

関東・東海地域における人工震源の分布とその時間的変遷

岡田義光*

Distribution of artificial earthquakes in the Kanto-Tokai area and temporal changes

By

Yoshimitsu Okada*

**National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan*

Abstract

A large number of artificial earthquakes contaminate the catalog of shallow earthquakes in the Kanto-Tokai area due to quarry blasts or large-scale public works. To distinguish between these events, occurrence time distributions were examined for each of 193 earthquake clusters shallower than 20 km, and 81 clusters were identified as artificial ones. They occupy 25% of the total number of shallow events in the catalog and are mainly located around big cities such as Tokyo and Nagoya.

Each cluster of artificial earthquakes has its own distribution in regard to occurrence time within a day, usually showing a pattern of single or double peaks. We can also find wide varieties in the time series of artificial earthquakes, showing continuous, intermittent, or only temporary patterns. The distribution of artificial earthquakes has a close relation to industrial activities. It was found that the change in the total number of the artificial earthquakes roughly corresponds with changes in economic trends in Japan.

Key words: 関東・東海地域(Kanto-Tokai area), 地震クラスター(cluster of earthquakes),
人工震源(artificial earthquake)

1. はじめに

平成 7 年兵庫県南部地震の発生は、活断層に起因する直下型地震の恐ろしさをあらためて認識させる結果となり、日本の各地において、浅発地震活動の様子に対する重大な関心が寄せられつつある。

ところで、防災科学技術研究所では、関東・東海地域に稠密な高感度微小地震観測網を展開して定常的な震源決定作業を続けているが、観測された浅発地震の中には、採石発破や大規模な土木工事等に伴う人工震源が少なからず含まれることが知られている。とくに、東京や名古屋などの大都市の周辺では、建設工事に必要な骨材を得るために、大量の採石発破作業が実施されている。浅発地震の考察を行なうにあたっては、まず、これらの人工震源を注意深く取り除く必要があり、その弁別は重要な基礎作業となる。

Fig. 1 (a)は、防災科学技術研究所において微小地震の定常的観測が開始された 1979 年 7 月より 1995 年末に至る 16.5 年間に、関東・東海地域で検出された深さ 20 km 以浅の地震、約 96,500 個の震央分布を示す。ここでは、すべての地震が同一の大きさのドットで表現されており、マグニチュードによるシンボルの大きさの区別はなされていない。この図によると、関東・東海地域には数多くの浅発地震の密集域（クラスター）が点在して見られることがわかる。次に、同図(b)は、(a)と同一期間・同一領域において夜間の 11 時間（19 時～06 時）に発生した地震のみを取り出してプロットしたものである。もしも、地震の発生時刻が 1 日の 24 時間のうちで全くランダムであれば、全体の地震数は(a)の場合の 11/24 倍で約 44,000 個となることが期待されるが、実際は約 35,000 個とかなり少なく、昼間の方が地震の発生率が高いということになる。全体の震源分布について見ると、(b)のパターンは(a)に較べて大分すっきりとしており、とくに茨城西部、栃木南部、群馬南部、埼玉・東京・神奈川西部、

*防災科学技術研究所 地震調査研究センター

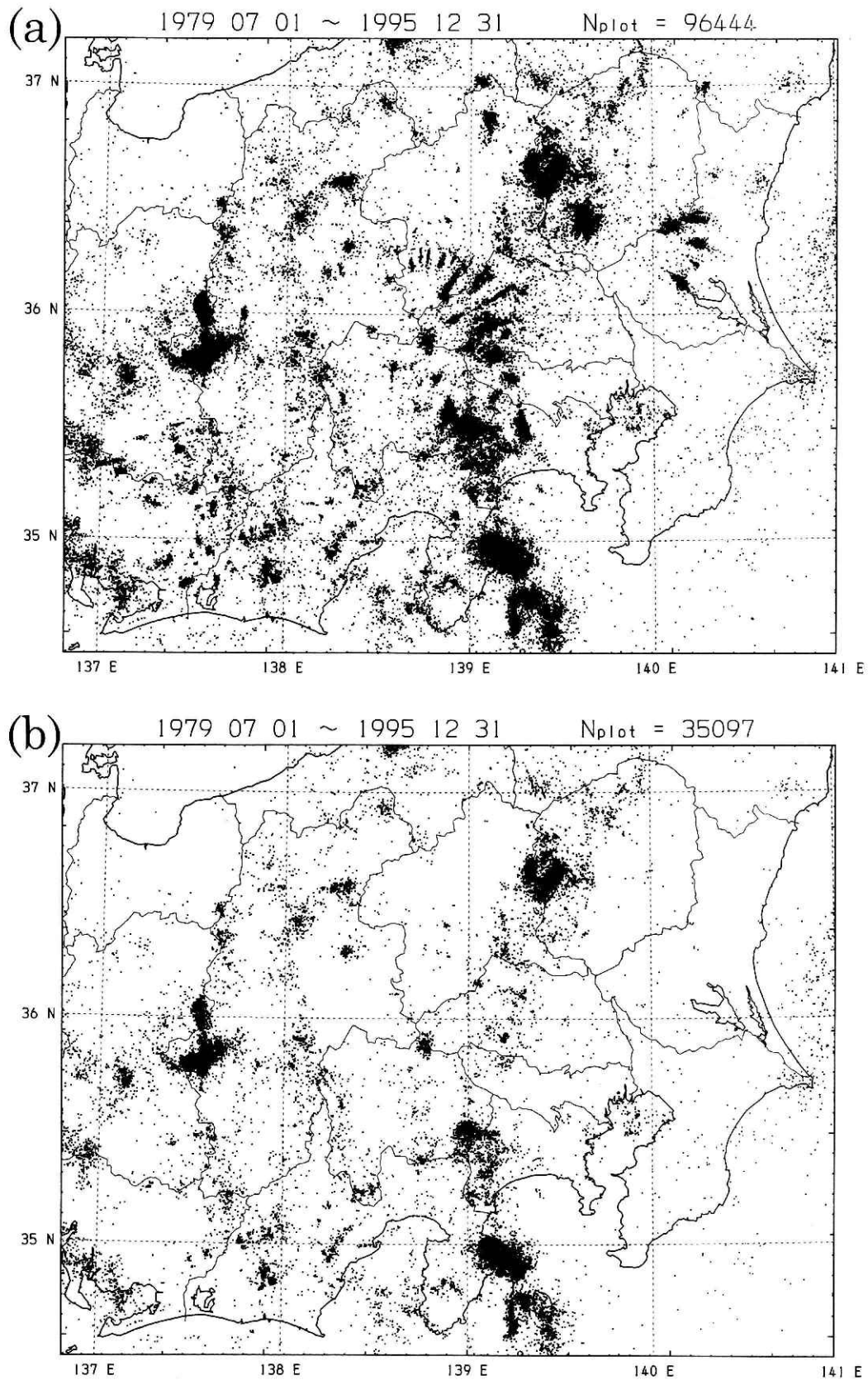


Fig. 1 1979年7月～1995年12月の16.5年間に、関東・東海地域で検知された深さ20km以浅の地震の震央分布。(a)は全期間、(b)は夜間(19時～06時)に発生したものを示す。

Epicentral distribution of earthquakes shallower than 20 km in the Kanto-Tokai area within 16.5 years from July 1979 to Dec. 1995. (a) Distribution over the whole period, (b) Distribution during nighttime (19:00-06:00).

愛知東部などでは、(a)で見られたクラスターがほぼ完全に消滅している。すなわち、これらのクラスターに含まれる地震はすべて昼間(06時～19時)にのみ発生しており、人工的なものである疑いが強い。

本報告では、まず、このような人工震源を弁別するための一手法を提案し、その適用結果として、人工震源域と判定された地域のリストアップを行なう。本論と同様の考察は、すでに松村(1985)が行なっており、関東・東海地域における採石発破源の推定と、それに基づく震源カタログの指標付け(パラメータIDXBLへの値1の付与)がなされているが、その後10年間にわたってデータの蓄積が進んだことと、そもそも人工震源の分布は企業活動や工事計画等の社会状況によって時間的にも変化することから、ここでは、時間的変遷をも含めた人工震源の状況について、より詳細な考察を行なう。

2. 地震クラスターの抽出

採石発破等の作業は、同一場所で繰り返し実施されることが大部分であるため、人工震源は、通常、クラスター的な分布を示す。そこで本節では、人工震源を弁別するための前段階として、防災科学技術研究所の震源カタログに含まれる地震クラスターの抽出を行なう。

まず、Fig. 1に示された対象領域(35.5° N, 139.0° Eを原点として、東西に-200～+180 km, 南北に-110～+190 km, 深さ0～20 kmの範囲)を1 km立方の素領域に分け、各素領域内において1979年7月1日から1995年12月31日までの16.5年間に発生した地震数をカウントする。この1 km立方素領域の総数は、 $380 \times 300 \times 20 = 2,280,000$ 個である。次に、このデータを基礎として、2 km立方のブロック内でこの16.5年間に発生した地震数を集計する。この際、地震クラスターの抽出がブロックの区切り方に依存しないよう、2 km立方のブロックは対象領域内を1 kmずつ東西・南北・深さ方向に移動させつつ、集計を行なうこととする。この場合の2 km立方ブロックの総数は、 $379 \times 299 \times 19 = 2,153,099$ ブロックとなる。このような過程で得られた1 km立方素領域および2 km立方ブロック内に含まれる地震数の分布は、Table. 1に示す通りとなる。1 km立方素領域の数で見ると、地震数が0の領域は全体の98.3%、地震数が1～9の領域は1.6%を占め、残る0.06%が10個以上の地震を含んでいることになる。

このような分布の中から地震クラスターを抽出するためには、まず適当な基準を設けて、クラスターを構成すべき要素を選出する必要がある。ここでは、便宜的に、1 kmずつオーバーラップさせながら東西・南北・深さ方向に移動させた2 km立方ブロックの中で、この16.5年間に発生した地震数が10個以上となるものを、地震クラスターの構成要素として採用することにした。Table. 1によれば、対象とする2 km立方ブロック総数の0.5%にあたる10,546ブロックが、この基準に該当することになる。

最後に、以上のようにして選出された10,546個の2

Table. 1 1km立方素領域、2km立方ブロック、及びグルーピングされた地震クラスター内に含まれる地震数の分布。

Distribution of the number of earthquakes which are contained in 1-km cubes, 2-km blocks and earthquake clusters composed of 2-km blocks.

Contained Eq. number	Number of 1-km cubes	Number of 2-km blocks	Number of clusters
0	2241713	1986785	-
1	27947	103911	-
2	4534	25036	-
3	1760	10449	-
4	946	5774	-
5	555	3606	-
6	389	2431	-
7	299	1856	-
8	202	1501	-
9	179	1204	-
10	160	997	21
11	113	817	10
12	123	646	4
13	92	601	6
14	83	553	1
15	73	403	0
16	66	376	8
17	59	345	4
18	39	289	4
19	34	297	3
20-	274	1756	21
30-	133	841	13
40-	66	512	9
50-	103	1123	25
100-	50	581	21
200-	8	310	21
500-	0	80	11
1000-	0	19	3
2000-	0	0	5
5000-	0	0	2
10000-	0	0	0
20000-	0	0	1
Total	2280000	2153099	193

km立方ブロックのうち、隣接するものについてはグループとしてひとまとめにする操作を行なって、地震クラスター領域を決定する。グルーピングの仕方としては様々な方法が考えられるが、ここではブロックの中心点間の距離の平方Sを用いる。ブロックの辺の長さを2と

する時, Fig. 2 に示すように, S が 0~3 の場合はブロック同士の体積的な重なりがあり, また 4~6 の場合は面の重なりが存在する. したがって, S が 3 以下のものをまとめることにすると, 体積的に密に結合したブロック以外は分離してグルーピングすることになり, S が 6 以下のものをまとめると, 面的に結合したものまで含めてなるべくまとめる形でグルーピングを行なうことになる. ここでは, S が 6 以下となる基準を採用して, 最終的に Fig. 3 に示す 193 個のグループを地震クラスターとして決定

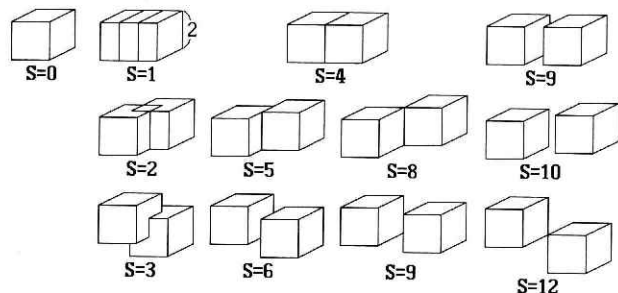


Fig. 2 2つの立方体ブロック (一辺の長さ 2) の相対位置と, ブロック間の距離の平方 S .

Relative position of two blocks with side length=2 and the value S being defined as the square of the mutual distance.

した. 各クラスターの 3 次元的位置は, 後述する Fig. 13 の中に記載されており, また, 193 個のクラスターに含まれる地震数の分布は, Table. 1 の右欄に示されている. 最大の地震数を含むクラスターは伊豆半島東方沖 (クラスター 158 番) にあり, この 16.5 年間の地震数は 30,036 に達している.

なお, ここでグルーピングされた地震クラスターは, まとめられた個々の 2 km 立方ブロック全体を包含する直方体領域として定義してある. このため, Fig. 4 の 2 次元例で示すような具合に地震数 10 個以上のブロック (斜線部) が配置している場合には, 定義されたクラスター同士で領域の重なり合いが生じることになる.

