

地震本部における熊本地震を踏まえた (強震動評価における) 地震規模評価の検討状況

**Discussion on magnitude evaluation for
earthquakes occurring on active faults after the
2016 Kumamoto earthquake in HERP※**

森川 信之 (防災科学技術研究所)

Nobuyuki Morikawa (NIED)

※HERP: Headquarters for Earthquake Research Promotion of Japan

内 容

1. 地震本部による強震動予測手法（「レシピ」）の概要
2. 2016年熊本地震（ $M_{JMA}=7.3$ ）の強震動記録を用いた「レシピ」の検証（暫定；森川・他、2016）
3. 活断層の地震に対する評価の改良方針：不確実さの考慮

Contents

1. Outline of strong ground motion prediction method “Recipe” by HERP
2. Validation of the “Recipe” using strong-motion records during the 2016 Kumamoto earthquake ($M_{JMA}=7.3$) (Preliminary results based on Morikawa et al., 2016)
3. Consideration of uncertainties in magnitude evaluation for earthquakes occurring on major active faults

1. 地震調査委員会による強震動予測手法「レシピ」³

地震調査研究推進本部地震調査委員会（地震本部）において実施してきた強震動評価に関する検討結果から、震源特性（震源モデル）、地下構造モデル、強震動計算、予測結果の検証、の現状における手法を取りまとめたもの。

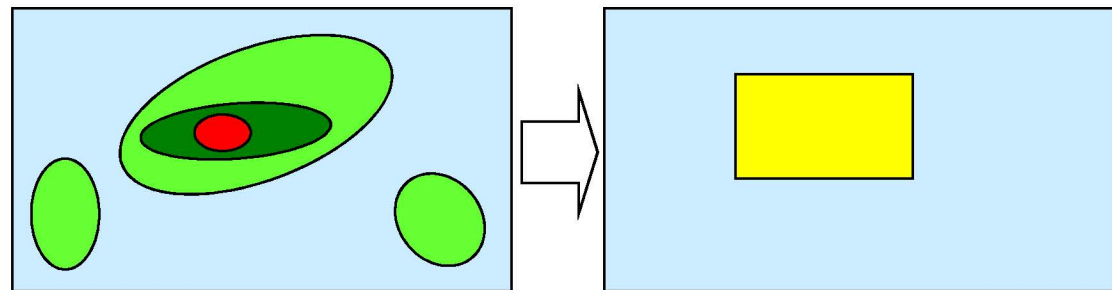
最新版：2016年6月10日改訂（地震調査委員会、2016）

1. 特性化震源モデルの設定（Characterized source model）

強震動を再現するために震源断層面上のすべり分布を単純化した震源モデル

- ・ 活断層で発生する地震 ← 入倉・三宅（2001）
- ・ プレート境界地震（海溝型地震）
- ・ スラブ内地震（海溝型地震） ← 新井・他（2015）

巨視的震源特性
微視的震源特性
その他の震源特性



2. 地下構造モデルの作成

3. 強震動計算

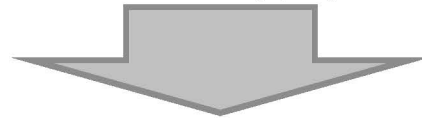
4. 予測結果の検証

1. 地震調査委員会による強震動予測手法「レシピ」⁴

○震源モデル設定に関する「レシピ」の経緯

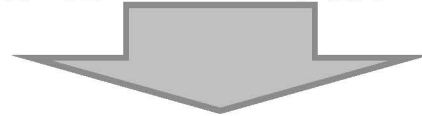
地震本部による長期評価を踏まえた強震動評価の実施にあたり、**活断層調査、過去の地震記録、地震活動などの詳細な検討に基づき、震源断層パラメータを設定する手法**を取りまとめ

→ それぞれの「強震動評価」の付録として公表
(2009年版以後においては(ア)の手法)



全国の主要活断層帯(110断層帯)の「震源断層を特定した地震の地震動予測地図」を一括して作成するにあたり、長期評価による**活断層の地表長さから**、従来の「レシピ」に基づきながらも一部の震源断層パラメータを**簡便に設定する手法**((イ)の手法)を追加

→ 「全国地震動予測地図」2009年版 付録



最新版：2016年6月10日改訂

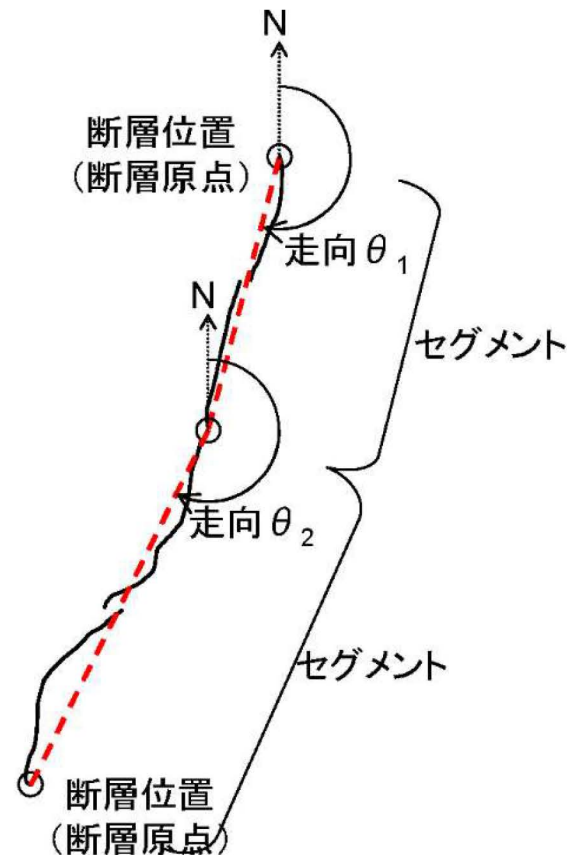
- ・長さが約80kmを超える長大な活断層に関する手法の一部見直し
- ・スラブ内地震のための手法を新たに追加

