

内陸地震の予測と活断層評価－その現状と課題－

京都大学准教授

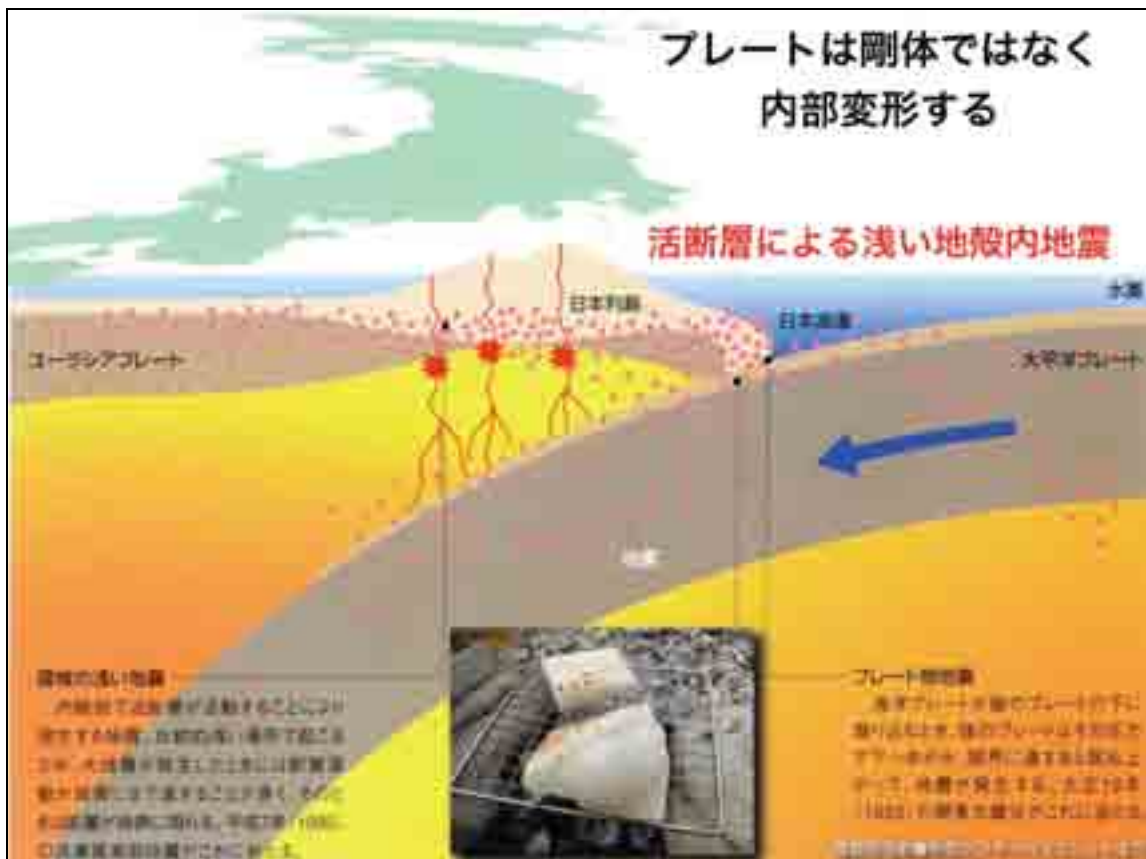
遠田晋次

内陸直下型地震は、地下数 km～十数 km で起こる断層運動により発生する。その断層による「ずれ」が地表に到達・出現したものを地震断層という。約千年～数万年間隔で繰り返される断層運動（大地震）によって、地震断層のずれが集積し地形に刻まれたものが「活断層」である。現在の内陸地震の予測は、この活断層の評価によって成り立っている。特に、阪神・淡路大震災以降、全国約 110 の主要活断層が調査され、2005 年に「確率論的地震動予測地図」が公表された。しかし、最近 10 年間、内陸被害地震は主要活断層から離れた比較的確率の低い地域に続発した。しかも、ほとんどが地表に地震断層を残していない。過去約 90 年間でも、マグニチュード (M) 7 以上の地震で約 40%、M6.5 以上で約 20%しか明瞭な地震断層が残されていない。すなわち、活断層から地震発生を予測する現状評価では、M7 前後の地震の多くが見落とされる。したがって、大小多数の断層が網目状に密集する日本列島では、主要活断層の個別調査のみではなく、中小規模の断層や火山周辺の地殻構造等も含めた地震発生場の総合理解が不可欠である。また、複数の断層をシステムとして捉え、地震活動の連鎖などを考えた予測手法の開発が今後重要となろう。

内陸地震の予測と活断層評価 —その現状と課題—

活断層評価による内陸地震の被害予測の考え方
 兵庫県内陸地震以降の進捗 (急速なデータ蓄積と予測精度)
 M7前後の被害地震による諸問題
 精度・信頼度向上への新しい評価視点の提示

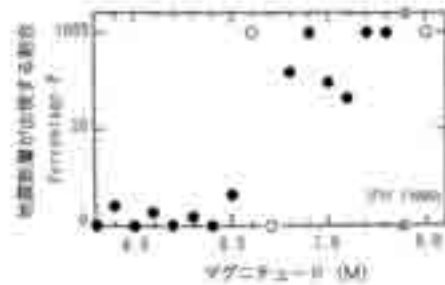
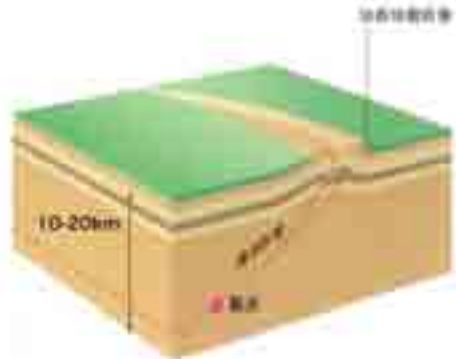
京都大学防災研究所 地震予知研究センター
 遠田晋次



