

群発地震の半自動処理について

井元政二郎

国立防災科学技術センター

Semi-Automatic Data Processing for an Earthquake Swarm

by

Masajiro IMOTO

National Research Center for Disaster Prevention, Japan

Abstract

A semi-automatic data processing routine has been newly developed for an earthquake swarm which is assumed to occur in a restricted small area(SAUDES). Arrival times of at most five phases (P or S phases) of a few stations are interactively detected on a graphic display for each event. The first approximate hypocenter is obtained using these arrival times. Arrival times of other stations are fullautomatically searched around the expected arrival times based on the first approximate hypocenter. Using the times obtained at both stages, the final hypocenter is calculated. Introducing SAUDES, the speed of processing attains to about 250 events per day by one operator. This value is 5-10 times as fast as that of the usual routine. Comparisons of results obtained by the two processing routines show good agreement with each other. These suggest that SAUDES makes satisfactory performance both on processing speed and on accuracy of results.

Key words : Earthquake, swarm, automatic, processing, Izu

キーワード : 群発地震, 半自動処理, 伊豆半島

1. はじめに

国立防災科学技術センターでは現在地震前兆解析システム(APEシステム)により地震観測データの処理がなされている(松村ら, 1988; 堀・松村, 1988)。このシステムでは、オンラインリアルタイム処理機の自動震源計算により、震源の速報値が提供されている。またオ

ライン処理機では、対話形式により地震波検測と震源決定がなされている。この2系統による震源決定結果は、それぞれの特徴を活かして活用されている。すなわち、刻々変化する地震活動をおおまかに滞りなく捕らえるには自動処理結果が適し、過去の地震活動について詳細に検討を加える場合には対話形式の結果が適している。通常の地震活動には、これら2方式の震源決定で充分対応できるが、一度に多数の地震が発生する群発地震活動に対してはこれらでは必ずしも充分とはいえない。ひとたびこのような活動が発生すると、対話形式による処理は大幅に遅れ、発生から一年程経過してやっと全ての結果が利用可能となることすらあった。一方、自動処理では幾つもの地震が連続的に起きた場合には、処理の内容と結果に種々の問題が発生する。P波およびS波の到達時刻が確実に検測されているか、複数の地震の検測値を混合したままで震源決定計算をしていないか等について検討が必要となる。また、検測されていても、震源決定に失敗するとその検測値は捨てられることもあり、検知能力の一様性について問題は残る。

このような群発地震活動は社会的にも注目されるものであり、地震予知の研究業務を遂行する上で、そのデータ処理においては震源カタログの一様性と同時に迅速性もが要求される。これを実現するために、群発地震活動専用の処理ルーチン(SAUDES)を新たに開発した。その実用性に関しては、既にいくつかの例により検証されている(たとえば、井元, 1989; 大久保ら, 1988)。本報告では、SAUDESの概要を紹介し、1988年7月26日～8月9日に伊豆半島東方沖に発生した群発地震活動に対する処理結果を示す。

2. 処理の概要

(1) 処理の流れ

図1に処理の流れを示す。処理は、おおまかに二つの部分に分けられる。オペレータの介在する対話処理と、計算機による自動処理である。磁気テープを入力データとし、テープ1巻が処理単位となっている。通常の地震データ処理では、データ収録専用の計算機(1号機)でディスク上に収録された地震波形データは、計算機間の通信によりバッチ処理機(3号機)へ転送されている(松村ら, 1988)。ところが、群発活動時には処理能力を上回るデータが発生し、1号機ディスクの容量が不足する。このような事態が発生した場合には、磁気テープへのデータ退避を

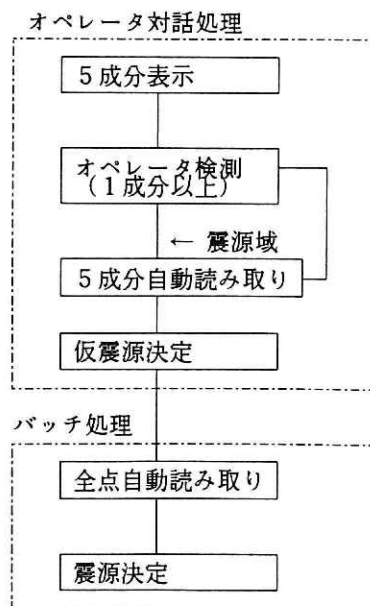


図1 群発地震データ処理の流れ図
Fig. 1 Block diagram of data processing for an earthquake swarm.

