

博士学位論文

介護事業におけるスタッフ・スケジューリング
に関する研究

平成30年3月

黒川 達矢

岡山県立大学大学院

情報系工学研究科

目次

第1章 緒論

1. 1	本研究の背景	1
1. 1. 1	介護保険制度	1
1. 1. 2	介護事業の問題点	3
1. 2	本研究の目的と方法	6
1. 3	本論文の構成	6

第2章 訪問介護におけるスケジューリングに関する提案

2. 1	緒言	8
2. 2	訪問介護の特性	8
2. 3	遺伝的アルゴリズム	13
2. 3. 1	GAの概要	14
2. 3. 2	初期集団の形成	15
2. 3. 3	終了条件	15
2. 3. 4	適応度	15
2. 3. 5	選択	15
2. 3. 6	交叉	17
2. 3. 7	突然変異	19
2. 4	共存型遺伝的アルゴリズム	20
2. 4. 1	CGAの概要	20
2. 4. 2	終了条件	21
2. 4. 3	適応度	21
2. 4. 4	選択	21
2. 4. 5	交叉	21
2. 4. 6	突然変異	22
2. 5	先祖返りオペレーション	22
2. 6	提案手法	23
2. 6. 1	各種基準の設定	23
2. 6. 2	初期集団	25
2. 6. 3	制約条件	26
2. 6. 4	評価関数	27
2. 7	検証	28
2. 8	結果	29
2. 9	結言	34
	参考文献	35

第3章 狩野モデルを用いたサービスの評価と応用

3. 1	緒言	36
3. 2	狩野モデル	36
3. 3	狩野モデルに基づく総合評価指標	38
3. 3. 1	吉光らによるサービス評価関数	38
3. 3. 2	プロスペクト理論	38
3. 3. 3	価値関数の定式化	40
3. 3. 4	希求水準法	42
3. 3. 5	提案手法	45
3. 4	介護サービススケジューリングへの実装	47
3. 4. 1	介護サービススケジューリングの追加条件と定式化	47
3. 4. 2	希望曜日	49
3. 4. 3	希望時刻	49
3. 4. 4	希望機関	51
3. 4. 5	実施日数	51
3. 4. 6	担当機関数	52
3. 4. 7	派遣人数	52
3. 5	検証	53
3. 5. 1	探索手法	53
3. 5. 2	CGAによる解表現	53
3. 5. 3	初期解の生成	55
3. 5. 4	選択	55
3. 5. 5	交叉	56
3. 5. 6	突然変異	56
3. 6	検証実験の各種データ	60
3. 6. 1	要介護者データ	60
3. 6. 2	サービス提供機関のデータ	60
3. 6. 3	先祖返り CGA のパラメータと実験環境	60
3. 6. 4	狩野モデルの分類	61
3. 7	検証結果	61
3. 8	結言	62
	参考文献	64

第4章 高齢者専用住宅におけるスケジューリングに関する提案

4. 1	緒言	65
4. 2	高齢者専用住宅における現状と評価基準の設定	65

4. 3	求解に用いたメタヒューリスティック	66
4. 3. 1	遺伝的アルゴリズム (GA)	66
4. 3. 2	差分進化 (DE)	66
4. 3. 4	タブーサーチ (TS)	67
4. 3. 4	疑似焼きなまし法 (SA)	67
4. 4	比較手法と検証	68
4. 4. 1	制約条件	68
4. 4. 2	目的関数	69
4. 4. 4	各解法の表現について	70
4. 4. 4	遺伝的アルゴリズム	71
4. 4. 5	差分進化	71
4. 4. 6	タブーサーチ	72
4. 4. 7	疑似焼きなまし法	73
4. 4. 8	単位数最大化	73
4. 4. 9	評価方法	74
4. 5	検証	75
4. 6	結果	76
4. 7	結言	80
	参考文献	81

第5章 結論

	結論	82
--	----	----

謝辞

第1章 緒論

1. 1 本研究の背景

日本の公的介護制度は、元来老人福祉法による措置制度として行政判断で行われるものだった。しかしながら、高齢化社会の到来、福祉財源の枯渇が予見されたため、介護制度は行政措置から介護保険法を元とする保険サービスに変化した。2000年に介護保険法が施行されて介護保険サービスが始まったが、年を追うごとに高齢化社会による利用者数と、経営多角化のビジネスチャンスと捉えられたことによって事業所数が著しく増加していった。しかしながら、全人口における労働者人口は減少の一途を辿り、景気の好転から介護従事者数は目立った増加に至らず、逆に需要と供給のバランスは完全に需要過多の傾向にある。また、近年情報処理技術の進歩と一般化により様々な業種の事務作業に情報化技術や ICT が導入されている。そこで介護事業においても人的業務と ICT などの情報化可能な業務の分別は必須であり、情報化可能な業務は ICT に委ね、人的業務に人的労働力を集中させない限り介護事業の継続は難しいと考えられている。また、介護保険制度自体が法改正を重ね、新しいサービスの創設や廃止・合併を繰り返すため、法改正による細かな制度変化に対する対応は人間でしか行うことができている。このような対応にも人間の労働力が必要となるため、通常業務における事務や計画作業などの AI 化は必須と言える。

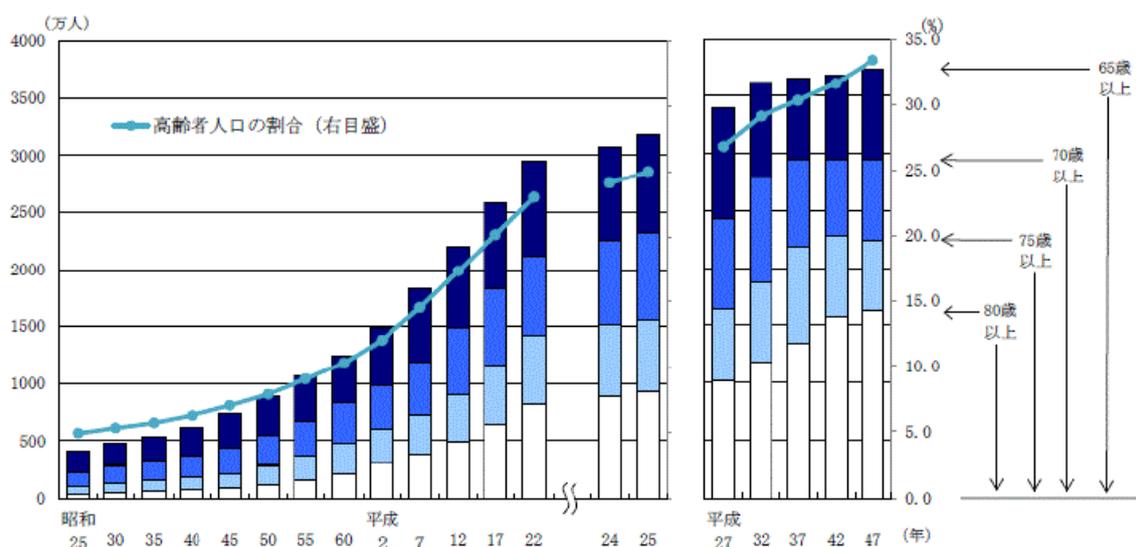
特に類似の業種として介護の派生元である医療看護において、病院における看護師勤務表の作成アルゴリズムは古くから研究されており、いくつか実用的な水準まで作成できるようになった。同様に訪問介護の勤務表作成や通所介護の送迎ルート作成にも応用され研究されている。しかしながら、元となる介護保険の制度が3年或いは5年ごとに改正され、またその時代の労働者が優先的に選択する労働条件はその都度代わるため、それぞれの探索方法がその時代では最適であっても現状に即しているとは限らない。また、定期巡回型随時対応型サービスや小規模多機能サービスなどの新しいサービスに即した探索などはいまだ研究された事例は無い。

そこで本研究では、現在の法律に即した訪問介護のスケジューリングに合う共存型遺伝的アルゴリズムを提案する。また最近建設が進みサービスの提供が増えている高齢者専用賃貸住宅専用の訪問介護スケジューリングを提案する。