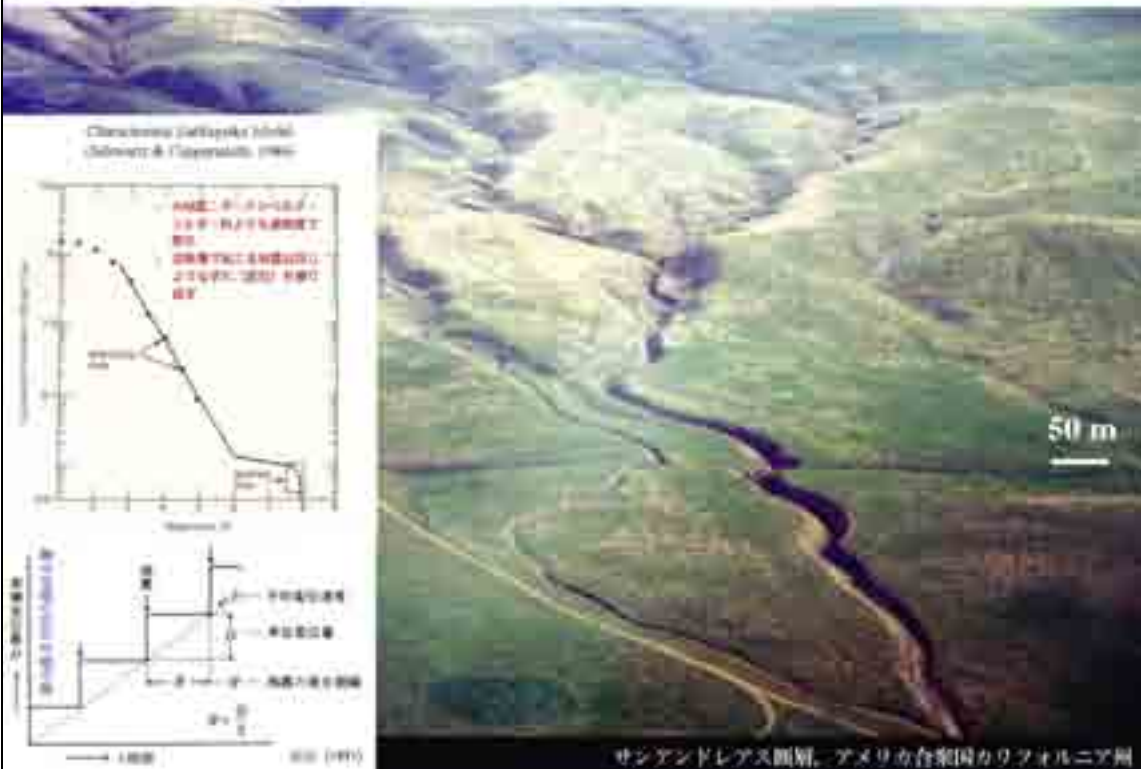
マグニチュード (M) 6.8以上の内陸地震で地震断層が出現
すなわち、活断層からM6.8以上の地震を予測可能



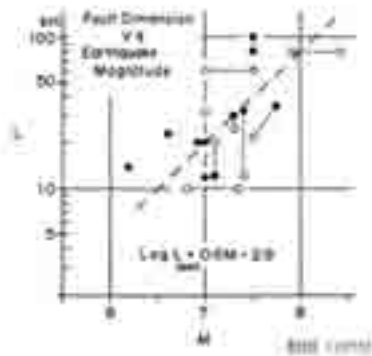
2008年M7.2岩手・宮城内陸地震による地震断層
(宮城県栗原市荒砥沢ダム北方)



地震地質学からの地震予測モデル：固有地震モデル



活断層の発見と内陸地震の予測



地震断層の長さLと地震のマグニチュードM
 $\text{Log } L (\text{km}) = 0.6 M - 2.9$

地震断層の変位量Dと地震のマグニチュードM
 $\text{Log } D (\text{m}) = 0.6 M - 4.0$

⇒ 活断層の長さや変位量から
地震規模を予測。

活断層長を定義すること（地震規模予測）の難しさ

1981年濃尾地震 (M=8.0)



1992年ランダース地震
カリフォルニア (Mw=7.3)



「起震断層」モデル
(松田, 1990)



5 km以内に地震が誘発される場合、活動するものとして1つの活断層系(帯)として扱う。最大地震規模を予測する。

1つの地震で複数の活断層が同時に活動する
(連続性の問題：セグメンテーション問題)

内陸地震の時間予測：トレンチ掘削調査による活動履歴の解明

確率計算 平均活動間隔とばらつき（標準偏差）
最新活動からの経過時間

不確定要素 複数回の地震サイクル検出は希
地震イベントの欠損
地層の欠損・年代測定試料の欠損
放射性炭素年代の測定誤差



地層
地震林



確率論的地震動予測図

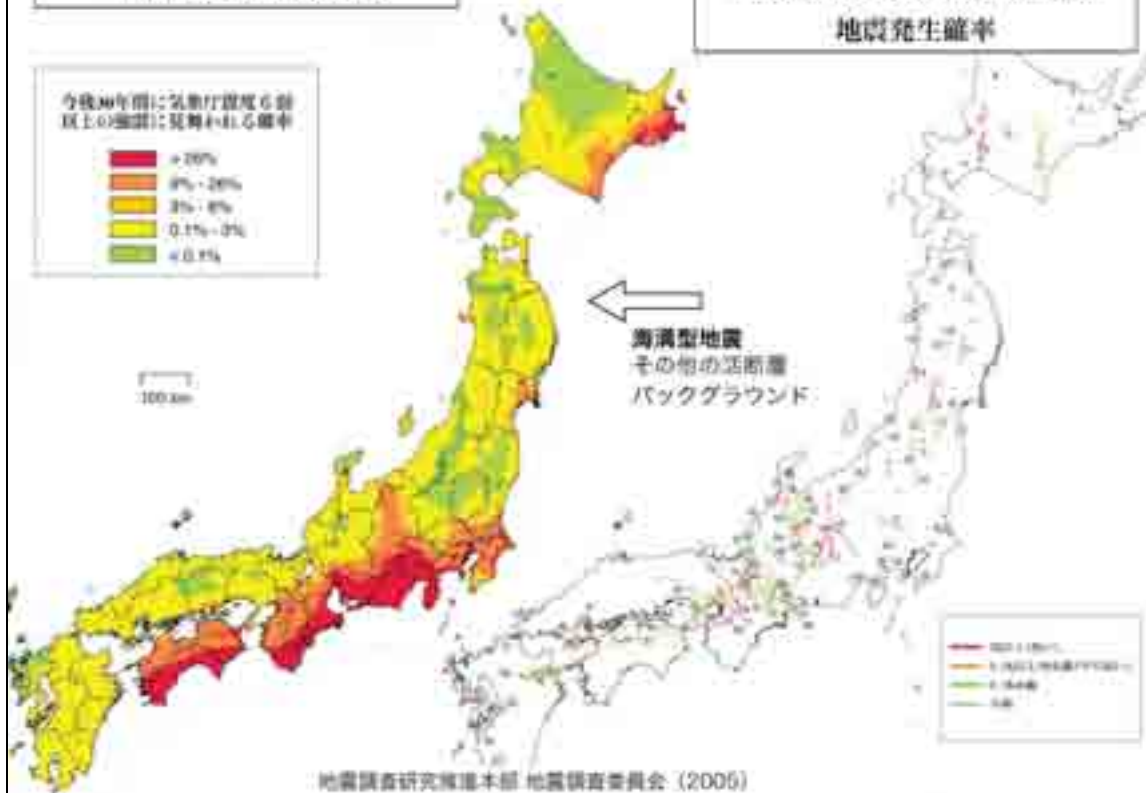
今後30年間に震度4程度以上の地震に見舞われる確率



100 km

主要活断層における今後30年の地震発生確率

海溝型地震
その他の活断層
バックグラウンド



地震調査研究推進本部 地震調査委員会 (2006)

