

フィリピン海プレート内で発生した歴史地震の 規模の再評価について

Reevaluation of magnitudes of damaging earthquakes
in/on the Philippine Sea Plate

2016年9月

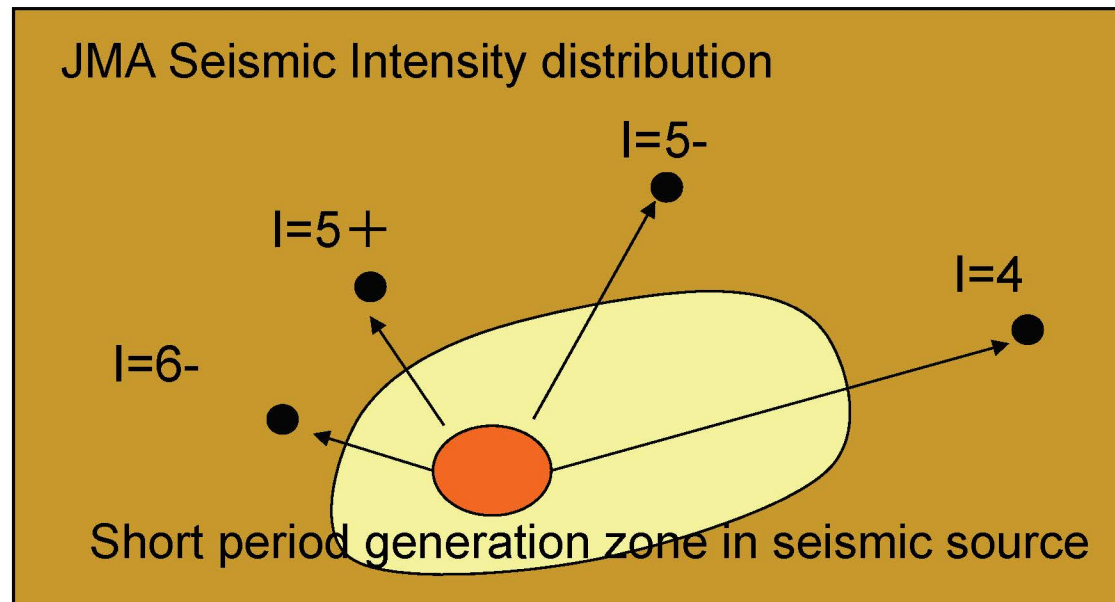
(株)小堀鐸二研究所

神田 克久

震度インバージョン解析とは？

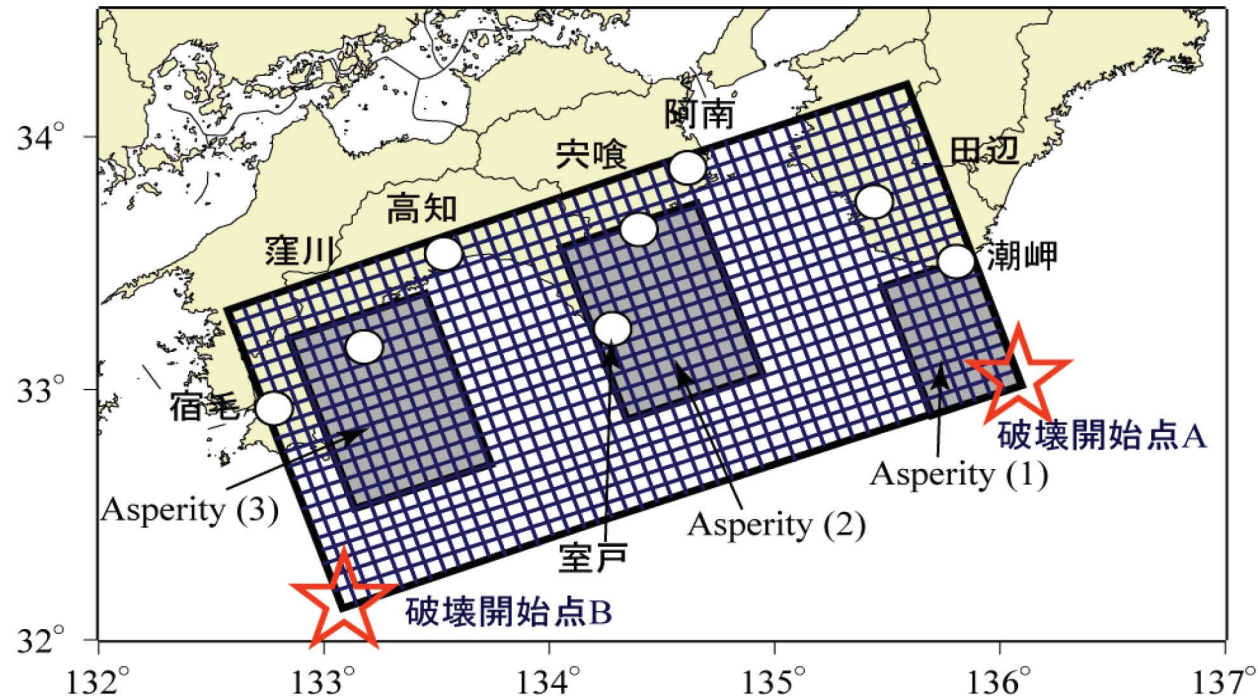
What is seismic intensity inversion analysis?

- ◆ インバージョン解析＝逆解析
- ◆ 震度が距離に従って小さくなる性質を利用し、各地の震度を再現できるように地震波の発生場所を特定
- ◆ 距離減衰式は最近の地震の震度データから回帰
- ◆ インバージョンに用いる震度は揺れやすさで補正



震度インバージョン解析の数値実験による精度の検証例

Verification of accuracy of seismic intensity inversion using numerical simulation



統計的グリーン関数法による断層モデル.

strike=250°, rake=120°, dip=8.75°, 破壊開始点深さ=10km.

断層面(300×140km), 小断層 (6.7×6.7km)

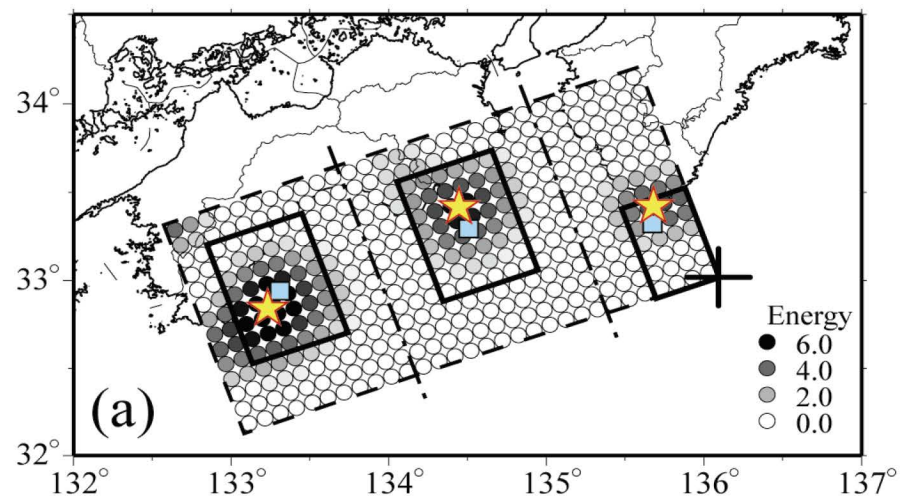
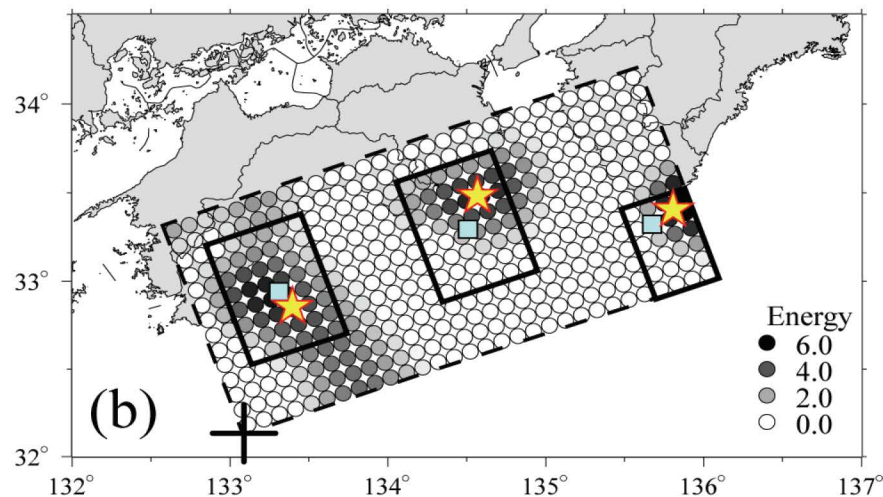
応力降下量: アスぺリティ10MPa、背景領域1MPa

