

# Changes in the pixel values of an optical CT device for gel dosimeter

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2021-02-01 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: Nakayama, Kazuya, Sanatani, Hatsuki, Okamoto, Kazumasa, Ozaki, Saya, Takemura, Akihiro メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.24517/00060409">https://doi.org/10.24517/00060409</a>

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



# ゲル線量計用光 CT 装置のピクセル値の変化量について

中山 和也, 佐南谷 葉月<sup>1)</sup>, 岡本 一将<sup>2)</sup>, 尾崎 咲耶<sup>2)</sup>, 武村 哲浩

## KEY WORDS

Optical CT, averaging, Light source color

### はじめに

放射線治療では正常組織の被ばくを避けてより腫瘍へ線量を集中させることが求められる。その検証には、3次元的な線量評価が重要であるが<sup>1)</sup>、現在X線フィルム<sup>2)</sup>を用いた2次元計測が主流であり、3次元的评价は困難である。そこで、3次元的な評価を目的にゲル線量計が研究されている<sup>3)</sup>。ゲル線量計は、放射性感受性物質を含む水溶液をゼラチンなどのゲル化材で固化したものである<sup>3)</sup>。ゲル線量計にいくつか種類がある。ポリマーゲル線量計は、放射線の照射により透明な試料が白濁化する。一方、色素ゲル線量計は、色が濃くなる。これら白濁化の場所と量や色素の濃度変化を読み取ることで、照射された放射線の量を3次元的に測定することができる。我々はこの光学CTを開発している<sup>4,5)</sup>。読み取りには光学CT(Computed Tomography)装置などが用いられるが、市販品は高額で種類が少なく、試料の大きさが限られる<sup>6)</sup>。開発中の光学CTは光源色を可変でき、治具を交換し調整すれば、異なる大きさの試料も測定できる。カラーカメラで、投影像を取得し、カラー画像から赤成分を取り出した赤成分の画像、緑成分、青成分の画像とこれらの成分より合成した白黒画像を得ることができる。色素ゲルを使用した線量計は、色素の組成により色が異なる。そのため測定装置の光源色を変更できることは他にはない特徴である。参考文献5)では、水溶液試料の光の透過スペクトルと断層像のピクセル値の関係を報告した。

本研究では、ゲル化剤で試料をゲル化し、試料に含まれる色素の濃度比を1から1/16倍まで変化させ、光の透過スペクトルと断層像のピクセル値の関係を調

べたので報告する。本研究では、青色系のゲル線量計を想定している<sup>4,5,7)</sup>。先行研究で良好な結果が得られた赤光源を使用し<sup>5)</sup>、赤成分、緑成分、青成分の画像、さらに白黒画像の比較を行った。また、断層像を50枚取得し平均化処理によるピクセル値のばらつきの低減などの効果についても調べた。

### 実験方法

#### 1. 測定試料

本研究では、参考文献4)で報告された青色系の色素ゲルの使用を想定している。しかし実際のゲル線量計は経時的に色の濃さが変化するため、長期に及ぶ測定には不向きである。そこで、共立食品株式会社製の粉末状の食用色素(青)を使用し、ゲル化剤にニッタバイオラボ製のクールアガーを使用した。本研究では、身近な水道水を試してみた。水道水3200mlに対して食用色素を0.1g溶かした試料(0.03125g/l)を濃さ1の試料とし、その1/2, 1/4, 1/8, 1/16倍の濃さに調製した。比較のため、食用色素を含まない無色の試料も用意し、合計6種類の試料を準備した。試料は、直径が5cm、高さが9cmのパイレックスガラス製の瓶に封入した。調製した試料を図1に示す。図1の一番右(5番)が濃さ1の試料、4番の試料が濃さ1/2の試料、3番の試料が濃さ1/4、3番が濃さ1/4、2番が濃さ1/8、1番が濃さ1/16で、0番が食用色素を入れていない試料である。

