

Observations on the Luminescence of the Deep Sea Luminous
Angler Fish, *Himantolophius groenlandicus*⁽¹⁾

Yata HANEDA*

(With 1 text-figure and 3 Plates)

チョウチンアンコウの発光器とその発光

羽根田 弥太*

1. Introduction

The deep sea angler fish has not been collected by ordinary commercial trawl fishing nets, as it usually lives in waters 1,000 meters deep, and even if it is caught by a special deep sea net it is dead when brought to the surface.

It has collected alive only when the specimen takes a long time to float up to the surface due to abnormal circumstances, but it is rare that the fish has lived for more than a few minutes after being caught. No detailed observations on luminescence therefore, have been reported yet.

On 22 February 1967 at six p.m., Mr. FUGAWA and IKEGAMI of the Enoshima Aquarium telephoned to me that a luminous angler fish had just been brought in. Without delay the author went to the Aquarium, and was able to make detailed observation on the luminescence and the angler fish was successfully kept alive for eight days after capture thanks to the careful treatment by Dr. Y. HIROSAKI and Mr. K. FUKUI, curator of the aquarium.

They have already reported this in 1967, and I reported on its luminescence.

2. The material and the observations on luminescence

This fish looked like a black football, weighing 3,400 grams and measuring 356 mm in total length. The specimen was collected by Mr. E. ABE of Kamakura as it floated along the beach of Sakano-shita, Kamakura at the tidal mark on 22 February 1967. He brought it into Enoshima Aquarium, some eight kilometers from the collection spot in a cardboard box. This fish, therefore, is believed to have been left out of the water for 30~40 minutes

* Yokosuka City Museum, Yokosuka, Japan

1) Aided in part by a grant from the Japan Society for the Promotion of Science as part of the Japan-U.S. Cooperative Science Program.

To the following people the author express his sincere gratitude and appreciation: To Dr. Y. HIROSAKI and Mr. K. FUKUI and also Enoshima Aquarium for their help and cooperation in this study, to Mr. E. ABE of Kamakura who found the fish, and to Mr. IKEGAMI and Mr. FUGAWA for their prompt information, to Father Richard C. GORIS, member of the Herpetological Society of Japan, and Dr. Frederick I. Tsuji, Professor of the Pittsburgh University for having assisted me in the preparation of this manuscript.

but it revived as soon as it was put into an aquarium, and lived for eight days.

It was being kept temporarily in sea water at 16°C in a large concrete aquarium when I first saw it.

With regard to the structure of the luminous organ, it is provided with an antenna, called the illicium, on the head, and at the end of the antenna a swelling called the esca is situated. The illicium measured 60 mm in length and 5 mm in diameter, while the esca was a ball 7 mm in diameter. A careful inspection from above revealed that there were a pair of protuberances on the esca just like the tentacles of a snail. From the base of the esca protruded two pairs of black filaments, one pair of which divided into two filaments at the terminal. Besides these there was filament at the top side and another directly below the esca. This latter also branched off into two filaments at the terminal. This made a total of 9 black filaments. There were three kinds of uminous organs, as follows:

Main luminous organ

The main luminous organ, which encircles the esca as indicated in Fig. 2 was surrounded by a silverwhite reflector, a pigmented mantle and a transparent luminous body, pink in color.

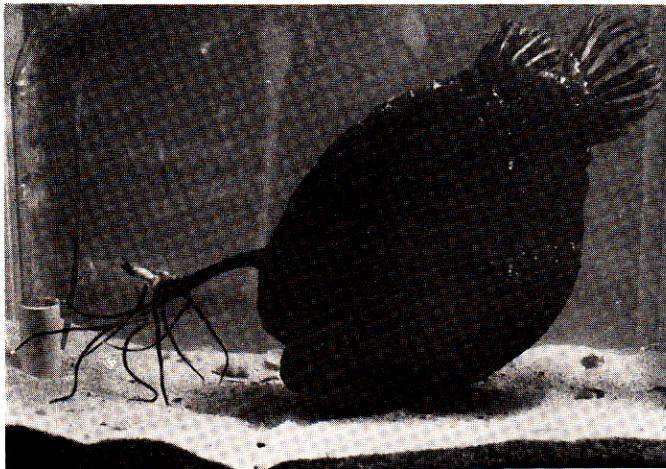


Fig. 1. Luminous angler fish, *Himantolophius groenlandicus*.