破壊伝播速度2.7km/s

Fault model of statistical Green's function method for verification of seismic intensity inversion

仮定したアスペリティと波形合成による震度分布から求めた短周期発生域

Short-period energy distribution from seismic intensity inversion analysis using numerical simulation data



★: インバージョン解析による短周期エネルギーの重心

Centroid of short-period energy derived from seismic intensity inversion

□: 仮定したすべりエネルギーの重心

Assumed centroid of short-period energy in numerical simulation

震度インバージョン解析の利点

Advantages of seismic intensity inversion analysis

- ◆ 機械で計測された地震波や津波の記録がない歴史地震にも適用可能

⇒江戸時代の地震

Suitable for analysis of Historical earthquakes

- ◆ 震度を用いているため構造物の地震被害に相関の大きい短周期(1秒前後)成分の地震動予測に適した震源地を特定できる。

Suitable for identification of source area generating short-period ground motions correlated to structural damage

検討の背景

Why magnitude of intra-plate earthquakes should be reevaluated?

- ◆ 安芸灘・伊予灘・豊後水道でM7クラスのプレート内地震が歴史的に度々発生
 - ◆ プレート内地震の地震動は短周期が卓越
- 
- ◆ 震度がプレート境界地震や内陸地震に比べて大きい
- 
- ◆ 歴史地震のMの評価が大きめでは？
- 
- ◆ 震度との関係を明確化してMの再評価

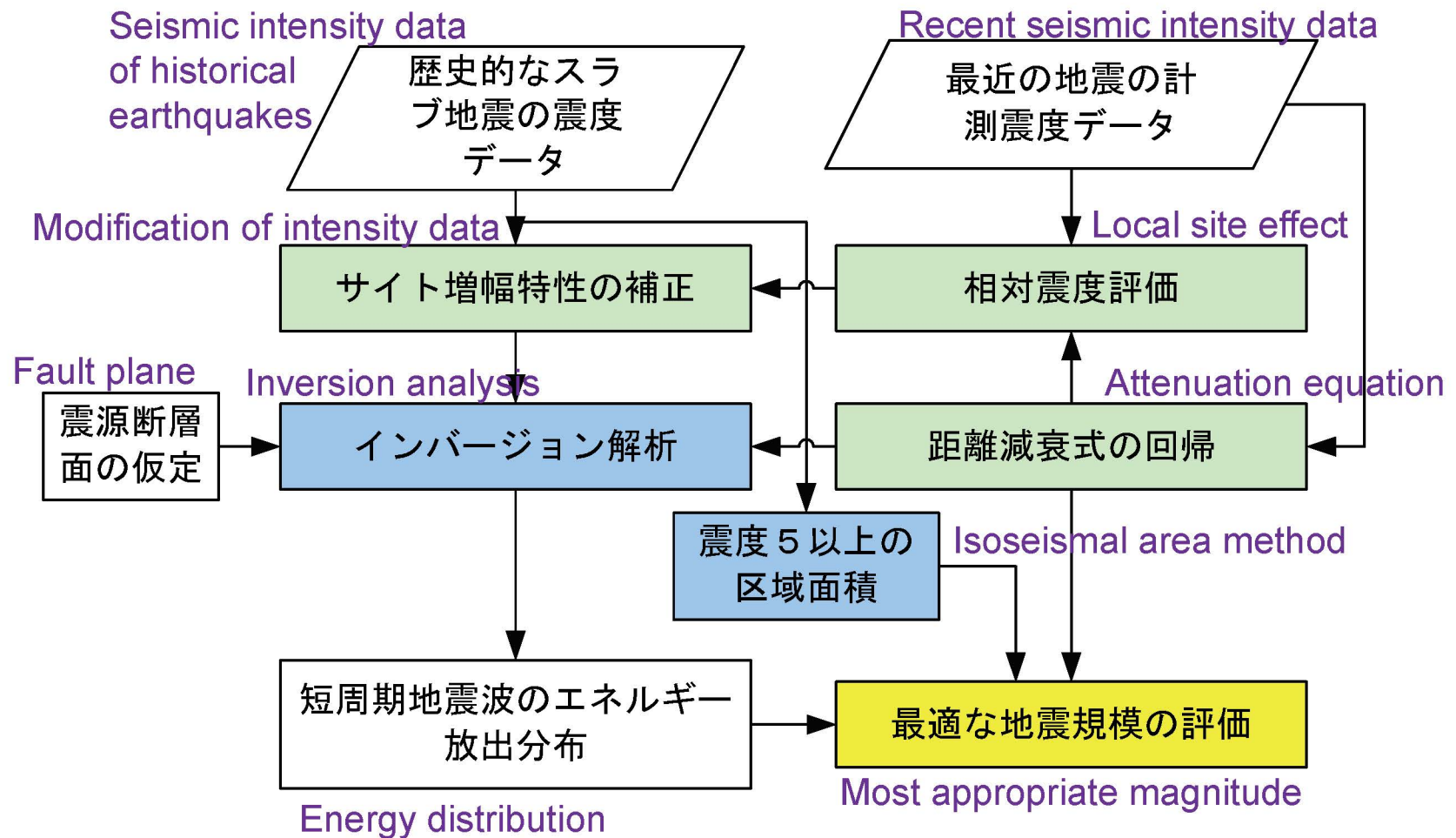
検討対象地震 Considered Historical earthquakes

	y	m	d	Source area	Lon.	Lat.	M	Error of M	Number of intensity data
豊後水道 Bungo Channel	1749	5	25	伊予宇和島	132.6	33.2	6.8		15
	1854	12	26	伊予西部	132	33.3	7.4	±0.1	80
	1968	8	6	豊後水道	132.4	33.3	6.6		175
安芸灘 Aki Sea	1649	3	17	安芸・伊予	132.5	33.7	7	± 1/4	9
	1686	1	4	安芸・伊予	132.6	34	7.2	±0.2	18
	1857	10	12	伊予・安芸	132.8	34	7.3	±0.5	46
	1905	6	2	安芸灘	132.5	34.1	7.2		312
	2001	3	24	安芸灘	132.7	34.1	6.7		1155

