

## 中国・四国・九州地方における地震動の距離減衰特性

## Attenuation Characteristics of Strong Ground Motions in the Chugoku, Shikoku, and Kyushu Regions

池 浦 友 則

## 要 約

西南日本における K-NET と KiK-net のデータを用い、この領域における強震動の距離減衰特性を調べた。はじめに、隣接観測点ネットワークの手法[池浦・加藤,2011]を用いてこの領域における K-NET 及び KiK-net 655 地点の相対サイト特性を評価した。次に、大地震時にこれらの地点で観測されたスペクトルを、上記の相対サイト特性を用いて地盤増幅効果をキャンセルすることにより基盤地震動のスペクトルに換算した。換算された 2000 年鳥取県西部地震(M7.3)の高周波振幅は 10km~500km の距離範囲において線状の距離減衰曲線を明瞭に示した。フィリピン海プレート内の深さ 46km で発生した 2001 年芸予地震(M6.7)の換算振幅も距離 50~400km で細い曲線状の分布を示した。これらの地震とは対照的にフィリピン海プレート内の深さ 78km で発生した 2014 年伊予灘の地震(M6.2)の換算振幅はこの領域下の構造的な条件による複雑な距離減衰特性を示唆して広範囲に広がる分布を示した。この広い分布の下限は九州地方の火山フロントよりも西側のサイトで特徴づけられ、一方、上限は中国・四国地方の前弧側のサイトで特徴づけられている。

## 目 次

- I. はじめに
- II. 西南日本地域の K-NET, KiK-net 地点の相対サイト特性
- III. 地震動距離減衰特性の検討法
- IV. 西南日本における地震動の距離減衰特性
- V. おわりに

## I. はじめに

一般に強震動特性は震源特性、伝播経路特性、サイト特性の3つの要素で決まる。このうち、震源特性は、震源断層の形状や破壊開始位置および地震動の励起特性の強さ等の予測が困難であり、実際に発生してみないと分からない特徴を持っている。これらに対して、伝播経路特性とサイト特性は、過去の地震の観測結果があれば、それらを分析することにより震源特性に比べて格段に精度の高い予測が可能である。したがって、より精度に優れた強震動予測を実現するには、その地域における地震動の距離減衰特性やサイト特性がどのようなになっているかを予め把握しておくことが重要である。

そこで、本研究では、地域毎に K-NET, KiK-net 地点<sup>1)</sup>で過去に観測された地震動記録をもとに各地点の相対サイト特性を推定し、その結果を用いてその地域で発生した主要な地震による地震動の距離減衰特性を調べてきた<sup>2~4)</sup>。今回は、同様の検討を、西南日本の中国・四国・九州地方で実施した結果を報告する。

## II. 西南日本地域の K-NET, KiK-net 地点の相対サイト特性

## 1. 相対サイト特性の評価法

相対サイト特性は、隣接観測点ネットワークを用いた手法<sup>2~4)</sup>により評価する。この手法では、初めに、(step1)検討領域において隣接する2観測点ペアでネットワークを構築し、その中から1地点を参照観測点として選択する。次に、(step2)すべての隣接観測点ペアについて、それぞれ2地点での同時観測地震動記録をもとに2地点間の平均スペクトル比を評価する。最後に、(step3)ネットワーク内のすべての隣接観測点ペアの平均スペクトル比を同時に満足するように最小二乗法を用いた回帰分析を行い、参照観測点に対する各地点の相対サイト係数を評価する。

なお、この評価にあたっては、原則として、隣接観測点の条件は地点間距離が 25km 以内であること、同時観測記録の条件は震源から隣接2地点へのベクトルが作る角が 5 度以内であること、2地点での地表観測最大加速度振幅が 100Gal 未満であること、2地点への震源距離が概ね 300km 以内であること、等の条件を課している。

また、(step2)の結果、同時観測地震数が少なく安定した平均スペクトル比が得られなかった隣接地点ペアは(step3)の回帰分析では排除した。

## 2. 相対サイトファクターの評価結果

今回の検討地域で構築した K-NET, KiK-net<sup>5)</sup>の隣接地点ネットワークを Fig.1 に示す。隣接観測点ペアの数は 2256、地点の数は 655 である。ただし、KiK-net では地表観測点と地中観測点を区別して数えている。

このネットワークにおいて隣接地点間の最短距離は 0.1km であ

キーワード：地震、地震動、距離減衰特性、西南日本、K-NET, KiK-net

Keywords: earthquake, ground motion, attenuation characteristics, southwest Japan, K-NET, KiK-net

った。2 地点間のスペクトル比の評価に際して用いた同時観測地震の数は延べ数で 35531 である。ただし、地点ペア毎には、大きな違いがあり、同時観測地震が最も少ないペアで 4 地震、最も多いペアで 108 地震であった。同図中には隣接地点間の平均スペクトル比の評価に用いられた地震の震央分布と観測点へのパス(波動伝播経路)の分布もグレーで示している。これらのパスは概ね中国・四国・九州地方をカバーしているが、四国地方の太平洋側、九州地方の北西部では地震が少ない傾向が見られる。特に、九州北西部の佐賀県・長崎県では隣接観測地点ペアで同時観測地震が十分に確保できず、安定した平均スペクトル比が得られなかったケースが多い。

なお、参照観測点としては KiK-net の YMGH12 美東(図中の●)の地中観測点(GL-102m)を採用した。この観測点は、地盤柱状図によると白亜紀の凝灰岩内に位置しており、 $V_p=6\text{km/s}$ 、 $V_s=3.25\text{km/s}$ であることから概ね地震基盤内の観測点とみなしてよい。

