

21世紀における視覚研究応用の展望

視覚研究の先端医学への応用

不二門 尚

大阪大学大学院 医学系研究科 器官機能形成学 / 大阪大学 医学部 眼科

〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-2

1. はじめに

視覚研究の方向性として、20世紀までは正常人の視覚系がいかに精密に（生物学の言葉では、合目的に）つくられているかを、眼光学、神経生理学、視覚心理学などの立場から研究することが、主流であったと私は理解している。HelmholzのHandbuch der Physiologischen Optikは19世紀後半に出版され、いまだに引用される文献であるが、ケラトメーター、眼底カメラの原理、調節のメカニズムなど、現在眼科検査のもとにとになっている眼光学、生理光学の基礎がすでに記載されている。一方視覚情報処理の中核機構に関する研究はHubel-WieselのNobel賞に象徴されるように、20世紀の後半に長足の進歩をとげた分野で、眼科領域では弱視の治療法がこれらの知見をもとに確立された。20世紀最後の10年は、脳機能画像の時代で、人間における視覚情報処理系の局在に関して、多くの研究がなされた。これらはまだ発展途上であるが、視覚心理学的研究が単なる概念操作でなく、画像として客観化されたことに大きな意義があるように思われる。

さて視覚系の疾患を診断、治療する眼科医の立場から21世紀の視覚研究の展望はいかなるものかを私見を交えて述べることにする。Helmholzは臨床医（軍医）から、生理学者を経て物理学者になり、小生は物理の学生（低空飛行）から出発して生理学者になりそこね

て眼科医になったという全く逆の道をたどったわけだが、物理で唯一身に着けた考え方というのは、あるシステムの機構を知るには、外から力を与えて応答を見ればよいという方法論である。眼でいうと、疾患はいわば外力に相当するわけで（外傷というわけではないが）、そういう状態での見え方を知ることには、正常の機構を知る一助になりえると思われる。実際さまざまな眼疾患の見え方の研究は、疾患の多様性ゆえ精度は良くないが、非常に興味深く、また研究者の層が圧倒的にうすいので（眼科医は手術や分子生物学の研究は大好きだが、視機能の研究は何故か嫌いな人が多い）、competition少なく楽しく研究ができるのが良い点である。というわけで、総論として21世紀の視覚研究は、眼疾患に根ざした分野もまた魅力的なものであることをことわった上で、眼球の光学系の精密測定、立体視障害の回復、黄斑部網膜障害の回復に関して展望を述べたい。

2. 眼球の光学系の精密測定

屈折異常が進むと、眼鏡処方が行われるが、これまでは、球面レンズと円柱レンズで補正される屈折異常（近視、遠視、乱視）のみを計測してきた。しかしながら、近年眼鏡で補正できない不正乱視に関して、最近波面解析を行うことにより、定量的な評価が可能になった¹⁻³⁾（本号の広原らの解説⁴⁾参照）。21

世紀の屈折矯正手術のトレンドは、不正乱視の成分も補正することを目的とする Custom Ablation である。しかしながら、現状では、屈折矯正手術を受けるとかえって不正乱視が増える場合もある。

図1は、角膜屈折矯正手術を受けた症例の、屈折のマップである。角膜は中央が削れて屈折力が低下しており、眼球全体の屈折はほぼ正視となっているが、角膜の不正乱視および眼球全体の不正乱視が中央に存在することが示されている。この症例は、視力は裸眼で1.0あるが、コントラスト感度の低下が認められている。

