

6. 1974年伊豆半島沖地震, 本震直後の余震活動

地震研究所 { 南 雲 昭三郎
大 内 徹
笠 原 順 三
是 澤 定 之

(昭和49年7月20日受理)

1. は し が き

畑臨時地震観測点(千葉県館山市畑地区, 東経 $139^{\circ}54'32''$, 北緯 $34^{\circ}56'08''$)において, 今回の1974年伊豆半島沖地震の良い磁気テープ記録が得られた. この地点は, 余震域から約100 km (S-P 時間 13~15 秒) に位置している. この記録には本震直後の余震活動の様子が生々しく表われており, 本震・余震過程のメカニズムや, 応力解放のメカニズムを示すと思われる現象が, いくつか認められる. この報告では, 先ず, それらの現象を記す. スペクトル解析による定量的研究は別に報告する.

本震直後の余震活動記録の解析としては, 新潟地震について宮村他 [1964], 1969年色丹島沖地震について広田 [1969], 1969年根室東方沖地震について本谷 [1970] の研究などがある.

畑観測点は長期間磁気テープ記録方式による無人観測である. 観測計器は地震計: 上下動水平動各一成分(固有周期1秒, 感度3.0 V/kine), 増巾器: 利得58 dB, 刻時: 水晶時計(精度0.05 秒/日), 記録計: 海底地震計用に製作された長時間レコーダ(1000 時間, DR 方式, 4トラック, 7インチリール, 1800 フィート)である.

なお, 畑観測点は, 房総半島の最南端部に位置し, 相模トラフ・房総沖におこる微小地震を捕捉するために設けられているもので, 同海域における海底地震観測の折には, バックアップステーションとして用いられている.

2. 直後の余震数の変化

先ず, 本震・余震活動の記録を Fig. 1 に示す. 本震(5月09日08時33分)から約70分間に比較的大きな余震が相次いで起っている(Fig. 1, E1~E6). 09時34分の余震の後には, 大きさは小さくなり, 数も次第に少くなっている. その後の比較的大きな余震は11時26分に起っている.

本震直後の約70分間に, 大きな余震が相次いで起ったということは, この間に, エネルギー解放の大部分が行われたことを示している. 大きな余震の間には, 小さい地震が沢山起っており活動の激しさを示している.

記録の上で最も早く認められる余震は, 本震後約4分, 08時37分頃である. この地震は本震の振動の尾部の中に, 高周波の波として重なって表われている.

