

# 強震動記録を用いた 震源インバージョンに基づく 国内の内陸地殻内地震の震源 パラメータのスケーリング則の再検討



愛知工業大学 入倉 孝次郎  
(一財)地域地盤環境研究所 宮腰 研  
京都大学原子炉実験所 釜江 克宏

# 地震動(揺れ)を構成する要因

## 強震動予測の3要素

### 震源特性：

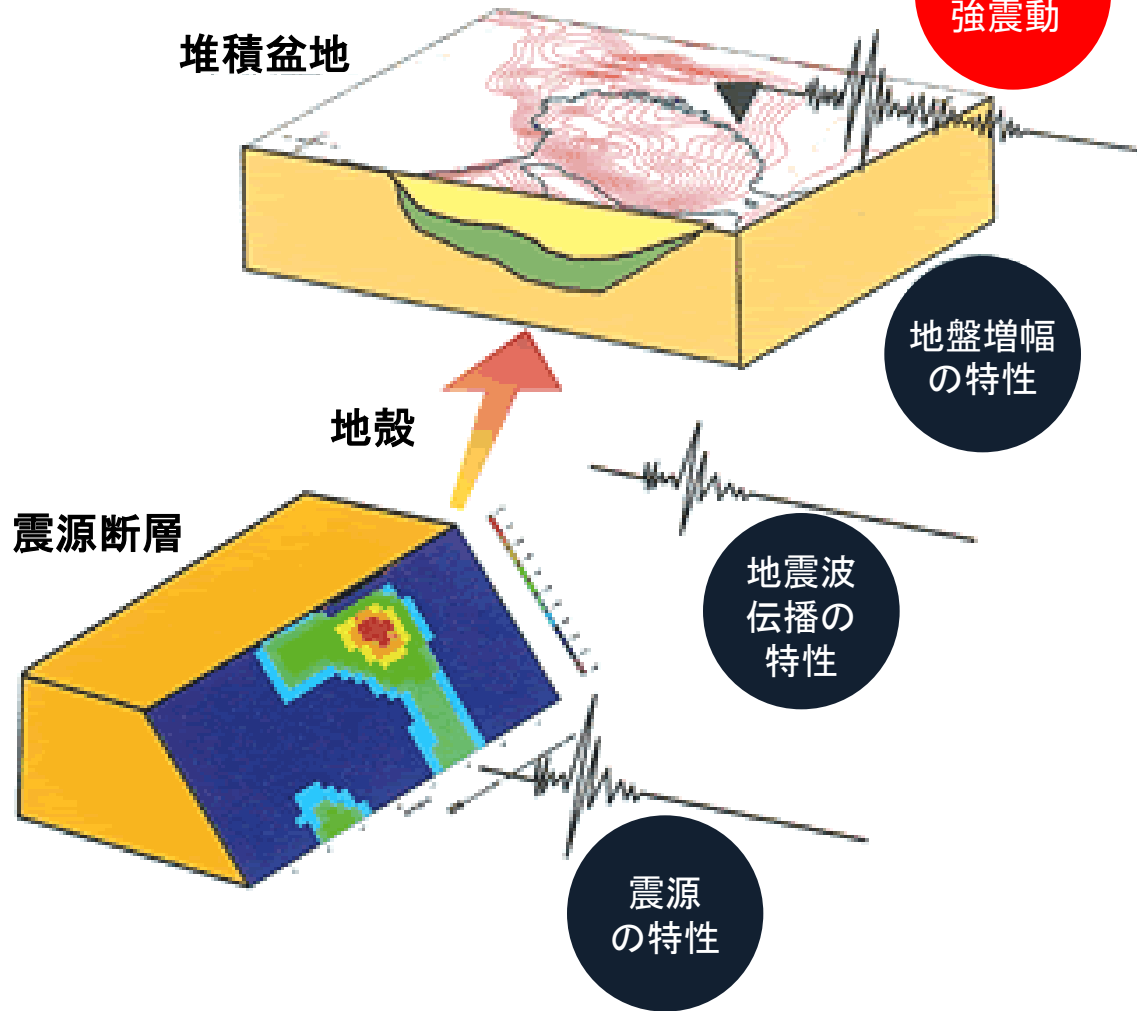
断層がどのように破壊するかによって、地震波放射の空間分布、波形が変わる。

### 伝播経路特性：

地震波がどのような経路を辿るかによって、振幅、継続時間、波形の特徴が変化する。

### サイト増幅特性：

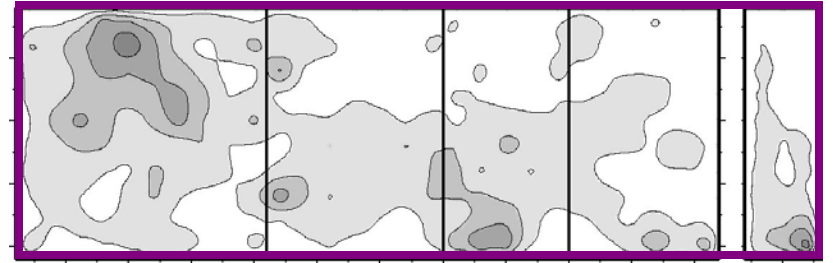
立地する地盤と入射する地震波によって、揺れの振幅、周期特性、波形の特徴が変化する。



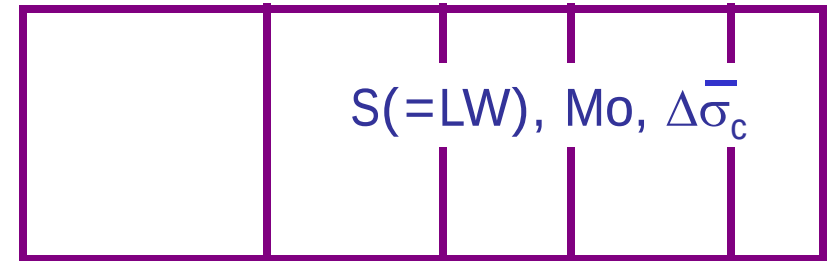
$$\text{予測強震動} = \text{震源の特性} \times \text{地震波伝播の特性} \times \text{地盤増幅の特性}$$

# 特性化震源モデル

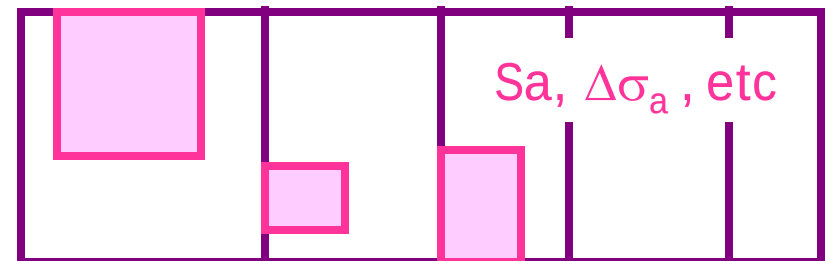
震源インバージョン結果  
に基づいた不均質すべり  
分布



巨視的パラメータ:  
断層の大きさや平均すべり量



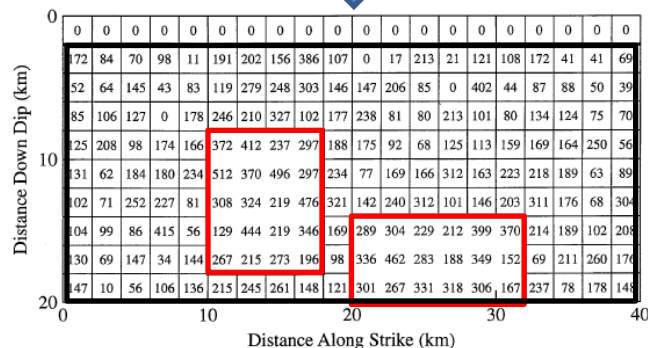
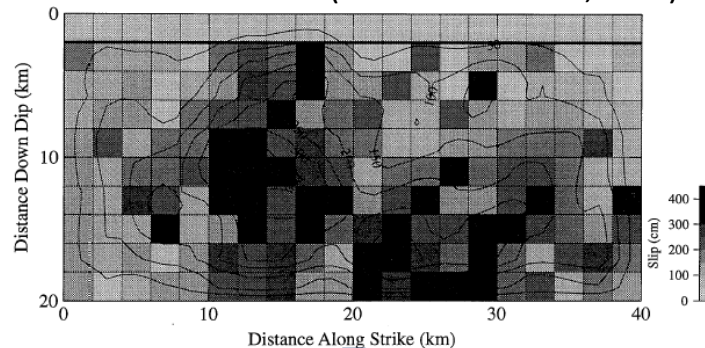
微視的パラメータ:  
アスペリティのサイズや応力降下量



# Somerville et al.(1999)のスケーリング則

震源インバージョンで得られた  
断層面上の不均質すべり分布

1989Loma Prieta(Somerville et al.,1993)

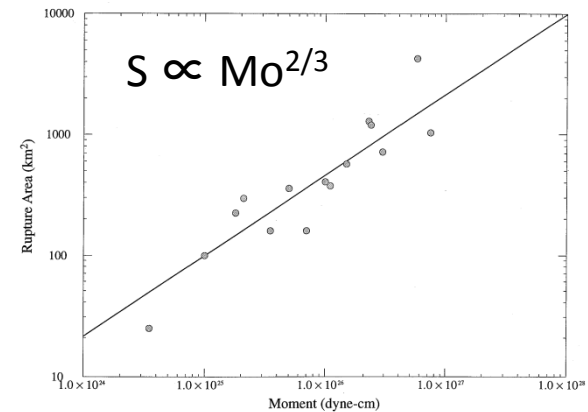


— Trim Line  
 Asperity

 断層破壊領域の抽出

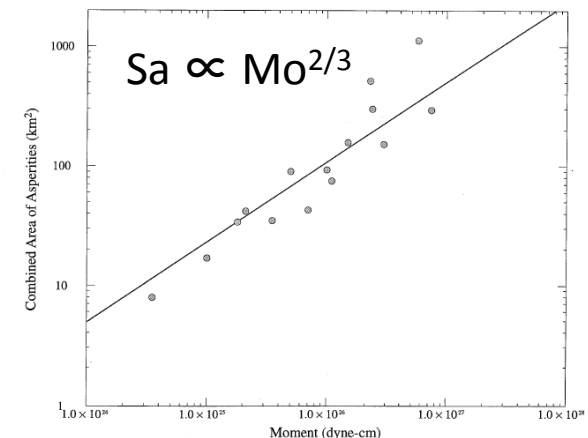
 アスぺリティ領域の抽出

断層破壊領域のスケーリング則  
 (巨視的パラメータ)



▲ Figure 6. Relation between rupture area and seismic moment. Dots represent individual events, and the line is a least-squares fit under the constraint of self-similarity (slope = 2/3).

