“黄色水晶体” 魚アオメエソの眼について

宗 宮 弘 明・田 村 保

(1971 年 3 月 3 日受理)

On the Eye of “Yellow Lens” Fish *Chlorophthalmus albatrossis*

Hiroaki SOMIYA and Tamotsu TAMURA*

It has been shown that the deep-sea fish *Chlorophthalmus albatrossis*, which lives at a depth of 200 m to 400 m, has some interesting characteristics on its eyes.

1. *Chlorophthalmus* has yellow lens. The absorption spectrum of the yellow lens measured revealed an absorption maximum at about 400 nm. This peak is not detected in the colorless lens of *Argentina semifasciata*.

2. Both cones and rods are present in the retina. All the cones examined had been twin cones and are concentrated in the ventral part of the retina.

3. From the distribution of the visual cells, the retina is divided into three areas; the first is the twin cone area, the second is the horizontal line area, and the third is the rod area.

4. Our observations on the form of the head, the position of the eyes, and the structure of the retina, indicate that the visual axis of the eye is directed upward.

5. The functional significance of the twin cone is discussed.

魚類の眼の機能をいろいろな魚種で比較研究した際に、水深約 200~400 m の深海に生息するアオメエソ *Chlorophthalmus albatrossis* JORDAN and STARKS の眼は、黄色水晶体 (Yellow lens) を有する等、多くの興味深い特徴を示すことが明らかになったのでここに報告する。

実験材料および方法

水晶体の吸収スペクトルの研究に用いたアオメエソおよびニギス (*Argentina semifasciata* KISHINOUE) は、1970 年 5 月愛知県形原魚市場から入手した体長約 15 cm の新鮮なものである。

水晶体の吸収スペクトルは、島津自記分光光度計 (Shimazu Recording Spectrophotometer) により測定した。眼球よりとりだした水晶体 (アオメエソ、ニギスともに直径約 5 mm) を、5 mm の石英吸収管 quartz cuvette) に入れその吸収波長を測定した。

さらに、アオエソにおいては、直径約 5 mm の水晶体を 3 mm の石英吸収管に押し込み、その最大吸収波長を求めた。また測定に際しては、水晶体の屈折力による artifact を極力除くために、分光光度計の光源からの光がちょうど水晶体の中心だけを通過するようにした^{1,2)}。

組織学的研究の材料としては、1969 年 10 月熊野灘で水深約 300 m の底層より捕獲された新鮮なアオメエソを用いた。漁獲直後に船上で断頭し、角膜に穴をあけ、BOUIN 液で固定した後研究室に持ち帰り観察に供した。

組織標本は、パラフィン包埋により、Cross および、Tangential section (8~10 μ) とし MAYER のヘマトキシリン、エオシンおよび、BODIAN、大塚の変法を用いて染色を行ない視細胞の形態とその分布状態を

本研究の概要は昭和 45 年 10 月日本水産学会秋季大会で発表した。

* 名古屋大学農学部水産学教室 (Fisheries Laboratory, Faculty of Agriculture Nagoya University, Chikusa, Nagoya, Japan)

観察した。

結 果

水晶体の吸収スペクトル アオメエソの水晶体（直径約 5 mm）および、その水晶体を 3 mm の厚さにしたものの吸収スペクトル、また比較対照として、ニギスの水晶体（直径約 5 mm）の吸収スペクトルを Fig. 1 に示した。

Fig. 1. より、アオメエソの水晶体の吸収スペクトルは、ニギスをはじめ他魚種の無色透明な水晶体の吸収スペクトルとは異なり¹⁾、波長約 330 nm から吸収が始まり約 400 nm で peak に達し、約 460 nm にかけて吸収の減少があり、約 490 nm に至つて吸収はなくなる。すなわち約 340 nm から約 450 nm にかけての光の吸収が大であるために外見上黄色水晶体を呈する。一方対照として測定したニギスの場合、可視部においてはほとんど吸収が見られない、そのため水晶体は外見上無色透明である。

視細胞の種類とその分布状態 アオメエソの網膜は、他の魚種と同じように規則正しい層構造をなしており、その視細胞層 (Visual cell layer) には、錐体 (Cone) と桿体 (Rod) の 2 種の視細胞 (Visual cell) が認められた (plate I-4)。錐体はすべて双錐体 (Twin cone) であり、単錐体 (Single cone) は見られなかつた (plate I-3)。また桿体は束 (Bundle) をなしていた (plate I-1, 2, 4)

一連の Cross および、Tangential section により、網膜は視細胞の分布状態によつて次の部位に分けることができた (Fig. 2-C)。(1) 双錐体部 (Twin cone area) (2) 水平線部 (Horizontal line area) (3) 桿体部 (Rod area)。

(1) 双錐体部: 双錐体部は網膜の下部 (Ventral part) に位置し双錐体だけが密集している (plate I-

Fig. 1. Density spectra of *Chlorophthalmus*'s lens.

(1): intact lens (diameter 5 mm).

(2): the same material (reduced thickness 3 mm).

Density spectra of *Argentina*'s lens.

(3): intact lens (diameter 5 mm)

Detail in paper.