行っている。こうして得られた磁気テープデータをSAUDESで用いている。オペレータの作業時間をなるべく短く効率よくするため、対話処理作業をまとめて行い、その後バッチ処理がなされる。磁気テープ1巻分を単位とした処理が一人のオペレータに割り当てられるが、複数のオペレータにより複数のテープを平行して処理することも可能である。

(2) オペレータによる対話処理

SAUDESでは、発生頻度は極めて高いが震源域が狭い地震活動を対象としている。このため、地震発生時刻がある程度正確にわかれば、各観測点における地震波のおおまかな到達時刻を知ることができ、自動検出の効率化と精度の向上が図れる。オペレータによる対話処理は、地震発生時系列を可能な限り正確に求めることを主たる目的としている。この処理では、同時に5成分の地震波記録が表示されている(図2)。各成分には観測点名とその成分で検出を行う対象がP波かS波かの区別が書き込まれている。時間軸の拡大縮小や振幅の倍率は、タブレット入力により2倍の刻みで変更できる。P波表示には通常上下動記録が用いられ、S波にはSH波成分となるよう座標変換が施された水平動が用いられている。この様に、震源近傍などの特に重要と考えられる観測点についてP波あるいはS波を表示し、対話処理により正確に検出することによって、震源決定結果の信頼性を向上させることができる。オペレ

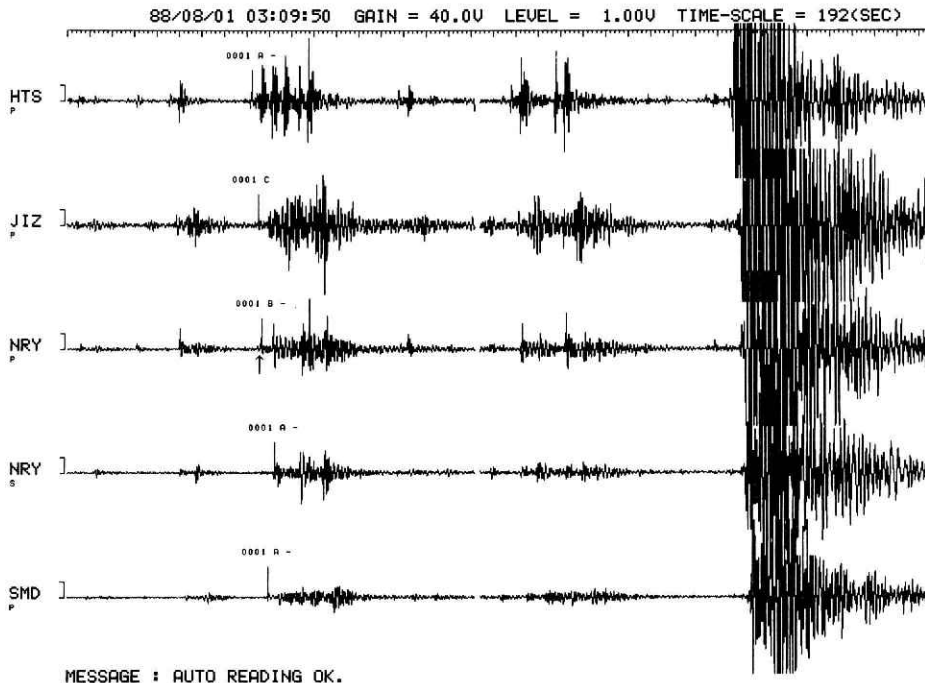


図2 地震波形表示例
 Fig. 2 An example displaying seismograms.

