

夏季の室内外気候がヒトの温熱的快に与える影響 ～札幌・熊本の通風室・冷房室における被験者実験～

地域性 快適性 適応
MRT 想像温度 許容

正会員 ○原 大介*¹
同 辻原 万規彦*²
同 斉藤 雅也*³

1. はじめに

室内における熱的快適性についての研究では、ヒトの温熱的快・不快を室内環境要素・人体要素で評価することがほとんどである。しかし、ヒトの熱的適応を考えると、屋外環境や時間経過による環境変化・人体の生理変化も含めて評価する必要がある。また、ヒトの意識と行動が伴えば、夏であれば機械冷房に頼らずとも「不快ではない」室内気候を創り出すことは可能と考えられる。そのためにはまず、夏季の通風・冷房の空間で得られる「涼しさ」感などの温熱的快の感覚や適応の違いを明らかにする必要がある。

本研究では、夏季の温熱的快の研究事例が少ない寒冷地の札幌と、機械冷房（以下、冷房）が不可欠な蒸暑地の熊本を対象地とした。夏季に各地域の、通風室と冷房室に入るまでの移動を含めた被験者実験を行ない、ヒトの温熱的快や環境への適応の現われ方を明らかにした。

2. 実験概要

被験者実験は、札幌市立大学芸術の森キャンパス（札幌市南区）の通風室（67.5 m²）と冷房室（81 m²）にて、2017年8月2～6日の計5日間、熊本県立大学（熊本市東区）の通風室（145 m²）と冷房室（84 m²）にて8月1日、4日、8日の計3日間の13:00～15:00に行なった。図1と2に札幌と熊本での実験の移動経路を示す。

被験者は健康な大学生とし、札幌では1日（1回）の実験につき被験者を3人、5日間で計15人とした。一方、熊本では、1日（1回）の実験につき4人、3日間で計12人とした。被験者は、図1、2に示す経路を約2時間かけて滞在と移動を繰り返し、各室内の入室直後と、その後は5分間隔にて合計9回、表1に示すアンケートに回答してもらった（想像温度や寒暑感、乾湿感、温熱的快・不快、許容に関する）。

温熱環境実測は、調査者が被験者に追従しながら手持ちの棒に取り付けた計測機器類を移動させ、データを記録した。表2に測定した物理量と測定方法を示す。また、通風室と冷房室では被験者に水を自由に飲んでもらい、実験の一部始終を動画撮影して、被験者の適応行動を観察した。なお、冷房室の設定室温は札幌26℃、熊本24℃とした。



図1 札幌における実験の移動経路



図2 熊本における実験の移動経路

表1 温熱環境評価に関するアンケート項目

- (1) 今、何度だと思いますか? _____ °C
 (2) 今の寒暑感を直線上に、**たて線**で記してください。
 とても寒い どちらでもない とても暑い
 (3) 今の乾湿感を直線上に、**たて線**で記してください。
 とても乾燥している どちらでもない とても湿っている
 (4) 今の温熱環境は不快ですか?
 不快 不快ではない
 (5) (4)で、『不快ではない』を選択した方は快適ですか?
 快適である 快適というほどでもない
 (6) 今の温熱環境を許容できますか?
 許容できる 許容できない
 (7) (6)で、『許容できない』を選択した方は、何℃上げれば、あるいは、何℃下げれば、許容できますか?

表2 温熱環境の実測項目と測定方法

物理量	測定方法
外気温度(°C)	日射を避けた風当たりの良い空間に地面から1500mm程度の位置に設置し1秒間隔で測定
外気相対湿度(%)	
被験者近傍の空気温度(°C)	
被験者近傍のグローブ温度(°C)	計測機器類を手持ちの棒に取り付け被験者に追従しながら
被験者近傍の相対湿度(%)	1秒間隔で測定
微風速計①(m/s)	
微風速計②(m/s)	通風室と対流式冷房室の双方の部屋に風速計①付近以外の
風速計③(m/s)	各被験者付近の床面から1100mmに設置し1秒間隔で測定

