

伊豆大島近海地震の CMT 解

地質調査所*
川 勝 均

CMT Solution of the Izu-Oshima-Kinkai
Earthquake of January 14, 1978

Hitoshi KAWAKATSU
Geological Survey of Japan
1-1-3 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan
(Received May 30, 1990;
Accepted August 3, 1990)

1978 年 1 月 14 日の伊豆大島近海地震の Harvard CMT 解 [DZIEWONSKI *et al.* (1987)] が他の解析から得られた解 [岡田 (1978), SHIMAZAKI and SOMERVILLE (1978)] と大きく異なっているため、GDSN・IDA の長周期波形を使って解析しなおしたので結果を報告する。

Fig. 1a は Harvard CMT (HCMT と以下略す) 解を下面半球に投影したものである。近地のデータ等から決定された、よく知られている断層面解 (Fig. 1b) とは大きく異なっていることがわかる。一般に HCMT 解は信頼度が高く、特にこの地震ほどの大きさ ($\approx 10^{19}$ Nm) の場合は、地震破壊の全体像をよく表していると考えられるので、この食い違いの原因を明かにしておくことは意味があると思われる。さらに、SACKS *et al.* (1981) によれば、主破壊のあとに一連の "slow earthquake" があつたとされているので、HCMT 解が決められている比較的長周期の領域 (45~200 秒) でも、複雑な現象が起こっている可能性もある。

解析方法は DZIEWONSKI *et al.* (1981), DZIEWONSKI and WOODHOUSE (1983) と同様の CMT 法であり、プログラムは KAWAKATSU (1989) で用いたものを使う。Fig. 2 に GDSN 記録を使って表面波 (Fig. 2a)・実体波 (Fig. 2b) を別々に解析した際の結果を HCMT 解と比較して示して有る。ここで、I, C, D の三成分はモーメント・テンソルの対角成分で、

$$I \equiv \frac{1}{3}(M_{rr} + M_{\theta\theta} + M_{\phi\phi}),$$

$$C \equiv \frac{1}{3}(M_{\theta\theta} + M_{\phi\phi} - 2M_{rr}) \quad (1)$$

$$D \equiv \frac{1}{2}(M_{\theta\theta} - M_{\phi\phi})$$

で与えられる。

Fig. 2 では、モーメント・テンソルの各成分の大きさが相対的に示されている。横棒は HCMT 解であり、丸印がここで得られた解である。等方成分 (I) はゼロであると仮定した。縦棒は標準偏差の二倍の範囲をしめす。表面波の解 (Fig. 2a) は全体的に HCMT 解と調和しているが、 $M_{r\theta}$, $M_{r\phi}$ 成分の標準偏差が非常に大きい。これは、よく知られている浅い地震のモーメント・テンソル・インバージョンの場合のこれらの成分の不安定性の問題 [KANAMORI and GIVEN (1981)] があることを示している。これに対して、実体波の解 (Fig. 2b) の各成分の標準偏差は大体同じで、 $M_{r\theta}$, $M_{r\phi}$ 成分も小さく安定している。Fig. 2 の下半分には、それぞれの解の固有値と固有ベクトルが示してある。表面波解の固有ベクトルで $M_{r\theta}$, $M_{r\phi}$ 成分が大きいものの固有値が際だって小さいことから、これらの成分が不安定であることがわかる。これに比べて、実体波解では各固有値の間にそれほど差がなく、 $M_{r\theta}$, $M_{r\phi}$ も他の成分と同程度に決まることわかる。HCMT 解は表面波の解析によって得られた解と、不安定な成分の絶対値の大きさ ($M_{r\theta}$ の正負は逆である) も含めて類似している (Fig. 2a)。これは、HCMT 解が他の解と異なるのは、表面波解析の誤差が最終解に反映したためではないかと想像させる。実際、実体波から決めた解は SHIMAZAKI and SOMERVILLE のものによくにている。

Table 1, Fig. 3 は IDA のデータも入れて表面波と実

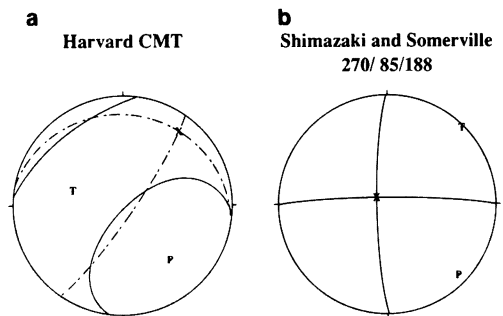


Fig. 1. Equal area projection (lower hemisphere) of the published focal mechanism solutions of the Izu-Oshima-Kinkai earthquake of Jan. 14, 1978: (a) Harvard CMT solution [DZIEWONSKI *et al.*, (1987)]. (b) SHIMAZAKI and SOMERVILLE (1978) (strike/dip/slip angles are indicated). Note the significant difference between two solutions.

