

熱中症リスクから見た都心部の街路空間気温特性

Study on Air Temperature Distribution in Urban Area Evaluated by the Risk of Heat Stroke

三坂 育正*・成田 健一*

Ikusei MISAKA and Ken-ichi NARITA

要旨：街路空間における熱中症リスク評価を目的として、東京都心部を対象とした街路の気温の同時多点による測定を行った。測定結果より、实在街路空間の気温は、東京管区気象台（大手町）の気温と差が生じており、街路空間は大手町よりも高温で推移している。また、地点によるばらつきも大きく、著しく高くなる点や逆に大手町よりも低くなる点など、大きなばらつきが生じていた。熱中症の予報には大手町の値が基準とされているが、实在街路空間においては、発生の危険性が高い地点が存在することに注意が必要である。实在街路空間における熱中症リスクを評価するに当たっては、街路空間の街路構成や気象状況を鑑みて行う必要がある。

キーワード：ヒートアイランド、熱中症、気温、実測、街路空間

Abstract： In order to estimate the heat stroke risk in street space, we had measured the air temperature distribution of the center of Tokyo in summer. From the results of measurement, there was a tendency which becomes higher temperature of street space than Tokyo District Meteorological Observatory. And the variation of temperature by a point was also great, the difference of those amounted to 3 °C. Although the forecast of heat stroke is made by the value of Meteorological Observatory, it is important that the higher potential of heat stroke is existed at street space in urban area. In the risk assessment of street space, it is important to take street composition and weather condition into consideration.

Key Words： heat island, heat stroke, temperature, observation, street space

はじめに

近年、ヒートアイランド現象や地球温暖化による影響で、夏季における都市の気温上昇が顕著となっており、最高気温が 35°C を超える猛暑日や最低気温が 25°C を下回らない熱帯夜の日数が増加する傾向がみられる。この暑熱化の進行に伴う影響の一つとして、都市生活者の熱ストレスの増大が指摘されており（井原ら、2006）、熱ストレスの増大は、熱中症発生の可能性を高めているものと考えられる。環境省においても、ヒートアイランド対策として、従来のヒートアイランドの発生要因を削減していく対策（緩和策）に加え、人の熱ストレス等による健康影響や大気汚染などの影響をできるだけ軽減していく対策としての適応策の推進が必要であるとしている（環境省、2012）。

熱ストレスによる健康影響の代表とされる熱中症の発生に関して、東京では気象台の日最高気温が 30°C を超える辺りから熱中症の発生率が増え始め、その後気温が高くなるに従って急激に増加する、とされている（星ら、2007）。しかし、現段階で気象台が発表している気温は、

県や地域、気象観測所レベルのスケールであり、実際に人間が影響を受ける、实在街路空間の熱環境までの把握は困難である。

そこで、空間的により高密度な熱中症発生の危険性を評価することが必要と考えられ、すでに、熱中症の危険を熱中症リスクと捉えて、メソスケールから街区スケールの数値気象モデルによるシミュレーションによる評価が行われている（大橋ら、2011）。解析結果から、天空率で示される街区内の局所スケールでの放射環境や、地域スケールでの湿度気候の違いが重なることによって、熱中症リスクが変化する結果となり、都市内における熱中症リスクには地域差が存在することが示されている。

そこで本研究では、熱中症発生の危険性を熱中症リスクと定義し、街路空間レベルでの気温分布の実測を行うことにより、熱中症リスクの地域差を明らかにすることを目的とした。街区における暑熱環境の人体への影響をより詳しくみるために、東京都心部の街路を対象とした気温分布を詳細に測定し、各地点の気温を東京管区気象台における計測値と比較することにより、街区や気象条件の特徴から实在街路空間における熱中症リスクの違いを検討した。さらに、各測定点における気温分布や変化

