

# 正常家兎水晶体線維構造の走査電顕的研究

三 浦 雅 博 (日本医科大学眼科学教室)

## 要 約

家兎水晶体線維突起と縫合線との関係について検討するため、観察面露出方法を工夫し、家兎水晶体各層の全体像を走査電顕で観察した。稜突起は縫合線付近 $20\sim 40\mu\text{m}$ の範囲内および縫合線延長方向 $600\mu\text{m}$ 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 $20\sim 40\mu\text{m}$ で認めたが、皮質深層では前縫合線延長方向 $600\mu\text{m}$ の範囲内に広く分布していた。更に棘突起を皮質で認め、globular patternを胎生核で認めた。以上の結果から、縫合線は水晶体形態維持の中心となっており、稜突起・側方突起がそれを補完していると考えた。また家兎水晶体線維の立体構造解析には、縫合線との位置関係を考慮に入れることが重要と思われた。(日眼会誌 93:1062—1067, 1989)

キーワード：家兎水晶体，水晶体線維，線維突起，縫合線，走査電顕

## Scanning Electron Microscopy of the Rabbit Crystalline Lens

Masahiro Miura

Department of Ophthalmology Nippon Medical School

### Abstract

To study the relationship between the fiber process and suture line of the rabbit crystalline lens, the whole surface of each layer of the lens was observed by scanning electron microscopy. The interlocking processes are well developed within an area of  $20$  to  $40\mu\text{m}$  from the suture line and within an area of  $600\mu\text{m}$  in an extended direction from the end of the suture line. Lateral large processes are noted within  $20\sim 40\mu\text{m}$  from the cortical suture and were extensively distributed within  $600\mu\text{m}$  on extended direction from the end of the anterior suture line. Ball and socket junctions were noted in the cortex, and globular patterns were noted in the fetal nucleus. As a result, the suture line is a center of the anatomic structure supported by the interlocking processes and lateral large processes. (Acta Soc Ophthalmol Jpn 93: 1062—1067, 1989)

Key words: Rabbit lens, Lens fiber, Fiber process, Suture line, Scanning electron microscope

## I 緒 言

家兎水晶体は従来、数多くの白内障研究で実験モデルとして用いられてきた。そこで家兎水晶体線維の正常立体構造を把握する事は極めて重要な事と考えられる。正常家兎水晶体線維の立体構造に関する走査電顕

的観察では、松戸<sup>1)2)</sup>、Harding<sup>3)</sup>、Willekens<sup>4)</sup>の報告がある。確かに、これらの報告により立体構造がかなり解明された。しかし、その報告はいずれも前後縫合線との位置関係を含めた全体像を把握したものではなかった。人水晶体では前後縫合線が枝分かれし複雑な構造を呈しているのに対し、家兎水晶体線維では前後

別刷請求先：113 東京都文京区千駄木1-1-5 日本医科大学眼科学教室 三浦 雅博

(平成元年6月18日受付，平成元年7月28日改訂受理)

Reprint requests to: Masahiro Miura, M.D. Dept. of Ophthalmol., Nippon Medical School

1-1-5 Sendagi, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan

(Received June 18, 1989 and accepted in revised form July 28, 1989)

縫合線がそれぞれ単一の線からなり、単純な構造からなっている。すなわち前縫合線は垂直方向に走り、後縫合線は水平方向に走り、それぞれ直角に交差している。我々は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た。そこで今回我々は観察面露出方法を工夫することにより、各層の全体像を走査電顕で観察した。そして各種突起の分布と、前後縫合線の位置関係について幾つかの興味ある知見を得たのでここに報告する。

