

I-535

条件付確率場の理論とその応用について

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 筆者らはこれまでに地震動モニタリングシステムを念頭においた地震波動場の確率論的内挿を行うための基礎的理論として、条件付確率場の理論構築を進めてきた^{1),2)}。しかしながら、この理論は地震波動場だけでなく、適当なスペクトルを与えることにより、空間・時間的に不規則に生起、あるいは分布する任意の現象や物理量に対して応用することができるものである。そこで本報告では、条件付確率場の理論の概要と、既往の研究成果を用いて地震波動場と風速変動場に対してこの理論を適用した例を示す。

2. 条件付確率場の理論の概要¹⁾⁻³⁾ 本報告で述べる条件付確率場の理論とは、空間内の n 個の地点のうち $n-m$ 個の地点で確定波が与えられている場合に、その確定波を条件とする m 個の条件付確率過程の確率論的性質を振動数領域における解析により解析的に示そうとするものである。そこで、空間・時間に関する多次元の条件付確率場の問題を、任意の2地点間の相互スペクトルが与えられているものとして、空間軸方向に離散的な多変量1次元の確率過程の問題に置き換えて考える。ただし、ここで扱うように空間軸の離散化により、スペクトル特性の空間場における変動は、任意の非一様性を持つ場合でも扱うことができる。確定波によって条件づけられていない任意の地点における確率過程は平均値0の定常正規過程であり、このような確率過程の実現値の一つとして確定波が与えられているものとする。

一般に、確率過程 $U_i(t); i=1, 2, \dots, n$ は、 $U_i(t) = \sum_k (A_{ik} \cos \omega_k t + B_{ik} \sin \omega_k t)$ のようにフーリエ級数に展開できる。ここで A_{ik} 、 B_{ik} は振動数 ω_k におけるフーリエ係数である。このとき A_{ik} 、 B_{ik} ($i=1, 2, \dots, n$)は、互いに独立な平均値0の正規確率変数で、その共分散行列 V_k は、地点 x_i と x_j なる2地点間の相互スペクトル $S_{ij}(\omega_k)$ によって決定される。また、確定波 $u_i(t); i=1, 2, \dots, m$ は確率過程 $U_i(t)$ の実現値であるから、フーリエ係数 A_{ik} 、 B_{ik} の実現値 $\tilde{a}_{ik}$ 、 $\tilde{b}_{ik}$ を用いて、上式と同様に表すことができる。

振動数 ω_k におけるフーリエ係数 A_{ik} 、 B_{ik} ($i=1, 2, \dots, n$)に関する $2n$ 次元の結合正規確率密度関数は上述の共分散行列 V_k を用いて求められる。従ってフーリエ係数の実現値 $\tilde{a}_{ik}$ 、 $\tilde{b}_{ik}$ ($i=1, 2, \dots, m$)によって条件づけられたフーリエ係数 A_{ik} 、 B_{ik} ($i=m+1, \dots, n$)に関する $2(n-m)$ 次元の条件付の結合確率密度関数を解析的に求めることができる。この条件付確率密度関数によって、推定すべきフーリエ係数、すなわち m 個の条件付確率過程の確率論的性質は厳密に記述されたことになる。

3. 地震波動場への適用例 地震波動場を確率場として扱うために、原田ら⁴⁾によって解析的に導かれたランダム地盤上を伝播する地震波動場のスペクトルを用いた。矢印で示された地点で、観測波が与えられた場合($n=11$, $m=3$)の地震波動場の条件付平均とそのシミュレーション結果の一例をそれぞれ図1、2に示す。また、条件付確率場の理論より初通過問題の解を求めることができるので²⁾、その結果を用いて図1と同条件下での最大地動の期待値及び標準偏差を図3、4に示した。観測点では、誤差0で最大地動の観測値が与えられているが、観測点から離れた地点ほど、最大地動の期待値及び標準偏差は条件が無い場合へ近づき、推定誤差が大きくなることがわかる。

4. 風速変動場への適用例⁵⁾ 風洞内の風速変動場に関しては、岩谷⁶⁾が用いているスペクトルをそのまま用いて、風洞内の流下方向に垂直な断面における、風速の流下方向成分の変動のシミュレーションを行った。その際、実際に風速変動の観測を行い、その観測値を条件として用いた計算例を図5に示す。図5(a)は計算領域を示し図中の丸印は観測地点である。なお、この計算例では、計算対象地点が非常に多い($n=220$)ため、計算効率を改善した簡易計算法^{5),7)}を用いている。

5. おわりに 本報告では、既往の研究成果を用いてスペクトルを決定し、地震波動場や風速変動場の確率論的な評価を行った。しかし、より高い精度で評価を行うためには、対象とする物理現象を記述する運動方程式等から解析的かつ詳細にスペクトルを決定することが理想である。ところが、そのためには非常な困難を伴う場合が多く、むしろある程度の精度でスペクトルを与えておき、観測値が得られる度に順次スペクトルを更新していくという手法の開発が必要であると考えている。

