The Zoological Society of Japan

硬骨魚（メダカ）の尾並びに尾鰭の再生に就いて

森　英司[1)] Hidesi Mori

東京帝國大學理學部動物學教室

緒　言

魚類の尾並びに尾鰭の再生に關しては舊く十八世紀の後半より今日に至る迄觀察されてゐる。Bronssnet (1786) は鰭の再生に關して，1) 再生速度は若き個體程早いが，種類に依つて遲速があり，2) 鰭が再生する爲には鰭條の切株が殘存して居らねばならぬと述べて居る。

後年 Fraisse (1885), Barfurth (1891) 及び Weismann (1892) 等は鰭の切除は唯傷部の治癒のみで再生は起らぬと言つて居る。然し Mazza (1890) は金魚で鰭の再生する事を認め，Nusbaum 及び Sidoriak (1900), Nusbaum (1903) は鱒の胚で鰭のみならず尾部の再生する事を報告して居る。Nusbaum 及びその共働者に依れば排泄孔の附近以下を切除すると完全な體節を生じ，尾鰭は元の如くに再生する。又 Duncker (1905, 1907) は楊子魚を材料として切斷部位に新尾鰭の再生を見て居る。更に Morgan (1900, 1902, 1906) 及び Morrill (1906) 等は *Fundulus heteroclitus* を材料とし鰭の再生を研究して Broussnet と同様に再生には鰭條の切株の殘存を必要とする事を述べて居る。然るに Nabrit (1931) は *Fundulus* 及金魚で，又 Birnie (1934) は *Fundulus heteroclitus* の胚で，鰭の再生には必ずしも鰭條の切株は必要でなく，基底板 (Basalplatte) が殘存して居れば宜いと言つて居る。Schäfer (1936) も亦金魚で同樣の觀察をして居る。之に反し Wunder 及び Schimke (1935) は鯉で鰭條の切株を取去るともはや鰭は再生せぬと述べて居る。以上の如く魚類の尾鰭再生に關しては研究者の言ふ所が未だ一致してない。

一方鰭のみならず體の後端を切除した場合の再生に關しては，獨り前述の Nusbaum (1903) の正の結果があるのみで，Morrill (1906) は *Fundulus heteroclitus* で，Birnie (1934) はその胚で，又 Goetsch 及び Schindler (1934), Kasancev (1935), Schindler (1938) 及び Heger (1939) は鱒類で夫々實驗を行ひ，總て否定的な結果に終つて居る。本研究は魚類の尾並びに尾鰭に關する從來の觀察結果に一致を缺く諸點を追試すべく東京帝大理學部動物學科前期實驗形態學實習で著者に課せられた題目で，昭和 15 年 6 月より翌年 8 月迄に觀察し得たる主なる結果である。今其の報告に當り，岡田教授，竹脇助教授の懇切なる御指導と級友諸兄の多大の援助に對して玆に感謝する次第である。

