

含鉛金属鉱床における鉛の同位元素の組成差の 地球化学的意義について*

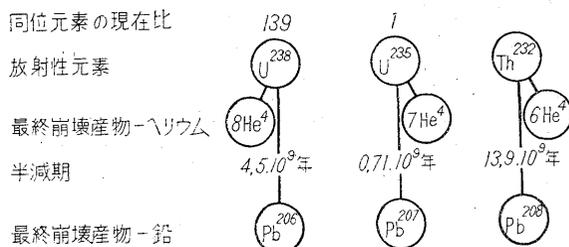
A. N. Tugarinov

小 西 善 治 訳

現在絶対生成年代を決定するために、ウラン・トリウム鉱石の鉛の同位元素を利用する方法はよく知られている。したがってこれらの研究では、鉛鉱床を構成するいわゆる普通の鉛の同位元素組成の変動から誘導される法則性が検討されている。現在同位元素組成の変動知識を裏付ける類似の鉛の同位元素解析が、すでに 200 以上になるにもかかわらず、その結果は、確認に乏しい地質年代尺度の構成と、元素の生成年代、地球の成長年代および地球の初成鉛同位元素組成の決定に利用されている。

本論文では、含鉛鉱床の成因的特性を確立するために、様々な鉛の同位元素組成の現在の知識を利用した。まず本論に入るに先立って、鉛同位元素研究の主要方向について述べておこう(訳註1)。

自然に産する鉛の同位元素組成は、4 主要同位元素、 Pb^{204} 、 Pb^{206} 、 Pb^{207} 、 Pb^{208} の存在によって決定される。後の 3 種アイソトープは、 U^{238} 、 U^{235} 、 Th^{232} の放射性壊変の最終産物である(第 1 図)。したがって、地球上におけるその量は増加する。 Pb^{204} の元の放射性元素について



第 1 図 ウランおよびトリウムの放射性壊変図

は確かめられていない。いま Pb^{204} は、われわれに知られていない放射性元素の最終壊変産物であると仮定するならば、その半減期にきわめて大きいから、 Pb^{204} の量の変化は、實際上認められないであろう。したがって地球上における Pb^{204} の量は不変とみなされるであろう。

地殻の同位元素組成と時間との函数的関係は多くの研究者によって利用されている。最近では Pb^{206} 、 Pb^{207} 、 Pb^{208} の濃集曲線を利用して、地球および地殻の生成年代を決定している(前記論文参照)。この研究で重要な点は、地殻の鉛の同位元素組成が時間の経過とともに、 Pb^{206} 、 Pb^{207} 、 Pb^{208} の同位元素の含有量の増加の側へ変わっていく点である。

1939 年にはアメリカの物理学者 Nier は、様々な生成年代の内成含鉛金属鉱床産の方鉛鉱床における鉛の 12 試料について質量分析を行い、次のような結果を得ている。鉛の同位元素

* Тугаринов, А. И.: О Геохимическом значении различий изотопного состава свинца в свинцово-рудных месторождениях, Известия академии наук СССР, Серия геологическая, Ио 4, 1955.

訳註1) 鉛のアイソトープとその地球化学的意義, 地質調査所月報, Vol. 8, No. 4, 1957 参照

組成は、充分感知しえられる程度の変動を示すが、その原子量はほとんど変わらない¹⁾。

Nier は、鉛の生成年代が古くなると、鉛中の Pb^{206} , Pb^{207} , Pb^{208} の含有量が低下することを初めて確認した。さらに Nier は、マグマ中に存在するウランとトリウム—その内の鉛の含有量と比例している—の放射性壊変で生じる Pb^{206} , Pb^{207} , Pb^{208} の放射性源アイソトープによつて(連続的)絶えず富化されることを明らかにしている。

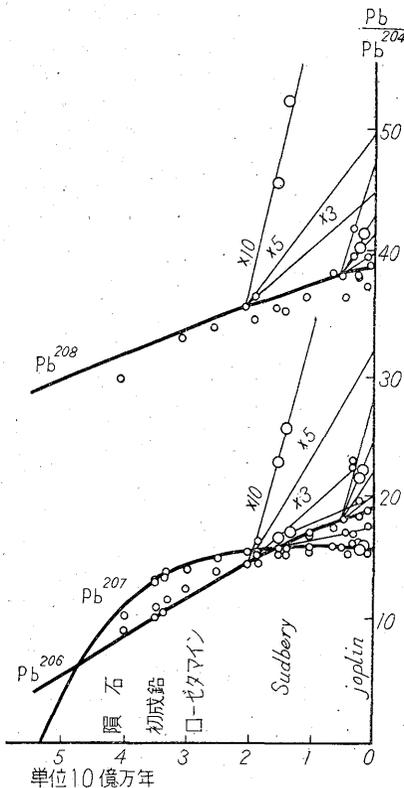
鉛(石)が生成される場合に、マグマの溜りから遊離される方鉛鉛の鉛には、鉛(石)の生成の瞬間におけるマグマの Pb の同位元素組成に対応するような同位元素組成の跡が残される。このような現象は次の原因で起きる。すなわち、ウランとトリウムと孤立して存在する鉛は、マグマから析出後には、放射性源同位元素の規則的な附加を受けないからである。方鉛鉛の型で捕捉される分散ウランとトリウムの量は、方鉛鉛の鉛の同位元素組成に著しい変化を及ぼさない。

