

ゲル線量計用光 CT 装置の光源色依存性について

中山 和也, 小出 智生¹⁾, 鈴木 理臣¹⁾, 佐南谷 葉月¹⁾, 和田 拓也²⁾, 武村 哲浩

要 旨

放射線の照射量を 3 次元的に測定することを目指し, ゲル線量計用の光学 CT 装置の開発を行っている。開発している装置は, 光源色を可変できる。これは他にはない特長である。投影像の取得はカラーカメラを使用しており, カラー画像, カラー画像から赤成分を取り出した画像, 緑成分, 青成分の画像を抽出することも可能である。カラー画像より, 白黒画像(輝度情報)を合成できる。カラーカメラを用いた光学 CT 装置の報告はあるが, 光源色が可変でいる装置の報告はない。そこで本研究では, 光源色とカメラで得た色成分により, 試料の測定にどのような影響を与えるかを調べた。色素の組成により, 色素ゲル線量計の色は異なる。本研究では青色のゲル線量計を想定した。実際のゲル線量計は, 経時的に変化する。そこで青色のインク試料を代用した。代用した試料の光の透過スペクトルを調べた。次に, 実際の断層像のピクセル値の変化と光源色の関係を調べた。その結果, 使用したインク試料では, 500~700 nm の波長帯域透過光の変化が大きかった。500 から 700 nm は主に赤色の領域である。次に光源色を変化させて, カラーカメラで得られるどの色成分が測定に適しているか調べた。その結果, 赤成分が適していた。異なる色素(色)のゲル線量計であっても, 試料の光の透過光スペクトルを測定すれば, 測定に適した光源色や, 色の濃さに対して断層像のピクセル値がどのように変化するかを推定が可能である。

KEY WORDS

Optical CT, Light source color, spectrum

はじめに

近年の放射線治療では, 強度変調放射線治療や定位放射線治療など, 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高度放射線治療が行われている。これらの治療法では 3 次元的な線量評価が重要であるが^{1,2)}, 現在 X 線フィルム³⁾を用いた 2 次元計測が主流であり, 3 次元的評価は困難である。ゲル線量計とは, 放射線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化学線量計の一種である⁴⁾。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。例えば青系の色素を使用すると, 無色透明な試料が水色から濃い青色へと変化する。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。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いだけでなく,

試料の大きさ(直径 15 cm, 長さ 12 cm)が限られている⁵⁾。そこで我々は安価で大きさの異なる試料にも対応しやすい光学 CT を開発している^{6,7)}。開発中の光学 CT は光源色を可変できる。これは他にない特長である。投影像の取得はカラーカメラで行い, カラー画像のみならず, カラー画像から赤成分を取り出した画像, 緑成分, 青成分の画像も抽出することが可能である。カラー画像より白黒画像を合成することも可能である。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。また, 色の濃さも異なる^{8,9,10)}。そのため測定装置の光源色を変更できることは利点の 1 つである。そこで本研究では, 断層像の輝度(ピクセル値)変化をより詳細に測定する方法について検討する。具体的には, 次に示す手順で検討する。1. ゲル線量計の代わりに青インクの色を濃さを変えた試料を複数用意し, 試料の色と光の透過スペクトルの関係を調べる。2. 光源色を赤, 緑, 青, 白と変え, それぞれの

金沢大学医薬保健研究域保健学系

1) 金沢大学医薬保健学域保健学類

2) 金沢大学大学院医薬保健総合研究科保健学専攻

光源色でカラーカメラで投影像を撮影し、撮影した赤成分、緑成分、青成分と輝度成分から得られた断層像のピクセル値と試料の色の濃さの関係を調べる。1と2の結果を比較し、光の透過スペクトルと断層像のピクセル値の変化の関係を調べるのが本研究の目的である。

実験方法

本研究では、試料の光の透過スペクトル、光源の発光スペクトルを測定する。さらに試料の断層像を取得し、断層像のピクセル値（試料の濃度）を測定する。これらの測定方法を以下に示す。