アスぺリティ領域のスケーリング則  
 (微視的パラメータ)

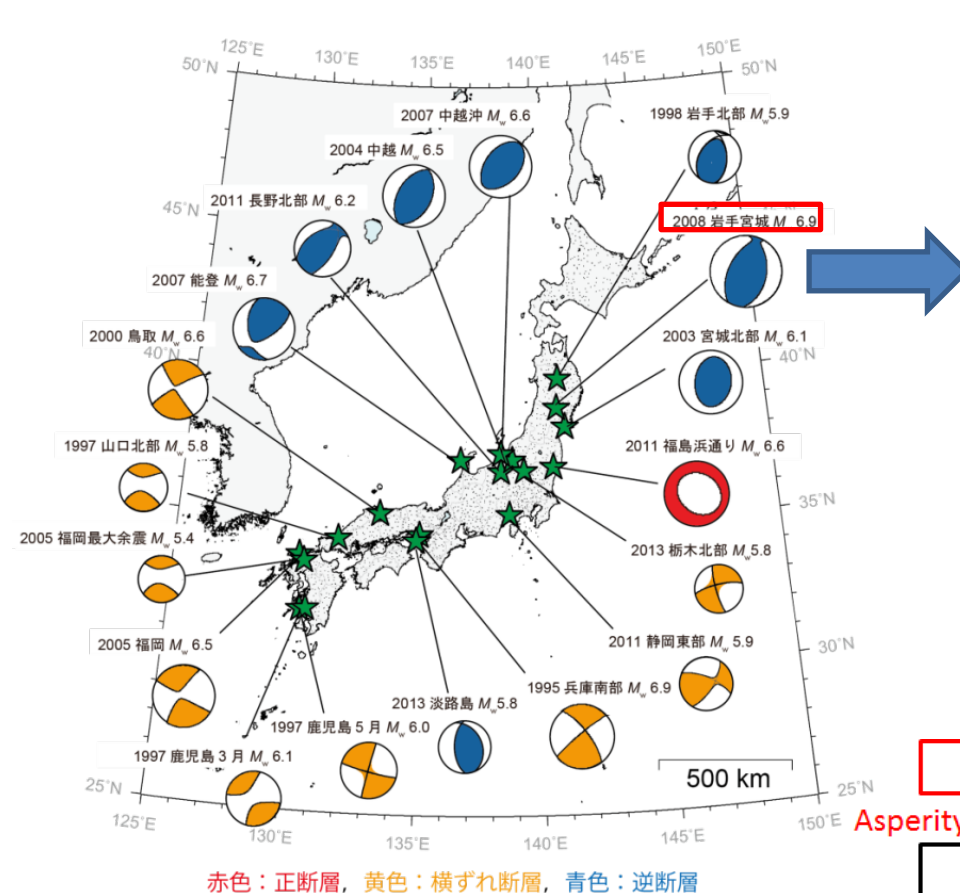


▲ Figure 8. Relation between combined area of asperities and seismic moment. Dots represent individual events, and the line is a least-squares fit under the constraint of self-similarity (slope = 2/3).

# 1995年以降に発生した国内の地殻内陸地震を対象にした震源インバージョン結果

18個の地殻内陸地震(Mw5.4~6.9)

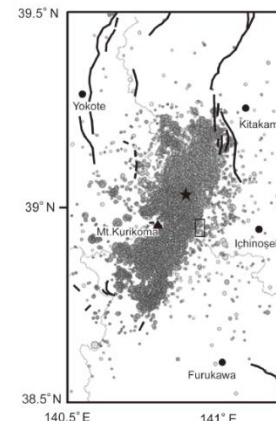
2008年岩手宮城内陸地震(Mw6.9)



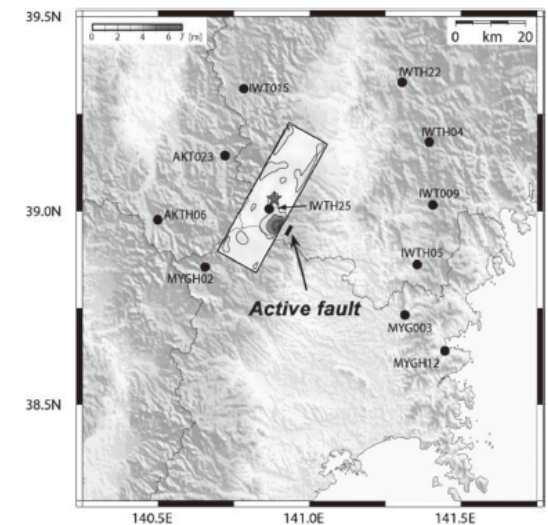
赤色：正断層，黄色：横ずれ断層，青色：逆断層

Asperity area

Rupture area

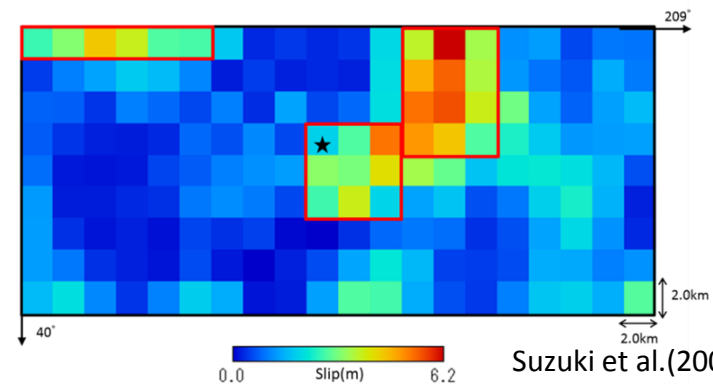


本震と余震  
の震央分布



すべり分布

鈴木・他(2008)



Suzuki et al.(2008)

# 国内の地殻内陸地震を対象にした震源インバージョンと Somerville et al.(1999)の収集した解析条件の比較

## This study

| No. | 地震名                | Mech. | Reference                               | Mo (Nm)   |           | M <sub>w</sub> | Target F.Q. | sub fault       | Green's function        |
|-----|--------------------|-------|-----------------------------------------|-----------|-----------|----------------|-------------|-----------------|-------------------------|
|     |                    |       |                                         | Inversion | F-net     |                | Hz          | km <sup>2</sup> |                         |
| 1   | 1995年兵庫県南部地震       | SS    | Sekiguchi et al.(2002) <sup>16)</sup>   | 3.75E+19  | 3.75E+19* | 6.9            | 0.1 - 1.0   | 4.2             | Rock & soil             |
| 2   | 2008年岩手・宮城内陸地震     | RV    | Asano and Iwata(2011b) <sup>18)</sup>   | 2.76E+19  | 2.72E+19  | 6.9            | 0.1 - 1.0   | 4.0             | Difference at each site |
|     |                    |       | Suzuki et al.(2010) <sup>19)</sup>      | 2.73E+19  |           |                | 0.1 - 1.0   | 4.0             | Difference at each site |
| 3   | 2007年能登半島地震        | RV    | Asano and Iwata(2011a) <sup>5)</sup>    | 1.57E+19  | 1.36E+19  | 6.7            | 0.05 - 1.0  | 4.0             | Difference at each site |
|     |                    |       | Horikawa(2008a) <sup>20)</sup>          | 1.10E+19  |           |                | 0.1 - 1.0   | 1.0             | Difference at each site |
| 4   | 2011年福島県浜通り地震      | NM    | 引間(2012) <sup>21)</sup>                 | 1.14E+19  | 9.58E+18  | 6.6            | 0.03 - 0.8  | 4.0             | Difference at each site |
|     |                    |       | Aoi et al.(2008) <sup>22)</sup>         | 1.62E+19  |           |                | 0.1 - 1.0   | 4.0             | Difference at each site |
| 5   | 2007年新潟県中越沖地震      | RV    | 引間・緑川(2008) <sup>23)</sup>              | 1.00E+19  | 9.30E+18  | 6.6            | 0.03 - 0.5  | 4.0             | Difference at each site |
|     |                    |       | Horikawa(2008b) <sup>24)</sup>          | 6.50E+19  |           |                | 0.1 - 0.5   | 2.0             | Unknown                 |
|     |                    |       | Miyakoshi et al.(2008) <sup>25)</sup>   | 1.62E+19  |           |                | 0.1 - 1.0   | 4.0             | Difference at each site |
|     |                    |       | 岩田・関口(2002) <sup>26)</sup>              | 2.00E+18  | 8.62E+18  |                | 0.1 - 1.0   | 4.0             | Common                  |
| 6   | 2000年鳥取県西部地震       | SS    | Asano and Iwata(2006) <sup>27)</sup>    | 1.15E+19  | 7.80E+18  | 6.6            | 0.05 - 1.0  | 4.0             | Difference at each site |
| 7   | 2005年福岡県西方沖地震      | SS    | Asano and Iwata(2009) <sup>28)</sup>    | 1.07E+19  | 7.53E+18  | 6.6            | 0.05 - 1.0  | 4.0             | Difference at each site |
| 8   | 2004年新潟県中越地震       | RV    | 気象庁(2012a) <sup>29)</sup>               | 4.21E+18  | 2.13E+18  | 6.2            | 0.05 - 0.2  | 4.0             | Common                  |
| 9   | 2011年長野県北部地震       | RV    | Hikima and Koketsu(2004) <sup>30)</sup> | 1.90E+18  | 1.53E+18  | 6.1            | 0.05 - 0.5  | 4.0             | Common                  |
| 10  | 2003年宮城県北部地震       | RV    | 宮腰・他(2004) <sup>31)</sup>               | 1.73E+18  | 1.40E+18  | 6.1            | 0.1 - 2.0   | 1.0             | Difference at each site |
| 11  | 1997年鹿児島県北西部地震(3月) | SS    | Horikawa(2001) <sup>32)</sup>           | 1.16E+18  | 1.22E+18  | 6.0            | 0.1 - 1.0   | 1.0             | Common                  |
| 12  | 1997年鹿児島県北西部地震(5月) | SS    | 気象庁(2012b) <sup>33)</sup>               | 1.12E+18  | 8.38E+17  | 5.9            | 0.05 - 0.2  | 4.0             | Common                  |
| 13  | 2011年静岡県東部地震       | SS    | Miyakoshi et al.(2000) <sup>34)</sup>   | 6.09E+17  | 7.53E+17  | 5.9            | 0.0 - 0.5   | 4.0             | Common                  |
| 14  | 1998年岩手県内陸北部地震     | RV    | 宮腰・他(2004) <sup>31)</sup>               | 5.10E+17  | 5.66E+17  | 5.8            | 0.1 - 2.0   | 1.0             | Difference at each site |
| 15  | 1997年山口県北部地震       | SS    | 柴井・他(2014) <sup>35)</sup>               | 7.10E+17  | 5.54E+17  | 5.8            | 0.1 - 1.0   | 1.0             | Difference at each site |
| 16  | 2013年栃木県北部地震       | SS    | 気象庁(2013) <sup>36)</sup>                | 5.33E+17  | 5.47E+17  | 5.8            | 0.05 - 0.2  | 4.0             | Common                  |
| 17  | 2013年淡路島地震         | RV    | Asano and Iwata(2006) <sup>27)</sup>    | 2.81E+17  | 1.31E+17  | 5.4            | 0.1 - 1.5   | 1.0             | Difference at each site |
| 18  | 2005年福岡県西方沖地震 最大余震 | SS    |                                         |           |           |                |             |                 |                         |

