小学校教室における昼光利用の実態と促進に関する研究

A STUDY ON THE ACTUAL STATUS AND PROMOTION OF DAYLIGHT USE
IN ELEMENTARY SCHOOL CLASSROOM芹澤 彰典^{*1}, 上野 佳奈子^{*2}, 橋本 都子^{*3}*Akinori SERIZAWA, Kanako UENO and Kuniko HASHIMOTO*

In recent years, in the design of school facilities aimed at saving energy, window design is contrived to realize daylight use. This study aims to reveal the light environment of classrooms with contrived windows, the use of artificial lighting and light shielding devices, and the problems and possibilities of daylight use in school buildings. In two elementary schools, we conducted the measurement and a survey. Additionally, we performed a trial to reduce the amount of artificial lighting with the cooperation of teachers and children. From the results, the design and operation methods required to promote daylight use were summarized.

Keywords : *Elementary School, Daylight Utilization, Actual Use, Energy Saving, Case Study*

小学校, 昼光利用, 使い方, 省エネルギー, 事例研究

1. はじめに

小学校の教室では、建築基準法により開口率を 1/5 以上とすることが定められており、大きな窓開口が設けられる。学校教室の大きさは、一般に 4 間×5 間 (7.2 m×9.0 m) が原型となっている¹⁾、注¹⁾。そのため、この床面積で考えると、南面片側採光が一般的な従来の標準設計型校舎の教室では、黒板左手の側壁の 1/2 程度が窓となっている場合が多い。しかし、これは窓際と室奥との照度差・輝度差が大きくなり、直射日光のまぶしさも生じるという点で、視環境的には改善の余地がある。

一方、近年では省エネルギーを目指した設計において、採光に工夫がなされる事例が増えてきている。学校施設においては、消費エネルギーに占める照明エネルギーの割合が 45 %程度と高いことから²⁾、昼光により教室の明るさを確保することで大きなエネルギー削減効果が期待できる。しかしながら、窓面積を大きくとり、より多くの昼光を取り入れることが照明エネルギー削減に直結するわけではない。昼光の導入量が大きいと空間の明るさ感を低下させるとの指摘もあり^{3) 4)}、単に昼光を取り入れるのではなく、まずは採光方式や遮光装置の工夫などの建築的手法によって均斉度の向上やまぶしさの排除がなされる必要がある。さらには、昼光による明るさに応じた人工照明の点滅という使用者側の調整行動が伴って、初めて照明エネルギー削減が実現する。近年では、学校施設を利用し、住環境プログラムの作成と実施を行うことで、環境に配慮した住まい方の意義の習得を目指した研究報告もある^{5) ~7)} が、普及には至っていない。そのため、季節や方位によって変わる太陽からの直射日光に応じて、適切な遮光や人工照明の調節を行うことは、学校の

使用者である教員・児童にとって容易なことではなく、使用者の環境調整行動も含めて学校の採光・照明計画の課題を整理することが必要と考えられる。

本研究では、積極的な昼光利用を目指して設計がなされた小学校 2 校を対象にし、対象校 2 校における昼光利用の実態と課題、昼光利用における課題の改善の可能性を示すことを目的とし、光環境の測定と、遮光装置及び人工照明の使用状況の調査を行った。さらに、教員・児童の協力を得て、人工照明の使用削減に向けた取り組みを行い、照明によるエネルギー使用量削減の可能性について考察した。

2. 研究協力校の概要

研究協力校は、千葉県千葉市立美浜打瀬小学校（以下 M 小）及び東京都立川市立第一小学校（以下 T 小）であり、学校建築作品で優れた実績をもつ同一のアトリエ設計事務所が設計を手掛けている。M 小は建築学会作品選奨他、T 小は BCS 賞を受賞しており、ともに高い評価を受けた学校建築で先進的な事例と位置付けられる。各校の光環境の測定対象教室の平面図を Fig.1 に示す。なお、Fig.1 の教室名は、学校をアルファベット、学年クラスを数字として示している (M1-3 であれば、M 小の 1 年 3 組教室)。

M 小は 2006 年に竣工し、並列と対向に配置されたオープンプラン教室をオープンスペース (OS) がつなぐ構成となっており、音・温熱・光環境を含めた学習環境づくりを重要なテーマの一つとして設計されている⁸⁾。特に光環境の面では、各教室に黒板の両サイドに L 字型の側窓と教室後部にハイサイド窓を設けている。さらに、教室の後方にあるオープンスペースには一定間隔ごとに天窗が設け

^{*1} 明治大学大学院理工学研究科建築学専攻 博士前期課程^{*2} 明治大学理工学部建築学科 教授・博士(工学)^{*3} 千葉工業大学創造工学部デザイン科学科 教授・博士(学術)

Graduate School of Science and Technology, Meiji University

Prof., Dept. of Arch., School of Science and Technology, Meiji Univ., Dr.Eng.

Prof., Dept. of Design, Faculty of Creative Eng., Chiba Institute of Technology, Ph.D.

Table 1 Measurement condition

classroom	direction of window	window of curtain condition※	measurement day and time
M1-3	southeast · northwest	southeast	August 7, 2017 (sunny) ,10:00~11:00
M6-2	southeast · northwest	southeast	December 26, 2017 (sunny) , 10:20~11:20
T2-3	south · east · west	east · west	August 23, 2017 (cloudy) 11:00~12:00
T6-2	south	south	January 14, 2018 (sunny) 10:00~11:30
school S	south	south	August 17, 2017 (sunny) 12:10~12:30 January 4, 2018 (sunny) 11:40~12:00

※direction of window of which the curtain condition was changed in winter measurement

られ、昼光を積極的に取り入れている。なお、側窓は学校内部に開いており、窓外には隣接する教室が見えるものが多い。また、M小には、児童数の増加に伴い、仮設校舎が増設されており、こちらは通常の片側採光になっている。

