

熱中症による救急搬送率の地域性と変動—死亡率との比較— Regional features and temporal variations of heat-stroke ambulance transport rates in Japan —Comparison with mortality—

藤部文昭*¹ 松本 淳*¹ 鈴木秀人*²
Fumiaki Fujibe Jun Matsumoto Hideto Suzuki

*¹ 東京都立大学都市環境学部 Faculty of Urban Environmental Sciences, Tokyo Metropolitan University

*² 東京都監察医務院 Tokyo Medical Examiner's Office

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

ABSTRACT

Data on ambulance transport rate of patients with heat stroke from 2008 to 2018 in Japan were used to examine regional features and temporal variations of transport from climatological viewpoints. The transport rate is correlated with summer mean temperature both spatially and in year-to-year variations. Regarding seasonal variations, the transport rate is higher in early summer than in late summer by a factor of two or more. On a daily basis, the transport rate for days with specified maximum temperature levels tends to be higher in prefectures with cooler summer climate. These features are similar to those of heat-stroke mortality, although there are a number of differences in the climatological features of transport rate and mortality.

Keywords: heat stroke, ambulance transport, mortality, temperature, heat acclimatization

1. はじめに

熱中症による被害を表す尺度として、死亡数と救急搬送数がある。死亡数については厚生労働省の人口動態統計が、救急搬送数は総務省消防庁のデータが使える。当然ながら、熱中症搬送数が多いときは死亡数も多い。しかし、搬送数と死亡数の空間・時間変動が同じであるとは限らず、データを使うに当たっては両者の違いを認識しておくことが望まれる。

Fujibe et al.⁽¹⁾ (以下 F18a) は 16 年間 (1999~2014 年) の人口動態統計の個票データを使い、熱中症死亡率の都道府県別の分布や年々・季節変動を調べた。その結果、①熱中症死亡率の分布は年齢層によって異なること、すなわち 60 歳未満の死亡率は各都道府県の夏季の平均気温と正の相関を持つものに対し、80 歳以上の死亡率は年間最高気温と正の相関を持ち、夏季平均気温とはむしろ負の相関を持つこと、②年々変動に関しては、気温 1℃当たり死亡率は 40~60%変動し、60 歳未満と 80 歳以上の死亡率の変動パターンは似ているが、80 歳以上のほうが変動幅が大きい傾向があること、③季節変動については、7 月のほうが 8 月よりも、月平均気温が同じなら死亡率が 3 割ほど高いことが見出された。また、Fujibe et al.⁽²⁾ (以下 F18b) は日々の熱中症死亡率と気温 (日最高気温、日平均気温) との関係調べ、気温が高い日ほど熱中症死亡率が高いこと、ただし当

日の気温が同じなら、夏季平均気温が低い (夏が涼しい) 地域で熱中症死亡率が高い傾向にあることを示した。あとの傾向は暑熱馴化の効果を示唆し、高齢者においてより顕著である。加えて、熱中症死亡率と前日までの気温との関係に関し、当日の気温が同じなら、死亡率は前日~1 週間程度前の気温と正相関を持つ一方、十数日前の気温とは負相関があることが見出された。このことは、短期的には暑熱負荷の持続が死亡率の上昇をもたらし、長期的には暑熱馴化による死亡率の軽減効果が現れることを示唆する。これらの研究により、日本の熱中症死亡率について気候学的特性の概要が示された。

救急搬送数についても、気象要素との関係を統計的に扱った研究はいくつかあり、空間分布^(3,4,5,6,7,8) や年々・日々の変動^(6,8,9,10,11) における気温との対応が示されている。また、同じ気温条件下では東~西日本よりも北日本で⁽³⁾、夏の後半よりも前半に^(12,13)、それぞれ搬送数の多い傾向があり、死亡率と同様、高温に対する馴化の効果が示唆される。しかし、救急搬送データが数年前までは入手しにくかったという事情もあって、搬送数の研究は対象期間や対象地域が比較的限られ、全国規模の気候学的特徴は十分に解明されているとは言えない。本研究は、救急搬送数について死亡率^(1,2) と同様の解析を行い、搬送率の空間・時間変動と気象要素との関係を明らかにするとともに、得られた

結果を死亡率の特徴と比較し、搬送率と死亡率の気候学的特性の共通点と相違点を見出すことを目的とする。なお、搬送率とは人口当たりの搬送数を表す言葉として本稿で用いるものであり、その求め方は2.2に示す。

2. 資料と解析方法

2.1 資料

総務省消防庁のホームページ (http://www.fdma.go.jp/neuter/topics/fieldList9_2.html) に、2008年以降の都道府県別・日別・年齢層別の救急搬送数が掲載されている。対象月は2009年までは7~9月、2010年からは6~9月であり、近年は5月や10月の資料も掲載されている。年齢層は生後28日未満(新生児)、生後28日~満6歳(乳幼児)、7~17歳(少年)、18~64歳(成人)、および65歳以上(高齢者)である。また、傷病程度を軽症・中等症・重症・死亡・その他の5種類に分けたデータも得られる。軽症は「入院加療を必要としないもの」、重症は「3週間以上の入院加療を必要とするもの」、中等症は「重症または軽症以外のもの」であり、死亡は「初診時において死亡が確認されたもの」である。

本研究では、限られたデータを有効に活用する観点から、解析対象期間を①2008~2018年の7、8月、②2010~2018年の6~9月の2パターンとした。①は盛夏季の平均気温と搬送率の関係に関する解析、および年々変動に関する解析に適用した。一方②は、旬~日スケールの解析に適用した。具体的には、Figure 2~5とTable 5は①、それ以外の図表は②である。ただし、6~9月の搬送数の86%は7、8月のものであり、年齢層や傷病程度ごとの特徴にも年や月による目立った差はないことから、①と②の違いは結果を大きく左右するものではない。以下、①の6~9月の合計値や②の7、8月の合計値を年の値と表記する。年齢層については、新生児と乳幼児を合わせて0~6歳を「小児」として扱う。それ以外は上記ホームページの年齢区分に従い、区分名もホームページのものを使う。

搬送数データの死亡数とは搬送された人の中の死亡者数であり、救急搬送されない場合を含めた熱中症の死者数全体を示すものではない。人口動態統計による死者数(後述)に比べ、搬送数データの死亡数は1桁小さく(後出のTable 3)、熱中症死者全体の一部にとどまることがうかがえる。その数は非常に少ないことから、本研究では統計的な信頼性を確保するため、死亡と重症とを合わせて「重篤」として扱った。

なお、救急搬送データは「消防機関、医療機関及び都道府県の協力」によるものである(上記ホームページ)。年間の救急搬送数は全国で500万件ぐらいであり、そのうち熱中症は1%程度であるが、社会の関心が高まるにつれて熱中症と認知される比率が上がった可能性も考えられ、結果の解釈に当たっては留意すべきであろう。

比較のため、2008~2016年の人口動態統計による“自然の過度の高温への曝露”(コード=X30)による死亡者の個

票データを、上記と同じ4つの年齢階級にまとめ、搬送データと同様に処理した。X30は暑熱が死亡の主因になったと判断されたものを表し、第10回国際疾病分類(Tenth International Classification of Diseases, ICD-10)に準拠する。熱中症による死亡数としては、“熱及び光線の作用”(T67)が使われることもあるが、X30とT67の死亡数はほぼ一致する⁽¹⁴⁾。

気象データについてはF18aと同様、アメダス資料と気象官署(旧測候所を含む)の資料を使った。また、搬送率や死亡率を求めるため、総務省統計局による国勢調査と人口推計の資料(<https://www.stat.go.jp/data/jinsui/index.html>)を使った。

2.2 解析方法

(1) 搬送数・死亡数の年齢調整

人口の年齢構成が年や都道府県によって違う影響を除くため、年齢調整を行った。これは、各年・都道府県の搬送数を、基準になる年齢構成に合わせて換算するものである。F18bは2015年の全国の年齢構成を使って死亡率を調整した。今回もこの方法を使い、都道府県*i*における年*n*の調整搬送率 H_{in}^* を

$$H_{in}^* = \frac{\sum_k h_{ink} (P_k/p_{ink})}{\sum_k P_k}, \quad (1)$$

で求めた。ここで h_{ink} と p_{ink} はそれぞれ都道府県*i*、年*n*、年齢層*k*の搬送数と人口、 P_k は2015年の全国の年齢層*k*の人口である。また、全国の年*n*の調整搬送率 H_{0n}^* を H_{in}^* の人口重みつき平均、すなわち

$$H_{0n}^* = \frac{\sum_i H_{in}^* p_{i0}}{\sum_i p_{i0}}, \quad (2)$$

で求めた。ここで p_{i0} は2015年の都道府県*i*の人口である。そして、式(2)の右辺分子を全国の年*n*の調整搬送数と定義した。

式(1)を使うためには7~17歳と18~64歳の人口データが必要である。しかし、公開されているのは①5年ごとの国勢調査による都道府県別の1歳階級の人口、②毎年全国の1歳階級推計人口、③毎年の都道府県ごとの5歳階級推計人口(0~4歳、5~9歳、...)であり、「国勢調査がない年の都道府県ごとの1歳階級人口」は得られない。そこで、7~9歳と18~19歳の毎年的人口 p_{inK} ($K=7\sim 9$ 歳、18~19歳)を①~③から

$$p_{inK} = p_{inG} r_{inK}, \quad (3)$$

によって推定した。 p_{inG} は年齢層*K*が属する5歳階級*G*(*G*

=5~9 歳, 15~19 歳) の人口であり, r_{inK} は p'_{inG} に占める p_{inK} の比率 (以下「 K/G 比」) の推定値である. r_{inK} には経年変化や地域差があるので, 全国の経年変化と都道府県による違いが反映されるよう,

$$r_{inK} = R_{nK} \langle r_{ik} \rangle / \langle R_K \rangle, \quad (4)$$

で与えた. R_{nK} は年 n の全国の K/G 比, $\langle r_{ik} \rangle$ は 2000 年以降の 4 回の国勢調査における都道府県 i の K/G 比の平均値, $\langle R_K \rangle$ は同じく全国の K/G 比の平均値である. 死亡数についても同様の年齢調整を行った.