材料及び方法

材料は野生及び飼育の緋目高 (*Oryzias latipes*) を用ひたが，何れも尾部椎骨がよく透けて

1) 會員岡田要君紹介

NII-Electronic Library Service

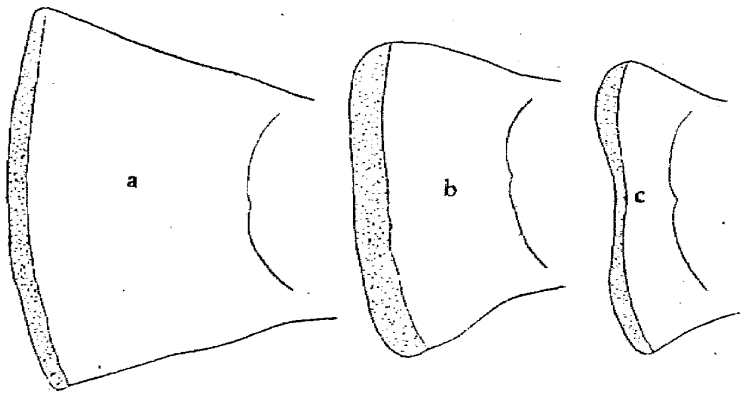
The Zoological Society of Japan

見えるので切斷はこの椎骨を目標として行つた。先づクロレトンで麻醉し，眼科用のメス及び鋏を用ひ，双眼解剖顯微鏡の下で切斷し，手術後は一度煮沸して消毒せる水に 2 日間置き，次で普通のガラス水槽に移し，餌はイトミミズ，ユスリカの幼蟲等を 3 日毎に與へ，その都度觀察を行つた。スケツチにはカメラルシダを用ひ，又骨骼は動物體をグリセリンの中に入れ透明にしてから觀察した。

實驗結果

實驗 A

1) 尾鰭を，鰭條と直角をなす線で切斷除去せる場合には，その位置が基部に近い程再生速度が早い事は既に Morgan (1900, 1902, 1906) 及び其他の研究者に依り報告されて居る。然し第1圖に示す如く，體長同じ位の魚を取り種々の位置で切斷すると尾鰭の前から約 2/5 の位置で切斷せるものに於て再生が最も早い（第 1 圖）。この事は切斷位置が或る限度以上基部に近い場合には再生速度は却つて遲くなる事を示す。即ちメダカの尾鰭再生には最適の部分が存在するを知る。Wunder 及び Schimke (1935) も鯉に就いて同樣の事を述べて居る。

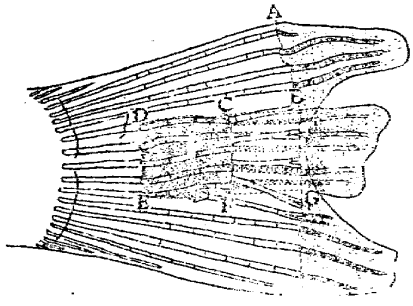


第 1 圖 a, b, c 共に 10 月 24 日手術，10 月 28 日スケッチ。點々を打ちたる部分は再生部。b が鰭の前から約 2/5 で切斷せるもので再生が最も早い。

2) 第2圖に於ける如く鰭の中央より稍〻前方に窓 C D E F を開け，同時にその後方部を A H 線にて切斷する時は，再生は先づ DE 部に起り同時に BG 部に多少の退化が見られる。然し Nabrit (1929) の *Fundulus* に於ける場合の如き CF 部に於ける再生は見られない。手術を 10 月 9 日に行ひたるものでは 10 月 14 日頃に窓は閉ぢ，次で表皮は膜狀の突起を生ずる。これと同時に新に再生しつゝある鰭條もその突起中に伸び來り結局第2圖の樣な重複尾鰭を形成する。又窓の代りに DE 線で鰭條を切斷し AH 線で後方部を切斷除去した場合にも，手術個體 5 匹の中 1 匹に，DE 部より 1 本の鰭條を有する鰭樣突起が現はれた。

然るに窓を開けたのみで後方，AH 線に沿うての切斷を行はない場合には，前と同樣に小さい膜狀突起は生ずるが間もなく消失して，結局窓が閉ぢたのみで鰭が重複形成される樣な事はなかつた。そして窓の前方の殘存鰭條と窓の後方の殘存鰭條とは元の如く連絡した。