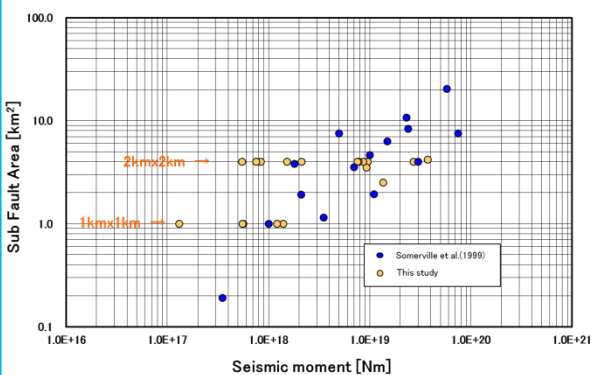
SS: Strike Slip, RV: Reverse Slip, NM: Normal Slip      \* Sekiguchi et al.(2002)による地震モーメント  
Rock & Soil: 岩盤サイトと堆積層サイト, Difference at each site: 各観測点で異なる地盤構造モデル, Common: 全観測点で共通の地盤構造モデル, Unknown: 不明

## Somerville et al.(1999)

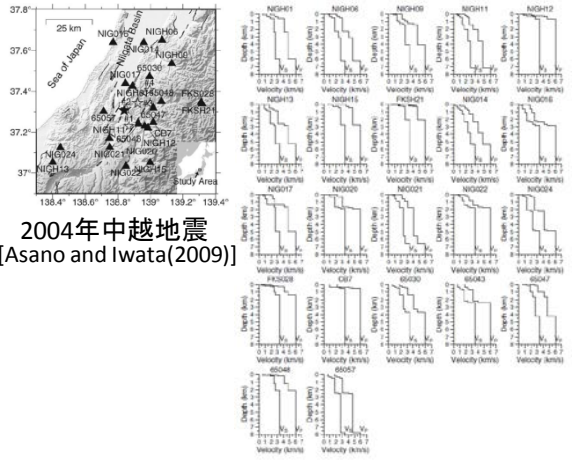
| No. | 地震名                      | Mech. | Reference                   | Mo (Nm)   |       | M <sub>w</sub> | Target F.Q. | sub fault       | Green's function |
|-----|--------------------------|-------|-----------------------------|-----------|-------|----------------|-------------|-----------------|------------------|
|     |                          |       |                             | Inversion | F-net |                | Hz          | km <sup>2</sup> |                  |
| 1   | 1992Landers              | SS    | Wald et al.(1994)           | 7.50E+19  |       | 7.2            | 0.077 - 0.5 | 7.5             | Common           |
| 2   | 1978Tabas                | RV    | Hartzell and Mendoza (1991) | 5.80E+19  |       | 7.1            | 0.0 - 2.0   | 20.3            | Common           |
| 3   | 1989Loma Prieta          | OB    | Wald et al.(1991)           | 3.00E+19  |       | 7.0            | 0.2 - 1.0   | 4.0             | Common           |
| 4   | 1995Kobe                 | SS    | Wald(1996)                  | 2.40E+19  |       | 6.9            | 0.05 - 0.5  | 8.3             | Rock & Soil      |
| 5   | 1983Borah Peak           | NM    | Mendoza and Hartzell (1998) | 2.30E+19  |       | 6.9            | 0.0 - 0.5   | 10.7            | Common           |
| 6   | 1985Nahanni(12/23)       | RV    | Hartzell et al.(1994)       | 1.50E+19  |       | 6.8            | 0.2 - 3.0   | 6.3             | Common           |
| 7   | 1994Northridge           | RV    | Wald et al.(1994)           | 1.10E+19  |       | 6.7            | 0.1 - 1.0   | 1.9             | Rock & Soil      |
| 8   | 1985Nahanni(10/05)       | RV    | Hartzell et al.(1994)       | 1.00E+19  |       | 6.6            | 0.2 - 3.0   | 4.6             | Common           |
| 9   | 1971San Fernando(SM)     | RV    | Heaton(1982)                | 7.00E+18  |       | 6.5            | 0.0 - 0.125 | 3.6             | Common           |
| 10  | 1979Imperial Valley      | SS    | Hartell and Heaton(1983)    | 5.00E+18  |       | 6.4            | 0.1 - 1.0   | 7.5             | Common           |
| 11  | 1987Superstition Hills 3 | SS    | Wald et al.(1990)           | 3.50E+18  |       | 6.3            | 0.1 - 3.0   | 1.2             | Common           |
| 12  | 1984Morgan Hill          | SS    | Hartell and Heaton(1986)    | 2.10E+18  |       | 6.2            | 0.2 - 5.0   | 1.9             | Common           |
| 13  | 1986North Palm Springs   | OB    | Hartell(1989)               | 1.80E+18  |       | 6.1            | Unknown     | 3.8             | Common           |
| 14  | 1987Whittier Narrows     | RV    | Hartzell and Iida(1990)     | 1.00E+18  |       | 6.0            | 0.2 - 3.0   | 1.0             | Common           |
| 15  | 1979Coyote Lake          | SS    | Liu and Helmbarger(1983)    | 3.50E+17  |       | 5.7            | 0.0 - 2.0   | 0.2             | Common           |

