

2005 年福岡県西方沖の地震による地震動の特徴

Characteristics of Ground Motion during the 2005 West Off Fukuoka Prefecture Earthquake

岩切 一宏¹, 増田 与志郎²

Kazuhiro IWAKIRI¹ and Yoshiro MASUDA²

(Received March 30, 2006; Accepted August 15, 2006)

ABSTRACT: In 2005, an earthquake with magnitude M7.0 occurred to the west off Fukuoka Prefecture, Japan, which damaged Fukuoka City and the surrounding area. We investigated ground motion characteristics for this earthquake by using a dense network of strong motion instruments. The strong motion records of the main shock showed that the main rupture phase appeared several seconds later than the initial rupture phase. We determined that the onset point of the main rupture was located 4.5 km southeast of the hypocenter and that the initial rupture velocity was 1.2 km/s along the horizontal straight path on the fault plane. Lg waves were clearly seen in Honshu on acceleration records, but did not propagate well in the southern part of Kyushu. Love waves propagated well in the strike direction of the nodal plane of the focal mechanism. In the large sedimentary plains and basins, long-period ground motions were observed. The predominant periods of long-period ground motions were approximately 5s for the Chikushi plain, 3s for the Hitoyoshi basin, 6s for the Osaka plain and 6s for the Nobi plain. In the area where large damages were caused on the northeast side of the Kego fault, ground motions were amplified by the thick sedimentary layers. In Fukuoka City, where the maximum seismic intensity 6 lower (on the JMA scale) was observed, the damage was not too large because the velocity response of this earthquake was smaller than that of other destructive earthquakes in its range of periods which cause building damage.

1 はじめに

2005年3月20日10時53分に福岡県西方沖の深さ9kmを震源とするM7.0の左横ずれ断層型の地震が発生し、福岡県の福岡市、前原市、佐賀県みやき町で震度6弱を観測するなど、九州北部を中心に九州地方南部から関東地方の一部にかけて震度5強から1を観測した。この地震により、死者1名、負傷者1087名、建物被害8997棟などの被害（総務省消防庁、2005）があり、中でも全壊家屋の約8割が震源に近い玄界島に集中した。震源域周辺における過去の主な被害地震としては、1700年の壱岐・対馬付近の地震（M7）や1898年の博多湾西岸の糸島付近の地震（M6.0, M5.8）が知られているが、1930年の福岡県西部の雷山付近の地震（M5.0）以降M5を超える地震は発生しておらず、今回の地震は地震が少ない地域で発生した。

今回の地震では、気象庁および地方公共団体の震度計、防災科学技術研究所のK-NETおよびKiK-netによって多数の強震波形記録が得られており、本研究で使用（KiK-netについては地表記録）した。これらの全国に展開された高密度な強震観測網の記録を用いた近年の研究では、例えば、Furumura et al. (2003)は2000年鳥取県西部地震（M7.3）について強震動シミュレーションを行い、表面波が西南日本を伝播する様子を確認している。また、震源域から遠く離れた平野や盆地の厚い堆積層によって励起された振幅の大きな長周期地震動が、2004年紀伊半島沖・東海道沖の地震において大阪・濃尾・関東平野で顕著に現れ（岩田・浅野、2005）、さらに、2003年十勝沖地震（M8.0）の際には、石油タンクのスロッシングを引き起こして火災などの被害を生じたことも報告されている（畑山・他、2004）。

^{1,2}福岡管区気象台技術部地震火山課, Fukuoka District Meteorological Observatory Technical Department Seismological Volcanological Division ¹現所属: 気象研究所, Meteorological Research Institute

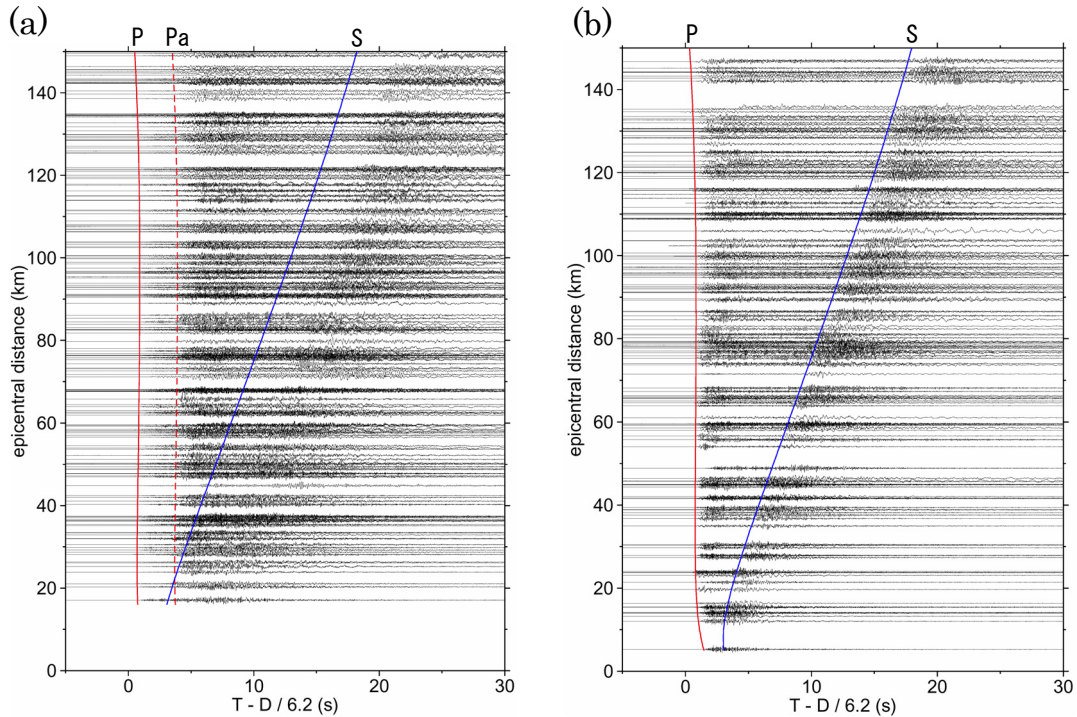


Fig. 1 Record section of the vertical-component acceleration seismograms of the main shock (a) and the largest aftershock (b). The reduction velocity is 6.2 km/s. All the traces are normalized to their own maximum amplitudes. Dashed lines of the Pa phase in (a) are drawn 3 sec later than the P-wave travel-time curve (solid lines).

今回の地震は、これまで地震活動が低調であった地域で発生しており、高密度な観測網によって得られた地震動の性質を把握することは、今後の地震防災対策を講じる上でも重要である。本研究では、福岡県西方沖の地震の強震波形記録を解析し、本震の強震波形にみられる振幅の大きな相の起源、表面波の伝播について調査する。さらに、平野と盆地における長周期地震動の特徴を把握し、被害と地震動との関係について考察する。

2 大振幅の相とアスペリティの関係

本震 (M7.0) の加速度上下成分のペーストアップを JMA2001 (上野・他, 2002) の P 波, S 波の走時曲線と共に Fig. 1(a) に示す。ほとんどの観測点において、小振幅の P 波の数秒後に、P 波と見かけ速度が同じで大振幅の相 (以下、Pa 相とする) が現れている。Fig. 1(a) には、Pa 相の走時を P 相の 3s 後として点線で示している。一方、Fig. 1(b) に示す最大余震 (M5.8) をはじめとする余震には、同様な特徴の相は認められない。本震の震源過程 (気象研究所, 2005) によると、破壊開始の 2s から 3s 後に最大すべりが起きている。これらのことから、Pa 相はアス

ペリティから放出された P 波であると考えられる。

Fig. 2 に、CMT 解と余震分布に基づく断層の走向 N122° E の延長上における、日本海側の観測点を含む震央距離 40km~130km の観測点の位置図と、P 相と Pa 相を拡大表示した速度上下成分のペーストアップを示す。Fig. 2 をみると、日本海側の観測点 (太線の波形) の Pa 相と P 相の走時差 (以下、Pa-P) は 4.5s 程度であり、陸側の観測点 (細線の波形) の Pa-P の約 3s よりも大きい。このことは、主破壊開始点が初期破壊開始点よりも南東に位置していることを示唆している。そこで、Pa-P を用いて初期破壊開始点に対する主破壊開始点のおおまかな相対位置を推定した。簡単のため、主破壊開始点と初期破壊開始点は断層面上の同じ深さにあると仮定し、それぞれの破壊開始点からの波線は平行とした。余震分布より断層の傾斜角は鉛直とすると、断層の走向延長上にある観測点の Pa-P は次の(1)または(2)式で表せる。

$$Pa-P = \tau + (L/V_p) \cos(90-\theta) \quad (1)$$

$$Pa-P = \tau - (L/V_p) \cos(90-\theta) \quad (2)$$

ここで τ , L は初期破壊開始点から主破壊開始点までの破壊伝播時間と断層面上における直線距離, V_p は本震の震源付近の P 波速度, θ は波線の鉛直上方から測った射出角である. (1)式は観測点が主破壊開始点よりも初期破壊開始点に近い位置にある場合, (2)式はその逆の場合である. 震央距離 40km~130km における JMA2001 対応の射出角はほぼ水平であるので, $\cos(90-\theta)$ を 1 とし, 本震の深さ 9km にお