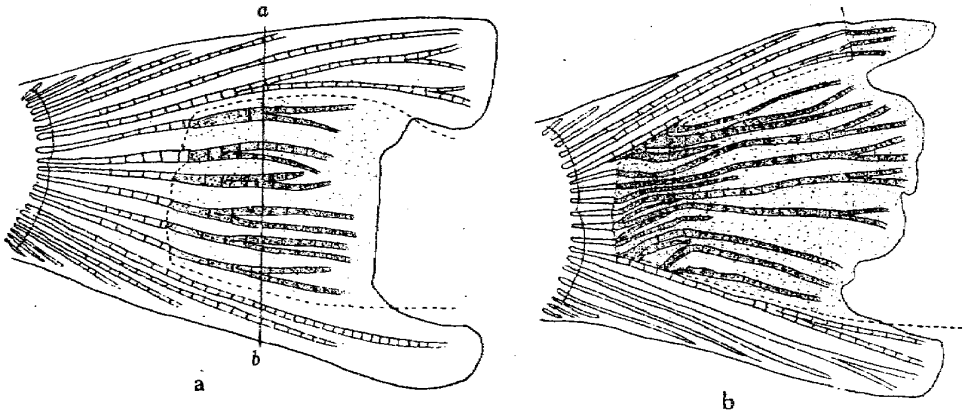
3) 第 3 圖に示す如く尾鰭の背側と腹側を殘して中央部分を切除する場合には，游泳時に於て尾鰭は背腹に甚だしく擴げられるので，再生部もそれに應じて元より



第 2 圖 10 月 9 日手術，2 月 17 日スケッチ。C D E F は窓で，ABGH は後方切斷面。點を打ちたる部分が再生部である。

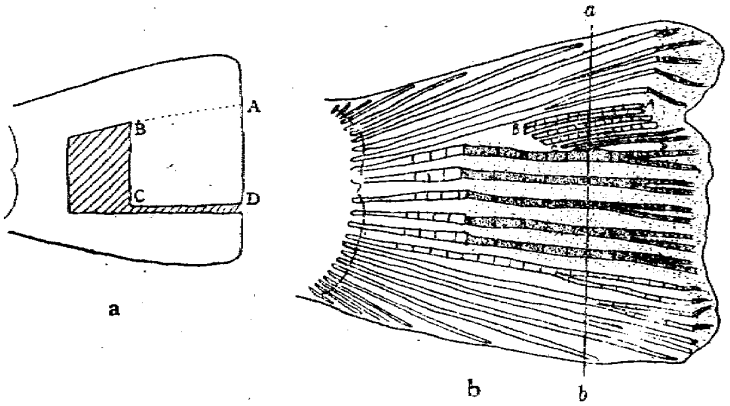
NII-Electronic Library Service

The Zoological Society of Japan



第 3 圖　a: 9 月 25 日手術, 2 月 17 日スケッチ。ab は正常の鰭條の分岐線。中央 4 本の再生鰭條は基部に近く分岐して居る。 點線は切除せる部分を示す。b: 9 月 25 日手術, 2 月 17 日スケッチ。切口に近き殘存鰭條より新に横に鰭條を生ず。

は過剰となり再生鰭條が異常を示して來る。異常に二型がある。卽ち, 1) 鰭條が正常の場合より一層基部に近く分岐するものと(第3圖 a), 2) 切口に近い殘存鰭條より多數の鰭條を横に新生するものとがある(第 3 圖b)。若しこの場合第4圖 a の如く後部 ABCD を殘して置けば, 後にこの部分が萎縮して背側に集り前方からの鰭の再生を機械的に抑制減少せしめるので再生鰭條は正常の時よりは尾鰭末端近くで分岐する。 切口近くの殘存鰭條より側方に鰭條を新生する様な事は見られない(第4圖b)。

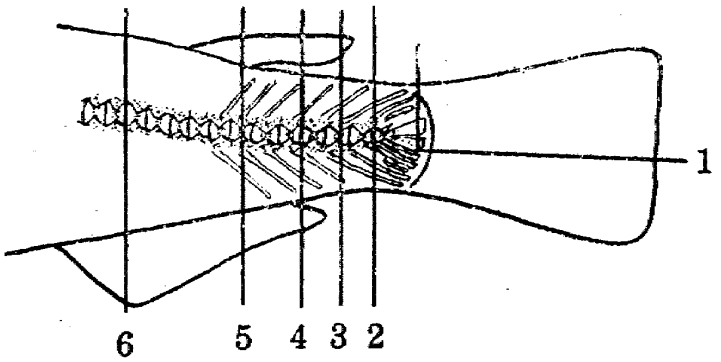


第 4 圖　a: 斜線にて切除部分を示す。結果は b 圖の如し。 b: 9 月 25 日手術, 2 月 17 日スケッチ。線 ab は正常鰭條分岐線。再生鰭條は尾鰭末端近くで分岐す。

