

Title	中性子放射化分析法による生体内金コロイドの追跡 第2報 放射能の有無による体内金コロイド分布の相違 について
Author(s)	片倉, 康博
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1964, 24(5), p. 485-492
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/14782">https://hdl.handle.net/11094/14782</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

# 中性子放射化分析法による生体内金コロイドの追跡

## — 第2報 —

### 放射能の有無による体内金コロイド

### 分布の相違について

東北大学抗酸菌病研究所内科 (主任 岡 捨巳教授  
指導 菅野巖助教授)

片 倉 康 博

(昭和39年7月2日受付)

#### NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS OF COLLOIDAL GOLD IN BIOLOGICAL MATERIAL

— Studies on comparison between the distribution of radioactive  
colloidal gold  $^{198}\text{Au}$  and that of non-radioactive colloidal gold —

By

Yasuhiro Katakura, M.D.

The Research Institute for Tuberculosis, Leprosy and Cancer  
Tohoku University, Sendai, Japan

Nuclear reactor JRR-1 was used for the neutron activation analysis of colloidal gold distribution in rat tissues, and the differences between the distribution of radioactive colloidal gold and that of non-radioactive colloidal gold were studied.

The dose of  $500\ \mu\text{C}$  of radioactive colloidal gold or about  $150\ \mu\text{g}$  of non-radioactive colloidal gold in 0.5 ml of saline solution was given to each rat which was sacrificed at various intervals after the treatment.

After a period of time allowing for decay of radioactive colloidal gold, pieces of the tissues, about 0.5 g in weight, were dried and reactivated by bombardment of thermal neutron flux ( $3 \times 10^{11}\ \text{n/cm}^2\text{-sec}$ ) in the nuclear reactor JRR-1. Ten micrograms of standard gold samples were used as control.

Then the reactivated colloidal gold in the tissues was measured selectively by a single-channel gamma-ray spectrometer, and without chemical separation it was possible to determine the amount of colloidal gold to the order of  $10^{-8}\text{g}$  among the other elements in the tissues.

From the result it was found that the distribution of radioactive colloidal gold is somewhat different from that of non-radioactive colloidal gold, especially in the spleen.

#### 緒 言

体内に投与された物質の代謝や分布を研究する  
目的をもつて人工放射性同位元素を応用する、い

わゆるトレーサー実験は操作が比較的簡単でしか  
も良好な結果が得られると云う利点から近年各分  
野にますます広く普及されるようになって来た。

医学の分野では更に診断、治療上への必要性から各種の放射性同位元素の体内投与が一般に行われるようになって来ている。なかでも放射性金コロイド（以下  $^{198}\text{Au}$ コと略記）はその手頃な半減期の長さとは比放射能の強さ、体内における化学的安定性などの諸特性を認められ1949年 Müller<sup>15)</sup>によつて悪性腫瘍の治療への応用がすゝめられてから数々の臨床或は基礎的研究報告がみられるようになった。著者等も  $^{198}\text{Au}$ コによる癌性漿膜炎等の治療を行つてかなり良好な結果をあげ、その成績の一部を学会に発表して居る<sup>23)</sup>。さらに投与された  $^{198}\text{Au}$ コその後の運命を放射化分析法によつて追求し報告して来た<sup>24)25)</sup>。一般に生体内に投与された  $^{198}\text{Au}$ コは次第に吸収され、血液、組織液等を介して身体各部の臓器組織に沈着し、一部は排泄されてゆくと考えられている。その分布や代謝については早くから人体或は動物を使用している研究が行われており、Koletsky & Gustafson<sup>18)</sup>、Stembrige 等<sup>19)</sup>、Root 等<sup>20)</sup>、の報告がみうけられ、我国においても渡辺<sup>30)</sup>、渡辺<sup>33)</sup>の研究その他かなりの数の報告があげられる。

ところで  $^{198}\text{Au}$ と云う放射性同位元素は元来比較的短半減期(2.72日)の核種であり<sup>29)</sup>、その放射能が減弱してくると次第に検出がむづかしくなりしたがつて生体内に投与したのちの長期間にわたる金コロイド分布の追跡は不可能である云う難点をもっている。またそのほかにも一般に生体内における物質の代謝を研究する際に放射性同位元素を使用すると云うことは、多少なりともその生体に放射能の影響を与えざるをえないと云う宿命的な条件があるため、正常な物質の代謝とはことなつた現象を観察しているのではないかと云う疑問が起るのを避けることが出来なかつた。 $^{198}\text{Au}$ コの場合も 0.963 MeV のβ線と 0.411 MeV のγ線その他のかなり強い放射能をもつ核種であり上に述べたような危険性も度外視出来ないときもあると考えられる<sup>5)22)35)</sup>。

