

超音波の應用に關する最近の研究

特に農學關係に就いて

田 中 義 一

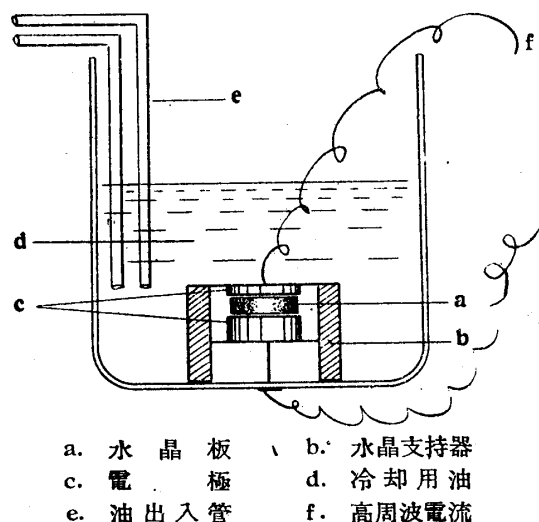
緒 論

通常吾人の耳に聴き得る音波の振動数は、大體 16~20,000 Cycle とされてゐるがその限界は明瞭なものではない、或人は 25,000 Cycle の音波をも聴き得ると云はれてゐる、然し大體吾人の聴覺中樞に音としての感覺を起し得ない動振數即ち 20,000 Cycle 以上の音波を超音波、超可聴音波又は不可聴音波 ultra-sonic, super-sonic, high-frequency-sound-wave, ultre-schallwelen, ultresons と稱してゐる。

超音波は、自然界に太古から存在し常に各種の可聴音波と相伴つて發生してゐたもので、その良く知られてゐるものゝ中で、コホロギ (*Nemofius Fasciatus*) 等はよく 36,000 Cycle までの超音波を出すと云はれてゐる。

人工的に超音波を發生するには、簡單には音叉、火花放電或はガルトン笛等に依つても發生し得るが、通常吾々が各種の物理化學的或は生物學的研究に使用すべき超音波の發生裝置には、強力な且、安定な超音を連續的に得られるものでなければならない、それには Piezo 逆効果 (Converse Piezo-Electric Effect) の利用並びに磁歪現象 (Magneto-Striction) の利用の二方法あるが、前者は大體 200K.C. 以上の高周波超音波の發生に、後者は比較的低周波の超音波發生に使用されてゐる、而して一般の理化學的並びに生物學的研究には前者の Piezo 逆効果利用の方法を用ひてゐる。(第1圖參照)

第1圖 超音波發生裝置



- | | |
|------------|----------|
| a. 水晶板 | b. 水晶支持器 |
| c. 電 極 | d. 冷却用油 |
| e. 油 出 入 管 | f. 高周波電流 |

先年斯界の權威雄山平三郎氏は、上記 Piezo 逆効果利用の方法により最大周波數47500K.C. の超音波を發生し得たと稱してゐる。

超音波に關して最初に系統的研究を發表したのは、佛蘭西の LANGEVIN 氏 (1917) である、其後亞米利加の WOOD, LOOMIS 兩氏 (1927)⁽¹⁾ が強力な超音波を得て、之が理化學的並びに生物學的研究を報告するに及び、次いで HARVEY, LOOMIS (1928)⁽²⁾ HARVEY, HARVEY, LOOMIS (1928)⁽³⁾ SCHMIDT, OLSEN,

JOHNSON (1928)⁽⁴⁾ 並びに SCHMIDT, JOHNSON, OLSEN (1929)⁽⁵⁾ 氏等の報告を見るに至つて後、相次いで、多數の研究がなされ、本邦に於いても、中澤、佐藤兩氏 (1933)⁽⁶⁾ の蛋白及び其膠質滲透壓に關する研究、泉、中澤兩氏 (1933)⁽⁷⁾ の酵母に關する研究並びに石丸氏 (1933)⁽⁸⁾ の醬油酵母に關する報告等を見るに至り、其後急速な發展をなし、今や超音波の應用は、物理界に化學界に又醫學界方面に極めて活潑なる新分野を展開せんとしてゐる状態である、又近時農學方面に於いても漸次應用されるに至つたが、未だその研究は一端を把握せるに過ぎなく、興味ある學術的研究並びに應用は今後の飛躍によりて益々擴大さるゝの状態にある。

