— 原 著 —

水晶体線維突起の走査電顕的研究

三浦 雅博

日本医科大学眼科学教室

Scanning electron microscopic study of the fiber processes of the crystalline lens

Masahiro Miura

Department of Ophthalmology, Nippon Medical School

In order to know the role of the lens fiber processes and there surface morphology, scanning electron microscopic examination was performed with the lens from the normal rabbits and naphthalene cataract affected rabbit and a normal human lens.

The results are as follows:

1) Normal rabbit lens: The edge processes and lateral large processes were well developed within the areas 20 to 40 μm from the suture line and 600 μm in an extended direction from the end of the suture line. Ball and socket junctions were noted in the cortex, and globular surfaces were noted in the nucleus.

2) Naphthalene cataract: Both the edge processes and the lateral large processes were partially swollen, and the lens surface changed into the microplacae-like structure.

3) Human lens: Ball and socket junctions, edge processes and microplacae were observed. However, neither lateral large processes nor globular surfaces were observed in a human lens.

In conclusion, the lateral large processes and the edge processes were the main processes for fiber-to-fiber binding attachment. Ball and socket junctions were processes for the dynamic accomodation. Microplacae and globular surfaces were degenerative changes of the lens surface.

Key words: lens fiber process, scanning electron microscope, rabbit lens, naphthalene cataract, human lens

緒 言

水晶体の病理を理解する上で、水晶体線維の解剖学的構造および、その意義を理解することはきわめて重要である。そのうち水晶体線維突起に関しては、従来いくつかの走査電顕的研究¹⁻⁶⁾がなされてきた。それによれば、線維突起にはいくつかの種類があり、それぞれの突起は水晶体の中で、ある一定の分布を形成するとされている。また、この分布は生物の種に特異的なものとされてきた。しかし、この線維突起の役割については、統一した見解はまだ得られていない。この点について検討を加えるため、著者はまずウサギ正常水晶体線維に対し、観察面露出方法を工夫することにより、詳細な走査電顕の観察を行うことができた。そし

て、これをウサギナフタレン白内障の水晶体およびヒト水晶体の走査電顕所見と比較検討することにより、線維突起の役割についていくつかの興味ある知見を得たのでここに報告する。

研究材料および方法

(1) 研究材料

1) 正常ウサギ水晶体：体重 2.0 kg 前後の白色ウサギ 9 羽 18 眼を用いた。水晶体を摘出した後、実体顕微鏡下で混濁がないことを確認した。

2) ウサギナフタレン白内障：体重 2.0 kg 前後の白色ウサギ 9 羽を用い、20%ナフタレン流動パラフィン溶液を体重 1.0 kg あたり 2.0 g の割合で、胃カテーテルを用いて経口的に 3 日間連続投与した。そして白内障の発生を確認した後、投与後 3 日目から 4 日目に屠殺し水晶体を摘出した。

3) ヒト水晶体：症例は 59 歳・男性。術前視力は

Correspondence to Masahiro Miura, Department of Ophthalmology, Nippon Medical School Hospital, 1-1-5 Sendagi, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan

(0.1). 1987年6月24日、白内障と診断され嚢内法によって水晶体を摘出した。摘出した水晶体には一部混濁を認めたため、実験には極力混濁が少ない部分を選んだ。

(2) 方法

摘出した水晶体は10%ホルマリン、または2%パラホルムアルデヒドと2%グルタルアルデヒドの混合液で7日間固定した。そして前後に2分割した。さらに7日間固定した後、えぐりだす様にして観察面を露出した。露出が困難な場合には、縫合線との関係を考慮にいれながら、さらに2分割ないし4分割した後、露出した。また、ヒト水晶体では混濁部を避けるため8分割し、非混濁面を露出した。

こうして得られた試料を1%オスミウム酸で固定し、上昇エタノール系列による脱水をそれぞれ12時間ずつ行った。脱水後、日立HCP2型臨界点乾燥装置でCO₂臨界点乾燥し、日立E-102型イオンスパッターを用いてPt・Pd蒸着を行い、日立S570型走査電子顕微鏡で観察した。

結 果

水晶体線維の各種突起の呼称については、松戸¹⁾とHarding²⁾の報告を参考にし、側方突起 (lateral

Fig. 1 The classification of the lens fiber processes

large processes), 稜突起 (edge processes), 棘突起 (ball and socket junctions), micropllica, globular pattern の5種を用いた (Fig. 1).

