

# 震源近傍における海底津波計データの津波予警報への利用に関する検討

## Study on Use of Pressure Gauges in Near-Field for Tsunami Prediction

松本浩幸<sup>1</sup>・大堀道広<sup>2</sup>・金田義行<sup>3</sup>

Hiroyuki MATSUMOTO, Michihiro OHORI and Yoshiyuki KANEDA

At both the 2003 mega-thrust (M8.0) and the 2008 moderate-to-large (M7.1) Tokachi-oki, Japan earthquakes, we have obtained the full datasets of tsunami generation by two pressure gauges (PG1 and PG2) of the offshore observatory installed in the tsunami source area. The acquired pressure waveforms at PG1 and PG2 sites show significant fluctuations with respect to both the amplitudes and the periods during the earthquake. PGs have recorded pressure fluctuations with peak amplitude of approximately  $1$  to  $2 \times 10^5$  Pa and  $0.1$  to  $0.5 \times 10^5$  Pa for the 2003 and the 2008 Tokachi-oki earthquakes, respectively, and the predominant periods of 6 s have been recorded. They are attributed by the hydroacoustic waves in the tsunami source. We have also demonstrated the tsunami generation by a forthcoming Tonankai earthquake.

### 1. はじめに

2004年インド洋津波を契機として、世界的規模での津波早期警報システムの整備が進められている。日本でも最近の津波観測点の沖合展開にともない、そのリアルタイムデータ利用法の検討が不可欠となっている。GPS波浪計や海底津波計が、遠地で発生する津波を早期検知できることは実証されており、その優位性は共有されている(松本・三ヶ田, 2005; Kato 他, 2005)。しかしながら近地で発生する津波に対しては、具体的なデータ利用法の枠組みは確立されていない。

本研究では、沖合津波観測点とくに海底津波計の近傍で発生する津波のリアルタイムデータ利用法の確立のため、海底津波計の蓄積データを精査して得られた知見を検証するとともに、観測データのリアルタイム津波予測への検討を目的とする。さらに今世紀前半にも高い確率で発生すると予想される東南海地震の震源域に展開される「地震・津波観測監視システム」によりリアルタイムで観測される水圧波形の予測を行う。

### 2. 海底津波計と対象地震の抽出

北海道の千島海溝沿いの海底には海洋研究開発機構が運用する「北海道釧路・十勝沖海底地震総合観測システム」がある。海底津波計として2台の水晶発振式水圧計(PG1とPG2)が水深約2,200mの海底に設置されており、常時水圧変動を観測している(Hirata 他, 2002)。この海域では、2003年9月26日未明に発生した、いわゆる2003年十

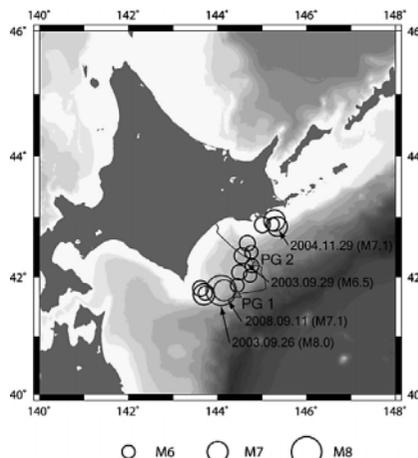


図-1 「北海道釧路・十勝沖海底地震総合観測システム」の近傍で発生した地震の震央分布

勝沖地震以降、余震活動を含め地震活動が活発で、津波を発生させたものも含めてM6クラス以上の地震が数多く発生している。本研究では、地震時の水圧変動の知見を得るため、まず観測システム近傍で発生した地震の抽出を行った。抽出対象となる地震は、気象庁一元化震源のデータベースを参照し、観測システムから概ね震央距離100km以内の地震とした。また水圧データのS/N比から地震の規模は、M6以上のものを対象とした。これらの条件で抽出した結果、表-1の16地震が対象地震となった。16地震のうち、2003年十勝沖地震(M8.0)、2004年11月29日(M7.1)、2008年9月11日(M7.1)の3地震が、沿岸で津波を観測した地震となっている。抽出された地震の震央と海底津波計の位置関係を図-1に示す。2003年十勝沖地震と2008年9月11日の地震が海底津波計PG1のほぼ直下が震源で、2004年11月29日の地震(M7.1)は釧路沖で発生しているため、観測システムから外れた海域に震源がある。

