

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 15 日現在

機関番号：83501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25740030

研究課題名(和文) 暑熱障害発生リスク評価のための広域温熱環境モニタリング手法の開発

研究課題名(英文) Development of thermal environment monitoring method for the evaluation of risk for heat disorders

研究代表者

赤塚 慎 (AKATSUKA, Shin)

山梨県富士山科学研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：80548743

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,800,000円

研究成果の概要(和文)：衛星リモートセンシングデータを用いた暑さ指数(WBGT)推定手法を開発した。気象衛星ひまわりデータの輝度温度値や快晴時全天日射量、植生指数、標高等を変数としたWBGT推定モデルを導出した。WBGT推定誤差はRMSEで3.0程度であったが、熱中症予防指針にあるWBGTの温度基準を基にした熱中症警戒レベルマップをある程度精度良く作成できる可能性を示した。

次に、温熱環境指標と実際の暑熱障害発生件数との関連性を検証した。山梨県における熱中症救急搬送者データと気象データを利用して熱中症発生の実態把握を行い、熱中症発生には気象条件の違いの他に人口構成や主要産業等が影響を及ぼしている可能性を示唆した。

研究成果の概要(英文)：We developed the method for estimating Wet-Bulb Globe Temperature (WBGT) using remote sensing data. This method used the Multi-functional Transport Satellite data, clear-sky solar radiation data, normalized difference vegetation index data, and elevation data as the variables of WBGT estimate formula. It was revealed that RMSEs were approximately 3.0 degree Celsius, but maps for heat disorder prevention based on WBGT criteria could be create using remote sensing data with reasonable accuracy.

Then, the regional characteristics of heat disorder incidence at Yamanashi Prefecture were assessed using meteorological data, socioeconomic data, and the database of emergency phone calls made for heat disorder. It was suggested that the regional characteristics of heat disorder incidence at Yamanashi Prefecture depend on not only the meteorological conditions in each region but also the demographic composition and socioeconomic conditions in each region.

研究分野：空間情報工学、都市環境工学

キーワード：衛星リモートセンシング 暑さ指数 熱中症 気象衛星ひまわり WBGT

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化やヒートアイランド現象などの温熱環境の変化は「ヒトの健康」に影響を与えることが明らかになってきている。例えば、熱波による死亡者数の増加、熱中症患者の増加、感染症の増加及び感染地域の拡大等が起こることが予想されている(IPCC、2007)。したがって、温熱環境を常にモニタリングし、その変化を把握することが重要となる。

従来の温熱環境のモニタリングとしては、気象機関が行っている気象観測点での気温や湿度の測定が主である。しかし、このような気象観測点におけるポイントデータは、観測データの空間代表性が問題となる(Sugawara et al., 2004)。つまり、ある観測点における気温がどの範囲のエリアの気温を代表しているのかが不明である。そこで、広いエリアの温熱環境を点ではなく面的にモニタリングする手法の開発が必要であり、広域のデータを均質に、また同時に取得できるという特徴を持つリモートセンシングデータを利用することで、広域の温熱環境を均質な精度で同時にモニタリングすることが可能になる。

熱中症等の暑熱障害の発生は気温や不快指数、WBGT(Wet-Bulb Globe Temperature: 湿球黒球温度)と正の相関があることが明らかになっている(小野、2009)。一方、暑熱障害の発生は適切な予防措置を講ずることにより未然に予防することが可能であるため、暑熱障害の良好な指標である温熱環境指標(不快指数、WBGT等)をモニタリングし、暑熱障害発生リスクを評価するモデルを開発することが重要である。

また、リモートセンシングによる温熱環境モニタリングとして、これまで地表面や大気の熱収支、水収支を支配する重要なパラメータである地表面温度(LST)の観測が数多く行われてきた。LSTは気温とは異なる物理量ではあるが、ヒートアイランド現象等の都市気候学分野の研究や、斜面冷気流や斜面温暖帯等の農業気象学分野の研究において利用されている。しかし、これまでのリモートセンシングによる温熱環境モニタリングに関する研究では、「ヒトの健康」に及ぼす影響に関する指標に注目した研究は行われていない。

