



Title	超音波の生物學的並びに物理學的作用に関する知見補遺
Author(s)	高橋, 義夫
Description	
Citation	結核の研究, 1, 14-28
Issue Date	1954-02
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/26536
Type	departmental bulletin paper
File Information	1_P14-28.pdf



超音波の生物學的並びに物理學的作用に 關する知見補遺*

高橋 義夫

(北海道大学結核研究所)

目 次

A. 緒 言	14
B. 實驗材料及び實驗方針	16
C. 實驗成績	16
a. 超音波曝射による液体の物理的状態變化	16
b. 牛血球の溶血に關する實驗成績	16
c. 油の乳化に關する實驗成績	19
d. 2・3色素類に關する實驗成績	20
1) 2-6-Dichlorphenolindophenolに關する實驗成績(滲溜水に對する超音波作用)	20
2) Methyleneblau及びNeutralrotに關する實驗成績	23
e. 牛血球及び牛血液に關する追加實驗成績	24
D. 總括及び考察	25
E. 結 論	26
参考文献	27

A 緒 言

生物学方面への超音波の応用は古く Langevin (1920) Wood 及び Loomis (1927) に始る事は斯界に於て周知の事実である (1) (2) (3)。日本に於ける此方面の研究は東北帝大理学部雄山の血球に對する超音波作用の研究に續いて同大学医学部加藤内科教室職員の蛋白及び酵素に對する超音波作用の研究から始り (2) (3) (4)、爾來超音波の研究は医学各部門に於て一新研究分野をなし、業績の報告は年々累加の一途を辿つてゐる。

細菌学部門に於ける超音波の研究は昭和9~10年より始つてゐるが、夫等の研究の殆んど總ては超音波に強烈な細菌破壊作用がある事を認めるか、或は其破壊作用を利用して優秀な細菌抗原を得ようとする目的のための基礎的檢索として開始せられてゐる。例えば矢追は牛痘毒の発痘力が超音波曝射によつて消失する事及び他の濾過性病毒も同様に減毒されて免疫元として用い得る様になる事を發表し (2) (5) (6)、同様な知見は又謝、緒方、門野、市川、横繩其他によつても報告されている (7) (8) (9) (10) (11) (12) (13) (14) (15)。

渡辺及び其共同研究者は大腸菌、チフス菌、赤痢菌、

コレラ菌其他に對する超音波作用を研究し、之等の細菌は、其種類によつて程度に差はあるが、超音波によつて破壊されて死滅する事を確め、又超音波を応用して製造したチフス菌及びコレラ菌の所謂超音波ワクチンは従来の感作ワクチン・フォルモワクチン或は加熱ワクチンに比して毒性弱く然も免疫元性は強度であると報告し (16) (17) (18) (19) (20) (21) (22) (23) (24) (25) (26) (27) (28) (29)、山中及び其共同研究者も31種眞の細菌類に就て超音波の破壊作用を認め、殊にスピロヘータ及びトリパノゾーマに對する超音波作用は激烈で前者は作用時間8秒、後者は4秒で完全に死滅すると發表している (30)。

結核菌及び菌類に關しては、松崎及び其共同研究者、山中及び其共同研究者、井上、渡谷、鈴木、鈴木及び其共同研究者及び笠原、里見の研究發表があり、報告者によつて其成績には差異なしとしないが、大體的に見れば、之等の抗酸性菌も超音波作用によつて影響せられて染色性が不良となり抗酸性、抗アルコール性は減弱し、菌体は破壊せられて顆粒状になり遂に死滅する事が認められる (31) (32) (33) (34) (35) (36) (37)。

其の他超音波作用の研究は各種抗原抗体に關するもの (38) (39) (40) (41) (42) (43)、各種毒素に關するもの (44)

* 本研究は昭和20年の業績であるが、色々な關係で未發表であつたため、ここに掲載して頂く事にした。

(45) (46) (47) (48), 血清の表面張力, 粘調度, 不安定性及び蛋白分画に関するもの (49) (50) (51), 原虫及びバクテリオファージに関するもの (52) (53) (54) (55), 乳汁及び細菌培養基に関するもの (56) (57) (58) (59) 等があつて, 細菌免疫学の殆んど総ゆる方面に向つて探究が進められているが, 現在結核予防の立場から見て, 特に余の関心を惹く事は BCG に対する超音波作用の影響に関する研究である。周知の如く BCG は現在, 實際の見地から見て, 極めて有効な結核予防剤であるが, 之を實際に人体接種に用いる場合には, 膿瘍潰瘍等の副作用を防止するために極めて平等な菌液, 出来得れば顕微鏡的平等菌液を製造する必要がある, 且つ又夫を大量に生産しなければならぬ。然るに従来 BCG の様な結核菌の顕微鏡的平等菌液の製造は普通の方法では極めて困難な作業とされ, まして其の大量生産は思いもよらない事であつた (菌塊の存在が殆んど問題にならない経口投与用のワクチンなら従来の振盪法で大量生産が出来る)。それで若し超音波が此の問題を解決してくれるなら, 此の方面に於ける超音波応用の研究も實際問題として大きな価値をもつわけである。で此方面の研究には辻岡, 柳沢, 大林, 畑, 横繩及び其の共同研究者の業績があり (19) (09) (62) (63), 現在日本では BCG の所謂超音波ワクチンがワクチンとして最も囑望され, 其の効果はともかくとして, 實際にかなり広く用いられる様になつて来た (54)。余等も亦之等諸先輩の後を追つて此の方面の研究をなし其の業績は先年来発表している通りである (65)。

然し乍ら此の方面に於ける諸家の研究業績或は人体接種成績は必ずしも一致しているとは云えない。例えば横繩は超音波の BCG 毒力に及ぼす影響を視察し, 15分2回作用の長時間作用によるも, BCG の毒力は著明な変化を蒙らない事を海原に於ける局所変化の追及 (皮内接種) によつて確め, 其の原因を BCG 菌体が有する多量の纖維物質に帰している。之に反し辻岡は BCG の「ツベルクリン・アレルギー」及び免疫性賦与力は超音波の作用時間延長と共に漸減し (超音波作用時間 0分, 30分, 60分, 90分), 又接種局所皮膚反応は殆んど消失するという。柳沢, 大林も大体辻岡と同様な結論に達し, 10~15分の超音波作用は BCG 菌体及び接種後の陽転率に見る可き悪影響を与えず, 然も副作用としての膿瘍潰瘍発生率を著しく低下する事を認めている。他方占部は BCG の超音波ワクチン (作用時間 20分) を人体に接種したところ, 陽転率は著しく低下し, 然も接種局所変化発生率は毫も従来のワクチンに比して低下を示さなかつたと報じている (66)。余等は動物実験によつて超音波作用は BCG による接種局所変化を著しく軽減する事を認め, 且つ如何なる短時間の超音波作用でも, 夫が菌塊から菌液を製造し得る種度の強力のものであれば,

菌体を著しく破壊する事を菌数計算によつて確め, それがため現在人体接種に用いられている BCG の微量接種の場合には, 接種後の陽転状況に悪影響を及ぼす可能性が充分にある事を指摘したのである。

以上のように各研究者によつて其の成績にかなりの相違があるのは, 実験方法の差異及び其の他生物学的諸因子に多分に原因しているだろうと考えられるが, 先ず第一に問題になる事は, 同じ超音波作用を研究したにして「超音波を如何様に使用したか」と言う事である。

抑々超音波は一定の電気的条件下に生ずる物理現象であつて, 時と場所とによらず一定の性状を有する管であるから, 理論的に考えれば, 之を応用してなされた諸実験の成績の差は, 第一に其の応用方法如何にあるのではないかと考えられる。従つて成績が一定であるためには応用方法が一定でなければならず, そのためには又色々な角度から超音波の性状をはつきりつきとめておかねばならない。

BCG に関する諸家業績のみならず, 従来超音波作用を研究した幾多の業績が, 2, 3 のものを除いて, 唯雄然と無系統になされていた様な感を与えるのは, 諸研究者の此の点に關する考慮が足りなかつたためであると思われ (此の点に關しては里見の綜説にも述べられている)。その様なわけで, 超音波を BCG に応用する場合には, 研究其の物が生物学的及び物理化学的要約の下に置かれているので, 先ず超音波其の物の生物学的及び物理化学的作用に關する全的知識が必要になるわけである。此の点が本研究の根本的動機である。

扱て, 超音波は有限振幅の音波の甚しいものであつて, 未だ其の様な音波の強さを直接測定する方法はない様である。従つて超音波の強さと其の作用との関係を定量的に明確に知る方法がないわけであるが, 定性的に知る事は左程困難ではない。然して又超音波作用と其の影響との関係を定性的にでも或一定の形で理解する事が出来れば, 以後超音波の応用を画てる上に於て 1つの指針となる事は明かである。此の目的のために現在特に笠原, 雄山及び其の共同研究者によつて超音波の作用機転に關する研究がなされているが (67) (68) (69), 夫等の研究を大観的に綜合してみると, 超音波の主要作用として次の 3 作用が認められる。

- (1) 発熱作用
- (2) 超音波の強さに比例して増強する作用 (機械作用)
- (3) 超音波の強さに比例せず或一定の強さに於て極大値に達する作用 (化学作用或は酸化作用)

以上の様な超音波の主要作用が明確に把握されるに及んで, 生物学的或は化学的諸物質に対する超音波の作用機転もだんだん明かになつて来ている。例えば各種濾過性病原体, ツベルクリン・タイワンコブラ毒・植物性毒素リチ

