

## 研究助成実施報告書

助成実施年度	2021 年度
研究課題（タイトル）	地域差を考慮できる新たな熱中症危険度の判定手法の提案
研究者名※	佐々木 優二
所属組織※	（地独）北海道立総合研究機構 建築研究本部 北方建築総合研究所 地域研究部 研究職員
研究種別	研究助成
研究分野	都市環境工学
助成金額	150 万円
発表論文等	

※研究者名、所属組織は申請当時の名称となります。

（ ）は、報告書提出時所属先。

# 大林財団2021年度研究助成実施報告書

所属機関名 (地独)北海道立総合研究機構 建築研究  
本部 北方建築総合研究所 地域研究部  
申請者氏名 佐々木 優二

研究課題	地域差を考慮できる新たな熱中症危険度の判定手法の提案
<p>(概要) ※最大10行まで</p> <p>本研究では、地域差を考慮でき、かつ、居住者自らが熱中症危険度を判定できる新たな手法の提案を目的として、熱中症救急搬送者数が増加傾向にある北海道内の4都市を対象に、住宅の温熱環境実測と居住者へのアンケートを2か年実施した。実測とアンケートの結果を用いて、①WBGTに基づく警戒以上、②寒暑感で「やや暑い」から「とても暑い」までを申告する暑熱申告、③体熱感で「やや熱さを感じる」から「とても熱さを感じる」までを申告する体熱感申告、④快不快感の不快感申告の4つの発生確率を目的変数としたロジスティック回帰分析を行なった。その結果、各項目の申告率が50%となるときの温度には地域差があり、体熱感申告率が50%になるときの温度が他の3項目よりも最も低い温度になること、体熱感申告率が50%となるときの想像温度は空気温度よりも低いこと等が明らかとなった。以上から、体熱感申告率が50%となるときの想像温度は、新たな熱中症危険度の判定手法として活用できる可能性のあることが示された。</p>	

1. 研究の目的	(注) 必要なページ数をご使用ください。
<p>近年、比較的寒冷な気候の北海道で熱中症救急搬送者数が増加しており、社会問題になりつつある。わが国の熱中症危険度の評価は、国際標準である湿球黒球温度(WBGT)が用いられ、日本全域を同一の条件で判定している。しかしWBGTの計算には、湿球温度、黒球温度、乾球温度が必要であり、一般家庭でWBGTの継続的な表示が困難と考えられる。このことから、ヒトに熱中症危険度を認識させる簡便な方法の確立が急務と考えられる。さらに温熱環境に対するヒトの認識・行動には地域差があることが想像温度の研究等で指摘されており、熱中症危険度の評価においても地域差を考慮することが必要と考えられる。</p> <p>そこで本研究は、北海道内の複数の都市を対象に、住宅の温熱環境実測と居住者へのアンケートを行ない、地域差を考慮でき、かつ、居住者自らが熱中症危険度を判定できる新たな手法の提案を目的とする。本研究の成果は、熱中症対策に関する政策を地域毎に検討する際の基礎資料となる。</p>	

2. 研究の経過	(注) 必要なページ数をご使用ください。
<p>2-1. 対象都市の選定</p> <p>本研究では、拡張アメダス気象データ(2010年版)を用いて、北海道内の主要な都市のうち気象的に特徴がある都市を選定した。具体的には、a) 最高・平均気温ともに高い札幌市・旭川市、</p>	

b) 最高気温は高いが、平均気温が北海道内で中位の帯広市並びにその近郊市町村（以下、十勝とする）、c) 最高・平均気温ともに低い釧路市の4都市を選定した。

## 2-2. 調査の概要

### 2-2-1. 研究協力者の概要

本研究では、2-1で選定した4都市を対象に、温熱環境実測と居住者へのアンケートを2021年と2022年の2か年実施した。調査期間は、2021年7月26日～8月16日、2022年7月25日～8月13日のうちそれぞれ20日間とした。調査協力者は、日中、自宅にいる人を対象として機縁法により抽出した。その結果、本研究では、2年間で札幌28人、十勝24人、旭川17人、釧路20人の協力が得られた。調査協力者の属性を図1と図2に示す。性別は、女性の方が男性よりも多い。また年齢は、特定の年齢層に偏ることがなく、若年～高齢者まで幅広く協力を得られた。