活断層研究の歴史

1891年濃尾地震、1906年サンフランシスコ地震、1933年関東地震
1910 博覧会会誌 (Boaf)

・用語「活断層」—— 地形学者、比村 (1926) ・多田 (1927)

1960年代～70年代 「活断層発見の時代」 日本列島の地震地帯論

地震学雑誌創刊

1967年日本の地震予知計画

1974年駿河湾地震 (東海地震) 頃

・1980年 活断層研究会「日本の活断層—分布と資料—」

1980年代～1990年代前半 「活断層掘削・観測調査の時代」

1979年東海新断層トレンチ調査、1979年山梨新断層トレンチ調査、1982年石川新断層トレンチ調査

・1991年 活断層研究会「新編・日本の活断層—分布と資料—」

1995年兵庫県南部地震

・1995年～ 地震調査研究推進本部

・1996年～ 1/25,000 都市圏活断層図、活断層詳細デジタルマップ (中田・今泉, 2002)

1990年代後半～ 「活断層地震発生確率評価、活断層分布再検討の時代」

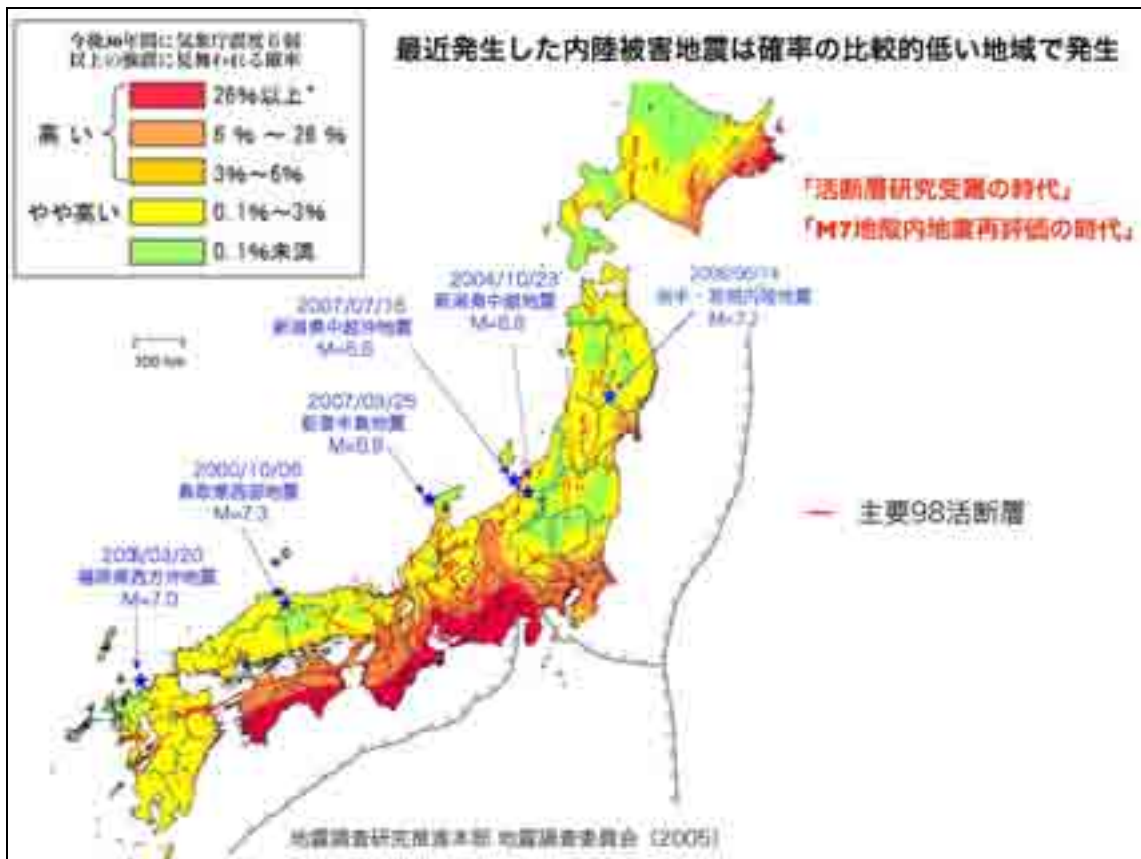
2000年鳥取県西部地震、2004年新潟県中越地震、2005年福岡県西方沖地震

2007年新潟県中越地震、2007年新潟県中越沖地震、2008年九州・宮城内陸地震

・2005年～ 確率論的地震動予測地図

2000年～ 「活断層研究変遷の時代、M7地震内陸地震再評価の時代」

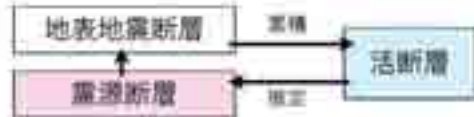
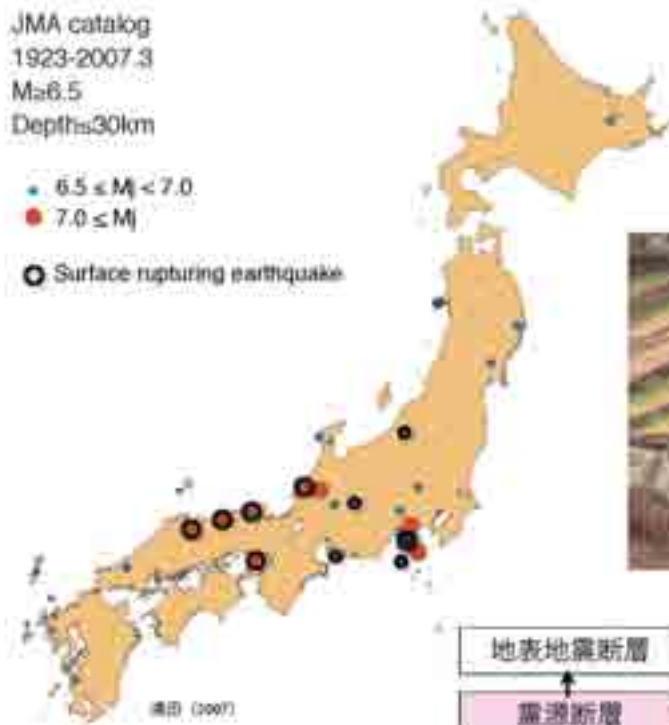
新断層、1995、震害、1990年代後半以降



