

# 東京 23 区の熱中症死亡率と気温分布との関係 —2013 年についての解析—

Relationship between heat mortality and temperature distribution in the Tokyo ward area:  
Analysis for the 2013 summer.

藤部文昭\*<sup>1</sup> 松本 淳\*<sup>1</sup> 鈴木秀人\*<sup>2</sup>  
Fumiaki Fujibe Jun Matsumoto Hideto Suzuki

\*<sup>1</sup> 首都大学東京都市環境学部 Faculty of Urban Environmental Sciences, Tokyo Metropolitan University

\*<sup>2</sup> 東京都監察医務院 Tokyo Medical Examiner's Office

Corresponding author: Fumiaki FUJIBE, ffujibe.bs@gmail.com

## ABSTRACT

The distribution of heat mortality in the ward area of Tokyo was examined on the basis of 135 cases that were subtracted from postmortem data of the Tokyo Medical Examiner's Office in 2013. It was found that heat mortality was higher in the periphery of the city than in its central part. The mortality of each ward was negatively correlated to the mean income with a coefficient of  $-0.49$ , which was statistically significant at the 5% level. For a given value of mean income, inland wards tended to show higher mortality than wards in other areas, in agreement with higher daytime temperature in the inland area. It was also found that the mortality in wards along Tokyo Bay tended to be higher in a period of higher temperature in the coastal area. These facts provide observational evidence for the dependence of the distribution of heat mortality on social and meteorological factors.

キーワード: 熱中症死亡率, 気温分布, 東京

**Key Words** : heat mortality, temperature distribution, Tokyo

## 1. はじめに

近年, 熱中症による全国の死者数は年間数百人, 多い年は 1000 人を超える。年間の熱中症死者数や死亡率は夏季の気温と正の相関があり<sup>(1, 2, 3)</sup>, また, 日ごとの変動についても熱中症による死者数や救急搬送数と気温との間に強い対応関係がある<sup>(4, 5, 6)</sup>。このように, 時間的な変動においては熱中症被害と気温との関連がデータから明瞭に認められる。

空間分布においても, 地域ごとの熱中症死亡率や救急搬送数と気温との間に正相関が見出されている<sup>(7, 8)</sup>。その一方, 熱中症と気温との関係には地域差がある。例えば, 日々の救急搬送数と気温との関係において, 搬送数が増加し始める気温の値やその増加の速さは, 地域によって異なる<sup>(4, 5, 6)</sup>。同様の地域差は国外でも見出されている<sup>(9)</sup>。これらの事実は, 熱中症の発生に対して気温以外の要因が関わることを示唆する。

より小さいスケールで, 市街地の温熱環境の変動や<sup>(10, 11)</sup>, それと体感との関連を調べた研究も多い<sup>(12, 13, 14)</sup>。しかし, 暑熱指標の微細な空間変動と被害との関係, すなわち「暑い場所で本当に熱中症が多いか」をデータで確かめること

は, 熱中症被害の詳細な分布情報が乏しく検証が難しい。横浜市について, 熱中症による救急搬送人数比率 (搬送数 ÷ 昼間人口) を区ごとに調べた結果によると, その分布は 2007 年については夏季の気温分布と比較的よく対応するが (相関係数 0.42)<sup>(15)</sup>, 2004 年は気温分布と一致せず, 「昼間に屋外に居る人の割合や年齢構成, また, 救急車を呼ぶ条件として病院までの距離といった地域的な特性が大きな影響を与えている」と考えられている<sup>(16)</sup>。国外の都市を対象にした研究の中には, 暑熱関連死亡率 (heat-related mortality) や熱波時の超過死亡率 (excess mortality) の分布をヒートアイランドや都心の建物密集域と結びつけて論じたものがある一方<sup>(17, 18)</sup>, 社会経済因子との関連を調べた研究もあるが<sup>(19, 20, 21, 22)</sup>, 後者の中には死亡率と社会因子との対応について否定的な結果を示すものもあり<sup>(19)</sup>, 熱中症被害の分布と気象因子・社会因子との関係については, さらに実証的な研究を積み重ねることが望まれる。

本研究は, 東京都監察医務院の検案資料に基づき, 東京 23 区の熱中症死亡率の分布を調べたものである。死亡率の分布とその変動を, 気温分布と対比しつつ統計的に解析することにより, 熱中症被害の地域性に関連する気象因子・

社会因子を見出すことを目的とする。対象年は、記録的な高温の下で過去2番目(1位は2010年)の熱中症死者が発生した2013年とした。

## 2. 資料

東京都監察医務院は、死体解剖保存法第8条に基づき、東京23区内で発生するすべての異状死を検査して死因の特定を行っている。本研究では、2013年の検案事例の中から熱中症が死因と判断された135人を抽出し、それぞれの死亡日・年齢・性別および区の情報とともに統計を行った。このうち、区の情報は異状死が発生した場所(高温曝露があった場所)を表す。