1. 1. 1 介護保険法と需要

本研究の基となる介護保険法は平成9年に制定され、平成12年より施行された社会保険の1つで、人口バランスの変化に伴う高齢福祉の必要性の増大(図

1.1 参照) とサービス提供供給体制対策, 戦後に制定された老人福祉法及び老人保健法の財政破たんを防止するために制定された。そのサービスは在宅に訪問しサービスを提供する訪問サービス (訪問介護, 訪問看護, 訪問リハビリ, 定期巡回随時対応型訪問介護等), 介護施設に通う通所サービス (通所介護, 通所リハビリ, ショートステイ等), 入居しサービスを受ける施設サービス (特別養護老人ホーム, グループホーム, 介護付き有料老人ホーム等), その他サービス (ケアプラン作成, 福祉用具貸与, 住宅改修) などがある。それぞれのサービスでは利用者自身の要介護度やサービス種類, サービスの提供時間によって自己負担の額が決まっている。そこで利用者は必要サービス種類, 家族構成, 生活状況, 金銭的余裕を勘案し各種サービスを組み合わせて介護保険を利用している (図 1.2,1.3 参照)。



資料：昭和25年～平成22年は「国勢調査」、平成24年及び25年は「人口推計」
 平成27年以降は「日本の将来推計人口（平成24年1月推計）」出生（中位）死亡（中位）推計（国立社会保障・人口問題研究所）から作成
 注）平成24年及び25年は9月15日現在、その他の年は10月1日現在
 出典：統計局 統計トピックスNo72 統計からみた我が邦の高齢者（65歳以上）-「敬老の日」にちなんで

図 1.1 高齢者人口及び割合の推移

サービス類型ごとの要介護利用者数／総費用内訳等

要介護のサービス利用者のうち、居宅・地域密着サービスは76%、施設サービスは24%であるが、総費用においては、居宅・地域密着サービスは58%、施設サービスは42%となっている。

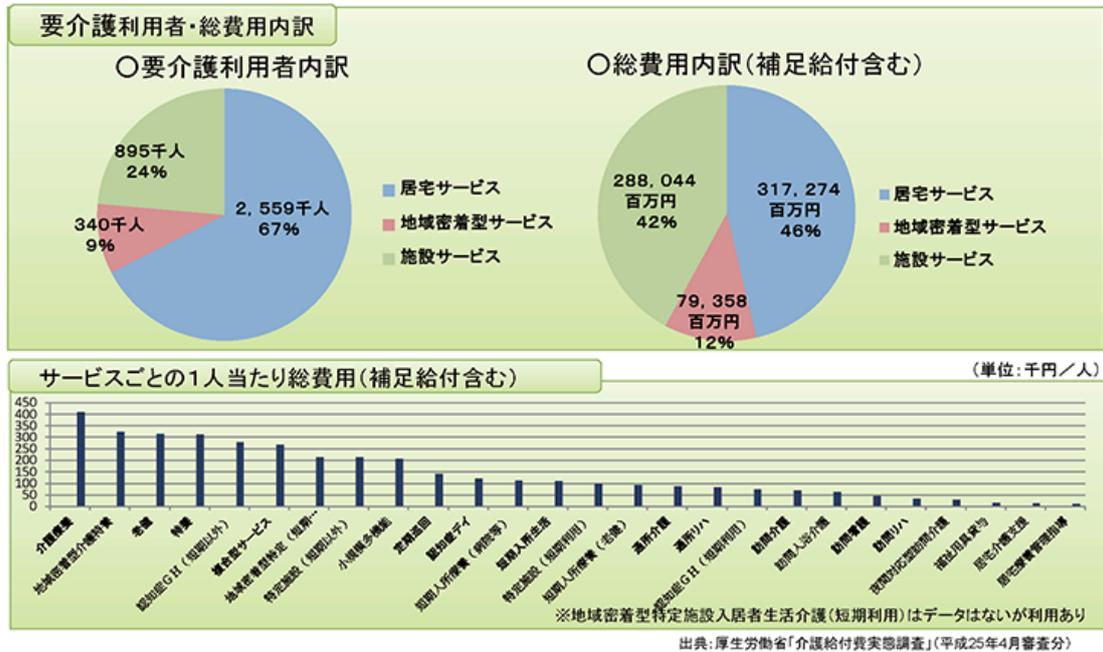


図 1.2 サービス毎の利用者数

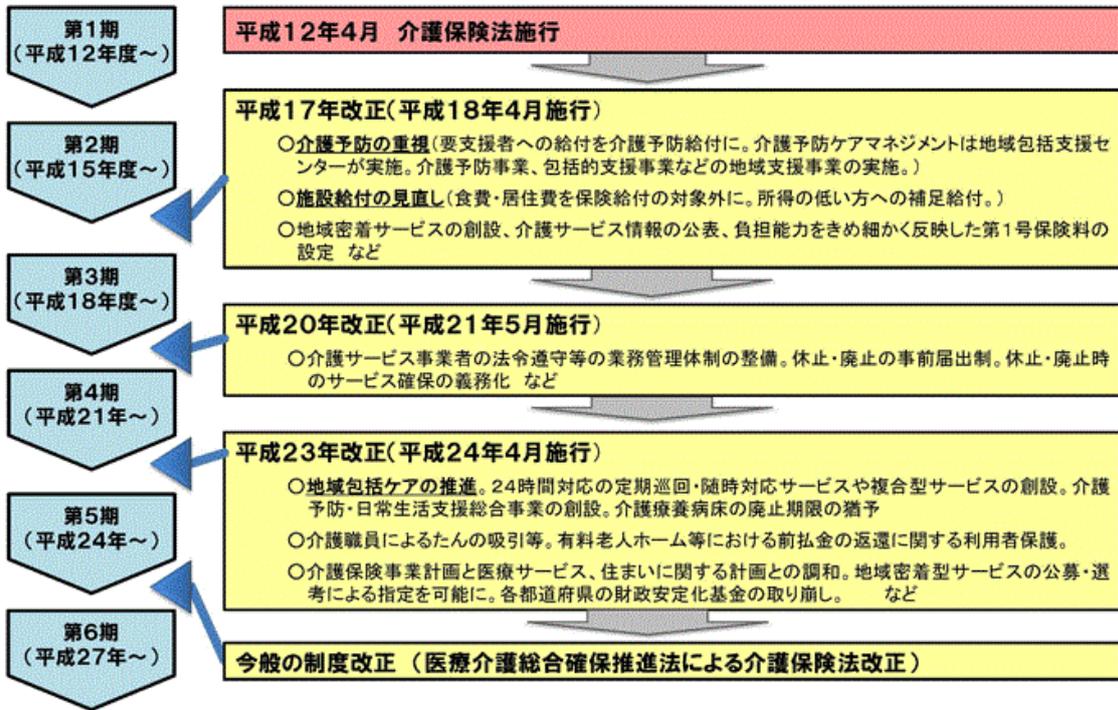
一般的に軽微な介護が必要な程度であれば、同居の家族や近隣に住む家族、少ない回数の訪問サービスや通所介護サービスの対応で生活を送ることが可能である。しかしながら、寝たきりや認知症のような介護頻度が高い場合は入居系サービスを使用しなければ生活を送ることが難しい。また、入居系サービスは特別養護老人ホームを除き、いずれも金額が高額になりやすい傾向がある。よって最近では自宅で訪問及び通所のサービスを多用しながら同居の家族が介護を行って生活を送る方法と、住宅型有料老人ホームや高齢者専用賃貸住宅に入居し、併設している訪問介護を多用しながら生活する方法が多い。

更に最近の国の施策としては、国の費用負担が軽い在宅介護を推進している。よって訪問介護に対するアプローチはより重要性を増すと考えられる。

1. 1. 2 介護事業における問題点

介護保険事業に関する問題点として、まず度重なる法改正がある(図 1.3 参照)。介護保険制定以来利用者数は増加の一途を辿っており、介護サービスの需要は見込まれている。しかしながら、人口動態及び国家予算などの変化に合わせて、サービスの創設廃止、単価の変動が3年及び5年毎に改正によってもたらされ、その都度保険制度に合った検討が必要になってくる。

