

火山灰と堆積物の ESR 年代測定

今井 登*・下川 浩一**

ESR dating of volcanic ash

Noboru IMAI* and Koichi SHIMOKAWA**

Abstract Dating of volcanic ash and sediment by electron spin resonance (ESR) is described. In both cases dating material is quartz and ESR signals of radiation-induced centers of E', Ge, OHC, Al, Ti in quartz are used. The ESR ages of chert, flint, quartz-contained tuff and tephra are obtained. More recently the plagioclase and zircon separated from volcanic ash are used for dating. The ESR ages of sediments - wind-blown sand, beach sand and baked sand are obtained. However, in this case the ESR age cannot be obtained unless the bleaching of ESR signal by light is evaluated accurately.

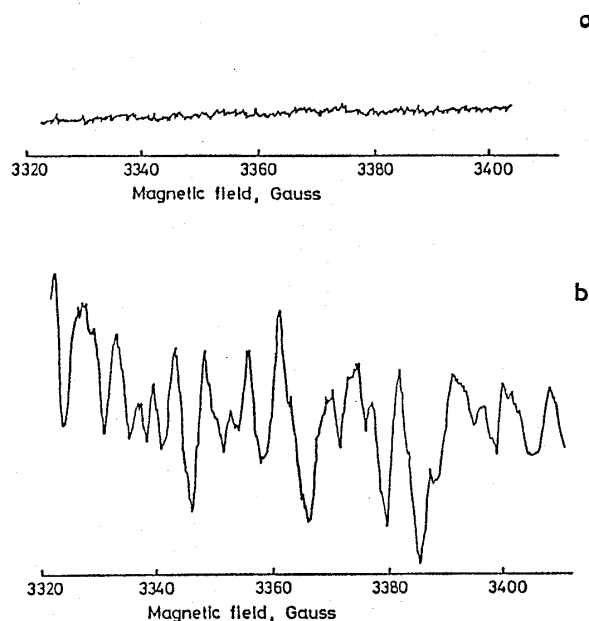
火山灰と堆積物の ESR 年代測定はいずれも最近になって可能となった分野である。火山灰・火山岩の年代測定は K-Ar 法を初めとする様々な方法があるが、特に若い年代についてはいずれも各々の固有の問題点をかかえており ESR 法の寄与が大きい期待される。また堆積物の年代測定は光による信号のリセットを利用したものであり、零セット過程の評価という難しい問題はあるが ESR 法の特長として今後の発展が望まれる分野である。

ここで用いられる試料は主に石英であり、その分布の広さと年代測定に用いることのできる非常に安定な格子欠陥を持つことから、ESR 年代測定には理想的な鉱物であるといつてよい。ここでは各々の分野について原理、測定例及び問題点について述べる。

I. 火山灰の ESR 年代測定

1. 序

ESR 年代測定が鐘乳石から始まって貝、骨、断層へと適用範囲を広げていったにもかかわらず最近まで通常の岩石や火山灰の年代測定は出来なかった。地質学的に言ってその分布の広さと年代標準としての重要さは言うまでもないことであるが、適用を妨げていたのは主に Mn, Fe などの常磁性不純物による妨害と、そして何よりも石英などの鉱物を分離してもほとんどの場合に ESR 信号が得られなかったことによる。第 1 図にその

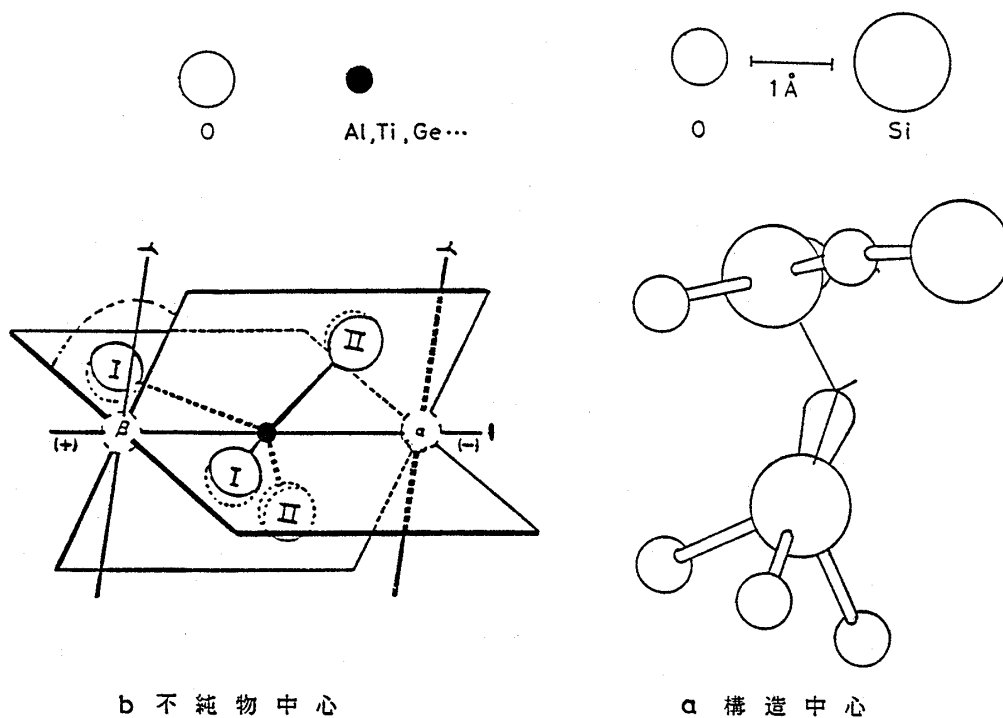


第 1 図 常温で観測される火山灰の石英の ESR スペクトルの例 a. 信号が全く観測されない場合 b. 不純物の Fe の信号により放射線損傷の信号が観測できない場合

例を示した。1984 年 SHIMOKAWA *et al.* は熱変質を受けた溶結凝灰岩から分離した石英に明瞭な Ge 中心の信号を見だし、初めて年代測定を行った。続いて 1985 年 IMAI *et al.* は液体窒素温度で観測される Al 中心の ESR 信号を年代測定に使うことを提唱した。E' や Ge 中心の信号は常温測定により観測される信号で、Al 中心の信号は低温でのみ観測され、これらよりも数十倍一

* 地質調査所技術部. Geological Survey of Japan, 1-1-3 Higashi, Tsukuba, Ibaraki, 305 Japan.