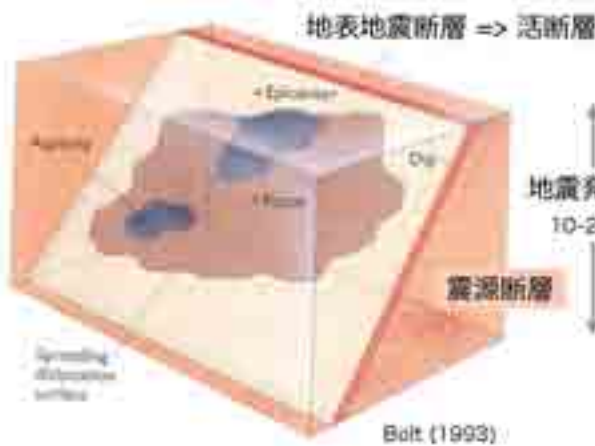
M6.5以上の内陸地震のうち約半分で地表地震断層出現

JMA catalog
1923-2007.3
M_a≥6.5
Depth≤30km

- 6.5 ≤ M_a < 7.0
- 7.0 ≤ M_a
- Surface rupturing earthquake



地表地震断層から震源を推定できるか

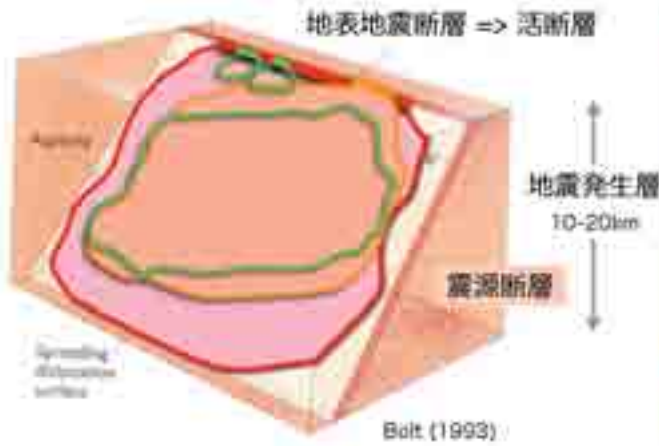


後世の人々が
過去起きた地震規模を推定できるか？



地震断層の「質」を検討

地表地震断層から震源を推定できるか



- Rank 1:** 震源断層と地表地震断層の長さがほぼ対応
- Rank 2:** 断層のみに震源断層が地表に露出
- Rank 3:** 連続性に乏しく震源断層の延長である可能性が高い
断層での誘発すべりとして説明可能

Rank 1



Rank 2



予測の立場から： 地表地震断層から震源を 推定できるか

1923年以降の主な内陸 被害地震と地震断層

発生年	断層名	M	震源の長さ	地表断層長さ	深さ	地表断層長さ (km)
1923	山梨・静岡	8.0				
1924	山梨断層	8.0				
1925	徳島断層	8.0				
1926	徳島断層	8.0				
1928	鳥取	8.0	約100	約100	2	100
1930	鳥取	7.5	約100	約100	2	100
1934	山形	7.5	約100	約100	2	100
1935	山形	7.5				
1936	山形	7.5				
1937	山形	7.5				
1938	山形	7.5				
1939	山形	7.5				
1940	山形	7.5				
1941	山形	7.5				
1942	山形	7.5				
1943	山形	7.5				
1944	山形	7.5				
1945	山形	7.5				
1946	山形	7.5				
1947	山形	7.5				
1948	山形	7.5				
1949	山形	7.5				
1950	山形	7.5				
1951	山形	7.5				
1952	山形	7.5				
1953	山形	7.5				
1954	山形	7.5				
1955	山形	7.5				
1956	山形	7.5				
1957	山形	7.5				
1958	山形	7.5				
1959	山形	7.5				
1960	山形	7.5				
1961	山形	7.5				
1962	山形	7.5				
1963	山形	7.5				
1964	山形	7.5				
1965	山形	7.5				
1966	山形	7.5				
1967	山形	7.5				
1968	山形	7.5				
1969	山形	7.5				
1970	山形	7.5				
1971	山形	7.5				
1972	山形	7.5				
1973	山形	7.5				
1974	山形	7.5				
1975	山形	7.5				
1976	山形	7.5				
1977	山形	7.5				
1978	山形	7.5				
1979	山形	7.5				
1980	山形	7.5				
1981	山形	7.5				
1982	山形	7.5				
1983	山形	7.5				
1984	山形	7.5				
1985	山形	7.5				
1986	山形	7.5				
1987	山形	7.5				
1988	山形	7.5				
1989	山形	7.5				
1990	山形	7.5				
1991	山形	7.5				
1992	山形	7.5				
1993	山形	7.5				
1994	山形	7.5				
1995	山形	7.5				
1996	山形	7.5				
1997	山形	7.5				
1998	山形	7.5				
1999	山形	7.5				
2000	山形	7.5				
2001	山形	7.5				
2002	山形	7.5				
2003	山形	7.5				
2004	山形	7.5				
2005	山形	7.5				
2006	山形	7.5				
2007	山形	7.5				

- Rank 1:** 断層断層と地表断層の長さがほぼ対応
- Rank 2:** 断層のみに震源断層が地表に露出
- Rank 3:** 連続性に乏しく震源断層の延長である可能性が高い
断層での誘発すべりとして説明可能

地震断層とその長さについて
 坂田 (1999) 著と日本震害学会 (1999)
 伏見・他 (2002) "Matsuyama et al."
 (2007) などをも参照して再検討

M7前後の地震断層出現率は高くない！

気象庁一元化震源カタログ 1923-2007.3 陸域、深さ30km以浅

$\geq M$	地震数	発生率 (数/年)	地震断層数 (本数)	完全出現率 (%)
6.0	78	0.92		
6.5	30	0.36	5	17
7.0	9	0.11	1	44
地震	-	-	-	活断層

活断層を完璧に調査しても半分以上のM \geq 7.0地震を見逃す

検証：活断層評価結果から内陸地震活動をどれだけ再現できるか？

すべての想定震源（Mと確率）から内陸地震の規模・頻度を求める

■ 主要98断層帯

※データを修正した地震動予測地図、震害書 (300M) より

コード	断層名称		長期評価結果	発生確率 平均ケース	発生確率 最大ケース
0101	徳島断層帯 L=52km D=7.7	平均活動期間	不明	17000年	17000年
		最新活動時期	不明	(70アーン過程)	
		30年発生確率	—	0.18%	0.18%
		50年発生確率	—	0.29%	0.29%