1. 活断層の地震のモデル化に必要な震源パラメータ

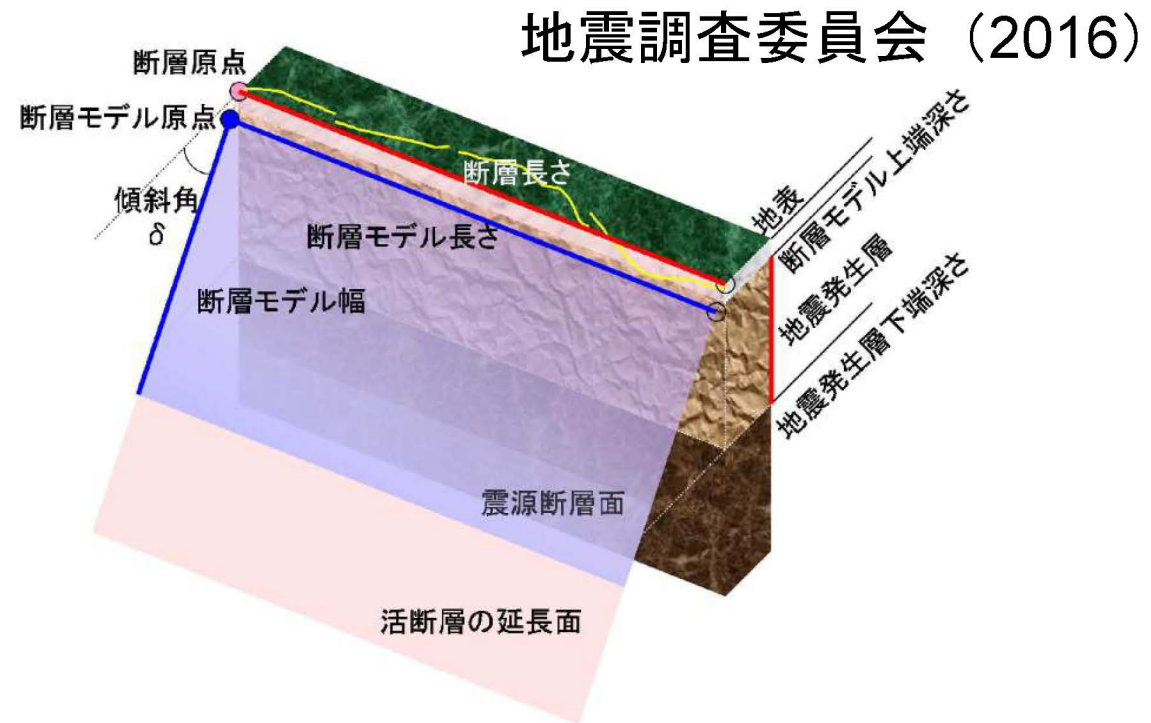
巨視的震源パラメータ (Outer source parameters) 【(ア) の手法】

- ・ 震源断層モデルの位置と構造 (位置、走向、セグメント)
- ・ 震源断層モデルの大きさ (長さ L ・幅 W) ・ 深さ ・ 傾斜角

活断層調査、地震観測等のデータに基づいて設定



位置、走向、セグメント

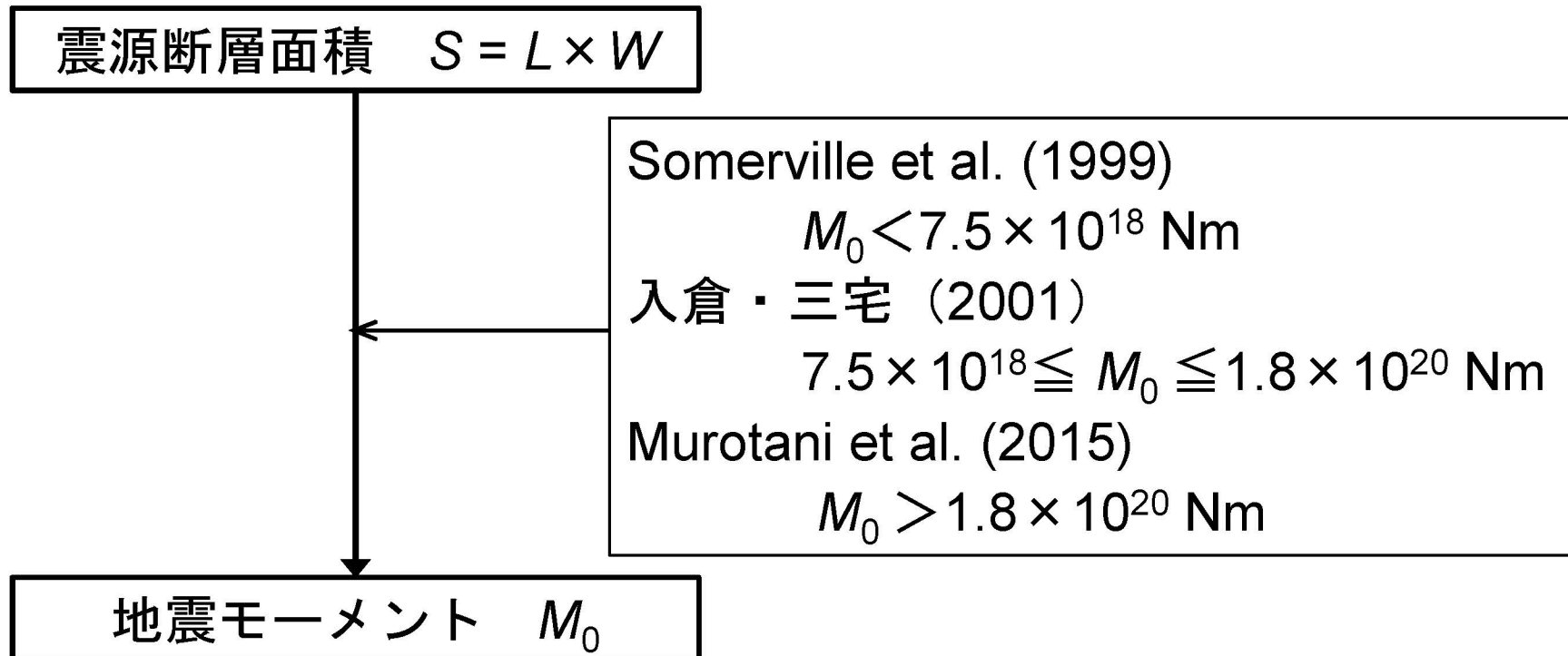


断層モデル長さ、幅、深さ、傾斜角

1. 活断層の地震のモデル化に必要な震源パラメータ

巨視的震源パラメータ (Outer source parameters) 【(ア)の方法】

- ・ 地震規模 (地震モーメント M_0)