* 〒305 茨城県つくば市東 1-1-3

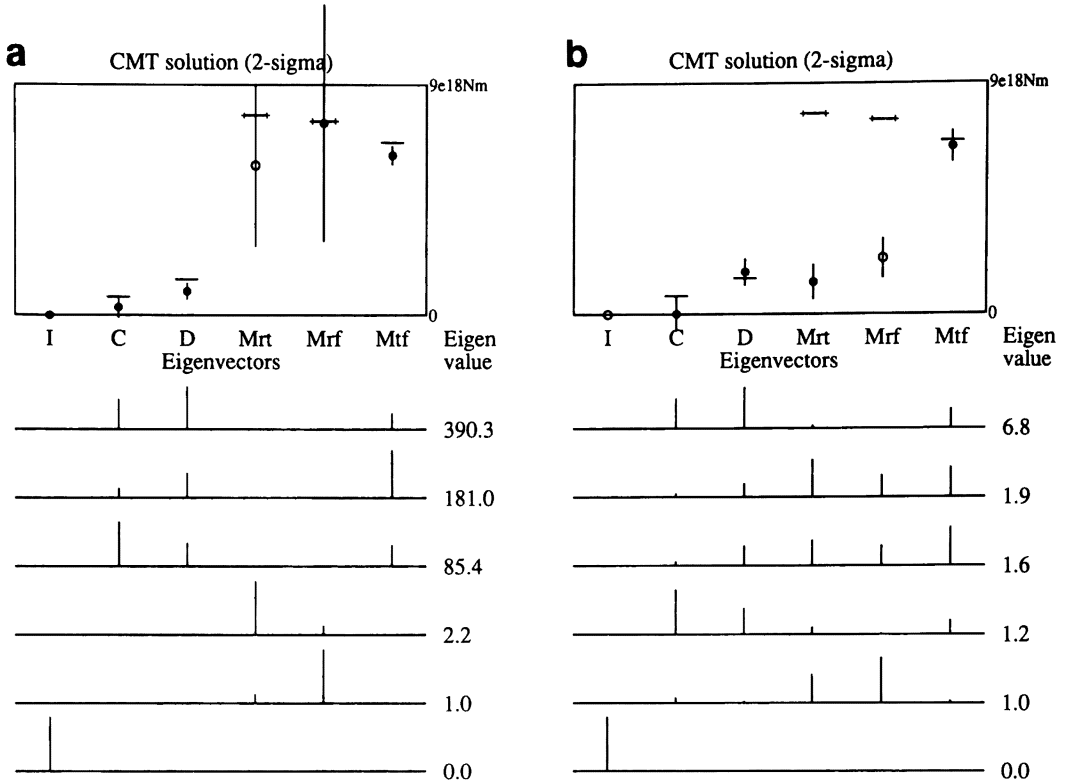


Fig. 2. CMT solutions obtained by analyzing GDSN long-period data. (a) Result with long-period surface waves (4–10 mHz). (b) long-period bodywaves (10–22 mHz). In the top box of each figure, relative sizes of the moment tensor components are plotted. Open and closed circles denote positive and negative values, respectively. Error bars give the size of two standard deviations. The horizontal bars indicate corresponding Harvard CMT solution (bars with and without plus signs at the ends indicate positive and negative values, respectively). Note the large error bars for $M_{r\phi}$ and $M_{r\theta}$ of the surface wave solution. In the bottom of each figure, eigenvectors are plotted with corresponding eigenvalues. Unstable nature of $M_{r\phi}$ and $M_{r\theta}$ of the surface wave solution is also manifested as small eigenvalues of the eigenvectors which have significant $M_{r\phi}$ and $M_{r\theta}$ components. Isotropic components are constrained to be zero in the inversion.

