

Title	超音波の放射線効果に及ぼす影響 第1報 -60Co γ 線と1MHz超音波の化学的効果の比較-
Author(s)	藤田, 勝三; 石垣, 武男; 佐久間, 貞行 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1976, 36(8), p. 737-743
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/17356
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

超音波の放射線効果に及ぼす影響 (第1報)

^{60}Co γ 線と 1 MHz 超音波の化学的效果の比較

名古屋市立大学医学部放射線医学教室 (主任: 佐久間貞行教授)

藤田 勝三 石垣 武男 佐久間貞行

愛知医科大学放射線医学教室 (主任: 宮田伸樹教授)

宮 田 伸 樹

(昭和51年1月11日受付)

(昭和51年3月25日最終原稿受付)

The influence of ultrasound on ionizing radiation effects 1st Report. Comparative Studies of Co-60 Gamma-Rays and Ultrasound About Chemical Effect

By

Shozo Fujita, Takeo Ishigaki and Sadayuki Sakuma

Department of Radiology, Nagoya City University Medical School

(Director: Prof. Sadayuki Sakuma)

Nobuki Miyata

Department of Radiology, Aichi Medical University

(Director: Prof. Nobuki Miyata)

Research Code No.: 400

Key Words: Ultrasound, Chemical effect

Two chemical dosimeters for ionizing radiation, KI-starch and indigo carmine with chloral hydrate, were exposed to 1MHz ultrasound at the intensity of 0.5- 5 W/cm². and Co-60 gamma-rays. The optical densities of two systems were measured immediately after irradiation.

In the gamma-rays experiment, the optical density increased in proportion to exposure up to 2000 r. On the other hand, the ultrasound showed the intensity threshold in 0.5 to 1.0 W/cm². In addition, bubbles were observed at the intensity over 1 W/cm². The chemical effects were closely related with bubble formation and decreased exponentially against the distance between transducer and sample. When KL starch system was formed in gel by the addition of a low concentration of agar, no bubbles were induced by ultrasound nor change of optical density was observed even at the sonication of 3 W/cm² for 15 minutes. In contrast, three dimensioned dose distribution of Co-gamma-rays was obtained. This may indicate that the cavitation plays an important role in the chemical effect of ultrasound.

1. 緒言

超音波の生物学的効果に関する研究は、いろいろな周波数(MHz)及び強度(W/cm^2)で種々の実験材料について数多く行なわれている^{1)~5)8)10)11)}。また、放射線と超音波の併用照射の効果についても若干の報告があるが、それらの結果は一様でない。この原因のひとつは、超音波の強度測定法が確立していないために研究者により照射条件が異なるためであると考えられる。超音波には溶液系で化学反応の促進作用があることが知られ、その作用は超音波の空洞現象(Cavitation)、振動(攪拌)及び温度上昇によるとされている。そこで、医用超音波の強度を化学的方法で測定することの可能性を検討した。先づ、水中での気泡の生じ方を観察した。次に、電離放射線用の化学線量計として考えた2つの化学反応系を溶液の状態と寒天でゲル化して対流と気泡を生じ難くした状態で用いた。

2. 実験材料および方法

材料 超音波照射による水中での気泡の発生を観察するため $15 \times 20 \times 10 \text{ cm}^3$ の亚克力製水槽に水道水を満した。この水の酸素溶存度は 160 mmHg (ベックマン 160C型 20°C)である。超音波発振子を入れて水平方向に超音波を 0.5 , 1 , 1.5 , 2 W/cm^2 の強度で各々1分間照射した。また、気泡の発生と化学的效果の関連をみるためペトリディッシュ(ファルコン, $60 \times 15 \text{ mm}$)に次に述べる試料を満し開放したままと液面に空気がふれないように蓋をして発振子とディッシュ間は数段階の厚さの水を介して垂直方向に照射した。

用いた2つの化学反応系は、1) インジゴカルミン系⁶⁾(インジゴカルミン $3 \times 10^{-5} \text{ M}$, 抱水クロラール 1.0 M)と、2) ヨウ素澱粉系⁷⁾(ヨウ化カリウム 0.01 M , 澱粉 0.3 g/l , 抱水クロラール 0.1 M , 塩化ナトリウム 1.0 M)である。またこの試料を 0.2% 寒天でゲル化して照射した。

超音波照射 超音波照射(発生)装置は久保田製 Therasonic(周波数 1 MHz , 強度 0.5 W/cm^2 間隔可変で最大 5 W/cm^2)を使用した。発振子の直径は 5 cm である。発振子を試料と密着及び Fig.