T小は、2014年に建替えにより新築され、小学校・市立図書館・学童保育が複合したオープンプラン型の小学校である⁹⁾。学級教室は、小学校の2・3階にあり、オープンスペースを囲むように3教室を配置した学年ユニットで構成され、回遊性の高い計画となっている。従来よりも積極的に昼光を取り入れるため、ほとんどの教室に腰壁のない掃き出しの側窓が複数面に設けられており、3階の教室はそれに加えて教室の一面にトップライトが設けられている。教室に設置された黒板や家具は可動式であり、自由にレイアウトが変えられるが、黒板に補助照明はついていない。また、T小は2階建ての住宅が周囲に近接していることから、ガラスなどの透明な面や大きなテラスを介すことで、外部と直結するのではなく、見え隠れしながら街と共鳴するような状態を目指して設計されている。

3. 光環境の測定

3.1 測定方法

特徴的な昼光の取り入れ方をしているM小・T小教室との比較を行うために、従来の標準設計型の教室として、群馬県の公立中学校（以下S中）の教室の測定も行った。S中は、1987年に竣工した南面片側採光の教室を持つ標準設計タイプの学校施設である。測定は、各教室で夏季と冬季に行った。測定対象教室をFig.1、測定点の一例をFig.2、測定条件をTable 1、各教室の窓面積と開口率をTable 2に示す。測定は、机上面照度9点と輝度分布2視点で行った^{注2)}。輝度分布2視点は、教員の立位視点（h=1500）と児童の座位視点（h=1000）とした。人工照明は消灯とし、夏季ではカーテン開、冬季ではカーテン開閉の両条件を設定した。M小のカーテン開の条件は、直射日光の入射する窓（南東側）のカーテンを閉めた条件とした（北西側の窓のカーテンは開けている）。T小では、オーガンジーカ

Fig.2 An example of measurement points of light environment in a classroom

Table 2 Area of windowpane and aperture ratio

	side window[m ²]	high-side window top light[m ²]	aperture ratio[%]
M1-3	32.3	9.1	64.7
M6-2	25.0	9.1	53.3
T2-3	25.0		38.1
T6-2	28.2	4.9	50.4
school S	10.8		17.6

ーテン及び遮光カーテンの2種類のカーテンをそれぞれ閉めた条件とした。また、両小学校とも黒板背面にある窓は常にカーテンを閉めて教室を使用していたことから、全ての条件で黒板背面の窓はカーテンを閉とした。なお、直射日光のあたっていた教室内部（窓以外）の部分は、照度と輝度ともに測定結果から除外している^{注3)}。

3.2 光環境の測定結果

(1) 机上面照度

夏季・冬季の机上面照度の実測結果から、A～C各列 (Fig.2 参照) の平均を算出し Fig.3 に示す。夏季の机上面照度については、M小・T小はどの教室も推奨値¹⁰⁾である 500 lx を満たしているが^{注4)}、特に三面採光の T2-3 や両側窓とハイサイドライトのある M1-3・M6-2 では、標準設計型の S 中よりも窓際と室奥との照度差 (照度バランス) は良い。一方で、T6-2 は室奥まで高照度となっているが、窓際の机上面照度も非常に高いことから、窓際と室奥との照度差が大きい。これは、T6-2 が南側に大きな窓面を持つためであり、照度バランスでは課題がみられる。

また、冬季ではどの教室においても、カーテン開の条件では教室内部に直射日光が入射しており、カーテンを閉めざるをえない状況であり、その際照度は低下した。ただし、2校とも窓面積が大きいいため、遮光カーテンを閉めても教室内部の照度は推奨値を満たしていた。

(2) 輝度分布

空間の明るさ感に関連がある輝度の測定結果として、教員視点の室内平均輝度と天井面平均輝度を Fig.4・5 に示す^{注5)}。M小・T小は、夏季・冬季ともに S 中よりも平均輝度が高い。また、天井面平均輝度は規準¹¹⁾である 15 cd/m² を大きく超えており、昼光を積極的に導入した効果であると考えられる。

窓面と室内との輝度比 (Fig.6 (a)) をみると、夏季では S 中と比較して M 小・T 小の教室は、輝度比は小さくなっており、明るさの均一性が優れている。これは、S 中よりも採光面が多いことや、内装材が木質ではなく白色系の仕上げになっていることが影響していると考えられる^{注6)}。また、直射日光を遮るためにカーテンを閉めざるをえない冬季では、Fig.6 (b) で示すとおり、特に S 中・M 小で、遮光カーテンを閉めた条件がカーテンなし条件よりも窓面との輝度比が高くなっている。直射日光を遮るためにカーテンを閉めても、Fig.7 に示すとおりカーテン面が発光することで高輝度面となり、室内との輝度比が上昇したと考えられる。遮光カーテンは、

Fig.3 Measurement results of illuminance on the desk (summer and winter)

Fig.4 Measurement results of luminance in summer

Fig.5 Measurement results of luminance in winter

Fig.6 Luminance ratio of window to classroom

Fig.7 Luminance of window and curtain surface in winter

一般的に学校で用いられているものであるが、室内と室外の輝度比が大きくなると、室内は暗く感じられる傾向にある³⁾ことから、遮光しても窓面と室内との輝度比を大きくしなようなカーテンの素材や別の遮光装置の検討が必要と考えられる。一方、T小では遮光カーテン使用時に窓面輝度は下がり、輝度比もT2-3は減少、T6-2も少しの上昇しか見られなかった。窓面輝度が下がった理由は、M小やS中よりもカーテンの遮光性能が高かったためと考えられる。T2-3で輝度比が下がった理由としては、測定視野内に入る窓が東窓で、測定時間帯にはあまりカーテン面に直射日光が当たらなかったため、カーテンが発光面にならなかったことが考えられる。T6-2については、南面に大きな窓があり庇(350 mm)によって直射日光が遮蔽されていないことから、窓面輝度は高いものの、室内側にもトップライトがあることで採光が得られているため、輝度比が上がりにくかったものと考えられる。

