

Pb-210 法による播磨灘の堆積速度

門 谷 茂, 岡 市 友 利

SEDIMENTATION RATES MEASURED IN THE HARIMA-NADA
USING THE Pb-210 DATING METHOD

Shigeru MONTANI and Tomotoshi OKAICHI

Radioactive lead (^{210}Pb), a member of the ^{238}U natural radioactive series, with a half-life of 22.2 years is a most useful time clock for geological processes over past one hundred years.

The sedimentation rate of sea bottom sediments by ^{210}Pb method is determined from the vertical decrease of ^{210}Pb activity (^{210}Pb excess) precipitated from the atmosphere as a function of depth.

The rate of sedimentation of St.9 (northern part) and St.15 (central part) sediments in Harima-Nada, Seto Inland Sea, have been obtained as 0.12 and 0.11 $\text{g cm}^{-2} \text{y}^{-1}$, respectively. These data are comparable with those obtained in other bays and coastal sea areas.

沿岸海域の環境汚染の研究を進める上で、海底堆積物の絶対年代を決定することは、重要不可欠なことのひとつである。

近年、半減期22.2年の放射性鉛 (^{210}Pb) を使用する年代決定法が確立され、その有用性が認められている。そこで、人為汚染の著しい瀬戸内海東部の播磨灘において北部と中央部より柱状堆積物試料を採取し、 ^{210}Pb 法でその堆積速度を測定したところ、それぞれ 0.12, 0.11 $\text{g cm}^{-2} \text{y}^{-1}$ の値を得ることができた。また、他の海域で既に得られている値との比較も行った。

緒 言

海底堆積物の絶対年代を求めることは、堆積量の決定や海洋汚染の歴史を追跡するうえで不可欠なことのひとつである。堆積物の年代測定方法はいくつかあるが、今のところ放射壊変を時計として使う方法が最も信頼できる。

放射性炭素 (^{14}C) は、半減期約 5,700年で、数百年から、3~4万年前までの年代を決定することができるので、沖積堆積物の年代を求めるために良く使われている。しかしながら、海洋環境汚染が問題となるのは、せいぜい過去100年位の期間であるので、放射性炭素法で求めることは不可能である。

この過去100年以内の堆積年代を求める方法として最近注目を集めているのは、KRISHNASWARI ら⁽¹⁾ によって開発された、放射性鉛 (^{210}Pb) を用いる方法である。この ^{210}Pb の半減期は22.2年であり、半減期の約5倍が年代決定の限度であるため、約100年までの堆積年代を求めることができる。

この方法は、日本では松本によって琵琶湖⁽²⁾ 宍道湖⁽³⁾ の堆積速度の測定に取入れられた。この後、松本・横田^(4,5,6)、松本・富樫⁽⁷⁾、星加・塩沢⁽⁸⁾、松本⁽⁹⁾、星加⁽¹⁰⁾、MATSUNAGA and HANDA ら⁽¹¹⁾ によって、内湾や沿岸海域の堆積速度の測定値が次々と提出されている。

本論文では、北部沿岸海域に重化学工業を中心とする大コンビナートがあり、人口の集中化と相まって、産業・生活廃水等による汚染が深刻化するとともに、赤潮による漁業被害が頻発している播磨灘において、海域への陸起源物質負荷の履歴や富栄養化の歴史を解明する有効な手段の一つとして、 ^{210}Pb 法を用いて堆積速度を決定することを試みた。

試料および方法

1. 堆積物試料の採取と含水率・真比重および間隙率の測定

Fig. 1 に示す播磨灘の北部 (St. 9), 中央部 (St. 15) においてそれぞれ1982年11月18日, 12月10日に採取した柱状堆積物を, 船上で適当間隔に切断後, 冷蔵して実験室に持ち帰った。