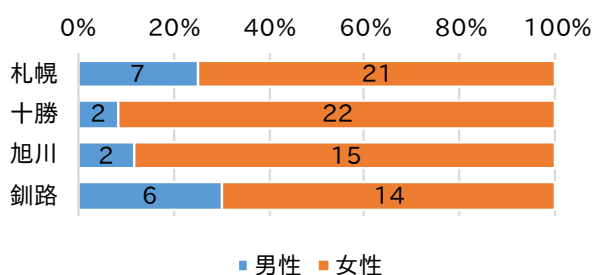


図1. 調査協力者の性別

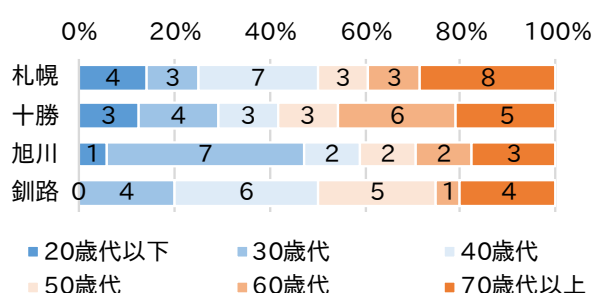


図2. 調査協力者の年齢

### 2-2-2. 温熱環境実測の概要

温熱環境実測は、空気温湿度と小型グローブ温度を測定した。空気温湿度計と小型グローブ温度計の計測機器は、アンケートや研究の説明資料をまとめた冊子一式とともに研究協力者に送付し、居間の日射の当たらない場所に設置してもらった。

### 2-2-3. アンケートの概要

アンケートは1日1回、10時から14時の間で回答を依頼し、表1に示す項目に加え、回答日時も回答してもらった。本研究のアンケートは、寒暑感や快不快感等に加え、「想像温度（今、何℃だと思えるか?）」と「体熱感（身体内部に熱さを感じているか?）」を設定した。

想像温度は、居住者が曝されている温熱環境をどのように認知しているのかを確認できる指標である。本研究では、想像温度を用いることで、熱中症危険度の判定手法の提案が可能になると考え、設問を含めた。また体熱感、医師が熱中症患者に対し、その有無を確認する場合がある心理量でもある。熱中症は高体温によって引き起こされる健康被害とされているため、居住者の身体内部の熱さ感を申告してもらった。

分析に用いたアンケートの回答総数は、2年間の合計で札幌443、十勝416、旭川291、釧路347であり、すべての都市で十分なアンケート総数を得られた。

表1. アンケートの内容

心理量	①想像温度 ②寒暑感 ③体熱感* ④気流感 ⑤発汗感 ⑥許容度 ⑦快・不快感 ⑧居住者が想像する熱中症危険度
アンケート回答時の状況	⑨着衣量 ⑩環境調整行動 ⑪アンケート回答直前の行動

\*申請者らが着目している新たな心理尺度。熱中症の臨床時に確認されるもので、身体内部の熱さ感を申告してもらう。

## 3. 研究の成果

(注) 必要なページ数をご使用ください。

### 3-1. 温熱環境実測の結果

#### 3-1-1. アンケート回答時の空気温度・相対湿度

空気温度の実測結果を図3に、相対湿度の実測結果を図4に示す。空気温度の平均は、札幌・旭川が高い傾向であり、また最高気温はすべての都市で30℃以上である。相対湿度は、釧路が他の都市よりも高く、札幌が他の都市よりも低い。

