

# 小児の屈折検査

魚 里 博

奈良県立医科大学眼科学教室  
〒634 奈良県橿原市四条町840

## 1. はじめに

小児や乳幼児の屈折状態を生後早期に正しく評価することは、弱視や両眼視機能の障害を予防し、将来の正常な視機能を得るうえからもきわめて重要である。なぜなら、乳幼児の視機能の発達は非常に急激であり、3歳ぐらいで視力1.0程度に達し5～6歳でほぼ成人並の視機能に発達するためである。そのためこのような感受性の高い発育時期になんらかの視覚障害が存在すれば、視機能の発達は容易に阻害されることになる<sup>1-3)</sup>。そのため、視力や屈折を生後早期のうちに簡便にしかも正しく臨床検査できる方法・装置が望まれ、現在このような目的のために各種の新しい測定法が開発され実用化されつつある。

ここでは、このような乳幼児や小児の屈折測定方法や原理について解説を試み、その測定限界や問題点についても検討するとともに、最近のフォトレフラクション、ビデオレフラクション法や、ポータブル・オートレフについても紹介する。

## 2. 屈折度測定

乳幼児の屈折検査法としては、検影法とフォトレフラクション法しかなく、その他のレフラクトメーターやオートレフラクトメーターなども利用できないし、まして自覚的な屈折検査法は不可能である。一方小児の屈折検査としては、3～5歳になればレフラクトメーターによる検査も可能となって来るし、自覚的検査も次第に出来る頻度が高くなる<sup>4-6)</sup>。

乳幼児や小児の屈折検査の基本はあくまでも検影法が必須であるが、日常外来での検査は大変煩わしく、また正しく検影法<sup>7-8)</sup>を実行できる眼科医はそれほど多くはない。特に乳幼児の場合には、板付きレンズ等を眼前にもって行くといやがり、なかなか検査が実行できない場合が多いのも事実である。そのため、遠隔的な検査法がどうしても望まれる。このために現在最も有効な方法は、フォトレフラクション法であり、ここでは主にフォトレフラクション法による乳幼児の屈折度測定法について述べる。

### 2-1) フォトレフラクション法の歴史

この方法には、現在まで各種の方法が提案され、一部実用化されているものもある。フォトレフラクション法の歴史を簡単に表1に示す。フォトレフラクション法は、照明光源により分類するとOn-axisとOff-axisに分類できる。前者は、1974年Howlandら<sup>9)</sup>により開発されたもので、観察または記録用カメラ光軸上に配置された同軸光源を用い、被検眼の網膜で反射して戻って来るボケ像の大きさと形状から屈折度を求めるもので、等方型(isotropic)と直交型(orthogonal)に分かれる<sup>10-12)</sup>。一方後者のOff-axis型は、1979年Kaakinen<sup>13)</sup>により示された方法で、カメラの光軸を外して取り付けた光源からの光を用い眼底からの反射光の瞳孔面内での分布から屈折を、また角膜反

**Table 1 (Uozato) : Brief history of the development of photorefractive techniques.**

フォトレフラクシオン法の歴史

- Photorefractive (Howland et al, 1974)
- Modified Photorefractive (Kaakinen, 1979)
- Isotropic Photorefractive (Uozato et al, 1981) (Atkinson et al, 1982)
- Photoretinoscopy (Yamamoto et al, 1983) (Yazawa et al, 1984) (Molteno et al, 1985)
- Videorefractive (Howland et al, 1983) (Yamamoto et al, 1987)

**Table 2 (Uozato) : Classification of the photorefractive methods.**

フォトレフラクシオン法の分類

- Howland's Type
  - On-axis Photorefractive
    - Isotropic
    - Orthogonal
    - 5-axis
- Kaakinen's Type
  - Off-axis Photorefractive
    - 眼位
    - 屈折

射像の位置から眼位の状態を簡便に測定するもので、簡易フォトレフラクシオン、フォトレチノスコーピーまたはフォトスキアスコーピー法と呼ばれている。また最近では、写真フィルムの代わりにビデオテープやフレームメモリーやビデオフロッピーを利用したビデオレフラクシオン法が利用できるようになっている。

