

2019 年度 若手・女性研究者奨励金 レポート

研究課題	生理的弱者に対する熱中症対策の研究 －暑熱順化と設備的側面からの検討－
キーワード	①暑熱順化、②生理的弱者、③高齢者福祉施設

研究者の所属・氏名等

フリガナ 氏名	ヨコエ アヤ 横江 彩	所属等	中部大学 工学部 講師
プロフィール	お茶の水女子大学生生活科学部卒業後、ガス会社勤務。その後、名古屋大学大学院にて博士号（工学）を取得した。助手や研究生として勤務後、電力会社の研究所にて高齢者向け空調システムの開発に携わり特許を取得した。現在は、中部大学にて「人」を快適にするための空間や環境について研究している。		

1. 研究の概要

暑熱順化とは、徐々に体を暑さに順応させていくことであり、獲得期間や発汗機能の違いにより短期暑熱順化と長期暑熱順化に分類される。短期暑熱順化は季節の変わり目や運動により起こるものであり、長期暑熱順化は熱帯暑熱環境で生活する人に起きるものである。

本研究の最終的な目標は熱的弱者に対して、生理的および建築設備的な観点から熱中症予防策を構築することである。対象を児童と高齢者とし、暑熱順化と温度差を考慮したエアコン運転が熱中症予防として適切か否かを探ることを目的とした。

研究方法は、高齢者の夏期の生理反応を把握し、何らかのアプローチをすることで熱中症対策となるかを検討するとともに（**生理的観点**）、児童と高齢者が多くの時間を過ごす建物の温熱環境の把握と環境形成を担う手法を調査し、屋外環境との関係について検討する（**建築設備的観点**）。上記を纏め、熱的弱者に対する適切な温熱環境指標の提案、高齢者の居住する高齢者福祉施設等の温熱環境改善を含んだ対策を行った。

生理的観点から見ると、熱的弱者、特に高齢者では暑熱実験における生理反応において筋肉量が暑熱順化の有無に関係あることが分かった。筋肉量は性別や体格により差はあるが体温調節機能が低下する高齢者にとっては、適度な運動とともに筋肉量を増やすことが暑熱順化を促進することとなると考えられる。心理反応においては、筋肉量が多い方が盛夏期後、暑さに順応し暑さを感じにくくなった一方、筋肉量が少ないと盛夏期前より暑さを感じやすくなっていた。暑熱順化されると身体が暑さに慣れると同時に発汗作用もある。発汗作用が働かないと体温調節機能が働かず、体感的に暑さを感じやすくなる。

建築設備的な観点からは温熱環境調査において、介護度が高い高齢者が入所する施設では、エアコンの運転を常に行い、介護度の低い高齢者が入所する施設では、必要に応じてエアコンの運転を行っていた。さらに、外気温との関係を見ると、エアコンの運転を常に行っていない場合外気温より室内温度の方が高くなる状況が起こりうる。そのため施設内で空調設備の運営基準を設け、介護者の管理が行き届きやすい談話室や食堂だけでなく個人の居室も空調管理することが熱中症対策においては必要である。

学童施設では、温熱環境は快適範囲であったが室内環境基準が無く、CO₂濃度が非常に高かった。換気が適度に行われていたか疑問が残る。今後学童施設の換気基準の徹底が望まれる。

2. 研究の動機、目的

人間活動により地球温暖化が急速に進行し、その影響として日本においても夏期の熱中症が大きな社会問題となっている。2018年は7月になった時点で最高外気温が40℃を超える日が連続した。愛知県の小学校では熱中症により尊い命が失われた。身体が小さく身体的にも未熟である子供は、体温調節機能も未熟であるとされている。同年8月には岐阜県で、エアコンの故障により入院していた高齢者が死亡する事件が発生した。その死因は明らかにされていないが、高齢者も、血管運動や発汗などの体温調節機能が衰え体温を正常に保つ機能が低下することが明らかとなっており、熱中症が死因となった可能性も否めない。

熱中症対策には、生理的なアプローチと建築や設備側からのアプローチがあると考えられる。生理的なアプローチでは、例えば短期的には脱水予防や体温上昇の抑制、短期～長期的には暑熱順化等が考えられる。他方、建築や設備側からのアプローチとしては、建物断熱・気密性の向上やエアコンの適切な使用等が考えられる。両者を考慮することでより安全な熱中症対策となり得るのではないだろうか。