介護保険制度の改正の経緯



出典：WAMNET これまでの介護保険制度の改正の経緯と平成27年度介護保険改正の概要について

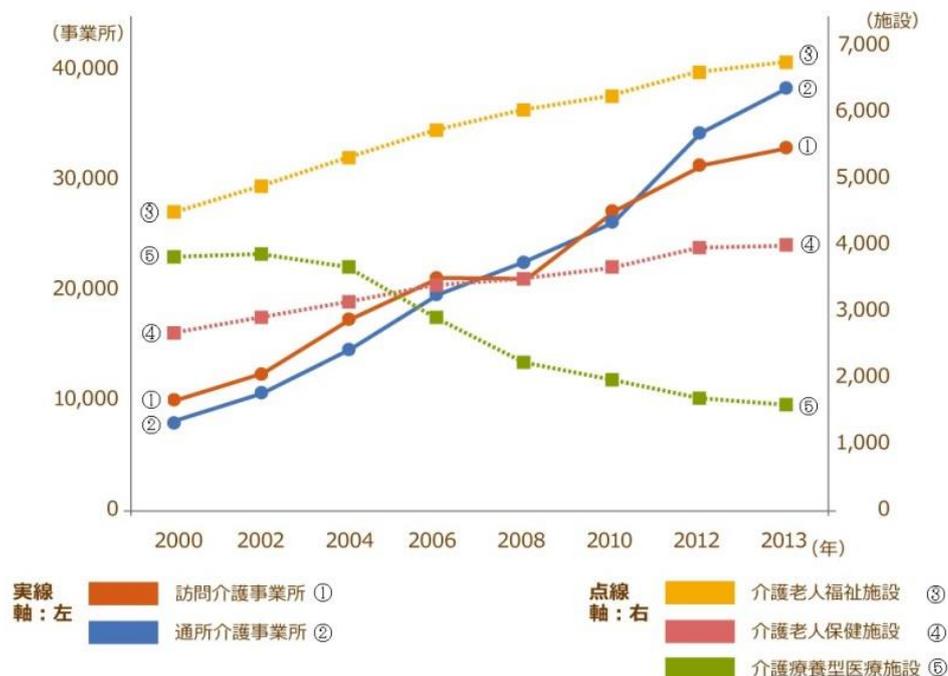
図 1.3 介護保険制度の改正の経緯

また、単価の変動に合わせて利用者の所得における介護費用の割合も変わってきている。老々介護（高齢者同士の介護）や認々介護（認知症同士の介護）などの生活環境の変化、晩婚化、生涯独身率の増加に伴い利用者一人に支払うことのできる利用料が2極化している。

その他にも、サービスを提供する介護職員の労働環境が変化している。介護保険事業所数は保険制定後、目覚ましく増加してきた。特に需要が多く、初期費用が少ない通所介護事業や訪問介護事業は制定後10年でその数を3倍まで増やしている。莫大な初期費用が必要だが、安定収入が見込める介護保険施設（介護老人福祉施設、介護老人保健施設）でも1.5倍まで増加している（図1.4参照）。しかしながら、労働人口の減少、景気の変動により介護労働者数は横ばいが続いており、効率的な人員配置と共にサービス提供時間と間隔の圧縮が求められている（図1.5参照）。

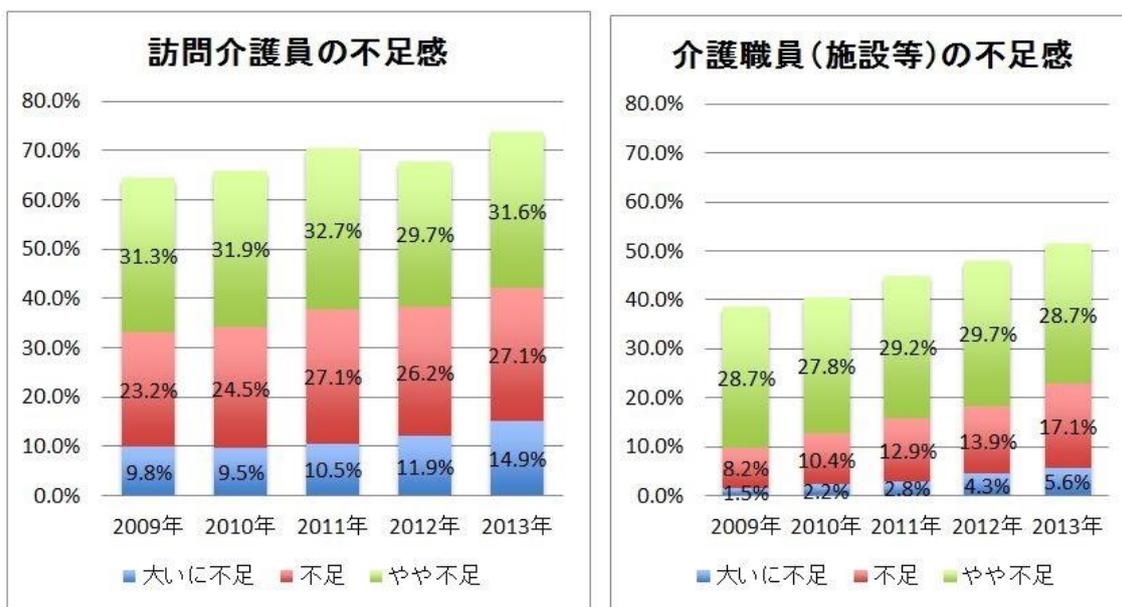
いずれにせよ、その法改正及び社会情勢の変化によってその都度検討をする必要がある。

介護サービス事業所数、介護施設数の推移



出所：厚生労働省「介護サービス施設・事業所調査の概況」

図 1.4 介護事業所数と介護施設の推移



出典：介護労働安定センター 介護労働実態調査 2009～2013

図 1.5 介護職員の不足感

1. 2 本論文の目的と方法

以上より介護事業における利用者・サービス量の増大，介護職員数の停滞，を踏まえ，今後介護事業では人的資源の活用を対人サービスに集中し事務作業をAI化することで業務分配の効率化と労働者の疲労軽減を図る必要がある．最近の法改正や現状に即した研究では技術・技能伝承に関する研究や複合施設の活動分析，複合施設のスケジュールなども研究されている．また，その事務作業でも勤務作成などに関しては病院等で看護師の勤務表を作成する問題であるナース・スケジュールリング問題が以前から検討されており一定の知見を得ているが，改良の余地がまだ見受けられる．また，直近の法改正ではスケジュールリングは巡回セールスマン問題とナース・スケジュールリングを合わせたようなスケジュールリングを必要とする業務体系も発生している．

そこで本研究では，現在の法律に即し，様々な制約条件を満たす訪問介護のスケジュールリングの作成に合う共存型遺伝的アルゴリズムを提案する．また，スケジュールリングに関わる各種条件の必要性や重要性を評価する有意義なスケジュール作成を提案する．

次に，増加する事業所における優位性を確保するべく，利用者及び職員の満足度を評価する評価値を設定し両者の満足度を高めるスケジュール及び評価を検討する．

最後に最近建設が進みサービスの提供が増えている高齢者専用賃貸住宅専用の訪問介護スケジュールリングを提案する．

1. 3 本論文の構成

本論文では緒論から結論までの5つの章で構成されている．

第2章では遺伝的アルゴリズムの解説を行い，現在の法律に即した訪問介護のスケジュールリングに合う新しい共存型遺伝的アルゴリズムを提案する．それは従来の共存型遺伝的アルゴリズムに加えて同時に局所解からの脱出方法として先祖返りオペレーションを採用し，最良解の算出を試みる．

第3章では第2章で提案した共存型遺伝的アルゴリズムを用いたスケジュールリングについて，品質評価方法のひとつである狩野モデルに対して吉光らのプロスペクト理論を用いてそれぞれの制約条件に重要度を持たせて評価値を設定し，最良解全体の評価を行うと同時により最良な解の算出を行う．

第4章では最近建設が進みサービスの提供が増えている高齢者専用賃貸住宅専用の訪問介護スケジュールリング法を提案する．これは通常ヘルパーが四方八方に散らばる利用者宅に訪問しサービスを行う訪問介護と違い，訪問場所はマンションのような一か所に集約されている．また，ヘルパーの労働時間は8時

間ないし 16 時間に固定されていて、その固定されている労働時間中にできる限りサービスを埋め込み、限界に近い支給単位を確保できるスケジュールの作成方法である。特にこのようなサービスは最近増えており、また頻繁に法改正が見込まれる内容となっている。よって現在の法律に即し支給単位を最大限利用可能なスケジューリング法を提案する。