#### 2. 光学CT装置

本研究では、参考文献5)で報告した装置を改良し使用した(図2)。主な変更点は、試料の大型化によ

金沢大学医薬保健研究域保健学系

1) 金沢大学大学院医薬保健総合研究科保健学専攻

2) 金沢大学医薬保健学域保健学類

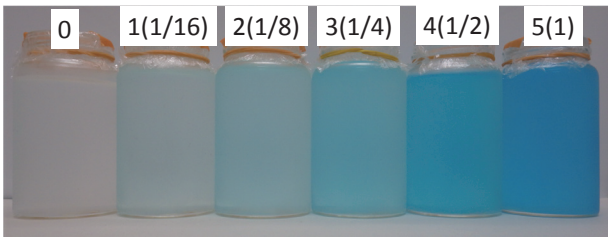


図 1 測定に使用した試料 (直径 5 cm, 高さ 9 cm)

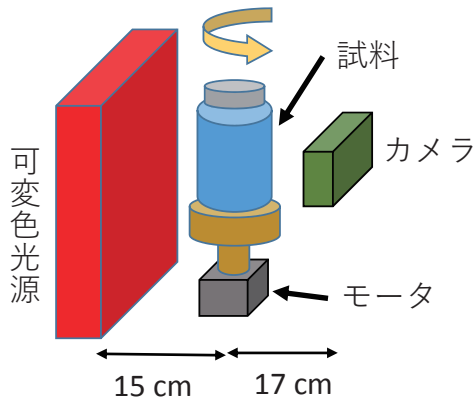


図 2 光学 CT 装置の概要

る試料とカメラ間の距離などの変更, 試料の固定方法の変更 (吊り下げ式から, モータ上部に試料を設置する方式に変更), アクリル製水槽の撤去, ST マイクロエレクトロニクス社製 L6470 を使用しモータのマイクロステップ駆動化 (モータの最小ステップの 1/128 ステップまで対応) への変更などである。変更点以外の主な構成部品, 特性などは参考文献 5) を参照していただきたい。

### 3. 断層像

本研究では参考文献 5) と同様に, 試料を 1 回転 400 ステップで投影像を撮影し断層像を得ている。投影像は暗室内で, 640 (横) × 480 (縦) ピクセルの大きさで撮影した。撮影条件は露出時間は 20 ms, カメラ固有のゲインは 70 とし, 画像は ppm 形式で保存した。再構成には Plastimatch ver.1.6.4 (Feldkamp 再構成法) を用いて断層像 (3 次元データ) を取得した。得られた 3 次元データ (mha 形式) を ImageJ で読み込み, 断層像のピクセル値を測定した。断層像の中心に 20 × 20 ピクセル (約 1 cm 四方) の正方形の ROI を設定し, その平均値を断層像のピクセル値とした (図 3)。カラーの投影像から赤成分, 緑成分, 青成分を取り出して, それぞれの色成分で再構成した。また, 国際規格の ITU-R BT.601 に従い, R, G, B のピクセル値か

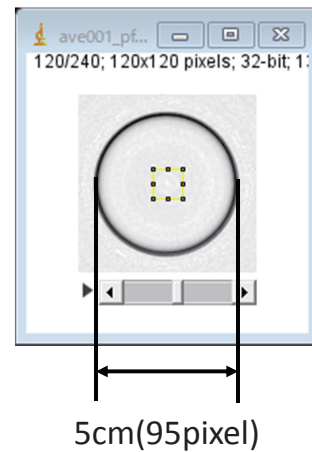


図 3 断層像の例。黄色の四角は ROI を示す。ROI の大きさは 20 ピクセル (約 1 cm) 四方である。

ら輝度 Y を求め白黒画像も合成し, 再構成画像を得た。その他詳細は参考文献 5) を参照していただきたい。

また, 光のスペクトル測定方法も参考文献 5) と同様に, 浜松ホトニクス製のマイクロ分光器 C12880MA を使用して測定した。

### 実験結果

試料の光の透過スペクトルの変化を図 4 に示す。食用色素を含まない 0 番の試料の透過度  $T_0$  を基準 (1) とした場合の, 1 から 5 番の試料の透過度の強度比である。食用色素の濃度が濃くなるに従い, 600 から 650 nm の透過スペクトル強度が減少した。

