

## 総説

## 近視進行予防と眼鏡処方

長谷部 聡

岡山大学医学部眼科学講座

## Myopia Control and Spectacle Prescription

Satoshi Hasebe

Department of Ophthalmology, Okayama University Medical School

調節ラグと眼軸長の視覚制御に基づいて、新しい近視進行のシナリオが1990年代に報告された。その後、この仮説を理論的根拠として、国内外で学童を対象とした累進屈折力眼鏡による近視進行予防の臨床比較試験が実施されている。しかし、報告された近視予防効果は今のところ限定的なものである。予防効果を更に向上させるためには、治療の適応基準の設定と近見加入度数効果のコンプライアンスの検証が鍵になるとと思われる。(視覚の科学 26: 84-88, 2005)

キーワード：早期発症近視、累進屈折力眼鏡、調節ラグ、眼軸長、臨床比較試験

A new scenario for myopia progression was reported in the 1990s, based on lags of accommodation and the theory of visual regulation of axial length. Based on this theory, myopia control trials using progressive addition lenses have been successively performed on schoolchildren here and overseas. From a clinical viewpoint, however, reported effects in reducing myopia progression have thus far been limited. Establishing proper applicable criteria for progressive addition lenses and verifying compliance for the near-addition effect of the lenses are probably key to improving the therapeutic effect. (Jpn J Vis Sci 26: 84-88, 2005)

Key Words: Early-onset myopia, Progressive addition lenses, Lag of accommodation, Axial length, Clinical trials

## 1. はじめに

学童期の近視予防は眼科医にとって古くからの、しかし今なお解決し難い重要な課題の一つである。問題解決が困難を極める理由としては、近視進行には環境因子と遺伝因子の両者が関与するものの、遺伝様式について詳細が明らかになっていない点、更に臨床研究においては、環境因子を長期間にわたって制御し難い点が挙げられよう。

本稿では、1990年代に確立された調節ラグと眼軸長の視覚制御に基づく近視進行のシナリオを解説す

るとともに、近年、この仮説を理論的根拠として国内外で試みられている「累進屈折力眼鏡による近視進行予防の臨床比較試験」の成果とその問題点について概要を述べる。

## 2. 調節ラグと眼軸長の視覚制御機転に基づく近視進行のシナリオ

## 1) Earl Smith 3rd のレンズによる実験近視

実験動物の1眼を遮蔽すると、遮蔽眼のみに近視が進行する。この現象は、形態覚遮断近視として知られてきた。Smith は、遮蔽の代わりに度数の異なる

別刷請求先：700-8558 岡山市鹿田町2-5-1 岡山大学医学部眼科学講座 長谷部 聡  
(2005年11月17日受理)

Reprint requests to: Satoshi Hasebe Department of Ophthalmol, Okayama Univ Med School  
2-5-1 Shikata-cho, Okayama 700-8558, Japan  
(Received and accepted November 17, 2005)

眼鏡レンズを子ザルに装着させて屈折や眼軸長の経時変化を調べ、以下の結果を得た<sup>2)</sup>。

サルは生直後、遠視を示すことが多いが、成長とともに眼軸の伸展がみられ、生後200日ごろにはほぼ正視に達する。この現象は正視化と呼ばれる。ところが生直後のサルに凹レンズを装着させ、眼光学系の焦点を網膜後方へ偏位させると、偏位させた焦点に適應するように眼軸の伸展が起こる。このため、遠視は急速に軽減し、更に正視をこえて近視化が進む。一方、凸レンズを装着させ、焦点を網膜前方に偏位させると、眼軸長の伸展は起こらず、遠視のままで屈折の変化はみられない。ここで注意すべきことは、凹レンズ装用によりいったん生じた近視や眼軸長の過伸展は不可逆的であることである。

このようなレンズによる近視化実験を基に、Smithは、幼弱な眼球には与えられた視覚的環境（ここではレンズによりもたらされた焦点ずれ）に順応して、網膜像のボケを最小化するように、眼軸長を変化させる能力（眼軸長の視覚制御機転）が存在すると結論した。

## 2) Jane Gwiazda の近視学童における調節反応の調査

幼弱な眼球に、眼軸長の視覚制御機転があるにしても、そのトリガーとなる情報は何かであろうか？しばしば眼球はカメラにたとえられるが、調節というオートフォーカス機能を備えている。調節は、毛様体筋を効果器官とし、視距離の変化という外乱（制御を乱すような外的な変動）に対して、焦点を網膜上に維持する負のフィードバック制御系とみなせる。ピンホールで大きな焦点深度を与えると、調節反応の刺激となる網膜像のボケ情報が得られにくくなるため、フィードバック制御系は活動をやめ、調節レベルは遠点に対し0.5~1.5D 近方に位置する。この調節レベルはトニック・アコモデーション（調節安静位）と呼ばれる。

一方、日常生活では網膜像のボケ情報が与えられるため、視距離の変化によってボケを最小に保つべく調節反応が起こる。しかし、調節制御系は生物学的な制御系であるため、精密光学機器のオートフォーカス機構ほど正確ではなく、たとえ調節域内であっても刺激に対して100%の反応を示すわけではない。この結果生じた調節誤差は、トニック・アコモデーションを基点として、近方では調節不足、遠方では調節過剰となる特徴がある（ヒステリシス）。前者は

調節ラグ（lag of accommodation）と呼ばれ、調節必要量の大きさにほぼ比例して増加する。しかし、日常的には眼の光学的焦点深度（約±0.5D）をこえないため、像のボケを自覚することは少ないと考えられている。

Gwiazdaらは、学童を対象として1~4Dの調節刺激に対する調節反応を調査した結果、近視学童では、正視の学童に比較して網膜像のボケに対する調節反応が悪く、大きな調節ラグを示すことを報告した<sup>2)</sup>。

調節ラグが発生すると、焦点は網膜後方に偏位する（図1B）。先に述べたように、調節必要量が増えるほど、つまり視距離が短いときほど、調節ラグは大きくなる。極端な近業により発生した大きな調節ラグが長時間持続すると、網膜像のぼけがトリガーとなって、本来正視化を達成するために備えられた機能である眼軸長の視覚制御機転が作用し、眼軸の伸展を引き起こす（図1C）。この変化は近見時の焦点誤差を解消する上で合理的であるが、遠見時には、

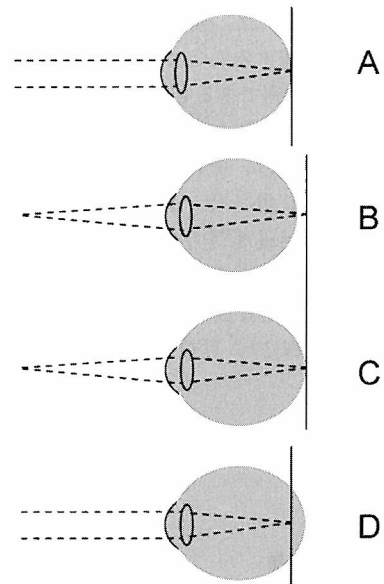


図1 調節ラグと眼軸長の視覚制御に基づく近視進行のシナリオ

正視眼 (A) では、調節ラグにより、近業時には焦点は網膜面に対してわずかに後方に偏位する (B)。この状況が長時間続くと、ずれた焦点に順応するように眼軸長の伸展が起こる (C)。この反応は近業時の調節精度を改善する点では合理的であるが、遠見時には、眼軸長が伸展しただけ焦点は網膜前方に偏位するため、遠見視力障害が発生する (D)。

眼軸が伸びただけで焦点は逆に網膜前方に偏位するため、視力障害が発生することになる(図1D)。これが調節ラグと眼軸長の視覚制御に基づく近視進行の仮説である。

### 3. 累進屈折力眼鏡による近視進行予防 トライアルの成果

#### 1) Leung のトライアル

調節ラグと眼軸長の視覚制御機能に基づく近視進行に関するシナリオが形作られるなか、1999年、近視研究のメッカとなりつつある香港から、興味深い研究結果が報告された。Leung らの累進屈折力眼鏡による近視予防トライアルである<sup>3)</sup>。

調節ラグによる網膜像のぼけが近視進行のトリガーであるとすれば、調節ラグが発生しない状況、つまりトーニック・アコモデーションの調節レベル(0.5~1.5D)より遠方に近業を制限できれば、近視は進行しないはずである。しかし、勉強、読書、ゲーム遊びに忙しい現代人にとっては、このような生活は現実的でない。そこで近業を制限する代わりに累進屈折力眼鏡を装用すれば、近用部の加入度数の分だけ、調節必要量を軽減することができる。このため、調節ラグの発生を抑制できるものと期待される。

Leung らは合計68名の中国人小学生(9~12歳)を無作為に2群に分け、それぞれ累進屈折力眼鏡または単焦点眼鏡を装用させ、2年間の経過観察を行った。その結果、累進屈折力眼鏡は単焦点眼鏡に比べて、近視進行速度(非調節麻痺下のオートレフ値)、眼軸の伸展速度(超音波A-mode)ともに有意な抑制効果を示した(図2)。近視抑制効果としては、予想

外に大きな効果

$$\frac{\text{累進屈折力眼鏡群での平均近視進行速度}}{\text{単焦点眼鏡群での平均近視進行速度}} = 54\%$$

であった。この予防法の最大の利点は、眼軸長の過伸展自体を抑制するため、高度近視に伴う眼疾患(網膜剥離、緑内障、黄斑変性症)のリスクを軽減し得る点である。

#### 2) Hong Kong Study

2002年9月、香港のEdwards らの累進屈折力眼鏡による近視進行予防トライアルの結果が、Investigative Ophthalmology and Visual Science(以下 IOVS)誌上に報告された<sup>4)</sup>。彼らは254名の小学生(7~10歳)を無作為に2群に分け、それぞれ累進屈折力眼鏡または単焦点眼鏡を装用させ、2年間にわたって経過観察した。この研究では、参加者にレンズの種類については伏せられており、盲検化が図られた。累進屈折力眼鏡は二焦点眼鏡と異なりレンズに境界線がないため、装用のコンプライアンスを期待できるだけでなく、evidence-based medicine(EBM)の必要条件である盲検化を実現する上で有利であった。しかし残念ながら、近視進行速度(調節麻痺下のオートレフ値)、眼軸の伸展速度における両群間の差にはともに有意差がみられず、Leung らの報告は支持されないと結論された(図2)。

#### 3) Correction of Myopia Evaluation Trial (以下 COMET)

2003年4月、COMETの研究結果がIOVS誌上に掲載された<sup>5)</sup>。COMETとは、米国での多施設共同の大規模な臨床比較試験である。469名の米国の小学生(6~11歳)を無作為に2群に分けて、それぞれ累進屈折力眼鏡または単焦点眼鏡を装用させ、3年間の経過観察を行った。その結果、累進屈折力眼鏡は単焦点眼鏡に比べて、近視進行速度(調節麻痺下のオートレフ値)、眼軸の伸展速度とも、わずかではあったが、統計学的に有意な抑制効果がみられた(図2)。

#### 4) Okayama Myopia-control Trial

海外におけるこれらの報告を受けて、岡山大学医学部附属病院でも独自に、2002年学内倫理委員会の承認を受けて、累進屈折力眼鏡による国内初の近視進行予防に関する無作為化臨床比較試験を開始した<sup>6)</sup>。最終結果が得られるのは2006年7月の予定である。

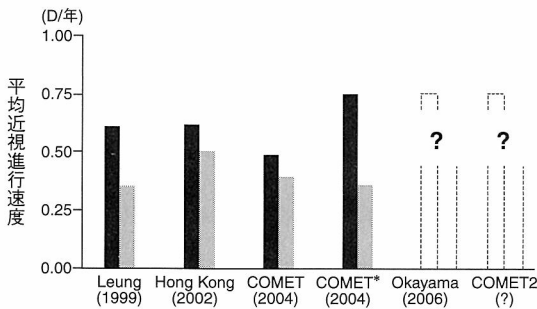


図2 累進屈折力眼鏡による近視進行予防トライアルの成果

\* : 対象者を近見内斜位かつ大きい調節ラグを示す症例に限定した場合の再検討を示す。

■ : 単焦点レンズ, ■ : 累進屈折レンズ

#### 4. 累進屈折力眼鏡による近視進行予防 トライアルの現状

2004年5月、Fort Lauderdaleで開催されたAssociation for Research in Vision and Ophthalmology (ARVO)の年次総会では、「Myopia Control: What can be done to get larger treatment effects?」と銘打ったシンポジウムが開かれ、活発な議論が繰り広げられた。現在のところ累進屈折力眼鏡の近視予防効果を向上させる方策として有望視されているのは、治療の適応基準の確立と、眼鏡の加入度数効果のコンプライアンスをいかに高めるかという二点である。

##### 1) 治療の適応基準

近見内斜位は、従来から近視進行の危険因子として注目されてきた。COMETではトライアル開始時に近見内斜位を示した症例はそうでない症例に比較して、それぞれ大きい調節ラグを示した症例はそうでない症例に比較して、近視予防効果が大きいと報告された。これらの結果から、適応症例を近見内斜位かつ調節ラグが大きい症例に限定すれば、近視進行抑制効果が改善するものと推定された

(抑制率  $\left[ \frac{\text{累進屈折力眼鏡装用群の平均近視進行速度}}{\text{短焦点眼鏡装用群の平均近視進行速度}} \right]$  は49～61%、図2)。

近見内斜位では、両眼単一視を得るためには融像性開散運動が必要になる。開散運動は、近見反射(または輻湊性調節のリンク)を介して調節反応を抑制するように作用するので、調節ラグが大きくなりやすい。筆者らが近視小学生を対象として行った調査においても、屈折異常を眼鏡で完全矯正した場合、対象者の約30%が近見内斜位を示すことがわかった<sup>6)</sup>。したがって、近見内斜位を示す症例では調節ラグが

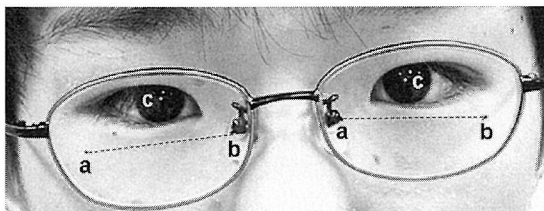


図3 累進屈折力レンズのずれ  
a, b: エッチング・マーク, c: 角膜反射像  
累進屈折力眼鏡のフィッティング・ポイント(線分a, bの中点より4mm上方)は、角膜反射像または瞳孔中心(c)に比べて下方に偏位している。検査法の詳細については文献7)を参照。

大きいはずだから、理論的に調節ラグを阻止する累進屈折力眼鏡がより効果的になると予想される。現在、COMETの研究グループは、近見内斜位を示す症例または調節ラグの大きい症例に限定した、新たなトライアル(COMET II)を計画しているようである。

##### 2) 近見加入度数効果のコンプライアンス

眼鏡使用中にはしばしばレンズの下方ずれが発生する。とくに小児においてはこの傾向が強く、筆者らのデータでは、通常の老視に対するプロトコルで累進屈折力眼鏡を作製した場合、眼鏡レンズは理想的な位置に対して平均3.7mm下方に偏位していた<sup>7)</sup>(図3)。老視に対する累進屈折力眼鏡であれば、レンズの下方偏位は近見時の視力障害となって自覚される。使用者はレンズの偏位に気づき、あご挙げの代償頭位または眼鏡フレームを正しい位置まで戻すことにより自ら補正できる。一方、調節力の豊富な学童期にあつては、下方偏位は視力障害の原因とならず、自ら偏位を補正することは期待しにくい。こうなれば累進屈折力眼鏡を装用していても、期待される近見加入度数効果は得られない。たとえ累進屈折力眼鏡に近視予防効果があつたとしても、効果は限定的なものになるであろう。

COMETの研究グループはこの問題について最近新たにアナウンスメントを追加し、累進屈折力眼鏡を小児に処方する場合、フィッティング・ポイントを通常的位置から4mm上方に合わせることを推奨している<sup>8)</sup>。そして、遠見時に像のボケを自覚したときには、あご下げの頭位をとることで対応するよう、使用者に説明すべきであると述べている。

