

# 1990年と1998年の論文について

## “武村式”は何で生まれてしまったか？

地 震 第 2 輯  
第 43 巻 (1990) 257-265 頁

WS2-3-5

日本列島およびその周辺地域に起こる浅発地震の  
マグニチュードと地震モーメントの関係

無断複製・転載禁止

鹿島建設(株)小堀研究室\* 武 村 雅 之

Magnitude—Seismic Moment Relations for the Shallow Earthquakes  
in and around Japan

Masayuki TAKEMURA

Kobori Research Complex, Kajima Corporation, Akasaka 6-5-30, Minato-ku, Tokyo 107, Japan  
(Received April 8, 1990; Accepted June 13, 1990)

地 震 第 2 輯  
第 51 巻 (1998) 211-228 頁

日本列島における地殻内地震のスケーリング則  
——地震断層の影響および地震被害との関連——

鹿島小堀研究室\* 武 村 雅 之

Scaling Law for Japanese Intraplate Earthquakes in Special  
Relations to the Surface Faults and the Damages

Masayuki TAKEMURA

Kobori Research Complex, Kajima Corporation, 6-5-30, Akasaka, Minato-ku, Tokyo  
107-8502, Japan  
(Received April 21, 1998; Accepted September 7, 1998)

2017.3.24 武村

# 気象庁マグニチュードMの癖を理解する。

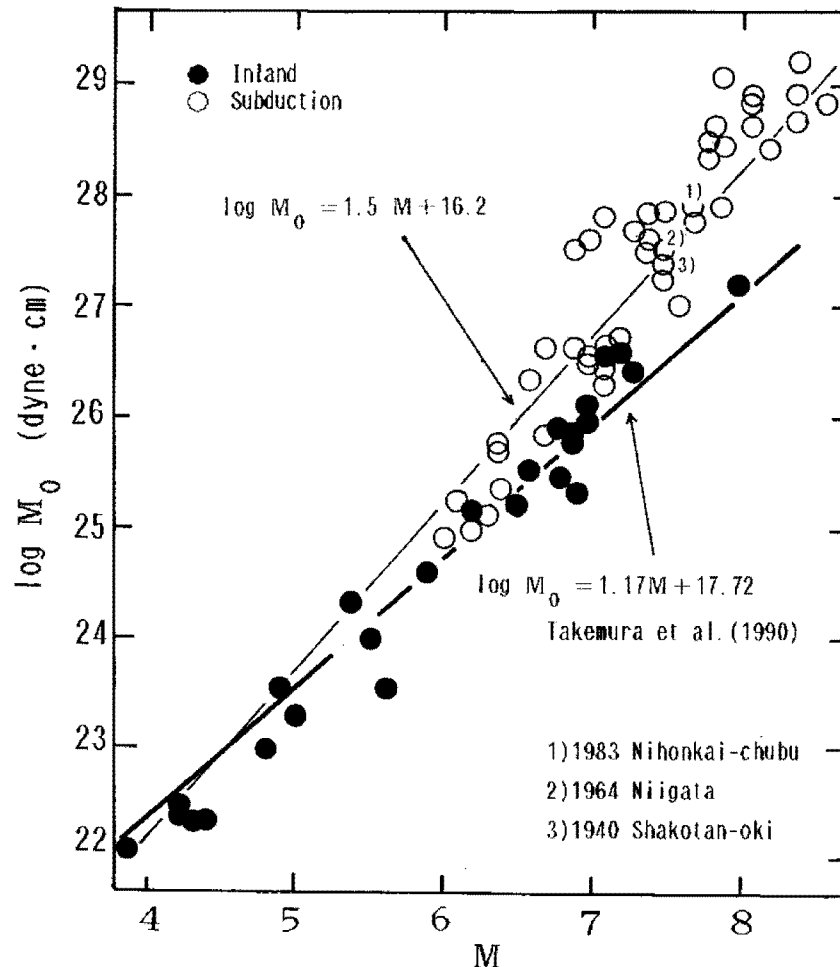


Fig. 2. Relations between  $M_0$  and  $M$  for the inland and the subduction events. Solid and open circles indicate the data for the inland and the subduction events, respectively. Open circles with numerals indicate the data for the events along the eastern margin of the Japan sea. All the data are summarized by SATO (1989). Thin and thick lines show the relationships derived by SATO (1989) and TAKEMURA *et al.* (1990), respectively.

が求められる。Fig. 2 は  $M_0$  と  $M$  について佐藤 (1989) が内陸の地震に分類したもののうち日本海東縁部に発生したものを除く地震を黒丸、海溝沿いに発生すると分類されたものに日本海東縁部に発生したものを加えたデータを白丸で示す。白丸については上記の僅かな違いを考慮すると (1) 式にほぼ沿ったデータの分布が見られる。これに対して黒丸の地震は以下の式とよい相関があり明らかに海溝沿いの地震と区別されることが分る。

$$\log M_0(\text{dyne} \cdot \text{cm}) = 1.17 M + 17.72 \quad (2)$$

この式は TAKEMURA *et al.* (1990) によって、伊豆半島周辺で発生する地殻内地震に対して求められたものである。図では日本海東縁部の大地震に対して番号が付され