また、オーガンジーカーテンを閉めた条件では、Fig.7に示す通りT2-3・T6-2で窓面輝度の上昇がみられ、特にT6-2では窓面輝度が教員目線で7000 cd/m²程度とカーテンを開けている条件よりも高輝度になっていた。オーガンジーカーテンは、以前よりT小の教員からまぶしいとの指摘があり、輝度の測定結果においても裏づけられた。このオーガンジーカーテンは、室内に光を取り込むことができるが、直射日光の透過によってカーテン面全体が発光し、教員・児童視点でまぶしさが生じ、使用開始後に遮光カーテンが追加設置された。直射日光の入射する窓には、透過率や拡散特性に配慮してカーテンを選定する必要があるとみられる。

また、黒板が可動式であるT小では、T2-3において黒板を南窓面の前に配置していた。南窓面の遮光には夏季にはオーガンジーカーテン、冬季には遮光カーテンが使用されていたが、測定日における黒板とその背面の窓との対比は大きく(輝度比:夏季11.4、冬季16.6)、黒板面が暗く感じられてしまう原因となると考えられる。

4. 人工照明及びカーテンの使われ方調査

4.1 調査概要

人工照明及びカーテンの使用実態を明らかにすることを目的として、各時限に教室外部から使われ方について観察調査を行った。観察日時をTable 3、小学校の生活時程をTable 4に示す。また、特定日に行った観察調査を補完する目的で、人工照明・カーテンの使用実態や光・視環境の評価に関するアンケート調査を行った。アンケート調査の概要をTable 5に示す(回答の選択肢についてはFig.8-Fig.12参照)。アンケート調査は、M小では2017年8月に、T小では2015年10月に実施し¹⁾²⁾、各小学校の学級担任教員に回答を依頼した。なお、M小では教員に教室の光環境について説明する機会があり、各教室中心位置の机上上面照度の測定結果^{注7)}を示した上でアンケートを配布した(回答率:T小89%、M小96%)。

4.2 人工照明の使われ方の調査結果

人工照明の使用状況は、T小・M小ともに「ほぼ使用する」の回答が多かった。満足度(Fig.8)については、T小でやや不満足側の比率が高い傾向にある。Fig.9に光環境の不満な点を示すが、全体的にまぶしさや見づらさといった視環境的な課題点の回答が多い。観察調査では、授業時はテレビを視聴するときを除き、常にすべての人工照明を使用していた。

Table 3 Schedule of the observation survey

	School T	School M
summer	June 21, 2017 (rainy) 1~3 period July 3, 2017 (sunny) 2~5 period July 5, 2017 (sunny) 1~4 period	July 10, 2017 (sunny) 1~4 period July 11, 2017 (sunny) 1~5 period July 14, 2017 (sunny) 2~3 period
winter	December 6, 2017 (sunny) 2~4 period December 15, 2017 (cloudy) 2~4 period	November 29, 2017 (sunny) 1~4 period December 8, 2017 (cloudy) 3~4 period

Table 4 Session schedule of the elementary school

period	school T	school M
1st	8:45~9:30	8:30~9:15
2nd	9:35~10:20	9:20~10:05
3rd	10:40~11:25	10:30~11:15
4th	11:30~12:15	11:20~12:05
5th	13:45~14:30	13:30~14:15

Table 5 Summary of the questionnaire survey

Target : School M and School T

Questions : Basic attribute, Satisfaction/dissatisfaction on the light environment in classrooms

Frequency and quantity of use of the electrical lighting,

Frequency and reason of use of the curtain

Schedule :

School T : the end of October, 2015 to mid-November

School M : from the end of August, 2017 to mid-September

Number of respondents : School T : 18 teachers, School M : 28 teachers

Fig.8 Satisfaction rating of light environment in classrooms

Fig.9 Point of dissatisfaction of light environment in classrooms

Fig.10 Artificial lighting switch pattern

Fig. 11 Frequency of curtains use (questionnaire)

Fig. 13 Rate of curtains use at school M (observation)

Fig. 14 Rate of curtains use at T elementary school (observation)

Fig.10にM小・T小の人工照明の点灯パターンを示す。M小では、全教室で人工照明の配列に対して左右対称に窓が配置されており、昼光から得られる明るさに応じて人工照明の使用量を調整することができる。一方で、T小では、照明の配列と窓との関係性は教室によって異なっているが、Fig.10 (b) のように3列で分灯している教室が多い^{注8)}。そのため、十分に明るい場所があっても、その場所を消灯し、暗い場所を点灯するといった調節が難しい。

このことから、昼光利用により人工照明の使用量を削減するには、窓の配置に応じた人工照明の分灯方式の配慮が必要といえる。また、使用者に対し教室に必要な明るさを示し、昼光から得られる明るさに応じて使用量を調節するように働きかけを行っていけば、削減できる可能性があると考えられる。

4.3 カーテンの使われ方の調査結果

アンケート結果では、カーテンの使用頻度 (Fig.11) はT小では閉めている側の回答が多く、M小では黒板背面の窓は閉める側、両サイドの窓は開ける側の回答が多かった。使用理由 (Fig.12)^{注9)}では、まぶしいためと回答する教員が両校とも半数以上いた。また、まぶしさに次いで、外部からの視線を遮るためや児童を授業に集中させるためとの回答が多い。M小では、自由記述においても、「外からの刺激を防ぐために常にカーテンを閉めている」、「学校のカーテンは外からの情報を遮る役割が強いと思う」との記述もあり、直射日光の遮蔽以外にもカーテンが使用されている実態がうかがえる。

M小のカーテンの使用状況の観察結果を Fig.13 に示す。黒板背面の窓のカーテンは、夏季・冬季で8割程度閉じられていた。また、教室の両側窓のカーテンは、夏季では9割程度開けられているが、冬季になるとカーテン閉の割合が上がっている。これは、冬季にな

