

# 国内3都市における夏期の日最高温度と個人別曝露温度

カブト 免      ミチノリ 真徳\*      ホンダ 本田      ヤスシ 靖<sup>2\*</sup>      トドロキヒデミ 等々力英美<sup>3\*</sup>

**目的** 地球温暖化による気温上昇、さらに最近国際的に頻発している熱波等に関連して、夏期高温日の健康リスクのモニタリングと適応策の検討が急務とされている。これまでの研究では、高温日の過剰死亡は高齢の循環器や呼吸器疾患患者を主体とする“脆弱集団”に由来し、気象庁発表の日最高気温 ( $T_{max}$ ) が東京では33°C以上、北海道では28°C以上で増加すること、また、東京の熱中症発生に関して、 $T_{max}$  が30°C以上で増加する傾向や、年齢を問わず屋内より屋外の発生が多い傾向などが示されている。本研究では、わが国についての基礎的研究として、上記のように従来曝露温度の指標とされてきた  $T_{max}$  と、実際に各人が曝露する温度 ( $T_p$ ) との関連を検討することを目的とした。

**対象と方法** 個人の曝露温度は、札幌市、東京都、那覇市の居住者計194人（男子101人、女子93人、21才～82才）を対象に、小型携帯用モニター計（Onset Computer Corporation 製、HOBO H8）を用いて7月13日～9月23日（73日間）の任意の1週間測定し、同測定期間について自記式の生活時間調査を行った。

**結果と考察** 東京と那覇で  $T_{max}$  が30°C～35°Cであった日の昼間（7時～19時）と（13時～15時）あるいは夕方（19時～24時）の  $T_p$  の平均はいずれも、東京で約30°C、那覇で約31°Cでほぼ一定となる傾向を示し、 $T_p$  と  $T_{max}$  との相関係数は0.35と低かった。つまり、 $T_p$  はこれらレベル以上に上昇しないよう調節されている傾向が明らかであり、同温度近辺に暑熱ストレス耐性の閾値のあることが示唆される。一方、夜間（0時～7時）の  $T_p$  の平均も東京で約29°C、那覇で約30°Cでほぼ一定となる傾向を示したが、これらの温度レベルは比較的高く、とくに夏期に訴えの多い睡眠への影響の原因となっていることが示唆された。両市で  $T_{max}$  が30°C以上の日の日最低気温 ( $T_{min}$ ) は最高でも26°Cであり、 $T_p$  の日平均値と日最低値の平均はそれぞれ28°C、27°Cと、 $T_p$  の方が高かった。 $T_{max}$  との相関係数は、 $T_{min}$  で0.42、 $T_p$  の平均値と最低値のそれぞれの平均値で0.27と0.19と低く、夜間についても、 $T_{max}$  は  $T_p$  と乖離しており、十分な温度調節が行われていないことが示された。

**Key words** : 地球温暖化、日最高気温 ( $T_{max}$ )、個人曝露温度、暑熱ストレス、死亡リスク、熱中症リスク

## 1 緒 言

気候変動に関する政府間パネル（IPCC、2001年）の第3次評価報告<sup>1)</sup>は予想される気候変動に対する地域の脆弱性の評価や適応策の検討の緊急性を指摘しており、世界保健機関（WHO）はじめ公衆衛生（環境保健）分野においても予想され

る健康リスクの検討が急がれている<sup>2,5)</sup>。なお、問題とされる気候変動としては、数10年～100年に亘る長期的な変化だけでなく、1995年のシカゴ<sup>6)</sup>や1998年の上海<sup>7)</sup>あるいは2003年（本調査中）のパリを中心とするヨーロッパ<sup>4)</sup>の事例にみるように、熱波に代表される短中期の気候変動の増大傾向や大都市の“ヒートアイランド現象”なども同時に考慮されるようになっている。こうした気候変動現象に伴う直接的な健康リスクとして、死亡や熱中症等の過剰発生が注目されており、それらリスクを回避するための“早期警報システム（early warning system）”に関する検討なども進

\* 独立行政法人国立環境研究所

<sup>2\*</sup> 筑波大学大学院人間総合科学研究科

<sup>3\*</sup> 琉球大学医学部医学科環境生態医学分野  
連絡先：〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2  
独立行政法人国立環境研究所 兜 真徳

められている<sup>4)</sup>。

ところで、これまでも、夏期高温日に死亡が増加することは、すでに多くの大都市で観察されている<sup>3,4)</sup>。同様に、国内でも日最高気温 ( $T_{max}$ ) と65才以上の日死亡との間にはV字型 (あるいはU字型) の関係が認められ、死亡が増加を始める  $T_{max}$  は東京では約33°C、北海道では約28°Cであること、したがって、冬期寒冷地域では高齢者が高温に脆弱である傾向が示唆されている<sup>8,9)</sup>。一方、亜熱帯性気候の沖縄では、同パターンは明らかではなく、気温の日内・間あるいは季節間の変動が比較的小さいため日死亡の変動も小さいことを予想させる。他方、熱中症については、小野らの東京、川崎および名古屋の救急搬送事例 (2000年~2003年) の解析<sup>10)</sup>によれば、 $T_{max}$  が30°C以上で増加し始め、とくに35°C以上の高温域では急増傾向を示すが、発症は高齢者に限らず、また、発生場所としては屋内よりも屋外が多い傾向があった。ここで、以上の死亡や熱中症のリスクとの対応で用いられる温度曝露指標は一般に  $T_{max}$  であるが、これは1.2 m~1.5 mの高さで風通しが良く直射日光を避けた条件下 (通常百葉箱) で測定される日最高気温であり、個人が直接曝露される温度とは異なっている。個人曝露温度は、生活行動に応じて、直射日光や輻射熱等への曝露を反映する一方、高温日には空調等によって調節された温度を示すと考えられる。したがって、とくに高温日における  $T_{max}$  と個人の曝露温度との関係を調べておくことは、上記の死亡や熱中症のリスクを解釈する上で重要と思われるが、これまで知見は乏しい。