検案で熱中症による死亡と判断する上では、高温環境下での死亡であること、熱中症を示唆する所見が認められること(皮膚の乾燥、死後変化時間に比して高い直腸温、角膜混濁の早期の出現)を根拠とし、加えて、死亡者の既往症や死亡前状況(生前に熱中症と診断された等)を参考にする。熱中症による死亡かどうか判断困難な場合は解剖を行う。熱中症の診断は典型例では難しくないが、死後変化が進行した場合には死因を不詳とせざるを得ないこともある。従って、今回対象外となった死因不詳例の中にも熱中症による死亡があるかも知れない。また、複数の因子が重なって死に至ったと判断される場合については、本研究では熱中症が主因であるもののみを採用した。暑熱が副次的な死因になったものを含めれば、その数は今回の対象の倍以上になる可能性がある。

気象データは気象庁によるアメダス等の観測値を使った。図1は以下の議論に出てくる地点の位置を示したものである。千代田区大手町の気象庁敷地にあった観測点(2014年12月に北の丸公園へ移転)は、気象庁による地点名は「東京」であるが、本稿では「大手町」と表記する。他に、23区内の地点として練馬と江戸川臨海の資料を取り上げた。羽田でも風や気温の観測が行われているが、その特徴は江戸川臨海のものと同通するため、以下では触れないこととする。

図11に関連する社会的指標は、下記の資料によった。

- ・人口:東京都総務局「平成22年東京都区市町村町丁別報告」<http://www.toukei.metro.tokyo.jp/kokusei/2010/kd-10/index.htm>
- ・所得:総務省統計局「統計でみる市区町村のすがた2010」<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001026833>
- ・生活保護受給者数:東京都福祉保健局「福祉・衛生統計年報」<http://www.fukushihoken.metro.tokyo.jp/kiban/chosa-tokei/nenpou/index.html>

人口は2010年国勢調査、所得は2013年、生活保護受給者数は2010年度平均の値である。なお、所得の数値は東京都総務局「市町村税課税状況等の調(特別区関係)」所載の「総所得金額等」<http://www.soumu.metro.tokyo.jp/05gyousei/04kuschousonzei.html>とほぼ一致する。

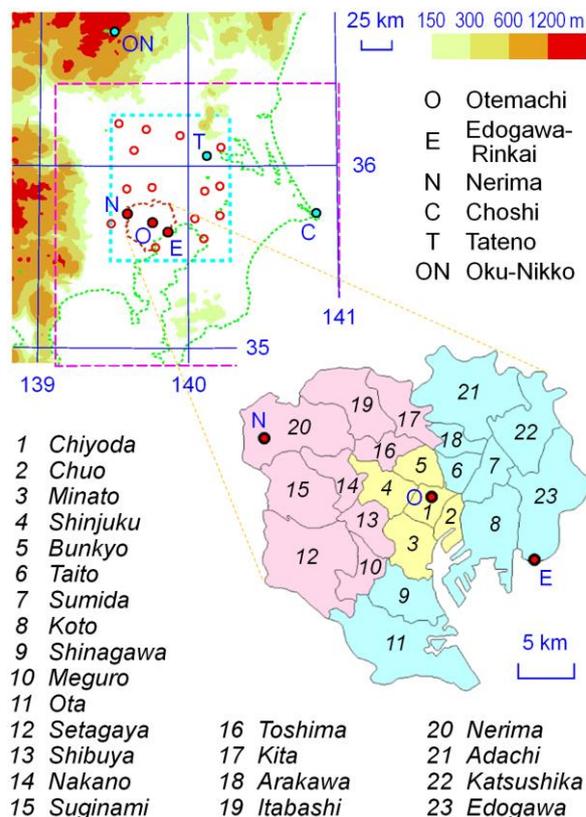


図1 関東地方の地形(上)と、東京23区の行政区分(下)。上図のピンクの枠は図7と図9の領域を示す。水色の枠はREF\_Kanto領域(第4節参照)を示し、その内部のアメダス地点を○や●で示す。記号は本文で言及する地点を表す。下図は区を番号で示し、第3節以降で取り上げる地域区分を色で表す(都心部=黄、臨海部=淡青、内陸部=ピンク)。

## 3. 2013年夏の熱中症死亡率の分布と変動

2013年の関東地方は、7月6日に梅雨明けした直後から大手町で日最高気温35℃前後の高温となり、その後も変動しながら高温傾向で推移した(後出の図4参照)。8月11日には、大手町で東京の日最低気温の観測開始以来の最高記録30.4℃が観測された。関東甲信地方の平均気温は、7月は平年に比べて+1.1℃、8月は+1.4℃の正偏差であった。

図2は、東京23区の熱中症死者135人を5歳階級別・男女別に示したものである。死者のうち103人(76%)は65歳以上、49人(36%)は80歳以上であり、5歳階級ごとに見た死亡数の極大は85~89歳にある。男性が86人(64%)を占めるが、80代後半~90代は女性の比率が高い。これはこの年代の女性の人口が多いからであり、死亡率(死亡数÷人口)はすべての年齢階級で男性の方が高い。熱中症死者の大半を高齢者が占めることや、男性の比率が高いこ

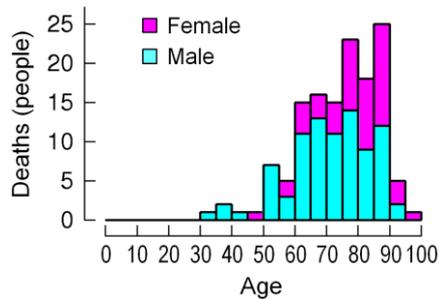


図2 5歳階級ごとの熱中症死者数 (東京 23 区, 2013 年).

