

# 京都市の熱中症搬送者数変動は何で決まっているか

## —気象要素と観光客数変動の連関分析—

安 成 哲 三<sup>\*1</sup>・何 斯 誠<sup>\*2</sup>

### 要 旨

京都市における過去13年間(2011-2023)の暖候期(5-9月)の熱中症搬送者数の日々の変動について、気象要素変動と観光客数の変動との関連性の分析を行った。搬送者数の季節推移傾向は、大部分の年で、7月中旬と8月初めにピークがあり、7月のピークは梅雨明け直後に開催される祇園祭前祭(7月17日)前後に、8月のピークは気温の季節的な極大期に対応している。

小笠原高気圧下の盛夏期の搬送者数は、日平均気温28°C以上で5人/日以上、30°C以上で10人/日以上、31°C以上では20人/日以上と急激に増加する。これに対し、梅雨期前(5-6月)の大陸からの乾いた気団下の晴天日では、25°C前後でも長い日照時間(強い日射量)の効果により、5-10人/日前後の搬送者が見られた。機械学習による分析により、7月のピークは、梅雨明け直後の急激な気温上昇により暑熱順化が不十分なまま祇園祭に訪れる観光客を主とした外部からの流入者が、搬送者数に大きく寄与していることが定量的に確認された。

### 1. はじめに

京都市は、内陸の盆地に位置し、大阪や神戸のように日中の大阪湾からの相対的に涼しい海風の影響もないため、夏は近畿地方の中でも特に暑いことで有名である。第1図は京都市の夏(6-8月)の平均気温と最高気温および猛暑日(日最高気温が35°C以上の日)の頻度を過去60年間(1964-2023)で示している。猛暑日が20日を超えた年は、最初15年間(1964-1978)では1年のみ、次の15年間(1979-1993)では2年のみであったが、1994年以降の15年間(1994-2008)では8年、最近15年間(2009-2023)では10年と、顕著に増加している。

猛暑日の増加に伴い、京都市(京都府)での熱中症に罹る人数は、全国の都市の中でも人口比では本州で

はトップレベルとなっている(消防庁 2024)。

ただ、熱中症のリスクは、他の自然災害等と同様に、第2図に示すように、ハザードとしての高温等の気象条件だけでなく、人間と社会に由来する脆弱性と曝露の程度が密接に関与している。例えば曝露条件としての「住まい」のあり方があり、現代では、町の構造や人の動き、家の構造等に加えエアコンの利用の有無もこの問題に入る。暑さに強いかわ弱いかわという脆弱性は、人の年齢や健康状態およびその社会(コミュニティ)におけるケアの程度等が関わっている。したがって、熱中症への対策は、行政レベルでは、ハザードを主として扱う環境関係の部局だけでなく、曝露条件を扱う建築・都市計画や観光行事のあり方、人間側の脆弱性を扱う福祉・保健関係の部局が協力して行うことが必要である。

本研究は、京都気候変動適応センター(京都府・京都市・総合地球環境学研究所が合同で運営)の調査研究の一環として、京都市の熱中症搬送者数(以後、搬送者数)の時空間変動の実態とその要因分析を行った結果をまとめたものである。

特に、暑熱時の曝露に関連した観光都市京都市なら

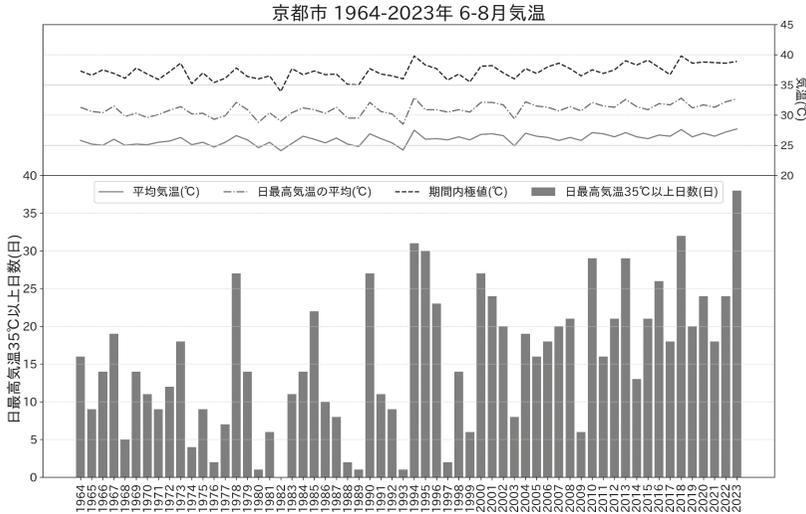
\*1 (連絡責任著者) 総合地球環境学研究所。

yasunari@chikyu.ac.jp

\*2 京都大学防災研究所(現:総合地球環境学研究所)。

—2024年8月6日受領—

—2024年12月23日受理—



第1図 京都市における1964-2023年の夏季（6-8月）の日最高気温の期間中の極値（破線）、日最高気温の平均値（一点鎖線）、日平均気温の平均値（実線）と日最高気温が35°C以上の日数（棒グラフ）。

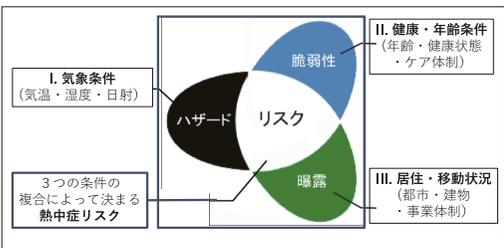
との関係を明らかにする。さらに炎天下の祇園祭に集まる観光客数の動向を、京都市営地下鉄の乗降者数データを手掛かりに評価し、ハザードとしての気象条件と曝露としての観光客数変動が、どのように搬送者数変動を決めているのかを明らかにする。

2. 搬送者数と気象要素との関係

2.1 搬送者数の季節推移と年々変動

まず最近13年間（2011-2023）の搬送者数のデータを用いて、搬送者数の日々の変動と季節推移および年々の変動が、毎年どのように生じて

いるかを調べる。ここでまず留意すべきは、年ごとの救急車による搬送者数は、病院で受診して熱中症と診断された患者数の一部にすぎないということである。工藤（2024）は、三宅ほか（2022）による7年間（2012-2018）の全国の病院で熱中症と診断された患者総数（匿名レセプト情報データ）と救急車による搬送者数を比較した結果、搬送者数は患者総数の15%程度にすぎないこと、ただし患者総数と搬送者数には、高い線形的な相関があることを確認した。したがって、本論文ではあくまで、搬送者数を絶対数としての熱中症罹患者数の変動を示す指標として用いる。



第2図 3つの条件・状況（ハザード、脆弱性、曝露）によって決まる熱中症のリスクの模式図（IPCC AR5 WG2 図 SPM.1を改変）。

第3図に熱中症発症が集中する5-9月の搬送者数の総数と、その日々の変動と季節推移を年ごとに示す。13年間でコンポジット平均した搬送者数の季節推移も右下に示されている。毎年の総数は、500~800人前後で変動しているが、2018年には1500人超、2023年には1000人近い搬送者数となっている。これら2年は、第1図の猛暑日の日数も30日を超えており、近年でも極めて暑い夏であったことが深く関係している（Imada *et al.* 2019）。

ではの課題として、盛夏期に観光客が極めて多く集まる伝統行事である祇園祭の搬送者数への影響がある。京都市では7月に日本三大祭りの一つである祇園祭が開催され、特に7月17日と24日には、京都市中心部で山鉦巡行が行われ、その見学に毎年延べ50万~80万人の観光客が京都市に集まる。盛夏期前半の7月にこれだけの人が炎天下に集まるため、搬送者数に、祇園祭に訪れる観光客の流入がどの程度影響しているかという問題の検討も行う。

分析に用いたデータは、第1表に記す。本論文では、京都市における熱中症罹患者の指標として、救急車による搬送者数を用いて、搬送者数の季節変化と経年変動の実態を明らかにする。その上で、これらの時間スケールの搬送者数変動と、ハザードとしての気象条件

毎年の季節推移で特徴的なのは、大部分の年で、2つのピークがあり、1つのピークは7月17日前後であり、もう1つのピークは8月初めである。13年間平均した図（第3図右下）でもその特徴ははっきり現れており、特に7月17日のピークは、平均した図でも極め

て顕著で鋭いピークとなっている。どの図にも、7月17日が破線で示されているが、この日は、前述したように、夏の観光客が最も多く集まる祇園祭（前祭）の山鉦巡行が行われる日であり、この日が猛暑日と重なると、搬送者数が極めて多くなる可能性がある。2018年はまさにそのような年であったが、この問題は、気象要素との関連で、次節（2.2節）で詳しく述べる。なお、2020年と2021年は、コロナ禍（COVID-19）のため、観光客が多く集まる山鉦巡行等の行事は中止されたことも重なり、搬送者数は少なめとなり、特に2021年は493人とこの13年間では最少となっている。ただこれらの2年についても7月17日前後のピークがあり、この問題は季節進行の中での、いわゆる「暑熱順化」問題と関連させて2.3節でさらに考察する。

