²¹⁰Pb のラット体内分布、蓄積および排泄について¹⁾

池淵秀治, 亀谷勝昭

国立衛生試験所²⁾

Distribution, Accumulation and Excretion of ²¹⁰Pb in Rats¹⁾

HIDEHARU IKEBUCHI and KATSUAKI KAMETANI

National Institute of Hygienic Sciences²⁾

(Received March 23, 1977)

The distribution and elimination of ²¹⁰Pb were studied after intravenous injection in male rats and the following results were obtained.

1) On the first day after the injection of ²¹⁰Pb, the highest distribution of lead among organs was found in the vertebra, followed by bone marrow, femur, liver, and kidney, and organs showing low concentration were nerve, testicle, and muscle.

Disappearance of ²¹⁰Pb from the liver, kidney, and blood was rapid, while the radioactivity in the femur and vertebra increased up to 3rd day after injection and then decreased slowly. ²¹⁰Pb in the nerve tissue showed highest concentration on the 14th day during the experimental period.

On the 92nd day after injection, the highest concentration of ²¹⁰Pb among the rat organs was observed in the skeleton, followed by bone marrow, spleen, cerebellum, and medulla oblongata.

2) About 58% of the dose was excreted in feces and urine during 92 days after injection of ²¹⁰Pb solution. Excretion ratio in the feces was about 8.5 times greater than that in the urine.

Excretion of lead in bile was 20% of the dose within 6 hr and 27% in 48 hr after injection.

3) The biological half-life of ²¹⁰Pb in selected organs and tissues was calculated from the retention rate during 92 days. The values obtained were 53.3 days in the liver, 20.1 days in the kidneys, 62.3 days in the vertebra, 79.5 days in the femur, 51.9 days in the bone marrow, 37.5 days in blood, 24.3 days in the cerebrum, 23.1 days in the cerebellum, and 27.1 days in the medulla oblongata.

The retention rate of ²¹⁰Pb in the whole body was calculated by subtracting the radioactivity of excreta from the injected dose in 5 rats during 92 days after injection, and the following equation, representing the retention rate of ²¹⁰Pb in the whole body, was derived from the obtained values:

$$R = 36.37 e^{-0.370t} + 12.57 e^{-0.0246t} + 51.57 e^{-0.000993t}$$

where R is the percentage of retained lead at t days after injection.

The biological half-life of ²¹⁰Pb in the whole body of rats was found to consist of 3 components, 0.81 day for rapid component, 12.24 days for intermediate component, and 303.1 days for delayed component, as shown in the equation.

Keywords—²¹⁰Pb; rat; organ distribution and excretion of ²¹⁰Pb; liquid scintillation counter; organ distribution-excretion relationship

緒 言

産業衛生や環境汚染研究の立場から鉛の生体内分布あるいは挙動に関する研究は多い。最近では放射性鉛を用

いて生体内分布などが調べられている。Hammond³⁾ はラットにおいて ²¹⁰Pb を投与した後骨組織に最も高く蓄積され、次に腎、肝および筋組織の順であると報告して

1) 日本薬学会第95年会発表, 大阪, 1975年4月。

2) Location: 18-1, Kamiyoga 1-chome, Setagaya-ku, Tokyo (東京都世田谷区上用賀1-18-1)。

3) P. B. Hammond, *Toxic. & Applied Pharmacol.*, **18**, 296 (1971)。

いる。一方、堀口ら⁴⁾はモルモットに $^{210}\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ を静注した場合に ^{210}Pb の分布は骨、歯牙に高く、肝および脾において蓄積する傾向を認め、排泄は主に糞中からで、投与後30日間で投与量の約40%を糞中に認めたと報告している。しかし、これらの報告はいずれも比較的短期間における結果についてである。

今回著者らは長期間にわたる動物体内における鉛の分布および排泄率との関係から鉛の生体内運命について、推察することを目的として、 $^{210}\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ をラットの静脈内に投与したのち、経時的な生体内分布および排泄についての実験を行った。その結果を報告する。

