

7-14 兵庫県南部地震の余震活動（エネルギー放出と等価地殻歪）

Aftershocks in Hyogoken-Nanbu Earthquake of January 17 1995, Central Japan (Sequential energy release and equivalent fault slip)

早稲田大学理工学総合研究センター

Advanced research Center for Science and Engineering, Waseda University

概要

兵庫県南部地震の直後に余震はどのような発生経過をたどったか。それを観察するため、時間軸を対数目盛に設定して資料分析を行ったところ、従来の直線目盛りでは検知できなかったいくつかの特徴が浮かび上がってきた。この種の調査は放出エネルギーについて行うのが普通であろうが、今回は等価地殻歪、すなわち放出エネルギー（または地震モーメント）に相当する震源断層面のスリップ量に換算したものをを用いた。将来、地震関係の観測値を地殻変動値と関連づけようとするのがその意図である。

計算上の仮定

- (1) 余震のメカニズムは全域均一とみなす（本震に準ずる横ずれ型）。
- (2) 断層面は鉛直長方形。面積： $A_0 = 40 \times 10 \text{ km}^2$ （全域を二分して北東域、南西域とする）
- (3) 地震モーメント M_0 は次式による。 $\log M_0 = 1.5M + 16.2$
- (4) 等価スリップ（断層面平均）： $U = M_0 / (\mu A_0)$ 、なお $\mu = 3 \times 10^{11} \text{ c.g.s.}$

考察

[第1図] 周知の時空間分布図であるが、このように対数時間軸を採用してみると、本震直後には、直線目盛りでは見落とされがちな規則性（線状配列）が浮かび上がってくる。

[第2図] Brune (1968) に準ずる方法で余震活動を等価スリップに換算してみると、積算グラフ（上図）が直線状（直線時間目盛についていえば指数関数的）の上限、下限線に挟まれているように見える。下3図は全域、北東域、南西域ごとに、この基準線からの偏差を描いたもので、時間予測モデルや振幅予測モデル（島崎, 1977）が適用できそうな様相を示している。

余震域を二分した北東、南西域の集積状況はほぼ同一レベルに近づいており、それから見ると両域での運動経過はバランスしているようである。

[第3図] 上記の傾向を受けて、余震時空間分布および等価スリップ集積、双方の規則性を見やすくしたものである。2月18日の余震（M4.9）は時間予測モデルの立場から理解できる状況で発生している。同様な状況は北東域にも見られるが、この方ではまだ大粒の余震は発生していない点が注目される。

中図の左端には菊地（1995）を参照して本震の破壊過程の模式図を付けてある。本震直後は地震

記録が真っ黒になるのが常であるが、適当な手法でこの期間(今回の例ではおよそ 1.2 分間)の実態、すなわち本震から余震に至る移行経過(半影部)を解明できれば、破壊過程について新たな知見が得られるのではないか。

[第 4 図] 震源断層面に沿って余震活動がどのように拡大したか、その経時変化を観るため、(a)約 3 時間後、(b)1 日後、(c)35 日後での状況を図化したものである。各画面とも、(上)時空間分布、(下)鉛直断面を示している。最終的には広い範囲に分散する事になる余震も、当初(本震後 1 日程度)の間はパッチ状をなして特定の空間に集中発生しているように見える。このような様相は断層面の力学的な性質を反映するものであろうから、それを解読することによって断層面の性状を知る手がかりが得られかも知れない。

今後の課題

- さらに詳細な断層面観察(データの精度に応じて)
- 移行過程(ブラックアウト期間)の解明
- 余震活動を実時間モニターするシステムの形成

むすび

以上、余震活動には意外に規則的な面があるように見受けられる。これらの情報を有効に汲み上げることができれば、震源断層の微細構造や破壊過程の解明に寄与できるのではないか。

まとめ

- (1) 等価スリップ集積の時間予測性は、ある程度、余震活動の予測に使えるようである。
- (2) 余震活動の時間的拡大にも、意外な規則性が見られる。断層の構造を反映するものであろう、
- (3) 特に初期段階においてそれが顕著である。
- (4) 震源断層の微細構造を解明する上に、余震は貴重な情報源と思われる。そのために、発震ごく初期における本震～余震の移行過程の解明が強く望まれる。
- (5) これらがどの程度に普遍的なものか、他の地震例について経験を積む必要がある。

謝 辞

上記解析には気象庁大阪管区气象台および同地震火山部による地震データを使わせて頂いた。また上記データの受信については早稲田大学理工総研の山田真助教授および日本物理探鉱(株)の平松義裕氏にご協力を頂いた。

(笠原慶一)

参 考 文 献

Brune, J. N. (1968). Seismic moment, seismicity, and rate of slip along major fault zone. *J. Geophys. Res.*, 73, 777-784.

