

X Window System を用いた地震検索・地震活動解析プログラム (REASA) の開発

Development of REASA, an X Window Program for Retrieval of Earthquake Data and Analysis of Seismic Activities

明田川 保¹, 伊藤 秀美², 弘瀬 冬樹²
Tamotsu AKETAGAWA¹, Hidemi M. ITO² and Fuyuki HIROSE²

(Received July 3, 2006 : Accepted September 6, 2006)

1 はじめに

平成 9 年 (1997 年) 10 月より, 気象庁に大学等関連機関の地震観測データが集められ, いわゆる一元化処理が開始された. この観測データの一元化により気象庁における地震検知能力は全国的に向上し, 震源データの数は急増した. 例えば 2005 年 1 年間では 12 万 8 千個を超える震源データが生産されている. これは 1 日あたり 350 個のペースである.

一方, 気象審議会の「21 世紀における気象業務のあり方について (答申)」(気象審議会, 2000) による『・・・単に発生した現象の速報および解説に終始してきたが, 今後は, 過去の事例と比較しつつ, 地震活動とそれに関連する地殻変動とを精度よく把握し, 地震・地殻活動の異常の程度を診断できるようになることが望ましい』との提言に基づき, 地震予知情報課では過去地震の資料のデータベース化や地震活動の定量的な評価手法の確立等, 地震活動評価向上のための取り組みを進めている.

大量に増加しつづけるデータを用いて適切に地震活動を評価するためには, 特定の条件に合致するデータをすぐに取り出せ, かつ各種解析や各種評価手法の適用が簡便にできることが大変重要である. しかし, これまでの環境でこれらを行うためには, データセットの準備から結果の作図まで, 処理ごとに複雑な作業が必要であり, 時間的な制約の大きい業務では熟練者以外ほとんど活用できなかった. このような問題を解決し, 地震活動評価の向上に資するため, 我々は以下の 2 点に主眼をおいたユーザ・イ

ンターフェース・プログラム REASA(X Window Program for Retrieval of Earthquake Data and Analysis of Seismic Activities, 以下 REASA と記す) を開発した.

- 1) 大量の震源データの中から特定の地震を容易に検索でき, データ編集もできる.
- 2) 任意の震源データセットを用いて地震活動を様々な手法で手軽に解析できる.

プログラムは UNIX の標準的なグラフィカル・ユーザ・インターフェースである OSF/Motif を用いて c 言語 (一部 FORTRAN を含む) で書かれており, UNIX マシンや LINUX 搭載の PC 上での動作が可能である.

なお, 本稿の構成は以下のとおりである. まず, 第 2 節でプログラムの特徴を述べる. 第 3 節ではデータの入出力と震源検索機能について, 第 4 節では地震活動解析機能について, それぞれ具体例を示しながら説明する. 第 5 節ではプログラム実行時のユーザ支援について触れ, 第 6 節に今後の課題等についてまとめた.

2 REASA の特徴

REASA の特徴は, 高度化された震源データ検索機能と, 検索されたデータを用いて種々の地震活動解析ができる点にある. REASA を用いれば地震活動をいろいろな側面から容易に調査できる.

気象庁には既に優れた地震活動解析プログラム (横山, 1997, 以下 hypdsp と記す) があり, 地震活

¹ 地震火山部地震予知情報課, Earthquake Prediction Information Division, Seismological and Volcanological Department

² 気象研究所地震火山研究部, Seismology and Volcanology Research Department, Meteorological Research Institute

動調査に広く活用されている。hypdsp で時間、場所、規模などの検索条件を設定して震源データを抽出することは容易であり、表示された震央分布図などの図上からさらに任意の範囲の震源データを抜き出すこともできる。しかし、hypdsp は震源データの表示を主目的としたプログラムのため、解析機能が少ない。このため、ユーザは hypdsp で一連と考えられる震源データを抽出し、地震活動を評価するための各

種ツール（例えば改良大森公式や ETAS モデルのあてはめ、デクラスタリングなど）を適用する方法が一般的であった。この方法は、それぞれが独立したプログラムであるため、その都度データセットを用意したりパラメータファイルを準備したりと作業が煩雑であった。また、処理結果が数値出力のため、結果を見ながら試行錯誤的なファイル編集やパラメータの微調整などを行うことがほとんどできなかった

表 1 メインメニュー項目一覧

メニュー名	プルダウンメニュー	サブメニュー	処 理 概 要
ファイル	開く	ローカル	個人で作成したローカルなファイルを読み込む
		気象庁登録震源	気象庁で業務的に作成している各種震源ファイルを読み込む
	ファイル出力	選択イベントのみ	検索された震源リスト上で選択されている震源データのみをファイルに出力する
		リストすべて	検索された震源リストをファイルに出力する
	WORK 出力 & 震源表示 (hypdsp) 起動		震源表示プログラム hypdsp 用 WORK ファイルに震源を出力する また、hypdsp を必要に応じて起動する
	震源表示 (dispep) 起動		検測値用震源表示プログラム dispep に震源データを出力して起動する
終了		プログラムを終了する	

メニュー名	プルダウンメニュー	処 理 概 要
震源検索	検索条件変更 (震源要素)	震源要素 (位置、マグニチュードなど) に関する検索条件を変更する
	検索条件変更 (フラグ等)	震源フラグ (震度、被害など) に関する検索条件を変更する
	検索実行	震源データの検索を実行する
	選択反転	震源リスト上における選択・非選択状態を反転させる
文字検索	検索のみ	リスト上の任意の文字列を含む震源データを検索する
	検索 & 選択	リスト上の任意の文字列を含む震源データを検索し、選択する
統計	回数など	規模別回数、震度別回数など、各種回数をカウントする
	b 値の推定	規模分布から b 値を求める
	b 値の時間変化	b 値の時間変化を求める
	改良大森公式	改良大森公式をあてはめる
	ETAS 解析	ETAS モデルをあてはめる
	地震活動指数	地震活動を指数化し、地震活動レベルを調べる
	CHASE 解析	地震活動の増加・減少傾向の変化を調べる
	余震発生確率	余震発生確率を計算する

た。

REASA は、データの入出力における hypdsp との親和性 (詳細は第 3 節参照) を基本に置きつつ、震源データに付加された各種情報レベルでの詳細な検索や特定の文字列を含むデータの検索、また、例えば二重地震面の下面の地震の抽出など、発生した場所による震源の分離などを行うことができる。REASA はこれら抽出した震源データを用いて、各種地震活動の解析処理に引き続き進むことができ、処理結果を画面上で確認しながら、パラメータや検索条件の設定を変えて微調整を行うなど、ユーザ・インターフェースをこれまでの方法から飛躍的に向上させた。また、REASA により高度な検索や解析を行った震源データは再度 hypdsp に引き継がれ、より高度な震源表示が可能となる。

3 データの入出力と検索機能

REASA における「検索」には 2 つの概念を含む。ひとつは特定の地震を探すと言う意味での検索であり、もうひとつは大量の震源データから特定の地震活動評価のためのデータセットを編集するという意味での検索である。前者においては検索条件を詳細に設定する必要があるが、後者においては hypdsp で作成したファイルを単に読み込むという場合もある。いずれにしても操作の基本手順は同じなので、ユーザはまず震源データを読み込み、必要なデータを「検索する」ことから始める。

REASA の基本操作は全てメイン・ウィンドウ上のメニューバーから行う。データの入出力を含む検索機能に関しては「ファイル」、「震源検索」、「文字列検索」にメニューが用意されている。各メニューボタンの処理一覧を表 1 に示す。以下本節では、「前者の検索」に主眼を置いて説明する。

3.1 入力

REASA を起動したユーザは、まず震源データを読み込まなければならない。使用できるデータセットは、気象庁で標準的に使用されている気象庁フォーマット (96 コラムフォーマット) の震源ファイルである。気象庁フォーマットファイルには、シーケンシャル形式ファイルと、hypdsp 等で使用するバイナリ形式ファイルがあるが、どちらでも使用できる。また、気象庁には震源レコードと各観測点の P 相、

