

自然科學小叢書

537

T9

C-2

生 物 與

橋田邦彥 著  
許善齋 譯

王雲五 周昌壽 主編



商 務 印 書 館 發 行

第十一號  
定價

40.00

登記號碼	1247
類碼	537 / T9 c.2
	35年9月8日
來源	上海. 中國
價格	¥1350 —

國立中央圖書館台灣分館



3 1111 003658893

自然科學小叢書

生 物 與 電

橋田邦彥著

許善齋譯

A large, square red ink seal impression, likely a library or collection stamp, with a grid-like pattern. The text "王雲五 周昌壽 主編" is printed over the seal.

王雲五 周昌壽 主編

商務印書館發行

597  
T9.2

目次

緒言

前篇 事實的敘述

第一 靜電的發生

A 筋的負傷流

B 熱流

C 鹽流

D 形變電流

E 神經負傷流

目次

..... 一

..... 一一

..... 一一

..... 一一

..... 一七

..... 一七

..... 一九

..... 二〇

—

F 上皮流……………二〇

G 植物的負傷流及靜止流……………二三

H 靜止流與氧之關係……………二五

## 第二 動電現象……………二七

A 筋神經的動作流……………二七

B 筋神經的自然動作流……………三五

C 心臟的動作流……………三六

D 上皮形體的動作流……………三九

E 植物動作流……………四三

F 電氣魚……………四六

G 電氣魚的放電……………五一

後篇 理論的考察……………五七

第一 靜的現象……………五七

第二 動的現象……………八八

餘論……………九五

537

T9

C-2 生物與電

1247

## 緒言

生物有發電的機能，自古以來早已有人知道。在一七七〇年時代，已經證實電氣魚的發電。拿發電看作生物體普通的生活現象，是發端於人人所知道的加爾發尼氏 (Aloisius Galvani) 的蛙筋的研究 (1786-93)。自從電流計 (Galvanometer) 發明後，沒有幾時，諾比利氏 (L. Nobili, 1827) 在蛙身上確證電動力的存在，從此以後，一般人們纔拿發電看作生物體普通的生活現象。到一八四〇年左右，意國馬泰烏契氏 (C. Matteucci) 發見關於筋的發電的許多基礎事實。德國丟包亞萊蒙氏 (E. du Bois-Reymond) 將這些事實作有系統的研究，發見跟着神經、皮膚及筋神經的動作而起的發電後，赫爾曼 (L. Hermann) 柏恩斯泰恩 (J. Bernstein) 黑林



(E. Hering) 恩該爾曼 (W. Engelmann) 俾得曼 (W. Biedermann) 等碩學鉅子，先後相繼研究此道，纔奠定關於生物體發電及其他生理電學一般科學的基礎。當時所用的儀器設備等，照現在的目光看起來，自然是簡陋得不堪。然這一班專家，居然能戮埋頭苦幹，戰勝難關，當時他們所得到的結果，可以說與今日用最新式最精銳的儀器設備所得的結果差不多，這都是這班老前輩精進努力的成績。他們遺留下來的研究業績的記錄，凡有志於此道的，無論如何必須很留神地看一下。當時生理學 (Physiologie) 的科學的地位還沒有明瞭，丟包亞萊蒙氏不但關於發電的問題有所建樹，並且已經創設了生理電學的體系。這就像赫爾曼氏 (一五·一七五) 所說的，現代生物學能成爲獨立的自然科學，全靠丟包亞萊蒙氏立下了基礎。

現代一般生理學家，大概沒有一個不將發電看做一切生物體共通的現象，換一句話說，就是大家拿發電看作普遍的生活現象 (Allgemeine Lebenserscheinungen) 之一。在理想方面 (ideal)，如賈爾登氏 (S. Garten) (III·105) 所說，凡一切有被刺激性 (Reizbarkeit; irritability) 或興奮性 (Erregbarkeit; excitability) 的原形質的形體 (Protoplasmatische

Gebilde)都不妨看作跟着它的興奮 (Erregung; excitation) 而表現電的現象。有些時候，不能設將它實證，祇可以歸咎於研究手段的不完備，不足以否定這種理想。依着這種觀念說起來，生物體的發電，除了作為生理電學的一部分，有它的本身意義之外，對於興奮現象或其過程的研究，也有重要的意義。

興奮究竟指何而言，這是不能設用幾句簡單的話來說明白的問題，所以這裏姑且不說罷。單從字面上看起來，這是很容易明瞭的，興奮就是動的現象 (Dynamische Erscheinungen)。在生物體中所表現的生活現象裏，有可以看作與此相對的定常的 (Stationär) 平衡狀態 (Gleichgewichtszustand)，即所謂靜的現象 (Statische Erscheinungen)，還有作為這靜的現象的一面顯現出來的發電。

這種生物體的發電的機構 (mechanism)，雖然現在還沒有充分明瞭，但是如果以這種現象為生物體的一種物理化學的系統 (physicochemical system) 考慮起來，不但不算是不可思議的現象，並且除了如上面所說是一種普遍的生活現象，與其他的生活現象同為生物體的全

一態之一部分而外，又與電的刺激作用、電的副現象、被刺激性形體 (Reizbares Gebilde) 的電之極化 (Polarisierbarkeit) 等有密切的關係；這些就是生理電學 (Elektrophysiologie) 的研究對象。

所以關於生物體中的發電的敘述，不但依立場不同，可以發生顯著的差異，並且對於其他種種的生活現象和刺激與興奮等問題，倘使沒有理解，就不容易理解生物體的發電，這是不待言的。本書專以發電為主題，所以在尋常生理學書的發電項下的許多敘述，都一概從略。現在為補救這個缺陷起見，祇把一般參考書的名目記載在下面。

在各條下指示這裏所列舉的參考書，祇略記一個號碼。號碼的下面所記的數目字，是表示那本書的頁數。

- 1 Bethé, A., u.s.w.: Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie, 8, 2 (1928).  
Elektrische Energie (Elektrobiologie).

- 11 Bernstein, J.: Elektrobiologie. (1912).

- III Bayliss, W.: Principles of General Physiology. 4th Ed. (1924).
- IV Biedermann, W.: Elektrophysiologie. (1895).
- V Biedermann, W.: Elektrophysiologie. Ergebnisse der Physiologie, 2, 2(1903), 132-264.
- VI Bose, C.: Comparative Electrophysiology. (1907).
- VII Burdon-Sanderson, J. S.: The Mechanical, Thermal and Electrical Properties of Striped Muscle. Schäfer's Textbook of Physiology. 2 (1900). 352.
- VIII Cremer, M.: Allgemeine Physiologie, des Nerven. Nagel's Handbuch der Physiologie, 4(1909), 359.
- IX du Bois-Reymond, E.: Untersuchungen über die thierischen Elektrizität, 1 (1848), 2 (1859).
- X du Bois-Reymond, E.: Gesammelte Abhandlungen über die allgemeinen Nerven- und Muskelphysik. 1 u. 2 (1875).
- XI du Bois-Reymond, E.: Allgemeine Physiologie des glatten Muskels. Nagel's Handbuch der Physiologie, 4 (1909), 544.
- XII Erey, M. v.: Allgemeine Physiologie des quergestreiften Muskels. Nagel's Handbuch der Physiologie, 4 (1909), 427.

- 一三 Garten, S.: Produktion der Elektrizität. Winterstein's Handbuch der vergleichenden Physiologie, 3, 2 (1910), 105.
- 一四 Gotch, F.: Nerve. Schäfer's Text-book of Physiology, 2 (1900), 352.
- 一五 Hermann, L.: Galvanische Erscheinungen am Muskel. Hermann's Handbuch der Physiologie, 1 (1878), 173.
- 一六 Hermann, L.: Galvanische Erscheinungen am Nerven. Hermann's Handbuch der Physiologie 2 (1879), 144-.
- 一七 Höber, R.: Elektrische Vorgänge am physiologischen Grenzflächen. Physikalische Chemie, der Zelle und Gewebe. 6 Aufl. (1926), 705-
- 一八 Kohlrausch, A.: Elektrische Erscheinungen am Auge. Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie, 12, Photoreceptor, II (1931), 1393.
- 一九 Luchsinger, B.: Die galvanische Beziehungen der Drüsen. Hermann's Handbuch der Physiologie, 4 (1883), 441-
- 一〇 Stern, K.: Elektrophysiologie der Pflanzen. (1922):

研究生物體的發電，也同研究一切的科學一樣，必須按着不同的情形，應用特殊的研究方法。至於

它的詳細情形，這裏沒有工夫細說，所以祇得把它的主要點說一說。讀者如果要知道詳細情形，請參考本條末尾所舉的參考書，與最近將要出版的拙著實驗電氣生理學。

檢查生物體的發電，敏銳的電流計是必不可缺少的。這時候所要求的敏銳，不祇是絕對敏度，乃是能跟得上迅速的變動的敏銳。愛恩托文氏 (W. Einthoven, 1903) 所發明的絃線電流計 (Saitengalvanometer; String galvanometer)，多少可以供應這要求，給與研究者以非常的便利，但是還不能算為十分美滿。真正要滿足這要求，必須應用布勞恩 (Braun) 管，就是陰極線管，這是柏恩斯泰恩氏 (1911, 1912) 所主張的。最近因無線電技術的進步，利用真空管的放大器容易製造，同時陰極線管也逐漸改良，為一般人所應用了。就是丟福爾氏 (Dufour, 1923) 的陰極線示波器 (Oszillographie) (4) 已由美國學者初次應用於生理電學 (Gasser and Erlanger 1922) (5) 但是大家都以為比上面所說的還要便利的洛哥斯基氏 (Rogowsky, 1925) 的陰極線示波器，卻未曾看見實際應用過。近來這種儀器本身以及它的應用方法，都正在逐步改良，將來頗有希望。

布隆台爾氏 (Brondel, 1893) 所設計達台爾氏 (Duddel 1898) 所完成的普通的示波器，僅僅應用於日本藤教篤氏的電氣魚的放電研究，(3) 這也是因為放大器的完成，使它能供給一般學者的應用。(羅孫堡 (H. Rosenberg, 1927) (8))

從前研究生理電學的時候，曾經在多方面應用過的利普曼氏 (Lippmann, 1875) 的毛細管靜電計 (Kapillarelektrometer)，因曲線訂正器的設計 (盧加斯氏 K. Lucas, 1912) (9) 而得到非常的便利，但是近來又因為利用了放大器，更另有其他新的應用 (阿德利安氏 E. D. Adrian, 1926) (1))

因為生物體與它的器官，若從廣義解釋，是一種電解質溶液系統，所以不許用金屬將它與電流計等直接連結。自從包亞萊蒙氏以後，就用不極化電極 (Unpolarisierbare Elektrode) 間接與電流計等相連結。現在常常應用的方法，就是把水銀塗在純粹的鋅的表面，使它成為汞齊，把汞齊浸在中性硫酸鋅的濃溶液裏面，用適當的方法拿生理的代用液 (Physiologische Ersatzflüssigkeit) 作媒介，與生物體的器官及組織相連接。為便利起見，固然也有一種不極化電極，可

作代用品，不過並不是完全的不極化性。(9)

參考書

1. Adrian, E. D.: The impulses produced by sensory nerve endings, Part I. *Journal of Physiology*, 61 (1926), 49.
2. Einthoven, W.: Die Konstruktion des Saitengalvanometers. *Pflüger's Archiv*, 130(1909), 287.
3. 藤教篤 Researches on the electric discharge of the isolated electric organ of *Astrape* (Japanese electric ray) by means of oscillograph. 東京帝國大學理科大學紀要・三七(大正三年)・一一—二〇.
4. Garten, S.: *Elektrophysiologie*. *Tigstedt's Handbuch der Physiologischen Methodik*, 2, 3 (1911), 317-488.
5. Gasser, H. S., u. Erlanger, J.: A study of the action currents of nerve with the cathode ray oscillograph. *American Journal of Physiology*, 62 (1922), 496.
6. Lucas, K.: On a mechanical method of correcting photographic records obtained from the capillary electrometer. *Journal of Physiology*, 44 (1912), 225.

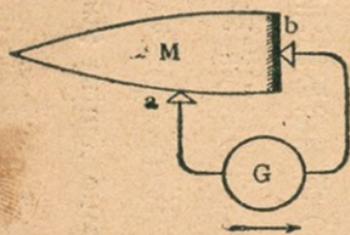
7. Mierdi, G.: Neue Fortschritte auf dem Gebiete der Oszillographie. Helios, 35 (1929), 101.
8. Rosenberg, H.: Neue Untersuchungen über den Aktionsstrom des Nerven. Pflüger's Archiv 216 (1927), 300.
9. Samojloff, A.: Praktische Notizen zur Handhabung des Saitengalvanometers und zur photographischen Registrierung seiner Ausschläge. Archiv f. Physiologie, 477 (1910).

# 前篇 事實的敘述

## 第一 靜電的發生

A筋的負傷流 這是每逢研究一般的發電時最先知道的事實。活的沒有受傷過的筋，無論在生物體裏面，或割了出來，它的表面都看做沒有電位差的。即使將表面的任何兩點連結起來，電流也不流。換一句話說，凡無傷的筋，都是無流 (Stromlos)。但是筋的一部分用了什麼方法弄傷了它的時候，那沒有受傷的部分與受傷的部分之間，就發現電位差。例如第一圖，是將M沒有受傷而取出的筋的一端，在b部分切斷。用適當的方法，將那無傷的表面a與負傷面b連結在適當的電流計G上，電流計的電流就依着箭的方向，

第一圖

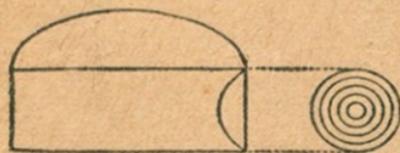


在筋的外面，從無傷部向負傷部流着。負傷筋的作用，好像是一種電池。它的正常的無傷部是陽極，而負傷部則是陰極。這樣的電流，我們稱爲筋的負傷流（Verletzungsstrom; injury current），那負傷部稱爲陰電性（Elektronegativ）。負傷流的發現，與負傷的方法沒有關係。例如把筋的一部分熱殺或使它腐爛，都是一樣的。如將從平行纖維取出來的筋（例如蛙的縫匠筋（*M. Sartorius*）及薄股筋（*M. gracilis*）的兩端切斷，就可以得着丟包亞萊蒙氏所稱的筋圓柱（*Muskelzylinder*）。它的正常無傷面與負傷面之間的電位差的配布狀況，如第二圖所表示的樣子。在正常面中央線的部分，電位最高，在負傷面的中心，電位最低。如果將正常面中的一點與負傷面中的一點連結起來，依它部位的不同，兩點間的電動力就不一律，因此，所發生的電流的強弱就有差別。如果把正常面的中央線部與負傷面的中心連結起來，便發現最強大的電流。

到了近時，對於下圖（第二圖）所表示的電位差的配布，又發生

疑義了。據克勒勃氏（*W. H. Craib*）（11）薩布米愛維慈氏（*B.*

第二圖



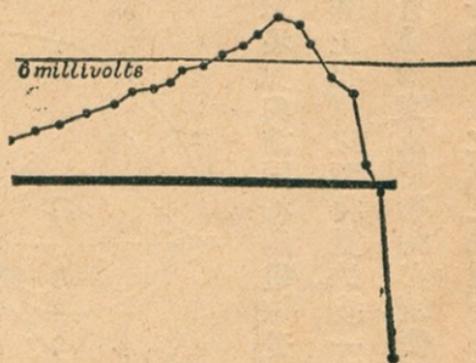
筋圓柱的電位配布  
(Rosenthal)

Szabmiewicz) 的研究，都說負傷筋表面的電位差配布，是像第三、第四兩圖所表示的，在靠近負傷面的地方，電位較高，而在負傷面就急遽降低下去。還有克勒勃氏將一端負傷的筋放在均勻介質(homogeneous medium) (例如用林加氏液浸過的濾紙)上，就追跡紙上的等位線(equipotential lines)而獲得如第五圖所表示的現象。這卻與第六圖的一個雙線(doublet)在同樣濾紙中央的時候的等位線差不多相一致的。就是表示負傷筋的電位差可以拿排列在與負傷面成直角的方向的雙線來換置，所以是一件很有興趣的事。不過我覺着需要更詳細的研究。

將平行纖維所組成的筋，依着纖維的方向，加以細長的創傷時，筋的負傷，僅在所創傷的纖維

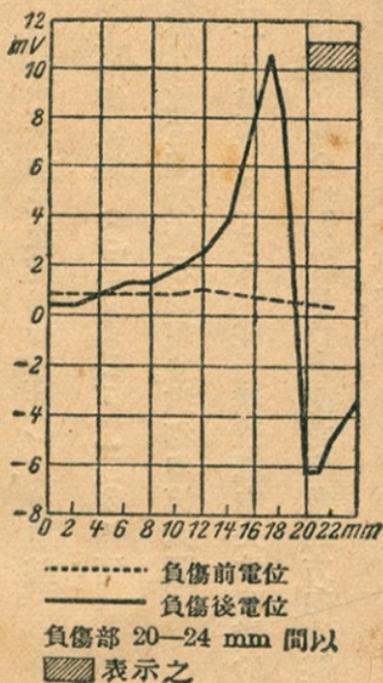
第三圖

負傷筋電位配布

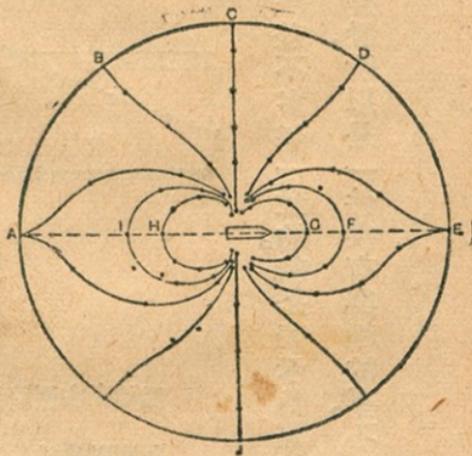


黑線表右側端割斷的筋黑點表筋表面  
對應點的電位(Craib)

第四圖 負傷筋電位配布 (Sabumicwicz)



第五圖



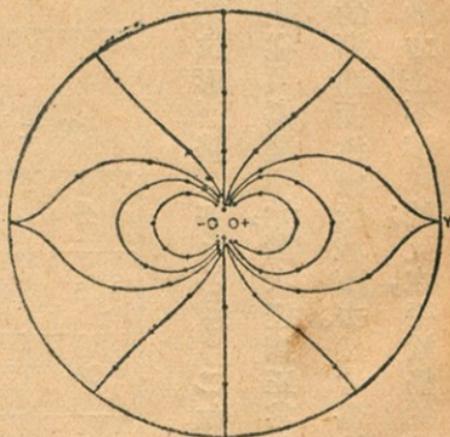
在圓負傷筋的平圓上的等位線 (Craib)

