

# 兵庫県南部地震の震源過程モデル —遠地の地震波解析速報—

菊地正幸<sup>1)</sup>

## 1. はじめに

1994年1月17日未明, 淡路島北端近海を震源とする大地震が起こった. この地震で, 兵庫県を中心に大阪その他で死者5,300人余, 損壊家屋110,000棟の大災害が発生した. 気象庁はこの地震を「平成7年兵庫県南部地震」と命名したが, いつしかマスコミは「阪神大震災」と呼ぶようになった.

この論文では, 今回の地震の発生メカニズムについて, 遠地の地震波記録を用いて得た暫定結果を報告する. 地震学的に推定された震源モデルが活断層の調査や土木建築物の被害調査等とどの程度整合性があるのか(あるいはないのか), 今後の検討素材の一つとなれば幸いである.

## 2. 基礎データ

気象庁の速報による地震諸元は次の通りである.

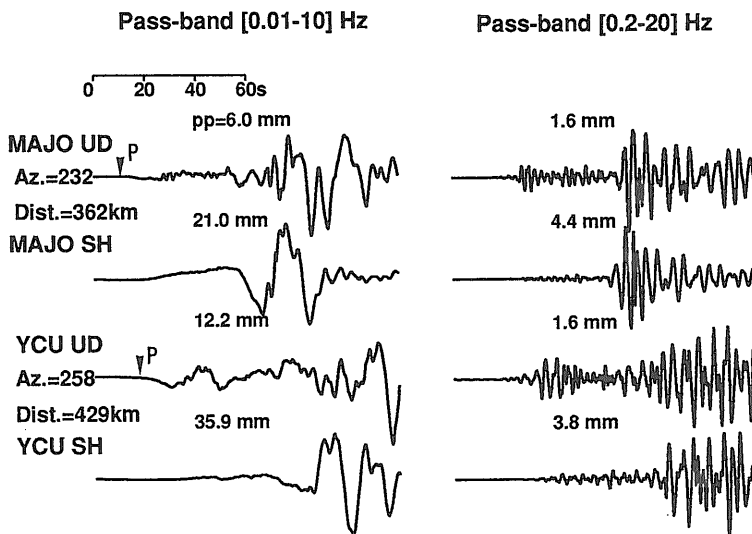
発震時: 95/01/17 05:46:52.0s

震央: 34.61°N, 135.04°E, 深さ: 14.3 km

マグニチュード: 7.2

ただし一般向け発表では, 発震時は分まで, 震央は0.1°, 深さは10 km 刻みである.

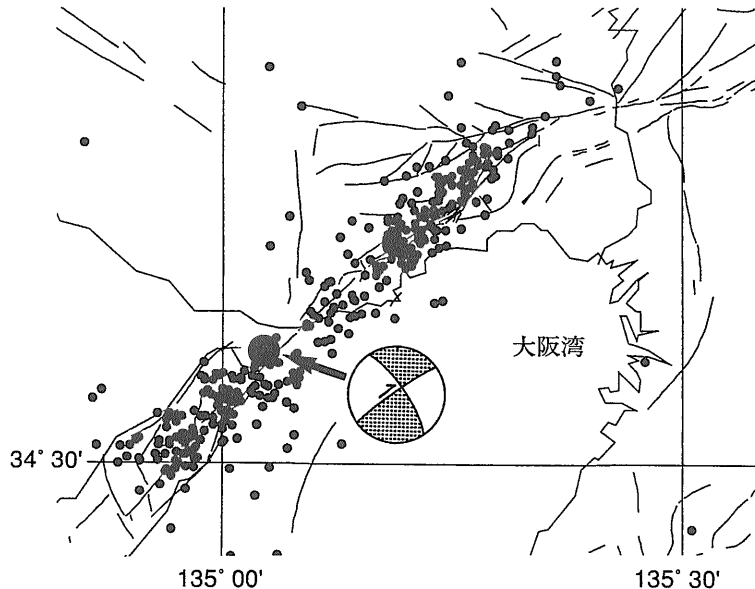
ダイヤルアップ式広帯域地震観測所(横浜市立大学と松代)で観測された記録例を第1図に示す. 比較的広い周波数帯域[0.01-10]Hzと狭い帯域[0.2-20]Hzのバンドパスフィルターをかけた変位記録を示してある. P波振幅からわかるように, MAJO(松代)はP波の節の位置にあたる.