ただし, 傷病程度ごとの搬送数については年齢層ごとのデータがないため, 調整を施さない値 (非調整値) を使った. しかしながら, 本調査は対象期間が短い (11 年) ため調整値と非調整値の差は小さい. 例えば 2010~2018 年 6~9 月の全国・全年齢の搬送数・搬送率は, 調整値が 1 年当たり 54938 人, 43.2×10^{-5} (後出の Table 2) であるのに対し, 非調整値は 54437 人, 42.8×10^{-5} である.

(2) 都道府県別気温の計算

アメダスによる毎時資料を使った. 1 日 (01~24 時) に 4 回以上の欠測がある日を欠測日とし, 欠測日が 2008~2018 年の 11 年間のすべての月に 3 日以内である地点を選んだ. 欠測日以外の日について, 日最高気温と日平均気温 (以下総称として「気温」と表記する) を求めた. これらは 1 日 24 回 (01~24 時) の観測値の最高値・平均値とした.

各都道府県の気温を, 当該都道府県内のアメダス観測点のうち, “海拔 200m 未満”, または “海拔が都道府県内の観測点の 60 パーセント値以下” の, どちらかの条件を満たす地点の空間平均値で定義した. これは, 山岳部の地点を除外し, 人口の多い低海拔地域を代表する気温を求めためである. これらの手順は F18a, F18b と同様であるが, 統計期間が違うため地点数は異なり, 本研究では全国で 658 地点であった.

本研究では, 気温を 4 通りの目的に使った. すなわち, ①日々の気温, ②年ごとの季節平均値, ③累年平均値, ④年間高極値である. ①においては, 日最高気温を T_{\max} , 日平均気温を T_{ave} と表記した. いずれも前段落の要領で求めた都道府県内の平均値である. ②においては, T_{\max} と T_{ave} の 7, 8 月の平均値をそれぞれ $\overline{T_{\max}}$, $\overline{T_{\text{ave}}}$ と表記した. また, ③は $\langle T_{\max} \rangle$, $\langle T_{\text{ave}} \rangle$ と表記した. これは, 搬送率・死亡率の空間分布の解析においては 2008~2018 年の 7, 8 月の平均値, 季節変化の解析においては 2010~2018 年の旬ごとの平均値である. ④は T_{MAX} と表記し, その 2008~2018 年の平均値を $\langle T_{\text{MAX}} \rangle$ と表記した. T_{MAX} は, 地点ごとの年間高極値を前段落の要領により都道府県内で平均したものである. 以上の気温種別の表記を Table 1 にまとめた. なお, F18a は $\langle T_{\text{ave}} \rangle$ を T_{ave} , $\langle T_{\text{MAX}} \rangle$ を T_{max} と表記している.

Table 1 Definition of symbols

Symbol	Definition
$T_{\max} / T_{\text{ave}}$	Prefecture-averaged daily maximum/mean temperature
$\overline{T_{\max}} / \overline{T_{\text{ave}}}$	Average of $T_{\max} / T_{\text{ave}}$ for July to August
$\langle T_{\max} \rangle / \langle T_{\text{ave}} \rangle$	Average of $T_{\max} / T_{\text{ave}}$ for July to August from 2008 to 2018, or Average of $T_{\max} / T_{\text{ave}}$ for each ten-day period from 2010 to 2018
T_{MAX}	Prefecture-averaged annual highest temperature
$\langle T_{\text{MAX}} \rangle$	Average of T_{MAX} from 2008 to 2018

(3) 相関解析についての補足

搬送率や死亡率と気温等との空間的・時間的な相関を求めたり, 回帰分析を行ったりするに当たっては, それらの対数を使った. これは, 対数のほうが真数よりも気温や年齢との線形性が高いという経験事実に基づくものであり, 過去の多くの研究でも対数が使われている.

都道府県ごとの値同士の空間的な相関については, F18a, b と同様, 北海道と沖縄県を除外し, 残る 45 都道府県の値を使った. これは, 北海道と沖縄県の気候が他の都道府県と大きく異なるため, 本州~九州の地域特性を捉える上ではこれら 2 道県を含めない方が適切であると考えたからである. ただし, 比較のため北海道と沖縄県を含めて求めた相関係数の値を [] 内に併記した. 回帰分析の結果も同様にした.

年ごとの値の時間的な相関を求める際には, 各変数の年々の変動における対応関係を把握するため, それぞれのトレンドを除いて計算を行った.

3. 結果

3.1. 搬送数・搬送率の概要

Table 2 は年齢層ごとの 6~9 月の搬送数と搬送率, および 2016 年までの死亡数と死亡率を示す (いずれも調整値). 搬送数のうち, 高齢者の比率は 48.5%, 成人は 37.7% である (非調整値はそれぞれ 47.6%, 38.3%). 一方, 搬送率は

Table 2 Ambulance transport cases of heat stroke patients and transport rate, and mortality cases and rate for each age group. The data period is June through September of 2010–2018 for ambulance transport cases of heat stroke patients, and 2010–2016 for mortality.

Age (years old)	Total	0–6	7–17	18–64	≥ 65
Transport cases (per year)	54938	481	7107	20691	26659
Transport rate ($\times 10^{-5}$)	43.2	6.8	56.7	28.1	78.7
Mortality cases (per year)	986	1	2	187	795
Mortality rate ($\times 10^{-5}$)	0.78	0.02	0.01	0.25	2.35

Table 3 Ambulance transport cases of heat stroke patients for each severity, and their percentage of the total cases. The data period is June through September of 2010–2018.

Severity	Total	Fatal	Serious	Moderate	Mild	Others
Transport cases (per year)	54437	92	1288	17915	34525	617
Percentage (%)	100.0	0.2	2.4	32.9	63.4	1.1

少年が高齢者に次いで高く、成人のほぼ倍である。これに対して死亡数は高齢者が全体の80.7% (非調整値なら78.6%) を占め、死亡率も高齢者が圧倒的に高い。このように、搬送数・搬送率と死亡数・死亡率の年齢構成は異なり、特に若年者の多寡には大きな違いがある。死亡率と搬送率の比 (ともに2016年までのデータから計算したもの; 以下「死亡/搬送比」) は、高齢者が1:31であるのに対して少年は1:2533である (全年齢については1:50)。

Table 3は傷病程度ごとの搬送数と搬送率を示す (非調整値)。軽症が全体の6割強、中等症が3割強である。

3.2. 空間変動

Figure 1は都道府県ごとの搬送率を示す。全体として搬送率の分布は南高北低である。Figure 2は横軸に $\langle T_{max} \rangle$, $\langle T_{ave} \rangle$, $\langle T_{MAX} \rangle$ および緯度を取り、縦軸に7, 8月の搬送率を取って、都道府県ごとの値をプロットしたものである。Table 4は搬送率・死亡率と各要素との相関係数および1次回帰係数を示したもので、 $\langle T_{max} \rangle$ に関しては年齢層ごと・傷病程度ごとの値も示す。搬送率 (の対数, 以下同様) と $\langle T_{max} \rangle$, $\langle T_{ave} \rangle$ の間にはそれぞれ0.68 [0.79], 0.64 [0.73]の正相関があり、これは危険率1%で有意である。また、搬送率と $\langle T_{max} \rangle$, $\langle T_{ave} \rangle$ の回帰係数は0.10~0.11である。すなわち、 $\langle T_{max} \rangle$ が1°C高

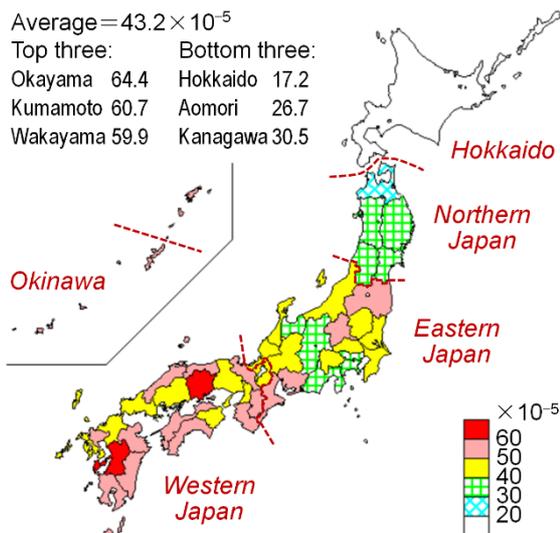


Figure 1 Distribution of ambulance transport rate of heat-stroke patients of all ages. The data period is June through September of 2010–2018. Dotted brown lines indicate the boundaries of regions for Figures 2–4.

