

# 熱中症患者搬送者数予測に資する温熱要素の同定

## METEOROLOGICAL ASPECTS FOR PREDICTION OF HEAT STROKE PATIENTS

○ 佐藤 拓人<sup>\*1</sup>, 日下 博幸<sup>\*2</sup>, 日野 英逸<sup>\*3</sup>  
Takuto SATO<sup>\*1</sup>, Hiroyuki KUSAKA<sup>\*2</sup> and Hideitsu HINO<sup>\*3</sup>

<sup>\*1</sup> 筑波大学 生命環境科学研究科 School of Life and Environmental sciences, University of Tsukuba

<sup>\*2</sup> 筑波大学 計算科学研究センター Center for Computational Sciences, University of Tsukuba

<sup>\*3</sup> 統計数理研究所 The Institute of Statistical Mathematics

Corresponding author: Hiroyuki KUSAKA, E-mail : kusaka@ccs.tsukuba.ac.jp

In this research, prediction formulas for the number of heat stroke patients are developed. We consider that multiple variables can be the predictor variables, thus we used Akaike's Information Criterion (AIC) for model selection. Using selected variable sets, we also took account of not only daily average, but also daily maximum and daily minimum values. From these selection, the model which used average temperature, maximum wind speed, average relative humidity and total amount of radiation is the best model in this study. Using the best model, we estimated contributions of each variables. It revealed that temperature contribution is the largest and relative humidity had little contribution. Also, we used temperature of a few days ago to focus on "history" of temperature. From this model, we found that "history" of temperature contributed only 1/6 of the temperature of the day of prediction.

### 1. まえがき

近年, 日本では, 熱中症による救急搬送者数が増加傾向にあり, 屋外の運動が制限されるなどの社会問題に発展している<sup>(1)</sup>. このため, 気温をはじめとした様々な気象要素が熱中症発生にどの程度影響するかについて, 星ほか<sup>(2)</sup>は多重ロジスティックモデルを用いて, 各気象要素が熱中症発生にどの程度影響するのか検討した. その結果, 日最高気温時 WBGT が 29.0(°C) 以上の場合 29.0(°C) 未満の場合より有意に発生する危険性が高くなること, 日照時間についても 6(h) 以上の場合 6(h) 未満の場合と比べて有意に発生する危険性が高くなることが認められた.

そこで, 布施ほか<sup>(3)</sup>は, 熱中症救急搬送者数を気象データから予測可能かどうか検討した. 具体的には, 気象データとして 2013 年の 7 月から 9 月の日別の平均気温, 最高気温, 最低気温, 平均湿度, 日照時間, 平均風速, 降水量のうち熱中症患者搬送者数と相関が高いものを用いて, 熱中症救急搬送者数を予測できるか調べたものである. この際, 熱中症患者搬送者数は 1 つの気象要素と相関があるものと仮定して, 1 変数モデルを予測モデルとして提案した. このとき, フィッティングには最小二乗法を用いた. その結果, 日平均気温, 日最高気温が熱中症救急搬送者数と高い相関があることが示された. そのため, 2 つのうち分散が小さい日平均気温を 1 変数モデルの説明変数として指数関数モデルを開発した.

このように, 気象データを用いて熱中症救急搬送者数を予測する式の開発は, 具体的な搬送者数の推定ができる点において, 既存の熱中症警戒情報より優れた熱中症対策となりうると考えられる. しかしながら, 布施ほか(2014)の予測式開発には問題点もあると思われる.

まず, 1 変数のモデルを開発している点である. 複数の気象要素から計算される WBGT を用いて警戒情報が発表されているように, 複数の気象要素, 具体的には気温, 湿度, 風速, 日射量からなる温熱 4 要素が搬送者数と関係している可能性は大いに考えられる.

また, 予測式の説明変数を選択する際, 応答変数との相関係数の高いものを選択している点も問題であると考えられる. 予測式を開発する場合, 応答変数との相関のみでなく, 予測の良さを示す情報量基準等を用いて, その適当さを調べた方がよいと考えられる.

