

ヨウ素デンプン反応を応用した 立体的線量分布観察用ファントム

名古屋市立大学医学部

放射線医学教室（主任：佐久間真行教授）

藤田 勝三 宮田 伸樹*

（昭和48年8月15日 受付）

（昭和48年9月11日 最終原稿受付）

Three-dimensional dosimetric phantom by utilization of iodostarch reaction

by

Shozo Fujita and Nobuki Miyata

Department of Radiology, Nagoya City University Medical School

(Director: Prof. Sadayuki Sakuma)

Research Code No.: 203

Key Words: Three-dimension, Chemical dosimeter, Dose distribution

This paper deals with a solid dosimetric phantom using the chemical reaction with iodostarch which gives a three-dimensional dose distribution.

In order to increase the sensitivity against radiation chloral hydrate and sodium chloride were added to potassium iodide-starch system. A definite quantity of the sample solution (8 ml) was placed in a test tube and irradiated with ^{60}Co γ -rays. After irradiation the absorbancy of the solution was measured immediately by spectrophotometer (Hitachi 101; cell, $10 \times 10 \times 40 \text{ mm}^3$). Suitable concentrations of potassium iodide, starch, chloral hydrate, and sodium chloride were 0.01 M, 0.3 g/l, 0.1 and 1.0 M respectively. The solution was examined for temperature dependency (7–40°C) and percentage depth-dose in water phantom (2–20 cm).

Subsequently agar was used to form a gel of the solution in a container of acrylic resin ($20 \times 20 \times 20 \text{ cm}^3$). The container was placed on the table and irradiated by γ -ray beam ($10 \times 10 \text{ cm}^2$).

Results were as follows:

1. Sensitivity of the solution depended on the temperature and the sensitivity decreased with increasing temperature. The error, however, was within 5% in the temperature range of 7–30°C.
2. Percentage depth dose in water phantom was approximately the same value as in ionizing chamber (Radocon 1, probe type 606) above 50%.
3. When the concentration of agar was 0.1–0.15 g/l, a three-dimensional dose distribution was observed with unaided eye from outside of the container.

* 現在 愛知医科大学放射線医学教室

I. 緒 言

線量分布が立体的に観察できれば放射線治療計画の立案の上でも教育の上でも役立つであろう。このような試みは2, 3発表されているが¹⁾³⁾⁵⁾⁶⁾, 放射線によつて着色するのに大線量を要したり, 不透明な固形の反応系であるため照射後剖面を作つて観察するものであつたり, フィルムを重ねたりするもので直接立体視はできないものである。そこで, 照射前は無色透明で照射によつて線量に応じて着色するものとしてヨウ素デンプン反応と固化するため寒天を利用して立体的線量分布を観察する方法を考えた⁴⁾。ヨウ素デンプンに抱水クロラルを加えることによつて放射線照射による着色反応としては比較的感度の良いものが得られた。そこで, この反応系の各試薬の濃度別に照射線量と吸光度の関係を調べ, 最も適当と考えられる配合を選びこの試料について温度による影響, 濃度と深部率曲線の関係および線量分布の立体的観察の可能性について検討した。

II. 実験材料及び方法

試薬は抱水クロラル, ヨウ化カリウム, デンプンおよび塩化ナトリウムである。反応系をゲル化するために寒天を用いた。溶媒は水道水(名古屋市営)をイオン交換し, 1回蒸留したものを用いた。

予備実験では, 放射線照射により着色するといわれるテトラゾリウムブルー, モリブデン酸アンモニウム³⁾およびヨウ素デンプン系⁷⁾の稀薄水溶液とそれらのおおの抱水クロラルを約1M加えた6通りにつき5000R照射して感度の比較をした。その結果, ヨウ素デンプン系に抱水クロラルを加えたものみに着色を認めた。

照射には島津製コバルト-60照射装置(RTG-1型, 1930Ci 収納)を使用した。試料約8mlを内径15mm, 肉厚1mmのガラス製試験管(栓なし)に入れて, その前面に4mmのアクリル板を密着して置いて照射した。線量率は100R/min, 照射野の大きさは10cm×10cmとした。照射線量はラドコンI型(Model 575, チェンバー 606)の値を基準にした。