3. 人工震源の弁別

ここでは, 前節で抽出した 193 個の地震クラスターを, 人工震源と自然地震とに弁別する. 一般に, 人工震源の特徴としては, 発震時が昼間の定時に集中する傾向の強いこと, 震源の深さが地表近くであること, マグニチュード (M) が 2.0 程度以下であること, 初動が全観測点で押しになること, 特異な地震波形を示すこと, 等が挙げられる. これらの特徴のうち, 第 1 に挙げた発震時の特異性に基づく弁別がもっとも容易であり, また確実である.

そこで, 各クラスターについて, 発震時分布の特徴が一目で把握できるダイアグラムを作成することにした. Fig. 5 は, Fig. 3 において 8 番および 14 番と記されたク

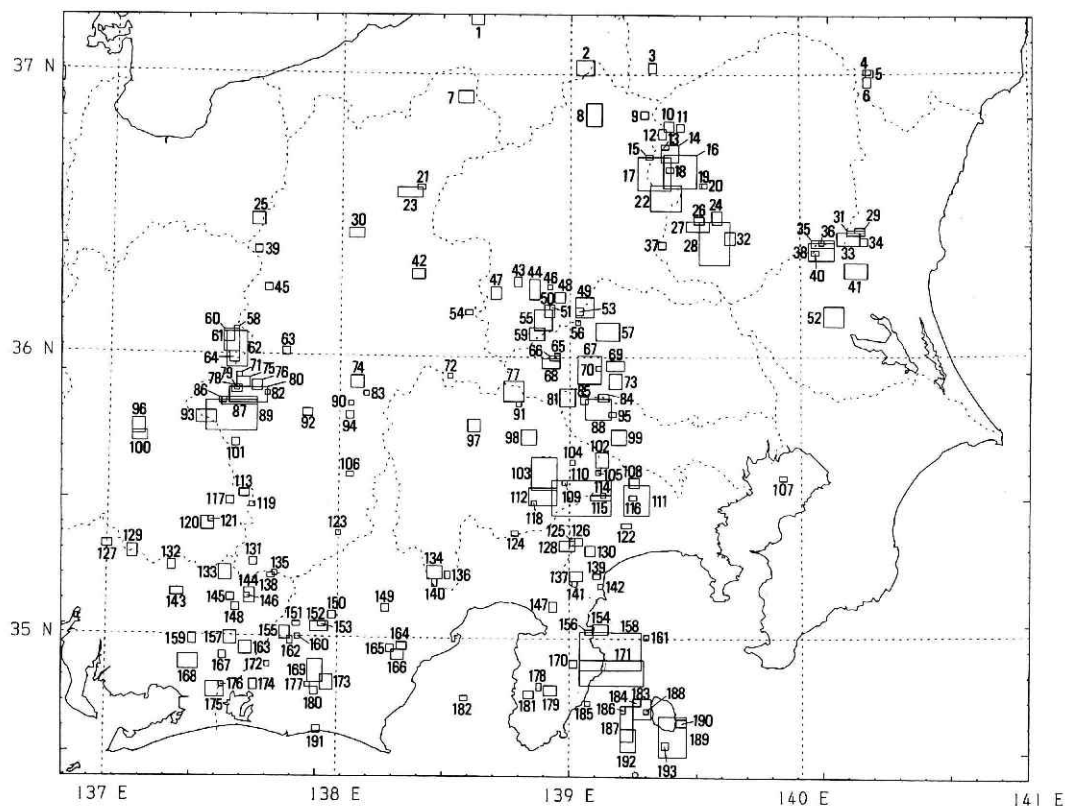


Fig. 3 地震クラスターとして認識された 193 個の直方体領域.

193 rectangular prism domains recognized as earthquake clusters.

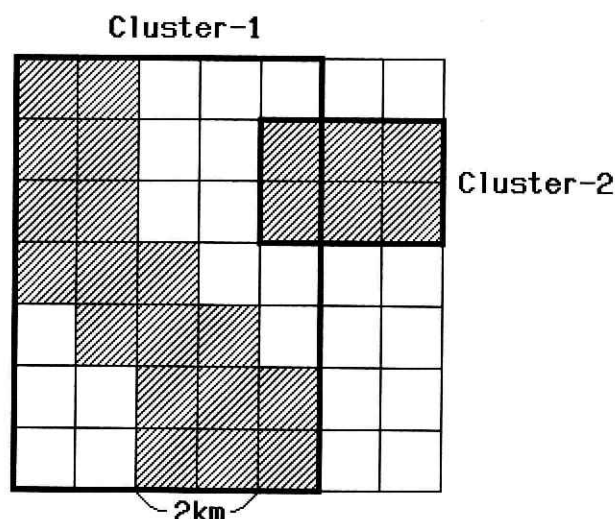


Fig. 4 クラスタを定義する直方体領域が重なり合う例(2次元). 斜線を施した2 km 平方ブロックは10個以上の地震を含んでいることを示す.

Two-dimensional example of an overlapping of clusters which are defined as rectangular areas. Hatched blocks of 2-km square show the areas which contain 10 earthquakes or more.

ラスタについて作成したダイアグラムの例である。横軸に1979年7月から1995年末までの16.5年間の中における発震日、縦軸に00時～24時の地震発生時刻を示した分布図をプロットし、また、日別地震回数の時系列と、1日のうちにおける発生時刻による1時間毎の地震数の集計を、上記分布図の上側および右側に添えてある。地震数を示すスケールは、何段階かに自動的な規格化がなされている。図中、REG.と書かれているのはFig. 3に示されたクラスタの番号に対応しており、括弧内にはこのクラスタを定義する直方体領域が、(35.5° N, 139.0° E)を基準とする(X,Y)座標の位置範囲と深さHの範囲(単位はいずれもkm)で示されている。また、N=とあるのは各々のクラスタに含まれる地震の総数であり、その中の最大地震については、発震日、震源の深さ、およびMが記入されている。

Fig. 1の震央分布図上では、ひとつひとつのクラスタが人工震源なのか自然地震なのか、その性格を識別することは不可能に近いが、上記のようなダイアグラムを用いることにより、発生時刻パターンの様相の違いから、各々の地震群の性格を明瞭に分類することが可能となる。採石発破のような人工震源では、昼間、とくに12時や17時前後に発生時刻が集中する傾向が強いため、Fig. 5(a)のように、発震時分布ダイアグラム上では全体の分布が“横長”の筋状に見えるのに対し、自然地震の場合は、昼夜の別なく本震—余震系列や群発的な発生を見せることから、Fig. 5(b)のように、時系列上のある時点に集中する“縦長”の筋状分布になったり、または、全体にランダムに分布するパターンとなる。

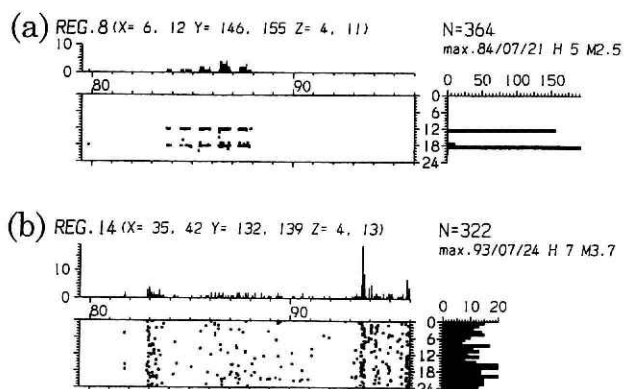


Fig. 5 Fig. 3のクラスタ8番および14番に対する発震時分布ダイアグラム。日別地震回数の時系列と、1日のうちの発生時刻による時間別頻度分布、及び地震数と最大地震の諸元が添えられている。

A diagram showing occurrence time distribution for clusters No.8 and No. 14 in Fig. 3. Daily earthquake numbers and hourly frequency of the occurrence times within a day are also plotted together with number of earthquakes and a list of the largest event.

本報告の末尾 (Fig. 13) に、前節で抽出した193個のクラスタすべてに対する発震時分布ダイアグラムを示したが、上に述べたような特徴に基づいて、人工震源の弁別は比較的容易に行なうことができる。このようにして、前節で抽出された193個の地震クラスタのうち、81個が人工震源と認定され、残る112個のクラスタは自然地震であると判定された。Fig. 6には、Fig. 3で定義された193個のクラスタのうち、人工震源と認定された81個を黒く塗り潰して、また、自然地震と判定された112個を白抜き状態で、それぞれ示した。この図に見られる通り、採石発破は主として東京や名古屋といった大都市圏の周辺で数多く実施されていることがわかる。

4. 人工震源の時間分布の特徴

前節で弁別された81個の人工震源クラスタを地域別に分け、Fig. 7に、クラスタ番号、含まれる地震数、クラスタを定義する直方体の東西および南北幅(km)、深さ範囲(km)、直方体中心位置の座標(緯度、経度)および地名を、一覧の形で示した。それぞれのクラスタについては、発震時分布ダイアグラムを添えてあるが、ここでは分布のパターンの違いを見るため、1日のうちの発生時刻による1時間毎の地震数の集計は、その最大値で規格化してある。以下に、これらの人工震源について、その時間分布の特徴を述べる。

まず、1日のうちの発生時刻の分布としては、12時頃と17時頃の双方または片方にピークを持つものが大部分であるが、中には06時と18時にピークを持つ例(新

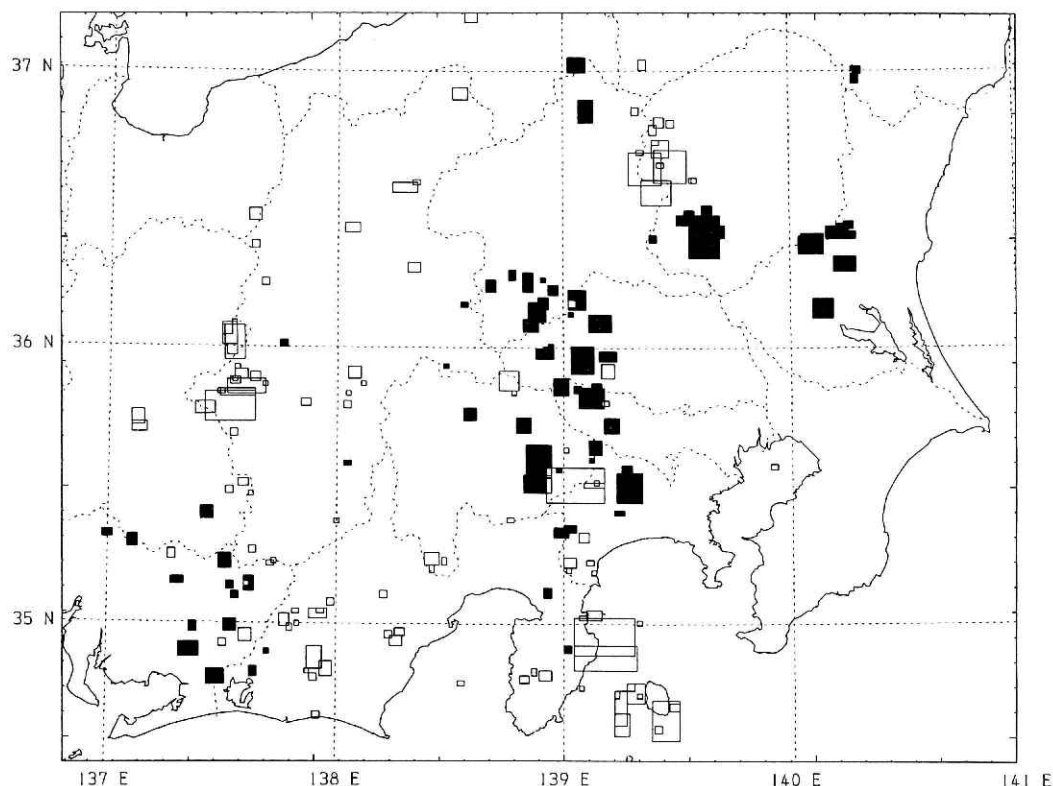


Fig. 6 Fig. 3 で定義されたクラスターのうち、人工震源と認定された81個の領域（黒塗り）および自然地震と判定された112個の領域（白抜き）。

Classification of the earthquake clusters in Fig. 3. 81 clusters (closed rectangles) were identified as artificial ones, while the remaining 112 clusters (open rectangles) were judged as natural ones.