# 松田式の意味を理解する。

日本における内陸の大地震に関して、従来からよく用いられている断層パラメータと  $M$  との関係式に松田 (1975) による以下の式がある。

$$\log L(\text{km}) = 0.6 M - 2.9 \quad (3)$$

$$\log D(\text{m}) = 0.6 M - 4.0 \quad (4)$$

ここで  $L$  は断層の長さ、 $D$  はすべり量である。最近高精度の微小地震観測結果より内陸地震の震源は上部地殻の極浅い地域に限られていることが指摘されている [たとえば高木・松沢 (1987)]。このため一定以上に地震が大きくなると内陸では、断層の幅は頭打ちし断層の長さとすべり量のみが増加すると指摘されている [SHIMAZAKI (1986)]。以下に (3) (4) 式から  $M_0$  と  $M$  の関係を求めるがこのような断層の幅の頭打ちを考慮して  $W = \text{一定}$  と仮定する。具体的には内陸地震に対して評価された断層の幅  $W$  の値 [佐藤 (1989)] を参考に  $W = 15 \text{ km}$  とする。さらに剛性率を  $\mu = 3.4 \times 10^{11} \text{ dyne/cm}^2$  と仮定して  $M_0 = \mu LWD$  の関係を考慮すると (3) (4) 式をもとに、内陸の大地震に関する  $M_0$  と  $M$  の関係を次のように求めることができる。

$$\log M_0(\text{dyne} \cdot \text{cm}) = 1.2 M + 17.8 \quad (5)$$

この式は (2) 式とほぼ一致する。断層幅が一定となる地震規模を見積もるため、たとえば  $W = L$  として (3) 式から下限の  $M$  を求めると  $M = 6.8$  となる。つまり、ほぼ  $M \geq 6.8$  の大地震について松田 (1975) の結果は (2) 式と整合しているといえる。

# 1998年論文のデータ

## §2. データ

検討に用いる断層パラメータは1995年兵庫県南部地震以外は、佐藤(1989)がその著書の表1-1にまとめたものである。佐藤(1989)は、1つの地震に対して複数の断層モデルが提案されている場合には、それらを列記しているが、断層パラメータやマグニチュードの関係を議論する場合にはその内代表的なものを1つ選んでいる。本稿でも基本的には佐藤によって選ばれたパラメータを採用する。武村(1990)が $M_0-M$ の関係を検討した際のデータも同じ方針で佐藤(1989)から選択された。また武村(1990)が指摘するように佐藤(1989)で採用されているマグニチュードは基本的に気象庁マグニチュードないしはそれに準ずるものである。

Table 1. List of source parameters of Japanese intraplate earthquakes from 1885 to 1995.  $M$ ,  $L$ ,  $W$ ,  $D$ ,  $M_0$ , and  $S$  show JMA magnitude, fault length, fault width, average slip, seismic moment, and fault area, respectively. In most cases, values of  $S$  were calculated by  $L \times W$ .  $\delta$  indicates the dip angle of the fault plane. All the data, except for those of the 1995 Hyogo-Nanbu earthquake, are quoted from Sato (1989).

| Earthquake<br>(year/name) | M   | Type/ $\delta$<br>(degree) | L<br>(km)        | W<br>(km)        | D<br>(cm)         | $M_0$<br>(dyne · cm) | Remarks                                                               |
|---------------------------|-----|----------------------------|------------------|------------------|-------------------|----------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 1891 / Nobi               | 8.0 | ST / 90                    | 85 <sup>*1</sup> | 15 <sup>**</sup> | 380 <sup>**</sup> | 1.5E27 <sup>*2</sup> | *1 Main Fault<br>*2 Total Faults<br>(S=1700 km <sup>2</sup> )         |
| 1927 / Kita-Tango         | 7.3 | ST / 64                    | 33 <sup>*1</sup> | 19 <sup>*1</sup> | 370 <sup>*1</sup> | 4.6E26 <sup>*2</sup> | *1 Main Fault<br>*2 after Kanamori (1973)<br>(S=460 km <sup>2</sup> ) |
| 1930 / Kita-Izu           | 7.3 | ST / 90                    | 22               | 12               | 300               | 2.7E26               | First Event                                                           |
| 1931 / Nishi-Saitama      | 6.9 | ST / 80                    | 20               | 10               | 100               | 6.8E25               |                                                                       |
| 1934 / Minami-Izu         | 5.5 | ST / 90                    | 7                | 4                | 10                | 9.5E23               |                                                                       |
| 1935 / Shizuoka           | 6.4 | ST / 70                    | 11               | 6                | 100               | 2.2E25               |                                                                       |
| 1939 / Oga                | 6.8 | ST / 30                    | 16               | 12               | 200               | 1.7E26               |                                                                       |
| 1943 / Tottori            | 7.2 | ST / 90                    | 33               | 13               | 250               | 3.6E26               |                                                                       |
| 1945 / Mikawa             | 6.8 | DP / 30                    | 12               | 11               | 225               | 8.7E25               |                                                                       |
| 1948 / Fukui              | 7.1 | ST / 90                    | 30               | 13               | 200               | 3.3E26               |                                                                       |
| 1955 / Futatsui           | 5.9 | DP / 64                    | 15               | 4                | 20.5              | 4.1E24               |                                                                       |
| 1961 / Kita-Mino          | 7.0 | OB / 60                    | 12               | 10               | 250               | 9.0E25               |                                                                       |
| 1962 / Miyagi-Hokubu      | 6.5 | DP / 56                    | 12               | 10               | 60                | 2.4E25               |                                                                       |
| 1963 / Wakasa-Wan         | 6.9 | ST / 68                    | 20               | 8                | 60                | 3.0E25               |                                                                       |
| 1967 / Wakayama-Seibu     | 4.2 | OB / 68                    | 2.5              | 2                | 1.63              | 2.7E22               |                                                                       |
| 1968.3 / Wakayama-Seibu   | 5.0 | ST / 82                    | 8                | 4                | 1.73              | 1.9E23               |                                                                       |
| 1968.8 / Wakayama-Seibu   | 4.8 | DP / 90                    | 6                | 3                | 1.58              | 9.4E22               |                                                                       |
| 1969.3 / Wakayama-Seibu   | 4.2 | OB / 90                    | 4                | 8                | 0.22              | 2.4E22               |                                                                       |
| 1969.7 / Wakayama-Seibu   | 4.4 | ST / 68                    | 3                | 3                | 0.71              | 2.1E22               |                                                                       |
| 1969.9 / Gifu-Chubu       | 6.6 | ST / 90                    | 18               | 10               | 64                | 3.5E26               |                                                                       |
| 1970.1 / Wakayama-Seibu   | 4.3 | ST / 90                    | 2                | 4                | 0.76              | 2.0E22               |                                                                       |
| 1970.10 / Akita-Nantobu   | 6.2 | DP / 46                    | 15               | 11               | 28                | 1.4E25               |                                                                       |
| 1970.11 / Wakayama-Seibu  | 3.8 | OB / 54                    | 4                | 5                | 0.16              | 1.1E22               |                                                                       |
| 1974.5 / Izu-Hanto-Okii   | 6.9 | ST / 80                    | 18               | 8                | 120               | 5.9E25               |                                                                       |
| 1974.7 / Amagi            | 4.9 | ST / 90                    | 3.5              | 3                | 9                 | 3.2E23               |                                                                       |
| 1975 / Oita-Chubu         | 6.4 | DP / 70                    | 10               | 20               | 32                | 2.2E25               |                                                                       |
| 1976 / Kawazu             | 5.4 | ST / 82                    | 9                | 3.5              | 20                | 2.1E24               |                                                                       |
| 1978 / Izu-Oshima         | 7.0 | ST / 85                    | 17               | 10               | 185               | 1.1E26               |                                                                       |
| 1980 / Izu-Toho-Okii      | 6.7 | ST / 70                    | 15               | 7.5              | 110 <sup>*</sup>  | 7.0E25 <sup>*</sup>  |                                                                       |
| 1983 / Tottori-Chubu      | 6.2 | ST / 85                    | 5                | 6                | 50                | 4.5E24 <sup>*</sup>  |                                                                       |
| 1984.5 / Yamaguchi-F      | 5.6 | ST / 90                    | 3                | 5                | 8                 | 3.2E23               |                                                                       |
| 1984.10 / Nagano-Seibu    | 6.8 | ST / 85                    | 12               | 8                | 100               | 2.9E25               |                                                                       |
| 1995 / Hyogo-Nanbu        | 7.2 | ST / 86                    | 25               | 15               | 220               | 2.5E26               | (This Study)                                                          |

