

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K02651

研究課題名(和文) 乳幼児の快適性・健康性保持のための保育室内空気環境の実態把握と室内環境基準の提案

研究課題名(英文) Investigation on Indoor Air Quality in Nursery School Classrooms for the Comfort and Health of Infants and Proposal of Indoor Environmental Standards

研究代表者

源城 かほり (Genjo, Kahori)

長崎大学・工学研究科・教授

研究者番号：90315648

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：乳幼児の健康性に影響を及ぼすと考えられる保育室内空気環境の実態把握を目的として、2020年度5園、2021年度4園、計9園の長崎市内の保育室11室を対象に、夏期、冬期に実態調査を実施した。その結果、保育室内環境について、夏期は空中浮遊カビ数、CO2濃度、PM2.5濃度、温度、冬期はCO2濃度と温度に問題が見られた。乳幼児の快適性・健康性保持のための室内環境基準として、換気はCO2濃度1000 ppm、温度は夏季26～28℃、冬季20～23℃、相対湿度は40%以上70%以下、空中浮遊カビ数は1000 cfu/m3、室内化学物質濃度は厚生労働省の室内濃度基準と同じ基準値をそれぞれ提案したい。

研究成果の学術的意義や社会的意義

乳幼児が長時間を過ごす保育室における空気環境を中心とする室内環境の問題点を夏季、冬季の実測調査を通じて明らかにし、二酸化炭素濃度、夏季及び冬季の温度、相対湿度、空中浮遊カビ数、化学物質濃度に関する室内環境基準を提案した。体温調節能力が未熟な上に、体が小さいために大人に比べ室内環境の影響を受けやすい乳幼児が快適で健康に過ごす上で必要となる室内物理環境条件を明らかにしたが、これは保育室だけでなく、乳幼児が過ごす他のさまざまな住環境においても適用可能である。さらに、本研究によって、保育室における夏季の熱中症防止や冬季における風邪や感染症予防のための環境整備に有用な情報を提供することができた。

研究成果の概要(英文)：Indoor air environments in nursery school classrooms were investigated to prepare fundamental information for proper environmental design and environmental control considering infants' health. Indoor environments were measured in nine different nursery schools in Nagasaki City, Japan during the summer and winter in 2020 and 2021. As a result of the measurements, some problems were found in CFU (colony forming unit) of airborne fungi, CO2 concentration, PM2.5 concentration, and temperature in the summer, and in the CO2 concentration and temperature in the winter. Indoor environmental standards for maintaining the comfort and health of infants are proposed that a CO2 concentration of 1000 ppm for ventilation, a temperature of 26 - 28 °C in summer and 20 - 23 °C in winter, a relative humidity of 40% - 70%, and CFU of airborne fungi of 1000 cfu/m3, and the same indoor concentration as the indoor concentration standards of the Ministry of Health, Labor and Welfare.

研究分野：建築環境工学

キーワード：保育室 乳幼児 快適性 健康性 空気環境 室内環境 環境調整 環境基準

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、保育所利用児童の増加と利用児童の低年齢化が進んでいるが、待機児童解消ばかりに目が向けられており、低年齢の子どもが長時間を過ごす保育室内環境の質の確保は二の次となっている。現在、保育施設において、温湿度、二酸化炭素濃度、照度、騒音レベル等の室内物理環境に関して数値による明確な基準が定められていない。このように、子どもを取り巻く保育室内の熱環境や空気環境といった物理環境の快適性、健康性の確保に対する法整備は進んでいない。研究代表者が行った事前調査では、定員を超過している保育室内の二酸化炭素濃度が高くなり空気環境が悪化している事例があることがわかった。定員より多くの子どもを受け入れている保育所では設計時の換気量では換気不足となり、保育室内の空気環境の質が悪化し、乳幼児の健康性が確保できていない可能性が高い。空気環境に関して、二酸化炭素濃度計など何らかの機器が設置されている保育所は、研究代表者が研究開始以前に調査した15の保育施設の中では皆無であり、コントロールするための目安となる測定器が存在しなかった。このような状況下で、乳幼児が過ごす保育室内の空気環境の健康性が確保されているのかは疑問である。保育室における熱・光・音環境の快適性と空気環境の健康性は乳幼児にとって適切に確保されているのかどうかを解明する必要がある。