第1図 広帯域地震計による地動変位記録(上下動とSH成分). MAJO=松代, YCU=横浜. Az.=方位, Dist.=震央距離. 矢印はP波の到達を示す.

1) 横浜市立大学文理学部: 〒236 横浜市金沢区瀬戸22-2

キーワード: 兵庫県南部地震, 阪神大震災, 震源過程, 地震波解析, 直下型地震, 断層メカニズム



第2図 本震(大きい黒丸)と余震(小さい黒丸)の震央分布. 本震は気象庁速報値. 余震は京都大学防災研究所の自動決定震源のうち, 地震発生後約5時間から1日の期間のもの.

周期5秒以下の変位記録(右側)は気象庁マグニチュードの推定に使うことができる. 水平変位の片振幅  $A[\mu]$  は, MAJO で3,040, YCU(横浜市立大学)では3,190である. これに気象庁マグニチュードの計算式:

$$M = \log A + 1.73 \log \Delta - 0.83$$

を適用すると, これらの観測点からそれぞれ  $M=7.1, 7.2$  が得られる.

余震の空間分布は断層面を特定したり, 破壊の広がり(断層面積)を推定する上で, 最も信頼できるデータの1つである. 第2図に, 京都大学防災研究所阿武山観測所の自動震源決定による余震の震央分布を示す. 地震発生の約5時間後から1日後までのデータをプロットしたものである. 大きい黒丸は気象庁の速報震源, メカニズム図は後述の波形解析で得られたものである. 背景の曲線は活断層である. 余震は本震の南西方向に約15 km, 北東方向に約35 km の範囲に及んでいる.

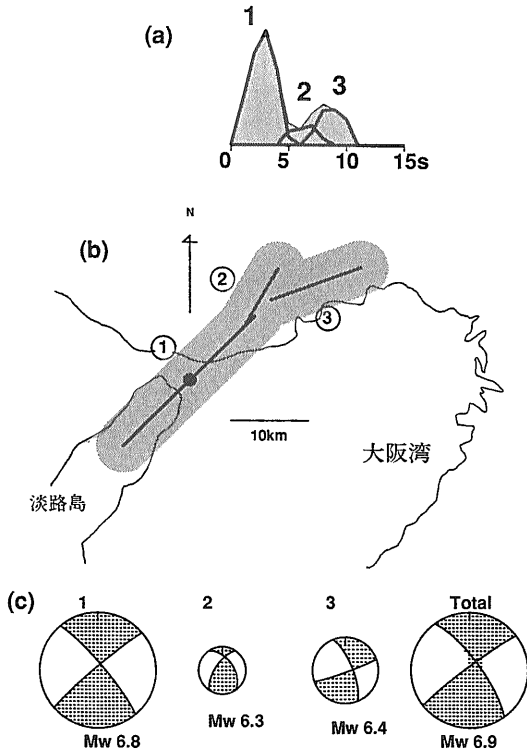
### 3. 遠地の地震波の解析

アメリカの IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology) のデータセンターから広帯域地震計記録を集めた. その際, 震央距離が  $30^\circ$  から

$100^\circ$  の間の観測点を選んだ. この震央距離の実体波 (P 波, S 波) は, 震源近傍における表層の多重反射とマントル中の伝播経路での減衰の影響を考慮するだけで, 良い近似波形が作れる.  $30^\circ$  より近くではモホ面からの屈折波を考慮しないといけないし, 逆に,  $100^\circ$  以上離れた観測点では核・マントル境界の回折波となって短周期成分がカットされてしまう.