- ・ 震源断層モデルの平均すべり量 D

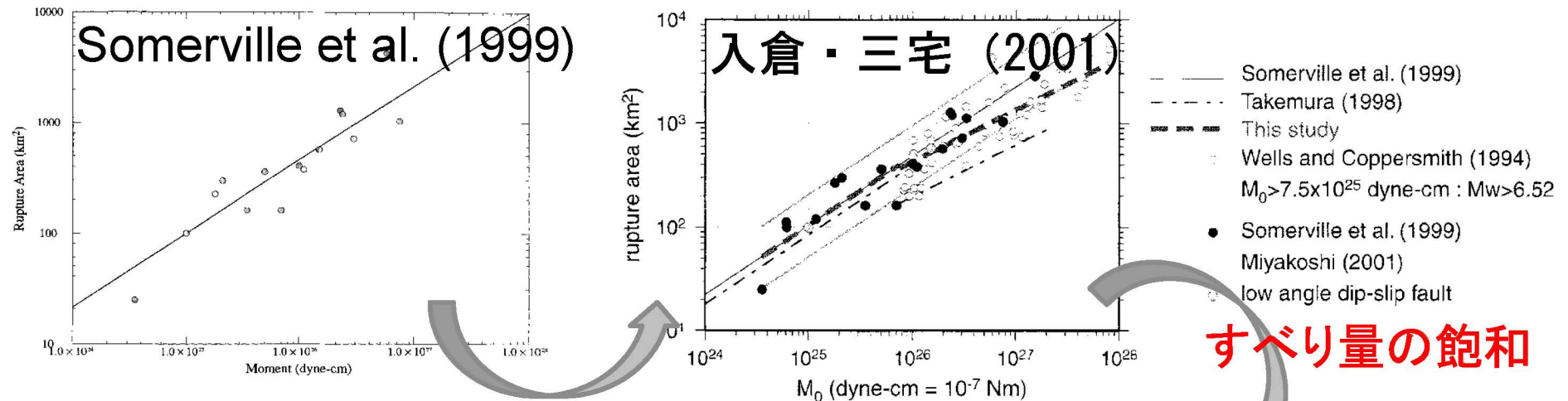
$$D = M_0 / (\mu \cdot S), \quad \mu = \rho \cdot \beta^2$$

ρ : 地震発生層の密度

β : 地震発生層のS波速度

1. 活断層の地震のモデル化に必要な震源パラメータ

震源断層面積 (S) と地震モーメント (M_0) との関係 — 経験式

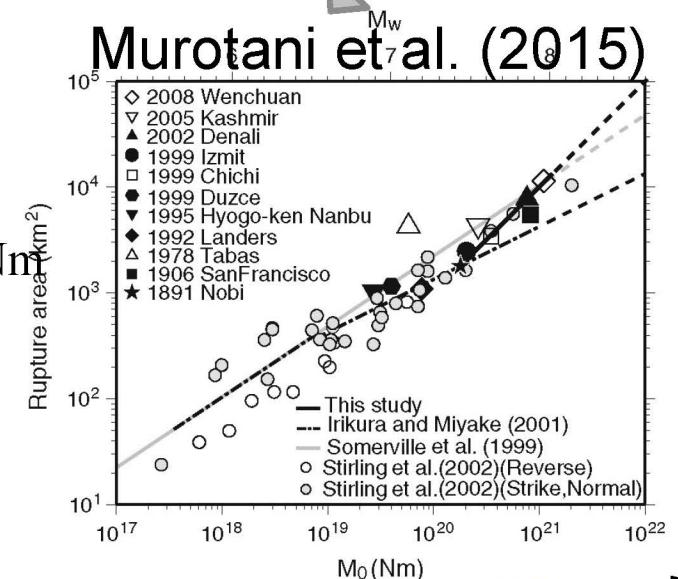


断層幅の飽和

すべり量の飽和

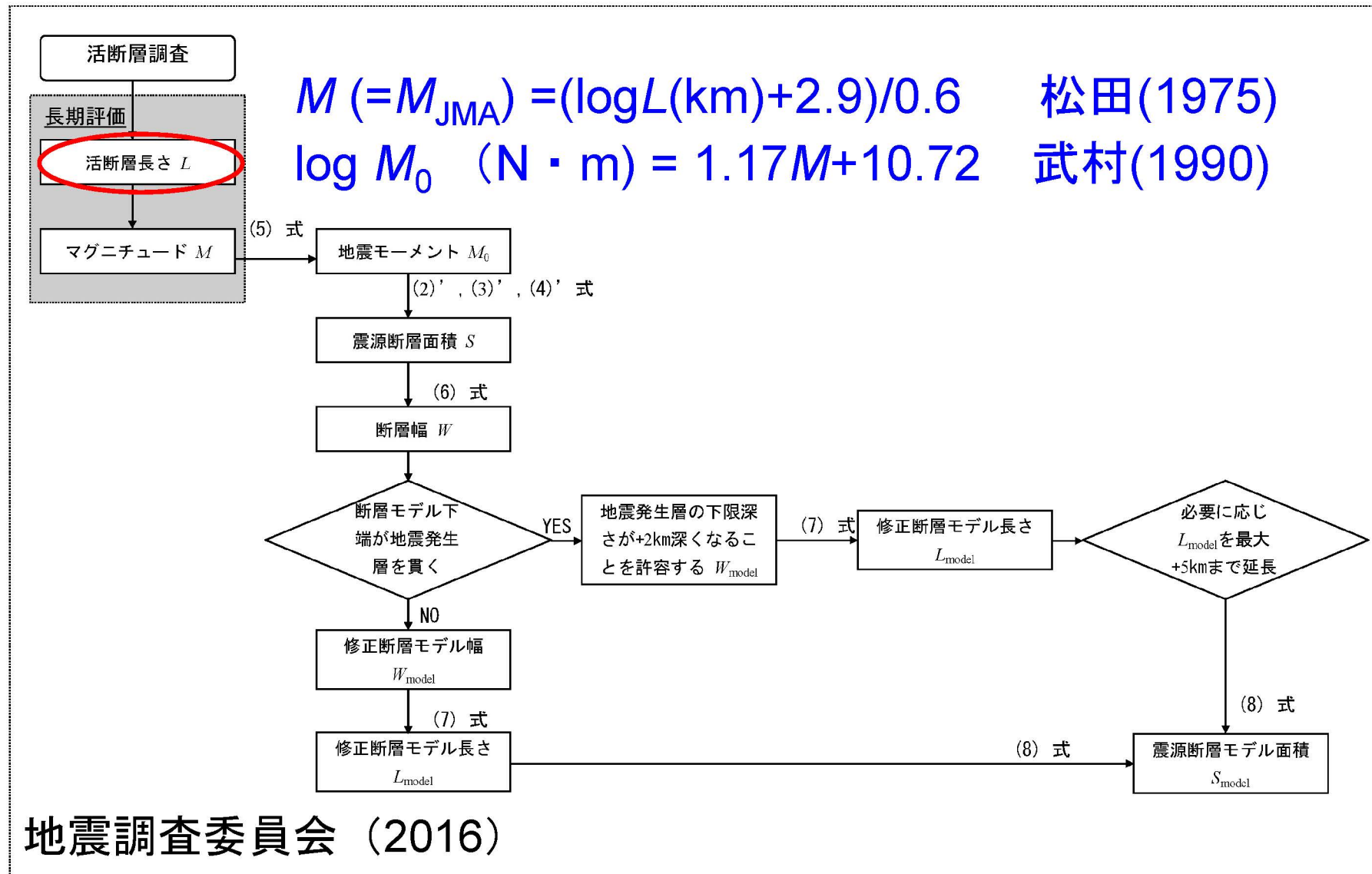
$$M_0 = \begin{cases} \left(\frac{S}{2.23} \times 10^{15} \right)^{3/2} \times 10^{-7} & M_0 < 7.5 \times 10^{18} \text{ Nm} \\ \left(\frac{S}{4.24} \times 10^{11} \right)^2 \times 10^{-7} & 7.5 \times 10^{18} \leq M_0 \leq 1.8 \times 10^{20} \text{ Nm} \\ S \times 10^{17} & M_0 > 1.0 \times 10^{20} \text{ Nm} \end{cases}$$