体波と一緒に解析した結果であり、ここでの最終解である。ふたつの周波数帯の異なるデータを同時に使うために、震源時間を $T=10$ 秒と仮定して、理論記象は周波数領域で $2\sin(\omega T/2)/\omega T$ 倍して計算する [DZIEWONSKI and WOODHOUSE, (1983)]. 不安定成分を除き HCMT 解とよく一致している。サイスミック・モーメントは 7×10^{18} Nm である。非ダブルカップル成分も小さく、誤差の範囲で純粋なダブル・カップルと考えられる。Centroid パラメータは、使用可能である観測点の数（表面波：GDSN 8 点、IDA 6 点；実体波：GDSN 6 点）が少ないため余り信用できない。東西方向の節面の走向 (274°) が SHIMAZAKI and SOMERVILLE の海域の断層 (Fig. 1b,

270°) にくらべて少し時計方向に回転しているのは、KIKUCHI and SUDO (1984) や岡田 (1978) のようなふたつめの断層面があったすると調和的である。Fig. 4b に KIKUCHI and SUDO の初めの 4 つの subevent から合成したモーメント・テンソルを示す (5 番目以後は地震の大きさを考えて、誤差と解釈している)。このモーメント・テンソルのサイスミック・モーメントは 9.5×10^{18} Nm であり、CMT 解のものよりも幾分か大きい。この差の原因は、仮定した地球構造の不確かさを反映しているであろう。また、ここで使った個々の subevent のモーメントの和は 11.9×10^{18} Nm と大きくなっている。これは、断層面の向きが破壊の途中で変わる地震では、

Table 1. CMT solution.

Location origin time* +11.2±0.5 sec.	Latitude 33.84±0.04°	Longitude 139.21±0.04°	Depth (km) 22.8±2.0		
Moment tensor	(10 ¹⁸ N·m)				
M_{rr}	$M_{\theta\theta}$	$M_{\phi\phi}$	$M_{r\theta}$	$M_{r\phi}$	$M_{\theta\phi}$
0.64±0.15	-1.37±0.11	0.73±0.16	-0.90±0.32	1.46±0.39	-6.72±0.14
I	C	D			
0.00±0.00	-0.64±0.15	-1.05±0.11			
Principal axes					
	T-axis	N-axis	P-axis		
Moment	6.94	0.19	-7.13		
plunge	15.0	74.8	2.0		
azimuth	229.7	41.6	139.2		
Best double-couple moment					
	strike1	dip1	strike2	dip2	
7.04	273.5	78.0	5.4	80.9	

* Centroid time is relative to 03:24:39.0.

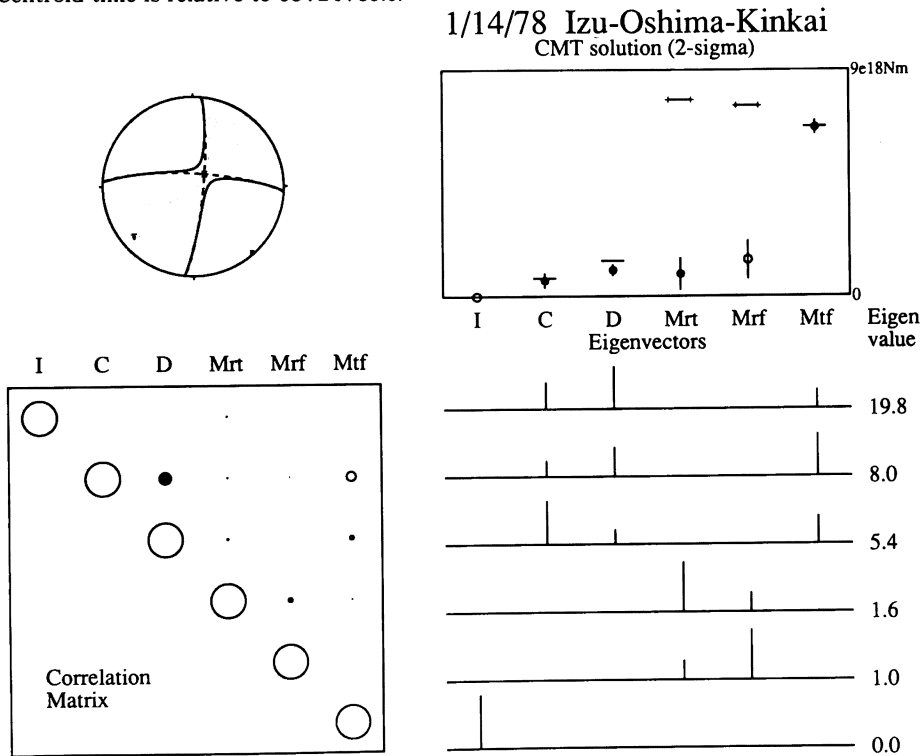


Fig. 3. Final CMT solution obtained by analyzing GDSN and IDA data. Body- and surface wave data are analyzed simultaneously. Plot on the right half is similar to Fig 2. In the lower left corner, relative sizes of elements of correlation matrix are shown. Open and closed circles denote positive and negative values, respectively and their radii are proportional to the absolute values. The final solution is very similar to the Harvard solution except those unstable components ($M_{r\theta}$, $M_{r\phi}$), which are constrained by the bodywave data. The direction of E-W striking nodal plane is rotated clockwise compared to SHIMAZAKI and SOMERVILLE'S solution (Fig. 1b) and is similar to that of KIKUCHI and SUDO (Fig. 4b). This appears to support the presence of the second fault plane with N-S direction suggested by KIKUCHI and SUDO (1984).

