

# 原 子 核 乾 板

古 関 靖 夫

1896 年に, Becquerel<sup>(1)</sup> が初めてウラニウム塩が写真乾板を黒化させることを発見して, 荷電粒子の写真記録を作った. 1911 年 Reinganum<sup>(2)</sup> は,  $\alpha$  粒子が飛跡として写真乳剤に記録されることを発見した. その後, プロトンや  $\beta$  線についても研究されたが, そのころ利用された写真乳剤は, もちろん可視光による撮影用として作られたものであった.

1935 年頃より, プロトンの飛跡記録用の写真乾板の試作研究が始められた. Blau と Wambacher<sup>(3)</sup> は, 写真乳剤の減感剤であるピナクリプトール黄がプロトン感度を高めると報告している. しかし, 現在の原子核乾板には, その増感効果は認められない. おそらく, その減感作用によって背景カブリが減って, プロトン飛跡が見やすくなったためだろうと推察されている.

1935 年, Ilford 社より RI 乾板, つづいて R2 乾板, New Halftone 乾板と, プロトン乾板が発売された. Agfa 研究所は K 乾板を, Kodak 研究所は Fine-Grain Alpha Plate を出した.

しかし, 1945 年頃までは, 原子核物理学者の定量的研究には, ionization chamber, Geiger-Mueller 計数管や Wilson 霧箱が用いられて, 原子核乾板の影はうすかった.

1945 年以来, 原子核物理学者と写真工業会社との共同研究が大いに進み, 1948 年 12 月には Berriman<sup>(4)</sup> が Kodak Ltd. の NT 4 によって最小イオン化能の  $\beta$  線飛跡を記録し, 1949 年初頭には Ilford 社が G5 乾板を発表して, ともにあらゆる荷電粒子を飛跡として記録しうる写真乳剤が完成した.

このようにして, 原子核乾板は荷電粒子の記録の手段として広く使用されるようになった.

## 1 原子核乾板の特徴

第 1 表に標準的な原子核乳剤と一般の高感光度写真乳剤の特性を対照して示しておくが, 原子核乳剤の特徴は,

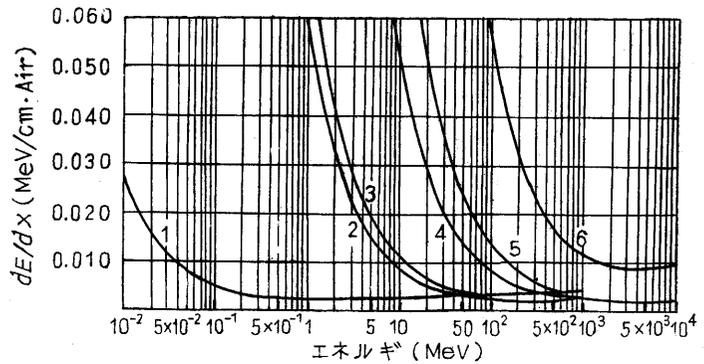
第 1 表 原子核乳剤の特徴

	乳剤組成 (重量パーセント)		ハロゲン銀結晶の大きさ (直径 $\mu$ )	乳 剤 膜 厚 ( $\mu$ )	光に対する比感度
	ハロゲン銀	ゼラチン			
原子核乳剤	70~85	15~30	0.2~0.4	25~600	1
高感度ネガ乳剤	35~45	55~65	0.5~1	10~15	100~1000

- (1) ゼラチンに対してきわめて多量のハロゲン銀を含有する.
- (2) ハロゲン銀結晶の大きさが, きわめて小さく, かつその大きさが均整で揃っている.
- (3) 乳剤膜厚がきわめて厚く, 1200  $\mu$  のものも利用される.
- (4) 光に対する感度はきわめて低いが, 荷電粒子の個々の行動を飛跡として記録できる.

## 2 荷電粒子飛跡の記録

原子核崩壊片 (Fission product),  $\alpha$  線, デュートロン, プロトン, メソンや  $\beta$  線のような荷電粒子が物質に