1	正会員	博(工)	(独法)海洋研究開発機構 防災研究プロジェクト	地震津波・
2		博(工)	(独法)海洋研究開発機構 防災研究プロジェクト	地震津波・
3	正会員	理博	(独法)海洋研究開発機構 防災研究プロジェクト	地震津波・

表-1 「北海道釧路・十勝沖海底地震総合観測システム」の近傍で発生した地震

	Date	Time	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Depth (km)	Magnitude	Tsunami
1	2003.09.26	04:05:07.42	41.779	144.079	45.1	8.0	observed
2	2003.09.26	06:08:01.84	41.710	143.692	21.4	7.1	
3	2003.09.26	15:26:58.10	42.189	144.776	27.4	6.1	
4	2003.09.27	05:38:22.31	42.026	144.728	34.4	6.0	
5	2003.09.29	11:36:55.06	42.360	144.553	42.5	6.5	
6	2003.10.08	18:06:56.79	42.565	144.670	51.4	6.4	
7	2003.10.11	09:08:48.15	41.864	144.440	27.8	6.1	
8	2003.12.29	10:30:55.40	42.419	144.756	38.9	6.0	
9	2004.11.11	19:02:46.17	42.083	144.486	38.6	6.3	
10	2004.11.29	03:32:14.53	42.946	145.276	48.2	7.1	observed
11	2004.11.29	03:36:41.19	42.884	145.236	45.6	6.0	
12	2004.12.06	23:15:11.81	42.848	145.343	48.8	6.9	
13	2005.01.18	23:09:06.65	42.876	145.007	49.8	6.4	
14	2007.02.17	09:02:56.63	41.732	143.723	40.1	6.2	
15	2008.09.11	09:20:51.35	41.776	144.151	30.9	7.1	observed
16	2009.06.05	12:30:33.80	41.812	143.620	31.3	6.4	

