

## (94) 地震のマグニチュード－発生頻度関係式 に関するシミュレーション

○東京大学大学院 学生会員 目黒 公郎  
東京大学地震研究所 正会員 伯野 元彦

### 1. はじめに

脆性物質の破壊では、一般的な性質として、大きな破壊ほど起こりにくく、数が少なくなる。地震に関しても同様であり、マグニチュードMと発生頻度Nに関して、例えばFig.1 に示すような関係がある。この関係については、Gutenberg-Richter (G-R) の関係式<sup>1)</sup>

$$\text{Log}(N) = A - B \cdot M \quad (A, B \text{ は定数}) \quad (1)$$

が経験則として有名である。この現象を説明するのに破壊の進行がある確率で止められると言う仮定を用いる事があり、その一例として大塚の”基石モデル”(浸透理論(percolation theory)の震源過程への応用)がある。<sup>2)</sup> しかし、このモデルは少々複雑であり、また単位破壊を想定する必要があるので必ずしも満足できない点がある。

一方、過去のデータから断層長LとマグニチュードMの関係は、

$$\text{Log}(L) = 0.5M + \alpha \quad (\alpha \text{ は定数}) \quad (2)$$

のように提案されている。<sup>1)</sup> そこで、我々は直接地震断層のモデルを用いて数値シミュレーションを行ない、G-Rの関係の説明を試みた。

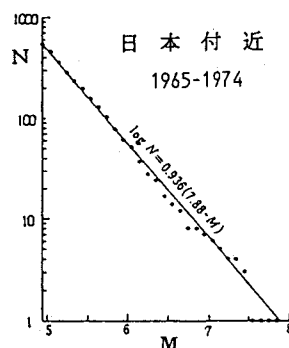


Fig.1 マグニチュードMと発生頻度Nの関係

### 2. モデル

我々のモデルは、次のような仮定を置いている。

**仮定1.** : Fig.2に示すように、断層は乱数で定められた位置に震源を持ち、乱数で定められた方向に滑りが直線的に進行する。

**仮定2.** : 断層の滑り破壊は、Fig.2のように予め乱数で設定されている障害物及び周囲の壁にぶつかって停止する。

乱数によって発生させた断層は、ある方向に滑り始め、障害物にぶつくと停止する。この時、震央から停止点までの距離を地震断層長さLと定義する。

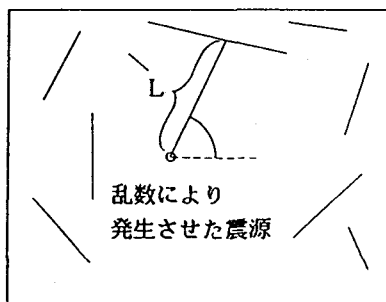


Fig.2 シミュレーションのためのモデル  
(線分は障害物を示す)

### 3. 一般の地震に対する検討

Fig.3に障害物割れ目の配置、Fig.4にその配置でのシミュレーション結果を示す。Fig.4の横軸は $\text{Log}(L)$ 、縦軸は $\text{Log}(N)$ であり、Nは $L \pm \Delta L$ の断層長さの回数である。 $\text{LOG}(L)$ は式(2)よりマグニチュードMに変換できるので、横軸をM値と考えれば、M値の小さい範囲で上に凸であることを除いて、ほぼ Gutenberg-Richterの直線関係が成立している。図中の $B=1.0$ の直線は、通常のB値の勾配である。

M値の小さい範囲で直線から系統的な食い違いが見られる点については、この範囲での(1)式の適用精度の問題や、微小地震の観測精度の問題等も影響しているものと思われる。実際に、震源の深さや、地域によっては、あるM値以下の地震はG-R関係式から期待されるよりも明らかに数が少ないという報告

もある。3)4)

次に、障害物の総長(TL)と障害物の本数(NL)を変化させた場合の結果を示す。Fig.5, Fig.6は、障害物の総長を一定とし、その本数を変化させた場合の障害物割れ目の配置とその結果である。Fig.6を見ると、障害物の本数は結果にあまり影響を与えないようである。Fig.7, Fig.8は障害物の本数を一定とし、総長を変化させた場合の障害物割れ目の配置とその結果である。障害物総長を大きくするとG