潟・群馬県境のクラスター2番), 10時と12時にピークを持つ例(群馬南部のクラスター50番), 3つのピークを有する例(福島南部のクラスター4番, 茨城西部のクラスター52番, 栃木南部のクラスター28番)などがある。また, 分布のパターンには, 定時性のきわめて高いものと, 適当なばらつきを示すもの, 及びその混合型などのバリエーションがあり, 夕方の発破時刻に顕著な季節変化の見える例(岐阜南部/愛知東部のクラスター120番, 143番)も存在する。

次に, 人工震源の時系列的な変化を見ると, 定常的な採石発破に対応すると思われる継続的なパターンのほか, 過去のある期間だけに集中する一時的なパターンも数多く見られる。これらは, 大規模な土木工事または一時的な採石作業に対応しているものと思われる。たとえば, 新潟・群馬県境のクラスター8番では, 1983年中頃から1987年まで断続的に発破作業がなされ, その後, 1989年から1990年にかけては, 北側のクラスター2番に発破の位置が移ったように見られる。また, 山梨東部のクラスター98番では, 最近になって1993年末頃より新たな発破作業が開始されている。これらは, 産業活動の変化や工事計画の進展に対応したものであろう。

一方, 継続的に採石発破のなされている地域においても, 連続的なパターンを見せて頻繁な作業の実施が伺わ

れる例と, かなりまばらで断続的なパターンを示す例(埼玉西部のクラスター69番など)が見られる。また, 全体として, 1994年から1995年にかけては発破の回数が激減しており, これは産業活動の衰退に対応しているものと想像される。

5. 考察

関東・東海地域において1979年7月から1995年12月までの16.5年間に検知された20km以浅の地震数は, Fig. 1に示した通り, 96,444個を数える。これらの浅発地震は, 前節までに行なった作業の結果に基づいて, (A)人工震源クラスターと認定された81個の領域(Fig. 6の黒塗り部)に含まれるもの, (B)自然地震クラスターと判定された112個の領域(Fig. 6の白抜き部)に含まれるもの, (C)クラスター領域以外で発生しているもの, の3種の地震群に分類することができる。このように分類された各地震群の地震総数と, その各々が浅発地震全体に占める割合は, 以下の通りである。

- (A) BLAST CLUSTER : 20,053 個 (20.8%)
- (B) NATURAL CLUSTER : 53,824 個 (55.8%)
- (C) NON-CLUSTERED : 22,549 個 (23.4%)

Fig. 8は, 上記で(A), (B), (C)に分類した地震群のそれぞれについての震央分布をプロットしたものであり, また,

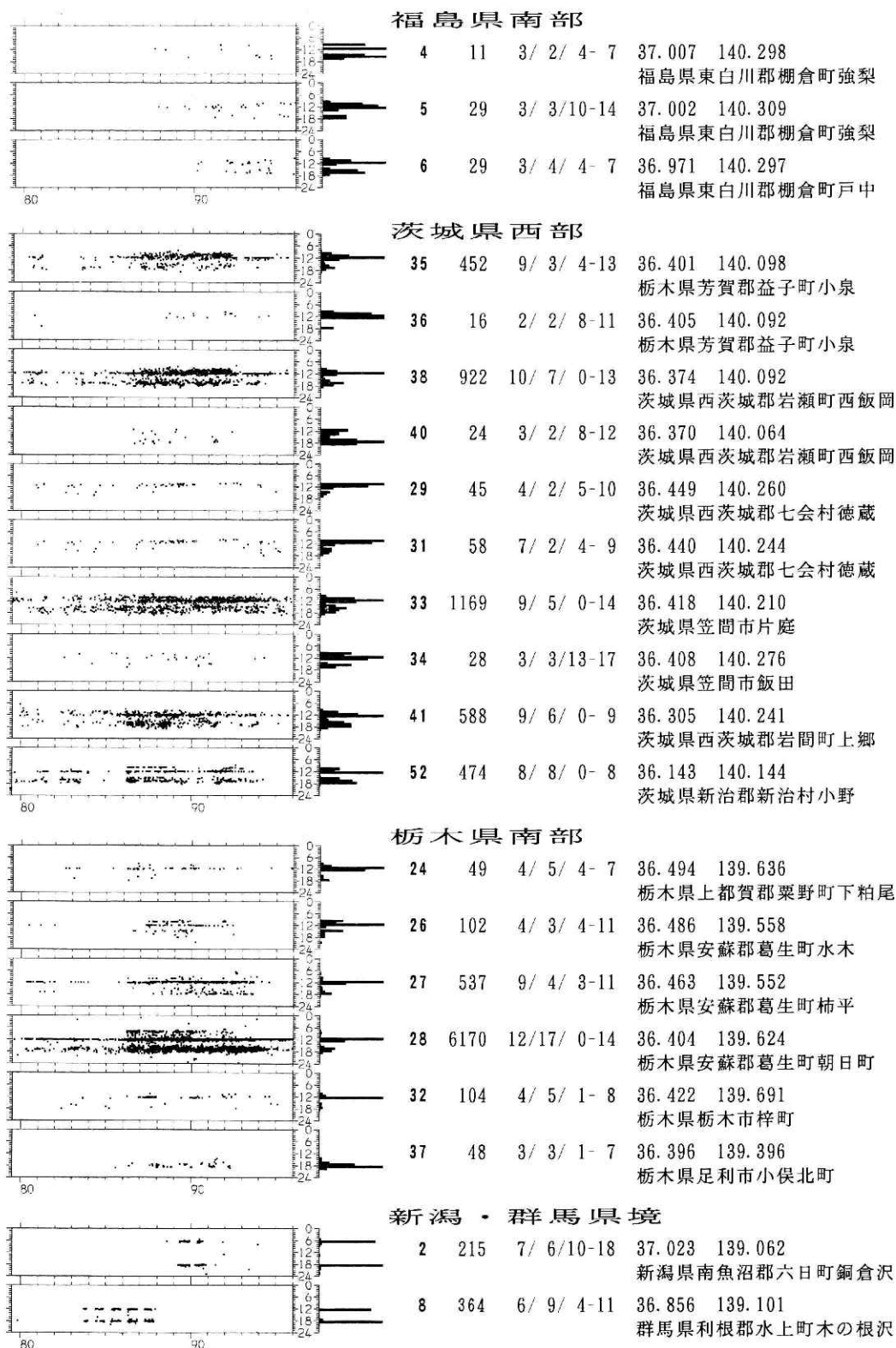


Fig. 7.1 人工震源と認定されたクラスターの番号, 含まれる地震数, クラスターを定義する直方体の東西および南北幅 (km), 深さ範囲 (km), 直方体中心位置の座標と地名, および各クラスターについての規格化された発震時分布ダイアグラム (関東地方北部).

List of artificial earthquake clusters. The cluster number, number of earthquakes contained, EW-width/NS-width/depth range (km) of the rectangular prism, coordinate and location of the center are listed, together with the normalized diagram of occurrence time distribution (northern Kanto area).

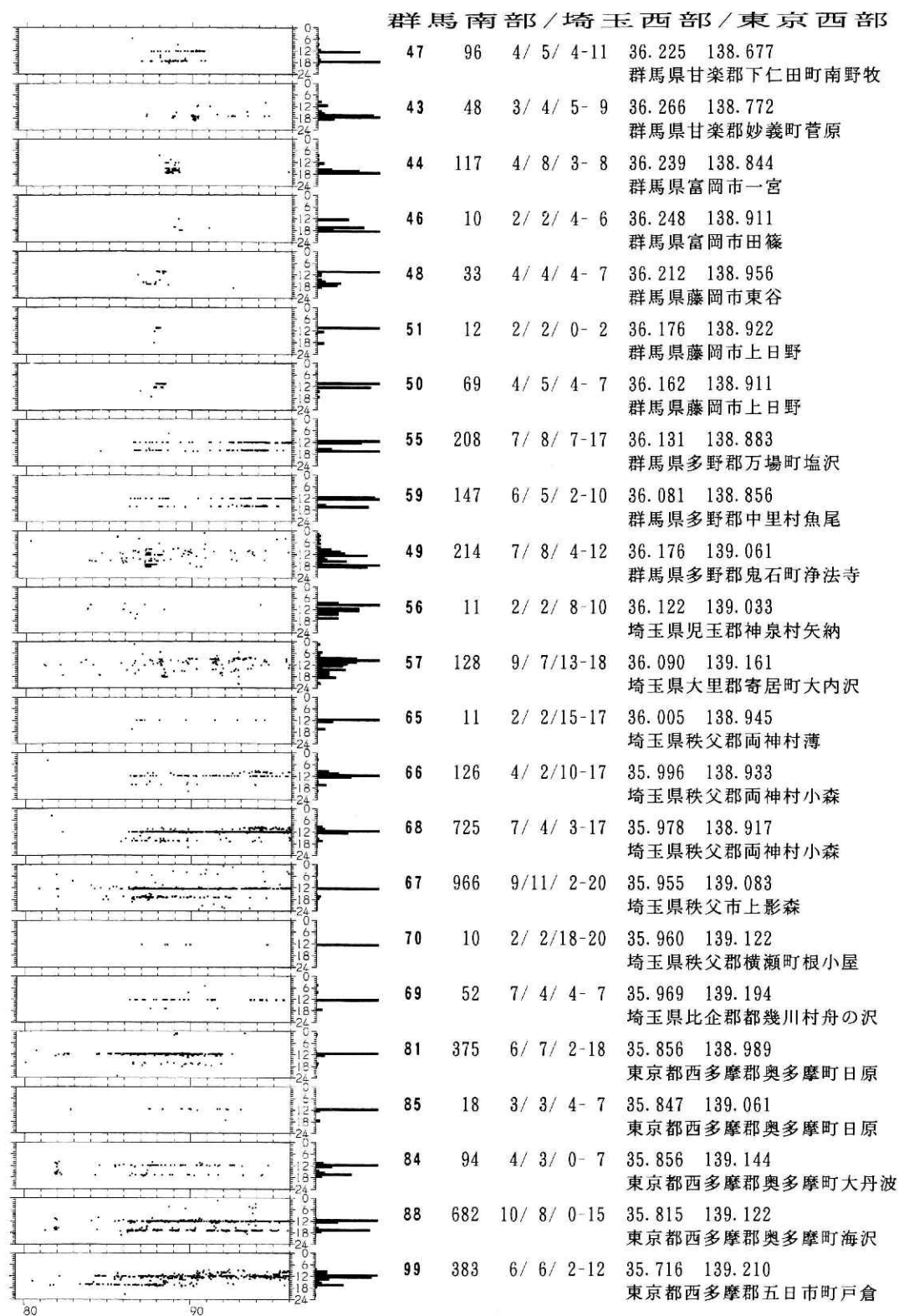


Fig. 7.2 同上 (関東地方西部).

same as above (western Kanto area).

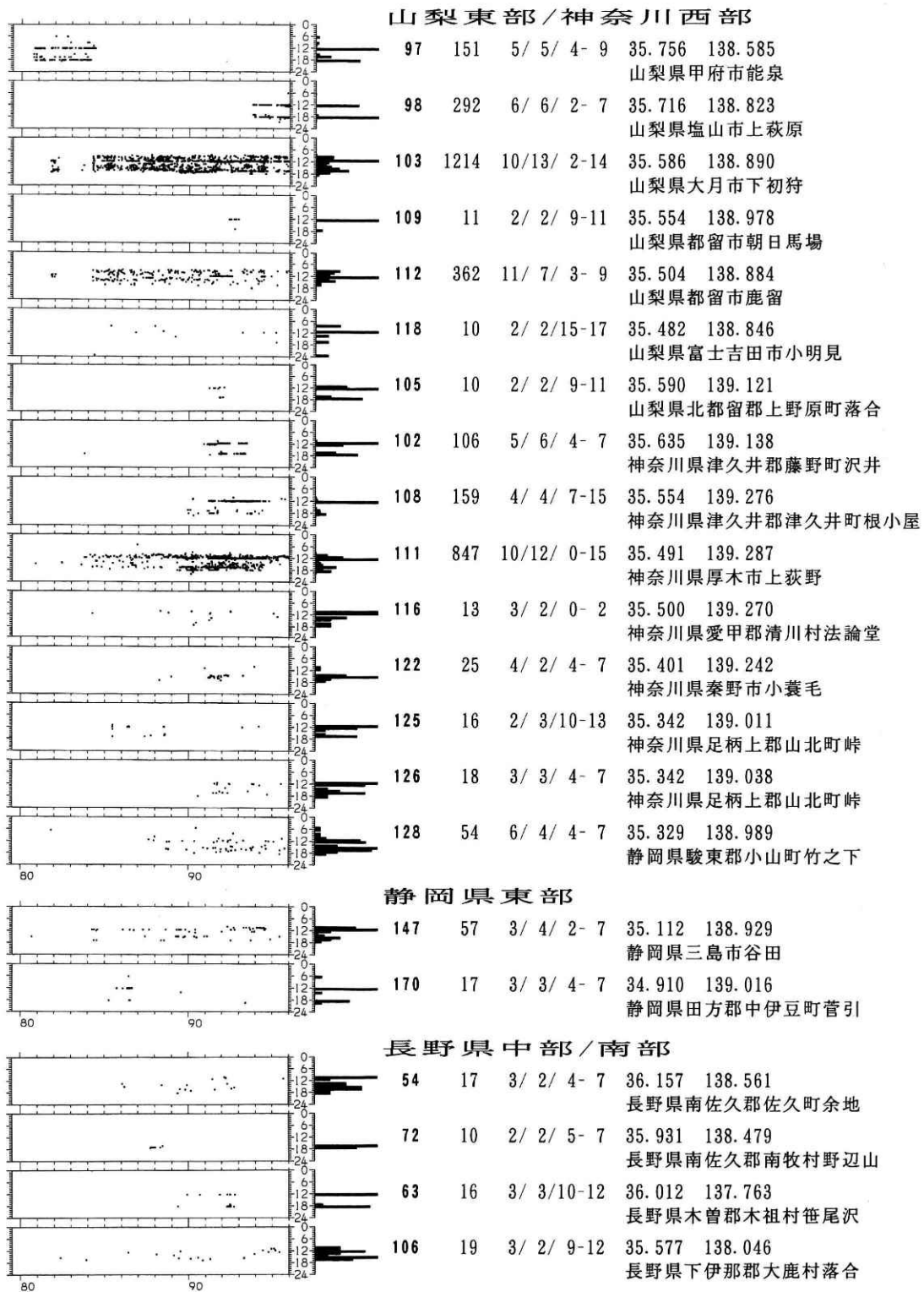


Fig. 7.3 同上 (中部地方).
same as above (Chubu area).

