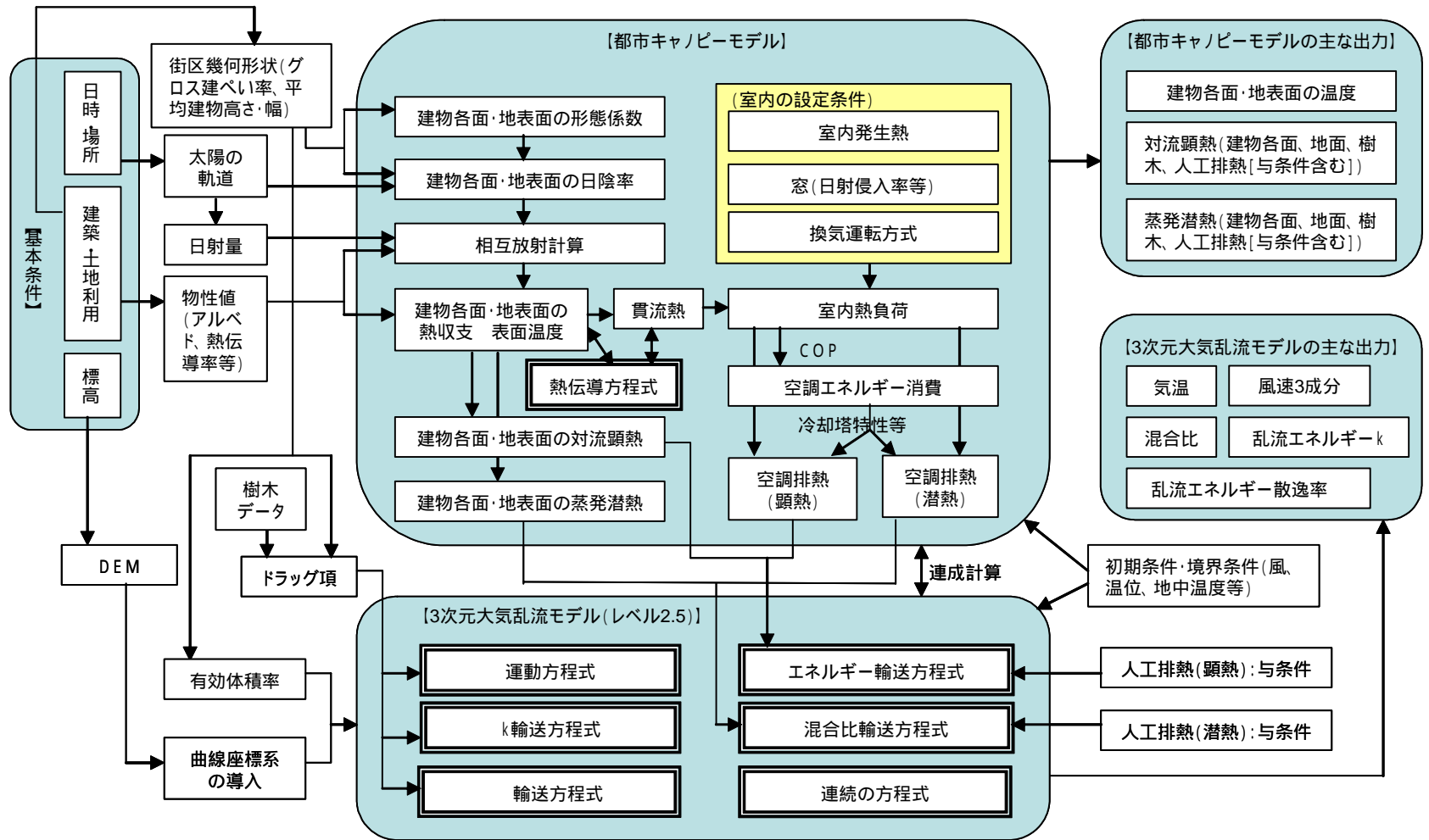
1団の街区を解析最小単位とする

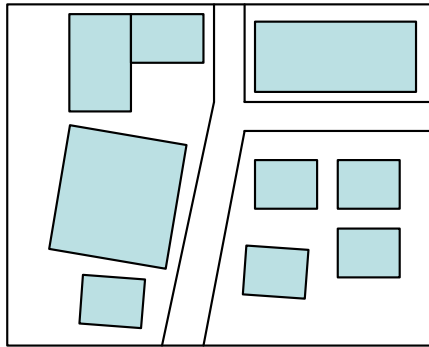
- ・海陸風等の広域の地域性を反映 自然ポテンシャルの評価
- ・都市内の緑地等の配置問題への展開 ネスティングが必要
- ・エネルギーシステムの評価 分散型、冷却塔・・・
- ・都市形態の評価 低層密集、高層集約・・・

メッシュ解像度

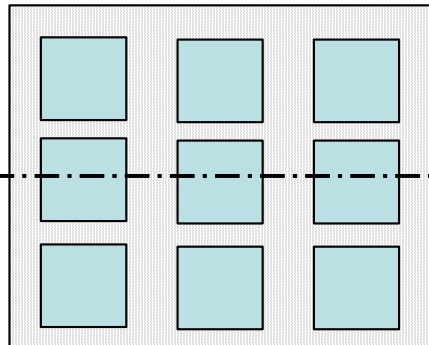


解析領域の水平スケール

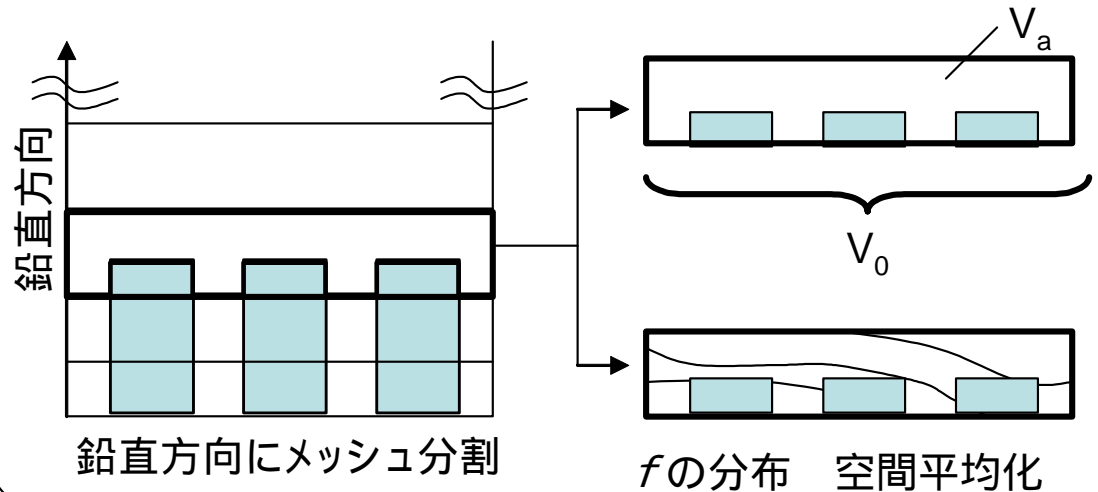




実際の建物道路配置



均一な建物配置・土地利用



有効体積率

$$G = \frac{V_a}{V_0} \quad (1)$$

記号

G: 有効体積率, V_a : 流体体積, V_0 : 解析メッシュ体積, 関数 f
 < > は体積積分を表す

空間平均

$$\langle f \rangle = \frac{1}{V_a} \iiint_{V_a} f dV \quad (2)$$

都市キャノピーモデルに適用する空間平均の概念

〈3次元大気乱流モデル〉

1. 連続の式

$$\frac{1}{G} \frac{\partial GU}{\partial x} + \frac{1}{G} \frac{\partial GV}{\partial y} + \frac{1}{G} \frac{\partial GW^*}{\partial z^*} - \frac{1}{H - z_g} \left(U \frac{\partial z_g}{\partial x} + V \frac{\partial z_g}{\partial y} \right) = 0$$

2. 水平方向の運動方程式

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{1}{G} \frac{\partial GU^2}{\partial x} + \frac{1}{G} \frac{\partial GUV}{\partial y} + \frac{1}{G} \frac{\partial GUW^*}{\partial z^*} = fV - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x}$$

$$+ \beta g \frac{\bar{H} - z^*}{\bar{H}} (\Theta_v - \Theta_{v0}) \frac{\partial z_g}{\partial x} + \frac{1}{G} \frac{\partial}{\partial x} \left[v_{th} G \frac{\partial U}{\partial x} \right] + \frac{1}{G} \frac{\partial}{\partial y} \left[v_{th} G \frac{\partial U}{\partial y} \right]$$

$$+ \left(\frac{\bar{H}}{H - z_g} \right)^2 \frac{1}{G} \frac{\partial}{\partial z^*} \left[v_{nv} G \frac{\partial U}{\partial z^*} \right] - ac_f U (U^2 + V^2)^{1/2}$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{G} \frac{\partial GUV}{\partial x} + \frac{1}{G} \frac{\partial GV^2}{\partial y} + \frac{1}{G} \frac{\partial GVW^*}{\partial z^*} = -fU - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y}$$

$$+ \beta g \frac{\bar{H} - z^*}{\bar{H}} (\Theta_v - \Theta_{v0}) \frac{\partial z_g}{\partial y} + \frac{1}{G} \frac{\partial}{\partial x} \left[v_{th} G \frac{\partial V}{\partial x} \right] + \frac{1}{G} \frac{\partial}{\partial y} \left[v_{th} G \frac{\partial V}{\partial y} \right]$$

$$+ \left(\frac{\bar{H}}{H - z_g} \right)^2 \frac{1}{G} \frac{\partial}{\partial z^*} \left[v_{nv} G \frac{\partial V}{\partial z^*} \right] - ac_f V (U^2 + V^2)^{1/2}$$

$$W^* = \frac{\bar{H}}{H - z_g} W + \frac{z^* - \bar{H}}{H - z_g} \left(U \frac{\partial z_g}{\partial x} + V \frac{\partial z_g}{\partial y} \right)$$

3. 仮温位の輸送方程式

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} + \frac{1}{G} \frac{\partial GU\Theta}{\partial x} + \frac{1}{G} \frac{\partial GV\Theta}{\partial y} + \frac{1}{G} \frac{\partial GW^*\Theta}{\partial z^*} = \frac{1}{G} \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{v_{th}}{P_{rh}} G \frac{\partial \Theta}{\partial x} \right]$$

$$+ \frac{1}{G} \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{v_{th}}{P_{rh}} G \frac{\partial \Theta}{\partial y} \right] + \left(\frac{\bar{H}}{H - z_g} \right)^2 \frac{1}{G} \frac{\partial}{\partial z^*} \left[\frac{v_{nv}}{P_{rv}} G \frac{\partial \Theta}{\partial z^*} \right] + \frac{H_s}{\rho C_p G}$$

4. 総水分混合比の輸送方程式

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{G} \frac{\partial GUQ}{\partial x} + \frac{1}{G} \frac{\partial GVQ}{\partial y} + \frac{1}{G} \frac{\partial GW^*Q}{\partial z^*} = \frac{1}{G} \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{v_{th}}{P_{rh}} G \frac{\partial Q}{\partial x} \right]$$

$$+ \frac{1}{G} \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{v_{th}}{P_{rh}} G \frac{\partial Q}{\partial y} \right] + \left(\frac{\bar{H}}{H - z_g} \right)^2 \frac{1}{G} \frac{\partial}{\partial z^*} \left[\frac{v_{nv}}{P_{rv}} G \frac{\partial Q}{\partial z^*} \right] + \frac{Q_s}{\rho G}$$

5. 乱流エネルギーの輸送方程式

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{1}{G} \frac{\partial G Uk}{\partial x} + \frac{1}{G} \frac{\partial G V k}{\partial y} + \frac{1}{G} \frac{\partial G W^* k}{\partial z^*} = \frac{1}{G} \frac{\partial}{\partial x} \left[v_{th} G \frac{C_{rr}}{\sigma_t} \frac{\partial k}{\partial x} \right]$$

$$+ \frac{1}{G} \frac{\partial}{\partial y} \left[v_{th} G \frac{C_{rr}}{\sigma_t} \frac{\partial k}{\partial y} \right] + \left(\frac{\bar{H}}{H - z_g} \right)^2 \frac{1}{G} \frac{\partial}{\partial z^*} \left[v_{nv} G \frac{C_{rr}}{\sigma_t} \frac{\partial k}{\partial z^*} \right]$$

$$+ v_{nv} \left(\frac{\bar{H}}{H - z_g} \right)^2 \left\{ \left(\frac{\partial U}{\partial z^*} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial z^*} \right)^2 \right\} - \frac{\bar{H}}{H - z_g} g \beta \frac{v_{nv}}{P_{rv}} \frac{\partial \Theta_v}{\partial z^*}$$

$$+ ac_f (U^2 + V^2)^{3/2} - \varepsilon$$

6. 粘性消散率の輸送方程式

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{1}{G} \frac{\partial GU\varepsilon}{\partial x} + \frac{1}{G} \frac{\partial GV\varepsilon}{\partial y} + \frac{1}{G} \frac{\partial GW^*\varepsilon}{\partial z^*} = \frac{1}{G} \frac{\partial}{\partial x} \left[G \frac{v_{th}}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right]$$

