

新 熱帶魚入門

フィッシュ マガジン別冊
FISH MAGAZINE 冊



金魚鯉魚
兩生爬蟲水草解説
綠書房

フイッシュマガジン

FISH MAGAZINE 5

1983

觀賞魚月刊

日文版

發行所 / 株式會社綠書房

編集兼發行人 / 中村利一

本社 / 〒102 東京都千代田區飯田橋4-6-5

(富士ビル)

TEL 03(262)3582~3

中文版

出版者：綠書房文化事業有限公司

地址 / 台北市四維路393號一樓

電話：(02)7032560~5

TELEX：23114 SAMYU

總監督：黃華淞

發行人：黃佑邦

社長：鄭妙瑾

總編輯：潘方正

編輯：賴春福

助理編輯：羅秀玉

學術顧問(筆劃序)

于名振教授 沈世傑教授

李燦然博士 陳建初教授

張崑雄博士 曾文陽教授

楊榮宗教授 廖一久博士

鄭森雄博士

印刷 / 中華彩色印刷股份有限公司

1983年9月在台灣發行

中華民國行政院新聞局局版台誌字第3683號

售價新台幣100元

●特 輯●

怪魚出現、地震前兆？	32
青沙鯪、何日君再來！ 小西河人	66
親手製作水族缸 文 / 吉野 敏 插圖 / 入山 智	49
你究竟對食人魚認識多少？ 盧秀華	19

●專 題●

探討弱電魚的世界

水中的雷達兵團 文 / 佐藤 哲 插圖 / 入山 智	4
----------------------------	---

●專 訪●

東海大學于名振教授 潘方正 賴春福	78
-------------------	----

●彩圖欣賞●

新魚介紹、熱帶魚	2	壽星金魚	38
新魚介紹、海水魚	3	日本金魚、東錦	37
水草世界	28	名錦鯉	40

●繁殖專欄●

紅小丑的產卵 文・攝影 / 祖一 誠	22
弱電魚的繁殖法 文 / 佐藤 哲 插圖 / 入山 智	18

●連 載●

我的水族館史——初逢高射砲 杉浦 宏	52
孔雀魚專欄——蛇王孔雀 秀島 元	31
世界的爬蟲——紋蛇 千石正一	34
水草的實際栽培法——珍珠菜屬 山崎美津夫	28
海水魚專欄——從石斑魚到無齒鰻 松本謙一	47
魚的生活——魚的食性 沈世傑	70

●金魚之頁●

日本金魚——東錦 長澤兵次郎	36
金魚營養學——水蚤和酵母 野澤卓爾、酒本秀一	44
夜間飼育壽星金魚	43
名鯉解說 黑木健夫	46
回顧過去二十年的名鯉 諏佐源一郎	40

讀者之頁——魚房清話	77
------------	----

●加送彩圖插頁●

熱帶魚大圖鑑・海水魚大圖鑑 (八大頁)	57-64
---------------------	-------



①梳尾天堂魚 Combfins paradise fish
高拉美類，像梳齒般伸長的尾巴是
其特徵。

②魚名不詳的加拉辛類，體高是其
特徵。看起來像是 *Distichodus* 類。

③這也是魚名不詳的魚。乍看之下
像鰕虎或是卵生鱸魚(琴尾)，體型
有點像 *Mogurnda mogurnda*。和②一樣
，有必要進一步了解其詳細的生態
。





1



2

①拉沙鱸魚。接近石斑魚類，分佈於大西洋。有很美麗各種顏色斑點。除此以外，已知尚有許多美麗的鱸魚，今後可陸續報導。

②是產於大西洋的海猪魚屬 *Halichoeres* 隆頭魚類藍線鸚鯛。黃色身體上的藍線很顯目。隨著成長，色彩有變化。

③煙草魚 Tabaco fish，也是分佈於大西洋的接近石斑魚的魚類。大概因體色像煙草而得名。體型細長，成長時會變胖，像一支雪茄煙。

攝影協助 / 松本謙一



3

以雷達爲眼，以電波來通訊的魚羣。

水中的 雷達兵團

象鼻魚 *Gnathonemus petersii*

羣。代表著非洲產的象鼻目和南美產的裸臀魚亞目類，是以具有發電器官而著名的。但是，這些魚類的發電器官，並不能發出像電鰻和電鯰般產生可以麻痺獵獲物的強電壓。那麼，牠們的發電器官，有些什麼功能呢？

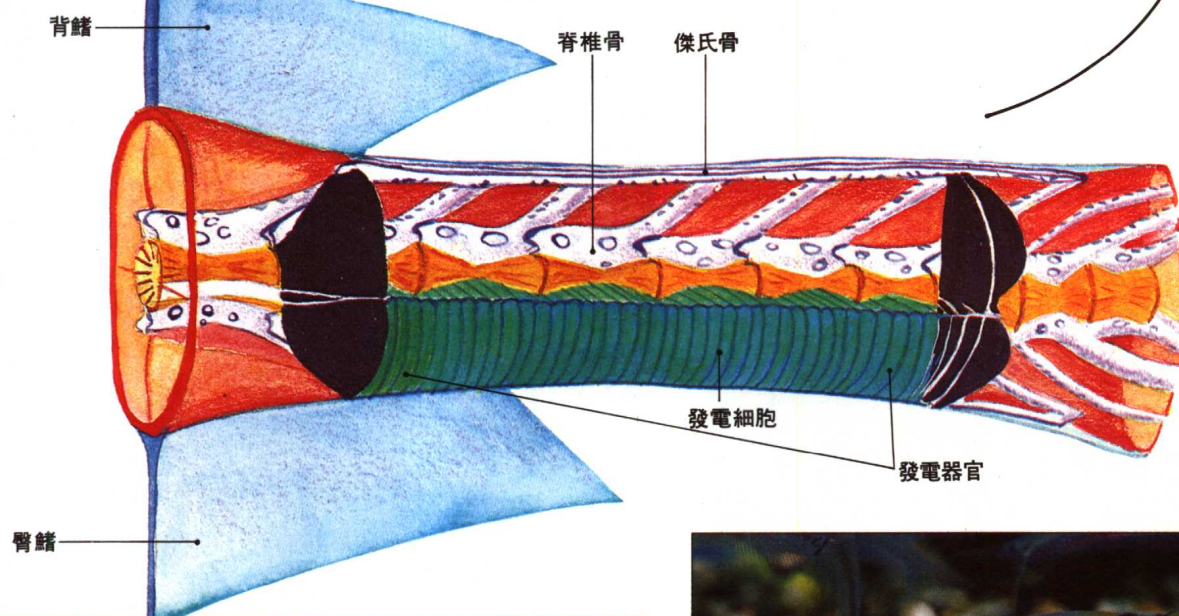
文/ 佐藤 哲

插圖/ 入山 智

攝影／立松光好、勝山明里、杉原亮、田村邦彦、鈴木繁
攝影協力／小林熱帶魚、五反田熱帶魚、東京タワー水族館、荒川屋、PD熱帶魚

發電器官及其結構

象鼻魚的發電器官，是在於尾柄的部份。下圖是其放大圖。水平地切斷脊椎骨之處，上半部已除去發電器官露出脊椎骨。綠色的部分，就是發電器官。一個一個的發電細胞，是由多數細胞融合的，呈平坦的圓盤狀。發電時，發電細胞的前方是正極，後方是負極。發電細胞之間，為良導性的薄膜狀的組織所填滿，所以，發電器官全體，就像電池以導線直列一般的

