WBGT を用いた熱中症予防アプリケーションの提案

北園 優希^{a,*} 溝田 直也^a 中島 翔太^b

Proposal of Application to Prevent Heat Stroke Using WBGT

Yuhki Kitazono^{a,*}, Naoya Mizota^a, Shota Nakashima^b

(Received December 21, 2012; accepted February 25, 2013)

Abstract

With the development of the industry, there has been an increase in boiling hot day in the summer in the world. Thus, heat stroke patients have been increase. Oblivious to the deterioration of heat stroke, some patients fall in heat stroke. Therefore, we propose a new Application to Prevent of Heat Stroke Using WBGT. This application measures the WBGT index and sends data to the server. It gets several data which were sent at the same time zone. Then, calculates the degree of risk and displays a warning accordingly. Moreover, it displays the place of the low degree of risk on Google Maps. Thus, the purpose of this application is the prevention of heat stroke. By using this application, patients have an awareness of the prevention of heat stroke. In addition, it reduces the heat stroke patients and the dead.

キーワード : 熱中症, WBGT, スマートフォン, Google マップ, ファジィ推論

Keywords : heat stroke, WBGT, smart phone, Google Maps, fuzzy.

1. はじめに

地球温暖化などの地球環境の変化によって異常気象が多く発生しており、日本の夏では猛暑の日が増加している^(1,2)。気象庁の気候変動監視レポート⁽³⁾によると、世界の年平均気温は 100 年あたり約 0.68 °C の割合で上昇している。特に日本の年平均気温は 100 年あたり約 1.15 °C の割合で上昇している。それに伴い熱中症患者が増え、特に我慢する習慣のある日本人は、暑い中でも我慢していることで熱中症を引き起こすケースが多い⁽⁴⁻⁶⁾。国立環境研究所の熱中症患者情報速報によると、2011 年に東京での熱中症患者数は 3,894 人であった⁽⁷⁾。このように多くの患者が出ており、熱中症で死亡するケースもあるため⁽⁸⁾、熱中症の予防は非常に重要である⁽⁹⁾。熱中症を評価する指標として、気温、相対湿度、気流、輻射熱の温熱 4 要素を全て含む WBGT (Wet Bulb Globe

Temperature) が用いられる⁽¹⁰⁻¹⁴⁾。WBGT を用いた熱中症対策として、環境調査⁽¹²⁾、熱中症予防情報サイト⁽¹³⁾、WBGT 計⁽¹⁴⁾などがある。しかし、環境調査では現在の環境を知ることはできず、熱中症予防情報サイトの情報は限られた観測点のものだけである。WBGT 計は所有者の現在の環境を知ることはできるが、涼しい場所に避難したい場合にどこに行けばいいかまでは知ることができない。特に屋外で熱中症を予防するには、患者の周囲の環境を細かく知り、環境のよい場所へ誘導することが必要である。このような考えから、筆者らは不快指数を用いた熱中症予防アラートシステムを開発した⁽¹⁵⁾。このシステムは、現在の温度、湿度や不快指数を細かな位置毎に知ることができる。そして、不快指数から熱中症の危険度を推定し、患者に予防を呼びかけることができる。しかし、不快指数は暑さの指標ではあるが、熱中症との関係は明らかにされていないため、信頼性が十分ではなかった。

そこで我々は WBGT を用いた熱中症防止アプリケーションを提案する。本アプリケーションは常時携帯されるスマートフォンでの使用を想定している。また、スマートフォンは近年急速に普及しているため⁽¹⁶⁾、本システムも普及させることが可能である。本論文では、温度や湿度の測定についてスマートフォンとは別の測定機器を

* Corresponding author. E-mail: kitazono@kct.ac.jp

a 北九州工業高等専門学校

〒802-0985 福岡県北九州市小倉南区志井 5-20-1

Kitakyushu National College of Technology

5-20-1 Shii, Kokuraminami-ku, Kitakyushu-city, Fukuoka, Japan 802-0985

b 山口大学

〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1

Yamaguchi University

2-16-1 Tokiwadai, Ube-city, Yamaguchi, Japan 755-8611

使用するが、androidOS4.0 において温湿度センサの API が追加されたことにより、今後開発される android 端末において測定を行うことが想定できる。本論文では、提案するアプリケーションの基礎実験と動作確認を行い、実現可能性を確認する。

2. WBGT 温度を用いた熱中症予防アプリケーション

提案する熱中症予防アプリケーションは、スマートフォンを通して使用者の位置の温度および湿度を取得して WBGT を求める。その環境情報はインターネットを通してサーバに蓄積される。使用者 1 人 1 人の位置の環境情報を全て蓄積するため、膨大な環境情報量となる。この環境情報を共有することで、使用者は任意の位置の環境情報を知ることができる。以下に環境情報に基づいて使用者に提示する熱中症予防策を示す。