** 地質調査所環境地質部. Geological Survey of Japan, 1-1-3 Higashi, Tsukuba, Ibaraki, 305 Japan.



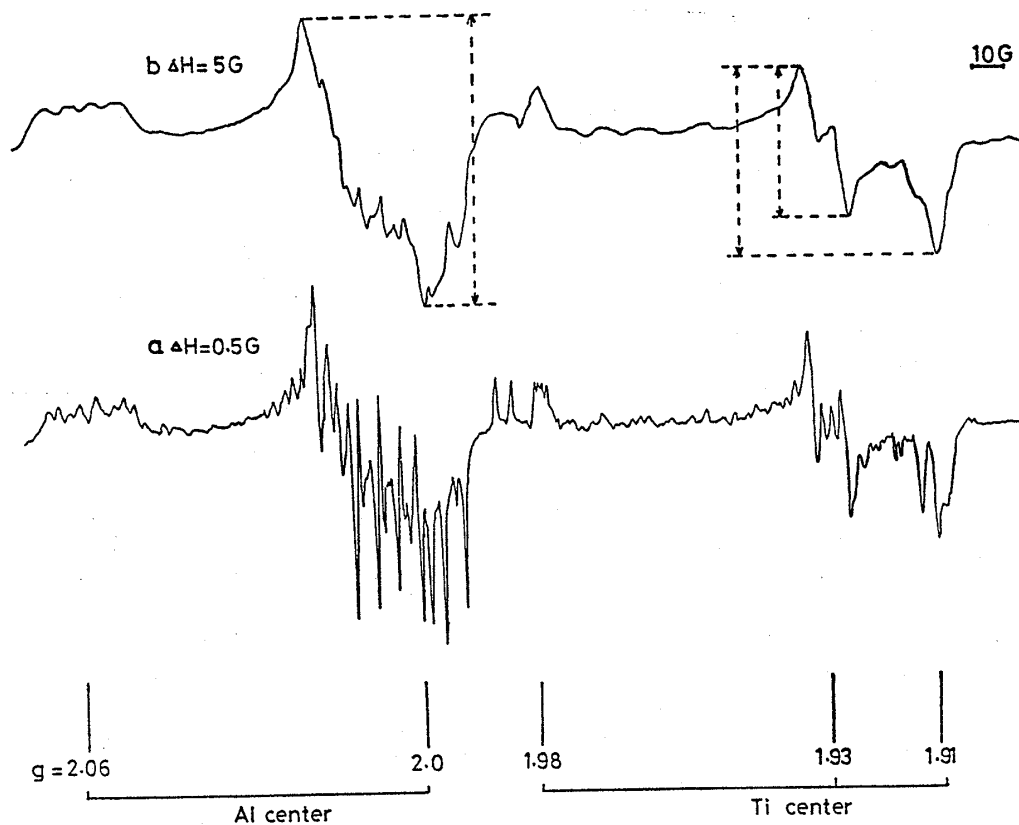
第2図 石英の格子欠陥のモデル

a. 構造中心

b. 不純物中心

対称性より酸素原子は I, II の

2つに分けられる



第3図 玉川溶結凝灰岩中の石英の Al 中心と Ti 中心の ESR スペクトル

a. 変調幅 0.5 ガウス

b. 変調幅 5 ガウス

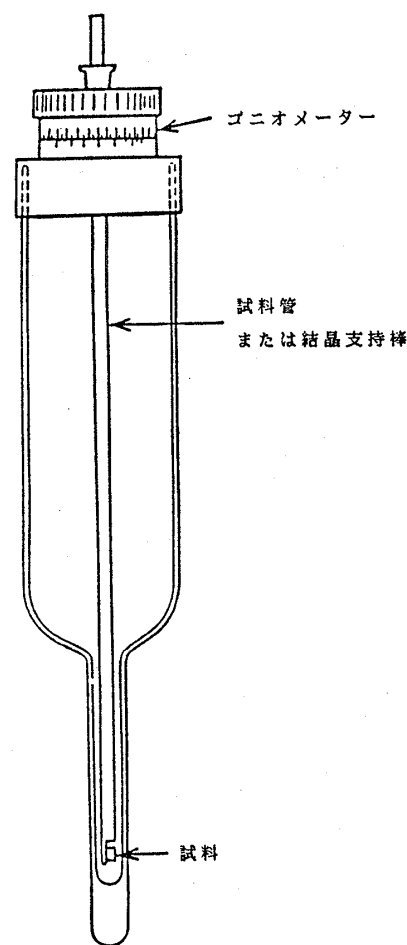
第1表 石英中の種々の格子欠陥の値 g_1, g_2, g_3 は g テンソルの主値, g_c は結晶の c 軸が磁場と一致したときの値(詳しくは基礎編参照)

$[\text{Si}(\text{E}')\text{e}^-]$	g_c	2.001
OHC	g_1	2.0010
	g_2	2.0095
$[\text{Ge e}^-/\text{Li}^+]$	g_c	1.998
$[\text{Al h}^+]$	g_1	2.002
	g_2	2.009
	g_3	2.061
$[\text{Ti e}^-/\text{Li}^+]$	g_1	1.979
	g_2	1.931
	g_3	1.912

数百倍強度が強い。したがってこれまで常温測定では信号が全く検出されなかった試料を含めてほとんどすべての試料で Al 中心の信号を観測することができ、この方法により一般的に岩石や火山灰の年代測定が可能になった。

2. 石英の格子欠陥

ここで石英の格子欠陥について簡単に述べておく (GRISCOM, 1978; WEIL, 1984). 石英の格子欠陥には大きく分けて2つの種類がある。1つは構造中心と呼ばれ第2図a示したように Si と Si の間をつなぐ酸素原子が欠損して穴ができ (oxygen vacancy) そこに不対電子がトラップされてできる格子欠陥で E' 型と呼ばれる。これを記号で表すと $[\text{Si}(\text{E}')\text{e}^-]$ となる。もう1つは不純物中心と呼ばれるもので第2図bのように Si の位置を Al や Ge が置換して、それに隣接する酸素原子上に電子やホールがトラップされたものである。記号では $[\text{Ge e}^-/\text{M}^+]^0$ と表し、 M^+ は結晶格子中の α または β の位置に入り込んだ $\text{Li}^+, \text{Na}^+, \text{H}^+$ などのイオンで、全体として電荷を中和する。構造欠陥には E' 中心の他に Si と O の結合が切れてホールがトラップされた格子欠陥や過酸化ラジカル O_2^- が Si に結合した格子欠陥などがあり、これらをまとめて OHC 中心 (non-bonding oxygen associated hole center) と呼ぶ (STAPELBROEK *et al.* 1979). 不純物中心としては Ge, Al, Ti 中心が通常観測される。この他に P 中心などもあるが普通は検出できない。第3図に凝灰岩中の石英 TK12 の ESR スペクトルを示す。第1表に g 値をまとめて示した (WRIGHT *et al.*, 1963; FEIGL & ANDERSON, 1970; SCHNADT & RÄUBER, 1971).

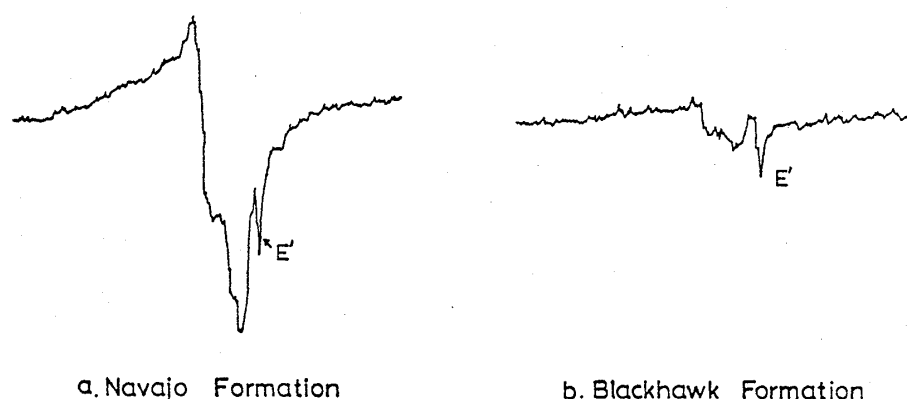


第4図 液体窒素デューワー

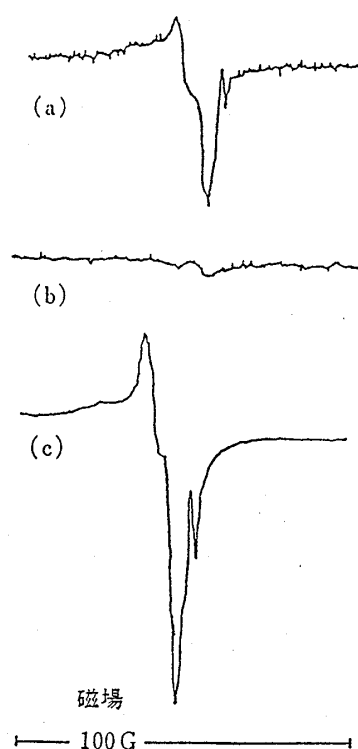
3. ESR スペクトルの測定

第3図に石英の Al, Ti 中心の ESR スペクトルを示す。a は変調幅を 0.5 ガウスに b は 5 ガウスにした時のスペクトルである。変調幅を小さくすると Al 中心と Ti 中心の微細構造がよく観測されるが定量する時にどの部分の強度を測定するかが問題となる。微細構造の一本一本を測定し平均する方法や特定のピーク間で強度を測定する方法が考えられるが、われわれは逆に変調幅を 5 ガウスというようにずっと大きくとることによって微細構造をつぶして見かけ上一本の信号のようにして強度を測定している。両者の間の差はほとんどないと考えてよく、また測定としては後者の方がはるかに早く簡単である。