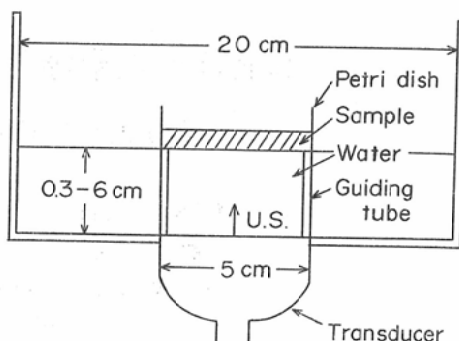


Fig. 1. Diagram of irradiation method

1に示す如く水を介して距離を変えた方法で室温($20 \sim 24^\circ\text{C}$)で照射した。照射は3~5回繰返した。

吸光度測定 吸光度測定は、照射直後に日立分光光度計 101型(セル: $10 \times 10 \times 40 \text{ mm}^3$)を用いて行なつた。測定波長はインジゴカルミン系るとき 615 nm , ヨウ素澱粉系るとき 555 nm である。照射による化学変化は、インジゴカルミン系が褐色、ヨウ素澱粉系が呈色である。

3. 結果

1) 発泡の観察

超音波照射による水槽内での発泡のようすを Fig. 2に示した。強度 0.5 W/cm^2 では発泡は肉眼では認められなかつた。 1 W/cm^2 でわずかに認められ、 1.5 , 2 W/cm^2 では明瞭に観察できた。 2 W/cm^2 では時間が経るにつれて気泡が大きくなり脱泡がみられた。次にペトリディッシュ内での発泡のようすを Fig. 3に示した。気泡は強度 2 W/cm^2 以上から認められた。超音波照射方向と直交する面上での気泡は中心部で大きく、周辺部へ移るにつれて小さくなり、その分布は不均等であることがわかつた。

2) 温度上昇の測定

超音波照射による水は温度上昇を測定し、強度との関係を調べた。水 100 ml を直径 7 cm の円筒形プラスチック製容器に入れ、熱の放散を防ぐため厚さ 5 cm の発泡スチロールで囲つた。水中に超音波発振子を入れ、マグネチックスターラでゆるやかに攪拌しながら超音波を 0.5 から 5 W/cm^2 ま

