

過剰 Pb-210 法による海底堆積物の堆積年代測定について

本多照幸*・鈴木穎介**・森本隆夫***

Sedimentation rates calculated from excess ²¹⁰Pb activities
in marine sediment samples from Tokyo Bay

Teruyuki HONDA, Eisuke SUZUKI, Takao MORIMOTO

1 本稿の目的

本稿では、天然に存在するウラン壊変系列の放射非平衡を利用した過剰 Pb-210 法堆積年代測定について、

- ① その原理と方法、並びに適用年代範囲、適用堆積物およびその条件、
- ② 例として、東京湾海底堆積物の堆積年代(速度)測定、

を取り上げて概説する。

2 原理と特徴

2.1 原理と方法

ウラン壊変系列の ²²⁶Ra は、α壊変して ²²²Rn を生成する。この ²²²Rn は気体であるため、地表から大気中へ放散後、3.82日の半減期で壊変し、分から秒のオーダーの半減期を持つ4つの中間核種を経て ²¹⁰Pb を生成する。その様子を図1に示す。この ²¹⁰Pb は、数日間大気中に滞留し、大部分は海洋を含む地表に沈積する。その後、²¹⁰Pb は22.3年の半減期で壊変し、減衰を続ける。

もし、新しく沈積した堆積物中の ²¹⁰Pb 濃度が、その場で常に一定であるなら、現在の表面での ²¹⁰Pb 放射能を使って、初期(t年前)の ²¹⁰Pb 放射能、従って堆積年代を(1)式のように求めることができる。

$$^{210}\text{Pb} = ^{210}\text{Pb}_0 e^{-\lambda t} \quad (1)$$

ここで、

²¹⁰Pb : t 年前に表面にあった底泥中の現在の ²¹⁰Pb 放射能濃度

²¹⁰Pb₀ : 底泥表面での ²¹⁰Pb 放射能濃度

λ : ²¹⁰Pb の壊変定数 (ln2/22.3 = 3.11 × 10⁻² y⁻¹)

ところで、²¹⁰Pb 放射能濃度は、Pb の全放射能濃度から ²²⁶Ra による (supported) ²¹⁰Pb 放射能濃度を差し引いて求める必要があり、過剰 (unsupported) ²¹⁰Pb と呼ばれている。

このことを式で表せば次式となる。

$$^{210}\text{Pb}_{\text{ex}} = ^{210}\text{Pb}_{\text{tot}} - ^{226}\text{Ra} \text{ (or } ^{214}\text{Bi or } ^{210}\text{Pb}_{\infty}) \quad (2)$$

ここで、

²¹⁰Pb_{ex} : 過剰 ²¹⁰Pb 放射能濃度

²¹⁰Pb_{tot} : 全 ²¹⁰Pb 放射能濃度

²²⁶Ra, ²¹⁰Bi : 各核種の放射能濃度

²¹⁰Pb_∞ : ²¹⁰Pb 放射能濃度が一定値に達する深さの値

さらに、²¹⁰Pb_{tot} の測定には本研究で用いた ²¹⁰Bi (β, 1.16MeV) の他、²¹⁰Po (α, 5.30MeV), ²¹⁰Pb (γ, 46.5keV) なども用いられ、適当な検出器があれば、直接 ²¹⁰Pb を測定することも可能である。また、²²⁶Ra 放射能濃度は ²¹⁴Bi (γ, 609.3keV) や ²¹⁰Pb_∞ を用いて求められるが、本研究のように深度の浅い試料を扱う場合は、²¹⁴Bi を用いると便利である。

ところで、ある深さ(Z)の堆積物は、降り積もる堆積物の重さのため、堆積物中の間隙水が絞り出されて圧縮される。このことは見かけ上、平均堆積速度 s は深くなる(Zが増加する)ほど減少することを意味する。このため、この圧縮の影響を除くために平均重量堆積速度 w (g/cm²/y) を用いる。

堆積重量深度 (g/cm²) を W とすると(1)式は以下

* 武蔵工業大学原子力研究所 Atomic Energy Research Laboratory, Musashi Institute of Technology