1. 測定試料

本研究と同じ大きさの試料で 20 Gy まで測定を行っている参考文献 11) で報告された青色系の色素ゲル (Leuco Crystal Violet (LCV)) の使用を、本研究では想定している。しかしながら、実際のゲル線量計は経時的に色の濃さが変化してしまい、長期に及ぶ測定には不向きである。再現性、簡便性を考慮しインクを薄めた試料（以下、インク試料）をゲル線量計の代用とした。無色のものから段階的に色を変化させたインク試料を 12 種類用意し、本試料の光の透過スペクトル、断層像のピクセル値を測定した。インクには LAMY 社製 ラミー ボトルインク ターコイズ LT52TQ を使用し、蒸留水で薄めた。インクの（量）濃度を正確に測定して試料を薄めるべきであるが、少量のインクでも明らかに濃度が変化したこともあり、インクの濃度は測定できなかった。そこで、視覚的に発色濃度が連続的に変化するようにインクの濃度を変えた試料を 12 本用意した。測定に使用したインク試料を図 1 に示す。0 番を無色、11 番を一番色が濃い試料となるようにインク試料に番号を付けた。インク試料は、直径が 2 cm、高さが 7 cm のパイレックスガラス製の瓶に封入した。この瓶は参考文献 11) で使用されている瓶と同じものである。発色濃度の調整は困難だったため、光の透過スペクトルを測定しこのデータを発色濃度の代

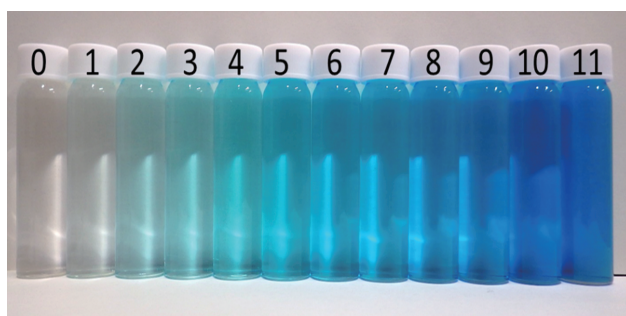


図 1 測定に使用したインク試料

わりとして使用することにした。なお、測定はガラス製の瓶に封入した状態で行い、ガラスの影響は取り除いていない。

2. 光のスペクトル測定方法

光のスペクトルの測定には、浜松ホトニクス製のマイクロ分光器 CS12880MA（感度波長範囲：340 ~ 850 nm, 288 ch, 波長分解能：15 nm max）を使用した自作の測定装置を使用した。制御用に Cypress 製の CY8CKIT-059 PSoC 5LP Prototyping Kit With Onboard Programmer and Debugger (CY8CKIT-059) を使用した。CY8CKIT-059 で CS12880MA 駆動用のクロックなどを生成している。CS12880MA の発熱を抑えるために、CS12880MA からの出力信号は増幅器（デジタル信号は 74HC541AP を使用し、アナログ信号は LM662CN を電圧フォロアとして使用）を介して取得している。スペクトルの測定結果であるアナログ信号は、CY8CKIT-059 の ADC（アナログデジタルコンバータ）を使用して取得した。本研究では、10 ビットの $\Delta\Sigma$ （デルタシグマ）方式の ADC を使用した。CY8CKIT-059 でデジタル信号に変換されスペクトルデータは、USB 経由 (UART) でコンピュータに取り込み保存した。

図 2 に試料の光の透過スペクトルの測定概要を示す。光源として OptoSupply 製の OSPW5111A-Z3（白色 LED）を使用した。白色 LED の電源電圧は 5 V とし、電流制限抵抗として 3.3k Ω の抵抗を白色 LED に直列に接続した。白色 LED とマイクロ分光器は対向させ、その光軸上に試料の中央が来るように配置し、暗室で測定した。

