

地震の先駆現象としての電磁氣的現象の発生機構

名古屋大学理学部 山田功夫・高野雅夫

Source mechanisms of electromagnetic precursor

Isao YAMADA and Masao TAKANO

Department of Earth Sciences, Nagoya University

1. はじめに

VALOTSOS and ALEXOPOULOS(1984a,b)は地電位の観測を使ってギリシャ付近に起こる地震をかなりの確度で予知できるとしている。彼らはこの前兆現象としての地電位の変化 (SES: Seismic Electric Signal) の発生機構を結晶内の点欠陥のモデルで説明しており、詳細は歌田(1990)によって紹介されている。

一方、我々は前報告 [山田(1990)] において、岩石の破壊に伴い電磁氣的な現象が観測されることを実験的に確認し、その発生機構を説明するためにいくつかのモデルについて定量的な検討を加えたが、モデルを特定するには至っていない。我々がこれまで検討してきた電磁氣的現象の発生モデルは破壊や急激な応力降下に伴って起こるような場合のみを検討してきた。そして大きな破壊に先行して必ず活発な微小破壊活動が起こると考えてきた。一方VALOTSOS and ALEXOPOULOS (1986)のモデルでは必ずしも破壊とか応力降下によるものではない。このモデルでは破壊に至る前の連続的な応力変化の時期にSESは起こる。そこで我々は微小破壊を伴わない電位変化の可能性を実験的に確かめるため、発生源モデルの予備的な検討をおこなった。

2. 点欠陥モデルとバンドモデル

鉱物にはthermoluminescenceと言う現象がある。thermoluminescenceというのは、例えば螢石に見られるように、鉱物の温度を上昇して行くと突然光を放つ現象で、他の多くの鉱物にも見られる。石英を加熱して行くと図-1に見られるように190°C付近と375°C付近で発光するのが観測される。バンドモデルによれば、図-2に示すように、放射線などによって価電子帯の電子のあるものは電導帯にたたき出される(図の1の過程)。電子は電導帯では動き回り、電子捕獲中心に落ち捕獲される(図の2の過程)。一方、HOLE(正孔)は価電子帯を移動し発光中心に捕獲される。捕獲中心に捕獲される電子の数は時間とともに増加して行く。このような欠陥を持った結晶を加熱して行き、格子の熱振動が捕獲中心に留まっている電子を離脱するのに十分になると電子は励起され電導帯へと移動する(図の3の過程)。移動はいくつかある捕獲帯のなかで電導帯に近いものほど低い温度で起こる。電導帯を移動した電子は発光中心でHOLEと再結合するが、この時光を放つ(図の4の過程)。価電子帯から電子がたたき出される量は照射された放射線の量によるので、再結合時の光もサンプルが受けた放射線の

総量に比例すると考えられる。このバンドモデルは、歌田(1990)が紹介している VALOTSOS and ALEXOPOULOS(1986)のSESの発生機構を説明する点欠陥モデルによく似ている。

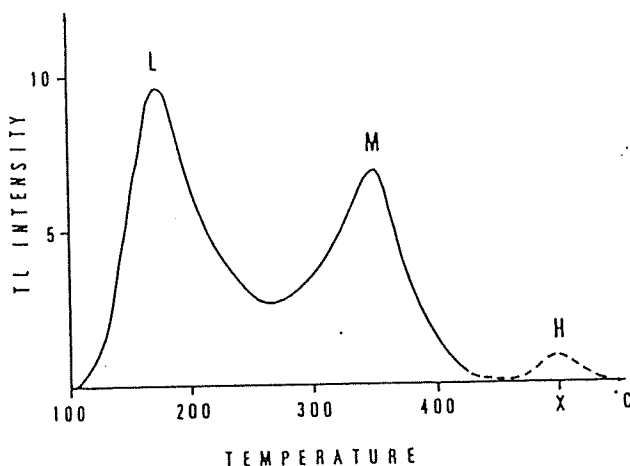


図-1 石英のtriboluminescenceによる発光の強さと温度
L, M, Hは図-2の捕獲位置と対応する。
[萩原 他(1988)による]