Influence of Outdoor and Indoor Climate on Thermal Comfort and Pleasantness in Summer

Subjective Experiment in Natural Ventilated Room and Air Conditioned Room in Sapporo and Kumamoto

HARA Daisuke, TSUJIHARA Makihiko, and SAITO Masaya

3. 結果と考察

図3は、実験期間中（13:00～15:00）の札幌と熊本の外気温である。札幌の外気温は約23～26℃であるのに対して、熊本は33℃～35℃で札幌よりも約10℃ほど高く、札幌と熊本は屋外環境が大きく異なる。

図4は、札幌・熊本の各室における全被験者の許容の可否を含めた温熱的快・不快申告の割合である。申告は「快適」、「不快ではない」、「不快・許容できる」、「不快・許容できない」に分けた。「不快ではない」は、表1（5）の「快適というほどでもない」に対応する。札幌の通風室では、「不快」申告はなく、「快適」が63%を占めている。札幌の冷房室では、13%の「不快」申告が現われ、そのうちの5%は「許容できない」と申告している。

熊本の通風室では、56%の「不快」が現れている。そのうちの30%は「許容できない」と申告している。しかし、一方で44%が「快適」、「不快ではない」を申告しており、14%は「快適」と答えている。熊本の冷房室では、90%以上が「快適」、「不快ではない」と申告している。

図5と6は、札幌・熊本の各室におけるMRTと、想像温度の平均値・標準偏差値をそれぞれの申告別に示したものである。札幌・熊本の各室とも空気温度は、MRTとおおよそ同じ値であった。札幌の通風室では、MRTと想像温度の分布に大きな差はなく、実際のMRTに近い温度を想像している。一方、札幌の冷房室の被験者は、ほとんどが実際のMRTより2℃以上低い温度を想像している。「不快・許容できない」を申告した被験者は、実際のMRTより約8℃低い温度を想像しており、被験者の中には10℃と想像した例も見られる。これは、普段、通風空間で過ごす機会が多い札幌の被験者が、冷房室の人工的な室内気候下でエアコンの吹き出し口からの気流を浴び続けることで、実際のMRTに近い温度を想像できなかったと予想される。

熊本では、通風室での「不快・許容できる」と「不快・許容できない」申告の被験者が、実際のMRTと同程度の温度を想像している。一方、「快適」、「不快ではない」申告の被験者は、実際のMRTよりも1.5～4.5℃ほど低く想像している。さらに、「快適」申告の被験者の想像温度は30℃を大幅に下回っている。冷房室では、各申告においてMRTと想像温度の分布に大きな差は見られず、実際のMRTに近い温度を想像している。熊本の被験者は普段から、冷房室で過ごす時間が札幌の被験者に比べて長いことが予想され、実際のMRTに近い温度を想像できたためと考えられる。

普段、長い時間を過ごしている空間（札幌は通風室、熊本は冷房室）では、ヒトは実際のMRTや室温に近い温度を想像でき、「快適」申告が半数を超える。ただし、札幌の冷房室では、MRTよりも低い温度を想像する可能性があり、熊本の通風室では、MRTよりも低い温度を想像する被験者に「快適」が現われること確認できた。

