

奨励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）	都市に開設する保育施設の新たな環境計画のための乳幼児の生理反応に関する研究
研究者名※	種市 慎也
所属組織※	横浜国立大学大学院 都市イノベーション学府 都市イノベーション専攻 建築環境工学研究室
研究種別	奨励研究
研究分野	その他
助成金額	80 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 年度奨励研究助成実施報告書

所属機関名 横浜国立大学大学院
申請者氏名 種市 慎也

研究課題	都市に開設する保育施設の新たな環境計画のための乳幼児の生理反応に関する研究
<p>(概要) ※最大 10 行まで</p> <p>本研究では、向暑季・夏季を想定した保育室内において実験室実験を行い、子どもと母親の体温調節反応や呼気、代謝に関する生理反応の特性を把握した。さらには、得られた実測結果から、保育施設で必要とされる換気量を推定した。その結果、平均皮膚温度は、母親よりも子どもの方で、0.6～1.0℃程度高い傾向であった。これは、子どもの皮膚血管拡張による放熱の影響と考えられた。次に、安静時と活動時によって母親の温冷感の申告値が異なることが確認された。特に 32℃の室温条件では、「暑い」という申告が顕著に増加した。最後に、保育施設に必要な 1 人当たりの換気量を推定した結果、特に活動時において母親で 30m³/h を、子どもで 20m³/h を超えた。そのため、保育施設の良い空気環境を考える上では、建築基準法の示す建築物の最低基準では不十分な可能性が高く、1 人当たり 30 m³/h の換気設計が望ましいと示唆された。</p>	

1. 研究の目的	(注) 必要なページ数をご使用ください。
<p>1.1 研究背景・意義</p> <p>都市部に開設する保育施設では、建物管理の方針や内外の騒音への配慮等から、窓を開放するという行為が制限される場合も多く、室内空気環境の問題点が明らかとなっている[1～4]。一方で、窓を開放できる保育施設では、新型コロナウイルスの感染症対策として、夏季においても窓開け換気を実施する施設が多くなっている[5]。しかし、この窓開け換気の種類によっては、中間季においても室温が 30 度を超える事例[4]も確認され、熱中症発生のリスクが高まっている可能性も考えられる。以上のように、都市部の保育施設においては、適切な室内空気・温熱環境が実現されていない事例が散見された。この一因として、保育施設を対象とした室内空気環境の明確な基準が存在しておらず、建築物衛生法が適用される建築物を除いては、室内の環境調整方針が各園に委ねられている点が挙げられる。しかし、建築物衛生法が適用されない場合においても、子どもが安全で健康に過ごせる成育環境を、さらには保育者の労働環境としても最低限の質が担保されるべきである。そのため、向暑季や夏季を想定した室内環境下において、子ども・保育者の体温調節反応や呼気、代謝に関する生理反応の実態を明らかにすることは、今後の適切な換気方法を講じていくための重要な資料であり、定量的なデータの蓄積が求められる。</p>	

1.2 研究目的

本研究では、向暑季・夏季を想定した保育室内において実験室実験を行い、子どもと母親（保育者想定）の体温調節反応や呼気、代謝に関する生理反応の実態を明らかにすることを目的とする。さらには得られた実測結果から、保育施設で必要とされる換気量を推定する。そして、換気が重要視される現在の生活様式において、都市部の保育施設の施設設計に求められる空気・温熱環境の指標や換気の改善方を提示していくことを最終目標としている。

参考文献

- [1] 藤井里咲, 定行まり子: 保育所における1歳児の生活行為からみた空間・環境に関する研究 関東圏内の2園における温熱空気環境に着目して, 日本建築学会計画系論文集, Vol. 81, No. 729, pp. 2383-2391, 2016
- [2] 宮島光希, 田中稲子, 張晴原: リモネンに着目した保育施設の室内空気汚染の実態調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 953-954, 2018
- [3] 宮島光希, 田中稲子, 松橋圭子, 種市慎也: 都市部の保育施設の建築的特徴が保育者の窓開け行為と室内外環境評価に及ぼす影響に関する研究, 人間と生活環境, Vol. 27, No. 2, pp. 85-93, 2020
- [4] 種市慎也, 田中稲子, 宮島光希, 松橋圭子: 中間季の換気行為に着目した都市部の保育施設における換気に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, Vol. 88, No. 806, pp. 288-299, 2023
- [5] 大西達也, 種市慎也, 胡怡賢, 田中稲子: 夏季のワンルーム型保育施設における居住域の温熱・空気環境の実態, 日本建築学会関東支部研究報告集II, pp. 131-132, 2023