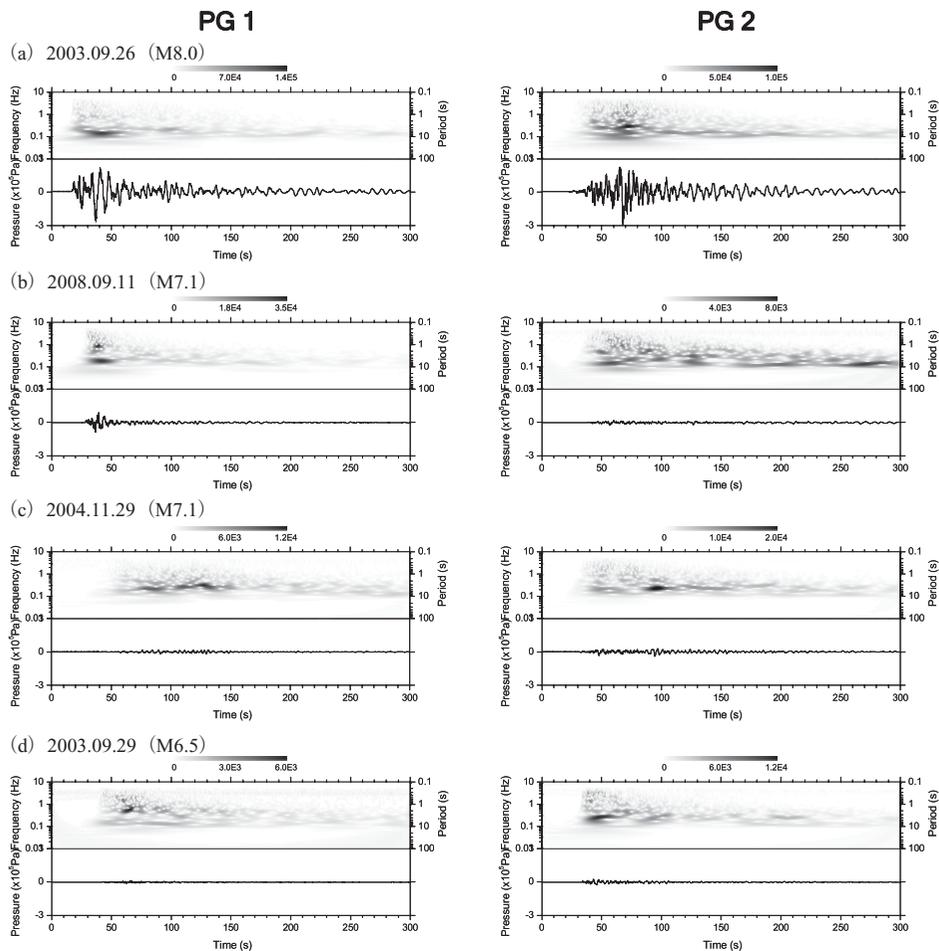


図-2 地震発生時の海底津波計のランニングスペクトル図ならびに観測波形

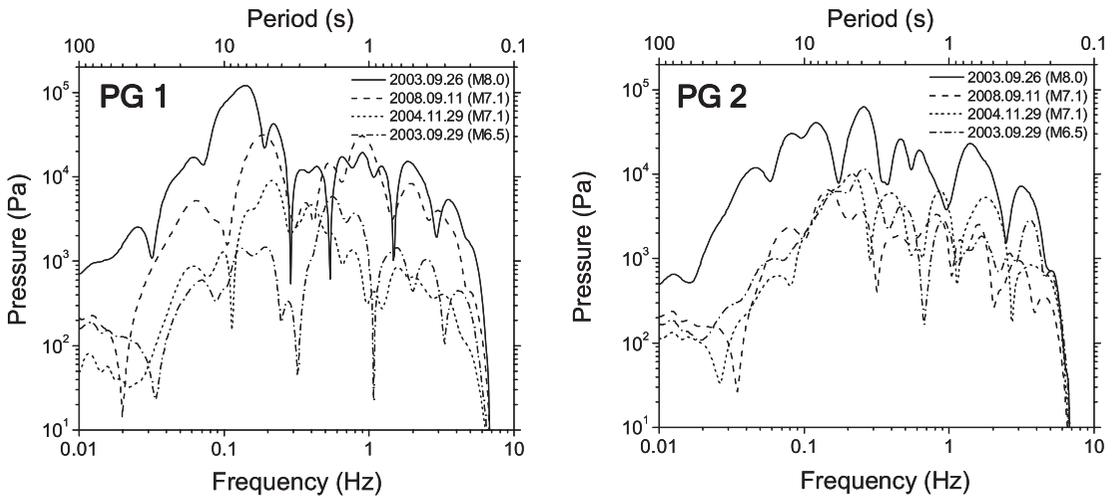


図-3 地震発生時の海底津波計の水圧スペクトル

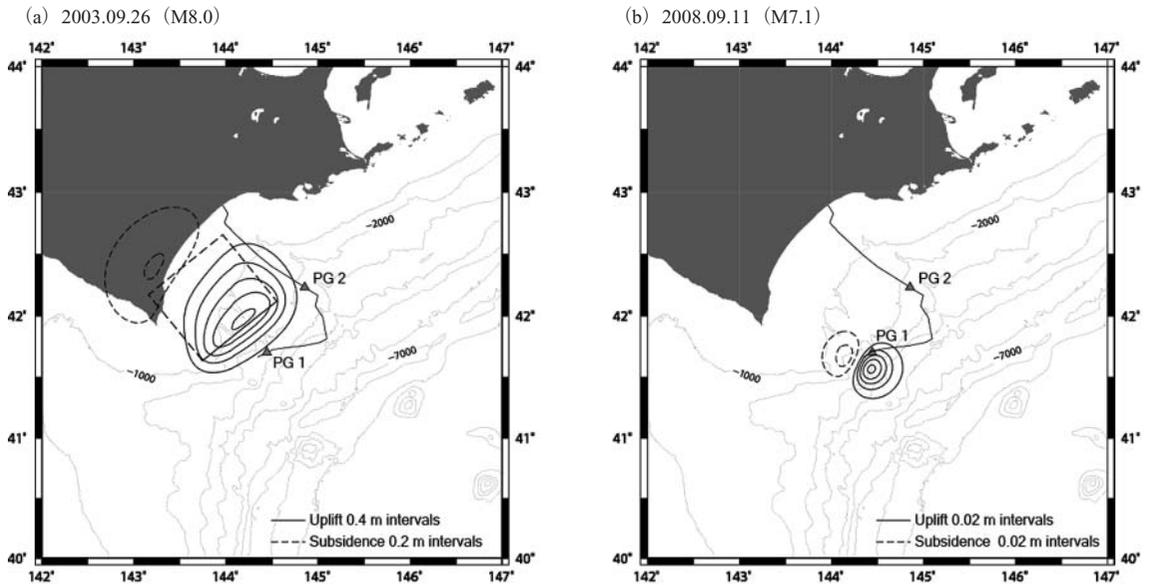


図-4 (a) 2003年十勝沖地震, (b) 2008年9月11日の地震による地殻変動

### 3. 観測水圧データの精査

水晶発振式水圧計は感圧水晶と温度水晶の振動数を計測している。これらの計測データから温度補正を施して、10Hzサンプルの水圧データを作成した。作成したデータに対して地震を含む5分間のデータを切り出し、ランニングスペクトル解析を施した。具体的には、波形データに対して各中心周波数でのバンドパスフィルターをかけ、そのエンベロープをとりランニングスペクトルとした。

解析結果の一例として、先述の津波を発生させた (a) 2003年十勝沖地震, (b) 2008年9月11日の地震, (c) 2004年11月29日の地震, ならびに津波を発生させなかった

(d) 2003年9月29日 (M6.5) の地震のランニングスペクトルならびに水圧波形を比較したものを図-2に示す。さらに図-2のランニングスペクトルで地震発生時の振幅を比較したものが図-3である。津波を発生させる地震では、周波数0.1~0.2Hzの成分がとくに卓越し、継続時間が20秒程度の水圧変動が観測される。これは地殻変動による音響波で水深で一意に決まる固有周波数と一致する。一方、津波を発生させない地震でも0.1~0.2Hzに卓越周波数をもつが、より高周波帯域の地震動による水圧変動と同程度あるいはそれ以下の振幅となっている。

