

シビレエイ (*Narke japonica*) の器官放電について

On the Organ Discharge of *Narke japonica* Temminck et Schlegel

深 山 幹 夫

Mikio Miyama

I 緒 言

海産発電魚のシビレエイ類(*Torpedinina*)シビレエイ科(*Torpedinidae*)には現在5属が記載されている。このうち外国産の *Torpedo* と *Narcine* については Fessard, A. と Buser, P. (1950, 1952, 1954) Coates, C. (1942) Luft, J. H. (1956), Mathewson, R. (1958) ら多くの研究者によって形態学的にまた生理学的に多大の成果が発表されている。一方日本産のこの仲間のものとしてはシビレエイ (*Narke japonica* Temminck et Schlegel) とヤマトシビレエイ (*Torpedo tokionis*) が知られており、ヤマトシビレエイについてはこれまで簡単な形態学的記載があるだけで、生理学的には材料の入手困難の為かまだほとんど手がつけられていないようである。しかしシビレエイについてはかなり古くから石森(1905, 1907, 1908), 藤(1914)らによって形態学的にも生理学的にも貴重な報告がなされている。特に藤の論文は日本産のシビレエイ(当時は *Astrape* 属として記載)の放電についての最初の業績として高く評価されている。筆者も日本産シビレエイの成体ならびに胎児の電気器官からの放電についてすでに簡単な報文を出した(1952, 1959)が、その後も何回か材料を入手する機会に恵まれ、エイの電気器官全体から誘導して記録するいわゆる器官放電(*organ discharge*)の様相について観察した結果若干の知見を得たのでここに報告する。

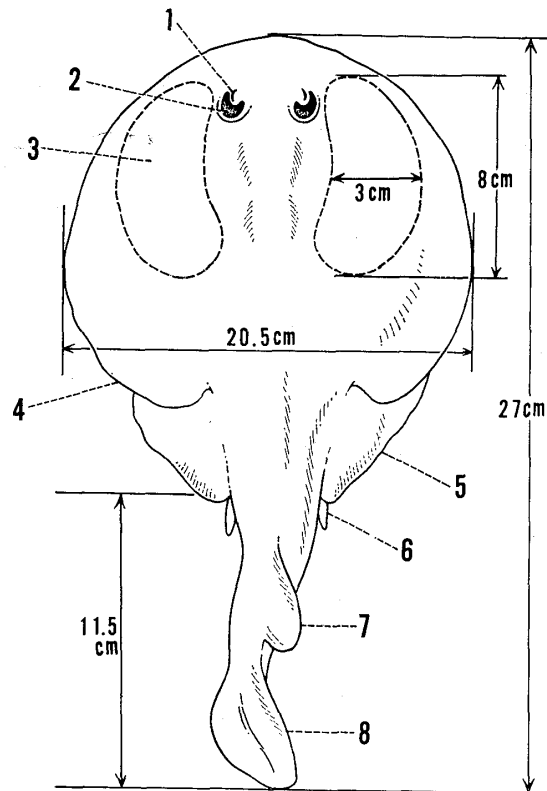
II 材料ならびに実験方法

実験に用いた材料は神奈川県三崎と熱海の近海でさし網によって捕えたシビレエイで、三崎産のものが体長 22cm, 30cm, 34cm の3個体、熱海産が体長 27cm のもの1個体である。熱海産のシビレエイの体長、体盤、尾部などの長さ、電気器官の大きさおよび位置関係などは第1図に示した通りである。

今回の実験においては、いずれもさし網で捕えた後1~2週間水槽中に生かしておいたものを用いた。

実験方法としては、まず海水からとり出したシビレエイを絶縁性の板の上にのせてゴムバンドで固定、銀の板状電極を電気器官の皮膚上の背腹の位置に接触させこれを一現象または二現象のブラウン管オシログラフに導いて放電を記録した。板状電極の形状は種々の大きさ(7×9mm, 2.5×8cm, 5×17cm)の矩形状のものと底辺2cm 1辺2.8cmの二等辺三角形状のもので、これらをいろいろに組みあわせて使用した。