ータがある観測点のP波あるいはS波を検測すると、この時刻を中心に予め設定された範囲で自動検測を行い、結果を表示する。また、オペレータが検測しなかった成分については、検測済み成分から発震時刻を推定し、P波あるいはS波の到達時刻を求めこれを中心に自動検測を行う。この際、走時計算に必要な震源として予め想定された値が用いられる。これら処理に必要なパラメータは、最初の磁気テープを処理する前に設定される。以上処理方法では最小限1つの成分を検測するだけでよく、検測作業の迅速化が図れる。自動検測の結果が満足すべきものであれば、登録して次の地震に移り、そうでなければ必要な成分について再検測する。登録作業の過程で、検測結果を用いて第一次の震源決定がなされる(図1の仮震源決定)。この段階では、検測成分数は最大5である。

(3) 自動検測処理と震源決定

仮震源を用いた計算により発震時刻が改めて得られ、それをを用いて各観測点での波の到達時刻が推定される。この時刻を目安にして、先と同様に自動検測が行われる。この自動検測に際し、簡単なパラメータ設定により、何種類かのフィルタの使用や、データのサンプリングレートの変更等が可能である。また、地震の大きさによっては遠方の観測点を検測作業から外すこともできる。連続する地震がある一定時間よりも短い間隔で発生した場合には、検測を行わない。これは、相異なる地震の波を混同して検測するのを避けるためである。自動検測処理では、必ずしも全観測点についてS波の検測を行う訳ではない。予め幾つかの地震に関してP波およびS波の自動処理を行い、処理結果が妥当と判断された場合についてのみ以後の地震についても処理を続ける。この選択作業により、検測作業の効率化と信頼性の向上が計れる。検測結果は波形とともに図示することができる。震源計算結果は、検測情報と共に磁気ディスク上のファイルに文字型で出力される。波形上に図示された検測時刻が適切でない場合には、この出力ファイルを直接書き換えた後に、より正しい震源の再計算をすることも可能である。

(4) 本処理の特徴

今回開発したSAUDESの主な特徴を挙げると次の様である。

- 1) 事前に発生域が解っているとの知識を生かして、極力自動化を図り、自動化が難しい部分のみをオペレータが検測するという方式により、迅速性と信頼性とを両立させたこと。
- 2) 特定の観測点についてのみ、オペレータ対話処理により検測を行う。
- 3) 対話処理や自動処理に必要なパラメータを管理するファイルがある。このファイルにより観測点と検測すべき相(P波あるいはS波)の選択を行う。各観測点のP波あるいはS波毎に自動検測区間、フィルタの選択、検測する地震の大きさ(マグニチュード)の下限等を設定している。
- 4) S波の検測では、水平動地震計2成分の座標変換により、震源方向に直交する成分(SH成分)を用いている。

5) 自動検測には, ARモデルによる最小AIC法を用いている. AICの最小値計算には, ハウスホルダ変換を用いて最小自乗法を累積的に行う方法を採用している (Takanami and Kitagawa, 1988).

3. 処理の実例

1988年7月～8月の伊豆半島東方沖群発地震活動についてSAUDESで得られた結果と通常の処理ルーチン結果とを比較し, 本処理の性能について検討する. 図3で○印の付いた観測点が処理に用いられた. このうち, HTS, NRY, JIZ, SMDの4点は対話処理によりP波が検測され, さらにNRYについては, S波も対話検測された.