地殻変動が急激に海底に与えられたときの水圧変動の最大振幅は、密度と水中音速と速度との積で表される。例

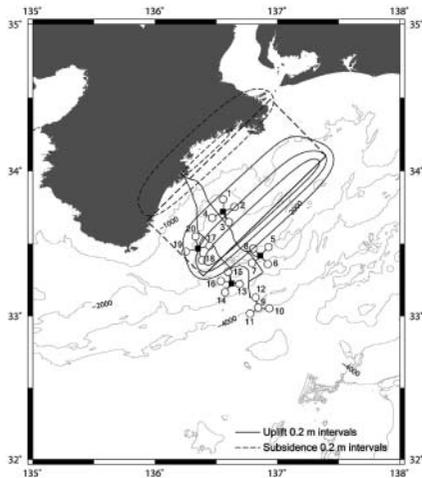


図-5 仮想東南海地震による地殻変動と海底津波計設置位置

例えば、PG1の直下に震源がある (a) 2003年十勝沖地震と (b) 2008年9月11日の地震に対応する地殻変動の速度はそれぞれ (a) 0.13m/s, (b) 0.03m/sと推定できる。一方、マグニチュード  $M$  とライズタイム  $\tau$  を関係づける佐藤 (1989) の経験式 (1) がある。

$$\tau = 10^{0.5M-1.4}/80 \quad \dots\dots\dots (1)$$

この経験式 (1) により、(a), (b) の地震のライズタイムはそれぞれ (a) 5.0s, (b) 1.7sと推定できる。ある点の地殻変動に至る継続時間がライズタイムに一致すると仮定すれば、この2地震について水圧データの最大振幅から推定できるPG1の地殻変動量はそれぞれ、(a) 0.65m, (b) 0.06mとなる。これらは、国土地理院が発表している (a) 2003年十勝沖地震の断層モデルおよび (b) 2008年9月11日の地震モーメントに相当する点震源から計算される地殻変動量と調和的である (図-4)。

このように水圧変動の振幅から観測点における地殻変動量がだまかに推定できることが示された。これは震源近傍水圧データに含まれる音響波が、津波の観測指標の一つとなり得ることを示唆している。

