

## 和歌山県かつらぎ町・中央構造線断層系近傍における 脈動の震動特性

赤松 純平・賀来 宏之

### VIBRATIONAL CHARACTERISTICS OF MICROSEISMS AFFECTED BY THE MEDIAN TECTONIC LINE FAULT SYSTEM AT KATSURAGI-CHO, WAKAYAMA PREFECTURE

By Junpei AKAMATSU and Hiroyuki KAKU

#### Synopsis

Microseisms with period of 1-5 s, observed at Katsuragi-cho, Wakayama Prefecture along a line across the Median Tectonic Line Fault system, exhibit systematic increase of amplitudes in the fracture zone, especially for the vertical and horizontal components parallel to the fault axis (in-plane components), showing the anisotropic amplification effects of fault gauges on seismic waves. Examination of the polarized seismic amplification is important for studying the fault structures as well as the effects of surface geology on seismic waves in the aspect of earthquake engineering.

#### 1. はじめに

サンフランシスコ Parkfield において観測される脈動は、その周波数特性と震動卓越方向とが San Andreas 断層の走向や断層破砕帯の形状に関係して極めて規則的な応答を示す<sup>1)</sup>。この観測結果は脈動や雑微動が断層構造の研究に有効<sup>2)</sup>であるのみならず、表層地質構造としての断層破砕帯やあるいはそれが堆積層に覆われている場合の地震時地盤震動特性への影響の研究に示唆するところが大きい。我々は京都盆地を対象に脈動観測を地盤のマイクロゾーニングに利用する方法を研究してきた<sup>3),4)</sup>が、埋没断層<sup>5)</sup>などの影響については考慮するに至っていない。鉄道や道路網、あるいは地下街などの長大な構造物が縦横に走る都市地盤においては、このような地下の断層破砕帯による地盤震動特性への影響評価も重要な研究課題と考えられる。以上の観点から、まず規模の大きい中央構造線断層系近傍での脈動の震動性状を調査した。

#### 2. 観測点近傍の地質の概要

Fig. 1 に中央構造線断層系付近の活断層図<sup>6)</sup>を引用した。観測を実施したかつらぎ町付近では五条谷断層(22)と中央構造線(23)とが併走して断層系を形成している。地質の概略は五条谷断層の北側は和泉層群、中央構造線付近に河岸段丘が発達し、紀ノ川の南側は三波川変成帯である。五条谷断層に伴う破砕は断層の両側でそれぞれ 500 m におよぶと報告されている<sup>7)</sup>。

観測点の位置を Fig. 2 に示した。中央構造線 (MTL) の位置は Fig. 1 を参考に現地の地滑り地域や断層

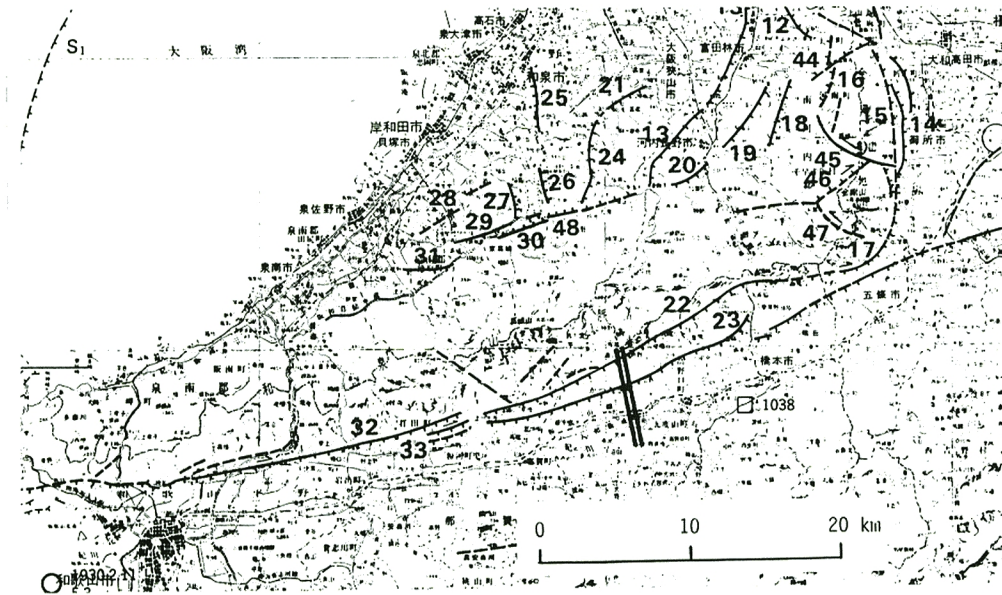


Fig. 1. Fault system of Median Tectonic Line (MTL) in the western part of Kii peninsula (after Ref. 6). Double line shows the observation profile. 22: Gojyodani fault, 23: MTL.

