

1. 本書のねらいと骨子

本調査は、ヒートアイランド現象（都市の熱大気汚染現象）について、アメダス等の既存データを用いてその実態と影響を把握するとともに、シミュレーションモデルを利用してその形成要因を分析し、対策を実施した場合の効果を予測することで、現象緩和のための対策のあり方を提示することを目的とした。

2. ヒートアイランド現象の実態

ヒートアイランド現象は、地表面被覆の人工化や人工排熱の増加、自然空間の喪失等がもたらした熱大気汚染であり、アメダス等のデータによれば、

- 1) 大都市では高温時間が長くなり、しかもその範囲が拡大している。
- 2) 中小都市でも熱帯夜の出現日数が増加している。

など、生活者が高温にさらされる時間が年々増加している。

表-1 30 を越えた延べ時間数

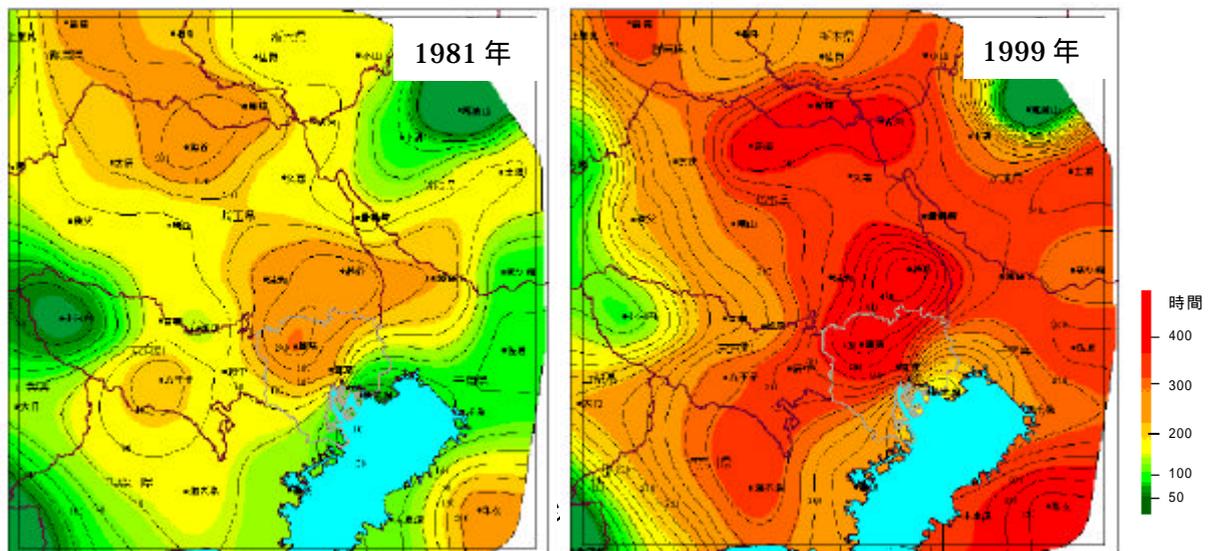
7～9月の「30 を越えた延べ時間数」を1980年から2000年のトレンドで推定すると、この約20年の間に東京、名古屋で約2倍、仙台で約3倍に時間数が増加している（表-1）。

	1980年の推計時間数	2000年の推計時間数
仙台	31 時間	90 時間
東京	168 時間	357 時間
名古屋	227 時間	434 時間

注) 各都市の代表1地点のアメダスによる

この30 を越えた延べ時間数を各アメダス地点で集計して等時間線を描くと、20年前に比べて等時間帯のエリアが周辺部に拡大している（図-2）。これに居住人口の分布をあわせて考えると高温に長時間さらされる人の数が20年前に比べて著しく拡大している。