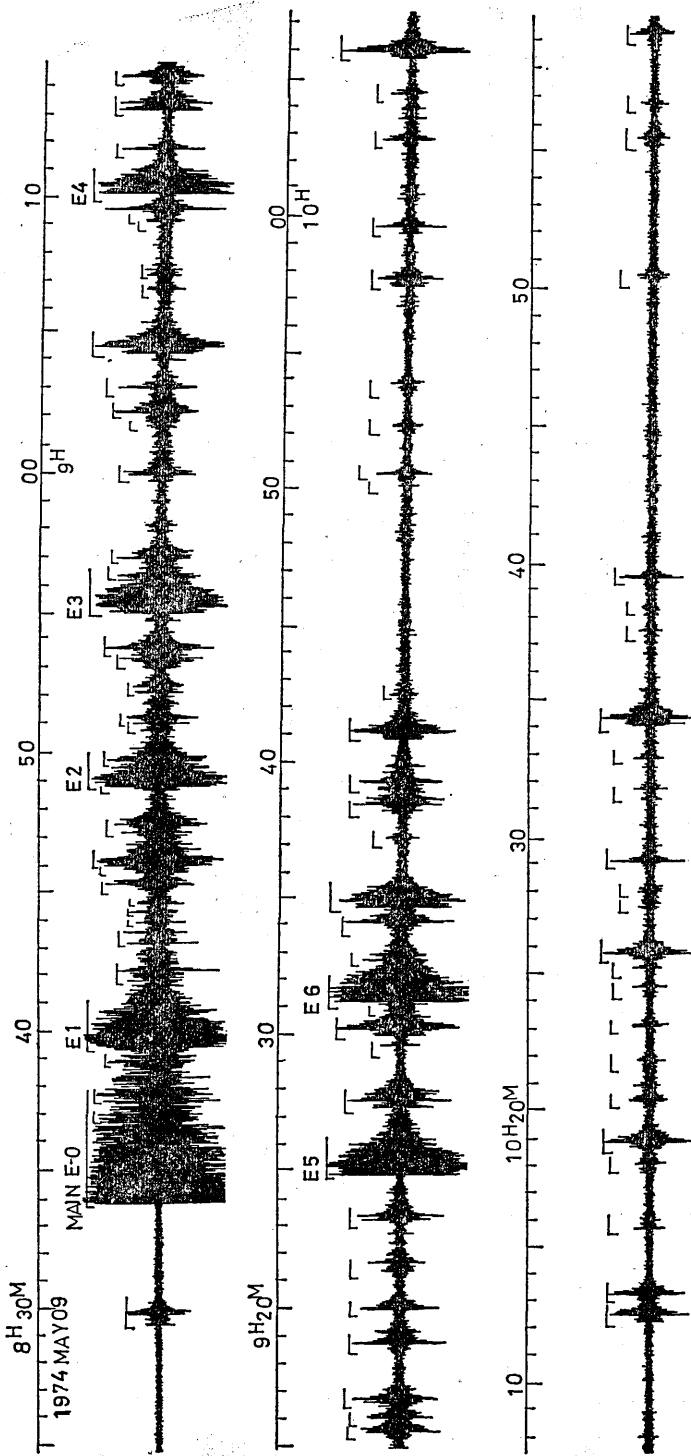


Fig. 1. The record of the main shock and aftershocks of the Izu-Hanto-oki earthquake of 1974. Observation station: HATA, Tateyama-shi, Chiba prefecture, $139^{\circ}54'32''\text{E}$, $34^{\circ}56'08''\text{N}$. The S-P times are mostly 13~15 sec. This is the playback record from the magnetic tape recorder: E0: main shock, E1~6: large aftershocks. \square mark: earthquakes. The shock before the main shock is not a foreshock, the epicenter being at a different place.

本震直後では余震が重なっている。しかし、P波の卓越周波数が高く、またS波の最大振巾が大きいので、地震の判別は比較的容易であった。しかし、本震直後の振動レベルが高いので、あまり小さい地震は検出し難い。検出レベルは記録紙上の振巾 10 mm pp (地震動の速度振巾に換算して $200 \mu \text{ kine pp}$) 以上である。これは $M \geq 2.3$ (渡辺 [1971] の式による) に相当する。

余震の数の時間的変化を Fig. 2 に示す。余震頻度 N は、最初の 0.1 日迄は 0.01 日間隔、1 日までは 0.1 日間隔、それ以降は 0.2 日間隔について求め、1 日あたりの地震回数に換算した。Fig. 2 に累積地震回数 ΣN も示す。本震直後の地震頻度の減少はゆるやかである。ベキ函数的減少を示すのは、本震から約 0.1 日頃からである。0.1 日後は余震は順調に減少している。約 2.5 日後 (5 月 11 日 21 時 44 分頃) 天城地区に地震活動が始まり、余震の減少曲線はその影響をうけて、数が急増している。

改良大森公式、 $N(t) = A/(c+t)^p$ の指数を求めると

$$p=1.0, \quad c=0.06, \quad A=1000 \text{ (個/日)}$$

となる。 $c=0.06$ という値は、従来の地震とくらべてみると、小さい値である [UTSU, 1969].