1946年には Holms は Nier が求めた鉛の同位元素組成数値に基づいて、地球の生成年代の独創的な理論的計算法を提案した。Holms はこの場合、放射源鉛に固有の濃集法則に対応する近似的地質年代尺度を確立するために、既知の鉛(石)の生成年代(地質学的に確かめられた)と、その鉛(石)から産出する鉛の同位元素組成を利用した。Holms は、地球の生成年代を $3.35 \cdot 10^9$ 年と決定した。

1952年には Vinogradov, Zadorozhnyi は Nier の 25 数値と種々の生成年代に属する 32 鉛(石)の同一元素組成の新しいデータとに基づいて、地殻の限界生成年代を算出した。Vinogradov は、まず地殻がウランとトリウムで富化される原因となる地球上の物質の潜在分化作用から出発して、地殻の極大生成年代を $5.5 \cdot 10^9$ 年と推定した。

この理論的実験研究は、ここでは詳細に論じない。しかし U^{235} の半減期が著しく小さいために、地球の最初の生活期には Pb^{207} の増加はきわめて激烈であつたが、その後は U^{235} の大部分の壊変が終了したために、地球上における Pb^{207} の含有量はほとんど変わらなかつたが、 Pb^{206} と Pb^{208} の増加は、以前のように強烈に行われた(第2図)。

内因的鉛(石)の鉛の同位元素組成と、その地質学的生成年代との函数的関係は、地殻の推定年齢の算出のためばかりか、含鉛金属鉛(石)の地質編年尺度を求めるために、多くの研究者によつて利用されている。しかしこの場合には、内因的含鉛金属鉛(石)の成因的特性および鉛(石)中の鉛の同位元素組成と、その生成時間との函数的関係の歪みの確率を考慮に入れていない。この種歪みは、マグマの上昇過程でありうる混合現象か、または造岩鉛(石)物中におけるウラン・トリウムの不規則分布か、いずれかによつて起きる。



第2図 鉛同位元素の存在量の時間的変化を示す

1) Nier, A. O.: Variations in the relative abundances of the isotopes of common lead from various sources, Journ. Am. Chem. Soc., Vol. 60, 1938

McCrary の研究²⁾によれば、現代の大部分の鉛床から産出する鉛は、きわめて古い地質年代を示す。もちろん、鉛がマグマから遊離した瞬間と、鉛が鉱石の形で安定する期間との間には、長期間、ときには 1000 万年を要したことが推定される。この期間鉛は移動階梯にあつたことが考えられる。この立場に立ち、鉛がマグマから遊離した瞬間を、鉛の生成年代の決定の基準にとつても、種々の成因の鉛の混合効果と異なるマグマの溜りにおけるウラン・トリウムの様々な含有量とを考慮に入れないで、類似の地変の地質学的編年尺度を決めようとするれば、失敗に終わるであろう。

ほとんど初期の研究者は、地殻の鉛組成の平均変化曲線から著しい偏倚を示す個々の“異常”(anomaly)を算出する場合には、地質学的データによつて得られるような時間曲線と、鉛の同位元素組成の変化理論曲線(時間)との極大一致とを求めることを省いている。したがつて、Rik, Avdzeiko が個々の地質年代に対して、鉛床産の鉛の同位元素組成のかなりの変動範囲を確かめているが、成功とはいえないようである。すなわち、求められた様式は鉛床の地質学的絶対年代の直接決定のために地質学的編年尺度として役立たないからである。

地質学の対象としては、決定することは地質年代でなく、多くの場合、鉛床の成因的特性にある。したがつて鉛床から産出する鉛の同一元素組成の変動がきわめて興味がある。とくに興味があるのは、極端な値を示す異常現象や、理論曲線から比較的僅かな偏倚を示す場合である。次に地変によつて起きる鉛の同位元素比の偏倚のおもな例について述べよう。第 2 図にみられるように、熱水鉛床の鉛の同位元素組成は、理論的曲線からの偏倚(曲線の右側)が顕著である。すなわち、“異常”量は地球の生成年代と比例して著しく増大する。したがつて、鉛同位元素の存在に対しては、現代に近づくに従つて(地球の年齢とともに)、種々の地質学的物体内における鉛の同位元素の濃集・分化で特色づけられるようになる(第 2 図)。

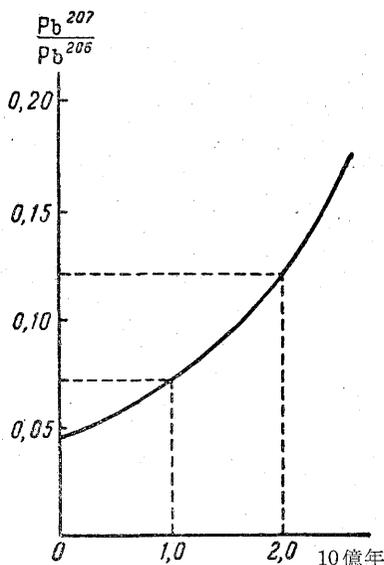
地球化学的過程で起きる鉛同位元素の分離[天然の交換膜を通る拡散と、gas transfer とによつて起きる溶液内の熱拡散(thermodiffusion)による]を仮定するならば、鉛の同位元素分離にはきわめて多様な傾向が起きるはずである。しかし同位元素組成の本質的な偏倚には、きわめて合法的な特性がみられ、その特性は熟成効果によるか、原初マグマのウランまたはトリウムの含有量の上昇によるか、いずれかによつて明らかにできるであろう。

