教室内における採光および照明に関する実態調査

Investigation on the Lighting Conditions in Schoolroom

京都大学工学部衛生工学教室

山本 剛夫・西田耕之助・中村 隆一・伴野和佐子

Takeo Yamamoto, Kōnosuke Nishida, Takakazu Nakamura
and Wasako Banno

(Dept. Sanitary Eng., Faculty of Eng., Kyoto University)

山口県立医科大学公衆衛生学教室

上 野 碩 夫

Sekio Ueno

(Dept. Pub. Health, Yamaguchi Medical School)

Lighting conditions of eight schoolrooms were investigated in order to obtain the appropriate lighting standards for schoolroom. The following results were obtained.

1) Lighting standards, which are applicable to schoolroom, were proposed by introducing a partial modification of Moon and Spencer's standards.

2) Generally, the values of delos, which is introduced by Moon and Spencer, were insufficient: and the distribution of illumination in the school rooms was not uniform excepting the case of artificial lighting.

3) Helios distribution was also not uniform in about half the schoolrooms.

4) Annoying glare due to specular reflection of black board was observed, in about 2/3 of the schoolrooms.

I. は し が き

最近、学童ならびに生徒の近視の発生率が年々増加し、識者の関心事の一つとなっている。近視の発生は多くの要因によって支配されるものであるが、教室内における採光・照明の良否もその一要因としてとりあげられている。従来、教室内の採光・照明の良否は、もっぱら照度およびその均一性に重点がおかれてきたが、われわれの視覚（とくに視角）と直接関係のあるのは、照度よりむしろ光束発散度であることから、この光束発散度に重点をおいた研究を基礎にして、新しい照明設計の基準が Moon および Spencer¹⁾ によって提唱された。この基準を教室に応用するには、なおかなりの検討を要すると思われるが、視覚生理との関連を重視している点において、従来の方法を一歩進めたものと考えられるので、われわれは京都ならびに大阪市内の小・中・商業高等学校について、光束発散度を中心とした実態調査を行ない、若干の知見を得たので以下これを報告する。

II. 調査ならびに測定方法

調査の対象とした学校、教室、コンクリート建・木造建の別、階数の別、採光窓の方位、昼光ならびに人工光の別、床面積、天井高、机の数等は表 1 に示す通りである。

上記の各教室において、机上面、壁面（教室内の学習状態を考慮して正面のみ）、天井面、黒板面の照度をマツダ精密型照度計によって測定すると同時に、マンセル色度表を用いて、それぞれの面の平均反射率の推定を行ない、各面を完全拡散面とみなし、(1) 式を適用して、

$$H = D \times \rho \quad (1)$$

光束発散度 (Moon, Spencer らの Helicos …… 単位, blondel) を求めた。(1) 式の H は光束発散度, D は照度 (lux), ρ は反射率である。なお、マンセル色度表の色調に合致しない面ならびに採光窓は、照度計の光電池面に内径 5 cm, 長さ 30 cm の内面黒塗りの円筒をかぶせて、(2) 式によって光束発散度を求めた。

表 1 被測定教室の種類と測定条件

	T 中			H 小	S 中		T商高校 (夜間)	
	1 年	2 年	3 年	6 年	1 年	2 年	3 年	4 年
測定月日	S. 34年10月15日			S. 34年10月26日	S. 34年10月26日		S. 34年10月15日	
測定時間	10°	14°	15°	10°	14°	15°	18°	19°
建物の構造	木造	鉄筋コンクリート		鉄筋コンクリート	木造	鉄筋コンクリート	鉄筋コンクリート	
測定教室の階数	1 階	2 階	3 階	3 階	1 階	2 階	2 階	2 階
主採光窓の位置	西	東	北	南	南	南	南	南
光源	屋 光			屋 光	屋 光		人 工 光	
床面積 (m ²)	67.5	58.0	58.0	59.4	52.2	61.8	60.2	
天井高 (m)	2.3	3.2	3.2	4.5	2.30	3.00	3.2	
机の数	49	45	46	54	45	48	52	54
測定当日の天候	晴			晴	晴		晴	

$$H = D / \sin^2 \gamma = D (l^2 + a^2) / a^2 \quad (2)$$

この場合、 D は照度、 γ は光錐の半頂角、 l は筒長、 a は筒の半径である。

次に照度の均一性を検討するため、机上面上の照度の測定値に基づいて、等照度曲線を作製すると共に、机上面のデロス Y を (3) 式を用いて個々に算出しその分布を求めた。

$$r_u = \frac{\alpha_\infty}{\alpha} = \frac{H_A}{[0.412 + H_A^{1/3}]^3} \quad (3)$$

