

R-03-2021

MFRI Research Report

山梨県富士山科学研究所研究報告書

第45号

プロジェクト研究

「甲府盆地地域の夏季暑熱環境の実態と

ヒートアイランド現象の緩和要因についての研究」

令和2年度

山梨県富士山科学研究所

はじめに

近年、温室効果ガス濃度の高まりに起因する地球規模での温暖化（地球温暖化）による気候変動にもなう様々な問題が報告されている。日本にもおいても温暖化の傾向が見られ、山梨県でも気温の上昇が観測されている。山梨県は内陸に位置し、周囲を山岳に囲まれている盆地形状であることから、夏の昼間に酷暑環境が形成されやすく、近年 40℃を超える気温を記録している。このような気温の上昇がもたらす問題のひとつに熱中症という身近な健康問題がある。熱中症の発生は、気温が高いことがひとつの要因であるが、加えて温熱環境を形成する要因である湿度や風、輻射熱の影響も考えなければならない。このような温熱環境は、山梨県全域や地域、市町村、街区、生活環境などスケールにより特徴が異なっており、熱中症リスクへの影響をそれぞれ考える必要がある。熱中症を予防するためには、多面的な視点で発生状況や関与する要因を明らかにした上で予防対策を行うことが重要である。

本研究では、熱中症の発生、関連要因について広域的～狭域的な視点でのアプローチで研究対象を取り上げたサブテーマを設け、熱中症発生の予防に資する知見の提出を行っている。その中で、山梨県における熱中症による救急搬送者のデータを解析することにより、熱中症発生の地域的特性および時系列的变化の実態を明らかにした。また、甲府盆地地域において温度湿度の多点同時記録を実施して、形成される温熱環境の地域的な特徴を明らかにするとともに、街路空間においては気温や湿度、輻射熱、風速、暑さ指数（WBGT）の実測によって、人が実際にさらされる温熱環境と熱中症リスクについて検証を行った。さらに、甲府盆地市街地の北側に隣接する山岳部からの冷気の滲みだしの夜間市街地の温熱環境改善への貢献について、新たに定義した斜面冷気流ポテンシャルを用いた評価および移動観測による実態調査から検討を行った。

これらの一連の成果は、山梨県内での熱中症発生について様々な角度から分析した結果得られたものであり、多方面での熱中症発生の予防対策の一助になることを期待する。

山梨県富士山科学研究所

所長 藤井敏嗣

目 次

はじめに

概要編

I 研究の概要	1
I-1 研究テーマおよび研究期間	1
I-2 研究体制	1
I-3 研究背景と目的	1
I-4 研究成果の概要	4
I-4-1 山梨県内の熱中症発生傾向の地域的特性の把握	4
I-4-2 山梨県内の熱中症発生状況の時系列的変化の把握	5
I-4-3 夏季甲府盆地地域に形成される夜間温熱環境の地域的特徴の解明	6
I-4-3-1 夜間甲府盆地地域に形成される温熱環境の実態把握	6
I-4-3-2 甲府盆地地域に形成される温熱環境の地域的特徴の解明	7
I-4-4 甲府盆地における山岳部からの冷気のしみ出し および斜面冷気流の夜間温熱環境改善への有効性の検討	7
I-4-4-1 甲府盆地北側斜面の斜面冷気流ポテンシャルによる評価	7
I-4-4-2 甲府駅北側における夕刻から夜間にかけての温熱環境の実態調査	8
I-4-5 街路空間に形成される温熱環境の実態調査	9
I-4-6 まとめ	10
I-4-7 引用文献	11
I-5 研究成果の発表	11
I-5-1 誌上发表	11
I-5-2 口頭発表	12
I-6 謝辞	12

本編

II 研究成果報告	13
II-1 山梨県内の熱中症発生傾向の地域的特性の把握	13
II-2 山梨県内の熱中症発生状況の解析	13
II-3 夏季甲府盆地地域に形成される温熱環境の地域的特徴の解明	13

II-4	甲府盆地における山岳部からの冷気の滲み出し	
	および斜面冷気流の夜間温熱環境改善への有効性の検討	14
II-4-1	甲府盆地北側斜面の斜面冷気流ポテンシャルによる評価	14
II-4-2	甲府駅北側における夕刻から夜間にかけての温熱環境の実態調査	14
II-4-2-1	はじめに	14
II-4-2-2	方法	14
II-4-2-3	結果及び考察	16
II-5	街路空間に形成される温熱環境の実態調査	19
II-5-1	はじめに	19
II-5-2	方法	19
II-5-3	結果及び考察	20
II-5-4	引用文献	22

概 要 編

I 研究の概要

I-1 研究テーマおよび研究期間

研究テーマ

甲府盆地地域の夏季暑熱環境の実態とヒートアイランド現象の緩和要因についての研究

研究期間

平成 22 年度 ～ 26 年度 (5 年間)

I-2 研究体制

研究代表者：宇野 忠 (環境共生研究部)

共同研究者：赤塚 慎 (環境共生研究部)

池口 仁 (環境共生研究部)

杉田 幹夫 (自然環境研究部)

十二村 佳樹 (岐阜大学地域科学部)

I-3 研究背景と目的

近年、温室効果ガス濃度の高まりに起因する地球規模での温暖化（地球温暖化）によってもたらされる気温の上昇が懸念されている。1906 年～2005 年の世界の気温上昇幅は、気候変動に関する政府間パネル Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC 第 4 次評価報告書によると $0.74^{\circ}\text{C}/100$ 年であり、同第 3 次評価報告書での $0.6^{\circ}\text{C}/100$ 年より大きいことが報告されている。山梨県甲府では $1.7^{\circ}\text{C}/100$ 年の気温上昇幅であり、日本全体の $1.0^{\circ}\text{C}/100$ 年と比較して高い（気象庁データより）。このことから都市化に伴う温暖化が影響を及ぼしていることが考えられる。山梨県は本州のほぼ中央の内陸部に位置し、太平洋側気候区分に分類され気候型として内陸性気候である。内陸性気候は気温の日較差、年較差が大きい特徴があるが、人口の多くが集中している甲府盆地地域と周りを囲む山岳地域では標高差による気温の差も大きく、生活において厳しい温熱環境にさらされる。特に、甲府盆地地域は、2004 年に甲府地方気象台において全国で最も高い日最高気温 40.4°C が記録されたように、酷暑環境が形成されやすく様々な問題をもたらしている。

このような酷暑となる高温環境がもたらす問題のひとつに「熱中症」があげられる。熱中症はからだの中に熱が蓄積し体温が上昇することに伴い頭痛や吐き気、めまい、ケイレンが引き起こされる症状であり、重度の症状となると意識障害、中枢神経障害、体温調節機能の消失を経て死亡に至る危険がある。山梨県における熱中症の発生については、1995 年より熱中症症状で救急搬送された患者の情報が県消防防災課にて集計されており、1995 年～2003 年では 45.1

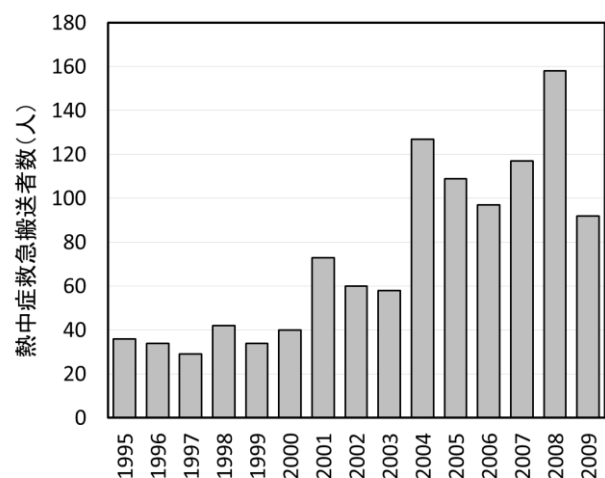


図 1. 1995～2009 年の山梨県における熱中症救急搬送者数の推移

人/年であったが、猛暑だった2004年（平成16年）に127人と増加し、2004年～2009年の間は116.7人/年で推移している（図1）。これまで猛暑であった年に熱中症救急搬送者が増えていることから、今後温暖化が進行し夏季の気温が上昇する場合に熱中症発生のさらなる増加が懸念される。

熱中症の発生を予防するためには発生時の状況や原因を明らかとし対策することが望まれる。そのため熱中症の発生傾向について各都道府県で日最高気温や日平均気温との関連や年齢階層別、行動別などでの発生状況の違いなどが報告されている（星ほか2007；2010、中井2004）。山梨県においても1995年から熱中症による救急搬送者の情報が得られており、日最高気温と搬送数の関連や行動別、屋内外などの発生傾向について県全体で解析されている（入来ら2006）。しかし、県内各地域によって気象環境の違いや年齢層、産業、行動に違いがあることから地域ごとに熱中症の発生傾向が異なることが考えられる。熱中症の予防対策を推し進めるためには、地域に即した予防対策を実施することが効果的であり、そのためには県内各地域での熱中症発生における地域的特性を明らかとすることが必要である。そのため「サブテーマ1：山梨県内の熱中症発生傾向の地域的特性の把握」を設け地域ごとの熱中症発生傾向の違いを明らかとし、地域に即した対策への取り組みに資する情報の提供を目的とした。また、近年全国的に熱中症の発生は増加傾向であり山梨県でも熱中症救急搬送者数に顕著な増加が見られる。急増する熱中症発生に対応するためには以前と比較し増加している熱中症の発生状況が何であるかを明らかとし、刻々と変化する社会情勢や生活環境に対応した対策に取り組むための知見が必要であり、そのために「サブテーマ2：山梨県内の熱中症発生状況の時系列的変化の把握」を設けた。

人口が集中する都市部では、都市化に伴う都市温熱環境の高温化である都市温暖化によって地球温暖化でもたらされる気温の上昇に加え、さらなる気温上昇が起こっている。この都市温暖化はヒートアイランド現象として都市部に高温のエリアを形成し様々な問題を生じさせている。我々は、プロジェクト研究「夏季の高温環境と心理的ストレスにおける健康影響と熱中症警報システムの構築についての研究」（平成19～21年度）において甲府盆地地域の実態調査を行い甲府盆地中心部における日中のヒートアイランド現象の発生を報告している（図2）。熱中症の発生は日中に多いが近年夜間の熱中症発生の割合が上昇しており、近年の熱帯夜増加による睡眠障害が熱中症の発生に影響しているとの報告もある

（中井ら1993）。しかし、夜間のヒートアイランド現象の緩和を目指した対策や提案は少なく検討は十分に行われていない。夜間に形成されるヒートアイランド現象を緩和するためには夜間の甲府盆地における都市温熱環境の実態把握が必要であり「サブテーマ3：夏季甲府盆地地域に形成される夜間温熱環境の地域的特性の解明」を設け取り組んだ。