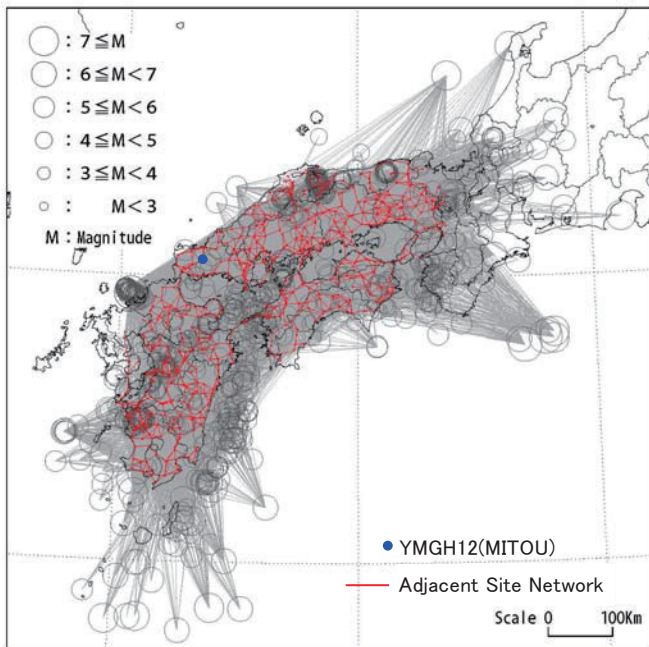


Fig.1 隣接地点ネットワークと震央分布  
(Adjacent Site Network and Distribution of Events)

これらのデータから評価された相対サイト特性の例として、水平動に関する地表観測点のサイト特性について、周波数帯域毎の空間分布を Fig. 2 に示す。図では基準観測点 YMGH12 地中の揺れやすさを 1 としたときの揺れ易さを倍率で示しており、暖色系の色が揺れ易く、寒色系の色が揺れ難いことを表す。なお、本検討では周波数 0.3~30Hz の範囲を対数軸上で等間隔に 8 つの区間に分割し、各区間の中心振動数により帯域を代表して呼称する。

Fig. 2 の低周波数側の結果によれば、Fig. 2(1) 0.4Hz では中国地方で揺れ難く、九州地方で揺れ易い。中国地方の内陸部では花崗岩が広く分布し堆積層が薄い<sup>5)</sup>。一方、九州地方の内陸部は比較的揺れやすい火山堆積物が厚く分布している<sup>5)</sup>。そのためこのような違いになったものと考えられる。また、Fig. 2(2) 0.7Hz では内陸部よりも海岸沿いで暖色が目立つが、これは海成堆積層の発達によるものであろう。

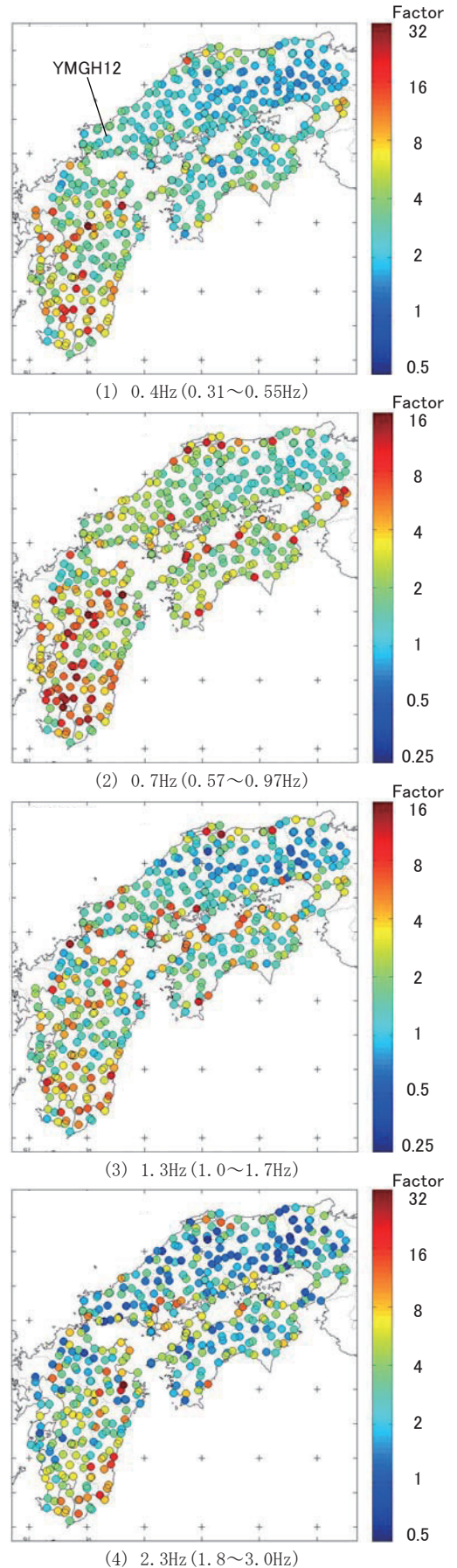


Fig. 2 地表における水平動の相対サイト特性  
(Relative Site Factors of Horizontal Motions at GL)

