

遺伝的アルゴリズムを活用した高齢者福祉サービス供給量の最適化手法に関する研究～その2

正会員 ○ 山下 剛²⁾
友清貴和¹⁾

1. はじめに

本編ではまずGAの概要を述べる。次に必要な各値を設定し、検討の必要なものについては数パターンの比較を行ってGAを設計する。最後にGAを実行してその有効性と問題点について検討する。

2. GAの概要

生物界のすべての個体には、周囲の環境に対して高い適応度を有するものが多く繁殖して適応度の低い個体を淘汰し、個体群全体としてはさらにより高度な集団へと進化して行こうとする衝動がある。

GAはこうした生物進化プロセスを最適解探索途上での解選択に応用したものである^{註1)}。【図1】

GAの基本スキームは以下の通りである。

最初に対象となる問題事象をモデル化し、遺伝子と呼ばれる数値列を用いて記号化する。〔遺伝子型の決定処理〕

この遺伝子で表現される個体をあらかじめ定められた確率で複製し、遺伝子型が少しずつ異なる個体による集団を生成させる。〔集団発生処理〕

ここでまず各個体の評価を行い、個体の適応度を示す評価値を算出する。〔評価処理〕

ここで算出された評価値をもとに、適応度の低い個体を淘汰する。〔淘汰処理〕

淘汰によって集団サイズは減少するから、これを復元するために残った優良個体の複製を作り集団サイズを復元させる。〔増殖処理〕

こうして形成された集団を親世代とし、設定した確率で交叉を行なって子世代を生成する。子世代には親世代の優良遺伝子が強く受け継がれ、さらに優良な集団が生成される。〔交叉処理〕

しかしここまでの操作は個体集団が最初に持っていた遺伝子の内部で行われるため、初期の段階で解が収束し局所解に落ち込む可能性がある。

そこでGAでは次に個体の遺伝子をおある確率で一斉に変化させ、最初の個体からはまったく予期し得なかった遺伝子型を持つ新個体を生成する。これに

よって局所解からの脱出を図る。〔突然変異処理〕

GAの計算打ち切り基準はいくつかあるが、今回は世代数が32000に達した時点とした。これは使用した計算機処理能力の上限値である。〔群評価処理〕

GAの特徴は複数の解候補を対象として行われる最適解探索と、各解の適応度に基づいて行われる生物進化に類似した処理にある。

3. GAの設計

前編ではまず健康状態・介護家族人数等から64段階の高齢者タイプを設定し、各タイプ別に生ずるニーズを予測しながら高齢者一人当たりサービス必要量(Ni)を設定した。

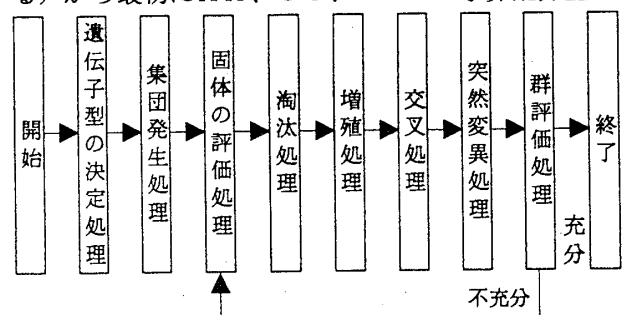
本GAは各市町村の使用可能予算を制限条件としている。それぞれ単位の異なる一人当たりサービス必要量(N)を円を単位とするサービス必要予算(D)の形に変換するため、次に各サービスの単位量当りコスト(CHH, CSS, CDS)を設定した。

一人当たりサービス必要量(Ni)に単位量当りコスト(C)と当該タイプ内の高齢者人数(Pi)を乗じたものを高齢者タイプ(i)におけるサービス必要予算(Di)とし、これを前編で設定した。

$$\bullet \text{サービス必要予算 } D_i = (N_{HHi} * C_{HH} * P_i, N_{SSi} * C_{SS} * P_i, N_{DSi} * C_{DS} * P_i)$$

各高齢者タイプにおけるサービス必要予算を合計したものが総サービス必要予算(D)である。

本研究では、使用可能予算(B)の総サービス必要予算(D)に対する割合(これを予算充足率とする)から最初にHH、SS、DSへの予算配分量



【図1】GAフローチャート

1) 鹿児島大学教授・工博 2) 同大学院生

(BHH, BSS, BDS) を決定しておく方法をとった。

本研究では、十分な予算が組めない場合には高齢者福祉の基幹となるHHに予算は重点配分され、予算量が増額されるに従って他のSS、DSにも多くの予算が配分されるように設定している。【図2】