石英中の Al 中心や Ti 中心を測定するためには液体窒素温度下で測定を行う必要があるが、この時には挿入型の液体窒素デューワーを空洞共振器に差し込んで用いる (第4図)。これによって 77 K の安定した温度で測定ができる。測定時に問題となる突沸や発泡を抑えるにはいろいろな方法があるが、われわれはあらかじめ用意して



第5図 石英砂の E' 中心の ESR 信号 常温で測定, 中央の大きな信号は過酸化中心の信号 a. Navajo 層 b. Blackhawk 層



第6図 フリントの ESR スペクトル a. 天然のフリントのスペクトル $T=300\text{ K}$ b. $T=773\text{ K}$ でアニーリングしたスペクトル c. b. の試料に高速中性子を照射した後の ESR スペクトル

おいた糸の輪を試料管の測定部の上に差し込んで、連続的に気泡を発生させて突沸するのを抑えている。また結晶の ESR を測定する場合には結晶を、結晶軸や結晶面を観察しながら支持棒にシリコングリースや接着剤で固定してゴニオメーターに差し込み回転させる。第4図には窒素デュワーの上部にゴニオメーターをつけた例が示してある。

4. 測定例

4.1 McMorris の研究

1970 年頃 McMorris は種々の地質試料中の石英を分離して ESR と TL を測定し年代測定の可能性を検

討した。彼は堆積岩(石英砂)、花崗岩、変成岩(珪岩)、熱水変質岩(煙水晶)、ペグマタイト、考古学試料(炉床)を測定した。石英砂では E' 中心の ESR 信号を検出し(第5図)これが α 線によって生ずるとした。また各種の試料の Al, Ti 中心の信号を観測し強度を測定して TL の強度と比較したが明確な相関は得られなかったことと、熱アニーリング後の γ 線照射で観測される Ge 中心の信号が天然では検出されなかったこと、および多量の常磁性不純物による妨害がしばしば観測されることから年代測定は現段階では難しいとした。

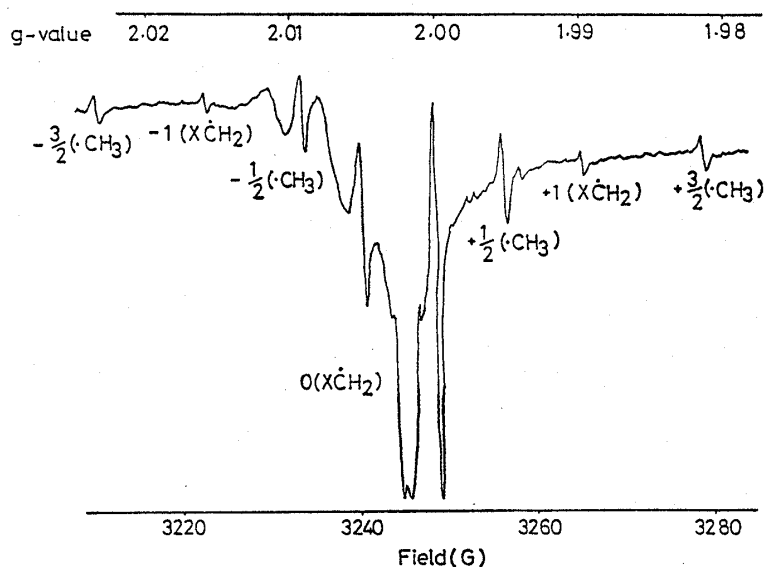
4.2 フリントの年代測定

1981 年 GARRISON *et al.* はフリントの年代測定を行った。用いたのは E' 信号の低磁場側に隣接したやや幅の広い信号で中性子によって生ずる信号である(第6図 a)。これは過酸化中心と言われる O_2^- ラジカルが Si と結合した OHC 中心の一種であるとされている。これを 500°C でアニーリングすると第6図 b のように信号が消えるが、中性子を照射すると第6図 c のように再び過酸化中心の信号が現れる。この格子欠陥は非常に安定で γ 線を照射しても信号の強度はほとんど変化しない。天然の試料の過酸化中心の信号強度は地質時代を通じて蓄積された損傷のエネルギーの総量と考えられるので、年代を求めるにはこの天然の信号強度と同じ強度の過酸化中心の ESR 信号が生ずるような中性子の照射時間 t を測定し、それからエネルギーの総量を計算した。そして別に放射化分析によって求めた U, Th の含有量から計算した1年間に生ずる損傷のエネルギーで割って年代を求めた。結果を第2表に示した。AからEの5つの試料で地質学的に受け入れられている推定年代は 370-3, 200 Ma であるが、Cの試料を除いて ESR 年代はほぼ満足する値を得た。

この研究は ESR 年代測定法の適用年代を数億年にまで大きく広げる非常にユニークで興味深い研究であるが、中性子(原子炉)を使う必要があることから適用が妨

推定年代 (Ma) t (s) ESR 年代 (Ma) 第2表 フリントの ESR 年代

A (カラホル)	370	1507	310
B (17)	250	1854	366
C (アフリカ)	3200(?)	304	57
D (ミスター)	320	700	333
E (イリノイ)	320	1344	280



第7図 チャートの ESR スペクトル
 $\cdot\text{CH}_3$ メチルラジカル (-1, 0, 1), $\text{X}\dot{\text{C}}\text{H}_2$ メチレンラジカル (-3/2, -1/2, 1/2, 3/2) 中央の信号は石英の E' 中心と過酸化中心の信号

げられてか続く研究が出ていない。今後の発展が望まれる。

4.3 チャート

Griffith *et al.*, 1983 はチャートの ESR を測定して年代測定の可能性を検討した。考古学時代に石器等に用いられたチャートで加熱されたものは、そのときに信号がアニールされて時計が零になった可能性がある。すなわち現在の信号はそのときの年代を示すと考えられる。彼によればチャートに見られる ESR 信号は OHC, E' , Al, Mn, Fe の信号があり、他に有機物の信号としてメチルとメチレンラジカルがあると述べている。これらの信号のうち年代測定に使える可能性があるのは OHC, E' , Al の3つの信号であるとした。また第7図にはイラクの白亜紀のチャートで種々の有機物の ESR 信号が観測されている例を示す (Griffith *et al.*, 1982)。中央の石英の信号の両側にメチルラジカル ($\cdot\text{CH}_3$) の4本線とメチレンラジカル ($\text{X}\dot{\text{C}}\text{H}_2$) の3本線を見ることが出来る。これらは熱によって分解するため、過去に加熱された場合はその温度や期間を推定できる可能性がある