また、ヒートアイランド現象への対策として海や山に接して発達している都市が多いわが国では、海陸風や山谷風などの局地循環風を十分に考慮した土地利用計画や市街地形態の誘導などを取り入れた対策が有効であることが知られている（社会環境工学研究連絡委員会ヒートアイランド現象専門委員会報告、2003）。周囲を山岳に囲まれている盆地都市である山梨県においては市街地に隣接する山間部斜面からの冷気のしみ出しや流れである斜面冷気流を有効に活用し得る建物配置や土地の利用、被覆状態を考慮した都市設計につな

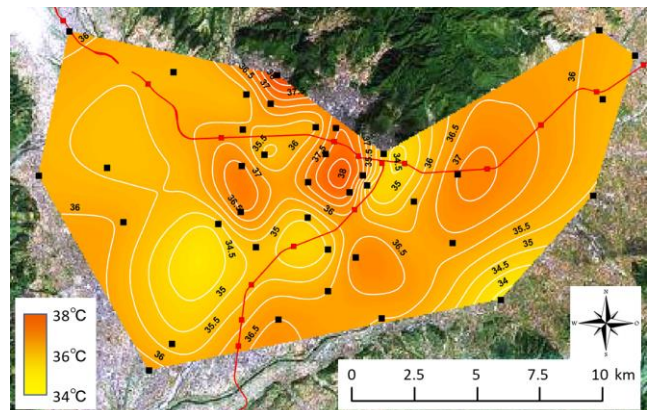


図2. 猛暑日における都市環境気候図の例（気温分布図、2008年8月8日14:00、黒点は観測地点、地形図はSpace Imaging(R)/宇宙開発事業団から提供された衛星データを使用）

る情報の蓄積が重要であると考えられる。そのために「サブテーマ 4：甲府盆地における山岳部からの冷気の滲み出しおよび斜面冷気流の夜間温熱環境改善への有効性の検討」により甲府盆地北側地域における斜面冷気流の実態把握を行った。

熱中症の発生に関連している要因の一つとして気温があげられる。実際に、日最高気温や日平均気温と熱中症救急搬送者数に関連があることが報告されている（星ほか 2007、中井 2004）。これらのことから各地の気象観測所の気温に関する予報をもとにした熱中症への注意喚起がなされている。このような広域的にとらえた温熱環境をもとにした注意喚起は熱中症の予防に一定の効果があるが、近年急増している熱中症は発生傾向が変化し、多様化してきており適切な対応を実施するためには、個々の置かれている環境に目を向けた狭域的なアプローチが必要と考えられる。そこで「サブテーマ 5：街路空間に形成される温熱環境の実態調査」を設けることにより近年熱中症の発生リスクにおける温熱環境の評価に用いられてきた WBGT (Wet-Bulb-Globe-Temperature) による街路空間に形成される温熱環境の把握を行った。WBGT は気温に加えて湿度と気流、輻射熱の 4 つの人体の熱収支に関わる温熱環境要因によって算出され、近年「暑さ指数」として用いられている。WBGT の導入は前述の気温のみによる注意喚起ではカバーしきれない熱中症の発生を防ぐために有効である。WBGT（の運用は予測値として各気象観測地域レベルで算出し熱中症の注意喚起に用いられているが、WBGT 算出の要素である輻射熱および気流の影響は個々を取り巻く周囲の狭い環境によって大きく異なることが予想され、県や地域レベルの広域的な空間よりさらに狭域的なスケールである街区スケールにおいて対応することが必要であると考えられる。

以上のように本研究では、山梨県内の熱中症発生の予防、軽減のための対策に取り組む上で重要な知見を得ることを目的とし、これまでに行われてきた広域的な視点に加えて狭域的な視点でのアプローチで研究対象を取り上げた以下の 5 つのサブテーマを設け実施した。

サブテーマ

1. 山梨県内の熱中症発生傾向の地域的特性の把握
2. 山梨県内の熱中症発生状況の時系列的変化の把握
3. 夏季甲府盆地地域に形成される夜間温熱環境の地域的特徴の解明
4. 甲府盆地における山岳部からの冷気の滲み出しおよび斜面冷気流の夜間温熱環境改善への有効性の検討
5. 街路空間に形成される温熱環境の実態調査

I-4 研究成果の概要

I-4-1 山梨県内の熱中症発生傾向の地域的特性の把握

山梨県における熱中症発生状況の地域的特性を明らかにすることで各地域における熱中症対策に資する情報の提供を目的とした。図3に示すように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、2004年から2012年までの熱中症による救急搬送者データを利用し、熱中症救急搬送者数（総数および人口10万人あたりの熱中症搬送者数を図4に示す）と人口10万人あたりの行動別、年齢別熱中症搬送者数について各地域における発生傾向の検討を χ 二乗検定および残差分析を用いた。



図3. 山梨県内の6地域の解析区分

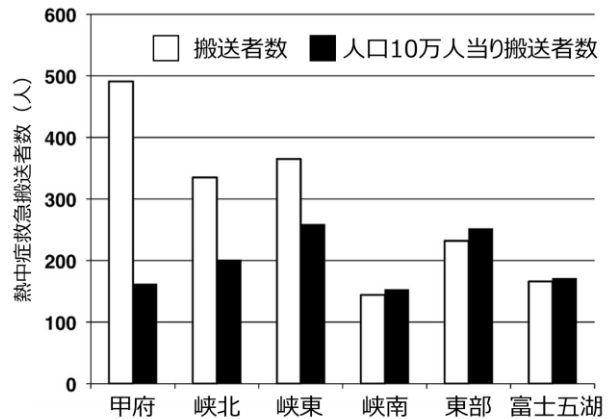


図4. 各地域における熱中症救急搬送者数および人口10万人当り搬送者数

その結果、全体では19歳以下の若い世代の運動中と65歳以上の高齢者の熱中症救急搬送者が多い傾向にあった。地域的な特性は以下の通りである。

- ・人口が最も多い甲府地域では、熱中症による救急搬送者の総数は県内の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5番目であった。また、19歳以下の若い世代における運動中の熱中症の発生が他の地域と比較し有意に多い。
- ・峡北地域は65歳以上の高齢者で熱中症の発生が他の地域と比較し有意に多い。
- ・峡東地域は人口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、他の地域と比較し65歳以上の高齢者で熱中症の発生が有意に多く、屋内や日常生活行動中に熱中症を発症することが有意に多い。
- ・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他の地域と比較し有意に多い。
- ・東部地域では人口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。
- ・富士五湖地域では他の地域と比較し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、山梨県内での熱中症の発生状況に地域特有の傾向があることが明らかとなった。特に農業従事者が多い峡東地域とスポーツなどのアクティビティが盛んな富士五湖地域において特徴的な傾向が見られた。このことから気象条件の違いによる影響に加えて、主要産業などの地域ごとの特徴を考慮した熱中症対策が重要であると考えられる。また、地域ごとの日最高気温と日ごとの最大WBGTから得た熱ストレス指数と熱中症発生率について非線形回帰分析を用いて解析を行った。その結果、熱中症の発生率と熱ストレス指数においてすべての地域において相関が見られたが、熱中症予防のための熱ストレス指数は日最高気温閾値や

回帰極性の傾きにおいて地域によって異なっていた。したがって、熱中症発生率と熱ストレス指数との関係の地域特性を考慮して、地域ごとに熱中症対策、例えば注意喚起に用いる気温などの温熱環境における基準を決定する必要があると考えられる。

I-4-2 山梨県内の熱中症発生状況の時系列的変化の把握

急増する熱中症発生に対応するためには、以前と比較し増加している熱中症の発生状況が何であるかを明らかとし、刻々と変化する社会情勢や生活環境に対応した対策に取り組むことが重要である。そのためには、熱中症の発生状況の変化を捉えることが必要であることから本サブテーマでは、山梨県内での熱中症による救急搬送状況の時系列的な変化の解析を行い近年の熱中症の発生状況の実態を把握することを目的とした。

1995年から2014年における山梨県内での熱中症救急搬送者数の推移を図5に示す。それまで50人前後であった熱中症救急搬送者数は猛暑であった2004年を境に増加している。さらに猛暑の2010年を境に急激に増加し、それ以降も多くの熱中症救急搬送者が発生している。このように夏季に酷暑環境が形成される年に熱中症救急搬送者数が増加し、その後も同水準で推移する傾向は全国の他地域においても同様に見られるがその原因は様々な要因の関与が考えられ統一的な見解は得られていない。温暖化や高齢化などの環境や社会の変化とともに変わりゆく熱中症の発生要因に適切に対応した予防対策を行うために近年の熱中症救急搬送者の増加がどのような要因によるものかを明らかとする必要がある。

そこで、本研究では急増した2010年以降の5年間とそれ以前の2005年から2009年の5年間の熱中症救急搬送者の情報を比較することで近年の山梨県での熱中症発生増加の要因について検討した。その結果、2005～2009年での年平均の熱中症搬送者数 123 ± 31 人/年（平均値±標準偏差）、人口10万人あたり熱中症搬送者数 14.0 ± 3.5 人/年/10万人に対し2010～2014年では 340 ± 38 人/年、 39.9 ± 4.4 人/年/10万人と有意に増加していることを確認した。熱中症救急搬送者が発生した日の日最高気温において、2005～2009年 ($33.86 \pm 3.04^\circ\text{C}$) に対し2010～2014年 ($34.81 \pm 3.05^\circ\text{C}$)

で有意に高いことが認められ、これまでの報告と同様に日最高気温は熱中症発生に影響していることが示唆された。2005～2009年に対し2010～2014年にて有意に多くの熱中症救急搬送者数を示しているのは、性別において「女性」、年齢では「65～74歳」と「75歳以上」、発生時間帯では「18時～24時」と「0時～6時」、発生場所では「屋内」、行動では「日常生活」であることが明らかとなった。また、ロジスティック回帰分析から2005～2009年に対し2010～2014年の熱中症搬送者の増加に独立して影響を及ぼしている要因として性別（女性）、年齢（加齢）、日最高気温および発生時間帯（6時～12時に対する18時～24時）が抽出され、これらに当てはまる場合に熱中症への注意喚起を集中的に行うことで効果的な予防となすことが考えられる。

これまで屋外での作業や運動時を中心とした熱中症への注意喚起がなされてきたが、今後は屋内や日常生活といった普段の生活においても十分な熱中症予防の配慮が必要な状況へと変わってきていることが示唆された。さらに、夜間の熱中症の増加傾向は近年の熱帯夜日数の増加との関連も考えられ、これまでと異なる熱中症への予防意識を持つことが近年の熱中症発生を予防する上で重要であると考えられる。