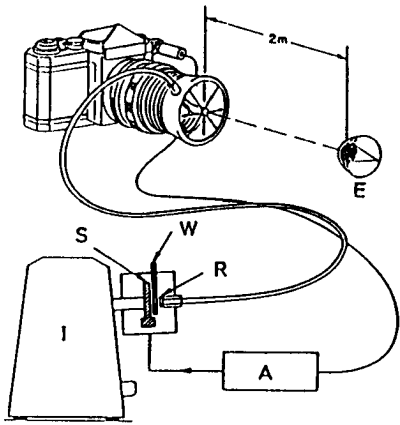
2-2) フォトレフラクシオン法の分類

静的か動的かにより Static と Dynamic に分類できる。前者はある瞬間の屈折状態を写真等により記録するもので、後者は眼の動的な屈折状態を連続的に記録または連続的に測定可能な方法である。照明光源の位置から分類すれば、Howlandらによる On-axis 型（軸上光源）と Kaakinen による Off-axis（軸外光源）に分類できる（表2）。また前者は、測定できる経線方向により等方型、直交型<sup>12)</sup>と5軸型<sup>14)</sup>に分類できる。後者も軸外光源を1つか2つかにより1経線と2経線のフォトレチノスコーピーに分類できる。

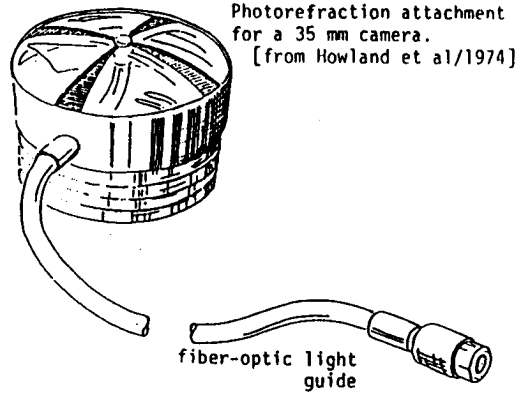
3. フォトレフラクシオン法の測定原理

3-1) On-axis フォトレフラクシオン法 (Howland's Photorefractive)

前述したように、このタイプにも各種の変法があるが、ここでは Howland ら<sup>9)</sup>による当初の方法を解説する。1974年に彼らが示したフォトレフラクターの概略図を図1に示す。35mmカメラのレンズ光軸上に配置したファイバー端面を照明用光源として、さらに4つの円柱レンズのセグメントを取り付けている。図2に示すように、被検眼の網膜共役点が丁度ファイバー端面にあれば、眼



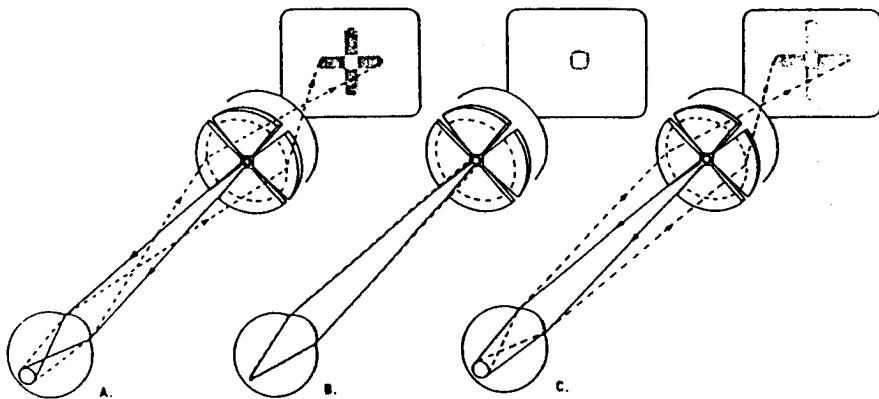
Apparatus for photorefraction. E: eye, I: illuminator, S: shutter, W: Wratten filter, R: infrared absorbing filter, A: amplifier. [ from Howland et al / 1974 ]



Photorefraction attachment for a 35 mm camera. [from Howland et al/1974]

Fig. 1 (Uozato) : Schematic diagram of the apparatus for photorefraction (a) and photorefraction attachment for a 35mm camera (b) by Howland et al.

E: eye, I: illuminator, S: shutter, W: Wratten filter, R: infrared absorbing filter, A: amplifier.



Schematic diagram of the orthogonal photorefractor [ Howland et al / 1974 ]

Fig. 2 (Uozato) : Schematic representation of the principle of orthogonal photo-refraction method (On-axis Photorefraction).