* 日本工業大学 工学部 建築学科

の特徴から、熱中症リスクを軽減するための対策等についての検討も行った。

1. 調査方法

1.1 調査対象地域と測定点

調査対象地域ならびに測定点を図-1に示す。調査地域の代表的な測定点やエリアも併せて図に示す。

調査対象地域としたのは、東京都心部の東西約5km×南北約5kmの範囲である。この地域に対して、それぞれの地域の特性や地域内の街路構成、周辺建物・土地利用などの違いによる気温特性の差について評価することとし、街路に測定点を設けた。比較対象とする東京管区気象台は、この地域内の大手町にあり、現在ではこれらの地域の熱中症発生予測における代表的な値として用いられているものと考えられる。

1.2 測定項目と測定方法、測定期間

測定項目は気温とした。熱中症リスクの評価にあたっては、気温以外にも湿度や風、放射温度が影響しており、WBGT等の温熱環境指標を用いて評価がされている(大橋, 2010)。しかしながら、実街区においてこれらの要素を多点同時に連続的に測定することは難しく、気温と熱中症発生との関係が報告されていること(星ら, 2007)を踏まえて、今回は気温による評価とした。また、地域全体の一般的な気象状況の把握には、東京管区気象台の計測値を用いた。

気温測定は、手製の自然通風型の日射遮蔽シェルターに入れた温度センサー(図-2)を、街路灯の高さ2.5mに設置した。測定は1分間隔で行い、解析には10分平均値を用いた。なお、計測値については計測終了後に実施した校正により補正を行った。

自然通風による測定の精度を確認するため、東京管区気象台に近い2点と気象台の計測結果を比較した(図-3)。自然通風では、日射が強く、風が弱い場合に気温が高く測定される懸念があるが、この場合でも差はほぼ0.5°C以内に収まっていた。以降では、この誤差より大きな差異の生じた事象を対象として、検討・考察を行った。

測定期間は、2008年7月27日から9月29日である。

2. 結果

2.1 気象概況

計測期間中の気象概況として、東京管区気象台(以下、大手町)で計測された1時間値について、気温と降水量を図-4に、風向・風速を図-5に示す。なお風向について



図-1 調査対象地域と測定点

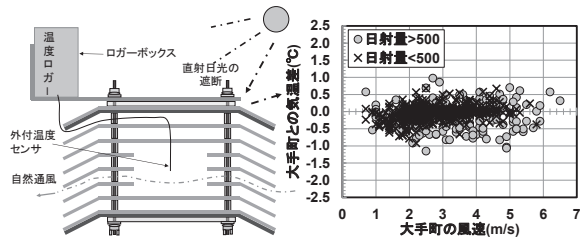


図-2 自然通風シェルター 図-3 大手町付近との比較

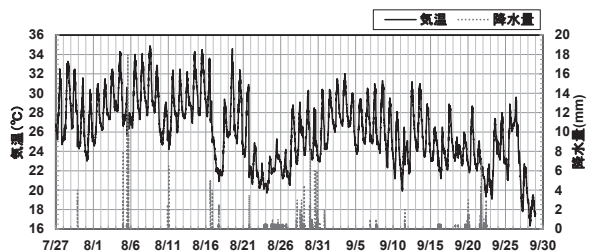


図-4 大手町の気温・降水量の変化

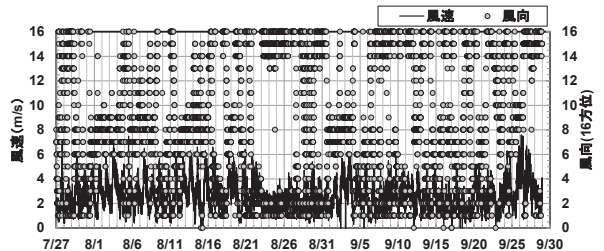


図-5 大手町の風向・風速の変化

は、16方位(北が0で時計回り)で示している。

観測期間中、7月後半から8月中旬にかけて気温が高い日が見られ、日中の最高気温はほぼ30°Cを超えている。それ以降は気温の上昇が抑えられ、8月後半から9月前半にかけて降水量も多くなっている。風は、気温の高い

時期には、特に日中に南風が卓越しているが、気温の低い時期は北風が多いことに特徴が見られる。

観測期間中において、気温が高かった（33℃を超える）日を選別し、更に気象条件での差をみるためにそれぞれ気象条件の異なる日、8月4、7、8、15、19日を抽出した。本研究では、主この5日間について行った解析結果を中心に述べる。