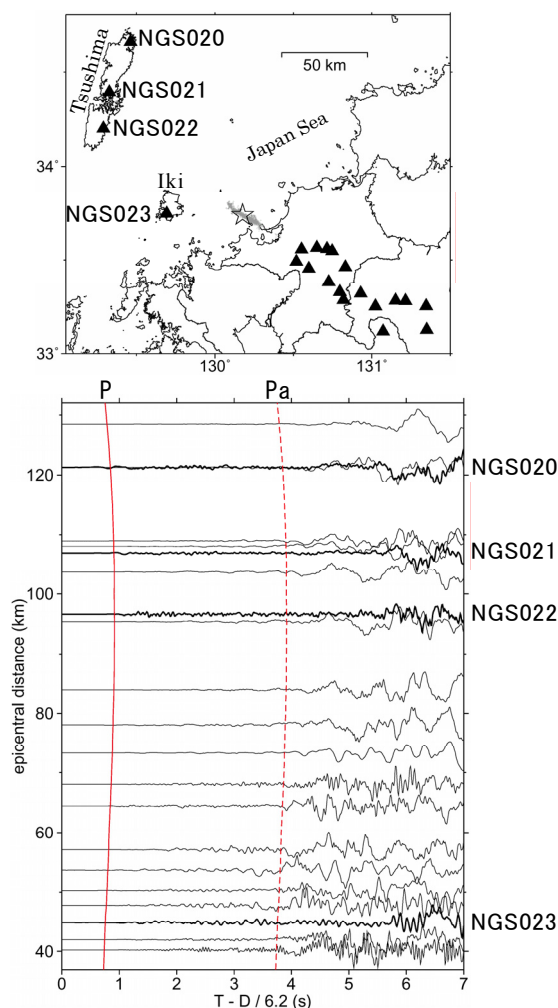


Fig. 2 [Top]: Map showing locations of stations (solid triangles) used in the bottom figure. Stations are located on the direction of strike of the earthquake source fault. The star indicates the epicenter of the main shock, and the shaded area corresponds to the aftershock distribution which occurred within 24 hours after the main shock. [Bottom]: Record section of the vertical-component velocity seismograms of the main shock for the stations shown in the top figure. Reduction velocity is 6.2 km/s. All the traces are normalized to their own maximum amplitudes. Thick lines with station codes are stations located on Iki and Tsushima Islands. Dashed lines of Pa phases are drawn 3.0 sec later than the P-wave travel-time curve (solid lines).

る V_p を JMA2001 の速度構造より 6km/s とすると, (1)-(2)より, $L=4.5\text{km}$ となる. また, (1)+(2)より, $\tau=3.75\text{s}$ となるので, 初期破壊開始点から主破壊開始点へ至る水平最短距離での初期破壊伝播速度は 1.2km/s となる. 震源過程解析 (気象研究所, 2005) によると, 最大すべりは本震の震源の南東 8km, 深さ 5km を中心とする領域で起きている. 本解析で得られた初期破壊開始点に対する主破壊開始点の位置 (水平距離で 4.5km) は, 震源過程解析で得られた最大すべり領域 (すべり量 1.0m~1.7m) の縁辺部にあたり, 震源過程解析の結果と調和的であった. 初期破壊伝播速度 1.2km/s は, 本震の深さ 9km における JMA2001 の S 波速度 3.5km/s の 34% であり, Geller(1976)による浅い地殻内の経験的な破壊伝播速度である S 波速度の 72% の半分以下であった. その原因として, 初期破壊が仮定した直線経路で伝播しなかったか, 破壊伝播速度が一樣ではなかったためと推測される.

3 表面波の伝播

3.1 Lg 波の伝播

規模の大きな地震では, 表面波が震源から遠く離れた地域まで伝播し, 大きな揺れを引き起こす. Fig. 3 に, 本震と余震それぞれの 3 成分合成最大加速度の発現時間と震央距離の関係を示す. 図中の実線は, JMA2001 の P 波と S 波, 石垣・福満 (2002) によって群速度 3.58km/s と推定された Lg 波の走時を表す. ここでは, 波形記録から得た値の他に, 波形が得られていない一部の気象庁と地方公共団体の観測点については, テキスト形式で気象庁に送られてくるデータを使用している. アスペリティから放出された振幅の大きな地震波の相を確認するため, Fig. 3(a) の本震の図には波形記録のある観測点について, アスペリティを震源 (本震の震源の南東 8km, 深さ 5km) とした場合の震央距離 250 km までを拡大した図を示している. これをみると, 3 成分合成最大加速度の発現時間は, 震央距離 150 km 以内では S 波に対応するものがみられるが, それ以遠では Lg 波に対応している. 本震よりも破壊様式が比較的単純と推測される最大余震 (Fig. 3(b)) でも同様である. このような特徴は, 浅い地震による Lg 波が震央距離約 150km から数百 km にわたって加速度記録に明瞭に現れること (古村・他, 2001) と同様の結果で

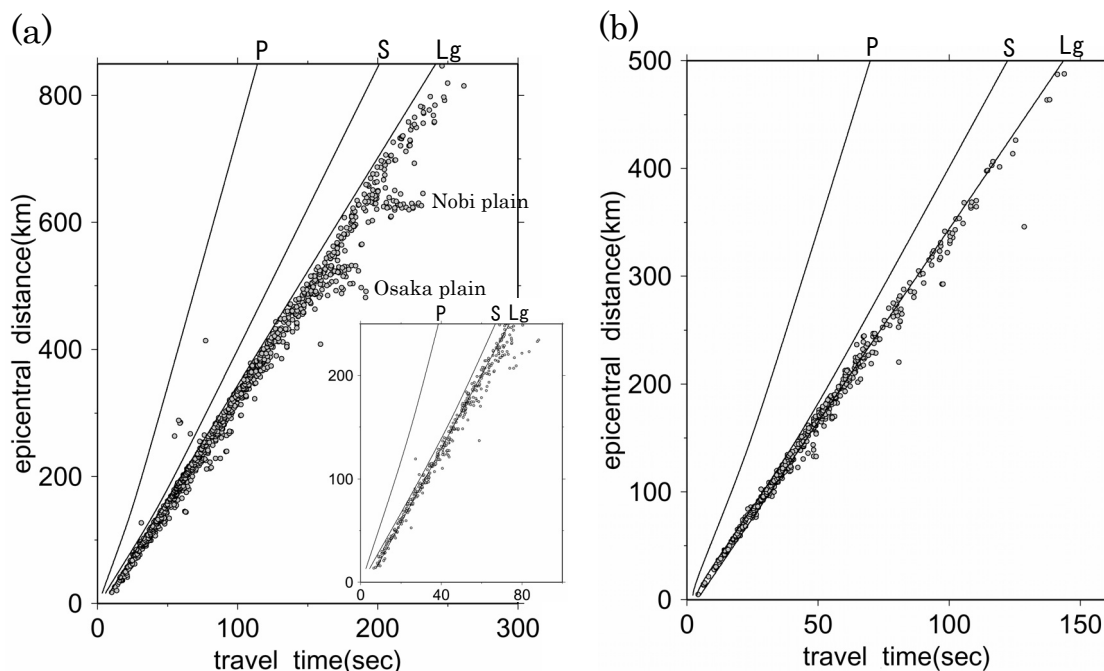


Fig. 3 Travel-time diagram of peak ground acceleration (vector composition of three-component) of the main shock (a) and the largest aftershock (b). Close up in (a) is a diagram for the case when the hypocenter is located in the center of asperity.