1: 電子 2:  $\mu$  中間子 3:  $\pi$  中間子 4: 陽子 5: 重陽子 6:  $\alpha$  線

第 1 図 エネルギー損失曲線

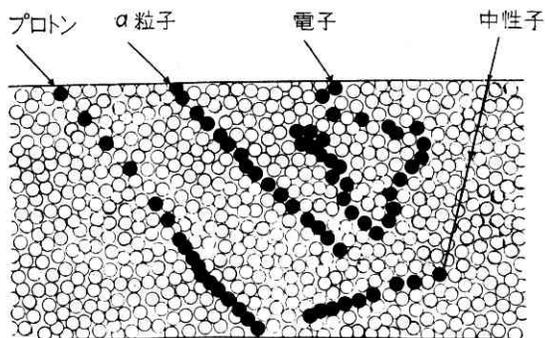
入射すると, 物質との相互作用により, その運動の経路に沿って周囲にイオン化エネルギーを与え (自己のエネルギーを失い) つつ運動し, ついには停止する. 第 1 図は各種の荷電粒子の空気中におけるエネルギー損失曲線である. 荷電粒子自身のエネルギー (横軸) が大きい時は, 空気へ与えるイオン化エネルギー, すなわちエネルギー損失 (縦軸) は小さい. しかし, 周囲にエネルギーを与えて自己のエネルギーが減少するにつれて, 周囲へ与えるエネルギー損失が増大することを示している.

エネルギーの大きい荷電粒子が写真乳剤に入射すると, 初期は自己のエネルギーが大きいのでエネルギー損失が少ない. すなわち, 飛跡中のハロゲン銀粒子へ与えるエネルギーが少ないので, これを現像可能にする確率は少ない. そこで, 低感度原子核乳剤は, イオン化能の少ない荷電粒子 (たとえば電子) の高エネルギー状態の

のを飛跡として記録できない。

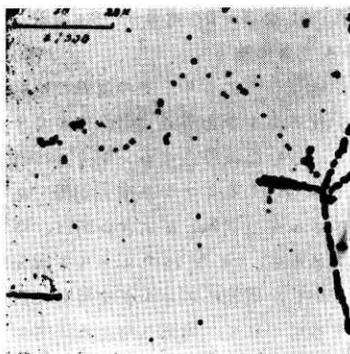
次にエネルギーを失ってゆくと、エネルギー損失は急激に増大するので、荷電粒子の経路にあるハロゲン銀粒子は現像可能となる。したがって、飛跡の終点に近づくにつれて、経路にあるハロゲン銀粒子を全部現像可能とする。

$\alpha$  粒子は、第1図よりわかるように、エネルギー損失が大きく、イオン化能が大きいため、第2図の模型図のようにその飛程の最初からすべてのハロゲン銀粒子を現像可能とする。すなわち、 $\alpha$  線は写真作用強く、1個の $\alpha$  粒子は十数個のハロゲン化銀を現像可能とする。



第2図 写真乳剤膜の構造と粒子線飛跡 (模型図)

プロトンは、 $\alpha$  粒子に比べて、質量は  $\frac{1}{4}$ 、荷電数は  $\frac{1}{2}$  であるので、たとえ入射した時の粒子のエネルギーは同一でも、プロトンはエネルギー損失(イオン化能)が低い。その乳剤中の飛跡の長さ(飛程)はより長く、飛跡の単位長さ当りの現像銀粒子数(銀粒子密度)は小さくなる。



第3図 Th の  $\alpha$  線と  $\beta$  線飛跡

この傾向は質量のより小さい荷電粒子、たとえば電子では著しくなり、また質量が小さいために乳剤中で散乱されやすく、直線性を失うにいたる。電子は、このようにイオ

ン化能が低いので、低感度原子核乳剤を用いたのでは飛跡として記録できない、特に最小イオン化能電子では高感度原子核乳剤によらなければならない。ただし、低エネルギー電子では、イオン化能が増すのでやや低感度の原子核乳剤でも記録できる。

このように、原子核乳剤を用いると、入射荷電粒子の行動がそのまま現像銀粒子の行列(飛跡)として記録できるし、この飛跡の長さ(飛程)、飛跡の銀粒子密度、飛跡の散乱される程度を解析することによって、その荷電粒子の質量、荷電数、エネルギー等の諸性質を測定できる。

第3図は Th 原子の崩壊で、太い直線の4本の $\alpha$ 線飛跡と曲がった電子線の飛跡が見られる。第4図は  $\pi$ - $\mu$ -e 崩壊の1例である。