2. 研究の目的

本研究は、温熱環境の変化が「ヒトの健康」へ及ぼす影響の良好な指標となる温熱環境指標をリモートセンシングデータ及びGISデータから推定するモデルを導出し、広域の温熱環境を「ヒトの健康」への影響の視点から評価する手法を開発することを目的とする。具体的には、暑熱障害の良好な指標となる温熱環境指標をリモートセンシング及びGISデータから推定するモデルを導出する。さらに、導出したモデルから推定する温熱環境指標と実際の暑熱障害発生件数との

関連性を検証し、リモートセンシング及びGISデータから推定した温熱環境指標を用いて温熱環境を評価する際の、暑熱障害発生リスクに基づく評価基準を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 衛星リモートセンシングデータを用いた暑さ指数(WBGT)推定手法の開発

衛星リモートセンシングデータ及びGISデータを用いて、WBGT推定モデルを構成する各種変数の分布図を作成した。その後、地上気象データから推定されたWBGTを目的変数、気象衛星ひまわり(MTSAT)データの各チャンネルの輝度温度値(IR1、IR2、IR3)や快晴時全日射量(CSSR)、植生指数(NDVI)、標高等を説明変数とした重回帰分析によりWBGT推定モデルを導出した。次に、日常生活における熱中症予防指針(稲葉・朝山、2012)及びスポーツ活動中の熱中症予防指針(川原、2012)でのWBGT温度基準を参考にWBGTの推定精度を評価した。WBGT値とMTSATデータから推定したWBGT値をそれぞれ各熱中症警戒レベル(レベル1:WBGT21未満、レベル2:WBGT21~25、レベル3:WBGT25~28、レベル4:WBGT28~31、レベル5:WBGT31以上)に分類し、その一致率を分類精度評価指標(総合精度およびkappa係数)を用いて評価することでWBGTの推定精度の検証を行った。

(2) 温熱環境指標と実際の暑熱障害発生件数との関連性の検証

山梨県の各消防本部の管轄地域と気象庁の気象予報区域を基に山梨県を6地域に区分し、熱中症による救急搬送者データや気象観測データを利用して、各地域における熱中症発生の実態把握を行った。2004年から2012年までの熱中症による救急搬送者データから地域毎に以下の項目について検討を行った。

熱中症による救急搬送者数(総数および人口10万人当りの熱中症搬送者数)

人口10万人当りの行動別熱中症搬送者数

人口10万人当りの年齢別熱中症搬送者数

項目に関して、熱中症搬送者データの傷病に至る経緯等の記述から、傷病者が熱中症を発症した際にどのような行動中であったかを抽出し、運動中、作業中、日常生活行動中、その他または不明の4カテゴリに分類した。その後、人口10万人当りの行動別熱中症搬送者数に関して地域毎に違いがみられるのかを²検定により検討し、さらに残差分析を行い地域毎の特徴を検討した。項目に関して、熱中症搬送者データの搬送者の年齢を基に、「0歳以上19歳以下(0-19)」、「20歳以上39歳以下(20-39)」、「40歳以上64歳以下(40-64)」および「65歳以上(65-)」の4カテゴリで集計し、²検定および残差分析を行った。

4. 研究成果

(1) 衛星リモートセンシングデータを用い

た暑さ指数 (WBGT) 推定手法の開発

WBGTを応答変数、MTSATデータの各チャンネルの輝度温度値[]やCSSR[kW/m²]、NDVI、標高(ELE)[m]を説明変数としてWBGT推定モデルを構築したところ、WBGTの値が25より低いときには適用することが難しいことが明らかになった。そこで、南中時刻からの経過時間CT[sec]及び衛星天頂角VZA[deg]を説明変数に追加し、季節毎(5、6、10月と7、8、9月)にWBGT推定モデルを行ったところ、WBGT推定式は次の通りとなった。

5、6、10月における推定式

$$WBGT = a_0 + a_1IR1^* + a_2(IR1^* - IR2^*) + a_3(IR1^* - IR2^*)^2 + a_4(IR1^* - IR2^* - IR3^*)^2 + a_5CSSR + a_6NDVI + a_7CT + a_8ELE + a_9VZA \quad (1)$$

7、8、9月における推定式

$$WBGT = a_0 + a_1IR1^* + a_2IR3^* + a_3(IR1^* - IR2^*)^2 + a_4CSSR + a_5NDVI + a_6ELE + a_7VZA \quad (2)$$