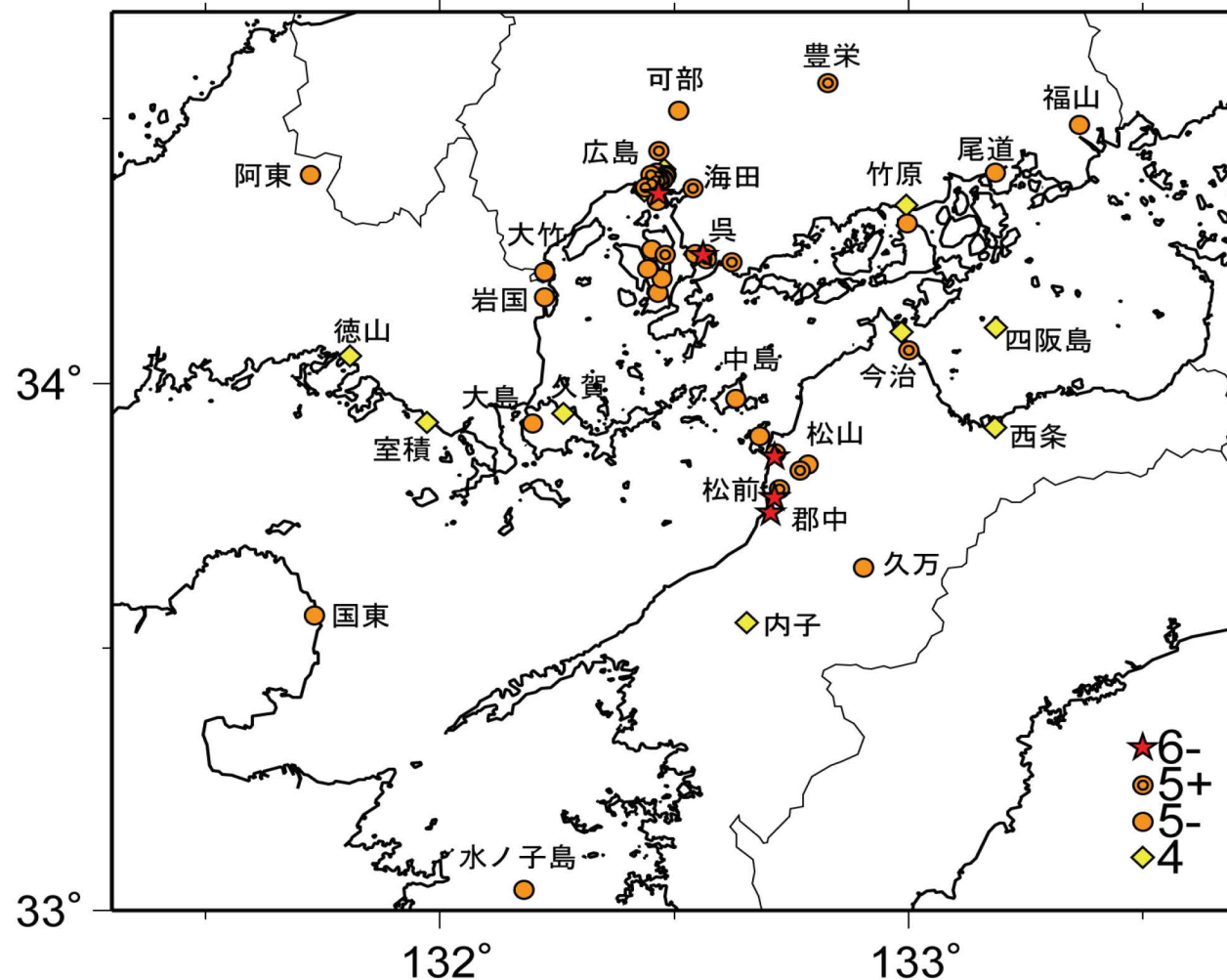
震度データの出典 References of seismic intensity data

- ~1857年：宇佐美・大和探査技術，1994，わが国の歴史地震の震度分布・等震度線図，(社)日本電気協会
宇佐美，2003，最新版日本被害地震総覧[416]-2001，東京大学出版会
- 1905年・1968年：濱松・宇佐美，1985，日本の地震震度調査表
- 2001年および最近の地震：地震年報，気象庁編集

検討フロー Flowchart of analysis

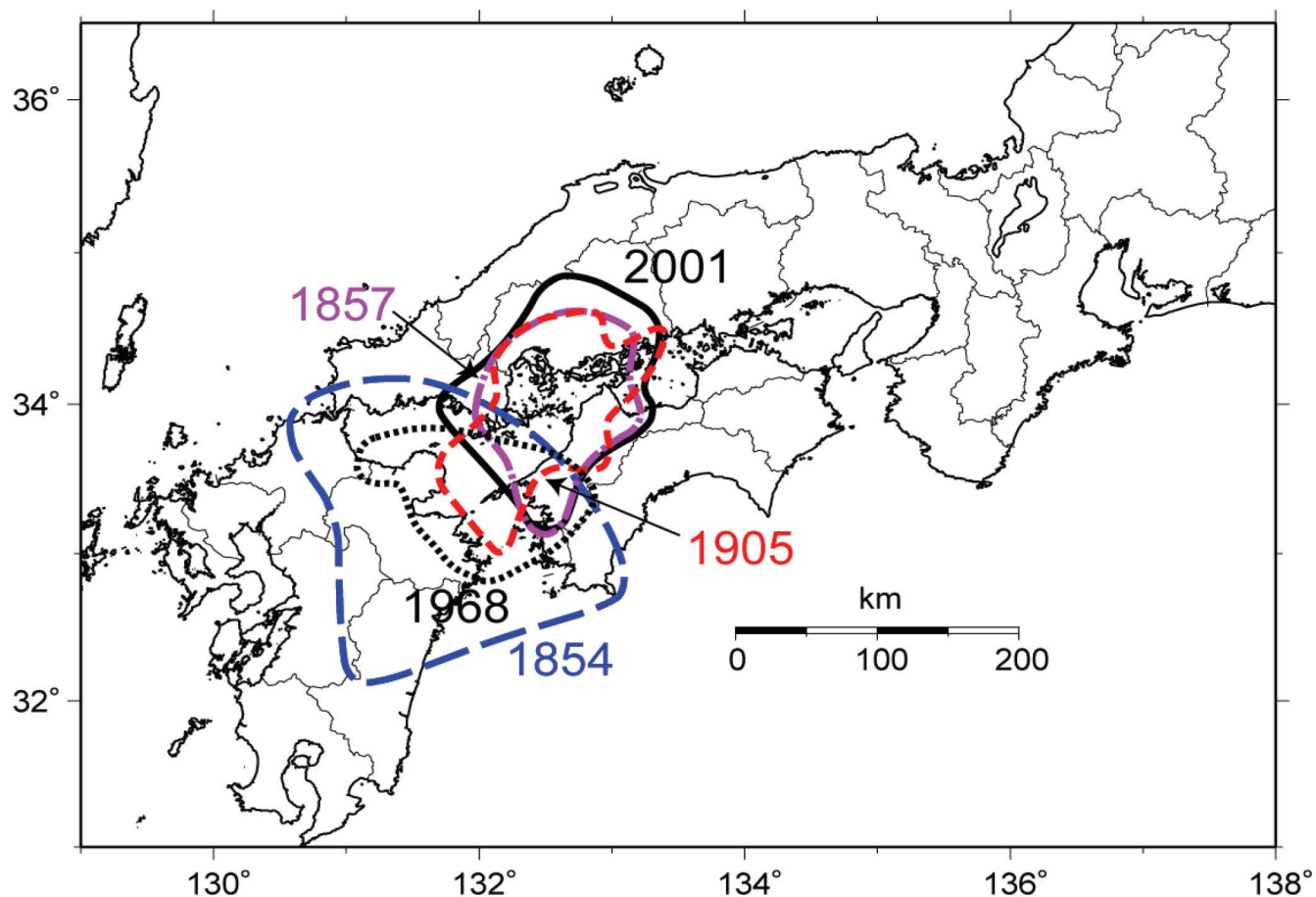


歴史地震の震度データは被害データから推定



Seismic intensity of the 1905 Geiyo earthquake is estimated by damage data

震度5以上の範囲(震度データが多い地震)



震度5以上の範囲を囲む

Isoseismal area of $I \geq 5$ for earthquakes with much seismic intensity data

震度5以上の区域面積からMの評価

Magnitude estimated from isoseismal area of $I \geq 5$ for earthquakes

$$\log S_5 = M - 3.2 \quad (1) \quad \text{Muramatsu(1969)}$$

$$\log S_5 = M - 2.51 \quad (2) \quad \text{Based on the 1968 Bungo Channel EQ.}$$