2. 研究の目的

前述のとおり、研究課題の申請時において、保育室における熱・空気・光環境に関する物理環境基準がなかったため、乳幼児が長時間過ごす保育室内環境の快適性、健康性が確保されているかは疑わしいと考えられた。本研究では特に、病欠との関連や健康影響が指摘されている保育室内空気環境の健康性が確保されているかどうか^{1),2)}、その実態を踏まえて、乳幼児にとって適切な室内物理環境基準を整備することを目的とする。

3. 研究の方法

保育室内空気環境の実測調査を実施し、得られた調査結果に基づき保育室内環境基準について検討する。調査対象保育施設の建物概要を表1に示す。2020年度にA園からE園までの5園7室を、2021年度にF園からI園までの4園4室を調査対象とし、2か年で合計9園11室を調査した。調査対象保育室は、身体が小さく室内環境の影響をより強く受けると考えられる0歳児室、1歳児室とする。各調査対象保育室において、空気環境の実測を夏期の冷房時、冬期の暖房時に行う。実測内容と方法を表2に示す。調査項目は、化学物質(ホルムアルデヒド、揮発性有機化合物:VOC)気中濃度、浮遊真菌濃度、粒子状物質(PM2.5)とし、熱環境調査項目である温湿度も測定する。化学物質気中濃度は補集管(DSD-DNPH, VOC-SD)を用いたパッシブ法により室内外空気を24時間補集して測定する。浮遊真菌濃度は空中浮遊サンプラーを用いて室内100Lと外気50Lの空気を2種類の培地(一般カビ用培地:PDA培地、好乾性カビ用培地:DG18培地)で採取する。粒子状物質はPM2.5デジタル粉じん計を用いて1分間隔にて測定する。夏期、冬期の実測時における保育室での空調設備・換気設備の運用方法や保育活動等についてアンケート調査を行い把握する。

各保育室の調査結果を分析し、調査報告書に取り纏めた後、各保育施設に報告し、室内空気環境の問題点や化学物質やカビの発生源を推測し、室内空気環境の改善方法について提案する。

表1 調査対象保育施設の建物概要

施設名	A園	B園	C園	D園	E園	F園	G園	H園	I園
種別	認定こども園(私立)	認定こども園(私立)	保育園(私立)	保育園(私立)	認定こども園(私立)	保育所(公立)	保育所(公立)	認定こども園(私立)	保育園(私立)
竣工年	1999	2012	2013	2014	2016	1974	1970	2013	2013
構造・階数	鉄骨造・3階建て	RC造・2階建て	木造・2階建て	鉄骨造・2階建て	RC造・2階建て	RC造・2階建て	RC造・3階建て	RC造・3階建て	RC造・2階建て
延床面積(m ²)と各室床面積	701.77 1歳児室:55.78	762.41 0・1歳児室:115.32	505.66 0歳児室:43.84 1歳児室:32.97	1291.34 0・1歳児室:178.2	963.17 0歳児室:69.55 1歳児室:68.47	665.28 1歳児室:48.05	742.4 1歳児室:47.51	1310.54 0・1歳児室:64.31	968.24 1歳児室:53.22
冷暖房設備	エアコン	エアコン	エアコン	エアコン	エアコン	エアコン	エアコン	エアコン	エアコン
換気設備	あり(第3種)	あり(第3種)	あり(第3種)	あり(第3種)	あり(第3種)	なし	なし	あり(第1種)	あり(第3種)
その他設備	空気清浄機	空気清浄機・天井扇・次亜塩素酸噴霧器	なし	空気清浄機・加湿器	次亜塩素酸空間除菌脱臭機	空気清浄機	空気清浄機・加湿器	空気清浄機・加湿器・床暖房	空気清浄機・加湿器
開園時間	7:00-18:00	7:00-19:00	7:00-19:00	7:00-20:00	7:00-19:00	8:50-17:30	8:45-17:30	7:00-19:00	7:00-19:00
乳幼児1人当たりの面積(m ² /人)	1歳:2.15	0・1歳:11.53	0歳:7.31 1歳:2.06	0歳:3.60 1歳:4.22	0歳:5.35 1歳:2.63	1歳:5.34	1歳:3.96	1歳:1.95	1歳:3.80
夏期実測期間	2020/7/27-7/28	2020/8/20-8/21	2020/8/4-8/5	2020/7/30-7/31	2020/8/18-8/19	2021/7/29-7/30	2021/8/3-8/4	2021/8/5-8/6	2021/8/10-8/11
冬期実測期間	2020/12/1-12/2	2020/12/3-12/4	2020/12/8-12/9	2020/12/17-12/18	2020/12/14-12/15	2021/12/8-12/9	2021/12/6-12/7	2021/12/3-12/4	2021/12/10-12/11