本研究では、わが国における基礎的研究として、夏期高温日の死亡や熱中症のリスクあるいはそれらの地域差に関連して、寒冷、温暖および亜熱帯地域に属する3都市における  $T_{max}$  と個人曝露温度との関係を調べることにした。ただし、本調査は、とくに関東では“冷夏”と呼ばれた2003年の夏期を対象としたものであり  $T_{max}$  が35°Cを超える日はなかったが、基本的な特徴をまとめることができたため報告しておくことにした。その後、猛暑となった2004年の夏期には3か月測定を実施しているが、同解析結果については別途報告予定である。

## II 研究方法

対象者は、独立行政法人国立環境研究所の環境モニタ登録者の中から、高齢の方を優先して選出・依頼して承諾の得られた計194人 (男子101人、女子91人: 都市別では札幌56人、東京76人および那覇62人) である。年齢は21才~82才、平均年齢は札幌64.2才、東京66.3才および那覇64.3才。また、65才以上が92人、65才未満は102人であった。なお、個人情報保護のため任意回答とした“職業”への回答者は123人であった。うち、無職18人 (14.6%)、自営業19人 (15.5%)、サラリーマン (公務員を含む) 58人 (47.0%)、主婦28人 (22.8%) であり、昼間も基本的に自宅で過ごしている人は約半数と推定された。

測定対象期間は2003年7月13日~9月23日 (73日間) であるが、同期間における日別の屋外の  $T_{max}$  (日最高気温)、 $T_{mean}$  (日平均気温)、 $T_{min}$  (日最低気温) については、国際的な都市間比較も考慮して米国 NCDC (National Climate Data Center) の報告値<sup>11)</sup>を用いた。ただし、同測定値の測定ポイントは、札幌市は都心部 (E141°33', N43°05'), 東京都は都心部 (千代田区, E139°76', N35°68'), また、那覇是那覇空港 (E127°68', N26°20') に対応している。なお、東京における7月1日~9月30日の  $T_{max}$ 、 $T_{mean}$  と  $T_{min}$  の平均値はそれぞれ27.6°C、24.1°Cおよび21.1°Cであり、 $T_{max}$  と  $T_{mean}$ 、および  $T_{max}$  と  $T_{min}$  との相関係数は0.974と0.915とともに  $P < 0.0001$  で有意であった。したがって、いずれの値も日別気温の代表値として用いることが可能と思われる。これらの測定値は、気象庁の報告値ともよく一致しており、相関係数は、東京の7月~9月の日別データの場合、最高温度で0.983、平均温度で0.977、最低温度で0.985とともに  $P < 0.0001$  で有意であった。また、最高気温の平均値も NCDC の報告値で27.7°C、気象庁の報告値<sup>12)</sup>で27.9°Cとよく一致しており、死亡率の解析等で汎用されているように東京都の代表値として用いることは妥当と考えられた。なお、言うまでもなく、これら報告値は一般に、標準的な方法である百葉箱等内でそれぞれ最高温度計、毎時正時気温の平均、および最低温度計で測定された値 (あるいはそれに相当する値) とされており、また、一般に最高気温は2時

頃、最低気温は日の出時刻頃の気温が対応している。

個人曝露温度 ( $T_p$ ) は、被測定者の都合等を考慮して2003年7月13日～9月23日の間の任意の1週間について実施した。測定は、小型軽量の温湿度測定器 (HOBO H8 Loggers, Onset Computer Corporation 製) を装着・携帯してもらって10分に1回の頻度で測定した。なお、同測定器はプラスチック製で小型箱型であり、原則、常時衣服の上になるように携帯してもらった。したがって、測定器が直射日光に曝露された場合にはそのための容器の温度上昇が直接測定値に反映されているはずである。外出時には、男子ではベルトに、女性ではバッグに装着している場合が多かった。一方、とくに周辺の温度が体温に比較して低い場合には、被験者からの輻射熱により  $T_p$  がやや高くなる場合もあると考えられるが、 $T_{max}$  が30°C以上の日における比較的自宅の屋内で過ごす時間の長い夕方 (19時～24時) の室内温度 (以下に述べる方法で測定) と  $T_p$  の各平均は、それぞれ29.1°Cと29.2°Cで有意な差はなく、 $T_p$  はほぼ周辺環境温度を反映していることが推定された。