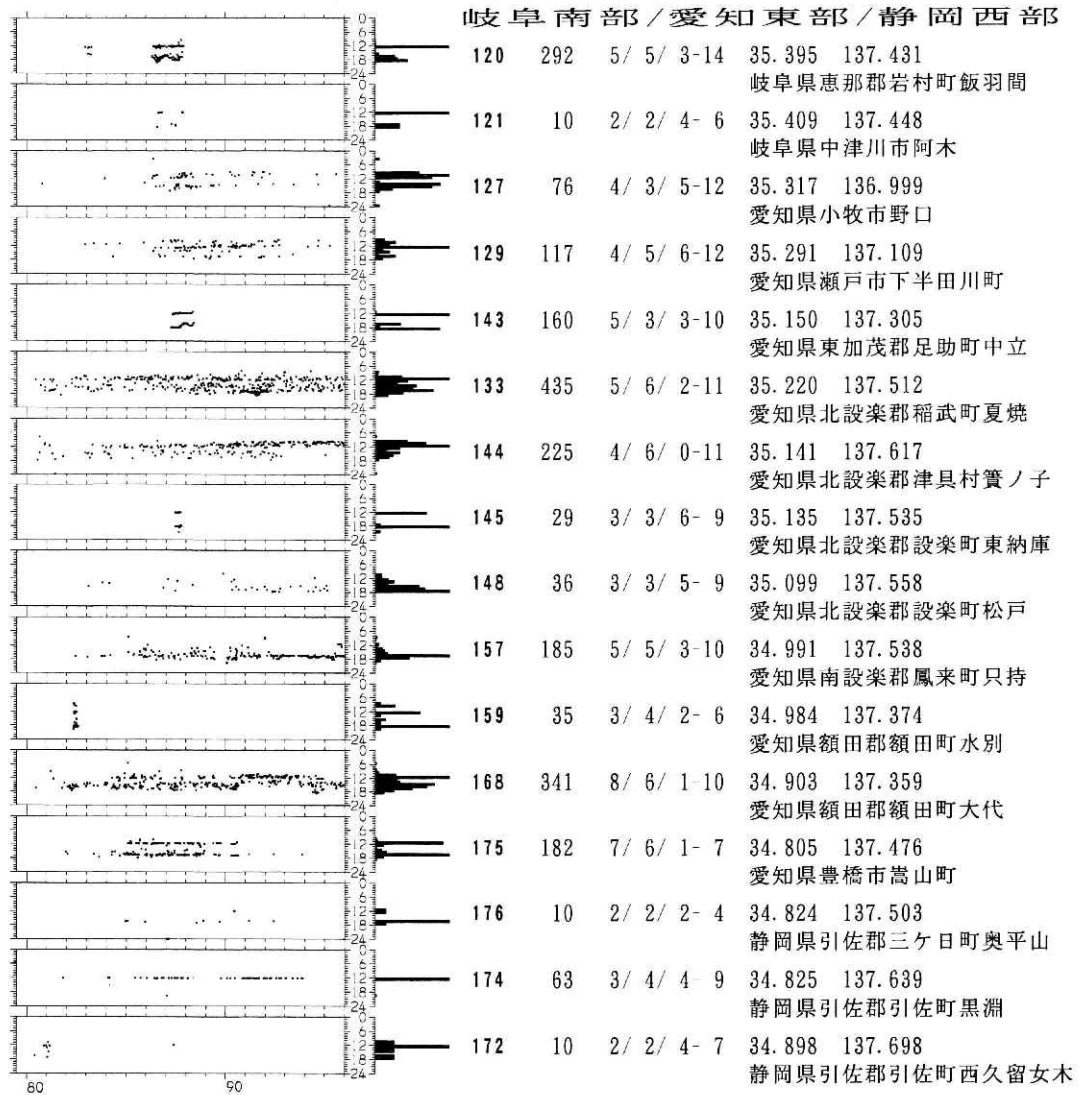


Fig. 7.4 同上 (中京地域).
same as above (Chukyo district).

Fig. 9 は、各地震群に対応する集成された発震時分布ダイヤグラムを示す。同図の日別地震回数の時系列を見ると、1986年4月頃から地震回数がステップ的に増加しているが、これは、この時期に定常処理のための新しい道具として「地震前兆解析システム」が導入され、ルーチン処理の能力が飛躍的に増大したためである(松村ほか, 1988)。このように、時系列上で地震発生回数の変化を議論する場合には、観測網および観測システムの変遷を注意深く考慮せねばならない。因みに、1978~1983年は「関東・東海地域地殻活動観測網」の建設がなされ、検知能力が年々高まっていった時期にあたる。また、1992~1996年は、首都圏周辺で「広域深部地殻活動観測網」の建設が進められ、関東地方の地震検知能力の増強が図られている。

Fig. 10 は、上記の地震群(A), (B), (C)のそれぞれに対する M-T 図を示したものであり、ここでも、地震検知能

力の経年的な変化が読み取られる。また、Fig. 11 は、M に対する積算地震回数の分布を、各地震群について比較したものである。以上の Fig. 8~Fig. 11 に基づき、ここで分類された3つの地震群のそれぞれに関する特徴を、以下に述べる。

(A) BLAST CLUSTER (人工震源クラスター)

関東・東海地域で検知される浅発地震の約20%がこの地震群に属しており、平均すると、毎日数個の人工震源がキャッチされていることになる。これらは、主として東京や名古屋といった大都市の周辺に点在し、もっとも大規模なものは栃木県南部のクラスター28番(地震数6,170)である。当然のことながら、地震の発生は昼間に集中し、06時~19時の間にその大部分が含まれる。1日のうちの発生時刻の分布は、11時台と16時台に2つのピークを有する双峰型を示すが、これは、昼休みと終業前の、いわゆる“上がり発破”に対応するものである。

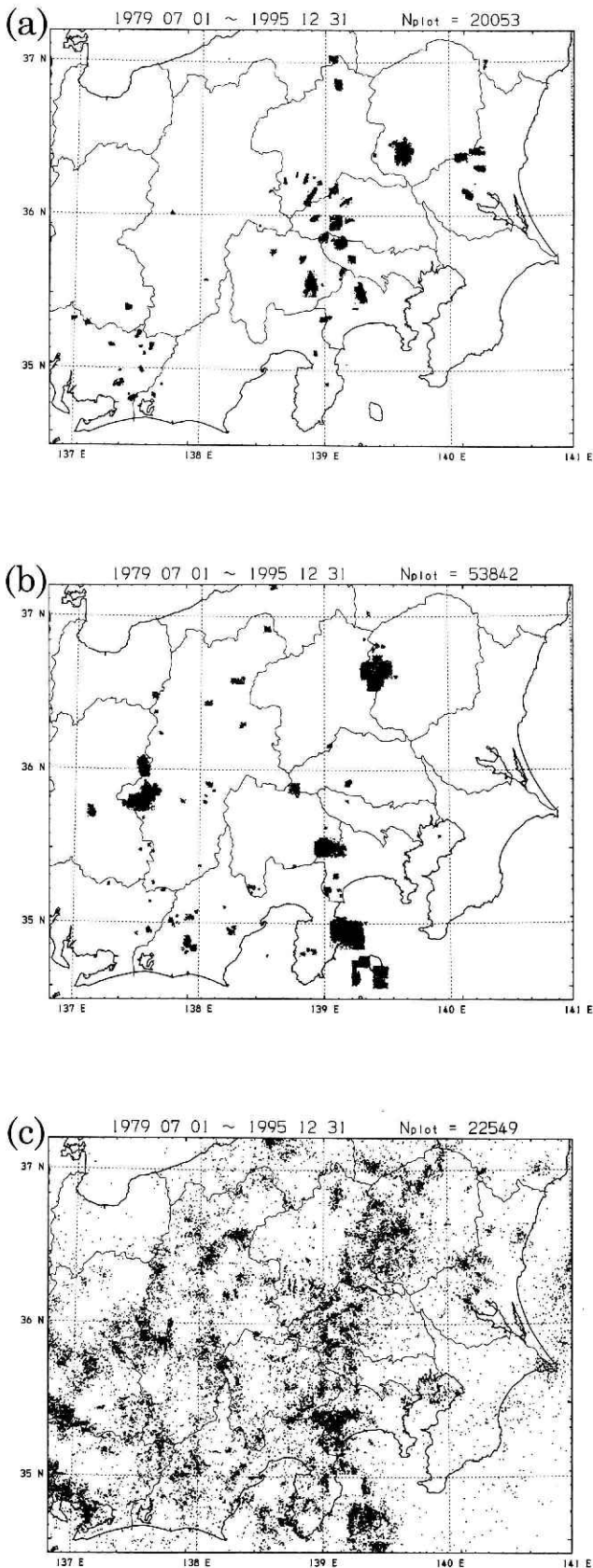


Fig. 8 (a)人工震源クラスター, (b)自然地震クラスター, (c)非クラスター地震の震央分布.

Epicentral distributions for (a) blast clusters, (b) natural clusters, and (c) non-clustered earthquakes.

なお、この時間帯を外れる夜間(19時～06時)にも119個の地震が登録されている。地震群(A)全体の約0.6%にあたるが、これらは、たまたま同一領域内で発生した自然地震が混入したものであろう。同様の混入例は昼間にも存在すると思われるが、これらを識別することは非常に困難である。

Fig. 10(a)に見られる通り、地震の大きさは通常M2程度どまりであるが、M2.5を超えるものも9例含まれている。これらを大きい順に並べると以下になるが、これらのうち、少なくとも上位5例は、その発生時刻とMの大きさから見て、自然地震であると思われる。なお、下記リストで発震時の後の括弧内に挙げた数字は、所属するクラスターの番号を表わしている。

1993 / 12 / 8	03 : 06 (88)	H 12.2	M 3.2
1988 / 3 / 24	10 : 19 (57)	H 13.5	M 3.1
1985 / 7 / 2	02 : 54 (49)	H 10.3	M 2.9
1995 / 2 / 11	04 : 24 (49)	H 11.8	M 2.8
1988 / 1 / 2	08 : 22 (44)	H 7.2	M 2.7
1983 / 12 / 14	12 : 00 (28)	H 3.8	M 2.6
1983 / 12 / 19	11 : 59 (28)	H 5.0	M 2.5
1984 / 7 / 21	12 : 13 (8)	H 5.0	M 2.5
1991 / 6 / 13	15 : 30 (157)	H 4.5	M 2.5

Fig. 11のM-積算地震回数分布には、際立った特徴が見られる。地震群(B), (C)に対するb値はほぼ1なのに対し、地震群(A)のb値はほぼ2となり、小さな地震の割合が異常に多いことを示している。なお、同図でM2.5を超えるあたりから分布が異質になるように見えるのは、上にリストアップしたとおり、自然地震が混入しているためであろう。

Fig. 9(a)の日別地震回数図を仔細に眺めると、年の代り目では地震回数に鋭い谷が認められるが、これは正月の作業休みに対応しているものと思われる。また、全体としての地震回数は、年周期的な変動を重ねさせつつ、長期的なトレンド変化を見せているが、とくに、最近になって1993年頃からの回数の落ち込みは顕著である。Fig. 12は、この地震群(A)に含まれる地震の月別回数の変化を、コンポジット・インデックスの一致指数と呼ばれる、我が国の景気動向指標(経済企画庁調査局, 1996)と比較したものであるが、地震回数の長期的トレンドは、おおむねこのような経済動向と連動しているように見られる。

(B) NATURAL CLUSTER (自然地震クラスター)

浅発地震全体の約56%はこの地震群に属し、主として、火山フロントに沿った地域、およびその約150 km 背弧側に寄った帯状の地域に点在して分布している。この16.5年間における地震数が2,000を超えるものとしては、伊豆半島東方沖のクラスター158番(地震数30,036), 171番(地震数3,821), 長野県西部のクラスター89番(地震数8,163), 87番(地震数2,437), 80番(地震数2,143), 及び足尾地域の17番(地震数2,854), 16番(地震数2,098)の7領域が挙げられる。ただし、これらのクラスターは、同一地域内において領域のオーバーラップがある。