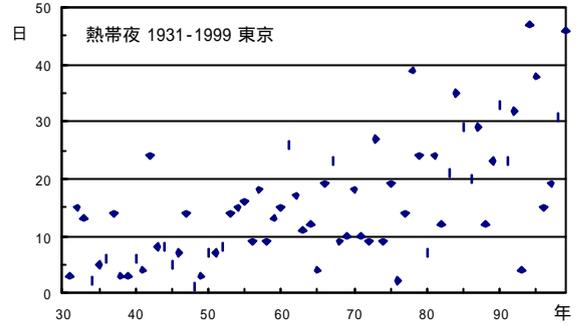
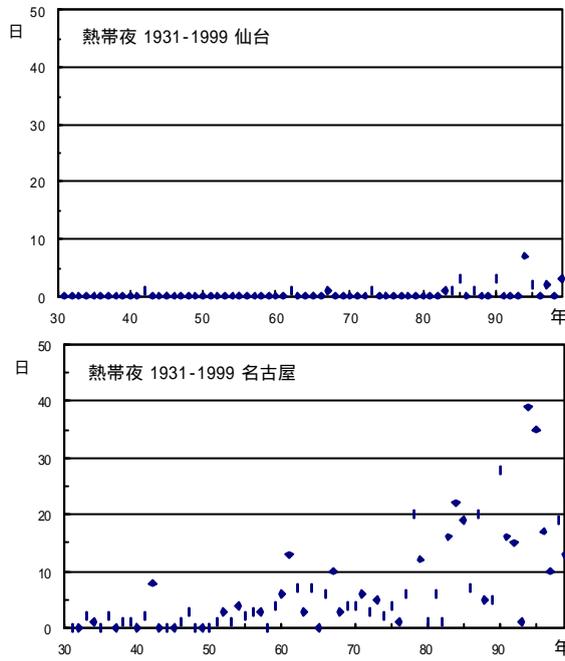
図-2 東京地域における高温延べ時間の広がり



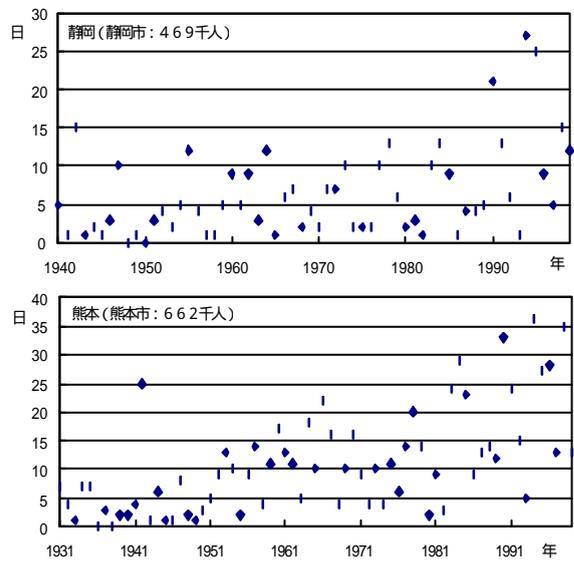
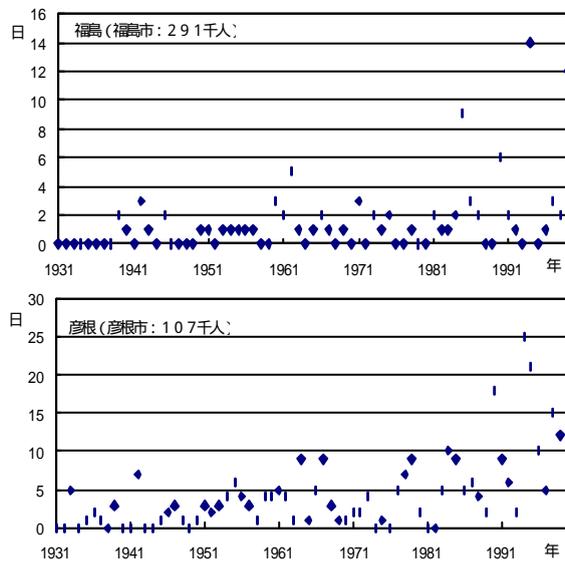
南北、臨海内陸、人口を問わず全国の都市で熱帯夜の出現日数が増加している（図-3）