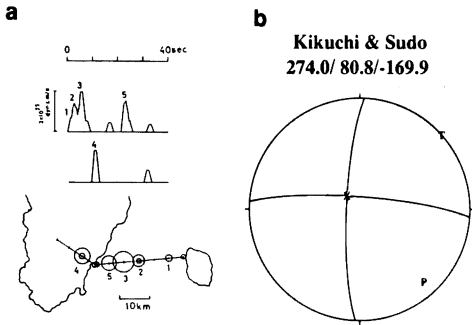


Fig. 4. (a) Two-fault-plane model of KIKUCHI and SUDO (1984). (b) A moment tensor obtained by summing their four subevents occurred within the first ten seconds. The mechanism is an almost pure double couple with the seismic moment of 9.5×10^{18} Nm, while a linear sum of the seismic moment of each sub-event is 11.9×10^{18} Nm. It should be noted that the seismic moment obtained at long periods does not necessarily represent the total sum of the seismic moments released by each subevent when the fault plane changes its direction during the faulting.

長周期で決めたサイスミック・モーメントが、より短周期での詳細な解析から得られる全体のモーメントより小さくなる可能性があるからである。低周波数で一定で高周波数で小さくなる、一般的な震源スペクトルのモデル [例えば、AKI (1967)] を考えると、一見直感に反しているように思われるが、数学的な事実である。

上にも述べたように、HCMT 解は一般的に信頼のおける解でありリファレンスとして大いに使われるべきだが、伊豆大島近海地震の様な比較的大きな地震でもここで示されたように“おかしい”ことがあり、注意が必要である。なお、ここで解析に使用したプログラムは一般に公開する予定である。Fig. 3 の解析に SUN4/260 (10 MIPS) 上でおよそ 80 分かかる。

謝 辞

データ取得に協力して下さったカリフォルニア工科大の Lorraine Hwang 氏と東京大学地震研究所の久家慶子氏に感謝します。

文 献

- AKI, K., 1967, Scaling law of seismic spectrum, *J. Geophys. Res.*, **72**, 1217-1231.
- DZIEWONSKI, A. M., T.-A. CHOU and J. H. WOODHOUSE, 1981, Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional seismicity, *J. Geophys. Res.*, **86**, 2825-2852.
- DZIEWONSKI, A. M. and J. H. WOODHOUSE, 1983, An experiment in systematic study of global seismicity: centroid-moment tensor solutions for 201 moderate and large earthquakes in 1981, *J. Geophys. Res.*, **88**, 3247-3271.
- DZIEWONSKI, A. M., G. EKSTRÖM, J. E. FRANZEN and J. H. WOODHOUSE, 1987, Global seismicity of 1978: centroid-moment tensor solutions for 512 earthquakes, *Phys. Earth Planet. Int.*, **46**, 316-342.
- KANAMORI, H. and J. W. GIVEN, 1981, Use of long-period surface waves for rapid determination of earthquake source parameters, *Phys. Earth Planet. Interiors*, **27**, 8-31.
- KAWAKATSU, H., 1989, Centroid single force inversion of seismic waves generated by landslides, *J. Geophys. Res.*, **94**, 12363-12374.
- KIKUCHI, M. and K. SUDO, 1984, Inversion of teleseismic P waves of Izu-Oshima, Japan earthquake of January 14, 1978, *J. Phys. Earth* **32**, 161-171.
- 岡田義光, 1978, 地殻歪から見た 1978 年伊豆大島近海地震, *地震研究所彙報* **53**, 823-840.
- SACKS, I. S., A. T. LINDE, J. A. SNOKE and S. SUEHIRO, 1981, A slow earthquake sequence following the Izu-Oshima earthquake of 1978, in *Earthquake Prediction, An International Rev.*, ed. D. W. Simpson and P. G. Richards, Maurice Ewing Series 4, pp. 617-628, AGU, Washington, D. C.
- SHIMAZAKI, K. and P. SOMERVILLE, 1978, Summary of the static and dynamic parameters of the Izu-Oshima-Kinkai earthquake of January 14, 1978, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **53**, 613-628.