この堆積物の層別試料について, 湿重量で 3g を秤量瓶に精秤し, 110°C 以下で 5 時間程度乾燥し, 恒量に達した後乾重量を測定し含水率を求めた。

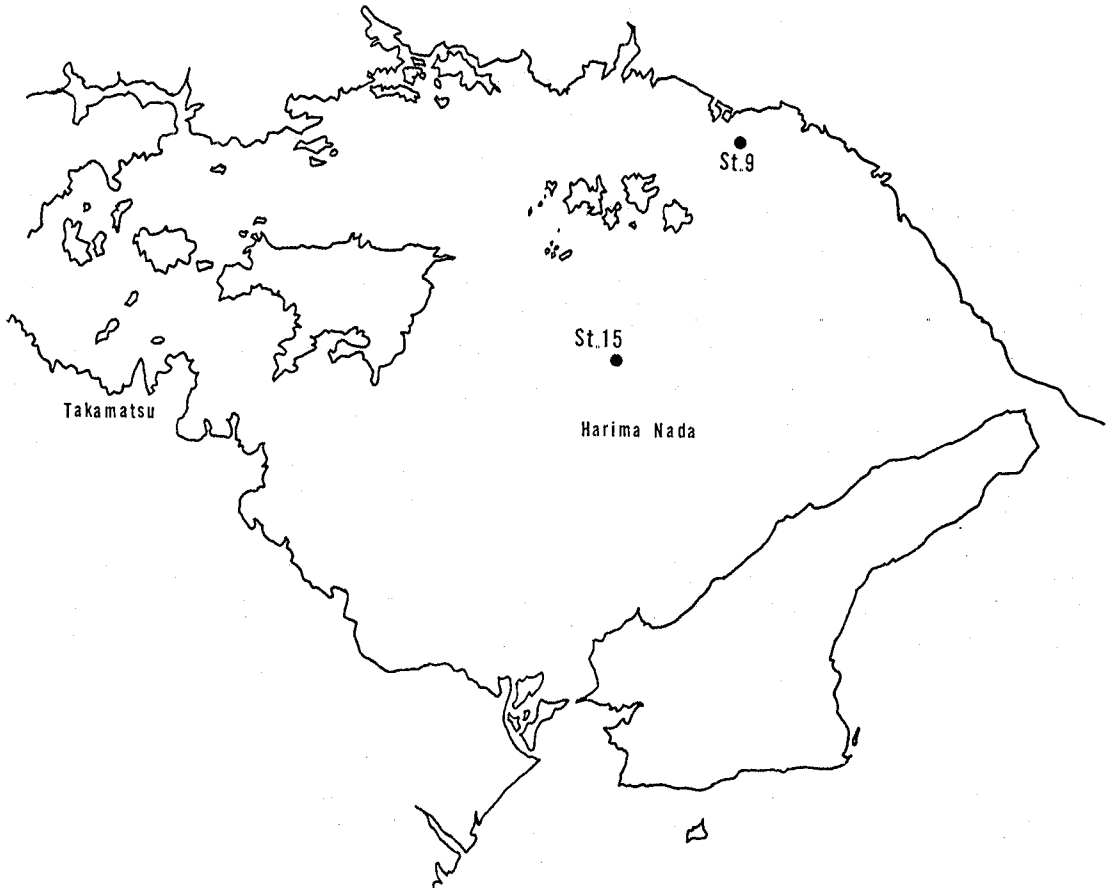


Fig. 1. Locations of sediment core sampling stations in Harima-Nada, Seto Inland Sea.