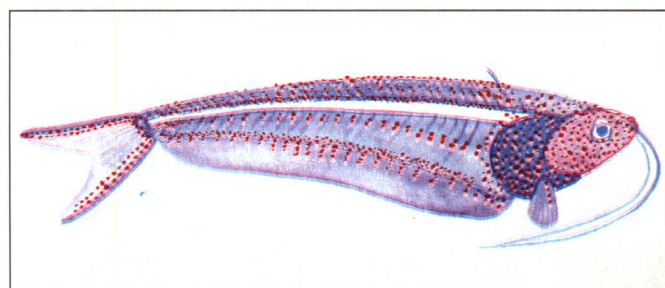
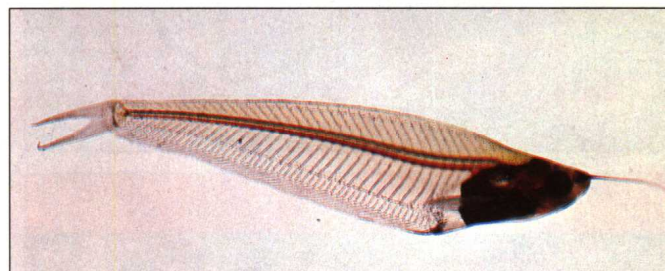


分佈於全身的電感受器

具有發電器官的魚，不但能發電，也能藉在側線器官的電氣受容器感受弱電流。藉此，才能感受自己所發的信號和其他魚的信號。

右圖是隱鰭鮎 *Kryptopterus bicirrhus* (玻璃貓)，牠雖然沒有發電器官，但全身的電感受器卻很發達。沒有發電器官的魚的電感受器，是藉其他魚的活動和水流等，感受和緩的電位。玻璃貓的身體是透明的，故可以藉光線照射，用肉眼看到電感受容器。上段的照片是在通常的照明之下；中段則是透過光線時的情形。在中段，可看到全身浮出黑點。這就是電感受器。下段插圖，則表示電感受器的位置。

構造。發電器官的上下，有一個叫傑氏骨的骨骼，尾柄全體很難彎曲。而且為了搖動尾鰭，長腱在發電器官的外側，前方的筋肉和尾鰭相連。



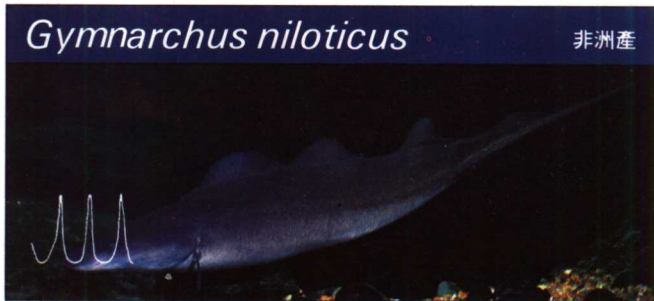
波形的電氣信號，可證明魚的身份。

具有弱發電器官的魚，是不分晝夜，運用發電器官，發出訊號的。波形的訊號因種而異，大致可粗分為發出一定周波數的種類和發出短波的種類。藉分辨不同波形的電氣訊號，可知道發訊號者是否和自己同類，甚至可以識別發訊號者的性別，是成魚還是幼魚等。也就是說，牠們的發電訊號，是分辨種類的重要線索。本文對屬的定同，主要是引用Poll 和 Ellis 的檢索表為基礎的。關於種，則是遵從計測各種波形的文獻。比較難定同的，則在種小名後加一個？號。

左側的圖是發出波浪形電波的魚，右側圖則為發出脈狀波的魚。藍色版是非洲產的象鼻目魚，橘紅色則是南美洲產的裸背鰻亞目。各魚的左上方是牠們的波形。

Gymnarchus niloticus

非洲產



Apteronotus albifrons

南美產



Eigenmannia virescens

南美產



Isichthys henryi

非洲產



Gnathonemus tamandua

非洲產



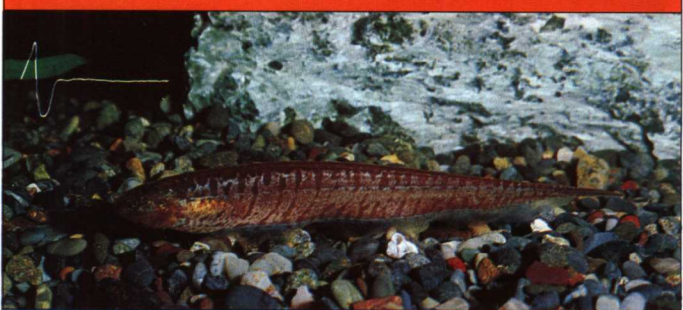
Gnathonemus moori ?

非洲產



Hypopomus beebei ?

南美產



Gymnotus carapo

南美產

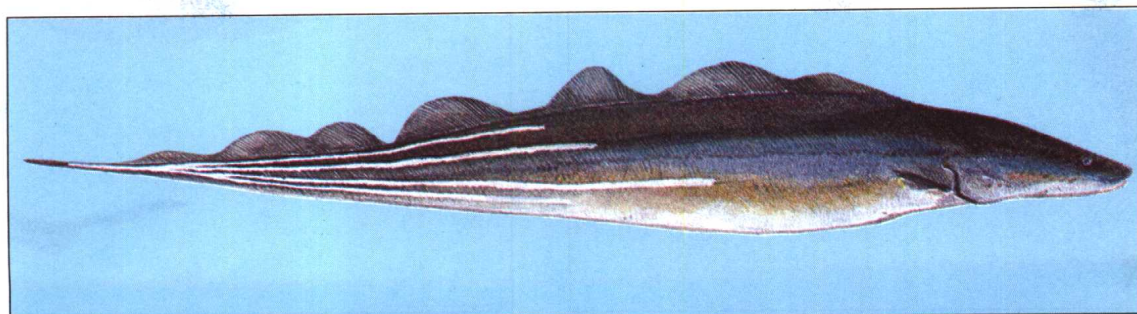
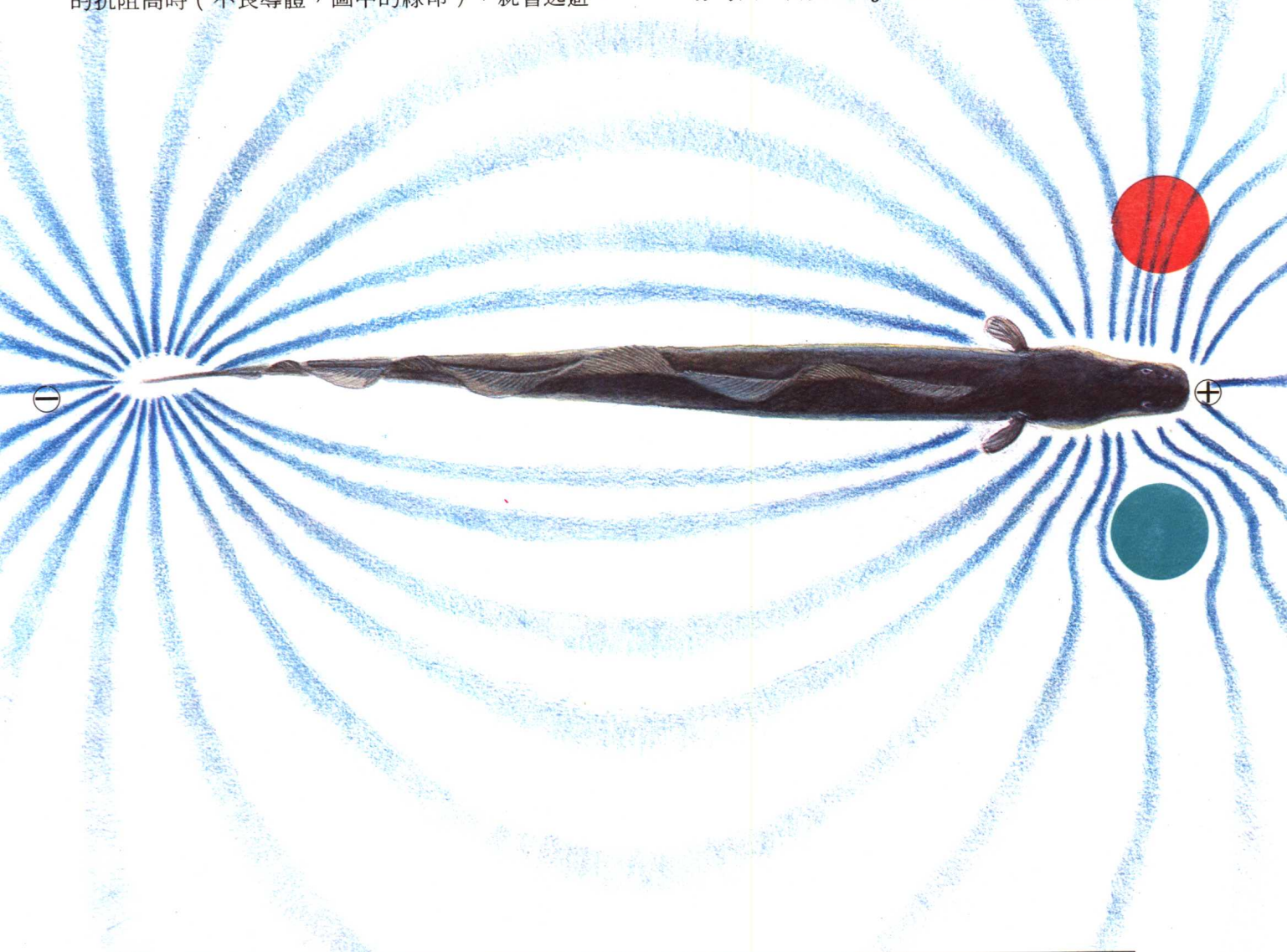