笠原慶一 (1995). 伊豆諸島における移動性地震活動の半自動検出, 地震予知連絡会報, 53,347-351.

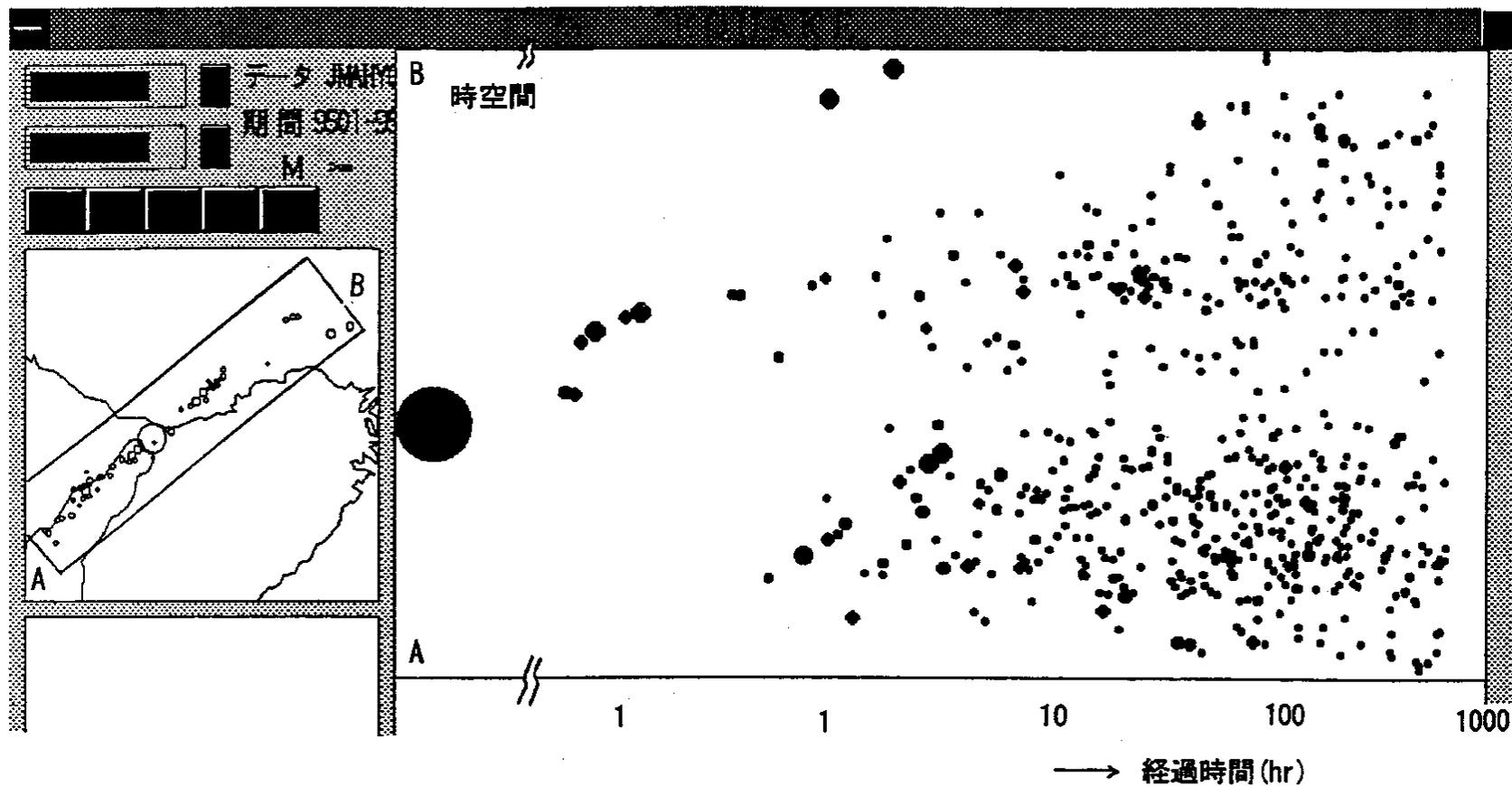
菊地正幸 (1995). 平成7年1月17日兵庫県南部地震のメカニズム (改訂版), 第112回地震予知連絡会 (1995.1.27) 資料。

島崎邦彦 (1977). 地震の繰り返し発生の単純なモデルと東海地域の地殻変動。「地震予知連絡会東海部会資料」, 32-40.