実験方法

1. 実験動物 体重180—230 gのウイスター系雄ラットを用い、固型飼料（オリエンタル酵母工業KK製、NMF）と飲料水を自由に摂取させ飼育して用いた。

2. ^{210}Pb の投与方法 $\text{RaD}(^{210}\text{Pb})$ (The Radiochemical Centre, Amersham 製)の硝酸溶液に $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ を加えて蒸発乾固したのち生理的食塩水に溶かし、 $50 \mu\text{Ci}/1 \text{ mg Pb}^{2+}/\text{ml}$ に調製した。この溶液の $1 \text{ ml}/\text{kg}$ を股静脈内に投与した。

3. 動物実験 体内分布は静脈内投与したのち、1日、3日、7日、14日、21日、28日、42日、および65日には一群4匹、92日には一群5匹について断頭放血し、大脳、小脳、延髄、肝、脾、腎、筋肉、大腿骨、脊椎骨、骨髄および睾丸を摘出した。なお、排泄の観察のため92日の群のラットは投与後から1匹ずつ糞尿分離型代謝ケージ中に入れ、投与後92日目までの糞尿を集めた。

胆汁排泄の実験には別に3匹のラットを用い、エーテル麻酔下で胆管にポリエチレン管（外径0.8 mm）を挿入したのち、 ^{210}Pb の同じ溶液を投与し、水を自由に摂取させ、はじめの12時間は1時間毎に、その後は6時間毎に48時間胆汁を採取した。

4. ^{210}Pb の放射能の測定法 前報⁵⁾の方法により、各試料を湿式酸化し、陰イオン交換樹脂柱により ^{210}Pb を放射性娘核種 (^{210}Bi , ^{210}Po) から分離して、 ^{210}Pb の β 放射能を液体シンチレーション計数装置（アロカ製 Liquid Scintillation Counter LSC-601 型）により測定した。

実験結果

1. 体内分布

^{210}Pb の投与溶液を股静脈内に投与し、投与後1日から92日目までの各臓器および組織における ^{210}Pb の体内

分布について 1 g 当りの放射能 (cpm) を投与量に対する百分率で表わした。その結果を Table I に示した。

Table I にみられるように、血液中において投与後1日目ですでにかなり低濃度に減少していることを認め、投与後の各日の測定値は他の臓器の値に比べて比較的低い値であった。大腿骨および脊椎骨では、投与後1日目より ^{210}Pb の極めて高い親和性を示し、投与3日目ですらに上昇し最高濃度となった。以降は、骨組織中の ^{210}Pb は緩慢に減少傾向を示した。次に骨髄においても投与後1日目に高濃度を示し、 ^{210}Pb の減少は他の軟組織に比べてその減少は緩慢で92日目における濃度は血中濃度の200倍、肝中濃度の約67倍を示した。

肝中の ^{210}Pb は投与後1日目比較的高濃度を認めたが、以降21日目まで濃度は急激に低下し、その後92日目までは緩慢な減少を示した。腎では投与後1日から7日目まではほぼ一定の ^{210}Pb 濃度を認めたが、14日以降は顕著な減少傾向を認めた。脾中 ^{210}Pb は投与後初期において肝、腎に比べて低濃度であったが、減少が緩慢なために投与後92日目では肝の15.7倍、腎の3.7倍高いことを示した。

大脳、小脳、延髄および脊髄の神経系各組織では投与後数日間比較的低濃度であったが、投与後14日目に各臓器いずれにおいても最高値となり、以後の減少はおそく、投与後92日目では血中濃度に比べ大脳は約4倍、脊髄で約13倍、延髄で約24倍、小脳で約26倍と蓄積されることが認められた。また神経系組織間の比較において、 ^{210}Pb 濃度は大脳で最も低く、脊髄、延髄、小脳に比較的高いことを認めた。

睾丸、筋肉中の ^{210}Pb 濃度は観察期間を通じて低いことを認めた。

2. 糞および尿中排泄

^{210}Pb を静脈内投与したラット5匹について投与後1日目から92日目まで各1日、2日あるいは数日間の糞、尿を集め、糞尿中の ^{210}Pb を測定した。各日に排泄された ^{210}Pb の放射能を投与量に対し排泄率で表わし Fig. 1 に、また排泄の累積率を Fig. 2 にそれぞれ示した。

^{210}Pb の排泄は糞中に多く、投与後1日で投与量の19.5%、2、3、4、5、6、7日にそれぞれ10.6%、3.0%、0.76%、1.56%、0.56%、1.07%を排泄した。投与7日間で投与量の約37%が排泄され、以後の糞中排泄は低下するが、投与後92日間の排泄率は51.87%であった。

4) 堀内一弥, 堀口俊一, 中野碩夫, 向井哲郎, 西條良次, 日衛誌, **27**, 135 (1972).

