

摩擦構成則と地震の時空間相関 阪大理 川村光、森隆浩、大村明生

地震は言うまでもなく大変に複雑な現象であり、個々の地震について確定的なことを前もって述べることは大変難しい。他方、多数回の地震を集めその平均としての性質—統計的性質—を見てみると、そこには極めて明瞭な規則性が現れることがある。良く知られた法則として、地震のサイズ（マグニチュード）分布を記述する Gutenberg-Richter 則や、余震頻度の時間依存性を記述する大森則等がある。これらの法則は、いずれもべき乗則の形をしており、特徴的なエネルギーや時間を持たない形になっている。べき乗則は2次相転移に伴う臨界現象で普遍的に観測されるので、そのアナロジーから、地震を非平衡開放系の示す自己組織的な臨界現象として捉える見方が唱えられている。他方では、地震、特に巨大地震は特徴的なエネルギーや時間のスケールを有するとする固有地震的な観点も広く存在する。地震に関するこれら2つの見方がお互いどのような関係にあるのかは、地震の本性を理解するうえで重要な視点であろう。

地震現象は、地殻の弱面たる地震断層がプレートの運動によって駆動されて起こす固着—すべり（stick-slip）不安定性として理解される。それ故、断層面に働く力を記述する、いわゆる摩擦構成則が第1義的に重要となる。地震の物理学の進展には、摩擦構成則の物性物理学的な理解が不可欠であると思われる。断層面での固着すべりがどのような摩擦構成則に支配されているかについて、これまで岩石の室内実験等によって多くの研究が積み重ねられているが、未だ十分な理解に達しているとはいえない状況であろう。例えば、摩擦面の状態を記述する状態変数を現象論的に導入する Dietrich-Ruina の摩擦構成則は、室内実験データを良く説明できるということもあって、近年広く使われている。この構成則においては、 a 項、 b 項、あるいは $a \cdot b$ といったパラメータで摩擦力が記述され、実際の地震の記述に際しても広く使われるようになっている。

実際に地震が起きる地下深部を直接その場観測することは出来ないということもあり、数値シミュレーションは、地震研究の際になくてはならない重要な研究手段になっている。シミュレーションの際の最大の不確定要素は、やはり摩擦構成則の部分であろう。実際の地震断層を記述する a , b 等のパラメータ値の不確定性がしばしば問題にされるが、そもそも Dietrich-Ruina の摩擦構成則が地震の際の摩擦力を記述する基礎方程式として信頼してよいものかどうかについてすら、実は全く不明であるというのが、本当のところではないだろうか？

我々は最近、統計物理の分野で広く使われてきた地震のモデルであるバネ—ブロックモデル（Burridge-Knopoff モデル）に基づいて、この統計モデルを様々な摩擦構成則と組み合わせて、時空間相関等の地震の統計的諸性質を数値シミ

ュレーションにより調べる研究を進めている。摩擦構成則としては、例えば、Carlson-Langer による速度弱化摩擦則、Dietrich-Ruina の速度状態依存の摩擦構成則、等を用いている。得られたシミュレーション結果を、実際の地震に対するカタログの解析結果と比較検討することによって、摩擦構成則に対しても新たな知見が得られるのではないかと期待している。基研研究会では、これらのシミュレーション結果、およびそれらと実際の地震カタログの解析結果との比較についてお話しする予定である。

我々のシミュレーション結果からは、1) 地震の統計的諸性質は構成則の形やパラメータ値に敏感に依存する；2) モデル系において、地震のマグニチュード分布や再来時間分布といった統計的諸量は、しばしば臨界的というより固有地震的な振る舞いを示す；3) モデル系においても、特徴的な地震先行現象がしばしば観測される；といった結果が得られている。

1 例として、図に、局所的に見た大地震の再帰時間の分布を、速度弱化摩擦則を用いた 2 次元バネブロックモデル (図 1)、速度状態依存の摩擦則を用いた 1 次元バネブロックモデル (図 2)、JUNEC 地震カタログデータ (図 3) のそれぞれについて、示した。