### 2.2 熱中症に関わる気象要素の問題

熱中症搬送者数と気象要素の関係については、国内の熱中症問題に限っても、すでに非常に多くの研究がある（例えば、Ng *et al.* 2014；Kodera *et al.* 2019；藤部ほか 2020；Sato *et al.* 2020；Ikeda and Kusaka 2021；Ogata *et al.* 2021；Ke *et al.* 2023）。その多くは、それぞれの地域や都市での搬送者数と熱中症に関係するとされる気象要素との相関関係を、様々な統計手法で調べ、搬送者数の予測を試みている。また、大きな社会イベント（スポーツ大会、宗教行事等）への参加

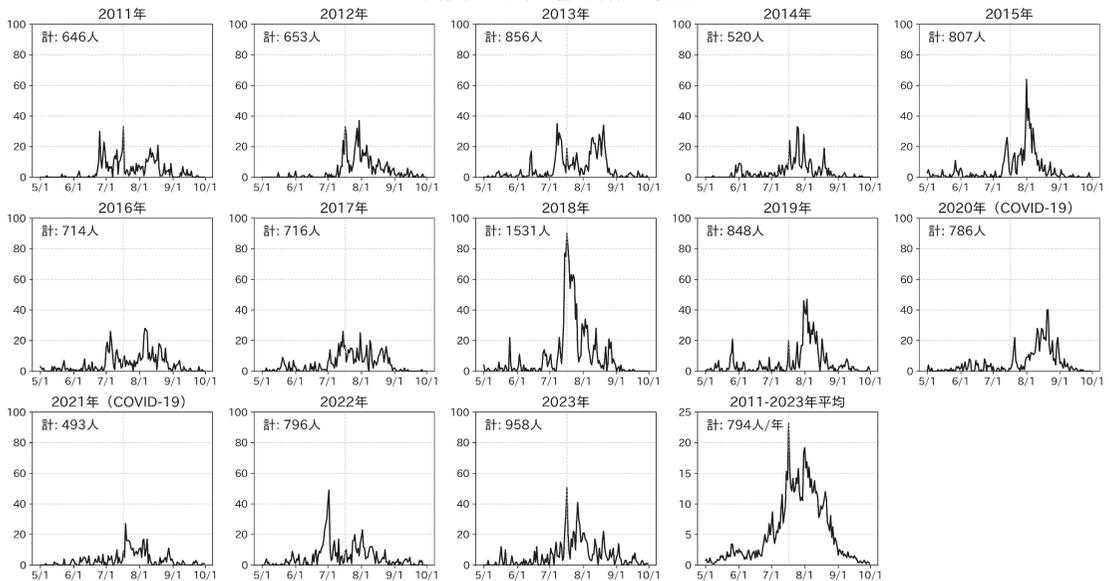
者が暑熱から受ける影響についても、海外ではすでにいくつかの研究（例えば、Mason *et al.* 2024）があるが、冒頭で述べた祇園祭という日本の伝統行事に関する調査・研究はまだなされていない。

気象要素については、特に最近では、気温、湿度といった個別の要素ではなく、熱中症発症に密接に関連しているとされるWBGT（Wet Bulb Globe Temperature：湿球黒球温度）とよばれる暑さ指数を用いる研究が多くなっている。WBGTは $0.7 \times \text{湿球温度} + 0.2 \times \text{黒球温度} + 0.1 \times \text{乾球温度}$ （室内の場合、 $0.7 \times$

第1表 本研究で使用したデータ。

<ul style="list-style-type: none"> <li>京都市の熱中症による救急搬送者数（5～9月） 項目：覚知年月日時、性別、年齢、発生場所（住宅、道路、学校、店舗等）等 期間：13年分（2011～2023） （京都市消防局提供）</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>気象データ（日平均気温、日平均相対湿度、日照時間等） 京都地方気象台による日別気象データ</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>京都市営地下鉄の乗降者数 京都市営地下鉄烏丸線・東西線の6つの駅の2011年～2023年分の日乗降者数 （京都市交通局提供）</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>人口データ（区ごとの人口等） （京都市統計ポータル <a href="https://www2.city.kyoto.lg.jp/sogo/toukei/">https://www2.city.kyoto.lg.jp/sogo/toukei/</a>, 2025.1.8閲覧）</li> </ul>

京都市の毎年の搬送者数の変動



第3図 京都市の毎年の熱中症搬送者数の5～9月における変動。図中の横軸の目盛りは各月1日に対応する。縦破線は7月17日を示す。

湿球温度+0.3×黒球温度)として定義され、特に体表面での蒸発の大きさを決める湿球温度と、体表面温度に寄与する放射量(日射量)の指標として黒球温度が重視された指標である。現在、多くの自治体等でもWBGTが熱中症アラートに使われているが、この指数による搬送者数変動の予測の限界も指摘されている(Budd 2008; Ogata *et al.* 2021)。

これまでのWBGTを利用して搬送者数等との関係を論じた研究では、日本の夏季の天候の季節的特性に伴う気象要素間の内部相関を無視してこの指標を用いていたことが搬送者数予測等での誤差を招いていた可能性が高い。むしろ、Budd (2008) も示唆していたように、気温、相対湿度および日射量(あるいはそれと強い相関をもった日照時間)の組み合わせで、WBGTよりも実質的に熱中症発症に関与する蒸発や放射量との関係をみるのが可能である。

例えば、京都市の日(平均)単位でみた暖候期の気象要素間には、第2表に示すように、日本の盛夏(7-9月)の天候を支配する海洋性の高温多湿な小笠原高気圧や初夏(5-6月)の天候を支配するユーラシア大陸由来の高温乾燥な大陸性気団の性質から、気象要素間にも相互依存性の高い要素と独立性の高い要素があることがわかる。

特に、気温要素間(日平均気温、日最高気温)には高い正相関があるのに対し、日平均気温(日最高気温)と日平均相対湿度の間の季節を通した相関は非常に弱い。これは、上述の2つの気団の特性が混ざり合った結果、期間全体としては弱い相関となっているが、同じ海洋性気団(小笠原高気圧)の影響下にある盛夏期に限れば有意な負相関となっており、梅雨や秋雨の多雨期か小笠原高気圧に支配された晴天期かという天候の指標として、日平均相対湿度が活用できることがわかる。また、この季節には相対湿度と日照時間

には高い負相関があるため、日照時間と総日射量の高い相関(桑形 2005)を前提にすると、相対湿度を、日単位での総日射量の逆の指標として用いることができる。したがって、日平均気温(あるいは日最高気温)と日平均相対湿度を組み合わせて用いることで、実質的に熱中症に関係する暑さの指標とすることが可能である。

### 2.3 搬送者数と気象要素の季節推移

このような特性を考慮した気象要素の組み合わせに着目した視点から、気温(日最高気温、日平均気温)と相対湿度と、搬送者数の日々の変動の季節推移を暖候期の5-9月について、分析したすべての年(2011-2023)について調べた。ここでは、搬送者が多かった4年(2013, 2018, 2019および2023)の年ごとの季節推移を第4図に示す。

それぞれの年の図には、気象庁の日々の天気図に記されている各年の西日本の梅雨明けの日も一点鎖線で示している。また、第3図で述べた祇園祭前祭の山鉦巡行が行われた7月17日も、縦破線で示している。

毎年の時系列は、様々に異なる様相を示しているが、それぞれの年に共通した特徴は、以下のようにまとめられる。

梅雨明け(発表)日は、7月初旬(2013, 2018年)、7月中旬(2023年)、7月下旬(2019年)と7月内で変化しているが、気温に着目すると、5-6月に低めで推移していた気温が、梅雨明けと共に日最高気温は35°C前後に、日平均気温は30°C前後に急に上昇しているタイミングに対応している。

梅雨明けで上昇した気温は、8月初め頃から半ば頃まで最も高い値で推移し、その後次第に下がっていく。

この気温変動の推移には、10日-2週間程度と30日-40日程度の周期的変動が重なっており、これは、夏季の日本列島付近で卓越する(アジアモンスーン、チベット高気圧、小笠原高気圧、熱帯の積雲対流活動等に関連した)大気循環の、この周期帯の季節内振動(Kikuchi 2021; Yasunari 1979; 安成 2018)に伴った変動と考えられる。

搬送者数の変動も、梅雨明け頃からの気温の季節的な上昇に対応して増加するという変動が顕著である。どの年も日最高気温が30°C、日平均気温が28°C前後から搬送者数は5人を超えるようになり、特に、日最高気温が35°C、日平均気温が30°C以上になると、搬送者数は20人/日以上になる。

