

堆積年代測定法(1)：鉛-210法

松本英二(海洋地質部)
Eiji MATSUMOTO

海洋や湖沼の水中の懸濁粒子は雪のように海底や湖底につぎつぎと積ってゆき堆積物となる。過去におきた事件や現象は時代的に順序よく堆積物に保持されている。このような堆積物に年数ではかった数字をあてはめることができれば一つの地点での事件や現象を他の地点や他の研究分野と関連させることができよう。

この絶対年代を推定しうる方法として放射能による年代測定法がある。この年代測定法は放射壊変を時計として使うため良く選別された試料について正確な測定を行えばもっとも信頼のおける年数が得られる。ここでは放射能による堆積年代測定を主な対象とする。今回は鉛-210法について説明する。

1. はじめに

堆積物の年代測定法として従来からよく使われている方法は放射性炭素-14 (^{14}C)法である。 ^{14}C の半減期が5,600年であるため放射壊変を時計として使う場合数百年から2~3万年までが限界である⁽¹⁾。湖や内海の底泥の堆積速度は著しく大きいので数年から数百年の堆積年代測定法が望まれてきた。最近注目を集めているのは放射性鉛-210 (^{210}Pb)を用いる方法である⁽²⁾。 ^{210}Pb の半減期は22.2年であり半減期の約5倍が年代測定の限度であるため百数十年までの堆積年代を求めることができる。

2. 堆積年代測定の原理

地殻中に含まれるウラン-238 (^{238}U)から放射壊変で生成されるラドン-222 (^{222}Rn)はガスであるため大気中に逃散する。大気中の ^{222}Rn の大部分は壊変して鉛-210 (^{210}Pb)となりエアロゾルとして降水に取り込まれて再び地表に戻ってくる。降水となり湖水や海水に導入された ^{210}Pb は水中の懸濁粒子に吸着され水中

の懸濁粒子は雪のように水底につぎつぎと積っていく。 ^{210}Pb および堆積粒子の底泥表面への沈積量が一定でかつ底泥中で ^{210}Pb が再移動しなければその底泥が表面にあった時期をつぎのようにして求めることが可能である。

t 年前表面にあった底泥が現在ある深さになるまでの t 年間に ^{210}Pb が外部から加えられることはなかったと考えられるので t 年間に放射壊変で減少するのみである。この底泥が t 年前に表面にあったときの ^{210}Pb 濃度は現在表面の底泥中の ^{210}Pb 濃度と同じであったはずである。このことを式でかけば

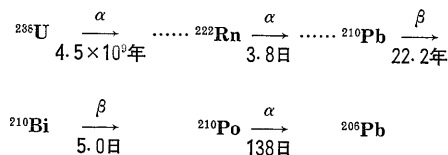
$$A(t)/A(0) = \exp(-\lambda t) \quad (1)$$

となる。ここで $A(0)$ は底泥表面での ^{210}Pb 濃度 $A(t)$ は t 年前に表面にあったある深さの底泥中の現在の ^{210}Pb 濃度である。 λ は ^{210}Pb の壊変定数で半減期22.2年を用いれば

$$\lambda = 0.693/22.2 \text{ (年}^{-1}\text{)} \quad (2)$$

となる。ただし t は現在からかぞえた年数である。(1)式の左辺 $A(t)/A(0)$ を測定すれば t の値を求めることができる。

実際には ^{210}Pb および堆積粒子の底泥表面への沈積量には多少の変動が考えられるので底泥中での ^{210}Pb の詳細な鉛直分布を測定して平均的な堆積速度を求め堆積年数を決定する。底泥表面から深さ Z (cm)までの単位面積当りの堆積粒子の積算重量を W (g/cm²)平均堆積度を w (g/cm²/年)とすれば深さ Z における ^{210}Pb 濃度 $A(W)$ (dpm/g)は(1)式より



第1図 ウラン-238 (^{238}U)の放射壊変系列

$$A(W) - A(\infty) = \{A(0) - A(\infty)\} \times \exp(-\lambda W/w) \quad (3)$$

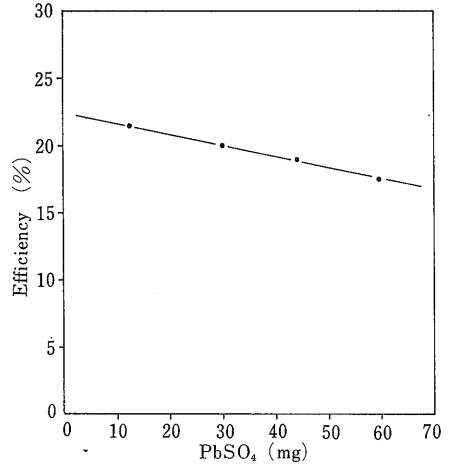
$$W = \int_0^z (1-\phi) \rho_s dz \quad (4)$$

