

近接して発生した地震に対する波形記録の相互相関係数の特徴

中原 恒 (東北大学大学院理学研究科)

E-mail: naka@zisin.geophys.tohoku.ac.jp

Cross-correlation coefficients of seismograms for closely located events

Hisashi Nakahara (Graduate School of Science, Tohoku University)

1.はじめに

相互相関係数は異なる2種の量の相関関係を定量化する基本的な統計量である。地震学では、相互相関係数が非常に高い観測波形を示す相似地震と呼ばれる地震対の存在が知られており、それらの震源は互いに近接していることが多い。これまで相似地震は、相対震源決定の精度向上やアスペリティの同定など多目的に利用されている。しかし、相互相関係数が周波数や震源間距離にどのように依存するかはほとんど調べられていない。一方、ある地震に対する観測点アレイデータを用いた相関解析によると、相互相関係数は周波数と観測点間距離に対し指数関数的に低下していくことが報告されており、その主原因として観測点直下の短波長不均質構造が考えられている(例えば, Menke et al., 1990)。ここで震源と観測点を入れ替えた状況を考えると、断層面付近の短波長不均質構造を推定できる可能性がある。

本研究ではまず、1995年兵庫県南部地震の余震を用い、近接して発生した地震に対し同一観測点で記録された波形間の相互相関係数を求め、その周波数依存性や地震間距離依存性を調べる。またその要因について考察を行い、断層面付近の短波長不均質構造を推定できる可能性について検討する。

2.解析手順

兵庫県南部地震緊急地殻活動調査グループ (Groups95) による余震の手動検出データを基に決定された震源カタログ (図1) から、M2.9-3.5の11個のイベント (図2) をマスターイベントとして選び出す。各マスターイベントを中心とした水平距離5 km、深さ5 km以内に発生した微小イベント (M2以上) を検索し、1つのクラスターとする。震源を取り囲む観測点10点 (図1黒三角) を設定し、同時に7点以上のP波走時を読み取れるイベントを選び、マスターイベントに対する相対震源決定を行う。本震震源域の北側のFUKTと南側のOZKTの2観測点を考え、S/N比の良い波形記録が存在するマスターイベントと微小イベントの上下動記録に対し、P波部分の2秒間を抜き出し、2-4, 4-8, 8-16, 16-32 Hzの周波数帯域 (4次のバターワース特性) で相互相関係数を計算する。相互相関係数の周波数依存性、2つの地震間の距離依存性を調べる。

3.解析結果

ばらつきは大きいものの、2つの観測点の双方で、周波数が高くなるにつれて相互相関係数が低くなり、地震間距離の増大とともに相互相関係数が小さくなることが明らか

になった。ここでは1例として、淡路島西側沖で発生したイベント（1995年2月19日20時27分15.7秒，M3.4；図2のクラスター26A）をマスターイベントとした結果を示す。FUKT（震央距離45.6km），OZKT（震央距離31.2km）の2観測点に対し，上記手順によりそれぞれ12個，11個の微小イベントが選出された。周波数依存性については，FUKTでは，2-4Hzで約0.6に対し，16-32Hzでは約0.3と低下する（図3）。地震間距離依存性については，FUKTの4-8Hzの相関係数は，距離1km以内では約0.9，4kmでは約0.5となる（図4）。相対震源決定の誤差を考慮しても，相互相関係数が地震間距離とともに減少する傾向は有意である。

11個のクラスターすべてについて同様の解析を行った。特に相互相関係数が0.6以下になる地震間距離をカットオフ距離と定義して，この値に着目した。その結果を表1にまとめる。本震震源域北側（神戸側）に位置するクラスターに対してはカットオフ距離がほぼ4.5km以上となったのに対し，本震震源域南側（淡路側）のクラスターに対してはカットオフ距離が4.5km以下と求められた。この結果は本震震源域の北と南に位置する2つの観測点で共通に見られるものであり，震源域付近での何らかの影響を反映しているものと考えられる。

4. 議論

まず相互相関係数の周波数依存性をうみ出す原因について考察する。これには，(1)伝播経路上の不均質構造，(2)震源時間関数の違い，が考えられる。(1)の影響は確かに存在する。(2)に関しては，震源時間関数が複雑な場合に(1)との分離が非常に難しい。しかし震源時間関数が単純な場合，マスターイベントのコーナー周波数（約8Hz）以下の周波数帯では(2)の影響は小さくなるものと考えられる。そのためこの場合には，8Hz以下の結果に着目すると，(1)のみの影響を主に抜き出すことができると考えられる。