また, 別に凍結乾燥後粉末状にしておいた試料約 10g を, 250ml 容遠沈管に取り, イオン交換水 100ml を加えてよく攪拌し, 静置後遠心分離 (3,000rpm. 15min.) してから上澄液を静かに捨て去った。この操作を 2 回繰り返して脱塩処理を行った後, 堆積物は再び凍結乾燥し粉末状にした。この試料について, それぞれピクノメーターを用いて堆積物の真比重を測定した。

堆積物の間隙率は, 含水率および堆積物と間隙水の密度から次式 (1) によって求めた。

$$\phi = \frac{\omega / \rho_i}{\omega / \rho_i - \omega / \rho_s + 100} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで, $\left\{ \begin{array}{l} \phi : \text{間隙率} \\ \rho_i : \text{間隙水の密度 (g cm}^{-3}\text{)} \\ \rho_s : \text{堆積物の真比重 (g cm}^{-3}\text{)} \\ \omega : \text{含水率 (\%)} \end{array} \right.$

ただし、間隙水の密度は、現場における海水の塩分量から計算して求めた値、1.02を用いた。

2. ^{210}Pb 測定法

^{210}Pb の分析は、MAISUMOTO と WONG⁽¹²⁾ の方法に従って行った。この分析手順の詳細については Fig. 2 に示した。 ^{210}Pb 濃度は、 ^{210}Pb の β 線最大エネルギーが 0.017 MeV と小さい為、 ^{210}Pb の娘核種である ^{210}Bi の生成を待ち、 ^{210}Pb と ^{210}Bi が放射平衡に達する約40日後に、 ^{210}Bi の β 線 (1.17 MeV) を低バックグラウンド・ガスフローカウンター (ICN トレーサーラボ社製) を用いて測定することにより求めた。

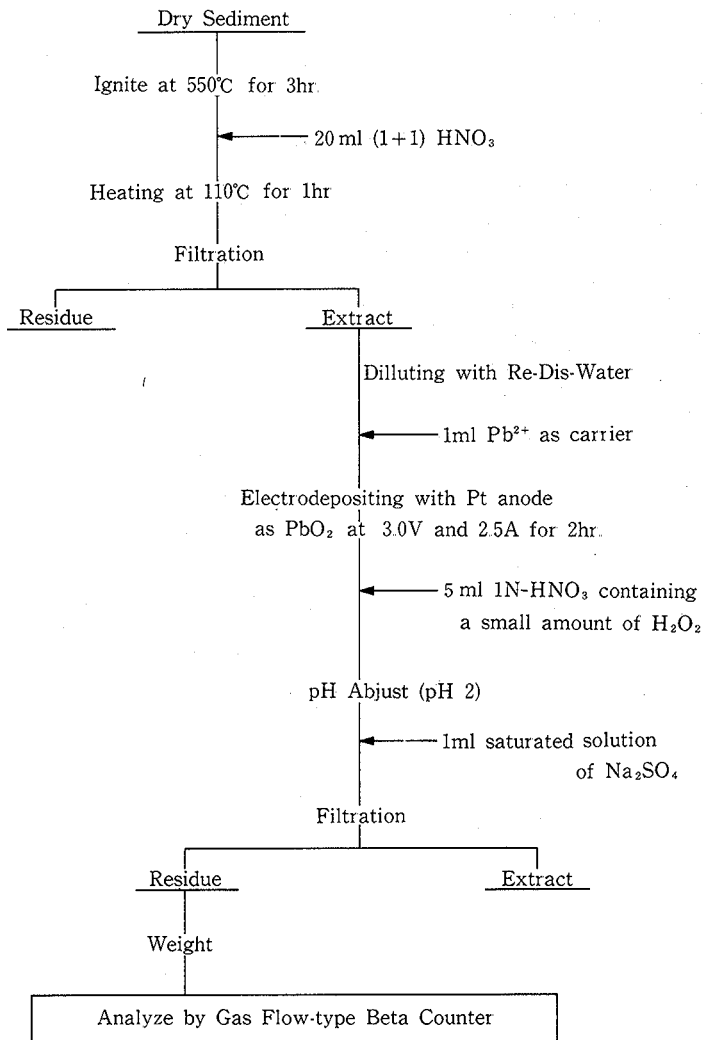


Fig. 2. Flow diagram of ^{210}Pb analysis.