表2 実測内容・方法

測定項目	測定方法
アルデヒド類気中濃度	補集管 DSD-DNPHを用いたパッシブ法により床上1.1mにて室内外空気を24時間補集して測定後、高速液体クロマトグラフにて分析。
VOC気中濃度	補集管VOC-SDを用いたパッシブ法により床上1.1mにて室内外空気を24時間補集して測定後、ガスクロマトグラフ/質量分析計にて分析。
粒子状物質 (PM2.5)	PM2.5デジタル粉じん計(LD-5R)を用いて1分間隔にて24時間測定。
空中浮遊カビ数	空中浮遊サンプラーを用いて室内100Lと外気50Lの空気を床上1.1mにて2種類の培地(一般カビ用培地:PDA培地、好乾性カビ用培地:DG18培地)を用いて採取。培地を25℃にて5-7日間培養後、形成された集落数をカウント。形態学的方法を用いてカビを
二酸化炭素濃度	CO2・温度・湿度データロガー(TR-76Ui)を用いて室内1分間隔、外気1分間隔または10分間隔にて24時間測定。
温湿度	

空中浮遊カビ数

一般カビ用の培地である PDA 培地と好乾性カビ用の培地である DG18 培地の 2 種類の測定結果と I/O 比について分析した。なお、I/O 比とは、室内と外気の空中浮遊カビ数の比のことで、この値が 1 より大きい場合、カビの発生源が室内にあることを意味している。室内浮遊カビ数には保育室内環境基準は定められていないが、日本建築学会の環境基準では、住宅では 1000 cfu/m³ 以上(ただし、1000 cfu/m³ 以上の場合、I/O 比は 2 以下であること)、学校では 2000 cfu/m³ 以上であれば空中浮遊カビ数が多いと判断される⁷⁾。浮遊微生物の中には、感染症、アレルギーなどの健康疾患を引き起こす可能性のある種類もあるため、室内気中濃度は極力抑えるべきと認識されている⁸⁾。