屈折矯正手術が完璧に行われても、中高年になると調節力が低下するため老眼鏡が必要となり、また白内障が出ると水晶体の屈折

変化による不正乱視が増加するので、人生80年を全体として考えて、屈折矯正手術を受けるか否かを検討する必要があると思われる。

図2は、発達白内障の症例である。水晶体の核の部分が硬化すると、この部位を通る光の波が遅くなり、球面収差が増加する（中央部のみ近視化する）ことが示されている。

今後普及すると考えられる屈折矯正手術は、スポーツ選手に対してはよい適応であるが、精密な作業を要する技術者に対しては慎重に考える必要がある。

3. 立体視障害の回復

立体視は臨界期に、大脳視覚領の両眼視細胞が両眼から均等な入力を受けないと発達しないと考えられている。臨床的にも、内斜視

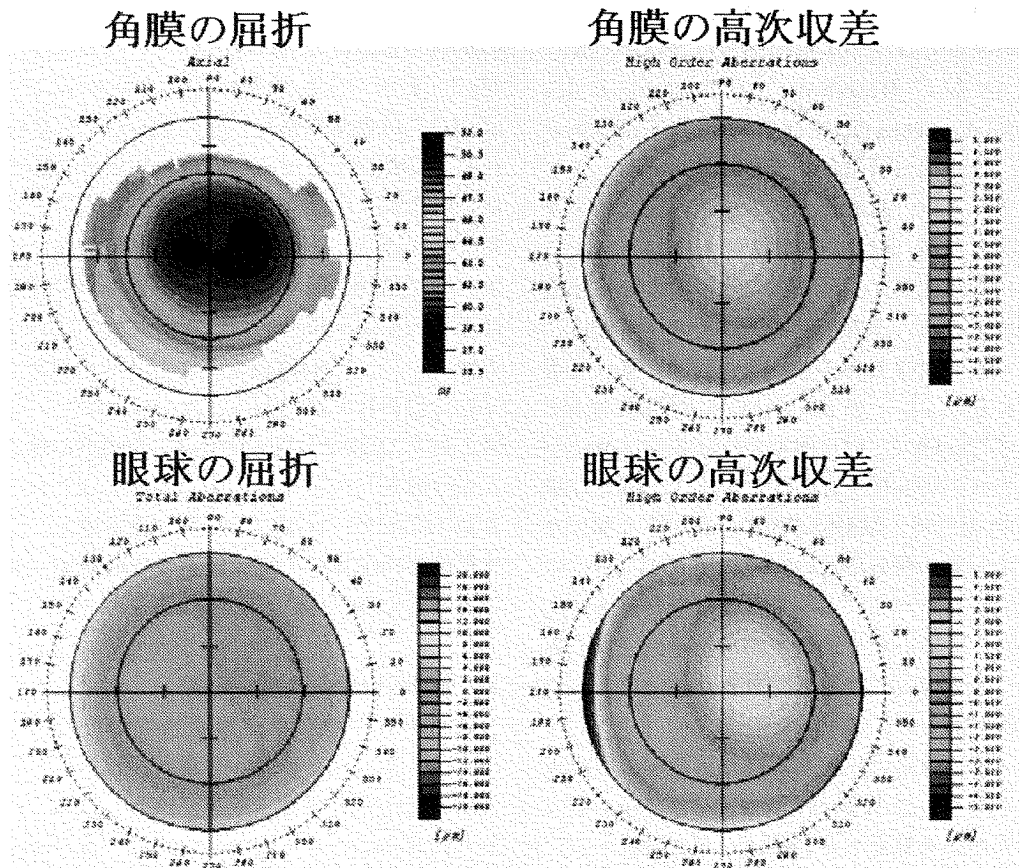


図1 角膜屈折手術後の角膜および眼球の屈折トポグラフィ。角膜は中央が削れて屈折力が低下しており〔左上〕、眼球全体の屈折はほぼ正視となっているが〔左下〕、角膜の不正乱視〔右上〕および眼球全体の不正乱視〔右下〕が中央に存在する。