ここに H_A は順応光束発散度、 α_∞ は最良の照明条件下における最小視角、 α は現在の照明条件下における最小視角である。 H_A は当日の学習状態を考慮して机上面の白紙 (反射率 0.7) の光束発散度を採用した。

また、直径 6 インチの黒球寒暖計を机上面上 38 cm の高さにし、最も暗い影が生ずる点を選び、球がない場合の照度 D と、影の中の照度 D_{SH} を測定し、影による照度の減少を (4) 式による比率で示した。

$$(D - D_{SH}) / D \quad (4)$$

次いで、黒板面の正反射によって生ずる光源 (採光窓もしくは人工光源) の像の光束発散度を同じく (2) 式を適用して算出し、さらに正反射によるまぶしさが児童生徒の顔面附近に及ぶ範囲を推定し、とくに強い影響を及ぼす範囲について、環境デロス γ_S を

$$\gamma_S = H_B / H_A \quad (5)$$

によって算出した。ここに H_B は背景の光束発散度、 H_A は順応光束発散度である。

さらに、人工光による夜間商業高校の場合には、使用している光源の種類から色温度を推定し²⁾、光源のスペクトル分布の良否に関する判定資料とした。(判定基準としては色温度 4000°K 以上を良とした。)

最後に、美的効果を調査者 4 人で、色彩調節を 10 点満点、採光窓の位置ならびに大きさを 5 点満点、照明器具の形態ならびに幾何学的配置を 5 点満点、計 20 点満点として採点した。

以上の測定ならびに調査を行なっている間に、照度と作業能率との関係を明らかにし、照度の衛生基準を検討する目的で、矢迫³⁾の試みた図 1 に示す調査用紙を児童ならびに生徒 (総数 393 名) に配布し、次の要領で作業をあたえた。調査用紙の“小円”の中に描かれた短い線の方角を調査者が任意にきめ、その方向に短かい線で印のついた小円を調査用紙の左から右へ向って出来るだけ正確にかつ迅速に✓印でチェックする様に指示した。

この作業を 2 分間作業、2 分間休憩、10 分間作業、2 分間休憩、10 分間作業の順で行なわせた。最初の 2 分間作業は練習用とし、2 回目の作業成績と 3 回目の作業成績を採用し、読数 (小円を追求した数)、正解数 (正確にチェックした数)、脱数 (チェックすべき所をぬかした数) をそれぞれ数えて、終読数 (3 回目の作業の読数) / 始読数 (2 回目の作業の読数)

終正解数 (3 回目の作業の正解数) / 始正解数 (2 回目の作業の正解数)

図 1 調査用紙

始脱数（2回目の作業の脱数）/終脱数（3回目の作業の脱数）

を各人について計算し、照度と作業能率との関係を検討した。

III. 測定成績

調査を行なった各教室の採光・照明に関する測定成績の一部を表2に示した。

夜間商業高校を除いて、測定時の屋外水平照度は8,000~12,000 lux でいずれの教室においても大差がない。それ故、各教室の照度、光束発散度の相違は主とし

て教室の方位、採光窓の位置並びに大きさ、教室の幾何学的形状、室内の色彩調節等の良否が集積された結果とみなしうる。もちろん夜間高校においては以上の要因の他に、人工光源の良否が大きく関与する。平均照度はH小6年の教室が最高で、夜間商業高校3年の教室が最低である。