そこで本研究では, 複数の気象要素が熱中症患者搬送者数の

予測に寄与すると考え, 一般的に暑熱環境を示す指標である温熱 4 要素を説明変数の候補とし, ポアソン分布を仮定した最尤法によるフィッティングで予測式を新たに開発する. また, 先行研究で示されてきたように, 気温と熱中症患者搬送者数の間に強い相関があることと, 一般的に言われている「数日間暑さが続く」と搬送者数が増加する」という知見から, 数日前の気温の影響にも着目し, それらを説明変数とするような予測式も開発する. これらの予測式開発から, 前者では, 複数の気象要素を用いることで, 熱中症発生に大きく寄与する要素を統計的に抽出することができると思われる. 後者では, 数日前の気温(本研究では「気温の履歴」と呼ぶ)を説明変数の候補とすることで, 気温の履歴が本当に熱中症患者搬送者数に影響しているのか, 影響している場合は何日分の履歴を考慮すればよいかを明らかにすることができると思われる. また, これらの予測式は実用上も有用である. 前者の温熱 4 要素を説明変数の候補とする予測式は, 数値気象モデルの計算結果を用いることを想定している. そのため, 比較的短期間の熱中症患者搬送者数の予測の精度向上に資するものであると考えられる. また後者の気温の履歴を用いた予測式は, 温熱 4 要素の全てを得ることが難しい将来気象データを用いることを想定している. そのため, 日平均気温のみで予測ができる点において, 気候変動による熱中症リスクの評価等にも利用可能であると思われる.

本研究で開発する予測式はいずれも複数の説明変数をもつ重回帰モデルであり, その説明変数の組み合わせの候補も複数あるモデル選択問題の解といえる. そこで, それらの候補のうちどれを用いたモデルが予測式として最良かを, 赤池情報量基準(Akaike's Information Criterion; AIC)を用いて判定する. これにより, 統計的により予測に適したモデルを開発できると思われる.

### 2. 使用したデータと開発した予測式

#### 2.1 使用したデータ

本研究では, 熱中症患者搬送者数のデータとして, 総務省消防本庁のデータから都道府県別・年齢区分別熱中症患者搬送者数の日合計データのうち, 東京都の 65 歳以上のものを使用した. 説明変数の候補となる 4 つの気象要素は, 気温と風速については気象庁のアメダス時別値を用い, データの空間代表性を考慮して, 東京都内の全アメダスデータの空間平均値を用いた. 相対湿度, 日照時間, 日射量については気象官署「東京」の時別値を用いた. 予測式のフィッティング(学習)には, 予測式が年によ

て変化しないと仮定し、2008 年から 2013 年の 7 月から 9 月のデータを使用した。また、得られた予測式の評価として、2014 年から 2016 年の 7 月から 9 月を対象として再現実験(テスト)を行い、実際の熱中症患者搬送者数と比較を行った。

## 2.2 使用したデータ

本研究では気温、風速、相対湿度の日平均、日最高、日最低値および日照時間を説明変数の候補として、熱中症患者搬送者数を統計的に推定する一般化線型モデル(Generalized Linear Model; GLM)を検討する。このとき、応答変数である熱中症患者搬送者数は先に述べたように非負の数え上げデータであるため、応答変数の分布にはポアソン分布を仮定する。本研究では、特に各温熱要素の日平均・日最高・日最低値には明らかに強い相関があるため、まず全ての変数について日平均値を用いてモデル選択を行い、その後各変数の日平均・日最高・日最低値のいずれが適当かを検討した。また、気温のみに注目し、その履歴の影響を加味した予測式も開発した。以上をまとめて、本研究では大きく分けて以下の 3 つのモデルを検討した。

- (i) 気温、風速、相対湿度の日平均値および日照時間を説明変数の候補として AIC を用いてモデル選択した予測式(選択モデル)
- (ii) (i)のモデルの気温、風速、相対湿度の日平均値と日最高、日最低値それぞれ全ての組み合わせで検討して二条平均平方根誤差(Root Mean Squared Error; RMSE)が最小となる予測式(最良モデル)
- (iii) 気温の履歴に注目し、数日前の気温を説明変数にもつ予測式(履歴モデル)

## 3. 結果と考察

ここでは、(ii)の最良モデルの結果を示す。モデル選択を行なった後、その変数組み合わせで予測の際の誤差が最も小さくなるものを日平均値のみでなく、日最高値、日最低値まで説明変数の候補として予測誤差が最も小さくなるモデルを探索した。まず、日照時間を説明変数にもつ予測式のうち、RMSE、MAE が最も小さくなったのは、説明変数として日平均気温、日最大風速、日照時間を用いた予測式であった。このときの RMSE は 13.98、MAE は 7.66 であった。続いて、日射量を説明変数に持つ「選択モデル」と同様の変数の組み合わせの予測式のうち、RMSE、MAE が最も小さくなったのは、説明変数として日平均気温、日最大風速、日平均湿度、日射量を用いたものであった。このとき