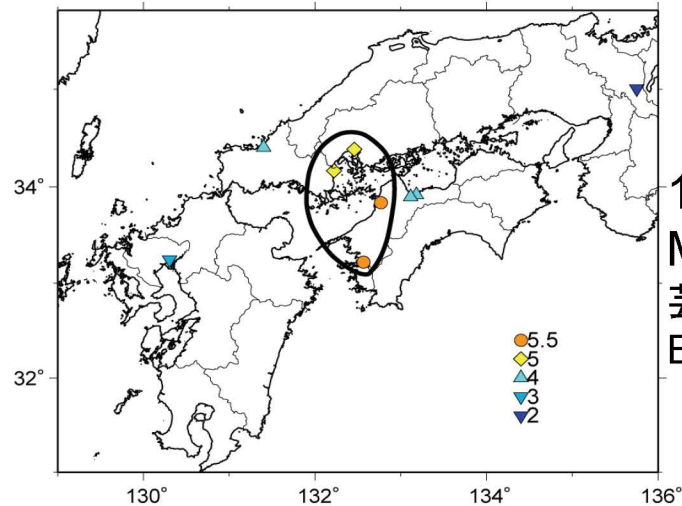
$$\log S_5 = M - 2.45 \quad (3) \quad \text{Based on the 2001 Geiyo EQ.}$$

$$\log S_5 = 1.55M - 6.14 \quad (4) \quad \text{Compatible with both the 1968 and 2001}$$

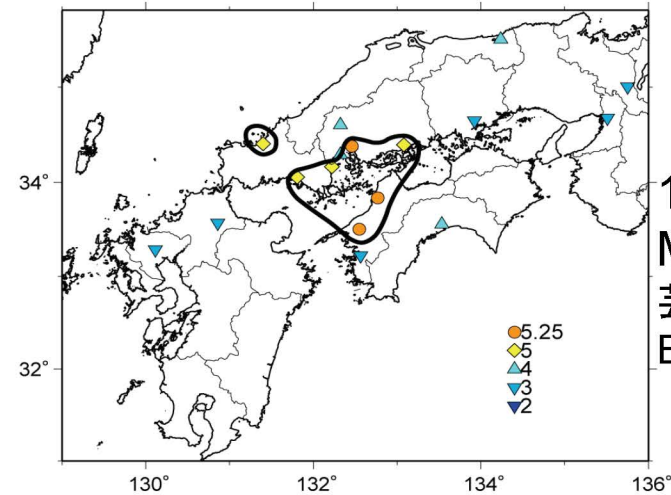
発生年	面積 (km ²)	M			
		(1)式	(2)式	(3)式	(4)式
1854	35910	7.8	7.1	—	6.9
1857	13180	7.3	—	6.6	6.6
1905	14160	7.4	—	6.6	6.6
1968	12380	7.3	6.6	—	6.6
2001	17690	7.4	—	6.7	6.7

震度5以上の区域面積によるMの推定

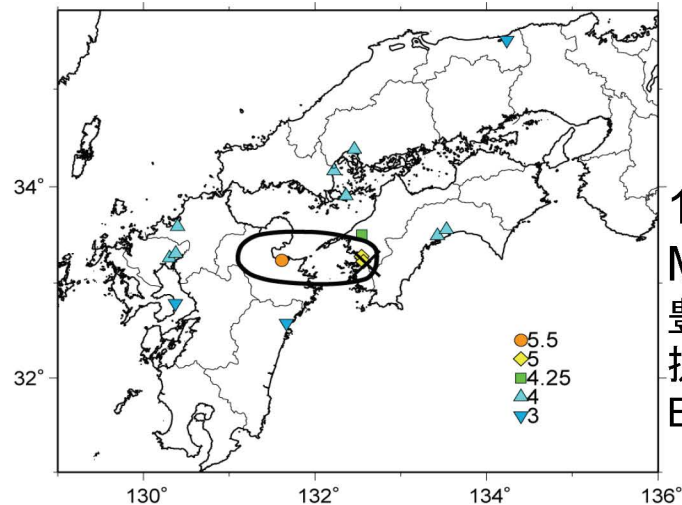
(震度データの少ない地震)



1649年
M6.5
芸予提案式
Eq.(3)



1686年
M6.5
芸予提案式
Eq.(3)



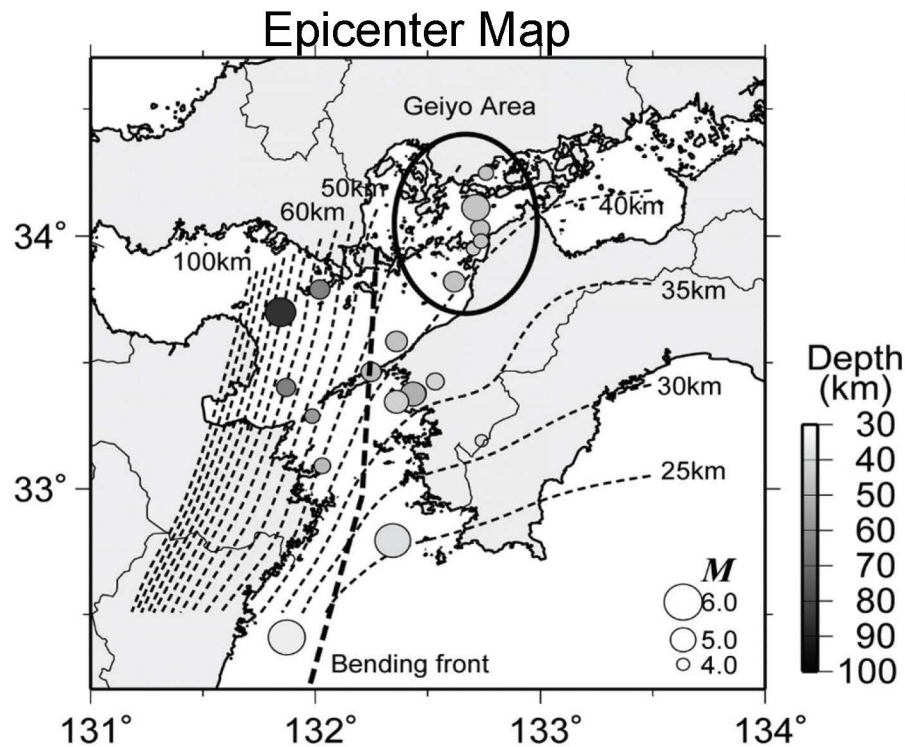
1749年
M6.4
豊後水道
提案式
Eq.(2)

古い地震は震度データが少ないので過小評価する危険性が高い

Magnitude can be estimated from isoseismal area of $I \geq 5$ for earthquakes with less seismic intensity data, but magnitude tends to be underestimated.

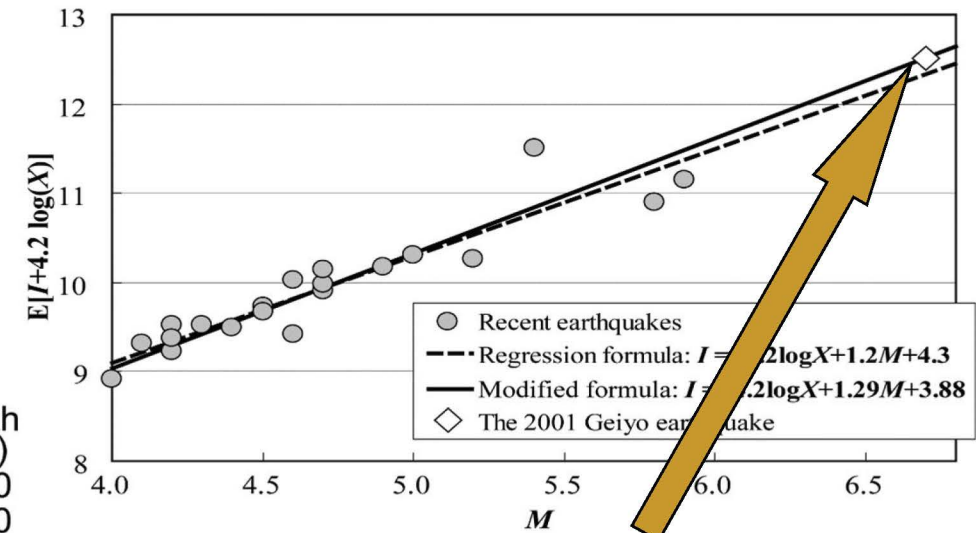
距離減衰式の評価(芸予地震)

Evaluation of attenuation equation of seismic intensity for the Geiyo Earthquakes.