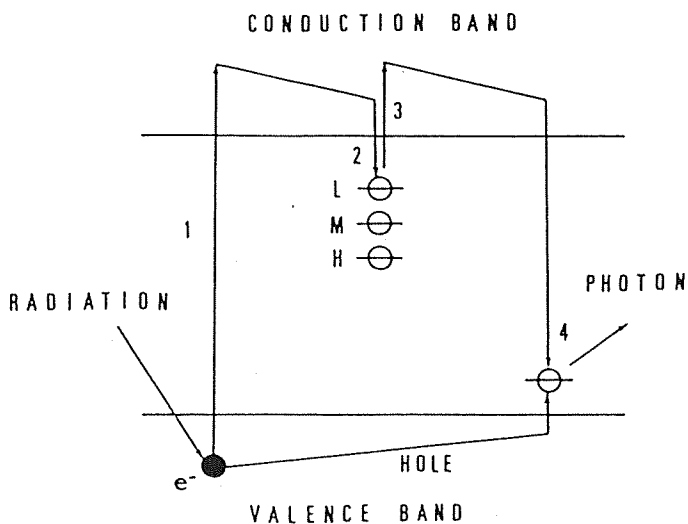


図-2 バンドモデルに基づくtriboluminescenceの発生機構
1: 放射線被爆による価電子の励起、2: 捕獲帯での電子の捕獲、3: 加熱による捕獲電子の再励起、4: 発光中心での発光 [萩原 他(1988)による]

また、ESR(electron spin resonance)方による不対電子の測定は捕獲状態の電子の数を直接計るものと考えてよい。捕獲中心に電子が捕獲される最大数は物質のその時の状態で決まっているが、一杯になるまでは放射線による被爆線量に比例する。もし、断層活動などで捕獲電子がリセットされるならばこの捕獲電子の量は最後の断層活動からの年代を表すとして年代測定に使われている。

これを裏付ける実験もある。

図-3は封圧下(100MPa)の花崗岩(50mm×100mm)に軸圧をかけ、破壊前に圧縮実験を中止しESRの測定を行った例[TANAKA and SHIDAHARA(1985)]で測定値が加えられた差応力とともに減少している。すなわち、捕獲中心に捕獲された電子は歪エネルギーよって励起され図-2の4の過程をたどることが分かる。

このように現象的には違うことを説明しているようだが、その内容はいずれも結晶構造の欠陥が外部から供給されるエネルギーによって消失するモデルであり、同じことをいっているように思われる。

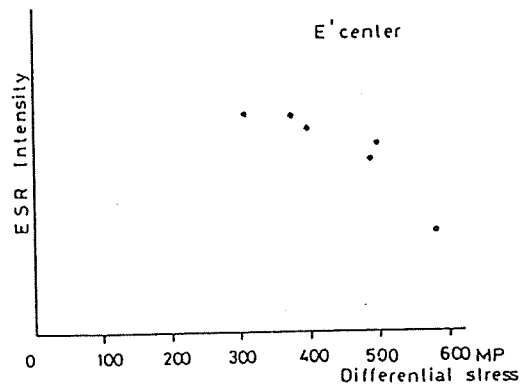


図-3 花崗岩の圧縮によるESR強度の変化[TANAKA and SHIDAHARA(1985)]による。

3. 地震予知への応用

地殻の歪はゆっくりと蓄えられて行くが、地殻の破壊強度は場所によってひどく異なる。また、前の地震で震源域の歪が完全に解消されるとは限らないため、地震は繰り返し起こっているがその周期は数10年から数100年と様々である。VALOTSOSのモデルやバンドモデルはかなり低いエネルギーレベルで起こる現象のようであり、これが地殻の破壊強度の70~80%のところでも起ったとしても、地震の繰り返し周期を考えると地震発生の数年から数10年前に起こる現象ということになる。これではとても地震の直前に起こると言うSESを説明ことはできない。

VALOTSOS and ALEXOPOULOS(1984a,b)はSESが地震発生の数日から20日前に起こると言っているが、地殻の破壊強度と捕獲電子が励起されるエネルギーレベルとは独立なものであり、このように破壊のごく近くになってちょうど捕獲電子が励起されるエネルギーを得るというのはあまりにも偶然すぎる。また、前に述べたように地殻の破壊強度は場所によって大きく異なるので、あるエネルギーレベルから地震発生までの間隔はひどく違う(一日であつたり数年であつたりする)はずである。地震の直前(数日前)に起こるSESを説明するには、やはり、このころ最終破壊の先駆的な動きが始まっていると考え、SESの発生機構はこ