上當這件事實被證明的時候，在正常部與負傷部之間，可以看見與前同樣的電位差，（佛爾希 (J. Velch, 1900) (七四) 因此，就測定負傷流在單一的纖維上也可以看得見的。換一句話說，筋的負傷流，就是單一筋纖維的負傷流的總和。但筋的四周圍，有組織液及實驗時必須使用的生理的代用液，例如生理的食鹽液，或林加氏液等包圍着，並且在各個纖維之間，更混雜含有這些液體的

間質 (Interstitium) 所以可以因這分流作用 (Shunting action) 而誘導 (Ableiten) 於外部的電位差，應當比真的電位差小些。被外部誘導的電位差，據薩木伊洛夫氏 (A. Samojloff, 1899) (六九) 說，祇有真的電位差的八成，據克婁梅爾氏 (Cramer) 的理論，僅有真的電位差的二成。(一一一) 筋負傷流的電動力的價，普通大約是  $0 \cdot 0$  五V，最高是  $0 \cdot 0$  八V。以照着上面所記的薩木伊洛夫氏的計算，則真的電動力的價達到  $0 \cdot 1$ V 以上。

在平滑筋，也看見有同樣的負傷流，可是它的電動力就小得多了。據恩該爾曼氏的研究，蛙的胃筋，祇不過三·九至九·三mV。也有人報告有的時候看不見負傷流的，但這都是由於實測處置不完密之故，並非真個看不見。(一三·一二五)

第六圖



在圖雙線的平圓上的等位線  
(Craib)

平滑筋的負傷流，往往一經發見之後，轉瞬間就消滅無踪。骨骼筋的負傷流，雖然依着經過的時間，慢慢的低減下去，但是在筋沒有死以前，它的負傷流總不會消滅。例如依據麥丟辣氏 (Ma-tula) (一·七〇七) 的研究，在蛙的縫匠筋，看見如第一表的電動力的低下，反之，在平滑筋，依據恩該爾曼氏 (二·三·一二六) 的研究，負傷後隔十五分鐘，它的負傷流就消滅了 (第二表)。

第一表

分	mV
0	42.8
15	40.2
30	35.6
45	35.7
60	34.1
75	34.2
90	34.1

第二表

分	
5	42.8%
10	16.4%
15	0.9%

這一樁事實，恐怕可以作如下的理解。因為負傷的筋成形原體 (Bauelement) 如果死了，那負傷流，自然應當跟着而消滅。但是這種成形原體的死，是從負傷端開始，漸次達到正常部分的，所以因分流作用被外部誘導的電動力，跟隨着死的部分的漸進而逐漸低減下去。然骨骼筋的成形原體，是佔骨骼筋的全長的，所以在筋未死以前，它的電動力是不消滅的；反之，平滑筋的成形原體

極短，所以一剎那間就死，而變爲無流了。不過在實際上，平滑筋的負傷流一次消滅之後，如果另作一個新的負傷部，可以再發現同樣程度的電動力。

在心筋上，也可以看見與上面二者同樣的負傷流，它的現象同平滑筋一樣，一轉瞬間就消滅了。(一三·二〇) 心筋纖維，在官能上，固然是長的，但是在榮養上，乃是許多短的成形原體互相連結着，所以從負傷部開始進行的死，止及於負傷的榮養的原體。

B 熱流 負傷流的電動力，在無傷部的溫度昇到不致傷害筋的程度時是大的；而溫度降低的時候，是小的。但據赫爾曼氏說，(一五·一九六) 則負傷部的溫度變化，是沒有影響的，這似乎是應該注意的事。

與這事實有聯帶關係的有趣味的事，就是無傷筋各部分溫度不一律的時候，那溫度低的部分，它的作用卻與負傷部一樣。就是陰電性的電流，從溫度高的部分向溫度低的部分流去。這就名爲熱流 (Thermostrome) (赫爾曼) (一五·二六)

C 鹽流 將無傷筋浸在各種鹽類溶液之後，檢查負傷流時，在負傷流的發現上常起變化

(俄佛頓 E. Overton) (1.7.05) 如果將無傷筋浸在含鉀鹽類溶液裏，不但負傷流很小，而且

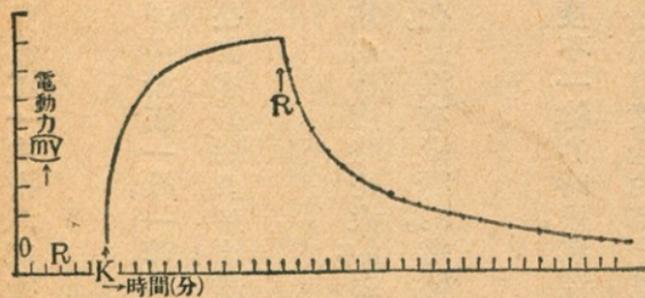
將筋的一部分代替筋的全體，浸在各種鹽類溶液

裏，那正常部與浸部之間，就發生電位差。例如拿含鉀的鹽類溶液浸無傷筋的一部分，那一部分的作用，卻與負傷部一樣，(俾得曼) (四.三〇二) 但是趕快將浸液洗掉，就會再回復原狀。這便是發現可逆的 (reversible) 電動變化。荷柏爾氏 (R. Höber, 1906) (三三三) 曾用多數鹽類研究這種關係，名如此狀態發現的電動變化為鹽流 (Salzströme)。第七圖，是表示鹽流發現及消滅時間的經過。

鹽流的電動力，依鹽類游子的種類，有大小的差別。

第七圖

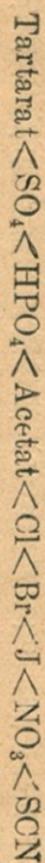
鹽流的發現及消滅 (橘田)



R 林賈氏液

K 林賈氏液 + 0.12mm KCl (3:4)

用滴金屬鹽類時，如果就於陽游子或陰游子，隨着電動性作用的大小，把浸部電位低的部分排列在電位比較高的部分的左面，就得着下面的系列。(一七)



這些系列，在膠質化學中，稱爲荷夫邁斯忒氏 (Hoffmeistersche Reihe) 系列，是表示鹽流的發生與筋膠狀質有密切的關係。在多數鹽類中，浸部是陰電性，反之，如  $NaJ$ ,  $NaSCN$  等，浸筋部分的電位，比正常部高，就是有陽電性化 (Positivierend) 作用，這是一件很有興趣的事。依荷柏爾氏的解釋，這是因爲  $KCl$  等，使筋的形質膜 (Plasmahaut) 膨脹 (Auflockern) 而  $NaSCN$  等，則使筋的形質膜緊縮 (verdichten) 之故，但不是說一定是這樣的。

D形變電流 近時戴梅耶氏 (de Meyer) 發見急速將筋伸展壓迫時，電動力就發現出來，名爲形變電流 (Deformationsströme)。發生形變的地方電位較高，它的電動力大約有一·五  $mV$  (1.5  $mV$ )。

E神經負傷流等 在神經中也有負傷流，與筋的負傷流的樣式完全相同的。不過神經從身體取出來的時候，必須將它的兩端切斷，所以難得有像筋從體內割了出來的無傷性。

神經負傷流的電動力，比骨骼筋負傷流的電動力弱；而有髓神經負傷流的電動力，比無髓神經負傷流的電動力更弱得多了。這大概是因為在神經中，以電的有效部分為它的軸索，包圍有髓神經四周的髓鞘起分流作用之故。有髓神經負傷流的電動力，總是在 $0 \cdot 03V$ 前後。(一·七三八)

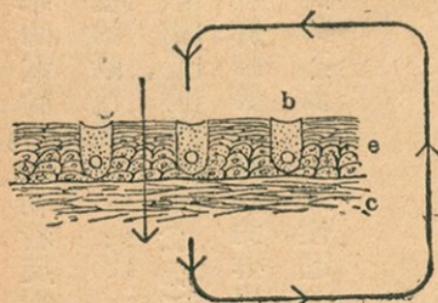
神經負傷流，也同平滑筋的負傷流一樣，在一二小時內，大約消滅一半，轉瞬之間就完全消滅，等到另做一個新的負傷部時，再發現同樣的負傷流。有髓神經從負傷部開始進行的死，最近有人說，好像是進行到朗維歐氏結紮環 (Ranvier'sche Schnürring) 為止，但是無髓神經的負傷流也照樣迅速消滅，所以它的理由還不明瞭。恐怕神經纖維也像心筋纖維一樣。是多數營養的成形成原體所構成的吧！

F 上皮流 (Epithelströme) 將有上皮組織被覆的器官 (例如皮膚的裏外兩面) 相連

結時，每在皮膚中發現從外面向裏面的向內性 (Einstiegend; ingoing) 電動力。這便是皮膚表面的陰電性。這樣的電動力，名為皮膚流 (Hautströme)。這種現象，自從包亞萊蒙氏 (1857) 發明以來，曾經對於許多地方研究過，一般學者都以爲這是從在皮膚中的腺性形體 (drüsiges Gebilde) 例如皮膚腺，汗腺，盃細胞 (Becherzelle) 來的。赫爾曼氏等，都以爲皮膚流是發源於這些形體的分泌機能的，所以不妨稱它爲分泌流 (Sekretionsstrom)，但不是說在腺性形體附近的一般上皮細胞，也完全沒有關係的。不但這個，就是皮膚在外觀上看起來，可以看作在平衡狀態時，皮膚流依然長維持不變的狀態，所以似乎也可以單稱它爲上皮靜止流 (Ruhestrom)。也有人稱它爲常存流 (Bestandstrom) 的奧爾培里 L. A. Orbeli (五八)

上皮靜止流的方向，不是一定不變的；這與接觸皮膚表面的溶液的種類大有關係，(奧爾培里，(五八))

第八圖



皮膚流之模型

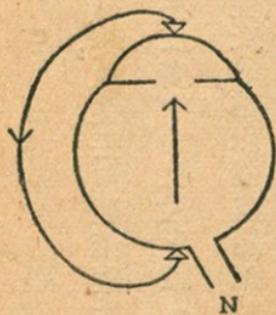
- b 盃細胞    e 上皮細胞  
c 真皮層    (橋田)

(橋田) (二七) 例如鉀鹽類溶液接觸皮膚表面時發現出來的電動力，是朝着反對的方向的，稱為向外性 (Aussteigend; outgoing) 電動力，就是皮膚表面的陽電性。

從各種黏膜上皮也可以得着與皮膚同樣的電流，(恩該爾曼、赫爾曼) (一九) 這或者可以名為黏膜流 (Schleimhautstrom)。又將如高等動物的唾腺、胰臟等獨立腺的排出管就是腺的內部與腺的外面連結起來，可以看見同皮膚一樣從上皮外面向裏面的向內性電流。這稱為腺流 (Drüsenstrom) (勞仁泰爾 (1865) (一五·五四))

上皮組織中最特殊的組織是網膜中的視上皮 (Sehepithel)。如果將網膜的裏面與外面連接，或將眼球的前面就是角膜部與後面連接，那末對於網膜上皮就發生向內性的電流 (丟包亞萊蒙 1856) 第九圖。但不可不避從取出的眼球或網膜上已割斷的視神經發出來的負傷流的影響。間或也有依動物的種類，表示反對方向的電動力的，不過在這樣的動物的視上皮中，視上皮細胞的排列，是相反對的。例如頭足類

第九圖



網膜靜止流模型  
N 視神經 (橋田)

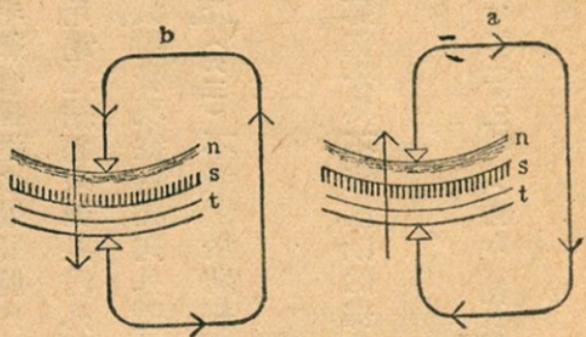
的眼睛(培克 Beck, 派伯 Piper) (1111.164)

G植物的負傷流及靜止流(110) 植物體中,也有負傷流;它的現象,與動物的筋神經的負傷流一樣。有時候負傷部的電位很高(如金蓮科,蓼科,禾本科等植物) 赫爾曼氏 (如雙子葉植物的種子) 托姆巴氏 (Tompa)。

如果將植物的韌剝去外皮的部分與橫斷部連接起來,往往橫斷面的電位較高 (朗開 Ranke)。可是也有不然的 (凡爾敦 Velten)。

巴德納爾及勒布 (Beutner U. Loeb) 氏,曾看見蘋果番茄等外表皮的裏外兩面之間,有向內性的電動力,與蛙皮等的上皮流一樣的。(11.129) 這些植物負傷流的電動力的大小,程度與動物的筋神經的負傷流相同, (窩勒 Waller) (110.114) 不過也有高得不可以相提並論

第十圖



網膜流之模型

- |         |          |
|---------|----------|
| a 普通的場合 | b 頭足類的場合 |
| n 神經纖維層 | s 視上皮層   |
| t 叢膜    | (橋田)     |

的。

近時對於藻類的單一細胞的發電，頗有人多方面加以精密的研究（俄斯忒虎德 W. J. V. Osterhout (五九) 約斯特 J. Jost 等）他們研究單一細胞發電時，多用車軸藻族的 *Valonia* 與 *Nitella* 為研究對象。先貫穿牠的細胞壁，將毛細管插進去，將細胞內容搾汁或其代用液裝在毛細管裏，將毛細管腔就是細胞的內腔與外壁用電連結起來，如果浸外壁的溶液淡，就發現那細胞從外壁向內腔的電位差。如果浸外壁的溶液濃，就發現從內腔向外壁的電位差。拿迷蒙精 Chloroform 等殺死 *Nitella* 的一端，結果也是如此。（六三）不過關於將細胞的一端切斷時發生電流的事實，實驗的報告都不一致。

用各種鹽類溶液浸沒有負傷的納胞的一部分，在那部分與不侵溶液的部分之間發現電位差，也與筋的鹽流一樣。

變形蟲體內外的電位差，也已經測定（挨第煦 G. Etlisch）〔附註 關於植物發電還可以參考（四一）（四九）（七〇）等〕

植物體沒有受傷的地方，往往依着牠的部分而電位差不一樣的，例如將葉片中肋 (Mittelpippe) 與葉肉 (Mesophyll) 連結起來，大都是中肋的電位比較高些，可是反對的時候，偶然也有。

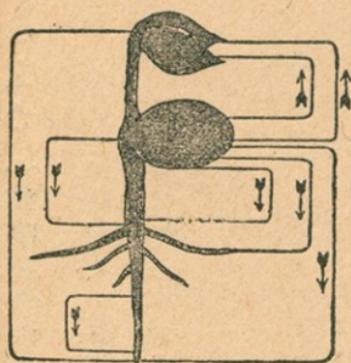
各種植物種子發芽時，子葉 (Kotyledonen) 的電位，總是比它的上部下部都高 (牟勒及黑德林然斯 Müller U. Hettlingens)。

這些就稱為植物的靜止流，但是牠的電動力的大小，能發生種種影響。(一·七六四)

且靜止流與氧之關係 據古澤 (1111)

水口 (1111) (五六) 等的研究，則神經筋的負傷流，一經斷絕氧的供給就消滅，消滅之後再供給氧，就再回復原狀。它的作用部位固然不知道，但在生理學上，確是一件很有興趣的事實。現在已經知道皮膚流 (恩該爾曼)

第十一圖



發芽植物電位配布模型  
(Müller-Hettlingens)

(四·四三二)網膜止流(韋斯忒倫德 A. Westerlund)(七八)一經斷絕氧的供給,馬上就會減少,以至於消滅。

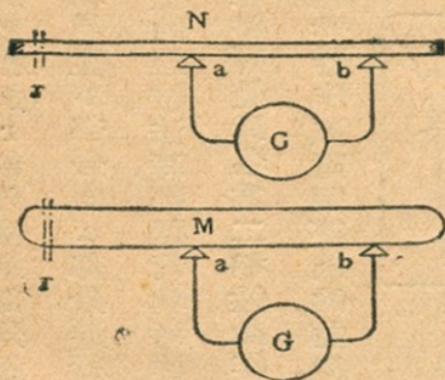
## 第一 動電現象

像前面所講，跟着被刺激形體的興奮而發生電動力。一般人們，都依據赫爾曼氏（1876），稱它為動作流（Aktionstrom）。

A筋神經的動作流 跟着筋及神經的興奮而有電的變動，這事已經由丟包亞萊蒙氏首先發見（1849），但是後來靠柏恩斯泰恩氏赫爾曼氏的研究，纔證明的。（一五·二〇一）

筋與神經的電，從興奮起來的部分逐漸傳播到其餘的部分，這是大家所知道的。如將這興奮部與不興奮的靜止部連結起來，就發生從靜止部向興奮部進行的電流。那興奮部是陰電性。讀者請看第十二圖，MN是筋

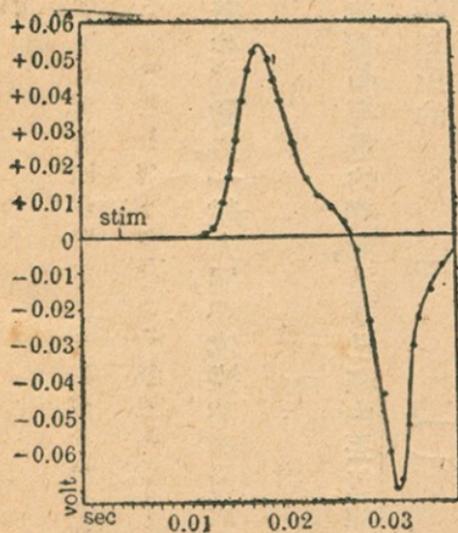
第十二圖



筋神經動作流誘導模型（橋田）

與神經，將牠表面的 a b 兩點連結在適當的電流計上，如果加刺激於 r 部分，使這部分起興奮，那末興奮就先從 r 傳到 a，然後再傳到 b 部分。這時候可以先看見從 b 部分向 a 部分進行的電流，稍為停一息後，就看見從 a 部分向 b 部分進行的電流。用這樣的連結法時，那跟着興奮而發起的電的變動，就顯示方向相反的兩個相 (Phase)。這種現象，依據赫爾曼氏，名為二相性動作流 (Diphasische Aktionsströme)。第十三圖所表示的，是表示二相性動作流時間經過的曲線。二相性的變動各相，雖然與第十二圖的 a 部或 b 部的興奮相當，但是完全將普通的兩個相分開來看一下，那是不能的。這是因為興奮傳播的速度比興奮保持的時間更大，因此在 a 部分的興奮沒有停止以前，b 部分已經開始興奮之故。第十三圖曲線的兩個山峯，並

第十三圖



蛙的縫匠筋二相性動作流 stim

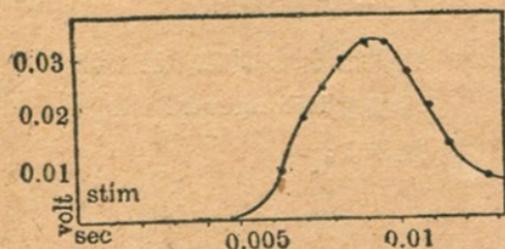
刺激的時點 (依據 (K. Lucas))

不逼真地表示連結着的兩個場所的電的變動。

今將連接部的一方例如 b 放在筋或神經的負傷部，依適當的方法，給與反對的電位差，而打消在回路 a b 間的負傷流的電位差，刺激 r，使起興奮，則興奮達到 a 時，就惹起與前相同的電的變動，但是在負傷部 b 不起興奮，所以電的變動祇限於 a 部的興奮，而為屬於一方向的變動。對於二相性動作流，這就稱為單相性動作流 (Monophasische Aktionsströme)，例如第十四圖所表示的。二相性動作流，是從 a 部與 b 部起的單相性動作流的代數和。所以先依如第十二圖所表示的連結法，描記二相動作流之後，就將 b 部熱殺，描記單相性動作流，如果從最初所得的曲線將所描記的抽掉，就可以算出與二相性動作流中的 b 部的興奮相當的曲線（參照第十五圖。）

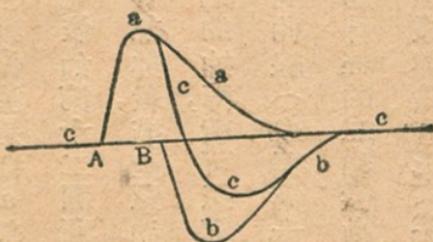
這樣把筋神經的二相性動作流的兩相分開，一向祇不過間接的實行，但據俾沙普氏 (G. H. Bishop) 岐爾生氏 (A.