第2表 京都地方気象台における暖候期(5-9月)の各気象要素間の相関(2011~2023年)。\*\*\*印は有意水準99.9%以上の相関を示す。

相関係数(全データ)	5-9月	5-6月	7-9月
平均気温-最高気温	0.93***	0.86***	0.93***
平均気温-平均湿度	0.04	0.02	-0.42***
最高気温-平均湿度	-0.23***	-0.37***	-0.57***
平均気温-日照時間	0.16***	0.06	0.43***
最高気温-日照時間	0.43***	0.46***	0.62***
平均湿度-日照時間	-0.77***	-0.78***	-0.80***

興味深いのは、7月の搬送者数変動と梅雨明けおよび祇園祭前祭（7月17日）の関係性である。梅雨明けは気温の季節的な推移でみると、日平均気温で30°C前後、日最高気温で35°C前後を超える日にほぼ対応し、その後1週間から10日程度（以上）の猛暑日が続く傾向がみられるが、この期間は多くの人々にとって暑熱順化が不十分な期間となるため、7月の搬送者数ピークが生じやすいと推定される。これに7月17日前後の祇園祭の人出が重なると、2018年や2023年のような40人/日を超える大きなピークとなっている。

日平均相対湿度は、どの年も複雑な変動をしているが、大まかには5-6月のプレ梅雨期は40~70%前後の低湿度期、6月後半から7月初旬-下旬頃の梅雨期には60~90%前後の高湿度期、梅雨明け以降8月中旬頃までの盛夏期には50~60%の低湿度期、それ以降の秋雨期には60~90%の高湿度期に分けられる。搬送者が季節的に極大となる盛夏期は、小笠原高気圧による好天の下で上述のように気温が上昇した時に搬送者数が顕著に増加しているが、この時期の相対湿度は、第2表にあるように、日照時間と高い負相関があり、かつ日照時間と総日射量との相関も高い（桑形 2005）ことから、低い相対湿度の日には、日射量が強く、搬送者数の増加につながる可能性が大きい。

一方で、第3図と第4図でもわかるように、前述のプレ梅雨期（5-6月）にも、搬送者数が10人を超えるような日が1~3回程度見られる。この時期は、日最高気温は30~33°Cまで、日平均気温も25°C前後で28°Cを超えることはほとんどないが、低い相対湿度条件下での強い日射量が関与している可能性が高い。

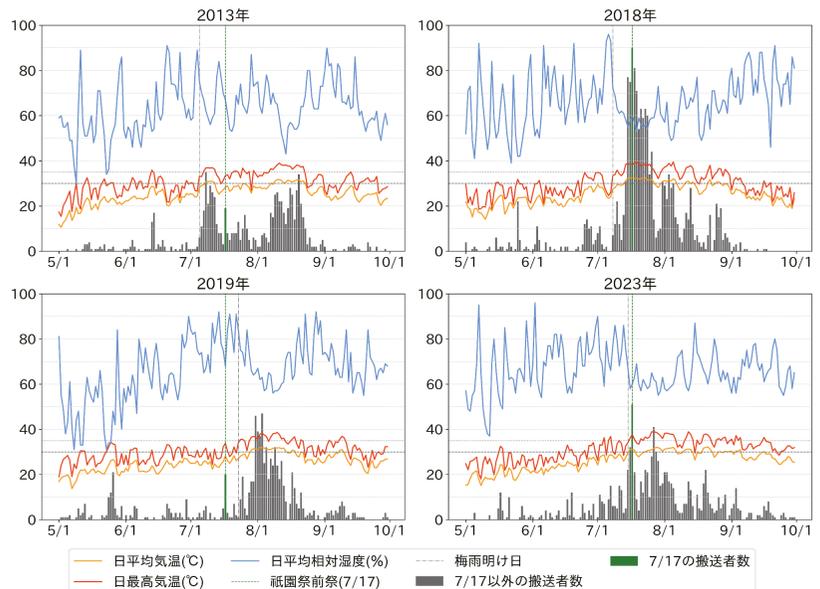
## 2.4 気温-相対湿度ダイアグラム上の搬送者数

第5図は前小節で記述した搬送者数と気象要素との関係（第4図）を、13年間の暖候期（5-9月）のデータを用いて、熱中症に特に関わる気

象要素である日平均気温を横軸、日平均相対湿度を縦軸としたマトリックス上に、それぞれの気温・相対湿度条件で発生した総搬送者数を頻度（日数）で割って1日当たりとした搬送者数を四捨五入した整数でプロットしたダイアグラムである。数値が示されずにドットのみのは、搬送者数が5人未満であった日であり、無表示の領域は、そのような気温・相対湿度の日はなかったことを示している。

第4図の時系列データでも示されたように、日平均気温が28°C以上の領域で5人以上の搬送者数が集中し、特に日平均気温が30°C以上になると10人以上の搬送者数となる。この領域での湿度は50~75%の範囲に限られ、気温33°C、湿度55~60%で1日当たりの搬送者数が50~60人超で最大となっていることがわかる。

28°C以上の領域では、日平均気温が同じ場合は、相対湿度が低くなるほど搬送者数は増加する傾向が強い。先に述べたWBGTにおける湿球温度の重要さと一見矛盾するようであるが、第2表にあるように、5-9月における日平均相対湿度は、日照時間と高い相関のあることに留意したい。盛夏期（7-8月）の日本の夏は、東北日本を除き海洋上に中心をもつ小笠原



第4図 調査期間（2011-2023年）中で、搬送者が多かった4年（2013, 2018, 2019, 2023）の年ごとの気温（日最高気温、日平均気温）、相対湿度と、搬送者数の日々の変動の季節推移（5-9月）。35°Cと30°Cの温度がそれぞれ点線と破線で示されている。それぞれの年の気象庁天気図による各年の西日本の梅雨明け日（一点鎖線）と祇園祭前祭（7月17日）（縦破線）も示されている。

(北太平洋) 高気圧という高温・湿潤な気団に覆われており、熱中症発症にとって重大な人体表面温度は、高温多湿な環境における蒸発抑制と晴天下での強い日射量により高められることになる。蒸発抑制は、湿潤な大気で相対湿度も50%以上の範囲で十分に高い水蒸気圧の下で行われていることと、盛夏期の相対湿度50~60%は、日照時間で8~12時間に対応しており、この気団の下で十分に晴天であり、強い総日射量を保証している。

ちなみに、このダイアグラムで、湿度の上限値が気温33°Cで60%から、気温が下がると共に上昇し気温30°Cで75%、28°Cで85%とほぼ線形的に上昇するが、それ以上の湿度が発現していない。上限に沿った破線は、25°Cで飽和した湿潤大気における気温-相対湿度の線にほぼ対応している。このことは、以下のように説明できる。盛夏期の京都の地表面近くを覆う大気は、日本列島周辺の広域の海面水温が25°C前後の海面上で形成された小笠原高気圧(気団)の大気であり、第5図の破線より右上での気温・相対湿度の出現頻度がほとんどないという観測事実は、陸上からの蒸発による水蒸気供給の影響は、少なくとも日平均値でみる限り、非常に小さいことを示唆している。ただ、例えば温室効果の強化等により高気圧下の海面水温が高くなると、この気温-相対湿度の上限を示す破線は、より高温・高湿度側に平行移動し、搬送者数も大きく増

加する可能性は高い。

一方、破線の四角枠で示した6例は、搬送者数は相対的に少ないが、気温が27°C以下で比較的湿度が低い35~45%の日にも10人前後の搬送者が出ている例で、すべて梅雨期前の5月下旬-6月上旬の初夏である。これらの例の大気循環場を調べると、どの例も夏の小笠原高気圧には覆われておらず、西日本はユーラシア大陸からの高温乾燥の気団に伴う移動性高気圧下の晴天となっており、湿度が非常に低く日照時間が長い条件下での強い日射量により、この時期としては搬送者数が増えた例である。

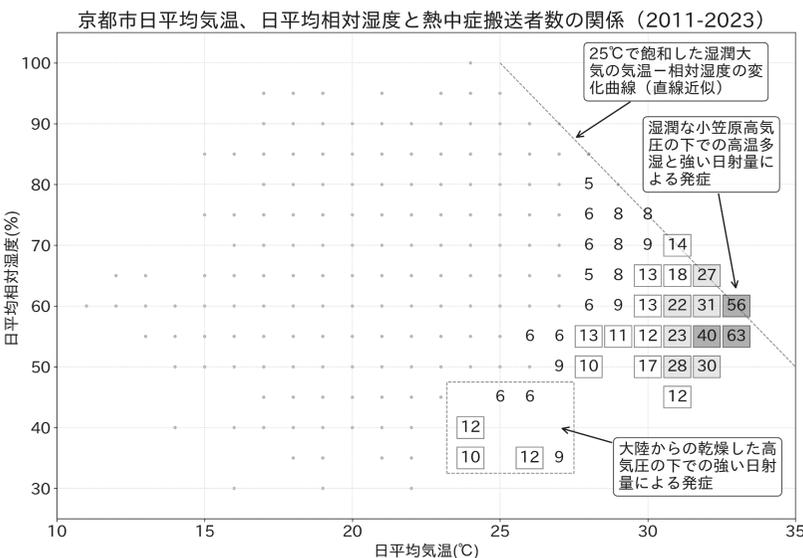
2.5 2つの搬送者数ピークのしくみー「暑熱順化」と「祇園祭効果」

前節では、盛夏期(7-9月)の搬送者数が、日平均気温で28°C以上で非常に高い確率で増加し、30°C以上では10人以上と特に多くなることを、定量的に示した。この節では、年ごとでも13年間平均でも見られた7月中旬と8月上旬の2つの搬送者数ピークの出現が、どのような要因に依っているのかをさらに考察する。