の段階になって起こる現象と考えるべきである。

4. 破壊の開始と不対電子の生成

我々は前の報告 [山田(1990)] で岩石の破壊にともない電磁氣的現象が観測されることを示し、その発生機構についても考察したが、破壊によって新たな捕獲電子(不対電子)が発生するという実験もある。TANAKA and SHIDAHARA(1985)は人工の石英をごく低温(123K)のもとで破碎し、ESR測定を行うと図-4に見られるような新たな不対電子が観測されることを示した。すなわち、ESRで測定されるような不対電子は放射線の被曝によるだけでなく、破壊のような機械的な外力によっても作り出されることを示している。おそらくSi-Oなどのボンドが切れることによるものであり、常温では一瞬にして化学反応によって消えて

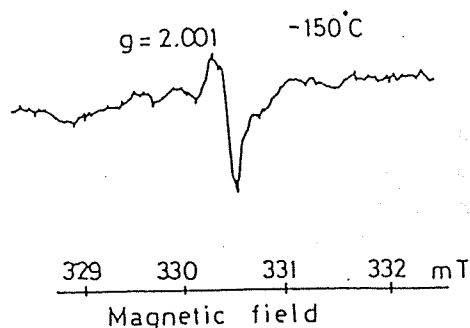


図-4 123Kにおける人工石英の破碎によるESRスペクトラム [TANAKA and SHIDAHARA]

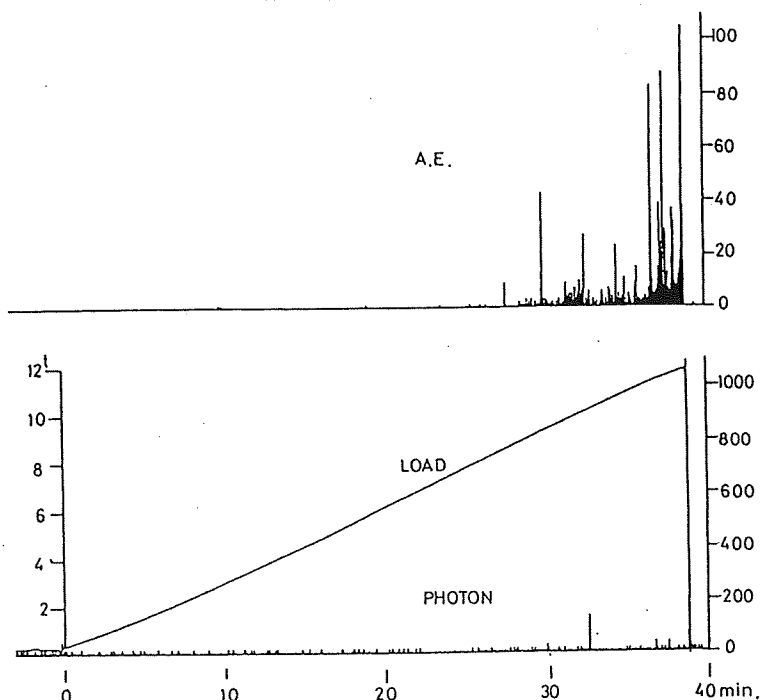
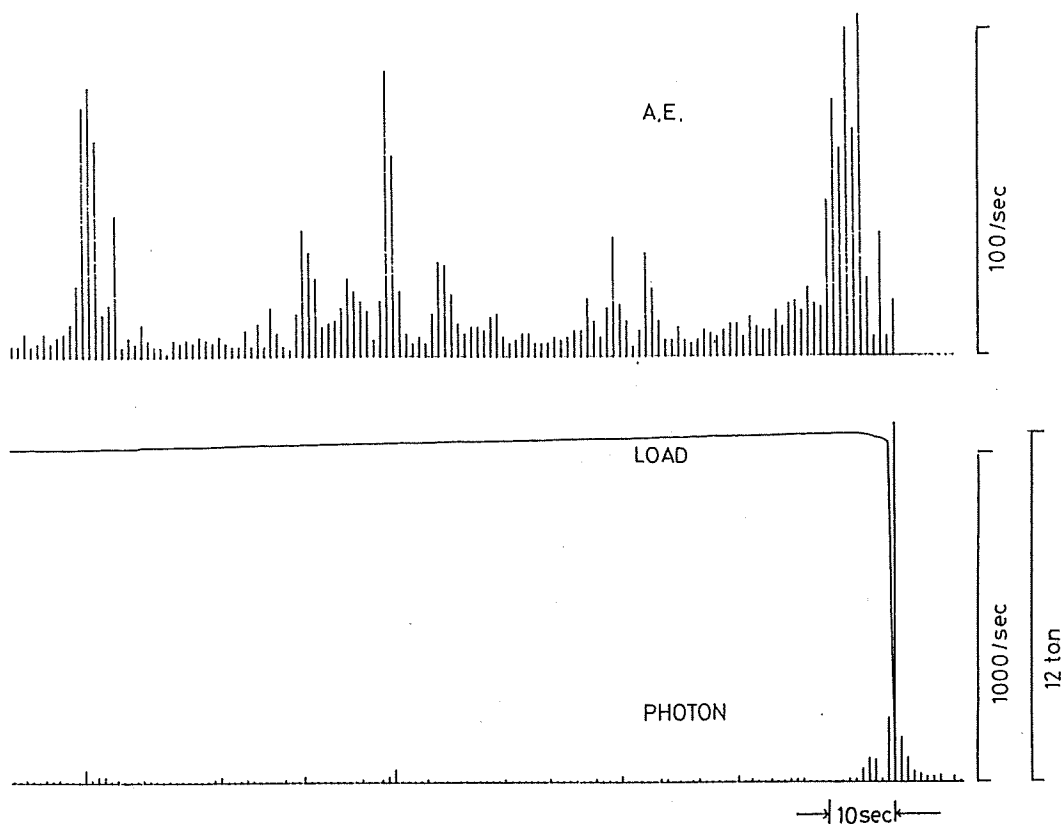