図1に2012年5月1日～10月31日までの東京における午後3時のWBGT観測値とWBGT推定式(1)、(2)を用いて推定したWBGT推定値のグラフを示す。

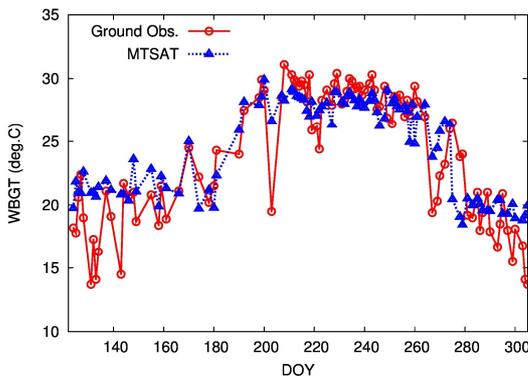


図1. 2012年5月1日～10月31日までの東京における午後3時のWBGT観測値とWBGT推定値 (赤線：WBGT観測値、青線：WBGT推定値)

精度検証用の各気象観測点におけるWBGTを推定し、RMSEおよびバイアスをそれぞれ計算した。さらに、WBGT温度基準に従い各警戒レベルに分類し、その一致率を評価するため分類精度評価指標を計算した(表1)。表1より、ほとんどの気象観測点においてRMSEが3.0以下、総合精度は60.0%以上となった。またKappa係数は0.41以上となりWBGT観測値とWBGT推定値を熱中症予防のWBGT温度基準を基にした熱中症警戒レベルごとに見たときの一致率は「中程度の一致」であった。MTSATデー

タからWBGTの値を推定するのは誤差が大きく、この要因の一つとしてWBGT観測値の空間代表性とMTSATの空間解像度の関係が考えられる。一方、WBGTの温度基準を基にした熱中症警戒レベルマップをある程度精度良く作成することは可能であることが示唆された。熱中症を予防する際に重要な情報はWBGTの絶対値よりも「嚴重警戒」「危険」などの熱中症警戒レベルであると考えられるため熱中症予防情報の提供にMTSATデータがある程度利用可能であることが示された。

表1. WBGT推定値の精度評価

気象観測点	RMSE(°C)	バイアス(°C)	総合精度(%)	kappa係数
帯広	3.2	0.8	72.0	0.45
秋田	2.7	-0.2	62.5	0.43
福島	2.7	-0.1	63.9	0.46
横浜	2.6	-0.2	61.6	0.48
岐阜	2.4	-0.2	59.8	0.45
和歌山	2.2	-0.2	63.9	0.51
浜田	2.4	-0.7	55.9	0.40
岡山	2.4	-0.4	61.5	0.47
大分	2.3	0.3	66.7	0.53
都城	2.3	-0.1	64.4	0.51

(2) 温熱環境指標と実際の暑熱障害発生件数との関連性の検証

図2に2004年から2012年までの山梨県の各地域における熱中症による救急搬送者の総数および人口10万人当りの熱中症搬送者数を示す。この図から、熱中症による救急搬送者の総数では甲府盆地に位置する甲府地域、峡北地域、峡東地域において多く、人口10万人当りの熱中症による救急搬送者数では峡東地域および東部地域において多いことがわかった。一方、峡南地域では、熱中症による救急搬送者の総数および人口10万人当りの熱中症搬送者数とも他地域に比べて少ないことが明らかになった。