近業時のダイナミックな眼球運動について、成人に関してはいくつか研究報告がみられる。しかし小児に関する限り、筆者の知る限り研究報告はみられない。つまり、読書時や携帯ゲーム機を使用する際に、累進屈折力眼鏡を装用した小児が果たして眼鏡近用部を適切、かつ十分に使用できているかについては、なんら検証されてないのである。今後、小児においても近業時の頭部-眼球共同運動(eye-head coordination)を詳細に研究し、効果的なレンズ・デザインや眼鏡のフィッティングのあり方について議論されるべきであろう。

#### 5. まとめ

調節ラグと眼軸長の視覚制御に基づく近視進行の

シナリオについて解説し、これを理論的根拠として実施されている累進屈折力眼鏡による近視進行予防の臨床比較試験の現時点までの成果および問題点について解説した。

#### 文 献

- 1) Smith EL 3rd: Environmentally induced refractive errors in animals. In: Rosenfield M & Gilmartin B eds, *Myopia & Nearwork*, 57-90, Butterworth Heinemann, Oxford, 1998.
  - 2) Gwiazda J, Thorn F et al: Myopic children show insufficient accommodative response to blur. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 34: 690-694, 1993.
  - 3) Leung JTM & Brown B: Progression of myopia in Hong Kong Chinese schoolchildren is slowed by progressive lenses. *Optom Vis Sci* 76: 346-354, 1999.
  - 4) Edwards MH, Li RW et al: The Hong Kong progressive lens myopia control study. Study design and main findings. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 43: 2852-2858, 2002.
  - 5) Gwiazda J, Hyman L et al: A randomized clinical trial of progressive addition lenses versus single vision lenses on the progression of myopia in children. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 44: 1492-1500, 2003.
  - 6) Hasebe S, Nonaka F et al: Myopia control trial with progressive addition lenses in Japanese schoolchildren: Baseline measures of refraction, accommodation and heterophoria. *Jpn J Ophthalmol* 49: 23-30, 2005.
  - 7) Hasebe S, Nakatsuka C et al: Downward deviation of progressive addition lenses in a myopia control trial. *Ophthalmic Physiol Opt* 25: 310-314, 2005.
  - 8) Kowalski PM, Wang Y et al: Adaptability of myopic children to progressive addition lenses with a modified fitting protocol in the correction of myopia evaluation trial (COMET). *Optom Vis Sci* 82: 328-337, 2005.
-

---

総 説

---

## ロービジョンエイドの色々

川嶋 常多

株式会社エッセンバツハ光学ジャパン

### Low Vision Aids from ESCHENBACH

Tsunekazu Kawashima

Eschenbach Optik of Japan Co., Ltd.

---

アイ・ケア プロフェッショナルの方々にとって、ロービジョンの原因、すなわちなんらかの視力を失う原因となる眼の疾患については、聞き慣れたものであると思う。それが内科的に、または外科的に治療可能であったとしても、その結果が患者になんらかの不満足感を残してしまい、彼らが「見え方がかつてのようではない」とか「まだ見ることに困難を感じるし、弱った視力のせいでかつてのような働きができない」と、つぶやくのを時々耳にすることがある。

幸いにもそのような場合、損傷を受けた視力をもつ患者を援助し、彼らとその残存視力を生かして独りでも活動的に生活していけるようにすることのできる有効な解決方法がある。エッセンバツハのロービジョンエイドには、350種類以上の光学的補助具のほかに、良質の照明器具や書見台のような多くの非光学的な道具も用意されている。新機軸のハイブリッドレンズを加えたこれらのロービジョンエイドは、視覚障害者の日々の活動をより質の高いものに行っている。  
(視覚の科学 26: 89-93, 2005)

キーワード：残存視力の活用，良質な照明，屈折プラス回折=ハイブリッドレンズ

---

If you are in eye-care professional, you may be familiar with the causes of low vision, including various ophthalmologic diseases that cause a certain degree of vision loss. Although such diseases are medically or surgically treatable, the outcome sometimes leaves patients. Patients may still claim that their vision is not what it once was, or that they are still having difficulty seeing and are unable to function as they once did, because of poor vision.

Fortunately, there are profitable solutions available to assist patients with impaired vision (or low vision) and keep them independent and active using their residual visual acuity. Low vision aids from Eschenbach include various types of magnifiers and numerous non-optical tools, such as optimum illumination and reading stands. These low vision aids, including the new hybrid lens system, can help the visually impaired in their daily activities. (Jpn J Vis Sci 26: 89-93, 2005)

Key Words: Best use of existing residual visual acuity, Optimum Illumination System, Refraction plus diffraction=hybrid lens

---

#### 1. 「ロービジョン」とは

WHO (World Health Organization) の基準では、矯正視力が両眼視で0.05以上、0.3未満をさす。しかし、エッセンバツハ光学では「ロービジョン」を

「眼の疾患を受けている患者に残されている残存視力」を説明する用語として用いている。したがって「ロービジョンエイド」とは、視覚障害をもつ患者が矯正された自己の残存視力を最大限に生かして、より快適な生活を送れるようにするために用いる補助

---

刷請先：101-0048 東京都千代田区神田司町2-15-4 (株)エッセンバツハ光学ジャパン 川嶋常多  
(2005年11月17日受理)

Reprint requests to: Tsunekazu Kawashima Eschenbach Optik of Japan Co., Ltd.  
2-15-4 Kandatsukasa-cho, Chiyoda-ku Tokyo 101-0048, Japan  
(Received and accepted November 17, 2005)

具をさす。エッセンバッハ光学が「ロービジョンエイド」を開発する際には、視覚障害を単に網膜色素変性症に代表されるような眼の疾患だけに限定するのではなく、加齢による視力の衰えをも含めて考えている。この観点からすると「ロービジョンエイド」には、弱視眼鏡や遮光眼鏡などの特殊な補助具はもとより、比較的倍率の低い読書用のルーペから高倍率の観察用ルーペまで、いわゆるルーペ全体が含まれることになる。

## 2. 「ロービジョンエイド」の選択

患者の残存視力を最大限に生かすためには、何をしたいのかを最初に見極めて、作業形態に応じて、また生活のあらゆる場面を想定して補助具を選択していくことが望ましい。エッセンバッハ光学の「ロービジョンエイド」には、手持ち式ルーペ (6.0～80.0 dpt.)、置き型ルーペ (4.0～50.0 dpt.)、固定式スタンドルーペ (3.0～7.1 dpt.)、眼鏡式ルーペ (2.5～28 dpt.)、ガリレオ式弱視眼鏡、ケプラー式単眼鏡など350種類以上の光学的補助具が用意されている。この多岐にわたる「ロービジョンエイド」のなかから患者に合ったルーペを選ぶためには、いくつかの側面から考える必要がある。

### 1) どの程度の倍率が必要か (近用で)

エッセンバッハ光学では一つの目安として、眼から40cm離れた位置で(1)新聞を読むためには最低0.5、(2)電話帳を見るためには最低0.6、(3)地図上の細かい文字を読むためには最低0.8の視力が望ましいという前提をおいて、そこからルーペの必要倍率を算出することにしていて、矯正視力がこの数値に達しない人の場合、この数値をその人の矯正視力で割ると、補助具として使用するルーペの必要倍率が得られる。ただし、ものの見え方は視力が同じ場合でも人によって異なるので、この計算上の必要倍率はあくまで一つの目安と考え、いくつかの倍率の異なるルーペを実際に試すことが望ましい。

その場合注意すべきことは、倍率の高いものを先に試し、順次倍率の低いものに移行していく。そして使用目的に合ったなかで、使用する人が見える最低の倍率のものを選ぶようにする。理由は、倍率の低いものを使用する方が焦点を合わせやすく、しかも見える範囲が広がるので、眼の疲れを軽減できるからである。これを逆に行うと、倍率の高い方が一時的にはよく見えるように思えて、より倍率の高

いものを選んでしまうが、長時間使用していると疲れて使いにくいという苦情が出ることになる。

### 2) 用途別の選び方

用途別の選び方を大別すると、(1)使用する場所を考慮して携帯用か置き型か固定式かを選ぶ、(2)作業内容に合わせて手持ち式か眼鏡式か固定式かを選ぶ、(3)いずれの場合も使用目的に合った倍率を選ぶ。

このように「ロービジョンエイド」というものは、単に種類だけ持っていれば十分であると考えられるのではなく、目的に合わせて何種類かのルーペを効果的に使い分けることで、残された視力を生かしてより質の高い生活を楽しむことができるということを使用する人自身に知ってもらう必要がある。

## 3. エッセンバッハ光学のロービジョンエイドにみられる特徴

### 1) ハイブリッドレンズ—非球面レンズと回折構造との結合

完全な「球面」をつくれるようになるまでに、人類は数世紀の時間を要し、完全な「非球面」をつくれるまでに更に数十年を費やした。このように何世紀もの間、光学技術者の課題は、どれだけレンズの表面をスムーズに磨き上げることかということにあった。しかし現代のマイクロ光学では、レンズの表面を凹凸のある構造で埋める新しい技術—回折構造—に目が向けられている。もっとも回折構造の理論的、数学的な基礎自体は、200年以上も前に Huygens と Fresnel によって築かれたものである。

エッセンバッハ光学でも2000年代に入ってから、完全な「回折面」を作りだすことに努力を傾けている。最新の、そして高度に専門化した射出成型技術のお陰で、非球面レンズと回折構造を一体化させた小型で軽量の高性能プラスチックレンズを製造する道が開かれた。ハイブリッドレンズという名称で知られるこのレンズは、とくにロービジョン者用の補助具の分野でいまや実用化されている。

回折構造の細かさを知るために、遠近両用ルーペ“mobilux-far”に使用されているハイブリッドレンズを例にとると、

フレネル環状帯構造の高さ：0.0011 mm

フレネル環状帯の数：143本(半径15mmのレンズで)

中央部の環状帯間のピッチ：約1.4 mm

周辺部の環状帯間のピッチ：約0.05～0.04 mm

フレネル環状帯構造の高さ0.0011 mmは、人の髪

の毛（約 0.05 mm 径）を縦方向に45枚に削いだ厚さに相当する。

このように精密な回折構造を、反対面の非球面レンズと同時に一体成型で（1回の射出成型で）量産するためには、それに用いる超精密型の製造が不可欠な要素となる。エッセンバッハでは、1970年代以降 PXM 非球面レンズの量産を通して培ってきた射出成型技術、型の製造技術に加えて、ワイヤーカット放電加工機などの CNC 数値制御システム、多軸超精密マシニングセンター（100 nm 以下の精度で表面加工が可能）など、一連の超精密加工機械を充実させてきた。それらのお陰で、片方の面に屈折レンズをそして別の面に回折構造を組み合わせた、ハイブリッドレンズの一体成型（1回の射出成型で）という超精密加工技術が可能になったのである。

このハイブリッドレンズのもつ特徴の一つに、色収差の補正という機能がある。可視光がプリズムまたはレンズに入って曲がる角度は、光の波長によって異なる。レンズ設計では3種類の波長（622 nm, 546 nm, 480 nm）を使うが、レンズを通して結ばれる像にはそれぞれの波長による色収差が起こる。この色収差を補正する伝統的な方法は、それぞれ異なる屈折率とアッペ数をもつ凸レンズと凹レンズを組み合わせ、色収差を減少させる方法である（アクロマートレンズ）。しかしこの方法の短所は、製造コストが高く、重量が重くなることである。

この短所を解消するために、エッセンバッハ光学では回折構造を利用して製造コストが安く、軽量のレンズの開発に力を入れてきた。屈折レンズでは赤色光に比べて波長の長い青色光をより強く曲げるのに対し、回折レンズでは赤色光が青色光より大きく偏光する性質をもっている。この相反する二つの偏光特性を利用して、屈折レンズと回折構造とを組み合わせることによって色収差の補正を行うハイブリッドレンズを開発した。

このハイブリッドレンズを使用した製品としては、

眼鏡式ルーペ“noves”シリーズを始めとして、ガリレオ式弱視眼鏡、遠近両用ルーペ“mobilux far”，ビデオルーペなどを挙げるができる。これらのなかから“noves”シリーズとガリレオ式弱視眼鏡 2.0 GF の2機種を紹介すると、

#### (1) “noves”シリーズ（図1）

このシリーズには、12～24 dpt. の片眼用の機種（noves mono）に加えて、4～10 dpt. の両眼用の機種（noves bino）も用意されている。両眼用の“noves bino”には、もちろん輻湊を加味して、それぞれの dpt. に対応したプリズムディオプターが付加されている。

一般の屈折レンズを使用した場合には、倍率の変化やプリズムディオプターを入れることに伴ってレンズの厚さが増して、使用している人の眼の疾患を強調するような外観を呈するものとなる（従来の弊社ビノ・コンフォートなど）。一方、“noves”シリーズに使われているハイブリッドレンズは、回折構造のメリットで倍率の変化やプリズムディオプターの付加に関係なく「薄さ」と「軽さ」が保たれ、あたかも普通の老眼鏡を掛けているのとなら変わらない印象を与える。

レンズの倍率が変わってもその厚さがほとんど変わらない理由は、“noves”シリーズに用いられているハイブリッドレンズの構造をみると納得できる。

一例として2種類のハイブリッドレンズを取り上げると、例えば7 dpt. の非球面と5 dpt. の回折面をもつハイブリッドレンズのトータル屈折力は、12 dpt. となる。また、7 dpt. の非球面と13 dpt. の回折面をもつハイブリッドレンズのトータル屈折力は、20 dpt. となる。

この2種類のレンズの厚さを比較すると、図2に例示した5 dpt. の回折構造の高さが0.014 mm、13 dpt. の回折構造の高さが0.025 mm であることからわかるように、2種類のハイブリッドレンズ12 dpt. と20 dpt. との厚さの差は、わずか0.011 mm しかない。

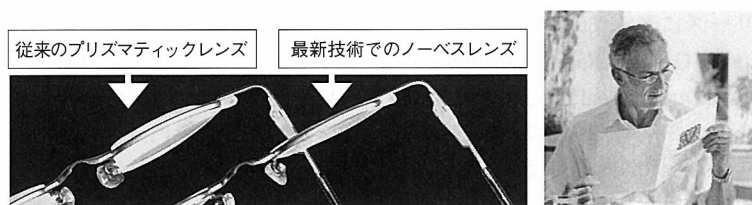


図1 弊社製ビノ・コンフォートと“noves”シリーズの比較



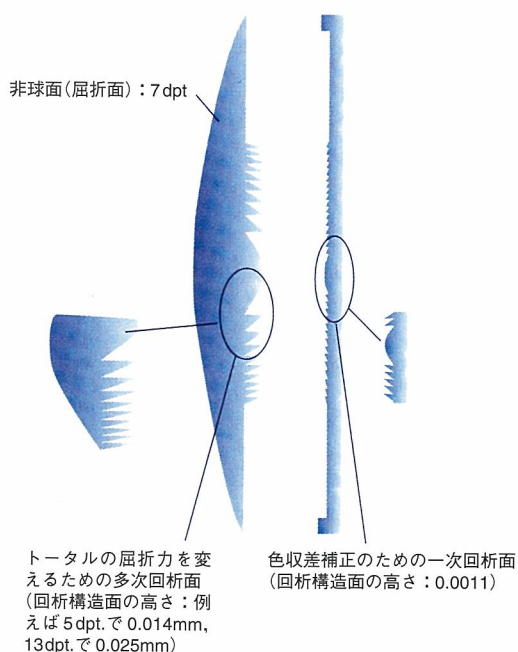


図2 “noves” シリーズに用いられているハイブリッドレンズの構造

このような微小な範囲のなかでレンズの屈折力や、プリズムディオプターを変えていくことができるので、レンズが厚くなることを防ぐことが可能となり、あたかも一般の老眼鏡を使用しているような外観を保つことができるようになった。