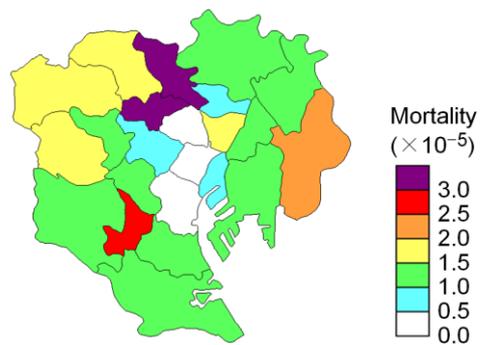


図3 各区の熱中症死亡率 (2013 年, 年齢調整値).

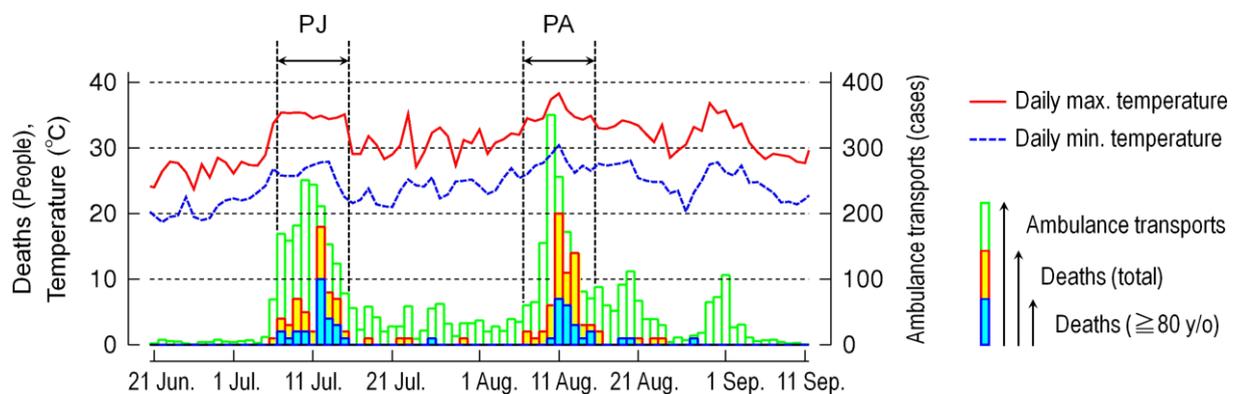


図4 2013 年夏の日々の最高・最低気温 (大手町, 左目盛り), 熱中症死者数 (東京 23 区, 左目盛り), および救急搬送数 (東京 23 区と稲城市を除く多摩地域, 右目盛り). 2つの高温期 (PJ と PA) を ←→ で示す.

とは, 近年の全国的な傾向<sup>(2)</sup>と一致する.

図3 は各区の熱中症死亡率を示したものである. 死亡率は区による年齢構成の違いを補正した調整値である (付録参照). 都心は周辺に比べて死亡率が低い.

以下, 23 区を下記の 3 地域に分けて解析を進める.

都心部: 千代田, 中央, 港, 新宿, 文京

臨海部: 台東, 墨田, 江東, 品川, 大田, 荒川, 足立, 葛飾, 江戸川

内陸部: 目黒, 世田谷, 渋谷, 中野, 杉並, 豊島, 北, 板橋, 練馬

この区分に従うと, 都心部の死亡率は  $0.40 \times 10^{-5}$  であるのに対して臨海部は  $1.38 \times 10^{-5}$ , 内陸部は  $1.78 \times 10^{-5}$  であり, 都心部と臨海部・内陸部との間には 4 倍前後の開きがある. なお, 本研究で利用するアメダス地点の大手町・江戸川臨海・練馬は, それぞれ都心部・臨海部・内陸部に位置する.

135 人の死亡月は, 2 人 (5 月と 6 月に 1 人ずつ) を除いて 7 月と 8 月であった. 図4 は, 死亡日を推定できない 1 人 (8 月上旬) を除き, 日別の死亡数と大手町の日最高・最低気温, および東京消防庁による救急搬送数を示したものである. 7 月 10 日前後と 8 月 10 日前後に, 日最高気温  $35^{\circ}\text{C}$

前後の高温が続き, 熱中症による死亡はこれらの 2 期間に集中した. 日最高気温  $34^{\circ}\text{C}$  以上の継続期間は, 両月とも 7 日~15 日の 9 日間であった. 以下の記述では, これらの 9 日間を「高温期」と定義し, 7 月の高温期を PJ, 8 月の高温期を PA と表記する. 2つの高温期の死亡数は, PJ が 57 人, PA が 62 人であり, 合わせて 2013 年の熱中症死亡数の 88% を占める.

PJ と PA の死亡数の比率は臨海部と内陸部とで異なる.

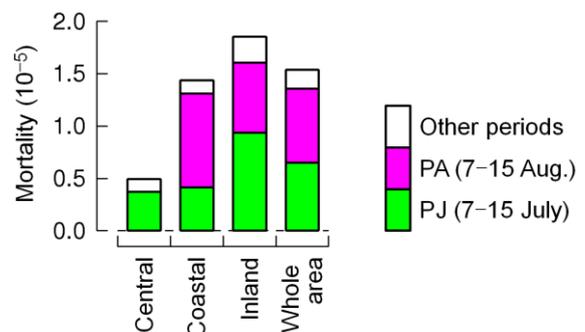


図5 地域別の熱中症死亡率. PJ, PA の値をそれぞれ黄緑とピンクで示す.