Aftershocks in Hyogoken-Nanbu Earthquake of January 17, 1995, Central Japan (Sequential energy release and equivalent fault slip).

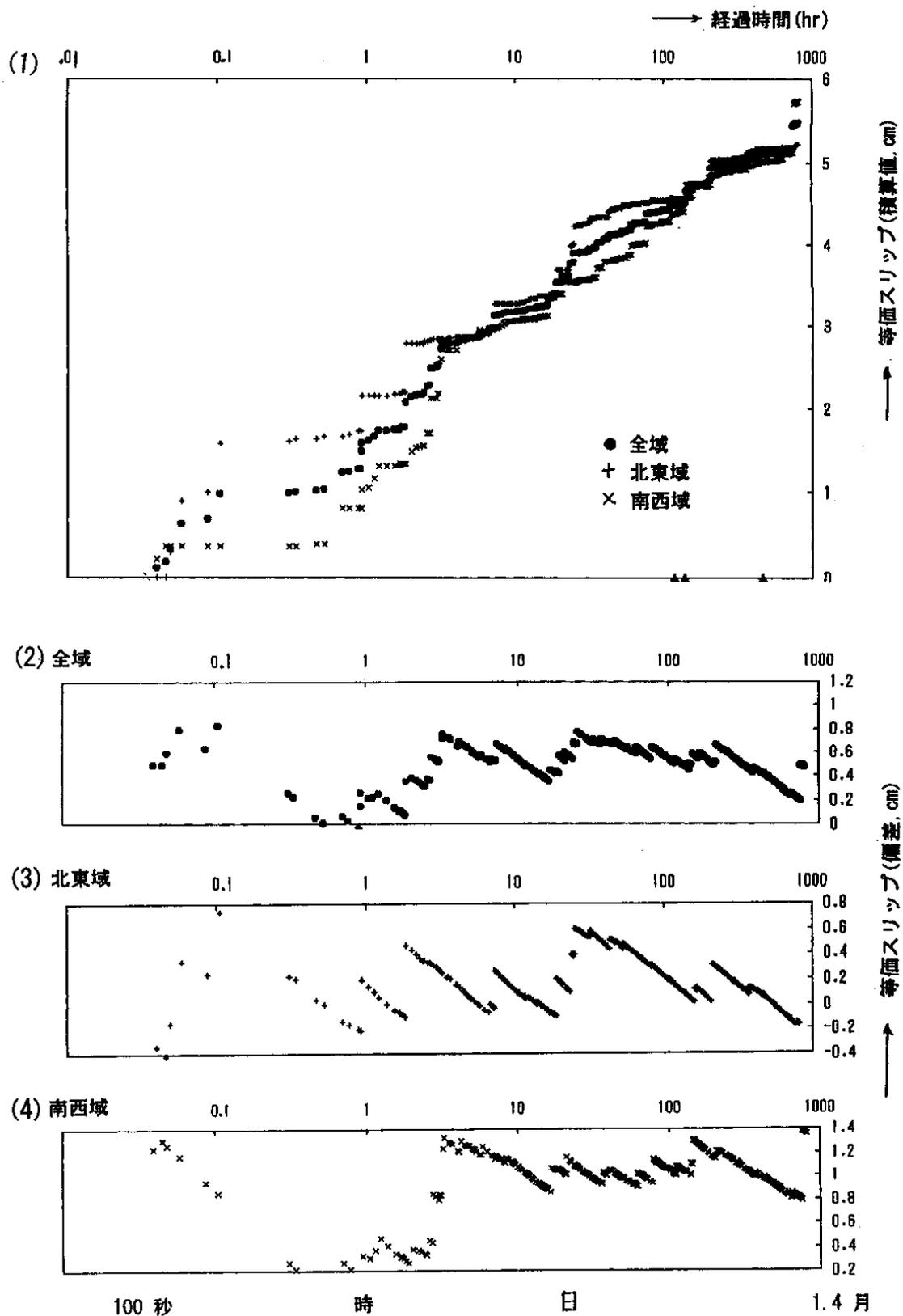
Keichi Kasahara.

The Advanced Research Center for Science and Engineering, Waseda University.