最高照度はS中2年の教室が最高で夜間商業高校4年の教室が最低、また、最低照度はH小6年の教室が最高で、夜間商業高校3年およびT中1年が最低である。黒板面はH小6年の教室が最高で、夜間商業高校4年の教室が最低である。光束発散度は天井面が白色もしくはクリーム色の塗装を施しているため壁面および床面にくらべていずれの教室においても高い値を示している。黒板面はH小6年の教室をのぞいて、正面の壁における光束発散度と大差ない。H小6年以外の教室は壁面の反射率が黒板と大差ない程低いためであり、壁面の色彩に一考を要すると思われる。順応光束発散度は机上面の白紙の光束発散度を採用したが、黒板面の光束発散度を採用する方が妥当である場合もしばしばあると考えられる。

1. 教室机上面の照度とデロスの分布

机上面における照度分布について、代表的な2例を図2~3に示した。

図2はT中学1年の教室における机上面の高さでの等照度曲線である。点線は最前列ならびに最後列の机の位置を示す。採光窓は東側と西側に設けてあるが、東側の採光窓は2m幅の廊下に面しているの、採光窓としての役割は西側のそれに比べてはるかに小さい。したがって、西側の採光窓の窓際における照度が最大で1,000

表 2 測定成績

		T 中 学			H 小	S 中 学		T商高校（夜間）	
		1 年	2 年	3 年	6 年	1 年	2 年	3 年	4 年
測定時刻		10°	14°	15°	10°	14°	15°	18°	19°
屋外水平照度 (10 ³ Lux)		10	10	9	12	12	8	(人工光)	
照度 (Lux)	平均 D_{AV}	233	219	280	465	205	312	80	85
	水平面 { 最高 D_{max}	1260	620	1190	1210	1010	1280	114	107
	(机上) { 最低 D_{min}	34	75	59	130	49	56	34	55
	黒板面 (平均) D_{BL}	104	126	144	463	225	167	102	93
光束発散度 (Blonde)	壁面 (正面) H_{1M}	16	20	23	125	15	52	24	26
	天井 H_2	83	93	120	223	59	132	129	138
	床 H_3	71	24	31	148	19	31	19	18
	黒板面 H_{BL}	13	15	16	28	17	52	14	15
	順応 H_A	163	153	196	326	144	218	56	60

図 5 黒板面における正反射

2. 黒板面の正反射

黒板面は一般には完全拡散面ではなく、多かれ少なかれ正反射をする。これは他の壁面についても同様であるが、黒板は講義の際、絶えず凝視しなければならないので、とくに重要であると考えられる。ことに黒板面が古くなり、表面がなめらかになればその影響は無視し得なくなってくる。そこで黒板面の正反射によって生ずる光源の像のまぶしさの及ぶ範囲を、代表的な2例について図5に示した。これらはいずれも主採光窓による強いまぶしさの及ぶ範囲を幾何学的に検討したものであり、斜線の施してある範囲はいずれの地点においても主採光窓の全体の像が目に入ることとなる。

この範囲内で黒板面を見る場合の環境デロスの値と、光源の像が目に入らない場所でのデロスの値を図中に記入してある。黒板の正反射によってデロスは著しく低下することが分る。S 中 1 年と H 小 6 年の教室を比較すれば、前者の方が強いまぶしさの及ぶ範囲がはるかに広いことがはっきり現われており、採光窓の大きさや位置、教室の大きさとその形状にたいしても注意を払う必要が認められる。

もちろん以上の黒板面での正反射によるまぶしさは、採光窓にブラインド若しくはカーテンを使用すれば減弱させることができるが、平均照度は当然低下するから、しばしば人工光を用いて照度の不足を補償する必要がある。

IV. 総括、ならびに考察

照明学会推奨の所要照度は、普通の教室で 100~50 lux、黒板面は 200~100 lux、米国の基準では前者 300

lux、後者 500 lux とされている。また塚田・渋谷⁴⁾は教室および黒板面について、いずれも 100 lux という基準を示している。一方、Moon と Spencer は照度、光束発散度、正反射、影、スペクトル分布、心理的影響、美的効果、経済の8要素について、適正な照明設計の基準を実利的、装飾的の2種類について規定し、各項目が完全な場合は総点数が100点となるような採点方法を提案している。しかし、教室では机上面の照度以外に、黒板面の照度も重要であると考えて、あらたに黒板面に対する項目を設け、さらに経済に関する項目をのぞいて表3に示すような好適採光照明条件とその採点方式を第6回学校保健学会において提唱した。この表にみられる記号は次のとおりである。