吸光度の測定には日立分光光度計101型(セル: 10×10×40mm³⁾)を用いた。測定波長はスペクトルの測定結果から塩化ナトリウムを加えないときには570nm, 1.0M加えたときには552nmとした。実験中の気温は照射室が15~20°C, 測定室が24~28°Cであつた。

III. 実験結果

1) 試薬の濃度の選定

(イ) 抱水クロラル

ヨウ化カリウム0.01M, デンプン1.0g/lの溶液に抱水クロラルを0.01, 0.1および1.0Mをそれぞれ加えたものに250, 500, 750, 1000, 2000, 3000Rをそれぞれ照射した。この範囲の線量では抱水クロラルの濃度0.1Mとしたときがもつとも感度が高かつた。しかし, 抱水クロラルのいずれの濃度であつても照射線量と吸光度の関係はFig. 1のごとく原点からの直線にならなかつた。

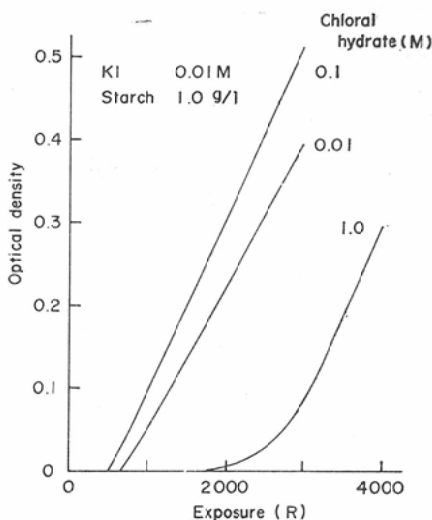


Fig. 1. Coloration after γ -ray irradiation for 0.01, 0.1 and 1.0M concentration of chloral hydrate, with constant concentration of potassium iodide and starch

(ロ) 塩化ナトリウム

抱水クロラル 0.1M, ヨウ化カリウム 0.01M, デンプン 0.3g/l の溶液に更にデンプンの腐敗防止の意味で塩化ナトリウムを 0.1および 1.0

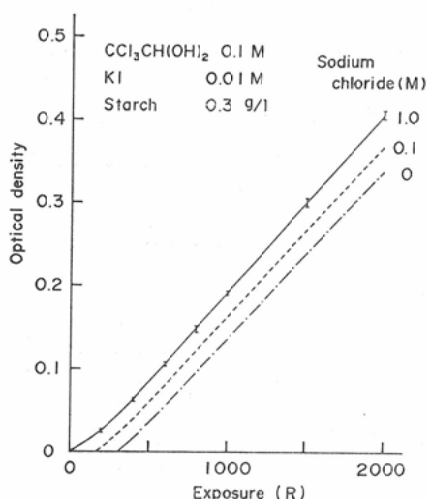


Fig. 2. Coloration after γ -ray irradiation for 0, 0.1 and 1.0M concentration of sodium chloride

M加えて2000 Rまで照射したところ、照射線量と吸光度の関係は Fig. 2 のように塩化ナトリウムの濃度 1.0Mのときの曲線は原点から立ち上がるように平行移動したものとなる。しかし、250 R以上では直線性がみられるが、それ以下の線量では直線性がみられない。

(ハ) ヨウ化カリウムおよびデンプン

抱水クロラール 0.1M, 塩化ナトリウム 1.0

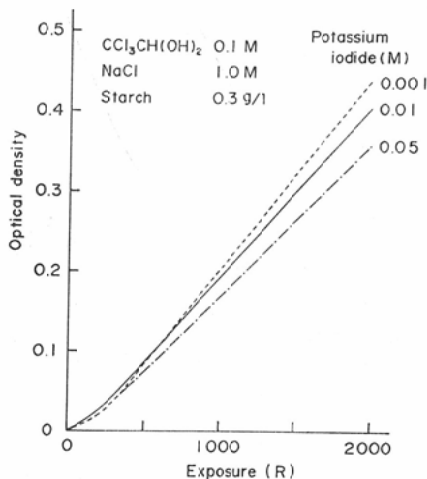


Fig. 3. Coloration after γ -ray irradiation for 0.001, 0.01 and 0.05M concentration of potassium iodide