そこで、7月のピークと8月のピークの形成を、気象要素および祇園祭と関連させて、より詳しく調べるために、第6図に7月のピークがより顕著であった5年(2011, 2012, 2017, 2018, 2023)と、8月のピークがより顕著であった5年(2012, 2013, 2015, 2016, 2019)について、それぞれの要素を1日当たりにして

作成したコンポジット平均の季節推移の図を示す。2012年がいずれの平均にも入っているのは、この年の2つピークがほとんど同じであったので、敢えて双方の平均に入れた。

8月のピークは、盛夏期の気温が極大になる時期とよく対応して現れていることが明らかであるが、同時に降水量と相対湿度で示される梅雨明け(一点鎖線参照)が7月下旬で平年よりかなり遅くなっており、祇園祭も相対的に低温や曇天日に当たり、搬送者数も抑制されていると推測される。7月17日を中心とするピークは、降水量(あるいは相対湿度)の急激な減少で確



第5図 京都市における日平均気温、日平均相対湿度と熱中症搬送者数の関係を示すダイアグラム。数字は搬送者数、ドットは5人未満。

認できる7月初めから10日前後の（一点鎖線で示した）梅雨明けの直後の季節最初の高温に伴って現れている。この事実は、多くの大都市での熱中症発症の季節的な時系列変化でも指摘されている「暑熱順化」の不十分さという効果による搬送者数の急増を強く示唆している。

さらに、祇園祭の（2014年以降は前祭の）山鉦巡行日である7月17日に、「暑熱順化」の不十分な状況の観光客が、この行事の見物のため多数集まり、暑さに曝されるという「曝露」条件の悪化により、特異的に7月17日に搬送者数のピークが出現していると考えらるべきであろう。第3図の毎年の時系列の搬送者数では、7月17日の搬送者数を破線で示しているが、この日だけが特異的に多い年は、2011年、2012年、2013年、2014年、2017年、2018年、2019年、2021年、2023年と、13年間のうち実に9年となっている。

この7月17日の搬送者数の増加は、祇園祭（前祭）の山鉦巡行等の見物で集まった観光客の増加が大きく寄与しているならば、祇園祭の特に戸外での行事が行われている地域での搬送者が特に多いはずである。そこで、全搬送者数（灰色）に重ねて、住宅外での搬送者数の日々変化も重ねて示した。この図から全搬送者数に対する住宅外搬送者数の比は、8月初めの猛暑が続いた10日間では57.5%であったのに対し、7月17日のピークを含む祇園祭期間3日間（15-17日）では70%と、非常に高くなっていることがわかった。すなわち、7月17日の特異的なピークは、祇園祭に集まった戸外の観光客が搬送者数増加に大きく寄与している可能性が強く示唆された。

7月と8月のピークについて、京都市内の地域性からも考察するため、京都市の11の区について、区ごとの13年間平均の搬送者数の季節推移を第7図に示す。第7図右下に示した京都市全体の季節推移に現れている7月17日の特異的なピーク（破線参照）は、

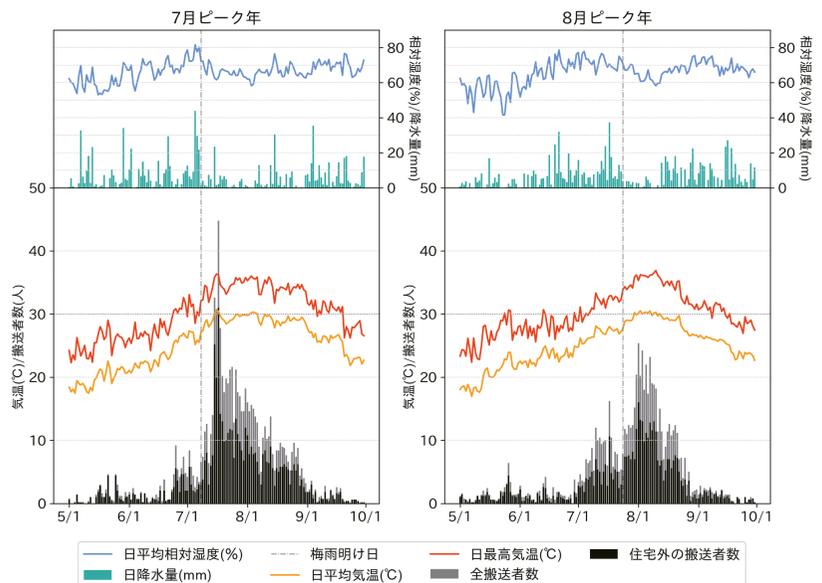
祇園祭の山鉦巡行が行われる下京区、中京区で際立っている。特に7月17日のピークについては、この2つの区だけで、京都市全体の搬送者数の半分近くを占めていることがわかる。

これに対し、最も暑くなる8月初めについては、程度の差はあるが、どの区でも季節的な極大値が現れている。区ごとの搬送者数総数は、人口に比例して伏見区や右京区が最も多いが、人口比にすると、大部分の区で58人/万人程度であるが、下京区は113人/万人と、他の区の2倍程度となっており、祇園祭の観光客を主とした外部からの流入者が、搬送者数に大きく寄与していることが強く示唆される。

### 3. 機械学習による搬送者数変動の要因分析

#### 3.1 XGBoost 法による搬送者数変動モデル

この節では、機械学習の手法を用いて、第2章で見てきた京都市における搬送者数の変動を、ハザードとしての気象変動の要素と、観光客を中心とした暑熱に曝される人の数の変動を要素としたモデルを作成して、京都市特有の7月と8月の2つの搬送者ピークの、より定量的な再現を試みる。



第6図 7月のピークがより顕著であった5年（2011, 2012, 2017, 2018, 2023）と、8月のピークがより顕著であった5年（2012, 2013, 2015, 2016, 2019）について、コンポジット平均した日別気象要素（相対湿度、降水量、最高気温、平均気温）と全搬送者数（灰色の棒グラフ）と住宅外搬送者数（黒色の棒グラフ）の季節推移を示す。それぞれのピーク年での西日本の梅雨明け日の平均（一点鎖線）も示されている。

ここでは、機械学習アルゴリズムの1つである Extreme Gradient Boosting (XGBoost) を用いた手法を用いる。XGBoost は、教師あり機械学習手法の1つである、様々なスケールのデータに対応可能な分散型勾配の決定木ブースティングのアルゴリズムを活用した機械学習ライブラリである (Chen and Guestrin 2016)。XGBoost は、異なる変動特性をもつ多変量データを用いた熱中症患者数の再現と予測において、その優越性と適用性が先行研究により証明されている。例えば、Hirano *et al.* (2021) は、日本の多施設の熱中症データベースから患者の診療情報を用いて、ロジスティック回帰、サポートベクターマシン、ランダムフォレスト、XGBoost の4種類の機械学習モデルを訓練した結果、XGBoost が他のモデルに比べて最も高い性能指標を示したと報告している。Ogata *et al.* (2021) は、日本の16都市における12時間ごとの熱中症発生数を、気象要素や人口・性別・都市環境等の要素を用いて、一般化加法モデル (GAM)、ランダムフォレスト、および XGBoost 等複数の機械学習モデルを用いて再現・予測を行った結果、XGBoost は熱中症発生数のピーク時予測において高い精度を示すことが確認された。さらに、XGBoost は気温、湿度、日射量等の多様な環境変数を組み合わせることにより、予測精度を大幅に向上させることが明らかにされた。Ke *et al.* (2023) は XGBoost により、過去30年間の日本の各地域の搬送者数変動を、気象要素と人口等関係する社会経済データを用いて高い精度で再現した上で、

