

---

 総 説
 

---

## 学童の屈折状態29年の推移

江口甲一郎, 若林憲章

函館市 (江口眼科病院)

### Results of Refractive Status Change in School Children over 29 Years

Koichiro Eguchi and Noriaki Wakabayashi

Hakodate City (Eguchi Eye Hospital)

今日まで29年間続けている視覚巡回精密診断で得られた、北海道南部地域の学童の屈折状態の推移を検討した。対象は我々が1969~1998年までに実施した抽出方式による学童とモデル地区の全学童である。屈折度についてはハーティンガー合致式レフラクトメータを用い、調節麻痺剤点眼後  $\pm 0.50$  D 以内を正視とした。生活形態、ビデオゲーム流行の実態を把握し屈折状態との関連を検討した。統計的解析の結果、近業を強いられるような生活形態の変化により、学童の屈折状態の推移は近視化傾向を明らかに示した。近視化の予防対策として、視覚管理および地域住民への啓蒙活動の重要性を強調したい。

(視覚の科学 20: 2-6, 1999)

キーワード: 学童眼科検診, 屈折状態の推移, ビデオゲーム, 調節痙攣, 近視

The change of refractive status in school children in south part of Hokkaido over 29 years according to the doctor's circuit visit to school were reported. All the children were examined in three districts and the patients were selected by school nurse in other districts. The refractive status were examined sixty minutes after cycloplegia instillation using Haringer coincidence refractionometer. The relationship between the refractive status and the duration of videogame play was also examined. The rate of the myopia in school children has increase in the last 29 years. Long period of playing videogame is suggested to have some part in the increase the rate of myopia in school children.

(Jpn J Vis Sci 20: 2-6, 1999)

Key words: Ophthalmic survey on school children, The change in refractive error in school children, Video games, Spasm of accommodation, Myopia

#### I. 緒 言

近年のビデオゲーム遊びはもとより、学校においてもパソコン教育が導入されつつあり、調節緩解困難な

小児の眼に近業を強いられるような生活環境が避けがたい今日においては、それに伴う眼の変化、つまり学童の近視化傾向にも少なからず影響を及ぼしてることが推察される<sup>1-6)</sup>。今回我々は、学童視覚巡回精密診

別刷請求先: 040-0053 函館市末広町 7-13 江口眼科病院 江口甲一郎  
(1998年12月20日受理)

Reprint requests: Koichiro Eguchi Eguchi Eye Hosp  
7-13, Suehiro-cho, Hakodate 040-0053, Japan  
(Received and accepted December 20, 1998)

断<sup>7-9)</sup>を開始してから来年で30年目を迎えるに当たり、今日までの29年間の学童の屈折状態についてその推移をまとめ検討を加えてみた。その結果を地域医療の現場からみた屈折異常として報告し、責を果たさせていただきたい。

## II. 対象および方法

対象は、函館を中心として半径約 100 km に及ぶ北海道南部地域において、1969～1998年までの29年間我々の巡回した延べ144 町村の小中学校児童生徒、総数延べ151,785名に対し、我々独自の抽出方式にて抽出した学童延べ 25,719名である (図1)。本来であれば全町村において全学童を対象として検診を行うのが最も望ましいのであるが、我々の行っている検診内容が、他覚的屈折度測定・矯正視力検査・眼圧などを調節麻痺剤点眼の前後に二度行うほか、同行してきている眼鏡技術者による不適眼鏡の調整、更には検眼後、父兄・養護教諭を交えて学童1人1人に対する視覚管理についての医師の指導などアフターケアにも力を注ぐため学童1人に対して多大な時間を費やし、限られた人数のスタッフで1日で全学童を対象として検診することが不可能なため、対象学童を抽出せざるを得ないのが現状である (図2)。

抽出基準は次に示すように、

1. 児童生徒健康診断票によるもの
  - 1) 裸眼視力 0.8 以下のもの
  - 2) 裸眼視力左右差の著しいもの
  - 3) 前年度に比べ裸眼視力の低下したもの
2. アンケート方式によるもの

我々の作製したアンケート用紙を当該町村の全学童に配布し、父兄に記入させ回収したものを我々が点検して視機能異常を訴えるもの、または眼疾患の疑いのありそうなものを抽出した<sup>7-9)</sup>。

北海道南部地域のいわゆる純農村地区の乙部町姫川と純漁村地区の上ノ国大崎・小砂子については前述のように抽出によらず、全学童を対象として検診を行っており、屈折状態の推移についてもこの両地区においては統計処理を行い検討を加えた。屈折度については、ハーティンガー合致式レフラクトメータを用い、調節麻痺剤 (1% サイプレジン<sup>®</sup> + ミドリン<sup>®</sup> P) 点眼前と点眼後60分後に測定し、調節麻痺下屈折度数 ± 0.50 D 以内を正視とした<sup>7,8)</sup>。学童の生活環境などについては1986～1998年まで学童にアンケート調査をし、ビデオゲーム遊びの状況、学習塾や戸外遊びと屈折状態との関連を検討した<sup>7)</sup>。

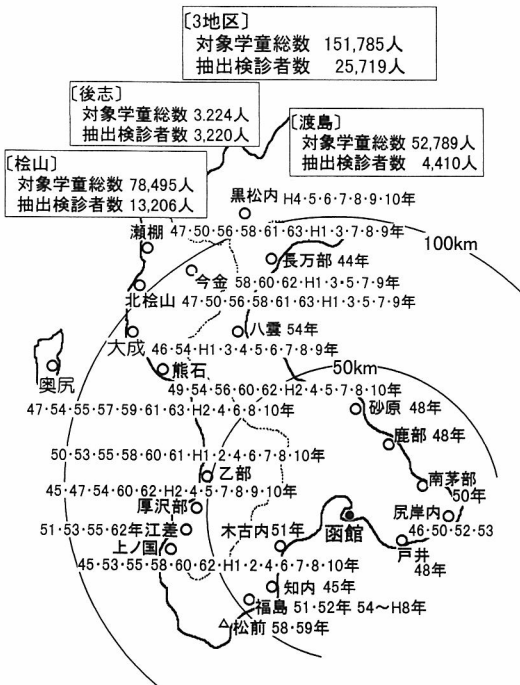


図1 実施町村ならびに実施年

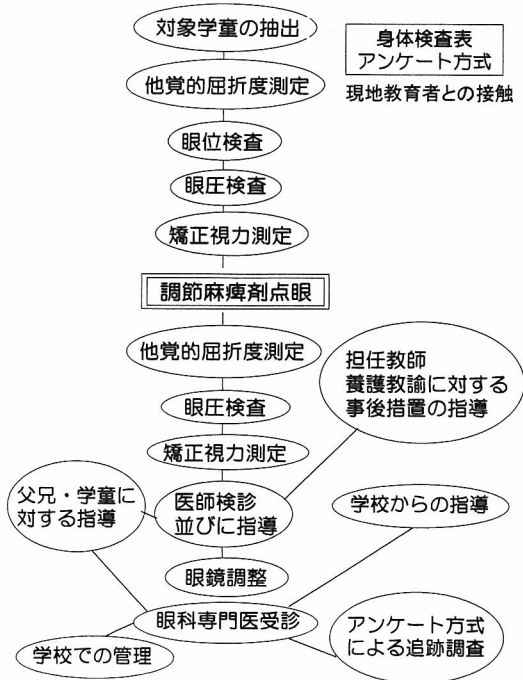


図2 精密診断の方式

### III. 結 果

#### 1. 屈折状態の推移

1969～1998年までの29年間検診を行った学童の屈折状態は抽出学童、つまり視機能異常を訴える者の屈折度分布であり、全学童をあらわすものではない。したがって、遠視・近視・正視が不規則に分布しているが、視機能異常を訴える者を抽出したなかで近視だけでなく遠視や正視までもが同程度の割合で検出されるということは、調節麻痺剤点眼による精密検査の成果のあらわれともいえ、視覚管理やその啓蒙上意義ある結果と考える。また、調節麻痺剤点眼による精密検査を開始した1975年ころにはそれほど目立たなかったいわゆる偽近視の割合が、1983年ころよりその増加が次第に目立ってきた(図3)。そこで、抽出によらず全学童を対象とし検診を行った純農村地区の姫川地区と純漁村地区の大崎・小砂子地区における調節麻痺下の屈折状態について統計処理を行い、20年前、10年前、現在と10年ごとの屈折状態の推移を調査し、検討を行った。その結果、姫川地区において1978年、1986年、1998年の3年における近視とそれ以外の分布に有意に差が認められた( $\chi^2$ 検定  $p < 0.01$ )。また、大崎・小砂子地区

においても1978年、1987年、1998年の3年における近視とそれ以外の分布に、やはり有意に差がみられた( $\chi^2$ 検定  $p < 0.01$ )。また、両地区において各年毎の間にも近視とそれ以外の分布に差があるか否か統計処理した結果、姫川地区では1978年と1986年との間に  $p < 0.01$ 、1986年と1998年は  $p < 0.05$ 、また大崎・小砂子地区では1978年と1987年との間に  $p < 0.05$ 、1987年と1998年では  $p < 0.01$  と両地区ともにどの年の間にも  $\chi^2$  検定において有意差が認められた(図4, 5)。以前には丸尾らの諸報告<sup>10,11)</sup>と比べても遠視が比較的多く、良好な屈折状態を示していた地区ではあったが、今回の調査では同地区にて江口、若林らが約10年前再調査を行い、統計学的有意差の認められた近視化傾向を示したのから<sup>2,3)</sup>10年後の現在においても、更に明らかな近視化傾向を示すものであった。