これらの問題点に検討を加えるために著者は最近原子炉の科学が大いに進展し、その利用が広く普及されるに伴つて、各方面で研究開発がさかんになつて来た中性子放射化分析法を適用し実験を

行つた。この分析法は後述のごとく多くの特長をもつており金コロイドの検出に有利なので本研究にとつてもまことに都合のよいものであつた。

研究の一部である癌性漿膜炎の臨床例についてはさきに本誌上に発表した<sup>25)</sup>ので、今回は  $^{198}\text{Au}$ コのもつ放射能がラットの体内金コロイド分布におよぼす影響について実験を行い、いさゝかの知見をえたので報告する。

#### 実験材料

実験動物——体重 140 g 前後の雄性大沢雑系ラットを使用し、飼料はオリエンタルMF<sup>1</sup>、水は自由に与え20°Cの恒温室にて飼育した。 $^{198}\text{Au}$ コを投与した群と非放射性金コロイドを投与した群とは出来るだけ隔離した場所に置いた。

金コロイド——ラットに投与するために用意した金コロイドは2種、すなわち一方は放射能を有するものであり、他方は非放射性的のものである。

放射能をもつたものとしては  $^{198}\text{Au}$ コを用いた。これは Amersham Radiochemical Centre (England)製造のものをダイナボット R I 研究所から医療用オールコロイドとして配布したものである。比放射能は使用時で約 3.5mc/ml、ダイナボット R I 研究所の報告によれば 1.1 mg/ml 前後の金を含有し粒子の大きさは 20m $\mu$ のものが大部分をしめており、安定剤としてゼラチンを加えてある。他方非放射性金コロイド（以下非放金コと略記）として用いたのは上記と同じ  $^{198}\text{Au}$ コを放置しておいて放射能を 0.1%以下に減衰せしめたものである。Fig. 1 はこれらの電子顕微鏡像である（倍率 45000 $\times$ ）。

コロイドの稀釈は  $^{198}\text{Au}$ コについては生理的食塩水を用いて 0.5 ml あたり 500  $\mu\text{C}$  となるように調整した。この際稀釈液中の金の含有量は容器に表示してある数値からの計算によつて約 150  $\mu\text{g}$  であることを求めておく。他方非放金コの稀釈はやはり容器に表示してある数値からの計算によつて  $^{198}\text{Au}$ コと同じく 0.5 ml あたり約 150  $\mu\text{g}$  の金を含有するように生理的食塩水を用いて行つた。

なお実際に投与された金コロイドの量を知るために両稀釈液を 0.1 ml づつとり、それぞれ数本

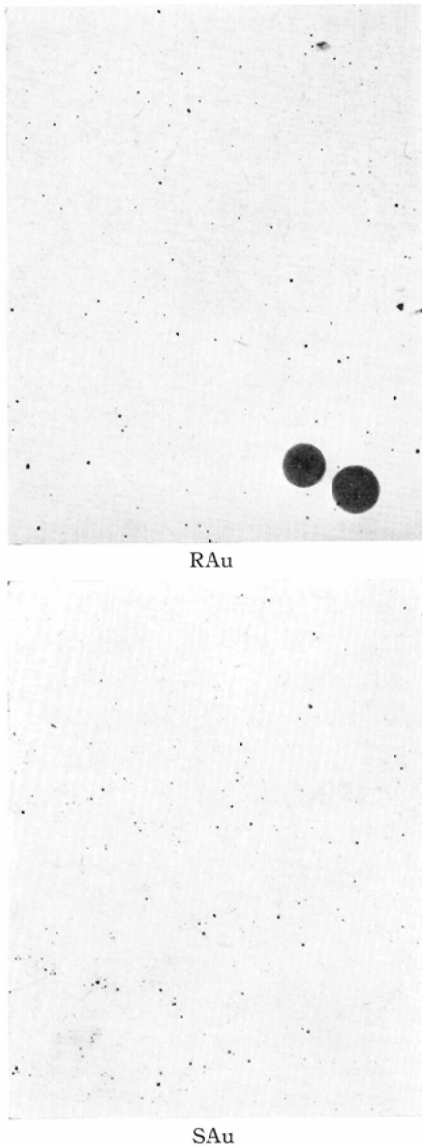


Fig. 1 Electron micrographs of colloidal gold.  
radioactive colloidal gold (RAu).  
non-radioactive colloidal gold (SAu).