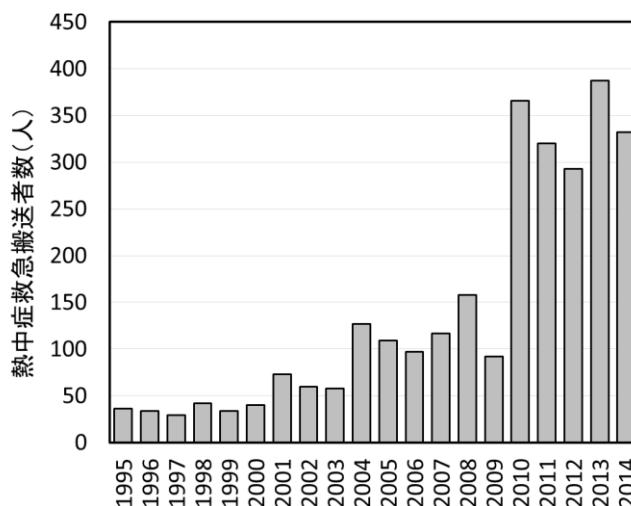


図5. 1995～2014年の山梨県における熱中症救急搬送者数の推移

I-4-3 夏季甲府盆地地域に形成される夜間温熱環境の地域的特徴の解明

I-4-3-1 夜間甲府盆地地域に形成される温熱環境の実態把握

熱中症の発症要因のひとつとして気温が挙げられる。熱中症の発症は昼間が多く、日中に形成される高温環境との関連が多く報告されている（中井ら 2004）。加えて、夜間の高温環境も中途覚醒による睡眠不足や睡眠の質の低下を招き、身体の疲労回復が妨げられ熱中症の発症に影響を及ぼすことが考えられる。近年、甲府において夜間の気温が上昇し、最低気温が 25℃以下に下がらない熱帯夜日数が増加する傾向が見られる（図 6）。このような問題は都市部において顕著であり、都市温暖化により生じるヒートアイランド現象が日中の気温の上昇よりも夜間の気温低下の抑制に強く働くことに起因する。そこで、2008～2011 年の毎夏およそ 40 校の小学校の百葉箱への温湿度データロガーの設置により得られた多点同時測定データを用いて、甲府盆地における夏季夜間の暑熱環境の実態を明らかにした。その結果、甲府地方気象台で記録された熱帯夜日数と本調査の測定地点で観測された平均熱帯夜日数に違いは見られなかったが、個別の熱帯夜日数では 2 倍以上となる観測地点が確認され、気象台発表より多くの熱帯夜日数となっているエリアがある可能性が示唆された。

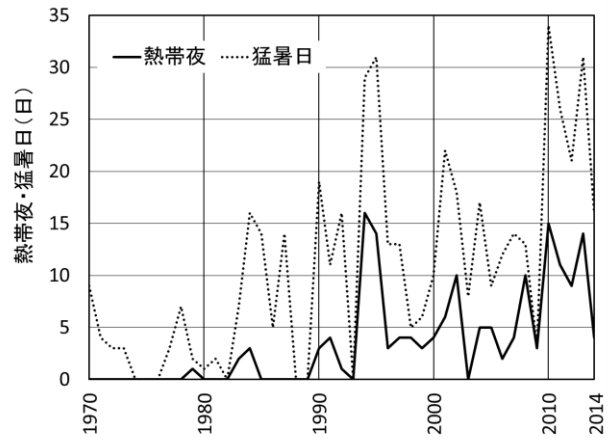


図 6. 1970 年～2014 年における甲府地方気象台での熱帯夜・猛暑日の推移

次に、夜間に降水現象が観測されなかった日の各時刻における平均気温分布図から甲府盆地中心部における朝方までの島状の高温域が見られ夜間甲府盆地でのヒートアイランド現象が確認された（図 7）。熱中症の発生への気温以外の要因の影響として気流があげられる。気流は体外に熱を放出する発汗の蒸発を促すため風速が高いと体内への熱の蓄積は抑制される。そこで、8 月の山梨県内の熱中症救急搬送者データと甲府地方気象台における気象要素（気温、湿度、風速）を用い熱中症発生への気象要素の関連を検討した。熱中症の発生は気温以外に湿度が影響することから気温と湿度から算出される不快指数を用い、人体の熱収支に影響を及ぼす風速との関連を検討した（図 8）。暑さ指数として用いられる WBGT は気温、湿度、風速に加え放射

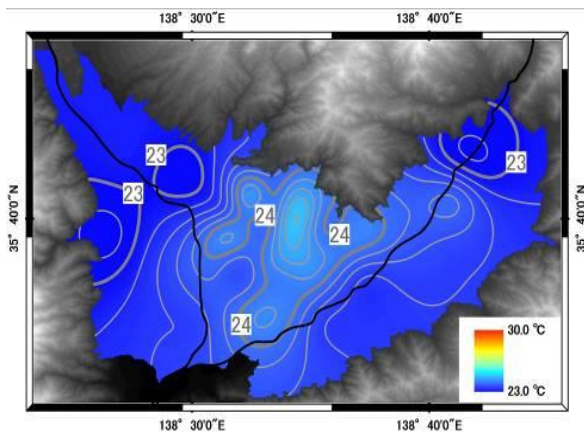


図 7. 甲府盆地地域の夜間の平均気温分布図（5：00）

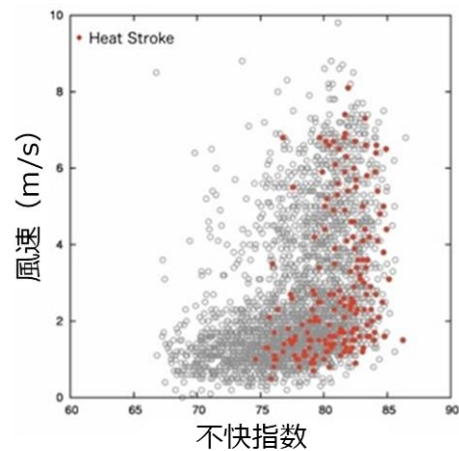


図 8. 8 月の不快指数と風速との関係
（赤丸は熱中症による救急搬送者が発生した時刻の不快指数と風速）

熱の影響を加味した指標であり、広域情報である気象庁データによる概算値の算出が難しいことから今回は不快指数を用いた。図8に示すように不快指数75以上において赤丸で示す熱中症の発生が見られる。不快指数75~80では風速3m/s以上では熱中症搬送者の発生は見られないが、不快指数80を超えると、風速が3m/s以上であっても熱中症による搬送者が発生する傾向にあることが明らかとなった。

I-4-3-2 甲府盆地地域に形成される温熱環境の地域的特徴の解明

風は都市内の熱を拡散するとともに、海上や山間部から冷気を運ぶ機能も有しており、ヒートアイランド現象の緩和に重要な要因である。地上付近の風の状況は主に気圧配置などによる気圧勾配によってもたらされるが、海や山、河川などの地形によって地域特有の特徴をあらわすことが多く温熱環境の形成に影響を及ぼしている。その他にも日中の太陽エネルギーの蓄熱に土地被覆状況が影響しており、特に人工被覆面は蓄熱量が多く熱帯夜の形成への働きが大きいことが考えられる。これらのことから、甲府盆地の温熱環境の地域的な特徴を風況と土地被覆状態から検討することを目的とした。

甲府盆地では、夏季晴天日には河川に沿った明確な風系が形成されていることが報告されている。甲府盆地内には主要な河川として釜無川、笛吹川、荒川の3つの河川が流れ、荒川は笛吹川へ合流し、さらに釜無川と笛吹川が盆地の南端で合流し富士川となり太平洋へと注いでいる。そこで本研究では、3つの河川を基に小学校百葉箱に設けた気温測定点を4つのグループに分け、衛星リモートセンシングデータから求めた土地被覆状態と夜間の暑熱環境の特徴の関係を検討した(図9)。

その結果、記録された熱帯夜日数は土地被覆状態と気温変化から考察するにGROUP1は植生が多く人工被覆面が比較的少ないことが日中の気温の上昇を抑え熱帯夜日数が少なくなっていると考えられる。GROUP4も同様な土地被覆状態であるが、日中の気温上昇は高くGROUP2と同程度となる。しかし、夜間の温度下降が大きいことで熱帯夜日数が少なくなっていると思われる。植生が比較的少なく人工被覆面が多い

GROUP2及びGROUP3では、朝方まで高温域が確認され、熱帯夜が多く記録される傾向が見られた。GROUP2は夜間の温度下降が小さく熱帯夜日数が多くなったと考えられる。GROUP3は夜間の温度下降がGROUP2より大きい人工被覆面の割合が多いことで日中の気温上昇が大きいことで最も多い熱帯夜日数となったと考えられる。甲府盆地の夜間の温熱環境に地域的な特徴が見られ、その形成に土地被覆状態が関係している可能性が示唆された。また、甲府地方気象台で記録された熱帯夜日数と本調査の測定地点で観測された平均熱帯夜日数に違いは見られなかったが、個別の熱帯夜日数では甲府地方気象台での記録の2倍以上となる観測地点が確認され、気象台発表より多くの熱帯夜日数となっているエリアがある可能性が示唆された。

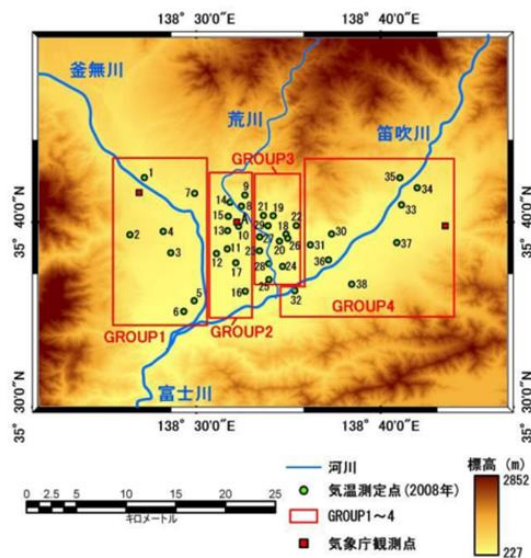


図9. 甲府盆地内の河川と対象地域

I-4-4 甲府盆地における山岳部からの冷気のしみ出し

および斜面冷気流の夜間温熱環境改善への有効性の検討

I-4-4-1 甲府盆地北側斜面の斜面冷気流ポテンシャルによる評価

都市部におけるヒートアイランド現象の対策の一つとして、海や山からの海陸風や山谷風などの局地循環風を十分に考慮した土地利用や市街地形態により「風の道」を設け、新鮮な空気や冷気を誘導する取り組み

がある。盆地都市においては、日没から夜間にかけて見られる周囲の山間部斜面からの冷たい空気の流れである斜面冷気流や冷気の滲み出しの誘導による夜間の都市暑熱環境の緩和が報告されている（森ほか 1983、成田 2006）。斜面冷気流による夜間都市の温熱環境の改善のためには、隣接する斜面から流出する冷気の流路や冷気流の発生しやすさを把握する必要がある。そこで甲府盆地北側斜面を対象地とし、斜面における大気の冷却量や冷気の流れやすさの指標として斜面冷気流ポテンシャルを提案し、GIS（Geographic Information System; 地理情報システム）を用いて各斜面の斜面冷気流ポテンシャルを評価する手法の開発を行った。