Fig. 2. *Chlorophthalmus albatrossis* JORDAN and STARKS

(A): dorsal view

(B): lateral view

(C): Diagram of left fundus retina (see Plate I-5)

The retina is divided into three areas; the first is the twin cone area (TC), the second is the horizontal line area (H) with rods and fewer small twin cones, and the third is the rod area (R).

OC: Optic cleft, OP: Optic papilla, P 1~4: see Plate I-1~4.

D: dorsal, N: nasal, T: temporal, V: ventral.

3)。しかし、この部位はまわりの桿体部と一線で区分されているのではなく、双錐体部から桿体部へ移る部分には双錐体と桿体の混在部が見られる (plate I-4)。

双錐体部の中心部にある双錐体は、周辺部のものにくらべて細く、双錐体の中央隔壁を乳頭 (Optic papilla) に向けて規則正しく配列している (plate I-3)。その際内節 (Inner segment) は Tangential section においてきれいな六角形を示す (plate I-3)。そしてこの中心部から離れるに従って、外節 Outer segment は短くなり内節は太くなる。さらに双錐体と桿体の混在部のはしでは、小型の双錐体が見られる。

(2) 水平線部: 固定、脱水した網膜を Cedar oil 中で観察すると、乳頭のやや上にはば体軸に平行に走る水平線が認められた (plate I-5)。そしてこの部位に前述の小型双錐体の点在が認められた (plate I-2)。

(3) 桿体部: 双錐体部 および、水平線部以外は桿体の束からなる桿体部である。網膜の前部 (Nasal) および、後部 (Temporal) 方向の周辺近くでは、長い桿体いわゆる Long rod (外節の長さ約 45μ) が認められ、その部位を Tangential section で観察すると、背腹に細長い断面を示す束を形成している (plate I-2)。そしてその部位から離れ、基底 (Fundus) に近づくにつれて桿体は短くなり (外節の長さ約 30μ)、その束も短くなる (plate I-1)。

考 察

黄色水晶体 今回の観察により、アオメエソの黄色水晶体は、その最大吸収波長 ($\lambda_{\max}$) を約 400 nm に持ち、波長約 340 nm から 450 nm にわたって強い吸収を示すことが明らかとなった。そのために水晶体は黄色を呈するのである。

このような黄色水晶体を持つ動物に grey squirrel (*Sciurus carolinensis leucotis*) がありこの $\lambda_{\max}$ は、DARTNALL³⁾ によると約 410 nm 、WEALE⁴⁾ によると約 430 nm で比較的今回のアオメエソの測定値に近い。しかし、COOPER and ROBSON の同種の grey squirrel の測定値 ($\lambda_{\max}=370\text{ nm}$) とは一致しなかった。その他の動物でも黄色の水晶体は報告されている⁵⁻⁹⁾。

光の十分ある環境に生息する動物で、黄色水晶体は眼球内フィルター (Intra-ocular color-filter) の一つとしての機能が考えられて来た⁵⁾。しかし、アオメエソのように水深約 $200\sim 400\text{ m}$ の水底の、光の少ない環境に生息する魚では、このようなフィルターが何の役に立っているかは今のところ説明できない。

網膜 アオメエソの網膜では、双錐体が網膜の下部に局在していることが明らかとなった。このことは上方に向って錐体視覚があることであり、また視軸 (Visual axis) が上方向 (Upward) にあることを示すものである。このことは頭の形および、眼の位置から考えても妥当なことである (Fig. 2-A, B)。さらにこの魚は水深約 $200\sim 400\text{ m}$ で漁獲される深海魚であるということから、このような網膜の構造は光の少ない環境で上方より来るわずかな光を能率よく利用するためのものであると考えられる。

アオメエソの網膜と同じように、錐体が網膜の一部に局在するものに深海魚 *Diretmus argenteus* が報告されている¹⁰⁾。この魚の錐体 (双錐体か、単錐体か、は不明) は、網膜の下後部 (Ventre-temporal part) でのみ、Long rod の外節と外顆粒層 (Outer nuclear layer) にはさまれて存在している。一方アオメエソの場合、双錐体の密集する中心部には桿体は見られない (plate I-3)。このことは、*Diretmus argenteus* が水深約 $1,000\text{ m}$ より採集されており、アオメエソよりもより深い所に適応していることを示すものであろう。

上記のごとくアオメエソの網膜の下部には、単錐体は見られず、双錐体のみが局在するということから、両錐体の機能の差について考察を行なう。WUNDER¹¹⁾ は淡水魚を調べ表層魚に双錐体が多く、比較的深い所にすむ魚に単錐体が多いことを述べた。後に、SVAETICHIN¹²⁾ は、この結果をもととして双錐体が色彩感覚を司どると考えた。しかし後に数種の海産魚で研究され、双錐体は先に対する閾値 (Threshold) が低く、暗い環境に対する適応型であるという考えが出された¹³⁻¹⁷⁾。水深 $200\sim 400\text{ m}$ という光の少ない環境に生息し、桿体が良く発達しているアオメエソの網膜の下部に、双錐体の局在が見られるということは、双錐体が暗い環境に対する適応型であるという考えを支持するものである。