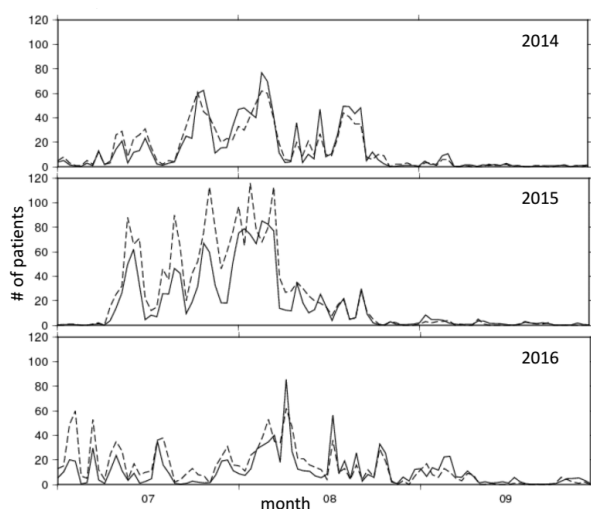


Figure 1 Time series of heat stroke patients predicted via "best model".  
Solid line: predicted number of patients.  
Dashed line: actual number of patients.

の RMSE は 11.19、MAE は 6.51 で、本研究における予測式中で誤差は最低となった。このときの予測搬送者数の時系列を Figure 1 に示す。

この検討の結果、気温は日平均値、風速は日最大値を用いる場合が最も良いことが分かった。日平均気温が選ばれた理由は、単に日中や夜間の暑さのみの指標となりうる日最高気温、日最低気温より、昼夜間の暑さ等も平均して考慮できる日平均気温を用いた方が熱中症患者数をより表現できたためと思われる。また、日最大風速が選ばれたのは、日平均風速の場合と異なりモデル内で風速と搬送者数の負の相関を正しく表現できたためであると思われる。具体的には、ここでは省略しているが、他のモデルでは風速は搬送者数に対して正に寄与しているのに対して、日最大風速を用いた場合は負に寄与している。温熱 4 要素における風速は、体表面と大気との熱交換を表す指標であり、風速が大きい場合は熱交換が活発に行われ、熱中症リスクは小さくなると考えられる。そのため、風速の負の寄与を捉えられた予測式が「最良モデル」として選ばれたものと考えられる。

## 4. 結論

本研究では、熱中症患者搬送者数を予測するための式を新たに開発した。この際、既存研究では 1 変数のみのモデルを仮定し、応答変数である熱中症患者搬送者数との相関が高いものを選択しているのに対し、本研究では複数の気象要素を説明変数の候補として AIC を用いてモデル選択を行い、適当な変数を抽出して「選択モデル」を開発するという工夫を施した。それらの「選択モデル」の説明変数の中でも、気温、風速、湿度は日平均値・日最高値・日最低値を用いる場合で予測精度に差があることが想定された。そこで、変数の組み合わせは選択モデルのまま、日平均値・日最高値・日最低値の全てを用いた場合に対して誤差が最も小さくなるものを探索した。探索の結果、ポアソン分布を仮定し日平均気温、日最大風速、日平均湿度、日射量を使う予測式の誤差が最も小さくなった。そこで、この予測式を「最良モデル」と位置付けた。さらに、本予稿では省略したが、日平均気温が搬送者数の予測に最も寄与していたことと、一般的に言われる数日間暑さが続いた場合に搬送者数が増加するという仮説に基づき、数日前の日平均気温を説明変数の候補としてモデル選択を行なった。その結果、3 日前までの日平均気温を用いる場合が AIC 最小となったため、このモデルを「履歴モデル」とした。

検討の結果、最良モデルは 1 変数モデルと比べ精度を向上させることができ、複数の気象要素を適切に選択して説明変数とすることで予測精度が向上されることを明らかにした。

## 謝辞

本研究の一部は、文部科学省「気候変動適応技術社会実装プログラム (SI-CAT: Social Implementation Program on Climate Change Adaptation Technology)」, 及び環境省「地域適応コンソーシアム関東事業」の支援により実施された。

## 参考文献

- (1) 渡邊 慎一・石井 仁, 全国の公立小学校の運動会開催時期と熱中症の危険度評価, 日本生気象学会誌, 54-2(2017), 75-86.
- (2) 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, 日本生気象学会誌, 44-1(2007), 3-11
- (3) 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(2014), 757-765