実験室では鉛の同位元素の分離は、こんにちに至るまで成功していないようである。反対に類似研究過程では、鉛の各同位元素の非分離性を基礎におく追跡が行われている。

第 3 図によれば、含ウラン鉱物が現在まで変わらないものとする、含ウラン鉱物の生成年代が古くなれば、その鉱物内の Pb^{207} : Pb^{206} の比が高くなるのが明らかである。

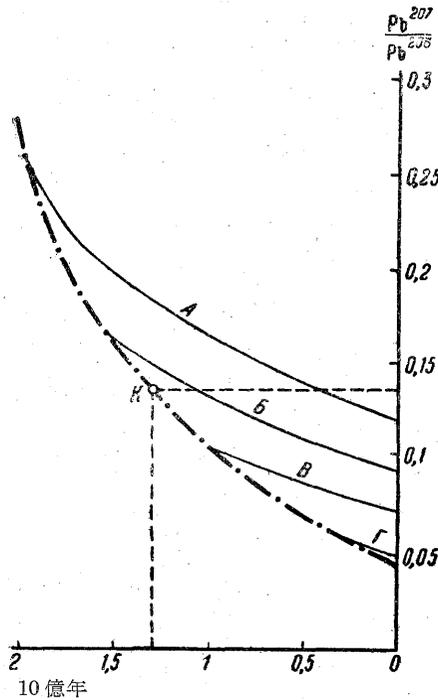
第 4 図によると、含ウラン鉱物では Pb^{207} : Pb^{206} 比が発生瞬間から時間とともに、いかに変わるかを示している。

このような鉱物と、そのなかに蓄積する鉛とが早期に破碎されて遊離されると、このような鉛中の Pb^{207} : Pb^{206} 比は高くなる。



第 3 図 種々の生成年代に属するウラン鉱物の Pb^{207} と Pb^{206} との比の現在値曲線

2) McCrary, E.: Lead isotopes and the Earth's age, Trans. Am. Geoph. Un., Vol. 33, No. 2, 1952



第4図 種々の生成年代のウラン鉱物における鉛 (Pb^{207} と Pb^{206}) の同位元素組成の変化を示す
 A: 20億年前に生成された鉱物の Pb^{207}/Pb^{206} の変化曲線
 B: 15億年の鉱物の Pb^{207}/Pb^{206} の変化曲線
 C: 10億年の " " " "
 D: 2億年の " " " "

したがって二次的に次の問題が考えられる。すなわち岩石中における鉛とウランとの共存は、第一にその組成に反映し、 Pb^{206} と Pb^{207} 同位元素の岩石中における含有量が一般に増加するばかりか $Pb^{206}:Pb^{207}$ の一定比が共存期の長さで分離期(現在から)とよつて変わつてくる。例えば、10億年間に起きたウランによるマグマまたは岩石の富化は、そのうちの Pb^{207} 同位元素の増加の形ではあまり表われないが、 Pb^{206} 同位元素の富化となつて著しく反映するようである。25億年からウランの富化は、鉛の両同位元素含有量の顕著な増加を誘導するようである。

第2図には、地殻の鉛同位元素組成の変移曲線が示されてある。細線は種々の時代にウランとトリウムとよつて富化(10倍以下)される岩石の同位元素組成の理論変移曲線を示している。この種変移曲線が扇型を表わすのは、岩石が20億年後にウランとトリウムとで3倍富化されることを示している。

マグマが古期鉛を含有する堆積岩で富化されると、マグマの $Pb^{207}:Pb^{206}$ 同位元素比の顕著な増加を招き、同時に新期

鉛と堆積物との間に同化作用が働くために、 Pb^{206} 同位元素の含有量が僅か増加するであろう。

このように混合過程(contamination process)を検討すると2つの場合を区分できるであろう。

- 1) ウランまたはトリウムの含有量の増加または減少を示す岩石でマグマが富化される場合
- 2) 古期鉛を含有する岩石によつてマグマが富化される場合、この種富化は古期鉛の現世熔融によるか、または組成の“異常”な古期鉛によることが考えられる。

第2図によると、事実上いわゆる“異常現象”の場合—極端な場合を含む—は、第一範疇の現象で解明できることが明らかである。すなわち、鉱化熔液が地球の年齢の最後の20億年から15億年にトリウムとウランとで比較的僅か富化されたことが考えられる。

ウランとトリウムとで富化された瞬間は、岩石に固有の熔融時期がマグマによる周辺岩石の吸収期かを意味しているものと考えてはならない。この瞬間は、ウランまたはトリウムの含有量の上昇した原岩石の生成ないし堆積、または変成—(広い言葉の意味)とのいずれによつても生じる—する瞬間を示唆し、原岩石はその後同化作用を受けることが考えられる。この場合、きわめて重要な留保条件は、現在の異常現象を解明するために、長期間にわたつて、分別作用を受けるマグマの溜りの存在を認める必要がないが、マグマの溜りの周期的回春は十分に仮定できる。

