

魚類における間接照明型発光器の比較解剖, 特に キンメドモドキ *Parapriacanthus beryciformes* の発光器に就て¹

羽根田弥太*・フランク H. ジョ ンソン**

The Comparative Anatomy of the Indirect Type of Photogenic System of
Luminescent Fishes, with Special Reference to *Parapriacanthus beryciformes*¹

Yata HANEDA*, and Frank H. JOHNSON**

A. 緒 言

魚類の発光器の中、発光体が魚体の深部にあって、光は体内の反射器によって強められ、半透明で光をよく透過拡散する性質に変化した胸部竜骨筋、胸部、腹部の筋肉を通して見られるヒイラギ類 *Leiognathidae*、ホタルジャコ類 *Acropomidae* の発光器は従来知られた発光器とは著しく異っているので、このような発光器を羽根田⁽¹⁾ (1939—1950) は間接照明型の発光器と呼んだが、その後の研究によって、この型式の発光器はヒウチダイ科 *Trachichthyidae* のハリダシエビス *Paratrachichthys prosthemius*⁽²⁾、ハタンボ科 *Pempheridae* のキンメドモドキ *Parapriacanthus beryciformes*⁽³⁾、テンジクダイ科 *Apogonidae* のツマグロインモチ *Apogon ellioti*⁽⁴⁾、*Siphamia versicolor*⁽⁵⁾ 等にも見られることがわかり、1959年8月ニューヨークにおいて行われた海洋学会において著者等は報告をした。

1960年ジョンソンは再度来日し、東京教育大学理学部化学、杉山研究室にて海蛍、キンメドモスキのルチフェリンを研究したが、たまたま同大学の杉山教授、長崎医科大学の下村脩博士、助手の斎賀耀彦などとキンメドモスキの発光体を切り取っている際、紫外線を照射した処、発光体のみならず、幽門垂 (Pyloric caeca) も紫外線によって美しい蛍光を放つことを知り、幽門垂中には多量のルチフェリンを含んでいることを発見、発光体を含まぬ幽門垂のみからルチフェリンの結晶を得た。

本報告は魚類における間接照明型の発光器の比較解剖を簡単に述べると共に、特にキンメドモスキの発光体と幽門垂との形態並びに機能の関係について検討した。なお、この報告は *Journal of Morphology* Vol. 110, No. 2, pp. 187~198, 1962. を基礎としたその一部の報告である。

¹ This research has been aided in part by a grants from the National Science Foundation G6106, G4578, and G12857, by Office of Naval Research Contract Nonr 1353(00), and by the Eugene Higgins Fund allocated to Princeton University. Publication in whole or in part by or for any purpose of the United States Government is permitted.

The authors are pleased to acknowledge their indebtedness to Dr. Arthur W. POLLISTER, Editor of the *Journal of Morphology* and to the Wistar Institute, publishers, for their kind permission to use all the figures, and to Mr. James REAM for his effective cooperation in providing copies of color figures for inclusion in this article, from the publication in Volume 110, No. 2, 1962, of the *Journal of Morphology*.

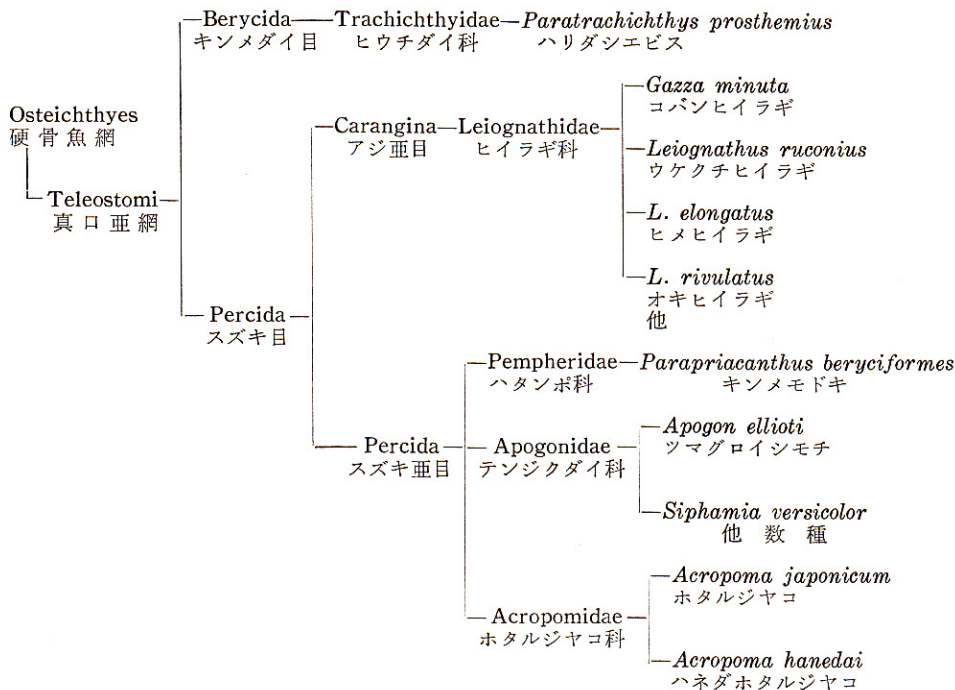
* 横須賀市博物館 Yokosuka City Museum, Kurihama, Yokosuka, Japan.

** プリンストン大学生物学教室 Department of Biology, Princeton University, Princeton, New Jersey, U.S.A.

B. 魚類における間接照明型発光器

ハダカイワシその他多くの深海発光魚の発光器は体表に現われており固定標本でも発光器が外部より容易に見られるのに反して、間接照明型の発光器では発光体が体内深くかくされていて光は魚の胸部、腹部の筋肉を通して見られ、魚体の腹面、そのものが大発光器となっているもので、このような型式の発光器は魚の生時又は新鮮な材料においてのみ光が認められ、固定標本ではその発光器を見落す場合が多い。

この型式の発光魚は分類学上次表に示す2目5科7属の魚に見られる。



発光器の構造は種類が異なるにもかかわらず基本的には同様であって、次の各部よりなる。

1. 発光腺 (Fig. 1. LO.): 消化管と直接或は間接に連絡し、発光腺は開孔している。
2. 反射器 (Fig. 1 REEL.): 銀白色グァニンよりなる層で、発光腺の光を魚の腹面に向って反射させる作用をなし、体内にかくれている。
3. レンズ層 (Fig. 1. TM): 胸部竜骨筋、胸部、腹部の筋肉が半透明、乳白色に変化し、光をよく透過拡散する作用をなし、レンズ或は乳白色電球のような作用をしている。
4. 黒色素素斑 (Fig. 1. CHR.): 発光体の光そのものは明滅のない光であるから発光体を包むカプセルの中、或は腹面のレンズ様筋肉を包む皮膚の中に、多くの伸縮性の黒色素素斑がある。色素の伸縮によって光の明滅、或は明暗に関係するものと思われる。

発光腺はヒイラギ科の魚では食道をとりまく輪状の腺であって、食道内に2つの開孔を持っており、この発光腺を包むカプセル内に多数の伸縮する黒色素素斑があつて、魚をつかむと光は急激に明滅する。ホタルジャコは2種類あつて、腹面の筋肉内にV字状の黄色の発光腺を持つ *Acropoma japonicum* と非常に長い赤色の発光腺が左右の腹部、胸部、胸部竜骨筋内に埋設している *Acropoma hanedai* とがある左右相対する側に小さい多数の孔があつて主導管につながり、肛門の前方に開孔している。色素斑は発光腺にはないが、腹面のレンズ様筋肉を包む皮膚にあるので、多少、光の明暗

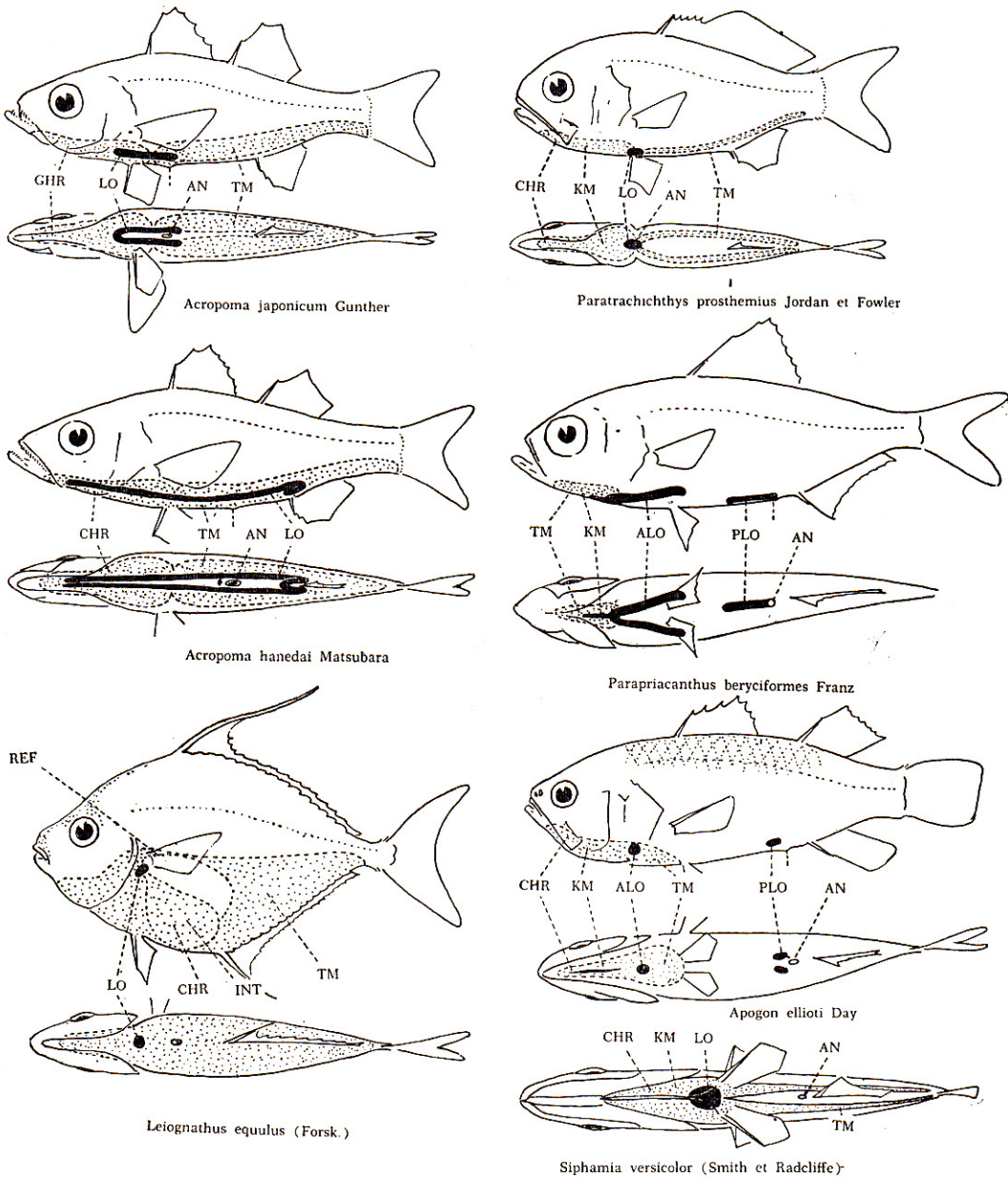


Fig. 1. 間接照明型発光器の模図 (*Siphamia versicolor* は岩井保氏による)
Diagram of the luminescent organ systems of representative species of fish with indirect light-emitting systems.