-Rの関係式のB値が大きくなる傾向が見られる。Fig.6とFig.8を比較すると結果に大きな影響を与えるのは障害物の総長である。そこで対象区域の面積当たりの障害物の長さを、【障害物密度(OD)=障害物総長/対象面積】によって定義し、これをパラメータとして計算した結果がFig.9である。障害物密度を大きくするにつれてB値が大きくなる。

Fig.10, Fig.11, Fig.12, Fig.13は障害物がない(まわりの壁のみ, TL=0.0)場合のシミュレーション区域の形状を変化させた場合の結果であるが、非常に興味深い結果である。

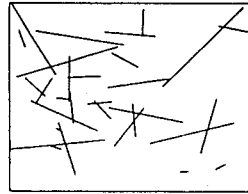


Fig.3 障害物割れ目の配置

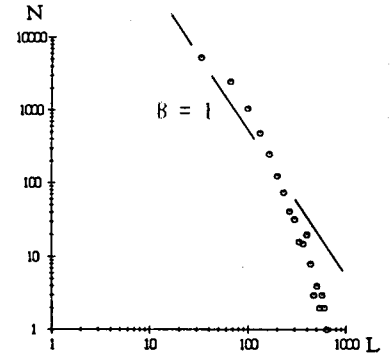


Fig.4 地震断層長Lと発生頻度Nの関係

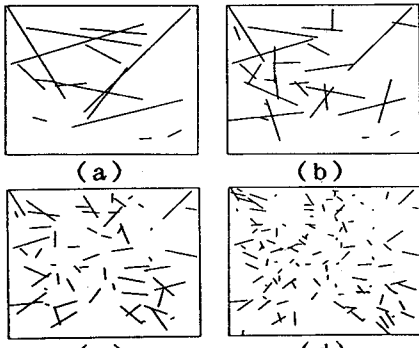


Fig.5 障害物割れ目の配置  
(障害物総長TL:一定)

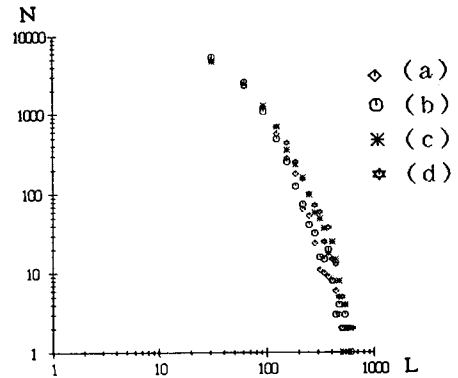


Fig.6 地震断層長Lと発生頻度Nの関係  
(障害物本数NLによる比較)

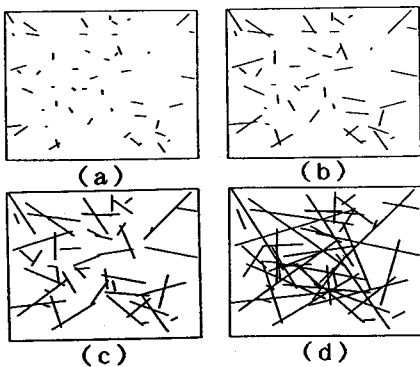


Fig.7 障害物割れ目の配置  
(障害物本数NL:一定)

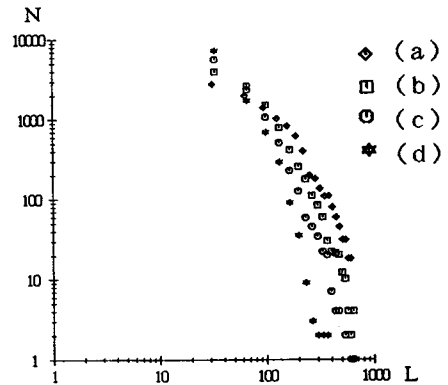


Fig.8 地震断層長Lと発生頻度Nの関係  
(障害物本数TLによる比較)