い都道府県では搬送率が10%強高い。搬送率と $\langle T_{MAX} \rangle$ の間にも正相関があるが、その値は0.42 [0.61]であり、危険率1%で有意ではあるが前二者より低い。搬送率と緯度の相関は-0.68 [-0.62]で、これも危険率1%で有意である。

年齢層ごとに見ると、小児・少年・成人・高齢者とも、搬送率と $\langle T_{max} \rangle$ の間に0.4~0.7の正相関がある。小児は他の年齢層より相関係数が小さいが、これはデータがばらついているからであり、1次回帰係数は各年齢層とも0.10~0.11K⁻¹である。

Figure 3は搬送率と $\langle T_{max} \rangle$ の関係を傷病程度ごとに示した

Table 4 Spatial correlation between the variables in the first and second columns, and corresponding linear regression coefficients. The correlation is based on prefecture-wise values. Values obtained without Hokkaido and Okinawa are shown, along with those obtained with the two prefectures within brackets included.

Indep. variable	Dep. variable	Correlation	Regression ¹⁾
Transport rate: All ages	$\langle T_{max} \rangle$	0.68** [0.79**]	0.106** [0.122**]
Transport rate: All ages	$\langle T_{ave} \rangle$	0.64** [0.73**]	0.100** [0.111**]
Transport rate: All ages	$\langle T_{MAX} \rangle$	0.42** [0.61**]	0.095** [0.140**]
Transport rate: All ages	Latitude	-0.68** [-0.62**]	-0.071** [-0.059**]
Transport rate: 0–6 years old	$\langle T_{max} \rangle$	0.43** [0.47**]	0.108** [0.096**]
Transport rate: 7–17 years old	$\langle T_{max} \rangle$	0.56** [0.69**]	0.100** [0.117**]
Transport rate: 18–64 years old	$\langle T_{max} \rangle$	0.69** [0.80**]	0.114** [0.132**]
Transport rate: ≥ 65 years old	$\langle T_{max} \rangle$	0.65** [0.75**]	0.100** [0.116**]
Transport rate: Mild	$\langle T_{max} \rangle$	0.58** [0.69**]	0.112** [0.122**]
Transport rate: Moderate	$\langle T_{max} \rangle$	0.37* [0.52**]	0.081* [0.111**]
Transport rate: Fatal & serious	$\langle T_{max} \rangle$	-0.06 [0.25°]	-0.016 [0.060°]
Mortality: All ages	$\langle T_{max} \rangle$	0.14 [0.45**]	0.029 [0.095**]
Ratio of fatal & serious cases	$\langle T_{max} \rangle$	-0.45** [-0.28°]	-0.115** [-0.057°]
Mortality/Transport rate	$\langle T_{max} \rangle$	-0.35* [-0.16]	-0.084* [-0.031]

Symbols “***”, “**”, and “*” indicate statistical significance at the 1%, 5%, and 10% levels, respectively.

1) The unit is deg⁻¹ for latitude, and K⁻¹ for others.

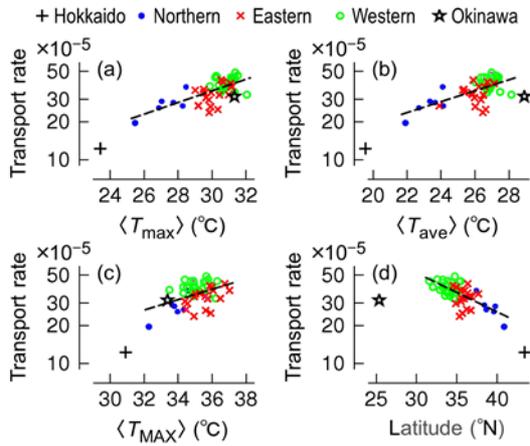


Figure 2 Relationship between ambulance transport rate of heat stroke patients and (a) $\langle T_{\max} \rangle$, (b) $\langle T_{\text{ave}} \rangle$, (c) $\langle T_{\text{MAX}} \rangle$, and (d) latitude. Data period is July and August of 2008–2018, and each symbol corresponds to a prefecture. A dashed black line indicates a linear regression for the 45 prefectures, excluding Hokkaido and Okinawa.

ものである。併せて、死亡率と $\langle T_{\max} \rangle$ との関係を示す。傷病程度が上がるにつれて相関は弱まり、重篤者の搬送率は $\langle T_{\max} \rangle$ と有意な相関がない。同様に、死亡率と $\langle T_{\max} \rangle$ の相関もほぼ0である。このことは、搬送数に占める重篤者の比率（以下「重篤率」）や死亡／搬送比が、冷涼な地域ほど高いことを意味する。Figure 4はこれらと $\langle T_{\max} \rangle$ との関係を示す。重篤率と $\langle T_{\max} \rangle$ は $-0.45 [-0.28]$ ，死亡／搬送比と $\langle T_{\max} \rangle$ は $-0.35 [-0.16]$ の負相関があり，北海道と沖縄を除く45都府県についての値はそれぞれ危険率1%，5%で有意である。

3.3. 年々変動

Figure 5は2008～2018年の年ごとの $\overline{T_{\max}}$ と搬送率・死亡率（ともに7,8月），および関連する要素の値を示す。搬送率は期間全体として上昇傾向がある。しかし，重篤者の搬送率や死亡率の増加傾向は弱く，重篤率や死亡／搬送比

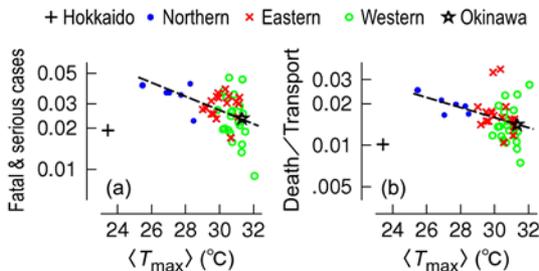


Figure 4 Relationship between $\langle T_{\max} \rangle$ and (a) the ratio of fatal and serious cases to the total transport cases, and (b) the ratio of deaths to transport cases. A dashed black line indicates a linear regression for the 45 prefectures, excluding Hokkaido and Okinawa.

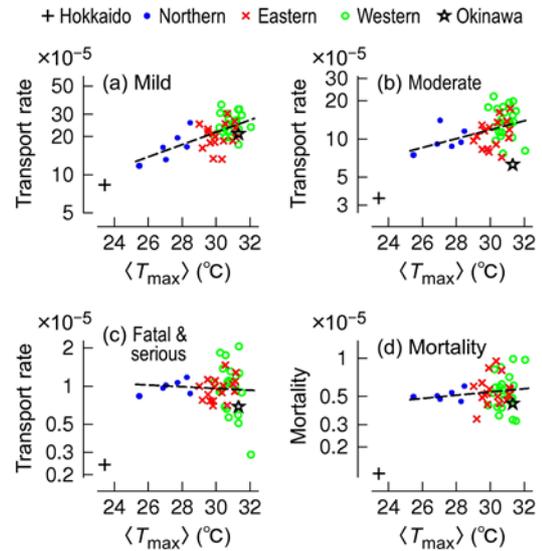


Figure 3 Same as Figure 2a but for (a) mild cases, (b) moderate cases, (c) fatal and serious cases, and (d) mortality. A dashed black line indicates a linear regression for the 45 prefectures, excluding Hokkaido and Okinawa.

は経年的に低下している。年々変動に関しては， $\overline{T_{\max}}$ が高い年（以下「高温年」）に搬送率の高い傾向が見られ，かつ，重篤率や死亡／搬送比も高い傾向がある。

Table 5は，これら各要素について $\overline{T_{\max}}$ と年を独立変数とする1次回帰を行った結果を示す。搬送率の $\overline{T_{\max}}$ への回帰係数は $0.3 \sim 0.4K^{-1}$ であり，7,8月の気温が $1^{\circ}C$ 高い年は搬送率が40%程度高い。年への回帰係数すなわち経年変化率は $0.08/\text{年}$ 前後であり，搬送率は1年当たり8%，すなわち10年間では2倍強に増えている。一方，死亡率の $\overline{T_{\max}}$ への回帰係数は $0.63K^{-1}$ であり，F18aによる $0.43K^{-1}$ という値よりも大きい，信頼区間を考えれば今回とF18aの結果に差

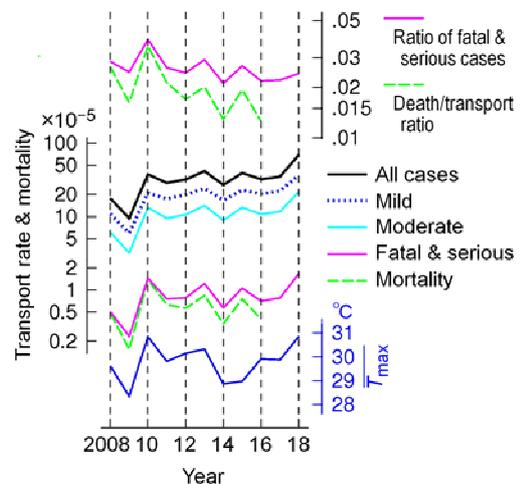


Figure 5 Year-to-year changes in $\langle T_{\max} \rangle$ and parameters related to ambulance transport rate of heat stroke patients and mortality. The analysis region is the whole of Japan.