底からの反射光はファイバーで遮られカメラのフィルム面には像は全く形成されない。ところが、網膜共役点がファイバー端面より前後にデフォーカスの状態であれば、図に示すようにフィルム面上に眼底からの反射光が到達することになる。このとき円柱レンズのセグメントがなければ、フィルム面上には円形または楕円状のボケ像が形成される。これは、等方型(isotropic photorefraction)であり、魚里<sup>10)</sup>、Atkinsonら<sup>11-12)</sup>により開発された手法である。円柱レンズのセグメントを利用

するのはフィルム面上の強度分布をよりシャープにして弱い眼底反射光でも測定できる様に工夫したものである。そこで、このスターアーム状の長さを実測してこれより屈折状態を求めることが出来る。また、乱視があれば直交する2つの経線方向でのスターアームの長さが異なり、これから乱視度数を算出する。しかし、厳密には直交型のように4つの円柱レンズセグメントを用いたからと言って、球面と乱視が画一的に決定できるものではない。なぜなら、楕円の長軸方向と丁度45度をなす2方向でスターアームの長さは両者ともまったく等しくなり乱視を検出できないことが起こり得るのである。そのため、Howlandら<sup>9)</sup>は4つの円柱レンズセグメントを45度回転して2つの方向で2枚の写真を撮る手法を用い、また魚里ら<sup>14)</sup>は、5枚の円柱レンズセグメントを用いて1枚の写真から球面と乱視度数、乱視軸を決定している。

isotropic 及び orthogonal フォトレフラクション法を用いて Howland, Atkinson や Dovson らにより乳幼児の屈折 (特に乱視)<sup>15-17)</sup> や調節能力<sup>18-20)</sup> の他屈折のスクリーニング<sup>11, 21-24)</sup> にも応用が試みられている。

### 3-2) Off-axis フォトレフラクション法 (Kaakinen's Photorefractometry)

1979年に Kaakinen<sup>13)</sup> により開発されたフォトレフラクション法である。この方法は、照明明光源をカメラの光軸上から軸外に外した位置に取り付け、被検眼の瞳孔領内に現れる眼底からの反射光の分布から屈折状態を、また角膜反射像 (プルキンエ第1像) の位置から眼位の状態を、反射像の明るさから眼透光体の混濁状態まで判定しようとするものである。本邦でも、山本や、矢沢らにより改良型の報告<sup>25-29)</sup> があり、フォトレチノスコピーやフォトスキアスコピーまたは簡易型フォトレフラクション等と呼ばれており、乳幼児や小児の屈折や眼位その他スクリーニングへの応用も試みられている<sup>25-48)</sup>。

この方法の基本原理は検影法であり、これを写真法により簡便に利用できるようにしたものである。図3にその原理を示すが、カメラの位置に対して被検眼の網膜共役点が前か後ろかにより、眼

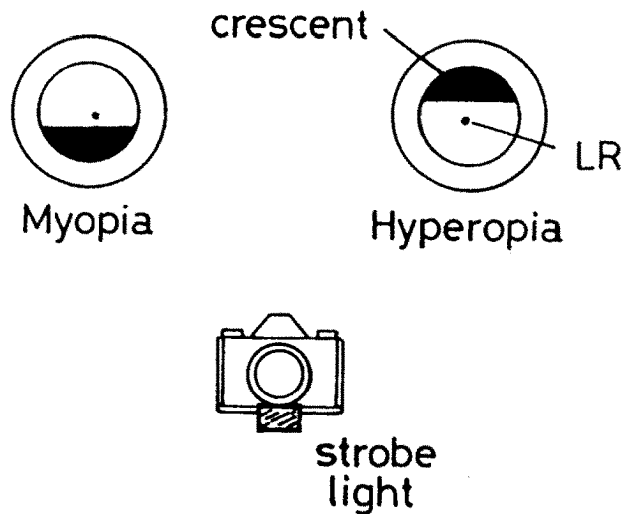
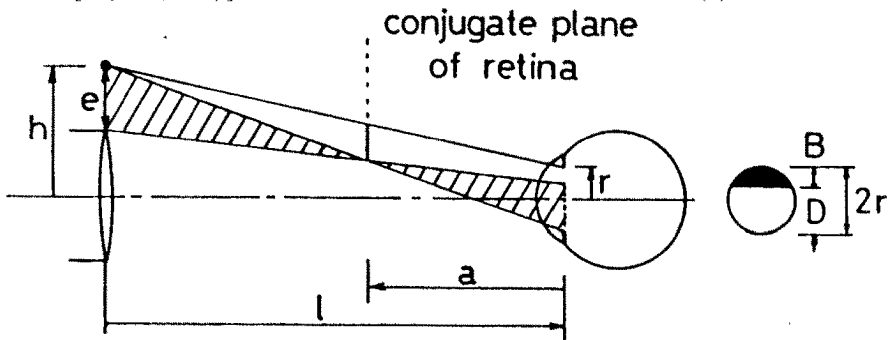


Fig. 3 (Uozato) : Appearance of crescent and corneal light reflex (LR) in the pupil with Kaakinen's off-axis photorefractometry (photorefractometry).