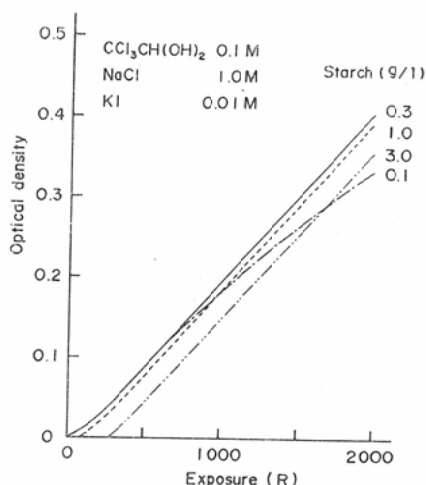


Fig. 4. Coloration after γ -ray irradiation for 0.1, 0.3, 1.0 and 3.0 g/l concentration of starch

M, デンプン 0.3g/l の溶液にヨウ化カリウムの濃度を 0.001, 0.01および0.05Mと変えたものについて実験した。感度を比較すると 500 R ぐらいまでは0.01Mがよく、それ以上の線量では0.05 M, 0.01M, 0.001Mの順によくなった (Fig. 3)。

デンプンの濃度は 0.1, 0.3, 1.0, 3.0g/l について比較した。濃度が低いと直線性の範囲が狭く、濃いと感度が減少し、0.3g/l が適当であった (Fig. 4)。以上の結果から、抱水クロラール 0.1M, ヨウ化カリウム0.01M, デンプン 0.3g/l および塩化ナトリウム 1.0Mの試料が適当であると考え、以下の実験はこの濃度の溶液について行つた。

(ニ) 試料調製と精度

同一試料に繰返し照射した場合と試料調製日を異にした場合の測定値のバラツキを調べた。おのおの6回ずつ1000 R照射したところ繰返しのときが標準偏差として2%, 調製日が異なつた場合には4%であつた。

2) 温度による影響

大きさ30cm×30cm×30cmの亚克力製水槽に水を満たし、表面から2 cmのところに試料を入れた試験管を置いた。水の濃度を7℃から40℃まで変えて水槽内の温度分布を均等にするためにスター

ラーで攪拌しながらそれぞれ1000Rずつ照射した。その吸光度を温度7°Cの値で正規化してFig. 5に示した。温度が高くなるにつれ感度はわるくなつた。25°C位までは徐々に低下し、それ以上の温度になると急激に低下した。しかし、7°Cから30°Cのあいだでは感度の差は±5%以内であつた。

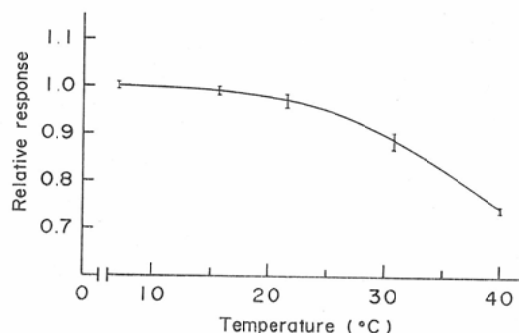


Fig. 5. Temperature dependency of sensitivity to 1000R irradiation

3) 線量分布の観察

水中での深部率曲線をこの試料を用いて求めた。水深2, 5, 7, 10, 15, 20cmの位置で測定してラドコン線量計で求めた値と比較した。深部線量率50%程度までは両者はよく近似したが、それ以下ではこの反応系の方が低い値を示した。表

