

1999 年台湾集集地震における地震動の空間分布特性について

岐阜大学工学部      学生員    ○松下昌弘  
岐阜大学工学部      正 員      杉戸真太・能島暢呂  
岐阜大学大学院      学生員      柳生健治

1. はじめに

1995 年兵庫県南部地震の教訓から、リアルタイム地震防災システムの重要性が広く認識されるようになり、地震計ネットワークの増設が進められている。しかし、地震計の設置密度には限界があることから、観測点で得られた地震動情報を用いて未観測点での地震動を補間推定することが、地震動の面的な把握のためには重要な課題となる。本研究では、1999 年台湾集集地震で得られた強震記録を基に、気象庁計測震度と地震動の継続時間を算出し、クリッキング (Kriging)<sup>1)</sup> を用いて未観測点での値を補間推定し、地震動の空間分布特性について検討を行う。

2. 使用データと解析方法

台湾集集地震では台湾中央気象局 (CWB) により約 400 地点での加速度記録が得られている<sup>2)</sup>。本研究ではこのうち、車籠埔断層を含む東経 120°00′～121°10′ (約 120km)、北緯 23°20′～24°40′ (約 147km) の範囲内の 106 観測点での水平二成分および鉛直成分を用いて、計測震度を算出した。さらに加速度の累積パワーが 5 % から 95 % に達するまでの時間  $t_{90}$  を継続時間として算出した。図 1 は計測震度および継続時間の空間補間のための解析手順を示したものであり、以下、主な項目について概説する。

$N(h)$  で平均化することにより次式で求められる<sup>1)</sup>。

$$2\hat{\gamma}(h) \equiv \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (Z(s_i) - Z(s_j))^2 \tag{1}$$

さらに、2 点間距離  $h$  の関数でバリオグラムをモデル化する。本研究では、バリオグラムの形状から Spherical model<sup>1)</sup> を採用した。図 2 に計測震度のバリオグラム・クラウドとバリオグラム、およびその Spherical model を示す。

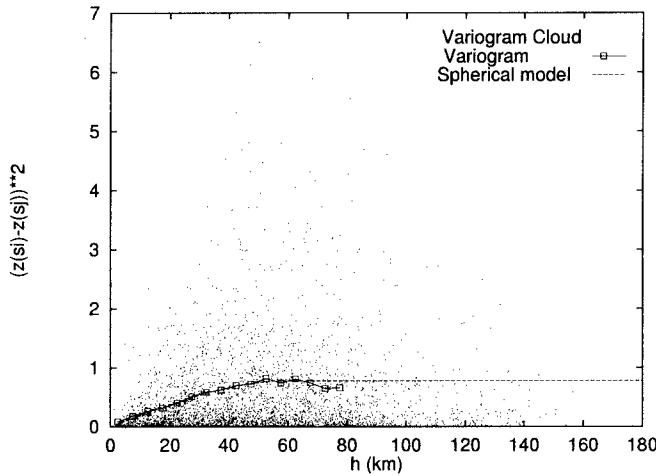


図 2 計測震度の Variogram とそのモデル

2.2 クリッキング (Kriging)

クリッキングでは、未観測点  $s_0$  での物理量  $Z(s_0)$  を、次式のように  $n$  個の観測値の加重平均で推定する。

$$Z(s_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(s_i), \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \tag{2}$$

ここで  $\lambda_i$  は  $Z(s_i)$  に対する重み係数である。前述のバリオグラム・モデルを用いて空間的な共分散構造を表現し、推定量が不偏性を満足し推定誤差分散を最小化するという条件のもとで、 $\lambda$  が決定され、補間推定値とその推定誤差分散が求められる<sup>1)</sup>。

2.3 メジアンポリッシュ・クリッキング (Median-Polish Kriging)