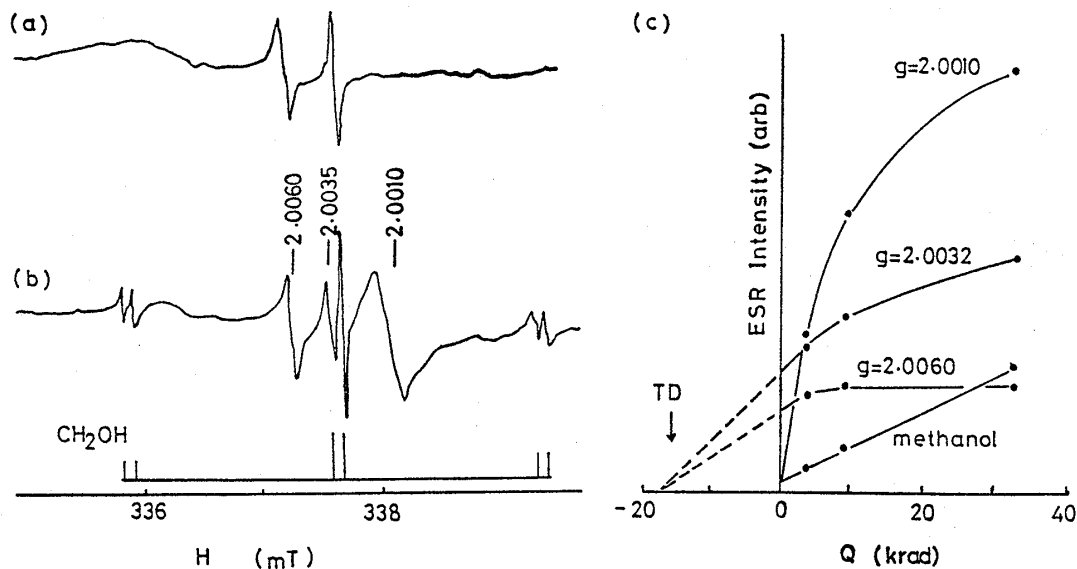
述べている。

4.4 地熱ボーリングコア

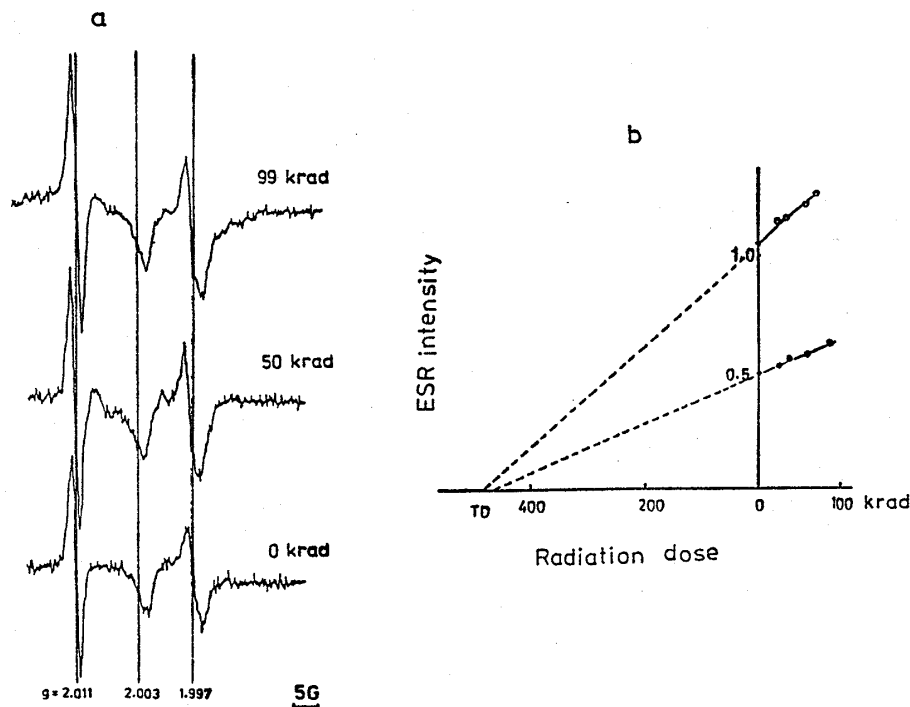
池谷は 1983 年阿蘇八丁原地熱発電所のボーリングコアの ESR を測定して地熱変質帯の年代や温度を求めることを試みた。ボーリングコアを石英を分離せずにそのまま測定すると第8図aのようなスペクトルが得られた。これに γ 線を照射すると第8図bとなり石英の信号の他にメタノールラジカルが観測された。 $g=2.0032$ の信号は有機物の信号と重なっているため、 $g=2.001$ と 2.006 の2つの信号を用いて総被曝線量 TD (または蓄積線量, パレオドース PD) を求め (第8図c), 別に求められた地熱温度と比較して、ボーリングコアの深度 500-600 m にある低温度帯が最近の数千年以後に生じたことを示した。

4.5 火山岩の年代測定

1984 年 Shimokawa *et al.* は八幡平の熱変質を受けた溶結凝灰岩の年代測定を行った。この地域は地熱地帯であり高島 & 本多 (1986) により TL で詳細な研究が行われている場所である。彼らは強く熱変質を受けている



第8図 a. 地熱ボーリングコアの ESR スペクトル b. γ 線照射により $g=2.001$ 信号とメタノールラジカルの生成 c. 各々の ESR 信号強度の γ 線照射による増加と総被曝線量

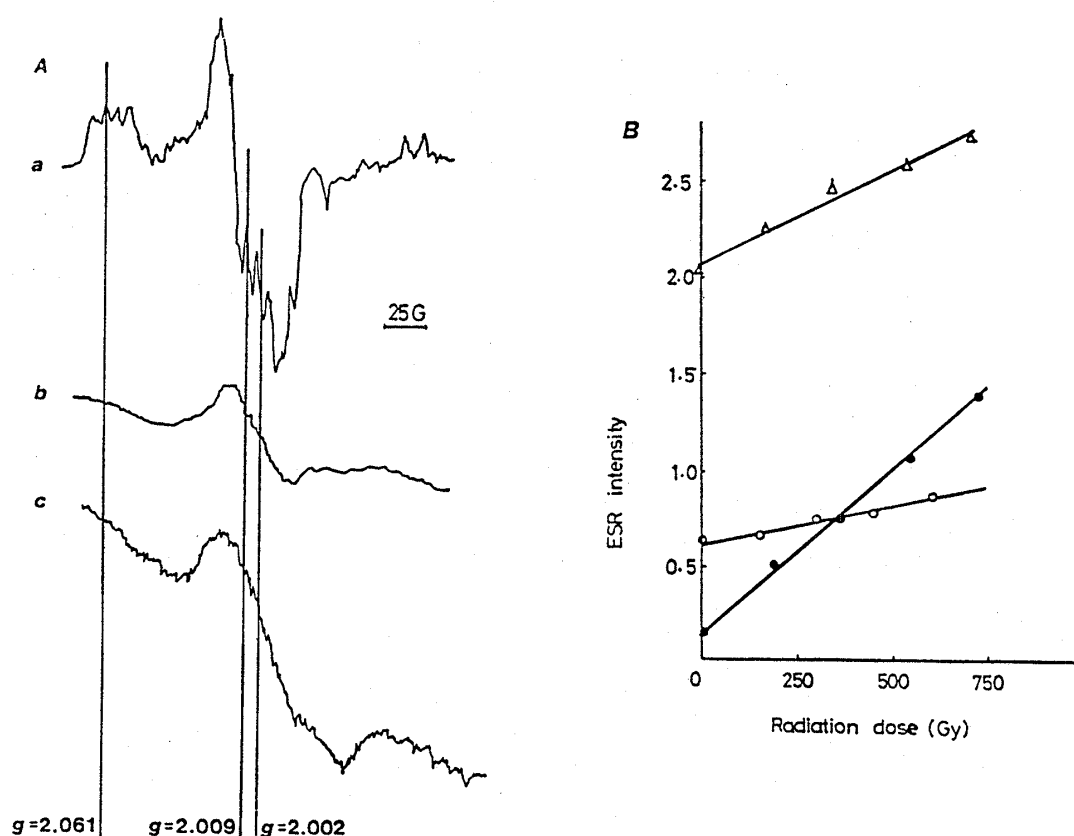


第9図 火山岩の ESR スペクトル a. 天然および 50, 99 krad の γ 線照射した石英の ESR スペクトル b. ESR 信号強度と γ 線照射量との関係 ○OHC 中心の信号 ●Ge 中心の信号