刺激方法としては従来行なわれてきた機械的刺激法によった。すなわち尖端をまるくした直径約7mmのガラス棒を用いてエイの頭部(両眼を結ぶ線より前方の部位)に軽い打撃を与えた。このほか体の周辺の各部をガラス棒で圧迫または打撃を加えても放電するが、その大きさは一般に小さく、やはり頭部に対する打撃がもっとも有効であった。



第1図 シビレイ(雄)の全形(背側)と電気器官
1. 眼 2. 噴水孔 3. 電気器官 4. 胸びれ
5. 腹びれ 6. 交尾器 7. 背びれ 8. 尾びれ

実験中の室温は 15~21° である。

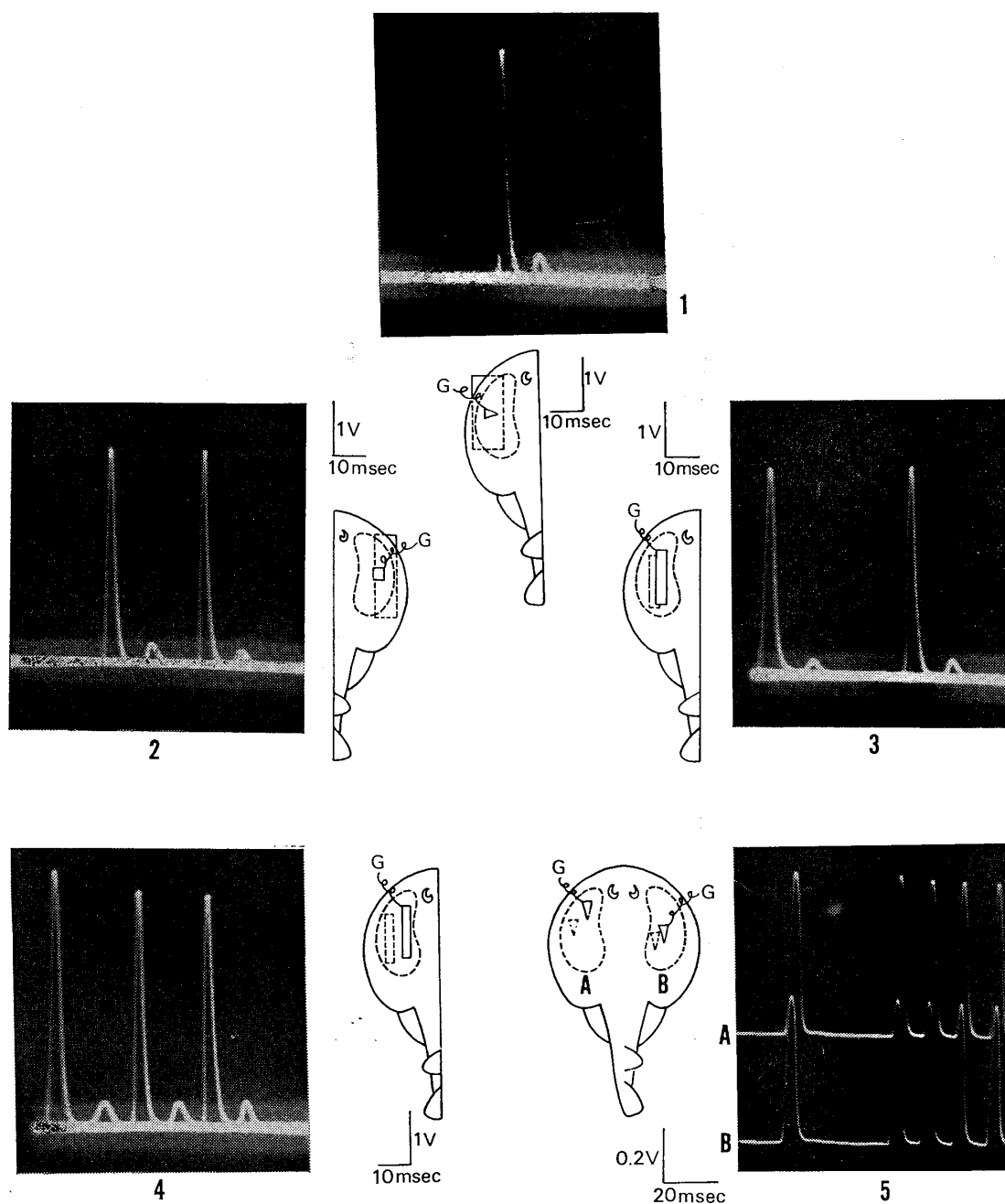
なお刺激方法として以上の機械的刺激のほか電気器官、神経中枢(電気葉を含む)、中枢から電気器官へ行く電気神経などを露出または取り出し中枢および神経に対する電氣的刺激による器官放電についても実験を行なったが、この方は次回に報告することとし、今回は機械的刺激による器官放電の波形の様相のみについて述べる。