本震直後の余震の数が少ないということは、広田 [1969] が詳しく検討しているように、本震後の振動に埋もれて検出されないのではなく、実際に発生数が少ないものと考えられる。しかし、その期間におこる余震のマグニチュードが比較的大きいということは、それを補っているのかも知れない。

本震後大きな余震が相次いで起こり、また余震頻度の減少の仕方がゆるやかであるとい

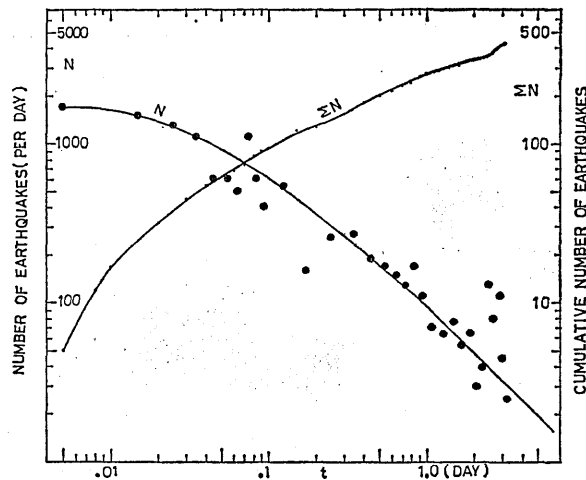


Fig. 2. Decay of aftershocks of the Izu-Hanto-oki earthquake of 1974. N : aftershock frequency (unit: number of earthquakes per day), ΣN : cumulative number of earthquakes. The detectable magnitude was ≥ 2.3 . The coefficients of the modified Ōmori's formula for the aftershock decay curve, $N(t) = A/(t+c)^p$, are $p=1.0$, $c=0.06$, $A=1000$ (number of earthquakes/day).

うことは、本震直後の約 70 分間に、地殻変動が激しく進行したことを示唆しているものと考えられる [NAGUMO, 1966]。この点については、更に研究を進めたい。

3. S-P 時間分布

畑観測点における S-P 時間分布を Fig. 3 に示す。今回の地震の S-P 時間はほぼ 13~15.5 秒の間に入っている。5 月 9 日 1 日間の S-P 分布は本震後約 3 時間のそれとほぼ等しい形と巾を示す。5 月 10 日以降、S-P 時間 12~13 秒にピークが現れているが、これは天城地区の地震群活動が加わったものである。5 月 11 日、12 日にはピークが 2 つに分かれ、それぞれ天城地区の地震活動と本震付近の余震活動とを表わす。

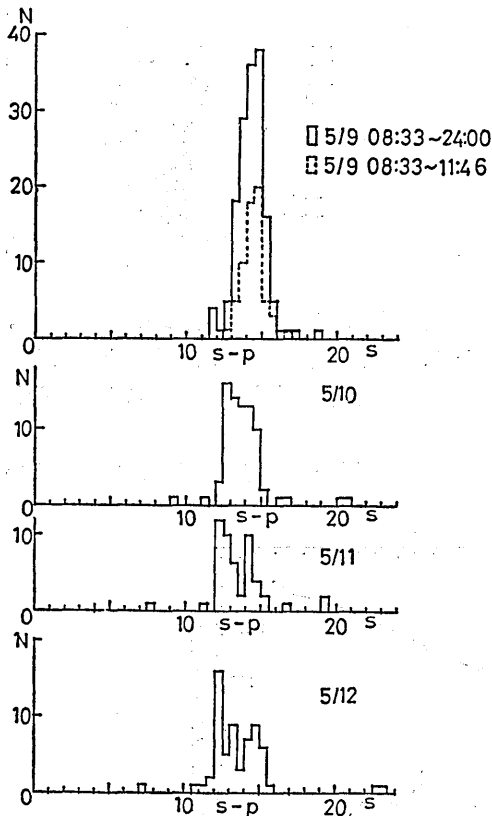


Fig. 3. S-P distribution at station HATA during the period from May 09 to 12, the Izu-Hanto-oki earthquake of 1974. The S-P time of most aftershocks was in the range of 13.0~15.5 seconds. Another intense earthquake activity in the Amagi region (S-P time: 12~13 sec) began at about 21^h44^m on May 11.