以上の如く切除された形に依つて再生量も異なり鰭條の様子も異なつて來る。從つて種々の形に切られた尾鰭の再生の遲速を論ずる場合には Nabrit(1929, 1931) の云へる如く, 1) 尾鰭に分布せる鰭條の大小, 2)切斷面に存する鰭條の切端の多少のみならず切斷後に於て鰭の游泳時に受ける力學的な影響も考慮に入れなければならないであらう。

實驗 B

第 5 圖に示す如くメダカの尾部を椎骨を目標として種々なる位置で切斷した (次に示す番號は切斷部位を表はす)。其の結果は:

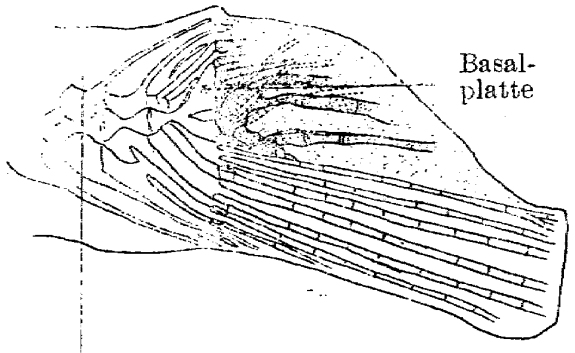


第 5 圖　尾部に於ける切斷部位を示す。

NII-Electronic Library Service

The Zoological Society of Japan

1) 基底板 (Basalplatte) と尾鰭の上半部を切除したものからは，第 6 圖に示す如く基底板より鰭條が生じて居る。そして其等の鰭條は不規則で兩側の鰭條は正しく對位して居ない。



第 6 圖 7 月 20 日手術，8 月 3 日固定。再生鰭條は基底板より生じ，且つ各兩側片は正しく對位せず。7 月中の溫度 26°～28°C。

2) 最後の椎骨以下を除去したものでは，圖版 B, C 圖に見る如く不規則な尾鰭が切斷部位より再生して來る。再生體の位置及び方向は個體に依り異なる。

3) 椎骨 2 つ半と共に體の後端を除去したものでは，圖版 A 圖に見る如く尙可成りの再生能力を示す。然しこの實驗は體長約 1.6 cm のものを用ひた。

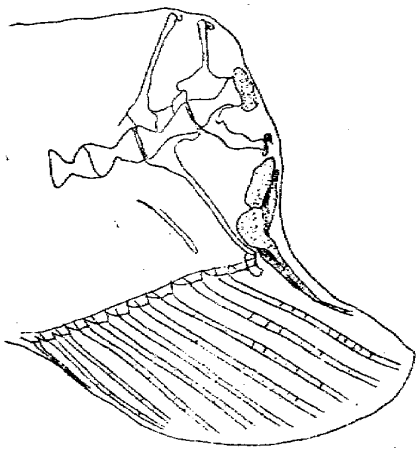
4) 椎骨 4 つと共に體の後端を除去したものでは成體では傷部の癒合のみに終つたが，體長約 1.6 cm の個體では切斷部位に尾鰭を生じたものがあつた (圖版 D, E 圖)。

5) この手術に於ては，切斷面は背鰭の中央部と臀鰭の後部とを通過する。成體では傷部の癒合のみで再生は起らなかつたが，體長約 1.6 cm の個體では圖版 F 圖に示す様に背鰭と臀鰭とが合着し，その間に椎骨突起より 5 本の鰭條が生じた。