Table 5 Regression coefficients for year-to-year variations of the variables in the first column to $\overline{T_{\max}}$ and year. The regression to year corresponds to a linear trend.

	Regression to $\overline{T_{\max}}$ (K ⁻¹)	Linear trend (year ⁻¹)
Transport rate: All ages	0.37** [0.42**]	0.078* [0.077**]
Transport rate: 0–6 years old	0.36** [0.36*]	0.082** [0.085**]
Transport rate: 7–17 years old	0.33* [0.34*]	0.090** [0.092**]
Transport rate: 18–64 years old	0.37** [0.41**]	0.076* [0.075**]
Transport rate: ≥ 65 years old	0.39** [0.45**]	0.076* [0.075*]
Transport rate: Mild	0.34** [0.39**]	0.086** [0.085**]
Transport rate: Moderate	0.39** [0.44**]	0.081* [0.080**]
Transport rate: Fatal & serious	0.51** [0.57**]	0.051 [0.052]
Mortality: All ages	0.63* [0.65*]	0.029 [0.006]
Ratio of fatal & serious cases	0.13° [0.14*]	-0.035° [-0.034*]
Mortality/Transport rate	0.22° [0.23°]	-0.074° [-0.082*]
Ratio of ≥ 65 years old people	0.02 [0.03]	-0.002 [-0.002]

Symbols “**”, “*”, and “°” indicate statistical significance at the 1%, 5%, and 10% levels, respectively.

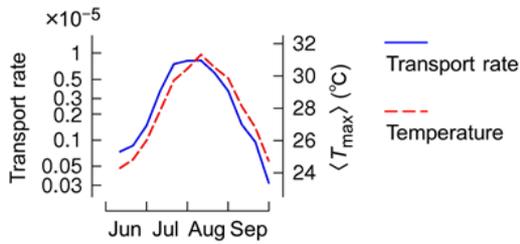


Figure 6 Seasonal changes in ambulance transport rate of heat stroke patients and $\langle T_{\max} \rangle$. The analysis was based on ten-day averages for June through September (eleven-day averages for the last periods of July and August) for the whole of Japan.

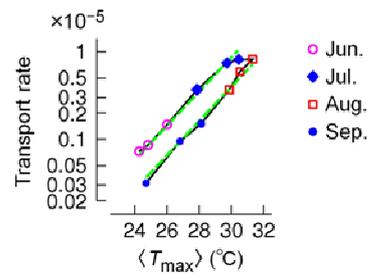


Figure 7 Plot of ten-day averaged transport rate and $\langle T_{\max} \rangle$ shown in Figure 6. Dashed green lines indicate the regression based on Eq.(5).

$$\sum_{ik} [\ln H_j - (A \langle T_{\max} \rangle_j + B s_j + C)]^2 \rightarrow \min., \quad (5)$$

があるとは言えない。

F18a では、80 歳以上の死亡率が 60 歳未満の死亡率よりも年々の変動幅の大きい傾向があることが指摘された。しかし、今回のデータで搬送数全体に占める高齢者の比率(高齢者率)を求めると、高齢者率と $\overline{T_{\max}}$ との年々変動の相関は 0.28 であり、正ではあるが有意ではない。今回は高齢者の定義が 65 歳以上であり、F18a とは年齢層が違うので、単純には比較できない。

3.4. 季節変動

Figure 6 は全国の旬ごとの搬送率と $\langle T_{\max} \rangle$ の季節推移を示す。この解析は、6 月の資料が使える 2010~2018 年を対象にした。搬送率は当然ながら 7 月中旬~8 月上旬の盛夏期に最も高い。しかし、そのピーク時期は $\langle T_{\max} \rangle$ のピークよりもやや前へずれている。Figure 7 は旬ごとの搬送率と $\langle T_{\max} \rangle$ の関係を散布図で示したものである。期間の前半(6~7 月)は後半(8~9 月)に比べ、同じ $\langle T_{\max} \rangle$ 値に対する搬送率が高い。この比を見積もるため、6~9 月の旬ごとの搬送率に最小 2 乗条件

を当てはめた。ただし、 H_j と $\langle T_{\max} \rangle_j$ は旬 j の搬送率と $\langle T_{\max} \rangle$ 値、 s_j は 6~7 月に 0.5、8~9 月に -0.5 とする階段関数、 A, B, C は最小 2 乗係数である。 A は $\langle T_{\max} \rangle$ への依存性を、 B は 7 月までと 8 月以降の比(以下「夏の前後比」)を与える。得られた結果によると、 $A=0.45\text{K}^{-1}$ 、 $B=0.77$ である。すなわち、季節進行に伴う $\langle T_{\max} \rangle$ の 1°C の変化によって搬送率は $\exp(0.45)=1.6$ 倍になり、また一方、 $\langle T_{\max} \rangle$ が同じでも 7 月までの方が 8 月以降に比べて搬送率は $\exp(0.77)$ すなわち 2 倍強大きい。

Table 6 は年齢層や傷病程度ごとに同様の計算を行った結果を示す。年齢層ごとには、成人と高齢者の A 値がやや大きいものの、目立った違いはない。Figure 8 は傷病程度ごとの結果を図示したものである。傷病程度が増すほど A や B の絶対値が大きい。すなわち、重篤者ほど発生が盛夏季に集中し、かつ、夏の前半に偏る傾向がある。一方、死亡率の A 値は搬送率のものとはほぼ同じであるが B 値は小さく、 $B=0.21$ という値は危険率 10%でも有意ではない。このように、死亡率は夏の前後比が目立たない。なお、死亡率について 1999~2016 年を対象にした同様の解析を行う

Table 6 Regression coefficients for the seasonal variations of variables in the first column. The regression is based on the least-squares criterion in Eq.(5). The plus-minus sign indicates the 95% confidence range.

	A (K ⁻¹)	B
Transport rate: All ages	0.45±0.04 [0.46±0.06]	0.77±0.19 [0.88±0.26]
Transport rate: 0–6 years old	0.33±0.05 [0.34±0.06]	0.83±0.23 [0.92±0.28]
Transport rate: 7–17 years old	0.39±0.06 [0.40±0.07]	0.71±0.30 [0.81±0.33]
Transport rate: 18–64 years old	0.46±0.04 [0.47±0.06]	0.69±0.20 [0.78±0.26]
Transport rate: ≥ 65 years old	0.47±0.05 [0.48±0.06]	0.87±0.22 [0.98±0.30]
Transport rate: Mild	0.44±0.04 [0.45±0.05]	0.72±0.18 [0.81±0.25]
Transport rate: Moderate	0.48±0.05 [0.49±0.06]	0.89±0.23 [0.99±0.30]
Transport rate: Fatal & serious	0.53±0.06 [0.53±0.08]	1.14±0.30 [1.23±0.39]
Mortality	0.51±0.06 [0.52±0.05]	0.21±0.27 [0.33±0.22]

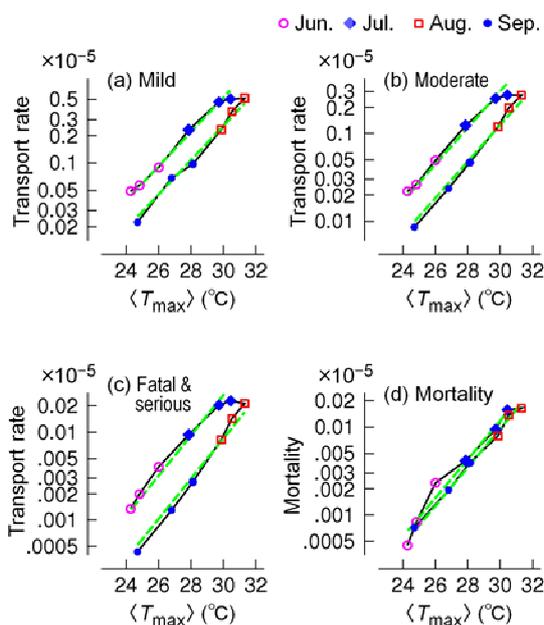


Figure 8 Same as Figure 7 but for (a) mild cases, (b) moderate cases, (c) fatal and serious cases, and (d) mortality.

