

「平成 22 年度熱中症とヒートアイランド現象の関係解析業務」調査結果概要

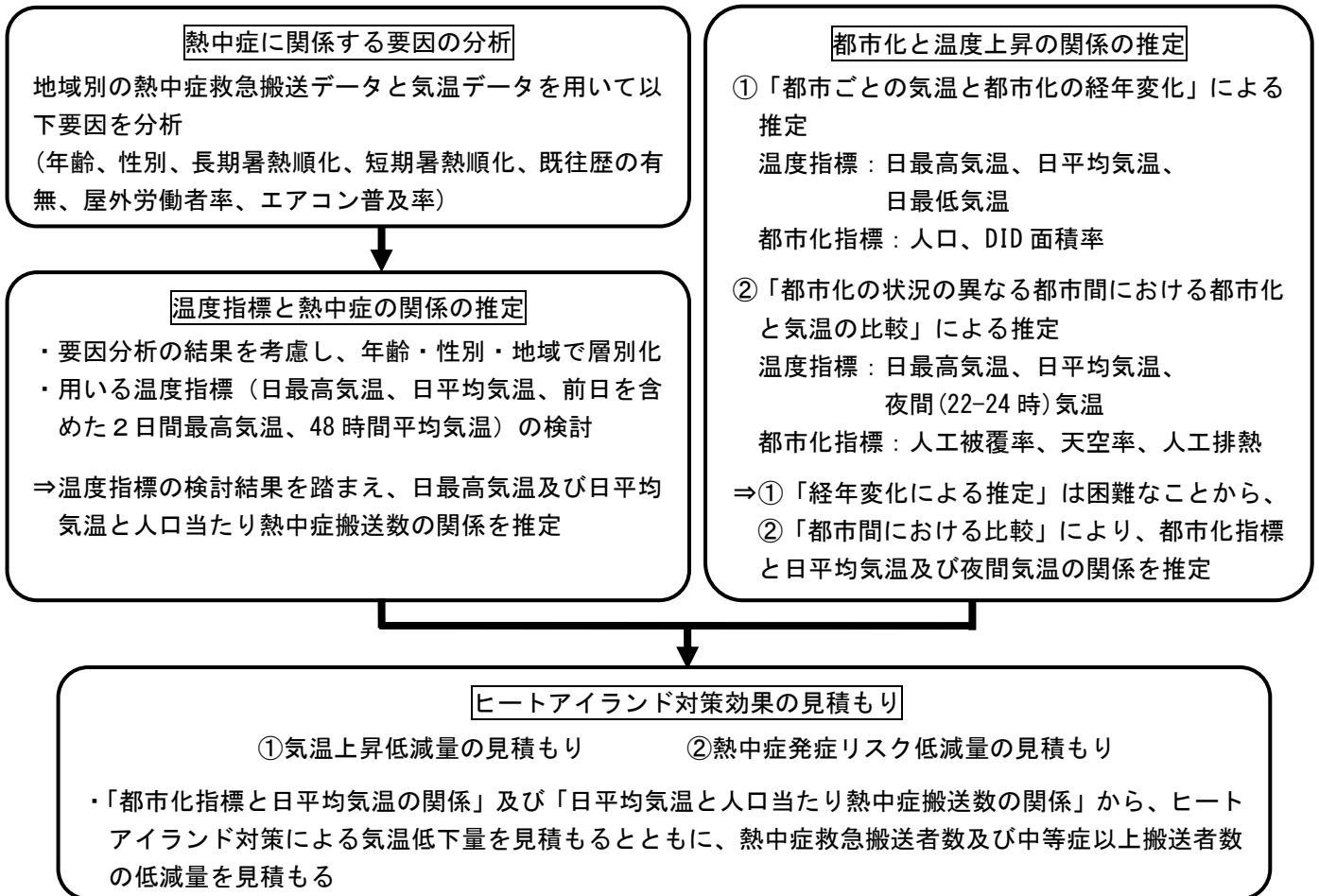
1. 調査目的

日本の都市、例えば東京(大手町)では、この 100 年間で気温が約 3℃上昇している。これらの気温の上昇はヒートアイランド現象の影響が大きいと思われる。加えて、夏季の気温の上昇に伴い熱中症による救急搬送者数が増えており、このような気温の上昇が熱中症に及ぼす影響が懸念されている。