※回帰データのばらつきは現時点では震源のモデル化において考慮されていない



1. 活断層の地震のモデル化に必要な震源パラメータ

巨視的震源パラメータ (Outer source parameters) 【(イ) の手法】



2. 2016年熊本地震を対象とした「レシピ」の検証

○2016年4月16日1時25分頃の地震($M_{JMA}=7.3$)

地表長さ:28km(布田川断層帯布田川区間)

6km(日奈久断層帯高野一白旗区間)

(産業技術総合研究所「第四報」、2016;地震調査委員会、2016)

○布田川断層帯・日奈久断層帯の評価(一部改訂)

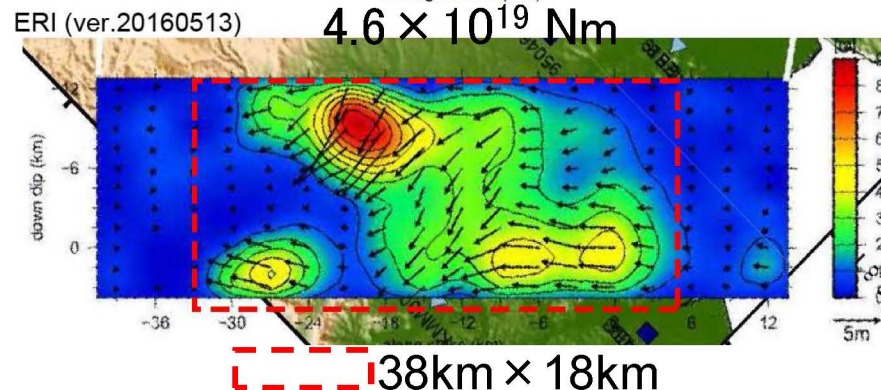
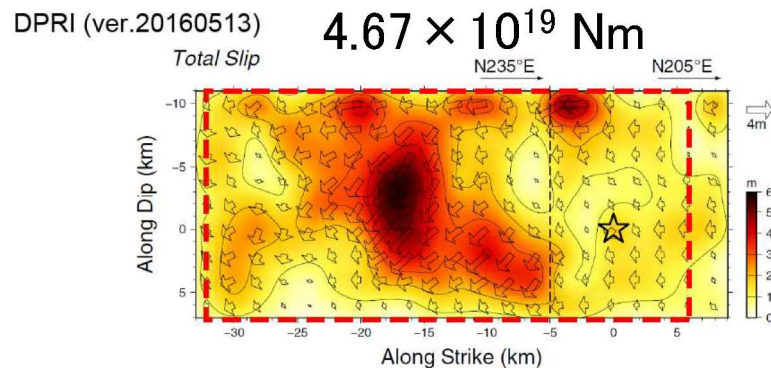
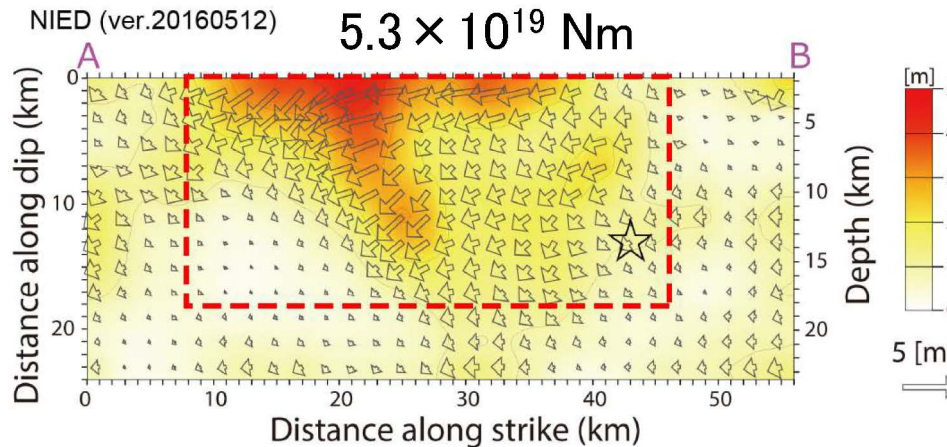
(地震調査委員会、2013)

地表長さ:約19km(布田川断層帯布田川区間)

地震規模:M7.0程度

地震発生層下限深さ:10~13km (D90より推定)

2. 震源インバージョンによるすべり量分布



地震モーメント: M_0 ($\times 10^{19}$ Nm)

気象庁CMT: 4.06

防災科研F-net: 4.42

USGS W-phase: 4.655

Global CMT: 4.46

約 4.5×10^{19} Nm

破壊開始点(☆): 深さ13.6km

布田川区間の地震発生層下限
深さの評価: 約13km(最大)

