

## 兵庫県摩耶埠頭ボーリングコアから得られた 貝化石のESR年代

吉田 大一郎<sup>1)</sup>・手島 豊志<sup>1)</sup>・山中 千博<sup>1)</sup>・加藤 茂弘<sup>2)</sup>

### ESR Dating of Fossil Shells from Maya-Wharf Boring Core in Hyogo Prefecture

Dai-ichiro, YOSHIDA<sup>1)</sup>, Toyoshi, TESHIMA<sup>1)</sup>, Chihiro, YAMANAKA<sup>1)</sup>  
and Shigehiro, KATO<sup>2)</sup>

#### Abstract

Twelve fragments of fossil shells were sampled from the Ma8, Ma10, and Ma12 marine clay beds of the Maya-Wharf boring cores in Hyogo Prefecture, western Japan, and dated by ESR. Total doses of the fossil samples were determined by an additive dose method with exponential fitting. Annual dose rates were calculated based on the contents of <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th, and <sup>40</sup>K in the sediments around the fossils. Because of disequilibrium between <sup>238</sup>U and <sup>226</sup>Rn and excess of <sup>210</sup>Pb, annual dose rates were recalculated for individual samples considering <sup>222</sup>Rn-loss and contribution of the <sup>210</sup>Pb excess, in addition to correction of water content of the sediments and of thickness of the fossil shells.

The ESR dates thus obtained were  $92 \pm 15$  to  $127 \pm 20$  ka for the Ma12,  $216 \pm 45$  to  $322 \pm 79$  ka for the Ma10, and  $227 \pm 65$  to  $246 \pm 41$  ka for the Ma8. The former two dates are consistent with the previously estimated ages of the Ma12 and Ma10, while the latter dates are much younger than ages of the Ma8 estimated based on the fission-track age of an intercalated tuff and correlation with marine oxygen isotope stages.

The younger ESR dates for the Ma8 are considered to arise from the following reasons: underestimations of total doses due to extension of ESR-signals by the higher-rate radioisotope addition to the saturated fossil shell samples, and overestimation of annual doses based on limited sediment samples. Although such problems remain, our results suggest the possibility of systematic ESR dating of fossil shells in long boring core sediments.

**Key words** : ESR dating, fossil shell, marine clay beds, Maya - Wharf boring core, Hyogo Prefecture

#### はじめに

近畿地方に広く分布する大阪層群・段丘堆積層・沖積層には、Ma-1層、Ma0層、Ma1層～Ma13層の15層の海成粘土層が挟まれることが明らかにされてきた(市原編, 1993など)。近年では、広域テフラとの対比、古地磁気層序、シーケンス層序などに基づいて、これらの海成粘土層と酸素同位体ステージ(以下ではMISと略記)

との対比が盛んに行われ、大きく2つの対比案がまとめられている(増田, 1993, 1997; Machida, 1999)。

これらの対比案では、Ma1層～Ma6層およびMa11層～Ma13層の海成粘土層とMISとの対比は一致しているが、Ma7層～Ma10層とMISとの対比は異なっている(表1)。シーケンス層序を重視した増田(1993, 1997)は、Ma7層がMIS14中の亜間氷期的な海面上昇期に、その上位のMa8層～Ma10層が間氷期的な海面上昇期に、それ

<sup>1)</sup> 大阪大学大学院 理学研究科宇宙地球科学専攻 Department of Earth and Space Science, Osaka University, Machikaneyama 1-1, Toyonaka, 560-0043 Japan

<sup>2)</sup> 兵庫県立人と自然の博物館 地球科学研究部 Division of Earth Sciences, Museum of Nature and Human Activities, Hyogo, Yayoigaoka 6, Sanda, 669-1546 Japan