Fig. 12 Reason of using curtains (questionnaire)

Fig. 15 Illuminance on the desk of school M (sunny)

り直射日光の入射する南東窓で、直射日光を遮るために遮光カーテンを閉じたためである。M小の多くの教室の窓は学校内部に開かれており、そのような窓は外部からの視線等の刺激を受けることがなく、直射日光を遮る目的でカーテンが使用されていたとみられる。ただし、来校者が使用する玄関へ行くための通路に面する校庭側の1教室では、時々視界の遮断にカーテンを閉じている様子が見られた。また、増設された教室の窓には道路側に開かれたものもあり、その教室は常にカーテンを閉じていた。

T小のカーテンの使用状況の観察結果を Fig.14 に示す。T小では、カーテンの使用率が夏季・冬季でともに7割程度と高く (Fig.14(a))、天気や窓方位とも関わりがない。さらに、夏季に比べ冬季では、オーガンジーカーテンの使用率が減少し、遮光カーテンの使用率が上昇している。これは、オーガンジーカーテンが直射日光を受けるとまぶしくなるという理由が挙げられる。また、夏季・冬季に関わらずカーテンの使用率が高い理由として、視界の制御に使用しているという点が挙げられる。窓外部に住宅などが見える窓、教室のレイアウト上 (黒板の配置上) 黒板の背面にある窓についてみると (Fig.14 (b))、8割以上で閉じられていた。一方で、学校の内側に開かれた窓、教室のレイアウトにより児童の視線がいかない窓、外部が見えなくなるように工夫を施した窓についてみると (Fig.14 (c)) 7割程度開けられていた。観察調査の際に、T小の教員にカーテンを使用する理由を聞いたところ、児童の視線がいき窓外に建物や人通りが見えてしまう窓は気が散らないようにカーテンを閉じるが、そうでない窓はカーテンを開けているとのコメントが得られた。通常、小学校のカーテンは直射日光の遮蔽を目的に設置される。しかし、2校のカーテンの使用状況の調査から、カーテンを遮光以

外にも使用しており、特に視界の制御という目的で使われている実態が確認された。そのため、計画段階においてカーテンが直射日光の遮蔽以外にも使用されることを考慮し、窓から得られる明るさを損なわずに、視界の制御を行う方法の検討や窓外環境を考慮した採光計画が必要と考えられる。

5. 昼光利用促進の取り組み

5.1 取り組みの経緯

4章の調査より、M小・T小では人工照明を調節する習慣がないことがわかった。そこで、採光条件・人工照明の点灯パターン・カーテンの使用状況等から判断して、より高い効果が見込めるM小において、昼光利用促進に向けた取り組みを実施することとした。まず、晴天日に教室のカーテンを開けた条件で中心机上上面照度・黒板面照度の測定を行い^{注7)}、その結果 (Fig.15) を教員に伝え人工照明の使用量を削減できそうか聞いたところ、28教室中12教室が『できそう』と回答した。しかし、その後の観察調査において、人工照明の使用量の調節は行われておらず、全教室で点灯していることを確認した。そこで、人工照明の使用量を調整する取り組みを行うこととし、協力学級を募った。取り組みを行う教室は、測定日の中心机上上面照度が推奨照度を満たした教室の中で、協力の申し出が得られた5年生の2教室とした。2教室は並列に位置しており、両教室の光環境は近い。1教室において光環境の測定を行ったが、晴天日では、照度・輝度ともに、推奨値及び規準値を十分に満たしている教室であった。

5.2 提案内容

M小は、天気に関わらず常に人工照明を全灯する状況があったため、児童が人工照明の使用量を調節することで、照明エネルギーの削減につなげる提案をした。具体的には、教室の鉛直面2か所に照度計を設置し^{注10)}、照度計の値を参考に人工照明の使用量を調節できるような掲示物を作成し、児童に対して取り組みの説明をした。

掲示物は、照明スイッチに①～④の番号をつけ、照明スイッチの点灯パターンごとに照度値を示したものを作った。掲示物に記載した照度は、測定した鉛直面照度から机上上面照度 500 lx を確保できる鉛直面照度を基準とし、基準以上の値であればなるべく消灯するように提案した。また、時限ごとの天気と消灯したスイッチの番号を授業後に記入し、消灯できた人工照明の数に合わせて透明な入れ物にビー玉を入れることで、消灯できた電気を可視化する工夫をした。これらは各学級の日直が行い、全ての児童が取り組みに参加できるように配慮した。

取り組みの内容を、対象の教室に在籍する5年生の児童約60人に、昼光利用を促進する取り組みの導入として事前説明をした。この時、行ってもらおう取り組み内容の他に、片側採光の小学校と比較したM小の光環境に関する特徴、照明エネルギーを削減するべき理由を説明した。取り組み期間は、説明をした当日から1ヶ月間で実施した。取り組みのスケジュールを Table 6 に示す。

5.3 取り組み結果・考察

取り組みを1ヶ月間継続した後、活動の振り返り学習として、事前説明の復習や取り組み結果の報告を行い、児童に感想や意見を訊ねた。また後日、取り組み実施教室の児童を対象にした取り組みに関するアンケートと、担任教員を対象にしたヒアリングを行った。

Table 6 schedule of the trial

Date of description: November 28, 2017
Term of demonstration: from November 28, 2017 to December 21, 2017
Date of review: December 21, 2018
Questionnaire: from December 21, 2017 to January 10, 2018
Date of hearing: January 10, 2018

Fig. 16 Setting signs

Fig. 17 Position of artificial lighting

Fig. 18 Lights-off ratio of artificial light (one month)