夏期における総空中浮遊カビ数は、図表は省くが、PDA 培地で 90~560 cfu/m³、DG18 培地で 90~3390 cfu/m³ の範囲にあって、総空中浮遊カビ数が前述の住宅の環境基準である 1000 cfu/m³ を超過する保育室は 9 園中、6 園(A 園、B 園、D 園、E 園、F 園、H 園)あった。また、PDA 培地では 11 室中 7 室で、DG18 培地では、11 室全室において I/O 比が 1 を超えていた。このことから、いずれの園も室内に空中浮遊カビの発生源がある可能性が高いと考えられる。また、C 園、G 園、I 園以外の保育室では、DG18 培地において空中浮遊カビ数が 1000 cfu/m³ を超えている。なかでも B 園 0・1 歳児室、D 園 0・1 歳児室、E 園 0 歳児室、F 園 1 歳児室では 2000 cfu/m³ を超えていることからカビが多いと判断される。DG18 培地で検出された空中浮遊カビのうち菌種別では感染症を引き起こす恐れのある *Aspergillus*(コウジカビ)が大半を占めており、I/O 比が 9.0~78 と高いため、これらのカビは室内に発生源があると推測された。*Aspergillus* は繊維上に発生しやすいカビであり、布団綿などに多く検出され、綿に吸着した汗の栄養分を利用し、増殖することがあり⁹⁾、保育室で午睡時に使用される布団類が発生源の一つである可能性が考えられる。

冬期における総空中浮遊カビ数は、図表は省くが、PDA 培地で 60~470 cfu/m³、DG18 培地で 60~830 cfu/m³ の範囲にあって、総空中浮遊カビ数が前述の住宅の環境基準である 1000 cfu/m³ を超過する保育室は見られなかった。冬期は夏期に比べ温湿度が低く、カビにとって生息しづらい環境であったことが影響していると考えられる。また、PDA 培地では I/O 比が不明な 1 室を除く 10 室中 6 室において、DG18 培地では I/O 比が不明な 1 室を除く 10 室中 9 室において I/O 比が 1 を超えていたことから、冬期においても夏期と同様にカビの発生源は室内である可能性が示唆された。冬期におけるカビの主な菌種は、A 園、B 園、C 園 1 歳児室では *Cladosporium*(クロカビ)、C 園 0 歳児室、E 園 0 歳児室、F 園、G 園、H 園、I 園では *Aspergillus* であった。

夏期、冬期の測定結果から、I/O 比は PDA 培地に比べ DG18 培地の方が高い傾向がある。I/O 比は PDA 培地の一部の結果を除けば、ほぼ 1 以上を示していた。このことから、夏期、冬期とも保育室における室内空中浮遊カビ数の発生源は室内である可能性が高いと考えられる。

二酸化炭素濃度

図表は省くが、夏期における室内 CO₂ 濃度は測定対象 11 室中 C 園と E 園の 0 歳児室、1 歳児室、I 園の 1 歳児室の 5 室で日最高濃度が 1500 ppm を超えており、このうち 3 室では日平均でも 1500 ppm を超えており、さらに 3 室中 1 室では最高濃度がほぼ 3000 ppm を示していた。一方、冬期における室内 CO₂ 濃度は 11 室中いずれの園でも日平均が 1500 ppm を下回っているが、C 園と E 園の 0 歳児室、1 歳児室、I 園の 1 歳児室の 5 室では日最高濃度が 1500 ppm を超えており、特に E 園の 1 歳児室では 2000 ppm を超え、他の園よりも顕著に高かった。このように、全般的に見て、冬期に比べて夏期の方が室内 CO₂ 濃度が高い傾向にあり、特にこの傾向は乳幼児 1 人当たりの床面積が小さい室で顕著であり、C 園と E 園の 1 歳児室においてこれが当てはまる。これらの保育室では換気量不足の可能性が高い。なお、図表は省くが、各室とも CO₂ 濃度の時刻別変動から、午睡時や食事・おやつ、自由遊びの時間帯に室内 CO₂ 濃度が高くなる傾向が見られた。また、I 園での室内 CO₂ 濃度が高い理由として、アンケートから、I 園では機械換気設備を使用していたが、窓開け換気はしていなかったため、機械換気だけでは換気量が不足している可能性が考えられる。

PM2.5 濃度

学校環境衛生基準では浮遊粉じん濃度の基準は 0.10 mg/m³ と定められているが、PM2.5 濃度に関しては基準が定められていない。そのため、PM2.5 濃度については、イギリスの学校基準である年平均 25 µg/m³(0.025 mg/m³)を参考基準として用いる¹⁰⁾。