の小児に対して、術後の立体視を見ると、1歳半～2歳以後に内斜視を発症した場合と、それ以前に発症した場合で、立体視の予後が

大きく違うことが報告されている⁹⁾(図3)。Preferential looking 法などを用いた心理学的な研究も含めて考察すると、立体視の感受性は

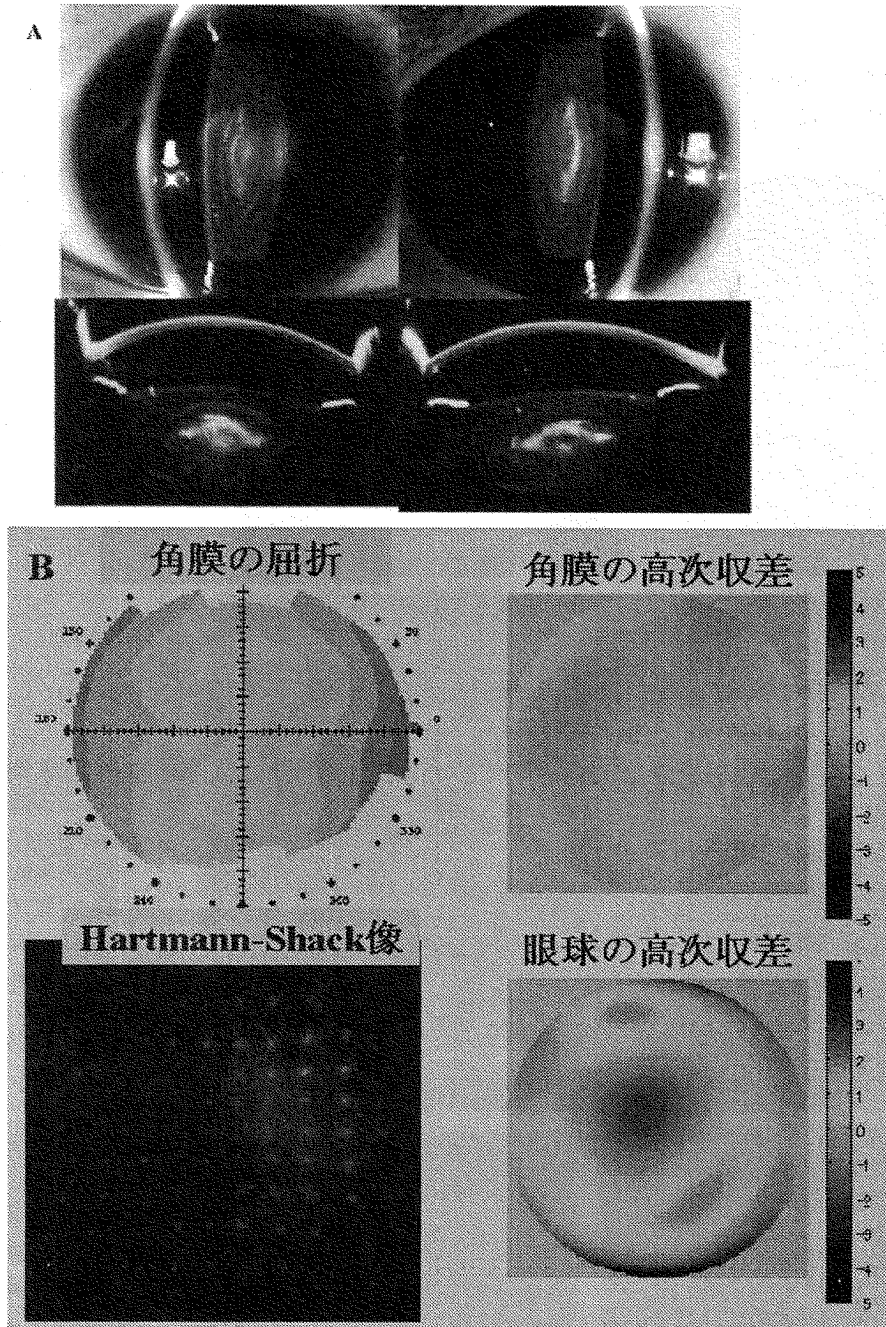


図2 核白内障の細隙灯顕微鏡写真 (A) および屈折トポグラフィ (B)。A：細隙灯顕微鏡写真および Scheimpflug カメラによる水晶体の断面像では、水晶体中央部に核の硬化がみられる。B：角膜の高次収差は見られないが (右上)、Hartmann-Shack 像では中央部に凹型の spot の偏位があり (左下)、これは中央部の波面の遅れ (部分的近視化) に反映されている (右下)。

生後3～6月で急速に発達し、これは1歳半から2歳まで持続すると考えられる。

上記で言う立体視は眼科外来で用いている、両眼に視差を与えた立体視検査装置で測定したものである。日常生活に必要な奥行き感覚は、静的な視差の情報のみで得られるわけではない。われわれは、動きの立体視検査

装置を作成し(図4)、通常の立体視検査で立体視がないと判断された小児に動きの立体視が存在し、このような子は娯楽用の立体映像を結構楽しめる(立体的に見える)ことを報告した⁷⁾。現在臨床で用いる立体視検査は視覚10度程度の小さな視標を用いて行っており、大画面の映像とは異なった条件であるこ

