

# 日本産しびれえい (*Narke japonica*) の胎児の放電について

(千葉大学教育学部分校 生物学教室)

深 山 幹 夫

## I. 緒 言

発電魚についての研究は、外国産の材料については *Electrophorus* をはじめとして *Torpedo*, *Raja*, *Malapterurus*, *Narcine*, *Astroscopus* 等各属の各種類についてその形態、生理 (特に最近では単一電気板の放電や生化学的方面) 等の研究が Du Bois Reymond (1848), Garten, S. (1899), Ballowitz, E. (1899), Gotch, J. と G. I. Burch (1899), Cremer, M. (1912), Eilenfeldt, W. (1914, 1926), Coates, C. W. と Cox, R. I. (1937), Nachmansohn 等 (1946), Fessard, A. と Chagas, C. (1954), Grundfest, H. (1957) 等きわめて多くの学者により行われ、数多くの貴重な成果が発表されている。

一方日本産の“しびれえい”については、古く石森 (1908), 藤 (1914) の報告があるくらいでこの方面の業績は非常にすくない。しかしこの藤の研究はオッシログラフを用いた立派な実験で、当時としては極めて精細なもので有名である。このような状況なのでしびれえいの胎児の放電についても殆んど実験が行われていないようである。

筆者は数年来日本産のしびれえい (*narke japonica* の成体) の放電について種々の実験を行い、若干の成果を得てきたが、たまたま昨年 (1958) 3 月、相模湾葉山沖の底引網で胎児を持ったしびれえいを入手することができたので、その際産み出された胎児について、その放電様式についての実験結果を報告する。

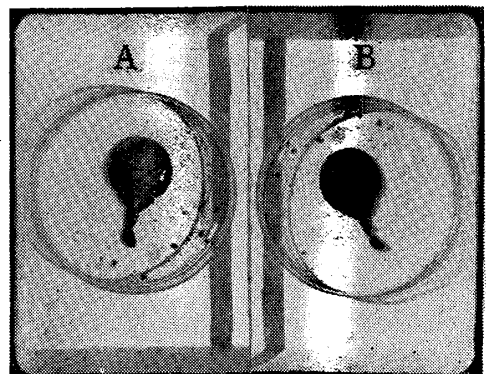
## II. 材料ならびに実験方法

### 1. 材 料

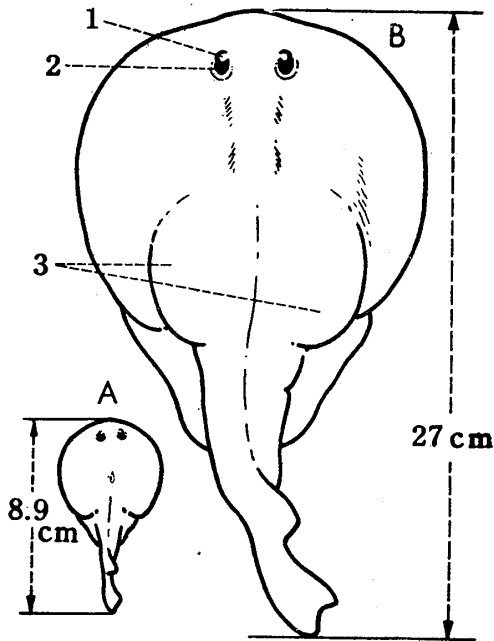
用いた材料は前述のように相模湾産のしびれえい, *Narke japonica* Temmink et Schlegel の雌 (体長 27 cm) より産み出された 8 匹の中の 1 匹で、その大きさは体長 89 mm, 巾 48 mm, 厚さ 10 mm であった (第 1 図)。これを母体と比較してみるとほぼ第 2 図の A (胎児) と B (母体) のような大きさの割合になっている。