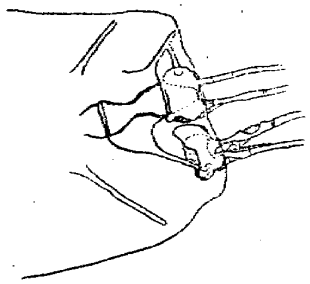
此等 5 本の鰭條を含む部分は形態的に明らかに背鰭，臀鰭とは區別される。

6) 椎骨 12 と共に體の後端を切斷したものでも往々體の後端に骨片を生じ，それが伸びて臀鰭の鰭條となつてゐるものがあつた (第 7 圖)。

一般に體の後端を可なり大きく切除された魚では，殘存せる尾部を強く上方へ彎曲する傾向がある (圖版 E)。今椎骨 2 つ半と共に體の後端を除去して生じた再生鰭 (第 8 圖) を觀察するに，腹側 2 本の鰭條は，椎骨突起を擔鰭骨としてその兩側に生じた 2 つの骨片から伸びて居る。又背側 2 本の鰭條は，2 枚の骨片が最後の椎骨を挾んで生じそれより鰭條が伸びて居る。



第 7 圖 9 月 14 日手術，11 月 4 日固定。椎骨 12 と共に體の後端を除去す。點を打ちたる部が再生部。9 月中の溫度 25°～26°C。



第 8 圖 8 月 5 日手術，8 月 28 日固定。椎骨 2 つ半と共に體の後端を除去せるものの再生體を示す。背側 2 本の鰭條は椎骨を挾む 2 枚の骨片より伸び，腹側 2 本の鰭條は椎骨突起を挾む 2 枚の骨片より伸びて居る。8 月中の溫度 26°～29°C。

NII-Electronic Library Service

The Zoological Society of Japan

論　　議

以上の結果より見れば，メダカに於て尾鰭の再生には鰭條の切株の殘存は必ずしも必要でない。この事は *Fundulus* を材料とせる MORGAN 及び MORRILL，又鯉を材料とせる WUNDER 及び SCHIMKE 等の鰭條切株の殘存を再生條件とする所見とは一致しないが，切株を必要としないと言ふ NABRIT 及び BIRNIE の *Fundulus* に於ける實驗，並びに金魚を材料とせる SCHÄFER の實驗結果と一致する。

然し NABRIT 及び BIRNIE 等の基底板（Basalplatte）の影響が必要であると言つて居るのに對して，メダカでは基底板を完全に除去しても新に椎骨や椎骨突起を擔鰭骨として鰭條が生じ鰭も亦再生するのであるから，基底板の影響は無くても宜い譯である。之等の事は DUNCKER の楊子魚の實驗とよく一致して居る。以上の如き所見の相異は或は魚の種類に依つて生ずるのかも知れぬが，然しメダカに於ては，鰭條の切株や基底板は尾鰭の再生には必ずしも必要ではない。一方メダカの幼魚（體長約 1.6 cm）では體の後端を相當除去しても切斷部位に尾鰭を生ずるが，NUSBAUM の鱒の胚に於けるが如き體節の再生は見られなかつた。メダカの胚を用ひてのこの實驗は未だ行つてない。又鰭の再生には溫度が關係し 25°～29°C が最適である。實驗 B の場合で冬期に手術せる個體は傷部の癒合のみで再生を起さなかつた。

摘　　要

1） メダカの尾鰭には再生最適部位がある（第 1 圖）。

2） 尾鰭の稍前方に窓を開け更に後部を切除すると重複尾鰭を生ずる。後部を切斷しない時は窓は閉ぢるのみで重複尾鰭を生じない（第 2 圖）。

3） 尾鰭の再生鰭條は，鰭の再生部分の多少に應じて不規則の分岐を示す。卽ち過剩の時は基部に近く分岐したり又切斷面近くの殘存鰭條より側方に新生するが，少い時には尾鰭の末端近くまで分岐しない（第 3 圖，第 4 圖）。