そこで、温度上昇と熱中症との関係を整理し、併せて都市化と温度上昇の関係を把握することによって、ヒートアイランド対策を講じればどの程度温度上昇を軽減することができるか、更には、どの程度熱中症発症リスクを低減させることができるのか、調査を行った。

2. 調査方法

調査については、①温度指標と熱中症の関係、②都市化と温度上昇の関係についてそれぞれ検討した上で、これらの検討結果から得られる知見を基に、最終的にヒートアイランド対策による熱中症発症リスク低減量の見積もりを行った。



<熱中症救急搬送データについて>

アメダス・気象台のある全国 109 市区町村¹の消防局における、2008~2010 年 6~9 月の熱中症救急搬送データ、計 33,231 データ(全国の全搬送数の約 35%)を使用

¹ 首都圏・中部圏・近畿圏については、環境省「平成 18 年度ヒートアイランド現象の実態把握及び対策評価手法に関する調査報告書」(平成 19 年 3 月)により、観測地点の状況が把握されている市区町村を選定

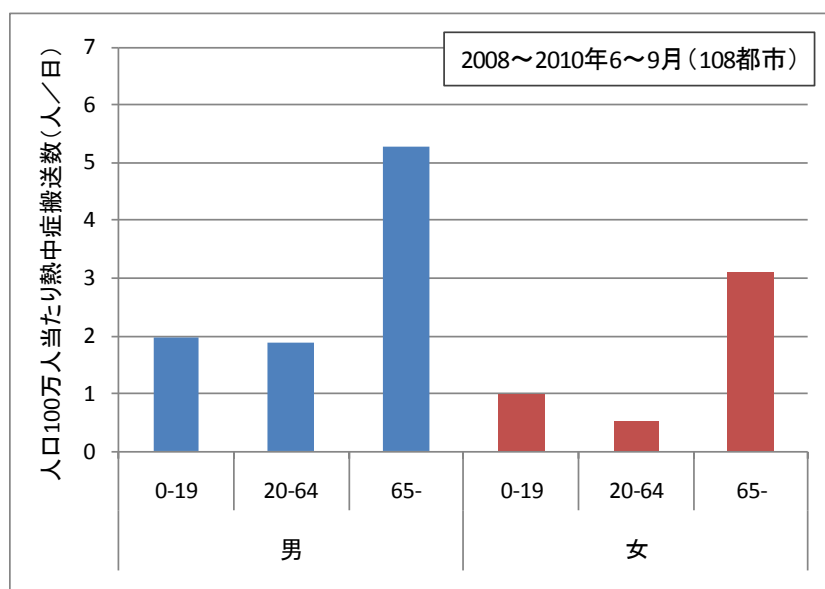
3. 調査結果

3. 1 熱中症の要因分析

熱中症搬送数に関連すると考えられる要因（年齢、性別、長期暑熱順化(居住地の温度環境への慣れ)、短期暑熱順化(数日～十数日間の温度変化への慣れ)、既往歴の有無、屋外労働、エアコン使用)について、関連性を分析した。その結果、年齢、性別、長期暑熱順化等が熱中症搬送数に影響することが分かった。なお、年齢、性別について詳しく検討したが、熱中症搬送数の傾向を踏まえ、本調査では0-19歳、20-64歳、65歳以上の区分で行うのが適切と判断した。

年齢の影響については、65歳以上では人口当たりの搬送数が他の年齢階級より高く、20-64歳と比較すると、男性では約2.5倍、女性では約6倍であり、高齢者が熱的弱者であることが裏付けられた。

性別の影響については、男性の方が女性よりも人口当たりの搬送数が高く、0-19歳及び65歳以上では約2倍、20-64歳以上では約4倍もの違いが見られ、男性で屋外労働作業者が多いといった男女の社会的な違いが影響している可能性が示唆された。



