土木学会第53回年次学術講演会（平成10年10月）

I－A161　情報積算法とその土木工学問題への適用

阿南高専・専攻科　正会員　松保重之

1．まえがき　工学問題を取り扱う際には当該システムの合理的評価が必要である。本報告では、情報積算法と呼ばれるシステムの評価法について紹介し、土木工学に関する問題への適用について考える。本手法は、最近注目され盛んに研究されてきているA-Lifeの手法へも適用可能で、数値計算例によってその有効性も示す。

2．情報量の定義とシステムの評価法　事象Aが生起したときの情報量 $I(A)$ は、事象 A の生起確率 $P(A)$ を用いて、式(1)で定義される。情報量 $I(A)$は、システムをある状態に維持するために必要な情報、物質、あるいはエネルギー等であると、解釈することができる。

$$I(A)=\ell n\{1/P(A)\} \tag{1}$$

システムパラメータ(S.P.)が確率変数の場合、情報積算法においては、この確率分布を一様分布で近似することが可能である。S.P.が必ず取り得る値の範囲はシステムレンジR_s、S.P.が設計上要求されている範囲はデザインレンジR_d、R_sとR_dの重複部分はコモンレンジR_cと定義される(Fig.1)。R_sが曖昧な場合、あるいは、範囲ではない場合には、0～1の値で満足の度合いを示す満足度関数の概念を用いる。満足度の上･下限に対応する上･下限満足度関数は、S.P.のxと満足度yを取った満足度平面(x,y)において、y=0(and 1)に対するS.P.の上･下限値を直線で結ぶことによって得られる(Fig.2)。この時、R_sはS.P.のある値xに対する上・下限の満足度の範囲として、また、R_dは要求されるS.P.の範囲に対する満足度の範囲(図中y_d～1)として与えられる。

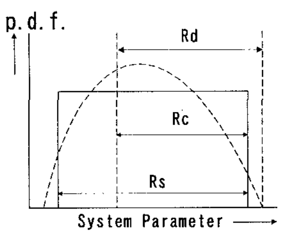

Fig.1 P.D.F of System Parameter

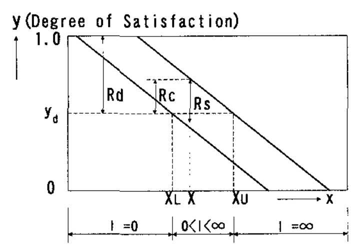

Fig.2 Function of Satisfaction

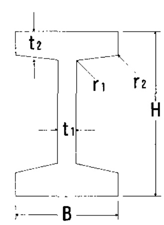

Fig.3 I-Type Section

以上の仮定のもとに、式(1)は式(2)に書き換えられる。式中、$P_1=\mathrm{Prob.}[x\in \mathrm{Rs}]$、$P_2=\mathrm{Prob.}[x\in \mathrm{Rc}]$である。

$$I=(P_2\text{の生起に必要な情報量})-(P_1\text{の生起に必要な情報量})=\ell n\,(1/P_2)-\ell n\,(1/P_1)=\ell n\,(P_1/P_2)=\ell n\,(\mathrm{Rs}/\mathrm{Rc}) \tag{2}$$

システムの評価は、互いに独立な各評価項目に対する情報量の総和(積算情報量と呼ばれる)が小さいほど、良いシステムであると判断することができる。最適化問題では、幾つかの仮定の下に、積算情報量を最小化する無制約条件･単一目的関数の問題(式(3)参照)に帰着させることができる[1)]。式(3)中、目的関数$F(\underline{X})$は基本変数ベクトル$\underline{X}$の関数、$I_i(i=1,\cdots,n)$は各評価項目 i に対する情報量である。

$$F(\underline{X})=I_1+I_2+\cdots+I_n \rightarrow \text{最小} \tag{3}$$

3．土木構造物の設計問題への適用　本手法は種々の工学問題に適用可能である。とりわけ、土木工学における計画、設計、施工、維持管理の問題への適用[1)-3)]は大変有効である。ここでは、設計への適用例[3)]を紹介する。

不規則分布荷重が作用する支間長L=4mの片持ち梁の横断面を、Fig.3およびTable 1に示すJIS規格の幾つかのI型鋼から選択する設計問題を考える。選択に際しては、梁の重さ(コスト)、曲げとたわみに対する破壊確率Q_M、Q_yの合計３つの評価項目を同時に考慮する。許容曲げ応力はσ_a=235.4 MPa、最大許容たわみはf_a=L/400=1 cm、弾性係数はE=206 GPaとする。不規則分布荷重qの確率特性値は平均値m_{q0} = 3.647 (kN/m)、分散D_{q0} = 11.375 $(\mathrm{kN/m})^2$とする。曲げとたわみとの間には相関性があると考えられるので、本研究では、最大の曲げとたわみが非相関となるように変数変換をし、その結果得られる独立な新変数に対して積算情報量を計算した(Table 1)。Table 1には、参考のため、曲げとたわみとの相関性を考慮しない場合の結果も示す。