各被験者の自宅の室内温度は、 $T_p$  測定用と同種の測定器を居室内 (箆笥やサイドボードの上など人が触らないところ) に設置して測定したほか、一部の対象者について、防水型測定器 (HOBO H8 Pro, Onset Computer Corporation 製) を用いて屋外 (ベランダ等で邪魔にならないところ。なお、日射条件などは個別条件が大きく異なるため任意とした。) で同時測定 (1分に1回) を行った。 $T_p$  と室内温湿度測定に用いた測定器の特性は、温度測定範囲は-20°C～+70°C、90%反応時間は15分、精度は $\pm 2.0^\circ\text{C}$  ( $\pm 1.2\%$ ) であった。また、確認のため WBGT トランスデューサ (MM0030, INNOVA社製) を参照機器として24.3°Cの部屋で10台同時測定した場合の平均値は24.3°C (SD: 0.23°C, CV: 0.1%) であった。また、相対湿度 (%) の測定範囲は20°Cの時25～95%であった。

一方、上記  $T_p$  測定と同時に、測定期間内における時間別空間別活動内容、空調の利用時間帯等が分かるように簡単な行動調査票を毎日記入してもらった。同記録から、 $T_p$  は1日の時間帯を昼間 (7時～19時)、夕方 (19時～24時) および夜

間 (0時～7時) に3区分してそれぞれの平均温度を求めた。なお、これら3時間帯の途中で測定開始あるいは停止して測定値が完全に揃っていない場合は、同時時間帯の  $T_p$  測定値は欠損とみなしたため、有効データは計1,008人・日分であった。ここで、測定期間中空調を全く使用していなかった対象者は、北海道では56人中34人 (61%)、東京では76人中17人 (24%)、那覇では62人中6人 (9.7%) だった。

統計解析には基本的に PC-SAS (Windows Version, Release 8.02, SAS Inst.Inc.) を用いた。また、局所重み付き線型回帰型の smoother (LOESS)<sup>13)</sup> による近似曲線の計算やグラフの作製には GraphPad Prism 4 for Windows (GraphPad Software, Inc.) によった。

### III 研究結果

#### 1. 3都市の屋外気温、とくに $T_{max}$ について

3都市における  $T_p$  測定期間全体の  $T_{max}$  の日間変動を図1に、また、それぞれ曝露測定を行った日のみの  $T_{max}$ 、 $T_{mean}$  および  $T_{min}$  の各平均値 (最低～最高) を (表1) に示す。那覇の  $T_{max}$  は25°C～35°Cの範囲にあり、日内・日間変動も小さく、亜熱帯性気候の特徴が明らかであった一方、札幌の  $T_{max}$  は15°C～30°C未満の範囲にあった。東京では、 $T_{max}$  の変動幅が大きく、那覇市と札幌市両方の  $T_{max}$  がその変動幅に含まれていた。なお、対象期間は“冷夏”と呼ばれたように、3都市を通した  $T_{max}$  の最高値は35°Cであり、それ以上の酷暑日は含まれていない。

一方、屋外 (ベランダ等) で実測した気温の最高値、平均値および最低値のそれぞれ平均値を示したのが表2である。表1と比較して、いずれの都市でも最高値は  $T_{max}$  より高いが、平均値と  $T_{mean}$  はほぼ一致しており、最低値は  $T_{min}$  よりやや低値であった。

#### 2. 昼間の平均 $T_p$ について

3都市における昼間、夕方および夜間の  $T_p$  の平均値を表3に示す。特徴として、いずれの都市でも、 $T_p$  には昼間と夕方で差異がないことが明らかであり、夜間の曝露温度より高値であった。ここで、昼間の平均  $T_p$  について、 $T_{max}$  に対する分布をみたのが図2である。この図に明らかのように、札幌では、 $T_{max}$  はすべて30°C未満であり、

図1 3都市における個人温度曝露測定期間(7月16日~9月23日)の $T_{max}$ ( $^{\circ}C$ )の日間変動。なお、同期間内で個人曝露を測定したのは札幌で50日、東京で49日、那覇で40日である。

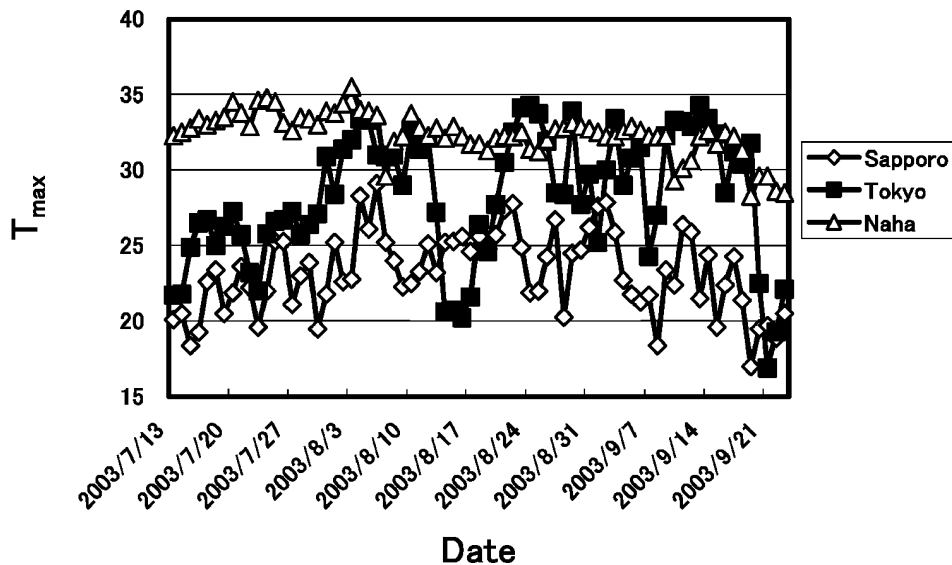


表1 3都市における個人曝露測定日の日最高気温( $T_{max}$ ), 日平均気温( $T_{mean}$ )および日最低気温( $T_{min}$ ) 平均値 (最低-最高)

