

## 地震と自己組織化

西森 拓

茨城大学 理学部

数年前 P.Bak 及び その共同研究者らが、いわゆる砂山崩し模型と呼ばれるセルオートマトン上の system において、自己組織化 (self organized criticality 以下 SOC) が実現されることを示して以来、SOC は、統計物理屋を中心としたとした数理科学屋に (あたかも、臨界状態における Bak の砂山が、崩れていく過程の様に) 急速に注目を集めてきた。SOC がこれほど注目を集めた理由は、非平衡系において初期値やコントロールパラメータの細かい調整なしに、系が、自ら臨界状態に至るということである。ここで、臨界状態とは、系から、時間空間に関して、特徴的なスケールが消失した状態をいう。ただ、“砂山崩し” (原文では sand-pile model であるが、なぜか日本では砂山積みとはいわない。意味的には、“砂山積みかつ崩し”が正しいと思われる。) と Bak が名づけたのは、あくまでも一つのたとえであって、彼らの、モデルは現実の系を反映していない。具体的には斜面の様子を表すパラメーターとして、傾きの大きさを表すスカラー量のみが考慮されて、傾きの方向を表す自由度が無視されている。だから、ここでの砂山は、現実の砂山ではなく、あくまでも “Bak の砂山” なのである。ただ、このことが、このモデルの価値を下げるわけではなく、簡単な系によって興味深い現象がおこり得ることを具体的に示し、それに新しい概念 (SOC) を付与した点で意義深い。

一方、地震研究者のあいだでは、かなり前から、地震発生の空間的時間的パターンが、特別な特徴を示していることが指摘され、これらは Gutenberg-Lichter 則、Omori 則などとしてまとめられている。これらの法則は地震発生の時空間パターンがパワーの相関を持つことを示している。(むろん、その時点では、SOC という概念自体は提出されていない。) このパワー則に関しては、現在もなお、尾形などによって詳細な検討がすすめられている。地震のダイナミックに対する具体的なモデルとしては、Barrige-Knopoff が 1967 年に提出した stick-slip 模型がよく知られており、研究会でも、中西、松崎などの紹介があったところである。近年になって、これら地震の時空間パターンが物理屋の間に興味を引き起こした始めたのは、第一に、これが、SOC に対応した、唯一といってもよい、現実の系であるからである。伊東、高安、松崎らは、BK モデルを、しきい値ダイナミックスのモデルに変形し、2次元で、Bak らとは独立に、彼らと同様の計算を行った。また、BK モデルを、直

接、大規模系で simulate し、SOC との関係の詳細に議論した Karlson-Langer の仕事は、現在も改良され続けている。最近では、Bak や中西らがそれぞれ、セルオートマトン型モデルに基づく研究を押し進めている。とくに、中西は、系のもつ自由度とカオスとの関係を議論している。

地震のダイナミックスが、興味をひきおこす、第2番目の理由は、それが、破壊、破壊面の滑り、異方的弾性効果の影響など、連続体特有の複雑な要素を多く内包する動力学の問題とみなされるからである。近年の非線形動力学の発展は、その対象を、破壊現象、弾性体の相分離、高粘性流体の振る舞いなどに幅をひろげてきているが、ここで得られた手法を地球内部のダイナミックスに応用することは意義深いと思われる。大内の発表で指摘されたように、地殻がある深度で弾性的な振舞いをする層と高粘性流体的な振舞いをする層に分かれている事を考慮すると、地震発生の機構として stick-slip 模型の粘性を考慮した場合への拡張も必要であろう。また、slip-stick 以外の観点からのモデル作りも意味があるといえよう。平田のように、地震を破壊の過程とみなしたアプローチもあり、これは、藤原・中村らの破壊実験と対応づけられている。

簡単なモデルで物理系の面白さを引き出してくるのは、統計力学の醍醐味の一つであり、SOC という概念の導出の過程もそれにあたるが、それを、現実系から遊離して一人歩きさせるのは我々物理屋にとって必ずしも得策でないように思える。現実系との整合性を吟味することで、その知的玩具としての面白味が消失してしまうようなモデルは、そもそも物理屋の守備範囲内ではない。物理屋の、餅屋たるところは、つねに、現実指弾されながらも、逆に、現実をまるめこんで、味方につけ、さらにおいしい餅をつくる協力をさせるところにあるかと思われる。(そういう意味では、おいしい餅を食べたいという欲求さえあれば、たとえ物理屋でなくても、実在する世界との関連に目をむける意味がある。) その結果でてくるものが、単に、(今の場合でいえば) SOC の拡張にとどまらず、新しい、興味の源泉となることは、物理の過去の伸展から外挿して、明らかであろう。

このセッションの企画者としての責任上、企画の意図を簡単に述べた。ただ、全体としての内容を、地震、自己組織化、(及び物理全般) に関して素人の筆者が、まとめることなど不可能である。この小文も、おそらく、筆者の誤解を世にさらけだけのものとなろう。(臨界状態における Bak の砂山のように) 誤解のカスケードが起こらないためにも、各発表者の報告をお読み下さい。

最後に、発表者の方々、および議論に加わって下さった方々に感謝の意を

表します。

参考文献

- 1.P.Bak, C.Tang and K.Wisenfeld, Phys.Rev.Lett.59,381(1987)  
C.Tang and P.Bak, ibid, 60,2347(1988) など
- 2.R.Burrige and L.Knopoff, Bull.Seismol.Soc.America,57,34(1967)
- 3.J.M.Carlson and J.S.Langer, Phys.Rev.A,62, 2632(1989)