

「研究論文」

GIGA スクールにも対応した飛沫防止パーテーションの開発

峰松和夫（教育学研究科），坂口大作（工学研究科），山田玲子（工学部），東川颯馬（教育学部），藤本登（教育学部）

Kazuo MINEMATSU, Daisaku SAKAGUCHI, Reiko YAMADA, Soma HIGASHIKAWA, Noboru FUJIMOTO

1. 緒言

新型コロナウイルス感染症（COVID-19）は、SARS-CoV-2 による感染症であり、主な感染経路は、感染者の咳、くしゃみ、会話時に排出する飛沫やエアロゾルの吸入や接触感染とされている¹。次々に現れる変異株のなかでも 2022 年 2 月時点で蔓延しているオミクロン株については、感染拡大の速度が非常に早く、子どもにも感染が拡大している状況にある²。

文部科学省（文科省）は、「学校における新型コロナウイルス感染症に関する衛生管理マニュアル～『学校の新しい生活様式』～」を作成し、デルタ株やオミクロン株のような新変異株が出現した際にはそれらを含めた対応策をまとめ改訂版として示している³。密閉空間・密集場所・密接場面の回避、人と人との距離の確保、マスクの着用、手洗いの徹底などは COVID-19 の基本的な感染対策であるが、児童・生徒が対面でディスカッションするグループワーク、音楽における合唱やリコーダー等の管楽器演奏、家庭における調理実習、体育におけるチーム学習は控える指導がなされている³。また、確実にマスクが外れる給食時では、互いが向かい合わないように席を工夫する、そして黙食の徹底がなされている³。峰松と東川らが 2021 年 2～3 月に N 県 N 市の全公立小学校を対象にした学校給食時の食事形態と学級担任が学校給食時に配慮していることに関するアンケート調査によれば、すべての通常学級が黙食で全員前を向いて食事していること、教員が最も気に掛けていることは感染対策であることが明らかとなっている⁴。

学校給食には、学校給食法において、①適切な栄養の摂取による健康の保持増進を図ること ②日常生活における食事について正しい理解を深め、健全な食生活を営むことができる判断力を培い及び望ましい食習慣を養うこと ③学校生活を豊かにし、明るい社会性及び協同の精神を養うこと ④食生活が自然の恩恵の上に成り立つものであるということについての理解を深め、生命及び自然を尊重する精神並びに環境の保全に寄与する態度を養うこと ⑤食生活が食にかかわる人々の様々な活動に支えられていることについての理解を深め、勤労を重んずる態度を養うこと ⑥我が国や各地域の優れた伝統的な食生活についての理解を深

めること ⑦食料の生産、流通及び消費について正しい理解に導くことの7つが目標として掲げられている⁵。前述した2021年の峰松らが行った学校給食時の食事形態における調査からは、コロナ禍において学校給食法が掲げる7つの目標のうち、③学校生活を豊かにし、明るい社会性及び協働の精神を養うことの達成は難しい状況にあることが明らかとなっている⁴。

COVID-19の感染経路の主は飛沫感染であることから、坪倉らは対面型のオフィスで飛沫防止パーテーションを設置したシミュレーション映像解析を行い、顔が隠れる高さのパーテーションであれば90%以上の飛沫が防げることを報告している⁶。そこで、本研究では、コロナ禍における児童・生徒の安心・安全な学習環境の整備と円滑な学習活動に資する学校教育用の飛沫防止パーテーションの開発を目的とした。

2. 方法

2-1 学校教育用飛沫防止パーテーションの製作

パーテーションの開発ポイントは、児童・生徒にとって設置の簡便さと片付後の収納のコンパクト性も兼ね備えた持ち運び可能なパーテーションであること、パーテーションが学習机から転倒・落下することのないよう学習机との固定が可能であること、パーテーションの継続使用によるヨレの防止である。パーテーションは学校における学習活動で用いられることから高い視認性を確保せねばならない。そのため1.5mm厚の亚克力4枚のシート（正面2枚・左右各1枚）を平面視コ字状に展開できるように、亚克力製の蝶番にてシート同士をつなげるように設計した。パーテーションは、学校で使用されている学習机の新旧JIS規格の天板に対応したサイズとし、ジャバラ式とすることでコンパクトな収納を可能とした。左右2枚のシートには上下2個/枚の穴を開け、上部穴から下部穴に向かってボール付ゴムバンドを通し、貫通したバンドを学習机の両袖に回すことで確実に固定できるようにした。2個/枚の穴はボールおよびバンドで塞がるため使用者の飛沫は漏出することなく、また学習机とパーテーションが複数の点で固定されることから高い安定性が得られるようにした。パーテーションは学習机上から落下しないようにシート下部3カ所に滑り止めゴム加工を施し、正面2枚のシートのつなぎ目から両側10cmの下部ゴムにも滑り止めに加え、継続使用によるヨレ防止と高い安定性が得られるものとした。亚克力板の四隅は、児童・生徒の安全面を考慮し角部を丸く面取りするR加工を行った。

