

I - 154

GAを用いた地震センサーの最適戦略配置

矢作建設工業（株） 正会員 笠野智成
鳥取大学工学部 正会員 野田 茂

1. はじめに

ライフラインの地震時緊急措置、例えばガスの供給遮断などは、各地点に設置された地震センサーからの情報により、実施される。地震動モニタリングシステムを構成する場合、1)有限な投資の下で、どの位置にいくつのセンサーを設置すればよいか、2)地震動の何を計測すればよいかや3)センサーの設置されていない地域の地震動をどのように把握すればよいか、という問題が生じる。

本研究では、このような問題に対し、空間場における確率的情報を活かし、1)任意地点における地震動特性を推定し、2)その推定誤差を最適化基準とみなして、センサーを戦略的に配置することを考える。

2. 研究の方法

立地条件や通信条件などを勘案して、センサー配置の候補地としてはm箇所を考える。ここで、既設の観測所（n箇所）に対し、m箇所のうちk箇所の観測所を新設する問題を設定する。

地震計としては加速度計とSIセンサーを考える。最大加速度やSI値は対数正規分布に従う。地震の発生位置、地盤情報や揺れ易さなどは、既往の観測データから、統計的に推測できる。そのため、先験的知識や観測情報により、物理量（最大加速度やSI値）の平均値や共分散関数は、空間位置の既知関数として、定められる、あるいは知り得ると仮定する。

本研究では、上記の前提条件の下で、文献1)で提案した対数Kriging法により、未観測点における物理量を推定し、その推定誤差分散を求める。この推定誤差分散を用いて、最適化のための評価関数を定め、遺伝的アルゴリズム（GA）により、それを最小化するようなセンサー配置法を考案する。図1は研究手順の流れ図である。

評価関数は、以下に示すように、設定する。すなわち、既設観測所（n箇所）による任意地点での推定誤差分散 $\sigma_{K,n}^2(x,y)$ とk箇所の観測所を新設したときの推定誤差分散 $\sigma_{K,n+k}^2(x,y)$ の差を前者で割ったものに対し、対象区域内で面積分したもの（評価関数1）、あるいは後者の推定誤差分散 $\sigma_{K,n+k}^2(x,y)$ を面積分したもの（評価関数2）を考える。

本問題は組み合わせ問題である。そのため、GAを用いて、センサー配置の最適化を行う。その際、GAにおける適応関数は上記の評価関数から変換して求める。図2にはGAの流れ図を示す。

評価関数 1；

$$\iint_{(x,y \in S)} \frac{\sigma_{K,n+k}^2(x,y) - \sigma_{K,n}^2(x,y)}{\sigma_{K,n}^2(x,y)} dxdy$$