Secondary luminous organs

At the end of a pair of protuberances on the esca are situated four pearl white dots. These dots, measuring 1.0 mm in diameter, are the secondary luminous organs, and they emit light continuously.

The third type of luminous organs

At the end of each black filaments there are elliptical silver white plates. Each measured 1.5 mm long and 1.0 mm wide. These white plates constitute the third type of luminous organs, which emit light continuously for only a few minutes when the fish is irritated.

3. Observations on Luminescence

When the angler fish lay quietly on the bottom, the main luminous organ on the esca and the secondary luminous organs on the protuberance emitted light continuously, but when the body of the fish was irritated, luminous mucus was ejected into the surrounding water from the pore situated at the front part of the main luminous organ. The range of the released luminous cloud was then almost equal to the body length of the fish, while the main and secondary luminous organs were still emitting light.

The third type of luminous organs situated at the end of each filament emitted light suddenly when the fish was irritated and the light lasted for a few minutes.

Through observation it was found that the main luminous organ of the fish showed extracellular luminescence, while the secondary and the third type of luminous organs showed intracellular luminescence. It is very interesting to note that this fish constitutes the first recorded instance of one animal's body being provided with two different types of luminous organs (intracellular and extracellular). In other words, the main luminous organ consists of an open type of luminous organ with small pore and the secondary and the third type of luminous organs represent a closed type of luminous organ.

DAHLGREN (1928), from histological study of the esca organ of the species of *Ceratias*, a deep sea luminous angler fish, came to the conclusion that the granular bodies in the lumen were symbiotic luminous bacteria.

According to my own test cultivation and my observation of the luminescence of the luminous organs of this fish, I have come to the conclusion that the luminescence of the luminous bodies of this fish is not due to symbiotic luminous bacteria.

1. 江の島水族館で8日間飼育されたチョウチンアンコウ

1967年2月22日の夕方、鎌倉市坂の下海岸の波打ちぎはで、鎌倉市御成町の阿部英治氏は生きたチョウチンアンコウをみつけ、現場付近にあった段ボールの切れ端に包み、約8キロ離れた江ノ島水族館へとどけた、この間、魚は全く水からあげられ、30分から40分位は水のない状態におかれたが、水族館の水に入れられ更に低温の水に移してからは元気を回復し、ついにこの魚は8日間も生きるという驚異的なレコードを作った。

著者は飼育係の布川勇男、池上邦広両氏より電話を受け同夜、この貴重な生きたチョウチンアンコウの発光状態をつぶさに観察することが出来、その後、殆んど毎日、同水族館に通い、飼育課長の広崎芳次博士、係長の福井洸一氏等とこの魚について種々観察すると共に、写真撮影、8ミリ撮影にて記録にとどめるようにした、飼育記録については広崎、福井両氏⁽¹⁾により、発光状況の観察については著者⁽²⁾により既に報告した(1967)が、ここに改めて、チョウチンアンコウの発光についての観察結果と、発光物質についての考察を記してみたい。

この研究は江ノ島水族館が観察について快よく協力されたこと、採集当夜の夜勤であった飼育係の布川勇男、池上邦広両氏が直ちに電話で知らせて下さったこと、飼育課長の広崎芳次博士、係長の福井洸一氏が快よく、著者の研究に協力され飼育課全員がこの貴重な魚の飼育に努力されたこと、またこの貴重な材料を発見し、いち早く水族館にとどけられた阿部英治氏の厚意などによって実ったもので、諸氏に対して心から敬意と感謝の意を表するものである。

2. チョウチンアンコウの従来の研究

チョウチンアンコウ類は深海性で頭の背面に *illicium* と呼ぶアンテナがあり、先端に *esca* と呼ぶふくらみがある。このアンテナの先端が光ると言はれチョウチンアンコウの名があるが、従来、どの部分が、どのように発光するかについて正確な報告は殆んどなかった。1837年 REINHARDT がグリーンランドで、今回採集されたと同じ種類のチョウチンアンコウ *Himantolophius groenlandicus* を記載してから学者の注意をひき、特にチャレンジャー探検、ダーナ探検等の結果多くの新しいチョウチンアンコウが発見された。

