

地域性と季節性・適応力を考慮した熱中症搬送者数予測手法の開発

DEVELOPMENT OF PREDICTION METHOD OF NUMBER OF HEAT STROKE PATIENTS

○非会員 佐藤 亮吾^{*1}, アカデミック会員 日下 博幸^{*2},
非会員 佐藤 拓人^{*1}, 清水 麻未^{*1}, 中野 美紀^{*2}, 荒木 貴光^{*2}
Ryogo SATO^{*1}, Hiroyuki KUSAKA^{*2}, Takuto SATO^{*1}, Asami SHIMIZU^{*1}, Miki NAKANO^{*2}, Takamitsu ARAKI^{*2}

^{*1} 筑波大学 生命環境科学研究科 School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba

^{*2} 筑波大学 計算科学研究センター Center for Computational Sciences, University of Tsukuba

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

In this research, we developed practical prediction models for predicting the number of heat stroke patients that are applicable even in the future when global warming has advanced. First, we developed a prediction model at Saitama Prefecture as a prototype model. The predicted value of the model suggests that heat stroke patients tend to increase (decrease) at early summer (late summer). In order to reduce the prediction error due to the seasonality of heat stroke patients, we identified parameters for multiple periods and succeeded in drastically reducing the prediction error. In addition, we compared the accuracy of five models that explanatory variables were changed, and it was found that the model of high prediction accuracy was the model using daily maximum temperature, daily maximum WBGT or daily maximum temperature-humidity index. Furthermore, the developed model was applied to each prefecture. Although the best model differs depending on each prefecture, the models using daily maximum temperature or daily maximum WBGT as the explanatory variable was selected as the best model in many prefectures.

1. はじめに

近年, 日本では, 熱中症による死亡者数や救急搬送者数が増加傾向にあり, 深刻な社会問題となりつつある。また, 将来, 温暖化がさらに進行するとともに, 暑熱環境のさらなる悪化や熱中症発生者数のさらなる増加が懸念されている。そのため, 温暖化適応策に資する各地域の将来の熱中症リスク予測モデルの開発が望まれている。

日本では, これまで日最高気温や湿熱 4 要素 (気温, 湿度, 日射量, 風速) から計算される日最高 WBGT と熱中症患者数の関係が調査されてきた。例えば, 田村ほか⁽¹⁾は, 東京では日最高気温が 34°C 以上で熱中症患者数が急激に増加する傾向があることを明らかにした。Nakai ら⁽²⁾は, 日最高気温と死亡率に有意な相関があることを示した。Honda⁽³⁾は, 日最高気温を説明変数とした死亡率予測モデルを開発した。星ら⁽⁴⁾は熱中症リスクと WBGT の間に有意な相関があることを示した。また, 熱中症リスクを説明する温度指標としては, 日最高気温よりも WBGT の方が適していること示した。

暑さの指標あるいは熱中症リスクの指標として, 日本では日最高気温だけではなく不快指数や WBGT も広く利用されている。しかし, 温暖化にともなう将来の熱中症リスク予測を目的とした場合, 説明変数の選択に議論の余地がある。なぜなら, 将来の気候予測のデータセットからは日平均気温や日最高気温の将来予測値を得ることはできるが, 日最高不快指数や日最高 WBGT を計算することはできないためである。もし, WBGT や不快指数を変数にした場合と気温を変数にした場合で, 熱中症リスクの予測計算結果に大きな差がなければ, 日最高気温や日平均気温を変数にした予測モデルを構築する方が実用上有用なモデルとなることが期待される。

本研究では, 温暖化が進行する将来気候下における熱中症患者搬送者数の予測を目的とした, 実用的な予測モデルの開発を試みる。熱中症リスクは年齢に依存するため, まずは熱中症患者発生数の最も多い 65 歳以上の高齢者向けのモデルを開発する。なお, 熱中症リスクには地域性や季節性があるため, それらをモデルに反映するための工夫を施す。さらに, 日最高および日平均の気温, 不快指数, 日最高 WBGT を用いたそれぞれのモデルの予測値に関して誤差評価を行い, 適切な説明変数を選択する。

