保存人体臓器中の重金属濃度—Pb, Cd, Cu, Zn—

Concentrations of Some Heavy Metals in Preserved Human
Tissues, Pb, Cd, Cu and Zn

北里大学医学部衛生学公衆衛生学教室

高 田 勗・中 村 健 一

梶 塚 永 子・中 野 淳 子

Tsutomu Takata, Kenichi Nakamura, Eiko Kajizuka
and Junko Nakano

*Department of Preventive Medicine and Public Health, School of
Medicine, Kitasato University, Sagamihara*

As a means of 'biological monitoring' the environmental pollution by heavy metals, the present study was undertaken to evaluate the total body burden of heavy metals on persons who had lived during different periods. On 107 autopsied Japanese males (30~69 years of age) who had died during the period of 1948~73, four metal elements (Pb, Cd, Cu and Zn) in the liver, the kidney and the formalin solution in which the organs had been preserved were analyzed by atomic absorption spectrophotometry.

No consistent secular trends were observed for Pb and Cu, but significant increases of the body burden caused by Cd and Zn were presumed in the cases that died in recent years and a cohort analysis indicated that the burden of these metals on the body was higher among the cases born during 1910~19 than those born during 1900~09.

The environmental pollution by Cd or the increased intake of Zn due to the change of food patterns of Japanese in recent years were postulated to be the cause of the afore-mentioned results, but it is considered that further studies are necessary to elucidate the interaction between Cd and Zn in their behavior in the body.

It has been supposed that the transference into the formalin solution is profitable for metals with higher concentrations in tissues. Therefore, the evaluation of the absolute body burden of heavy metals based on their concentrations in the preserved tissues is questionable. However, if the metal concentrations in the formalin solution were available, it is considered that the purpose of 'biological monitoring' should be obtained by a relative comparison of total amount of metals in each container.

緒 言

重金属による環境汚染が、住民の健康に及ぼす影響については、二、三の特殊な濃厚汚染地域以外では、未だ明確にされていない点が多い。

重金属汚染の健康影響を疫学的に評価するためにはまずその Dose を明らかにすることが必要である。Dose を推定する方法として、環境空気、飲料水、食品中の重金属濃度及び個体の生活様式から計算する方法の他、血液、尿などの生体試料あるいは、剖検された臓器中の金属濃度を測定して、Dose あるいは蓄積曝露量を推定するこ

とも可能である¹⁾。とくに低濃度長期曝露の場合、後者の方法によって総生体負荷量 (Total Body Burden) を求めるのが、生体影響の評価に際し重要と思われる。

わが国の重金属による環境汚染が、金属鉱山周辺などの特殊な地域を除くと、1960年代以後の高度経済成長期に至って各種製造業における金属使用量の激増に伴ない著しく増大したことはいうまでもない。したがって、生活した時代の異なる人々の重金属総生体負荷量を比較し、その環境汚染指標としての意義を明らかにすることは、Biological Monitoring としてきわめて興味深いことである。

過去に死亡した人々の重金属総生体負荷量を推定する方法として、鉛のように骨にそのほとんどが蓄積される金属については、骨を試料として利用できるので便利であるが、内臓や軟部組織に多く蓄積される金属については適当な試料を入手するのが非常に困難である。

考えられる方法の一つとして、精度はやや落ちるかも知れないが病理解剖に附され、ホルマリン液中に保存されている臓器を利用する方法がある。

幸いに1948年以後解剖された人体臓器で、良好な状態に保存されているものを利用する機会が得られた。そこで、重金属生体負荷量の年代による差違をみることを目的に、死亡時年齢30～69歳の男子を対象として臓器（肝および腎）および当該臓器が保存されているホルマリン液中の重金属（鉛、カドミウム、銅、亜鉛）濃度を測定した結果、興味ある知見を得たので報告する。

研究 方 法

①研究材料

結核予防会結核研究所に保存されている剖検人体臓器標本のうち、1948年より73年の間に死亡した年齢30～69歳の男子107例の肝臓、腎臓、及びそれらを保存してあったホルマリン液である。試料として採取した部位は原則として肝臓は右葉前縁、腎臓は右側の皮質部である。

死亡原因はほとんどが肺結核または非結核性胸部疾患である。悪性腫瘍による死亡者は意図的に除外した。これは悪性腫瘍と重金属負荷の間に何らかの因果関係があるかも知れないからである。