レンズの透明度だけを取り上げて考えると，“noves”の場合にはフレネル環状帯の模様がうっすらとみえるため、PXMレンズを使用した従来のビノ・コンフォートの方がよいと考える向きもあるが、弱視眼鏡を使用する方々が非常に外観を気にされるという点を考慮すると、ハイブリッドレンズのメリットが評価される。次の段階としては、個人個人のシリンダー度数を加入した矯正レンズを組み込んだ、いわばオーダーメイドの“noves individual”を発表すべく現在努力を重ねている。

この“noves”シリーズにドイツ LGA (Deutsche Landesgewerbe-Anstalt = German National Institute of Industry) の“Premium Quality Seal”が与えられたことをみても、ハイブリッドレンズが「ロービジョンエイド」の分野で画期的なものとして受け入れられていることを知ることができる (このシールは「人々の健康と福祉への貢献度、そして模範的な顧客

サービス等あらゆる面で推奨できることが証明された製品」に与えられる勲章である)。

## (2) ガリレオ式弱視鏡 2.0GF

遠方視用主鏡のレンズ系を新機軸のハイブリッドレンズに換えて軽量化を図ることで、その分レンズ径を大きくするとともに、近方視用の被せレンズの構造を「はね上げ式」に変えることができた。このことで、手元を見ていた眼を離れた場所に移すときに、いちいち近方視用の被せレンズを主鏡から取り外すことなく、簡単に跳ね上げるだけで視点を換えることができるようになった。とりわけ授業中に手元から黒板に目を移すことの多いロービジョンの子供達にとっては、広がった視野とあいまって朗報といえよう。

## 2) 照明との結合

エッセンバッハ光学のルーペにみられる特徴の一つに「照明との結合」がある。手持ち式、置き型、固定式に大きく分類されるすべての方式に「ライト付」のものが用意されている。ものを読むときに必要な光の量を年代別に比較すると、50歳代の場合10歳代に比べて約6倍の光が必要であるとされており、良質の照明を併用することによって、より倍率の低いレンズで効果的な結果を得られることが確認されている (ニュルンベルク本社調べ)。

周囲の明るさが不足している場合や、視力の低下のために普通のルーペでは見にくい場合、照明付のルーペが大きな力を発揮する。携帯用のライトルーペの場合、外出先で簡単に入手できるように電源には単3の電池が使われている。また使用する人がもっている羞明の程度を考慮して、光源として白熱ランプと白色LEDの2タイプがあり、使用者の眼に合ったものを選べるようになってきている。更にLEDタイプには着脱式の黄色のフィルターも用意されており、羞明に対する細かい気遣いが示されている。

ライトルーペのなかでも置き型の「システム・バリオ」には、7.0～50.0 dpt. まで9種類のレンズヘッドと、5種類の電源グリップ、3種類の光源があり、使用者の眼の状態と使用目的に合った組み合わせができるようにシステム化されている。このような気遣いが随所に払われているのは、エッセンバッハ光学がルーペの専門メーカーとして本当に眼のことを考えて商品開発を進めてきたことの証といえよう。

「システム・バリオ」を書見台と併用することによって、レンズ面に直角な角度から視線を落とすことが

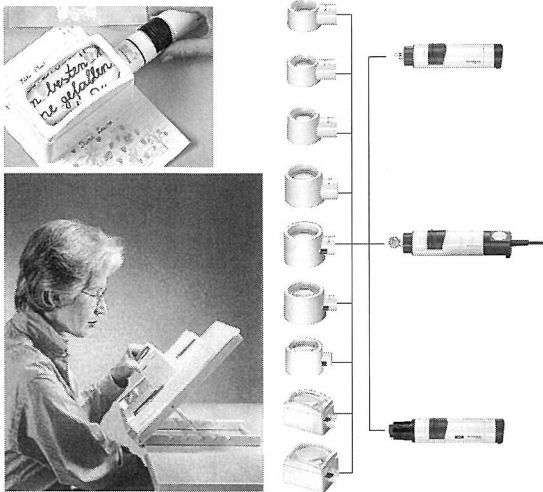


図3 置き型ライトルーベ「システム・バリオ」と書見台の併用による理想的な使用例

でき、疲労の少ない状態で長時間の読書を楽しめる。欧米においてはこの「システム・バリオ」が読書用ルーベの中核を占めており、高齢者の福祉施設が充実している北欧諸国では施設にある読書室の椅子の数だけこのルーベが備え付けられているといっても過言ではないが、生活環境の違いのためか日本ではまだあまり目が向けられていない商品である。

好まれない理由の一つとして、長時間使用するためにはAC電源の方が適しているが、反面AC電源用のコードが邪魔であるという点があった。しかし、この点はLED光源とバッテリー電源の組み合わせが開発されたので、電源コードに煩わされることなくバッテリー電源での長時間使用が可能になった。日本市場でもこれからが楽しみな商品の一つである。

### 3) 新機軸の複合製品

「視ることに関連した技術革新」を常に追い求めているエッセンバツハ光学としては、常にあらゆる

人々の要望を組み入れた、より使い勝手のよいロービジョンエイドの開発に力を注いでいる。その結果、幼い子供やお年寄りでも簡単に使用できるデスクトップルーベにLED光源を組み込むことで更に使いやすくなった“viso led”14231、手元用ライトルーベ(3.2×)と簡易単眼鏡(2.5×/1.4m)との複合製品“mobilux far”151025などなど、ロービジョンエイドを必要とする方達が日々の生活の様々な場で直面する「視ることに関連した」必要を解決し、より質の高い生活を送れるようにするための新製品が次々と市場に送り込まれている。

## 4. おわりに

視覚障害をもつ人の数が年々増加傾向にあることを考えると、それらの人達が残存視力を生かしてより質の高い日常生活を送れるように援助することは、「視ることに関連した分野」で働くものにとって、今取り上げるべき急務の一つであるということができよう。最初に取り上げたように、エッセンバツハ光学では「ロービジョン」というものを非常に広い意味で捉えており、その考え方に合わせた「ロービジョンエイド」のラインアップに力を注いでいる。このように加齢による眼の衰えを感じている人々への対応をも含めて「ロービジョンエイド」を捉えると、その対象となる商品群は非常に広範囲にわたるもので、しかも参入しやすい分野であることが理解できる。

「ロービジョンエイド」を取り扱うことは、今後一層競争が激しくなると考えられるアイ・ケアの市場において、特化されたアイ・ケア・プロフェッショナルとしてのお墨付きを勝ち得るための有力な武器となるだけでなく、訪れてくる「ロービジョン者」のために本当に価値のあるサービスを提供することを意味するものである。

---

 総 説
 

---

## 処方眼鏡のアフターケア

内田 豪

めがね技術コンサルタント

### Aftercare of Prescribed Spectacles to Enable Customers to Use Spectacles Comfortably

Tsuyoshi Uchida

Optical Technique Consultant

---

眼鏡店は眼鏡処方箋を持って来店されたお客様に処方通り正確に眼鏡を作ることに細心の注意を払っているが、最近の眼鏡加工機器類の技術的な進歩はそれらに大きく貢献している。一方、眼鏡枠や眼鏡レンズは多様化され、組み合わせによっては仕上がりに相当の差ができる。そのため眼鏡技術者は処方箋を正しく理解し、使用目的に見合う選択を行うと同時に光学的や力学的な条件を満たすように正しくフィッティングする技術が必要である。このような点を考えると、眼鏡は単純に決められた数値どおりに作るだけでなくアフターケアを考慮し、様々な要素を取り入れながら調製することが求められる。(視覚の科学 26: 94-97, 2005)

キーワード：コンサルティング、フィッティング、眼鏡設計、加工機器、アフターケア

---

Opticians pay the most scrupulous attention to filling spectacle prescriptions. Recent advances in technology for lens grinders contribute to this attention. On the other hand, there are a variety of ophthalmic frames and lenses available. Different combinations produce differences in outcome. Therefore, opticians must understand the spectacle prescription and select the frame that meets the purpose of spectacle use and fulfills the optical and dynamic requirements. From this standpoint, filling a spectacle prescription requires not only that the optician follow the data given in the prescription, but also consider various elements relating to aftercare.

(Jpn J Vis Sci 26: 94-97, 2005)

Key Words: Consulting, Fitting, Spectacle design, Lens grinder, Aftercare

---

#### 1. はじめに

処方された眼鏡は眼鏡店でどのように作られているのだろうか。眼鏡のアフターケアを考えるにあたり、眼鏡の設計は元より眼鏡が処方どおりに作られる様子を把握することは、作られた眼鏡を快適に使ってもらうための情報になる。今回ここではレンズやフレームの組み合わせや加工、フィッティングなど一連の流れの一つの例として考え、眼鏡の調製として述べてみたい。

#### 2. コンサルティング

処方箋を持参し眼鏡店を訪れた客は、まずフレーム（眼鏡枠）の品数に圧倒されることであろう。眼鏡枠は多品種&少量生産の代表的な存在であって、ある眼鏡専門誌の統計によるとブランド数だけでも1,000近くに上るといわれる。こうした製品には芸能人が自ら立ち上げたブランド商品や海外の名だたるブランド商品など様々なものがある。こうした製品のなかにはまれではあるが使いにくそうなデザイン

---

別刷請求先：196-0024 昭島市宮沢町2-8-4 めがね技術コンサルタント 内田 豪  
(2005年11月17日受理)

Reprint requests to: Tsuyoshi Uchida Optical Technique Consultant  
2-8-4 Miyazawa-cho, Akishima 196-0024, Japan  
(Received and accepted November 17, 2005)

を呈する商品も存在する。数ある品から自分専用の眼鏡を選ぶわけだが、ここに眼鏡技術者のコンサルティングが介入する。

レンズの特性を無視した眼鏡枠を選定してしまうと、処方数値どおりにはできるが使いづらい眼鏡になる。ある意味では使いにくい眼鏡枠はデザイン優先であると指摘されてもいる。眼鏡店にディスプレイされている最近の眼鏡枠には、そのほとんどにダミーレンズが組み込まれている。商品によっては多層膜処理を施されたダミーレンズが入っていて、客はそのダミーレンズが完成時の眼鏡と思い満足してしまっているが、眼鏡技術者は処方数値から眼鏡枠のデザインやレンズの種類から出来上りを予想し、的確なアドバイスを行う必要がある。眼鏡レンズのベースカーブは年々フラット化の傾向にあるが、これは眼鏡レンズの非球面化に伴いその傾向に拍車がかかったといえよう。ここでいう非球面は回転非球面を意味するが、近年は累進屈折力レンズにも非球面技術を応用し、カーブがフラット化してきている。一方、眼鏡枠もフロントのカーブが眼鏡レンズのフラット化に合わせて変化してきている。眼鏡枠の素材では材料自体の進歩もあるが、その素材の使われる場所によっては思わぬ弊害が発生することもある。NT合金と呼ばれる超弾性特性を有する素材も使う場所を選ぶわけで、こうした素材自体の特性や眼鏡枠に使われている場所を把握しながらコンサルティングを行っていく必要がある。デザイン面ではここ数年スモールアイシェイプと呼ばれる商品が市場に溢れている。これは眼鏡枠の上下左右の幅が狭く小型な眼鏡枠と思っただけであればよい。図1にスモールアイシェイプの眼鏡枠を示したが、これは累進屈折力レンズの販促用に作られたパンフレットの写真である。従来市販されている種類のレンズでは必要とされる度

数が眼鏡枠に入りきれないかギリギリのケースになることもあるが、この商品は上下幅が狭い眼鏡枠にも対応できるように累進屈折力レンズの設計が工夫されている。このように最近では、各社それぞれスモールアイシェイプの眼鏡枠に対応した商品を開発しているが、こうした商品は使い勝手が従来の商品とは異なるために処方どおり作っているにもかかわらず、説明不足ゆえに「見づらい」「使いづらい」といった不満を生む結果になってしまうことも予想される。そのためよく説明や確認をすることが大切である。場合によってはデモンストレーションレンズを使用した確認も必要であろう。処方度数から目的を読みとり、選ばれた商品から出来上がり状態を予想しながら商品特性を踏まえた光学的な説明を行うなど、眼鏡技術者は総合的なコンサルティングが要求される。

### 3. フィッティングと眼鏡設計

専門的な知識をもってコンサルティングされ選ばれた商品は、次に客に合わせるように作られていく。最初に行われるのはフィッティングであるが、ここで述べるフィッティングは単に眼鏡の装着感を満足させるだけのフィッティングではない。処方度数の効果を最大限に発揮させるための技術的なフィッティングである。処方度数によっては眼鏡枠の微妙な角度や装着距離の設定が違和感を発生する原因にもなり得る。比較的、強度のケースはアイポイントを確実に設定する必要があるが、ここで用いるアイポイントデータは処方度数にあるPDだけではない。眼鏡枠フロント内における位置である。累進屈折力レンズに至っては遠用、近用アイポイントを眼鏡枠の中に作り出し、微妙な調整を専用の工具を使いながら行う必要がある。処方度数にないデータをここで眼

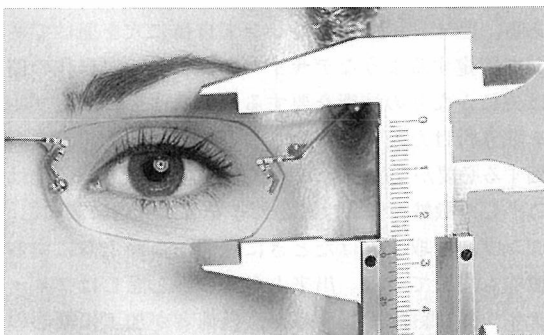


図1 スモールアイシェイプ

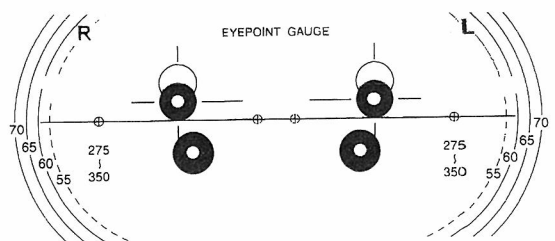


図2 アイポイント確認チャート

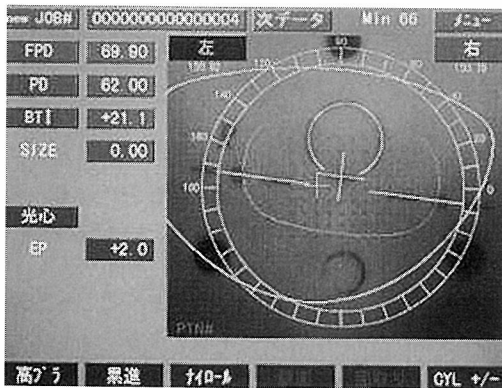


図3 トレース画面

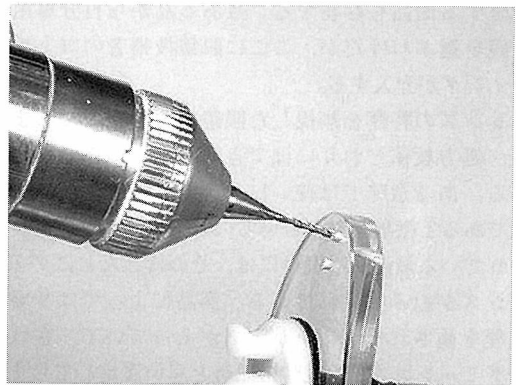


図4 穴あけ自動加工

鏡の設計に用いていくわけである。こうして指定された処方どおり設計された眼鏡が正しく使われるように調整させていくのである。図2に累進屈折力レンズのフィッティングに用いるアイポイント確認用のチャートを示す。これらはレンズの種類ごとに用意されているが、客が選んだ眼鏡枠にこれらの確認用チャート（アイポイントシールなどと呼ばれる）を貼り付け、フィッティングを行いながら目の位置を確認する。眼鏡枠内のアイポイントをマーカーの位置により微妙に調整してゆく作業だが、この作業は同時に眼鏡の使い方を指導する場でもある。遠用の度数や累進帯の場所、また近用度数が存在する場所を具体的に示すことができるため、視線の上げ下げなど眼鏡をどのように使いこなすか日常の使い方を指導するのも大変に有用かつ便利な場である。こうして行った作業で得られたデータを元に、レンズの光学中心の位置決めを行っていく。