2. 熱中症患者搬送者数予測モデルの概要と使用データ

2.1 モデルの概要

本研究で開発する熱中症患者搬送者数予測モデルは, 過去の熱中症患者搬送者数と気象要素の統計的関係から導かれる統計モデルである。本研究では, 統計モデルに使う関数形として, 指数関数を選択した。また, 統計モデルの場合, 調整パラメータの最適化が重要となる。熱中症患者搬送者数はポアソン分布に従うため, 本研究では, パラメータ同定に最尤推定法を用いたポアソン回帰を採用した。

2.2 使用データ

熱中症患者搬送者数の予測モデルの調整パラメータを決定するためには, 学習期間分の熱中症患者搬送者数データと説明変数のデータが必要である。本研究では, 熱中症患者搬送者数として, 総務省消防庁が保有する過去 5 年間 (2010 年~2014 年) の都道府県別・年齢区分別熱中症患者搬送者数の日別値を使用した。

説明変数の候補は, 日最高および日平均の気温, 不快指数, 日最高 WBGT である。このうち, 気温については, 都道府県内のアメダスネットワークの気温の特別値を空間平均した値を使用した。ある一点の気温データではなく, 空間平均された気温を用いることで, 空間代表性がより高まることが期待される。日最高および日平均不快指数を計算するために必要な湿度データについては, 各都道府県に 1 か所程度ある気象官署の特別データを用いた。日最高 WBGT を計算するには, 乾球温度, 湿球温度, 黒球温度が必要である。乾球温度については, 気象官署の気温の特別値を用いた。湿球温度は, ティーデンスの式と Sprung の式を用いて逐次計算することで算出した。黒球温度については, Okada and Kusaka⁽⁵⁾ の式を用いて推定した。

3. 結果

3.1 基準モデルの結果と問題点

はじめに, モデル地域として埼玉県を選び, 本研究で基準となる 65 歳以上の熱中症患者搬送者数予測モデルを開発した。実際の搬送者数 (実測値) と, このモデルから得られた熱中症患者搬送者数 (予測値) の散布図を図 1 に示す。実測値と予測値の相関係数は 0.81 であり, 二乗平均誤差は 1 日あたり 11.61 人, 絶対平均誤差は 1 日あたり 6.34 人であった。この図から, モデ

ルは7月の搬送者数を過小評価し、8月と9月の搬送者数を過大評価する傾向にあることが分かる。これは、まだ暑さに慣れていない初夏では暑さに慣れてきた盛夏に比べて熱中症になりやすく、晩夏は盛夏に比べて熱中症になりにくいことを示唆している。

3.2 期間分割モデルの開発と概要

前節で述べた過大評価および過小評価の問題を解決するために、解析対象期間である夏季(6月～9月)を、梅雨期(期間1)、盛夏期(期間2)、晩夏期(期間3)の3つの期間に分割し、それぞれの期間毎に適切なパラメータの同定を行った。なお、期間2と期間3の初日は、それぞれ「梅雨明け後7日目」、「8月16日以降で日最高気温が3日間連続で低下し、その合計が2℃以上となった日」と定義した。

図2は、実際の搬送者数(実測値)と期間分割モデルによって予測された搬送者数(予測値)の散布図である。全期間を通じた実測値と予測値の相関係数は0.91、二乗平均誤差は1日あたり9.04人、絶対平均誤差は1日あたり5.19人であった。期間分割前と比較すると、相関係数は0.10増加し、二乗平均誤差は1日あたり2.57人減少し、絶対平均誤差は、1日あたり1.19人減少した。これらの結果は、季節性を考慮することで、モデルが大幅に改善できることを意味している。

3.3 説明変数間の比較

基準モデルと期間分割モデルのそれぞれにおいて日最高および日平均の気温、不快指数、日最高WBGTを説明変数に用いたモデルを作成し、各モデルの予測値の誤差評価を行った。その結果、基準モデル・期間分割モデルともに日最高WBGTおよび日最高不快指数を説明変数としたモデルが、日最高気温を説明変数としたモデルと同等の精度であることが分かった(図表省略)。これは、モデルの説明変数として日最高気温、日最高WBGT、日最高不快指数のいずれを用いても同等の精度が期待できることを示唆している。