斜面冷気流ポテンシャルを次式のように定義した。

斜面冷気流ポテンシャル

$$\begin{aligned}
 &= a1 \times \text{斜面面積} + a2 \times \text{斜面平均 LAI (Leaf Area Index; 葉面積指数)} \\
 &\quad + a3 \times \text{斜面平均傾斜角} + a4 \times \text{流路平均傾斜角} \\
 &\quad + a5 \times \text{流路長} + a6 \times \text{流路上の人工被覆率} \\
 &\quad + a7 \times \text{斜面平均開度} + a8 \times \text{斜面蓄熱}
 \end{aligned}$$

評価は、斜面冷気流が地表面を流れる雨水と動きが同様と仮定し、流域解析により集水域を構成する斜面及び流路を抽出し、その各斜面に対して冷気流ポテンシャルを用いた評価を行った。解析対象地における各変数の係数 a1～a8 を求め作成した斜面冷気流ポテンシャルマップと冷気集積域を図 10 に示す。評価手法の簡便化のため、標高が 340m 以下のエリアを盆地の底面とし、標高 340m 以上の斜面を評価対象とした。

結果から、甲府盆地北側斜面域の下側中央部に位置する市街地と接する斜面（紫枠）における斜面冷気流ポテンシャルが高いことが明らかとなった。その他のエリアでは斜面冷気流ポテンシャルが低い傾向が見られるが、各斜面で生成された冷気が冷気集積域と市街地が接する谷口へ流れるため斜面冷気流ポテンシャルが高い斜面が多い冷気集積域に接するエリアにおいて斜面冷気流の導入を考慮した都市形態の改善を行うことがより有効であることが示唆された。この斜面冷気流ポテンシャルは解析対象地における相対的な指標であるが、斜面冷気流の導入を考慮した都市形態の改善計画を作成する際に有効な情報となることが期待できる。

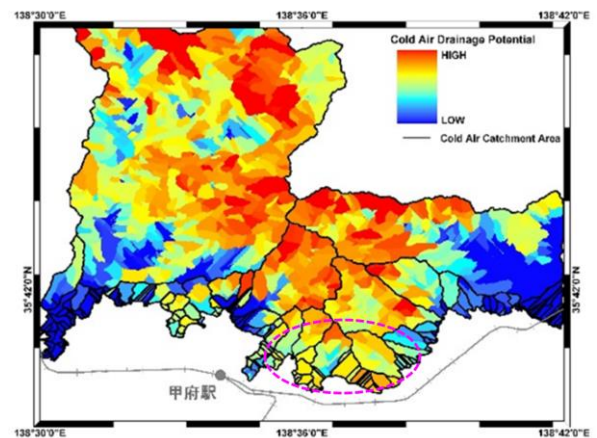


図 10. 甲府盆地北側斜面における斜面冷気流ポテンシャルマップ

I-4-4-2 甲府駅北側における夕刻から夜間にかけての温熱環境の実態調査

盆地都市において山間部からの冷気の流れである斜面冷気流および冷気の滲み出しは夜間の都市暑熱環境の緩和に有効である。我々は、I-4-4「甲府盆地における山岳部からの冷気の滲み出しおよび斜面冷気流の夜間温熱環境改善への有効性の検討」で示したように冷却量や冷気の流れやすさである斜面冷気流ポテンシャルを定義し行った評価から甲府盆地北側に位置する山間部斜面の斜面冷気流ポテンシャルが大きいことを明らかとした。そこで我々は、甲府盆地北側山間部に隣接する甲府駅北側のエリアにおいて山間部斜面からの斜面冷気流および冷気の滲み出しの実態を把握するために自動車を用いた移動観測によって夕刻から夜間にかけて斜面に接する都市部での温熱環境の測定を行った（図 11）。日の入り時刻を含む 16:30～21:15 に

得られた移動観測データを2点の定点観測地点のデータにて時刻補正し気温分布図を作成した。続いて各時間帯の気温分布図の差分処理を行うことにより得られた気温変化の分布図から、16:30~18:30の日の入り時刻の前2時間での顕著な気温下降が見られるエリアが確認された。このエリアは山間部東側に発生していることから斜陽により形成される日影が強く影響していることが考えられる。

次に観測の開始時間帯16:55の周回から20:55の周回までの気温変化の分布図を作成した(図12)。その結果、気温下降率が1.25°C/h以上の気温が低下しやすいエリア(白点線)が確認された。温度下降率が高いエリアは山間部斜面に隣接する傾向が見られた。土地利用状況図から住宅街が見られ都市として利用を行っているエリアへの分布が確認でき、冷却された大気の滲み出しや斜面冷気流による夏季夜間の都市温熱環境の改善への活用が期待できる。



図11. 移動観測コースと定点観測点

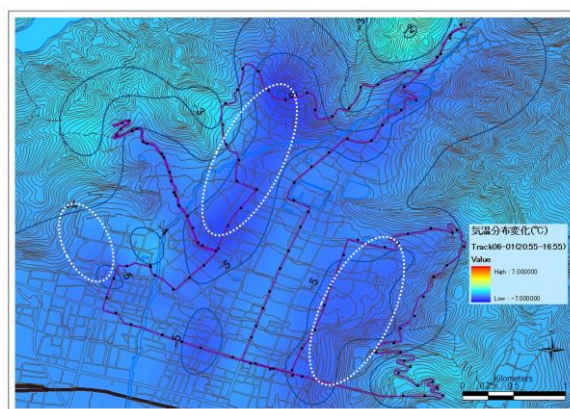


図12. 16:55から20:55までの気温変化分布図(右)

I-4-5 街路空間に形成される温熱環境の実態調査

近年、都市部において気温が上昇するヒートアイランド現象が問題となっている。山梨県においても甲府盆地地域の中心部においてヒートアイランド現象が確認されている。都市部に集中する人が生活する空間である街路空間における熱中症リスクについては、数値気象モデルによるシミュレーションやWBGTの実測(大橋2010、大橋ら2011)により報告されており、実在の街路空間では街路の方向や周囲の建物、緑地、日射、風などの条件により熱中症リスクに違いが生じることが示されている。そこで本研究では、甲府駅南側のエリアで人が移動する状況に合わせ観測機器を設置、移動させWBGT、気温、周囲からの熱輻射による影響を観測するために用いられるグローブ温度、風速の測定、サーモカメラでの熱画像撮影を行い街路空間に形成される温熱環境の評価を行った。

その結果、暑さ指数として用いられるWBGT値と正の相関が見られたのは気温と周囲からの輻射熱の影響を示すグローブ温度であった(図13)。また、移動経路上でのWBGT、気温、グローブ温度の推移では、気温が高いエリアにおいて高いWBGTが確認される一方、気温は低いグローブ温度が高いエリアにおいても高いWBGTが観測された(図14)。このことから、熱中症への注意喚起の指標として気温が重要視されているが、個々の人間がさらされる温熱環境において人体の熱の出入りを考える事が重要であり、日射や蓄熱された舗装路、ビルなどからの輻射熱を把握し対応することが熱中症予防に効果的であると考えられる。また、サーモカメラ画像では人々がさらされる街路空間での温熱環境は、狭域的な視点で見ると気温が同じエリアでも受ける輻射熱に違いが生じている場面が散見され、広域的な注意喚起ではカバーしきれ

ないことが考えられる。以上のように、熱中症の予防には天気予報の熱中症予報などの大きな空間スケールでの注意喚起に加え、小さい空間スケールで刻々と変化する周囲の温熱環境に注意を払う必要性が示された。

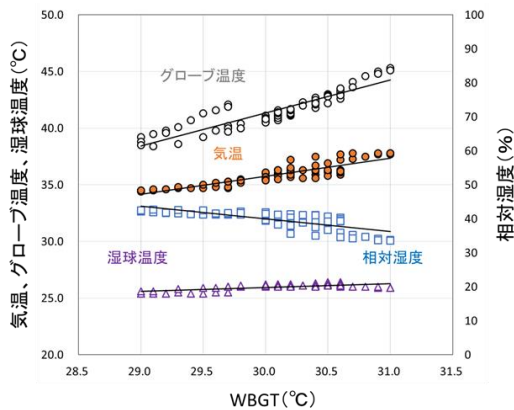


図 13. WBGT と気温、グローブ温度、湿球温度、相対湿度の分布

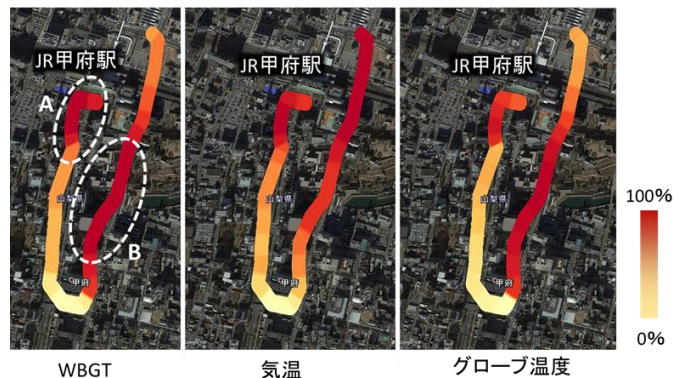


図 14. 観測経路上での WBGT、気温、グローブ温度の相対的な変化

I-4-6 まとめ

1. 山梨県内を 6 地域に区分し地域毎に検討した結果、救急搬送者数が最も多いのは甲府地域であるが人口 10 万人当りの搬送者数では峡東地域が最も多く、富士五湖地方においては 19 歳以下の若い世代での発生が顕著であるなど地域により発生が異なることが明らかとなった。
2. 山梨県内で 2005 年から 2014 年までに発生した熱中症による救急搬送者データの解析を行い、県内での熱中症発生状況を明らかとした。その結果、2010 年以降において熱中症搬送者数が倍増しており、その状況として 65 歳以上の高齢者、屋内での発生、夜間の発生の増加が見られ熱中症の発生状況が変化してきていることが明らかとなった。
3. 甲府盆地に位置する小学校約 40 校の百葉箱内に温湿度センサ付データロガーを設置し多点同時測定により広域的な温熱環境の把握を行った。甲府盆地中心部において朝方までの島状の高温域の存在が確認され、夜間甲府盆地におけるヒートアイランド現象の発生が考えられる。甲府地方気象台で記録された熱帯夜日数と本調査の測定地点で観測された平均熱帯夜日数に違いは見られなかったが、個別の熱帯夜日数では甲府地方気象台での記録の 2 倍以上となる観測地点が確認され、気象台発表より多くの熱帯夜日数となっているエリアがある可能性が示唆された。
4. 甲府盆地内を流れる河川を基に区分した 4 つのグループの小学校百葉箱での気温測定点において夜間の温熱環境に地域的な差異が見られ、その形成要因として土地被覆状態が関係している可能性が示唆された。
5. ヒートアイランド現象の対策として海陸風が期待できない盆地での斜面冷気流の利用の可能性を検討するために甲府盆地北部での斜面冷気流ポテンシャルの提案、評価手法の開発を行い評価した。その結果、甲府盆地北側斜面域の下側中央部に位置する市街地と接する斜面における斜面冷気流ポテンシャルが高いことが明らかとなった。また、移動観測により観測した夕刻から夜間にかけての気温分布から甲府駅北側において気温低下率が高い山間部に隣接するエリアが確認され、冷気のしみだしあるいは斜面冷気流の市街地への影響である可能性が示唆された。
6. 人が生活する中で実際に熱ストレスを受ける環境である街路空間において、暑さ指数として用いられている人体の熱収支を反映する WBGT とその他の温熱環境要因の関連を検討した。その結果、WBGT が高い場所において気温よりも輻射熱の影響が強い状況が確認され気温だけではなく周囲の輻射熱の状況を十分に考慮した対応を行うことが重要であることが示された。