図3 都市における熱帯夜の出現頻度の経年変化

大都市



中小都市



3. ヒートアイランド現象の影響と問題点

ヒートアイランド現象は、熱中症や睡眠障害など人への健康影響、植物の開花時期など生態系への影響、また冷房負荷の増大による夏季電力消費の増加などさまざまな影響を与えている。

東京都内で熱中症により救急搬送された人の数は年々増加する傾向にあり(図-4) 搬送人数と夏日(最高気温が25 以上) 熱帯夜の日数にも相関関係が見られた(図-5)。

夏季に冷房需要が集中して最大電力を押し上げることはよく知られている。東京電力管内(1都8県)で気温が1 上昇することにより、ピーク時の最大電力が約166万kW増加する(気温感応度という)。

これに対応した電力設備を石油火力で建設した場合、多額の投資が必要な上、オフピーク時には稼働率の低い非効率的な施設となる。

また、気温感応度166万kWをもとに東京23区の時間帯別気温感応度を推計し、この20年間の各時間帯の平均上昇気温(7~9月で約1.2)をかけて、1日当たりの電力需要の増加分を計算した。これをCO2排出量に換算し、夏季(7~9月)分を合計すると、20年前と気温が変わらなければ約29.5万tのCO2排出量が節約できることになる。

図-4 熱中症の搬送人員数の推移(3年移動平均)

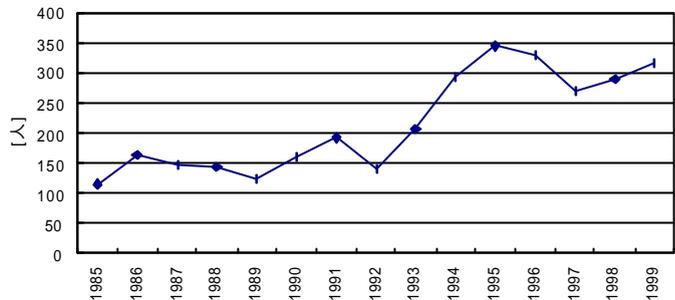
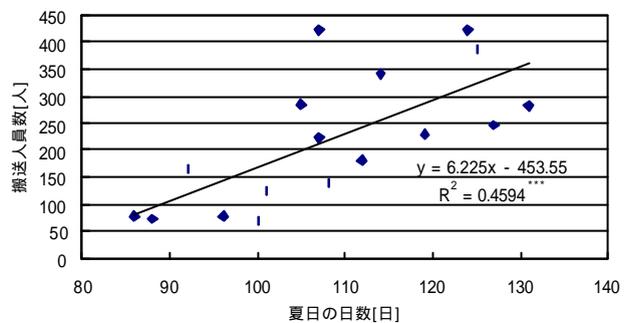


