

阿蘇火山構造探査における人工地震に伴う地電位変化

長谷英彰、田中良和、橋本武志、坂中伸也、森健彦、増田秀晴、吉川慎（京都大学）

Electroseismic changes observed at an explosion experiment in Aso Volcano

Hideaki HASE, Yoshikazu TANAKA, Takeshi HASHIMOTO, Shinya SAKANAKA,
Takehiko MORI, Hideharu MASUDA, Shin YOSHIKAWA (Kyoto Univ.)

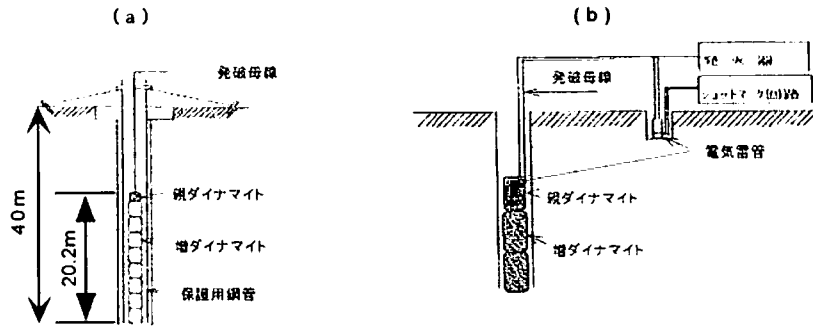
1. はじめに

地震とそれに関わる電磁現象を解明していく上で、地震との因果関係が明確なコサイスマックな地電位変動現象を解明していくことは重要である。コサイスマックな地電位変動として考えられる要因には、ピエゾ圧電効果によるもの（e.g. N.G.Khatiashvili et al, 1989）や、流動電位の効果によるもの（e.g. Mikhailov et al, 1997）などいくつかモデルが提唱されている。しかしながらこのようなコサイスマックな地電位変動を実際に観測しようとする場合、地面を地震波が通過する際に単に地動によって電極が揺すられたために起こる効果や、人工地震などでは発破を行う際に雷管の爆破による発破母線の漏電など、純粋な地震による効果とは異なる要因が含まれる可能性が考えられる。このようなことはコサイスマックな地電位変動現象について誤解を生じる原因となっており、観測できるコサイスマックな地電位変動として実際にどのような種類のものが存在しているかを識別し、それらの分類を明白にさせるということが現象の解明を進めていく上で重要であると考えられる。

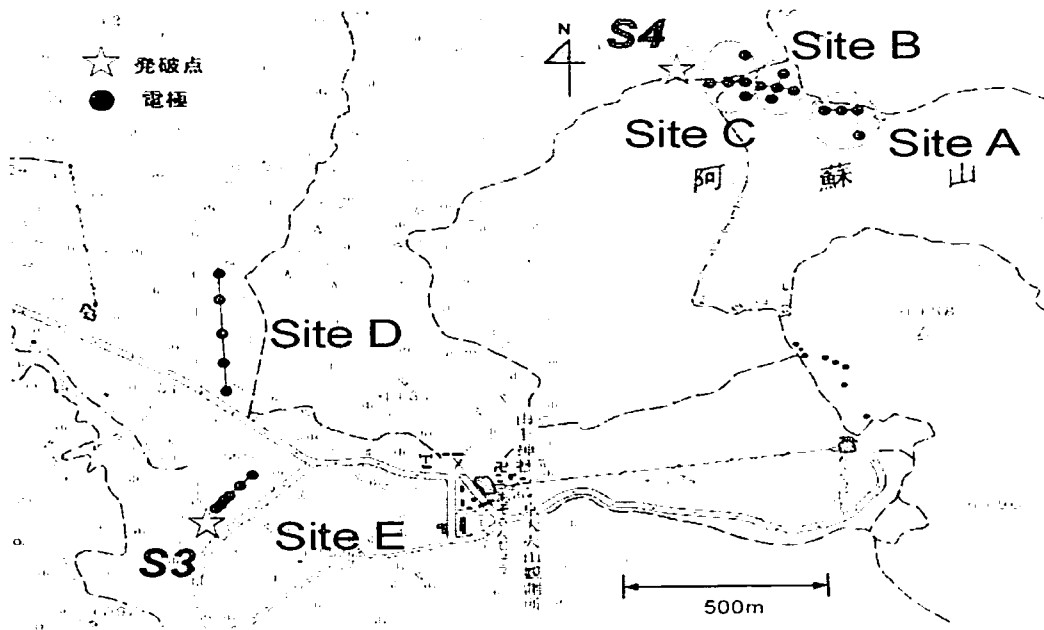
このようなコサイスマックな地電位変動を観測しようとした場合、地震発生 of 正確な時刻や位置の情報を事前に知ることができる人工地震をターゲットにすることは、観測点の配置などを考える上でも非常に有用である。本稿ではこのようなことをふまえ、阿蘇山で行なった地電位差観測の結果について報告する。