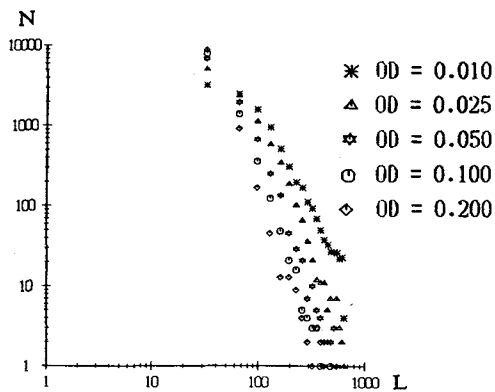


Fig. 9 地震断層長Lと発生頻度Nの関係  
(障害物密度ODによる比較)

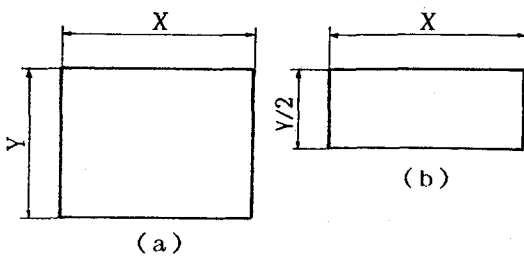


Fig. 10 シミュレーション区域の形状

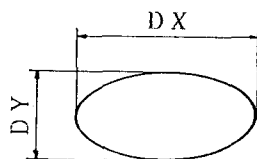


Fig. 12 シミュレーション区域の形状

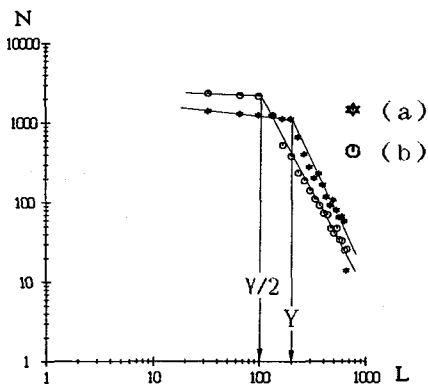


Fig. 11 地震断層長Lと発生頻度Nの関係  
(Fig. 10の形状を使用した場合)

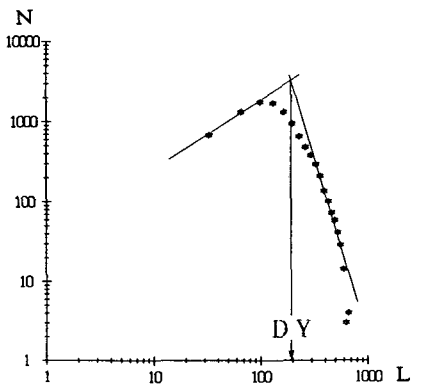


Fig. 13 地震断層長Lと発生頻度Nの関係  
(Fig. 12の形状を使用した場合)

#### 4. 前震と余震に対する検討

次に前震と余震の場合について検討する。前震と余震に関するG-R関係は、例えばFig. 14に示すようになる。ここでは、一般の地震の場合に加えてさらに以下の仮定を付け加える。

**仮定3.** : 前震は、地殻応力の大きい状態で発生する。そのような状態では、一旦進行し始めた断層破壊は、小さな障害物を越えて進行する。故に、前震では障害物の密度を小さくする。

**仮定4.** : 余震は本震の断層付近でのみ発生する。そこでは、本震前よりも障害物の密度が高くなっている。

**仮定5.** : 前震は余震に比べて発生回数が少ない。

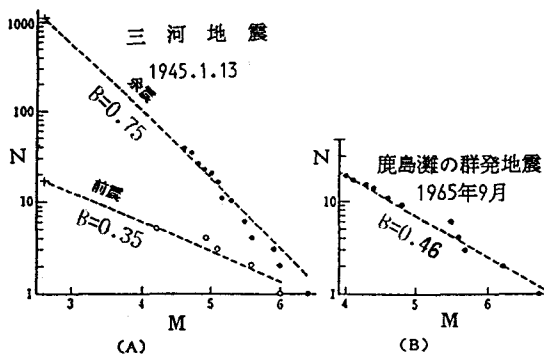


Fig. 14 1945年三河地震の前震と余震および1965年9月鹿島灘の群発地震のマグニチュード分布(宇津, 1974)

Fig.15、Fig.16は、それぞれ前震と余震のシミュレーションにおける障害物割れ目の配置図である。Fig.16において対角線に走る障害物は本震による断層である。また、その両側の破線は余震の発生域を示す。Fig.17は前震、Fig.18は余震の結果であり、試行回数はともに10000回である