メジアンポリッシュとは二次元空間データからトレンド成分を抽出する一つの方法である。すなわち、対象地域を格子状に分割し、行方向、列方向に観測値の中央値を掃き出すことによって共通中央値  $a$ 、行効果  $r$ 、列効果  $c$  をトレンド成分として求め、残差成分  $R(s_i)$  を加えて観測値を表現する。例えば、座標  $(x, y)$  の観測点  $s_i$  については以下のようなになる<sup>1)</sup>。

$$Z(s_i) = a + r(y) + c(x) + R(s_i) \tag{3}$$

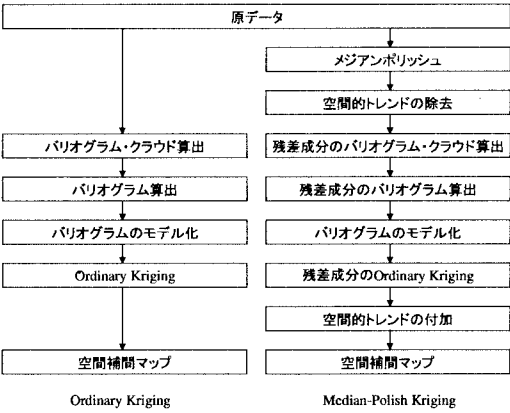


図 1 空間補間マップ作成の流れ

2.1 バリオグラム (Variogram)

強震観測点の位置を  $s_i$ 、そこで観測された物理量を  $Z(s_i)$  とする。観測点  $s_i$  と  $s_j$  の 2 点間距離  $h_{ij}$  と、観測値の差の 2 乗  $(Z(s_i) - Z(s_j))^2$  を、すべての 2 点の組み合わせについてプロットした散布図は、バリオグラム・クラウドと呼ばれる。バリオグラムはバリオグラム・クラウドの 2 点間距離を適当な幅  $h$  で分割し、各区間内の観測値の個数

地震動の空間的分布では、断層からの距離減衰や局所的な地盤増幅の影響でトレンド成分が顕著となる。このときバリオグラムの異方性の影響を無視できないため Ordinary Kriging の適用が不適切となることがある。そこで、図 2 の右側に示すように Median-Polish によりトレンド成分を除去した残差成分  $R(s_i)$  に対して Ordinary Kriging を適用する。本研究では観測点の設置密度を考慮して、東経・北緯とも 5' きざみに分割して Median-Polish を適用した。

### 3. Kriging による空間補間の結果と考察

Ordinary Kriging で求めた計測震度の補間推定結果を図 3 に示す。相対的な大小関係を明確にするため、 $-$  の記号を記入した。断層上盤側で震度 6 以上の値となり、南西部の沿海地域に向かっては距離減衰が顕著であるのに対し、断層より北方へは減衰が小さい。これは、断層の破壊進行方向に地震動強度が増幅するディレクティビティ効果によるものと考えられる。補間推定値の標準偏差を図 4 に示す。観測点から離れるにつれて急激に標準偏差が大きくなるが、観測点の設置密度が高い内陸部ではおおむね 0.25

以下となっていることから、震度階の「強・弱」の相違程度で地震動強度の補間推定が可能であるといえる。図 5 に Ordinary Kriging で求めた継続時間の補間推定結果を示す。継続時間は断層の北端および南端付近で 15 秒程度となる一方、南西部の沿岸地域で 50 秒を越えている。また図 5 は図 3 と全く逆の傾向を示し、震源近傍の地震動の特徴が表われている。図 6 は Median-Polish Kriging で求めた計測震度の補間推定結果である。図 3 に比べると、トレンド成分 ( $a+r+c$ ) に起因する東西方向および南北方向の局所的トレンドが目立つ。しかし、その標準偏差は内陸部で 0.2 程度で、若干、Ordinary Kriging よりも小さな値となった。今後、さらに Universal Kriging などの手法を適用し検討を進める方針である。

参考文献 1) Cressie, N.A.C.: Statistics for Spatial Data, Revised Edition, John Wiley & Sons, New York, 1993.  
2) CWB: CWB Free-Field Strong-Motion Data from the 921 Chi-Chi Earthquake: Volume 1. Digital Acceleration Files on CD-ROM, 1999.12.