#### 4. 加工機器の技術的な進歩

実際に加工するにあたってレンズの光学中心の位置を眼鏡枠フロント上に設定する作業であるが、最近の眼鏡加工作業は加工機器類の電子化に伴う進歩によってこれらのデータを機器類に数値入力することが多い。一般的には眼鏡枠フロントの幾何学的な中心点を基準として、アイポイントの位置を数値で示し機器類に入力するが、最近では眼鏡枠を専用のトレーサーにセットし、フロント部の情報をデジタル化する機器類が導入されている。こうした機器類はフロント部の微妙なカーブを読みとり、3次元的な情報まで考慮できる。

図3にトレースされた様子を示す。この製品は機

械本体にレンズメータの機能を有し、トレース自体も枠のフロントカーブの微妙な変化に対し自動的に対応できる3次元測定を実現している。測定されたデータはグラフィックに確認でき、眼鏡の設計ができるようになってきているし、測定データはレンズを研削加工するエッジャーにデジタルで送られる。こうした加工機械のシステムをパターンレス加工と呼ぶが、加工機器類の電子化に伴い加工精度は極めて向上している。設計と出来上がり眼鏡の差がなくなることは処方に忠実に加工できることを意味する。加工機器類の電子化に伴い加工ミスも少なくなり、従来はベテラン技術者が対応した複雑な加工テクニックも、最近では加工機器類が自動的に高精度な加工を行う時代になってきたといえよう。

加工後（レンズが眼鏡フレームに入れられた状態）の修正は、ある意味で枠とレンズに物理的な負荷を掛けて行うが、枠のデザインや枠の品質の多様化に伴いこうした負荷に弱い商品も多くなってきた。とくにフチなしの眼鏡枠において、従来は加工した後に基本的な眼鏡枠の修正を行っていたが、高度な器械の自動化に伴いこうした作業も軽減される方向にある。図4に示すようなレンズ自体に穴を開けてネジで固定するようなデザインの枠はネジ穴自体の開け方にかかなりの技術を要する。それゆえにテンブルを取り付けた後に専用の工具を使い傾きや歪みを調整する必要が発生したが、加工機の高機能的な自動化はこうした微妙な穴あけ時の傾きを3次元的に調整し、テンブルを取り付けたときに理想的なカタチにする機能も有している。出来上がりの善し悪しはフィッティングに直接影響するが、技術者が加工に細心の注意を払っていたテクニックを今や器械が自動的に

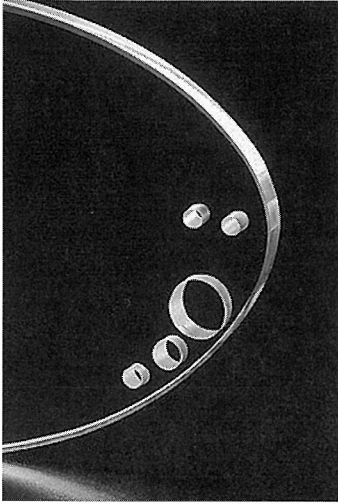


図5 加工の見本

行う時代になってきたのである。こうした眼鏡店の技術的な時代背景を考えると、出来上がり眼鏡の精度は完璧であるといえよう。

## 5. アフターケア

様々な行程を経て出来上がった眼鏡は、検品と最終的なフィッティングを行う段階を経てエンドユーザーへ提供される。処方どおりできているか確認をする作業はそれほど難しくない。確認は主にレンズメータで数値を確認する作業であるが、累進屈折力レンズなどはアイポイントなどの測定上のレイアウトを正しく再現し、レンズメータで度数を確認しないと処方どおりの数値にならないことがある。眼鏡店で確認するときはレンズの種類によるこれらの関係を踏まえて行うが、こうした知識のない人のチェックは誤解を招くおそれがあるので注意が必要である。時折、数種類の持参した眼鏡のレンズがどのような種類なのかを判別しなければならない現場に出くわすが、これらを正確に判別するにはレンズの商品知識を含め相当の経験を必要とする。とくに累進屈折力レンズにはその利用目的に応じて中近、近用累進などがあり、遠近両用でも累進帯の長さや近用部の寄せ量（インセット量）もレンズの種類によって異なったり、カスタム化する商品すら存在するからである。最近ではレンズメータの機能も高機能化してお

り、レンズ度数のマッピングも行える機種が販売されているが、レンズ種類の選別は困難を極める。

こうしたなかで眼鏡技術者はそれぞれの商品の特徴を把握し、光学的な面や力学的な配慮をもって最終的なフィッティングを行う。レンズに対して不必要な傾きがないか、部分的なあたりがないか、商品特性に沿ったアイポイントの設定が正しく使えているか、これら諸々のことを確認するのである。こうしたフィッティング調整は客のライフスタイルにも関係する。眼鏡を使う場所や使う姿勢、使い方を考慮しながら最終的な調整を行うのである。眼鏡店に並ぶ商品種類の多さは、ライフスタイルが多様化し眼鏡の使用環境がかなり異なってきていることを物語る。一方、眼鏡の使用環境は我々が想像する以上に荒く、短期間に歪んだり曲がったりして本来の効果を発揮できない状態になることが多い。とくに子供の眼鏡は予想を超える状態になることが多く、頻繁に調整をすることが求められる場合が多い。歪みにくく、狂いにくい素材でできた眼鏡枠が期待されるが、フィッティングを行うときにはアイポイントを再現して調整を行うことが大切である。処方された眼鏡が処方どおりの効果を発揮させるためには、使う側の環境を考慮し正しくフィッティングされていることが大切なのである。

## 6. さ い ご に

処方された眼鏡がその効果を100%発揮させるために眼鏡技術者は様々な専門知識をもって対応しているが、そのなかにあって眼鏡のフィッティングが大切であることを今一度確認しておきたい。高精度に製作できる環境にあっても使い次第で眼鏡の効果は異なる。子供の眼鏡は頻繁な調整が求められることを示したが、これには保護者の理解も必要であろう。眼鏡技術者は各種のレンズをレンズにマーキングされる印やレンズメータによる度数分布である程度の判別を行い、アイポイントを確認しながら使用目的に合致する調整を行う。薬局から調剤された薬も正しく服用して初めて効果が出るという。眼鏡は3～6ヵ月に一度は眼鏡技術者による調整を行うことが、眼鏡を快適に使っていくための必須条件ではないかと思う。

原 著

## 前房深度測定の比較

酒井幸弘\*, 宇陀恵子\*, 内藤尚久\*, 市川一夫\*\*, 前田征宏\*\*, 中村英樹\*\*, 玉置明野\*\*  
中京眼科\*, 社会保険中京病院眼科\*\*

## Comparison of Anterior Chamber Depth Measurements

Yukihiro Sakai\*, Keiko Uda\*, Naohisa Naito\*, Kazuo Ichikawa\*\*, Masahiro Maeda\*\*,  
Hideki Nakamura\*\* and Akeno Tamaoki\*\*

\*Chukyo Eye Clinic, \*\*Department of Ophthalmology, Social Insurance Chukyo Hospital

目的：近年登場した非接触型の前眼部測定装置 ACMaster™ (Carl Zeiss) を用いて、正常眼での前房深度の測定精度について検討した。

対象と方法：屈折異常以外の眼疾患を認めず、ACMaster™ が測定可能であった正常眼10名20眼（平均年齢 30.2±3.5 歳）に対し、ACMaster™、PENTACAM (OCULUS)、Orbscan II z (Bausch&Lomb)、超音波 AL-2000 (TOMEY) の4種類の異なる測定原理の機器を用い、2 検者にて各眼をそれぞれの機器で10回ずつ測定し、前房深度について、検者間の差および ACMaster™ と他の機器の比較をした。

結果：検者間の測定値の差は、ACMaster™ は 0.02 mm、PENTACAM は 0.03 mm、Orbscan II z は 0.02 mm、AL-2000 が 0.06 mm であり、AL-2000 が最も検者間に差が大きく、有意差を認めた。標準偏差からみた測定値のばらつきは、2 検者ともに ACMaster™ が最も小さく、AL-2000 が最も大きな値を示した。また ACMaster™ の測定値は、他の機器の測定値といずれも高い相関を示した。

結論：ACMaster™ は検者によるばらつきも少なく、日本人の正常眼において高い再現性を示すことが証明され、前房深度を含めた前眼部の生体計測において有用であると考えられた。(視覚の科学 26: 98-101, 2005)

キーワード：ACMaster™, 前房深度, 測定精度

Objective: We studied anterior chamber depth measurement accuracy using a newly available non-contact anterior chamber depth measuring device. The subjects examined had phakic eyes with no ocular diseases.

Subjects and Methods: Twenty phakic eyes of 10 patients who had no ocular diseases other than refractive defects, were examined using four measuring devices of different principles: ACMaster™ (Carl Zeiss), PENTACAM (OCULUS), Orbscan II z (Bausch&Lomb), and ultrasound AL-2000 (TOMEY). Each eye was examined as to anterior chamber depth 10 times with four measuring devices by two examiners, and the test results were compared between ACMaster™ and others, and between examiners.

Results: The differences between the test results of the two examiners were 0.02mm with ACMaster™, 0.03mm with PENTACAM, 0.02mm with Orbscan II z, and 0.06mm with AL-2000. We recognized a significant difference, which was also the biggest difference, in AL-2000 use by the two examiners. Both examiners reported that standard deviation dispersion showed the smallest value with ACMaster™, in contrast to the largest observed value with AL-2000. The observed value of ACMaster™ showed high correlation with the measured values of other measuring devices.

Conclusion: The results was prove that ACMaster™ gives quality reproducibility with Japanese normal phakic eyes, and that the dispersion of measurement results with ACMaster™ is comparatively small. On the basis of our study, we believe that ACMaster™ is useful for organic measurement of the anterior chamber, including anterior chamber depth.

(Jpn J Vis Sci 26: 98-101, 2005)

Key Words: ACMaster™, Anterior chamber depth, Measurement accuracy

別刷請求先：456-0032 名古屋市熱田区三本松町 12-23 中京眼科 酒井幸弘  
(2005年12月27日受理)

Reprint requests to: Yukihiro Sakai Chukyo Eye Clinic  
12-23 Sanbonmatsu-cho, Atsuta-ku, Nagoya 456-0032, Japan  
(Received and accepted December 27, 2005)

## 1. 緒 言

現在、前房深度を測定する検査機器は光学式や超音波式などがあり、眼内レンズ（以下 IOL）の度数決定や屈折矯正手術後の IOL 挿入、phakic IOL などにおいて前房深度を正しく評価することは重要となっている。

近年、Carl Zeiss から登場した前眼部測定装置 ACMaster™（図 1）を使用する機会を得たので報告する。ACMaster™ とは IOLMaster™（Carl Zeiss）と同様に、光干渉を測定原理として用いている。850 nm の半導体レーザーをビームスプリッターで二つの光に分け、可動反射ミラーで光路差を作り出し光干渉させる（図 2）。内部の固視灯で誘導し、図 3 のように各 Purkinje-Sanson 像を一直線上に合わせ

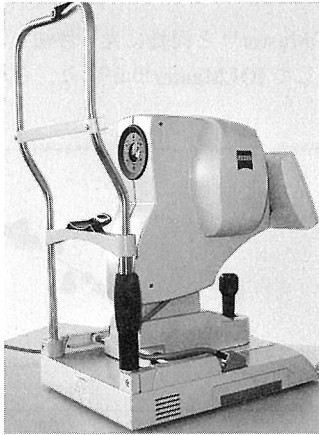


図 1 ACMaster™ の外観

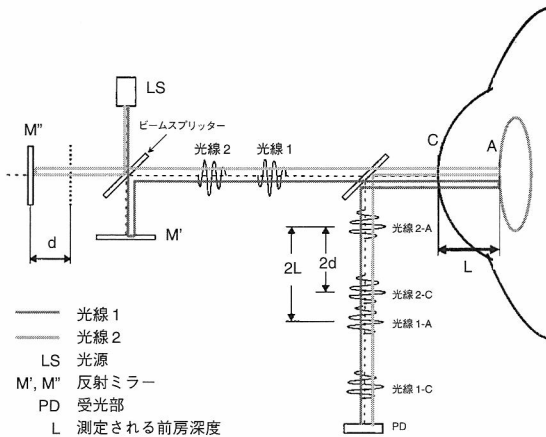


図 2 測定原理

て、眼内にレーザー光を入射する。光軸上で角膜前面・後面、水晶体前面・後面からの各干渉を捉えて、そのピークの距離を測定し、角膜厚、前房深度、水晶体厚を計算する。

すでに ACMaster™ の角膜厚の測定精度については報告があるが、今回は ACMaster™ で測定された前房深度値のみを取り上げて、正常眼での測定精度を検討した。

## 2. 対象および方法

対象は屈折異常以外眼疾患を認めない13例26眼のうち、ACMaster™ が測定可能であった10例20眼とした。

平均年齢は  $30.2 \pm 3.5$  歳（24～35歳）、平均等価球面度数は  $-0.92 \pm 1.43$  D（+0.25～-4.5 D）、平均眼軸長は  $24.57 \pm 1.16$  mm（22.73～26.54 mm）であった。

比較対象として ACMaster™、PENTACAM（OCULUS）、Orbscan II z（Baush&Lomb）、AL-2000（TOMEY）の4種類の異なる測定原理の機器を用いて前房深度を測定した。各機器の比較を表 1 に示す。2名の検者で各眼をそれぞれの機器で10回ずつ測定

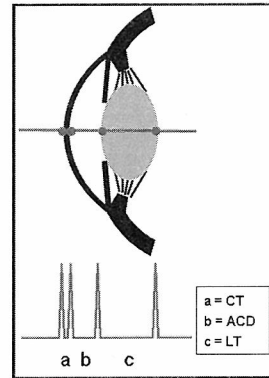


図 3 ACMaster™ の波形

表 1 各機種種の測定原理および特徴

使用機器	測定原理	角膜厚	前房深度	水晶体厚	調節刺激
ACMaster™ (ZEISS)	レーザー干渉	○	○	○	○
PENTACAM (OCULUS)	Scheimpflug	○	○	○※	×
Orbscan II z (Baush&Lomb)	スリットスキャン	○	○	×	×
AL-2000 (TOMEY)	超音波	○	○	○	×

※ PENTACAM での水晶体厚の測定には散瞳が必要



し、今回は前房深度を角膜前面から水晶体前面までとして、それぞれの平均値と標準偏差を算出した。

### 3. 結 果

図4に2検者間の測定値の差を示す。ACMaster™は0.02mm、PENTACAMは0.03mm、Orbscan IIzは0.02mm、AL-2000が0.06mmであり、AL-2000が最も大きく、他の機器との間に有意差を認めた(t検定：p<0.01)。それ以外のACMaster™、PENTACAM、

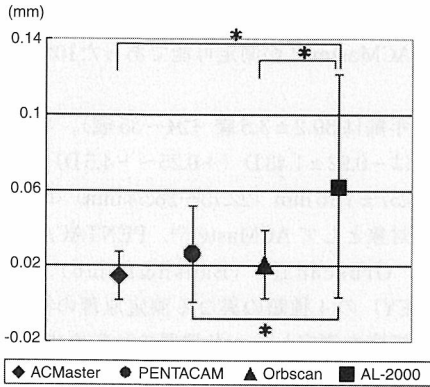


図4 2検者間の測定値の差 (\*t検定 p<0.01)

表2 2検者における各機器の測定結果

	検者 A		検者 B	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
ACMaster™	3.69	0.01	3.67	0.01
PENTACAM	3.65	0.03	3.66	0.03
Orbscan IIz	3.49	0.03	3.50	0.03
AL-2000	3.39	0.05	3.39	0.05