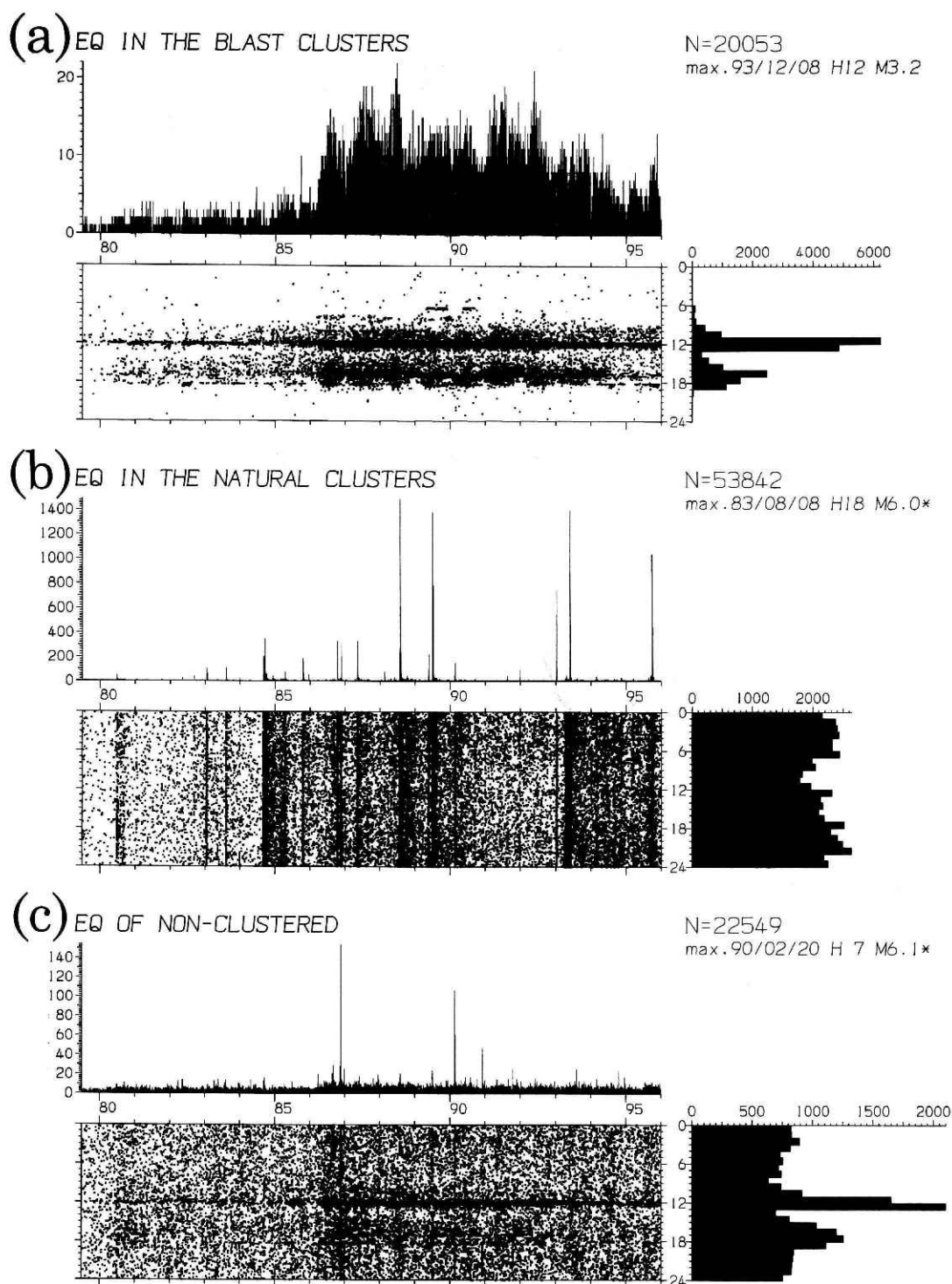


Fig. 9 (a)人工震源クラスター, (b)自然地震クラスター, (c)非クラスター地震の発震時分布ダイアグラム, 日別地震回数, および1日のうちの発生時刻による時間別頻度分布. 1986年4月からの地震数急増はデータ処理システムの更新による. 最大地震の振幅が飽和している場合には, M の下限値が*印と共に示されている.

Diagrams showing occurrence time distributions for (a) blast clusters, (b) natural clusters, and (c) non-clustered earthquakes, corresponding to Fig. 8. Daily earthquake numbers and hourly frequency of the occurrence times within a day are also plotted. Increase of registered events in Apr. 1986 is due to the updating of the routine data processing system. The lower limit of magnitude is listed with *, if the amplitude of maximum event is saturated.

1986 is due to the updating of the routine data processing system. The lower limit of magnitude is listed with *, if the amplitude of the largest event is saturated.

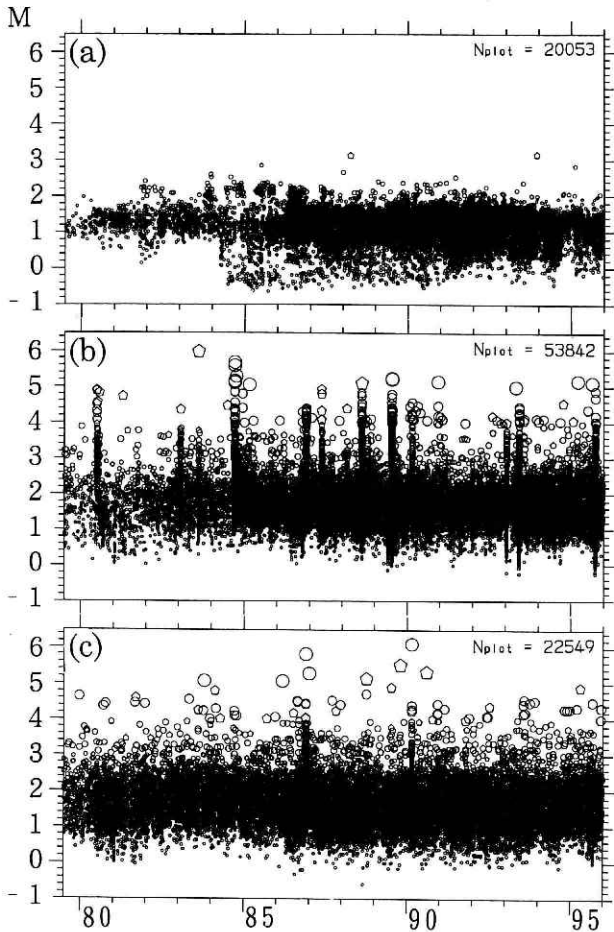


Fig. 10 (a)人工震源クラスター、(b)自然地震クラスター、
(c)非クラスター地震の M-T 図。

M-T plots for (a) blast clusters, (b) natural clusters, and (c) non-clustered earthquakes corresponding to Fig. 8.

Fig. 9 (b)の日別地震回数の時系列に見られるいくつかの鋭いピークは、そのほとんどが伊豆半島東方沖の群発地震活動に対応しているが、その他に1983年8月山梨県東部地震、1984年9月長野県西部地震、1986年11月伊豆大島噴火、1990年2月伊豆大島近海地震などのイベントも含まれている。また、1日のうちの発生時刻による時間毎の地震数の集計を見ると、昼間に地震数がやや落ち込み、夜間に増える傾向が伺われる。これは、1日のうちで地動のノイズレベルが変動しているために、地震の検知能力が日変化を行なっていることの反映と思われる。

(C) NON-CLUSTERED (非クラスター地震)

ここに分類されるのは、クラスターをなさない地震群であるが、その数は浅発地震全体の20%程度でしかない。これらは、本来、クラスター的でないランダムな空間分布を示すことが期待されるが、Fig. 8 (c)の震央分布を見ると、クラスター的な性格がまだかなり残存しているように認められる。実際、この傾向はFig. 9 (c)にはっきりと現われており、発震時分布ダイアグラムでは、人工震源クラスターに特有な“横長”の筋状パターンと、

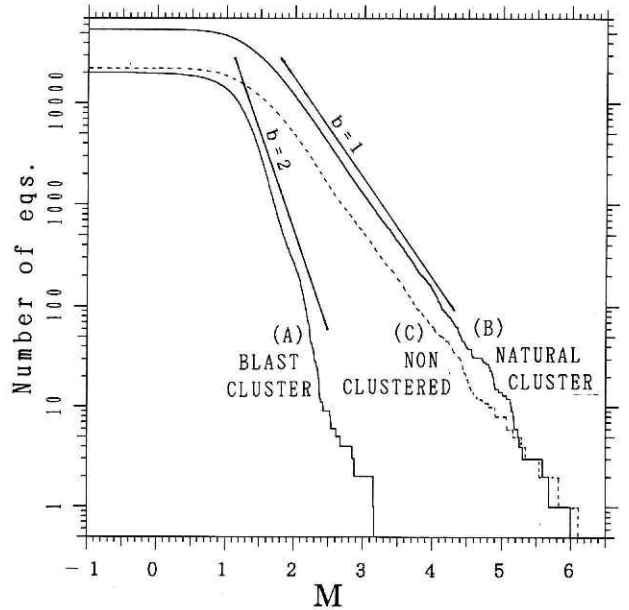


Fig. 11 (a)人工震源クラスター、(b)自然地震クラスター、
(c)非クラスター地震の M-積算地震回数分布。

Distribution of magnitude-cumulative frequencies for (a) blast clusters, (b) natural clusters, and (c) non-clustered earthquakes corresponding to Fig. 8.

自然地震クラスターに特有な“縦長”の筋状パターンとが、まだ明瞭に残されている。1日のうちの発生時刻分布には、地震群(A)と同様の双峰型のパターンが重畳して見られ、人工震源のうちの概ね2~3割はこの地震群(C)の中に混入しているものと思われる。これは、そもそも地震クラスターを構成する要素として、地震数10個以上を含む2 km立方ブロックを採用したことに原因があり、人工震源の周縁部にあって、地震数が9個以下のブロックは切り捨てられたために生じた現象であろう。これらを含めると、全体に占める人工震源の割合は約25%に達し、関東・東海地域で検知される浅発地震の1/4が人工的なものであるということになる。なお、伊豆半島東方沖の群発地震は総数30,000個を超える異常な活動であるため、これを別格として除外すれば、人工震源の割合は観測される浅発地震全体の40%近くを占めることになる。

一方、日別地震回数の時系列には、1986年11月と1990年2月に2つの大きなピークが残されているが、これらは、いずれも伊豆大島近海に発生した自然地震群の一部である。震源域が地震観測網の端に位置するため震源決定精度が十分でなく、震源位置がバラけてしまったために、クラスターの周辺で地震数が10個に満たない2 km立方ブロックが多数取り残されたものと想像される。同様の事例は、Fig. 8 (b)と(c)の震央分布を見比べると、いたるところに散見される。たとえば、伊豆半島東方沖のクラスターが四角に切り取られたあとの東の縁などは、典型的な例であろう。このような地震群をうまく分離し

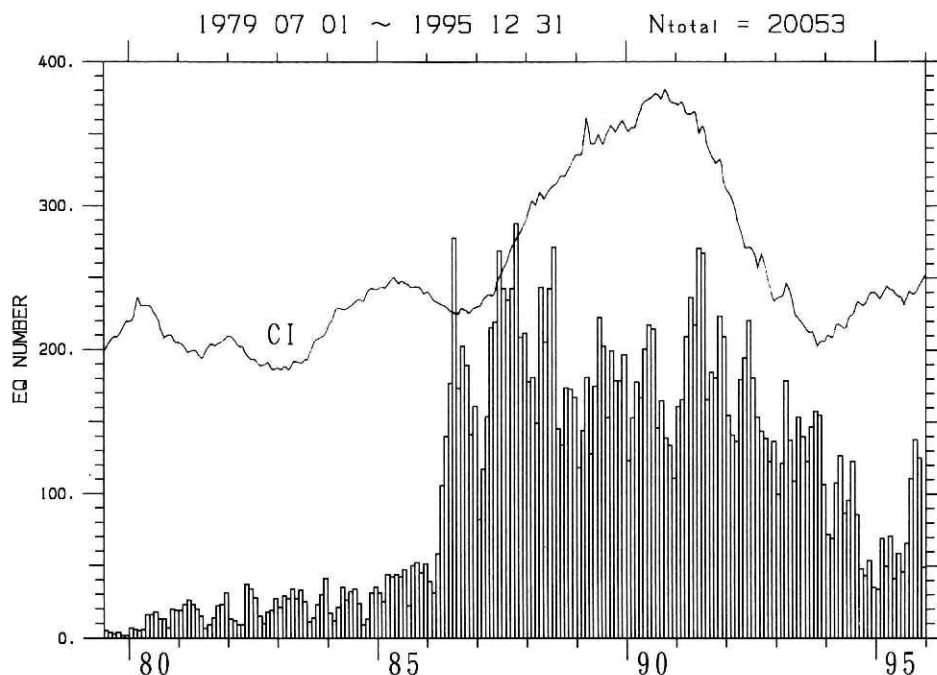


Fig. 12 人工震源クラスターに含まれる地震の月別回数の変化と我が国の経済指標（CI：コンポジット・インデックス）の動きとの比較。

The change in monthly earthquake numbers for the blast clusters in Fig. 8 (a), compared with the economic composite index (CI) of Japan.

て、純粹に非クラスターの地震だけを取り出すためには、もう一段の工夫が必要である。

6. 今後の問題点

本論では、人工震源を弁別するにあたって、震源がクラスターをなしており、かつ個々の地震の発生時刻が昼間の特定時間帯に集中する特徴を利用した。したがって、人工震源のうちでも、クラスターをなさなかったり、夜間に実施されたものについては、弁別から洩れることになる。産業発破では夜間の実施はまず行なわれないであろうが、構造探査用の発破は深夜になされる場合が普通であり、たとえば、夢の島や伊豆大島での定点発破はよく知られている。これらについては、少数であっても丹念に情報を集め、手作業でも震源ファイルに指標付けを行なってゆかねばならない。

Fig. 7 では、人工震源と認定されたクラスターのサイズと深さ範囲をリストアップしたが、発震時刻の分布からは明らかに人工震源であると思われるにも拘らず、震源の深さの上限や下限が 10 km を超えているような例が少なからず見受けられる。最も極端な例は埼玉西部のクラスター 70 番で、深さ 18~20 km の 2 km 四方内に 10 個の震源が決められている。発破であるからには、当然、震源位置は地表付近にあるべきだが、必ずしもそうはなっておらず、震源決定の問題が浮かび上がる。本報告では、防災科学技術研究所のルーチン震源カタログを使用した。より精密な議論を行なうためには、震源の再決定作業を行なって、震源決定精度とくに深さの精度

を高める必要があろう。しかし、一般的に言って、ごく浅い地震の震源の深さを精密に決定するためには、震源の深さと同程度の観測点間隔を持った、ごく稠密な地震観測網が必要であり、また、地殻浅部の詳細な地震波速度構造を知る必要がある。震源再決定作業を行なったとしても、深さをゼロに収束させることは、簡単には期待できない。

ここで弁別された人工震源域は、あくまで地震カタログの上から見出されたものであり、その意味では机上の推定でしかない。最終的には、現地における採石発破地点の確認や、作業履歴の調査などが必要であらう。

