

東京大学海洋究研所実験船“淡青丸”で採集した
深海発光生物について

羽根田弥太*・フレデリック辻一郎**・杉山 登***・堀 一男****

Observations of Deep Sea Luminous Organisms Collected on the
R/V Tansei Maru, Oceanographic Institute of Tokyo University

Y. HANEDA, F. I. TSUJI, N. SUGIYAMA and K. HORI

(With 1 Text-figures and 3 Plates)

On the night of July 14 and 15, 1966 in Suruga Bay and July 2 and 3, 1968 in Suruga Bay and off Wakayama, collections were carried out of deep sea luminous organisms by towing a large plankton net.

The organisms consisted of (1) those that were attracted to the surface by an electric lamp and (2) those that were found at depths of 1000 to 300 meters.

The following organisms were collected (Fig. 2):

Immediately after the luminous organisms were collected, they were taken to the dark room and examined for luminosity with the purpose of determining their suitability for biochemical and other studies. The biochemical work was directed at extracting, purifying, and characterizing the essential light-emitting components. This required that large numbers of specimens be collected and that the light-emitting components be fairly stable during the purification procedure. Luminous organisms found in large numbers were *Oplophorus*, *Euphausia*, *Cyclothone*, *Polyipnus*, *Gonostoma*, and *Diaphus*. The luminous organs of *Cyclothone* is found in great numbers, but they are too small to be readily excised for biochemical work. *Gonostoma* also possess small luminous organs. The organs in *Polyipnus* and *Diaphus* are large, but the organs lose their ability to produce light upon death of the animal. The light-emitting components of *Euphausia* are highly unstable, even at very low temperatures, making it difficult to work with this system. The most promising luminescent system for biochemical studies was found in *Oplophorus*. The organism has a luciferin-luciferase type of reaction system in which both components are stable. The system is presently under study. The luminescence systems in both *Polyipnus* and *Diaphus* are also being investigated because it has been possible to stimulate light emission from extracts of the light organs by the addition of luciferin (substrate) from that of the crustacean *Cypridina*, which possess a luciferin-luciferase type of reaction. The present observations indicate that the reactions which are responsible for light emission in deep sea organisms can be studied by biochemical methods provided specimens are available in large numbers.

* Yokosuka City Museum, Yokosuka.

** Dept. of Biological Sciences, University of Southern California, Los Angeles, U. S. A.

*** Tokyo Kyoiku Daigaku, Tokyo.

**** Dept. of Biochemistry, University of Georgia, Athens, Ga, U. S. A.

Manuscript received August 4, 1973, Contribution from the Yokosuka City Museum, No. 244.

Acknowledgements This work was supported by the Institute of Oceanography of Tokyo University and in part by grants from the Japan Society for the Promotion of Science and the National Science Foundation (GF-274) under the U-S. Japan Cooperative Science Program. We are grateful to Drs. T. ABE, M. OMORI, Y. AIZAWA and S. S. BERRY for identifying the specimens.

1. 目 的

深海発光生物の中、主として、発光魚、発光イカ、発光甲殻類の発光状態を観察するとともに、発光器の構造、それ等発光生物の生化学的研究を行なうために、発光物質の性質、材料として、量的に採集可能か否かを知る目的で、東京大学海洋研究所実験船“淡青丸”66—14次航海において、羽根田、杉山、堀は1966年7月14日、15日の両日、駿河湾において、深海大形プランクトンネットによる採集を行なった。また同じ目的で、同船の1968年68—12次航海において、羽根田、F. I. TSUJI、杉山は1968年7月2日夜、駿河湾にて、7月3日夜和歌山県神宮沖にて採集を行なった。

2. 調査実施経過

1966年淡青丸66—14次航海

1966年7月14日午前11時清水港を出港、同夜、および15日夜、駿河湾内のA地点（清水、松崎を結ぶ線上の中央部）、B地点（駿河湾入口）、C地点（富士川河口沖）の3ヶ所において深度500米、1000米の採集を行なった。