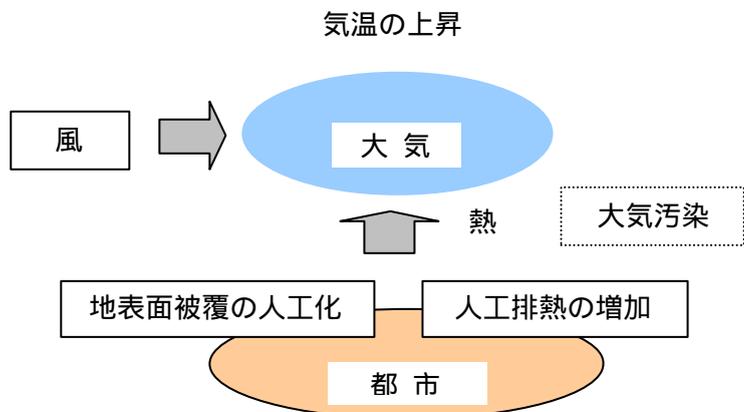
図-5 夏日と搬送人員数の関係



4. ヒートアイランド現象の形成要因と対策

ヒートアイランド現象は、建物やアスファルト舗装など地表面被覆の人工化と、産業活動や自動車、冷房機、OA機器等による人工排熱の増加が大きな原因となっている。

図-6 ヒートアイランド現象にかかわる要因の模式図



注) 大気汚染による温室効果については、必ずしも大気への熱負荷増加の一方向に働くとはいえない面がある。

ヒートアイランド対策としては次のようなものが考えられる。その効果はそれぞれの熱特性に応じて異なる。

表-2 対策メニューの特性分類

注) 効果の特性： A 効果大 B 効果中 C 効果小

対策メニュー	効果の特性	
	熱帯夜	昼間の高温化
(1)人工排熱の低減(削減と代替)		
・冷房温度の引き上げ等省エネによる排熱削減	B	B
・OA機器、民生用家電機器の効率向上による排熱の削減	B	B
・高効率な冷凍機、熱源機器の導入	B	B
・室外機の適正運転	B	B
・夜間システム運転の自粛	A	-
・建物緑化、保水性建材の適用による冷房負荷の削減	A	A
・壁面の淡色化、高反射率の屋根材による冷房負荷の削減	A	A
・交通需要マネジメントや低公害車、自転車の導入による排ガス削減	B	C
・未利用水、都市施設排熱、廃棄物の熱利用	B	B
・太陽光発電、太陽熱利用	B	B
(2)人工被覆物の改善(顕熱輸送の削減と潜熱輸送の拡大)		
・舗装材の色選択や保水性舗装の採用	B	B
・緑地等自然被覆の保全・整備	A	A
・街路空間の緑化・自然被覆化	B	B
・住宅・公共施設等の緑化・自然被覆化	B	B
・建物緑化、保水性建材の適用	A	A
・小河川の開渠化や公園における水面の設置	B	A
(3)都市形態の改善(移流の改善および総合)		
・ビルや道路の配置改善、風の道・水の道の積極的利用	B	B
・大規模な緑地の配置、業務施設の再配置など	A	A
・エネルギーや資源の有効利用による循環型都市	B	B

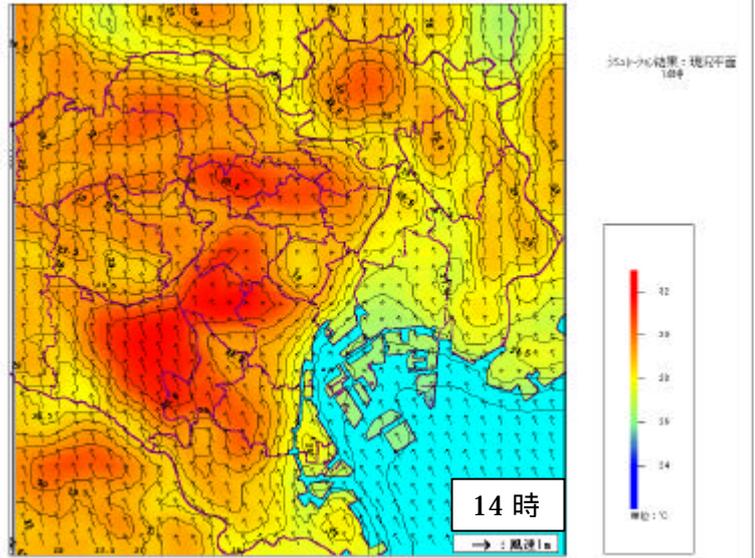
5. 都市スケールにおける熱大気汚染とその対策

仙台、東京、名古屋の広域スケール、東京 23 区スケール、区スケールのそれぞれのスケールにおいて、典型的な夏日の現況再現、将来動向、対策効果について U C S S（参考参照）を用いてシミュレーションを行った。

