

眼の比色と光の物理量測定に関する基礎的研究

筑波技術大学 障害者高等教育研究支援センター 障害者基礎教育研究部（視覚障害系）

村上佳久

要旨：視覚障害者の学習環境を整備するためには、学習者の個々の目の状況を評価する必要がある。この個人別の目の状況を様々な方法で物理量を評価し、その個人別の状況を的確に精査すれば、個々の目の状況に合致させた最適な教材を提供するための有力な手段となり得る。ここでは、透過光と反射光の2つの条件と色温度や照度などの様々な条件を変化させ、個々の目の物理量を読書スピードから測定した。

キーワード：視覚障害, 教材

1. はじめに

視覚障害学生の学習環境は、情報機器などの発達と共に劇的に変化してきており、全盲でも一般的な墨字のレポートが提出できるようになってきた。しかし、実際の視覚障害学生の目の状況は学生個々によって様々であり、同一の学習環境で学習を行うには無理がある。特に弱視の学生で、黑白反転（黒背景に白文字）の教材を利用する学生にとっては、従来は拡大読書器での黑白反転のみが唯一の視覚障害補償手段であった。しかし、スレートPCと呼ばれる手持ち利用出来る情報機器の発達は、電子教科書と共に利用すると、学生個々の目の状況に合致させた文字の大きさで、黑白反転の教材を提供できるようになった。[1]

ここでは、視覚障害学生個々の目の状況を光に関する様々な条件を変化させ物理量として測定し、学生個々の最適な教材作りに対応する個人別プロフィールの作成を目的とした。

2. 目の物理量

視覚障害学生の学習環境として電子図書閲覧室（2009年8月閉鎖）を構築・維持・管理してきたが、その更新過程で学生に対するアンケート調査をおこなった。[2]

この時の結果から、学生の4割強が黑白反転の学習環境を希望している。しかし、学習環境においては教室などでは拡大読書器以外で黑白反転の教材を利用する手段は少なく、後はPCを利用し、画面で黑白反転させて利用する外はなかった。しかし、本当に白黒反転教材が必要かどうかは実際の利用状況とともに個々の目の状況を客観的に精査する必要がある。そこで、学生個々の目の状況を物理量として測定することを試みた。なお、この調査は、

調査実施時期（平成19年度）の学生の自発的な協力によるものである。

2.1 光の物理量

ここで、光の物理量について概観する。

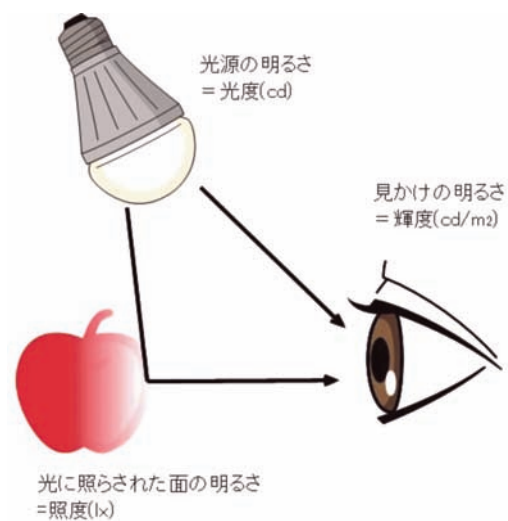


図1 目に入る光の模式図

- ・光度 (SI 単位) : 光源の明るさ : 単位 (cd)
- ・照度 : 光に照らされた面の明るさ : 単位 (lx)
- ・輝度 : 光源を直接見たときの眩しさ : 単位 (cd/m², nt)
- ・光束 (光のエネルギーの束) : 光エネルギーを目の感覚で測定 : 単位 (lm)