と思われる 2 枚の小さい地震がおり、本震に続いている。この地震のスペクトル解析は次の論文に述べる。

主震の前に小さい地震が先立つということは、主な破壊が一気可成に形成されるのではなく、間欠的に進行することを示している。主な破壊は、始めから一定の速度で伝播する

5 月 9 日から 12 日に至る S-P 時間分布にはピークの移動がっており、余震活動の地域的移動があったように思われる。詳しいことは、震源決定をまって調べたい。

4. 連鎖破壊 (chain break)

本震直後の主な余震の前後に、連鎖破壊 (chain break) と思われる一連の地震が頻発している。Fig. 4 に記録例を示す。(A) は 5 月 09 日 09 時 10 分頃の主な余震の前後の様子を示す。小さな地震 (Fig. 11, E-1, E-2) が引続いておこって本震 (E-3) がおこり、その後に余震 (E-4) が続いておこり、その後も粒のそろった地震が数個続いている。そして、09 時 24 分頃に再び大きな余震がおこっている (Fig. 1 参照)。09 時 10 分頃から 09 時 34 分までの地震は、一連の活動のようである。(B) は 5 月 11 日 21 時 44 分頃天城地区の地震の例である。前震

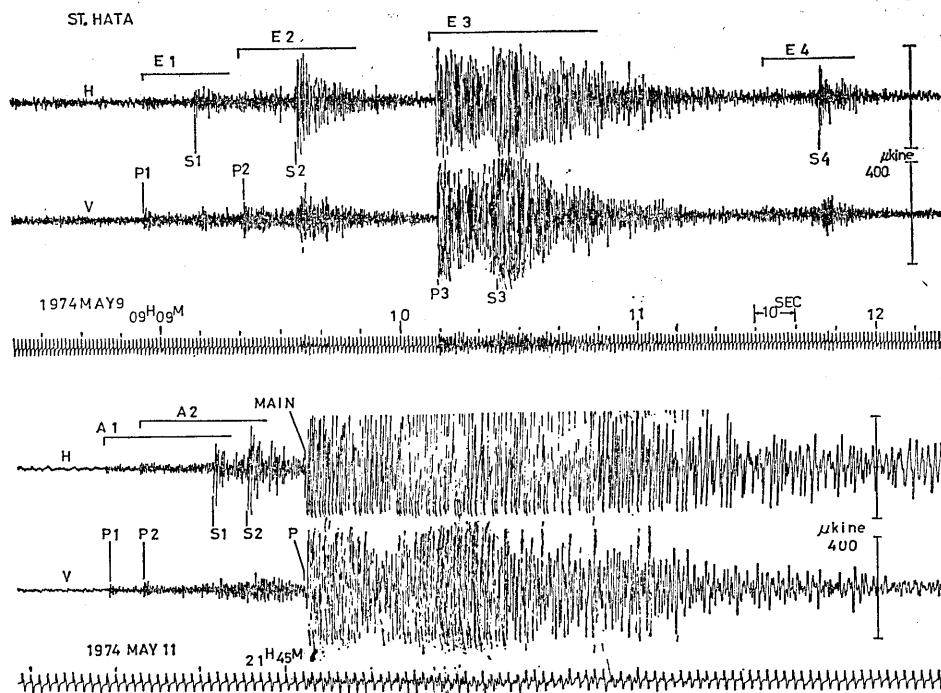


Fig. 4. Record example of chain break. (A) E1~E4 are chain breaks. They occurred about 40 minutes after the main shock. (B) Two foreshocks (A1 and A2) preceded the main shock of the Amagi earthquake swarms.

のではなく、間欠的に進行し、しかも最初の破壊は小さく、次第に大きくなるのであろう。このような現象はかなり一般的な性質のようである。

同様の例は、1969年7月北海道東方沖地震の本震の前に見事に現われている〔本谷, 1970〕。松沢〔1964〕は、大地震の初動の後に続く不規則な位相の波を震源にて生成されたものと考え、このような大地震の進行過程を chain break (連鎖破壊) と呼んでいる。

連鎖破壊のメカニズムは次のように考えられよう。まず小さなクラックが生成されると、媒質内部の弾性ひずみエネルギーは解放される。しかし、同時に新しく生成されたクラックによって弾性ひずみエネルギーも新しく生成される。外部から応力が作用している限り、内部エネルギーは増大する〔GOODIER, 1968〕。この新しい弾性ひずみに伴い応力集中が引続いておこり、応力レベルはクラックの周辺において大きくなる。或る限界値以上になると次の破壊を誘発する。このようにして、破壊が次々に進行する。連鎖破壊は、外部からエネルギーの供給が続いている間起る。