I-4-7 引用文献

1. 入來正躬, 橋本眞明 (2006) 熱中症の地域差—山梨県と北海道の比較から—. 日生気誌 43 (1) : 23-33.
2. 大橋唯太 (2010) 都市域における熱中症指標 WBGT の変動特性. 環境情報科学論文集 24 : 417-422.
3. 大橋唯太, 亀掛川幸浩, 井原智彦 (2011) 数値気象モデルを利用した屋外熱中症リスクの評価手法に関する研究. 環境情報科学論文集 25 : 335-340.
4. 中井誠一 (1993) 熱中症死亡数と気象条件 —日本における 21 年間の観察—. 日本生気象学会雑誌 30 (1) : 169-177.
5. 中井誠一 (2004) 熱中症の発生実態と環境温度. 日本生気象学会雑誌 41 (1) : 51-54.
6. 成田健一 (2006) 風の道と都市気候形成. 日本風工学学会誌 30 (2) : 109-114.
7. 日本学術会議社会環境工学研究連絡委員会ヒートアイランド現象専門委員会 (2003) ヒートアイランド現象の解明に当たって建築・都市環境からの提言. 社会環境工学研究連絡委員会ヒートアイランド現象専門委員会報告 52.
8. 星秋夫, 稲葉裕, 村山貢司 (2007) 東京都と千葉市における熱中症発生の特徴. 日本生気象学会雑誌 44 (1) : 3-11.
9. 星秋夫, 中井誠一, 金田英子, 山本享, 稲葉裕 (2010) わが国における熱中症死亡の地域差. 日本生気象学会雑誌 47 (4) : 175-184.
10. 森洋介, 近藤純正, 庄司邦彦, 佐藤威, 安田延寿, 萩野谷成徳, 三浦章, 山沢弘実, 川中敦子, 高平進, 阿部愛美 (1983) 山地の夜間冷却と熱収支. 天気 30 : 259-267.

I-5 研究成果の発表

I-5-1 誌上发表

1. 赤塚慎, 杉田幹夫, 宇野忠 (2011a) GIS データを用いた斜面冷気流ポテンシャルの評価に関する研究. 第 20 回生研フォーラム「広域の環境・災害リスク情報の収集と利用」論文集 20 : 91-94.
2. 赤塚慎, 杉田幹夫, 宇野忠 (2011b) GIS を用いた斜面冷気流ポテンシャル評価手法の開発. 第 22 回応用測量技術研究発表会, 応用測量論文集 22 : 74-82.
3. 赤塚慎, 宇野忠 (2011) 甲府盆地の夏季温湿度データベースの構築. 第 20 回生研フォーラム「広域の環境・災害リスク情報の収集と利用」論文集 20 : 109-112.
4. 赤塚慎, 宇野忠, 十二村佳樹, 杉田幹夫 (2011) 甲府盆地における夏季夜間のヒートアイランド現象. 日本ヒートアイランド学会論文集誌 6 : 16-22.
5. 赤塚慎, 杉田幹夫 (2012) GIS ベースの推定に基づく時刻別全天日射量の開発. 日本写真測量学会 写真測量とリモートセンシング 51 (5) : 302-309.
6. 赤塚慎, 宇野忠, 堀内雅弘 (2014) 山梨県における熱中症発生の地域特性. 日本生気象学会雑誌 51 (1) : 23-36.
7. Shin Akatsuka, Tadashi Uno, and Masahiro Horiuchi (2016) The Relationship between the Heat Disorder Incidence Rate and Heat Stress Indices at Yamanashi Prefecture in Japan. *Advances in Meteorology*. Article ID9492815 2016 (6) : 1-11.
8. 宇野忠, 赤塚慎 (2018) 山梨県における 2010 年以降の熱中症発生の特徴. 富士山研究 12 : 11-16.

I-5-2 口頭発表

1. 赤塚慎, 杉田幹夫 (2012) GIS を用いた時刻別全天日射量分布図の作成. 生研フォーラム「広域の環境・災害リスク情報の収集と利用フォーラム」(東京).

I-6 謝辞

本研究の遂行に当たり環境共生部の遠藤淳子さん、山梨県環境科学研究所・環境健康研究部の小泉(外川)雅子さん、には温熱環境の観測およびデータ整理においてお手伝いいただいた。熱中症救急搬送者情報について山梨県消防防災課(現防災局)より提供していただいた。また、百葉箱への観測機器の設置に県内の小学校にご協力いただいた。記して感謝いたします。

本 編

II 研究成果報告

II-1 山梨県内の熱中症発生傾向の地域的特性の把握

本サブテーマでは、山梨県における熱中症発生状況の地域的特性を明らかにすることで各地域における熱中症対策に資する情報の提供を目的とし、2004年から2012年までの熱中症による救急搬送者データを県内6地域に区分し地域毎に検討した。

その結果、救急搬送者数が最も多いのは甲府地域であるが人口10万人当りの搬送者数では峡東地域が最も多く、富士五湖地方においては19歳以下の若い世代での発生が顕著であるなどが明らかとなった。

なお、本サブテーマの詳細については、「赤塚慎，宇野忠，堀内雅弘（2014）山梨県における熱中症発生の地域特性. 日本生気象学会雑誌 51（1）：23-36.」、および「Shin Akatsuka, Tadashi Uno, and Masahiro Horiuchi（2016）The Relationship between the Heat Disorder Incidence Rate and Heat Stress Indices at Yamanashi Prefecture in Japan. *Advances in Meteorology*. Article ID9492815 2016（6）：1-11.」で原著論文として発表したのて詳細はそちらを参照されたい。

II-2 山梨県内の熱中症発生状況の解析

本サブテーマでは、刻々と変化する社会情勢や生活環境に対応した熱中症対策に取り組むために急増している熱中症の発生要因が何であるかを明らかとすることを目的とした。そのために、2005年から2014年までに発生した山梨県内での熱中症による救急搬送者データの時系列的な変化の解析を行い、近年での熱中症発生傾向を検討した。

その結果、2010年以降において熱中症搬送者数が倍増しており、その状況として65歳以上の高齢者、屋内での発生、夜間の発生の増加が見られ熱中症の発生状況が変化してきていることが明らかとなった。

なお本サブテーマの詳細については、「宇野忠，赤塚慎（2018）山梨県における2010年以降の熱中症発生の特徴. 富士山研究 12：11-16.」で報告として発表したのて詳細はそちらを参照されたい。

II-3 夏季甲府盆地地域に形成される温熱環境の地域的特徴の解明

本サブテーマでは、熱中症の発症要因のひとつとである気温の分布を明らかとし、県内各地域における熱中症対策につながるデータの提出を目的とした。温熱環境の形成には、都市部における温暖化であるヒートアイランド現象が影響を及ぼしていることが考えられる。そこで、甲府盆地に位置する小学校約40校の百葉箱内に温湿度センサ付データロガーを設置し多点同時測定により広域的な夏季夜間の温熱環境の実態把握を行った。

調査の結果、甲府盆地中心部において朝方まで高温となる領域が円の形に島状に確認されたことから、夜間甲府盆地におけるヒートアイランド現象の発生が考えられる。甲府地方気象台で記録された熱帯夜日数と本調査の測定地点で観測された平均熱帯夜日数に違いは見られなかったが、個別の熱帯夜日数では甲府地方気象台での記録の2倍以上となる観測地点が確認され、気象台発表より多くの熱帯夜日数となっているエリアがある可能性が示唆された。また、甲府盆地内を流れる河川を基に区分した4つのグループの小学校百葉箱での気温測定点において夜間の温熱環境に地域的な差異が見られ、その形成要因として土地被覆状態が関係している可能性が示唆された。

なお本サブテーマの詳細については、「赤塚慎，宇野忠，十二村佳樹，杉田幹夫（2011）甲府盆地における夏季夜間のヒートアイランド現象. 日本ヒートアイランド学会論文集誌 6：16-22.」で原著論文として発

表したので詳細はそちらを参照されたい。

Ⅱ-4 甲府盆地における山岳部からの冷気の滲み出しおよび斜面冷気流の夜間温熱環境改善への有効性の検討

Ⅱ-4-1 甲府盆地北側斜面の斜面冷気流ポテンシャルによる評価

本サブテーマでは、ヒートアイランド現象の対策として海陸風が期待できない盆地での斜面冷気流の利用の可能性の検討を目的とした。都市部におけるヒートアイランド現象の対策の一つとして、海や山からの海陸風や山谷風などの局地循環風を十分に考慮した土地利用や市街地形態により「風の道」を設け、新鮮な空気や冷気を誘導する取り組みがある。盆地都市においては、日没から夜間にかけて見られる周囲の山間部斜面からの冷たい空気の流れである斜面冷気流や冷気の滲み出しの誘導による夜間の都市暑熱環境の緩和が報告されている。斜面冷気流による夜間都市の温熱環境の改善のためには、隣接する斜面から流出する冷気の流路や冷気流の発生しやすさを把握する必要がある。そこで甲府盆地北側斜面を対象地とし、斜面における大気の冷却量や冷気の流れやすさの指標として斜面冷気流ポテンシャルを提案し、GISを用いて各斜面の斜面冷気流ポテンシャルを評価する手法の開発を行った。

その結果、甲府盆地北側斜面域の下側中央部に位置する市街地と接する斜面における斜面冷気流ポテンシャルが高いことが明らかとなった。

なお本サブテーマの詳細については、「赤塚慎，杉田幹夫，宇野忠（2011b）GISを用いた斜面冷気流ポテンシャル評価手法の開発．第22回応用測量技術研究発表会，応用測量論文集22：74-82.」で原著論文として発表したもので詳細はそちらを参照されたい。

Ⅱ-4-2 甲府駅北側における夕刻から夜間にかけての温熱環境の実態調査

Ⅱ-4-2-1 はじめに

都市部におけるヒートアイランド現象の対策の一つとして、海や山からの海陸風や山谷風などの局地循環風を十分に考慮した土地利用や市街地形態により「風の道」を設け、新鮮な空気や冷気を誘導する取り組みがある。盆地都市においては、日没から夜間にかけて見られる周囲の山間部斜面からの冷たい空気の流れである斜面冷気流や冷却された大気の滲み出しの誘導による夜間の都市暑熱環境の緩和が報告されている。盆地都市において山間部からの冷気の流れである斜面冷気流および冷気の滲み出しは夜間の都市暑熱環境の緩和に有効な現象である。