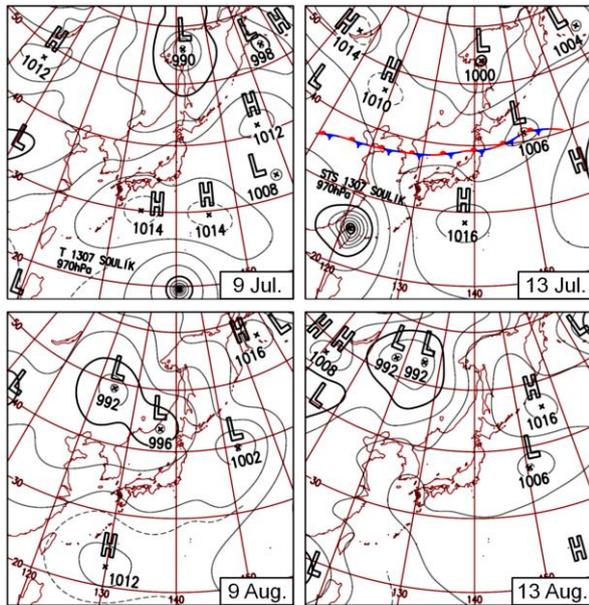


図6 各高温期(9日と13日)の09時の地上天気図。気象庁ホームページ「日々の天気図」による。  
<http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/>

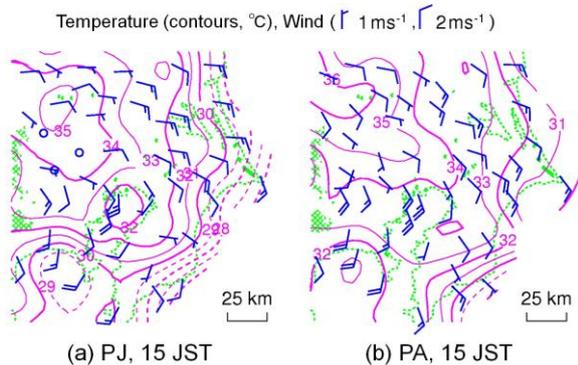


図7 各高温期の15時の風と気温の分布(9日間平均値, 風はベクトル平均)。等温線は1°Cごとで, 30°C未満については点線で示す。陰影は海拔600m以上の領域。

臨海部では, 両期間の合計死亡数51人のうちPAが35人(69%)であるのに対し, 内陸部では65人のうちPAは27人(42%)である。この違いは危険率1%で有意である。図5は, 各地域の死亡率についてPJとPAの値を示したものである。なお, 都心部ではPJの死亡数が3人であるのに対してPAはゼロであるが, この差は有意ではない。

#### 4. 気温分布の特徴と熱中症死亡率との関係

本節では, 高温期の気象状態を概観し, それと熱中症死亡率の分布との関係について考察を交えながら検討する。

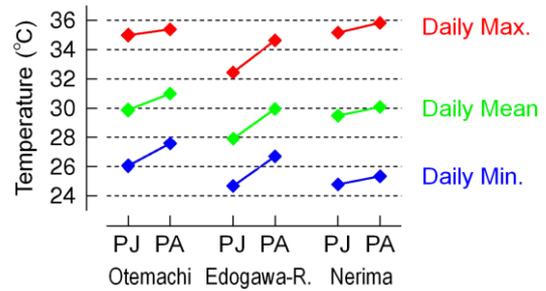


図8 都内3地点の各高温期の日最高・平均・最低気温(9日間平均値)。

図6は各高温期の前半(9日)と後半(13日)の天気図である。両期間とも本州からその南海上を太平洋高気圧が広くおおう状態が続いた。図7は関東地方の15時の風と気温を, 各高温期について平均したものである。南東～南風が広範囲に吹き, 気温は沿岸から内陸へ行くにつれて上昇している。これは高気圧におおわれた夏の晴天日の典型的な状態であり, 南東～南風は“広域海風”として知られているものである。この状態のもとでは, 沿岸域は相対的に低温な海上の空気のため気温の上昇が抑えられ, 内陸へ行くにつれて陸地の加熱により気温が高くなる。特に, 東京では市街地の加熱によって内陸域の高温が増幅される傾向がある(23, 24)。

図8は大手町・江戸川臨海・練馬(図1)における各高温期の日最高・平均・最低気温の9日間平均値である。図7の気温分布に対応し, 日最高気温は両期間とも練馬が最も高く, 江戸川臨海が最も低い。一方, 日最低気温は大手町が最も高く, 夜間のヒートアイランドに伴う気温分布を反映する。日平均気温も大手町が最も高い。PJとPAの比較という観点から臨海部と内陸部の違いに注目すると, PJは練馬の方が江戸川臨海に比べて日最高気温は2.7°C, 日平均気温は1.6°C高い。これは内陸部の死亡率が高かったこと(図5)と整合する。一方, PAは練馬と江戸川臨海の日平均気温がほぼ等しく(0.1°Cの差), 日最低気温は江戸川臨海のほうが1.4°C高い。すなわち, PAはPJに比べ, 臨海部の相対的な高温傾向が目立つ。このことは, PAの臨海部の高死亡率(図5)と整合する。しかし, 都心部の低死亡率は気温分布の特徴とは一致せず, 死亡率の分布に対する気温以外の要因の関与が示唆される。なお, 大手町の相対湿度はPJが69%, PAが67%であり, ほとんど差がなかった。