第 5 章において本論文の総括を行い、結論とする。

第2章 訪問介護におけるスケジューリングに関する提案

2.1 緒言

訪問介護におけるスケジューリングは事業運営の要となっている。利用者は必要とする時間とサービスが、ヘルパーは勤務可能な曜日や時間が決まっている。この利用者とヘルパーの組み合わせは、利用者が利用する全サービス数にヘルパー数のべき乗を掛けた組合せが存在し、組合せによっては必要なサービスにヘルパーを割り当てることが出来ない場合や、ヘルパーの拘束時間が長い仕事は少ないなどの非効率なスケジュールとなる。特に利用者の要望及びヘルパーの労働条件等を満たすスケジュールの作成を人的作業で行う場合、膨大な時間を要すると同時に度々の変更時に再作成に迫られる。そこで遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm : GA) [1]を利用したスケジューリングの実装を検討する。

2.2 訪問介護の特性

複数のヘルパーが複数の要介護者を訪問し、必要な介護を行う訪問介護において個々のヘルパーの行動予定を決定することは重要な事柄である。しかしながらヘルパーはいつでも勤務可能とは限らず (表 2.1, 2.2), 曜日や時間帯でサービス提供の可否が変化する。また、利用者も必要な時間や曜日などが決まっており、こちらも不必要な時間にサービスを受けることができない (表 2.3)。さらに、利用者の自宅は離れており、移動距離も考慮する必要がある (表 2.4)。よってヘルパーや要介護の数が大きくなり付随する様々な制約を考慮する必要がある場合、ヘルパーの勤務スケジュールを手作業で作成することは多大な時間を費やし、製作者の心身に非常な困難を伴う。このようなある程度固定された勤務表 (シフト) 表 2.5 が存在する複数のスタッフの勤務形態表を作成する問題はスタッフ・スケジューリング問題と呼ばれ、計算機を有効活用するうえで重要な課題である [2][3][4]。

この問題の嚆矢といえるのが、大規模病院における看護師の月ごとの勤務表を作成するナース・スケジューリング問題である。医療機関としての必要な看護師の数を、日勤、準夜勤、夜勤の勤務シフトに応じて割り当てなければならないこの問題は、制約充足型数理計画問題として知られている。我が国のナース・スケジューリングについて今日的課題と展望を述べたのは、池上らのレポート [5] であり、これ以降様々な労働条件や、勤務条件を考慮した論文が多数発表された。

例えば解法に関しては遺伝的アルゴリズムによるもの [6][7], ニューラルネ

ットによるもの[8]，また，急な欠勤に動的に対応するもの[9]など多数研究がなされている。

これに対して訪問介護スケジューリングは，青山ら[10]が介護サービスの満足レベルをもとに希求水準法による目的関数の評価関数を用いて，遺伝的アルゴリズムとタブーサーチによる解法を試みている。しかしながら希求水準を得るのに煩雑な手続きを要するうえ，解法自体の記述も明確ではない。池上らは，訪問介護スケジュールのナース・スケジューリングとの類似性を指摘しつつも，「ごく最近，海外で論文が出始めたものの，わが国では，その問題の数理的構造すら明らかになっていないのが現状である。」と述べている[5]。そこで本章では共存型遺伝的アルゴリズムに突然変異の代用オペレーションとして先祖返り探索を実装して有効な訪問介護スケジューリングのメカニズムを提案する。

表 2.1 ヘルパーの平日の活動可能時間例

ヘルパー	活動可能時間									
	月		火		水		木		金	
	午前	午後	午前	午後	午前	午後	午前	午後	午前	午後
A										
B			9:30 → ← 17:00							
C										
D	8:30 → ← 17:00									
E		17:15→ ←18:15		17:15→ ←18:15		17:15→ ←18:15		17:15→ ←18:15		17:15→ ←18:15
F										
G		夕方のみ		夕方のみ		夕方のみ		夕方のみ		夕方のみ
H										
I										
J										
K										
L										
M										
N										
O										

■:活動できる、■:活動できない、

表 2.2 ヘルパーの休日活動可能時間と適用例

ヘルパー	活動可能時間			1日あたり 可能件数	摘要
	土	日	祝		
A	[黄色]			最大3件	B出勤日に注意、小学生の帰宅時間は無理、夜朝可
B	[灰色]	[黄色]	月以外	—	祝日が月以外なら可、日曜はどうしてもの时空いていれば可
C	[黄色]			—	時間をいつでも可
D	[灰色]	[黄色]		最大3件	扶養内・祝日はどうしてもの際は1件くらいなら可
E	[灰色]			1件	固定利用者のみ
F	[灰色]			1～2件	—
G	[黄色]			1件	夕方毎日は無理、土日祝は最大2件くらいまで
H	[黄色]			1件	体調悪く実際には週3回程度
I	[灰色]			1件	固定利用者のみ
J	[黄色]	[黄色]		1～2件	無理をお願いすれば日祝で可能
K	[黄色]			—	フルタイム、月8休日
L	[黄色]			—	フルタイム、月8休日
M	[黄色]			—	フルタイム、月8休日
N	[黄色]			—	フルタイム、月8休日
O	[黄色]			—	フルタイム、月4日休日

表 2.3 訪問先一覧表の例

ID	氏名	性別	要介護度	年齢	住所	利用開始日	支払方法
1	利用者 (1)	2	要介護 1	77	岡山市中区●岡	H24.10.1	現金支払
2	利用者 (2)	2	要介護 1	83	岡山市中区沢●	H24.7.1	現金支払
3	利用者 (3)	2	要介護 1	85	岡山市東区瀬戸●下	H24.2.24	現金支払
4	利用者 (4)	2	要支援 2	78	岡山市中区山●	H22.12.1	現金支払
5	利用者 (5)	2	要介護 2	79	岡山市北区伊福町●丁目	H23.10.1	現金支払
6	利用者 (6)	1	要介護 3	96	岡山市北区十日市●町	H24.8.27	引落
7	利用者 (7)	2	要介護 2	83	岡山市北区●町	H24.9.1	現金支払
8	利用者 (8)	2	要介護 1	91	岡山中区●下町	H23.12.1	現金支払
9	利用者 (9)	2	要介護 2	82	岡山市北区●南町1丁目	h23/4/h	引落
10	利用者 (10)	2	要介護 2	82	岡山市北●南町2丁目	H24.10.1	引落
11	利用者 (11)	2	要介護 2	89	岡山市南区福富●1丁目	H21.10.1	引落
12	利用者 (12)	2	要介護 2	86	岡山市中区●	H21.10.1	現金支払
13	利用者 (13)	2	要介護 1	79	岡山市北区●南町1丁目	H24.10.1	引落
14	利用者 (14)	2	要介護 1	59	岡山市北区野田屋町●丁目	H23.11.1	現金支払
15	利用者 (15)	2	要介護 4	73	岡山市中区●成町	H23.4.1	現金支払
16	利用者 (16)	2	要介護 2	69	岡山市南区豊●	H24.5.1	引落
17	利用者 (17)	2	要介護 2	83	岡山市北区●屋町	H24.6.15	現金支払
18	利用者 (18)	2	要介護 3	89	岡山市北区南方●丁目	H23.8.1	現金支払
19	利用者 (19)	1	要介護 5	95	岡山市北区津島●居	H20.9.1	現金支払
20	利用者 (20)	2	要介護 1	77	岡山市中区●井	H22.9.2	現金支払