SS: Strike Slip, RV: Reverse Slip, NM: Normal Slip, OB: Oblique Slip

## ★設定小断層の大きさ



## ★設定地下構造モデル





# 断層破壊領域(Rupture area)およびアスぺリ ティ領域(Asperity area)のスケーリング則

Inversion analysis

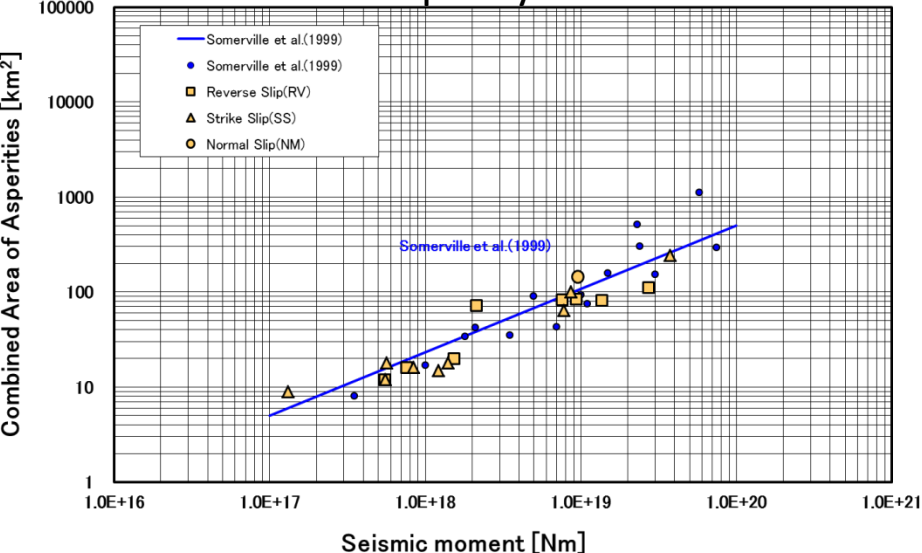
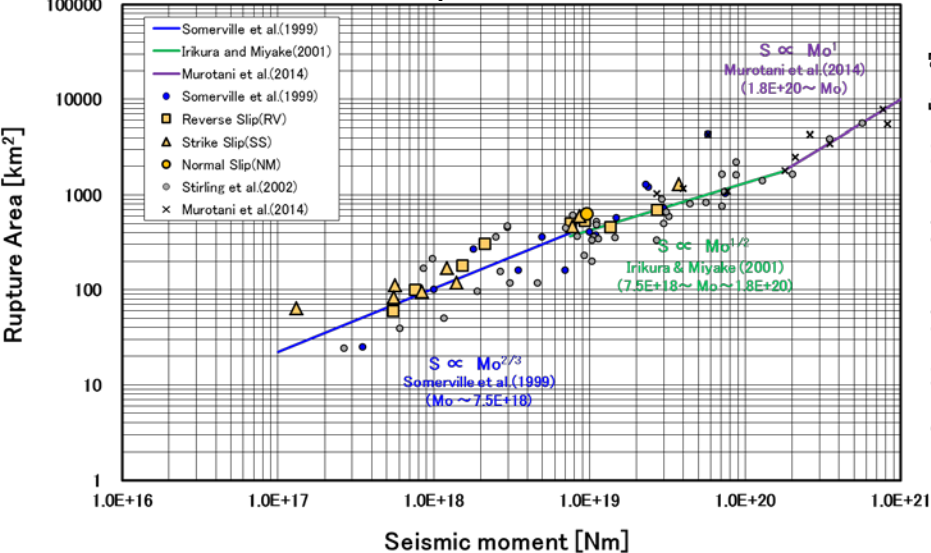
| No. | 地震名                | Reference                               | Mo       | $M_W$ | Length | Width | Rupture Area    | Avg. Slip | Max. Slip | Asperity Area   |       | Avg. Asp. Slip |           | $\Delta \sigma_{rup}$ | $\Delta \sigma_{asp}$ |
|-----|--------------------|-----------------------------------------|----------|-------|--------|-------|-----------------|-----------|-----------|-----------------|-------|----------------|-----------|-----------------------|-----------------------|
|     |                    |                                         | Nm       |       | km     | km    | km <sup>2</sup> | m         | m         | km <sup>2</sup> | /Area | m              | /Avg.Slip | MPa                   | MPa                   |
| 1   | 1995年兵庫県南部地震       | Sekiguchi et al.(2002) <sup>16)</sup>   | 3.75E+19 | 6.9   | 64     | 21    | 1303            | 0.79      | 4.01      | 244             | 0.19  | 1.74           | 2.20      | 1.9                   | 10.4                  |
| 2   | 2008年岩手・宮城内陸地震     | Asano and Iwata(2011b) <sup>18)</sup>   | 2.72E+19 | 6.9   | 39     | 18    | 702             | 1.31      | 5.74      | 112             | 0.16  | 3.22           | 2.45      | 3.6                   | 22.4                  |
|     |                    | Suzuki et al.(2010) <sup>19)</sup>      |          |       |        |       |                 |           |           |                 |       |                |           |                       |                       |
| 3   | 2007年能登半島地震        | Asano and Iwata(2011a) <sup>5)</sup>    | 1.36E+19 | 6.7   | 26     | 18    | 460             | 0.92      | 3.73      | 82              | 0.18  | 1.96           | 2.14      | 3.4                   | 18.7                  |
|     |                    | Horikawa(2008a) <sup>20)</sup>          |          |       |        |       |                 |           |           |                 |       |                |           |                       |                       |
| 4   | 2011年福島県浜通り地震      | 引間(2012) <sup>21)</sup>                 | 9.58E+18 | 6.6   | 40     | 16    | 640             | 0.52      | 2.51      | 144             | 0.23  | 1.25           | 2.40      | 1.4                   | 6.4                   |
| 5   | 2007年新潟県中越沖地震      | Aoi et al.(2008) <sup>22)</sup>         | 9.30E+18 | 6.6   | 28     | 19    | 537             | 0.76      | 2.65      | 84              | 0.16  | 1.69           | 2.24      | 1.8                   | 11.1                  |
|     |                    | 引間・藤越(2008) <sup>23)</sup>              |          |       |        |       |                 |           |           |                 |       |                |           |                       |                       |
|     |                    | Horikawa(2008b) <sup>24)</sup>          |          |       |        |       |                 |           |           |                 |       |                |           |                       |                       |
|     |                    | Miyakoshi et al.(2008) <sup>25)</sup>   |          |       |        |       |                 |           |           |                 |       |                |           |                       |                       |
| 6   | 2000年鳥取県西部地震       | 岩田・関口(2002) <sup>26)</sup>              | 8.62E+18 | 6.6   | 34     | 18    | 598             | 0.91      | 4.44      | 101             | 0.17  | 2.40           | 2.64      | 1.4                   | 8.5                   |
| 7   | 2005年福岡県西方沖地震      | Asano and Iwata(2006) <sup>27)</sup>    | 7.80E+18 | 6.6   | 26     | 18    | 468             | 0.78      | 3.17      | 64              | 0.14  | 1.97           | 2.53      | 1.9                   | 13.7                  |
| 8   | 2004年新潟県中越地震       | Asano and Iwata(2009) <sup>28)</sup>    | 7.53E+18 | 6.6   | 28     | 18    | 504             | 0.67      | 3.08      | 84              | 0.17  | 1.43           | 2.13      | 1.6                   | 9.7                   |
| 9   | 2011年長野県北部地震       | 気象庁(2012a) <sup>29)</sup>               | 2.13E+18 | 6.2   | 22     | 14    | 308             | 0.43      | 1.19      | 72              | 0.23  | 0.88           | 2.05      | 1.0                   | 4.1                   |
| 10  | 2003年宮城県北部地震       | Hikima and Koketsu(2004) <sup>30)</sup> | 1.53E+18 | 6.1   | 18     | 10    | 180             | 0.31      | 1.04      | 20              | 0.11  | 0.78           | 2.52      | 1.5                   | 13.9                  |
| 11  | 1997年鹿児島県北西部地震(3月) | 宮腰・他(2004) <sup>31)</sup>               | 1.40E+18 | 6.1   | 12     | 10    | 120             | 0.46      | 1.20      | 18              | 0.15  | 0.88           | 1.91      | 2.6                   | 17.3                  |
| 12  | 1997年鹿児島県北西部地震(5月) | Horikawa(2001) <sup>32)</sup>           | 1.22E+18 | 6.0   | 17     | 10    | 170             | 0.21      | 0.41      | 15              | 0.09  | 0.36           | 1.71      | 1.3                   | 15.2                  |
| 13  | 2011年静岡県東部地震       | 気象庁(2012b) <sup>33)</sup>               | 8.38E+17 | 5.9   | 8      | 12    | 96              | 0.32      | 1.10      | 16              | 0.17  | 0.80           | 2.50      | 2.2                   | 13.0                  |
| 14  | 1998年岩手県内陸北部地震     | Miyakoshi et al.(2000) <sup>34)</sup>   | 7.53E+17 | 5.9   | 10     | 10    | 100             | 0.16      | 0.52      | 16              | 0.16  | 0.43           | 2.69      | 1.8                   | 11.5                  |
| 15  | 1997年山口県北部地震       | 宮腰・他(2004) <sup>31)</sup>               | 5.66E+17 | 5.8   | 8      | 14    | 112             | 0.14      | 0.83      | 18              | 0.16  | 0.41           | 2.93      | 1.2                   | 7.2                   |
| 16  | 2013年栃木県北部地震       | 染井・他(2014) <sup>35)</sup>               | 5.54E+17 | 5.8   | 12     | 7     | 84              | 0.28      | 0.98      | 12              | 0.14  | 0.66           | 2.36      | 1.8                   | 12.5                  |
| 17  | 2013年淡路島地震         | 気象庁(2013) <sup>36)</sup>                | 5.47E+17 | 5.8   | 10     | 6     | 60              | 0.20      | 0.71      | 12              | 0.20  | 0.58           | 2.90      | 2.9                   | 14.3                  |
| 18  | 2005年福岡県西方沖地震 最大余震 | Asano and Iwata(2006) <sup>27)</sup>    | 1.31E+17 | 5.4   | 8      | 8     | 64              | 0.14      | 0.51      | 9               | 0.14  | 0.33           | 2.36      | 0.6                   | 4.4                   |