LO, 発光腺, luminous organ; ALO, 前部 (胸部) 発光腺, anterior luminous organ; PLO, 後部 (肛門) 発光腺, posterior luminous organ; TM, 半透明なレンズ組織, translucent muscle; KM, 半透明の胸部竜骨筋, translucent keel muscle; REF, 反射器, reflector; CHR, 黒色色素斑, chromatophores; AN, 肛門, anus; INT, 内臓, intestine.

に関係すると思われるが、生時急激な明滅をすることは出来ない。ハリダシエビス *Paratrachi-*

chthys prosthemi では発光腺は肛門をかこみ、肛門の前方に開孔し、腺のカプセルには黒色素斑がある。

キンメモドキ *Parapriacanthus beryciformes* は胸部に Y 字状の胸部発光器と、肛門の前方正中線上に直腸の下面に密着している肛門発光器とがある。肛門発光器は直腸と直接つながり、肛門の前方に小孔で開孔しているが、胸部発光器は一对の幽門垂と密着している。黒色素斑は発光体がないので光を明減させることは出来ない。

ツマグロイシモチ *Apogon ellioti* では胸部筋肉内に埋没した発光腺と、直腸の両端に一对の発光腺が腹部の筋肉内に埋没している。3ケの発光腺はいずれも消化管と直接に連絡している。またこの魚と同じ科の *Siphamia versicolor* は胸部筋肉内に発光腺があるがその腺が消化管とどのような関係にあるかは種類によって異っている。

以上述べた魚の中、ヒイラギ科、ホタルジャコ科、ハリダシエビスでは、発光体の内容は共棲する発光バクテリアであるのに反して、キンメモドキ、ツマグロイシモチではその内容物が、ルチフェリン、ルシフェラーゼ反応のある発光物質である点が全く異っている。*Siphamia versicolor* については材料不足のため詳細は不明の点が多いが、1960年羽根田が、フィリピンセブ島で得た材料についてバクテリアの培養試験の結果では陰性であったので発光物質によるものと思われる。

反射層とレンズ層とは魚の種類が異なるにもかかわらず大体似たようであるが、最も反射層の発達しているのはヒイラギ科の魚であって腹腔内面が銀白色に輝き、発光腺上部の光が強く反射されて腹部および尾部の半透明の筋肉内に光が到達する。乳白色半透明の筋肉は脊椎を境にした下部の筋肉全部であって、体の下半部が発光する。ホタルジャコでは胸部竜骨筋から尾端に至る腹面の筋肉の左右が乳白色となっており、この乳白色の筋肉と普通の筋肉との間にグァニンの層があり、反射器の役割をしている。ハリダシエビスにおいてはレンズ組織は肛門の前方と胸部竜骨筋で乳白色になっているが、肛門の後方ではこの乳白色の筋肉が左右、非常に細くなり、直径約 1mm 位の組織となっているので外観はあたかもホタルジャコの発光腺のようであるが、グァニンの層に包まれた筋肉束であって、光を後方まで伝達させる作用をなしている。非常に細く長く延びているが構造はホタルジャコの腹面の乳白色の筋肉組織と同じである。

キンメモドキのレンズ層は胸部竜骨筋と胸部にある V 字状の乳白色の筋肉であってこの V 字状の筋肉の中に Y 字状の発光体があり Y の先端が胸部竜骨筋に深く入り込んでいる。

ツマグロイシモチではレンズ組織は僅かに胸部竜骨筋だけであって、肛門附近、胸部の筋肉はレンズ組織のように変化をしていないが、この魚は腹部は白色、やや半透明の魚であるから光は外部より充分認められる。

Siphamia 属の魚はいずれも胸部および腹部にホタルジャコに見られるような乳白色、半透明な筋肉よりなるレンズ層が発達しており他の筋肉との境にグァニン層の反射器が発達しているので明かに発光魚であるが材料不足のため詳細は今後の研究に持たねばならない。

C. キンメモドキ *Parapriacanthus beryciformes* の発光器と幽門垂

この魚は 1910 年 Franz⁽⁶⁾ により日本の近海より報告されたが、1958 年著者等⁽³⁾ が報告するまでは発光することは全く知られていなかった。すでに報告したように胸部発光器 (Fig. 2. TLO) と肛門発光器 (Fig. 2. ALO) とよりなるが、胸部発光器については次のように訂正する。即ち、胸部発光器の外観は胸部に V 字状の半透明白色の部として現われている、体長 55 mm. の魚ではこの V 字状の発光部は長さ 11mm. 巾 1.5mm. 胸部竜骨筋は乳白色半透明で、V 字状の筋肉と共にレンズの役割をしている。発光体は極めて細い白色の線状で Y 字状で太さ 0.4mm. V 字状の乳白色の筋肉の深部に埋没していて Y 字の先端が胸部竜骨筋の中へ深く入り込んでいる。

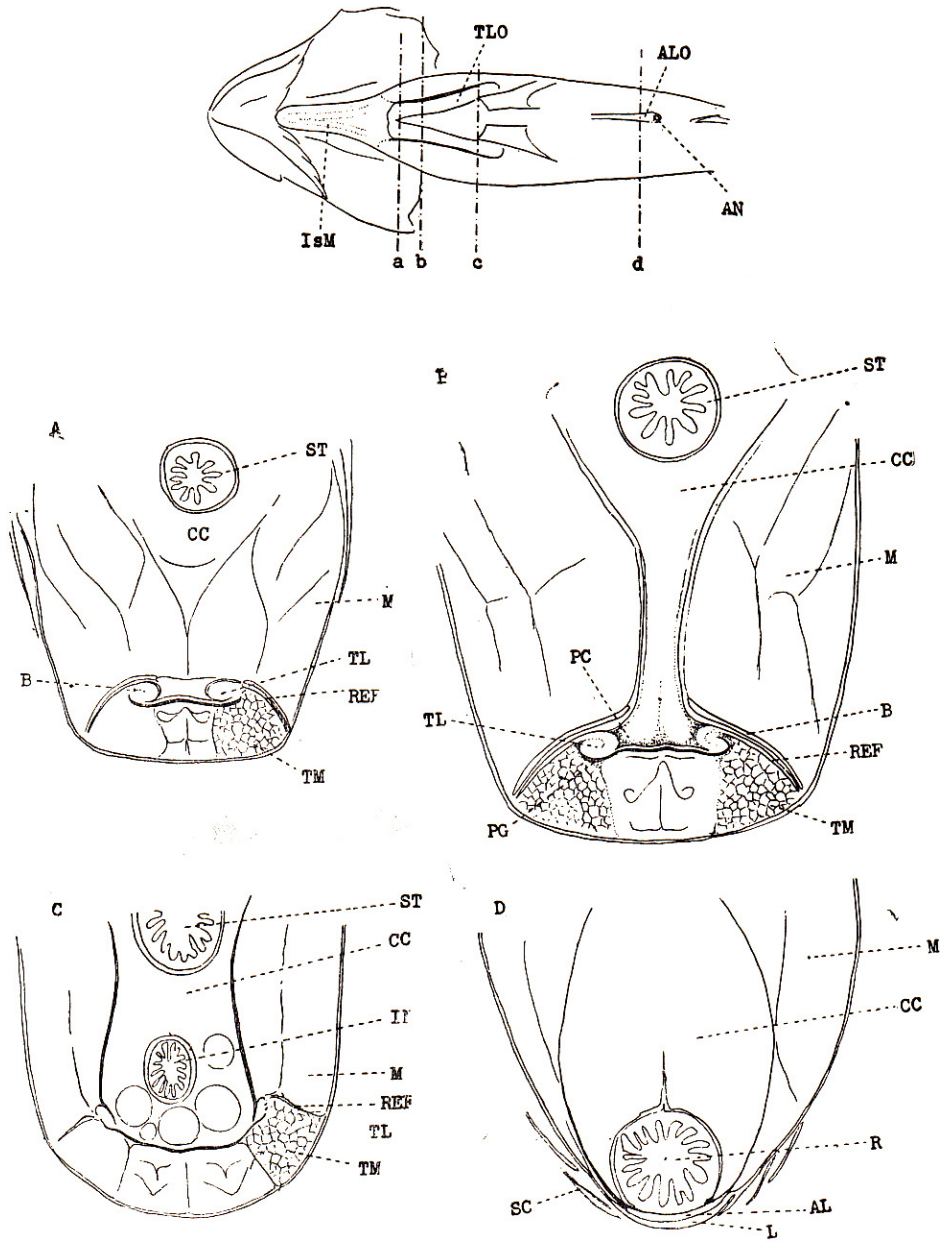
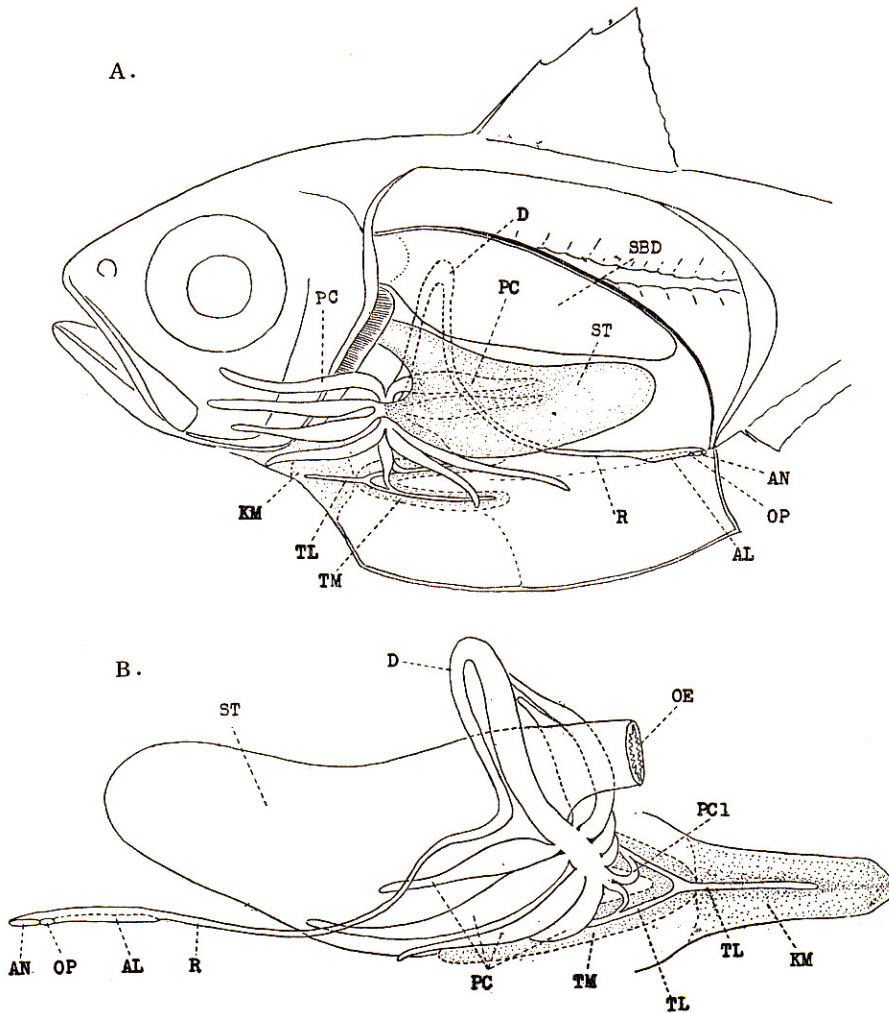


