

大地震に先行する小地震のEnergy Indexからみる地震発生場の応力 - 南アフリカ金鉱山における半制御地震発生実験(27)

Stress in earthquake developing region observed via energy index; Semi-controlled experiment in a gold mine in South Africa (27)

川方 裕則[1], 小笠原 宏[2], 南アフリカ金鉱山における半制御地震発生実験国際共同グループ 住友則彦
Hironori Kawakata[1], Hiroshi Ogasawara[2], International Research Group for Semi-controlled Earthquake Generation Experiment at South African Gold Mine Sumitomo Norihiko

[1] 科技団/産総研, [2] 立命大・理工

[1] JSTC/AIST, [2] Fac.Sci. Engr., Ritsumeikan Univ.

<http://www.gsj.go.jp/~kawakata/indexj.html>

昨今巨大地震が頻発しており、その発生予測が急務となっている。地震に先行して震源核領域における応力の低下が起きる。南アフリカ金鉱山では、観測される地震波形から求められる応力パラメタをモニターし、地震発生予測に役立てている。その中の一つ Energy Index (EI) は、自然地震にも適用できる可能性が指摘されている。地震波形から算出される応力パラメタとしては、応力降下量、見かけ応力がよく知られているが、応力降下量は微小変化をモニターするには適さず、見かけ応力は小地震に対して規模依存性を示す。これに対し EI は安定して求められ、発生した地震の規模の偏りと独立に応力状態の変化を考察することができる。

昨今甚大な被害を及ぼす巨大地震が世界各地で頻発しており、その発生予測を行うことが急務となっている。地震発生に先行現象として種々の宏観現象が報告されているが、地震発生と直接結び付けられるような物理モデルで説明されているものは数少ない。地震発生に先行して確実に起こると考えられる現象は震源核領域における応力の低下である(川方他, 2000年地震学会秋季大会)。南アフリカ金鉱山では、震源域の極近傍において地震観測が行われており、観測波形から求められる地震モーメント (M_0) やエネルギー (E) から複数のパラメタを算出し、それらをモニターしている。そして、これらのパラメタの時間変化から主破壊に先立つ応力低下がとらえられ、地震発生予測に役立てられている。Energy Index (EI) はその中のひとつであり、 E をそのイベントの M_0 に対する期待値で正規化したパラメタである。EI は 1989 年伊豆半島東方沖群発地震にも適用され、群発地震の期間中に発生した大規模の地震 (M 5.2 と 5.5) 発生の数日前から震源近傍において応力の低下が始まったことを示唆する結果が得られた(川方他, 2000年合同大会)。地震波形から算出される応力パラメタとして、見かけ応力 (a)、応力降下量 ($\Delta\sigma$) が従来からよく知られている。では、これらのパラメタと EI の違いは何か? なぜ EI が必要なのか?

まず、個々のパラメタを簡単に説明しよう。 $\Delta\sigma$ は、 $\Delta\sigma = 8.5 \times M_0 \times f_c^3 / V_p^3$ (f_c : 変位スペクトルのコーナー周波数, V_p : P 波速度) から算出される場合が多く、地震前後の応力値の差を表している。 a は、 $a = \frac{1}{2} (r - f)$ (r : 残留応力, f : 摩擦応力) で定義され、 E/M_0 に比例する値である。EI は先述の通り、 E をそのイベントの M_0 に対する期待値で正規化した値である。つまり EI は応力値そのものを示すパラメタではないが、その地震のエネルギー解放が期待される値よりも大きかったか否かを示す。従って $\Delta\sigma$, a , EI は、いずれも応力の絶対値に関する情報を与えることはできないが、応力状態を間接的に示している。

また、これらの3つのパラメタは、ある仮定の下では非常に単純な関係が成立する。例えば、 $r = f$ とすると、 $a = \Delta\sigma / 2$ になり、また E/M_0 とすると、EI は a と 1対1の正の相関を示す。

その示している物理量の意味の明確さを考えると、 $\Delta\sigma$ がもっとも適切なパラメタであるように感じられる。しかしながら、他の二つのパラメタは E, M_0 のみから推定できるのに対し、 $\Delta\sigma$ は f_c が必要となる。 M_0 の推定によく使われる変位スペクトルのフラットレベルは近似方法にはそれほど依存しないが、 f_c は近似する際の冪の指数に依存して変化するため、ある程度の推定誤差を覚悟しなければならない。また、 f_c の高い小地震の場合には、地震計の周波数応答特性によって f_c 付近のスペクトルが歪められてしまう可能性もあり、そういった小規模な地震は解析対象に含められない。つまり、 $\Delta\sigma$ はデリケートな時間変化をモニターするには必ずしも最適とは言えない。

次に、 a についてであるが、 $\Delta\sigma$ と近似的に等価なものを見ており、推定方法が簡便かつモデル依存性が低いことから、応力変化をモニターするパラメタとして適しているように思われる。様々な地震をコンパイルすると、 M_0 と E はほぼ比例関係にあるという有名なスケーリング則が存在する。大中規模地震のみのデータしかなかった頃はこの関係はほぼ満たされていたが、微小地震や鉱山地震、室内実験の AE などのデータが蓄積されるにつれ、ある規模以下の地震の場合には比例関係が必ずしも成立せず、冪状の関係しか成立しない可能性が指摘されるようになった。そしてこの問題は現在もなお重要な課題として残されている。つまり、大中規模地震に先行する応力異

常を検出するためには、先行する小地震が解析対象となるため、小地震特有の規模依存性に十分に考慮しなければならない。Mo と E の比例関係が成立しない規模領域では、 a は地震の規模に依存するため、注意が必要である。

これらの応力パラメタは、通常、イベント毎のばらつきが大きい。このために、時間的空間的な変化を考察する場合、移動平均値や中間値などで平滑化されるのが通常である。発生する地震の規模に偏りがある場合や、 b 値に変化がある場合、先述の理由により a も、見かけ上変化してしまう（例えば、西井他、2000 年合同大会）。この問題を解決するのが EI である。EI は Mo に依存しないため、見かけ上の変化が起こらない（佐藤・他、2000 年合同大会）。EI は、 b 値の変化や発生した地震の規模の偏りと独立に応力状態の変化を考察することができる。

実際に、1989 年伊豆半島東方沖群発地震の例で、三者の時間変化を求めたところ、いずれも、応力が増加した後減少して大規模な地震発生を迎えるという、モデルに適した結果を示すが、EI がもっとも顕著にこの傾向を示した。