γ : デロス, D_{AV} : 主要面 (床面上天井高の 1/4 の高さ、もしくは床上 85 cm の高さの水平面上が通常採用されているが、学校の場合は机上面を採用する) 上の平均照度, D_{min} : 主要面上の最小照度, D_Z : 水平面上の照度, D_X : 鉛直面上の照度, H_A : 作業のための順応光束発散度 (学校の場合は黒板面もしくは机上面の光束発散度を適用すればよいと考えられる。いずれにするかは学習時間の内容とその長短によってきめる), H_{1M} : 床と天井との間の中間の壁の光束発散度, H_2 : 天井の光束発散度, H_3 : 床の光束発散度, H_D : 机上面の光束発散度, H_{BL} : 黒板面の光束発散度, H_S : 光源もしくは光源の像の光束発散度 (まぶしい光源が直接目にはいる場合は光源の光束発散度を取り、正反射によって光源の像が目にはいる場合はその光束発散度をとる) である。

表3の照度、光束発散度分布、正反射の項における各種の比率は、分母に小さな値、分子に大きな値を選ん

表 3 好適採光照明条件とその採点方式

1. 照 度			
a) デロス Delos: γ_u	机	黑板	
$\gamma_u \geq 0.90$	10	10	
$0.90 > \gamma_u \geq 0.80$	5	5	
b) 照度分布			
$D_{AV}/D_{min} \leq 3$	5		
$D_{max}/D_{min} \leq 3$	5		
c) 水平面照度と鉛直面照度との比			
$D_Z/D_X \leq 3$	5		
2. 光束発散度分布			
$H_A/H_{1M} \leq 3$	5		
$H_2/H_A \leq 3$	5		
$H_A/H_3 \leq 3$	5		
$H_A/H_D \leq 3$	5		
$H_A/H_{BL} \leq 3$	5		
3. 正反射 $H_S/H_A \leq 3$	10		
4. 影による照度の減少 $\leq 10\%$	5		
5. スペクトル分布 (色温度)	5		
6. 美的効果	20		
	100		

で、いずれも1以上の数値となるようにする。この基準に基づいて、上記の照度、光束発散度、正反射の成績のほかに机上面における影による照度の減少率(%)と、

人工光を使用している夜間商業高校の光源のスペクトル分布ならびに美的効果に関する成績を加え、それぞれの教室の採点を施し、これを表4に示した。表4のカッコ内に記入してある数値は各項目の採点である。

H小6年と夜間商業高校3年の教室がもっとも良く(55点)、S中1年がもっとも悪い(15点)*。

一般に、デロスは不足で、照度分布は夜間商業高校、T中2年を除いていずれも均一性に欠けている。光束発散度の分布も約半数が均一性に欠け、また黑板の正反射によるまぶしさが強すぎると判定されるものが2/3に及んでいる。なお、黑板面のデロスについては(3)式をそのまま用いたが、この場合色彩対比が大きな影響をもつから、将来は色彩対比を考慮したデロスの算定公式の作製が望まれる。この点に関して唐津⁶⁾の研究が注目されるが、公式を作製するにはさらに各種の照度について実験を追加する必要がある。

さらに、児童、生徒を被検者として、矢追の試みた視作業による作業能率と机上面照度との関係を調べ、MoonおよびSpencerによるデロスの基準値(長期間にわたる精密な視作業の場合……0.9; 他のすべての場合……0.8)に対する検討を行なった。(図6)

照度の変化による終読数/始読数、終正解数/始正解数ならびに始脱数/終脱数の各々の変動について一元配置

表 4 教室内の採光および照明 (採点表)