Fig. 2. キンメモドキ *Parapriacanthus beryciformes* の発光器およびその断面の模図

A, B, C, D はそれぞれ a, b, c, d の位置にての切断図

Diagrams of transverse sections (A, B, C, D) of *Parapriacanthus* at the positions along the body axis as indicated (a, b, c, d) in the uppermost drawing.

TLO, 胸部発光器, thoracic luminous organ; ALO, 肛門発光器, anal luminous organ; TL, 胸部発光体, thoracic luminous duct; AL, 肛門発光体, anal luminous duct; REF, 反射器; TM, 胸部発光器の半透明のレンズ組織; PG, 黒色色素; PC, 幽門垂, pyloric caeca; IsM, 胸部竜骨筋, translucent isthmus muscle; IN, 内臓; ST, 胃; L, レンズ, lens; R, 直腸, rectum.



Figs. 3, A, B キンメドキの内臓および発光器模図

A. Diagram of the luminescent organ system of *Parapriacanthus* from the left lateral aspect.

B. Diagram from the right lateral aspect of the luminescent organ system of *Parapriacanthus* dissected from the body.

TL, 胸部発光体, thoracic luminous duct; TM, 胸部発光器の半透明のレンズ組織; KM, 半透明のレンズの作用をなす胸部竜骨筋, keel or isthmus muscle; PC1, 第一幽門垂, first pair of pyloric caeca; PC, 幽門垂, pyloric caeca; SM, 胃; D, 腸; SBD, ウキブクロ, swim bladder; R, 直腸; AL, 肛門発光体; OP, 開孔, opening of the anal luminous duct; AN, 肛門.

ここで最も驚異とする所は胸部発光器は単に Y 字状の発光体だけでなく Figs. 3, 4, に示すように Y 字の両側において、幽門垂の一对と直接連絡していることである。この魚には 5 対の幽門垂があるが、この 5 対の幽門垂は Fig. 4 B および Plate 1, B に示すように紫外線の下で美しい青黄色の蛍光を放つことであって、このことは幽門垂内に多量のルチフェリンを含んでいることである。著者等⁽⁷⁾はこの幽門垂からルチフェリンの結晶を得ることに成功した。勿論、ルチフェリンのみでは発光しないので、暗所で魚を見てもこの幽門垂自体は発光しないが、幽門垂がルチフェリンの貯

蔵所となり，絶えず少量ずつのルチフェリンをY字状の発光体に送り，発光体内のルチフェラーゼと一緒に連続的に光り続けるようにしているわけである。

幽門垂の先端が腹壁内の器官に連絡している例を聞かないし，幽門垂が発光物質の貯蔵庫となっている例を聞かないので，本魚の発光器は一つの全く新しい機能を持った発光器といえる。

幽門垂は胃に直接連絡しているので，この発光器もまた消化管と連絡しているものと考えられる。肛門発光器の外観は肛門の前方正中線上に巾1 mm. 長さ6 mm. の白色の直線となっているが，

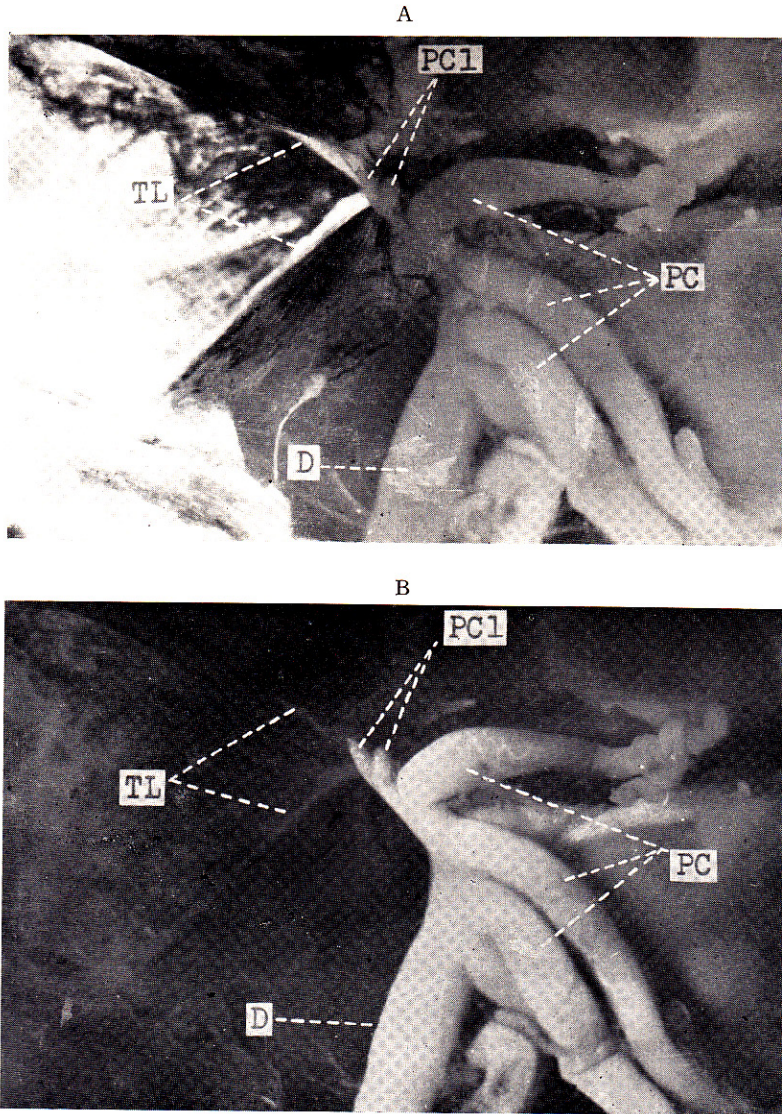


Fig. 4. 幽門垂 (PC) と胸部発光体 (TL) との関係を示す。

自然光にて撮影 (上図) および紫外線の下にて撮影 (下図)。紫外線によって幽門垂および消化管内のルチフェリンが強い螢光を放つのを示す。

Dissection showing the pyloric caeca (PC) and thoracic luminous duct (TL), and the communication between the two organs via the first pair of pyloric caeca (PC1), photographed by daylight (above) and by ultraviolet light (below).

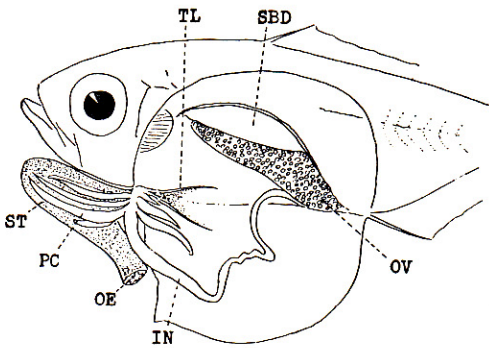


Fig. 5. Plate 1, A, B における胸部発光腺と内臓，幽門垂の関係を示す。
Diagram of the structures apparent in plate 1, A and B.