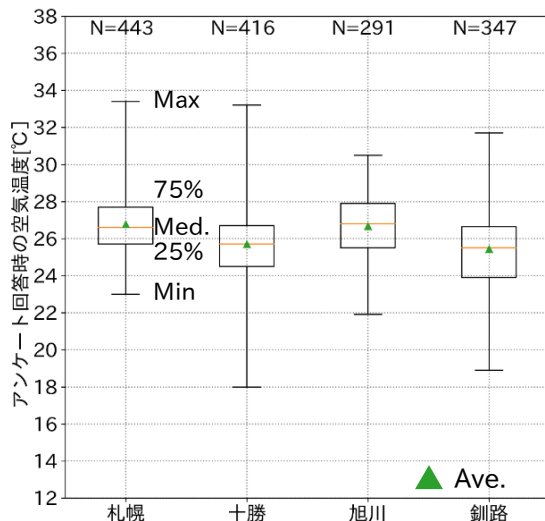


図3. 各都市のアンケート回答時の空気温度

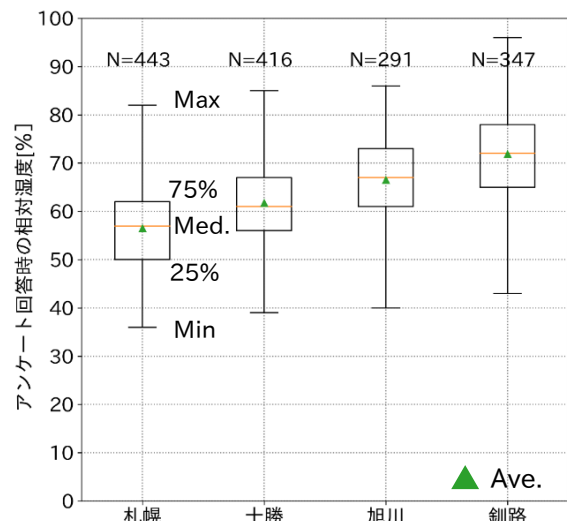


図4. 各都市のアンケート回答時の相対湿度

#### 3-1-2. 北海道の住宅のWBGTに基づく熱中症危険度の実態

温熱環境の実測結果から、WBGTを求めた。アンケート回答時のWBGTを図5に示す。なおWBGTは、その値によって、ほぼ安全 ( $WBGT < 21^{\circ}C$ )、注意 ( $21^{\circ}C \leq WBGT < 25^{\circ}C$ )、警戒 ( $25^{\circ}C \leq WBGT < 28^{\circ}C$ )、嚴重警戒 ( $28^{\circ}C \leq WBGT < 31^{\circ}C$ )、危険 ( $31^{\circ}C \leq WBGT$ ) の5段階で熱中症危険度を評価する。特に日常生活下では、WBGTが25℃未満であれば、一般に熱中症の危険性は低いとされている。札幌・旭川・釧路のアンケート回答時のWBGTは全体の約25%で25℃を超え、さらに最高WBGTは札幌・十勝で31℃以上である。このことから、比較的寒冷な北海道でも熱中症リスクが一定程度あることがわかった。

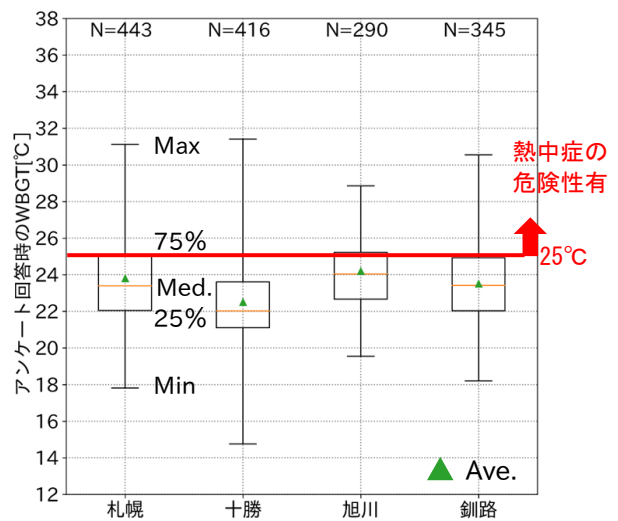


図5. 各都市のアンケート回答時のWBGT

### 3-2. アンケートの結果

#### 3-2-1. 熱的快適性の申告結果

本研究では、心理量のうち、寒暑感・体熱感・快不快感に着目して分析を行なった。まず寒暑感申告の結果を図6に示す。札幌・帯広・釧路の寒暑感は、約4割程度が「やや暑い」から「とても暑い」までの申告（以下、暑熱申告とする）である。一方、旭川の寒暑感は、約6割が暑熱申告であり、他の都市よりも多い。

次に、体熱感申告の結果を図7に示す。体熱感の「やや熱さを感じている」から「とても熱さを感じている」までの申告（以降、体熱感申告とする）は、全ての都市で寒暑感の暑熱申告よりもやや多い傾向がみられる。