岩石(TM 6)から分離した石英に第9図のような明瞭な信号を見いだした。天然の石英結晶(水晶)とそれを粉末にした ESR スペクトルを比較して TM6 の $g=1.997$ の信号が Ge 中心による $[\text{Ge}(\text{C}, \text{A})\text{e}^-/\text{Li}]^0$ の信号であると帰属して総被曝線量と年代値を求めた。総被曝線量は 5,290 Gy, ESR 年代値は 2.07 Ma となり、フィッシュントラック年代 2.0 Ma とよく一致した。

4.6 火山灰の年代測定

1985 年 IMAI *et al.* は火山灰, 火山岩に対して一般的に適用できる ESR 年代測定法の手法を提唱した。これまでは, 前述したように Mn や Fe などの常磁性不純物の信号による妨害と, ほとんどの場合に石英を分離しても信号が全く観測されないという理由によって火山灰, 火山岩の ESR 年代測定は困難であった。第10図 A に八幡平の溶結凝灰岩(TM1)中の石英と 鹿児島県国



第 10 図 火山灰の ESR スペクトル A. Al 中心の ESR スペクトル a. 石英 TM1 b. 長石 TTS 34 c. 火山ガラス TE5 B. ESR 信号強度と γ 線照射量との関係 a. 石英 Δ b. 長石 $\bullet$ c. 火山ガラス $\circ$

第 3 表 火山灰の ESR 年代

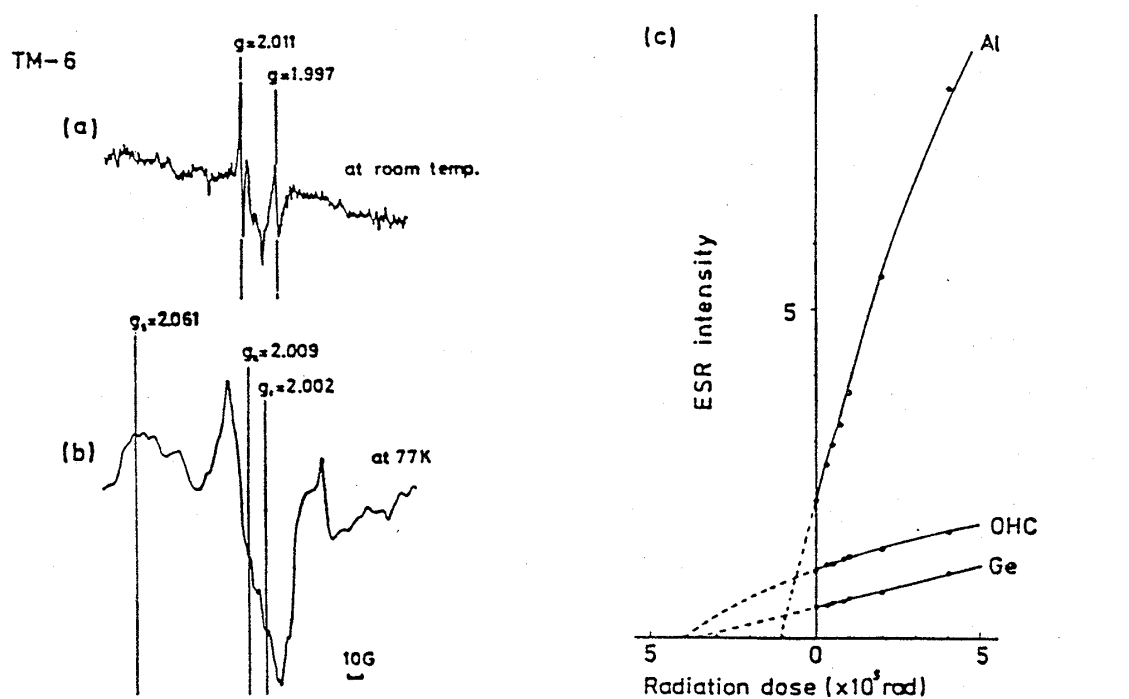
	年間線量 mGy/y	総被曝線量 Gy	ESR 年代 Ma	参照年代 Ma	
石英 (TM1)	1.96	2210	1.13 ± 0.22	1.2 ± 0.3	(F T)
長石 (TTS34)	3.64	102	0.028 ± 0.004	0.021-0.022	(^{14}C)
火山ガラス (TE5)	5.10	1680	0.33 ± 0.05	0.39 ± 0.08	(F T)

府の AT 火山灰中の長石 (TTS 34), 大磯丘陵の火山灰中の火山ガラス (TE 5) の Al 中心の ESR 信号を示した。これらはいずれも液体窒素温度下 (77 K) で測定されたものである。これらの信号は人工 γ 線を照射すると強度が増大し (第 10 図 B), 総被曝線量が求められた。ここで長石と火山ガラスについては不純物の含有量の小さい石英と異なり内部にも U, Th を含むため年間線量の見積りに複雑な問題を生じ, また試料の純度や信号の安定性も議論のあるところであるが, 内部の U, Th 含有量も測定して ESR 年代を求めると第 3 表のようになり, これらの値はフィッシュントラックや ^{14}C 年代と

ほぼ一致した。また全国各地の AT 火山灰から分離した長石と火山ガラスの ESR スペクトルを測定するとしばしば中央に過酸化中心の鋭い信号が観測されることを見だし, これが AT 火山灰の特徴の一つとして対比に役立つのではないかとした。この特徴は他の火山灰ではほとんど見られないことと, この信号が実験室的には加熱することによって生ずることから AT 火山灰固有の成因と関係していることが考えられる。

4.7 玉川溶結凝灰岩の噴出年代と変質年代

岩石などから分離した石英にはいくつかの格子欠陥の ESR 信号が独立して観測されそれぞれの情報を担っ



第 11 図 玉川溶結凝灰岩(TM-6)の ESR スペクトル
OHC, Ge 中心の ESR 信号強度と γ 線照射量との関係

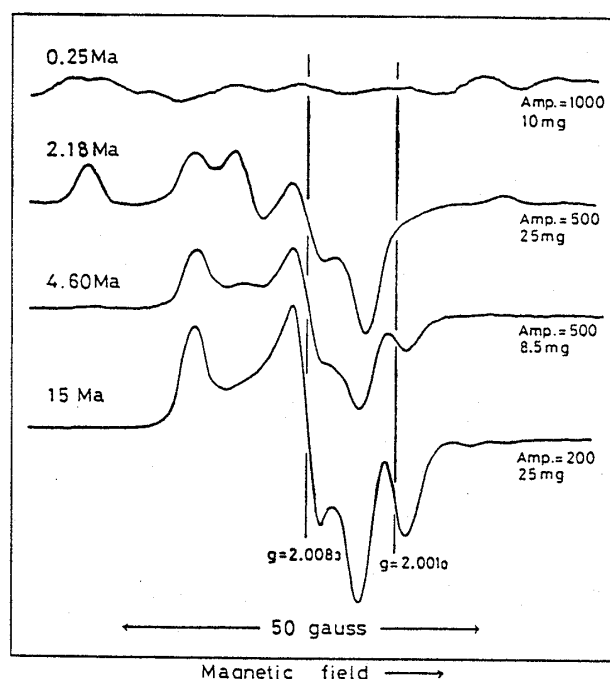
a. 常温 b. 77 K のスペクトル c. Al,

第 4 表 玉川溶結凝灰岩の ESR 年代

		年間線量	総被曝線量	ESR年代	TL年代	FT年代
		mG/y	Gy	Ma	Ma	Ma
TM 6	Ge		3580	1.40		
	OHC	2.560	3990	1.56	0.47	2.0
	Al		1110	0.43		
TK 3 2	Ge		3280	1.46		
	OHC	2.245	2990	1.33	0.26	
	Al		960	0.44		
TM 1	Al	1.957	1830	0.94	1.1	
TM 4	Al	1.416	2820	1.36	1.4	
TK 2 4	Al	3.136	240	0.077	0.06	
TK 4 8	Al	1.849	110	0.059	0.06	