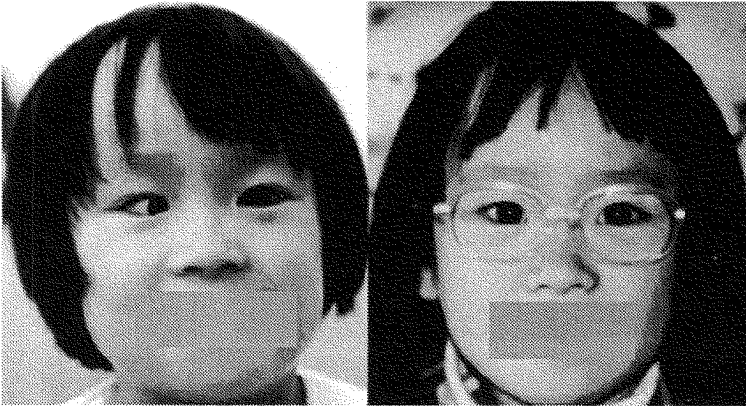


図3 内斜視の治療後の立体視。本症例は2歳半発症の部分調節性の内斜視。3歳時に治療を開始し、術前眼位は内斜視が顕著であったが、術後眼鏡を装着した眼位は正位となっている。立体視は Titmus Stereotest にて認められている。

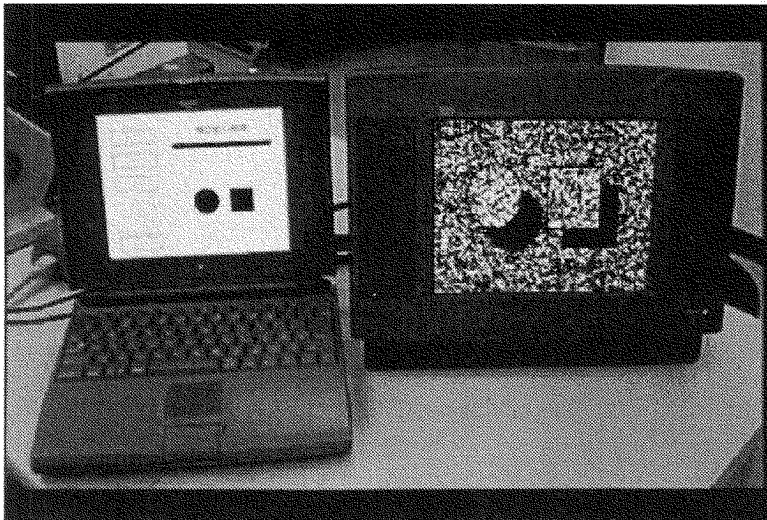


図4 動きの立体視検査。Dynamic random dot stereogram で○および□を眼鏡なしに両眼分離できるdisplay (SANYO) に表示し、動きの立体視検査を行う(片目では図形は見えない)。



図5 黄斑移動術前後の蛍光眼底写真。術前に黄斑下にあった新生血管膜は、術後下方に移動し(▲)、黄斑部は健常な網膜色素上皮の上に移動している(→)。この症例では眼筋の移動も同時に行っている。

とも考慮する必要がある。

21世紀の映像は、大画面高精細で立体的になると考えられ、このような映像の生体影響は現在検討中であるが⁸⁾、立体視の不十分な人（恐らく人口の1%位）に対する配慮も必要であると思われる。

4. 黄斑部網膜障害の回復

黄斑部において、視細胞が網膜下出血などで長期間障害されると、視細胞が消失し治療により視力回復させることは不可能であった。しかしながら黄斑下出血の初期には視細胞障害は可逆的で、手術で黄斑部を網膜下組織が健常な部位に移動させることにより、視力回復させることができるようになった^{9,10)}（図5）。網膜のみを移動させると、回旋複視が必発なので、眼球を逆方向に回転させる斜視手術を後に行う。

術後半年以上経過した症例のOKNを見ると、水平方向に運動する視標に対するOKNは網膜の軸方向に誘起されることが分かった

（図6）。視標の動く方向は、自覚的にも網膜の軸方向であった。つまり、網膜からの視覚投射は成人では確立しており、術後の傾きの知覚および眼球運動に対する可塑性はあまり期待できないと考えられた（幼児では網膜が回旋する障害があっても適応が働く）。

このように、21世紀においては、眼の病気に対して新しい治療法が開発され、これに付随してさまざまな視覚の問題が生じ、これを解決する過程で視覚情報処理系の機構の一部が解明されることが期待される。

文 献

- 1) J. Liang, B. Grimm, S. Goelz and J. F. Bille: Objective measurement of wave aberrations of the human eye with the use of a Hartmann-Shack wave-front sensor. *Journal of the Optical Society of America*, 11, 1949-1957, 1994.
- 2) T. Seiler, M. Kaemmerer, P. Mierdel and H. E. Krinke: Ocular optical aberrations after photorefractive keratectomy for myopia and myopic astigmatism. *Archives of Ophthalmology*, 118, 17-21, 2000.