S 相などの検測値レコードがセットになった検測値ファイルがあるが、それも震源ファイルと同様に利用できる。表 1 に示したように、入力データにはローカルなデータセットか気象庁が業務的に作成している震源ファイルかを選択できる。地震活動調査の場合は、hypdsp で調査対象領域の震源データをファイル出力し、それを入力ファイルとするのが便利である。

3.2 震源の検索

REASA におけるデータの入力とは、全データの読み込みとデフォルト設定条件による検索であり、デフォルトは K 登録 (精度良く求まった) 震源データをすべてリスト表示する仕様になっている。気象庁震源ファイルなどルーチン的に作成される大きなバイナリファイルを読み込んだ場合、ファイルを一定の数 (LINUX 版の場合、5 万イベント) ごとにインデックス化し、最新の部分のみが読み込まれる。その例を第 1 図に示す。リストの下のラジオボタンを切り替えることでデータが切り替わり、設定された検索条件で検索される。これは今後増えつづけるデータに対応するための仕様である。地震活動調査においては一連の活動で地震数が 5 万を越えることはほとんどないので問題にならない。震源データの検



第 1 図 ファイルが読み込まれ、デフォルト条件で検索された状態

この例は、ファイルが大きいため自動分割されたケースである。通常はラジオボタン群の部分がない状態となる。

索条件は任意に変更でき、常に入力された元データ全体に対して適用される。つまり、検索条件変更の都度、データを読み直す必要はない。検索条件設定ダイアログには震源要素（震源時、位置、規模など）に関するものと、震源フラグ（震源に付加された情報群）に関するものの 2 種類がある。それらを第 2 図および第 3 図に示し、各パラメータについて表 2 に簡単にまとめた。これら検索条件を設定することによって、hypdsp では対応できない特殊な条件を持つ震源データを探すことも容易にできる。

なお、震源要素の検索条件項目にある「クラスタ処理」と「震源の分離」は特殊なパラメータである。

「クラスタ処理」は、群を形成する地震活動を扱う場合に利用する（詳細は 4.2 参照）。「震源の分離」は陸の地殻内、太平洋プレート、およびフィリピン海プレートの地震をそれぞれ分離する。太平洋プレートの地震に関しては、二重地震面の上面と下面の活動も分離できる。分離面のデータは一元化処理開始以降の震源データに基づき 12 分（0.2 度）メッシュで作成した。分離可能な範囲は、北緯 30 度から 47 度、東経 128 度から 149 度である。なお、東海地方のフィリピン海プレートと陸の地殻内の地震の分離に限り、地震予知情報課で東海地震監視業務のために使用している詳細な分離面データを利用している。このデータは北緯 34 度から 36 度、東経 136 度から 139 度の範囲で適用される。データは 2 分（約 0.033 度）メッシュである。

3.3 文字列検索

検索された震源リストから、さらに任意の文字列を含むものを検索できる。文字列検索には、「検索」と「検索&選択」がある。検索の場合は指定した文字列を含む震源レコードがリストの先頭になるように自動的にスクロールされ、次候補を繰り返し検索できる。検索&選択の場合は指定した文字列を含む震源レコードがすべて選択状態（3.4 参照）になる。文字列検索には UNIX で標準的な正規表現が使えるので、自由度の高い検索が可能である。

3.4 震源の選択

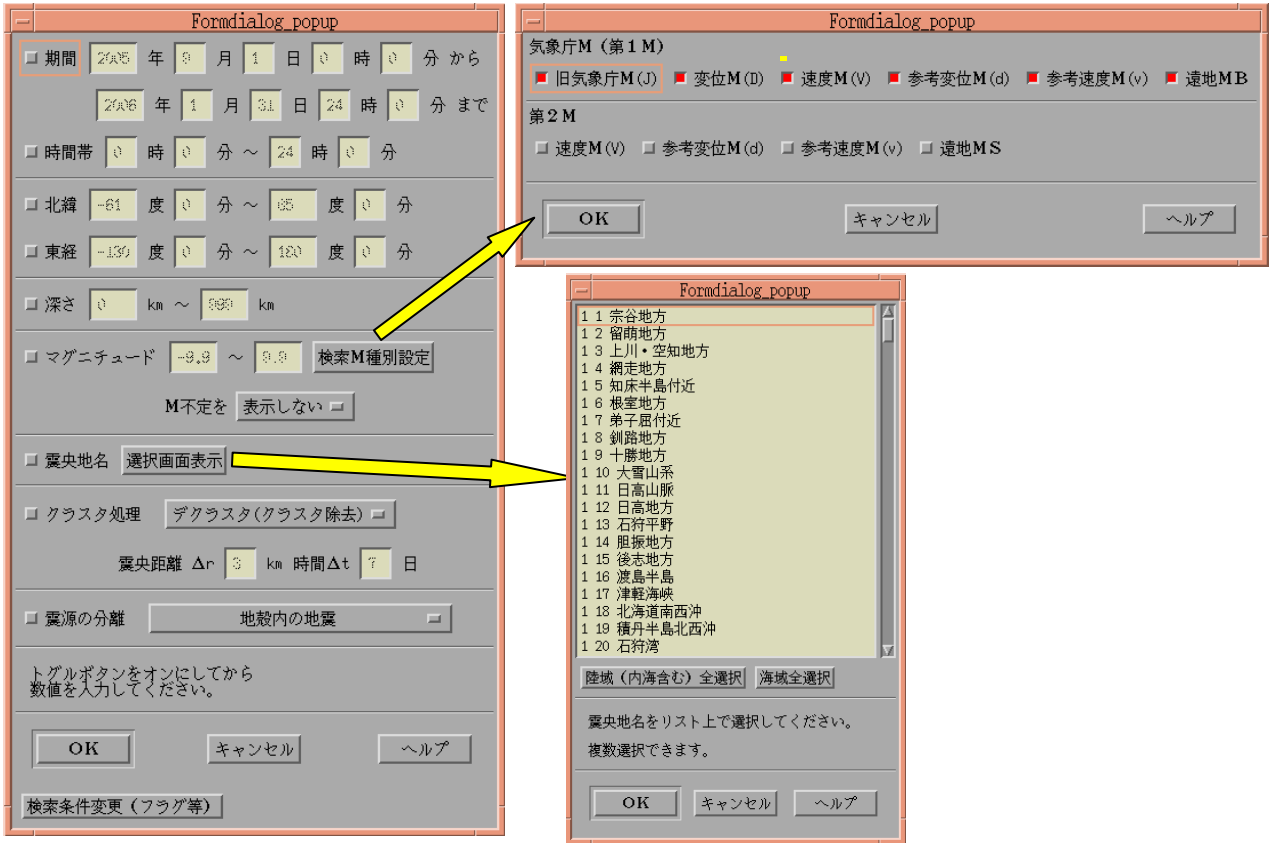
検索結果の震源リスト内において、特定の震源レコードをさらに選択することができる。選択はリスト上で震源レコードをクリックするだけでよい。も

う一度クリックすれば解除される。Ctrl キーを押しながらクリックすれば複数選択が可能である。また、Shift キーを押しながらクリックすれば、すでに選択されている震源レコードからクリックした震源レコードまでの範囲すべてが選択される。「震源検索」メニューのサブメニューには、選択・非選択状態を全て反転させる機能もある。

表 2 震源検索条件パラメーター一覧

震源検索 パラメータ	設定内容
期間	震源データを検索する時空間的な範囲を設定
時間帯	
北緯・東経	
深さ	
マグニチュード	震源データを検索するマグニチュードの範囲を設定
(検索 M 種別設定)	検索ターゲットとなる M の種別を設定
(M 不定の処理)	M 不定を検索ターゲットとするか否かを設定
震央地名	特定の震央地名の震源データを検索ターゲットとして設定
クラスタ処理	デクラスタ(除群)または、クラスタの抽出を行う
震源の分離	地殻内、太平洋プレート、フィリピン海プレートなど、地震の発生位置によって分離する

