

性淘汰を導入したGAによる離散的最適設計法

九州共立大学工学部 正員 三原 徹 治
 アルファコンサルタント(株) 正員 〇千々岩 浩 巳
 九州共立大学工学部 正員 木村 貴 之

1. 緒言 離散的最適設計問題は、数学的には組合せ最適化問題の一種と位置づけられる。組合せ最適化問題の有力な解法として近年注目されている遺伝的アルゴリズム(GA)は、本質的に集団全体の進化を意図する手法であり、必ずしも「最良の個体」が進化した集団に存在する必要もなければ保証もない。特に、単純GAを離散的最適構造設計問題へ適用する場合、いくつかの問題点が指摘されているが原因を特定することは困難な状況にある。このため成長オペレータ¹⁾など新たなオペレータの導入による解決策も検討されているが、同時にGAの最大の特徴、すなわち、親世代の形質を子世代へ遺伝する生殖システムを核とした単純明解なアルゴリズムを保持するため、繁殖・淘汰戦略および交配システムに関する検討も必要と考えられる。その一方法として、本研究ではまず性淘汰をモデル化した生殖システムを用いたGAを開発し、さらに計算効率の向上を図る方策を提案する。数値実験により提案法の「最良の個体=最適設計」探索能力や効率性についての検討結果を報告する。

2. 単純GAの問題点と性淘汰 単純GAはルーレット戦略による繁殖・淘汰、一点交叉による確率的交配および2進数線列レベルの突然変異の各オペレータで構成される。離散的最適設計問題における問題点は、i)人口数が小さい場合、最適性順位(適応度)の低い個体が交配プールに残る確率が小さく、その遺伝子が次世代に引継がれにくいため集団多様性の低下を招く、ii)最適性順位の高い個体が交配により消滅することがあり、世代数を重ねることが必ずしも解の改良に直結しないの2点に集約される。

さて、有性生殖をする動物の生殖システムは一夫一婦制と一夫多妻制(または一妻多夫制)に大別される。子に対する親の投資が雌雄間で差がないと一夫一婦制になる傾向があり、一夫多妻制(または一妻多夫制)では雄(雌)の方が雌(雄)よりも子に対する親の投資が小さく雄(雌)に対して性淘汰がなされる²⁾。単純GAの生殖システムは、交配プールがあるため厳密ではないが、原理的には一夫一婦制とみることができる。これが先の問題点の1因であれば、性淘汰の導入により改善が期待できる。

3. 性淘汰を導入したGA しかし、離散的最適設計問題では各個体に性別がないので性淘汰が作用する生殖システムを導入するためには、個体性質に性別を設けるか、何らかの方法により性別らしき観念を与えるかのいずれかの対策をとる必要がある。ここでは、後者の考え方により最適性順位が比較的高い個体群とそれ以外の個体群にそれぞれ交配個体および被交配個体(交配個体と別性)の区分を与えた。その具体的手順を次に示す。手順①～④の性淘汰生殖システムは主として問題点i)の解決のため、手順⑤は問題点ii)の解決のためである。①総人口 N_F 個の集団から最適性順位が高い順に N_S 個の互いに異なる交配個体を抽出(被交配個体数は $(N_F - N_S)$ 個)。②ルーレット戦略により各交配個体の交配確率を算定。③ルーレット戦略により各被交配個体の交配確率を算定。④各1個の交配個体と被交配個体をそれぞれの交配確率により選択し、それらの一点交叉による確実な交配により次世代個体を発生(次世代個体数が $(N_F - N_S)$ 個になるまで)。⑤ N_S 個の交配個体はそのまま次世代個体に組込む(突然変異は被交配個体のみを対象とする)。

本法では交配個体と被交配個体が同じ場合が想定され、このとき発生する次世代個体は交配個体と同じであるばかりか、その個体は手順⑤により必ず次世代集団に存在するため進化の促進(計算効率)が阻害される。この対策として交配個体と同じ非交配個体を漸次消去する手順を付加した手法も開発した。

4. 数値実験 図-1に示す3部材トラス($P=20.0\text{tf}$, 応力度の設計限界値 $=1400\text{kgf/cm}^2$)の応力度制約下の最小重量設計を検討対象とした。設計変数(断面積) $X_{1,2}(\text{cm}^2)$ がとり得る40種類の離散値を表-1に示す。当初、列挙法により最適性順位30位までの離散解を求め、次いで種々の条件下で提案法および一部単純GAによる数値計算を行い、その特性を検討した。

まず、人口数=50, 突然変異確率=0.1, 最大計算世代数=30を共通に、単純GA(交叉確率=0.6)と提案法(交配個体数 $N_s=2$, 人口減少なし)により得られた計算世代数と罰金関数の対数値の関係を図-2に示す。図から単純GAでは最適解が得られず、12→13, 21→22, 23→24世代において最良離散解の劣化がみられるが、提案法の解は改良一方であり26世代で最適解が得られ、問題点ii)が改善されていることがわかる。また最良～最悪罰金関数値の差が単純GAでは3世代までに急激に小さくなり以後も徐々に減少し、個体間に均一化が認められる。一方、提案法では一部急激な減少があるが全般的な減少傾向は単純GAほどではなく、個体間の多様性が世代数を重ねてもかなり保持され、問題点i)に対しても効果的であるため最適離散解が得られ易い環境が実現されたと考えられる。