岩石の破壊実験においても次のような破壊の進行過程が見出されている〔小出・星野, 1967〕。巨視的割れ目がおこる前に、来るべき破断面に沿って、変形帯(微小クラックの集中した部分)が離散的に発生し、巨視的割れ目は、これらを連結するようにおこる。従って連鎖破壊はこれらの変形帯がクラックに転化し、連結されていく過程に相当しているのであろう。

従って Fig. 4 にみられるような前震過程は応力のかかっている状態が続いていたものと考えられる。また 09 時 10 分頃から同 34 分頃までの間にみられるような、一連の地震が頻発し、しかもその大きさが比較的大きいという現象は、この間、応力がかかっている状態にあったと考えられよう。

比較的大きな地震の後に、小さい地震が引続いておこる場合とおこらない場合とがある。5 月 11 日 21 時 45 分頃の天城の地震の後は小さい地震が引続いておこっている。しかし同じく 22 時 12 分頃におこった地震の後は、地震の規模は殆んど同じにもかかわらず、小さい地震の数は非常に少い。これは、前者は応力のかかっている状態が保たれていたが、後者では応力が抜けてしまったのであろう。

連鎖破壊は本震直後の余震活動の一つの特徴であり、応力のかかっている状態を示すものと考えられる。

5. 卓越周波数の変化

頻発する余震系列の中で、卓越周波数が高周波から低周波へ変るとい現象が認められた。Fig. 5 に記録例を示す。(A) は、本震から約 20 分後におこった 2 つの地震である。E-1 は低周波が卓越し、E-2 は高周波が卓越している。多くの余震は高周波が卓越している。

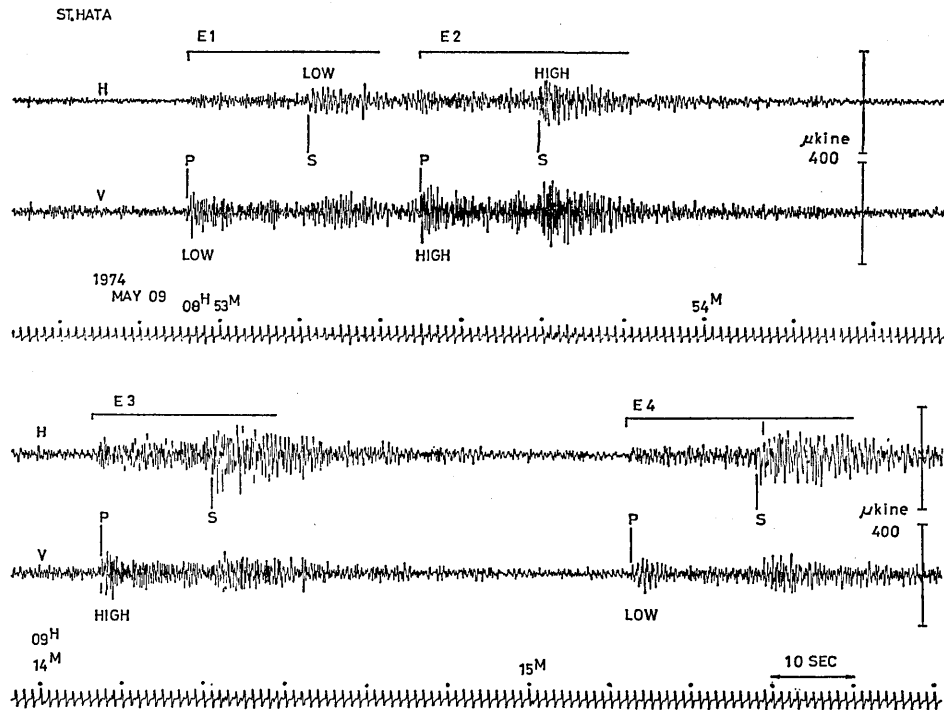


Fig. 5. Record example of predominant frequency change: (A) About 20 minutes after the main shock, E-1 is low frequency P-wave, and E-2 is high frequency P-wave. (B) About 40 minutes after the main shock, E-3 is low frequency P-wave, and E-4 is high frequency P-wave.