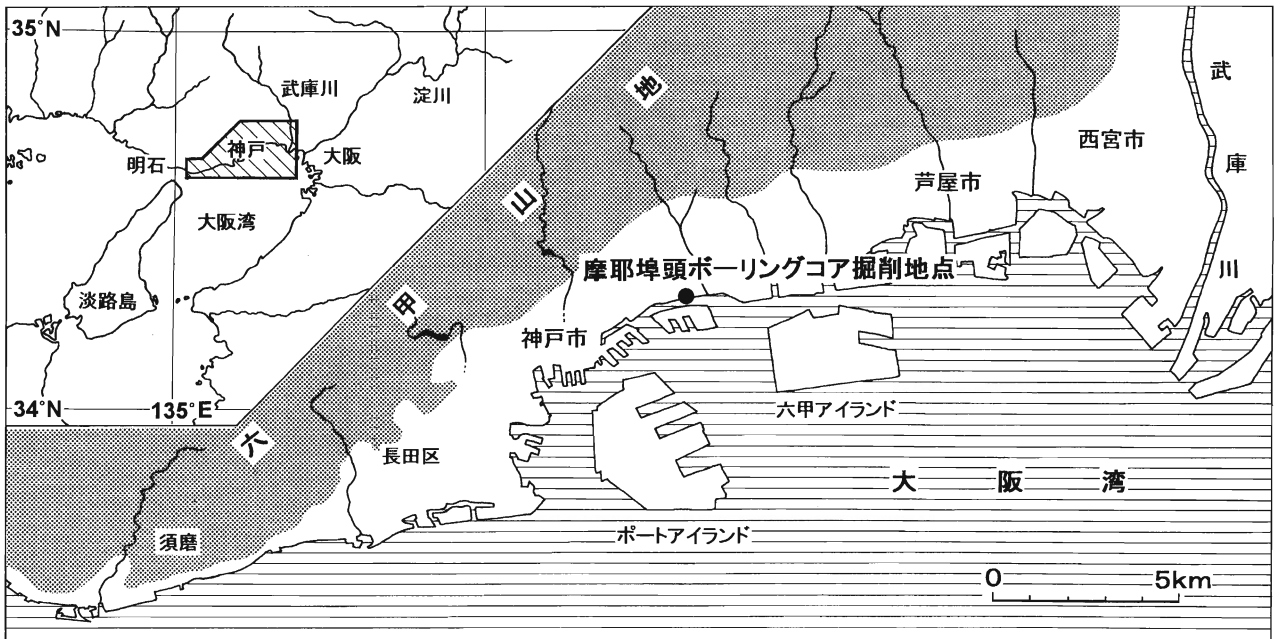


図1. 摩耶埠頭ボーリングコアの掘削地点.

表1. 大阪層群・段丘堆積層・沖積層の海成粘土層と酸素同位体ステージ (MIS) との比較.

下線部は対比の異なる海成粘土層の層準. 酸素同位体ステージの年代は Bassinot *et al.* (1994) に基づく. なお, 増田 (1997) が Ma 7 に対比した MIS14 中の亜間氷期的なピークは Bassinot *et al.* (1994) の MIS13-3 に相当する.

増田 (1997)	酸素同位体ステージ(MIS)		Machida (1999)
	MIS No.	年代(Ma)	
Ma13	1	0.01-	Ma13
Ma12	5-5	0.12-0.13	Ma12
Ma11	7-1,3	0.18-0.22	Ma11
	7-5	0.24-0.25	<u>Ma10</u>
<u>Ma10</u>	9-3	0.32-0.33	<u>Ma9</u>
<u>Ma9</u>	11-3	0.40-0.41	<u>Ma8</u>
<u>Ma8</u>	13-1	0.48-0.50	<u>Ma7</u>
<u>Ma7</u>	14(13-3)	0.52-0.53	
Ma6	15	0.57-0.62	Ma6
Ma5	17-3	0.68-0.69	Ma5
Ma4	19-3	0.77-0.79	Ma4
Ma3	21	0.82-0.86	Ma3
Ma2	25	-	Ma2
Ma1	31	-	Ma1
Ma0	33	-	

ぞれ堆積したと考え, 後者を順に MIS13, 11, 9 に対比した. 一方, 広域テフラの対比に基づいた Machida (1999) は, Ma10 層と Ma11 層がともに MIS7 の海面上昇期に堆積したとし, 下位の Ma7 層 ~ Ma9 層を, 順に MIS13, 11, 9 にそれぞれ対比している. このため両対比案においては, Ma8 層 ~ Ma10 層の堆積年代に 8 万年

から 9 万年もの違いが生じている.

こうした差異を生んだ要因の 1 つは, 大阪層群の MIS7 ~ MIS13 に相当する時代の堆積層に, 十分な精度を持つ年代層準が与えられていないことにある. 後述するように, ピンク火山灰やアズキ火山灰では, K-Ar 法や高精度フィッシュン・トラック年代測定法により精度の高い放射年代が得られ, Ma4 層中にはブリュヌー-松山境界が識別された. しかし, その上位の層準では, 高精度の放射年代が得られる火山灰層がほとんど無く, 深海底コアにおいても識別できる比較的長期の古地磁気エクスカッションも認められていない.

ところで, 1995 年兵庫県南部地震を契機として, 兵庫県は, 伏在活断層の有無, 地盤特性の把握と地震被害との関係を明らかにするため, 阪神地域活断層調査委員会を発足させた. 同委員会は, 1996 年に神戸港摩耶埠頭で, 掘削長 583 m に達する深層ボーリング (以下, 摩耶埠頭ボーリングコアと略称) を掘削している.

摩耶埠頭ボーリングコアは, Ma1 層 ~ Ma10 層の海成粘土層を挟む大阪層群と Ma12 層を挟む段丘堆積層, および Ma13 層を挟む沖積層をカバーし, 火山灰分析や古地磁気測定により, その堆積年代の概要が判明している (竹村ほか, 1997). また, このコアの最も大きな特徴として, 大半の海成粘土層中に, 保存状態が良好な貝化石が多く含まれていることが指摘されている (加藤・小林, 1997).