第2図からは次のような重要な地質学推論が求められる。すなわち現在みられる鉛同位元素組成の“異常”は15億年—最大20億年—to始まる地球上の物質の分化(differentiation)産物であつて、分化の瞬間までは、地殻の組成はこんにちよりもはるかに均一であつた。同一年代の地殻の理論同位元素組成と古期鉛組成との一致の頻度が高くなると、その年代に生成さ

れた新期鉛でも、晩期の地球上物質よりも古期の物質がはるかに均一性であつたことを示している。分化後10億年を経過した現在では、いま直ちに實際上観察されないが、さらに大きい異常現象が地球上の各地域に存在していることが想像できる。このことは、現在における地球上のウランおよびトリウム分布の不規則性は、例えば10億年~20億年よりも、きわめて大きいことから明らかである。

30億年の生成年代を示す地球の最古期地域(例えば Rosetta mine)は、地殻上で行われる普遍的な変成作用の最古期の段階にあたる可能性がきわめて大きい。

しかし30億年前には、地殻の組成が均一化する一般的な傾向があるにもかかわらず、鉛の同位元素分布、換言すれば鉛の放射性先行者—ウランおよびトリウム—の分布構造についても、非対称性が明らかにみられる。例えばヨーロッパと北アメリカの、同一生成年代に属する鉛の同位元素組成を比較してみるだけで、アメリカとカナダ鉱床の鉛の放射性同位元素の含有量が比較的高いことが明らかとなる。したがって地球上の物質の存在初期には、物質の分化度が低度であつたにもかかわらず、地球の各地域のウランおよびトリウムの含有量の変動と関連性をもつ緩慢な異常現象がすでに起きていた。

高濃度溶液の現在の考え方によると周辺岩石中に分散する鉛は、この種溶液にほとんど影響を及ぼさない。したがって周辺岩石の鉛と鉱化溶液との混和現象は、あまり重要なものと考えられていない。

しかしこの規則には珍らしい例外がある。例えば古期ウランまたはトリウム鉱床地域に発達する鉛鉱床には、 Pb^{207} と Pb^{206} ; また Pb^{208} 組成の普通鉛の著しい混和現象が起きている。Russel R. D., Farquar R. M., Cunning G. L., Wilson J. T. は、Sudberg の異常鉛の成因をこの混和効果によつて説明している。

この種の影響は、同一鉱床中に存在する生成年代の異なる鉛の同位元素組成の研究に重要な意味をもっている。同一鉱床中で起きる鉛の同位元素組成の偏倚現象—本論文では“同位元素転移と名付けることにする—は、鉱石の生成が著しい時間的間隙をおいて起り、その間にマグマの溜りの鉛の同位元素組成が成長するか、または他の同位元素組成の周辺岩石の鉛で混和された変成熔液 (metamorphic solution) が出現することを示している。

次に各対象物の鉛の同位元素組成と、その理論的組成(鉛の平均同一元素組成を意味する)との偏倚に関する上述の考え方について、具体的な例を検討してみよう。

まず鉛の放射性同位元素の含有量の高い Joplin と Sudbery のデータをみてみよう。

Nier, Vinogradov, Colling で12の同位元素組成の決定が行われている。Joplin のデータによると、明らかに同位元素転移で区別される2型の鉛が存在している。

Pb^{206} , Pb^{207} , Pb^{208} に富化されている鉛(方鉛鉱)は、この鉱床で最も晩期に生成されたものであつて、地質学的データによると、極大生成年代は2億年を超えないことが考えられる(Nier による)。

Pb^{208} および Pb^{206} の著しい変化が、比較的低度の Pb^{207} の偏りによつて表われている同位元素転移の特性を利用すると第2図の混和曲線が求められる。この曲線によると、2種の鉛鉱石の生成期には著しい時間的間隙が存在するとともに、鉱液中に吸収された岩石のウランおよびトリウムによつて、比較的新しい時代(約5億年前)に富化されたことが明らかになる。

さらに興味ある結論は、 Pb^{206} , Pb^{208} ばかりでなく、 Pb^{207} の含有量の高い Sudbery 産の鉛の同位元素組成の2決定から求められている。このような状態は、Sudbery 鉱床がきわめて古い時代、すなわち Pb^{207} の増加が、現在よりもはるかに盛んに行われていた時代に生成されたことを示している。このことは、Sudbery 鉱床の生成年代が $2.5 \cdot 10^9$ オーズであることが知られているから、地質学的データと矛盾しない。

混和曲線(第2図)によると、Sudbery 型の鉛を含む金属鉱床は、対応生成年代の岩石の吸収などの起きる5億年前から、マグマがウランおよびトリウムで10倍富化されて、 $1.5 \cdot 10^9$

年前に生成されたことが明らかとなる。現在決定されている 同位元素転移は、Sudbery の鉛石の各生成期に1億年を超える著しい時間的間隙の存在することを示している。

したがって Sudbery の鉛床については、鉛石中における Pb^{207} の含有量が比較的高いことと、 $Pb^{207}: Pb^{206}$ 比の高いことからみて、古い時代に生成されたことが確かにいえる。これに反して Joplin については、 Pb^{206} の含有量の低い点からみて、新しい時代に生成されたことが考えられる。さらにあらゆる場合を通じて、生成時期の著しく異なる鉛床の生成階梯は、両鉛床産の鉛の同位元素組成に反映している。