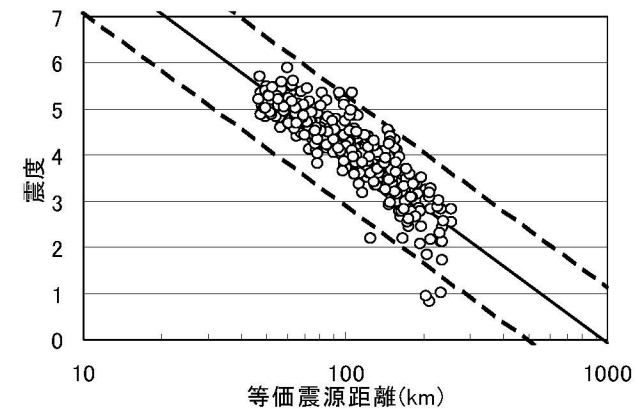


1997年から2004年までに発生した気象庁マグニチュード $M_j 4.0$ 以上の20地震

$$I = -4.2 \log(X) + 1.29M + 3.88$$

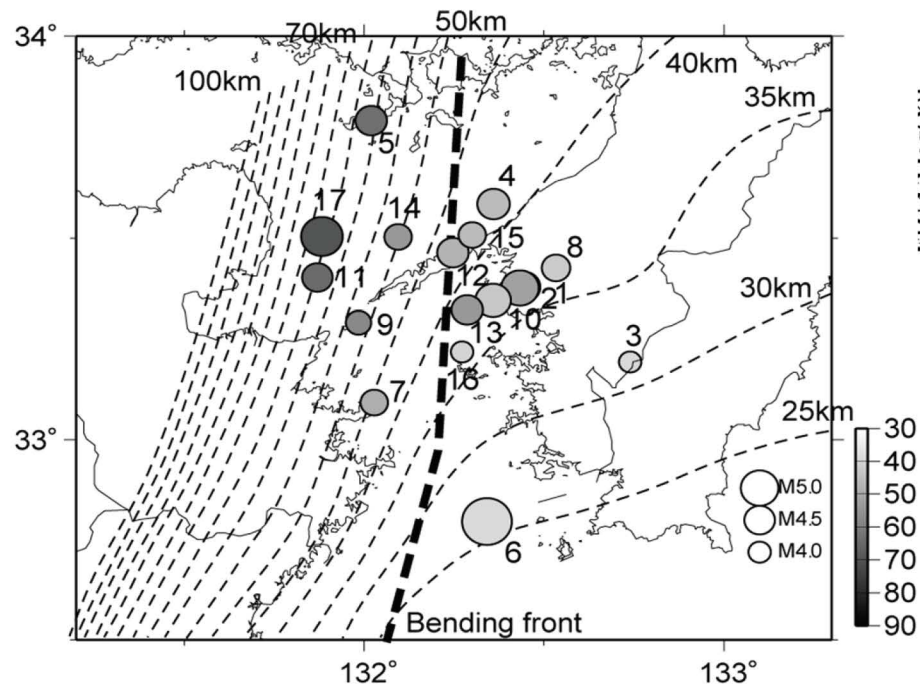


The 2001 Geiyo Earthquake



距離減衰式(豊後水道)

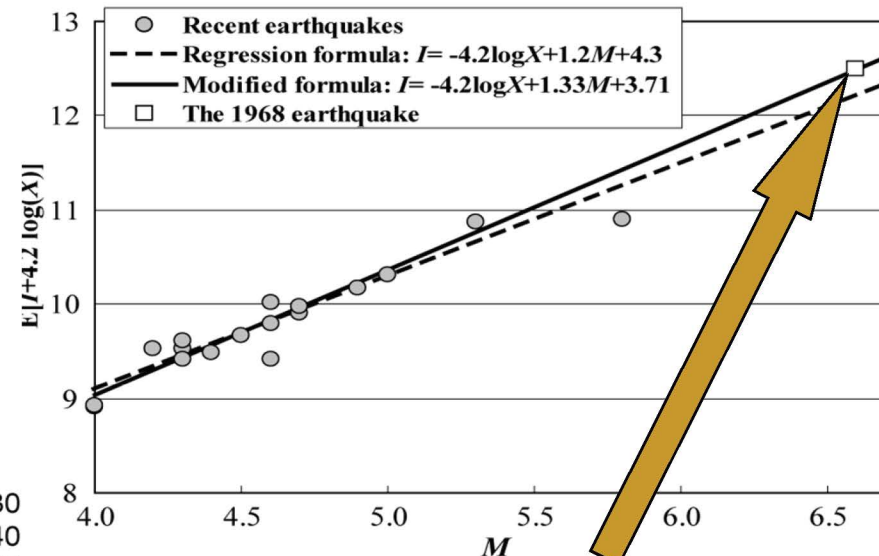
Evaluation of attenuation equation of seismic intensity for the Bungo Channel Earthquakes.



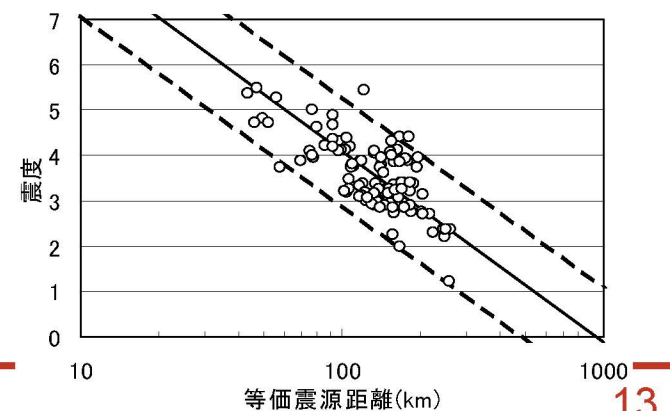
M4.0以上で最大震度が震度3 (2.5) 以上の1997年以降2006年10月までの17地震

$$I = -4.2 \log(X) + 1.33M + 3.71$$

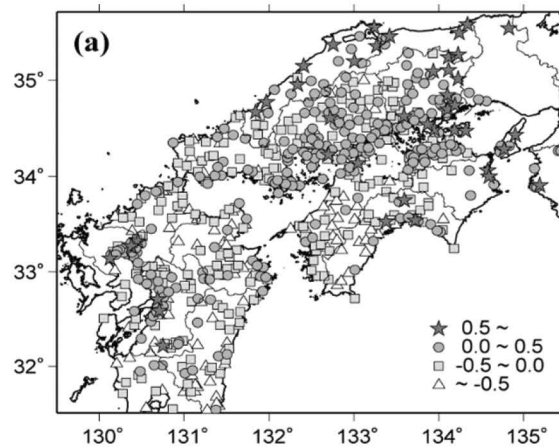
KOBORI RESEARCH COMPLEX



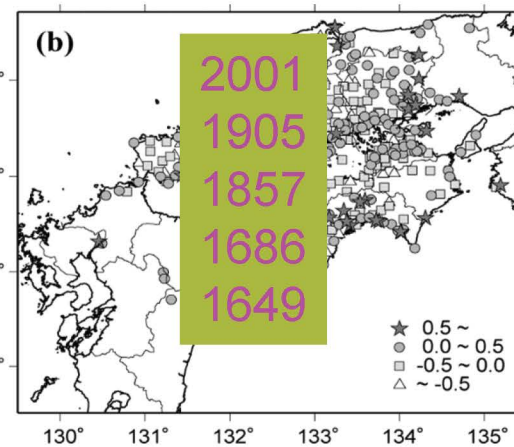
The 1968 Bungo Channel EQ.