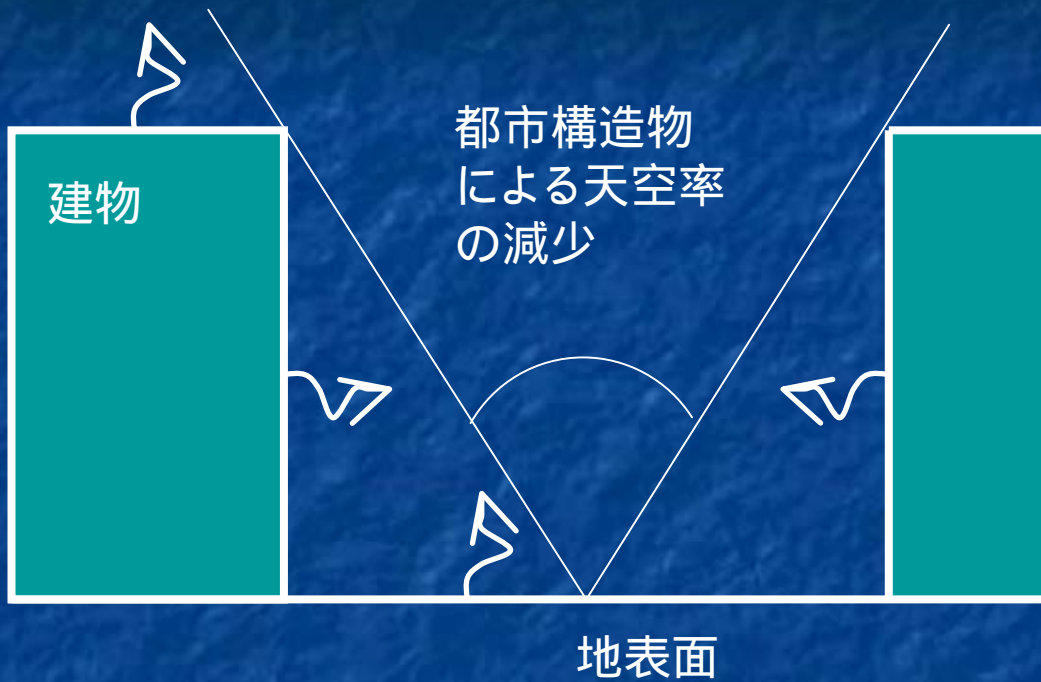
$$+ \frac{1}{G} \frac{\partial}{\partial y} \left[G \frac{v_{th}}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right] + \left(\frac{\bar{H}}{H - z_g} \right)^2 \frac{1}{G} \frac{\partial}{\partial z^*} \left[G \frac{v_{nv}}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial z^*} \right]$$

$$+ \frac{\varepsilon}{k} \left[C_{1\varepsilon} v_{nv} \left(\frac{\bar{H}}{H - z_g} \right)^2 \left\{ \left(\frac{\partial U}{\partial z^*} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial z^*} \right)^2 \right\} + C_{p\varepsilon} \frac{k^{3/2}}{L_0} - C_{2\varepsilon} \varepsilon \right]$$

$$+ C_{3\varepsilon} \frac{\bar{H}}{H - z_g} \frac{\varepsilon}{k} g \beta \frac{v_{nv}}{P_{rv}} \frac{\partial \Theta_v}{\partial z^*}$$

(Symbols) x, y, z : デカルト座標系 (x, y : 水平成分, z : 鉛直成分), z^* : 座標変換後
($= H(z-z_g)/(H-z_g)$), H : 計算領域高さ, z_g : 地表高さ, U, V, W : x, y, z 方向の風速成分, t : 時間,
 G : 有効体積率, f : コリオリパラメータ, ρ : 空気密度, β : 体積膨張率, g : 重力加速度, \bar{H} : 座
標変換後の計算領域高さ, Θ_v : 仮温位, Θ_{v0} : 仮温位の水平方向平均値, ν_h, ν_v : 水平方向及び鉛直方向の
渦粘性係数, a : 抗力の働く領域, c_f : 抗力係数, Θ : 温位, P_{rh}, P_{rv} : 水平方向及び鉛直方向のプラント
ル数, H_s : 地表面における放熱量, C_p : 低圧比熱, Q : 総水分混合比, Q_s : 地表面における水蒸気発生
量, k : 乱流エネルギー, ε : 粘性消散率, L_0 : 都市キャノピー内における渦の代表長さスケール

(Constant) $C_{rr}=?$, $\sigma_t=1.0$, $\sigma_\varepsilon=1.3$ $C_{1\varepsilon}=1.49$, $C_{2\varepsilon}=1.92$, $C_{3\varepsilon} = C_{1\varepsilon}$ (unstable), 0(stable), $C_{pe}=0.5$



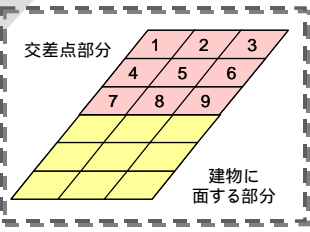
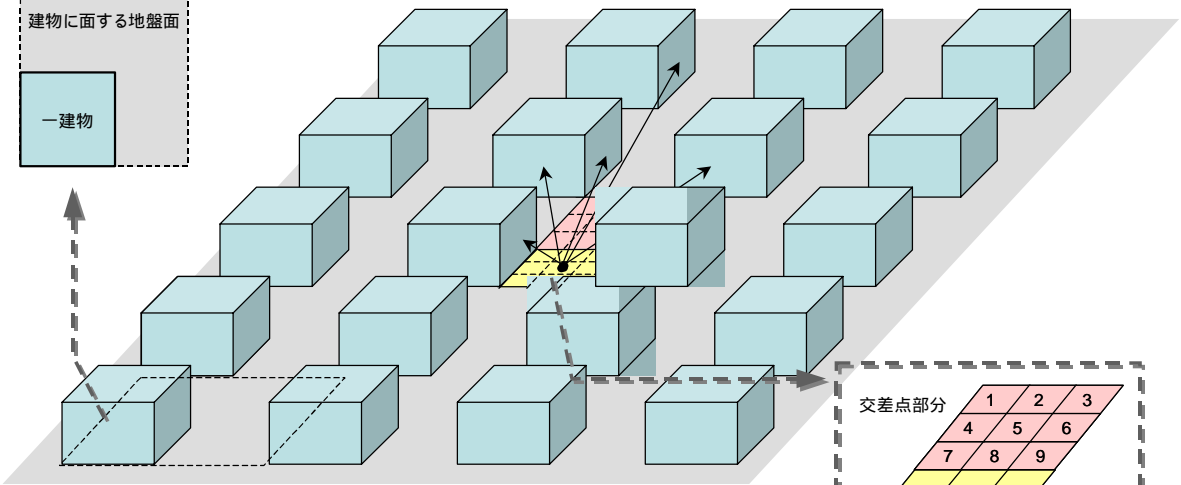
* 図中の矢印は対流顕熱もしくは人工排熱を表す