本論の印刷中に、筆者の見解とある程度一致する Russel, Farquar らの論文が発表された³⁾。

この論文では異常効果を次のように説明している。

第 3 表

No.	場 所		Pb^{206}/Pb^{204}	Pb^{207}/Pb^{204}	Pb^{208}/Pb^{204}
1	Mc Kine	1,000	22.89	16.72	44.92
2	"	960	23.03	16.69	45.19
3	"	800	16.30	15.85	36.97
4	"	600	16.43	15.96	36.93
5	Falconbridge	3,300	24.29	17.04	45.70
6	"	2,400	23.70	16.92	45.35
7	"	1,700	24.20	16.95	45.58
8	Food mine (両盤に鉛染する)		15.99	15.84	36.56
9	Food mine (鉛床生成後滑動箇所を胚胎する)		23.10	16.90	45.04
10	Garson mine		22.95	16.69	44.79
11	" (第9と同様な状態を示す)		23.00	16.61	44.78
12	Worthington mine		26.00	16.94	52.21
13	Hardy mine	750	23.23	16.77	52.64
14	Fair bnak twp (変形徴ペグマタイト)		16.20	15.76	36.99

表中の 3, 4, 8, 14 の試料は、平均普通の鉛の組成を表わすとすれば、

$$\frac{Pb^{206}}{Pb^{204}} = 16.23; \frac{Pb^{207}}{Pb^{204}} = 15.85; \frac{Pb^{208}}{Pb^{204}} = 36.86$$

となる。残余の鉛は同一地域の一層古期の放射性元素鉛床源のウラン・トリウム混合物で汚染された鉛とみなされる。したがって仮想“添加鉛”の同位元素存在比は容易に計算される。

$$Pb^{204} = 0; \frac{Pb^{207}}{Pb^{206}} = 0.134; \frac{Pb^{208}}{Pb^{206}} = 1.54$$

類似の鉛は著者が正しく指摘しているように、鉛床の生成期が13億年より古くなく、鉛床の Th-U の現在比が5.2であることを示している。この種のデータと地殻の鉛の平均分布曲線によつて求められた普通鉛の12億年±1億2千万年の生成年代とを比較して、著者は考えられる Sudbery の生成年代を12~13億年であると述べている。

13億年という数値は、 $Pb^{207}: Pb^{206}$ 比の0.134がウラン鉛物の生成時にあたる最大13億年前の含ウラン鉛中に存在していたという考え方に基ついて求められた(第4図のK点にあたる)。一層古期のウラン鉛物では、この比例(13億年)はさらに大きくなる。かりにウラン・トリウム鉛物の生成とほとんど同時に変成作用を受けたとするならば、鉛床中の全鉛量の

3) Russel, R. D., Farquar, R. M., Cuning, G. L. a. Wilson, J. T.: Dating Galenas by means of their isotopic constituents, Trans. Am. Geoph. Un., Vol. 35, No. 2, 1954

18~25%を構成するような放射性鉛が Sudbery 鉛床を生成した熱水溶液に、著者のデータから考えられるように放出されたことは信じられない。

添加鉛と一層古期のウラン・トリウム鉛床との関連性からみると、添加鉛では $Pb^{207}: Pb^{206}$ の比が成立するはずである。

他方においては、あらゆる Sudbery 鉛床群には、普通鉛と“添加鉛”との混合物が常に一定含まれているのは驚くべきことである。8例では、放射性添加鉛を25%、2例は18%、4例では0である。14分析で明らかに分離されたこの種の3例の鉛型の存在自体は、各例中における同位元素の“混和”の典型的な条件を示している。

したがってこのような鉛型の生成には、マグマ源の鉛がはいり込んだことが確かに考えられそうである。さらに著者の計算した親の放射鉛床における現世のUとThとの比は、花崗岩状岩石の特性を間接的に示しているが、ウラン鉛床の特性には完全にならない。

著者が記載している地質学的特性は簡約すると Sudbery の方鉛鉛の生成年代の異なることを物語っている。例えば第3表の3, 4, 8, 14の普通鉛は、上部の坑道か、盤中の鉛染鉛石から採取されたものである。反対に深所の鉛体と鉛床生成期の擾れと関連性をもつ鉛体で（見掛上二次鉛物）は、異常状態が認められる（第3表9, 11）。

ソ連の沿海州産の鉛 ($\frac{Pb^{206}}{Pb^{204}} 17.38, \frac{Pb^{207}}{Pb^{204}} 14.91, \frac{Pb^{208}}{Pb^{204}} 36.70$) とボリヴィア産の鉛 ($\frac{Pb^{206}}{Pb^{204}} 17.75, \frac{Pb^{207}}{Pb^{204}} 15.20, \frac{Pb^{208}}{Pb^{204}} 37.88$) とをみると、太平洋両岸に分布する鉛床の鉛同一元素の存在量にきわめて類似する変動がみられる。両鉛床区の生成年代は2,500万年~3,000万年である。しかし鉛床の生成期が新しいので、多様な生成階梯を“同一元素の転移”で解明できない。このような場合には、マグマの様々な混和現象か、ウランとトリウムの著しく多様な含有量を示す様々なマグマかが問題になるであろう。

“理論存在量”にほとんど対応する放射性源同一元素の含有量の高い鉛鉛床、例えば Sinancha は錫を含んでいるのが特色となっている。したがって、附近に存在する含錫貫入岩体が、鉛床と成因的に関連性をもっていることが考えられる。反対に貫入岩体から空間的に離れている“新鮮な”多種金属鉛床（例えば Tetukhe）では、錫を含有していないで $Pb^{206}, Pb^{207}, Pb^{208}$ の含有量の低い鉛の同一元素存在量で特徴づけられる（その生成年代は“理論鉛”の先カンブリア紀にあたっている）。

