

平成22年6月30日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2009

課題番号：19710152

研究課題名（和文）

沖合リアルタイム観測データの津波早期警報システムへの高度利用

研究課題名（英文）

Comprehensive use of offshore observatory for tsunami early warning system

研究代表者

松本 浩幸（MATSUMOTO HIROYUKI）

独立行政法人海洋研究開発機構・地震津波・防災研究プロジェクト・技術研究副主任

研究者番号：80360759

研究成果の概要（和文）：津波予警報に資することを目的として、沖合リアルタイム観測システムで観測された津波に対して、その観測データを精査して知見を整理した。その結果、津波波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分離できる。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、水深で一義的に決まる周波数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。一方、遠地津波に対しては、地震動の影響を受けるもののローパスフィルターによる数値処理で津波成分を分離できる。

研究成果の概要（英文）：This study aims to detect tsunamis as early as possible in terms of offshore observatories. At both the 2003 mega-thrust (M8.0) and the 2008 moderate-to-large (M7.1) Tokachi-oki earthquakes, we have obtained the full datasets of tsunami generation by two pressure gauges (PGs) of the offshore observatory installed in the tsunami source area. The acquired pressure waveforms 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 2×10^5 Pa and 0.1 to 0.5×10^5 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, that would be possibly use for tsunami early warning. For far-field tsunamis, on the other hand, their signals could be detected if an appropriate numerical filter processing would be applied.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,600,000	0	1,600,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	3,300,000	510,000	3,810,000

研究分野：地震工学

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・自然災害科学

キーワード：津波、地震、海底津波計、海底ケーブル、リアルタイム、津波警報システム

1. 研究開始当初の背景

2004年12月に発生したスマトラ島沖地震(M>9.0)による津波(インド洋津波)は、津波警報システムの未整備地域を中心に犠牲者が20万人以上という有史以来最大規模の津波災害をもたらし、津波警報システムが津波防災に果たす重要性を如実に示す事例となった。インド洋津波災害を機に、日本と米国が運用している太平洋津波警報システムの知見をインド洋にも適用して、世界的規模で津波を監視することにより、津波警報を早期発信できる体制を整える機運が高まってきた。

津波早期警報システムを実現するファシリティーの一つが沖合津波観測・監視システムである。本研究課題の開始当初(2007年)の時点で、米国では海洋大気局(NOAA)が太平洋上に6機のDART(Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunami)ブイを設置して、海底の水圧を観測することにより、津波を早期検知する体制を整備していた。一方、日本では海溝型巨大地震発生帯に海底ケーブル式津波計や試験運用を経てGPS波浪計が整備されつつあった。

津波の沖合観測は、1978年に御前崎沖で開始されて以来、房総半島沖、伊豆東方沖、相模湾、三陸沖、室戸岬沖そして釧路沖といった日本の周辺海域に拡がっている。そして2004年紀伊半島沖で発生した地震(M7.4)では、沿岸到達の約20分前に津波を検知することに成功していた(Matsumoto and Mikada, 2005)。

そして今や国内外を問わず、津波の早期警報システムの構築に注目が集まっている。そして津波の沖合観測のフロントランナーであるわが国から、沖合観測を津波早期警報システムに積極的に利用するべきであるという着想に至った。

2. 研究の目的

最近の津波観測監視システム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構築が不可欠となっている。GPS波浪計や海底津波計に代表されるように、近年、沖合観測により津波の早期検知に成功して、これらの機器を利用した津波早期警報システムへの期待が高まっている。遠地で発生する津波に対して、津波シグナルを早期に検知できることは、GPS波浪計や海底津波計ですでに実証されており、その優位性は確認されている。