本研究では, この深層ボーリングコアに含まれる貝化石を用いて ESR 年代測定を実施し, 大阪層群の海成粘土層と MIS との対比について, 有効な年代資料を提供できるかどうか検討することを目的の 1 つとした. 陸上の露頭から得られた中期更新世の貝化石の ESR 年代には, い

くつかの研究例がある（例えば、下川ほか、1990）。しかし、ボーリングコアから得られた貝化石のESR年代測定の例は皆無に等しい。そこで、ボーリングコア中の貝化石からも信頼できる年代が得られる可能性を示し、ESR年代測定の対象試料を広げたいと考えた。

本報告では、摩耶埠頭ボーリングコアの、約13～12万年前のMIS5-5に対比される（増田、1997; Machida, 1999 など）Ma12層と、保存状態のより良好な貝化石を多く含むMa10層およびMa8層から、それぞれ貝化石を採取してESR年代測定を行った。そして、ボーリングコア中の貝化石のESR年代測定における問題を考察し、その有効性を、Ma12層の堆積年代やボーリングコアに挟在する火山灰層の放射年代と比較することから検討した。

### 摩耶埠頭ボーリングコアの層序と堆積年代

竹村ほか（1997）に基づき、摩耶埠頭ボーリングコアの層序概要を述べる。摩耶埠頭ボーリングコアは、神戸市灘区摩耶埠頭（図1；北緯34°41′48″，東経135°13′51″，標高2.1m）において主にワイヤーライン工法で掘削され、深度583mまでの地層が採取された。

堆積物全体は塊状青灰色粘土と粗粒堆積物（砂層と砂泥互層）の互層から構成され、12枚の海成粘土層と32枚の火山灰層を挟む（図2）。このうち6枚の火山灰層が、上位より順に、八田ないし和田火山灰、カスリ火山灰、アズキ火山灰、山田火山灰（2層準）、およびピンク火山灰に対比された。また古地磁気測定からは、下位から4番目の海成粘土層の中部にブリュンヌー松山境界（0.78Ma；Cande and Kent, 1995）が識別された。以上の火山灰の対比と古地磁気層序に基づき、12枚の海成粘土層は、それぞれ下位より順に、大阪層群中の海成粘土Ma1層からMa10層、段丘堆積層中のMa12層、および沖積層中のMa13層に対比されている（図2）。

対比された6枚の火山灰の層準とこれまでの推定噴出年代は、次の通りである（図2）。八田ないし和田火山灰はMa9層最上部に挟在し、 $0.34 \pm 0.09$  Maのフィッシュン・トラック年代（以下ではFT年代と略記）を示す（Suzuki, 1983）。カスリ火山灰はMa8層中部に挟在し、 $0.42 \pm 0.08$  MaのFT年代を示す（鈴木, 1988）。Ma3層中部に挟まれるアズキ火山灰層は中部九州の今市火砕流堆積物に対比され（鎌田ほか, 1994）、この火砕流の強溶結部（本質レンズ）からは、 $0.85 \pm 0.03$  Maの全岩K-Ar年代が得られている（NEDO, 1989）。

さらに、Ma1層直上に挟まれるピンク火山灰は、中部九州の耶馬溪火砕流堆積物に対比されている（檀原ほか, 1992）。この火山灰はハラミロ・イベント（0.99-1.07Ma；Cande and Kent, 1995）に噴出したとされ（Maenaka, 1979, 1983）、 $1.00 \pm 0.04$  Maの高精度FT年代が得ら

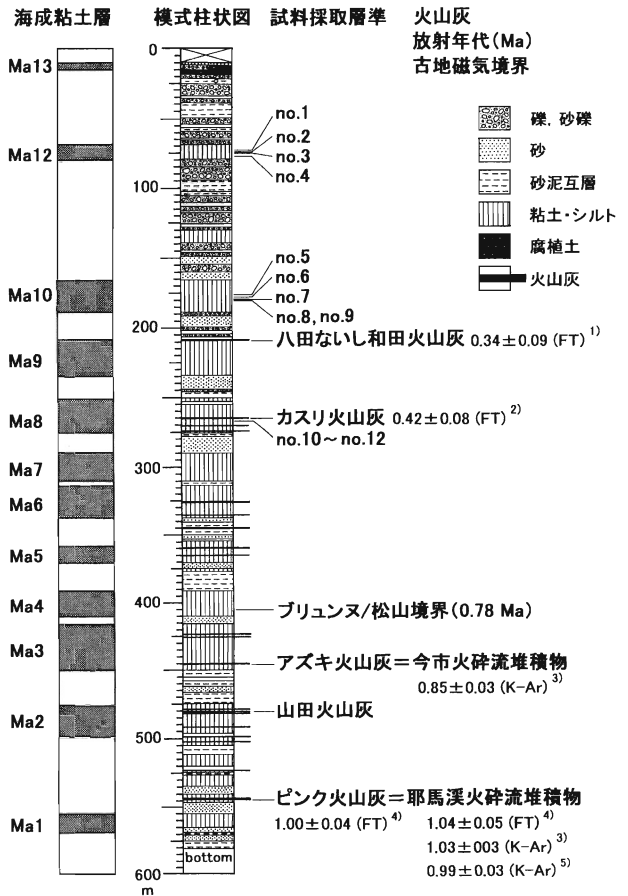


図2. 摩耶埠頭ボーリングコアの地質柱状図（竹村ほか、1997に加筆・修正）。

放射年代は1) Suzuki (1983), 2) 鈴木 (1988), 3) NEDO (1989), 4) 檀原ほか (1997), 5) 宇都・須藤 (1985) による。年代値の( )は測定方法で、K-Arはカリウム・アルゴン法を、FTはフィッシュン・トラック法を示す。番号を付した矢印は、ESR年代測定用試料（貝化石）の採取層準。