Orbscan IIzには差がなかった。表2に各機器の平均値と標準偏差を検者別に示す。標準偏差はいずれの機器でも検者間の差はないが、2検者ともACMaster™が最も小さく、AL-2000が最も大きくなった。また測定値は、ACMaster™が最も大きく測定され、次いでPENTACAM、Orbscan IIz、AL-2000となった。

図5~7にACMaster™と各機器との測定値の関係を示す。ACMaster™は、今回使用したPENTACAM、Orbscan IIz、AL-2000といずれにおいても強い相関を示したが、相関係数はAL-2000が最も低く、Orbscan IIzが最も高くなった。

今回、ACMaster™を使用するなかで測定不能症例があった。今回対象とした正常眼26眼中6眼(23.08%)が測定できない結果となった。

### 4. 考 察

現在、ACMaster™と同様に光干渉法を原理とした検査機器としてIOLMaster™があり、その高い測定

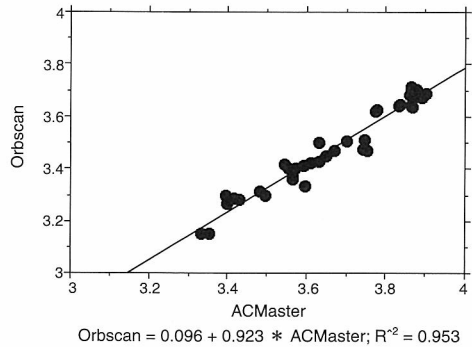


図6 ACMaster™とOrbscan IIz (r=0.976, p<0.0001)

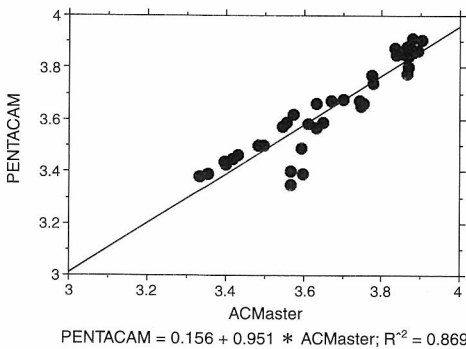


図5 ACMaster™とPENTACAM (r=0.932, p<0.0001)

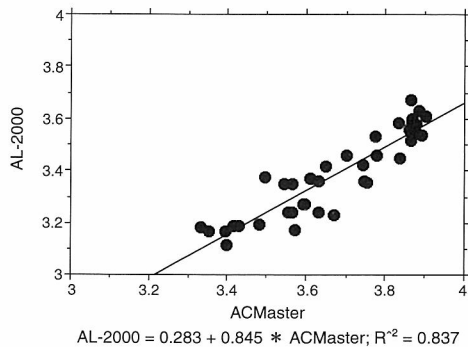


図7 ACMaster™とAL-2000 (r=0.915, p<0.0001)

精度や再現性については報告されている<sup>2, 3)</sup>。今回の結果より、ACMaster™においても検者によるばらつきは少なく、安定した値で高い再現性が得られ、前房深度測定に臨床上有用であると考えられた。

今回対象とした正常眼（20～30歳代）で23.08%の測定不能例があった。この原因として測定中の被験者の固視ずれ、顔の動き、ドライアイなどによる涙液状態の悪化が考えられる。またACMaster™は光軸上にアライメントすることが非常に難しく、検査に習熟することが必要であり、とくに導入直後は今回の2検者とも正常眼であっても値が出ないことが多く、機器の操作やアライメントに慣れていなかったことが挙げられる。

ACMaster™とPENTACAMは前房深度測定において差はないと考えられたが、ACMaster™の利点として、モードを変更することでIOL挿入眼やphakicIOLの位置も捉えることができること、また内部固視灯を被験者の屈折値に合わせて0.25D stepで±5.0Dま

で前後させることができ、その機能を用いて調節刺激での前房深度や水晶体厚の変化を測定できることが挙げられる。また1μmまで表示分解能がある点でも有利と考えられる。

光干渉法による前房深度測定は、日本人の正常眼において高い再現性を示すことが証明され、前房深度を含めた前眼部の生体計測において有用であると考えられた。

## 文 献

- 1) Rainer G, Findl O et al: Central corneal thickness measurements with partial coherence interferometry, ultrasound, and the Orbscan System. *Ophthalmology* 111: 875-879, 2004.
- 2) 嶺井利沙子, 魚里 博他: レーザー干渉による非接触眼軸長測定の検討. *あたらしい眼科* 19: 121-124, 2002.
- 3) 嶺井利沙子, 魚里 博他: New Instrument IOLMaster™. *眼科手術* 15: 49-51, 2002.

原 著

## 人眼の波面収差を考慮した Point Spread Function の再現のための新しい位相回復アルゴリズム

飯田幸雄<sup>1)</sup>, 大沼一彦<sup>2)</sup>, 三宅洋一<sup>3)</sup>, 野田 徹<sup>4)</sup>, 渋谷雅博<sup>5)</sup>, 小林克彦<sup>5)</sup>

<sup>1)</sup>千葉大学自然科学研究科, <sup>2)</sup>千葉大学工学部, <sup>3)</sup>千葉大学フロンティアメディカル工学研究センター,

<sup>4)</sup>国立病院機構東京医療センター, <sup>5)</sup>トプコン研究所

## New Phase-Retrieval Algorithm for Reconstructing Point Spread Function of Assumed Wave-Front Aberration of the Human Eye

Yukio Iida<sup>1)</sup>, Kazuhiko Ohnuma<sup>2)</sup>, Yoichi Miyake<sup>3)</sup>, Toru Noda<sup>4)</sup>,  
Masahiro Shibutani<sup>5)</sup> and Katsuhiko Kobayashi<sup>5)</sup>

<sup>1)</sup>Graduate School of Science and Technology, Chiba University, <sup>2)</sup>Faculty of Engineering,

Chiba University, <sup>3)</sup>Faculty of Research Center for Medical Engineering Chiba University,

<sup>4)</sup>National Hospital Organization Tokyo Medical Center, <sup>5)</sup>Topcon R&D Center

Double-pass 方式により, 人間の眼球光学系の single-pass PSF (point spread function: 点像強度分布) を得るためには, 中高空間周波数の位相を回復することが必要になり, 以前我々は 1 次元の位相回復アルゴリズムを開発した。これは, 低空間周波数の OTF (optical transfer function: 光学伝達関数) の実部・虚部の値から中高空間周波数の実部・虚部の値をそれぞれ逐次外挿した後, 位相を回復する方法である。本研究では, これを 2 次元で PSF が求められるように位相回復アルゴリズムを拡張し, 人眼で想定される波面収差の範囲での約 30,000 例の計算機シミュレーションを行った。位相回復前の PSF とオリジナル PSF との正規化平均二乗誤差 1.231 が位相回復後は 0.63 に減少し, 本手法の有用性が示唆された。

(視覚の科学 26: 102-109, 2005)

キーワード: Double-pass point spread function, 位相回復アルゴリズム, 眼球光学系, Optical transfer function, 2次元シミュレーション

The phase recovery of middle to high spatial frequencies is needed for obtaining single-pass point spread functions (PSFs) of the human eye, using the double-pass method. We developed a one-dimensional phase retrieval algorithm in a former study. In that algorithm, the values of the real and imaginary portions of the optical transfer function (OTF) from middle to high spatial frequencies were extrapolated serially from the value of the low spatial frequencies. In this study, we extended the algorithm to two dimensions to calculate two-dimensional PSF. The extended algorithm was tested by using about 30,000 types of wave aberrations assumed to occur in the human eye. The mean square error between the PSFs without phase recovery and the original PSFs was 1.231, and it decreased 0.631 after phase recovery. The usefulness of the algorithm is indicated by this simulation result.

(Jpn J Vis Sci 26: 102-109, 2005)

Key Words: Double-pass point spread function, Phase-retrieval algorithm, Eyes optical system, Optical transfer function, Two-dimensional simulation

別刷請求先: 263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33 千葉大学工学部 大沼一彦  
(2006年2月9日受理)

Reprint requests to: Kazuhiko Ohnuma Faculty of Engineering, Chiba Univ  
1-33, Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba 263-8522, Japan

(Received and accepted February 9, 2006)

## 1. 緒 言

近年、眼内レンズ挿入術やレーザーを用いた屈折矯正手術が増加している。しかし、術後に視力が改善されたときでも、術前よりコントラストが低下しているなどといった不平を訴える患者がいる。視力やコントラスト感度のような視機能は、眼の PSF (point spread function: 点像強度分布) や MTF (modulation transfer function: 周波数伝達特性) を用いることによって客観的に知ることができ、それらを知ることで臨床眼科医は患者の眼球光学系を把握することができる。

眼球光学系を1回通過する single-pass PSF は、光線が眼球光学系を往復する double-pass 方式で測定される double-pass PSF から算出される<sup>1-7)</sup>。

この double-pass 方式には、1) 入射・射出とも同じ瞳径で測定する symmetric double-pass (以下 S-DP) 方式、2) 入射・射出を異なる瞳径で測定する asymmetric double-pass (以下 AS-DP) 方式がある<sup>3-5)</sup>。このとき、S-DP 方式の瞳径および AS-DP 方式の射出瞳径を“大瞳径”、AS-DP 方式の入射瞳径を“小瞳径”と呼ぶことにする。

S-DP 方式では網膜の PSF の自己相関、すなわち MTF (single-pass MTF) を求めることができる<sup>3)</sup>。また AS-DP 方式では、入射瞳径を回折限界以下に制限した場合、入射瞳径のカットオフ周波数内 (以下低周波数域) に制限された位相、すなわち部分的な single-pass PTF (phase transfer function: 位相伝達関数) を求めることができる<sup>4, 5)</sup>。ここで、完全な位相を得ることができれば、MTF と位相から single-pass PSF を求めることができる。

今までの位相回復のアルゴリズムは Fineup と Kowalczyk のフーリエ反復法に基づいている<sup>8, 9)</sup>。その方法は、はじめに中～高空間周波数 (以下 中高周波数域) の位相にランダムな値を代入し、MTF と低周波数域の位相はそのままの正しい値を用いて計算をはじめ。そして、PSF は負の値をもたないという定義に基づき、空間領域と空間周波数領域で交互に計算を行う。この方法では、MTF 値が小さい場合に位相を得ることが困難であり、Iglesias らがこの問題を解決することができる新しい方法を提案した<sup>7)</sup>。

しかし、改良した方法でも高周波数域が小さい MTF 値ではうまく位相を回復できないことがある。

またフーリエ変換を多く繰り返し、その結果計算に時間がかかる。

そこで我々は、フーリエ反復を用いない新たなアルゴリズムを開発した<sup>10)</sup>。それは、1次元のコンピュータシミュレーションを通して得た特性“OTF 実部・虚部は波のように連続的に変化する”と、“実部の2乗と虚部の2乗の和は MTF の2乗に等しい”という定義を用いて位相を回復する方法である。ここで述べる2次元の基礎となるものなので、appendix に詳細を述べる。この手法は、逐次外挿により OTF 実部・虚部を推定し、位相を算出するもので、位相全体を操作するフーリエ反復法とは異なり、フーリエ変換処理は最後に PSF を計算するときのみ用いるため、処理時間の高速化が望める。また、逐次処理のため高周波数域でうまく位相を回復できなくても、中周波数域では正しい位相を再現することができ、この点もすべての空間周波数域で操作するフーリエ反復法とは異なる。

本研究では、この1次元のアルゴリズムを2次元の処理に拡張した。この手法を用いて2次元での PSF 再現を試みる。また、計算機シミュレーションを通して、人眼で想定される波面収差の範囲で、提案アルゴリズムの有効性を検討したので報告する。

## 2. 方 法

### 1) 位相回復アルゴリズム

はじめに、S-DP 方式による MTF と AS-DP 方式による低周波数域の位相から、OTF 実部・虚部を算出する。

次に、2次元データである OTF 実部・虚部において、0 空間周波数を通る直線上のデータを抽出する

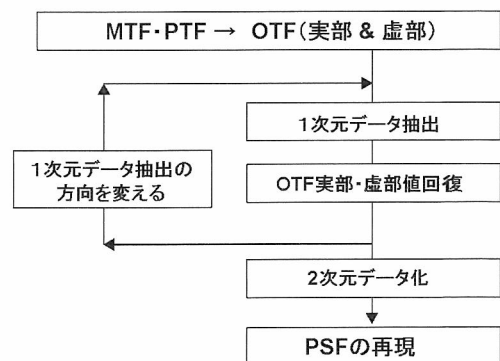


図1 提案アルゴリズムのフローチャート

（“1次元データ抽出”）。そのデータに対して、1次元アルゴリズムにて、中高周波数域の OTF 実部・虚部の値を推定・修正し、一時記憶する（“OTF 実部・虚部値回復”）。この記憶したデータから、OTF 実部・虚部をそれぞれ2次元データに戻す（“2次元化”）。

最後に OTF 実部・虚部から位相を算出し、最終的に MTF と位相から PSF を再現する。

この一連の流れは図1に示す。以下に、“1次元データ抽出”，“OTF 実部・虚部値回復”，“2次元化”について、簡潔に述べる。

なお、 $p, q$  を空間周波数変数とし、double-pass PSF より算出された single-pass MTF を  $MTF(p, q)$ 、single-pass MTF と single-pass PTF から算出した OTF の実部・虚部を  $OTF_{re}(p, q)$ 、 $OTF_{im}(p, q)$  とする。ただし、OTF の実部・虚部は、小瞳径のカットオフ周波数より低い空間周波数においてのみ値をもつ。

(1) 1次元データ抽出

図2のように、2次元のデータから抽出した1次

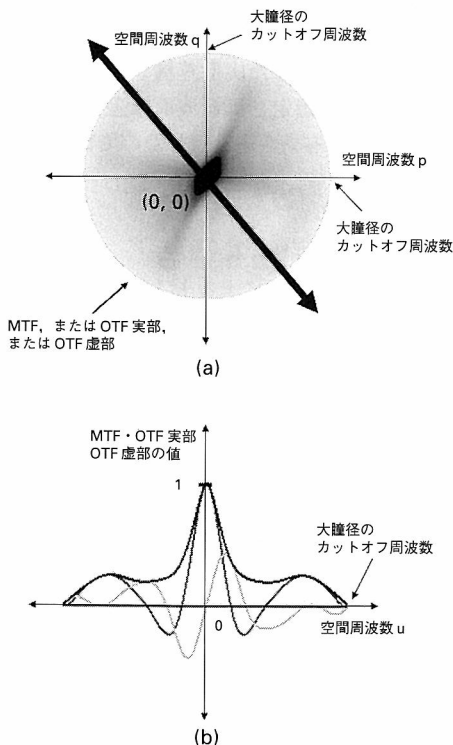


図2 1次元データ MTF・OTF (実部・虚部)  
 (a) 2次元データ (MTF, OTF 実部・虚部) から太矢印の線上の1次元データを抽出  
 (b) 太矢印の線上の1次元 MTF・OTF (実部・虚部) 黒色: MTF, 濃いグレー: OTF 実部, 薄いグレー: OTF 虚部

元の OTF の実部は偶関数で、虚部は奇関数である。このことから、すべての角度に対して再現する必要はなく、図3のように半分の領域にて処理すればよいことがわかる。特別な場合として、PSF が対称形であるとき、虚部の値はすべて0となるため、MTF の大きさは OTF 実部の大きさとなり、中高周波数域の位相を回復する必要はない。

そこで、その領域に関して角度ごとに、2次元データ  $MTF(p, q)$ 、 $OTF_{re}(p, q)$ 、 $OTF_{im}(p, q)$  から、 $u$  を1次元の空間周波数変数、 $\theta$  をその角度としたとき、1次元の直線データ  $MTF(u)_\theta$ 、 $R_1(u)_\theta$ 、 $I_1(u)_\theta$  を抽出する。このとき、 $u, \theta$  と  $p, q$  は次の関係になる。

$$u = \sqrt{p^2 + q^2} \dots\dots\dots(1)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{q}{p} \dots\dots\dots(2)$$

