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 <u>R</u>etrieval of <u>E</u>arthquake Data and <u>A</u>nalysis of <u>S</u>eismic <u>A</u>ctivities, 以下 REASA と記す)を開発した.

- 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

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		
		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		
	開く	気象庁登録	気象庁で業務的に作成している各種震源ファイルを読		
		震源	み込む		
	ファイル出力	選択イベント	検索された震源リスト上で選択されている震源データ		
		ወት	のみをファイルに出力する		
ファイル		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		震源表示プログラム hypdsp 用 WORK ファイルに震源を		
	示(hypdsp)起動		出力する また, hypdsp を必要に応じて起動する		
	震源表示(dispep)		検測値用震源表示プログラム dispep に震源データを		
	起動		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		
	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		
震源検索	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		
文字探索	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		
入于候亲	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		
	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		
統量	改良大森公式	改良大森公式をあてはめる		
190 81	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」に主眼をおいて説明する.

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

- reasa	
ファイル(F) 霙源検索(E) 文字列検索(C) 統計(S)	ヘルプ田
J2005090110051399 024 244681 199 1241677 117 610736029V 511	. 7290NEAR ISHIGAKIJIMA ISLAND 8K 🔼
J2005090110090038 015 354588 097 1410357 114 359615409V 511	L 3110NEAR CHOSHI CITY 12K
J2005090110111396 005 324648 009 1311879 010 137705203V 511	L 7278NORTHERN MIYAZAKI PREF 12K
J2005090110161281 021 383409 080 1431214 089 16 18V 521	L 2 64FAR E OFF MIYAGI PREF 14K
J2005090110243468 006 334301 014 1301240 024 59903304V 511	L 7281NW OFF KYUSHU 12K
J2005090110414959 012 345468 052 1365911 044 61812303v 511	L 4162MIKAWA BAY REGION 9K
J2005090110444608 015 364750 038 1412150 072 346919111V 511	L 3111E OFF IBARAKI PREF 17K
J2005090110520329 005 333955 014 1301885 017 89105803v 511	L 7262CENTRAL FUKUOKA PREF 14K
J2005090110524671 008 320766 019 1301105 029 73112303V 511	L 7273NW KAGOSHIMA PREF 10K
J2005090110525897 004 354504 015 1365115 011 83205805V 511	4138FUKUI GIFU BORDER REGION 12K
J2005090110595351 003 365457 013 1394711 015 723073-2V 511	L 3 84NORTHERN TOCHIGI PREF 5K
J2005090111025233 032 361716 057 1415294 193 60 40V 521	I 3112FAR E OFF IBARAKI PREF 38K
J2005090111032662 010 415279 028 1392321 048 67021811V 511	L 1 18SW OFF HOKKAIDO 10K
J2005090111061297 003 345436 009 1342250 010 171803609V 511	L 5186SW HYUGU PREF 20K
J2005090111213076 017 353966 045 1400819 067 604314814V 511	1 3 93CENTRAL CHIBA PREF 26K
J2005090111250572 003 340907 010 1350431 014 68206510V 511	L 519UNW WHKHYHMH PREF 2UK
J2005090111264453 030 361625 099 1415251 142 57 15V 521	A ACTOUTION FEDDERCTON
J2005090111285833 030 423116 112 1415400 105 955226306V 511	1 1315HINHRI DEPRESSION 9K
J2003090111362083 022 303681 086 1410362 106 446616310V 511	2 STILL OFF IDHRHNI PREF IDN
オルオス 奈原汁 49990 用日へんりました	
該ヨサの展////は 41110 1回見 2// りょしだ。	
画面上で震源を選択することができます。	
ファイルが大きいので分割して実行しています。ボタンを押すと別の	D期間を読み込みます。
\diamond J04160823 \sim \diamond J196305121007 \sim \diamond J198611220850 \sim \diamond	J199005132137~ 💠 J199305080430~
$↔$ U199412132211 \sim ↔ J199511020546 \sim ↔ J199610250139 \sim ↔	J199710181731 $\sim \Rightarrow$ U199806210137 \sim
\diamond J199902070403 \sim \diamond J199910110948 \sim \diamond J200006130948 \sim \diamond	J200010220254~ 💠 J200103142143~
	J200210180039 $\sim~\diamond$ J200303201318 \sim
\diamond J200307182114 \sim \diamond J200311100630 \sim \diamond J200403310503 \sim \diamond	J200408150114 $\sim~\diamond$ J200412171356 \sim
- ↓ J200504250301~ ◆ J200509011005~	

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覧

震源検索 パラメータ	設定内容		
期間			
時間帯	震源データを検索する時空間的な範囲		
北緯 ・東経	を設定		
深さ			
フガーチュード	震源データを検索するマグニチュードの		
₹9 <u></u>	範囲を設定		
(検索 M 種別	検索ターゲットトたる M の預別な歌字		
設定)	● 検系タークットとなる M の程別を設定		
(M 不定の	M 不定を検索ターゲットとするか否か		
処理)	を設定		
雲山地々	特定の震央地名の震源データを検索タ		
辰天地石	ーゲットとして設定		
クニック加 珊	デクラスタ(除群)または、 クラスタの抽		
クラスダ処理	出を行う		
	地殻内,太平洋プレート,フィリピン海プ		
震源の分離	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.