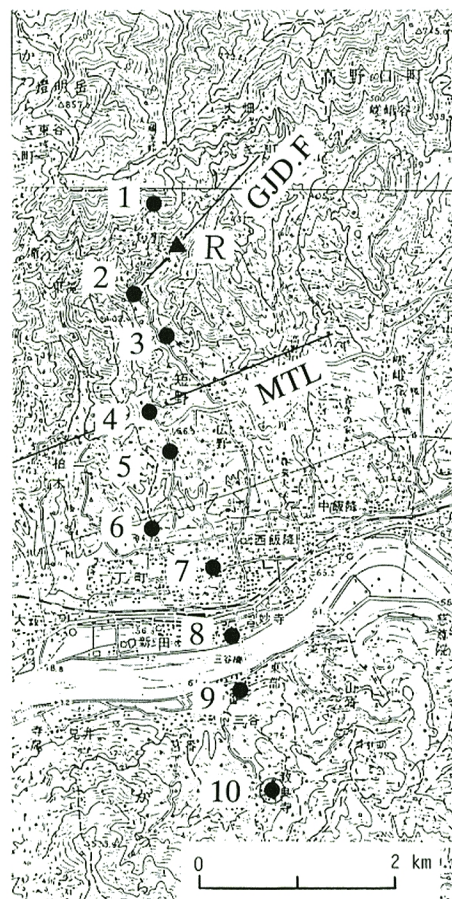


Fig. 2. Location of observation sites for microseisms. ▲ (R) denotes reference site used for monitoring temporal change of incident microseisms.

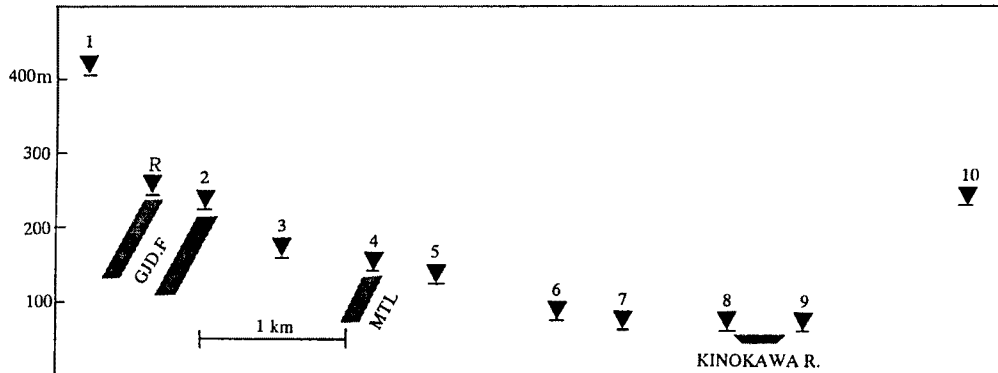


Fig. 3. Topographic cross section along surveying line. Fault systems are shown schematically.

粘土の出現位置から、また五条谷断層 (GJD. F) の位置は断層崖とリニアメント地形から特定した。Fig. 3 に測線に沿う方向の地形断面を示した。観測点 6 のすぐ北側からテラスが発達している。MTL, GJD. F の傾斜は模式的に示したものである<sup>8)</sup>。

### 3. 観測と解析

表層地質構造の影響を評価するためには、脈動の震動性状が時間的に変化するのでこれを監視するための基準観測点との同時観測が必要である。基準観測点として、周囲の雑微動の条件と電源事情から GJD. F 上のかつらぎ町立妙寺小学校畑野分校校庭に設置した (Figs. 2, 3 の R)。

計測器は、換振器 PELS-73 による 3 成分長周期デジタルシステムを 2 セット用い、水晶時計により記録の同時性を保った。観測は天候条件のため、1991年11月26日と1992年3月17～18日の2度に分けて実施された。

解析は、計器補正を時間領域で行って地動速度波形を求め、このスペクトル (速度対応) 特性を吟味する。解析の対象周波数範囲は、サンアンドレアス断層では 0.1-1.0 Hz の範囲が吟味されたことを参考にし、0.1-3.0 Hz とした。

Fig. 4 に MTL 上の観測点 No. 4 と安定な三波川帯上の点 No. 9 の地動速度波形の記録例を示す。水平動成分の NS, EW は断層にはほぼ垂直な N20° W とほぼ平行な E20° N の方向成分を示す。観測時期が違うので直接の比較は出来ないが、No. 9 では卓越周期が長く、また上下動成分の振幅が最も大きい。MTL 上の No. 4 ではやや短周期成分が卓越し、特に水平動成分の振幅が大きい。それぞれ堅固な岩盤上と表層の軟弱な地盤上の脈動や微動の特徴を呈している。

