

兵庫県南部地震で観察された宏観異常現象について(1) 地震発光の化石!?

榎本 祐嗣¹⁾

1. はじめに

地震に伴う宏観異常現象の一つにあげられる発光現象については、古来より、しかも洋の東西を問わず共通した記録が数多く残されている(武者1932)。約40年前の松代群発地震(1955-1957)では、発光がはじめて写真に収められ科学的な裏付けを得たとされている(安井1968, Derr 1973)。しかし、それ以来発光を伴う地震が身近に起きなかったこともあってか、近年の科学技術の著しい進歩の中で、この現象の科学的解明は取り残された。そして1995年1月17日未明、多大の被害をもたらした兵庫県南部地震において、多くの人が発光現象を目撃し(佃1995, 弘原海1995)、歴史の記録を改めて甦らせた。

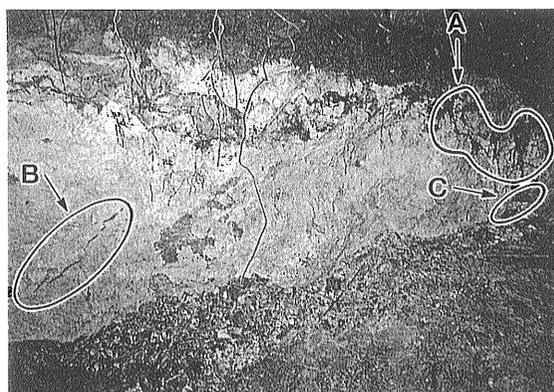
過去の多くの記録を参照してみると、兵庫県南部地震の発光の形態や特徴は現象的に類似している事が分かる。現象の実体に迫るには科学的に追求できる証拠、例えば地中や地上に残るかもしれない痕跡などは有力な手がかりを提供することになろう。かかる研究の意義は、未知の現象を科学するだけに止まらない。それは、地震にともなう宏観異常現象を証言だけにたよるのではなく、科学的手段によるセンシング対象としての可能性、延いては地震直前予知を視野にいれた‘対震’工学の基盤的知見に結びつく可能性の追求にある。

本震約1ヵ月ののち、余震がなお懸念されていたことを受けて、淡路島にパルス地電流の測定機器を持ち込んで3ヵ月にわたり暫定的な観測を実施する機会があった。その合間に野島断層を巡検した際、平林地区の未舗装道路を横切る断層面で目

にしたラメラ状黒変硬化ガウジの露頭やその付近のみに見られた草の根の黒変化、白い風化花崗岩の断層壁に残る黒い状痕は、野島断層の他のところでは見られない光景であった(第1図)。

さらにその後、淡路島の斗之内港にいた漁業従事者E.K氏から、「野島の方向に最初地中から吹き出すような青白い筋状の放電が起こり、1・2秒後に激しい揺れが来た。その後まるで夜明け前のように山の端が明るくなってしばらく続いた後、またもとの暗さに戻った」との証言をえた(第2図)。この証言の方向に平林地区の野島断層地層がある。

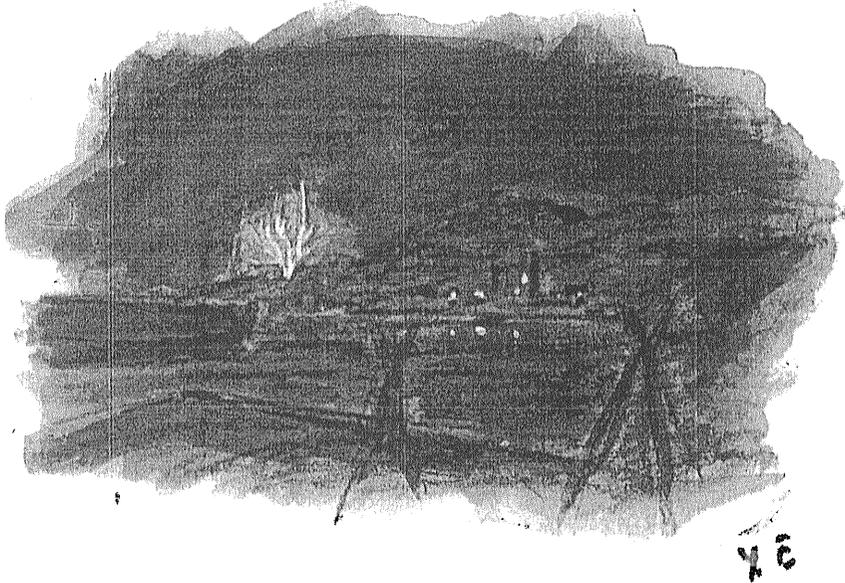
活断層調査に機械技術研究所も対応できる機会を得たので、1996年2月~3月と1997年2月の2度にわたってボーリングコアの採取ならびに比抵抗電気探査などの調査を実施した。