都市 (n=日数)	日最高気温 ( $T_{max}$ )	日平均気温 ( $T_{mean}$ )	日最低気温 ( $T_{min}$ )
札幌 (n=50)	23.5 (17.0-29.1)	19.2 (12.6-24.5)	15.9 (8.5-19.9)
東京 (n=49)	28.1 (20.2-34.3)	24.9 (19.1-30.1)	21.7 (17.7-26.5)
那覇 (n=40)	32.5 (28.3-34.8)	29.5 (27.0-30.9)	27.5 (24.6-28.7)

注) 都市別平均値間の差はt-検定で全て $P < 0.001$ で有意であった。上記日数は、測定期間内で1人以上の曝露温度データが得られている日の数を示している。

表2 3都市における屋外(ベランダ等)で測定された屋外温度の測定日の最高値, 平均値および最低値 平均値 (最低-最高)

都市 (n=日数)	最高値	平均値	最低値
札幌 (n=50)	33.6 (19.8-55.3)	19.9 (15.1-24.4)	13.9 (6.6-19.8)
東京 (n=37)	34.7 (22.5-49.0)	24.7 (19.4-31.0)	20.8 (17.1-26.0)
那覇 (n=40)	41.3 (24.4-50.1)	30.0 (24.0-32.0)	26.0 (22.0-29.5)

注) 都市間の平均値の差はt-検定で全て $P < 0.001$ で有意であった。なお、東京のみ屋外温度測定値のない日が12日あり、それらの日を除いた平均となっている。

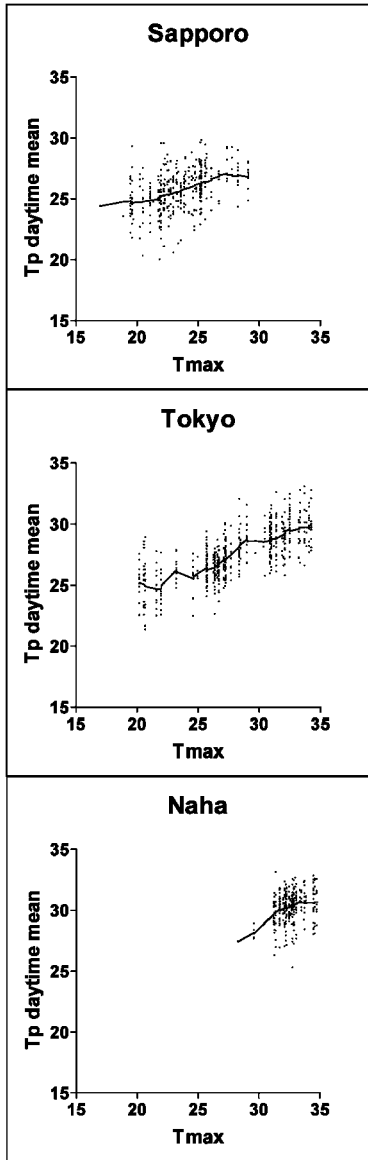
表3 3都市における時間帯別の個人曝露温度( $T_p$ )

平均値 (最低-最高)

都市 (n=人・日) 計1,008	$T_p$			
	昼間 (7-19時)	夕方 (19-24時)	夜間 (0-7時)	24時間
札幌 (n=320)	25.6(20.0-29.8)	25.3(18.7-29.8)	23.5(17.1-27.7)	24.9(18.7-29.8)
東京 (n=440)	27.5(21.3-33.1)	27.2(23.4-33.8)	25.8(18.8-33.3)	26.8(18.8-33.3)
那覇 (n=248)	30.2(25.3-33.1)	29.6(25.2-33.2)	28.6(23.4-33.8)	29.5(23.4-33.2)

注) 時間帯別の平均値の都市差はt-検定で全て $P < 0.0001$ で有意であった。

図2 3都市における  $T_{max}$  (°C) と昼間の個人曝露温度 ( $T_p$  (°C)) の平均との関係。図中の曲線は“LOESS”法による近似曲線である。



30°C以上の日についての検討はできなかった。なお、20°C未満では平均  $T_p$  の方が  $T_{max}$  よりも高く、ほぼ25°C周辺に収束する傾向を示していた。一方、那覇では  $T_{max}$  は28~35°Cの範囲にあったが、30°C以上では、平均  $T_p$  はほぼ31°C周辺で一定となる傾向を示した。また、東京の  $T_{max}$  は変動幅が広く分布しており、30°C以上の日には、那覇と同様、平均  $T_p$  は30°C周辺で押さえられる傾向を示す一方、低温域では、札幌と同様、 $T_p$  の方が高く、平均は約25°Cより低下しない傾向を示していた。