### 3 原子核乾板

a. 原子核乳剤の製造 市販品の特性は後述するが、原子核乳剤の製法には比較的多くの報告がある。

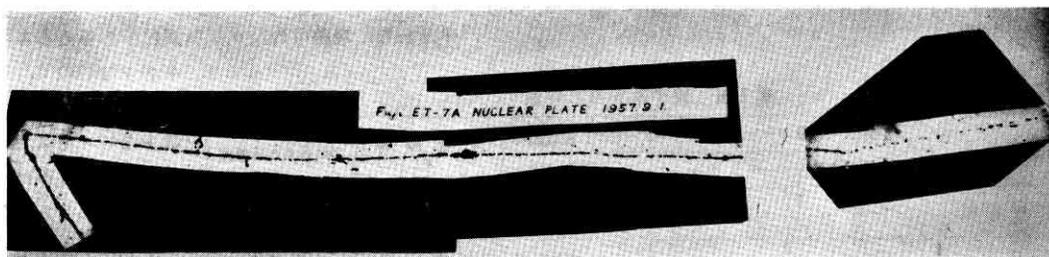
Myssowsky と Tschijow<sup>(6)</sup>, Blau と Wambacher<sup>(6)</sup>, Jdanoff<sup>(7)</sup>, Demers<sup>(8)</sup>, Hälgl と Jenny<sup>(10)</sup>, Jenny<sup>(11)</sup> 等の報告があるが、比較的新しい Jenny の方法を紹介する。

つぎの3液を準備する。

第1液: 蒸留水	60 ml
写真用ゼラチン	3.6 g
6-nitrobenzimidazole 1/500	1 ml
第2液: 蒸留水	23 ml
KBr	14.8 g
KI	0.6 g
Cd Br <sub>2</sub> 10%	7 ml
第3液: 蒸留水	30 ml
AgNO <sub>3</sub>	20 g

使用する薬品は高純度でなければならない。第1液は 250 ml のビーカーに、第2液と第3液とは 50 ml の三角フラスコ中に作る。

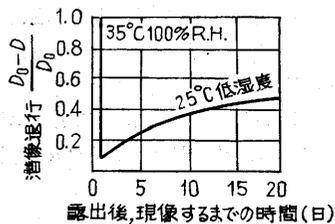
第1液を1時間室内において、ゼラチンをよく吸水させてから、37°C の恒温水槽に入れる。ガラス棒でよく攪拌してゼラチンを完全に融解する。第2液と第3液とはビュレットに入れてビーカー上におく。第2液を3滴入れてから、第2液と第3液を1秒に2滴の速度で第3



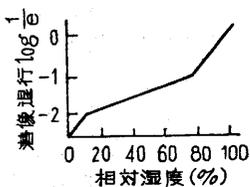
第4図 宇宙線の  $\pi$ - $\mu$ -e 崩壊 富士原子核乾板 ET-7A (山梨大学、今枝助教提供)



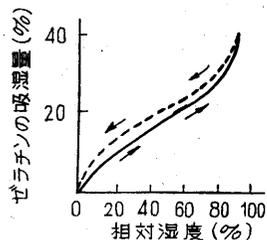
の後の多くの研究によって保存条件と潜像退行との関係が明らかにされた。



第6図 保存条件による潜像退行の差



第7図 潜像退行 (飛跡の銀粒子密度が1/2となるまでの時間  $\theta$ ) と相対湿度との関係

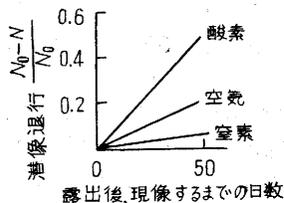


第8図 ゼラチンの吸湿度と相対湿度との関係 実線は吸湿、破線は脱湿

温湿度が高いほど、潜像退行は著しい。Lauda<sup>(18)</sup>は Agfa 乾板を用いて露光後160日で、室内保存で80%、0°Cで保存して60%、真空乾燥器

中では8%の潜像減退を認めた。Yagoda と Kaplan<sup>(19), (20)</sup> は Eastman 原子核乾板中の  $\alpha$  線飛跡が室内保存で20日間に90~35%減少することを見出し、さらに第6図に示したように高温の飽和空气中で潜像退行が著しいことを発表した。

La Palme と Demers<sup>(22)</sup> は 42°C では潜像が著しく早く退行し、-85°C では数カ月間ほとんど退行がみられなかったと報じている。Albouy と Faraggi<sup>(23)</sup> は第7図のように保存空气中の湿度が潜像退行にいかに関与するかを示した。これと Mees<sup>(24)</sup> の比湿度とゼラチンの吸湿度との関



第9図 一定湿度で、種々のガス中に保存したときの潜像退行の1例

係(第8図)とを比較すると潜像の退行は写真乳剤膜中の吸水量に関係することがわかる。さらに、Albouy と Faraggi は、露光した乳剤膜を湿度を一定としながら種々のガス中に保存し、潜像減退を測定した。その1例は第9図のように、純酸素中では空気中の2倍の早さで退行し、純窒素中の約10倍の早さで潜像が減退することを示した。