Fig. 19 Results of questionnaire on children

(1) 児童の記録と観察結果

児童が行った記録から求めた授業時の人工照明の消灯割合を Fig.18 に示す。特に取り組み前半において、側窓やハイサイドライトから日光を得られる②・③の位置で、晴天で平均 76 %、曇天でも 43 %消灯されていた。取り組みを通して人工照明の使用量を削減できたことから、児童に昼光利用を促すことは、昼光利用促進の手法として効果的であると考えられる。一方、取り組みの後半では、前半より人工照明の消灯割合が低下しており、意識が薄れている様子が見られた。観察調査においても、取り組みの前半では2教室と

Table 7 Comments obtained from children

<p><feedback : 感想></p> <p><u>comments obtained in retrospective learning</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・Previously we have forgotten to turn off the light when moving classroom, but after this trial, we did not forget it. ・今まで移動教室等で消し忘れがあったがこの活動をしてからはなくなった ・I found it bright enough without turning on the all light. ・電気を全灯しなくても明るいことがわかった ・I got interested in water saving etc ・節水など他のことにも興味を持った <p><u>free description of questionnaire</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・I found that our classroom is brighter than the other schools, so I want to save electricity more positively ・他の学校に比べて教室が明るいことがわかったので、もっと積極的に節電したいです ・I want to adjust turning on the light with care about brightness of the sunlight. ・太陽の光の明るさに気を付けて、どこかの電気をつけるかを調節したいです ・I understood that it is bright enough only with daylight, so I want to turn off excessive artificial lighting at home ・太陽の光だけでも明るいことがわかったので、これからは家でも無駄な電気をつけていたら消したいです ・Since I feel glare when I open the shading curtain, I close the curtain and cannot save electricity ・困ったことでカーテンを開けるとまぶしくてしまい 節電できません <p><ideas for continuation : 継続のための工夫></p> <ul style="list-style-type: none"> ・I want a reward ・ご褒美が欲しい ・It is better if it is easy to understand how much saving was done. ・どのくらい貯まったかがわかりやすくなっているといい ・We could report the results of trial at engagement activity ・係活動でどのくらいできたかを報告する

Table 8 Comments obtained from teachers

<p><behavior of children : 児童の様子></p> <ul style="list-style-type: none"> ・At the beginning, children were working on the trial ambitiously by talking “we can turn off now” or “we cannot turn off now”. ・最初の頃は「今は消せる」「今は消せない」と話しながら意欲的に行っていた ・Children sometimes used to forget to turn off the light when moving classrooms before the trial, but they became to turn off without instruction after the trial. ・移動教室の時に言わないと消し忘れることもあったが取り組みを行ってから言わなくても消灯するようになった ・Motivation of children for trial fell with the passage of time ・時間の経過とともに意欲は低下していった ・Children found that it is important to turn off wasted and excessive artificial lighting ・無駄・余分な電気を消灯する大切さが分かっていた <p><ideas for continuation : 継続のための工夫></p> <ul style="list-style-type: none"> ・Since it does not last long if unrealized practice continues, it is better if there are recognitions, visible results and rewards ・実感のない実践が続くので長続きしないため、認められたい目に見える形で結果があったりご褒美があると良い ・This skill is not able to be acquired without learning in class ・授業として学習しないと身につかない ・It is necessary that teachers themselves are also interested in this trial in order to enhance the motivation of children ・教員自身も関心を持ち、児童の意欲を高める ・When linking with class, there are no material that teaches us to use as much as necessary at present. It becomes easy to teach if we can obtain such materials ・授業とリンクさせる場合、必要な分だけ使うといったことを教えるような資料が皆無なので、そういった資料があるとやりやすい

も使用量を調整していたが、後半では全灯する様子が見られた。この理由として、全ての児童が参加できるように日直を中心に組みんでもらったが、1ヶ月間では日直は1人1回しか回らないことが挙げられる。そのため、後半に日直が回ってくる児童は事前説明時から2週間以上の期間が空いてしまい、その間に取り組みのことを忘れてしまう児童が多くなり、習慣として定着させることができなかったと考えられる。

(2) 取り組みに対する児童の評価

アンケートの結果(61名回答)を Fig.19 に示す。また、振り返り学習時に児童9名から得た意見を抜粋し Table 7 に示す。Fig.19 (a) より大半の児童が昼光利用の取り組みに興味を持ち、Table 7 より昼光から得られる明るさに応じて人工照明の使用量を調節することの大切さを理解し取り組んだと考えられる。振り返り学習時に得た意見やアンケートの自由記述では、今回の取り組みを継続させたいという意見以外にも、「節水などの他の環境に関する取り組みにも興味を持った」、「自宅でも無駄な電気を消したい」などこの取り組みを展開した活動も指摘されていた。このことから、児童に対して人工照明の使用量を調節するように働きかけることは、照明使用量の削減につながるだけでなく、環境に配慮した生活を学習する機会にもなることが考えられる。一方で、「カーテンを開けるとまぶしいので閉めてしまい、節電できない」という内容の記述があり、遮光の重要性も確認された。

(3) 教員へのヒアリング

取り組み終了後、対象教室の担任教員2名に取り組み時の児童の様子や、意識が薄れていった要因などについて質問した。教員から得られた意見を抜粋し Table 8 に示す。取り組み開始当初は、児童同士で話し合って消灯場所を決める等、児童の電気や明るさへの興味・関心が高まっていたという感想が得られた。また、移動教室などの際、教員に言われなくても教室の照明を消灯するようになったことも大きな変化の一つとして挙げられた。後半に意識が薄れてい

ったことに関しては、効果の実感のない実践であったことが大きな要因として挙げられた。今回の取り組みでは、ピー玉を貯めることで削減した電気量を可視化したが、児童に対して還元されるものがなかったため、実感が伴いにくく、取り組みへの意識が薄れていったと考えられる。M小では、児童の取り組みに対し一定のポイントが貯まると、45分間レクリエーション時間を得られるシステムがあるため、そういったものをつなげることができれば、習慣化しやすくなるとの指摘もあった。今後継続していくには、児童が取り組みの成果の実感を得やすいような工夫をし、児童の取り組みを評価するような体制を学校全体で整えていくことが重要であると思われる。