地球内部の岩盤はガラスなどと違って不均一で傷だらけである. このため破壊は決してスムーズには進まず, 進行と停止を繰り返しながら, ギクシャクと進む. このことは地震記録上では複数個のパルスとして現れる. このとき破壊点の移動に伴って, その移動方向にある観測点では波の到達時間が相対的に早まり, 逆に, 反対方向の観測点では遅くなる. この性質を利用すれば, いろいろな観測点の地震波形から, 破壊の進行方向や範囲を求めることができる. 解析方法の詳細は Kikuchi & Kanamori (1991) に示してある. 破壊過程を点震源の時空間分布によって近似する方法である.

用いた記録はアメリカ, オーストラリア, 東南アジアなど24観測点の38個のP波, SH波である. 理論波形の計算には Jeffreys-Bullen の標準地殻構造モデルを用いた. また, 震源を一定の深さに固定することにし, その深さを最小自乗法により,



第3図 遠地の地震記録の解析による震源の破壊過程。  
 (a) モーメント速度関数。  
 (b) サブイベント(断層)の空間分布。陰影部は位置の不確定さを示す。  
 (c) 各サブイベントのメカニズム解。

H=8 km と決定した。

解析結果を第3図に示す。(a)はモーメント速度関数と呼ばれるもので、破壊の時間経過を表す。必ずしも同一ではないが、波動エネルギーの放出速度とみなしてよい。(b)は断層の空間分布を示す。斜線部が位置の不確定さ(約5.6 km)を示している。(c)はメカニズム解(下半球等積投影)を表す。主な震源パラメータは第1表にまとめてある。なお計算にあたっては、剛性率 $\mu=30\text{GPa}$ 、破壊速度

$v=3.0\text{ km/s}$ 、縦横比 $L/W=2$ を仮定している。このうち、破壊速度 $3\text{ km/s}$ はかなり大きい値である。通常は $2.3\text{ km/s}$ を用いることが多いが、その場合、面積は約0.6倍、すべり量は約1.7倍、応力降下は2.2倍になる。ここでは、余震分布を考慮して、断層面積を考え得る範囲で大きくとった。

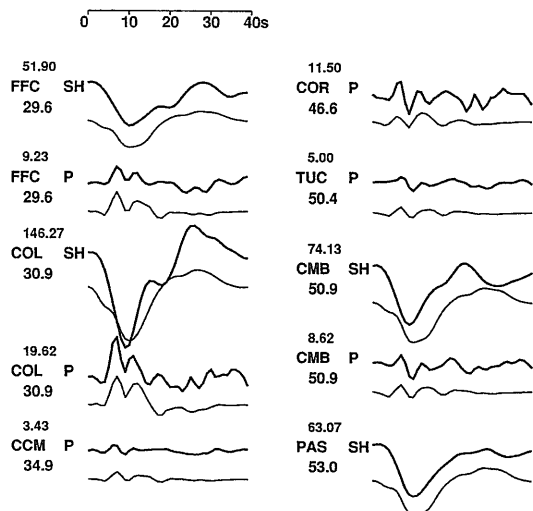
解析結果から推定される破壊過程は概略次の通りである。淡路島北部付近をスタートした破壊①は、まず北東-南西方向に沿って、両側に進んだ。この間4~5秒間、毎秒2~3 kmのスピードで拡大していった割れ目は、震源(破壊の開始点)から両側にそれぞれ約10~15 kmの長さに及んだ。割れ目の通った跡には1.5~2.5 mほどの岩盤の食い違いが生じた。この食い違いは各地点で見れば1~2秒間でできたと推定される。

破壊はこれだけでは収まらなかった。最初の割れ目の北東端付近で、すぐ別の断層：②と③に飛火した。この後半の断層は初めの断層と少し異なる走向を持ち、したがって、割れ目は少し折れ曲がり、あるいは枝分かれする形で北東方向に進行した。この間約3~4秒間、破壊は10~15 km進行して、ついに神戸市の地下の岩盤を横切った。はじめの断層のエネルギーを1とすると、2番目、3番目の破壊のエネルギーは合わせて1/2程度であった。こうして全体でわずか10秒間余りの間に、総延長35~45 kmに及ぶ断層が動いた。