Av.= 0.16  
S.D.= 0.04

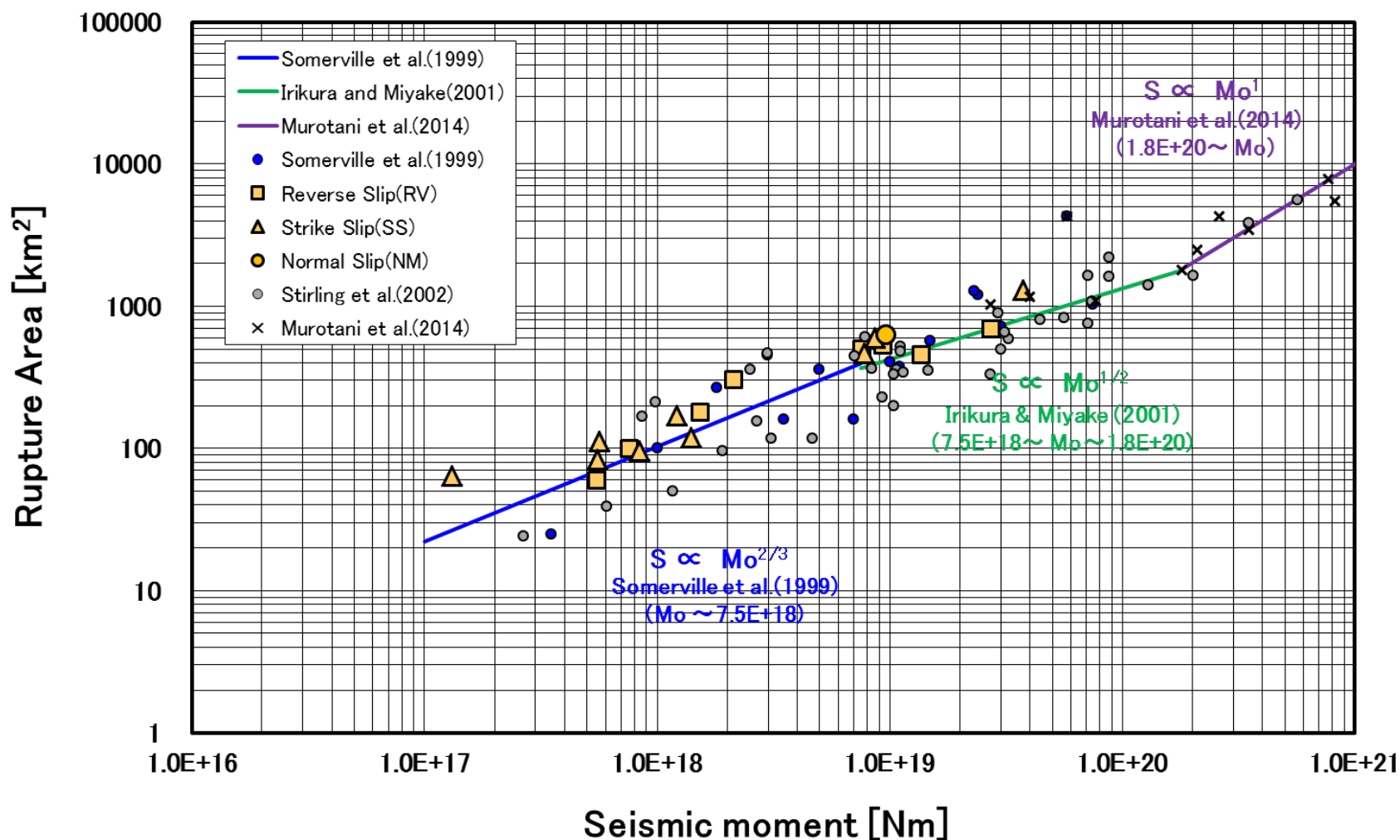
Av.= 2.37  
S.D.= 0.32

Rupture area

Asperity area



# 断層破壊領域と3-stage scaling model

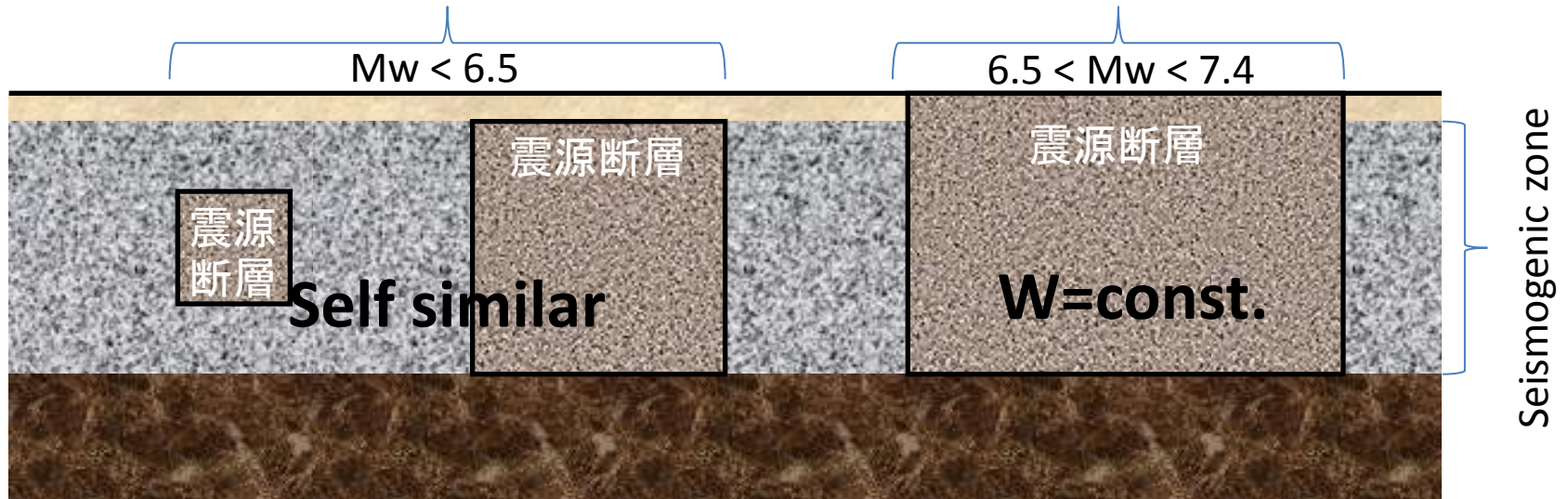




# 3-stage source scaling

Stage 1 (Somerville et al., 1999)

Stage 2 (入倉・三宅, 2001)



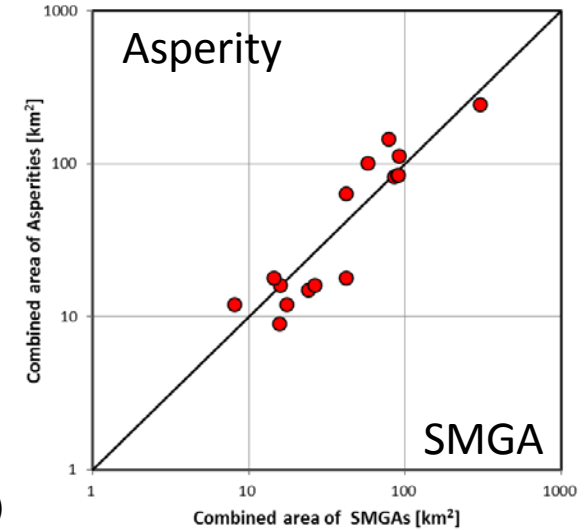
Stage 3 (Murotani et al., 2014)



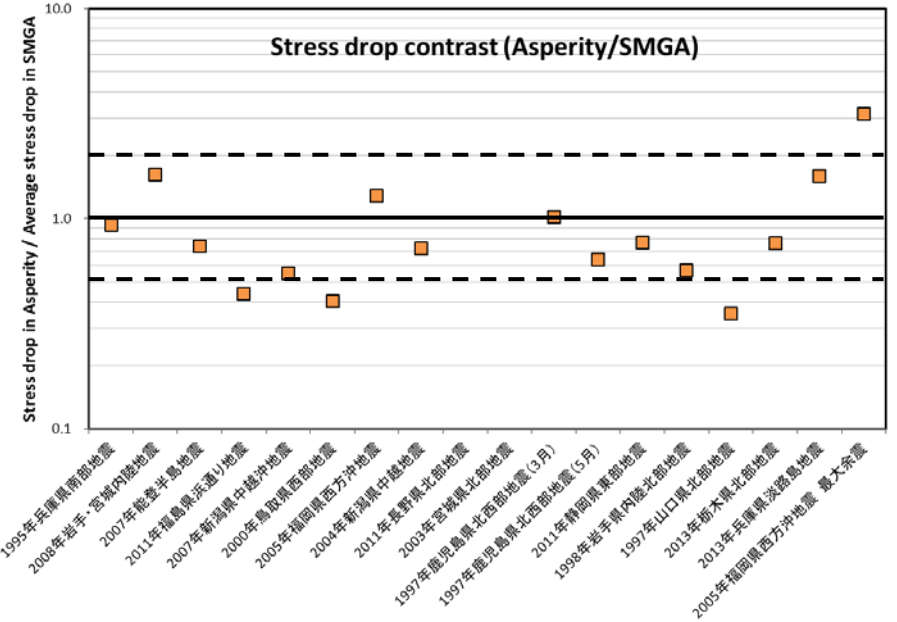
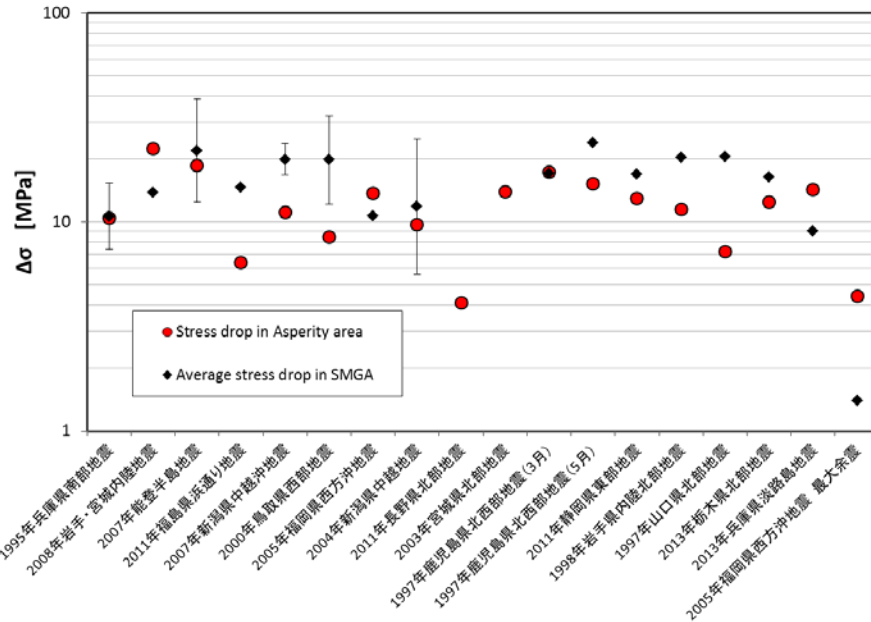
# 震源インバージョンから抽出されたアスペリティ領域と EGFを用いて合成されたSMGAの比較