震源フラグ 検索パラメータ	設定内容
震源フラグ	検索ターゲットとなる震源フラグ(震源精度)を設定
(詳細設定)	震源決定に使われた条件、地震の種別、使用走時表などのより詳細な検索条件の設定
震源付加情報	震度や被害・津波の有無による検索条件の設定
震源誤差	震源計算結果の誤差の範囲を検索条件として設定
震源計算使用観測点数	震源計算に使用した観測点数を検索条件として設定

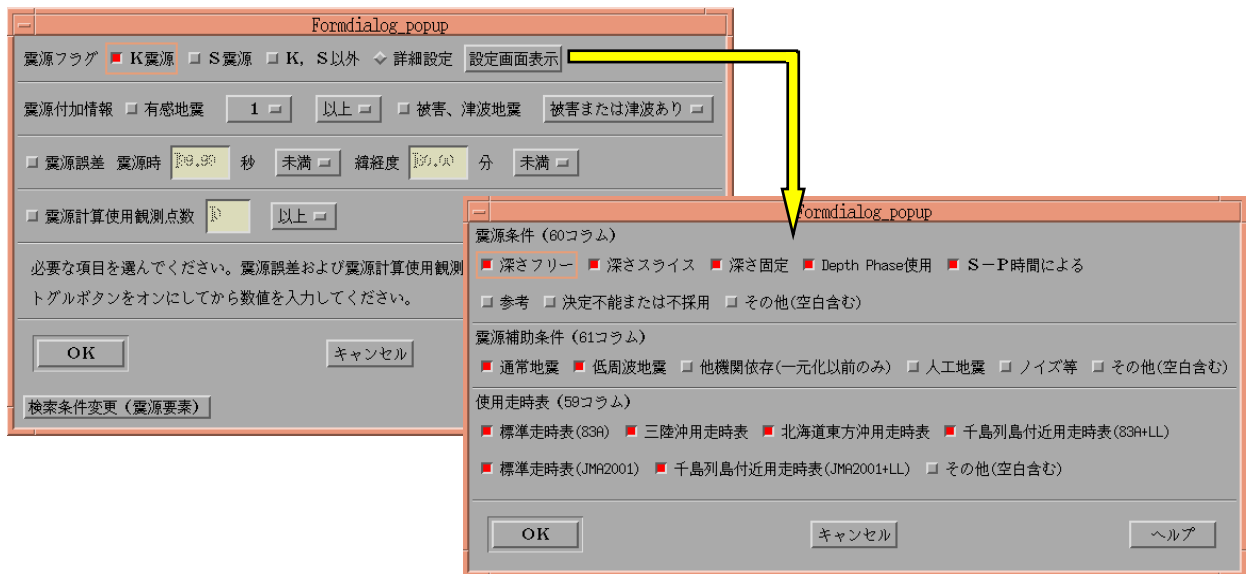


第2図 震源要素に関する震源検索条件設定ダイアログ

(左) メインのポップアップダイアログ, (右上) 検索 M 種別設定サブダイアログ,

(右下) 震央地名選択サブダイアログ,

数値入力フィールドはマスクがかかった状態になっているが, 各項目左側のトグルボタンを ON にすれば入力可の状態になる. サブダイアログも項目が ON になっていないとポップアップしない.



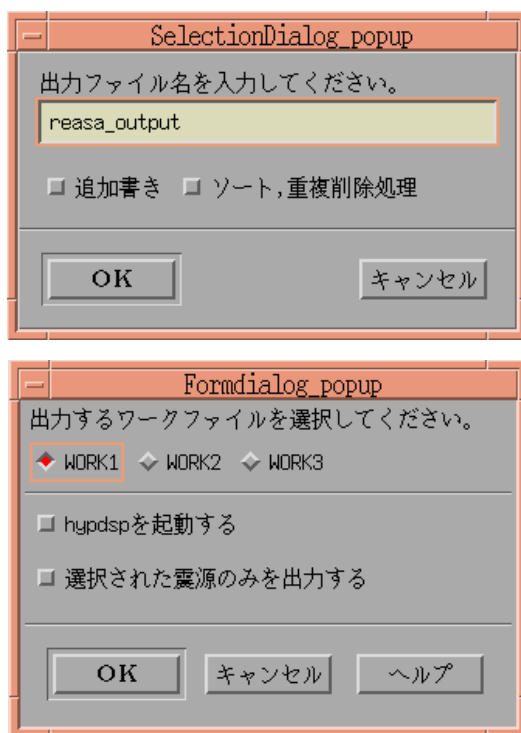
第3図 震源フラグに関する震源検索条件設定ダイアログ

(上) メインのポップアップダイアログ (下) 震源フラグ詳細設定サブダイアログ

数値入力フィールド等への入力については第2図と同様である.

3.5 ファイルへの出力

検索された震源リストをファイルに出力することができる。検索結果すべてを出力するか、選択した震源のみを出力するかを選ぶことができる。通常ファイルは上書きされるが、追加書きする機能と震源をソートして重複震源を削除する機能がある（第 4 図（上））。これらの機能を利用すれば、別条件で検索した結果を同一ファイルに出力することができる。つまり、or 条件的な検索結果ファイルを編集できる。なお、検測値ファイルを読み込んだときは、出力を震源ファイルとするか、検測値ファイルとするかを選択できる。検測値ファイルを出力するときには単純なソートができないので、追加書き機能のみが利用できる。



第 4 図 検索された震源をファイル出力するためのダイアログ例

(上) テキストファイル出力ダイアログ

(下) 震源表示プログラム用ワークファイル出力ダイアログ

3.6 他のプログラムへのデータ出力

検索された震源リストを他のプログラムへ渡す機能がついている。ひとつは hypdsp のワークファイル

(テンポラリな震源ファイル) として出力する機能である。ファイルを出力すると同時に hypdsp を起動することもできる（第 4 図（下））。もうひとつは、検測値ファイル用震源表示プログラム（dispep）にデータを渡して表示する機能である。dispep は気象庁で業務使用している検測値ファイル専用のプログラムで、震源の位置と観測点の分布、走時残差と震央距離の関係のグラフなどが表示される。この機能は検測値ファイルを読み込んだときのみ利用できる。当然ながら、これらの機能は上記のプログラムが特定のディレクトリにインストールされていなければならない。

4 地震活動の解析

4.1 機能の概要

REASA には、地震活動を評価するための統計解析ツールが搭載されている。用意されている機能は以下のとおりである。

- 1) クラスタ処理
- 2) 回数カウント処理
- 3) b 値の推定
- 4) b 値の時間変化
- 5) 改良大森公式のフィッティング
- 6) ETAS モデルのフィッティング
- 7) 地震活動の指数化
- 8) CHASE 解析
- 9) 余震発生確率処理

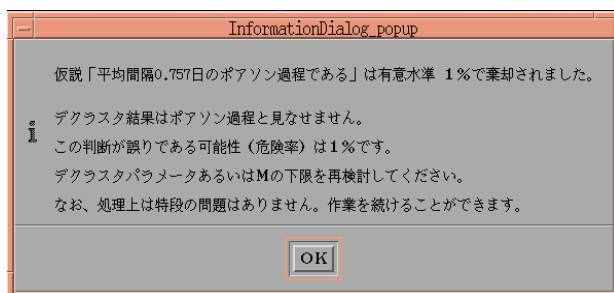
クラスタ処理は震源検索条件の 1 項目として扱う（3.2 参照）。その他の処理はメイン・ウィンドウのメニューバーにある「統計」から選択することで処理され、いずれも検索された結果である震源リスト全体に対して適用される。震源リスト上に選択された震源レコードがあっても処理には影響しない。

4.2 クラスタ処理

クラスタ処理は群を形成する地震活動を扱う場合に利用する。これには震源データから群を形成する活動を取り除く「デクラスタ」と、逆に群を形成する活動のみを取り出す「クラスタ抽出」の 2 つの処理がある。群を抽出する手法はどちらの処理も同じである。ユーザは震源検索を行う際に「クラスタ処理」のボタンを ON の状態にし、オプションメニューから「デクラスタ」か「クラスタ抽出」を選択