1. 正常ウサギ水晶体

1) 露出面の肉眼所見: 露出面は、ほぼ正円状をなしていた。中央には1本の縫合線が直線状に走り、各水晶体線維は縫合線から赤道部に向かって放射状に走行していた (Fig. 2).

2) 皮質浅層: 検体露出面の直径は約12.0 mm, 前後縫合線の長さはそれぞれ約5.5 mmであった。側方

Fig. 2 The whole surface of the anterior superficial cortex. (normal rabbit lens) Calibration bar: 1mm

Fig. 3 The anterior suture region of the superficial cortex.
Lateral large processes were well developed in the suture plane (normal rabbit lens)
Calibration bar: $4\ \mu\text{m}$, $\times 3,500$

Fig. 4 The equatorial region of the superficial cortex.
The ball and socket junctions were well developed (normal rabbit lens) Calibration bar: $4\ \mu\text{m}$, $\times 4,000$

突起は前後縫合線の周辺 $20\sim 40\ \mu\text{m}$ の範囲内でよく発達していたが、それ以外の部位ではほとんど認めなかった (Fig. 3)。また、稜突起が全体によく発達していた。特に、前後縫合線の延長方向においては、縫合線終了点より $600\ \mu\text{m}$ の範囲内で稜突起の発達が著しかった。また、棘突起もよく発達していたが、その分布にはややばらつきがあり、特に前後縫合線付近 $20\sim 40\ \mu\text{m}$ の範囲内、および延長方向の縫合線終了点より $600\ \mu\text{m}$ の範囲内では散在するのみであった (Fig. 4)。

3) 皮質深層：検体露出面の直径は約 $11.0\ \text{mm}$ 、前後縫合線の長さはそれぞれ約 $5.0\ \text{mm}$ であった。側方突起は前後縫合線の周辺 $20\sim 40\ \mu\text{m}$ の範囲内でよく発達していた。さらに側方突起は前後縫合線の延長方向では、縫合線終了点より $600\ \mu\text{m}$ の範囲内に広く分布し、発達していた (Fig. 5)。また、稜突起が全体によく発達していた。特に後縫合線の延長方向では、後縫合線終了点より $600\ \mu\text{m}$ の範囲内で稜突起の発達が著しかった。棘突起も認めたが皮質浅層より散在性で、特に側方突起を認める部位ではほとんど認めなかった。

4) 成人核：検体露出面の直径は約 $8.0\ \text{mm}$ 、前後縫

合線の長さはそれぞれ約 $3.5\ \text{mm}$ であった。側方突起は散在性に認めるのみであった。また、稜突起が全体によく発達していた (Fig. 6)。特に前後縫合線付近 $20\sim 40\ \mu\text{m}$ の範囲内および延長方向の縫合線終了点より $600\ \mu\text{m}$ の範囲内で稜突起の発達が著しかった (Fig. 7)。棘突起はもはや認めなかった。

5) 成人胎生核・中心胎生核：検体露出面の直径は、成人胎生核では約 $5.0\ \text{mm}$ 、中心胎生核では約 $3.1\ \text{mm}$ であった。また、前後縫合線の長さはそれぞれ成人胎生核では約 $2.0\ \text{mm}$ 、中心胎生核では約 $1.5\ \text{mm}$ であった。側方突起と棘突起はもはや認めなかった。稜突起に関しては、一般に配列の規則性がかなり失われ、部位により発達の差が著しかった。しかし、前後縫合線付近 $20\sim 40\ \mu\text{m}$ の範囲内、および延長方向の縫合線終了点より $600\ \mu\text{m}$ の範囲内では稜突起が比較的良好に発達していた。また、線維表面に globular pattern を認め、これは中心部ほどよく発達していた (Fig. 8)。

2. ウサギナフタレン白内障

各種異常像は皮質浅層、皮質深層、成人核のみに認めた。

1) 線維表面の変化：線維表面が部分的に粗造化し

Fig. 5A In the anterior superficial cortex, the lateral processes were well developed in the extended direction of the suture line (normal rabbit lens) Calibration bar: 20 μ m, $\times 800$

Fig. 5B The schematic drawing of the distribution of the lateral large processes in the deep cortex
The shaded portion demonstrates the distribution of the lateral large processes (normal rabbit lens)

