

低エネルギー X 線に対する原子核乳剤の感度

Characteristic Curves of X-ray film and nuclear emulsion to 8 ~ 50 keV X-rays

辻 和彦*・佐藤 乙丸*・斉藤 秀雄*

Kazuhiko TSUJI, Otomaru SATO and Hideo SAITO

1. はじめに

オートラジオグラフィは元素の分布を知ることのできる有用な手段であり、特に³Hのβ線や、⁵¹Cr, ⁶⁴Cu, ⁶⁵Zn, ⁷¹Ge などから放出されるオージェ電子によるマイクロオートラジオグラフィでは1μm以下の分解能を持っている^{1, 2)}。しかしオージェ電子マイクロオートラジオグラフィの場合、電子と共に放出されるほぼ同じエネルギーのX線の写真乳剤に対する黒化能が、経験的にかなり大きいように思われる。

この点を明らかにするためにThe Radiochemical Center Amersham (England) 社製 Variable Energy X-ray Source を用い、この装置から放出されるX線を工業用X線フィルム富士80、およびオートラジオグラフ用原子核乾板富士G-OS 15に照射し、露出量と写真濃度の関係を調べた³⁾。その結果、低エネルギーX線の黒化能がかなり大きいことが明らかになった。

2. 実験装置および方法

この実験に用いたRCA社のVariable Energy X-ray Sourceは図1に示した構造になっている。セラミッ

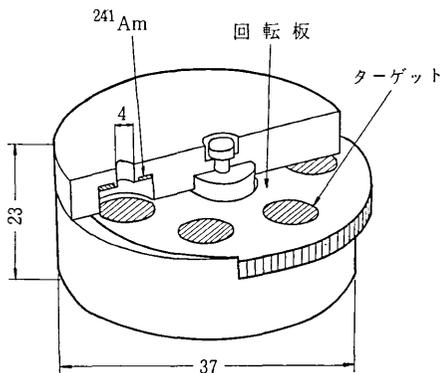


図1 Variable Energy X-ray Source の構成(寸法mm) クにドーナツ状に密封された²⁴¹Am 10mCiから放出される60 keV のγ線がターゲット内の原子を励起し、その原子特有のエネルギーのX線が4mmφの開口部を通して装置外に放出される。²⁴¹Am の一次γ線は遮蔽されてい

るため、開口部以外の外部放射線量率は0.1 mR/h以下である。

Cu, Rb, Mo, Ag, Ba, Tb の6種類のターゲットが回転板の上に配列されており、この回転板を回転させることにより必要なターゲットを²⁴¹Am 線源の真下にセットすることができる。

この装置により放出されるX線のエネルギーと、放出光子数は表1に示した。これはRCA社のカタログの値である。ただしカタログでは1steradian当りの値で光子数が示されており、1.4 steradianにコリメートされているとのことなので、カタログの値に1.4倍した値を示した。軟X、γ線用Ge検出器を用いて測定した結果、Cuの場合を除いて±20%以内でこの表の光子数と一致したので、この値をこのX線装置の放出光子数とすることにした。CuのKX線については、Ge検出器の計数効率が低いエネルギー範囲なので、絶対測定は無理だったように思われる。

図2にGe検出器で測定したそれぞれのターゲットからのX線スペクトルを示す。これは線源-検出器間を10cmにして測定したときのもので効率補正はしていない。それぞれのターゲットの特性X線のほかに、50 keV付近に²⁴¹Am のγ線(60 keV)の一回後方散乱γ線のピークが見える。検出効率を補正してKX線とこの後方散乱γ線の放出数を比較すると、Cuの場合後方散乱γ線はKX線の430%、Rbで106%、Moでは12%、AgとBaでは6%前後となる。

このX線装置の開口部にフィルムを密着して露出を行うわけであるが、実験に際し、ターゲットからの特性X線と共に放出されるオージェ電子が写真乳剤の黒化に寄与するおそれがあるので、そのような場合には装置と

表1 Variable Energy X-ray Source の放出するX線エネルギーおよび光子数

ターゲット物質	エネルギー (keV)		光子数 (sec ⁻¹)
	Kα	Kβ	
Cu	8.04	8.91	1,120
Rb	13.37	14.97	4,200
Mo	17.44	19.63	10,500
Ag	22.10	24.99	16,800
Ba	32.06	36.55	17,500
Tb	44.23	50.65	24,500