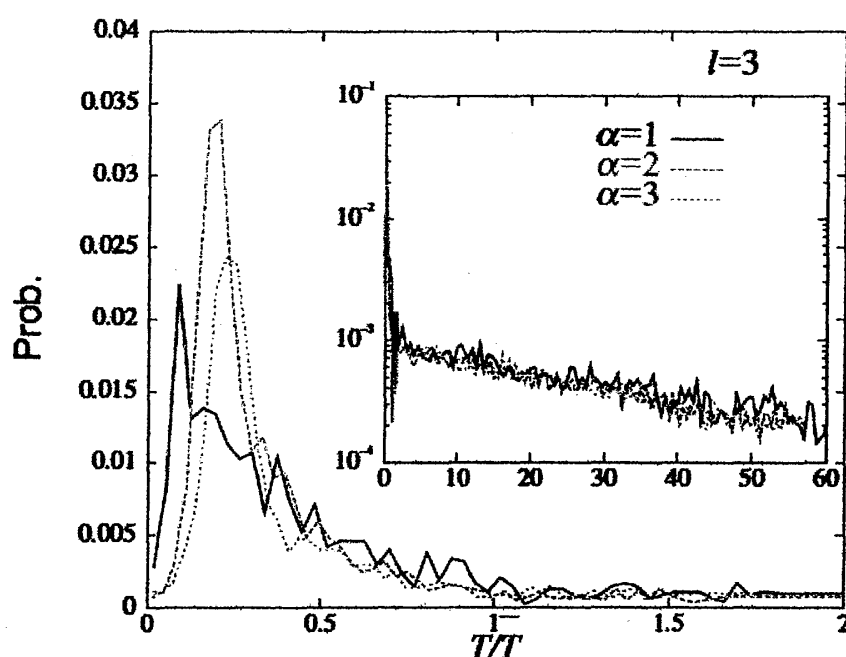


図 1： 速度弱化摩擦則を用いた 2 次元バネブロックモデルでの大きな地震イベントの局所的な再帰時間の分布。再帰時間 T は平均で規格化してある。パラメータ α は、速度弱化性の程度を表すパラメータで、値が大きいほど速度弱化の程度が大きい。図からは固有地震的なピーク構造が見られる。