3. ^{210}Pb 法による堆積速度測定法

底泥表面から深さ Z (cm) までの単位面積当りの堆積積算重量 W (g cm^{-2}) は、間隙率 ϕ 、堆積物粒子の真比重 ρ_s によって次式 (2) から求めることができる。

$$W = \int_0^z (1-\phi) \cdot \rho_s \cdot dz \quad \dots\dots\dots (2)$$

この W を用いると、深さ Z における ^{210}Pb 濃度 $A(W)$ (dpm g^{-1}) は、次の様に示される。

$$A(W) = \{A(0) - A(\infty)\} \exp(-\lambda W/\omega) + A(\infty) \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 λ は ^{210}Pb の壊変定数 (0.0311 y^{-1})、 ω は堆積速度 ($\text{g cm}^{-2} \text{ y}^{-1}$)、 $A(\infty)$ は ^{210}Pb 含量が一定量に達する深さでの値で、堆積物中にバックグラウンドとして含まれる ^{210}Pb 濃度である。いま、 $\{A(W) - A(\infty)\}$ の値を $A_{ex}(W)$ とし、 $A_{ex}(W)$ を $A_{ex}(0)$ とすると、(3)式は次の様に書き改めることができる。

$$A_{ex}(W) = A_{ex}(0) \exp(-\lambda W/\omega) \quad \dots\dots\dots (4)$$

従って、堆積重量 W に対して $\log A_{ex}(W)$ をプロットすれば、直線の傾きから堆積速度 ω が求められる。この ω ($\text{g cm}^{-2} \text{ y}^{-1}$) と、通常使われる堆積速度 S (cm y^{-1}) の関係は、次の(5)式で示される。

$$\omega = S \cdot (1-\phi) \rho_s \quad \dots\dots\dots (5)$$

結果および考察

播磨灘の St. 9, 15 の堆積物について測定された ^{210}Pb 濃度と空隙率をそれぞれ Table 1, 2 に示した。柱状堆積物試料は、それぞれ 34 cm, 52 cm の深度まで採取することができ、St. 9 では 19 cm, St. 15 では 27 cm 以深で ^{210}Pb 濃度は一定値 (バックグラウンド値 = $^{210}\text{Pb}_{sup.*}$) を示した。そこで、これらの値、0.59 (St. 9), 0.47 (St. 15)

Table 1. Content of ^{210}Pb and porosity in St.9 sediment core samples

Depth (cm)	Total ^{210}Pb (dpm g^{-1})	$^{210}\text{Pb}_{ex}$ (dpm g^{-1})	Porosity
0-2	2.33±0.10	1.74±0.13	0.842
2-4	2.01±0.10	1.42±0.13	0.793
4-6	1.65±0.10	1.06±0.13	0.746
6-8	1.40±0.09	0.81±0.12	0.739
8-10	1.07±0.09	0.48±0.12	0.720
10-13	1.00±0.09	0.41±0.12	0.714
13-16	0.89±0.08	0.30±0.11	0.718

Table 2. Content of ^{210}Pb and porosity in St.15 sediment core samples

Depth (cm)	Total ^{210}Pb (dpm g^{-1})	$^{210}\text{Pb}_{ex}$ (dpm g^{-1})	Porosity
0-2	3.26±0.11	2.79±0.14	0.906
2-4	4.03±0.27	3.56±0.28	0.854
4-6	2.46±0.10	1.99±0.13	0.838
6-8	2.36±0.10	1.89±0.13	0.835
8-10	1.95±0.10	1.48±0.13	0.830
10-12	1.38±0.09	0.91±0.12	0.812
12-14	0.81±0.08	0.34±0.11	0.828
14-16	0.82±0.08	0.35±0.11	0.829
16-18	0.89±0.08	0.42±0.11	0.812
18-20	0.77±0.08	0.30±0.11	0.817
20-22	0.77±0.08	0.30±0.11	0.812
22-24	0.70±0.08	0.23±0.11	0.806