### 4. 解析結果

#### 4.1. スペクトルの性質

Fig. 5 にスペクトルの例を示す。観測時期が異なるので観測地点間の比較には注意を要する。しかしながら、レーリー波の振幅スペクトルは表層地盤のポアソン比を反映して水平動成分 (H) と上下動成分 (V) に違いが生じる<sup>9)</sup> ので地盤の特徴の概略は把握できる。GJD. F 上の No. 2 は広い周波数範囲 (0.1-3.0 Hz) にわたって H, V とともに似通った周波数特性 (f 特) を示している (No. 1 も同じ)。No. 3 では 0.2-0.6 Hz で僅かに、また 1.3-2.5 Hz で大きく水平動成分が卓越している。さらに、MTL 上の No. 4 では 0.2-0.8 Hz で水平動成分が顕著であり、同じ段丘面上の No. 5 でも 0.4-0.8 Hz の範囲で水平動成分が大きい。図には示していないが Nos. 6, 7 においてもこの傾向は顕著である。これらのことから、No. 3 から No. 7 に至る範囲

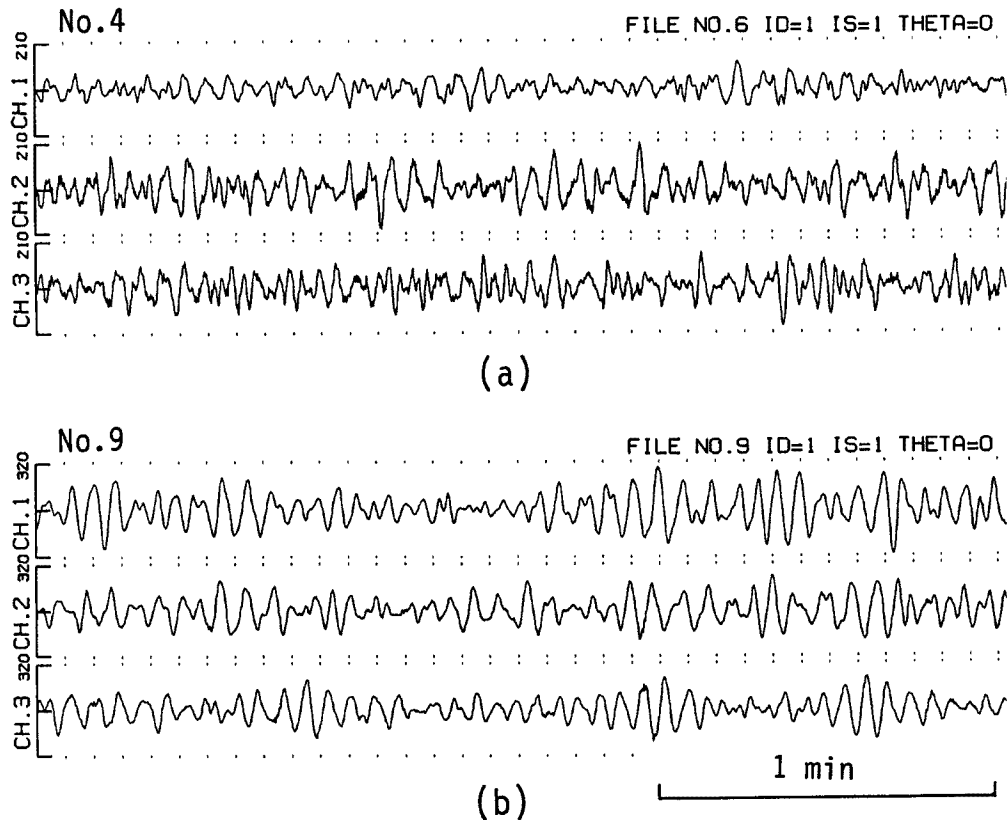


Fig. 4. Examples of microseisms observed on the Median Tectonic Line fault (a) and on an outcrop of the Sanbagawa metamorphic zone (b) in velocity-flat response for 0.1–3.0 Hz frequency band.

でポアソン比が深い所まで大きいことが予想される。No. 8 と No. 10 では 1 Hz 以下の脈動領域では  $f$  特は 3 成分とも同じであり、基盤岩の堅固なことを表している。No. 10 に比べ No. 8 における 1 Hz 以上の雑微動領域は水平動成分が大きい、これは国道24号に近いことと河川堆積物の影響と考えられる。No. 9 の雑微動領域は No. 8 と No. 10 の中間的性質を示している。