7月26日より8月9日までの期間に発生した地震($M \geq 2.0$)の頻度を6時間毎に示すと図4a, 4bとなる. 図4aがSAUDESによる結果であり, 図4bが通常の処理によるものである. 全体的傾向は極めてよく似ている. ただし, 地震数がSAUDESでは2585に対し, 通常処理では1785と3分の2程度となっている. 図5a, 5bに地震規模別頻度分布の比較を示す. SAUDES

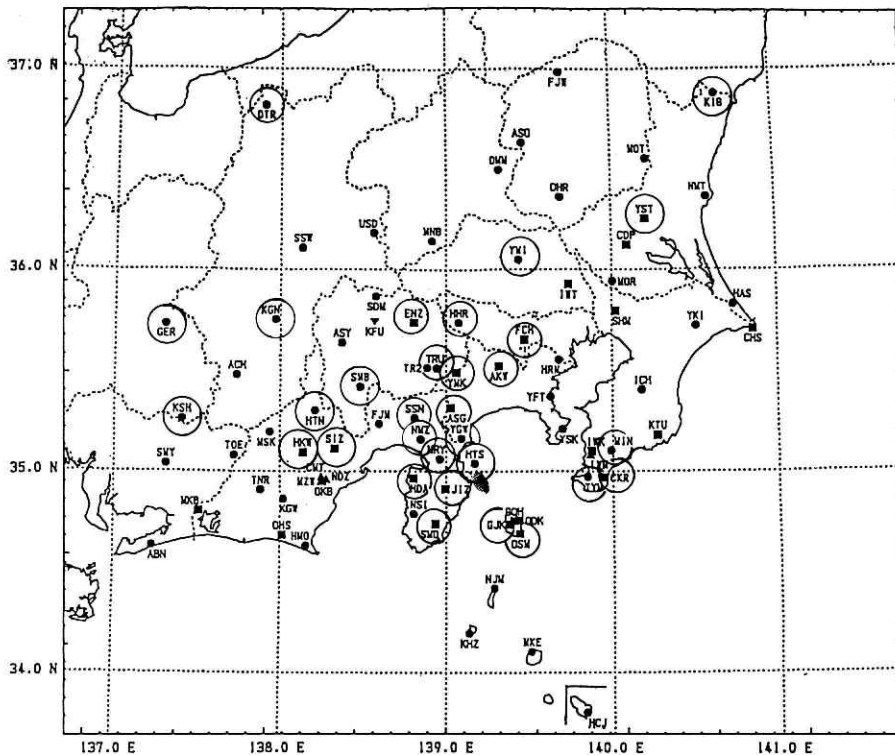


図3 観測点配置図. ○印は処理に使用した観測点. 斜線部は群発活動震源域.

Fig. 3 Distribution of observation stations and the source area of the Izu swarm. The stations used for the present study are encircled. The swarm area is shaded.

ではマグニチュードを0.1刻みで出力しているため、図5aにその影響が現われている。図5bをみる限り、マグニチュードが2から3の範囲で直線的であり、地震の検知もれはなさそうである。この範囲で、図5aと比較すると傾きはほぼ等しく、横軸をおよそ0.1ずらすとよく一致する。このことから、先に述べた地震数の違いは、マグニチュードの決定差によるものと考えられる。処理に用いた観測点の組合せが相異なるため、同じ地震に対して各点での値の平