表 2.4 訪問先間の移動時間一覧表の例

	利用者 (1)	利用者 (2)	利用者 (3)	利用者 (4)	利用者 (5)	利用者 (6)	利用者 (7)	利用者 (8)	利用者 (9)	利用者 (10)	利用者 (11)	利用者 (12)	利用者 (13)	利用者 (14)	利用者 (15)	利用者 (16)	利用者 (17)	利用者 (18)	利用者 (19)	利用者 (20)	利用者 (21)	利用者 (22)	利用者 (23)	利用者 (24)	利用者 (25)	利用者 (26)	利用者 (27)	利用者 (28)
利用者 (1)	0																											
利用者 (2)	5	0																										
利用者 (3)	17	17	0																									
利用者 (4)	5	5	13	0																								
利用者 (5)	11	11	96	7	0																							
利用者 (6)	8	8	11	4	5	0																						
利用者 (7)	5	5	14	2	8	5	0																					
利用者 (8)	4	7	20	9	14	11	8	0																				
利用者 (9)	8	8	15	4	9	6	4	11	0																			
利用者 (10)	8	10	22	10	16	13	10	9	12	0																		
利用者 (11)	15	17	20	14	14	11	14	18	15	20	0																	
利用者 (12)	17	17	10	13	7	11	14	20	15	22	20	0																
利用者 (13)	6	7	16	3	6	3	3	10	4	11	13	12	0															
利用者 (14)	18	18	6	15	8	9	15	21	16	23	21	5	14	0														
利用者 (15)	11	14	18	12	12	9	13	15	13	17	6	18	11	20	0													
利用者 (16)	6	6	12	2	6	3	2	9	3	10	13	12	2	13	11	0												
利用者 (17)	9	10	22	10	17	14	11	8	13	6	21	22	12	24	18	11	0											
利用者 (18)	6	9	15	9	9	6	9	10	10	13	11	14	8	16	7	8	13	0										
利用者 (19)	9	9	9	5	3	3	5	12	7	15	12	8	4	7	10	4	14	7	0									
利用者 (20)	12	16	28	16	23	20	17	9	19	11	26	28	18	30	23	17	8	19	2	0								
利用者 (21)	11	6	21	7	19	14	8	11	10	9	24	20	12	21	18	11	12	14	11	16	0							
利用者 (22)	17	17	16	13	18	15	13	20	11	22	24	24	13	21	22	12	22	20	16	28	23	0						
利用者 (23)	0	6	17	5	11	8	5	4	8	8	15	17	7	18	11	5	9	7	9	12	11	17	0					
利用者 (24)	5	5	14	2	8	5	2	8	4	10	14	13	3	15	12	2	10	9	6	16	8	13	5	0				
利用者 (25)	15	17	20	14	14	11	15	19	16	21	21	20	13	22	9	13	21	11	12	27	18	25	15	14	0			
利用者 (26)	13	16	18	12	12	9	13	17	14	19	7	18	11	23	7	16	31	14	14	30	26	30	19	20	8	0		
利用者 (27)	7	8	12	6	6	3	6	11	7	14	9	12	5	10	7	5	14	4	4	19	14	16	7	6	10	8	0	
利用者 (28)	20	21	15	17	11	15	17	24	18	17	24	5	16	9	22	16	26	19	12	32	25	27	21	17	20	27	14	0

表 2.5 訪問予定の例 (ヘルパーAの場合)

日付	曜日	開始時間	終了時間	提供時間	利用者名	訪問種別	備考
2日	火	10:00	~ 11:00	1:00	利用者 (1)	身体介護	
		15:30	~ 16:30	1:00	利用者 (2)	生活援助	
3日	水	10:00	~ 11:00	1:00	利用者 (1)	身体介護	
		13:30	~ 14:30	1:00	利用者 (3)	生活援助	
4日	木	10:00	~ 11:00	1:00	利用者 (1)	身体介護	
		13:00	~ 14:00	1:00	利用者 (2)	生活援助	
		14:30	~ 15:30	1:00	利用者 (4)	生活援助	
5日	金	9:30	~ 10:30	1:00	利用者 (5)	生活援助	
9日	火	10:00	~ 11:00	1:00	利用者 (6)	予防訪問	
		13:30	~ 14:40	1:10	利用者 (7)	身体生活	
		15:30	~ 16:30	1:00	利用者 (2)	生活援助	
10日	水	10:00	~ 11:00	1:00	利用者 (1)	身体介護	
		13:30	~ 14:30	1:00	利用者 (3)	予防訪問	
11日	木	10:30	~ 12:10	1:40	利用者 (7)	身体生活	
		13:30	~ 14:30	1:00	利用者 (8)	生活援助	
12日	金	10:30	~ 11:30	1:00	利用者 (9)	予防訪問	
16日	火	10:00	~ 11:00	1:00	利用者 (6)	予防訪問	
		15:30	~ 16:30	1:00	利用者 (2)	生活援助	
17日	水	9:30	~ 10:30	1:00	利用者 (5)	生活援助	
18日	木	10:30	~ 12:10	1:40	利用者 (7)	身体生活	
		13:30	~ 14:30	1:00	利用者 (8)	生活援助	
19日	金	10:30	~ 11:30	1:00	利用者 (9)	予防訪問	
		13:30	~ 14:30	1:00	利用者 (7)	身体生活	
23日	火	10:30	~ 12:10	1:40	利用者 (7)	身体生活	
		13:30	~ 14:30	1:00	利用者 (8)	生活援助	
		15:30	~ 16:30	1:00	利用者 (2)	生活援助	
24日	水	10:00	~ 11:00	1:00	利用者 (1)	身体介護	
		13:30	~ 14:30	1:00	利用者 (3)	予防訪問	
25日	木	10:30	~ 12:10	1:40	利用者 (7)	身体生活	
		13:30	~ 14:30	1:00	利用者 (8)	生活援助	
		15:00	~ 16:00	1:00	利用者 (10)	生活援助	
26日	金	10:30	~ 11:30	1:00	利用者 (9)	予防訪問	
30日	火	11:00	~ 12:00	1:00	利用者 (11)	予防訪問	
		13:30	~ 14:30	1:00	利用者 (8)	生活援助	
		15:30	~ 16:30	1:00	利用者 (2)	生活援助	

2. 3 遺伝的アルゴリズム

遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm : GA) は, 1975 年にジョン・ホランド[1]によって提案された進化計算の1つである. その方法は自然界における生物の進化が環境変化に適応できる個体の繁殖によって継続し, 適応ができない個体が衰退することで環境適応能力を保つことを模擬した方法である. 以下に遺伝的アルゴリズムのフローチャートの例を示す (図 2.6 参照).