III 実験結果ならびに考察

(1) 器官放電の一般的波形

頭部の機械的刺激により発生する電動力の方角は腹部が電氣的に陰性で、腹側から背側に向う。この方向性は電気器官の構造(とくに電気板の配列とこれに対する神経支配)によって決定されるもので、シビレイ類一般の共通な性質である。またこの際の電動力の大きさについては従来 20~50 V 位が測定されており、筆者も前回(1954, 1959)はこの範囲のものを記録したが、本実験ではいずれの場合も従来の値よりはるかに下まわり 3~6 V 程度であった。このことは前述のように捕獲してから水槽中に比較的長期間入れておいたことや実験中の疲労、発電部位などが原因しているものと思われる。

一回の機械的刺激により一般にスパイク状(上昇時 2~3 msec, 下降時 4~5 msec)の単相性の放電(3~6 V, 持続時間約 8 msec)が 3~4 個位の集団波を形成, 100~200 msec 程度の間隔をおいて連続数回の放電をする。このような周期的放電の 1 個の集団波を構成する単相性スパイクの数は常に上記のような 3~4 個とは限らず, 1 個から多い時で 7~8 個位のこともある(第



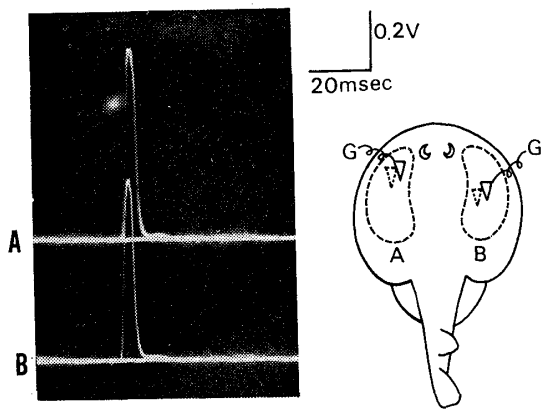
第2図 週期的放電の基本的集団の波形

1~4は左または右の電気器官から誘導したもの。5は左右電気器官からの同時誘導による記録。刺激はいずれも機械的刺激。中央の図はそれぞれの誘導電極の位置。このうち破線で示した電極は腹側にあてたもの。Gは grid 側を示す(以下の図において同様)。

2図)。また1個のものとの数個のものとが交互に入りまじることもある。これらのスパイクの大きさは1個の集団波のなかでも、周期的な連続放電の中でも後のものほど一般的に小さくなって行く傾向が見られる。

また各スパイクは通常いわゆる二次性放電 (secondary discharge) を伴っている。これらの二次性放電については後述するが、必ずしも常に起るとは限らないし、その形状も一定ではない。

なお左右2個の電気器官からそれぞれ別に誘導して同時に記録して比較すると一般に両者の



第3図 左右両電気器官の放電の同時記録。
右は電極の位置。

放電開始の時期や波形は酷似していることが多いが、電動力の大きさや二次性放電の波形などは電極の位置その他で若干異っている(第3図)。このことは中枢(電気葉)から電気神経を経て電気器官に達するインパルスが大体左右均等に伝達されることを示しているように考えられる。