#### 4.2. 振 幅 比

前節で見たように、三波川帯の観測点 No. 10 が最も表層地質の影響の少ない震動性状を示している。ここでは No. 10 を基準に他の観測点の震動特性を振幅比（スペクトル比の1/3オクターブ幅における平均値）により検討する。観測時の基準点は  $R$  であるので、観測点  $i$  の No. 10 に対する比を

$$(A_i/A_R) \cdot (A_R/A_{10}) \quad (1)$$

により定義する。すなわち基準観測点  $R$  と各観測点間の伝達関数は同時性が保たれておれば一定であると仮定している。

Fig. 6 に得られた結果を示す。雑微動領域は交通事情から 1.25 Hz 以下のみを示した。各地点の棒グラフは左：上下動，中：水平動 NS，右：同 EW の各成分を表す。この図から次の3つの特徴が指摘できる。(1) 紀ノ川北岸から段丘に至る測線中央部では、0.8 Hz 以下の低周波数域の増幅率が大きい。特に EW 成分が顕著である。(2) 断層系付近の Nos. 1–5 では断層に平行な EW 成分の増幅率が系統的に大きく、特に低周波数側でこの傾向が顕著である。Nos. 1–3 では上下動成分においても同様の特徴がある。(3) 紀ノ川沿

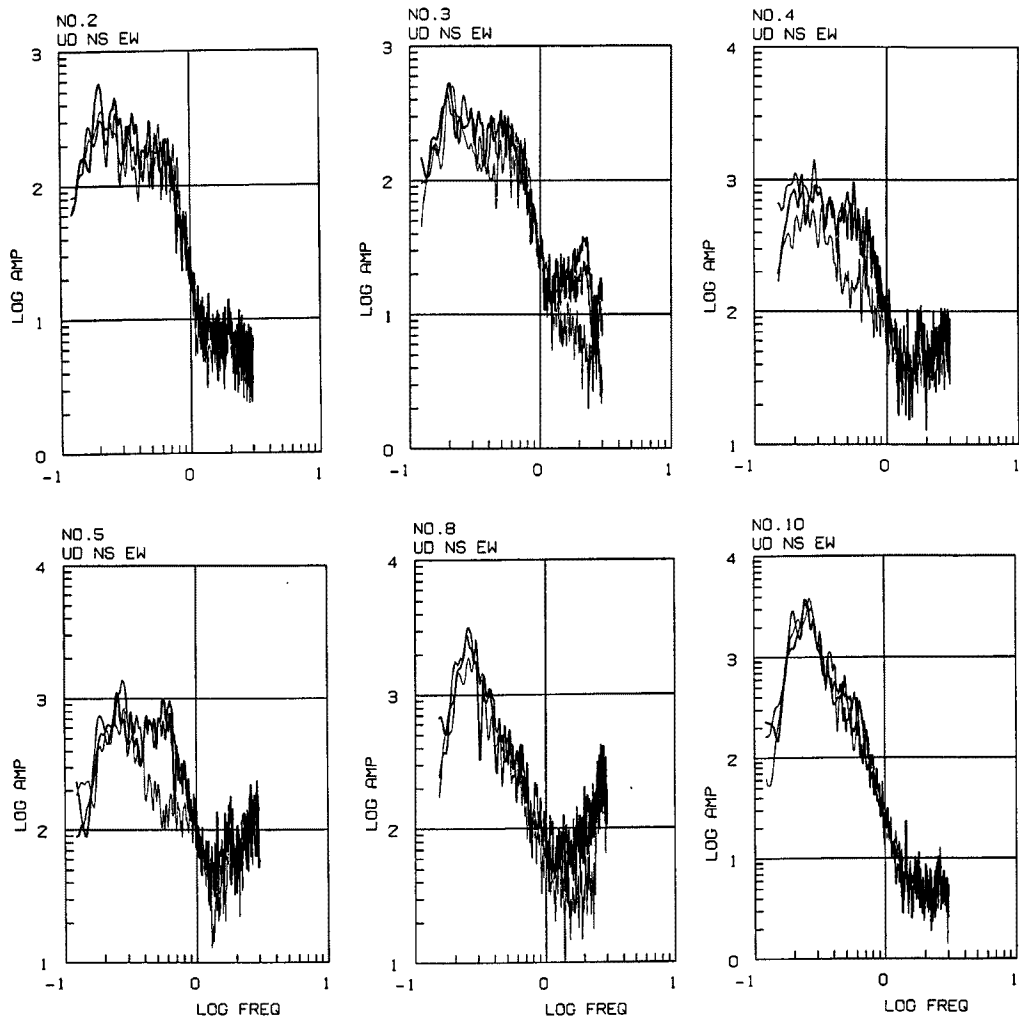


Fig. 5. Examples of spectral density (velocity) of microseisms. NS and EW mean the horizontal components normal and parallel to the fault direction.