第十四圖



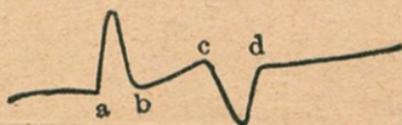
單相性蛙縫匠筋動作流 stim 刺  
激的時點 (依據 K. Lucas)

第十五圖



表示單相性動作流的加重  
Aacbc二相性動作流 Aaa  
單相性動作流 Bbb 上面二  
者之差(Hermann)

第十六圖



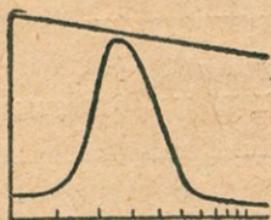
筋纖維(?)的動作流(著  
者根據 Erlanger & Bishop  
製作)。

S. Gilson)的研究,則多少可以把牠分開來。俾沙普氏等,曾拿筋的極小部分,使牠起興奮,而描記牠的動作流。他們想,這祇不過是有限度的極少數的筋纖維起興奮。這時所得的曲線,如第十六圖,雖不能算是理想的分開的二相性曲線,但也可以說相去不遠了。如果子細觀察一下,這電流曲線是多相性(Polyphasic),在兩個相反的相的前後發現小變動 a b c d。如此的筋動作流的多相性曲線,克勒勃氏(一一)在將筋放在廣闊媒質中使起興奮時,曾經得着過。第十六圖的現象,

想是在電動性起作用部分四周圍的其他沒有起興奮的多數筋纖維因分流作用而發生的變形。這事實在生理學上很有意義。在從用對於筋或神經向來沿用的方法描記出來的二相性動作流的時間經過等推論筋或神經成形原體的性質等的時候，例如哥啓氏 (F. Golch) 等歸納神經纖維的悉無律 (Alls-oder-Nichts-Gesetz) 的時候，對於這事實，不可不充分考慮。在這裏，關於這些，不多說了。

對於神經的動作流，近年來，伽塞爾 (Gasser) 挨爾蘭該 (J. Erlanger) 等，應用陰極線示波器描記正確的動作流，已告成功。如第十七圖所示的，就是一個例子。伽塞爾氏等施特殊的計畫，描記在與刺激部位極接近部分所起的動作流。看見這動作流，離刺激部位漸遠，牠的經過也跟着逐漸緩慢（第十八圖）。恐怕構成神經幹的許多神經纖維，它們的興奮傳播速度，各各不同，所以在刺激部位雖一齊起動作流，而因為跟着興奮的進行，傳播速度不一律，以致動作流的重疊多起了變動。

第十七圖



犬的橫隔膜神經的  
動作流 (Gasser  
& Eelanger)

向來一般學者多認神經動

作流的經過是滑的，自從布羅姆

塞爾氏 (Brümsen) (1914)

研究以來，纔明瞭牠的下降枝顯

示幾個的動搖。例如第十八圖，就

是伽塞爾氏等在食用蛙的坐骨

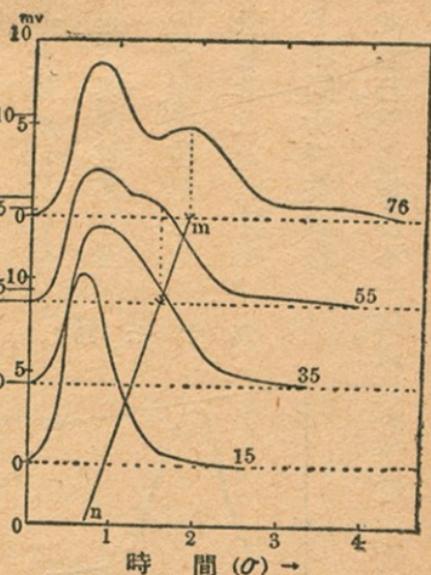
神經上所得的曲線。據伽塞爾氏

等的見解，以為這種動搖的原因，是因為神經幹中不但有傳播速度存在，並且有被刺激性各各不

同的多種神經纖維羣存在。

一如從這些研究所窺見的結果，從如筋或神經等多數被刺激性成形原體集成的器官所表現的性狀，也可以歸納各個被刺激性成形原體的性狀。對於這事，凡研究生理學的人不可不常常考慮，這是著者一向所主張的。最近在日本，對於這方面的研究，正在逐漸進步，誠屬可喜。

第十八圖



食用蛙坐骨神經的動作流  
(Erlanger & Gasser)

← 與刺激部位的距離

筋與神經的動作流，如精確測定牠的刺激的時點，

普通多看作它是與刺激作用的完成(三二)同時出現

的。(一·二〇九)有時候，似乎還有極僅微的潛伏期。例如

賈爾登氏(一·七二二)將筋冷卻到攝氏零度至五度時，

就有可以看得清楚的潛伏期。還有挨爾蘭該及伽塞爾

(二五)兩氏，猜度神經的動作流有〇·〇〇〇六秒以

內的潛伏期。但是現在不認刺激作用是開始於刺激的

時點的，所以多以爲這短促的時間大約就可以看做是

刺激作用的完成期。動作流從初發生到達到它的最大

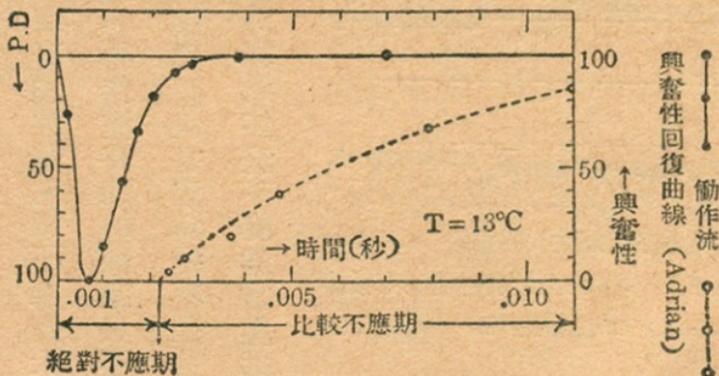
值的時間就是所謂上昇期，是極短的，祇有〇·〇〇一

——〇·〇〇二秒光景。然大家都以爲筋收縮的時候，

牠的潛伏期，至少是〇·〇〇一五秒(孚爾吞 J. F.

### 第十九圖

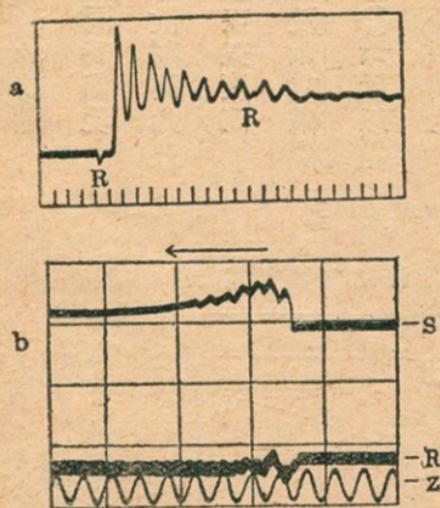
蛙的坐骨神經的動作流與興奮性回復曲線



Fulton (18.99), 所以筋的動作流, 大部分在筋收縮的潛伏期中經過的。從前把這事看作很重要, 但是這還不算最重要, 下面的事實, 倒是有些重要的呢! 在骨骼筋或有髓神經, 它的不應期, 大約有  $0.002$  秒光景, 而動作流大概在這期間內經過。(在筋或神經動作流時間的經過與不應期的關係, 及動作流與筋收縮期間的關係等, 在生理學上是很重要的問題, 但是因為這不是發電的問題, 所以這裏從略。) 從上面所述的事實, 可以立刻領會在筋或神經動作流不能為重疊的反復刺激, 所以可以從動作流的反復測定筋或神經興奮時興奮的度數。

拿直流刺激筋或神經, 就反復發現動作流 (提得婁 Dittler 及沼生, (1.717) 賈爾登 (1.751)) 反復的週期, 如果條件有一定, 常是

第二十圖  
固有拍節



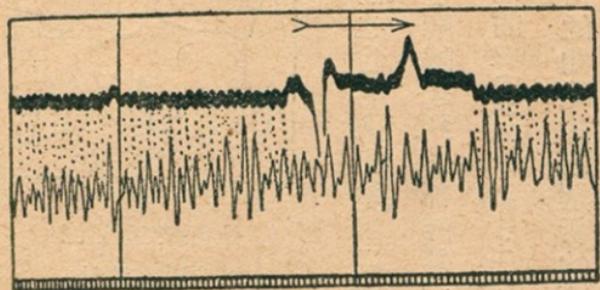
a 龜頸引筋的固有拍節 (Dittler 及生沼) b 兔坐骨神經的固有拍節 (Garten) s 動作流 R 刺激的時點

一定的。名這拍節的現象爲筋或神經的固有拍節 (Eigenrythmus)。第二十圖所表示的，是興奮現象的一表現，它的意義很深。

B 筋神經的自然動作流 上面所說大致都是筋或神經因人工的刺激使起興奮，跟着這興奮而發現的動作流；但在自然興奮時，也會發現動作流的。這時候有一個特徵，就是發現反復動作流 (第二十一圖)。向來這樣的觀察，多行於筋或運動神經，對於知覺神經加以研究者，比較的少數。但最近阿德利安 (Adrian) (11) 等已經成就描記刺激知覺神經末端器官時所發生的知覺神經的動作流 (第二十二圖) 的工作。這可算是神經生理學上重要的發明。

神經中樞系起興奮時，亦發生動作流 (哥啓及荷爾  
 斯利 Gotch u. Horsley, 1889, 巴略尼 Baglioni,

第二十一圖



橫隔膜神經 (上) 及橫隔膜的動作流 (下)  
 (Ditter & Garten)

1905)(III·IHO)

C 心臟的動作流 因為心臟是筋性器官，所以在搏動或收縮時，會發現動作流。又因為牠的構造及興奮樣式的複雜，所以動作流的經過也複雜。

正在搏動中的心臟的動作流，自古以來，就為一般學

者所注意；也曾經做過不完全的描述（馬累 Marey, 1866）。從前也曾有人把拿出動物體外的

心臟以及還在生物體內的心臟所起的動作流由動物或人類的手腳誘導到外部而做成描記過

（窩勒 A. D. Waller, 1889）心臟動作流的曲線，普通稱為心臟電曲線（Elektrokardiogramm）。

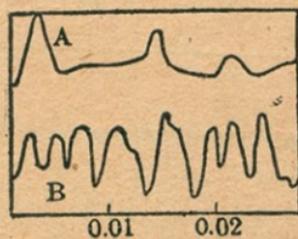
它的正確的經過，是開始於愛恩德荷文氏將用毛細管電流計所得的曲線加以解析的訂正（18

95）。自從氏的絃線電流計計畫以來，這種描記方法業已完成，從多方面加以研究。心臟電曲線，像

第二十三圖所表示的樣子，可以算作一種典型的圖案。普通學者，多依着愛恩德荷文氏，將牠各個

的動搖一一稱為 P. Q. R. S. T. 有時候在 T 的右面還看見一個微小而緩慢的動搖，稱它為 U。據多

第二十二圖



知覺神經動作流  
A 靜止 變動  
B 皮膚刺激  
(Adrian)

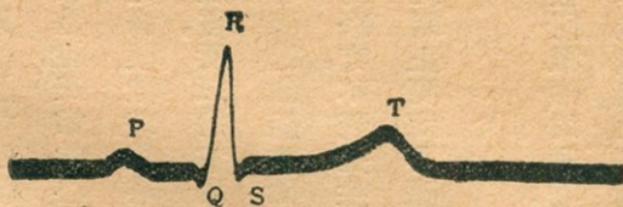
數學者研究的結果，知道P是因着心房的興奮，其餘都是因着心室的興奮的。心臟動作流中P、Q、R、S四個動搖的起始，比心臟的收縮早些，而T動搖的終止，似乎是與心臟的收縮在同時的。

心室動作流的經過很複雜；如果就於拿出動物體外的心臟，創傷心室的尖端部，或底部，除去這些部分的興奮而描記動作流，則得到簡單的單相性曲線，但是在各部分的動作流，是依着互相反對的方向經過的。將此等兩種曲線依代數的重疊起來，則從它的時相的變動就得着大概與沒有負傷的心室的動作流曲線相一致的經過的曲線。這種事實，已爲巴吞，桑得松等諸氏（1884）所仔細研究。

（註 關於以上的計述可參看（七二））

構成心臟的筋纖維，牠的排列，是極其複雜的，所以上面所說的事實，不是祇根據心室尖端部或心室基底部的興奮而決定的，這不外乎是跟着心臟各部分的興奮而發生的動作流的總括的

第二十三圖



人的心臟電氣曲線(Einthoven)

表現，所以很難從心臟電曲線的時間的經過馬上就知道心臟各部分的興奮傳播的樣子。

還有從割出來的心房也可以得着與用適當方法從心室所得的極相類似的心臟電曲線。  
(七二·二二六) 又前野氏所認為心房與心室間興奮傳播的徑路的希斯田原氏索，及相連續的浦爾金愛氏纖維，當它自動的時候，也可以看見表示類似的經過的動作流。這就是說，正常的心臟電曲線，乃是心臟各部分所起的動作流的代數和。動作流的大小，在心臟內腔充滿漿液時，與心臟內腔空虛時，大有差異。又因為在體內自動搏動的心臟四周圍，有大量的分流媒質，所以將它的動作流誘導到外部而行描記時所得的曲線形狀，常受着種種的影響。因此，在從心臟電曲線推論心臟的官能時，不得不將種種事實同時加以考慮，這是無須說得的。心臟電曲線的研究，不獨是生物發電的一項目，並且含有重要的生理學的意義。然而要想從心臟電曲線的變化馬上測定心臟的機能，不能設像許多人所期待的那麼容易。

上面所說的心臟電曲線，都是說些就高等動物所得的心臟電曲線。任何種類的動物，都可以用適當的方法，描記牠的心臟電曲線。各種動物的心臟電曲線，依牠們的構造機能的不同而不一

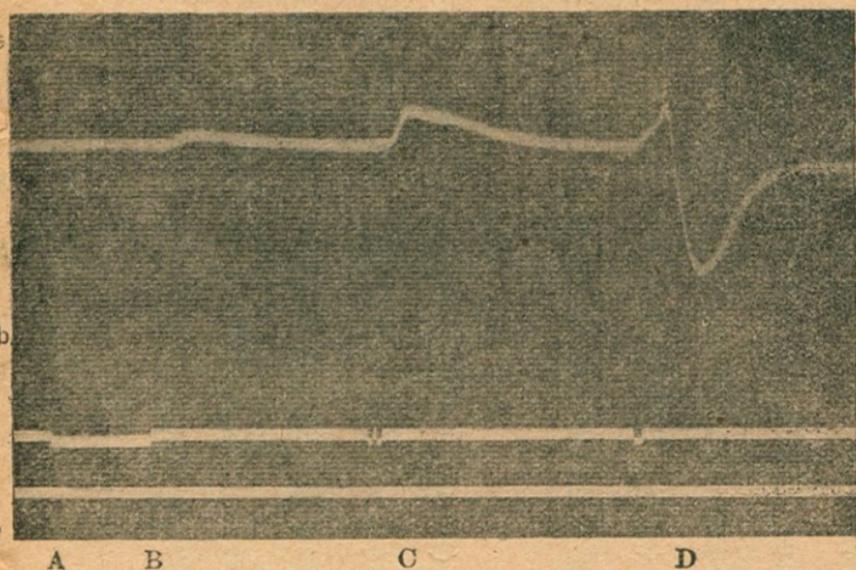
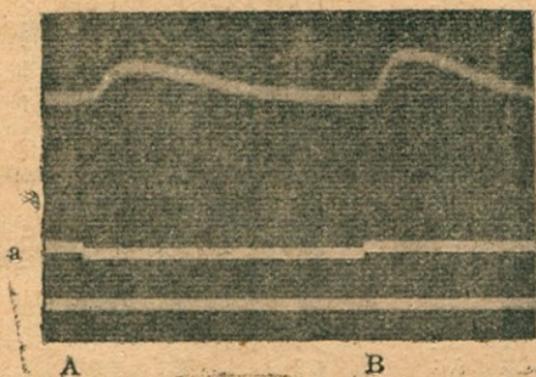
樣，(七二)那是一的定。