ン・ビタミン C 及び K, ビリルビン・チフテリー菌及びチフテリー抗毒素血清等は超音波の酸化作用によつて無毒化或は破壊され (70) (71) (72) (73) (74) (75) (76), マラリヤ原虫・結核菌・チフテリー毒素・破傷風毒素及び「ハブ」毒は超音波の機械的作用によつて滅毒或は破壊されると言う様な業績が夫である (35) (55) (71) (77) (78) (79)。

以上の様に超音波の性状は近年益々明かにされて来ているが、然し乍ら、実際に當つて或物質に対する超音波作用の影響を見ようとする場合には、夫が機械的作用であろうと化学作用であろうと、超音波の作用条件と被曝射物質との量的関係を常に考慮しなければならない事は言を俟たない。即ち少くとも作用させる超音波の強さ (出力), 作用を受くべき物質の量 (濃度及び液量) 及び作用時間等の相互関係を詳にしておく必要がある。此の事は超音波の影響を一定に止めようとする場合は絶対に必要な条件である。又此の事は取りも直さず、超音波作用の作用としての定量的関係であるが、現在までのところ具体的に此の関係をとり上げて研究されたものは極めて僅かである (69) (80)。それで余等は超音波の生物学的及び物理化学的性状に関する諸研究家の実験成績の追試を兼ねて、作用としての定量的関係の研究をなし、聊か興味ある知見を得たので此処に発表し厳正なる批判を仰ぎたいと思う。

B 実験材料及び実験方針

使用した超音波発生装置は従来余等が研究に使用している久保田製のもので、周波数 560 K. C., 最低出力は電壓として 1.4 K. V., 最大出力は 30 K. V. 前後で、出力の切換えは最低①から最大⑥迄である。水晶板は π -cut で厚さ 0.5 cm 直径 5 cm の円板である。本装置は市販電気の電壓に影響せられるためか、日により、或は同じ日でも午前と午後とによつて超音波の強度にかなりの変動がある事があるので、使用の都度噴油の状況を検し目測によつて合調した。実験成績には其の都度最大強度の噴油に於ける電壓を記載した。

超音波作用と温度とにはかなり密接の関係がある事が報告されているが (18), 余等の今回の実験では温度の影響を可及的に避けるため、冷却装置で油を冷却し、最低 13°C 最高 22°C の間で実験した。使用した試験管は同じく久保田製のもので底面凸形、其の厚さ 0.5 mm, 内径約 4 cm のもので、同一種類の実験には同一試験管を使用した。振動子より油槽面までの距離は 7 cm である。

今回追及したものは牛血球及び牛血液の溶血状況、油の乳化状況及び 2, 3 色素類に対する影響であるが、緒言に述べた様な考えから、被検物質の濃度、溶液の作用液量、作用時間、出力及び作用点 (油槽面と試験管底との距離) を

変え、色々な組合せて実験した。

C 実績成績

a. 超音波曝射による液体の物理的状態変化

蒸留水を試験管に取つて、管底が油槽面に接する様に装備して超音波を曝射すると出力としての電壓を増すに従つて蒸留水の噴出が強くなるが、超音波の或一定の強さのところまで水中に気泡の発生が認められる事は雄山、笠原及び其の共同研究者が報告しているが (68) (80), 余も之が事実である事を実験によつて確め得た。

余等の超音波発生装置では蒸留水の量を 25 cc とすれば切換①即ち最低出力電壓 1.4 K. V. のところで気泡の発生が最大であり、50 cc とすれば切替②のところ (1.8 K. V.), 100 cc とすれば切換③のところ (2.1 K. V.), 200 cc とすれば切換④のところ (2.4 K. V.) で気泡発生が最大になる。而して 100 cc 及び 200 cc の場合の気泡発生状況を見ると、蒸留水全体に一樣に気泡が発生するのではなく、大体水柱の高さの水面より 3 分の 1 位のところで発生してくる。又蒸留水の量を 50 cc とした場合は、気泡の最大発生点は切換② (1.8 K. V.) であるが、切換を③ (2.1 K. V.) としても合調器で超音波による噴出を小さくして行けば或一定のところに来て気泡が発生して来る。此の場合噴出を元の大きさに返すと気泡は消失する。而して此の場合気泡の最大発生部位に於ける水面の噴出の状態は、噴出とは言えず、やや膨隆した程度である。

同様な事実は蒸留水の外にアルコール及びキシロールの様な液体でも観察できる。此の場合の気泡発生は蒸留水の場合よりも顕著である。

以上の実験によれば、液体中の気泡発生は超音波の或一定の強さに関係するものであつて、出力電壓には無関係である事が分る。

b. 牛血球の溶血に関する実験成績

超音波によつて各種動物の血球が溶血現象を起す事は既に一般に認められている事実であるが、沖津は人・馬・牛・山羊等の無核赤血球と鶏・鳩・家鴨等の有核赤血球を用いて超音波による溶血現象を検し、有核赤血球は一般に無核赤血球より超音波に対する抵抗力強大なりと結論している (81)。長沢は無核赤血球として家兎血球・有核赤血球ととして鳩血球を用いて超音波の溶血機転を研究し、無核赤血球の溶血は主として超音波の酸化作用により、有核赤血球の夫は機械的作用と酸化作用によつて起ると発表している (82)。然し乍ら沖津は 1% 血球液、長沢は 10% 血球液を使用したのみで、血球濃度が変わればどうなるかと言う超音波作用と濃度との定量的関係は検べてない。最近 (昭和 18 年) 横縄は家兎血液を以て同じく超音波作用による

溶血機転を研究し、超音波による無核赤血球の溶血は血液濃度が20%以下の場合には主として Cavitation による酸化作用により、20%以上には主として機械的作用による事を確め、長沢の結論は血液濃度 20% 以下の場合にのみ妥当であるとの結論を下している (83)。

以上の様に研究者によつて超音波による血液の溶血機転に関する見解がまちまちなので、余等は先ず牛血球を用いて、定性的定量的に、色々の角度から血球の溶血状況を調べた。

使用した牛血球は正規の方法によつて得た洗滌血球である。血球液に使用した溶媒は生理的食塩水。血球は主として採血当日使用し、止むを得ない場合は1~2昼夜氷室に保存したものを使用し、同一種類の実験には同一血球液を使用したのは勿論である。超音波の各条件による溶血程度の相互比較には Leifo の Photometer を使用して游出ヘモグロビン量を光線吸収率によつて定量し溶血率に換算して比較した。

実験成績は第1~5表及び第1~6図に示してあるが、之等の成績を通覧すると、牛血球の超音波による溶血程度は血球濃度、作用液量及び作用点に対して函数的関係にあり、之等の変動によつて或一定の変化を受ける事が窺われる。

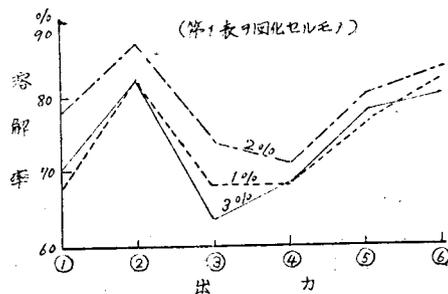
先ず第1表及び第1図に示されている様に、作用液量、作用時間及び作用点を一定にする場合は(作用液量50cc、作用時間15秒、作用点油槽面)、血球濃度1~3%までは同様の溶血曲線を示し、何れの場合も切換②(電圧1.8 K.V.)のところに最初の最大溶血点があり、切換③及び④(電圧2.1~2.4 K.V.)とすれば溶血は逆に減弱し切換⑤及び⑥(電圧2.7~3.0 K.V.)とすれば溶血は再び著明となる。此

第1表 作用液量、作用時間を一定にした場合の溶血状況

作用時間 15 秒, 作用液量 50 cc, 作用点油槽面

血球濃度	成績	出力調節					
		①	②	③	④	⑤	⑥
1%	K. V.	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0
	光線吸収率	0.130	0.155	0.130	0.130	0.145	0.155
	溶解度	68%	82%	68%	68%	76%	82%
2%	K. V.	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	2.9
	光線吸収率	0.295	0.330	0.280	0.270	0.305	0.315
	溶解度	78%	87%	%	%	%	83%
3%	K. V.	1.5	1.8	2.1	2.4	2.6	2.8
	光線吸収率	0.400	0.465	0.365	0.390	0.440	0.455
	溶解度	70%	82%	64%	68%	77%	80%

の場合最初の最大溶血部位は気泡の最大発生部位に相当する。

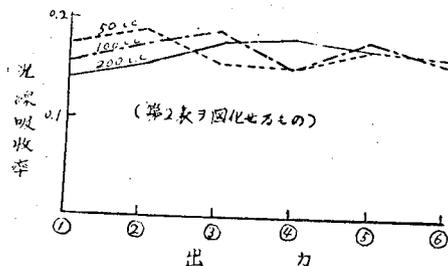


(第1表を圖化するもの)
第1圖

第2表及び第2図は血球濃度、作用時間、作用点を一定にし濃度1%、作用時間15秒、作用点油槽面)作用液量を50, 100, 200 cc と変化させた場合の溶血状況であるが、此の場合は作用液量の増加につれて最初の最大溶血点が一様出力電圧のたかい方へづれて来る。此の場合も最初の最大溶血部位は気泡の最大発生部位である。を一定にし(濃度1%、液量50cc、時間15秒)作用点のみ