本研究では、いまだ具体的なデータ利用法が確立されていない、観測システム近傍で発

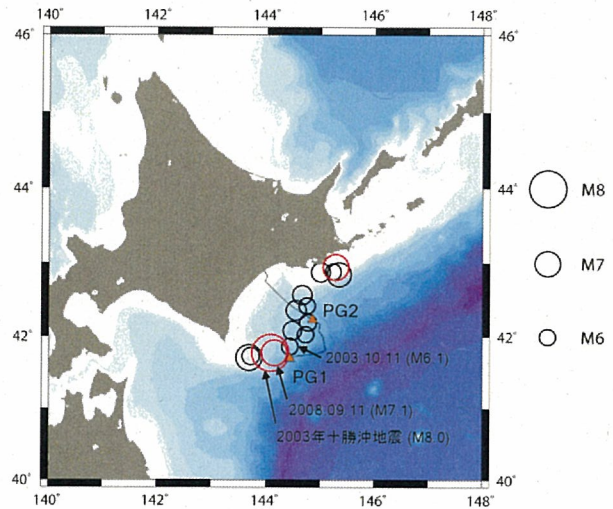


図-1 北海道十勝沖で発生した M6 以上の地震の分布 (赤丸は津波を発生)

生する津波の水圧計データ利用方法の確立のため、海底津波計の蓄積データを精査して得られた知見を整理して、津波予警報に資することを目的とした。

さらに既存の沖合観測システムを利用した津波予警報の可能性について模索するため、2006年11月に千島列島で発生した地震による津波を対象として、津波通過時における深海底における様々な観測データを精査した。

3. 研究の方法

(1) 近地津波に対する検討

①海底津波計と地震の抽出

図-1に示すように北海道十勝沖の海底(水深:約2,200m)に、「海底地震総合観測システム」を構成する海底津波計として2台の水圧計(PG1とPG2)が設置されている。2003年十勝沖地震(M8.0)以降に地震活動が活発となり、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。

まず海底津波計近傍の海域で発生した地震の抽出を行った。抽出対象となる地震は、気象庁の一元化震源データベースを参照し、観測システムから概ね100km以内の震源とした。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。

その結果、15地震が抽出対象の地震となった。15地震の震央と津波計の位置関係を図1に示す。2003年十勝沖地震(M8.0)と2008年9月11日の地震(M7.1)が水圧計PG1のほぼ直下を震源としている。

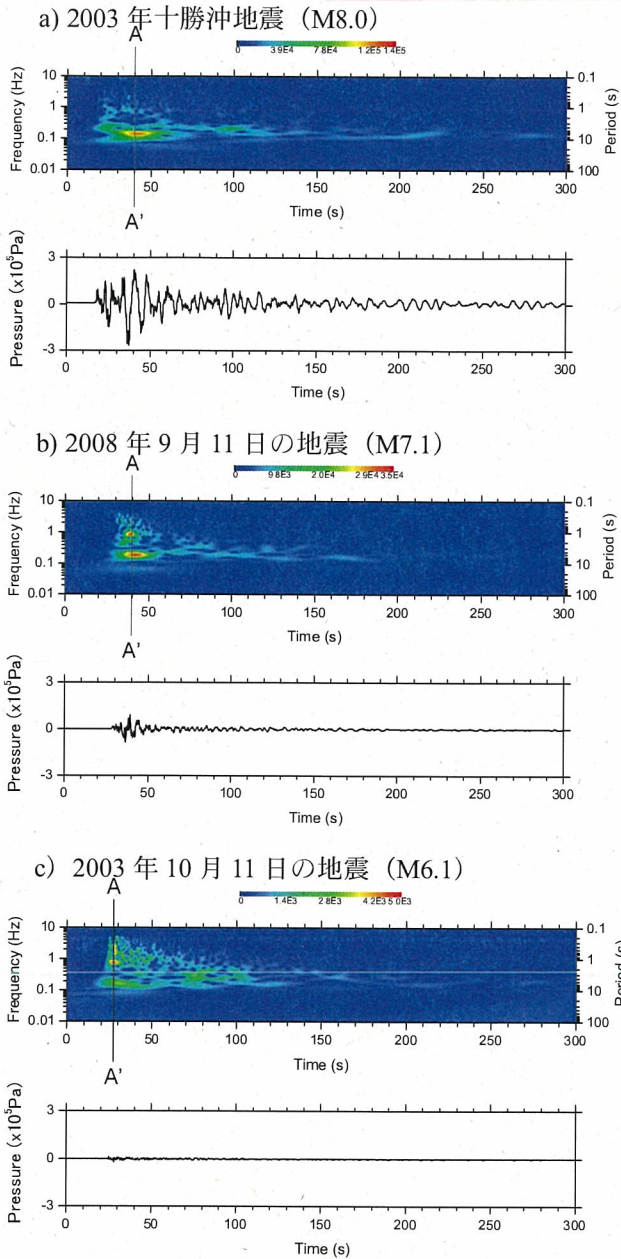


図-2 水圧波形とそのランニングスペクトル解析 (スケールの違いに注意)