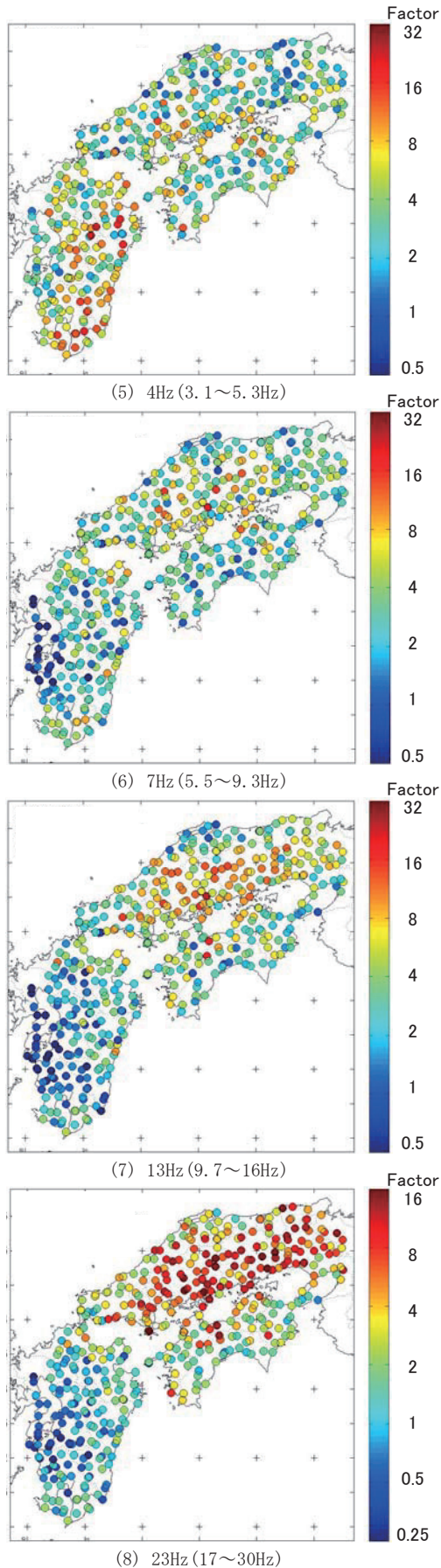


Fig. 2 地表における水平動の相対サイト特性 (続き)  
(Continued)

これに対して、高周波数側の結果では特に Fig. 2(7) 13Hz および Fig. 2(8) 23Hz において、中国地方の内陸部で揺れ易く、九州地方で揺れ難い結果となっており、Fig. 2(1),(2)とはちょうど正反対の特徴が表れている。地震基盤が浅い地点では、非常に硬い地盤の上に柔らかい表土が直接載っている場合が多く、最表層部分に震動エネルギーがトラップされることによって高周波数領域で顕著な共振現象が生じ易い。中国地方の内陸部が揺れ易い背景にはそのような原因があるものと考えられる。一方、九州地方で揺れ難い原因としてはこの地方に厚く堆積する火山性堆積物の減衰効果が効いているものと解釈される。

### III. 地震動距離減衰特性の検討法

#### 1. 基盤地震動の換算振幅

地震動特性は震源特性、伝播経路特性、サイト特性の3つの要因で決まり、 $i$ 地震、 $j$ 地点の地震動振幅  $A_{ij}(f)$  は次のように表される。

$$A_{ij}(f) = S_i(f) P_{ij}(f) G_j(f) \quad (1)$$

ただし、 $S_i(f)$  は  $i$  地震の震源特性、 $P_{ij}(f)$  は  $i$  地震から  $j$  地点への伝播経路特性、 $G_j(f)$  は  $j$  地点のサイト特性である。

ここで、基準観測点のサイト特性を  $G_{ref}(f)$  とすると、前節で評価した相対サイト特性  $RSF_j(f)$  は次式で表される。

$$RSF_j(f) = G_j(f) / G_{ref}(f) \quad (2)$$

この結果、(1)式と(2)式により次式が得られる。

$$A_{ij}(f) / RSF_j(f) = S_i(f) P_{ij}(f) G_{ref}(f) \quad (3)$$

(3)式は、 $i$  地震による  $j$  地点の地震動  $A_{ij}(f)$  を  $j$  地点の相対サイト特性  $RSF_j(f)$  で割り算することにより、サイト特性を基準観測点のそれに置き換えた場合の振幅が得られることを示している。我々は基準観測点として地震基盤相当の観測点 YMGH12(GL-102m)を選んでいる。したがって、(3)式の  $A_{ij}(f) / RSF_j(f)$  は基盤換算地震動振幅といえることができ、これを用いることにより、基盤地震動の距離減衰特性を検討することができるようになる。

#### 2. 検討地震

検討地震としては、当該地域に発生したマグニチュード M6.0 程度以上の比較的規模が大きな地震の中から、内陸地殻内地震(IL) 3地震、プレート境界地震(PB) 2地震、スラブ内地震(SL) 2地震を取り上げた。それらを Table 1 に示す。また、その震央位置を Fig. 3 に★で示した。図では、参考のために、検討に用いた観測地点(○)の分布、周辺の主な火山(九重, 阿蘇, 雲仙, 霧島, 桜島)の位置(▲), 火山フロントの位置(...), およびフィリピン海プレート上面の深度分布<sup>6)</sup>も示している。九州地方の地下構造はフィリピン海プレートの沈み込みとそれに伴って形成される火山のため非常に複雑である。

### IV. 西南日本における地震動の距離減衰特性

#### 1. 内陸地殻内地震

周波数 3Hz 程度以下の領域では、Radiation Pattern の影響で震源から放射される地震波の振幅が方位によって系統的に異なる場合がある。そこで以降では中心周波数で 4Hz の帯域を取り上げて各地震の距離減衰特性を検討する。

Table 1 検討地震  
(Events Investigated in This Study)

(IL1)	2000/10/06 13:30	Western Tottori Pref.	H9km	M7.3
(IL2)	2005/03/20 10:53	NW off Kyushu	H9km	M7.0
(IL3)	2016/04/16 01:25	NW Kumamoto Pref.	H12km	M7.3
(PB1)	2002/11/04 13:36	Hyuganada	H35km	M5.9
(PB2)	2014/08/29 04:14	Hyuganada	H18km	M6.0
(SL1)	2001/03/24 15:27	Geiyo	H47km	M6.7
(SL2)	2014/03/14 02:06	Iyonada	H78km	M6.2

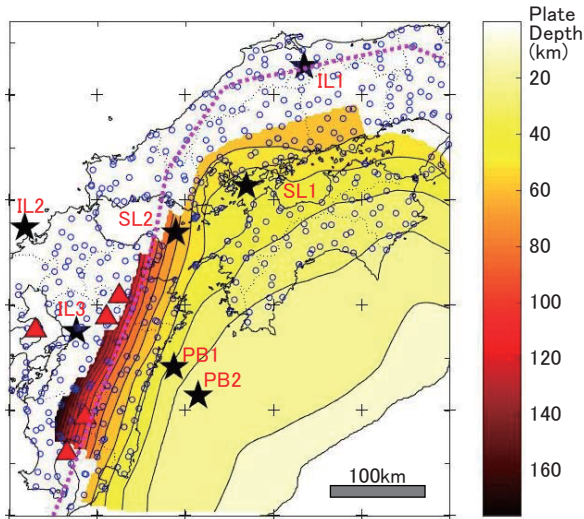


Fig. 3 検討地震の震央と火山およびフィリピン海プレート深度<sup>6)</sup>  
(Events and Volcanos and Philippin Sea Plate Depth)