第2表 血球濃度を一定にし、作用液量を變えた場合の溶血状況
血球濃度 1%, 作用時間 15 秒, 作用点油槽面

液量	出力調節	①	②	③	④	⑤	⑥
		50 cc	光線吸収率 K. V.	0.175 1.5	0.190 1.8	0.160 2.1	0.155 2.4
100 cc	光線吸収率 K. V.	0.155 1.7	0.175 1.8	0.190 2.1	0.155 2.4	0.185 2.7	0.165 2.9
200 cc	光線吸収率 K. V.	0.140 1.5	0.155 1.8	0.180 2.1	0.185 2.4	0.175 2.6	—



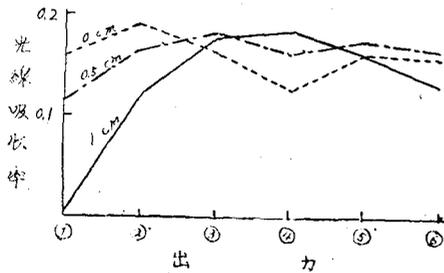
(第2表を圖化するもの)
第2圖

第3表及び第3図は血球濃度、作用液量、作用時間

を委えて、油槽面から試験管底を上の方へ0.5 cm 宛離した場合の溶血状況である。此の場合も最初の最大溶血点は出力電壓の高い方へ一段死つれて来る。又此の場合も最初の最大溶血部位は気泡の最大発生部位である。

第3表 血球液濃度、作用液量、作用時間を溶血一定にして、作用点を變えた場合の状況
血球濃度1%, 作用時間15秒, 作用液量50 cc

距離	出力調節	出力調節					
		①	②	③	④	⑤	⑥
0 cm	光線吸収率	0.160	0.190	0.165	0.130	0.165	0.160
	K. V.	1.5	1.8	2.0	2.3	2.6	2.8
0.5 cm	光線吸収率	0.115	0.165	0.185	0.165	0.175	0.165
	K. V.	1.4	1.8	2.0	2.3	2.6	2.8
1 cm	光線吸収率	0.005	—	—	0.185	—	0.135
	K. V.	1.4	1.6	2.0	2.3	2.6	2.8



(第3表を圖化するもの)

第3圖

以上の実験によると、牛血球は、濃度が1~3%の範囲では、超音波出力の比較的弱い気泡発生最大の部位と出力の極めて強いところの2箇所に於て最も顕著な溶血を示す事が認められる。それで次に、作用液量、作用時間、作用点を一定にして(液量50 cc, 時間15秒或は30秒, 作用点油槽面)血球液濃度を1~8%とし、超音波出力の比較的弱い切換①及び②のところと、出力の強い③及び④のところで溶血状況を検べて見た。其の成績が第4表其1及び其2、第4及び第5図である。此の成績に見られる如く、血球液の濃度が比較的低く1~3%の場合には①及び②の弱い出力(気泡発生最大)に於て溶血はより強く現われて来るが、濃度が4%以上になると溶血状況は全く逆転し、超音波出力の強い方に於て溶血が顕著になる。

第5表及び第6図は血球濃度、作用液量、作用点を一定にし(濃度2%, 液量50 cc, 作用点油槽面)切換②及び④(電壓1.8及び2.4 K. V.)に於て作用時間を漸増して溶血状況を見た成績であるが、此の場合には出力の弱い切換の方

第4表 作用液量、作用時間を一定にして血球液濃度を變えた場合の弱度及び強度の超音波作用による溶血状況

作用液量50 cc, 作用時間15秒乃至30秒, 作用点油槽面
その1 第1回實驗成績

血球液濃度	成績	出力調節					
		②		②		④	
		K.V.及び作用時間 1.8 (15'')		K.V.及び作用時間 1.8 (30'')		K.V.及び作用時間 2.3~2.4 (15'')	
		光線 吸収率	溶解度	光線 吸収率	溶解度	光線 吸収率	溶解度
1%		0.175	92%	0.170	89%	0.140	74%
2%		0.330	87	0.330	87	0.285	75
3%		0.485	85	0.550	96	0.400	70
4%		0.495	65	0.640	84	0.480	63
5%		0.100	11	0.350	37	0.520	55
6%		0.255	22	0.61	54	0.610	54

註; 5%までは午前中同時に實驗, 6%は午後實驗す。

その2 第2回實驗成績

成績	出力調節	血液濃度							
		1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%
K. V.	①	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.7
	③	2.4	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
光線 吸収率	①	0.98	1.88	2.61	0.70	0.20	0.19	0.13	0.09
	③	0.96	1.67	2.20	2.91	2.83	2.33	2.54	2.91
溶血度 (%)	①	96	92	85	19	4	3	2	1
	②	94	82	72	71	56	33	35	35

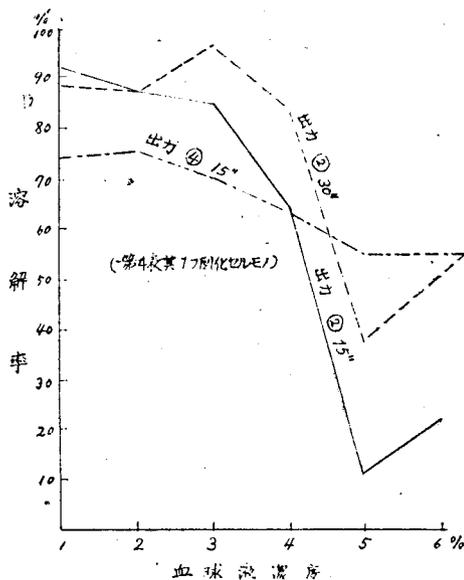
に於て時間的に早く完全液血を示して来る(此の場合は血球濃度が低いので、此の成績は今迄の實驗成績を裏書する)。

小 括

1) 牛血球の溶血程度は必ずしも超音波の強さに並行しないで、出力の弱い方の一定の強さの気泡の最大発生部位と、出力の極めて強い部分の2箇所に於て最も顕著に現われる。然し此の事は血球濃度が比較的低い場合のみ(余等の實驗では1~3%) 委當するもので、血球液濃度が或一定の濃度以上になれば(余の實驗では4%以上), 出力の弱い部分に於ける最大溶血点は消失する。即ち血球が超音波から受ける影響の度合は其の濃度によつて著しく差異がある事が認められる。

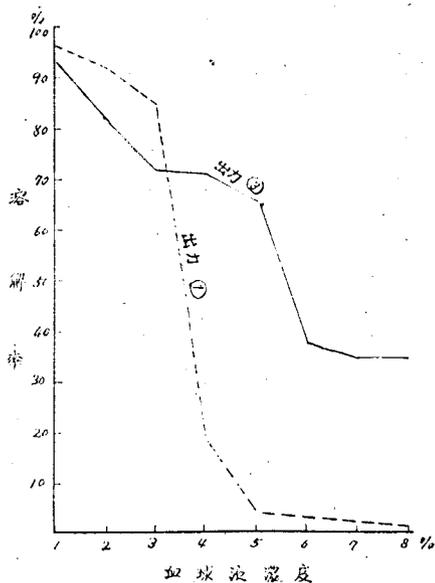
2) 血球液の濃度, 超音波の出力, 作用時間を一定に

しても、作用液量が変われば血球液の受ける影響の度合が異なる。



(第4表を圖化せるもの)

第4圖



(第4表その2を圖化せるもの)

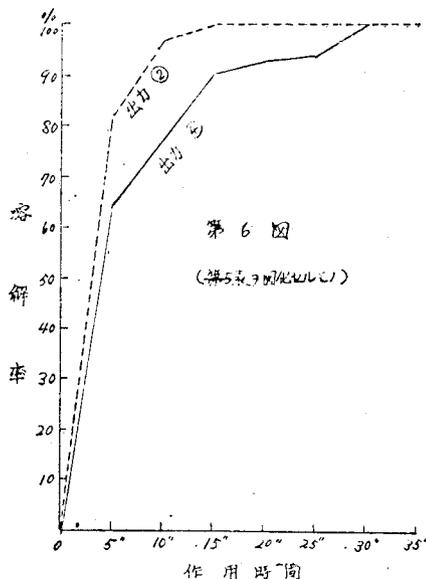
第5圖

3) 又血球液の濃度、超音波の出力、作用時間、作用液量を一定にしても、作用点が変われば溶血状況にかなりの差異を示す。此の場合超音波の出力は強度であつても、作用点油槽面から離れるに従つて、血球液の受ける影響は

弱度の超音波から受ける影響に類似して来る。

第5表 血球液濃度、作用液量を一定にして作用時間を變えた場合の弱度及び強度の超音波作用による溶血状況
血球液濃度2%、作用液量50 cc

出力 成績	作用時間							
	0''	5''	10''	15''	20''	25''	30''	35''
② 光線 1.8 K.V. 吸収率	0.005%	0.280%	0.330%	0.340%	0.340%	0.345%	0.350%	0.340%
溶解率	1.5	82	97	100	100	100	100	100
④ 光線 2.4 K.V. 吸収率	0.005%	0.220%	0.265%	0.305%	0.315%	0.320%	0.340%	0.340%
溶解率	1.5	65	78	90	93	94	100	100



(第5表を圖化せるもの)

第6圖

c. 油の乳化に関する實驗成績

水と油、水と水銀の様な相互間の表面張力が著しく異つて、普通の方法では仲々混合出来ないものが、超音波によつて極めて簡単に乳化され、然も粒子の小さい非常に安全なコロイド液になる事は一般に認められている事実である。余等は此の事実の追試傍々超音波作用と油の乳化程度の定量的關係を検べた。