する。パラメータは群として判別するための適用半径 (Δr) と適用日数 (Δt) を設定すればよく、震央距離 Δr (km) 以内かつ Δt (日) 以内の地震が次々につなげられてグループ化され、一連の群をなすと見なされる。「クラスタ抽出」ではグループ化された群の活動のみを取り出し、「デクラスタ」では群の活動の中の最大の地震 1 個を残して取り除かれる。

デクラスタ処理は、余震や群発など局地的な活動の影響を取り除いて地震活動度の変化を調べたいときに用いる。その結果のよし悪しは、デクラスタ処理後の地震の時系列がポアソン過程と認めることができるか否かで判断する。REASA では、デクラスタ処理を行った際に限りポアソン過程か否かをコルモゴロフ・スミルノフ検定 (日本数学会編, 1985) によって自動的に検定する。すなわち帰無仮説を「ポアソン過程である」とし、有意水準 5%、あるいは 1% で棄却 (ポアソン過程は否定される)、または有意水準 5% では棄却できない (ポアソン過程を否定できない) のいずれかが出力される。この検定結果は処理自体には影響せず、あくまでもユーザへのメッセージとして出力される。出力例を第 5 図に示す。



第 5 図 ポアソン過程の検定結果例

4.3 回数カウント

回数カウントは、時間最多回数、規模別回数、震度別回数などを計算する。設定ダイアログを第 6 図に示す。時間別の最多回数のカウントについては、正時からの時間で処理する。時間最多回数はプログラムの仕様上 10 年間程度の連続データまでに制限される。その他について時間的な制限は無い。通常は検索されたすべての震源リストを対象にカウントするが、ある一定期間地震がない場合、一連の活動が終了したと見なしてカウントを自動的に打ち切る機能がついている。

4.4 b 値の推定

b 値の推定のモデルには一般的に用いられている GR 式 (グーテンベルク・リヒターの式) のほか、切断 GR 式、宇津式 (宇津, 1978) を適用できる。この処理は別途開発した余震発生確率計算プログラム (伊藤・明田川, 2007) から、規模分布のあてはめ部分を単独で使用できるようにしたものであり、詳しい内容はそちらを参照していただきたい。

b 値の推定のうえで大切なのは、M の下限値を適切に設定することである。REASA では、度数分布の形状から適切と思われる値を推定する。詳しいロジックは省略するが、積算度数が 10 個から 100 個程度のところの度数分布の傾きを大きくはざさないように注意しながら下限 M の値を求めている。もちろん特定の値に指定することもできる。

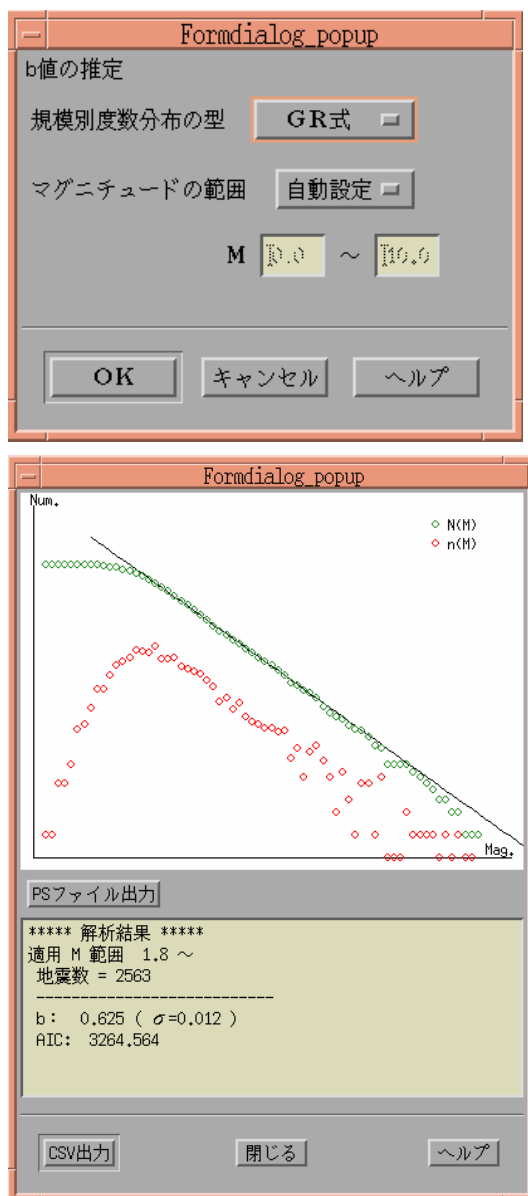
第 7 図にパラメータ設定ダイアログと結果例を示す。モデルについては表 3 にまとめた。

4.5 b 値の時間変化

GR 式による b 値に関して、その時間変化を求め



第 6 図 回数カウント等のための設定ダイアログ



第 7 図 b 値推定のための設定ダイアログ（上）と処理結果例（下）

ることができる。b 値の推定手法は 4.4 と同様で、b 値を求める際の下限 M の設定方法も同様である。それ以外には、特定の M に固定する方法と、度数がピークとなる M から指定した値だけ大きい M から推定する方法とを用意している。

第 8 図にパラメータ設定ダイアログと結果例を示す。パラメータの詳細は表 4 にまとめた。

4.6 改良大森公式

改良大森公式は、本震－余震系列において、余震が時間とともにべき関数的に減衰してゆくことをモデル化したもので、基本的に K, c, p の 3 つのパラメータで規定される。この処理も余震発生確率計算プログラムから改良大森公式のフィッティング部分を取り出し、単独で使用できるようにしたものである。改良大森公式に関する詳しい内容は 伊藤・明田川 (2007) を参照していただきたい。

第 9 図にパラメータ設定ダイアログと結果例を示す。パラメータの詳細は表 5 にまとめた。

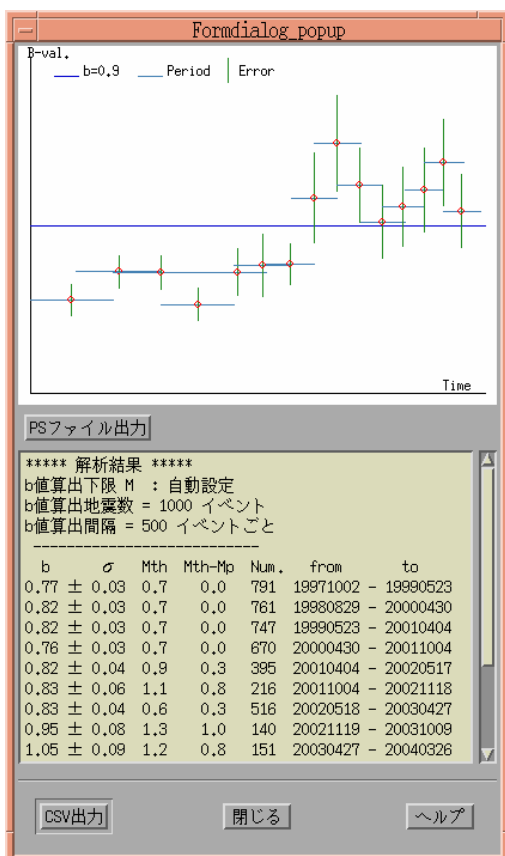
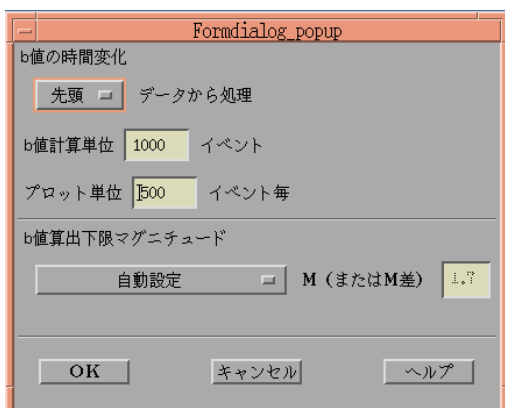
4.7 ETAS モデル

