整理番号	資 料 名	
	震域図之一 明代 (1368-1644) 之部 1~29頁	
	震域図之二 清代 (1644-1911) 之部 30~66 頁	
	M 7 以上明代地震一覧表. M 7 以上清代地震一覧表	1頁
	明清時代 1368-1911 中国に発生せる M 7 以上87地震についての震央に於けるMの大きさ色分布	2頁
	明清時代 1368-1911 中国に発生せる M 7 以上 87 地震についての震央に於ける震源の深さ色分布	3頁
	明清時代中国に発生せるM 7 以上地震 震央分布図 M・h附記	4頁
	明清時代中国に発生せるM 7 以上地震 震央分布および震度V等震線図	5頁
	明清時代中国に発生せるM 7 以上地震 震央分布および震度VI等震線図	6頁
	World map of shallow earthquakes. World map of deep focus earthquakes	7頁
	A表 中国大地震のエネルギー	8頁
	グラフ 1	9頁
	明清時代中国に発生せる地震のエネルギーと Seismicity	10頁

合せて一冊

地 震 第 2 輯
第 30 卷 (1977) 115-118 頁

阿武山地震観測所における微小地震の自動処理について

京都大学理学部阿武山地震観測所

渡辺 晃・黒磯章夫

(昭和 52 年 2 月 10 日受理)

On the Automatic Data Processing System
for Microearthquake Observation at
Abuyama Seismological Observatory

Hikaru WATANABE and Akio KUROISO
Abuyama Seismological Observatory,
Faculty of Science, Kyoto University

(Received February 10, 1977)

§ 1. 阿武山地震観測所における微小地震の収録・処理システムの概要は黒磯・渡辺 (1977) に述べられたとおりである。ここではその機能の一つであるオンライン自動処理システムによつて得られた、およそ 600 個 (1975~1976 年) の地震について簡単な解析結果を報告する。

§ 2. 処理用電子計算機 (OKITAC 4500C) はリ

アルタイムおよび遅延 (7 秒*) の 2 系統の周辺機器を通して, 33 成分 (3 成分×11 観測点) のオンラインデータをとりこむ機能を持ち, リアルタイムデータ (50 Hz サンプリング) を 1/2 秒* 間隔で常時チェックしている。あらかじめプリセットされた振幅レベル* を 2 回連続して越えると地震であると判定して (0 レベルトリガー), DISK に遅延データ (300 Hz*サンプリング) の収録を開始する。プログラムのチェックはリアルタイムから収録されつつある遅延データに移り, プリセットされた振幅値*を 2 秒*間連続して下まわると地震の終了であると判断して, 遅延データの収録を中止する。ここで, * 印の付いた数値はデジタルスイッチで随時入れかえることができる。また, データの断, 飽和, ビットおちなどのアラームが発生すれば, タイプライタにメッセージを出力する。

このトリガー方式は各々のデータのレベルとその継続性をみているに過ぎないので, 局地的なノイズを誤認することが多い。従つて, ある観測点で局地的にノイズレベルが高くなつた場合はデジタルスイッチでハード的な論理回路をもつトリガーへ切換えを行なう。このようにして DISK にためこまれたデータが地震であるかどうかの再確認を行なうために, 次に述べる論理で遅延データを順次チェックする。

1. P波の走時差 各観測点の上下動成分について、プリセットレベル*を0.5秒*継続して越えたとその始めの時刻を読み取る。(この操作によつて、搬送系でよく発生するパルス状のノイズを殆んど除くことができる)その時刻を早いものから4個とり出す。この中から2個ずつの組をつくり、その時間差が観測点間の最大走時差を越えないものの組をかぞえ、それが n 個以上あれば地震であると判断する。($n=2$)

2. P波の走時差と方向性 上記の方法で4個のP着震時 ($T_1 \sim T_4$) を読みとる。 T_1 を読んだ最初の点の水平2成分で水平面上のベクトルを求める。次に、 T_4 の点と T_1 の点を結び、さきに求めた水平面上のベクトルの方向と比較する。これは、観測網から大きくはずれる地震の判定を目的としたものである。($\alpha \leq 30^\circ$)

3. 水平面内におけるP波の振動の方向性 早い順に3点を選び、水平2成分でベクトルを求め、その延長線の集中度をみる。($s=1$ km)