■ その他の活断層

コード	モデル化した断層名 (注1)	断層 長さ (注2)	M	活動期間 (注3)	活動期間 算出確率 (注3)	30年発生 確率	50年発生 確率
20001	徳川川断層帯	12km	6.6	1000年	A型	1.0%	4.9%
20002	徳川川断層帯	11km	6.7	1000年	B-type	2.0%	5.9%

■ 活断層が特定されていない場所で発生する地震

検証：活断層評価から内陸地震活動をどれだけ再現できるか？

震源断層モデル

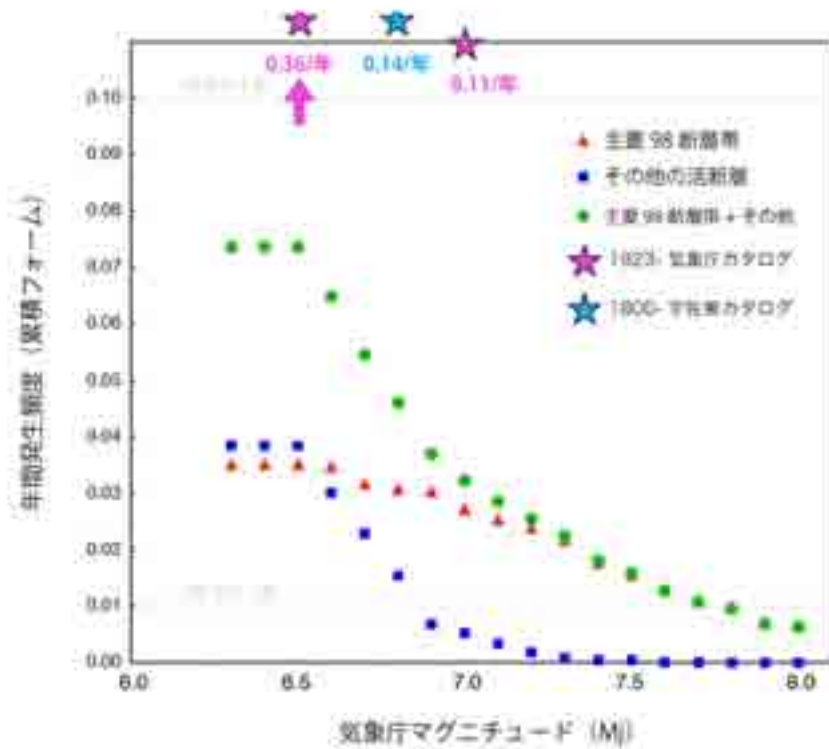
主要98断層帯

それ以外の活断層

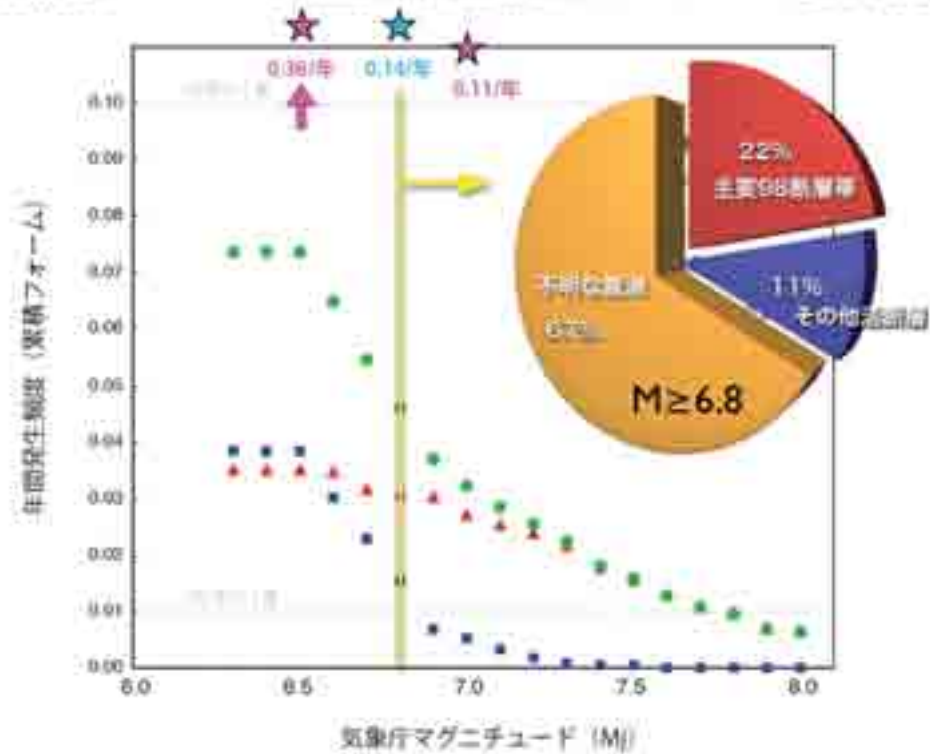


地震調査研究推進本部 地震調査委員会 (2005)

検証：活断層評価から内陸地震活動をどれだけ再現できるか？



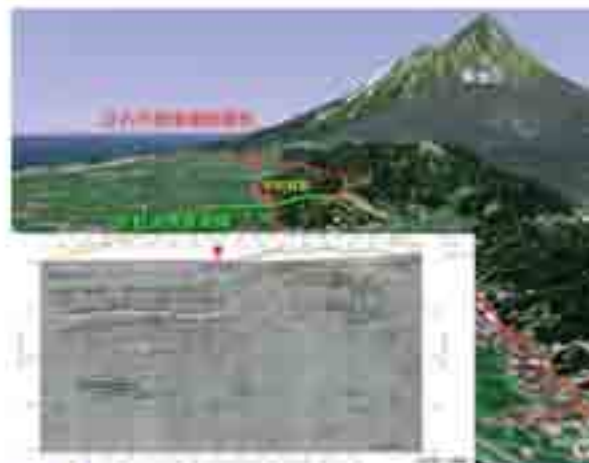
活断層情報のみでは内陸被害地震発生をきわめて過小評価



「不明な震源」「未知の活断層」となる理由

地震断層出現に関わる要因

- マグニチュードと震源の深さ
- 断層上の「被覆層」の層厚
- 断層「成熟度」、幾何構造
- 断層破壊の不完全性
- 発見に関する地理的条件



地震断層保存・活断層検出に関わる要因

- 堆積速度、侵食速度と断層変位速度との関係
- 人口改変

地表地震断層が活断層として認識されるまでの障害

変位速度 > 堆積・侵食速度 → 保存

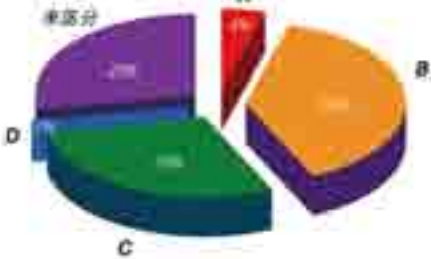
変位速度 < 堆積・侵食速度 → 消滅



C級活断層問題

「最近100年間の地震はA,B,C同数だから、
C類はA類の100倍あるはずだ」
(茂田、1991)