* (3)式の $A(\infty)$ の値

dpm g^{-1} を用いて各層の $^{210}\text{Pb}_{ex}$ を計算した。

前述した方法で求めた $^{210}\text{Pb}_{ex}$ の鉛直分布を Fig. 3, 4 に示した。両地点とも, $^{210}\text{Pb}_{ex}$ は表面から直線的に減少しており, その傾きから St. 9 では $0.12 \text{ g cm}^{-2} \text{ y}^{-1}$, St. 15 では $0.11 \text{ g cm}^{-2} \text{ y}^{-1}$ の堆積速度が得られた。

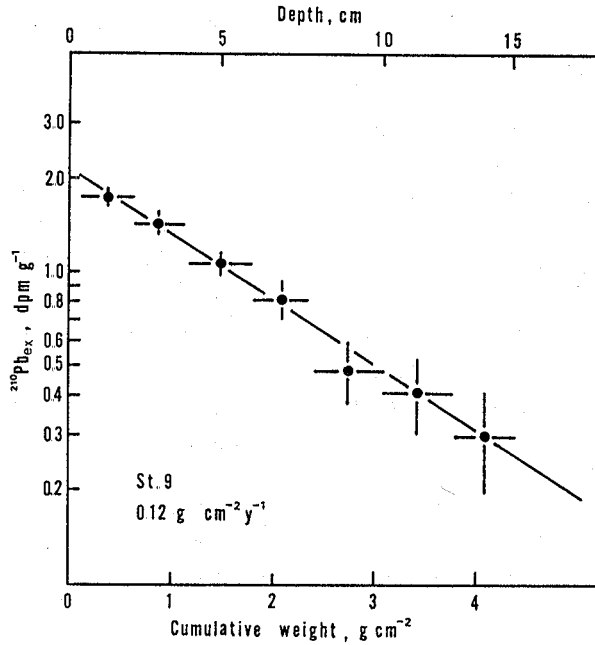


Fig. 3. The $^{210}\text{Pb}_{ex}$ profile of sediment core against cumulative weight at St. 9.

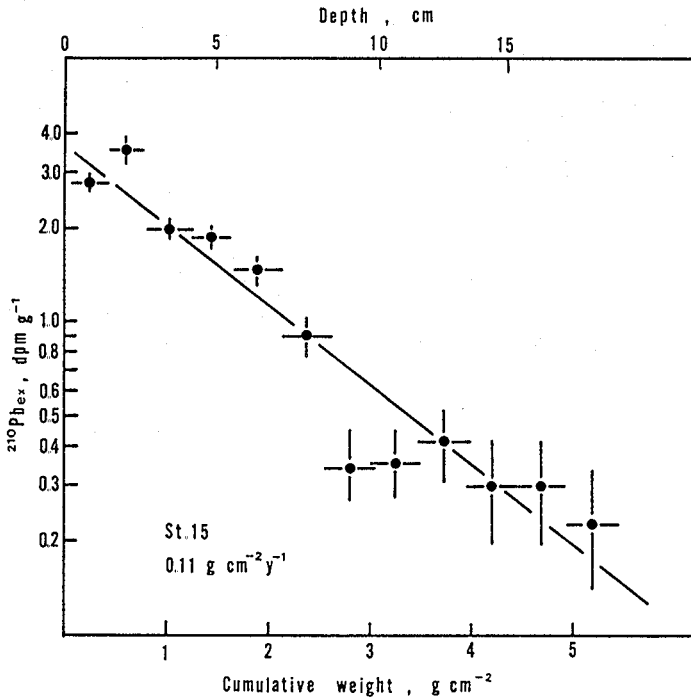


Fig. 4. The $^{210}\text{Pb}_{ex}$ profile of sediment core against cumulative weight at St. 15.