2-2 開発したパーテーションの飛沫流動の検証

開発したパーテーションの飛沫防止効果について、レーザを用いた飛沫の流動様相の可視化実験およびコンピュータシミュレーションによる流れ場の再現を行った。特に、パーテーションが有効に機能するための上端高さと口の相対位置に

よる流動様相の違いについて検証した。

2-3 レーザによる飛沫流動様相の可視化

飛沫の可視化実験では、Fig. 1 に示すように、レーザを用いて空間断面内の散乱粒子の挙動をカメラで取得する方法を採用した。光源として波長 533nm、光出力 50mJ の Nd:YAG レーザ (Litron 社製 Nano S50-15) を用い、厚さ約 2mm のシート光を形成した。シーディングジェネレータ (PivTec 製 PivPart14) により霧化した平均粒径約 1 μm の液滴粒子 (セバシン酸ジオクチル) をプレナムタンクに充填し、直径 20mm の吐出孔より円形噴流としてパーテーション周りの空間に挿入した。初速 3m/s で吐出孔を回転シャッターで間欠的に開閉する機構を設け、レーザシート面に直角方向から CCD カメラ (10.2M ピクセル) により粒子画像を撮影し、粒子挙動を可視化した。

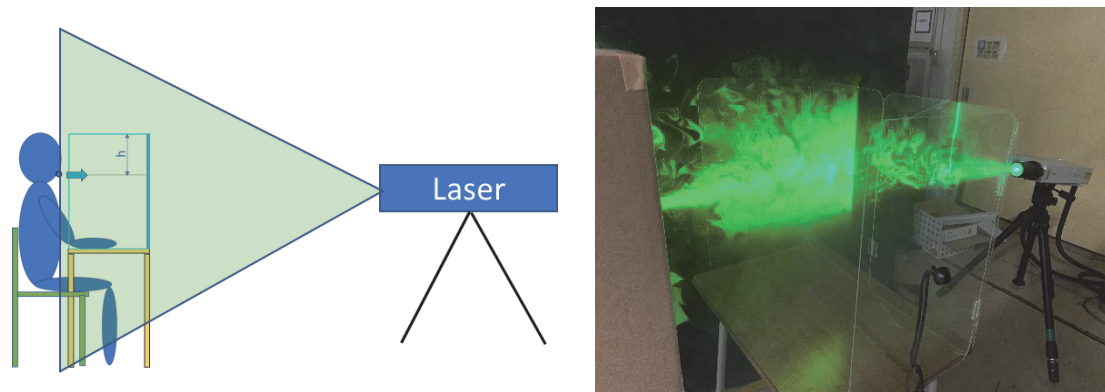


Fig.1 Flow visualization system

3. 結果

3-1 開発したパーテーションの飛沫流動様相の可視化

Fig. 2 に可視化画像を示す。実験パラメータは、噴流出口とパーテーション上端との相対高さ h であり、 $h=20\text{cm}$ から 5cm 間隔で実験を行った。可視化画像の左側から噴出した流れは、パーテーション壁面に衝突した後、上下方向へ分かれる。Fig. 2(a) に示す相対高さ $h=20\text{cm}$ の場合、多くの粒子はパーテーション内に留まることが確認された。Fig. 2(b) から (d) にかけて、相対高さが小さくなるにつれ、衝突した噴流はパーテーション上端を乗り越え、画面右側のパーテーション外部へと漏れ出すことが確認された。本実験により、パーテーションから流れが漏れ出すか否かは、人の口とパーテーション上端との相対的な高さが重要であることが分かった。本実験は噴出速度が 3m/s 程度と低速であり、人が大声で話す場合、または咳をした場合など、より速い流出速度となると想定され、可視化による確認が必要と考えられた。ただし、速い吐出速度を実験的に可視化することは、散