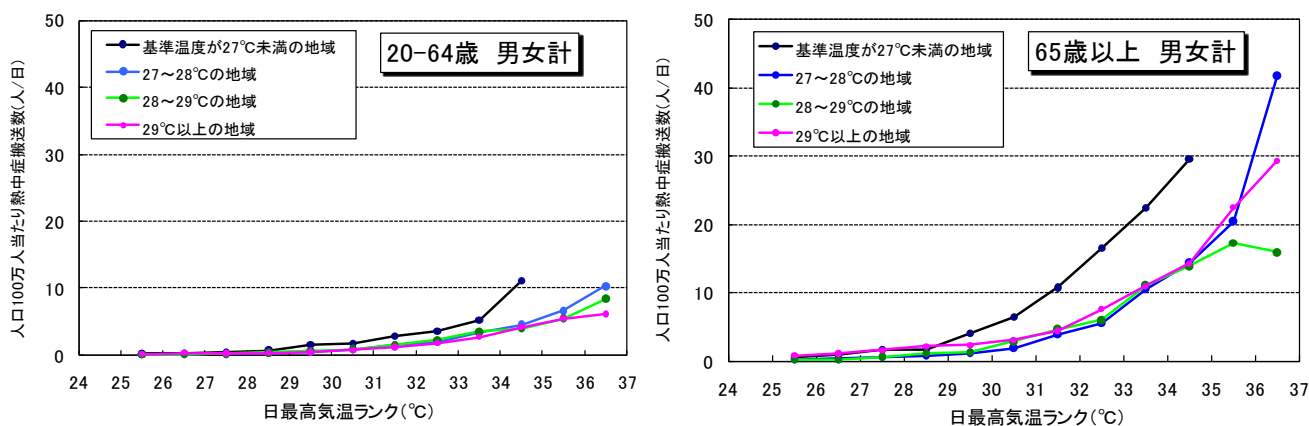
※大阪府・八尾市は個別の熱中症搬送データがないため除いた

図1 熱中症搬送データの年齢階級別、男女別集計結果

$$\text{年齢別人口百万人あたりの熱中症搬送数(人/日)} = \frac{\sum_{\text{city } i}^n \text{CASE}_{i, \text{年齢別}}}{\sum_{\text{city } i}^n (\text{POP}_{i, \text{年齢別}} \times \text{DAY})} \times 1,000,000$$

ここで、ある都市(City i)の年齢別の熱中症搬送数を $\text{CASE}_{i, \text{年齢別}}$ 、出現日数を DAY 、当該都市の年齢別夜間人口を $\text{POP}_{i, \text{年齢別}}$ とする

また、地域ごとの各年の日最高気温の年間 80 パーセンタイル値²をその地域の熱的特性を示す基準温度(※1)とし、本調査では 2000 年から 2009 年までの 10 年間の平均値を用いた。基準温度のランク別に地域をグループ化して日最高気温と人口当たり搬送数の関係を整理した。基準温度が 27℃未満の涼しい地域は日最高気温に対する人口当たり熱中症搬送数が高く、20-64 歳及び 65 歳以上共に 27℃以上の地域と比べるとおよそ 2 倍である。また、基準温度 27℃未満の地域は 27℃以上の地域と比べてより低い日最高気温ランクから搬送数が増加していることが分かった。一方で、27℃以上の地域では基準温度による差異があまり見られなかった。



基準温度(※1)分類基準	該当都市
27℃未満の地域	北海道地方、東北地方、長野市、新潟市など 7 地域
27℃以上 28℃未満の地域	金沢市、長野市、さいたま市など 12 地域
28℃以上 29℃未満の地域	東京都、鳥取市、広島市、福岡市など 9 地域
29℃以上の地域	名古屋市、京都市、鹿児島市、那覇市など 9 地域

(※1) 基準温度 = $\frac{\sum_{y=2000}^{2009} T_{\max 80y}}{10 \text{年間}}$ ここで、 $T_{\max 80y}$: y 年における日最高気温(365 データ)の 80 パーセンタイルである

図2 人口当たり熱中症搬送数への基準温度の影響(全国 37 都市)

他の要因(既往歴の有無、屋外労働、エアコン使用)の影響については、データが少ないため、関係性の十分な検討は行えなかった。

なお救急搬送データの補完・対象データとして、熱中症患者に関する詳細な情報(既往歴の有無、新分類による重症度※2)が記録されている HeatstrokeSTUDY を既往歴の有無と熱中症との関連性及び重症割合と年齢の関係の検討に用いた。

※2 : 安岡他(1999)³による、臨床的視点からの熱中症の重症度分類。分類は I ~ III 度の 3 段階で定義され、I 度は従来の軽度(熱けいれん、熱失神)、II 度は中等度(熱疲労)、III 度は重度(熱射病)に相当する。

² Yasushi HONDA, Michinori KABUTO, Masaji ONO and Iwao UCHIYAMA : Determination of Optimum Daily Maximum Temperature Using Climate Data, Environmental Health and Preventive Medicine 12, 209-216, September 2007 により、日最高気温の年間 80 パーセンタイル値と集団の死亡状況の関連性が指摘されている。