底からの反射光の明るい部分（三日月：crescent とも呼ばれる）が光源と同側か反対側かにより近視か遠視か（カメラの位置に対する相対的な屈折状態）が決まる。図に示すように近視では光源と同側に、遠視では反対側に明るい部分が現れる。もちろん（ストロボ）光源が1つの場合にはその経線方向のみしか判明しないので、光源を2つ用いて同時に2つの経線方向を測定する試みもなされている<sup>29, 33-35, 48</sup>。しかし、Howlandの方法で述べたように、2つの光源を用いたからと言って1枚の写真から乱視状態まで決定できない。この場合も45度傾けて2枚の写真を取らないと完全に屈折状態が求めることはできないのである。

いま図4のような配置を考えると、測定光軸からhだけ偏心した光源（カメラレンズの端からe）を被検眼からlだけ離して測定する。被検眼の瞳孔径（厳密には、入射瞳径）を2rとし、図の被検眼の網膜共役点はaの距離とすると、観察される瞳孔領での眼底からの反射光の明るい部分と暗い部分の長さをそれぞれB, Dとすれば(図5), 解析の結果<sup>49</sup>, 明るい部分(crescent)の割合R (Bright fraction)  $[R=B/2r]$  は次式で与えられる。

$$R=1-[eL/2r(A+L)]. \quad (1)$$



Optical Principle of Off-axis Photorefraction Method

Fig. 4 (Uozato) : Optical principle of the off-axis photorefraction method. 2r: pupil diameter, l: examination distance, h: eccentricity of the light source for the optical axis of the camera, e: eccentricity of the light source from the periphery of the camera lens, a: distance from the eye to the conjugate point of retina.

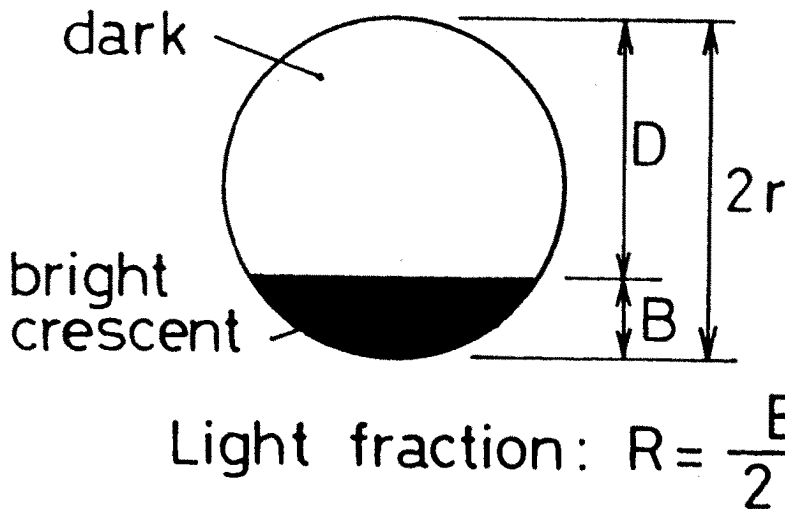


Fig. 5 (Uozato) : Schematic representation of the bright crescent appearance in the patient's pupil.

2r: pupil diameter, R: light fraction, B: width of the bright crescent, D: width of the dark crescent.

また、明るい部分の幅  $B$  は

$$B = 2r - [eL / (A + L)] \quad (2)$$

で与えられる。ただし、 $A$  は  $1/a$  で屈折異常の度数（主点屈折度）である。また  $L$  はカメラから被検眼までの距離  $l$  の逆数であり、

$$\Delta D = (1/a) + (1/l) = A + L \quad (3)$$

$\Delta D$  は検査距離に対する相対的な屈折異常 (relative defocus) を示すものである。従って、検査距離  $l$  が充分大きくて  $L (= 1/l)$  が近似的にゼロと見なせるならば、 $\Delta D$  は屈折異常の度数  $A$  となる。(1) 式の関係を図 6 に示す。横軸は被検眼の屈折異常  $A$  ( $D$ ) で、縦軸は明るい部分 (crescent) の割合  $R$  (bright fraction) である。検査距離で決まる  $-L$  を中心に  $+ (eL/2r)$  の測定不能領域 (不感域) が存在し、これより近視及び遠視側で急激に明るい部分の割合  $R$  が増加し次第に緩やかな変化となり飽和することがわかる。従って、 $R$  が比較的急激に変化しているところでは、 $R$  の値から屈折状態  $A$  を精度良く決定できるが、 $R$  の変化が緩やかなところでは  $A$  の決定精度が低下して来る。測定限界 (threshold) は不感域の大きさで決まり、光源の偏心量  $e$  が小さく、検査距離  $l$  と瞳孔径  $2r$  が大きいほど不感域は小さくなり threshold は高くなる<sup>49)</sup>。つまり最初に crescent が現れる限界は、(2) 式から  $B=0$  とおけば、