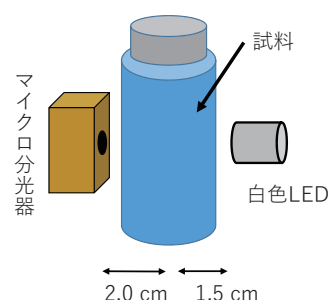


図 2 インク試料の光の透過スペクトル測定の概要

モニターの発光のスペクトルは、画面中央で測定した。前述の光スペクトル測定装置をモニターから 2 cm 離れた位置に設置して測定した。測定は暗室で行った。

3. 光学 CT 装置

本研究では、参考文献 6,7) で報告した装置を改良して使用した。図 3 に開発中の光学 CT 装置を、表 1 に主要な部品をそれぞれ示す。コンピュータ用のモニターを光源として使用することで、光源色を可変し

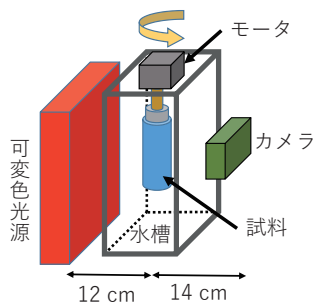


図 3 光学 CT 装置の概要

表 1 光学 CT 装置の主要部品

機構	規格	備考
光源	富士通製モニタ VL-176SE	画面サイズ：17型 (対角43 cm)、表示色最大：1677万色、輝度：250 cd/m ²
モータ	MERCURY MOTOR製 ST-42BYH1004-5013	基本ステップ角：0.9度±5%
カメラ	iDS製 XS	500万画素
制御コンピュータ	ラズベリーパイ財団製 Raspberry Pi 2 Model B	
水槽	15 cm (幅) × 15 cm (奥行) × 30cm (高さ)	アクリル製

ている。光源色はマイクロソフト製のパワーポイント 2016 で制御した。試料は図 3 に示すようにモータに取り付けた軸に固定し、0.9 度ステップで試料を回転させた。水などの液体中でゲル試料を測定することも検討しているため、アクリル製の水槽内に設置できる (モータにぶら下げる) ようになっている。本研究では空気中で測定を行った。カメラには iDS 製の XS を使用した。本研究で使用した XS はイメージセンサーとして、ON Semiconductor 製の MT9P111-D を使用しているが、データシートには波長に対する感度特性は記載されていなかった¹²⁾。0.9 度毎に投影像を撮影し、1 回転 (360 度) で 400 枚の投影像を取得した。本装置では、1 回の撮影 (360 度、400 枚の撮影) に 107 秒必要である。再構成には Plastimatch ver.1.6.4 を使用した。400 枚の投影像を Feldkamp 再構成法を用いて断層像 (3 次元データ) を取得した。Plastimatch を使用し再構成すると 3 次元 (ボリューム) 形式のデータが得られる (mha 形式)。mha 形式のデータを 3D slicer ver. 4.10.1 で tiff 形式に変換し、ImageJ で tiff 形式の断層像を読み込み、断層像のピクセル値を測定した。得られた断層像のガラス瓶の近傍で、ガラスと空気との屈折率の違いによるアーチファクトが確認できた。そこで、この影響が無視できるように断層像の中心に 25 ×

25 ピクセルの正方形 (約 3 mm × 3 mm に相当) の ROI を設定し、その平均値を断層像のピクセル値とした。光源色は、赤、緑、青、白の 4 色とした。それぞれの光源色で投影像をカラーで撮影した。赤光源の場合はモニターの輝度が低く、白光源の場合はモニターの輝度が高い。このため投影像も赤光源の場合、暗くなってしまい比較が困難になる。そこで、光源色が異なっても、0 番 (透明) の試料の投影像のピクセル値が同等になるように、カメラの露出時間とカメラ固有のゲインを調整した。それぞれの値は、図の説明文中に示す。撮影した画像データから赤成分、緑成分、青成分を取り出して、それぞれの成分画像で再構成した。再構成する際に 8 ビットカラーの ppm 形式で保存されたデータを、単精度浮動小数点形式 (pfm 形式) に変換する必要がある。この際、8 ビット符号なし整数型のデータを 0 から 1 の間の値に規格化した。白黒画像 (輝度情報) は、カメラで得られた赤成分 (R)、緑成分 (G)、青成分 (B) から合成した。白黒画像の合成には、国際規格である ITU-R BT.601 に従い、R、G、B のピクセル値から輝度 Y を式 (1) より求めた。