#### 2. 生活環境

学童の生活環境について視覚、ことに近視化傾向にどのように影響しているか調査した。先ほど述べた純農村地区と純漁村地区の両地区に加え、都会地区の代表として函館市内の小学校の3地区における学習塾と近視、あるいは戸外遊びと近視とのかかわりを調査してみると、まず学習塾に通う者と通わない者との近視

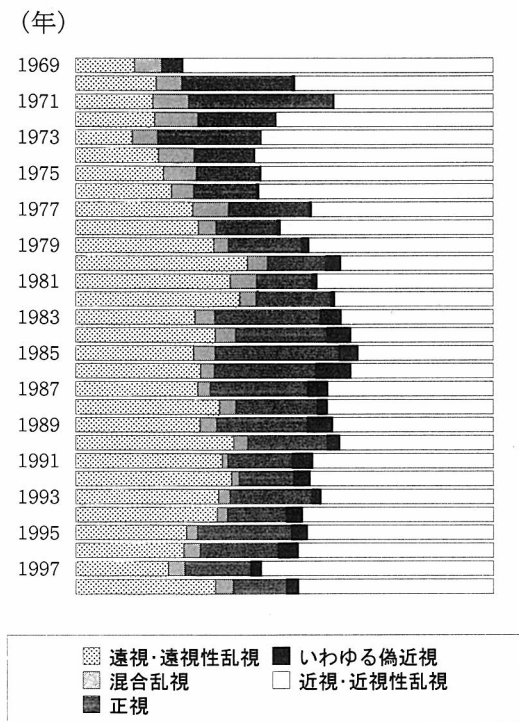


図3 年度別屈折分布

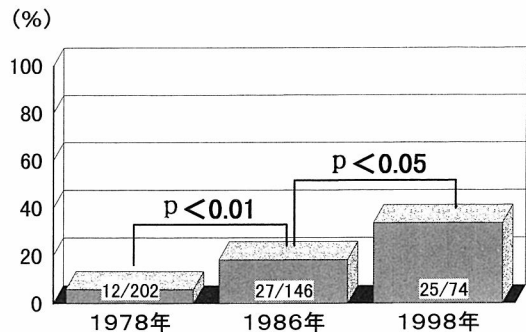


図4 近視率(純農村地区・姫川)

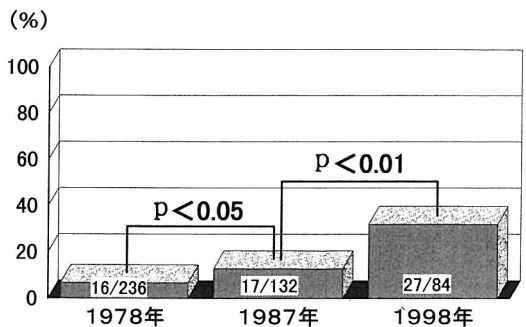


図5 近視率(純漁村地区, 大崎・小砂子)

1999年7月

の割合をみると、純農村地区において塾通いする者が近視28.6%に対し、通わない者17.4%、また都会地区においても塾通いする者の近視20.6%に対し通わない者9.0%と二つの地区において、塾通いする者に明らかに近視が多くみられるものであった(表1)。また学習塾など、近業主体の生活とは逆の環境であるものの代表として戸外遊びを取り上げ、戸外遊びと近視のかかわりを調査した。純農村地区においては戸外遊びをする者の近視が15.4%に対し戸外遊びしない者が28.6%、純漁村地区では戸外遊びする者の近視0%に対し、遊ばない者14.3%、都会地区でも戸外遊びする者の近視10.3%に対し、遊ばない者が22.0%と3地区ともに戸外遊びをしないグループの方に遊ぶグループより2倍近い近視の発生がみられた(表2)。また自然環境豊かな純農村地区と純漁村地区の両地区における遊びの室内化傾向を調査するためビデオゲームの普及率はどうか、その遊びの状況について調査してみたところ、調査を開始した約10年前では両地区ともにビデオゲームで30分以上遊ばない学童の方が過半数を占めていたが、ビデオゲームの販売激化とそのブームとともに1995年ころに両地区ともに30分以上遊ぶ学童が急増し、1998年現在では増加は落ち着いているものの30分以上遊ぶ学童の方が過半数を占めるようになった(図6, 7)。

#### IV. 考 按

北海道南部地域において1969～1998年までの29年間にわたる学童視覚巡回精密診断にて得られた25,719名の抽出学童の屈折状態の推移は、1983年ころよりいわゆる偽近視の割合が目立ってきた近視化傾向を示唆するものであった。そこで、抽出によらず全学童を対象として精密検診を行った純農村地区と純漁村地区の両地区の20年前と10年前と1998年現在の屈折状態の推移

表1 学習塾と近視

学習塾	%		
	純農村	純漁村	都会
通う	28.6	0.0	20.6
通わない	17.4	7.7	9.0

表2 戸外遊びと近視

戸外遊び	%		
	純農村	純漁村	都会
する	15.4	0.0	10.3
しない	28.6	14.3	22.0

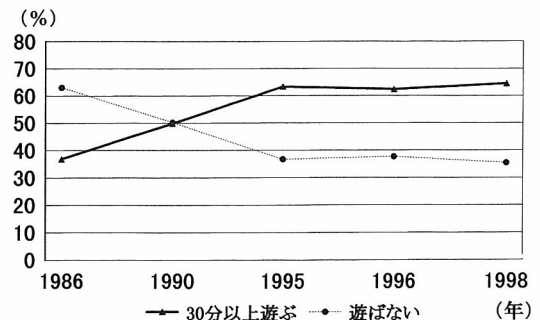


図6 ビデオゲーム遊びの推移(純農村地区, 姫川)

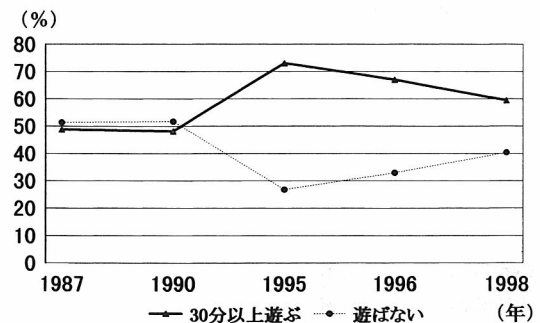


図7 ビデオゲーム遊びの推移(純漁村地区, 大崎・小砂子)

をまとめ検討した結果、両地区ともに年々近視化傾向を示すものであり、統計学的にも有意差を認めた。このように、年々近視化傾向を示す学童の視覚に影響を及ぼすような生活環境についても考察を行った。現代社会における学童の生活環境は学校で近業主体の時間を過ごし、その後も多くの学童が塾へ通い、更に近業を持続する。また、学業を離れても家庭においては多くの学童がビデオゲームやパソコンなど室内遊びに興じる。更にこのような小児への visual display terminal (VDT) は現代において学校や塾のなかにも介入し、パソコンを使った授業やパソコンそのものの授業などが近年では導入されつつあり<sup>6)</sup>、調節緩解困難な小児の眼に、より一層の近業持続が強いられ、学童の近視化傾向に拍車をかけるものと思われる<sup>1,4,5)</sup>。これらの生活環境は現代の文明社会においてなくすることはもはや不可能である。したがって、近業持続によって調節痙攣に陥った小児の眼の緊張緩解を図る目的で、戸外で遊んだりスポーツなどをして遠方視させることが有効である。我々の調査した戸外遊びと近視の発生の調査でも戸外遊びをする者の近視がしない者の半分であるという点からも、戸外遊びの必要性を強調したい。

## V. 結 語

我々は、1969～1998年までの29年間北海道南部地域の眼科無医地区ともいえる地域で学童視覚巡回精密診断を継続実施している。それによって得られた延べ144箇町村の25,719名の小中学校児童生徒の屈折状態の推移は近視化傾向が示唆されるものであった。そこで、全学童を対象として検診を行った純農村姫川地区と純漁村大崎・小砂子地区において近視の割合について統計処理を行った結果、両地区ともに統計学的有意差の認められる近視化傾向がみられた。その背景として、学習塾と近視、戸外遊びと近視、ビデオゲーム遊びの状況などについてアンケート調査を行ったが、その結果調節緩解困難な小児の眼に近業を強いるような現代の生活環境が近視化傾向に大きく影響し、またそれに対し、調節緩解を図る上で戸外遊びなどが有効であることが示唆された。そのことから、以前より我々は検診の度に戸外遊びの推奨と生活の指導を学童及び地域住民に行ってきたが、21世紀に向けてますます近業主体の環境が多くなる社会において、これからも継続していく学童視覚巡回精密診断における近視化の予防あるいはその進行の予防のための、視覚管理および地域住民への啓蒙活動の重要性を再認識した。