胎児が子宮内にある場合は第 2 図の 3 に示したように背面がかなり隆起している。又図には示さなかったが腹側の同じ部分も同様にふくらんでいる。

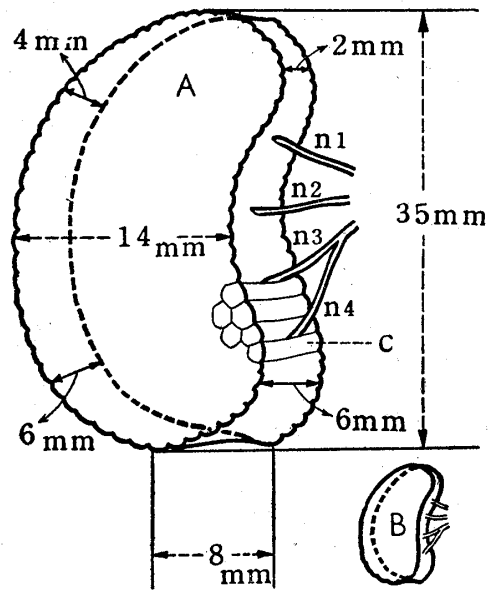
胎児の電気器官 (electric organ) の大きさについては第 3 図に示したように長さ 35 mm, 巾 14 mm で、厚さは頭部に近い部分がうすくて 2 mm,



第 1 図 しびれえいの胎児  
A. 腹面 B. 背面



第2図 しびれえいの胎児とその母体との比較  
A. 胎児 B. 母体 1. 眼 2. 噴水孔  
3. 胎児を持った子宮のため隆起して  
いる部分



第3図 胎児と成体の電気器官の大きさの比較  
A. 成体のもの B. 胎児のもの  
但し A の数字は胎児の器官の寸法を  
示す

反対側の胸びれに近い下縁の部分が一番厚く 8mm であった。第3図の B は A を成体の電気器官とした時の胎児の電気器官の大きさの割合を示したものである。

この発電器官を形成している電気柱 (Column) の数は成体では普通の場合、この種類では 200 前後あるが、胎児のも大体成体と同数で、その後の成長によって数を増すことはない。このことは既に Delle Chiaje (1839) が他の種類で記載しているが、日本産のしびれえいについても同様のことがいえる。

このように電気柱の数の点では胎児も成体もほぼ同数であると考えられるが、各電気柱の断面の直径 (断面は必ずしも円ではないが) は胎児の場合約 2~3mm であり、成体の場合は 5~6mm である。

## 2. 実験方法

しびれえいの全体を無傷のまま、或は中枢および電気器官の部分を露出して、そのいろいろの部位、たとえば頭部の皮膚、中枢 (特に電気葉, electric lobe), 中枢より電気器官に向かって入りこんでいる 4 対の太い神経 (第 11 図) 等を機械的に又は電氣的に刺激し、板状又は針状の電極 (主に銀板, 銀針使用) による種々の組合わせの誘導により、ブラウン管オシログラフ (R-C 結合) に導いてその活動電流 (放電電流) を記録した。

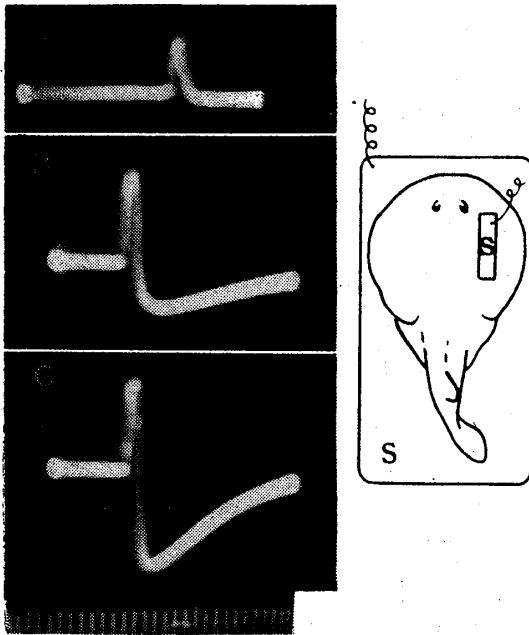
無傷の全体を材料とする場合は、長時間空気中におくことをなるべくさけるため 10 分内外実験をしたら直ちに海水にかえし、呼吸回数の回復を待ち (14, 5 回が普通) 正常の状態を保つように留意した。

又中枢・神経・電気器官等を露出する場合は、その乾燥を防ぐために成体の血液の血清を上から時々かけた。

### III. 実験結果ならびに考察

#### 1. 皮膚刺激による皮膚面よりの誘導

第4図より第9図まではすべて胎児の電気器官の背腹の皮膚面からの誘導による記録である。この際の刺激は何れも先端を丸くしたガラス棒による頭部（眼と眼の間あたり）の皮膚刺激（軽く打つ）である。