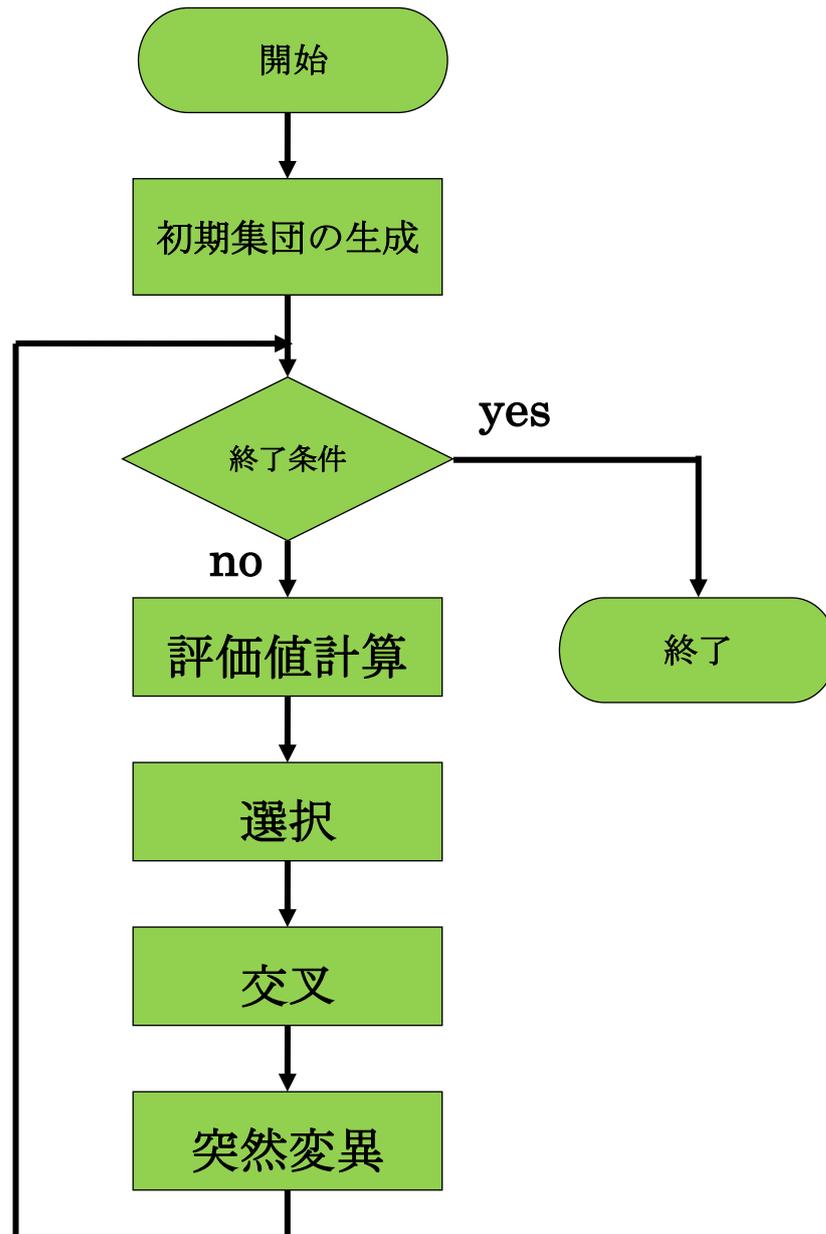


図 2.6 遺伝的アルゴリズムのフローチャートの例

2. 3. 1 GAの概要

GAにおける個体は遺伝子の集まりで表現される。まず、遺伝子に関する基本用語を挙げる（図 2.7 参照）。

- 遺伝子 : 個体の性質を定める基本要素
- 染色体 : 遺伝子の集合で構成される個体 (GA では主に配列で表現される)
- 遺伝子長 : 染色体における遺伝子の数
- 遺伝子型 : 個体を遺伝子で表現したもの
- 表現型 : 遺伝子型を基に実際に個体に表れた性質
- エンコード : 遺伝子型から表現型に変換すること
- デコード : 表現型から遺伝子型に変換すること。

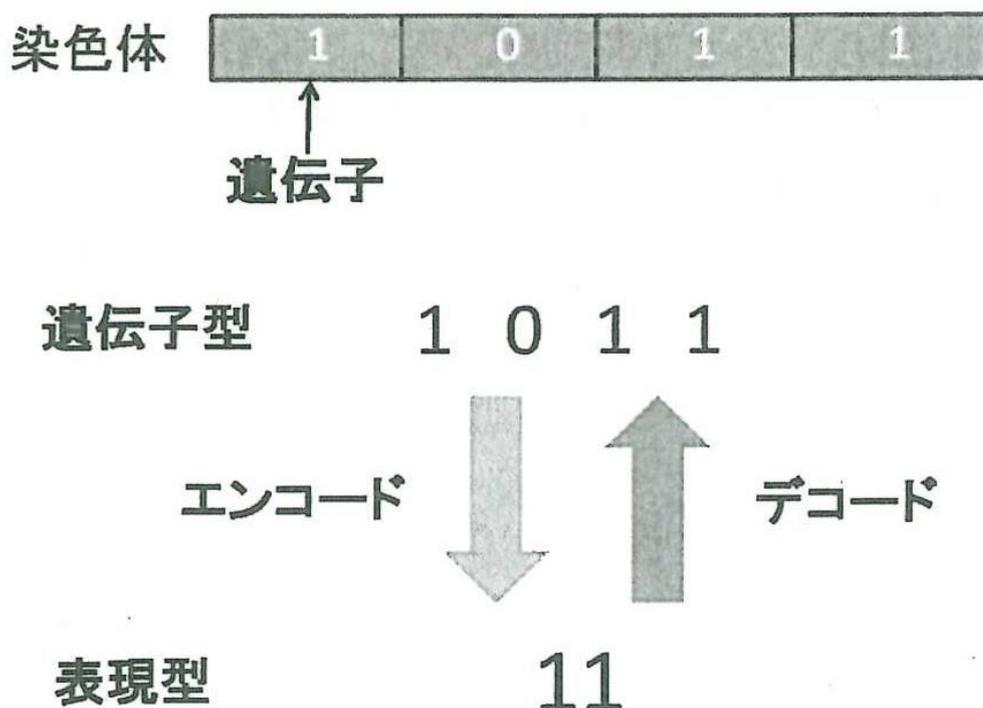


図 2.7 GA の基本要素

図 2.7 の場合、遺伝子が「0」又は「1」で表され、染色体が横一列の数列「1011」、遺伝子長は 4 となる。遺伝子型から表現型への変換がエンコードで表現型から遺伝子型への変換がデコードとなる。

2. 3. 2 初期集団の形成

GAにおいて計算前の集団である初期集団についてはランダムで作成する。人間が作成する場合は経験則で何らかの方向性を初期集団に持たせることが可能である。しかし、遺伝的アルゴリズムにおいては評価の高い初期集団は特定できないため、乱数を用いて作成する。個体数も、少なすぎた場合は探索可能な範囲が限られて、十分な解を探索できないが、多すぎた場合は探索範囲が広すぎて計算量が多すぎることとなる。

2. 3. 3 終了条件

終了条件においてはいくつかの条件が考えられる。最も一般的な条件としては収束や試行回数制限による条件だが、必ずしも最良な解が導き出されるとは限らない。その他にも、母集団の最高評価や平均評価と設定した値との比較や評価の変化率の低減による条件なども考えられる。

2. 3. 4 適応度

適応度とは、各個体が問題に対する諸条件についてどの程度適応しているか表す値である。適応度は諸条件を関数化した目的関数より得られる。基本的に適応度の低い個体は世代を重ねることで淘汰される。しかしながら、目的関数の数値と適応度の評価がすべてに一致するとは限らず、それぞれの状況条件に応じて個別に対応しなければならない。例としては、 $y = x^2$ を最小にする場合、目的関数は $g(x) = x^2$ 、適合度は $f(x) = -x^2$ 或いは $f(x) = 1/x^2$ が挙げられる。

2. 3. 5 選択

選択とは生物の自然淘汰をモデル化したもので、適応度に基づいてその世代の解の集団から個体を選択する手法である。基本的に適応度の高い個体を選定することで次世代の適応度を高めるが、必ずしも適応度の高い個体を選定することが次世代の適応度を高めるとは限らない。よっていくつかの法則に基づき選定する手法がある。

・ルーレット選択（期待値選択）

ルーレット選択とは各個体の適応度に比例する確率に合わせて次世代の個体を選ぶ選択方法である。これは全個体が選択される可能性があるアルゴリズムで、場合によっては適応度の低い個体ばかりが選択されることを防ぎ適応度の低下を防ぐ手段である。また、個体数が少ない場合はよりその状況が顕著に表れる。また、進化の終盤においては適応度の差が微小となるため、適応度を倍

加させる変換関数による適応度の変換を行った適応度を反映させることもある。
 (図 2.8 参照)

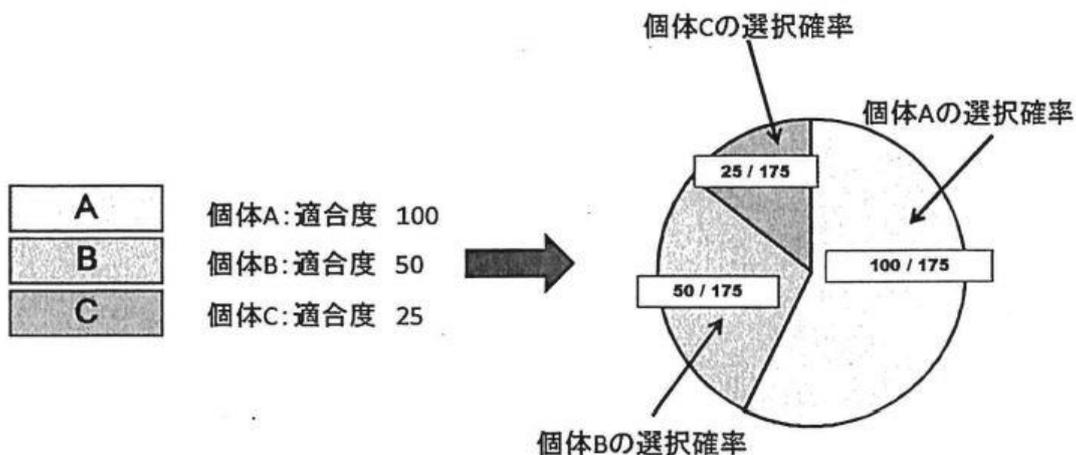


図 2.8 ルーレット選択の例

・ランキング選択

ランキング選択とは個体の適応順位に応じた選択確率をあらかじめ設定し上位から選択する。よって適応度に比例するルーレット選択と違い点数の差は反映されなため、個体間の適応度の差が少ない場合も上位個体が残しやすい(表 2.6 参照)。

表 2.6 ランキング選択

ランキング	個体	適応度	選択確率
1	A	39	0.40
2	E	28	0.20
3	B	23	0.15
4	C	9	0.10
5	F	6	0.08
6	D	5	0.07

・トーナメント選択

トーナメント選択とは個体群から一定数の個体をランダムに取り、その中で最も適応度の高い個体を残す方法で、ランキング選択と同様に点数の差が反映されずランダムに選ぶ中の順位のため、ランキング選択より偶然性が高い(表

2.9 参照).