1968年68—12次航海

	7月2日夜、駿河湾口	深 度
第1回	21. 20~22. 00	1000 米
第2回	22. 45~23. 00	300 米
第3回	23. 18~23. 40	300 米
第4回	0. 12~ 0. 40	30 分間表層
第5回	1. 15~ 1. 45	30 分間表層

7月3日夜、和歌山県神宮沖 10 哩

第1回	20. 18~21. 03	1000 米
第2回	21. 08~21. 45	750 米
第3回	21. 53~22. 20	500 米
第4回	22. 37~23. 07	30 分間表層

3. 採集材料の処理

採集した発光生物は、採集直後、暗室にて発光の状態を観察すると共に、一部は標本用、発光器の構造を調べるために保存したが、一部は生化学の試験研究のためドライアイスにて凍結し、研究室へ持ち帰った。

両航海において採集した発光生物の採集地点深度および採集した生物は Fig. 1, 2. に示す通りである。

4. 採集した発光生物の発光状態について

発光は細胞内発光と細胞外発光にわけられる。採集したすべての発光動物はヒカリボヤを除いて、すべて深海性であって、細胞内発光の魚やイカ類は複雑な発光器を持ち、発光細胞の中へは毛細血管、神経が分布し、光の明滅は直接の神経支配である。

A. 魚 類

表層でとったハダカイワシ類以外の深海魚は、採集時、ほとんど死んでいたため、非常に立派な発光器があるにもかかわらず発光器からの光はほとんど認められなかった。わずかに、ハウネンエソ *Polyipnus spinosus*, *P. asteroides*, ギンハダカ *Yarrella illustris* の少数のものが生きて

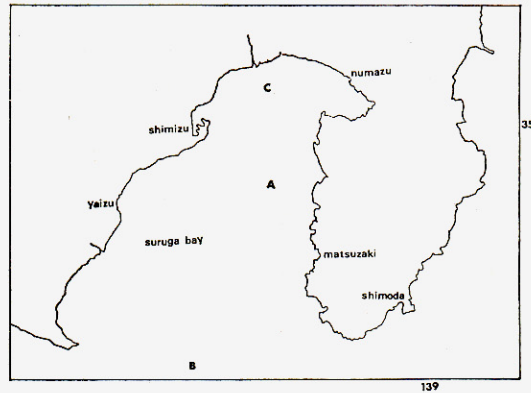


Fig 1. 採集地点

採集地点	66-14 次						68-12 次						
	A地点		B地点		C地点		駿河湾口			和歌山県神宮沖			
	500 m	1000 m	500 m	1000 m	500 m	1000 m	300 m	1000 m	表層	500 m	750 m	1000 m	表層
<i>Cyclothone microdon</i> オニハダカ	×	×	×	×	×	×		×		×	×	×	
<i>C. pallida</i>		×											
<i>C. pseudopallida</i>				×		×		×					
<i>C. alba</i>						×		×					
<i>Polyipnus spinosus</i> ホウネンエソ		×	×	×		×		×		×	×	×	
<i>P. asteroides</i> ホンホウネンエソ		×	×	×		×		×				×	
<i>Sternoptyx diaphana</i> ムネエソ			×	×							×	×	
<i>Chauliodus sloani</i> ホウライエソ		×			×			×					
<i>Astronesthes ijimai</i> トカゲハダカ	×				×						×		
<i>Yarella illustris</i> ギンハダカ	×				×							×	
<i>Gonostoma gracile</i> ヨコエソ	×	×	×	×	×	×	×	×		×	×	×	
<i>Malacosteus sp.</i>				×									
<i>Myclophium asperum</i>									×				×