WATERMAN (1939)⁽³⁾ はチョウチンアンコウ類860個体について研究し、2亜目、11科、41属を公表した、MAUL (1961—2)⁽⁴⁾ ⁽⁵⁾ はポルトガル領、アデイラ島近海の深海魚の胃中より、次々とチョウチンアンコウの新種を発表している。このように分類学上の報告は多くあり、*illicium* や *esca* の形態等はわかっているが、発光状態についての報告は確実なものは極めて少ない。

古い記録では 1875年 WILLEMOES-SUHM が頭の上のふくらみが光ったという。BEEBE (1934)⁽⁶⁾ はバーミユダ島沖の深海に深海観察用の深海球にて潜水、球の窓から種々の発光魚の発光を観察、その中で、3本の *illicium* を持ちレモン色の光を放つ新しいチョウチンアンコウを観察した。その後、同博士等は (BEEBE and CRANE 1947)⁽⁷⁾ はチョウチンアンコウの一種 *Borophryne apogon* の *esca* から紫色の光を出すのを観察、他の一種 *Linophryne arcturi* は捕獲後、最初の3分間、強い光を放ち、*esca* は光る粘液におおわれたと報告している。

WATERMAN (1939)⁽³⁾ はサルガッソー海で生きたチョウチンアンコウ *Dolopichthys* を採集、直ちに冷海水中に入れ10分間生しておくことに成功、発光を観察した。それによると、刺激によって、色素のない透明な *esca* の部分が光るが *esca* に外界との小孔が認められたにもかかわらず、発光粘液は認めなかった。光は青緑色で、5~6秒続き徐々に消えて行った。この光の明滅はホルモンのコントロールによると考えられた。HARVEY (1931) はチョウチンアンコウの一種 *Linophryne arborifer* にアドレナリンを注射したが発光を認めなかったという。

発光器の組織学的の研究の初期のものでは LENDENFELD (1905)⁽⁸⁾ と TROJAN (1906)⁽⁹⁾ の研究で、イリウムを感覚器と考え内部に神経が分布しているので水圧を感じる器官と考えた。BRAUER (1908)⁽¹⁰⁾ は5種のチョウチンアンコウの発光器を研究し、発光体は腺状構造で反射器で取りまかれ、さらにこれを黒色素膜でとりまわっていること、発光体には外界の通路があり、発光体内に血管が分布している。この状況は発光バクテリアによって光るヒイラギ類 *Leiognathidae*、ホタルジャコ類 *Acropomidae* 深海ソコダラ類 *Macrourida* の発光器と似類するところから本魚の発光体も発光バクテリアであると推察し、DAHLGREN (1928)⁽¹¹⁾ も *Ceratias* という種類の発光器の組織学的研究の結果発光バクテリア共生説を支持している。HARVEY (1952) はこれを決定するには生きた材料での細菌学的研究を行なうことが必要であることを強調している。

3. チョウチンアンコウの発光器と発光状態

今回特集された種類は広崎、福井両氏によって *Himantolophius groenlandicus* と同定された。写真に示すように頭の背面に *illicium* があり、長さ 60 mm、直径 5 mm、その先端にふくらみ *esca* がある。上部からみると、*esca* には左右に伸びた肉質の突起がある。*esca* の直径は 7.0 mm 乳白色半透明で銀色と淡紅色の部がとりまわっている。暗所でみると、この半透明な淡紅色の部が青白色に光り、魚を刺激するとこの部から青白い発光粘液を海水中に放出する。この膨隆した *esca* をとりまく淡紅色の部分が主発光器であって、魚が静止する場合は青白色に光っているが、魚が刺激を受けると、小孔から発光液を分泌する。発光液は粘液と共に出るようアンテナを立てたとき

魚の前方、体長と同じ位の距離まで噴出、発光液は海水中に発光する雲となって、20~30秒位で徐々に消光する。発光液を噴出する小孔は恐らく一個と思われ、*esca* の淡紅色、半透明の主発光器中にあるが、その位置と数を確認することが出来なかった。発光液を噴出したのは捕獲した当夜だけであって、その後8日間、生きていたが、遂に発光液を噴出しなかった。ただ、主発光器は絶えず連続的に光っているのが認められた。

esca より左右に延びた肉質の突起には各4個ずつの真珠様光沢を持った銀白色の発光器があり、形は円形或は楕円形で直径1.0mm 深海発光魚 *Stomias* 等の頬の発光器にみられるように黒色色素で周囲が包まれ、銀白色の反射器の前面に透明なレンズ組織があり、光は青白色で魚を刺激した時のみ数分間連続的に光を放ち急激な明滅がない。