夜間気温の形成メカニズム

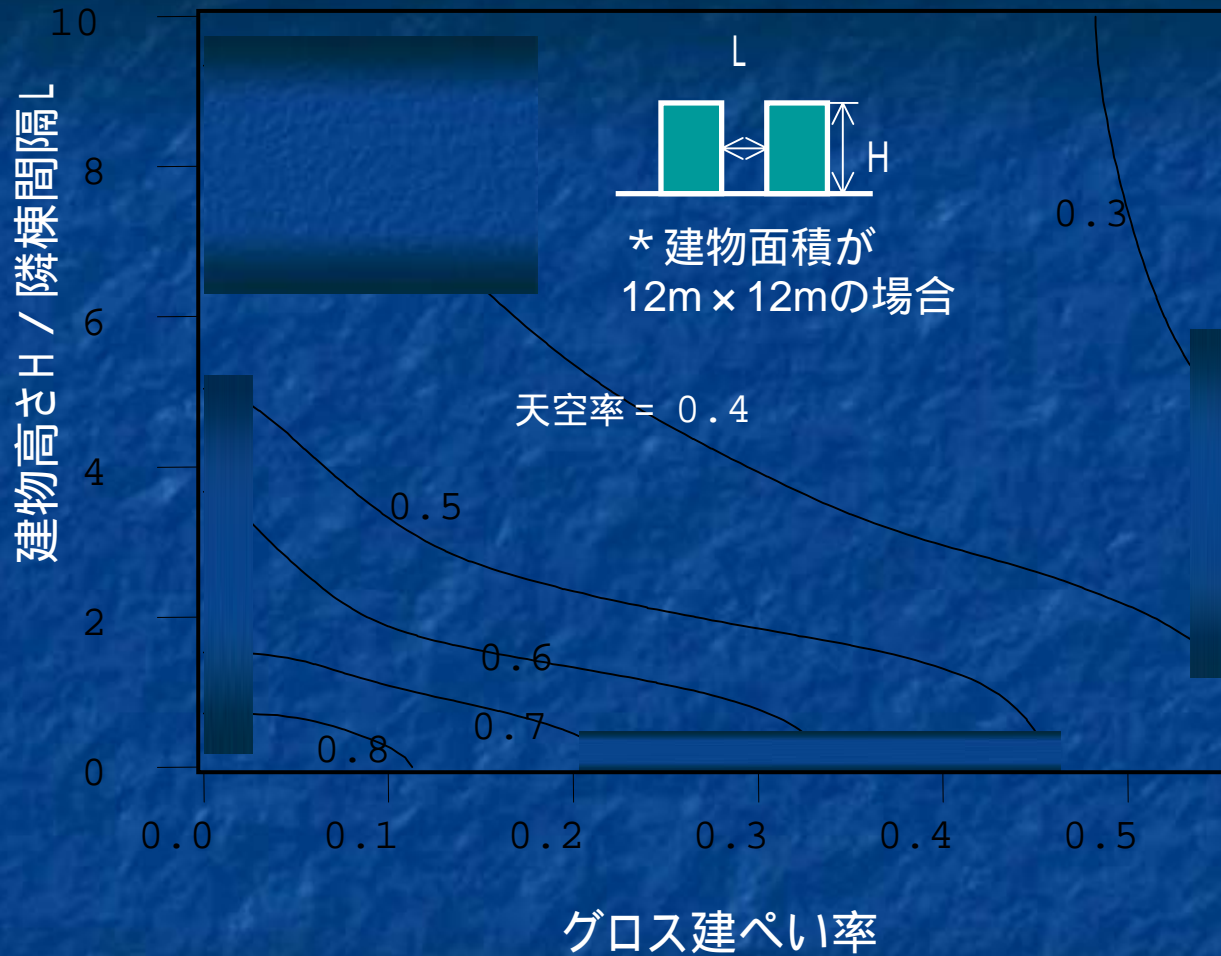
建物 - 地盤面のユニット

建物に面する地盤面

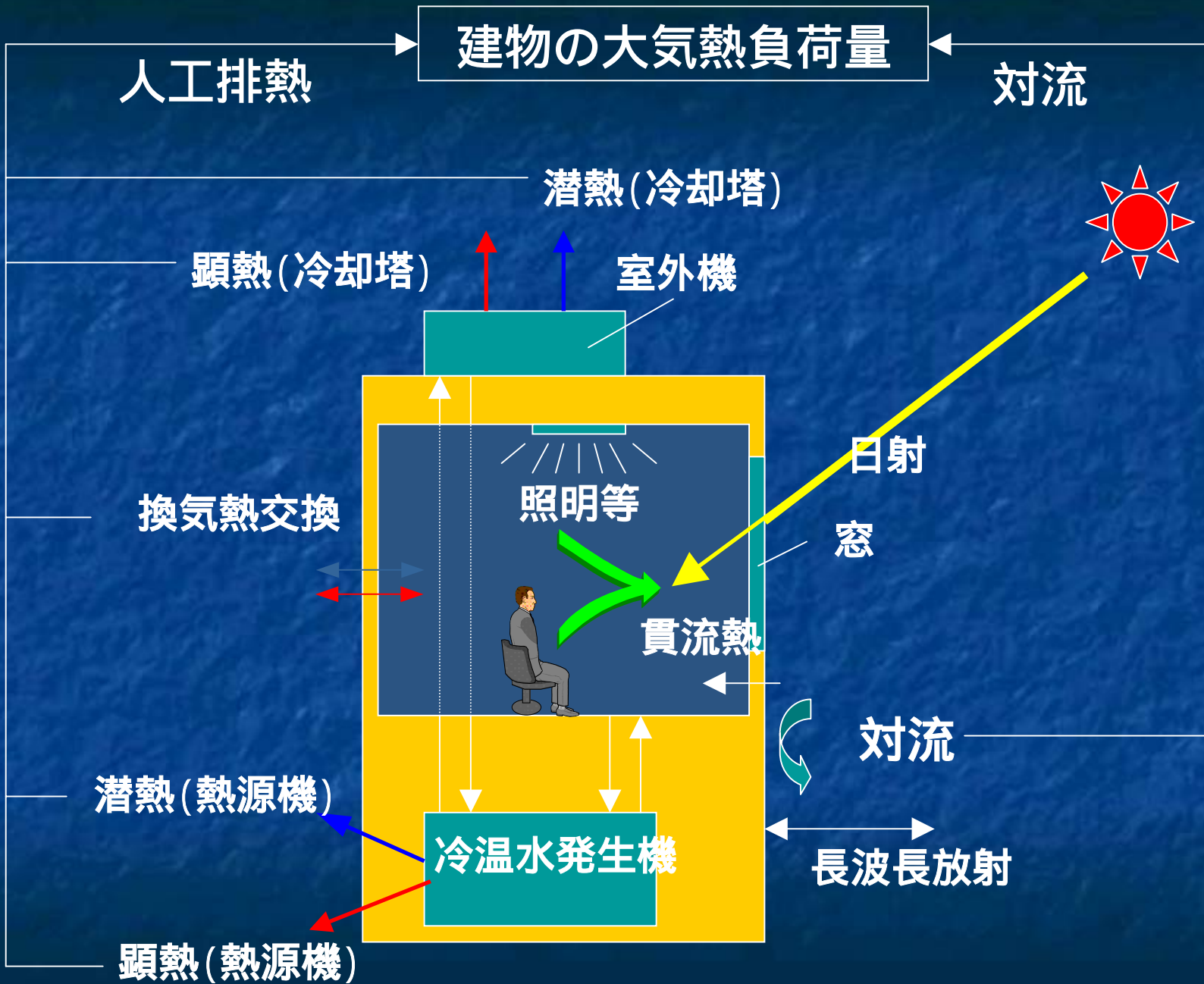
一建物



天空率の解析



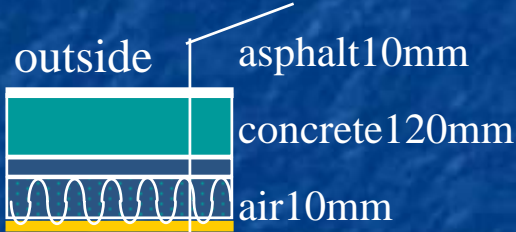

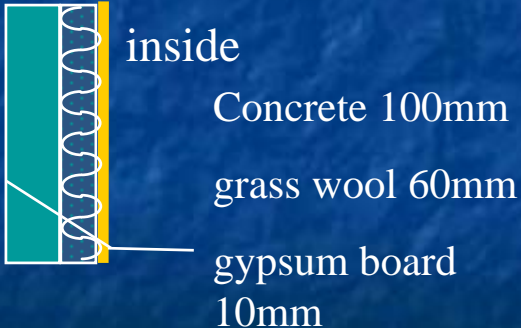
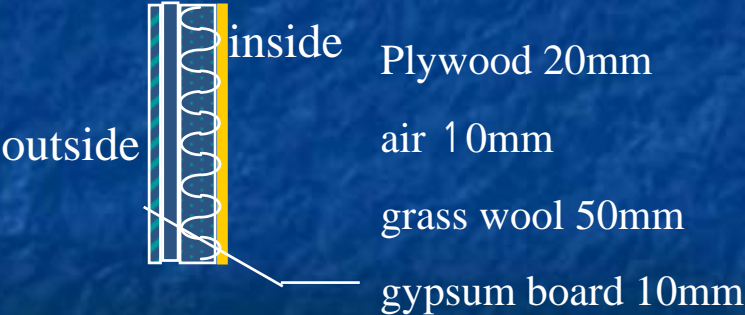
街区形状と天空率



建物の壁、屋根の構成

壁、屋根の多層構造を考慮した非定常計算

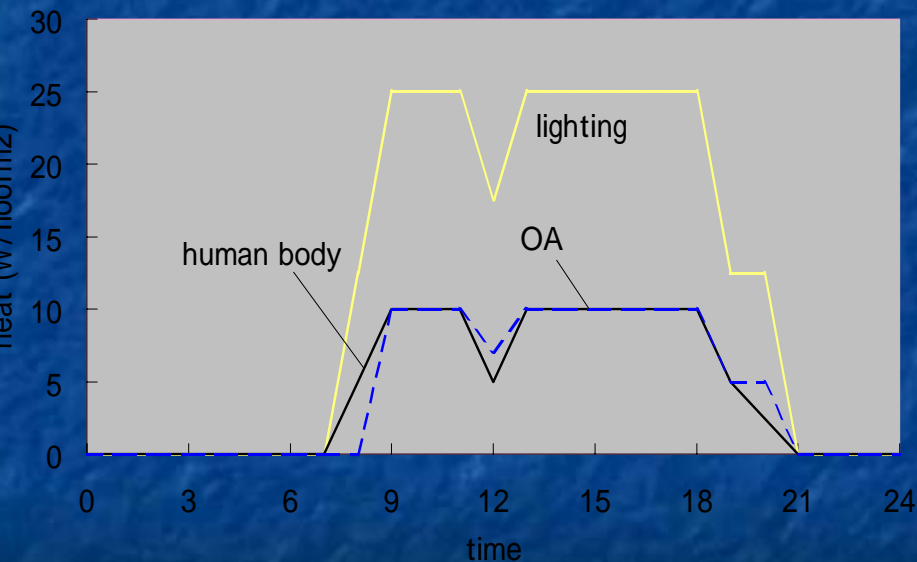
*R : thermal resistance of assemblies (m^2K/W)

	RC building	Wooden house
roof	 <p>outside asphalt 10mm concrete 120mm air 10mm inside grass wool 50mm gypsum board 10mm (R= 1.8)</p>	 <p>outside Roof tile 30mm plywood 10mm asphalt 10mm air 50mm grass wool 50mm inside gypsum board 10mm (R= 1.8)</p>
wall	 <p>outside inside Concrete 100mm grass wool 60mm gypsum board 10mm (R= 1.9)</p>	 <p>inside Plywood 20mm air 10mm grass wool 50mm outside gypsum board 10mm (R= 1.9)</p>

Building type used for the calculation

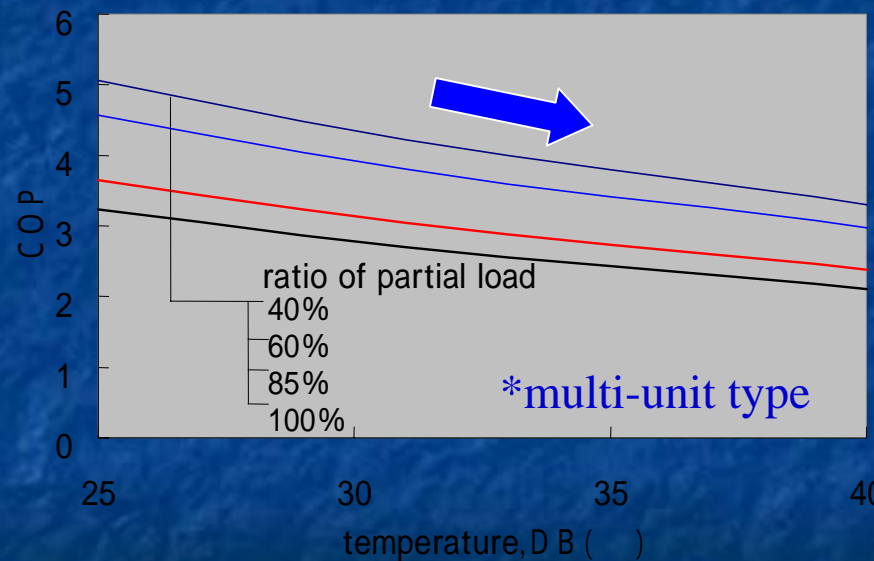
室内の発生熱

室内の発生熱は建物用途毎
時間毎に設定値を与える



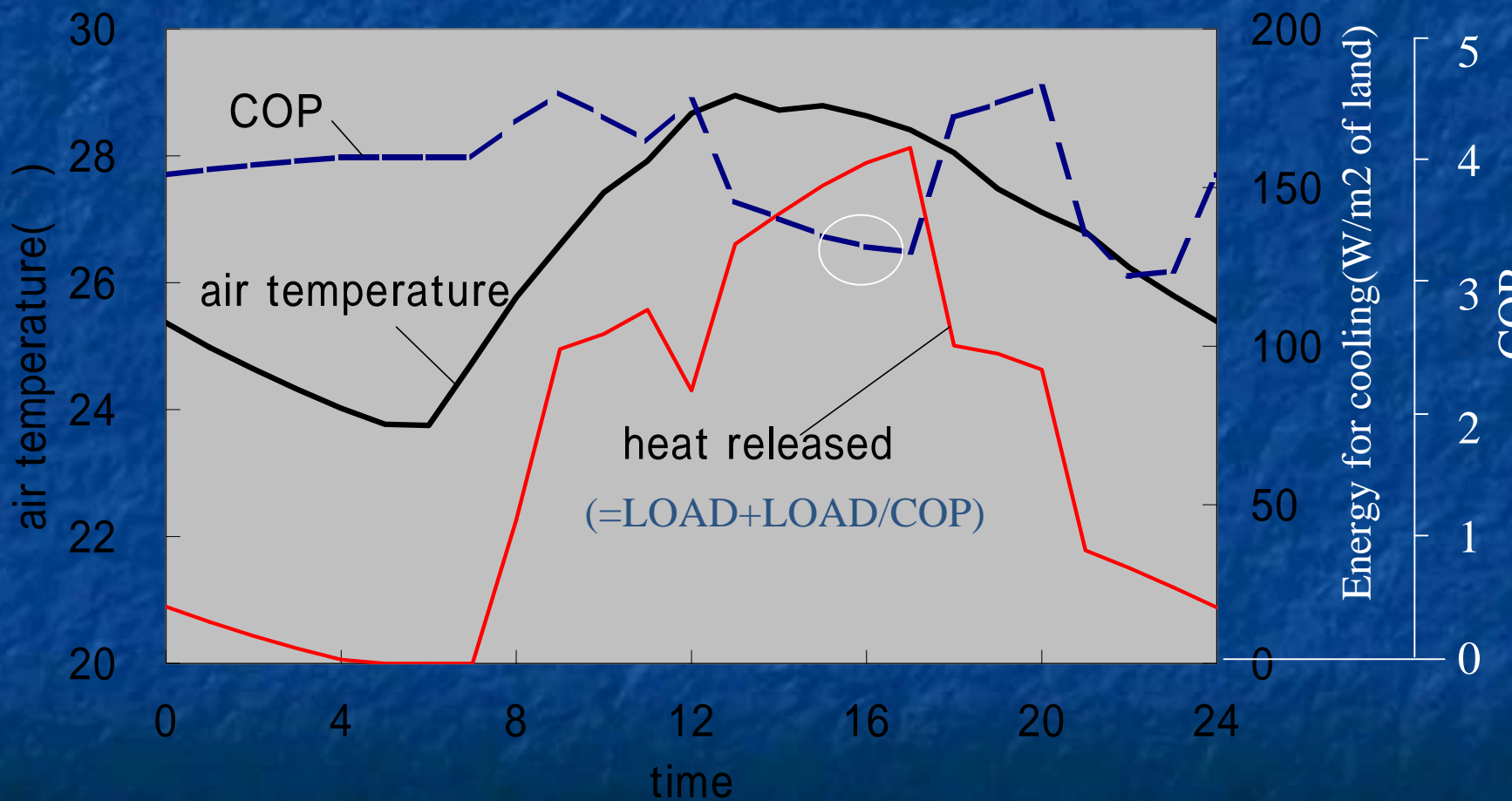
空調熱源機のCOP

室内熱負荷の算出値と外気
条件から下図の關係を用い
てCOPを算出

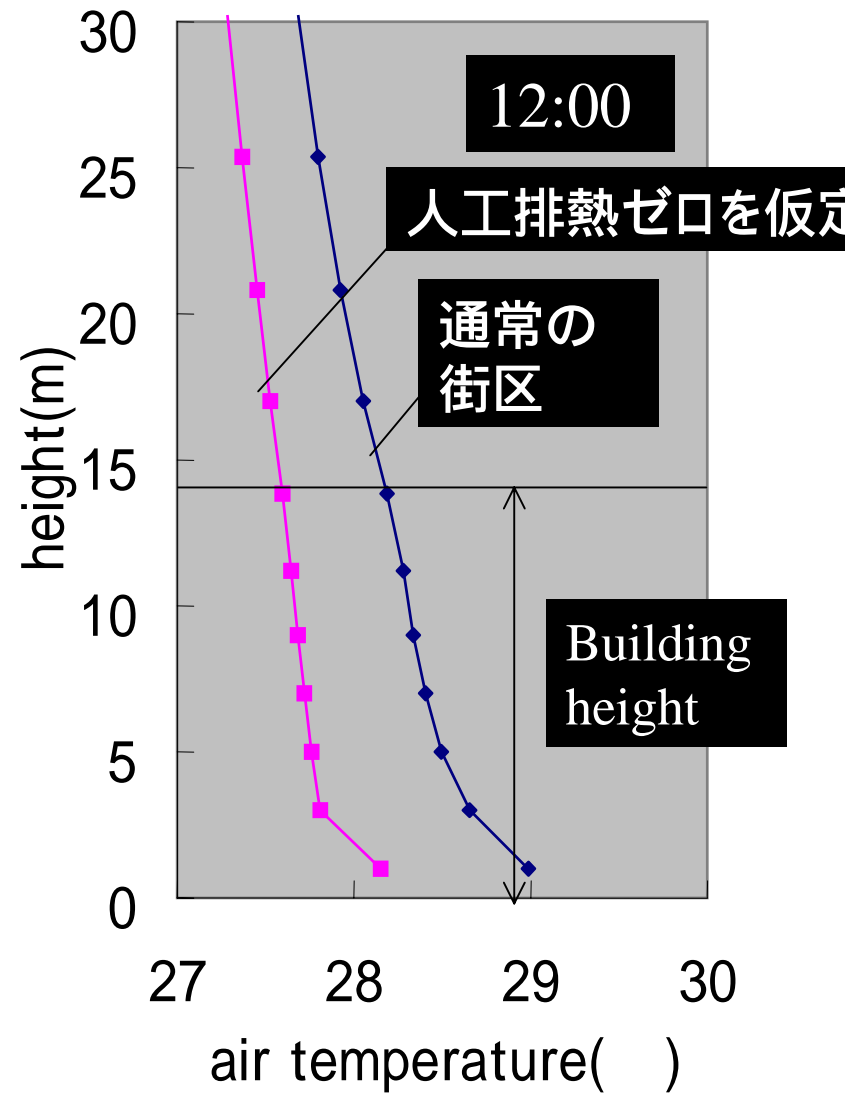
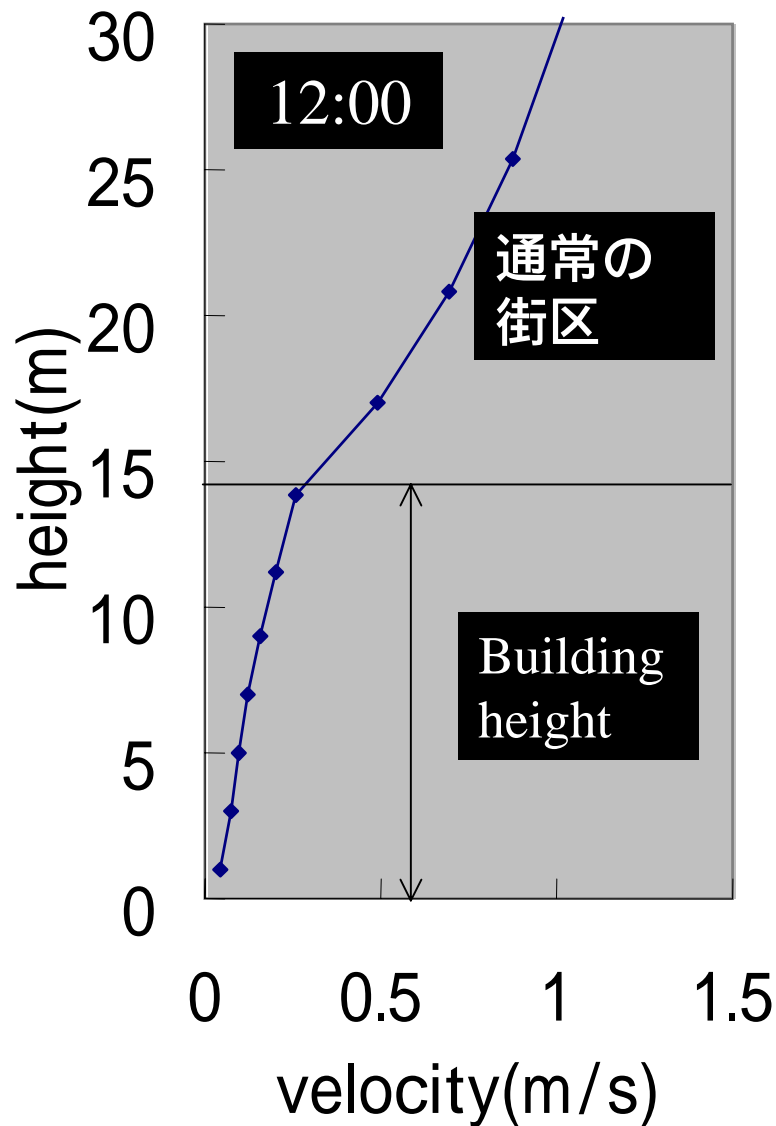