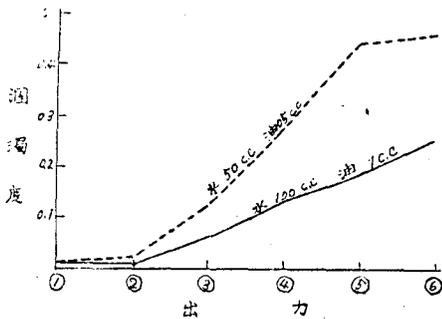
使用に供した油はロータリーポンプ用の礦物性油である。乳化の程度は Leifo の Photometer により比濁度を測定して比較した。

其の成績は第6, 7表及び第7, 8圖に示されているが、此の成績に見られる様に、油の乳化の度合は超音波の強さ

に比例し、超音波の強さが増せば増す程乳化の程度が強くなる。此の場合は牛血球の溶血の場合に見られた様な関係は認められず、弱度の超音波の或一定の強さに於ける最大乳化点と言う様なものは全くない。然し出力、作用時間、作用点を一定にする場合は、作用液量が多くなれば乳化の度合が減少する。而して此の関係は血球の溶血状況の場合の如く複雑なものではなく、極めて簡単な逆比例的関係にある事が窺われる(第8図に見られる様に、水100cc、油1ccとした場合の濁濁度は水50cc、油0.5ccとした場合の夫の丁度2分の1になつてゐる事が認められる)。又超音波出力、作用時間、作用液量を一定にしても、作用点を油槽面から離すに従つて乳化の度合が減弱する事は牛血球の溶血の場合と同様である。

第6表 超音波出力の變化による油の乳化状況(濁濁度で示す)

		作用時間1分, 作用點油槽面					
出力調節		①	②	③	④	⑤	⑥
水量及び油量		K. V.					
		1.4	1.8	2.0	2.4	2.6	2.8~2.9
水 5.0 cc	油 0.5 cc	0.00919	0.0154	0.125	0.282	0.453	0.474
水 100 cc	油 1 cc	0.00919	0.00952	0.0687	0.140	0.196	0.264



(第6表を圖化せるもの) 第7圖

小 括

- 1) 油の乳化の度合は超音波の強さに比例する。
- 2) 出力、作用時間及び作用点を一定にする場合は、作用液量と乳化の強さは簡単な逆比例的関係にある。
- 3) 出力、作用時間及び作用液量を一定にする場合は、乳化の程度は作用点を油槽面から離すに従つて減弱する。

d. 2, 3 色素類に關する實驗成績

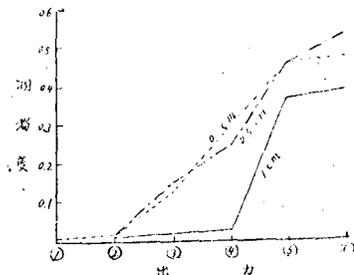
色素に対する超音波作用の研究は極めて僅かである。

森はラクトフラビンが超音波作用5秒~3分で減量する事を報告し(84)、村野は19種の塩基性色素に対する超音波作用を研究し、其の中或物は超音波作用によつて殺菌作用

第7表 水量、油量を一定にして作用點を變えた場合の乳化状況(濁濁度で示す)

水量 50 cc, 油量 0.5 cc, 作用時間 1 分

出力調節	①	②	③	④	⑤	⑥
	K. V.					
油槽面よりの距離	1.4	1.8	2.0~2.1	2.4~2.3	2.6	2.8~2.9
0 cm	0.00919	0.0154	0.125	0.282	0.453	0.474
0.5 cm	—	0.0153	0.145	0.249	0.453	0.538
1 cm	—	0.00919	0.0149	0.0229	0.367	0.388



(第7表を圖化せるもの) 第8圖

が増強し或物は反対に減弱するが、超音波作用の影響と色素の化学的組成との間には特別の関係が認められないと言う(85)。笠原、雄山及び其の共同研究者は2-6-Dichlorphenolindophenolが超音波の化学作用によつて赤変する事実を認め、且つ本色素の赤変度は超音波が化学作用を営む範囲内に於ては(氏等の「噴液点」以上の液量の場合)超音波の強度に比例する事を確め、此の事実を利用して超音波の間接的強度測定法を案出している(80)。氏等は本色素の赤変は超音波の酸化作用によるものとして理解している様であるが色素に対する超音波作用として興味があるので、余等は追試傍々赤変の機転を追及した。

今、超音波の作用と言う事から離れて、「或色素特に標示薬が其の溶媒の中で色調を變化した」と言う事実に我々が当面する時、反射的に脳裡に浮ぶ事は溶媒の水素イオン濃度如何の問題である。夫れで本実験中には色素の溶媒の水素イオン濃度を考慮した。

1) 2-6-Dichlorphenolindophenol (Roche) に關する實驗成績

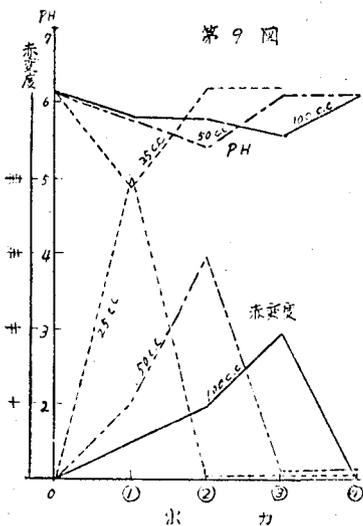
供試色素液は0.5 mg%の蒸溜水溶液である。此の溶液に超音波を作用させると気泡発生部位に於てのみ色調の變化が認められ、気泡の最大発生部位に於ては色調の變化

は最も顕著である。色調は青色から赤紫色になり遂に赤色に変化する。

第8表及び第9図は作用時間及び作用点を一定にし(時間3分, 作用点油槽面)作用液量を25, 50, 100 ccとした場合の赤変状況であるが, 此の場合牛血球の溶血状況の様に, 作用液量が増すに従つて最大赤変点は出力電圧の強い方へ1段階宛づれてくる。而して目測上の赤変度は作用液量の少量なもの程強く, 又各赤変点に於ける色素液の水素イオン濃度は目測の赤変度の強さに比例して上昇している事が分る。第9図で明瞭に分る様に, 赤変の強さとPHとは極めてよく一致している。

第8表 超音波作用による2-6-Dichlorphenol-indophenolの赤変状況
色素液濃度 0.5 mg%, 起始 PH 6.1, 作用時間 3分

液量	成績	出力及び K. V.				
		0	① 1.4~1.5	② 1.8	③ 2.0~3.1	④ 2.4
25 cc	色調変化	青	赤	青	青	—
	赤變度	—	卍	—	—	—
	作用後のPH	6.1	4.9	6.2	6.2	—
50 cc	色調変化	青	紫赤青	赤赤青	青	青
	赤變度	—	+	卍	—	—
	作用後のPH	6.1	5.8	5.4	6.1	6.1
100 cc	色調変化	青	青紫青	紫赤青	赤紫青	青
	赤變度	—	±	+	++	—
	作用後のPH	6.1	5.8	5.6	5.6	6.1



(第8表を圖化せるもの)
第9圖

第9表は色素液の水素イオン濃度を緩衝液で一定にしPH = 7.1とした場合と (M/15 Na₂HPO₄及び M/15 KH₂PO₄の所定量を溶媒である蒸溜水に10分の1の割合に加える)水素イオン濃度を修正しない場合の超音波作用の比較成績である。此の場合超音波の作用条件は上記の実験と同一であるが, PHが7.1に修正されてある色素液に於ては色調の変化は全く見られない。但し気泡の最大発生部位の前後に於て (PH無修正色素液の最大赤変点) 本色素本来の色調である青色がやや褪色しているのが見られる。

第9表 2-6-Dichlorphenolindophenol 溶液のPHを7.1とした場合の超音波の影響
液量 50 cc, 作用時間 3分として出力を変えた場合

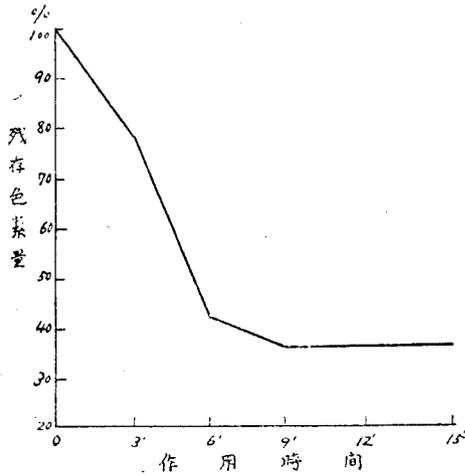
色素液	成績	出力及び K. V.						
		0	①1.4 ~1.7	②1.8 ~2.1	③2.0 ~2.4	④2.2 ~2.6	⑤2.5 ~2.6	⑥2.8
PHを修正しない場合	色調変化	青	赤紫青	赤紫	赤紫	青	青	青
	赤變度	—	+	++	++	—	—	—
	作用後のPH	6.1	5.5	5.4	5.4	6.0	6.1	6.1
PHを7.1とした場合	色調変化	青	青	青	青	青	青	青
	赤變度	—	—	—	—	—	—	—
	作用後のPH	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
	光線吸収率	0.040	0.033	0.026	0.033	0.040	0.040	0.040

(Leifo, Photometerによる測定)。此の事は第10表及び第10図の成績に明かに見られる通り, 色素液のPHを7.1として, 気泡の最大発生を条件として超音波を作用させると, 時間と共に青色が褪色して遂に薄く白色の濁濁を呈する溶液に変化する事実によつて明確に認められる。而して又第11表及び第11図に示されている様に, PHを一定にした場合の色素の褪色点は作用液量を増加すれば出力電圧の強い方へづれる事は, 赤変点が作用液量によつて移動するのと同様である。而して赤変点も褪色点も総て超音波の気泡発生点に相当して現われ, 気泡発生がなければ超音波が如何に強度であつても赤変も褪色も見られない。此の事は油の乳化の場合に於ける乳化の度合と超音波の強さとの関係

第10表 2-6-Dichlorphenolindophenol 溶液のPHを7.1とした場合の弱度の超音波の影響
作用液量 50 cc, 出力② (1.8 K. V.)