#### 4. 東南海地震の震源域での津波予測

##### (1) 東南海地震の震源域における津波観測システム

南海トラフ沿いで発生した最近の巨大地震は1944年東南海地震 (M7.9) と1946年南海地震 (M8.0) である。両地震から60年を経過しており、最新の地震調査研究推進本部の海溝型地震の長期評価によれば、南海トラフ沿いにおけるM8クラス海溝型地震の今後30年以内の発生確率は50~70%程度と評価されている。南海トラフ沿いで巨大地震の発生が切迫していることに鑑み、文部科学省は東南海地震の震源域に「地震・津波観測監視システム」を設置する準備を進めている。

表-2 仮想東南海地震の断層パラメータ

断層面基準点	33.277 °N, 136.394 °E
上縁深さ	10km
走向	226°
傾斜角	10°
すべり角	90°
長さ	130km
幅	60km
すべり量	2m
ライズタイム	5s
破壊伝播速度	3km/s

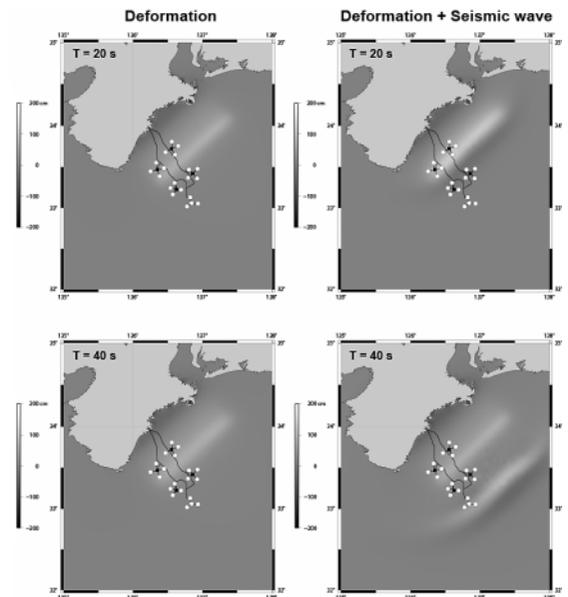


図-6 仮想東南海地震による津波発生シミュレーション

この観測システムは、東南海地震の震源域に海底地震計および海底津波計から構成される20観測点を構築して、地震と津波をリアルタイム観測するもので、2009年度末から順次観測点が稼働する予定である (図-5)。巨大地震による津波を早期検知して、さらに観測データを津波早期警報システムに有効利用するためには、想定地震に基づく観測技術やノウハウを培っておく必要があると考え、本研究では仮想東南海地震による津波シミュレーションを実施した。

##### (2) 仮想東南海地震の断層パラメータ

1944年東南海地震は分岐断層が津波発生に寄与したという地震波構造探査に基づく最近の研究 (Park他, 2002) もあるが、ここでは仮想東南海地震として単純な断層モデルを仮定して、数値計算により20観測点の水圧波形の予測を行う。仮定した断層モデルは、Kanamori (1972) の断層モデルを参考にして、表-2の断層パラメータを設定した。破壊の伝播様式は、下方から上方へ幅方向に平行

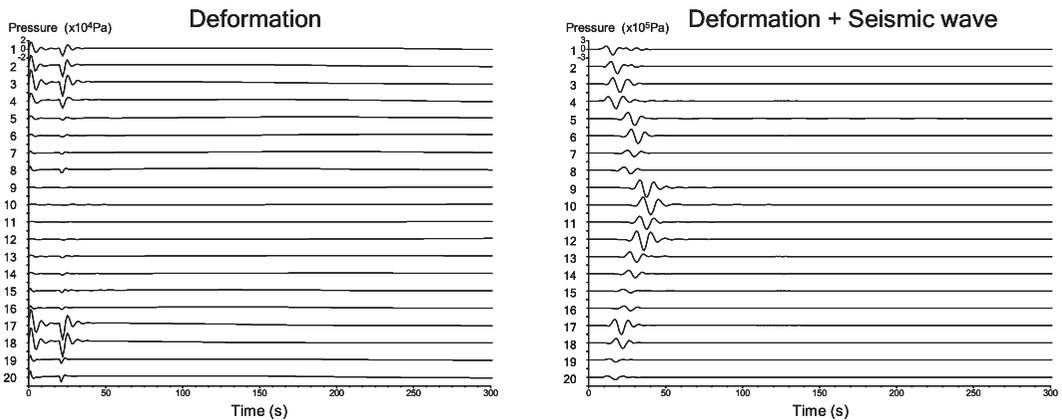


図-7 各海底津波計設置点における水圧変動 (縦軸の数字は図-5の観測点に対応)