D 上表皮形體的動作流，在發現皮膚流的皮膚上刺激牠所屬的神經時，靜止流就起變動；如果用反對的電流打消靜止流，那末就發新生電流（羅柏爾（Röber, 1869））。這個名爲皮膚動作流。(一九)因爲大家以爲這種皮膚動作流，大都是與靜止流同樣，隨伴着皮膚中腺性形體的分泌過程的，所以當然也可以稱爲分泌流，但並非說，與靜止流同樣腺性形體以外的部分是沒有關係的。因爲皮膚靜止流稱常存流，也有人稱皮膚動作流爲應答流（Antwortstrom）的，（奧爾培里（五八））。

皮膚動作流電動力的方向，與靜止流相反對的時候居多。以普通的情形而論，總是說向內性的靜止流，向外性的動作流，但有時候，常依接觸皮膚外面的溶液的種類，靜止流的方向因之而異，同樣的，動作流的方向，也並不一定，間或也有向內性的動作流。譬如食鹽溶液接觸皮膚表面，起向外性動作流，而加里鹽類溶液接觸皮膚表面，就起向內性動作流（奧爾培里）（五八）但是事實還有更加複雜的，就是在單一刺激或微弱刺激的時候，即使將加里鹽類溶液接觸皮膚表面，也會

第二十四圖

蛙皮的動作流



a 外液食鹽液 A. B 刺激的時點 b 外液鹽化加里液  
A(弱)及 B(強)單一刺激 C. D反復刺激

( 橋田 )

起向外性動作流的。不過這時候所起的動作流，是像第二十四圖所表示的多相性，而含着極微細的向內性的動搖。如果反復刺激，或者用強烈刺激，則上述的向內性動搖，恐怕會更加強大，起初時，作微細的向外性變動，其後，又起強烈的向內性變動（橋田）（二七）這事實對於生物體發電的理論考察上最爲重要。

唾腺也是這樣，如果刺激它所屬的神經，那末一壁促起分泌，同時就發生動作流（培利斯及布拉德福德 Bayliss & Bradford, 1887）（四三四）唾腺等都是受二重神經支配的，發現動作流的樣式，依受刺激的神經的種類而異。從前一般學者，以爲這時候總是發現互相反的方向的動作流，（一三·一五九）而據近時的研究，知道也並不一定，大都依着實驗條件，有種種的差別。

發現靜止流的上皮組織，有一種網膜，在遇光時，就起特殊的電的變動。這稱爲網膜的動作流（荷姆格楞 Holmgren 1865）。例如蛙的眼睛，長期間放在黑暗的地方，所謂暗順應眼，就起一種電的變動，它的樣子，像第二十五圖所表示的，如果照在光線裏，所謂明順應眼，也起類似的變動。凡構造簡單的網膜，如頭足類的網膜，牠的動作流時間的經過很是簡單。如第二十六圖，照光時，起

與靜止流相對的變動，遮光時，就回

復舊狀（派柏（Piper, 1904）（培

克 Beck, 1899）（一八·一四·一四）向來

一般學者，以為像蛙眼睛等動作流複

雜的，構成網膜的上皮細胞以外的被

刺激性形體例如神經細胞等的動作

流是重疊的，但是最近夫勒利克氏等

（V. Fröhlich, 1928）已經明瞭，高

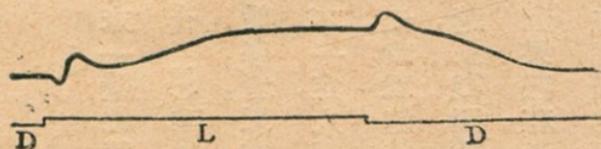
等動物的眼睛，如果將照光部分的範

圍儘量縮得狹窄一點，那末就得着簡

單經過的動作流，像在頭足類眼睛裏所看見的一樣（一八·一四二七）（第二十七圖）但一般學者

為頭足類的眼睛如果增加光的強度，那末動作流的經過就複雜，所以內中有種種原因存在。

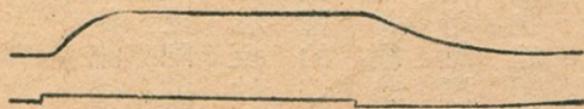
第二十五圖



脊椎動物網膜動作流(模型的)

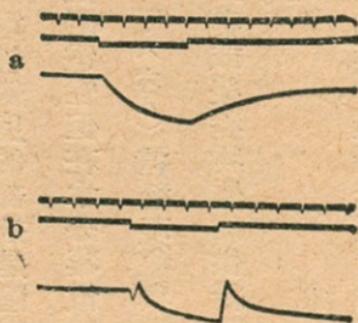
L明 D暗 (Kohlrusch)

第二十六圖



頭足類網膜動作流(Kohlrusch)

第二十七圖

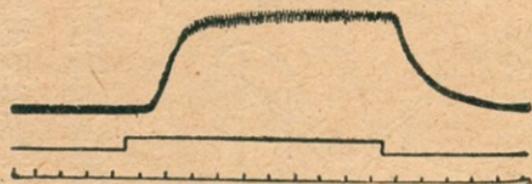


已取出的網膜的動作流

a 部分的照明 b 全照明

(V. Fröhlich)

第二十八圖



顯足類網膜動作流 (V. Fröhlich)

夫勒利克 (FRÖHLICH) (1914) 看見頭足類的網膜動作流，有如第二十八圖的振動性，它的振動的週期與振幅，依光的種類而異，因此，他就看作與顏色的感覺（二·八·二四六五）有關係的。對於這一點，阿德里安等曾看見過鰻魚的眼神起週期性動作流。（二·二·一〇五）兩者相對應是很有趣味的問題。

E 植物動作流 關於植物方面的研究，現在還不十分進步。普阿斯氏雖曾經從許多方面加

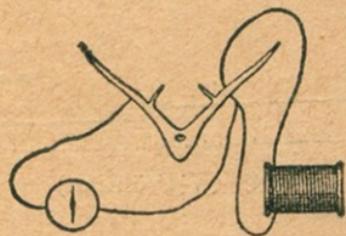
以努力研究，但是還沒有充分的繼續實地試驗。

照普通說起來，植物與在動物的各種器官所發見的是一個樣子的，興奮的部分，對於無興奮的部分是陰電性。強烈興奮的部分對於微弱興奮的部分亦是陰電性。也有時候，不是這樣的。也有與動物的筋等的現象一樣的，對於一回的刺激，發現反復性的動作流。(一·八六三)

在植物體中看作動作流最爲特殊的，是隨着水分的移動而起的電的變動。充張 (Turgor) 高度的部分是陽電性，低度的部分是陰電性。還有如果灌水在枯萎的植物上，經過一定時間之後，則葉與葉柄等是陽電性，但在水分蒸散的時候，就起反對的現象 (苦阿斯)。(一·八六八) 這種現象，與動物器官的動作流一樣，在斷絕了麻醉劑或榮養物質的供給時，就不發現 (綽羅陀內 Cholodony)。

具有葉綠素的葉片，太陽光照着的部分，是陰電性，而遮光之後，就變爲陽電性。這個電動力的出現，是與葉綠素相消長的

第二十九圖



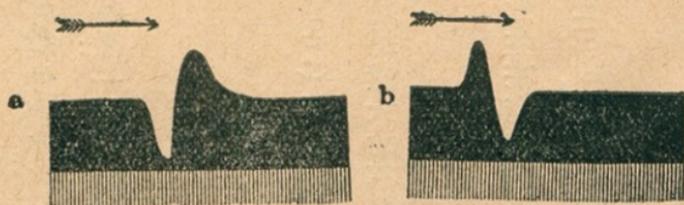
毛氈苔動作流  
誘導模型 (Biederman)

(窩勒 J. C. Waller, 1925) (一·八六九) (七七)

對於植物動作流精細的時間的經過，古時候巴吞，桑得松及孟克 (H. Munk) 曾經拿毛氈苔作對象，從事探究過。用石膏等軋住毛氈苔的葉片，叫牠不能運動，如第二十九圖所示，將相對應的葉片的下面對稱點連結在毛細管電流計上。長時間保持靜止的葉片，牠的上面，對於下面是陽電性，但刺激一方面的葉片，則得着如第三十圖 a 所表示的曲線。即葉片的上面起先一度增加陽電性，其後變為陰性，次又變為陽性。幾回反復刺激後，葉片的上面對於牠的下面為陰電性。這種狀態能長時間保持着。這時候如果刺激葉片，則如第三十圖 b，發現大致方向與前相對的電的變動。

跟着含羞草的運動而起的動作流，昆開塞 (A. Kunkel)

第三十圖



毛氈苔動作流 a 長時間靜止後 b 反復興奮後

(Munk)

苦阿斯等曾經研究過。(二〇·一八)苦阿斯氏曾就於植物的根部，上皮組織，腺性組織等，將牠的管束割出來，看與動物神經的動作流相類似的電的變動，而考察植物的神經性機序。

F電氣魚 生物體發電，有最特殊的樣式的，是電氣魚。牠有兩種特徵：一是所發的電動力很大；一是具有電器官，是專管發電的特殊器官。

一般人們所知道的電氣魚，(一·八七六)列舉如下：

一電鯰 (Zitterwels; electric catfish; Malapterurus electricus) 這魚生在北緯三〇度至南緯二〇度的範圍裏的非洲大河道裏，最大的身長達六〇吋，不過這樣大的不多，多數都比牠小些的。

二電鰻 (Zitteraal; electric eel; Gymnotus electricus) 這魚生在南美洲大河道裏，最大的，身長達一呎半至二呎。外貌有些像鰻鱺，但是不屬於鰻鱺 Anguillidae 而屬於電鰻 Gymnotidae。牠的體制，有些類似鮎 Silurodae (夫利特什 Fritsch)。

三電魚 (Zitterrochen) 這魚種類很多，生在太平洋的，是 Forpedo Occidentales，生在

地中海的是 *Torpedo ocellata*, *Torpedo Marmorata*。最大的，身長達一呎半。生在地中海的，還有 *Raja clavata*, *Raja bats*。在日本的，有生在太平洋沿岸的 *Astrape japonica*。最大的，身長達五〇厘（石森）（三五）

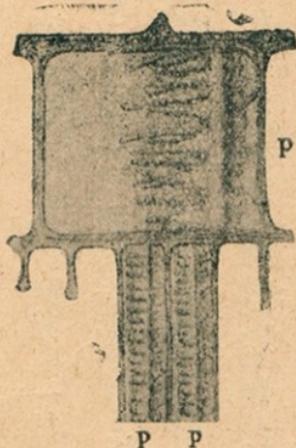
四 *Mornyrus* 生在尼羅河。

五 *Astroscopus* 生在北美洲東海岸巴拿馬的沿岸，近年爲達爾格楞及西爾未斯忒（U. Dahlgren u. F. Silvester, 1906）所發見，與在意大利那不勒斯所捉的 *Astroscopus* 相類似（賈爾登）（一三·一二七）

六 從前薩克斯氏發見有一種 *Sternopygus Virescens*，好像是電氣魚，近年勞累氏（Lowrey, 1913）曾於 *Statogenys elegans*（*Steindachner*）證明牠具有電器官，這是產生在南美洲的電鰻（*Gymnotus*）的一種。

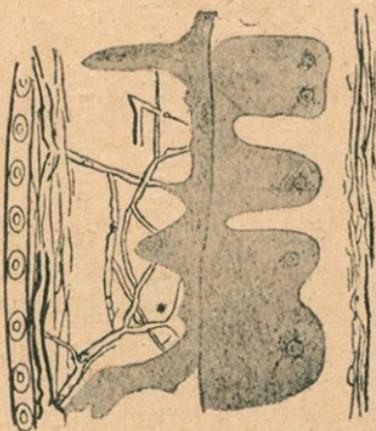
如上面所述，無論那種電氣魚，身體的大小雖然不等，但是都具有電器官（*Elektrische Organe*）。這種電器官，是許多普通名爲電板（*Elektrische Platte*）的成形原體集合而成的。

第三十一圖



電板的電板  
P 表示大小的腔劃  
(Sachs)

第三十二圖



電板之放大圖  
請看板的右側有神經纖維  
附着 (Sachs)

由結組織（就是構成器官的基礎）造成許多小腔劃（Tächer），每一個腔劃裏面藏着一塊電板。這電板的位置，在腔劃的中央，將腔劃分作兩個小室，小室裏面，充滿着膠狀物質（Gallertmasse）。神經及血管經過膠狀物質的中央；神經與電板的一面，很密接地連結着，而電板的另外一面，完全沒有神經。

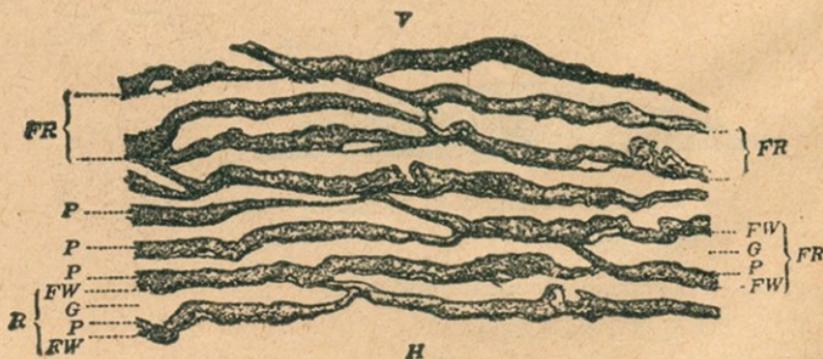
除電板外，別的電氣魚，由這種小腔劃造成與電板的面平行而極有規則的柱（Säule）。這種柱並排排列起來，造成器官。電板體內電板的面，大致是平行的，不過是參差不齊地互相重疊的。

爲器官成形原體的每一塊電板，好像是一個電池。電氣魚身上的電器官，等於許多電池一行一行一列一列連結起來的。

電鯰，電鰻，Torpedo, *Astrape*, 等的電器官，比動物身體大得許多。電鯰的電器官，好像是生在皮膚下面的厚皮，這厚皮緊密地貼着在皮膚上，除頭部外，包圍身體的全部。電鰻身體各側的器官，在上部的較大，在下部的較小。在左右兩旁的器官，與中央線相接，占體的後方五分之四。電魚類的器官，在頭部鰓部，形狀像腎臟一般。牠的上下達到背腹的外皮下，牠的上下面電柱的排列，好像蜂巢的樣子，可以看得很清楚的。據丟包亞萊蒙氏的研究，主

第三十三圖

電鯰的器官



V 頭側 H 尾側 P 電板 G 膠狀物質  
FW.FR 腔割 FW 腔割後壁 (Ballowitz)

要電氣魚的體重與電器官的分數如後(一三·二七二)

電鰻

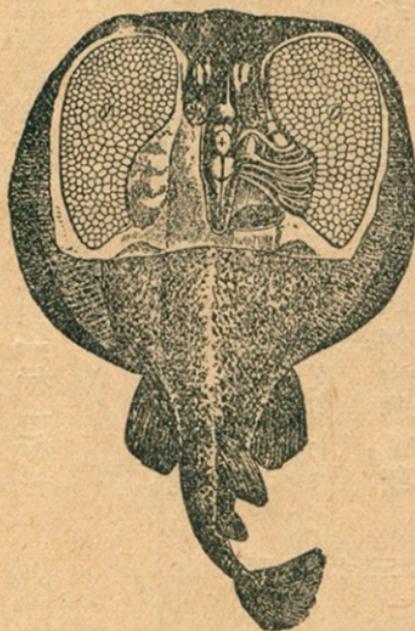
*Torpedo Marmorata*

二·六六：一

三·四六：一

第三十四圖

電魚的電器官



b



a *Torpedo marmorata* 的電器官 O 與其神經

b *Torpedo ocellata* 的橫斷圖

O 電器官 (Fritsch)

電鯰

三·五五·一

Torpedo ocellata

三·九六·一

Raja, Mormyrus, 及其他電氣魚的電器官, 大都發達不很完全, 從前稱它爲假性電器官 (Pseudoelektrische organ)。除電鯰外, 別的電氣魚的電器官, 一般學者都認爲是筋組織所分化的。因爲 Torpedo 在胎兒初期時, 將來將發生電器官的地方的胎兒性筋纖維上, 有許多橫紋, 所以證明電器官是筋組織所分化的。這些筋纖維, 到了胎兒末期, 它的一端逐漸粗起來, 而且成爲扁平的形狀, 變爲電板 (巴布青氏 Babuchin)。Raja 胎兒體中的筋纖維也發生變態 (揆發忒氏 J. C. Ewart 恩該爾曼), 它的電器官是與筋直接連絡的。(四·七六四)

電鰻的電器官的由來, 不得而知, 不過比同種族沒有電的魚缺少應存在器官部位的筋。

電鯰與上面所說的不同, 有人推定牠的電器官或許是皮膚中腺的形體 (棍狀細胞) 所分化的 (夫利什)。(四·七八二)

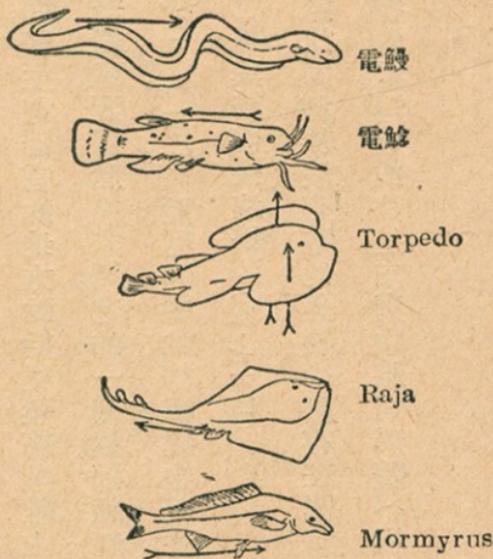
G 電氣魚的放電 各種電氣魚所發的電動力的方向, 如第三十五圖所表示, 依着電器官的