よつて此處に不敏をもちへり見ず、超音波の應用に關して述べんとしたのも、一層に各位の御注目と興味とを喚起し、且、此の種研究の一助ともなり得るならばとの微意より出でたるものである幸ひ幾分なりとも參考たるを得ば幸甚の至りである。

[I] 超音波の理化學的、生物學的作用

1. 熱 作 用

超音波を各種の物質に投射する時には、その物質の溫度が上昇しその程度は、物質の性質、周囲の條件で異り、大體その到達溫度は物質により定つてゐる。

500W, 500K.C.⁺ の超音波では、水の上昇溫度が 50~60°C である、この溫度上昇の原因は、水自身の摩擦、水分子相互間の摩擦或は水と容器との摩擦等が考へられる。

2. 氣 泡 の 發 生

超音波を液體に投射する時には、著しく氣泡が發生する RICHARD, LOOMIS 兩氏によれば、
發生瓦斯の容積は、酸素3.7~2.7, 窒素2.8~2.6であると云ふ。
瓦斯の溶解容積

3. 沸 點 の 降 下

超音波の投射により物質の沸點が降下する、水、トロール、四鹽化炭素等は顯著にその効果が現はれる。

今水と四鹽化炭素に就いて見るに次表の如くである。

超 音 波 に 依 る 沸 點 降 下

超音波の強度*	100	79	70	63	54	46	40	0
水	97.8	98.2	98.5	98.8	99.1	99.2	99.3	99.4
四 鹽 化 炭 素	75.1	75.3	75.6	76.0	76.4	76.7	—	77.1

* 超音波の強度

水 2.5cc を 30 秒間に 2.8°C 上昇せしめ得る

+ K. C = kilo cycles

強度を 100% 強度の超音波と云ふ。

4. 懸垂作用

粒子の大きさが適當なる場合には、超音波により集合して液表面に懸垂してくる。

5. 乳化作作用

水と油、水とパラフィン、水と水銀等は超音波の投射により容易に且安定な Emulsion 乃至 Colloid を作る、然し乳化する分量に極限があり、又超音波の投射時間に最適の値がある、一般に乳化は、最小粒子はミクロン以下に達するが粒が一定になり得ない缺點がある。

6. 凝集作用

卵白 Albumin に超音波を投射すると、數分で混濁を生じ、細片の沈澱する事が認められる。

7. 化學反應の促進作用

金屬鹽類の水溶液に溶解電位の低い金屬粉末を加へると、新しい金屬の鹽類が生じて原金屬が遊離してくる、この時超音波を投射すれば著しく化學反應が促進される。

8. 水の水素イオン濃度の變化

蒸留水に超音波を投射すれば、その水素イオン濃度が減少し、pH4.4 位で飽和する。

9. 生物學的作用

600K.C.の超音波では血球の種類によつて強弱はあるが、一般に 30秒内外の超音波投射により殆んど完全に溶血作用を呈する⁽⁹⁾。

小動物、原生動物、動物細胞等に就いて見るに、形狀の大きいものは早く死ぬが、比較的小さいものは抵抗が強い、又動物細胞は超音波投射により小片に裂け、細胞膜が破れ原形質が流出する。

以上掲載せるもの以外に、超音波の物理化學的、生物學的研究に關する文献は多數あるが煩雜を避けるため主なるものゝ記載に止めておいた。

〔II〕 超音波の應用

1. 植物に對する應用

鈴木氏⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾(1938~9)は、水稻の種子に 300W, 450K.C. の超音波を、1~5分間投射して對照のものと、人工苗代に依りその發育狀態を觀察せるに、超音波刺戟では水稻種子に對しあまり促進作用は認められないが、然し何等かの刺戟作用のあることは認められる、即ち浸種子に超音波を作用させると、其發芽後幼芽の發育を促進せしめ、又強く投射すれば種子の發芽後その幼芽の發育が抑制されると稱してゐる。