## II 方法

材料は2.0kg 前後の白色家兎9羽18眼を用いた。摘出した水晶体を実体顕微鏡下で混濁がない事を確認した後、10%ホルマリン液で7日間固定した。そして赤道面で前後に2分割した。更に7日間10%ホルマリン液で固定した後、えぐりだす様にして各層を露出した。露出が困難な場合は、各縫合線に垂直な方向で更に2分割した後、露出した。各層は皮質浅層部・皮質深層部・成人核部・周辺胎生核部・中心胎生核部、の5層に区分した。こうして得られた切片を1%オスミウム酸で10分間固定し、上昇エタノール系列による脱水をそれぞれ12時間ずつ行なった。脱水後、臨界点乾燥機を用いて乾燥し、更に白金イオンスパッタリング蒸着を行ない、こうして得られた試料を走査電顕で観察した。

## III 結果

水晶体繊維の各種突起の呼称については、田中<sup>5)</sup>・Harding<sup>3)</sup>の報告を参考にし、1) 側方突起、2) 稜突起、3) 棘突起、4) microplaca、5) globular pattern の5種を用いた(図1)。

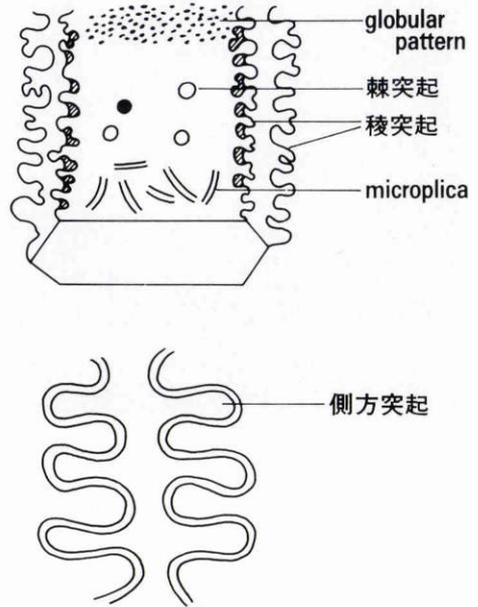


図1 各種突起の分類

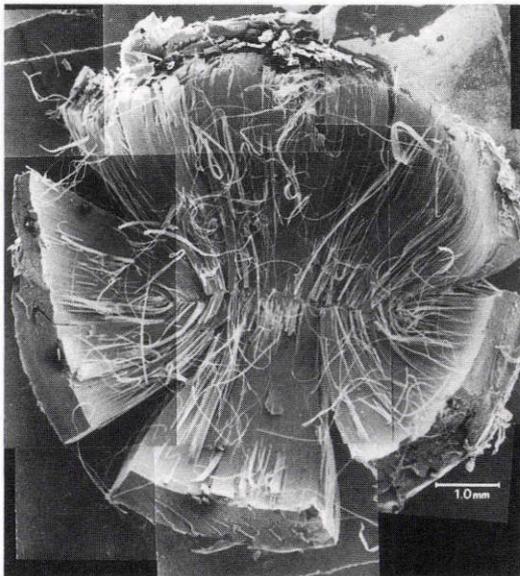
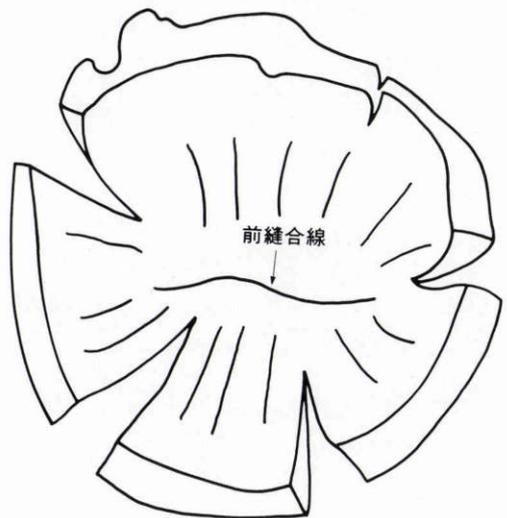