5) 池淵秀治, 亀谷勝昭, 衛生化学, **23**, 224 (1977).

TABLE I. Concentration^{a)} of ^{210}Pb in Organs and Tissues of Rats after
i. v. Injection of Labeled Lead Nitrate

Days after injec.	Organs Tissues	Liver ($\times 10^{-1}$)	Kidney ($\times 10^{-1}$)	Spleen ($\times 10^{-2}$)	Testicle ($\times 10^{-3}$)	Muscle ($\times 10^{-3}$)	Bone marrow	Femur	Vertebra	Blood ($\times 10^{-2}$)	Spinal cord ($\times 10^{-2}$)	Cereb- rum ($\times 10^{-2}$)	Cerebe- llum ($\times 10^{-2}$)	Medulla oblongata ($\times 10^{-2}$)
1	Mean ^{b)}	5.98	2.96	4.55	5.83	5.83	1.04	0.668	4.31	1.34	0.367	0.673	0.254	0.761
	S.E.	1.09	0.62	0.81	0.18	0.19	0.15	0.135	0.69	0.32	0.044	0.391	0.052	0.489
3	Mean	0.338	2.85	2.48	2.97	2.11	0.243	6.13	5.76	0.172	3.31	0.724	1.39	4.09
	S.E.	0.078	0.88	0.20	0.49	0.29	0.029	1.28	1.63	0.035	0.32	0.062	0.21	0.99
7	Mean	0.278	4.02	4.62	4.34	3.08	1.12	3.54	3.55	0.237	5.43	— ^{c)}	— ^{c)}	— ^{c)}
	S.E.	0.081	0.46	0.35	0.45	1.57	0.19	0.39	0.15	0.053	0.49	— ^{c)}	— ^{c)}	— ^{c)}
14	Mean	0.175	0.653	4.81	13.9	4.87	0.582	3.12	1.89	0.306	7.57	1.31	8.70	5.95
	S.E.	0.034	0.039	1.03	3.9	0.41	0.079	0.59	1.02	0.071	1.17	0.27	1.30	1.32
21	Mean	0.023	0.428	0.929	1.83	1.10	0.180	4.12	3.02	0.121	3.05	— ^{c)}	— ^{c)}	— ^{c)}
	S.E.	0.003	0.071	0.128	0.62	0.47	0.029	1.51	0.76	0.039	1.01	— ^{c)}	— ^{c)}	— ^{c)}
27	Mean	0.022	0.416	1.10	1.05	0.147	0.127	4.29	4.09	0.058	2.43	0.047	0.868	0.856
	S.E.	0.007	0.036	0.07	0.18	0.032	0.038	1.17	1.06	0.004	0.43	0.035	0.040	0.188
42	Mean	0.020	0.153	0.838	7.25	— ^{d)}	0.080	3.59	2.17	0.098	3.12	0.463	2.13	1.62
	S.E.	0.001	0.047	0.047	1.80	— ^{d)}	0.010	0.46	0.29	0.009	1.12	0.035	0.48	0.31
65	Mean	0.017	0.123	0.824	4.99	1.36	0.157	2.75	1.97	0.070	2.05	0.346	1.31	1.29
	S.E.	0.004	0.009	0.171	1.82	0.13	0.030	0.53	0.24	0.010	0.56	0.048	0.28	0.42
92	Mean	0.009	0.038	1.41	1.23	0.675	0.060	2.27	1.30	0.030	0.393	0.127	0.792	0.728
	S.E.	0.001	0.006	0.22	0.26	0.118	0.036	0.72	0.37	0.006	0.122	0.071	0.507	0.221

- $$a) \text{ cpm/g\% of injected dose} = \frac{\text{radioactivity(cpm) of } ^{210}\text{Pb}}{\text{wet gram of organs}} \times 100$$
- b) Mean and standard error of 4–5 rats.
c) Not detected. d) Trace.

Fig. 1. Excretion of ^{210}Pb in Feces and Urine after Single *i. v.* Injection of Labeled Lead Nitrate

—●—: feces, —○—: urine.