まず, Fig. 4 は(IL1) 2000年鳥取県西部地震(M7.3)による K-NET, KiK-net 地点の(a)観測水平地震動振幅の距離減衰分布と(b)基盤換算水平地震動振幅の距離減衰分布である。Fig. 4(a)では地表(GL)と地中(DH)をそれぞれ□と○で区別している。各記号の中の縦線は帯域平均振幅を評価した際の土標準偏差の範囲である。一方, Fig. 4(b)は(3)式によって得られた基盤換算地震動振幅の分布である。この図では観測条件が地表か地中かに関わらずサイト特性が基準観測点のそれに統一されている。ただし, 地表で 100Gal を超える観測記録からの換算結果は地盤の非線形化の影響で歪んでいる可能性も考えられるため, △で区別して示した。

Fig. 4(a)と Fig. 4(b)で震源距離 100km 付近の分布に注目すると, 観測記録の振幅分布をそのまま表した Fig. 4(a)では同一震源距離における振幅の分布幅が広いが, 基盤地震動に換算した Fig. 4(b)では同一震源距離における分布幅が狭くなっており, 地点毎の揺れ易さの違いを排除することによって明瞭な距離減衰特性が観察できるようになることがわかる。

Fig. 5 は Fig. 4 のうち地表観測地震動についての(a)観測振幅の空間分布と(b)基盤換算振幅の空間分布であり, それぞれ振幅の大～小を暖色～寒色で表している。隣接する観測点どうしても揺れ易さが大きく異なる場合があるため, (a)観測振幅の分布は空間的な変動が大きくやや複雑な分布性状となるが, (b)基盤換算振幅の場合は震源からどの方向でも遠ざかるにつれて徐々に低下してゆく単純な分布性状であり, 波動伝播特性が把握し易くなっている。

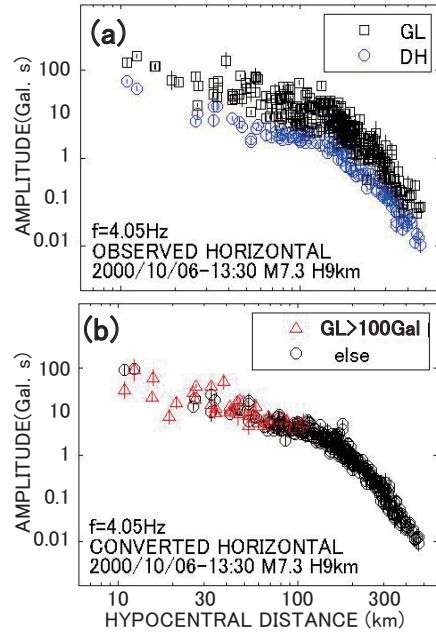


Fig. 4 IL1 地震による 4Hz 付近の地震動振幅の距離減衰分布  
(Attenuation of Amplitudes at 4 Hz due to IL1 Event)

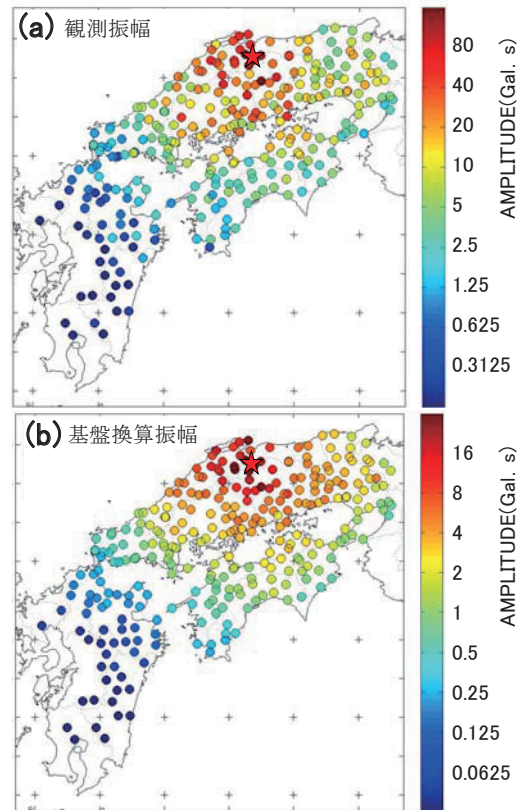


Fig. 5 IL1 地震による 4Hz 付近の地震動振幅の距離減衰分布  
(Distribution of Amplitudes at 4 Hz due to IL1 Event)

引き続き, ほかの内陸地殻内地震でも基盤換算振幅の距離減衰分布を検討しよう。Fig.6 と Fig.7 はそれぞれ(IL2) 2005年福岡県西方沖地震(M7.0)と(IL3) 2016年4月16日熊本地震(M7.3)における周波数 4Hz 付近の基盤換算振幅の距離減衰分布である。これらの距離減衰分布でも観測地震動が 100Gal を超えた地表記録の場合は最表層地盤の非線形化の影響で基盤換算振幅の値が歪んでいる可能性

が懸念されるため△で区別して示している。

さて、これらの距離減衰分布は同じ4Hz付近の基盤地震動ではあるが Fig.4(b)ほどは単純ではない。例えば、Fig.6 では震源距離150km 付近から300km 付近にかけてやや振幅が小さいデータが認められ、同一距離における振幅のばらつきを大きくする要因となっている。また、Fig.7においても、震源距離150~200km 付近で顕著に振幅が低下しているデータがあることがわかる。