と、 $B=0.40$ になる。これは危険率5%で有意であり、F18aが類似の方法で求めた0.35~0.4という値と符合する。従って、今回の死亡率のB値はより長期間の資料から得られる値に比べて過小かも知れない。しかし、たとえ死亡率のB値が0.4だったとしても、搬送率のB値(0.8前後)に比べれば小さく、死亡率は搬送率よりも夏の前後比が小さいことに変わりはない。

Figure 9は重篤率と死亡/搬送比の旬ごとの値を示したものである。重篤率は6月下旬~7月に高く、8月以降は低下するのに対し、死亡/搬送比は9月に向けて上昇する。この特徴は解析対象期間を2016年までに揃えても維持される。

4. 日々の搬送率と気象要素との関係

この節の対象期間は2010~2018年の6~9月である(た

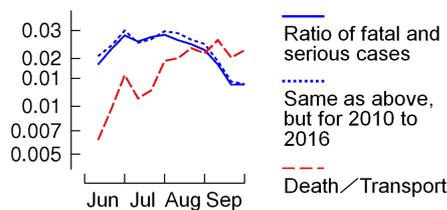


Figure 9 Same as Figure 6 but for the ratio of fatal and serious cases to the total ambulance transport rates of heat stroke patients, and the ratio of deaths to transport rates in the whole of Japan.

だし死亡率は2016年まで)。

4.1 搬送率と当日気温との関係

Figure 10は青森県・茨城県・大阪府について、日々の搬送率を T_{max} の1°C幅ごとの平均値で示したものである。搬送率は T_{max} とともに上昇するが、その値は T_{max} が同じでも府県によって異なり、青森県は大阪府の5倍程度である。Figure 11は T_{max} が26°C台(26.0°C以上27.0°C未満の意味、以下同様)、28°C台、30°C台である日の各都道府県の搬送率を、横軸に $\langle T_{max} \rangle$ を取ってプロットしたものである。搬送率は当然ながら T_{max} が高い日のほうが高く、かつ、 T_{max} が

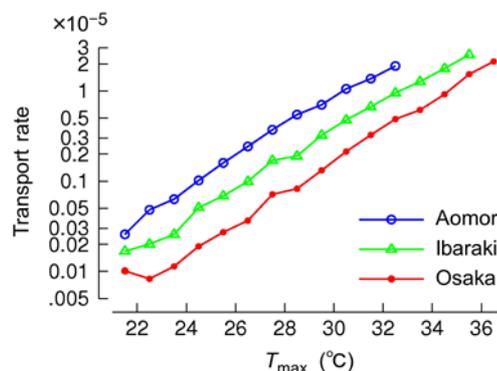


Figure 10 Transport rate of heat stroke patients in each 1°C interval of T_{max} . Data for three prefectures Aomori, Ibaraki, and Osaka are shown.

Table 7 Regression coefficients for daily variations of variables in the first column. The regression is based on the least-squares criterion in Eq.(6). The plus-minus sign indicates the 95% confidence range.

	a (K^{-1})	b (K^{-1})
Transport rate: All ages	-0.21 ± 0.02 [-0.22 ± 0.02]	0.37 ± 0.01 [0.37 ± 0.01]
Transport rate: 0–6 years old	-0.19 ± 0.04 [-0.19 ± 0.03]	0.27 ± 0.01 [0.27 ± 0.01]
Transport rate: 7–17 years old	-0.19 ± 0.03 [-0.19 ± 0.02]	0.34 ± 0.01 [0.34 ± 0.01]
Transport rate: 18–64 years old	-0.21 ± 0.03 [-0.22 ± 0.02]	0.38 ± 0.01 [0.38 ± 0.01]
Transport rate: ≥ 65 years old	-0.21 ± 0.03 [-0.22 ± 0.02]	0.37 ± 0.01 [0.37 ± 0.01]
Transport rate: Mild	-0.18 ± 0.03 [-0.21 ± 0.02]	0.37 ± 0.01 [0.37 ± 0.01]
Transport rate: Moderate	-0.29 ± 0.03 [-0.25 ± 0.02]	0.37 ± 0.01 [0.37 ± 0.01]
Transport rate: Fatal & serious	-0.44 ± 0.05 [-0.32 ± 0.04]	0.39 ± 0.01 [0.39 ± 0.01]
Mortality	-0.19 ± 0.06 [-0.14 ± 0.04]	0.30 ± 0.02 [0.30 ± 0.02]

同じなら $\langle T_{max} \rangle$ の低い都道府県で高い。これらは死亡率について見られる特徴 (F18b) と定性的に同じである。

搬送率・死亡率の T_{max} と $\langle T_{max} \rangle$ への依存性を定量的に求めるため、F18b と同様、下記の最小 2 乗条件による回帰分析を行った。

$$\sum_{i\ell} p_{i\ell} [\ln H_{i\ell} - (a \langle T_{max} \rangle_i + b T_{max\ell} + c)]^2 \rightarrow \min., \quad (6)$$

ここで $H_{i\ell}$ は都道府県 i における T_{max} 範囲 ℓ の搬送率・死亡率であり、 $T_{max\ell}$ はその T_{max} 値である。 $p_{i\ell}$ は重みとして与える 2015 年の都道府県人口である。 a, b, c は最小 2 乗係数であり、 a は Figure 11 の各グラフの傾きに、 b 値はグラフの上下間隔 (あるいは、Figure 10 の各グラフの傾き) に対応する。Table 7 は a と b の計算値を示したもので、年齢層ごと・傷病程度ごと、および死亡率についての結果を併せて示す。 a 値は年齢層にはあまり依らないが、 b 値は小児・少年よりも成人・高齢者でやや大きい。すなわち、成人・高齢者は日々の気温変動への敏感度が高い。また、傷病程度が増すほど a 値が増大する (絶対値が増すと意味; 以下同様) が、死亡率の a 値はむしろ小さい。Figure 12 は各傷病程度の搬送率と死亡率についての散布図であり、Table 7 から読み取った a 値の違いを見て取ることができる。な

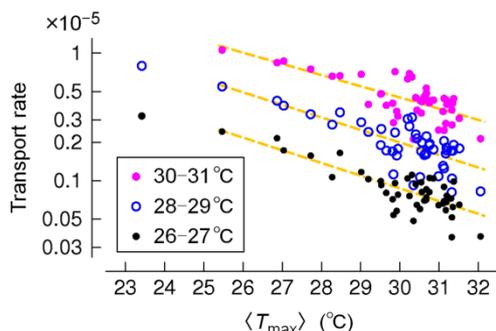


Figure 11 Relationship between ambulance transport rate of heat stroke patients and $\langle T_{max} \rangle$. Each dot corresponds to a prefecture for one of the three ranges of T_{max} . Dashed orange lines indicate linear regression for prefectures except Hokkaido and Okinawa.

お、死亡率について 1999~2016 年の資料から評価した a, b 値はそれぞれ $-0.28K^{-1}$ と $0.40K^{-1}$ であり (2), Table 7 の数値より大きい。重篤例の搬送率よりも a 値が小さい点は Table 7 と同じである。

4.2 搬送率と過去気温との関係

式(6)で求めた最小 2 乗係数 a, b, c を使えば、各都道府県の当日の気温から搬送率・死亡率の推定値 H_c を

$$\ln H_c = a \langle T_{max} \rangle_i + b T_{max\ell} + c, \quad (7)$$

として計算できる。Figure 13 は H_c と実際の値 H の関係を示したもので、図を見やすくするため各月 15 日のデータだけを描画した。 $\ln H_c$ と $\ln H$ ($H=0$ の日を除く) の間に 0.76 の正相関があるが、数分の 1 から数倍の範囲でばらついていて、その理由の 1 つとして、搬送率・死亡率に当日の気温以外の要因が影響することが考えられる。そこで、 H と H_c の比 H/H_c と当日気温以外の気象要素との関係を調べた。

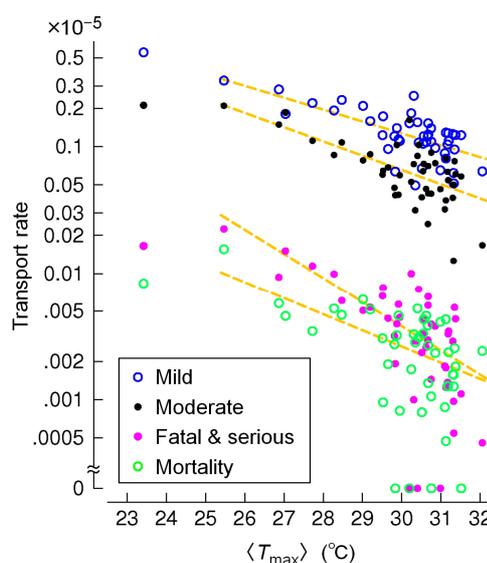


Figure 12 Same as Figure 11 for $T_{max}=28-29^\circ C$ but for ambulance transport rates in each severity and for mortality.

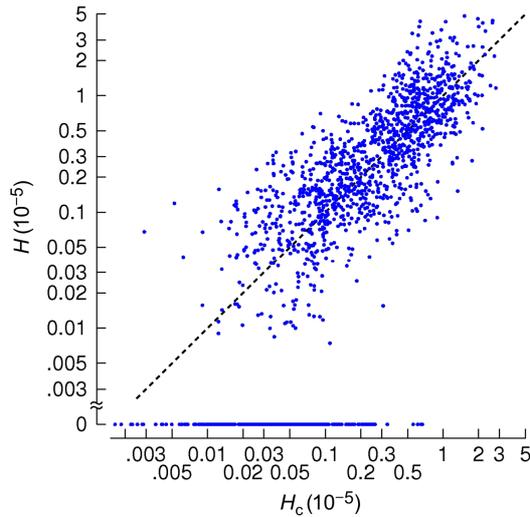


Figure 13 Relationship between calculated ambulance transport rate of heat stroke patients (H_c) and actual transport rate (H). Data for prefectures excluding Hokkaido and Okinawa are shown. The dotted line indicates the line of $H=H_c$.