今回は介護保険導入後を想定し、約60%の予算充足率を確保できる状態を設定した。3,850,000,000円の使用可能予算を各サービスに配分し、HH 2,233,000,000円(58%)、SS 962,500,000円(25%)、DS 654,500,000円(17%)と設定する。

この予算をさらに64高齢者タイプに配分する。この組み合わせの中で最適解を探索するのが本GAであり、その目安となるのがサービス重み値(Wi)である。重み値の大小が一人当たりサービス必要量の大小と一致するよう設定する。

GAで算出された解(以下GA解(X)と略す)は各高齢者タイプに配分される予算(BHHi, BSSi, BDSi)のサービス必要予算(DHHi, DSSi, DDSi)に対する割合で示される。GA解はサービス充足率を表し、十分な予算が配分されると高い値をとる。高齢者タイプ(i)にHH、SS、DSの3サービス予算を配分した時のGA解、すなわちサービス充足率は(XHHi, XSSi, XDSi)で表される。GA解は0~1の値をとるが、本GAではこれを2進数表現して0~127の128(2⁷)段階の値で表現する。

[0000000] = 0	0 = 0.00 (0%)
[1100100] = 100	100 = 0.79 (79%)
[1111111] = 127	127 = 1.00 (100%)

GA解が100ならば当該高齢者タイプ内の高齢者全員に必要な量の79%のサービスを提供すべきことを示す。市町村はこの値に従って各高齢者へサービス供給を行うだけで最も効果的な高齢者福祉を行える。

各高齢者タイプごとに算出されたGA解(XHHi, XSSi, XDSi)はそれぞれ7桁の数値で表現され、1タイプのGA解は21桁の数値で表現される。

設定した重み値(WHHi, WSSi, WDSi)に算出されたGA解(XHHi, XSSi, XDSi)を乗じたものを高齢者タイプ(i)における福祉得点(Si)とする。

$$\bullet \text{福祉得点 } S_i = WHH_i \cdot XHH_i + WSS_i \cdot XSS_i + WDS_i \cdot XDS_i$$

この値を全高齢者タイプで合計したものが市町村における全福祉得点(S)であり、必要量・重み値が高い高齢者タイプにサービスが多く供給されると

福祉得点は高くなる。つまり福祉得点は市町村におけるサービス需給の整合性を知る指針となる。

本GAはこの福祉得点を評価値とし、これを最大化させるGA解組み合わせを探索するものである。

4. 最適状態の設定

一人当たりサービス必要量(Ni)と高齢者数(Pi)は一般に反比例関係にあり、サービスニーズの高い重症高齢者の人数は少ない場合が多い。

福祉効果を量で評価すれば人数の多い軽症者へのサービス供給が必要であり、質で評価すれば人数の少ない重症者へのサービス供給が必要である。

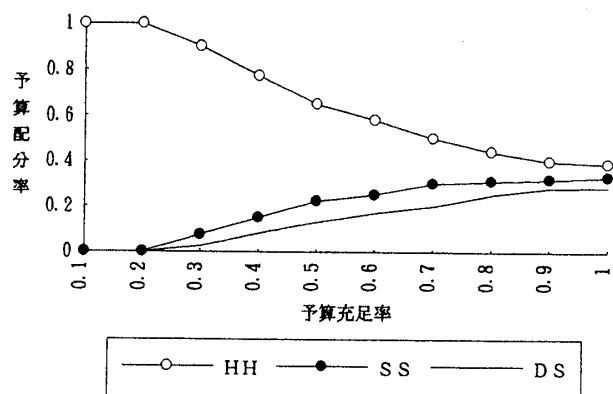
本研究では高齢者福祉の充足度を質で評価する方法を採用し、重症高齢者タイプへ予算を重点配分する状態を最適状態と設定した。この最適状態は極端な例であり、重症者へ予算を重点配分した結果、軽症者には予算が全く配分されない場合も生じかねない。しかし十分な予算を組めない市町村ではこうした極端な供給形態も実際ありうるし、また極端な状態を考えることで理論的な最適解(これを理論解とする)の予測も容易になり、GA解の理論解への到達状況を確認できるメリットも生じる。

最適状態に関する判断は福祉政策と連関しており、画一的な最適状態は高齢者福祉には存在しない。今後のGA活用に際しては各市町村がそれぞれの状況に応じて最適状態を設定する必要がある。