つつのポリエチレンチューブに封入して放射化分析を行い各々の金コロイドの金含有量を測定したが、この結果はオールコロイドの容器に表示してある数値から計算によつて求めたよりも多くの金コロイド中に含まれていることを示していた。

#### 実験方法

16匹のラットを使用し、一群8匹には $^{198}\text{Au}$ コの新液 0.5 ml づつを、他の一群8匹には非放金コの新液を 0.5 ml づつ尾静脈内に注入し

た。注入後5分、60分、6時間、24時間、3日、5日、30日、90日に各群から一匹づつをえらんで断首屠殺し、肝、脾、肺、腎、大腿骨を摘出しその中に含まれる金コロイドの定量に供した。

#### 原子炉中性子による臓器組織の放射化

試料の作成：摘出した臓器組織は水洗してから島津自動直示天秤にて秤量し10%フォルマリン液にて固定したのち50°C前後の乾燥箱中に入れ数日間かけてよく乾燥せしめた。これを清浄なポリエチレンシートにて気密に包装し $^{198}\text{Au}$ コの注入を行つた群の臓器組織中に残存する放射能の減弱を待つために更に数週間にわたつて保管しておいた。残留する放射能が殆ど消失したとみられるようになったときにこれをとり出し、放射化分析用の試料として使用した。非放金コの注入を行つた群の臓器組織も全く同様に処置して試料とした。

各試料に含まれている金と比較して定量を行うために必要な金の標準試料には、塩化金酸を蒸留水で溶解し、金の重量にして10  $\mu\text{g}$  づつをとつて小さなポリエチレンチューブに封入して乾固したものを用いた。

放射化—熱中性子の照射：試料と標準試料とを数個づつずつよに照射用カプセルに入れ、このカプセルを日本原子力研究所の原子炉JRR-1の水平または垂直実験孔に挿入し熱中性子の照射を行うことによつて、主として中性子の捕獲による臓器組織の放射化をはかつた。適用した照射の条件は中性子束 $1 \sim 5 \times 10^{11}/\text{cm}^2/\text{sec}$  照射時間は15時間であつた。炉から取り出した直後の放射能の強さは、カプセル表面で5~10 mr/h であつた。

#### 放射能測定—金の定量

放射化された試料は、それを構成するいろいろな元素から生じた放射性核種からの種々の特有な放射線を放出しているが、約7日間の冷却期間を経過させることによつて半減期のごく短い核種からの放射能は殆ど消滅してしまうに至る。この時試料に残っている数種の放射線のなかから、日本無線医理学研究所製Aloka DC-8型シングルチャンネルガンマ線スペクトロメーター( $\text{NaI}(\text{Tl})$   $1\frac{1}{2} \phi \times 1\frac{1}{2}$  クリスタル)を使用して、再放射

化された金  $^{198}\text{Au}$  の放出する 0.411 MeV のガンマ線をえらび出しその光電ピークを自動記録装置で描かせた。この光電ピークの高さを標準試料のそれと比較することによって金の定量を行つ

た (Fig. 2).

計算

求められた諸臓器組織中の金の重量を一定の条件で比較するために次の計算を行い、相対比濃度を算出した。

被検臓器組織に含まれる金コロイドの重量 ( $\mu\text{g}$ )

$$\text{相対比濃度} = \frac{\text{被検臓器組織の重量 (g)}}{\text{全身に投与された金コロイドの重量 (\mu\text{g})}} \times \frac{\text{被検動物 (ラット) の体重 (g)}}{\text{全身に投与された金コロイドの重量 (\mu\text{g})}}$$

この値は一応排泄を度外視したときの全身平均濃度に対する臓器組織中の金コロイドの濃度の比率であり、この値が1より大なるときはその臓器組織の金コロイドの摂取能が全身の平均よりも大であることを示している。各ラットごとにこの値を求めて比較すれば、それらの金コロイドの摂取能力の大小があきらかになると考えられる。なおこの式で全身に投与された金コロイドの重量とは放射化分析法によって実測した値が用いられた。またこのほかに脾、肺、腎については注入量に対する臓器金コロイドの百分率を求めて比較した。