4） 若い個體程再生能力が强く，成體のメダカでは最後より第 3 番目の椎骨位置で尾部を切斷すると最早や再生は起らないが，約 1.6 cm のメダカでは尙よく尾鰭を發生する（圖版 D, E, F）。

5） 尾鰭の再生には必ずしも鰭條の切株や基底板（Basalplatte）を必要としない（第 8 圖）。

6） 體の後端切除に於ける尾鰭の再生には，溫度が大なる影響を及ぼし，最適溫度は 25°～29°C で，冬期に於ては殆んど再生しない。

文　　献

BIRNIE, J. 1934. Regeneration of the tail fins of *Fundulus* embryos. Biol. Bull. **66.** **DUNCKER, G.** 1905. Über Regeneration des Schwanzendes bei Syngnathiden. Arch. Entw. -mechan. **20.** —— 1907. Über Regeneration des Schwanzendes bei Syngnathiden. Arch. Entw. -mechan. **24.** **HEGER, H.** 1939. Die Regeneration des Schwanzes bei jungen Forellen. Arch. Entw. -mechan. **138.** **MORGAN, T. H.** 1900. Regeneration in Teleosts. Arch. Entw. -mechan. **10.** —— 1902. Further experiments on the regeneration of the tail of fishes. Arch. Entw. -mechan. **14.** —— 1906. The physiology of regeneration. J. exp. Zool. **3.** **MORRILL, G. V.** 1907. Regeneration of certain structures in *Fundulus heteroclitus*. Biol. Bull. **12.** **NABRIT, S. M.** 1929. The rôle of the fin rays in the tail-fins of fishes. Biol. Bull. **56.** —— 1931. The rôle of the basal plate of the tail in regeneration in the tail-fins of fishes. Biol. Bull. **60.** **NUSBAUM, J. und S. SIDORIAK.** 1900. Beiträge zur Kenntnis der Regenerationsvorgänge nach künstlichen Verletzungen bei älteren Bachforellen embryonen (*Salmo fario* L.) Arch. Entw. -mechan. **10.** **NUSBAUM, J.** 1903. Zur Kenntnis der Heteromorphose bei der Regeneration der älteren Forellenembryonen (*Salmo irideus*). Anat.

NII-Electronic Library Service

The Zoological Society of Japan

Anz. **22.** —— 1907. Zur Teratologie der Knochenfische, zugleich ein Beitrag zu deren Regeneration. Arch. Entw.-mechan. **24.** **SCHÄFER, L. W.** 1936. Die Regeneration der Kiemen und Flossenstrahlen beim Goldfisch. Jena. Z. Naturwiss. **70.** **SCHINDLER, O.** 1938 Zur Regeneration der Schwanzflosse beim Salmonidenbrut. Arch. Entw.-mechan. **137** **SCOTT, G. G.** 1907. Further notes on the fins of *Fundulus heteroclitus*. Biol. Bull. **12.** **WUNDER, W. und H. SCHIMKE.** 1935. Wundheilung und Regeneration beim Karpfen. Arch. Entw.-mechan. **133.**

Zusammenfassung

Regeneration des Schwanzes und der Schwanzflosse bei der Knochenfische (*Oryzias latipes*)

HIDESI MORI

Zoologisches Institut, Kaiserliche Universität zu Tokio

1. Ein optimales Regenerationsvermögen ist in einer bestimmten Zone der Schwanzflosse von *Oryzias latipes* vorhanden. Am raschesten wird regeneriert, wenn wir etwa drei Fünftel der Schwanzflosse entfernen. Trennt man weniger oder mehr ab, so wird die Regeneration verlangsamt (Abb. 1).

2. Entfernen wir ein Fenster aus der Schwanzflosse, wächst das neue Gewebe von der vorderen senkrechten Fläche nach hinten und schliesst das Fenster. Macht man aber die Querschnittfläche hinter dem Fenster, wächst das neue Gewebe noch nach Verschlossen des Fensters und wird endlich eine Verdoppelung der Schwanzflosse gebildet (Abb. 2).