1) 東京 23 区の夏の昼間の気温分布

東京 23 区の午後 2 時は、港・渋谷・新宿区方面と豊島区方面に高温域が広がり、河川（荒川、隅田川、多摩川等）や皇居周辺、臨海部はこれに比べると気温が低くクールスポットを形成している（図-7）。この時間、都心部で放出される顕熱は $300\text{W}/\text{m}^2$ を超え、最も高いところでは $733\text{W}/\text{m}^2$ に達している。太陽から地表面に注がれる最大日射量約 $1,000\text{W}/\text{m}^2$ の 7 割に達しており、この状態が午後 6 時過ぎまで続く。

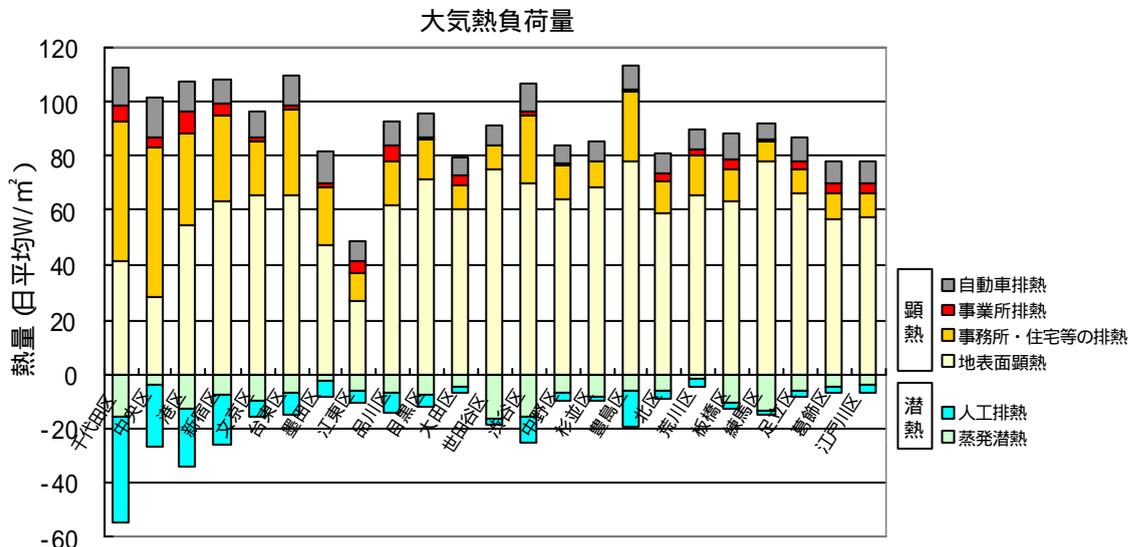
図-7 23 区シミュレーション(現況)



2) 区によって異なる熱の発生状況

熱大気汚染の原因となる熱の発生状況を区別に見ると、熱負荷量が最も大きいのは千代田区、次いで港、新宿、豊島、渋谷区などでいずれも商業業務地区を抱えた区である。一方、江東、葛飾、江戸川、大田区は熱負荷量が小さい（図-8）。また、大気を直接暖める顕熱（グラフの上半分）の内容を見ると、千代田区では人工排熱の割合が高く、豊島区は地表面被覆による対流顕熱が多いなど、区によって異なるため、対策もこれに合わせて考える必要がある。