第三発光器は *esca* からたれ下った黒色の細長いフィラメントの先端にある銀白色の器官で、幅0.6mm、長さ2mm 明るい所では銀白色で、暗い所では魚を刺激した時のみ発光する。この黒いフィラメントは *esca* の上と下から一本ずつ出ており *esca* の基部から左右2対出ている、その中の一対と、下方のフィラメントの先端が2つに分れているので合計9本のフィラメントがあり、第三発光器は9個あることになる。アンテナを動かすと、このフィラメントが丁度ハタキのようにゆれ動き、その先端の第三発光器がキラキラと光る。但し、この標本では *esca* より下方にたれたフィラメントの先端近くから、さらに小さい枝がでて、その先に小さい発光器がある (Fig. 3) ので計10個であるが、これは正常ではない。

Esca の主発光器が連続的に光り、強い刺激によって、発光粘液を出すのに返し、第二、第三発光器からは決して発光液を出すことはない。一個体に、発光粘液を分泌する細胞外発光と、第二第三発光器のように細胞内発光である全く異なる発光器を持っていることは極めて興味深く、このような発光動物は他に例を見ないところである。

貴重な材料であり、唯一個であったため、発光器の組織学的研究を行なうことが出来なかったが、主発光器は開孔式であって、細胞外発光であるため、Dahlgren の言う細菌共生説を検討するため、魚の死後直ちに主発光器を切開し、内容物の塗抹標本を検鏡し、内容物からの発光細菌培養試験を行なった。その結果は陰性であり、内容物より細菌を認めなかった。第二、第三発光器は細胞内発光であって閉鎖式の発光器である。このような形式の発光器中には細菌は共生しないことは明らかな点からしても、主発光器の内容物が細菌であるとの考え方は間違っていると思われる。従来、開孔式発光器中には共生細菌がいると言うことは常識であった。例えば、マツカサウオ *Monocentris*⁽¹³⁾、ヒイラギ類 *Leiognathidae*⁽¹⁴⁾、ホタルジャコ *Acropoma*⁽¹⁵⁾、ソコダラ類 *Macrouridae*⁽¹⁶⁾、チゴダラ⁽¹⁷⁾ *Physiculus*、ハリダシエビス *Paratrachyctys*⁽¹⁸⁾、ヒカリイシモチ *Siphamia versicolor*⁽¹⁹⁾ の発光器は開孔式で発光細菌が共生する。ところが、開孔式発光器を持つキンメドキ *Parapriacanthus ransonneti*⁽²⁰⁾ とツマグロイシモチ *Apogon ellioti*⁽²¹⁾ などは開孔式であるにもかかわらず、発光内容は発光化学物質である。従って開孔式発光器であるという理由だけで発光細菌の共生と断定は出来ない。このチョウチンアンコウの第二、第三の発光器は勿論、主発光器も、内容は魚自身が作り出す発光物質であって、発光細菌ではないとの結論を得た。

References

- (1) 広崎芳次, 福井洗一, 1967: チョウチンアンコウが生きていた。8日間の飼育記録, 科学朝日 Vol. 5: 85—86.
- (2) 羽根田弥太, 1967: チョウチンアンコウが生きていた。発光組織のナゾ, 科学朝日 Vol. 5: 87—89.
- (3) WATERMAN, T. H. 1939: Studies on deep-sea angler-fishes (Ceratoidea). I. An historical survey of our present state of knowledge. II. Three new species. Bull. Mus. Comp. Zool. Harv. 85: 65—94.