ST: Strike Slip DP: Dip Slip OB: Oblique Slip

\*E for the value of  $M_0$  indicates an index number

# 断層パラメータ間の関係評価の方針

## 前提となる研究

る。これに対し SHIMAZAKI (1986) の結果は  $M_o < 7.5 \times 10^{25}$  dyne·cm の小さい地震では KANAMORI and ANDERSON (1975) のスケーリング則が成り立つとする一方で、 $M_o \geq 7.5 \times 10^{25}$  dyne·cm の大地震では L-model のスケーリング則が成り立つことを示したものである。日本で発生する地殻内地震は大地震でも多くが  $M_o < 1 \times 10^{27}$  dyne·cm の地震であることを考慮すれば、この結果は MATSU'URA and SATO (1997) の指摘とも整合する。

## 内陸地震のスケーリング則 (応力降下量一定則)

小地震:  $L \propto W \propto D$

中地震  $L \propto D$   $W = \text{一定}$  (地表出現)

大地震  $L$   $W = \text{一定}$ 、 $D/W = \text{一定}$  (地表出現)

\* 日本の地震は中地震まで

## § 3. 断層パラメータ間の関係

SHIMAZAKI (1986) は日本列島周辺の地殻内地震の断層長さ  $L$  と地震モーメント  $M_o$  の関係を調べ以下のような関係式を導いている。

$$\log L \text{ (km)} = 0.524 \log M_o \text{ (dyne·cm)} - 12.44$$

$$M_o \geq M_{ot} \quad (1)$$

$$\log L \text{ (km)} = 0.281 \log M_o \text{ (dyne·cm)} - 5.98$$

$$M_o < M_{ot} \quad (2)$$

ここで  $M_{ot} = 7.5 \times 10^{25}$  dyne·cm である。  $M_o = M_{ot}$  を境に 2 つの式は連続していない。これらの結果を基に  $M_o \geq M_{ot}$  では  $M_o \propto L^2$ 、 $M_o < M_{ot}$  では  $M_o \propto L^3$  のスケーリング則が成り立つと結論づけている [SHIMAZAKI (1986), YAMANAKA and SHIMAZAKI (1990)]。

これに基づき、本稿では (1) (2) 式の  $\log M_o$  の前の係数をそれぞれ 1/2 および 1/3 に固定して Table 1 のデータから新たな関係式を求めた。その際  $M_o < M_{ot}$  の地震のうち  $M_o < 1 \times 10^{23}$  dyne·cm の 6 地震は、 $M_o \propto L^3$  の関係から多少はずれる傾向にあるため計算から除いた。地震は全てが和歌山地方で発生した地震である。地