一方、尿中排泄は糞に比べて低く、投与後1日で1.28%, 2, 3, 4, 5, 6, 7日で1.23%, 0.91%, 0.81%, 0.41%, 0.13%, 0.13%で投与7日間で尿中排泄率は投与量の3.90%であった。8日目からの尿中排泄はさらに低く、92日間の尿中排泄率は投与量の6.26%であった。 ^{210}Pb を投与したラットの糞および尿中に排泄された92日間の総排泄率は58.13%であった。

Fig. 2. Cumulative Curve of ^{210}Pb Excretion in Feces and Urine after Single *i. v.* Injection of Labeled Lead Nitrate

—●—: feces, —○—: urine,
—▲—: feces+urine.

3. 胆汁排泄

^{210}Pb を静脈内投与したのち48時間の胆汁排泄の結果をFig. 3に示す。

Fig. 3には各時間における胆汁排泄について3匹の平均値を示した。胆汁中の放射能は投与後1時間で最高に達し、投与量の7%が排泄された。その後10時間までの時間毎の排泄率はじょじょに低下し、10時間から48時間

Fig. 3. Excretion of ^{210}Pb in Bile and Its Cumulative Curve in 48 Hours after *i. v.* Injection of Labeled Lead Nitrate
Mean of 3 rats.

までの排泄率はごく少量であった。この排泄の累積率は投与後3時間で投与量の17.1%, 6時間で20.1%, 24時間で24.3%, さらに48時間では約27%を胆汁中に認めた。

4. 体内残留

ラットの全身における ^{210}Pb の経時的な体内残留率は、投与量から各日に排泄された ^{210}Pb の放射能を差し引き、各日における体内残留率として表わした。その結果をFig. 4に示す。

Fig. 4の各点は5匹の平均値を示した。このようにして得た ^{210}Pb の体内残留率のカーブは主に3本の直線から構成されることが認められた。この3本の直線性について回帰方程式($y = ax + b$)を求め、最も長い生物学的半減期(BHL)を示す直線では $a = -0.000993$, $b = 1.712$, 中間のBHLでは $a = -0.0246$, $b = 1.099$, 短いBHLでは $a = -0.370$, $b = 1.567$ と計算された。このようにして得た3本の直線性の回帰方程式を相加することにより体内残留率の式を求めることができる。この式を次に示す。

$$^{210}\text{Pbの残留率}(\%) = 36.37e^{-0.370t} + 12.57e^{-0.0246t} + 51.57e^{-0.000993t}$$

t は投与後の日数を示す。

この式は、ラットに投与した ^{210}Pb のうち36.37%が0.81日、12.57%が12.24日、51.57%が303.1日のBHLを持って排泄されることを示している。

5. 臓器中の生物学的半減期

Table Iに示す経時的 ^{210}Pb の臓器分布の結果から、投与後1日から92日までの各測定日に得た値からラットの主要臓器における ^{210}Pb のBHLを計算した。その結果をTable IIに示す。

各臓器中の ^{210}Pb のBHLは危険率5%の範囲内で各点を代表する値から計算したものである。この結果、

Fig. 4. Retention of ^{210}Pb in Rats Whole Body after Single *i. v.* Injection

Each point was calculated by subtracting value of excreta from injected dose.

TABLE II. Biological Half Life of ^{210}Pb in the Selected Rats Organs after Single *i. v.* Injection of Labeled Lead Nitrate

Organs	Biological half life (days)	Term ^{a)} (days)
Liver	53.3	14—92
Kidney	20.1	14—92
Femur	79.5	21—92
Vertebra	62.3	21—92
Bone marrow	51.9	21—65
Blood	37.5	3—92
Cerebrum	24.3	14—92
Cerebellum	23.1	14—92
Medulla oblongata	27.1	14—92

a) Period after injection in which biological half life was calculated.