$$Y=0.299R+0.588G+0.114B \quad (1)$$

このように、1 つの光源色で 4 種類の断層像 (カラーカメラから得られた赤成分、緑成分、青成分、合成した白黒画像) を得た。光源色も 4 種類 (赤、緑、青、白) 使用し、合計 16 通り測定をおこなった。

実験結果

インク試料の光の透過スペクトルを図 4 (a) に示す。なお比較しやすいように、0 番目の試料の光の透過スペクトルの値 (T_0) を基準とした n 番目の試料 (T_n) の強度比を図 4 (b) に、0 番目の試料の光の透過スペ

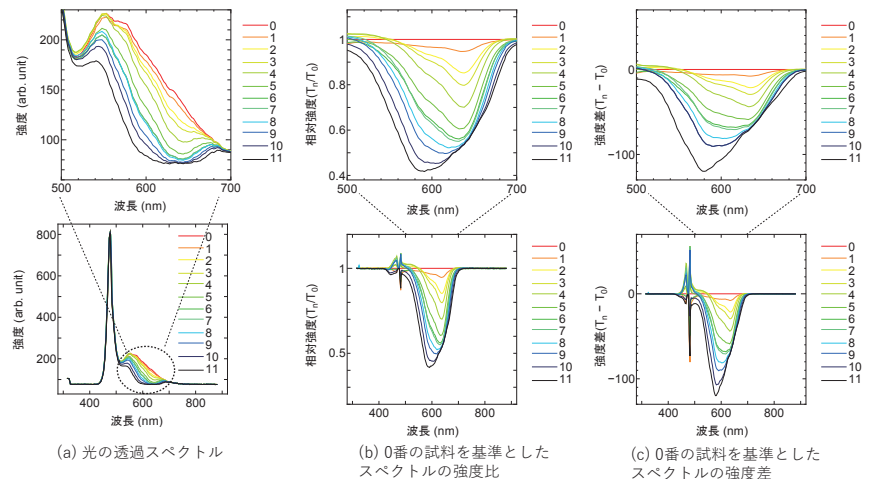


図 4 インク試料の光の透過スペクトルの測定結果

クトルの値 (T_0) を基準とした n 番目の試料 (T_n) との強度差を図 4 (c) にそれぞれ示す。横軸は図 1 で説明したインク試料の番号を示している。インク試料が濃くなるにつれ、500 ~ 700 nm の波長領域で透過光が減衰していた。

図 5 に光源であるモニターの発光スペクトルを示す。この光源を用いて断層像を取得し、断層像中心のピクセル値の変化を調べた。その結果を図 6 から図 9 に示す。図 6 から図 9 の横軸は図 1 に示すインク試料の番号であり、縦軸は断層像中心の ROI のピクセル値の平均値を示す。ピクセル値のばらつきが小さかった (標準偏差は最大で 4.9 であり、この時の変動係数は 0.0065 である)。そのためエラーバーは省略した。本研究では前述の通り、カメラから得られたピクセル値 (8 ビット符号なし整数型) を 0 から 1 までの間で規格化し Plastimatch で再構成したためマイナスのピクセル値となった。このマイナスの値に物理的な意味は