以上より超音波はその強弱により、發芽當初の水稻の發育に對し、或は促進或は抑制的に作用するものと考へられる。

又、笹川氏⁽¹²⁾(1938)は、30數種の朝顔種子に、450K.C. の超音波を 5分間作用せしめ、對照のも

のと2群に分ちて播種すると、概して超音波投射群の發育が促進され、その差の太なるものは2週間にも及ぶものと稱してゐる。

第 2

尙第2圖中、右の植物は超音波を投射せる種子より、左は投射せざる種子より發育したものである(植物名不明)。

2. ヴイタミンに對する作用

松崎氏⁽¹⁸⁾(1939)は、⁽¹⁸⁾ ヴイタミンBに及ぼす超音波の影響に就いて觀察した、即ち⁽¹⁸⁾ ヴイタミンBとしてゼタルモン、⁽¹⁸⁾ ヴイタミンBとしてメタボリン及びベタキシンを使用し、之れに450 K.C.の超音波を、5、10、20分間投射して白米精端に對する治効力を檢せるに、孰れもその⁽¹⁸⁾ ヴイタミンが著しく減弱される様なことはなかつたと云ふ、之れより超音波は⁽¹⁸⁾ ヴイタミンBに對しあまり影響を及ぼす様なことはないものと考えられる。



又⁽¹⁸⁾ ヴイタミンCに對する超音波の影響に關しては川島氏の報告がある。(後述)

3. 乳汁、乳製品に對する應用

川島氏⁽¹⁹⁾(1937)は、人乳(初乳及び常乳)、牛乳(生牛乳及び殺菌乳)並びにアスコルビン酸水溶液に對し、450 K.C.の超音波を30秒乃至3分間作用せしめた結果孰れも⁽¹⁹⁾ ヴイタミンC量の減少せることを認めてゐる。

即ち、人乳に於いては、初乳は平均18%、常乳は平均23%減少し、牛乳にあつては殆んど總ての場合に於いてその減少せるを認め又アスコルビン酸の水溶液の場合には人乳に比較し其の減少著しく平均53%の消失であつたと云ふ、而して此場合の試料の溫度上昇は、30秒の時は10°C、1分の時は15°C、3分の時は20°Cで此の溫度に於ける對照試験の結果は、其の⁽¹⁹⁾ ヴイタミンCに何等影響はないと稱してゐる。

而して斯如く超音波投射による⁽¹⁹⁾ ヴイタミンC消失の原因は Cavitationに依つて發生せる活性酸素の酸化作用によるものと考えられる。

又、異、小西兩氏⁽¹⁶⁾(1937)は、超音波の乳球並びに人乳及び粉乳のクリーム・ラインに及ぼす影響に就いて觀察してゐる。

即ち、乳汁 0.5~1.0cc を厚さ 0.4~0.6mm の硬質試験管に入れ、450 K.C. の超音波を30秒乃至3分間投射せるに、正常乳の乳球の直径は 2.6~3.7 μ のもの多數なるに反し超音波を投射せる乳汁の乳球は 2.6 μ 以下のもの多く3.7 μ 以上のものは極めて僅少である、尙乳球の輪廓は超音波投射により不整となる様なことはなく、又 1% Nilblauに對する染色狀態に變化を認める様なことはない云ふ。

更に、人乳、粉乳、生牛乳及び低温殺菌乳のクリーム・ラインに對する影響を検せるに、人乳、粉乳に於いては變化を認められないが、生牛乳、殺菌乳にあつては著明なるクリーム・ラインの減少を認め、特に生牛乳に於いては $1/3 \sim 1/2$ の減少を示せりと稱してゐる。

又、三橋氏⁽¹⁵⁾(1937)は、牛乳に超音波を投射せしめてその殺菌作用を検すると共に、脂肪、酸度、濁濁度、膠質状態並びに各種酵素に及ぼす影響に就いて觀察し次の結果を得た。

(a) 牛乳の温度は超音波投射に依り最高 45°C まで上昇した。(b) 低温殺菌乳と生乳に作用せしむれば、5～10分間では一時的に細菌増加するが、20分以上の投射により次第に減少し、30分には低温殺菌牛乳より細菌數減少するが然し2時間作用せしめても完全に滅菌することは出来なかつた。(c) 高温殺菌乳並びに低温殺菌乳に作用せしむれば直ちに細菌數減少する。(d) 脂肪球はホモゲナイズされたが構造及び染色状態に變化がなかつた。(e) 膠質状態は幾分變化する。(f) 酸度は低下する。(g) 濁濁度は増加する。(h) 牛乳の酵素に對しては (1) パーオキシダーゼは殆んど變化なく、(2) レダクターゼは減弱されるが、20分の投射では多量に残る、(3) カタラーゼは作用時間と共に減少する、(4) デアスターゼは減少するが低温殺菌程ではないと稱してゐる。