採 集 地 点 深 度 種 名	66—14 次						68—12 次						
	A地点		B地点		C地点		駿河湾口			和歌山県神宮沖			
	500 m	1000 m	500 m	1000 m	500 m	1000 m	300 m	1000 m	表層	500 m	750 m	1000 m	表層
<i>M. nitidulum</i> ススキハダカ									×				×
<i>Diaphus elucens</i> スイトウハダカ									×				×
<i>Diaphus sp.</i>									×				×
<i>Chiroteuthis imperator</i> ユウレイイカ	×		×				×			×			
<i>Watasenia scintillans</i> ホタルイカ	×		×				×			×	×		
<i>Sepiolina nipponensis</i> ギンオビイカ	×		×		×			×					
<i>Sergestes lucens</i> サクラエビ	×	×	×	×	×		×	×		×			
<i>S. prehensilis</i>		×		×		×		×			×	×	
<i>S. arcticus</i>		×		×				×				×	
<i>S. sp.</i>		×						×				×	
<i>Oplophorus gracilirostris</i>	×		×		×		×			×			
<i>O. spinosus</i>		×	×	×	×		×	×				×	
<i>Notostomus longirostris</i>								×					
<i>Acanthephyra eximia</i>						×		×				×	
<i>Euphausia pacifica</i>	×		×		×		×			×	×		
<i>E. similis</i>			×	×				×				×	
<i>Pyrosoma atlanticum atlanticum</i> ヒカリボヤ									×				×

Fig. 2. 採集した発光生物の種類

おり、体側の発光器が美しい青緑色の光を放つのをみた。しかしほとんど死の直後でも adrenalin hydrochloride 0.2~0.5 cc の注射によって、徐々に注射した近くの発光器が光を放ち、全体の発光器が弱く光るのをみた。光は弱く連続的で十数分続いたが、やがて消光し、再び発光させることはできなかった。オニハダカ *Cyclothone*, ホウライエソ *Chauliodus sloani*, トカゲハダカ

Astronesthes ijimai, ヨコエソ *Gonostoma gracile* 等は体側に発光体, 反射器, レンズ, 色フィルターをそなえた発光器の列を持ち皮膚にも微細な発光器が散在していたが, 死後であるから発光を認めなかった。しかし, 生時は美しく発光することは疑いのないことである。これらの発光器の他にトカゲハダカ *Astronesthes ijimai* ホウライエソ *Chauliodus sloani*, は頬に大きな発光器がありトカゲハダカは, かすかに生きており, 頬の発光器が動くのを見た。光の方向を変えることができるものと思われる。*Malacosteus sp.* の頬の発光器は2個あり, 大きい前方の発光器は美しい赤色, 後方の小さい発光器はレモン色であった。光を認めることはできなかったが, この赤色およびレモン色は発光体とレンズの間にある色フィルターの色である。発光体の光の色調が青緑色であるから, 光の色調に多少の差はできて赤色とレモン色に光るわけではなく, 青緑色であろう。ギンハダカの色フィルターは深紅色, ホウネンエソは紫色で, 生時, 発光器は外部からレンズを通してこれらの美しい色がみられるが, 光の色調は両者を比較すると, 多少の色調の差がみられる程度で, 一つずつをみれば, 青緑色にみられる。

68-12 次航海における表層採集で得たハダカイワシ類は生きているものが多く, 発光をよく観察することができた。腹面, 体側に並ぶ発光器からは青緑色の光を認め, アドレナリン注射により全体の発光器が, 連続的に一齐に光るのをみた。しかし, 頬, 眼の周囲にある発光は種類により, 形態, 大小様々でとくに, スイトウハダカ *Diaphus elucens* の鼻部腹側発光器 (Ventro-nasal organ) は巨大となっているが, 発光は認められなかった。尾鰭の上下にある発光板は生時, 強い明滅する光を放つのをみたが, 弱った個体が多かったためか発光を認められないものの方が多かった。頭部および尾部の発光板は, 体側の発光器よりも, より神経支配の強い発光器と思われる。