以上の観察結果は、かつては単一のマグマの晶出過程と単一の鉛床地区に入れられていた両鉛床の成因的差異を物語っている。したがって環太平洋地域には、生成深度の異なるマグマと関連性をもつ2型の鉛床の存在が考えられる。ウランとトリウムの含有量の減少が広域にわたってみられる地域では、花崗岩組成の普通の貫入岩体に随伴する多種金属、錫鉛床と比較して“新鮮な”多種金属鉛床が広く分布している。

アルタイ山脈の多種金属鉛床地帯にも、次のように鉛の同位元素存在量が決定されている。

鉛 床	Pb^{206}/Pb^{204}	Pb^{207}/Pb^{204}	Pb^{208}/Pb^{204}
Zurya novskoe	18.03	15.96	37.73
Rudnyi Altai	22.47	15.93	37.75
” ”	22.65	16.71	39.65
” ”	23.0	17.32	41.90

この数値は、Zuryanovskoe 鉛床の鉛鉛石の生成年代がデボン紀にあたっていることを示している。この種鉛体は、デボン紀の侵入岩中に層状に胚胎しているのが特徴となっている。さらに Rudnyi Altai に分布する類似の層状鉛床の鉛は、斑状岩石類の侵入と、鉛脈の存在とにより区別されるが、この鉛床については、3試料の同位元素存在量が決定されている。この3試料には、生成年代が古くなると $Pb^{206}, Pb^{207}, Pb^{208}$ 存在量が増加することが明らかに認めら

れる。

したがって鉛床の生成条件が著しく異なっているのが考えられる。すなわちこの場合には、マグマの溜りが異なっているか、あるいは第2地域 (Rudnyi Altai) の鉛床の生成を誘導したマグマがウラン・トリウム鉛の混合によつて富化されたことが推定される。

さらに考えられる成因としては、層状鉛床と脈状鉛床とが存在する点からみて、層状鉛床の鉛物質が熔融して再沈殿したことがあげられる。

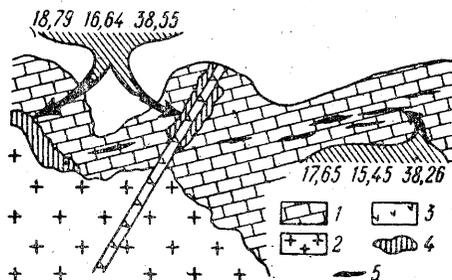
3試料の同位元素存在量によれば、きわめて古い時代のウラン・トリウム鉛が変成作用溶液によつて搬入され、そのために様々な地質時代に生成された鉛の同一元素存在量に著しい転移が認められる。したがつてこの地域 (Altai) の同位元素存在量を系統的に研究すれば、初成鉛と再沈殿とが識別されるとともに、再沈殿の主要階梯が明らかになるはずである。

鉛 床	Pb ²⁰⁶ /Pb ³⁰⁴	Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁴	Pb ²⁰⁸ /Pb ²⁰⁴
Karatau Achisai 鉛床	17.04	15.07	37.13
Kara-Mazar, Altyn-Tophan 鉛床	17.27	15.11	36.89
中央カザスタン At-Dzhailyo 鉛床	17.49	15.13	37.18
Kuraminskii 山脈 Sumsarskoe 鉛床	17.65	15.45	38.26
Kirgiziya Kurgan 鉛床	17.68	15.43	38.42
Kirgiziya Kan 鉛床	18.02	16.26	38.41
Kirgiziya Gava 鉛床	18.79	16.64	38.55
Kirgiziya Bwwordw 鉛床	18.51	15.79	39.22

カザスタンと中央アジアの鉛床の8個の数値には、2つの傾向が認められる。その1つは南部カザスタンおよび鉛染鉛床または層状鉛床 (石灰岩中に胚胎する) で代表される北部 Kirgiziya の多種金属鉛床地区では、鉛床の分布地域が広大にもかかわらず、鉛の同一元素の存在量が比較的一定しているのが特色となつている。そのほかに、この種鉛の同位元素存在量は、理論値に比較して放射源の同位元素の含有量が低い。

しかし Kuraminskii および南部・東部 Kirgiziya のスカルン質鉛床群および鉛脈群は、放射性同位元素含有量の著しく高い鉛の同位元素存在量で特徴づけられる。

2型鉛のこの種の差異は、Kuraminskii 山脈地域における一鉛床地区でも、實際上認められる。この地域では、デボン紀の石灰層に胚胎する鉛染・層状鉛床の同位元素存在量は Karatau 鉛床のそれに近い。しかし二層系を破つている貫入岩体と関連性をもつているスカ



第5図 鉛床地帯の断面図

1—石灰岩, 2—花崗岩, 3—珩岩, 4—スカルン, 5—層状鉛床
鉛の同位元素比, Pb²⁰⁶/Pb²⁰⁴, Pb²⁰⁷/Pb²⁰⁸, Pb²⁰⁸/Pb²⁰⁴