## 文 献

- 1) 若林憲章：ビデオゲーム流行の実態と調節機能に及ぼす影響。眼科 29: 1303-1312, 1987.
- 2) 若林憲章, 多田桂一, 横田千晴, 江口甲一郎：学童の屈折状態の推移とその背景。眼臨 82: 360-365, 1988.
- 3) 若林憲章, 多田桂一, 横田千晴, 巖山敏之, 亀松さくら, 佐藤美雪, 小嶋尚美, 江口甲一郎：学童の屈折状態—推移とその背景—。道南医学会誌 24: 203-207, 1989.
- 4) 江口甲一郎, 若林憲章：小児の VDT. あたらしい眼科 8: 159-165, 1991.
- 5) 若林憲章, 多田桂一, 横田千晴, 江口甲一郎：VDT 作業従事者の眼精疲労と学童のファミコン遊びによる眼精疲労の比較。眼臨 81: 1164-1168, 1987.
- 6) 江口甲一郎, 若林憲章：パソコン教育と眼。眼科オピニオン 4, テクノストレス眼症, 97-106, 中山書店, 東京, 1998.
- 7) 江口甲一郎, 多田桂一, 若林憲章, 堀野由美子, 保科千恵美, 古川孝子, 北野周作：過去11年間我々の行った学童視覚巡回精密診断について。臨眼 34: 1415-1423, 1980.
- 8) 若林憲章：我々の行っている僻地学童視覚巡回精密診断16年間の成果。日本視能訓練士協会誌 13: 129-139, 1985.
- 9) 若林憲章, 江口甲一郎：20年間継続している学童視覚巡回精密診断—その成果と将来への展望—。眼臨 84: 358-368, 1990.
- 10) 丸尾敏夫, 河鍋楠美他：小, 中学校における屈折検査の方法とその分布状態。眼臨 63: 393-396, 1969.
- 11) 丸尾敏夫, 久保田伸枝他：小, 中学校児童・生徒の塩酸 Cyclopentolate 使用による屈折検査成績。眼臨 71: 709-711, 1977.

## 微小視角における色覚特性

—光源色による—

中嶋芳雄, 山内直幸, 堀田裕弘, 飯塚昌之\*, 吉原 紳\*\*

富山大学工学部, \*東京工芸大学工学部, \*\*聖マリアンナ医科大学

## Color Vision in the Small Visual Angles

—as to Light Source Color—

Yoshio Nakashima, Naoyuki Yamauchi, Yukou Horita, Masayuki Iizuka\* and Shin Yoshihara\*\*

Faculty of Engineering, Toyama University, \*Faculty of Engineering, Tokyo Institute of Polytechnics, \*\*School of Medicine, St. Marianna University

色の見え方は、周囲の様々な観測条件の違いにより大きく変化をする。なかでも視角サイズは、色の見え方に大きく影響を及ぼす。すなわち、極めて微小な視野もしくは視角においては特異な特性を示すのである。本研究では、とくに光源色を用いて、視角が色の見え方に及ぼす影響について、カラーネーミング法およびマッチング法の二つの手法を用いて測定し、比較・検討を試みた。実験結果より、約10'以下の微小視角においては、青色系統の色相に対する感度が急激に低下することが明らかとなった。また、青緑領域の色識別も不安定になることが判明した。

(視覚の科学 20: 7-10, 1999)

キーワード: 微小視角, 小視野, 色覚特性, カラーネーミング法, 光源色

Color appearance is influenced largely by the observational conditions surrounding the observers. Especially, effect of stimulus size on color appearance is large. Namely, human color vision changes drastically with the extremely small visual angles. In this experiment, apparent color with small visual angles was investigated quantitatively as to light-source, employing a 10-grade color-naming method and color matching method. The results showed that the blue component decreases with small visual angles less than 10 minutes. The ability of color discrimination in the region of bluish green also decreased with small visual angles.

(Jpn J Vis Sci 20: 7-10, 1999)

Key words: Small visual angle, Small visual field, Color vision, Color-naming method, Light-source color

### I. 緒 言

色の見え方が、周囲の様々な観測条件の違いにより、大きく変化することは日常よく経験することである。

例えば、蛍光灯などに代表されるところの室内照明器具にて照明された洋服が、屋外では微妙に違って見えることはその1例といえる。この原因は、洋服を照らしている光源の分光特性が蛍光灯と太陽光とで異

別刷請求先: 930-8555 富山市五福 3190 富山大学工学部知能情報工学科視聴覚情報処理研究室 中嶋芳雄 (1999年2月3日受理)

Reprint requests to: Yoshio Nakashima Faculty of Engineering, Toyama Univ 3190 Gofuku, Toyama 930-8555, Japan (Received and accepted February 3, 1999)

なっているためである。換言すれば、人間の眼に入射する際に、すでに互いの波長が異なっており、その結果として見え方に差異が生じるためである。

一方、我々の眼に入ってくるまでは互いに同じ分光分布あるいは波長であっても、実際には微妙に異なる色として知覚されることもある。この場合は、人間の視覚系内における色を感じる仕組みにその原因があるのである。

後者の場合に対応する観測条件の違いとしては、その代表として視角を挙げることができよう。すなわち、同一の視対象物であっても、視角が異なれば色の見え方は大きく異なるのである。このように、人間の色覚は極めて微小な視角あるいは視野においては、特異な特性を示すのである。

一方、今日に至るまで、微小視角における色の見え方に関する研究はいくつか試みられている<sup>1-3)</sup>。しかし、その多くは光学系装置を採用したものである。

ところで、光学系装置による微小視角の設定は、光路調整などが極めて難しいという特徴があり、このことが測定結果のばらつき誘因の一因ともなっている。

そこで本研究では、CRT画面上に呈示した刺激光の視角を微小視角に至るまで広範囲に変化させてゆくという手法を採用することにより、視角を変化させたときの色の見え方を定量的に測定するとともに、その基礎的データを提供することを目的とした。

また本研究では、カラーネーミング法およびマッチング法の2種類の測定方法を採用し、両者の比較検討も併せて試みた。

## II. 方 法

本実験は、実験1(カラーネーミング法)および実験2(マッチング法)より構成されている。両実験において、被験者の観測および測定はすべて暗室内にて行った。刺激呈示装置としては、いずれの場合もCRTカラーモニターを使用した(図1(a), (b))。

テスト刺激光には「赤」、「黄」、「緑」、「青緑」、「青」、「紫」の6色を採用した。また、被験者は色覚正常者3名である。

### 実験1：カラーネーミング法

カラーネーミング法による実験手順を図1(a)に示す。カラーネーミング法においては、CRT画面上にテスト光のみを呈示した。被験者のタスクは、呈示されたテスト光の色の見え方を11段階評価を用いて応答することである。

まず第一段階としては、被験者はテスト光に含まれ

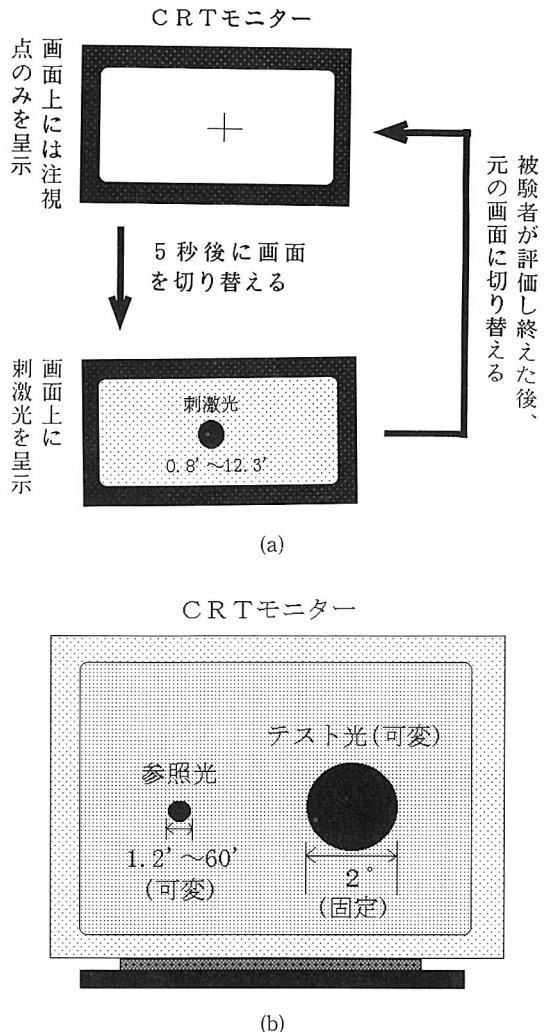


図1 実験概要図  
(a)：カラーネーミング法  
(b)：マッチング法

る有彩色成分と無彩色成分(白色成分)との比を応答する。すなわち持ち点を10点として、テスト光の見え方を“色味”と“白味”とに分けるのである。例えば20%の白色成分を含んでいるテスト光では、“色味”8、“白味”2と応答するのである。ただし、純白は“白味”10に相当する。

つぎに第二段階として、色味のみ注目し、そのなかに含まれている各色成分比についての評価をカラーネーミング法を用いて行う。

カラーネーミング法は、すべての色相を、R(赤)、Y(黄)、G(緑)およびB(青)のなかから選択した2色(または1色)の適当な比率により表現しようとす

るものである。ここでは10段階評価を採用したので、10点を2色（または1色）に割り振ることになる。例えば60%の黄色と40%の緑色を含んでいると知覚される黄緑色のテスト光に対しては、黄6緑4と応答するのである。

ただし、ユニーク色に対しては1色のみにて表現可能であるために、例えばユニーク黄では10 Y、ユニーク緑では10 Gとなる。

視角は、0.8'~12.3'までの5段階である。なお、背景色としては黒色と白色の双方を採用した。

**実験2：マッチング法**

マッチング法においては、被験者のタスクは図1(b)に示すように、画面上の参照光と等色するように、2°視野に固定されたテスト光の色相を変化、調整させることである。すなわち、手元のキーを用いてR, G, Bの輝度を増減させることにより、マッチングさせるのである。