2. 研究の経過

(注) 必要なページ数をご使用ください。

2.1 被験者の選択と身体特性

本研究では、保育施設に通う2歳以上の子どもとその母親5組を対象に実験室実験を実施した(表1)。なお、母親は保育者を想定した被検者として選定した。母親の平均年齢は33.5歳。子どもの平均年齢は3.9歳であった。被験者の体表面積は、藤本らの式を用いて算出した[6]。母親の身体特性(身長、体重、体表面積)は、保育者の平均年齢[7]である30代と比較すると概ね同等であった。一方、子どもの身体特性は、本調査対象の2~6歳の平均と比べると、被験者の方がいずれの値も若干大きく、平均よりも成長が進んでいる子どもを選定したことが分かった。

2.2 実験方法

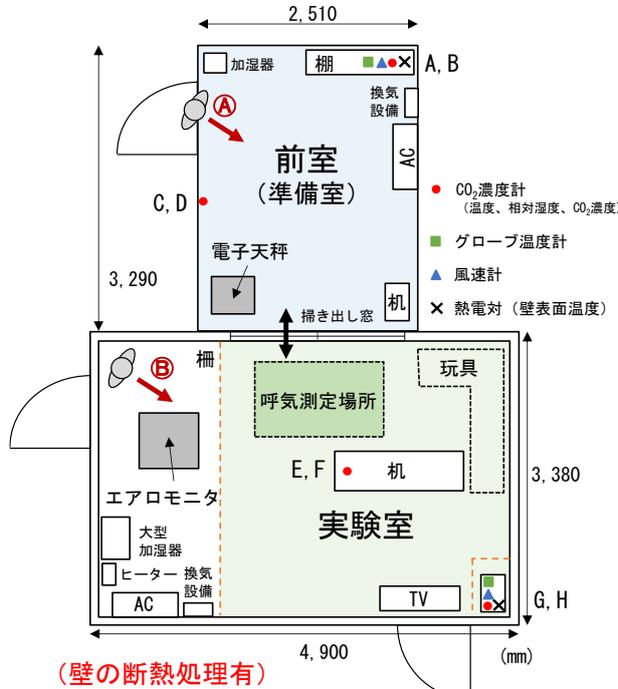
本実験は、2022年11月中旬から下旬にかけて、図1に示す温湿度の調整が可能な部屋で実施した。実験室は子どもの感情の起伏を最小限とするために、慣れ親しんでいる保育室を模して、子どもが好む玩具や絵本、ぬいぐるみ等を設置し、子どもが飽きない環境作りを心掛けた。

室内環境の測定は、温湿度、CO₂濃度等であり、生理反応に関わる測定は、皮膚温度、内耳温度、呼気、身体活動量等とした(表2)。本報告書では一部の測定結果を報告する。表3にタイムスケジュールと室環境の設定条件を示す。調査は、先行研究[8-9]に倣い、サーガディアンリズムにも配慮した時間帯(10:00~12:00頃)に実施した。着衣は、下着の上にTシャツと短パン(0.3clo相当)とした。被験者の姿勢は、安静条件ではTVで動画を視聴する椅子座、活動条件では歩行運動する立位とした。歩行時の呼気を測定する際は、活動の強度を一定とするために音楽のリズムに併せて歩行運動を実施した。また、安静条件後は、呼気を測定する時間を除き、室内で自由に過ごしてもらった。なお、被験者の親子には本研究の目的、方法、安全性等に関してスライドと口頭で十分に説明・資料の配布をしたうえで承諾を得て実施しており、適正な報酬が支払われた。

表 1 被験者の身体データ

	年齢 [歳]	身長 [cm]	体重 [kg]	体表面積* [m ²]
母親 (n=5)	33.5±4.2	158.2±6.5	51.2±6.0	1.46±0.11
子ども (n=5)	3.9±1.6	101.6±13.2	18.1±4.7	0.70±0.13

* 藤本らの推定式を用いて算出



Ⓐ 前室



Ⓑ 実験室

図 1 実験室の様子

表 2 測定項目と使用機器

測定項目	測定機器	測定間隔
温度	CO ₂ 濃度計 TR-76U (T&D)	1分毎に自動記録
相対湿度		1分毎に自動記録
CO ₂ 濃度		1分毎に自動記録
グローブ温度	温度計 RT-13 (ESPEC)	1分毎に自動記録
壁面温度	T型熱電対 TR-55i (T&D)	1分毎に自動記録
風速	クリモマスター風速計 Model 6501-A0, 6542-21 (KANOMAX)	1分毎に自動記録