2.1 熱中症予防策

本アプリケーションが行う熱中症予防策を以下に示す。それぞれのイメージを Fig. 1 に示す。

(a) 熱中症危険度の表示・警告

熱中症の危険度を表示し、危険度が高い場合は Fig. 1a のように使用者に音等で警告する。

(b) 地図上での環境状態の表示

WBGT 等の環境状態を Fig. 1b のように地図上に示す。視覚的に周辺の細かな環境状態を知ることができる。

(c) 避難場所の表示

熱中症の危険があると判断した場合、Fig. 1c のように WBGT の低い場所への避難を促す。避難させることで熱中症の予防・回復に役立つ。

2.2 熱中症予防策の設計

本システムでは開発環境として、Eclipse 及び Android SDK を使用する。java と xml を用いたアプリ開発により以下の機能を実装する。

(a) 熱中症危険度の表示・警告

温湿度センサで測定した温度および湿度から WBGT を計算し、危険度を判断する。WBGT の計算には WBGT と気温、湿度との関係⁽⁴⁾を利用した。危険度に応じて警告を表示する。

(b) 地図上での環境状態の表示

本アプリケーションで使用する地図として Google Maps を使用する。Google Maps には利用できる API が多数存在し、マップシステムの構築を容易に行うことができる。ナビゲーションシステムとして徒歩圏内の地図があれば良いので、GPS での座標を中心に拡大した地図を使用する。温湿度センサの API が普及することにより、多くのスマートフォンから環境状態を測定できるので、周囲の細かな状態を知ることができる。

(a) Display and warning of the risk of heat stroke

(b) Display of environmental status on the map

(c) Display of the refuge

Fig. 1. Preventive measures of heat stroke.

(c) 避難場所の表示

周辺の環境状態から、WBGT が低く熱中症のリスクが低い避難場所を探し、表示する。その場所への移動を促す。

3. アプリケーションの設計

3.1 計測機器

温湿度計測機器は温湿度センサ(SHT11: センシリオン社)および PSoC マイコン(CY8C29466-24PX1: サイプレス・セミコンダクター社)で構成される。計測機器の写真を Fig. 2 に示す。計測機器とスマートフォンは USB ケーブルで接続される。この試作機は動作確認と通信のためにマイコンと LCD を接続しているが、将来的にはセンサのみをスマートフォンに組み込めばよい。

3.2 システムの設計

このシステムに必要な環境状態は WBGT, 緯度, 経度の 3 つである。このシステムは一定時間毎に次のようなプロセスを実行する。これらのプロセスの概要を Fig. 3 に示す。

(a) サーバから使用者の周囲の環境状態のデータを取得し、表示する。

(b) 現在位置の座標取得と温湿度測定を行い、測定した温度および湿度から、WBGT と気温、湿度との関係⁽⁴⁾を利用して WBGT を計算する。

(c) サーバへ環境状態のデータを送信する。

(d) ファジィ推論を使用して、熱中症の危険度の変化量を推定し、現在の危険度を求める。危険度の求め方の詳細は 3.3 節で示す。

(e) 以下の条件を満たす場合、以下の助言・警告を行う。危険度が高い場合、周辺の環境状態から WBGT が低く熱中症のリスクが低い避難場所を特定し、その場所を示す。

- 危険度が 40 以上の場合

- 「水分補給をしましょう」

- 危険度が 60 以上の場合

- 「水分補給を行い、表示されている避難場所へ移動することをお勧めします」

- 危険度が 80 以上の場合

- 「水分補給と避難場所への移動を行い、体を冷やしてください」

Fig. 2. The measurement equipment.

Fig. 3. Application to prevent heat stroke using WBGT.

(a) WBGT

(b) Degree of risk

(c) Amount of change in the degree of risk

Fig. 4. Membership functions.

3.3 危険度の推定

このシステムでは、それまでの危険度と現在の WBGT の関係から、ファジィ推論を用いて現在の危険度を推定している。ファジィ推論を用いることで、人間の感覚と似た変化を推測することができる⁽¹⁷⁾。危険度は初期値を

Table 1. Rules for the amount of change in the risk.

		WBGT	
		high	low
Previous degree of risk	high	little increasing Fig. 4c (4)	very decreasing Fig. 4c (1)
	low	increasing Fig. 4c (5)	decreasing Fig. 4c (2)
	not high	very increasing Fig. 4c (6)	little decreasing Fig. 4c (3)

Table 2. Steady-state value of degree of risk.