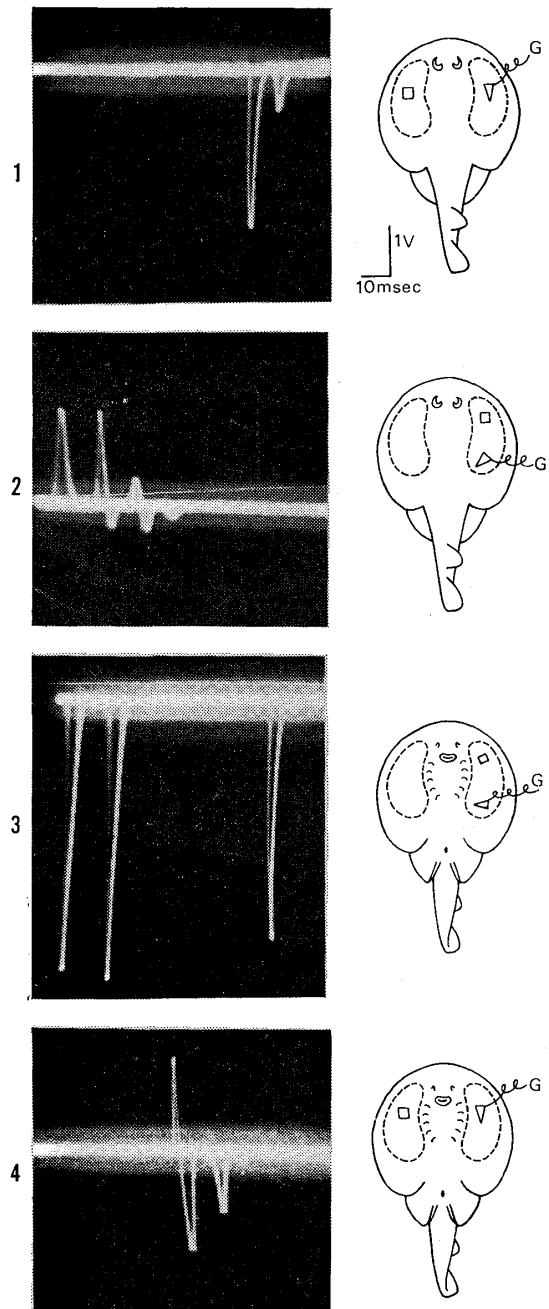
(2) 器官放電の特異な波形

(1)に述べた器官放電の一般的な波形のほか電極の位置を変えることによって(たとえば2個の電極を背側または腹側の同側に置く)(1)の場合とは逆にすべてのスパイクや二次性放電がプラス側に現われたり、プラス側とマイナス側の両方向に現われるいわゆる二相性或多相性の波形が見られることがある(第4図)。このような特異な器官放電の波形の出現は2個の電極に対して、電極と電気器官の接触面積の大きさや位置の違いによる空間的非対称および電気器官中の興奮部位の違いや時間的なずれなどからくる電気的非対象にもとづく活動電流が電極に複雑に影響し、両者の干渉によるずれによって生ずるものと考えられる。

またこのような二相性または多相性を示す器官放電の様式は電極の大きさを極端に変えたとき(たとえば針状電極と板状電極の組み合わせ)にも見られるが、このことについては別に改めて報告する。

(3) 二次性放電とその起源

藤(1914)は上記のようなスパイク状の単一放電に引き続いて見られるいわゆる二次性放電について、これは単一のスパイク状放電の際の刺激によってひきおこされた自己興奮による小形の放電であるという見解を述べている。また Cremer は以前たまたま妊娠している *Torpedo*