※防災科学技術研究所、京都大学防災研究所、東京大学地震研究所に加筆

2. 設定された震源パラメータ

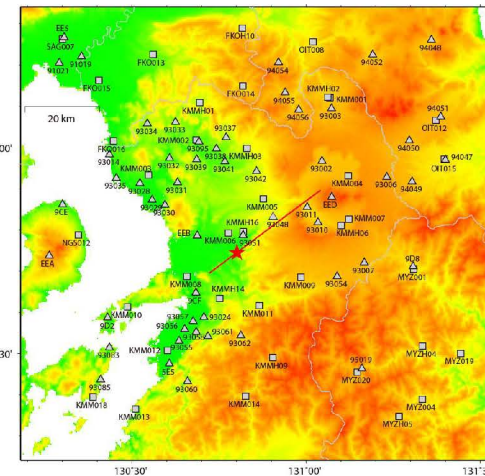
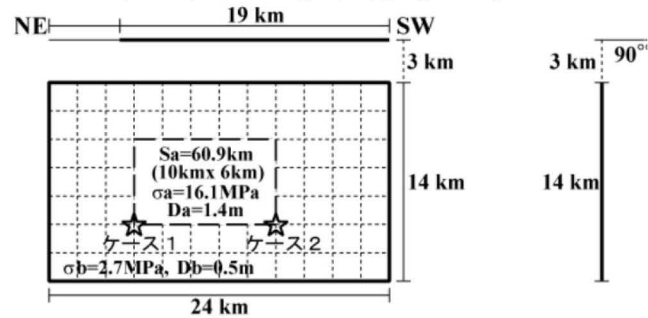
Model	0 (イ)	1 (ア)	2	3 (イ)	4 (イ)	5
地表断層長さ L [km]	19	—	—	28	30	30
地震規模 M	7.0	—	—	7.2	7.3	7.3
地震モーメント M_0 [$\times 10^{19}$ Nm]	0.74	2.60	4.50	1.57	1.82	4.50
断層モデル長さ L_{model} [km]	24	38	38	30	32	34
断層モデル幅 W_{model} [km]	14	18	18	18	18	18
断層モデル面積 S_{model} [km ²]	336	684	684	540	576	612
走向 θ	N233.2° E (全モデル共通)					
傾斜 δ	90° (全モデル共通)					
すべり角 λ	-160° (全モデル共通)					
平均静的応力降下量 $\Delta\sigma$ [MPa]	2.9	3.5	6.1	3.1	3.2	3.1
短周期レベル A [$\times 10^{19}$ Nm/s ²]	1.03	1.57	1.89	1.33	1.40	1.34
アスペリティ総面積 S_a [km ²]	60.9	160.0	332.1	103.7	118.3	134.6
アスペリティ実効応力 σ_a [MPa]	16.1	15.1	12.6	15.9	15.7	14.1

※赤字は既知として付与

※Model-5では $\Delta\sigma=3.1\text{MPa}$ 、 $S_a=0.22 \cdot S_{\text{model}}$ を仮定 (太斜字)

2. 震源断層モデルと観測点

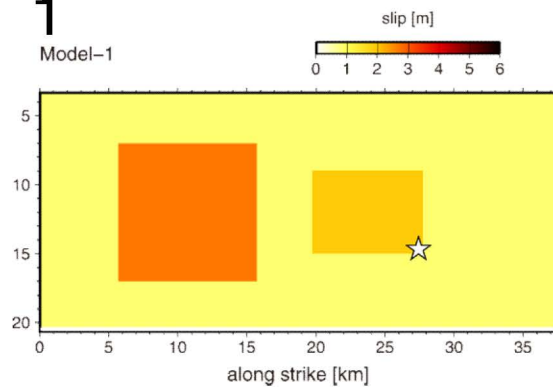
0 (全国地震動予測地図2014年版)