に伝播するユニラテラル断層運動とした。これを Ohmachi 他 (2001) の動的津波解析手法により再現した。

### (3) 数値計算結果

ここでは2種類の津波発生モデルを考える。一つは図-5の地殻変動量を、断層の破壊継続時間と一致するように20sのramp-time関数で流体底部に与えて津波を発生させる。すなわち地震波の入力は考慮せずに、地殻変動量のみを入力している。もう一つは断層運動にともない発生する地震波も同時に入力するモデルである。図-6および図-7は、両者の津波発生時の海面変動および津波観測点における水圧変動の計算結果である。

地殻変動のみを入力した場合には、立ち上がり時に音響波の振動が再現され、その振幅の大きさは地殻変動量の分布に一致する。一方、地震波も同時に入力した場合には、南海トラフの観測点でも40s後にRayleigh波による水圧変動および海面変動が再現される。このとき水圧変動の振幅の最大値は、先述の2003年十勝沖地震とほぼ一致することに注目したい。

## 5. まとめ

本研究では、海底津波計の近傍で発生した地震を対象として、水圧データの精査を行った。震源近傍の水圧計は地震動の高周波成分の影響を強く受けるために、地殻変動成分の分離は困難であるが、津波発生時に卓越する音響波は明瞭に観測される。この音響波の振幅はマグニチュード依存性があり、津波発生時には地震動に起因する水圧変動よりも卓越するので、周波数(周期)に注目して水圧変動を監視すれば、津波の早期検知に利用できる可能性がある。またその振幅は理論的には速度に比例するので、震源近傍に多点観測点を構築できれば地殻変動量の分布、すなわち津波の初期波形を見積もることが可能である。

また東南海地震の単純な仮断層モデルにより、津波

の再現計算を行い、津波観測予定点の水圧変動を再現予測した。地殻変動による音響波の予測精度を高めればより高度なリアルタイム津波予測が可能となる。

**謝辞:** 海底津波計データは海洋研究開発機構の「北海道釧路・十勝沖海底地震総合観測システム」で取得されたものである。水圧データ処理にあたり渡邊智毅、岩瀬良一の両氏の示唆を受けた。文部科学省の「地震・津波観測監視システム構築」研究推進委員会(委員長:本蔵義守東京工業大学教授)の委員諸氏との議論は有益であった。本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金(若手研究(B) No.19710152)の援助を受けている。末筆ながら、これらの関係機関および関係各位に謝意を表す。

## 参考文献

- 佐藤良輔編(1989):日本の地震断層パラメーター・ハンドブック, 390p.
- 松本浩幸・三ヶ田均(2005):2004年紀伊半島沖地震に伴う津波の沖合観測, 海岸工学論文集, 第52巻, pp.256-260.
- Kanamori, H., (1972): Tectonic implication of the 1944 Tonankai and the 1946 Nankaido earthquakes, Phys. Earth Planet. Inter., Vol. 5, pp. 129-139.
- Kato, T, Y. Terada, K. Ito, R. Hattori, T. Abe, T. Miyake, S. Koshimura, and T. Nagai (2005): Tsunami due to the 2004 September 5th off the Kii peninsula earthquake, Japan, recorded by a new GPS buoy, Earth Planets Space, Vol. 57, pp.297-301.
- Hirata, K., M. Aoyagi, H. Mikada, K. Kawaguchi, Y. Kaiho, R. Iwase, S. Morita, I. Fujisawa, H. Sugioka, K. Mitsuzawa, K. Suyehiro, H. Kinoshita, and N. Fujiwara (2002): Real-time geophysical measurements on the deep seafloor using submarine cable in the southern Kurile subduction zone, IEEE J. Ocean. Eng., Vol. 27, pp.170-181.
- Ohmachi, T., H. Tsukiyama, and H. Matsumoto (2001): Simulation of tsunami induced by dynamic displacement of seabed due to seismic faulting, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 91, pp. 1898-1909.
- Park, J. -Oh., Tsuru, T., Kodaira, S., Cummins, P. R., and Kaneda, Y. (2002): Splay fault branching along the Nankai subduction zone, Science, Vol.297, pp.1157-1160.