ホルマリン液は、市販の工業用ホルマリンを水道水で10倍に希釈して用い、臓器を入れて約1ヶ月後に一度交換するが、その後は原則として交換しない。又、一つの容器には約9 lのホルマリン液が入っている。

②測定方法

臓器は生重量で約3 gをとり、100°Cで24時間乾燥を行い恒量とし、重量を正確に測定した。分解は硝酸、過塩素酸を用いた湿式分解によって行い、分解液を分液ロートに移し、25%酒石酸カリウムナトリウム溶液、飽和硫酸アンモニウム溶液を加え、アンモニア水でpH 8.6～8.8とし、2%ジエチルジチオカルバミン酸ナトリウム溶液を加え、振盪したのち、メチルイソブチルケトンを加え10分間振盪器（YAMATO SHAKER MODEL SA-31）にて振盪した。静置後、分離したメチルイソブチルケトン層を原子吸光光度計（JARRELL-ASH AA 82-810）にて、空気－アセチレン焰により、Pb, Cd, Cu, Znの4種類の金属濃度を測定した。

ホルマリン液は正確に25 mlをとり、前法と同様にDDTC-MIBK抽出後、原子吸光法で4種類の金属濃度

Table 1 Concentrations of heavy metals in tissues and in formalin

(mean ± S.D.)

Period of autopsies	Material	N	Pb	Cd	Cu	Zn
			F. (μg/l)	F. (μg/l)	F. (μg/l)	F. (mg/l)
			L. (μg/g·dry weight) K. (μg/g·dry weight)	L. (μg/g·dry weight) K. (μg/g·dry weight)	L. (μg/g·dry weight) K. (μg/g·dry weight)	L. (μg/g·dry weight) K. (μg/g·dry weight)
1948～52	Formalin	21	149.1 ± 188.7	46.9 ± 38.6	47.0 ± 28.9	5.44 ± 2.31
	Liver	20	3.98 ± 3.66	5.9 ± 6.3	29.0 ± 12.2	39.5 ± 20.4
	Kidney	19	3.94 ± 1.69	3.9 ± 4.0	26.6 ± 9.2	38.0 ± 18.3
1953～57	Formalin	21	87.7 ± 57.7	49.1 ± 19.6	31.2 ± 20.9	5.58 ± 1.86
	Liver	21	1.39 ± 1.48	4.9 ± 5.9	23.0 ± 11.7	31.9 ± 21.0
	Kidney	20	3.36 ± 6.43	3.9 ± 3.1	19.0 ± 4.7	32.5 ± 16.9
1958～62	Formalin	15	40.3 ± 26.8	56.3 ± 28.4	23.5 ± 14.3	7.13 ± 2.19
	Liver	15	5.16 ± 5.22	9.0 ± 4.1	22.8 ± 9.0	47.1 ± 21.9
	Kidney	15	7.65 ± 11.53	7.9 ± 3.9	21.7 ± 9.4	46.3 ± 12.9
1963～67	Formalin	12	39.3 ± 32.8	70.2 ± 76.8	29.5 ± 41.6	11.51 ± 4.49
	Liver	12	2.44 ± 1.74	7.8 ± 6.5	25.3 ± 18.0	96.1 ± 80.6
	Kidney	12	4.85 ± 3.64	8.3 ± 7.3	24.3 ± 24.9	81.2 ± 35.8
1968～73	Formalin	38	40.7 ± 20.8	35.4 ± 28.2	13.7 ± 97.0	12.25 ± 8.37
	Liver	38	2.91 ± 2.97	13.0 ± 10.4	23.1 ± 10.1	180.1 ± 116.0
	Kidney	37	4.75 ± 4.11	12.1 ± 8.6	30.8 ± 24.5	167.7 ± 101.0

を測定した。

尚、金属測定に供した試薬類はすべて、SSG 又は原子吸光分析用のものを用いた。

研究成績

Table 1 に臓器中及びホルマリン中の重金属濃度の年次別比較を示した。

ホルマリン中濃度はバラツキが大きく、傾向がつかみにくい。Pb 及び Cu は古いものに高い傾向があるのに対し、Zn は新しいもののほど高濃度となっている。

臓器中濃度をみると、Pb 及び Cu は年次による差が小さいが、Cd 及び Zn は近年に至り上昇の傾向を示している。

これをより詳しく検討するために、対象を40～59歳に絞って観察すると、Fig. 1(B)に示すように肝臓、腎臓ともに Cd 濃度は1968～73年の群の値がそれ以前の群の値より

