

## EPOS3 におけるモーメントマグニチュード ( $M_w$ ) の算出

地震予知情報課発震機構係・EPOS オフライン担当\*

### The Moment Magnitude estimation of the EPOS3.

The focal mechanism group of the Earthquake Prediction Information Division  
and the offline group of the EPOS team.

#### 1. はじめに

2003 年 10 月、気象庁地震火山部は第 3 世代の地震活動等総合監視システム (以下、EPOS3) の運用を開始した。EPOS3 のマグニチュード計算処理では、従来の  $M_j$ 、 $M_p$ 、 $M_f$  等の他に、モーメントマグニチュード (以下、 $M_w$ ) を自動決定し、緊急処理に取り込む機能を導入した。

$M_w$  は震源断層の大きさと明確に対応づけられる物理量であり、精度よく求めることができれば津波の規模を推定する場合などには  $M_j$  よりも有利である。また、 $M_w$  の計算には  $M_j$  の算出には使用しない 45 秒~100 秒という長周期の地震波を用いるので、長周期成分の卓越した地震等の監視にも有用である。EPOS3 では、セントロイド・モーメント・テンソル (以下、CMT) 解の計算結果から  $M_w$  を算出している。

1994 年からの津波地震早期検知網の整備に伴い、全国 20 ヶ所に S T S 2 型広帯域地震計が設置され、長周期の地震波をとらえることが可能となった。同年より地震予知情報課発震機構係では、S T S 2 型地震計による観測データを用いて CMT 解析を開始し、精度のよい解を得るための計算手法や観測点選別法の研究等を行ってきた。試験期間を経て 2002 年 1 月より正式なルーチン解析業務を開始し、 $M_{5.0}$  以上の地震について解析結果を地震・火山月報や Web 上で公開している。CMT 解の詳しい計算方法等については中村ほか (2003) を参照されたい。

また、人手を介することなく自動的に CMT 解析を行う手法も開発し、第 2 世代の地震活動等総合監視システム (EPOS2) や地域地震情報センターデータ処理システム (REDC) では、地震発生後 30 分以内に CMT 解が得られる自動処理を実現した。

EPOS3 の自動 CMT 解析処理はこれらの実績に基づいたものである。EPOS3 では、緊急作業において  $M_w$  を使用できるよう、緊急処理画面への  $M_w$  の表示を実現した。緊急作業で使用するためには一刻も早い解析が必須である。そのため、解析時間の大幅な短縮を実現しながらも精度を落とさないために、観測点の選別法を工夫するなどしている。また、EPOS3 では、他機関観測点のデータも利用可能となったため、独立行政法人防災科学技術研究所と大学が日本全国に展開している広帯域地震観測網 (略称: F-NET) の波形データを自動 CMT 解析へ導入し、精度の向上を図った。

#### 2. 概要

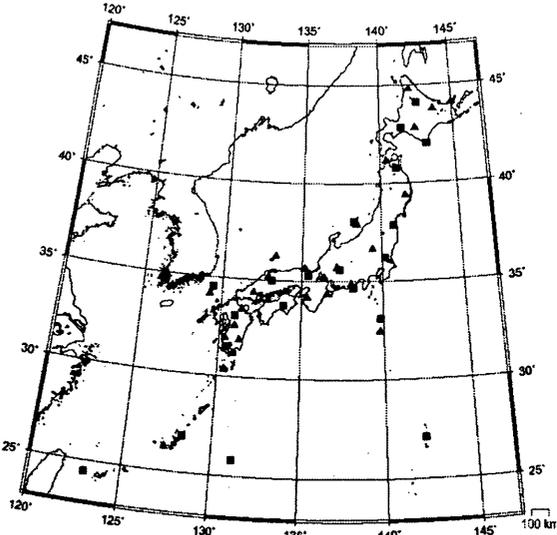
##### 2.1 観測点

EPOS3 での自動 CMT 処理に使用しているのは気象庁と F-NET の S T S 2 型地震計設置観測点合わせて約 50 観測点 (第 1 図) である。これらの中から、観測状況 (S/N 比) や震央距離等により実際の計算に使用する波形を自動的に選択している。

##### 2.2 処理サーバ

EPOS3 自動 CMT 処理は、マシン障害に備えてオフラインサーバと地殻サーバ (1 系・2 系) の計 3 台のマシン (以下、処理サーバ) での動作が可能となっている。このうち 1 台で実際の処理が行われるが、担当マシンを決定する際の優先順位は、①オフラインサーバ、②地殻サーバ・スレーブ系、③地殻サーバ・マスター系となっている。