ていると考えられる。SHIMOKAWA & IMAI(1986)は玉川溶結凝灰岩(TM 1, 4, 6; TK 24, 32, 48)中の石英の Ge, OHC, Al 中心の3つの ESR 信号を使い分けることによって噴出年代と変質年代を同時に推定する試みを

行った。第 11 図に TM 6 の ESR スペクトルと γ 線を照射したときの信号強度の変化を示した。この図で Ge と OHC 中心の総被曝線量は同じであるが Al 中心の総被曝線量はそれよりもずっと小さい値となる。第 4

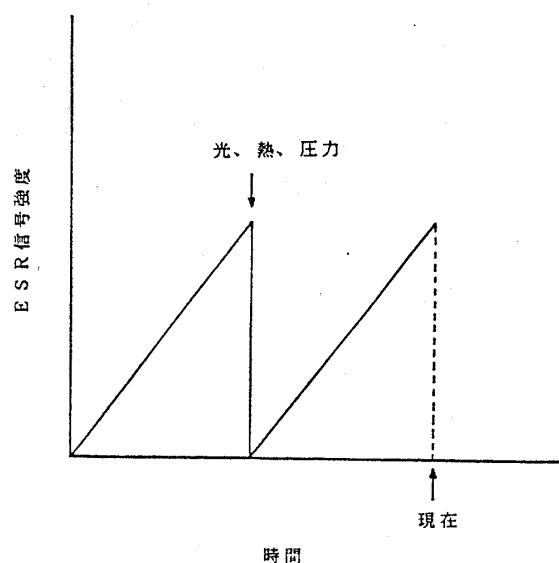


第 12 図 ジルコンの ESR スペクトル 左上の年代は K-Ar, FT 法により得られた参照年代

表に各試料の総被曝線量と ESR 年代値を示したが、TM 6 と TK 32 の試料は、Ge と OHC 中心から求めた年代値が 1.33-1.56 Ma でフィッシュトラック年代 2.0 Ma と対応しているのに対して Al 中心の年代値は 0.43-0.44 Ma で TL 年代 0.47 Ma に近い値となっている。このことは安定性の高い Ge と OHC 中心は過去の熱変質によってほとんど影響を受けずに噴出年代をそのまま示すのに対して、相対的に安定性の低い Al 中心は熱変質によってリセットされて変質年代を示すのではないかと考えた。更に熱アニーリングの実験からこのようなことが起きるためにはこの地域の地熱活動が 10^3 - 10^4 年継続したとすれば(角, 1972), 温度は最高で 50-60°C であったと推定した。また第 4 表には熱変質を受けていないと考えられる TM 1, TM 4 と強い熱変質を受けている TK 24, TK 48A の ESR 年代をあわせて示した。

4.8 ジルコン

TAGUCHI *et al.* (1985) は九州の火山岩と花崗岩 30 試料からジルコンを分離して ESR を測定して年代測定の可能性を検討した。第 12 図にその ESR スペクトルを示した。これらはいずれも年代値が既知の試料で、その年代と観測された ESR 信号の強度を比較した。ジルコンの場合は年間線量の見積りが困難であるため ESR 信号強度から直接年代を推定するのは難しいが、 $g=2.0083$ と 2.001 の信号は年代が古くなると強度も比例して増



第 13 図 堆積物の ESR 年代

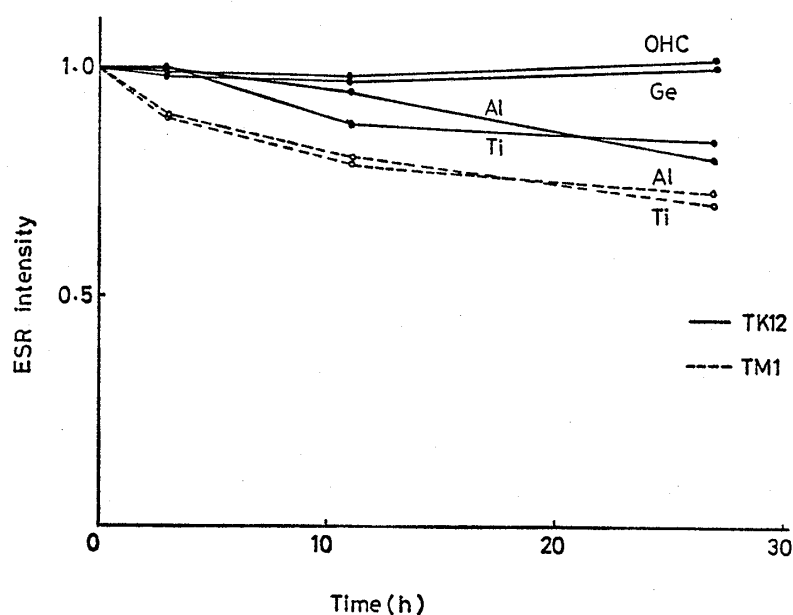
加した。しかしながら γ 線と中性子線を照射したところ $g=2.0083$ の信号は変化せず、 $g=2.0010$ の信号のみが強度が増大した。このことから、強度の大きな $g=2.0083$ の信号は γ 線や中性子線以外によって生ずると考えられるとした。

以上のように鐘乳石や貝から始まった ESR 年代測定が最近になって石英を用いた火山灰や断層を対象を広げたことにより新たな局面と可能性が開けたといえる。普遍的に分布する石英に観測される複数の ESR 信号はそれぞれ十分に長い寿命を持ち、広い範囲の対象で年代測定が可能である。今後の発展が大いに期待されるのである。

II. 堆 積 物

1. 序

TL 法では光によって信号がリセットすることにより深海底堆積物、砂丘、黄砂、氷河堆積物等の中に含まれる珪質物を用いた年代測定が話題となっている。ESR 法でも同様に堆積物の年代測定が試みられている。堆積物の場合も原理的には断層の年代測定と同じで、光に限らず熱や圧力などなんらかのリセットの機構が働けばその時点での年代が求まる(第 13 図)。以下にこれまでに行われた風成砂、海浜砂、および溶岩に焼かれた堆積物の ESR 年代の例を示す。ESR で堆積物の年代測定を初めて試みたのは YOKOYAMA *et al.* (1985) で、彼らは Arago 洞窟内の風成砂と、Nice の海浜砂の年代を推定した。ここで最も問題となるのは現生の砂でも 60% もの強度の信号が存在することで、ESR 信号は光によって完全に零にリセットされないことを示唆している。



第 14 図 日光による石英(TK 12, TM 1)中の格子欠陥の ESR 信号の光ブリーチによる減衰 TK 12 の方が TM 1 より光に対して安定である

第 5 表 Arago cave と Terra Amata の堆積物の年代測定の結果

	TD Gy	TD _a Gy	PD Gy	D mGy/y	ESR age Ma	Other Work Ma
風成砂 A (Arago cave)	1795	1020	750	2.34	0.45	0.35(U-Th)
海成砂 B (Terra Amata)	2055	1045	1110	1.97	0.38	0.23(TL)