活動度別比



A類 (1-10 mm/yr)	103	■
B類 (11-100 mm/yr)	94	■
C類 (101-1000 mm/yr)	90	■
D類 (1001-10000 mm/yr)	4	■
未区分	234	■
	合計 225	■

C級活断層：岩手・宮城内陸地震の地震断層



2008年以前の断層活動：河成段丘L1面形成以降L2面形成前

C級活断層：岩手・宮城内陸地震の地震断層



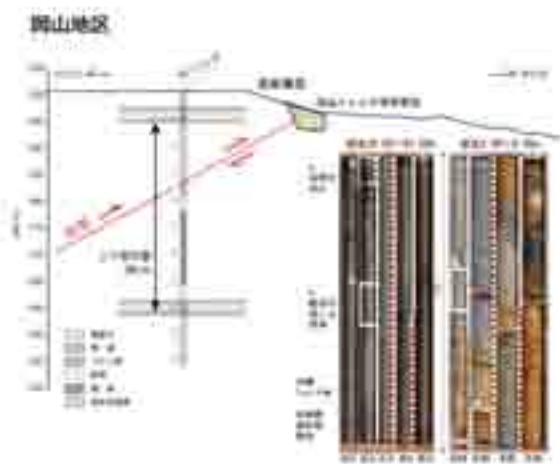
活動間隔が数万年である可能性

今後へ向けて (その1)

C級活断層問題解決：地下を推定する地質・地物データの有効利用



岩手・宮城内陸地震の地質境界断層と地震断層との関係



資料提供: Geom

今後へ向けて (その1)

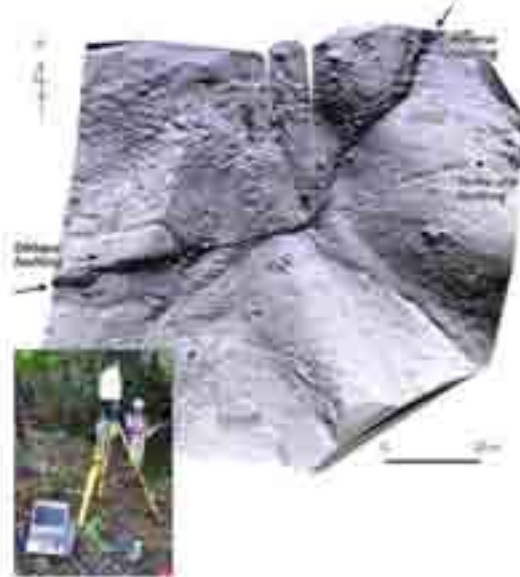
C級活断層問題解決：航空レーザ計測などの新技術による微地形検出

一関市最美丽的新木立における航空レーザ計測



鳥山地区 (500m)