發電器官有雷達的功能

發電器官所發的信號，其功能就像知道外界情況的眼睛。裸臀魚目的 *Gymnarchus niloticus* 發電時，如果頭是正電尾巴是負電，就會產生如圖般從頭向著尾巴的電流（實際的魚的電流，會更為複雜一點）。其中若有一些物體，比水的抗阻還要低時（良導體時，圖中的紅印），電流就會收束於物體的內側。比水的抗阻高時（不良導體，圖中的綠印），就會逃避。

發出弱電的魚，以體表的電感受器感受此種紊亂的電場，藉此知道物體位置及性質。發電器官的作動原理完全不同，有像雷達般的功能。

若要利用電場的紊亂知道外界的情況，就不能以自己的動作，來擾亂電場。因此，*Gymnarchus* 牠搖動背鰭的獨特游泳方式，才會很發達。牠的游泳方式是：發電器官一直保持挺直的狀態（下圖的白線，是發電器官的位置）。象鼻魚的尾柄，為骨頭所固定，不易彎曲。南美的 *Gymnotus* 則飄著尾鰭游泳。



● *Gymnarchus niloticus* 發電器官的位置

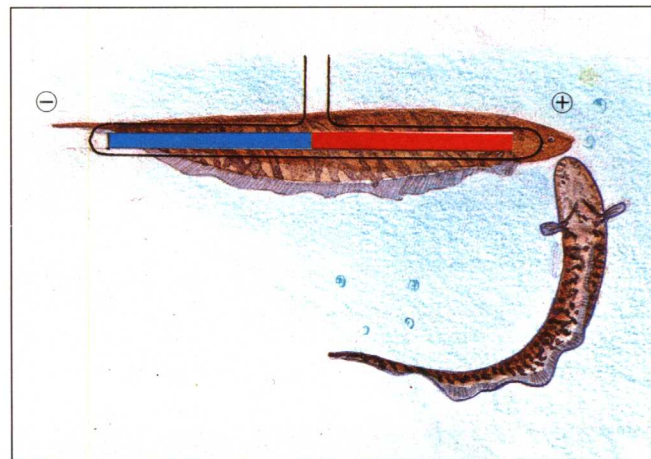
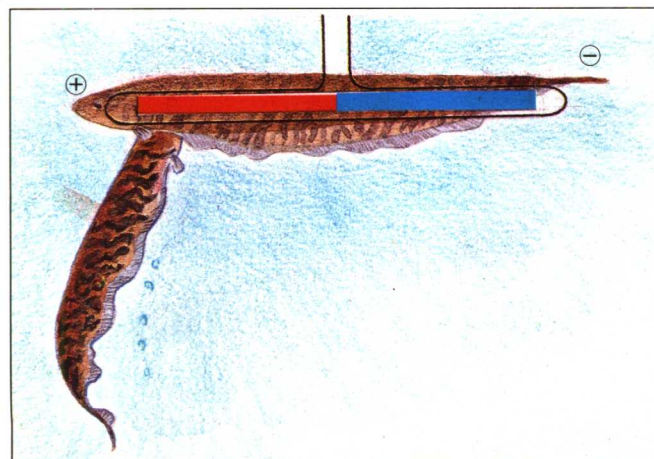
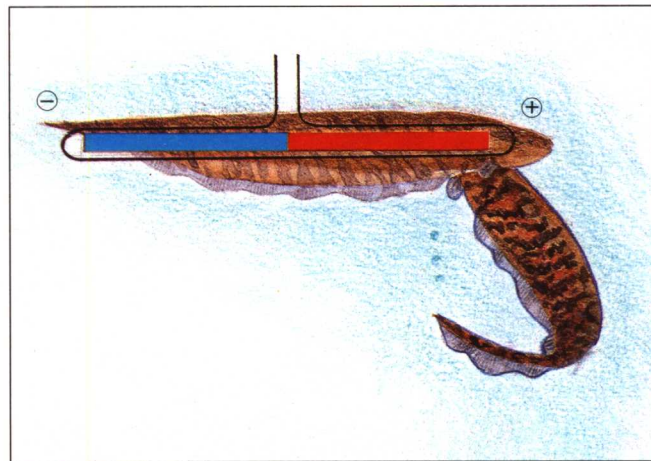
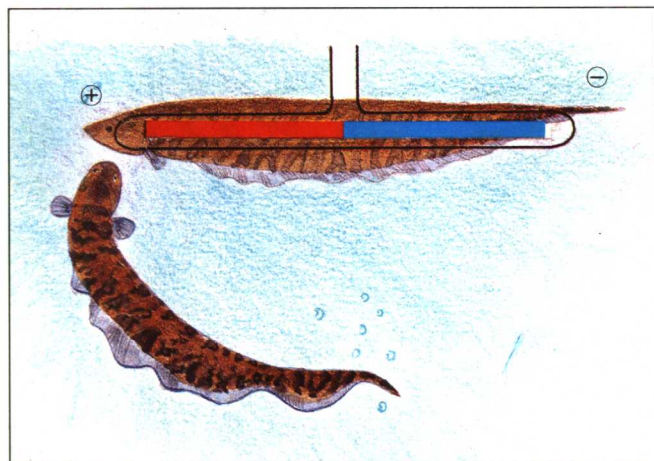
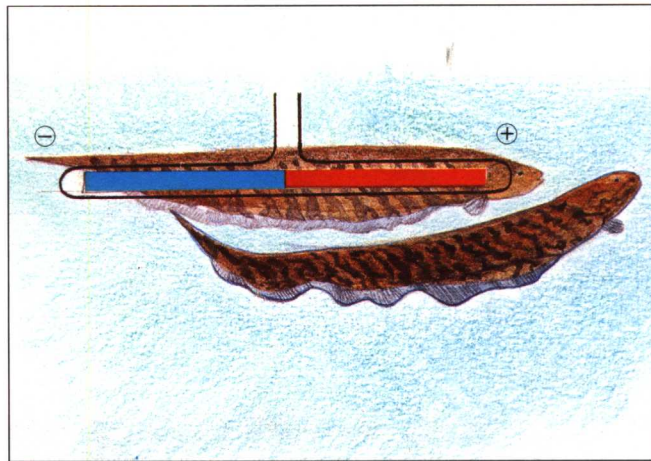
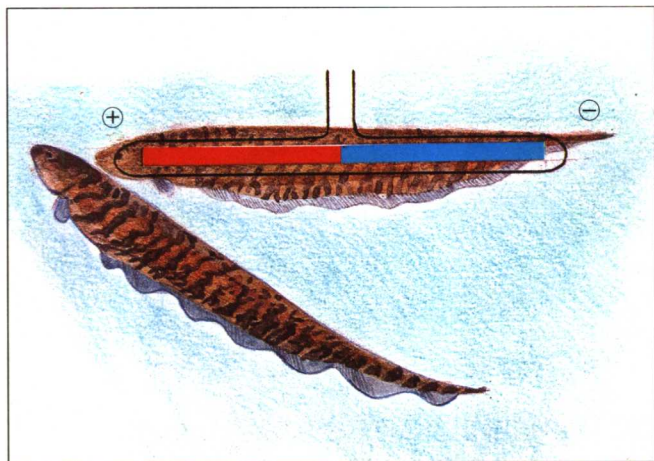
電氣訊號是魚類的“語言”