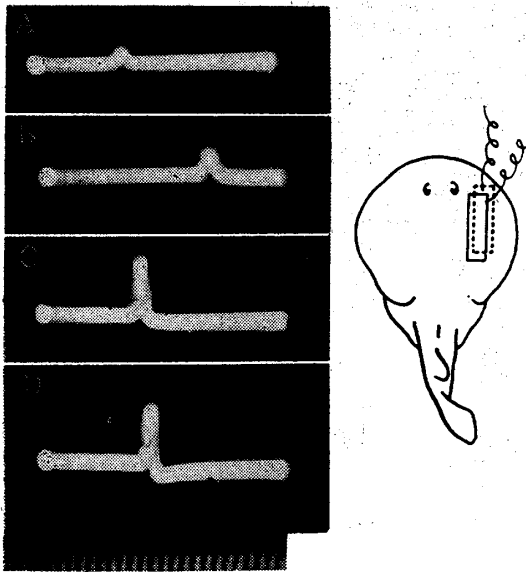


第4図 皮膚刺激による放電 (1)  
右は誘導方法を示す。S. 金属板 A. 1.5 V  
B. C. 3 V 時標 1/200 秒

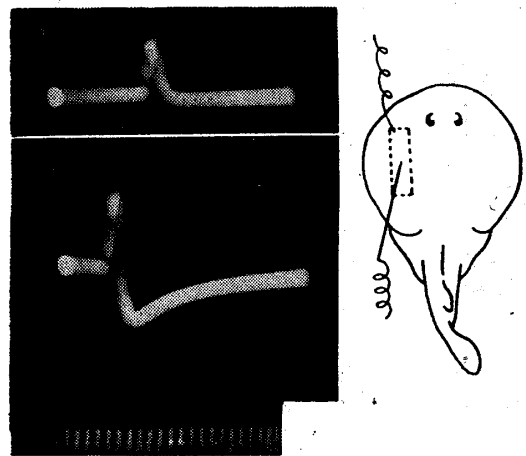
第4図は腹部に胎児の体全部がのる金属板 (6 cm × 12 cm) を敷き、右側の電気器官の上に細長い金属板 (0.5 cm × 2 cm) をおいて導いたものである。放電電圧は 1.5 V から 3 V で単相性のものと 2 相性のものが得られた。その放電経過 (duration) は何れも約 7 msec で、2 相性の場合の陽性後電位 (Positive after potential) の長さは 50~75 msec であった。

第5図は同じく右側の電気器官の背腹に同型の金属板 (0.5 cm × 2 cm) をあてて導いたものであるが、この場合は duration は何れも約 7 msec で、0.3 V から 1.8 V の単相性のもののみが得られた。たゞ最後のもの (第5図 D) がごくわずかに陽性後電位がみられる。

第6図は左側の電気器官の腹側に細長い金属板 (0.5 cm × 2 cm) 背側に金属針をおき (皮膚に接触している部分は 0.5 cm) 導いたもので duration 10 msec, 0.3~0.7 V の単相性の



第5図 皮膚刺激による放電 (2)  
右は誘導方法を示す。A. 0.3 V B. 0.7 V  
C. D. 1.8 V 時標 1/200 秒



第6図 皮膚刺激による放電 (3)  
右は誘導方法を示す。  
A. 1.0 V B. 1.4 V 時標 1/200 秒

ものと約 1.4V の 2 相性のものがみられた。

つぎに第 7 図は前の場合と同様、金属板と金属針の組合わせによる誘導であるが、何れも背側においたもので、一方の金属板は右の電気器官の上、金属針は左の器官の中央部に接触させた。この場合も 1.3V の単相性のものと 1.4~2.5V の 2 相性のものが記録された。但し duration が前のものより少し短かく約 5 msec であった。陽性後電位の長さは前のものと大体同じである。