図表は省くが、開園時間中の保育室の PM2.5 濃度が学校環境衛生基準の浮遊粉じん濃度基準である 0.10 mg/m³ を超過していたのは夏期、冬期とも B 園 0・1 歳児室の日最高濃度であり、それ以外の室では基準を下回っていた。B 園では、開園時の PM2.5 濃度は学校環境衛生基準を満たしていたが、閉園中に次亜塩素酸噴霧器を運転しており、微細水滴の形態にされて噴出された次亜塩素酸が PM2.5 として検知され、閉園中の PM2.5 濃度が高い値を示した可能性が考えられる。一方、PM2.5 濃度が参考基準の 0.025 mg/m³ を上回っていたのは、夏期においては A 園 1 歳児室、H 園 1 歳児室、I 園 1 歳児室を除く全ての室の日最高濃度と B 園 0・1 歳児室の日最低濃度と日平均濃度であり、冬期においては E 園 0 歳児室、F 園 1 歳児室、G 園 1 歳児室、H 園 1 歳児室、I 園 1 歳児室を除く全ての室の日最高濃度と B 園 0・1 歳児室の日平均濃度であった。アンケート

によれば、調査年において、I園を除き、新型コロナウイルス感染症防止のために空調時においても窓開け換気を併用していたことから、室内にPM2.5が流入している可能性が考えられる。

温湿度

図表は省くが、測定した11室では、開園時間における夏期の最高温度と冬期の最低温度が一部の室(夏期はE園0歳児室、H園1歳児室、I園1歳児室の3室、冬期はG園1歳児室とH園1歳児室の2室)を除いて、いずれも学校環境衛生基準である17~28の範囲外となっていた。しかし、殆どの園において、基準範囲外の温度は、登園直後や降園直前のほか、空調設備を運転し始めた時刻や換気のために窓を開放した直後に見られていた。保育室内平均相対湿度は、夏期、冬期ともに、冬期のD園0・1歳児室を除けば学校環境衛生基準の30~80%を満たしていた。冬期のD園0・1歳児室では日平均相対湿度が学校環境衛生基準の下限値である30%を下回っており、かなり湿度が低かったが、他の測定対象室に比べ冬期の最高温度が高いことが影響している可能性がある。

一方、夏期の保育室内平均温度を夏期の快適域である26~28と比べると、E園0歳児室で24.9、G園1歳児室で25.1、I園1歳児室で25.3と下限よりも低く、A園1歳児室で28.1、B園0・1歳児室で28.4、C園0歳児室で28.2と上限よりも高かったが、それ以外の5室では快適域に収まっていた。また、冬期の保育室内平均温度を冬期の快適域である20~23と比べると、C園0歳児室、G園1歳児室、H園1歳児室の3室でのみこれを満たしており、I園1歳児室で23.5と上限よりも高かったが、それ以外の7室では下限よりも低かった。冬期においては快適域の下限である20よりも3低い室が3室見られたため、暖房時における保育室熱環境は改善が必要であると考えられる。

(2) 測定結果を踏まえた保育室内空気環境基準の提案

長崎市内の保育施設9園11室を対象とした保育室内環境について、夏期は空中浮遊カビ数、CO₂濃度、PM2.5濃度、温度に、冬季はCO₂濃度と温度に問題が見られた。前述の測定結果を踏まえ、乳幼児の快適性・健康性保持のための室内環境基準として、換気は学校環境衛生基準の1500ppmよりも低く安全側であると考えられる事務所に適用されているCO₂濃度基準¹¹⁾と同じ1000ppmを、温度は保育所における感染症対策ガイドラインに基づく夏季26~28、冬季20~23を、相対湿度は学校環境衛生基準の30%以上80%以下よりも安全側であると考えられる事務所に適用されている相対湿度基準¹¹⁾と同じ40%以上70%以下を、空中浮遊カビ数は日本建築学会の住宅における環境基準である1000cfu/m³を、室内化学物質濃度は厚生労働省の室内濃度基準と同じ基準値をそれぞれ提案する。

