

地震のモデルと threshold elements のダイナミクス

慶大理工 中西秀

最近、自己組織臨界状態 (SOC)¹ の物理的な例として、地殻プレートの断層面の運動に興味を持たれている。地殻プレートが実際に臨界状態にあるのではないかと疑わせる事実がいくつか指摘されてきた; (1) 地震頻度とマグニチュードのべき乗則 (Gutenberg-Richter 則)²。(2) 余震頻度の減衰に対する巾乗則 (大森則)³。(3) 地震の空間分布のフラクタル構造。⁴

今回は、地震の簡単なモデルとしてのステイック・スリップ模型を取り上げ、その動的性質を調べた。

系は、図1のようにバネとブロックより成り、ブロックは互いにバネ定数 k_c のバネでつながれているとともに、プレートによりバネ (k_p) を通して一定の速度 v_p で引っ張られている。ブロックはまた他のプレートから摩擦力を受けており、ステイック・スリップ運動をする。この、個々のブロックがバネから受けている力が最大静止摩擦を越えたときに生じるスリップ運動が、地震に対応していると考えられる。

このモデルは、もともと 20 年近く以前に地震学者の Burridge と Knopoff⁵ によって考えられ、いろいろな変形版が調べられてきたが、最近 Carlson と Langer⁶ によって Newton equation に従う完全に一様なモデルでさえ非常に複雑な運動をし GR 則を再現できることを示されて、物理学者の間でも知られるようになった。我々はこれをさらに単純化したセルオートマトン模型を調べる。

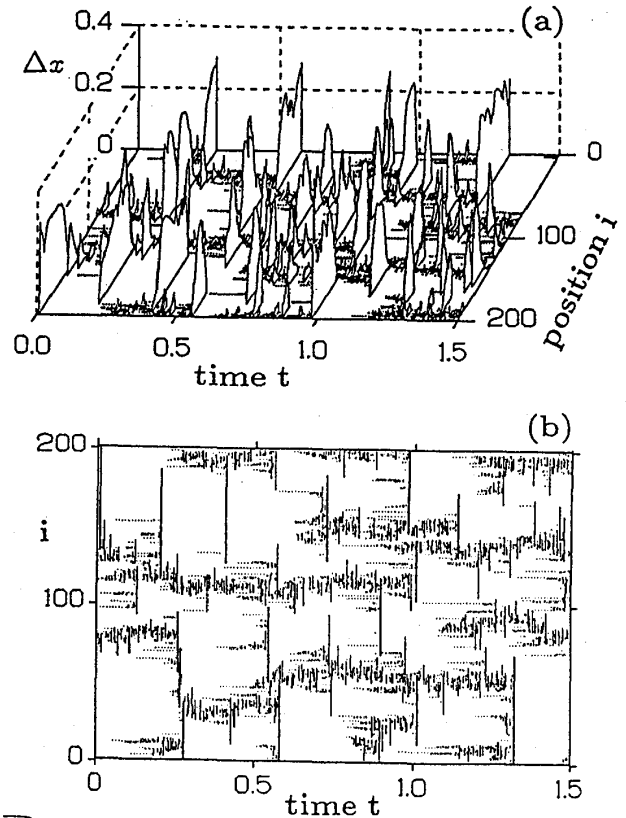
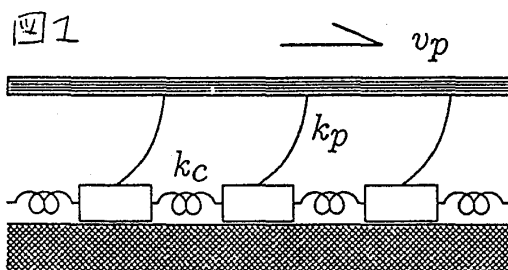


図2.

モデルの詳細は文献⁷に譲り、結果のみを与える。モデルは3つのパラメタ Δ , α , δf で特徴づけられ、それぞれ系の硬さ、滑りやすさ、最小の地震の大きさに関連がある。図2は、系に生じた地震の時間発展で、各地震によるブロックのスリップした変位 Δx を時間と位置の関数としてプロットした (a)。(b) はこれを真上から見たもので位置のみを実線で示している。モデルには初期は位置を除いて不規則性は何もないのに、非常に不規則な発展をすることがわかる。

図3にいろいろなパラメタにおける地震のマグニチュード μ と頻度のグラフを示す。多くの分布は μ の小さな方に向かって巾乗則にしたがう部分があることが判る。(GR 則) α , Δ の大きなものに対しては、さらに μ の大きなところにもピークがある。(2ピーク分布) α , Δ の中間的な値のものに対する分布は μ の大きい側に肩があり、 α , Δ の小さい値に対するものは、分布は1ピーク構造となり巾乗則に乗る部分はない。この3つの値に対する相関を図4に与える。