發電器官所發的訊號，除了可知道魚種、性別之類的身分證明的功能外，也有表示發訊號者心理狀態的語言功能。

Gymnotus carapo，在攻擊時會發出特有類型的電氣訊號。錄下這個訊號，向著相似的魚類播放時，結果，那些魚對這個電極，就像對住真魚一般，進行

猛烈的攻擊。而且，魚一直對著正電極方面啄咬。左圖左方是正電，右圖右方是負電。實際的魚發電時，頭部是正電。換句話說，此魚是從訊號的極性，知道對於頭部的位置，所以才向著牠攻擊的。

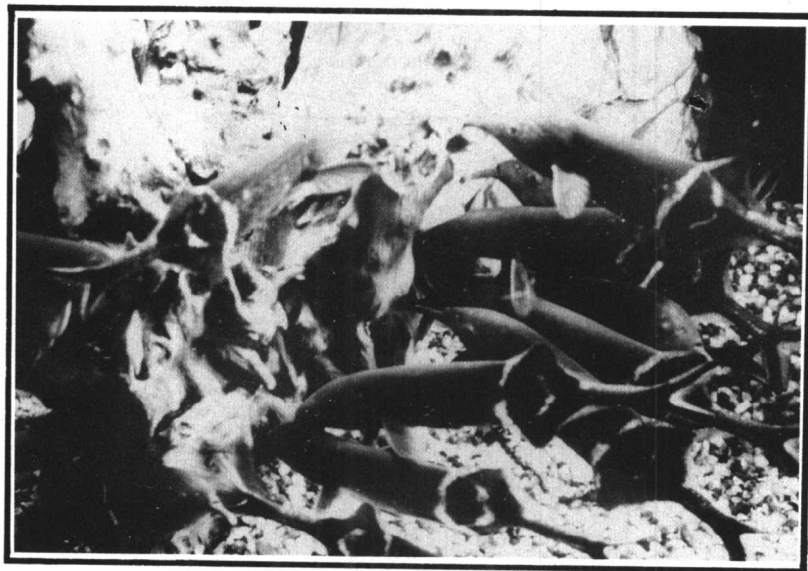
發電器官的訊號，也用來傳達恐懼、優劣，以及求愛。第一頁的象鼻羣，就是靠電訊來維持羣體的。這可說是彼此的溝通。



● *Gymnotus carapo* 的攻擊行動

探討弱電魚的世界

水中的雷達兵團



文 / 佐藤哲

插圖 / 入山 智

和人類一樣，魚類也有五個感覺。視覺、聽覺、嗅覺、味覺以及觸覺。當然，這些感覺和人類有點不同，想必很難想像魚是怎麼來看這個世界的吧？但是，其中也有生活於人類無法想像的感覺世界的魚，就是擁有發電器官，感覺電流、利用電氣交談、“觀看”世界的魚。我們就來探討一下電魚們不可思議的世界。

電魚是什麼樣的魚呢？

一說到電魚，每個人首先想到的大概必是水族館的寵兒——電鯰 *Electrophorus electricus* 和電鰻 *Malapterurus electricus* 吧？

兩者在種小名上就有帶電的意味，人類很早就知道牠們會發出強電。我們回溯在發明電之前，據說古代埃及的漁夫們就很崇拜電鯰，把牠當作“魚神”。大概是因為掛在網上的電鯰，會藉“神秘的力量”麻痺了漁夫的手，使網子掉下，讓其它的魚逃走的緣故……。這

種發出強電的魚，已知還有電鰻。牠們都是利用發電的能力，電擊獲物，使牠麻痺再加以捕食，或驅逐外敵。

但是，具有發電能力的魚，不是祇有這些而已。而且還有可以發

出弱電的魚。像棲息於南美淡水域的鯉目、裸背鰻亞目 Gymnotoidei（電鰻除外）和分佈於非洲淡水域的象鼻目魚類 Mormyriiformes。為了區別電鰻等的強電魚，所以稱牠為弱電魚。表一歸納了發電魚。

軟骨魚	鯉目	◎鯉科	鯉
硬骨魚	象鼻目	◎★電鰻科	電鰻
	裸背鰻亞目	裸背鰻科	裸背鰻 <i>Gymnarchus niloticus</i>
	象鼻亞目	象鼻科	象鼻魚 <i>Elephantnose fish</i> 等
		吻電鰻科	刀魚 <i>Knife fish</i>
		鰭電鰻科	魔鬼魚 <i>Ghost fish</i>
	裸背鰻亞目	裸背鰻科	裸背鰻 <i>Gymnotus carapo</i> 等
	鯉目	★電鰻科	
		★電鯰科	
	鮎亞目	◎★鰩科	<i>Astroscopus, Uranoscopus.</i>
	鱸目		

表1. 發電的魚類 ◎海產 ★強電魚

但早在19世紀中期就已有報導，這些弱電魚比電鰻小，具有構造非常類似的發電器官。但實際上是在19世紀後期才確定牠們能發出弱電。這種祇發弱電的器官，究竟對牠們有什麼幫助呢？頂多祇有幾微伏特到幾伏特的電壓，是不可能麻痺獲物的。