EGF (Empirical Green's Function) Forward modeling

| No. | 地震名                | Mech | Reference                  | Mo        | Mw  | Total SMGA<br>km <sup>2</sup> | Num. of<br>SMGA | SMGA(km <sup>2</sup> ) |       |       | Stress drop (MPa) |       |       |
|-----|--------------------|------|----------------------------|-----------|-----|-------------------------------|-----------------|------------------------|-------|-------|-------------------|-------|-------|
|     |                    |      |                            | (dyne-cm) |     |                               |                 | SMGA1                  | SMGA2 | SMGA3 | SMGA1             | SMGA2 | SMGA3 |
| 1   | 1995年兵庫県南部地震       | SS   | 釜江・入倉(1997)                | 3.75E+26  | 6.9 | 304                           | 3               | 176                    | 64    | 64    | 8.6               | 16.3  | 8.6   |
| 2   | 2008年岩手・宮城内陸地震     | RV   | 釜江(2008)                   | 2.72E+26  | 6.9 | 92                            | [92]            | 2                      | 46    | 46    | 13.8              | 13.8  |       |
|     |                    |      | 入倉・倉橋(2013)                |           |     |                               | [92]            | 2                      | ?     | ?     | ?                 | ?     |       |
| 3   | 2007年能登半島地震        | RV   | Kurahashi et al.(2008)     | 1.36E+26  | 6.7 | 85                            | [53]            | 2                      | 40    | 13    | 25.8              | 10.3  |       |
|     |                    |      | Maeda et al.(2008)         |           |     |                               | [69]            | 3                      | 27    | 27    | 46.9              | 37.5  | 46.9  |
|     |                    |      | Yoshimi and Yoshida (2008) |           |     |                               | [146]           | 2                      | 98    | 48    | 9.4               | 15.6  |       |
|     |                    |      | 釜江・他(2007)                 |           |     |                               | [98]            | 3                      | 52    | 23    | 20.0              | 20.0  | 10.0  |
| 4   | 2011年福島県浜通り地震      | NM   | 染井・他(2011)                 | 9.58E+25  | 6.6 | 79                            | 2               | 40                     | 40    |       | 14.6              | 14.6  |       |
| 5   | 2007年新潟県中越沖地震      | RV   | 倉橋・他(2008)                 | 9.30E+25  | 6.6 | 89                            | [85]            | 3                      | 30    | 30    | 23.7              | 23.7  | 19.8  |
|     |                    |      | 山本・竹中(2009)                |           |     |                               | [92]            | 3                      | 36    | 36    | 19.5              | 14.8  | 19.5  |
| 6   | 2000年鳥取県西部地震       | SS   | 池田・他(2002)                 | 8.62E+25  | 6.6 | 58                            | 2               | 29                     | 29    |       | 28.0              | 14.0  |       |
| 7   | 2005年福岡県西方沖地震      | SS   | Suzuki and Iwata(2006)     | 7.80E+25  | 6.6 | 42                            | 1               | 42                     |       |       | 10.7              |       |       |
| 8   | 2004年新潟県中越沖地震      | RV   | Kamae et al.(2005)         | 7.53E+25  | 6.6 | 91                            | 2               | 75                     | 16    |       | 7.0               | 20.0  |       |
| 9   | 2011年長野県北部地震       | RV   | None                       | 2.13E+25  | 6.2 | None                          | x               | x                      | x     | x     | x                 | x     | x     |
| 10  | 2003年宮城県北部地震       | RV   | None                       | 1.53E+25  | 6.1 | None                          | x               | x                      | x     | x     | x                 | x     | x     |
| 11  | 1997年鹿児島県北西部地震(3月) | SS   | Miyake et al. (2003)       | 1.40E+25  | 6.1 | 42                            | 1               | 42                     |       |       |                   |       |       |
| 12  | 1997年鹿児島県北西部地震(5月) | SS   | Miyake et al. (2003)       | 1.22E+25  | 6.0 | 24                            | 2               | 12                     | 12    |       |                   |       |       |
| 13  | 2011年静岡県東部地震       | SS   | 染井・他(2012)                 | 8.38E+24  | 5.9 | 27                            | 1               | 27                     |       |       | 16.9              |       |       |
| 14  | 1998年岩手県内陸北部地震     | RV   | Miyake et al. (2003)       | 7.53E+24  | 5.9 | 16                            | 1               | 16                     |       |       |                   |       |       |
| 15  | 1997年山口県北部地震       | SS   | Miyake et al. (2003)       | 5.66E+24  | 5.8 | 14                            | 1               | 14                     |       |       |                   |       |       |
| 16  | 2013年栃木県北部地震       | SS   | 染井・他(2014)                 | 5.54E+24  | 5.8 | 18                            | 1               | 18                     |       |       | 16.4              |       |       |
| 17  | 2013年兵庫県淡路島地震      | RV   | 倉橋私信(2014)                 | 5.47E+24  | 5.8 | 8                             | 1               | 8                      |       |       | 9.0               |       |       |
| 18  | 2005年福岡県西方沖地震 最大余震 | SS   | Suzuki and Iwata(2006)     | 1.31E+24  | 5.4 | 16                            | 1               | 16                     |       |       | 1.4               |       |       |



宮腰・入倉(2013)



# 断層長さ(L)と 地震モーメント(Mo)の関係

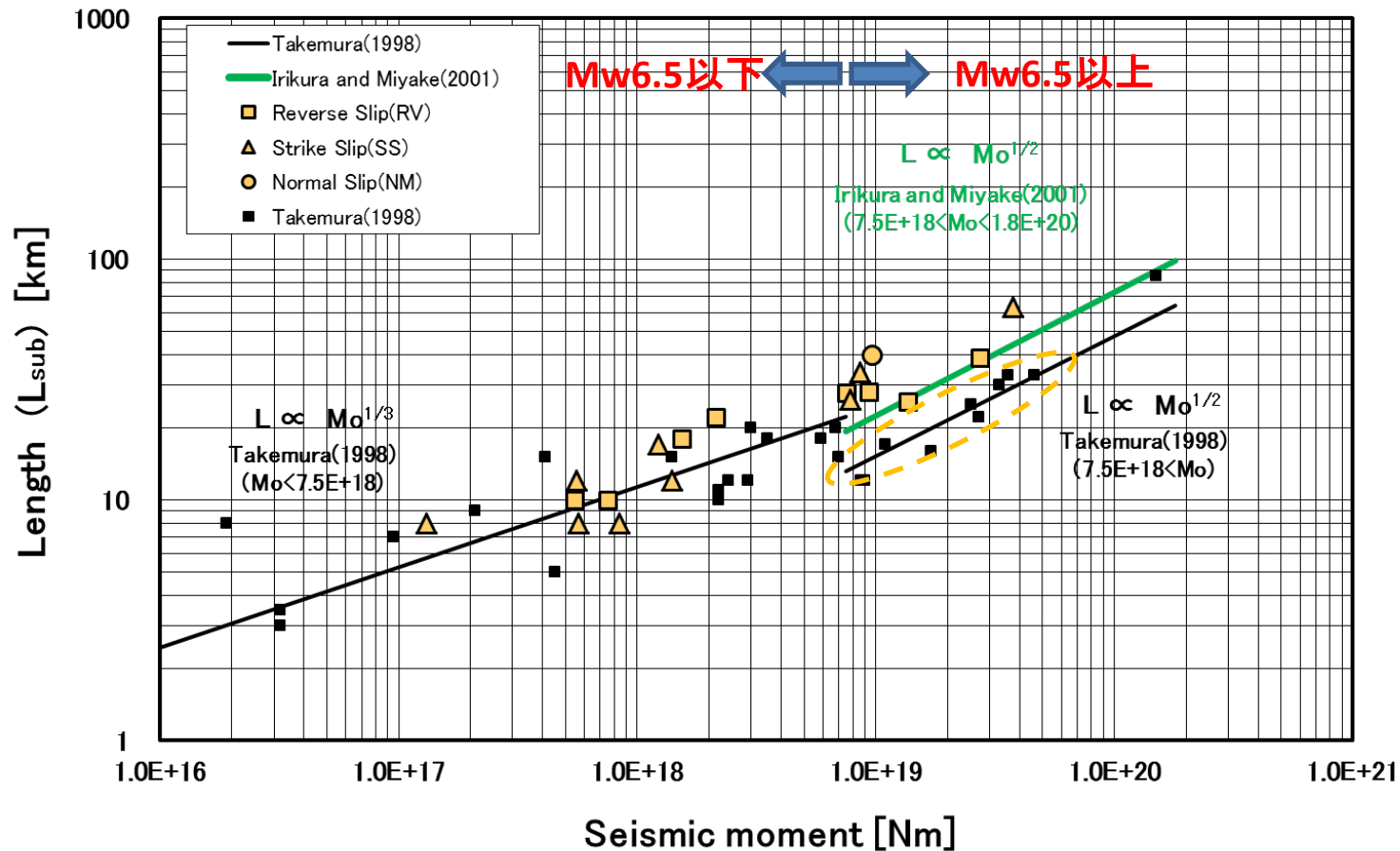
武村(1998)

$M_o \geq 7.5E+18[Nm]$  (Mw6.5以上) :  $\log L(km) = 1/2 \cdot \log Mo(dyne-cm) - 11.82$

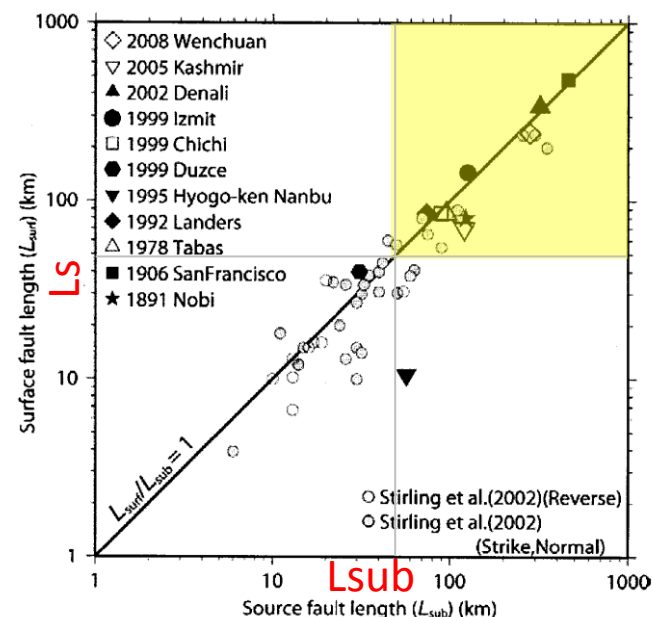
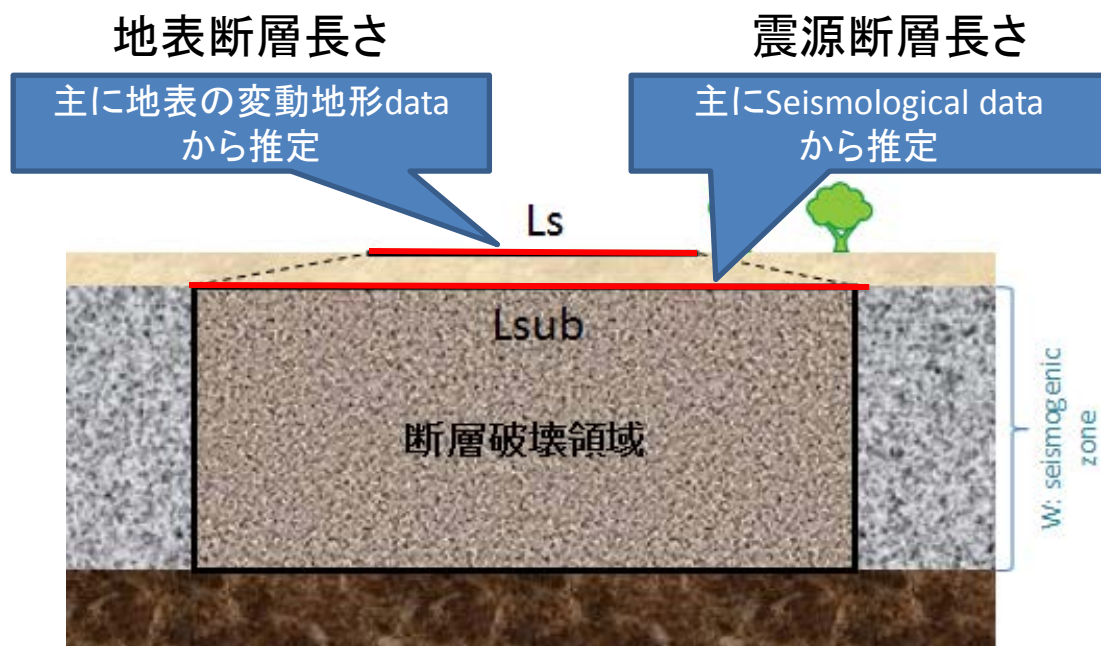
$M_o < 7.5E+18[Nm]$  (Mw6.5以下) :  $\log L(km) = 1/3 \cdot \log Mo(dyne-cm) - 7.28$

