中谷正生 （地球計測系研究部門，准教授）

e-mail: nakatani@eri.u-tokyo.ac.jp
office: room 2-311， tel : 03-5841-5763（直通）

研究テーマ: 地震発生予測のための震源破壊物理。特に、小さな地震がたまたま止まらなかったのが大きな地震なのかという問題。

地殻岩石の脆性破壊現象である地震の発生時期や破壊の大きさはどの程度に予測可能か、特に、大きな地震のおこりやすい物理的状態というものが存在するのか、という興味から、地震発生の準備過程・破壊の停止機構を、以下のようなアプローチで研究しています。

1. 岩石の摩擦滑りの室内実験

中学・高校で習う、静摩擦・動摩擦だけで、断層が間欠的に急激な滑りを起すという地震の基本的な姿は、だいたい説明できます。しかし、岩石に限らず、ほとんどの材料の摩擦をよくみてみると、いわゆる静摩擦や動摩擦以下の力でもごく低速の滑りがおこり、このことによって、急激な滑りが起る以前にわずかな滑り（プレスリップ）がおこることが期待できます．この微妙な摩擦の性質に着目すると、プレスリップ以外にも、地震後しばらく続く余効滑りや、一種の遅れ破壊現象である余震、さらには、断層には、地震として間欠的に急激に滑るのではなく、定常的にずるずると滑っているものがあることなども説明でき、現在の地震発生論の標準的な構成要素になっています。

このような低速の摩擦滑りは、主に室温での実験で研究されてきましたが、熱水等の環境の影響によって、摩擦の微視的プロセスは大きく変ってしまうことがわかっており、この部分を具体的に解明することがひとつの大きな課題になります。さらに、我々は、断層面に超音波を透過させてその振幅を測ることで、断層面の固着状況を時々刻々モニターする手法を手にしており、今後、熱水環境の実験にもこれを適用して、地震発生の力学に直接的に重要である、500°C程度までの熱水環境下での摩擦滑りの詳細な性質と、その微視的プロセスを明らかにすることを目指しています。

2. 鉱山の地下数kmでの半制御地震発生実験

摩擦の室内実験では、平面に研削した岩石の滑り面を、粗い磨き砂でザラザラにして使い、滑り面の粗さによって、Dcといわれる静摩擦から動摩擦への強度低下に必要な滑り距離がきまることがわかっています。このDcという摩擦パラメータは、急激な滑り（地震本番）がおこる前にどの程度のプレスリップがおこるはずであるかを決める主要な因子であることが、力学的理論から示されています。では、自然の断層の粗さはどの程度ですか?ということになるのですが、自然の断層の形状をはかってみると、その形状はフラクタル、すなわち、より広い範囲をみると、平均的な粗さが大きくなってしまうようなものなので困ってしまいます。

そこで、天然の断層が徐々に載荷され、その断層面のある程度広い範囲（100m程度）がまとまって急激に滑る(M2程度の地震)までのプロセスを、ごく近くで詳細に観察するために、南アフリカの鉱山内の地下1-3.5kmの地点で、様々なセンサーを、断層をとり囲むように多数配置しました。とくに、我々が開発した超高感度の振動センサの大規模なネットワークでは、断層の周囲半径100m程度の領域で、M-4以下までの超微小な破壊イベントを毎日1万個程度検出し、天然の断層面上に強く集中した微小破壊の派手な活動があることを発見しました。活動領域が時間とと

もに拡大していった例や、活動の集中で描きだされた断層面で実際に大きな（M2，滑り域のサイズ100m）地震がおこった例もみつかっています。また、採掘による載荷の増加に呼応して、断層面のない岩盤の中に、微小破壊の活動が集中して発生する数十mスケールの板状（厚み2-3m）の領域が現われることもみつかりました。大規模な破壊の準備過程で多数の微小な破壊が起るという期待は、自然地震の観測からは否定される大きな流れがありましたが、われわれの発見した微小破壊は、非常に小さなものばかり（b値がとても高い）で構成されており、自然地震の観測からは漏れているだけのことではないかと考えています。こんなデータは、我々しかもっていないので、いままでは、震源分布を正確にプロットするだけで書ける論文の数を稼ぐことに注力していましたが、そろそろ、より高度な活動解析を始めたいと考えています。

3. 不均質と地震の予測可能性

地震予知は原理的に不可能であるという論の大きなバックボーンは、いったんはじまった地震がどこまで成長するかは偶然に支配されるのだから、破壊が始まる以前に、「大きな地震がおこりそうだという特別な状態」ができているはずがない、という考えです。地震がどうやって止るかについての理解はまだ黎明期にありますが、種々の観測事実を説明できる有力な説のひとつに、破壊物性の階層的な分布（大地震で破壊する、タフで大きな固着域の中に、部分的に脆い小さな部分がある）を仮定するものがあります。このような状況では、小さな脆い部分で始まった地震が、そこで止まらずに成長して大きな固着域全体を壊す（cascade up）ことが可能で、この場合、大地震のはじまる前には、小さな地震をおこすための準備だけが整っていればよいことなります。しかし、われわれは、JAMSTECと協力して大規模な数値計算を行い、タフで大きな固着域というものが存在する以上、小さな脆い部分からのトリガに頼らず、大規模な準備過程を経ておこる大地震というものは十分可能であること、また、小さな脆い部分で始まった地震が、大地震のタフな固着域を壊すためには、大地震の固着域自体がある程度緩み始めている必要があることを示しました。今後、数値実験によって階層構造のふるまいをさらに理解するとともに、実際の地震活動において、小さな地震と大きな地震がどう共存するか、データをみて考えたいとおもっています。少なくとも、大きな断層の一部だけが壊れるという現象、すなわち、大きな地震になりそこねた小地震というのは、Gutenberg-Richter則から期待されるよりは、ずっと稀であることは明らかです。

4. 物理はともかく、先行現象

古くから、大きな地震の発生が差し迫ったときに、普段はあまりみられないような現象、たとえば、ラジオが雑音で聞こえなくなったり、地下水の化学成分が変ったりということが報告されています。しかし、「地震の前の時期を調べるとこういうことがよく起っていた」という段階に留まるケースが多く、現象があるときとないときで、そのあと地震がおこる確率が違うのか、というところまでは検討されていないものがほとんどです。そこで、様々な「地震先行現象」かもしれないものの観測研究をしている全国の研究者と協力して、それらの現象が地震とどの程度に相関しているか、きちんとした定量的な統計評価をするというプロジェクトを始めています。3. で述べたcascade upのようなことを考えると、先行現象は、地震と百発百中の関係である必要は全くなく、たとえ弱い相関でも統計的に有意なものがあれば、「いまにも地震がおこりそうな特別な物理状態」があるということになりますから、まずは、疫学的アプローチで、統計的に有意な相関のあるものをみつけることが先決であるという考え方です。この件に関しては、物理の苦手な方も歓迎します。（でも、数学、得に確率・統計の苦手な方は不可）