

## K吸収端と特性X線を利用した造影物質の識別と定量 の基礎実験

長, 哲二

坂本, 弘巳

<https://doi.org/10.15017/222>

---

出版情報 : 九州大学医療技術短期大学部紀要. 20, pp.1-6, 1993-03. Kyushu University School of Health Sciences Fukuoka, Japan

バージョン :

権利関係 :

# K吸収端と特性X線を利用した造影物質の 識別と定量の基礎実験

長 哲 二、坂 本 弘 巳

Experimental Study of Characteristic X-rays Absorptiometry  
Tetsuzi Cho and Hiromi Sakamoto

A technique is suggested for estimation of contrast medium using white and characteristic x-rays absorptiometry. The measurement of K-absorption edge using spectrometry of transmitted white x-ray is more practical than characteristic x-rays absorptiometry.

Quantitative estimation of bone mineral in phantom is investigated by La- $K_{\alpha}$ ,  $K_{\beta}$  radiation absorptiometry using high-pure Ge detector.

## まえがき

X線画像はフィルムの黒化度の濃淡のみによって表示されており、それは被写体物質の組成元素、厚さのみによって変化する。それで写真濃度のみからその造影物質が何であるかを判別することは出来ない。

実際には解剖学、生理学の知識をフィルターとして読影してはにすぎない。

今後人工臓器その他の補助具の体内埋設が多くなること、医療における電磁場の利用頻度が増加することを考慮すると、その物質を識別することの必要性は大きくなることが予測される。

造影剤その他の金属を判別するには、目的の部位にエネルギーの異なった複数の単色のX線を照射し、その透過X線のエネルギー分析を行うことで可能である。<sup>1)</sup>

ここではLaの特性X線を利用して造影剤として臨床で利用頻度の高いバリウム、ヨウ素の識別骨塩の定量の基礎実験を行ったのでその結果の報告をする。

## 材料および方法

Laの特性X線は、80kV<sub>p</sub>、15mAのX線発生

装置からのX線を使用し、X線をふっ化ランタンに照射することで発生させた。管球のターゲットとランタン間距離は850mmであり、利用線束と90度方向に設置した高純度ゲルマニウム半導体検出器でLaの特性X線を検出した。ふっ化ランタンと検出器間の距離は250mmでその間に50mmの間隔で二個の直径2mm厚さ10mmの銅のコリメータを置き、吸収体はその間に挿入した。

吸収体(写真ではこれが造影物質に相当する)としてバリウム液、ウログラフィン、骨塩定量用ファントム(京都科学 UHA型)を使用した。

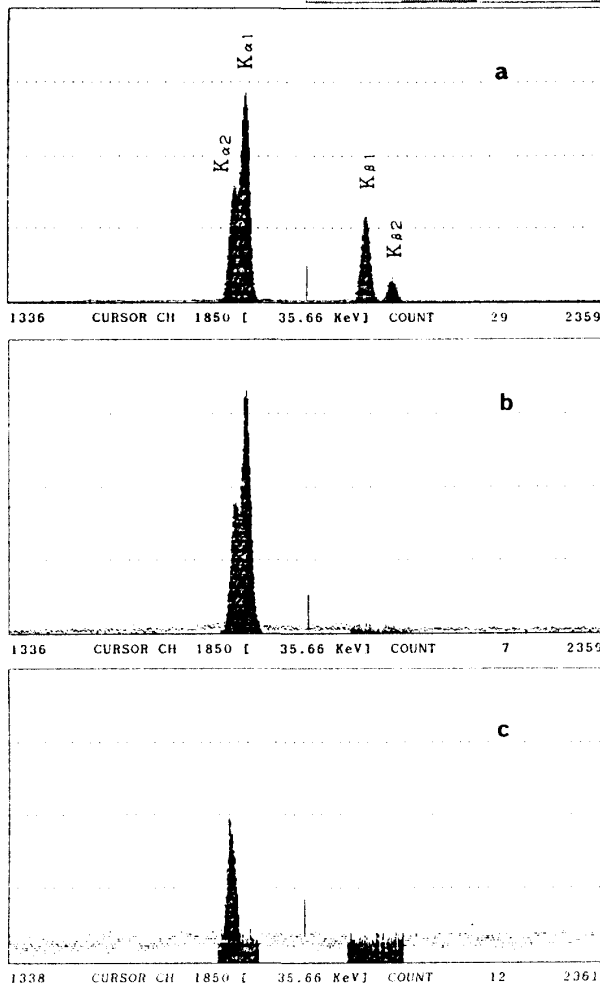
これ等の吸収体を透過したLaの特性X線のスペクトルの変化を測定することによってバリウム、ヨウ素の識別を行った。骨塩の定量はLaの $K_{\alpha}$ 、 $K_{\beta}$ の透過率の比と実験的に求めた式から計算によってもとめた。