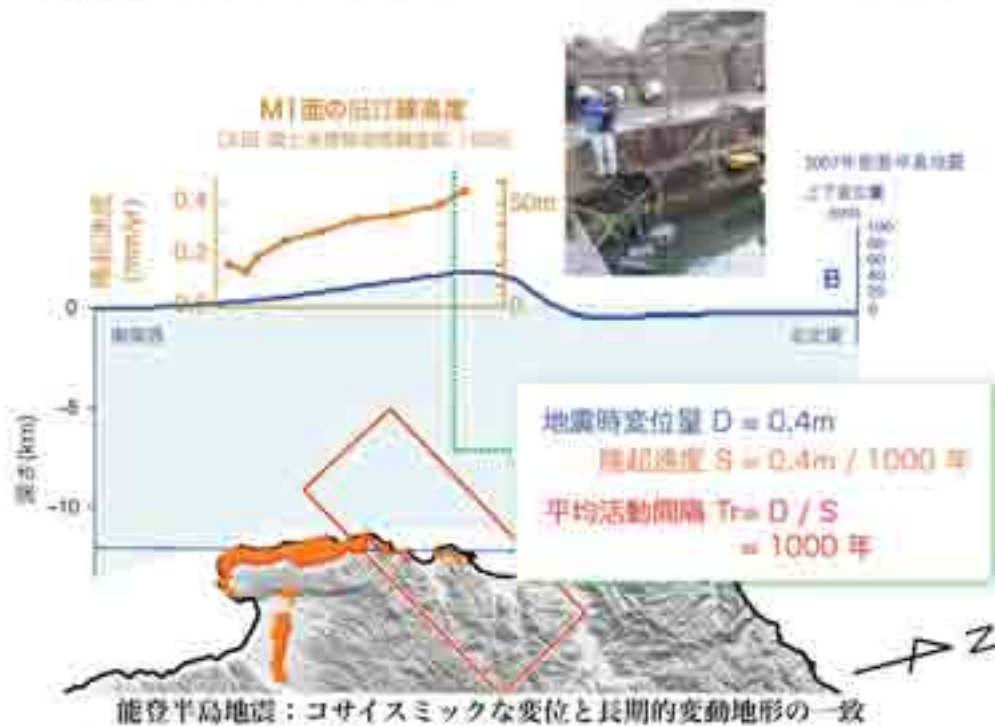
黒原市荒瀬沢ダム北における地上レーザ計測

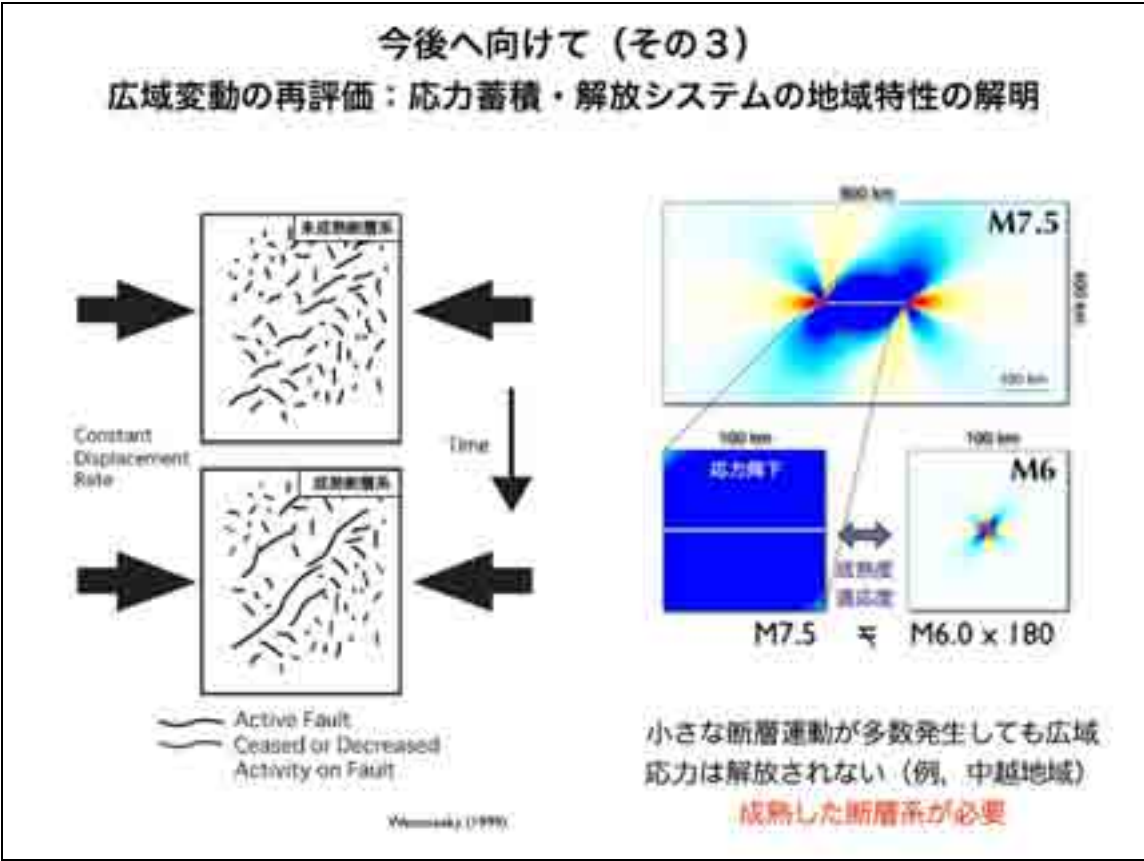
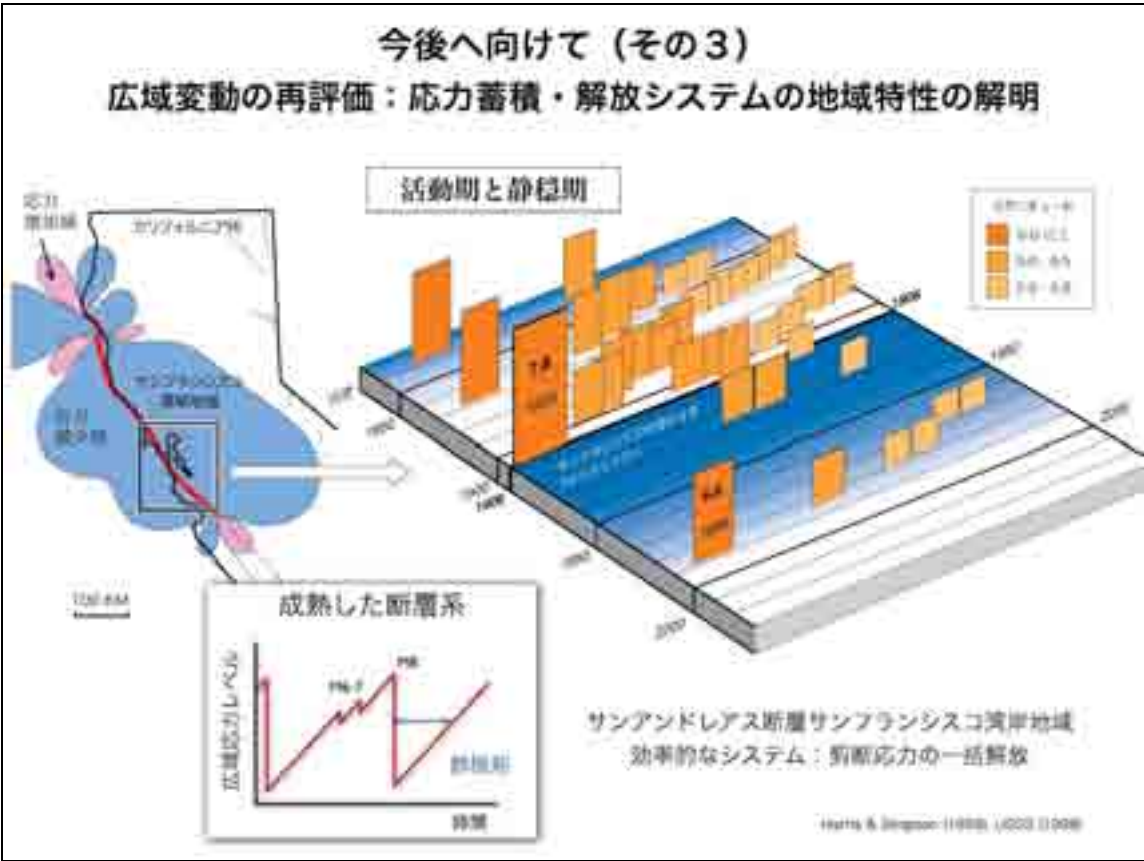


黒原地区 (100m)

今後へ向けて (その2)