a) 2003年十勝沖地震、b) 2008年9月11日の地震、c) 2003年10月11日の地震

②水圧データの精査

水圧計センサーは感圧水晶と温度水晶の振動数を計測している。これらのオリジナルデータから時々刻々の筐体内部温度を補正值として処理をして、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

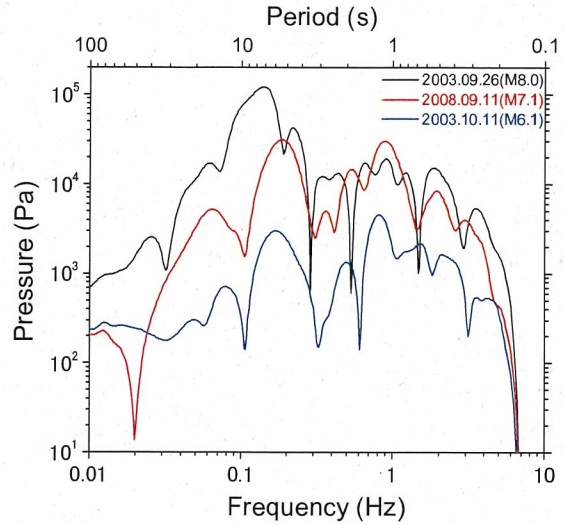


図-3 各地震間での A-A' 断面における振幅の比較

果の一例として、水圧計 PG1 の近傍で発生した a) 2003年十勝沖地震、b) 2008年9月の地震、ならびに c) 2003年10月の地震のランニングスペクトルを比較する (図-2)。前者2地震は津波を発生させ、後者1地震は津波を発生させない地震である。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が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である (図-3)。地殻変動が急激に海底に与えられたときの水圧変動の振幅は密度と音速と速度の積となるので、地殻変動の速度は3地震についてそれぞれ、a) 8cm/s、b) 2cm/s、c) 0.2cm/s と推定できる。最終的な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、マグニチュードとライズタイムを関係づける経験式から3地震について地殻変動量はそれぞれ、a) 39cm、b) 3cm、c) 0.1cm となる。これは地震の断層モデルから独立に計算した地殻変動量とほぼ一致する。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。