³ 安岡正蔵、赤居正美、有賀徹、斎藤勇、渡会公治、川原貴 : 熱中症(暑熱障害)1~3度分類の提案 熱中症新分類の臨床的意義, 救急医学, 23(9), pp. 1119-1123, 1999

3. 2 温度指標と人口当たり熱中症搬送数の関係

3.1の結果を踏まえ、温度指標と人口当たり熱中症搬送数の関係を推定する際には、年齢・性別・基準温度(27℃)により層別化して、日最高気温及び日平均気温と人口当たり熱中症搬送数との関係を整理した。

基準温度 27℃未満の比較的涼しい地域では、日最高気温 29℃以上、日平均気温 25℃以上で人口当たり熱中症搬送数が増加し始めていた。それに対し、基準温度 27℃以上の比較的暑い地域では、日最高気温 30℃以上、日平均気温 26℃以上で人口当たり熱中症搬送数が増加し始めている。同じ気温における人口当たり熱中症搬送数も異なり、例えば男性の 65 歳以上で見ると、日最高気温 32℃では、涼しい地域の人口当たり熱中症搬送数は、暑い地域のおよそ 2 倍であった。

また、年齢階級が高いほど気温の上昇に伴う人口当たり熱中症搬送者数の増加量は大きく、日最高気温が約 35℃の時、暑い地域における 65 歳以上の人口当たり熱中症搬送数は、男性では 0-19 歳及び 20-64 歳のおよそ 3 倍であった。女性では 20-64 歳の約 5 倍、0-19 歳の約 3 倍であった。