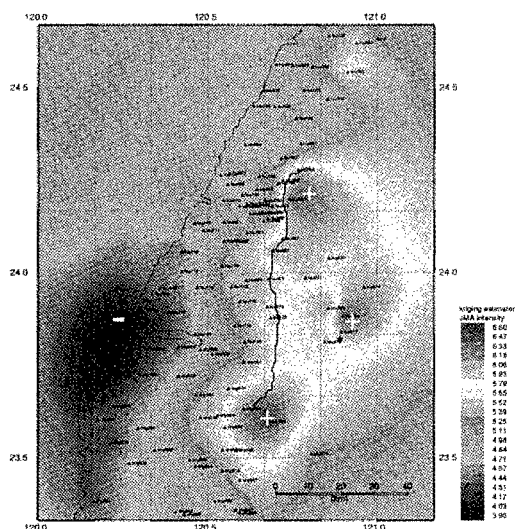


図 3 計測震度の補間推定値 (Ordinary Kriging)

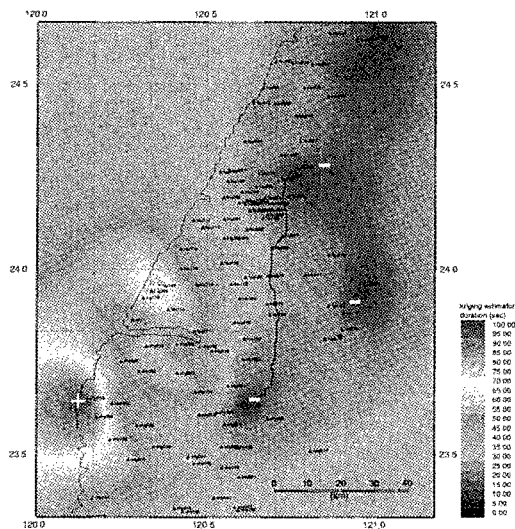


図 5 継続時間の補間推定値 (Ordinary Kriging)

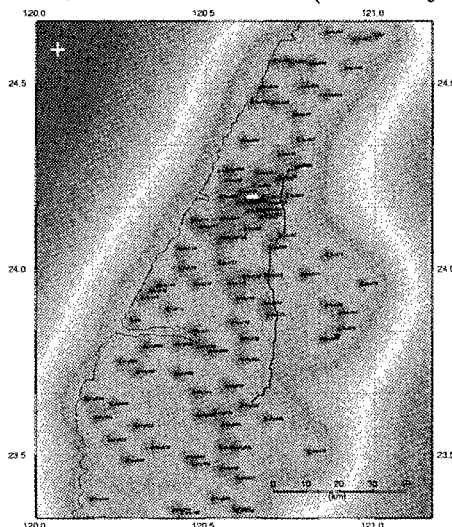


図 4 計測震度の補間推定値の標準偏差 (Ordinary Kriging)

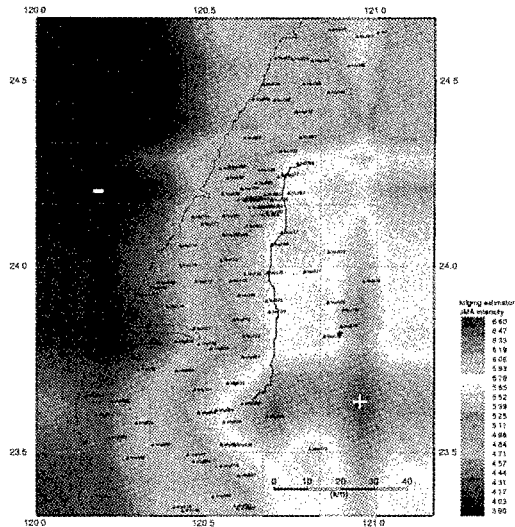


図 6 計測震度の補間推定値 (Median-Polish Kriging)