上記の如く超音波による殺菌の原因は振動によつて菌體の破壊さるゝに依るものと考へられる。

又乳汁酵素に及ぼす超音波の影響に關して KASAHARA, YOSHINARE 兩氏⁽¹⁷⁾(1938)に依れば、パーオキシダーゼ、レダクターゼは共に破壊されるが、リパーゼ、アミラーゼは影響を受けないと述べ、又 SATO, MATSUDAIRA 兩氏⁽¹⁸⁾(1934)の、パーオキシダーゼに關する試験結果も大體相似してゐる。

最近、緒方氏⁽¹⁹⁾(1939)は、超音波 (454K.C.) を、人乳、牛乳、山羊乳並びに各種粉乳に作用せしめて、其の表面張力と水素イオン濃度を檢せるに、(1) 人乳殊に永久乳は超音波を30秒乃至3分の投射により、表面張力の著明なる下降と、pHの減少を示し、粉乳に於いては永久乳に比較し該變化は輕微である。(2) 牛乳(生牛乳及び高温殺菌乳)に於いては表面張力並びにpHの何等差異を認めず(3) 生山羊乳及び各種粉乳も亦變動を來さず。(4) 人乳を脱脂するが又は 70°C に1時間加熱すれば、超音波に依る表面張力の下降は認められないと稱してゐる。

尙同氏は上記の如く、人乳が超音波に對し、他種乳汁に比較し著明なる差の有することより、人乳を他種乳汁と超音波により鑑別し得ると稱してゐる。

4. 油脂に對する應用

田鶴濱氏⁽²⁰⁾(1937)は各種の油脂に對する超音波の影響を觀察し其結果植物性油脂は超音波 (500 K.C.) を2時間作用せしむるも殆んど影響を認められないが、魚油に對しては明に影響を及ぼし、即ち沃素價常に低下し、鹼化價、酸價、屈折率、比重は共に増加した、又魚油の種々なる重量變化に對しては超音波によつて魚油成分中、或る部分は發散し易き状態となり又或る部分は酸素を吸収し易くなる、又活性炭、酸性白土の油脂に對する脱色性等も超音波により促進される、と述べてゐる。

又、貞清、田鶴濱兩氏⁽²¹⁾ (1937) は、超音波を利用して炭化水素油の引火點を低下せしめる方法に關して特許を得てゐる、即ち上記の如く油の超音波により、その沃素價を低下し、比重、粘度等の増加する傾向あるを利用して、炭化水素油に超音波を投射しその引火點を低下せしむるもので、500K.C. の超音波により 135°C の引火點を 125°C まで低下せしめ得ると稱してゐる。

5. 水産に關する應用

八木、小寺兩氏⁽²²⁾ (1937) は、超音波を用ひる集魚方法に就き興味ある發明をして特許を得てゐる。

即ち本發明は魚類が水流に對して逆行する性を超音波の分子運動壓を用ひて分析した結果、之れは魚類が流れの壓力を體素面に感受して壓力の進行して來る方面に向ふ趨勢のある事を發見して應用したもので、水中の發振する定常波の波長は目標とする魚體の體長以下として且、その壓力は、魚體をしてその方向性反應を起さしめるに適當な超音波の波長を用ひて、魚類に對し水流の壓力感と等しい感覺を起さしめて振動源附近に誘致し、廣範圍の水中に散在する魚類を晝夜を分たず、且短時間に1箇所に集めて魚獲を容易ならしめ得るものであると稱してゐる。

金澤、篠川兩氏⁽²³⁾ (1938) は、蘭鰻の發育並に體形に及ぼす超音波の影響を觀察して、次の如き結果を報告してゐる。

即ち5~50秒の超音波(450K.C.)作用は、之れを繼續的に3~4日目毎に投射せしむれば蘭鰻の發育を促進する傾向がある、又30~60秒の超音波刺戟では、之れを3日目毎に作用せしむれば、體重の増加に比し身長著しい發達を認め、特に尾筒(尾鰭の根部)の延びる傾向がある、然し60秒の投射では却つて發育が不良となる、又超音波刺戟に依り蘭鰻の發育停止、冬眠に入る時期等には大差を認められなかつたと稱してゐる。

又、勝田氏⁽²⁴⁾ (1939) は超音波の蘭鰻子魚の體長並に體形に及ぼす影響に就いて觀察してゐる、即ち(450K.C.)の超音波を蘭鰻の親魚體内の卵を通じて其の仔魚に投射するか、又は發育途上の仔魚に連續作用せしめた結果、或る強度の超音波は仔魚の體長を細長くする、又無鱗のもの或は一部鱗の缺如せるもの等生じ(之れは弱く越年せず)又或る強度の超音波刺戟では仔魚の發育を促進するが、此の作用は體細胞のみではなく幹細胞にも認められると述べてゐる。