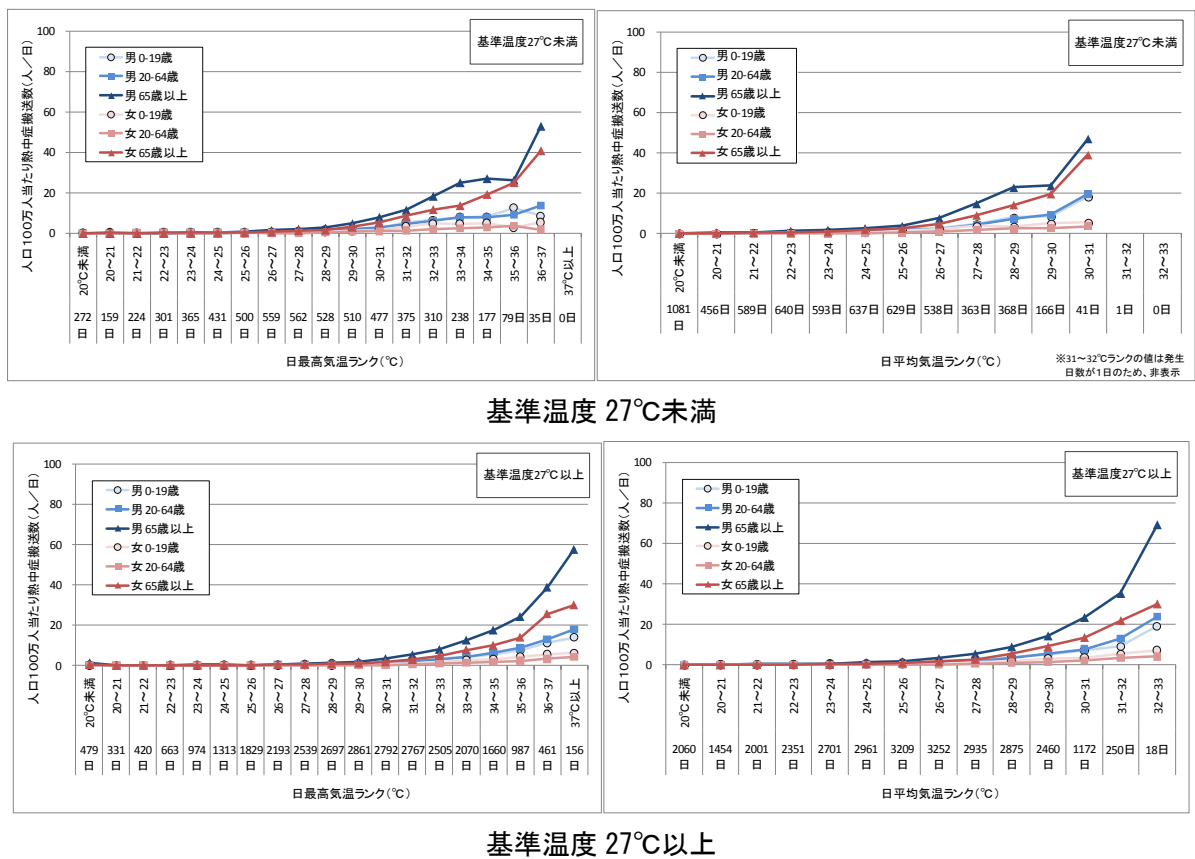


図 3 温度指標と人口 100 万人当たり熱中症搬送数の関係
(2008~2010 年 6~9 月、全国 107 市区町村)

3. 3 都市化と温度上昇の関係の作成

都市化と温度上昇の関係は、以下の2つの手法により検討した。

①「都市ごとの都市化指標及び温度指標の経年変化」による検討（全国30都市）

温度指標：8月の日最高気温、日平均気温、日最低気温

都市化指標：人口、DID面積率（※）

※) 検討対象領域における人口集中地区(DID:4000人/km²以上の基本単位区が連担し、隣接基本単位区との合計が5000人以上の地域)の割合

②「都市化の状況の異なる都市間における気温の比較」による検討（首都圏、中部圏、近畿圏）

温度指標：7～8月の日最高気温、日平均気温、夜間(22-24時)気温

都市化指標：人工被覆率、天空率、

人工排熱フラックス(単位面積・単位時間当たりの人工排熱発生量)

その結果、①の方法は、各都市の温度指標の経年変化における都市化の寄与分を分離することが難しく、また、都市化指標の変化と温度指標変化の傾向が都市ごとに大きく異なっていたため、検討から除外した。

②の方法については、気候的考察を基に都市を適切に選択すると、一定の広さの地域において、都市化指標と温度指標にある程度の相関があることが認められた。都市化指標との相関が高い温度指標は、日平均気温と夜間気温であった。都市化指標としては人工被覆率、天空率、人工排熱フラックスについて分析したが、3つの都市化指標が相互に相関するため、それぞれの都市化指標毎に独立して気温上昇への寄与度を把握することや、温度指標を3つの都市化指標の関数として表すことはできなかった。

以上を踏まえ、熱中症との関係を推定することができた日平均気温を都市化指標により(単)回帰した結果、最も相関の高い5km圏(※)の人工被覆率を都市化の程度を表す代表指標として採用し、首都圏、中部圏、近畿圏の都市群別に人工被覆率と日平均気温の関係(図4)を一次回帰式として得ることができた。なお、図4に示した人工被覆率が低く日平均気温が低い傾向にある都市は、同時に人工排熱フラックスが低く、天空率が高いという特徴がある。一方、人工被覆率が高く日平均気温が高い傾向にある都市は「東京」や「練馬」に代表されるような都心部であって、同時に人工排熱フラックスは高く、天空率は低いという特徴がある。(図5参照)