たのち、この部位が膨隆し線維表面から剝奪した(Fig. 9)。その結果、線維表面に欠損部を生じ、線維表面に付随した各種突起は破壊されていた(Fig. 10)。また、線維自体が中断する様に破壊され、それに伴い付随す

Fig. 6 The equatorial region of the adult nucleus. (normal rabbit lens) Calibration bar: 10 μ m, $\times 3,000$

Fig. 7 The extended direction of the anterior suture line in the adult nucleus The lens fibers have more prominent edge processes than that of Fig. 6. (normal rabbit lens) Calibration bar: 10 μ m, $\times 3,000$

る各種突起が破壊される像も認めた。
また、線維表面から細線維状の構造物が遊離する像

Fig. 8 In the inner embryonic nucleus, the globular pattern was observed. (normal rabbit lens)
Calibration bar : $4\mu\text{m}$, $\times 6,000$

Fig. 10 The defect in the lens surface.
(naphthalene cataract) Calibration bar :
 $4\mu\text{m}$, $\times 7,000$

Fig. 9 Roughness and swelling in the lens surface.
(naphthalene cataract) Calibration bar :
 $4\mu\text{m}$, $\times 7,000$

Fig. 11 The thin fiber-like structure was separated
from the lens surface.
(naphthalene cataract) Calibration bar :
 $2\mu\text{m}$, $\times 10,000$

を認めた (Fig. 11). さらに一部の線維表面は micro-
plica 様に変化していた (Fig. 12). 混濁の強い部分で
は線維間に島状の塊状構造物の集合体が出現し、周囲

の線維を押し広げるようにして迂曲させていた (Fig.
13).

2) 側方突起の変化: 側方突起の一部が局所的に膨

Fig. 12 Microplacae-like change was observed on the lens surface.
(naphthalene cataract) Calibration bar :
4 μm, ×7,000

Fig. 14 The lateral large processes were partially swollen (arrow head).
(naphthalene cataract) Calibration bar :
4 μm, ×7,000

Fig. 13 The lumpy construction between the lens fibers.
(naphthalene cataract) Calibration bar :
50 μm, ×500

Fig. 15 The only lateral large processes were well preserved.
(naphthalene cataract) Calibration bar :
4 μm, ×7,000

化し、突起から遊離する像を認めた(Fig. 14)。しかし、側方突起は他の突起に比べ破壊に強く、他の突起が消失した部位でも残存していた (Fig. 15)。

3) 棘突起の変化：棘突起が伸展変形する像を認めた。しかし、突起の局所的膨化は認めなかった。また、線維表面粗造化の影響を最も強く受けていた。

Fig. 16 The edge processes were partially swollen (arrow head).
(naphthalene cataract) Calibration bar :
4 μ m, $\times 7,000$

Fig. 18 The abnormal edge processes in the suture plane.
(naphthalene cataract) Calibration bar :
4 μ m, $\times 7,000$

Fig. 17 The edge process was changed into the structure like a lateral large process (arrow head).
(naphthalene cataract) Calibration bar :
4 μ m, $\times 7,000$

Fig. 19 The deep cortex of the human lens. The ball and socket junctions and the edge processes were observed.
Calibration bar : 4 μ m, $\times 5,000$

4) 稜突起：稜突起の一部が局所的に膨化し、突起から遊離する像を認めた(Fig. 16)。また、稜突起自体が

虫食い状に破壊される像も認めた。

さらに特徴的なことは、稜突起によって線維表面が

Fig. 20 The adult nucleus of the human lens. The microplicae were observed in the lens surface. And the edge processes were well developed.
Calibration bar : 4 μ m, $\times 6,000$

破壊される像を認めた。すなわち、稜突起全体が線維表面上を側方突起様に膨化した後、線維表面から遊離することにより線維表面に欠損部を生じていた (Fig. 17)。また、前皮質浅層縫合線付近に滴状の異常稜突起を認めた (Fig. 18)。

3. ヒト水晶体

側方突起・globular pattern は認めなかった。

1) 皮質浅層：発達した棘突起を認めた。稜突起は認めない。

2) 皮質深層：棘突起はやや減少し、変わって稜突起が出現した (Fig. 19)。

3) 成人核：棘突起はさらに減少したが、稜突起は皮質深層に比べ大きくなり顕著になってきた。また、線維表面に microplica を認めるようになった (Fig. 20)。