図-5 花崗岩の破壊に伴う発光 (triboluminescence)



図一六 花崗岩の破壊に伴う発光（図一五の破壊時を拡大）

しまう様なものと思われる。ごく低温で観測されたのはそのためであろう。

破壊に伴う現象としてtriboluminescenceといわれる現象がある。これは物を破碎したり強い衝撃を加えたとき発光する現象で、図一五は花崗岩のサンプルを一軸圧縮により破壊させた時、光電子倍增管によって観測された発光である。図一六に破壊時の部分の拡大を示すように強い光は破壊と同時に観測されている。このtriboluminescenceといわれる現象は多くの結晶で観測されている。例えば、前田(1986)は花崗岩をはじめ色々な岩石について破壊にともない発光が観測されることを実験的に示した。

また、triboluminescenceによる発光とともに電子が放射されるのが観測されたと言う報告もある。図一七に示すようにKRUGLOV et al.(1966)はNaClの圧縮実験でtriboluminescenceによる発光とともに電子が放射されたと報告している。このtriboluminescenceという現象の原因はよく分かっていない。図一八に示すようにその光のスペクトルは空気中での放電のスペクトルに近い。また、真空中ではこのtriboluminescenceによる発光は観測されないことから、結晶の破壊によって例えばSi-Oのボンドが切れ、この電子がdischargeされるときに空気が光ると考えられている。

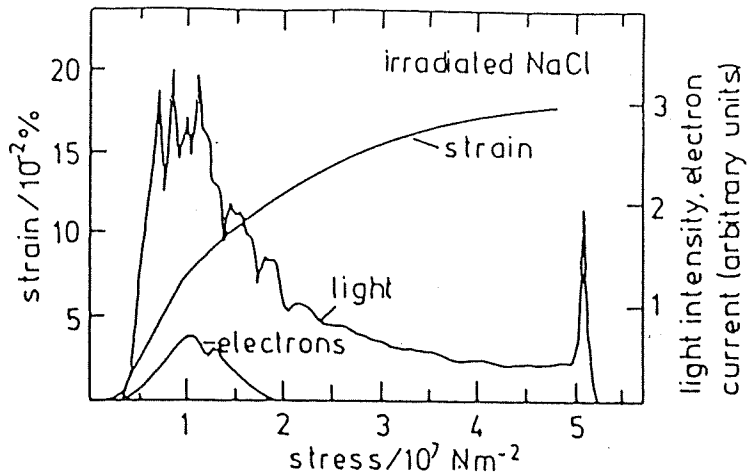


図-7 NaClの塑性変形に伴うtriboluminescenceと電子の放射
[KRUGLOV et al.(1966)による]