\*気象庁地震火山部



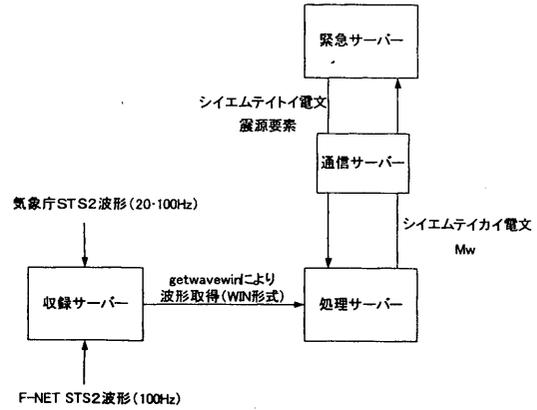
第1図 CMT計算に使用する広帯域観測点  
■ : 気象庁 ▲ : F-NET

### 2.3 波形の取得

解析に使用する波形は、処理サーバ上で波形取得汎用プログラム「getwavewin」により、収録サーバから取得している。F-NETデータ導入に伴い、サンプリング周波数が100Hzのデータでも取得・解析を可能とした。取得する波形フォーマットも従来の気象庁独自のオンラインマスタ形式から国内の大学等で広く用いられているWIN形式へ変更した。また、気象庁観測点のデータの遅延時間は3秒以内であるが、F-NETデータではそれ以上の遅延時間がかかることから、波形取得に際しては、念のため1分間の遅延時間を考慮している。

### 2.4 CMT解の計算

CMT解析には、ある程度まとまった時間の波形が必要である。発震機構係によるルーチン解析やREDCでの自動処理では震源時から10分間の波形を計算に使用している。この場合、結果を得るまでどうしても10分以上の時間が必要である。しかしながら、緊急作業時においては一刻も早く結果を得る必要がある。そこで、EPOS3のCMT自動解析においては、計算に使用する波形の長さを従来よりも短縮した処理を新たに設けた。まず震源時から3分間の波形を使用する3分間処理があり、以下同様に5分間処理、7分間処理、そして従来と同じ10分間処理がある。しかし、計算に使用する波形の長さを短縮すると計算結果の精度は一



第2図 CMT処理関係のマシンと通信

般に低下する。このため、短時間の波形での計算においては使用する観測点の震央距離制限を厳しくするなど、精度の低下を防ぐ工夫をしている。また、サーバマシンの高速化により計算処理時間が約1分間に短縮された。このため、例えば5分間処理の場合、波形時間5分+待機時間1分+計算処理時間1分の計約7分程度でMwが緊急処理画面に表示される。

### 2.5 緊急処理サーバとの通信

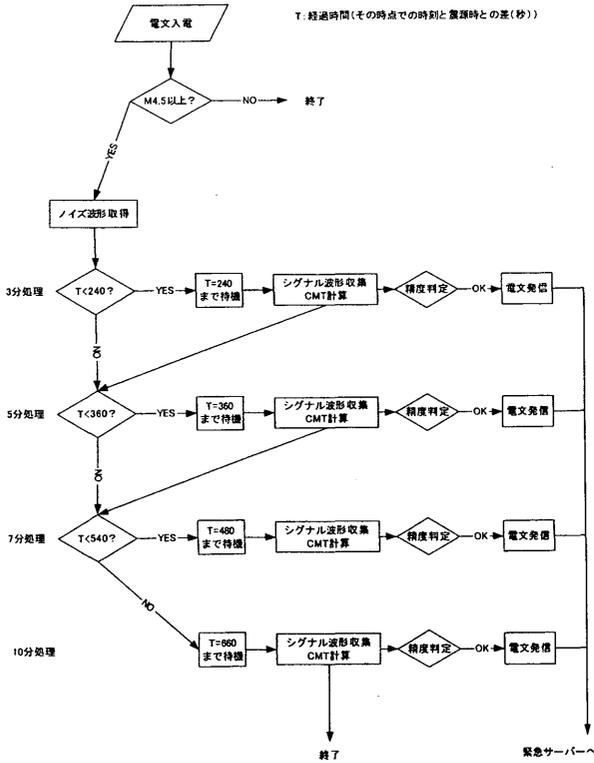
自動CMT処理起動のトリガー、Mwの受け渡しといった処理サーバと緊急処理サーバ間で必要な通信は、通信サーバを介して、「シイエムテイトイ」、「シイエムテイカイ」電文により行われる。これらの電文のフォーマットは「シンゲン」電文に準拠したものとなっている。「シイエムテイトイ」電文によりEPOS震源の時刻・緯度・経度・深さ・マグニチュードといった要素が自動CMT処理に渡され、CMT解析の初期値となる。また、「シイエムテイカイ」電文によりMwの値が緊急処理サーバに渡される。

## 3. フロー

第3図に処理フローを示し、各処理について解説する。

### 3.1 震源報によるトリガー

緊急作業において、「シンゲン」電文が発信されると、通信サーバから処理サーバへ「シイエムテイトイ」電文が送信される。この電文が入電すると処理サーバで自動CMT解析処理が起動する。緊急マグニチュードが4.5に満たない場合、処理はそのまま終了する。こ