いの国道24号に近い Nos. 7, 8 は高周波成分の雑微動が卓越している。

(1)と(2)の特徴は、人工的な雑微動の影響の少ない脈動領域では、地表面の地質から考えられている断層破砕帯の位置付近では断層方向の震動成分が増幅されていること、さらに、断層系と紀ノ川北岸との間でこの傾向の強いことを示している。

#### 4.3. 震動方向の異方性

前節では三波川帯岩盤に対する各地点の3成分の振幅比を吟味した。本節ではさらに直接的に、脈動や雑微動の震動方向への表層地質構造の影響を震動軌跡により検討する。

**Fig. 7** は1/3オクターブ幅の周波数帯域ごとの水平面内の震動軌跡を楕円で近似して長径、短径の方向を示したものである。計算は方位15°毎に震動波形をベクトル合成してそのスペクトルを求め、そのバンド内の平均値をその方位の振幅とした。表示方位は断層方位ではなく真の方位を用いた(図の上が真北)。

三波川帯の No. 10 は全ての周波数範囲にわたって南北方向に卓越し、低周波数の脈動が南の太平洋側から、また、高周波数の雑微動が紀ノ川の北側から伝播してきていると解釈できる(いずれも主にレーリー波

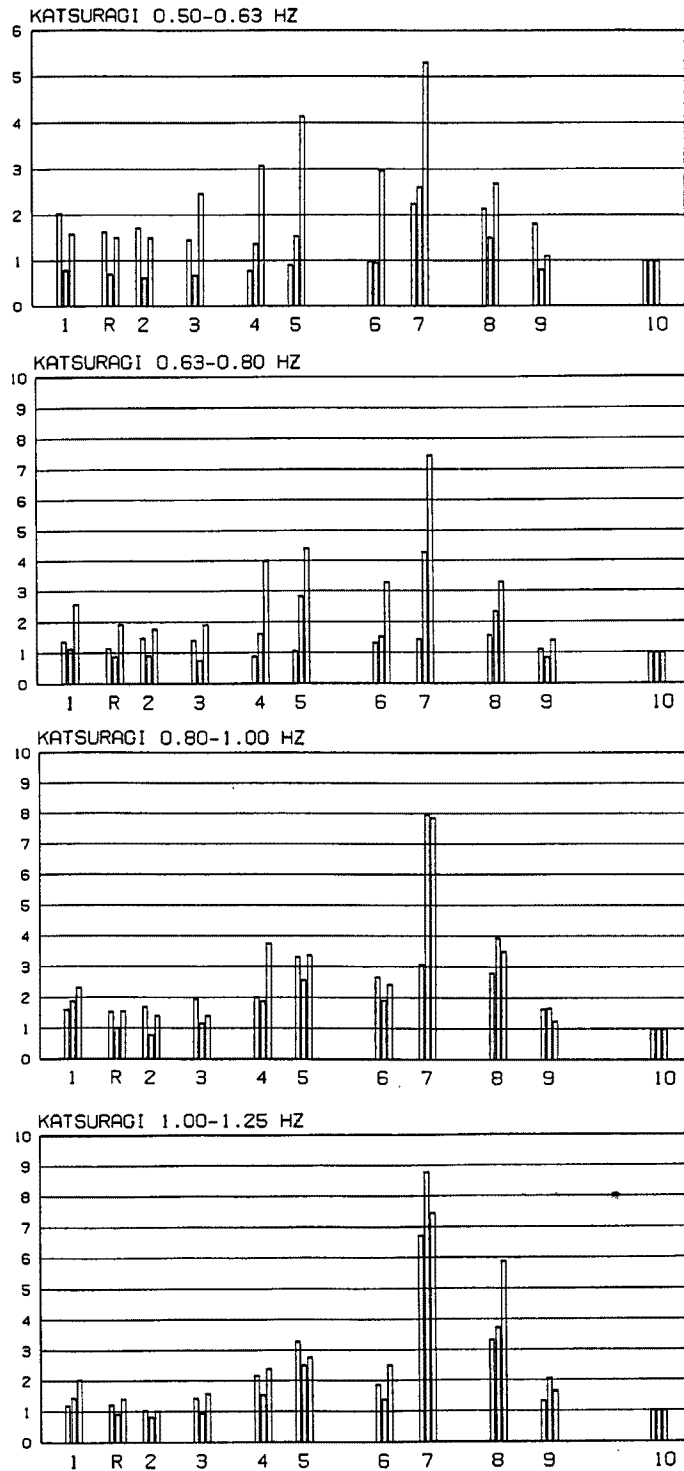


Fig. 6. Variation of amplification for microseisms for 1/3 octave bands. Site No. 10 on the Sanbagawa zone was used for the reference site. Left bar: vertical component, center bar: horizontal component normal to the fault and right bar: horizontal component parallel to the fault.