図2 露出面の全体像(皮質深層・前縫合線側)。中央に1本の縫合線を認め、各線維は縫合線から放射状に走行している。



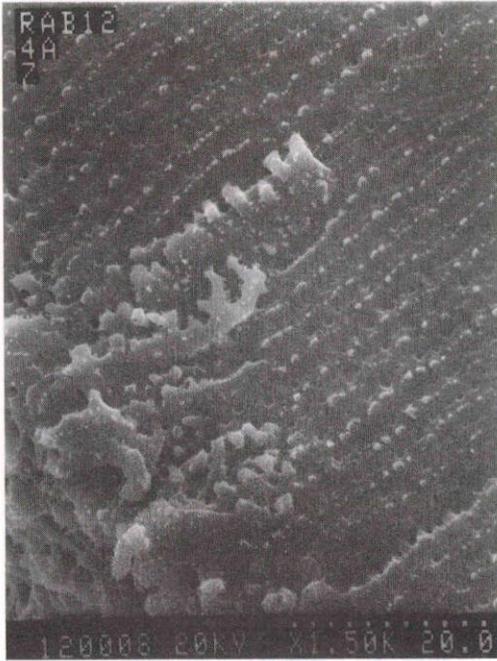


図3 皮質浅層の前縫合線付近. 左下に縫合線を認め、縫合線付近で側方突起がよく発達している. (×1.50K)

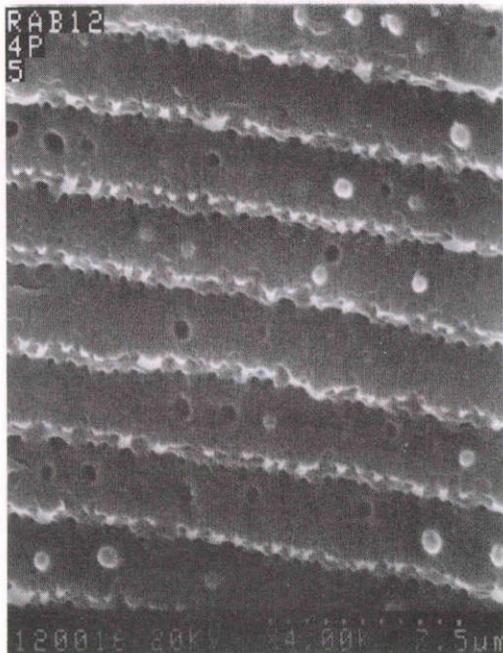
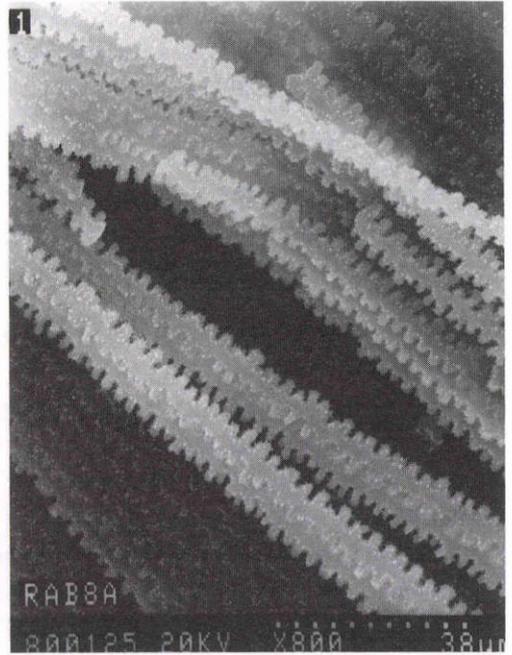


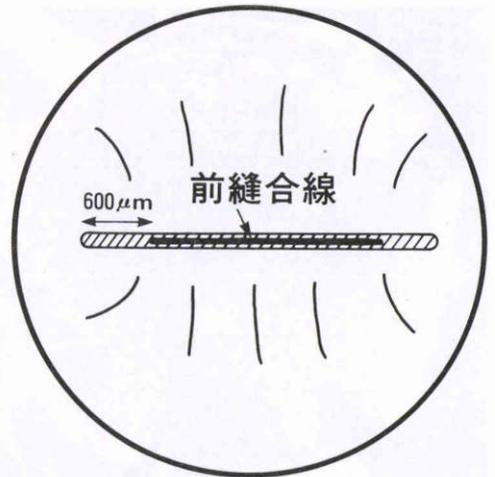
図4 皮質浅層の赤道部付近. 棘突起がよく発達している. (×4.00K)