なお、視角は1.2'~60'までの6段階である。また、背景色は黒色である。

**III. 結 果**

**実験1：カラーネーミング法**

6種類のテスト光に対する、視角と有彩色成分の割合との関係を図2および3に示す。ただし前者は背景色が黒の場合、後者は白の場合を示す。

視角が減少するに従い、赤および緑色に比べて、青および黄色のテスト光の有彩色成分割合の減少が早い傾向が示されている。また全体としては、有彩色成分の割合は、視角が3'近傍以下においては急激に減少することが示されている。

一方、背景色が白の場合は黒の場合と比較して、有彩色成分の割合の低下がより早まっている。これは、テスト光周囲の白色光が呈示刺激に対してフィルイン効果の影響を与えるために、有彩色成分の割合の低下が早まっているのではないかと考えられる。

また、視角と各色相成分比との関係を示したものを図4(a), (b)に示す。それぞれ、テスト光が紫(a)と青緑(b)の場合である。

微小視角においては、とくに青緑領域における青 vs 緑の色相比率に大きなばらつきがみられる(図4)。このことは、微小視角においては、青と緑に対する色弁別能が大幅に低下するというを示唆しているといえる。

**実験2：マッチング法**

マッチング法の実験結果を図5および6に示す。横軸に視角、縦軸にR, G, Bの各蛍光体の相対出力を

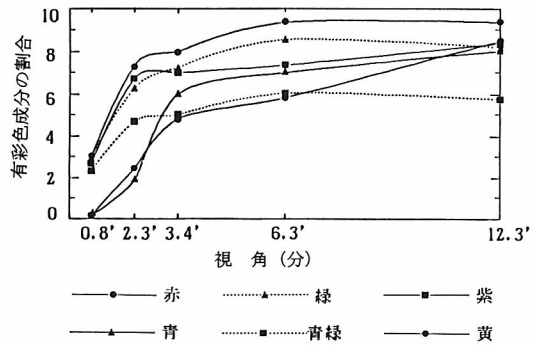


図2 視角と有彩色成分の割合（背景色が黒の場合）

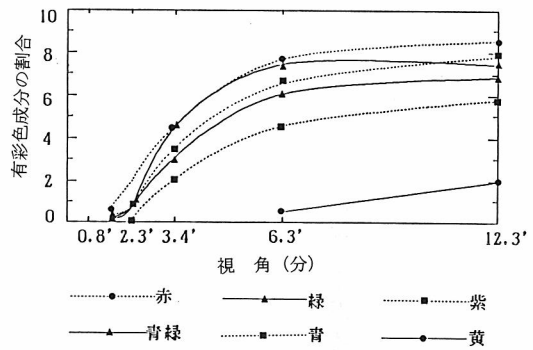


図3 図2と同じ（ただし、背景色が白の場合）

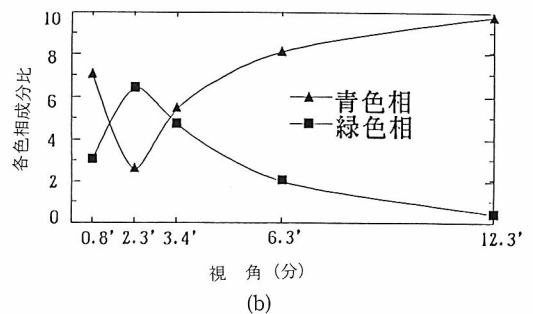
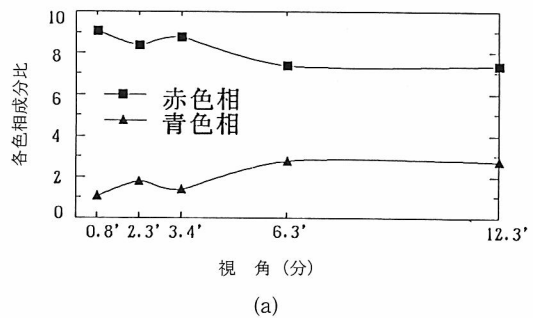


図4 視角と各色相成分比（背景色が黒の場合）  
(a)：テスト光：紫色  
(b)：テスト光：青緑



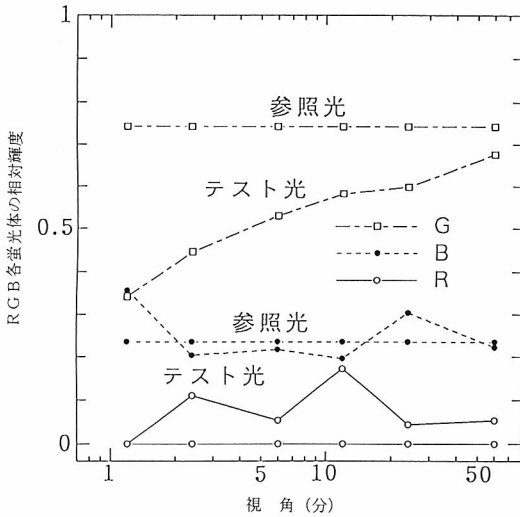


図5 視角と RGB 各傾向体の相対輝度 (参照光が緑色の場合)

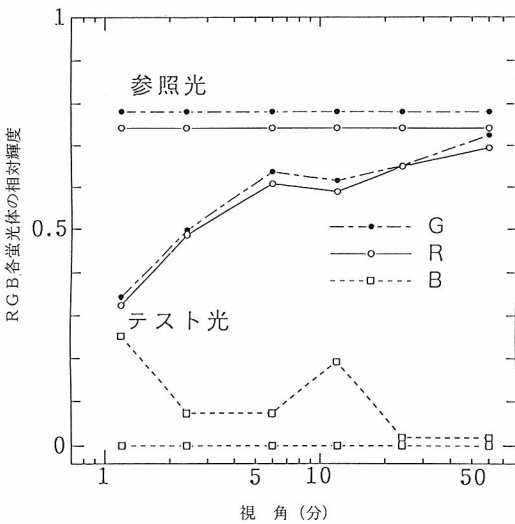


図6 図5と同じ (ただし、参照光が黄色の場合)

とったものである。前者は参照光が緑、後者は黄の場合である。参照光が緑の場合、視角の減少に伴い、Gの蛍光体の出力は減少しているが、Bの蛍光体の出力はほぼ一定値を示している。このことは、微小視角領域に移行するに従って、色の見え方が緑から青緑へと変化することを示唆している。

参照光が黄の場合は、視角が減少していくに従い、RとGの出力が減少している。一方、Bの出力は増加

傾向を示し、1'近傍の微小視角においては、R、G、B 3種類の出力はほぼ一点に収斂している。このことから、テスト光の見え方は微小視角においては白色に近づくということが示される。

#### IV. 考 按

テスト光の視角あるいは視野の大きさは、それに対応するところの網膜上の刺激部分の大きさとして考えることができる。したがって、微小視角における色覚特性は、網膜上における対応する視細胞の種類、数、分布状態や受容野の大きさ、側抑制の状態などによって決定されるといえる。小視野第三色覚異常現象が生じる原因に関しては諸説が存在するが、網膜中心窩におけるS錐体(青錐体)の密度の低下が主因であるとする見方が一般的であろう。

ところで本研究では、とくに微小視角における色覚特性について検討を試みた。

その結果、視角が3'近傍以下においては色味成分は急激に減少することが明らかとなった。また、緑および赤色光に関しては、有彩色成分の減少は他の色光に比べて緩やかである。逆に青および黄色光に関しては、他の色光と比較して有彩色成分が早く減少するという傾向を得た。これらのことは、前述した小視野第三色覚異常現象が生じる原因によるものといえよう。

更に、視角と各色相成分との関係においても、視角が3'の近傍では大きく変化している。とくに青緑領域の色光では、微小視角における各色相成分の変化は大きく、不安定といえる。このことは、微小視角領域においては、青と緑に対する色弁別能が大幅に低下するということを示唆しているといえる。

以上、本研究より得られた、微小視角における色覚特性に関する基礎的データが、実用面におけるなんらかの参考資料となれば著者らの最も幸いとするところでもある。

#### 文 献

- 1) Middleton WEK & Holmes MC: The apparent colour of surfaces of small subtense—A preliminary report. J Opt Soc Am 39: 582-592, 1949.
- 2) Bedford RE & Wyszecki GW: Luminance functions for various field sizes and levels of retinal illuminance. J Opt Soc Am 48: 406-411, 1958.
- 3) 中嶋芳雄: 微小視角における色覚特性. 日本眼科学会誌 9: 55-64, 1988.