IL2 地震の場合、Fig.3 に示されているように、震源距離150~200km 付近に九重、阿蘇、雲仙といった火山が位置し、300km 付近には霧島、桜島といった火山が位置する。また、IL3 地震でも震源距離150km 付近にかけて霧島、桜島が位置している。火山周辺では高減衰領域の存在が指摘されており(例えば7)、それらの影響で局所的に振幅が低下する現象が現れたものと考えられる。

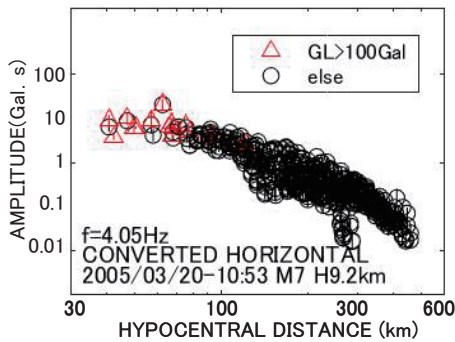


Fig.6 IL2 地震による4Hz 付近の基盤換算振幅の距離減衰分布  
(Distribution of Amplitudes at 4 Hz due to IL2 Event)

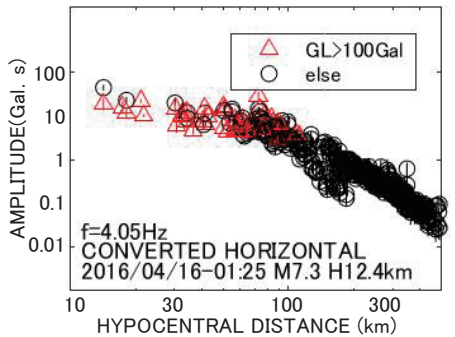


Fig.7 IL3 地震による4Hz 付近の基盤換算振幅の距離減衰分布  
(Distribution of Amplitudes at 4 Hz due to IL3 Event)

## 2. プレート境界地震

プレート境界地震としては日向灘で発生した比較的深い地震(PB1)と比較的浅い地震(PB2)の2つを取り上げた。PB1, PB2 地震の4Hz 付近の基盤換算振幅の距離減衰分布を Fig.8 と Fig.9 に示す。

先に見てきた内陸地殻内地震による基盤換算振幅の距離減衰分布はいずれも遠方になるにつれて急角度で減衰してゆく特徴があったが、PB1, PB2 地震のそれはほぼ直線状の分布である。また、PB1 と PB2 のいずれも震源距離300km 程度までの範囲に九重、阿蘇、霧島、桜島といった火山が存在するが、内陸地殻内地震の検討で観察されたような顕著な振幅低下現象は必ずしも明瞭には表れていない。したがって、この領域におけるプレート境界地震の距離減衰分布は、周辺に大きな火山が存在するにもかかわらず、比較的単純なモデルで表現して良いということになる。

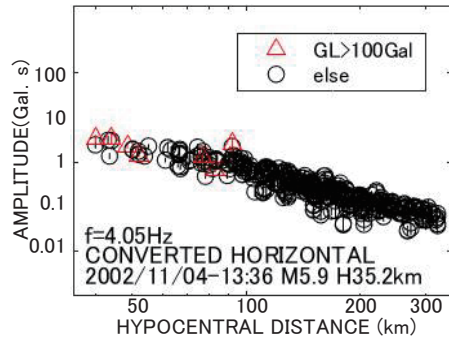


Fig.8 PB1 地震による4Hz 付近の基盤換算振幅の距離減衰分布  
(Distribution of Amplitudes at 4 Hz due to PB1 Event)

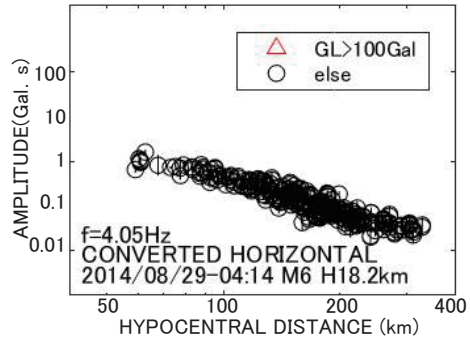


Fig.9 PB2 地震による4Hz 付近の基盤換算振幅の距離減衰分布  
(Distribution of Amplitudes at 4 Hz due to PB2 Event)

## 3. スラブ内地震

最後にスラブ内地震の距離減衰分布を検討する。西南日本のスラブ内地震の発生のある沈み込んだフィリピン海プレートは、Fig.3 からわかるように、九州東部では沈み込みとともに急激に深さを増すが、瀬戸内海付近での傾斜はかなり緩やかである。そこで、両者の構造的な違いを考慮して、瀬戸内海のスラブ内地震(SL1)と九州東部のスラブ内地震(SL2)を検討することとした。

まず、Fig.10 は瀬戸内海で発生した(SL1) 2001 年芸予地震(M6.7)による4Hz 付近の基盤換算振幅の距離減衰分布である。この地震の震源深さは47km であるため、震源距離50km 程度の領域はほぼ震源直上といえる。震源距離100km 程度以下の範囲に注目すると、100Gal を超えた地表観測点(△)が多く、特に震源距離80km 付近で地表観測記録からの換算結果の中にやや大き目の値があることがわかる、これらは最表層地盤の非線形化の影響で換算がうまくいっていない可能性がある。しかしながら、それ以外は地中観測記録からの換算結果(○)とほぼ対応する結果となっており、概ね震源直上における基盤地震動の振幅分布を表していると考えて良いだろう。

さて、さらに遠方も含めてみたとき、SL1 地震の基盤換算振幅の距離減衰分布はわずかに上に凸の傾向はあるが、ほぼ直線に近い分布形状であり、先に見たプレート境界地震に近い特徴を示していると言える。この結果、瀬戸内海で発生するスラブ内地震の距離減衰分布も比較的単純な距離減衰モデルで表現できそうであることがわかる。