ETAS (Epidemic-type Aftershock-sequences : Ogata, 1988, 1992) モデルは、一見複雑な地震活動も実は一つひとつの地震に対する改良大森関数の重ね合わせを用いて良く表現できるという前提にたったモデルである。ここではモデルの詳細には踏み込まないが、ETAS の特長はデクラスタ処理をしなくても、地震活動を客観的に評価できることにある。

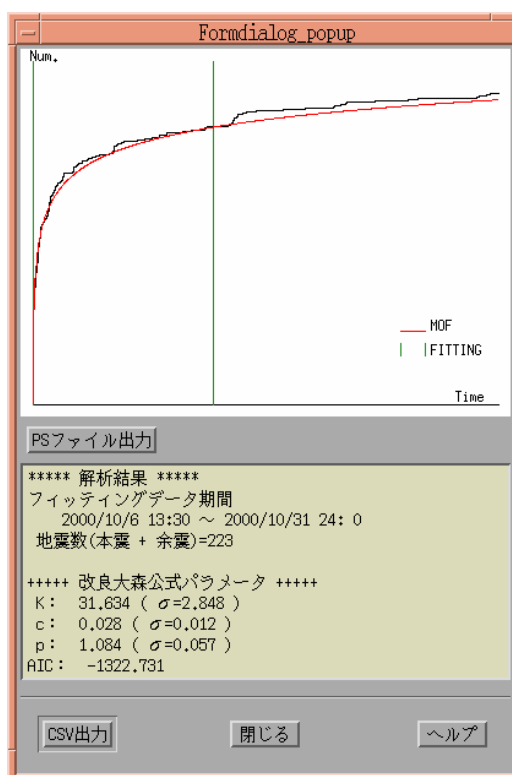
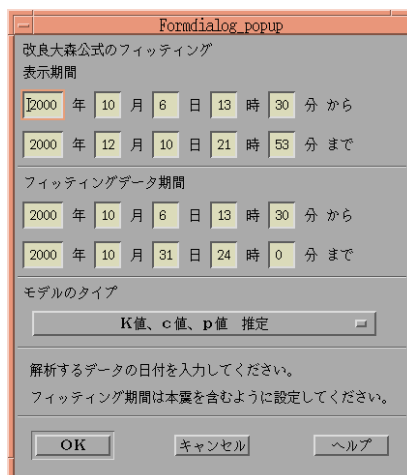
ETAS の処理に必要なパラメータはデータの期間のみである。第 10 図に結果例を示す。ETAS に関してはモデリングの結果に加えて実際の地震活動の

表 3 規模分布モデルの特長とパラメータ仕様

モデルの型	GR式 (デフォルト)	切断GR式	宇津式
Mの範囲 (自動設定の場合)	自動設定M下限値 ~ ∞ (デフォルト)	自動設定M下限値 ~ データの M 上限値	自動設定M下限値 ~ 上限M初期 値 (データの M 上限値を仮定)
	M下限値は、M度数分布の形状から適切な値を判定する		
Mの範囲 (任意設定の場合)	M下限値のみ指定	M下限値, M上限値指定	M下限値, 上限M初期値指定
特長	通常使用されている式	上限Mより大きい地震は 発生しないという仮定のも とにあてはめるGR式	上限M値を計算によって推定するモ デル



第8図 b 値の時間変化のための設定ダイアログ (上) と処理結果例 (下)



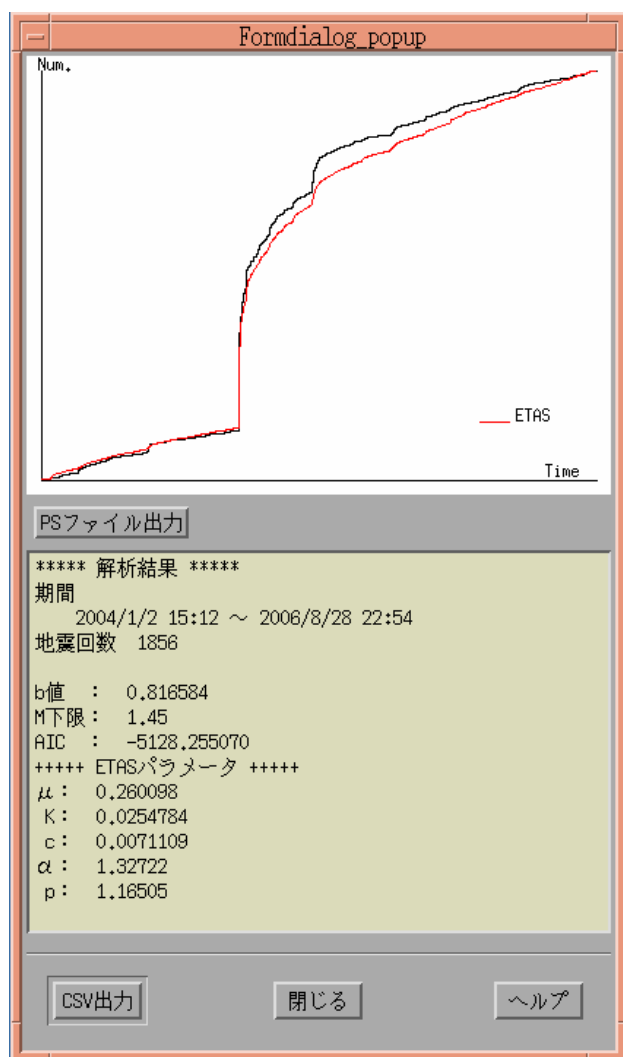
第9図 改良大森公式のフィッティングのための設定ダイアログ (上) と処理結果例 (下)

表4 b 値の時間変化のパラメータ仕様

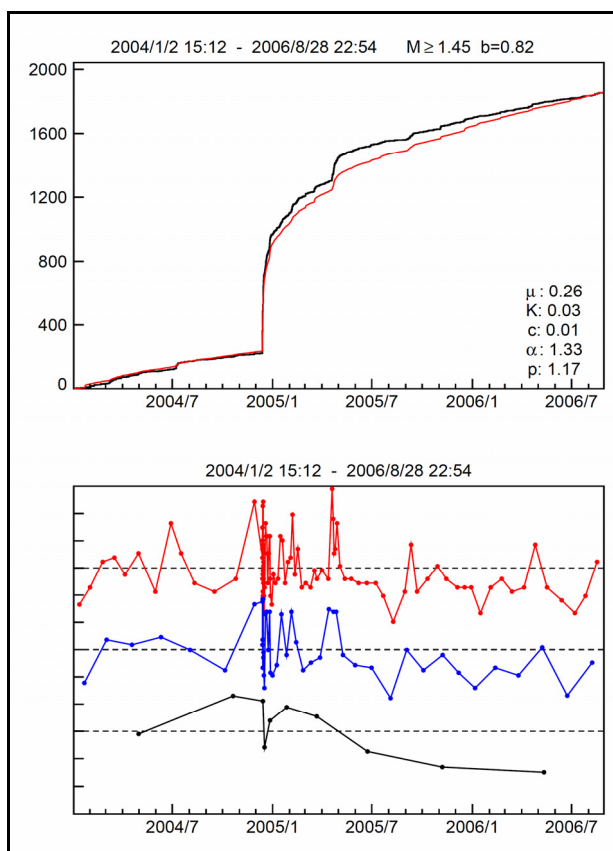
パラメータ	内 容
解析方向	先頭データから処理するか, 末尾データから処理するか (デフォルトは先頭から)
b値計算単位	b値を計算する単位イベント数 (このデータ数でb値を求める) (デフォルトは全データ数によって動的に設定される)
プロット単位	プロットする間隔 (このデータ数ずつずらしてb値を計算する) (デフォルトは同上)
b値算出下限 M	GR 式をあてはめる下限マグニチュードを指定する (デフォルトは自動設定) (自動設定M下限値は, M度数分布の形状から適切な値を判定する)