測定項目	測定機器	測定間隔
皮膚温度	T型熱電対 TR-55i (T&D)	30秒毎に自動記録
内耳温度 (深部体温)	耳式体温計 MC-510 (OMRON)	1被験者: 6回測定
呼吸 (VCO ₂ , VO ₂ , METs等)	エアロモニタ AE-310S (MINATO)	1被験者: 4回測定 (1分間)
身体活動量 (METs, 歩数)	Active style Pro HJA-750C (OMRON)	10秒毎に自動記録
発汗量 (体重減少法)	電子天秤 GP-100K (A&D)	1被験者: 4回測定
心理量	温冷感、乾湿感、快適感 (母親のみ回答)	1被験者: 6回答
その他	実験開始前に年齢、身長、居住歴について回答	

表 3 タイムスケジュールと温熱条件

10:00	10:30	11:00	11:30	12:00
説明	準備	調査1	休憩	調査2
26℃	26℃	28℃	26℃	32℃
前室	前室	実験室	前室	実験室

【前室】
26℃, 50%RH, 0.2m/s 以下
【調査 1】至適環境条件
28℃, 50%RH, 0.2m/s 以下
【調査 2】暑熱環境条件
32℃, 50%RH, 0.2m/s 以下

参考文献

- [6] 藤本薫喜, 渡辺孟, 坂本淳, 湯川幸一, 森本和枝: 日本人の体表面積に関する研究 第 18 篇 三期にまとめた算出式, 日本衛生学雑誌, Vol. 23, No. 5, pp. 7-14, 1968
- [7] 厚労省: 賃金構造基本統計調査, 2019
- [8] 有富由香, 堀越哲美, 宇野勇治: 室内温熱環境が母親とその子どもの生理反応に及ぼす影響, 日本建築学会環境系論文集, Vol. 74, No. 637, pp. 315-321, 2009
- [9] 都築和代: 暑熱および温暖環境における子供と母親の体温調節反応の比較, 日本家政学会誌, Vol. 49, No. 4, pp. 409-415, 1998

3. 研究の成果

(注) 必要なページ数をご使用ください。

3.1 室温が皮膚温度に及ぼす影響

図2に1組の母親と子どもの平均皮膚温度を示す。なお、平均皮膚温度は胸、上腕、大腿、下腿の4点の皮膚表面温度から4点法(Ramanathan法)にて算出している。その結果、母親と子どもの両方で室温上昇に伴い、平均皮膚温度も上昇する傾向がみられた。また、子どもの平均皮膚温度は、母親よりも0.6~1.0℃程度高かった。これは、発汗機能が発育途上の子どもにおいて、皮膚血管拡張で熱を逃がす特性を有するためである[10]。

次に、得られた平均皮膚温度の値を先行研究の結果[8]と比較した(表4)。その結果、28・32℃条件時の平均皮膚温度の差は、0.1~0.3℃であり、概ね一致した。

3.2 室温と温冷感申告の関係

図3に室温と母親の温冷感の関係を示す。28℃時の平均温冷感申告値は1.2、32℃時は2.6であり、32℃では+3(暑い)の申告が顕著に増えていることが窺える。また、活動状況で比較すると、28℃時の平均温冷感申告値は、安静で0.8、活動で1.4であり、活動強度に伴い増加した。これは32℃の条件でも同様であり、活動を伴う際は、暑さを感じやすくなると言える。そのため、保育施設のような活動が多岐に渡り、かつ活動の強度が高い施設では、暑さを感じやすい可能性がある。

3.3 身体活動量と呼気の分析

各条件の身体活動量と VC_{O_2} の結果を表5に示す。母親の身体活動量は安静(1.2METs 想

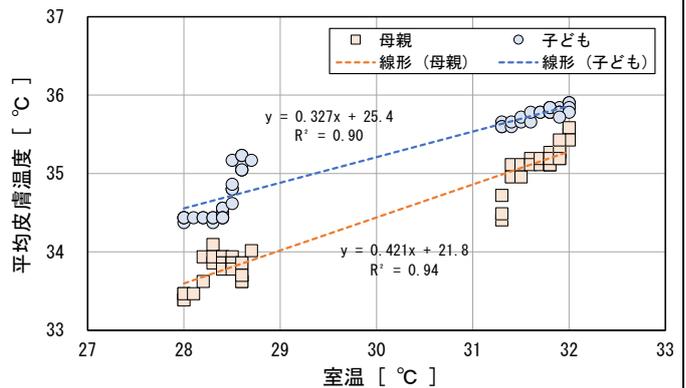


図2 室温と平均皮膚温度の関係(被検者E)