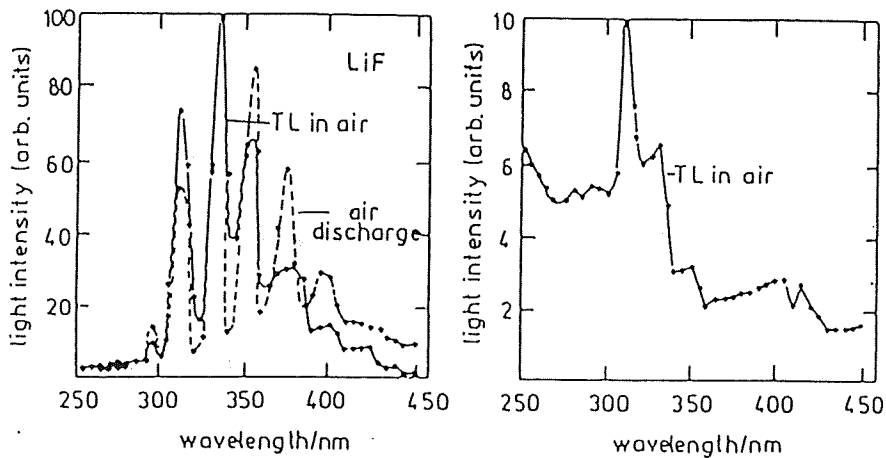


図-8 LiFで観測されたtriboluminescenceの光のスペクトルaと
空气中での放電の光のスペクトルb [WALTON(1977)による]

5. まとめ

地殻の破壊がどの様にして始まるのかは必ずしもよく分かっているわけではないが、岩石破壊や滑りの実験から、必ず先駆的な破壊や滑りが最終的な大きな破壊や滑りの引金になっている。実際の地震の時この先駆的な破壊が大破壊のどのくらい前に始まるかはよく分からないが、始まればほとんどの場合大破壊にいたるであろう。我々が色々なものを観測し地震の直前の現象として確認できるがあるとすればはこの先駆的破壊に伴うものと思われる。地殻の破壊強度の90%

以下の歪の状態ですべて完了してしまうような現象は地震の数年以上前に起こる現象であろうから、観測されたとしても現象と地震とを結び付けることが難しくなる。

我々がこれまで行ってきた実験は最終破壊直前の微小破壊に伴う現象であり、triboluminescenceやTANAK and SHIDAHARA(1985)のごく低温での石英の破碎後のESRの観測も、少なくとも微小破壊を経験して観測されるものである。地殻を構成する岩石においても同じ様なことが起こるとすれば、地震が起こる直前の先駆的な破壊とともにこれらの現象が観測されるはずである。

我々は今後、岩石の破壊に伴う電磁氣的現象やtriboluminescence, ESR測定における不対電子等別々に実験研究されているものが、はたして同じものか別なものかを実験的に確かめ、一方で最終破壊の直前にそこでは何が起こっているのかを確かめる必要がある。

参考文献

- 萩原直樹、平賀章三、市川米太、パレオドースの新評価法—熱ルミネッセンス法の適用年代拡張の試み—、岩石鉱物鉱床学会誌、83、4、133—140、1988
- Krugolov A.S., I.A. El-Shanshoury and M.K. Matta, On the luminescence of γ -rayed KCl crystals induced by plastic deformation, J. Phys. Soc. Japan, 21, 2147-2153
- Maeda I., Activities of triboluminescence at sample failure of granite J. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser., VII (geophysics), 8, 65-81, 1986
- Tanaka K. and T. Shidahara, Fracturing, crushing and grinding effects on ESR signal of quartz, ESR Dating and Dosimetry (IONICS, Tokyo, 1985), 239-247, 1985
- 歌田久司、ギリシャの地震予知の物理、Conductivity Anomaly研究会1990年論文集、85—94、1990
- Varotsos P. and K. Alexopoulos, Physical properties of the variations of the electric field of the earth preceding earthquakes 1, Tectonophysics, 110, 73-98, 1984a
- Varotsos P. and K. Alexopoulos, Physical properties of the variations of the electric field of the earth preceding earthquakes 11: determination of epicenter and magnitude, Tectonophysics, 110, 99, 125, 1984b
- Walton A.J., Triboluminescence, Adv. Phys. 26, 887-948, 1977
- 山田功夫、岩石の破壊に伴う電磁氣的現象の発生機構、Conductivity Anomaly研究会1990年論文集、39—48、1990