* COP: coefficients of performance

日変化の例

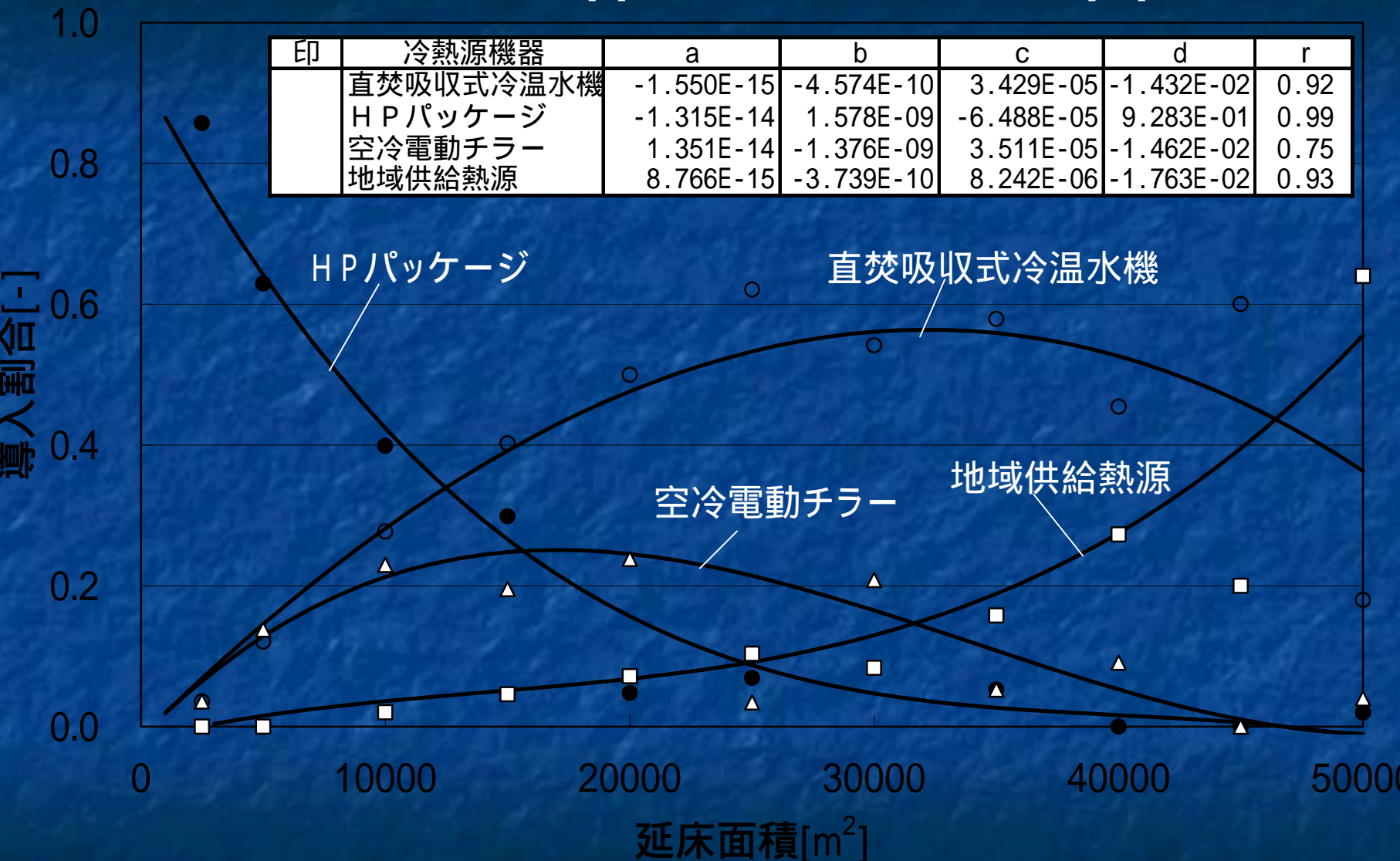


風、気温の鉛直分布

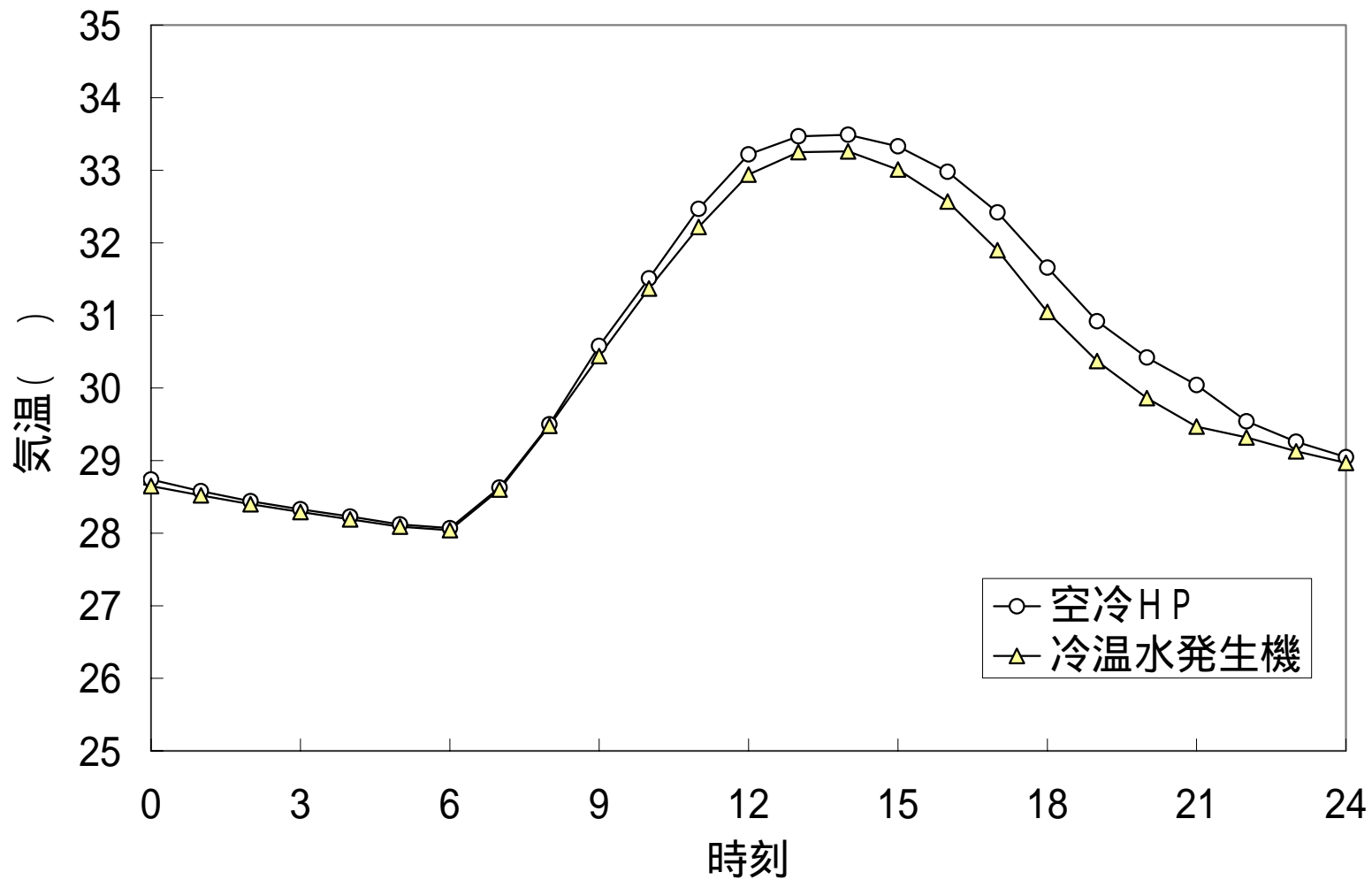


*導入割合[-] = aX^3+bX^2+cX+d , X:延床面積[m²], r:相関係数

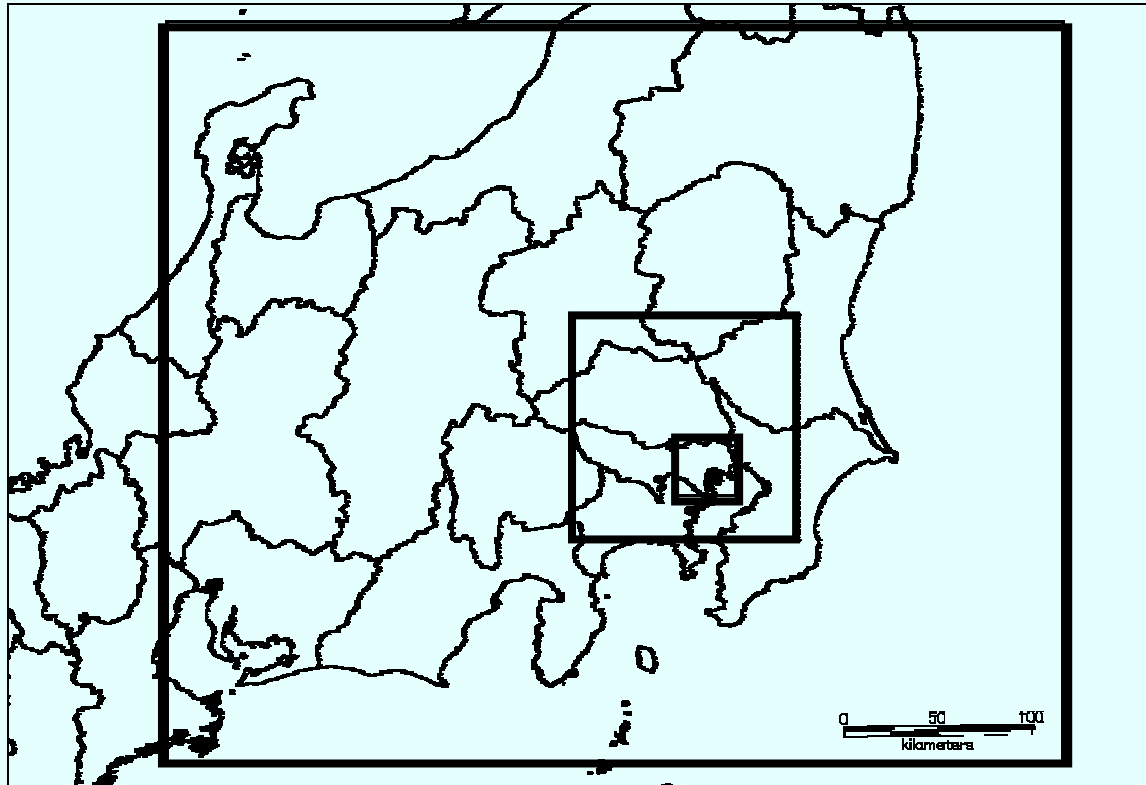
印	冷熱源機器	a	b	c	d	r
●	直焚吸収式冷温水機	-1.550E-15	-4.574E-10	3.429E-05	-1.432E-02	0.92
○	HPパッケージ	-1.315E-14	1.578E-09	-6.488E-05	9.283E-01	0.99
△	空冷電動チラー	1.351E-14	-1.376E-09	3.511E-05	-1.462E-02	0.75
■	地域供給熱源	8.766E-15	-3.739E-10	8.242E-06	-1.763E-02	0.93