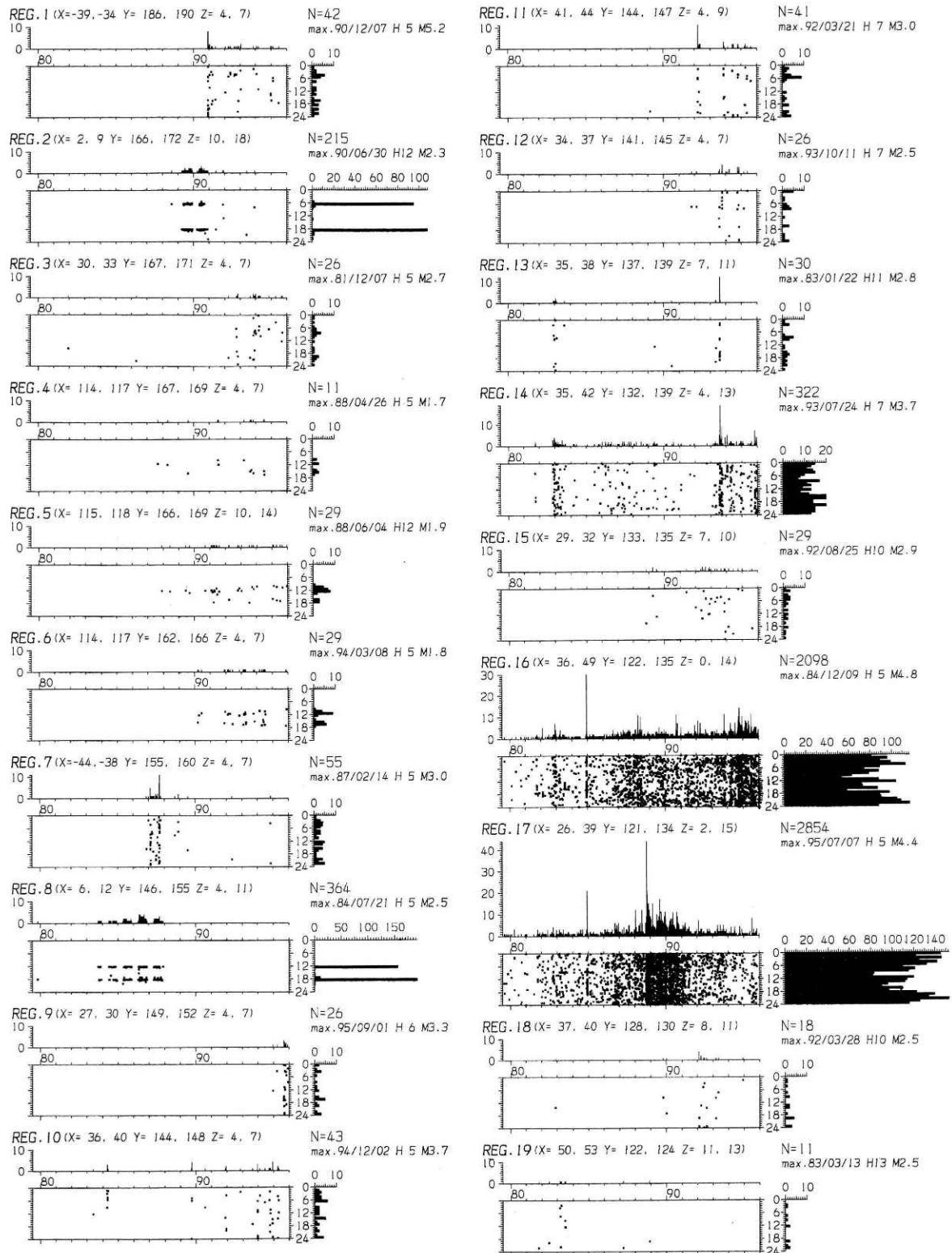


Fig. 13.1 Fig. 3 で抽出された地震クラスターのすべてに対する発震時分布ダイアグラム (クラスター1番～19番).

Diagrams showing occurrence time distributions for all the clusters in Fig. 3 (Cluster #1-#19).

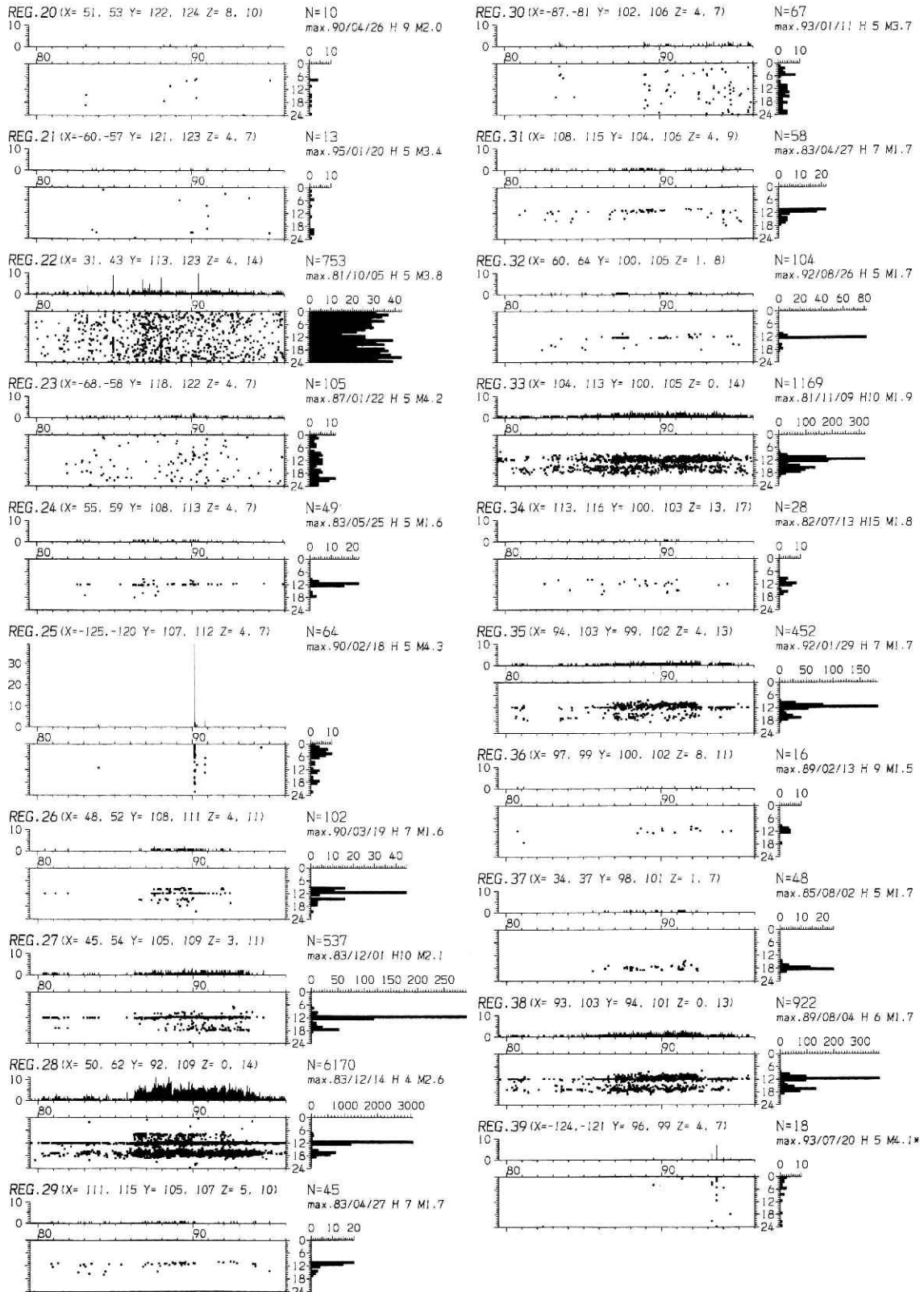


Fig. 13.2 Fig. 3 で抽出された地震クラスターのすべてに対する発震時分布ダイアグラム
(クラスター20番～39番)。最大地震の振幅が飽和している場合には、M の下限値が*印と
共に示されている。

Diagrams showing occurrence time distributions for all the clusters in Fig. 3 (Cluster # 20 - # 39).
The lower limit of magnitude is listed with *, if the amplitude of maximum event is saturated.

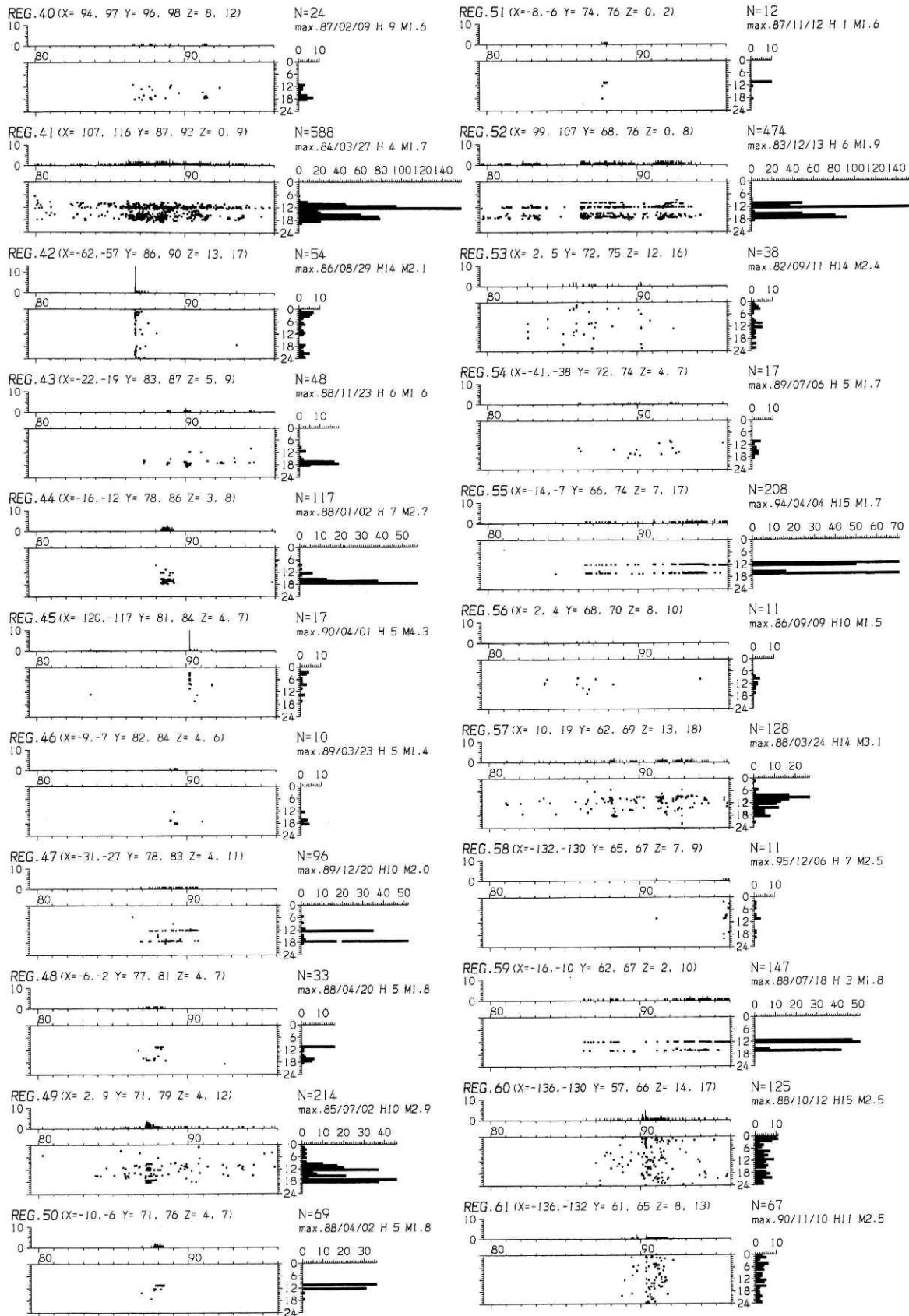


Fig. 13.3 Fig. 3 で抽出された地震クラスターのすべてに対する発震時分布ダイアグラム (クラスター40番～61番).

Diagrams showing occurrence time distributions for all the clusters in Fig. 3 (Cluster # 40-# 61).