2.2 各エリアの気温測定結果

各エリアの気温の測定結果として、8月4、8、19日における結果に関して、皇居の周囲とそれを除く全街区の平均値の変化を図-6に示す。また、図には、大手町における気温、風向・風速の結果も併せて示した。

3日間とも天候に恵まれ、気温は日中には32℃を超え、最低気温も25℃以上である。この3日では、風の変化に特徴が見られ、4日は日中に南東から南西の風が卓越し、21時以降には北西から北北西の風に変化している。8日は、早朝に西から北方向の風が吹き、その後日中から夜間にかけて南からの風が連続して吹いている。19日は、14時以降に南風から北風に風向が変化しているのが特徴的である。

東京では、日中には海風が卓越することから、日中の南方向からの風は海風であると推察され、以下、東南東から南西方向（16方位で5から10）の風を海風とする。

気温の変化をみると、一般的に街区では大手町に比べ、気温はやや高く推移している。皇居周囲は、大手町の変化とよく似ている。風向の変化と気温の変化に着目すると、大手町では風向の変化に伴い、気温の低下や上昇が鈍化する傾向がみられる。4日の9時や21時前後、8日の10時、19日の14時前後にその傾向が顕著に表れている。皇居周囲は、大手町の変化と比較的よく似た変化を示しており、風向の変化により気温が変化する傾向がある。一方で、街区平均の気温は、必ずしも大手町と同様に風向の変化に気温の変化が対応しておらず、4日21時や19日14時では、気温は低下しているが大手町に比べるとその変化は小さくなっている。しかし、各エリアとも8日9時では、大手町同様に風向の変化とともに気温上昇鈍化する傾向は確認することができる。これは、街区の街路方向や密集度などの構成によって、風の影響の受け方が異なっているためと考えられる。

図-7には、各エリアの測定値と大手町との気温差の頻度分布を、大手町の気温が30℃以上となる時間と夜間（20～7時）で示した。皇居では大手町との気温差が比較的小さく、街区は大手町よりも0.5～1.0℃程度高いところにピークがみられ、これは自然通風の測定器の誤差を上回る値となっている。気温30℃以上では、気温差の

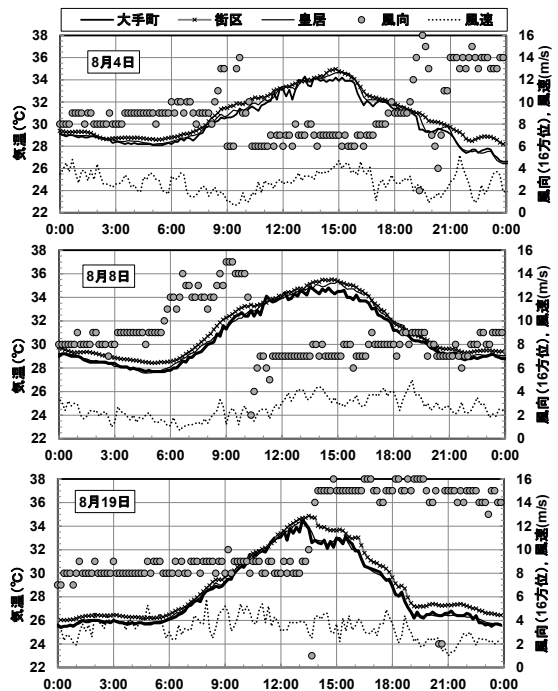


図-6 各地点の気温測定結果(8月4, 8, 15日)