彼等はこの分を差し引くことによって年代を推定している。また彼等は溶岩に焼かれた堆積物の年代測定も行っている(YOKOYAMA, 1985)。この場合は熱によるリセットであり、十分な温度と期間があればリセットは完全であり上記のようなあいまいさは生じない。また TANAKA *et al.*(1985)は南関東の第 4 紀の砂れき層で年代を求め FT 年代と比較した。

2. ESR 信号の光に対する安定性

光によって ESR の信号がリセットされるかどうかは大きな問題である。われわれの実験によれば(第 14 図)石英の格子欠陥の中で Al, Ti 中心は日光に 27 時間あてると強度は 20-30% 減少するが, Ge, OHC 中心は全く変化せずに非常に安定であることが示された。

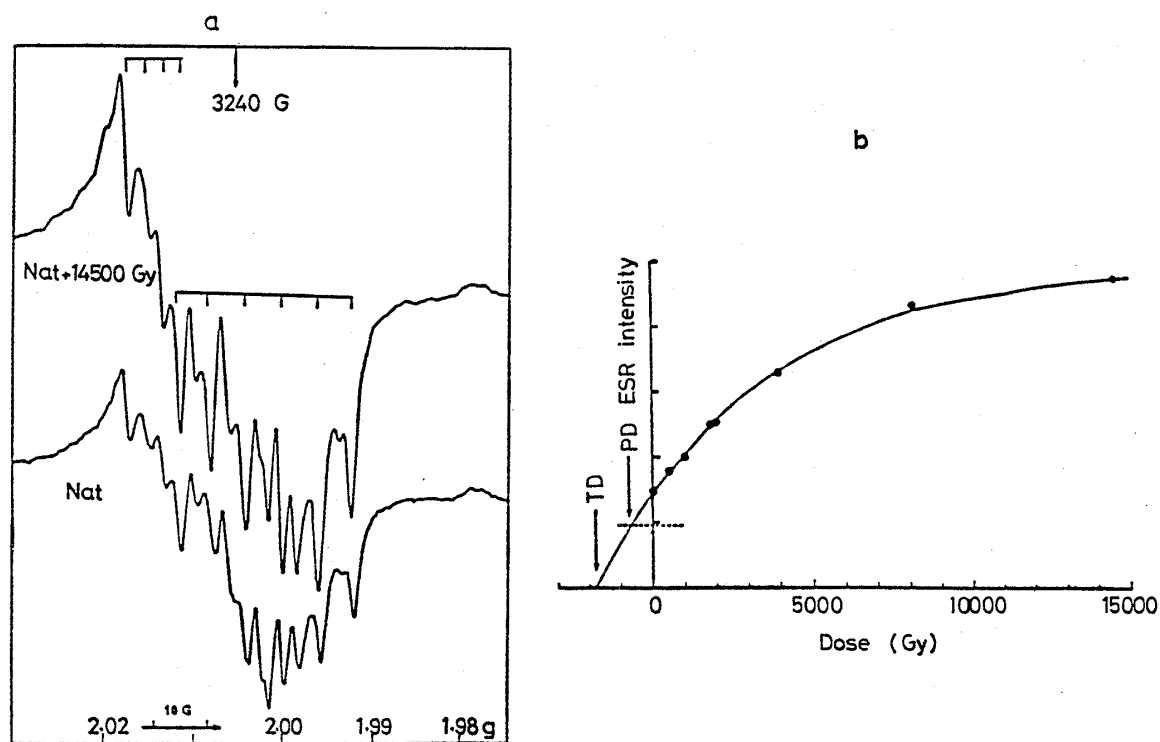
YOKOYAMA *et al.*(1985a)は石英粒子を 4 W UV 光に 5 cm の距離で 160 分間あてて Al 中心の信号強度の変化を調べたが、このときの強度の減少は約 20% で、この実験から彼等は TL 法の場合と同様に日光による信号のリセットには 500 時間以上必要であろうと述べている。また現生の堆積物で 60% もの強度の Al 中心の信号が観測されることから TL 法の場合と同様に ESR 信号は光によっては完全にリセットされず一定の強度の信号が残るとした。また SATO (1983) は有孔虫で 100

W タングステンランプを 10 cm の距離で 7 時間あてたところ ESR 信号は 24-31% 減少したと報告し、従って光は通常の試料処理と測定にはほとんど影響しないとした。しかし一方で TANAKA *et al.*(1985)は南関東の砂れき層中の石英の $g=1.997$ の信号はわずか 7 時間で完全に零になるとしている。以上のように ESR 信号の光に対する安定性は堆積物の年代測定の基礎となるが、今のところ試料によって大きく異なる結果が得られており今後の詳細な検討を要する問題である。

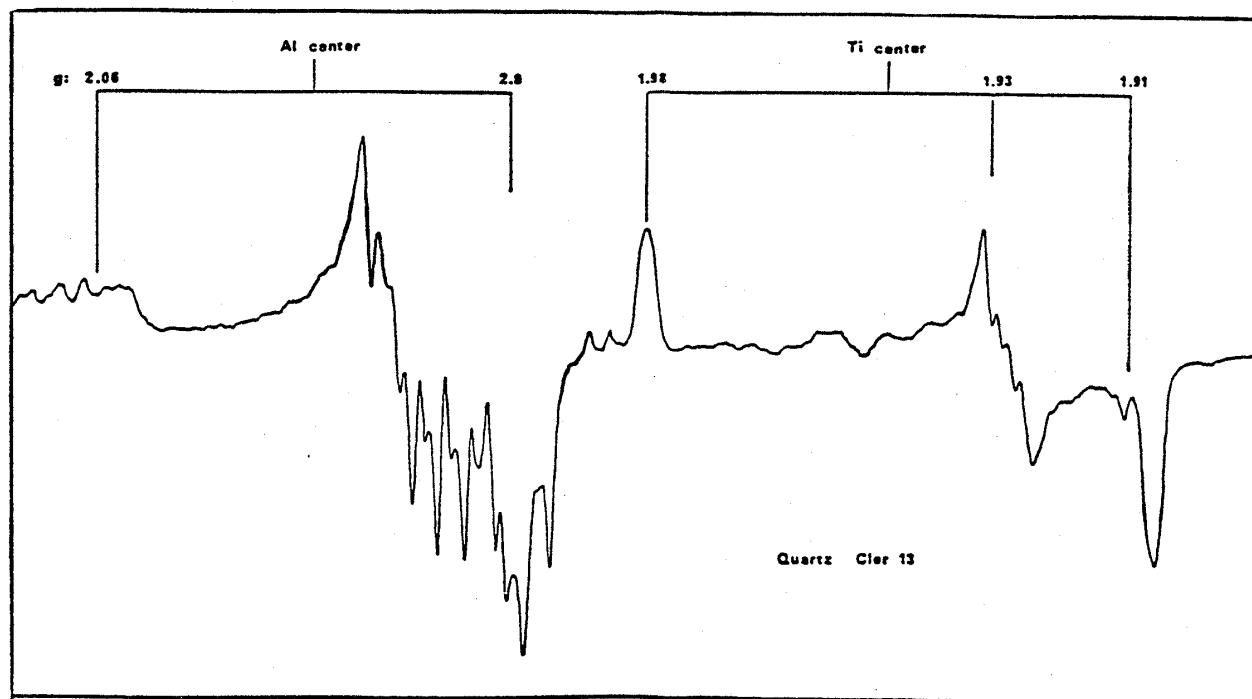
3. 測定例

3.1 風成砂と海浜砂

YOKOYAMA *et al.*(1985)は Tautavel の Arago 洞窟の風成砂(A)と Nice の Terra Amata の海浜砂(B)について年代測定を行った。試料は 40~80 または 40~160 μm の石英を用いた。第 15 図に海浜砂(B)中の石英の Al 中心の信号と、人工放射線を照射したときの信号の増加の様子を示した。この図から総被曝線量 TD が求まり、風成砂(A)で 1,795 Gy、海浜砂(B)で 2,060 Gy となった(第 5 表)。しかしながら両者とも現生の砂において 60% もの強度の ESR 信号が検出された。これを TD₀ とすると実際に自然放射線によって増加した量は TD-TD₀ であるとして差をとると風成砂(A)で