アオメエソに見られる水平線 (Horizontal line) は, MUNK¹⁸⁾ が深海魚 *Omosudis lowei* の網膜で記述した Choroid fissure に由来するものとは異なっており, 色素上皮層が薄くなっているという特徴を示していた。また前述のごとくこの部位の桿体の束の間に見られる小型双錐体の点在は, 水平方向での運動視覚を高めるのに役立つものであると考えられる。

本研究を遂行するに当たり, 材料の採集に御協力頂いた三重県尾鷲水産試験場長河村高知氏, 尾鷲市益栄丸船主場浅益一氏および乗組員の皆様, 愛知県形原町大―鈴木商店藤井務氏, また分光光度計での測定に際し御指導を頂いた本学林産化学教室助教授寺島典二博士, さらに論文作成にあたり御協力頂いた他の多くの皆様に深謝の意を表します。

要 約

水深約 200~400m に生息する深海魚アオメエソ (*Chlorophthalmus albatrossis*) の眼は, 興味深い特徴を持つていることが明らかとなった。

1. アオメエソの水晶体は黄色水晶体 (Yellow lens) で, その最大吸収波長は約 400 nm であった。ニギス (*Argentina semifasciata*) にはこの吸収極大は見られなかった。
2. 網膜には 2 種の視細胞 (錐体, 桿体) が認められた。錐体はすべて双錐体 (Twin cone) で網膜の下部 (Ventral part) に密集していた。
3. 視細胞の分布状態により, 網膜を 3 部位に分けることができた。双錐体の密集している双錐体部 (Twin cone area) と小型双錐体の点在が見られる水平線部 (Horizontal line area) と桿体の束のみからなる桿体部 (Rod area) である。
4. 頭の形, 眼の位置および, 網膜の構造から視軸が上方向 (upward) にあることがわかった。
5. 双錐体の機能について考察を行なった。

文 献

- 1) D. KENNEDY and R. D. MILKMAN: *Biol. Bull., Wood's Hole*, **111**, 375~386 (1956).
- 2) G. F. COOPER and J. G. ROBSON: *J. Physiol.*, **203**, 403~410 (1969).
- 3) G. B. ARDEN and P. H. SILVER: *ibid.*, **163**, 540~557 (1962).
- 4) G. B. ARDEN and K. TANSLEY: *ibid.*, **127**, 592~602 (1955).
- 5) G. L. WALLS and H. D. JUDD: *Br. J. Ophthalm.*, **17**, 641~675 and 705~725 (1933).
- 6) G. L. WALLS: *Science*, **91**, 172 (1940).
- 7) G. L. WALLS: *The Vertebrate Eye and its Adaptive Radiation*, Reprinted 1963, 785pp., Hafner, New York (1942).
- 8) H. J. A. DARTNALL, G. B. ARDEN, H. IKEDA, C. P. LUCK, M. E. ROSENBERG, C. M. H. PEDLER and K. TANSLEY: *Vision Res.*, **5**, 399~424 (1965).
- 9) G. F. COOPER and J. G. ROBSON: *J. Physiol.*, **203**, 411~417 (1969).
- 10) O. MUNK: *Vidensk. Medd. dansk naturh. Foren. Kbh.*, **129**, 73~80 (1966).
- 11) W. WUNDER: *Z. vergl. Physiol.*, **3**, 1~61 (1925).
- 12) G. SVAETICHIN: *Acta Physiol. Scand.*, **39**, Suppl., **134**, 17~46 (1965).
- 13) E. N. WILMER: *Symp. Soc. exp. Biol.*, **7**, 377~394 (1953).
- 14) T. TAMURA: *This Bull.*, **22**, 536~557 (1957).
- 15) A. H. LYALL: *Quart. J. Micr. Sci.*, **98**, 189~201 (1957).
- 16) T. TAMURA and W. J. WISBY: *Bull. Marine Sci. Gulf Caribbean*, **13**, 433~448 (1963).
- 17) K. ENGSTRÖM: *Acta Zool.*, **44**, 179~243 (1963).
- 18) O. MUNK: *Vidensk. Medd. dansk naturh. Foren. Kbh.*, **128**, 341~355 (1965).

Plate I

Explanation of Plate

- Plate I-1A.** Detail of the short rod bundles (SB) composed of many rods. Rectangular part of Plate I-1B.
- I-1B.** Slightly oblique tangential section of rod area, showing short rod bundles. MAYER'S H. E. Stain method.
- Plate I-2.** Slightly oblique tangential section of visual cell layer of horizontal line area with long rod bundles (LB) and fewer small twin cones (S). MAYER'S H. E. Stain method.
- Plate I-3.** Slightly oblique tangential section of visual cell layer of twin cone area. MAYER'S H. E. Stain method.
- Plate I-4.** Cross section of mixed region consisting of twin cones (C) and rods (R). BODIAN-OTSUKA'S Stain method.
- Plate I-5.** Fundus retina of left eye (diameter is about 1.3cm).
(The retinal positions shown in the Plates I-1~4. are indicated in Fig. 2-C.)