る。低周波の卓越する地震の数は少ない。例 (B) は本震から約 40 分後、09 時 10 分頃の主な余震に引続いておこった地震の例である。E-3 は高周波が卓越し、E-4 は低周波が卓越している。

これらの地震のスペクトル解析による研究は次の論文に述べる。一般に、速度記録の P 波卓越周波数は震源のディメンションを表わし、卓越周波数の 2 乗とスペクトル振巾の積は応力ドロップを表わす。従って、低周波の卓越する地震がおこることは、クラックのディメンションが大きく、応力ドロップが小さいことを示している。直後において、このような低周波の地震が現れるということは、一連の破壊の進行に伴って、内部エネルギーが解放され、応力レベルが低くなったことを示すものと考えられる。高周波の地震と低周波の地震が混在していることは、応力解放が局所的に進行していることを示すものであろう。

6. 共役な輻射パターン

余震の輻射パターンに 2 種類あることが認められた。記録例を Fig. 6 に示す。本震から約 3 時間後の余震である。E-1 は、P 波上下動の立上りが鋭く、また大きく、P 波と S 波の振巾はほぼ同程度である。E-2 は、P 波の上下動の立上りがあまり大きくなく、S 波の振巾は P 波のそれよりも約 4 倍大きい。このような輻射パターンの変化は、主応力軸方向に 45° 或は 90° の差があることを示している。

同様な現象が、新島観測点において、新島付近の地震群活動 (S-P 約 3 秒) においても観測された。

このような輻射パターンの変化が起る原因としては、(1) 余震のおこる場所が変わったため、(2) 共役な断層面が活動したため、(3) 応力の解放によって、主応力軸方向が変わったためなどが考えられる。

場所の差については、この両者の S-P 時間の差は僅か 0.6 秒である。従って場所によ

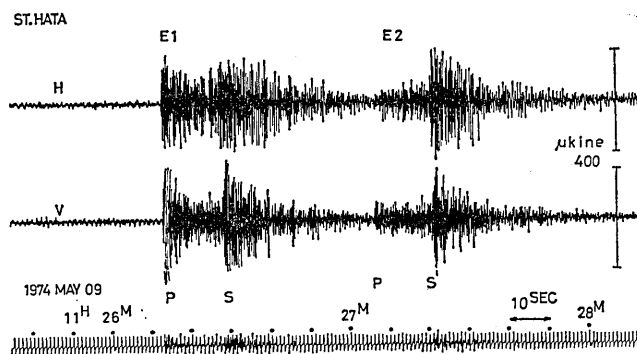


Fig. 6 Record example of different radiation patterns in the aftershock sequence. These shocks occurred about 3 hours after the main shock. The directions of the principal stress of radiation pattern of E-1 and E-2 differed by 45° or 90° . They may have originated from the activation of the conjugate faulting plane.

る地質構造の方向性の変化はあまり期待されない。応力解放による主応力軸方向の変化ではないかという点については、大いにありうることである。もしそうならば、輻射パターンは2種類に限られることなく、中間の値が現れてもよさそうである。事実、そのような輻射パターンを示す余震も見出されるが、数は極めて少く、本震から約30分間の間に2~3ヶである。大部分のものは Fig. 5 に示したような2種類に限られている。従って、応力解放による変化のみでは説明しきれない。45° 或は 90° の差をもつということは、共役な断層面の活動と考えるのが自然であろう。崖くずれなどの被害の面からも、また地質構造の方からも、断層の活動に2つの方向性があることが報じられている [徳山, 1974, 土, 1974]。これらは共役な断層面の活動がおこったことに符号している。

7. ま と め

畑臨時地震観測点 (千葉県館山市畑地区) にて得られた磁気テープ記録を再生して、本震直後の余震活動を調べた。主な結果は次の通りである。

本震直後の余震活動は非常に激しい。本震から約70分間の間に、 $M > 4$ の比較的大きな余震が多数おこり、それに比べて小さい地震の数は少い。これは本震という主な断層運動に引続いて、激しい地殻の活動が進行したことを現わしているものであろう。