作用時間	0分	3分	6分	9分	12分	15分
青色度(肉眼)	卍	卍	++	+	±	±
光線吸収率	0.42	0.33	0.18	0.11	0.11	0.11
残存色素量(%)	100	78.6	42.9	26.2	26.2	26.2

に対し全く逆である。



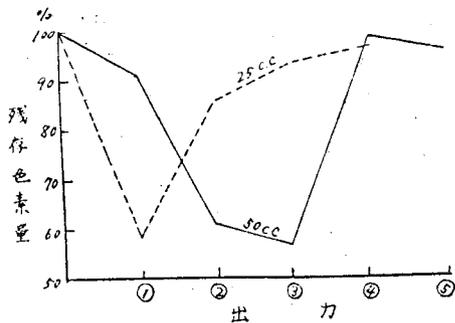
(第10表を圖化せるもの)
第10圖

第11表 2-6-Dichlorphenolindophenol 溶液のPHを7.1とし、作用液量及び出力を變えた場合の超音波の影響

作用時間3分

色素液	成績	出力調節					
		0	①	②	③	④	⑤
		K. V.					
		1.5	1.8	2.1	2.4~2.3	2.6	
25ccの場合	青色度(肉眼)	##	+	++	##	##	—
	光線吸収率	0.41	0.24	0.35	0.36	0.39	—
	残存色素量(%)	100	58.5	85.4	87.8	95.1	—
50ccの場合	青色度(肉眼)	###	##	++	++	###	##
	光線吸収率	0.41	0.37	0.25	0.23	0.40	0.39
	残存色素量(%)	100	90.2	61.0	56.1	97.6	95.1

註: 50 cc の實驗の場合 Filament は所定の Voltage を下る。



(第11表を圖化せるもの)
第11圖

(色素が超音波作用によつて褪色する事は先ず簡単に考へて色素が本来の性状を失つたと考へられる。それで余は Leifo の Photometer により超音波作用後の色素液の本来の色調を光線吸収率によつて定量し、残存色素量として換算表示した。以後の色素に関する實驗は皆同一方法による)。

以上の實驗成績によれば、2-6-Dichlorphenolindophenol の色調變化は溶媒の水素イオン濃度と密接の關係がある事が分る。それで余は色素の溶媒としての蒸溜水其の物に超音波を作用せしめて見たところ、気泡發生点に於て蒸溜水の PH が時間と共に上昇するのを認めた。此の様に PH が上昇した蒸溜水に 2-6-Dichlorphenolindophenol の 5 mg% 蒸溜水溶液を 10 分の 1 の割合に入れると、色素の色調は蒸溜水の PH に応じて紫赤色から赤色に變る。而して又超音波作用によつて上昇した蒸溜水の PH は安全で作用後 1 晝夜室温に放置しておいても變化しない。(第12表其の 1 及び其の 2)。

以上の實驗成績から、2-6-Dichlorphenolindophenol の超音波作用による色調變化は超音波の直接作用によるものでなく、溶媒の PH の上昇に基く二次的現象である事は明かである。之に反し同色素の褪色現象は超音波の直接作用に原因すると考へられる。

第12表 蒸溜水に對する超音波の影響

(PH は B. T. B., B. C. G. を以て測定、赤變度は Dichlorphenolindophenol の 5 mg% 溶液で測定)

その 1

水量、作用時間を一定にして出力を變えた場合
水量 50 cc, 作用時間 3 分

出力	0	①	②	③	④
K. V.	—	1.5	1.8	2.1	2.4
PH	6.0	5.6	5.4	5.8	6.0
色調變化	青	紫赤青	赤紫青	青	青
赤變度	—	+	++	—	—

その 2

出力② (1.8 K. V.) で作用時間を變えた場合

作用時間	0 分	3 分	6 分	9 分
PH { 直後	6.1	5.4	4.6	4.0
PH { 24時間後	6.1	5.4	4.6	4.0
色調變化	青	赤紫青	赤紫	赤
赤變度	—	++	##	###

2) Methyleneblau 及び Neutralrot に関する実験成績

2-6-Dichlorphenolindophenol に関する実験に於て、本色素は溶媒の PH を一定にすれば、気泡の最大発生部位に於て、超音波により褪色する事即ち色素本来の性状を消失する事が認められた。それで此の事実が他の色素類に対しても妥当性を有するや否やを知る目的で Methyleneblau 及び Neutralrot の 2mg% 水溶液で実験した。実験成績は第 13 表其の 1 及び其の 2, 第 14 表其の 1 及び其の 2, 第 12, 13, 14, 15 図に示す通り、此の 2つの色素は 2-6-Dichlorphenolindophenol と同様、超音波により気泡の最大発生部位で極めて顕著に褪色する。然して此の場合褪色の度合は溶媒の PH を修正しない場合も、緩衝液で PH を 7.1 に修正した場合も殆んど変わらない。

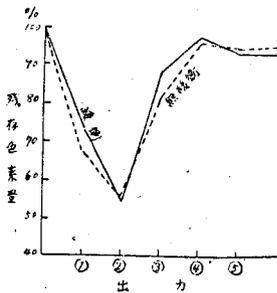
第13表 Methyleneblau に對する超音波の影響
色素濃度 2mg%, 作用液量 50cc

その 1 作用時間を 5分として出力を変えた場合

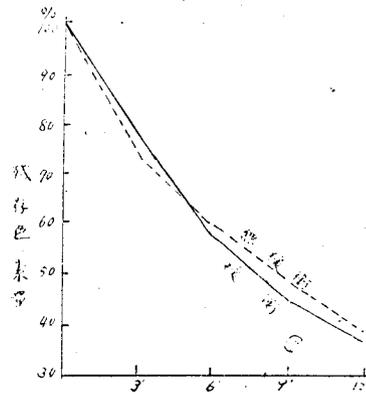
色素液	成績	出力調節						
		0	①	②	③	④	⑤	
		K. V.						
		1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	2.9	
無緩衝	光線吸収率	2.02	1.38	1.11	1.62	1.94	1.90	1.90
	残存色素量 (%)	100	68.3	55.0	80.2	96.0	94.0	94.0
緩衝 PH 7.1	光線吸収率	2.06	15.7	1.13	1.79	2.01	1.92	1.91
	残存色素量 (%)	100	76.2	54.9	86.9	97.6	93.2	92.7

その 2 出力を 2 (1.8 K. V.) として作用時間を變えた場合

色素液	成績	作用時間				
		0分	3分	6分	9分	12分
無緩衝	光線吸収率	2.02	1.51	1.12	0.98	0.79
	残存色素量 (%)	100	74.8	59.9	48.5	39.1
緩衝 PH 7.1	光線吸収率	2.04	1.58	1.17	0.91	0.74
	残存色素量 (%)	100	77.5	57.4	45.0	36.3



(第13表その 1 を圖化するもの)
第 12 圖



(第13表その 2 を圖化するもの)

第 13 圖

第14表 Neutralrot に對する超音波の影響
色素濃度 2mg%, 作用液量 50cc

その 1 作用時間を 5分として出力を変えた場合

色素液	成績	出力調節					
		0	①	②	③	④	⑤
		K. V.					
		1.65	1.9	2.3	2.5	2.85	
無緩衝 (PH 6.1)	光線吸収率	0.58	0.54	0.53	0.51	0.53	0.54
	残存色素量 (%)	100	91.8	91.4	87.9	91.4	91.8
緩衝 (PH 7.1)	光線吸収率	0.53	0.42	0.39	0.36	0.43	0.51
	残存色素量 (%)	100	79.2	73.6	67.9	81.1	96.2

その 2

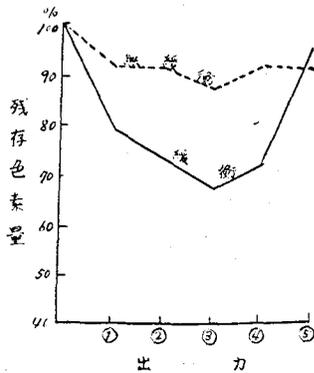
出力② (1.9 K. V.) として作用時間を變えた場合

色素液	成績	作用時間				
		0分	3分	6分	9分	12分
無緩衝	光線吸収率	0.58	0.51	0.49	0.36	0.27
	残存色素量 (%)	100	87.9	84.4	62.1	45.0
	作用後の PH	6.1	5.8	3.9	3.5	3.4
緩衝	光線吸収率	0.58	0.34	0.31	0.27	0.25
	残存色素量 (%)	100	64.2	58.5	50.9	47.2
	作用後の PH	7.1	7.0	6.9	6.9	6.9