あった。大阪平野、濃尾平野で最大加速度発現時刻が遅い傾向がみられる (Fig. 3(a)) のは、平野の堆積層で継続時間の長い地震動が発達したためと推測される。石垣・福満 (2002) によると、3 成分合成最大加速度の発現時間は、経験的に 1 地震による最大震度算出時間帯にあるので、今回の地震で Lg 波が最大振幅となった観測点の震度には Lg 波が大きく寄与したと考えられる。

3.2 表面波の方位特性

表面波の伝播の方位特性を調べるために、Fig. 4 に示す本震の震央から Line1~Line5 の方向に沿った観測点について、加速度の上下成分を Fig. 5 に、変位の Transverse 成分, Radial 成分, 上下成分を Fig. 6 にそれぞれ示した。Fig. 5 と Fig. 6 は、距離減衰の効果をできる限り小さくするため、震央距離と最大振幅の回帰式から求めた距離減衰係数を震央距離に乗じて補正した。また、アスペリティからの地震波の目安として S 波と Lg 波の 3s 後に点線で走時曲線を示している。Lg 波は、震源の深さが 50km より浅い地震では周期 0.3~4Hz の卓越周期を持ち (古村・他, 2001), その周期は Love 波, Rayleigh 波に比べてかなり短いことが知られている。そのため、Lg 波は加速度記録に、Love 波などは変位記録に大きく現

れると考えられる。Fig. 5 の加速度波形を見ると、震源から本州の方向 (Line1, Line2) へは Lg 波が強く励起され、大きな振幅となって現れている。一方、Line3~Line5 の九州南部方向への伝播を見ると、いずれも Lg 波は強く励起されていない。特に、Line3

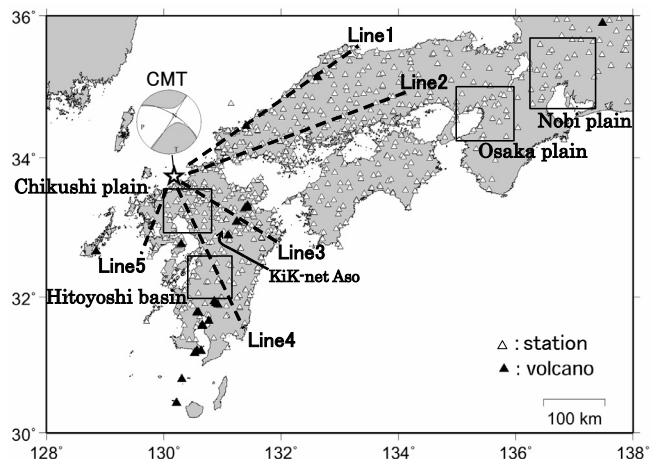


Fig. 4 Locations of the profiles of regional wave propagation from the epicenter of the main shock shown in Fig. 5 and Fig. 6 : (Line 1) to N55E, (Line 2) to N70E, (Line 3) to N122E, (Line 4) to N155E and (Line 5) to N160W. White triangles indicate the location of stations that recorded waveform data. The solid triangles indicate locations of volcanoes, while the star indicates the epicenter of the main shock. Rectangular areas indicate the ranges whose region of plain and basin are shown in Fig. 10. The focal mechanism of the main shock is determined by CMT solution.

と Line4 の方向では震央距離約 150km 以遠のほとんどの観測点で Lg 波が著しく減衰している。これらのことは、Lg 波が西南日本をよく伝播し、九州南部の火山地帯に入ると急激に減衰する(古村・他, 2001) ことと調和的である。Lg 波は地震波が伝わる地殻の構造に強く影響を受けると考えられる。Fig. 7 の震度分布図に示すように、種子島以南の震央距離約 300 km 以遠の離島では震度 1 以上が観測されなかったのは、九州南部で Lg 波が伝播しにくいためと考えられる。

Fig. 6 の変位記録の Transverse 成分を見ると、SH 波が強く放射された発震機構の節面方向である Line1, Line3, Line5 の方向には、Lg 波の後に Lg 波

に比べて周期の長い表面波が強く励起されていることがわかる。この長周期の地震波は、上下成分と Radial 成分に比べて Transverse 成分の振幅が大きいことから Love 波と考えられる。Line3 の方向では、Lg 波は震央距離約 150km から減衰したにもかかわらず、Love 波は減衰せずに豊後水道沿岸まで達していることが特徴的である。周期の短い Lg 波は火山地域の不均質構造により減衰し、周期の長い Love 波は構造の影響をあまり受けなかったためかもしれない。Transverse 成分の振幅が小さい Line2 と Line4 の方向に Love 波があまり励起されていないのは、これらの方向には SH 波の放射が弱かったためである。

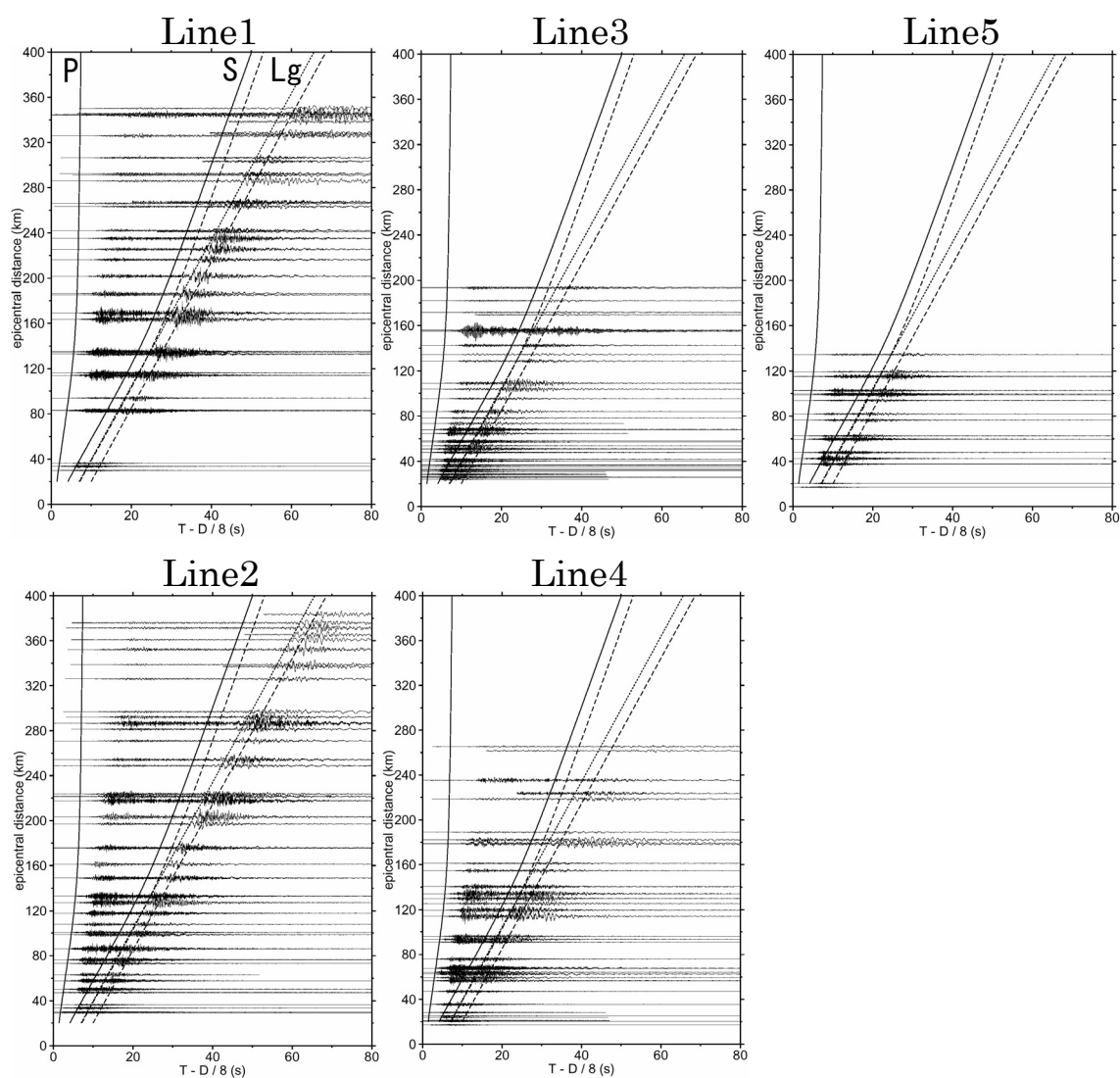


Fig. 5 Record sections of the vertical-component acceleration seismograms of stations along the lines shown in Fig. 4. To increase the visibility of the arrivals, the traces are scaled by epicentral distances. Two dashed lines in each record section are drawn 3.0 sec later than the S-wave and Lg-wave travel-time curves, respectively.