^{210}Pb のBHLは大腿骨で最も長く、次に脊椎骨、肝、血液の順に短くなり、神経組織、腎では比較的短いことを認めた。

考 察

鉛の体内に摂取される主な経路としては、食物等による経口的、あるいは大気中に浮遊する鉛化合物が呼吸からの取り込みが考えられる。衛生学的見地から鉛の生体内運命を検討する実験としては動物に対し経口的投与による方法が最も適当であると思われる。しかし、鉛の消化管からの吸収率は低く、長期間の体内運命を検討する必要もあり、今回は静脈内一回投与により、鉛が体内に吸収された後の体内運命について検討した。

1. 体内分布および排泄について

$^{210}\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ を静脈内に投与したラットの臓器13部、糞および尿について投与後各試料中に存在する ^{210}Pb を測定した結果、 ^{210}Pb の体内分布については、血液中では投与後1日ですでにかなり低濃度となっていることが示された。大腿骨、骨髄、脊椎骨、肝および腎には投与後1日目に ^{210}Pb の比較的高濃度に分布することが認められた。特に骨組織では長期間 ^{210}Pb が残留する傾向が認められた。すなわち骨において ^{210}Pb 濃度は投与後3日目に最高値となり、以後は緩徐に減少する傾向を示した。また、脳神経組織では骨よりも代謝がおそく、投与後14日目に最高濃度を示した。

以上のことから静脈内に投与した鉛は、投与後1日以内に血液から各組織に取り込まれ、各組織からそれぞれ独自の速さで消失されてゆくことがみられる。肝などの臓器から骨や脳神経組織に移動することはあまり顕著にみられなかった。

^{210}Pb の排泄経路は Fig. 1 および Fig. 2 に示したように主に糞中からの排泄であり、尿中からは比較的少ないことを認めた。10日間で投与量の38.5%が糞中に排泄されることを認めたが、Klassen ら⁶⁾ によるとラット静脈内に投与した鉛の42%が投与後10日間で糞中に認められた結果と類似している。

胆汁中の ^{210}Pb は投与後1日で投与量の24.3%、2日間で27%を認めた。一方糞中排泄は投与後1日で19.5%、2日間で30%という結果を得た。このように糞中排泄率と胆汁中の ^{210}Pb との間の量的関係がほぼ一致することから、糞中排泄の大部分が胆汁由来による排泄であると思われる。

2. ^{210}Pb の臓器組織内の挙動について

投与後比較的早い時期に骨組織中の ^{210}Pb 濃度がかなり変動する (Table I) ことが認められた。このことは骨に沈着した鉛は、この時期でかなり可動性⁷⁾ であることが考えられる。

骨の ^{210}Pb の BHL は大腿骨 (79.5日) と脊椎骨 (62.3日) とで若干差のあることを認めた。Busted⁸⁾ は ^{90}Sr を、Kshirsagar ら⁹⁾ は ^{45}Ca を用いて骨組織中の Ca 代謝について検討し、皮層質は柱骨質よりも Ca の代謝が遅いことを指摘している。骨中で鉛の BHL の差がこのよ

うに、Ca の代謝速度と密接な関係があるものと思われる。また、大腿骨中の鉛の BHL については、70日¹⁰⁾ との報告があるが、著者らは若干長い BHL を認めただけである。

骨髄においては、投与後1日、7日目に高濃度の ^{210}Pb を認めた。また、92日目においても血中 ^{210}Pb 濃度の200倍高いことを認めた。ポルフィリン生成が鉛により著しく阻害されることが知られており、骨髄中に鉛が高濃度で長期間蓄積することを認めたことは、鉛と貧血症との因果関係を考える上で重要であろうと思われる。

肝において投与後比較的初期の ^{210}Pb 濃度の減少速度が著しく、逆に腎では投与後7日間は高濃度を維持し、14日以降は速やかな減少傾向を示した。この結果、腎での ^{210}Pb の BHL は20日と比較的短い値ではあるが、投与後初期に ^{210}Pb の高い分布を認めたことは、鉛を連続的に摂取した場合、腎において鉛が蓄積することが推察される。

中枢神経系の大脳、小脳、延髄および脊髄中への ^{210}Pb の取り込みは投与後初期において低い、投与後14日目に各神経系組織で最高濃度を認めた。また、これらの組織中での残留は長くつづき、投与後92日目における濃度の比は、血中濃度に比べて大脳で4.2倍、脊髄で13.2倍、延髄で24.4倍、小脳では26.6倍高いことを認め、延髄および小脳に特に多く蓄積する傾向を認めた。これらの結果から、鉛の微量を長期間連続摂取した場合脳神経系の障害がおこるという事実の裏付けとして、鉛の蓄積が推察される。