K-NET
KiK-net(地表)
気象庁
熊本県
大分県
福岡県

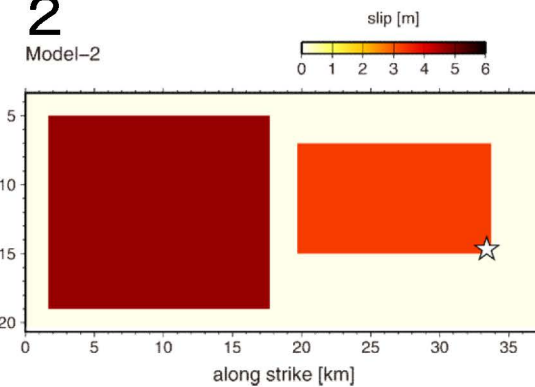
1

Model-1



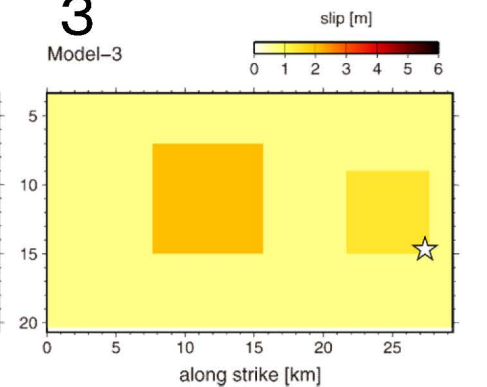
2

Model-2



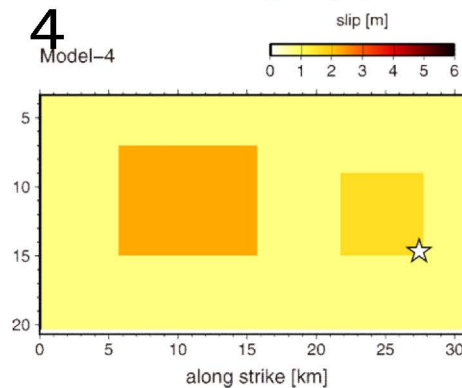
3

Model-3



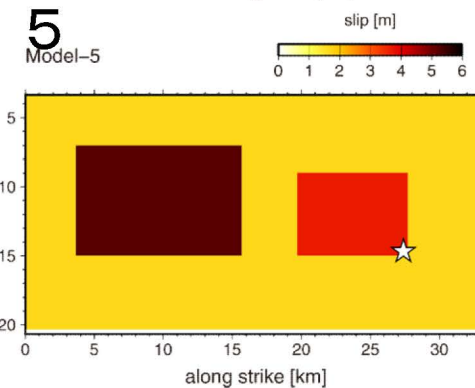
4

Model-4



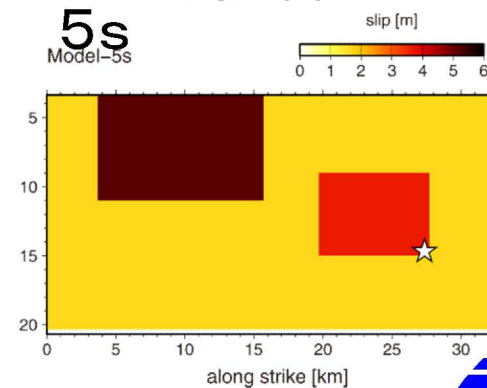
5

Model-5

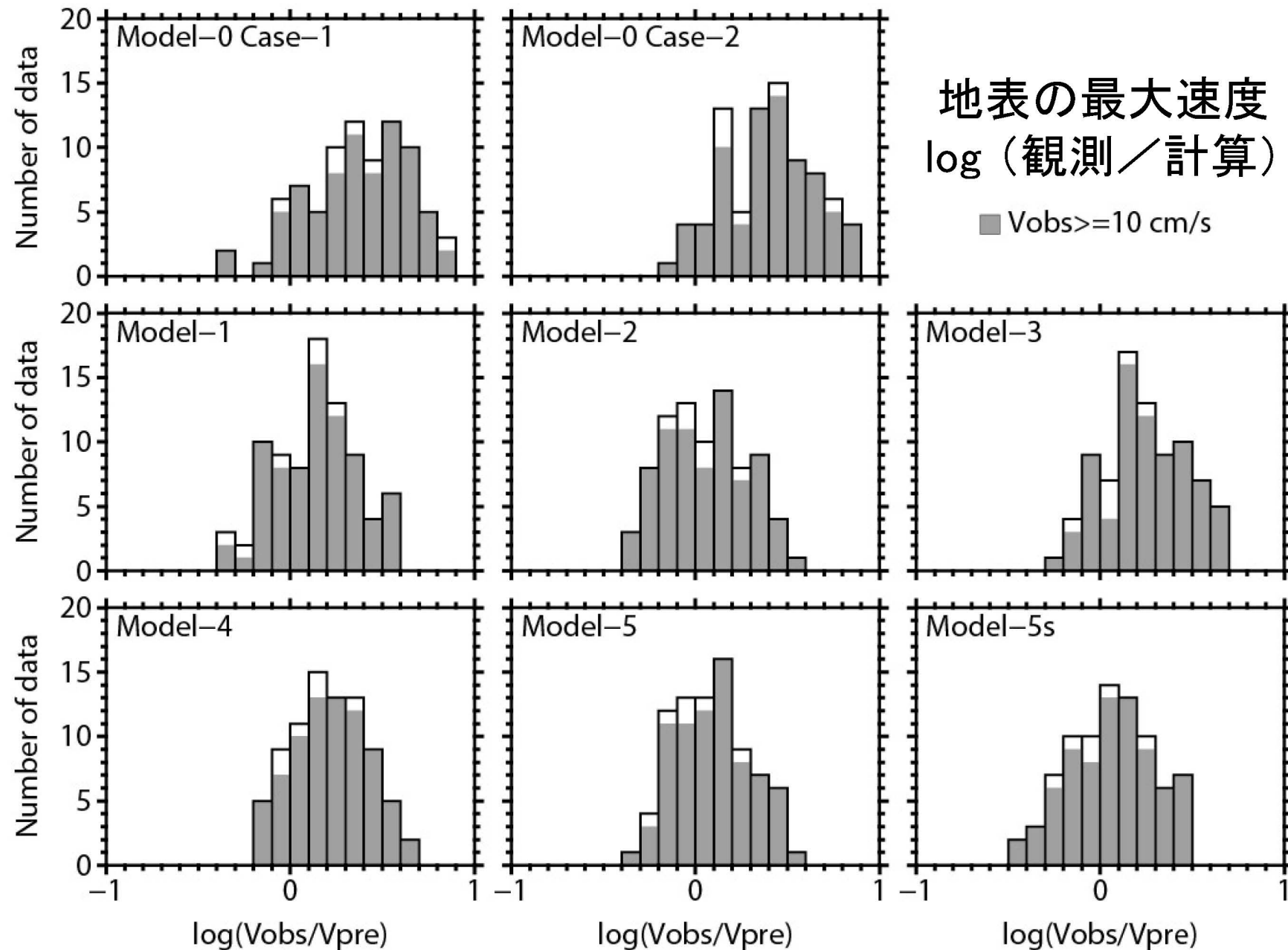


5s

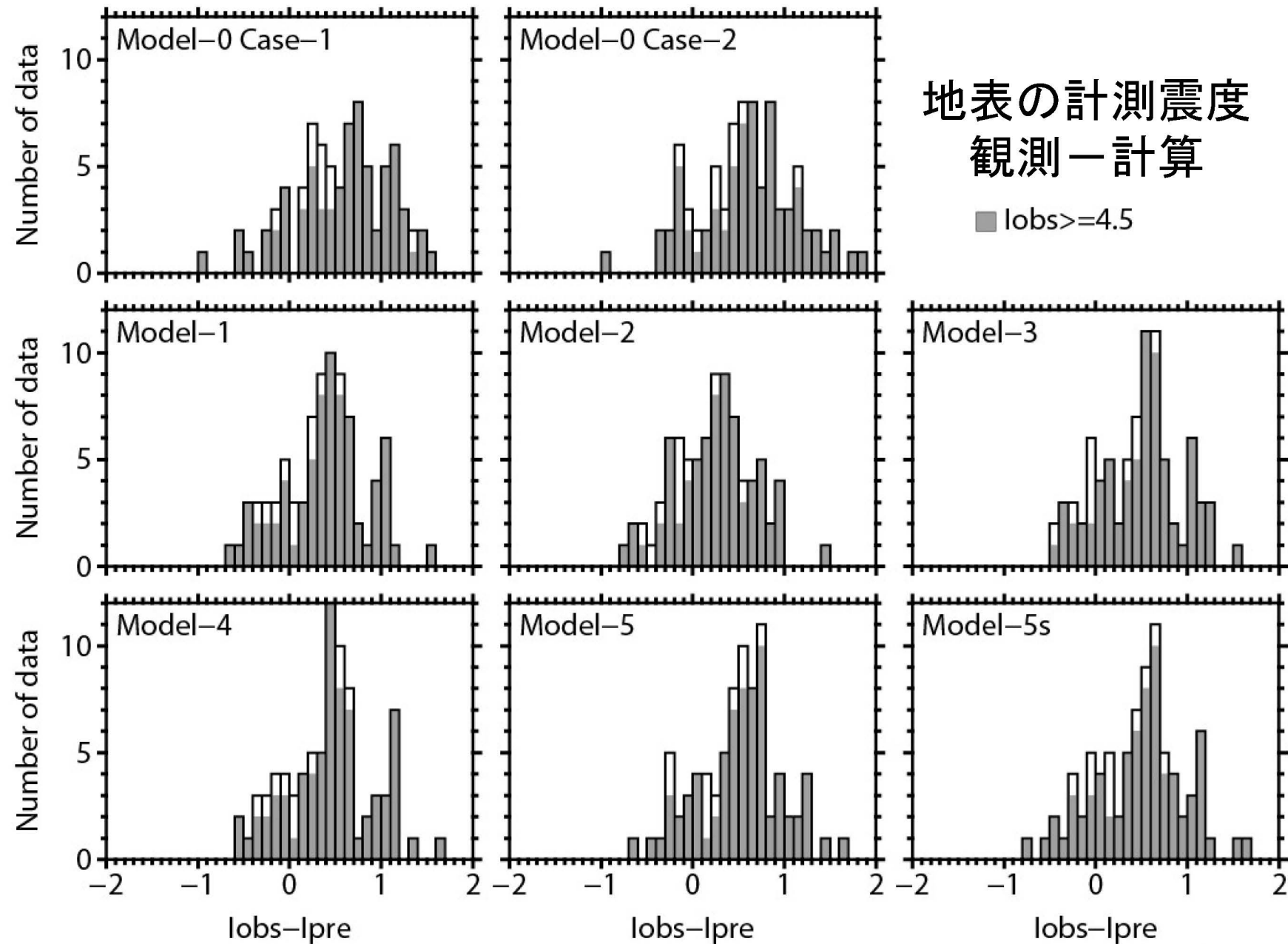
Model-5s



2. 詳細法による計算結果と観測記録の比較①

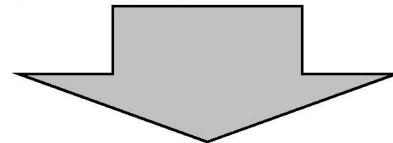


2. 詳細法による計算結果と観測記録の比較②



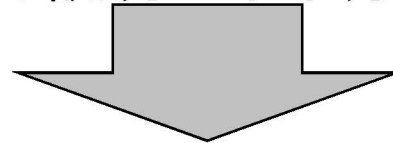
2. (現時点での) 検証のまとめ

- M7.3地震は地震本部による長期評価が公表されていた主要活断層帯で発生した地震であったが、その規模は事前の評価どおりではなかった。
- これまでに確認されている地表断層長さ（28kmまたは34km）から、現状の「レシピ」の枠組みで設定される地震モーメントは過小評価となった。
- ただし、地震モーメントを適切に与えた震源モデルであれば計算された強震動は観測記録を概ね説明できる。