項 目 \ 級		T中1年 値 (評点)	T中2年 値 (評点)	T中3年 値 (評点)	H小6年 値 (評点)	S中1年 値 (評点)	S中2年 値 (評点)	T商高3年 (夜間) 値 (評点)	T商高4年 (夜間) 値 (評点)
(1) 照 度	デロス { 机上	0.76	0.79	0.79	0.83(5)	0.77	0.80(5)	0.73	0.73
	黑板	0.61	0.63	0.64	0.68	0.64	0.73	0.63	0.62
	D_{AV}/D_{min}	6.8	2.9 (5)	4.8	3.6	4.2	5.6	2.2 (5)	1.6 (5)
	D_{max}/D_{AV}	5.5	2.8 (5)	4.2	2.6 (5)	4.9	4.1	1.5 (5)	1.2 (5)
	D_Z/D_X	1.6 (5)	1.3 (5)	1.4 (5)	2.0 (5)	1.1 (5)	1.7 (5)	1.1 (5)	1.1 (5)
(2) 光束発散度	H_A/H_{1M}	9.8	7.7	8.6	2.6 (5)	9.6	4.2	2.3 (5)	2.2 (5)
	H_2/H_A	2.0 (5)	1.6 (5)	1.6 (5)	1.5 (5)	2.4 (5)	1.7 (5)	2.3 (5)	2.3 (5)
	H_A/H_3	2.3 (5)	6.4	6.3	2.2 (5)	7.6	7.0	2.9 (5)	3.3
	H_A/H_D	6.4	6.4	6.7	5.4	6.4	6.4	4.1	4.1
	H_A/H_{BL}	13	10	11	12	8.5	4.2	4.0	4.0
(3) 正 反 射 H_S/H_A		2.6(10)	2.4(10)	1.7(10)	11.1	6.0	6.1	15.4	12.9
(4) 影による照度の減少		0.49	0.12	0.04(5)	0.21	0.27	—	0.38	0.38
(5) スペクトル分布 (色温度)		(5)	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)
(6) 美的 効果		(0)	(10)	(10)	(20)	(0)	(5)	(20)	(20)
計		(30)	(45)	(40)	(55)	(15)	(25)	(55)	(50)

* 第6回学校保健学会においては、上記の採点表と各教室のカラースライドとを対比させて講演した。

図 6 照度と矢追氏作業能率係数

型の分散分析を行なった所、前二者はいずれも有意差はみとめられなかったが、始脱後数/終脱数のみは 5% 以下の危険率で有意差を認めた。始脱数/終脱数は、200~400 lux 迄は照度の増加と共にゆるやかに増加し、400~800 lux 以上になれば急激に増加する。ことに 200~400 lux 以下のときは、始脱数/終脱数は 1 以下であるが、照度がそれ以上のときは 1 以上となる。始脱数/終脱数が 1 以上ということは、休憩の脱数が休憩前の脱数より少ないと云うことであり、練習効果が出現したものと考えられる。逆に始脱数/終脱数が 1 以下の場合は、疲労

効果があらわれたと解釈しうる。この意味で、照度の基準として 200~400 lux (平均 300 lux) という数値が一応考えられる。この抹消作業に採用した用紙の反射率は 0.7 であるから、200~400 lux というのはデロスで 0.795~0.833 に相当する。

また 300 lux (平均値) は 0.818 となり、Moon, Spencer のデロスと云う基準はかなりの意義をもつと考えられる。

V. 結 論

京都ならびに大阪市内の 1 小学校 1 教室、2 中学校 5 教室、1 夜間商業高校 2 教室について、採光、照明に関する実態調査を行ない次の結果を得た。

- 1) Moon, Spencer の適正な照明設計に関する基準を修整し、教室に適用しうる衛生基準を作製した。
- 2) 一般にデロスは不足で、照度分布は人工光の場合を除いて、いずれも均一性に欠けている。
- 3) 光束発照度の分布も約半数が均一性に欠ける。
- 4) 黒板の正反射によるまぶしさが強すぎると判定されるものが約 2/3 に及んでいた。

文 献

- 1) Moon, P. & Spencer, D. E.: *Lighting Design*. Addison-Wesley Press Inc., 1948; 藤原義輝, 斎藤辰弥共訳: 照明設計, 技報堂, 1955.
- 2) 照明学会編: 照明のデータブック, オーム社, 1953.
- 3) 日本眼科学会編: 日本眼科全書, 4 巻 1, 1957.
- 4) 塚田治作, 渋谷敏三: 学校保健の解説, 23, 第一法規出版, 1958.
- 5) 唐津秀雄: 学習生活の衛生学的研究, 第 1 報 板書に関する衛生学的的一考察. 日本衛生学雑誌, 15, 329~338, 1960.

(受付: 1962 年 11 月 2 日)