この部分の解析方法も F18b と同様である。

まず、前日までの気温を取り上げる。 n 日前の日最高気温を $T_{\max}^{(n)}$ とし、当日の値 $T_{\max}^{(0)}$ との差を $\Delta T_{\max}^{(n)} = T_{\max}^{(n)} - T_{\max}^{(0)}$ と定義する。 Figure 14a は、 $n=1, 4, 7, 18$ のそれぞれについて、 $\Delta T_{\max}^{(n)}$ の 1°C 範囲ごとに H/H_c の平均値を示したものである。この統計は北海道と沖縄県を除く 45 都府県を対象にし、2010~2018 年 6~9 月の毎日の値を各都府県の人口と H_c で重みづけして集計した。ただし、北海道と沖縄を対象に含めたり、人口や H_c の重みをつけなかったりしても、得られる結果に大きな変化はない。図によると、 $n=1$ すなわち前日との気温差 $\Delta T_{\max}^{(1)}$ に対し、 H/H_c は増加傾向を持つ（以下、 H/H_c の「増加傾向」「減少傾向」を ΔT に対する増加・減少の意味で用いる）。特に $\Delta T_{\max} > 0$ の範囲で増加傾向が強い。すなわち、前日の気温が当日よりも高ければ搬送率は大きく、前日の気温が低ければ搬送率はやや小さい。 $n=4, 7$ でも、 $\Delta T_{\max} > 0$ の範囲で弱いながら H/H_c の増加傾向があるが、 $\Delta T_{\max} < 0$ の範囲では H/H_c はほぼ一定である。 n が増すにつれ、 $\Delta T_{\max} > 0$ の範囲では H/H_c の増加傾向が維持されるが、 $\Delta T_{\max} < 0$ の範囲では減少傾向が現れ、グラフは U 字型になる（図は省略）。12~13 よりも大きい n 値に対しては、 $n=18$ のグラフに見られるように H/H_c は ΔT_{\max} のほぼ全域で減少傾向を持つ。すなわち、十数日前の気温が当日よりも低ければ搬送率が大きく、十数日前の気温が高ければ搬送率が小さい。 Figure 14b は T_{ave} を使った解析結果を示す。これは、式(6)(7)による H_c の計算に T_{ave} と (T_{ave}) を使い、かつ、 n 日前との気温差として ΔT_{ave} を使ったものである。 Figure 14a と違い、 $n=1$ においては H/H_c はほぼ一定 ($H/H_c \sim 1$) であり、 n が増すにつれて H/H_c の減少傾向が現れる。

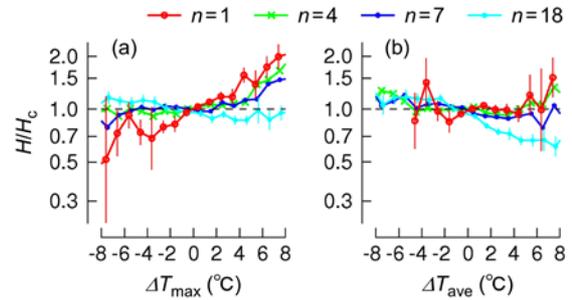


Figure 14 Relationship between H/H_c and (a) $\Delta T_{\max}^{(n)}$ and (b) $\Delta T_{\text{ave}}^{(n)}$. Results for $n=1, 4, 7,$ and 18 for the whole of Japan are shown. For $n=1$ and $n=18$, the 95% confidence range of $\ln(H/H_c)$ is shown in vertical bars.

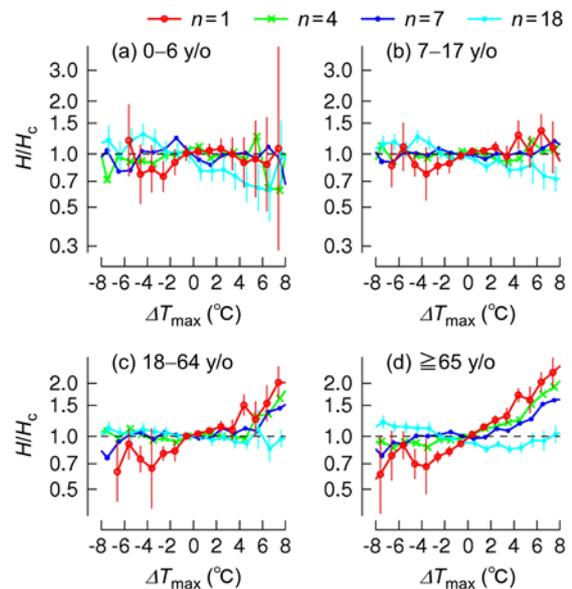


Figure 15 Same as Figure 14a but for each age range.

上記のうち ΔT_{\max} と H/H_c の関係 (Figure 14a) は、 $n=10$ 付近を境にして H/H_c の変化傾向が反転する点で、 F18a による死亡率の特徴と似ている。ただし、 $n < 10$ における H/H_c の増加傾向は死亡率の場合ほど顕著ではなく、特に $\Delta T_{\max} < 0$ の範囲はそうである。また、死亡率の解析では T_{\max} に代えて T_{ave} を使っても結果はほとんど変わらないが (F18b の Supplement 2)、今回は T_{ave} を使うと H/H_c の増加傾向が現れず (Figure 14b)、 T_{\max} から求めたものとは定性的に異なる結果になる。この件については 4.3 節の最後で論ずることとし、以下 T_{\max} に基づいて年齢層や重篤度ごとの特徴を示す。

Figure 15 は年齢層別の結果である。 $n=1$ における H/H_c の増加傾向は高齢層ほど著しく、小児はほとんど増加傾向がない。 $n=4, 7$ においては、 $\Delta T_{\max} > 0$ の範囲で高齢者や成人の H/H_c の増加傾向が弱いながら認められるが、小児や少年は $\Delta T_{\max} < 0$ の範囲を中心として減少傾向が現れる。 $n=18$ では、すべての年齢層に H/H_c の減少傾向が認められ、

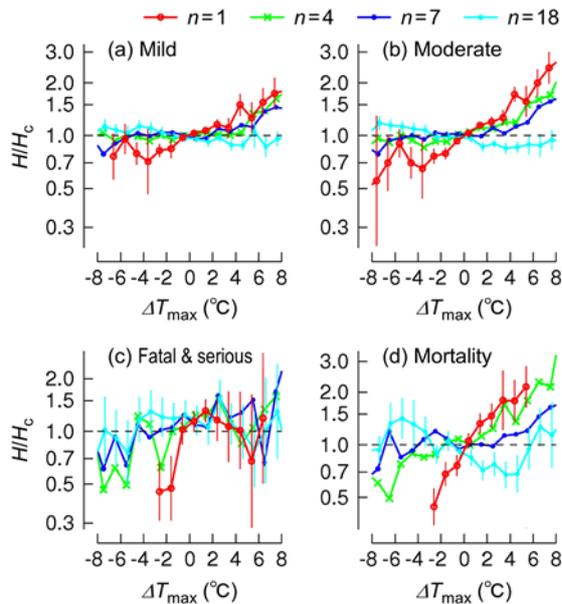


Figure 16 Same as Figure 14a but for each severity case (a–c) and for mortality (d).

その度合いは低年齢層で大きい。

Figure 16 は重篤度別の結果である。n=1 における H/H_c の増加傾向は、軽症よりも中等症のほうが著しい。しかし、重篤例は H/H_c の信頼区間が大きく、明瞭な傾向を読み取れない。一方、死亡率については $\Delta T_{\max} > 0$ だけでなく $\Delta T_{\max} < 0$ の範囲でも n=1, 4 における H/H_c の増加傾向が明らかであり、これは F18b の結果と基本的に一致する。

4.3 搬送率と気温以外の気象要素との関係

F18b と同様、 H/H_c と当日の日最小湿度（以下「湿度」）、日最大風速（以下 U_{\max} ）、降水率、日照率との関係を調べた。いずれも、気温の解析に使った 658 地点（2.2 節）のデータを使った。ただし、湿度の観測は気象官署（旧測候所を含む）に限られるため、上記のうち気象官署 137 地点の資料を使った。解析に当たり、湿度については観測所の立地条件による空間的な偏り（都市では湿度が低い等）を除くため、2008～2018 年の 6～9 月の平均値からの偏差を使った。風速については、環境条件の違いによる偏りをなくするため、上記期間の U_{\max} の平均値 ($\langle U_{\max} \rangle$) を求め、それとの比を利用した。降水率は、01～24 時の各時刻の前 1 時間に 1mm 以上の降水が観測された時間数 × 地点数の比率と定義した。その際、1 時間降水量 0.5mm のデータは 0.5 回として扱った。都道府県内のすべての対象地点ですべての時刻に 1mm 以上の降水が記録されれば、降水率は 1 である。これらの各要素について、気温と同様、都道府県内の空間平均値を求めた。得られる結果は、 H/H_c を T_{\max} で計算した場合と T_{ave} で計算した場合とで異なるので、双方を Figure 17 に示す。