発生したLaの特性X線の量は、X線発生装置の出射口に透過型の電離箱を設置しその電荷量を測定することによって規格化した。

使用した高純度ゲルマニウム半導体検出器のエネルギー分解能は37.8keVのX線でFWHM = 340eVであった。

### 結 果

発生したLaの特性X線のスペクトルを1-a図に示す。特性X線のエネルギーは、それぞれ  $K_{\alpha 1} = 33.44$   $K_{\alpha 2} = 33.03$   $K_{\beta 1} = 37.8$   $K_{\beta 2} = 38.7$  keVである<sup>2)</sup>。

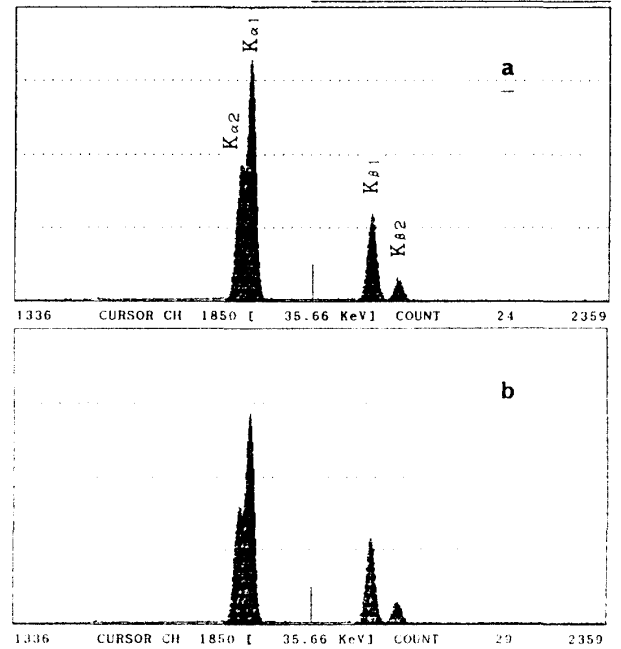


1図：Laの特性X線のエネルギースペクトル a) 吸収体なし b) バリウム透過後 c) ユウ素透過後

$K_{\beta 1}$ と $K_{\beta 2}$ は分離できるが、 $K_{\alpha 1}$ と $K_{\alpha 2}$ は完全には分離されていない。1-b図にバリウム液透過後の特性X線のスペクトルを示す。 $K_{\beta 1}$ と $K_{\beta 2}$ のピークは消滅しているが相対的にエネルギーの低い $K_{\alpha 1}$ 、 $K_{\alpha 2}$ のピークは消滅していないことが分かる。これはBaのK吸収端のエネルギーが37.44keVであるためである。同じように1-c図に示すウログラフィン透過後のスペクトルでは、IのK吸収端のエネルギー33.17keVよりもエネルギーの高い $K_{\alpha 1}$ 、 $K_{\beta 1}$ 、 $K_{\beta 2}$ のピークが消滅し、 $K_{\alpha 2}$ のみが残っている。