** 水産庁中央水産研究所 National Research Institute of Fisheries Science, Fisheries Agency

*** (財)日本分析センター研修・開発部 Research & Development Section, Japan Chemical Analysis Center

のように書ける.

$$^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}(W) = ^{210}\text{Pb}_{\text{ex},0} e^{-\lambda W/w} \quad (3)$$

$$\ln ^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}(W) = \ln ^{210}\text{Pb}_{\text{ex},0} - (\lambda/w) W \quad (4)$$

ここで,

$$W = \int_0^Z (1-\phi) \rho_s dz$$

Z: 堆積物の深さ (cm)

ϕ : 堆積物の間隙率

ρ_s : 堆積物の密度 (g/cm³)

$$w = s(1-\phi) \rho_s$$

ここで,

s: 平均堆積速度 (cm/y)

(4)式より, W に対して $\ln ^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}(W)$ をプロットし, 傾きより w を求めることが可能となる.

2. 2 本法の特徴

2. 2. 1 適用年代範囲

²¹⁰Pb の半減期が 22. 3 年であるので, ほぼ 150 年より若い年代に適用可能である. 従って, 時間高分解可能な測定法といえることができる.

2. 2. 2 適用条件

以下の 2 点が重要な適用条件となる.

- ① ²¹⁰Pb および堆積物の底泥表面への沈積速度が一定であること.
- ② 堆積後に, ²¹⁰Pb および堆積物が再移動しないこと.

2. 2. 3 適用試料年代

以下のような試料の年代測定に適用可能である.
雪堆積年代, 氷 (河) 年代, 地下水の年代
湖底堆積年代, 海底堆積年代 等

3 試料

本研究で使用した試料は, 水産庁が 1984~90 年の間に東京湾で 5 地点 (北から東京湾 I, II, … V) より採取した海底堆積物である.

試料採取地点の水深は, 16m (I) ~455m (IV) で, 採取した堆積物は表層から 2 cm ごとに分別して, 乾燥後, 粒径 2 mm 以下の区分のものを分析試料とした.