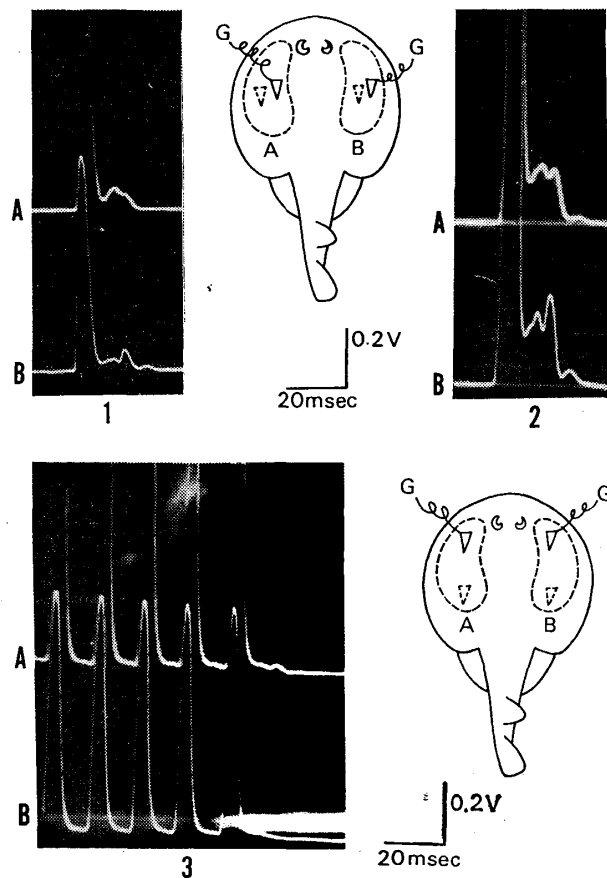


第4図 器官放電の特異な波形
電極の位置を変えることによって記録された特異な波形。

1, 2は背側, 3, 4は腹側。右はそれぞれの電極位置。

の周期的放電を観察した際、スパイク状の大形の波とこれに続く小形の波が交互に出現する様子を見て、この小形の波形は胎児の放電によるものであると推定した。

二次性放電の起源については以上の二つの見解があるが、元来二次性放電そのものの形が常に第1図にみられるような定形的な三角形の山形(0.4V, 10msec)のものではなく、第5図1, 2に示したもののように不規則な鋸歯状のもの(0.2~0.35V, 30msec)も時には見られる。また出現する位置も稀にはスパイク状の単一放電の前であることもある。さらに連続放電の場合はそれぞれの単一放電のスパイクごとに附随して起る時(第2図)と、最後のスパイクだけに附随する場合(第5図, 3)とがある。

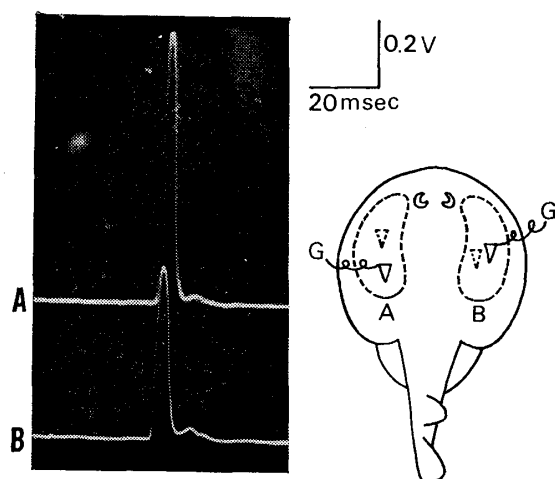


第5図 二次性放電のいろいろ
1, 2は同じ誘導法(中央図)による鋸歯状のもの, 3
は連続放電時の最後のスパイクに附随している例。
右は誘導法

このような二次性放電そのものの出現位置、大きさ、形状などについての多様性を考えると、二次性放電発生の原因は、やはり前記(2)の器官放電の特異な波形の出現について考察したことと同様に、空間的・電氣的非対称に起因する活動電流の電極に対する複雑な影響の結果と考えられる。

(4) 自然放電

シビレイを海水中から取り出す時、多くの場合かなり大きい放電(恐らく数10V)をし、手に触れるとかなりのショックを感じる。もちろんこの場合は空気中に出したための環境変化による刺激と魚を保持することによる機械的刺激による放電であるが、海中から取り出して前述



第6図 自然放電

左右両器官からのもので電極の位置も違うが、いずれもよく似たスパイク状の単一放電で、小さい二次性放電を伴っている。右は電極の位置

性放電(20mV, 約8msec)もみられる。

自然放電の一般的傾向としては空気中に出して間もない実験当初に出現する場合は二次性放電を伴った電動力の比較的大きい周期的放電がみられ、エイが疲労してくると単発的な単一放電がみられるようである。

IV 摘 要

体長約22~34cmの日本産シビレエイ(*Narke japonica*)の器官放電の様相について観察した。まづシビレエイを板上に固定し、種々の大きさの銀製板状電極を皮膚上から電気器官に接触させ、ガラス棒による機械的刺激で発生する放電をブラウン管オシログラフに導いて記録し、大略次のような結果を得た。