次に，相互相関係数の地震間距離依存性には，(1)震源メカニズムの違い，(2)伝播経路上の不均質構造，が反映されているものと考えられる。(1)に関しては，波形のP波部分のみを用いてその影響を小さくするようにした。実際，山中・他（1999）によって震源メカニズム解が求められているイベントのみを用いて震源メカニズムの違いと相互相関係数との関係を調べたが，明らかな相関性を見出すことはできなかった。(2)はその影響が確かに存在する。本解析では震源距離に比べて地震間距離が短いため，伝播経路上でも震源に近い場所での不均質構造の影響をより強く受けている可能性があると考えられる。

以上の考察より，震源時間関数が単純な場合，本解析で求めた低周波数帯（2-4，4-8Hz）での相互相関係数の地震間距離依存性は，震源に近い場所の構造の影響をより強く反映している可能性が高いものと判断する。このように考えると，カットオフ距離にみられた地域性は，震源に近い領域の不均質構造が本震震源域の北側と南側で異なっていることを示していることになる。特に本震震源域の南側では北側に比べて構造の不均質性が強いために，カットオフ距離が短く求められたことが示唆される。この結果と，本震震源域の南側でP波の散乱強度が強いという結果（Matsumoto et al., 1998）や，本震時に

震源断層の淡路側から最も強い高周波輻射があったという結果 (Takehi et al., 1996; Nakahara et al., 1999) との関連が注目される。

5.まとめ

本研究では、1995年兵庫県南部地震の余震の中から11個のクラスターを選び出し、相対震源決定と、4周波数帯(2-4, 4-8, 8-16, 16-32 Hz)における波形間の相互相関係数の計算を行った。その結果、周波数の増加あるいは震源間距離の増大にともなって相互相関係数が減少することが明らかになり、2-4, 4-8Hzにおける相互相関係数の震源間距離依存性は伝播経路の中でも震源に近い場所での不均質構造により強く影響されている可能性が高いものと考えられる。さらにカットオフ距離が本震震源域の北側と南側で異なることが明らかになり、この結果より不均質構造の性質が本震震源域の北側と南側で異なることが示唆される。