これらの堆積物の間隙率の平均値は、それぞれ 0.75 (St. 9), 0.83 (St. 15) であるから、前述した値は、式(5)より 0.19 cm y^{-1} (St. 9), 0.26 cm y^{-1} (St. 15) の堆積速度に相当する。つまり、20~30 cm の柱状堆積物試料が得られれば、その中には播磨灘の周辺で起った明治以来の日本の近代化の歴史が刻まれており、我々は、そのレコードを聞くことができる。

Table 3 には、日本の内湾域で既に報告されている ^{210}Pb 法による堆積速度の測定値をまとめてみた。この中で、東京湾では $0.60 \text{ g cm}^{-2} \text{ y}^{-1}$ と最も速い堆積速度が観測されているが、あとはおしなべて、 $0.1\sim 0.3 \text{ g cm}^{-2} \text{ y}^{-1}$ の範囲に集中しており、海域毎の変化は予想される程大きくない様である。しかしながら、観測値が増えるに従い各海域の中では、場所により堆積速度に差が認められる様になり、堆積速度はその海域毎の潮流系等によって大きく支配されているものと思われる。

今後これらの値を用いて、日本の沿岸海域がかつて正常な環境におかれていた時代から現在の状況に至るまでの経緯、陸上からの負荷による汚染の程度等を明らかにしてゆくことが必要となってくるであろう。

Table 3. Comparison of sedimentation rates observed with various coastal basins

Area	Sedimentation Rate	Reference
	($\text{g cm}^{-2}\text{y}^{-1}$)	
Funka Bay	0.06-0.22	(7)
Tokyo Bay	0.06-0.60	(9)
Mikawa Bay	0.21-0.24	(11)
Osaka Bay	0.31	(6)
Harima Nada	0.11-0.33	(10) This work
Hiuchi Nada	0.15	(6)
Kure Bay	0.26	(8)
Beppu Bay	0.09	(6)

最後に、 ^{210}Pb の測定法の御教示をいただくとともに、必要な機器使用の便宜をはかっていただいた、中国工業技術試験所の星加章・塩沢孝之両氏に厚くお礼を申し上げる。また、試料採取および分析の一部を手伝っていただいた本学、海水利用学講座の専攻生、多田邦尚・和泉知加子の両氏に深く感謝する次第である。

引用文献

- (1) KRISHNASWAMI, S., D. LAL, J. M. MARTIN and M. MEYBECK (1971). Geochronology of lake sediments. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **11**, 407-414.
- (2) 松本英二 (1975). ^{210}Pb 法による琵琶湖底泥の堆積速度. *地質学雑誌*, **81**, 301-306.
- (3) MATSUMOTO, E. (1975). ^{210}Pb geochronology of sediments from Lake Shinji. *Geochem. J.*, **9**, 161-172.
- (4) 松本英二, 横田節哉 (1977). 底泥からみた東京湾の汚染の歴史. *地球化学*, **11**, 52-57.
- (5) 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.
- (6) 松本英二, 横田節哉 (1980). 瀬戸内海における堆積と底質汚染. *海と空*, **56**, 135-143.
- (7) 松本英二, 富樫茂子 (1980). 噴火湾における堆積速度. *日本海洋学会誌*, **35**, 261-267.
- (8) 星加章, 塩沢孝之 (1982). 堆積物からみた呉湾の汚染の歴史. *中国工業技術試験所報告*, No. **18**, 9-18.
- (9) 松本英二 (1982). 赤潮による底質汚染機構に関する研究. *産業公害防止技術*, 日本産業技術振興協会, 179-189.
- (10) 星加章, 塩沢孝之, 松本英二 (1983). 播磨灘における堆積速度と重金属汚染. *日本海洋学会誌*, **39**, 82-87.
- (11) MATSUNAGA, K. and N. HANDA (1983). Degradation rates of organic matter in the sediment from Mikawa Bay. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **39**, 101-109.
- (12) MATSUMOTO, E. and C. S. WONG (1977). Heavy metal sedimentation in Sannich Inlet measured with ^{210}Pb technique. *J. Geophys. Res.*, **82**, 5477-5482.

(1984年5月31日 受理)