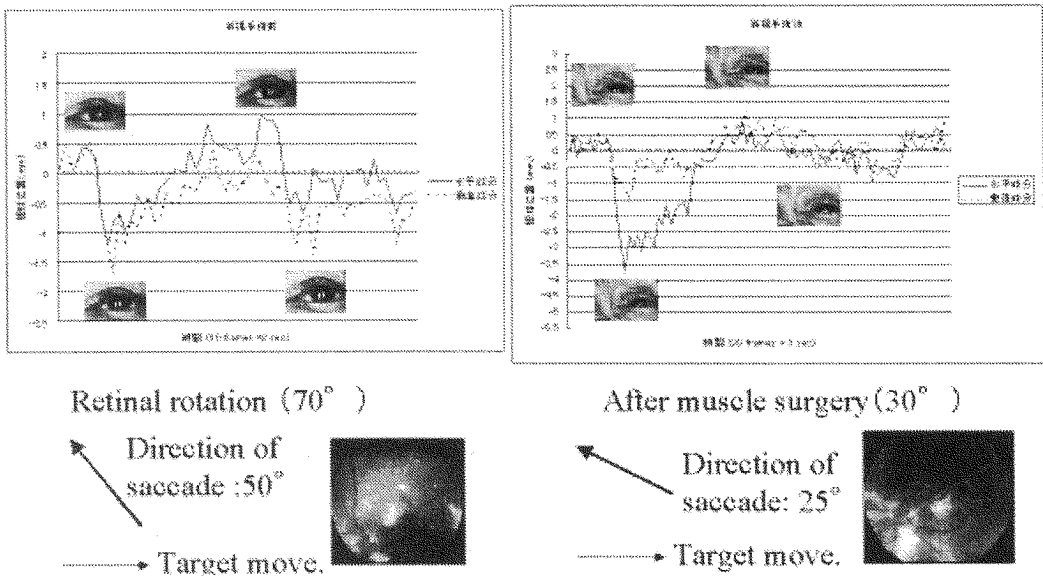


図6 黄斑移動術後の視運動性眼振。黄斑部を70°上方に回転させた症例で、視標を水平に移動させた場合のOKN（左）。OKNの急速相は、水平軸に対して50°の方向を示している。眼筋の手術後黄斑部の回旋は30°上方に改善し、誘発されるOKNの急速相は、水平軸に対して25°の方向を示している（右）。

- 3) L. N. Thibos and X. Hong: Clinical applications of the Shack-Hartmann aberrometer. *Optometry and Vision Science*, 76, 817-825, 1999.
- 4) 広原陽子, 中澤直樹, 高橋義嗣, 三橋俊文, 黒田輝仁, 前田直之, 不二門 尚: 人眼の波面収差測定. *VISION*, 13, 99-105, 2001.
- 5) L. Tychsén: Binocular Vision. *H. E. Adler: Adler's Physiology of the Eye, 9th ed.* Mosby, St. Louis, 773-853, 1992.
- 6) 不二門 尚: 両眼視の基礎と臨床. *日本の眼科*, 71, 1185-1189, 2000.
- 7) T. Fujikado, G. Ohmi, J. Hosohata, S. Asonuma, N. Maeda and Y. Tano: Use of dynamic and colored stereogram to measure stereopsis in strabismic patients. *Japanese Journal of Ophthalmology*, 42, 101-107, 1998.
- 8) 齋田真也: 「3次元映像の生体影響」プロジェクトに関して. *VISION*, 12, 1-4, 2000.
- 9) R. Machmer and U. H. Steinhorst: Retinal separation, retinotomy, and macular relocation, II: surgical approach for age-related macular degeneration? *Graefes Archives of Clinical and Experimental Ophthalmology*, 231, 635-641, 1993.
- 10) T. Fujikado, M. Ohji, S. Kusaka, A. Hayashi, M. Kamei, A. A. Okada, K. Oda and Y. Tano: Visual function after foveal translocation with 360° retinotomy and simultaneous torsional muscle surgery in patients with myopic neovascular maculopathy. *American Journal of Ophthalmology*, 131, 101-110, 2001.