部位與電板的排列而定。許多電氣魚，牠的放電處，是在電板與神經連結的地方（巴契尼 Pacini 氏法則 1852）；但是電鯰卻相對的。（二·三·一七三）

因為電動力的大小，常依種種的條件而異，所以不能十分正確明瞭，惟大致略如左表：

電鯰	六五〇——八六六 V	（愛滯弗密德）
電鯨	四〇〇——四五〇 V	（克累麥）
Tor edo Marmorata	七〇——八〇 V	（克累麥）

第三十五圖



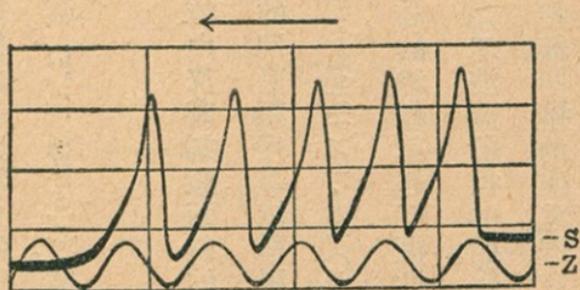
電氣魚放電方向模型(Garten)

Astrape	三〇A	(藤教篤)
Raja, Mormysus	Torpedo 十分之一	(巴谷、桑得松、哥赫、賈爾登)

淡水產的鰻與鯰，發電力極大，海水產的 Torpedo 等，發電力不很大，這是有趣味的事。至於有效電流的強弱，兩者沒有十分差別。

電氣魚的放電，曾經多數學者加以研究。電氣魚放電，有一個特徵，就是所發生的電流是單相性的。電動力的方向，常一定的。二相性動作流，如前面所說，是發源於興奮的傳導，所以電器官的放電是單相性，就是表示電器官中沒有興奮傳導的事。換一句話說，造成電器

第三十六圖



電鯰的放電

S 電變動 Z時間  $\frac{1}{148}$  秒

官的每一片電板，它們的動作，好像是各各獨立的發電器。因此，拿出體外的電器官放電，可以看作那時候正在動作的器官部的局部的興奮（哥赫及部區 G. J. Burch）。這是生理學上有興趣的一個問題。（一·八九六）

電氣魚的放電，在正常態時，是反復性的，普通都是依由皮膚刺激而起的反射開始放電。這事按着筋神經的固有拍節考慮起來，很有趣味。至於反復的回數頻度等，依種種的狀況，而不一樣；Torpedo 能殼繼續放電二千回（愛楞弗爾德 W. Eilentfeldt）（一·六一〇）

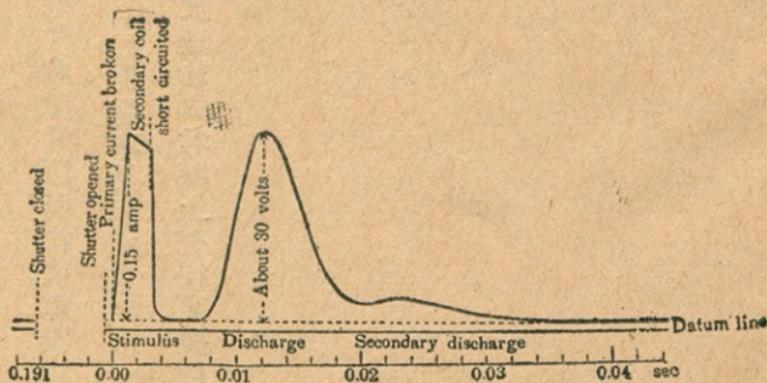
將拿出體外的器官加以直接刺激，或者刺激它所屬的神經，就起反復性的放電，但有時候，亦看見一回性的放電。第三十七圖所表示的，是藤教篤氏用示波器所得的曲線。像圖中的現象，是在短時間潛伏期之後開始放電。加刺激於電器官所屬的神經，間接的使電器官放電，則除卻神經傳導的時間外，大都看見 ○·○○三——○·○○五秒的潛伏期，但在直接刺激時，有時候也看見同樣的潛伏期。以斷絕筋與神經間的連絡為特徵的藥品「克辣力」不但作用很鈍，並且在大量使用這藥品，而發現效驗時，就是直接刺激亦同時無效，所以有人估量電器官在直接刺激時，與電

板相連接的神經末端（二·三·一八四）也受刺激的。依據藤教篤氏的想定，每一個電器官原體，它的放電的時相，是各不相同的。那顯露在外面的，可以當作它的總和。（註：就於神經與筋的動作流，這種事實，也應當考慮到。）

電器官的放電受溫度的影響，與筋與神經的動作流等一樣的，所以它的時間的經過等，依着溫度的高低，大有緩慢與急速的差異。（四〇）放電達到最高值的時間就是所謂上昇時，爲數 *Sigma*，而下降枝比它稍長。

從電器官的構造與它的發電力計算起來，則每一個電板的發電力，大約是  $0 \cdot 05 \text{ V}$ 。一個有八V，與筋的動作流的大小，次序相同，這是一個有趣

第三十七圖



電魚 (*Astrape japonica*) 的放電 (藤)

味的問題。(一·九〇八)

電氣魚的特異點，就是牠的筋神經，尤其是電神經，對於電的刺激的閾值很高。電器官自身電的刺激的閾值也很高。普通稱這事爲一種免疫性 Immunity，但這不是很適當的稱呼。(三五)

電器官的大部分是水分，與筋不同，含鈉比鉀多，這事實，於理論的考察上有很重要的意義。

## 後篇 理論的考察

### 第一 靜的現象

生物體是一種物理化學的系統。所以生物體中發電的機序，可以說就是物理化學的機序。維持生物體的機構 (Organisation) 需要化學的勢力變換，同樣的，發電的勢力的根源，也必需化學的勢力變換，但所貯蓄的勢力，將化學的勢力變換為電的勢力，它的機序，就是物理化學的機序，這是一般學者所推定的。但生物體中的金屬，不當作金屬而存在，所以生物體的發電，應當是無金屬性的。古時候在無機界，不大知道無金屬性的發電的一件事，所以對於生物體的發電，不免有驚異之色，現在跟着物理化學的進步，再依生物學家的研究，於是乎與生物體的發電相類同 (Analog) 的發電的樣式，在無機界到處都明白了，因此，關於生物體發電的理論的考察也非常進步。不過

現在所已經知道的，僅僅到物理化學的類同爲止，至於發生的機序，還沒有明白。

說起物理化學的非金屬性發電，就明瞭在何處一定起游子分配 (Verteilung) 的不均勻，這不均勻的分配在何處一定是非對稱 (Asymmetrie) 的。所以在對於生物體的發電加以理論的考察時，不得不先闡明這非對稱在何處及非對稱是如何的等等問題。

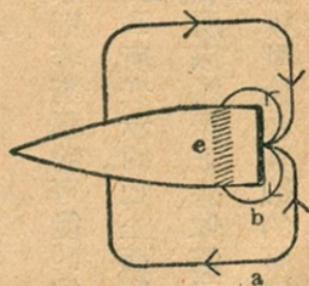
從古時起，早已爲一般學者所考慮的，有兩個問題：一個，就是這種非對稱，是否在發電以前，存在生物體器官裏面，到了達到某過程的時候，纔顯露出來的（既存說 Präexistenztheorie）；一個，就是這種非對稱，是否在發電的當兒同時生成的（生成說 Formationstheorie）。這兩個問題，到現在還沒有充分決定。

赫爾曼氏 (二四·三三七) 曾發明落下斷流器 (Fallrheotom)，觀測筋負傷後負傷流未達到它的最大值以前，有大約  $0 \cdot 0005$  秒的間隔，而主張生成說。而柏恩斯泰恩氏應用類似的測定法，查得這個間隔不到  $0 \cdot 0003$  秒，以爲赫爾曼氏觀測所得的，是屬於實驗錯誤的範圍，所以不能就當它是負傷流的生成時間。其後，賈爾登氏 (二五 a) 用毛細管電流計描記負傷流的生起，在將

筋冷卻的時候，電流發展十分緩慢，它的緩慢程度，甚至於我們的眼睛也可以看見。例如將筋冷到攝氏一度時，它的間隔大約有 $0.005$ 秒。但是幾年前，法爾(G. E. Fahr) (一七a)氏曾用絃線電流計更施精細的測定，他所得的結果，據說，負傷與電流發展之間，沒有可以看得出的間隔。

在這樣實驗的時候不得不考慮的，就是將筋創傷時跟着興奮（是依機械的刺激而起的）而發生的動作流。因為從負傷部發起的動作流的方向，在負傷的一瞬間，與負傷流的方向相同的，所以即使在負傷的一瞬間發現電流，也不能就將它看作負傷流。因為負傷部所起的興奮是從負傷部向無傷部進行的（賈爾登）（五·一八七）又因為在這時候對於應當起於負傷部的電位差，成爲反對的電位差，起作用，減殺負傷部的電流，所以負傷部電流的發展雖然緩慢，但是不能說負傷流的發展也一定是緩慢的。如荷夫曼氏(P. Hoffmann) (一·七〇七)所說，這種實驗，一向祇行於反應快速的骨骼筋，似乎很少趣味。就於神經，亦未曾同樣的加以研究。

第三十八圖



切斷實驗模型

a 負傷流    b 動作流  
e 興奮部    (橋田)

近時俄羅斯豪德氏 (六〇——六二) 等，將 *Nictia* 細胞的一端切斷，或用迷蒙精殺死，看見那部分對於另外一端的外壁，爲陽電性，但這種變化，緩緩的達到最大值，並且緩緩的向正常端進行，而逐漸消失，名這種變動爲死波 (Death wave)。到底是依着切斷等而生負傷流呢，還是動作流與負傷流同時發生的呢？這問題至今未曾明白。但是對於向來 (八·八七八) 二三學者將筋神經等的負傷流看作由持續性興奮而起的一種動作流，卻是很有趣味的問題。

其次不可不考慮的重要問題，就是決定電的非對稱在那裏。有時候，有人以爲這電的非對稱，或者是多數的非對稱的混合者，亦未可知。但是從可以將電流誘導到外部的一點想起來，可以知道在這時候，多數的非對稱，可以拿一個非對稱換置之。

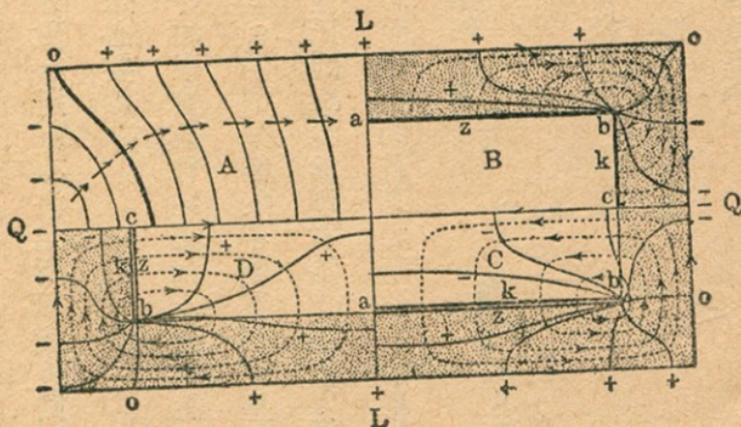
如果從筋的負傷面對於正常面爲陰電性的事實推測起來，則非對稱的可能的位置不一。例如把正常面看作正帶電，把負傷面看作負帶電，則像第三十九圖 A 所表示的。如上面所已說過的，負傷流誘導的時候，負傷部的四周圍，有一種起分流作用的媒質，所以實際上是像第三十九圖 B 所表示的，它的等電線與電流線，像圖中所畫的樣子。但是與這個模型極相類似的等電線與電流

線的配布在如第三十九圖C的非對稱時，與第三十九圖D的非對稱時，都可以看見。

在第三十九圖中不可不注意的重要事件，就是等電線O的位置在B.C.D.稍許有些不同。據前篇所述的克勒勃、薩布米愛、維慈諸氏的研究，電位的O點，就是與離筋較遠之點的電位相等的電位之點，在靠近負傷面的正常面，這是很可注意的事。這種事實，與第三十九圖模型圖D的現象差不多。這個模型圖，是根據赫爾曼氏（一五·二二八）的研究結果，不過它的電位線，與克勒勃、薩布米愛、維慈二氏所追跡的不同。這種

第三十九圖

電的非對稱部位 型

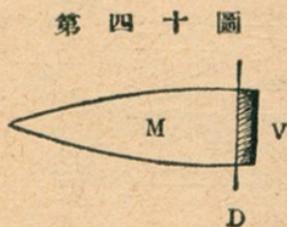


L 無傷正常面 Q 負傷面 Z 正帶電的面 K 負帶電的面 a b c 筋及神經的實質 (Hermann)

研究，自從赫爾曼氏以後，未曾有人行過。所以今日必須再加詳細的研究。

總之，可以當作負傷流的原因的非對稱在什麼地方，現在還沒有決定。所以我等關於這一點，無非從推論上加以估定而已。在這種地方，學說的批判，是必要的。

赫爾曼氏 (1876) 曾經努力考察他的模型圖中 D 的事實。他曾主張如上面所說的生成說。(一五·二三五) 赫爾曼氏說被刺激性形體的變質 (Alterieren) 部分對於不變質部分是陰電性，依據這一點，來解釋生物體的發電。所以一般學者稱赫爾曼氏的學說為變質說 (Alterationstheorie)。(一五·二三五) 照變質說，則負傷流是發源於因負傷而發生的電動力，所以一般學者以為，這種電動力在負傷將死的部分與正常部的限界上。例如第四十圖，M 是負傷筋，V 是它的負傷面，那末電動力的位置，就是在 D 的地方，於是名負傷流為限界流 (Demarkationsstrom)。那將死的部分，就是赫爾曼氏的所謂變質的部分。但赫爾曼氏不明瞭這種所謂變質的物理化學的意義。二三學者以為變質就是因負傷時



表示分界流所在  
的模型 (橋田)

所發生的筋內物質例如酸等而起的放散電位，不過不能彀靠此來充分理解事實。(五·二七四)

依據變質說，就不能充分圓滿鹽流的解釋。在鹽類溶液浸着的部分是陰電性時，雖可以將該部分看作變質部，而加以透徹的說明；不過鹽類溶液浸着部分如果是陽電性，那就完全不能理解了。

反之，柏恩斯泰恩氏 (1902) 是主張既存說，研究前的模型圖 C 的現象的。這種學說，名為膜說 (Membrantheorie)。其後，胡末爾氏 (1906) 維持柏恩斯泰恩的學說，該說纔被許多學者所採用。它的主要理由之一，就是因為估定非對稱的生因物理化學的意義容易理解。(二·八七)

俄斯特發爾特氏 (W. Ostwald, 1899) (五) 因為看見亞鐵氰化銅  $[\text{Cu}_2 \text{Fe}(\text{CN})_6]$  沈着膜 (Niederschlagsmembran) 通過 K 游子，不通過  $\text{SO}_4^{--}$  等現象，以為如果某物質所成的相 (Phase) 透過某游子而別的游子不通過，則該相兩側有某鹽類溶液存在時，就生雙層電 (elektrische Doppelschicht)。俄斯特發爾特以為筋等的成形原體如果以具有同樣性質的相被覆着，則負傷流的生成原因，就可以理解。其後，依罕爾發 (Q. Walden) (七五) 塔曼 (G.

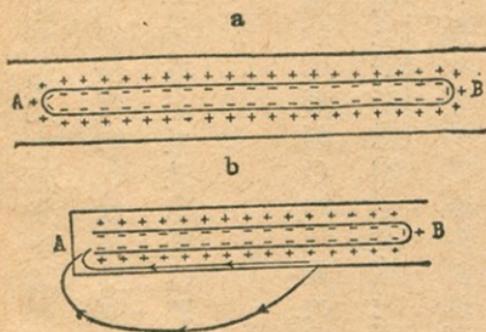
Tamman) (七一) 等的研究，纔明瞭沈着膜透過性的機序不是如此簡單的。因此，俄斯特發爾特 氏的理想根據便失掉；但柏恩斯泰恩氏仍採用這思想，藉以立說。

柏恩斯泰恩氏的膜說，是假定凡看作包圍生物體細胞的形質膜 (Plasmahaut) 都是半透過性的，所以在含在器官成形原體中（就是原形質中）的鹽類游子中，具有祇通過某陽游子別

的游子概不通過的性質。這樣的性質，叫作選擇的不透過性 (selective Impermeabilität) (註：讀者不要忘記，所謂形質膜，並非說另外有一種膜，在形態學上，可以與別的原形質分離的，不過是說桑該爾氏 (H. Zangger) (八〇) 所謂官能的膜 (funktionelle membran) 或膜的官能 (membranelle Funktion) 在原形質的表面看見而已)。

如果上面的假定成立，則當陽游子從形質膜的裏面流出外面時，為維持電的中立起見，必牽引陰游子而緩緩移動，但因陰游子不能流出膜外，所

第四十一圖



依據膜說的筋電位

a 正無傷筋纖維

b 在 A 端割斷的筋纖維

(Bernstein)

以陽游子流出膜外，陰游子留在膜內，在膜的兩面發生雙層電。例如第四十一圖的A B是筋纖維，在沒有負傷的時候，發生雙層電，如a圖所表示的狀態，但是筋的全體的表面應該是等位電。如果使筋的一部分受創傷，有膜被覆着，則變為b圖的狀態；膜的裏外的電位差，似乎可以因着經過負傷部而變為平均(Ausgleich)，就是雙層的電位差可以誘導到外面，這就是負傷流。這就是膜說的質的表示。

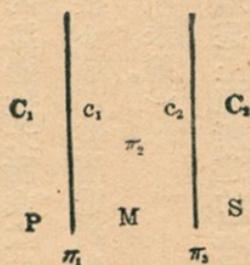
依據膜說，可以很透徹地解釋鹽流。如果浸觸部是陰電性，那末該部膜的透過性大，所成立的雙層電的電位差顯現在外部，如果浸觸部是陽電性，那末該部膜的透過性很小，該部雙層電的生成，比較高度。有人以為這種透過性的變化，是由於形質膜的膠樣性變化（胡未爾）。

這個學說，很有興趣，而且是很便利的，但是還有不可不先加考察的事，就是上面所述的假定，可不可以容許。雙層電既是依上面所述的機序成立的，則游子不能設在有限的距離內分離，因此，依着膜說而推想出來的膜不很厚，或者即使稍厚，亦應當是可以與分子的大小相比擬的。如果事實果真是這樣的，那末雙層電結局出現於原形質的相界，膜的選擇的不滲透性的意味，很不徹底。

普通書裏對於這一點，敘述得很不徹底。將膜子細考察之後，既知道雙層電的成因，如上面所述，則不獨原形質與膜的界上成立雙層電，就是形質膜與外部組織液或代用液之間，也一定成立雙層電。因此，負傷流的電動力，必定是生於這兩面的電位差。