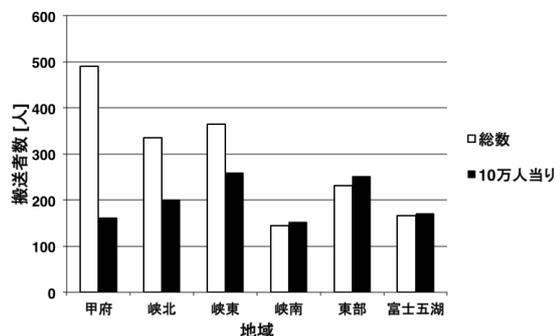


図2. 熱中症による救急搬送者の総数および人口10万人当りの熱中症搬送者数

人口10万人当りの行動別熱中症搬送者数に関して地域毎に違いがみられるのかを²検

定により検討し、さらに残差分析を行い地域毎の特徴を検討した。²検定に用いた分割表および残差分析の結果を表2に示す。²検定の結果、人口10万人当りの行動別熱中症搬送者数には地域毎に有意な差がみられた($\chi^2 = 172.42$, $df = 15$, $p < .01$)。残差分析の結果、峡東地域では日常生活行動中に熱中症を発症した搬送者が有意に多く、峡南地域では作業中に熱中症を発症した搬送者が有意に多かった。また、富士五湖地域では運動中に熱中症を発症した搬送者が有意に多いことが明らかになった。

表2. 人口10万人当りの行動別熱中症搬送者数に関する²検定および残差分析の結果

	運動中	作業中	日常生活行動中	その他/不明
甲府	53.1 (1.64)	42.2 (-2.24*)	42.8 (1.27)	23.7 (-0.54)
峡北	42.0 (-2.28*)	64.1 (-0.64)	45.6 (0.05)	49.2 (3.54**)
峡東	44.0 (-4.27**)	98.7 (1.63)	75.2 (2.81**)	41.2 (-0.10)
峡南	23.3 (-3.62**)	76.4 (4.52**)	37.1 (0.55)	15.9 (-2.05*)
東部	58.6 (-1.73)	94.5 (1.32)	55.4 (-0.29)	44.5 (0.72)
富士五湖	108.2 (11.33**)	29.9 (-4.89**)	14.4 (-4.78**)	18.5 (-2.03**)

* : $p < .05$ ** : $p < .01$

同様に、人口10万人当りの年齢別熱中症搬送者数に関して地域毎に違いがみられるのかどうかを²検定および残差分析を用いて検討した。²検定に用いた分割表および残差分析の結果を表3に示す。²検定の結果、人口10万人当りの年齢別熱中症搬送者数には地域毎に有意な差がみられた($\chi^2 = 441.42$, $df = 15$, $p < .01$)。また、残差分析の結果、甲府地域では「0歳以上19歳以下」の搬送者が有意に多く、峡北、峡東地域では、「65歳以上」の搬送者が有意に多いことが明らかになった。さらに、峡南地域では、「40歳以上64歳以下」および「65歳以上」の搬送者が有意に多く、富士五湖地域では、「0歳以上19歳以下」および「20歳以上39歳以下」の搬送者が有意に多いことが明らかになった。

山梨県の各地域における熱中症発生状況の概略をまとめると、以下の通りである。

甲府地域では熱中症による救急搬送者の総数が県内の6地域の中で最も多く、人口10万人当りの熱中症搬送者数では19歳以下の若い世代における熱中症の発生が有意に多い。

峡北地域では65歳以上の高齢者で熱中症の発生が有意に多い。

峡東地域では人口10万人当りの熱中症搬送者数が県内の6地域の中で最も多く発生する。また、65歳以上の高齢者で熱中症の発生が有意に多く、日常生活行動中に熱中症を発症することが有意に多い。

表3. 人口10万人当りの年齢別熱中症搬送者数に関する²検定および残差分析の結果

	0 - 19 [歳]	20 - 39 [歳]	40 - 64 [歳]	65 - [歳]
甲府	232.3 (3.18**)	114.3 (-0.26)	96.6 (-0.36)	252.3 (-2.47*)
峡北	202.5 (-2.81**)	130.8 (-0.88)	118.5 (-0.07)	379.7 (3.30**)
峡東	176.0 (-8.97**)	181.0 (0.82)	151.2 (0.40)	518.8 (7.32**)
峡南	106.5 (-5.81**)	52.5 (-5.38**)	114.3 (3.83**)	311.7 (6.69*)
東部	303.0 (0.69)	177.9 (0.37)	166.9 (1.83)	389.1 (-2.22*)
富士五湖	382.7 (14.28**)	173.1 (4.60**)	61.3 (-5.50**)	153.4 (-12.69**)

* : $p < .05$ ** : $p < .01$

峡南地域では作業中に熱中症を発症した搬送者と40歳以上の熱中症搬送者が有意に多い。

峡東地域では人口10万人当りの熱中症搬送者数が県内の6地域の中で2番目に多い。富士五湖地域でも熱中症が発生し、19歳以下の若い世代において熱中症を発症することが多い。