以下, PJとPAの気温分布の差をもたらした要因について考察する。図9は, 2つの高温期の15時と03時の気温と風ベクトルの差の分布である。どちらの時刻も, 気温差は内陸域では1°C前後であるのに対し, 沿岸域では2~3°C, 外海に面する銚子では4°Cに達する(地点の位置は図1参照)。15時の気温に関しては, 東京湾岸域でも2°C以上の気温差がある。このように, 沿岸域を中心とするPAの高温傾向は, 東京湾岸を含む関東一円の特徴である(図は示さ

ないが、関東～西日本の広域にわたって沿岸域での高温傾向が見られる。風ベクトル差はおおむね  $1\text{m/s}$  以下であり、両期間の風系に大きな差はなかったことが分かる。一方、館野のゾンデ観測による  $850\text{hPa}$  の気温差 (09 時と 21 時の平均値の差) は  $-0.3^\circ\text{C}$  であり、PA のほうがむしろ低温であった (図は省略)。山岳地点である奥日光 (海拔  $1292\text{m}$ ) でも、気温差は日平均値で  $0.2^\circ\text{C}$  にとどまる。図9の気温差は大気下層に限局されていたことが分かる。

2013 年 8 月は、日本近海の海面水温 (SST) が例年になく高かった<sup>(25)</sup>。図 10 は、2 つの高温期の中央の 3 日間すなわち各月 10～12 日の SST の分布を示す。関東近海の広い範囲にわたり、PA の方が PJ よりも SST が  $4^\circ\text{C}$  程度高い。Takahashi *et al.*<sup>(26)</sup> は、関東近海の夏の SST と気温との関係を観測データと数値シミュレーションによって調べ、SST の偏差によって関東平野の気温に偏差が現れること、その値は SST 偏差の 40% 程度であることを示した。図 1 に水色の破線で示した「REF Kanto」は、彼らの解析で関東平野の気温の評価に使われた領域である ( $35.48^\circ\sim 36.28^\circ\text{N}$ ,  $139.48^\circ\sim 140.28^\circ\text{E}$ )。この領域にあるアメダス 18 地点の気温差は平均  $1.1^\circ\text{C}$ 、すなわち  $\sim 4^\circ\text{C}$  の SST 偏差の 30% 弱であり、彼らの結果に近い。このことと、気温差が下層に限られていたことから、PJ と PA の気温分布の違いに対して近海の SST の差が影響していたと推測される。なお、この高 SST の要因としては当年夏の多照・弱風傾向の影響が指摘されている<sup>(25)</sup>。

最後に、熱中症被害に対する気温以外の要因として、いくつかの社会的指標と死亡率との関係を調べた。対象にしたのは、65 歳以上の人口比率、80 歳以上の人口比率、65 歳以上の単身世帯の人口比率、1 人当たりの年間所得 (以下「平均所得」)、生活保護受給者の人口比率 (以下「生活保護受給率」) 等であり、いずれも各区の数値をその人口で割った値を使った。図 11 は、このうちの 3 つの指標と熱

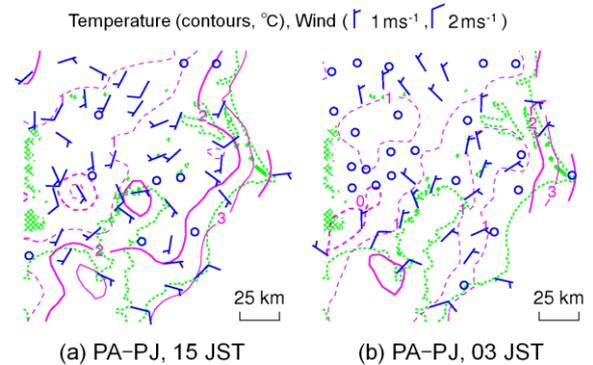


図9 2 つの高温期の風ベクトル差と気温差の分布。PA の 9 日間平均値から PJ の 9 日間平均値を引いたもの。(a) 15 時、(b) 03 時。等温線は  $1^\circ\text{C}$  ごとで、 $2^\circ\text{C}$  未満については点線で示す。

中症死亡率との関係を示したものである。平均所得と死亡率との間には  $-0.49$  の負相関があり (図 11b)、この値は危険率 5% で統計的に有意である。平均所得は地域の生活水準を表す尺度の 1 つであり、上記の負相関は熱中症死亡率に対する生活環境の寄与を示すものと考えられる。一方、65 歳以上の人口比率や生活保護受給率と死亡率の間には弱い正相関があるが (図 11a, c)、これらは有意ではない。これら以外の指標についても、死亡率との間に有意な相関はなかった。

図 11b によると、平均所得が同じなら、内陸部の区の方が臨海部よりも死亡率の高い傾向がある。このことは、図 7 や図 8 に示された昼間の内陸の高温傾向と整合する。死亡率と平均所得の関係、および内陸部と都心・臨海部の違いを併せて評価するため、下記の式(1)の最小 2 乗条件による回帰分析を行った。

