

京都大学大学院 学生員 盛川 仁

京都大学防災研究所 正員 亀田 弘行

1. はじめに 本論文は複数地点で得られた地震動の同時記録を用いて、中間点での地震動のパワースペクトルの確率論的内挿法を示すものである。これまで、地震動のモニタリングシステムの構築を念頭におき、条件付確率場について考察をすすめてきたが^(1),2)、その際、“場”を規定するスペクトル特性は最初からわかっているという仮定をおいていた。ところが地震動モニタリングシステムを考える場合には、現在起っているかまたは直前に起こった地震を対象とすることになるため、観測記録を用いてリアルタイムにスペクトル特性を推定をすることができれば、事前の情報が十分でなくても、現実には地震波動場の推定が可能である。ただし、一様な波動場と考えられる基盤面と表層の複雑な地盤構造の影響を受ける地表面とを同じ様に扱うことはできないので、本論文ではスペクトル特性推定のための第一歩として、確率論的に一様な場とみなされる基盤について考察を行う。

2. 地震動のパワースペクトルの確率論的内挿 一様な場では、パワースペクトルは場所によらず一定であるが、あるイベントにおいて観測される波形は、単なる実現値の一つにすぎないから、通常は場所によって異なっている。そこでそのイベントのスペクトル特性として、観測されたパワースペクトルを振動数領域における確率過程の実現値とみなし、未観測点において確率論的に内挿したものを考える。以下では、時間、振動数、ケフレンシーの各領域を区別するために、それぞれ、 $\langle t \rangle$, $\langle f \rangle$, $\langle q \rangle$ をつけて表示する。

時間領域における波形が平均値0の定常正規過程であると仮定すると、そのフーリエ変換によって得られるフーリエ cos 係数列およびフーリエ sin 係数列もやはり平均値0の定常正規過程となる。このことを利用して、これまで時系列に対して適用してきた条件付確率場の理論をそのまま振動数系列にあてはめることで、パワースペクトルの確率論的内挿が可能となる。ただしその際、フーリエ係数列 $\langle f \rangle$ に関するスペクトル特性として、パワースペクトル $\langle q \rangle$ としては観測値のアンサンブル平均を、コヒーレンス関数としては $\exp[-a x_0 q]$ なる関数形を与えて最小自乗法により係数 a を決定したものを用いる。

パワースペクトル $\langle f \rangle$ には時系列 $\langle t \rangle$ の各調和成分の位相の情報は含まれていないが、フーリエ係数 $\langle f \rangle$ にはそれが含まれているため、フーリエ係数列 $\langle f \rangle$ を用いてパワースペクトル $\langle f \rangle$ の内挿を行う際には位相の取り扱いには注意を要する。本研究では、位相の取り扱いとして、①何もしない、②相互相関関数の最大値を与える時間差 τ_m だけ時間軸上で観測記録 $\langle t \rangle$ をずらす、③位相差関数 $\langle f \rangle$ の分だけ観測記録 $\langle t \rangle$ の各調和成分の位相をずらす、という3つの方法について検討した。その結果、③の方法が観測条件や観測記録の形状によらず、安定して合理的な内挿結果を与えることがわかったので、以下の数値計算では③の方法を用いることとする。

3. アレー観測記録を用いた適用例 東京大学生産技術研究所の千葉実験所における高密度アレー観測網の地下20[m]の7点で同時に観測された地震動のデータ³⁾のうち、4点(P1, P2, P5, P6)の記録を用いて残りの3点(C0, P3, P4)におけるパワースペクトルの推定を行なった結果を図1に示す。実線は観測記録、破線はシミュレーションによって得られたパワースペクトルである。シミュレーションによって得られたパワースペクトルは、C0, P3, P4のいずれの地点においても6.5[Hz]の大きなピークの位置は観測値とよくあっており、全体の傾向をよく表している。しかし詳細にみると、P3のピークの値や、C0とP4における5.5~6.0[Hz]での山と谷の関係、P4の卓越振動数などがうまく推定されていないことがわかる。これらの違いは、シミュレーションを行った地点のすぐ近くにある観測点P1, P2において、P3でのエネルギーの大きさや、5.5[Hz]の谷あるいは6.0[Hz]の山を予想させる情報が含まれていないために生じたものと考えられる。

4. おわりに 本論文では条件付確率場の理論の新しい応用として、パワースペクトルの確率論的内挿法を示し、地震波動場の推定を行う際のデータの実用的な処理法を提案した。さらに地震動のアレー観測記録に対してこの手法を適用し、その妥当性を確かめた。しかし、シミュレーション結果と実際の観測値の違い

が確率論的なゆらぎであるとしみなし得るかどうか、すなわち、「確率論的に均一な場」あるいは「基盤」として物理的に何を考えるべきか、という問題は今後の重要な検討課題である。また、本研究の最終目標である都市の地震動モニタリングシステムには、kmのオーダーの広がり、地表面でのスペクトルが必要となる。そこで上の課題に加えて、空間的な広がりに対して本研究で述べた手法がどこまで有効であるか、また基盤でのスペクトルから地表のスペクトルをいかにして推定するかという問題について検討を行う予定である。