柏恩斯泰恩氏，曾在實際上，以這種意味，作理論的考察。如第四十二圖中所表示的，P是細胞內原形質，M是形質膜，S是組織液，C<sub>2</sub>是P、S所含的共通游子（或鹽類的）的濃度。形質膜靠近細胞內原形質與組織液的部分在相當於C<sub>1</sub>C<sub>2</sub>部分，應當分配游子。它的濃度是C<sub>1</sub>C<sub>2</sub>。在這樣的系統裏，發現三種電位差，一看就可以明瞭。所謂三種電位差，就是P與M之間，M的裏面，M與S之間，是也。如將這些作為π<sub>1</sub>、π<sub>2</sub>、π<sub>3</sub>，則

第四十二圖



$$\pi_1 = \frac{RT}{nF} \log \frac{C_1}{c_1}$$

$$\pi_2 = \frac{RT}{nF} \frac{u-v}{u+v} \log \frac{c_1}{c_2}$$

$$\pi_3 = \frac{RT}{nF} \log \frac{c_2}{c_1}$$

這裏的  $u$  與  $v$ ，是關係於機序的陽游子及陰游子的移動率， $n$  是它的價。如果適用納恩斯特氏的分配法則，則  $C_1 - c_1$  與  $c_2 - C_2$  是相等的，所以  $\pi_1$  與  $\pi_3$  是相等的，不過它的符號是反對的。因此，全系統的電動力，結局祇有  $\pi_2$ ，就是與膜內祇有擴散電位的同價。如果假定這膜祇有陽游子可以通過的，就是  $\Delta = 0$ ，則為

$$\pi_2 = \frac{RT}{nF} \log \frac{C_1}{C_2}$$

這與隨着細胞內外鹽類溶液的濃度而起作用的一種濃淡電池 (Konzentrationszelle) 同價。

在實驗的測定負傷流時，將正常部與負傷部接觸不極化電極，因為不極化電極與濃度與細胞外圍的溶液相同的溶液同價，所以這時候的連接，如第四十三圖所示，在負傷面與不極化電極

之間，發生擴散電位。假定細胞之中，游子的移動率，也是同樣的  $u$  及  $v$ ，則全系統與有輸送的濃淡電池 (Konzentrationsskette mit Überführung) 同價，所以全系統的電動力為

$$\pi = \frac{RT}{nF} \frac{2n_1}{u+v} \log \frac{C_1}{C_2}$$

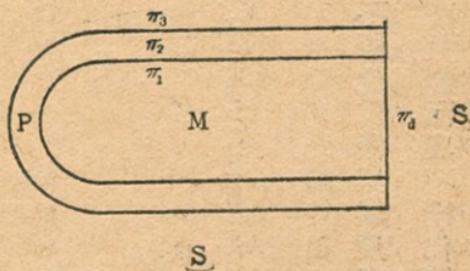
這就是柏恩斯泰恩氏膜說的量的表示。為要肯定前面所

述的質的表示起見，不可不探討這量的表示的妥當性。

首先亟須考慮的事，就是這量的表示的由來，所謂  $\pi$  的假定，已被容許到甚麼地步。在細胞內外的各種鹽類的濃度各有差別，是無人不知道的事實，然而在另一方面，細胞內外的鹽類互相交換，也是事實。我們應當以甚麼意味看作  $\pi$  的？這是要肯定柏恩斯泰恩氏的膜說時所不得不細考慮的。

向來這樣的類同，在無機界中從未曾看見過，這事實使膜說的存立感到極大的困難。但晚近

第四十三圖



因密卡挨利斯 (L. Michaelis) (五三)(五四) 藤田等諸氏唱道可以看作有類似醇精火棉膠膜的物理化學的性狀，所以有許多學者以爲已經給與膜說以不可動搖的根據。例如拉培斯 (四三)(四四)(四五) (Lalbes) 薩蔭 (Zain) (七九) 等，應用醇精火棉膠膜，製造種種生物體發電的模型。但不能說醇精火棉膠膜的性狀，與膜說所要求的膜，是一個樣子的。密卡挨利斯與藤田等的理想，不足以靠它來表示膜的兩面所起的電動力生成的機序，不過是關係電位的一個假說，不但如此，就是醇精火棉膠膜的電位，亦不能僅從密卡挨利斯與藤田等的理想來理解。醇精火棉膠膜的問題，雖然是興味很深，但是作爲膜說的根據的意義，還沒有十分明瞭。

考究柏恩斯泰恩氏膜說的可能性時，不可不探究的量的關係，有如從上面所述的量的表示直接理解的兩個樣式。其一，就是電動力與溫度的關係。柏恩斯泰恩氏從膜說推究起來，證實當與濃淡電池等價的負傷流的電動力，與絕對溫度成爲比例。(二·一〇三) 如前所述的筋的負傷流，雖與正常面的溫度共大，但非但膜說所要求的量的關係可以適用的範圍不廣，並且在溫度昇到某程度以上時，電動力反而減少。這種事實，就表明負傷流的電動力除卻當作濃淡電池的關係以外，

在考慮別的生理學關係時即不能理解。所以不能設從溫度與電動力的關係主張筋負傷流應當與濃淡電池同價的。柏恩斯泰恩氏及徹馬克氏 (A. Tschermak) (11·116) 曾經在電氣魚發電時實驗不發熱的事，作為「電氣魚的電器官就是濃淡電池」的論據；但邁爾荷夫氏 (511) (O. Meyerhof) 的議論，則說不一定是這樣的。例如在發電的時候，同時器官裏面發起吸熱性 (endothermisch) 物質變換，在這時候，發電即使是發熱的 (exothermisch)，但它的外部決不顯現發熱現象。從筋神經等的興奮過程加以推測，則電器官裏面吸熱性物質變換進行的可能性極其充分。(1·9111)

討究膜說的量的表示的妥當性，除此以外，還有別的途徑。如柏恩斯泰氏從誘導所窺見的，因  $C_1$  是細胞裏面的鹽類濃度，所以可以看作不變的；但因為  $C_2$  是外液的濃度，所以可以選擇適當的方法與適當的對象，使它多少起種種變化。在膜說裏，要求在這樣變數的  $C_2$  與  $\pi$  之間有對數的關係。同時，膜說又要求祇關於濃淡電池或一種游子是可逆的。

外液的濃度與筋負傷流的電動力的關係之質的檢討，已由布律寧斯氏 (Brünings, 1907)

(九) 試過了例如將筋浸於等張的蔗糖液或攪蔗糖液而等張的淡食鹽液等或高張的鹽類溶液高張的蔗糖液等，以增減筋質的水分，將筋纖維裏面的鹽類溶液的濃度放大或縮小到想定的程度，結果，負傷流的大小不發生變化。即使在未浸到液體以前，就將筋的一部分浸在水中，使起水硬直 (Wasserstarre)，將這部與正常部連結起來，也沒有電位差 (俾得曼 1885) (四·三〇五) 在行這種實驗的時候，將負傷部就是異常部與正常部連結於不極化電極，它的接觸部所發生的擴散電位，能使實驗的成績受種種影響，所以在事實上是極有趣味的問題；這於探究膜說的當否，可以算得有力的參考，但在膜說的批判上，還覺得不充分。

就於神經，麥克諾爾德氏 (Macnold, 1906) 曾改變浸液的濃度，而得到下面的關係。如果浸液的濃度是 C，則負傷流與電動力之間，有

$$\pi = K \log C$$

的關係，但是這種實驗，對象的關係上，還不能說它充分。(四·四八)

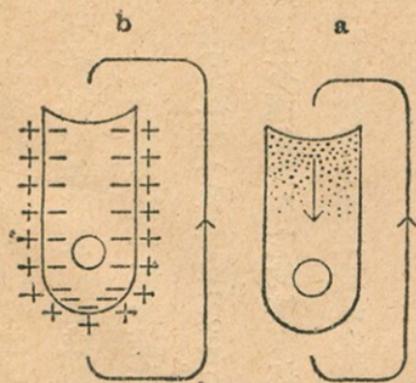
就於皮膚流等的成因，赫爾曼氏以為，如前所述的一切，都是分泌流。它的實質 (Substrat)

腺性形體中的原形質，在靜止狀態時，它的基底部（Basal）不變質，在靠近表面的部分，原形質就變質而為分泌物。所以如將兩部（基底部與靠近表面的部分）施電的連結，則變質部分對於不變質部分是陰電性，就是發現向內性的電動力。這便是赫爾曼氏的解釋。但與對於負傷流同樣的物理解學的解釋，則完全缺乏（參考第四十四圖 a）。柏恩斯泰恩氏以為，腺性形體並非全部為膜所包圍，它的外表面是開放的。他是依膜說來解釋向內性靜止流的（參考第四十四圖 b）。但是對於不但兩者電動力的大小都依外部浸液的種類而異，並且方向亦有變化的事實，則不能解釋。

加利俄提氏（Galieotti）（114）曾檢驗

對於蛙皮各種鹽類的動電性效果，見 N<sub>a</sub>。從外面向裏面通過，而不從裏面向外面通過。當這性質是蛙皮電動性的原因。但是一般學者不承認蛙皮有如此單一方向的選擇性透過性（福田、渡

第四十四圖



盃細胞靜止流成因機序模型

a 根據變質說的模型

b 根據膜說的模型（橋田）

邊) (二二)

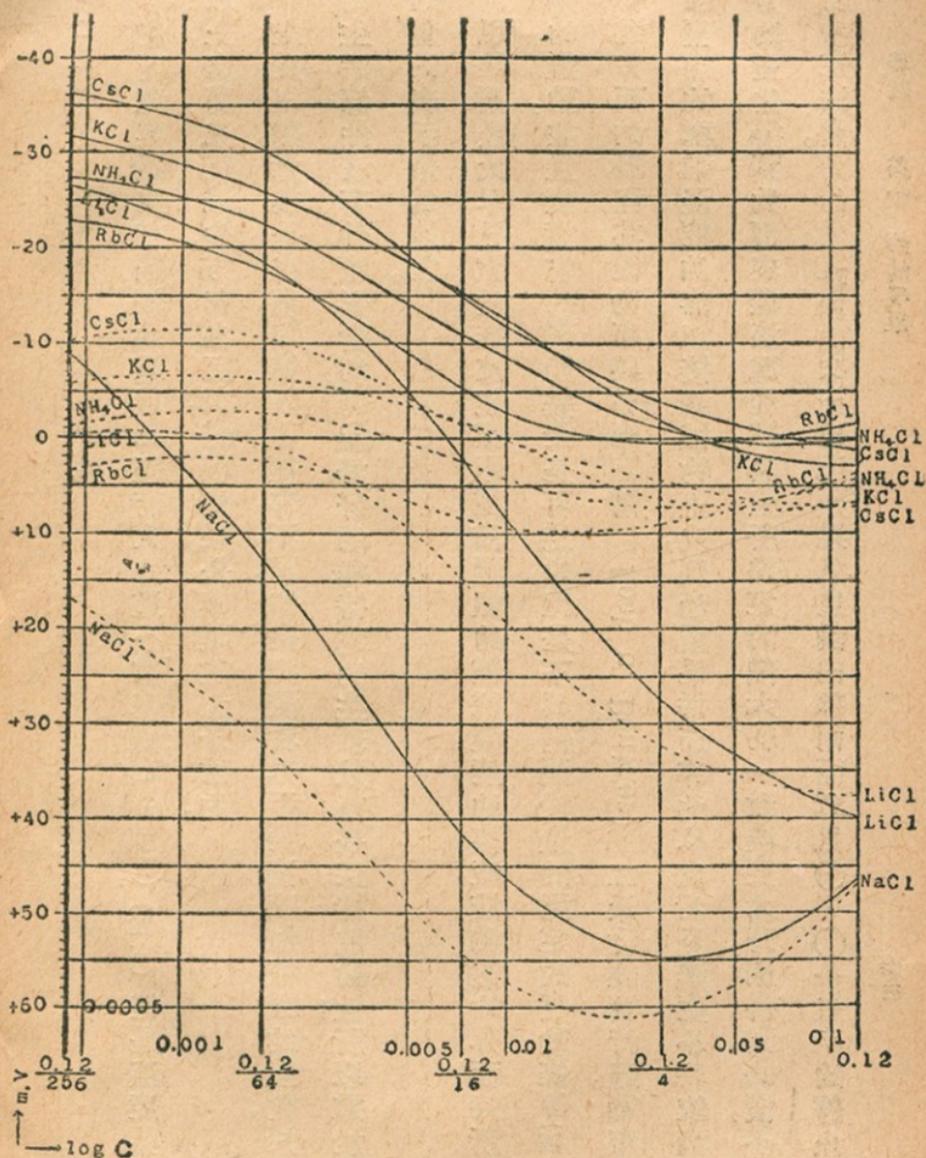
皮膚流與溫度有關係的，這事已經有人知道（雷塞爾 Lesser）（四六）但是溫度昇到某程度以上，皮膚流反減少，方向也反對，這種結果，是與膜說相矛盾的。

上皮組織，尤其是皮膚，與筋及神經等不同，即使把浸着外面的溶液加種種的變化，於皮膚內的生活條件沒有什麼影響的，仍能好好的維持它的生理狀態，長保持電動性；所以這於檢證膜說的量的表示，最為適當。

恩該爾曼氏早已就於蛙皮，觀察用種種鹽類的種種濃度的溶液浸觸它的外面時所起的電動力的變動，並且證實它的變動完全是可逆的，但是不具備關於量的測定的實驗條件。（四三）

這方面的研究，其後勒布與霸德納爾（Loeb u. Beutner）二氏曾經實行過。勒布氏等，將種種鹽類的種種濃度的溶液接觸植物上皮，例如蘋果番茄等的外皮，看見濃度小時，依濃度與電動力的變化，得到的價，與濃淡電池理論上所豫定的價大約一致，濃度大時，則得到的價，小於理論上所豫定的價。例如用  $\frac{1}{10}m$   $KCl$  誘導蘋果外皮的内外兩面，看見  $0.015V$  的靜止流，變化

第四十五圖



表示蛙皮的鹽類效果及濃度效果的曲線

黑線 實測值 點線 除去擴散電位差的訂正值 (橋田)

接近外面的液的濃度，得着如第一表的價。(四·二三九)  
 就是將外液稀釋五倍時，平均增加電動力 $0 \cdot 03$   
 三V。因為理論上所豫定的價是 $0 \cdot 040$ V，所以  
 可以看作兩者很相近的。

勒布與霸德納爾二氏說，曾用林加氏液浸蛙皮  
 的裏面，將外面的林加氏液稀釋成種種的分數，測裏  
 外兩面之間的電位差，但是結果，仍看不見規則整齊  
 的關係。橋田氏(二七——二九)曾經用林加氏液浸蛙

皮的裏面，用種種鹵鹽類的種種濃度的溶液浸它的外面，精密地測定裏外兩面之間的電位差，得  
 到規則極整齊的關係。第四十五圖，就是表示外液的濃度與電動力的關係的曲線。照這樣看來，可  
 以知道鹵金屬鹽類以陽游子的作用為主，分爲電動效果大的 $\text{Na}$ 、 $\text{Li}$ 與電動效果小的 $\text{K}$ 、 $\text{Rb}$ 、  
 $\text{Cs}$ 、 $\text{NH}_4$ 兩羣。不管它是那一羣，凡在 $\frac{1}{40}$ 附近的濃度，電動力達到最大價；如果濃度再大一點，電

第一表

內	外	
$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{10}$	0.015
$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{50}$	0.046
$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{250}$	0.080
$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{125}$	0.111
		0.031
		0.034
		0.036

動力反而減少。效果大的鹽類溶液，固然無須說得，就是效果小的鹽類溶液，那將蛙皮電動性看作濃淡電池時可以豫定的關係，就是 $\pi$ 與 $10^5$  C 的直線的關係，也不過祇在狹窄範圍中可以算作妥當罷了。因此，拿濃淡電池來解釋電動性的原因時，不得不考慮種種的事實。這些事實，如果再加添補助假定，未嘗不可依膜說來解釋它，但是這裏有一個很重要的問題。

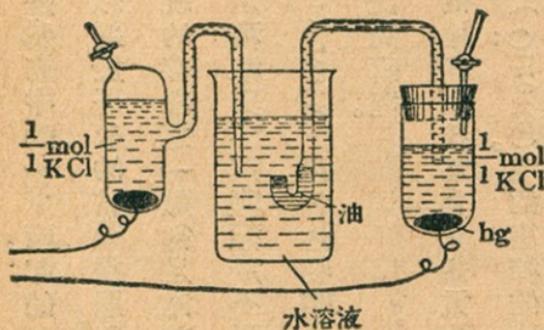
像上面所說的鹽類的種類與電動力的關係，叫作鹽類效果 (Salzefekt)；電動力與鹽類溶液濃度的關係，叫作濃度效果 (Konzentrationsefekt)。這鹽類效果及濃度效果，就於多數的鹽類，它的效果有大有小，(七)(三四)(六四)(七〇)範圍很廣。不但這些鹽類溶液裏面所含的各種陰游子是可逆的 (reversible)，就是各種陽游子，也一樣是可逆的。這一件事實，如果要將濃度效果看作在濃淡電池的效果，那是對於膜說的一件重要的矛盾事實。猶如密卡挨利斯等就於醇精火棉膠膜的理想，至於假定的適當與否，那是另一件事。若假定膜對於所有一價的陽游子，是不透過性，雖多少可以消除這個矛盾，但因為這時生物體細胞的裏面外面，有含着許多種類不同的一價的陽游子的鹽類溶液存在着，所以像柏恩斯泰恩所考察，以簡單的擴散電位為其出發點，就變為沒

有意義的事了。關於這事，普蘭克(Plank)亨得松(Henderson)等，從擴散電位的式出發；考慮近時發達的強電解質的活性(Aktivität)問題，而進行考察，這真是很有意義的事。關於這個問題，拉培斯氏(四三)曾經發表過有興趣的企圖。

其次，把問題的觀點轉移一下，就於多數的游子，探究那顯示可逆的鹽類效果濃度效果的物理化學的系統實際上到底是有的呢還是沒有的呢，這在生物體發電問題的解釋上，是一件重要的事。

一九〇八年，哈柏氏(Haber)發見玻璃與酸或鹼溶液接觸時在它的相界上發生電動力，名之為相界電力(Phasengrenzkräfte)。據哈柏氏的考察，則相界電力，是與從前納恩斯特及利孫弗爾德(Riesefeld)所發舉的混合結晶(Mischkristalle)與鹽類溶液之間的電動力同樣，在某游子常於一定的濃度含有在接觸的相的一

第四十六圖



「油」電池模型(Beutner)