# L-Mo関係 (Motで不連続)

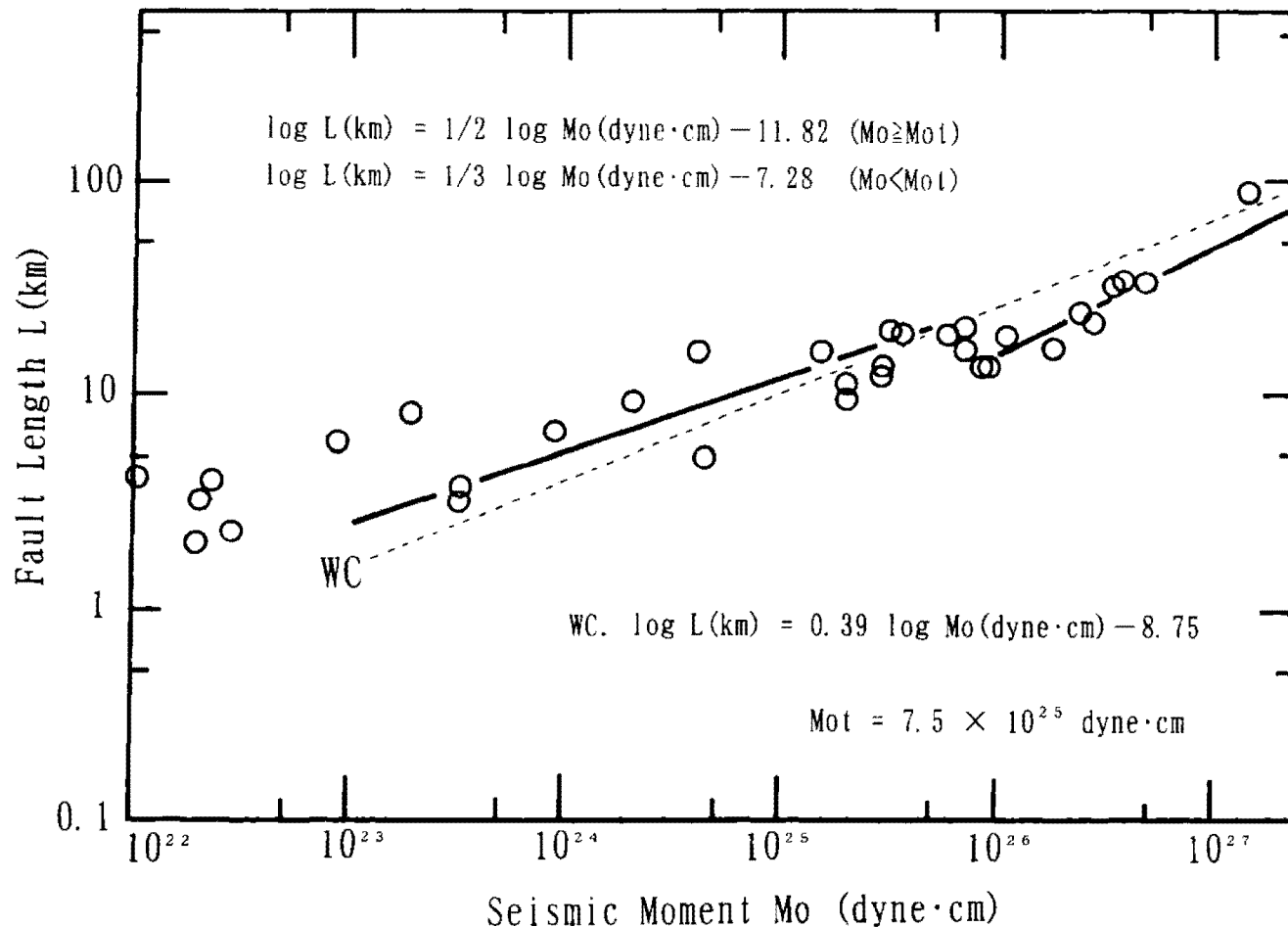


Fig. 1. Relation between fault length  $L$  (km) and seismic moment  $M_o$  (dyne·cm). Solid lines indicate the best-fit relation. WC (dotted line) shows the relation by WELLS and COPPERSMITH (1994).

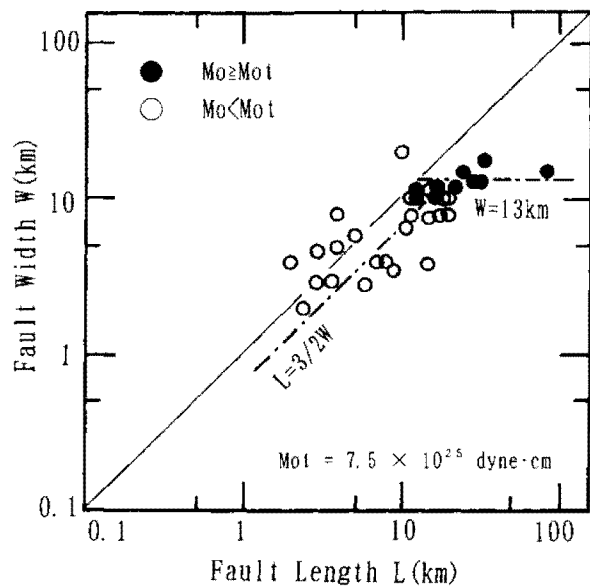


Fig. 2. Relation between fault width  $W$  (km) and length  $L$  (km). Solid circles show the data of large earthquakes with seismic moment  $M_o$  larger than  $M_{ot}$  ( $=7.5 \times 10^{25}$  dyne·cm). Average of fault widths  $W$  of the large events is 13 km.  $L=(3/2)W$  is obtained from the data of the small events with  $M_o < M_{ot}$ .