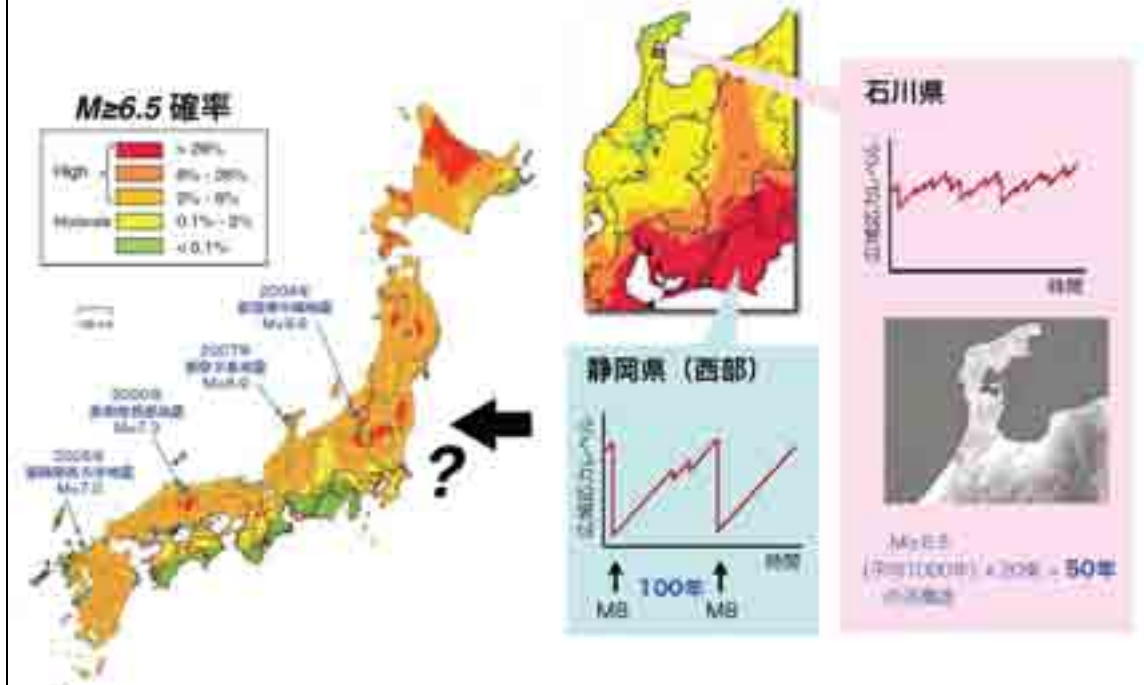
広域変動の再評価：断層線にとらわれず面的に検討+モデル化





今後へ向けて (その4)

アウトプットの再検討：強震度予測だけではなく被害地震の頻度という視点



今後へ向けて (その4)

アウトプットの再検討：強震度予測だけではなく被害地震の頻度という視点



今後へ向けて (その4)

アウトプットの再検討：強震度予測だけではなく被害地震の頻度という視点

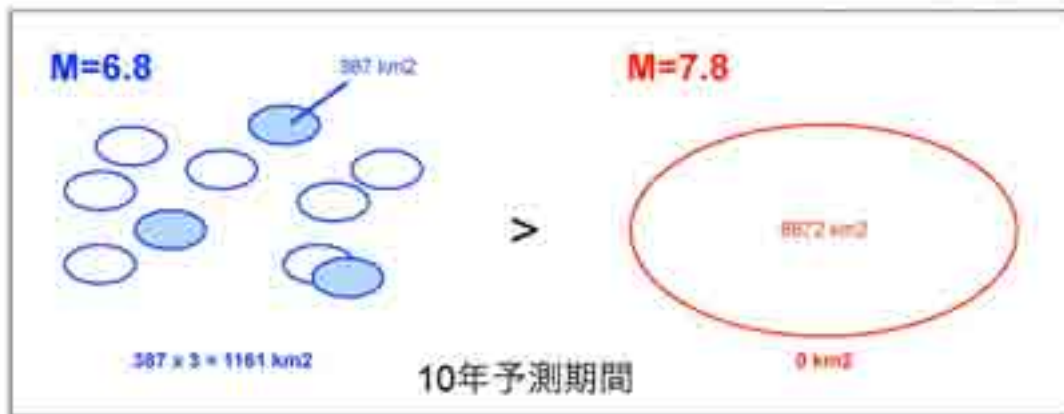
強震動予測はマグニチュードと予測期間次第

$$\log S_{vi} = 1.36 M - 6.66$$

S_{vi}: 気象庁震度階 6 以上の範囲 (km²)

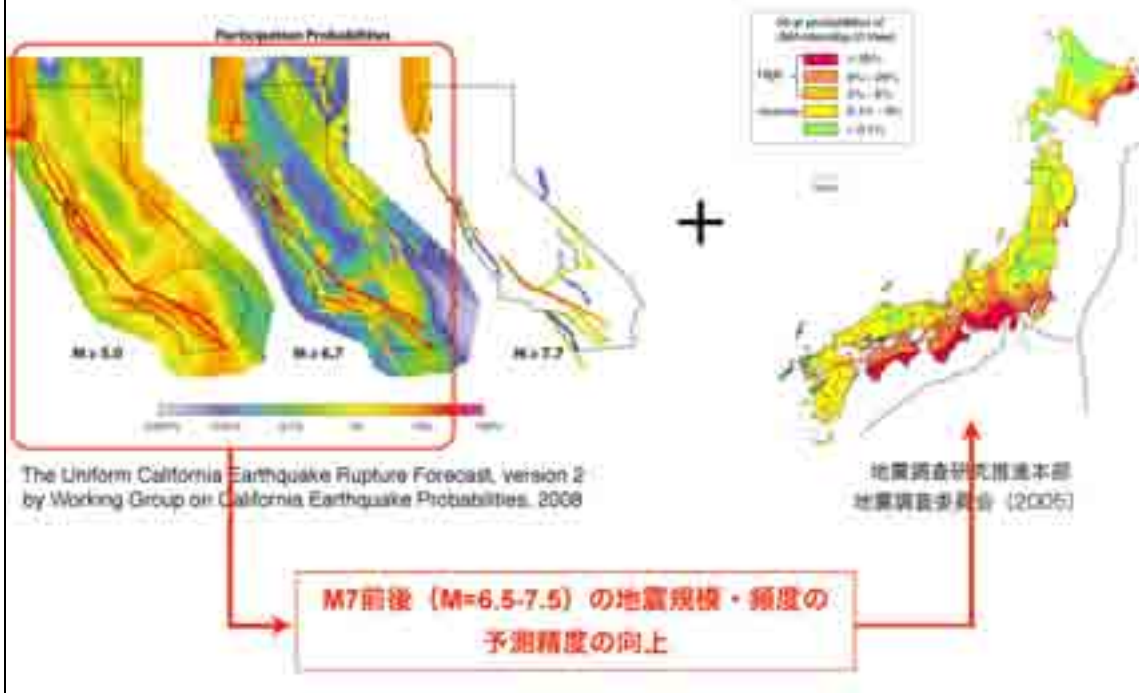
M: 気象庁マグニチュード

(Muramatsu, 1969)



今後へ向けて (その4)

アウトプットの再検討：マグニチュード別の「地震発生予測図」も必要



まとめ

- 兵庫県南部地震以降の推本主導の主要活断層の本格調査で最大地震規模予測には一定の成果
- 最近10年の結果をみるとM-7地震の予測には効果的ではない
- 地震断層出現率は $M \geq 6.5$ で17%, $M \geq 7.0$ で44%. 従来の活断層評価ではM7前後の地震を過小評価（半数以上を見逃す）
- M-7地震の予測にオフフォルト情報・地質情報の活用が必要
- C級活断層検出にレーザ計測などの新技術を導入
- 地域別の応力解放システム、断層系成熟度を理解し、地震規模頻度分布を予測に生かす（地域特性の評価）