となる。ここで ϕ は底泥の間隙率 ρ_s は堆積粒子の密度 $A(\infty)$ は堆積粒子の鉱物中にバックグラウンドとして含まれる ^{210}Pb 濃度であり 通常 ^{210}Pb 濃度が一定値に達する深さでの値をとる。 $\{A(W) - A(\infty)\}$ の値を $A_{ex}(W)$ とし過剰鉛-210 濃度と呼ぶ。(3)式は

$$A_{ex}(W) = A_{ex}(0) \exp(-\lambda W/w)$$

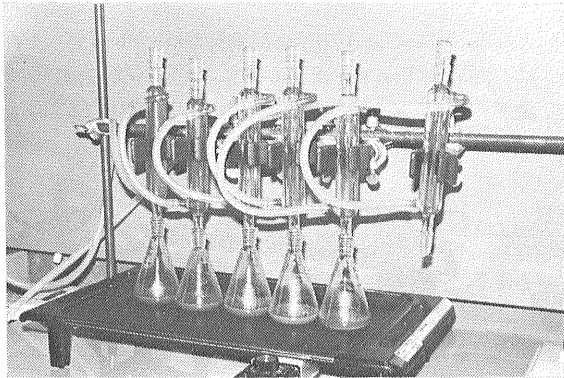
となり 半対数紙上に W に対して $A_{ex}(W)$ をプロットすれば 直線の傾きより平均堆積速度 w が求められ W/w より堆積年数 t が決定される。

このような方法で湖底泥や海底泥の堆積年数を測定することができる。この年代測定法は 時計として用いる放射性鉛-210 の半減期が 22.2 年であるために 測定

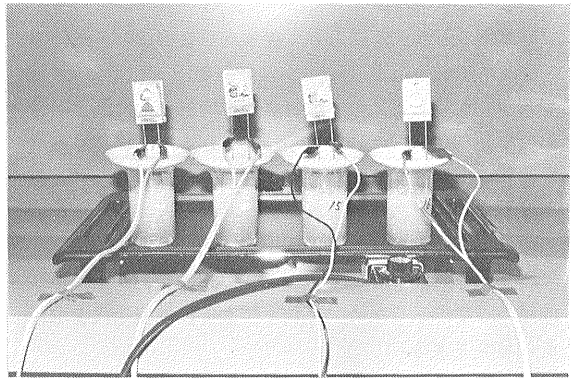


第3図 ^{210}Pb - ^{210}Bi 系の β 線計測における計数効率

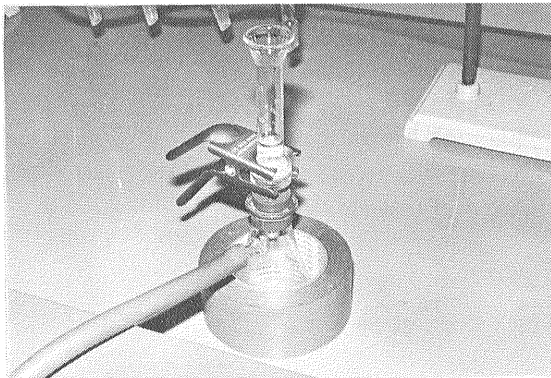
する年代の範囲は数年から百数十年の間になる。そのため 湖や内湾海域での底泥に利用される。



(1)



(2)



(3)



(4)

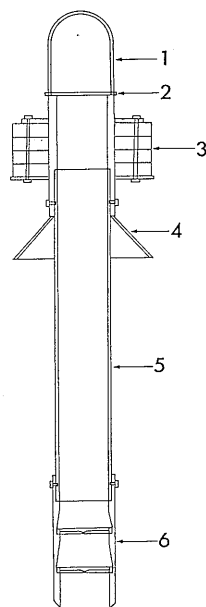
第2図 鉛-210 濃度の測定法 (1) 底泥からの ^{210}Pb の酸溶出 (2) 溶出液からの鉛の電着 (3) 硫酸鉛の口過捕集 (4) β 線計測装置