図 5 は食用色素の濃度と断層像のピクセル値の関係

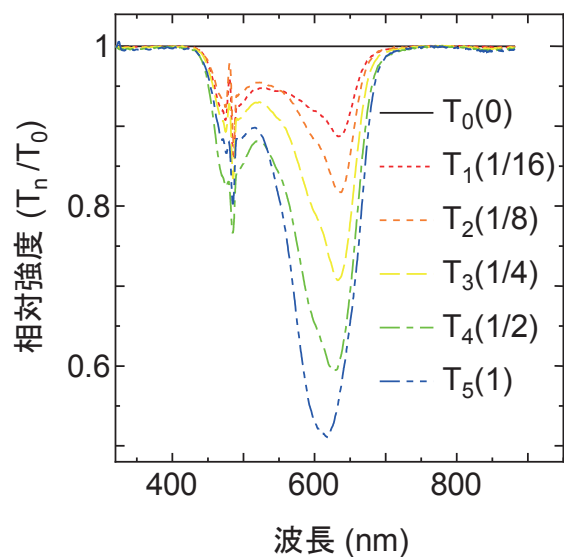


図 4 試料の光の透過スペクトルの測定結果。0 番目の試料の透過度を基準としている。縦軸の相対強度の値が 1 未満の場合, 0 番目の試料に比べ光をより吸収していることを示す。

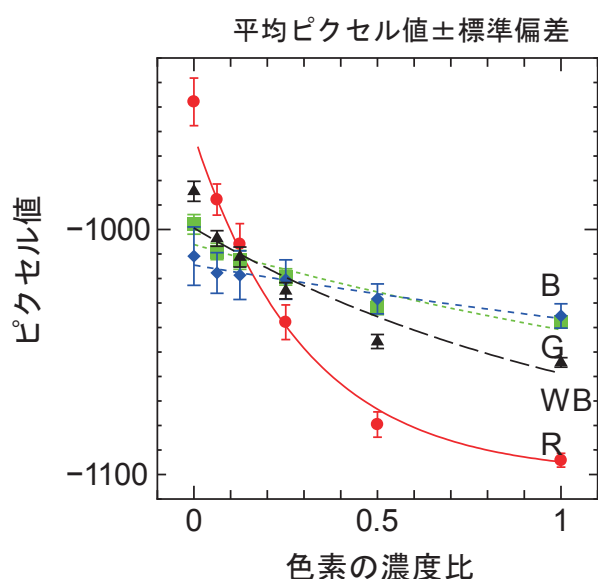


図 5 赤光源を使用した時の、色素濃度比と断層像のピクセル値の関係を示す。撮影条件は、露出時間:20 ms, カメラゲイン:70である。誤差バーは標準偏差を示す。図中の曲線は、表 1 の式をもとに描画したものである。

を示す。投影像の赤成分で再構成した断層像のピクセル値の変化が最も大きく、青成分で再構成した断層像の変化が最も小さかった。入射強度を  $I_0$ 、透過強度を  $I$ 、光路長を  $x$ 、光路中の吸収係数を  $\mu$  とすると、半透明物質の光の透過は、良く知られたランベルト・ベールの法則に従い式 (1) で表現できる。

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

本研究ではデータ処理の都合<sup>5)</sup>で断層像のピクセル値が負の値であり、対数が計算できない。そこで、ピクセル値に 1100 (図 5 の R の高濃度側の漸近値が -1100 と推定) を足し、正の値にしてから自然対数をとった近似曲線が、図 5 中の曲線である (詳細に関しては後述する)。この断層像を 50 枚取得し、加算平均処理した断層像のピクセル値の標準偏差の変化を図 6 に示す。図中の番号は試料番号を、カッコ内は 5 番目の試料の色素濃度を 1 とした場合の濃度比をそれぞれ示す。

### 考察

本研究では、青色系のゲル線量計<sup>2,4)</sup>を想定し、青色の食用色素を使用した。Leuco Crystal Violet を用いたゲル線量計の紫外可視光吸収スペクトルは 600 nm 付近に吸収ピークがあると報告されている<sup>7)</sup>。図 4 に示すように、本研究で使用した試料も同様な結果 (620 nm 付近の吸収ピーク) を示していた。この結果より、光源色には赤色が適していると推測できる<sup>5)</sup>。図 5 は