表 5 改良大森公式のパラメータ仕様

パラメータ	内 容
表示期間	グラフを描画する期間 (デフォルトはデータの先頭から末尾まで[分位])
フィッティング データ期間	改良大森公式をあてはめるデータ期間 (デフォルトは先頭データ[本震]から末尾データまで)
モデル	右から選択 <ul style="list-style-type: none"> ・K値, c値, p値 推定 (デフォルト) ・K値のみ推定 (c値, p値は陸域地震の標準値) ・K値のみ推定 (c値, p値は海域地震の標準値) ・K値のみ推定 (c値, p値は全域の標準値)



第 10 図 ETAS 処理結果例



第 11 図 ETAS 処理結果のポストスクリプトファイル出力例

(上) ETAS モデルのあてはめ結果
 (下) 実時間における ETAS モデルからのずれのグラフ (1 目盛 1 σ, 時間方向の分割数は任意に設定可能で 3 パタンまで同時に描画できる)

モデルからのずれの度合いをデータまたは図に出力できる (4.11 参照)。第 11 図にポストスクリプトファイルへの出力例を示す。

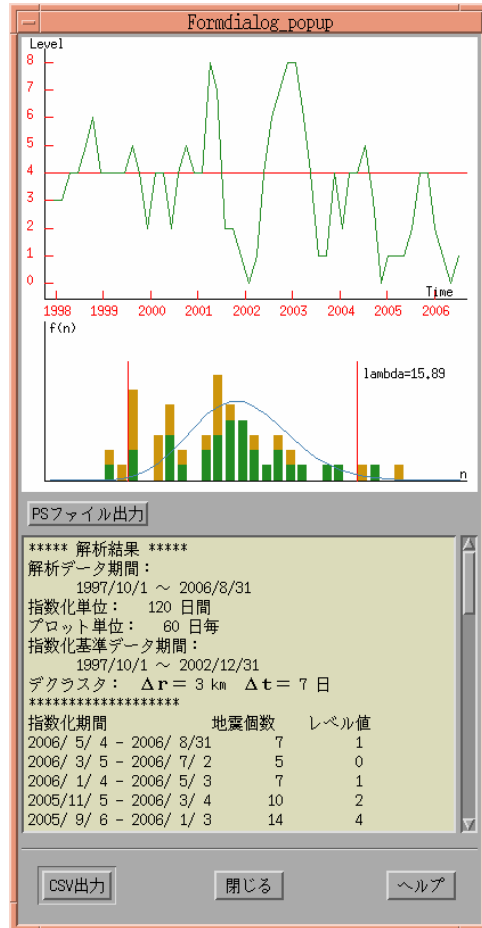
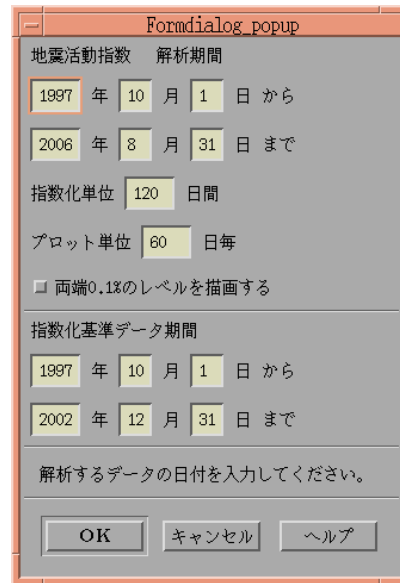
4.8 地震活動指数

地震活動がある発生率 ν のポアソン過程とみなすことができるとき、ある一定期間 Δt に発生する事象の度数 (地震回数) n は期待値 $\nu \Delta t$ のポアソン分布にしたがう。地震活動指数はこの性質を利用してある一定期間の地震回数の多寡をレベル 0 から 8 の 9 段階に指数化し、客観的に評価する手法である (塚越・石垣, 2003)。各レベルは 0 から 8 に向かって少ないほうから 1%, 4%, 10%, 15%, 40%, 15%, 10%, 4%, 1% の出現確率となるように設定される。事前にデクラスタ処理を適切に施しておくことが必要であり、この前処理はシステム上省くことが出来ないようになっている。第 12 図にパラメータ設定ダイアログと得られた結果の例を示す。パラメータの詳細は表 6 にまとめた。

なお、パラメータ設定ダイアログ内にある「両端 0.1% のレベルを描画する」のボタンをオンにすると、レベル 0 と 8 の外側に 0.1% の出現確率のレベルを追加して描画する。画面上に表示される処理結果には、指数化の結果とともに、指数化に用いたポアソン分布の確率密度曲線と実際のデータのヒストグラムを重ねて示してある。

表 6 地震活動指数設定パラメータ仕様

パラメータ	内 容
解析期間	解析してグラフを描画する期間 (デフォルトはデータの先頭日から末尾日まで)
指数化単位	地震活動を指数化する単位日数 (この日数の活動を指数化する) (デフォルトは解析期間によって動的に設定される)
プロット単位	プロットする間隔 (この日数ずつずらして指数化する) (デフォルトは同上)
指数化基準データ期間	各レベル値 (地震回数の多寡によってレベル 0~8 に分類) に相当する地震回数の幅を算出するためのデータ期間 (デフォルトは解析期間と同じ)



第 12 図 地震活動指数のための設定ダイアログ (上) と処理結果 (下)



表 7 CHASE 解析設定パラメータ仕様

パラメータ	内 容
データ 期間	解析してグラフを描画する期間（デフォルト はデータの先頭日から末尾日まで）
解析期間	地震活動の増加・減少傾向を調べる単位と なる期間の長さ（月単位） （デフォルトはデータ期間によって動的に設 定される）
基準期間	解析期間より前の、基準となるデータの期 間の長さ（月単位、解析期間と同じ期 間長で規格化される）（デフォルトは 同上）
プロット 間隔	プロットする間隔（この日数ずつずらして 変化傾向をみる）（デフォルトは同上）