3.4 期間分割モデルの全国への適用

埼玉県をモデル地域として開発した基準モデルと期間分割モデルを他の都道府県にも適用した。最適な説明変数は地域によって異なる可能性があるため、埼玉県と同様に、5つの説明変数をそれぞれのモデルに用いて、合計10種類のモデルで予測計算を行った。予測結果の精度については、相関係数、二乗平均誤差、絶対平均誤差の値を参照し、最も予測精度の高いモデル(最良モデル)を選出した。その結果、都道府県によって最良モデルは異なるものの、多くの地域で日最高気温または日最高WBGTを説明変数としたモデルが最良モデルであることが分かった(図表省略)。これは、説明変数として日最高気温および日最高WBGTを用いたモデルが、他の地域でも概ね適用可能であることを示す一方、説明変数の選択に地域性が大きく関係していることも示唆している。

4. 結論

本研究では、温暖化が進行する将来気候下における熱中症患者搬送者数の予測を目的とした、実用的な予測モデルを開発した。まず、埼玉県を対象に日最高気温を説明変数とした予測モデルを開発した。その予測結果から、熱中症患者搬送者数には季節性があり、初夏は盛夏に比べて熱中症になりやすく、晩夏は盛夏に比べて熱中症になりにくいことが示唆された。これに起因する問題を克服するため、夏季を3つの期間に分割してそれぞれの期間毎にパラメータ選定を行ったところ、モデルの予測精度が大幅に向上した。また、日最高気温を含めた5種類の説明変数を使用したモデルの精度比較を行い、日最高気温、日最高WBGT、日最高不快指数を用いたモデルの精度が高いこと

が分かった。さらに、開発したモデルを各都道府県に適用した。都道府県によって最良モデルは異なるものの、多くの地域で日最高気温または日最高WBGTを説明変数としたモデルが最良モデルとして選択された。

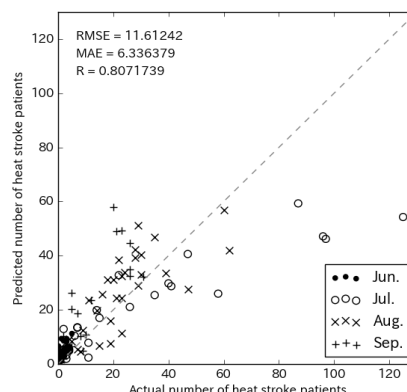


Figure 1 Scatter plot of actual and predicted number of heat stroke patients (no division model)

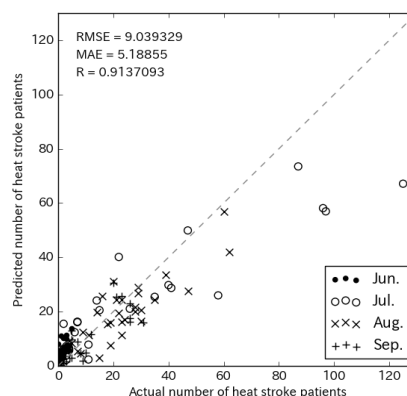


Figure 2 Scatter plot of actual and predicted number of heat stroke patients (division model)

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)」の支援により実施された。また、本研究で用いた熱中症患者搬送者数データは、総務省消防庁から提供していただいたものである。ここに謝意を表する。

参考文献

- (1) 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, 日生気誌, 32-2(1995), pp.111-114.
- (2) Nakai S., T. Itoh, and T. Morimoto, Death from heat-stroke in Japan: 1968-1994, Int J Biometeorol, 43(1999), pp.124-127.
- (3) Honda Y., M. Ono, A. Sasaki, and I. Uchiyama, Shift of the short-term temperature mortality relationship by a climate factor – some evidence necessary to take account of in estimating the health effect of global warming, Journal of Risk Research, 1-3(1998), 209-220.
- (4) 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, 日生気誌, 44-1(2007), 3-11.
- (5) Okada, M., M. Okada, and H. Kusaka, A Polyethylene Chamber for Use in Physical Modelling of the Heat Exchange on Surfaces Exposed to a Radiation Regime. Boundary-Layer Meteorology, 153-2(2014), 305-325.