2図に骨塩定量ファントムをしようして厚さ

0.285g/cm<sup>2</sup>、1.144g/cm<sup>2</sup>の骨塩 [Ca<sub>10</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>(OH)<sub>2</sub>] 透過後のスペクトルを示す。これではCa、PのK吸収端のエネルギー(4.04、2.15keV)が低いためにその影響はスペクトルに現われてはいない。吸収体が厚くなるとエネルギーの低い $K_{\alpha 1,2}$ のピークが $K_{\beta 1}$ に比較して減弱が大きいことが分る。



2図：骨塩ファントム透過後のLaの特性X線のエネルギースペクトル a) 骨塩量：0.285g/cm<sup>2</sup> b) 骨塩量：1.144g/cm<sup>2</sup>

### 考 察

#### 1 造影物質の識別

光子が透過する物質の元素のK吸収端のエネルギーが違くと、K吸収端のエネルギーで光子の減弱係数が不連続的に大きくなるために、それよりもエネルギーの高い光子がK吸収端よりも大きくなる<sup>3)</sup>。

1-b図ではLaの $K_{\beta 1}$ 、 $K_{\beta 2}$ の光子が吸収され、よりエネルギーが低い $K_{\alpha 1}$ 、 $K_{\alpha 2}$ の光子は残っている。これは吸収体のK吸収端のエネルギーが33.4keVより高く37.8keVより低い子とを示している。このエネルギー範囲にK吸収端をもつ元素としてXe (34.58)、Cs (35.96)、Ba (37.44 keV) が考えられるがXeは気体であるために除外するとして、Cs、Baの判別をしなければなら

ない。吸収体がCsかBaかの判別はLaの特性X線のみでは不可能である。Prの特性X線が利用できればPrの $K_{\alpha 1}$ のピーク(36.02keV)が吸収されるか否かで吸収体がCsであるか否かの判定ができる。PrのーゲットがないのでCsとBaの判別はできないが、IかBaかの判別は可能である。

1-c図では $K_{\alpha 2}$ の光子のみが残り、他のピークは消滅していることから吸収体は $K_{\alpha 2}$ と $K_{\alpha 1}$ のエネルギー間にK吸収端をもつものであり、それはIだけであることから吸収体はIだといえる。

このようにLaの特性X線を利用すると、造影物質がBaかIであるかの判別は簡単にできる。この識別方法は造影物質の元素のK吸収端と、利用する特性X線のエネルギーの適切な組み合わせが必要である。それで広いエネルギー範囲にわたって多数の単色のX線が得られれば、識別できる造影物質の数も多くなる。ただしこの方法を臨床で利用するためには十分な強度をもった多くの単色X線を発生させるための単色X線発生装置の開発<sup>4)</sup>という技術的な問題がある。

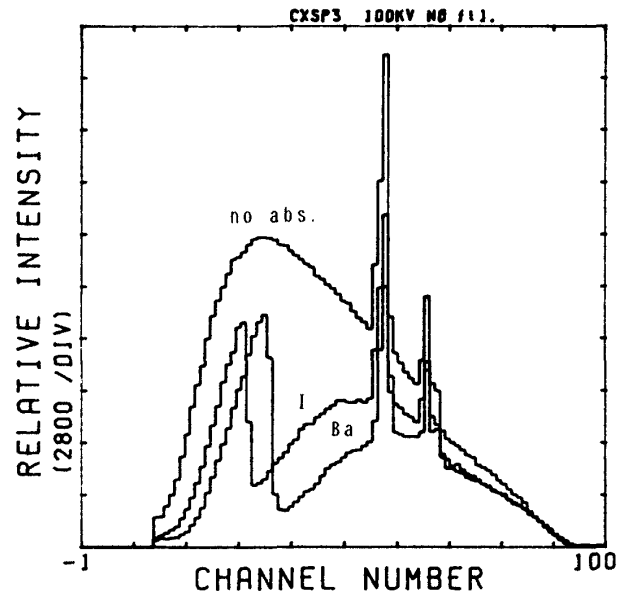
白色X線を無数の単色X線の集まりと考えると、吸収体を透過してきた白色X線のエネルギースペクトルを測定すると吸収体のK吸収端で光子が特異的に吸収されている。これからK吸収端のエネルギーを知ることによって元素の同定が可能である。