2. 観測方法

1998年11月26日に火山噴火予知計画の一環として阿蘇山で人工地震(発破)による構造探査が行なわれた。発破にはダイナマイト(海底発破用爆薬1号, 日本油脂製)約200Kgと起爆するための電気雷管(地震探鉱用電気雷管8号)が使用された。この電気雷管はダイナマイトを起爆させるためだけでなく、発破時刻を特定するために設けられたショットマーク回路の中にも使用されている(第1図)。発破は全部で6地点(S1~S6)で行なわれたがそのうちの2地点(S3, S4)をターゲットにして地電位差観測点5ヶ所を設置した(第2図)。地電位差観測にはSite A, B, CでLS-800SH(白山工業製)のロガーを使用し、1ms サンプリングで測定を行なった。Site D, E では口



第1図 発破点のダイナマイト装填概略図(a)と電気雷管(b)

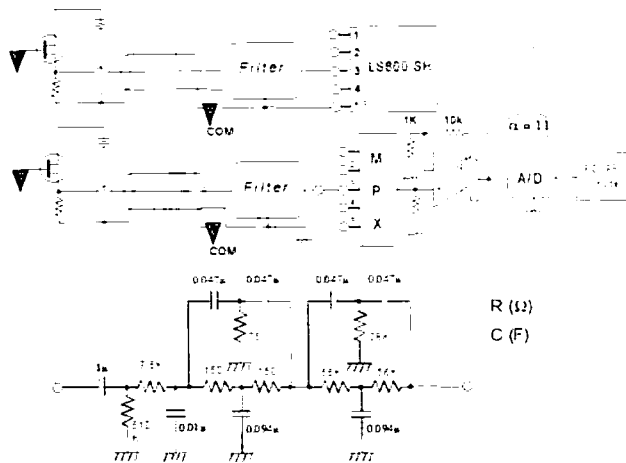


第2図 地電位差観測点(Site A~E)と発破点(S3, S4)

Site A,B,C
1ms Sampling

Site D,E
0.40122ms Sampling

Filter
60Hz, 22.2KHz Notch Filter



第3図 観測システム概略図

ガーとしてノートパソコンにアンプと A/D コンバーターを取り付けたものを使用し、約 0.4ms のサンプリングで測定を行なった。いずれのロガーにおいても 60 Hz の商用電源と 22.2 KHz の VLF をカットするためのノッチフィルター、長周期ノイズをカットするためのハイパスフィルターを使用している(第3図)。電極は鉛—塩化鉛電極を用い、地表から約 50cm の深さに設置し、電極と土壤との接地抵抗を軽減するため、電極の底面にベントナイトを使用した。電極とロガーを接続しているケーブルは同軸ケーブルを使用し、電極とケーブルの間には入カインピーダンスを調節するための FET 回路を設置した。