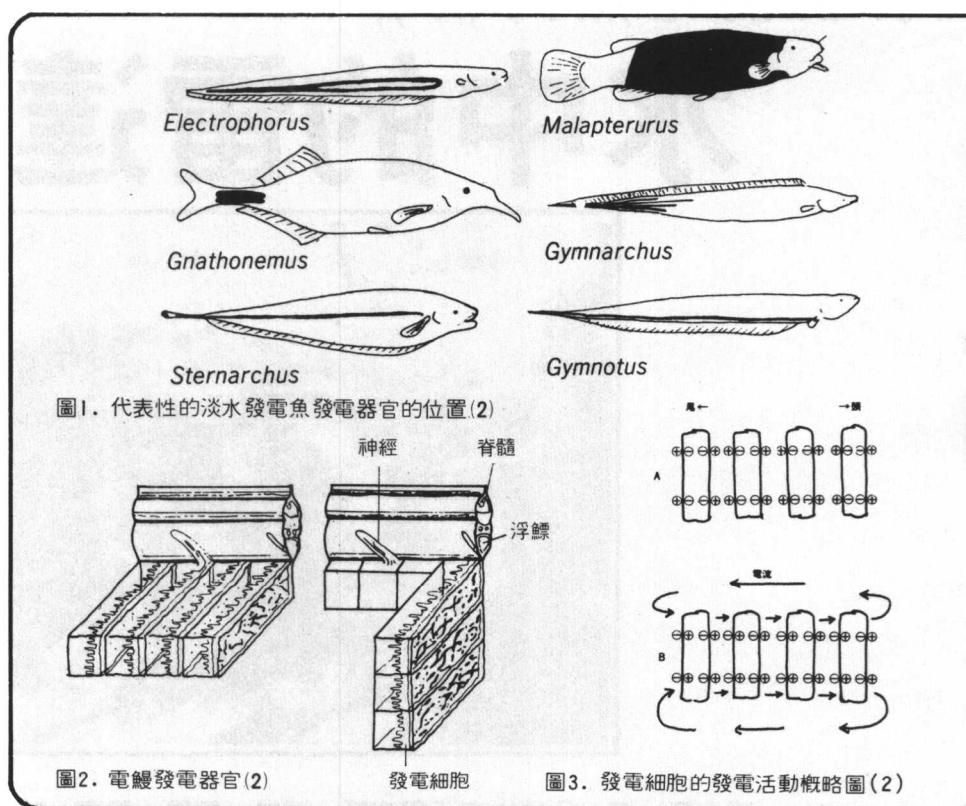
弱電魚發電器官的機能，是1950年當時在英國劍橋大學的利斯曼等人而知道的（20、21、22）之後備受很多研究者的注目，積聚了碩大的研究成果。所以，今天這種怪異的魚兒的生活，才為人所了解。在探訪這不可思議的世界之前，先看看發電器官的組織。

發電的組織

強電魚和弱電魚，體內都有發電器官。發電器官的位置，因魚而異。圖一、是代表性淡水發電魚，發電器官的位置。

很多發電器官，原本都是筋肉特殊化所形成的器官。不論人類或魚類，在收縮筋肉時，就會產生活動電位。筋肉沒有活動時，筋肉細胞的內部對細胞外產生負電。但是，筋肉收縮時，細胞內外的電位，一時逆轉，細胞內就產生正電。這就是活動電位。

筋肉和發電器官最大的不同點是：發電器官喪失收縮能力。而且



構成發電器官的發電細胞和筋肉細胞形狀不同。圖二是電鰻發電器官的略圖。發電細胞的形狀是前後平坦，沿著體軸規則地排列。在發電細胞之間，充滿薄膜狀的組織。發電細胞的尾側面也是平的，此處連接運動神經。頭側面有很多突起

那麼，發電細胞發電時，會產生什麼情況呢？發電細胞，筋肉細胞沒有活動時，細胞內對細胞外是負電（圖3、A.）。此種狀態時，完全沒有電流。但是運動神經一活動的話，連接運動神經的尾側面，和筋肉產生活動電位時一樣；細胞內外的電位，發生逆轉（圖3、B.）。結果，如箭頭般產生電流。也就是說，發電魚的身體和頭是正電

，尾巴是負電的電極相同。一個個發電細胞所產生的電壓，大都相同，所以發電細胞藉延著幾個體軸直列並排，決定所發的電壓。強電魚的發電細胞數目多，而弱電魚的發電細胞數目則少。

大部份的發電魚，都是以這種組織來發電的，祇裸背鰻亞目 Gymnotoidei、熱帶鰻科 Apterontidae 例外。這一科包括黑魔鬼 *Apteronotus albifrons* (Black ghost) 和褐魔鬼 (Chocolate ghost)。此科魚的發電器官，不是筋肉，而是神經細胞特殊化所形成的。

感電組織

電魚不但能發電，也能感電。

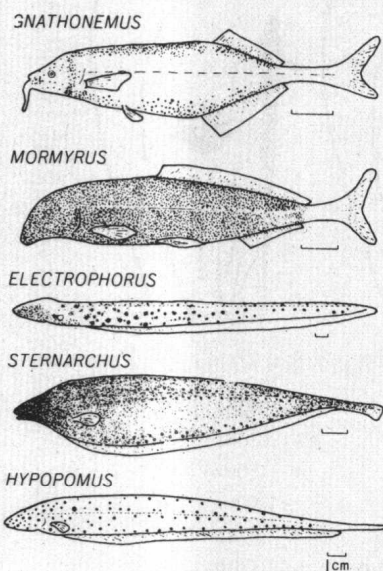


圖4. 電感受器的分佈 (28)

無顎類	八目鰻目
	盲鰻目
軟骨魚	鮫目
顎口類	紅目
	銀鮫目
硬骨魚	管椎目
	腔棘魚
全頭類	多鰭魚
總鰭類	象鼻魚等
肺魚類	裸背鰻亞目
軟質類	鯉目
眞骨類	鯰目
	鱧目
	骨舌目
	非洲刀魚

表2. 有電感受器的魚(5)

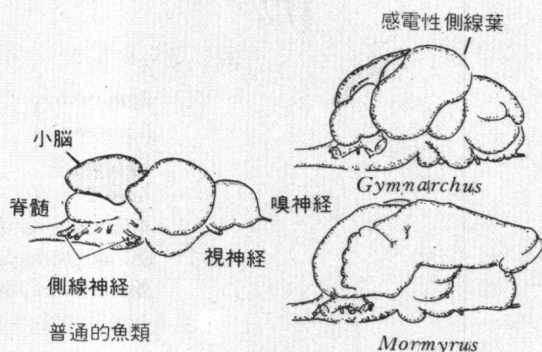


圖5. 腦的概略圖 (21)

人類的身體若感受電流，就會麻痺（感電），但這些魚的感電組織卻完全不同。牠們具有特殊的感覺器，以感受皮膚內外微妙的電壓和變化，以及些微的電流。就和人類經由進到眼睛裏的光線知道外界的情況一樣，這些魚也藉進入感覺器的電流，知道外界的情況。

事實上，在不會發電的魚當中，不少具有此種特殊的感覺器—電感受器。表二、是歸納現在已知的具有電感受器的魚。像圓口類、軟骨魚類和硬骨魚類中原始的肺魚類和多鰭魚 *Polypterus*，以及一部份的眞骨魚，牠們的電感受器都很發達。

今後，隨著更進一步的研究也

許會增加具有電感受器的魚種。去年才知道銀帶以及和弓背魚 *Notopterus* 屬同樣是骨舌目的非洲刀魚 *Xenomystus nigri*，具有電感受器。圖 (4) 同樣是 *Notopteridae* 科，亞洲產的刀魚，則沒有電感受器。圖 4 是表示發電魚的幾個電感受器的分佈。

電感受器從大致的形態，可粗分為壺狀器官 Ampullary organ 和管狀器官 Tuberous organ 這兩個種類。具有電感受器的魚，都有壺狀器官，（非洲刀魚和八目鰻魚尚未確定），但是眞骨魚和非眞骨魚的功能大不相同。壺狀器官對 0.1 到 50 Hz 的緩慢電流會有反應。這種緩慢的電位變化，也可見於其他