Formdialog_popup	
雲源フラグ ■ K震源 □ S震源 □ K, S以外 ◇ 詳細設定	設定画面表示
雲源付加情報 □ 有感地震 1 □ 以上 □ 」 过 被害、;	津波地震 被害または津波あり ニ
口 葉源誤差 葉源時 19.39 秒 未満 ロ 緯経度 19.00	
コ 震源計算使用観測点数 🚺 以上 コ	- Ormdialog_popup
	震源条件(60コラム)
必要な項目を選んでください。震源誤差および震源計算使用観測	📕 深さフリー 📕 深さスライス 📕 深さ固定 📕 Depth Phase使用 📕 SーP時間による
トグルボタンをオンにしてから数値を入力してください。	□ 参考 □ 決定不能または不採用 □ その他(空白含む)
	震源補助条件(61コラム)
	■ 通常地震 ■ 低周波地震 □ 他機関依存(一元化以前のみ) □ 人工地震 □ ノイズ等 □ その他(空白含む)
検索条件変更(震源要素)	使用走時表(59コラム)
	■ 標準走時表(83A) ■ 三陸沖用走時表 ■ 北海道東方沖用走時表 ■ 千島列島付近用走時表(83A+LL)
	■ 標準走時表(JMA2001) ■ 千島列島付近用走時表(JMA2001+LL) □ その他(空白含む)

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にのみ利用でき 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
- 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.その結果の良し悪しは、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.



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ずさないよう 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

Formitialog popup	1
光生回数	
□1時間最多 □3時間最多 □6時間最多 □12時間最多 □24時間最多 □日最多	
M別回数	
□ M2.0未満 □ M2.0~M2.9 ■ M3.0~M3.9 ■ M4.0~M4.9 ■ M5.0M~5.9 ■ M6.0M~6.9 ■ M7.0~7.9 ■ M3.0以上 ■ 最大地地震	
□ 窯度1 □ 窯度2 ■ 窯度3 ■ 窯度4 ■ 窯度5 朔 ■ 窯度5 痋 ■ 窯度6 翊 ■ 窯度6 痋以上 ■ 最大有感地窯	
ランキング(30位まで)	
」 Nの大さい順 」 減良の大さい順	
回数カウントの自動打切 適用しない コ	
表示する項目を選択してください	
実行 キャンセル ヘルプ	



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)

規模分布モデルの特長とパラメータ仕様

表 3

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 が時間とともにベキ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, 地震活動度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

宇津式

動設定M下限値 ~ 上限M初期 (データの M 上限値を仮定)

モデルの型	GR式 (デフォルト)	切断GR式	
	自動設定M下限值 ~	自動設定M下限值 ~	自
	∞ (デフォルト)	データの Μ 上限値	値
(白動設定の提合)			

(白動設定の場合)				
	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)
下位计算进行	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)
b個計昇単位	(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)
L 估管山下阳 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)
에 제기 따 뷰 븨 여	(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	改良大新	条公式のノ	ペラメ	ータ仕様
~ ~ -				2 Januar 1994 A

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 ・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1σ,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νΔt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)

- Formdialog popup		
CHASE解析 データ期間		
1997 年 10 月 1 日 から		
2006 年 4 月 30 日まで		
解析期間 3 か月(30日単位)		
基準期間 9 か月(30日単位)		
プロット間隔 4.5 ×10日ごと		
OK キャンセル ヘルプ		

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	プロットする間隔(この日数ずつずらして
間隔	変化傾向をみる)(デフォルトは同上)

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ことと,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