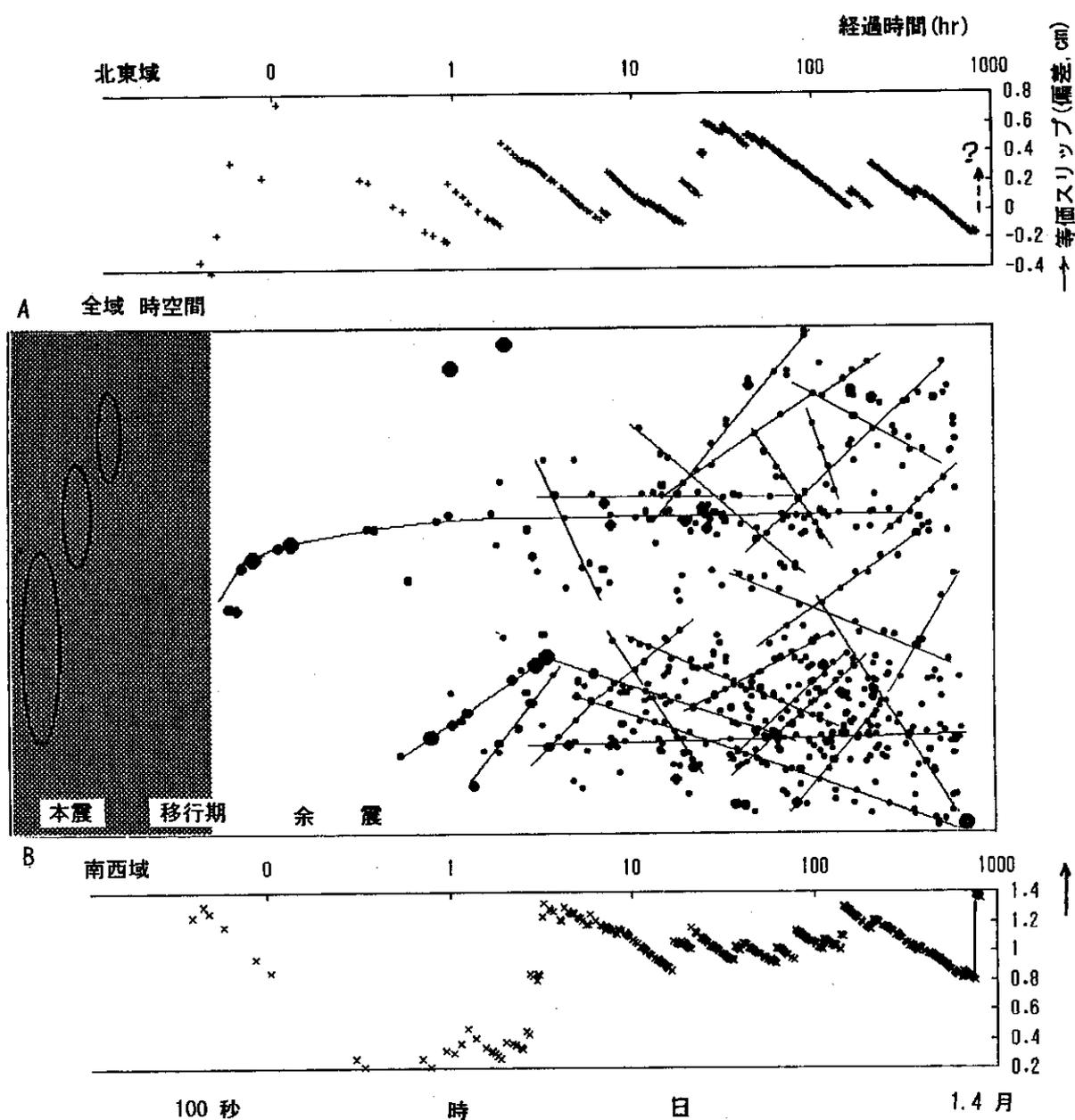
第1図 対数時間軸で見た余震活動の時空間分布（兵庫県南部地震，気象庁資料による）。図中，大きな丸は本震位置を示す。

Fig.1 Aftershock sequence in Hyogoken-Nanbu Earthquake of January 17, 1995, as plotted against logarithmic time scale following the main shock (large circle). (data by Japan Meteorological Agency).