* 東京大学生産技術研究所 第4部

研究速報

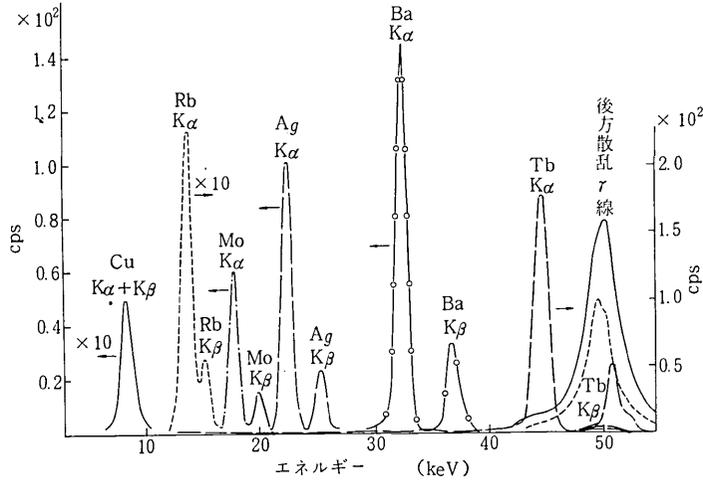


図2 6種類のターゲットからのX線スペクトル

フィルムの上にマイラ膜を置いて露出を行った。これに用いたマイラは、厚さ $6\mu\text{m}$ (実測値 $0.67\text{mg}/\text{cm}^2$) であり、数枚を重ねて使用した。このようにして、露出時間を変えて黒化させた後、規定の現像処理を行い得られた乳剤の写真濃度を、小西写真工業製マイクロデンシトメータ PDM-5 タイプ B によって測定した。

3. 結果

工業用 X 線フィルム富士80を用いて求めた特性曲線を図3に示す。現像には富士レンドールを用いて 20°C で5分間、定着には富士レンフィクスを用いて10分間行った。写真1に Mo からの X 線による黒化の一例を示した。

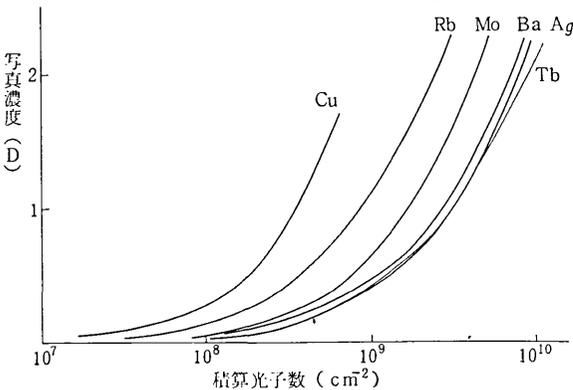


図3 富士80のX線による特性曲線

Cu の場合には、 ^{241}Am の γ 線の後方散乱 γ 線が KX 線の4倍以上、Rb についても KX 線とほぼ同量含まれている。この後方散乱 γ 線のエネルギーは 50keV 付近なので Tb の KX 線とほぼ同じ黒化能を持つものと考えられる。図3からわかるように後方散乱 γ 線を含む Cu KX 線および Rb KX 線の黒化能は Tb KX 線の3~4倍程度となる。Mo, Ba, Ag, Tb では特性 X 線は後方散乱

γ 線に比べて放出される量が多いので、散乱 γ 線の影響を無視することができる。

さてこのグラフより、Cu, Rb, Mo, Ba, Tb とエネルギーの低い X 線ほど写真乳剤を黒化させる能力が大きいが、Ag の KX 線はそれよりエネルギーの高い Ba の KX 線より黒化能が低く、Tb の KX とほぼ同じ黒化能である。

図4は、オートラジオグラフ用原子核乾板富士 G-OS 15 についての特性曲線である。現像には富士レンドールを用いて 20°C 4分間、定着には富士レンフィクスを用いて10分間行った。G-OS 15 は富士80に比べ臭化銀粒子が小さいので感度は低いが、傾向は同じである。すなわち、低エネルギーの X 線ほど黒化能は大きく、Ba の KX 線は Ag の KX 線よりわずかであるが黒化能が大きい。写真2は写真1と同じ X 線による黒化の例である。

Ag と Ba の KX 線における黒化能の逆転は写真乳剤中の Ag の 吸収端効果に由来するものである。Ag の K 吸収端は 25.571keV であり、この X 線装置から放出される Ag の KX 線と Ba の KX 線の中間にあり、そのため Ba の KX 線はエネルギーが高いにもかかわらず乳剤中の臭化銀結晶に吸収されやすく、黒化能も大きくなる。Br の K 吸収端は 13.475keV であり、Rb からの $K\alpha$ と $K\beta$ X 線の中間にあるため、この X 線装置を用いた実験では Br の吸収端効果を評価しがたい。