光源から直接目に入る場合が透過光であり、図1のようにリンゴにあたった光が目に入る場合が反射光である。このように目に入射する光には、直接光と反射光がある。

人の目に光束が入射すると眼球の奥にある網膜の中にある桿体細胞と錐体細胞が反応する。

桿体：明暗を感じる、0.1lx 以上で反応する、1 億個以上
錐体：色を感じる、10lx 以上で反応、600 万個程度

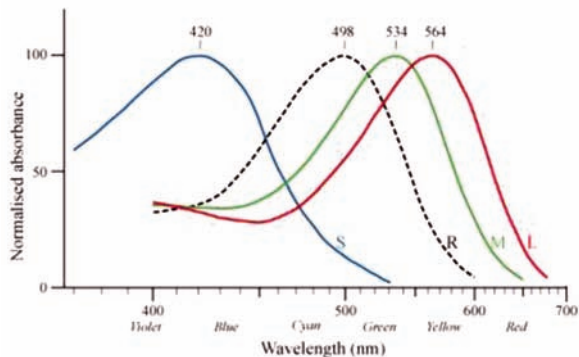


図2 桿体と錐体の分光感度 (by Wikipedia)

桿体が光を感じ、錐体が色に反応する。桿体は1種類(ピーク感度 498nm)でR、錐体には3種類あり、S錐体：青(420nm)、M錐体：緑(534nm)、L錐体：赤(564nm)のそれぞれに感度のピークが存在する。桿体と錐体の情報は視神経を通じて電気信号として大脳に送られ認識される。これが、心理物理量と言われる所以である。

2.2 光源の物理量

光源の物理量について表す。

- ・色温度：太陽光と比較した光源の色：単位 (K) 絶対温度
- ・分光分布：波長毎のエネルギー量

実際に目で感じる場合には、2.1 で示したように桿体と錐体が感知した心理物理量のため、光源の物理的表現には CIE (国際照明委員会) により等色実験で調べられた色度図を利用する。XYZ 表色系と $L^*a^*b^*$ 表色系がある。これらにより、色が数値表現に表すことが可能となる。

2.3 紙とインクの色

反射光の場合、反射する用紙と文字の色であるインクの色が反射光源となるため光源の物理量となる。日本では、日本印刷学会と日本印刷産業機械工業会で、印刷における「基本カラー」を定めている。

- ・Japan Color 標準用紙 (2003)
 - 王子製紙 OK 金藤 N 四六判 / 110kg
 - 三菱製紙 特菱アート両面四六版 / 110kg
- ・Japan Color 標準インキ (9社)
- ・Japan Color 2000 ベタ色標準測色値
- ・Japan Color 色再現印刷 2001

今回は、この「基本カラー」に基づいて実験を行った。

2.3 実際に見えている色とは

実際に見えている色とは何であろうか。前述のように心理物理量である。そこで、透過光と反射光に分けて物理量を考えると次のようになる。

- 入力系：視神経の桿体と錐体の感度
- 光源系：光源の分光分布、強度、色温度
- 反射系：印刷物の用紙、インク
- 透過光の場合：入力系 + 光源系
- 反射光の場合：入力系 + 光源系 + 反射系

それぞれの情報の積分値が脳で認識され、色として認識される。しかし、視覚障害者の場合は、桿体と錐体の分光感度が晴眼者と異なることが容易に想像される。そこで、透過光と反射光に分けて実際の見え方を調べることはきわめて重要となる。

3. 比色実験

- 学生個人の学習ノートを見ると、
 - ノートの色：白色 (通常)、黒色
 - 白色ノートの文字色：黒色、紫色、赤色など
 - 黒色ノートの文字色：白色

目の状況により最適な文字色は異なるようである。次に PC などの視覚障害支援機器での利用状況を見ると、

- ディスプレイの背景色：標準、黒、紺など

目の状況により背景色と表示色は千差万別である。そこで、学習環境の評価を

- 眼の色評価により、最適な環境を見いだす
- 反射光と透過光で眼の色評価の測定

の2点で行うこととして、比色実験を実施した。実験は、当時の3年生弱視(四年制大学一期生)9名の協力を得た。主として読書速度で客観的評価を行うこととした。また、対照として、晴眼者8名のデータと比較した。

3.1 反射光実験

反射光での実験は、専用の書見台を作成した。



図3 反射光用書見台

内部や周囲を白色のボードで囲い、読書域が光源で満たされるようにした。上部に蛍光灯ソケットを設け、光源として各種の蛍光灯を用意した。条件としては次の2つの条件を変化させた。