このように、熱中症の発生状況は地域毎に異なることから、地域の特性を考慮した熱中症対策が重要であることが示唆された。

(3) リモートセンシング及びGISデータから推定した温熱環境指標を用いて温熱環境を評価する際の、暑熱障害発生リスクに基づく評価基準

現在広く利用されている熱中症予防指針における熱中症警戒レベルのWBGTに関する温度基準は全国共通である。しかし、地域毎に熱中症警戒レベルの温度基準は異なる可能性がある。異なる気候特性を示す地域が混在する山梨県において、気温およびWBGTと熱中症救急搬送者数との関係にどのような違いが生じるのかを検討したところ、日最高気温を用いた方が熱中症発生率との関係が明瞭な地域もあれば、WBGTを用いた方が熱中症発生率との関係が明瞭な地域もみられた。また、既往研究では、気温よりもWBGTとの関係の方が熱中症による死亡者数や救急患者搬送数との相関がより高く、ある程度地域差の影響を除外できることが明らかになっていた。しかし、本研究では山梨県内の甲府地域と富士五湖地域のように平均気温が大きく違う地域では、WBGTを用いても地域差はなくなることが明らかになった。したがって、衛星リモートセンシングデータを用いて作成した熱中症警戒レベルマップを有効に活用するためには、都道府県レベルよりも小さいスケールの地域(市町村レベル)において、各地域の自然的・社会的な特性を考慮した熱中症警戒レベルに関する温度基準を検討する必要があることが示唆された。

<引用文献>

稲葉裕、朝山正己、日常生活における熱中症予防指針（日本生気象学会）の概要、日本臨牀、70(6)、1033-1038、2012。
小野雅司、地球温暖化と熱中症、国際環境研究協会 地球環境、vol14、No.2、263-270、2009
川原貴、熱中症予防運動指針（日本体育協会）日本臨牀、70(6)、1033-1038、2012
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)、3-11、2007
Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC)、Climate Change、2007
Sugawara, H., Narita K. and Mikami T., Representative air temperature of thermally heterogeneous urban areas using the measured pressure gradient、43、1168-1179、2004

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計3件）

Kei Oyoshi, Shin Akatsuka, Wataru Takeuchi, and Shinichi Sobue. Hourly LST Monitoring with Japanese Geostationary Satellite MTSAT-1R over Asia-Pacific Region. Asian Journal of Geoinformatics, 14(3), pp.1-13, 2014. 査読有り

Noriko Okamura, Wataru Takeuchi, Shin Akatsuka and Kei Oyoshi. Evaluating Thermal Comfort in City Life and Its Relation to Socio-Economic Activities. Asian Journal of Geoinformatics, 14(2), pp.24-30, 2014. 査読有り

赤塚 慎、宇野 忠、堀内 雅弘、山梨県における熱中症発生の地域特性、日本生気象学会 日本生気象学会雑誌、vol.51、No.1、pp.23-36、2014. 査読有り

〔学会発表〕（計4件）

赤塚 慎、大吉 慶、竹内 渉、MTSAT データを用いた WBGT の推定、第 23 回生研フォーラム「宇宙からの地球環境・災害のモニタリングとリスク評価」、東京大学生産技術研究所（東京都目黒区）2015 年 3 月 4 日

赤塚 慎、大吉 慶、竹内 渉、MTSAT データを用いた暑さ指数推定手法の検討、日本写真測量学会 平成 26 年度秋季学術講演会、サンポートホール高松（香川県高松市）2014 年 11 月 21 日

赤塚 慎、大吉 慶、竹内 渉、可降水量データによる地表付近の相対湿度の推定、日本写真測量学会 平成 25 年度秋季学術講演会、福井県国際交流会館（福井県福井市）2013 年 11 月 7 日

赤塚 慎、大吉 慶、竹内 渉、再解析可降水量プロダクトの高解像度化、日本写真測量学会 平成 25 年度年次学術講演会、東京大学生産技術研究所（東京都目黒区）、2013 年 5 月 21 日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

赤塚 慎 (AKATSUKA, Shin)

山梨県富士山科学研究所・研究員

研究者番号：80548743