- WATERMAN, T. H. 1948: Studies on deep sea angler fishes. III. The comparative anatomy of *Giantactis longicirra* WATERMAN, J. Morph. 82: 81—150.
- (4) MAUL, G. E. 1961: The Ceratioid fishes in the collection the Museu Municipale do Funchal (Melanocetidae, Himantolophidae, Oneirodidae Linophrynidae) Boletim do Museu Municipal do Funchal No. 14. Ars 42—50.: 87—159.
- (5) MAUR, G. E. 1962: On a small collection of Ceratioids fishes from off Dakar and two recently acquired specimens from stomachs *Aphanopus carbo* taken in Madeira. Boletim do Museu Municipal do Funchal No 16 Arts. 54—56: 5—27. and 33—46.
- (6) BEEBE, W. 1935: Chapter XI. A descent into perpetual night p. 211, Half Mile Down. Western Printing Services Ltd. Bristol. Great Britain.
- (7) BEEBE, W. and J. CRANE 1947: Eastern Pacific expeditions of the New York Zoological Society XXXVIII. Deep. Sea Ceratioid fishes. Zoologica, N. Y. 31: 151—184.
- (8) LENDENFELD, R. von. 1905: The radiating organs of the deep sea fishes. Mem. Harv. Mus. Comp. Zool. 30: 169—213.
- (9) TROJAN, E. 1906: Neuere Arbeiten über die Leuchtorgane der Fische. Zool. Zbl. 13: 273—284.
- (10) BRAUER, A. 1906—1908: Die Tiefseefische. Wiss. Ergebn. Valdivia. Jena 1908: II. Anatomischer Teil., 15: Part 2 (1908).
- (11) DAHLGREN, U. 1928: The bacterial light organ of *Ceratias*, Science 68: 65—66.
- (12) HERVEY, E. N. 1952: Bioluminescence: 533. Academic Press Inc. New York.
- (13) YASAKI, Y. 1928: On the nature of the luminescence of the knight-fish. J. Exptl. Zool. 50 (3): 495—500.
- HANEDA, Y. 1966: On a luminous organ of the Australian Pine cone Fish, *Cleidopus gloria-maris* Bioluminescence in Progress. Princeton Univ. Press. 547—555.
- (14) HANEDA, Y. 1940: On the luminescence of the fishes belonging to the family Leiognathidae of the tropical Pacific. Palao Trop. Bio Sta. Studies 2: 29—39.
- (15) HANEDA, Y. 1950: Luminous organs of fish, which emit light indirectly. Pacific Sci. 4 (3): 214—227.
- (16) HANEDA, Y. 1938: On the Luminescence of the deep sea fish, *Malacocephalus laevis* (Lowe.) Japan J. physiol., 3, 318—26 in Japanese. Also J. Med. Sci. III; Biophysics, 5: 355—66; in German.
- (17) KISHITANI, T. 1930: Studien über die Lechtsymbiose in *Physiculus japonicus* HILGENDORF, mit der Beilage der zwei neuen Arten der Leuchtbakterienart. J. Sci. Hiroshima Univ., B, 1: 183—196.
- (18) HANEDA, Y. 1957: Observations on luminescence in the deep sea fish, *Paratrachichthys prosthemi*. Sci. Rep. Yokosuka City Mus., 2: 15—23.
- (19) HANEDA, Y. 1965: Observations on luminous apogonid fish, *Siphamia versicoior*, and on others of the same genus. Sci. Rep. Yokosuka City Mus., 11: 1—12.
- (20) HANEDA, Y. and Frank, H. JOHNSON 1958: The luciferinluciferase reaction in a fish, *Parapriacanthus beryciformes*, of newly discovered luminescence, Proc. Nat. Acad. Sci., (44): 127—129.
- (21) 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 hilgendorfi*, Biol. Ball., 115: 336.