まず湿度については、気温として T_{\max} を使えば H/H_c は多湿日ほど大きく、 T_{ave} を使うと逆になる。すなわち、日

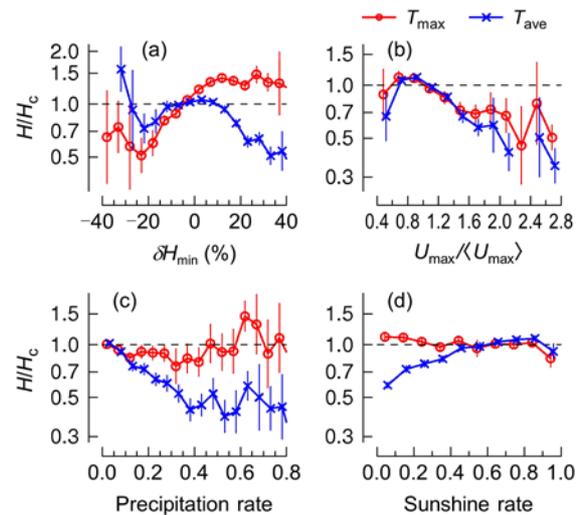


Figure 17 Relationship between H/H_c and (a) δH_{\min} , (b) $U_{\max}/\langle U_{\max} \rangle$, (c) precipitation rate, and (d) sunshine rate. Daily maximum temperature (T_{\max}) and daily mean temperature (T_{ave}) are analyzed. Vertical bars indicate the 95% confidence range of $\ln(H/H_c)$.

最高気温が同じなら搬送率は多湿日に大きく、日平均気温が同じなら低湿日に大きい。風速については、 T_{\max} と T_{ave} のどちらを使っても H/H_c は強風日に小さい。また、 T_{\max} を使えば H/H_c は降水率や日照率には依存しないが、 T_{ave} を使うと降水率の高い日や日照率の小さい日には H/H_c が小さい。すなわち、日平均気温が同じなら曇雨天日には搬送率が小さい。湿度と H/H_c の関係が、気温として T_{\max} を使った場合と T_{ave} を使う場合とで逆になることは、死亡率についての F18b の結果と同様である。日照に関する特徴も、 T_{ave} を使う方が寡照日の低搬送率が著しいという点で F18b の結果と共通する。

Figure 18 は、 T_{\max} に基づく結果を年齢層別に示す。全体として年齢層による大きな違いはないが、多湿日・高降水率日・寡照日には低年齢層の H/H_c が小さい傾向がある。逆に、低湿日には低年齢層の H/H_c がやや大きい。 T_{ave} から求めた H/H_c についても同様の特徴がある（図は省略）。重篤度別に見ると、多湿日・高降水率日・寡照日には軽症例の H/H_c が若干小さい傾向がある（図は省略）。

最後に、Figure 14a と 14b の違いの理由について議論する。Figure 14a は H_c の計算と ΔT の定義に T_{\max} を使い、Figure 14b はこれらに T_{ave} を使っている。試しに、① H_c を T_{\max} で計算し、 ΔT を T_{ave} で定義した場合と、② H_c を T_{ave} で計算し、 ΔT を T_{\max} で定義した場合を調べると、①も②も n=1 における H/H_c の増加傾向は Figure 14a よりも弱く、特に②は増加傾向がない（図は省略）。すなわち、Figure 14a と 14b の違いには H_c の求め方と ΔT の定義の両方、特に前者が影響しているようである。

盛夏季は一般に、晴れた日は前日より気温が高め（す

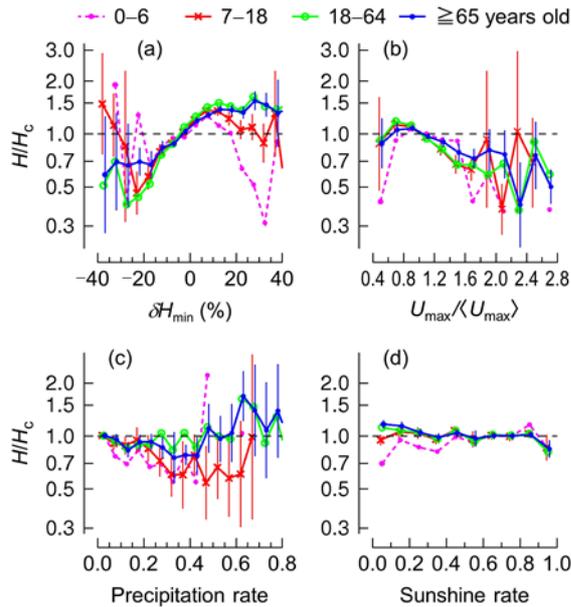


Figure 18 Same as Figure 17 but for each age range based on T_{\max} .

なわち $\Delta T < 0$), 曇雨天の日は前日よりも気温が低め(すなわち $\Delta T > 0$)になりやすい傾向がある。Figure 19は、対象日を日照率0.2未満, 0.2~0.8, 0.8以上の3種類に分け、各日照率範囲における ΔT_{\max} と ΔT_{ave} の頻度分布を示したものである。 ΔT_{\max} や ΔT_{ave} が高い日に、日照率 < 0.2 の場合が多い傾向を確認できる。Figure 20は各日照率範囲の日について、 $n=1$ における H/H_c と ΔT の関係を示したものである。 T_{\max} についての結果(Figure 20a)は日照率にはほとんど依存せず、3本のグラフがほぼ重なる。これは T_{\max} で定義した H/H_c が日照率に依存しないこと(Figure 17d)と一致する。一方、 T_{ave} を使った場合(Figure 20b)には、日照率 < 0.2 のグラフと他の2本のグラフが上下に分かれ、日照率 < 0.2 の日は H/H_c が小さい。これもFigure 17dと符合する。そのため、日照率範囲ごとに見れば H/H_c が ΔT_{ave} に対して増加傾向を持つのに(Figure 20b)、全体としては H/H_c の増加傾向が現れない(Figure 14b)。後者は、 H/H_c の日照率への依存性(あるいは一般に、日照に関連する気象条件

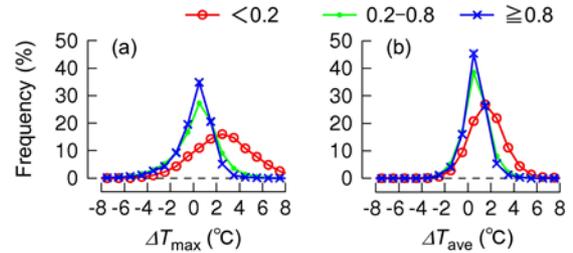


Figure 19 Relative frequency of (a) ΔT_{\max} ($n=1$) and (b) ΔT_{ave} ($n=1$) for each range of daily sunshine rate.

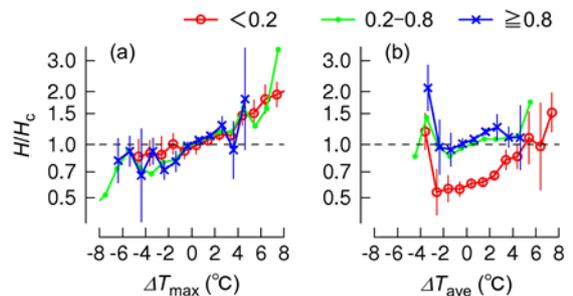


Figure 20 Relationship between H/H_c and (a) ΔT_{\max} ($n=1$) and (b) ΔT_{ave} ($n=1$) for each range of daily sunshine rate. For < 0.2 and ≥ 0.8 cases, the 95% confidence range of $\ln(H/H_c)$ is shown in vertical bars.

への依存性)を反映したものであることがうかがえる。

5. 議論

今回の解析により、熱中症による搬送率と死亡率にいくつかの共通する気候学的特徴が見出された。具体的には、年々変動における $\overline{T_{\max}}$ との正相関や、季節変化における夏の前後比である。また、日々変動においては両者に共通して、搬送率は①当日の気温が同じなら $\langle T_{\max} \rangle$ の低い都道府県ほど高く、②十数日前の気温が低かったときほど高く、③当日の T_{\max} が同じなら高湿日に高く T_{ave} が同じなら低湿日に高い、等の特徴がある。一方、いくつかの相違点も見出された。Table 8はその主なものをまとめたものである。以

Table 8 Summary of differences between the ambulance transport rate of heat stroke patients and mortality.