れている（檀原ほか, 1997）。一方、これに対比される耶馬溪火砕流堆積物は、 $0.99 \pm 0.03$  Ma（宇都・須藤, 1985）と $1.03 \pm 0.03$  Ma（NEDO, 1989）のK-Ar年代、および $1.04 \pm 0.05$  Maの高精度FT年代（檀原ほか, 1997）を示す。

### 年代測定試料

年代測定試料として、摩耶埠頭ボーリングコアのMa12層から4点（深度72.90, 74.11, 74.38, 75.55mより各1点；nos.1～4）、Ma10層から5点（深度176.46, 176.52, 176.60mより各1点、深度179.06mより2点；nos.5～9）、Ma8層から3点（深度266.90m；nos.10～12）の、合計12点の貝化石破片を採取した（図2および表2）。いずれも二枚貝の破片で、全長5mmに満たないものから、5～6cmのものまでが得られた。

貝化石の大半は原形をとどめておらず、7試料（nos.1～3, 7, 9～11）については、同層準にあるいくつかの

表2. 試料の採取層準と総被曝線量.

貝化石の厚さは同深度の貝化石10点程度の平均値.

試料番号	深度 (m)	貝の厚さ (mm)	直線回帰			飽和曲線回帰		
			等価線量 (Gy) (De)	誤差 (Gy) ±	R <sup>2</sup>	等価線量 (Gy) (De)	誤差 (Gy) ±	R <sup>2</sup>
no.1	72.90	0.78	308	40	0.98557	167	28	0.99672
no.2	74.11	0.71	328	23	0.99551	232	27	0.99854
no.3	74.38	0.70	344	28	0.99328	233	37	0.99717
no.4	75.55	0.63	332	28	0.99288	201	10	0.99975
no.5	176.46	1.20	531	57	0.98199	330	103	0.98791
no.6	176.52	1.20	600	58	0.98438	300	63	0.99519
no.7	177.60	1.28	474	31	0.99388	380	115	0.99104
no.8-1	179.06	1.24	524	40	0.99092	341	69	0.99515
no.8-2	179.06	1.24	611	46	0.98978	347	42	0.99806
no.8-3	179.06	1.24	586	39	0.99249	447	110	0.99406
no.9	179.06	1.24	443	18	0.99781	352	90	0.99351
no.10	266.90	1.26	438	30	0.99412	345	99	0.99127
no.11	266.90	1.26	467	47	0.98638	367	126	0.98766
no.12	266.90	1.26	531	43	0.99384	374	63	0.99794

小破片を寄せ集めて、それぞれ1試料とした。一方、no.8の貝化石は十分な大きさを有していたので3等分し、それぞれを年代測定試料とした (nos.8-1~8-3; 表2)。なお、7試料 (nos.3, 4, 6, 8-1, 8-2, 11, 12) をX線回折にかけ貝化石の変質状況を調べた結果、これら全ての試料がアラレ石の結晶構造を持つことが示された。

## 方 法

結晶が浴びつづけてきた自然放射線の総被曝線量をDe (Gy)、年間線量率をD (Gy/year = Gy/a)、年代をT (year) とすると、総被曝線量Deは  $De = D \times T$  で与えられる。本研究では、貝化石の総被曝線量を付加線量法により測定し、年間線量率は、 $\gamma$ 線検出器を用いて測定した試料周囲の堆積物中の自然放射性同位体含有量から算出した。そして、これらの値を用いて、試料のESR年代 ( $T = De/D$ ) を求めた。

### ESR 総被曝線量

ESR年代測定では、自然放射線誘起欠陥をESRにより定量的に評価し、 $\gamma$ 線を人為照射することで総被曝線量 (実験的には等価線量De) を求める。

得られた分析試料はまず、超音波洗浄により付着した泥や汚れをとり、100~250  $\mu$ mに粉碎した。その後0.1 N酢酸によって5~7分のエッチングを施した。これにより試料表面における $\alpha$ 線の寄与を無視できる (Ikeya,

表3. 堆積物試料の与える年間線量率.