事務所の冷熱源機器の導入割合



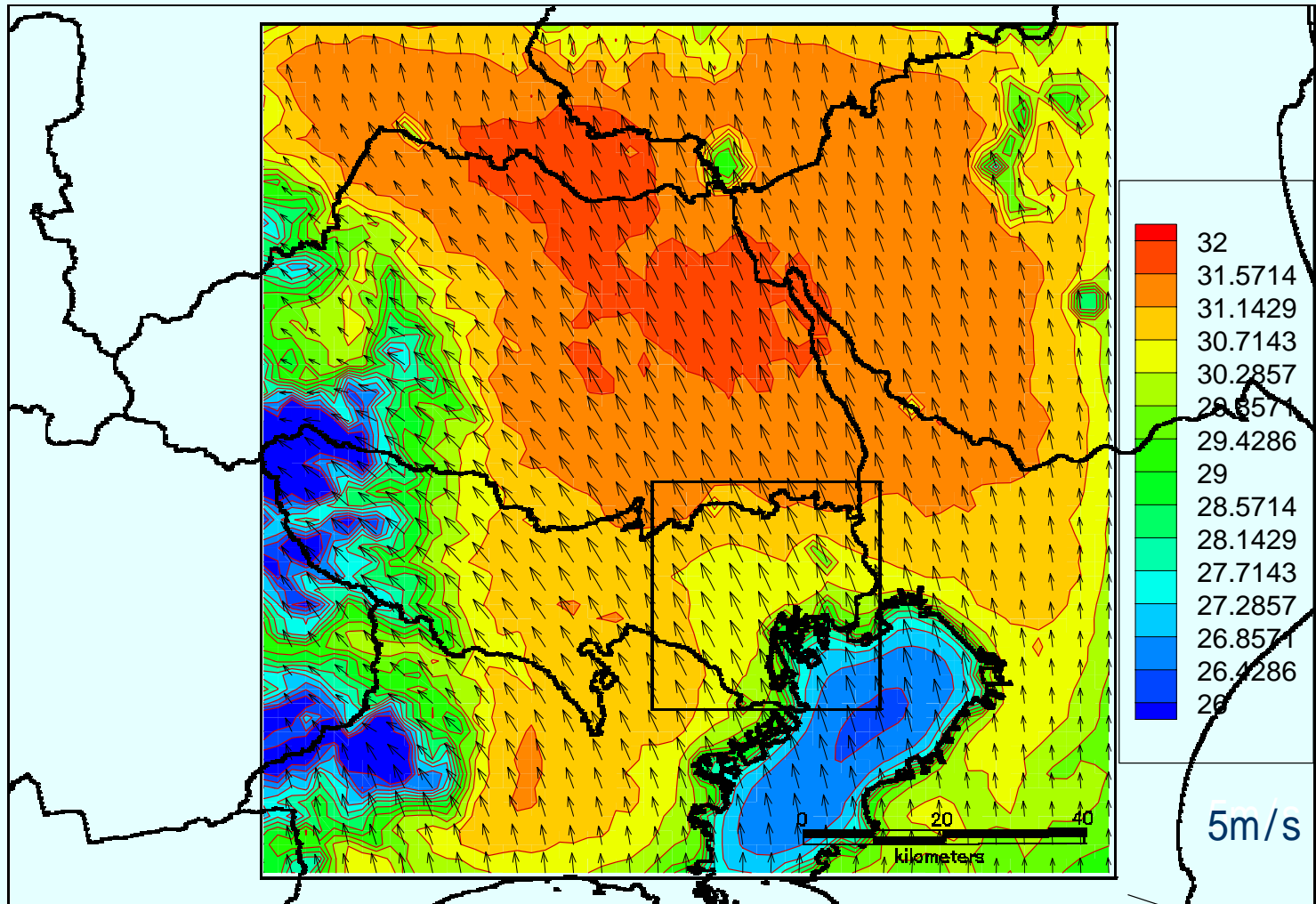
空調システムと気温



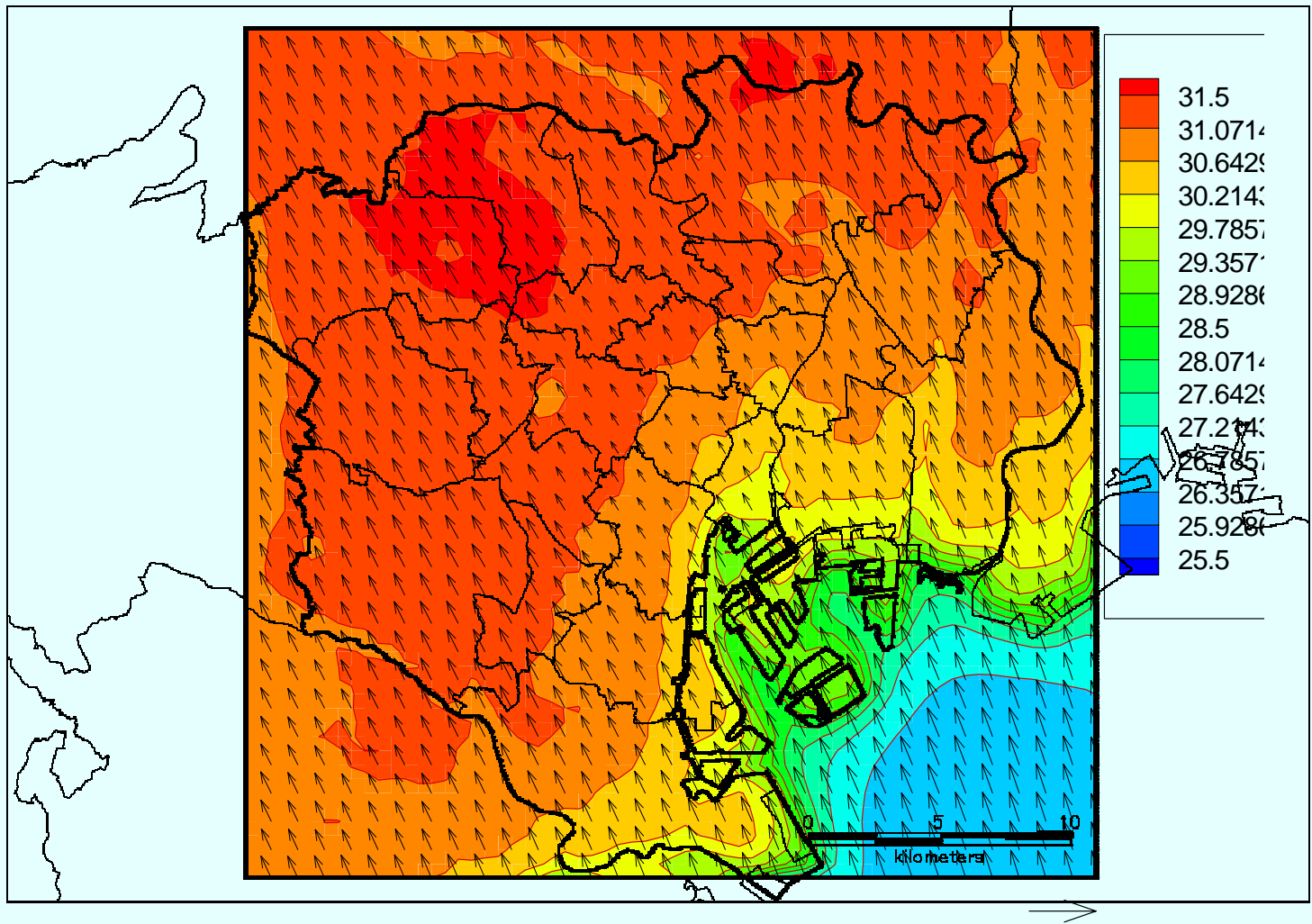
領域1 480km*400km 8km

領域2 120km*120km 2km

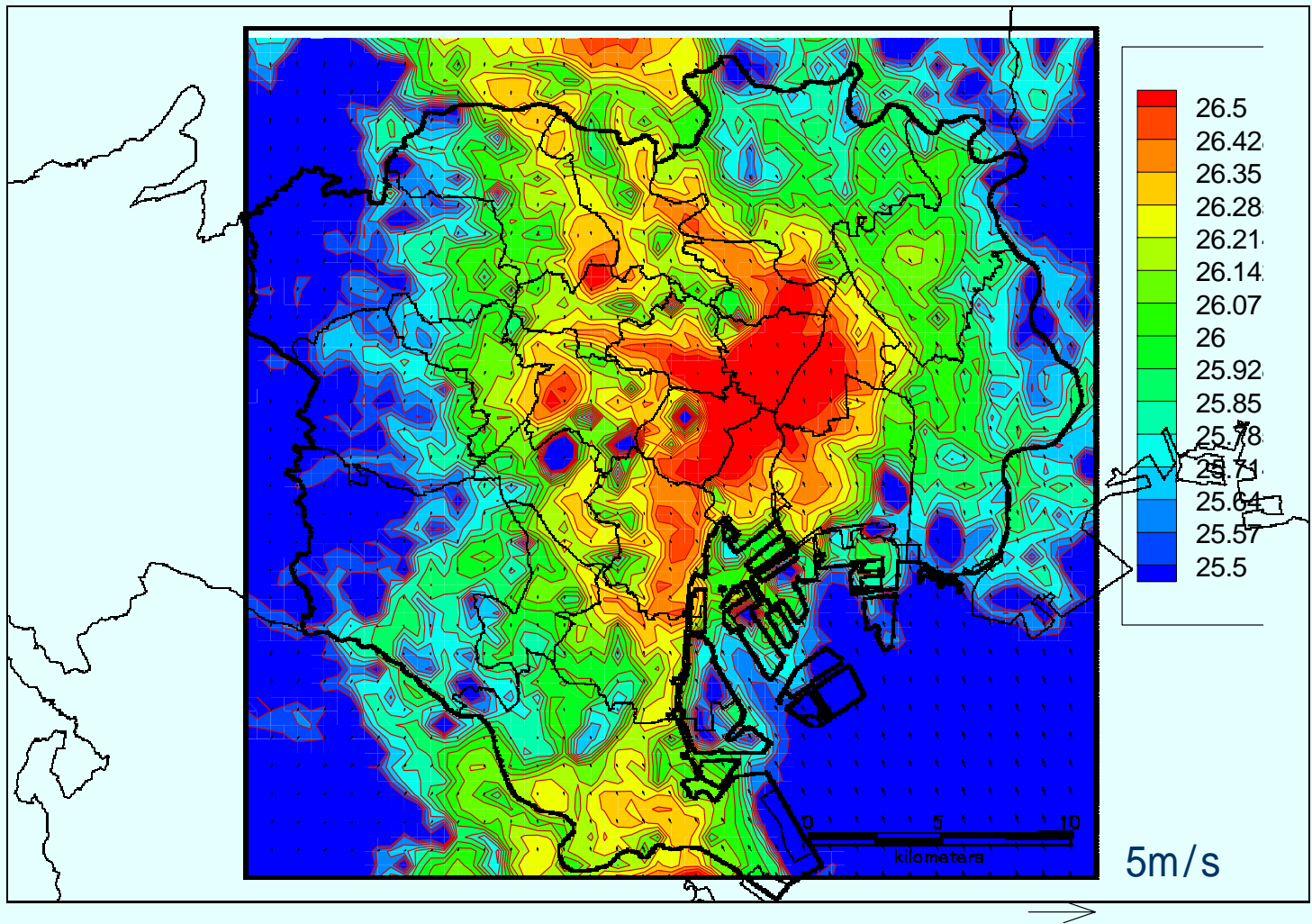
領域3 32.5km*32.5km 500m



UCSSによる計算結果(夏期14時・領域2)