5. 重み値の設定

今回は64タイプ別に1~64の値を機械的に与え、これにサービス必要予算を乗じた重み値の大小が高齢者一人当たりサービス必要量の大小に一致するよう設定した。

この時64段階の増加率が問題であり、そのスケールによってGA解の理論解への到達状況も異なる。



【図2】 予算充足率と予算配分率の関係

今回は64段階で一定に増加する比例直線型、最初は増加率が小さくやがて急激に増加する指数カーブ型、最初と最後に増加率が小さく中央で急激に増加するロジスティックカーブ型の3タイプを設定した。

初期設定として突然変異確率0.02、交叉確率0.6という一般的な値を与え、世代数32000でそれぞれGAを実行し、GA解の理論解に対する到達状況を比較する。計算の打ち切り基準とした世代数32000は、計算機の処理能力による上限値である。

比較検討の結果、3タイプともGA解は理論解の98%前後に到達したが、最も接近したロジスティックカーブ型を重み値として採用する。【表1】

6. 突然変異確率

重み値をロジスティックカーブ型とし、交叉確率を0.6としてGAを実行した。この時突然変異確率を0.001から0.5までの11パターン設定し、理論解への到達状況を比較した。

この結果突然変異確率0.005の場合におけるHHの理論解到達率は、0.0025の場合よりもやや低い。しかしその他のSS、DSの理論解到達率は11パターン内で最も高くなっており、また全体的にも最も理論解に接近している。よって今回のGAにおける突然変異確率として0.005を採用する。【表2】

7. 交叉確率

重み値をロジスティックカーブ型とし、突然変異確率0.02としてGAを実行する。この時交叉確率を0.15から0.95までの7タイプ設定し理論解への到達状況を比較した。

この結果HH、SSの理論解到達率は交叉確率0.3の場合が最も高く、DSでは0.9の場合が最も高い。しかし全体的には交叉確率0.95の場合が最も理論解に接近しており、本研究では0.95をGAにおける交叉確率として採用する。【表3】

【表2】突然変異確率別の理論解到達状況の比較

確率	.001	.003	.005	.008	.010	.025	.050	.075	.100	.250	.500
HH	.965	.987	.981	.977	.974	.938	.827	.862	.865	.662	.426
SS	.841	.959	.974	.960	.960	.927	.863	.782	.759	.660	.601
DS	.894	.925	.955	.949	.933	.895	.849	.749	.776	.668	.628
全体	.900	.958	.970	.962	.956	.921	.846	.799	.801	.663	.549

【表3】交叉確率別の理論解到達状況の比較

確率	.1500	.3000	.4500	.6000	.7500	.9000	.9500
HH	.9982	.9987	.9985	.9983	.9985	.9982	.9981
SS	.9929	.9942	.9931	.9928	.9934	.9926	.9940
DS	.9764	.9752	.9745	.9758	.9773	.9806	.9799
全体	.9909	.9913	.9906	.9907	.9914	.9918	.9921