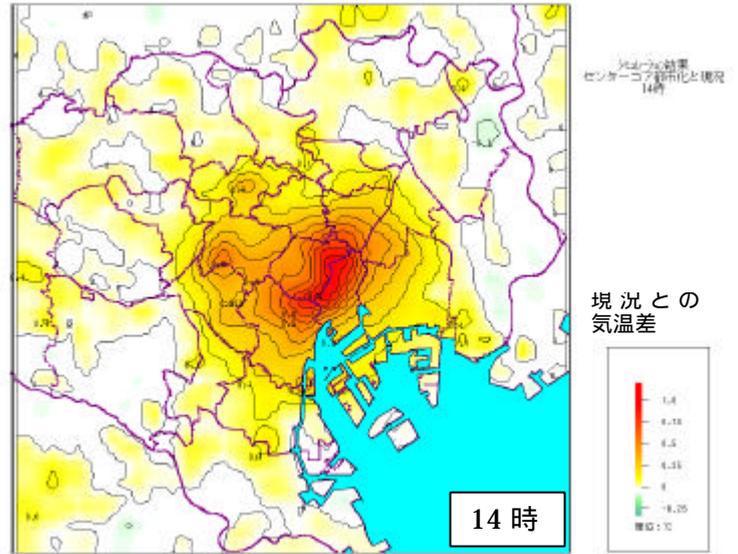
図-8 23 区別顕熱・潜熱の分布



3) 都市化の進行によるヒートアイランド現象の深刻化

環状6号の内側に当たる都心部でさらに都市化が進んだ場合(容積率20%、自動車交通量30%、建物排熱50%上昇を想定)は、都心部を中心に午後2時で現況よりも気温が約0.5高い地区が出現し、大手町から新橋にかけての地区は約1 上昇する(図-9)。こうした高温域は夜間まで引き続く。30 を超える地区の面積を時間毎に求め合計した30 時間・面積は現況の1.34 倍になり、高温にさらされる可能性が今よりも数段高くなる。

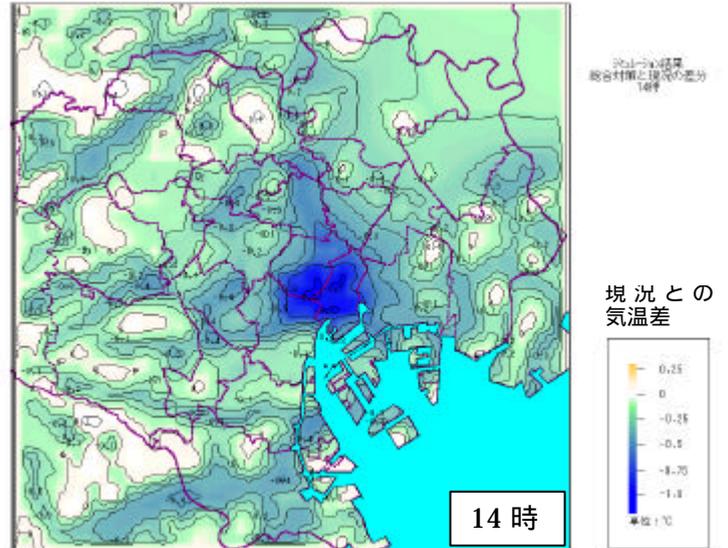
図-9 23 区シミュレーション(都市化進行)



4) 総合対策によるヒートアイランド現象の低減効果

現況に対して23区で総合対策を講じた場合(建物排熱50%削減、自動車排熱20%削減、舗装面の50%に保水性舗装、建物屋上の50%緑化を想定)都心部の気温は最大0.7 低減される(図-10)。低減が大きなのは中央・千代田・港区にかけてのビジネス地区や幹線道路の大きな交差点部などに見られる。この状態は事業所の終業時まで続き、夜間(10時)になると極端な低減域はなくなるが、23区全体にわたって0.2 程度の気温低減が見られる。また、30 を超える時間・面積は現況に比べて21.3%低減される。

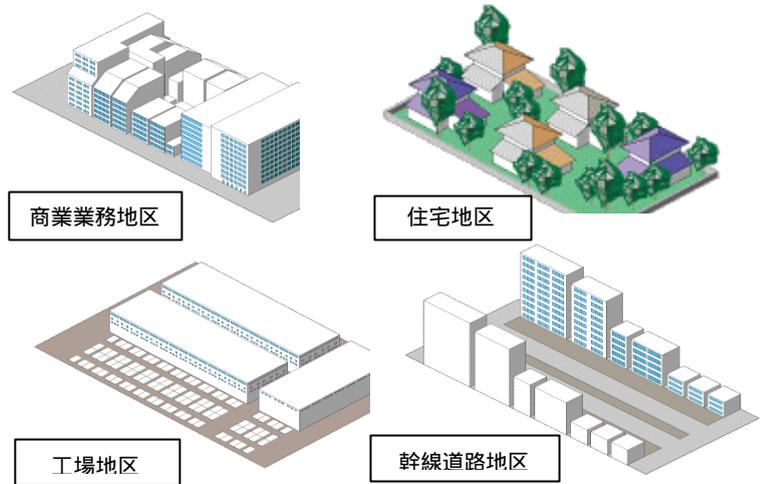
図-10 23 区シミュレーション(総合対策)