＜露出面の肉眼的所見＞露出面は、ほぼ正円状をなしていた。中央に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むかって放射状に走行していた(図2)。

＜皮膚浅層＞検体露出面の直径は約12mm、前後縫



A



B

図5A 皮質深層・前縫合線延長方向, 側方突起がよく発達している. B 皮質深層・前縫合線側における側方突起の分布. (斜線部が側方突起の分布範囲) (×800)

合線の長さはそれぞれ約5.5mmであった。側方突起は前後縫合線の周辺20~40 $\mu$ mの範囲内でよく発達していたが、それ以外の部位では殆ど認めなかった(図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 $\mu$ 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20~40 $\mu$ mの範囲内および、延長方向の縫合線終了点より600 $\mu$ mの範囲内では散在するのみであった(図4)。

<皮質深層>検体露出面の直径は約11mm、前後縫合線の長さはそれぞれ約5.0mmであった。側方突起は前後縫合線の周辺20~40 $\mu$ mの範囲内でよく発達していた。さらに側方突起は前縫合線の延長方向では、縫合線終了点より600 $\mu$ mの範囲内に広く分布し、発達していた(図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、縫合線終了点より600 $\mu$ 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。

<成人核>検体露出面の直径は約8.0mm、前後縫合線の長さはそれぞれ約3.5mmであった。側方突起は散

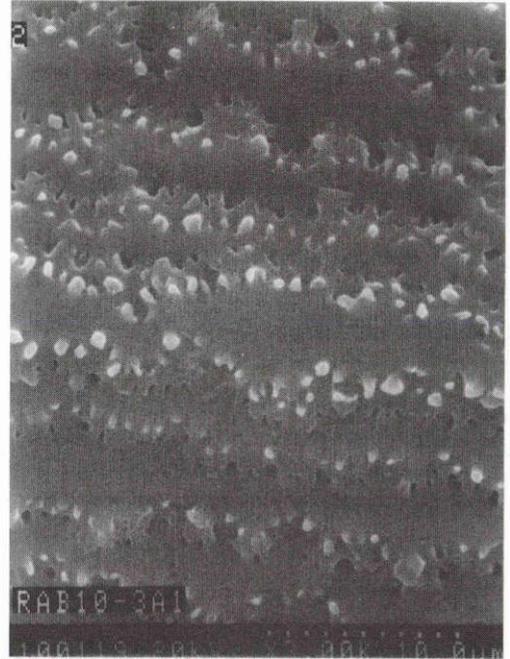


図7 成人核・前縫合線の延長方向。図6に比べて稜突起がよく発達している。(×3.00K)

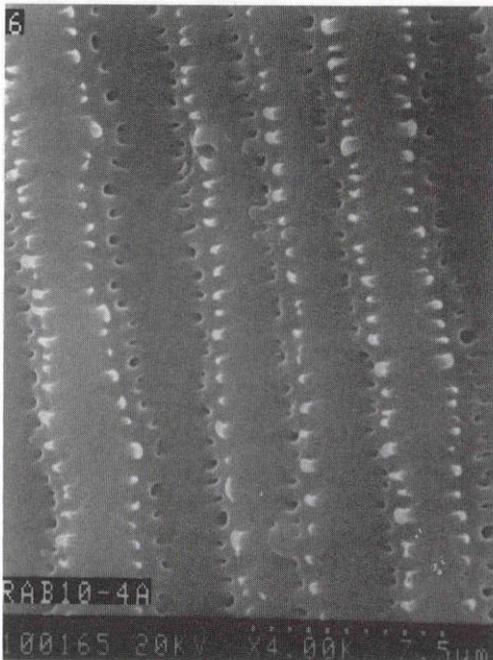


図6 成人核・赤道部付近。稜突起が整然と並んでいる。(×4.00K)