表4 平均皮膚温度の比較

推定平均皮膚温度 差=本実験-有富ら		室温条件	
		28℃	32℃
母親	本実験	33.6	35.3
	有富ら	33.8	35.0
	差	-0.2	0.3
子ども	本実験	34.6	35.9
	有富ら	34.6	35.7
	差	-0.1	0.1

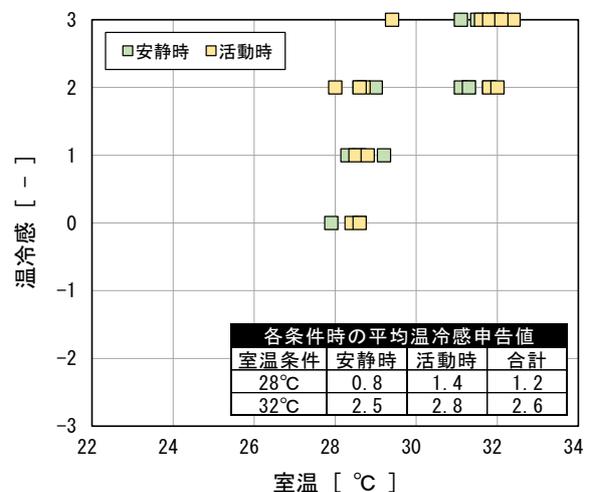


図3 室温と温冷感の関係(母親)

表5 室温条件毎の身体活動量と VC_{O_2} の平均値

被験者	室温条件	安静時(椅子座)		活動時(歩行運動)	
		身体活動量 [METs]	VC_{O_2} [ml/min]	身体活動量 [METs]	VC_{O_2} [ml/min]
母親 (n=5)	28℃	1.2±0.2	184.8±17.2	2.7±0.3	351.6±41.3
	32℃	1.5±0.4	193.0±25.0	2.6±0.1	356.7±47.7
子ども (n=5)	28℃	2.3±0.4	124.1±15.3	3.6±0.5	190.0±46.9
	32℃	2.8±0.6	130.9±19.5	4.0±0.8	197.3±26.2

* 28℃活動時の母親のデータのみn=4である

定)、歩行活動 (2.5METs 想定) の両条件とも想定していた程度の活動量が得られ、実験の再現性を確認できた。しかし、子どもの身体活動量の値は、母親よりも 1.3~1.9 倍程度大きくなった。この身体活動量は酸素摂取量と体重から推定 [11] されるため、子どもの体型では、過大評価された可能性が考えられる。そのため、子どもの身体活動量については別途測定した身体活動量の値と比較を行い、適切性を検討していく予定である。

母親の VC_{O_2} は、安静時で 190ml/min、活動時で 350ml/min 程度であった。成人男性の安静時で 220ml/min、極軽作業時に 370ml/min 程度とされている [12] ので、性差を考慮すると妥当な値である。一方、子どもの VC_{O_2} は、安静時で 125ml/min、活動時で 195ml/min 程度と、母親の値の 54.0~67.8% の値であった。また、母親・子どもの両者ともに 28℃ よりも 32℃ 時の VC_{O_2} が 1.4~5.5% 高くなった。これは、室温の上昇に伴い呼吸数が増加 [13, 14] したことが影響していると考えられる。しかし、施設の換気設計を考える上で配慮が必要なほどの増加量ではないと考えられる。

次に得られた VC_{O_2} の結果から、保育施設で必要とされる換気量の推定を行った。なお、外気の CO_2 濃度は既報 [4] より 430ppm、室内の目標値は 1000ppm と仮定し、ザイデル式を用いて算出した。その結果を図 4 に散布図で示す。建築基準法では、建築物が最低限有すべき性能として 20 m^3/h (子ども・女性は半分の値) を、建築物衛生法では特定建築物の運用時 (現在ではコロナ対策の目安としても採用) に 30 m^3/h の換気量を求めている。これら指標と比較すると、10 m^3/h は 100%、20 m^3/h は 48%、30 m^3/h は 25% が超える結果となった。そのため、保育施設のような活動が多岐に渡る場合、建築基準法の換気量では不十分であると考えられる。これは建築基準法で想定している活動量が安静時のためである。また、ASHRAE が公開している基準 [15] を参考に、保育施設に必要な換気量を算出しても、オフィスビルと同様に 30 m^3/h 程度であるため、保育施設の良い空気環境を考える上では 1 人当たり 30 m^3/h の換気設計が適切だと推察される。