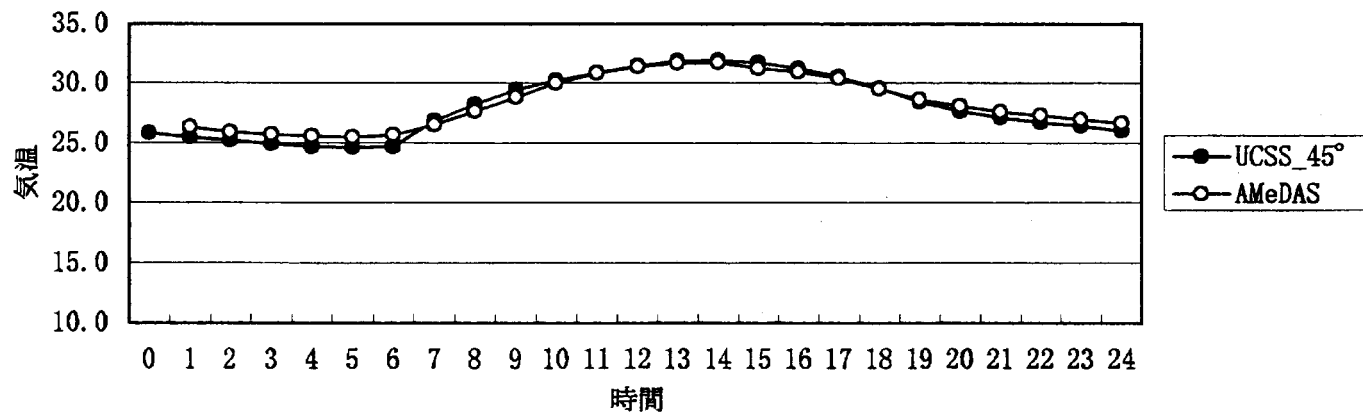


UCSSによる計算結果(夏期14時・領域3)^{5m/s}

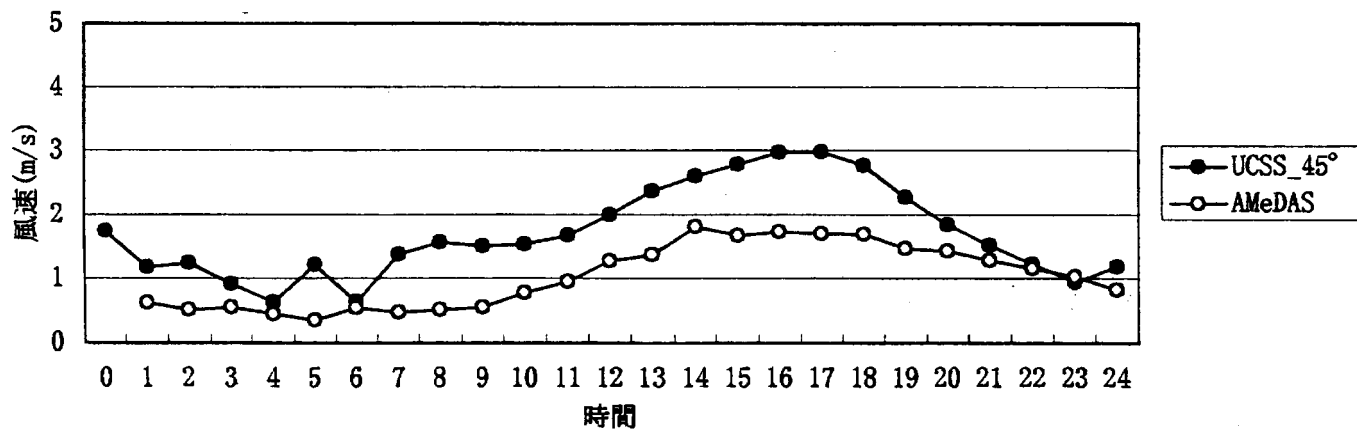


UCSSによる計算結果(夏期05時・領域3)

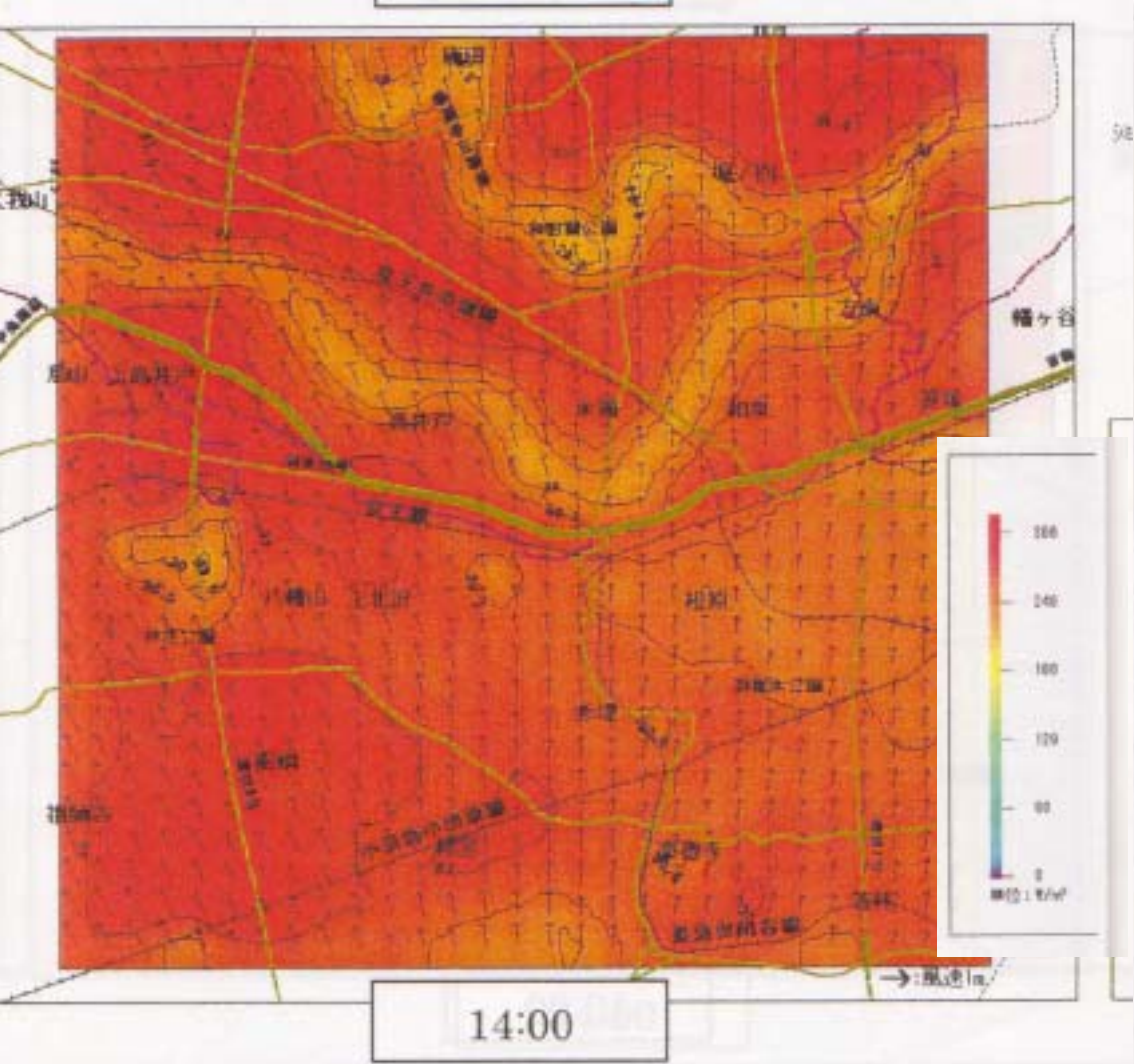
気温



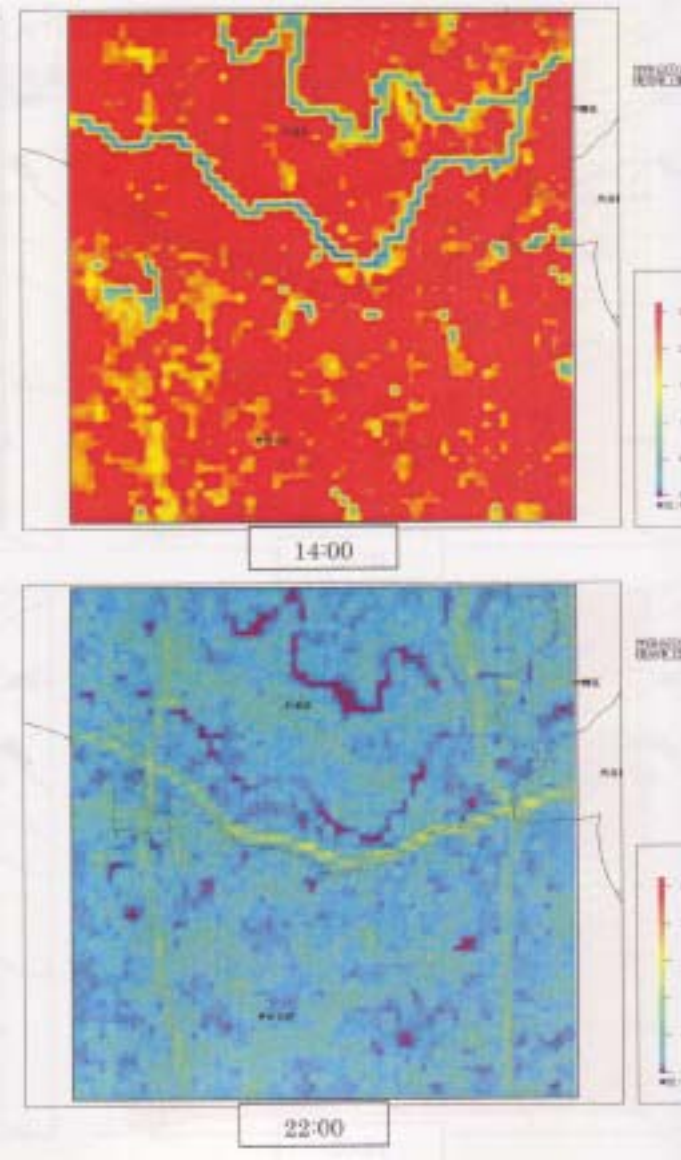
風速



UCSSの計算結果とアメダスの比較(東京)