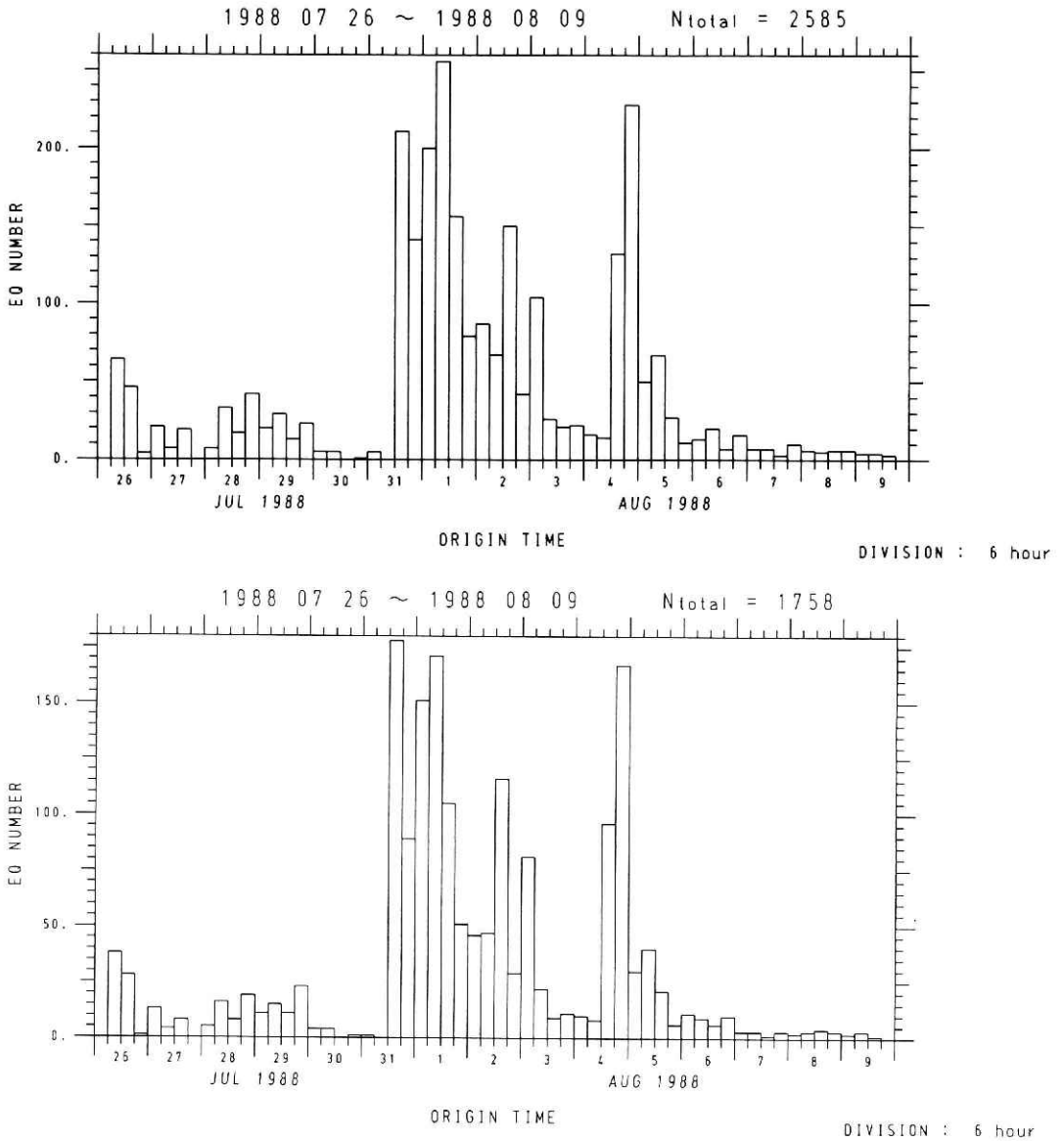


図4 6時間毎の地震回数。a: SAUDESによる, b: 通常のルーチンによる

Fig. 4 Numbers of earthquake at every 6 hours. a: processed by SAUDES. b: processed by the usual routine.