最後に、快不快感申告の結果を図8に示す。全ての都市で不快申告は少なく、特に帯広（十勝）では1割未満であった。

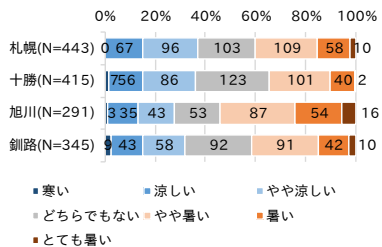


図6. 寒暑感申告の結果

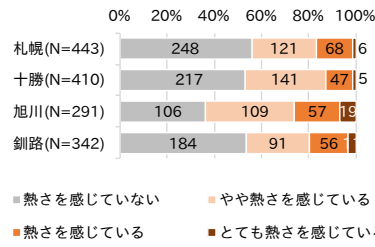


図7. 体熱感申告の結果

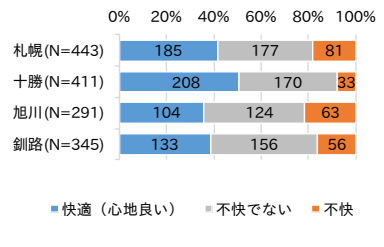


図8. 快不快感申告の結果

### 3-2-2. 想像温度の申告結果

想像温度の申告結果を図9に示す。想像温度の中央値・平均値は、釧路が他の3都市よりも1.0~2.0°C程度低い。空気温度と想像温度の関係を図10に示す。空気温度と想像温度の間には、すべての都市で、やや強い正の相関関係が認められた。これは先行研究<sup>1)</sup>とも相違ない結果であった。

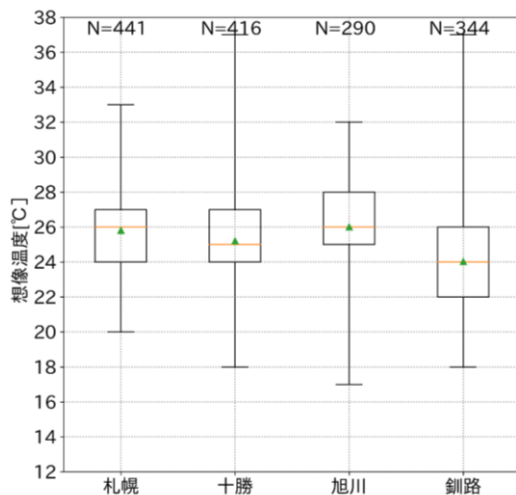


図9. 想像温度の申告結果

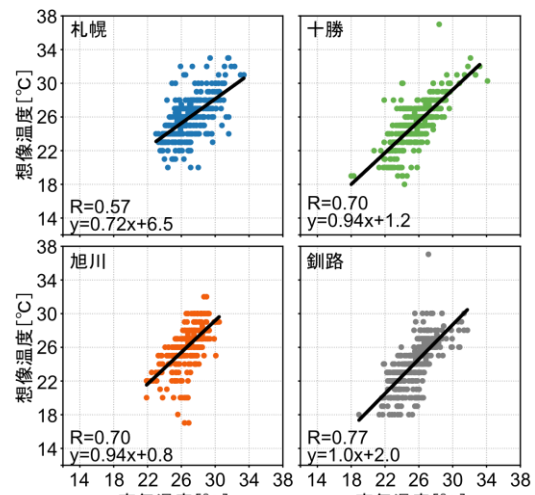


図10. 空気温度と想像温度の関係

### 3-2-3. WBGTに基づく熱中症危険度と関連のある心理量の抽出

本研究では、WBGTに基づく熱中症危険度を「注意以下 (WBGT<25°C)」と「警戒以上 (WBGT≥25°C)」に分けて分析する。また、「注意以下」・「警戒以上」と関連がある心理量を抽出し、熱中症危険度の判定に対して、WBGTに基づく熱中症危険度と心理量のどちらがより低い温度（安全側）で判定可能かを分析する。WBGTに基づく「注意以下」・「警戒以上」と心理量の関係の有無は、有意水準pを0.05と定めて実施した独立性の検定の結果から判断した。なお心理量は、寒暑感で「寒い～どちらでもない」と「やや暑い～とても暑い」のように2群に分けて分析した。独立性の検定の結果、気流感を除く心理量は、すべての都市でp<0.001となり、WBGTに基づく熱中症危険度と関連があることが明らかになった。そのため本研究では、先行研究<sup>1)</sup>と同様に、①WBGTに基づく警戒以上、②寒暑感の暑熱申告、③体熱感の体熱感申告、④快不快感の不快申告に

着目し、これら4つの発生確率について分析を行なう。

本研究では、①～④を目的変数、空気温度・想像温度をそれぞれ説明変数としたロジスティック回帰分析を用いることとした。ロジスティック回帰分析により得られる回帰式は式(1)である。

$$P = \frac{1}{1 + e^{-(a+bT)}} \quad (1)$$

ここで、Pは①～④の確率、Tは空気温度[°C]または想像温度[°C]、eはネイピア数である。aとbは係数であり、最尤法により求めた。式(1)は、ある発生確率に対応する空気温度・想像温度を求めることができる。また、ロジスティック回帰分析では、通常、発生確率50%を閾値として扱うため、本研究では①～④の発生確率50%を閾値として分析を行なった。なお熱中症は、空気温度または想像温度が低い温度のとき、その発症の可能性が低くなると考えられる。そのため、①～④の発生確率が50%になるときの空気温度と想像温度を比較して、どちらがより低い温度になるかを確認した。