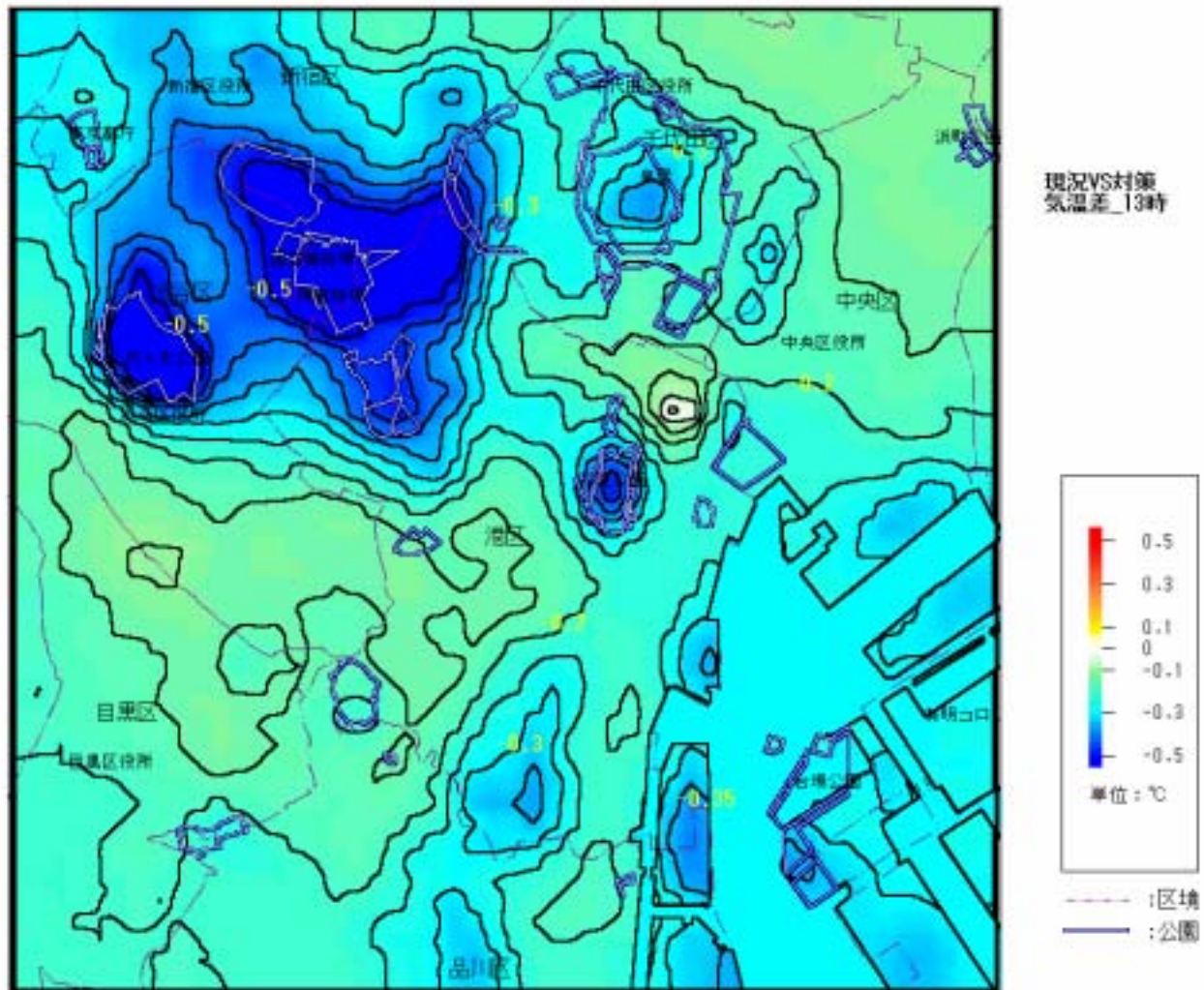


日中の気温、風の分布



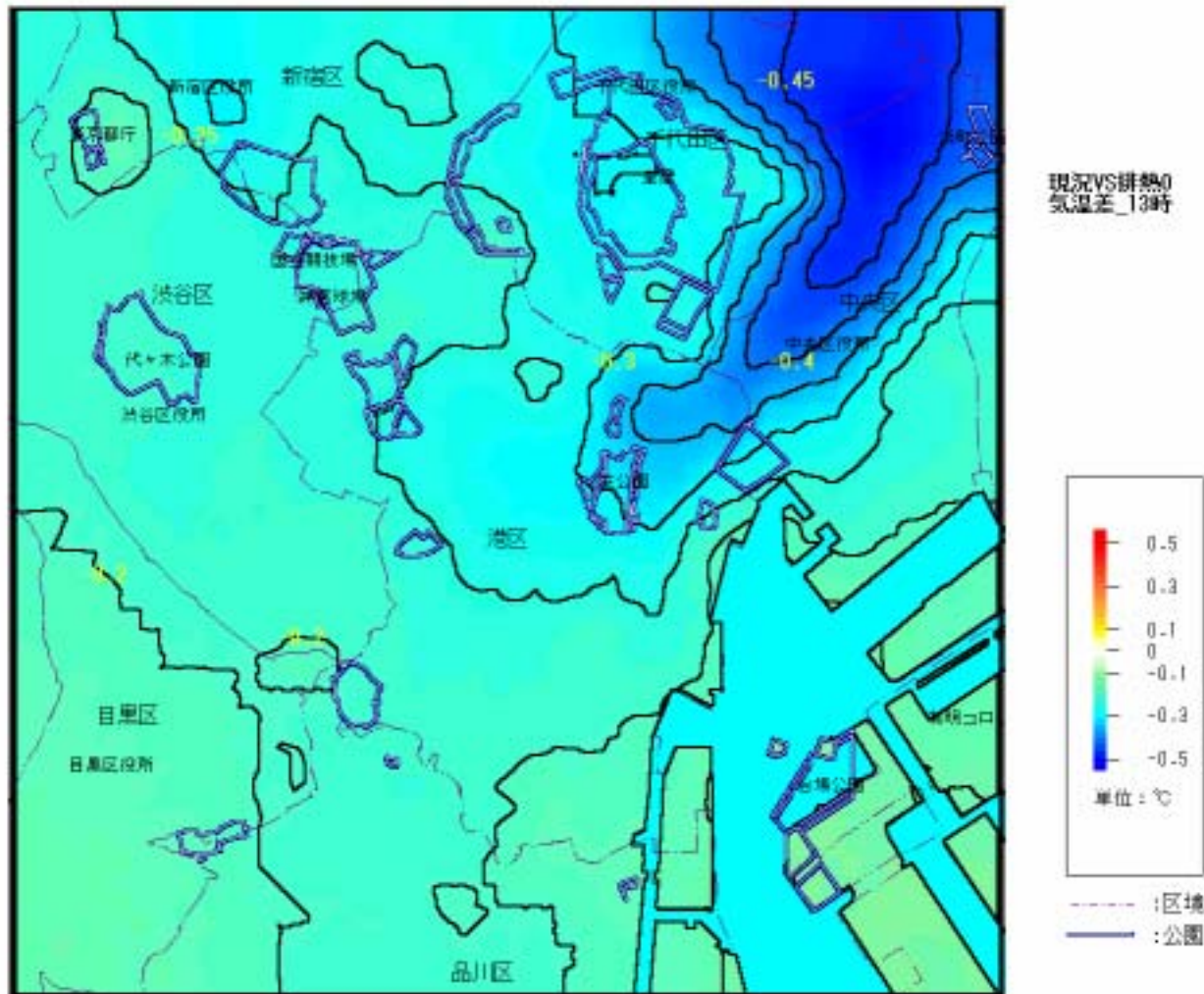
日中・夜間の大気熱負荷量(顕熱)

地区の解析事例 ~ 環境省報告書より



UCSSによる緑化対策の効果試算例(夏期13時)

都市計画課委員会資料より



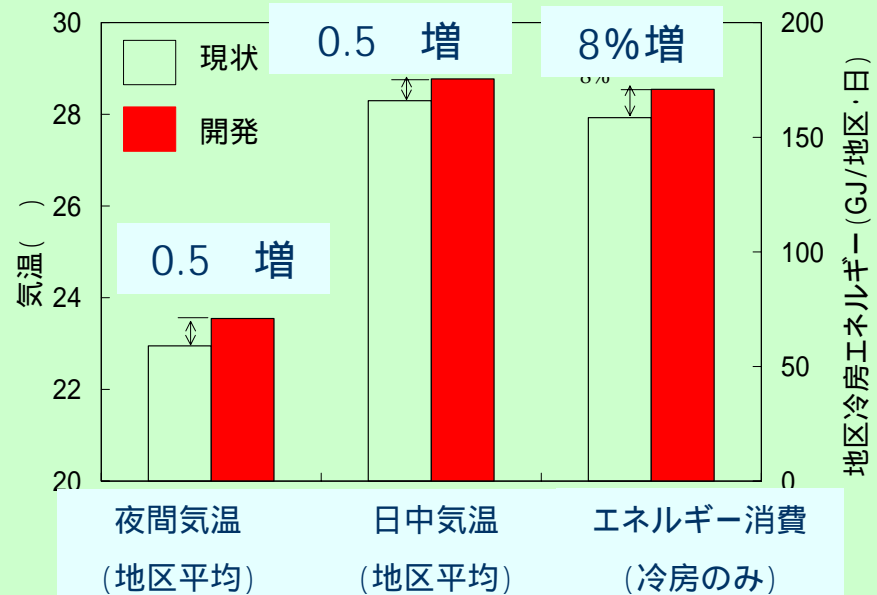
UCSSによる人工排熱対策の効果試算例(夏期13時)

都市計画課委員会資料より

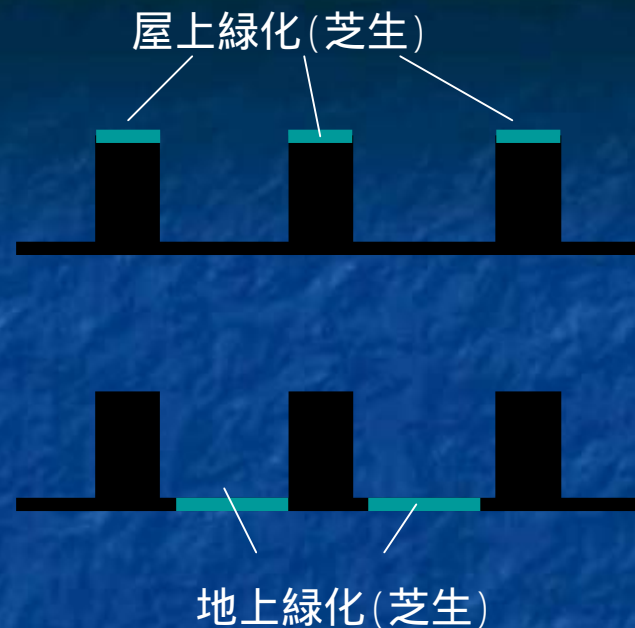
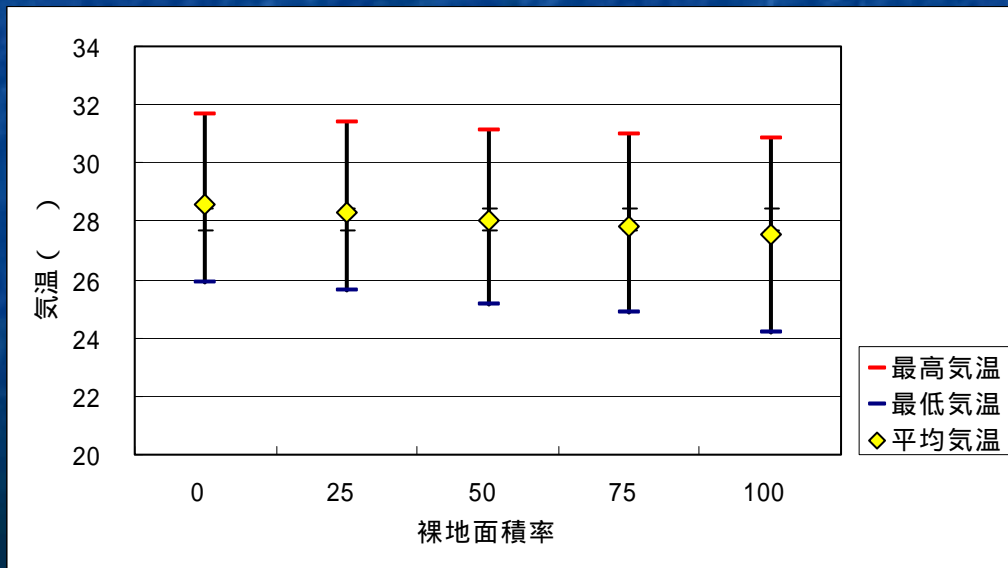
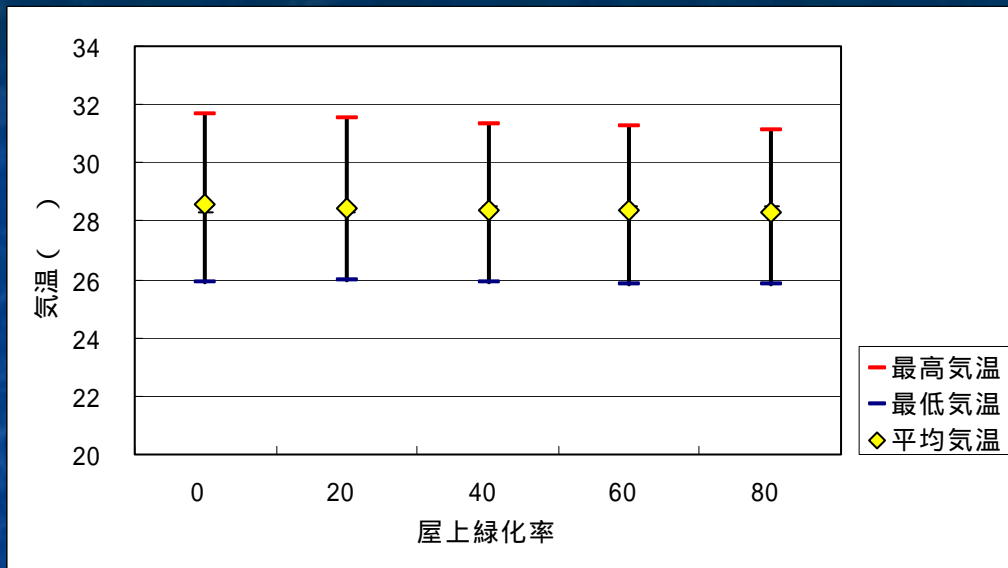
地域レベルのエネルギー評価の視点



開発により緑が消失し、アスファルト化したケースを想定



ヒートアイランド対策感度の提示



UCSSは屋上緑化と地上緑化の相違など従来モデルよりも詳細な都市構造を評価することができる

* 建坪率50%、6階の建物群（樹木率ゼロ）を例示

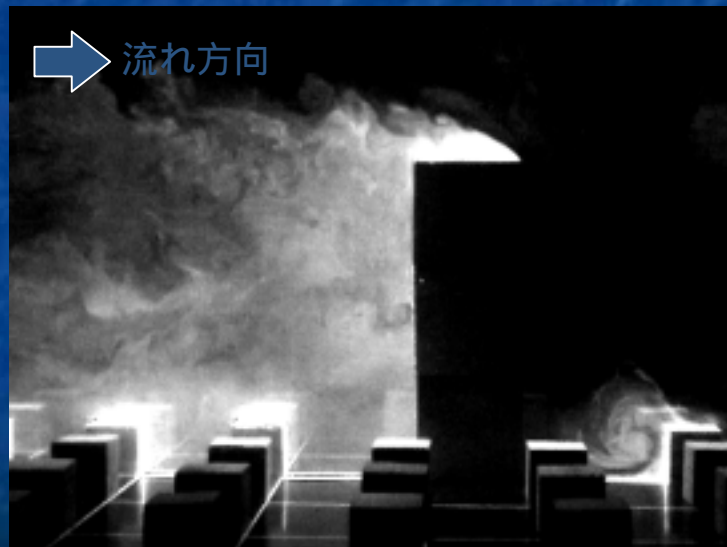
4 ヒートアイランド対策の事例

温度成層風洞による熱環境対策技術評価に関する研究

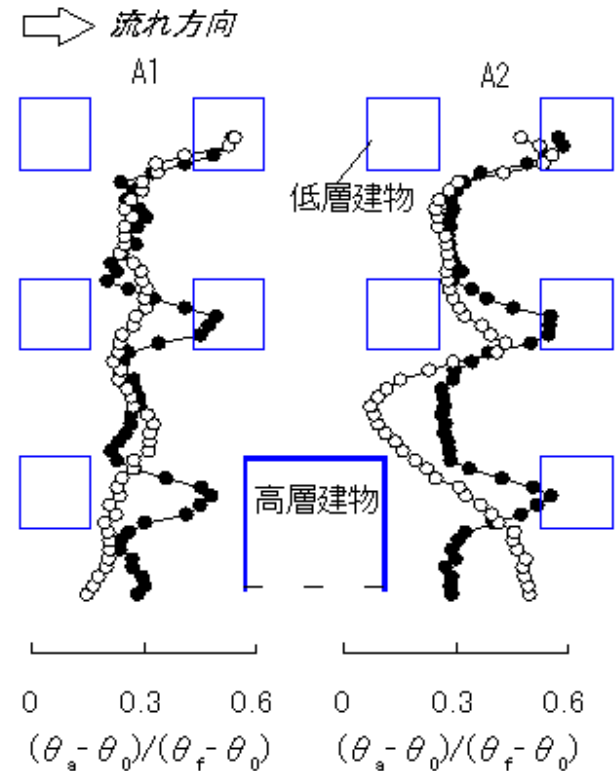
床面温度や温度成層条件を制御可能な風洞施設を用いて、建物・オープンスペースの配置や地表面被覆等による気温、風影響を把握