$$\Delta D (= A + L) = eL / (2r) = e / (2rl) \quad (4)$$

より求められる<sup>50,51)</sup>。各種のフォトレチノスコピーの測定感度の比較を表 3 に示す。ただし、瞳孔径をすべて  $5 \text{ mm}$  に換算してある。一般に、測定感度が高くなると図 6 から分かるように測定領域は小さくなる。

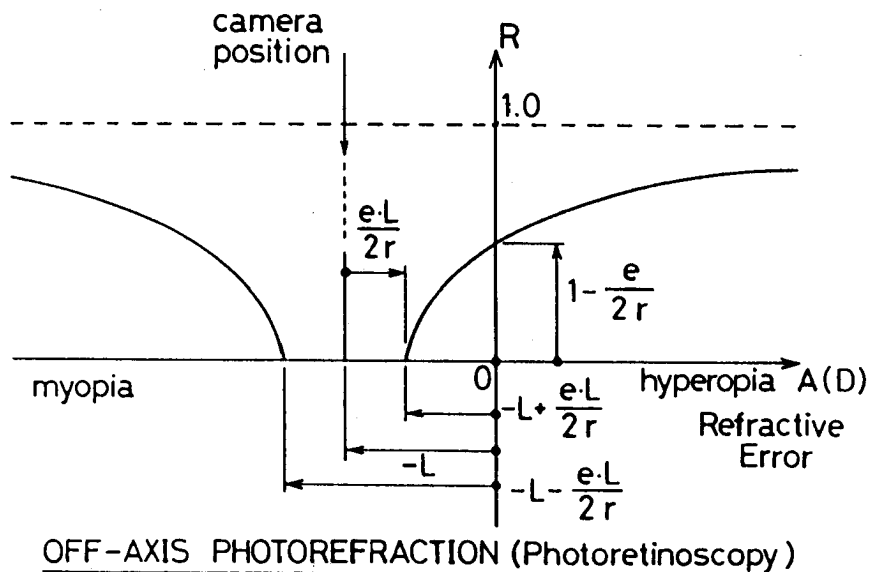


Fig. 6 (Uozato) : Theoretical relationship between the bright fraction of the crescent and the relative defocus of the eye in off-axis photorefractometry (photorefractometry).

Table 3 (Uozato) : Calculated dioptric thresholds for the first appearance of a crescent in any eye with a 5-mm pupil in various off-axis photorefractors.

Photorefractor	Eccentricity E(m)	Working distance A(m)	Thresholds (D)
Kaakinen	0.010	1.0	2.0
Hay et al.	0.017	4.9	0.69
Molteno et al.	0.0005	0.5	0.2
Howland et al.	0.0042	1.5	0.56
Norcia et al.	0.010	4.5	0.44

#### 4. フォトレフラクション法の比較

各種の方法があるが、基本的な3つの方法を比較すると表4のようになる。それぞれ一長一短があるが、臨床的に簡便でスクリーニングに適するのはフォトレチノスコピーであると言える。しかし、測定精度や乱視の検出能力が低い欠点はあるが、通常の35mmカメラとストロボ光源を用いてカラーリバーサルフィルム（ASA 400程度で充分）撮影することで眼科外来の日常診療に簡便に利用することが出来る。フィルムの現像に多少日数を要するが、現像されたフィルムから(1)または(2)式を用いて屈折異常（または相対的な屈折：relative defocus）を計算できる。また、500mm程度のテレフォトレンズを用いて直接屈折度数を求めること<sup>37)</sup>も可能であるが、検査距離が長いとどうしても被検者の注視が得られにくくなるので、50~100cm程度の検査距離が望ましい。

Table 4 (Uozato) : Comparison of the photorefraction methods, that is, isotropic photorefraction, orthogonal photorefraction and photoretinoscopy.