4) 周辺胎生核・中心胎生核：棘突起はほとんど認められなくなった。稜突起はさらに顕著になり、microplica も明瞭になった。

考 察

ウサギ水晶体は従来、数多くの白内障研究で実験モ

デルとして使われてきた。ウサギ水晶体の正常立体構造を理解することはきわめて重要であると考えられる。そこで、まず正常ウサギ水晶体に関して考察を加えたい。

従来、正常ウサギ水晶体に対する走査電顕的観察では、Harding ら³⁾、松戸^{4,7)}、木島⁵⁾、Willekens ら⁶⁾の報告がある。これらの報告をまとめると次の様になる。まず側方突起について松戸^{4,7)}は皮質浅層縫合部付近と皮質最浅層に認めるとし、Willekens ら⁶⁾は皮質浅層の Zinn 氏帯付着部付近に認めるとしている。次に稜突起について、Harding ら³⁾は皮質最浅層でもっとも発達しているとし、松戸^{4,7)}は中心核部では不規則で貧弱であるとし、Willekens ら⁶⁾は皮質・成人核で発達しているものの胎生核では globular pattern のため不明瞭であるとしている。次に棘突起について、Harding ら³⁾は皮質浅層前極付近に認めるとし、Willekens ら⁶⁾は皮質浅層の Zinn 氏帯付近で発達しているとしている。これらの報告を今回の著者の結果と比べると、細かい点で差異を認める。これは観察面露出方法や試料固定方法に由来するものと思われる。

今回の正常ウサギ水晶体の観察における最大の特徴は、観察面露出方法の工夫にある。従来の報告では、例えば Harding ら³⁾は水晶体全体を 2 分割してその露出面を観察していた。また、松戸^{4,7)}の報告では水晶体全体を 12 分割したのち層間剝離を実施して、その観察面を露出していた。また、Willekens ら⁶⁾は水晶体全体を前後に 2 分割したのちさらに 5 分割して観察している。そのいずれの方法も、各層を赤道部と両極との位置関係についてのみ検討したものであり、縫合線との位置関係を含めた各層の全体像を把握したものではなかった。それに対し今回の著者の実験では、水晶体各層について前後縫合線との位置関係を含めた全体像を観察した。ウサギ水晶体では前後縫合線がそれぞれ単一の線からなり、単純な構造となっている。すなわち、前縫合線は垂直方向に走行し、後縫合線は水平方向に走行し、それぞれ直角に交差している。そこで前後縫合線との位置関係によって各種突起の分布が左右されるのではないかと予想して、今回の実験を行った。

それによって得られた今回の結果で特筆すべき点は、前後縫合線周辺における各種突起の分布変化である。すなわち、縫合線垂直方向 20~40 μ m の範囲内、および縫合線延長方向 600 μ m の範囲内では、稜突起・側方突起の発達が著しく、棘突起は逆に少なかった点である。

これら各種突起の分布がいったい何を意味するのだろうか。このことについて考えるためには、ウサギナフタレン白内障およびヒト水晶体についても考えてみる必要がある。

従来、ウサギナフタレン白内障の走査電顕的観察では松戸⁷⁾、富永⁸⁾、長田⁹⁾の報告がある。しかしこれらの報告では、水晶体線維の崩壊過程における、各種線維突起の違いについては論じていない。そこで今回著者は各種線維突起の変化の違いに着目し観察を行った。その結果興味あるいくつかの点が判った。

まず稜突起と側方突起で、突起変化過程にかなりの関連性があったことである。すなわち、2種類の突起とも部分的膨化・遊離という共通の変化を示したことで、さらには稜突起が側方突起様に変化したことなどである。このことは側方突起と稜突起に共通性があることを示唆するものと考えられる。次の点は線維表面に microplica 様の变化を認めたことである。このことは microplica が線維表面の病的状態であることを示すものと考えられる。

一般にナフタレン白内障における変化の特徴は線維内からの病的物質の遊離にある⁷⁾。すなわち、稜突起と側方突起の局所的膨化に続く遊離、および線維表面の粗造化と膨隆に続く遊離剥奪である。そしてこれらの遊離した物質が蓄積し線維間に島状の塊状構造物となって出現するものと思われる。

次にヒト水晶体について考えてみたい。ところでヒト水晶体についても縫合線との位置関係を含めた全体像を観察する必要性があるものと思われるが、混濁の極力少ない部分のみ選んで観察したため、全体像の観察はできなかった。