	Transport rate	Mortality
Age distribution	High for both elderly and young people	High for elderly people only
Spatial variation	Positively correlated with summer temperature, except for serious cases	Uncorrelated with summer temperature
Interannual variation	Increasing except for serious cases	No trend observed
Seasonal change	Large difference between former and latter periods of summer	Relatively small difference between former and latter periods of summer
Influence of temperature for preceding few days	Relatively weakly influenced, especially for young people	Strongly influenced

下、若干の議論をする。

搬送率が高齢者と少年で高いことは、熱中症の発症が高齢者と10代の2山になるという従来の報告^(10,11,15)と符合する。今回使ったデータからは年齢層ごとの発症状況の詳細は分からないが、これまでの研究で、10代の熱中症発症はスポーツなどの活動時に多く、高齢者は家庭内・室内の生活時に多いことが示されている^(11,12,15,16,17,18)。また、高齢者の発症は単身世帯に多く⁽¹⁹⁾、エアコン不使用の事例が多いなど^(17,18)、気象以外の要因に関する報告もある。そして、若年者のスポーツ・労働における熱中症対策は進んでいるのに対し、高齢者の日常生活での発症増加と重症化が顕著であり、その予防が重点課題であると指摘されている⁽²⁰⁾。

都道府県ごとの搬送率の分布は T_{max} と正相関を持つ。しかし、 $\langle T_{max} \rangle$ に対する回帰係数は $0.1K^{-1}$ 程度であり、年々変動における回帰係数($0.4K^{-1}$ 程度)に比べて小さい。搬送率の $\langle T_{max} \rangle$ への依存性は、馴化の地域差によって減殺されている可能性がある。また、死亡率や重篤者の搬送率は $\langle T_{max} \rangle$ との相関が弱い(Figure 3, Table 4)。すなわち、熱中症全体の発症は夏が暑い地域に多いが、重篤者や死者は夏の涼しい地域でも少なからず発生する。日本では、夏の平均気温が低い地域でも一時的にかなりの高温になることがあり、これが重篤者や死者の発生をもたらすのかも知れない。しかし、重篤者の搬送率や死亡率と年間最高気温(T_{MAX})との相関は弱く、上記の解釈を裏づける事実は見出されない。

年々変動においては、搬送率・死亡率とも $\overline{T_{max}}$ との対応が明瞭である。しかし、搬送率は経年的に増えているのに対し、死亡率の増加はない。同様に、重篤者の搬送率も増えていない(Figure 5, Table 5)。2010年と2018年の東京の日別データを比べると、日最高気温が同じでも2018年の方が搬送数が多く死亡数は少ない傾向が見られる⁽²¹⁾。近年は熱中症の危険性に対する社会の認識が高まり、早めの救急対応が行われることによって深刻な事態が避けられるようになってきた可能性がある。もっとも、熱中症の認知度の経年的な上昇による見かけの変化が関わっている可能性も否定できず、この点は今後の検討課題としたい。

季節変化における夏の前後比や、日々変動における $\langle T_{max} \rangle$ 依存性は、暑熱馴化による被害緩和効果を示唆するものであり、過去の研究と符合する^(1,2,3,12,13)。しかし、死亡率に比べると搬送率は夏の前後比が大きく、特に、重篤者の搬送率は前後比が大きい(Figure 9, Table 6)。

日々の搬送率と T_{max} との正相関および $\langle T_{max} \rangle$ との負相関は、死亡率についての特徴と共通する。特に重篤例の搬送率は T_{max} と $\langle T_{max} \rangle$ に対する回帰係数が大きい(Table 7)。一方、搬送率に対する前日～数日前の高温の影響は、死亡率ほど強くはない。持続的な高温による暑熱負荷の蓄積効果は、死亡に対して特に強く働くのかも知れない。このことは、夏の後半になるほど搬送率に対する死亡率の比率が高まること(Figure 8)と整合する。

年齢層別に見ると、小児や少年の搬送率は前日～数日前

の気温による増幅効果が弱い(Figure 15)。小児や少年の発症はスポーツなどの活動時に多く、従って、前日までの熱負荷の蓄積よりも、その場の気象条件に左右されやすいと考えられる。ただし、小児や少年の搬送率にも、夏の前後比(Table 6)や十数日前の気温に対する負相関(Table 7)が認められる。これは馴化の寄与を示唆するが、夏休みに学校行事が減って搬送数も減り、一見馴化のような季節変化を示している可能性があるかも知れない。

湿度による搬送率(HH_c)の違いは、昼間の気温の高低で解釈できる。すなわち、 T_{max} が同じなら湿度の高いほうが人体への暑熱負荷は大きい、 T_{ave} が同じなら低湿度のほうが晴れて昼間の気温が上がり、熱中症被害が起きやすいであろう。 T_{ave} に基づく解析において、多降水日や寡照日に搬送率が低いことも同様に解釈できる。特に、小児や少年は成人や高齢者に比べ、高湿度日や多降水日・寡照日の搬送率が低い傾向にある(Figure 18)。この理由としては、(1)多降水日や寡照日は屋外活動における日射負荷が小さいこと、(2)降水時には屋外活動の機会そのものが減ることが考えられよう。

以上をまとめると、搬送率と死亡率の気候学的特徴には共通するところが多いが、細かい点では違いもある。また、年齢層や重篤度によって気候学的特性が異なる。その理由の一端としては、屋外活動時の発症が多いと考えられる若年者と、屋内の発症が少なくない高齢者との、発症状況の違いがあると考えられる。熱中症被害の多様性を認識した上で、予防策を講じていくことが求められる。

なお、本研究は熱中症被害の気候学的な特性に注目する観点から、気温その他の気象要素を対象にしたが、熱中症の発症環境に関わる尺度としてはWBGT(黒球湿球温度)などの温熱指標がよく用いられる。WBGTは気温のほか湿度や日射に関連し、屋外活動の熱負荷を与える指標であるとされる。屋外活動中の発症が多いとされる若年者と、室内の発症が多い高齢者について、熱中症被害と気温やWBGTとの関係を見出すことは、将来の興味深い研究課題であろう。

謝辞

本研究は東京都立大学(首都大学東京から改称)と東京都監察医務院の共同研究「気候モデルによる熱中症と低温死発現リスクの将来予測」、科研費「熱中症による死亡をもたらす気象条件とその発現要因の解明」(基盤研究C, 課題番号17K00523),および東京都立大学傾斜的研究費(全学分)学長採択枠研究費「2020年東京オリンピック・パラリンピックに向けた都市気候研究」の成果の一部である。人口動態統計の個票データは東京都立大学総合研究推進機構のURA室を通じて厚生労働省から提供を受けた。

参考文献

(1) F. Fujibe, J. Matsumoto and H. Suzuki, Spatial and temporal features of heat stroke mortality in Japan and their relation to

- temperature variations, 1999–2014, *Geogr. Rev. Jpn., Ser.B*, 91-1 (2018), pp.17–27.
- (2) F. Fujibe, J. Matsumoto and H. Suzuki, Regional features of the relationship between daily heat-stroke mortality and temperature in different climate zones in Japan, *SOLA*, 14 (2018), pp.144–147.
- (3) 横山太郎, 福岡義隆, 日本各地における熱中症の発生頻度とその傾向に関する研究, *日本生気象学会雑誌*, 43-4 (2006), pp.145–151.
- (4) 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.
- (5) S. Murakami, N. Miyatake and N. Sakano, Changes in air temperature and its relation to ambulance transports due to heat stroke in all 47 prefectures of Japan, *J. Prev. Med. Public Health*, 45-5 (2012), pp.309–315.
- (6) 倉林輝世, 福田亜佐子, 横浜地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.
- (7) 佐俣満夫, 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.
- (8) 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.
- (9) 田村憲治, 小野雅司, 安藤 満, 村上正孝, 救急搬送データによる熱中症の発生と気温, *日本生気象学会雑誌*, 32-2 (1995), pp.111–114.
- (10) 入来正躬, 1995年夏の山梨県での熱中症に関する研究, *日本生気象学会雑誌*, 33-1 (1996), pp.55–61.
- (11) 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.
- (12) M. Ono, Heat stroke and the thermal environment, *Jpn. Med. Assoc. J.*, 56-3 (2013), pp.199–205.
- (13) 布施 明, 坂 慎弥, 布施理美, 荒木 尚, 金史英, 宮内雅人, 横田裕行, 気象データから熱中症救急搬送者数を予測する, *日本救急医学会雑誌*, 25-10 (2014), pp.757–765.
- (14) 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.
- (15) 入来正躬, 橋本眞明, 熱中症発症の地域差—山梨県と北海道の比較から—, *日本生気象学会雑誌*, 43-1 (2006), pp.23–33.
- (16) M. Kuzuya, Heatstroke in older adults, *Jpn. Med. Assoc. J.*, 56-3 (2013), pp.193–198.
- (17) 岩田充永, 梅垣宏行, 葛谷雅文, 北川喜己, 高齢者熱中症の特徴に関する検討, *日本老年医学会雑誌*, 45-3 (2008), pp.330–334.
- (18) 三宅康史, 有賀 徹, 井上健一郎, 奥寺 敬, 北原孝雄, 島崎修次, 鶴田良介, 横田裕行, 本邦における熱中症の実態—Heatstroke STUDY2008最終報告—, *日本救急医学会雑誌*, 21-5 (2010), pp.230–244.
- (19) 藤野 毅, 夏季における埼玉県内の熱中症搬送者の特徴と対応, *埼玉大学工学部紀要*, 46 (2013), pp.13–20.
- (20) 日本救急医学会熱中症に関する委員会, 本邦における熱中症の現状—Heatstroke STUDY2010最終報告—, *日本救急医学会雑誌*, 23-5 (2012), pp.211–230.
- (21) 藤部文昭, 松本 淳, 鈴木秀人, 東京における2018年夏の熱中症被害の概要, *天気*, 66-7 (2019), pp.495–499.

(Received December 10, 2019, Accepted March 27, 2020)