次に、人口数, 突然変異確率, 最大計算世代数を上記に固定し、人口減少を伴う提案法による解も含めた計算結果を表-2に示す(I_s は人口減少オペレータが稼働する世代間隔)。 $I_s=\infty$ は人口減少のない提案法を意味し、いずれの N_s でも最適離散解が得られた。人口減少のある提案法による解の最適性順位は $I_s=\infty$ の場合より全般に低い傾向にある。しかし、単純GAとの比較では $N_s=3$ 以上で $I_s=3, 4$ では同程度以上の解が得られ、効率性の点から有効と判断できる。

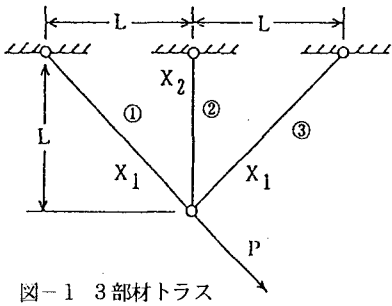


表-1 離散値データリスト

1.238	1.583	1.799	2.291	2.919	3.345	3.510	4.025	4.205	4.564
5.760	6.465	7.100	7.349	7.591	8.636	9.085	9.892	10.69	11.17
12.26	12.52	15.17	15.40	15.52	17.07	19.12	19.13	22.72	25.16
25.22	26.32	29.17	29.94	30.01	34.79	34.82	39.61	40.40	46.03

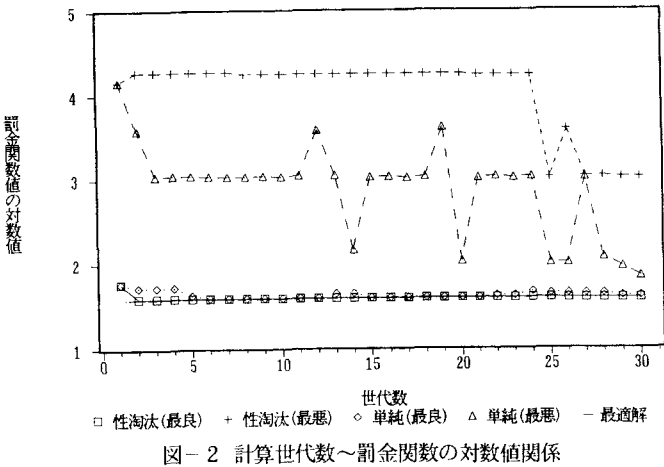


図-2 計算世代数～罰金関数の対数値関係

表-2 提案法と単純GAの比較

	N_s	I_s	I			II			III		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3
提案法	1	1	●	4 / 155	8 / 187						
		2	[●]	5 / 196	8 / 232						
		3	●	5 / 226	8 / 268						
		4	●	5 / 226	8 / 307						
		∞	[1]	15 / 750	30 / 1500						
	2	1	[30]	7 / 194	10 / 211						
		2	[2]	6 / 240	12 / 297						
		3	[20]	7 / 265	12 / 316						
		4	[28]	3 / 150	8 / 304						
		∞	[1]	26 / 1300	30 / 1500						
単純GA	3	1	●	3 / 126	10 / 210						
		2	[20]	12 / 313	15 / 332						
		3	[1]	10 / 333	24 / 463						
		4	[2]	11 / 248	16 / 461						
		∞	[1]	3 / 150	30 / 1500						
	4	1	[5]	5 / 201	9 / 262						
		2	[2]	10 / 365	14 / 411						
		3	[8]	11 / 355	21 / 453						
		4	[2]	11 / 402	30 / 498						
		∞	[1]	3 / 150	30 / 1500						
単純GA	5	1	[30]	6 / 194	8 / 215						
		2	[3]	7 / 266	12 / 347						
		3	[8]	3 / 140	15 / 421						
		4	[2]	9 / 380	20 / 581						
単純GA	7	1	[7]	6 / 300	30 / 1500						
		∞	[1]	7 / 350	30 / 1500						

人口数=50, 突然変異確率=0.1,
最大計算世代数=30,
単純GAの交叉確率=0.6,
 N_s : 交配個体数,
 I_s : 人口減少ステップ数,
I: 最良離散解の最適性順位
([●])は30位以上を示す),
II: 最良離散解が得られた世代数/構造解析回数,
III: 計算終了世代数/構造解析回数.

謝 辞 本研究の数値計算には九州共立大学工学部土木工学科卒研究生 林茂博, 三木功君の援助を受けた。記して謝意を表する。
参考文献 1) 杉本博之ら: 離散の構造最適設計のためのGAの信頼性向上に関する研究, 土木学会論文集, No. 471 / I 24, 1993. 7.
2) T. H. Goldsmith(渡植貞一郎訳): 進化からみたヒトの行動, 講談社, 1994. 6.