では、九州の下に急角度で沈みこんでいるフィリピン海プレート内部で発生した(SL2) 2014 年伊予灘の地震(M6.2)の場合はどうだろうか。その基盤換算振幅の距離減衰分布を Fig.11 に示す。この地震は震源深さが78km とやや深く、データの震源距離は概ね80km

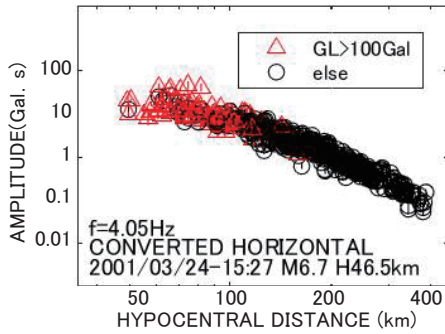


Fig.10 SL1 地震による 4Hz 付近の基盤換算振幅の距離減衰分布  
(Distribution of Amplitudes at 4 Hz due to SL1 Event)

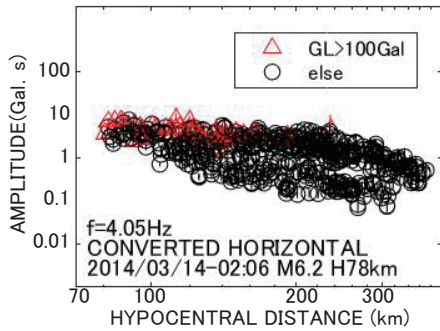


Fig.11 SL2 地震による 4Hz 付近の基盤換算振幅の距離減衰分布  
(Distribution of Amplitudes at 4 Hz due to SL2 Event)

～350km となる。

Fig.11 によると、この地震の距離減衰分布は、例えば、震源距離 200km 付近では最大と最小の間に 30 倍前後の開きがあるなど、基盤地震動に換算してもなお非常に大きなばらつきがあり、先に見た瀬戸内海のスラブ内地震(Fig.10)とは全く異なる様相を示している。また、その分布の上限は震源距離 250km 程度にかけて減衰が小さく、その先 300km にかけてやや急角度で減衰し、その先は 300km にかけて緩やかに減衰して見える。さらに、より詳しく観察すると、震源距離 200km 以上では分布の中に隙間があることから、距離減衰分布が枝分かれしているように見える。

#### 4. 基盤換算振幅の空間分布

各地震の基盤換算振幅の距離減衰分布を検討してきた結果によると、内陸地殻内地震においては(IL1) 2000 年鳥取県西部地震は比較的単純な分布であったが、(IL2) 2005 年福岡県西方沖地震と(IL3) 2016 年熊本地震では部分的に振幅が低下するやや複雑な分布特性であり、これはおそらく火山に由来する高減衰構造の影響であろうと考えられた。また、プレート境界地震では日向灘で発生した(PB1)と(PB2)のいずれも概ね単純な分布特性であり、火山の影響は明瞭ではなかった。最後のスラブ内地震については、瀬戸内海のスラブ内地震である(SL1) 2001 年芸予地震では比較的単純な距離減衰分布であったのに対して、九州東部のスラブ内地震である(SL2) 2014 年伊予灘の地震の距離減衰分布は非常に複雑で大きなばらつきを示す結果であった。このうち特異な距離減衰分布を示した(IL2) 2005 年福岡県西方沖地震、(IL3) 2016 年熊本地震、(SL2) 2014 年伊予灘の地震について、基盤換算振幅がどのような方位性を示すかを見て

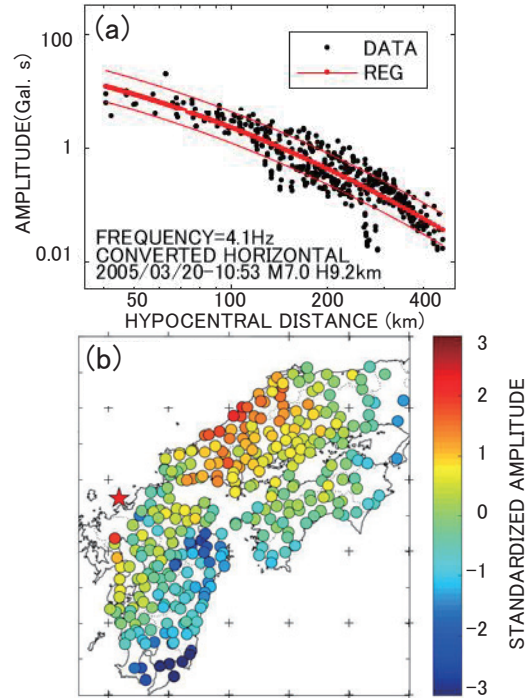


Fig.12 (IL2)地震による 4Hz 付近の標準化振幅  
(Standardized Amplitudes at 4Hz due to IL2 Event)

おくことは、西南日本における距離減衰特性の地域性を考える上で重要であろう。そこで、これらの地震について、それぞれ基盤換算振幅(x)の平均値( $\mu$ )と標準偏差( $\sigma$ )を評価し、次式の標準化振幅(z)を算定して、その空間分布を検討した。

$$z = (x - \mu) / \sigma \quad (4)$$

Fig.12 は、(IL2) 2005 年福岡県西方沖地震による 4Hz 付近の基盤換算振幅について震源距離に対する回帰分析を行い、その結果を用いてデータを標準化振幅に変換し、空間分布として示した結果である。Fig.12(a)が回帰分析の結果、Fig.12(b)が標準化振幅の空間分布である。Fig.12(a)では黒点が基盤換算振幅であり、赤太線がその回帰結果、赤細線が±標準偏差の幅を表している。Fig.12(b)は各地点の標準化振幅であり、-3～+3 を寒色～暖色で表現している。この図で緑色～水色の地点が概ね回帰平均に相当する値であり、濃い青の地点が著しく平均を下回る振幅であること、濃い赤の地点が著しく平均を上回る振幅であることを表している。