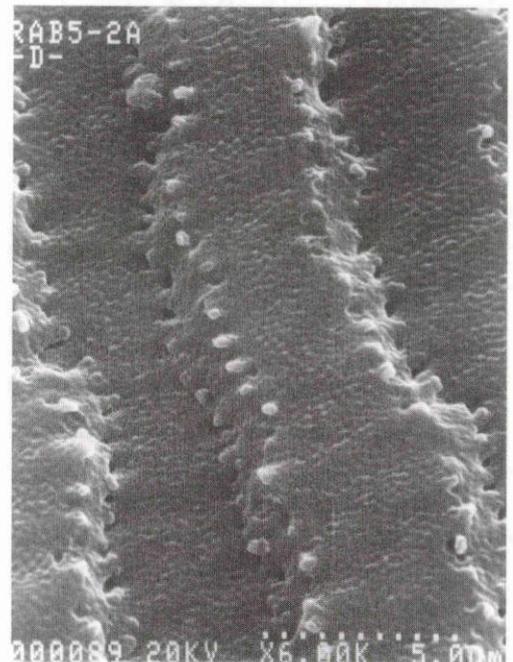


図8 中心胎生核。線維表面にglobular patternを認める。(×6.00K)

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(図6)。特に前後縫合線付近20~40 $\mu\text{m}$ 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(図7)。棘突起はもはや認めなかった。

<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5.0mm、中心胎生核では約3.1mm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2.0mm、中心胎生核では約1.5mmであった。側方突起・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20~40 $\mu\text{m}$ 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 を認めた。これは中心胎生核で、より顕著に認めた(図8)。

#### IV 考 案

従来、家兎水晶体に対する走査電顕の観察では、Harding<sup>3)</sup>、松戸<sup>12)</sup>、Willekens<sup>4)</sup>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<sup>12)</sup>は皮質浅層縫合部付近と皮質最浅層に認めるとし、Willekens<sup>4)</sup>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<sup>3)</sup>は皮質最浅層で最も発達しているとし、松戸<sup>12)</sup>は中心核部では不規則で貧弱であるとし、Willekens<sup>4)</sup>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<sup>3)</sup>は皮質浅層前極付近に認めるとし、Willekens<sup>4)</sup>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我々の結果と比べると、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。

今回の我々の報告の最大のポイント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<sup>3)</sup>は水晶体全体を二分割して、その露出面を観察していた。また松戸<sup>12)</sup>の報告では水晶体全体を12分割したのち層間剥離を実施して、その露出面を観察していた。また Willekens<sup>4)</sup>は水晶体全体を前後に2分割したのち更に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をしたものではなかった。それに対して

我々の方法では縫合線との位置関係を含めた各層の全体像を観察し得た。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 $\mu\text{m}$ の範囲内及び、縫合線延長方向600 $\mu\text{m}$ 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。また皮質深層においては後縫合線周辺に比べて前縫合線周辺の方が側方突起が広く分布していた事も特徴的である。これらの点だけからも、家兎水晶体の立体構造分析には、縫合線を含めた各層の全体像の把握が不可欠であることがうかがえる。

ところで側方突起の分布について Willekens<sup>4)</sup>は皮質浅層の Zinn 氏帯付着部付近に認めたとしている。これは各層を縫合線との位置関係を考慮にいれず観察したために、偶然この様な分布を示した部位を観察した結果にすぎないものと思われる。