B. イカ類

採集した発光イカはユウレイイカ *Chiroteuthis imperator*, ホタルイカ *Watasenia scintillance*, ギンオビイカ *Sepiolina nipponensis* の3種であった。前二者は発光体, 反射器, レンズ, よりなる複雑な発光器が眼球上, 内臓, 腕にあり胴体には多くの小発光器が散在する。発光器の構造, 発光状態など深海発光魚とており, 発光は生時においてのみ, みられる。ホタルイカ, ユウレイイカは腕の発光器の光をかすかに認めたが, すでに死後であったため, 他の発光器の光を認められなかった。

ギンオビイカ *Sepiolina nipponensis* は胴の長さ 20~25 mm, 発光器は墨汁囊の上にある直径 3 mm ほどの録白色の器官でその左右に小孔があり, 刺激を受けると, 発光液をこの孔から分泌する。この発光液は外套腔内の海水と混合し, 発光液となり刺激を受けると漏斗より発光液を噴出し, イカの周辺を発光する雲でおおようになる。この種の発光様式は細胞外発光といわれている。地中海の深海にいる *Heteroteuthis dispvr* も同様に発光液を分泌し, 習性はよくにている。

ギンオビイカをドライアイスにて凍結し, 数日後に, これを常温にもどすと, また発光し, 発光化学の研究材料としては, 興味ある材料であるが, これを大量にとることはむずかしい。

C. 発光甲殻類

採集した甲殻類はサクラエビ *Sergestes lucens* 他, 4種類の *Sergestes* を得たが, この中, 発光器を持つ種類3種であった。採集直後, *Sergestes prehensilis*, *S. lucens* は長時間生きており, 種々な刺激, 機械的, 化学的の刺激を与えたが, ついに発光を認めなかった。またドライアイスにて冷凍後, 常温にもどしたとき, 発光を認めなかった。寺尾新氏 (1917) は *Sergestes prehensilis* は 150 の発光器を持ち発光器からは弱い緑黄色の光を放つのを認めたという (寺尾氏の *Sergestes prehensilis* は, *S. lucens* の誤りであった)。

この報告を除いては, いずれも発光を見たという報告はない。東京大学海洋研究所の大森信氏も *Sergestes* は, いかなる刺激を与えても光らなかつたと述べている。

HARVEY は発光は性と関係があり、季節的なものか、ホルモンのコントロールによるものではないかと考えている。

Oplophorus gracilirostris, *O. spinosus*, *Notostomus longirostris*, *Acanthephyra eximia* の4種の深海エビは、刺激をすると脚の基部より発光液を分泌し、海水と混合して、光雲を出す種類である。これらのエビを乾燥した後、水をかけると再び発光することはウミボタルの場合と同様である。

Euphausia pacifica, *E. similis* の2種のアミは体節に一对ずつの発光器を持ち、眼の両側の発光器の光が特に強い。

捕獲後数時間で黒色がかってきて、この頃では発光力は消失するが、捕獲直後、ドライアイスにて固め、長く保存した後、常温にもどすとき、とくにアルカリ性になると、また発光してくる。このような材料は、量的に採集できれば発光化学の研究にはよき材料である。

5. 発光物質の生化学的研究

生化学的研究を行なうには、材料が豊富に、数千とか数万、少なくとも数キログラムの単位を得られるものでなければならず、発光物質が安定のものであることが望ましい。

深海発光魚の多くは発光は神経支配であり死後はまもなく消光し、一度消光したものはふたたび発光させることは困難で、量的にも採集は困難である。

量的に採集するには駿河湾のサクラエビ網には、種々のハダカイワシ類、ユウレイイカ *Chiroteuthis imperator*, サクラエビ *Sergestes lucens*, *Oplophorus gracilirostris*, *Euphausia pacifica* などであり、富山湾のホタルイカ *Watasenia scintillans* も量的には採集可能である。