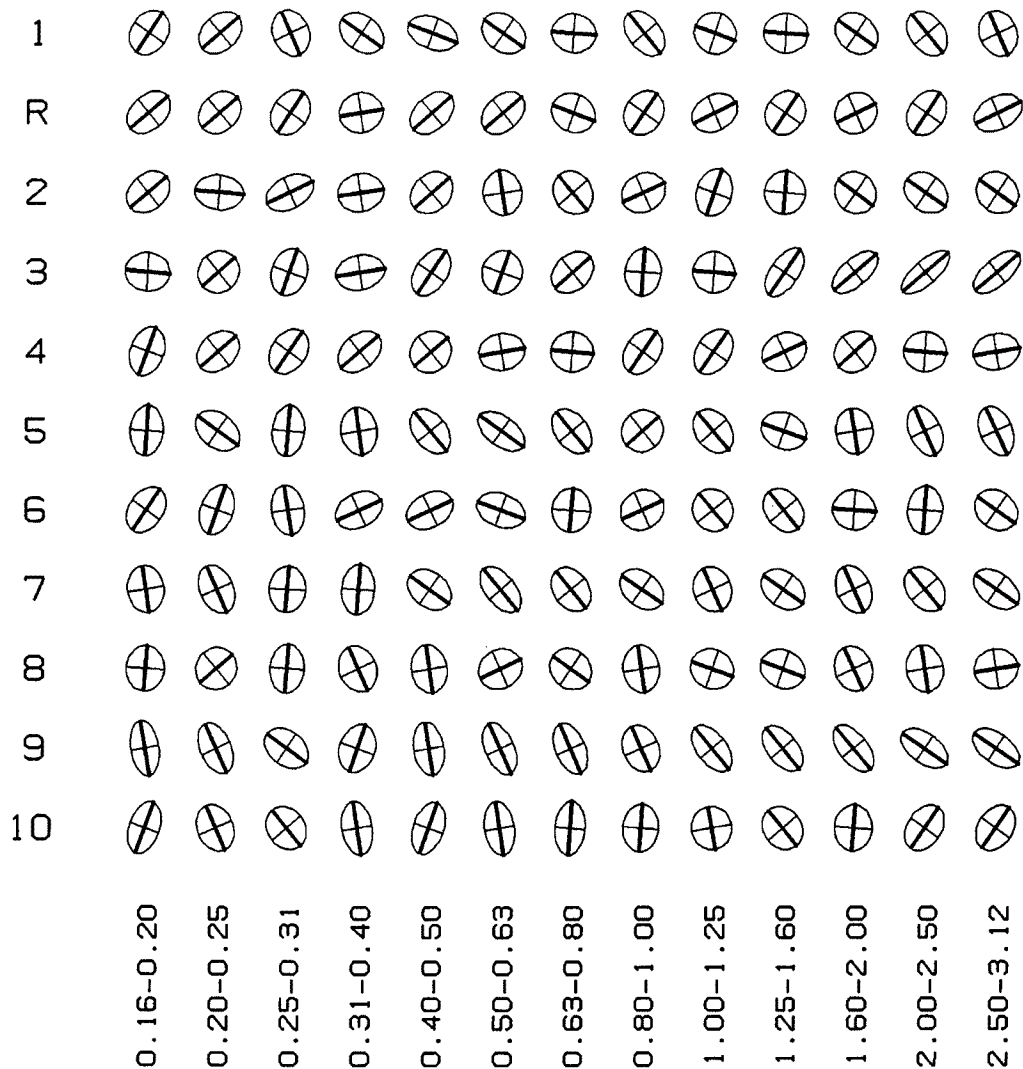


Fig. 7. Orbital motions of microseisms in the horizontal plane for various frequency bands.

の伝播が想定される)。しかしながら、北側に移行するに従い東西方向の成分が大きくなる傾向が認められる。特に、**R** を含め Nos. 2-4 では広い周波数範囲で長軸が断層方向に近い東北東に向く傾向が強い。ここでの解析は入射している波の震動源の性質を考慮していないにも拘らず、このような系統的な地域的な変化を呈することは、断層破砕帯の波動場に与える影響が強い異方性を有していると考えられよう。

## 5. 議 論

前節の結果から、中央構造線断層系近傍で観測される脈動は断層走行方向の震動が増幅されていることが明らかである。このような増幅率の系統的な異方性は、先に述べた San Andreas 断層破砕帯<sup>1)</sup>や南北方向に長い京都盆地<sup>4)</sup>においても観測されている。Fig. 8 に Parkfield における San Andreas 断層破砕帯の結果<sup>1)</sup>を引用した。

堆積盆地に表面波が入射する場合、上下動成分より水平成分が大きく増幅されることが2次元モデルにより計算されている<sup>10)</sup>。さらに、長軸に斜めに入射する地震波に対しても、長軸方向の震動成分 (in-plane) が

選択的に増幅されることも計算されている<sup>11)</sup>。京都盆地と San Andreas 断層破砕帯の観測結果はこのモデル計算によりうまく説明されるようである。