小 括

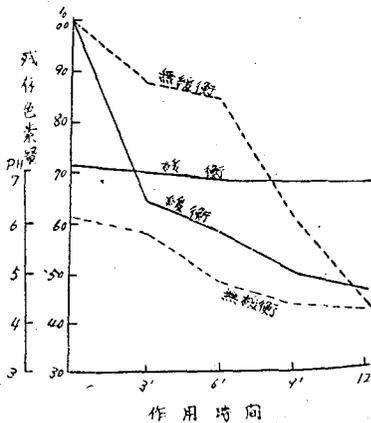
1) 2-6-Dichlorphenolindophenol の色調変化は (赤変) 超音波による気泡の最大発生部位に最も顕著に認められ、超音波の強さには並行しない。而して本色素の色調変化は超音波の直接作用によるものではなく、超音波作用による溶媒の PH 上昇に原因する二次的現象である。

2) 2-6-Dichlorphenolindophenol, Methylenblau^{*} 及び Neutralrot は、超音波作用によつて褪色し、色素本来の性状を失うと考えられる。而して褪色の最強点は気泡発生最大の点に一致し、気泡発生がなければ超音波出力が如何に強度であつても褪色現象は見られない。此の関係は油の乳化の場合と全く逆である。



(第14表その1を圖化せるもの)

第 14 圖



(第14表その2を圖化せるもの)

第 15 圖

3) 上記色素の褪色点及び 2-6-Dichlorphenolindophenol の赤変点は作用液量によつて移動し、作用液量が多ければ出力電圧の高い方へ移動する(此の事は牛血球の超音波による最初の溶血点の作用液量による移動と同じ関係にある)。

e. 牛血球及び牛血液に関する追加実験成績

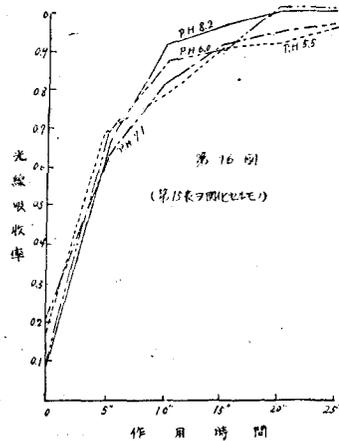
超音波作用による色素の褪色現象は溶媒の PH に無関係に出現する事が認められたので、牛血球の溶血現象に対しても同様であるかどうかを調べて見た。其の結果は第15表及び第16圖に示す様に、PH 5.5~8.5の間では溶血状況

に全く差が認められない(溶媒の PH は色素液の場合と同様 M/15 Na₂HPO₄ 及び M/15 KH₂PO₄ を使用した)。又牛血球の超音波による溶血が溶媒の粘調度に關係しないかとの考えから、2%の脱纖維牛血液を使用して同様の実験を繰返して見たが、此の程度では第16表及び第17圖に示す様に大差が認められなかつた(本実験は改めて詳細に追及中である)。

第15表 超音波による血液溶血状況と溶媒の PH との關係 (溶血度は光線吸收率で示す)

出力② (1.8 K. V.), 血液濃度 2%, 作用液量 50 cc

作用時間	0''	5''	10''	15''	20''	25''
PH 5.5	0.14	0.69	0.79	0.92	0.93	0.97
PH 6.0	0.08	0.68	0.88	0.91	1.02	1.02
PH 7.1	0.19	0.61	0.82	0.92	0.96	0.98
PH 8.2	0.06	0.67	0.92	0.99	1.01	1.01



(第15表を圖化せるもの)

第 16 圖

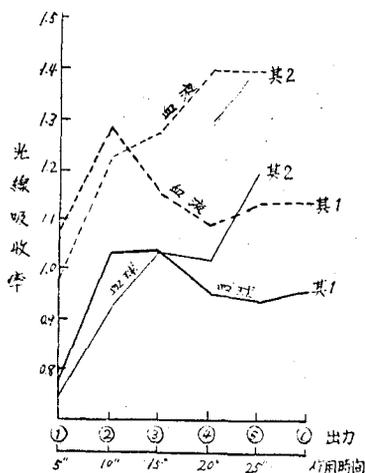
第16表 血液 (Vollblut) に對する超音波の影響
血球濃度 1%, 血液濃度 2%, 作用液量 50 cc

その1 作用時間を15秒として出力を變へた場合

		出力調節	①	②	③	④	⑤	⑥
血液	K. V.		1.5	1.9	2.2	2.4	2.8	3.05
	光線吸收率		1.08	1.28	1.16	1.09	1.14	1.14
血球	K. V.		1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0
	光線吸收率		0.78	1.04	1.04	0.95	0.94	0.96

その2 出力を② (1.8 K. V.) として作用時間を
を變えた場合 (光線吸収率で示す)。

作用時間	5''	10''	15''	20''	25''
血液	0.99	1.22	1.28	1.40	1.40
血球	0.75	0.92	1.04	1.02	1.20



(第16表を圖化せるもの)

第 17 圖

D 総括及び考察

牛血球及び牛血液の溶血状況、油の乳化状況及び2, 3色素類に対する超音波作用に関する余等の実験成績を総合的に視察すると、①超音波には其の強度に比例して増強する作用と、②其の強度に比例せず或一定の強度で気泡の最大発生部に於て極大値に達する同様の作用がある事は明確に把握出来る。①の場合は超音波の強度と物質が其作用によつて蒙る影響の度合は直線的関係にあり、②に於ては曲線的関係にある。余等の実験成績では、油の乳化の度合は超音波の強度に対して直線的関係にあり、色素類の色調変化或は褪色現象は曲線的関係にある事は一見して明かである。牛血球及び牛血液の溶血の場合の溶血曲線は上述の2つの作用が同時に組合せられて出現したと見れば容易に理解できる。

今仮りに、①の超音波の強度に比例する作用を直線的作用、②の或一定の強度に於て極大値に達する作用を曲線的作用と呼ぶならば、超音波の直線的作用は従来一般に超音波の主要作用として理解されていた破壊作用で、音波の強烈な振動によつて惹起せられる機械的破壊力による現象、即ち純然たる物理現象である事は今日一般に認められているところで、それ以外に考え様がない。

超音波の曲線的な作用は化学反応を促進し或は化学変化を起すところから一般には化学作用と言われている。本作用が超音波による溶媒中の気泡発生と極めて密接の関係にある事は余等の実験成績に於ても明瞭に認められ、此の事に就ては笠原、雄山及び其の共同研究者が既に発表している(67)(68)(69)(70)。此の気泡発生は超音波による Cavitation である事は今日疑う余地がなく、笠原、雄山は超音波による化学作用の機軸を Cavitation のために溶媒中に遊離された活性酸素による酸化作用として理解している。

Cavitation なる現象は一つの物理的現象であつて、例えばプロペラーが猛烈な速度で廻転する時、廻転方向に対して逆のプロペラーの面の部分に真空間隙を生ずる事、或は水中でスクリーが廻転する場合同様な現象が生ずる事を言うのであつて、超音波の場合は振幅の壓力が媒質の内部壓力より以上になつた場合同様な現象として媒質内に間隙を生じ、結果として気泡を発生するに至る事は容易に考えられる。而して現在スクリーの内面が甚しく腐蝕されたり、或は猛烈な速度で水を通す鉄管の内面が容易に腐蝕されるのは、一方此の Cavitation のために生ずる水中の遊離酸素に基づく酸化作用であると言われ、他方酸化作用に非ずして Cavitation によつて生じた間隙の潰滅に基づく強力な壓力のためとも言われている。事実 Cavitation によつて生じた真空間隙が一挙に潰滅して、其のために生じた壓力が最初の間隙の直径の20分の1の中心核に向うとすれば1インチ平方当り62噸となり、100分の1の中心核に向うとすれば765噸になる事を Parson 及び Cook が算出している。

以上の様に、Cavitation による二次的現象(物質の破壊)の発生機軸に関して、現在のところ2様の説があるので、超音波の曲線的な作用を直ちに Cavitation による酸化作用であるとの結論を下す事は出来ない様に思う。勿論余等の実験成績には此の点の機軸を考察する何物もないが、現在未だ此の方面の理論的研究がない様であるから、超音波の曲線的な作用を直ちに酸化作用と言わずに「化学作用」と言つておく方が妥当の様に思われる。

扱次に、超音波作用の作用としての定量的方面に就て聊か考察を加えて見よう。

余等の実験成績に見られる如く、超音波の作用が直線的即ち機械的であるにしろ、或は曲線的即ち化学的であるにしろ、被照射物質の受ける影響の度合は、其の物質の濃度、作用液量、作用時間、作用点及び超音波の強度によつて著しく差異を生ずる事は、超音波の生物学的或は物理化学的方面への応用に際し特に注意を要する点であると考えられる。余等の実験成績に於て無核赤血球である牛血球の超音波による溶血状況を見ると、血球液の濃度如何によつて溶

血が或は化学作用により或は機械的作用によつて行われる事が分り、血球溶血の機械に関する長沢の結論(82)は余の実験の場合は1~3%の血球濃度の場合にのみ妥当であつてそれ以上の濃度の場合は適合されない。此の事は既に横籬によつて指摘されたところである(83)。此の様な事は超音波の作用に関して一般の結論を下す場合特に注意しなければならぬ事であると思う。