我々は、Ⅱ-4-1 甲府盆地北側斜面の斜面冷気流ポテンシャルによる評価において冷却量や冷気の流れやすさである斜面冷気流ポテンシャルを定義し評価することにより甲府盆地北側に位置する山間部斜面の斜面冷気流ポテンシャルが大きいことを明らかとした。本サブテーマでは、この斜面冷気流ポテンシャルが高いことが推測される甲府盆地北側に位置する甲府駅北側の山間部斜面に接するエリアを対象とし夕刻から夜間にかけての温熱環境の変化を測定することにより斜面冷気流および冷気の滲み出しの実態把握を目的とした。さらに、エリア内における夜間温度下降傾向の違いを地形や土地利用状況の違いから検討し、甲府駅北側エリアにおける夜間温熱環境の緩和に斜面冷気流および冷気の滲み出しの有効性の検討を行った。

Ⅱ-4-2-2 方法

観測対象エリアを甲府駅北側に位置する県道6号：山の手通り北側のエリアとし自動車による移動観測により気温分布の経時的変化を観測した。観測対象エリアと自動車による移動観測コースおよび自動車による測定気温の時刻補正に用いる定点観測点を図1に、標高分布図を図2に、全景を図3に示す。

観測日は2012年8月16日、観測時間は16:30~21:15に行った。観測日の日の入り時刻は18:37であった。当日の甲府地方気象台発表の気象情報は天候:晴れ一時曇り、平均気温:28.7℃、最高気温:35.8℃、最低気温:24.0℃、平均湿度68%、平均風速:2.6m/sec 南西、観測時間帯の甲府地方気象台での毎時の気象情報を表1に示す。



図1. 観測対象エリアにおける移動観測コースと定点観測点



図2. 観測対象エリアの標高分布図

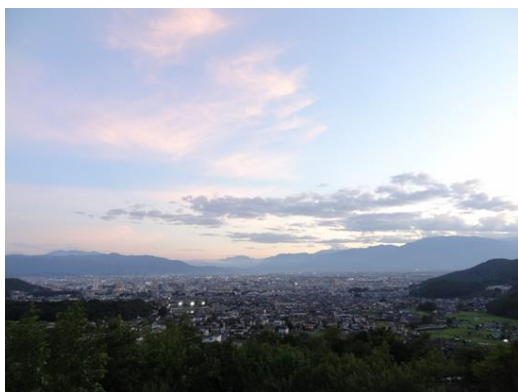


図3. 観測日における観測対象エリア全景(定点観測点Bから撮影)

表1. 甲府地方気象台による2012年8月16日の気象情報

時	気圧 (hPa)	降水量	気温	湿度	風速(m/s)・風向		天気	雲量
		(mm)	(℃)	(%)				
16	978.8	--	33.6	51	7.3	南西	薄曇り	
17	978.9	--	32.7	56	4.9	南西		
18	979.8	--	30.3	64	5.4	南西	晴れ	7
19	980.2	--	29.3	68	2.2	北北西		
20	981.4	--	28.5	72	4	西北西		
21	981.7	--	27.9	76	1.9	西北西	晴れ	7

移動観測による気温測定は、図4の画像のように自動車の前部バンパー左側、高さ約1.5mの位置に強制通風式の測定装置内に温度測定用データロガーを設置し、エンジンからの熱の影響を避け2秒毎に記録し、30秒間を平均した値を気温データとした。移動観測のコースは全長約24kmあり、一周回を45~52分で走行し、観測時間内に6周回(Track01~06)している。図1に示すように移動観測コース中に設けた2箇所の定点観測地点AおよびBのデータを用い1周回中の中間ポイントを基点とした気温データの時刻補正を行った。



図4. 移動観測に用いた自動車に設置した強制通風式温度測定装置

時刻補正に使用した式は以下になる。

補正值 (°C)

$$= \text{移動観測値 (°C)} \pm [\text{補正時刻までの時間 (分)} \times \text{定点観測地点の気温変化率 (°C/1分)}]$$

時刻補正を行った移動観測の温度データに対応する位置情報を GPS ロガーにて記録していた情報に対応させ、GIS ソフト ArcMap でスプライン補正を行い 6 周回分の気温分布図の作成を行った。本研究では夕刻から夜間にかけての温熱環境の変化の現状を把握することが目的であるため観測値をそのまま用いることを重視し、標高補正を行わず気温分布図の作成を行った。

II-4-2-3 結果及び考察

観測時間帯に周回したそれぞれの時間帯の気温分布図を図 5 に示す。図中に示した気温等高線から 16 : 55 基点の周回 Track01 では、気温 28~34°C の範囲であり中心に位置する市街地では 33°C が大部分を占めている。20 : 55 基点の Track06 では 25~29°C の気温分布となり市街地は 28~29°C に気温が下降する状況が確認された。観測時間帯で見ると画像上部と右部に位置する山間部を中心とした標高の高いエリアは気温が低く、

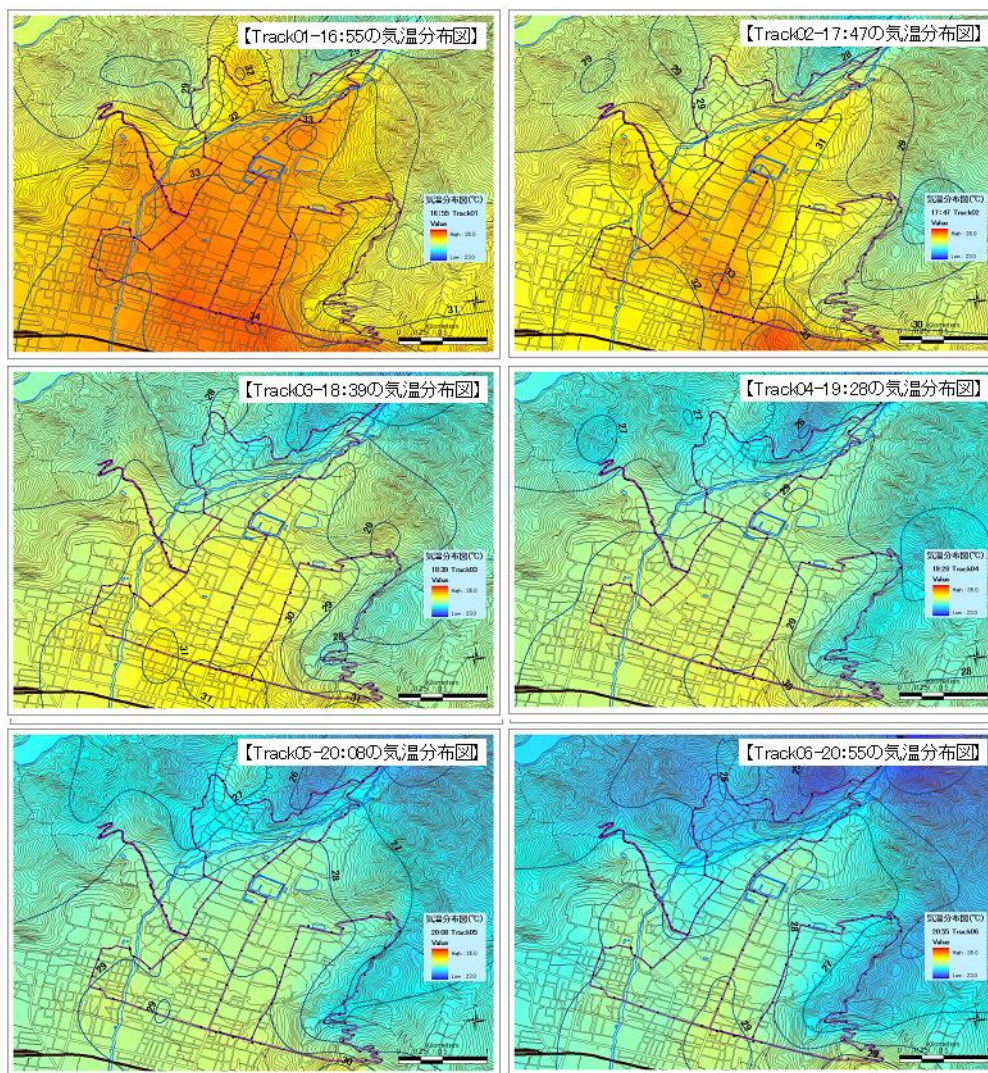


図 5. 移動観測による各周回 (Track01~06) での気温分布図

比較的標高が低い画像中心部から下部に位置する市街地エリアは気温が高い傾向にある。しかし、Track02 や Track06 の市街地エリアに気温分布傾向が異なるエリアが見られ、気温下降の傾向が異なる可能性が考えられる。そこで、気温の下降傾向を把握するために隣接する周回間において差分処理を行い作成した気温変化分布図を図6に示す。図6のa(16:55~17:47)、b(17:47~18:39)において1.5℃以上の気温の顕著な下降が確認された。山間部での気温下降が顕著な傾向にあるが、市街地エリアにおいても気温が顕著に下降しているエリアが確認された。図6aおよびbの白破線エリアに見られるように山間部の東側に位置している気温下降が顕著なエリアは斜陽により形成される日影による影響で気温低下が顕著となると思われるが、図6a、b、cの黄実線エリアで示したように山間部西側においても顕著な気温の低下が見られ山間部からの冷気の移動による可能性が考えられる。図7に観測開始16:55から終了20:55の周回の差分である気温変化分布図を示す。日没を含む夕刻から夜間にかけての4時間でおよそ-2から-5℃の気温の下降が見られた。観測開始時点で気温が低い山間部では気温下降率が低く、日中気温が高い市街地での下降率が高い傾向であった。

