

石英の圧電効果による地震電磁気生成モデルの考察

Models of the electromagnetic field formation associated with earthquakes due to the piezoelectricity of quartz.

平井 誠[1], 桂 友子[2], 池谷 元伺[1]
Makoto Hirai[1], Tomoko Katsura[2], Motoji Ikeya[3]

[1] 阪大・理・宇宙地球, [2] 阪大・理・物理
[1] Earth and Space Sci., Osaka Univ, [2] Physics, Sci., Osaka Univ., [3] Earth and Space Sci. Osaka Univ.

地震に伴う電磁気現象 (SES) の生成機構のモデルの一つとして、石英の圧電分極が考えられている。しかし、個々の石英粒が作る電気分極が打ち消してあってしまい、マクロには分極は現れないのではないかと疑問が呈される。マクロな圧電分極を生じる機構が存在するとするならば、どのようなものであろうか？可能なモデルを提示し、検証手続きを提案したい。

- 1 : 整流作用
- 2 : 石英配向の揺らぎ
- 3 : カイラリティ (chirality) の存在
- 4 : 圧電軸 (a 軸) の向きを含めた配向
- 5 : 応力勾配による分極
- 5' : 通常の圧電効果とは異なる現象
応力勾配による分極は石英でなくても生じうる。
- 5' - 1 : 流動電位
- 5' - 2 : 変形ポテンシャル

地震に伴う電磁気現象 (SES) の生成機構のモデルの一つとして、石英の圧電分極が考えられている。しかし、個々の石英粒が作る電気分極が打ち消してあってしまい、マクロには分極は現れないのではないかと疑問が呈される。一般に、反転対称性を持つ系は圧電効果を持たないと考えられる[1]。マクロな圧電分極を生じる機構が存在するとするならば、どのようなものであろうか？可能なモデルを提示し、検証手続きを提案したい。

1 : 整流作用

ランダムな方向に発生した分極を緩和させるために、補償電荷が電流として流れる。地殻に何らかの整流作用があると、マクロな電流の向きは過渡的に一定の方向性を持ちうる。異種鉱物が不均一に分布している地殻では、電気化学的な整流作用[2]が存在しうる。

2 : 石英配向の揺らぎ

石英粒が N 個あるとすると、電気分極はランダム配向によってゼロには成らず、 N 分の 1 になる。このモデルについては池谷らの考察[3]がある。

3 : カイラリティ (chirality) の存在

石英には右回り石英と左回り石英が存在する。何らかの未知の理由で片方に偏っている可能性は否定できない。一方、地殻中の石英の c 軸が配向している例[4]はよく知られている。カイラリティと c 軸配向が同時に起こると、剪断応力に対する圧電係数が残る。しかし、岩石や地殻のマクロな剪断圧電係数を直接計測することは困難である。 c 軸配向[5]とカイラリティ[6]の測定を同一の地域で行うことによってマクロな剪断圧電係数を見積もることができる。

4 : 圧電軸 (a 軸) の向きを含めた配向

石英の a 軸の配向を $+$ - の向きも含めて調べるのは困難である[7]。「2 : 統計的揺らぎ」と区別して配向を調べるには多数の試料を測定しなければならない。 a 軸配向の物理的な機構をまず研究し、配向していることが期待される岩石はどのようなものであるか、事前に十分検討しておくことが効率的であると考えられる。

5 : 応力勾配による分極

応力の空間勾配に比例した分極が原理的には可能である。この場合には地殻が反転対称性を持っていてもマクロな分極が生じて構わない。石英の破壊強度は異方性を持つが、その異方性は当然ながら石英結晶構造の対称性を反映している[8]。この限りにおいて、マクロな分極が可能であると言える。 b 面クラックを $+a$ 軸から広げる時の強度と $-a$ 軸から広げる強度が異なっているとすると、応力勾配中での $+a$ 軸の向きによって破壊強度が異なることになる。pre-seismic に片方の石英が破壊するとすればマクロな圧電分極が現れる。(a 面のクラックを広げる時の強度が面内の向きに依存する例が実験的に知られている[8]。)

5' : 通常の圧電効果とは異なる現象

応力勾配による分極は石英でなくても生じうる。

5' - 1 : 流動電位[9]はこの例として分類可能である。つまり、流体圧の不均一によって流動が起こり、マクロに分極する。断層や地殻中の水の振る舞いは既に多くの地球科学者の関心の的である。

5' - 2 : 電気伝導度を持つ物質中の charge carrier (電子、正孔、イオンなど)は変形によってポテンシャルエネルギーが変化する。これを変形ポテンシャルと呼んでいる。変形(歪み)に対するポテンシャルの比例定数は多くの物質において 10eV 程度の値を持つことが知られている[10]。応力勾配があると、ポテンシャル勾配を生じ、過渡的に分極が生じてよい。実際、氷のクラックからの電気信号はこの機構で生じているという報告例[10]がある。岩石の電気伝導そのものの研究とも直結した変形ポテンシャルの研究を進める必要がある。

SES の生成機構を詳細に検討する材料は十分に揃っているとは言えない。しかし、その研究は地震予知ばかりではなく pre-seismic な過程を知る手がかりを得ることに繋がり、重要である。

参考文献

- [1] American Institute of Physics Handbook (McGraw-Hill,1972), 3rd edit., 9-2
- [2] 玉虫伶太: 電気化学、第2版(東京化学同人, 1991), 277
- [3] M. Ikeya: Recent Res. Devel. Applied Phys., 2, 109-127, 1999
- [4] P. Blumenfeld et al. Tectonophysics (Netherlands), vol. 127, no. 1-2, 97-115, 1986
- [5] Preferred Orientation in Deformed Metals and Rocks: An Introduction to Modern Texture Analysis (Academic Press, 1985), Sec. 2
- [6] H. J. King et al., Opt. Lett. (USA), vol. 18, no. 22, 1970-2, 15 Nov. 1993
- [7] 能本乙彦, 日本物理学会誌、第3巻、136-141
- [8] T. Reuschle et al., Eur. J. Mineral., vol. 8, 695-701, 1996
- [9] H. Mizutani et al., Geophys. Res. Lett., vol. 3, No. 7, 1976
- [10] V. F. Petrenko, Physics and chemistry of ice, Hokkaido Univ. Press, 175-182, 1992.
D. Aa. Fifolt et al., Physics and chemistry of ice, Hokkaido Univ. Press, 470-475, 1992.