次いで、 $T_{max}$  の区分ごとに、 $T_{max}$  と  $T_p$  と差の平均を求めて、高齢者 (65才以上) とそれ以下の年齢群の間で比較を行ったが有意な差はみられなかった (表4)。さらに、職業について回答した対象者について、職業 (無職、主婦、会社・公務員、自由業) 別に比較検討したが、ほぼ1日在宅が基本となる (無職+主婦+自営業) と会社・公務員との間で  $T_{max}$  と  $T_p$  との差には、有意な相違は認められなかった (データ示さず)。

### 3. $T_{max}$ が30°C以上であった日における昼間と夜間の $T_p$ について

上述のように  $T_{max}$  が30°C以上となっても平均  $T_p$  は30°C周辺より上昇しない傾向が示唆されたことから、 $T_{max}$  が30°C以上の範囲を1°C間隔の5カテゴリ別に昼間の  $T_p$  の平均を求めたのが図3である。那覇では約31°C、東京では約30°C以上に上昇しない傾向があり、それらの曝露温度が漸近レベルとなっていた。なお、昼間の  $T_p$  は各日の7時~19時の平均値であり、通常  $T_{max}$  が記録される午後2時頃の気温上昇との対応が明確でないことから、別途、気温が最高となる13時~15時の平均  $T_p$  を求めて上記と同様な検討を行った。上記のように  $T_{max}$  が30°C以上の範囲における1°C

表4 年齢別にみた日最高気温 ( $T_{max}$ ) のカテゴリ別の  $T_{max}$  と個人曝露温度 ( $T_p$ ) と差の平均値 (±SE)

日最高気温の範囲 (n=人・日) 計1,008	(昼間の $T_p$ )- $T_{max}$ の平均値 (±SE)			年齢による差の 検定 (t-検定)
	全対象者	年齢65才未満	年齢65才以上	
20°C未満 (n=32)	5.36(0.33)	5.54(0.38)	4.64(0.63)	有意差なし
20~30°C未満 (n=570)	1.42(0.08)	1.48(0.10)	1.25(0.11)	有意差なし
30°C以上 (n=406)	-2.53(0.09)	-2.44(0.14)	-2.69(0.11)	有意差なし

注) 各年齢群における温度カテゴリ別の平均値の差は t-検定で全て  $P < 0.0001$  で有意であった。

間隔の5カテゴリ別の曝露温度の平均は、東京では、順に29.2°C, 29.0°C, 29.7°C, 29.9°C, 29.3°C, 沖縄では、31°C-32°Cのカテゴリで30.5°C, それ以上で順に30.6°C, 31.1°C, 30.7°Cであり、いずれにおいても有意な差異は認められなかった。

ここで、示唆される曝露温度調節の地域差に関して、生活行動記録が有効であったデータを用いて東京と那覇別に行動空間を屋内（自宅、職場あるいは自宅以外の家屋内）と外出時（屋外、各種交通機関内）に分け、昼間の平均  $T_p$  と  $T_{max}$  との差を比較してみた（データ示さず）。結果、図3の傾向と同様、 $T_p$  は  $T_{max}$  の上昇に対して屋内・外出時を問わず、那覇より東京の方がより強く抑えられていること、また、東京では屋内の時間帯の方が外出時より、より強く抑えられている傾向があった。那覇では、東京より温度調節幅は小さいが、屋外と外出時を問わずほぼ同程度であった。ただし、屋内と屋外の行動空間に対応する10分間隔の有効測定値数は、東京では318（62%）と197（38%）、那覇では445（64%）と252（36%）であり、地域による差はなかった。なお、 $T_{max}$  が33°C以上の日が1週間の測定期間内に1日以上含まれていた対象者は東京で20人、沖縄で21人とほぼ等しかった。さらに、そのうち冷房を全く使っていない対象者が東京で2人、沖縄で6人おり、これら冷房非使用群と使用群の  $T_{max}$  もそれぞれ平均で33.9°Cと33.8°Cであり有意な差はな

かった。一方、上記の東京20名と那覇21名との比較において、昼間の  $T_p$  は平均30.0°Cと31.0°Cであり、約1°Cの有意な差があった。

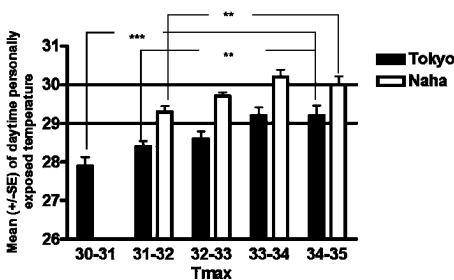
一方、同様に、 $T_{max}$  が30°C以上の日の夜間（0時～7時）の個人曝露温度について、東京と那覇の  $T_{max}$  1°C間隔のカテゴリ別の夜間の平均をみると、東京で約29°C、那覇では30°Cを漸近レベルとして、それ以上には上昇していない傾向があった。なお、 $T_{max}$  との間の相関係数は、 $T_{min}$  で0.42であり、 $T_p$  の平均値と最低値のそれぞれの平均値との間では0.27, 0.19と非常に低かった。

#### 4. $T_{max}$ が30°C以上の日における湿度の曝露について

本研究では気温に着目しているが、湿度の曝露レベルも測定しており、とくに空調利用との関係が予想されたため、上記の結果との関連について若干の解析結果を示しておくことにする。