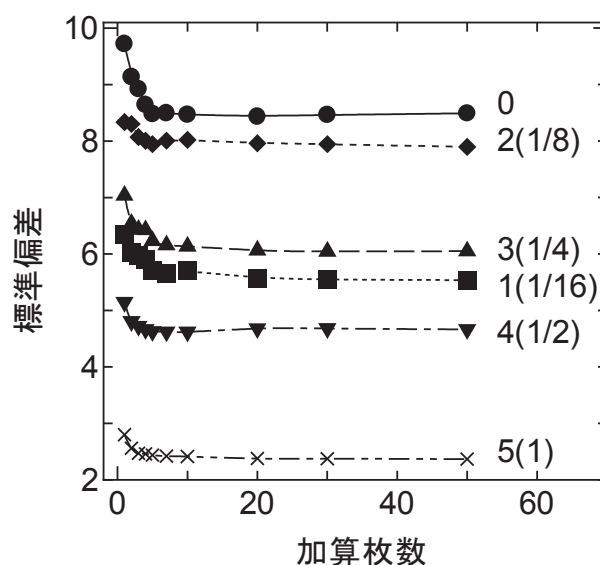


図 6 断層像の加算平均枚数と変動係数の関係。図中の番号は試料番号を示す。カッコ内は、5 番目の試料の色素濃度を 1 とした時の濃度比を示す。

赤色光源を用いて、色素濃度と断層像のピクセル値の関係を示したものである。赤成分画像から再構成した断層像のピクセル値の変化が大きかった。誤差バーは標準偏差を示し、色素濃度が低いほどピクセル値のばらつきが大きかった。本研究では、式 (1) の  $x$  は一定であり、試料中の透過光は、色素濃度が濃いほど吸収され、式 (1) の吸収係数  $\mu$  と色素濃度  $C$  の間には比例関係があると予想される。これを比例係数  $k$  を用いて式 (2) のように表し、式 (2) を式 (1) に代入し変形すると式 (3) を得る。

$$\mu = kC \quad (2)$$

$$\log_e(I) = -kCx + \log_e(I_0) \quad (3)$$

式 (3) を確認するため、図 5 の縦軸を自然対数にし線形性を確認した (図 7)。図 5, 7 中の曲線の式は表 1 に示す。表 1 では、図 5, 7 の横軸 (色素濃度比) を  $C$  としている。定数 1100 を加えて近似式を作成したため厳密ではないが、(1100 をピクセル値に加えた場合の) 近似式の R2 は 0.89 から 0.99 であり、吸収係数  $\mu$  と色素濃度  $C$  の比例関係が確認できた。実際のゲル線

表 1 図 5, 7 の近似曲線の近似式。

	近似式
R (赤成分)	$-140e^{-3.3C} - 1100$
G (緑成分)	$-94e^{-0.46C} - 1100$
B (青成分)	$-100e^{-0.89C} - 1100$
WB (白黒)	$-85e^{-0.29C} - 1100$

注) 近似式の  $C$  は 5 番目の色素濃度を 1 とした時の色素の濃度比を示す。

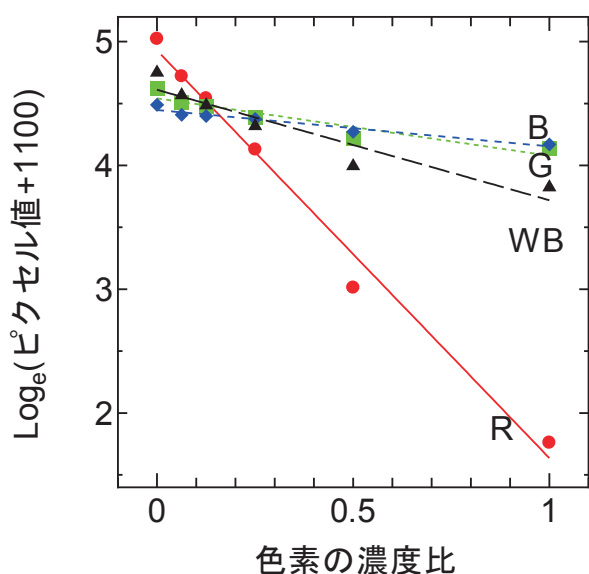


図7 色素の濃度比と断層像のピクセル値に1100を加算し自然対数をとった値との関係を示す。(図5の縦軸を自然対数にした図である。) 図中の曲線は、表1の式をもとに描画したものである。