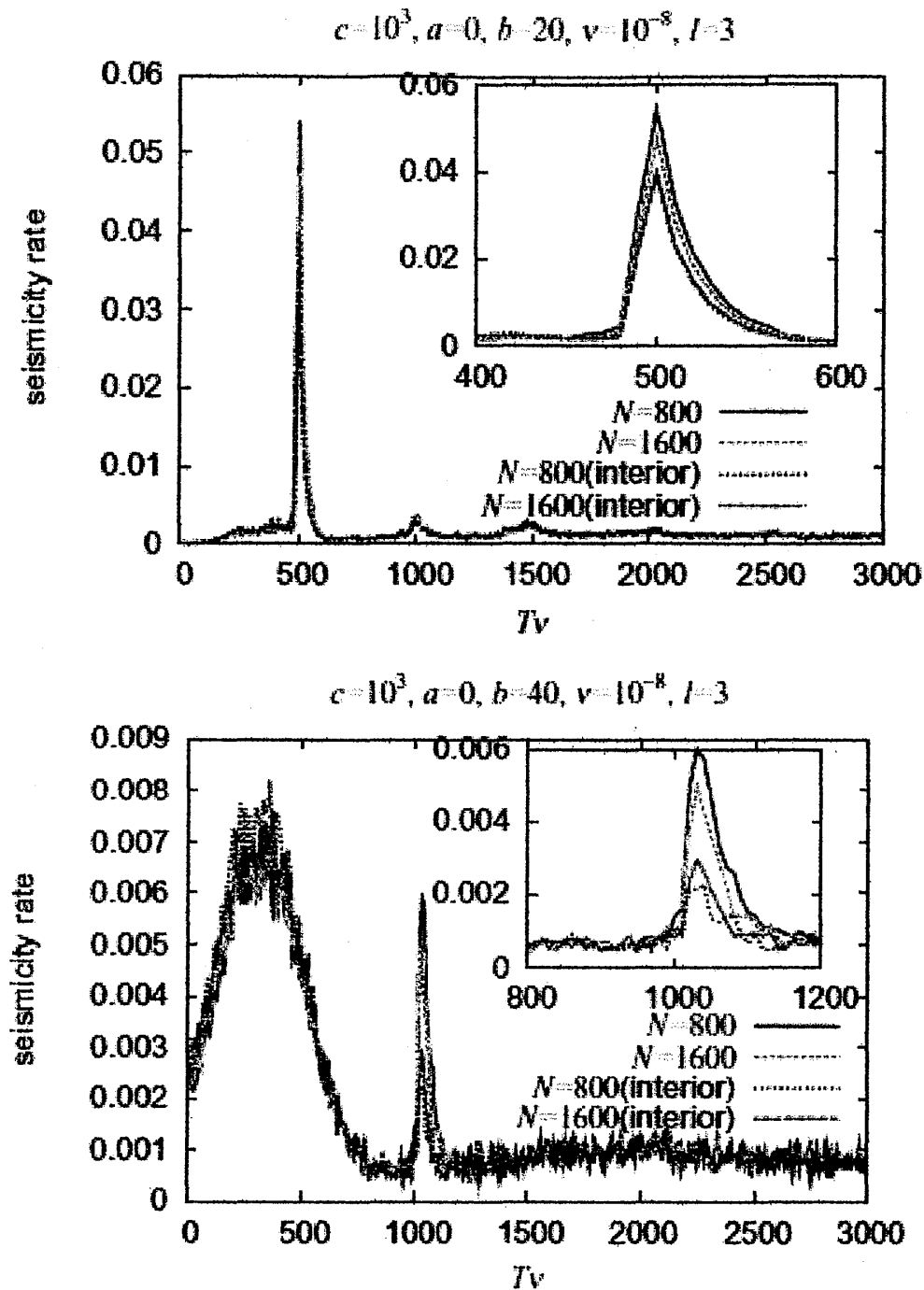


図2： 速度状態依存の摩擦則を用いた1次元バネブロックモデルでの、大きな地震イベントの局所的な再帰時間の分布。パラメータ b がいわゆる b 項の大きさを現す。上図では $b=20$ 、下図では $b=40$ である。いずれの図からも、固有地震的な顕著なピーク構造が見られ、特に $b=40$ では2重周期的な振る舞いに対応したダブルピーク構造が顕著に見られる。

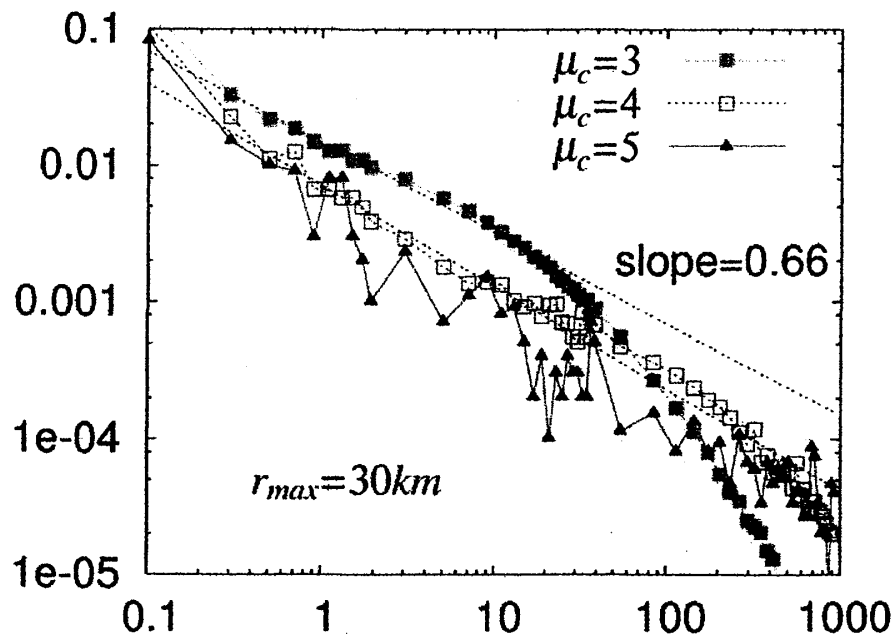


図 3 : JUNE C 地震カタログデータから得られた日本の地震の局所的な再帰時間の分布の両対数プロット。図中のデータはほぼ直線的な振る舞いを示しており、これは地震の局所的な再帰時間がベキ的な分布になっていることを示している。

文献

- 1) C.H. Scholz, *The Mechanis of Earthquakes and Faulting* (Cambridge Univ. Press, 1990)
- 2) C.H. Scholz, *Nature* 391, 3411 (1998)
- 3) R. Burridge and L. Knopoff, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 57, 3411 (1967)
- 4) T. Mori and H. Kawamura, *Phys. Rev. Lett.* 94, 058501 (2005)
- 5) T. Mori and H. Kawamura, *J. Geophys. Res.* 111, B07302 (2006)
- 6) A. Ohmura and H. Kawamura, cond-mat/0605014
- 7) H. Kawamura, "Spatiotemporal correlations of earthquakes", in *Modelling critical and catastrophic phenomena in geoscience: A statistical physics approach*, ed. by P. Bhattacharryya and B. K. Chakrabarti, (Springer, 2006)