3. 鉛-210 濃度の測定法

乾燥した底泥試料を瑪瑙の乳鉢で粉末にし 450°C で 3 時間電気炉中で強熱して 有機物を燃焼する。 試料 2~3 g を三角フラスコに秤りとり 20ml の 7N 硝酸を加えてホットプレート上で 2 時間処理し ^{210}Pb を完全に溶出させる。 残渣を濾別し濾液を 3N 硝酸にしてのち 20 mg の鉛を担体として加えて同位体交換平衡に達せしめる。 鉛を白金網陽極上に PbO_2 として電着する。 電着した鉛を 過酸化水素水に溶解したのち 飽和硫酸ナトリウム溶液を加えて PbSO_4 として沈殿させる。 PbSO_4 をガラスフィルター上に補集し その重量から ^{210}Pb の収率を求める。 ^{210}Pb 濃度は ^{210}Pb の娘核種である ^{210}Bi の放射能を低バックグラウンド・ガスフローカウンターで測定することにより求められる。 カウンターで測定される β 線の計数率(cpm)を 試料の β 崩壊の単位時間当りの数(dpm)へ換算するためには 計数効率を求めなければならない。 これは ^{210}Pb の標準試料を測定して求められる。 実際には PbSO_4 の量によって β 線の吸収率が変化するので PbSO_4 量と計数効率との関係を実験的に求める必要がある。 第 3 図は 2.0 cm^2 の面積に PbSO_4 を均一に分布させ アルミホイル (9.0mg/ cm^2) でおおった場合の ^{210}Pb - ^{210}Bi 系の β 線の計数効率(%)である。 堆積物単位重量当りの ^{210}Pb 濃度は 最終的に dpm/g として表わされる。

^{210}Pb の半減期は 22.2 年で β 線を放出して ^{210}Bi となる。 ^{210}Bi は 5.2 日の半減期で β 線を放出して ^{210}Po となる。 さらに ^{210}Po は半減期 140 日で α 線を放出して安定な ^{206}Pb となる。 ^{210}Pb の β 線のエネルギーの最大値は 56 KeV で β 線としては非常にエネルギーが低くセロファン程度の厚さのもので大半が吸収されてしまう。 ^{210}Pb の娘核種のある ^{210}Bi の β 線のエネルギーの最大値は 1.11MeV と非常に高く 測定は容易である。 ^{210}Pb と ^{210}Bi のような半減期の関係の場合 30 日以上経過すれば ^{210}Bi の放射能は ^{210}Pb の放射能に等しく (いわゆる放射平衡が成立する) ^{210}Pb のかわりに ^{210}Bi の放射能を測定すればよい。 この場合 ^{210}Po の放射能が混入してくるが ^{210}Po の α 線をアルミホイル等で吸収してやれば ^{210}Bi のみを測定することができる。

^{210}Pb (実際には ^{210}Bi) の放射能を正確に測定するには自然計数 (バックグラウンド) の低い計数装置(カウンター)を使用する必要がある。 バックグラウンドとして計数される放射能のうち γ 線は鉛の厚い壁で装置を囲む(シールドすることによって 計数管の所に到達しないようにすることができる。 鉛の厚い壁を通過する放射線は中間子およびその他の高エネルギーの宇宙線が主なもの



第 4 図
不攪乱柱状採泥器

である。 この宇宙線による計数は ^{210}Bi の β 線を測定する計数管を取り囲むように防護カウンターを配置して反同時計数法で除去することができる。 当研究室では鉛シールドと防護カウンターを配置して 1 インチのカウンターでバックグラウンドを 0.3cpm 程度まで下げている。 これらの配置を行わないとバックグラウンドは約 16cpm である。 東京湾の底泥試料の ^{210}Pb の放射能は最大でも 5cpm 程度であるので 鉛シールドと防護カウンターなしでは ^{210}Pb 濃度測定の信頼性が乏しい。

4. 試料の採取 保存および前処理

底泥の堆積年代は 底中での ^{210}Pb の詳細な鉛直分布の測定によって求められるため 底泥を柱状に乱さずかつ失わずに採取しなければならない。 底泥の表層は含水率が高く流動性に富む。 一方 表面から数十 cm の深さでは 固く締まって粘性が高い。 流動性に富む表層泥を失うことなく泥中に充分深くまで採泥管を貫入させて採取することはむずかしい。 第 4 図は 当研究室で製作した不攪乱柱状採泥器である (実用新案登録出願中)。 この採泥器を用いると 1m の長さのほぼ満足する底泥試料が採取される。 試料採取後 ウェイト部からアクリルパイプを鉛直に保ったまま取り外し パイプの下部から上部に向けて徐々に押し上げて パイプの上端で 1~10 cm の厚さに切り取る。 切り取った試料はスチロールピンに密封して保存し ^{210}Pb のための化学処理に先だって 含水率 密度 間隙率 粒度等の物理測定やソフト X 線撮影 柱状図の作成を行う。 堆積速