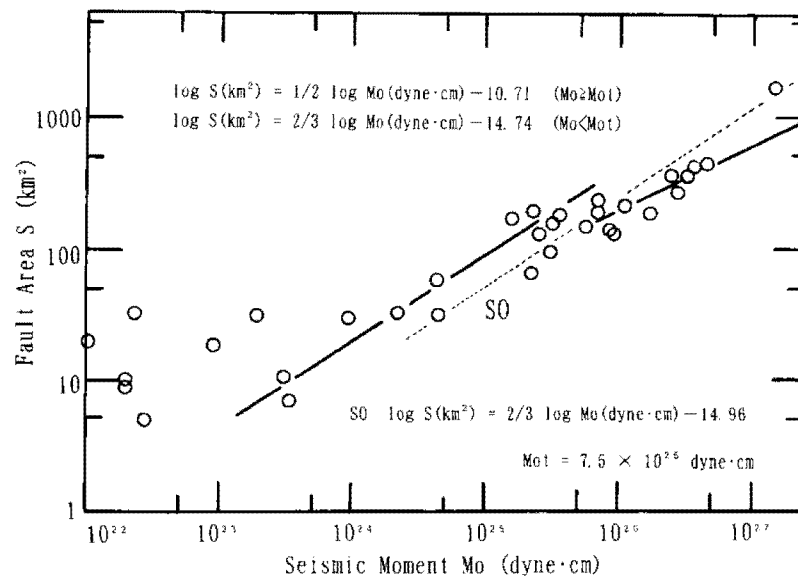


Fig. 3. Relation between fault area  $S$  (km<sup>2</sup>) and seismic moment  $M_o$  (dyne·cm). Solid lines indicate the relation obtained in the present study. The relation obtained by SOMERVILLE *et al.* (1993) is shown by the dotted line (SO).

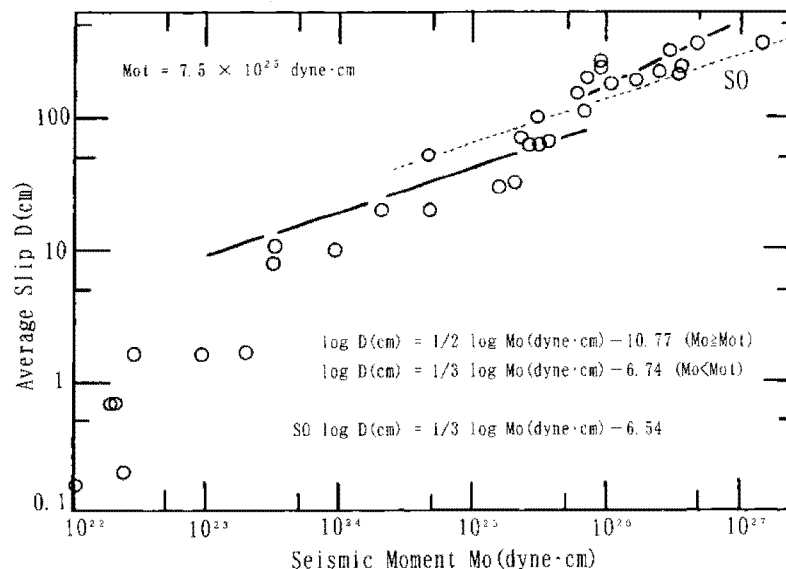


Fig. 4. Relation between average slip  $D$  (cm) and seismic moment  $M_o$  (dyne·cm). Solid lines indicate the relation obtained in the present study. The relation obtained by SOMERVILLE *et al.* (1993) is shown by a dotted line (SO).

## Mo-M(武村、1990)により、Mo関係をM関係に変換

$$\log M_o (\text{dyne} \cdot \text{cm}) = 1.2 M + 17.7 \quad (11)$$

$M$  の範囲は用いたデータより  $M > 4$  と考えられる。

ここで  $M_t$  は、 $M_{ot} = 7.5 \times 10^{25} \text{ dyne} \cdot \text{cm}$  より (11) 式を用いて、 $M_t = 6.8$  と求められる。Fig. 5 に実線で関係

$$\log L (\text{km}) = 0.6 M - 2.97 \quad M \geq M_t \quad (14)$$

$$\log D (\text{cm}) = 0.6 M - 1.92 \quad M \geq M_t \quad (18)$$

## 松田式

$$\log L (\text{km}) = 0.6 M - 2.9 \quad (12)$$

$$\log D (\text{cm}) = 0.6 M - 2.0 \quad (16)$$

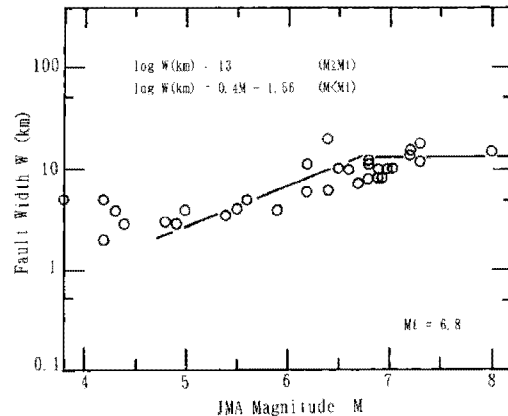


Fig. 7. Relation between fault width  $W$  (km) and JMA magnitude  $M$ . Solid lines are obtained from the  $L-M$  and  $W-L$  relations in the present study.

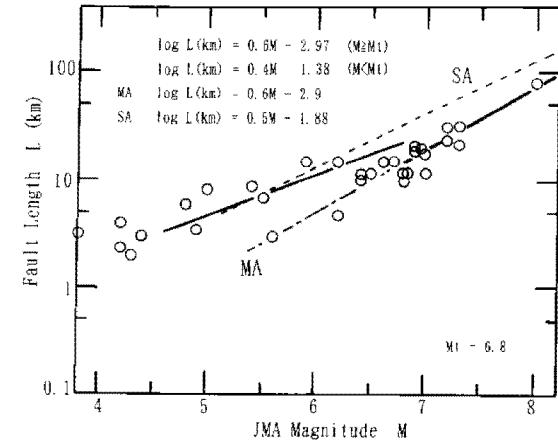


Fig. 5. Relation between fault length  $L$  (km) and JMA magnitude  $M$ . Solid lines are derived from the  $L-M_o$  relation obtained in the present study, using the  $M_o-M$  relation by TAKEMURA (1990).  $M_t = 6.8$  is calculated from  $M_{ot} = 7.5 \times 10^{25} \text{ dyne} \cdot \text{cm}$ , using the  $M_o-M$  relation by TAKEMURA (1990). MA (Chained line) and SA (dotted line) show the empirical relations obtained by MATSUDA (1975) and SATO (1989), respectively.