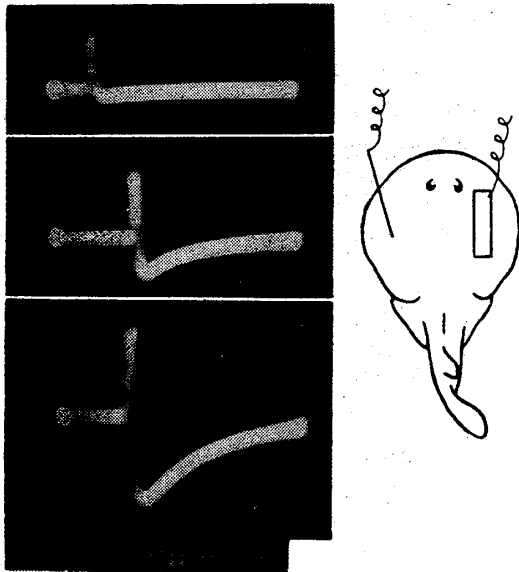
第 8 図の場合は、第 7 図の場合と同様金属板と金属針とを背側においた誘導であるが、何れも右側の電気器官の上においたものである。放電電圧 2.7V ~ 3.4V の大きさのものが得られたが、何れも陽性後電位を伴った多相性のもの

であった。そして多相性の放電を構成する各 spike の duration は極めて短かく 2~3 msec 以下であった。

最後に第 9 図のものは同じ型の板状電極 (0.3 cm × 0.3 cm) 2 個を右側の電気器官の背側の前部と後部において導いたものである。この結果は 1.3V の単相性のものと前と同様の陽性後電位を持った 1.8V ~ 2.2V の多相性のものが得られた。

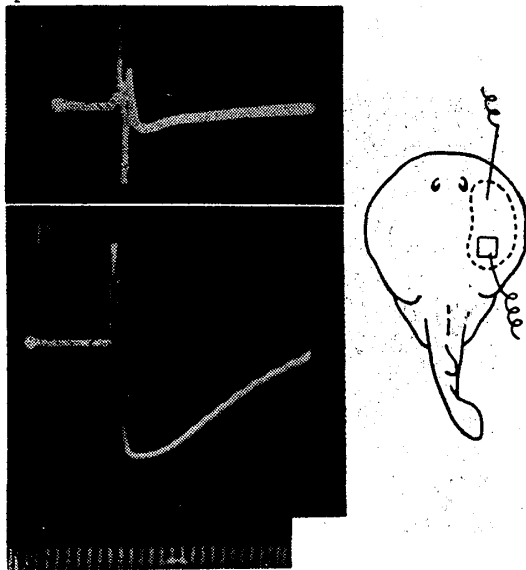
以上無傷の胎児の皮膚面からの誘導による結果であるが、誘導の仕方を色々変えることによって結極電圧の比較的小さい単相性のものと比較的电圧の大きい 2 相性又は多相性のものが得られた。

しかも単相性の放電の場合、成体では反復



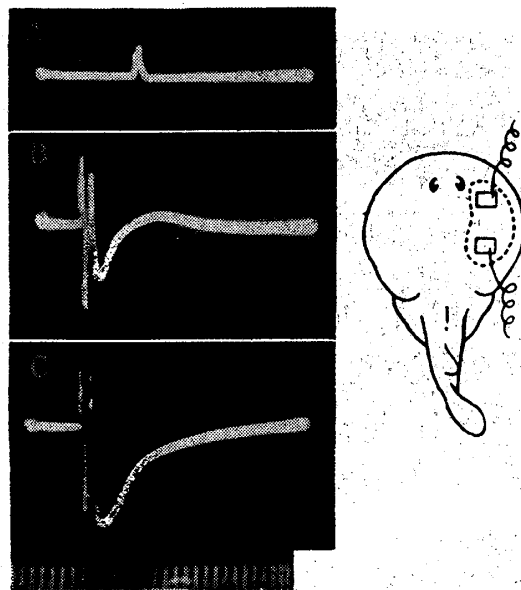
第 7 図 皮膚刺激による放電 (4)

右は誘導方法を示す。A. 1.3V B. 1.4V  
C. 2.5V 時標 1/200 秒



第 8 図 皮膚刺激による放電 (5)

右は誘導方法。  
A. 2.7V B. 3.4V 時標 1/200 秒



第 9 図 皮膚刺激による放電 (6)

右は誘導方法を示す。A. 1.3V B. 2.2V  
C. 1.8V 時標 1/200 秒

性の連続放電や、夫々の单相性の spike に伴う所謂二次性放電 (Secondary discharge) が見られるのが、普通であるが胎児の場合はこうした形の放電は見られなかった。