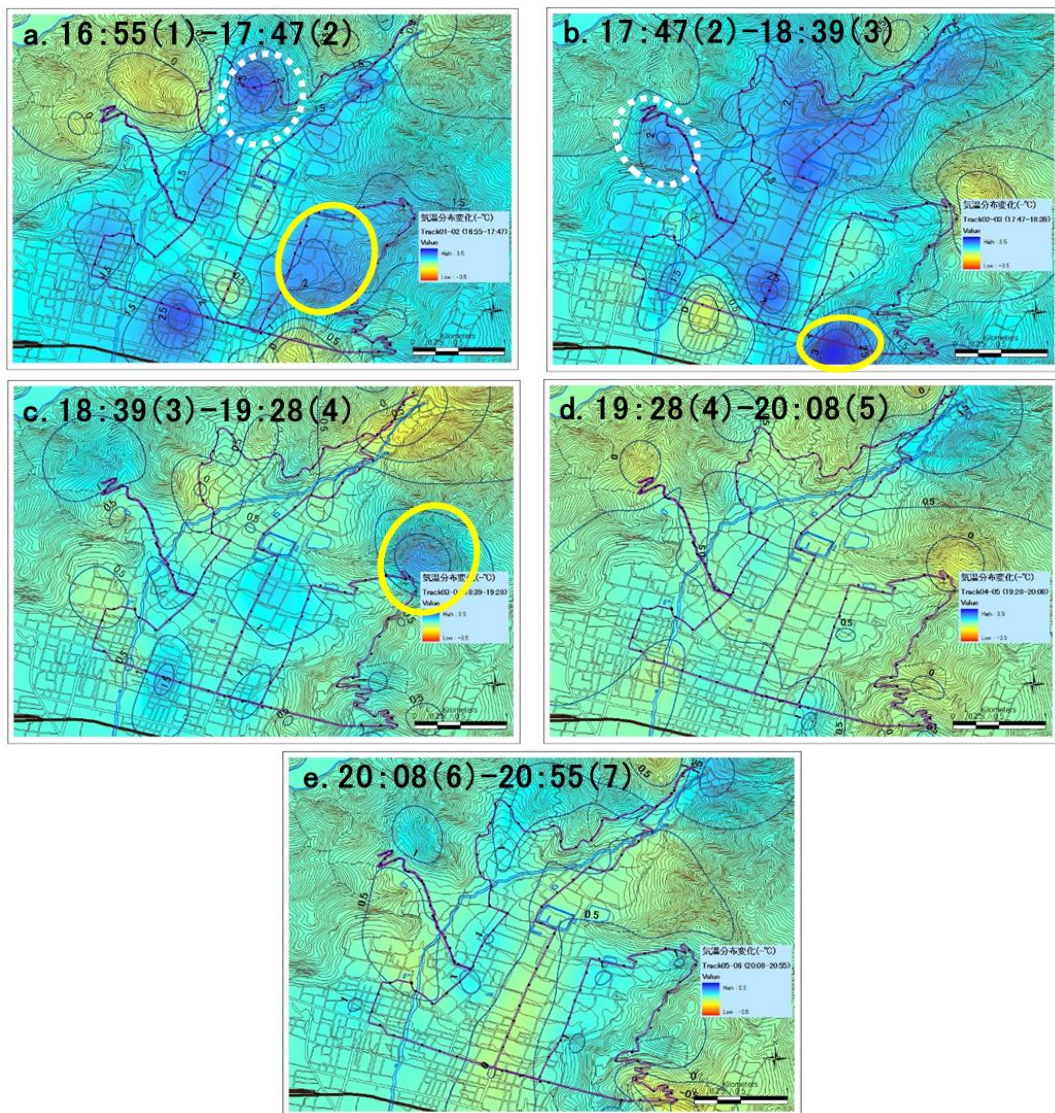


図6. 各周回間の気温変化分布図

しかし、標高が相対的に低いエリアにおいて図7白破線で示す気温下降率が1.25℃/h以上の気温が低下しやすいエリアが確認された。温度下降率が高いエリアは山間部斜面に隣接する傾向が見られ、山間部からの斜面冷気流や冷気の滲み出しである可能性が考えられる。この気温下降率が高いエリアは、土地利用状況図

(図 8) から山間部に加え住宅地を含む都市として利用を行なっている区域にも分布しており、冷却された大気の滲み出しや斜面冷気流による夏季の夜間の都市温熱環境の改善への活用が期待できる。一方、気温下降率が低い場所は交通量が多い道路を含み、土地利用状況図での確認から都市利用されている区分に一致する傾向があり、土地の利用状況や土地被覆状況と日没時間帯の気温分布変化との関連を見るには詳細な調査が必要であろう。

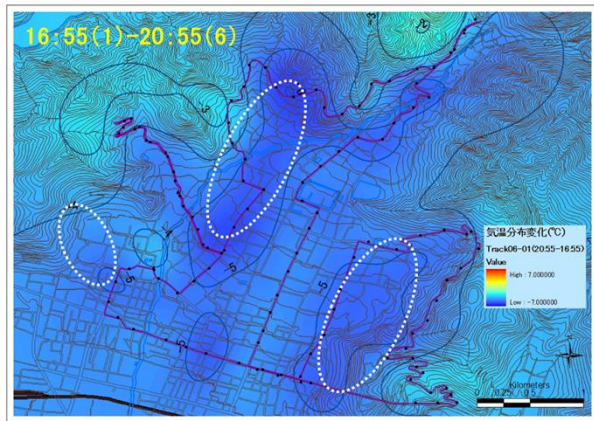


図 7. 16 : 55 から 20 : 55 の気温変化分布図

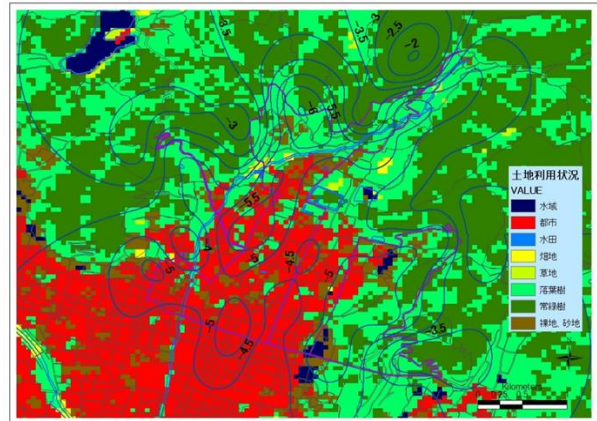


図 8. 16 : 55 から 20 : 55 の気温変化分布等高線図と土地利用状況図(国土数値情報 100m メッシュ)

ヒートアイランド対策の一つとして、海や山に接して発達している都市が多いわが国では、海陸風や山谷風などの局地循環風を十分に考慮した土地利用計画や市街地形態の誘導などを取り入れた対策が有効である。このために盆地都市において風の道を考慮した建物配置を計画する際に都市と接する斜面から流出する冷気の流路や、冷気流が発生しやすい斜面の把握が必要である。本サブテーマでは、甲府盆地北側を対象地とし斜面での大気の冷却量や冷気の流れやすさの指標として斜面冷気流ポテンシャルを提案し評価を行った。また、甲府駅北側の山間部に囲まれたエリアにおいて移動観測による夕刻から夜間にかけての気温変化の分布状況の調査を行った。これらの結果から、甲府盆地の北側に位置する甲府駅北側エリアにおいて斜面冷気流および冷気の滲み出しが市街地の夜間の気温低下に影響を及ぼしている可能性が示唆された。これらは今後の温暖化の進行とともに悪化が予想される夏季の温熱環境の改善に隣接する山間部からの斜面冷気流の導入を考慮した都市形態の改善計画を作成する際に有効な情報となることが期待できる。

II-5 街路空間に形成される温熱環境の実態調査

II-5-1 はじめに

近年、ビル群などの高層建築物や道路舗装が増えることによる土地被覆状態の変化や高密度化、空調や交通量の増加に伴う人工排熱の増大などにより、都市部の気温が上昇するヒートアイランド現象が問題となっている。ヒートアイランド現象の影響のひとつに人々が感じる熱ストレスの増大が指摘されており、熱ストレスは熱中症患者の増加を招くと考えられる（井原ほか 2008）。山梨県においても我々は、小学校百葉箱を利用した多点同時観測による広域的な温熱環境調査による甲府盆地地域中心部におけるヒートアイランド現象、熱中症による救急搬送者数の顕著な増加を確認している。

しかし、実際に人々が受ける熱ストレス環境は複雑であり、このような広域的な視点での都市温熱環境の把握に加え、街路空間などの狭域的な環境におけるアプローチが熱中症の予防を考えるうえで必要である。生活に利用する空間である街路空間においては、これまでに街区スケールでの数値気象モデルによるシミュレーション（大橋ら 2011）や WBGT の実測を用いた熱中症のリスク評価（大橋ら 2010）が報告されており、実在の街路空間では街路の方向や周囲の建物、緑地、日射、風などの条件によって熱中症リスクに違いが生じることが示されている。人々がさらされる街路空間の環境における適応策には、現状の温熱環境を把握した上で検討し取り組む必要があると考えられる。

そこで、甲府の中心部に位置する街路空間に形成される温熱環境において熱中症発症へ影響を及ぼす気象要因を検討することを目的に、甲府駅周辺の街区エリアで人が移動する状況に合わせ観測機器を設置、移動させ WBGT、気温、相対湿度、グローブ温度、湿球温度、風速の測定を行った。

II-5-2 方法

対象観測地は甲府駅周辺のエリアとし、甲府駅前を起点に南下し甲府市役所を通過し北上し県立図書館に至る約 1.8 km の経路とした（図 9 左）。観測日時は 2014 年 8 月 21 日 12:30~13:30 である。観測機器は暑熱環境計（WBGT-101：京都電子工業）を使用し WBGT、気温、グローブ温度、相対湿度、湿球温度を測定した。それに加え Kestrel 4500 Pocket Weather Tracker により風速を測定、GPS 機器による位置情報の記録を行っている。それぞれの観測機器は地面より約 1.5m に位置するように台車に固定し、歩道を移動した（図 9 中央、および右）。移動経路の路面や周囲の表面温度の測定のために赤外線サーモカメラ（サーモショット F30：NEC Avio）による熱画像撮影を行った。



図 9. 観測対象地と経路（左：国土地理院電子国土 Web ステム図をもとに作成）と観測風景（中央）、観測機器設置（右）

II-5-3 結果及び考察

観測日の甲府地方気象台発表の気象情報は天候：曇一時晴、平均気温：28.9℃、最高気温：35.0℃、最低気温：24.6℃、平均湿度：64%、平均風速：2.1m/s 西南西であった。測定時間帯の天候は晴れており、日射は常に降り注いでいる状態であった。図 10 に各測定項目の 12:30~13:30 の時間変化を示す。測定時間中の気温は平均 35.9℃、最大 37.8℃、最小 34.4℃、暑さ指数として用いられている WBGT は平均 30.1℃、最大 31.0℃、最小 29.0℃であった。WBGT は 28~31℃で「嚴重警戒」、31℃以上で「危険」と定められているが、測定時間帯は主に「嚴重警戒」、時折「危険」となる状況であった。WBGT と正の相関が見られたのは気温とグローブ温度であった (図 11)。