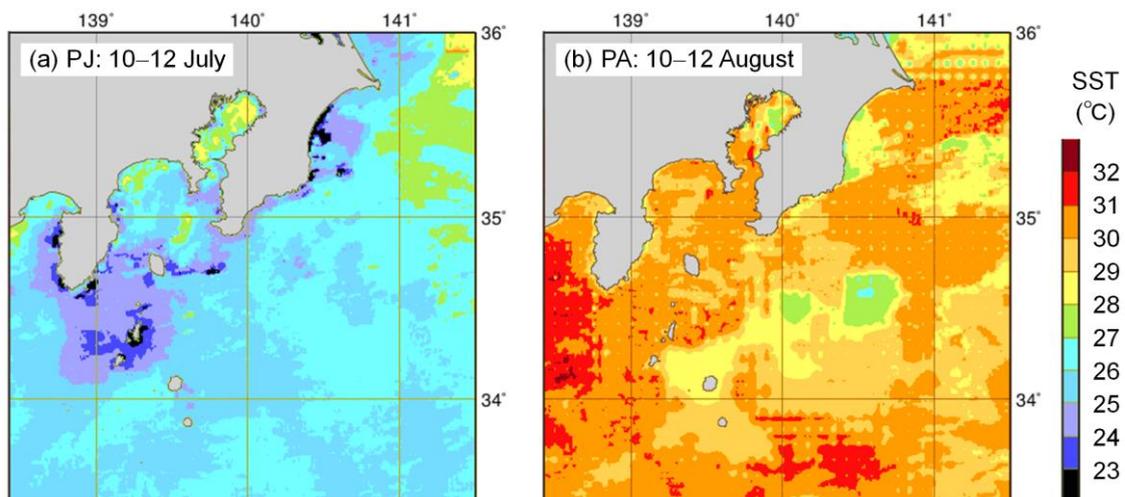


図 10 各高温期の海面水温。海上保安庁第三管区海上保安本部ホームページ「三管区詳細水温情報」による。  
<http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAN3/kaisyo/kaikyo/temp/suion.htm>

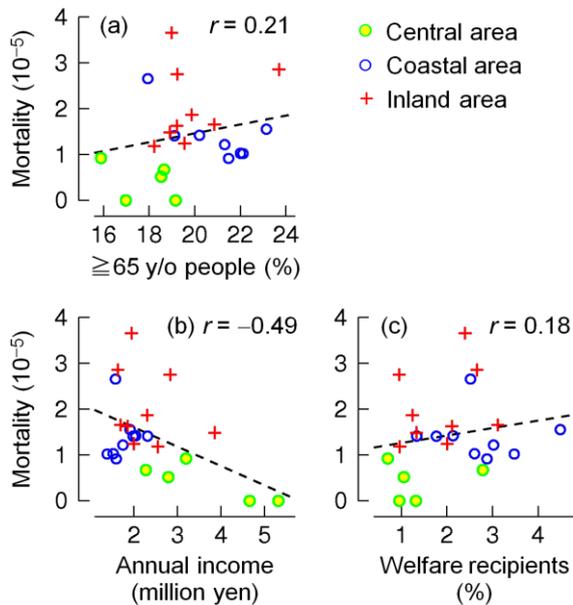


図 11 各区の社会的指標と死亡率との関係. 点線は 1 次回帰.  $r$  は相関係数を示す.

$$\sum_k [M_k - (a + bI_k + cS_k)]^2 \rightarrow \text{最小} \quad (1)$$

ここで  $M_k$  と  $I_k$  は区  $k$  の死亡率と平均所得であり,  $S_k$  は内陸部の区では 1, それ以外は 0 とする.  $a, b, c$  は最小 2 乗係数であり, このうち  $b$  は死亡率の平均所得に対する依存性を,  $c$  は内陸部と都心・臨海部の差を与える. 回帰分析の結果によると,  $b$  は  $0.39 \times 10^{-5}$ /百万円,  $c$  は  $0.92 \times 10^{-5}$  であり, それぞれ危険率 5% と 1% で有意である. 平均所得の代わりに  $\geq 65$  歳比率と生活保護受給率を使うと,  $b$  は有意でないが,  $c$  はそれぞれ  $0.97 \times 10^{-5}$ ,  $1.08 \times 10^{-5}$  であり, 危険率 1% で有意である.

## 5. まとめと補足

東京都監察医務院の検案資料から抽出された 2013 年の熱中症死亡者 135 人について, 以下のことが見出された.

- (1) 熱中症死亡率は都心部よりも周辺部 (内陸部・臨海部) で高かった. また, 熱中症死亡者の 88% は, 7 月 7~15 日 (PJ) と 8 月 7~15 日 (PA) の高温期に集中した.
- (2) 内陸部の区で死亡率が高い傾向は, 夏の日中の気温分布における内陸域の高温傾向と整合する. 一方, PA は PJ に比べて臨海部の熱中症死亡率が高く, この特徴は PA における東京湾岸域での高温傾向と符合する. 沿岸部の高温の要因としては, 関東近海の高水温が考えられる.
- (3) 区ごとの死亡率と平均所得との間に,  $-0.49$  の負相関がある.