(※) 都市化指標の算出範囲としては、半径1、3、5、7、10kmの内から、最も相関が良い距離帯(人工被覆5km、人工排熱10km)を選択した。

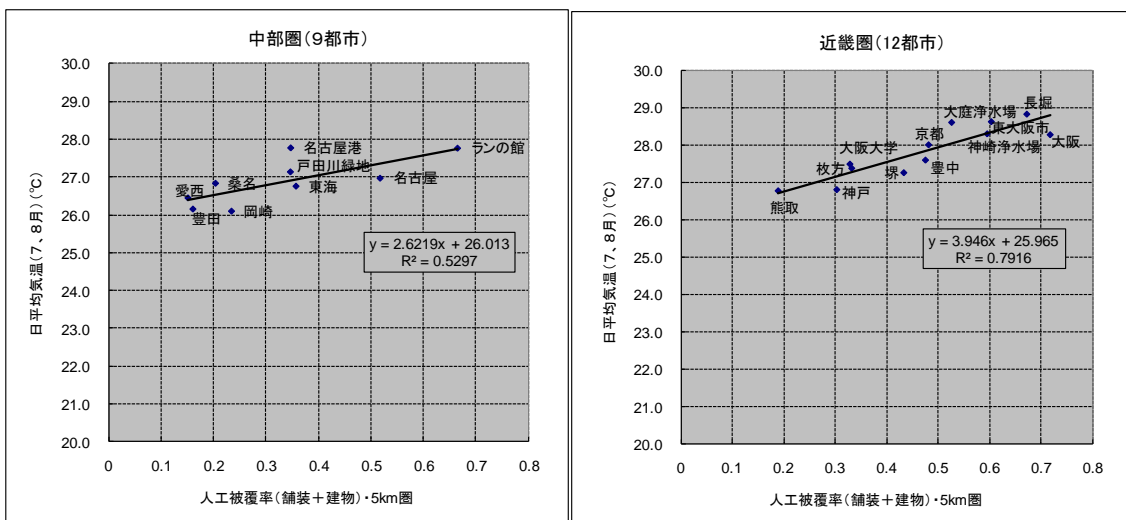
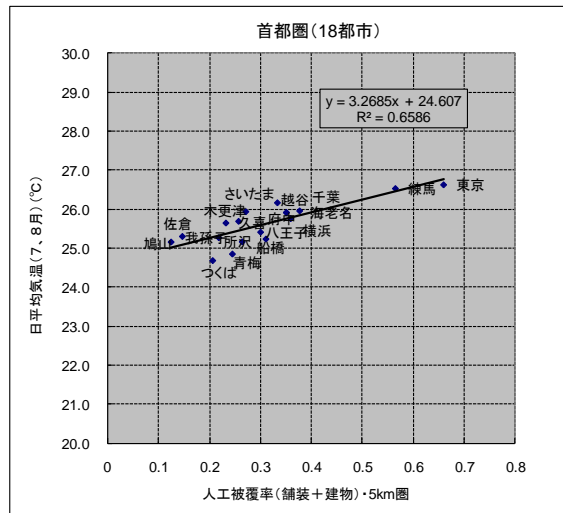


図4 都市化指標(人工被覆率)と夏季(7、8月)の日平均気温の関係 (首都圏18都市、中部圏9都市、近畿圏12都市)

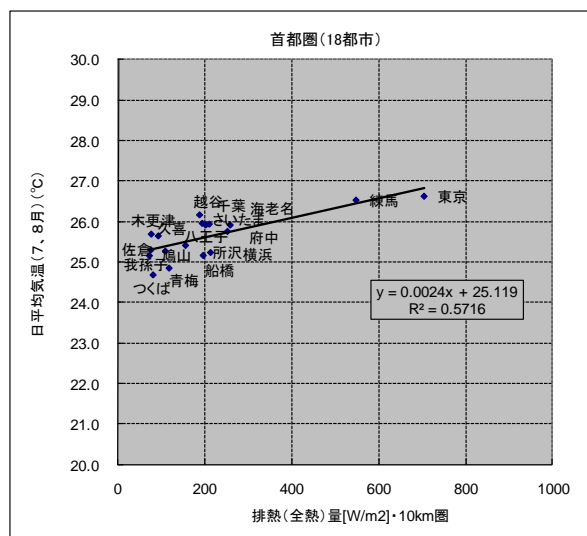


図5 都市化指標(人工排熱フラックス)と夏季(7、8月)の日平均気温の関係 (首都圏18都市)

3. 4 ヒートアイランド対策による気温上昇低減量の見積もり

3.3 で用いた人工被覆率などの指標は、都市化の程度を表す代表的な指標として気温上昇との関係を求めたが、既に述べた通り、人工被覆率の低下だけで他の指標が変わらないのであれば、回帰直線で推定できる日平均気温の低下が期待される訳ではない。回帰直線に分布する都市がそうであるように、人工被覆率の低減に、人工排熱フラックスの低減や高密度化した街区の天空率の向上も伴わねばならない。

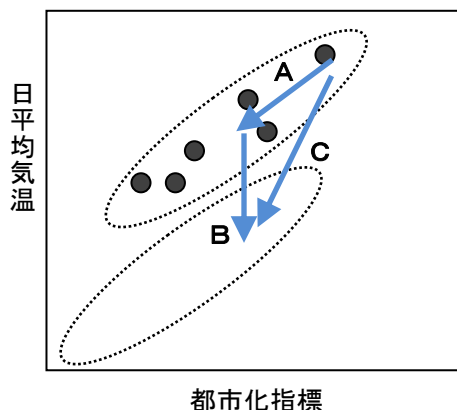
前頁で示した回帰式は、同じように発展してきた現状の都市群から得られたものである。これらの都市に用いられている技術は、都市間によって大きな差はないと思われる。従って、この回帰式では都市に用いられている技術に大きな変化がない場合の都市の変化(図6のA)を示すものと言える。すなわち、今後普及が期待される様々な省エネルギー技術やヒートポンプ等の熱回収技術、地下水等への排熱技術によって、都市の排熱構造が従来型から変化することは考慮されていない。よって、これらの新たな技術普及によって都市の熱的な構造が改善されることも加味すると、さらに気温の低減効果が見込まれる(図6のB及びC)。