Methylenblauに関する村野の実験成績を見ると(85)、本色素は超音波10~60分作用により桿菌球菌類に対して殺菌力を増強するが、超音波による色素其の物の変化は認められないとの結論になつてゐる。余等の実験成績は村野の夫とは反対で、本色素は超音波の化学作用により極めて著明の変化を蒙る事を示している。此の場合使用した色素液濃度を比較すれば、村野は500倍稀液と言う極めて濃厚なものを使用し余等の場合は2mg%と言う極めて稀薄なものである。勿論使用した色素液の濃度の差のみが実験成績に差を生じた原因であるとは言えず、其の他に超音波の作用が単に機械的のものであるか或は化学的のものであるかと言う点に大いに関係している事と思われるが、作用せしむべき物質の量が超音波の強度に比してあまり多過ぎると、影響自体は量の際にかくれて吾人の眼に見えない場合があり得る事は想像に難くない。従つて実験に際しては、箇々の場合に被作用物質と超音波の強度との定量的関係を詳にした上で実験を進めるべきであると考えらる。

又超音波の出力、作用時間、被作用物質の濃度及び作用液量を一定にしても、作用点が異ると、被作用物質の受ける影響の度合に差を生ずる事は注意しなければならない事実であると思うが、此の事は次の様に容易に理解される。

現在は、超音波の強さを直接測定する完全な方法がない様であるが、超音波は発振部から遠ざかるに従つて減衰するものであり、可聴音の場合を考えても、或一点に於ける音の強さは其の点と発振部との距離の2乗に逆比例するので、一寸した作用点の差が、影響の度合にかなりの差を生ぜしめる事は容易に考えられる。

以上の諸実験に立脚して、次にワクチンとしてのBCG菌液を製造する場合を考えて見よう。今1cc1mg含有の菌液を製造するとして、超音波の出力、作用時間、作用点及び使用試験管を一定にしたとしても、菌液として50cc製造する場合と100cc製造する場合とでは、BCGの菌塊或は菌体を受ける影響の度合にかなりの差を生ずるだろう事が考えられる。又逆に作用液量は一定であつても1cc1mgのものを製造する場合(或は1cc1mgの既製の菌液に超音波を作用せしめる場合)と、1cc10乃至20mg含有のものを製造する場合(或は1cc10乃至20mg含有の既製の菌液に超音波を作用させる場合)とでは、出来上つた菌

液の生物学的或は細菌学的性状が必ずしも同一であるとは断言出来ないわけである。即ちワクチンとしてのBCGの菌液の製造に超音波を応用する場合、菌量、液量、作用時間、超音波の強度及び作用点の相互関係に於ける定量的関係を考慮しなければ、同一試験管を使用したとしても、出来上つた菌液の性状はまちまちで、或時は依然として多数の菌塊を含有して、夫が膿瘍潰瘍発生の主動者になるであろうし、或時は菌体自体が著しく破壊されて、ワクチン接種後の腸転状況に思ひかけない悪影響を及ぼすだろう事は想像に難くない。此の点が諸言に述べた如く、BBGに対する超音波作用に関する諸家の実験結論がまちまちである根本原因ではないかと思う。考ふべき事柄である。

最後に、2-6-Dichlorphenolindophenolに就てであるが、本色素の超音波による赤変が、超音波による直接作用でなくて、超音波作用による溶媒のPH上昇に基づく二次的現象である事から考えれば、笠原、雄山及び其の共同研究者が提案した本色素の赤変状況による超音波強度の間接測定法は、溶媒として用いる蒸溜水の起始PHが一定でない限り無意味の操作に終るわけである。余等は寧ろ、超音波強度の間接測定法として、化学作用の測定には溶媒のPHを緩衝液で一定にした場合の本色素の褪色現状を利用し、機械作用の測定には油の乳化を利用する方が確実であると考えらる。

超音波作用によつて蒸溜水のPHが上昇する事は既に渡辺が発表しているが(16)、本現象の機械は現在のところ余等には全く不明である。

E 結 論

- 1) 超音波には其の強さに正比例して出現する作用と、強さに比例せず或一定の強さで気泡の最大発生部位に於て極大値に達する作用がある。前者は機械的破壊作用として、後者は化学作用として理解するのが妥当である。
- 2) 超音波による油の乳化は機械的作用により、色素の性状変化(褪色)は化学作用により、牛血液の溶血現象は両方の作用によつて起る。
- 3) 牛血球の超音波による溶血現象は濃度が低い場合は主として化学作用により、濃度が高い場合は機械的作用によつて起る。
- 4) 生物学的或は物理化学的方面に超音波を応用する場合は、超音波の強度、作用時間、作用点、被作用物質の濃度及び作用液量の相互の定量的関係に就いて深い考慮が払われねばならない。此の事は使用する箇々の超音波発生装置及び箇々の資料に就いて実験の都度確実に検べる必要がある。でないとは被検物質の蒙る影響の度合の変動が大き

く間違つた結論に到達する危険がある。

5) 2-6-Dichlorophenolindophenol の赤変度を以て超音波の強度を間接的に測定する方法は、用いる色素液起始PHが一定でない限り其の結果は信用にならない。

参考文献

- 1) 野澤由美：生物學者醫學者用應用電氣學。66~78頁，昭和16年，東京共立社發行。
- 2) 矢追秀武：超音波の生物に及ぼす影響に就いて(總説)。962頁，實驗醫學雜誌，18卷，7號，昭和9年。
- 3) 里見三男：超音波に關する本邦醫學者の研究業績(總説)。日新醫學，29卷，649，829，953頁，昭和15年。
- 4) 雄山平三郎：超音波の研究に就いて。電氣評論，21卷，1~5號，昭和8年。
- 5) 矢追秀武・荒川清二・梶原秀信：超音波照射牛痘毒の免疫元性に就いて。實驗醫學雜誌，24卷，10號，1265頁，昭和15年。
- 6) 矢追秀武・荒川清二・梶原秀雄：超音波照射によりて不活化したる各種病毒の免疫元性に就いて。同上，1281頁。
- 7) 謝指南・緒方誠一：超音波の腦炎病毒に及ぼす影響に就いて。大阪醫學會雜誌，38卷，1491頁，昭和14年。
- 8) 謝指南：超音波の狂犬病毒に及ぼす影響。大阪醫學會雜誌，39卷，315頁，昭和15年。
- 9) 謝指南：超音波の生物的研究，超音波ワクチンによる狂犬病豫防法。同上，793頁。
- 10) 門野萬三：超音波の生物學的性狀に就いて，その2。超音波の濾過性病原體に對する影響。同上，1019頁。
- 11) 市川俊彦：超音波の狂犬病病毒無毒化作用機轉に就いて。大阪醫學會雜誌，41卷，1442頁，昭和17年。
- 12) 横繩俊夫：超音波の家兎精液腫病毒に及ぼす影響。大阪醫學會雜誌，42卷，517頁，昭和18年。
- 13) 田原マチ・山本芳：腦炎超音波ワクチン蜘蛛膜下腔内注入による軟腦膜内被細胞の變化。同上，107頁。
- 14) 木下武助・木戸日忠外3名：超音波の脈絡膜腦膜炎病毒に及ぼす影響。同上，1048頁。
- 15) 甲斐滋彦・笹尾收外2名：超音波による跳躍病病毒無毒化作用機轉に就いて。大阪醫學會雜誌，43卷，194頁，昭和19年。
- 16) 渡邊及び共同研究者：超音波による微生物學的並びに血清學的研究。東京醫學新誌，3011號，昭和11年12月。
- 17) 船戸準：超音波による細菌の破壊作用に就いて。日本微生物病理學雜誌，32卷，546，565，641，665頁，昭和13年。
- 18) 尾崎茂樹：超音波作用時の被檢体内溫度と細菌死滅，潤潤變化及び容量變化との關係。同上，1018頁。
- 19) 尾崎茂樹：長時間の超音波作用による細菌浮游液の潤潤並びに量變化に就いて。同上，1034頁。
- 20) 渡邊邊・尾崎茂樹外2名：超音波コレラ抗原を以てせる免疫學的研究。同上，1078頁。
- 21) 尾崎茂樹・沖津久真：超音波の腸チフス菌抗原及び結核菌に及ぼす影響。同上，33卷，1034頁，昭和14年。
- 22) 渡邊邊・宮川文夫・青木巽超：超音波チフスワクチンに關する研究(1~5編)。同上，33卷，1155，1165，1170，1189頁，昭和14年。
- 23) 青木巽：超音波ワクチンを以てせる經口免疫の實驗的研究。同上，34卷，884頁，昭和14年。
同上，35卷，1015頁，昭和16年。
- 24) 村野喜代：超音波ワクチンの研究。同上，35卷，211頁，昭和16年。
- 25) 沖津久真：分致媒を種々變化せしめたる場合に於けるコレラ超音波ワクチンの精元性に關する研究。同上，36卷，143頁，昭和18年。
- 26) 木村順次郎：超音波パラチフス・ワクチンの研究。同上，36卷，652頁，昭和17年。
- 27) 富谷三郎：コレラ超音波フォルモワクチンを以てする免疫學的研究。同上，36卷，887~1009頁，昭和17年。
- 28) 青木巽：超音波抗原を以てする經口免疫學的研究。同上，36卷，515頁，昭和17年。
- 29) 青木巽：超音波抗原を以てする經皮免疫の實驗的研究。日本微生物物理學雜誌，36卷，769~1094頁。
- 30) 山本太木・松尾弘外2名：超音波作用の微生物に及ぼす影響。大阪高等醫學專門學校雜誌，4卷，390頁，昭和12年。
- 31) 松崎次郎・林拾五外2名：超音波の結核菌及び「ツベルクリン」に及ぼす影響に就いて。大阪醫學會雜誌，38卷，737頁，昭和14年。
- 32) 山中太木・藤本哲・大總陽吉及び2名：抗酸性菌に及ぼす超音波作用の影響。大阪高等醫學專門學校雜誌，6卷，2號，昭和14年。(醫學中央雜誌より)。
- 33) 井上猛夫：超音波による細菌破壊作用に就いて。東京醫學新誌，3176號，529頁，昭和15年。
- 34) 澁谷鏡：超超音波による結核菌溶解實驗。同上，943號，3591頁，昭和15年。
- 35) 鈴木省三：超音波の細菌に及ぼす影響に就いて。大阪醫學會雜誌，41卷，1153頁，昭和17年。
42卷，474頁，昭和18年。
- 36) 鈴木省三・佐藤真次その他2名：超音波の結核菌に及ぼす影響。同上，41卷，171頁，昭和17年。
- 37) 笠原道夫・里見三男：超音波の鼠癩菌に及ぼす影響。醫學と生物學，2卷，1號，昭和17年。
- 38) 宮川文夫：超音波の異性抗体及び抗原に及ぼす影響。日本微生物病理學雜誌，32卷，1069頁，昭和13年。
- 39) 沖津久真：超音波抗原を以てする補體結合反應に關する研究。同上，32卷，1224頁，昭和13年。
33卷，1301頁，昭和14年。
- 40) 宮川文夫・青木巽：超音波の過敏症抗原及び抗体に及ぼす影響。同上，33卷，1052頁，昭和14年。
- 41) 村野喜代：超音波の抗体に及ぼす影響。同上，33卷，1，330，599，836，1316頁，昭和14年。
- 42) 横繩俊夫・佐藤真次外8名：超音波のアナコイラキシーに及ぼす影響。大阪醫學會雜誌，39卷，49頁，昭和15年。
- 43) 山崎治雄：ワッセルマン反應の諸材料に對する超音波の影響。同上，41卷，1556頁，昭和17年。
- 44) 謝指南：超音波の生物學的研究。超音波を作用せしめたる破傷風毒の免疫學的研究。同上，38卷，1771頁，昭和14年。
- 45) 謝指南：超音波の生物學的研究。超音波を作用せしめ