中央構造線断層系における観測結果は、San Andreas 断層破砕帯における典型的な増幅異方特性に比べやや複雑な様相を呈している。すなわち、Parkfield では地表に現れている断層線に関してほぼ対象な増幅特性を示している (Fig. 8) のに比べ、かつらぎ町では地表で断層が確認されている GJD、F や MTL 付近 (Figs. 2, 3) では上下動成分も含めた in-plane の震動の増幅が認められるが、それよりも南側で特に断層方向水平動成分の増幅が強調されている。この違いは、San Andreas 断層がほぼ 90° の dip 角を有して現在活発に動いており、断層破砕帯の規模も大きい<sup>12)</sup> のに対し、中央構造線断層系は 20°~30° の低角度で北に傾斜している<sup>7)</sup> こと、紀ノ川の堆積層や段丘が存在することなどによると思われる。

断層破砕帯の規模や構造を震動特性から議論するには波長の長い脈動領域だけでなく短波長の震動を吟味する必要がある。このためには、この地域の雑微動の統計的性質を明らかにするとともに、南側の三波川帯と北側の和泉層群の両方の岩盤上で同時に観測しながら、地盤上のサーベイを実施する方法を検討する必要がある。波動が断層破砕帯にトラップされるような現象<sup>13)</sup> についても、この様な観測から得られる位相に

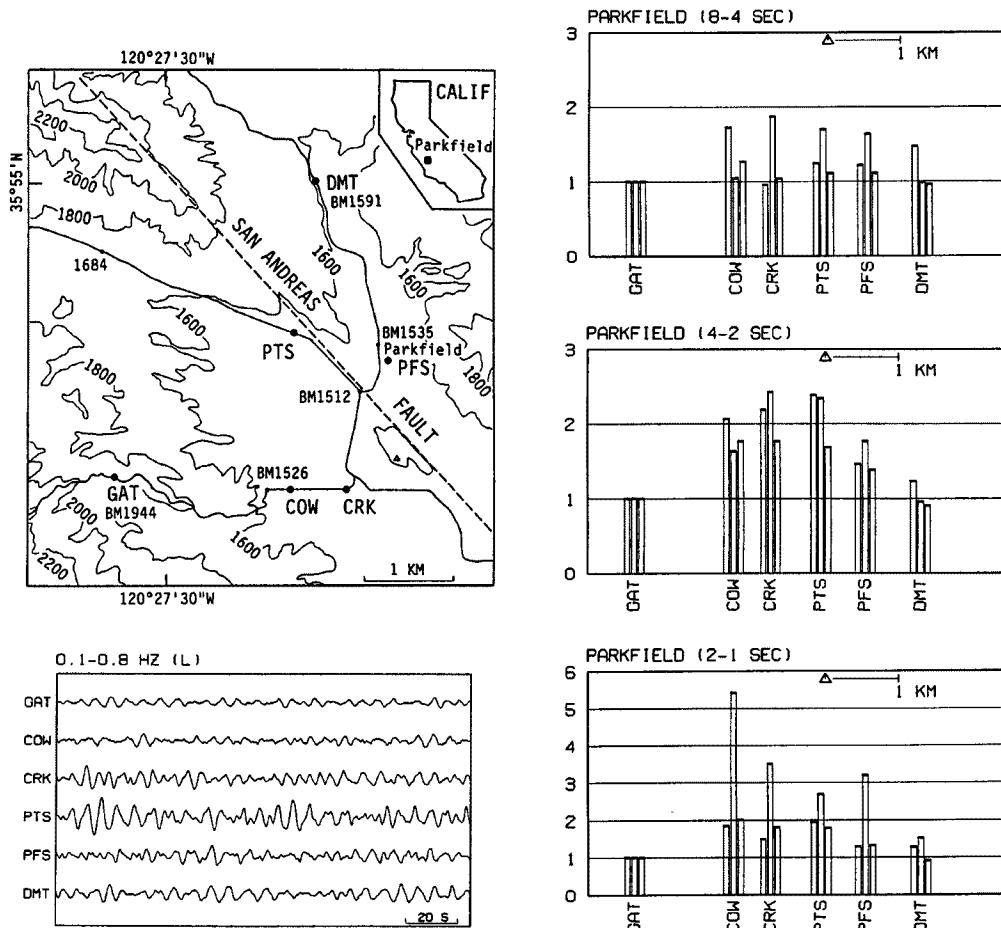


Fig. 8. Anisotropic amplification of microseisms by the San Andreas Fault zone observed at Parkfield, California. Altitude in the map is in ft. Microseisms in velocity are shown for the horizontal component parallel to the fault direction. Amplifications to GAT are shown for the vertical component (left bar), the horizontal ones parallel (center bar) and normal (right bar) to the fault direction.  $\Delta$  shows the location of fault surface.