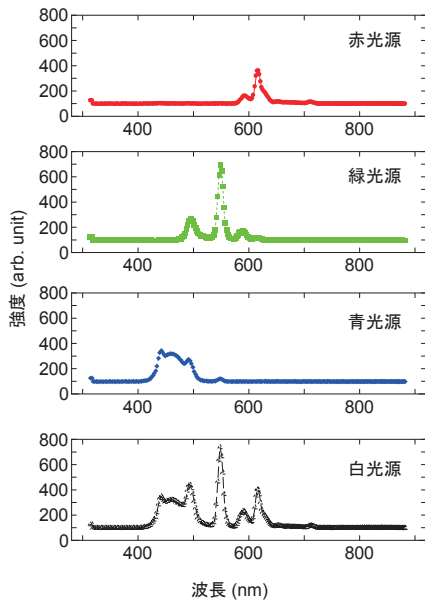


図 5 光源の発光スペクトル特性

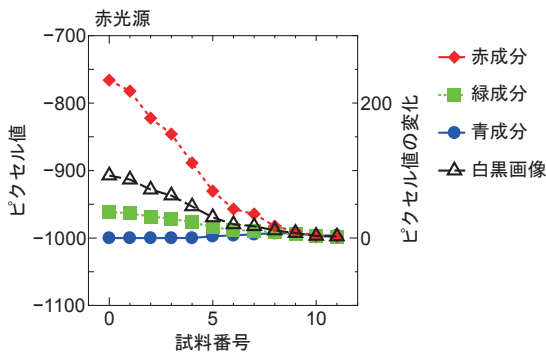


図 6 赤光源を使用した時の、試料の濃さと断層像のピクセル値の関係 (露出時間:66 ms, カメラゲイン:5)

ない。そこでグラフの右に、比較しやすいようにピクセル値の変化量も示した。ピクセル値の変化量は、最小のピクセル値 (-1000) が 0 となるようにした。赤光源を使用し、カメラで得られた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、0 番と 11 番の試料のピクセル値は 230 変化していた。緑光源では、緑成分で再構成した断層像の変化が最も大きく、0 番と 11 番の試料のピクセル値の変化は 130 であった。青光源では、ピクセル値の変化が小さく、青成分で再構成した断層像で、0 番と 11 番の試料のピクセル値の変

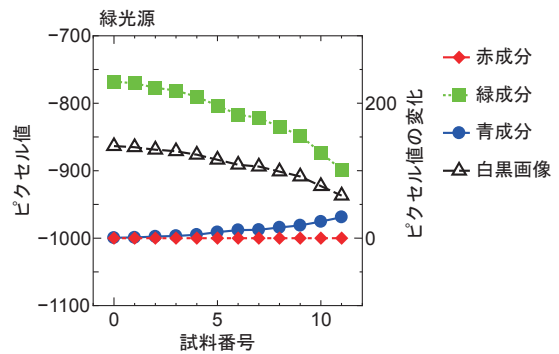


図 7 緑光源を使用した時の、試料の濃さと断層像のピクセル値の関係 (露出時間:47 ms, カメラゲイン:0)

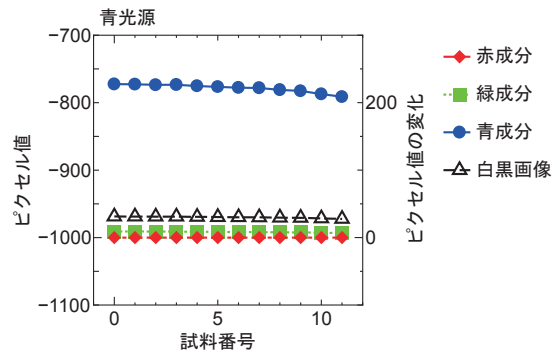


図 8 青光源を使用した時の、試料の濃さと断層像のピクセル値の関係 (露出時間:25 ms, カメラゲイン:0)