東京では100年間で夏季(7、8月)の日平均気温が1.4℃上昇していることから、仮に、気温上昇低減量の目標値を0.1℃と設定すると、およそ7年分に相当する。この目標に対し、単に土地利用状況を変えることは現実的ではないことから、導入可能な対策技術の導入量を検討すると、結果は表1のように整理される。

表1 土地利用を変えずに日平均気温を0.1℃低下するために必要な技術導入量

	人工被覆率	人工排熱
日平均気温0.1℃の 気温低減	5ポイント強 (屋上緑化や高反射率塗装による建物面積14%の改善及び敷地内緑化と保水性舗装による地上面舗装10%の改善)	約1割 (エネルギー効率約1割の改善)

この気温低下量は、土地利用の変化(建物形態の変化)はない場合の、技術導入によるものである。建物等の緑地や水面への転換、空地の創出や容積率の変化等を通じて、積極的に土地利用を改善することで、人工被覆、人工排熱フラックスを低減させ、天空率を向上させることでさらに効果が上がると考えられる。



- A : 都市の熱的な構造を変えずに、都市化が軽減される効果
- B : 従来以上の建物の省エネ化やヒートポンプの普及、地下水冷熱の利用等による都市の熱構造の改善による一層の気温低減効果
- C : A + Bの総合的な効果

図6 対策と気温低減効果のイメージ

3. 5 ヒートアイランド対策による熱中症発症リスク低減量の見積もり

3. 2の検討による日平均気温と人口当たり熱中症搬送数の関係と、3. 3及び3. 4の検討による都市化指標と日平均気温の関係を用いて、ヒートアイランド対策を行った場合の熱中症搬送数の減少量を推計した。推計は、首都圏・中部圏・近畿圏のうち、都市化指標と温度指標の関係を検討した都市に限定して行った。これは前頁で見たとおり、半径5km範囲の都市化指標とその中心の温度指標との関係に基づくものであり、また、海風の影響を強く受ける都市等は対象としていないため、推計を首都圏などの広域に適用することはできなかったためである。

その結果、東京における人工被覆率5ポイント強の削減及びエネルギー効率改善約1割の改善により、例えば首都圏の東京都23区及び14都市では、人口100万人当たり・6～9月の熱中症搬送数は、約6人(全搬送数に対して約3%)減少することが期待される(表2)。

表2 人口100万人・夏季(6～9月)当たり熱中症搬送数の減少量(人)

対象地域	ヒートアイランド対策実施量	推定気温低下量(℃)	ヒートアイランド対策による熱中症搬送数の減少量(人) (人口100万・夏季(6～9月)当たり)
首都圏 (東京都23区及び14都市) 夜間人口合計：16,643,343人	●人工被覆率5ポイント強の減少及び ●人工排熱改善 (エネルギー効率約1割の改善)	0.1℃	6 (全搬送数に対して約3%)

なお、これらの推定は日平均気温を用いた推定であり、時間帯別の気温の変化は表現できていないこと、また、都市化の軽減により夏季全体において一律に日平均気温が低下すると仮定していることに留意する必要がある。実際には、夜間気温が下がりやすくなるなど、ヒートアイランド現象の緩和による効果は時間帯毎に大きさが異なり、熱中症の発症リスク低減への効果は不確実性があると思われるが、気温には気候学的地勢も関連するため、このような詳細な検討は今後の課題である。