8. GAの実行

突然変異確率0.005、交叉確率0.95、個体数16、世

【表1】ロジスティックカーブ型による重み値

No.	WHHi	WSSi	WDSi
1	53536353	228000365	165443452301
2	53609531	110981280	94965001819
3	23524090	468759245	234385075800
4	25465603	228469680	138739168126
5	296953119	855191520	279566113133
6	278517343	418412650	170018555731
7	159657526	1741448192	358091504856
8	153084424	852408339	221782051721
9	381919667	479477837	110876920627
10	345334830	829058608	69253867980
11	220789188	1770923059	134831574931
12	203850839	874459040	85787995601
13	1661539471	30430400	149954565600
14	1491369135	14683200	96071219604
15	1000647290	63303014	173302893242
16	900129355	30541056	114009140544
17	7626371997	13302284621	219832436736
18	6737096870	6669760608	141685665912
19	4729637753	25551509350	258537699130
20	4211306382	12937138790	166903980672
21	27862921192	42564748115	270037395859
22	24100637107	21868120224	174566700970
23	17987311851	77001668813	317437571304
24	15670369827	40183651213	204417105336
25	25888696996	33078580480	93069630720
26	21634082653	17878089824	60465694330
27	17521167753	52756193318	107669149474
28	14906931445	29334079632	69720308268
29	73279403027	1970817408	117318333888
30	57423265333	977280230	76069941480
31	56002831638	3927290880	137632435200
32	44875538861	1935724378	88306794576
33	175337698236	222997466957	1463723827
34	127387224572	143309633472	716686272
35	152109814599	259288595405	2912137862
36	114498814178	167194360800	1437325085
37	231146843416	218544967680	4149865267
38	161072690111	141525966490	2070611424
39	225345375413	254053845760	8011932312
40	160037547648	164330128432	4032171792
41	83627246149	68265906330	3482756544
42	57021099226	44357919840	1786241340
43	88882029374	80987934720	6438118579
44	61309570302	52738563872	3377058677
45	117123713781	71357415360	10432810186
46	76659719985	44757665856	5445569880
47	124842137232	83118353587	16765835390
48	84896777314	54026953568	9352464660
49	191266178969	71804627328	5940480
50	128267236949	43857694771	2815200
51	206678817463	90952530624	12647837
52	139103701445	56770065830	6059290
53	103296771846	43853415424	10481520
54	66098091749	26506578490	4826395
55	110895026839	52088709518	21563942
56	75340415630	33704080301	10581480
57	15809028401	7023082176	5067360
58	9641403963	4114541808	2249345
59	21400386177	10250947123	12905693
60	15548133257	7177194368	6844200
61	20214036927	4234520333	19973722
62	13682283264	2474145830	9918806
63	26125189193	7001222144	47726208
64	19904258276	4752178464	26763984

【表4】GA解（サービス充足率）と福祉得点

No.	解	HH得点	解	SS得点	解	DS得点		
1	47	1.98E+07	2	3.59E+06	0	0.00E+00		
2	71	9.00E+07	10	8.74E+06	1	7.48E+08		
3	47	8.71E+06	1	3.69E+06	0	0.00E+00		
4	75	1.50E+07	2	3.60E+06	3	3.28E+09		
5	16	3.74E+07	2	1.35E+07	1	2.20E+09		
6	116	2.54E+08	0	0.00E+00	2	2.68E+09		
7	23	2.89E+07	0	0.00E+00	11	3.10E+10		
8	32	3.86E+07	2	1.34E+07	4	6.99E+09		
9	111	3.34E+08	3	2.08E+07	85	7.42E+10		
10	124	3.37E+08	2	6.76E+06	111	6.05E+10		
11	56	9.74E+07	1	1.39E+07	27	2.87E+10		
12	5	8.03E+06	0	0.00E+00	121	8.17E+10		
13	111	1.45E+09	4	9.58E+05	69	8.15E+10		
14	109	1.28E+09	32	3.70E+06	126	9.53E+10		
15	103	8.12E+08	1	4.98E+05	45	6.32E+10		
16	99	7.02E+08	0	0.00E+00	125	1.12E+11		
17	127	7.63E+09	1	1.05E+08	23	3.98E+10		
18	124	6.58E+09	1	5.25E+07	95	1.06E+11		
19	127	4.73E+09	5	1.01E+09	63	1.28E+11		
20	117	3.88E+09	6	6.11E+08	92	1.21E+11		
21	127	2.79E+10	11	3.69E+09	127	2.70E+11		
22	127	2.41E+10	3	5.17E+08	127	1.75E+11		
23	127	1.80E+10	59	3.58E+10	25	6.25E+10		
24	126	1.55E+10	126	3.99E+10	119	1.92E+11		
25	127	2.59E+10	127	3.31E+10	59	4.32E+10		
26	127	2.16E+10	117	1.65E+10	127	6.05E+10		
27	127	1.75E+10	127	5.28E+10	125	1.06E+11		
28	127	1.49E+10	125	2.89E+10	117	6.42E+10		
29	127	7.33E+10	1	1.55E+07	63	5.82E+10		
30	127	5.74E+10	16	1.23E+08	94	5.63E+10		
31	127	5.60E+10	13	4.02E+08	111	1.20E+11		
32	126	4.45E+10	76	1.16E+09	37	2.57E+10		
33	127	1.75E+11	127	2.23E+11	1	1.15E+07		
34	127	1.27E+11	127	1.43E+11	0	0.00E+00		
35	127	1.52E+11	127	2.59E+11	0	0.00E+00		
36	127	1.14E+11	127	1.67E+11	0	0.00E+00		
37	127	2.31E+11	127	2.19E+11	4	1.31E+08		
38	127	1.61E+11	127	1.42E+11	0	0.00E+00		
39	127	2.25E+11	127	2.54E+11	2	1.26E+08		
40	127	1.60E+11	127	1.64E+11	0	0.00E+00		
41	127	8.36E+10	127	6.83E+10	0	0.00E+00		
42	127	5.70E+10	127	4.44E+10	26	3.66E+08		
43	127	8.89E+10	127	8.10E+10	1	5.07E+07		
44	127	6.13E+10	127	5.27E+10	15	3.99E+08		
45	127	1.17E+11	127	7.14E+10	18	1.48E+09		
46	127	7.67E+10	127	4.48E+10	2	8.58E+07		
47	127	1.25E+11	127	8.31E+10	27	3.56E+09		
48	126	8.42E+10	127	5.40E+10	69	5.08E+09		
49	127	1.91E+11	127	7.18E+10	3	1.40E+05		
50	127	1.28E+11	127	4.39E+10	4	8.87E+04		
51	127	2.07E+11	126	9.02E+10	1	9.96E+04		
52	127	1.39E+11	127	5.68E+10	1	4.77E+04		
53	127	1.03E+11	127	4.39E+10	0	0.00E+00		
54	127	6.61E+10	127	2.65E+10	25	9.50E+05		
55	127	1.11E+11	127	5.21E+10	1	1.70E+05		
56	127	7.53E+10	127	3.37E+10	3	2.50E+05		
57	120	1.49E+10	125	6.91E+09	23	9.18E+05		
58	111	8.43E+09	121	3.92E+09	15	2.66E+05		
59	127	2.14E+10	122	9.85E+09	78	7.93E+06		
60	127	1.55E+10	119	6.73E+09	22	1.19E+06		
61	127	2.02E+10	127	4.23E+09	69	1.09E+07		
62	127	1.37E+10	111	2.16E+09	3	2.34E+05		
63	125	2.57E+10	125	6.89E+09	16	6.01E+06		
64	127	1.99E+10	121	4.53E+09	1	2.11E+05		
HH		3.63E+12 (99.9%)	SS		2.75E+12 (98.8%)	DS		2.28E+12 (97.2%)
計		8.66E+12		(98.8%)				