第1図 平林地区の野島断層、右上にA点付近で草の根の炭化が顕著。その下側のC点にラメラ状硬化ガウジが存在する。B点では黒い条痕(機械的な引っ掻き痕ではない)が見える。断層高さ:約1.3m。

1) 機械技術研究所 基礎技術部:
〒350-8564 茨城県つくば市並木1-2

キーワード: 兵庫県南部地震, 地震発光, 断層ガウジ, 磁化, 宏観異常現象



第2図 証言にもとづいて描いた地震発光の様子(斗之内漁港から野島方面を望む)。

2. 断層コアの特徴

ボーリング場所は、平林地区野島断層が未舗装道路を横断する箇所で、道路南西側端を大阪層群側から断層面に垂直方向(S47° E)に伏角を変えた4本(A孔, 最大掘削深度: 15m), さらに断層面沿いに斜めに横切る方向(N43° E)に伏角を変えた4本(B孔)のボーリング, さらにA孔付近で断層面に沿ったコア(C孔深さ2m)も採取した(第3図)。

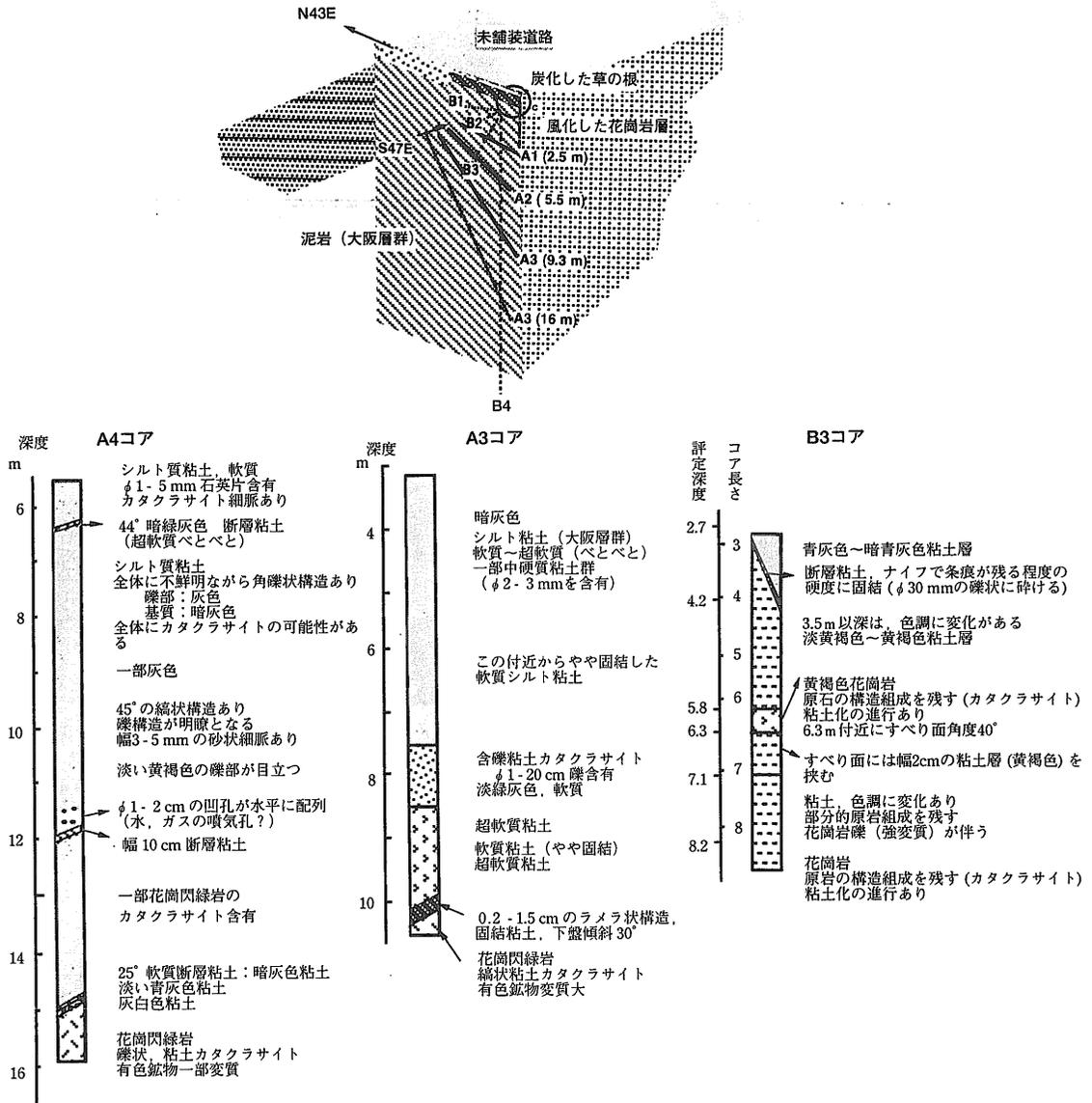
花崗岩の風化層と大阪層群の泥岩層に挟まれた断層ガウジは風化花崗岩や泥岩よりかなり黒変し硬化していた。C孔とA孔の断層ガウジにはラメラ構造がみられた(第4, 5図)。しかしB孔のそれは、ほぼ均質な構造で前者ほど顕著な流動組織が見られない。にもかかわらず、柔らかい風化花崗岩層の中に硬いガウジが流動分岐して花崗岩側に貫入している様子が観察される。同じような様子はラメラ状硬化ガウジにも見られた。またC孔のラメラ状硬化ガウジと泥岩との間には柔らかい粘土状のガウジが存在する。しかし、B孔のガウジにはそれが見られない。ラメラ状ガウジはA孔の深さ10m付近でも見られたが、A4孔(深さ14m付近)の断層ガウジは、灰白色の軟質粘土状を呈し両側の岩石よりもかなり軟らかい。