これによると、濃い青の地点は大分県と鹿児島県南部に分布し、一方、濃い赤の地点は山口県北東部～島根県北部に分布する。この結果、Fig.6 の距離減衰分布で震源距離 150km 付近で振幅が低下しているのは大分県、同じく 300km 手前で振幅が低下しているのは鹿児島県南部であることがわかる。また、これらと反対に中国地方の日本海沿岸方向に向かって相対的に大きな振幅が分布しており、これが震源距離 200km 付近を中心に大き目の振幅になっていることが推察される。

Fig.13 は(IL3) 2016 年熊本地震(M7.3)で同様の検討を行った結果である。この地震の基盤換算振幅の距離減衰分布 Fig.13(a)では震源距離 150km 付近で著しく振幅が低下する特徴があった。Fig.13(b)によると振幅が著しく小さい領域は鹿児島県南部に集中している。

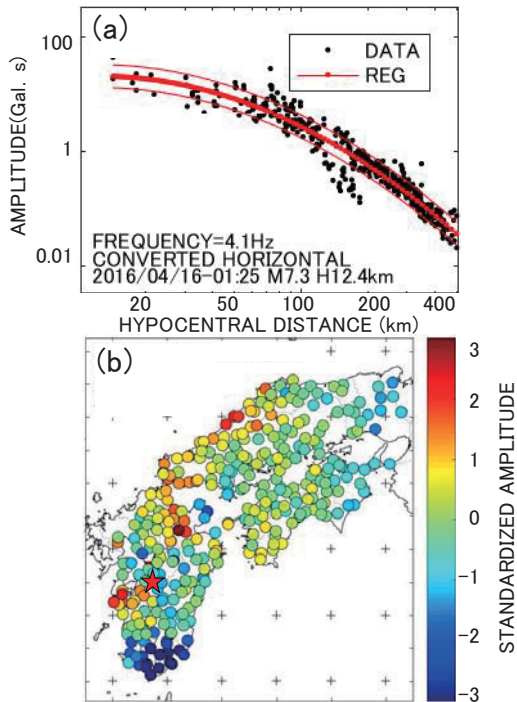


Fig.13 (IL3)地震による 4Hz 付近の基準化振幅  
(Standardized Amplitudes at 4Hz due to IL3 Event)

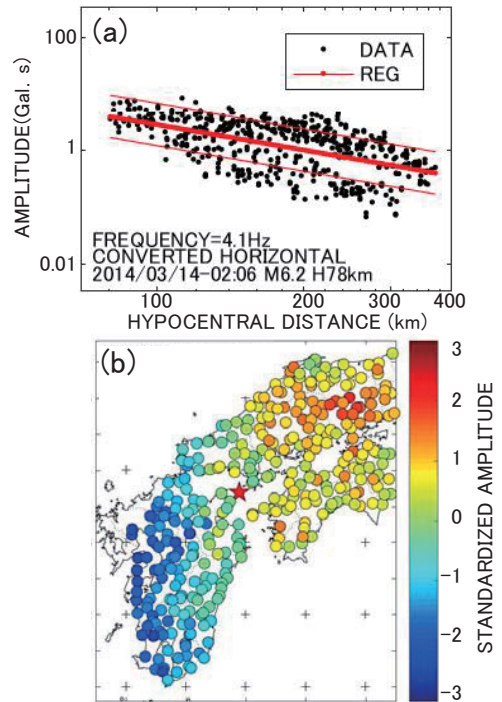


Fig.14 (SL2)地震による 4Hz 付近の基準化振幅  
(Standardized Amplitudes at 4Hz due to SL2 Event)

この領域はすぐ北側に桜島、霧島といった火山が存在するため、北からの波動伝播が火山体下の高減衰媒質により事実上遮断されるような特徴があるのかもしれない。

同様に、(SL2) 2014 年伊予灘の地震による 4Hz 周辺の基盤換算振幅の検討結果を Fig.14 に示す。Fig.14(a)の回帰結果を見ると、平均振幅はいちおう分布の中央を通過しているものの、ばらつきが非常に大きいため、地震動強さに関する定量的な議論では平均値が事実上意味を持たないことがわかる。この結果をもとに評価した基準化振幅の空間分布を Fig.14(b)に示す。これによると、2014 年伊予灘の地震では同一震源距離でも震源の東側にあたる中国・四国地方で相対的に振幅が大きく、一方、西側の九州地方では振幅が小さい結果となっている。特に、九州西部では極端に振幅が低下しており、中国地方の岡山県周辺で大きく目であることと対をなす関係となっている。

Fig.15 では、(SL2) 2014 年伊予灘の地震の 4Hz 付近の基盤換算振幅の距離減衰分布を震央からの方位別に色を変えて示している。真北(N000degE)~N070degE を中国地方として赤、N070degE~N170 degE を四国地方として青、N170degE~N210degE を鹿児島として黒、それ以外の N210degE~N360degE を水色で示した。これによると、火山フロントの南東側(前弧側)の中国地方(赤)が最も減衰し難く、遠方まで大きな振幅が届いている。同じく四国地方(青)もそれをわずかに下回るがほぼ同様の分布特性である。鹿児島方向の分布(黒)は震源直上から遠くなるにつれてほぼ直線的に減衰する特徴を見せる。さらに、その西側の熊本県方向の分布は震源距離が相対的に小さい段階から振幅が急激に低下する特徴がみられる。

以上のような方位別の違いは、そもそも震源からの放射特性で方位による違いがあった可能性も否定できないが、むしろ地下深部の構造的な要因でもたらされていると考える方が自然だろう。Fig.16

では(SL2) 2014 年伊予灘の地震の震源を通る N060degE の断面で各観測点への波動伝播経路の分布を示している。図中に青で示した部分はフィリピン海プレートのスラブ内の経路、赤で示した部分は火山フロントの西側の地殻内の経路である。前者は相対的に Q 値が高く、減衰効果が弱いのにに対し、後者は Q 値が低く、強い減衰効果が特徴づけられる。中国・四国地方への波動は震源から放出されて