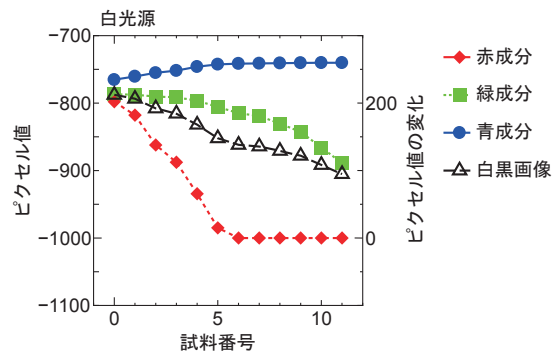


図 9 白光源を使用した時の、試料の濃さと断層像のピクセル値の関係 (露出時間:30 ms, カメラゲイン:0)

化は 19 であった。白色光源の場合は、投影像の赤成分を使用した場合のピクセル値の変化が最も大きく、0 番と 11 番の試料の変化量は 200 であった。

考察

前述の通り、試料の濃度が濃くなるにつれ、500～700 nm の波長領域で強度が変化している (図 4)。インク試料の 0 番目と 11 番目の光の透過スペクトルを比較すると、580 nm の変化が一番大きい。米原ら⁹⁾、LCV を使用した色素ゲル線量計に、10 Gy を照射した場合の紫外可視光吸収スペクトル (450 nm から 650 nm) の変化を調査しており、590 nm 付近での吸収率の変化が大きいことが報告されている。この値は、本研究で得られた値 (580 nm) と同程度である。

500～700 nm の波長の波長帯域は主に赤色であり、緑色の波長帯域も少し含まれている。本研究で使用したインク試料は、濃度が濃くなるにしたがい、主に赤色の波長領域の吸収が増すことで濃い青色になっていた。この結果より、本インク試料の測定には赤光源が適していると推測できる。図 4 (a), (b), (c) の上の図は、波長が 500～700 nm 付近を拡大した結果である。ばらつきはあるが、550 nm 付近では濃い試料 (大きな試料番号) の変化が大きく、逆に 620 nm 付近では薄い試料 (小さな試料番号) の変化が大きくなる傾向であった。このように本研究で使用したインク試料は、波長帯域で特徴が異なっていた。

インク試料の濃さと断層像のピクセル値の関係 (図 6 から図 9) から、赤光源を使用し、カメラで得られた赤成分から再構成した断層像のピクセル値の変化 (図 6) が最も大きかった。これは、インク試料の光の透過スペクトル測定結果からの推測と一致する。本研究では青色系の色素ゲルを想定しているが、赤色系の色素ゲルも存在する¹⁰⁾。青色系以外の色素ゲルでも、光の透過スペクトルを測定すれば同様に最適な光源色と、最適なカラーカメラの色成分が推測できる。

白色光源を用いて、投影像の赤成分を使用した場合も比較的良い結果が得られた。しかし白光源は明るい、撮影した投影像が飽和しやすい (明るすぎる) 傾向があり、注意が必要だった。また、本研究では比較するために、カメラの露出時間とゲインを調整して、図 6 から図 9 で示す再構成画像 (断層像) の 0 番の試料の最大ピクセル値を同等の値 (約 -770) にしている。実際は 0 番の試料の投影像のピクセル値が同等になるように調整した。白光源では、最もピクセル値の大きい青成分の値で調整したため、赤成分は小さく (暗く) 測定された。そのためインクの濃度に対するピクセル

値の変化が若干小さくなったと思われる。赤成分の画像のピクセル値を赤光源使用時と同様な値にすると改善する可能性はある。しかしこの場合、緑成分と青成分の値が飽和する恐れがあり、悪影響がでる可能性もある。この点については今後の課題である。

図 6 から図 9 の結果より、光源色だけでなく、カラーカメラを使用した場合は、カメラで得た色成分も選択したほうが良いことがわかる。通常のカメラは可視光域全体に感度があるため、変化の大きい赤成分画像以外に、変化の小さな色成分も撮影している。そのため白黒画像 (輝度値) を使用すると、変化が大きな色成分と変化が少ない色成分の間の値を示す (平均化された変化量が小さくなる)。このため、光源色だけではなくカラーカメラを使用した場合は、カメラで得られる色成分も選択することが望ましい。スペクトルカメラを使用するとさらに良い結果が得られると思われる。しかしながらスペクトルカメラは高額であり、費用対効果の点で問題がある。