3. ラメラ断層ガウジの観察・分析

このラメラ状ガウジは、泥岩片、長石、石英、炭酸塩鉱物、不透明鉱物などが均質に分散した灰色部の中を黒い脈が幾筋も貫入したような構造を呈している。黒い筋状部にはカリ長石、石英ならびに黒色鉄系鉱物の濃集脈や方解石の脈が見られる。また石英脈には乱流構造が見られ、硬化する前に極めて流動性の高い流体または微細岩屑を含むスラリー状態であったことを伺わせる(第5図)。また方解石の脈がラメラの流動を横断する形で網目状に存在している。すなわち、この脈が黒い筋状脈のあとにできたことを示唆している。

X線回折から、断層硬化ガウジにsideriteが存在していることが確認できた。約500-550℃以上の温度になると分解・酸化してmagnetiteに変化するが、その事実がないことから、ラメラ状ガウジ全体の平均温度は550℃以上には上昇していないと判断できる。しかし、流体痕跡の見られる黒い筋状部では、数100度あるいはそれ以上の高温状態が存在していたと推定される。

このような温度上昇は、熱水の上昇、摩擦熱、そして放電起源であればジュール熱が考えられる。しかしこの付近に火山活動はない。また深さ数kmでの断層運動でない限り地表付近でのこのような