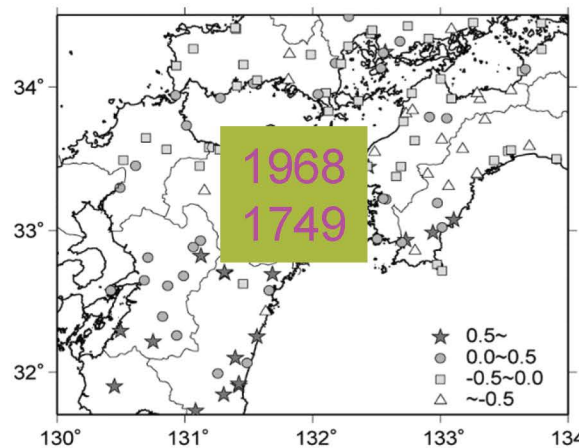
相対震度 Site correction factor for seismic intensity



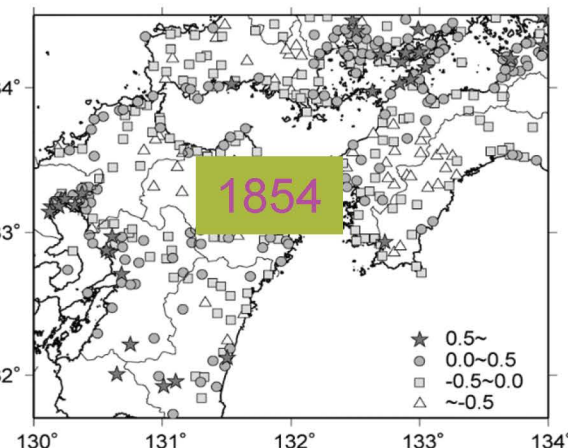
All earthquakes



Aki Sea



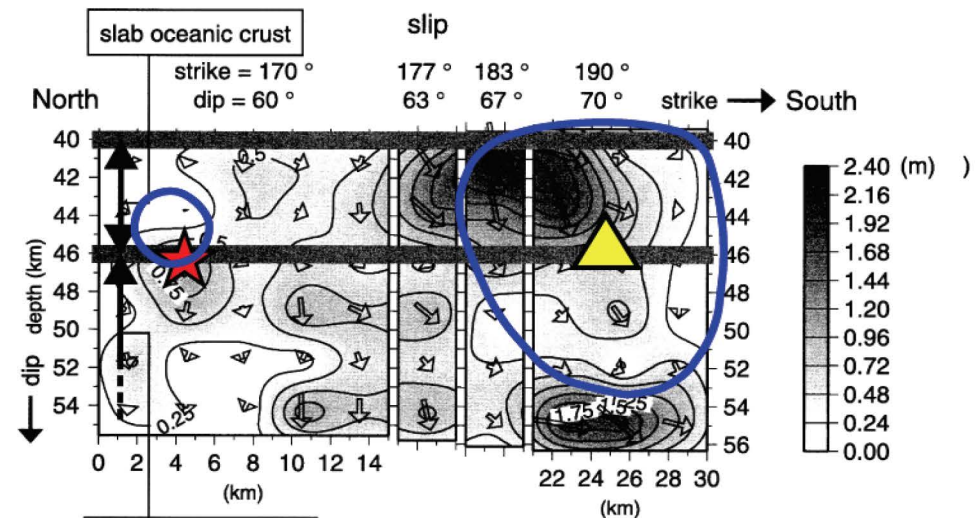
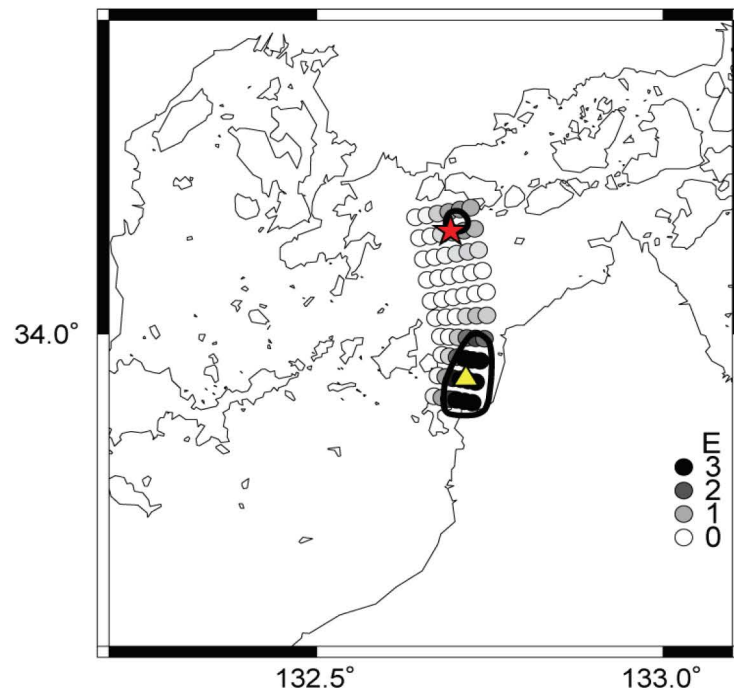
The 1997/4/3 earthquake



Bungo Channel

2001年地震の短周期域とすべり分布

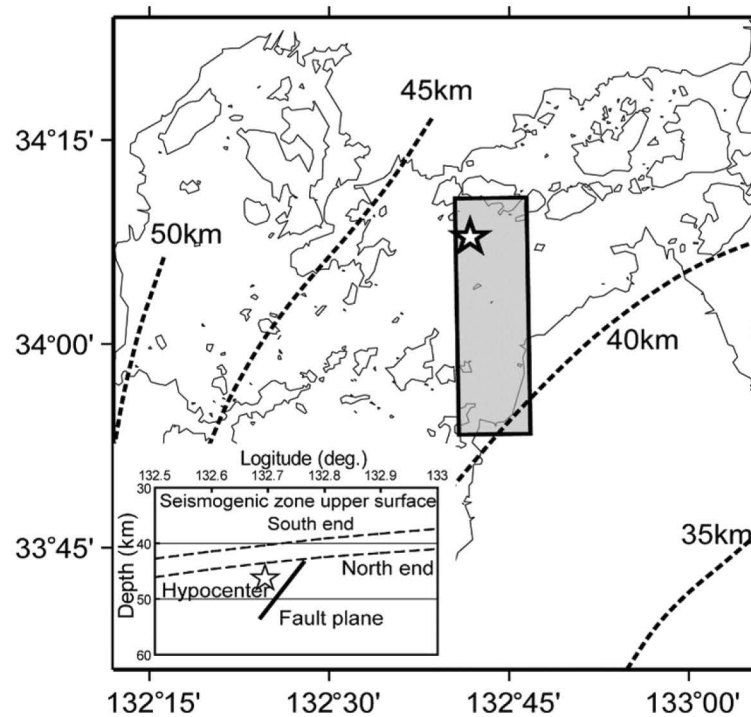
Energy Distribution for the 2001 Geiyo earthquake derived from seismic intensity inversion compared to slip distribution from waveform inversion by Kakehi(2004)



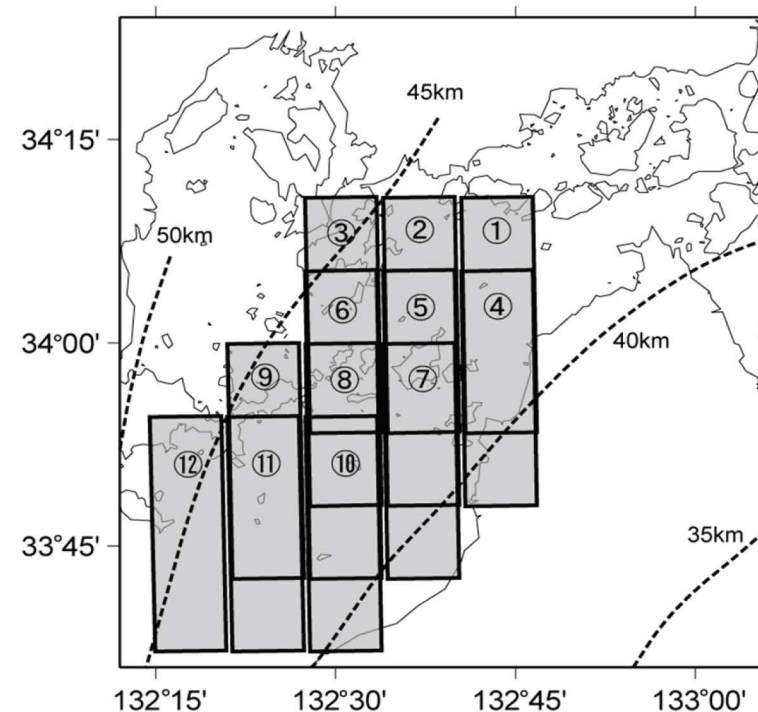
Kakehi(2004)