第 15 図 a. Terra Amata の海浜砂の ESR スペクトル b. ESR 信号強度と γ 線照射量との関係
信号強度は最も低磁場側のピークの最大値と、最も高磁場側のピークの最小値の差をとった。PD は TD から現生の海浜砂で存在する ESR 信号強度を引いたものとして示した。



第 16 図 Beaumont の砂質堆積物中の石英の ESR スペクトル

750 Gy, 海浜砂(B)で 110 Gy となった。放射性元素の含有量を測定することにより年間線量を計算し年代を求めると A で 0.45 Ma, B で 0.38 Ma となった。

3.2 溶岩に焼かれた砂

YOKOYAMA *et al.* (1985) は溶岩に焼かれた堆積物の年代測定を行った。この場合には熱によって信号がリセッ

第6表 第四紀砂れき層の ESR 年代(推定年代は火山灰の FT 年代より得られた値)

Name of Formation	LOC. No.	Depositional environments	ESR age (10 ⁴ y)	T D (KR)	Stratigraphical estimation (10 ⁴ y)
M2 Misaki	1	beach	6 ± 3	12 ± 6	5 - 6
	1	beach	7 ± 3	13 ± 6	
M1 Obaradai	2	beach	9 ± 3	18 ± 6	8 - 9
	3	beach	9 ± 3	18 ± 6	
S Hashirimizu	4	delta	12 ± 4	24 ± 8	12 - 14
	4	delta	13 ± 4	25 ± 8	
T-c Oshinuma	5	beach	38 ± 5	76 ± 10	30 - 40

トするので十分な温度と期間があれば光の場合のようなあいまいさは生じない。試料は Beaumont と Neschers の砂質堆積物である。ここから抽出した 50—200 μm の石英を用いた。スペクトルを第 16 図に示す。TD は Al 中心と Ti 中心の信号の特定のピーク間の強度を用いてもとめたところ Beaumont ではそれぞれ 3, 250, 3, 450 Gy, Neschers で 960, 910 Gy となり Al 中心と Ti 中心から求めた総被曝線量はほとんど一致した。

3.3 第四紀砂れき層

TANAKA *et al.* (1985) は、南関東地域の第四紀層の砂れき層の年代測定を行った。彼らの実験によれば、 $g = 1.997$ の信号は日光により約 7 時間で零にリセットされた。次に段丘堆積物と海浜堆積物についてゼロセット過程についてのモデルを提出し ESR 年代は段丘堆積物では被覆年代を海浜堆積物では堆積年代を与えたとした。年代を求めたのは三崎、小原台、走水、おし沼の各砂れき層で、年間線量を 2.00 Gy/y と仮定すると第 6 表のような年代値が得られ FT 年代とよく調和した。

以上のように ESR による堆積物の年代測定についてはまだ研究が始まったばかりであり、特に光によるリセットについては断層の場合以上に多くの問題があると考えられる。堆積物の年代測定が本当に可能であるかどうかを含めて今後の問題であろう。

参 考 文 献

- FEIGL, F. J. and ANDERSON, J. H., 1970 : Defects in crystalline quartzs : Electron paramagnetic resonance of E' vacancy centers associated with germanium impurities. *J. Phys. Chem. Solids*, **31**, 575-596.
- GARRISON, E. G., ROWLETT, R. M., COWAN, D. L. and HOLROYD, L. V., 1981 : ESR dating of ancient flints. *Nature*, **290**, 44-45.
- GRIFFITHS, D. R., ROBINS, G. V., SEELEY, N. J., CHANDRA, H., MCNELL, D. A. C. and SYMONS, M. C. R., 1982 : Trapped methyl radicals in chart. *Ibid*, **300**, 435-436.
- GRIFFITHS, D. R., SEELEY, N. J., CHANDRA, H. and SYMONS, M. C. R., 1983 : ESR dating of heated chert. *PACT J.*, **9**, 399-409.
- GRISCOM, D. L., 1978 : Defects and impurities in α -quartz and fused silica. In PANTELIDES, S. T. (ed.) : The Physics of SiO₂ and its interfaces proceeding of the International Topical Conference, 232-252, Pergamon N. Y.
- IKEYA, M., 1983 : ESR studies of geothermal boring cores at Hachobara power station. *Jap. J. Appl. Phys. Letters*, **22**, L763-769.
- IMAI, N., SHIMOKAWA, K. and HIROTA, M., 1985 : ESR dating of volcanic ash, *Nature*, **314**, 81-83.
- McMORRIS, D. W., 1969 : Trapped-electron dating : ESR studies. *Ibid.*, **222**, 870-871.
- , 1970 : ESR detection of fossil alpha damage in quartz. *Ibid.*, **226**, 146-148.

- , 1971 : Impurity color centers in quartz and trapped electron dating. *J. Geophys. Res.*, **76**, 7875–7887.
- SATO, T., 1983 : ESR studies of planktonic foraminifera. *Nature*, **305**, 162.
- SHIMOKAWA, K., IMAI, N. and HIROTA, M., 1984 : Dating of volcanic rock by electron spin resonance. *Isotope Geoscience*, **2**, 365–373.
- and IMAI, N., 1986 : Simultaneous determination of alteration and eruption ages of volcanic rocks by electron spin resonance. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **51**, 115–119.
- STAPELBROEK, M., GRISCOM, D. L., FRIEBELE, E. J. and SIGEL, JR. G. H., 1979 : Oxygen associated trapped-hole centers in high-purity fused silicas. *J. Non-Crystalline Solids*, **32**, 313–326.
- SCHNADT, R. and RÄUBER, A., 1971 : Motional effects in the trapped-hole centers in smoky quartz. *Solid State Commun.*, **9**, 159–161.
- 角 清愛, 1972 : 熱史の化石としてみた地熱地帯の熱水変質. 地熱, **34**, 24–39.
- TAGUCHI, S., HIRAYAMA, M. and HAYASHI, M., 1985 : ESR signal of zircon and geologic age. *ESR Dating and Dosimetry*, 191–196.
- 高島 勲, 本多朔郎, 1986 : 熱ルミネッセンス年代測定による八幡平玉川—小和瀬地域の地熱活動史の解明. 岩鉱, **81**, 548–465.
- TANAKA, T., SAWADA, S. and ITO, T., 1985 : ESR dating of late Pleistocene nearshore and terrace sands, in southern Kanto, Japan. *ESR Dating and Dosimetry*, 275–280.
- YOKOYAMA, Y., FALGUERES, C. and QUAEGBEUR, J. P., 1985a : ESR dating of quartz from Quaternary sediments : first attempt. *Nucl. Tracks*, **10**, 921–928.
- YOKOYAMA, Y., FALGUERES, C. and QUAEGBEUR, J. P., 1985 : ESR dating of sediment baked by lava flows : comparison of paleodoses for Al and Ti centers. *ESR Dating and Dosimetry*, 197–204.
- WEIL, J. A., 1984 : A review of electron spin spectroscopy and its application to the study of paramagnetic defects in crystalline quartz. *Phys. Chem. Minerals*, **10**, 149–165.
- WRIGHT, P. M., WEIL, J. A., BUCH, T. and ANDERSON, J. H., 1963 : Titanium colour centers in rose quartz. *Nature*, **197**, 246–248.