りも高く、また Zn 濃度は1963～67年の群から上昇を示し、1968～73年の群は著しく高い値を示している。Pb 及び Cu の臓器中濃度は、年次別の変動があまり明瞭ではなく、一定の傾向がみられない (Fig. 1(A))。t 検定によって、Cd については1963～67年の群と1968～73年の群の間に肝臓では危険率1%，腎臓では危険率5%で有意の差が認められ、Zn については肝臓、腎臓のいずれにおいても1958～62年の群と1963～67年の群の間に5%の危険率で、1963～67年の群と1968～73年の群の間には1%の危険率で、それぞれ有意の差が認められた。

また、各金属とも肝臓と腎臓との間の濃度差が小さい。

Fig. 1(A) Average concentrations of heavy metals in tissues and in formalin by period of autopsies (Age 40 ~59)

Fig. 1(B)

Period of autopsies	1948 ~52	1953 ~57	1958 ~62	1963 ~67	1968 ~72
No. of Cases	○ 11*	10	9	6	24
	× 11	10	9	6	23
	△ 11	10	11	6	24

* One case was unavailable for analysis of Pb

ホルマリン中濃度をみると、Pb 及び Cu は、近年のものほど低く、Cd は1968～73年の群のみが低値を示しているが、Znは臓器中濃度と同じく、近年に至って上昇を示している。

年次別の差が世代（生年）と年齢のいずれの影響をより多く受けているかを観察するために、該当者の多い1900～19年生れの群を2群に分けて、コホート分析を行った。

その結果、Cd 及び Zn については Fig. 2(B) に示すように、年齢が増すごとに臓器中濃度も増加する傾向がみられるが、それ以上に時代の影響が大きいことが判明した。Pb 及び Cu (Fig. 2(A)) は、年齢、時代との関係がいづれも不明瞭であった。

同一剖検例の各検体間（肝臓、腎臓及びホルマリン）の金属濃度の相関係数及び同一検体における各金属間の相関係数を Table 2, Table 3 に示した。

同一剖検例の検体間では、Zn が最も高い相関を示し

A: Born during the period of 1910-19

B: Born during the period of 1900-09

Fig. 2(A) Cohort analysis of average concentrations of heavy metals in tissues

Fig. 2(B)

Table 2 Correlation coefficients of heavy metal concentrations among materials for each heavy metal

Metal	Among Liver—Kidney		Liver—Formalin		Kidney—Formalin	
	n	r	n	r	n	r
Pb	88	0.258**	104	0.174	100	0.011
Cd	103	0.810**	105	0.188	95	0.230*
Cu	103	0.728**	105	0.276**	102	0.156
Zn	103	0.944**	105	0.614**	101	0.569**

** 0.01 > p, * 0.05 > p > 0.01

ており、Cd と Cu は肝臓と腎臓との間の相関は高いが他は低く、Pb はきわめて低く、わずかに肝臓と腎臓との間に有意の相関が認められるに過ぎない。

同一検体における各金属間の相関は一般に低い、臓器中の Cd-Cu、及び Cd-Zn の間には有意の相関がみられた。

考 察

正常日本人の臓器中金属濃度については、最近、住野

Table 3 Correlation coefficients of heavy metal concentrations among each metal for each material

Material Among	Formalin		Liver		Kidney	
	n	r	n	r	n	r
Pb-Cd	112	0.088	106	0.002	103	0.184
Pb-Cu	112	0.255*	106	0.164	103	0.161
Pb-Zn	112	-0.166	106	0.137	103	0.060
Cd-Cu	113	0.033	106	0.336**	103	0.438**
Cd-Zn	113	0.155	106	0.305**	103	0.376**
Cu-Zn	113	-0.182	106	0.158	103	0.253*

** 0.01 > p, * 0.05 > p > 0.01

ら²⁾が急病あるいは事故によって死亡した30例についての測定結果を報告している。また、土屋ら³⁾は日本人とスウェーデン人における臓器中カドミウム濃度の比較を報告している。