者の間にも強い交叉反応があることがわかった。しかも，本魚のルチフェリンと海蛸のルチフェリンの結晶を比較するに殆んど区別のつかぬ程似ていることがわかった。しかもその発光器の構造をみると胃と直接連絡のある幽門垂の中にルチフェリンが豊富に貯蔵されており，この幽門垂の一对が直接，発光体に連絡のあることからみると発光体内のルチフェリンは消化管より供給されているように思われる。

なお 2300 余のキンメモドキの胃の内容を調べた所，多くはアミの類であったが，海蛸を摂取していた個体が 10 数個体が認められた。

このような事実から考えると，本魚の発光物質は実は摂取した海蛸の発光物質を胃にて分解し，ルチフェリンを幽門垂に貯蔵し，発光体にルチフェラーゼを用意して幽門垂より少量ずつルチフェリンを供給するのではなかろうか，このような見地からすれば本魚には発光能力が全くなく，丁度ヒイラギやホタルジャコ，ハリダシエビスが魚自身全く発光能力が無いにもかかわらず発光細菌を培養し，その光を強めるため，反射層，レンズ層などを具えたと同様，本魚も海蛸の発光物質を利用しているのではないかと疑問である。

これを明かにするためには海蛸を含ませ餌で魚を飼育し或る期間飼育して発光しなくなったとする，この時，海蛸を与えて再び発光を恢復することを確かめることが出来れば一番確実であるが，この実験は容易ではない。

本魚とその発光器の構造上根本的にはよく類似しているツマグロイシモチを羽根田は 1960 年と 1961 年の 2 回，インドのマドラス魚市場にて採集し，その発光体と海蛸との交叉反応を行った所，強い陽性を示すことを知った，南インドには海蛸はいないことになっている。海蛸のいない場所とれたツマグロイシモチの発光体と海蛸との間に強い交叉反応があることは，ツマグロイシモチの発光物質が食物である海蛸から来たものではないことの証明になるとも考えられるが，また南インドの海に類似の発光甲殻類がいて，それを捕食したためとも考えられる。

いずれにしてもキンメモドキとツマグロイシモチの発光物質は，魚自体で作ったものか，摂取した海蛸から発光物質をとって利用したものか極めて興味ある問題である。

もし，本魚の発光体を魚自身で作出すものとするれば，その発光物質と海蛸の発光物質との間に起る交叉反応において非常に興味あることであり，また，本魚の発光体が摂取した海蛸から来るとすれば，化学の方面では興味は無くなるが，生物学的には発光細菌共棲説以上に極めて興味ある事

内部では直腸の下部に密着した白色の発光体があって，この発光体は直接直腸に密着していて，ルチフェリンは直腸より取るものと思われる。

D. 幽門垂内のルチフェリンは，はたしてどこから来たものであるか

本魚の発光物質と海蛸 *Cypridina hilgen-dorfii* の発光物質の間には Luciferin, Luciferase 交叉反応が陽性である。元来，Luciferin Luciferase 反応は同種，或は極めて近縁な発光動物間においてのみ起るものとされていたが，著者⁽⁴⁾等はさきに，ツマグロイシモチ *Apogon ellioti* と海蛸との間に交叉反応があることを報告したが，本魚と海蛸，ツマグロイシモチの三

実といわなければならない。

この研究に御協力を下さった東京教育大学杉山登教授、プリンストン大学生物学教室に滞在中の下村修博士並びに斉賀耀嬢に対して感謝の意を表す。なお、この報告の Plate 1 のカラー写真は Mr. JAMES REAM の好意によって、Journ. of Morphology Vol. 110 No. 2 のコピーを、図は同誌の Editor である Dr. A. W. POLLISTER の許可を得て使用することが出来た。ここに両氏に対して深謝する次第である。

Summary

The morphology of the luminescent organ system of *Parapriacanthus beryciformes* Franz is described with special reference to the anatomy and function of 5 pairs of pyloric caeca, the most anterior pair of which are found to communicate directly with the Y-shaped, thoracic luminous body embedded in translucent, ventral musculature that serves as a lens. No structural communication could be found between internal organs and the the linear, mid-ventral, posterior luminous body which is attached to the rectum and opens to the outside through a small pore adjacent to the anus.

Quantitative data indicate that the pyloric caeca dissected from over 2,300 specimens average 25 milligrams in wet weight, and contain an average of 0.017 mg luciferin although they vary greatly in size and luciferin content among different individuals. The function of the caeca appears to be that of storing luciferin, the substrate whose oxidation is catalyzed by the enzyme luciferase, accompanied by the emission of visible light. Histologically the caeca are almost the same as the intestine. The origin of the luciferin cannot be stated with certainty, inasmuch as dead but still luminous specimens of the small, ostracod crustacean, *Cypridina*, were found in the stomachs of a few individuals among the several thousand dissected, and the fish luciferin appears to be chemically identical to that of *Cypridina*. The fish luciferase, which cross-reacts with *Cypridina* luciferin, is confined to the thoracic and anal luminous bodies proper.

The taxonomic relationships among 2 orders, 5 families and 7 genera of teleosts, together with the anatomy of the luminescent organ systems of other fish with indirect light emission from luminous bodies within the coelomic cavity are briefly summarized.

Symbiotic luminous bacteria live in the species belonging to the genera *Paratrachichthys*, *Gazza*, *Leiognathus* and *Acropoma*. No luminous bacteria live in the glands of the fishes of the genera *Parapriacanthus*, *Apogon* and *Siphamia*. In general, these organ systems include 4 components, viz., one or more luminous bodies, a cloudy, translucent muscle serving as a lens, an opaque, white reflector, and chromatophores which function to control the brightness of emitted light; *Parapriacanthus* is the only known example wherein pyloric caecae constitute a 5th, integral part of the organ system.

References

- 1) YASAKI, Y., and Y. HANEDA 1936 Ueber den neuen Typus von Leuchtorgan in Fisch. Proc. Imperial Academy, 12: 55~57 (*Acropoma japonicum*).
- HANEDA, Y. 1938 Luminous fishes from southern seas. Kagaku Nanyo, 1: 21~27. In Japanese.
- 1939 New Type of luminous organ of fish. Reiko (Cold Light) Ser. 1: 45~55. In Japanese.
- 1940 On the luminescence of the fishes belonging to the family Leiognathidae of

- the tropical Pacific. Palao Tropical Biological Station Studies. 2: 29~39.
- 1950 Luminous organs of fish which emit light indirectly. Pacific Science 4 (3): 214~27.
- 1955 Luminous organisms of Japan and the Far East. In, "The Luminescence of Biological Systems", F. H. JOHNSON (ed.), 335~385, Amer. Assoc. Adv. Sci., Washington, D. C.
- 1958 New Types of Luminous Organ in Fish. Bull. de la Société Franco-japonaise de Biologie, 7: 213~227.
- 2) KUWABARA, S. 1955 Some observations on the luminous organ of the fish, *Paratrachichthys* Jordan & Fowler. J. Shimonoseki College of Fisheries, 4 (2): 81~85.
- HANEDA, Y. 1957 Observations on luminescence in the deep-sea fish, *Paratrachichthys prothemius*. Science Rep. Yokosuka City Museum, 2: 15~32.
- 3) HANEDA, Y. and Frank H. JOHNSON 1958 The Luciferin-Luciferase reaction in a fish, *Parapriacanthus beryciformes*, of newly discovered luminescence, Proc. Nat. Acad. Sci., 44): 127~129.
- JOHNSON, F.H., and Y. HANEDA 1958 The luciferin-luciferase reaction in a fish, *Parapriacanthus beryciformes*, of newly discovered luminescence. Sci. Rep. Yokosuka City Mus., 3: 25~30. In Japanese.
- 4) KATO, K. 1947 A new type of luminous organ of fishes, Zool. Mag. Tokyo, 57: 195~197. In Japanese. (*Apogon marginatus*)
- IWAI, T., and H. ASANO 1958 On the luminous cardinal fish, *Apogon ellioti* DAY. Sci. Rep. Yokosuka City Mus., 3: 5~13.
- HANEDA, Y., Frank H. JOHNSON and Edward H.-C. SIE 1958 Luciferin and Luciferase extract of a fish, *Apogon ellioti* and their luminescent cross reactions with those of a crustacean, *Cypridina hilgendorffii*. Biol. Bull., 115: 336.
- HANEDA, Y. and F. H. JOHNSON 1959 The luminescent cross-reaction between extracts of the luminous fish, *Apogon ellioti* DAY and extracts of the crustacean, *Cypridina*. Sci. Rep. Yokosuka City Mus., 4: 13~17.
- 5) IWAI, T. 1958 A study of the luminous organ of the apogonid fish *Siphamia versicolor* (SMITH & RADCLIFFE), J. Washington Acad. of Sci., 48 (8): 267~270.
- MATSUBARA, K. and IWAI, T. 1958 A New Apogonid Fish, *Siphamia majimai*. Results of Amami Islands Expedition No. 2, Annals and Magazine of Natural History, Ser. 13 vol. i, 603.
- IWAI, T. 1959 Notes on the luminous organ of apogonid fish, *Siphamia majimai*. Annals and Magazine of Nat. Hist. Ser. 13, 2: 545~550.
- 6) FRANZ, V. 1910 Die japanischen Knochenfische der Sammlungen Haberer and Doflein. Beiträge zur Naturgeschichte Ostasiens. Abhandlungen der Math.-phys. Klasse der K. Bayer. Akad. W. JV, Supple., 1: 1~135 (cf. p. 33)
- 7) JOHNSON, F.H., N. SUGIYAMA, O. SHIMOMURA, Y. SAIGA and Y. HANEDA 1961. Crystalline Luciferin from a luminescent fish, *Parapriacanthus beryciformes*. Proc. Nat. Acad. Sci., 47 (4): 486~489.
- JOHNSON, F.H., H.-C. SIE and Y. HANEDA 1961 The luciferin-luciferase reaction. In "Light and Life", W.D. MCELROY and B. GLASS (eds.), pp. 206~218, John Hopkins Univ. Press, Baltimore, Md.
- JOHNSON, F.H., O. SHIMOMURA and Y. SAIGA 1961 The luminescence potency of the Cypridina System. Science, 134: 1775~1776.
- JOHNSON, F. H., Y. HANEDA and H.-C. SIE 1960 An interphylum luciferin.luciferase reaction. Science, 132: 442~423.
- HARVEY, E. N. 1952 "Bioluminescence" Academic Press, New York.
- HANEDA, Y., F. H. JOHNSON, Y. MASUDA, Y. SAIGA, O. SHIMOMURA, H.-C. SIE, N. SUGIYAMA and S. TAKATSUKI 1961 Crystalline luciferin from live Cypridina. J. Cell. Comp. Physiol., 57: 55~62.
- SIE, E., H.-C., W.D. MCELROY, F.H. JOHNSON and Y. HANEDA 1961 Spectroscopy of the *Apogon* luminescent system, and its cross-reaction with the *Cypridina* system. Arch. Biochem. Biophys., 93: 286~291.



A



B

- A. キンメモドキの幽門垂と内臓との関係. 自然光にて撮影. Dissection of *Parapriacanthus beryciformes* showing the pyloric caeca and portions of the visceral organs, photographed by daylight.
- B. Aと同じものを紫外線にて撮影, 幽門垂および腸管内のルチフェリンが紫外線によって強い蛍光を放つのを示す. The same as A but photographed by ultraviolet light, showing the strong fluorescence due to large amounts of luciferin in the caeca and first portion of the intestine.