注) たとえば<sup>238</sup>U系列の年間線量率は

$$DU = DU_{\alpha} + k_{\beta} * DU_{\beta} + DU_{\gamma}$$

で与えられる。DU $_{\alpha}$ はエッチングにより0。k $_{\beta}$ は $\beta$ 減衰のパラメータで貝厚に依存する ( $0 < k_{\beta} \leq 1$ )。

深度 (m)	<sup>238</sup> U 濃度 (ppm)	<sup>232</sup> Th 濃度 (ppm)	K <sub>2</sub> O 濃度 (%)	含水率 (%)	年間線量率 (mGy/a) ( <sup>222</sup> Rnロス 100% + <sup>210</sup> Pb 以下)
74.11	8.0	18.1	2.8	41.1	1.82~1.86
176.60	8.5	14.3	2.6	46.5	1.39
266.90	8.3	15.3	2.4	40.5	1.52

1993)。次に試料を100mgずつ6等分し (ただし、nos.4, 6は5等分、no.12は4等分)、それぞれ67~800Gyあるいは130~800Gyの $\gamma$ 線をあて、照射の前後でCO<sub>2</sub>信号強度の伸びをみた (図3および図4)。使用した線源は<sup>60</sup>Coで、照射率は13.4Gy/hであった。信号強度の測定は、日本電子製RE1Xを用い、マイクロ波出力1~5 mW、モジュレーション幅0.1 mTにて行った。

一般に信号の伸びは、若い年代試料では直線的であるが、古い年代試料では飽和曲線 (指数曲線) で延びる。そのため等価線量は、直線および飽和曲線のそれぞれに回帰して求めた (表2および図4)。

### 年間線量率の評価

まず試料周囲の堆積物に含まれる<sup>238</sup>U、<sup>232</sup>Th、<sup>40</sup>Kの濃度を測定し、それを外部線量に換算した (Nambi and Aitken, 1986; Ogoh *et al.*, 1993)。堆積物は、乳鉢中で乳棒を用いてパウダー状にした後、プラスチックケースに入れて密閉し、 $\gamma$ 線検出器で92.4および92.8KeV (<sup>238</sup>Uに対応)、911KeV (<sup>232</sup>Thに対応)、1460KeV (<sup>40</sup>Kに対応)の毎分カウント数を調べた。このカウント数を標準試料UK standard (<sup>238</sup>U:497.5ppm, <sup>40</sup>K:13.845%) および地質調査所試料JR2 (<sup>232</sup>Th:32.2ppm) と比較し、<sup>238</sup>U、<sup>232</sup>Th、<sup>40</sup>Kの濃度を求めた (表3)。

次に外部線量を求める際に用いた $\gamma$ 線検出器と標準試料 (UK standard) で、堆積物と同様に、3試料 (nos.1, 8-2, 11) の混合物を対象として貝化石自体に含まれる<sup>238</sup>Uの濃度を調べた。貝化石の<sup>238</sup>U濃度は0.4ppmで、堆積物の<sup>238</sup>U濃度の約1/20であった。この値から $\alpha$ 粒子による生成効率k ( $\approx 0.1$ )を用いて、内部線量が年代値に及ぼす影響を試算したが、no.4を除く全ての試料に対して誤差範囲内にあった。そこで、内部線量による寄与は無視できるものと考え、外部線量のみから年間線量率

表4. ラドン損失と過剰<sup>210</sup>Pbを仮定して求められた各試料のESR年代値.

試料番号	深度(m)	年間線量率 (mGy/a)	年代 (ka)	誤差 (ka)
no.1	72.90	1.82	92	15
no.2	74.11	1.83	127	15
no.3	74.38	1.83	127	20
no.4	75.55	1.86	108	5
no.5	176.46	1.39	237	74
no.6	176.52	1.39	216	45
no.7	177.60	1.39	273	83
no.8-1	179.06	1.39	245	50
no.8-2	179.06	1.39	322	30
no.8-3	179.06	1.39	253	79
no.9	179.06	1.39	227	65
no.10	266.90	1.52	227	65
no.11	266.90	1.52	241	83
no.12	266.90	1.52	246	41

を求めることにした.

以上のγ線エネルギー解析により、堆積物において<sup>238</sup>U~<sup>226</sup>Ra非平衡、および過剰<sup>210</sup>Pbが認められた。このため、正確な年間線量率やラドン損失は不明である。そこで地下水に溶けた<sup>226</sup>Raや<sup>222</sup>Raが<sup>210</sup>Pbとして析出したと考え、100%ラドン損失の年間線量率と<sup>210</sup>Pb以下の年間線量率の和を、暫定的な年間線量率として求めた(表3)。

また阪神地域活断層調査委員会(1996)による自然含水比のデータを用いて、含水率の補正(Zimmerman, 1971)を行った。含水率は、貝化石採取層準の岩相と一致する層準について得られた自然含水比を採用した。すなわち、Ma12層では深度74.85~74.95m(平均深度74.90m)の自然含水比41.1%を、Ma10層では深度179.80~179.90m(平均深度179.85m)の自然含水比46.5%を、Ma8層では深度269.85~269.95m(平均深度269.90m)の自然含水比40.5%を用いた(表3)。さらに貝化石の厚みに伴うβ線減衰は、試料と同深度にあった貝化石破片10点程度の厚さの平均値(表2)から、Mejdahl(1979)のデータを用いて補正した。最終的に各試料について算出された年間線量率は、表4に示した通りである。