第 3 図 CMT 処理フロー

れは、ある程度大きな地震でないと CMT 計算に使用する長周期の地震波を励起せず、計算が不可能であるからである。

### 3.2 ノイズ波形の収集

緊急マグニチュードが 4.5 以上の場合、直ちに震源時の直前 10 分間の波形 (ノイズ波形) を取得する。ノイズ波形は各観測点での観測状況を調べ、計算に使用する観測点を選別するために使用される。

### 3.3 処理の選択

地震発生から「シンゲン」電文が発信されるまでの時間は緊急作業の進捗状況により変動するので、震源時から時間 (以下、経過時間) に応じて、何分間の波形を用いた処理を行うかを決定する。

### 3.4 シグナル波形の取得と CMT 計算

計算に使用する波形が収録サーバに集まるまで待機したのち (待機時間は 1 分間)、地震波形 (シグナル波形) を取得する。シグナル波形取得後、直ちに計算に使用する波形を選択し、CMT 解を計算する。

### 3.5 精度の判定と電文の送信

CMT 解の計算完了後、解の評価を行う。評価項目は、

- ・ バリアンスリダクション (波形の合い具合の指標) が一定の値以上であること。
- ・ 計算の初期値とした震源と計算されたセントロイド間の距離が離れすぎていないこと。
- ・ 計算に使用できた波形の数が極端に少なくないこと。

の 3 項目である。得られた CMT 解が精度判定をクリアしている場合は、その解の Mw 値を「シイエムテイカイ」電文に編集し、通信サーバ経由で緊急処理サーバへ発信する。その後は経過時間に応じて、次の処理に移行する。なお、試験期間を含む 2003 年 9 月から 12 月の実績では、処理対象地震 133 のうち 86 地震が精度判定をクリアし、電文発信に至っている (成功率約 65%)。なお、M5.5 以上のイベントに限れば成功率は約 76% となる。

### 3.6 緊急処理サーバでの表示処理

「シイエムテイカイ」電文が緊急処理サーバへ入電すると、当該地震の大地震処理が継続中であれば、緊急処理震央表示画面の算出マグニチュード欄内に Mw の値が表示されるとともに、「モーメントマグニチュードを確認して下さい」という音声報知がなされる。なお、処理フローにあるように、「シイエムテイカイ」電文は一つの地震について複数回発信されるが、緊急処理画面には常に最新の Mw 値が表示される。

## 4. まとめと今後の展望

緊急作業において Mw が迅速に利用可能となった。例えば Mw を用いて津波予報を修正することも可能である。しかし、常に精度のよい Mw が得られるとは限らないので、地域別に最適な観測点選別を行うなど、より一層の精度の向上を図る必要がある。また CMT 解の評価項目を最適化することにより、成功率および信頼性を向上させる必要がある。また、処理における待機時間や計算時間にはまだ短縮の余地があり、さらなる迅速化を図る必要がある。

近年、CMT 解析のような、長周期地震波形を用いたモーメントテンソルインバージョンを自動的に行い、メカニズム解や Mw を迅速に求める手法が盛んに研究

されてきた。そんな中で我が国の防災情報を担うEPOSの緊急処理にMwが導入されたことの意義は、研究成果の社会への還元という観点から大変大きい。しかし、これはまだほんの一步に過ぎない。最近の研究を見てみると、例えば福山ほか(1998)のシステムでは、マグニチュードが4.0に満たないような地震でも解が得られる利点がある。また、Kawakatsu(1998)の手法を基にしたシステム(Tsuruoka et al. 2001)はトリガーとなる地震情報が必要ない上、地震発生後数分で解が求まる画期的なもので、Mwとメカニズムを考慮した津波予報を実現する迅速性を秘めている。今後これらの成果を積極的に取り入れ、より信頼される防災情報を目指す必要がある。

このように、今や広帯域地震観測は防災情報の発信という観点からも重要な観測項目となりつつあり、気象庁としてその観測網・観測技術を維持・発展させていくことは、防災官庁として極めて重要な責務である。

## 5. 謝辞

これまでCMT業務を担当してこられた地震予知情報課歴代発震機構係の各氏に深く感謝申し上げます。とりわけ自動処理の開発においては、現気象研究所の吉田康宏氏、現地震予知情報課の中村浩二氏、現気象研究所の青木重樹氏のご尽力によるところが大きい。また、本処理には現仙台管区気象台地震火山課の島山信一氏が作成された波形取得プログラム「getwavewin」を使用させていただきました。記して感謝いたします。

## 6. 参考文献

- 中村浩二・青木重樹・吉田康宏(2003)：気象庁広帯域地震観測網によるCMT解析，*験震時報*，**65**，1-15。
- 福山英一・石田瑞穂・D. S. Dreger・川井啓廉(1998)：オンライン広帯域地震データを用いた完全自動メカニズム決定，*地震*，**51**，149-156。
- Kawakatsu, H., (1998)：On the Realtime Monitoring of the Long-period Seismic Wavefield., *Bull. Earth. Res. Inst.*, **73**, 267-274.
- Tsuruoka, H., et al., (2001) Feasibility test for realtime continuous monitoring of long-period seismic wave field., *AGU 2001*, S11B-0567.