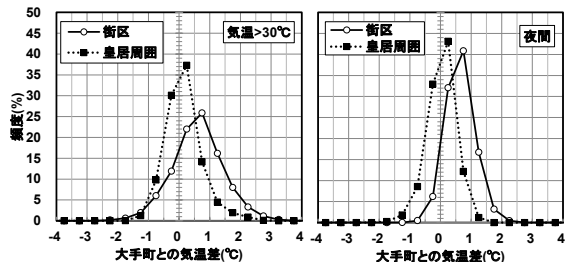


図-7 各エリアの大手町の気温差の頻度分布

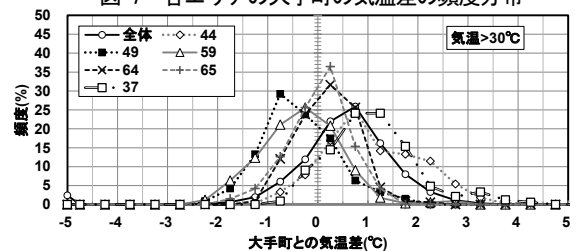


図-8 代表的な測定点の気温差の頻度分布

ばらつきが大きく、最大で3.0℃程度高い点や、逆に2.0℃程度低い点が存在する。

図-8に、街区における代表的な測定点の気温差の頻度分布を示す。測定点44や37では気温が高い頻度が多く、逆に49、59では大手町より気温が低いところにピークがみられ、64、65では大手町との気温差が小さい。この様に、25km²の範囲でも大きなばらつきが生じている。実街区における気温の測定値は、大手町とは差が生じて

おり、日中の温度差は高温側で最大で 4°C 程度と大きくなっており、熱中症の予報あるいは予報に基づく対策をとる場合には、予報の基準となる大手町より熱中症の危険性が高い地点が存在することに注意が必要である。

3. 考察

東京都心部における気温の同時多点測定の結果より明らかとなった、実在街路空間における大手町との値や変化の違いや、ばらつきの生じる要因について、街路の特性や気象条件から考察する。

3. 1 街路の向きや隣接環境による影響

1) 街路方向と位置の関係

図-9 上は、日本橋付近を東西に走る幹線道路である永代通りの、南側と北側における気温の差を示す。大手町の気温が高くなると、南北の差が大きくなり、街路南側の気温が低くなる傾向がみられ、大手町より低くなる場合もある。都市キャンパニー内の気温のばらつきの要因としては日射の影響が考えられ（平野ら，2010）、気温が高くなる日中には、太陽高度が高くなるため、東西道路の北側では日射を受けるのに対し、南側では建物の陰で日陰の効果が表れているものと考えられる。

下には、南北方向の幹線道路である日比谷通りの東西における結果を示す。街路の東側が、大手町の気温が高くなるにつれて上昇し、3°C 程度大手町より高くなるのに対し、街路の西側では逆に低くなる傾向が見られ、最高気温時には大手町よりも低温となっている。これは、街路の西側が、気温が最高気温となる午後には建物の陰となる影響が考えられる。街路の東側で気温が 32°C 以上でばらつきが大きいのは、街路両側の建物高さに違いがあることで、街路の日陰となる時間帯の条件が異なっていること等が想定されるが、今後より詳細な解析が必要である。

以上の結果から、街路においては、街路の向きによって日射の受熱に差が生じることで、両側の温熱環境に違いが生じており、歩行者が注意することにより、熱中症リスクを低減させることができる可能性がある。

2) 街路に隣接する緑地の効果

図-10 は、日比谷通りの西側の気温について、西側の芝公園に隣接する範囲とそれ以外で分類したものである。緑地に隣接した街路では、緑地に隣接しない街路に比べて全体的に約 0.5~1.0°C 気温が低い。緑地によるクールスポット効果が街路に影響したことが考えられる。気温が下がる夜間においてもその効果が確認できる。