フォトレフラクション法の比較			
方 法	長 所	短 所	その他
Isotropic	・乱視軸の検出 ・精度高い	・測定範囲小 ・符号の判定	
Orthogonal	・精度高い ・感度高い	・測定範囲小 ・乱視の検出低い	
Photo- Retinoscopy	・測定範囲大 ・符号の判定容易	・精度低い ・乱視の検出低い	・眼位と屈折の 両者が判明 ・スクリーニング

## 5. フォトレフラクション法の将来展望

現在フォトレフラクション法は、基本的には写真撮影を利用しているため、実時間で測定できない難点があり、これを実時間測定可能なビデオレフラクション法<sup>52-56)</sup>の試みも行われている。また、最近では、フレームメモリーを用いた(サンコンタクト製)もの<sup>55-56)</sup>や、isotropic photorefraction法にビデオを用いたVPR-1<sup>57)</sup>(クレメントクラーク社製、ジャパンフォーカス取扱)も一部市販され利用できるようになってきている。写真法を用いるものでは、Visiscreen 100<sup>43)</sup>(Medical Sciences Corp., Wedowee, AL)と呼ばれる装置も米国から出ている。

乳幼児の屈折測定の大きな問題点は、固視をいかにして確保し、調節の介入を防ぐかであり、乳幼児から離れたところから遠隔的に迅速に測定し、結果がほぼ実時間的に判明する必要がある。しかし、フォトレフラクション法は基本的に、両眼同時測定が(不同視検出)可能で、2つの経線方向の同時測定(乱視検出)可能で、乳幼児の注視はほんの一瞬のみで良く、低輝度の明所視下、自然瞳孔下で遠隔的な測定が出来る。また写真等の永久的な記録が取れるし、角膜反射像を利用すれば、眼位の状態も判明する等の特徴を有している。そのため、今後ビデオレフラクション法を改良して、検査時間の短縮、実時間計測、測定精度の向上、測定領域の拡張をはかり、臨床使用に耐える小型機の開発やマスキリーニングに利用できる機器が望まれる。

**謝辞:**本研究の一部は、著者が日本学術振興会と米国国立視覚研究所(NEI, NIH)による日米交換派遣事業の一環としてJohns Hopkins 大学 Wilmer 眼科滞在中(1985-1986)に行ったものであり、各種の御助言を頂いたDavid L. Guyton 教授はじめ、特にPhotorefraction法について御教授頂きましたCornell大学のHoward C. Howland 教授に感謝致します。また、永田良大阪府立高専校長(元大阪府立大学工学部長)ならびに西信元嗣奈良県立医科大学教授には、それぞれ基礎および臨床面からご指導を賜り厚く御礼申し上げます。

## 引用文献

- 1) 弓削 経一編: 視能矯正—理論と実際, p.81-98, 金原出版, 東京, 1973.
- 2) Hubel, D. H.: Eye, Brain, and Vision, p.191-218, Scientific American Library, New York, 1988.
- 3) 粟屋 忍: 形態覚遮断弱視, 日眼, 91: 519-544, 1987.
- 4) 丸尾 敏夫: 小児の屈折検査, 眼科 Mook No.11 (小児眼科: 湖崎 克編), p.98-106, 1980.
- 5) 西信 元嗣: 小児の屈折異常の診断とその管理, 眼科 Mook No.18 (屈折異常: 所 敬編), p.146-156, 1982.
- 6) Banks M. S.: Infant Refraction and Accommodation, International Ophthalmology Clinic, 20: 205-232, 1980.
- 7) 西信 元嗣, 峯 克彰, 松田 俊彦, 中尾 圭一, 永田 良: レチノスコピーの理論, 日眼, 81: 1521-1526, 1977.
- 8) 西信 元嗣, 峯 克彰, 松田 俊彦, 福原 潤, 伊藤 徳子, 中尾 圭一, 永田 良: レチノスコピーにおけるスキヤニングの方法, 眼紀, 29: 473-476, 1978.
- 9) Howland, H. C. and Howland, B.: Photorefraction: a technique for the study of refractive state at a