図3、図4から写真濃度 $D=1$ を得るのに必要な光子数を読みとって表2に示した。両者の感度の差は乳剤に含まれる臭化銀の粒子の大きさ、含有率、均一性、乳剤層の厚さなどによるが、特に工業用 X 線フィルムの場合にはベースの両面に写真乳剤が塗布されている。

G-OS 15 の古いタイプである ET-2E についての β 線感度特性⁴⁾と比較すると、 ^{35}S の β 線(最大エネ

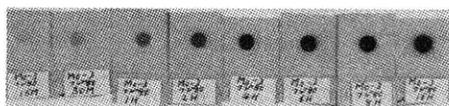


写真1 MoからのX線で黒化した工業用X線フィルム富士80

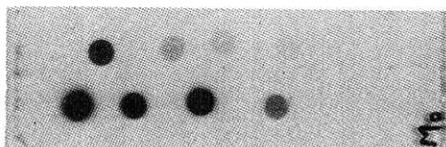


写真2 MoからのX線で黒化した原子核乾板G-OS 15

表2 D=1を得るに必要な光子数
(photons/cm²)

	富士80	G-OS 15
Cu	3.42×10^8	1.90×10^9
Rb	8.46×10^8	5.04×10^9
Mo	1.66×10^9	7.80×10^9
Ag	3.06×10^9	1.10×10^{10}
Ba	2.68×10^9	1.00×10^{10}
Tb	3.16×10^9	1.58×10^{10}

ルギー 167 keV) では、今回の実験でCuターゲットを用いて露出を行った時の約3倍、³²Pのβ線(最大エネルギー 1.71 MeV)ではCuターゲットを用いて露出したときの1.3倍感度がよい。

充分薄い試料を用いてのオートラジオグラフィーでは問題ないが、金属試料のように、試料が厚く、さらに低エネルギーX線が電子と共に放出される核種を用いた時には試料の奥からのX線も乳剤を黒化させるので、電子と同程度、場合によってはX線による黒化の方が多くなることもあり得るものと思われる。

4. おわりに

以上の結果より、写真乳剤の低エネルギーX線に対す

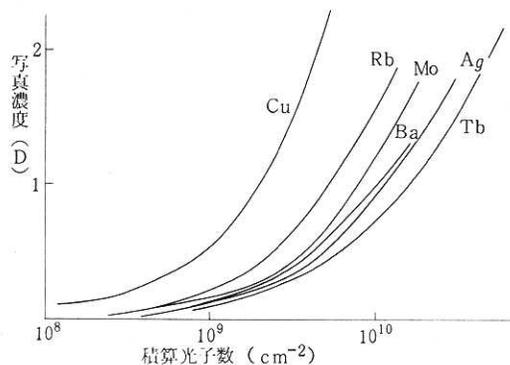


図4 G-OS 15のX線による特性曲線

る感度は意外に大きいことがわかった。今回の実験では6種類の低エネルギーX線の特性曲線しか求めなかったが、多くの低エネルギーX線の特性曲線を求めることができれば、写真乳剤の黒化能の光子エネルギーによる変化を知ることができる。この目的のためには、⁵¹Cr, ⁵⁵Fe, ⁷¹Ge等から軌道電子捕獲により生成するKX線を使用するのがよいと考えられる。

今回の実験に用いたX線装置では、単色エネルギーの特性X線のほかに、あるエネルギー幅をもった散乱γ線が共存しているので、得られた特性曲線にはそのための誤差が含まれているものもある。これらの点については一部実験中であり、稿を改めて発表したい。

(1977年10月11日受理)

参考文献

- 1) 佐藤乙丸 斉藤秀雄 杉江達也 : 第12回理工学における同位元素研究発表会要旨集, P. 75 (1975)
- 2) 佐藤乙丸 斉藤秀雄 杉江達也 辻和彦 楠克之 : 第13回理工学における同位元素研究発表会要旨集, P. 16 (1976)
- 3) 佐藤乙丸 辻和彦 加藤正夫 斉藤秀雄 杉江達也 : 第14回理工学における同位元素研究発表会要旨集, P. 117 (1977)
- 4) 榎本茂正 田中吉左右 : 名古屋工業技術試験所報告, 4, (12), 515 ~ 519 (1955)