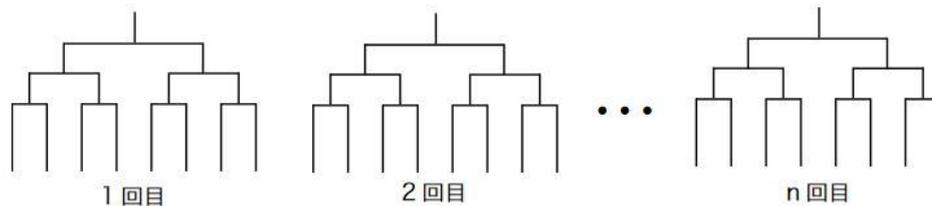


図 2.9 トーナメント選択

- ・エリート選択

エリート選択とは最も良い個体は必ず無条件で残す手法で，解の探索方向が悪化する可能性は少なく，探索としては一般的である．しかし，多様性を失う可能性が高く，問題によっては局所解に陥ることもある．

2. 3. 6 交叉

交叉とは解集団から選択した2個の個体の遺伝子を入れ替えることで新しい個体を作成する手法でいくつかの手法がある．新しい個体は選択の個体より大きく性質が変化し，多様性を広げる効果がある．代表的な物として一点交叉，多点交叉，一様交叉，部分一致交叉などがある．

- ・一点交叉

一点交叉とは親の個体の遺伝子を共通の箇所で切断し入れ替えて子の遺伝子を生成する．親と全く同じ個体もできると考えると4パターンの個体が生成されアルゴリズム的には比較的容易である．(図 2.10 参照)

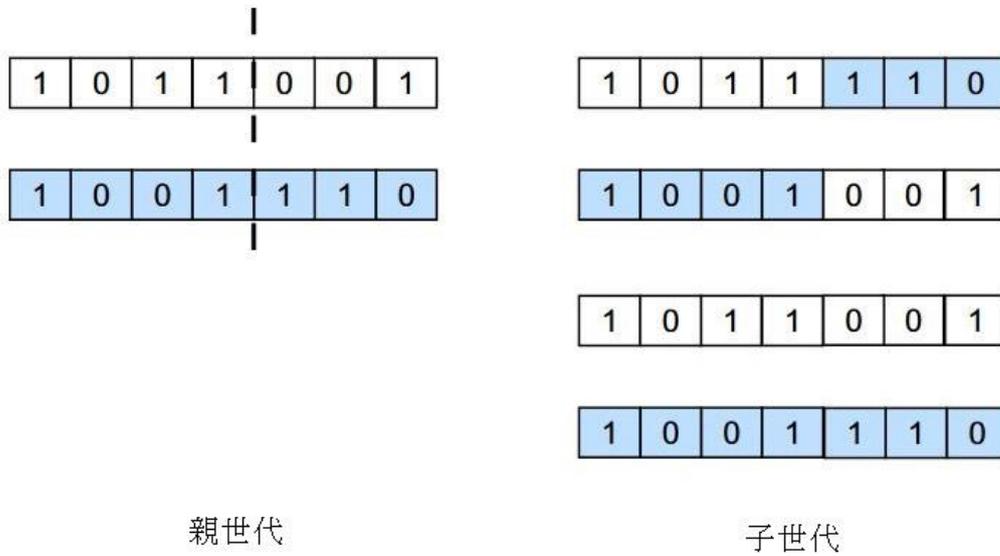


図 2.10 一点交叉

・多点交叉

多点交叉とは一点交叉の切断個所を複数にすることで子の個体数を飛躍的に増加させる突然変異である。この場合、子の個体パターンは2の $n+1$ 乗の個体が生成されるため、効果的な変異が起こせるがシミュレーション上の負担は増すこととなる (図 2.11 参照)。

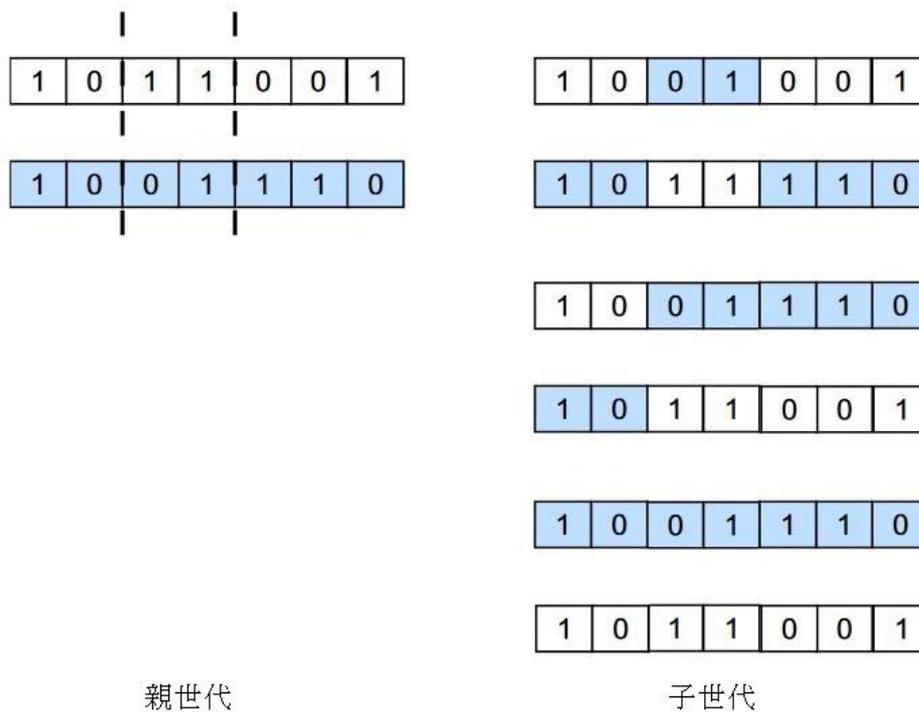


図 2.11 多点交差

2. 3. 7 突然変異

突然変異とは生物に見られる遺伝子の突然変異をモデル化したもので、個体にある遺伝子をランダムに変化させることで局所解から抜け出す手法である。その手法にもいくつか種類がある。

・摂動

ランダムで選ばれた遺伝子をランダムに入れ替える手法である(図 2.12 参照)。

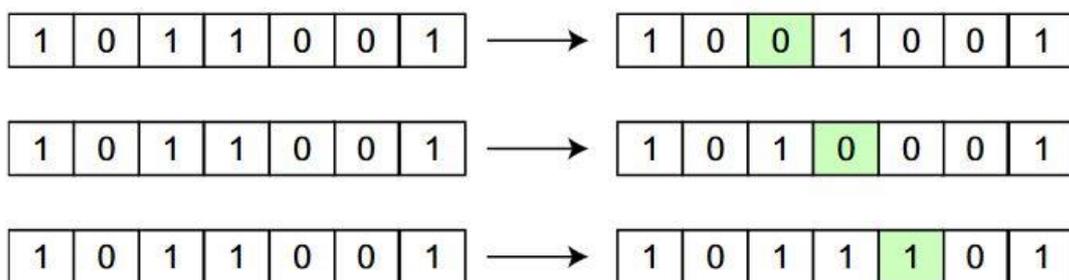


図 2.12 摂動

- ・転座

遺伝子の一部を他の一部に上書きすることで変位を起こす手法である（図 2.13 参照）。

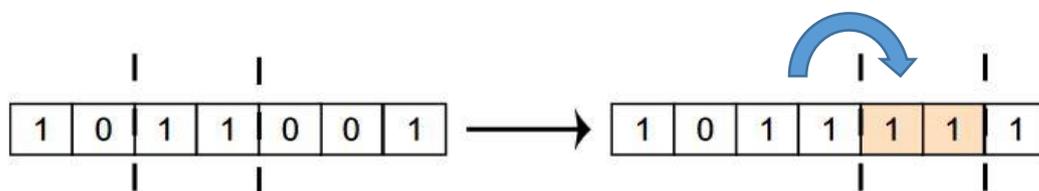


図 2.13 転座

- ・挿入，欠失

遺伝子長が可変の場合に用いられる手法で，遺伝子型の一部に遺伝子を挿入或いは欠失して起こす変異である。

2. 4. 共存型遺伝的アルゴリズム

共存型遺伝的アルゴリズム (CGA) とは各個体が解となっているが通常の GA と違い，GA の集合体が解集団となっている。そのため，制約条件が各個体のみならず，解集団にも条件を付加することが可能であり，その GA に属するすべての個体に対して均一な改善を行う。よって各個体の適合度を大きくすると同時に各個体間の適合度の差を小さくする。