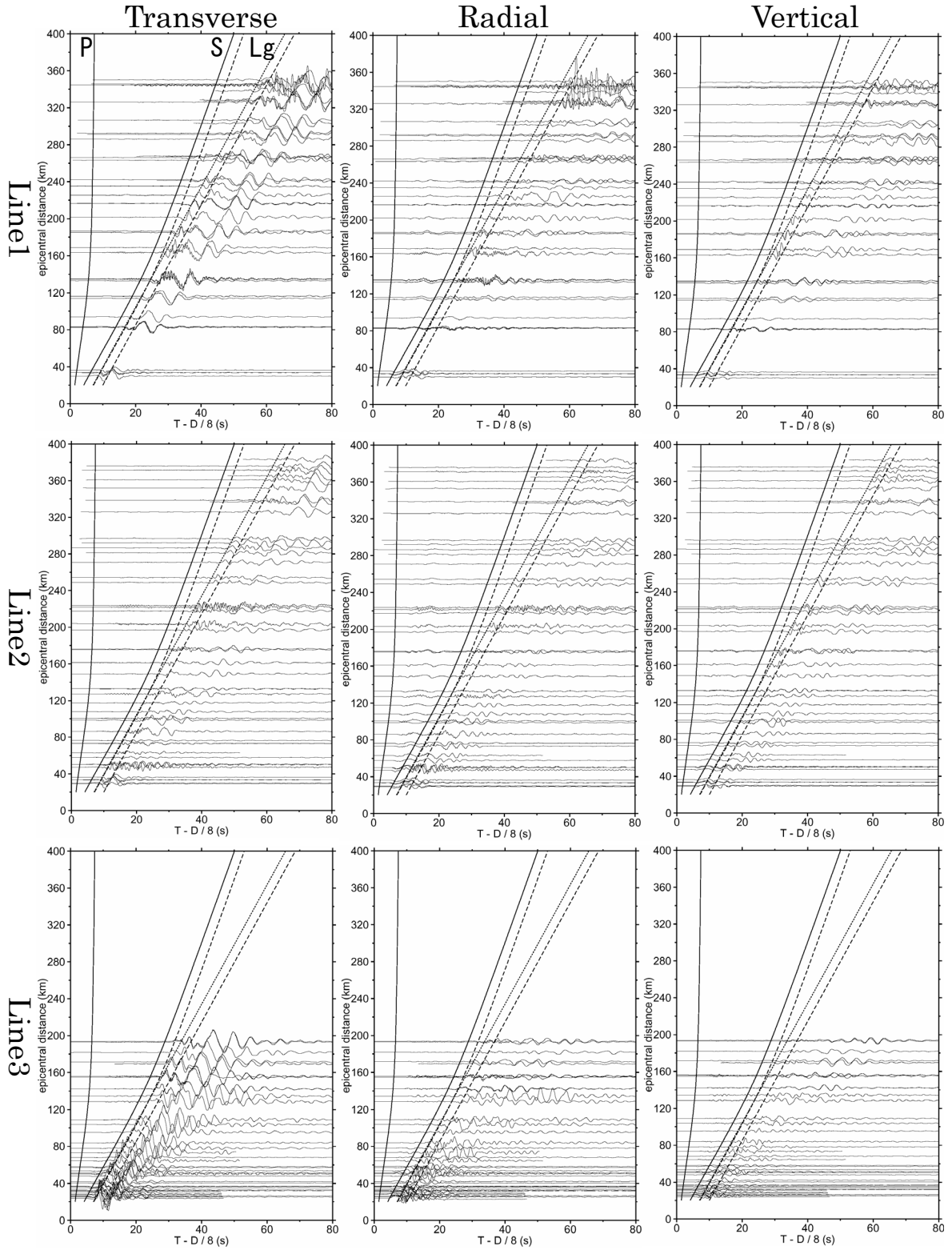


Fig. 6 Record sections of the three-component displacement seismograms of stations along the lines shown in Fig. 4. The horizontal components have been rotated to radial and transverse motions relative to the path to the hypocenter. To increase the visibility of the arrivals, the traces are scaled by epicentral distances. Travel-time curves are the same as those of Fig. 5.

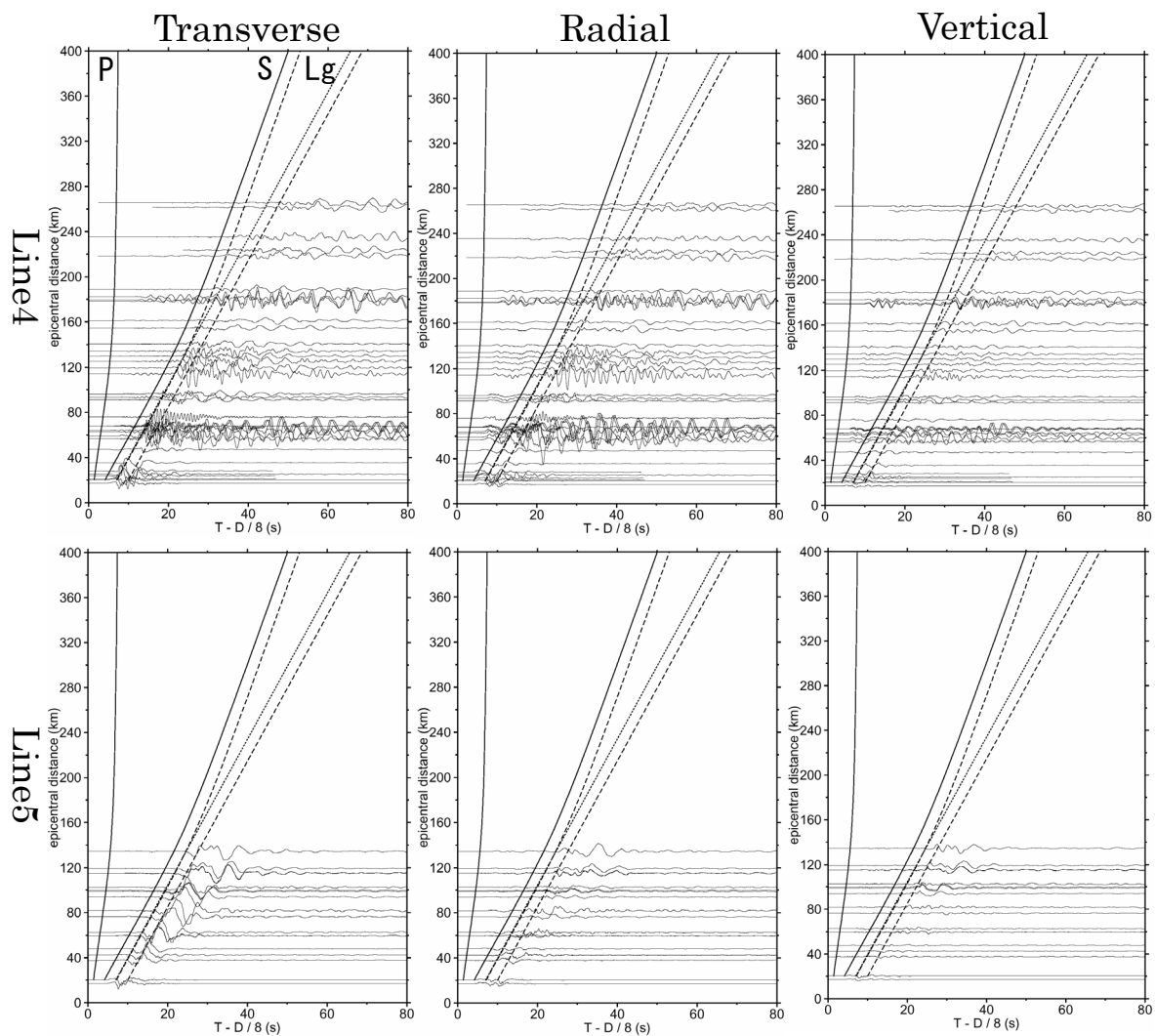


Fig. 6 continued.