図3

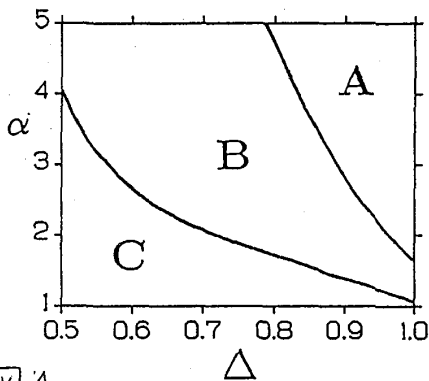
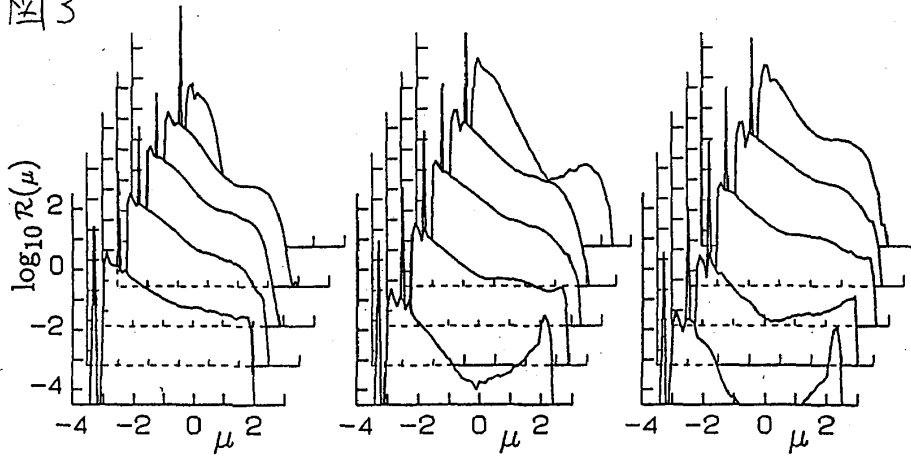


図4

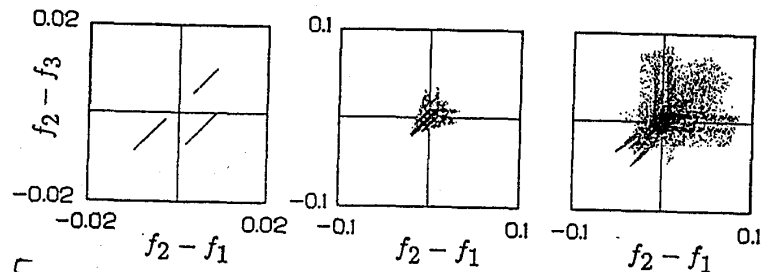


図5

以上、主に 1000 ブロック程度より成る大きな系の性質を調べてきたが、3ブロックより成る小さな系の振舞いを調べてみよう。3ブロック系では3ブロックともスティックしている状態では、各ブロックに働いているバネよりの力 f_1, f_2, f_3 の差 $f_2 - f_1, f_2 - f_3$ のみで状態が特徴づけられる。系がスティックするたびに $(f_2 - f_1) - (f_2 - f_3)$ 平面に1点を打つことによりポアンカレマップを構成できる。(図5) Δ, α が小さいときにはマップは3本の直線から成る。 Δ, α を大きくしていくと、あるところから点が平面内のある部分を埋めつくし、さらに大きくしてゆくと、時々大きなスリップが生じることに伴って点の埋めつくす領域が広がってゆく。この3つの領域に対応する相図をかいたのが、図6である。

ここで興味深いのは、図6は前の大きな系

に対応する相図4とほとんど同じであるということである。即ち、大きな系での振舞いの変化は、その構成要素となっている小さな系の振舞いの変化に対応しており、大きな系は結合されたカオティックな系と見ることができるとも知れない。しかしながら、これより、大きな系の振舞いと小さな系の振舞いは本質的に同じであると結論できるわけではない。実際、両者で異なる振舞いをする点も見いだし

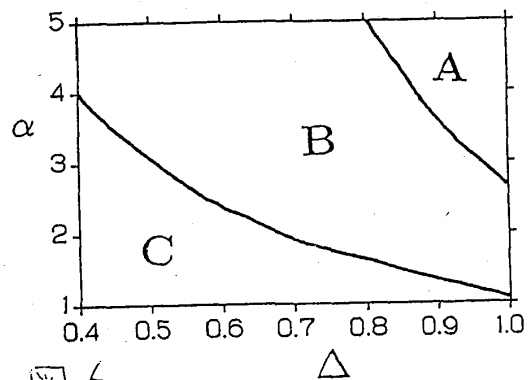


図6

れており、⁸また、最初に述べた地震現象の特徴のいくつかは、地殻プレートが空間的ひろがりを持つことに由来すると考える方が自然である。

参考文献

1. P. Bak, C. Tang, and K. Wiesenfeld, Phys. Rev. Lett. **59**, 381 (1987); Phys. Rev. A **38**, 364 (1988); C. Tang and P. Bak, Phys. Rev. Lett. **60**, 2347 (1988); J. Stat. Phys. **51**, 797 (1988).
2. B. Gutenberg and C.F. Richter, Ann. di Geofis. **9**, 1(1956).
3. F. Omori, J. Coll. Sci. Imp. Univ. Tokyo **7**, 111(1894). T. Utsu, Geophys. Mah. **30**, 521 (1961).
4. Y. Y. Kagan and L. Knopoff, Geophys. J. R. Astron. Soc. **62**, 303 (1980).
5. R. Burridge and L. Knopoff, Bull. Seismol. Soc. Am. **57**, 341 (1967).
6. J. M. Carlson and J. S. Langer, Phys. Rev. Lett. **62**, 2632 (1989); Phys. Rev. A **40**, 6470 (1989).
7. H. Nakanishi, Phys. Rev. A **41**, 7086 (1990).
8. H. Nakanishi, preprint (1990).