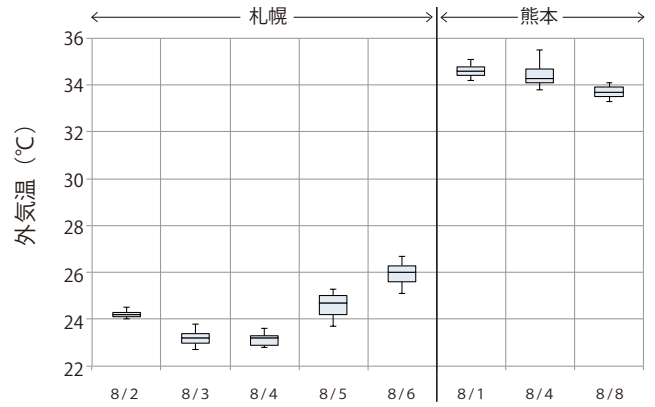


図3 札幌と熊本の外気温

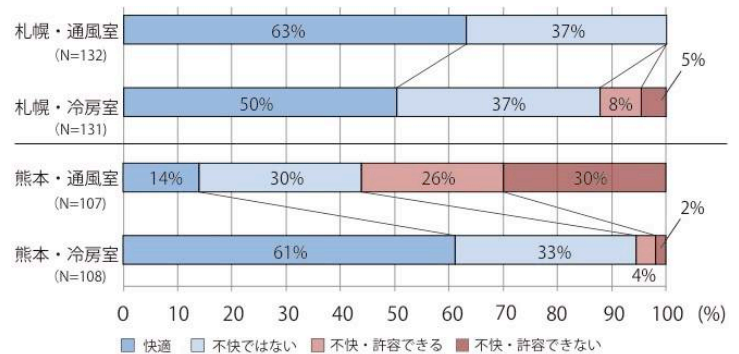


図4 札幌と熊本の通風室・冷房室での快・不快申告

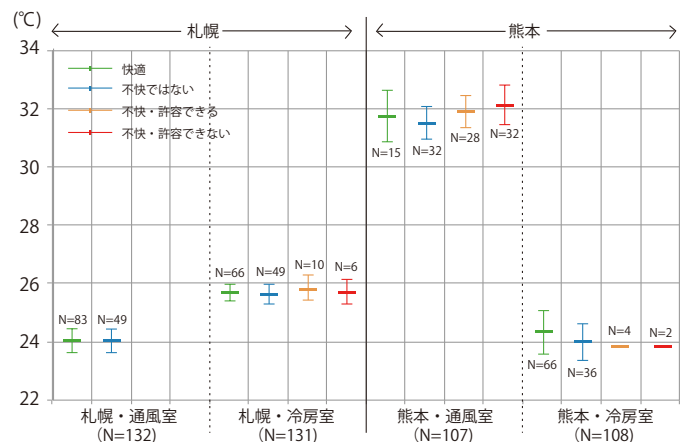


図5 札幌と熊本の通風室・冷房室でのMRT

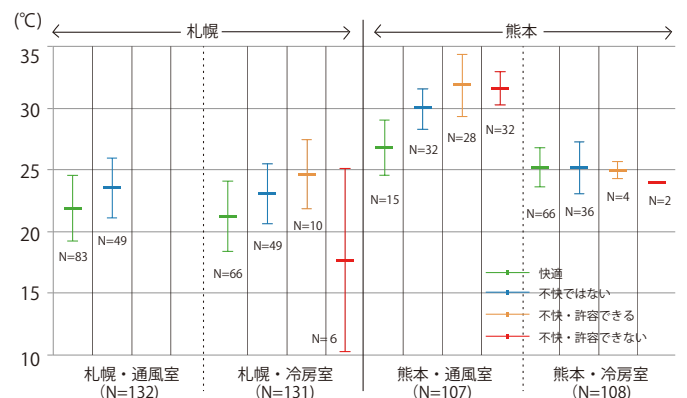


図6 札幌・熊本の通風室・冷房室での想像温度

図7は、札幌・熊本の各室における MRT 別の申告数である。図中の MRT の表示は、23℃であれば 23.0～23.9℃の範囲にあることを意味する。札幌の通風室では、MRT が 23～24℃の範囲にあり、「快適」が半数を超えている。一方、冷房室では、設定温度が 26℃であったが、実際の MRT は 25℃台が多い。26℃を超えた場合、申告数は少ないが割合として「不快」が多くなる。実験時の札幌の外気温は最高でも 26℃前後であったため、それと同じか、室内の MRT が 26℃を超える場合では「不快」が現われたと考えられる。また、熊本の通風室では、MRT が 23℃の時に「不快」が現われているが、何が原因であるかは、この図からは判らない。一方、冷房室では、MRT が 30～32℃のいずれの場合も「不快」が多く見られ、MRT が高まるにつれて「不快」の割合は多くなる。MRT が 32℃のときには、約半数が「不快・許容できない」を申告し、熊本の学生にとって暑さの限界となる MRT の閾値は 32℃前後と考えられる。