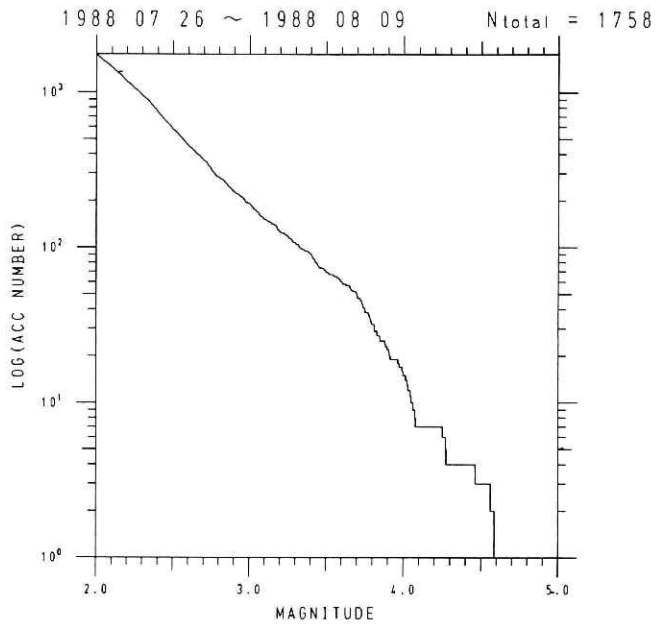
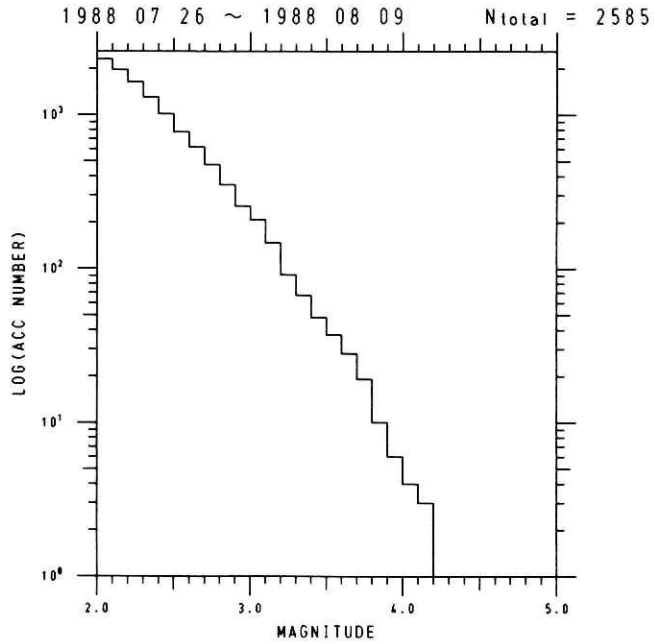


図5 地震規模別の累積回数. a, bは図4と同じ.