3. Wenn ein Mittelstück aus dem Schwanzflossenende herausgeschnitten ist, wird die verbliebene Schwanzflosse nach dorso-ventral abnormal erweitert und bei der Regeneration der Flossenstrahlen zwei folgende Typen beobachtet: 1) Die Flossenstrahlen gabeln sich näher der Schwanzbasis als normal (Abb. 3a). 2) Die neue Flossenstrahlen werden aus den in der Nahe der Schnittfläche liegenden Flossenstrahlen seitwärts gebildet (Abb. 3b).

4. Schneidet man das Hinterende mit drei Wirbeln im Erwachsenen, gleicht der den Verlust des Hinterendes durch einfache Wundheilung aus. Aber das etwa 1.6 cm lange Tier besitzt die Fähigkeit, an Stelle des verloren gegangenen Schwanzabschnitts eine Schwanzflosse zu regenerieren (Tafel D, E, F).

5. Für Regeneration der Flossenstrahlen sind die Stümpfe der Flossenstrahlen und die Basalplatte nicht benötigt. Dabei haben aber die neue Flossenstrahlen als Träger die Wirbelstümpfe oder die Nerven- und Hämalrückgräten (Abb. 8).

6. Die Temperatur übt den grossen Einfluss auf die Regeneration der Schwanzflosse aus; die optimale Temperatur ist 25°～29°C.

圖 版 說 明

A. 7 月 12 日手術, 9 月 30 日撮影. 體長約 1.6 cm の個體にて椎骨 2 つと共に體の後端を切除せるものの再生個體。7 月中の溫度, 26°～28°C。

B. 7 月 16 日手術, 12 月 10 日撮影, 成體にて最後の椎骨以下を切除せるものの再生體。7 月中の溫度, 26°～28°C。

C. B の個體と同樣の手術をなすもその再生體の位置及び方向を異にす。

D. 8 月 5 日手術, 9 月 4 日撮影, 體長約 1.6 cm の個體にて椎骨 4 つと共に體の後端を切除せるものの再生體。8 月中の溫度, 26°～29°C。

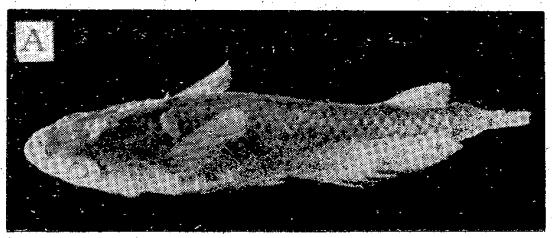
E. C と同樣の手術をなすも再生體の位置, 方向を異にす。

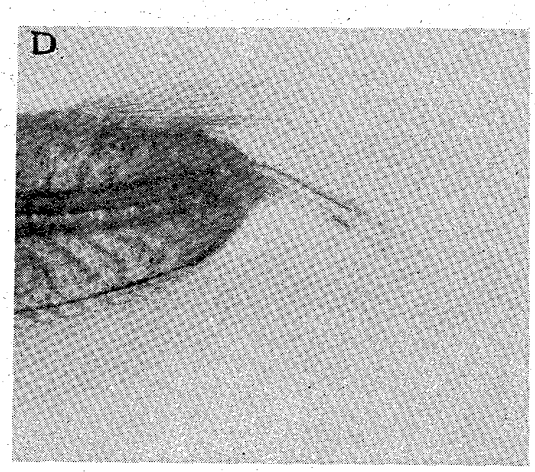
F. 7 月 12 日手術, 9 月 30 日撮影, 背鰭の中央部と臀鰭の後部とを通過して切斷せるものの再生體。中央部分の再生體は背鰭, 臀鰭と區別し得。7 月中の溫度, 26°～28°C。D—背鰭, A—臀鰭, R—再生部。