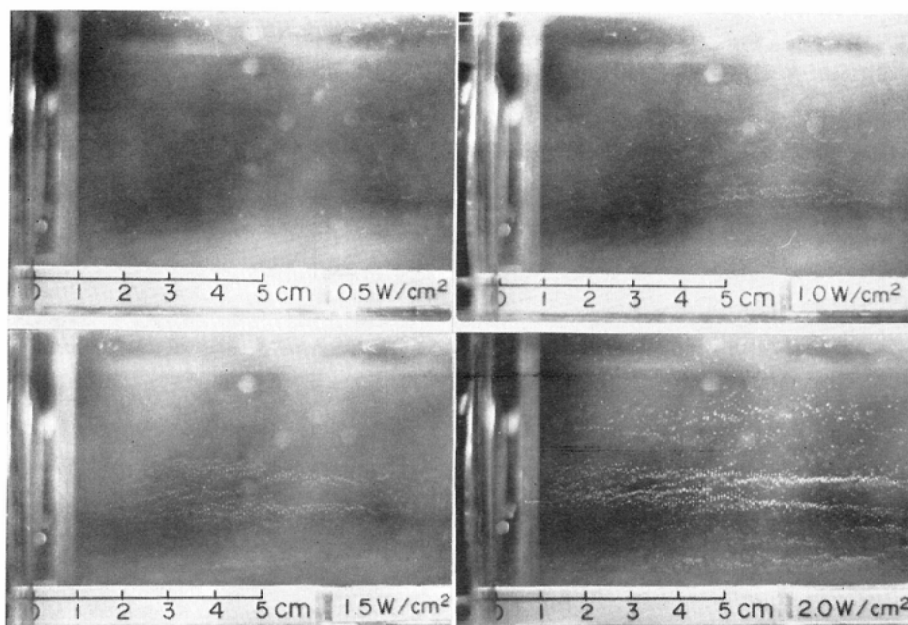


Fig. 2. Bubble formation caused by ultrasound at various intensities for 1 minute. Bubbles are observed at intensities above 1 W/cm².

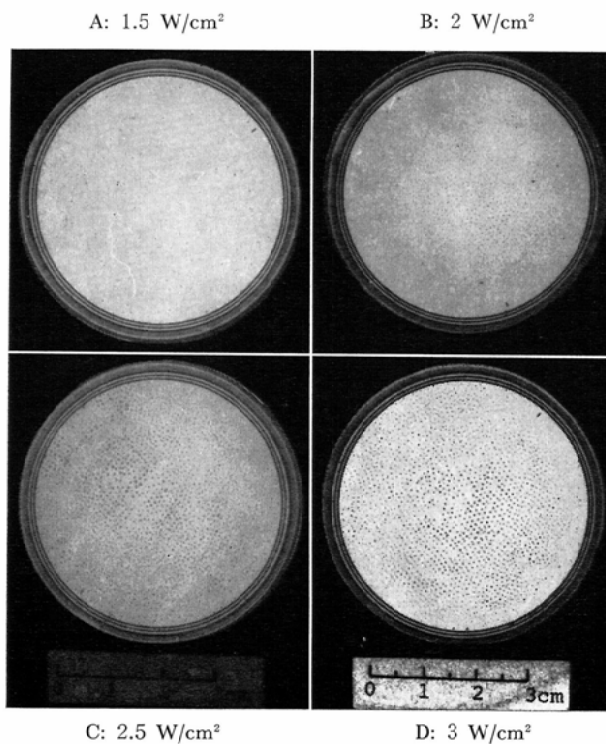


Fig. 3. Bubbles forming in dish caused by ultrasound at the various intensities. Distance between transducer and dish; 3 cm.

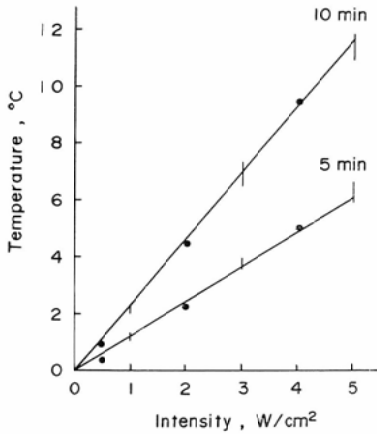


Fig. 4. Temperature rise of 100ml of water sonicated with various intensities for 5 and 10 minutes. Temperature increases linearly with intensity.

で各段階の強度で照射し、その温度上昇をサーミスタ温度計で測定した。その結果を Fig. 4 に示した。照射時間5、10分とも温度上昇は強度に比例した。

3) 化学的効果の測定

溶液の試料15ml に超音波発振子を密着させて強度 0.5W/cm² から 5 W/cm² まで 0.5分及び1分間照射し、吸光度を測定した。その結果を Fig. 5 に示した。2つの系とも、0.5W/cm² では吸光度変化がなく、1 W/cm²以上の強度と吸光度の間にはほぼ直線関係があつた。4本の直線を延長すると吸光度変化に対する超音波強度のしきい値が 0.5W/cm² と 1 W/cm² の間にあることが推定される。Fig. 6 は、ヨウ素澱粉系について超音波強度別に照射時間と吸光度の関係を示したものである。0.5W/cm² では5分間照射で吸光度変化はなかつた。1 W/cm²での測定値のバラツキは大きい。1.5, 3, 5 W/cm² とともに吸光度は照射時間に比例した。次に、Fig. 1 に示した方法で距離による吸光度の減弱を測定した。ここでは、培養細胞への照射を想定して試料容量を 5 ml とした。照射時間は1分間とした。強度 1, 1.5, 2, 2.5, 3 W/cm² で発振子—ディッシュ間距離を 0.3~6 cm と変えて照射した。その結果を Fig.