(2) 遠地津波に対する検討

①海底津波計による津波検知

2006年11月15日に千島列島沖で M8.3 の地震が発生して、わが国で震源に最も近い北海道釧路・十勝沖の深海底に設置している

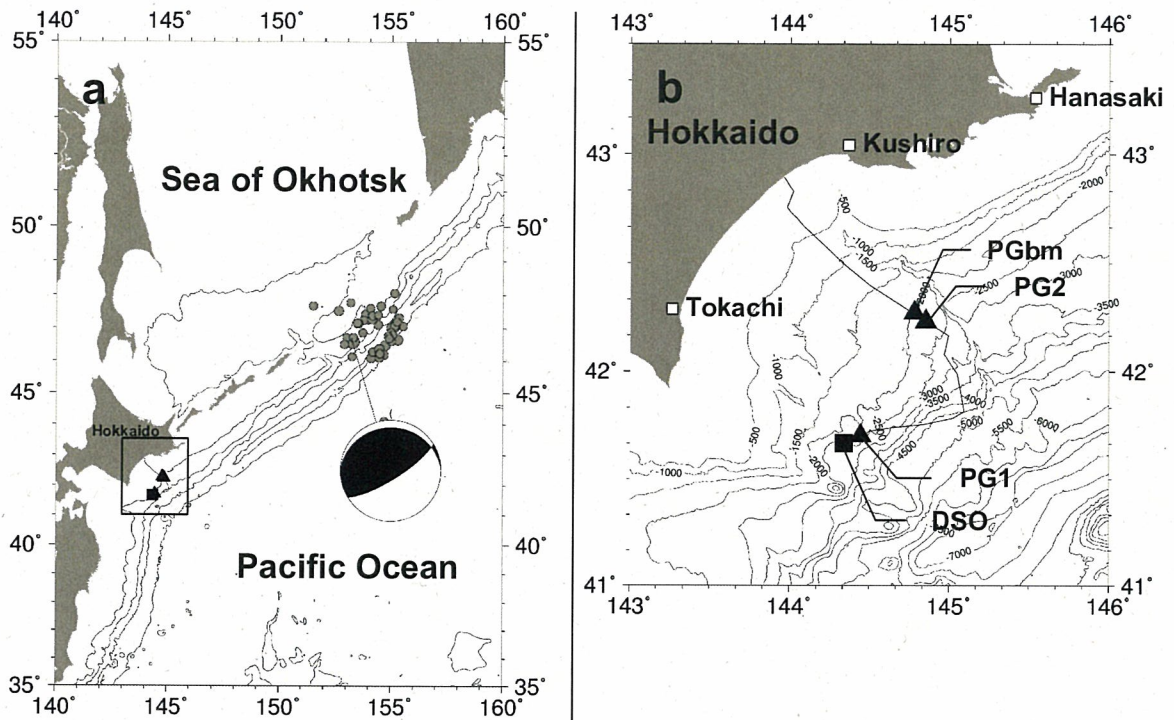


図-4 2006年千島列島沖地震と海底観測機器の位置関係

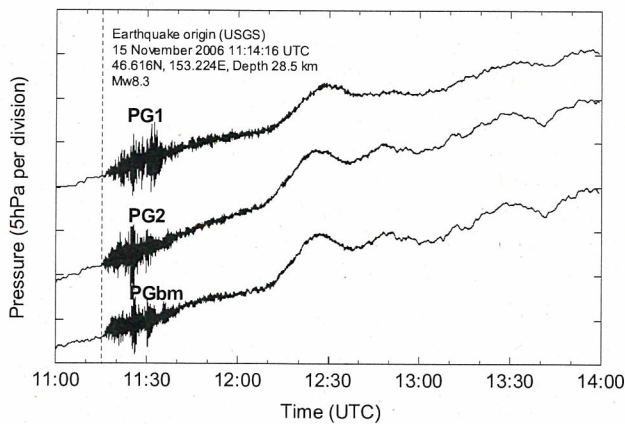


図-5 海底津波計で観測された波形 (60sの移動平均を適用)

「海底地震総合観測システム」上を津波が通過した(図-4)。この観測システムに含まれる海底津波計ならびに先端観測ステーションに接続されている ADCP (音響層別流速計) および深海底カメラ観測で得られた知見を整理する。さらに USGS の断層モデルから津波の再現計算を行い、現場観測との比較、検討を行い、既存システムによる津波早期検知の可能性について議論する。

先述の通り、「海底地震総合観測システム」には海底ケーブルで接続された常時2台の海底津波計(図-4のPG1とPG2)が設置されている。それに加えて、2004年から海底津波計を1台追加設置していた(同PGbm)。すなわち地震時には3台の海底津波計が設置

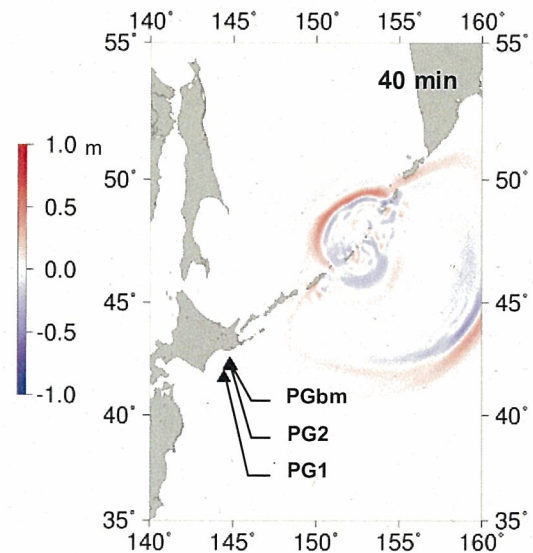


図-6 数値計算による津波伝播(40分後)