しかし、ハダカイワシ類、ユウレイイカ、ホタルイカは深海魚同様、発光は神経の直接の支配であり、死後は光は消えて、ふたたび、発光を回復させることは今後の研究に待たねばならない。

発光液を分泌する深海エビ *Oplophorus gracilirostris*, ギンオビイカ *Sepiolina nipponensis*, 死後も光る発光アミ *Euphausia pacifica* は発光物質を動物の死後まで保存できる点において、細胞内発光の深海発光動物とは異なり、生化学的研究の対象となり得る。

現在までに、大量採集を行ない、目下生化学的研究を行ない、または一部、発表したものは *Diaphus elucens* と *Oplophorus gracilirostris* に関する報告のみである。

A. 深海エビ *Oplophorus gracilirostris* の生化学的研究

この発光エビは、駿河湾由比のサクラエビ網にサクラエビと混入するエビであるが、一時に大量に採集することが困難で多くの漁船に依頼し、少量ずつ採集した材料を冷凍器に入れ -35°C に保存し、この採集作業はすでに数年続け冷凍乾燥した後、主として TSUJI が生化学的研究を目下続行中である。

B. 深海イカギンオビイカ *Sepiolina nipponensis*

材料の中、もっとも興味ある種類はギンオビイカ *Sepiolina nipponensis* であるが、量的に多数を採集することは、ほとんど不可能に近く発光内容が、ミミイカ *Euprymna morsei* のような共棲発光細菌ではなく、発光化学物質であることを確かめたのみである。

参 考 文 献

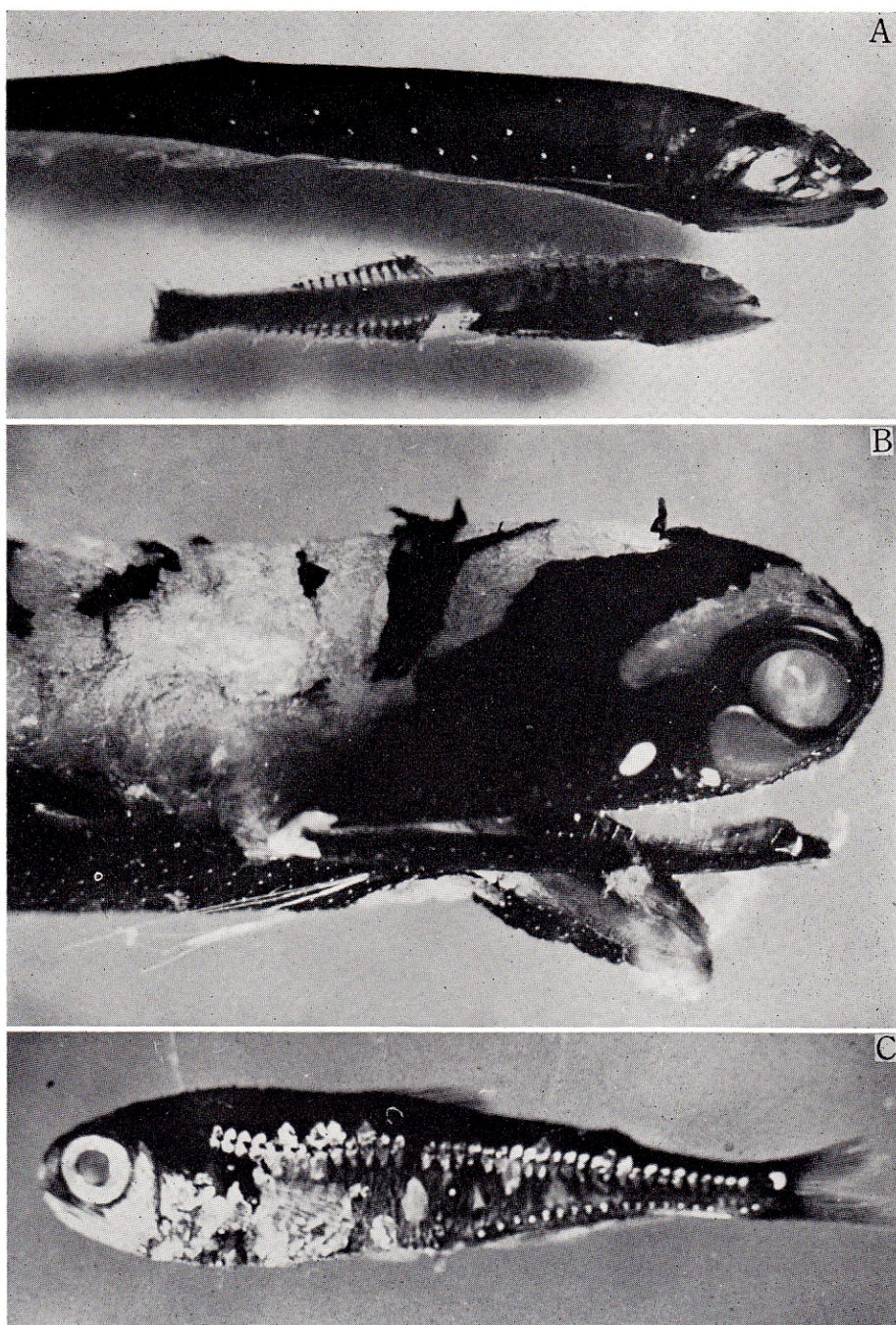
- HANEDA, Y. 1956: Squid producing an abundant luminous secretion found in Suruga Bay. Japan Sci. Rept. Yokosuka City Mus. No. 1, 1956: 27~32.
 HARVEY, E. N. 1952: Bioluminescence, Academic Press Inc. New York: 352~353.
 JOHNSON, F. H., H. -D. STACHEL, O. SHIMOMURA, and Y. HANEDA 1966: Partial Purification of the luminescence system of a deep-sea shrimp, *Hoplophorus gracilirostris* Ed. F. H. JOHNSON and Y.