代数32000でGAを実行した。

この結果64タイプの高齢者に対するHH、SS、DS各サービス充足率を得られたが、GA解評価値は理論解評価値に到達していない。【表4】

GAは必ずしも最適解への収束を保証しないが、今回のGA解評価値は理論解の約99%に到達しており、最適解の探索は順調に進んでいる。【図3】

むしろ2¹³⁴⁴通り存在する解の組み合わせの中で、わずか16*32000個の組み合わせを探索するだけで理論解の98%以上にまで接近した解を得られていることから、高齢者福祉サービス供給量決定手法へのGA活用は有効であると考えられる。

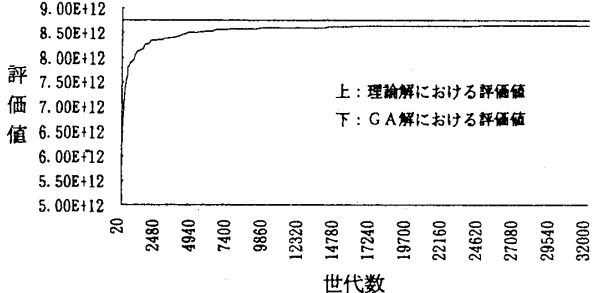
GA解が理論解に到達しない原因には、設定した突然変異・交叉確率が適切でなかった可能性、および2¹³⁴⁴という広大な領域内で解を探索するには設定した32000世代が小さすぎた可能性が考えられる。

9. おわりに

今回の研究ではGA解と理論解との間に厳密な一致を得られなかったが、GAを活用した高齢者福祉サービス供給量の決定手法には多くのメリットがあり、そうした可能性を萌芽的に示せたと思われる。

本研究で設計したGAは高齢者のニーズを64タイプで設定しており、多様なサービスニーズに対応できる。各市町村は志向する最適状態を設定し、居住する高齢者数を入力して本GAを実行するだけで、最適なサービス供給量を知ることができる。

また今回はある限られた予算内で市町村の高齢者福祉効果を最大化させるGA問題を考えたが、これとは逆に、ある高齢者福祉効果を達成するために必要な最低予算を求める問題でも同様にGAを用いて解を得ることが可能である。



【図3】GA解評価値の理論解評価値への到達状況

注釈 1) GA概要については『遺伝的アルゴリズム』米澤保雄(森北出版1993)を参考にし、【図1】は同書P99を参考に作成した。