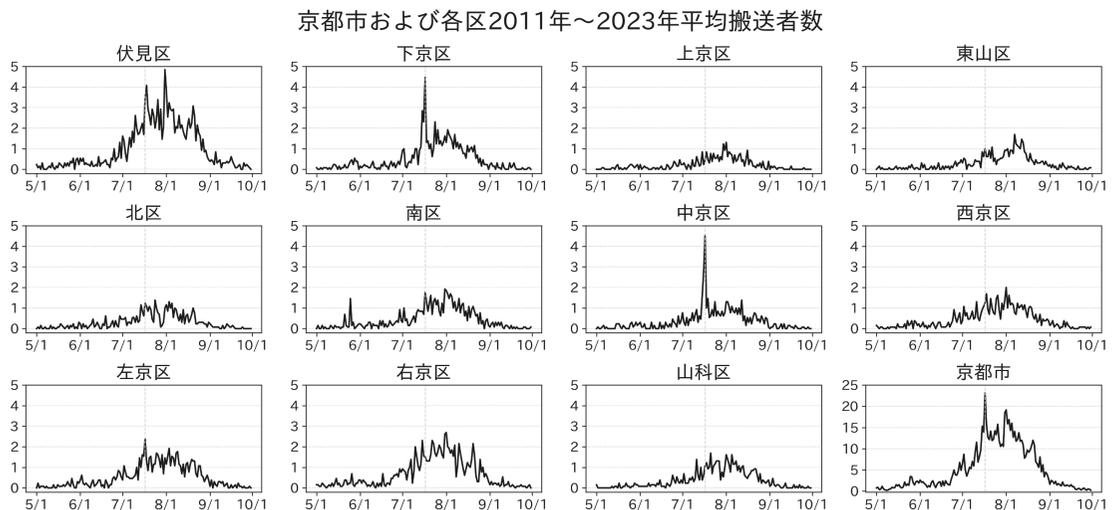
IPCC の気候予測データを用いて2100年までの熱中症搬送者数予測の地域性を評価している。

ここでは、第2章で用いた同じ13年間 (2011-2023) の京都市での暖候期 (5-9月) における毎日の搬送者数変動を目的変数とし、ハザード (第2図参照) としての気象要素 (日平均気温、日平均相対湿度、日照時間) と、京都市内における暑熱に曝露された観光客数の人数の指標として、京都市営地下鉄各駅の乗降客数のデータを説明変数として XGBoost モデルを適用し、毎年の搬送者数の変動に、気象要素と社会的曝露の要素としての地下鉄乗降客数がどのように寄与しているかを考察した。モデルの性能は、決定係数 (相関係数の2乗) ( $R^2$ ) と2乗平均平方根誤差 (RMSE) を用いて評価され、より高い  $R^2$  ほどモデルの適合度が良く、RMSE が小さいほど、モデルの予測誤差がより少なく、より良い性能であることを示す。変動モデルを構成する各説明変数 (XGBoost では特徴量 (feature) と称している) が、どの程度重要かを数値的に評価するため、特徴量重要度 (Feature Importance: FI) を用いた。FI は、ある特徴量が決定木ブースティングでの分割計算の過程で、どれだけ観測値に近づけるのに貢献したかを数値化することで、モデルの再現性や予測性に対する貢献度の大きさを評価できる。

今回考慮した特徴量は、以下のとおりである。

- ・気象要素：日平均気温、日平均相対湿度、日照時間

これらの気象要素は、2.2節で議論した熱中症発症に関連した人体表面での熱収支に関係した重要な要素で



第7図 京都市の11の区 (および京都市全体) についての13年間 (2011-2023) 平均搬送者数の季節推移。

ある。また、第5図で示したように、日平均気温や相対湿度は、搬送者数と密接な関係をもっている。

・暑熱順化の指標としての気象要素：前日の平均気温，2日前の平均気温，15日前から前日までの平均気温，および30日前から前日までの平均気温と当日の平均気温との差

これらの要素は、2.3節でも説明したように、特に7月の搬送者数のピークの出現等に、不十分な暑熱順化が関与していることに関連した指標である。暑熱に曝される人が、季節の推移の中で暑熱に順化・適応するためには、長くなると数週間が必要というこれまでの研究 (McGregor *et al.* 2015等) もある。この論文では、同じ日本の盛夏期の気候条件で搬送者数予測を行った Ke *et al.* (2023) も参照して、暑熱順化の指標となる特徴量を定義した。

・暑熱に曝露される観光客の指標：京都市営地下鉄の6つの駅（京都，五条，四条，烏丸御池，京都市役所前，三条京阪）の日乗降客数

すでに述べたように、京都市の盛夏期には、7月の祇園祭や8月の五山送り火等の大きな伝統行事があり、1日でも十万人規模の観光客が全国および海外から集まるため、熱中症搬送者数の再現・予測には、曝露の視点から、この観光客数の動態把握が重要な要素となる。特に、観光客が集まる祇園祭の山鉾巡行は7月後半の梅雨明け後の猛暑日と重なることが多いため、第2章でも詳述したように、この時期の搬送者数は、8月初めの盛夏期以上のピークとなる年が多い。そこで、第8図に示すように、山鉾巡行に集まる観光客数の動向に密接に関係していると推定される6つの地下鉄駅の乗降客数を、観光客数に関する特徴量として用いた。

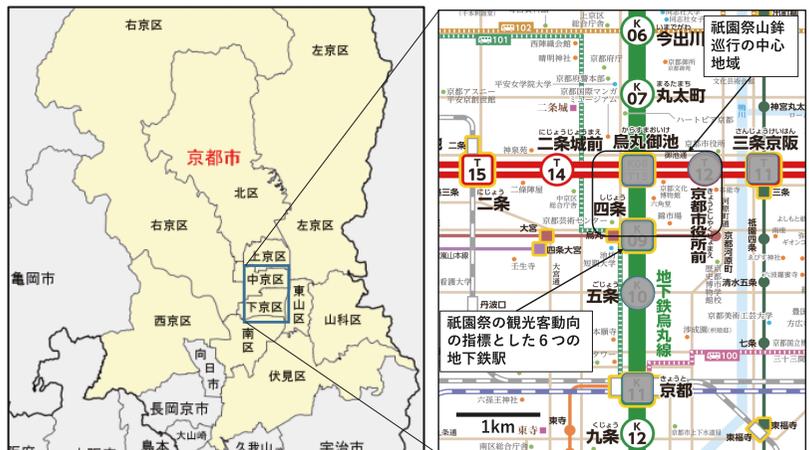
### 3.2 京都市での搬送者数変動の分析

第2章での議論で、京都市全体の盛夏期における搬送者数の季節内の変動については、ほとんどの年で、梅雨明けの7月中旬前後のピークと、8月初旬から中旬にかけてのピークがあることがわ

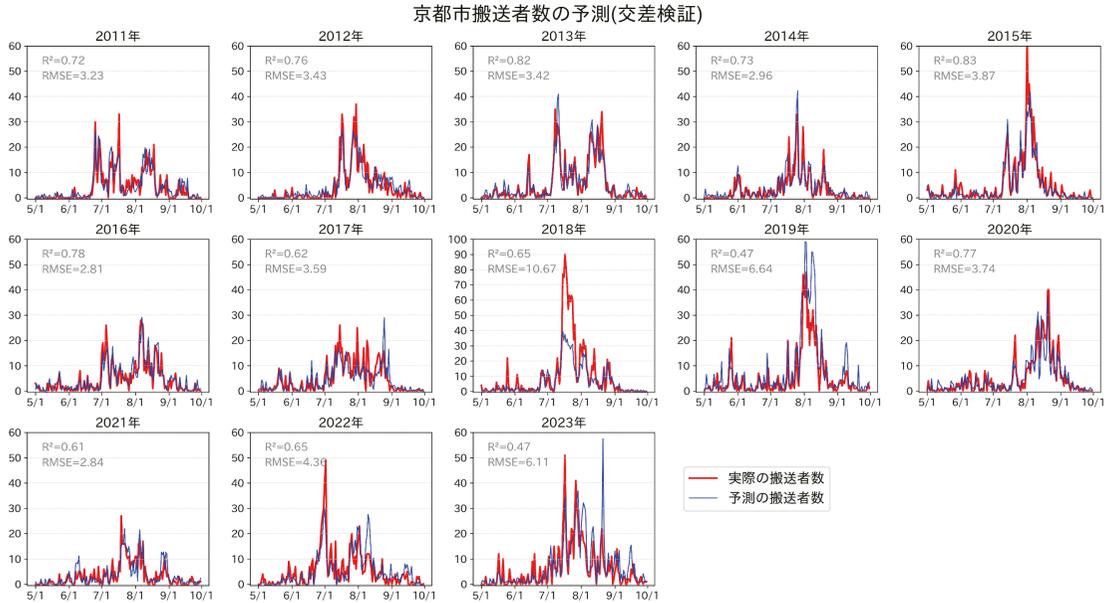
かった。それぞれのピークが発現する要因として、7月のピークは、7月17日という特定の日がピークとなることから、梅雨明けで気温が急に上昇することによる「暑熱順化」への遅れや不十分さに加え、祇園祭前祭の見物に集まる観光客の増加が大きく寄与していること、8月のピークは、盛夏期の最も気温が高くなる時期によく対応していることが明らかになった。