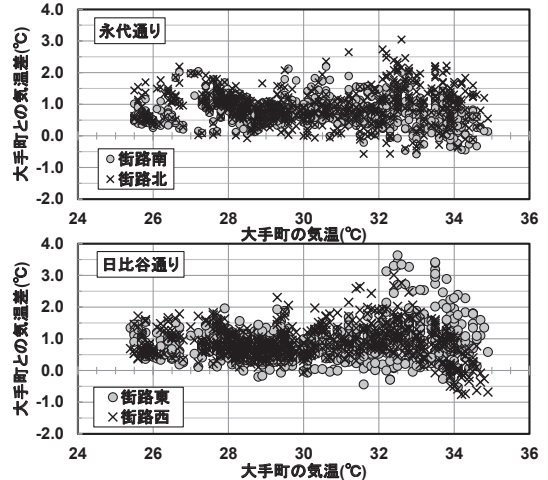


図-9 街路方向と測定位置による影響

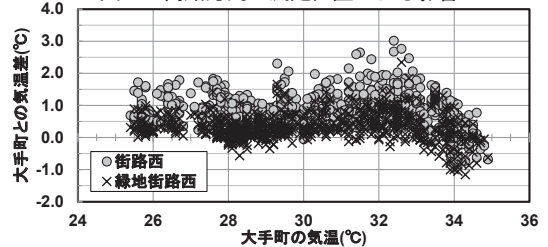


図-10 街路に隣接する緑地の効果

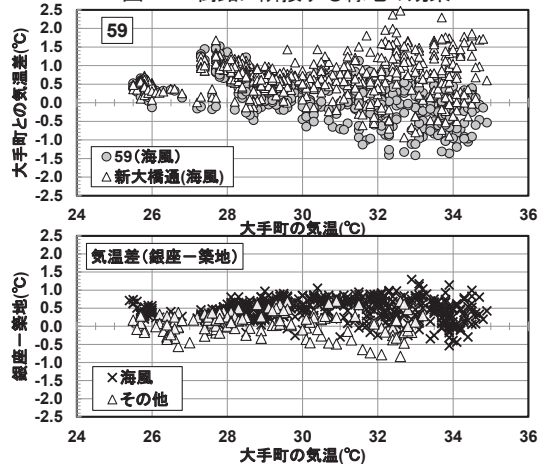


図-11 海風侵入の影響

3. 2 海風侵入による効果

図-11 上には、海風方向（南東方向）に流れる河川の橋上の測定点 59 と河川に垂直な新大橋通りの大手町との海風吹送時における気温差を示したものである。海風が吹くと、59 の気温は新大橋通りに比べると低くなり、特に大手町の気温が高い時に顕著となる傾向が見られ、大手町より 1.0~1.5°C 程度低くなる場合もある。

図-11 下は、銀座、築地地区に分類してその気温差（銀座一築地）を、風が吹いた場合とそれ以外の場合を示し

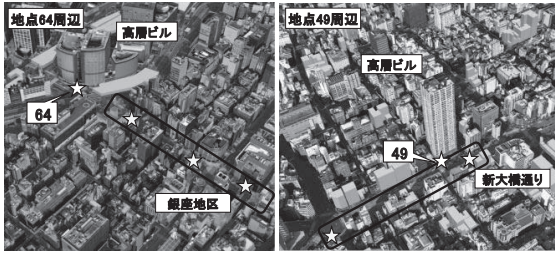


図-12 高層ビル下測定点とその周囲の状況¹⁾

たものである。海風が吹いている場合には、銀座地区の方が築地地区より高温である。海風による気温低下の現象が、海に近いことで顕著に表れたものといえる。

以上の結果から、海風の侵入しやすい街路構成により、海風吹送時に気温を低下させる効果が期待される。

3. 3 高層ビルの上空風吹きおろしの効果

高層ビルの直下では、上空の風の吹きおろしの効果が考えられる。図-12には、その効果を検討した測定点64と49について、その位置と周辺状況を示す。

図-13は、有楽町駅前の高層ビル下64の大手町との気温差について、銀座地区との比較で示したものである。64の気温は銀座地区よりも低く、大手町に比べて最大で1℃、銀座地区に比べて1.5~2.0℃程度低くなっている。下図より風向の依存性が見られ、南側からの風向時に低となり、銀座地区との気温差も大きくなる傾向がみられる。高層ビルの南~南東側は、銀座地区となっており、建物高さが約30mでほぼ一定で、その上を吹いてきた南からの海風が高層ビルにぶつかり、街路に吹き降りてきた効果と考えられる。同様の現象は、新大橋通りに立つ高層ビル下の地点49でも確認でき、この地点の方が風向依存性が顕著となっている(図-14)。