謝辞 条件付確率場の理論を風速変動場に適用するにあたっては、京都大学防災研究所の丸山敬助手から風洞内の乱流の性質についてご教示いただいた。また、風洞実験によるデータ収集も同助手によるものである。記して感謝の意を表する次第である。

参考文献 1) Kameda & Morikawa, *Probabilistic Engineering Mechanics*, Vol. 7, No. 4, pp.243-254, 1992. 2) Kameda & Morikawa, accepted for publication in the *Journal of Engineering Mechanics Division*, ASCE, 1992.1. 3) 文部省科学研究費重点領域研究：内陸地震による強震動の予測、地盤・構造物・都市機能の障害とその対策に関する研究（研究代表者：和泉正哲），pp.189-204, 1993.3. 4) Harada & Shinozuka, *Proc. 9WCEE*, Vol. II, pp.825-830, 1988.8. 5) 盛川・丸山，第8回生研NSTシンポジウム講演梗概集「乱流の数値シミュレーション」—乱流モデル相互間の比較・検討—，東京大学生産技術研究所 NST研究グループ，pp.33-36, 1993.3. 6) 岩谷，日本風工学会誌，第11号，pp.5-18, 1982.1. 7) 盛川・亀田，平成5年度土木学会関西支部年次学術講演概要，第1部門，1993.5.

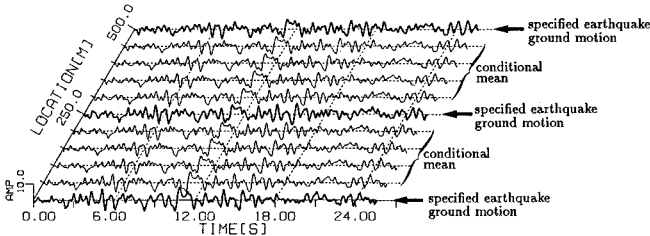


図1 地震波動場の条件付平均

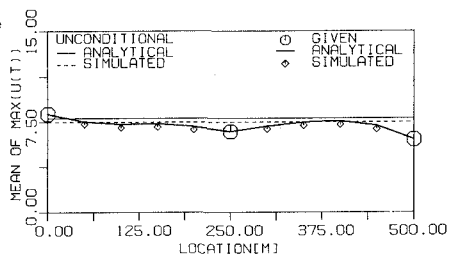


図3 最大地動の期待値

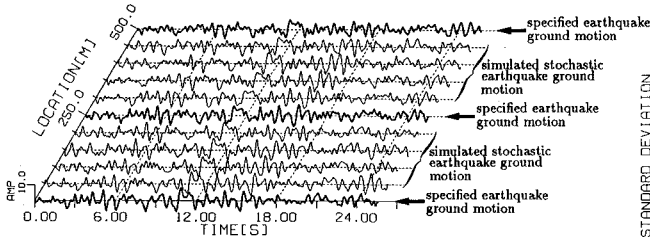


図2 地震波動場のシミュレーション例

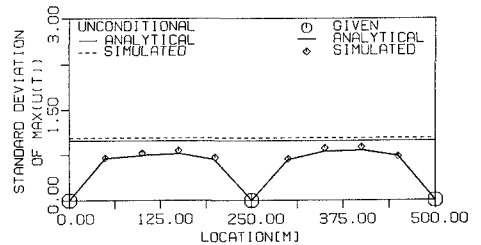
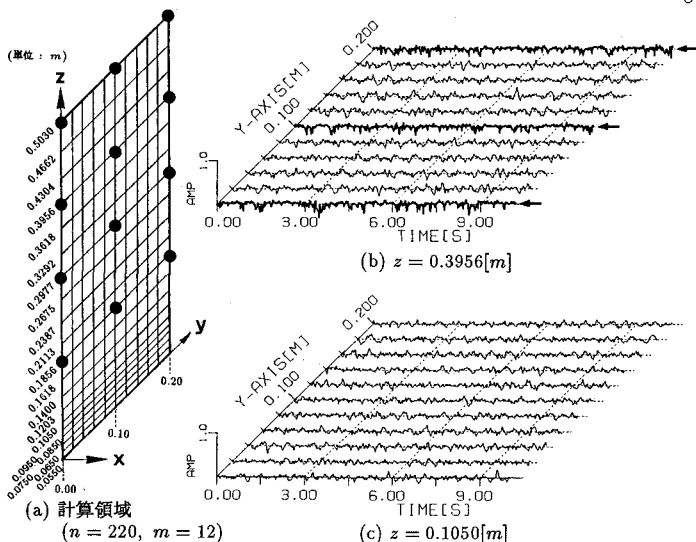


図4 最大地動の標準偏差



● 風速変動の観測位置
← 観測された風速変動

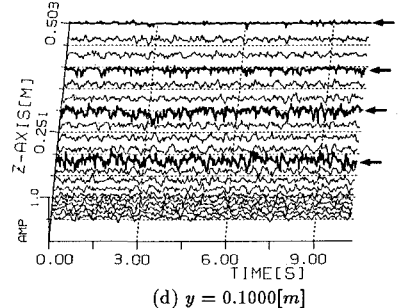


図5 風洞における風速の流下方向成分の変動のシミュレーション例