		Forme	fialog	סווססס	
Çhase val.		LOLING		Foror	
Mean	+-	S.D.	~		
	٨	A			
N.M. M.M.M.M.					
		V	V	\bigvee	
				' <u> Tim</u> ę	
1998 1999	2000	2001	2002	2003 2004 2005 20	06
PSファイル	出力				
	前のかれ	1.			
プロット間 デクラスタ CHASE値平均	編 45 日、 ∆r (km)] -0.091	28 :3 S.D. :	∆t (E 1,822]) : 7	
アロット間 デクラスタ CHASE値平均 Chase V	₩ 45 日 Δr(km)] -0.091	52 :3 S.D.:	Δt(E 1.822):7	
アロット間 デクラスタ CHASE値平均 Chase V. -1.667	編 45 日、 Δr (km)] -0.091 <i>σ</i> -0.864	:2 :3 S.D.: Num1 4	Δt(E 1,822 Num2 27	 7 from to 20060131 - 20060430 	
アロット間 デクラスタ CHASE値平均 Chase V. -1.667 -0.444	∰ 45 ⊟ Δr(km)] -0.091 σ -0.864 -0.194	:3 S.D.: Num1 4 7	Δt(E 1.822 Num2 27 25	<pre>}) : 7 from to 20060131 - 20060430 20051217 - 20060316</pre>	
アロット間 デクラスタ CHASE値平均 Chase V. -1.667 -0.444 0.889 0.785	 3 45 H (km) Δ r (km) σ -0.864 -0.194 0.538 477 	:3 S.D.: Num1 4 7 10	∆ t (E 1.822 Num2 27 25 22 22	from to 20060131 - 20060430 20051217 - 20060316 20051102 - 20060130 200501102 - 20060130	
アロット間 デクラスタ CHASE値平均 	σ -0.091 σ -0.864 -0.194 0.538 0.477 0.416	: 3 S.D. : Num1 4 7 10 10 9	∆ t (E 1.822 Num2 27 25 22 23 21	<pre>from to 20060131 - 20060430 20051217 - 20060316 20051102 - 2006030 20050918 - 20051216 20050918 - 20051101</pre>	
アロット間 デクラスタ CHASE値平均 Chase V. -1.667 -0.444 0.889 0.778 0.667 1,111	σ -0.091 σ -0.864 -0.194 0.538 0.416 0.660	S.D. S.D. Num1 4 7 10 10 9 9	∆t(E 1.822 Num2 27 25 22 23 21 17	<pre>from to 20060131 - 20060430 20051217 - 20060130 20051102 - 20060130 20050918 - 20051216 20050804 - 20051101 20050804 - 20051011</pre>	
アロット間 デクラスタ CHASE値平均 Chase V. -1.667 -0.444 0.889 0.778 0.667 1.111 0.222	σ -0.091 σ -0.864 -0.194 0.538 0.416 0.416 0.660 0.172	S.D. : S.D. : Num1 4 7 10 9 9 8	Δt(E 1.822 Num2 27 25 22 23 21 17 22 22	from to 20060131 - 20060430 20051217 - 20060136 20051102 - 20060130 20050918 - 20051216 20050804 - 20051101 20050804 - 2005101 20050620 - 20050917 20050506 - 20050803	
アロット間 デクラスタ CHASE値平均 	σ -0.091 σ -0.864 -0.194 0.538 0.416 0.660 0.172 -0.374	S.D. S.D. Num1 4 70 10 9 8 8 6	Δt(E 1.822 Num2 27 25 22 23 21 17 22 25 23 21 17 22 25 23 21 25 23 21 25 22 23 21 25 22 23 21 25 22 23 21 25 22 23 21 25 22 23 21 25 22 23 21 25 22 23 21 25 22 23 21 25 22 23 21 25 22 23 21 25 22 23 21 25 22 23 21 25 22 23 21 25 22 23 21 25 22 23 21 25 22 23 25 22 23 25 22 25 22 23 25 22 25 22 25 22 23 25 25 22 25 22 25 22 23 25 25 22 25 25 25 25 25 25 25	from to 20060131 - 20060430 20051217 - 20060136 20051102 - 20060130 20050918 - 20051216 20050804 - 20051101 20050620 - 20050917 20050506 - 20050803 200500322 - 20050619 200500322 - 20050619	
アロット間 デクラスタ CHASE 値平均 	% 45 H. Δr (km) σ -0.091 σ -0.864 -0.194 0.538 0.416 0.660 0.172 -0.377 -0.804 -0.194	S.D. : S.D. : Num1 4 70 10 9 8 6 5 8	Δt(E 1.822 Num2 27 22 23 21 17 22 25 22 23 21 17 22 25 22 23 21 22 22 23 21 22 23 22 22	<pre>from to 20060131 - 20060430 20051217 - 20060430 20051217 - 20060130 20050918 - 20051216 20050804 - 2005101 20050820 - 20050917 20050506 - 20050937 20050205 - 20050419 20050205 - 2005035 </pre>	
アロット間 デクラスタ CHASE 値平均 	π 45 H. Δ r (km) σ -0.091 σ -0.864 -0.194 0.538 0.416 0.660 0.172 -0.377 -0.804 -0.194	S.D. S.D. Num1 4 7 10 10 9 8 6 5 8	Δt (E 1.822 Num2 27 25 22 23 21 17 22 25 29 28	<pre>from to 20060131 - 20060430 20051217 - 20060430 20051102 - 20060130 20050918 - 20051216 20050804 - 2005017 20050802 - 20050917 20050506 - 20050933 20050322 - 20050813 20050205 - 20050321</pre>	Ţ
アロット間 デクラスタ CHASE 値平均 	% 45 H. Δr (km) -0.091 σ -0.364 -0.194 0.538 0.477 0.416 0.660 0.172 -0.377 -0.804 -0.194 -0.194	S.D. : S.D. : Num1 4 7 10 10 9 8 6 5 8	Δt (E 1.822 27 25 22 23 21 17 22 23 21 17 22 25 29 28 28	<pre>from to 20060131 - 20060430 20051217 - 20060430 20051102 - 20060130 20050918 - 20051216 20050804 - 2005017 20050802 - 20050917 20050506 - 20050803 20050322 - 20050819 20050205 - 20050505 20041222 - 20050321</pre>	
アロット間 デクラスタ CHASE 値平均 	% 45 H. Δr (km) -0.091 σ -0.364 -0.194 0.538 0.416 0.660 0.6172 -0.377 -0.804 -0.194	S.D. : S.D. : Num1 4 7 10 10 9 9 8 6 5 8	▲ t (E 1,822 27 25 22 23 21 17 22 23 21 17 22 29 28 3 第じる_	from to 20060131 - 20060430 20051217 - 20060430 20051102 - 20060130 20050918 - 20051216 20050804 - 2005017 20050506 - 20050803 20050205 - 20050803 20050205 - 20050805 20041222 - 20050321 ヘルプ	
アロット間 デクラスタ CHASE 値平均 	% 45 H. Δr (km) g -0.091 σ -0.864 -0.194 0.538 0.416 0.660 0.172 -0.377 -0.804 -0.194	S.D. : S.D. : Num1 4 7 10 9 8 6 5 8 8	▲ t (E 1,822 27 25 22 23 21 17 22 29 28 第じる	from to 20060131 - 20060430 20051217 - 20060430 20051102 - 20060130 20050918 - 20051216 20050804 - 2005017 20050506 - 20050917 20050506 - 20050803 20050205 - 20050803 20050205 - 20050505 20041222 - 20050321	