4. まとめと今後の課題

- 人工被覆率、排熱フラックス等の都市化指標とヒートアイランド現象による夏の日平均気温の関係については、多くの仮定が含まれているものの、人工被覆率を都市化の代表指標として回帰式を得るといふ、一応の成果を得た。
- その回帰式により、 0.1°C の夏季日平均気温の低減(東京における7、8月の日平均気温の100年間の上昇分の約7年分に相当)を、土地利用を変えずに技術導入で行おうとすると、(1)屋上の緑化や高反射塗装の推進、敷地舗装面の緑化や保水性舗装等への転換によって、建物面積の約14%及び敷地面積の約10%の人工被覆を改善すること、(2)都市内のエネルギー効率の一層の改善、ヒートポンプ等による大気からの熱回収と水系等への熱放出を進め、合計で約1割の排熱フラックスの低減を行うこと、を同時に進めることで達成されることが推計された。これらの技術導入は、容易とはいえないものの、政策を強力に進めることにより達成しうるのではないかと期待される。
- すなわち、ヒートアイランド対策としては、短期的には都市の表面性質の転換、エネルギー効率の改善、排熱放出先の転換などの技術導入を強力に進めるとともに、中長期的な視野で土地利用の誘導等による緑地・水面の増加、都市の活動密度の低減に取り組むことが効果的であることが示唆された。また、風の流れの良い場所では気温自体も低く抑えられる傾向にあることが言われていることから、風の道の確保も重要であると考えられる。
- 熱中症搬送者数について見ると、このような夏季の日平均気温の 0.1°C の低減でも、今回の分析対象都市である首都圏の東京23区及び14都市における試算では、人口100万人・夏季当たりの熱中症搬送数は、約6人(全搬送数の約3%)減少すると推定された。ただし、これは、日平均気温を用いた推定であり、時間帯別の気温の変化は表現できていないこと、また、夏季全体において一律に日平均気温が低下すると仮定していることに留意する必要がある。
- いずれにしろ、熱中症は、屋外の熱環境のみならず、屋内も含めた熱ストレスへの暴露履歴を契機として、水分摂取不足なども関係して生じることに注目する必要がある。すなわち、熱中症に関連する熱ストレスを効果的に低減するためには、短期的な施策として、緑陰の創出やクールシェルターの整備・普及、保水性舗装の整備等によるクールスポットの創出といった気温上昇に適応する対策の実施が重要であると考えられる。また、学童や屋外労働者に多い屋外発症であれば、日陰に入る、休養をとる、水分をとるなどの適応行動を取ることができるよう、指導者・監督者の意識向上やルール作り等を図ることも重要である。高齢者に多い屋内発症であれば、屋内を涼しくする、休養や水分の摂取などの適応行動で、回避可能であることを考えれば、適切な情報の普及や働きかけといった対策も効果的であると考えられる。
- また、外気温を下げることよりもエアコンによる屋内気温の管理や建物の断熱性能の向上などの対策が、屋内気温の上昇抑制に効果が高いと考えられるため、政策上の効果を勘案しながら、これらを進めていく必要がある。
- ヒートアイランドの影響全体から見れば、熱中症はその一部であり、都市生活者における疲労感といった軽度の熱ストレスや、夜間気温の上昇がもたらす睡眠障害、冷房需要の増加、都市の生態系への影響等を考慮するとその影響は大きいと見られるため、前述のように、都市の気温低下を目標とした対策を中長期的視点から実施し、積み重ねていくことが重要であると考えられる。その際、人

工被覆の削減をはじめとしたマクロ的な原因削減の視点に加えて、密集街区へ風を導入できるような建物配置や緑陰配置への誘導、水系の熱の捨て場としての活用を含め、ミクロなスケールでの多角的な対策を、街区の状況に応じて実施していくことが重要と考えられる。

- ミクロなスケールでの対策の実施に当たっては、効果的なヒートアイランド対策という視点だけでなく、居住者や利用者の視点から見た街の快適性や居心地の良さ、街の魅力を高めるような視点を持った施策として官民が取り組んでいくことで、対策が継続的かつ広がりを持って推進され、結果的に都市全体としてのヒートアイランド対策効果も大きくなることが期待される。
- なお、都市化指標と気温の関係性の把握については、これまでも多くの努力がなされてきた。しかし、地域の気温形成やその変化パターンは、気候学的地勢の影響を受けるため、都市間の比較や経年的分析によっても、一律の関係を見出しがたいことが今回の調査でも如実に表れた。特に、これは、地域の気候的特徴が支配的となる最高気温時に影響が大きくなる熱中症との関係性を解析する本調査において制約となったことを記しておく必要がある。また、都市化指標についても、街区毎の人工排熱などデータを推計・補完する場面も多かったので、ヒートアイランド対策の効果モニタリングしていく上では、個別事業所等における排熱状況の把握等が課題となる。