余震頻度 $N(t)$ の減少曲線について、改良大森公式、 $N(t) = A/(t+c)^p$ の係数は、

$$p=1.0, \quad c=0.06, \quad A=1000 \text{ (個/日)},$$

と求められた。

本震直後の余震活動の中に、(1) P波の卓越周波数が高周波 (約7~8 Hz) から低周波 (約2~3 Hz) へ変るといふ現象、(2) 余震が連鎖的に発生することが多いという現象、(3) 輻射パターンについて、主応力軸が45° 或は 90° の差のある2種類が存在することなどが認められた。これらの諸現象は余震過程における応力解放のメカニズムを示すものと考えられる。

本震からの数日間に、余震活動の地域的移動があったようである。

本震直後の余震過程を観測的に調べることは、地震の発生過程を解明する上に非常に重要なことと思われる。今回の地震は、マグニチュードと震源距離が適当であったために、磁気テープ記録の再生によって、そのような研究を進めることができた。この種の研究を進めるためには、広いダイナミックレンジおよび広帯域特性をもった地震計測システムが必要である。

謝 辞

畑における地震観測については、館山市教育委員会にお世話頂いており、関係各位に厚く御礼申し上げます。

文 献

- GOODIER, J. N., 1968, *Equilibrium crack, in Fracture II*, Editor Liebowitz, Academic press, New York.

- 広田知保, 1969, 1969年1月29日色丹島沖地震の余震, 北海道大学地球物理学研究報告 **21**, 33-43.
- 小出 仁, 星野一男, 1967, 三軸変形下の岩石中の微小割れ目の発達について, 地震 (ii), **20**, 85-115.
- MATUZAWA, T., 1964, *Study of earthquakes*, Uno-shoten, Tokyo.
- 宮村撰三, 辻浦 賢, 1964, 新潟地震とその余震の筑波における観測, 地震研究所速報, **8**, 15-21.
- 本谷義信, 1970, 1969年8月12日根室東方沖地震の余震活動, 北海道大学地球物理学研究報告, **24**, 93-106.
- NAGUMO, S., 1966, Deformation of an anisotropic visco-elastic medium due to internal force under initial stress and its significance in the activity of earthquake swarms, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **44**, 1623-1664.
- 徳山 明, 1974, 1974年伊豆半島沖地震に伴う災害の地質学的考察, 静岡地学 **27**号, 17-30.
- 土 隆一, 1974, 1974年伊豆半島沖地震の諸問題, 静岡地学 **27**号, 37-39.
- UTSU, T., 1969, Aftershocks and earthquake statistics (I), *J. Faculty of Science, Hokkaido Univ.*, Ser. VII, No. 3, 129-195.
- 渡辺 晃, 1971, 近地地震のマグニチュード, 地震 (ii), **24**, 189-200.

6. *Aftershock Activity Immediately after the Main Shock,
the Izu-Hanto-oki Earthquake of 1974.*

By Shozaburo NAGUMO, Toru OUCHI, Junzo KASAHARA
and Sadayuki KORESAWA,
Earthquake Research Institute.

Intense aftershock activity immediately after the main shock has been revealed by the playback of a magnetic tape recorded at the HATA station, epicentral distance being about 100 km.

Many large aftershocks ($M > 4$) occurred during a 70 minute period after the main shock. These aftershock activities would be caused by violent crustal activation, produced by the main shock faulting.

The coefficients of aftershock decay formula, $N(t) = A/(t+c)^p$, are obtained as $p=1.0$, $c=0.06$, $A=10000$ (earthquakes/day).

During the aftershock sequences, several remarkable features were observed: They are (1) the predominant frequency of P-wave changed from high frequency (7~8 Hz) to low frequency (2~3 Hz), (2) many chain breaks occurred, (3) two different kinds of radiation patterns were observed, suggesting activation of conjugate fault planes.

These features show the various process of stress release after the main shock.