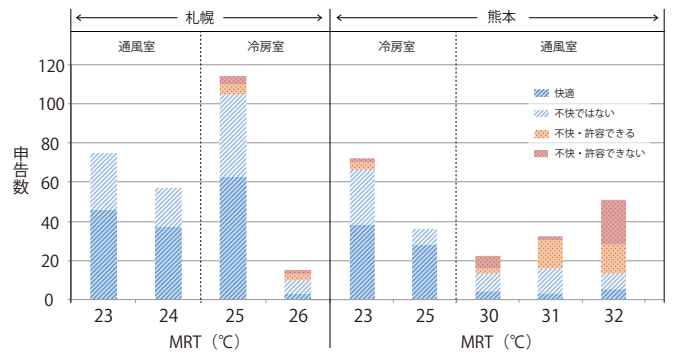


図7 札幌・熊本の MRT と申告数

図8は、札幌・熊本の想像温度別の申告数である。札幌では想像温度が 16～20℃にあるとき、「不快」はなく「快適」申告の割合が比較的に大きい。一方、想像温度が 21℃以上もしくは 16℃を大きく下回る 10～11℃では、「不快」がいる。また、想像温度が 27℃以上となると、札幌では「快適」申告がない。これは、札幌の外気温は 23～26℃であったが、外気温以上の温度と想像したことが原因と考えられる。

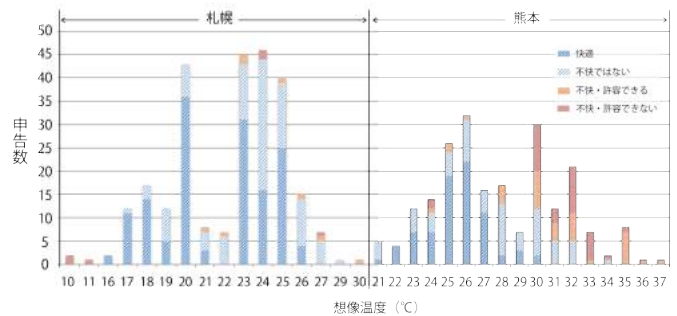


図8 札幌と熊本の想像温度と申告数

熊本では想像温度が 22～27℃にあるときは半数以上が「快適」である。一方、想像温度が 30℃を超えると、半数以上が「不快」で、33℃以上ではほとんどが「不快」になる。実験期間中の熊本の外気温は 33℃以上であったため、32℃以下の想像温度では「不快ではない」もしくは「快適」になったと考えられる。以上より、外気温と想像温度は相関が高く、室内のヒトの温熱的快に影響を与えると考えられる。

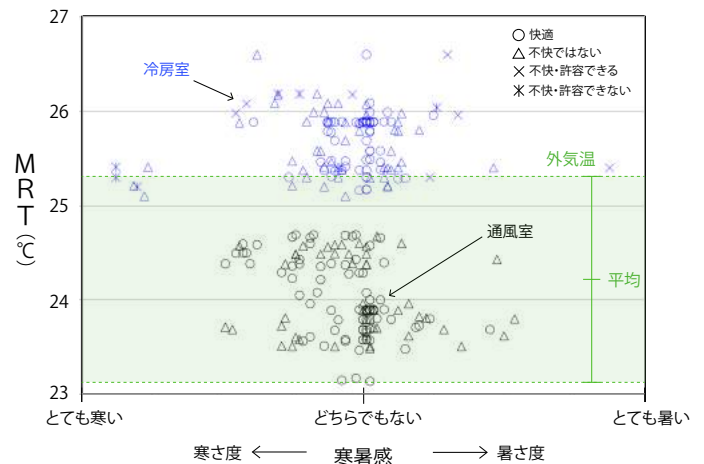


図9 札幌の寒暑感-MRT と快適感

図9と10は、札幌・熊本の各室における寒暑感と MRT の関係を温熱的快・不快・許容の種類別に示したものである。寒暑感は、アンケート(2)で中心の「どちらでもない」より右側を「暑さ度」、左側を「寒さ度」とする。札幌の通風室では、極端な暑さや寒さを感じていない。一方、冷房室では「快適」、「不快ではない」の多くは寒暑感の軸のほぼ中心に多く見られ、その範囲を超えると「不快」の申告が現れている。