4. P波形の相似性 早い2点の上下動成分について、立上りから $4T$ 秒をとり、相互相関係数 Q を求める。($4T=1$ 秒, $Q=\pm 0.7$)

5. P入射波の規則性 最初の点の3成分から、みかけの入射角 β を求める。($\beta \leq 30^\circ$)

なお、各項目の最後に示した数値は現在、設定されているものである。論理そのものと同様、試行錯誤をくり返して最適値がみつければその都度、変更される。

これらの再確認のためのプログラムトリガーは、現在、OR回路で結ばれているが、その個数(最大6個)、回路方式などは必要に応じて変更することができる。

§3. プログラムトリガーによつて、地震であると再確認されると、驗震および震源要素の計算に移る。

P波の同定については、すでにいくつかの理論的研究が行なわれ、徐々に実用化されつつある。しかし、ここでは生データのレベルを直接みるという最も単純な方法を用いる。対象にしている地震が殆んど観測網の内部またはその周辺に発生しているのでP波のS/N比がよいことと、リアルタイム処理に

おいては計算時間およびメモリの節約が要求されることなどが、その主な理由である。また、波形のr.m.s.や平均値をとることによつては除ききれない搬送系の瞬断による非常に高いパルス状のノイズをレベルの継続性をみることによつて殆んど除去できることが分つたからである。このように、P波着震時の決定論理はプログラムトリガーに用いられたものと本質的には同じであるが、すべての読取値の組合わせについて、走時差のチェックを行ない、読取精度の向上を旨としている。

P着震時が3個以上求まると、震源決定を行なう。なお、初期値として、P波速度 $V=5.7$ km/sec 深さ $z=5.0$ km を与え、代入法により、震源位置、発震時を計算する。この他に、地震終了の時刻、振動継続時間とこれによるマグニチュード、P波、最大動などの各相について振幅・周期、卓越周波数、地震波の振動面積 $S = \int_{T_P}^{T_F} u(t)dt$ ($u(t)$; 地震動, $T_F - T_P$; 振動継続時間)などの計算を行なう。結果は一括してタイプライタに出力され自動処理を終了する。なお、最初に述べた0レベルトリガーはこれら一連の作業中にも、常に生データを監視し、次の地震発生に備えている。

§4. このシステムのもつ他の機能の一つにオフラインデータ処理がある。これはグラフィックディスプレイ上に地震記録を投影し人手を介して読取処理を行なうものである。これは、さきのオンライン自動処理と平行して実行することができ、すでに1976年に発生したおよそ1600個の地震の解析・処理が終つている。この資料を基にして、オンライン自動処理の結果を調べてみた。

Table 1 および 2 はある期間のプログラムトリガーの動作状況である。Table 1 はオフライン処理された623個の地震に対して、各プログラムトリガーが地震であると判定した回数を示している。また、Table 2 は各トリガーが単独に動作したと仮定した場合の判定回数および検知率(%)である。ここで目立つことは、プログラムトリガー(1)が殆んどの場合に動作するのに反して、(2)以下の検知率が非常に低く、殊に(3)は全く無力である事実である。

Fig. 1 は震央と観測網の位置関係で、また、地震のマグニチュードによつて、プログラムトリガーの

Fig. 1. Detectability of the program triggers in relation to epicentral distance from the center of the array stations and magnitude. Open circles denote the shocks triggered with any of the combinations of logics. Solid circles correspond to the shocks that all of the logics failed to identify.

Table 1. Number of shocks triggered with the combinations of logics. r and z are epicentral distance from the center of the array stations and focal depth, respectively.

Trigger	R ($r \leq 70$ km)	L ($r > 70$ km)	D ($z \geq 50$ km)
1	359	48	29
1-2	86	9	9
1-2-4	0	3	1
1-2-5	10	0	0
1-3	1	0	0
1-4	3	9	1
1-4-5	0	1	1
1-5	23	1	1
3	1	0	0
4	1	0	0
5	25	1	0
Total	509	72	42

Table 2. Number of triggered shocks and detectability of the program triggers (%), supposing each trigger is operated independently. R, L and D are the same as in Table 1.