実験結果 (Table および Fig. 3~7)

注入方法を静脈内投与としたときの体内金コロイド分布が時間的にどのように変化し、また $^{198}\text{Au}$ コと非放金コとの間に相違があるかどうかを観察するために行つた実験で次のごとき結果を得た。

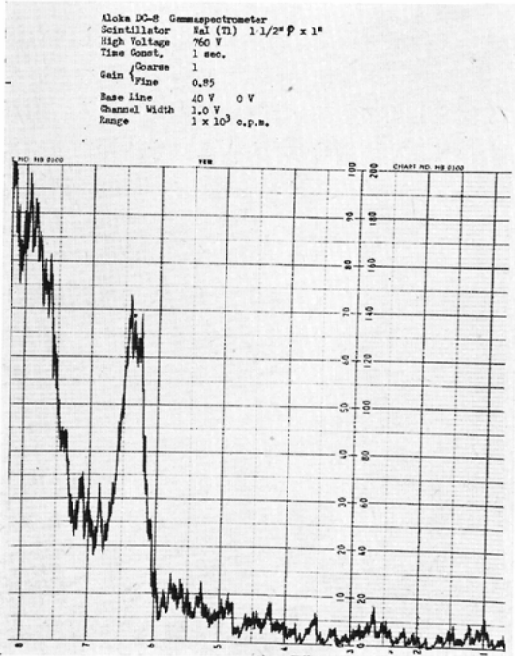


Fig. 2 Gamma-ray spectrogram of a tissue sample containing reactivated colloidal gold Au-198.

Table  
Relative specific concentration of intravenously administrated colloidal gold in rat organs: Comparison of radioactive colloidal gold (RAu) with non-radioactive colloidal gold (SAu). ( ) indicates per cent of administrated dose.

Organ	Liver		Spleen		Lung		Kidney		Femoral Bone		
	RAu	SAu	RAu	SAu	RAu	SAu	RAu	SAu	RAu	SAu	
Time after administration	5 min.	17.8	17.7	3.55 (2.20)	2.76 (1.44)	0.66 (0.56)	0.49 (0.51)	0.29 (0.31)	0.12 (0.13)	0.43	0.43
	60min.	23.1	23.6	4.83 (2.22)	2.44 (1.01)	0.81 (0.61)	0.07 (0.04)	0.04 (0.04)	0.04 (0.04)	1.01	0.52
	6 hrs.	22.8	31.3	4.94 (3.38)	3.10 (1.58)	0.00 (0.00)	0.08 (0.05)	0.05 (0.05)	0.07 (0.07)	—	0.40
	24hrs.	25.4	23.4	9.05 (2.15)	2.95 (1.23)	0.22 (0.12)	0.17 (0.13)	0.04 (0.04)	0.10 (0.10)	0.48	0.74
	3 days	25.8	24.6	12.1 (3.23)	1.91 (0.69)	0.13 (0.09)	0.15 (0.10)	0.19 (0.14)	0.14 (0.13)	0.64	0.77
	5 days	22.8	28.7	9.00 (2.50)	4.35 (2.31)	0.11 (0.06)	0.10 (0.09)	0.23 (0.22)	0.18 (0.18)	0.79	1.17
	30days	23.6	30.4	7.30 (2.36)	4.87 (1.31)	0.08 (0.04)	0.12 (0.06)	1.35 (1.01)	1.06 (0.78)	0.10	0.26
	90days	9.60	24.6	—	1.94 (0.37)	0.20 (0.13)	0.08 (0.09)	2.24 (1.72)	1.30 (0.83)	1.23	0.29

なおラットに投与した金コロイドの量は放射化分析法によつて測定したところ  $^{198}\text{Au}$  コは一匹あたり 305  $\mu\text{g}$ 、非放金コは一匹あたり 210  $\mu\text{g}$  であり、オールコロイドの容器に表示してある数値からの計算によつて求めた推定投与量よりも多いことがわかつた。

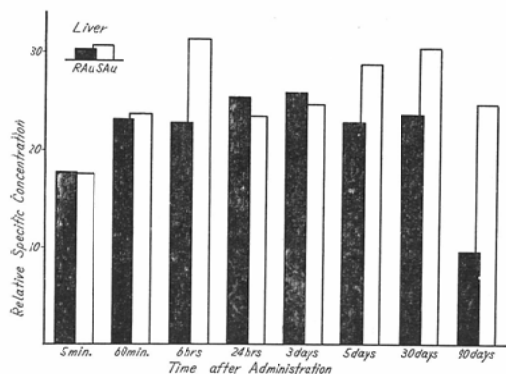


Fig. 3

Fig. 3~7 Relative specific concentration of intravenously administrated colloidal gold in rat organs: Comparison graphs for radioactive colloidal gold (RAu) and non-radioactive colloidal gold (SAu).