HANEDA, Princeton Univ. Press.

TERAO, A. 1917: Notes on photophores of *Sergestes prehensilis*, Bate. Annot. zool. Jap. 9: 299~316.

TSUJI, F. I. and Y. HANEDA 1971: Studies on the luminescence reaction of a Myctophid Fish, *Diaphus elucens* BRAUER, Sci. Rept. Yokosuka City. Mus. No. 18: 104~109.

TSUJI, F. I. and Y. HANEDA 1971: Luminescent System in a Myctophid Fish, *Diaphus elucens*, Nature Vol. 233, No. 5322: 623~624.



A. 上 ヨコエソ *Gonostoma gracile*

下 オニハダカ *Cyclothone microdon*

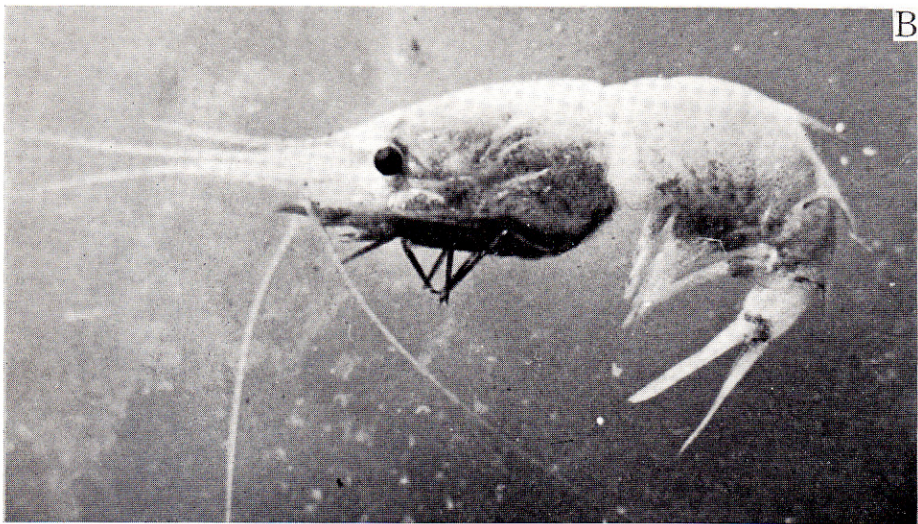
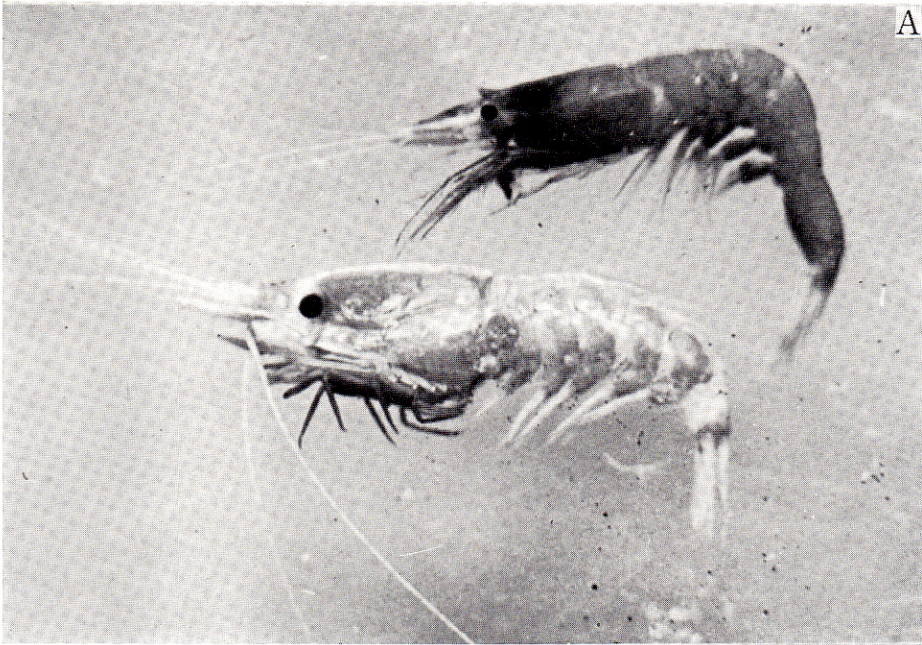
両種とも発光器の構造は複雑でよく発達しているが小さく死後、直ちに消光するので生化学の研究材料としては不適當である。