そして2相性および多相性の放電に見られた陽性後電位の大きさや持続時間は放電電圧の大きいものほど大きく長い傾向が見られた。又放電の duration は電極を背腹においた場合よりも背側のみにおいた場合の方が、いくらか短かかった。これは、胎児の場合のみについて云えることではないと思われるが、電気器官内における興奮部位からの興奮の電極への影響の仕方 (びびき方) が背腹の誘導の場合と背側のみの場合とで幾分異なるためと考えられる。

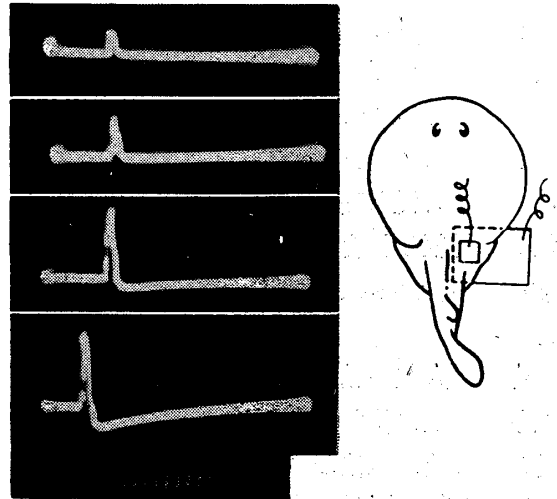
## 2. 自然放電

第10図はしびれえいを海水中より出して空气中に放置した時の自然放電 (spontaneous discharge) の記録である。誘導のための金属板は腹側にすこし大きいもの (1.5 cm × 3 cm) をしき、背側には小さいもの (0.5 cm × 0.5 cm) をあて、何れもその位置を電気器官からはずし右側の腹びれの内側においた。放電の大きさは 0.7 V から 2.4 V 程度で duration が 3~5 msec の单相性のものが散発的に単独にみられたが、放電が比較的大きくなると 30~80 msec におよぶ極めて小さい陽性後電位があらわれた。

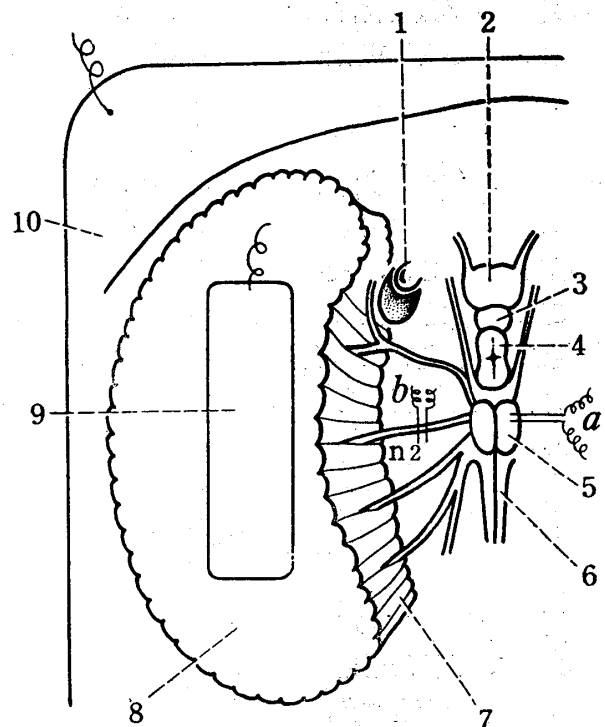
そして自然放電の場合も、皮膚刺激による放電の場合と同様、成体にみられる反復性の放電や二次性放電はみられなかった。これは胎児の電気器官が未熟のため連続放電の能力が未だ具わっていないものと想像される。

## 3. 中枢刺激および神経刺激による電気器官よりの誘導

この場合の誘導は第11図に示すように、中枢および電気器官を露出した胎児の腹側に体全部がのる金属板 (6 cm × 12 cm) を敷き、電気器官左側の上に直接小さい金属板 (0.5 cm × 2 cm) をおいた。又刺激の方法はサイラトロン (Syllatron) の放電による stimulator を用い、約 30 msec の間隔をおいて約 1 V の spike 状の電流をあたえた。