肝： $^{198}\text{Au}$  コ投与群では5分後で17.8と云う値を示し、その後いくらか増加して3日目の25.8と云う最高値に達したあとは30日目の23.6に至るまで増減はあるがあまり大きな変化はなく経過する。なお90日目のものでは肝硬変様の所見を呈しており金コロイドの沈着も9.60と他のものに比して少い。

これに対し非放金コ投与群の方もやはり5分後から17.7と前者に匹敵する沈着を示し、その後の変化もそう大きくなく  $^{198}\text{Au}$  コの分布とあまり差をみとめられなかつた。

脾： $^{198}\text{Au}$  コ投与群の金コロイド沈着が時間的に変化しているのが特徴である。即ち  $^{198}\text{Au}$  コの沈着は5分後に3.55であるがそのち増加して3日目に至ると12.1の最高値に達し、5日目以後は次第に減少してゆくことがわかる。これに対し非放金コの沈着はどの時間のものでも  $^{198}\text{Au}$  コの沈着より大分低い値を示している。また金コロイドの全身投与量に対する脾沈着量の百分率をみても、5分後で  $^{198}\text{Au}$  コが2.20%なのに非放金

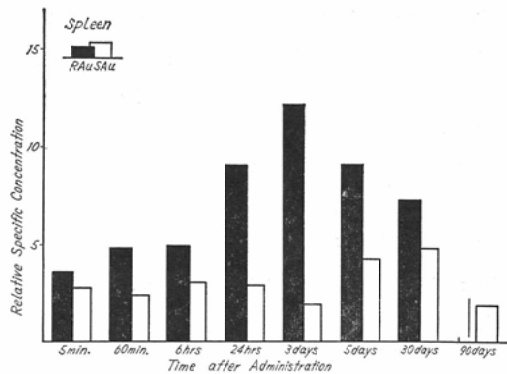


Fig. 4

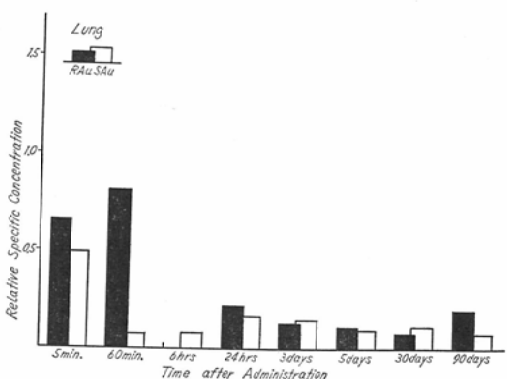


Fig. 5

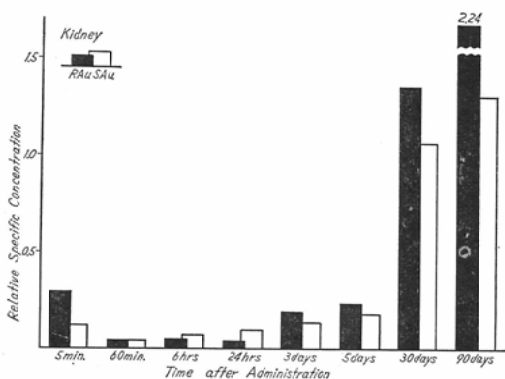


Fig. 6

コは1.44%、3日目で  $^{198}\text{Au}$  コの沈着率が3.23%であるのに非放金コのそれは0.69%で、そのほかどの時間のものをも  $^{198}\text{Au}$  コ投与群の方が多くの金コロイド沈着率を示している、両コロイドに分布上の差異があるごとくみうけられた。