6. まとめ

本研究では、積極的な昼光利用に向けて採光に工夫がみられる小学校2校における調査から、光環境の実態と照明エネルギーの使用量削減の可能性について考察した。

教室の光環境の測定結果より、南片側採光の標準設計型校舎と比較して、採光面の多い教室の方が分布に偏りが無い傾向が確認された。また、夏季の測定日ではどの測定点においても推奨照度を超過しており、平均輝度も設計規準を十分に満たしていた。しかし、冬季は直射日光の入射によりカーテンを閉めざるをえない状況があり、その場合に照度が下がるケースや窓面と教室内との輝度比が大きくなるケースも確認された。

遮光装置及び人工照明の使用状況の調査より、遮光装置は直射日光が入射する場合だけでなく、視界を遮るためにも使われること、人工照明は明るさに関わらず教室使用時には常に点灯されていることが実態として明らかとなった。

以上より、対象校の調査を通して考察した昼光利用により照明エネルギーを削減するための留意点をまとめる。まず、採光の方位・方式については、複数の採光面を設けることで、光環境の均一性は高まるが、採光面が増えることで外部からの視線などの影響を受け

やすくなるため、窓外の環境に配慮する必要がある。遮光装置に関わる留意点としては、直射日光の遮蔽にカーテンを使用する場合、日光を過度に遮蔽しないことと同時に、カーテン面のまぶしさや室内との輝度比の増大を防ぐという観点から、光の透過率や拡散特性を検討する必要がある。窓外に住宅が近接する場合には、遮光目的の他に視界を遮断するためにカーテンを使用することが多くなり、採光に支障が生じる可能性がある。また、人工照明の分灯方式について、採光面に応じて明るい窓際が消灯でき、暗い室奥が点灯できるような分灯方式とすることが必要である。

小学校において照明エネルギーを削減していくには、設計時の配慮に加えて使用者の環境調整行動も必要となってくる。5年生の児童の協力を得て実施した人工照明の使用量削減に向けた取り組みでは、児童は内容や意義を理解し、人工照明の使用量やカーテンの開閉を調節する様子も見られた。取り組みを習慣化するには至らなかったが、児童が責任を持って人工照明の使用量の調節を行える仕組みを整えることによって、照明エネルギー削減が実現する可能性が確認された。

謝辞

本研究の実施にあたり、宗方淳教授（千葉大学）、小崎美希助教（お茶の水女子大学）、千葉市立美浜打瀬小学校・立川市立第一小学校の教職員及び児童の皆様にご多大なるご協力を賜りました。ここに記して謝意を表します。また、本研究の協力者であった太郎田悠氏（平成29年度明治大学4年生）に感謝致します。

参考文献

- 1) Architectural thought Institute: Data File of Architectural Design and Detail 16 School—elementary school・junior high school・high school—, Kenchiku Shiryo Kenkyusha CO., LTD., p. 6, 1987. 3
建築思潮研究所編: 建築設計資料 16 学校—小学校・中学校・高等学校—, 建築資料研究社, p. 6, 1987. 3
- 2) The Committee on the Promotion of Zero Energetics School: Report of the Committee on the Promotion of Zero Energetics School
学校ゼロエネルギー化推進方策検討委員会: 学校ゼロエネルギー化推進方策検討委員会報告書, 2012. 5
http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/_icsFiles/afieldfile/2012/06/15/1321285_05.pdf (accessed 2018-1-30)
- 3) Naoya H.: Examination of the Validity of Various Brightness Indexes Based on the Brightness Rating in the Room Which Has a Scene Through the Window, Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ), No. 615, pp. 9-14, 2007. 5
原直也: 窓外に景色を有する室の明るさ評価に基づく種々の明るさ指標の有効性の検討, 日本建築学会環境系論文集, 第615号, pp. 9-14, 2007.5
- 4) Hideki Y., Takashi Y., Hiroyuki S.: Space Brightness Evaluation for Day-Lit Offices, Journal of the Illuminating Engineering Institute of Japan, Vol. 98, No. 11, pp. 593-599, 2014. 11
山口秀樹、丸山隆志、篠田博之: 窓面からの日光導入が空間の明るさ感に与える影響, 照明学会誌, 第98巻, 第11号, pp. 593-599, 2014. 11
- 5) Ineko T., Minako M., Shin T., Etsuko M., Takaaki K., Hiroto T.: Development of Built Environment Learning Program for Sugunami Eco-school, Case Evaluation in Ogikubo Primary School at the Initial Stage, AIJ Journal of Technology and Design Vol. 17, No. 36, pp. 755-758, 2011. 6
田中稲子、村上美奈子、谷口新、望月悦子、古賀誉章、高口洋人: 杉並区エコスクールにおける住環境プログラムの開発—荻窪小学校における萌芽段階の事例評価—, 日本建築学会技術報告集, 第17巻, 第36号, pp. 755-758, 2011. 6
- 6) Takaaki K., Etsuko M., Yasuha M., Ineko T., Minako M., Shin T.,