光源：色温度（分光分布）を変化させる

強度：照度を変化させる

光源は、色温度の異なる様々な蛍光灯を用意し、強度は、蛍光灯の本数やルーバーなどの取り付け角度で調整した。

この環境下で、専用の文字盤（MNREAD-J）を読んで、読書時間で評価する。実験の様子を図4、図5に示す。

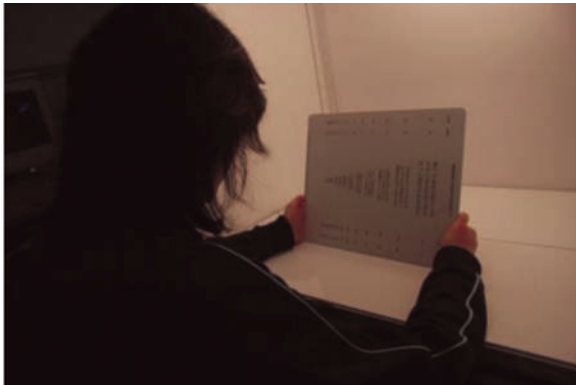


図4 MNREAD-J 白色を読んでいる様子(色温度4000K)



図5 MNREAD-J 黒色を読んでいる様子(色温度6500K)

3.2 透過光実験

透過光の実験では、専用の書見台は黒色で作成した。これは、迷光などの影響を避けるためである。透過光用のディスプレイとして、カラーマネジメント・ディスプレイを利用した。(Samsung XL-20)

このディスプレイは、キャリブレーション機能を備え、色温度や照度をPCでコントロールすることが可能である。

透過光の実験では、PCからの出力で文字を表示するため、背景色・文字色・フォントの種類・フォントサイズ・色温度などを変化させることにより行った。また、文字の下に下線を引く方法も検討することとした。図6に透過光用の

書見台を図7と図8に実験の様子を示す。



図6 透過光用書見台

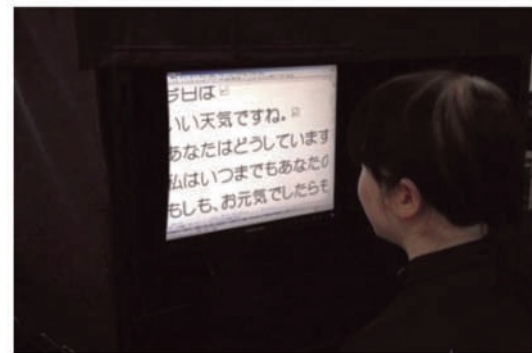


図7 透過光実験の様子1

背景色：白、文字色：黒、フォント：平成丸ゴシック W4
フォントサイズ 96P、色温度 7200K

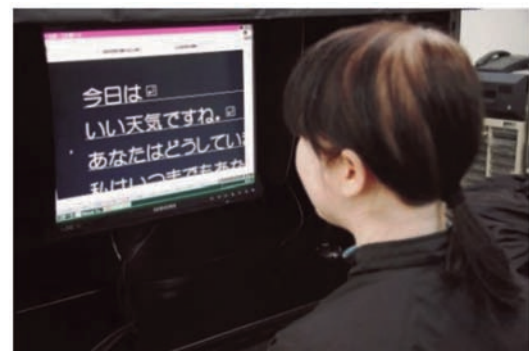


図8 透過光実験の様子2

背景色：黒、文字色：白、フォント：平成丸ゴシック W4
フォントサイズ 96P、色温度 6500K、下線付き

3.3 実験条件

今回の実験条件を下記に示す。

・色温度

透過光：4000K, 5000K, 6500K, 7200K, 10000K

反射光：4200K, 5000K, 6500K, 7500K

- ・光源
色評価用蛍光灯 3 種、一般用蛍光灯 3 種
(分光分布測定済み)
- ・照度・色温度の測定
Canon EOS Digital Ds III、5D で測定
分光放射輝度計 CS-2000(Konica-Minolta)で校正
デジタルカメラのプロファイルを別の測定器で校正
各部でプロファイルを共有し、色表現を統一
(印刷データも含む)
- ・読書チャート
MNREAD-J
ミネソタ大学 MNREAD を小田 (東京女子大学)
が日本向けに作成 (黒板に白文字、白板に黒文字)
独自チャート
平成書体 3 種、Japan Color 用紙とインクで作成
(白色用紙に黒文字)