WBGT [°C]	Steady-state value of degree of risk
20	0
21	48
22	50
23	53
24	57
25	61
26	75
27	96
28	98
29	99
30	100

0, 最大値を 100 として, 3 分毎に更新する。

WBGT が高ければ危険度は増加し, 低ければ危険度は減少する。また, それまでの危険度に応じて, 危険度の増加および減少の度合いが異なる。この考え基に危険度の変化量を求めるファジィ推論のルールを Table 1 に示す。ここで, WBGT とそれまでの危険度からファジィの前件部の値を求めるメンバーシップ関数を Fig.4a,b に示す。さらに, 前件部の値から危険度の変化量である後件部の値を求めるメンバーシップ関数を Fig.4c に示す。これらのルールに従って得た結果に重心法⁽¹⁸⁾による非ファジィ化を行うことで, 危険度の変化量を得る。この危険度の変化量をそれまでの危険度に加算擦ることで, 現在の危険度を得る。

例として, WBGT が変化しない場所に留まった場合, 危険度がどの値まで上昇するかを Table 2 に示す。この結果より同じ場所に留まった場合, 本アプリケーションは 3.2 節の設計に従い以下のように助言, 警告する。WBGT が 20℃以下の場合, 危険はなく, 助言はない。WBGT が 21℃以上の場合, 時間が経過すると水分補給を促す。WBGT が 25℃以上の場合, さらに時間が経過すると避難

Fig. 5. The example of display and warning of the degree of risk of heat stroke.

Fig. 6. The example of display of the state of the surrounding environment.

場所への移動を勧める。WBGT が 27℃ 以上の場合、さらに時間が経過すると避難と体の冷却を指示する。

4. 実験

本実験では、提案した以下の 3 つの熱中症予防策の動作を確認した。

- (a) 熱中症危険度の表示・警告
- (b) 地図上での環境状態の表示
- (c) 避難場所の表示

4.1 実験条件

温湿度測定は北九州工業高等専門学校の敷地内で行った。二つの測定機器を用いて、30 箇所のデータを得た。測定機器が 2 つしかないため、2 名が各 15 箇所の観測点を巡って測定を行った。そのため、全く同時刻のデータではないが、測定時間の差は 30 分未満である。また測定器の温度の精度は $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 、湿度の精度は $\pm 3.5\%$ である。本実験ではサーバへの環境状態のデータ送信は省略し、パソコン上でデータを収集しアプリケーションを動作させた。

4.2 実験結果

- (a) 熱中症危険度の表示・警告

熱中症の危険度を推定し、危険度と警告を表示した例を Fig. 5 に示す。この例は、WBGT が 25°C でこれまでの危険度が 39 の場合、現在の危険度が 45 になったことを

Fig. 7. The example of display of the refuge.

示している。このように、現在の WBGT とこれまでの危険度から、現在の危険度を推定できることが確認できた。また、Fig. 5 には現在の危険度に応じた助言も示されており、熱中症の危険度に応じて使用者に助言、警告をすることも確認できた。

(b) 地図上での環境状態の表示

マップ上に温度と湿度を表示した例を Fig. 6 に示す。この例には、各観測点の温度および湿度が示されている。このように、環境状態が地図に表示されていることが確認できた。

(c) 避難場所の表示

熱中症の危険度に応じて本アプリケーションが避難場所を表示した例を Fig. 7 に示す。これは WBGT が 28 °C の場所に 30 分間留まった例である。現在の位置が「now」と示されている場所で、避難場所が「Go to here!」と示されている場所である。このように、避難場所が地図に表示されていることが確認できた。

以上の実験結果より、本アプリケーションを使用することにより、熱中症を予防することができる。

ただし、本論文では計測機器を外部に接続し、手で持った状態で測定した。そのため、実用化に向けた問題としてセンサをスマートフォンに組み込んだ場合、ポケットやバッグに入っている場合や直射日光の影響も考える必要がある。しかし、本アプリケーションが普及すると、多数の環境データを取得することができるため、近くの場所の同時時間帯の環境データを比較することで精度を上げることが可能である。

5. おわりに

本論文では、WBGT を用いた熱中症防止アプリケーションを提案した。このシステムでは比較的容易に測定できる要素（温度、湿度）を使用することで、熱中症の危険度を推定している。危険度に応じて警告するため、使用者は自分自身で気づくことができない環境の変化を知ることができる。これにより使用者は熱中症を予防できる。また、本アプリケーションは、マップ上に環境状態を表示できるため、使用者は目的地の環境状態を事前に知ることができ、外出前に服装を選ぶ参考にすることもできる。さらに、狭い範囲での実際の温度や湿度を知ることができるという点で、一般的な天気予報によって得られる情報とは異なる利点がある。