3. 観測結果

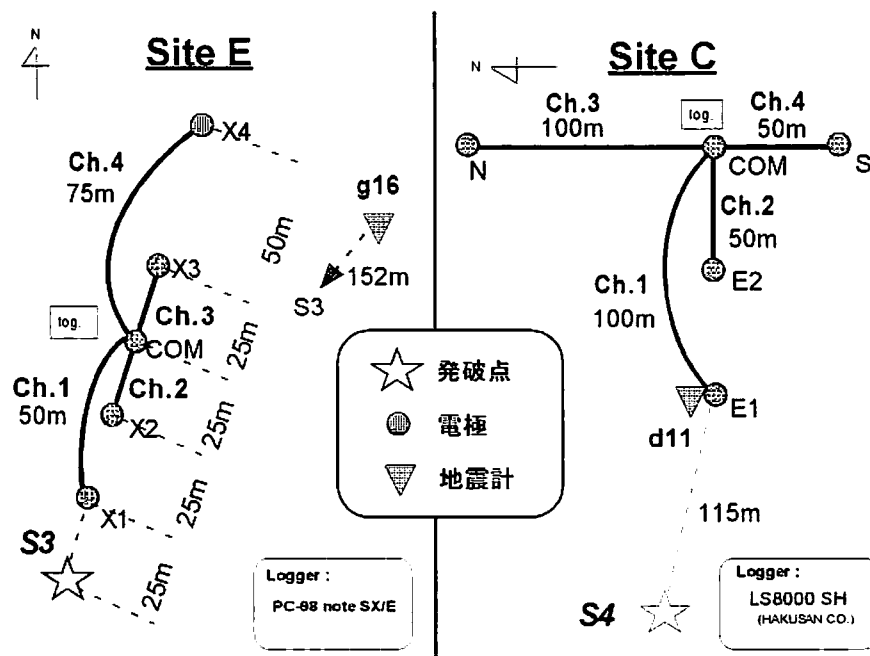
コサイスマミックな地電位変動は発破点に近接した2ヶ所の観測点 Site C と Site E で得ることができた(第4図に測線配置図を示す)。

Site C における発破前後 300ms の地電位差データと、最も Site C に隣接していた地震計(d11)の地震波データを第5図に示す。地電位差データは、恐らく FET 回路の不良などのトラブルがあったと思われる Ch.4 を除いて、発破とほぼ同時に顕著な地電位変動がみられた。地電位変動は発破の瞬間からみられるパルス状の数 ms の変動と、発破から約 15ms 間にプラス方向に変化している山型変動の2つの地電位変動で、パルス状の変動は Ch.1 と Ch.3 で約 40mV、Ch.2 で約 20mV、山型変動は Ch.1 で約 13mV、Ch.2 で約 3mV、Ch.3 で約 4.5mV であった。

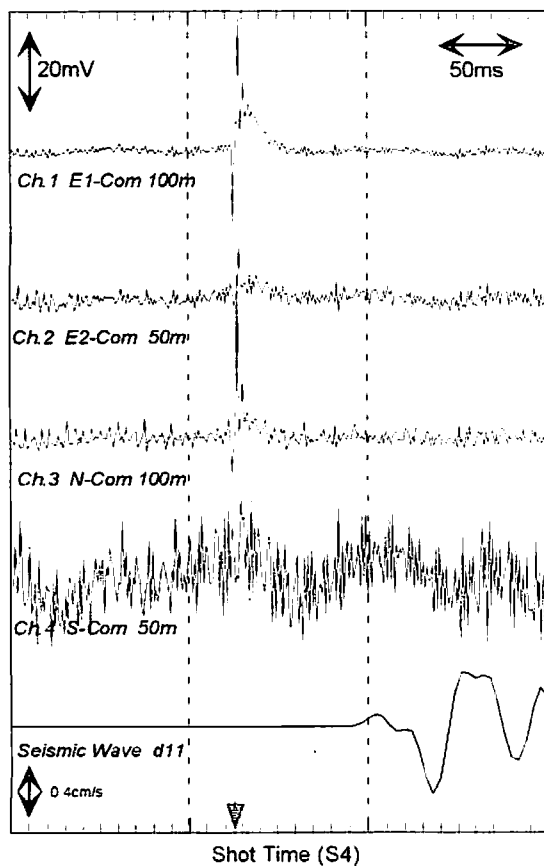
各 Ch.の測線配置と地電位差の振幅比からこれら2つの地電位変動のソース源を考える場合、例えば発破点をソース源として距離に応じた地電位減衰を仮定すると、山型の地電位変動はほぼこれに見合っているのに対して、パルス状地電位変動はこの仮定のもとでは説明できない(第6図を参照)。しかし Site C のショットマーク回路用の電気雷管が COM 電極付近に設置しており、この点をパルス状地電位変動のソース源として考えるとうまく説明できる。また興味深いことに、これらの地電位変動は地震波が到達するまでには既に終息しており、地震波が到達以後には地電位変動として何も観測されなかった。このことは地震波の伝達による地電位変動がなかったことを示すとともに、地震波によって電極が揺すられる効果によるノイズ的な地電位変動も見られなかったことを示している。