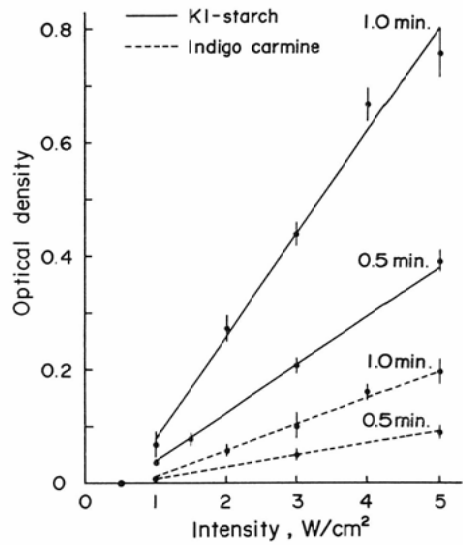


Fig. 5. Change of optical density of chemical dosimeters exposed to ultrasound at various intensities for 1 minute. The chemical effects show the intensity threshold in 0.5 to 1 W/cm² region.

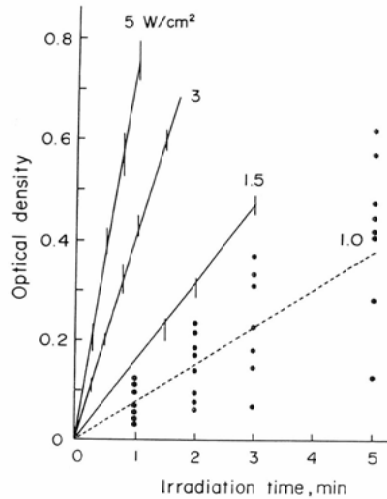


Fig. 6. Relation between irradiation time of ultrasound and optical density on KI starch system. The scatter of optical density at 1 W/cm² are large. Dotted line shows the average value obtained from several measurements.

7 に示した。吸光度は距離によつて指数関数的に減少し、距離 3 cm のとき吸光度変化のためには 2 W/cm² 以上の強度が必要であつた。次に、ヨ

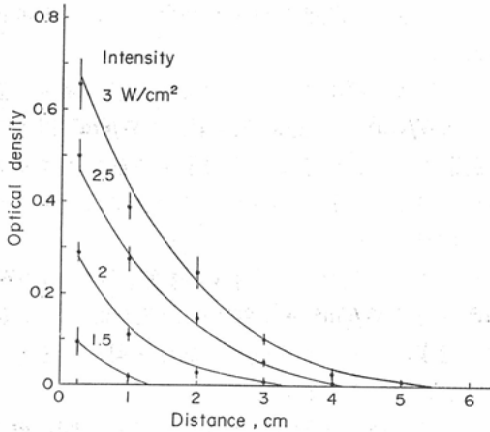


Fig. 7. Relations between optical density and distance

ヨウ素澱粉系を寒天でゲル化したものに超音波照射した。強度 3 W/cm^2 、照射時間15分間で気泡の発生はみられず、かつ呈色は認められなかつた。

4. 考 案

超音波の生物学的効果を論ずるには超音波の強度とビームの状態を知る必要がある¹²⁾。強度測定法としては、超音波の放射圧を利用する力学的方法、被照射体の熱吸収を利用する熱量的方法がある⁹⁾。しかし、これらの測定法は、十分に確立されてはいないので、従来の報告には強度測定の記載のないものが多い。また、超音波の伝播、減衰についての考慮が充分なされていないため研究者によつて照射方法や試料容器が異なる。従つて、超音波の生物学的効果を判定するのに基準がない。