## 両眼同時雲霧法の評価

梶田雅義, 山田文子, 伊藤説子, 伊藤由美子, 加藤桂一郎  
福島県立医科大学医学部眼科学教室

### Evaluation of Simultaneous Binocular Fogging Method

Masayoshi Kajita, Ayako Yamada, Setsuko Ito, Yumiko Ito and Keiichiro Kato  
Department of Ophthalmology, Fukushima Medical University, School of Medicine

屈折検査に際して、強い調節緊張の介入が疑われる場合には、雲霧法が有効である。しかし、左右眼を交互に測定した場合、左右眼の雲霧効果に差が生じる場合がある。両眼同時雲霧法を用いることによって、短時間で左右眼のバランスのよい雲霧効果が得られる。とくに遠視眼の低矯正例や近視眼の過矯正例の検出に有用であることが示唆された。(視覚の科学 20: 11-14, 1999)

キーワード: 屈折, 矯正, 調節, 雲霧法, 両眼視

The fogging method is useful for the patient who has accommodative constriction when the refraction is measured. When the fogging method is done in one eye and then the over eye, difference may exist in the effect between right and left eye. Simultaneous binocular fogging will easily bring the same fogging effect to each eye. Our cases showed that the simultaneous binocular fogging method is very useful especially for under-corrected hyperopia and over-corrected myopia to be detected. (Jpn J Vis Sci 20: 11-14, 1999)

Key words: Refraction, Correction, Accommodation, Fogging Method, Biocular vision

#### I. 緒 言

自覚的屈折検査を行う際に、他眼を完全に遮蔽して単眼視の状態で行うと、両眼視で見たときに比べて、調節の介入が強くなる傾向にある<sup>1)</sup>。調節の介入を避けるための手法が雲霧法である。しかし従来の雲霧法では、たとえば先に右側を測定すると、右眼が最良視力を得た時点で雲霧効果が減弱し、続いて左眼を測定すると、右眼に比べて左眼で雲霧効果が得られにくい印象がある。両眼に対して同時に雲霧法を行えば、左右眼のバランスのよい雲霧効果が期待できる。

#### II. 方法および対象

不同視のない例で、両眼を同時にレンズ交換法にしたがって、自覚的屈折値を求める方法を両眼同時雲霧法と呼ぶことにする。レンズ交換法とは検眼レンズをプラスからマイナス側に徐々にレンズを交換して最良矯正視力を得ることによって自覚的屈折値を求める方法で、プラスレンズを交換するときには、交換前のレンズの前に交換後のレンズを挿入してから、交換前のレンズを抜き去り、マイナスレンズを交換するときには、交換前のレンズを完全に抜き去ってから、交換後のレンズを挿入する方法をいう。

別刷請求先: 960-1295 福島市光が丘1 福島県立医科大学医学部眼科学教室 梶田雅義  
(1998年12月4日受理)

Reprint requests: Masayoshi Kajita, MD Dept of Ophthalmol, Fukushima Medical Univ, School of Med  
1 Hikarigaoka, Fukushima 960-1295, Japan

(Received and accepted December 4, 1998)

従来の雲霧法は以下の手順で行った。

1. 他覚的屈折値に 1.00 D 以上の乱視が存在する場合には 0.75~0.50 D 程度を減じた値の円柱レンズを他覚的屈折測定で得られた円柱軸に一致させて最初に検眼枠に挿入する。

2. 他覚的球面屈折値におよそ +3.0 D を加えた検眼レンズを両眼に15分間装用する。

3. 両眼の付加レンズ度数を他覚的球面屈折値 +1.5~2.0 D 程度に減じ、両眼視を可能にした後に、両眼開放下でレンズ交換法によって、右眼の最良矯正視力の得られる屈折値を求める。

4. 右眼の付加レンズ度数を右眼測定前の状態に戻し、両眼開放下でレンズ交換法によって、左眼の最良矯正視力の得られる屈折値を求める。

両眼同時雲霧法は以下の手順で行った。

1. 2.00 D 以上の不同視がないことを確認する。もちろん、両眼視ができることが前提である。

2. 他覚的屈折値に 1.00 D 以上の乱視が存在する場合には 0.75~0.50 D 程度を減じた値の円柱レンズを他覚的屈折測定で得られた円柱軸に一致させて最初に検眼枠に挿入する。

3. 他覚的球面屈折値におよそ +3.0 D を加えた検眼レンズを両眼に装用する。

4. 両眼視の状態、両眼を同時に 0.50 D ずつ視力値を確認しながら、レンズ交換法によって検眼レンズ度数をマイナス側に交換する。

5. 両眼視での矯正視力値が 0.5~0.7 程度に達したときに、左右眼を交互に遮蔽して、左右眼のバランスを調整する。この際、視力値は問わないで、視力表全体の見え方のみを問い、見やすいと答えた方の検眼レンズ度数をプラス側に変えてバランスを取る。0.25 D の差で、左右眼の見え方のバランスが逆転するような場合には、日常視で利き目と考えられる方の眼の方が見えやすい状態を採用する。必要に応じて、乱視表を見させ、円柱度数の調整もこの段階で行う。

6. 両眼同時に 0.25 D ずつレンズ交換法を継続し、両眼視の状態、両眼で最良矯正視力が得られる屈折値を求める。

対象は通常の矯正視力測定では強い調節緊張の介入が予測される患者、あるいは通常の矯正視力検査や従来の雲霧法で調整した矯正状態では左右バランスがよくないと訴えたものを対象とした。

### III. 症 例

症例 1：21歳，女性。

主 訴；CL 装用中の羞明感。

経 過；両眼が遠視眼で、これまで眼鏡によって矯正してきたが、最近コンタクトレンズ（以下 CL）の装用を開始した。

視力測定結果

$$V_d = 0.7 (1.2 \times S + 2.25 D \ominus C - 0.75 D \text{ Ax } 90^\circ)$$

$$V_s = 0.6 (1.2 \times S + 2.75 D \ominus C - 1.25 D \text{ Ax } 90^\circ)$$

所持していたハードコンタクトレンズ（以下 HCL）（酸素透過性レンズ）のデータは右)7.85/+2.50/8.8, 左)7.85/+3.50/8.8 であった。CL による矯正は

$$V_d = 1.5 \times \text{HCL (n.c.)}$$

$$V_s = 1.2 \times \text{HCL (n.c.)}$$

であった。

従来の雲霧法を施行したところ

$$V_d = 1.2 \times \text{HCL} \ominus +2.00 \text{ D}$$

$$V_s = 1.2 \times \text{HCL} \ominus +0.50 \text{ D}$$

で左右眼の最良矯正視力が得られ、右眼で +2.00 D, 左眼で +0.50 D の遠視低矯正であることがわかった。このレンズを眼鏡試験枠に入れて、20分ほど装用させたが、見え方がなんとなくおかしいと訴えたので、両眼同時雲霧法を施行したところ

$V = (1.5 \times \text{HCL} \ominus [\text{R: } +1.75 \text{ D, L: } +2.00 \text{ D}])$  で両眼視の最良視力が得られ、この段階での左右眼の見え方に差はなかった。このレンズを眼鏡試験枠に入れて装用させたところ、快適との回答が得られたので、CL データを右) 7.85/+4.25/8.8, 左) 7.85/+5.50/8.8 に修正した。HCL 修正後の矯正状態は

$$V_d = 1.5 \times \text{HCL (n.c.)}$$

$$V_s = 0.8 \times \text{HCL (1.2} \times \text{HCL} \ominus -0.25 \text{ D)}$$

で、遠視の矯正は左眼でやや過矯正になっていた。しかし羞明感は消失し、近方視が楽になったとのことであった。患者からの苦情がないため、このままの矯正で経過観察することにした。

症例 2：20歳，女性。

主 訴；矯正視力の左右バランスが悪い。

経 過；両眼が近視眼で、しばらくソフトコンタクトレンズ（以下 SCL）を装用しているが、視力のバランスが悪くなってきた。

視力測定結果は

$$V_d = 1.0 \times \text{SCL (1.2} \times \text{SCL} \ominus -0.25 \text{ D)}$$

$$V_s = 0.6 \times \text{SCL (1.0} \times \text{SCL} \ominus -1.00 \text{ D)}$$

であった。所持していた SCL のデータは、右) 8.70/-4.00/13.5, 左) 8.70/-2.50/13.5 であった。

従来の雲霧法を施行したところ、

$$V_d = (1.2 \times \text{SCL} \ominus +0.50 \text{ D})$$

$$V_s = (1.2 \times SCL \ominus -1.00 D)$$

で左右眼とも最良矯正視力が得られた。これを眼鏡試験枠に入れて、20分程度装用したが、見え方がなんとなくおかしいとのことだったので、両眼同時雲霧を施行した。

$V = (1.5 \times SCL \ominus [R: +0.50 D, L: -0.50 D])$  で両眼視の最良矯正視力が得られ、左右眼の見え方に差はなかった。

SCL の処方データを、右) 8.70/-3.50/14.0, 左) 8.70/-3.00/14.0 に変更したところ、

$$V_d = 1.2 \times SCL \text{ (n.c.)}$$

$$V_s = 1.2 \times SCL \text{ (n.c.)}$$

左右眼のバランスのよい矯正が得られた。

**症例 3** : 43歳, 女性。

主 訴 ; 眼が疲れやすい。

経 過 ; 眼が疲れやすく、5カ月前に近用眼鏡を作成したが、調子が悪い。最近更に疲れがひどくなってきた。職業は縫製業で、毎日長時間の近業作業を行っている。作成した近用眼鏡はほとんど使用していない。

視力検査結果は

$$V_d = 1.0 (1.2 \times S + 0.50 D)$$

$$V_s = 1.0 (1.2 \times S + 0.75 D)$$

であり、所持していた近用眼鏡の度数は、右) +1.75 D, 左) +1.50 D であった。オートレフRACTOMETRAの値は、右) +0.50/+0.25/26°, 左) +0.75/+0.00/0° であった。