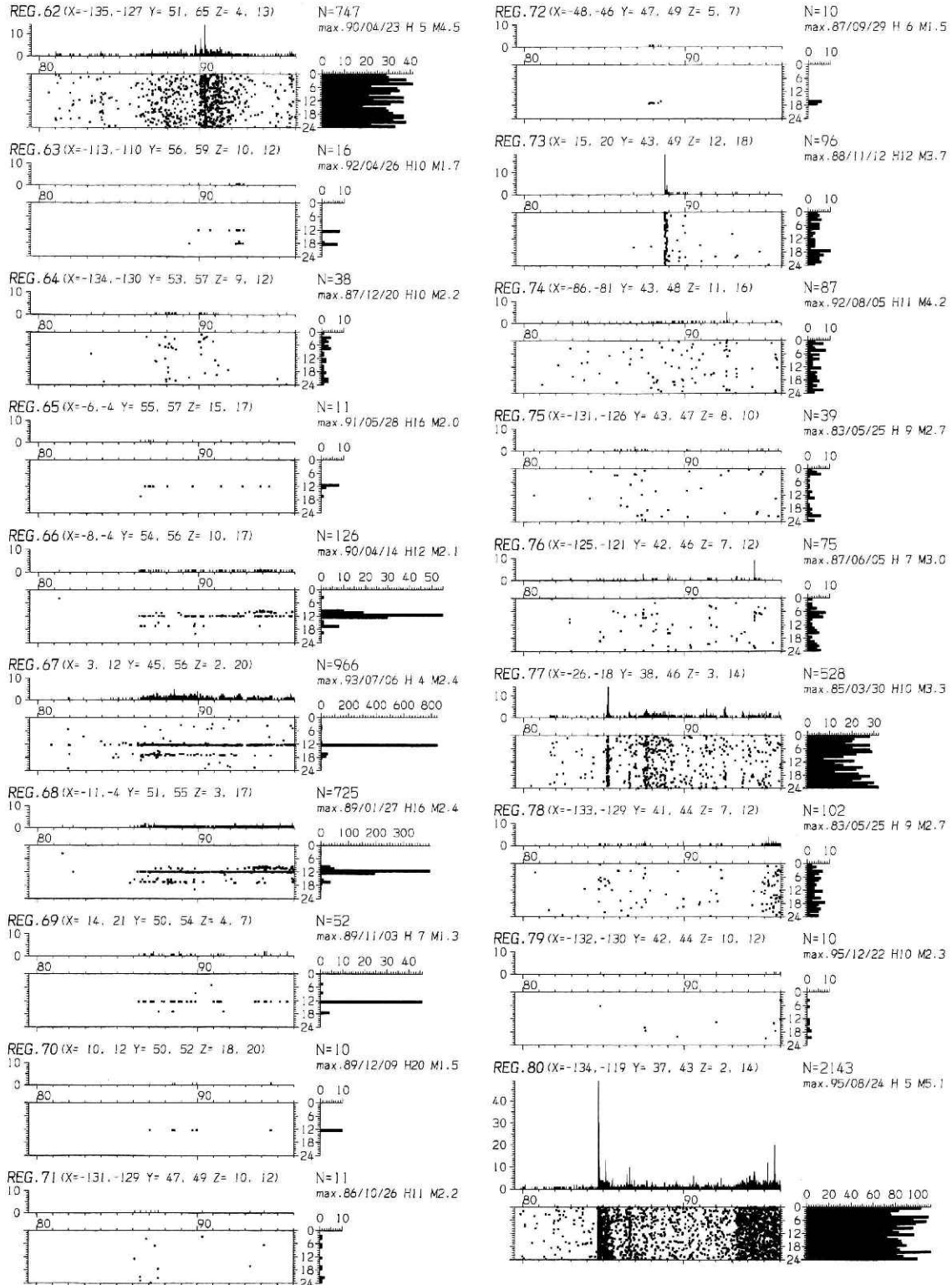


Fig. 13.4 Fig. 3 で抽出された地震クラスターのすべてに対する発震時分布ダイアグラム (クラスター62番～80番)。

Diagrams showing occurrence time distributions for all the clusters in Fig. 3 (Cluster #62-#80).

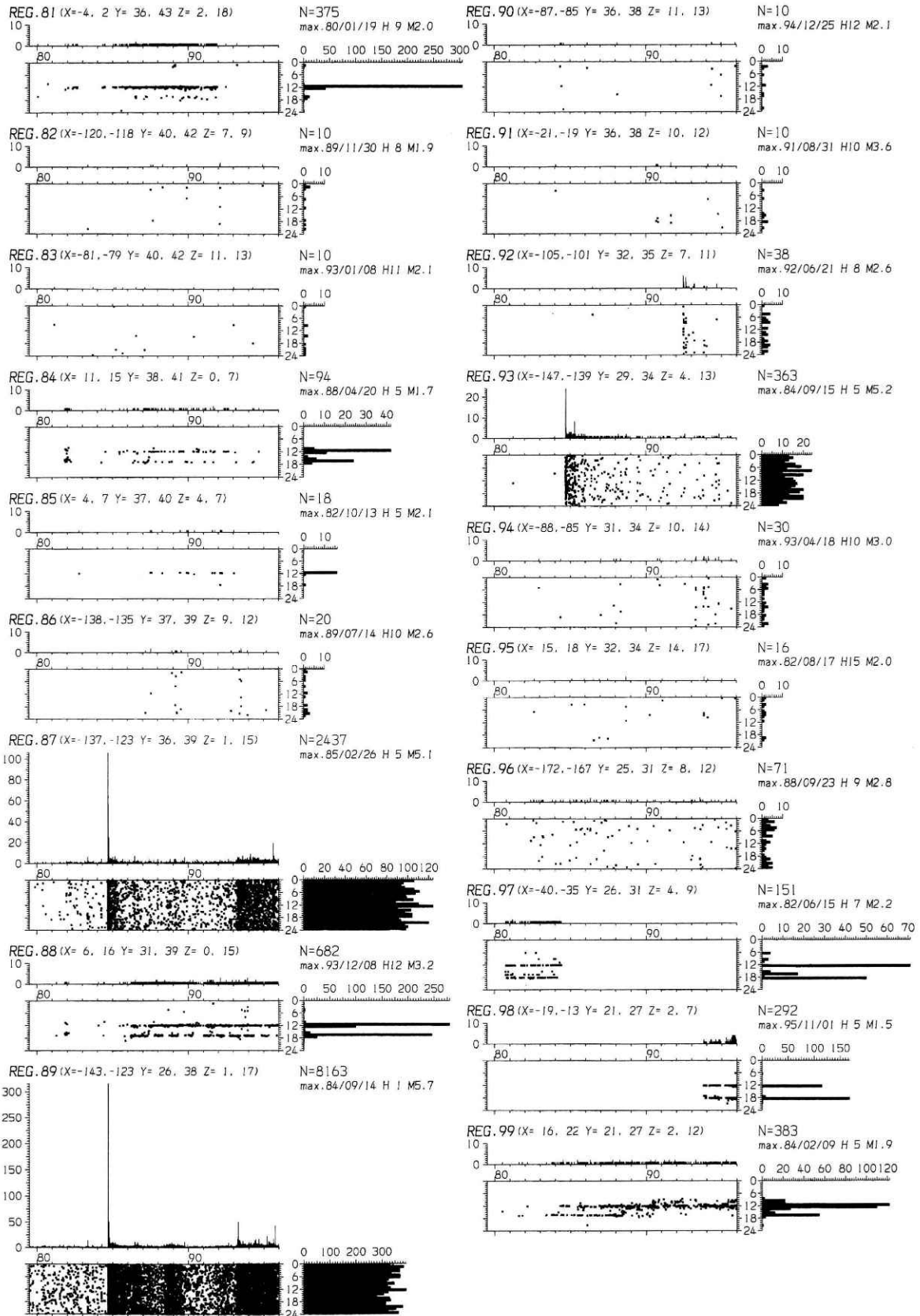


Fig. 13.5 Fig. 3 で抽出された地震クラスターのすべてに対する発震時分布ダイアグラム (クラスター81番~99番).

Diagrams showing occurrence time distributions for all the clusters in Fig. 3 (Cluster # 81-# 99).

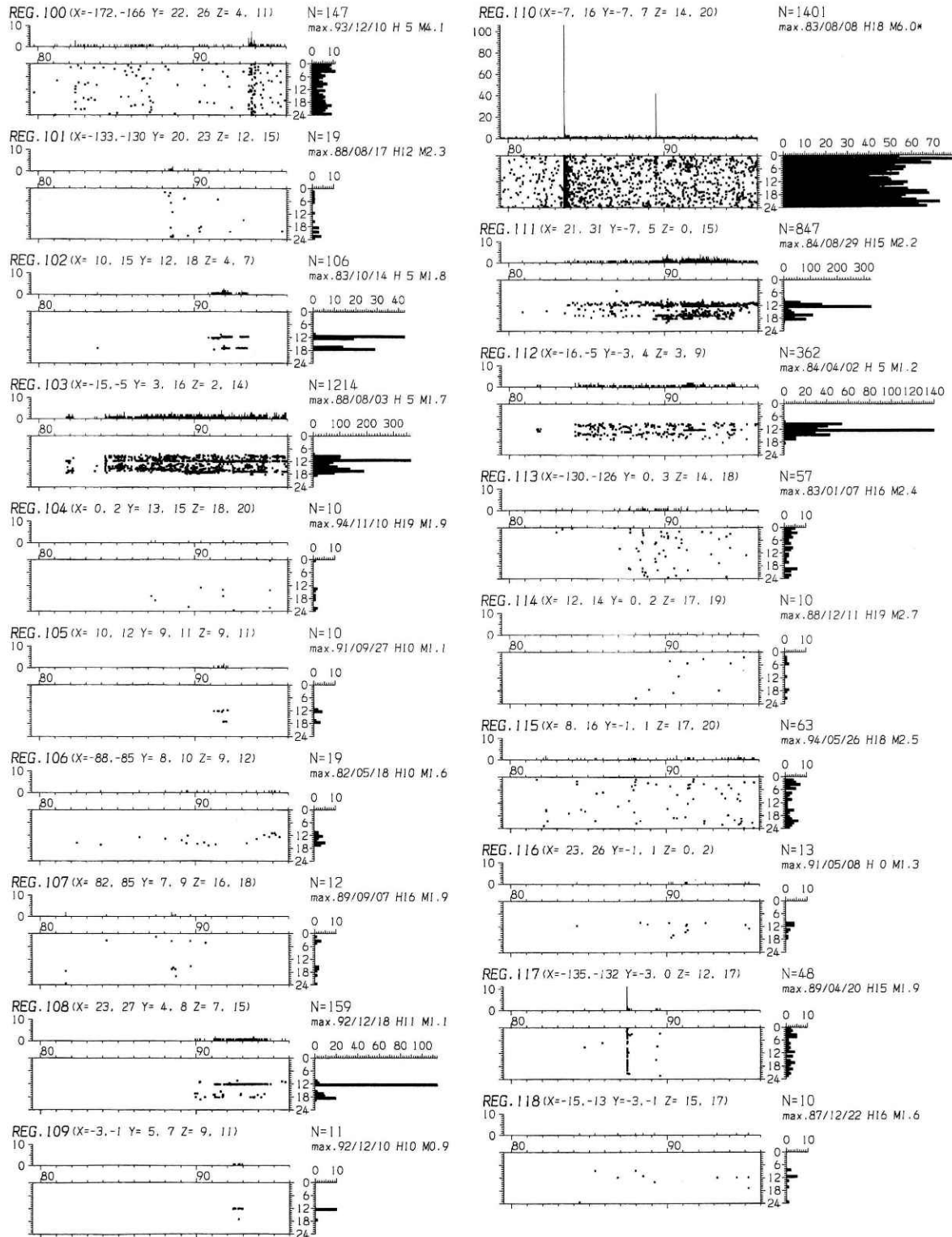


Fig. 13.6 Fig. 3 で抽出された地震クラスターのすべてに対する発震時分布ダイアグラム (クラスター100番~118番)。最大地震の振幅が飽和している場合には、M の下限値が*印と共に示されている。

Diagrams showing occurrence time distributions for all the clusters in Fig. 3 (Cluster # 100-# 118). The lower limit of magnitude is listed with *, if the amplitude of maximum event is saturated.

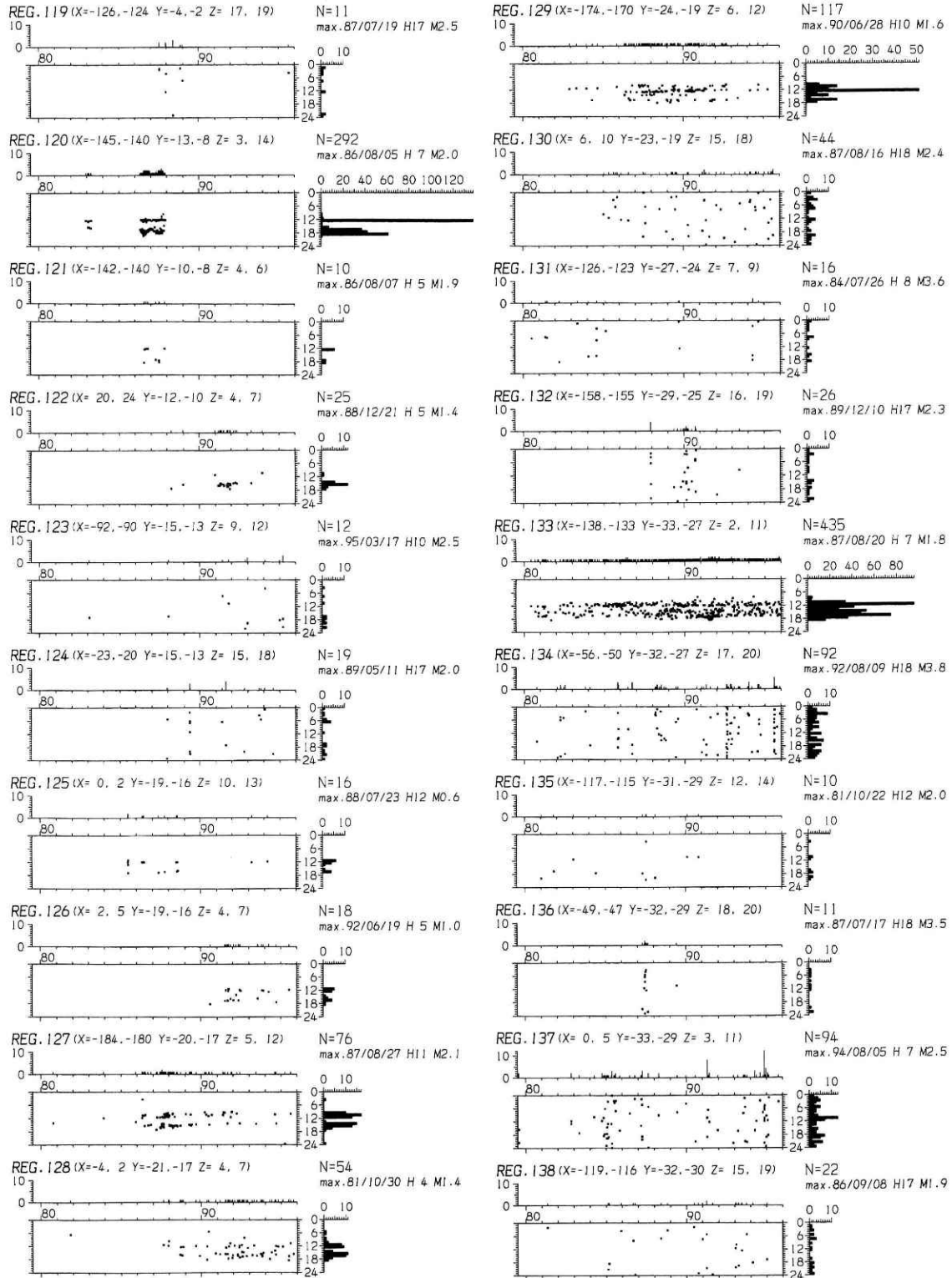


Fig. 13.7 Fig. 3 で抽出された地震クラスターのすべてに対する発震時分布ダイアグラム (クラスター119番～138番).