第 13 図 CHASE 解析のための設定ダイアロ
グ（左上）と処理結果

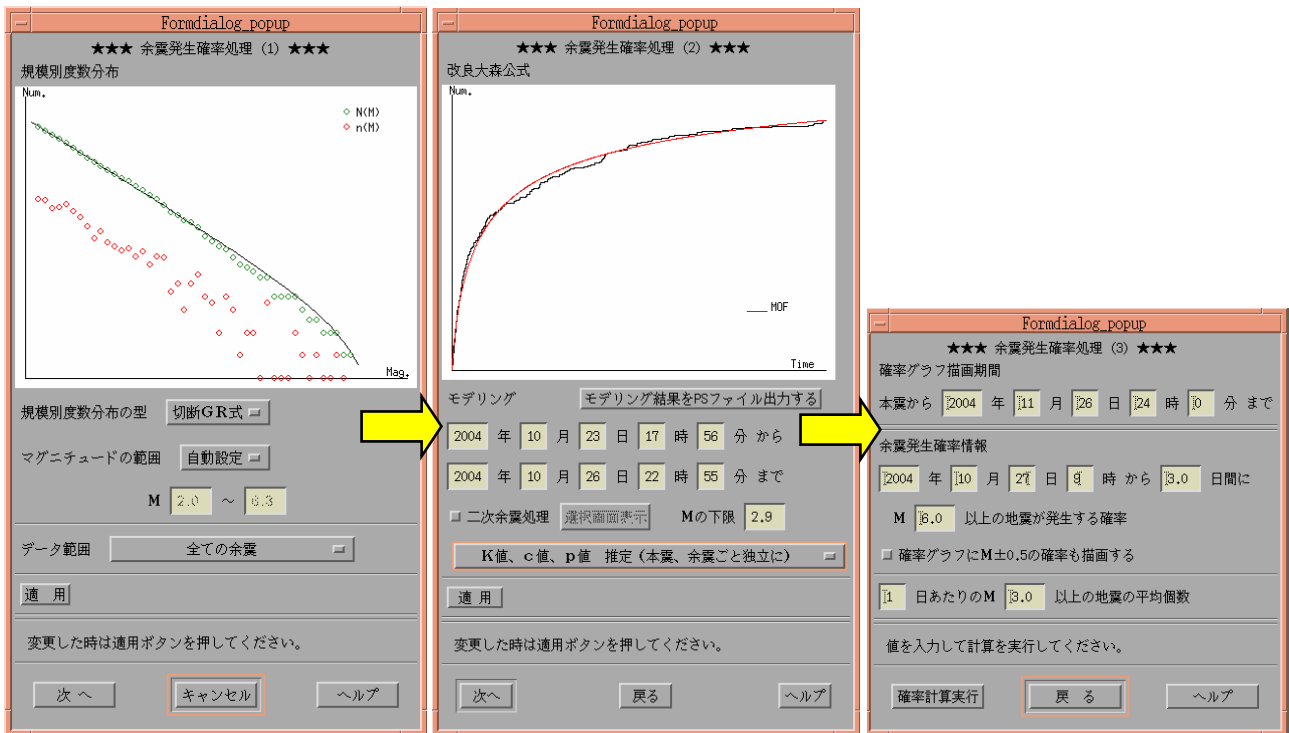
4.9 CHASE 解析

CHASE (Change of Seismicity) 解析はある時点の前後での地震活動の増加，減少傾向の変化を順次プロットしていくものである（例えば，吉田・細野・高山，1997）。CHASE 解析の特徴は，前後の相対的な変化を見ることができると，比較する前後の期間を適当に選ぶことによって，注目したい時間スケールでの変化を捉えることができることである。第 13 図にパラメータ設定ダイアログと得られた結果の例を示す。パラメータの詳細は表 7 にまとめた。

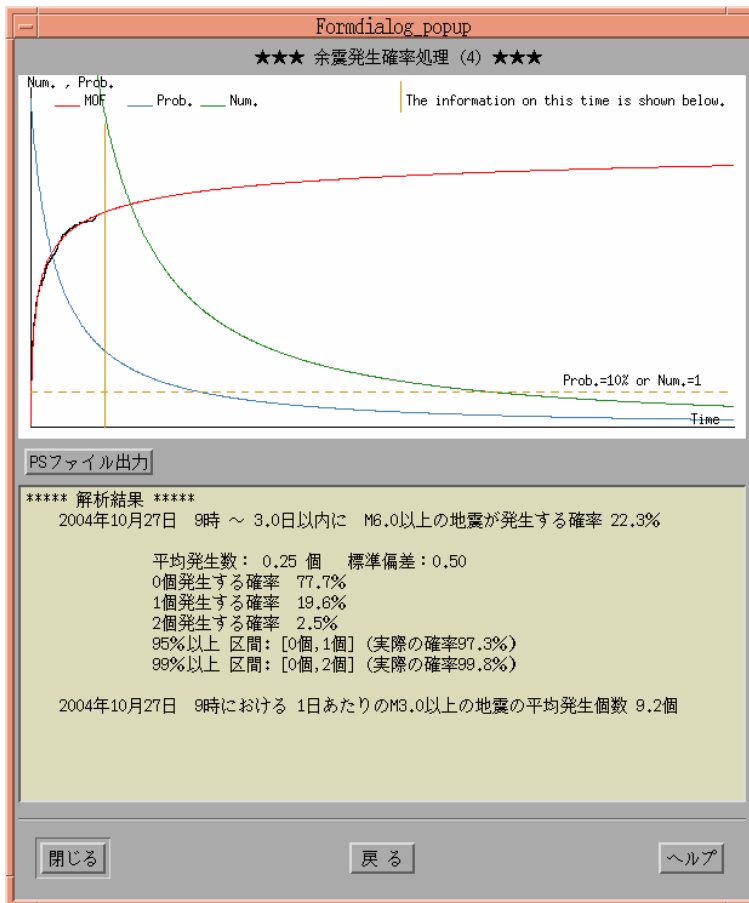
4.10 余震発生確率処理

気象庁では「余震の確率評価手法」（地震調査委員会，1998）を受け，余震による被害が懸念される顕

著地震が発生した場合に余震発生確率情報を発表している。余震発生確率処理は，①余震の規模分布の推定，②余震の時間的分布を規定する改良大森公式のあてはめ，③余震発生確率計算と順次実行される。余震発生確率プログラムおよびユーザ・インターフェースの仕様については別稿（伊藤・明田川，2007）に詳しくまとめられているので，そちらを参照していただきたい。ここでは，処理のおおまかな流れを第 14 図に，処理結果を第 15 図に示しておく。余震発生確率処理のために気象研究所で開発されたプログラム（地震活動予測支援システム ACTION：伊藤他，1994）からの主な改良点は，規模分布に通常の GR 式に加えて，切断 GR 式，宇津式の適用を可能としたこと，改良大森公式のフィッティングに二次余震の処理を導入したことである。



第 14 図 余震発生確率の手順 (ポップアップするダイアログ)
 (左) 規模分布のあてはめ (中) 改良大森公式のあてはめ (右) 確率計算に必要なパラメータ設定



第 15 図 余震発生確率の処理結果例

表 8 解析結果出力機能一覧

CSV は CSV ファイル形式によるデータ出力

処理名	C S V	ポストスクリプトファイル出力	
		可 否	描画オプション等
クラスタ処理	×	×	
回数など	○	×	
b値の推定	○	○	描画要素:b値図(M度数分布・M度数積算分布・モデル曲線) 横軸:自動設定 または M範囲指定 縦軸:自動設定 または 最大値指定
b値の時間変化	○	○	描画要素:b値の時系列 縦横軸:自動設定 図の種類:折れ線図または 散布図 オプション: 1. 誤差および期間バー付 2. 誤差バー付 3. 期間バー付 4. b値のみ
改良大森公式	○	○	描画要素:改良大森グラフ, 地震回数積算 縦横軸:自動設定 オプション: 改良大森グラフの線種
ETAS 解析	○	○	描画要素:ETAS グラフ, 地震回数積算, モデルからのずれのグラフ 縦横軸:自動設定 オプション: 1. ETAS グラフの線種 2. モデルからのずれのグラフの分割数 (3パタンまで描画) 3. モデルからのずれのグラフの描画様式 (重ねて描くか並べて描くかを選択)

地震活動指数	○	○	描画要素:地震活動レベルの時系列 縦横軸:自動設定 図の種類:折れ線図または 散布図
CHASE 解析	○	○	描画要素:地震活動の増加・減少傾向の変化 縦横軸:自動設定 図の種類:折れ線図または 散布図
余震発生確率	×	○	描画要素:余震確率図(確率のグラフ・改良大森の図・b値図), 改良大森のみの図(二次余震処理描画用) 縦横軸:自動設定 オプション: 1. 描画する図の選択 2. 改良大森グラフの線種