4. 結果

視覚障害者 (弱視) 9 名と晴眼者 8 名の比較を行うが、視覚障害者の場合は個々の眼疾が異なるため同一比較はできない。そのため平均値で比較する。

4.1 反射光

MNREAD-J チャートと独自チャートを反射光書見台を利用して読む。この時、照度と色温度を変化させ、読書速度を視覚障害者と晴眼者との平均値で比較する。

- ・最低文字サイズ
晴眼者 6P、視覚障害者 9P
色温度による差異なし
- ・読書速度
晴眼者に比べて、21%遅い
色温度を 6000K と 4800K で実施: 差異なし

4.2 透過光

PC 用チャートを被験者が見えやすい文字の大きさと照度で読書速度を調査。色温度を変化させる。

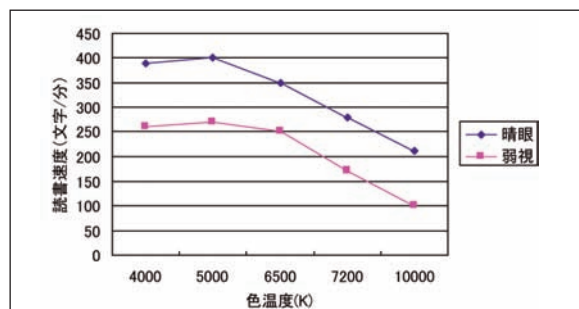


図9 読書速度の色温度依存性

図9に読書速度の色温度依存性を示す。

- ・色温度が高い場合
7200K, 10000K では、6500K に比べ、読書速度が遅くなる。特に弱視で顕著、晴眼者でも同じ傾向である。晴眼者に比べ弱視者の読書速度は5割減となる。
 - ・色温度が低い場合
4000K, 4200K では6500K に比べ、読書速度に顕著な差は見られない。弱視では差なし、晴眼者でも有意差なし。晴眼者に比べ弱視者の読書速度は3割減となる。
- 以上から、色温度が高いと読書速度が落ち、色温度が低いと影響は少ない。

5. おわりに

今回の結果は、視覚障害者と晴眼者の平均データで比較している。しかし実際には、データは各個人の間の差異が大きく、特に眼疾に依存している。弱視と言っても、網膜色素変性症や白皮症、黄斑部変性症や緑内障、白内障など様々な眼疾なので、個々のデータを比較してもほとんど意味がない。また、普段利用しているPCの背景色や文字色が個々で大きく異なるため、個々の事例を比較することは無理がある。例えば、色温度を7200K以上に設定すると差明のため文字認識が出来ないと言ったことが起こる。

しかし、今回の目的は、個々のデータを収集し、個人別プロファイルを作成することにより、どのように視覚障害補償教材を提供するかであるので、初期の目的は達したものである。

6. 謝辞

この研究は、平成19年度 障害者高等教育研究支援センター センター長裁量経費「目の比色と物理量測定に関する基礎的研究」研究代表者: 村上佳久によるものである。

参考文献

- [1] 村上佳久: 視覚障害者の学習環境の整備と電子図書, 筑波技術大学テクレポ Vol. 18(1): 54-58, 2010.
- [2] 村上佳久: 視覚障害者の学習環境に関するアンケート調査, 筑波技術大学テクレポ Vol. 15: 49-55, 2008.

A Basic Study of Colorimetry of the Eyes and the Physical Quantity Measurement of Light

MURAKAMI Yoshihisa

Research and Support Center on Higher Education for the Hearing and Visually Impaired,
Tsukuba University of Technology

Abstract: It is necessary to evaluate the conditions of each student's eyes to maintain the appropriate learning environment for the visually impaired. Evaluations of each student's eyes by a variety of methods can help us discover optimal teaching material. In our study, we measured the physical quantities of each student's eyes based on reading speed by changing each of two conditions necessary for the transmission of light. We also measured the impact of reflected light, color temperatures, and illuminances, and so on.

Keywords: Colorimetry, Reading speed, Visually impaired students