乱光強度の面から難しい。そこで、コンピュータを用いた流動シミュレーションによる可視化により考察した。

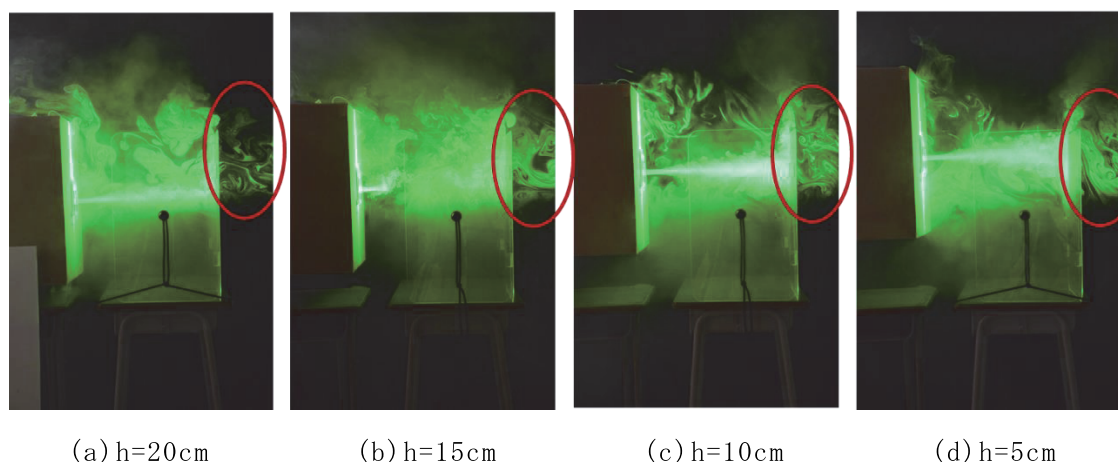


Fig.2 Visualized flow pattern by changing relative height of the partition

3-2 数値シミュレーションによる飛沫流動様相の可視化

飛沫の流れ場をコンピュータ上で再現するため、Fig. 3(a)に示すパーテーションを含めた 3m 四方の空間に対して、Fig. 3(b)に示すような約 40 万ノードの非構造計算格子を作成した。ナビエストークスソルバーとして ANSYS-CFX を使い、流れ場が時間的に変化するとした非定常流れ解析とした。乱流モデルとして $k-\epsilon$ モデルを採用し、噴流を含めた周囲作動流体を理想気体として取り扱った。人の咳をモデルとした初速 22m/s の噴流を空間内に吐出し、45 秒間の流れを 1 ミリ秒ごとに解析し、瞬間の流れをベクトル表示することで飛沫の流動様相をコンピュータ上で再現した。Fig. 4 に解析空間の中央断面内における速度分布を示す。噴出開始から 10 秒後の瞬間速度ベクトルであり、Fig. 4(a)は噴流出口とパーテーション上端との相対高さ h が 20cm の場合、(b)は $h=10$ cm の場合の流動様相を示す。衝突した噴流は、パーテーション壁面で上下に分かれ、噴流出口とパーテーション上端との相対高さが小さい場合、斜め前方へ壁面を乗り越えて流出していることが示された。パーテーション内部へ噴出された流れは、粘性の影響によって周囲流れに速度が誘起され、誘起された流れの一部はパーテーション上端より高い位置になった場合、斜め前方へ流出する流れとなる。本解析では、噴流出口とパーテーション上端との相対高さが 20cm 程度あれば、初速が速い流れでもパーテーションを乗り越える流れとはならず、パーテーション内部に留まる流れとすることができると予測された。