第3図 コア採取のためのボーリング(上)と代表的なコアの地質柱状図(下)。

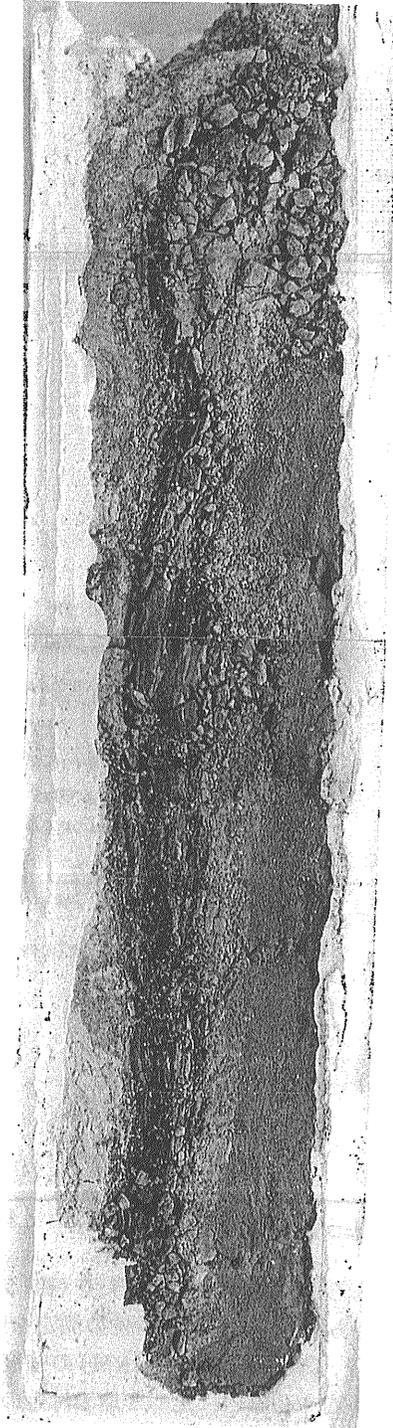
温度に達する摩擦熱上昇はありえない。放電説を作業仮説に取り入れるなら、落雷による岩石の異常磁化と同様なことが起こっている可能性がある(Cox, 1961; 酒井ほか, 1995)。

4. 磁化特性の測定(榎本, 足助, 鄭, 1997; 1998)

そこで、いろいろな深さの断層ガウジや周辺の

花崗岩ならびに泥岩(大阪層群)を(株)ジオサイエンスに持ち込み、残留磁化特性の測定を依頼した。その結果、自然残留磁化(NRM)の強度は、断層付近の泥岩や花崗岩に比べて地表付近の硬化ガウジが最も大きく、強い保持力の成分は二次的に磁化を獲得したものであることが分かった。原因として、1) 強い放電電流がつくる磁場で磁性鉱物の等温残留磁化(Cox, 1961; 酒井, 1995)か、2) 熱水に溶けた超常磁性状態にある強磁性体が結晶成長

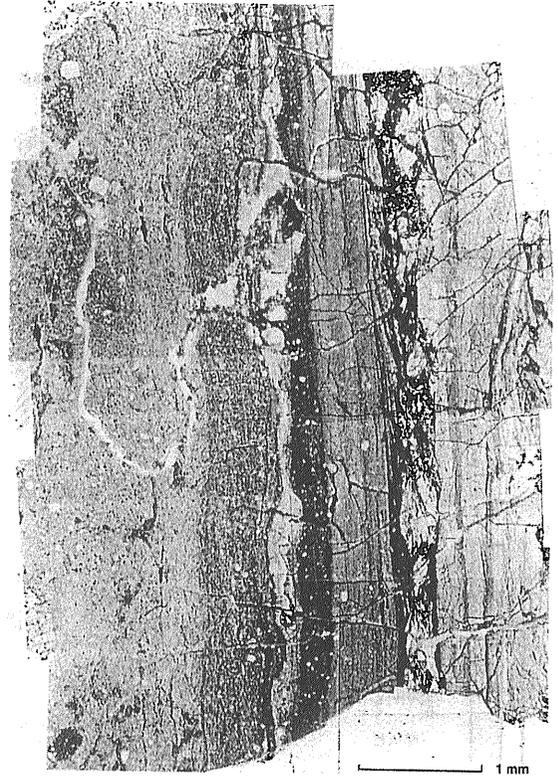
↑
地上方向



↑
黒変ラメラ状ガウジ

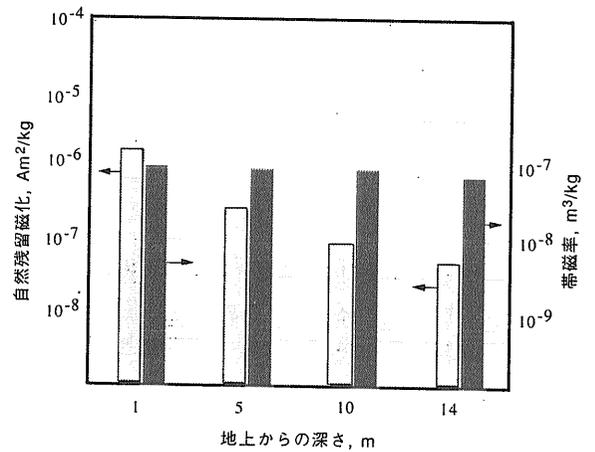
└──────────────────┘ 10cm

第4図 ラメラ断層ガウジのコア断面(地上付近).