魚由筋肉產生的活動電位以及鰓的動作所產生的電位，因水流所產生的電位等。所以，一般認為壺狀器官有助於知道魚的存在和測知水流

壺狀器官的功能，易爲人所知的是鯊魚頭部的「Lorenzini 壺」器官。鯊魚是藉此器官，感受潛在砂子下面的左鰓和右鰓由鰓和筋肉所產生的電位，才能知道其棲身之處而加以捕食的。此器官的感應很靈敏，連 0.005 微伏特的電位差，都能感受得到(3)。

管狀器官則只見於象鼻目和裸背鰻亞目。也就是只存於弱電魚。

（電鰻例外）管狀器官，一般來說，其感應度比壺狀器官低，對 50 到 2000 Hz 的快速電位才有反應。此種快速電位變化，主要是由發電魚的發電器官的活動而產生的。換句話說，管狀器官是用來「聽」自身發電器所發的電位和其他發電魚所發的電位。藉發電器官的活動所產生的電位，是比其他電位，如由鰓的活動所產生的電位要大，所以，不須要有像壺狀器官般的靈敏度。

電感受器，原本是側線器官分化所形成的。因此，由電感受器傳來的消息，經由側線神經，傳達到腦的「側線葉」。具有電感受器的魚，其側線葉非常發達。爲了和普通的側線葉區別，因此命名爲有點複雜的「感電性側線葉」。圖五，

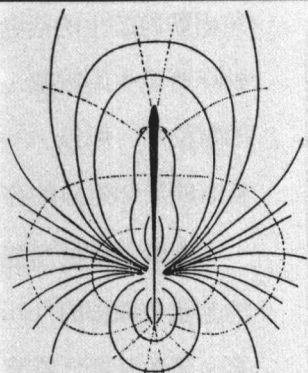


圖6. 綠刀魚發電時的電場 (7)

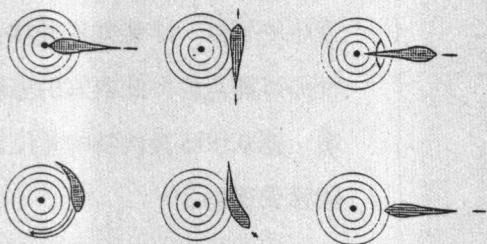


圖8. 象鼻魚的探查行動 (29)

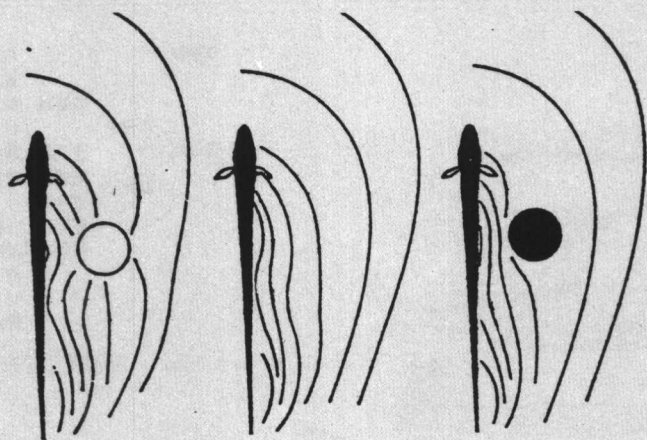


圖7. 遇到良導體和不良導體時的電場 (7)

<i>Gymnarchus</i>	250 ~ 500Hz
<i>Eigenmannia</i>	200 ~ 600Hz
<i>Sternopogus</i>	50 ~ 150Hz
<i>Apteronotus</i>	750 ~ 1200Hz
<i>Adontosternarchus</i>	950 ~ 1250Hz
<i>Sternarchorhamphus</i>	750 ~ 1000Hz
<i>Sternarchorhynchus</i>	1500 ~ 1800Hz

表3. 依屬歸納的波浪型弱電魚的周波數 (7)

是沒有電感受器的魚（左）、裸臀魚 *Gymnarchus*（右上）、象鼻魚 *Mormyrus*（下）的腦部略圖。尤其是象鼻感電性側線葉非常發達，幾乎覆蓋了整個腦部。

我們已知弱電魚不但具有發電能力，也有專門檢驗出自己和其他發電魚所發的電位變化的電感受器，爲了處理電感受器所發出的消息，牠們有特別發達的腦部。那麼，爲什麼會齊備這些必要的器官呢？

以電“看”世界

弱電魚發電，用管狀器官感受自身的電位時，牠們是如何來看世界的呢？如果弱電魚的身體、頭部是正電，尾巴是負電，當牠們發電時，身體的四周，就會產生如彩色

頁所展示的電流。實際上，依魚的發電器官的位置和形狀，所造成的電場就不同。圖六就是表示綠刀魚 *Eigenmannia Virescens* 發電時，身體四周的電場情況。實線是結合電位相等的點，虛線則表示電流

那麼，此時管狀器官會有什麼反應呢？管狀器官的反應，大致有兩種式樣。一種是依發電器官的一次活動，產生活動電位；另一種是依管狀器官位置電位的強弱，而變化活動電位的發生頻度。我們先注意後者的活動情況，魚的身體四周若形成圖6的電場、依電場的形態，身體的許多部份，就產生許多電位。結果，在身體各部份的管狀器官，就以這個部位的電位頻度，產生活動電位。此種活動電位，全部

都送到腦部的感電性側線葉。如此，就可知道魚的身體的那個部份，產生多少的電位。

以上，是指魚的四周，除了水以外，沒有任何東西的狀態下。現在，假設在魚所造的電場中，有某些物體存在。這時，魚的四周的電場，會有什麼變化呢？圖7是比較綠刀魚的附近，有比水的抗阻低的良導體（左）和不良導體（右）的電場，以及什麼也沒有的電場（中央）。實線是結合相等電位之點。藉物體的感電性質，使物體四周的電場歪斜。結果知道，物體附近體表的電位和什麼都沒有時不同。用電流的變化也可描述，如彩色插圖所示。

如果物體附近的體表電位改變

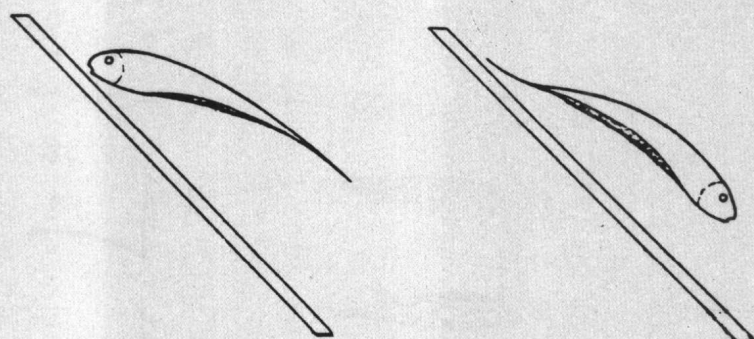


圖9. 綠刀魚因感電所產生的腹底反應 (24)

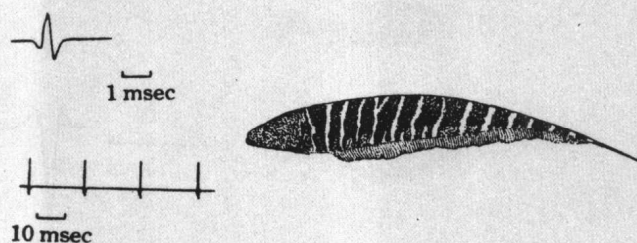


圖10. *Gymnotus carapo* 的電氣活動 (10)