3図に100kV<sub>p</sub>のX線がBa、Iを透過してきたエネルギースペクトルを高純度ゲルマニウム検出器で測定したものを示す。Ba、IのK吸収端のエネルギーの違いは明らかである。この透過X線のエネルギースペクトルから、前述の方法ではBaであると同定できなかった吸収体をBaであると同定することは可能である。

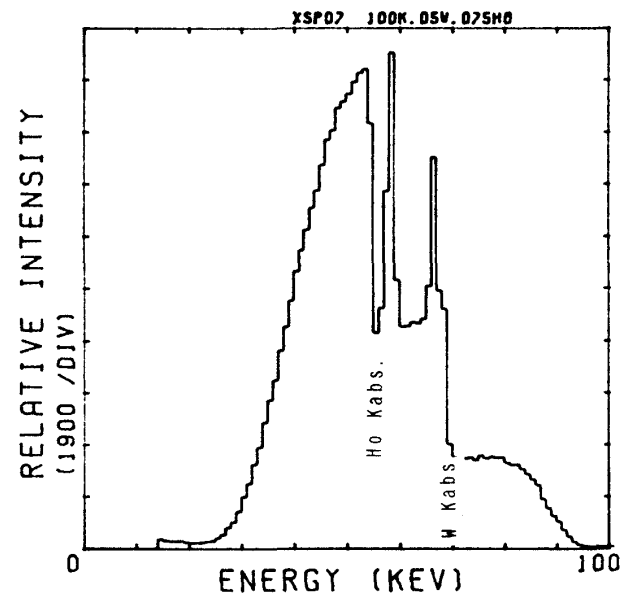
4図にHoとWの種類が異なった二種類の金属を透過した白色X線のエネルギースペクトルを示すが、これからK吸収端のエネルギーを求めて吸収体がHoとWの二つの物質であることを同定することは可能であり、このようなことはX線フィルムから読取ることは不可能である。

このように透過X線のエネルギースペクトル

から、K吸収端のエネルギーを求め体内の物質の識別をする方法のほうが、単色X線を利用する方法と比較して、光子フルエンス率の点からもより実用的である。



3図：100kV<sub>p</sub>X線のエネルギースペクトルの吸収物質による変化



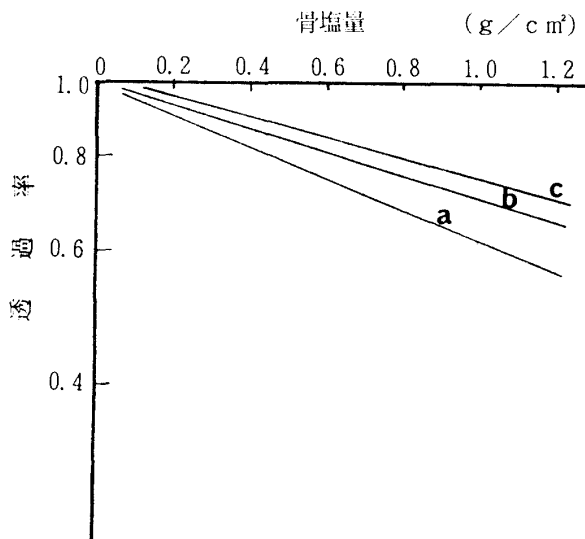
4図：Ho、Wを透過した100kV<sub>p</sub>X線のエネルギースペクトル

トロトラスト沈着<sup>5)</sup>の検査ではThのK吸収端のエネルギーが109.7keVと高いので単色X線を利用する方法は不適當であり、白色X線の透過スペクトルからK吸収端のエネルギーを求める方法が有効な方法であろう。

このような識別を透視下でおこなうには、室温で使用できるCdTe、HgI<sub>2</sub>等の半導体検出器<sup>6)</sup>を同軸ケーブルの先端につけ透視下で関心位置に移動させ、照射野を絞って透過X線のエネルギースペクトルを測定すればよい。