今後の課題として、本論文では測定要素が温度と湿度の 2 つであるので、測定要素を増やすことで、より高精度に危険度を推定することである。そのため、使用者の体温や汗、動きの状態を測定することで精度の向上を検討している。

- (1) Intergovernmental Panel on Climate Change : “Climate Change 2007: Synthesis Report”, pp. 2–4, 2007
- (2) 安原一哉 : 「地球温暖化と複合地盤災害」, 地盤工学会誌, Vol. 57, No. 4, pp. 1-5, 2009
- (3) 気象庁 : 「気候変動監視レポート 2011」, p. 17, 2010
- (4) 日本生気象学会 : 「日常生活における熱中症予防指針」, Ver. 2, p. 4, pp. 11-12, 2012
- (5) 今仲雅之, 池田哲朗 : 「住宅内の熱中症に及ぼす断熱気密性能の影響と吸放湿材の貼付効果」, 日本建築学会近畿支部研究報告集 環境系, No. 51, pp. 165-168, 2011
- (6) 十二村佳樹, 渡辺浩文 : 「甲府盆地における都市熱環境と熱中症の実態に関する調査研究 : その 3 2004 年から 2009 年に発生した熱中症の実態精査」, 日本建築学会 2010 年度大会(北陸)学術講演梗概集 D-1, Vol. 2010, pp. 905-906, 2010
- (7) 国立環境研究所 : 「熱中症患者情報速報平成 23 年度報告書」, 2012
- (8) 内山巖雄 : 「地球温暖化の健康への影響」, 人間と生活環境, Vol. 9, No. 2, pp. 63-69, 2002
- (9) 中井誠一, 新矢博美, 芳田哲也, 寄本明, 井上芳光, 森本武利 : 「スポーツ活動および日常生活を含めた新しい熱中症予防対策の提案 : 年齢, 着衣及び暑熱順化を考慮した予防指針」, 体力科学, Vol. 56, No. 4, pp. 437-444, 2007
- (10) 持田徹, 佐古井智紀, 桑原浩平 : 「WBGT 式の導出と温感工学的分析 : 屋内用 WBGT 式の特性」, 空気調和・衛生工学会論文集, No. 108, pp. 21-28, 2006
- (11) 小山田英弘, 福島正治, 小山智幸, 松藤泰典 : 「暑中期建設現場の作業環境(続報) : 温度, WBGT の測定」, 日本建築学会九州支部研究報告, No. 46, pp. 1-4, 2007
- (12) 大貫義人 : 「スポーツ活動中の熱中症予防のための湿球黒球温度の広域調査」, 体力科学, Vol. 57, No. 5, p. 592, 2008
- (13) 熱中症予防情報サイト, <http://www.nies.go.jp/health/HeatStroke/>
- (14) 新里寛英, 古川良知 : 「暑熱環境評価用 WBGT 測定器の開発」, 人間と生活環境, Vol. 1, No. 1, pp. 83-86, 1994
- (15) Naoya Mizota, Huimin Lu, Shota Nakashima, Lifeng Zhang, Seiichi Serikawa, and Yuhki Kitazono : “Proposal of Alert System for Prevention of Heat Stroke”, Proceedings of 2012 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, No. SA-D.1, pp. 111-116, 2012
- (16) 鄭民安 : 「ケータイの 2 台持ち利用に見るスマートフォン普及のポイント」, モバイル研究論文集, Vol. 2011, pp. 25-28, 2011
- (17) Jorge Armendariz, Chidentree Treesatayapun, and Arturo Baltazar : “Force feedback controller based on fuzzy-rules emulated networks and Hertzian contact with ultrasound”, Mechanical Systems and Signal Processing, Vol. 27, pp. 534–550, 2012
- (18) 大木誠, 林修平, 大北正昭 : 「代数積加算重心法によるファジー推論の高速計算アルゴリズム」, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol. J81-D-II, No. 10, pp. 2357-2365, 1998

北園 優希

2011年3月九州工業大学大学院工学府電気電子工学専攻博士後期課程修了。同年4月北九州工業高等専門学校電子制御工学科助教，現在に至る。知的センシングの研究に従事。

溝田 直也

2008年4月北九州工業高等専門学校電子制御工学科入学，現在に至る。知的センシングの研究に従事。

中島 翔太

2010年3月九州工業大学大学院工学研究科電気工学専攻博士後期課程修了。同年4月宇部工業高等専門学校電気工学科助教。2012年7月山口大学大学院理工学研究科助教，現在に至る。画像処理，知的センシングの研究に従事。