震度インバージョン解析 断層モデル(芸予地震)

Fault plane model for the Geiyo earthquake



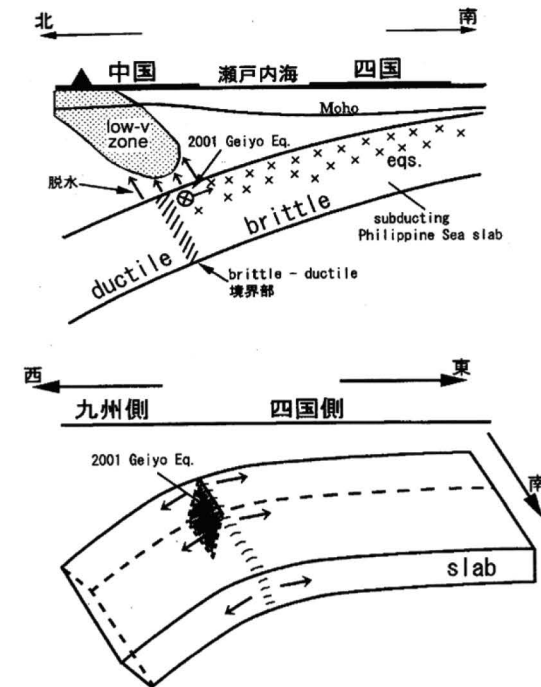
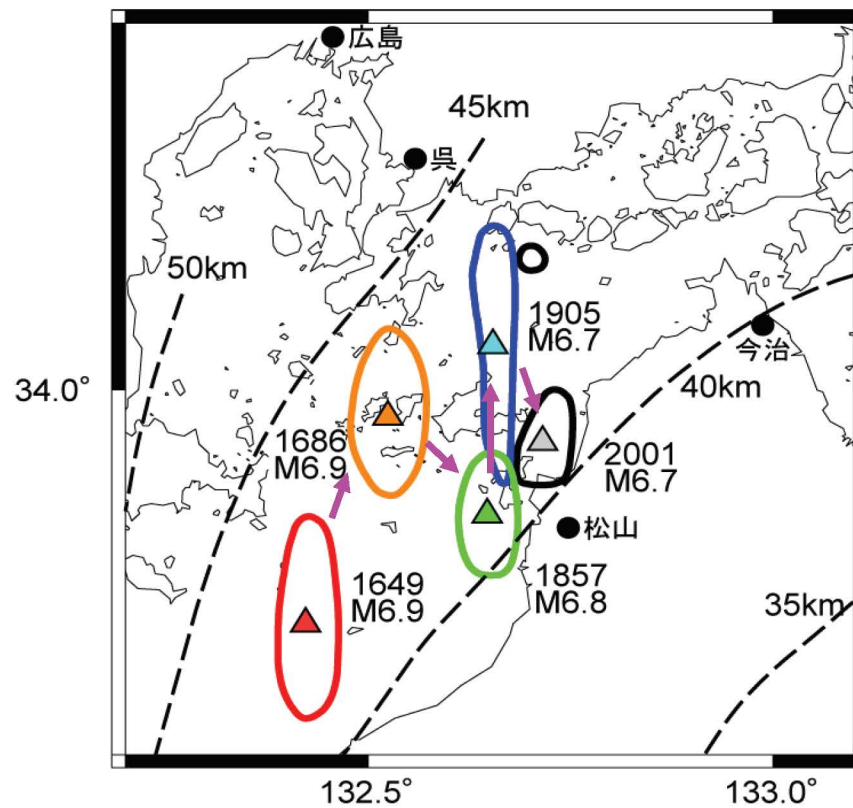
The 2001 Geiyo EQ model by Yagi & Kikuchi(2001)



Assumed fault plane models for seismic intensity inversion analysis

点線はフィリピン海プレートの地震発生層上面の深さコンター[松崎・他(2003)]

短周期地震波発生域(芸予地震)

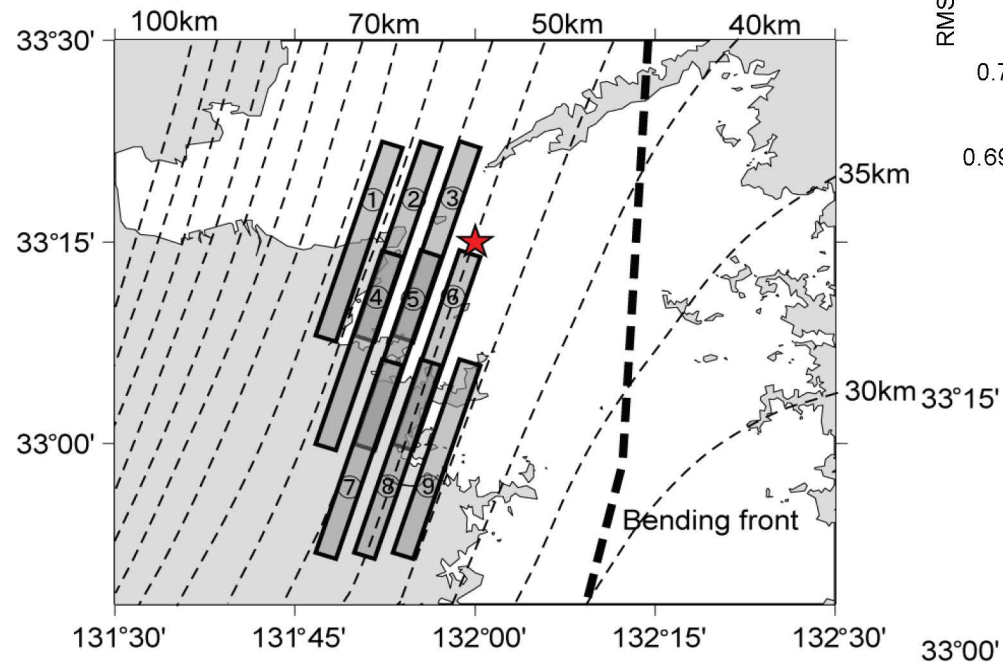


趙・他(2002)

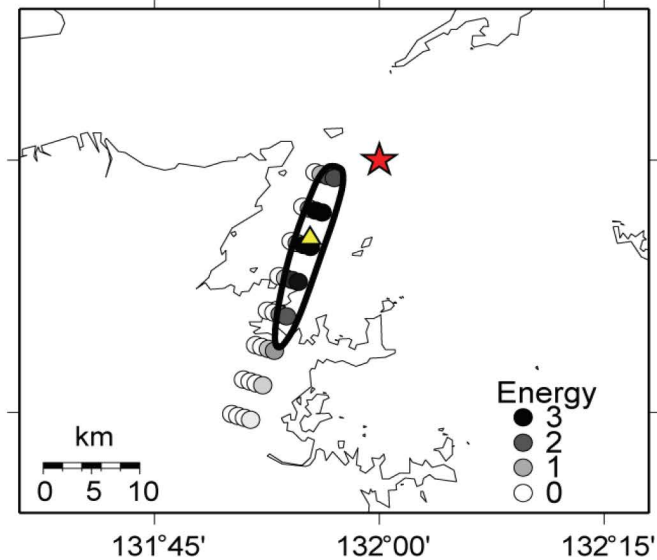
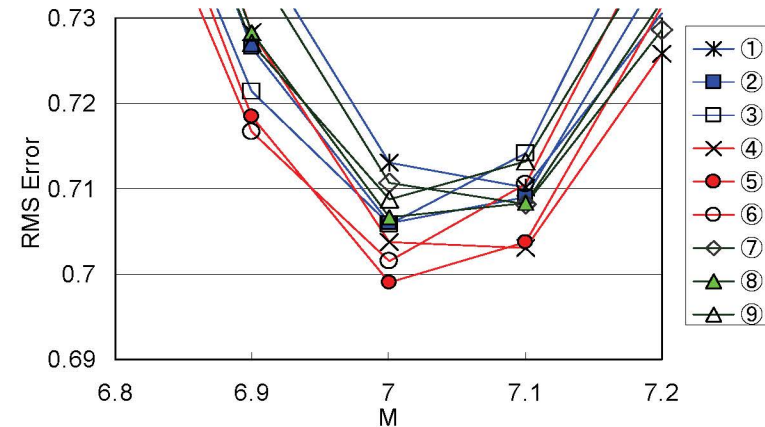
1854年地震の震度インバージョン