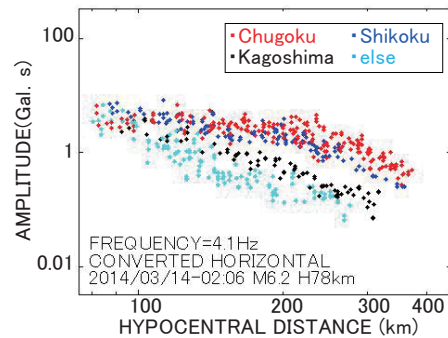


Fig.15 (SL2)地震の基盤換算振幅の方位別距離減衰  
(Azimuthal Attenuation of Amplitudes due to SL2 Event)

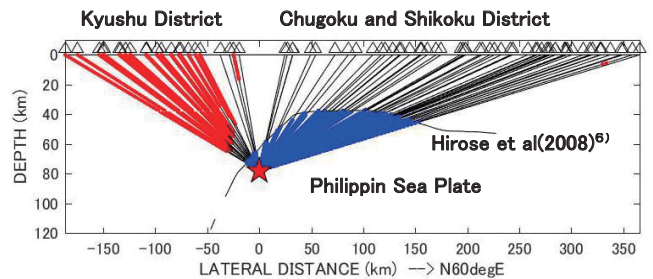


Fig.16 SL2 地震の波動伝播経路の分布  
(Paths Distribution from SL2 Event)

しばらくはフィリピン海プレートの内部を伝播することになるため、その間の減衰効果が限定的であるのに対し、九州地方に対しては、震源から放出された地震波がすぐに火山地帯に入って伝播していくため、その高減衰性によって急激に減衰しているものと考えられる。

## V. おわりに

西南日本(中国・四国・九州地方)の K-NET, KiK-net 地点について隣接観測点のネットワークを用いる手法により相対サイト特性を評価した。また、その結果を用いて同地域における内陸地殻内地震、プレート境界地震、スラブ内地震の観測地震動からそれぞれ基盤地震動振幅を推定し、周波数 4Hz 付近の地震動振幅について距離減衰特性を検討した。結果は以下のとおりである。

まず、2000 年鳥取県西部地震を例にして観測振幅に比べて基盤換算振幅の方が距離減衰分布を明瞭にとらえることができることを確認した。次いで、基盤換算振幅を用いて西南日本で発生した大地震の距離減衰分布を検討し、2000 年鳥取県西部地震や 2001 年芸予地震および日向灘で発生した 2 つのプレート境界地震では基盤地震動の距離減衰分布が比較的単純であることを明らかにした。これに対して、2005 年福岡県西方沖地震、2016 年熊本地震といった九州地方の内陸地震、及び、やや深いスラブ内地震である 2014 年伊予灘の地震においては基盤地震動が複雑な距離減衰分布を示すことを示した。このうち、九州地方の内陸地震の距離減衰分布においては火山周辺の高減衰領域の存在が影響を与えており、一方、やや深いスラブ内地震の距離減衰分布にはそれに加えてフィリピン海プレート内部における低い減衰性が影響していることが考えられた。

## 謝 辞

防災科学技術研究所 K-NET, KiK-net の観測記録を使用いたしました。記して感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 防災科学技術研究所強震観測網(K-NET, KiK-net) <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>
- 2) 池浦友則, 加藤研一; 隣接 2 地点ペアのネットワークに基づく相対地盤増幅率の広域評価 - 東北地方太平洋側の K-NET・KiK-net サイトへの適用 -, 日本地震工学会論文集, 第 11 巻, 第 4 号, 2011, pp.48-67.
- 3) 池浦友則, 友澤祐介; 2011 年東北地方太平洋沖地震による基盤地震動の距離減衰特性, 日本地震工学会・大会 - 2012 梗概集, 2012, pp.82-83.
- 4) 池浦友則; 中部～近畿地方における K-NET・KiK-net 地点の揺れ易さと地震動の距離減衰特性, 鹿島技術研究所年報, 第 63 号, 2015, pp.151-160.
- 5) 地質調査所; 日本地質アトラス, 1982, p.119.
- 6) Hirose, F., J. Nakajima, and A. Hasegawa; Three-dimensional seismic velocity structure and configuration of the Philippine Sea slab in southwestern Japan estimated by double-difference tomography, *J. Geophys. Res.*, 113, 2008, B09315.
- 7) 泉谷恭男, 池谷太輔; 強震動の二重スペクトル比から推定した九州南部における  $Q_s$  値, 土木学会論文集, No.640/I-50, 2000, pp.225-230.

## Attenuation Characteristics of Strong Ground Motions in the Chugoku, Shikoku, and Kyushu Regions

*Tomonori Ikeura*

The author investigated the attenuation characteristics of strong motions using data from K-NET and KiK-net in southwest Japan. First, the relative site factors of 655 sites covered by K-NET and KiK-net in the area were evaluated using the adjacent sites network method (Ikeura and Kato, 2011). Second, spectra observed at those sites during large earthquakes were converted into those of base rock motions by canceling the site amplification effect using the relative site factor of each site. The converted high-frequency amplitudes from the 2000 Western Tottori earthquake clearly show linear attenuation curves in the distance range of 10 km to 500 km. The converted amplitudes of the 2001 Geiyo earthquake, which occurred at a depth of 46 km in the Philippine sea plate, also showed almost linear distribution in the distance range of 50 km to 400 km. In contrast with these events, the converted amplitudes of the 2014 Iyonada earthquake, which occurred at a depth of 78 km in the Philippine sea plate, showed widely dispersed distribution, indicating complex attenuation characteristics owing to tectonic setting beneath these areas. The lower limit of the wide distribution is characterized by western sites beyond the volcanic front in the Kyushu region, while the upper limit is characterized by eastern sites in the forearc area of the Chugoku region and in the Shikoku region.