個人の曝露湿度（相対湿度，%）について、 $T_{max}$  が30°C以上の日を1°C間隔のカテゴリに分け、それらカテゴリ別に昼間と夜間の平均曝露湿度の平均を東京と那覇で比較してみた。東京では30°C～31°Cで約72%であったが、33°C以上では約60%まで低下し、それ以上ではほぼ一定となっていた。一方、那覇では31°C以上の範囲全体で一貫して約70%で安定した傾向を示した。また、夜間の曝露湿度レベルは東京では昼間より高く32°C～33°C以下では70%を超えている一方、那覇では34°C～35°Cを除き昼間と同様、また34°C～35°Cではさらに高いレベルを示した。

図3 東京と那覇における  $T_{max}$  (°C) が30°C以上の1°C間隔温度カテゴリ別の昼間の個人曝露温度。1°C間隔カテゴリ別の対象人数は、東京では順に26, 53, 39, 26及び19, 那覇では0, 57, 122, 36及び28であった。図中の\*, \*\*および\*\*\*は、都市別に34～35°Cの平均値に対するその他のカテゴリの平均値の差のt-検定結果が、 $P < 0.05$ ,  $P < 0.01$ および $P < 0.001$ であったことを示す。ただし、各カテゴリにおける都市別平均値の差は、t-検定で全て  $P < 0.001$ で有意であった。



## IV 考 察

調査した年は冷夏ではあったが、東京の屋外気温は、亜熱帯気候の那覇と同様  $T_{max}$  で約35°Cを示す日もあった。しかし、 $T_{max}$  が33°C-35°Cの日であっても、昼間（7時-19時）の平均  $T_p$  は、東京で約30°C、那覇では約31°Cを漸近レベルとして、それ以上に上昇しない傾向を示した。したがって、この漸近レベル周辺に一般的に暑熱ストレスに耐えられなくなる閾値があり、それ以上とならないよう空調を用いて  $T_p$  が調節されていることが示唆された。同傾向は、1日のうちでも気温が最高となる13時-15時の曝露温度ではより明確であり、東京では  $T_{max}$  が30°C以上の日には13時-15時の平均  $T_p$  もすべて29°C-30°Cの範囲内に、

沖縄ではほぼ30°C-31°Cの範囲内にあった。また、夜間の $T_p$ は、基本的に枕元などの室内温度であるが、同温度についても同様な漸近レベルが示され、 $T_{max}$ が33°C以上の日には東京で平均28°C、那覇で平均29°Cと、いずれも昼間の $T_p$ より1°C低い程度であった。ちなみに、東京と那覇の両市において $T_{max}$ が30°C以上の日の日最低気温( $T_{min}$ )の平均は26.3°Cで“熱帯夜”が大半を占めることが明らかであったが、 $T_p$ 最低値の平均は27.1°Cであり、 $T_{min}$ の平均よりさらに高レベルであった。両都市ともに、睡眠への影響をはじめ暑熱ストレスが問題となるレベル、すなわち熱帯夜の基準下限である25°Cよりも $T_p$ が高いことから、これら漸近レベルがそのまま暑熱ストレスの閾値とは考えにくい。

ここで、筆者らが行った今回の3都市を含む全国レベルのアンケート調査結果<sup>14)</sup>を用いて東京と那覇を比較すると、夏期の暑い日に経験している症状のうち最も多かったのが“眠れないことがある”(那覇67%、東京59%)、次いで“疲労や変調を感じる”(那覇44%、東京28%)であり、いずれも那覇では東京より多い傾向があった。なお、経験する頻度を(“毎日”+“時々”)に限定すると、有意な地域差はみられなかった。他方、夏期の冷房利用は両地域とも95%を超えており、また、冷房開始温度は那覇の方が東京より低い傾向があった。この結果と今回の測定結果を考慮すると、那覇では温度のみならず湿度も高いために“不快感”が強く、東京より低い温度でも冷房を入れる傾向があることを窺わせる。しかし、実際の曝露温度は東京より高いにもかかわらず、熱中症の既往が少ない傾向もあり、そもそも那覇住民の生物学的な暑熱耐性が大きくなっている可能性が高い。

ところで、夏期高温日の死亡リスクに関して、東京では $T_{max}$ が33°C、北海道では28°C以上となると上昇する傾向のあることが知られている<sup>8,9)</sup>。なお、 $T_{max}$ が33°C以上で増加する死亡例の死亡時点における温度調節の実態などは不明であるが、大半が、暑熱ストレスへの耐性が弱い“脆弱集団”であることが示唆されている高齢の循環器系や呼吸器系疾患等の患者群から発生していると見られる。なお、熱波による死亡リスクの原因となる諸要因として高齢、独居、薬物使用、