従来の雲霧法を施行したところ、

$$V_d = (1.2 \times S + 1.75 D)$$

$$V_s = (1.2 \times S + 1.00 D)$$

で、両眼の最良矯正視力が得られた。この矯正度数を眼鏡試験枠に挿入して、装用させたが、左右眼のバランスが悪く、かえって疲れるようだと言った。

両眼同時雲霧法を行うと

$$V = (1.2 \times S [R: +1.75 D, L: +2.00 D])$$

で、両眼視の最良矯正視力が得られ、左右差はなかった。

この度数を眼鏡試験枠に挿入し、更に +1.00 D の累進多焦点トライアルレンズを加入して装用させたところ、快適な装用感が得られた。

処方した眼鏡処方データ (累進多焦点レンズ) は、右) +1.75 D [Add+1.00 D], 左) +2.00 D [Add+1.00 D] であった。作成された眼鏡での矯正視力は

$$V_d = 1.0 \times gl. (1.2 \times gl. \ominus -0.25 D)$$

$$V_s = 1.0 \times gl. (1.2 \times gl. \ominus -0.25 D)$$

とやや遠視過矯正を呈していたが、装用に不快はなく、疲れの訴えもなくなった。

**症例 4** : 52歳, 女性。

主 訴 ; 眼が疲れる。

経 過 ; 7~8年前から眼がショボショボしており、2~3年前に眼鏡を作成したが、すぐに合わなくなった。現在、眼鏡は装用していない。

視力測定結果は

$$V_d = 1.5 \text{ (n.c.)}$$

$$V_s = 1.0 (1.2 \times S + 0.50 D \ominus C - 0.50 D \text{ Ax } 10^\circ)$$

であり、所持していた眼鏡 (累進多焦点レンズ) は、右  $\pm 0.00 D$  [Add+1.25 D] および左  $-0.25 D \ominus C - 0.50 D \text{ Ax } 180^\circ$  [Add+1.25 D] であった。オートレフRACTOMETRAで測定した他覚的屈折値は、右) +0.00/+0.00/0°, 左) +0.50/-0.50/11° であった。従来の雲霧法を施行したところ、

$$V_d = (1.5 \times S + 0.75 D)$$

$$V_s = (1.2 \times S + 0.25 D)$$

で、左右眼の最良矯正視力が得られ、遠視眼であることがわかった。更に、両眼同時雲霧法を施行したところ、

$$V = (1.5 \times S [R: +0.75 D, L: +0.75 D])$$

で両眼視の最良矯正視力が得られ、左右眼ほぼ同程度の遠視眼であることがわかった。この矯正バランスでは右眼の方がやや見やすいとのことであったが、左を +0.50 D に変更すると、左右眼のバランスが逆転するので、このバランスを採用した。

右) +0.75 D [Add+1.50 D], 左) +0.75 D [Add+1.50 D] の眼鏡 (累進多焦点レンズ) を処方したところ、眼鏡による矯正は

$$V_d = 1.2 \times gl. (1.5 \times gl. \ominus -0.25 D)$$

$$V_s = 1.0 \times gl. (1.2 \times gl. \ominus C - 0.25 D \text{ Ax } 10^\circ)$$

となり、疲れの症状は改善した。

#### IV. 考 察

自覚的屈折検査を行うときには両眼開放で測定することによって、左右眼のバランスのよい矯正ができる<sup>2,3)</sup>。また、自覚的屈折検査を行う際に、調節の介入が強く示唆される症例に対しては、雲霧法が有用である<sup>4)</sup>。しかし、従来の雲霧法を用いた場合には、種々の問題を生じることがある。すなわち、15分間程度の雲霧時間を要するので、この間に霧視感や眼球を動かしたときの視野の揺れなどに対して不快感を訴えるものがある。また、最初に測定する眼に比べて、2眼目に測定する眼の雲霧効果が得られにくい場合がある。

これは最初の眼が最良矯正視力を得た時点で、他眼の雲霧効果が減弱するためと推測される。左右眼のバランスのよい雲霧効果を得るために、両眼を同時にレンズ交換法に従って自覚的屈折値を求める方法を試みたが、従来の雲霧法に比較して、両眼のバランスのよい雲霧効果が得られた。遠視眼で CL の装用を開始したばかりの症例 1 では、従来の雲霧法の結果をもとに HCL の修正を行っても、左右眼のバランスが得られなかった可能性がある。また症例 2 でも、両眼同時雲霧法を用いなければ、左眼の SCL 度数はかえって、近視過矯正の状態を作り出してしまった可能性がある。このように、遠視眼での無矯正例や矯正不足例、あるいは近視眼の過矯正が疑われる場合には、両眼同時雲霧法が極めて有用であると考えられた。また、症例 3 や 4 のように中高年者で遠視が疑われる場合の眼鏡処方時には、老眼鏡のみ処方するのではなく、両眼同時雲霧法によって遠視の存在を確認し、遠視が存在

する場合には、累進多焦点レンズの処方が有効であると思われる。本法を近業作業中に眼疲労を強く訴える患者に対して用いた場合、容易に遠視眼の存在や矯正用具の不適度数が検出される場合も少なくなく、臨床に汎用する価値のある方法と考えられた。

本論文の要旨は第17回屈折調節研究会で報告した。

#### 文 献

- 1) 大塚 任, 所 敬: 眼屈折検査法. 生理学大系 VI 感覚の生理学, 60-64, 医学書院, 東京, 1967.
- 2) 林 博文, 新居真由美, 花井 譲, 日吉ひとみ, 松平由美子, 君沢純子, 佐々木一恵, 坂本二三子: 両眼開放視力の研究 (第 1 報) 両眼開放標準試視力装置並びに検査方法. 眼紀 21: 537-545, 1970.
- 3) 林 博文, 西田哲夫: 屈折検査法の検討 (第 1 報) 両眼開放屈折検査を中心として. 眼紀 29: 508-519, 1978.
- 4) 所 敬: 屈折異常とその矯正. 屈折検査, 47-872, 金原出版, 東京, 1992.

## 光の今昔 ⑤ 月の錯視

(株)ニコン 鶴田 匡夫

デタデタツキガ、  
 マライマライマンマルイ  
 ボンノヨウナツキガ。

—文部省唱歌：明治43年—

太陽や月が地平線の近くで大きく、高く上るにつれて小さく見えたという経験をおもちの方は多いでしょう。星についても同様で、オリオン座が冬の東の空に雄大な姿を見せ始めるときと比べて、夜半に天頂にかかるときにその広がり小さくなることに気付いた方も少なくないでしょう。ちなみにオリオンとはギリシヤ神話に出てくる巨人の獵師のことです。上り始めたときのオリオンは実際、他を圧して巨大な星座だと主張しているように見えます。この現象が主として心理学の領域に属し、物理的な例えば屈折の影響は軽微だということもまた、多くの方がご存知のはずです。

なにしろ身近にあって不思議な現象ですから、沢山の人がその原因をあれこれ詮索したに違いありませんが、記録となるとここでもまたアリストテレス(BC 384～22)が登場します。彼は、「何故東風が吹くとすべてのものが異様に大きく見えるのか？霧や夕暮の場合も同様である。たとえば太陽や星が上ったり沈んだりするとき、上空にあるときよりも大きく見える(気象学)」と書いて原因を特定しません。しかし時代が下ってポセイドニウス(BC 135～51)になると、太陽や月が海に上るときや沈むときに大きく見ると述べたのに続けて、海から大量の水蒸気が発生し、光線がそれを通過するときに屈折するからだと説明しています。その後の実測によると、屈折の影響は水平方向には存在せず、上下に数%の短縮が認められるに過ぎません。物理現象説が幅を利かすのはこの頃までで、以後は諸説があるものの、主な原因を錯視にしている点で共通しています。

## ブトレマイオスとアルハゼンの錯視説

錯視とは視覚による錯覚のことで、なかでも広く知

られているのは形の錯視です。その例を図1に示します。同じ長さの線分が、縦と横、あるいは書き加えた矢印の向きで寸法が違って見える(a)と(b)の例は周知でしょう。(c)はポンゾ図形と呼ばれるもので、視線の方向を中心とする放射線群の上に、寸法が同じ角柱が描いてあります。この枠組は例えば遠方の視線の中心に駅があって、そこから四方に線路が延びている場合を表わし、ものがその中心の近くにあるほど遠方にあることを示す、遠近法の最も単純な図形表示です。このとき、同じ寸法(遠方物体に対しては同じ視角)であるにもかかわらず、中心に近く、したがって遠方におかれた物体Cが、観察者に近い物体AとBより大きいと感じられるでしょう。この事実は、外の景色が遠近法的、別の表現によれば観察者の網膜に写ったとおりに見えたとするならば同じはずのものが、「遠くにあるほど大きく見える」ことを教えてくれます。この場合には両眼視機能が不用であることはいうまでもありません。

天体の錯視を科学的に論じた最初の人ギリシヤの天文学者ブトレマイオス(2世紀)です。アラブの光学者アルハゼン(10世紀)は主著「光学」のなかで彼の説をほぼ踏襲した記述を残しています。しかし、私は原著を入手できませんでしたので、代わりにロジャー・ベーコンの著書「大著作」のなかで彼らの説を解説している部分をかいつまんでご紹介します<sup>1)</sup>。高橋憲一氏がラテン語から直接訳した労作ですが、以下は私が平易な文章に書き直したものです。