小学校ではエアコン普及率が上昇し、2018年の事件以降、全校で設置するとの方向性も打ち出されている。しかし、使用方法や設定温度等の決定は各小学校に委ねられており、明確な基準値等はない。これは高齢者福祉施設においても同様である。さらに、高齢者福祉施設では、建物のライフサイクルコストを考慮すると、建設費の中の設備費や運用維持に係る修繕費等に大幅なコストはかけられない状況にある。その結果、安価な設備を投入し、機器の効率が悪くなり設定温度も達成できない、修繕を行わなかったことで室内空気が悪化している状態で使い続けるといった事態が発生する。

本研究の最終的な目標はこのような状況を踏まえ、生理的弱者に対して、生理的および建築設備的な観点から熱中症予防策を構築することである。

暑熱順化とは、徐々に体を暑さに順応させていくことであり、獲得期間や発汗機能の違いにより短期暑熱順化と長期暑熱順化に分類される。短期暑熱順化は季節の変わり目や運動により起こるものであり、長期暑熱順化は熱帯暑熱環境で生活する人に起きるものである。

本研究の最終的な目標は熱的弱者に対して、生理的および建築設備的な観点から熱中症予防策を構築することである。対象を児童と高齢者とし、暑熱順化と温度差を考慮したエアコン運転が熱中症予防として適切か否かを探ることを目的とした。

3. 研究の結果

(1) 生理的観点

実験室実験による結果では、発汗量の変化を図1, 2に示す。以下、エアロバイクを用いた運動終了時を基準とし、運動開始時を-10分、実験終了時を20分とする。皮膚温度はHardy&DuBoisの7点法^{文1, 2)}を用いた平均皮膚温を算出した。

図1, 2から発汗量は運動開始時から運動終了時にかけて増加上昇し、実験終了時にかけて減少下降している。これは皮膚温も同様であった。また、盛夏期前と盛夏期後の変化の仕方を比較すると盛夏期前より盛夏期後は変化の割合が大きくなっている傾向がある。

表1に体力測定の結果を示す。複数ある測定項目のうち、暑熱順化と関係が見られると予想された結果のみを記す。CAVIとは血管の硬さを表す指標であり数値が9.0以上は動脈硬化の疑いがある。

実験前、実験後の発汗量を最小値と仮定し最大値との差を以下の式より算出した。

発汗量差 [mg/cm²/min] = 発汗量の最大値 [mg/cm²/min] - 発汗量の最小値 [mg/cm²/min]

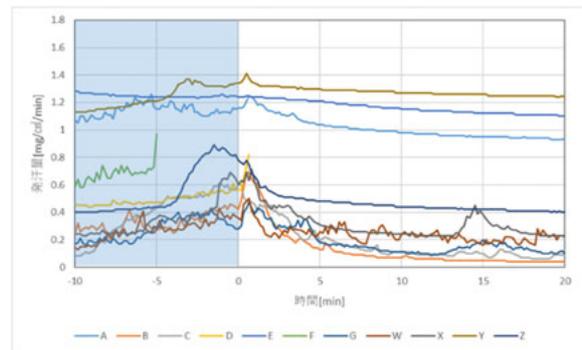


図1 発汗量 (盛夏期前)

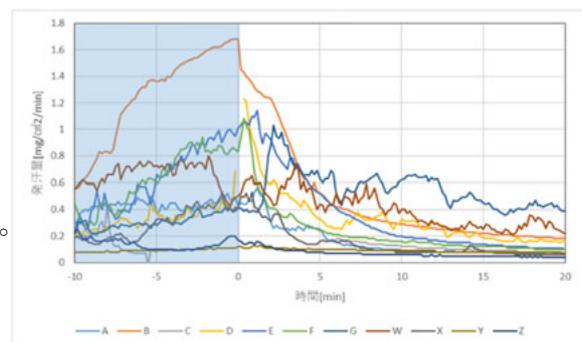


図2 発汗量 (盛夏期後)