Trigger	R (%)	L (%)	D (%)
1	482 (94.7)	71 (98.6)	42 (100.0)
2	96 (18.9)	12 (16.7)	10 (23.8)
3	2 (0.4)	0 (0)	0 (0)
4	4 (0.8)	13 (18.1)	3 (7.1)
5	58 (11.4)	3 (4.2)	2 (4.8)

判定能力がどのように変化するかをみた図である。
横軸に観測網のほぼ中心 (135°36'36'', 35°00'00'')

からの距離 r をとり、検知されたものおよび失敗したものをそれぞれ、白丸および黒丸で示している。
2本の鎖線で囲まれた白黒が混在する範囲は、観測網内部 ($r \leq 30$ km) では M に対して一定であるのに対し、 $r > 30$ km では対数的に増加する。しかしその幅はほぼ一定 (M の差でおよそ 0.5 に相当する) であり、 r に対して変化しない。このような傾向はプログラムトリガー (1) に用いた P 波同定の論理から予想されることであるが、この処理システ

Table 3. Percentage of number of shocks sorted with the accuracy of the automatically analysed epicenters. Ranks A~N are cited in the text. R, L and D are the same as in Table 1.

	A	B	C	D	N
R	10.4	19.1	15.4	5.9	30.0
L + D	0	1.1	2.9	2.6	11.6
Total	10.4	20.2	18.3	8.5	41.6

ムの改良に際して、多くの情報を得ることができ。その一例は観測網から距つた地震の検知率改善の方法である。一般に、データの S/N 比向上が最も効果的であると考えられるが、 M の差 0.5 を稼ぐには S/N を 3 倍以上も改良しなければならないことが分る。これに比べて、例えば 2 点の波形の相関をみるプログラムトリガー (4) を改善し (バンドパスフィルターで波形を整える) 活用すれば更に効果的であることは、Fig. 1 の $r=60\sim 75$ km の 3 個の白丸 ((4) でトリガーされている) の例からも予想される。水平成分を用いる他のトリガーについても同様である。

Table 3 は自動処理された 623 個の地震の震源決定についての成績を示すものである。ランク A~N はオフライン処理で求めた震央からのずれが、それぞれ 3 km 以内、5 km 以内、20 km 以内、20 km 以上および震央が求められなかつたものの割合を近地震 ($r \leq 70$ km) とその他に分けて示している。ここで、A および B に属するもの (第 1 近似値として使用できる) は全体のおよそ 30% に過ぎない。しかも、この割合は M とともに良くなるとは限らない。トリガーに使用されていない着震時の遅い観測点で、P 波の振幅が小さくなり、P 着震時に大きな誤差を生じることが多いのがこの主な原因として考えられる。事実、観測網のすぐ近傍で群発した地震を例にとつてみると、 M 3.5 の地震が C に入っているのに対し、ひき続いて起つた M 2.0 の地震は A に属している。P 波の読取は 8 個および 5 個である。早い 4 点とともに ± 0.02 秒以内の精度を保っているのに反し、前者の 8 個のうち 3 個までが 0.5 秒以上の誤差を含んでいることが明らかになつた。この事実は P 波読取精度の向上と同時に、同定に誤

りをおかした観測値の選別を注意深く行なう必要があることを示している。

§ 5. このオンライン自動処理 システムの主な機能であるプログラムトリガーと自動解析を中心にして、得られた資料の検討を行なつたが、主な結果および問題点は次の通りである。

プログラムトリガーは (1) を除いて、検知率が低い。しかし、観測網からはずれる地震の検出には (2) および (4) が有効であることが確められた。(3) および (5) については、データに含まれる短周期ノイズが大きな障害になつていることが分つたので、対策を急ぐ必要がある。一方、トリガー (1) はその検知率の高さとともにノイズを誤認する割合も低く (全期間を通しておよそ 8%)、充分、実用化される見通しがついた。

このプログラムトリガーによつて、ほぼ 100% 検知される M の下限は観測網内部では 1.0、近畿中部、北部全域では 2.4 である。

自動解析による震源および M の決定については十分な結果が得られなかつた。しかし、ハードウェア、ソフトウェア両面から、いくつかの改善すべき点を指摘することができた。

一方、簡単な論理で比較的正確に計算できる振幅 (最大動)、周期、卓越周波数、振動面積などについては更に資料を蓄積し、今後の研究に役立てたいと思つている。

おわりにあつて、多大な御助力を惜まれなかつた阿武山地震観測所および沖電気工業株式会社ソフトウェア事業部の諸兄に、心からお礼を申し上げる。

文 献

黒磯章夫・渡辺 晃, 1977, 阿武山地震観測所における微小地震テレメータシステムについて, 地震 30, 91-106.

地 震 第 2 輯
第 30 卷 (1977) 118-122 頁

均質弾性球に於ける高次 モードの振動の特性

東京大学地震研究所

小 高 俊 一

(昭和 52 年 2 月 12 日受理)