痴呆、上記のような既往疾患などをあげている報告もあり<sup>4)</sup>、さらに、生物学的な暑熱適応能は加齢によって一般的に低下することを示している動物実験結果もある<sup>15)</sup>。一方、本研究によって、東京では、 $T_{max}$ が30°C、とくに33°C以上では $T_p$ が約30°Cの漸近レベルより低く抑えられている傾向が示唆された。同傾向は、例えば65才以上の高齢者に限ってみても全体的な傾向と差がないことは、結果で述べた通りである。したがって、この漸近レベル辺りから死亡リスクが上昇している背景要因には、上記のような“脆弱集団”において、各種機能障害等により屋内での曝露温度を十分調節できていないこと、高齢や関連疾患のために生物学的適応能が低下していること、病状が急変しやすいこと、さらに介護者の欠如など種々の要因が関与していることなどが予想される。後述するように、国際的にも積極的な予防的アプローチを考える必要性が指摘されているが、そのためにもこれら情報の収集・整理は必須となる。

一方、夏期高温日の熱中症のリスクについては、上述の救急搬送のデータ<sup>10)</sup>によれば、 $T_{max}$ が30°C( $T_{mean}$ で26.5°Cに相当)周辺から増加し始め、それ以上で指数関数的に増加する傾向が示されている。ちなみに、東京都での発生件数は2000年~2003年の4年間で男女計で約1,300件、年間平均で325件であった。発症者の年齢分布は、女子では高齢者ほど多いが、男子では60才以上は約15%、3分の2が15~60才とされており、また、屋外と屋内での発生割合はそれぞれ約60%と30%程度であり、搬送事例のピークは外気温が最高となる2時頃に一致していた。熱中症は、外気温が比較的低い場合でも、とくに直射日光のもとでの運動・作業などによって発生することも知られており、熱中症リスク要因は、高齢者で非常に高いことを特徴とする死亡リスクの場合とは明らかに異なっているが、その詳細については、救急搬送例以外の症例も含めた疫学調査が必要と考えられる。

以上、屋外気温、とくに $T_{max}$ が30°C以上の範囲では、全体的に、暑熱ストレスを回避するために昼間の活動時における曝露温度は30°C周辺以上に上昇しないように冷房を用いることで調節されていること、沖縄では暑熱ストレスに対して東京よりやや耐性が大きいこと、一方、夜間の曝露温

度の調節は快適な睡眠を確保するのに十分な調節ができていないこと、などが示唆された。なお、今回の調査では、例年とは異なり、札幌で $T_{max}$ が $30^{\circ}\text{C}$ を超えた日はなかったため比較はできなかったが、死亡リスクが上昇する気温が東京より低く、暑熱ストレス耐性が低いことが示唆される。上記アンケート調査<sup>14)</sup>によれば、札幌では冷房設備がない世帯が約60%あり、熱帯夜にも窓を開けて風を入れる程度で調節している例が多いこと、また、熱中症の既往者が他地域よりも多い傾向がみられることなどの特徴もある、札幌にみられるこうした諸条件は、本調査中にパリを中心に発生し、15,000人以上の死者を出した熱波の事例の背景要因と多くの類似点があることから、もし札幌と同様な寒冷地域で熱波が発生したとすれば、死亡や熱中症のリスクのみならず暑熱ストレス全般が他地域より格段に大きくなる可能性が否定できない。ただし、札幌の例から示唆される上記のような寒冷地への適応像は、同地への移住後に獲得されてきている部分もあるとすれば、逆に、予想される地球温暖化のように気温上昇が緩やかに進む場合には、徐々に新たな条件に再び適応して行くことも可能と思われる。一方、現状では夏期の死亡リスクより大きな比重を占めている冬期の死亡リスクが減少し、夏期のリスクが相対的に大きくなっていくことも予想される。

しかし、欧米では、昨年のパリの熱波の事例を契機に研究が活発化しており、気候変化の一つの側面である熱波等の発生を含む気象現象の変動幅が拡大していることを示唆する報告もある<sup>16,17)</sup>が、我が国の今後についての詳細な予測情報は未だ報告がない。また、欧米では、先行するシカゴやフィラデルフィアの熱波事例などを含め、リスク回避・低減のための予防対策として“早期警報システム”等についての研究も行われており、実際にその効果を調べている例もある<sup>4)</sup>。それは、わが国でもすでにみられるような、体育や運動時の熱中症予防のための対策、あるいは一般向けのTV等による気象予報情報の発信などによる、自主管理を基本とする消極的なものではなく、公衆衛生学的な介入を伴う積極的なアプローチである。とは言え、我が国でも最近多くなっている自然災害（水害や地震など）についても同様な予防的対策や危機管理が必要とされており、それらの

社会的取り組みの中に位置づけることはそれほど困難なことではないようにも思われる。ただし、温暖化や熱波のリスク対策の場合には、温度調節のための空調利用自体が、エネルギー利用増大による温暖化促進に働くことから、安易な空調奨励のみでは対策は不十分である。WHOも指摘している<sup>4)</sup>ように、各地域において公衆衛生のみならず関連する諸セクターによるリスクから適応策までを包括した総合的な取り組みが望まれる所以である。

本調査は環境省の「地球温暖化影響と適応戦略に関する統合調査」（平成14年度～）のうちの健康影響研究班（班長：兜 真徳）の一環として行われたものである。個人曝露温度測定調査に快く協力して頂いた協力者の方々に深く感謝します。