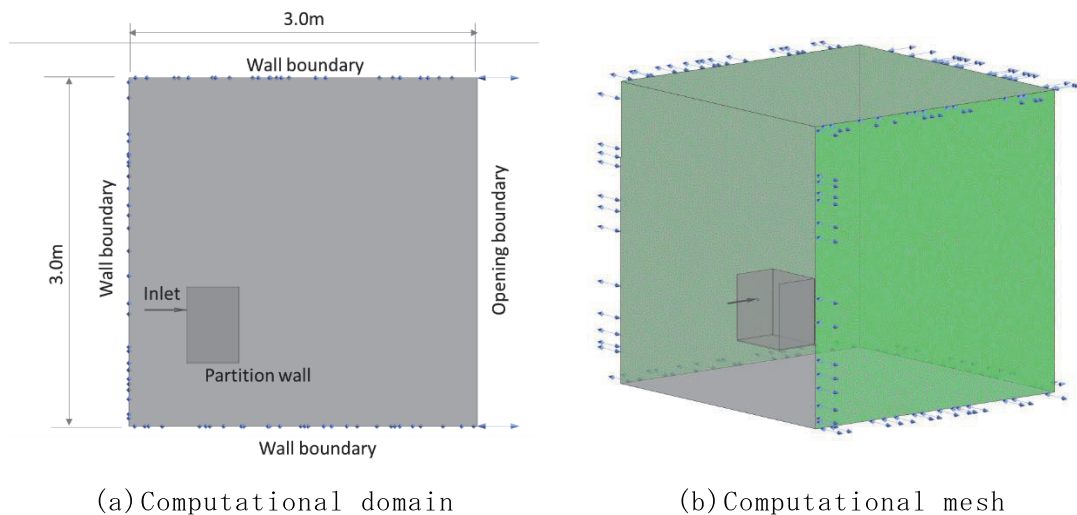


Fig.3 Model of computational flow simulation

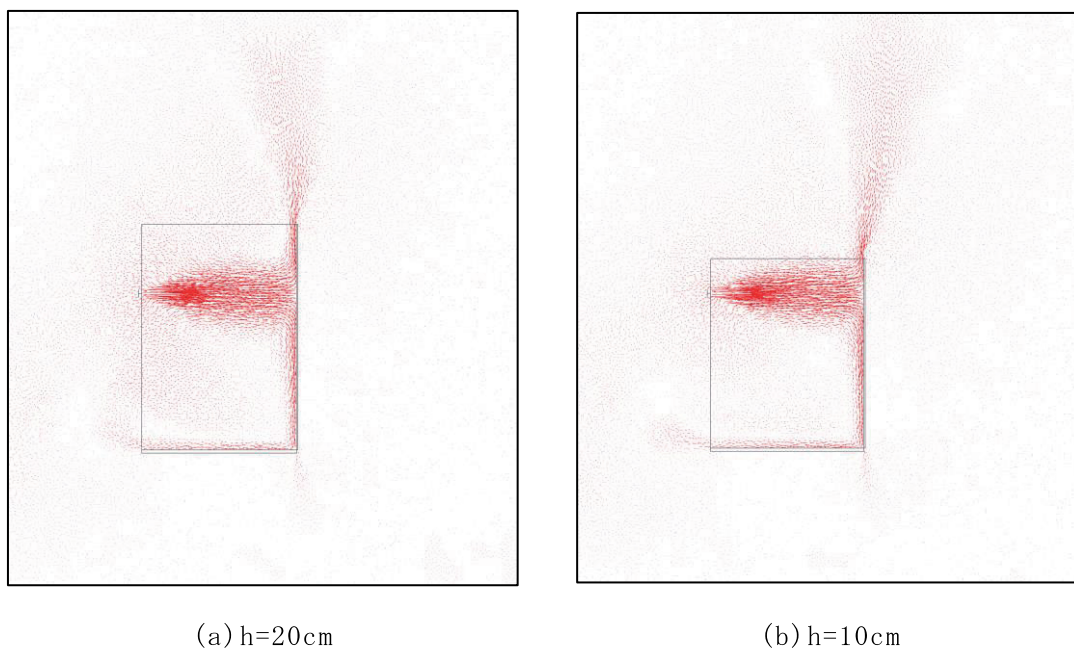


Fig.4 Velocity vector at different relative height (t=10 sec.)

4. 考察

文科省は Society5.0 時代を生きる子ども達に相応しく、誰一人取り残すことなく創造性を育む学びを実現する「GIGA スクール構想」として小中学生に一人一台の端末を配布する ICT 環境の整備・運用を進め、2021 年より全国の小中学校ではタブレットによる授業が展開されるようになってきている⁷。本研究で開発した学校教育用飛沫防止パーテーションは、多くの学校で使用されている学習机のサイズ (600mm×400mm もしくは 650mm×450mm) に対応できるものとした。タブレットを用いた授業において教科書やノートを併用し学習する場合には学習者に

