

## 地震サイクルシミュレーションプログラム ECSP の開発

### Development of Earthquake Cycle Simulation Program (ECSP)

# 黒木 英州[1], 伊藤 秀美[2], 吉田 明夫[3]

# Hidekuni Kuroki[1], Hidemi Ito[2], Akio Yoshida[3]

[1] 気象庁・気象研究所・地震火山研究部, [2] 気象研・地震火山研究部, [3] 気象研

[1] Seismology and Volcanology Res. Dep. of M.R.I., J.M.A., [2] Seismology and Volcanology Research Dep., M.R.I., [3] MRI

気象研究所では、これまで東海地域を対象にプレート沈み込みの3次元シミュレーションを行い、地震前の中・長期及び直前の地殻変動や応力場、クーロン破壊関数の変化、周辺域で発生した地震の東海地震への影響などについての結果を報告してきた(Kuroki et al., 2001)。

シミュレーションの研究は、まだ初期段階であり、現実の状況を説明できるようになるためには、媒質の属性、摩擦則などを様々に変えてシミュレーションを行い、経験を積み重ねていく必要があると思われる。今回、こうした作業を容易に遂行出来るプログラムパッケージを開発したので、その概要を報告する。

#### 1) 相互作用係数の計算

プレート境界を3角形要素に分割し、各要素上の単位転位が他の要素の中心に作り出すせん断応力と法線応力を求める。媒質が均質な場合はGreen関数法を用い、不均質な場合は有限要素法を用いる。Green関数はMindlin(1975)、Mura(1987)により与えられている。有限要素法による断層面上の計算は、Melosh and Raefsky(1981)によるnode splitting法を用いる。粘弾性体の場合は、時間遅れを含むため、Green関数法ではLaplace変換を行って弾性体問題に変換し、その後、Laplace逆変換を行う。有限要素法では、山田(1980)の方法を用いている。3角形要素を与えた時の有限要素法による計算メッシュは自動的に作成されるようになっている。

#### 2) 運動方程式

1)で得られた相互作用係数を用いて求まる応力と、プレート境界面上での各要素の状態摩擦構成則によって与えられる摩擦力との釣り合い(準静的近似を仮定している)から、運動方程式が得られる。プレート境界面での各要素のせん断応力、法線応力、相対変位、相対速度などが変数になっている。弾性体の場合は、常微分方程式、粘弾性体の場合は、時間遅れを含むVolterra型の積分・微分方程式になる。プレートの沈み込み速度に揺らぎを入れると、時間発展はランダム性を含むようになり、確率微分方程式になる。これは、地震調査委員会が地震危険度の長期評価に用いられたBrownian Passage timeモデルを力学的に拡張したものである。

#### 3) 運動方程式の積分

常微分方程式は、6段5次のRunge-Kutta法で積分する。また、Volterra型の積分・微分方程式は、Feldsten-Spoka(1974)による5段4次のRunge-Kutta法を用いている。確率微分方程式については、Milstein法によった。

#### 4) 状態摩擦構成則

rate- and state-dependent friction lawとslip dependent friction lawの2つの摩擦則を扱えるようにした。rate- and state-dependent friction lawはslip versionとslowness versionの2つ(Linker and Dieterich, 1992)と、Kato and Tullis(2001)による両者を組み合わせたcomposite lawである。rate- and state-dependent friction lawでは、normal stressの時間的な変化の影響も入れることが出来る。slip dependent friction lawはMatsu'ura et al.(1992)を入れた。ただし、摩擦の回復過程を入れたバージョンはサポートしていないため、応力場が蓄積して地震破壊に至るまでであり、地震サイクルのシミュレーションは出来ない。これらの摩擦則はサブルーチンで与える。

#### 5) 表示機能

- ・プレート境界での相対変位と速度とせん断応力
- ・地表での歪、変位
- ・媒質内のメカニズム、クーロン破壊関数

などの時空間分布が表示できる。なお、表示に使用したソフトウェアは、GMTである。

#### 6) その他

周辺で発生した地震またはゆっくり滑りが東海地震に与える影響については、これまではクーロン破壊関数を用いて定性的に議論されてきた。本プログラムでは、発生時期への影響を定量的に見積もる機能を付け加えた。