今後は、断層付近の不均質構造を何とかモデル化した上で波動伝播シミュレーションを行い、観測事実を定量的に説明することが必要であると考えている。

謝辞 本研究では、平成7(1995)年兵庫県南部地震緊急地殻活動調査グループによる余震記録のCD-ROMを使用しました。ここに記して感謝致します。

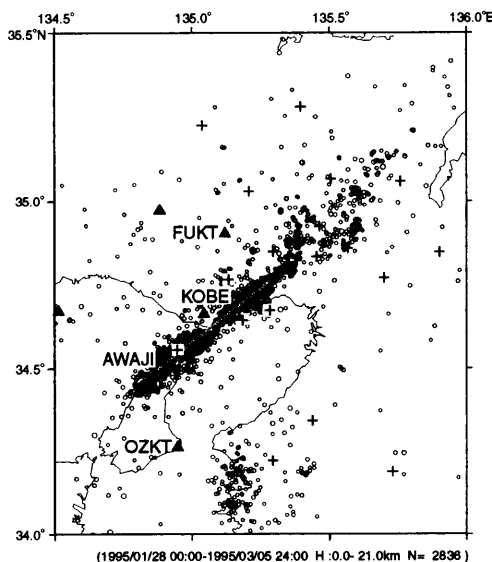


図1 Groups95による震源(白丸)と観測点(十字)。黒三角は相対震源決定に使用した観測点。灰色の線は仮定した本震断層面。

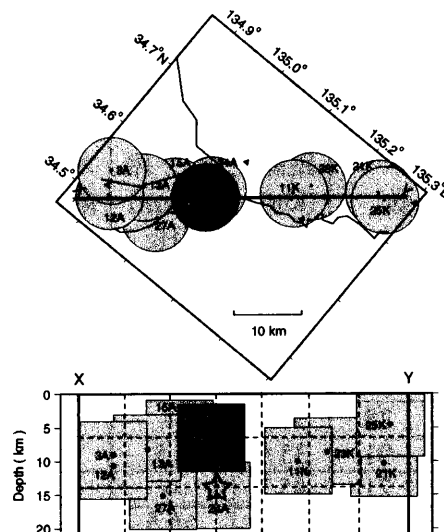


図2 マスターイベントの位置(黒点)とクラスター領域(灰色)。濃灰色はクラスター番号26A。星印は本震の破壊開始点。

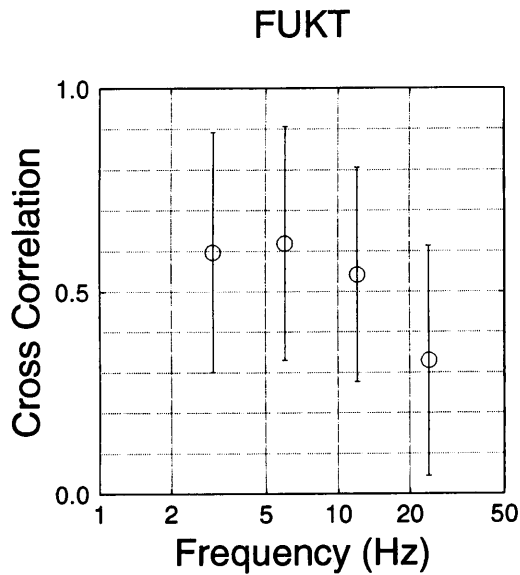


図 3 相互相関係数の周波数依存性. 白丸は平均値, 縦線は 1 標準偏差の誤差棒をあらわす (クラスター-26A, FUKT).

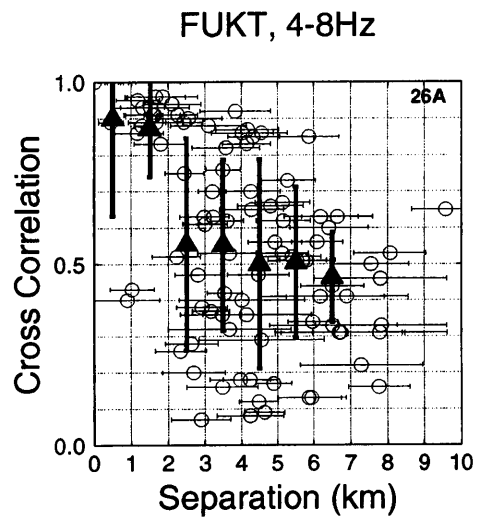


図 4 相互相関係数の震源間距離依存性. 白丸, 横棒は各イベントペアに対する結果と誤差棒. 黒三角と縦棒は 1km 幅の区間に入ったデータの平均値と 1 標準偏差の誤差棒をあらわす. (クラスター-26A, FUKT, 4-8Hz).

表 1. 全 11 クラスターの解析結果

クラ スタ ー番 号	FUKT (本震震源域北側)					OZKT (本震震源域南側)				
	地 震 数	地 震 ペ ア 数	震 源 距 離 (km)	カ ット オ フ 距 離 (km) 2-4Hz	カ ット オ フ 距 離 (km) 4-8Hz	地 震 数	地 震 ペ ア 数	震 源 距 離 (km)	カ ット オ フ 距 離 (km) 2-4Hz	カ ット オ フ 距 離 (km) 4-8Hz
3A	12	66	46.6	1.5	1.5	11	55	32.4	3.5	3.5
12A	22	231	48.7	1.5	1.5	23	253	29.7	3.5	4.5
13A	18	153	43.0	1.5	1.5	23	210	32.9	1.5	1.5
15A	19	171	39.1	1.5	1.5	22	231	34.9	1.5	2.5
24A	8	28	37.1	--	--	7	21	41.7	--	--
26A	14	91	35.9	2.5	2.5	15	105	38.0	4.5	4.5
27A	7	21	45.7	--	--	7	21	33.3	--	--
11K	12	66	27.6	>6.5	>6.5	12	66	49.3	>6.5	>6.5
21K	12	66	23.3	4.5	4.5	9	36	60.5	--	--
23K	20	190	24.8	6.5	6.5	18	153	52.9	>7.5	3.5
25K	11	55	22.2	--	--	11	55	60.2	--	--

クラスター番号欄の A は淡路側, K は神戸側を意味する.