3. 生物学的半減期について

^{210}Pb のラット体内残留率は投与量から排泄量を差引くことにより求め、 ^{210}Pb の体内残留率の式を算出した。この式において第1項、 $36.37 e^{-0.370t}$ では2日間で31%が減少すると計算される。投与後2日間における胆汁中の ^{210}Pb は投与量の27%を認めた。このことからこの第1項は主に胆汁由来の排泄による減少を示すものでありと推察される。第2項の $12.57 e^{-0.0246t}$ は臓器組織内に ^{210}Pb が取り込まれた後の比較的早い排泄を示すものであり、また、第3項の $51.57 e^{-0.000998t}$ は ^{210}Pb の最もおそい排泄様式に由来するものであることが推察される。しかし ^{210}Pb の臓器別分布で高濃度でかつ長い BHL

6) D. Klassen, W. Shoeman, *Toxicol. Applied Pharm.*, **29**, 434 (1974).

7) S. Haumont, J. Vincent, *Exp. Cell Research*, **18**, 404 (1969).

8) L. K. Busted, *Proceeding of Symposium on Biological Implication of the Nuclear Age. U. S. Atomic Energy Commission Symposium Series # 16*, 231 (1969).

9) S. G. Kshirsagar, E. Lloyd, J. Vaughn, *Br. J. Radiol.*, **39**, 131 (1966).

10) N. Castellino, S. Aloj, *Br. J. Ind.*, **21**, 308 (1964).

を示した臓器は骨組織であった。大腿骨および脊椎骨における BHL はそれぞれ 79.5 日と 62.3 日であった。第 3 項によって計算された BHL は 303.1 日で、各骨組織での ^{210}Pb の BHL と比べて著しい大差を認めた。このように今回の実験において、主要臓器の ^{210}Pb の BHL と体内残留率との関係、特に長い BHL を示す生体部位と全身との相関について明らかにすることはできなかった。この原因として、今回観察しなかった部位において、 ^{210}Pb の長い BHL を持つ可能性が考えられ、上記の相関性を明らかにするためには、さらに長期間の観察を必要とするであろう。

結 語

^{210}Pb をトレーサーとして硝酸鉛 (Pb^{2+} 1 mg/kg) をラットの股静脈内に 1 回投与して体内における鉛の分布および排泄の経時的变化を求め次のような結果を得た。

1) 臓器組織における分布では投与後 1 日目に ^{210}Pb は脊椎骨に最も高く、次に骨髓、大腿骨、肝、腎に高濃度を認め、中枢神経系組織、睪丸と筋肉には低濃度であった。血液、肝、腎中の ^{210}Pb は投与後急速に減少する。骨組織では投与後 3 日目に最高に達し、その後は緩かに減少する。中枢神経組織中の ^{210}Pb は投与後 14 日目に最高値になり、その後緩やかに減少した。投与後 92 日目の ^{210}Pb 分布は骨組織に最も高く、次に骨髓、脾、小脳、

延髄の順であった。

2) 投与した ^{210}Pb は 92 日間に 58.13% が糞尿を通じて排泄され、このうち糞に 51.87%、尿に 6.26% であった。胆汁中の ^{210}Pb は投与後 6 時間で投与した ^{210}Pb の 20%、48 時間で 27% を認めた。

3) ^{210}Pb の臓器中の BHL は大腿骨 79.5 日、脊椎骨 62.3 日、肝 53.3 日、血液 37.3 日、腎 20.1 日と計算された。 ^{210}Pb の排泄率から算出したラット全身の残留率は次に示す 3 つの部分より構成される結果を得た。

$$R = 36.37 e^{-0.370t} + 12.57 e^{-0.0246t} + 51.57 e^{-0.000993t}$$

以上のように今回の長期間にわたる動物実験の結果により、鉛中毒特有な症状を呈する貧血症および神経症状に密接な関係のある組織への鉛の分布および蓄積が明らかにされた。また、鉛の排泄経路についても十分な結論が出された。しかし、主要臓器の鉛の BHL のより詳細な検討および全身における残留率との関係については、さらに長期間の実験が必要であろうことが今後の課題として残された。

謝辞 本研究に御指導、助言を賜りました国立衛生試験所放射線化学部長・浦久保五郎博士に深謝いたします。