算出した値を発汗量差とし筋肉量との関係を図3, 4に示す。盛夏期前は発汗量差の被験者間の差を見ると約0.2～0.7[mg/cm²/min]であるが、盛夏期後は約0～1.5[mg/cm²/min]であり被験者間の差が大きくなっていることが見て取れる。図3から盛夏期前は発汗量差が筋肉量の値によらず被験者間に差はないが、図4から盛夏期後は筋肉量が多い被験者の発汗量差が大きくなる傾向が見られた。

(2) 建築設備的観点

高齢者施設は、高齢者が日々生活を送っている場所である。高齢者福祉施設結果では、施設によって空調管理の仕方が異なりWBGTによらず室内温度が一定に保たれている施設とそうではない施設があるということが見て取れた。さらに屋外環境との関係を見るため、測定期間中に最高外気温を示した日の測定結果を見た。高齢者施設Aは、人が集まると予想される食堂だけでなく廊下も食堂と同じ温度で空調管理されていることが分かった。

図5から高齢者施設Aは、CO₂濃度が高くなる時刻が3回あった。これは一日のスケジュールと比較すると、朝、昼、夕食時だということが分かった。

高齢者施設Bは、施設利用者の活動時間帯である午前8時から午後5時頃は室内温度が外気温より低くおよそ30℃未満であるが、その時間以外は外気温より室内温度が高いことがわかった。談話室と食堂は使用していない時間のため、エアコンの運転を切り温度が高くなったと考えられる。一方で図6から居室は入居する高齢者が就寝する場所であり安静状態であっても室内温度が30℃ある状態では高齢者においては熱中症発症の危険性を否定できない。

高齢者施設Cは、室内温度については高齢者施設Aと同様であった。高齢者施設Cは、グループホームであり施設利用者数は少なく、施設内の行動範囲が狭いためCO₂濃度とスケジュールとの関係は見られなかった。

学童施設では、測定期間の中で施設が利用されていた日、利用されていなかった日があったため多くの人々が利用していたと考えられるCO₂濃度の最大値を記録した日の中で外気温が最も高かった日の測定結果を見た。CO₂濃度最大値5,000[ppm]を測定した日の測定結果を図

表1 被験者属性 (体力測定結果)

被験者	年齢	性別	身長[cm]	体重[kg]	筋肉量[kg]	CAVI
A	64	男	173.2	79.6	57.2	8.65
B	66	男	175.4	77.3	58.3	9.35
C	66	男	161.4	68.7	47.5	8.05
D	65	男	169.8	69	50	7.8
E	64	男	169	79.1	57.9	8.1
F	60	男	174	62.3	55.2	7.45
G	66	男	167.2	86	57.6	8.75
W	65	女	154.9	58.6	35.9	8.5
X	69	女	159.3	58.2	37.7	10.1
Y	65	女	158.6	57.8	37	9.65
Z	75	女	158.4	55	35.2	7.45

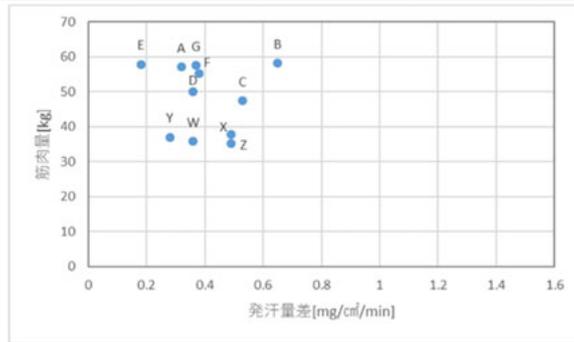


図3 発汗量差と筋肉量 (盛夏期前)

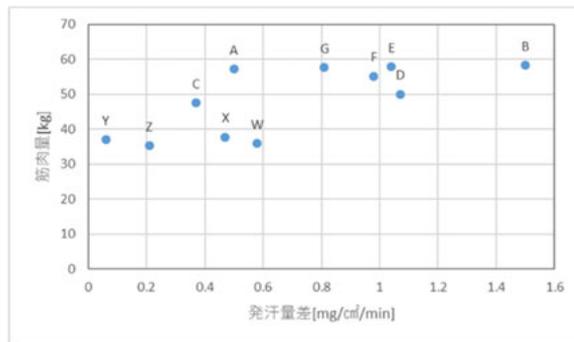


図4 発汗量差と筋肉量 (盛夏期後)