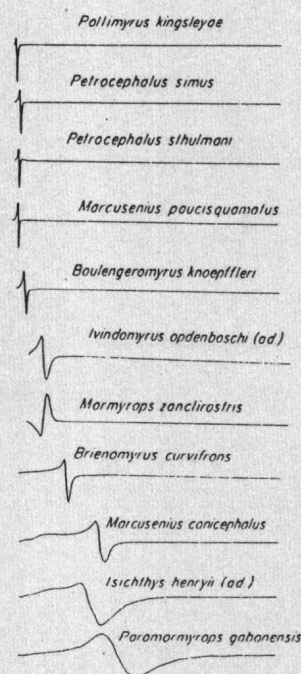


圖11. 象鼻魚各種電波的波形 (13)

的話，體表的管狀器官的活動電位頻度就會改變，而被傳達到腦部。如此，弱電魚就能知道在其身體四周的物體的位置和大小，以及感電的性質。

利用電場“看”周圍的能力，可利用在各種行動。裸臀魚 *Gymnarchus niloticus*，即使頭向後也能正確地游泳，當然這不是靠視覺，而是利用電場的緣故。

習慣上一尾水族缸中的象鼻魚，如果放進新的物體，象鼻就會靠近這個物體，做各種探查行動。也就是調查這個物體是什麼性質。常見 *Marcusenius cyprinoides* 用長頰（決不是鼻子）輕觸物體的行動，體側對著物體，向前向後游泳的行動，在物體的四周來來去去的

行動等（圖8）。此時，若同時記錄發電器官的活動，尤其是前後游泳時，知道牠以大約30微秒的週率發電。此魚休息時，是以160~180微秒，游泳是50~70微秒的週率發電的。30微秒週率的發電行動，被認為是探查行動所特有。大概是提高發電頻度，好仔細“看看”物體的緣故吧？

利用電場“看”周圍的能力，也利用來制御魚的姿勢。已知有幾種魚類，有腹部對著物體的反應（腹底反應）。是否曾看過經常把腹部向著岩石表面的魚以及岩穴頂倒爬的魚呢？會採取這種姿勢，就是因為腹底反應。

一般的魚的腹底反應，是以視覺為線索而產生的，綠刀魚則是藉

感電而產生的。此魚對著傾斜的壓克力板，就採取圖9的姿勢。但是，對於周圍的水和傳導度相同的洋菜 *Ager ager* 等的物體時，就不採取這種姿勢。而且，如果中途切斷從電感受器到腦部的神經，雖然眼睛和側線仍然在活動，但是不會採取這種姿勢(6)。

利用電場的傾斜，和弱電魚的體型有很密切的關連。如果能藉著魚自己身體的動作，使電場傾斜，那就太不方便了。例如，如果弱電魚的尾鰭向左右搖擺而游泳，此時電場的形狀就會改變了，如此即無法檢查出電場的傾斜度。據知除了象鼻科以外，弱電魚的游泳方法都很優良。任何一種都會搖擺背鰭和臀鰭，自由地前進、後退。游泳時

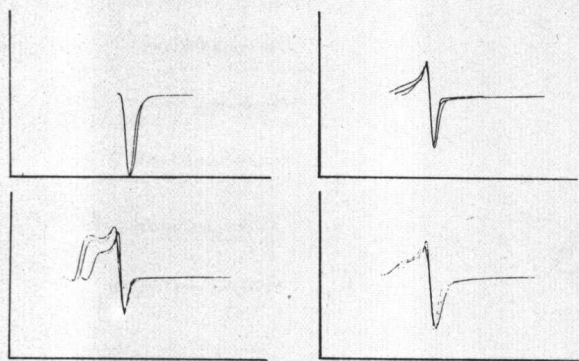


圖12. *Brienomyrus brachyistius* 所見的四種波形(13)

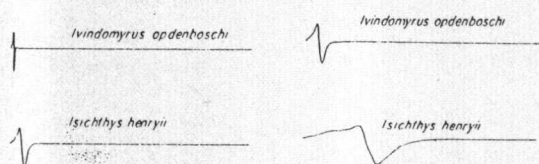


圖13. 幼魚(左)和成魚(右)波形不同的種類(13)

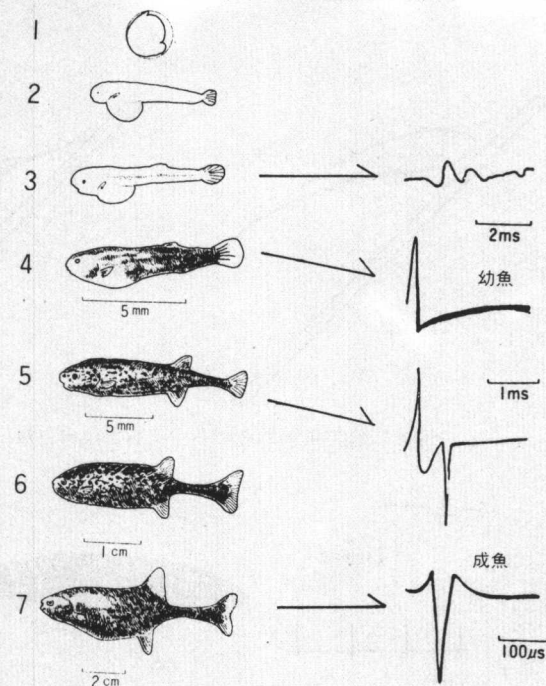


圖14. *Pollimyrus isidori* 所發出的脈波變化(18)

，發電器官幾乎都很挺直，因此不會改變電場的形狀。那麼，唯一例外的象鼻科是如何解決這個問題的呢？象鼻科的發電器官，是在於尾鰭正前方的尾柄部分。搖動尾鰭的筋肉，在更前方，藉長腱和尾鰭相連。而且，在發電器官的上下，有傑氏骨，固定發電器官，不會彎曲，利用尾鰭游泳時，至少也會壓制電場的傾斜度。(參照彩色頁)

利用電場“看”外界的物件，在混濁的水中，極為有利。而且，大部份的弱電魚都是夜行性，所以這種構造，對牠們的生活，的確有很大的益處。但是，發電器官和電感受器，只有這些用途嗎？有沒有其他的用途呢？

弱電魚的身份證

以上，是討論發電器官所發的電位，如何擴散到周圍的水中。那麼，電位在時間上又有什麼樣的變化呢？圖10是描繪*Gymnotus carapo*的電氣活動，在上方頭部是正電時，從左到右是表示經過的時間。首先，在很短時間內，頭部是負電。接著頭部變成大正電，接著再顛倒，尾巴變成正電後，又恢復原狀。這期間只有1微秒。這種圖就稱為電氣活動的波形。下圖是讓時間進行比較慢，約20微秒的可看到的一次電氣活動。

比較許多弱電魚的電氣活動的波形，就可知道有趣的地方。首先，我們可以知道象鼻目和裸背鰻亞

目種，具有兩種波形（參照彩色頁）。其一，因為連續產生電氣活動，可看到波浪般的波形，因此稱為波浪型。象鼻目的*Gymnarchus*科、裸背鰻亞目的*Apteronotus*科的全部及*Rhamphichthys*科的*Eigenmannia*屬、*Sternopygus*屬，就屬於此類。另一種是，一次電氣活動的時間比較短，但因為間隔很長很空，看起來像是電波的波形，稱為電波型。象鼻科全部和剛才的裸背鰻科*Gymnotus*，以及吻電鰻科*Rhamphichthys*其餘的全部都屬於此類。

如果依種再細分這兩種波形，你會發覺更有趣的事情。首先是波浪型類，1秒鐘出現幾次波？也就是波的周波數，依種而很清楚。表

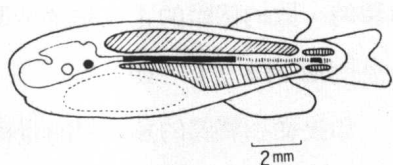


圖15. *P. isidori* 幼魚的發電器官的位置 (33)