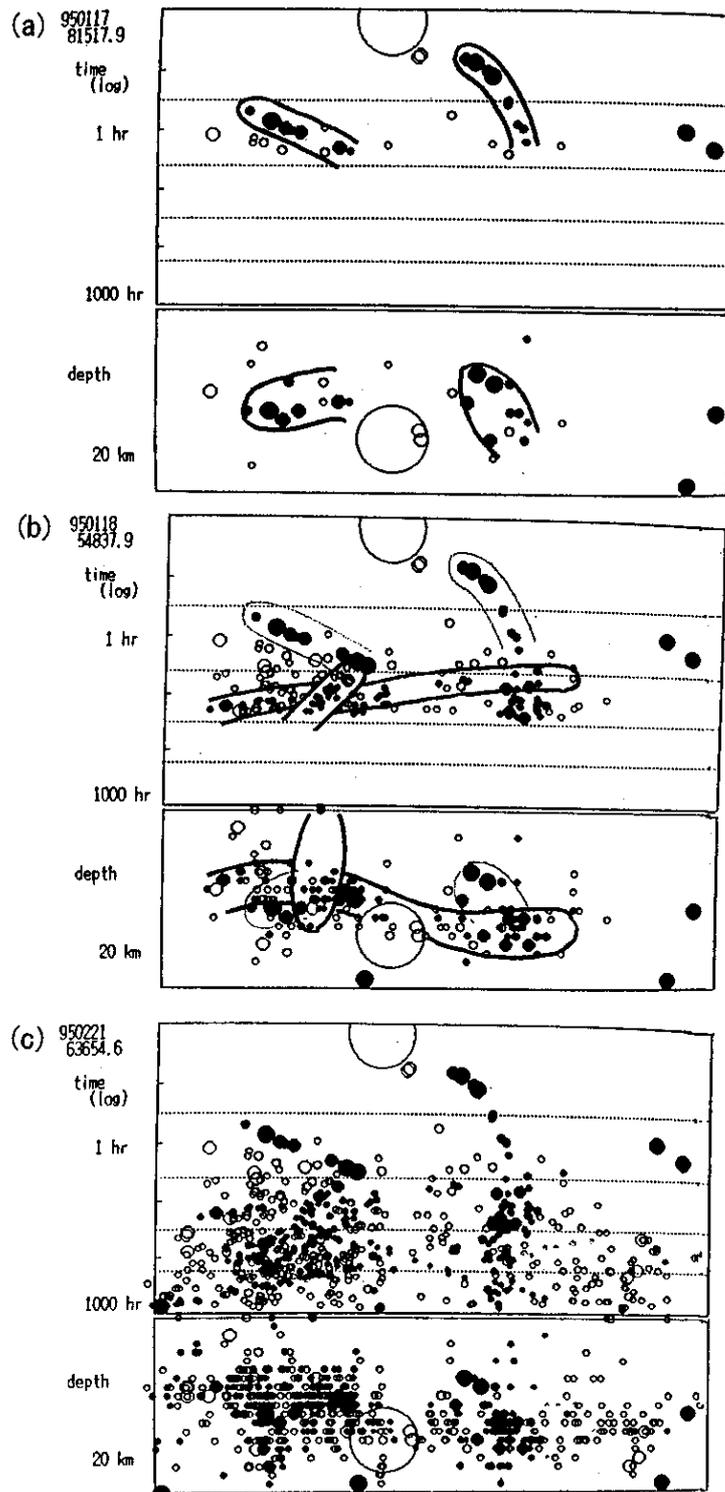
第2図 第Ⅱ地殻歪に換算した余震活動の経過。(上より1) 等価スリップの集積状況, (2) 同 偏差 (全域), (3) 同 偏差 (北東半域), (4) 同 偏差 (南西半域)。

Fig. 2 Aftershock sequence evaluated in terms of the equivalent fault slip. (Top) accumulation of the slip in time, (middle) deviation of the cumulative slip from the general trend (linear, in the present coordinate system, northeastern half of the aftershock zone), and (bottom) same as above (southwestern half zone).



第3図 (上) 北東半域における等価スリップの集積状況 (偏差), (中) 時空間分布に見られる線状配列, 左端は菊地 (1995) を参照した主破壊経過の模式図, 半影部は仮説的に考えられる本震~余震の移行過程。(下) 南西半域における等価スリップの集積状況 (偏差)。

Fig. 3 (Top) deviation of the cumulative slip (northeastern half of the aftershock zone), (middle) lineaments as seen in the time-space plot of aftershocks, where ellipses to the left schematize development of the main fractures after Kikuchi (1995), and the shadowed zone is the speculated transitional stage from the main shock to aftershocks. and (bottom) deviation of the cumulative slip (southwestern half of the aftershock zone).



第4図 余震活動の拡大状況。最終的には広い範囲に分散する事になる余震も、当初（本震後1日程度）の間はパッチ状をなして特定の空間に集中発生している様相が注目される。

(a) 約3時間後、(b) 1日後、(c) 35日後。各画面とも、(上) 時空間分布、(下) 鉛直断面。

Fig. 4 Spreading of aftershock areas in time. Notice that aftershocks in the early stages (say, one day following the main shock) concentrate in limited number of patch areas, presumably suggesting the mechanical structures of the fault plane. (a) patches in about 3 hours following the main shock, (b) in one day, (c) in 35 days. Upper and lower diagrams, in each stage, represent the time-space plot of events, and distribution in the vertical fault plane, respectively.