### 結果および考察

1試料(no.5)についてアニーリング実験を行ったところ、測定した格子欠陥の寿命が約10~30万年(15°C

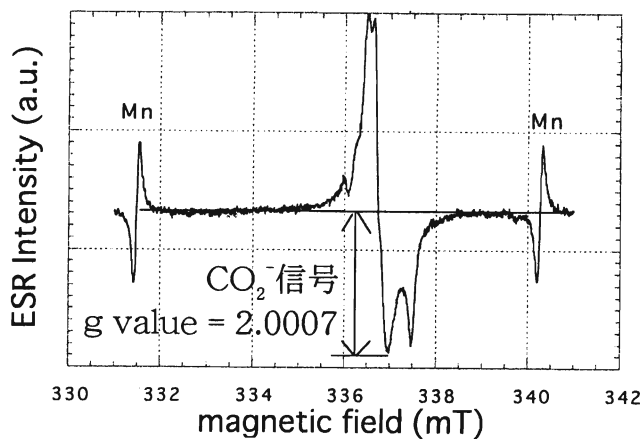


図3. 貝化石試料のESRスペクトル。吸収スペクトルの一次微分形をとっている。図中の矢印の高さをもって信号強度とした。両端の信号はMnマーカーのもの。

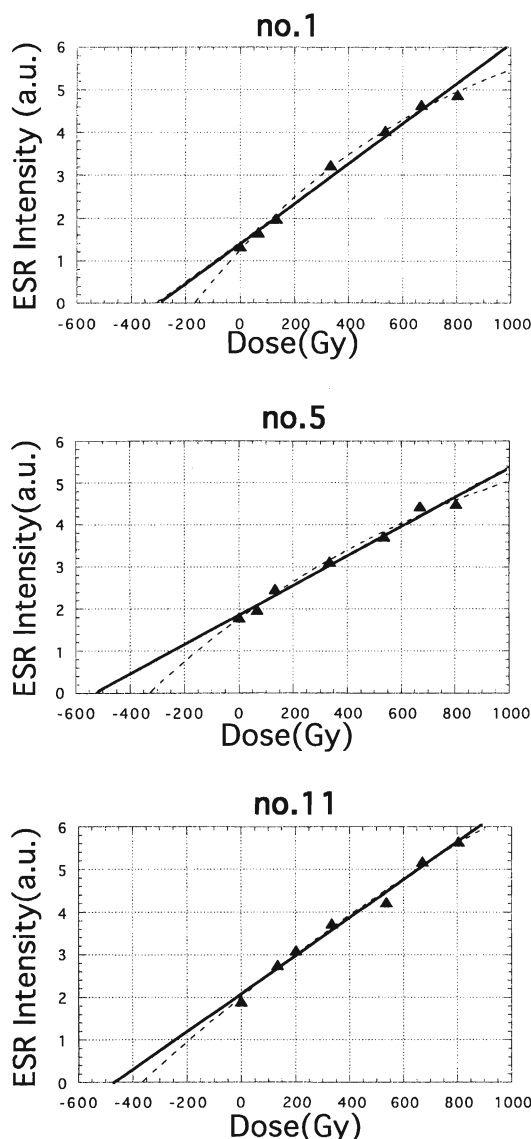


図4. 各分析試料のESR信号強度成長曲線。実線は直線回帰、破線は飽和曲線回帰。各海成粘土層から1試料づつを抜粋して示す。試料番号は図1および表2に同じ。適合度については表2の相関係数R<sup>2</sup>の欄を参照。

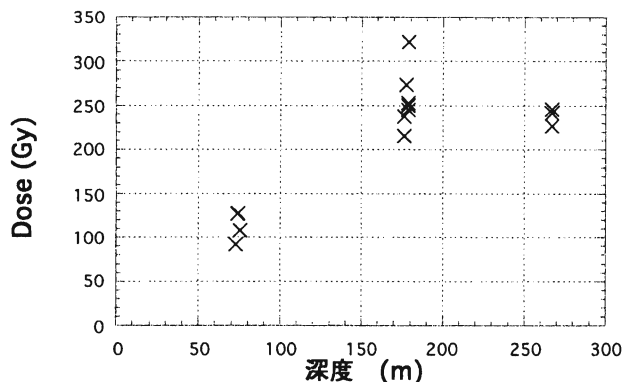


図5. 分析試料の採取深度と総被曝線量との関係.