6. 街区スケールにおける熱大気汚染対策の検討

全国各都市に見られる土地利用として、1) 商業業務地区、2) 住宅地区、3) 工場地区、4) 幹線道路沿道地区をモデルに(図-11)地表面被覆の表面温度を求めるシミュレーションを行い、その結果からHIP(ヒートアイランドポテンシャル: 気温と全表面温度の平均的な差:)(参考参照)を求めた。対策として、緑化、保水性舗装、反射率向上などを実施した場合の効果を検討した。

図-11 モデル街区



1) 地表面の緑化

高木による緑化は蒸発散作用とあわせて緑陰を作り地表面の表面温度上昇を抑制する効果がある。緑陰部の表面温度は、概ね舗装面で「気温 + 3」以内に抑えられる。

2) 屋上緑化と壁面緑化

壁面緑化は日中の高温対策としては屋上緑化と同程度の効果がある。また、壁面緑化については、なるべく日射時間の長い壁面から緑化する方が効果的である。

3) 舗装の保水化

幹線道路沿道などのように街区内の舗装面積が大きい場合には、舗装の保水化は効果が大きく、夜間には緑化と変わらない効果が期待できる。

4) 反射率の向上

商業地区などにおける屋上面の反射率の向上は高い効果が期待されるが、建物が錯綜した空間での反射光の行方に注意するなど、対策を講じるにあたってはさらに検討する必要がある。

図-12 表面温度分布

(商業業務地区 50%緑化 午後1時)

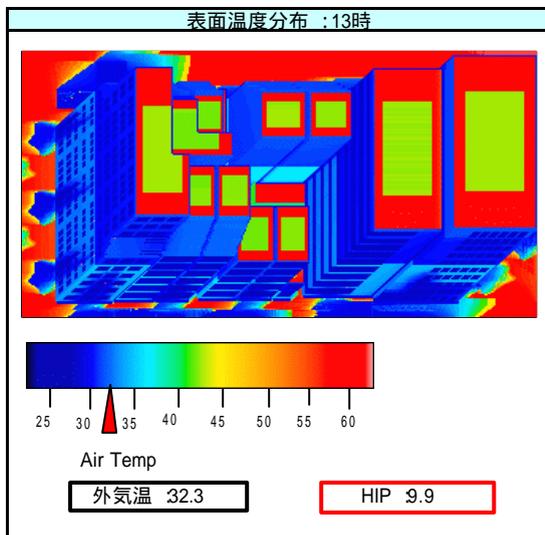
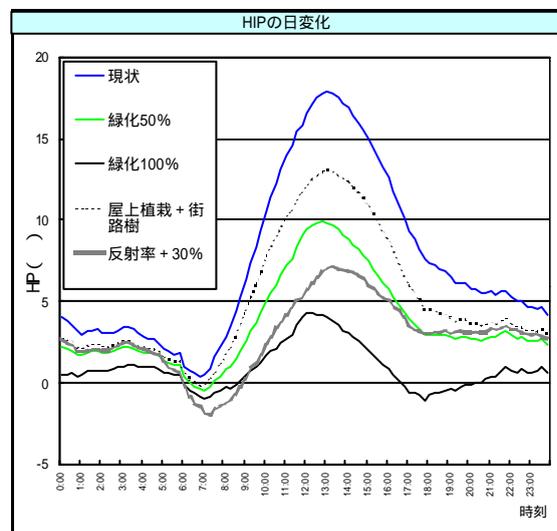