Fig. 5 Magnitude-accumulative number relation.a,b: same as in Fig. 4

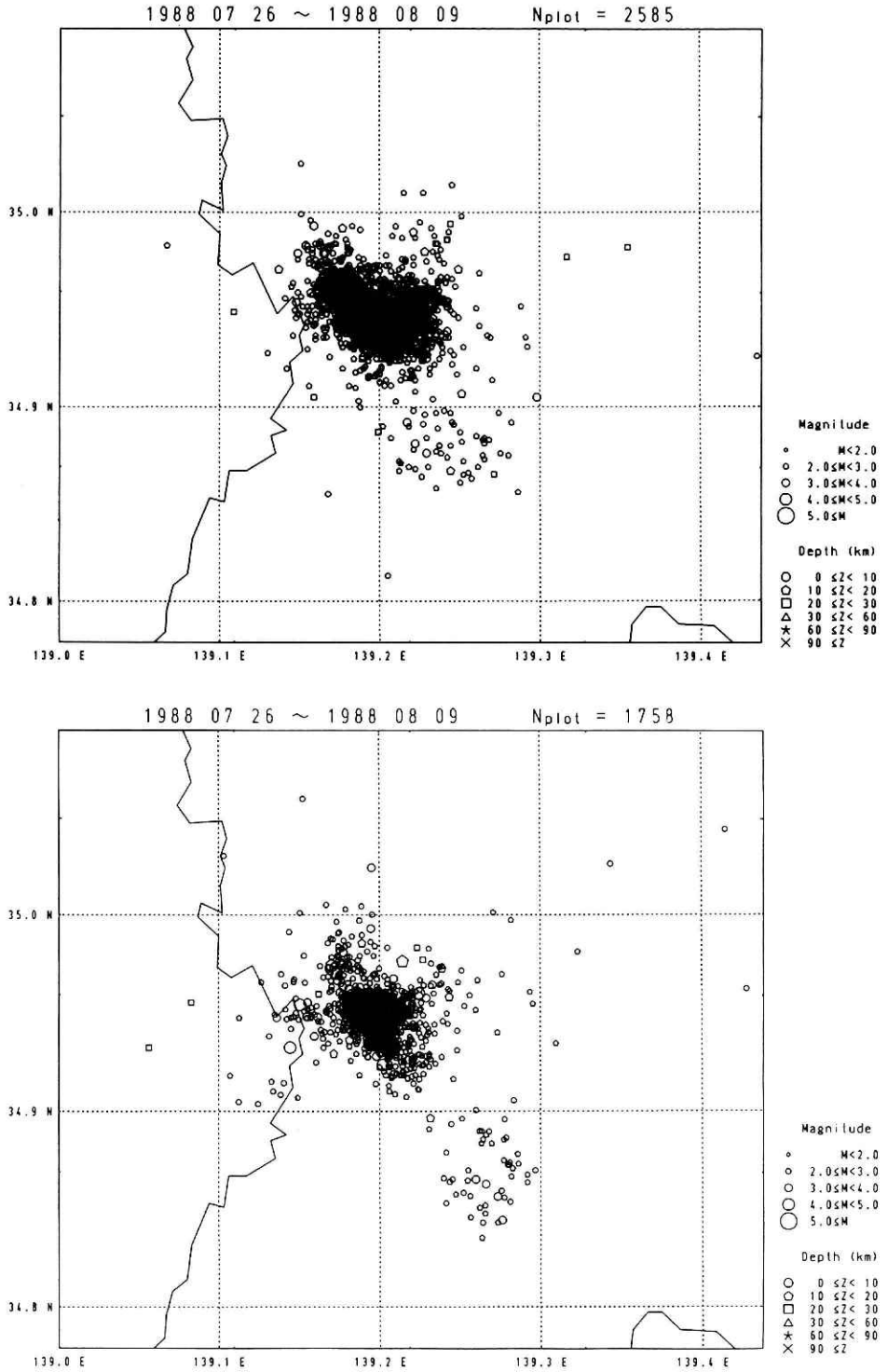


図6 震央分布図. a, bは図4と同じ.

Fig. 6 Map of epicentral distribution. a,b: same as in Fig. 4

均値として決定されたマグニチュードに0.1程度の偏りを生じたのであろうと考えられる。マグニチュードの決定については、今後更に改良を加える必要があると考えられる。図6a, 6bにそれぞれSAUDESと通常処理で得られた震央分布図を示す。図6bの方が全般にまとまりがよく、特に周辺の活動域に対してまとまりは際だっている。しかし、全体的傾向をおおまかにみるなら、図6aでも十分である。すなわち、中心部の活発な領域からやや離れた南東部の活動(北緯34.9以南)や北西部の活動等についても、ほぼ似た分布図を示している。このことは、SAUDESが活動域の推移調査について十分機能することを示している。

次にP波およびS波の検測結果について検討する。約500個の地震に関し、本処理ルーチンの検測値を通常処理で得られた値と比べると図7(P波)、図8(S波)のようになる。図7, 8は、両処理で精度がAまたはBとランク付けられた検測値について、SAUDESによる検測値と通常処理の値との差の分布を示している。P波(図7)では計2933のうち90%が±0.15秒以内にあり、S波(図8)では計1681のうち90%が±0.25秒以内にある。B(A)ランクの精度が0.3(0.1)秒を目安にしていることを考慮すると、SAUDESの検測値は十分な精度があると結論される。

4. おわりに

SAUDESの概要および処理の精度についてこれまで述べてきたが、SAUDESによる処理速度は以下のとおりである。前節で例にあげた群発活動では、81巻の磁気テープに地震波形

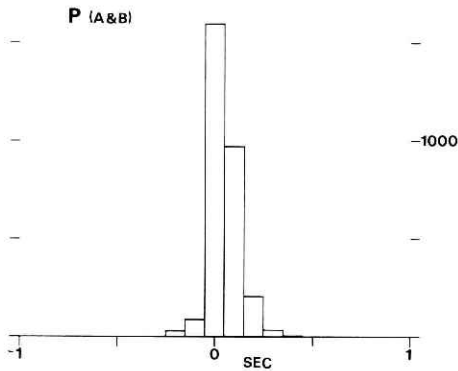


図7 P波検測時刻の差の分布, SAUDESで得られた値から通常処理の値を減じた値の分布を示す。

Fig. 7 Distribution of time differences between P wave readings by the two routines.