肺： $^{198}\text{Au}$ コ投与群では5分後、60分後で0.61、0.81とやゝ高い値をみとめるが非放金コ投与群は0.49、0.07とそれよりやゝ低い。投与後短時間なので肺にのこっているのであろうが $^{198}\text{Au}$ コの方がやゝ強く沈着しているような結果となつた。このあとごくわずかの沈着が90日目までひきついでみとめられるが両者の差はあきらかでない。

腎：5分後に $^{198}\text{Au}$ コ沈着が0.29で非放金コ0.12よりやゝ多いが、その後両者とも低下したふたゝび増加しだす。30日目に至ると急に沈着がふえ、更に90日目には増加している。3日目以後は $^{198}\text{Au}$ コを投与した群の方が沈着が多いようにみうけられた。注入量に対する腎の金沈着量の百分率をみてもほゞ同様の傾向がよみとられる。

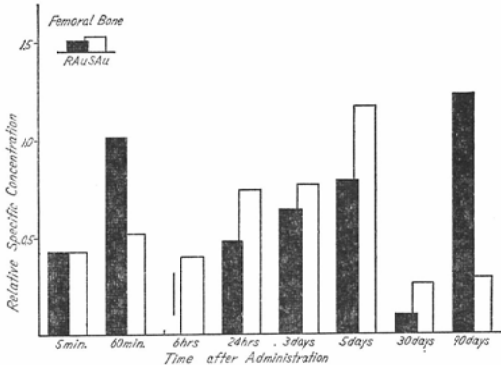


Fig. 7

大腿骨：5分後のものですでにかなりの金沈着をみとめるが、この組織では骨と骨髄とを分離しなかつたゝめか一定の傾向を示さず、 $^{198}\text{Au}$ コ投与群と非放金コ投与群の間の差はあきらかではなかつた。

### 考察

人工放射能を応用した分析法のひとつである放射化分析法は、化学的に分離の比較的困難な希土類、貴金属類の分析を行うのに有力な方法なので1936年 Hevesy & Levi<sup>1)</sup>、が Ra-Be 線源を用いて希土類の分析を行うのに応用して以来開発が進められ、近年では医学、生物学の分野においても報告がみられるようになって来た。この方法を用いて1949年 Tobias & Dunn<sup>2)</sup>、はマウス尾静脈内に注入した10 $\mu\text{g}$ の金の溶液の体内分布を追

及し、1950年には Keynes & Lewis<sup>3)</sup>、がイカの神経線維中の Na, K, の分析を行うなどに始つて最近ではその長所をみとめられて数々の研究が発表されるようになって来た<sup>4)~13)</sup>。著者も癌性漿膜炎に対して $^{193}\text{Au}$ コ注入療法を行つた7症例の各種臓器組織についての放射化分析を行い報告している<sup>24)25)</sup>。

放射化分析の原理は目的とする元素(核種)を中性子その他の高エネルギーの核粒子或は $\gamma$ 線等で衝撃し、原子核反応を起して放射性核種を生成することにもとづいている。生成した放射性核種から出る放射線はそれぞれの核種に特有なものである、そのエネルギーと半減期によつて目的とする元素の種類を同定することが可能であり、その放射能の量はもとの元素の量に比例するので定量することが可能である<sup>1)2)27)</sup>。

試料を衝撃することによつてその中の目的とする元素に生ずる放射能は次式によつて表わされる。

$$A = Nf\sigma_{ac}S \quad (1)$$

この式から目的とする元素の重量は

$$W = \frac{AM}{6.02 \times 10^{23} f\sigma_{ac}S} \quad (2)$$

となる。ここで

A: t 時間の衝撃によつて生ずる放射能 (dps)

N: ターゲット核種の原子数 =  $6.02 \times 10^{23} W/M$

W: 目的とする元素の重量 (g)

M: 目的とする元素の質量数

f: 核粒子の流束 (個/cm<sup>2</sup>/sec)

$\sigma_{ac}$ : 核反応の放射化断面積

S: 飽和係数 =  $(1 - e^{-\frac{0.693t}{T}})$

T: 半減期

生成放射能の量は(2)式でわかるように照射条件さえ同一ならば目的とする元素の量に比例するので、標準試料と比較することによつて容易に定量出来る。

この分析法の利点としては、検出感度が非常にたかいこと、他の微量分析法に比べて汚染の恐れが少いこと、化学的に類似した性質を有する元素でも分離が容易なこと、原理的には非破壊分析も可能なこと等があげられている。更にこの他に