魚類における間接照明型発光器の比較解剖, 特に キンメドモドキ *Parapriacanthus beryciformes* の発光器に就て¹

羽根田弥太*・フランク H. ジョ ンソン**

The Comparative Anatomy of the Indirect Type of Photogenic System of
Luminescent Fishes, with Special Reference to *Parapriacanthus beryciformes*¹

Yata HANEDA*, and Frank H. JOHNSON**

A. 緒 言

魚類の発光器の中、発光体が魚体の深部にあつて、光は体内の反射器によって強められ、半透明で光をよく透過拡散する性質に変化した胸部竜骨筋、胸部、腹部の筋肉を通して見られるヒイラギ類 *Leiognathidae*、ホタルジャコ類 *Acropomidae* の発光器は従来知られた発光器とは著しく異つているので、このような発光器を羽根田⁽¹⁾ (1939—1950) は間接照明型の発光器と呼んだが、その後の研究によって、この型式の発光器はヒウチダイ科 *Trachichthyidae* のハリダシエビス *Paratrachichthys prosthemius*⁽²⁾、ハタンボ科 *Pempheridae* のキンメドモドキ *Parapriacanthus beryciformes*⁽³⁾、テンジクダイ科 *Apogonidae* のツマグロインモチ *Apogon ellioti*⁽⁴⁾、*Siphamia versicolor*⁽⁵⁾ 等にも見られることがわかり、1959年8月ニューヨークにおいて行われた海洋学会において著者等は報告をした。

1960年ジョンソンは再度来日し、東京教育大学理学部化学、杉山研究室にて海蛍、キンメドモドキのルチフェリンを研究したが、たまたま同大学の杉山教授、長崎医科大学の下村脩博士、助手の斎賀耀彦などとキンメドモドキの発光体を切り取っている際、紫外線を照射した処、発光体のみならず、幽門垂 (Pyloric caeca) も紫外線によって美しい蛍光を放つことを知り、幽門垂中には多量のルチフェリンを含んでいることを発見、発光体を含まぬ幽門垂のみからルチフェリンの結晶を得た。

本報告は魚類における間接照明型の発光器の比較解剖を簡単に述べると共に、特にキンメドモドキの発光体と幽門垂との形態並びに機能の関係について検討した。なお、この報告は *Journal of Morphology* Vol. 110, No. 2, pp. 187~198, 1962. を基礎としたその一部の報告である。

¹ This research has been aided in part by a grants from the National Science Foundation G6106, G4578, and G12857, by Office of Naval Research Contract Nonr 1353(00), and by the Eugene Higgins Fund allocated to Princeton University. Publication in whole or in part by or for any purpose of the United States Government is permitted.

The authors are pleased to acknowledge their indebtedness to Dr. Arthur W. POLLISTER, Editor of the *Journal of Morphology* and to the Wistar Institute, publishers, for their kind permission to use all the figures, and to Mr. James REAM for his effective cooperation in providing copies of color figures for inclusion in this article, from the publication in Volume 110, No. 2, 1962, of the *Journal of Morphology*.

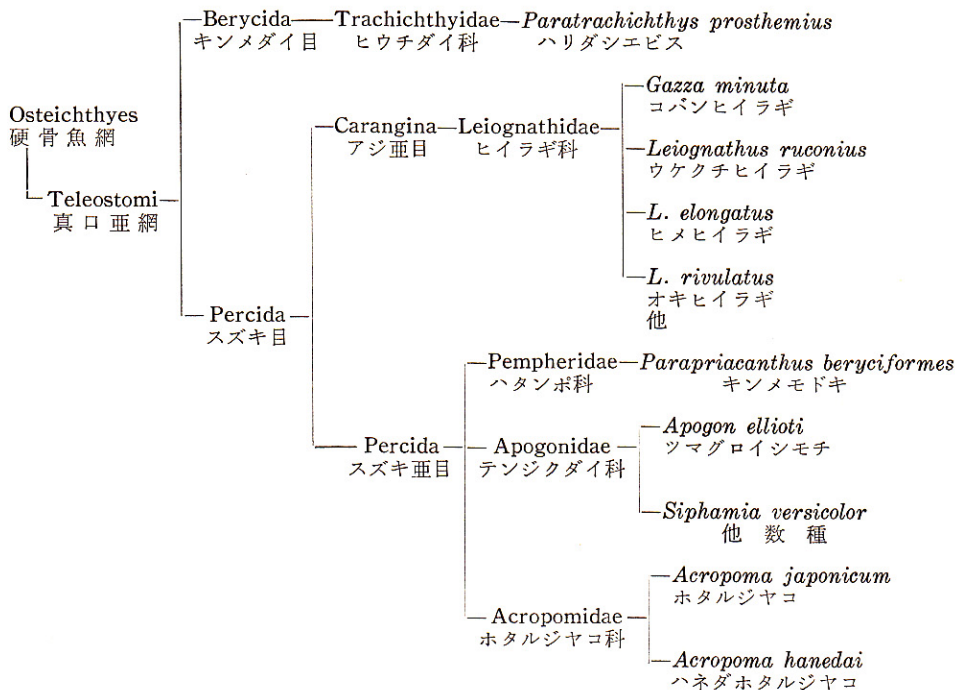
* 横須賀市博物館 Yokosuka City Museum, Kurihama, Yokosuka, Japan.

** プリンストン大学生物学教室 Department of Biology, Princeton University, Princeton, New Jersey, U.S.A.

B. 魚類における間接照明型発光器

ハダカイワシその他多くの深海発光魚の発光器は体表に現われており固定標本でも発光器が外部より容易に見られるのに反して、間接照明型の発光器では発光体が体内深くかくされていて光は魚の胸部、腹部の筋肉を通して見られ、魚体の腹面、そのものが大発光器となっているもので、このような型式の発光器は魚の生時又は新鮮な材料においてのみ光が認められ、固定標本ではその発光器を見落す場合が多い。

この型式の発光魚は分類学上次表に示す2目5科7属の魚に見られる。



発光器の構造は種類が異なるにもかかわらず基本的には同様であって、次の各部よりなる。

1. 発光腺 (Fig. 1. LO.): 消化管と直接或は間接に連絡し、発光腺は開孔している。
2. 反射器 (Fig. 1 REEL.): 銀白色グァニンよりなる層で、発光腺の光を魚の腹面に向って反射させる作用をなし、体内にかくれている。
3. レンズ層 (Fig. 1. TM): 胸部竜骨筋、胸部、腹部の筋肉が半透明、乳白色に変化し、光をよく透過拡散する作用をなし、レンズ或は乳白色電球のような作用をしている。
4. 黒色素素斑 (Fig. 1. CHR.): 発光体の光そのものは明滅のない光であるから発光体を包むカプセルの中、或は腹面のレンズ様筋肉を包む皮膚の中に、多くの伸縮性の黒色素素斑がある。色素の伸縮によって光の明滅、或は明暗に関係するものと思われる。

発光腺はヒイラギ科の魚では食道をとりまく輪状の腺であって、食道内に2つの開孔を持っており、この発光腺を包むカプセル内に多数の伸縮する黒色素素斑があつて、魚をつかむと光は急激に明滅する。ホタルジャコは2種類あつて、腹面の筋肉内にV字状の黄色の発光腺を持つ *Acropoma japonicum* と非常に長い赤色の発光腺が左右の腹部、胸部、胸部竜骨筋内に埋設している *Acropoma hanedai* とがある左右相対する側に小さい多数の孔があつて主導管につながり、肛門の前方に開孔している。色素斑は発光腺にはないが、腹面のレンズ様筋肉を包む皮膚にあるので、多少、光の明暗

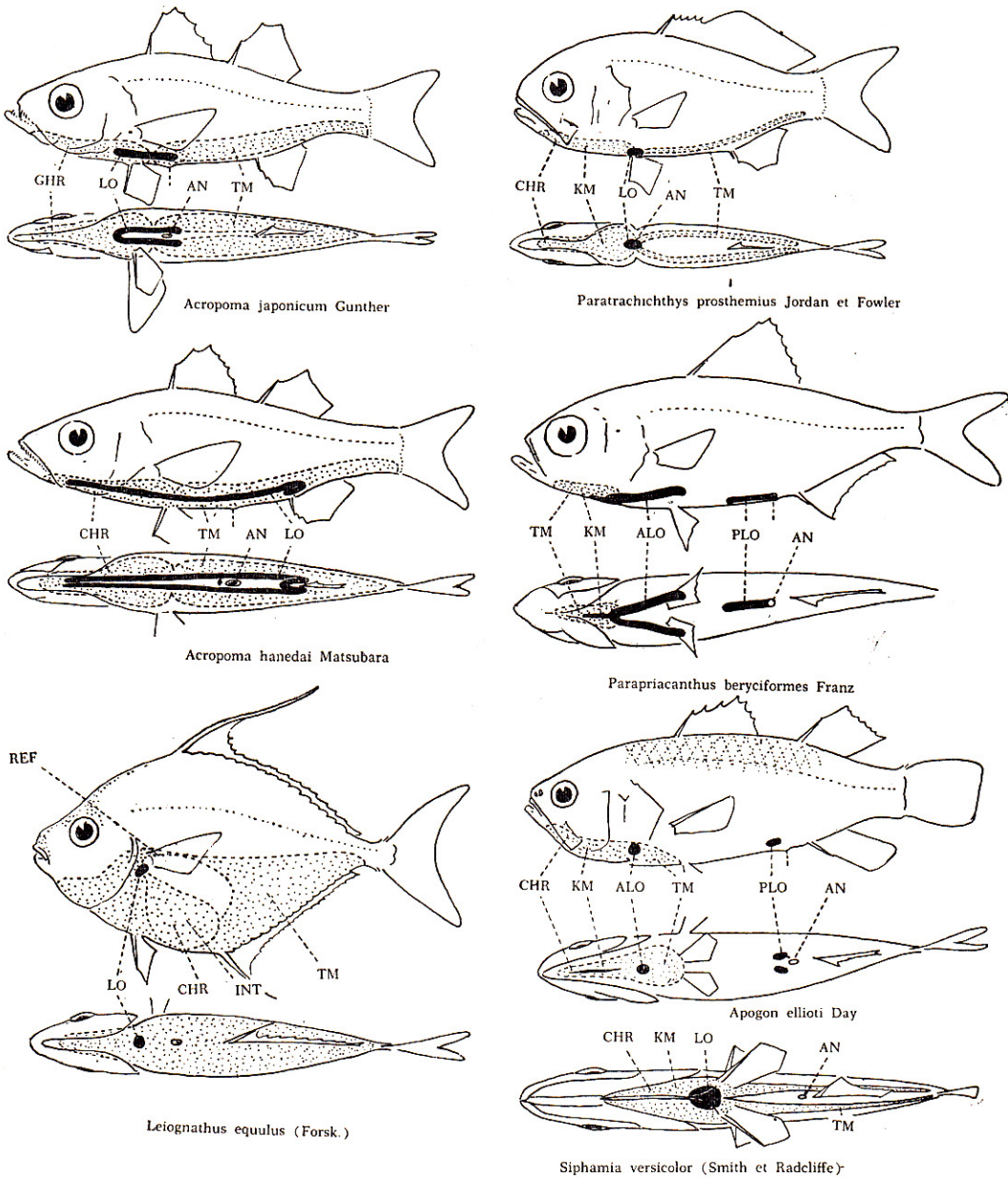


Fig. 1. 間接照明型発光器の模図 (*Siphamia versicolor* は岩井保氏による)
Diagram of the luminescent organ systems of representative species of fish with indirect light-emitting systems.