ロジスティック回帰分析の結果、①～④の発生確率が50%になるときの地域別の空気温度と想像温度を図11に示す。また各ロジスティック回帰分析の精度等を表2～5に示す。まず①警戒以上率は、擬似決定係数R<sup>2</sup>や赤池情報量基準(AIC)、正解率を比較すると、すべての都市で空気温度の方が想像温度よりも良いモデルが得られた。また警戒以上率が50%になるときの温度は、空気温度が27.0～28.5°C、想像温度27.3～29.6°Cであった。次に②暑熱申告率は、警戒以上率とは異なり、すべての都市で想像温度の方が空気温度よりも良いモデルが得られた。また暑熱申告

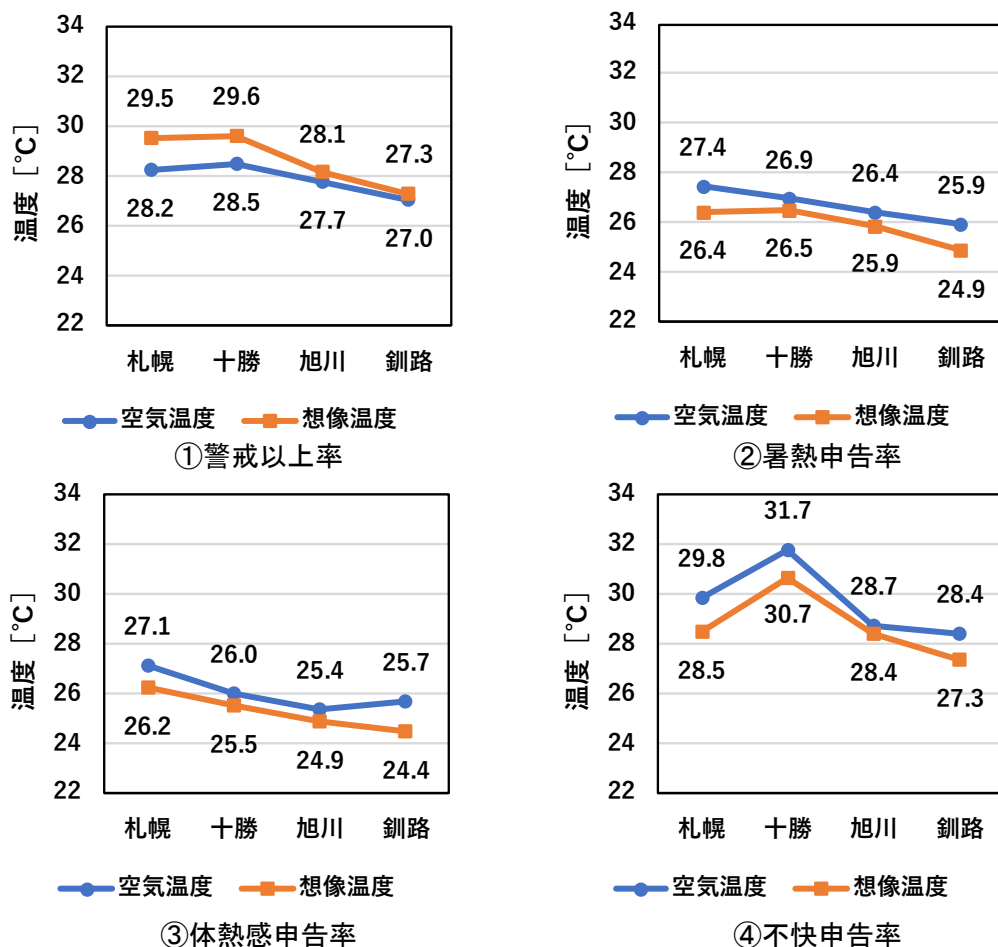


図11. 各発生確率が50%になるときの空気温度と想像温度

率が 50%になるときの温度は、空気温度が 25.9～27.4℃、想像温度が 24.9～26.5℃であり、警戒以上率よりも低くなった。また③体熱感申告率は、暑熱申告率と同様に、すべての都市で想像温度の方が空気温度よりも良いモデルが得られた。また体熱感申告率が 50%になるときの温度は、空気温度が 25.4～27.1℃、想像温度が 24.4～26.2℃であり、警戒以上率・暑熱申告率よりも低くなった。最後に④不快申告率は、暑熱申告率・体熱感申告率と同様に、すべての都市で想像温度の方が空気温度よりも良いモデルが得られた。また不快申告率が 50%になるときの温度は、空気温度が 28.4～31.7℃、想像温度が 27.3～30.7℃であり、警戒以上率よりも高くなった。また、①～④のすべてで、各発生確率が 50%になるときの空気温度・想像温度には地域差があることが示された。

これらのことから、地域差を考慮でき、かつ、居住者自らが熱中症危険度を判定できる新たな手法として、体熱感申告率が発生するときの想像温度を提案する。具体的には、図 11 の③で示した想像温度になった際に、居住者に対して熱中症対策を始めることを促すことが可能になる。

表 2. 警戒以上率の結果

		係数a	係数b	R2	AIC	正解率
札幌	空気温度	-32.21	1.14	0.52	315.08	83.5%
	想像温度	-9.35	0.32	0.12	467.50	76.2%
十勝	空気温度	-36.70	1.29	0.53	168.92	91.6%
	想像温度	-19.03	0.64	0.32	224.92	91.1%
旭川	空気温度	-41.67	1.50	0.56	219.86	83.8%
	想像温度	-13.41	0.48	0.25	309.16	71.3%
釧路	空気温度	-36.45	1.35	0.55	225.80	83.2%
	想像温度	-13.03	0.48	0.29	305.32	76.6%

表 3. 暑熱申告率の結果

		係数a	係数b	R2	AIC	正解率
札幌	空気温度	-19.17	0.70	0.31	485.56	70.9%