東京都心部は建物が密集しているが、その上空には涼しい海風が吹いており、それを街区に取り込むことで、気温を低下させる効果が期待される。

3. 4 街路特性や気象状況以外の影響

図-15には、44の大手町との気温差と気象条件との関係について示す。測定点44は、全街区の中でも気温が最も高くなった地点であり、44の大手町との気温差は最大で3.8℃に達している。日最高気温が30℃を超えると熱中症の発生率が急増する(星ら, 2007)ことを考慮すると、熱中症のリスク評価においては大きな差といえる。

図-15上より、大手町の気温が32℃を超えるあたりから、大手町との差が大きくなっていくのがわかる。その傾向は海風吹送時に顕著にみられるが、海風が吹いていない場合にも大手町が高温時に気温が高くなる傾向があ

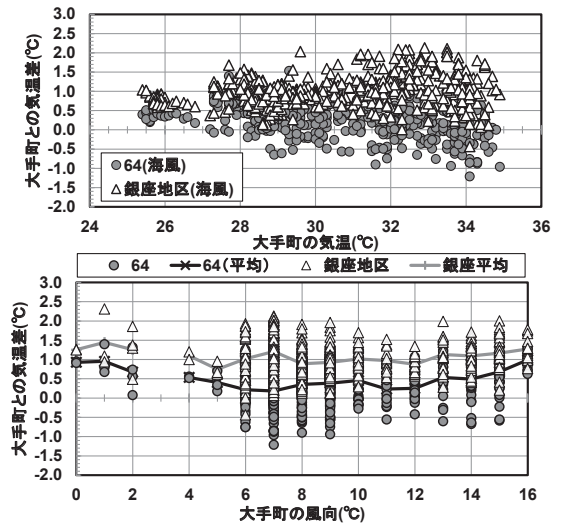


図-13 高層ビル下の吹きおろし効果(地点64)

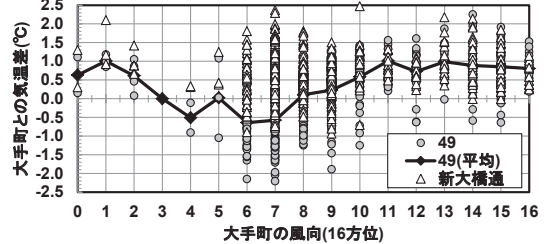


図-14 高層ビル下の吹きおろし効果(地点49)

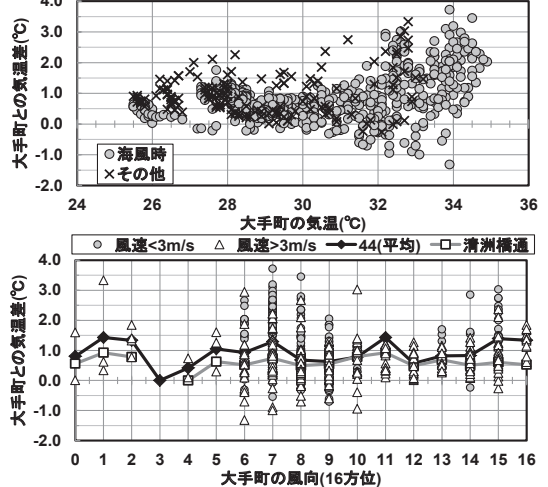


図-15 測定点44の気温差

る。風向との関係(図-15下)では、明確な風向依存性は確認することができない。44付近の清洲橋通りの他の測定点の平均と比べると、平均的に気温が高くなっており、風向との対応関係は類似している。この地点では、気象要素だけでは高温となる明確な要因は特定できず、街路の構成に特徴的なものを見いだせていないことから、車などの人工排熱が影響していることが推察される。こ

の様に、街路の構成や気象要素だけでは十分に特定できない要因もあり、今後さらなる解明が必要である。

以上の述べてきたように、東京都心部の気温は、大手町の観測値とは差が生じており、熱中症の予報あるいは予報に基づく対策をとる場合には、予報の基準となる大手町より街路空間ではリスクの大きな地点が存在することに注意が必要である。実街区においては、街路の方向や周囲の建物・緑地の状況などの街路構成と、日射・風などの気象条件が重なることによって、気温の分布が生じており、それらを考慮したうえで熱中症リスクを評価すべきと考える。