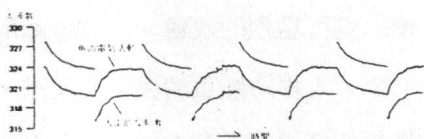


圖16. 綠刀魚會避免和自己相似的周波數的刺激 (7)

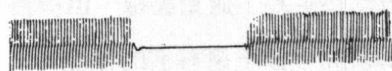


圖17. 綠刀魚發電活動之中斷 (12)

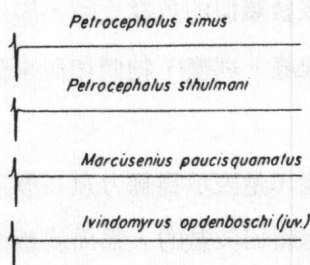


圖18. 混在一起幾種十分相近的波形 (13)

3 是依屬歸納的波浪型的弱電魚的周波數，依屬的基準，也能很清楚地分別周波數的帶域。而電波類型，一個一個的電波波形，依種而有很大的不同。圖11是歸納了加蓬的依溫度河流的象鼻科魚類的波形。如果能以不同的周波數、不同的波形，分辨弱電魚的話，牠們應該知道電氣信號發信者是否和自己同種。以這個假設為準，進行了幾個實驗。實際上，波浪型可以區別自己的種特有的周波數和其他種的周波數；電波型也能藉波形分辨同種的個體和他種。(10、12、15)

藉電氣信號，識別同種的個體的能力，牠們電氣感受器的性質，擔任了很重要的任務。令人吃驚的是，弱電魚的管狀器官，只能聽到

自己同種所特有的周波數。反過來說，他種所發的電氣信號，不能聽得很清楚(16)。就像轉動收音機的調頻器，只能聽到特定的廣播一樣。

最近，依溫度河的象鼻魚之中，雖然形態上很明顯是一種，但所發的電波的波形，發現有不同的四種(圖12)。如果，電波的波形，是分辨種的信號，那麼這些有四種電波的個體羣，應該算是別種了。(13、14) 過去，電波的波形，在定同象鼻科的種時，是很重要的線索。但是，如果這種例子一直增加的話，也許就會出現除了電波波形以外無法區別的種。

不同的周波數和波形，不僅能識別種的個體，也有助於區別種內的雌和雄、成魚和幼魚。表示波浪

型的電氣活動 *Sternopygus macrurus* 雌魚所發出的周波數的波浪比雄魚高，根據這個不同點，可以確認對方的性別(9)。

圖13是表示二種類的象鼻的幼魚和成魚的不同波形。從象鼻一般是由雄魚照顧子魚和魚卵來看，這種不同大概有助於親子間的識別(13)

1975年，却士保博士 Kirschbaum等，確立了象鼻和裸背鰻在飼育下繁殖的方法。結果明白了象鼻魚成魚與幼魚的不同波形，是由什麼樣的組織所產生的(17、18)。

關於這種繁殖法的詳細情況，請參照18頁。圖14是表示 *Pollimyrus isidori* 的產生情況，以及從幼魚的電波到成魚的電波的變化過程。產卵後第八天，就產生最初的電波。到40天左右，頭部是正電的幼魚的電波會持續，從43天起，就開始出現成魚頭部是負電的電波。第80天時，幼魚的電波完全消失，變成成魚的電波。另一方面，探尋發電器器官的發展最初，在體側的前方，形成幼魚的發電器官，接著在尾柄部份，形成成魚的發電器官。最後，幼魚的發電器官退縮，只留下成魚的發電器官。圖15是表示17.5cm的幼魚的發電器官的位置。換句話說，成魚和幼魚波形之不同，是因為發電器官自身不同所產生的(18、32、33)。關於雌雄波形的不同

，尚沒有這種見解。

Pollimyrus isidori 造巢，產卵，由雄魚照顧魚卵和幼魚。幼魚在發出幼魚電波時，不會攻擊親魚，但一開始發出成魚電波時，由親魚開始攻擊。同時，幼魚也不再成羣而分散。電波的波形變化，意味著育子終了和幼魚的獨立 (32)。

避免混線的組織

我們已知道弱電魚利用發電器官所造的電場，來看四周以及發電器官所發的電氣活動的波形和周波數是因種而異，電感受器也是依波形和周波數來調整的。但是，重疊這兩種現象的話，就有點不妥當了。

如果要利用電場來看四周，電場就不能紊亂。所以，才特意採用不會擾亂電場的游泳方式。假設，有同種的個體靠過來。因為同種，周波數和波形都很相似，漸漸靠近時，二尾的電場重疊得很大，也就不知道那一個才是自己的電場了。這樣一來，就無法利用電場的傾斜度了。

實際上，電波型的種類，電波的時間短，而且電波和電波的間隔也很大，所以兩尾魚的電波，相撞的準確率很低。因此，避免混線的特別組織，好像不太發達。從前兩尾象鼻靠近時，彼此在對方的電波

中間，加上自己的電波，以一定的間隔，互發電波的反應(迴響反應)，被認為是為了避免混線，但據最近的研究，似乎還有別的機能。

(23、27)

而波浪型的種類的事態更為深刻。因為不斷連續發出波浪，所以當周波數類似的魚靠近時，馬上就產生混線。那麼，牠們如何來應付呢？

圖16是表示為綠刀魚在製造接近其個體周波數的人為周波數波。若給與類似的周波數，魚就減少自己的周波數，想擴展所給的波的周波數的差。如此，就能維持不會產生混線的周波數差(7)。此種行動，在二尾魚藉對方發出的信號，互相改變自己行動這一點，可說是單純的溝通。

弱電魚的“語言”

除了像避免混線的組織般單純溝通以外，弱電魚會依各種情況，發出適合各種行動的電氣信號，進行複雜的溝通。攻擊行動、或是求愛時，發電器官所發的信號，就擔任了重要的任務。

過去的調查，最詳細的就是攻擊行動的電氣信號的功能。先談電波型的種類，隨著攻擊行動，常可見到高頻度的電波。此時，電波和電波的間隔，大致一定。在繼續攻

擊時，高頻度的電波也持續不斷。但是，一旦勝敗分明，只有一方在攻擊時，敗的個體的電波頻度，馬上急劇地下降(1、19)。

如果從和實際的魚類似的電極，發出類似魚的發電活動的信號，就能引發牠的攻擊行動(參照彩色頁)。 *Gymnotus carapo* 對著發出和自己的電波類似的振幅電波的電極，進行猛烈的攻擊。電波振幅的大小，大都適應魚的大小。所以，對於和自己差不多大的魚，才會攻擊得比較厲害。而且，也能觀察到順位高的個體(強個體)所特有的電波頻度的變化(30)。

電波型的種類，其電波頻度減少，是敗的個體的特徵。藉此安撫對方，避免遭受過剩的攻擊。若完全停止發電活動，對方的攻擊行動也會大大地減少。但是，有趣的是，波浪型的種類，中斷發電活動，卻是意味著攻擊的信號。圖17是表示綠刀魚所發的波浪和中斷的情況。遭受攻擊的個體，多半在轉瞬之間就提高周波數。這是迴避攻擊的信號。電波型和波浪形，對相同的攻擊信號，使用剛好相反的發電活動的變化(12)。

也曾對 *Sternopygus macrurus* 調查過，在牠們求愛行動時，雌雄之間所採用的信號和行為。此種一到繁殖期，雄魚就以特定的場所