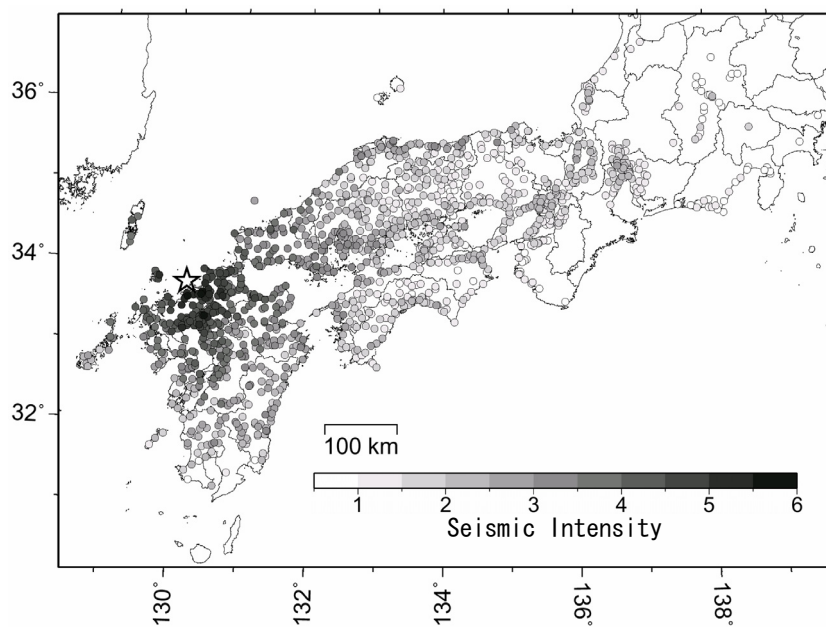


Fig. 7 Seismic intensity distribution of the main shock. Star indicates epicenter of the main shock.

4 最大加速度，最大速度，最大変位の空間分布

加速度，速度，変位それぞれの 3 成分合成最大値の空間分布を Fig. 8 に示す．概観すると，最大加速度は震源近傍の 200cm/s/s の等値線は北東－南西方向に楕円状に分布し，震央距離とともに急に減少していく．最大速度は，20cm/s の等値線が震源に近い福岡市付近，震央距離 60km 付近の筑紫平野の中心部にもみられる．さらに震央距離が大きくなると，局所的に 2cm/s 以上の地域が散在している．最大変位では，局所的に大きい地域は少なくなるが，0.5cm 以上が離れて分布している地域がある．このように，最大加速度，最大速度，最大変位のいずれも大局的には震央距離が大きくなるにつれて減衰しているが，周囲よりも相対的に最大加速度と最大速度は大きく最大変位は小さい地域，または，最大加速度は小さく最大速度と最大変位は大きい地域が局所的に分布している．加速度から速度さらには変位を求めることで，より長周期が強調されるので，相対的に前者は短周期が卓越し，後者は長周期が卓越した地域であることを示唆している．このような地域毎の卓越周期の相違は，震源からの放射特性，地震波の伝播経路の特性，地域毎の地盤特性に由来したものであると考えられる．

震源断層の走向方向にあたる福岡県～大分県南部の方向には最大変位 2cm が分布し，また，これにほぼ直交する山口県から島根県西部の日本海側に沿う方向には最大加速度，最大速度，最大変位ともに周囲よりも大きい値が帯状に分布している．これらの方向は，震源の放射特性により SH 波が強く放出される方向にあり，表面波が大きな振幅に寄与したと考えられる．KiK-net 阿蘇（位置は Fig. 4）の地表記録（標高 475m）の最大速度と最大変位が周囲よりも顕著に大きいのは，地表から地中設置点（標高 347.8m）までの地震波速度の遅い軟弱な地盤による影響が考えられるが，地中記録でも周囲よりも大きくなることを確認しており，地中設置点より深部の構造も影響していると考えられる．

5 速度応答の周期別の空間分布と長周期地震動の特徴

5.1 速度応答の周期別の空間分布

地域毎の地震動の卓越周期をみるため，Fig. 9 に加速度水平成分ベクトル合成値の最大方向成分につ

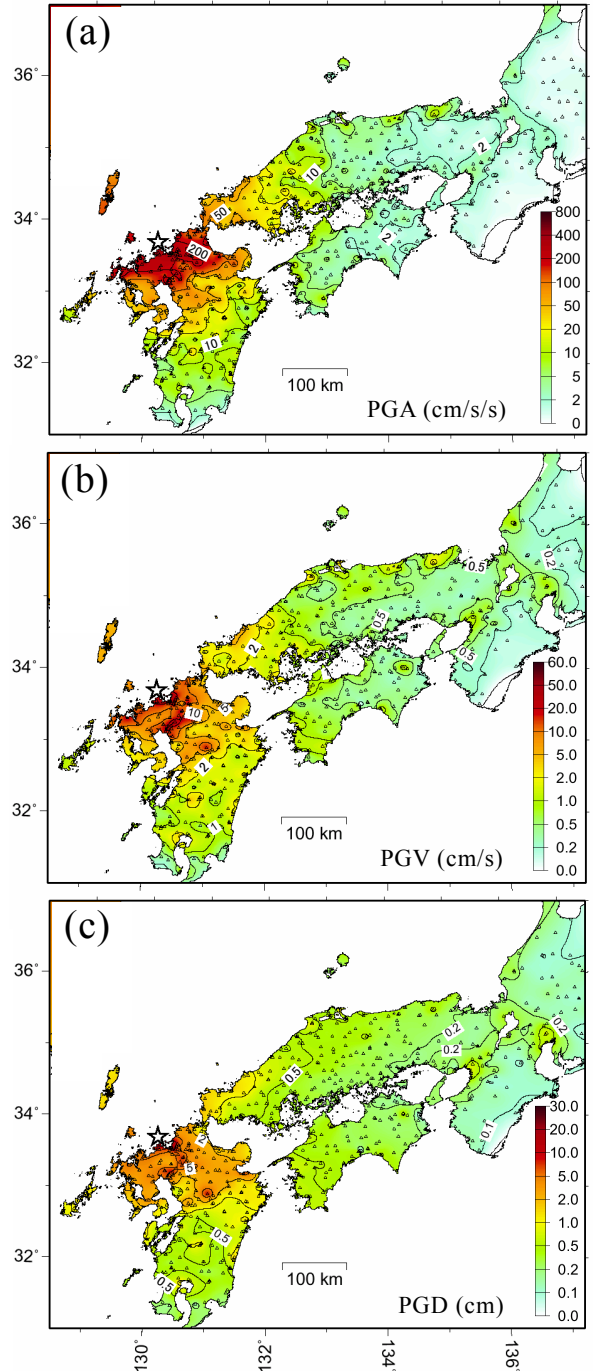


Fig. 8 Distribution of peak ground acceleration (a), peak ground velocity (b) and peak ground displacement (c) of the main shock. Contour interval corresponds to interval in legend. Triangles indicate the locations of stations, while the star indicates the epicenter of the main shock.

いて速度応答スペクトルをとり，0.5s, 3.0s, 6.0s の各周期における速度応答の空間分布を示した．なお，震央距離約 450 km 以上の観測点のほとんどは，S 波付近かそれより後続波からの記録のみである．全ての周期において，震央を中心に九州北部で 5cm/s 以

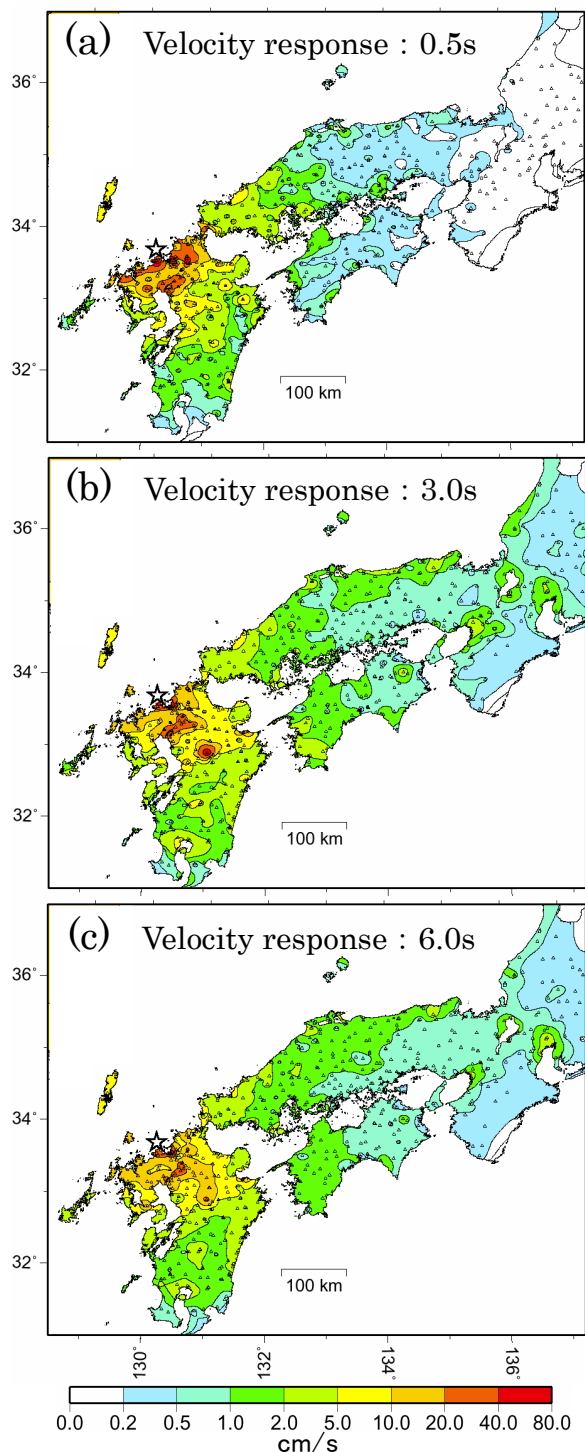


Fig. 9 Distribution of velocity responses (vector composition of horizontal component; $h=5\%$) at each period of the main shock. The periods are 0.5s (a), 3.0s (b) and 6.0s (c), respectively.