～20℃) であることが判明した。したがって、Ma8層とMa10層では、飽和曲線回帰により得られた総被曝線量が妥当であると判断した。Ma12層では、試料が飽和しているかどうかの判断は難しい。このため、相関係数のより大きな飽和曲線回帰により得られた値(表2)を、総被曝線量として用いた。

各試料について飽和曲線回帰により求められた総被曝線量と試料の産出深度との関係を図5に示す。総被曝線量は、Ma12層(深度72.90～75.55 m)とMa10層(深度176.46～179.06 m付近)では後者ほど大きい。しかし、Ma10層とMa8層(深度266.90m)では大差がなく、アニーリング実験の結果と同様に、Ma10層から下位の層準で分析試料が飽和している可能性を示している。

表4には、飽和曲線回帰による総被曝線量から求められたESR年代と、年代の算出に用いた試料層準の年間線量率を、分析試料毎に示した。

分析試料no.1～no.4はMa12層から得られた貝化石で、そのESR年代は $92 \pm 15 \sim 127 \pm 20$  kaを示した。Ma12層は最終間氷期の相対的高海面期に堆積した海成粘土層で、年代的には約120～130 kaのMIS5-5(Martinson *et al.*, 1987)に相当する。得られたESR年代は、バラツキがやや大きいものの、このMa12層の堆積年代と良く一致している。

分析試料no.5～no.9はMa10層から得られた貝化石で、 $216 \pm 45 \sim 322 \pm 79$ kaのESR年代を示した。Ma9層最上部の八田ないし和田火山灰からは $0.34 \pm 0.09$ MaのFT年代が得られている(図2)。上記のESR年代はこれに比べてやや若い値を示すが、この火山灰がMa10層より下位に挟まれることや測定年代の誤差を考えると、八田ないし和田火山灰のFT年代と整合的である。したがって、火山灰層のFT年代測定との比較に基づけば、貝化石のESR年代測定は、Ma10層に関して有効な年代を与うるものといえる。

最近の酸素同位対比編年の1例(Bassinot *et al.*, 1994)によれば、MIS7とMIS9の年代は約18～24万年前と約30～33万年前に相当する。しかし、Ma10層の貝化石か

ら得られたESR年代は両期間にまたがり、Ma10層とMISとの対比を決定できるほどの精度は得られなかった。この問題に関しては、同層準の貝化石から多くのESR年代を得て、それらの加重平均年代を求めるなど、統計誤差を少なくする手法を採用するとともに、年間線量率のより正確な見積もりを進めることが必要となる。

分析試料no.10～no.12は、ともにMa8層中の深度266.90m層準から得られた貝化石で、 $227 \pm 65 \sim 246 \pm 41$ kaという上位の試料no.5～no.9と類似したESR年代を示した。Ma8層中のカスリ火山灰が $0.42 \pm 0.08$ MaのFT年代を示すこと(図2)から、誤差範囲を考慮しても、本層準ではずっと若いESR年代が得られたことになる。この原因として、試料no.10～no.12では求められた総被曝線量が予想よりずっと小さく(図5)、貝化石試料はすでに自然放射線による年間線量率では飽和していたが、高照射率の人為被曝により信号が延ばされた結果、総被曝線量が過少評価されたことが考えられる。

深度72.90～75.55 mのMa12層と深度266.90 mのMa8層の試料からは、バラツキの比較的少ないESR年代が得られたが、深度175.46～179.06 mのMa10層の試料では、ESR年代のバラツキが相対的に大きい(表4)。これは、実際の年間線量率にバラツキがあり、総被曝線量が試料毎に異なったにもかかわらず、深度176.60 mから採取した堆積物の年間線量率で、7試料全ての年間線量率を代表させたことに原因があるとみられる。 $\gamma$ 線の飛程を考えると、分析試料の採取層準を含めてより多数の層準から堆積物サンプリングを行い、より現実に近い年間線量率を見積もることが必要であろう。

## ま と め

摩耶埠頭ボーリングコアの海成粘土層中に含まれる貝化石を用いて、ESR年代測定を行った。その結果、貝化石からは、Ma12層で92～127 ka、Ma10層で216～322 ka、Ma8層で227～246 kaのESR年代が得られた。

これらの年代は、Ma12層およびMa10層では、他の方法による海成粘土層の推定堆積年代と比較的良く一致しているが、Ma8層準では、より若い年代が得られた。この原因として、すでに飽和していた貝化石のESR信号が高照射率の人為被曝により延ばされた結果、総被曝線量が過少評価されたことが考えられた。また、Ma10層の貝化石試料7点から得られたESR年代は、バラツキが相対的に大きかった。この原因としては、これらの試料全てにおいて、年間線量率を1層準のみの堆積物試料で代表させたことが考えられた。

このように、総被曝線量や年間線量率の見積もり方法にいくつか改良の余地があるものの、ボーリングコアに

においても、含まれる貝化石を試料としたESR年代測定によって、年代層序学的にある程度意味のある年代値を得ることができる。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたり、ご指導頂いた大阪大学大学院理学研究科の池谷元伺教授に深く感謝いたします。また2名の匿名査読者の方からは多くの有益なご指摘を受けました。γ線照射においては大阪大学産業科学研究所の池田稔治氏に大変お世話になりました。ここに記して厚くお礼申し上げます。

## 引用文献

Bassinot, F.C., Labeyrie, L.D., Vincent, E., Quidelleur, X., Shackleton, N.J. and Lancelot, Y. (1994) The astronomical theory of climate and the age of the Brunhes-Matuyama magnetic reversal. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **126**, 91-108.