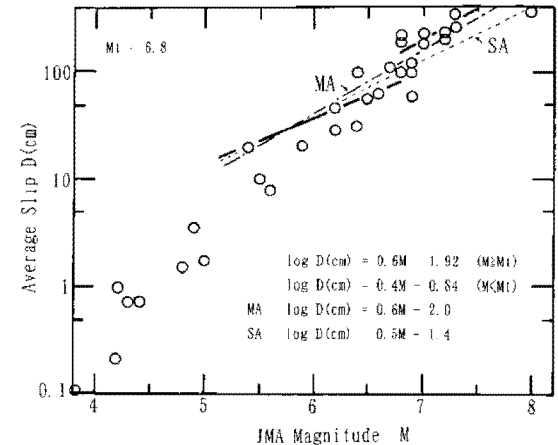


Fig. 6. Relation between average slip  $D$  (cm) and JMA magnitude  $M$ . Solid lines are derived from the  $D-M_o$  relation obtained in the present study, using the  $M_o-M$  relation by TAKEMURA (1990). MA (Solid line) and SA (dotted line) show the relations obtained by MATSUDA (1975) and SATO (1989), respectively.



# 地表断層の出現と被害

## データ

地殻内地震に伴う地震断層の出現や被害の程度を見るために以下のようなデータを用いた。1885年-1980年までは宇津(1982)のリストをもとに深さが vs (very shallow) または 20 km 以浅とされている地震、1981年-1995年までは気象庁地震月報で深さ 20 km 以浅とされている地震を対象とした。いずれもマグニチュードは 5.8 以上とした。その際、海域の地震はプレート間地震である可能性があり、地震断層の出現も確認できないので除いた。また内陸の地震でも、日高山脈や静岡県中部等深さ 20-40 km とやや深い地震活動がある地域〔総理府地震調査研究推進本部(1997)〕で深さが 20 km と決まっている地震は除いた。逆に、海域に震源位置が決まっても陸域まで震源断層が延び地震断層が出現したとされる地震は対象とした。さらに 1923 年関東地震の余震はフィリピン海プレートの潜り込みに伴うプレート間地震である可能性があり除外し、1965-1966 年の松代地震群では地震断層が確認されているが、個々の地震との対応が難しいので除いた。なお付録に選択された全ての地震のリストを示す。

Table 2. List of the Japanese intraplate earthquakes from 1885 to 1995 with surface faults and their damage rank [Utsu (1982)]. All the events with  $M \geq 6.6$  are listed in the table, irrespective of whether the surface fault is accompanied or not.

| Event (Date Name)       | M   | Damage Rank | Surface faults (name or location) | Refer. |
|-------------------------|-----|-------------|-----------------------------------|--------|
| 1955:10/19 Akita-Hokubu | 5.9 | 3           | Near Futatsui (L)                 | 1)     |
| 1938:5/29 Kussharo      | 6.1 | 3           | Kussharo F. (H)                   | 1)2)3) |
| 1959:1/31 Teshikaga     | 6.3 | 2           | Near Teshikaga (L)                | 1)2)   |
| 1918:11/11 Omachi       | 6.5 | 3           | SW Omachi (H)                     | 1)2)   |
| 1969:9/9 Gifu-Chubu     | 6.6 | 2           | Hatasa F. (L)                     | 1)2)   |
| 1948:6/15 Tanabe        | 6.7 | 3           | (not found)                       | 3)     |
| 1909:8/14 Anegawa       | 6.8 | 4           | Yanagase F. (L)                   | 1)2)3) |
| 1925:5/23 Kita-Tajima   | 6.8 | 5           | Tai F. (H)                        | 1)2)3) |
| 1939:5/1 Oga            | 6.8 | 4           | Kotokawa F. (H)                   | 2)     |
| 1945:1/13 Mikawa        | 6.8 | 5           | Fukozu F. etc. (H)                | 1)2)3) |
| 1984:9/14 Nagano-Seibu  | 6.8 | 3           | (not found)                       | 3)     |
| 1931:9/21 Nishi-Saitama | 6.9 | 3           | Kushibiki F. *                    | 2)     |
| 1974:5/9 Izu-Hanto-Okj  | 6.9 | 4           | Irozaki F. etc. (H)               | 1)2)3) |
| 1894:10/22 Shonai       | 7.0 | 5           | Yadaregawa F. (H)                 | 1)2)3) |
| 1900:5/12 Miyagi-Hokubu | 7.0 | 3           | (not found)                       | 2)3)   |
| 1961:8/19 Kita-Mino     | 7.0 | 3           | Hatogayu F. *                     | 2)     |
| 1978:1/14 Izu Oshima    | 7.0 | 4           | Inatori-Omineyama F. etc. (L)     | 1)2)   |
| 1914:1/12 Sakurajima    | 7.1 | 4           | (not found)                       | 3)     |
| 1914:3/15 Ugoen         | 7.1 | 4           | Kita-Naraoka (L)                  | 1)     |
| 1948:6/28 Fukui         | 7.1 | 6           | Under Fukui Basin (H)             | 1)2)3) |
| 1896:8/31 Rikuu         | 7.2 | 5           | Senya F. etc. (H)                 | 1)2)3) |
| 1943:9/10 Tottori       | 7.2 | 5           | Shikano F. etc. (H)               | 1)2)3) |
| 1995:1/17 Hyogo-Nanbu   | 7.2 | 6           | Nojima F. etc. (H)                | 3)     |
| 1927:3/7 Kita-Tango     | 7.3 | 6           | Gomura F. etc. (H)                | 1)2)3) |
| 1930:11/26 Kita-Izu     | 7.3 | 5           | Tanna F. etc. (H)                 | 1)2)3) |
| 1891:10/28 Nobi         | 8.0 | 6           | Neodani F. etc. (H)               | 1)2)3) |