- distance, *J. Opt. Soc. Am.* 64 : 240-249, 1974.
- 10) 魚里 博, 牧野 弘之, 西信 元嗣, 中尾 主一, 岩田 耕一, 永田 良 : 写真計測による他覚的眼屈折測定法, *眼光学*, 2 : 19-24, 1981.
  - 11) Atkinson, J. and Braddick, O. J. : The use of isotropic photorefracton for vision screening in infants, *Acta Ophthalmol.(Copenh)*, Suppl. 157:36-45, 1982.
  - 12) Howland, H. C., Braddick, O., Atkinson, J. and Howland, B. : Optics of photo-refraction orthogonal and isotropic methods, *J. Opt. Soc. Am.* 73:1701-1708, 1983.
  - 13) Kaakinen, K. : A simple method for screening of children with strabismus, anisometropia or ametropia by simultaneous photography of the corneal and fundus reflexes, *Acta Ophthalmol.(Copenh)*, 57 : 161-171, 1979.
  - 14) 広中 寛, 岩田 耕一, 永田 良, 魚里 博, 西信 元嗣 : Photo-Refracton 法による眼屈折度の他覚的測定, *眼紀* 34 : 1552-1557, 1983.
  - 15) Howland, H. C., Atkinson, J., Braddick, O. and French, J. : Infant Astigmatism Measured by Photorefracton, *Science* 202:331-333, 1978.
  - 16) Dobson, V., Howland, H. C., Moss, C. and Banks, M. : Photorefracton of normal and astigmatic infants during viewing of patterned stimuli, *Vision Res.* 23: 1043-1052, 1983.
  - 17) Howland, H. C. and Sayles, N. : Photorefracton Measurements of Astigmatism in Infants and Young Children, *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 25: 93-102, 1984.
  - 18) Howland, H. C., Boothe, R. G. and Kiorpes, L. : Accommodative Defocus Does Not Limit Development of Acuity in Infants *Macaca nemestrina* Monkeys, *Science* 215:1409-1411, 1982.
  - 19) Aslin, R. and Dobson, V. : Dark vergence and dark accommodation in human infants, *Vision Res.* 23: 1671-1678, 1983.
  - 20) Howland, H. C. and Syles, N. : A photorefracton characterization of focusing ability of infants and young children, *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 28:1005-1015, 1987.
  - 21) Atkinson, J. and Braddick, O. : Vision screening and photorefracton - The relation of refracton errors to strabismus and amblyopia, *Behavioural Brain Res.* 10 : 71-80, 1983.
  - 22) Atkinson, J., Braddick, O. J., Durden, K., Watson, P. G. and Atkinson, S. : Screening for refracton errors in 6-9 month old infants by photorefracton, *Brit. J. Ophthalmol.* 68: 105-112, 1984.
  - 23) Howland, H. C. : Optical Techniques for Detecting and Improving Deficient Vision, In: *Optics in Biomedical Sciences* (edited by von Bally, G. and Greguss, P.), p.188-196, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1982.
  - 24) Howland, H. C. : Infants eyes: optics and accommodation, *Current Eye Res.* 2:217-224, 1982/1983.
  - 25) 田辺 稔邦, 前田 和子, 梅田 一清, 山本 敏雄 : 簡易 photorefracton による乳児屈折異常のスクリーニング, *眼光学*, 4 : 25-28, 1983.
  - 26) 山本 敏雄, 前田 和子, 田辺 稔邦, 梅谷 一清 : 乳児屈折異常のスクリーニング, 簡易 photorefracton による試み, *臨眼*, 37 : 959-963, 1983.
  - 27) 矢沢 興司 : フォトレチノスコープ (photoretinoscope), *臨眼*, 38 : 847-849, 1984.
  - 28) 金 鳳哲, 田中 靖彦 : Photorefracton による屈折検査, *臨眼*, 80 : 303-306, 1986.
  - 29) 田辺 稔邦, 田坂 宏, 桑山和加子, 宮本 嘉久, 鐘ヶ江泰子, 政本 清乃, 山本 敏雄 : 3歳児検診における Photorefracton の応用について, *あたらしい眼科*, 3 : 1743-1746, 1986.
  - 30) Howland, H. C. : The optics of static photographic skiascopy, *Acta Ophthalmol.* 58 : 221-225.