液体中に超音波を照射するとキャビテーションが起こることが知られている。超音波の化学的効果は主にこのキャビテーションと関係があると考えられている。もし、超音波強度と化学的効果の間に相関があれば、これを超音波作用の判定基準として利用することが可能である。

超音波の化学的効果を測定したものに Clarke と Hill (1970)⁴⁾の研究がある。ヨウ化カリウム水溶液に 1 MHz 超音波を照射し、滴定により I_2 を求めたもので、この反応のためには超音波強 0.5 W/cm^2 と 1 W/cm^2 の間にしきい値があり、

2.5 W/cm^2 で最大、それ以上 5 W/cm^2 までは低下すると述べている。また、超音波照射による L 5178 Y 細胞の生存率もこれと同様であると述べている。

今回の2つの反応系による実験で化学的効果をひきおこす超音波強度には 0.5 W/cm^2 と 1 W/cm^2 の間にしきい値があることが確かめられたが、 1 W/cm^2 以上 5 W/cm^2 までは化学変化量は強度に比例して増加した。このことは化学的効果が気泡の発生と関連すること及びその気泡の発生は強度につれ増加することを傍証するものと考えられる。

同じ反応系を用いて放射線と超音波の化学的効果を比較するために Fig. 8 に ^{60}Co γ 線照射による線量と吸光度の関係を示す。ヨウ素澱粉系は、

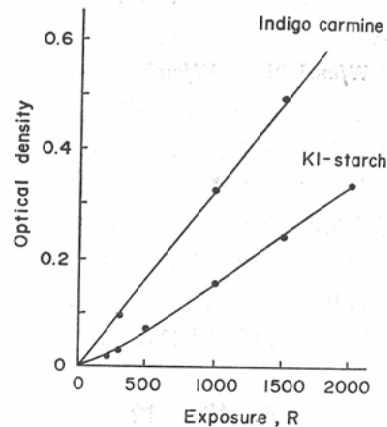


Fig. 8. Change of optical density of chemical dosimeters exposed to ^{60}Co gamma-rays. Optical density varies in proportion to exposure.

低線量域でやや直線性を欠くが、2つの系とも 2000 R までは線量と吸光度はほぼ比例した⁷⁾。また、これらの系を寒天でゲル化して ^{60}Co γ 線を照射すると三次元的線量分布が得られる⁷⁾。このことは、2つの化学反応系のうち ^{60}Co γ 線ではインジゴカルミン系が、超音波ではヨウ素澱粉系の方が反応が大きいことと考えあわせて超音波と放射線では化学反応系に対する作用機序が異なることを示唆するものと考えられる。

超音波照射による温度上昇には強度のしきい値が認められないこと、またヨウ素澱粉反応は高温

にしても呈色し難いことから超音波の化学的効果は温度上昇によるものではないことが推測される。

したがって、超音波の化学的効果にはキャビテーションが重要な役割を果たし、これは超音波照射によつて反応系内に溶解する酸素ガスの放出 (Degassing) が原因と考えられる。本実験の結果でも発泡と化学変化は密接な関連があり、また2つの系とも酸素ガスにより反応し、かつ、ヨウ素澱粉系の方がインジゴカルミン系よりも容易に反応することが確かめられた。

媒質中での超音波強度 I の減衰は次式によつてあらわされる。

$$I = I_0 e^{-\alpha x}$$

(但し α : 減衰係数, x : 距離)

化学的効果が距離によつて指数関数的に減少することと 1 W/cm^2 以上 5 W/cm^2 までの強度にほぼ比例して増加することから、強度と化学的効果は相関があると考えられる。しきい値があるため、この化学的方法による強度測定は適当でないが、溶液中での超音波作用の特徴を知るためには有効な方法であると考えられる。超音波の化学的効果の測定により、生物学的影響を調べるには距離に対する考慮が払われなければならないことがわかる。