上の地域が広がっているが、それ以遠では地域毎の違いはあるものの、5cm/s未達が広く分布している。周期0.5sでは、20cm/s以上は震源近傍の沿岸部に帯状に分布している。周期3.0s, 6.0sでは、20cm/s以

上は主に震源の極近傍と筑紫平野に限られるようになる。また、震央距離約100km以上のほとんどの地域では、周期0.5sの速度応答よりも大きな値が分布している。その原因として、伝播経路の不均質性や地盤特性によって短周期が減衰し、Lg波、表面波の発達によって、長周期が卓越するためと考えられる。Fig. 9をみると、震源近傍を除く地域において、周囲よりも速度応答が大きい分布が、筑紫平野、人吉盆地、大阪平野、濃尾平野、鹿児島湾の北部沿岸、大分市、KiK-net阿蘇、日本海側沿岸の一部にみられる。これらの地域は、加速度、速度、変位の3成分合成最大値の分布 (Fig. 8) および震度分布 (Fig. 7) において、周囲よりも大きい値が分布している地域でもある。これらの地域のS波速度0.7km/sまたは1.4km/s相当層上面の深度 (中央防災会議, 2002) は周囲より大きく、特にS波速度0.7km/s相当層上面深度が大きい地域は例外なく速度応答が大きい。また、内閣府 (2005) による表層地盤の揺れやすさマップで揺れが大きい地域でもあることから、これらの地域は、表層地盤の特性の違いによって地震動が増幅したと考えられる。

5.2 平野、盆地における長周期地震動

局所的に大きな速度応答が分布する平野と盆地を詳しくみるために、筑紫平野、人吉盆地、大阪平野、濃尾平野とその周辺の観測点について、速度応答スペクトルと速度NS成分の波形をFig. 10に示す。筑紫平野 (Fig. 10(a)) 南西部の筑後川下流域に位置するOKAWA (大川市)、FKO015 (K-NET柳川) は、S波の後続波の振幅が大きく継続時間が長い。平野内と周辺の観測点を比べると、平野内の観測点は周期5s付近までの長周期が卓越して振幅が大きく、平野周辺は卓越周期が短くなり振幅が小さいことから、震源から放出された地震波は堆積地盤で増幅され、平野では長周期が卓越して大きな振幅の継続時間が長くなったと考えられる。人吉盆地 (Fig. 10(b)) 内の観測点は、周辺の観測点よりも振幅が2倍から6倍あり、大きな振幅の継続時間が長く、周期1sから3sが卓越する。一方、地震波の到来方向に位置するKMM014 (K-NET五木) とKMMH09 (KiK-net泉) の速度応答は、周期0.5s付近までは盆地内の観測点と似ているが、より長周期側での速度応答は小さい。このことは、人吉盆地が、特定の周期 (ここでは1s

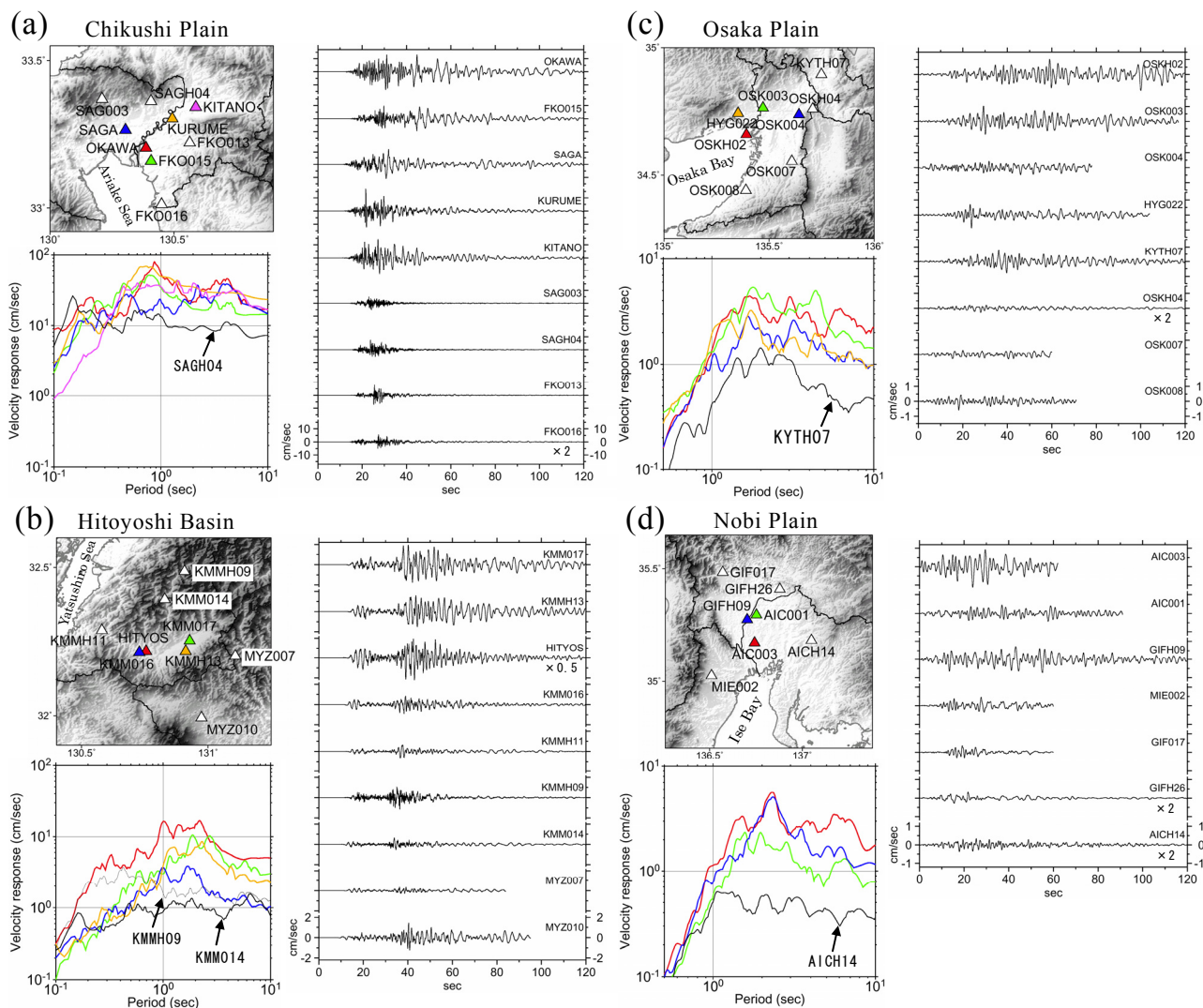


Fig. 10 Velocity response spectra (vector composition of horizontal component; $h=5\%$) and velocity seismograms (NS component) of the main shock in and around the indicated plains and basins. Digital Map 250m Grid (Elevation) by the Geographical Survey Institute is used for the topographic map. Triangles and dashed lines in the upper left figure show the station locations with the station codes and the prefecture boundary, respectively. Line colors in velocity response spectra correspond to symbol colors in the map of station locations.