第7図は Site E における発破前後 500ms 間の地電位差データと最も Site E に隣接していた地震計(g16)の地震波データを示す。Site E においても Site C と同様に、発破とほぼ同時にパルス状の地電位変動がみられたが、Site C ではみられなかった発破直後から約 300ms 以上の時間範囲にわたって数十 ms 周期の波のような地電位変動がみられる。パルス状の変動は Ch.1 で約 70mV、Ch.2 が約 15mV、Ch.3 が約 7mV、Ch.4 が約 28mV であった(第8図)。このパルス状の地電位変動についても、Site C の場合と同様に発破点をソース源とみなして考えた場合うまく説明できないが、ショットマーク用電気雷管の位置を考えるとうまく説明できる(Site E のショットマーク用電気雷管は、Site E の COM 電極のほぼ東方十数メートルの位置に設置)。

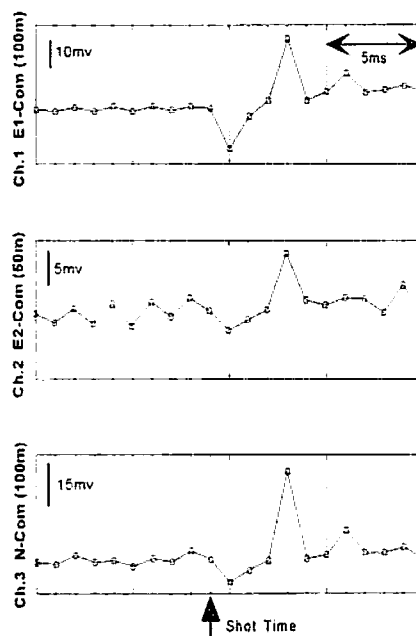
第9図は Site E の直線状に並んだ電極配置から、発破点側を基準にして X1 電極から X4 電極までそれぞれの電極間の地電位差データに変換し、平均化して発破時刻から 300ms 後までを示したものである。この第7図によると、すべてのチャンネルにおいて発破時刻から約 15ms 後にピークとなるような山型の地電位変動と、地震波の伝播のように発破点から遠ざかるにしたがって



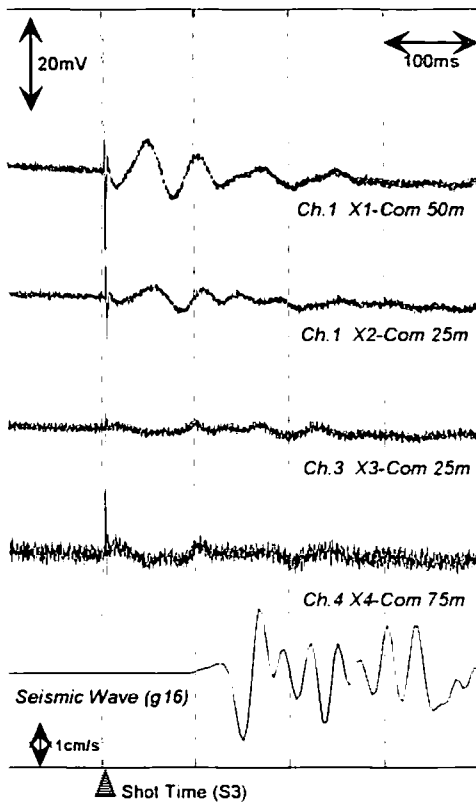
第4図 Site C と Site E の地電位差測線配置図



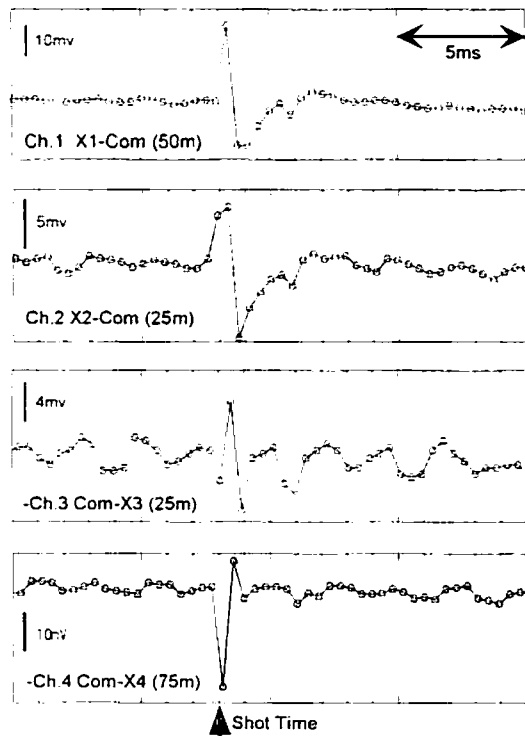
第5図 Site C における発破前後300msの地電位差データと地震波データ(d11)