方面尤其是在定質相中時發現的。哈柏氏推想筋的負傷流也許是爲筋中的H<sub>2</sub>而起的相界面。因哈柏氏的相界面，祇有就於定質相中的游子是可逆性，所以這於吾等的當面問題雖不直接接觸，但於表明除濃淡電池以外表示濃度效果的物理化學系統的存在這一點，卻是意義很深的。在這方面更進一步的，是克累麥的研究。克累麥氏發見在鹽類水溶液與溶解鹽類於不混和水的液體中的相界上發生電位差，名之爲二相性電池 (biphasische Kette)，以爲生物體的發電根源 (1·1011) 是在此。在這方面表示顯著進步的，是霸德納爾氏的研究。

霸德納爾氏曾將各種鹽類的水溶液接觸不混和水的液體的兩側，將後者與正規電極 (Normalalektrode) 連接。霸德納爾氏稱這樣的系統爲「油」電池 (Ölkette)。它的實際的連結，像第四十六圖所表示的樣子，如果依模型的將它表示出來，則爲如左的連結

a 電極——水溶液第一——「油」——水溶液第二——電極

b 電極——濃度一定的水溶液——「油」——濃度不定水溶液——電極

第二表 a 型「油」電池第一溶液  $\frac{m}{10}$  NaCl (四.二六)

第二液		「油」		
		m-Kresol	Gnajakol	Salizylaldehyd
$\frac{m}{10}$	NaCl	0.0	0.0	0.0
$\frac{m}{10}$	Br	-0.002	—	—
$\frac{m}{10}$	NaNO <sub>3</sub>	+0.012	—	-0.000
$\frac{m}{10}$	NaSCN	+0.025	—	+0.015
$\frac{m}{10}$	Na-salizylat	+0.072	+0.084	+0.035
$\frac{m}{10}$	Na-Benzozat	+0.056	+0.057	—
$\frac{m}{10}$	Na-Oleat	—	+0.095	—
$\frac{m}{10}$	KCl	-0.011	-0.011	-0.024
$\frac{m}{10}$	NH <sub>4</sub> Cl	-0.034	-0.002	—
$\frac{m}{10}$	Anilin-HCl	-0.087	-0.059	-0.070
$\frac{m}{10}$	Monomethylanilin-HCl	—	-0.075	—
$\frac{m}{10}$	Dimethyl-a ilin-HCl	-0.138	-0.091	-0.110

當油使用的，是 Guajakol, Kresol, Salizylaldehyd 等有機化合物。a 型的「油」電池，  
 後篇 第一 靜的現象  
 七九

與筋的鹽流相類同，可以檢索鹽類效果，就是將第一水溶液作為一定濃度的一定鹽類溶液，將同一濃度的種種鹽類溶液當第二水溶液用時；b型的「油」電池，就像測定蛙皮的濃度效果，時將一方的溶液以一定的濃度放置之，而變化他方溶液的濃度的時候。就於這「油」電池得着如下的數值（觀第二第三兩表）。

第三表 b型電池（四·六九）

		$\frac{1}{10} \text{KCl} \cdot \ddot{\text{O}} \cdot \text{Toluidin} \cdot \text{KSCN}$	
KSCN			
$\frac{1}{10}$	129.5		
$\frac{1}{50}$	99.5	>	30
$\frac{1}{250}$	63.5	>	36
$\frac{1}{1250}$	26	>	37.5
$\frac{1}{6250}$	-18	>	44.0
$\frac{1}{3225}$	-62	>	44.0
$\frac{1}{6250}$	-18	>	44.0
$\frac{1}{1250}$	25	>	43.0
$\frac{1}{625}$	58.5(?)	>	33.0(?)
$\frac{1}{50}$	97	>	39.5
$\frac{1}{10}$	129	>	32.0
$\frac{1}{2}$	158	>	27
$\frac{1}{2}$	183	>	27

在別的連結裏，也常看見類似的鹽類效果及濃度效果。松尾氏（五〇）就於拿鞣酸蛋白質沈

第四表(1) 以  $\frac{n}{10}$  KCl 爲標準時

	中 性	鹼 性	酸 性
$\frac{n}{10}$ NaCl	+25.2	+ 120	+1.7
$\frac{n}{10}$ LiCl	+27.5	+25.5	+1.4
$\frac{n}{10}$ (Ca <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub> ) <sub>4</sub>	+31.4	+21.8	+4.1
$\frac{n}{10}$ CaCl <sub>2</sub>	+44.5	+36.0	+12.5

第四表(2) 以  $\frac{n}{10}$  J 爲標準時

$\frac{n}{10}$ NaSCN	-13.4	- 105	-5.4
$\frac{n}{10}$ NaBr	-1.0	+3.9	-5.7
$\frac{n}{10}$ NaCl	+6.0	+9.4	-6.3
$\frac{n}{10}$ Na-Sal	-13.8	-3.0	-20.0
$\frac{n}{10}$ Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-22.2	-12.7	-20.4

着膜代「油」的蛋白電池 (Eiweisskette) 蒙德氏 (Mond) (1.104) 就於拿膠固的膠或從馬血清裏提出來的「俄伊格羅潑林」沈着膜代「油」的蛋白電池, 探究各種鹼鹽類或膜的酸鹼反應等的電動性影響, 都說是拿來作生物體電流模型, 比「油」電池還要好些。

據蒙德氏的研究, 就於「俄伊格羅潑林」沈着膜, 得如第四表(1, 2)的結果。

霸德納爾及美尼托夫 (Menitorf) (E.C.) 在以石花菜、澱粉、高嶺土等作中間導體 (Mitteleiter) 的連結上，亦看見同樣的效果。

拿如此種種連結當作生物體發電的模型時，無論那一種電池，尤其是「油」電池與蛋白電池，各各顯示與生物體發電相類同的性狀，從這種事實上，不難推察生物體發電的電池的連結是比較複雜的。在生物體中爲「油」的工作者，似乎是如霸德納爾氏所想像的類脂肪體。

霸德納爾氏就「油」電池所看出的重要事實，是游子作用的獨立性 (Selbstständigkeit) 例如第五表 (四·一〇五) 所示。

橋田氏就於蛙皮看見類同的事實，亦是很有興趣的一件事。

霸德納爾氏以爲，鹽類溶解於水與油的分配不均等，就是「油」電池電位差的成因。因爲溶解分配的分數，不依納恩斯特法則的濃度爲比例，所以油的兩側所起的相界面力發生差別，大家都稱「油」電池的電位差爲分配電位 (Verteilungspotential)。這個如克累麥 (1·10116) 所表示，各各游子上都有凡拉爾 (van Laar) (四11) 所說的游子的分配係數 (Verteilungskoeffizient)

-KCl	Guajakol	KNO <sub>3</sub>	+0.025
-NaCl	„	NaNO <sub>3</sub>	+0.025
-KNO <sub>3</sub>	„	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-0.048
+NaNO <sub>3</sub>		Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-0.046
-K <sub>2</sub> SO		KSCN	+0.081
-Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		NaSCN	+0.078
-KCl		NaCl	+0.011
-NKO <sub>3</sub>		NaNO <sub>3</sub>	+0.011
-NaCl		CaCl <sub>2</sub>	+0.053
-NaNO <sub>3</sub>		Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	+0.053
+CaCl <sub>2</sub>		HCl	-0.051
+Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>		HNO <sub>3</sub>	-0.051
+HCl		Dimethyl- anilin HCl	-0.094
+HNO <sub>3</sub>		Dimethyl- anilin HNO <sub>3</sub>	-0.094

如果認某二個性 (bipolar) 溶液中游子分配係數相乘積的平方根等於鹽類分配係數，則可以作理論上的推定，因此在另一方面，可以依此開始理解游子作用的獨立性。但所謂游子的分配係數，凡拉爾本人也曾說過，完全是假想的 (fictive)，因此，縱使在霸德納爾的分配的思想上添上根據，也不足表示「油」電池發生電動力的機序。

在「油」電池或蛋白電池的連結上，當作它的相界上應當發生的現象，首先被考慮的，就是吸着 (Adsorption)。霸德納爾的主張在「油」相中鹽類的溶解分配，不外乎要表示游子濃度或鹽類濃度的不均等起於相接觸極狹窄的部分。但因為「油」電池的發生電動力達於平衡狀態，不過極短時間，所以這時被要求的游子或鹽類分配的不均等，像霸德納爾所說，無論它是由於溶解分配，或是因吸着而起，都不過是將如賴興斯忒陰 (Reichstein) (六六) 所說的同樣事實，換一個立場看一下。

賴興斯忒陰曾提倡關於吸着的排斥原理 (Verdrängungsprinzip)，亦想根據這一點，來解釋生物體的發電。橋田 (二七) 考察上皮的成因，因為根據膜說，不能祇依包被上皮成形體內

面的形質膜的不透過性，充分的解明上皮流所見的各種現象，所以他覺得上皮的形體的表面就是普通認為露出的原形質的部分的相界電位是重要的，並且試把他的理論展開一下，引用賴奧斯忒陰的假說，如俾得曼（五）雷塞爾（四六）二氏的估定，推想蛙皮電動性的內外二重性，深覺得「吸着」不得不為重要成因之一，但是還嫌不充分。

包爾（Baur）等提倡相界電位是本於相界上的「吸着」的電位，所以名為吸着電位（Adsorptionspotential），但是反對的很多。晚近彪吉氏（Büchi）曾經考慮特巴氏（Debye）關於強電解質的學說，想從此得到理論的所依，但是還嫌不充分。（一・一〇三二）（註 所謂吸着電位的一句話，它的意義，因使用的地方不同，而大有分別，所以切不可執着字句而把意義弄死了。）

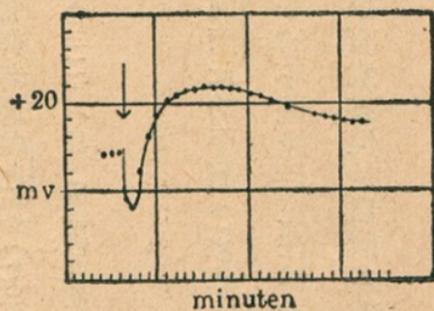
在將生物體發電作理論的考察時，還有應該考慮的就是同南氏的平衡（Donnan's Equilibrium）。不過如前所述，如密卡挨利斯、藤田等所主張的游子的不透過性，正在為一般學者所考慮之今日，使具備種種條件，來探究同南平衡的機序，固然是很有意義，但是目前多數學者，大都僅議論理論的可能性，而缺乏充分批判的事實。

在將濃度效果或鹽類效果作理論的考察時，還有一個重要問題，就是如前面所記載在鹽流的生成曲線上所發見的，又如第四十七圖的例子所發見的，依着各種情形，從極複雜的經過達到平衡狀態。(二七)(七)(六四)上面所說的理論的考察，不過僅考察這平衡狀態中的電動力而已。所以縱使關於平衡狀態的理論的考察充分完成，但在發電的問題上，還有重要問題沒有考察完畢。

以上所說的理論的考察，大致以負傷流上皮流等問題為主題；至於網膜靜止流植物靜止流等問題，還沒有加以充分考察。

我們仗着以上所述的理論的考察或它的批評的實驗而明瞭的事實，就是覺得生物體發電的時候，那廣義的膜電位、或相界電位、或兩者的結合，乃至再加上擴散電位，是發電的可能的原因，

第四十七圖



表示蛙皮靜止流時間的經過  
在——→更換接於外面的溶液  
(橋田)

結果，當生物體發電時所豫料的電的非對稱，以如克累麥所說的相界(Phasengrenze)(1.10.511)的存在爲必要條件。這時候不得不考慮的，是構成生物體的原形質，依各個的器官而不同。因此之故，從官能の意味說起來，被估定爲的確存在的形質膜的性狀，也應該是依器官而不同的，所以形質膜的一般官能，儘可以無論在什麼地方都是一樣的，但不是說至於各各細微的點，所有的形質膜都是一樣的。就是異質的相系的各相，在各各不同的地方，電的作用是相同的呢，還是類似的呢，還是不同的呢，這些問題，須等到將來的研究，纔得明瞭。我們眼前的問題，應該以精確研究各個器官本於研究所得的結果，把握全般的根底爲主眼。我們不可忘卻，檢索那屬於假定的普通性存在與否，不但沒有用處，並且即使屢次獲得有用的歸結，而在欲將所得的絲毫沒有錯誤的研究的結果加以最公平的判斷時，往往被假定所害，這是常有的事。

## 第二 動的現象

赫爾曼說，雖然有人說，動作流的生因興奮部，是同負傷部同樣的變質的部分，是負電，但這不過將事實的記載改爲別的句子而已。筋及神經的動作流的成因，可以依此而理解；據赫爾曼氏的解釋，以爲上表皮及皮膚的動作流，它的分泌過程起於腺性形體的基底部，因爲該部的原形質部是變質，所以發生與靜止流方向相反對的電位差，即向外性的電位差（第四十七圖）但是皮膚動作流依條件不同，而方向也不同，電鯰的電動力方向，違反巴契尼的法則，這些事實，完全不能從赫爾曼的說話來理解。

對於這一點，柏恩斯泰恩氏曾經附加假定來說明動作流；他的假定，就是以爲氏所假定的膜的透過性，當興奮時，發生變

第四十八圖



依據變質說之孟細胞動作流生成機序模型

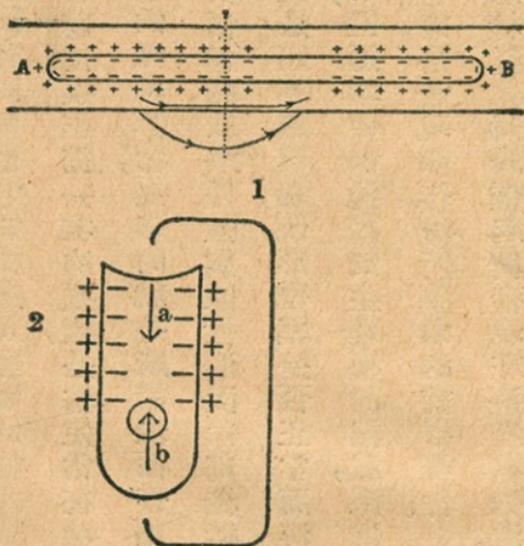
a 靜止流的方向

b 動作流的方向

（橋田）

化，能透過那不透過的游子。這就是說，在興奮部所起的變化，與膜的一部分分開成穴的一個樣子的，膜的裏外兩面所成立的電位差，顯現在外部，它的樣子，如第四十九圖所示的。他說，這不外乎動作

第四十九圖



依據膜說之動作流生成機模型

1. 筋及神經之動作流模型 (柏恩斯泰恩)
2. 孟細胞之動作流模型 a 靜止流的方向 b 動作流的方向 (橋田)

流的現象。動作流在短時間中消失掉，卻類似鹽類的可逆性，這是很有興味的問題。(二七·四三五)

依前節所述，膜說的膜，不一定與形質膜是同一物，但是多數學者的思想，以為兩者是一的，

那末，這膜的透過性，到底是不是發生像柏恩斯泰恩氏所說的變化，這不但是膜說附隨的假定，並且是生理學上很重要的問題。

生物體各器官的興奮，它的機序及發現的樣式，依它的種類而不同，這是不待說的，但是現在有許多人，以為興奮過程第一次的要因，是估定為在被刺激形體表面的形質膜的活動。被刺激形體受從外部來的種種影響，最多的就是所謂表面作用（Oberflächenaktion），這是人人所知道的。（三·一四三）興奮過程，依各種被刺激性形體內部機構（Organisation）怎樣而各各不同，是已經明瞭的事實；但是起不起興奮，依形質膜是否正常而決定，這樣的看法，似乎近理些。這事固然還沒有明確地證明，但遍看興奮過程的生理學的記載，深信這是任何人所公認的結論。由此看起來，形質膜正常的官能，是發現動作流所要求的前提條件。

形質膜怎樣變化時纔催起興奮，現在還沒有知道。不過形質膜的透過性，跟着興奮而逐漸大起來，可以說是近年來所確定的。

這個事實，在柏斯恩泰恩氏提倡膜說的時候，不過是對於動作流成因的假定，直到岐爾特梅

伊斯德 (M. Gildemeister, 1915) 依精確的物理學方法，決定「未拉古斯 (Verguth, 1907) 所發見的精神電現象 (psychogalvanische Phänomen) 爲發現於植物性神經系統 (vegetatives nerven system) 的一般的反射官能調整 (Funktionsregulierung) 的一部分的表現，不得不看作皮膚及皮膚腺較高的透過性，」知道精神電現象，僅發現於電流性皮膚反射 (galvanischer Hautreflex) 的特殊地方，自此以後；纔得到實驗的根據。(一·七七五) 這種事實，從電流性皮膚反射的時候皮膚的電容量增大的事實上亦能假推定 (坂本) (六八)

形質膜依普通的見解，本來當它是具有不透過性的，所以如果形質膜的透過性高，則被刺激性形體裏外游子的分配平衡就發生變化，因此，相界電位應當發生變動。即在形質膜相界上已經有電位差存在，則在既存電位差之外，不更顯現動作流亦未可知。使這樣的推測成爲可能的，就像蛙皮的動作流依其外的條件而變化各種的樣式。如前面所述的，皮膚靜止流的主要因應是二重性，所以猜想動作流依這二重要因的變化而起，至少也是二重性的，亦未嘗不可。(三〇)

當作如此的考察時，最重要的事，就是動作流時間的經過與膜的透過性變化時間的經過之

間的關係。向來於不言之中以為動作流時間的經過，與透過性變化時間的經過是一致的。這種思想，大家都以為從膜說看來，是當然的歸結。但是兩者卻並非一定是一致的（橋田坂本（三二））因此之故，倘使關於透過性的變化的研究不進步，縱使形質膜透過性的變化確定，亦不能決定膜說的當否。

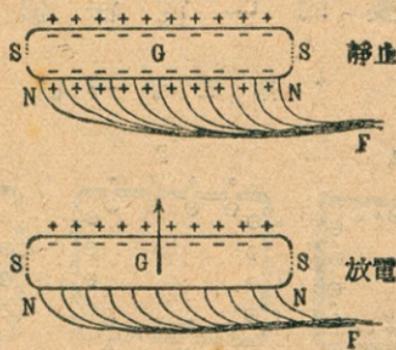
網膜上皮的動作流，是怎樣發現的，現在還沒有知道或者網膜上皮動作流的發現，是因着如筋、神經及其他分泌細胞等形質膜透過性的變化，亦未可知，但是也有人想依據量子論來說明網膜的官能（約利 Jolly）（三七）綜合這些事實來考慮一下，則網膜動作流的發生，也許是與光電的現象相關連的，因此，它的成因與上面所述的應當是完全不同的。實際上碘化銀等的光電的反應；極類似網膜動作流。關於網膜動作流極複雜的時間經過的解決，它的一部分，如前面所述，至於詳細，姑且從略。