長さや幅の不確かさや経験的關係式のばらつきの考慮が必要

- 震源断層のごく近傍（2～3km以内）に関しては、大きな地表変位も含めて現状のモデルでは説明が不十分である。



地表まで含むより詳細な震源断層のモデル化が必要

3. 評価の改良方針① 震源断層幅の不確かさ考慮¹⁶

◎断層上端深さ

現評価：地震基盤または2kmの深い方

➡ 明瞭な地表断層が認められる場合は0km（地表）

◎断層下端深さ

現評価：微小地震の震源分布のD90

➡ これよりも深くなるモデルも考慮

◎傾斜角

現評価：長期評価で幅がある評価の場合は中央の値

長期評価で「不明」の場合は

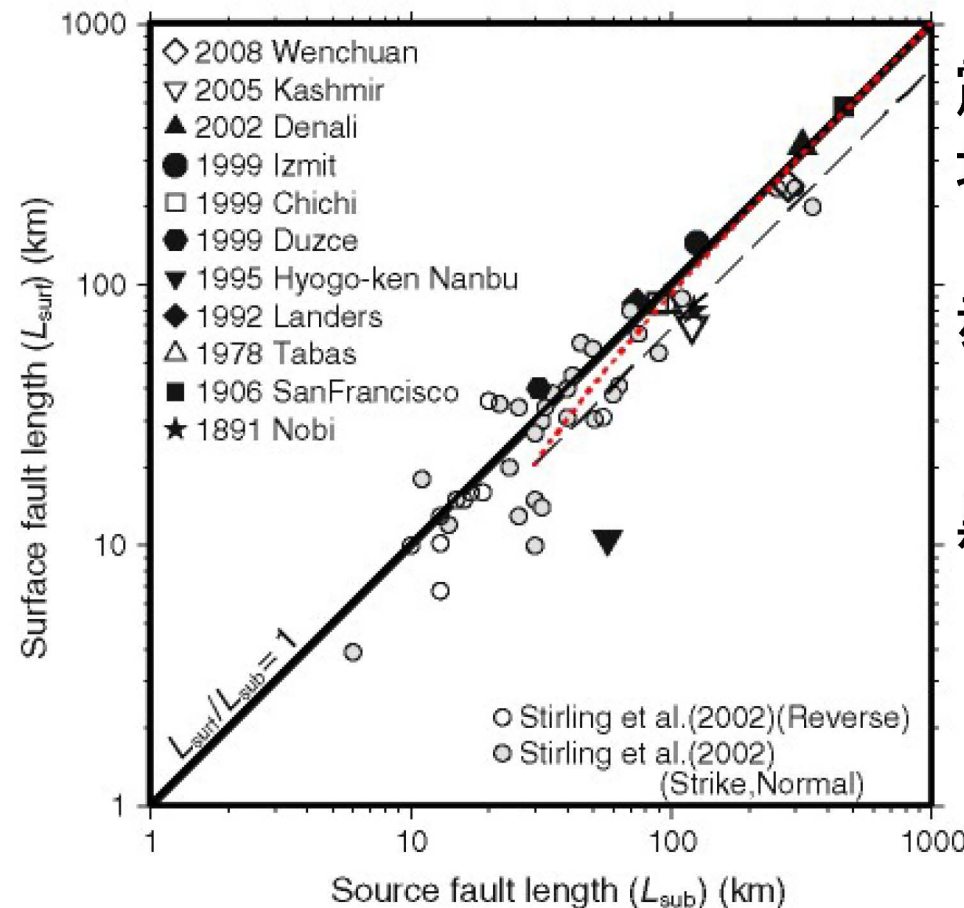
横ずれ断層	: 90°
逆断層	: 45°
正断層	: 60°

➡ 異なる角度のモデルも考慮

3. 評価の改良方針② 震源断層長さの不確実さ考慮

現評価：震源断層長さ＝地表断層長さ

➡ 震源断層長さ＞地表断層長さ のモデルも考慮



震源断層長さ (L_{sub}) と
地表断層長さ (L_{surf}) の関係

赤点線

$$L_{\text{sub}} = L_{\text{surf}} + 10\text{km}$$

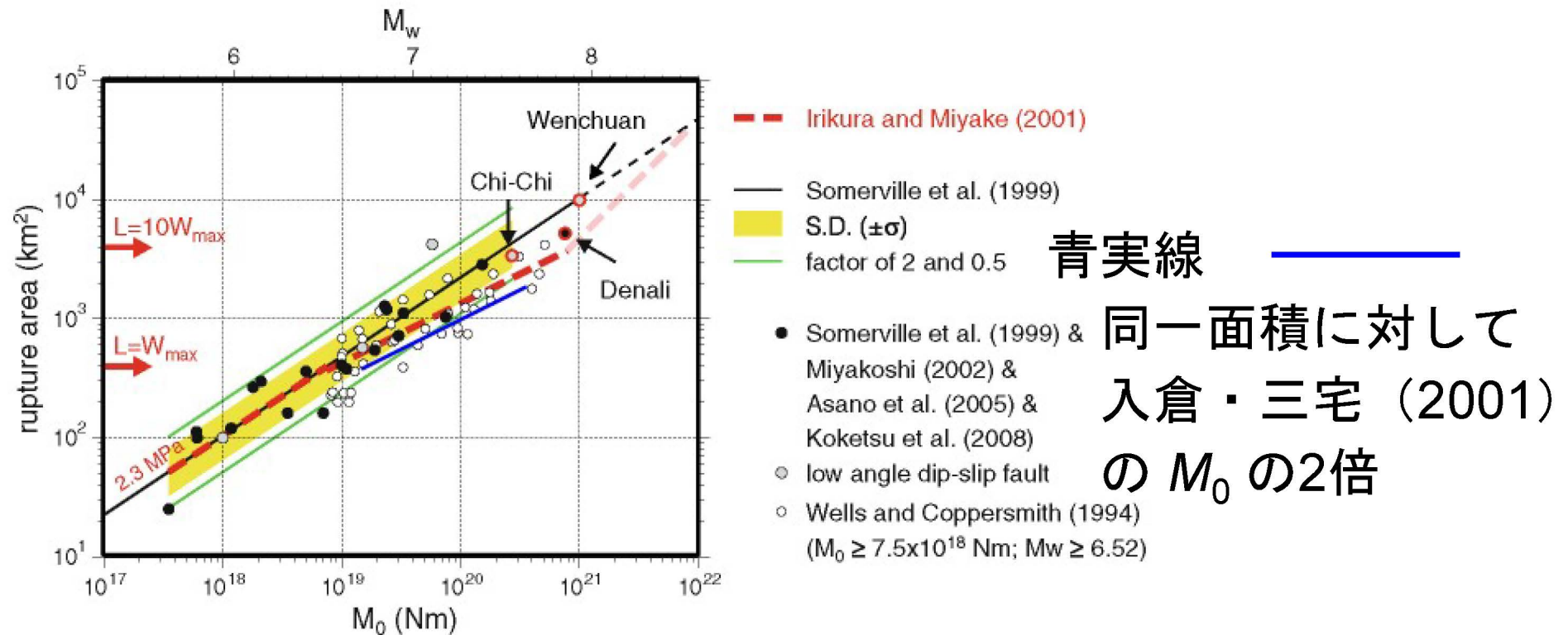
黒破線

$$L_{\text{sub}} = 1.5 \times L_{\text{surf}}$$

Murotani et al. (2015) に加筆

3. 評価の改良方針③ 経験的關係式のばらつき考慮

地震モーメント (M_0) と震源断層面積 (rupture area) の関係



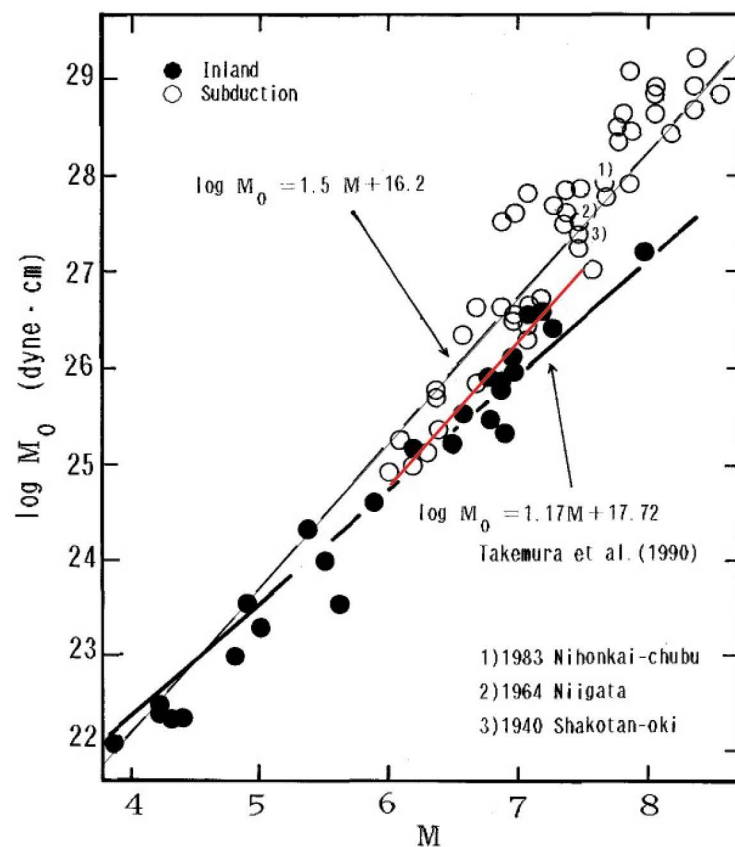
Irikura and Miyake (2011) に加筆

3. 評価の改良方針④ 他の経験式の考慮

例えば、 M と M_w (M_0) の関係について、

現評価：武村（1990）

➡ $M_w = M - 0.3$ (首都直下地震モデル検討会、2013)
としたモデルも考慮



赤実線 ———
 $M_w = M - 0.3$

武村（1990）に加筆

3. 評価の改良方針：検討課題

- 震源断層長さや地震発生層下限深さの不確かさについて具体的にどこまで考慮するか未確定
- 経験的關係式のばらつきも、具体的にどこまで考慮するか未確定
- 断層上端を0kmとするモデルにおいて、波形計算に必要なとなる地震発生層よりも浅い震源断層におけるすべり（速度）時間関数の設定方法が未確立
- これらの不確かさを考慮した結果、 M_0 - S 関係の平均値から大きく外れた場合、波形計算に必要なとなる微視的震源パラメータの設定方法が未確立