も注目すべきことはトレーサーとして放射性同位元素を使用する際にみられる不都合な点を避けることが出来ると言うことである。即ち比放射能があまり高くない放射性同位元素を用いてトレーサー実験を行う場合に、必要な量の放射能を得るために、それよりはるかに多くの余分な物質がキャリアーとして存在することがあるので、そのために体内の正常な物質代謝がみだされる恐れがあり、また半減期のあまり長くない放射性核種を用いてや、長期にわたる実験を行う場合には、最初に投与する放射性同位元素の量がかなり大量となるため、その放射能の影響によつて生物学的機能に変化が生ずる危険がある。このような不利をさけるためにも放射化分析を応用するのが好都合であると考えられる。

衝撃に用いられる核粒子としては中性子が最も普通であり、なかでも原子炉に発生する熱中性子束は密度も高く安定なので使い易い。本実験においては日本原子力研究所研究用原子炉 JRR-1 に発生する熱中性子を試料に照射し、そこに含まれる金コロイドを放射化し  $^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$  の反応を起こすことによつて 0.5g 前後の臓器組織中の 0.01  $\mu\text{g}$  までの金の定量が可能であつた。試料の処理方法として必要なのは乾燥、封入、照射、測定のみであり、ことさらに複雑な物理的化學的操作は一切不要であつた。

この分析法によればすでに放射能を消失してしまつた金コロイドの検出も何等差支なく行えるので、放射性の金コロイドと非放射性の金コロイドの体内での行動をかなり長期にわたつて追求することも容易であつた。両コロイドの測定条件をできるだけそろえるために、放射性金コロイドを投与した群の臓器組織についても非放射性金コロイドを投与した群のそれと全く同じ処理を行つて放射化し分析に供した。

また対照として金コロイドの注入をうけていないラットの臓器組織も同じ処理をほどこして放射化してみたが、分析の妨害となる  $^{198}\text{Au}$  とまぎらわしいような光電ピークはみとめられなかつた。

照射条件を知るため各カプセルに数個づつの金の標準試料を添えて放射化したのが同一カプセル内

での放射化のされかたには殆どばらつきがなかつた。

ラットに投与した金コロイドはその一定量をとつて放射化分析によつて金の含有量を測定したところオールコロイドの容器に表示してある数値と大分ひらきがあるような結果となり、また各容器ごとにも金含有量にかなり差があることがわかつた。ラット一匹あたりに投与した金コロイド量は、このようにして測定した結果得た値を用いて計算している。

$^{198}\text{Au}$  コと非放金コとの相違点として放射能以外に体内分布に関して問題となるのは粒子の大きさ<sup>17)</sup>とコロイドの物理的化學的狀態であると考えられる。粒子の大きさは電子顕微鏡による比較を行つたが 20m $\mu$  前後のものが大部分であり両コロイドの間にあまり大きな差があるようにみとめられなかつた。また非放金コを得るために  $^{198}\text{Au}$  コを 1 カ月程度放置しておいて、その大部分の放射能を消失せしめているが、この放置期間中にコロイドの状態に大きな変化が起きはしないかと云う問題がある<sup>32)</sup>。もし放置しておいたために非放金コのコロイド状態に大きな変化が起れば、安定性は失われラットの体内における行動も  $^{198}\text{Au}$  コとあるいはことなつてくるかもしれない。したがつて放射能の有無による分布のちがいを云々することは困難であろう。しかしこの問題に関しては以下の方法によつて検討されており、これらの金コロイドはかなり安定なものであると云われている。即ちこの金コロイドは 100°C で 20 分間にわたつて煮沸し、その後室温に 10 週間放置しておいても、

1) 沈澱物の生成がみとめられず変色もしないこと、

2) 10%食塩水を加えて振盪の上放置しても塩析されないこと、

3) ローダミン B 法によつて金イオンの検出が出来ないこと、

と云う 3 項目のコロイドの安定性に関する試験によつて検討されたものである。したがつて 1 カ月程度の放置期間を経過させてもそのコロイド状態にいちじるしい変化が起るとはあまり考えられない。以上の点からみた範囲で考える限り本実験に使用した 2 種の金コロイドは放射能の有無以外に



大きな相違があるようにはみえない。したがってこの実験に用いた程度の量の放射性金コロイドをラット尾静脈内に投与した場合には、あるいはその放射能の影響によつて自らの行動が非放射性金コロイドとはことなつて来ることもあるのではないかと考えているが、なおこの点に関しては実験を重ねて検討する予定である。