とって十分なスペースが得られずタブレットや教科書が学習机上から落下するリスクが考えられる。また、活発な小学生においては学習机上に設置したパーテーションに接触しパーテーションを落下させる危険性もある。そのため、開発したパーテーションには学習機との接地面に滑り止め加工を施し、またパーテーション両側面と学習機とをバンドで固定できるようにして学習机上からのパーテーションおよびタブレット等の落下防止を可能とした。また、開発したパーテーションは、学校における児童・生徒の学びは、普通教室に留まらず、家庭関係教室、音楽関係教室、理科関係教室、図画工作・美術・工芸・書道関係教室などへ移動して各教科の学習を進める状況を見据え、折り畳みと持ち運びを可能とした。パーテーションをジャバラ式とすることでコンパクトに折り畳むことができ、パーテーションと学習機を固定するためのバンドは折り畳んだ際の係止具として使用できるようにして安全な持ち運びを可能とした。一方、パーテーションが小学校低学年児童にとっても取り扱い易い 1.0kg 程度の重さとするため、パーテーションは 1.5mm 厚の亚克力板で製作した。パーテーションを亚克力製とするメリットは、フレームレスで死角ができづらいなど良好な視認性にある。児童・生徒にとっては板書やスライド発表などが見易く、教師にとっては児童・生徒の学習状況や学習態度等の把握が容易となる。また、亚克力製のパーテーションは耐久性・耐水性にも優れている。

本研究で開発したパーテーションの飛沫防止効果を検証するための実験条件は、咳やくしゃみをし続けている極めて過酷な条件とした。現状、児童・生徒はマスクを着用して授業を受け日々の学校生活を送っていることを考えれば、給食時を除き飛沫のほとんどはパーテーション内に留まり外部への拡散を効果的に阻止できていると本研究のシミュレーション結果からはとらえることができる。不顕性感染の場合には、知らないうちに感染を拡げてしまっている可能性があることから、集団生活である学校では、開発した飛沫防止パーテーションを活用し児童・生徒の安心・安全な学習環境の創出が望まれる。パーテーション使用によってバディ学習やグループ討論など学習活動の活性化が見込まれるが、検証実験からは飛沫の一部はパーテーションから漏出していた。文科省は、COVID-19 の集団感染リスクへの対応として換気の重要性を挙げている³。学校では気候上可能な限り、常時換気に努め、廊下側と窓側の窓を対角に開けた換気を心掛けること、その際の窓を開ける幅は 10 cm～20 cm 程度が目安であること、常時換気が難しい場合にはこまめに（30 分に 1 回以上、数分間程度、窓を全開すること）、2 方向の窓を同時に開放するなど具体的な換気方法を推奨している³。検証実験の結果からは、パーテーション使用時においても常時換気と最低 1m 以上の身体的距離を確保し座席を配置するなどの必要性が示唆されている³。さらに、製品化の際には、使用対象が成長著しい小学生～高校生であること、体格差も大きいことから、誰もが飛沫防止効果の見込める口前から 20 cm の高さのパーテーションが使用できるよう、パーテーションの高さは同一規格とせず、座高を考慮した高さで準備する必要がある

ある。

文科省は、「新型コロナウイルス感染症に対応した持続的な学校運営のためのガイドライン」を策定し、学校における感染及び拡大のリスクを可能な限り低減した学校経営を提言しているが⁸、COVID-19 と子どものメンタルヘルスに関わる研究を取り纏めたシステマティック・レビューによれば、COVID-19 の感染拡大は特に子どもの孤独感、不安感、抑うつ感の増大をもたらしていることが報告されている⁹。それだけに、学級担任は学級経営において、感染対策に配慮しながらも児童・生徒の主体的・協働的な取組を心掛けねばならない¹⁰。丸山らの小学生を対象とした給食に関する研究では、高学年になるにつれて食事の時間を大切なコミュニケーションの場と考える児童が増えることが分かっている¹¹。さらに、野邊らの研究によれば、児童期における「共食」は、コミュニケーション力や社会性を良好に育み、成人期における食の意識にも変化を与えている¹²。黙食であっても、パーテーションを使用することで対面型での食事が可能となれば、学校給食法の目標③学校生活を豊かにし、明るい社会性及び協同の精神を養うことの達成には及ばなくても、全員前を向いた黙食からの脱却は図れ、相手の表情をみながらの「共食」は可能となる。しかし、マスクを外し摂食する給食は、感染リスクが高い状況であるため、パーテーションを設置しても「三密の回避」「十分な換気」は徹底する必要がある。