(1) 1回の機械的刺激により、スパイク状の単相性放電(3~6V, 持続時間約8msec)が3~4個のグループを形成して100~200msecの間隔で周期的にあらわれた。

(2) 2個の電極の大きさや位置を変えて誘導すると二相性または多相性の放電が観察される。これは電気器官中の興奮部位のずれや、興奮発生の時間的ずれなどによる電氣的非対称にもとづく活動電位が2個の電極に対して複雑に干渉する結果と考えられる。

(3) (1)のスパイク状の単相性放電には通常三角形をした山形状の二次性放電(0.4V, 10msec)が観察されたが、これとは別に形状が鋸歯状のやや複雑な波形のもの(0.2~0.35V, 30msec)もみられた。

(4) 左右の電気器官からの放電を同時記録して観察すると、発生する二つの器官放電は発生時、波形などについては酷似していることが多いが、電動力の大きさや二次性放電の波形などは若干異っていた。

(5) 自然放電の様式としては、左右の電気器官から同時にスパイク状の単相性の単一放電(0.5 V, 8 msec)がみられた。またこれには極めて小さい二次性放電が附随していた。

終りに本実験に際して終始御協力を頂いた東京教育大学の藤田紀盛氏に深く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- Albe-Fessard, D., & Buser, P., 1950 : Etude de l'intrication par champ électrique entre deux fragments d'organe de Torpille (*Torpedo marmorata*)
J. Physiol. & Pathol. gén. 42, 528-529.
- Albe-Fessard D., 1951 : Données sur les caractères de la commande centrale de la décharge chez la torpille et chez la raie. Arch. Sci. Physiol. 5, 197-206.
- Albe-Fessard, D., 1952 : Etude de facteurs périphériques d'organisation de la décharge de la torpille. Arch. Sci. Physiol. 6, 105.
- Bernstein, J., Tschermak, A. 1906 : Untersuchungen zur Thermodynamik der bioelektrischen Ströme. II. Über die Natur der Kette des elektrischen Organs bei *Torpedo*. Pflügers Arch., 112, 439-521.
- Bennett, M. V. L., Wurzel, M. and Grundfest, H. 1961 : The electrophysiology of electric organs of marine electric fishes. I. Properties of electroplaques of *Torpedo nobiliana*. J. Gen. Physiol., 44, 757-804.
- Bennett M. V. L., and Grundfest, H. 1961 : The electrophysiology of electric organs of marine electric fishes. II. The electroplaques of main and accessory organs of *Narcine brasiliensis*. J. Gen. Physiol., 44, 805-818.
- Coates, C. W., et al 1942 : Observations on the electric discharge of *Torpedo occidentalis*. Zoologica, 27, 25-28.
- Coates, C. W., 1954 : What we are learning about electric fishes. Animal Kingdom, 57, 182-186.
- 藤 敬篤, 1914 : Researches on the electric discharge of the isolated electric organ of *Astrape* (Japanese electric ray) by means of oscillograph. 東京帝国大学理科紀要, 37.
- 石森国臣, 1907 : 「アストラペ」の電気器官の精構造およびその反復放電後における形態的变化。東京医学会雑誌(21), 23, 24 合併号。
- Luft, J. H., 1956 : The fine structure of the electric organ of the electric eel and *Torpedo* ray. J. Biophys. Biochem. Cytol. Suppl. 2, 279-321.
- Mathewson, R., et al., 1958 : Morphology of main and accessory electric organs of *Narcine brasiliensis* (Olfers) and some correlation with their electrophysiological properties. Biol. Bull. 115, 126.
- 杉 靖三郎, 田中英彦, 深山幹夫, 1954 : 日本産しびれえい (*Narke japonica*) の放電について。生体の科学, 第3巻, 第6号, 278-280.
- 深山幹夫, 1959 : 日本産しびれえい (*Narke japonica*) の胎児の放電について。
千葉大学教育学部研究紀要, 第8巻, 103-110.
- 深山幹夫, 1969 : 電気器官。生理学大系, 第1巻-2. 373-419。医学書院。