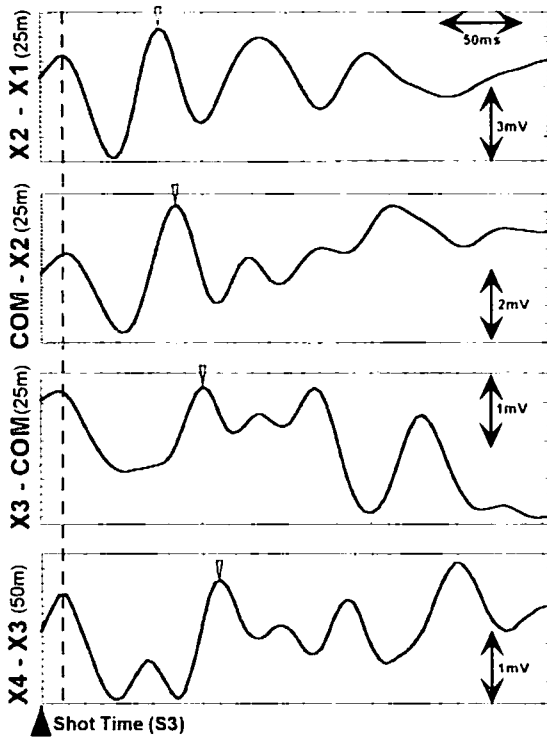
第6図 Site C における発破前後20msの地電位差データ (Ch.1~3)



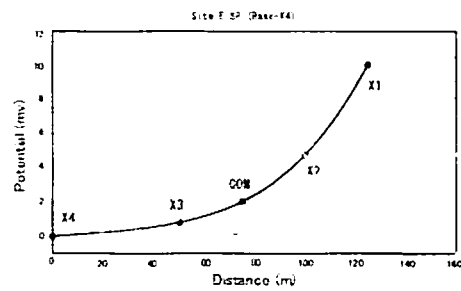
第7図 Site Eにおける発破前後500msの地電位差データと地震波データ(g16)



第8図 Site Eにおける発破前後20msの地電位差データ(Ch.3,4はマイナス)



第9図 Site Eにおける発破直後から300msの地電位差データ



第10図 Site Eで観測された発破直後から約50msの間にみられる山型地電位変動の振幅累積プロット(X4 ベース)

到達時間が遅れるような地電位変動の2つの変動ををみることができる。前者の地電位変動をみると、発破点より遠ざかるにしたがって変動の振幅は小さくなっており、地電位変動のソース源を発破点と仮定すると考えやすい。またこのように仮定した上で、第8図のように地電位差の振幅をX4電極をベースに発破点方向に向かって累積プロットすると、ほぼ $1/r$ (r : distance) のオーダーで地電位変動のポテンシャルが減衰していることが示唆される(第10図)。

後者の地電位変動を地震波の伝播によるものと考えて、COM-X2とX3-COMの到達時間差と、COM-X2とX3-COMの電極間の中点を基準として発破点からの距離を見積もり、地電位変動の伝播速度を求めてみると約1.60km/sであった。また発破点から地震計(g16)までの距離を初動到達時間で割って、地震波の伝播速度を求めてみると約1.65km/sという結果が得られた。この地震波の伝播速度から各電極点に到達する地震波の初動を推測すると、伝播による地電位変動の初動とほぼ一致することから、この後者の地電位変動は地震波の伝播によって励起された地電位変動による可能性が高いと考えられる。

4. まとめ

コサイスマックな地電位変動として、以下の3種類の地電位変動を観測することができた。

- ①発破とほぼ同時に数msの時間範囲でのパルス状の変化
- ②発破直後に発破点から約 $1/r$ (r : distance)の減衰で観測された数十msの変化
- ③地震波の伝達によるものと思われる変化