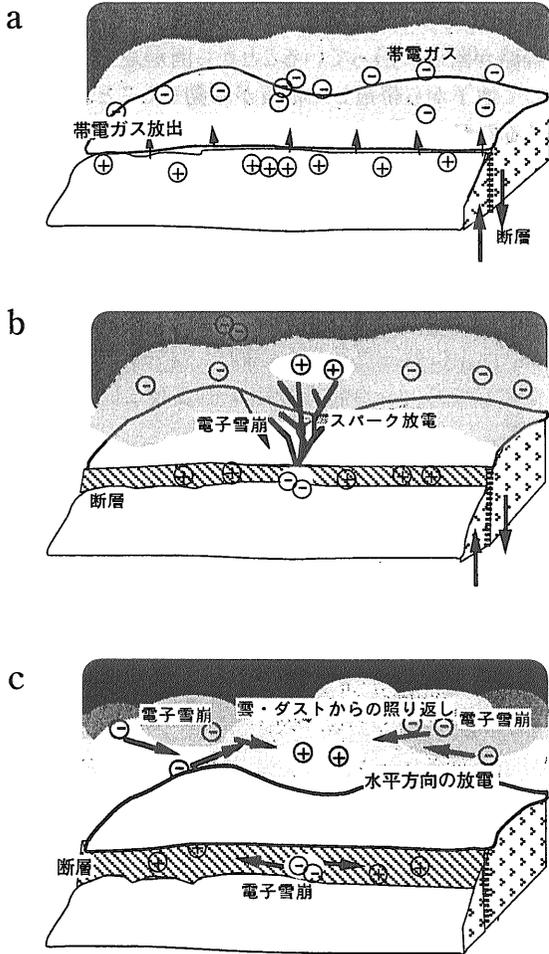


第5図 ラメラ状硬化ガウジの偏光顕微鏡写真. 黒い筋に沿ってFe, Alなどの金属が濃集している. またその周辺に溶融してできた石英の乱流構造脈も見られる.

断層周辺の泥岩の磁化特性



第6図 断層ガウジ周辺の泥岩の自然残留磁化と帯磁率と採取深さとの関係.



第7図 発光のモデル。a) 断層運動によるガス相と固体相の分離, b) ガス相から断層への電子のなだれ(スパーク放電), c) 放電でできた電荷ホールへ周辺からの反対電荷の移動(大気中では地面に平行な放電となる, 一方断層面でも同様な電流が流れ電荷の不均衡を中和する)。

を起こして獲得する化学残留磁化が挙げられる。

しかし追加して行った次の磁化特性の解析結果から、放電起源説が有力であるといえる。

1) 断層付近の泥岩の自然残留磁化は、地上にいくにつれて大きくなる傾向を示した(第6図)。これに対して泥岩の帯磁率は、深さに関係なくほぼ一定であった。このことは泥岩中に含まれる強磁性鉱物の量は、深さに関係なくほぼ同じであるにもかかわらず、地表面近くの泥岩のみが二次的磁化を獲得したといえる。この原因を熱水

起源の化学残留磁化の影響によると仮定すれば、深いほど二次的残留磁化は大きくなるはずであろう。しかし事実はその逆である。

2) ラメラ状ガウジならびに付近の泥岩について段階交消磁実験を行った結果、断層ガウジから7cm以内の泥岩9試料のうち4試料は強い保持力の成分を有して、それらの方向は現在の地球磁場の方向とはかなりかけ離れていた。しかも、そのベクトルは、シュミット図で1つの特徴的な大円の面に載った。放電起源説を採れば、これは泥岩の磁化がガウジを流れた電流のつくる磁場の影響を受けたことで説明できる。このとき、磁化方向から電流の流れた方向は地下より地上にむけてほぼ真上であることが推定された。