第4図に観測波形(上側)と合成記録(下側)の比較の例を示す。観測点コード(FFC, COLなど)の上の数字は観測波形の振幅(Peak-to-Peak, 単位 $\mu$ )を、また下の数字は観測点の方位を示す。波形の一致にという点では、概ね2つのサブイベント(①と③)だけでも十分である。その意味でサブイベント②の有意性はあまり高くないが、第3図(C)あるいは第1表のメカニズムからわかるように、これだけが縦ずれ成分(東西圧縮の逆断層成分)を持ってい

第1表 震源パラメータ

サブイベント	メカニズム (走向, 傾斜, すべり角)	モーメント $\times 10^{19}\text{ Nm}$	継続時間 s	断層面積 $\text{km}^2$	食い違い m	(水平, 垂直)
#1	(229, 86, 171)	1.81(Mw 6.8)	0-6	24×12	2.1	(2.1, 0.3)
#2	(214, 66, 136)	0.30(Mw 6.3)	4-9	9×4.5	2.5	(1.8, 1.7)
#3	(70, 85, -162)	0.59(Mw 6.4)	6-11	12×6	2.7	(2.6, 0.8)
Total	(233, 85, 165)	2.50(Mw 6.9)	0-11			



第4図 観測波形(上段)と理論波形(下段)の比較例。観測点コード(FFC, COLなど)の上の数字は観測波形の振幅(Peak-to-Peak値), 下の数字は観測点の方位角。

る点が注目される。

#### 4. おわりに

地震モーメントで測った地震のマグニチュード(Mw)は6.9であった。1927年以来、この種の内陸型の大地震は3回起きている。27年の丹後地震(Mw7.0), 43年の鳥取地震(Mw7.0), 48年の福井地震(Mw6.9)である(Kanamori, 1973)。もちろん、これら過去の地震の記録は質、量とも劣り、必ずしも今回の地震と同じように比較することはできない。しかし、そのことを考慮したとしても、今回の地震がこれまでの内陸型地震と大きく違っているという証拠は今のところ見当たらない。むしろ規模といい、メカニズム(浅い横ずれ)といい、これまでの地震と大変よく似ているといえる。

地震波形を使った震源の研究は1990年代に入り、

画期的な進歩をとげた。それは、高性能デジタル地震計・高速データ通信・高速電子計算機の結合によってもたらされた。それまでのアナログ記録の時代には、世界各国の地震記録のコピーを収集するだけで1ヵ月以上を要した。それから解析を始め、結果が出るまでにまた1ヵ月以上を要した。今日、全世界の地震波データは地震発生後ほぼ1時間で手に入り、高速電算処理によりあっというまに、震源メカニズムが得られるのである。

地震防災は必ずしも自然科学だけのテーマではない。しかし、今回の大震災の一つの要因が、理学(地震学、地質学)と工学(土木、建築)との間の意志疎通を欠くことにあったのではないだろうか。理学の側からの反省点として言えば、これまでに我々の得てきた知見を実行可能な形で工学者に伝える努力がなされていなかったか、あるいは極めて不十分であった。

また、地震学と地質学の間でさえ、情報交換のペースが十分にできていたとは言えない。地震後の調査で地震断層が明瞭でなかった部分(神戸側)について、地震学的データ(余震分布や本論文の地震波解析結果)が地質学者にどう理解されるか、あるいは、我々が具体的なイメージとして(とくに解の不確定さを)どう伝えるべきか迷いがある。しかし、この壁をのり越えて相互理解ができれば、自然現象の理解が一段と深められることは間違いない。

#### 文 献

- Kanamori, H. (1973): Mode of strain release associated with major earthquakes in Japan, *Annual Rev. Earth Planet. Sci.*, 1, 213-239.
- Kikuchi, M. and H. Kanamori (1991): Inversion of complex body waves-III, *Bull. Seismo. Soc. Am.*, 81, 2335-2350.
- KIKUCHI Masayuki (1995): Source Process of the Kobe Earthquake of January 17, 1995

〈受付: 1995年2月10日〉