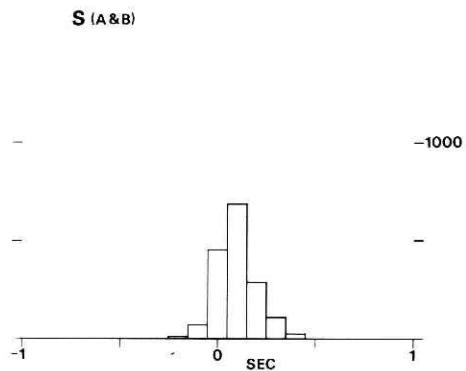


図8 S波検測時刻の差の分布。

Fig. 8 Same as Fig. 7 but for S wave readings.

が収録された。この処理のために、一人のオペレータが通常の勤務形態でおよそ20日間従事し、総数3000個の地震を検測した。1日に5巻の磁気テープを処理し、各磁気テープ1巻につき30～50程度の地震を検測した。1日あたりの最大検測地震数は250以上であった。これは、SAUDESの設計段階の目標値であり、この目標を十分達成できたと云える。この処理速度を通常の地震処理(3ないし4人のオペレータが1日100個程度の処理を行っている)と比較すれば、いかに速いかが解る。SAUDESでは速報性に重点が置かれており、これを達成するために、観測点の間引きや小さい地震の読み飛ばし等がパラメータの設定によって容易に指示できる。前節の例でも、マグニチュード2以上の地震を検測の基準としてパラメータを設定した。活動の激しさに合せて、検測する地震の下限等を適当に設定することができる。また想定する震源域の広がりに応じて自動検測区間を設定すればよい。SAUDESでは、テープ1巻あたりの検測地震数が少ないと、効率は悪くなるが、これは対話処理のための前処理にかかる時間がほぼ一定のためである。逆に地震数が多すぎる場合には、発生間隔の短いものが多く含まれるため、自動処理されない地震の割合が増え、精度の劣る結果ばかりが増えることになる。効率と精度とを程良く調和させることが必要となるが、個々の場合の解析目的に合わせて研究者がパラメータを設定することができる。この点でも、自由度の高い処理方式といえる。

以上述べてきたように、今回開発したSAUDESは処理能率が高いだけでなく、処理結果の精度も十分満足できるものとなっている。今後、地震予知連絡会へも必要に応じて速やかに資料を提供できるものと期待される。

謝 辞

今回のSAUDES開発にあたり、第2研究部地震前兆解析システム作業部会および富士通株式会社との協力を得ている。本報告をまとめる際に、有益なる議論をして頂いた地震前兆解析室松村正三室長に感謝します。

参 考 文 献

- 1) 堀 貞喜・松村正三(1988)：地震前兆解析システムにおける自動震源計算。国立防災科学技術センター研究報告、第41号、89-100。
- 2) 井元政二郎(1989)：1988年7月～8月の伊豆半島東方沖群発地震活動(速報)。地震予知連絡会会報、第41巻、257-263。
- 3) 松村正三・岡田義光・井元政二郎・島田誠一・堀 貞喜・大久保 正・大竹政和・浜田和郎(1988)：地震前兆解析システムの機能と構成。国立防災科学技術センター研究報告、第41号、31-64。

- 4) 大久保 正・井元政二郎・松村正三(1989)：1989年7月伊東群発地震活動について，地震学会講演予稿集，2, 103.
- 5) Takanami, T and G. Kitagawa(1988): A new efficient procedure for the estimation of onset time of seismic waves, Journal Physics of the Earth. 36, 267-290

(1989年12月1日原稿受理)