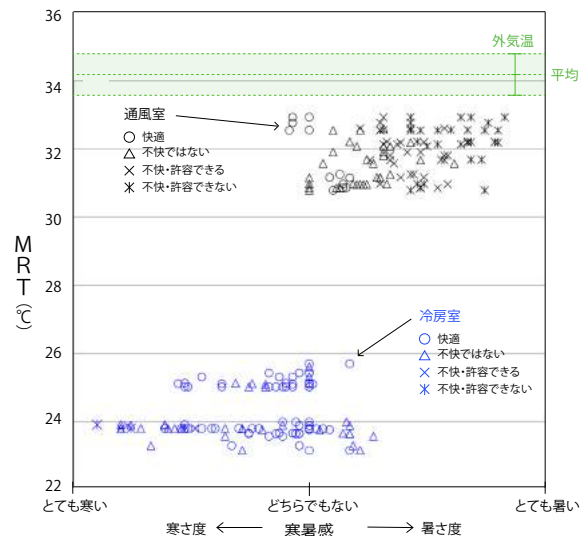


図10 熊本の寒暑感-MRT と快適感

熊本の通風室では、暑さ度が極端に大きくなければ、冷房室では寒さ度が極端に大きくなければ「快適」もしくは「不快ではない」申告が見られる。冷房室では、MRT が 23～24℃で、寒さ度が極端に強まると「不快」、「不快・許容できない」申告が現れる。

札幌・熊本を通じて、室内の MRT が同程度であっても、寒暑感や快適感には違いが見られる。これは、異なる屋外環境からの入室実験で、入室後の時間経過による

ヒトの環境への適応の仕方も変化するためと考えられる。

表3は、札幌と熊本の通風室・冷房室への入室前後のMRTの差（入室直前の屋外空間の平均MRTと室内の平均MRTの差）である。札幌と熊本では、各室内への入室前後でMRTの変化が大きく異なる。

図1 1と1 2は、札幌・熊本における通風室・冷房室での温熱的快の申告割合、MRTと想像温度の平均を経過時間別に示したものである。時間経過によるMRTの平均は、各部屋ではほぼ一定である。一方、時間経過による想像温度の平均は、熊本の冷房室以外で、入室直後から入室後10分までに下がる傾向にある。札幌の通風室では、入室直後の申告から20分までの申告にかけて「快適」の割合が増えている。同様に、熊本の通風室では、入室直後では80%以上が「不快」であるが、時間経過とともに「不快ではない」が増え、10分以降には「快適」申告も見られる。これは、屋外空間を移動して代謝量が高まった被験者が、入室してから室内環境に適応するまでの平均的にかかる時間と考えられる。しかし、熊本では時間経過に伴い「不快・許容できない」の割合が高くなる。

札幌の冷房室では、入室直後では「快適」は10%ほどしかなく、「不快・許容できない」が見られる。これは、札幌では入室直前の屋外と冷房室との平均MRTの差が0.7℃と小さく、代謝量が大きくなった被験者が体表面温度を十分に下げることができなかったためと考えられる。熊本の冷房室では、入室直後の申告で「不快」はなく、「快適」が50%を占める。これは、入室前後の平均MRTの差が約14℃と大きいため、被験者の着衣・体表面からの熱伝達が滞りなく行われたからだと考えられる。

一方、札幌・熊本の冷房室では、入室後25分以降の申告に「不快」が現われ、「不快・許容できない」申告も見られる。これは、冷房室に長い時間滞在し続けることで、被験者の着衣・体表面が過剰に冷やされてしまい、被験者にとっての寒さの許容の限界を超えたからと考えられる。