評価関数 2；

$$\iint_{(x,y \in S)} \sigma_{K,n+k}^2(x,y) dxdy$$

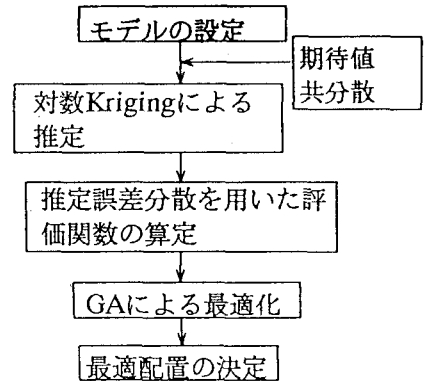


図1 最適配置決定の流れ図

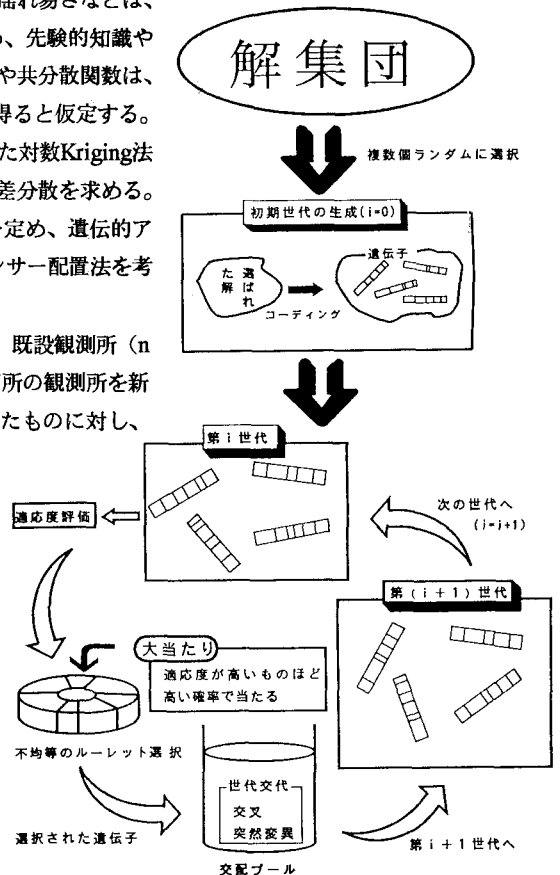


図2 GAの流れ図

3. 数値計算例

数値計算のため、対数正規確率場の平均値としては図3に示すような分布を、共分散は次式で示す関数を用いる。すなわち、2つの点 $X_i=(x_i, y_i)$ と $X_j=(x_j, y_j)$ に対し、共分散 $Cov(X_i, X_j)$ は距離 $\|X_i - X_j\|$ の関数で表す。

$$Cov(X_i, X_j) = 2 \exp \left[-\frac{\|X_i - X_j\|}{4} \right]$$

$n=4$ 、 $m=20$ と $k=10$ に対し、GAの計算を実施する。既設観測所の座標および観測値は表1のように設定する。建設候補地（新設観測所を含む）の観測値は、これらのデータの下で、対数Krigingの条件付シミュレーション（文献1）参照）から得たものである。

前述したように、本問題は組み合わせ問題である。その組み合わせ数は184,756通りある。各組み合わせに対して、推定誤差分散を求め、評価関数を計算し、その最小値を与える配置を決定すればよい。しかし、その計算量および計算時間は膨大であり、現実的ではない。そこで、本研究では、GAを用いることにより、これらの短縮を図る。

GAの各パラメーターとして、人口数は100、交叉確率は0.5、突然変異確率は0.006と設定する。適応関数としては評価関数の逆数を用いて、計算を行った。その結果、適応度の値は、評価関数1で-0.0106、評価関数2で0.00368となった。2つの評価関数に対し、センサーの配置は同一で、図4のようになる。この配置は、多次元の対数正規確率分布と観測データを勘案すると、極めて適切な解である。

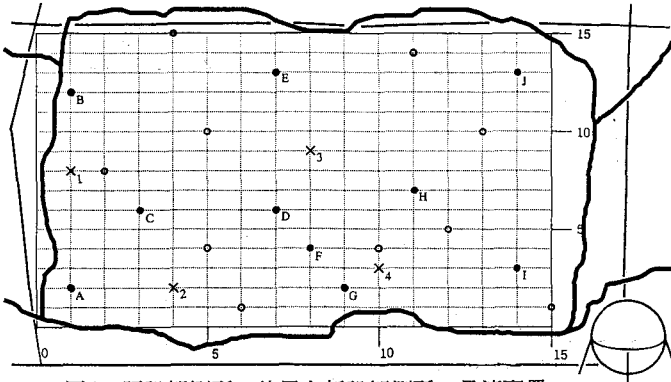


図4 既設観測所の位置と新設観測所の最適配置

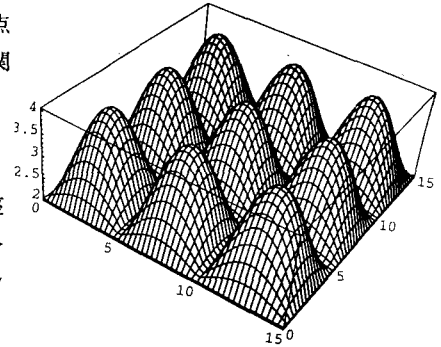


図3 平均値の3次元分布図

		座標		観測値
		x	y	
既設観測所	1	1.0	8.0	2.0
	2	4.0	2.0	5.9
	3	8.0	9.0	0.6
	4	10.0	3.0	2.5
新設観測所	A	1.0	2.0	4.1
	B	1.0	12.0	2.3
	C	3.0	6.0	2.6
	D	7.0	6.0	2.0
	E	7.0	13.0	2.3
	F	8.0	4.0	3.1
	G	9.0	2.0	4.1
	H	11.0	7.0	1.9
	I	14.0	3.0	3.2
	J	14.0	13.0	2.4

表1 既設観測所と新設観測所のデータ

4. あとがき

数値計算よりわかるように、推定誤差分散を最小化するように、空間的かつ戦略的に新設センサーの位置を求めることが可能である。このことは、1)対数Krigingによる誤差分散が物理的特徴を捉えていること、および2)GAは組み合わせ問題を解くのに工学的利用価値の高いことを示している。これらのことより、本手法の理論的な正しさおよび有用性が明らかになった。

参考文献

- 1) 星谷 勝・野田 茂・笠野智成：非正規確率場における補間問題の本質と条件付シミュレーション、土木学会第48回年次学術講演会講演概要集、第1部、平成5年9月。