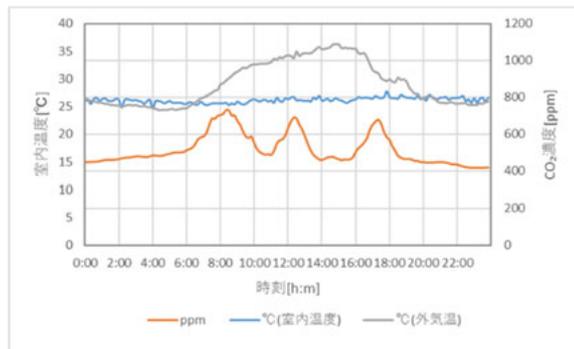


図5 最高外気温日の室内温度とCO₂濃度 施設A

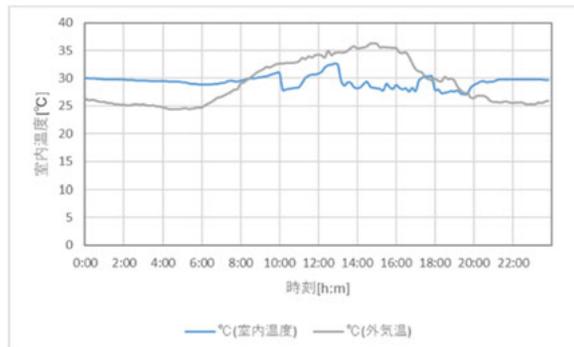


図6 最高外気温日の室内温度とCO₂濃度 施設B

7に示す。エアコンを運転し室内温度が一定となるよう空調管理されていることが分かるがCO₂濃度は、上昇し始めてから5,000[ppm]となっている時間が続いている。参考基準値として学校環境衛生基準によると室内で1,500[ppm] (0.15%)以下が望ましいとされている^{文3)}。学童施設ではあるが、児童が利用する施設としてCO₂濃度が5,000[ppm]は適切な環境ではないと言える。

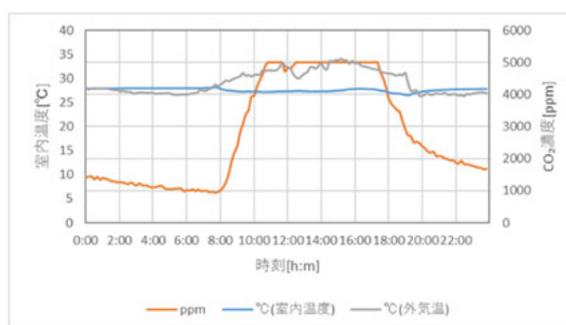


図7 室内温度とCO₂濃度 学童

4. 研究者としてのこれからの展望

暑熱順化には筋肉量が関係している可能性が示唆された。日常的に適度な運動をすることで、効率よく汗をかけるようになり、ひいては熱中症予防に結び付けられると考えたい。今後は、日常的に運動を行っている群と運動を行っていない群との盛夏期前後の汗のかき方を比較し、今回得られた可能性についてさらに固めていきたいと考えている。最終的には、官公庁へデータを携行し、一般市民向けに熱中症予防の対策等をお伝えできればと考えている。

さらに、熱的弱者が過ごす環境について、暑熱順化を考慮した場合に設定温度の緩和による省エネルギーの可能性も含めて検討していきたい。

5. 社会に対するメッセージ

以下の2点を今後の研究にて実施し、社会の役に立ちたいと考えている。

1点目は熱中症に負けない体づくりのために日常的にどのように過ごせばよいのか、2点目は生理的弱者の滞在する施設の温熱環境をきちんと把握し何らかの指針の設置、である。

本奨励金による支援を受けさせていただいたおかげで、自身の核となる研究テーマのうちの1つが固まり、今後社会に向けて価値のある研究結果を出していく姿勢を修得することができた。ご支援に感謝いたします。

文献

- 1) Hardy, J. D., The radiation of heat from the human body. I. An instrument for measuring the radiation and surface temperature of the skin. J. Clin. Invest., 1934, 13, 593. 4.
- 2) Hardy, J. D., The radiation of heat from the human body. II. The radiation of heat from the human body. II. A comparison of some methods of measurement. J. Clin. Invest., 1934, 13, 605.
- 3) http://www.mext.go.jp/a_menu/kenko/hoken/1353625.htm 文部科学省HP