度に著しい変化がある場合 底泥の物理データや堆積構造が参考となることが多い。堆積速度は地点により著しく変化する場合があるので 採取地点の緯度 経度 水深等の正確な値が必要である。 ^{210}Pb による堆積年代測定は 測定することがかなり大変な仕事であり 年代値を正確に算出するためには 試料についての知識をなるべく多く持っていることが望ましい。

5. 測定の結果

当研究室では 日本周辺海域で40 国内の湖で10 北米沿岸海域その他10の試料について測定を行った。得られた結果のうち二 三の例をあげておこう。第1表は東京湾の中央部より採取した底泥柱状試料中の ^{210}Pb 濃度である。 ^{210}Pb 濃度は深さとともに減少しており 1 m 以深では 0.6 dpm/g の一定値に達している。 ^{210}Pb 測定値から 0.6 dpm/g を差し引いて過剰鉛-210濃度 ($^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$) とした。第5図に示したように積算重量 (W) に対して $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ をプロットし 直線の傾きより平均堆積速度 (w) を求めた。平均堆積速度は $0.27\text{g}/\text{cm}^2/\text{年}$ となる。すなわち 1年間に 1cm^2 当り 270 mg の泥粒子が堆積する。得られた平均堆積速度を使って堆積年数を求めてみると第2表のようになる。第2表から明らかなように 深さ 10 20 30 50 70cm の底泥は おのおの 8 17 28 57 89 年前に堆積したものである。

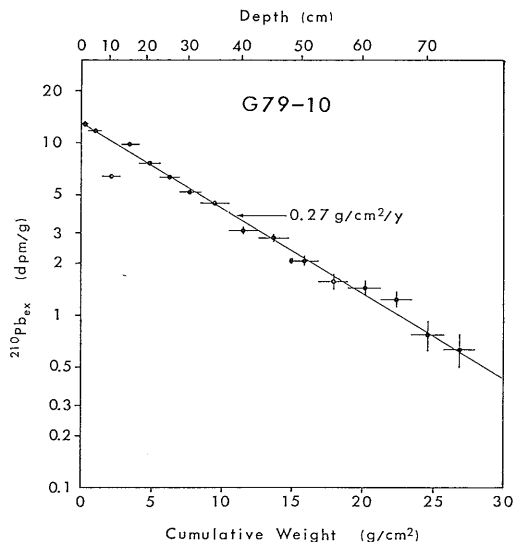
第6図は 大阪湾中央部より採取した試料の $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ の鉛直分布である。表層 14 cm の $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ は一定であ

第1表 東京湾中央部 G79-10 地点より採取された柱状底泥中の鉛-210 濃度

深 さ (cm)	^{210}Pb (dpm/g)
0 ~ 3	13.41±0.44
3 ~ 8	12.40±0.19
8 ~ 13	7.00±0.16
13 ~ 18	10.40±0.17
18 ~ 23	8.20±0.19
23 ~ 28	6.91±0.18
28 ~ 33	5.77±0.15
33 ~ 38	5.11±0.11
38 ~ 43	3.72±0.12
43 ~ 48	3.42±0.09
48 ~ 53	2.68±0.08
53 ~ 58	2.18±0.12
58 ~ 63	2.05±0.11
63 ~ 68	1.84±0.09
68 ~ 73	1.38±0.12
73 ~ 78	1.24±0.10
170 ~ 180	0.58±0.14
230 ~ 240	0.62±0.09

第2表 平均堆積速度より求められる東京湾中央部 G79-10 地点の底泥の堆積年数

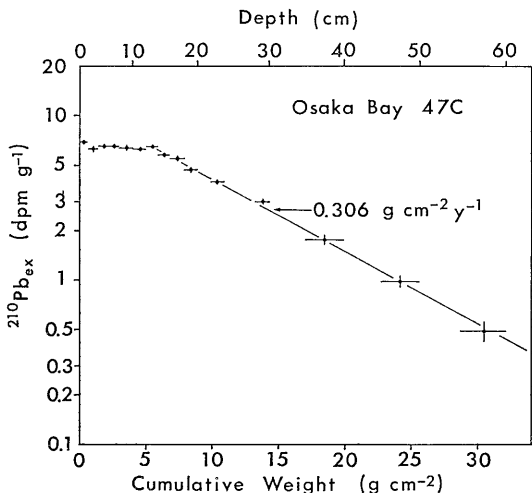
深 さ (cm)	堆 積 年 数
10	8
20	17
30	28
50	57
70	89