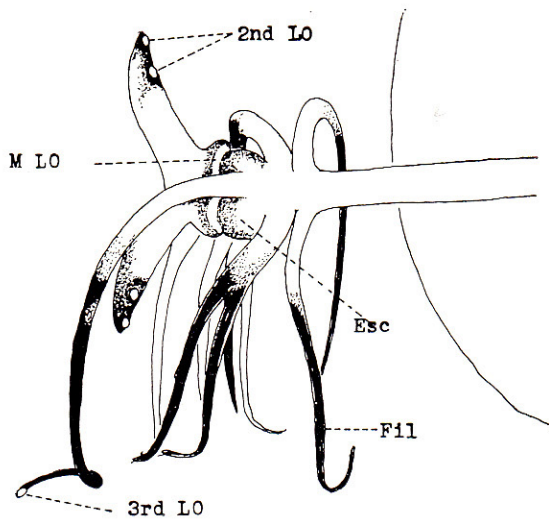
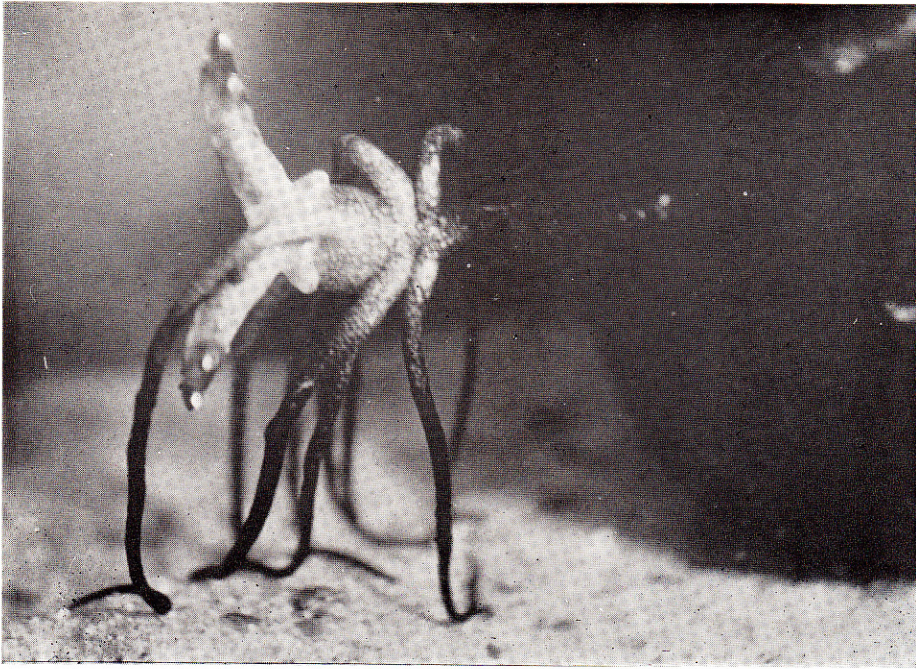


Fig. 2. Luminous organs of *Himantolophus groendicus*, showing its main luminous organ, secondary luminous organs and the third type of luminous organs.

M LO, Main luminous organ; 2nd LO, Secondary luminous organs; 3rd LO, Third type of luminous organ: Esc, Esca: Fil, Filaments.

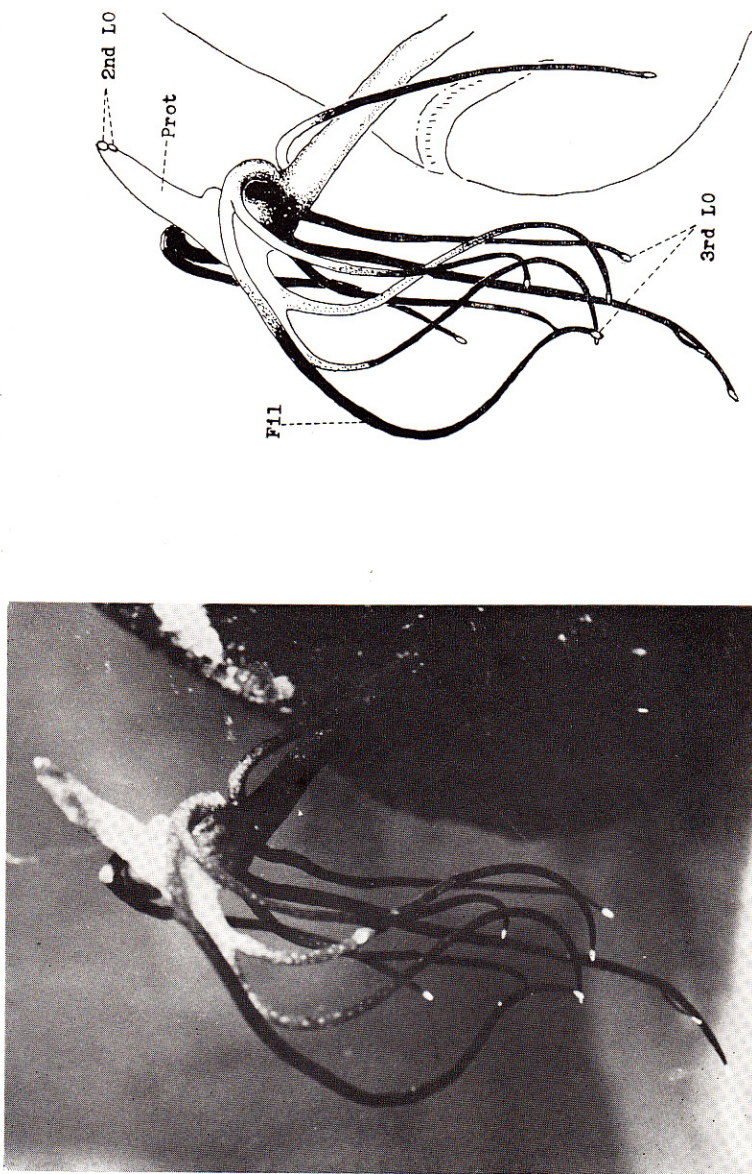


Fig. 3. Luminous organs of *Himantolophus groenlandicus*, showing its secondary luminous organs and the third type of luminous organs.