してあり、リアルタイムで陸上にデータを転送していた。3台の津波計で観測された波形を図-5に示す。地震発生時の11:14(時刻はUTC表示、以下同様)から約1時間後の12:15頃に周期約30分の津波第一波が観測されている。PG2とPGbmは、ほぼ同じ地点に位置するので、津波到達時刻と波形に大差はない。一方、PG1はこれらに比べて68km南西にあるので、津波到達時刻に5分程度の遅れが認められる。津波第一波の振幅は5hPa、すなわち静水圧換算で5cmとなっている。USGS

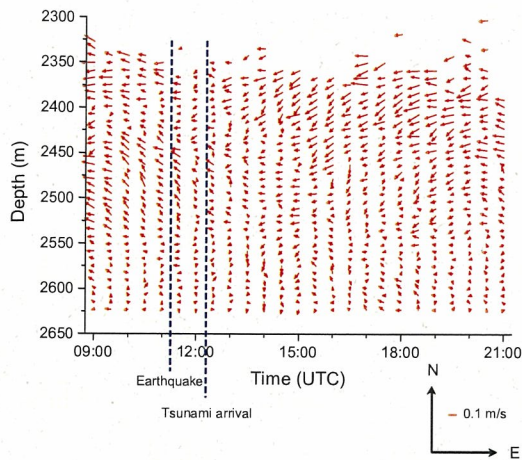


図-7 地震発生時の ADCP による流速ベクトル分布

の断層モデルによる計算では、観測値と比べて津波到達時刻については約5分ほど早くなったが、振幅についてはほぼ再現できた。なお北海道根室市花咲の検潮所では津波初動は12:30に観測されたので、沖合観測システムは震源からより遠いにもかかわらず、10分以上前に津波初動を観測したことになる。これは津波の位相速度が大きくなる深海底（沖合）に津波計が設置されているためである。海溝に沿って津波フロントが先行する現象は、USGSの断層モデルを用いた数値計算でも再現された（図-6）。

②先端観測ステーション

「海底地震総合観測システム」の先端ステーションには ADCP が接続されている（図-4の DSO）。ADCP は 30 分に一度起動して海底から最大高さ 280m の流速ベクトル分布を観測する。地震を含む 11 月 15 日の 12 時間分の記録を図-7 に示す。地震発生時刻および ADCP 近傍の津波計 PG1 から推定した津波到達時刻を図中に破線で示している。結果として、地震発生時および津波到達時において深海底での顕著な流速変化は認められなかった。津波波高と水深から理論的に計算される流速は 0.3cm/s であり、これは ADCP の観測可能範囲の下限である 1cm/s よりさらに小さかったためである。数値計算でも ADCP 設置点の海底における流速は最大で 0.1cm/s となり、ADCP の観測範囲外となった。さらに津波通過時の深海カメラ映像も平常時と比べて、顕著な環境変化は認められなかった（図-8）。

4. 研究成果

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

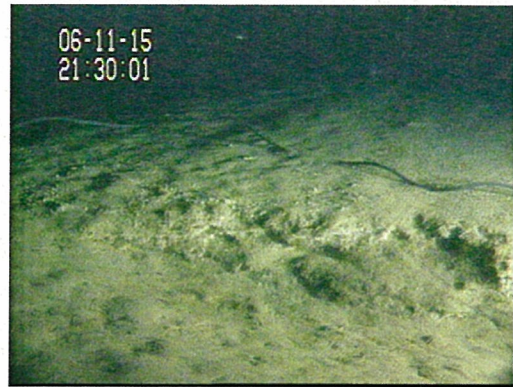


図-8 津波通過時の深海底映像

音響波は明瞭に分離できる。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。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も見積もることが可能である。