「星は天頂にあるとき近く、地平線に近いところでは遠くにあるように見える。二つのものが同じ視角で見えるときには、遠くにあるものの方が近くにあるものよりも大きく感じられる。同じ視角を張る物体同士を比べると、遠くのものの方が近くのものよりも実際の寸法が大きいという事実と同じ傾向を示すのである。したがって太陽・月・星座とも天頂近くにおけるよりも地平線において一層大きく見えることになる(天空扁平説)。これは別の観点からも明らかである。地平

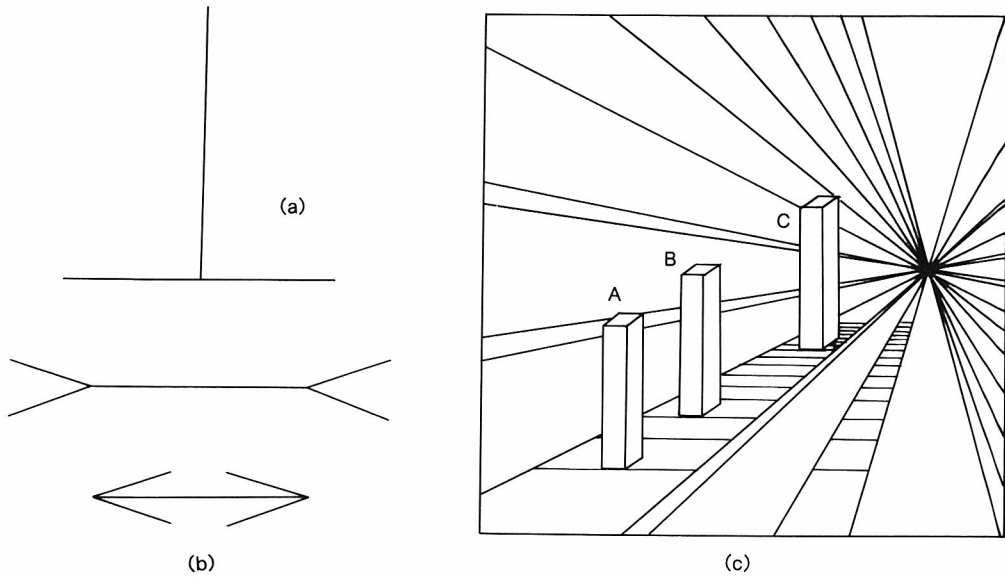


図1 形の錯視

線上にあるときには、星座の手前に大地が介在し、色々な地上物が見渡せるので、星座がそのどれよりも遠くにあるという判断が無意識のうちに働き、比較するものがない天頂付近にあるときよりも大きく見えるのである（地勢説）。」

この説明とポンゾ図形とから、「月の錯視」問題を解決したと考えるのは早計です。この後数百年の間、納得のできる解釈を求めて、沢山の人が新しい仮説を立てたり、実験装置に工夫を凝らして現代に至っています。心理学と物理学にかかわる領域ですから、批判と論争が際限なく続き、誰もが認める定説は今もまだ完成していないようです。ちなみにこの研究と論争に参加した人々のなかには、ケプラー・デカルト・ホイヘンス・オイラー・ガウス・ヘルムホルツ・クント・ヴィントなど、私たちに馴染み深い名前が見いだされます。

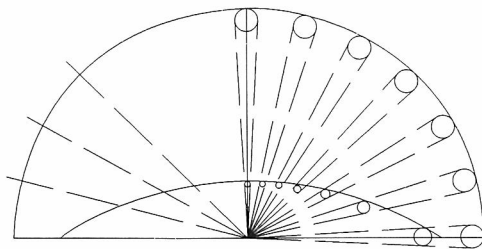
しかしここでは、歴史に深入りすることは避け、プロトマイオス・アルハーゼン説を補強する二つの実験的事実を紹介しておきます。

その一つは残像に関するエンメルト (Emmert) の法則です。一様な背景の上にコントラストの高い単純な図形を描き、これを一定時間注視した後、目を転じて、いくつかの異なる距離においたスクリーン上に視線を移すと、その上に投射されたように見える残像のみかけの大きさが、スクリーンまでの距離にほぼ比例

して増大するというものです。網膜上の像の寸法は変わりませんから、当人の見た残像の、視角で測った大きさは距離とは無関係に一定のはずですが、実際にはスクリーンを遠ざけるほど、そこに投射されたように見える残像が大きくなるように感じられるのです。この実験を太陽を使って行い、空中に浮かんだ残像を比較したところ、地平線上では天頂の少くとも2倍以上の大きさの残像が観察できたという報告があります<sup>2)</sup>。物理的には理解しにくい現象ですが、これが錯視 (illusion) である所以なのでしょう。

もう一つは天空扁平説です。これは、天空に半球状ではなく、水平方向に長く天頂方向に短い扁平な形をしているという説です。言い替えば、空はその奥行きが水平方向で深く、天頂方向で浅いということです。1738年に英国の数学者 R. スミスが提唱したもので、被験者に仰角45°の方向を指定させると、それが45°よりも水平方向にかなり偏った方向に集まることが、その定量的根拠になっています。彼はそのデータを使って天空を回転楕円体で近似しました (図2)<sup>3)</sup>。月や太陽をこの天空に投影すると、地平線上の月の直径が天頂のそれの3倍にも達します。これこそが人の眼に見掛けの大きさとして知覚される尺度だとこの説は主張するのです。R. スミスが得たデータを表1に示します。

この二つの、実験によって強く支持された仮説を容



(M. Luckiesh)

図2 天空扁平説

表1 天空扁平説

高度	見掛けの天空直径(比)
0°(地平線)	106
15°	68
30°	50
40°	40
60°	34
75°	31
90°(天頂)	30

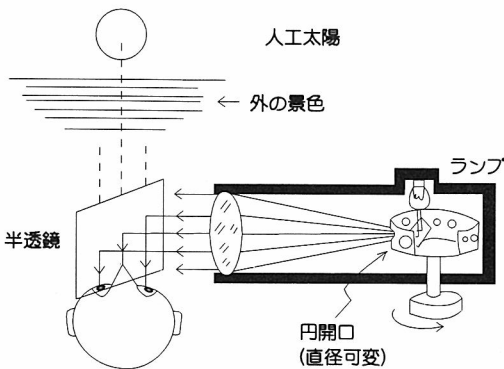


図3 カウフマンとロックの実験

認すると、次の問題は、「地上の風景や介在物によって、月や太陽の見掛けの大きさがどう変化するかを定量的に求める」ことになりましょう。この課題に卓越した実験手法を導入・駆使して挑戦したのが、L.カウフマン(Kaufmam)とI.ロック(I. Rock)(1962)でした。

### カウフマンとロックの実験

L.カウフマンとI.ロックは1962年に Scientific American (7月号, 120) と Science (136: 953) に“Moon Illusion”の標題で論文を発表し、大きな反響を呼びました。内容が明快で画期的だっただけでな

く、発行部数の多い一般科学誌に掲載されたことも手伝ってのことでした。ロックはニューヨークの Yeshiva 大学教授、カウフマンはその下で働く研究員でした。

彼らが採用した実験法は、人工の月を戸外の実風景の上に重ねるというものでした。実験装置は図3に示すように、コリメータの焦点面に円形開口をおいて背後から照明し、無限遠に人工の月を生じさせ、これを45°に配置した半透鏡によって戸外の実風景に重ねるのです。コリメータの焦点距離 160 mm, 有効径 86 mm, 人工月の視直径は 0.8° を中心に0.34°から1.38°までをドラムを回転して切り換えて実現しました。眼を半透鏡の直後におくことにより、その存在を意識せずに両眼視によって地平線の近くに月が出た状態を実現できるのです。なお同様の装置を、人工月が天頂付近にくるように配置し、被検者が水平と鉛直の二方向にある人工月の寸法を比較できるようにしてあります。二つの人工月の眼で見た大きさが一致するような組み合わせを探して両者の直径比を求めることによって、「月の錯視」を定量的に求められると考えたのです。

以下に彼らの実験結果をまとめておきます。

(i) 見通しのいい地点で、地平と仰角70°の方向に月を出し、上目づかいで上方の月を見た場合に  $R=1.48$ 、頭を上げて月を真直ぐに見た場合に  $R=1.46$  を得ました。ここに、 $R$  は両方の月が同じ大きさに見えたときの、上方の人工月の直径/地平の人工月の直径です。これとは別に上方20°の人工月を上目づかい(視線上限眼視)と直視(第1眼位)で見たときとでは有意の差は認められませんでした。これは、E.G.ボーリング(Boring, 1940)の視線説を真向から否定するものでした。

(ii) プラネタリウムを暗室状態にして人工月を壁面に投影したところ水平と天頂方向で  $R=1.03$  となり有意の差は認められませんでした。

(iii) 人工月の色や明るさの影響は認められませんでした。

(iv) 地平線上に人工月を出し、風景を衝立てでカットしたときの錯視比を測定して  $R=1.34$  が得られました。これは水平方向の月でも地上物をかくすと天頂の月と同じくらい小さく見えることを表わしています。

(v) プリズムを使って天頂の月の背景に地上の風景を、また地平の月に天頂付近の空を重ねたところ、ほぼ逆の錯視量が得られました。すなわち天頂の月の方が大きく見えたわけです。また、地上のビル街の風