Uranium decay series

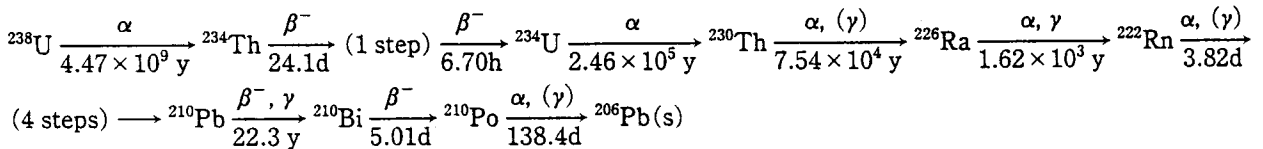


図 1 地球上に天然に存在するウラン壊変系列下の主な核種

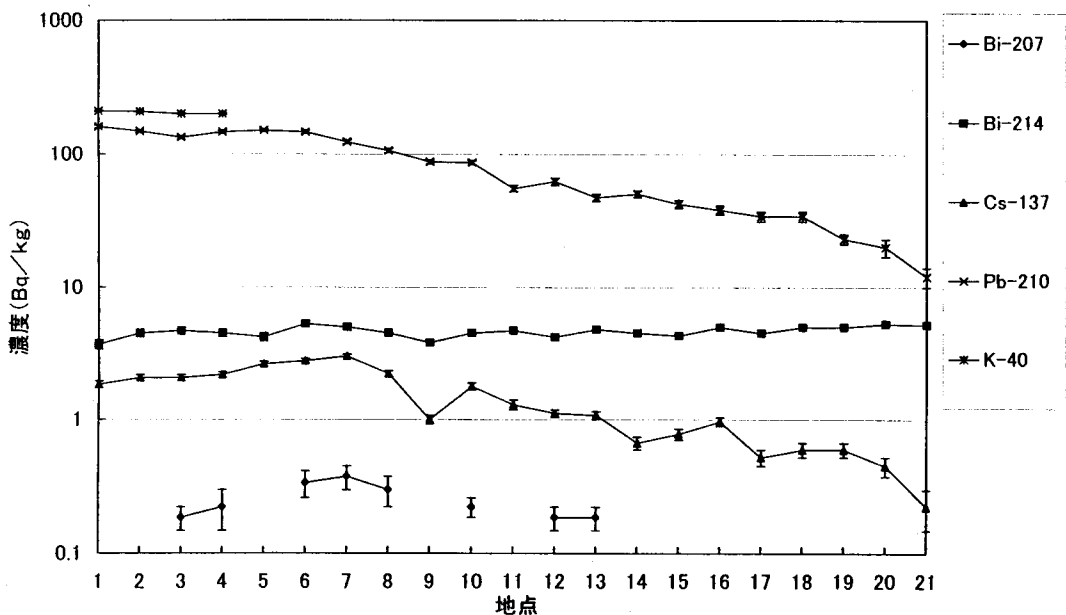


図 2 放射性核種濃度の鉛直分布 (東京湾 V)

4 結果および考察

本研究により得られた放射性核種濃度の鉛直分布を、代表例として東京湾V試料について図2に示す。図には、堆積速度(年代)測定に必要な ^{210}Pb および ^{214}Bi の他に、 ^{207}Bi 、 ^{137}Cs 、 ^{40}K の放射能濃度についても併記した。

海水中において、Pbは難溶性であり、一方Csは溶存性が高い元素であるが、図2より、 ^{210}Pb と ^{137}Cs の両放射性核種の鉛直分布は互いに似ており、よい正の相関があるように見える。これについては、溶存性の高い ^{137}Cs が間隙水等を通じて鉛直方向に拡散した結果と考えられ、現在検討中である。

東京湾海底堆積物の堆積速度を過剰 ^{210}Pb 法により求めた結果を表1に示す。表中の5地点の試料で見ると、東京湾海底堆積物の堆積速度は、 $0.246\sim 0.550\text{g/cm}^2/\text{y}$ であった。この結果は、日本各地の沿岸部(11内湾15地点)で得られた堆積速度 $0.118\text{g/cm}^2/\text{y}$ (噴火湾) $\sim 0.702\text{g/cm}^2/\text{y}$ (土佐湾)の範囲内であった。

以上のような沿岸部の堆積速度は、後背地の河川から運ばれてくる土壌や岩石風化物等の運搬速度に強く影響されているものと思われる。

また、図2の東京湾V試料にこの結果を当てはめると、深度21(右端)の試料は1896年、深度1(左端)の試料は1982年前後に沈積したことになり、ほぼ100年前からの試料であることが判明した。

文献

- 鈴木穎介, Radioisotopes, 1993, 42, 503-510.
鈴木穎介, 東海水研報, 1988, 125, 59-68.
松本英二, “沿岸環境調査マニュアル”, pp. 37-42, 恒星社厚生閣, 東京(1986).
本多照幸, 日本海水学会誌, 2000, 54(2), 91-101.
本多照幸, 日本海水学会誌, 1999, 53(5), 328-340.
T. Honda and O. Togawa, Bull. Atom. Ener. Res. Lab. Musashi Inst. Tech., 1997, No. 23, 16-19.

表1 東京湾海底堆積物の堆積速度

サンプリングデータ	堆積速度 ($\text{g/cm}^2/\text{y}$)
東京湾Ⅰ(90.6.12, 16m) 地点 $35^{\circ}34.4'\text{N}$ $139^{\circ}55.3'\text{E}$ 堆積層深度 60cm	0.417
東京湾Ⅱ(87.5.15, 44m) 地点 $35^{\circ}21'\text{N}$ $139^{\circ}42'\text{E}$ 堆積層深度 62cm	0.550
東京湾Ⅲ(90.6.12, 26m) 地点 $35^{\circ}26.7'\text{N}$ $139^{\circ}51.0'\text{E}$ 堆積層深度 60cm	0.298
東京湾Ⅳ(87.5.15, 455m) 地点 $35^{\circ}09'\text{N}$ $139^{\circ}45'\text{E}$ 堆積層深度 40cm	0.246
東京湾Ⅴ(84.11.14, 44m) 地点 $35^{\circ}01.2'\text{N}$ $139^{\circ}48.3'\text{E}$ 堆積層深度 42cm	0.520