調査対象地域や調査対象保育室数が限られてはいたが、実態調査の結果、保育室における室内空気環境には換気不足や空中浮遊カビ数が夏期に多いなど問題が散見されたことから、乳幼児を新興感染症から守るためにも環境基準を早急に定め、環境整備を遂行していく必要がある。

<引用文献>

- 1) Kolarik, B.; Andersen, Z.J.; Ibfelt, T.; Engelund, E.H.; Møller, E.; Bräuner, E.V. Ventilation in day care centers and sick leave among nursery children. *Indoor Air*, 26, 2016, 157-167.
- 2) Oliveira, M.; Slezakova, K.; Deleru-Matos, C.; Pereira, M.C.; Morais, S. Assessment of air quality in preschool environments (3-5 years old children) with emphasis on elemental composition of PM10 and PM2.5. *Environ. Pollut.* 214, 2016, 430-439.
- 3) 文部科学省、学校環境衛生管理マニュアル「学校環境衛生基準」の理論と実践[平成30年度改訂版], p.21, 2018.
- 4) 厚生労働省、室内空气中化学物質の室内濃度指針値について(平成31年1月17日), https://www.mhlw.go.jp/web/t_doc?dataId=00tc3866&dataType=1&pageNo=1
- 5) 厚生労働省：保育所における感染症対策ガイドライン(2018年改訂版), p.32, 2018.
- 6) 中西準子, 篠原直秀, 納屋聖人：詳細リスク評価書シリーズ11「アセトアルデヒド」, 丸善, 2011.
- 7) 日本建築学会：AIJES-A0002-2013 微生物による室内空気汚染に関する設計・維持管理基準・同解説, p.5, 2013.
- 8) 橋本一浩：室内環境の微生物に関わる最近の話題(6)室内環境微生物の諸問題の総括：測定法およびIPMによる対策, 室内環境, p.108, 2020.
- 9) 吉川翠, 戸矢崎紀紘, 田中正敏, 須貝高, 生協・科学情報センター：住まいQ&A 寝室・寝具のダニ・カビ汚染, 井上書院, 1991.
- 10) The Air Quality Standards Regulations 2010, UK.
- 11) 厚生労働省、建築物環境衛生管理基準, 2021年12月24日改正.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Genjo Kahori	4. 巻 12
2. 論文標題 Assessment of Indoor Climate for Infants in Nursery School Classrooms in Mild Climatic Areas in Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Buildings	6. 最初と最後の頁 1054 ~ 1054
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/buildings12071054	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 源城かほり，横江彩
2. 発表標題 乳幼児の快適性・健康性保持のための保育室内空気環境の実態調査 その1 コロナ禍における2020年夏季及び冬季実測
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 源城かほり，横江彩
2. 発表標題 乳幼児の快適性・健康性保持のための保育室内空気環境の実態調査 その2 コロナ禍における2021年夏季実測結果
3. 学会等名 日本建築学会九州支部研究報告会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 源城かほり
2. 発表標題 長崎市内の保育施設における保育室内空気環境の実態調査
3. 学会等名 室内環境学会学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 源城かほり
2. 発表標題 長崎市内の保育施設における保育室内空気環境の実態調査
3. 学会等名 室内環境学会九州支部第16回研究発表会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

空気調和・衛生工学会九州支部において「九州地域の学校・教育施設整備の現状と課題、今後のあり方に関する調査」研究委員会を2021年度に立ち上げた。関連して、2022年11月16日に「子ども達が過ごす教室環境の今とこれから」というテーマで開催された空気調和・衛生工学会九州支部第6回学術・技術交流会の市民公開シンポジウムにおいて、保育園における調査事例の紹介と題して講演した。

6. 研究組織			
	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	横江 彩 (YOKOE AYA) (50761235)	中部大学・工学部・准教授 (33910)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------