4. まとめ

本研究では、母親と子どもを対象とした実験室実験によって、向暑季・夏季を想定した 28℃、32℃ (+50%RH, 0.2m/s 以下) の温熱条件における皮膚温度、 VC_{O_2} 等の生理反応や心理反応の実態を把握した。本研究で得られた一部の知見を以下に示す。

- (1) 各温熱条件に対する平均皮膚温度は、母親よりも子どもの方で、0.6~1.0℃程度高い傾向であった。これは、子どもの皮膚血管拡張による放熱の影響と考えられた。
- (2) 同じ室温条件においても、安静・活動によって温冷感の申告値が異なることが確認された。特に 32℃ の室温条件では、「暑い」という申告が顕著に増加した。
- (3) 保育施設に必要な 1 人当たりの換気量を推定した結果、母親は 30 m^3/h を、子どもは 20 m^3/h を超えた。そのため、保育施設の良い空気環境を考える上では、建築基準法の最低基準では不十分な可能性が高く、1 人当たり 30 m^3/h の換気設計が望ましいと示唆された。

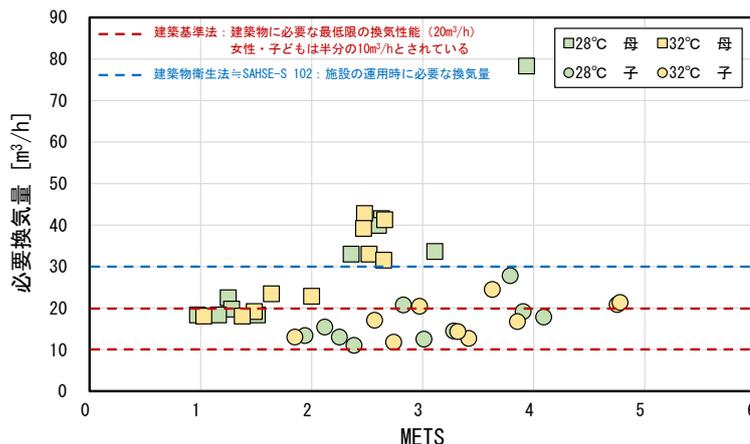


図 4 身体活動量毎の推定必要換気量

参考文献

- [10] 井上芳光：子どもと高齢者の熱中症予防策，日本生気象学会雑誌，Vol.41，No.1，pp.61-66，2004
- [11] アメリカスポーツ医学会（American College of Sports Medicine），1975
- [12] 日本工業規格：JIS A 1406-1974
- [13] 豊岡示朗，金子公有：最大作業時の呼吸循環系反応に及ぼす室温の影響，体育学研究，Vol.17，No.4，pp.205-211，1973
- [14] 馬場一雄：改訂小児生理学，pp.116-117，1994
- [15] ASHRAE：ANSI/ASHRAE Standards 62.1-2022 Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality，2022

4. 今後の課題

（注）必要なページ数をご使用ください。

本研究の今後の課題を以下に示す。

①生理反応と活動の影響について

本実験は、安静・活動状態の生理反応の変化を調査した。しかし、体温調節反応に関わる皮膚温度等の活動有無の影響を正確に分析するためには、さらなるデータの蓄積が必要であると考えられた。

②子どもの身体活動量の妥当性

3.3で記述したように、呼気から算出されたMETs値は過大評価された可能性が考えられた。そのため、同時に別の機器で測定したMETs値との比較検討を行う必要がある。

③学会発表や査読論文誌等への投稿

本研究成果は、上記の課題解決に取り組んだ後に、2023年度の間人-生活環境系学会の学会大会に投稿予定である。その後、査読論文誌への投稿を予定している。

謝辞

本研究は、公益財団法人大林財団の2021年度奨励研究助成を受けて取り組むことが出来ました。貴財団に厚く御礼申し上げます。また、本調査にご協力頂きました親子、数々のご助言とご指導賜りました横浜国立大学 教授の田中稲子先生、東京都市大学 准教授の松橋圭子先生に心より御礼申し上げます。