そこで、13年間の搬送者数変動の要因分析をより定量的に示すために、前節で示した3つの気象要素と「暑熱順化」に関係する日平均気温から求めた4つの指標を含めた7つの指標を、熱中症発症を引き起こす気象ハザードに関連する特徴量とした。さらに祇園祭前祭の山鉾巡行見学に集まる観光客数の指標となる京都市営地下鉄の6つの駅の日単位の乗降客数を、曝露に関連する特徴量として加え、合計13の特徴量による機械学習モデルを構成して、分析を行った。

まず、このモデルの妥当性を確認するために、13年間のデータのうち、12年間のデータによるモデルで残り1年の搬送者数変動がどの程度再現（予測）できるかを、交差検証として行った結果を、第9図に示す。どの年も、実際の搬送者数の季節推移の大まかな変動パターンは再現されており、 $R^2$ は0.47 (2023年)～0.83 (2015年) の間の値を示している。特筆すべきは、再現された搬送者数の絶対値は、実際よりもやや過小あるいは過大評価となっている例が多いが、毎年



第8図 (左) 京都市の11区（黄色）の分布。(右) 祇園祭の観光客動向に用いた京都市中心部の地図。観光客動向の指標として用いた京都市営地下鉄乗降客数を分析した6つの駅（京都，五条，四条，烏丸御池，京都市役所前，三条京阪）をハッチで示す。元図は、京都市交通局発行の「地下鉄全線路線図」([https://cdn3.railf.jp/img/news/2019/03/190305\\_kyoto\\_map.jpg](https://cdn3.railf.jp/img/news/2019/03/190305_kyoto_map.jpg), 2025.1.8閲覧) から引用。



第9図 XGBoost法による機械学習の交差検証により再現(予測)された京都市の13年間(2011-2023)の5-9月における搬送者数。赤字が実際の搬送者数, 青字は再現値。各年の再現値の観測値に対する決定係数( $R^2$ )と2乗平均平方根誤差(RMSE)を、左上に示す。

のピークのタイミングは、よく合っており、ここで選んだ13の特徴量による機械学習モデルが、搬送者数の再現・予測として十分適合したモデルであると判断できる。

第10図は、13年間のすべてのデータを用いて、各年の搬送者数変動の再現を行った結果である。どの年も、実際の搬送者数変動(赤線)を予測値(青線)が非常によく再現しており、 $R^2$ は、2023年が0.93のほかは、すべて0.95以上で、平均した値は0.98と非常に高くなっている。最も搬送者数の多かった2018年についても、7月17日を中心とした7月ピークは、ほぼ再現予測されている。

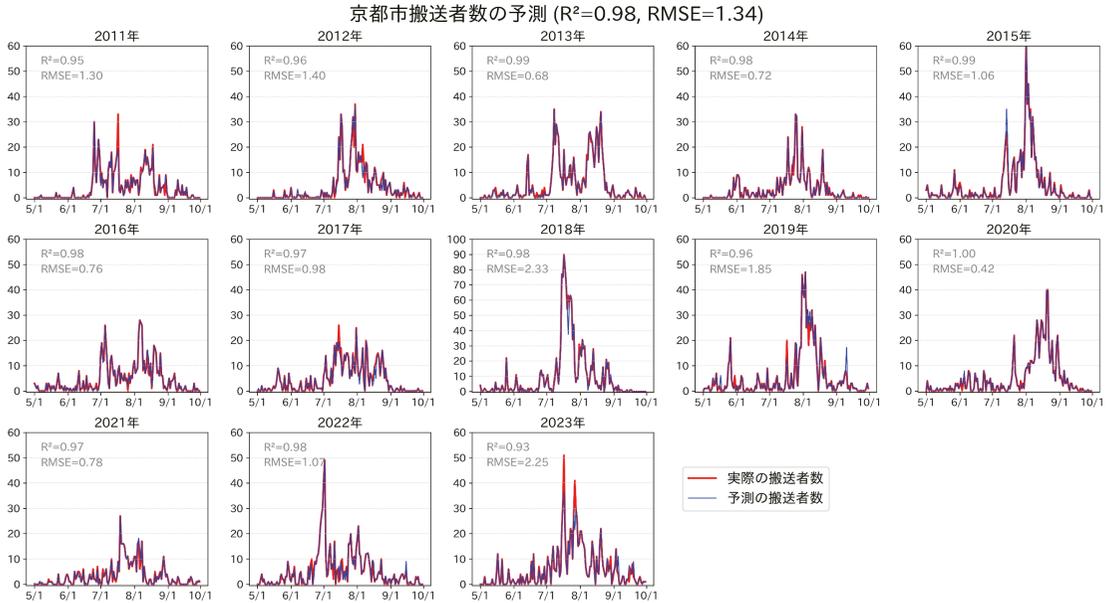
第11図には第10図のモデル結果におけるFI値を示している。日平均気温のFI値が約280で、圧倒的な重要度を示しているが、7月中旬のピークが平均的に大きなことに対応して、短期的な暑熱順化の程度を示す当該日の前日気温のFI値および季節的な暑熱順化の程度を示す過去30日の平均気温との差のFI値が、この7月中旬のピークの形成に関連して、それぞれ51.7、48.6という比較的大きな数値で示されている。これに対し、観光客数は祇園祭前祭(7月17日)前後で最大となるため、搬送者数のピークも7月17日前後に特異的に固定されているが、観光客数変動に伴うFI

値は、前述の3つの気象要素のFI値ほど顕著には出ていない。ただ、観光客流入の中心となっている四条(烏丸)駅では、30.4を示し、6つの駅の中でも最も大きくなっている。これらのFI値の結果は、7月の搬送者数ピークの形成に日平均気温の高さおよび暑熱順化(不足)の効果に加え、地下鉄乗降客数が7月17日を中心にピークに達していたこと等の相乗効果が、搬送者数ピークの再現となっていることを強く示唆している。

### 3.3 祇園祭効果の検証—下京区・中京区の搬送者数変動の分析—

第7図で示した区ごとの搬送者数の平均的推移に、下京区・中京区を中心とする狭い地域に、7月17日の祇園祭前祭山鉦巡行日に搬送者数の鋭いピークが現れている。

山鉦巡行は、第8図でも示したように、四条烏丸付近から四条通、河原町通を経て、御池通を京都市役所前から烏丸御池まで至る四角いルートをほぼ半日かけて行われる。この巡行を観るために京都市内外から毎年数十万人の観光客が沿道に集まるが、これらの人々は、梅雨明け直後の急激な夏の暑さにより盛夏に対する暑熱順化が十分にされてない状態で、高い熱中症リスクに曝されていた年が多かったと推測される。



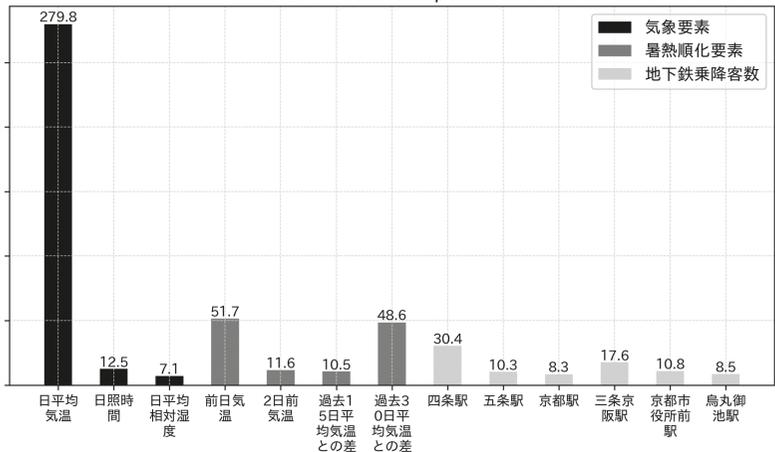
第10図 XGBoost 法による機械学習の全データにより再現 (予測) された京都市の13年間 (2011-2023) の5-9月における搬送者数. 赤線が実際の搬送者数, 青線は再現値. 各年の再現値の観測値に対する決定係数 ( $R^2$ ) と2乗平均平方根誤差 (RMSE) を, 左上に示す.

そこで, 下京区と中京区を合わせた搬送者数について, 前節と同じ13の特徴量を用いて, XGBoost 法での機械学習モデルで搬送者数の再現 (予測) を行い, これに関連したこの地域の観光客数の動向についても考察する.