関する情報を利用する必要がある。

京都盆地では脈動／岩盤の振幅比に基づいて長周期地震波（1-10秒）を対象としたマイクロゾーニングマップが作成されている。この結果は重力ブーゲー異常図との比較から、主に基盤岩の3次元構造を反映していると解される<sup>4)</sup>が、はじめに述べたように盆地内の断層構造の震動特性への影響についても今後検討する必要がある。京都盆地においては重力観測から埋没断層を調査する研究が進められている<sup>14)</sup>。ノイズ環境の悪い都市の地盤のマイクロゾーニングの研究では、微動や地震観測など地震波動論的方法のみならず重力など種々の地球物理学的方法を利用することも考える必要がある。

断層構造の調査は地震予知研究の観点から進められてきた<sup>15)</sup>。しかしながら、ここで議論したように地盤震動特性への表層地質の影響という地震工学的観点からの調査も重要であることが指摘できる。

## 6. ま と め

和歌山県かつらぎ町において中央構造線断層系による脈動の震動特性への影響を調査した。その結果、五条谷断層と中央構造線近傍では断層走行方向への系統的な増幅作用の異方性が観測され、断層破砕帯の構造の調査に脈動観測が有効であることが判った。また、都市地盤のマイクロゾーニングにおいて、断層破砕帯の地震時地盤震動特性への影響の評価が地震工学的観点から重要であることを指摘した。

## 謝 辞

観測に際し、かつらぎ町立妙寺小学校畑野分校の皆様には大変ご協力頂いた。また、防災研究所地震予知研究センター尾上謙介氏には観測の準備段階の地質踏査を実施して頂いた。観測は当時本学理学部3回生の岡本 茂君、山本みどりさんも参加した。また、理学部地球物理学教室西村敬一氏には有益な議論をして頂いた。これらの方々には心より感謝致します。

## 参 考 文 献

- 1) 赤松純平・藤田雅之：サンアンドレアス断層にトラップされた脈動の観測，地震学会講演予稿集，No. 2, 1991, p. 79.
- 2) Akamatsu, J. and M. Fujita: A simple Method of Investigating An Active Fault Zone: Observation of Microseisms Trapped in The San Andreas Fault Zone at Parkfield, IASPEI Abstract, S1, 1991, p. 15.
- 3) Akamatsu, J., M. Fujita and K. Nishimura: Vibrational Characteristics of Microseisms and Their Applicability to Microzoning in A Sedimentary Basin, J. Phys. Earth, Vol. 40, 1992, pp. 137-150.
- 4) 安井 洋・赤松純平：脈動観測を利用した京都盆地のマイクロゾーニング，地球惑星関連学会1993合同大会予稿集，1993, p. 208.
- 5) 川崎慎治・小林芳正・筒井智樹：京都市桃山断層の反射法地震探査，地震Ⅱ，第45巻，1992, pp. 239-245.
- 6) 活断層研究会編：新編日本の活断層，東京大学出版会，1991, pp. 280-285.
- 7) 篠原正男・宮田隆夫：中央構造線近畿地方西部地域，日本の地質6・近畿地方，共立出版，1987, pp. 66-68.
- 8) 吉川宗治・岩崎好規・井川 猛・黒田 徹・横井 裕：紀伊半島西部地域における中央構造線の反射波構造，昭和62年度春季地震学会予稿集，1987, p. 319.
- 9) Suzuki, T.: Amplitude of Rayleigh Waves on The Surface of A Stratified Medium, Bull. Earthq. Res. Inst., Vol. 11, 1933, pp. 187-195.
- 10) Drake, L. A.: Love and Rayleigh Waves in An Irregular Soil layer, Bull. Seis. Soc. Am., Vol. 70, 1980,

- pp. 571-582.
- 11) Khair, K. R., S. K. Datta and A. H. Shah: Amplification of Obliquely Incident Seismic Waves by Cylindrical Valleys, Part II. Incident SH and Rayleigh Waves, *Bull. Seis. Soc. Am.*, Vol. 81, 1991, pp. 346-357.
  - 12) McEvelly, T. V., R. Clymer, T. Daley, Wm Foxall, E. Karageorgi and A. Michelini: Seismic Wave Monitoring at Parkfield, California, National Earthquake Hazards Reduction Program, Summaries of Technical Reports Vol. XXVIII, OPEN-FILE REP. 89-453, U.S. Geological Survey, 1989, pp. 333-340.
  - 13) Li, Y., P. Leary, K. Aki and P. Malin: Seismic Trapped Modes in The Oroville and San Andreas Fault Zones, *Science*, Vol. 249, 1990, pp. 763-766.
  - 14) 中村佳重郎: 私信, 1993.
  - 15) 山口 覚・柏原功治・溝畑茂治・住友則彦・渡辺邦彦・小泉 誠・小泉尚嗣・安川克己: 中央構造線(紀伊半島中央部)の電磁氣的構造調査, 京都大学防災研究所年報, 第34号 B-1, 1991, 325-337.