なお、第3節で述べた、ラメラの流動方向に横断する網目状の方解石の脈は、放電固化による収縮過程で発達した網目状の亀裂内に、なお流動性の残る方解石が入り込み最後に固化したのではなからうかと、推定している。

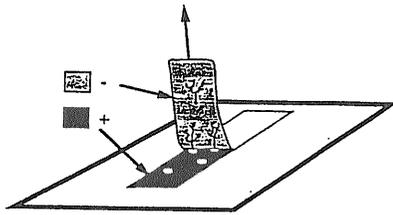
5. スパーク放電による粘土ガウジの焼結

放電起源説を採る場合、短い放電時間内に果たして粘土ガウジが硬化するかの検討が必要になる。低電圧大電流のスパーク放電焼結(SPS)法はすでに工業的に実用になっていて、セラミックスやポリマーなど非導電性物質までもが数分間の放電で固めることができる(Omori *et. al.* 1994)。このプロセスでは、固体粒表面/界面の導電性の比較的良好ところが放電路となって局部的に温度が上がり、固体内部までは加熱を受けないで固まる。実際にSPS装置を用いて、直流約10V、1,000A、30Hzのパルス電流条件で、A4コアの粘土ガウジを10-20秒で硬化ガウジとほぼ同じ程度に固結させることができた。但しこの固結でsediriteはmagnetiteに変質したので500℃以上の昇温したことになる。

6. 地震発光の考察

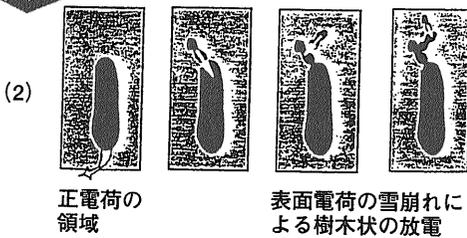
平林地区野島断層の地表付近で観察された2つの異常な現象、すなわち1) ラメラ構造ガウジは深さ10mまでの地上付近のみに存在したこと、2) 草の根の炭化が、道路を横切る断層面の東端のラメ

引き剥し面上の電荷の運動

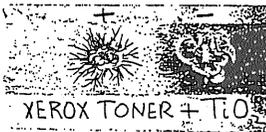


(1) 電子過剰の接着テープ

電子不足の基板
局所的な電荷増によるブレークダウン
基板上の正電荷の領域への電子の移動



ゼロックス トナー + TiO₂粉末



第8図 マイクロスパーク放電の実験室試験 (Dickinson 私信).

ラ構造ガウジが露出する付近でのみ最も顕著であったことは密接な関連しているはずのもので、従って同じ原因によるであろう。しかも炭化しているのは根だけで葉は、明らかにその当時のシーズンのものである。一方野島断層は100万年を越える活動歴があるといわれているが、硬化ガウジは堆積岩が硬化するに必要な年代を経たものではない。地上付近で風化してしまいその硬度を維持できないだろう。実際約半年の間ラメラ状硬化ガウジを水に漬けておいたところ、かなり硬度低下が見られた。これらを説明しうるのは、兵庫県南部地震で地上付近で起きたスパーク放電説以外に考えにくい。

このような放電を起こすメカニズムが次の課題となる。これまでピエゾ圧電効果あるいはそれに関連した機構での発光の説明がなされている (Finckelstein and Powell, 1970, Ikeya and Takaki,

1996)。しかし、上述したように地表付近で放電経路が断層に沿っていることから断層運動にともなう地下から帯電した物質が移動したことよると考えるのが妥当と思われる。最近の研究 (Zao et al., 1996) によると、野島断層の震源域には鉱物からの脱水、ポアにトラップされた水などの流体が多く存在しているらしい。これらの蒸気相や流体相が断層の急激な運動により断層面を通過しスクイズアウトした結果、負帯電しやすい気相が大気に放出され、地上に残った正帯電の固相との間に電荷分離が生じてスパーク状の放電を引き起こしたと推定する。