第12図は, 13年間のすべてのデータを用いて, 各年の搬送者数変動の再現を行った結果である. 京都市全体 (第10図) と比較してデータ数がかなり小さくなったことや, 祇園祭に関連した観光客数の動向が, より地域スケールでの年ごとの変動に影響している

可能性は大きい, 13年間で再現されたそれぞれの年における日々の変動パターンは, 京都市全体で行った場合 (第10図) と高い類似性を示した. 祇園祭前祭の7月17日が重なった搬送者数のピークや, 8月初めのピーク (あるいはその両方) を含め, どの年も, 実際の搬送者数変動 (赤線) と予測値 (青線) は非常によ

京都市 Feature Importance

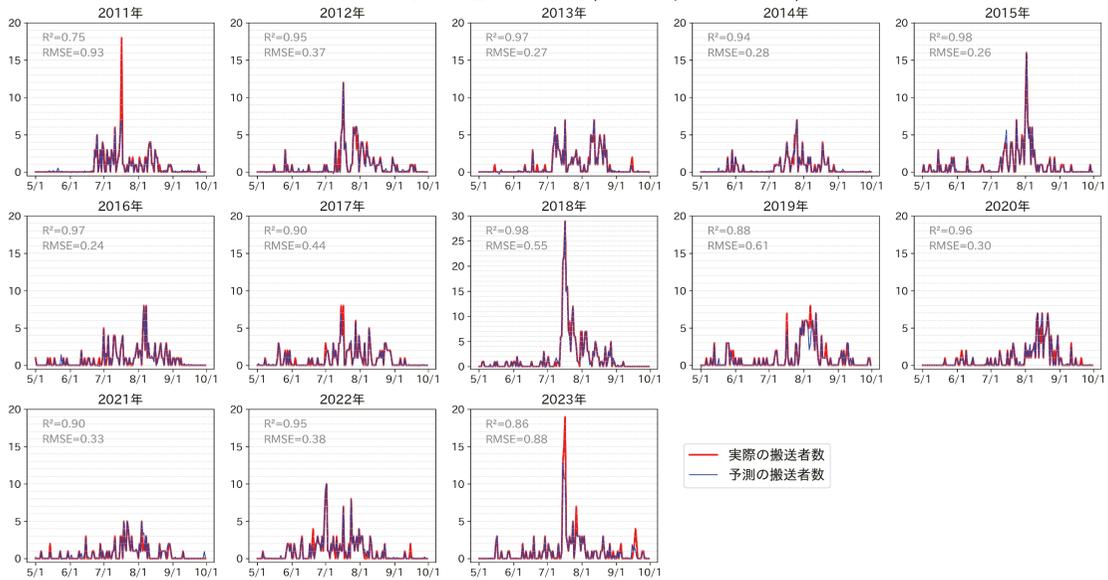


第11図 京都市の5-9月の搬送者数を説明する13の特徴量 (3つの気象要素, 4つの暑熱順化に関する気象要素, 観光客動向に関する6つの地下鉄駅乗降客数) の重要度 (FI) の分布.

く対応しており,  $R^2$ の平均した値は0.94と高い値となっている. 最も搬送者数の多かった2018年や2023年についても, 7月17日を中心にした7月ピークは, ほぼ再現予測されている.

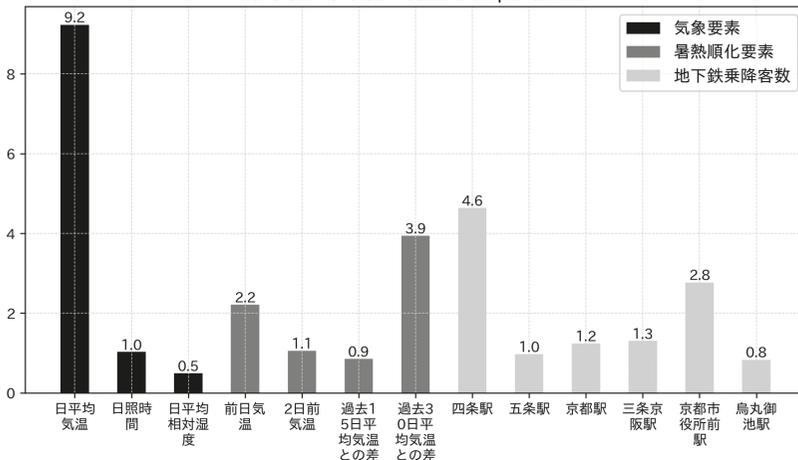
各特徴量の FI を示す第13図では, 最も高い FI を示す日平均気温と暑熱順化に関連した過去30日平均との

下京区+中京区搬送者数の予測 (R<sup>2</sup>=0.94, RMSE=0.50)



第12図 XGBoost 法による機械学習の全データにより再現 (予測) された京都市の2つの区 (下京区+中京区) の13年間 (2011-2023) の5-9月における搬送者数. 赤線が実際の搬送者数, 青線は再現値. 各年の再現値の観測値に対する決定係数 (R<sup>2</sup>) と2乗平均平方根誤差 (RMSE) を, 左上に示す.

下京区+中京区 Feature Importance



第13図 京都市の2つの区 (下京区+中京区) の5-9月の熱中症搬送者数を説明する13の特徴量 (3つの気象要素, 4つの暑熱順化に関する気象要素, 観光客動向に関する6つの地下鉄乗降客数) の重要度 (FI) の分布.

差や前日気温のFIが相対的に大きいことは京都市全体の第12図の特徴と同様であるが, 特徴的なのは, 7月17日のピークにより強く関連して, 四条 (烏丸) 駅の地下鉄乗降客数の変動が, 暑熱順化関連のFI (3.9) よりもやや大きなFI (4.6) として現れていることで

ある. さらに, 祇園祭山鉾巡行の見学者が集まるもうひとつのサイトである京都市役所前も, このイベントに関連した搬送者数変動に寄与していることが明らかになった.

第3表には京都市全域と, 祇園祭の中心地域である下京区+中京区での搬送者数変動をXGBoost法で機械学習分析した結果を, R<sup>2</sup>とRMSEでまとめた. 京都市全域では, 暑熱順化効果も加えた気象要素でR<sup>2</sup>は0.97となり, 観光客の集積効果を示す地下鉄乗降客数の寄与を加えると0.98となるが, 観光客の集積効果は相対的に小さい. 一方, 下京

区+中京区では, 地下鉄乗降客変動の要素を加えることで, 0.87から0.94と大きく上がり, RMSEもさらに小さくなっており, 祇園祭の観光客の集積効果はこの地域ではかなり大きいことがわかる.

第3表 機械学習 (XGBoost 法) で分析した京都市全域と、祇園祭の中心地域である下京区+中京区での搬送者数変動と気象要素、暑熱順化指標要素および地下鉄乗降客数の関係についての決定係数 ( $R^2$ ) と2乗平均平方根誤差 (RMSE).

		気象要素	気象要素+暑熱順化要素	気象要素+暑熱順化要素+地下鉄乗降客数
京都市	$R^2$	0.94	0.97	0.98
	RMSE	2.19	1.61	1.34
下京区 + 中京区	$R^2$	0.83	0.87	0.94
	RMSE	0.8	0.7	0.5

#### 4. まとめと今後の課題

京都市における過去13年間 (2011-2023) の暖候期 (5-9月) の熱中症搬送者数の変動について、11の区の地域性も含めて、ハザードとしての気象要素変動と、曝露に関連した観光客数の変動との関連性の分析を行った結果、以下の事実が明らかとなった。

- ・搬送者数の季節推移傾向は、年ごとの違いはあるが、大部分の年で、7月中旬と8月初めにピークがあり、気象要素との関係では、7月のピークは梅雨明け直後から1週間後の盛夏期 (7-8月) の最初の高温日間に、8月のピークは気温が季節的な極大となる期間に対応している。
- ・搬送者数は、小笠原高気圧に覆われた盛夏期 (7-8月) については、日平均気温 $28^{\circ}\text{C}$ 以上で5人/日以上、 $30^{\circ}\text{C}$ 以上で10人/日以上、 $31^{\circ}\text{C}$ 以上では20人/日以上と急激に増加する。これに対し、梅雨期前 (5月末から6月初め) の大陸からの乾いた気団の下での $25^{\circ}\text{C}$ 前後の晴天日でも、長い日照時間 (強い日射量) の効果も加味されて、5-10人/日前後の搬送者が見られる。
- ・7月のピークは、すべての年で盛夏の開始に伴う暑熱順化が十分になされていない時期での高温に加え、7月17日の祇園祭 (前祭) の山鉦巡行日に対応しており、祇園祭に集まる観光客数の増加が曝露条件の因子として決定的に効いている。
- ・搬送者数変動を、気象要素に加え、観光客数の動向の指標として京都市営地下鉄の関連する駅の乗降客数を含めた XGBoost 法による機械学習で再現 (回帰) 分析をした結果、7月のピークは暑熱順化と祇園祭に伴う観光客数増加が相乗的に効いており、8月のピークは気温の季節的極大に対応して出現することを定量的に確認することができた。

・同じ機械学習モデルを、祇園祭に伴って搬送者数が最も顕著に増加する下京区・中京区の搬送者数変動にも適用した結果、日平均気温での高温に加え、特に祇園祭の観光客数増加に最も多く寄与している四条 (烏丸) 駅での乗降客数変動が、7月17日のピーク出現に大きく寄与していることが明らかになった。