- 31) Kaakinen, K. and Tommila, V. : A clinical study on the detection of strabismus, anisometropia or ametropia of children by simultaneous photography of the corneal and the fundus reflexes, *Acta Ophthalmol.* 57:600-611, 1979.
- 32) Kaakinen, K. : Photographic screening for strabismus and high refractive errors of children aged 1-4 years, *Acta Ophthalmol.* 59 : 38-44, 1981.
- 33) Kaakinen, K. : Simultaneous two flash static photokiascopy, *Acta Ophthalmol.* 59 : 378-386, 1981.
- 34) Kaakinen, K., Kaseva, H. O. and Teir, H. H. : Two-flash Photorefraction in Screening of Amblyogenic Refractive Errors, *Ophthalmology*, 94 : 1036-1042, 1987.
- 35) Kaakinen, K. and Ranta-Kemppainen, L. : Screening of infants for strabismus and refractive errors with two-flash photorefraction with and without cyclo-plegia, *Acta Ophthalmol.* 64 : 578-582, 1986.
- 36) Day, S. H. and Norcia, A. M. : Photographic Detection of Amblyogenic factors, *Ophthalmology* 93 : 25-28, 1986.
- 37) Norcia, A. M., Zadnik, K. and Day, S. H. : Photorefraction with a catadi-optic lens, Improvement on the method of Kaakinen, *Acta Ophthalmol.* 64 : 379-385, 1986.
- 38) Molteno, A. C. B., Sanderson, G. F. and Hoare-Nairne, J. : Clinical experience with the Otago photoscreener, *Australian and New Zealand J. Ophthalmol.* 13 : 49-58, 1985.
- 39) Hay, S. H., Kerr, J. H., Jayroe, Jr. R. R., White, J. C. and Funke, M. : Retinal reflex Photometry as a Screening Device for Amblyopia and Preamblyopic States in Children, *Suthern Med. J.* 76 : 309-312, 1983.
- 40) Jakson, C. D., Frazier, L., Richardson, J. R. and Hay, S. H. : Repor on the Development and Utilization of an Ocular Screening Device, *Ala. Med.* 53 : 8-13, 1984.
- 41) Hay, S. H. and Wharry, R. : The remote sensing of eye disorders utilizing the retinal reflex photometer, *SPIE, Vol.601 (Ophthalmic Optics):* 107-111, 1985.
- 42) Duckman, R. H. and Meyer, B. : Use of photoretinoscopy as a screening technique in the assessment of anisometropia and significant refractive error in infants/toddlers/children and special populations, *Am. J. Optom. Physiol. Opt.* 64 : 604-610, 1987.
- 43) Morgan, K. S. and Johnson, W. D. : Clinical Evaluation of a Commercial Photo-refractor, *Arch. Ophthalmol.* 105 : 1528-1531, 1987.
- 44) Hoyt, C. S. : Photorefraction, A Technique for Preschool Visual Screening, *Arch. Ophthalmol.* 105 : 1497-1498, 1987.
- 45) 魚里 博 : 乳幼児のピント合せ能力, *医学のあゆみ*, 145 : 168, 1988.
- 46) Wanger, P. and Waern, G. : Instant photographic refractometry in children, *Acta Ophthalmol.* 66 : 165-169, 1988.
- 47) Abrahamsson, M., Fabian, G. and Sjostrand, J. : Photorefraction: A useful tool to detect small angle strabismus, *Acta Ophthalmol.* 64 : 101-104, 1986.
- 48) Kaakinen, K., Kaseva, H. and Kause, E-R. : Mass screening of children for strabismus of ametropia with two-flash photokiascopy, *Acta Ophthalmol.* 64 : 105-110, 1986.
- 49) Uozato, H. : Theoretical Considerations of the Off-axis Photorefraction, Unpublished draft, 1985.
- 50) Howland, H. C. : The optics of photoretinoscopy: results from ray tracing, *Am. J. Optom. Physiol. Opt.* 62 : 621-625, 1985.

- 51) Bobier, W. R. and Braddick, O. J. : Eccentric photorefraction: optical analysis and empirical measures, *Am. J. Optom. Physiol. Opt.* 62 : 614-620, 1985.
- 52) Schaeffel, F., Howland, H. C. and Farkas, L. : Natural accommodation in the growing chicken, *Vision Res.* 26 : 1977-1993, 1986.
- 53) Schaeffel, F., Farkas, L. and Howland, H. C. : Infrared photoretinoscope, *Applied Opt.* 26 : 1505-1509, 1987.
- 54) Schaeffel, F., Glasser, A. and Howland, H. C. : Accommodation, refractive error and eye growth in chickens, *Vision Res.* 28 : 639-657, 1988.
- 55) 今道 正次, 西口 尚, 山本 敏雄, 鐘ヶ江泰子, 政本 清乃 : フレームメモリーを用いた簡易屈折異常装置, *眼光学*, 8 : 72-75, 1987.
- 56) 山本 敏雄, 宮谷みち子, 鐘ヶ江泰子, 政本 清乃, 今道 正次, 西村 尚, 丸山 節郎 : ビデオカメラを用いた photorefracton 法の改良, *臨眼*, 41 : 1008-1009, 1987. 57) Cambridge Paediatric Videorefractor VPR-1: Clement Clarke International Ltd. カタログ, 1988.