なお、 $R_1(u)_\theta$ 、 $I_1(u)_\theta$  は小瞳径のカットオフ周波数までしか値をもたない (中高周波数域のデータは0)。また、角度ごとの抽出のため  $(u)_\theta$  と角度情報も記憶する。

(2) OTF 実部・虚部値回復

中高周波数域の OTF 実部・虚部の値は、 $MTF(u)_\theta$ 、 $R_1(u)_\theta$ 、 $I_1(u)_\theta$  から、appendixに示す1次元アルゴリズムにて求める。求めた OTF 実部・虚部の1次元データは、それぞれ別々に記憶する。

(3) 2次元化

“OTF 実部・虚部値回復”にて、OTF 実部と虚部の値は角度ごとに記憶されている。そのデータ配列を元に、2次元 OTF 実部・虚部に戻す。このときの  $u, \theta$  と  $p, q$  の関係も式 (1) (2) にて示すとおりである。

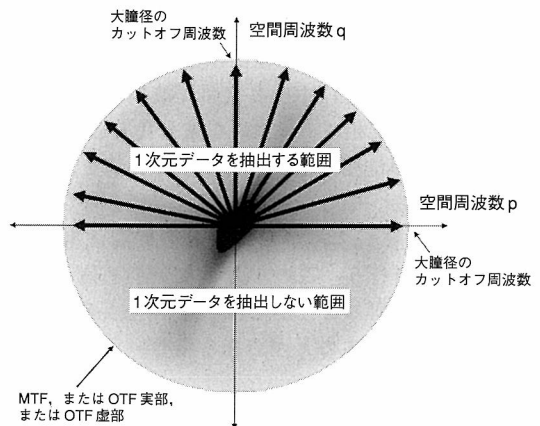


図3 1次元データを抽出する範囲

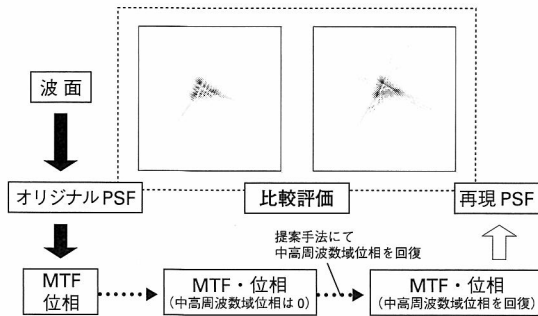


図4 シミュレーションと再現 PSF の評価

なお，“1次元データ抽出”で抽出しなかった領域は、OTFの実部は偶関数、虚部は奇関数である特徴を用いて値を入力する。

2) シミュレーションによる評価方法

まず、人眼の収差を想定した波面を用意してオリジナル PSF を計算する。次に、そのオリジナル PSF をフーリエ変換し、MTF と位相を求める。そして、位相の中高周波数域の値を0にし、そのMTFと部分的な位相のデータから、提案手法を用いて中高周波数域の位相回復を行い、PSFを再現する。最終的に、中高周波数域を回復して再現したPSFとオリジナルのPSFを比較し、本手法の有効性を確認する。

この一連の処理の流れを図4に示す。

人眼の収差を想定した波面からの2次元オリジナル PSF は次の式によって計算できる。

$$F(u, v) = \iint e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}w(x, y)} e^{-j2\pi(ux+vy)} dx dy \dots\dots\dots(3)$$

$$PSF(x, y) = F(u, v) \times F^*(u, v) \dots\dots\dots(4)$$

$w(x, y)$  は、ゼルニケ多項式によってあらわされる波面、 $\lambda$  は光の波長である。この PSF をオリジナル PSF ( $PSF_{ori}(x, y)$ ) とする。

次に、次式で PSF をフーリエ変換し、MTF と位相 (PTF) を求める。

$$\begin{aligned} OTF(u, v) &= \iint PSF(x, y) e^{-j2\pi(ux+vy)} dx dy \\ &= MTF(u, v) e^{-jPTF(u, v)} \\ &= OTF_{re}(u, v) + jOTF_{im}(u, v) \dots\dots\dots(5) \end{aligned}$$

$$MTF(u, v) = \sqrt{OTF_{re}^2(u, v) + OTF_{im}^2(u, v)} \dots\dots\dots(6)$$

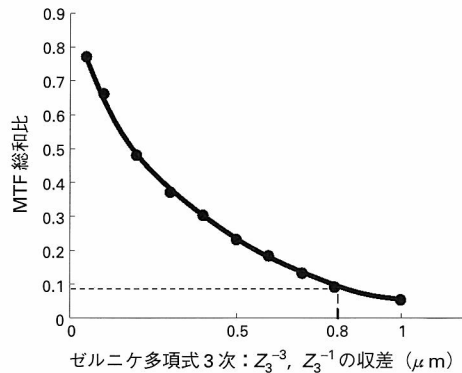


図5 3次ゼルニケ多項式の収差量とMTFの総和比の関係

$$PTF(u, v) = \tan^{-1} \frac{OTF_{im}(u, v)}{OTF_{re}(u, v)} \dots\dots\dots(7)$$

次に、低周波数域までの位相の値はそのまま保ち、それ以上の空間周波数の値は0とする。今回、波長は820nmを想定し、小瞳径は1.5mm(カットオフ周波数:26 cycle/deg)、大瞳径は6.0mm(カットオフ周波数:104 cycle/deg)とした。そのMTFと位相から、提案手法を用いて、中高周波数域で位相を回復しPSFを再現する。

再現したPSF ( $PSF_{rec}(x, y)$ ) は、オリジナルのPSFを用いて、次式で正規化平均二乗誤差(以下、平均誤差率)ERを計算し、評価する。

$$ER = \sqrt{\frac{\sum_y \sum_x |PSF_{ori}(x, y) - PSF_{rec}(x, y)|^2}{\sum_y \sum_x PSF_{ori}^2(x, y)}} \dots\dots\dots(8)$$

これは、文献<sup>7)</sup>の式(10)を用いており、オリジナルPSFと再現したPSFの誤差が大きいほどERは大きく、オリジナルPSFと再現したPSFが一致する場合にERは0となる。なお、位相回復をせずに算出したPSFも同時にERを計算する。このERで位相回復の程度を確認できる。

また、人眼を想定した波面収差により計算したPSFは、中高周波数域でのMTFの値が小さいときは、中高周波数域の位相回復が再現したPSFに大きな影響を与えないと考えられる。図5はシミュレーションにてゼルニケ多項式の3次項( $Z_3^{-3}, Z_3^{-1}$ )の収差量を変化させたときの、図6における低周波数域のMTFの総和と全体のMTFの総和の比を求めたグラ

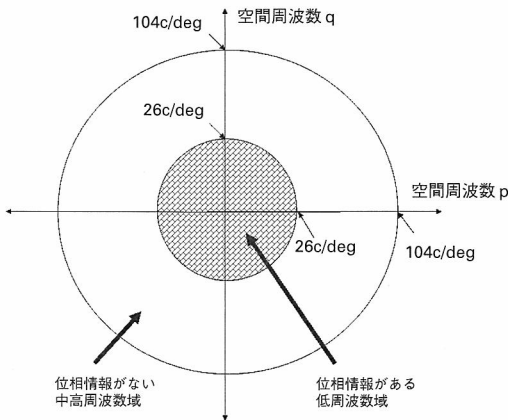


図6 S-DP方式とAS-DP方式によって得られるMTFおよび位相の空間周波数範囲  
波長820nmにおいて、位相情報のある低周波数域の最も高い空間周波数は小瞳径1.5mmのカットオフ周波数26cycle/deg、全体の最大空間周波数は大瞳径6.0mmのカットオフ周波数104cycle/degである。

フであり、横軸が収差量、縦軸は比をあらわす。ここで、位相情報のある低周波数域のMTFの総和が全体のMTFの総和に対して0.1以下では、中高周波数域の位相を回復しないで計算したPSFのERとオリジナルのPSFのERとの差が小さいことにより除くこととする。なお、ゼルニケ多項式の項を変えると少し違いはあるが、同じような結果になる。

そこで、式(10)において、PSFを計算するゼルニケ多項式の収差量を0.0~0.8 $\mu\text{m}$ の間で、0.05 $\mu\text{m}$ 間隔で変化させる。このとき、4次までのゼルニケ多項式の項(波面収差の種類)とその収差量の組み合わせを変えることで、約30,000例のシミュレーションからERの平均を求め評価する。なお、波面収差は、アメリカンスタンダード<sup>10)</sup>に沿って正規化した値である。

### 3. 結 果

提案したアルゴリズムによって得られた二つの例を図7, 8に示す。

図7のオリジナルPSFは、ゼルニケ多項式の収差量が $Z_2^0:0.1$   $Z_3^1:0.05$   $Z_3^3:0.1$   $Z_4^0:0.1$  他:0(単位: $\mu\text{m}$ )の波面によって得た。提案手法で中高周波数域の位相を回復した後のERは0.30で、PSFをよく再現できていると考えられる。なお、位相回復前のERは1.659であった。

図8のオリジナルPSFは、ゼルニケ多項式の収差量が $Z_2^0:0.5$   $Z_3^{-3}:0.2$   $Z_3^{-3}:0.3$   $Z_3^1:0.5$   $Z_3^3:0.3$   $Z_4^0:0.3$  他:0(単位: $\mu\text{m}$ )の波面によって得た。ERは0.56で、中高周波数域の位相を回復する前のERは1.04であり、中高周波数域の位相を回復する前に比べて改善されていることがわかる。

2次元の結果をまとめたものを表1に示す。表1は提案した方法の有効性を示す。中高周波数域の位相を回復する前のPSFとオリジナルPSFとの平均誤差率1.231が、位相回復後は0.63に減少し、提案手法は有用であることがわかる。

位相回復の処理時間は、OS:Win-XP, CPU: pentium M 1.2GHz ノートパソコンで、約0.8秒、PSF再現まで行くと約1.0秒であった。また、フーリエ反復位相回復方法は、同条件下において300回繰り返し処理で約3分であった。

### 4. 考察と結論

我々はOTF実部・虚部の特性を用いて新しい位相回復アルゴリズムを提案した。

提案手法の2次元でのシミュレーションの評価結果より、中高周波数域の位相の回復前より回復後の平均誤差率が低いことで有効性を確かめられた。

また、高周波数域での位相再現がうまくいかない例があった。提案手法では、位相を回復する中高周波数域の範囲で、より低い周波数で正しいOTF実部・虚部の値と推定した値との誤差が小さい場合でも、この誤差がより高い空間周波数の推定を行うほど誤差が累積されて、大きくなってしまいうためと考えられる。

しかし、高周波数域でのMTFの値が小さく位相の回復がうまくいかなかったとしても、中周波数域の位相回復が正しく行われ、PSFをよく再現できることがわかった。

また、平均誤差率の値がその平均に対して非常に高い結果もみられた。これは、提案手法はOTFが波のように変化しない場合に関して不適當であり、2次元処理の場合は方向によって波のように変化する場合とそうでない場合があり、波のように変化しない場合が多かったためと考えられる。更にMTFとOTFの詳細な変化の特徴を調べ、その特徴を用いれば改善できると思われる。

Iglesiasら<sup>7)</sup>による報告では、3例しか述べられていないが、平均誤差率は約0.4~0.5であった。今回の提案手法の結果はそれよりも高いが、ゼルニケ多項

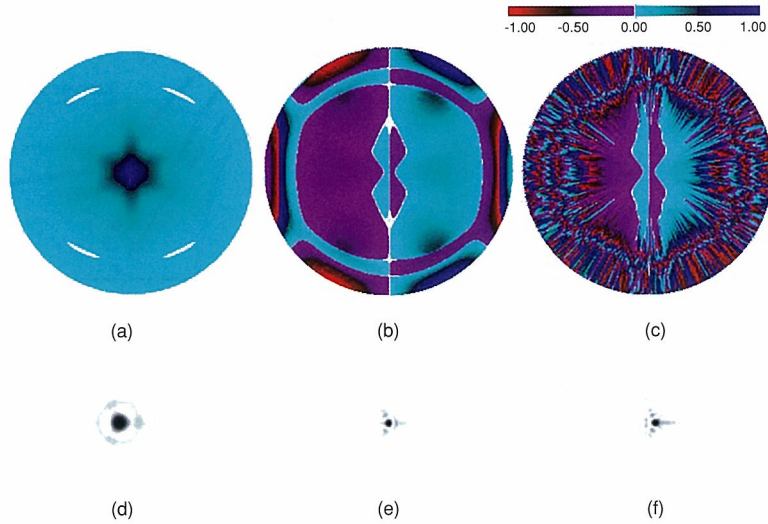


図7 位相回復の結果

ゼルニケ多項式の収差量  $Z_2^0:0.1$   $Z_3^1:0.05$   $Z_3^3:0.1$   $Z_4^0:0.1$  他:0 (単位:  $\mu\text{m}$ )  
 (a): オリジナル PSF から算出した MTF (b): オリジナル PSF から算出した位相 (c): オリジナル PSF から算出した位相の中高周波数域の値を 0 とし、提案手法を用いて再現した位相 (d): 中高周波数域の位相の値を 0 とし、低周波数域の位相と MTF から再現した PSF (e): オリジナル PSF (f): 提案手法を用いて中高周波数域の位相を回復し、再現した PSF (右上は MTF と位相のスケールを示す。位相は、 $\pi$  で割って  $-1\sim 1$  の範囲にある)

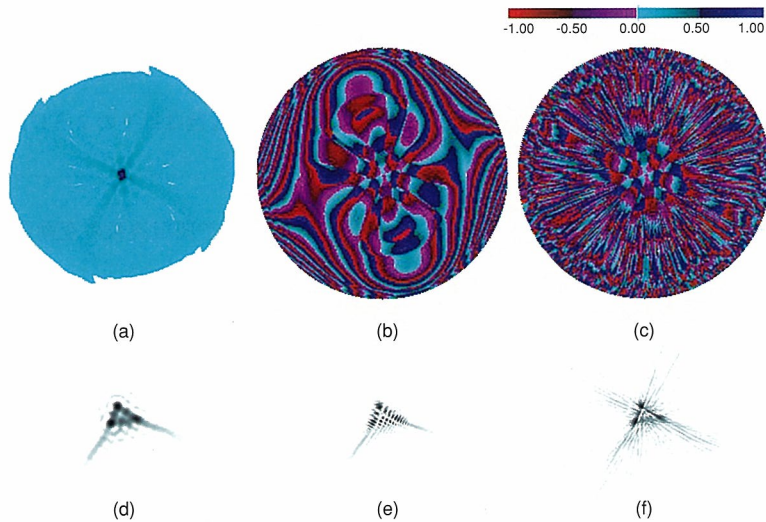


図8 位相回復の結果

ゼルニケ多項式の収差量  $Z_2^0:0.5$   $Z_3^{-3}:0.2$   $Z_3^{-1}:0.3$   $Z_3^1:0.5$   $Z_3^3:0.3$   $Z_4^0:0.3$  他:0 (単位:  $\mu\text{m}$ )  
 (a): オリジナル PSF から算出した MTF (b): オリジナル PSF から算出した位相 (c): オリジナル PSF から算出した位相の中高周波数域の値を 0 とし、提案手法を用いて再現した位相 (d): 中高周波数域の位相の値を 0 とし、低周波数域の位相と MTF から再現した PSF (e): オリジナル PSF (f): 提案手法を用いて中高周波数域の位相を回復し、再現した PSF (右上は MTF と位相のスケールを示す。位相は、 $\pi$  で割って  $-1\sim 1$  の範囲にある)



表1 シミュレーション結果

	平均誤差率 ER	
	回復なし PSF	回復あり PSF
Mean	1.231	0.63
SD	0.279	0.121
Max	2.437	0.982
Min	0.55	0.230