①、②はSite C, Eの両方で観測され、このうち①の地電位変動は、各側線の振幅比からソース源は震源方向ではなく、発破時刻を特定するために設置されたショットマーク回路に接続されている電気雷管の位置方向を仮定するとほぼ一致することが解った。今回の発破で使われている電気雷管は電流が流れ出してから爆発するまでの反応時間が $100\mu\text{s}$ 以内であり、このことから単に電気雷管が反応するまでの電流で①の地電位変動を説明することはできない。しかしながら電気雷管の爆発によって発火器からの発破母線が断線され、そこから電流が漏洩したと考えることは可能であろう。

②は現時点ではまだはっきりしたことは解らないが、震源での破壊活動に関係する地電位変動ではないかと考えられる。山田・村上、(1982)では岩石の破壊によって岩石が割れるときに分子間の結合の切断や粒子境界の分離などが起こり、割れ目の両面が電氣的に分極した後に起こるその緩和電流で説明している。

③はSite Eだけに観測された。このことは地震波の伝達によるものと思われるコサイスマックな地電位変動は、どのような条件でも観測されるというわけではなく、例えば帯水層の有無などの地質環境の違いなどによって、発生条件に制約があることを示唆しているのではないかと考えられる。

またSite Cで地震波の伝播によると思われる地電位変動が観測されなかったことや、地震波が終息するまで数秒を要するにもかかわらず、Site Eで観測された地震波の伝播によると思われる地電位変動が発破時刻から400ms後には既に終息していることを考えると、今回の地電位観測においてはSite CとSite Eのどちらにおいても、電極の揺れ効果による地電位変動は観測さ

れなかったと考えられる。

以上のように今回の観測において、現時点では現象の発生メカニズムの解明までには至らなかったものの、コサイスマックな地電位変動として発破時の電気雷管の爆発による発破母線からの漏洩電流、発破点における破壊活動に伴って発生したと思われる地電位変動、地震波の伝播によって励起された地電位変動など、要因が複数存在していることが明らかとなった。このような現象を解明していくことは、地震の発生メカニズムの解明の手段として重要であるとともに、地震との因果関係を見いだすことが難しい前兆としての電磁現象の解明にも応用することが期待される。

謝辞

この研究では阿蘇火山構造探査グループの協力により、観測の補助や地震波データの提供をして頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- Haartsen, M. W., and S. R. Pride, Electrostatic waves from point sources in layered media, *J. Geophys. Res.*, 102, 24745-24769, 1997.
- 長谷中利昭・三浦勝美, 「ダイナマイト(10g-1.3Kg)爆破実験に伴う地電位変化」, 平成8～9年度科学研究費補助金 基盤研究(c)研究成果報告書「マグマと水との相互作用に関する研究」(課題番号 08640616) 研究代表者 谷口宏充, 1998.
- Ishido T. and H. Mizutani, Experimental and theoretical basis of electrokinetic phenomena in rock-water systems and its application to geophysics, *J. Geophys. Res.*, 86, 1763-1775, 1981.
- Khatishvili, N. G. and M. E. Perel'man, On the mechanism of seismo-electromagnetic phenomena and their possible role in the electromagnetic radiation during periods of earthquakes, foreshocks and aftershocks, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 57, 169-177, 1989.
- Long, L. T., and W. K. Rivers, Field measurement of the electrostatic effect, *Geophysics*, 40, 233-245, 1975.
- Martner, S. T., and N. R. Sperks, The electrostatic effect, *Geophysics*, 24, 297-308, 1959.
- Mikhailov, O. V., M. Haartsen and M. Toksöz, Electrostatic investigation of the shallow subsurface: Field measurements and numerical modeling, *Geophysics*, 62, 97-105, 1997.
- 村上英記・山田功夫, 「水圧破壊に伴う地電位変化」, C A 研究会論文集, 49-54, 1990.
- Pride, S. R., and F. D. Morgan, Electrokinetic dissipation induced by seismic waves, *Geophysics*, 56, 914-925, 1991.
- 酒井英男・小林剛・岡田敏美・中山武・渡辺邦彦・藤縄幸雄, 「人工地震に伴う地電位変化 - 富山県大山町での実験例 -」, C A 研究会論文集, 127-134, 1983.
- 山田功夫, 「岩石の破壊に伴う電磁気的現象の発生機構」, C A 研究会論文集, 39-48, 1990.

- 山田功夫・村上英記, 碎石破壊に伴う地電位の変化, 地震, 35, 393-400, 1982.
山田功夫・増田幸治, 岩石破壊に伴う電磁氣的現象, C A研究会論文集, 129-135, 1985.