一方、遠地津波の早期検知に関して、2006年11月15日に千島列島沖で発生した地震による津波を対象として、北海道釧路・十勝沖に設置している「海底地震総合観測システム」の3台の海底津波計による観測データを精査した。地震発生から約1時間後に、海底津波計で振幅 5cm の津波が観測された。これは北海道の最東端に位置する花咲よりも 10分以上早い観測である。これは釧路・十勝沖の沖合観測システムが、千島海溝沿いで発生する津波に対して、わが国で最も早い津波観測を可能とするファシリティであることを示唆している。地震時には ADCP も稼働していたが、津波伝播に関連する流速変化は観測されなかった。現在のところ、既設 ADCP により津波シグナルを検知するのは、最小観測流速のしきい値の問題から困難である。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計5件）

- ① Matsumoto, H. and Kaneda, Y., Review of Recent Tsunami Observation by Offshore Cabled Observatory, J. Disaster Res., 4, 489-497, 2009, 査読有。
- ② 松本浩幸, 大堀道広, 金田義行, 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, 海岸工学論文集, 56, 356-360, 2009, 査読有。
- ③ Gusman, A. R., Tanioka, Y., Matsumoto, H., and Iwasaki, S., Analysis of the

Tsunami Generated by the Great 1977 Sumba Earthquake that Occurred in Indonesia, Bull. Seism. Soc. Am., 99, 2169 – 2179, 2009、査読有.

④ Matsumoto, H., Tanioka, Y., Nishimura, Y., Tsuji, Y., Namegaya, Y., Nakasu, T., and Iwasaki, S., Review of tide gauge records in the Indian Ocean, J. Earthquake and Tsunami, 3, 1-15, 2009, 査読有.

⑤ 松本浩幸、川口勝義、浅川賢一、2006年千島列島沖地震にともなう津波の深海底現場観測について、海岸工学論文集、54、166-170、2007、査読有.

[学会発表] (計7件)

① 松本浩幸、大堀道広、金田義行、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、第56回海岸工学講演会、水戸市(茨城県立県民文化センター)、2009.11.20.

② Matsumoto, H., and Kaneda, Y., Tsunami generation detected by pressure gauges in its source, Virtual Institution of Scientific Users of Deep Sea Observatories workshop, Norwegian Polar Institute, Tromso, Norway, 2009.6.11.

③ Matsumoto, H., Sugioka, H., and Kaneda, Y., Acoustic waves related to tsunami generation, International Scientific Studies Conference, Hofburg Congress Center, Vienna, Austria, 2009.6.10.

④ Matsumoto, H., Gusman, A. R., and Tanioka, Y., Tide gauge records in the Indian Ocean and its use for tsunami study, 6th International Conf. Urban Earthquake Eng., Marunouchi Building Hall, Tokyo, Japan, 2009.3.4.

⑤ Matsumoto, H., Tanioka, Y., Nishimura, Y., Tsuji, Y., Namegaya, Y., Nakasu, T., and Iwasaki, S., Tide Gauge Records collected in the Indian Ocean - Its History and Archives -, International Symposium on the Restoration Program from Giant Earthquakes and Tsunamis, Royal Phuket City Hotel, Phuket, Thailand, 2008.1.22.

⑥ 松本浩幸、川口勝義、浅川賢一、2006年千島列島沖地震にともなう津波の深海底現場観測について、第54回海岸工学講演会、宮崎市(宮崎観光ホテル)、2007.11.8.

⑦ Matsumoto, H., Kawaguchi, K., Asakawa, K., Preliminary results of the offshore tsunami observation by the Kuril Islands earthquake of 15 November 2006, International Workshop on Scientific Use of Submarine Cables and Related

Technologies 2007, University of Tokyo, Tokyo, 2007.4.20.

[図書] (計1件)

① 津波研究小委員会編、津波から生き残る - その時までには知ってほしいこと -, 176p, pp. 47-50, pp. 70-73 土木学会, 2009. (分担執筆)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松本 浩幸 (MATSUMOTO HIROYUKI)

独立行政法人海洋研究開発機構・地震津波・防災研究プロジェクト・技術研究副主任

研究者番号：80360759

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者