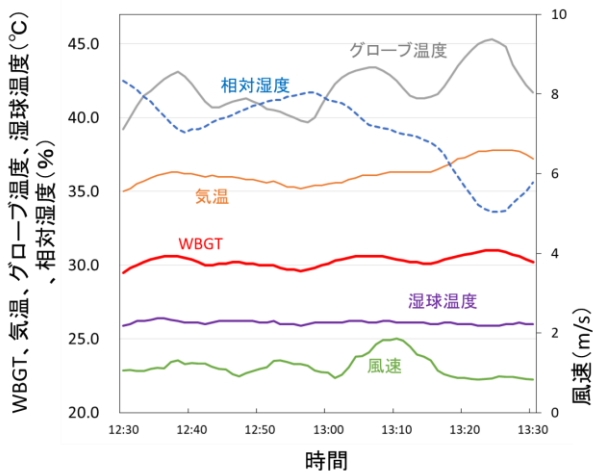


図 10. 測定項目 (WBGT、気温、グローブ温度、湿球温度、相対湿度、風速) の時間変化

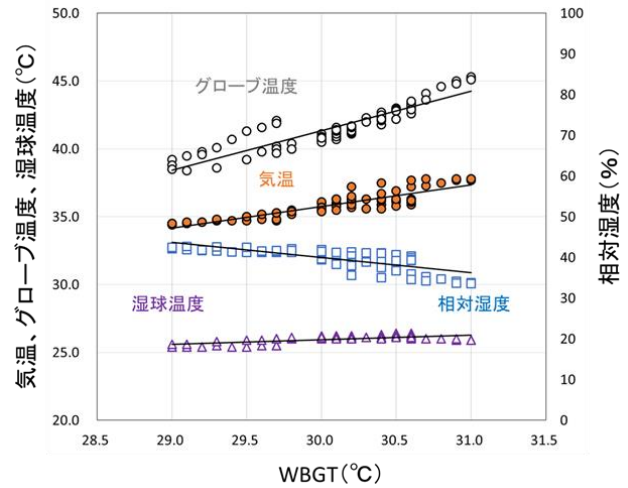


図 11. WBGT と気温、グローブ温度、湿球温度、相対湿度の分布

図 12 に移動した経路における WBGT、気温、グローブ温度をそれぞれ測定値範囲内の相対的な変化で示す。観測経路内において WBGT が高いエリア A および B が確認された。エリア A、B 共に気温とグローブ温度が高い傾向にあるが、エリア A は特に気温が高い傾向にある一方、エリア B ではグローブ温度が高い傾向が見られた。WBGT は気温に加えて湿度と気流、輻射熱の 4 つの温熱環境要因によって算出され、人体の熱収支から

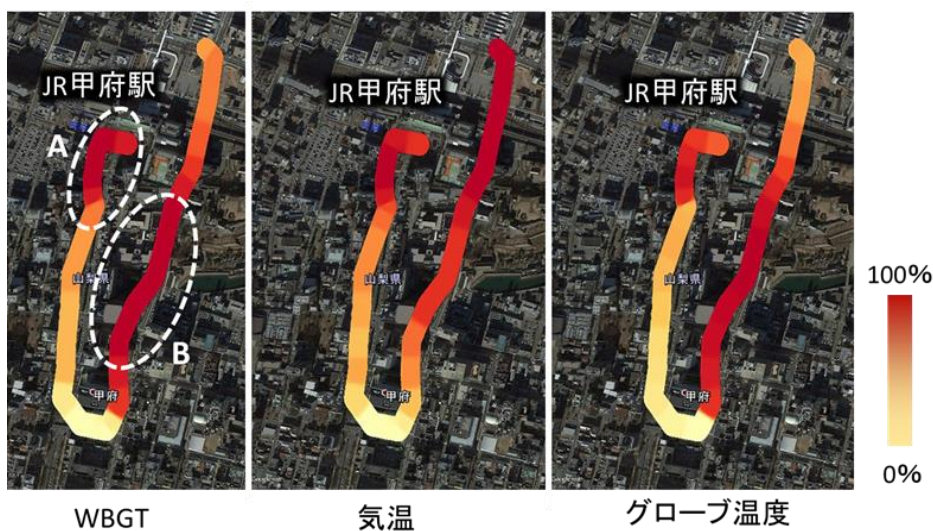


図 12. 観測経路上での WBGT、気温、グローブ温度の相対的な変化

熱中症リスクの指標である暑さ指数として用いられている。屋外では $0.7 \times \text{湿球温度} + 0.2 \times \text{グローブ温度} + 0.1 \times \text{乾球温度}$ の計算式で求められ、気温として一般的に用いられている乾球温度に加え、湿度の影響が反映する湿球温度や輻射熱の指標であるグローブ温度が熱中症リスクを増大させることを表している。WBGTは、計算式の係数から湿球温度の割合が多いことから、熱中症リスクへ湿度が強く影響することの重要性を示しているが、今回の結果では湿度の空間的な変化が小さく、周囲の環境の違いによる気温または輻射熱の影響が強く反映していることが示された。熱中症を引き起こす暑熱環境要因として日最高気温や日平均気温が熱中症発生と関連していることから気温に注目が集まりがちであるが、人体への熱の出入りを考える事が重要であり、日射や蓄熱された舗装路、ビルなどからの輻射熱を把握し対応することが熱中症予防に有効であると考えられる。このように、熱中症の予防には天気予報の熱中症予報などの大きな空間スケールでの注意喚起に加え、小さい空間スケールで刻々と変化する周囲の温熱環境に注意を払う必要性が示された。

次に、山梨県の夏季の街路空間において人を取り巻く周囲の温熱環境が、どのように形成されているか甲府駅周辺の例として駅南側南向き歩道と駅南側バスロータリータクシー乗り場を赤外線サーモカメラで撮影したものを図13に示す。南向き歩道（図13上段）では街路樹による日陰が形成されており（図13左上）、平均表面温度が日向歩道A面 51.0°C に対し日陰歩道B面では 39.7°C と低くなっていた（図13右上）。雨よけ日よけのシェードが設置されたタクシー乗り場（図13左下）では、日向歩道D面 59.3°C に比べシェード下C面では 45.5°C と表面温度の緩和が確認できた（図13右下）。エリアAとBおよびCとDは隣接しており、気温の違いは見られなかったが、地表面からの輻射熱を加味するとさらされる温熱環境は大きく違うことが考えられる。例えば、背の低い小児やベビーカーの乳幼児などは地表面からの距離が近く、このような場所で受ける輻射熱は大人よりも大きくなると思われる。私たちは経験的に生活の中で暑い時には輻射熱の少ない日陰などを選択するが、街路樹などの日陰を形成するものが少ない場所では難しく、夏季の都市温熱環境が酷暑化するならば今後の都市や街のあり方も考えなければならない。

次に、山梨県の夏季の街路空間において人を取り巻く周囲の温熱環境が、どのように形成されているか甲府駅周辺の例として駅南側南向き歩道と駅南側バスロータリータクシー乗り場を赤外線サーモカメラで撮影したものを図13に示す。南向き歩道（図13上段）では街路樹による日陰が形成されており（図13左上）、平均表面温度が日向歩道A面 51.0°C に対し日陰歩道B面では 39.7°C と低くなっていた（図13右上）。雨よけ日よけのシェードが設置されたタクシー乗り場（図13左下）では、日向歩道D面 59.3°C に比べシェード下C面では 45.5°C と表面温度の緩和が確認できた（図13右下）。エリアAとBおよびCとDは隣接しており、気温の違いは見られなかったが、地表面からの輻射熱を加味するとさらされる温熱環境は大きく違うことが考えられる。例えば、背の低い小児やベビーカーの乳幼児などは地表面からの距離が近く、このような場所で受ける輻射熱は大人よりも大きくなると思われる。私たちは経験的に生活の中で暑い時には輻射熱の少ない日陰などを選択するが、街路樹などの日陰を形成するものが少ない場所では難しく、夏季の都市温熱環境が酷暑化するならば今後の都市や街のあり方も考えなければならない。

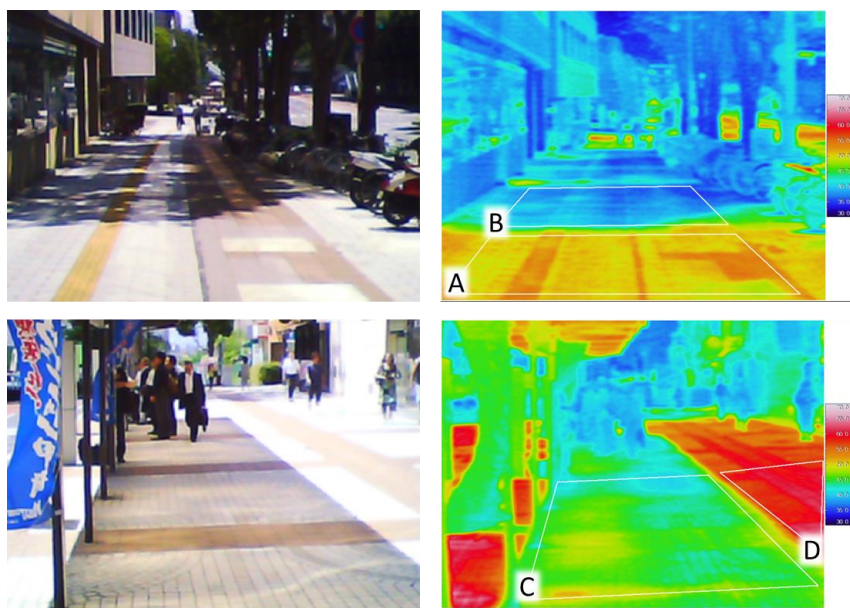


図13. 南向き歩道（上段）とバスロータリータクシー乗り場（下段）の赤外線サーモカメラによる表面温度の分布

今回の結果から、街路空間において熱中症を引き起こす暑熱環境要因は、主に熱中症の注意喚起として用いられている気温に加え、輻射熱の影響が大きいことが示された。サーモカメラ画像が示すように人々がさらされる街路空間での温熱環境は、狭域的な視点で見ると気温が同じエリアでも受ける輻射熱に違いが生じている場面が散見され、広域的な注意喚起ではカバーしきれないことが考えられる。このように目まぐるしく変化することが予想される狭い範囲での温熱環境に対応するためには、携帯型のWBGT計の使用や人を取り巻く熱収支（気温、輻射熱、湿度、風の影響）について学習し、個人がそれぞれの場面で対処することが熱中症発生の予防には重要であると考えられる。

II-5-4 引用文献

1. 井原智彦, 玄地裕 (2008) 被害算定型ライフサイクル影響評価手法によるヒートアイランド現象の環境影響評価. 日本建築学会環境系論文集 73 (634) : 1407-1415.
2. 大橋唯太 (2010) 都市域における熱中症指標 WBGT の変動特性. 環境情報科学論文集 24 : 417-422.
3. 大橋唯太, 亀掛川幸浩, 井原智彦 (2011) 数値気象モデルを利用した屋外熱中症リスクの評価手法に関する研究. 環境情報科学論文集 25 : 335-340.

R-03-2021

令和2年度
山梨県富士山科学研究所研究報告書
第45号

MFRI Research Report

2021年発行

編集・発行
山梨県富士山科学研究所

〒403-0005 山梨県富士吉田市上吉田字剣丸尾 5597-1
電話：0555-72-6211
FAX：0555-72-6204
<https://www.mfri.pref.yamanashi.jp/>