ではその後につづいた山の端全体が明るくなった現象はどうなのだろうか？ 地震の直後、神戸市内や淡路島の水越あたりで、地上を這うような水平方向の放電が相次いだことが報告されている (佃, 1995)。これは、上述した対空放電が起こった付近の大気が一時的に負電荷不足状態 (正電荷の穴) になり、そこに周辺の大気負電荷が流れ込んで水平方向の放電を招き、さらに同じことがまたその周辺で暫し繰り返された結果と考えられる (第7図)。そうであれば地上付近での水平方向の放電光は、地震時に覆っていた雲や霧あるいはダストに照り返され、離れた位置から見た観測者には暫し山の端全体が明るく映えて見えたであろう。すなわち山全体が明るく光る現象は二次的現象であって、断層面を通じた電荷移動がより一次的な機構であった可能性が高い。実際、地震の際に地上から吹き出すような火柱の発光を見たという記録は、1930年11月の伊豆地震、1966年松代群発地震をはじめ過去にも多くある (武者1932, 安井1968)。

室内での簡単な実験で、第8図の様子を見ることが出来る。ワシントン州立大学のDickinsonら (1987) によるもので、スコッチテープを写真乾板に張り付けて急に引き剥がすときマイクロスパーク放電がテープと乾板の間で起こる。こうしてできたテープ側の負電荷のホールに周辺から電子が雪崩れ放電が続く。そして、コピー機に使うカーボン粉を均一に吹き付けることにより放電のパターンが可視化できる。

本稿の終わりに当たって、近い将来に断層面に沿った深いボーリング調査ができて物質移動が調べられれば、断層の摩擦強度など多くの有用な情

報とともに、地震発光現象にかかわるさらに有用な手掛かりも得られるのではないだろうかと考えている。

謝辞：地質調査には日頃縁のない筆者であったから、本稿をまとめるにあたっては、実に多くの方から教示をいただいた。地質調査所の有田正史さんには執筆のお誘いをいただき、丁寧に原稿の査読をいただいた。磁化測定などでご苦労をかけた(株)ジオサイエンスの鄭重さん、現地でのコア採取の許可をいただいた平林の小川道文さん、ボーリングコア調査で世話になった住鉱コンサルタント(株)の皆さん、斗之内港での証言をえるきっかけをいただいた東大地震研の佃為成さん、有益な議論をいただいた地震研の嶋本利彦さん、微小部の磁化測定をしていただいた姫路工大の石垣博行さん、松井厚憲さん、スパーク放電焼結で世話になった住友石炭鉱業(株)の鴫田正雄さん、機技研の足助富美雄さんほか、関係いただいた皆様に厚くお礼を申し上げたい。

参 考 文 献

- Cox, A. (1961) : U.S. Geol. Surv. Bull., 1083E, 131-160.
 Derr, J. (1973) : Bull. Seis. Soc. Ameri., 63, 2177-2187.
 Dickinson, J. T. et al., (1987) : J. Adhesion, 24, 199-220; (1996) : 私信.
 榎本祐嗣・足助富美雄・鄭重 (1997) : 地球惑星科学関連学会
 1997年合同大会予稿集G12-06.
 榎本祐嗣・足助富美雄・鄭重・石垣博行・松井厚憲 (1998) : 月刊地球, 印刷中.
 Finkelstein, D. and Powell, J. (1970) : Nature, 228, 759.
 Ikeya, M. and Takaki, T. (1996) : Japan. J. Appl. Phys., 35, L355-L357.
 Omori, M., Sakai, H., Hirai, T., Kawahara, M. and Tokita, M. (1994) :
 3rd Inter. Symp. on Structural and Functional Gradient Materials., B. Ilchner and N. Cherradi ed., 71-76; (1994) . Ibid, 667-671.
 武者金吉 (1932) : 地震に伴う発光現象の研究及び資料, 岩波書店.
 酒井英男ほか (1995) : 防災科学技術研究所資料 第166号 199-206.
 佃為成 (1995) : 月刊地球, No.13, 184-189.
 安井 豊 (1968) : 地磁気観測所要報, 13, 25-61.
 弘原海 清 (1995) : 阪神淡路大震災 前兆証言1519, 東京出版.
 Zhao, D., Kanamori, H., Negishi, H. and Wiens, D. (1996) : Science, 274, 1891-1894.

ENOMOTO Yuji (1998) : Grand anomalies accompanying the 1995 Kobe earthquake (1) : Petrified earthquake lightning !?

< 受付 : 1998年2月10日 >