4.11 解析結果の出力と図の作成

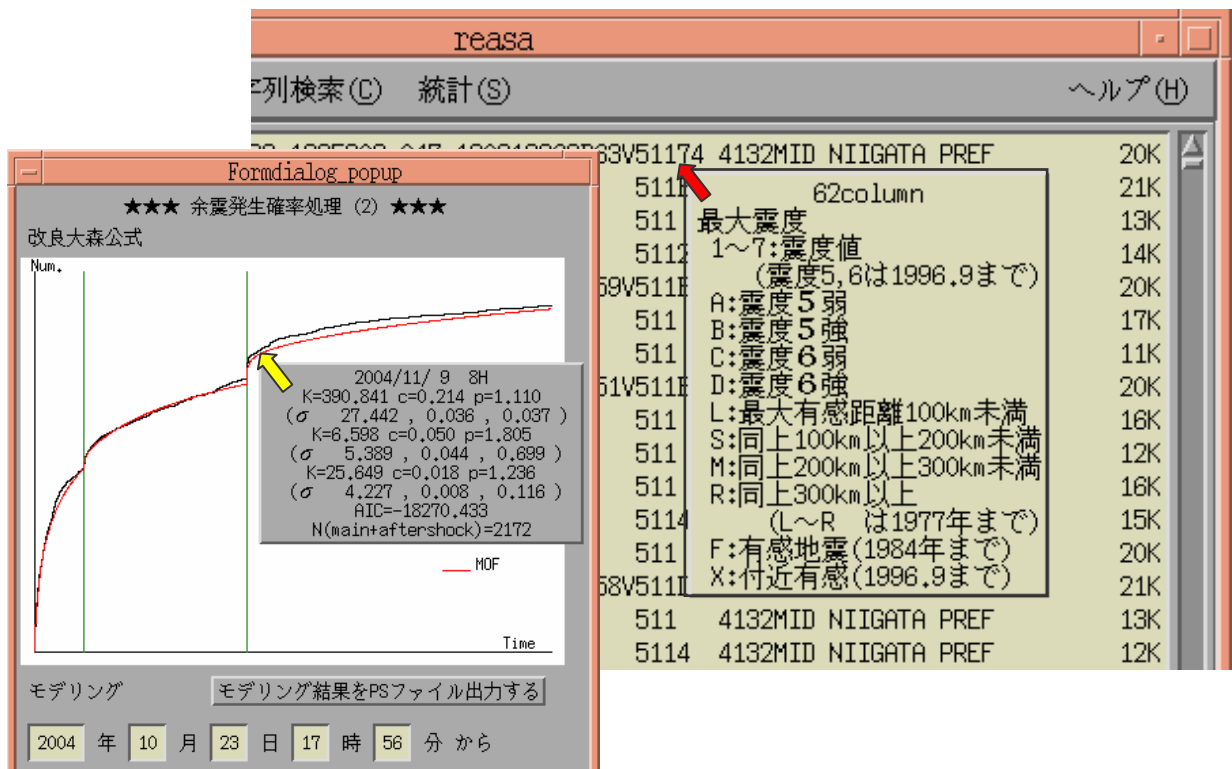
地震活動解析結果を資料作成に有効利用するために、処理結果を CSV 形式のテキストファイルに数値データとして出力する機能と、ポストスクリプトファイルに図を出力する機能とを各処理に搭載している。CSV 形式のテキストファイル出力時には、一般的に使用されている表計算ソフトであるエクセルの利用を考慮し、データの日付をエクセルのシリアル値に変換できる。ポストスクリプトファイルはそのまま資料として印刷できるほか、ワード等のワープロソフトに図を添付することが可能となる。各処理におけるこれらの機能一覧を表 8 にまとめた。

5 ユーザ支援

REASA には、ユーザ支援のための様々な機能を搭載している。これらの機能は、1) ユーザを適切にガイドしマニュアルを読まなくても操作できる、2) ユーザに必要な入力等を促すとともにミスを極力減らす、3) 検索結果や解析結果等に対してユーザが適切に判断できるようにサポートする、ということを中心に考慮した。搭載した機能一覧を表 9 にまとめた。また、主として 3) の目的で搭載したポップアップ情報機能の一例を第 16 図に示す。

表9 ユーザ支援のための補助機能一覧

補助機能	機能概要
ヘルプ機能	各ダイアログ上にヘルプボタンを用意しており、入力の仕方などをガイドする
警告機能	入力されたパラメータにミス等があれば、考えられる原因を明示し、修正を促す
情報提示機能	作業を行う上で重要なパラメータ変更等があった場合に、メッセージを出力し注意喚起する
ポップアップ情報機能	震源リストや描画された図中の任意の位置で右クリックすることで、各種情報が表示される。震源リストではそのコラムのデータの意味、図ではその位置における日付やマグニチュードの値、計算されたパラメータ値などを表示する
入力等制御機能	オペレータが次にすべきことが判断できるよう、現在の状況を判断し、ボタン押下の可否や入力の可否状態を明示的に示す
パラメータ保存機能	各種統計解析処理を実行すると、設定パラメータは保持され、次回以降は前回のパラメータが読み込まれる。処理を途中でキャンセルした場合は保持されない。震源検索を再実行すること(震源リストのリフレッシュ)によってパラメータを初期化することも可能



第 16 図 ポップアップ情報機能の一例

- (右) 震源リスト上で右クリックすると、そのコラムにおけるデータの情報を出力する。
- (左) 解析処理された図上で右クリックすると、クリック位置のデータの日付や適用されているパラメータなどを表示する。この例では、クリック位置の日付のほか、二次余震処理を施した改良大森公式の各パラメータと誤差、AIC の値等を表示し、モデルの適応の度合いを示している。

6 今後に向けて

今回開発した REASA は、当初、単に震源データを検索するためのプログラムであったが、改良を重ね総合的な地震活動解析プログラムに発展させたものである。REASA の開発により、地震活動調査に関するツールの操作性、利便性は飛躍的に向上し、地震調査研究推進本部の地震調査委員会に提供する地震活動評価のための資料をはじめとして、既に多くの場面において利活用されている。特に、プログラミングや UNIX にほとんど精通していない職員でも容易に地震活動を様々な手法で調査でき、質の高い資料を作成することができる環境を整えられたことは大きな成果である。

REASA の開発によって、地震活動評価において利用頻度の高い基本的な手法に関しては、おおむね一元的に処理できる環境が整った。しかしながら、我々はこれで十分であるとは思っていない。地震活動評価に関しては、例えば地震活動の周期性、移動、相関など、過去に多くの研究がなされ、様々な解析手法が検討されてきた経緯がある。これらの有意性はともかく、過去に行われたことを現在のデータを使って同等に評価できるようにしておくことは有意義であるし、一元化処理を担当する気象庁としての責務でもあるだろう。これらについても随時 REASA に追加していくことを今後の課題としたい。

謝辞

REASA 開発にあたり、ETAS 解析のプログラムは Utsu and Ogata (1997) によって公開されているものを利用させていただいた。気象庁関係では、気象研究所 高山博之主任研究官作成によるクラスタ処理のプログラムを、また、気象庁地震予知情報課 石垣祐三氏による ETAS モデルからのずれを実時間で計算するプログラムをそれぞれ利用させていただいた。記して感謝する。

なお、東海地方の地震分離面の稠密なメッシュデータは、地震予知情報課 林元直樹氏によって作成されたものであることを記しておく。

文献

伊藤秀美・明田川保 (印刷中) : 余震活動解析プログラムの改良, 験震時報, 70, 15-28.

伊藤秀美・若山晶彦・高山博之・高山寛美・吉田明夫・清野政明 (1994) : 地震活動予測支援システム, 地震学会 (1994 年春) 予稿集.

宇津徳治 (1978) : 地震のマグニチュード分布式のパラメータ推定, 地震 2, **31**, 367-382.

気象審議会 (2000) : 21 世紀における気象業務のあり方について (答申), 気象庁ホームページ,
<http://www.kishou.go.jp/shingikai/21gou/index.html>

地震調査委員会 (1998) : 余震の確率評価手法について, 地震調査研究推進本部報告書.

塚越利光・石垣祐三 (2003) : 東海地域の地震活動レベルの評価, 月刊地球号外, **41**, 101-109.

日本数学会編 (1985) : 数学辞典, 第 3 版, 岩波書店, 1339.

横山博文 (1997) : X ウィンドウシステムを用いた地震活動解析プログラム, 験震時報, **60**, 37-51.

吉田明夫・細野耕司・高山博之 (1997) : 東海地震の想定震源域中に発生した中規模地震の前に現れた地震活動の静穏化と CHASE によるその検出, 地学雑誌, **106(1)**, 49-58.

Ogata, Y (1988) : Statistical Model for Earthquake Occurrences and Residual Analysis for Point Processes J. Amer. Statist. Assoc. **83**, 9-27.

Ogata, Y (1992) : Detection of Precursory Relative Quiescence before Great Earthquakes through a Statistical Model, J. Geophys. Res., **97**, 19,845-19,871.

Utsu, T. and Ogata, Y. (1997) : Statistical analysis of seismicity, in Algorithms for Earthquake Statistics and Prediction, IASPEI Software Library, **6**, pp. 13-94, International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior in collaboration with Seismological Society of America, El Cerrito, CA, USA .