	想像温度	-26.47	1.00	0.51	389.72	77.8%
十勝	空気温度	-18.37	0.68	0.30	436.74	74.7%
	想像温度	-20.72	0.78	0.42	386.14	78.1%
旭川	空気温度	-15.61	0.59	0.23	349.80	69.1%
	想像温度	-21.46	0.83	0.49	272.96	76.6%
釧路	空気温度	-30.98	1.19	0.54	296.70	80.3%
	想像温度	-23.26	0.94	0.59	270.56	84.8%

表 4. 体熱感申告率の結果

		係数a	係数b	R2	AIC	正解率
札幌	空気温度	-18.50	0.68	0.30	501.48	70.0%
	想像温度	-19.66	0.75	0.40	453.68	73.5%
十勝	空気温度	-15.81	0.61	0.27	479.54	64.4%
	想像温度	-15.19	0.60	0.34	451.82	71.7%
旭川	空気温度	-11.98	0.47	0.17	347.90	68.7%
	想像温度	-15.51	0.62	0.38	289.54	73.1%
釧路	空気温度	-25.93	1.01	0.48	325.02	78.9%
	想像温度	-17.45	0.71	0.50	315.86	82.4%

表 5. 不快申告率の結果

		係数a	係数b	R2	AIC	正解率
札幌	空気温度	-17.74	0.59	0.25	352.52	84.9%
	想像温度	-23.31	0.82	0.42	291.94	87.5%
十勝	空気温度	-14.52	0.46	0.14	207.58	93.2%
	想像温度	-17.65	0.58	0.27	183.51	92.7%
旭川	空気温度	-25.24	0.88	0.31	243.40	79.7%
	想像温度	-27.95	0.98	0.49	196.22	84.8%
釧路	空気温度	-21.14	0.74	0.32	238.40	84.6%
	想像温度	-25.91	0.95	0.52	184.83	88.6%

1) 佐々木優二・下ノ蘭慧・鬼塚美玲・須永修通・斉藤雅也：想像温度による熱中症危険度の判定可能性に関する研究 - 北海道 4 都市の調査結果を用いた分析 - , 日本建築学会環境系論文集, 87, 801, pp.750-758, 2022.11

#### 4. 今後の課題

(注) 必要なページ数をご使用ください。

本研究では、想像温度を用いた熱中症危険度の判定手法を提案したが、具体的な熱中症対策のための住まい方までは提案できていない。また、年齢等によって温熱感覚に違いがあることが想定されるが、本研究ではまずは地域差に着目したこともあり、回答者属性を踏まえた分析は行なえていない。これら 2 点については今後の課題として、分析を行なっていく予定である。