### 結 論

1) 原子炉 JRR-1 に発生する熱中性子による中性子放射化分析法を利用してラットの体内に投与された微量の金コロイドの分布を比較的容易に定量出来た。分析に要する臓器組織の重量は 0.5g 前後で充分であり、このなかに含まれる  $10^{-8}$ g までの金コロイドが測定可能であつた。

2) ラットの尾静脈内に注入された 500 $\mu$ c の放射性金コロイドの体内分布と、金の重さにしてほぼ同量の非放射性金コロイドの体内分布を比較し、両者の間には分布上いくぶんの相違があるごとき結果を得た。この相違が放射能のためであるかどうかについてなお検討をすすめている。

本論文の要旨は昭和39年5月第23回日本医学放射線学会総会において報告した。

稿を終えるにあたり中性子照射について御援助下さいました日本原子力研究所の方々に厚く御礼申し上げます。

### 文 献

1) Hevesy, G.V., and Levi, H.: Kgl. Danske Videnskab. Selskab. Matfys. Medd., 14, 5, 1936, ..... Quoted by Meinke, W.W.: Science, 121, 177, 1955. —2) Tobias, C.A., and Dunn, R.V.: Science, 109, 109, 1949. —3) Keynes, R.D., and Lewis, P.R.: Nature, 155, 809, 1950. —4) Rei-

ffel, L., and Stone, C.A.: J. Lab. and Clin. Med., 49, 286, 1957. —5) Müller, J.H.: Internat. J. Appl. Rad. Isotopes, 2, 257, 1957. —6) Spencer, R.P., et al.: J. Lab. and Clin. Med., 50, 646, 1957. —7) Odeblad, E., et al.: Acta Radiolog., 49, 137, 1958. —8) Spencer, R.P., et al.: Amer. J. Roentgenol., 79, 1053, 1958. —9) Vincent, J.: Nature, 184, 1332, 1959. —10) Papavasiliou, P.S., and Cotzias, G.C.: J.B.C., 236, 2365, 1961. —11) Pijck, J., and Hoste, J.: Clin. Chim. Acta, 7, 5, 1962. —12) Kennedy, J. H., et al.: J. Thrac. and Cardiovasc. Surg., 44, 570, 1962. —13) Ogborn, R.E., et al.: Amer. J. Roentgenol., 85, 976, 1961. —14) Beierwaltes, W.H., et al.: Clinical Use of Radioisotopes, Saunders, W.B., Philadelphia, London, 1957. —15) Müller, J.H.: Bull. Schweiz. Akad. Med. Wiss., 5, 484, 1949. —16) Müller, J.H.: Gynaecologia, 129, 289, 1950. —17) Zilvermit, D.B., et al.: J. Lab. and Clin. Med., 40, 255, 1952. —18) Koletsky, S., and Gustafson, G.: Lab. Investigation, 1, 312, 1952. —19) Stembriige, V.A., et al.: Lab. Investigation, 2, 349, 1953. —20) Root, S.W., et al.: Cancer, 7, 856, 1954. —21) Jones, H.B., et al.: J. Clin. Invest., 23, 783, 1944. —22) Marinelli, L.D., et al.: Amer. J. Roentgenol. 59, 260, 1948. —23) 片倉, 菅野他: 日本医放会誌, 22, 642, 昭和37年. —24) 菅野, 片倉他: 日本医放会誌, 23, 527, 昭和38年. —25) 片倉: 日本医放会誌, 23, 1531, 昭和39年. —26) 放射化学分析法, 共立出版, 東京, 昭和36年. —27) 中井, 亀本: Radioisotopes, 13, 53, 昭和39年. —28) 放射線医学, 医学書院, 東京, 大阪, 昭和37年. —29) 木村: 放射線データブック, 地人書館, 東京, 昭和38年. —30) 渡辺勲: 日本医放会誌, 19, 1303, 昭和34年. —31) 森: 日大医誌, 18, 2699, 昭和34年. —32) 山田, 於勢, 倉田: Radioisotopes, 8, 34, 昭和34年. —33) 渡辺克司: 日本医放会誌, 21, 1147, 昭和37年. —34) 西下: 日本医放会誌, 18, 1178, 昭和33年. —35) 鈴木, 大内他: Radioisotopes, 8, 65, 昭和34年.