本研究で使用したインク試料では、赤光源を使用し、カラーカメラで得た赤成分から再構成した断層像が測定に適している。しかしながら図 6 に示すように、濃度が濃くなるとピクセル値の変化が小さくなる。これは濃い試料では感度が悪いことを意味する。一方、緑光源を使用し、カメラで得た緑成分から再構成した断層像は、濃い試料でのピクセル値の変化が大きい (図 7)。これは、光の透過スペクトルの結果と一致する。前述の通り 620 nm 付近では薄い試料 (小さな試料番号) の化が大きく、逆に 550 nm 付近では濃い試料 (大きな試料番号) の変化が大きい。例えば、試料番号 6 番と試料番号 11 番を比較してみると、赤光源とカメラで得られた赤成分を使用した場合のピクセル値の変化は 27 であり、緑光源とカメラで得られた緑成分を使用した場合は 82 である。この特性のため、緑光源を使用し、カメラの緑成分で再構成した断層像は、濃い試料でのピクセル値の変化が大きくなったと考えられる。このように光源色などを変えて測定すれば、感度が向上する可能性がある。白光源を使用し、カメラで得られた赤成分と緑成分の両方を使用することでも感度の向上が期待できる (図 9)。しかしながら、白色光源を使用しカメラで得られた緑成分を用いて試料番号 6 番と試料番号 11 番を比較すると、断層像のピクセル値の変化は 74 であり、若干小さい値であった。そのため、煩雑にはなるが複数の光源色を使用した測定が良いと思われる。本研究では、手で光源色を制御していたが、映像出力 (光源であるモニターへの出力信号) をプログラムで制御できる装置もある。このような装

置を使用することで、測定の煩雑さは軽減できると思われる。インク試料の濃度が濃くなると、断層像のピクセル値が小さくなることは容易に想像がつく。しかし、緑光源と白光源の測定において、カメラで得られた青成分を使用すると断層像のピクセル値は、逆にピクセル値が大きくなった。0番と11番の試料の断層像のピクセル値を比較すると、緑光源で30、白光源で25、それぞれ大きな値となった。この点に関しては原因が特定できていない。今後の課題である。本研究で使用したイメージセンサーの波長特性はデータシートに掲載されておらず、センサーの感度特性に関する評価も今後の課題である。

本研究では、参考文献11)で使用された瓶と同一のピアレックスガラス製の瓶を使用した。臨床ではより大きなサイズの試料を使用すると思われる。その場合、試料の透過特性が異なるため、信号値を補正して対応する方法が報告されている¹³⁾。なおゲル線量計の組成に関する研究は活発に行われており⁸⁾、組成により色や発色濃度が異なるため^{9,10)}、信号値の補正以外に、光源の強度、カメラの感度の調整も必要になると思われる。これらの点に関しても今後の課題である。

まとめ

本研究では断層像の輝度（ピクセル値）変化を、詳細に測定する光源色とカメラで得られる色成分の関係について検討した。再現性を考え青入りのインクを用いて12種類の濃さのインク試料を測定した。光の透過光スペクトルを調べた結果、使用した試料では色の

濃度が変化すると500から700 nmの波長帯域の光の透過度が変化することがわかった。ばらつきはあるが、550 nm付近では濃い試料の変化が大きく、620 nm付近では、逆に薄い試料の変化が大きいかもわかった。次に、断層像のピクセル値の変化を調べたところ、赤光源を使用しカメラで得られた赤成分から再構成した断層像のピクセル値の変化が大きいかもわかった。また、赤光源を使用しカメラで得られた赤成分から再構成した断層像は、薄い試料でピクセル値の変化が大きいが、濃い試料ではピクセル値の変化が小さい。一方、緑光源を使用しカメラで得られた緑成分から断層像を得ると、濃い試料でのピクセル値の変化が大きいかもわかった。これらは、試料の光透過スペクトルの結果と一致する。

