

短 報

ヒラメの網膜 S 電位の
スペクトル応答特性古瀬正浩, 五味正揮, 沼田智幸, 袋谷賢吉
(1998年9月28日受付)Spectral Response Properties of S-potentials in the
Retina of the Japanese Flounder *Paralichthys olivaceus*

Masahiro Furuse,* Masaki Gomi,*

Tomoyuki Numada,* and Kenkichi Fukurotani*

キーワード: ヒラメ, 視覚, 網膜, S 電位

魚類の視細胞を光の吸収スペクトル特性からみると、多くの魚種において桿体は1種のみであるのに対し、錐体には数種のものが見られる。¹⁾ これら錐体のスペクトル吸収特性から、各魚種の色覚を考察することが行われている。²⁾ 同様に、視細胞から直接入力を受ける水平細胞の細胞内電位はS電位とも呼ばれ、ガラス微小電極による記録が容易なことから、古くより研究されてきたが、S電位にも様々なスペクトル応答特性を示すものがあり、³⁾ 各魚種の色覚を考察する上での手がかりとなっている。⁴⁾ ヒラメ *Paralichthys olivaceus* は水産における重要魚種の一つであるにもかかわらず、錐体のみならずS電位のスペクトル特性も知られていない。本研究の目的は、電気生理学的手法によりヒラメのS電位のスペクトル特性を調べることであり、さらに、ヒラメの錐体と水平細胞との結合関係、色覚および生息光環境等についても簡単に考察した。

養殖ヒラメの0年魚(全長約30cm)で体色異常の認められないものを試供魚とした。供体内に筋弛緩剤(0.5%塩化アルクロニウム水溶液)を体重10g当り0.01mlの割合で注射し、えら呼吸の停止を待った後、眼より上が水上に出る形で魚体をアクリル製ベッドに固定した。口よりえらに強制的に海水を流し込み、人工呼吸を行った。手術により角膜およびレンズを除去後、瞳開口からガラス微小電極をゆっくり網膜に刺入した。刺入した細胞の水平細胞としての同定は、網膜内刺入距離と細胞内静止電位およびその特徴的な緩電位特性を指標とした。刺激光は、キセノン光源(ウシオ電機, UXL-500D)からの白色光を分光器(Jobin yvon, H20UV)に通して得た単色散乱光で、瞳開口全体に0.4s照射し、波長10nmおきに間欠的にスキャンした。各単色

光の光子数は $1 \times 10^6 \text{s}^{-1} \cdot (\text{mm})^{-2}$ 一定となるように調節した。また、一部の錐体入力の感度を選択的に低下させるために、種々の有色背景光を瞳開口全体に連続的に照射した。たとえば、Fig. 2の結果で使用した有色背景光は、オレンジ背景光(スライド映写用タングステンランプ+Corning, C.S. No. 3-67)と紫背景光(東芝ブラックライト)である。また、常時、白色蛍光灯(東芝, FLR40S W/M)の薄暗い間接光(網膜上約0.05 lx)のもとで実験を行うことにより、桿体の応答を抑制した。つまり、網膜は明順応状態にあり、得られたS電位応答は錐体駆動による。

実験には計8匹のヒラメを用い、計630個の水平細胞からスペクトル応答を記録した。その内515個がL型(1相性)で、残りはC型の2相性であった。他の型のスペクトル応答は記録されなかった。

Figure 1に、スペクトル応答例を示す。Fig. 1Aは1相性水平細胞のもので、その過分極(負電位)最大応答波長ピークは、520nm付近にある。このピーク波長は、種々の有色背景光のもとでも変わらなかった。Fig. 1Bは2相性水平細胞のスペクトル応答の例である。波長460nm付近に過分極相のピーク、波長570nm付近に脱分極(正電位)相のピークが見られる。

Fig. 2に有色背景光のもとでの2相性水平細胞のスペクトル応答を示す。Fig. 2Aは、オレンジ背景光のもとでのものである。脱分極相が選択的にほぼ完全に抑制され、470nmにピークを持つ過分極相のみが残っている。一方、Fig. 2BはFig. 2Aとは逆に、紫背景光により過分極相を抑制したものである。Fig. 1Bと比較すれば、脱分極相のピークが波長550nm付近に移行している。一般に、背景光照射により2相性水平細胞の短波長応答成分を完全に抑制することは難しく、Fig. 2Bでも、短波長光に対する過分極相が見られる。Fig. 2Bの脱分極相のピーク波長は550nm付近にあるが、これは過分極相の影響を受けており、2相性水平細胞への脱分極性入力単独の波長ピークは550nmより短波長側にあるものと思われる。

以上の結果をまとめれば、1)ヒラメの明順応網膜における水平細胞からは、1相性と2相性の2種類のスペクトル型S電位が記録された。2)1相性S電位の最大応答波長520nmは、種々の有色背景光のもとでも変わらなかった。3)2相性水平細胞への過分極性入力は、

* 富山大学工学部知能情報工学科 (Department of Intellectual and Information Systems, Faculty of Engineering, Toyama University, Gofuku, Toyama 930-8555, Japan).