これらの結果を要約すれば, 「東京 23 区内の熱中症死亡率の分布は, 気温分布に影響されると同時に, 生活水準に

も関係する」となる. これは概念としては常識的であるが, それが 1 年間という短い期間とは言え, データから統計的・実証的に示された点に本研究の意義がある. 周知の通り, 都市域の気温は程度の差はあれヒートアイランドの影響を受ける. 図 7 に関して述べたように首都圏では都市化が内陸部の夏季午後の高温を増幅しているとされる. この点で今回の結果は, ヒートアイランドによる熱中症への悪影響が現実のものであることを示唆する統計事実を提供するものである.

なお, 都心部の低率傾向は横浜市の 2004 年の救急搬送数にも見出されている<sup>(16)</sup>. また, 中国の南京では熱波時の脳卒中死亡率について都心部のほうが周囲より低い傾向が認められ, その分布と平均所得等の分布との類似性が指摘されている<sup>(27)</sup>. これらは, 本研究で見出された東京都心部の低死亡率がある程度一般的な特徴である可能性を示唆する. しかし, 横浜市の 2007 年の救急搬送数には上記のような特徴が見られない<sup>(15)</sup>. 今回得られた結果についても, 対象期間を延ばしてその一般性を検証することが求められよう.

熱中症被害の抑止という観点からすると, 死亡率の分布が気温分布に応じて変動することは, 高分解能の気象予測結果をきめ細かい暑熱情報に活かせる可能性を示している. また一方, 死亡率が平均所得に依存することは, 生活環境の整備・改善による被害軽減の可能性を期待させるものである. 今後はデータをさらに充実させ, 熱中症被害に対する各要因の寄与をより高い精度で把握し, 被害抑止に結びつけていくことが課題である. 今回の解析対象に含まれなかった各種の社会因子も, それらの研究の中で扱われることになる.

## 謝辞

この研究は首都大学東京の新大都市リーディングプロジェクト基金による「極端気象災害軽減にむけた都市気候学プロジェクト」(平成 27~28 年度, 事業責任者: 松本淳) の成果の一部であり, 東京都監察医務院と首都大学東京の共同研究「気候モデルによる熱中症発現リスクの将来予測研究」に基づいて行われた. 研究の実施に当たり, 首都大学東京の産学公連携センターの皆様, および福永龍繁院長をはじめとする東京都監察医務院の皆様にご尽力頂いた. ここに感謝致します.

## 付録: 年齢調整死亡率の定義

年齢階級  $j$  (例えば 5 歳ごとの階級) の死亡率  $m_j$  は

$$m_j = \frac{d_j}{p_j} \quad (2)$$

で定義される.  $d_j$  は階級  $j$  の死者数,  $p_j$  はその人口である. 複数の年齢階級にまたがる死亡率は, 単純には

$$M_0 = \frac{\sum_j d_j}{\sum_j p_j}, \quad (3)$$

で計算される。Σは年齢階級についての総和である。しかし、(3)で計算される死亡率は人口の年齢構成に影響され、各年齢階級の死亡率が同じであっても、高齢者が多い地域と少ない地域とでは値が異なる。この影響を除くため、基準となる人口構成に補正した年齢調整死亡率  $M$  が使われる。その定義は

$$M = \frac{\sum_j d_j (P_j/p_j)}{\sum_j P_j} = \frac{\sum_j m_j P_j}{\sum_j P_j}, \quad (4)$$

である。ここで  $P_j$  は基準となる人口構成における階級  $j$  の人口である。

公式の統計では、 $P_j$  として 1985 年の人口構成が使われる。しかし、本研究の年齢調整は区による人口構成の違いの補正が目的であることと、1985 年当時は近年よりも高齢者が少なく、その人口を使うと高齢者の死亡率が反映されにくいことから、今回は 2010 年の東京 23 区全体の人口を用いた。

なお、調整死亡率と非調整死亡率の比は多くの区で数%以内であるが、一部の区では 10% を超え、最大では 20% であった。ただし、これによる図 11 の相関係数の違いは 0.01 のオーダーであり、調整死亡率を使っても非調整死亡率を使っても結果に大きな差はなかった。

#### 参考文献

- (1) 中井誠一, 熱中症死亡数と気象条件—日本における 21 年間の観察—, 日本生気象学会雑誌, 30-4 (1993), pp.169-177.
- (2) 藤部文昭, 暑熱(熱中症)による国内死者数と夏季気温の長期変動, 天気, 60-5 (2013), pp.371-381.
- (3) A. Takaya, Y. Morioka and S. K. Behera, Role of climate variability in the heatstroke death rates of Kanto region in Japan, *Sci. Rep.*, 4 (2014), 5655, doi: 10.1038/srep05655.
- (4) 気象庁, 熱中症注意の呼びかけの条件と, 7 日間平均気温と熱中症搬送者数の関係について, 気象庁 (2016), [http://www.jma.go.jp/jma/kishou/kuon/kurashi/netsu\\_fig.html](http://www.jma.go.jp/jma/kishou/kuon/kurashi/netsu_fig.html)
- (5) 星 秋夫・稲葉 裕・村山貢司, 東京都と千葉市における熱中症発生の特徴, 日本生気象学会雑誌, 44-1 (2007), pp.3-11.
- (6) S. Akatsuka, T. Uno and M. Horiuchi, The relationship between the heat disorder incidence rate and heat stress indices at Yamanashi Prefecture in Japan, *Adv. Meteorol.*, 2016 (2016), 9492815, doi:10.1155/2016/9492815.
- (7) 星 秋夫・中井誠一・金田英子・山本 享・稲葉 裕, わが国における熱中症死亡の地域差, 日本生気象学会雑誌, 47-4 (2010), pp.175-184.
- (8) N. Miyatake, N. Sakano and S. Murakami, The relation between