Cüer と Morand<sup>(25)</sup> は、乳剤中のハロゲン銀含有量の多いほど、潜像の退行が少ないことを明らかにした。Albouy と Faraggi はまた、写真乳剤の pH が高いほど、ハロゲン銀結晶が大きいほど、潜像の減退の起こりにくいことを示した。この因子は写真乳剤を製造する立場において注目すべき現象である。

以上の実験事実から、潜像の減退機構は次式のように



進行する潜像の酸化と考えられている。酸素と水が多ければ反応は右辺に進み、乳剤の pH が高くて OH<sup>-</sup> が多ければ反応は右辺に進みにくい。乳剤中のゼラチン含有量が少ないほど、同一湿度でのハロゲン銀に対する吸湿した水の量が少ないから、酸化反応は進みにくい。

d. 原子核乾板の種類 原子核乾板を供給している写真工業会社は、Ilford 社、Kodak 社、Agfa 社、Ferrania 社の外、富士フィルムと小西六の6社である。この外、ソ連と中共でも作られている。

第2表にあげてあるように、それぞれ感度の異なるものを数種供給している。

原子核乳剤に限って、製造会社よりその組成が発表さ

第2表 市販原子核乾板の性能 (各種の荷電粒子について、飛跡として記録できるエネルギーの最大値を MeV の単位で示してある)

	Ilford					Kodak Ltd			Eastman Kodak					
	D1	E1	C2	B2	G5	NT1a	NT2a	NT4	NTC	NTC3	NTA	NTB	NTB2	NTB3
電子	—	—	0.03	0.07	全部	—	0.1	全部	—	—	—	0.03	0.2	0.4
$\mu$ 中間子	—	2	5.5	0.14	全部	2	20	全部	—	1	2	6	40	85
プロトン	—	20	50	120	全部	20	200	全部	—	1.5	3	8	50	110
デュートロン	—	40	100	240	全部	40	400	全部	—	20	40	100	750	1500
$\alpha$ 粒子	低	500	1500	全部	全部	500	全部	全部	低	100	200	800	全部	全部

	Agfa	富士フィルム			小西六	
	K2	ET-2E	ET-6B	ET-7A	NR-M1	NR-E1
電子	0.08	—	0.1	全部	0.03	全部
$\mu$ 中間子	16	2	20	全部	5.5	全部
プロトン	150	20	200	全部	50	全部
デュートロン	300	40	400	全部	100	全部
$\alpha$ 粒子	全部	500	全部	全部	1500	全部

第 3 表 市販原子核乳剤の組成 (g/cm<sup>3</sup>)

	Ilford		Kodak Ltd.	Eastman Kodak	Agfa K2	富士フィルム			小西六
	G-5	その他		除 NTC		ET-2E	ET-6B	ET-7A	NR-M1
Ag	1.85	1.85	1.97	1.70	1.76	1.26	1.40	1.85	1.63
Br	1.36	1.34	1.44	1.22	1.29	0.89	1.02	1.36	1.18
J	0.024	0.052	0.036	0.054	0.05	0.065	0.00	0.024	0.053
C	0.27	0.27	0.27	0.34	0.29	0.44	0.29	0.27	0.36
H	0.056	0.056	0.038	0.043	0.06	0.06	0.05	0.056	0.046
O	0.27	0.27	0.16	0.17	0.30	0.22	0.19	0.27	0.18
N	0.67	0.067	0.080	0.11	0.07	0.12	0.07	0.067	0.183
S	0.010	0.010			0.02	0.007	0.01	0.010	0.005
条件	室温 50% R.H.		絶対乾燥	絶対乾燥	室温60% R.H.	室温 60% R.H.			絶対乾燥

第 4 表 Ilford 原子核乳剤の含水量

相対湿度(%)	含水量(重量%)	比重(gm/cm <sup>3</sup> )
絶対乾燥	0	4.18
0	1.41	3.94
32	2.06	3.88
58	2.95	3.82
84	5.17	3.69

れている(第 3 表)。

原子核乳剤の吸湿の 1 例を, 第 4 表に示しておく。

#### 4 ペリクルとゲル乳剤

原子核乳剤はペリクルの形で市販されている。これは原子核乾板とは異なり, 支持体のない乳剤膜のみである。これは, 何枚も重ねて原子核乳剤のブロックを作るのに用いられる。