- たる「タイワンコブラ」毒の免疫學的研究。同上, 38卷, 1473頁, 昭和14年。
- 46) 西忠次郎: 超音波による菌体外毒素に関する知見補遺, デフテリヤ毒素の複合性に就いて。日本微生物病理學雜誌, 33卷, 190頁, 昭和14年。
- 47) 謝指南: 超音波の生物學的研究。超音波を作用せしめたる「デフテリヤ」毒素の免疫學的研究。大阪醫學會雜誌, 39卷, 1761頁, 昭和15年。
- 48) 西忠次郎: 超音波のデフテリヤ・アナトキシンに及ぼす影響。日本微生物病理學雜誌, 36卷, 409頁, 昭和17年。
- 49) 松崎次郎: 超音波の血清不安定反應に及ぼす影響。大阪醫學會雜誌, 38卷, 791頁, 昭和14年。
- 50) 緒方誠一・横繩俊夫: 超音波の生物學的研究。超音波の血清表面張力, 精調度, 蛋白分割に及ぼす影響。大阪醫學會雜誌, 39卷, 981頁, 昭和15年。
- 51) 横繩俊夫: 超音波の血清張力に及ぼす影響。大阪醫學會雜誌, 42卷, 594頁, 昭和18年。
- 52) 星野實: 超音波のバクテリオファージに及ぼす影響。日本微生物病理學雜誌, 33卷, 447頁, 昭和14年。
- 53) 門野萬三: 超音波の生物學的性状に就いて。ワイル氏病スピロヘータを以てする實驗。大阪醫學會雜誌, 39卷, 905頁, 昭和15年。
- 54) 松田鎮雄・松崎次郎: 超音波の「マラリヤ」原虫に及ぼす影響。大阪醫學會雜誌, 41卷, 826頁, 昭和17年。
- 55) 松崎治郎: 超音波の鶏マラリヤ原虫に及ぼす影響。大阪醫學會雜誌, 42卷, 1035, 1674頁, 昭和18年。
- 56) 三橋元一: 超音波の乳汁に及ぼす影響。日本微生物病理學雜誌, 31卷, 1728頁, 昭和12年。
- 57) 河崎茂・中谷克己: 超音波を應用せる加温培養基に関する研究。大阪高等醫學專門學校雜誌, 9卷, 485頁, 昭和17年。
- 58) 村谷直久: 細菌培地に及ぼす超音波作用の研究。大阪日赤醫學, 6卷, 4號, 427頁, 昭和17年。(醫學中央雜誌より)
- 59) 安藤正一: 超音波溶血血液加液培養基。實驗醫學雜誌, 26卷, 11號, 960頁, 昭和17年。
- 60) 辻岡瀧之助: 結核菌の免疫力に及ぼす超音波の影響。醫學研究, 15卷, 10號, 2255頁, 昭和16年。
- 61) 柳澤謙・大林容二: 超音波によるBCGワクチンの製法。第16回聯合微生物學會記録, 81頁, 昭和17年。
- 62) 畑: 同上追加演説。
- 63) 横繩俊夫・古見真三郎外3名: 超音波のBCGに及ぼす影響。大阪醫學會雜誌, 39卷, 2094頁, 昭和15年。
- 64) 日本學術振興會第八(結核豫防)小委員會報告書: 結核豫防接種に関する報告書。昭和18年3月。
- 65) 高橋義夫・田淵義丸: BCGに對する超音波の作用に関する研究。醫學と生物學, 4卷, 1號, 3頁, 昭和18年。
- 66) 占部薫: BCGワクチン側の2,3要約が局所反應及び
ツ・アレルギー發現に及ぼす影響に関する觀察。日本醫學及び健康保健, 3325號, 13頁, 昭和18年。
- 67) 雄山平三郎・緒方誠一外2名: 超音波の強さとその作用との關係に就いて。電氣評論, 29卷, 1號, 13頁, 昭和16年。
- 68) 雄山平三郎・緒方誠一外3名: 超音波による酸化作用と機械的作用とを分離し得る方法に就いて。電氣評論, 29卷, 12號, 785頁, 昭和16年。
- 69) 緒方誠一・横繩俊夫・長澤三省: 超音波の物理化學的並びに生物學的的作用機轉に関する知見補遺。大阪醫學會雜誌, 40卷, 883, 979, 1100, 1211頁, 昭和16年。
- 70) 吉田邦男・竹中翠江・山本芳: 超音波のビタミンKに及ぼす影響。大阪醫學會雜誌, 43卷, 197頁, 昭和19年。
- 71) 藁田正朝: 超音波のデフテリヤ菌及びデフテリヤ毒素に及ぼす影響。大阪醫學會雜誌, 41卷, 1544, 1549, 1551頁, 昭和17年。
- 72) 藁田正朝: 超音波のデフテリヤ抗毒素血清に及ぼす影響に就いて。大阪醫學會雜誌, 42卷, 1319頁, 昭和18年。
- 73) 横繩俊夫: 超音波の植物性毒素「リチン」に及ぼす影響。大阪醫學會雜誌, 41卷, 1672頁, 昭和17年。
- 74) 甲斐滋彦・藤田雄二外4名: 超音波の「タイワンコブラ」毒に及ぼす影響。特に超音波の作用機轉に就いて。大阪醫學會雜誌, 42卷, 24頁, 昭和18年。
- 75) 山本芳・今きぬ外2名: 超音波作用の「ツベルクリン」に及ぼる影響に就いて。大阪醫學會雜誌, 42卷, 447頁, 昭和18年。
- 76) 超音波を作用せしめたる植物性毒素「リチン」の免疫學的研究。大阪醫學會雜誌, 42卷, 1010頁, 昭和18年。
- 77) 竹中翠江: 超音波の破傷風毒素に及ぼす影響。大阪醫學會雜誌, 42卷, 1831頁, 昭和18年。
- 78) 中島俊彦・伴野重道: 超音波の破傷風毒素に及ぼす影響に就いて。大阪醫學會雜誌, 43卷, 373頁, 昭和19年。
- 79) 竹中翠江: 超音波の「ハブ」毒に及ぼす影響。大阪醫學會雜誌, 43卷, 114頁, 昭和19年。
- 80) 笠原道夫・雄山平三郎他3名: 超音波強度測定法の一方法。大阪醫學會雜誌, 40卷, 1251頁, 昭和16年。
- 81) 沖津久真: 超音波の各種血球に對する影響。日本微生物病理學雜誌, 31卷, 1578, 1604頁, 昭和12年。
- 82) 長澤三省: 超音波の溶血機轉に就いて。大阪醫學會雜誌, 41卷, 175, 298頁, 昭和17年。
- 83) 横繩俊夫: 超音波の溶血機轉に関する知見補遺。大阪醫學會雜誌, 42卷, 229頁, 昭和18年。
- 84) 森文雄: 超音波のラクトフラビンに及ぼす影響。大阪醫學會雜誌, 38卷, 1719頁, 昭和14年。
- 85) 村野喜代: 超音波の色素に及ぼす影響。日本微生物病理學雜誌, 36卷, 1010頁, 昭和18年。
- 86) Parson and Cook: A. B. Wood: A text-book of Sound, p. 214, London 1932.