入倉・三宅(2001)

$M_o \geq 7.5E+18[Nm]$  (Mw6.5以上) :  $\log L(km) = 0.513 \cdot \log Mo(dyne-cm) - 11.99$



# 震源断層長さ( $L_{sub}$ )と地表断層長さ( $L_s$ )



Murotani et al.(2014 in print)に加筆

断層長さが約50km以上:  $L_s \doteq L_{sub}$   
断層長さが約50km未満:  $L_s \leq L_{sub}$

堆積層による断層変位の緩衝作用: 座布団効果 (遠田, 2013)

# 武村(1998)のデータセットの見直し (Mw6.5以上)

武村(1998): 地表の変動地形data & Seismological data

| No. | Name                | Mech. | Reference                      | Mo (Nm) | Mw   | L(km) | W(km) | S(km <sup>2</sup> ) | D(m) | Geodetic data | Seismological data |
|-----|---------------------|-------|--------------------------------|---------|------|-------|-------|---------------------|------|---------------|--------------------|
| 1   | 1891Nobi            | SS    | Mikumo and Ando(1976)          | 1.5E+20 | 7.38 | 85    | 15    | 1275                | 3.8  | ○             | ○                  |
| 2   | 1927Kita-Tango      | SS    | Kanamori(1973)                 | 4.6E+19 | 7.04 | 33    | 19    | 627                 | 3.7  | ○             |                    |
| 3   | 1943Tottori         | SS    | Kanamori(1972)                 | 3.6E+19 | 6.97 | 33    | 13    | 429                 | 2.5  | ○             | ○                  |
| 4   | 1948Fukui           | SS    | Kanamori(1973)                 | 3.3E+19 | 6.95 | 30    | 13    | 390                 | 2.0  | ○             | ○                  |
| 5   | 1930Kita-Izu        | SS    | Abe(1978)                      | 2.7E+19 | 6.89 | 22    | 12    | 264                 | 3.0  | ○             |                    |
| 6   | 1995Hyogo-ken-Nanbu | SS    | Takemura(1998)                 | 2.5E+19 | 6.87 | 25    | 15    | 375                 | 2.2  |               | ○                  |
| 7   | 1939Oga             | SS    | Yoshioka(1974)                 | 1.7E+19 | 6.75 | 16    | 12    | 192                 | 2.0  | ○             |                    |
| 8   | 1978Izu-Oshima      | SS    | Shimazaki and Somerville(1978) | 1.1E+19 | 6.63 | 17    | 10    | 170                 | 1.9  |               | ○                  |
| 9   | 1961Kita-Mino       | OB    | Kawasaki(1975)                 | 9.0E+18 | 6.57 | 12    | 10    | 120                 | 2.5  | ○             | ○                  |
| 10  | 1945Mikawa          | RV    | Ando(1974)                     | 8.7E+18 | 6.56 | 12    | 11    | 132                 | 2.3  | ○             |                    |

地表の変動地形dataとSeismological dataの混在



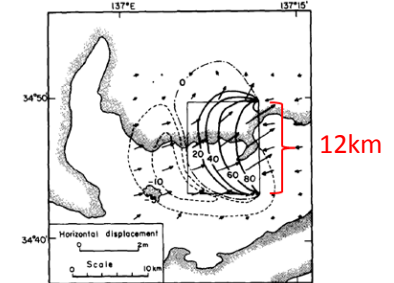
This study: Seismological data

| No. | Name                | Mech. | Reference              | Mo (Nm) | Mw   | L <sub>sub</sub> (km) | W(km) | S(km <sup>2</sup> ) | D(m) | Trimming of rupture area |
|-----|---------------------|-------|------------------------|---------|------|-----------------------|-------|---------------------|------|--------------------------|
| 1   | 1891Nobi            | SS    | Murotani et al.(2014)  | 1.8E+20 | 7.44 | 122                   | 15*   | 1830                | 3.3  | ×                        |
| 2   | 1927Kita-Tango      | SS    | ×                      | —       | —    | —                     | —     | —                   | —    | —                        |
| 3   | 1943Tottori         | SS    | ×                      | —       | —    | —                     | —     | —                   | —    | —                        |
| 4   | 1948Fukui           | SS    | Kikuchi et al.(1999)   | 2.1E+19 | 6.81 | 30                    | 10    | 300                 | 2.3  | ×                        |
| 5   | 1930Kita-Izu        | SS    | ×                      | —       | —    | —                     | —     | —                   | —    | —                        |
| 6   | 1995Hyogo-ken-Nanbu | SS    | Sekiguchi et al.(2002) | 3.8E+19 | 6.98 | 64                    | 21    | 1303                | 1.7  | ○                        |
| 7   | 1939Oga             | SS    | ×                      | —       | —    | —                     | —     | —                   | —    | —                        |
| 8   | 1978Izu-Oshima      | SS    | Kikuchi and Sudo(1984) | 1.9E+19 | 6.78 | 35*                   | —     | —                   | —    | —                        |
| 9   | 1961Kita-Mino       | OB    | Takeo(1990)            | 5.8E+18 | 6.44 | 16                    | 12    | 192                 | 0.9  | ○                        |
| 10  | 1945Mikawa          | RV    | Kikuchi et al.(2003)   | 1.0E+19 | 6.60 | 20                    | 15    | 300                 | 1.1  | ×                        |

\*Estimated value in this study

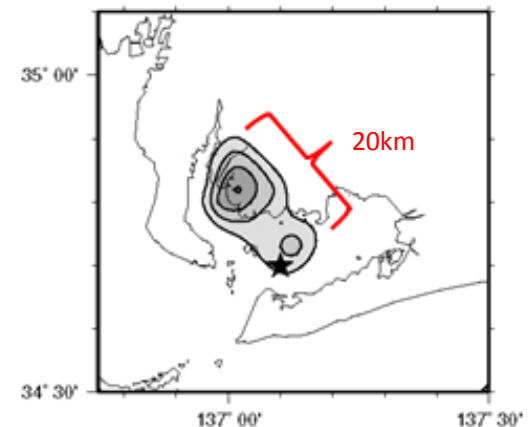
Mw6.5以上の10個の地震のうち、6個の地震の震源インバージョン結果を収集・整理

1945年三河地震(Mw6.6)



Length=12 [km]

Ando(1974)

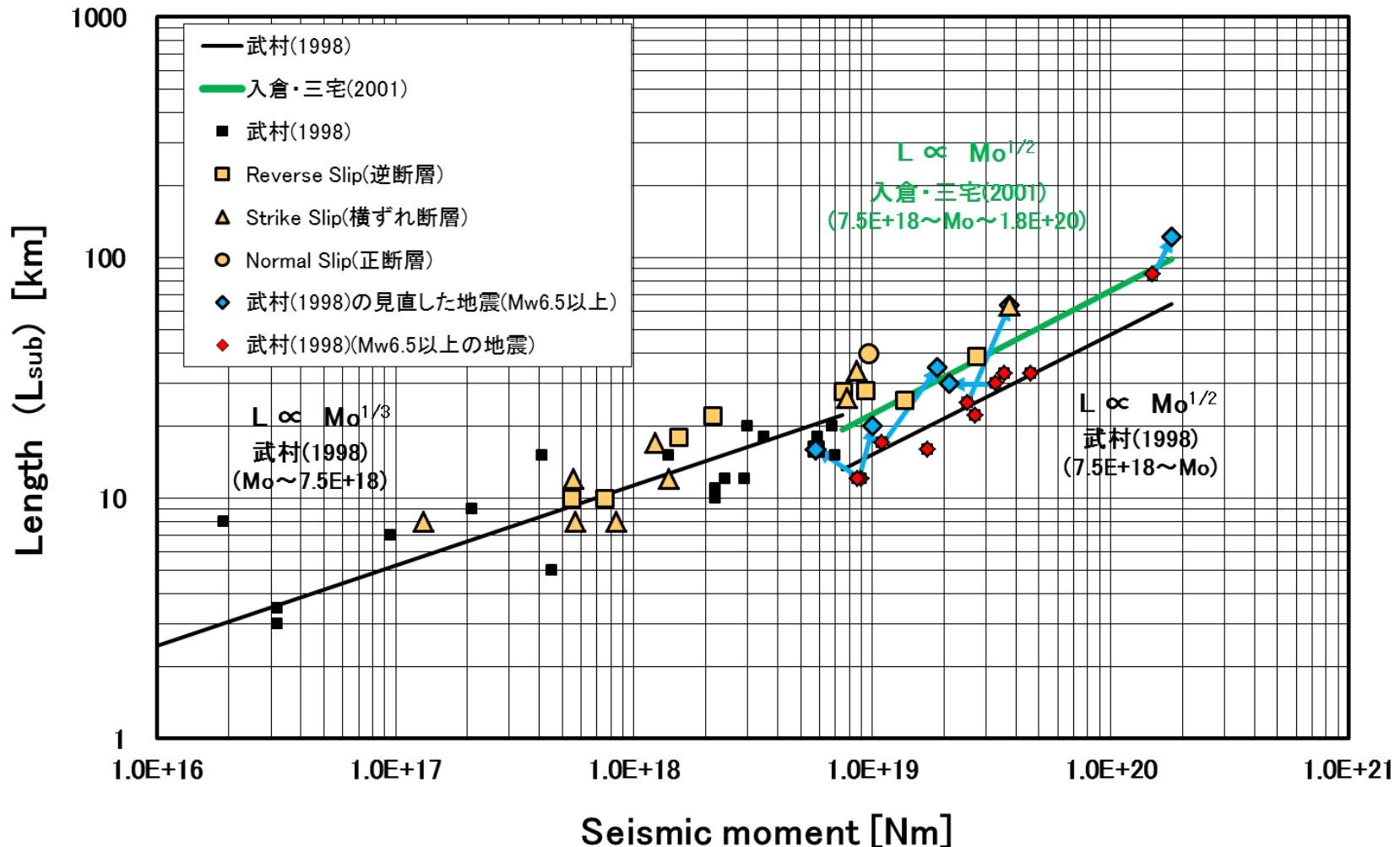


Length=20 [km]