第10図 自然放電  
右は誘導方法を示す。A. 0.7 V B. 1.2 V  
C. 2.3 V D. 2.4 V 時標 1/200 秒



第11図 中枢刺激および神経刺激の刺激部位を示す。

1. 眼 2. 大脳 3. 視葉 4. 小脳 5. 電気葉  
6. 延髄 7. 電気柱 8. 電気器官 9. 10. 金属板  
n2. 神経 a. 中枢刺激 b. 神経刺激

先づ中枢の電気葉に対する刺激では、第12図に示すように0.2～1.0V程度の多相性の放電がみられ、何れの場合も陽性後電位(50 msec)を伴っている。そしてこの陽性後電位の上に刺激のArtifactに相応して約0.2V程度の活動電流がのっているのがみられた。

又神経刺激の場合は第13図に示したが、0.25～0.4V程度の多相性のものがみられ、比較的大きい陽性後電位(2.5V, 約50 msec)が伴っている。これは頭部の方から2番目の神経の束(第11図n2)全体の刺激によるものであるが、その下につづく第3, 第4の神経の刺激の場合も大体同様の結果が得られた。但し第1の神経の場合は極めて小さかった。これは第1の神経の支配する電気柱が電気器官の頭部側の小部分のものだけであるためである。

今回の実験の結果は大体以上であるが、何れの場合も大なり小なり陽性後電位がみられた。そしてこの陽性後電位の大きさは、その時の放電電位の大きいものほど大きい結果となっている。これは導かれる活動電流が通常、筋において見られるように電気器官の興奮部位における局所的なイオンの集積の消長が二つの電極により導かれ、上向き(マイナス側)と下向き(プラス側)のものとの重なり合いの結果として現われるものと考えれば、発電魚の場合も電気器官内における興奮部位の状態により背腹2つの電極に対する不均等な影響の仕方により原因して現われてくるものと推定される。

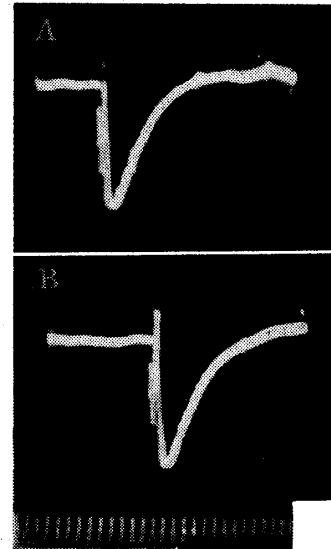
又本実験全体を通して放電電圧の大きさをみると小さいものは0.1～0.5Vから大きいもので3～4V程度であったが、この位の値は成体においても場合によっては得られるもので、胎児の放電電圧の大きさは、その容量は小さくても、器官の大きさに比較してかなり大きい値であるといえることができる。このことは産出直後のしびれえいでも外敵に対して瞬間的ではあっても或程度防禦の力を発揮し得るもので、生態的に意義を持つものと考えられる。

#### IV. 摘 要

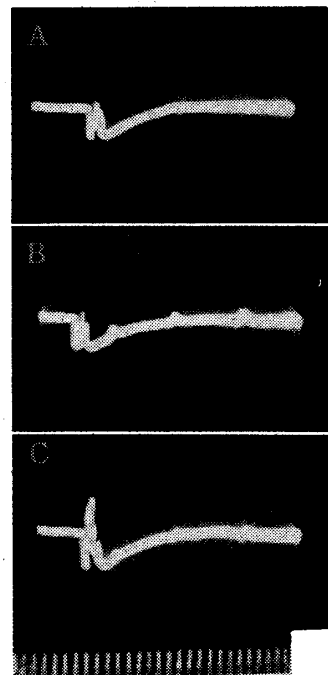
体長89mmの日本産しびれえい(Narke japonica)の胎児について、頭部の機械的刺激、中枢および電気器官の神経に対する電氣的刺激等を加え、板状又は針状電極をもちいた種々の誘導方法によりその活動電流をブラウン管オッシュログラフに導いて記録し次のような結果を得た。

1. しびれえい胎児の電気器官の背腹又は背側の皮膚からの誘導により得られる放電電圧は0.1～0.5Vから3～4V程度であり、電圧の小さいものは単相性の活動電流であり、大きいものは2相性又は多相性で、多くの場合陽性後電位を伴う。