本研究の限界として、開発したパーテーションの飛沫防止効果の検証実験は、実際の教室規模ではないこと、パーテーションを設置した空間のなかで1名が連続して排出している飛沫の流動を主の解析としたため複数名が同時に同空間における場面の解析ではないこと、学校環境衛生基準において教室の気流は0.5m/秒以下が望ましいとされているが本研究では室内の気流に関する条件は特に設定していないことなどが挙げられる。また、パーテーション使用により飛沫の直接的な曝露を低減できる効果は検証実験により認められたもののパーテーションを使用した際の教室全体の気流の変化は検証できていない。

今後は、開発したパーテーションを実際の学校で使用し、児童・生徒および教員からの評価を基に改善を図る取組みが必要であるが、口前から20cmの高さのあるパーテーションを使用すれば高い飛沫防止効果が得られることを明らかにした本研究の意義は大きい。学習机上からのタブレットの落下防止と接触によるパーテーション転倒・落下防止機能を持った学校教育用飛沫防止パーテーションは、常時換気と身体的距離が十分確保できれば、コロナ禍における児童・生徒の学習環境の整備と学習活動の活性化における有効なツールとなれよう。尚、本研究で開発したパーテーションは、実用新案として登録している（登録第3234682号 登録日2021年10月6日）。

5. 結論

開発したパーテーションは幅広い学年で場所を問わず使用可能であり、飛沫防止は勿論、タブレットや教科書の落下を防ぐ機能を持つものである。本研究により、口前から 20cm の高さのパーテーションは飛沫の拡散を効果的に阻止できることが明らかになったことは特筆すべき知見である。コロナ禍の学校においては、開発したパーテーションの有効活用により、感染対策を取りながら児童・生徒のコミュニケーション力や社会性を育み、児童・生徒にとって安心・安全な学習環境の創出となることが期待できるが、不顕性感染のリスクとパーテーション内に留まった飛沫がパーテーションの取外しや片付け時に拡散するリスクを考慮すれば、パーテーションの使用時においても、密閉空間・密集場所・密接場面を避け、換気を徹底するなどの環境整備が肝要である。

6. 謝辞

開発したパーテーションの飛沫防止効果の科学的検証を行うにあたり、御協力いただいた長崎大学大学院工学研究科坂口研究室の皆様には厚く御礼申し上げます。

7. 利益相反

利益相反に関する開示事項はありません。

8. 参考文献

- 1 厚生労働省. 新型コロナウイルス感染症 COVID-19 診療の手引き第 7.0 版. 2022.
- 2 日本小児科学会. 新型コロナウイルス感染症に伴う小児医療機関の保険診療上の課題に関する調査. 日本小児科学会雑誌. 126 (1) : 123-133. 2022.
- 3 文部科学省. 学校における新型コロナウイルス感染症に関する衛生管理マニュアル～「学校の新しい生活様式」～. 2021.
- 4 峰松和夫, 東川颯馬. コロナ禍が示唆する小学校の給食指導の在り方. 長崎大学教育学部紀要. 8 : 1-8. 2022.
- 5 文部科学省. 学校給食法 (平成 20 年 6 月 18 日改正). 2008.
- 6 坪倉誠. 「富岳」による室内環境の飛沫・エアロゾル感染リスク評価とリスク低減対策. ターボ機械. 49 (7) : 385-394. 2021
- 7 文部科学省. 学校における ICT 環境の整備について (教育の ICT 化に向けた環境整備 5 ヶ年計画 (2018 (平成 30) ~2022 年度)). 2017.
- 8 文部科学省. 新型コロナウイルス感染症に対応した持続的な学校運営のためのガイドライン. 2022.
- 9 Maria Elizabeth Loades, Eleanor Chatburn, Nina Higson Sweeney et al.

Rapid Systematic Review: The Impact of Social Isolation and Loneliness on the Mental Health of Children and Adolescents in the Context of COVID-19. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry*. 59(11) : 1218-1239. 2020.

- 10 田中博之. 学級力向上プロジェクト. 金子書房. 東京. 2016.
- 11 丸山浩徳, 加藤恵一, 西村敬子. 喫食状況が子どもの食事を与える影響—小学校における給食の食べ方の調査から—. *愛知教育大学家政教育講座研究紀要*. 39:15-28. 2009.
- 12 野邊政雄, 岡本真依. 学校給食における児童の食行動の変容と食事観の形成に関する研究動向. *岡山大学大学院教育学研究科研究集録*. 147:63-67. 2011.