景を逆さにして重ねた場合にも錯視量は1.66から1.28と半減しましたが、風景の効果が残ることが示されました。

(vi) 地平線が5 km 先にある見晴らしのいいところと、600 m 先が崖になってその先が見えないところを同じ地点から観測したところ、前者で  $R=1.51$ 、後方で1.36が得られました。これは奥行き印象が強いところと弱いところの違いに起因していて、経験によって大きさが大体わかっている木立や家が散在しているかどうかは重要ではないと彼らは主張しています。見慣れた地上物がなにもない砂漠や海上でも「月の錯視」は観測されるというのがその理由です。

私たちは中国東北地方(旧満州)の曠野や、アフリカの草原地帯のかなたに沈む夕陽がいかに大きかったかをしばしば耳にします。自分が立っている場所から地平線までが遠いと感じれば感じるほど、その向うに沈む太陽が大きいと実感するのでしょうか。

(vii) これと同様の効果は空の方にもあります。一般に晴天よりも雲がある方が遠近感を助長するようです。彼らの観測では、同じ地上の風景に対して、晴天時  $R=1.34$ 、所々に雲があるとき1.45、全天薄曇り時1.52を得ています。

彼らはこれらの実験結果を、見掛け距離仮説(apparent distance hypothesis)でほぼ説明できたと主張します。その大要は、「地上は空との境界に向かって、山・樹木・建築物・海の波や色の変化などの地形的変化に富んでいるが、天頂に向かっては介在物はなにもなく極めて単調である。したがって地平線までの方が天頂までよりも遠いように感じられる。同じ視角を張るものが、遠いところと近いところにある場合には、ポンゾ図形錯視や天空扁平説にしたがって、遠いものの方が大きく見える」ということになります。

彼らの研究に対する批判や反論は1966年に発表され

た苧阪の総合報告<sup>4)</sup>に詳しいので、そちらを参照して下さい。ここでは彼の指摘を一つだけ挙げておきます。すなわち、「 $R<2$  というのは小さすぎるのではないか、実際には  $R>2$  の場合が多いと思われるのだが、この差は彼らの挙げた以外にも月が大きく見える原因が別に存在するためかもしれないし、また主観的な見え方を客観的に比較測定するという行為自体のなかに過大視を低減する要因がひそんでいるのかもしれない」。この種の心理物理量の測定がいかに難しいかを教えてくれる文章です。

最後に、エピグラフに取り上げた小学唱歌に関連して、苧阪の前記報告からその一部を転載します。「ここでは Leibowitz (1959) の実験にふれておこう。彼らは 50.8 cm 直径の円盤を劇場の建物を利用して天頂方向にかかげ、4~11歳までの児童に見させて水平方向に同じ大きさに見える比較刺激を求めたのである。その結果、幼児ほど地平方向の過大視がみられ、4歳では2倍に近く、11歳で1.2倍となり、成人の評定値に近似してくる。月よりも大きい円盤で、距離は11 m と 26 m であるが、月の錯視に似た条件であるので、この実験条件を拡大解釈すれば、月の錯視は幼児ほど大きいということになる。筆者も児童について測定したことがあるが、例えば1951年、仰角 $10^\circ$ の月で8歳3カ月の女子が2.4倍、1961年、仰角 $13^\circ$ の月で10歳9カ月の男子で1.1倍を得ている。月がお盆のように見える大人は童心を失わない人に限られる、というのは拡大解釈でしょうか。

#### 参 考 文 献

- 1) ロジャー・ペーコン (高橋憲一訳) : 大著作 [科学の名著, 3 : ロジャー・ペーコン, 302, 朝日出版社, 1980.]
- 2) Luckiesh M: Visual Illusion, 172, Dover, 1961.
- 3) Luckiesh M: Visual Illusion, 173, Dover, 1961.
- 4) 苧阪良二 : 心理学評論, 10: 199, 1967.

### 3次元映像の生体影響評価について

神戸大学医学部眼科学教室 関谷善文, 山本 節

近年、3D 画像が流行するようになり、各メーカーも開発と市販に積極的に乗り出すようになってきた。その一方で、昨年のいわゆる「ポケモン（ポケットモンスター）騒動」のように、通常の TV 画像でも、光過敏性てんかんなども含めた悪影響がでることが問題となり、眼科的視覚の立場からも各種画像の眼に対する影響をもっと詳しく検討する必要性が生じてきている。

VR（ヴァーチャル・リアリティー）（仮想現実）とは、厳密には、自分が与えられた画像の中に実際に入り込んで、コンピュータグラフィックスの仮想空間を体験するメディアであるが、この VR が身体に及ぼす影響については、個々の急性影響についての論文はあるものの、眼科のみならず、耳鼻科・自律神経系・精神衛生といった各関連部門を総括して検討した試みはほとんどない。

メーカー各社は、一時期、競ってハードとソフトを開発し、市場に送り出したが、実体験すると、気分が悪くなったり、船酔いのような状態が起こることもままあるため、遅ればせながら、身体にどのような影響があるのかについて、識者を募って研究し、一定のガイドラインを作成するべく、数年前より動き出すこととなった<sup>1,2)</sup>。

現在用いている3次元映像は、両眼視差、運動視差などを利用した疑似的な映像で、実生活上の3次元映像とは似ているものの違和感を感じさせる。すなわち、眼精疲労、眩暈、酔いなどの症状を引き起こしやすいものである。商品化されはじめているのは、3次元立体画像を HMD（ヘッド・マウント・ディスプレイ）内の液晶画面に投影し、VR を生み出す機器である。

劇場型の大きな投影画像の中に体験者が入って行われる VR では、すでに実用化されており、それほど強い悪影響がないことが経験的にわかっている。一方で、この HMD 装着下での体験では、それらに比べて有意に眼精疲労や船酔い現象が多い。このことから、HMD を装着した上で、どのような因子が身体に

影響するか、ガイドラインを設定するように早急な対応が望まれている。

ただし、従来単発的に行われてきた研究では、HMD での 3D 画像負荷前後の視機能や心拍数、自律神経系などの変化を調査・解析してきたが、とくにこのような画像をこれから好んで経験していくであろう学童期年齢の世代では、2D のテレビゲームによる研究でもそうであったように、視機能の回復が非常に早く、負荷後の検査の間にも、各種の視機能などは容易に正常化してしまい、有意なデータが捉えきれない可能性が示唆されてきた。

このような欠点を補うには、眼科的には、リアルタイムに 3D 画像を負荷しながら、一方で眼球運動や瞬目、調節・屈折などを測定することのできる機器の開発が必要となる。これと連動して、各種身体機能も測定できれば、全身的影響も明らかになってよい。

通産省主導の研究班で、実際にメーカーにもお願いして、HMD に CCD カメラを組み込んで、両眼の眼球運動をリアルタイムに撮影する機器を日本福祉大学の鶴飼教授をチーフに開発することとなり、我々の教室も参加している。しかし、3D 画像を実際に負荷して研究するところまではまだ進まず、予備的な実験の段階である。いままでの研究ではあまりふれられていない、眼球回旋の変化についても解析しつつある。これによって、固視微動の変化や、調節・屈折の変化も、非侵襲的に解析できるようになれば、従来判明していない、様々な視覚への影響が捉えられるようになると期待される<sup>3,4)</sup>。

しかし、残念ながら、いまだ試作のレベルであり、組み込む HMD にしても、その瞳孔間距離は変えることができず、したがって成人では測定可能であるが、児童では被検者の瞳孔間距離との間にギャップを生じて正確な測定ができないし、頭位が変わると、当然それに基づいた回旋が生じる、などの外挿因子が多すぎるきらいがある。

また、これとは別に、純粹に中央演算装置（central processing unit）の問題があり、たとえば実際に頭位

を変換した際に、どのくらいの遅れでグラフィックスがついてくるのかというような初歩的な点も外挿因子となる。一般には、0.05秒程度までの遅れでは、船酔いは来さないとされるが、画像の明るさや粗さ、視差のつけかた、スクロールのスピードなど、可変の因子はあまりにも多く、これを単純に一律化して影響を調べることすら難しい。

更にいうなら、立体視を生み出し、制御するものはいったいなかというような素朴な質問に対して、我々は完璧な回答ができるだろうか。

立体視差や静的立体視、あるいは動的立体視について、その原理と測定方法はいくつかあり、ある程度はわかっているのであるが、これ以外にも、生来の学習や立体錯視というような行動生理学の分野の理解も必要であるし、そのコントロールの機構や発達過程についても、現在なお研究中なのである。

このような現状を理解した上で、しかし、メーカー側は着々と新しい立体画像のメディアを開発し続けて

いるので、視覚生理学を研究している我々も遅れてはいられない。ぜひ、興味をもって、一つ一つの視機能の関連を解明し、視覚情報処理のみならず、生体情報処理システム全体の統合系の解析を重ねて、次世代への贈り物としたい。

#### 文 献

- 1) 山家智之, 南家俊介他: 種々のソフトウェアによるバーチャルリアリティにおける循環動態のカオスのダイナミクスの解析. Therapeutic Research 17: 1113-1116, 1996.
- 2) 板東武彦, 長谷部 日他: 眼球運動機能を指標としたHMD 評価の試み, 仮想現実環境評価への第一歩. VISION 7: 131-136, 1995.
- 3) 原 直人, 鶴飼一彦他: ヘッドマウントディスプレイの長時間連続使用による屈折・調節・輻湊機能の変化. 日眼会誌 100: 535-540, 1996.
- 4) 鶴飼一彦: 回旋眼球運動の新しい解析システム開発の試み. 「3次元映像の生体影響総合評価システムの開発に関するフィジビリティスタディ」報告書, 134-152, 日本電子機械工業会, 東京, 1998.