から 3s) の地震動を増幅させる特性を持っていることを示唆している。

大阪平野 (Fig. 10(c)) 内の OSK003 (K-NET 豊中) および OSKH02 (KiK-net 此花) は、大きな振幅の継続時間が長い。湾岸地域に位置する OSKH02 は、周囲の観測点よりもやや長周期 (周期 6s) が卓越している。これは、大阪平野が周囲を山地で囲まれ、大阪湾を中心に基盤深度が大きく、湾岸地域で堆積層が厚くなっているためと考えられる。京都盆地南部の KYTH07 (KiK-net 久御山) の卓越周期は 1.5 から 3.5s であり、大阪平野内よりもやや短周期であった。濃尾平野 (Fig. 10(d)) 内の AIC003 (K-NET 津島) および GIFH09 (KiK-net 羽島) は、大きな振幅の継

続時間が長い。AIC003 の卓越周期は 2s であるが、より長周期側では周期 6s にピークがみられるのは、濃尾平野が東から西に向かって基盤深度が増加して堆積層が厚くなっており、最深部では 2000m を超える層厚があるため、長周期地震動が発達したと考えられる。以上のような京都盆地と大阪平野の卓越周期の相違、大阪平野と濃尾平野における周期 6s の長周期地震動は、2004 年紀伊半島沖・東海道沖の地震の際にも確認 (岩田・浅野, 2005) されている。

6 警固断層周辺の地震動

今回の地震の被害は、震源に近く大きな被害を生じた玄界島以外の地域では、福岡市および前原市と

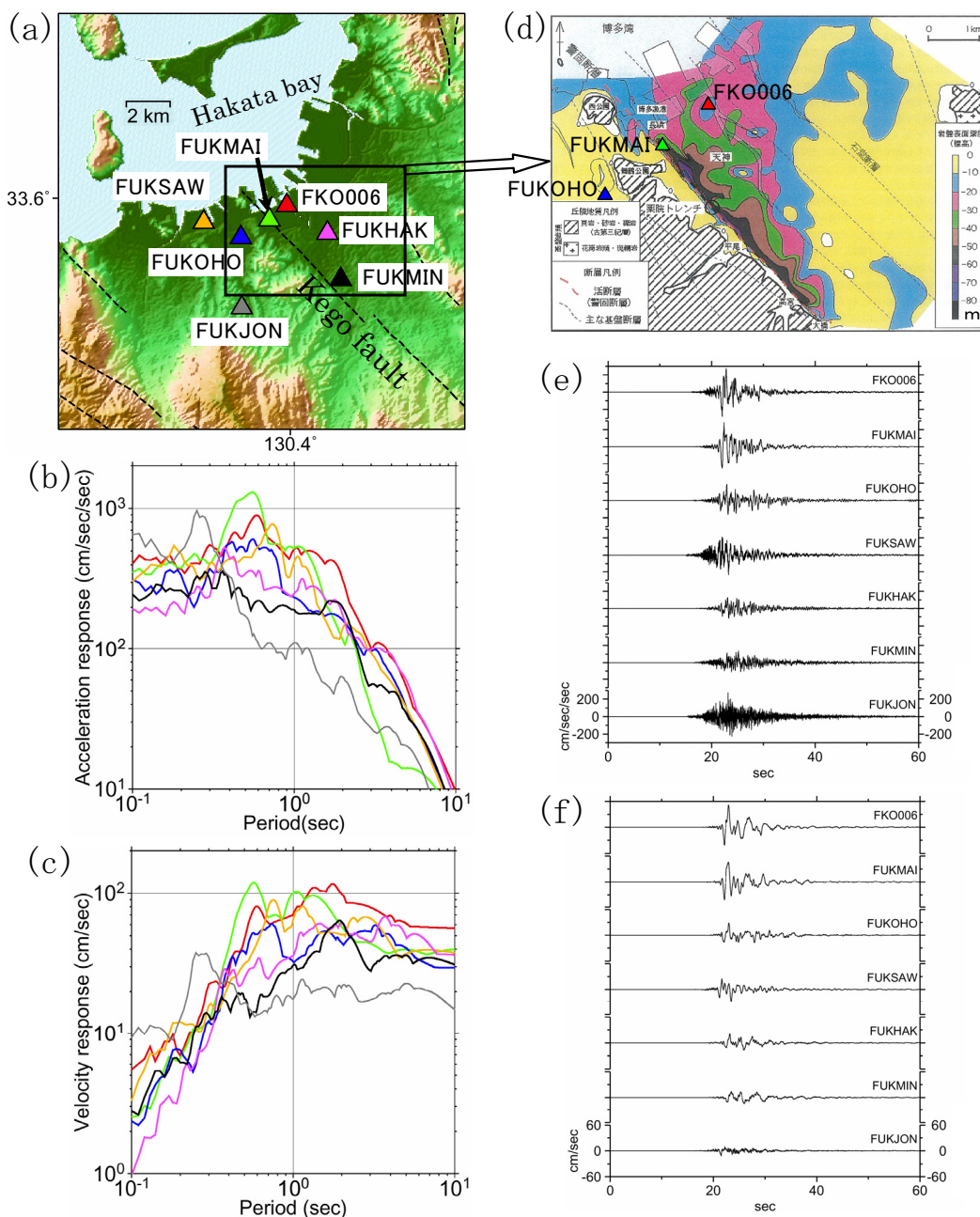


Fig. 11 (a) Map of station locations around Kego fault. Dashed lines indicate active faults. Digital Map 50m Grid (Elevation) by the Geographical Survey Institute is used for the topographic map. Response spectra (vector composition of horizontal component; $h=5\%$) for acceleration (b) and velocity (c). Line color corresponds to symbol color in (a). (d) Depth distribution of basement rocks around Kego fault [Shimoyama et al. (2005)]. Seismograms of acceleration (e) and velocity (f).

その周辺に建物被害が集中した（福岡県，2005）．その中でも福岡市街地では，警固断層沿いの北東側に集中して建物被害を生じている（土木学会被害調査団，2005）．Fig. 11 に，警固断層周辺の観測点の加速度と速度それぞれの波形（NS 成分）と応答スペクトル，警固断層周辺の基盤岩上面の深度分布（下山・他，2005）を示す．Fig. 11(d)によると，警固断

層の南西側では基盤上面深度 10m 以浅が広がっているが，北東側では急に深くなり深さ 60m 程度の堆積層の厚い凹地になっていて，断層から北東に離れるに従い浅くなっている．山中・他（2005）は余震観測から，断層北東側約 200m 以内の地域では，速度振幅が断層南西側の 3 から 4 倍，さらに北東側に離れると約 2 倍となり，断層北東側に分布する周囲

よりも厚い堆積層の影響によって局所的に地震波が増幅したことを確認している。本震においても、Fig. 11 に示すように断層北東側の FKO006(K-NET 福岡) と FUKMAI (福岡市中央区舞鶴) は、堆積層の厚さが 10m 未満と薄い断層南西側の FUKOHO (福岡管区気象台) と比べると、震央距離および震源からの方位角がほぼ同じにもかかわらず、速度振幅が約 2 倍あり、加速度、速度の応答は大きい値となっている。

Fig.11 の FKO006 と FUKMAI の応答スペクトルの違いを見ると、加速度、速度ともに周期 1s より長い帯域で FKO006 の応答が大きいが、周期 1s より短い帯域で FUKMAI の応答が大きくなり、特に周期 0.5s 付近に大きなピークがある。FUKMAI は、堆積層が厚く、数階から 10 数階建鉄筋コンクリートビルの壁にせん断亀裂等の被害が生じている断層北東側の地域 (土木学会被害調査団, 2005) の北西端に位置する。FUKMAI の卓越周期 0.5s は、一般に 10 階建程度の鉄筋コンクリートビルの固有周期であり、今回被害を受けた建物の固有周期に近かったと考えられる。一方、FKO006 は断層から北東に約 1.3km 離れており、断層近傍に比べて、堆積層が薄く建物被害は数分の 1 の地域 (土木学会被害調査団, 2005) に位置する。FKO006 では、その周辺の建物の固有周期に対応した地震動が小さかったために、建物被害が少なかったと推測される。断層北東側に位置するものの FUKMIN (福岡市南区塩原) と FUKHAK (福岡市博多区博多駅前) の加速度と速度の振幅と応答値が小さいのは、堆積層の厚さが 10m から 20m 程度と断層近傍に比べて薄いために、堆積層による増幅が小さかったためと推測される。臨海部の埋立地に位置する FUKSAW (福岡市早良区百道浜) は卓越周期が 0.8s であり、付近では液状化による噴砂現象がみられた。堆積層の薄い地盤に位置する FUKJON (福岡市城南区神松寺) は、周囲の観測点よりも短周期 (0.2s から 0.3s) の応答が大きかった。

Fig. 12 に、内陸の浅い場所で発生した過去の被害地震の主な観測点と、今回の地震の震央距離 30km 以内の観測点の速度応答スペクトルを比較して示す。地震によって震源域と人口集中域との位置関係、地震の規模、地震波伝播経路の不均質性、観測点の地盤特性が異なるため単純には比較できないが、今回の地震の速度応答は、過去の被害地震よりも小さか