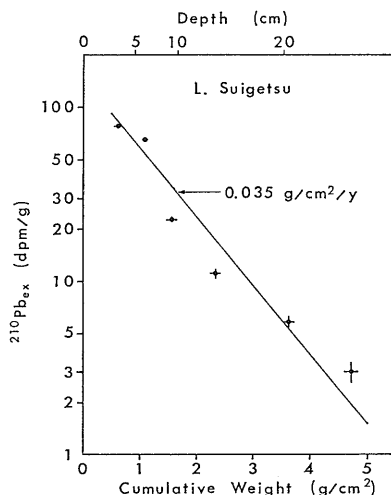
第5図 東京湾中央部 G79-10 地点より採取した底泥中の過剰鉛-210の鉛直分布。直線の傾きから $0.27\text{g}/\text{cm}^2/\text{年}$ の平均堆積速度が求められる。

り この均一層下で $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ は直線的に減少する。直線の傾きから $0.31\text{g}/\text{cm}^2/\text{年}$ の平均堆積速度が得られる。均一表層の堆積するのに 深層での堆積速度から推定して19年要する。この均一表層は 底生生物による混合攪乱によって形成されたものと考えられる⁽⁸⁾。一般に底泥と接する底層水中の溶存酸素量が多い水域では 底生生物による定常的な攪乱があるとみてよい。表層底泥の上下混合としては 波浪や底層流による物理的混合 底引網漁業や船舶による人為的混合等が考えられる。

第7図は 福井県の水月湖の中央部より採取した試料の $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ の鉛直分布である。 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ はほぼ直線的に



第6図 大阪湾中央部47C地点より採取した底泥中の過剰鉛-210の鉛直分布. 表層14cmの過剰鉛-210の一定値は底生生物の混合による. 均一層下で0.31 g/cm²/年の平均堆積速度が求められる.



第7図 水月湖中央部より採取した底泥中の過剰鉛-210の鉛直分布. 堆積速度は0.035 g/cm²/年である.

減少し その傾きから 0.035g/cm²/年の堆積速度が得られる. 得られた堆積速度は 前述の東京湾や大阪湾のそれとくらべると一桁低い値である.

6. おわりに

²¹⁰Pb 法による堆積年代測定は 水域汚染の歴史の解明や汚染物質の堆積速度等の環境科学分野で利用されている⁽⁴⁾. 環境科学のみならず 堆積学や土木工学の分野でも ²¹⁰Pb 法は有用な手法と考えられるので 今後広

く利用されることを望む.

参考文献

- (1) 木越邦彦(1965): 年代測定法. 紀伊国屋 222pp.
- (2) 松本英二(1975): ²¹⁰Pb 法による琵琶湖底泥の堆積速度. 地質学雑誌 81 301—306.
- (3) 松本英二・横田節哉(1978): 大阪湾底泥の堆積速度と重金属汚染 日本海洋学会誌 34 108—115.
- (4) 松本英二(1979): 底質からみた沿岸海域汚染の変遷 地質ニュース 293 27—33.

新刊紹介

変動する海面

地質時代としてはごく最近数万年ほどの間に 私達をとりまく海面は100m以上も低下し その後また急速に上昇して現在のレベルに達した. 本書は 地史の中でも最もドラマチックな現象の一つであるこの海面変動を 豊富な実例や研究史をあげながら解説したものである. 著者は 今さら紹介するまでもなく 世界的に著名な地質学者であるが 第四紀の研究でも先駆的な業績を挙げ しかもこれを 30年もまえから「湖の一生」や「後氷期の世界」など定評のある名著としてまとめ普及してこられた. 本書もこの系列に属するもので 非常に平易な文体で書かれており 読者は本書により 海面変動の持

つロマンを満喫されるであろう. しかしこの本は でき上った体系を述べた教科書ではない. 論争のある問題では 氏独特の舌鋒を浴びながら熱説するもよいであろう. 一般人にはもち論 専門家にもおすすめしたい.

著者 湊 正雄
 発行年月 1980年10月
 発行所 東海大学出版会 東京都新宿区新宿3—27—4
 東海ビル (Tel 03—356—1541)
 規格等 B 6版 縦書き 197 ページ 56 図 11表+付表
 1 1,200円

なお本書は「東海科学選書」の一冊として刊行されている. このシリーズには本書のほかにも地学関係の本が多数あり 地学愛好家として注目すべきシリーズである.