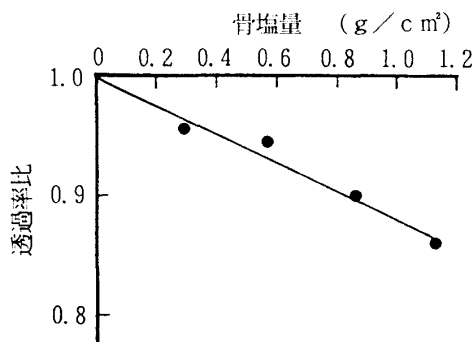
## 2 骨塩定量

骨塩定量ファントムを使用して骨塩によるLaの特性X線のそれぞれの減弱曲線を測定すると5図のようなになる。ただしK<sub>a1</sub>とK<sub>a2</sub>はひとつピークとして考えた。透過率は同じ厚さのポリウレタンの透過率を1.00として求めた。



5図：Laの特性X線の骨塩ファントムによる減弱曲線  
a) K<sub>a</sub> b) K<sub>a1</sub> c) K<sub>a2</sub>

さらに  $(I/I_0)_a$  と  $(I/I_0)_{a1}$  の比と骨塩量の関係を見ると6図に示すような直線関係 ( $r^2 = 0.95$ ) が得られた。



6図：LaのK<sub>a</sub>線の透過率とK<sub>a1</sub>線の透過率の比と骨塩量との関係

骨塩定量ファントムから任意に3個のファントムを選び透過特性X線のスペクトルを測定し、それぞれについて透過率をもとめ、6図から実験的に得られた直線関係を利用して骨塩量を計算した値を表1に示す。ファントムの説明書の値と良く一致している。

表1：骨塩量の実験値と検定値の比較

ファントム番号	骨塩量 (g/cm <sup>2</sup> )	
	検定量	実験値
160	0.457	0.480
280	0.795	0.798
380	1.091	1.052

临床上は5%の骨塩量の編かを測定できることが必要<sup>7)</sup>とされているが今回の測定方法は十分その条件は満たしている。

高エネルギー分解能の検出器を使用すると数keVのエネルギー差しか同一元素からのK<sub>a</sub>、K<sub>β</sub>線を利用しても精度良い骨塩の定量ができることがわかった。

ただしLaでは利用する特性X線のエネルギーの関係で骨盤の骨塩量の測定には不相当であるが、手指骨の測定は可能である。

今回の測定条件では、K<sub>a1</sub>のピークの計数率は10/秒程度であるが、管電圧、管電流及び幾何学的条件を考慮すると、10<sup>2</sup>~10<sup>3</sup>/秒の計数率を得ることも可能であり、臨床利用も可能であろう。

## まとめ

Laの特性X線を利用するとバリウムとヨウ素の識別は容易であるが、臨床応用のためには十分な強度の特性X線を得ることに問題がある。透過X線のエネルギースペクトルを測定してK吸収端のエネルギーから物質の識別をする方法が現実的である。

高エネルギー分解能の検出器を使用するとLaの特性X線の減弱率から骨塩量の精度良い測定が可能である。

## 参考文献

- 1) 小西圭介、豊福不可依：複数の単色X線束による減弱を利用した多成分定量分析法、日医放誌、40、168～170、1980
- 2) C. M. Lederer, J. M. Hollander, I. Perlman: Table of Isotopes, J. Wiley & Sons 1967
- 3) 坂本弘巳、長 哲二：増感紙の光子吸収率の測定、九大医短部紀要、16 : 13 - 17、1989
- 4) M. Akisada, K. Hyodo, M. Ando et al : Synchrotron radiation at the photon factory for non-invasive coronary angiography : Experimental studies. J. Cardio, 16 : 527-534,1986
- 5) Paul Siffert : Cadmium Telluride Detectors and Applications, Nuclear Radiation Detector Materials, North-Holland, New York, 87-114,1983
- 6) 岡村重昭、田中 力、他 : Thorotrast Granulomaの1例、臨床放射線、15、297 - 302、1970
- 7) Cameron JR, Sorenson J : Measurement of bone mineral in vivo. An improved method. Science, 142 : 230-232,1963