量計は経時的に色に変化するが、本試料は経時的な変化が小さい。材料は食用であり、保管廃棄も容易である。試料調製の再現性、さらに細かな色素の濃度変化での確認が必要だが、光学CT装置の簡易的な動作検証に使用できる可能性があると思われる。

本研究で使用した試料を光学CT装置の動作検証用に使用する際は、図5の標準偏差（ばらつき）は小さいほうが良い。ばらつきの原因は、ゲル化剤による濁りの影響、投影像撮影時の露出時間が短かったことなどが考えられる。露出時間を長くすれば、このばらつきが小さくなると思われるが限界がある。そこで、50枚の断層像を作成してその加算平均画像とピクセル値のばらつきの関係を調べた(図6)。図6は赤成分画像で作成した断層像のピクセル値の標準偏差の変化を示す。色素を含まない0番の(明るい)試料の標準偏差が大きく、5番目の(暗い)試料の標準偏差が最も

小さかった。1番(1/16の濃さ)以外は、明るい画像ほど標準偏差が大きく、加算平均処理による標準偏差の減少幅が大きい。すべての試料で5枚程度まで加算平均処理すると標準偏差が減少した。それ以上の枚数では標準偏差の変化が小さかった。1番(1/16の濃度)の試料が特異な結果を示した理由は不明である。0.9度刻み毎に1枚撮影し、合計400枚撮影する通常の撮影には1分30秒程度要する。断層像5枚では8分程度必要となる。実際のゲル線量計は冷所保管が必要であり、ゲル化剤の種類によっては、室温で溶解するなどの影響を考慮する必要があるが、5枚程度の加算平均を行えば、ピクセル値のばらつきは少しは改善されることがわかった。光学CT装置に冷却機構を付加すれば、より多数枚の加算平均も可能だが、装置が高額(大型)化するため現実的ではないと考えている。なおゲル化剤による濁りの影響(光の散乱)などについては今後の課題である。

#### まとめ

食用色素を用いて、試料の色の濃さを変化させ、光の透過スペクトルと断層像のピクセル値の関係を調べた。その結果、ピクセル値に定数を加え正の値にし対数をとった値と濃度比には一次の関係があること、濃い試料はピクセル値が小さく標準偏差が小さいことが分かった。また断層像を複数枚取得し、その加算平均処理を行うことで、標準偏差が低減することがわかった。ゲル線量計の熱的安定性にもよるが、5枚程度の断層像を取得し加算平均すればよいことがわかった。

#### 謝辞

装置の製作、測定にご助言、ご協力頂きました岡本博之先生に感謝いたします。またこの研究の一部は、科研費 基盤研究(C)(18K12101)による助成を受けたものです。

#### 参考文献

- 1) 強度変調放射線治療の線量検証法 日本医学物理学会 2008-2009 年度研究援助課題「強度変調放射線治療における吸収線量測定法の標準化に関する研究」研究報告書 : [http://www.jsmp.org/wp-content/uploads/vol30sup6\\_mp.pdf](http://www.jsmp.org/wp-content/uploads/vol30sup6_mp.pdf), May 2, 2019.
- 2) C. Varatharaj, M. Ravikumar, S. Sathiyam, et al. (2010) : Dosimetric verification of brain and head and neck intensity-modulated radiation therapy treatment using EDR2 films and 2D ion chamber array matrix. J Cancer Res. Ther., 6:179-184.
- 3) 林 慎一郎 (2017) : 放射線治療のための 3 次元ゲル線量計の開発と臨床応用, RADIOISOTOPES, 66:595-600.
- 4) Takuya Wada, Kazuya Nakayama, Akihiro Takemura, et al. (2018) : Development of Optical Computed Tomography for Evaluation of the Absorbed Dose of the Dyed Gel Dosimeter. World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering 2018 : 581-584.
- 5) 中山和也, 小出智生, 鈴木 理, 他, (2018) : ゲル線量計用光 CT 装置の光源色依存性について, Journal of wellness and health care 43:71-78.
- 6) Optical CT scanner Vista Web サイト (<https://modusqa.com/optical-ct/vista>, September. 16. 2020.)
- 7) 米原宗寛, 若菜 亮, 榊原和久, 他, (2017) : 色素ゲル線量計および光学 CT 装置の評価, Jpn. J. Med. Phys. 37:117-121.