- Hiroto T., Tamae F.: Development of Built Environment Learning Program for SUGINAMI Eco-School. Part 8, Deployment of Program for Light and Lighting, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, Environmental Engineering-II, pp. 561-562, 2013. 8
古賀誉章、望月悦子、丸山愛葉、田中稲子、村上美奈子、谷口新、高口洋人、藤野珠枝: 杉並区エコスクールにおける住環境学習プログラムの開発その8 光に関する学習プログラムの開発, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学-II, pp. 561-562, 2013. 8
- 7) Yoko U., Takaaki K., Etsuko M., Ineko T., Minako M.: Development of Built Environment Learning Program for SUGINAMI Eco-School. Part 9, Deployment of Program for Light and Lighting 2013, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, Environmental Engineering-II, pp. 571-572, 2014. 9
内田陽子、古賀誉章、望月悦子、田中稲子、村上美奈子: 杉並区エコスクールにおける住環境学習プログラムの開発その9 2013年度の光に関する学習プログラムの開発, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学-II, pp. 571-572, 2014. 9
 - 8) KINDAIKENCHIKU-SYA CO., LTD.: KINDAIKENCHIKU, Vol. 60, No. 8, pp. 120-123, KINDAIKENCHIKU-SYA CO., LTD., 2006. 8
株式会社近代建築社編: 近代建築, 第60巻, 第8号, pp. 120-123, 株式会社近代建築社, 2006. 8
 - 9) KINDAIKENCHIKU-SYA CO., LTD.: KINDAIKENCHIKU, Vol. 69, No. 7, pp. 88-91, KINDAIKENCHIKU-SYA CO., LTD., 2015. 7
株式会社近代建築社編: 近代建築, 第69巻, 第7号, pp. 88-91, 株式会社近代建築社, 2015. 7
 - 10) Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology Japan: Gakkokankyoeiseikijun (School Environmental Sanitation Standards), 2009
文部科学省: 学校環境衛生基準 (平成21年文部科学省告示第60号), 2009
http://www.mext.go.jp/a_menu/kenko/hoken/1353625.htm (accessed 2018-1-30)
 - 11) Architectural Institute of Japan: Standards for Lighting Environment, Architectural Institute of Japan Environmental Standards, L0002-2016, AIJ, p. 49, 2016. 6
日本建築学会: 照明環境基準・同解説, 日本建築学会環境基準, AIJES-L0002-2016, 日本建築学会, p. 49, 2016. 6
 - 12) Akinori S., Kanako K., Jun M., Kuniko H.: A Study for Utilization of Daylight in a Newly-built Elementary School—Survey on Actual Use and Trial for Improvement—, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, Environmental Engineering-I, pp. 511-512, 2016. 8
芹澤彰典、上野佳奈子、宗方淳、橋本都子: 新設小学校における昼光利用の検討—使用実態の調査と改善に向けた試み—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学-I, pp. 511-512, 2016. 8
 - 13) Kanako U., Kuniko H., Ryoko K.: Study on Sound Environment of Open-plan School, Survey on Honcho, Utase, MihamaUtase Elementary school, Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ), Vol. 74, No. 643, pp. 1033-1041, 2009. 9
上野佳奈子、橋本都子、倉斗綾子: オープンプラン小学校の音環境に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第74巻, 第643号, pp. 1033-1041, 2009. 9
 - 14) Kuniko H., Kanako U., Ryoko K., Kazuko A.: A Study on Classroom environment of Utase Primary School and MihamaUtase Primary School, Evaluation of Open-plan School by Teachers and Children, Journal of Architecture and Planning (Transactions of AIJ), Vol. 74, No. 645, pp. 2347-2355, 2009. 11
橋本都子、上野佳奈子、倉斗綾子、赤松佳珠子: 打瀬小学校・美浜打瀬小学校の教室環境—児童・教師によるオープンプラン小学校の評価と実態—, 日本建築学会計画系論文集, 第74巻, 第645号, pp. 2347-2355, 2009. 11
 - 15) Syota I., Ryoko K., Kuniko H., Kanako U.: Study on the Furniture Arrangement and the Way of Using in New Style Classroom—Case Study in Tachikawa Daiichi Elementary School—, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of

Japan, Architectural Planning, pp. 369-370, 2015. 9

伊原翔汰、倉斗綾子、橋本都子、上野佳奈子：新たな教室空間における家具配置とその使われ方に関する研究—立川市立第一小学校におけるケーススタディー、日本建築学会大会学術講演梗概集、建築計画、pp. 369-370, 2015. 9

- 16) Katsumi Y., Kazuyoshi Y. : Physical Characteristics of Open Plan Classrooms and Municipal Guidelines for School Buildings in Tokyo, Toyama and Akita Prefecture Study on development and evaluation of open classrooms in elementary school Part1, Journal of Architecture and Planning (Transactions of AIJ), Vol. 74, No. 635, pp. 25-32, 2009. 1
山口勝巳、屋敷和佳：東京都・富山県・秋田県の公立小学校におけるオープンプラン型教室の整備状況と整備方針 小学校におけるオープン型教室の整備と評価に関する研究その1、日本建築学会計画系論文集、第74巻、第635号、pp. 25-32, 2009. 1
- 17) Miki K., Liuqing Y., Kotaroh H. : Research on Pleasant Darkness in a Restaurant Quantitative analysis of luminance distribution, Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ), Vol. 82, No. 735, pp. 425-433, 2017. 5
小崎美希、楊柳青、平手小太郎：飲食空間における快適な暗さに関する研究 輝度分布を考慮した定量的な把握、日本建築学会環境系論文集、第82巻、第735号、pp. 425-433, 2017. 5