「回復なし PSF」(位相回復)：低周波数域に限定された MTF・位相から再現した PSF  
 「回復あり PSF」：提案した位相回復アルゴリズムを使い中高周波数域を回復し、再現した PSF

式の項および収差量を変化させた約 30,000 例における平均であり、本手法は実用できるものと考えられる。更に MTF と OTF の詳細な変化の特徴や誤差の伝播特性を考慮すれば、平均誤差率は低くなると思われる。

処理時間は OS: Win-XP, CPU: pentium M 1.2 GHz ノートパソコンで約 0.8 秒, PSF 再現まで行うと約 1.0 秒であった。同条件下においてフーリエ反復法の処理時間は 300 回繰り返し処理で約 3 分であり、処理時間の点でも有用であると思われる。なお、これは 300 回程度繰り返しで位相が回復できたと仮定した場合であり、これより少ない繰り返し回数で位相を回復できる場合やこれ以上繰り返しても位相を回復できない場合もある。

今後は、実際に測定した人間の目のデータに応用する予定である。

Appendix 1 次元アルゴリズム

“OTF 実部・虚部は波のように連続的な変化をする”という特性を使って、低い空間周波数における OTF 実部・虚部の値から、それより空間周波数の高い OTF 実部・虚部の値を、別々に推定する (“a. OTF 実部・虚部の値の推定”)。

その推定した OTF 実部・虚部の値は、“MTF の 2 乗は、OTF の実部の 2 乗と虚部の 2 乗の和に等しい”という定義を満たすように修正する (“b. OTF 実部・虚部の値の修正”)。なお、ここでいう MTF は、S-DP 方式から求められる MTF である。

これらのプロセスは、小瞳孔のカットオフ周波数から大瞳孔のカットオフ周波数まで、空間周波数ごとに逐次的に繰り返す。

この概略図を図 A-1 に示す。

次に、“a. OTF 実部・虚部の値の推定”, “b. OTF

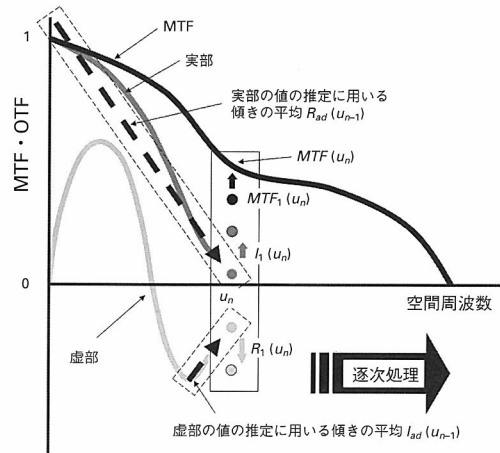


図 A-1 1次元アルゴリズム概略図

⋯⋯⋯: “OTF 実部・虚部の値の推定” 処理  
 □: “OTF 実部・虚部の値の修正” 処理  
 太い矢印に示すように、逐次的に OTF 実部・虚部の中高周波成分の推定を行う。

実部・虚部の値の修正”について述べる。

a. OTF 実部・虚部の値の推定

OTF 実部・虚部値は空間周波数 0~ $u_{n-1}$  間の値を使って別々に推定する。

実部の値  $R_1(u_n)$  は次のように推定できる。

$$R_1(u_n) = R_1(u_{n-1}) + R_{ad}(u_{n-1}) \dots\dots\dots (A.1)$$

今回、空間周波数は以下のように離散値で定義する。

$$u_n = ndu \dots\dots\dots (A.2)$$

ここで、 $du$  は空間周波数の変動量、そして  $n$  は整数である ( $= 0, 1, 2, \dots$ )。

また、 $R_{ad}(u_{n-1})$  は次のように定義する。

$$R_{ad}(u_{n-1}) = \frac{\sum_{k=t}^{n-1} < R_1(u_k) - R_1(u_{k-1}) >}{n-t} \dots\dots\dots (A.3)$$

このとき、隣接する二つの値の平均差を使う。また、 $k$  は実部の値が単調に増加するか、あるいは減少する領域になるように選択し、 $u_t$  は連続的に変化する領域のなかで最も低い空間周波数の値である。

また、虚部の値  $I_1(u_n)$  は OTF 実部と同様な方法で推定する。

b. OTF 実部・虚部の値の修正

推定した OTF 実部  $R_1(u_n)$ , 虚部  $I_1(u_n)$  から求めた

MTF を  $MTF_1(u_n)$ , S-DP 方式から求められる MTF を  $MTF(u_n)$  とすると, OTF 実部・虚部の真の値とは次のような関係がある。

$$\begin{aligned} & MTF^2(u_n) - MTF_1^2(u_n) \\ &= \langle (\text{OTF 実部の真値})^2 - R_1^2(u_n) \rangle + \langle (\text{OTF 虚部の真値})^2 - I_1^2(u_n) \rangle \\ &= \langle \text{OTF 実部の差} \rangle + \langle \text{OTF 虚部の差} \rangle \quad \dots\dots\dots (A.4) \end{aligned}$$

この関係を用いて,  $MTF(u_n)$  と  $MTF_1(u_n)$  の差を, OTF 実部の成分, OTF 虚部の成分に分配することで, 以下に述べるような処理を通して  $R_1(u_n)$  と  $I_1(u_n)$  が, 更に OTF 実部と虚部の真値に近くなるよう修正する。

$MTF_1(u_n)$  は推定した  $R_1(u_n)$  と  $I_1(u_n)$  を用いて, 以下のように求める。

$$MTF_1^2(u_n) = R_1^2(u_n) + I_1^2(u_n) \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

ここで,  $MTF_1(u_n)$  と,  $MTF(u_n)$  の差  $DMTF(u_n)$  を, 以下の式で定義する。

$$DMTF(u_n) = MTF^2(u_n) - MTF_1^2(u_n) \quad \dots\dots\dots (A.6)$$

この差を次式によって, OTF 実部・虚部のそれぞれの差  $DR(u_n)$ ,  $DI(u_n)$  に分配する。

$$DR(u_n) = DMTF(u_n) \times \text{ratio}R(u_n) \quad \dots\dots\dots (A.7)$$

$$DI(u_n) = DMTF(u_n) \times \text{ratio}I(u_n) \quad \dots\dots\dots (A.8)$$

ここで,  $\text{ratio}R(u_n)$  と  $\text{ratio}I(u_n)$  は, それぞれ OTF の実部と虚部に分配するための比率で, 次のように定義する。

$$\text{ratio}R(u_n) = \frac{R_1^2(u_n)}{R_1^2(u_n) + I_1^2(u_n)} \quad \dots\dots\dots (A.9)$$

$$\text{ratio}I(u_n) = \frac{I_1^2(u_n)}{R_1^2(u_n) + I_1^2(u_n)} \quad \dots\dots\dots (A.10)$$

これは値の大きさに従って分配比を決定することがもっとも有効であるという考えに基づいている。

最終的に, OTF 実部・虚部の値は次のように修正する。

$$R_1(u_n) = k \sqrt{R_1^2(u_n) + DR(u_n)} \quad \dots\dots\dots (A.11)$$

$$I_1(u_n) = k \sqrt{I_1^2(u_n) + DI(u_n)} \quad \dots\dots\dots (A.12)$$

ここで,  $k$  は次のように定義する。

$$k = \begin{cases} +1 & \text{if } R_1(u_n) \text{ or } I_1(u_n) > 0 \\ 0 & \text{if } R_1(u_n) \text{ or } I_1(u_n) = 0 \\ -1 & \text{if } R_1(u_n) \text{ or } I_1(u_n) < 0 \end{cases} \quad \dots\dots\dots (A.13)$$

$k$  の値は, 推定した OTF 実部もしくは虚部の値が, 正の値か負の値かによって決定する。

文 献

- 1) Artal P & Navarro R: Monochromatic modulation transfer function of the human eye for different pupil diameters: An analytical expression. J Opt Soc Am A 11: 246-249, 1994.
- 2) Artal P: Advances in double-pass measurements of the retinal image quality. Optics and Photonics News 20: 36, 1995.
- 3) Artal P, Marcos S et al: Odd aberrations and double-pass measurements of retinal image quality. J Opt Soc Am A 12: 195-201, 1995.
- 4) Artal P, Iglesias I et al: Double-pass measurements of the retinal-image quality with unequal entrance and exit pupil sizes and the reversibility of the eye's optical system. J Opt Soc Am A 12: 2358-2366, 1995.
- 5) Navarro P & Losada MA: Phase transfer and point-spread function of the human eye determined by a new asymmetric double-pass method. J Opt Soc Am A 12: 2385-2392, 1995.
- 6) Losada MA & Navarro R: Point spread function of the human eye obtained by a dual double-pass method. Pure Appl Opt 7: L7-L13, 1998.
- 7) Iglesias I, López-Gil N & Artal P: Reconstruction of the point-spread function of the human eye from two double-pass retinal images by phase-retrieval algorithms. J Opt Soc Am A 15: 326-339, 1998.
- 8) Fineup JR: Phase retrieval algorithms: A comparison. Appl Opt 21: 2758-2769, 1982.
- 9) Fineup JR & Kowalczyk AM: Phase retrieval for a complex-valued object by using a low-resolution image. J Opt Soc Am A 7: 450-458, 1990.
- 10) Thibos LN, Aookegate RA et al: Standards for reporting the optical aberration of eyes. In: MacRae SM, Krueger RR & Applegate RA eds, Customized Corneal Ablation: The Quest for Super Vision, 348-369, Slack Inc., Thorofare, NJ, 2001.
- 11) Iida Y, Ohnuma K et al: Reconstruction of the point-spread function of the human eye using a new phase-retrieval algorithm. Optical Review 13: 87-92, 2006.

原 著

## 調節微動と外斜位の偏位量との関係

中山 奈々美\*, 川守田 拓志\*\*, 魚里 博\*\*\*

\*北里大学大学院医療系研究科視覚情報科学

\*\*北里大学大学院医療系研究科眼科学

\*\*\*北里大学医療衛生学部視覚機能療法学専攻

## Relation between Accommodative Microfluctuations and Exophoria

Nanami Nakayama\*, Takushi Kawamorita\*\* and Hiroshi Uozato\*\*\*

\*Department of Visual Science, Kitasato University Graduate School of Medical Sciences

\*\*Department of Ophthalmology, Kitasato University Graduate School of Medical Sciences

\*\*\*Department of Orthoptics and Visual Science, Kitasato University School of Allied Health Science

調節微動は周波数 1.0~2.3 Hz の高周波成分と 0.6 Hz 未満の低周波成分に分類される。とくに調節微動の高周波成分出現頻度 (high frequency component: HFC) は眼疲労の尺度と考えられている。今回我々は、調節微動と外斜位の偏位量の関係について検討を行った結果、外斜位の偏位量が大きいほど HFC が高値を示した。このことから外斜位の偏位量が大きければ、輻湊性調節が日常的なタスクとして毛様体筋へ負担をかけ、HFC へ影響を及ぼしている可能性が示唆された。 (視覚の科学 26: 110-113, 2005)

キーワード: 調節微動, 外斜位, 高周波成分, 輻湊性調節, 調節反応量

Accommodative microfluctuations are classified into the high frequency component (HFC) of 1.0-2.3Hz and the low frequency component of less than 0.6Hz. HFC is considered to be a standard indicator of visual fatigue. We investigated the relation between HFC and amount of exophoria. HFC in the larger exophoria group was statistically greater than in the orthophoria and smaller exophoria groups. The results suggest that convergence accommodation exerts a strain on the ciliary body muscle in the larger exophoria group. Larger exophoria may therefore influence HFC. (Jpn J Vis Sci 26: 110-113, 2005)

Key Words: Accommodative microfluctuations, Exophoria, High frequency component, Convergence accommodation, Accommodative response

## 1. 緒 言

我々が一点を注視し調節している際、他覚的に眼の屈折値を測定すると調節微動と呼ばれるランダムな揺らぎが観察される。Campbellらがその研究を行っ

て以来<sup>1)</sup>、調節微動に関する報告が数多くなされている<sup>2)</sup>。現在、調節微動は主に周波数 1.0~2.3 Hz の高周波成分と周波数 0.6 Hz 未満の低周波成分とに分類されている。とくに高周波成分は水晶体とその支持組織の振動や毛様体筋の活動状態をあらわし<sup>2, 3)</sup>、調節

別刷請求先: 228-8555 相模原市北里 1-15-1 北里大学医療衛生学部視覚機能療法学専攻 魚里 博  
(2005年11月24日受理)

Reprint requests to: Hiroshi Uozato Department of Orthoptics and Visual Science, Kitasato University School of Allied Health Science

1-15-1 Kitasato, Sagamihara 228-8555, Japan

(Received and accepted November 24, 2005)

方向や調節幅決定およびボケの検出といった調節補助機能があるとされている<sup>9)</sup>。また、低周波成分に関しては調節そのものの運動によって生じると考えられている<sup>9)</sup>。毛様体筋に負荷がかかると調節微動の高周波成分出現頻度 (high frequency component 以下 HFC) が増加すると報告されていることから、この HFC が眼疲労の評価法として注目されるようになった<sup>6-8)</sup>。

近年では眼位異常に伴う眼疲労症状が臨床上しばしば問題になっており、HFC が眼疲労の評価法として捉えられていることから、眼位異常の一種である外斜位も HFC に影響を及ぼす因子ではないかと考えられる。そこで今回我々は、HFC と外斜位の偏位量についての検討を行った。

## 2. 方法

### 1) 被検者

被検者は、遠見矯正視力 1.0 以上を有する屈折異常、外斜位以外に眼疲労症状などの眼科的および全身的疾患のない正常有志者 16 名 32 眼 (年齢  $21.5 \pm 2.7$  歳) であり、性別は男性 5 名、女性 11 名とした。また、2D 以上の乱視のある者は除外した。

調節微動の測定に先立ち、調節視標を用いて交代プリズム遮閉試験にて被検者の完全屈折矯正下での遠見眼位を定量した。そして外斜位の偏位量により 9 名 18 眼を 10 $\Delta$  以下群、3 名 6 眼を 11 $\Delta$  以上群の 2 群に分類した。また、正位である 4 名 8 眼を対照として 0 $\Delta$  群とした (表 1)。3 群間の平均等価球面度に有意差はなかった。

### 2) 測定機器

調節微動および調節反応量の測定は、調節微動解析装置である改良型オートレフラクトメータ Speedy-K<sup>®</sup> と解析ソフト Version MF-1<sup>®</sup> (ライト製作所) を用いた。使用した視標は本機器に標準装備された、外観のなかにある木の風景視標を用いた。本機器の視標視角は約 20 $^\circ$  とし、固視目標の視角は約 5 $^\circ$  であった。室内照度約 500 lx の環境下にて測定モード PRECISE

表 1 各群の平均眼位と等価球面度

	0 $\Delta$ 群	1~10 $\Delta$ 群	11 $\Delta$ 以上群	全体
対象 (眼)	8	18	6	32
平均外斜位量 ( $\Delta$ )	0 $\pm$ 0	4.2 $\pm$ 2.3	15.3 $\pm$ 3.7	5.3 $\pm$ 5.7
平均等価球面度 (D)	-4.0 $\pm$ 1.4	-5.7 $\pm$ 2.9	-4.7 $\pm$ 1.8	-5.1 $\pm$ 2.4

平均値  $\pm$  標準偏差

MODE および S+C/2 mode を使用し、左右眼の測定の順序はランダムとした。なお、コンタクトレンズ (以下 CL) 装用下での測定は HFC に影響を及ぼすため、CL 装用者は非装用の状態での測定とした。そして 0.50D の雲霧時から 3.00D まで 0.50D 刻みで段階的に調節刺激を与えたときの他覚的屈折値を計測した。その後、ハニング・ウインドウを用い高速フーリエ変換 (Fast Fourier Transform : FFT) により分析された周波数 1.0~2.3 Hz 区間の平均パワースペクトルである HFC および調節反応量を評価した。