2. 成体の場合はその放電の様相は単相性のものが周期的にあらわれ一定の間隔をおいて数



第12図 中枢(電気葉)刺激による電気器官の放電  
A. B. 0.2V C. 1.1V  
時標 1/200秒



第13図 神経刺激による電気器官の放電  
A. 0.25V B. 0.4V  
時標 1/220秒

回線返えされることがしばしばあるが、胎児の場合はこのような反復性の放電は観察されなかった。

3. 又成体の場合单相性の第一次の放電に引続き二次性放電を伴うことがよくあるが、胎児の場合はこのような二次性の活動電流は見られなかった。

4. 自然放電においても单相性のものが、かなりの間隔をおいて散発する程度で周期的なものや二次性放電は見られなかった。

5. 胎児の電気器官より出される3~4Vの放電は、容量は小さくても外敵に対する短時間の防禦的效果はあるものと推定され、生態的に或程度の意義を持つものと考えられる。

最後に本実験を行うにあたっては、終始東京教育大学の藤田紀盛氏の熱心なる御協力を頂いた。ここに同氏に対し深甚なる謝意を捧げる。尚本稿の概要は1958年秋の第29回日本動物学会大会において発表した。

#### 文 献

- (1) Delle Chiaje: Atti del R. Instituto d'Incoraggiamento Alle Scienze naturali di Napoli, Bd. b. 1839.
- (2) Du Bois Reymond: Untersuchungen über tierische Elektrizität Berlin, 1848.
- (3) Fritsch, G.: Die elektrische fische II Die Torpedineen, Leipzig, 1890.
- (4) Gotch, J. u. G. I. Burch: Proc. of the roy. soc. of London, Bd. 65, S. 434, 1899.
- (5) 石森国臣: 東京医学会雑誌, 22 (1908) 1.
- (6) Cremer, M.: Zentralbl. f. Physiol., Bd. 26, S. 981, 1912.
- (7) Fuji, K. (藤 教篤): Journ. of the Coll. of sc., imp. univ. Tokyo, Bd. 37, S. 1, 1914.
- (8) Fessard A.: Ann. N.Y. Acad. Sci., 47 (1946) 501.
- (9) 杉・田中・深山: 生体の科学, Vol. 3, No. 6, 278, 1952.
- (10) Frank, U.F.: Z. Naturforsch., 7b, 220-30, 1952.
- (11) Coates, C. W., Cox, R. I. and Granath, L. P.: Zoologica, N. Y., 27, 1-32, 1937.
- (12) Nachmansohn, D., Coates, C. W., Rothenbergs, M. A. and Brown, M. V.: J. biol. Chem. 165. 223-231, 1946.
- (13) Fessard, A. and Chagas, C.: J. physiol., Paris, 46, 823, 1954.
- (14) Grundfest, H.: Prog. Biophysics, 7, 1, 1957.
- (15) Michael, V. L. Bennett and Grundfest, H.: J. Gen. Physiol. Vol. 42, No. 5, 1959.

#### Summary

With an embryo of Japanese electric ray (*Narke japonica*) measuring 89 mm in total length, action currents were led from the electric organ with plate or needle electrodes by various leading methods and recorded by a cathode ray oscilloscope, either on mechanical stimulation of the head or on electric stimulation of the central nervous system or the nerve trunks which emerge from the electric lobe. The results obtained were as follows:

1. The spike potentials, led from the electric organ of the electric ray embryo by means of electrodes applied to the dorsoventral or the dorsae skin, ranged from 0.1-0.5 to 3-4 v. Small potential changes were monophasic and large ones were diphasic or polyphasic. In most instances, they were followed by positive after potential.

2. With adult fishes the normal discharge usually consists of periodic appearance of a repetition of monophasic waves at regular intervals. With the embryo, such rhythmic discharges were not observed.

3. With adult fishes a monophasic first discharge is frequently followed by a secondary discharge. With the embryo this secondary discharge was not observed.

4. The spontaneous discharge itself was monophasic and sporadic at intervals of considerable length. Neither periodic nor secondary discharge was not observed.

5. It appears that discharges of 3-4 v. emitted from the electric organ of the embryo, small as they are in capacity, are effective as protection for a short period. Some ecological significance may be attributed to them.