注

- 注 1) 近年の小学校教室の面積としては、山口らの調査¹⁶⁾によれば、オープンプラン型の小学校では60 m²前半を中心に分布している。
- 注 2) Baumer 社製 CCD カメラ(TGX13c、1392×1040、20fps、140 万画素)に Edmund Optics 社製フィッシュアイレンズ(焦点距離1.4 mm 左右・上下画角185°)を装着し、露出時間の異なる16条件で撮影された等立体角射影の複数の画像から各点の輝度値を算出するソフトを用いた¹⁷⁾。
- 注 3) 今回のケースでは、直射日光が当たっていた部分もグレア源となっていたため、教室の明るさの評価を目的とする照度・輝度の測定結果の分析(3.2項)からは除外することとした。
- 注 4) 夏季の測定では、すべての測定点において机上面照度は500 lxを超えていた。
- 注 5) 平均輝度の算出においては、輝度カメラによって算出された輝度分布地(1セル8.349×10⁻⁶[sr])を用い、対象範囲の平均値を算出した¹⁷⁾。範囲の設定例を、下の付図に記す。白塗りの範囲が算出範囲となり、黒塗りは算出範囲外である。平均輝度の算出結果から、輝度比(窓面平均輝度/教室内平均輝度)を算出した。教室内の輝度の算出方法について、以下にT2-3 冬季の例で説明する。Appended Fig.1の①：西窓、②OS、③直射日光の当たっている部分、④東窓のうち、教室内平均輝度の算出においては①～④を除外した Appended Fig.2の白い部分を対象とした。天井面輝度は Appended Fig.3 に示す部分について求めた。室内との輝度比をとるための窓は、高輝度かつ面積の大きい東窓④を窓面として Appended Fig.4 に示す部分とした。
- 注 6) 各校の内装仕上げ材は下記の通りである。
M 小：天井：有孔 PB(白色)、壁：RC 打放しの上 GEP 薄塗り塗装
T 小：天井：岩綿吸音板、壁：化粧型枠 RC 打放しの上 EP-G(2 倍希釈)塗装
S 中：天井・壁(東西)：木質仕上げ、腰壁(南)；RC 打放し白色塗装、壁(北)；白色ボード・緑色掲示板
- 注 7) 測定日及び条件は3章の夏季と同じで、測定時刻は11:40~12:00 である。机上面の高さは、1・2 年生が550 mm、3・4 年生が650 mm、5・6 年生が700 mm である。
- 注 8) Fig.3 においては、line A, B, C の順に照度が下がる結果が示されているが、T 小での照明の分灯が line A~C と平行であったのは16 教室中5 室で、11 教室は line A~C と直交するラインで照明が分灯されていた。なお、line A~C は、最も多く昼光が入る窓に平行に窓際から A~C ラインを定めた。
- 注 9) T 小の教員は、オーガンジーカーテンを使用してもまぶしくないときはオーガンジーカーテンを使用し、まぶしいときは遮光カーテンを使用するといった形で使い分けており、使用理由は両カーテンを含めた回答となっている。

Appended Fig.1
Case with high luminance part by direct sunlight in classroom

Appended Fig.2
Calculation range of average luminance of classroom in case with high luminance part by direct sunlight

Appended Fig.3 calculation range of average luminance of ceiling surface

Appended Fig.4 calculation range of average luminance of window

- 注 10) 児童が値を読む際、受光部に児童の影ができないような高さの鉛直面に照度計を設置し、机上面が推奨照度500 lxを確保できる鉛直面照度を調べるために照度測定を行った。提案を行った11月から12月にかけては、晴天日では教室内に直射日光が入射し、カーテンを開けて教室を使用していたため、直射日光が入射する窓のカーテンを閉めた状態で、人工照明を消灯し測定した。測定から、照明のスイッチ横と教室後方机上面(Fig.2, C1)、黒板左端と教室前方机上面(Fig.2, A2)及び中心机上面照度(Fig.2, B2)を対応させて掲示物の作成をした。

A STUDY ON THE ACTUAL STATUS AND PROMOTION OF DAYLIGHT USE IN ELEMENTARY SCHOOL CLASSROOM

Akinori SERIZAWA ^{*1}, *Kanako UENO* ^{*2} and *Kuniko HASHIMOTO* ^{*3}

^{*1} Graduate School of Science and Technology, Meiji University

^{*2} Prof., Dept. of Arch., School of Science and Technology, Meiji Univ., Dr.Eng.

^{*3} Prof., Dept. of Design, Faculty of Creative Eng., Chiba Institute of Technology, Ph.D.

School classrooms are obliged to set the aperture ratio to 1/5 or more of floor areas according to the Building Standards Law, and a large window opening is provided. In recent years, in the design of school facilities aimed at energy saving, window design is contrived to realize daylight use. However, providing a large area for daylight and taking in more sunlight is not directly related to the reduction of lighting energy. It is necessary to improve the uniformity of luminance and remove glare through architectural design such as a daylighting method and shading devices. Also, it is needed for users to turn off artificial lighting when the luminance is sufficiently obtained by daylight. Therefore, it is necessary to organize the problems of a school's daylighting and lighting plan, including the user's environmental adjustment behavior.

This study aims to indicate the environmental light conditions of classrooms with contrived windows, the actual use of artificial lighting and light shielding devices, and the problems and the possibilities of daylight use in school buildings. In two elementary schools where the daylighting method was contrived, we measured the light environment and surveyed its use. Additionally, we conducted a trial to reduce the use of artificial lighting with the cooperation of teachers and children.

From the measurement result of the light environment in the classroom, it was confirmed that the distribution in the classroom with multiple windows is more uniform, compared with the standard design type of school building with windows on the southern one side. Also, in the classroom with multiple windows, the recommended illuminance was satisfied at any measurement point on a sunny day, and the average luminance also fulfilled the design criteria. However, in winter, when the curtain was closed to avoid the incidence of direct light, the brightness ratio between the window surface and the inside of the classroom was large.

According to the survey of the use of the light shielding device and artificial lighting, it was indicated that the light shielding device is not only used for direct sunlight but, also, for shielding the eyesight. Artificial lighting is always used regardless of the brightness in the classroom.

From our results, we summarize factors to pay attention to reducing energy consumption by the use of daylight in school buildings. In window design, it is important to make the distribution of brightness uniform. Concerning light shielding devices such as curtains, it is necessary to examine light transmittance and reflection characteristics to shield daylight appropriately and to prevent glare and a high luminance ratio. Additionally, it is necessary to consider a switch system for artificial lighting that can turn off light on a brighter side and illuminate a darker side.

To reduce lighting energy in school buildings, environmental adjustment actions of the user also become necessary. In the trial to reduce the amount of artificial lighting, which collaborated with fifth-grade children, it was seen that the children understood the objective and importance, and adjusted the amount of artificial lighting and curtain use. As a result, it was indicated that energy savings from reduced artificial lighting could be realized if children were led to understand the proper light environment and the method needed to adjust the level of artificial lighting.

(2018年3月31日原稿受理, 2019年2月27日採用決定)