では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。これについて考えるためには、他の動物の水晶体立体構造についても考える必要があるが、残念ながら縫合線との位置関係を含めた全体像の観察は今まで報告されていない。そこで各突起のもつ意味についてまず考えてみたい。松戸<sup>12)</sup>は日本猿・豚・家兎・鶏・鳩・鯉・鯖について観察した結果、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、棘状突起は調節と関連すると報告している。また Willekens<sup>4)</sup>は家兎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我々は次の様に考えた。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考えられる。側方突起は調節機能の発達した人<sup>6)</sup>・猿<sup>1)</sup>では認めず、むしろ調節機能の未発達なマウス<sup>7)</sup>・ラット<sup>78)</sup>・鯖<sup>1)</sup>・鯉<sup>1)</sup>で発達している事や、我々の観察結果に見られる様な特殊な分布から考えて、単に調節時の線維伸展のために存在するとは考えがたい。むしろ、その構造から考えて稜突起を補完する強力な結合と考えられる。棘突起については弱い結合と考えられるが、その役割については不明である。

ところで各種突起の分布の意義について論じるためには、縫合線の役割についても考える必要がある。各種動物眼の水晶体に関する報告<sup>3)4)9)10)</sup>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。さらに今回の我々の観察結果でも縫合線付近で側方突起・稜突起が発達していることが確認されて

いる。また Gorthy<sup>9)</sup>は縫合線付近の生化学的特殊性についても報告している。これらの事は縫合線が機能をもたない単なる解剖学的な構造ではなく、機能単位として重要な役割をになっていることが示唆される。

この考えに基づいて、各種突起の分布について次の様に推測した。

1. 前後縫合線は水晶体形態維持の中心となっている。
2. 縫合線付近および縫合線延長方向では、縫合線を補完するため稜突起がよく発達している。
3. 皮質では調節の際のひずみが大きいため、縫合線付近に側方突起が発達している。また後縫合線付近に比べて前縫合線付近で側方突起が発達しているのは、水晶体前面の方が調節の際のひずみが大きいため、より強い結合が必要なためと思われる。

これらの推測から、縫合線周辺とくに縫合線延長線方向は、水晶体形態維持のための結合の中心となっているものと考えられる。また縫合線垂直方向に比べて、縫合線延長方向では明らかに各種突起の分布が異なる事から、白内障発生メカニズムにおいても縫合線との位置関係によってかなり影響を受けることが推測される。すなわち家兎白内障モデルにおける水晶体線維立体構造変化の解析には、縫合線を含めた各層の全体像の把握が重要と思われる。また人水晶体立体構造解析においても縫合線との位置関係が重要なポイントとなっている事が推測される。我々はこの点についてさらに研究を続けていきたいと思う。

稿を終えるにあたり、御指導・御校閲いただきました清水

由規教授に深謝いたします。本稿の要旨は第93回日本眼科学会総会にて報告した。

#### 文 献

- 1) 松戸武夫：各種動物水晶体線維突起構造の走査電顕所見と調節機能について。眼紀 27：9—14, 1976.
- 2) 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.
- 3) Harding CV, Susan S, Murphy H: Scanning electron microscopy of the adult rabbit lens. Ophthalmic Res 8: 443—455, 1976.
- 4) Willekens B, Vrensen G: The three-dimensional organization of lens fibers in the rabbit. Graefes Archive Klin Ophthalmol 216: 275—289, 1981.
- 5) 田中敬一：水晶体の形態について。解剖誌 42：付9, 1967.
- 6) 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.
- 7) Sakuragawa M, Kuwabara T, Kinoshita JH, et al: Swelling of the lens fibers. Exp Eye Res 21: 381—394, 1975.
- 8) Hansson HA: Scanning electron microscopy of the adult rat. A Zellforsch 107: 187—198, 1970.
- 9) Gorthy WC, Anderson JW: Special characteristics of the polar regions of the rat lens: Morphology and phosphatase histochemistry. Invest Ophthalmol Vis Sci 19: 1038—1052, 1980.
- 10) Hogan MJ, Alvarado JA, Weddell JE: Histology of the human eye. Philadelphia. London. Tront, Saunders Company, 665—673, 1971.