熱環境対策技術の評価に活用

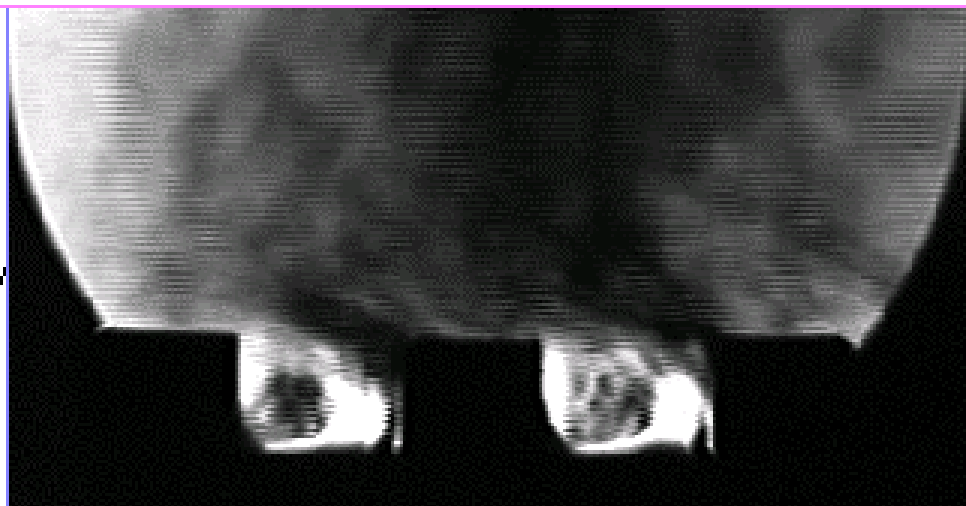
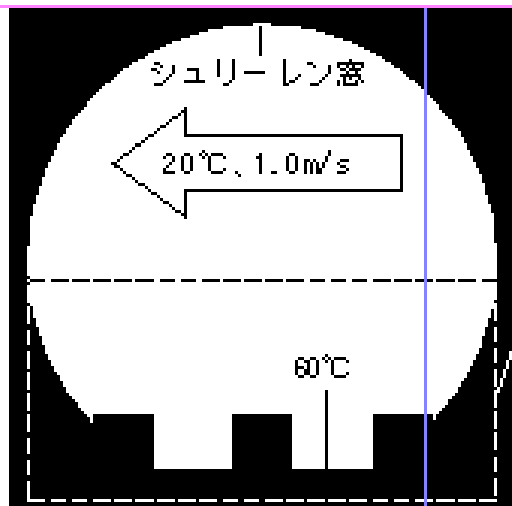
高層建物の導入前後の気温、風の変化を風洞実験で調べる



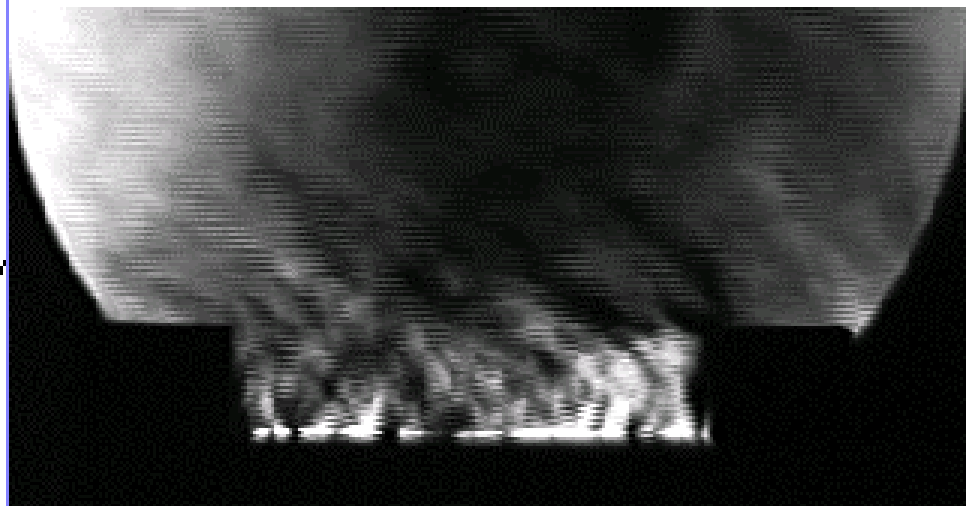
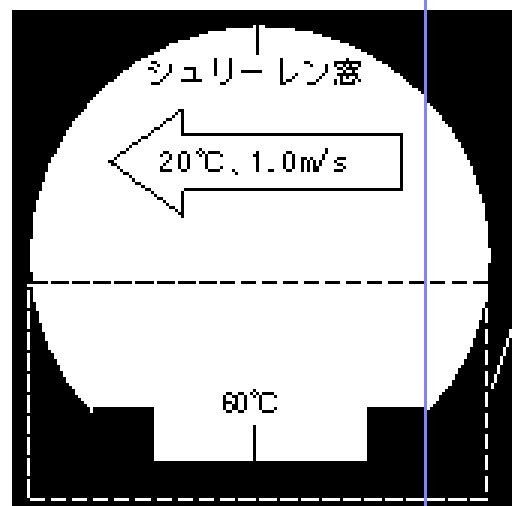
【建物周辺の風の分布】



【建物周辺の気温分布】

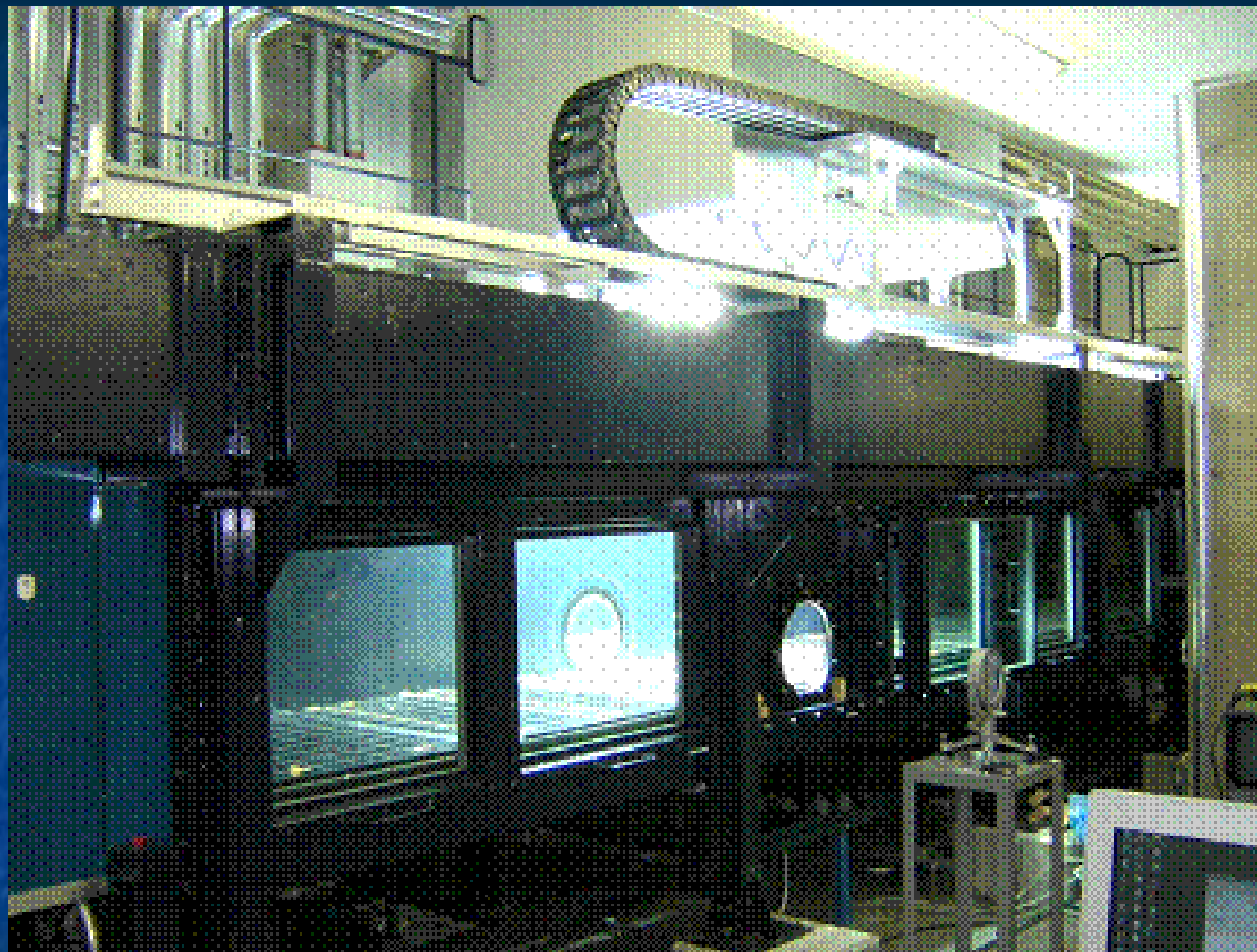


(a)建物間隔100mm



(b)建物間隔200mm

Fig. 5. 建物配置別シュリーレン画像



温度成層風洞 (建築研究所)

風洞実験による風環境調査

(尾島俊雄研究室と共同)

調査エリア:

港区 汐留・環状二号線新橋
周辺(都市再生緊急整備地域)

現状モデル

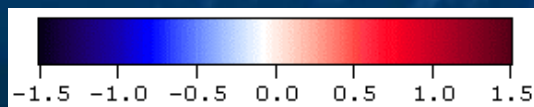
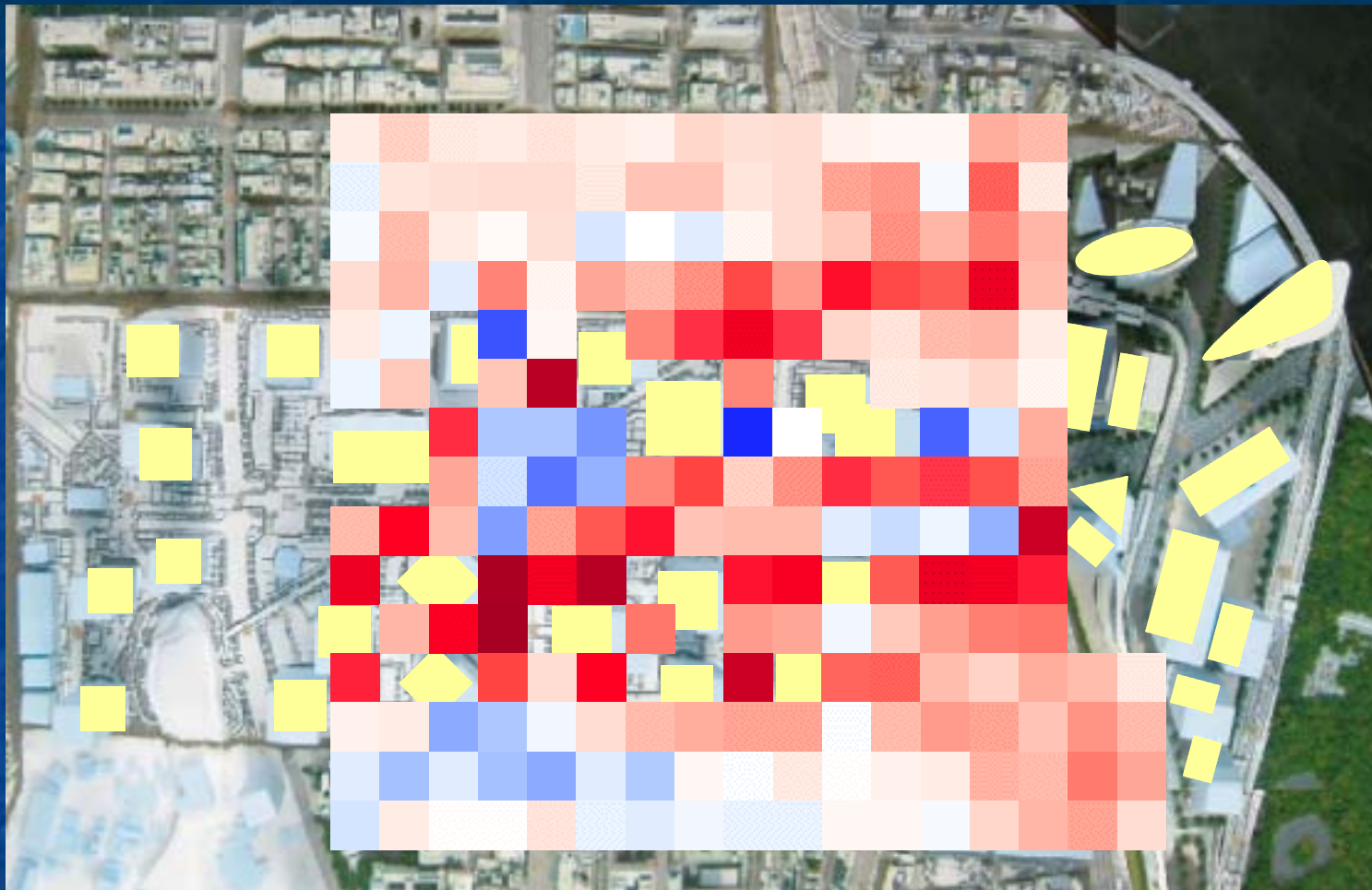


環二再開発モデル

各モデルの想定年時と都市形態

	想定年時	再開発	
		汐留地区	環二地
過去モデル	1995年	なし	なし
現状モデル	2005年	あり	なし
環二再開発モデル	2025年	あり	あり

現状・環二再開発モデルの比較



風速の増加した所
風速の減少した所

現状モデルと環二再開発モデルの風速(スカラー量)比較

まとめ

- 1 ヒートアイランドの原因とされている人工排熱の現況について調査事例を紹介した
- 2 ヒートアイランド対策立案のための各種調査におけるUCSSの活用事例を示した
- 3 風洞や数値シミュレーションによるヒートアイランド対策の事例を紹介した