LO, 発光腺, luminous organ; ALO, 前部 (胸部) 発光腺, anterior luminous organ; PLO, 後部 (肛門) 発光腺, posterior luminous organ; TM, 半透明なレンズ組織, translucent muscle; KM, 半透明の胸部竜骨筋, translucent keel muscle; REF, 反射器, reflector; CHR, 黒色色素斑, chromatophores; AN, 肛門, anus; INT, 内臓, intestine.

に関係すると思われるが、生時急激な明滅をすることは出来ない。ハリダシエビス *Paratrachi-*

chthys prosthemi では発光腺は肛門をかこみ、肛門の前方に開孔し、腺のカプセルには黒色素斑がある。

キンメモドキ *Parapriacanthus beryciformes* は胸部に Y 字状の胸部発光器と、肛門の前方正中線上に直腸の下面に密着している肛門発光器とがある。肛門発光器は直腸と直接つながり、肛門の前方に小孔で開孔しているが、胸部発光器は一对の幽門垂と密着している。黒色素斑は発光体がないので光を明減させることは出来ない。

ツマグロイシモチ *Apogon ellioti* では胸部筋肉内に埋没した発光腺と、直腸の両端に一对の発光腺が腹部の筋肉内に埋没している。3ケの発光腺はいずれも消化管と直接に連絡している。またこの魚と同じ科の *Siphamia versicolor* は胸部筋肉内に発光腺があるがその腺が消化管とどのような関係にあるかは種類によって異っている。

以上述べた魚の中、ヒイラギ科、ホタルジャコ科、ハリダシエビスでは、発光体の内容は共棲する発光バクテリアであるのに反して、キンメモドキ、ツマグロイシモチではその内容物が、ルチフェリン、ルチフェラーゼ反応のある発光物質である点が全く異っている。*Siphamia versicolor* については材料不足のため詳細は不明の点が多いが、1960年羽根田が、フィリピンセブ島で得た材料についてバクテリアの培養試験の結果では陰性であったので発光物質によるものと思われる。

反射層とレンズ層とは魚の種類が異なるにもかかわらず大体似たようであるが、最も反射層の発達しているのはヒイラギ科の魚であって腹腔内面が銀白色に輝き、発光腺上部の光が強く反射されて腹部および尾部の半透明の筋肉内に光が到達する。乳白色半透明の筋肉は脊椎を境にした下部の筋肉全部であって、体の下半部が発光する。ホタルジャコでは胸部竜骨筋から尾端に至る腹面の筋肉の左右が乳白色となっており、この乳白色の筋肉と普通の筋肉との間にグァニンの層があり、反射器の役割をしている。ハリダシエビスにおいてはレンズ組織は肛門の前方と胸部竜骨筋で乳白色になっているが、肛門の後方ではこの乳白色の筋肉が左右、非常に細くなり、直径約 1mm 位の組織となっているので外観はあたかもホタルジャコの発光腺のようであるが、グァニンの層に包まれた筋肉束であって、光を後方まで伝達させる作用をなしている。非常に細く長く延びているが構造はホタルジャコの腹面の乳白色の筋肉組織と同じである。

キンメモドキのレンズ層は胸部竜骨筋と胸部にある V 字状の乳白色の筋肉であってこの V 字状の筋肉の中に Y 字状の発光体があり Y の先端が胸部竜骨筋に深く入り込んでいる。

ツマグロイシモチではレンズ組織は僅かに胸部竜骨筋だけであって、肛門附近、胸部の筋肉はレンズ組織のように変化をしていないが、この魚は腹部は白色、やや半透明の魚であるから光は外部より充分認められる。

Siphamia 属の魚はいずれも胸部および腹部にホタルジャコに見られるような乳白色、半透明な筋肉よりなるレンズ層が発達しており他の筋肉との境にグァニン層の反射器が発達しているので明かに発光魚であるが材料不足のため詳細は今後の研究に持たねばならない。

C. キンメモドキ *Parapriacanthus beryciformes* の発光器と幽門垂

この魚は 1910 年 Franz⁽⁶⁾ により日本の近海より報告されたが、1958 年著者等⁽³⁾ が報告するまでは発光することは全く知られていなかった。すでに報告したように胸部発光器 (Fig. 2. TLO) と肛門発光器 (Fig. 2. ALO) とよりなるが、胸部発光器については次のように訂正する。即ち、胸部発光器の外観は胸部に V 字状の半透明白色の部として現われている、体長 55 mm. の魚ではこの V 字状の発光部は長さ 11mm. 巾 1.5mm. 胸部竜骨筋は乳白色半透明で、V 字状の筋肉と共にレンズの役割をしている。発光体は極めて細い白色の線状で Y 字状で太さ 0.4mm. V 字状の乳白色の筋肉の深部に埋没していて Y 字の先端が胸部竜骨筋の中へ深く入り込んでいる。

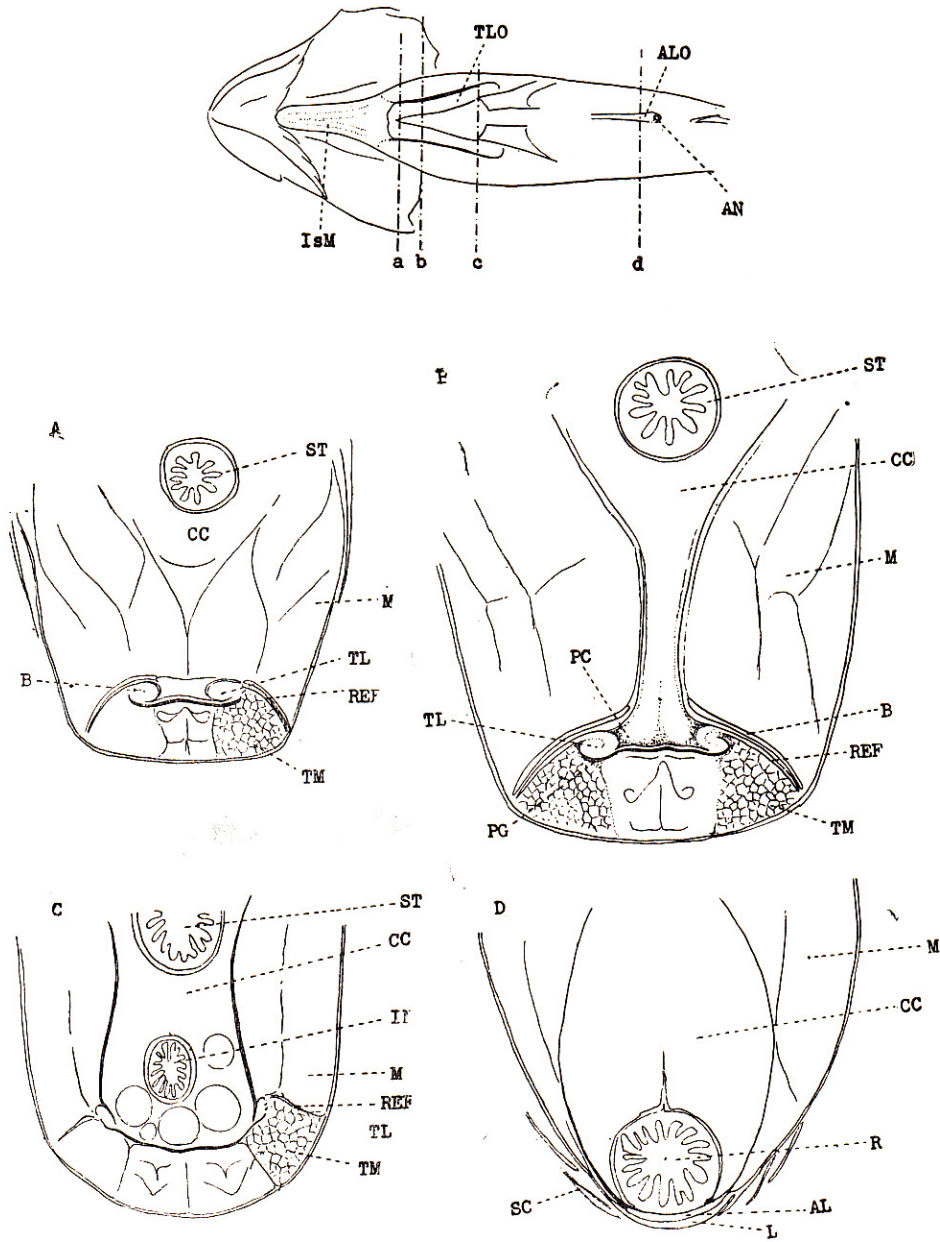
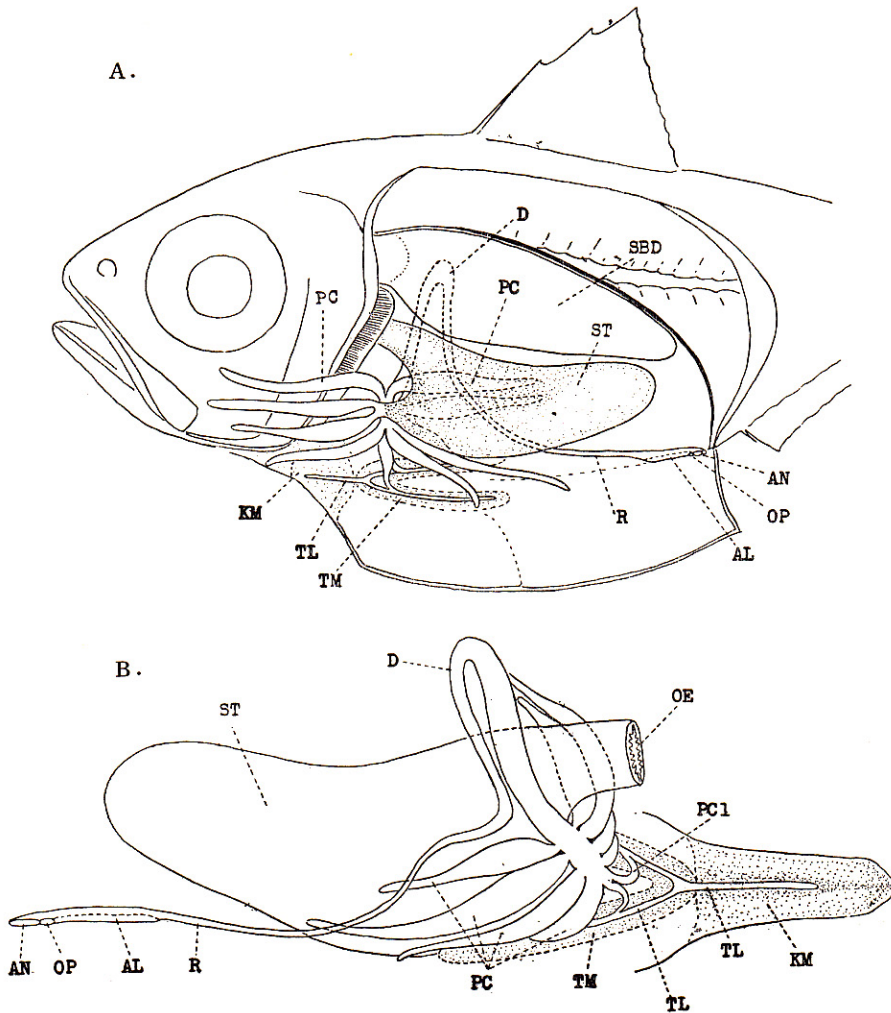