Damage Rank: Utsu(1982)

\* Surface fault break is not found but there is the active fault closely related to the event

(H) Higher reliability (L) Lower reliability

1) Abe et al. (1985)

2) Research Group for Active Faults of Japan(1991)

3) The Prime Minister's Office(1997)

Table 3. Percentage of the identifications of surface faults at the occurrences of intra-plate earthquakes. The number  $n$  is calculated from the events marked with (H), (L), and \* in Table 2.

| MJ  | Total number of events (N) | No. of identified surface faults(n) | Percentage $P=n/N \times 100 \%$ |
|-----|----------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| 5.8 | 7                          | 0                                   | 0                                |
| 5.9 | 9                          | 1                                   | 11                               |
| 6.0 | 9                          | 0                                   | 0                                |
| 6.1 | 15                         | 1                                   | 7                                |
| 6.2 | 10                         | 0                                   | 0                                |
| 6.3 | 19                         | 1                                   | 5                                |
| 6.4 | 6                          | 0                                   | 0                                |
| 6.5 | 6                          | 1                                   | 17                               |
| 6.6 | 1                          | 1                                   | 100                              |
| 6.7 | 1                          | 0                                   | 0                                |
| 6.8 | 5                          | 4                                   | 80                               |
| 6.9 | 2                          | 2                                   | 100                              |
| 7.0 | 4                          | 3                                   | 75                               |
| 7.1 | 3                          | 2                                   | 67                               |
| 7.2 | 3                          | 3                                   | 100                              |
| 7.3 | 2                          | 2                                   | 100                              |
| 8.0 | 1                          | 1                                   | 100                              |

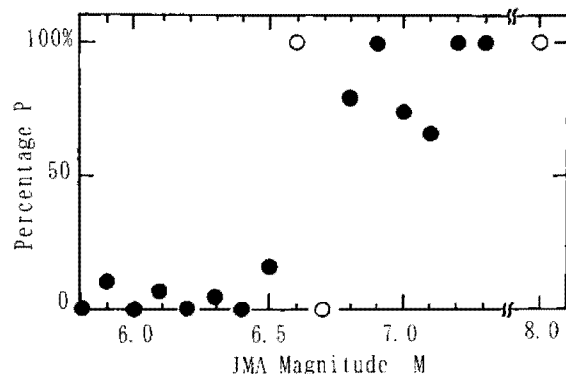


Fig. 8. Relation between the percentage  $P$  of identifying the surface fault and JMA magnitude  $M$ . Open circles indicate that the total number of the events is 1 for the corresponding  $M$ .

## 被害と地震規模ならびに地表出現の有無

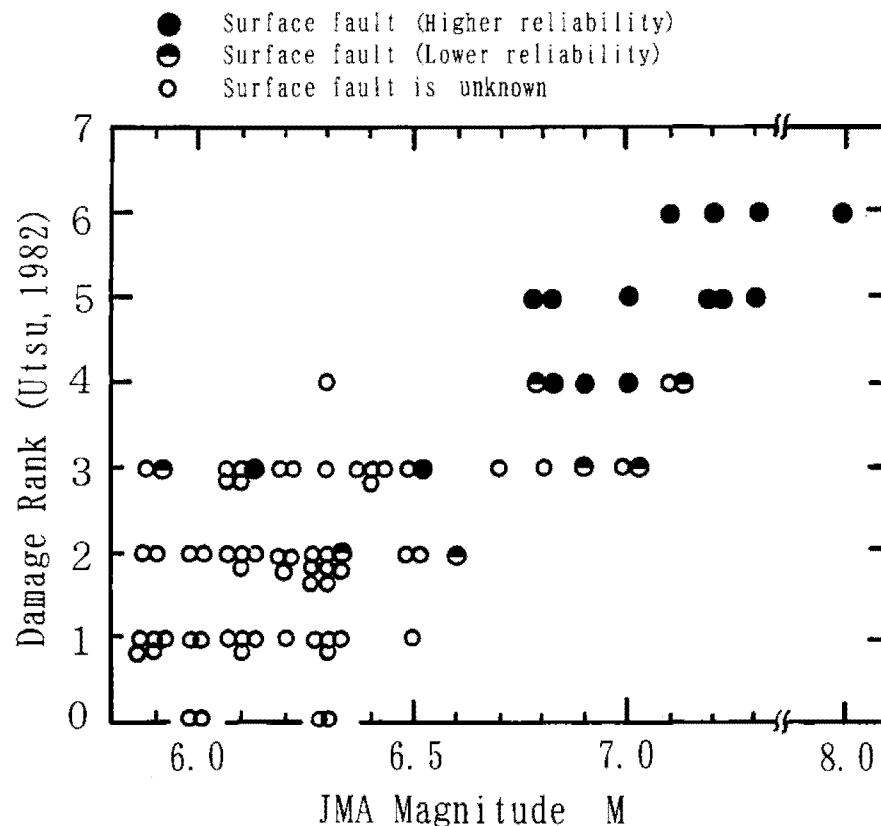


Fig. 9. Relation between damage rank and JMA magnitude  $M$ . Solid circles indicate the events accompanying surface faults of higher reliability marked with (H) in Table 2, and half solid circles the events accompanying surface faults of lower reliability marked with (L) or \* in Table 2. Open circles indicate the events for which any surface fault (including closely related active fault) is not found.

# 地表出現によるすべり量の変化とスケーリング則

## 理論的結果

断層が地表面を突き抜けることに対する理論的研究はあまり多くないが、2次元の横ずれクラックの場合、地表面を突き抜けた断層の平均すべりは、深く埋め込まれた断層に比べ2倍程度大きくなると指摘されている [KNOPOFF (1958), SHIMAZAKI (1986)].