5. 結 論

主材料にインジゴカルミン及びヨウ素澱粉を用いた2つの化学的反応系により 1 MHz 超音波の化学的効果を測定した。 ^{60}Co γ 線の場合との比較、温度上昇の測定及び気泡発生の観察から次のような結論を得た。

1) 試料が溶液の場合には、吸光度は ^{60}Co γ 線では線量にほぼ比例し、超音波では、 0.5 W/cm^2 と 1 W/cm^2 の間にしきい値があつた。このため、本法による超音波強度の測定は適当でないが、超音波作用の特徴を知るには役立つ。

2) 反応系を寒天でゲル化した場合には、 ^{60}Co γ 線では三次元的線量分布が得られ、超音波では発泡が認められず、かつ、呈色はなかつた。これより超音波の化学的効果には発泡をとまなうキャ

ビテーションが重要な役割を果たしていると考えられる。

3) 超音波照射による水中での気泡の発生は強度 0.5 W/cm^2 では認められず、 1 W/cm^2 以上から観察できた。気泡は、発振子中央部で大きく周辺部へ移るにつれて小さくなつた。また、その分布は均等でない。

4) 超音波照射による水の温度上昇は 0.5 W/cm^2 から 5 W/cm^2 まで強度に比例した。この範囲の強度による吸光度変化は温度上昇によるものではないと考えられる。

5) 超音波の化学的効果は発振子試料間距離に対しては指数関数的に減少し、照射時間に対しては比例した。

本論文の要旨は、第52回日本医学放射線学会中部地方会 (昭和48年6月) 及び第33回日本医学放射線学会総会 (昭和49年4月) に於て発表した。

文 献

- 1) Bleaney, B.I. and Oliver, R.: The effect of irradiation of *Vicia faba* roots with 1.5 MHz ultrasound. *Brit. J. Radiol.*, 45 (1972), 358—361.
- 2) Bleaney, B.I., Blackburn, P. and Kirkley, J.: Resistance of CHLF hamster cells to ultrasonic radiation of 1.5 MHz frequency. *Brit. J. Radiol.*, 45 (1972), 354—357.
- 3) Buckton, K.E. and Baker, N.V.: An investigation into possible chromosome damaging effects of ultrasound on human blood cells. *Brit. J. Radiol.*, 45 (1972), 340—342.
- 4) Clarke, P.R. and Hill, C.R.: Physical and chemical aspects of ultrasonic disruption of cells. *J. Acoust. Soc. Am.*, 47 (1970), 649—653.
- 5) Coakley, W.T., Slade, J.S., Braeman, J.M. and Moore, J.L.: Examination of lymphocytes for chromosome aberrations after ultrasonic irradiation. *Brit. J. Radiol.*, 45 (1972), 328—322.
- 6) 藤田勝三, 宮田伸樹: 抱水クロラール・インジゴカルミン水溶液に対する放射線の作用. *日本医放会誌*, 33 (1973), 121—125.
- 7) 藤田勝三, 宮田伸樹: ヨウ素澱粉反応を応用した立体的線量分布観察用ファントム. *日本医放会誌*, 34 (1974), 44—49.
- 8) Loch, E.G., Fischer, A.B. and Kuwert, E.: Effect of diagnostic and therapeutic intensities

- of ultrasonics on normal and malignant human cells in vitro. *Am. J. Obst. and Gynecol.*, 110 (1971), 457—460.
- 9) 島川正憲：超音波工学—理論と実際—。工業調査会，東京（1975），25—30.
 - 10) 奥村 堯，太田耕造，平田東太郎 他：超音波の各種臓器に及ぼす影響に関する実験的研究。日外会誌，61（1959），122—129.
 - 11) Macintosh, I.J.C. and Davey, D.A.: Chromosome aberrations induced by an ultrasonic fetal pulse detector. *Brit. Med. J.* 4 (1970), 92—93.
 - 12) Woodward, B. and Allen, A.J.: The importance of calibration in medical ultrasonics. *Brit. J. Radiol.*, 47 (1974), 707—711.
-