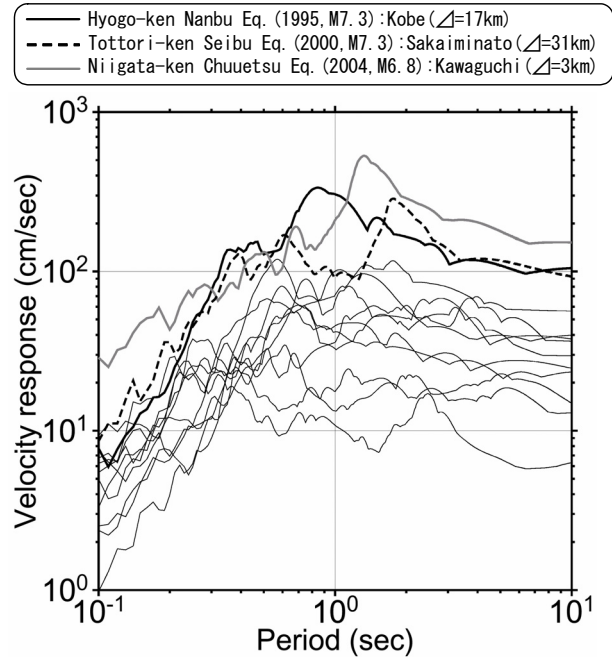


Fig. 12 A comparison of velocity response spectra (vector composition of horizontal component; $h=5\%$) of the earthquake in this study (thin lines) and other destructive earthquakes. The thin lines indicate stations within 30 km of the main shock.

った。これは、今回の地震の建物被害は兵庫県南部地震および新潟県中越地震に比べて全半壊数が少なく、一部損壊の割合が大きかった (福岡県, 2005) ことに対応している。産業技術総合研究所 (2005) は今回の地震が規模のわりに被害が小さかった一因として、震源からの距離が遠いことに加え、福岡市を含む九州地方北部の第四紀層が日本の平野の多くの場合と異なり、厚さが平均 20m 程度と薄く、揺れの増幅が小さかったこと指摘している。今回の地震で最大応答値を観測した FUKMAI の速度応答は他の被害地震よりも小さかった。このことは、FUKMAI は震度 6 弱を観測したものの、周辺で構造物の倒壊・大破などの大きな被害はあまりみられなかったことに対応する。

Fig. 12 に示すとおり、建物被害が生じた震央距離 30 km 以内の多くの観測点では、卓越周期が 0.4s から 2s 付近で速度応答が比較的フラットな形状を示している。全壊家屋の約 8 割が集中した玄界島は、本震時に強震計が無かったため詳細は不明だが、大きな被害は古い木造住宅がほとんどであり、一般的な木造住宅の固有周期 0.5s 以下の地震動も大きかったと予想される。三宅・他 (2005) は、余震記録を用

いて本震時の強震動シミュレーションを実施し、玄界島は計測震度 6.5 に達した可能性を示している。

7 まとめ

高密度な観測網によって得られた 2005 年福岡県西方沖の地震 (M7.0) の強震記録を用い、地震動の特徴を調べた。その結果、以下のことが明らかになった。

1) 本震の初期破壊に対応した小振幅の P 波走時の数秒後に、アスペリティに対応した相がみられた。主破壊開始点は、初期破壊開始点と同じ深さと仮定すると初期破壊開始点から 4.5km 南東に位置しており、震源過程解析の結果と調和的であった。初期破壊伝播速度は、S 波速度の 34% と経験則の半分以下であった。

2) アスペリティからの Lg 波が、震央距離 150km 以遠の加速度記録に最大振幅として現れ、本州方向にはよく伝播するが九州南部では伝播しにくい。SH 波の強く放射された方向の変位記録には、振幅の大きな Love 波が確認された。

3) 震源近傍を除く地域において、速度と変位の最大値および速度応答が周囲よりも局所的に大きな地域は、主に表層地盤の特性により、振幅が大きく継続時間の長い地震動となった。

4) 平野・盆地では長周期地震動が励起され、長周期側の速度応答スペクトルはそれぞれ、筑紫平野は約 5s、人吉盆地は約 3s、大阪平野は約 6s、濃尾平野は約 6s が卓越した。また、堆積層が厚い場所ほど速度応答が大きく長周期が卓越した。

5) 警固断層沿いの北東側に建物被害が集中したのは、その地域の周囲よりも深い基盤構造によって地震波が増幅されたことによるものと考えられる。震度 6 弱を観測した福岡市街地で建物被害が顕著でなかったのは、建物被害が生じやすい周期帯の速度応答が、過去の被害地震に比べて小さかったことに対応している。

謝辞

本研究では、防災科学技術研究所の強震観測網・基盤強震観測網、気象庁、福岡県、大分県、新潟県の強震観測データを使用させて頂きました。本稿をまとめるにあたり、福岡管区気象台竹内新氏をはじめ、同地震火山課の皆様には、多大なご協力を頂きました。

また、気象庁地震予知情報課の干場充之氏および気象研究所の吉田康宏氏には丁寧に原稿を読んで頂き、本稿の改善に大変有益なご助言を頂きました。作図には、Generic Mapping Tools (Wessel and Smith, 1995) を使用しました。記して深く感謝いたします。

文献

- 石垣祐三・福満修一郎 (2002) : 最大加速度発現時刻を利用した計測震度データの特性調査について、*験震時報*, **65**, 45-65.
- 岩田知孝・浅野公之 (2005) : 2004 年 9 月 5 日紀伊半島沖・東海道沖の地震による地震動, *地震*, **2**, **58**, 273-279.
- 上野寛・畠山信一・明田川保・舟崎淳・浜田信生 (2002) : 気象庁の震源決定の改善—浅部速度構造と重み関数の改良—, *験震時報*, **52**, 11-19.
- 気象研究所 (2005) : 2005 年 3 月 20 日福岡県西方沖の地震のすべり量分布, *地震予知連絡会会報*, **74**, 474-476.
- 産業技術総合研究所 (2005) : 地下構造と地震の揺れの関係—福岡県西方沖の地震波の伝わり方と地質情報, *産総研 TODAY2005-05*, 16-17.
- 下山正一・松田時彦・磯望・市原季彦・千田昇・岡村眞・茂木透・鈴木貞臣・落合英俊・長沢新一・今西肇・川畑史子・矢ヶ部秀美・樗木政昭・松浦一樹 (2005) : 福岡市街地の警固断層について, *西部地区自然災害資料センターニュース震災フォーラム in 九大特集号*, **33**, 7-12.
- 総務省消防庁 (2005) : 福岡県西方沖を震源とする地震 (第 34 報)
- 中央防災会議 (2002) : 「東南海, 南海地震等に関する専門調査会」(第 5 回) 図表集, 資料 1-2 :
- 土木学会被害調査団 (2005) : 福岡県西方沖地震・土木学会被害調査団速報第 2 報 (2005 年 4 月 19 日)
- 内閣府 (2005) : 「表層地盤のゆれやすさ全国マップ」について, 内閣府公表資料.
- 畑山健・座間信作・西晴樹・山田實・廣川幹浩・井上涼介 (2004) : 2003 年十勝沖地震による周期数秒から十数秒の長周期地震動と石油タンクの被害, *地震*, **2**, **57**, 83-103.
- 福岡県 (2005) : 福岡県西方沖地震震災対応調査点検委員会報告書, 64pp.

- 古村孝志・ブライアンケネット・瀨瀬一起 (2001) : 西
南日本における Lg 波と表面波 (Rg, Love 波) の伝
播特性, 地球惑星科学関連学会 2001 年合同大会予稿
集, Sp-008.
- 三宅弘恵・田中康久・坂上実・瀨瀬一起・石垣祐三
(2005) : 2005 年福岡県西方沖地震による玄界島の強
震動再現: 経験的グリーン関数法による広帯域強震動
シミュレーション, 日本地震学会 2005 年度秋季大会
講演予稿集, B092.
- 山中浩明・元木健太郎・瀨尾和大・川瀬博 (2005) : 福
岡市天神地区における 2005 年福岡県西方沖地震の余
震観測, 日本地震学会 2005 年度秋季大会講演予稿集,
B075.
- Furumura, T. and B. L. N. Kennett and K. Koketsu (2003) :
Visualization of 3D Wave Propagation from the 2000
Tottori-ken Seibu, Japan, Earthquake: Observation and
Numerical Simulation, Bull. Seism. Soc. Am., **93**, 870–
881.
- Geller, R. J. (1976) : Scaling relations for earthquake source
parameters and magnitudes, Bull. Seism. Soc. Am., **66**,
1501–1523.
- Wessel, P. and W. H. F. Smith (1995) : New version of the
Generic Mapping Tools released, EOS Trans. Am.
Geophys. Union, **76**, 329.