ン化鉛床産の方鉛鉛中の鉛は一層新期の同位元素存在量で特徴付けられる。したがつて北部 Kirgiziya 地域では、特異の地堡 (barrier) が走り、その南方では、一層古期の鉛を含む鉛床は、遺骸の型で残つたことが考えられる (第5図)。

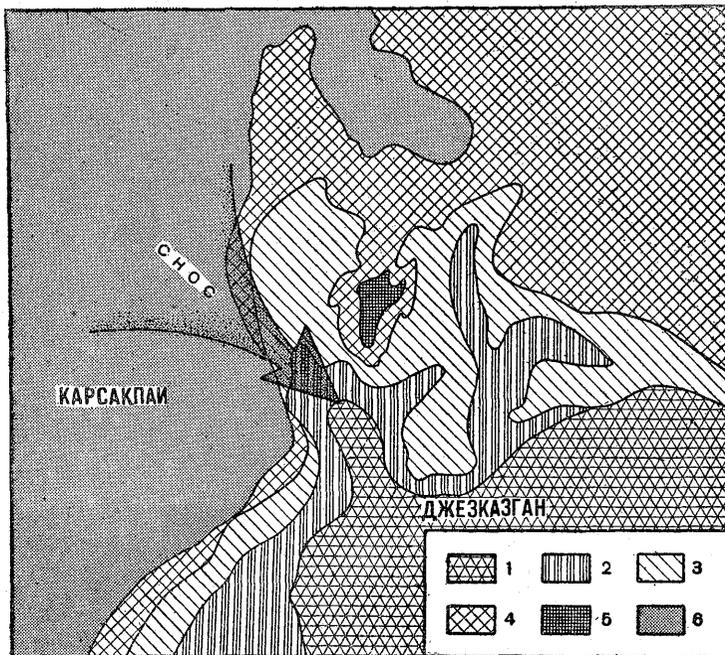
2型鉛床の同位元素転移の、このような差異を、著しくウラン・トリウム含有量の異なるマグマの溜りの差異によつて説明できるとは考えられていない。そのため、第1型の多数の鉛床が、ともかくも貫入岩

体から離れて、10 km にわたって一定の石灰岩層に賦存している 事實は、地質学的裏付けを欠くことになる。したがって、鉛床が一鉛床地区の範囲に含められるようにみえる場合でも、成因的にも異なる含鉛金属鉛床が賦存するばかりか、その生成年代も著しく異なることを認めるのが、一層正しいように考えられる。

このような差異を確かめるのがきわめて大切であることは、第5図に示されてある Gava-saisk 鉛床の成因に関する筆者の考え方から明らかであろう。一般には方鉛鉛が石灰岩中に広域に鉛染し、層状鉛床が賦存一地域ではスカルン化鉛床が観察される一しているから、この地域を、スカルン質鉛床を中心とする巨大な鉛床帯とみなし、スカルン質鉛床生成過程の規模を裏付けるもののように考えている。しかし鉛床自体の規模はきわめて小さい。同一炭酸塩（石灰岩）地層の層状鉛床を代表する数 Sumsarskoe 鉛床から産出する鉛の同位元素存在量の研究からみられるように、この地域に広域に発達する方鉛鉛の鉛染鉛床がまったく成因を異にし、スカルンよりも一層初期に生成されたものとするならば、見掛上の矛盾の原因が明らかとなる。

Dzhezkazagan ($\frac{Pb^{206}}{Pb^{204}} 16.00, \frac{Pb^{207}}{Pb^{204}} 14.38, \frac{Pb^{208}}{Pb^{204}} 34.44$) 鉛床地帯で採取された方鉛鉛の鉛の同位元素存在量は、理論値から著しい偏倚を示している。鉛同位元素比によれば、鉛床の理論生成年代は、先カンブリヤと考えられる。

Dzhezkazagan 鉛床は、陸源性炭酸塩質岩石中に賦存し、脈状銅一黄銅鉛・斑銅鉛一交代鉛床である。こんにちに至るまで、貫入岩体がとにかくみられないので、それが鉛床成因の疑問の原因となつている。他方においては、鉛床の盤を形成する地層は、鉛床地帯の北方および西方に露出する Karsakpaik 地域の先カンブリヤ岩石の侵食によつて生成されたことが推定される。したがってヘルシン造山期の鉛床以前には、この期に鉛床一生成期を入れていた一とつては異常な同位元素組成を示すこのような鉛は、水成鉛床の生成過程において濃集したものと考えるのが論理にあつている（沈積の際に主要な役割をなした鉛は、侵食・削剝作用を受けた先カンブリヤ紀の変成岩と含鉛金属鉛床とから侵出されて海盆地域に出現した鉛である。第



1—二疊系
2—上部～中部石炭系
3—下部石炭系
4—デボン系
5—古生代初期の地層
6—先カンブリヤ紀の変成岩

第6図 Dzhezkazagan 地域の地質図

6図参照)。この種鉛の同位元素組成は、実験室の研究によつて求められた同位元素組成と近似的に対応するはずである。

さらに Pb: Th と Pb: U との比が貫入岩体のそれよりも数オーダー高い先カンブリア紀の変成岩物質が破碎されて、海盆地域に運ばれてきたことを述べておく必要がある。このような現象を考慮に入れるならば、この種岩石が侵食によつて削剝されるとともに、そのなかの鉛の放射性同位元素鉛の含有量が一層低くなつたことが解明できるであろう。