謝辞 京都大学防災研究所・赤松純平助教授には地震学の見地から、地震動のデータ処理及びスペクトルの取り扱いについて多くの議論をしていただいた。なお、本研究で用いた地震動のアレー観測記録は、強震動アレー観測データベース（(財)震災予防協会）に収録されている東京大学生産技術研究所の千葉実験所で観測されたものである。

参考文献 1) Kameda and Morikawa, "Conditioned stochastic processes for conditional random fields," *Journal of Engrg. Mech.; Proc., ASCE*, Vol. 120, No. 4, 1994.4. 2) 盛川・亀田：条件付確率場の理論とその工学的応用，京大防災研年報，第36号B-1，1993.4，pp.159-178. 3) 地震動アレー観測記録データベース推進委員会/作業部会：強震動アレー観測記録データベース解説資料集，(財)震災予防協会，1992.10，pp.B-801-1-B-801-16.

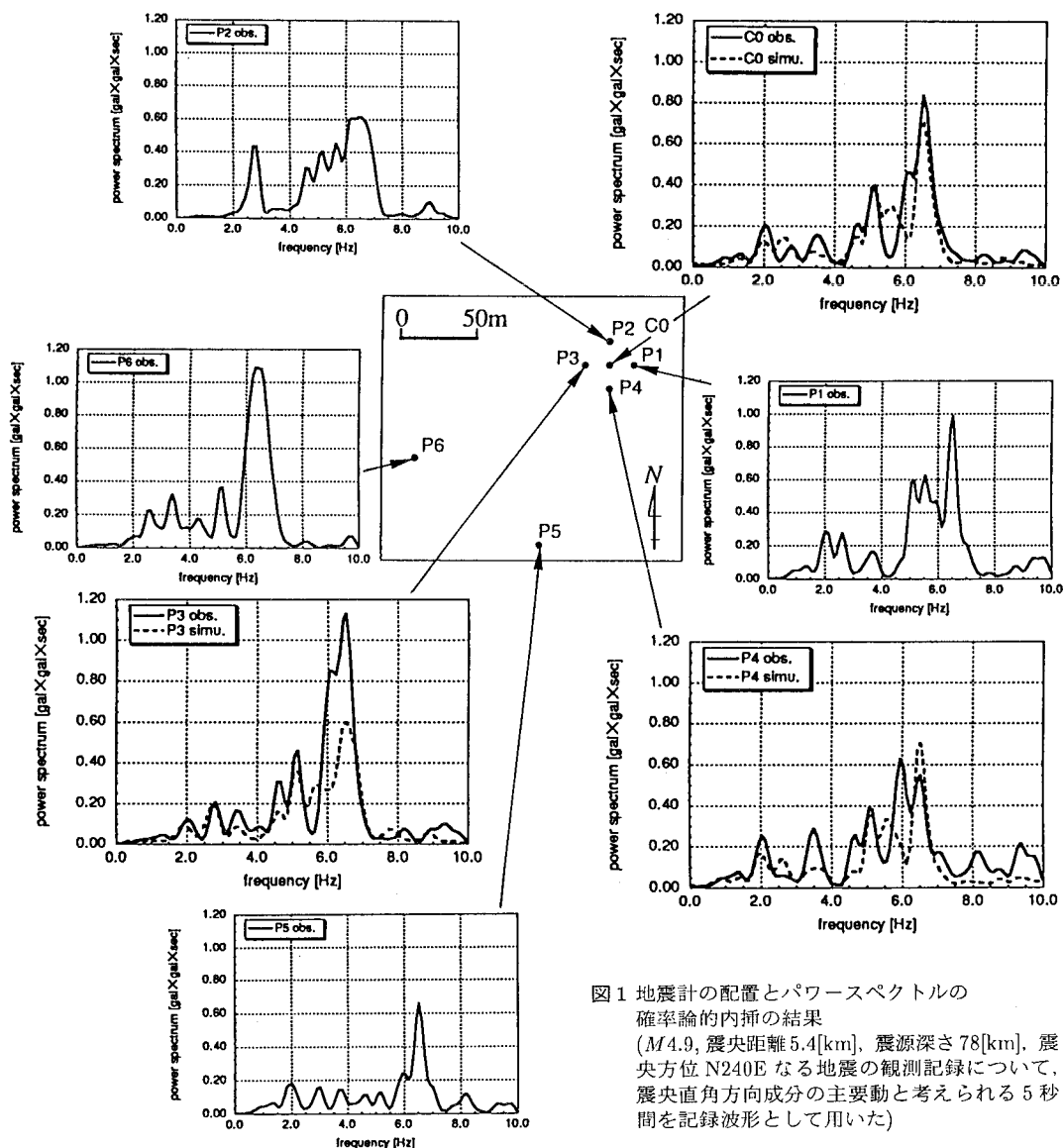


図1 地震計の配置とパワースペクトルの確率論的内挿の結果
($M4.9$ 、震央距離5.4[km]、震源深さ78[km]、震央方位 N240E なる地震の観測記録について、震央直角方向成分の主要動と考えられる5秒間を記録波形として用いた)