入室直後と入室直後しばらく時間が経ってからでは、ヒトの室内環境への適応の仕方が異なるため、通風や冷房機器の運用の方法を工夫することで、「不快ではない」もしくは「快適」な状態を長く保つことが可能になると考えられる。

4. まとめ

札幌・熊本の通風室・冷房室で夏季の実験を行ない、ヒトの温熱的快や適応の現れ方を明らかにした。

1) 札幌・熊本を通じて、普段多くの時間を過ごす空間（札幌は通風室、熊本は冷房室）では、「快適」が半数

表3 札幌・熊本の屋外と室内の平均MRTの差

	屋外→通風室	屋外→冷房室
札幌	2.7℃	0.7℃
熊本	4.9℃	13.9℃

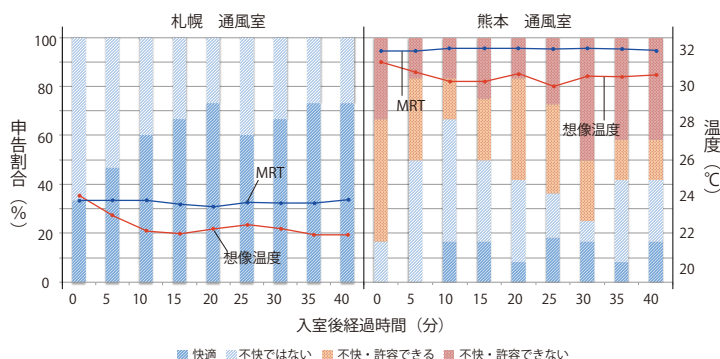


図1 1 札幌・熊本の通風室での経過時間別申告割合

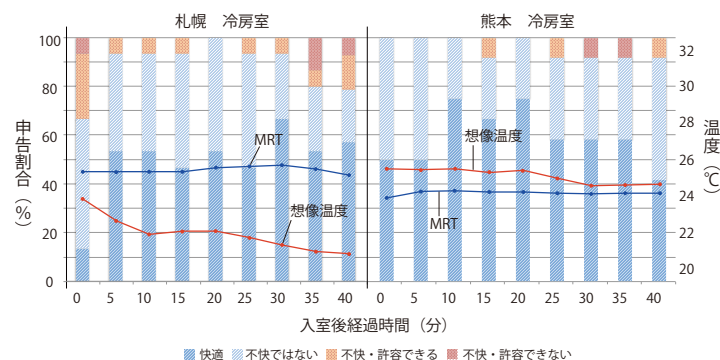


図1 2 札幌・熊本の冷房室での経過時間別申告割合

を超え、あまり過ごしていない空間では「不快」が増える。

- 2) 札幌・熊本を通じて、室内のMRTが外気温を下回る場合、「快適」、「不快ではない」が増え、「不快」が減る。
- 3) 屋外からの徒歩移動後に入室する場合、通風室・冷房室のいずれにおいても、MRTが同程度であっても、時間経過によって快適感や寒暑感には違いがある。
- 4) 札幌・熊本を通じて、移動後の入室直後は、代謝量がまだ大きいため「快適」が少ないと考えられる。今回の実験条件では、札幌・熊本の冷房室での滞在が、25分経過した後に「寒くて不快」が増える。

謝辞 本稿の一部は、宮腰大貴氏（当時、熊本県立大学学部生）の卒業研究の成果である。また、山本佳苗氏（当時、札幌市立大学学部生）には実験を進めるにあたってご協力いただいた。感謝の意を表す。

*1 札幌市立大学大学院デザイン研究科 大学院生

*2 熊本県立大学環境共生学部 教授・博士（工学）

*3 札幌市立大学デザイン学部 教授・博士（工学）

*1 Graduate Student, Sapporo City University

*2 Professor, Prefectural University of Kumamoto, Dr.Eng.

*3 Professor, Sapporo City University, Dr.Eng.