Fig. 2. キンメモドキ *Parapriacanthus beryciformes* の発光器およびその断面の模図

A, B, C, D はそれぞれ a, b, c, d の位置にての切断図

Diagrams of transverse sections (A, B, C, D) of *Parapriacanthus* at the positions along the body axis as indicated (a, b, c, d) in the uppermost drawing.

TLO, 胸部発光器, thoracic luminous organ; ALO, 肛門発光器, anal luminous organ; TL, 胸部発光体, thoracic luminous duct; AL, 肛門発光体, anal luminous duct; REF, 反射器; TM, 胸部発光器の半透明のレンズ組織; PG, 黒色色素; PC, 幽門垂, pyloric caeca; IsM, 胸部竜骨筋, translucent isthmus muscle; IN, 内臓; ST, 胃; L, レンズ, lens; R, 直腸, rectum.



Figs. 3, A, B キンメドキの内臓および発光器模図

A. Diagram of the luminescent organ system of *Parapriacanthus* from the left lateral aspect.

B. Diagram from the right lateral aspect of the luminescent organ system of *Parapriacanthus* dissected from the body.

TL, 胸部発光体, thoracic luminous duct; TM, 胸部発光器の半透明のレンズ組織; KM, 半透明のレンズの作用をなす胸部竜骨筋, keel or isthmus muscle; PC1, 第一幽門垂, first pair of pyloric caeca; PC, 幽門垂, pyloric caeca; SM, 胃; D, 腸; SBD, ウキブクロ, swim bladder; R, 直腸; AL, 肛門発光体; OP, 開孔, opening of the anal luminous duct; AN, 肛門.

ここで最も驚異とする所は胸部発光器は単に Y 字状の発光体だけでなく Figs. 3, 4, に示すように Y 字の両側において、幽門垂の一对と直接連絡していることである。この魚には 5 対の幽門垂があるが、この 5 対の幽門垂は Fig. 4 B および Plate 1, B に示すように紫外線の下で美しい青黄色の蛍光を放つことであって、このことは幽門垂内に多量のルチフェリンを含んでいることである。著者等⁽⁷⁾はこの幽門垂からルチフェリンの結晶を得ることに成功した。勿論、ルチフェリンのみでは発光しないので、暗所で魚を見てもこの幽門垂自体は発光しないが、幽門垂がルチフェリンの貯

蔵所となり、絶えず少量ずつのルチフェリンをY字状の発光体に送り、発光体内のルチフェラーゼと一緒に連続的に光り続けるようにしているわけである。

幽門垂の先端が腹壁内の器官に連絡している例を聞かないし、幽門垂が発光物質の貯蔵庫となっている例を聞かないので、本魚の発光器は一つの全く新しい機能を持った発光器といえる。

幽門垂は胃に直接連絡しているので、この発光器もまた消化管と連絡しているものと考えられる。肛門発光器の外観は肛門の前方正中線上に巾1 mm、長さ6 mm、の白色の直線となっているが、

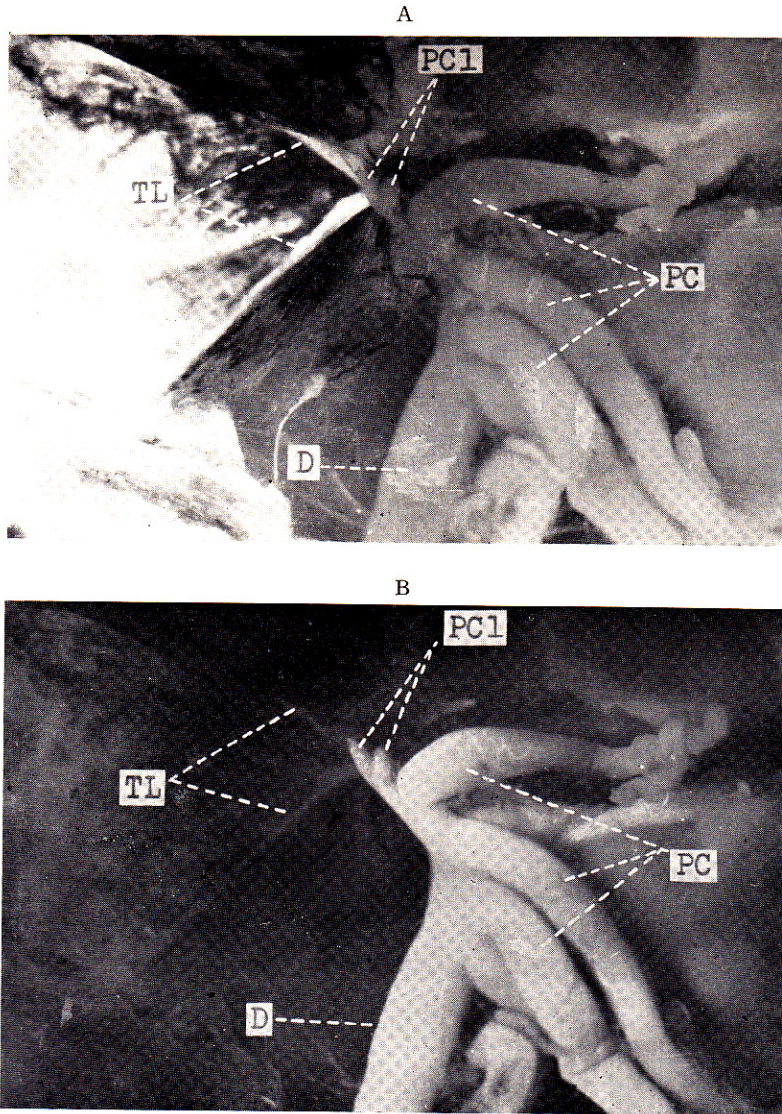


Fig. 4. 幽門垂 (PC) と胸部発光体 (TL) との関係を示す。

自然光にて撮影 (上図) および紫外線の下にて撮影 (下図)。紫外線によって幽門垂および消化管内のルチフェリンが強い螢光を放つのを示す。

Dissection showing the pyloric caeca (PC) and thoracic luminous duct (TL), and the communication between the two organs via the first pair of pyloric caeca (PC1), photographed by daylight (above) and by ultraviolet light (below).

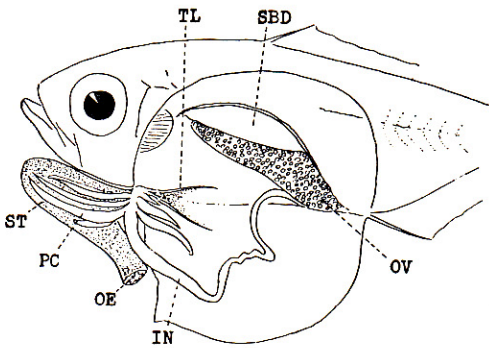


Fig. 5. Plate 1, A, B における胸部発光腺と内臓，幽門垂の関係を示す。
Diagram of the structures apparent in plate 1, A and B.