今後の課題の1つは、京都市内における搬送者数の地域性である。例えば、それぞれの区の居住人口比にした年平均の搬送者数は、京都市全体での平均搬送者数 (年に約5.5人/万人) に近い区が大部分であるが、下京区では祇園祭や関連する観光地に観光客が集まるため、人口比にすると、その2倍以上の搬送者数となっている。一方、下京区に隣接する上京区では人口比で0.5倍前後の搬送者数に抑えられており、気象要素にはほとんど差がないとすると、曝露や脆弱性に関係した社会的要素の違いにより、搬送者数は低く抑えられている可能性が高い。上京区は西陣織等の京都の伝統産業や寺社等の宗教・文化活動が活発な歴史の長い地域であり、今後はこのような伝統的な地域社会が持つ熱中症抑制の社会的機能を調査し、長期的な施策へ生かすことも必要であろう。

もう1つの課題は、今後の地球規模の気候変動 (温暖化) に伴う搬送者数の将来予測である。京都市の搬送者数における7月中旬のピークは、梅雨明け直後の急激な高温に伴う不十分な暑熱順化の環境に祇園祭に伴う観光客数の増加が重なって現れていることが明らかになった。したがって、搬送者数の将来予測には、7月から8月の盛夏期における平均気温の増加だけでなく、温暖化に伴い梅雨期の長さや梅雨明けの時期が早くなるか遅くなるかという、夏の気候予測でも難しい課題の解明が関係する。地域レベルでの季節変化・進行の気候予測の精度の向上を含めた、地域気候予測とモデリング研究の進展が強く望まれる。

#### 謝辞

本研究に用いた京都市の熱中症搬送者数データは京都市消防局から、地下鉄乗降客数データは京都市交通局から提供を受けた。これらのデータ利用には、京都市環境政策局地球温暖化対策室の方々のご協力をいただいた。同室の松浦真奈さんには、データの整理と統計処理にも多大なご協力をいただいた。XGBoost 法の利用については、京都大学大学院総合生存学館 (思修館) の Deng Ke さんに多くのご教示をいただいた。ま

た、熱中症問題に詳しい工藤泰子さん（元日本気象協会）には草稿全体について適切なコメントをいただいた。さらに2人の査読者には多くの非常に丁寧なコメントをいただいた。ここに記して深く感謝の意を表したい。

### 参 考 文 献

- Budd, G. M., 2008: Wet-bulb globe temperature (WBGT)–its history and its limitations. *J. Sci. Med. Sport*, **11**, 20–32.
- Chen, T. and C. Guestrin, 2016: XGBoost: A scalable tree boosting system. *proceedings of the 22<sup>nd</sup> ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery and data mining*, 785–794.
- 藤部文昭, 松本 淳, 鈴木秀人, 2020 : 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–. *日本ヒートアイランド学会論文集*, **15**, 1–13.
- Hirano, Y., Y. Kondo, T. Hifumi, S. Yokobori, J. Kanda, J. Shimazaki, K. Hayashida, T. Moriya, M. Yagi, S. Takauji, J. Yamaguchi, Y. Okada, Y. Okano<sup>12</sup>, H. Kaneko, T. Kobayashi, M. Fujita, H. Yokota, K. Okamoto, H. Tanaka and A. Yaguchi, 2021: Machine learning-based mortality prediction model for heat-related illness. *Sci. Rep.*, doi:10.1038/s41598-021-88581-1.
- Ikeda, T. and H. Kusaka, 2021: Development of models for predicting the number of patients with heatstroke on the next day considering heat acclimatization. *J. Meteorol. Soc. Japan*, **99**, 1395–1412.
- Imada, Y., M. Watanabe, H. Kawase, H. Shioyama and M. Arai, 2019: The July 2018 high temperature event in Japan could not have happened without human-induced global warming. *SOLA*, **15A**, 8–12.
- Ke, D., K. Takahashi, J. Takakura, K. Takara and B. Kamranzad, 2023: Effects of heatwave features on machine-learning-based heat-related ambulance calls prediction models in Japan. *Sci. Total Env.*, **873**, 162283, doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.162283.
- Kikuchi, K., 2021: The Boreal Summer Intraseasonal Oscillation (BSISO): A Review. *J. Meteor. Soc. Japan*, **99**, 933–972.
- Kodera, S., T. Nishimura, E. A. Rashed, K. Hasegawa, I. Takeuchi, R. Egawa and A. Hirata, 2019: Estimation of heat-related morbidity from weather data: A computational study in three prefectures of Japan over 2013–2018. *Environ. Int.*, **130**, 104907, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.104907>.
- 工藤泰子, 2024 : (私信)
- 桑形恒男, 2005 : アメダス地点における全日日射量 (日平均) の推定法. [https://amu.rd.naro.go.jp/wiki\\_open/lib/exe/fetch.php?media=wiki:docs:kuwagata\\_2005.pdf](https://amu.rd.naro.go.jp/wiki_open/lib/exe/fetch.php?media=wiki:docs:kuwagata_2005.pdf) (2025.1.8閲覧).
- Mason, H. M., J. C. King, A. E. Peden, A. S. Leicht and R. C. Franklin, 2024: The impact of extreme heat on mass-gathering sporting events: Implications for Australia and other countries. *J. Sci. Med. Sport*, **27**, 515–524.
- McGregor, G. R., P. Bessmoulin, K. Ebi and B. Menne eds., 2015: Heatwaves and Health: Guidance on Warning-system Development. World Meteorological Organization/World Health Organization, WMO–No. 1142, 96pp.
- 三宅康史, 中原慎二, 神田 潤, 一杉正仁, 登内道彦, 中井誠一, 小野雅司, 大内正俊, 2022 : 本邦における重症熱中症の実態把握に向けた研究. 令和3年度厚生労働行政推進調査事業費補助金 (健康安全・危機管理対策総合研究事業) 研究報告書, 1–12.
- Ng, C. F. S., K. Ueda, M. Ono, H. Nitta and A. Takami, 2014: Characterizing the effect of summer temperature on heatstroke-related emergency ambulance dispatches in the Kanto area of Japan. *Int. J. Biometeor.*, **58**, 941–948.
- Ogata, S., M. Takegami, T. Ozaki, T., T. Nakashima, D. Onozuka, S. Murata, Y. Nakaoku, K. Suzuki, A. Hagi-hara, T. Noguchi, K. Iihara, K. Kitazume, T. Morioka, S. Yamazaki, T. Yoshida, Y. Yamagata and K. Nishimura, 2021: Heatstroke predictions by machine learning, weather information, and an all population registry for 12-hour heatstroke alerts. *Nature Commun.* **12**, 1–11.
- Sato, T., H. Kusaka and H. Hino, 2020: Quantitative assessment of the contribution of meteorological variables to the prediction of the number of heat stroke patients for Tokyo. *SOLA*, **16**, 104–108, doi: 10.2151/sola.2020-018.
- 消防庁, 2024 : 令和6年 (5月～9月) の熱中症による救急搬送状況. [https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000974432.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000974432.pdf) (2025.1.8閲覧).
- Yasunari, T., 1979: Cloudiness fluctuations associated with the northern hemisphere summer monsoon. *J. Meteor. Soc. Japan*, **57**, 227–242.
- 安成哲三, 2018 : 地球気候学, 東京大学出版会, 232pp.

What Determines the Variations in the Number of Heatstroke Patients Transported to  
Hospital by Ambulance in Kyoto City?  
-Analysis of the Linkage between Meteorological Factors and the Number of Tourists-

Tetsuzo YASUNARI<sup>\*1</sup> and Sicheng HE<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup> *Research Institute for Humanity and Nature, 457-4 Motoyama, Kamigamo, Kita-ku, Kyoto, 603-8047, Japan*

<sup>\*2</sup> *Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University (Present affiliation: Research Institute for Humanity and Nature)*

(Received 6 August 2024; Accepted 23 December 2024)

### Abstract

The number of heatstroke patients in Kyoto city during the warm season (May–September) over the past 13 years (2011–2023) was estimated using the number of people transported to hospital by ambulance. Daily, seasonal and interannual variations of these numbers were analyzed in relation to changes in meteorological factors and the number of tourists visiting Kyoto. The number of people transported during the midsummer period under the Ogasawara anticyclone increases rapidly: more than 5 persons/day at mean daily temperatures above 28°C, more than 10 persons/day above 30°C and more than 20 persons/day above 31°C. The seasonal trends in the number of people transported to hospital show, in most of the years, two peaks of number in mid-July and early August. The peak in July well corresponds with the Gion Festival (of 17 July), which is held several days after the end of the rainy season in most years, and the peak in August corresponds with the period of seasonal maximum temperature. A machine-learning analysis (by XGBoost method) quantitatively confirmed that the July-peak becomes remarkably large when a very large number of tourists visited the Gion Festival under conditions of insufficient heat acclimatization due to the rapid rise of temperature immediately after the end of the rainy (Baiu/Meiyu) season.

---