電氣魚的發電，依上面所述，大致已經明瞭，乃是一種動作流。一般學者以為電板與神經相連結的部位興奮，是發電的生理的要因，由此就推定該部位形質膜透過性的變化，恐怕與發電有直

接關係的吧。柏恩斯泰恩氏從膜說的立場用圖畫來表示發電的樣式，如第五十圖，但不適合於前面所述的巴契尼法則的電鯰發電的方向卻未曾說明。

徹馬克氏在大體上繼承柏恩斯泰恩的膜說。但徹馬克氏以為膜本來對於所有的游子，是不透過性。所以他主張，在興奮的時候，膜的第一步變化，就是本來不透過性的膜，對於某游子變為透過性；這就是選述的不透過性。膜的裏外發生雙層電。其次，膜對於別的游子有時亦為透過性。它的樣式，如第五十一圖所示的。依他的見解，以為動作流總有一定的潛伏期。(一·九二四)除掉筋或神經的動作流外，上皮流等的動作流，實際上每見有較長的潛伏期。就於這潛伏期，雖可以作種種的解釋，但是照徹馬克的考慮，關於這一點，卻是很有興趣的問題。最近徹馬克氏說，已經證明在心臟受直接刺激時它的動作流有潛伏期；但是問題還沒有實際解決。(七三)

第五十圖



電板放電機序之模型

F N神經纖維 G膠狀質  
S 隔壁 (Bernstein)

對於生物體發電的問題直接間接有重要關係的事，就

是形質膜的透過性問題。然這所謂「透過性」的概念，猶如

克累麥（C. C. 1915）所說的，它的意義是極不徹底的；實際上，

在簡單的質的敘述時，不過被使用為霸恩卡累氏所說的便

宜的（Conventional）概念而已。將它當作以樹立量的法

則為目的的自然科學的術語，覺得很不完全。不僅就於發電

問題而已，就是從一般生理學的意義說起來，這「透過性」

的意義，亦必須十分精練。向來生理學上一般的術語，在學的

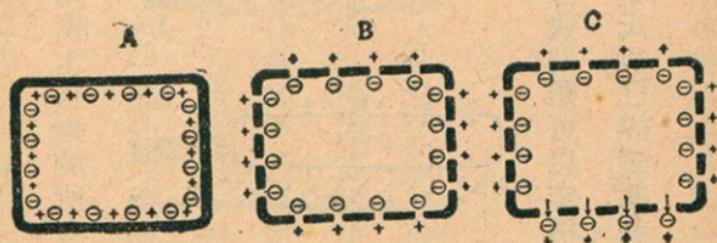
性質上說起來，是不得已而為必需的，其中多含有常識的要

素，而從質的表示圖圖地拿到量的表示的時候，每發生種種

的混亂。如顏孫氏（Tensen）等說，如果不先將這些用語的科

學的意義弄個明白，那末無論在專事記載的時候，在從事理論的考察的時候，都發生許多障礙。

第五十一圖



Tschermak 之動作流生因機序模型

A. 靜止 B. 電位差發生 C. 興奮

(A. Tschermak)

## 餘論

現時關於生物體發電，已經爲一般人們所知道的事，及就於生物體發電問題一般學者所考察的大概情形，略如上所述。這樣的發電，祇在生物體或它的器官生活的期間看得見，這是一件很可注意的事。像用種種無機的模型所表示的，都是類似活的原形質的性狀，如果原形質死了，消失了它的性質，那末還有怎樣的意義呢？在將生活現象作模型的表示時，這是常常應當考慮的問題。如前所述的，生物體的發電，是生活現象的一面，所以這種現象，乃是生物體所特有的。窩勒氏曾說，這似乎應當看作生命標識 (signs of life) 之一。巴文克氏等也曾說，因爲拿去了生物體所表現的生活現象之一，就不能將生物體附加特徵 (Charakterisiren)，所以不能因發電的有無區別生與無生。但是生活的生物體與生物體已經死了的，依着比較少數的生活現象而附加特徵，這是誰都知道的。如發電一事，在這種意味上，實是很重要的事實中之一。

參考書

- I Adrian, E. D.: The recovery process of excitable tissues. Part II. Journ. of Physiology, 55 (1921), 193.
- II Adrian, E. D.: The basis of sensation. (1927).
- III Bavinck, B.: Probleme und Ergebnisse der Naturwissenschaften. 3. Aufl. (1924), 258.
- IV Beutner, R.: Die Entstehung elektrischer Ströme in lebenden Gewebe. (1920).
- V Beutner, R., & Mentoff, A.: Protein & non-protein Colloids as bioelectric models. Proc. Soc. exp. Biol. a. Med., 24 (1929), 462.
- VI Bernstein, J., U. Tschermak, A.: Über die Frage: Präexistenztheorie oder Alterationstheorie. des Muskelstromes. Pflüger's Arch., 103 (1904), 67.
- VII Biederman, W.: Über zellströme. Pflüger's Arch., 54 (1893), 209.
- VIII Bishop, G. H., & Gilson jr, A. S.: Action potential form skeletal muscle. Amern. Journ. Physiology, 84 (1929), 135.
- IX Blinks, L. R.: Protoplasmic potentials in Halicystis. Journ. of General physiology, 13 (1929),

- K Brooks, S. C., & Gellian, S.: Bioelectric potential in Nitella. *Protoplasma*, 5 (1929), 86.
- 7 Brünings, W.: Beiträge zur Elektrophysiologie. III. *Pflüger's Arch.*, 117 (1907), 409.
- 10 Clement, E.: Über eine neue Methode zur Untersuchung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Erregungsvorganges im Herzen. *Zeitschr. f. Biologie*, 58 (1912), 100.
- 11 Craib, W. H.: A study on the electric field surrounding skeletal muscle. *Journ. of Physiology*, 66 (1928), 49.
- 111 Cremer, M.: Über die Berechnung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit in Nerven auf Grund der Stromtheorie der Erregung. *Beiträge zur Physiologie*, 2 (1924), 31.
- 1111 Dannon, E.B., & Osterhaut, W. T. V.: The concentration effect with Valonia: Potential differences with concentrated and diluted sea water. *Journal of General Physiology*, 13. (1930), 445.
- 112 Erlanger, J.: Analysis of the action potential in nerve. *The Harvey Lectures*, 22 (1928), 90.
- 114 Erlanger, J., & Gasser: The compounded nature of the action current of nerve as disclosed by the Cathod-ray Oscillograph. *American Journ. of Physiology*, 70 (1926), 657.

- 一六 Etlisch, G.: Die Natürliche Potentialdifferenz an der Grenze Zell-Elektrolyte. Zeitschr. f. physik. Chemie, A 139 (1928), 516 -
- 一七 Etlisch G, u. péterf, T.: Elektrometrische Untersuchungen an Amoeba Tericola. (Zugleich ein Beitrag zur Theorie der Protoplasmastruktur). I. Mitt. Pflüger's Arch., 208 (1928), 476.
- 一八 a Fahr, G. E: The velocity of development of the demarcation current in the frog's sartorius. Proc. Soc. Exp. Biol. & Med., 19 (1921) 142.
- 一八 Fulton, J. F.: Muscular Contraction (1926), 99.
- 一九 藤教篤... Researches on the electric discharge of the isolated electric organ of *Astrape* (Japanese electric ray) by means of oscillograph 東京帝國大學理科紀要三七(大正三年)——一一〇
- 二〇 藤田秋治... Untersuchungen über elektrisches Ercheinungen und die Tonendurchlässigkeit von Membranen. I. Potentialdifferenzen an der Apfelschale. Bioch. Zeitschrift, 158 (1925), 11
- 二一 福田邦三渡邊司法... Researches on the permeability of frog-skin. I.-IV. Japanese Journal Med. Sci., III, Biophysics. 1 (1930), 157 - .
- 二二 古澤一夫... Depolarisation of crustacean Nerve. Journal of Physiology, 67(1929), 325.
- 二三 古澤一夫... 有髓神經復害電位之起原。第九回大日本生理學會演說要旨(一九三〇年)五五

- 114 Galeotti, G. Über die e. m. K, welche an der Oberfläche tierischer Membran bei der Berührung mit verschiedenen Elektrolyten Zustandekommen. *Zeitschr. f. physik. Chemie*, 49 (1904), 542.
- 115 Garten, S. Thierische Elektrizität. (1912).
- 115 a Garten, S. Experimentelle Nachprüfung der Untersuchung von Herrn Prof. Bernstein und Tschermak über die Frage Präexistenztheorie oder Alterationstheorie des Muskeltonus. *Pflüger's Arch.*, 105(1904), 291.
- 116 Gotch, F.: The submaximal electrical response of nerve to a Single Stimulus. *Journal of Physiology*, 28(1902), 395-416.
- 117 橋田邦彦… Untersuchungen über das elektromotorische Verhalten der Froschhaut. I. *The Journal of Biochemistry*, 1(1922), 21-.
- 118 橋田邦彦… Untersuchungen über das e. m. Verhalten der Froschhaut. II. *The Journal of Biochemistry*, 1(1922).
- 119 橋田邦彦… Untersuchungen über das e. m. Verhalten der Froschhaut. III. *The Journal of Biochemistry*, II(1922), 43.

- 三〇 橋田邦彦·Aktionsströme der Froeschhaut, 第一回大日本生理學會總會演說要旨 (一九二二年) Journal of Biophysics, 1 (1924), XViii.
- 三一 橋田邦彦·坂本島嶺·Über die Beziehung zwischen der Permeabilitätsveränderung und der elektrischen Schwankung. 第六回大日本生理學會演說要旨 (一九二七年) Japanese Journ. Med. Sei III, Biophysics, 1(1929), 76.
- 三二 橋田邦彦·被刺激性與興奮性。日新醫學一九(一九三〇年)五五。
- 三三 Höber, R.: Über den Einfluss der Salze auf den Ruhestrom des Froeschmuskels. Pflüger's Arch., 106 (1906), 599.
- 三三 a Höber, R., u. Hoffmann, F.: Über das elektromotorische Verhalten von künstlichen Membranen mit gleichzeitig selektiv kationen- und selektiv anionendurchlässigen Flächenstücken. Pflüger's Arch., 220 (1928), 558.
- 三四 石森國臣·發電魚之免電性。(明治三十七八年)
- 三五 石森國臣·Über die charakteristischen morphologischen Merkmale bei dem japanischen Zitterrochen (Astrape japonica). 東京醫學會雜誌二二(一九〇八年)一。
- 三六 Jensen, P.: Reiz, Bedingungen und Ursache in der Biologie. Schaxel's Abhandlungen zur theo-

retischen Biologien (1921).

- 三 十 Jolly, J.: A quantum theory of vision. Phil. Mag. (6)41 (1922), 289 -
- 三 九 Jost, L.: Über Potentialdifferenzen am Apfel. Bioch. Zeitschr, 178(1926), 400.
- 三 九 Jost, L.: Elektrische Potentialdifferenzen an der Einzelzelle. Sitzungber. d. Heidelberger Akad. d. Wissensch, Naturwiss. Kl. (1927).
- 四 〇 本邦醫學..Über die Schlagfolge des elektrischen Organes des Zitterwels. Zeitschr. f. Biologie, 54 (1910), 430.
- 四 一 Kümmerl, K.: Elektrische Potentialdifferenzen am Pflanzen. Planta, 9(1929), 561.
- 四 一 Laar, J. J. van: Lehrbuch der theoretischen Elektrochemie (1907), 7 Kap., § 1
- 四 三 Labes R. Ein Membranmodell für eine Reihe bioelektrischer Vorgänge. II. Arch. f. Exp. Path. u. Pharm., 125(1927), 29 -
- 四 四 Labes, R, u. Zain, H.: Ein Membranmodell für eine Reihe bioelektrischer Vorgänge. III. Arch. f. Exp Path u. Pharm., 126(1927), 285 -
- 四 四 Labes, R, u. Zein, H.: Ein Membranmodell für eine Reihe bioelektrischer Vorgänge. IV. Arch. f. Exp. Path. u. Pharm., 126 (1927), 353.

- 四六 Lesser, E. J.: Über die e. m. K. des Froshautstromes und ihre Beziehungen zur Temperatur. Pflüger's Arch. 116 (1907), 124.
- 四七 Loeb, J., u. Bentner, R.: Über die Potentialdifferenzen an der unverletzten und verletzten Oberfläche pflanzlicher und tierischer Organe. Biochem. Zeitschr., 41 (1912), 1.
- 四八 Lucas, K.: On the relation between the electric disturbance in muscle and the propagation of the excited state. Journ. of Physiology, 39 (1909), 206.
- 四九 Lundbald, J.: Beiträge zur pflanzlichen elektrophysiologie. Akd. Abhandl. Upsala. (1927).
- 五〇 松尾武幸.. Neue Versuche zur Theorie der bioelektrischen Ströme. Pflüger's Arch., 200(1923), 132
- 五一 前野哲夫.. 犬心臓刺戟傳達系分枝(假臑系)之動作流, 福岡醫科大學雜誌二二三(一九三〇年)九四, 11同 (一九三〇年)九七四。
- 五二 Meyerhof, O.: Thermodynamik des Lebensprozesses. Handbuch d. Physik, 11(1926), 254.
- 五三 Michaelis L., u. 藤田秋庄.. Untersuchungen über elektrische Erscheinungen und Tonendurchlässigkeit von Membranen: IV. Potentialdifferenzen und permeabilität von Kolloidmembranen Biochem. Zeitschrift, 161(1925), 47 - .

- 五四 Michaelis, L., u. 藤田秋治.. Untersuchungen über elektrische Erscheinungen und Ionen durchlässigkeit von Membranen: VII. Die permeabilität der Kolloidummembran für mehr wertige Kationen Biochem. Zeitschr., 164(1925), 23.
- 五五 菱島高: 蝦蟇小腸之動電現象。北海道醫學雜誌六(一九二八年)一〇八二。
- 五六 水口末松: 筋的傷害電位之研究。第九回大日本生理學會演說要旨(一九三〇年)五四。
- 五七 內藤綱一: 及於蝦蟇皮膚靜電流的鹽類之影響。京都醫學會雜誌, 一九(一九二三年)。
- 五八 Orbeli, L. A.: Die Abhängigkeit der elektromotorischen Wirkung der Froschhaut von den Eigenschaften der Ableitungsfüssigkeiten Zeitschr f. Biol., 54 (1910), 329.
- 五九 Osterhaut, W. J. V., u. Harris, E. S.: Protoplasmic asymmetry in Nitella as shown by bioelectric measurements. Journ. Gener. Physiol., 11(1928), 391.
- 六〇 Osterhaut, W. J. V., & Harris, E. S.: The death wave in Nitella. I Application of like solution Journ. gener. Physiol. 12(1929)167
- 六一 Osterhaut, W. J. V., & Harris, E. S.: The death wave in Nitella. II. Application of unlike solution. Journ. Gener. Physiol. 12(1929), 355.
- 六二 Osterhaut, W. J. V., & Harris, E. S.: The death wave in Nitella. III Journ. Gener. Physiol.,

14 (1930).

六三 Osterhaut, W. J. V., & Hill, S. E.: Negative variations in Nitella produced by chloroform & by Potassium Chloride. Journ. Gen. Physiol., 13 (1930) 460.

六四 Osterhaut W. J. V. & Harris E. S.: The Concentration effect in Nitella. Journ. Gen. Physiol., 12 (1929), 761

六五 Ostwald, W. Elektrische Eigenschaften halbdurchlässiger Scheidewände. Zeitschr f. Physik Chemie, 6 (1890), 71.

六六 Reichinstein D.: Adsorptionsvolumen. (1916). 98.

六七 Sabuniewicz, B.: Über das potential des Muskels. Pflüger's Arch, 223 (1930), 774.

六八 坂本昌雄.. Der galvanische Hautreflex am Frosche nach dem Öffnen des Hilfsstromes. Journ. of Biophysics, 1(1924),121.

六九 Samoiloff, A.: Über die eigentliche elektromotorische Kraft des muskulären Demarkationsstromes Pflüger's Arch., 78(1899),38.

七〇 Stern, K., u. Bunning, E: Elektromotorische Kräfte an Pflanzen bei Ableitung mit KCl-Lösungen verschiedener Konzentration Bioch. Zeitschr., 203(1928),400.

- ㄱ I Taunman, G.: Über die Permeabilität von Niederschlagsmembranen. Zeitschr. f. Physik  
 Chemie, 10 (1892), 255.
- ㄱ II Tiegerstedt, K.: Physiologie des Kreislaufes 2. Aufl., 2 (1921), 206-.
- ㄱ III Tschermak, A.: Über die Latenz des Aktionsstromes am Herzen Pflüger's Arch. 224 (1930)  
 336.
- ㄱ IV Velch, J.: Untersuchungen über das elektrische Verhalten des Künstlichen Längsschnitts  
 quergestreiften Muskels. Arch. f. Physiologie (1900), 29.
- ㄱ V Walden, P.: Über Diffusionserscheinungen an Niederschlagsmembranen. Zeitschr. f. Physik  
 Chem. 10 (1892), 699.
- ㄱ VI Waller, A. D.: The signs of life (1903) 23.
- ㄱ VII Waller J. C.: Plant electricity. II. Towards an interpretation of the photoelectric currents  
 of leaves New phytologist, 28(1929), 291
- ㄱ VIII Westerlund, A.: Studien über die photoelektrische Fluktuation des isolierte Froschanges  
 unter Einwirkung von Stickstoff und Sauerstoff Skand. Arch. f. Physiologie 19(1907)337.
- ㄱ IX Zain H.: Ein Membranmodell für eine Reihebioelektrischer Vorgänge. II. Arch. f. exp. path.

u. Pharm., 125(1927), 58.

× O Zanger, H.: Über Membranen und Membranfunktionen. Ergebnisse der Physiologie, 7(1908),

99-

查

合

65查8



537

1247

T9

C.2

生物片電

0028

查

登記號數

1247

類碼

537

卷數

T9

備註

C.2

不

出

借

注意

- 1 借閱圖書以二星期為限
- 2 請勿圈點、評註、污損、折角
- 3 設有缺頁情事時請即通知出納員

臺灣省圖書館

(本書校對者林國民)

E二五二上



國立中央圖書館台灣分館



3 1111 003658893

422

422