者の間にも強い交叉反応があることがわかった。しかも，本魚のルチフェリンと海蛸のルチフェリンの結晶を比較するに殆んど区別のつかぬ程似ていることがわかった。しかもその発光器の構造をみると胃と直接連絡のある幽門垂の中にルチフェリンが豊富に貯蔵されており，この幽門垂の一对が直接，発光体に連絡のあることからみると発光体内のルチフェリンは消化管より供給されているように思われる。

なお 2300 余のキンメドキの胃の内容物を調べた所，多くはアミの類であったが，海蛸を摂取していた個体が 10 数個体が認められた。

このような事実から考えると，本魚の発光物質は実は摂取した海蛸の発光物質を胃にて分解し，ルチフェリンを幽門垂に貯蔵し，発光体にルチフェラーゼを用意して幽門垂より少量ずつルチフェリンを供給するのではなからうか，このような見地からすれば本魚には発光能力が全くなく，丁度ヒイラギやホタルジャコ，ハリダシエビスが魚自身全く発光能力が無いにもかかわらず発光細菌を培養し，その光を強めるため，反射層，レンズ層などを具えたと同様，本魚も海蛸の発光物質を利用しているのではないかと疑問である。

これを明かにするためには海蛸を含ませ餌で魚を飼育し或る期間飼育して発光しなくなったとする，この時，海蛸を与えて再び発光を恢復することを確かめることが出来れば一番確実であるが，この実験は容易ではない。

本魚とその発光器の構造上根本的にはよく類似しているツマグロイシモチを羽根田は 1960 年と 1961 年の 2 回，インドのマドラス魚市場にて採集し，その発光体と海蛸との交叉反応を行った所，強い陽性を示すことを知った，南インドには海蛸はいないことになっている。海蛸のいない場所とれたツマグロイシモチの発光体と海蛸との間に強い交叉反応があることは，ツマグロイシモチの発光物質が食物である海蛸から来たものではないことの証明になるとも考えられるが，また南インドの海に類似の発光甲殻類がいて，それを捕食したためとも考えられる。

いずれにしてもキンメドキとツマグロイシモチの発光物質は，魚自体で作ったものか，摂取した海蛸から発光物質をとって利用したものか極めて興味ある問題である。

もし，本魚の発光体を魚自身で作出すものとするれば，その発光物質と海蛸の発光物質との間に起る交叉反応において非常に興味あることであり，また，本魚の発光体が摂取した海蛸から来るとすれば，化学の方面では興味は無くなるが，生物学的には発光細菌共棲説以上に極めて興味ある事

内部では直腸の下部に密着した白色の発光体があって，この発光体は直接直腸に密着していて，ルチフェリンは直腸より取るものと思われる。

D. 幽門垂内のルチフェリンは，はたしてどこから来たものであるか

本魚の発光物質と海蛸 *Cypridina hilgen-dorfii* の発光物質の間には Luciferin, Luciferase 交叉反応が陽性である。元来，Luciferin Luciferase 反応は同種，或は極めて近縁な発光動物間においてのみ起るものとされていたが，著者⁽⁴⁾等はさきに，ツマグロイシモチ *Apogon ellioti* と海蛸との間に交叉反応があることを報告したが，本魚と海蛸，ツマグロイシモチの三

実といわなければならない。

この研究に御協力を下さった東京教育大学杉山登教授、プリンストン大学生物学教室に滞在中の下村修博士並びに斉賀耀嬢に対して感謝の意を表す。なお、この報告の Plate 1 のカラー写真は Mr. JAMES REAM の好意によって、Journ. of Morphology Vol. 110 No. 2 のコピーを、図は同誌の Editor である Dr. A. W. POLLISTER の許可を得て使用することが出来た。ここに両氏に対して深謝する次第である。

Summary

The morphology of the luminescent organ system of *Parapriacanthus beryciformes* Franz is described with special reference to the anatomy and function of 5 pairs of pyloric caeca, the most anterior pair of which are found to communicate directly with the Y-shaped, thoracic luminous body embedded in translucent, ventral musculature that serves as a lens. No structural communication could be found between internal organs and the the linear, mid-ventral, posterior luminous body which is attached to the rectum and opens to the outside through a small pore adjacent to the anus.

Quantitative data indicate that the pyloric caeca dissected from over 2,300 specimens average 25 milligrams in wet weight, and contain an average of 0.017 mg luciferin although they vary greatly in size and luciferin content among different individuals. The function of the caeca appears to be that of storing luciferin, the substrate whose oxidation is catalyzed by the enzyme luciferase, accompanied by the emission of visible light. Histologically the caeca are almost the same as the intestine. The origin of the luciferin cannot be stated with certainty, inasmuch as dead but still luminous specimens of the small, ostracod crustacean, *Cypridina*, were found in the stomachs of a few individuals among the several thousand dissected, and the fish luciferin appears to be chemically identical to that of *Cypridina*. The fish luciferase, which cross-reacts with *Cypridina* luciferin, is confined to the thoracic and anal luminous bodies proper.

The taxonomic relationships among 2 orders, 5 families and 7 genera of teleosts, together with the anatomy of the luminescent organ systems of other fish with indirect light emission from luminous bodies within the coelomic cavity are briefly summarized.

Symbiotic luminous bacteria live in the species belonging to the genera *Paratrachichthys*, *Gazza*, *Leiognathus* and *Acropoma*. No luminous bacteria live in the glands of the fishes of the genera *Parapriacanthus*, *Apogon* and *Siphamia*. In general, these organ systems include 4 components, viz., one or more luminous bodies, a cloudy, translucent muscle serving as a lens, an opaque, white reflector, and chromatophores which function to control the brightness of emitted light; *Parapriacanthus* is the only known example wherein pyloric caecae constitute a 5th, integral part of the organ system.

References

- 1) YASAKI, Y., and Y. HANEDA 1936 Ueber den neuen Typus von Leuchtorgan in Fisch. Proc. Imperial Academy, 12: 55~57 (*Acropoma japonicum*).
- HANEDA, Y. 1938 Luminous fishes from southern seas. Kagaku Nanyo, 1: 21~27. In Japanese.
- 1939 New Type of luminous organ of fish. Reiko (Cold Light) Ser. 1: 45~55. In Japanese.
- 1940 On the luminescence of the fishes belonging to the family Leiognathidae of

- the tropical Pacific. Palao Tropical Biological Station Studies. 2: 29~39.
- 1950 Luminous organs of fish which emit light indirectly. Pacific Science 4 (3): 214~27.
- 1955 Luminous organisms of Japan and the Far East. In, "The Luminescence of Biological Systems", F. H. JOHNSON (ed.), 335~385, Amer. Assoc. Adv. Sci., Washington, D. C.
- 1958 New Types of Luminous Organ in Fish. Bull. de la Société Franco-japonaise de Biologie, 7: 213~227.
- 2) KUWABARA, S. 1955 Some observations on the luminous organ of the fish, *Paratrachichthys* Jordan & Fowler. J. Shimonoseki College of Fisheries, 4 (2): 81~85.
- HANEDA, Y. 1957 Observations on luminescence in the deep-sea fish, *Paratrachichthys prothemius*. Science Rep. Yokosuka City Museum, 2: 15~32.
- 3) HANEDA, Y. and Frank H. JOHNSON 1958 The Luciferin-Luciferase reaction in a fish, *Parapriacanthus beryciformes*, of newly discovered luminescence, Proc. Nat. Acad. Sci., 44): 127~129.
- JOHNSON, F.H., and Y. HANEDA 1958 The luciferin-luciferase reaction in a fish, *Parapriacanthus beryciformes*, of newly discovered luminescence. Sci. Rep. Yokosuka City Mus., 3: 25~30. In Japanese.
- 4) KATO, K. 1947 A new type of luminous organ of fishes, Zool. Mag. Tokyo, 57: 195~197. In Japanese. (*Apogon marginatus*)
- IWAI, T., and H. ASANO 1958 On the luminous cardinal fish, *Apogon ellioti* DAY. Sci. Rep. Yokosuka City Mus., 3: 5~13.
- HANEDA, Y., Frank H. JOHNSON and Edward H.-C. SIE 1958 Luciferin and Luciferase extract of a fish, *Apogon ellioti* and their luminescent cross reactions with those of a crustacean, *Cypridina hilgendorffii*. Biol. Bull., 115: 336.
- HANEDA, Y. and F. H. JOHNSON 1959 The luminescent cross-reaction between extracts of the luminous fish, *Apogon ellioti* DAY and extracts of the crustacean, *Cypridina*. Sci. Rep. Yokosuka City Mus., 4: 13~17.
- 5) IWAI, T. 1958 A study of the luminous organ of the apogonid fish *Siphamia versicolor* (SMITH & RADCLIFFE), J. Washington Acad. of Sci., 48 (8): 267~270.
- MATSUBARA, K. and IWAI, T. 1958 A New Apogonid Fish, *Siphamia majimai*. Results of Amami Islands Expedition No. 2, Annals and Magazine of Natural History, Ser. 13 vol. i, 603.
- IWAI, T. 1959 Notes on the luminous organ of apogonid fish, *Siphamia majimai*. Annals and Magazine of Nat. Hist. Ser. 13, 2: 545~550.
- 6) FRANZ, V. 1910 Die japanischen Knochenfische der Sammlungen Haberer and Doflein. Beiträge zur Naturgeschichte Ostasiens. Abhandlungen der Math.-phys. Klasse der K. Bayer. Akad. W. JV, Supple., 1: 1~135 (cf. p. 33)
- 7) JOHNSON, F.H., N. SUGIYAMA, O. SHIMOMURA, Y. SAIGA and Y. HANEDA 1961. Crystalline Luciferin from a luminescent fish, *Parapriacanthus beryciformes*. Proc. Nat. Acad. Sci., 47 (4): 486~489.
- JOHNSON, F.H., H.-C. SIE and Y. HANEDA 1961 The luciferin-luciferase reaction. In "Light and Life", W.D. MCELROY and B. GLASS (eds.), pp. 206~218, John Hopkins Univ. Press, Baltimore, Md.
- JOHNSON, F.H., O. SHIMOMURA and Y. SAIGA 1961 The luminescence potency of the Cypridina System. Science, 134: 1775~1776.
- JOHNSON, F. H., Y. HANEDA and H.-C. SIE 1960 An interphylum luciferin.luciferase reaction. Science, 132: 442~423.
- HARVEY, E. N. 1952 "Bioluminescence" Academic Press, New York.
- HANEDA, Y., F. H. JOHNSON, Y. MASUDA, Y. SAIGA, O. SHIMOMURA, H.-C. SIE, N. SUGIYAMA and S. TAKATSUKI 1961 Crystalline luciferin from live Cypridina. J. Cell. Comp. Physiol., 57: 55~62.
- SIE, E., H.-C., W.D. MCELROY, F.H. JOHNSON and Y. HANEDA 1961 Spectroscopy of the *Apogon* luminescent system, and its cross-reaction with the *Cypridina* system. Arch. Biochem. Biophys., 93: 286~291.



A



B

- A. キンメモドキの幽門垂と内臓との関係. 自然光にて撮影. Dissection of *Parapriacanthus beryciformes* showing the pyloric caeca and portions of the visceral organs, photographed by daylight.
- B. Aと同じものを紫外線にて撮影, 幽門垂および腸管内のルチフェリンが紫外線によって強い蛍光を放つのを示す. The same as A but photographed by ultraviolet light, showing the strong fluorescence due to large amounts of luciferin in the caeca and first portion of the intestine.