Fig.19は Fig.3の障害物割れ目配置を使って試行回数を変えた場合の結果である。

前震の B値が1より小さくなる（障害物密度が低い場合に上に凸の傾向が強く）のは、前震が高応力場なので障害物を突破しやすいためと思われる。また余震においては、B値が1より大きくなりM値の小さい範囲での曲がり減少（障害物密度が高いと逆に下に凸の傾向が強くなる）する。実際の余震の発生域は、もっと広範囲であるため下に凸の傾向が見られないのだろう。試行回数については、試行回数が少ないとB値は小さくなる傾向が見られる。

前震の B値が小さい場合が見られるのは、障害物密度が小さく発生回数が少ないためと思われる。

### 5. おわりに

直接地震断層のモデルを取り扱うことにより、一般の地震のG-R関係をある程度説明できた。我々のモデルによれば、B値に地域性があることは、その地域における障害物密度の差異として説明できる。さらに仮定を追加することにより、前震と余震についてのG-R関係もある程度説明できた。つまり、前震においてB値が小さいことがあるのは、発生頻度が少ないことと高応力場による有効障害物密度の低下によるものとして、余震のB値が大きくなるのは本震による大断層と、余震の発生域による有効障害物密度の増加として説明できる。

### ★ 参考文献 ★

- 1) 例えば 宇津徳治：地震学，（1984，第2版），共立出版
- 2) 大塚道男：地震の起こり方のシミュレーション，地震，Vol.24，pp. 215-227，1971
- 3) 末広重二：Pap.Met.Geophys.，Vol. 11(1960)，p.97； BSSA，Vol. 57(1967)，p. 447.
- 4) 渡辺 晃：地震II，Vol. 24(1971)，p. 189； Vol. 26(1973)，p. 107
- 5) 目黒、伯野：基石モデルに関する一つのシミュレーション，地震学会秋季大会講演予稿集，p.64，1986.

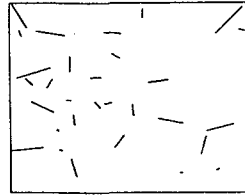


Fig.15 障害物割れ目の配置 (前震の場合)

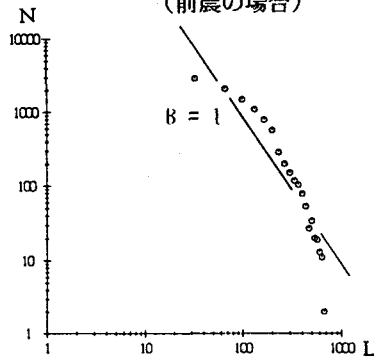


Fig.17 地震断層長Lと発生頻度Nの関係 (前震の場合)

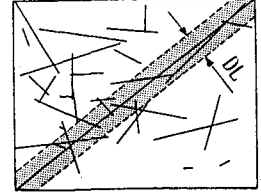


Fig.16 障害物割れ目の配置 (余震の場合)

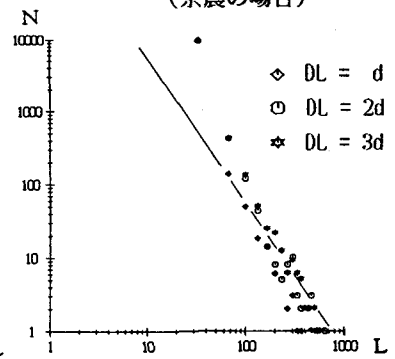


Fig.18 地震断層長Lと発生頻度Nの関係 (余震の場合)

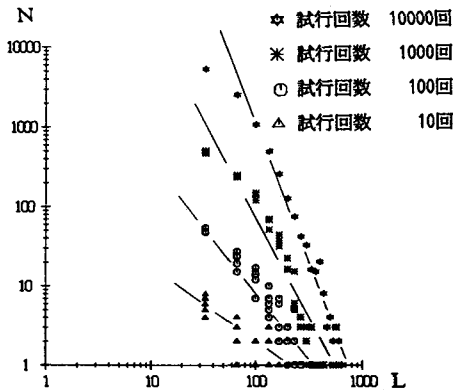


Fig.19 地震断層長Lと発生頻度Nの関係(試行回数による比較)