- ambulance transports stratified by heat stroke and air temperature in all 47 prefectures of Japan in August, 2009: ecological study, *Environ. Health Prev. Med.*, 17-1 (2012), pp.77-80.
- (9) L. S. Kalkstein and R. E. Davis, Weather and human mortality: An evaluation of demographic and interregional responses in the United States, *Ann. Assoc. Am. Geogr.*, 79-1 (1989), pp.44-64.
- (10) 大橋唯太, 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 (2010), pp.417-422.
- (11) 三坂育正・成田健一, 熱中症リスクから見た都心部の街路空間気温特性, 環境情報科学学術研究論文集, 26 (2012), pp.231-236.
- (12) 木内 豪, 屋外空間における温冷感指標に関する研究, 天気, 48-9 (2001), pp.661-671.
- (13) 疋田浩之・大橋唯太・亀卦川幸浩・井原智彦, 屋外生活空間の違いに伴う熱中症指標と温熱感・快適感の変化, *Naturalistae*, 17 (2013), pp.1-8.
- (14) 増田幸宏・岡留智史・鍵屋浩司・高口洋人・高橋信之・尾島俊雄, 市民参加による都市環境気候図作成に関する研究—「市街地の暑熱環境体感ツアー」の試み—, 日本建築学会技術報告集, 16-32 (2010), pp.215-219.
- (15) 佐保満夫・白砂裕一郎・井上友博・福田亜佐子・下村光一郎, 横浜市内の気温観測調査—2007 年夏季の観測結果及び気温上昇と熱中症の関連性—, 横浜市環境科学研究所報, 32 (2008), pp.11-14.
- (16) 倉林輝世・福田亜佐子, 横浜域におけるヒートアイランド現象が及ぼす熱中症や動植物への影響, 横浜市環境科学研究所報, 29 (2005), pp.92-96.
- (17) J. Tan, Y. Zheng, X. Tang, C. Guo, L. Li, G. Song, X. Zhen, D. Yuan, A. J. Kalkstein, F. Li and H. Chen, The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai, *Int. J. Biometeorol.*, 54-1 (2010), pp.75-84.
- (18) K. M. A. Gabriel and W. R. Endlicher, Urban and rural mortality rates during heat waves in Berlin and Brandenburg, Germany, *Environ. Pollut.*, 159-8/9 (2011), pp.2044-2050.
- (19) P. Vaneckova, P. J. Beggs, C. R. Jacobson, Spatial analysis of heat-related mortality among the elderly between 1993 and 2004 in Sydney, Australia, *Soc. Sci. Med.*, 70-2 (2010), pp.293-304.
- (20) D. M. Hondula, R. E. Davis, M. J. Leisten, M. V. Saha, L. M. Veazey and C. R. Wegner, Fine-scale spatial variability of heat-related mortality in Philadelphia County, USA, from 1983-2008: a case-series analysis, *Environ. Health*, 11 (2012), 16, doi:10.1186/1476-069X-11-16.
- (21) S. L. Harlan, J. H. Decler-Barreto, W. L. Stefanov and D. B. Petitti, Neighborhood effects on heat deaths: Social and environmental predictors of vulnerability in Maricopa County, Arizona, *Environ. Health Perspect.*, 121-2 (2013), pp.197-204.
- (22) J. K. Rosenthal, P. L. Kinney and K. B. Metzger, Intra-urban vulnerability to heat-related mortality in New York City, 1997-2006, *Health Place*, 30 (2014), pp.45-60.
- (23) 藤部文昭, 関東平野における春・夏季晴天日の気温分布の日

変化, 天気, 40-10 (1993), pp.759-767.

- (24) 大和広明・三上岳彦・高橋日出男, 夏季日中における首都圏のヒートアイランド現象に海風が与える影響, 地学雑誌, 120-2 (2011), pp.325-340.
- (25) 気象庁, 平成 25 年 (2013 年) 8 月の日本近海の高い海面水温および日本海沿岸の高い潮位について, 気象庁報道発表資料 (2013), <http://www.jma.go.jp/jma/press/1309/10d/kaiyo20130910.html>
- (26) H. G. Takahashi, S. A. Adachi, T. Sato, M. Hara, X. Ma and F. Kimura, An oceanic impact of the Kuroshio on surface air temperature on the Pacific coast of Japan in summer: Regional H<sub>2</sub>O greenhouse gas effect, *J. Clim.*, 28-18 (2015), 7128-7144.
- (27) K. Chen, L. Huang, L. Zhou, Z. Ma, J. Bi and T. Li, Spatial analysis of the effect of the 2010 heat wave on stroke mortality in Nanjing, China, *Sci. Rep.*, 5 (2015), 10816, doi:10.1038/srep10816.

(Received October 24, 2016, Accepted April 21, 2017)