従来、正常ヒト水晶体に関する走査電顕的観察では松戸¹¹⁾による詳細な報告があり、今回の著者の観察結果もこの報告とほとんど一致していた。このことは今回の実験で、ほぼ正常な部位を観察し得たことを示しているものと思われる。

そこで得られた結果を検討すると、ヒト水晶体とウサギ水晶体では突起の分布に関して多くの相違点を認める。まずヒト水晶体では側方突起を認めなかった。さらにヒト水晶体では棘突起の発達が著しかった。また、ヒト水晶体では水晶体核に microplica を認めた。これらの違いがいったい何を意味するのだろうか。これについて考えるためには、さらに他の動物とも比較し系統発生学的見地から検討する必要があるものと思われる。

Table 1 The distribution of lens fiber processes in the bird, the mouse, the rabbit, the pig and human

	Cortex	Nucleus
Bird ⁴⁾	BSJ	BSJ and EP
Mouse ⁵⁾	EP and LLP	EP
Rabbit	BSJ, EP and LLP	EP
Pig ⁶⁾	EP and LLP	EP
Human	BSJ and EP	BSJ and EP

BSJ: ball and socket junctions, EP: edge processes, LLP: lateral large processes.

そこで各種動物と線維突起の関係についてまとめたのが Table 1 である。

この表からだけでは、はっきりとした傾向が判らないが、各動物の調整機能と関連づけると、いくつかの傾向が判ってくる。Duke-Elder¹⁰⁾によればトリ・ヒトでは dynamic accommodation が発達しているのに対し、マウス・ウサギ・ブタでは発達が悪く、特にブタではほとんど認めないとしている。このことと関連づけると興味ある事実が浮かんでくる。すなわち、棘突起は調節機能の発達した動物によく認められ、さらに側方突起は調節機能の未発達な動物によく認められる。このことは各種突起の持つ意味について重要なことを示唆している。

これまで正常ウサギ水晶体・ウサギナフタレン白内障・ヒト白内障について検討してきたが、ここで各種突起のもつ意味についてまとめてみたい。

各種突起の意味について、松戸⁴⁾は結合のためには側方突起が主役をなし、稜突起がこれに次ぎ、棘突起と microplica は調節と関連すると報告している。また、Willekens ら⁹⁾はウサギについて観察した結果、側方突起は調節時の線維伸展のためにあるとし、稜突起は線維間結合の中心であり棘突起がこれを補完しているとしている。

それに対し今回の観察結果から著者は次のように考えた。

稜突起はその広範な分布から考えて線維間結合の主要構成要素と思われる。そのためウサギでは縫合線を補完するため縫合線周囲に稜突起がよく発達している。

側方突起は、ウサギナフタレン白内障における稜突起との関連性から考えて、本質的には稜突起と同じ役割を持った突起と考えられる。そしてウサギでは縫合線を補完するため縫合線周辺に側方突起がよく発達し

ているものと思われる。しかし、側方突起には稜突起といくつかの相違点もある。すなわち、側方突起はその形態から考えて、より強力な突起と考えられる。そのため側方突起は調節時の線維の移動にはむかない突起である。そこで調節機能の発達したヒト・トリでは側方突起が未発達となっているものと思われる。

棘突起は調節機能の発達した動物ほどよく発達していることや、調節の際もっとも移動の激しい皮質浅層で発達していることなどから、調節のための突起と考えられる。さらにその形態から結合力が弱いことが推定され、調節時の線維の移動にむいた合目的な形態となっているものと思われる。

Micropllica は古い線維で構成された水晶体核で発達していることおよびナフタレン白内障で観察されたことから考えて、線維表面の老化現象に伴う病的状態、すなわち退行変性と考えるのが妥当と思われる。Globular pattern もウサギ水晶体における分布から考えて、水晶体表面の老化にともなう退行変性と考えられる。

これらの推測から、各種突起の役割がかなり判明してきた。そこで最後に縫合線の役割についても考察を加えてみたい。各種動物の水晶体に関する報告^{3,6,11,12)}で、縫合線では相対する線維間に強い結合が存在することが報告されている。さらに今回の正常ウサギ水晶体の観察結果では、縫合線延長方向でも側方突起・稜突起が発達していることが確認された。このことは縫合線周辺とくに縫合線延長方向が、水晶体形態維持のための結合の中心になっていることを示しているものと思われる。さらに Gorthy ら¹¹⁾は縫合線で Ion-Link Fluid Traspor が活発に行われていることを報告している。これらの点から前後縫合線が水晶体維持のきわめて重要な部位であることが判る。