Seismic intensity inversion of the 1854 earthquake

Assumed fault plane models for the 1854 earthquake



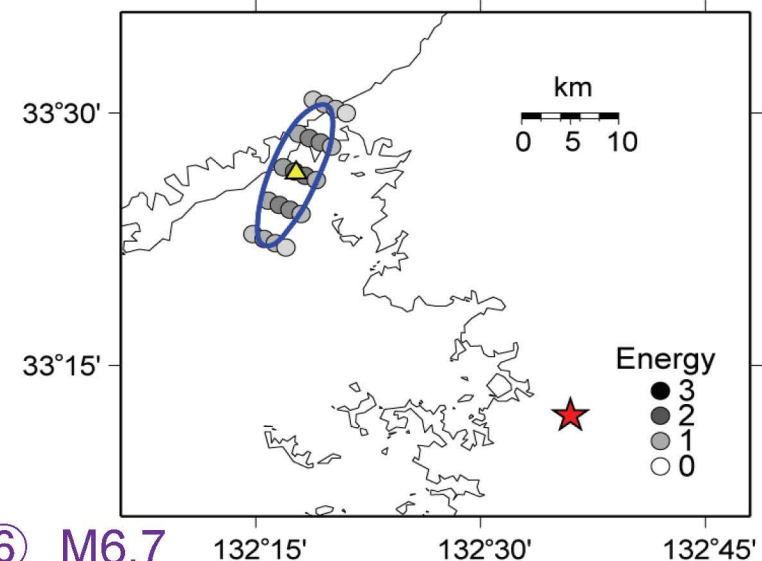
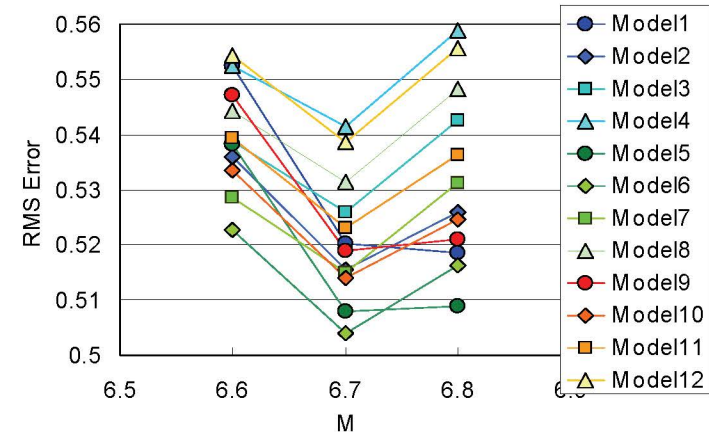
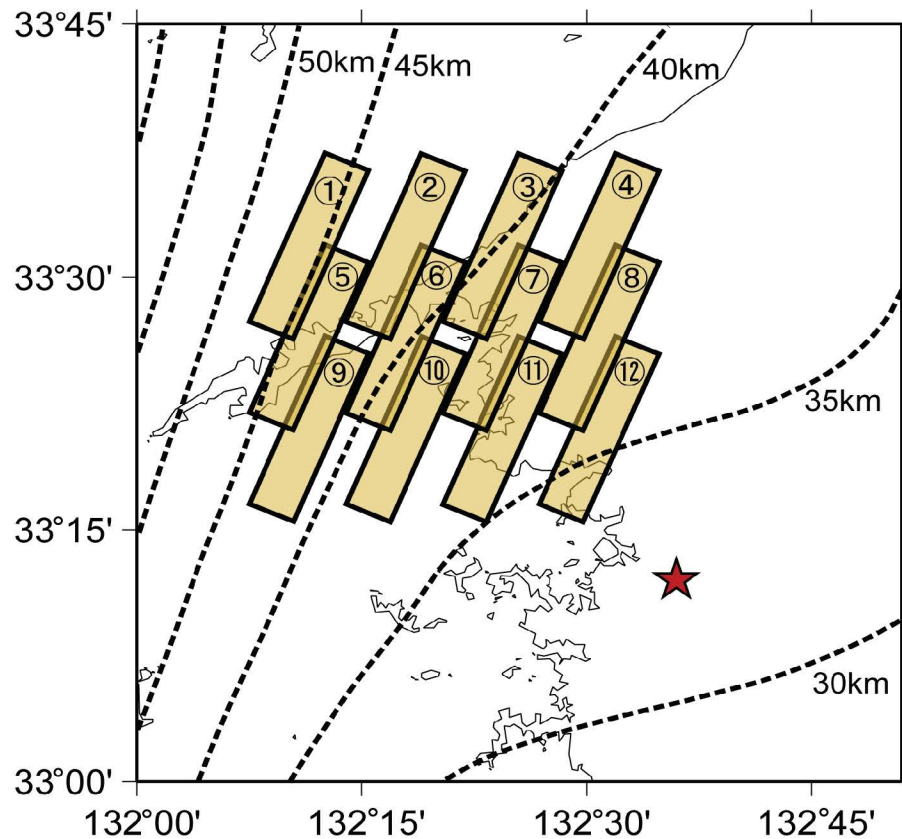
Most appropriate
model⑤ M7.0



1749年地震の震度インバージョン

Seismic intensity inversion of the 1745 earthquake

Assumed fault plane models for the 1745 earthquake



Most appropriate model ⑥ M6.7

地震規模推定のまとめ

Summary of Reevaluated Magnitude

Source	Year	Original M	M from Seismic Intensity Inversion	M from Iseoseismal Area for $I \geq 5$	
				Muramatsu (1967)	Proposed Eq.
Geiyo	1649	7	6.9	7.3	6.5
	1686	7.2	6.9	7.3	6.5
	1857	7.25	6.8	7.3	6.6
	1905	7.2	6.7	7.4	6.6
	2001	6.7	6.7	7.4	6.7
Bungo Channel	1749	6.75	6.7	7.1	6.4
	1854	7.4	7	7.8	7.1
	1968	6.6	6.6	7.3	6.6

まとめ(1)

- ◆ 震度インバージョン解析は歴史地震の震源の分析に有効
- ◆ 波形合成シミュレーションで精度を検証
- ◆ 歴史地震の震度データは被害記録に基づいて推定
- ◆ 村松(1967)による震度5以上の範囲の面積とMの関係をを用いると、この地域のスラブ内地震の場合地震規模を0.5以上過大に評価する可能性
- ◆ 震度5以上の範囲の面積から18世紀以前の地震の規模を推定すると過小評価の傾向

まとめ(2)

- ◆ 震度インバージョン解析に用いる距離減衰式は芸予地震が2001年の地震、豊後水道の地震が1968年の地震が正しく評価できるように回帰分析で求めた
- ◆ 揺れやすさを表す相対震度は地域性を考慮して評価
- ◆ 対象とした地震の短周期地震波発生域は互いに重なりなし。芸予地震をみると、南北方向にジグザグしながらプレート上面深さが40km～45kmのエリアを北東に移動
- ◆ 安芸灘から豊後水道の歴史的なプレート内地震は、M6.5～M7.0と評価



END