Kikuchi et al.(2003)

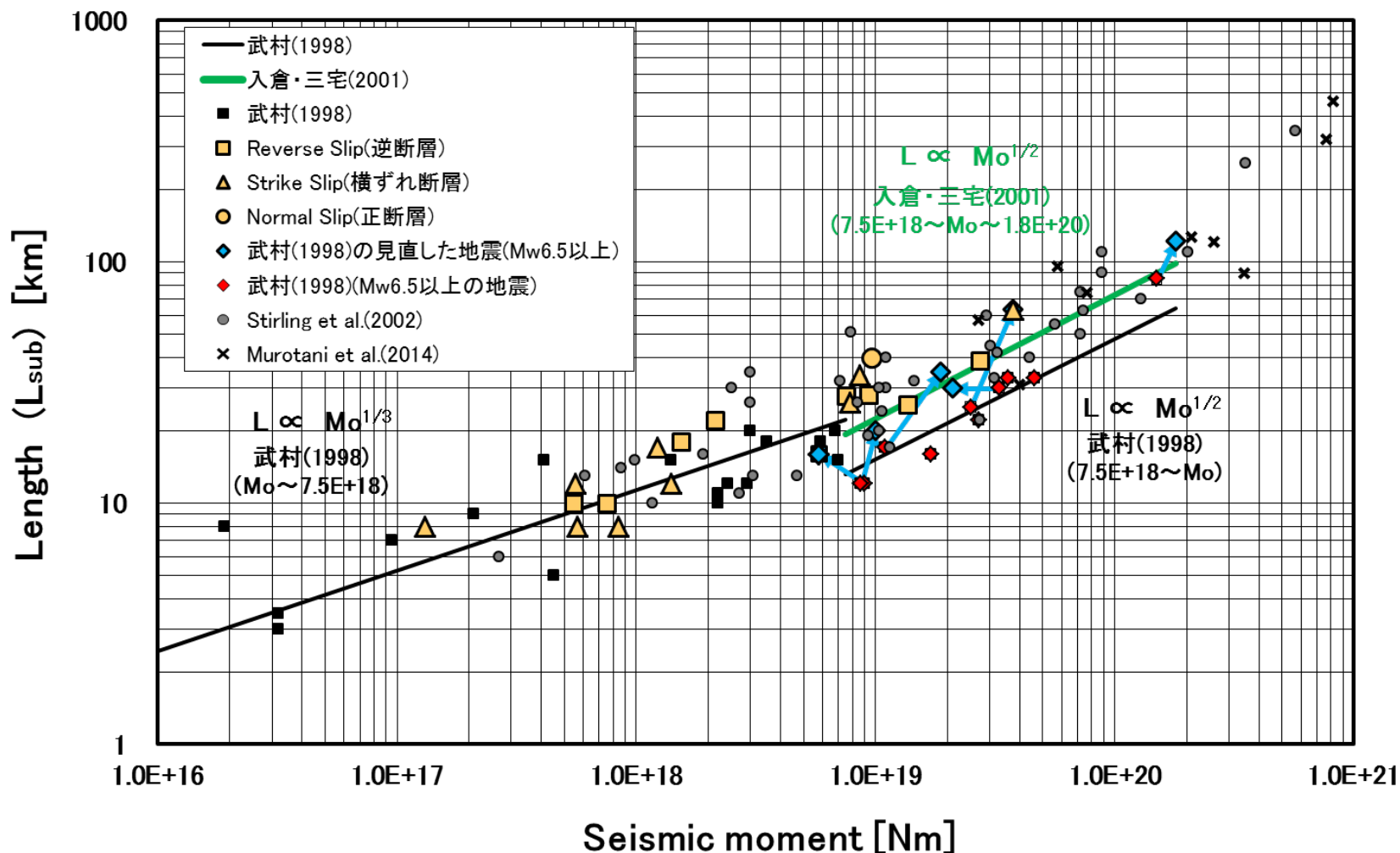


# 震源断層長さ(Lsub)と 地震モーメント(Mo)の関係(Mw>6.5)





# 国外の内陸地殻内地震の データセットとの比較



# 長大な横ずれ断層を対象にした 壇・他(2012)のスケーリング則の比較

$$M_0 = (\Delta\sigma^\# \cdot SW_{\max}) / c$$

(壇・他, 2012)

$$c = 0.5 + 2 \exp[-L/W_{\max}]$$

$$\Delta\sigma^\# = 3.4 \text{ MPa}$$

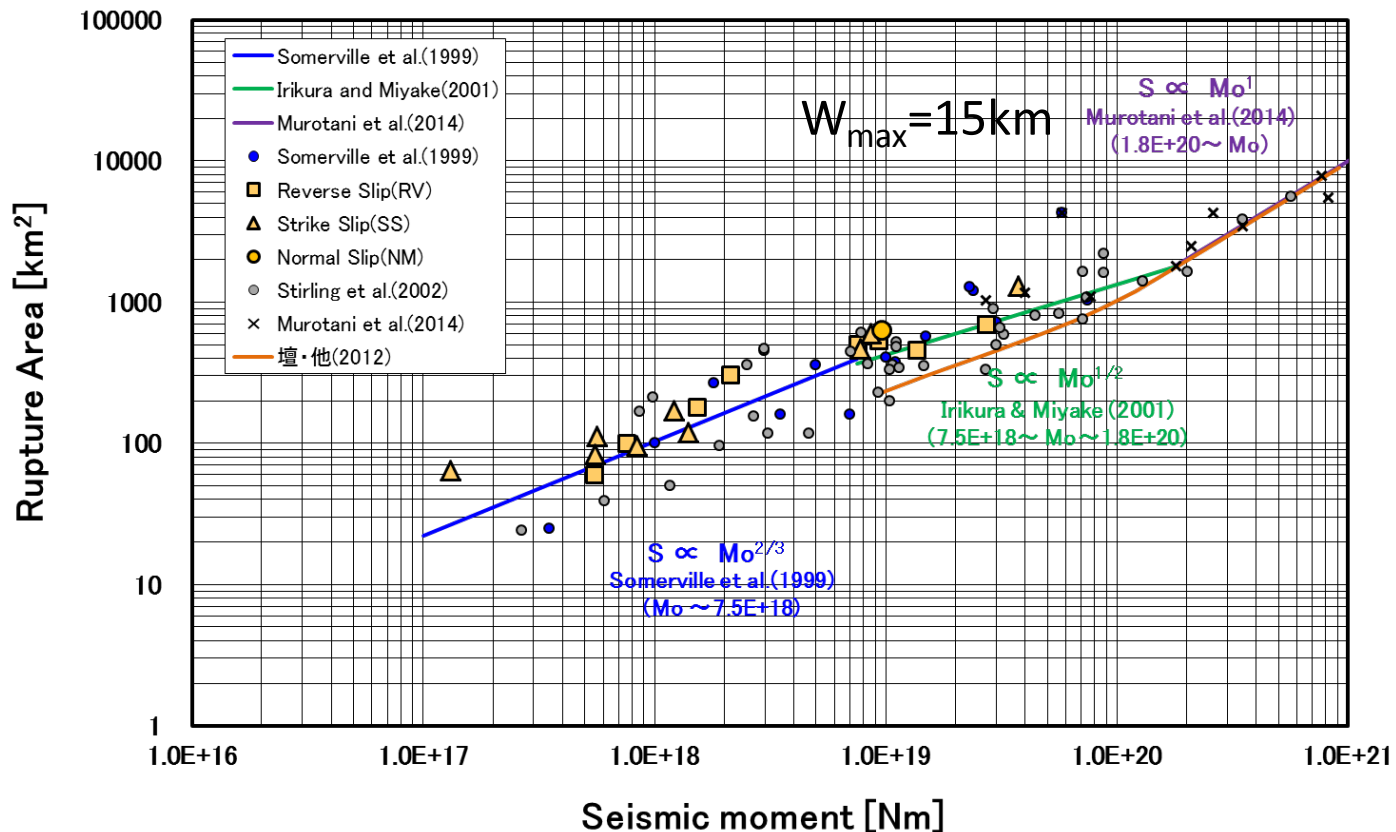
$$W_{\max} = 15 \text{ km (仮定)}$$



$$\Delta\sigma^\# = c \cdot (D/W_{\max})$$

(Knopoff, 1958)

無限長の横ずれ断層に対する応力降下量の定義  $\Delta\sigma$ : 応力降下量、  
D: 断層変位、W: 断層幅



# まとめ

1995年以降に国内で発生した内陸地殻内地震( $M_w$ 5.4~6.9)を対象に震源インバージョン結果を収集・整理し、震源断層の巨視的・微視的パラメータの推定を行った。

## ●断層破壊面積と地震モーメント( $S$ vs. $M_o$ )

$M_w$ 6.5以下でSomerville et al.(1999)および $M_w$ 6.5以上で入倉・三宅(2001)のスケールリング則とよく一致することを確認。海外のデータと国内のデータで大きな違いは認められない。海外の長大断層も含めると、断層破壊面積と地震モーメントの関係は3段階で表される。

## ●アスペリティ面積比( $S_a/S$ )

アスペリティ面積比は0.16(S.D.=0.04)が得られ、Somerville et al.(1999)の0.22より小さい結果が得られた。

## ●震源断層長さと地震モーメント( $L_{sub}$ vs. $M_o$ )

$M_w$ 6.5以下で武村(1998)のスケールリング則と調和的である一方、 $M_w$ 6.5以上では入倉・三宅(2001)のスケールリング則とよく一致することを確認した。

### 謝辞

京都大学防災研究所・浅野博士，関口准教授，岩田教授，(独)産業技術総合研究所・堀川博士，東京電力(株)・引間博士，(独)防災科学技術研究所・鈴木博士，青井博士に震源インバージョン結果をご提供頂きました。また，気象庁の震源インバージョン結果，(独)防災科学技術研究所(F-net)，Prof. P. Martin Mai (SRCMOD)による震源情報を利用しました。記して感謝致します。