(附 記)

超音波の研究に關する先業は、文献としての尊い價值は認められるが、之等を生物學の見地より見るに、孰れも雜然としたものであつて、超音波の作用に關する系統立つた事柄を見出すことは困難である。

最近 SCHMID 氏は“超音波と化學”と云ふ總合報告をなし、又佐多氏は“超音波と化學及び膠質學”を發表し、超音波の化學的並に膠質學的研究の現状及び將來に就いて述べられてゐる。

* SCHMID : Z. Elektrochem. 44, 728 (1938)

+ 佐多直康 : 科學, 9, 136 (昭14)

(於、北海道帝國大學農學部)

參考文獻

- 1) R. W. WOOD, A. L. LOOMIS: Phil. Mag. 4, 417 (1927) The Physical and Biological Effect of High Frequency Sound Wave of Great Intensity.
- 2) E. N. HARVEY, A. L. LOOMIS: Nature 121, 622 (1928) High frequency Sound Wave of Small Intensity and Their Biological Effect.
- 3) E. N. HARVEY, E. R. HARVEY, A. L. LOOMIS: Biol. Bull. 55, 459 (1928) Further Observation on the Effect of High Frequency Sound Wave on Living Matter.
- 4) F. O. SCHMIDT, A. L. OLSEN, C. H. JOHNSON: Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 25, 718 (1928) Effect of High Frequency Sound Wave on Protoplasma.
- 5) F. O. SCHMIDT, C. H. JOHNSON, A. L. OLSEN: J. Am. Chem. Soc. 51, 370 (1929) Oxydation Promoted by Ultrasonic Radiation.
- 6) 中澤房吉、佐藤一郎: 日本内科, 5號(昭8) 超音波の蛋白及び其膠質滲透壓に及ぼす影響
- 7) 泉正一、中澤房吉: 日本消化器學會講演, 4月(昭8) 超音波の酵素に及ぼす影響
- 8) 石丸義夫: 醸協, 7號(昭8) 高周波音波に依る醬油酵母殺菌の試み
- 9) 沖津久良: 微生, 31, 1578 (昭12) 超音波の各種血球に及ぼす影響 (1)
- 10) 鈴木育: 日本生理, 3, 159 (昭13) 超音波の水稻發芽に及ぼす影響
- 11) 鈴木育: 國民醫學, 16, 142 (昭14) 超音波の水稻發芽並びに發芽當初の發育に及ぼす影響
- 12) 笹川久吾: 日本生理, 3, 160 (昭13) 超音波の朝顔種子發育開花及び葉の變化に及ぼす影響
- 13) 松崎次郎: 大阪醫會, 37, 1371 (昭13) 超音波のゲイタミンに及ぼす影響
- 14) 川島清: 兒科, 43, 537 (昭12) 超音波の乳汁中ゲイタミン量に及ぼす影響
- 15) 巽稔、小西吉三郎: 兒科, 43, 790 (昭12) 超音波の乳球に及ぼす影響
- 16) 三橋元一: 微生, 31, 1728 (昭12) 超音波の乳汁に及ぼす影響
- 17) M. KASAHARA u. T. YOSHINARE: Zeitschr. f. Kinderheilk. 59. Bd. 4. Heft. S. 462 (1938) Ueber den Einfluss der Ultraakustischen Schallwellen auf die Milchenzyme.
- 18) A. SATO, M. MATSUDAIRA: Tohoku J. Exp. Med. 22, 412 (1934)
- 19) 緒方誠一: 兒科, 45, 1069 (昭14) 超音波の生物學的研究
- 20) 田嶋漢武: 電氣化學, 5, 225 (昭12) 超音波の化學反應 (第3報)
- 21) 貞清玄龜、田嶋漢武: 特許, 127720號、超音波を利用して炭化水素油の引火點を低下せしむる方法
- 22) 八木誠政、小寺周一: 特許, 128098號、超音波を用ひる集魚方法
- 23) 金澤俊一、篠川擴: 日本生理, 3, 160 (昭13) 超音波の蘭鰯發育並びに體形に及ぼす影響
- 24) 勝田讓: 國民醫學, 16, 67 (昭14) 超音波の蘭鰯仔魚體長並に體形に及ぼす影響