重ねたままで使用し, レジスターマークをつけて, 1 枚ずつ下塗済乾板ガラスに貼付してから現像処理して, 検鏡する。1 枚のペリクル中の飛跡の続きは, つぎのペリクル中に記録されているので, 全飛跡が記録できる。

また, Ilford 社では, 原子核乳剤をゲル状態でも市販している。これは, 水を含んだゲル状態の乳剤の細片を, 50 cc または 100 cc の茶褐色瓶に入れてある。必要量を加温してゾル状態として, 下塗済ガラスへ塗布して用いる。原子核乾板は, 保存中にも宇宙線の飛跡を記録してしまうのである期間使用してから処理しても, その乳剤中に記録されている飛跡中には, 製造後使用するまでの間に記録した飛跡も含まれているので, 目的としている飛跡を区別するのは困難である。したがって, 製造直後に使用するのが望ましいが, 遠隔地で使用するには, 現地で原子核乳剤を塗布乾燥して用いるのが理想的である。この目的には, ゲル状態の乳剤は便利である。

(1959. 8. 3)

#### 文 献

(1) Becquerel, H.: *Compt. Rend.*, **122**, 420 (1896).  
 (2) Reinganum, M.: *Phys. Z.*, **12**, 1076 (1911).  
 (3) Blau, M. & Wambacher, H.: *Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien*, **143**, 285 (1934).  
 (4) Berriman, R. W.: *Nature*, **161**, 928 (1948).  
 (5) Myssowsky, L. & Tschijow, P.: *Z. Phys.*, **44**, 408 (1927).  
 (6) Blau, M. & Wambacher H.: *Monatsh.*, **61**, 99 (1932).

(7) Jdanoff, A.: *J. phys. et radium*, **6**, 233 (1935).  
 (8) Demers, P.: *Phys. Rev.*, **70**, 86 (1946).  
 (9) Demers, P.: *J. Research*, **25**, 223 (1947).  
 (10) Häly, W. & Jenny I.: *Helv. Phys. Acta*, **21**, 131 (1948).  
 (11) Jenny, L.: *Fundamental Mechanisms of Phot. Sensitivity*, J. W. Mitchell, ed. (Butterworths Scientific Publications. London), 259 (1951).  
 (12) 今枝国之助, 敦野美ツ子: *宇宙線研究*, **3**, 1 (1958).  
 (13) Mees, C. E. K.: *The Theory of the Phot. Process*, MacMillan Co., N. Y., 308 (1954).  
 (14) Dollmann, E. M.: *Rev. Sci. Instr.*, **21**, 118 (1950).  
 (15) Lord, J. J.: *Phys. Rev.*, **81**, 901 (1951).  
 (16) Blau, M.: *Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien*, **140**, 623 (1931).  
 (17) Blau, M. & Wambacher, H.: *Z. Wiss. Phot.*, **31**, 243 (1933).  
 (18) Lauda, J.: *Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien*, **145**, 707 (1936).  
 (19) Yagoda, H.: *Am. Mineral.*, **31**, 27 (1946).  
 (20) Yagoda, H. & Kaplan, N.: *Phys. Rev.*, **71**, 910 (1947).  
 (21) Yagoda, H. & Kaplan, N.: *Phys. Rev.*, **73**, 634 (1948).  
 (22) La Palm, J. & Demers P.: *Bull. Am. Phys. Soc.*, **22**, 17 (1947).  
 (23) Albouy, G. & Faraggi, H.: *J. Phys. et radium*, **10**, 105 (1949).  
 (24) Mees, C. E. K.: *The Theory of the Phot. Process*, MacMillan Co., N. Y., (1942).  
 (25) Cür. P. & Morand, M.: *Comp. rend.*, **225**, 1146 (1947).

正 誤 表 (9 月号)

頁	段	行	種 別	正	誤
7	左		第3図説明	$( \theta_0  +  \theta_1 ) / (1 + \mathcal{E}^{-\frac{\alpha T}{2}})$	$( \theta_0  +  \theta_1 ) / (1 + \mathcal{E}^{-\frac{\alpha T}{2}})$
11, 12	左	11, 12	本 文	$( \theta_0  +  \theta_1 ) / \Delta\theta$	$( \theta_1  +  \theta_1 ) / \Delta\theta$
8	左	10	“(18式)”	$( \theta_0  +  \theta_1 )$	$( \theta  +  \theta_1 )$
27			第6図説明	入力電圧特性	入力電
32	右	2	筆者紹介	◇山本尚志 助手	◇山本尚志 技官