任意の生成年代の花崗岩状貫入岩体が破碎されると、花崗岩のウラン・トリウムは全地殻のウランとトリウムの含有量に近似しているから、そのなかの鉛の同位元素組成は、その破壊時においては地殻の鉛の標式“理論”組成に対応していたはずである。したがつて花崗岩状岩石の破碎によつて生成されるヒドロゾル型態の鉛が海盆地域へ運び去られると、Dzhezkazagan 地域でみられるように、海盆地域の沈積堆積物中における鉛の放射性源同位元素の含有量低下が起らないはずである。

陸源性堆積物および海底堆積物の鉛の同位元素に一般的にみられる比例関係のよい例は、太平洋地域の様々な游泥があげられる。

鉍 床	Pb ²⁰⁶ /Pb ²⁰⁴	Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁴	Pb ²⁰⁸ /Pb ²⁰⁴
lomita 産泥灰岩	19.27	15.61	39.40
マンガン結核	18.91	15.69	38.68
赤色粘土	18.95	15.76	38.92

このデータから次のことが考えられる。すなわち 現世の太平洋中に分散する鉛の同位元素比は、現世の地殻中に存在する鉛の同位元素比の理論値にきわめて近いが、古期・新大陸の侵食の度合が不均等なために、鉛の放射性同位元素の含有量が比較的僅かであるが、低いのが特徴となつている。

したがつて Dzhezkazagan 地域の含鉛金属鉍床の水成成因については、きわめて仮想的仮説であつて、同一地域の他の同種鉍床の研究によつて確認することが必要であるが、この仮説から次のことがさらに推定される。すなわち、この種鉛を含む地層が生成された堆積海盆地は、公海と隔てられ、そのために鉛-同位元素組成が先カンブリア期を示し、ある堆積盆地に特定である一の拡散と濃縮との可能性が除かれたことを仮定することが必要となる。

後者の2例をみれば、堆積層の鉛の同位元素組成の特性を、次のように定式化されるであろう。

1) 閉じられた堆積海盆地に鉛を含む地層が沈積・生成される場合には、その鉛は同一地域の同一生成年代に属する内因鉍床産の鉛とは、放射性鉛の含有量が一層低い点で異なつている。

2) このような海盆地域では、ヒドロゾルの型で溶解されている鉛の同位元素組成の濃集は、標式的な型で行われるはずであるから、鉛の同位元素は、同一盆地の同一生成年代に属する同一岩相の含鉛層の全延長にわたつて厳密にいつて一定となるべきである。

3) 大洋と堆積盆(地域)とが連絡している場合には、このような海盆地域に沈積する鉛の生成年代は、ほぼ理論値に等しいか、あるいは若干それよりも低くなるはずである。

結論として次のことがいえるであろう。

1) 鉍床地域内における鉛の同位元素組成の変動は、多くの成因問題-年代決定を含む一を解明するための重要な手段であるとともに、その地質学的物体に関する知識をまとめあげるのにきわめて有用な手段となる。

2) 鉍床地域内における鉛の同位元素組成の変動をみると、多くの内因鉍床には様々な生成階梯の鉍体が存在することが明らかになる。したがつて比較的短期間の鉍床生成期に多くの内

因的鉛床が生成されたという一般的な考え方には疑問が起きてくるはずである〔ただし地表面に露出するまでの鉛床の変化(酸化帯)を除く〕。

一般の岩石に対して、反復繰り返えされた変成作用の複雑な履歴を認めるならば、鉛床地帯においても、同一現象の起きたことを除外する根拠はなんら存在しない。地質学的文献には、鉛床の複雑な多回春性の実例が記載されてある。

鉛床生成の全階梯の生成年代と成因とを確立し、種々の生成階梯の鉛床の探鉛指標を明らかにすることは、きわめて重要な地質学的課題である。この課題の解決は、多くの場合、同位元素の存在(組成)量の研究によつて促進される。

3) 水成源の含鉛鉛床の同位元素組成は、一般には同時代の熱水成鉛床と比較して、その組成が僅か“古期”生成を示すことと、同位元素組成が稼採鉛床の賦存層序の全延長にわたつて異常に一定であることによつて異なっている。

この種の水成源鉛床中には晩期の変成過程で生じた一層新期の再沈殿鉛が当然考えられるはずである。異なる時代に生成された、異なる組成の母岩から(循環溶液を媒介として)捕捉された鉛で汚染されるから、この種の鉛床では再沈殿鉛に必然的に同位元素転移が起きる。

鉛同位元素の地球化学に課せられた当面の課題は、すでに鉛床の様々な生成年代が地質的研究で識別されている地帯の考えられうるすべての鉛同位元素を詳細に明らかにすることにある。このような鉛床地区としては、ソ連では Altai 鉛床地区の西部 Tyan-shanya 鉛床地区があげられる。

さらに大洋の海水および様々な地層を構成する水成岩の鉛同位元素存在(組成)量を系統的に研究することが必要である。

地球化学者は、現在すでに 98 元素でなく、少なくとも数 100 にのぼる 98 元素の同位元素の分布(存在量)・濃集および移動の条件—複雑な物理化学的法則によつて決定される—を研究対象にとりあげる義務がある。

われわれを取り巻く物質の組成と、その時間的定変化に関する一層複雑な概念は、鉛床生成の秘められた面を明らかにするのに必要な、新しい知識の領域への途を開くであろう。