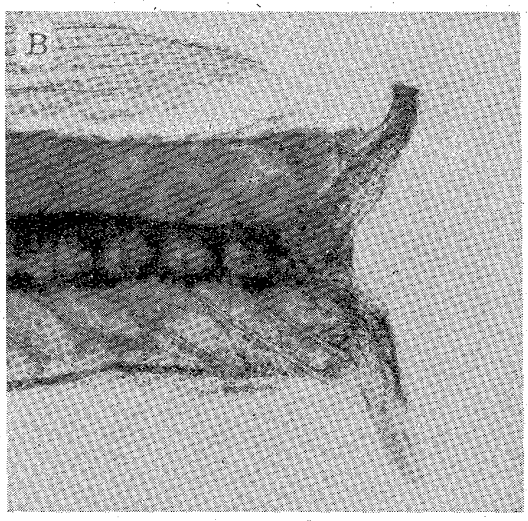
NII-Electronic Library Service

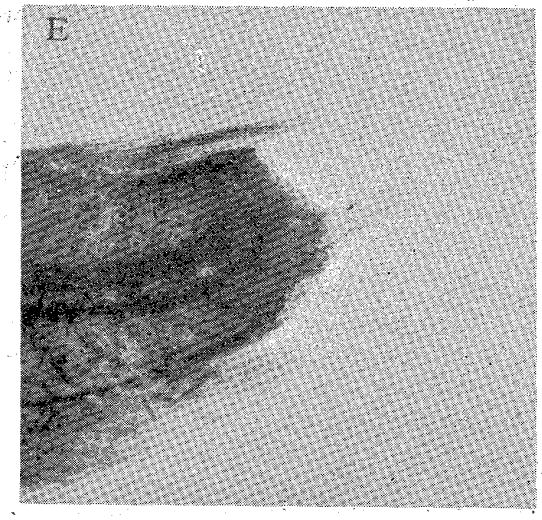
The Zoological Society of Japan

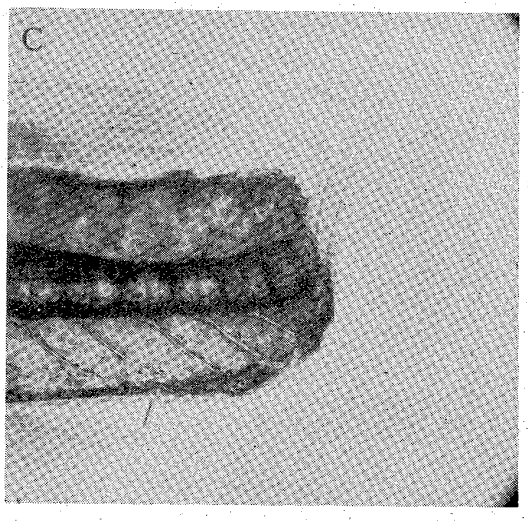
森　英司　圖版

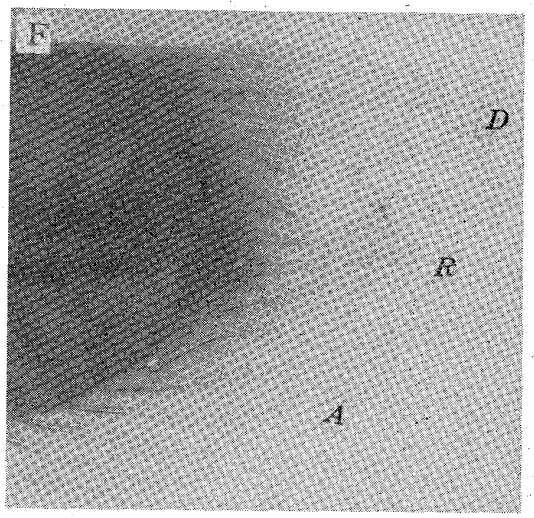












NII-Electronic Library Service