### 3) 統計解析

測定により得られた HFC および調節反応量と外斜位の偏位量との関係について分散分析を行った。そして、その結果有意差が得られたものに対し、Scheffé 検定を行った。

## 3. 結果

### 1) HFC と外斜位の偏位量

HFC と外斜位の偏位量について 3 群間で比較した。1.00D の調節刺激時における HFC は 0 $\Delta$  群で  $52.3 \pm 5.3$  であったのに対し、11 $\Delta$  以上群で  $59.4 \pm 2.4$  と有意に高値を示した (分散分析,  $p < 0.05$ ; Scheffé 検定,  $p < 0.05$ )。同様に 3.00D の調節刺激の際には 0 $\Delta$  群で  $56.9 \pm 2.8$  と 1~10 $\Delta$  群で  $62.4 \pm 5.0$ 、11 $\Delta$  以上群で  $63.1 \pm 3.0$  と、正位である 0 $\Delta$  群と外斜位のある 2 群の間に有意差が認められた (分散分析,  $p < 0.01$ ; Scheffé

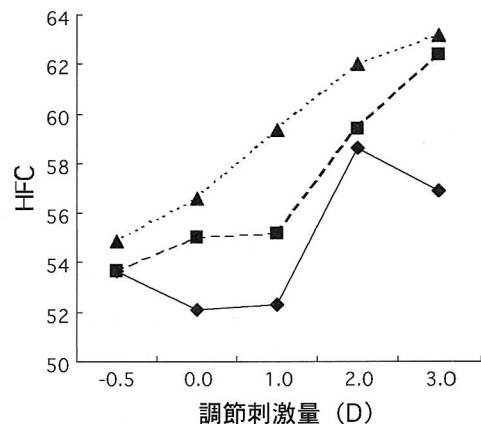


図 1 調節刺激量と high frequency component (HFC) : 外斜位偏位量による比較

y 軸はパワースペクトル曲線を調節微動の高周波成分域 (1.0~2.3 Hz) において積分した相対値で表示

—◆— 0 $\Delta$ 群 (4名8眼)

--■-- 1~10 $\Delta$ 群 (9名18眼)

---▲--- 11 $\Delta$ 以上群 (3名6眼)

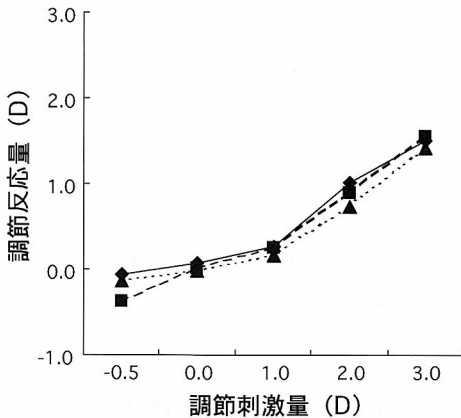


図2 調節刺激量と反応量：外斜位偏位量による比較

- ◆— 0Δ群 (4名8眼)
- -■- 1~10Δ群 (9名18眼)
- ▲--- 11Δ以上群 (3名6眼)

検定,  $p < 0.05$ ) (図1)。他の調節刺激の際には有意差は認められなかった (分散分析,  $p > 0.05$ )。

## 2) 調節反応量と外斜位の偏位量

調節反応量と外斜位の偏位量については, どの調節刺激の際にも有意差は認められなかった (分散分析,  $p > 0.05$ ) (図2)。

## 4. 考 按

これまで調節微動については, HFCに影響を与える因子として視標までの距離<sup>9)</sup>, 視標の輝度<sup>10)</sup>や屈折異常<sup>11)</sup>など数多く報告されている<sup>12-16)</sup>。しかし, これまでHFCに影響を与える因子として眼位を取り上げたものは多くない<sup>17)</sup>。そこで今回我々は, 調節微動と外斜位の偏位量の関係について検討を行った。

過去に鈴木らは, 外斜位のある若年者では正位を保つための強い内よせ刺激に伴う強い調節刺激により, 特異な調節緊張状態を作り出すと報告している<sup>18)</sup>。これと同様に近江は, 正位にするための調節や輻湊の努力の必要性についての報告や, より角度の大きい間欠性外斜視であるほどより強い輻湊努力が生じるといった報告をしている<sup>19, 20)</sup>。

外斜位がある場合, 日常視において輻湊努力が生じている。このとき, 輻湊が起こる際には輻湊性の調節も作用している。今回の実験は単眼視下という条件だったにもかかわらず, 外斜位の偏位量が大きい被検者が正位の被検者と比較してHFCが有意に高値を示した理由として, 日常両眼視を行う際に眼に

働いている輻湊性の調節が関与していると考えられる。つまり, 日常視下で常時働いている輻湊性の調節が, 日常的なタスクとして毛様体筋へ負担をかけ, 本測定時にも影響を及ぼし, HFCが高値を示した可能性が示唆される。

今回は外斜位の偏位量が大きいほど, HFCが有意に高値を示したのに対し, 外斜位の偏位量と調節反応量とでは有意差は認められなかった。この理由として, HFCは調節反応量では捉えきれないような微細な調節機能の変化を示すことが可能ではないかと考えられる。

また, 外斜位にとってHFCが機能的な役割を有しているとすれば, HFCの調節補助機能という役割<sup>9)</sup>と, 今回の結果から, 外斜位が大きいほど調節補助機能が大きい可能性が示唆される。単眼視においてボケの検出に関与する因子はいくつかある<sup>20)</sup>が, 外斜位もまたボケの検出のような調節補助の役割があると考えられる。

今回の検討から, 外斜位の偏位量が大きいほどHFCは高値になるという結果が得られた。これは, 眼疲労と外斜位との関連性を証明する一つの要因になり得ると考えられた。そしてHFCは微細な調節機能の評価が可能であると示唆される一方, 臨床的にHFCを評価する際には, 眼位異常もHFCに影響を与える重要な因子であるという点に注意を払う必要がある。

## 謝 辞

本研究の一部は, 厚生労働省科学研究費補助金 (長寿科学総合研究/HU), ならびに北里大学医療衛生学部特別研究費補助金 (No.2005-107/HU) の助成を受けた。記して感謝する。

## 文 献

- 1) Campbell FW, Robson JG & Westheimer G: Fluctuations of accommodation under steady viewing conditions. *J Physiol* 145: 579-594, 1959.
- 2) Charman WN: Fluctuations in accommodation: A review. *Ophthalmic Physiol Opt* 8: 153-164, 1988.
- 3) Sun F, Brandy S et al: Frequency analysis of accommodation single sinusoids. *Ophthalmic Physiol Opt* 9: 392-397, 1989.
- 4) 奥山文雄: 調節微動. *視覚の科学* 15: 15-22, 1994.
- 5) 梶田雅義: 加齢・生活環境に適した眼の屈折—調節機能からみた屈折矯正—. *視覚の科学* 22: 2-6, 2001.
- 6) 梶田雅義: 調節微動の臨床的意義. *視覚の科学* 16: 107-113, 1995.
- 7) 梶田雅義, 伊藤由美子他: 調節疲労と調節微動. *視覚の科学* 17: 66-71, 1996.

- 8) 鈴木説子, 梶田雅義, 加藤桂一郎: 調節微動の高周波成分による調節機能の評価. 視覚の科学 22: 93-97, 2001.
  - 9) Arnulf A, Santamaria J & Bescós J: A cinematographic method for the dynamic study of the image formation by the human eye. Microfluctuations of the accommodation. J Optics 12: 123-128, 1981.
  - 10) Gray LS, Winn B & Gilmartin B: Effect of target luminance on microfluctuations of accommodation. Ophthalmic Physiol Opt 13: 258-265, 1993.
  - 11) Uozato H & Kawamorita T: High frequency component of accommodative microfluctuation in myopes and emmetropes. Invest Ophthalmol Vis Sci 46: E-abstract 5589, 2005.
  - 12) Denieul P: Effects of stimulus vergence on mean accommodation response, microfluctuations of accommodation and optical quality of the human eye. Vision Res 22: 561-569, 1982.
  - 13) 氏家弘裕, 池田光男: 単眼視と両眼視における微動調節の比較. 眼光学 9: 116-122, 1988.
  - 14) Winn B, Pugh R et al: The frequency characteristic of accommodative microfluctuations for central and peripheral zone of the human crystalline lens. Vision Res 30: 1093-1099, 1990.
  - 15) Gray LS, Winn B & Gilmartin B: Accommodative microfluctuations and pupil diameter. Vision Res 33: 2083-2090, 1993.
  - 16) Seidel D, Gray LS & Heron G: The effect of monocular and binocular viewing on the accommodation response to real target in emmetropia and myopia. Optom Vis Sci 82: 279-285, 2005.
  - 17) 梶田雅義: 眼位異常と調節異常. あたらしい眼科 21: 1173-1178, 2004.
  - 18) 鈴木昭弘, 小山哲郎他: 内よせ調節緊張症. 眼紀 33: 1058-1065, 1982.
  - 19) 近江源次郎: 眼精疲労と眼位との関連性について. 大阪大学医学雑誌 48: 307-316, 1998.
  - 20) 近江源次郎: 外斜視と調節. 眼臨 91: 1081-1087, 1997.
  - 21) Kruger PB & Pola J: Dioptic and non-dioptic stimuli for accommodation, target size alone and with blur and chromatic aberration. Vision Res 27: 555-567, 1987.
-

## QOL の評価法について

(中京大学心理学部) 和氣 典二

### 1. はじめに

高齢になると、quality of life (以下 QOL) が低下することは多くの研究から示唆されている。このとき視機能の低下はどの程度 QOL を低めるのであろうか。ロービジョンについていくつかの研究が認められているが、視機能の低下の度合いと QOL との関係はいまだ明らかになっていない。いま、視力を例にとって考えてみたい。図 1 は市川<sup>1)</sup>(1981) のまとめた加齢と視機能の一つである視力との関係を示したものである。明らかに加齢とともに視力は低下することを示している。だが、80歳のうち10%は視力1.0以上であった。また、高齢になると、白内障になる人が多い。いま、眼内レンズ挿入術を施した人の視力を測定した北原<sup>2)</sup>(1999) の結果をみると、高齢になってもさほど視力は低下していない。85~94歳でも平均で約0.7の視力を保有している。眼内レンズ挿入術後の80歳以上の高齢者でも視力1.0以上の人が50%にも達していた。だが、さほどといった裏には視力の出ていない人が少なからずいることになる。それは高齢者が罹りやすい眼の疾病があり、そのため、ロービジョンになっている人がいるからである。で

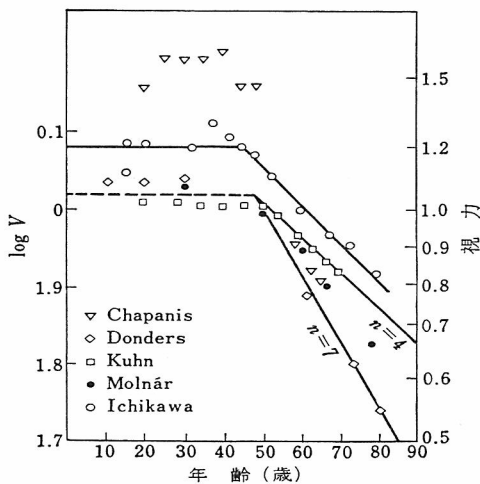


図1 加齢による視力の低下 (市川, 1981)

は、視力や視野の良好でない人の QOL はロービジョンになる前に比べてどの程度低下しているのであろうか。高齢者は視機能以外にも身体的、精神的諸機能の低下が生じているので、当然 QOL も低下していることが考えられるが、これらを問題にするには、QOL をどのように評価するかを明らかにする必要がある。

### 2. QOL の評価法

最近、QOL を評価する調査票を手に入れ、高齢者、とくに高齢ロービジョン者にこれを適用した研究を行っている。われわれが用いている調査票は SF-36<sup>®</sup> (MOS Short-Form 36-item Health Survey) と視機能関連 QOL 調査票: VFQ25 (The 25-item National Eye Institute Visual Function Questionnaire) である。前者は健康関連 QOL であり、アメリカで作成され、現在50箇国以上に翻訳されているようである。日本語版として標準化が終了し、使用できるものは SF-36v2<sup>™</sup> 日本語版である。この調査票では、1) 身体機能、2) 日常役割機能 (身体)、3) 日常役割機能 (精神)、4) 全体的健康感、5) 社会生活機能、6) 体の痛み、7) 活力、8) 心の健康、を評価できるようになっている。身体機能、日常役割機能 (身体)、体の痛み、全体的健康感と活力は身体的健康度を評価することになり、心の健康、日常生活機能 (精神)、社会生活機能、全体的健康感は精神的健康度を評価することになっている。

他方、VFQ 25 は生活場面における視機能と見え方による身体的、精神的、社会的な生活側面の制限の程度を測定するものである。表 1 は12の領域の質問項目とオプション項目から成り立っていることを示している。

たとえば「現在、あなたの両眼での“もの見えかた”はどうですか？」眼鏡 (ヤコンタクトレンズ) を使っているときのことをお答えください。最高によいから全く見えないまでの6段階のうちどれが当てはまるかを答える。このようなかたちで、新聞、料理や裁縫、道路標識、階段降りや歩道の段差などを評価する。

表1 VFQ 25 の下位尺度と項目数

	項目数	オプション項目数
全体的健康感	1	1
全体的見え方	2	1
目の痛み	1	—
近見視力による行動	2	3
遠見視力による行動	3	3
見え方による社会生活機能	3	1
見え方による心の健康	4	—
見え方による役割制限	2	1
見え方による自立	3	2
運転	2	1
色覚	1	—
周辺視覚	1	—
項目総数	25	13

オプション項目 A11 は 2 項目からなる  
 なお、項目分類を修正したのでオリジナルとは多少異なっている

ところで、高橋<sup>3)</sup>(2002)に示されている日常生活評価表は19項目からなり、種々の日常行動を3段階で評価するものである。このなかにはVFQ 25と似た項目がある。VFQ 25の項目のうち(6)の新聞を読む、(7)の料理や裁縫はその行動をするときの難しさの程度を評価するものであるが、日常生活評価法では、新聞を読むことができますか、あるいは料理をすることができますか、裁縫ができますかなどの問いに対して、はい、時々、いいえで答えるようになっている。このように質問の仕方の違いはそれぞれ目的が異なるからであろう。だが、最大の違いはQOL評価に用いられているSF-36<sup>®</sup>は標準化されたテストであるが、日常生活評価法あるいはそれに似た質問紙

は標準化されたテストではないということであろう。前者では、個々人の得点は国民標準値からのずれで解釈されるが、標準化されていないものではそれができない。

### 3. 最後 に

最近、ロービジョン者の行動を援助しようとして環境設計や補装具の開発改善あるいはそれらを有効に使用できるためのロービジョンケアの研究がなされるようになってきた。その一つとしてアンケート調査による資料を求める研究が行われている。たとえば高齢者、とくに高齢者やロービジョン者が夜道をなぜ歩かないかを調べ、その理由が道路照明に問題があると多くの人が判定すれば、それを改善すればよい。どのように改善するかは別の実験や調査からなされるべきである。同じことは眼鏡や視覚補装具にもあてはまる。これに対して、QOLの評価法では、夜道を歩くのが困難であるということはQOLの評価の1側面であり、QOL得点に反映するものである。すると、QOL評価をしたとき、どの領域が満足できる状態にないかを下位項目で問題にし、それが日常行動にどのような影響をもたらしているかを別途に調べ、問題を解決すべきであろう。

### 文 献

- 1) 市川 宏：老化と眼の機能．臨眼 35:9-26, 1981.
- 2) 北原健二：高齢者の視覚機能．電子情報通信学会誌 82: 502-505, 1999.
- 3) 高橋 広（編）：ロービジョンケアの実際—視覚障害者のQOL向上のために．医学書院，東京，2002.