これらの報告に示された男子の肝臓及び腎臓中の平均金属濃度をわれわれの成績と比較したのが Table 4 である。住野らの成績と土屋らの成績を比較すると、肝臓については差がないが、腎臓については後者が高い。これは後者の方の平均年齢が高いためと思われる。

われわれの測定値は乾燥重量を基準にして算出したが、これはホルマリン固定された臓器だからである。

臓器の乾燥重量と湿重量との関係について、Elinder ら⁴⁾は湿重量に対して乾燥重量は腎皮質で 0.19, 肝臓で

0.27 になると報告している。Piscator⁵⁾は腎皮質で 0.21, 肝臓で 0.29 になると報告している。

これらの数字を参考にして、われわれは腎臓中金属濃度には 0.2, 肝臓中金属濃度には 0.33 を乗じて、湿重量当りに換算して住野らの成績と比較した。

被検例の平均年齢の差も考慮に入れて上記の測定成績と比較すると、Pb は肝臓、腎臓ともほぼ等しく、Cd は肝臓はほぼ等しいが腎臓は著しく低く、Cu は肝臓がやや低目、腎臓がやや高目だが著しい差はなく、Zn は 1968～73 年の群のみは肝臓、腎臓とも等しいが、古いものはかなり低いという結果が得られた。この成績から、含有量の高い金属ほどホルマリン中への移行が多いことが示唆される。

金属の種類によっても、ホルマリン中への移行率に差があることは、石沢ら⁶⁾によって報告されている。Cu は浸漬 10 日後まではホルマリン中に溶出する度合が強く、50 日後も続けて溶出している。Zn 及び Cd は 1 日後より急速に溶出し続け、次第に少なくなり、48 日後にはほとんど溶出しなくなる。

しかし、本研究において Zn の臓器中濃度が剖検年次の古いほど低いのは、臓器中濃度が高い Zn のホルマリン中への移行率が他の金属より著しく高いためと考えることもできるが、前述のようにホルマリン中濃度と臓器中濃度との間には正の相関が認められるので、古い群の臓器中濃度が低いのを、ホルマリン中への移行のみでは説明できず、時代による臓器中濃度の差が大きく反映し

Table 4 Comparison of metal concentration in liver and kidney of normal Japanese males

Metal	Organ	Present Data (Age 30~69)*					Data by Sumino, et al. ²⁾ (Age 10~69)	Data by Tsuchiya, et al. ³⁾ (Age 30~69)
		Period of autopsies						
		1948~52	1953~57	1958~62	1963~67	1968~73		
		No. Mean	No. Mean	No. Mean	No. Mean	No. Mean	No. Mean	
Pb	Liver	(20) 1.31	(21) 0.46	(15) 1.70	(12) 0.81	(38) 0.96	(15) 0.55	
	Kidney	(19) 0.79	(20) 0.67	(15) 1.53	(12) 0.97	(37) 0.95	(14) 0.42	
Cd	Liver	(20) 2.0	(21) 1.6	(15) 3.0	(12) 2.6	(38) 4.3	(15) 3.2	(103) 3.2
	Kidney	(19) 0.8	(20) 0.8	(15) 1.6	(12) 1.7	(37) 2.4	(15) 36	(103) 54.6
Cu	Liver	(20) 9.6	(21) 7.6	(15) 7.5	(12) 8.4	(38) 7.6	(15) 10	
	Kidney	(19) 5.3	(20) 3.8	(15) 4.3	(12) 4.9	(37) 6.2	(15) 2.7	
Zn	Liver	(20) 13.0	(21) 10.5	(15) 15.5	(12) 31.7	(38) 59.4	(15) 53	
	Kidney	(19) 7.6	(20) 6.5	(15) 9.3	(12) 16.2	(37) 33.5	(14) 56	

* Expressed as micrograms per gram wet weight

* As the original analysis was made by dry weight basis, the denominator of the unit was converted into wet weight by multiplying of 0.33 for liver and 0.2 for kidney

ていると考えるのが妥当であろう。

Cd や Cu のように、肝臓と腎臓との濃度差が大きい金属は、ホルマリン液を介しての移動により、臓器中濃度が平均化したように思われる。しかし、少なくとも Cd, Cu, Zn については同一剖検例の検体間濃度の相関が高いことから、肝臓及び腎臓の金属濃度がその個体の全負荷量の指標となりうることを示唆している。Cd-Cu 及び Cd-Zn 間の臓器中濃度に有意の相関がみられたのは、自然界における分布が類似しているためと思われるが、この成績も上記の推論を裏づけるものであろう。