ｷｰﾜｰﾄﾞ：情報積算法，土木工学・A-Lifeへの応用　連絡先：阿南市見能林青木265，Tel.&Fax.0884-23-7203

Table 1 Integrated Information Measures of I-Type Girder Sections

Steel No.	Standard Dimensions (mm)			Weight (N/m)	Moment of Inertia		$P_{f,s}$	IIM*	
	H×B	t_1	t_2		I_x (cm⁴)	I_y (cm⁴)		Independ.	Depend.
No.1	100×75	5.0	8.0	126.42	283	48.3	0.697593	∞	∞
No.2	125×75	5.5	9.5	157.78	540	59.0	0.574980	∞	∞
No.3	150×75	5.5	9.5	167.58	820	59.1	0.484012	∞	∞
No.4	150×125	8.5	14.0	354.76	1780	395	0.146130	∞	∞
No.5	180×100	6.0	10.0	231.28	1670	141	0.245679	∞	∞
No.6	200×100	7.0	10.0	254.80	2180	142	0.178072	∞	∞
No.7	200×150	9.0	16.0	493.92	4490	771	0.014685	∞	∞
No.8	250×125	7.5	12.5	375.34	5190	345	0.021361	∞	∞
No.9	250×125	10.0	19.0	543.90	7340	560	0.003147	∞	1.4224
No.10	300×150	8.0	13.0	473.34	9500	600	0.001879	∞	0.7396
No.11	300×150	10.0	18.5	641.90	12700	886	0.000173	∞	0
No.12	300×150	11.5	22.0	752.64	14700	1120	3.89E-05	∞	0.9632
No.13	350×150	9.0	15.0	573.40	15200	715	0.000135	∞	0
No.14	350×150	12.0	24.0	854.56	22500	1230	1.27E-06	∞	∞
No.15	400×150	10.0	18.0	705.60	24000	887	3.32E-06	3.207914	0.4810
No.16	400×150	12.5	25.0	938.84	31700	1290	4.47E-08	∞	∞
No.17	450×175	11.0	20.0	898.66	39200	1550	7.70E-09	∞	∞
No.18	450×175	13.0	26.0	1127.0	48800	2100	6.51E-11	∞	∞
No.19	600×190	13.0	25.0	1303.4	98200	2540	3.33E-16	∞	∞

* 'Independ.' and 'Depend.' indicate the results without and with considering a correlation between evaluation items Q_M and Q_y, respectively.

表より、評価項目間に相関がある場合は相関性を考慮して設計をすべき事、例えば $P_{f,s} \leqq 10^{-2}$ で最も経済的な断面を選択する従来法よりも、少しの経済投資で安全性を格段に向上させた設計が可能である事等が分かる[3]。

４．A-Life 手法への適用　A-Life 手法は、膨大なデータの処理、非線形回帰問題、多次元・多峰性の大域探索問題等の困難な問題の解法として有効で、本手法の適用を考えることは、工学応用上、意味ある事と考えられる。

4.1　GA への適用　GA は、離散的パラメータの扱いが可能、多峰性の評価関数に適用可能である等のため、最適化アルゴリズムとして有効である。そこで、GA の適応度(評価関数)として積算情報量を用いれば、多数の評価項目に関する結果が１つにまとめられ、更に効率の良い計算が可能である[1]。更に、満足度関数を用いれば、人間の感性等の曖昧なデータも扱いが可能である。従来の感性設計では、数量化理論による定量化に、因果関係等を考慮して感性の最適化を図るが、感性は曖昧かつ多峰性を有し、膨大な曖昧なデータ収集が必要で、そのデータ処理も困難である等の問題がある[4]。そこで、満足度関数を用いた本手法に基づけば、曖昧データを合理的に扱う最適化が可能となり、非常に有効な手段と成り得るものと考えられる。なお、著者は、GA より効率的な手法である極の緩和を用いた ANN に、本手法を適用し、良い結果を得ている[5]。

4.2　GP への適用　GP は記号処理的なプログラム生成を目的に、GA の遺伝子型を拡張し、構造的表現の扱いを可能としたものである。その結果、プログラムを進化させることによって当該問題に適応したプログラムを自動生成させる事が可能で、種々の問題に適用可能である。しかし、GP の計算では、進化(計算の経過)と共に膨大な時間とメモリが必要となると言う問題を有する。そこで、適合度計算に情報積算法を導入し、より効率的な GP を考えた[6]。具体的には、通常の適合度に加え、不必要な進化を抑制するために、木構造の成長の度合いを評価項目として考えた。数値計算例として、与えられたデータに適合するシステムを同定する問題を考える。式(4)で与えられる SDOF を仮定し、減衰定数 h と固有円振動数 p を同定する。　$\ddot{x} + 2hp\dot{x} + p^2 x = 0$　(4)
GP の計算では、① 与えられたデータ y_i と GP による予測値 $\hat{y}_i$ との誤差 $E = \sum \left| \hat{y}_i - y_i \right|$、および、② 終端記号の数、の２つを考慮して適合度を考える。情報積算法を適用しない GP では計算の収束すらできなかったが、情報積算法を用いた GP では解を得ることができた。本手法は、ｶｵｽ･ｼｽﾃﾑの推定にも有効であった。

参考文献　1) S.Matsuho et.al.: Reliability-based…Method, Proc. of ICOSSAR'93, A.A.Balkema, Vol.1, pp.669-676, 1994. 2) S.Matsuho et.al.: Design Method…Method, Proc. of ICOSSAR'89, Vol.3, pp.2243-2246, 1990. 3) S.Matsuho et.al.: Optimization Using…System, Optimal Performance of Civil Infrastructure Systems edited by D.M.Frangopol, ASCE, pp.127-138, 1998. 4)荒川他:遺伝的ｱﾙｺﾞﾘｽﾞﾑを用いた感性設計の試み,第５回ｼｽﾃﾑ最適化に関するｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑ講演論文集,1997. 5) S.Matsuho: On Application of the Artificial Life…Problem, Proc. of the ICOSSAR'97, 1997. 6) S.Matsuho et.al.: Basic Study on Application of Genetic Programming …, Proc. of the International Symposium on Optimization and Innovative Design, pp.54-56, 1997.