Cande, S.C. and Kent, D.V. (1995) Revised calibration of the geomagnetic polarity timescale for the Late Cretaceous and Cenozoic. *J. Geophys. Res.*, **100** (B4), 6093-6095.

檀原 徹・鎌田浩毅・山下 透 (1992) 大阪層群のピンク火山灰と中部九州耶馬溪火砕流堆積物との対比. 日本火山学会1992年度秋季大会予稿集, 108.

檀原 徹・鎌田浩毅・岩野英樹 (1997) 耶馬溪火砕流堆積物とピンク火山灰のフィッシュ・トラック年代. 地質雑, **103**, 994-997.

阪神地域活断層調査委員会 (1996) 阪神・淡路地域活断層調査報告書. 兵庫県土木部, 225p.

Ikeya, M. (1993) New application of electron spin resonance. In Ikeya, M., *Dating, Dosimetry and Microscopy*, World Scientific, Singapore, 85-92.

市原 実編 (1993) 大阪層群. 創元社, 大阪, 340p.

加藤茂弘・小林文夫 (1997) 博物館におけるコアの保管と活用の重要性. 人と自然の博物館編「阪神・淡路大震災と六甲変動ー兵庫県南部地震域の活構造調査報告ー」. 兵庫県神戸土木事務所, 90-96.

鎌田浩毅・檀原 徹・山下 透・星住英夫・林田 明・竹村恵二 (1994) 大阪層群アズキ火山灰および上総層群Ku6C火山灰と中部九州の今市火砕流堆積物との対比ー猪牟田カルデラから噴出した co-ignimbrite ashー. 地質雑, **100**, 848-866.

Machida, H. (1999) Quaternary widespread tephra catalog in and around Japan. *Quaternary Research*, **38**, 194-201.

Maenaka, K. (1979) Paleomagnetic study of sediments around the Komyoike volcanic ash horizon in Osaka Group, Senpoku area, Osaka Prefecture, Japan. *Geophys. Res. Letters*, **6** (4), 257-260.

Maenaka, K. (1983) Magnetostratigraphic study on the Osaka Group, with special reference to the existence of Pre- and Post- Jaramillo Episodes in the Late Matuyama Polarity Epoch. *Kenkyu-kiyo, Hanazono Univ.*, **14**, 1-65.

Martinson, D.G., Pisias, N.G., Hays, J.D., Imbrie, J., Moore, T.C.Jr. and Shackleton, N.J. (1987) Age dating and orbital theory of ice ages; development of a high-resolution 0 to 300,000-year chronostratigraphy. *Quaternary Research*, **27**, 1-29.

増田富士雄 (1993) 大阪層群と見かけの海面変動ーリズムカルに繰り返す海成層と非海成層の累重様式. 月刊地球, 号外No.8, 86-94.

増田富士雄 (1997) 上総・下総層群ー酸素同位体比曲線ー大阪層群: 対比 (案). 月刊地球, no.19, 474-479.

Mejdahl, V. (1979) Thermoluminescence dating: beta-dose attenuation in quartz grains. *Archaeometry*, **21**, 61-72.

Nambi, K.S.V. and Aitken, M.J. (1986) Annual dose conversion factors for TL and ESR dating. *Archaeometry*, **28**, 200-205.

NEDO (新エネルギー総合開発機構) (1989) 昭和63年度全国地熱資源総合調査 (第3次) 広域熱水流動系調査「鶴見岳地域」火山岩分布・年代調査報告書, 133p.

Ogoh, K., Ikeda, S. and Ikeya, M. (1993) Confirmation and recalculation of dose-rate data for TL and ESR dating. *Advances in ESR Appl.*, **9**, 22-28.

下川浩一・中里裕臣・今井 登 (1990) 中・上部更新統, 上総・下総層群産貝化石のESR年代測定. 月刊地球, no.1, 37-42.

Suzuki, M. (1983) Fission track datingーCurrent argument on dating younger zircon crystals. *Ionizing Radiat.*, **10**, 68-74.

鈴木正男 (1988) 第四紀火山灰層のフィッシュトラック年代について. 地質学論集, no.30, 219-221.

竹村恵二・加藤茂弘・井上善夫・石沢一吉・大鹿明文・戸来正嗣・野尻誠二・檀原 徹・林田 明・佐野正人 (1997) 六甲南縁部の地下堆積物の研究ー神戸市摩耶埠頭および東灘区でのボーリング調査ー. 兵庫県立人と自然の博物館編「阪神・淡路大震災と六甲変動ー兵庫県南部地震域の活構造調査報告ー」. 兵庫県神戸土木事務所, 10-56.

宇都浩三・須藤 茂 (1985) 豊肥地熱地域の火山岩のK-Ar年代. 地調報告, no.264, 67-83.

Zimmerman, D.W. (1971) Thermoluminescent dating using fine grains from pottery. *Archaeometry*, **13**, 29-52.

(1999年6月19日受付)

(1999年10月1日受理)