第 13 図 CHASE 解析のための設定タイアロ グ(左上)と処理結果

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回に,処理結果を第15回に示しておく.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



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

	С	ポストスクリプトファイル出力			
処理名	s	त न			
, <u>с</u> ,т п	v	一五	描画オプション等		
クラマタ加	-				
アノスノ処理	×	×			
「「「」」「「」」」	0	×			
回奴なと		^	世画 西 表 · b 値 図 / M		
b値の			抽回安系∶D 直因 (M 皮奴刀 ————————————————————————————————————		
		0	冊・M 皮奴 慎昇 万 冊・モナル曲		
			称) 供款 白動乳白 十七 (十		
推定	0		(1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1)		
			◎ 配田 相正		
			縦軸:自動設定 または		
			最大値指定		
			描画要素∶b値の時系列		
			縱横軸:自動設定		
			図の種類:折れ線図または		
b値の	0	0	散布図		
時間変化			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		
			描画要素:改良大森グラフ,		
36 白			地震回数積算		
Q 良 上本ハ ゴ	0	0	縱横軸:自動設定		
大箖公式			オプション:		
			改良大森グラフの線種		
		0 0	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		
			縱橫軸:自動設定		
	0		オプション・		
			・ 1 FTAS グラフの線種		
ETAS			1. LTA3 ノリノの線径 2. モデルからのボれのグラ		
解析			2. こ / ルからのすれの / ノ		
			ノのカ司奴		
			(3ハダノまじ捆囲) 2 エゴルかこのギャ のどう		
			3. モナルからの9 れのクフ		
			ノの抽画様式		
			(里ねて描くか亚へて描く		
			かを選択)		

地震活動 指数			描画要素:地震活動レベルの
	0	0	時系列
			縦横軸:自動設定
			図の種類∶折れ線図または
			散布図
		0	描画要素:地震活動の増加・
CHASE	0		減少傾向の変化
の の 伝			縦横軸:自動設定
丹午 171			図の種類∶折れ線図または
			散布図
		0	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
余震発生			ᄾᆍᄪᇑᄴᆍᆍᇚ
MACKET T	~	\sim	余震処埋描画用)
確率	×	0	余震処理猫画用) 縦横軸:自動設定
確率	×	0	余震処理描画用) 縦横軸:自動設定 オプション:
確率	×	0	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

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 を主に考慮した.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. 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

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
	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
ポップアップ情報機能	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
入力空制御機能	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
人刀寺制御機能	入力の可否状態を明示的に示す
	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
パラメータ保存機能	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、おおむねー 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.