図-13 商業業務地区HIP日変化



7. 総括

ヒートアイランド現象（熱大気汚染）は全国各都市で着実に進行しており、熱中症などの健康被害や生態系への影響が現れている。そのペースは地球温暖化による気温上昇が百年で0.6～0.7であるのに対し、ヒートアイランドはこの20年間で0.4～0.6と遙かに早いペースで進んでいる。

しかし、そのメカニズムは複雑で、要因となる地表面被覆と人工排熱、さらにそれらの分布（都市構造）や地形・気象条件などが相互に影響し合い、時々刻々の変化を示す。また、広域的な気象や四季の変化によっても影響を受け、夏季の対策が冬季には逆効果になる場合も想定される。このため対策としてもさまざまなものを組み合わせ、そのバランスを見ながら実施することが有効である。

このためには、第1に対象都市の地域熱特性を把握することが必要である。

すなわち、都市の自然条件（地形、気温・風向風速の分布等）、土地利用、人口・事業活動の集積とエネルギー消費、緑の分布などから把握される熱特性（地表面被覆による顕熱・潜熱、人工排熱）を把握しマップ化する。

第2に、現在、ヒートアイランドに効果があるとされている技術も必ずしも総合的・統一的な評価が行われているわけではなく、一面的な評価に終わっているものが少なくない。このため、対策技術の相対的評価、地域特性に応じた評価が困難になっており、対策技術の統一的評価が必要である。

第3に地方自治体が自らシミュレーションできる簡易なツールの開発である。本調査で実施したシミュレーションは大量のデータを使用した複雑なモデル計算を行っており、一般の利用にあたっては困難が予想される。地方自治体にも活用できる簡易なシミュレーション手法を開発する必要がある。

第4に熱大気汚染防止計画として体系化し計画的に取り組むことが重要である。

熱大気汚染対策は大規模な緑地造成のような都市改造もさることながら、屋上や壁面の緑化、家庭や事務所での省エネルギーなど個々の対策を積み上げて達成される部分が多く、継続的な取り組みを担保するためにも計画策定が望ましい。

この他、定量的な指標の開発があげられる。例えば、熱帯夜の日数や本調査で使用した30を超過する延べ時間・エリアなどわかりやすい評価指標、あるいは体感温度のようなより実感に近い指標を開発するとともに、地域特性に応じた指標の設定方法などを開発し、ガイドラインとして提供していく必要がある。

さらに熱大気汚染対策は、これまでの研究段階から行政の施策レベルへの移行段階にあり、実践の事例が決定的に不足している。これを早急に解消するためには、モデル地域等で先駆的な取り組みを行い対策に関する知見を蓄積していく必要がある。

(参考)

UCSS (都市気候予測システム ; Urban Climate Simulation System)

独立行政法人建築研究所足永靖信研究室と埼玉大学ヴタンカ研究室は、都市建築が都市気候に及ぼす影響を予測する数値モデルを共同開発し、都市 GIS とともにシステム化したものをUCSSと称している。UCSSは、風の性質や対策規模等に対応したいくつかのモデルを装備しそれらをネスティング(結合)することにより様々なスケールのヒートアイランド対策の評価を行うことが可能である。解析する主な項目は、気温、湿度、風向、風速、放射であり、これらが都市空間内でどのように分布するかを時々刻々に予測することが出来る。

HIP (ヒートアイランド潜在力 ; Heat Island Potential)

HIPは、開発等の対象となる敷地や街区が、周囲に及ぼす環境影響の指標として、ヒートアイランドを起こし得る度合いを評価するために、東京工業大学梅干野(ホヤノ)研究室が提案したものであり、建物や地面など全ての表面から発生する顕熱の敷地または街区の面積に対する割合として定義される。HIPは対象地の全表面温度から求まり、その算出には同研究室で開発した全表面熱収支シミュレーション手法を使用する。これは、計画図面(建物の配置・形状・材料、地表面被覆、植栽配置等)を3D-CAD入力し、気象条件・空間形状・材料の熱的特性に基づいて全表面温度を算出するものである。