以上、今回の実験結果から水晶体線維の立体構造は、きわめて合理的に構成されていることが判った。これは水晶体の立体構造解析の重要性を示唆するものと考えた。

結 論

水晶体各種線維突起の役割について検討するため、次のような実験を行った。まず観察面露出方法を工夫することにより正常ウサギ水晶体各層の全体像を走査電顕を用いて観察した。そして、これをウサギナフタレン白内障およびヒト水晶体の走査電顕像と比較検討した。その結果、以下の結論を得た。

1) 正常ウサギ水晶体：稜突起は縫合線付近 20~40 μm の範囲内および縫合線延長方向 600 μm の範囲内でよく発達していた。また、側方突起を皮質縫合線付近 20~40 μm の範囲内で認めたが、皮質深層では前縫合線延長方向 600 μm の範囲内に広く分布していた。さらに棘突起を皮質で認め、globular pattern を胎生核で認めた。

2) ウサギナフタレン白内障：線維表面の micropllica 様変化を認めた。また、側方突起と稜突起の部分的膨化および遊離を認めた。さらに稜突起が側方突起様に変化する像を認めた。

3) ヒト水晶体：側方突起と globular pattern は認めなかった。棘突起を認め表層ほどよく発達していた。稜突起を認め中心部ほどよく発達していた。核部に micropllica を認めた。

4) これらの結果から次のようなことが示唆された。稜突起は線維間結合の主要構成要素である。側方突起は本質的には稜突起と同じ役割を持った突起である。しかし、側方突起はより強力な突起であるため調節機能にはむかない突起である。棘突起は調節機能のための突起である。Globular pattern と micropllica は水晶体線維表面の退行変性である。前後縫合線は水晶体維持のための重要な部位である。

稿を終えるにあたり、御指導、御校閲いただきました恩師清水由規教授に深謝いたします。さらに御鞭撻頂きました原 彰助教授、ならびに多大の御協力を頂きました日本医科大学数学教室飯田博和先生に心から感謝いたします。

なお、本稿の要旨は第 93 回日本眼科学会総会(1989 年 5 月)ならびに第 56 回日本中部眼科学会(1990 年 11 月)において報告した。

文 献

- 1) 松戸武夫：人眼水晶体線維構造の走査電顕的研究。日眼会誌, 77, 853~871, 1973.
- 2) Sakuragawa, M., Kuwabara, T., Kinoshita, J.H. and Fukui, H.N.: Swelling of lens fiber. Exp. Eye. Res., 21, 381~394, 1975.
- 3) Harding, C.V., Susan, S. and Murphy, H.: Scanning electron microscopy of the adult rabbit lens. Ophthalmic Res., 8, 443~455, 1976.
- 4) 松戸武夫：各種動物水晶体線維突起構造の走査電顕の所見と調節機能について。眼紀, 27, 9~14, 1976.
- 5) 木島 裕：遺伝性白内障マウス（いわゆる中野マウス）水晶体の走査電子顕微鏡的観察。眼紀, 32, 888~895, 1981.
- 6) Willekens, B. and Vrensen, G.: The three-dimensional organization of lens fibers in the rabbit A scanning electron microscopic reinvestigation. Graefes Archiv. Ophthalmologie, 216, 275~289, 1981.
- 7) 松戸武夫：実験的ナフタリン白内障の走査電顕的研究。眼

- 紀, 27, 885~889, 1976.
- 8) 富水咲子: ナフタリン白内障の走査電子顕微鏡による初期像の研究. 臨眼, 33, 1015~1020, 1979.
- 9) 長田正夫: 実験的ナフタリン白内障と動物眼虹彩色との関連について. 第1報 家兎における水晶体の走査電顕的研究. 日眼会誌, 85, 870~879, 1981.
- 10) Duke-Elder, S.: System of Ophthalmology, Vol. 1. The Eye in Evolution. p. 644~654, Henry Kimpton, London, 1958.
- 11) Gorthy, W.C. and Anderson, J.W.: Special characteristics of the polar regions of the rat lens; Morphology and phosphotase histochemistry. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci., 19, 1038~1052, 1980.
- 12) Hogan, M.J., Alvarado, J.A. and Weddell, J.E.: Histology of the human eye, Saunders Company, p. 65~673, Philadelphia, London, Tront, 1971.

(受付: 1990年11月21日)