Diagrams showing occurrence time distributions for all the clusters in Fig. 3 (Cluster # 119-# 138).

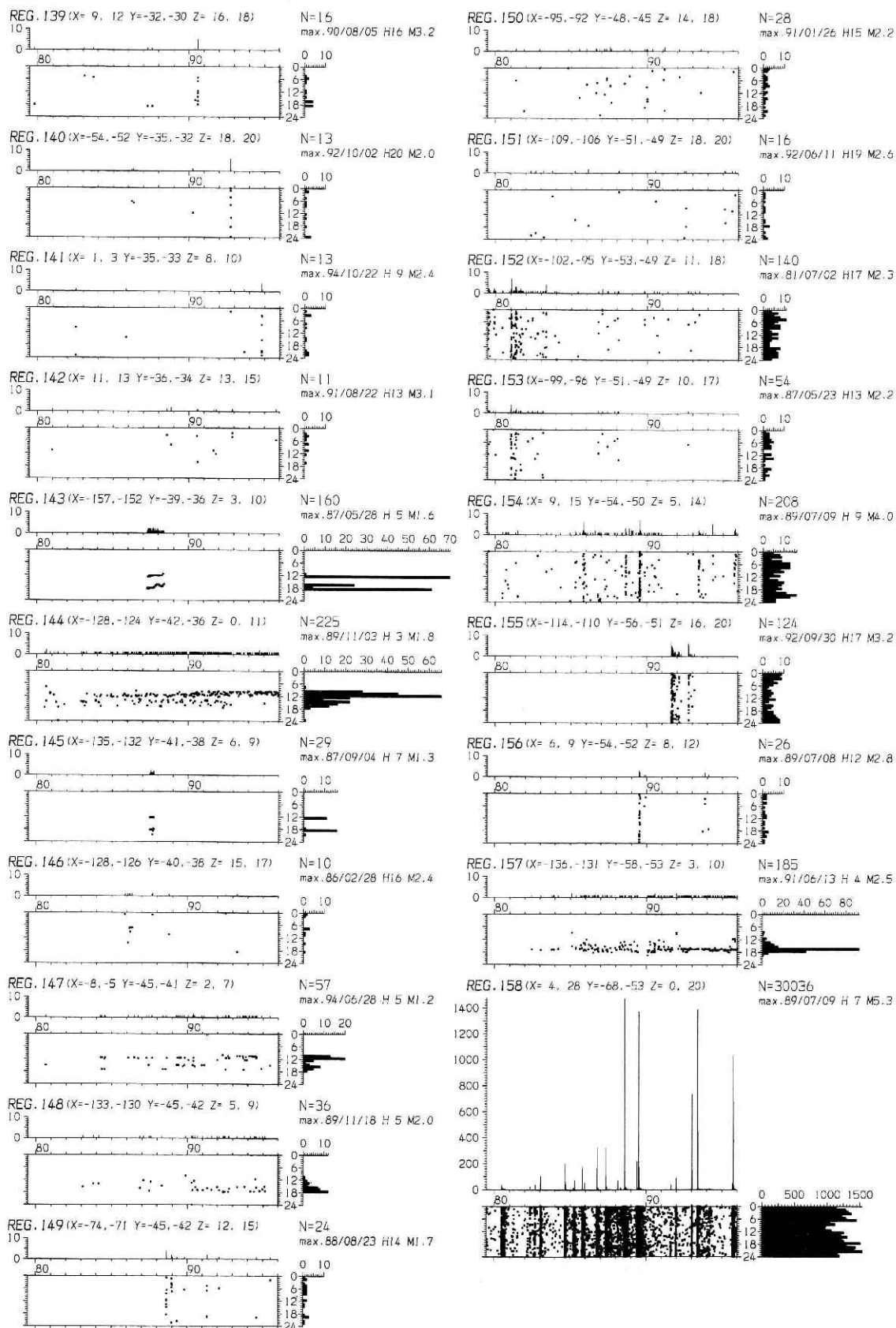


Fig. 13.8 Fig. 3 で抽出された地震クラスターのすべてに対する発震時分布ダイアグラム (クラスター139番～158番).

Diagrams showing occurrence time distributions for all the clusters in Fig. 3 (Cluster # 139-# 158).

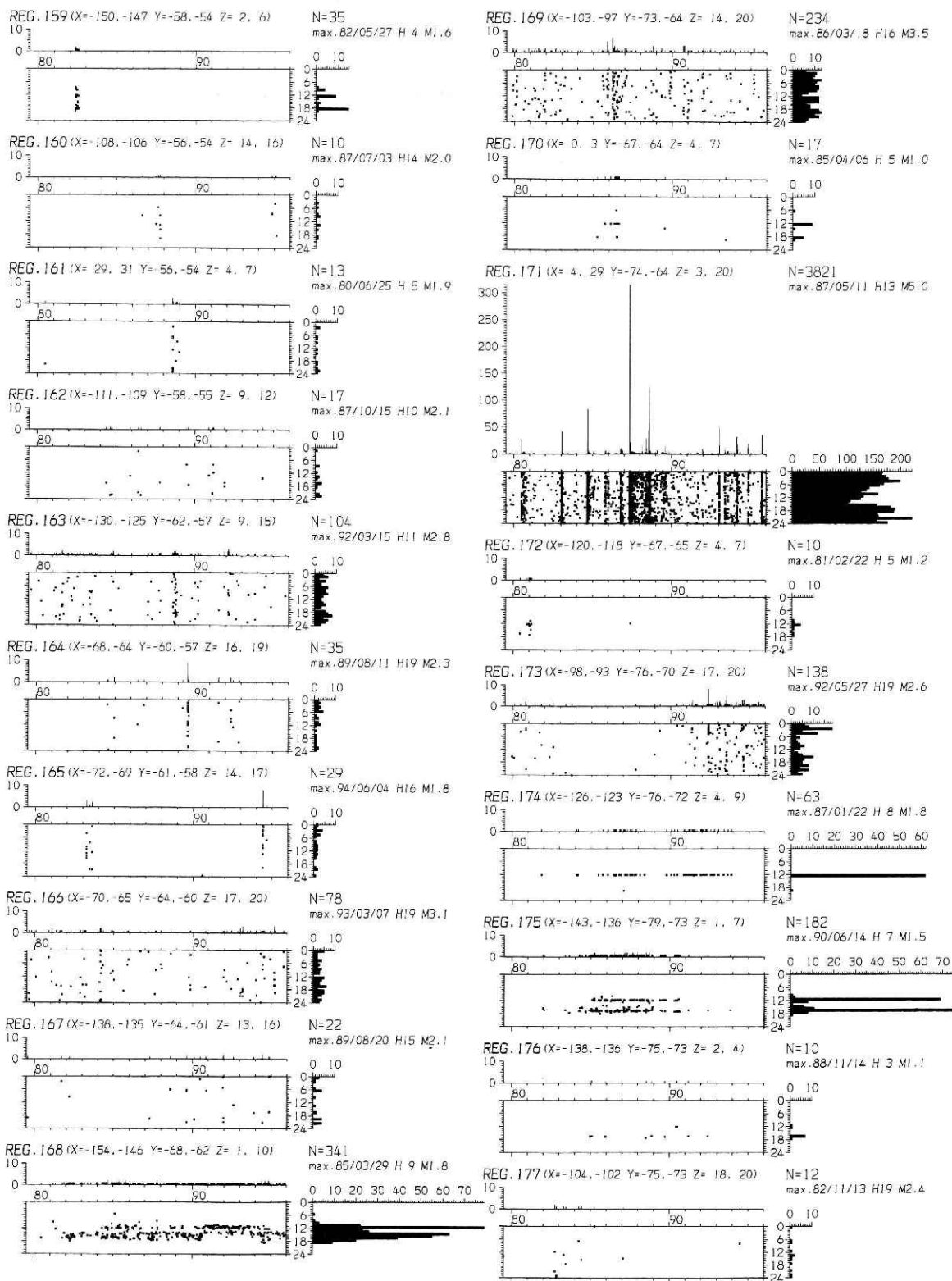


Fig. 13.9 Fig. 3 で抽出された地震クラスターのすべてに対する発震時分布ダイアグラム (クラスター159番~177番).

Diagrams showing occurrence time distributions for all the clusters in Fig. 3 (Cluster # 159-# 177).

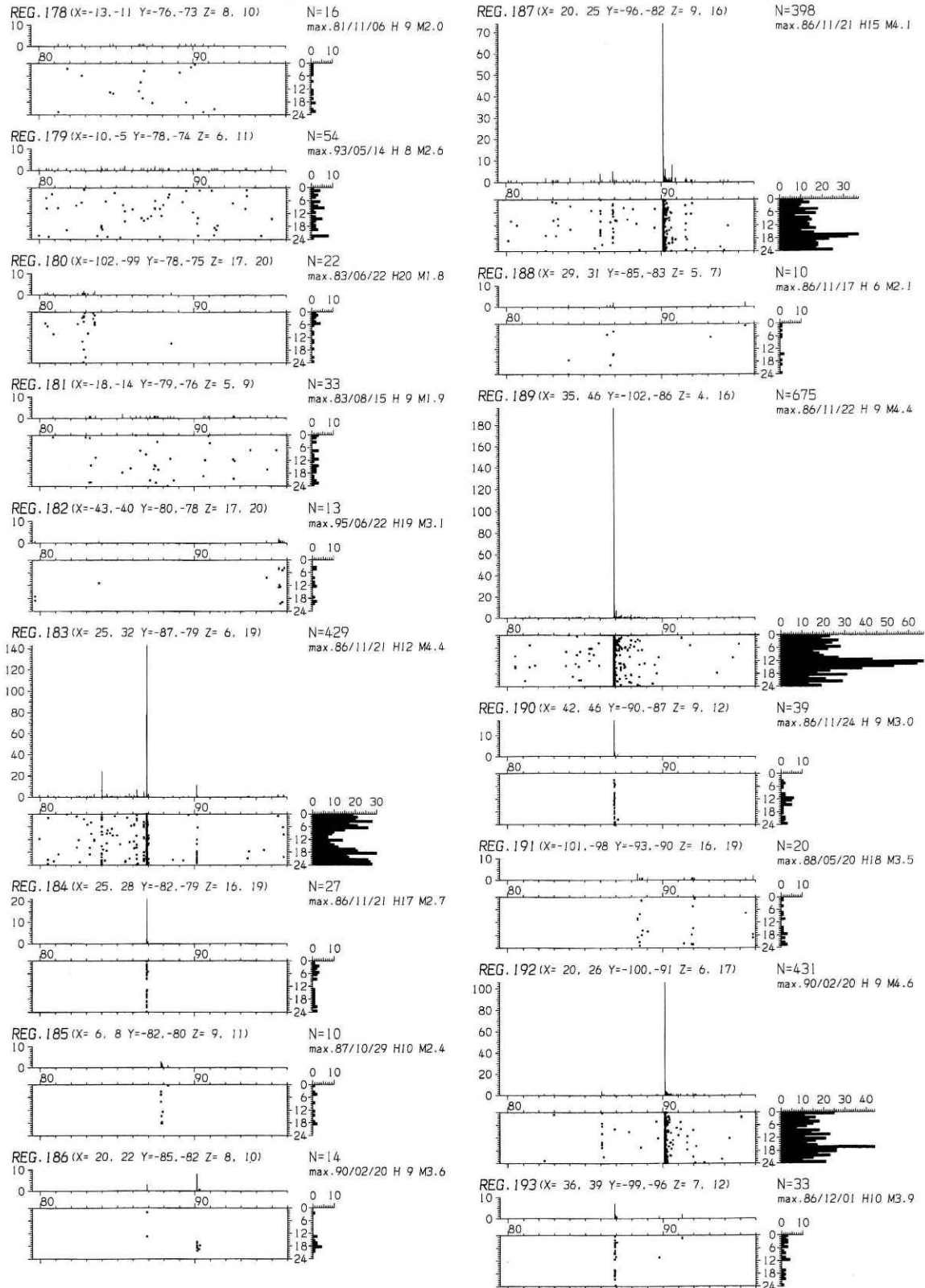


Fig. 13.10 Fig. 3 で抽出された地震クラスターのすべてに対する発震時分布ダイアグラム
(クラスター178番～193番)。

Diagrams showing occurrence time distributions for all the clusters in Fig. 3 (Cluster # 178-# 193).

謝辞

本研究遂行の過程で、宮村攝三前東京大学地震研究所教授からは、いくつかの貴重な示唆をいただいた。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 経済企画庁調査局(1996)：平成8年1月の景気動向指数の概要。経済月報—月例経済報告—，No.538,69-76.
- 2) 松村正三(1985)：国立防災科学技術センターの地震カタログに含まれる発破データの識別。地震,38-3,457-459.
- 3) 松村正三・岡田義光・堀貞喜(1988)：地震前兆解析システムにおける地震データ（高速採取データ）の処理。国立防災科学技術センター研究報告，No.41,45-64.

(原稿受理：1996年7月17日)