B. *Malacosteus* sp.

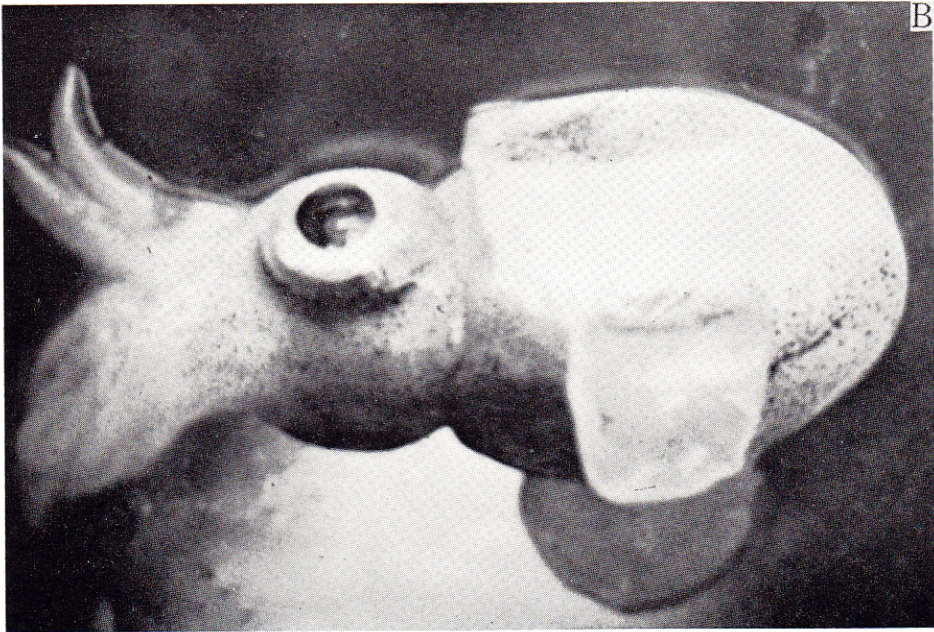
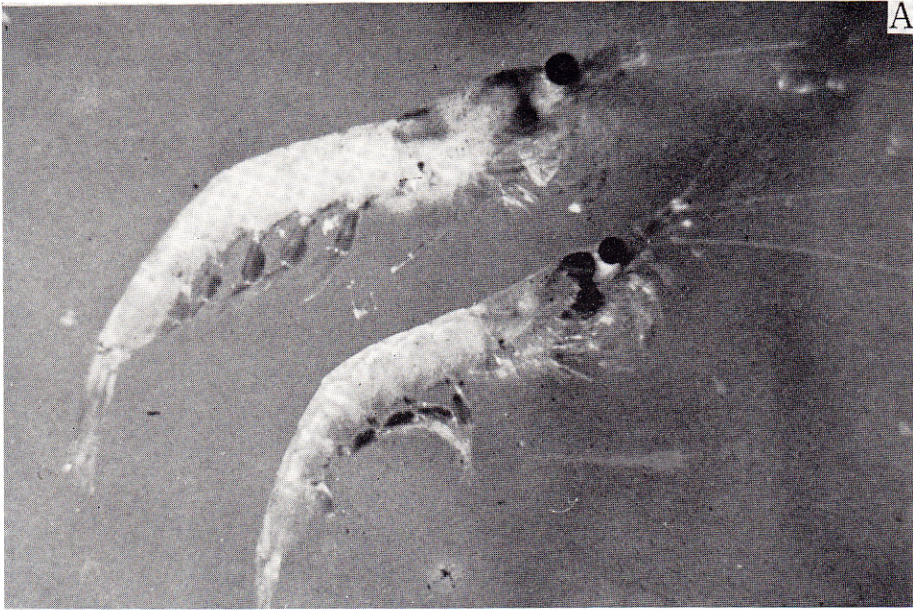
体色黒く、体に小発光器があるが、頬に赤色とレモン色の大きい発光器がみられる。

C. ススキハダカ *Myctophium asperum*

規則的に並んだ体側の発光器の他に尾鰭の基部に、発光板があり、生時強く明滅する。



- A. 上 *Sergestes prehensilis*
サクラエビ *Sergestes lucens* よりやや沖で深い所に多く、体色は深紅色、各環節の左右に発光器があるが、発光を観察することができなかった。
下 *Oplophorus spinosus*
外洋性で 500 米以深にみられ、各節に赤色の中にオレンジ色の斑がみられる。脚の基部より発光液を分泌することは *Oplophorus gracilirostris* と同様である。
- B. *Oplophorus gracilirostris*
比較的浅い所に多く駿河湾のサクラエビ網に混入する、体色は赤色、脚の基部より発光液を分泌する。



A. *Euphausia pacifica*

各環節に一对の発光器があり発光する。とくに眼の附近の発光器は強く連続的の光を放つ。

B. ギンオビイカ *Sepiolina nipponensis*

胴長 20 ミリ胴に銀白色の帯がある。墨汁囊の上に発光液を分泌する器官があり、刺激によって、漏斗より発光液を噴出する。