SHIMAZAKI (1986) は、この結果から地震モーメント  $M_0$  もファクター2程度の差が出ることが期待されるとして、(1)式(2)式で示す  $L-M_0$  関係の不連続の原因が地表面への地震断層の出現に伴う地震モーメント  $M_0$  の不連続にあるのではないかと指摘している。その際、(1)式(2)式から見積もった不連続の程度は  $L=20$  km でファクター2程度である。今回求め直した(3)式(4)式も、 $M_0$  についてはほぼ同じ程度の不連続を持っている。

Table 3 や Fig. 9 を見ると、 $M=6.6$  と  $6.7$  の地震の数がまわりに比べて非常に少ないことに気づく。高々100年余りのデータであり、またマグニチュードの決定精度も一様でないため偶然という可能性も否定できないが、地震モーメント  $M_0$  と同様に地震断層が地表に現れることによってマグニチュード  $M$  に不連続が生じたと考えることはできないであろうか。つまり  $M=6.5$  から  $M=6.8$  への不連続である。Table 4 は  $M$  との関係式

すべり量に不連続が生じると  
 $M_0$  や  $M$  も不連続が生じるが  
 $L$  や  $W$  には当然不連続は  
生じないはず

Table 4. Offsets of source parameters between the events of  $M=6.5$  and  $6.8$ . The equations used for calculating the values of the corresponding source parameters are shown in the column of Eqs.

| Source Parameters      | $M=6.5$              | $M=6.8$              | Ratio<br>(6.8/6.5) | Eqs.         |
|------------------------|----------------------|----------------------|--------------------|--------------|
| $M_0$ (dyne · cm)      | $3.2 \times 10^{25}$ | $7.2 \times 10^{25}$ | 2.3                | (11)         |
| $D$ (cm)               | 58                   | 145                  | 2.5                | (18) (19)    |
| $L$ (km)               | 17                   | 13                   | 0.8                | (14) (15)    |
| $W$ (km)               | 11                   | 13                   | 1.2                | (20) (21)    |
| $S$ (km <sup>2</sup> ) | 187                  | 169                  | 0.9                | $L \times W$ |

## 地震本部の(ア)の方法と(イ)の方法

(ア) 過去の地震記録や調査結果などの諸知見を吟味・判断して震源断層モデルを設定する場合

過去の地震記録などにに基づき震源断層を推定する場合には、その知見を生かした断層モデルの設定を行う。

(b) 震源断層モデルの大きさ(長さ $L$ ・幅 $W$ )・深さ・傾斜角( $\delta$ )

震源断層モデルの長さ  $L$  (km) については、(a) 震源断層モデルの位置・構造で想定した震源断層モデルの形状を基に設定する。幅  $W$  (km) については、入倉・三宅 (2001) による下記に示した $W$ と $L$ の経験的關係、

$$W = L \quad (L < W_{\max}) \dots\dots\dots (1-a)$$

$$W = W_{\max} \quad (L \geq W_{\max}) \dots\dots\dots (1-b)$$

を用いる。ここで、

$$W_{\max} = T_s / \sin \delta$$

$$T_s = H_d - H_s$$

$T_s$ : 地震発生層の厚さ (km) ( $T_s \leq 20$ km)

$\delta$ : 断層の傾斜角

$H_d, H_s$ : それぞれ地震発生層下限および断層モデル上端の深さ (km) (微小地震の深さ分布から決めることができる (Ito, 1999))

(1)式は、内陸地殻内の活断層で発生する地震の震源断層モデルの幅  $W$  が、地震発生層の厚さ $T_s$ に応じて飽和して一定値となることを示している。

(イ) 長期評価された地表の活断層長さ等から地震規模を設定し震源断層モデルを設定する場合

長期評価で評価された地表の活断層長さ  $L$  (km) から推定される地震規模から、地震規模に見合うように震源断層の断層モデルの面積を経験的關係により推定する。断層モデルの面積の推定までのフローを付図3に示す。このフローは、M7以上の場合に適用するものとし、それよりも規模の小さい場合は適宜適切な方法を選定するものとする。また、活断層長さが概ね80kmを超える場合も、適宜適切な方法によりモデル化をすることが望ましい。

(d) 地震規模 (地震モーメント  $M_0$ )

地震モーメント  $M_0$  (N・m) については、長期評価による地震規模 (マグニチュード  $M$ ) と地震モーメント  $M_0$  の経験的關係 (武村,1990) を用いて、

$$\log M_0 = 1.17 \cdot M + 10.72 \dots\dots\dots (5)$$

とする。ここで、 $M$ は  $M = (\log L + 2.9) / 0.6$  (松田, 1975) より求める。今後、長期評価による地震規模  $M$  は気象庁マグニチュード  $M_{JMA}$  と等価とする。

\* 活断層長さがおおむね80kmを超える場合は、松田 (1975) の基になったデータの分布より、松田 (1975) の適用範囲を逸脱するおそれがあるため、例えば、(ア) の方法や「活断層の長期評価手法 (暫定版)」報告書 (地震調査委員会長期評価部会, 2010) 記載の方法など、過去の地震の例を参考にしながら、適宜適切な方法でマグニチュード (地震モーメント) を算定する必要がある。

どちらがいいかといわれれば  
私は、(イ)だと思う。

その心は、地震学では  
地震モーメント $M_0$ が最も精度よく決まる量であり、内陸地殻内地震の予測で唯一分る活断層長さ $L$ から、まず $M_0$ を抑える方が無難なのではないか。

ただし、両方に共通する問題は、  
**活断層の長さから、震源断層が予測できるかということ！**

現状の予測はその程度ということ  
を前提に考えるべきである。