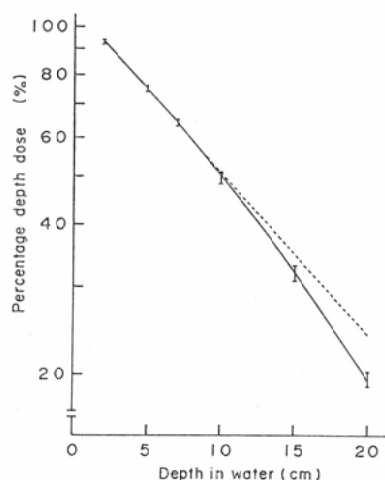
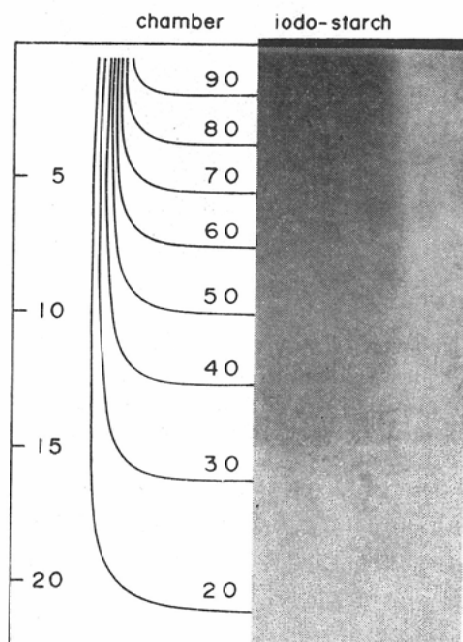


Fig. 6. Percentage depth dose curve in water phantom

Dotted line indicates the values measured by ionizing chamber.

Fig. 7. Comparison between isodose curves by ionizing chamber and coloration to iodostarch reaction after γ -ray irradiation



面から20cmの深さでは約5%の差があつた (Fig. 6).

次に、試料を100mlにつき寒天2gを加えてゲル化した。厚さ1cmで縦40cm、横30cmの板状の固形の試料に縦方向に10cm×10cmの照射野で2000R照射したときの濃度とラドコン線量計により測定した等線量曲線とを比較してFig. 7に示す。着色の変化は線量分布によく合っている。また、ビルドアップ現象が観察できる。ファントムが大きく、寒天の量が多いと不透明度が増すので、20×20×20cm³の亚克力製ファントム中でゲル化するときには試料100ml当り加える寒天の量を0.1~0.15gにした。一昼夜放置し、ゲル化してから照射野10cm×10cmで照射したところ300R程度以上の線量のところで着色するのがファントムの外部から観察できた。

しかし、この場合にはFig. 1に示されたように低線量領域も着色するので外部から高線量領域を観察しようとする対比度が悪くなる。また、寒天の量が少ないため振動を与えると容易に崩れ

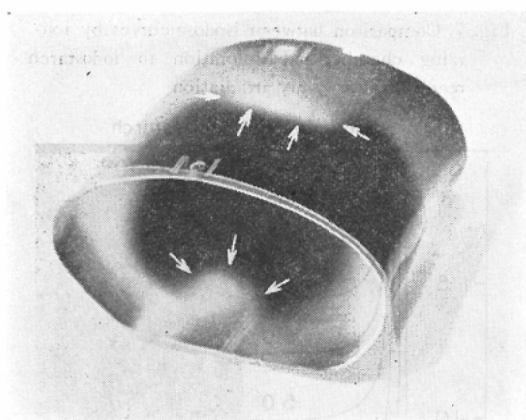


Fig. 8. Colored phantom applied for the conformation radiotherapy of the uterine cancer
Arrows indicate hollow-out regions of the urinary bladder and the lumbar vertebra.