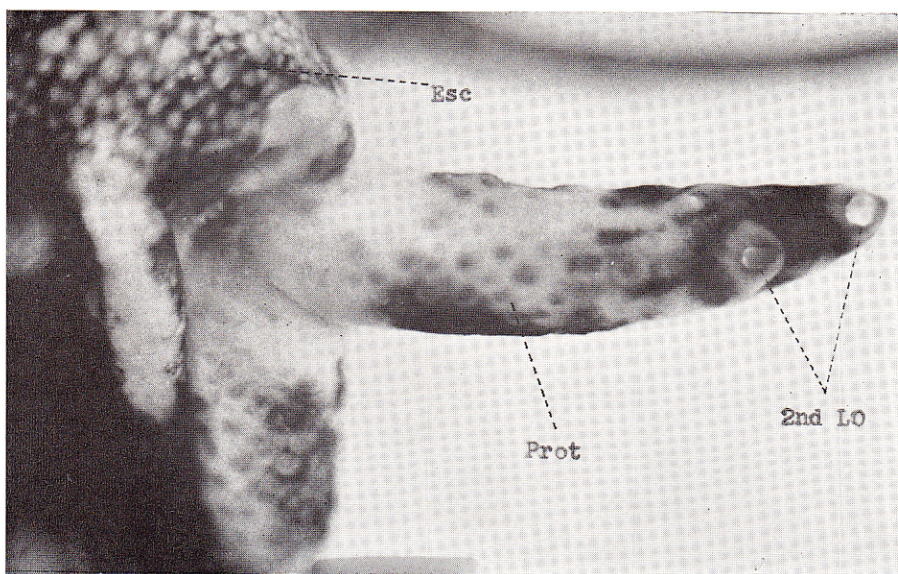


Fig. 4. Secondary luminous organs on a protuberance.
Esc, Esca; Prot, protuberance; 2nd LO 2nd
luminous organs.

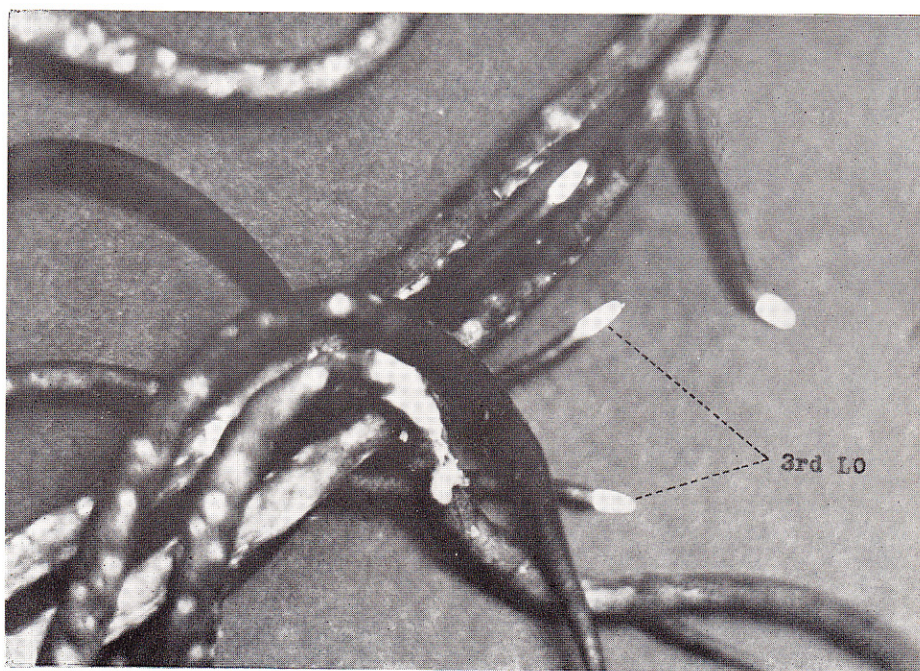


Fig. 5. The third type of luminous organ on the end of filaments.