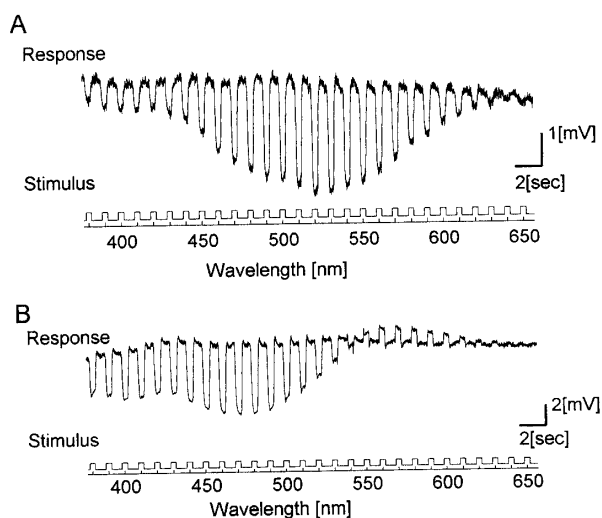


Fig. 1. Spectral responses of S-potentials recorded in the light-adapted retinas of the Japanese flounder.

A: monophasic type; B: biphasic type.

波長 470 nm に最大感度を示した。一方、脱分極性入力 of 最大感度波長は、550 nm より短波長側にあることが示唆された。

これらの結果から、ヒラメの錐体と水平細胞の結合を考察すれば、1) 1 相性水平細胞は、波長 520 nm にスペクトル最大感度を示す錐体 (緑錐体) のみから入力を受けること、2) 2 相性水平細胞は、波長 470 nm に最大感度を示す錐体 (青錐体) から過分極性入力を受けること、さらに、3) 2 相性水平細胞は、緑錐体すなわち波長 520 nm に最大感度を示す錐体から脱分極性入力を受けることが推測される。

水は長波長光をよく吸収するので、水深が増すにつれ、透過光の長波長成分が急激に減衰する。一方、短波長成分は散乱が大きい。以上の結果、澄んだ海では水深が増すにつれ、波長 470 nm 付近を中心に光のスペクトル幅が狭くなる。⁵⁾ ヒラメ水平細胞のスペクトル応答が短・中波長の青・緑に高感度で、620 nm より長波長の赤に低感度なのは、このような生息光環境への適応の結果であると思われる。また、本実験条件下では、Fig. 1B のように、2 相性水平細胞の過分極相は脱分極相に比べ高感度であるが、470 nm 付近の波長成分の多い生息光環境下においては、この過分極相が大きな感度低下

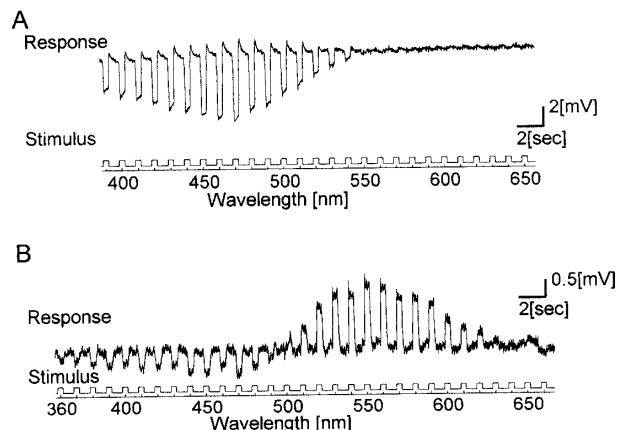


Fig. 2. Spectral responses of the biphasic type under colored backgrounds.

A: orange background; B: violet background.

を生じると考えられる。結局、2 相性スペクトル応答の両相はつり合ったものとなることが推測される。一般に、2 相性水平細胞は、色覚における補色対比に関係していると考えられており、ヒラメの場合も、色覚に青・黄の対比効果を持ち、青い光環境中の黄色 (波長 550–580 nm) の対象物を効率良く識別するものと推定される。

ヒラメの養殖水槽は青色に塗られたものが多いが、以上の結果から、人工飼料を黄色に着色することにより、ヒラメによる飼料の発見を容易にし、不摂食による底残飼料の低減をはかれる可能性も示唆される。

実験魚のヒラメを御提供いただいた近畿大学水産研究所富山実験場、富山県沿岸漁業振興公社栽培漁業センターの関係諸氏並びに、助言をいただいた富山県水産漁港課、林清志博士に感謝申し上げます。

文 献

- 1) J. S. Levine and E. F. MacNichol Jr.: *Sensory Processes*, 3, 95–130 (1979).
- 2) J. N. Lythgoe and J. C. Partridge: *J. Exp. Biol.*, **146**, 1–20 (1989).
- 3) E. F. MacNichol Jr. and G. Svaetichin: *Am. J. Ophthalm.*, **46**, 26–40 (1958).
- 4) T. Tamura and H. Niwa: *Comp. Biochem. Physiol.*, **22**, 745–754 (1967).
- 5) E. R. Loew and W. N. MacFarland: in “The visual system of fish” (ed. by R. H. Douglas and M. B. A. Djamgoz), Chapman & Hall, London, 1990, pp. 1–43.