た。そこで、より硬い反応系を得るためには寒天の量を 100ml 当り 0.25 g、高線量率領域すなわち線巢の形をよくみえるようにするために Fig. 1 で示されたように抱水クロラルの濃度を 1.0M として対比度をよくした。運動照射の応用例を Fig. 8 に示す。人体下腹部のファントム（約 31 cm × 16 cm × 20 cm）を作製し、子宮癌を想定した原体照射を行った。病巣線量は 1800R である。膀胱および腰椎のうち抜き部分がよく観察できた。

IV. 考 按

これまで 3 次元の線量分布を観察する目的で行われた化学的方法には次のようなものがある。まず、パラフィンと染料を使つたものでは Potsaid⁵⁾と Wakabayashi⁶⁾のメチルイエローを用いたもの、Day⁷⁾のメチレンブルーを用いた方法がある。しかし、染料を用いたものは固形の反応系に照射後これをスライスして、その断面を観察しなくてはならず外部から直接立体的に観察できないのでむしろフィルム法に近い。Gevantman⁸⁾のヨウ素デンプン反応を利用したものと砂田⁹⁾のテトラゾリウムブルーを用いた方法は着色反応ではあるが着色を観察できるのは $10^4 \sim 10^6 R$ の照射を必要とする難点がある。

インジゴカルミンに抱水クロラルを加えると放射線照射による褪色反応が促進されることを知

っている²⁾。その理由は明らかではないが、照射により抱水クロラルから生成される塩素カスの酸化作用と推測される。そこで、ヨウ素デンプン系にも抱水クロラルを加えたところ感度の上昇をみて良好な結果を得た。この反応系を固化するには、(1)ゲル化が簡単である、(2)濃度を低くすれば透明度が高いため線量分布を立体的に観察でき、濃度を高くすれば透明度は低くなるが固いので照射後スライスして任意の断面での分布をより詳しく知り得るので寒天が適している。同じ理由でゼラチンの使用が考えられる。しかし、ゼラチン（試料 100ml 当り 8 g）を用いて固化した場合には照射によつて着色しなかつた。これはゼラチンにハロゲン受容体の作用があるためと考えられる。

線量分布をファントムの外から立体的に観察するには反応系が無色透明から放射線照射により着色するものがよく、また明室で取り扱えることが必要である。この意味でヨウ素デンプン系は適している。一方、固化に寒天を用いると透明の程度は充分とはいえない。運動照射で、ある線量率以上の線巢を観察する目的ならば抱水クロラルの濃度を高くすれば、低線量領域では着色せず対比度がよくなりファントムの外部からの観察は容易になる。また、このときは寒天の濃度を高くしななければならないが抱水クロラルの濃度が濃いときは寒天ゲル中の寒天の溶媒和物と溶媒の屈折率の差が減少するため透明度は悪くならない。

V. 結 語

ヨウ素デンプン反応を利用し、これに抱水クロラルを加え寒天で固化した人等価線量計を作つた。比較的少ない線量で線量分布をファントムの外から立体的に観察することができた。このファントムの特性について実験した結果を述べた。

本論文の要旨は第42回日本医学放射線学会中部地方会（於：岐阜昭和45年2月8日）及び第30回日本医学放射線学会総会（於：東京昭和46年4月3日）に於て発表した。

文 献

- 1) Day, M.J. and Stein, G.: Chemical effects of ionizing radiation in some gels. *Nature*, 166 (1950), 146—147.
- 2) 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.
- 3) Gevantman, L.H., Chandler, R.C. and Pestaner, J.F.: Tridimensional examination of chemical systems irradiated in gel media. *Radiat. Res.* 7 (1957), 318.
- 4) 宮田伸樹, 藤田勝三: 肉眼で見得る立体的な線量分布, 富士レイ研究, 94 (1972), 22—23.
- 5) Potsaid, M.S. and Iric, G.: Paraffin base halogenated hydrocarbon chemical dosimeter. *Radiology*, 77 (1961), 61—65.
- 6) 佐久間貞行, 高橋信次: 線単横断撮影法と線巢原体撮影法 ^{60}Co 遠隔照射法の研究第24報原体照射法の研究第13報, 日本医放会誌, 22 (1962), 871—876.
- 7) 砂田 毅: カラーラジオフィールドグラフィ—による照射管理, 原子力工業, 15 (1969), 34—38.
- 8) Wakabayashi, M. et al.: Studies on radiation dosimetry by a solid color changing substance. *J. Radiat. Res.* 4/2—3—4 (1963), 68—79.