測定に適切な光の波長（光源色）は、使用するゲル線量計の組成に依存する。本研究で実施したように、試料（使用するゲル線量計）の光透過スペクトルを測定することで、測定に適切な波長帯域は調べられる。その上で、適切な光源色を選択し、カラーカメラを使用する場合は、カメラで得た適切な色成分情報を使用することで、試料の色の濃さをより詳細に測定できる可能性を見出した。

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, May 2, 2019)
- 2) 体幹部定位放射線治療ガイドライン日本放射線腫瘍学会 QA 委員会（委員長：遠藤真広）厚生労働省平岡班体幹部定位放射線治療ガイドライン作成作業部会（責任者：大西 洋）
(<https://www.jastro.or.jp/customer/guideline/2016/10/SRT.pdf>, May 2, 2019)
- 3) Varatharaj C, Ravikumar M, Sathiyam S, 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
- 4) 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
- 5) Optical CT scanner Vista Web サイト
(<https://modusqa.com/optical-ct/vista>, February. 27. 2019.)
- 6) 中山 和也, 小林 長功, 和田 拓也, 他 (2017) : ゲル線量計用光学 CT 装置の試作ーゲル線量計による吸収線量の三次元的評価の検討ー, Journal of wellness and health care, 41, 137-142
- 7) 中山 和也, 大原 諒太, 寺田 香織, 他 (2018) : ゲル線量計による吸収線量の三次元的評価の検討, Journal of wellness and health care, 42, 67-73
- 8) 笛吹修治 (2017): 色素ゲル線量計, 医学物理, 37, 95-98
- 9) 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 の評価, 医学物理 37, 117-121
- 10) 林慎一郎 (2018): 3D ゲル線量計入門 (2018), 第 7 回 3 次元ゲル線量計研究会要旨, 4-5
- 11) Wada T, Nakayama K, Takemura A, 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
- 12) ON Semiconductor 製 MT9P111-D のデータシート
(<https://www.onsemi.cn/pub/Collateral/MT9P111-D.PDF>, May 2, 2019)
- 13) 和田拓也, 武村哲浩, 中山和也, 他 (2018) : 色素ゲル線量計の容器サイズによる光学 CT の信号値への影響, 第 7 回 3 次元ゲル線量計研究会要旨, 46-47

Light source color dependence of optical CT for gel dosimeter

Kazuya Nakayama, Tomoki Koide¹⁾, Riomi Suzuki¹⁾, Hatsuki Sanatani¹⁾,
Takuya Wada²⁾, and Akihiro Takemura

Abstract

We have developed and evaluated a prototype optical computed tomography (CT) system for gel dosimetry that measures the amount of irradiation in three dimensions. The major advantage of this CT is that the light source color can be changed as required. The projection data are obtained using a color camera. The images of the red, green, and blue components can be extracted separately from the color images. Black and white images (brightness values) can also be synthesized from color images. Although optical CT using a color camera has been reported previously, there have been no reports of optical CT with a variable light source color. In this study, we investigated the influence of light source color and each color component obtained by the camera on measurements of samples. The radiochromic dye hydrogel dosimeter has different colors depending on its composition, and its color changes over time. Therefore, we used a sample of blue ink instead of a dosimeter in this study. First, the light transmission spectrum of the blue ink samples used was investigated. Next, we investigated the relationship between the pixel values of the reconstructed image and the light source color. The blue ink sample showed a large change in transmitted light in the wavelength band of 500 to 700 nm corresponding to colors mainly in the red region. Next, by changing the color of the light source, we investigated which color component obtained by the color camera was suitable for measurement. The results indicated that the red component was suitable for this purpose. When a different radiochromic dye hydrogel dosimeter is used, it is possible to select a suitable light source color and a suitable camera color component by measuring the transmitted light spectrum of the gel dosimeter.