臓器中金属のホルマリン液中への移行状況を推定する一つの方法として、ホルマリン液中の金属含有量をみる事が考えられる。

研究対象とした臓器標本容器中には、平均 9.0 l のホルマリン液が入っており、保存されている臓器は、脳、心、肺、肝、消化管、脾、膵、腎などである。使用前のホルマリン液中の金属濃度を測定したが、Pb 及び Cd は検出不能、Cu 15 $\mu\text{g/l}$ 、Zn 0.2 mg/l でいずれも無視しうる濃度である。したがって、Table 1 のホルマリン液中平均金属濃度から1体当りの液中金属含有量を推定すると、Pb 0.63 mg, Cd 4.25 mg, Cu 2.28 mg, Zn 77.46 mg となる。

一方、前述の住野らの成績によると、これらの臓器中の金属含有量は Pb 2.296 mg, Cd 22.498 mg, Cu 26.66 mg, Zn 170 mg となっている。これらの数値より推定される移行率は、Pb 27%, Cd 19%, Cu 9%, Zn 46% となる。

実際の移行率は、この率に臓器浸漬1ヶ月後に交換したはじめの液中に移行したものを加えた値となる。初期に移行した量は把握できなくても、交換するまでの期間が一定ならばその量も大差ないはずであり、臓器中および保存液中の総金属量は各個体の負荷量に比例していると考えられるから、相対比較には十分耐えられる。

本研究の結果で、もっとも特徴的なのは、近年における Cd 及び Zn の濃度上昇である。

まず、Zn の生体負荷の増加についてであるが、これには近年の食事内容変化による食品からの摂取量増加が最も大きな要因と考えられる。石崎ら⁷⁾、堀口ら⁸⁾の日本人常用食品中の Zn 含有量測定結果によると、肉類において Zn 含有量が高い。牛肉では 66.0 ppm、豚肉では 17.3 ppm、鶏肉では 16.1 ppm である。魚肉は平均 8 ppm である。

国民栄養調査⁹⁾から肉類摂取量をみると、Table 5 に示すように1950年には1人1日当たり 8.4 g 摂取していた

Table 5 Average intake of animal foods in Japan by year (per capita per day)

	Animal foods (Total)	Fish	Meat
1950	81.8 g	61.0 g	8.4 g
55	114.9	77.2	12.0
60	147.4	76.9	18.7
65	198.3	76.3	29.5
71	260.4	84.2	47.0

Source: National Nutrition Survey

のが、1971年では 47.0 g と約 5.5 倍も増加している。本研究の対象とした剖検例のほとんどは結核研究所附属療養所の入院患者であったので、そこでの1960年と1970年の給食内容から Zn 量を算出すると、1960年では1人1日当たり約 9 mg であったのが1970年では約 11 mg と 20% の増加がみられた。

次に Cd の問題であるが、Cd の体内侵入経路には主に食物、タバコであり、汚染地区以外の一般住民に、Cd 摂取量増加の証明はない。しかし、日本人の尿中 Cd 排泄量がスウェーデン人より高いという結果がある¹⁰⁾。その主因は米であるが、それ以外の因子も考えねばならない。

今回の結果が環境汚染による食品中あるいは空気中 Cd による Cd 摂取量増加に起因するのか、あるいは Zn 摂取量増加による Cd 蓄積の増加によるのかについてはまだはっきりしない。Cd 蓄積が Zn 蓄積を増加させるという成績はいくつかある¹¹⁻¹³⁾。しかし、Zn 蓄積増加が Cd 蓄積の増加を示唆する成績^{14, 15)}もあり、Cd と Zn の生体内蓄積に及ぼす両者の相互作用については、なお不明の点が多いので、著者らは現在動物実験により解明につとめている。

結 論

重金属による環境汚染の Biological Monitoring の一方法として、生活した時代の異なる人々の重金属総生体負荷量を評価することを目的に、ホルマリン液中に保存された死亡年次1948~73年のヒト (30~69歳、男子) 107例について、肝臓、腎臓及び臓器が保存されていたホルマリン液中の4種の金属 (Pb, Cd, Cu, Zn) 濃度を測定した。