（受付 2004. 7.26）  
（採用 2005. 7.29）

## 文 献

- 1) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2001: third assessment report: Impacts, adaptation and vulnerability of climate change. McCarthy JJ et al. eds. Cambridge, Cambridge University Press, 2001.
- 2) McMichael AJ, Campbell-Lendrum DH, Corvalan CF et al. eds. Climate change and human health: Risks and responses, Geneva, WHO, 2003.
- 3) WHO Health and Global Environmental Changes. Series NO. 1. Methods of assessing human health vulnerability and public health adaptation to climate change. Geneva, WHO Regional Office for Europe, 2003.
- 4) WHO Health and Global Environmental Change. Series NO. 2. Heat waves: Risks and responses. Geneva, WHO Regional Office for Europe, 2004.
- 5) 兜 真徳. 第Ⅳ編：温暖化の影響と対策：健康への影響と対策. 大政謙次・原沢英夫（編）地球温暖化：世界の動向から対策技術まで. 生物の科学—遺伝別冊 No17, 東京：裳華房, 2003; 137-144.
- 6) Klinenberg E. Heat wave—a social autopsy of disaster in Chicago. Chicago, The University of Chicago Press, 2002.
- 7) Tan J., Kalkstein L. S., Huang J., Lin S., Yin H. and Shao D. An operational heat/health warning system in Shanghai. Int J Biometeorol; 48: 157-162.
- 8) Honda Y, Ono M, Uchiyama I, Sasaki A: Shift of the short-term temperature-mortality relationship by a climate factor—some evidence necessary to take account



- in estimating the health effect of the global warming. *J Risk Res* 1998; 1: 209-220.
- 9) 本田 靖, 小野雅司, 佐々木昭彦, 内山巖雄: 九州における日最高気温と死亡との関係. *日公衛誌* 1995; 42: 260-268.
  - 10) 小野雅司 (未発表資料). 東京, 川崎及び名古屋の救急搬送例速報 (<http://www.nies.go.jp/impact> に掲載中).
  - 11) NCDC の気象データは, <http://www.ncdc.noaa.gov/cgi-bin/res40.pl?page=climvisgsod.html> 参照.
  - 12) 気象庁の気象データは, <http://www.data.kishou.go.jp/>を参照.
  - 13) Hastie TJ, Tibshirani RJ. *Generalized additive models*. London, Chapman & Hall, 1990, 29-31.
  - 14) 兜 真徳, 青柳みどり. 夏季の曝露温度調節行動と暑熱ストレス関連症状の地域差—全国レベルのアンケート調査結果から—, *環境科学* (投稿中).
  - 15) Frank R, Tankersley C. Air pollution and daily mortality: A hypothesis concerning the role of impaired homeostasis. *Environmental Health Perspectives* 2002; 110(1): 61-65.
  - 16) Schär C, Vidale PL, Lüthi D et al. The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature* (published online 11 January 2004).
  - 17) Stott P. A, Stone D. A. and Allen M. R. Human contribution to the European heatwave of 2003. *Nature* 2004; 432: 610-614.
-

## A COMPARATIVE STUDY OF DAILY MAXIMUM AND PERSONALLY EXPOSED TEMPERATURES DURING HOT SUMMER DAYS IN 3 JAPANESE CITIES

Michinori KABUTO\*, Yasushi HONDA<sup>2\*</sup>, and Hidemi TODORIKI<sup>3\*</sup>

**Key words** : global warming, daily maximum temperature, personal temperature exposure, heat stress, daily mortality, heat stroke, adaptation measures

**Objectives** Health risk assessment and developing measures to deal with global warming (including increased heat waves) have become urgent global issues. In the present study, we measured the personally exposed temperature ( $T_p$ ) during summer among residents in major Japanese cities to investigate the relation to daily maximum ambient temperature ( $T_{max}$ ), which is generally been used as an index of temperature exposure in epidemiological studies.

**Methods** Personal exposures to temperature ( $T_p$ ) were measured for a week with portable monitors (HOBO H8 Loggers, Onset Computer Corporation) for 194 subjects (101 males and 93 females, aged 21–82 years) in 3 cities, i.e., Sapporo, Tokyo and Naha (Okinawa), from July to September, 2003 (73 days).

**Results and Discussion** Even on days with a  $T_{max}$  of 30–35°C, associated with significantly increased risk of mortality in Tokyo, neither average  $T_p$  for 7–19 o'clock nor the value for 13–15 o'clock appeared to rise beyond 30°C in Tokyo and 31°C in Naha. It was, thus, apparent that  $T_p$ 's are generally controlled to not exceed these values at least during daytime, suggesting that they could be regarded as a threshold for heat stress tolerance. On the other hand, although average  $T_p$ 's for night time (0–7 o'clock) were also found to be asymptomatic at 29°C in Tokyo and 30°C in Naha, they were generally too high to be free from heat stress including sleep disturbance in both cities as indicated in our questionnaire study. For both cities, in days with the  $T_{max}$  above 30°C, the average  $T_{min}$  was 26°C, while average and minimum  $T_p$ 's during the night time were 28°C and 27°C, respectively. The correlation coefficients with  $T_{max}$  were generally low; 0.35 for average  $T_p$  during daytime, 0.42 for  $T_{min}$  and 0.27 and 0.19 for average and minimum night time  $T_p$ , respectively.

---

\* National Institute for Environmental Studies

<sup>2\*</sup> University of Tsukuba, School of Comprehensive Human Sciences

<sup>3\*</sup> University of Ryukyus, Faculty of Medicine, Department of Environmental and Preventive Medicine