おわりに

实在街路空間における熱中症発生の可能性を、熱中症リスクとして評価するために、東京都心部を対象として、街路の気温の同時多点による測定を行った。

測定の結果、实在街路空間の気温には、東京管区気象台（大手町）の気温との差が生じていることが確認された。街路空間の平均気温は、大手町と比較すると、皇居の周囲を除いてほぼ気温は高く推移しており、日中には最大で3℃以上、夜間でも2℃程度高い地点も見られた。また、地点によるばらつきも大きく、熱中症リスクの発生する、大手町の気温が30℃以上において、著しく高くなる点や逆に大手町よりも低くなる点など、大きなばらつきが生じていた。気温の変化の傾向に関して、風向の変化との対応などで、必ずしも大手町と一致していない場合も見られた。

以上の測定結果から、東京においては、熱中症の予報には大手町の値が基準とされているが、实在街路空間においては、よりリスクの大きな地点が存在することに注意が必要である。实在街路空間においては、街路の方向や周囲の建物・緑地の有無といった街路の特性や、日射・風などの気象状況によって気温にばらつきが生じており、そのばらつきは熱中症発生の危険性が高まるとされる気温30℃で大きいことから、その空間における熱中症リスクを評価するに当たっては、街路空間の街路構成や気象状況を鑑みて行う必要がある。

測定によって得られた結果から、熱中症リスクを軽減する対策としては、以下があげられる。

- 1) 幹線道路では、街路の方向によって気温分布の特性が異なっており、東西街路では日中は南側、南北街路では午後に西側で気温が低くなる傾向が見られ、歩行者がそこを選択的に通行することで熱中症リスクを軽減することが期待される。

- 2) 東京では日中に卓越する涼しい海風を街路に取り込むことが効果的である。海風の方向に開けた街路で水平的に海風を取り込むとともに、建物高さにばらつきを与えることで上空の海風を街路レベルに取り込む効果も期待される。

- 3) 緑地の近傍では、緑地のクールスポット効果を効果的に街路に取り込むことが重要である。街路に隣接した緑地空間の創出による効果が期待できる。

また、今後の課題としては、以下があげられる。

- 1) 今回の調査は気温のみの測定であったため、暑熱環境を評価する上では、気温以外の要素である湿度や風、放射環境の街路空間での測定によって、熱中症リスクを評価する必要がある。
- 2) 街路構成に関して、街区の密集度や街路の方向、街路樹の有無などの特性を、今後の都市・建築計画に活用できるよう、グロス建蔽率や天空率、緑被率などの定量的な指標として整理する必要がある。
- 3) 測定点によっては、街路特性や気象条件では整理できない、高温となった場所もあり、人工排熱等の要素も含めた評価を進めていく。

謝辞

観測および解析にあたっては、防衛大学校 菅原広史准教授、東京都環境科学研究所 横山仁副参事および練竹中工務店技術研究所にご協力頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

補注

¹⁾ 地図・建物形状は<http://maps.google.co.jp/maps/>を引用した。

引用文献

- 井原智彦・南拓郎・玄地裕 (2006) 被害算定型 LCIA 手法によるヒートアイランド現象の環境影響評価 (その1) LCIA 手法を用いた環境影響評価の枠組みと人間の健康に与える影響評価。日本建築学会学術講演梗概集 D-1 (環境工学), pp.535-536.
- 大橋唯太 (2010) 都市域における熱中症指標 WBGT の変動特性。環境情報科学論文集, 24, pp.417~422.
- 大橋唯太・亀掛川幸浩・井原智彦 (2011) 数値気象モデルを利用した屋外熱中症リスクの評価手法に関する研究。環境情報科学論文集, 25, pp.335~340.
- 環境省 (2012) ヒートアイランド対策マニュアル〜最新状況と適応策等の対策普及に向けて〜。
- 平野勇二郎・濱野裕之・田上浩孝・園田壮 (2010) 都市キャノピー内における夏季の温熱環境の観測。環境情報科学論文集, 25, pp.435~440.
- 星秋夫・稲葉裕・村山貢司 (2007) 東京都と千葉市における熱中症発生の特徴。日本生気象学雑誌, 44(1), pp.19~22.