その結果、Pb 及び Cu は年次による変動に一定の傾向が認められないが、Cd 及び Zn の負荷量は近年の死亡者ほど増大しており、コホート分析により出生年次の新しい世代に高いことが認められた。

この原因については、環境汚染などによるCdに対する曝露機会の増大、食品摂取パターンの変化によるZn摂取の増加などが考えられるが、両者の生体内蓄積に関する相互作用も報告されているので、なお詳細な検討が必要である。

ホルマリン液中への金属の移行は、臓器中濃度の高い金属ほど著明であり、保存臓器中の濃度から生体負荷絶対量を推定することには問題があるが、液中濃度も測定すれば相対的比較によってBiological Monitoringの目的は達成できると思われる。

稿を終るに当たり、本研究のため貴重な御助言を頂いた慶応義塾大学医学部衛生学公衆衛生学教室土屋健三郎教授、及び臓器標本を提供して頂いた結核予防会結核研究所病理学研究科長岩井和郎博士に深甚なる謝意を表します。

本研究経費の一部は昭和49年—50年度環境庁公害調査研究費の補助を受けた。

本研究の要旨は第46回日本衛生学会総会（1976年7月、新潟）において発表した。

文 献

- 1) Task Group on Metal Toxicology: Concensus Report, In "Effects and Dose-Response Relationships of Toxic Metals" (Editor: G. F. Nordberg), p 14-15 Elsevier, Amsterdam (1976).
- 2) Sumino, K., Hayakawa, K., Shibata, T. and Kitamura, S.: Heavy Metals in Normal Japanese Tissues, Arch. Environ. Health, **30**, 487-494 (1975).
- 3) 土屋健三郎, 岩尾総一郎: カドミウムの人体臓器内分布—日本とスウェーデンとの比較—, 環境保健レポート, **38**, 36-38 (1976).
- 4) Elinder, C. G., Kjellström, T., Friberg, L., Lind, B. and Linnman, L.: Cadmium in Kidney Cortex, Liver and Pancreas from Swedish Autopsies, Arch. Environ. Health, **3**, 292-302 (1976).
- 5) Piscator, M.: In Cadmium in the Environment, 1st ed., ed. Friberg, L. Piscator, M. and Nordberg, G., p. 51, 54 CRC Press, Cleveland (1971).
- 6) 石沢正一, 吉田暢夫, 岡田恭子: 腎含有金属のホルマリン中への溶出, 第44回日本産業医学会講演集, 196-197 (1971).
- 7) 石崎有信, 福島匡昭, 坂本倫子: 生物体内のCdの分布について(第2報) 食品のCdおよびZn含有量, 日衛誌, **25**, 207-222 (1970).
- 8) 堀口俊一, 寺本敬子, 二宮楠子, 黒野俊次: 日本人常用食品中の亜鉛含有量に関する研究(その1), 日衛誌, **30**, 69 (1975).
- 9) 厚生省公衆衛生局栄養課編, 国民栄養の現状, 昭和33年, 35年, 40年, 46年度国民栄養調査成績, 第一出版.
- 10) Friberg, L., Piscator, M., Nordberg, G. F. and Kjellström, T.: Cadmium in the Environment, Second ed., p 65, CRC Press, Cleveland (1974).
- 11) Gunn, S. A., Gould, T. C. and Anderson, W. A. D.: Interference with Excretion of Zn 65 by Cadmium, Proc. Soc. Exp. Biol. Med., **111**, 559-562 (1962).
- 12) Bunn, C. R. and Matrone, G.: In Vivo Interactions of Cadmium, Copper, Zinc and Iron in the Mouse and the Rat, J. Nutr., **90**, 395-399 (1966).
- 13) Banis, R. J., Pond, W. G., Walker, E. F. and O'Connor, J. R.: Dietary Cadmium, Iron and Zinc Interactions in the Growing Rat, Proc. Soc. Exp. Biol. Med., **30**, 802-806 (1969).
- 14) 野見山一生, 野見山紘子, 大島勝美: カドミウム連続投与の影響, 第49回日本産業衛生学会講演集, 496-499 (1976).
- 15) Cotzias, G. C., Borg, D. C. and Selleck, B.: Virtual Absence of Turnover in Cadmium Metabolism—Cd¹⁰⁹ Studies in the Mouse, Am. J. Physiol., **201**, 927-930 (1961).

(受付 1977年7月27日)