2. 4. 1 CGA の概要

CGA では GA の集合体が解集団となっている。そのため，複数の解を有する多点探索である GA と違い，CGA は単点探索で解は 1 つに集約される（図 2.14 参照）。その際の制約はそれぞれの個体に制約を掛ける横方向の制約と GA に属するすべての個体の特定の一部に制約を掛けることができる縦方向の制約がある。更に，横方向の交叉を行っても縦方向に影響がないため，横方向のみ適応度を改善することができる。また，個体の適応度のみならず集団自体にも評価基準を設定できる。よって通常の GA と違い解集団の平均値の最大化と標準偏差の最小化を行う探索が行われ，その解集団自体が評価値となる。このような特色よりナース・スケジューリング問題 (NSP) などに代表される人員配置スケジュールに用いられやすい。

人員配置スケジュールにおいては，縦方向に作業種目や作業日など工程や工数管理など行動事項に関する制約を，横方向には人員数や配置の可否など資源

数や人員など対応素材などが充てられることが多い。つまり、限られた人員とそれぞれの勤務や制限に合わせた配置や人員に関する勤務負荷を考慮しつつ必要作業の配分を決定できる。CGAはアルゴリズムをはじめ通常のGAと同様だが多少の相違点がある。以下ではその違いを述べる

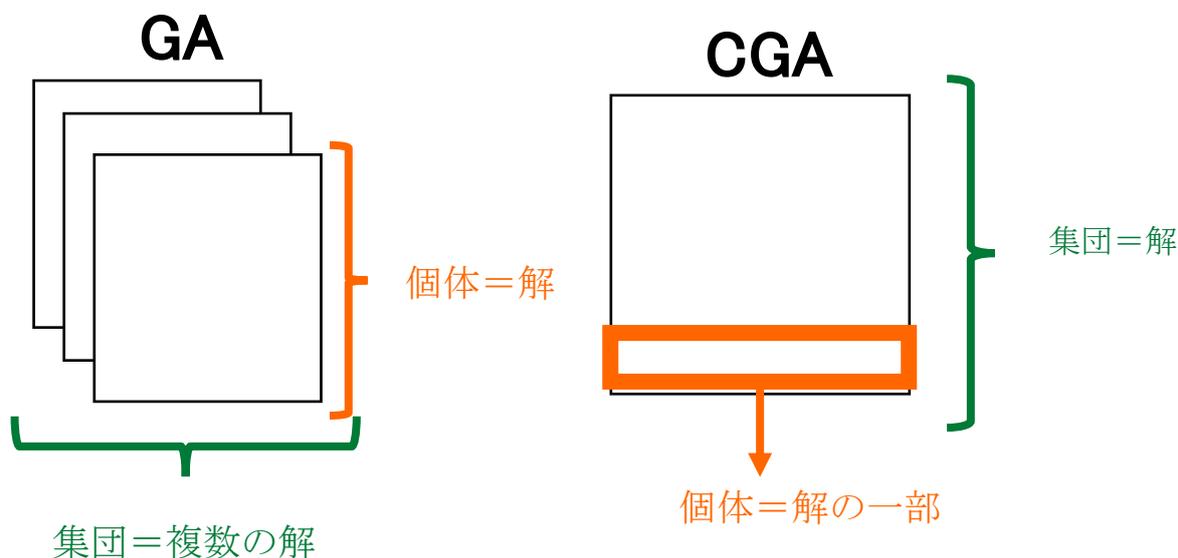


図 2.14 GA と CGA の違い

2. 4. 2 終了条件

終了条件については、GA と大差がない。収束した場合か指定した世代数、或いは一定の評価値を超えた時点で終了する。

2. 4. 3 適応度

CGA については集合体の評価値が GA 各個体の適応度を意味しており、各個体独自の適応度については評価値の一変数に過ぎない。

2. 4. 4 選択

選択においてもほぼ GA と変わることが無い。これは CGA が GA の集合体のため、選択をする行為自体が集合体となっても変わらないためである。

2. 4. 5 交叉

交叉も先代の遺伝子を継承し子の世代を作成する点は GA と同じである。一般的な違いとしては GA が子の世代のペアを次世代の先代とすることに対して、

CGA では先代の遺伝子の片方と子世代で新たに生成した遺伝子を次世代の先代とする点である。

2. 4. 6 突然変異

CGA の突然変異は GA と同様にランダムに変更し、局所解からの脱出を図ることができる。しかしながら、GA と違って CGA の場合、一点探索で探索の範囲が狭く突然変異による大幅な変化は見込めないため、突然変異の効果は限定的となる可能性が高い。これにより局所解からの脱出は突然変異以外の方法を頼らざるを得ない特性がある。

2. 5 先祖返りオペレーション

通常の遺伝的アルゴリズムにおいては突然変異で局所解から抜け出すのは前述の通りである、モデルとなっている進化の過程には数代前の遺伝的形質が子孫に突如現れる隔世遺伝という遺伝方法がある（図 2.15 参照）。これは突然変異と同様の捉え方ができ、これを先祖返りオペレーションと呼ぶ。本オペレーションは岡山県立大学情報工学部情報通信工学科情報数理学研究室で開発され、川口ら[11]や黒川ら[12]は特に介護施設におけるスケジューリングに CGA に適用した。

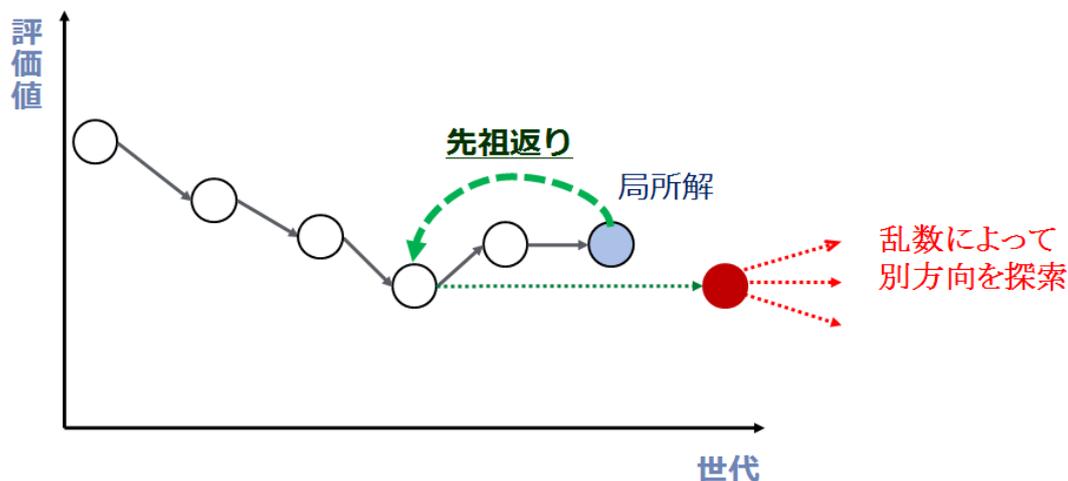


図 2.15 先祖返りの概略

これにより、CGA において突然変異では補えない局所解からの脱出を可能にすることができる。これらにより、本題である訪問介護スケジューリングに実装及び提案を行う。

2. 6 提案手法

本節では CGA と先祖返りを組み合わせて訪問介護スケジューリングの方法を提案する。まず提案のフローチャートを例示する (図 2.16 参照)。

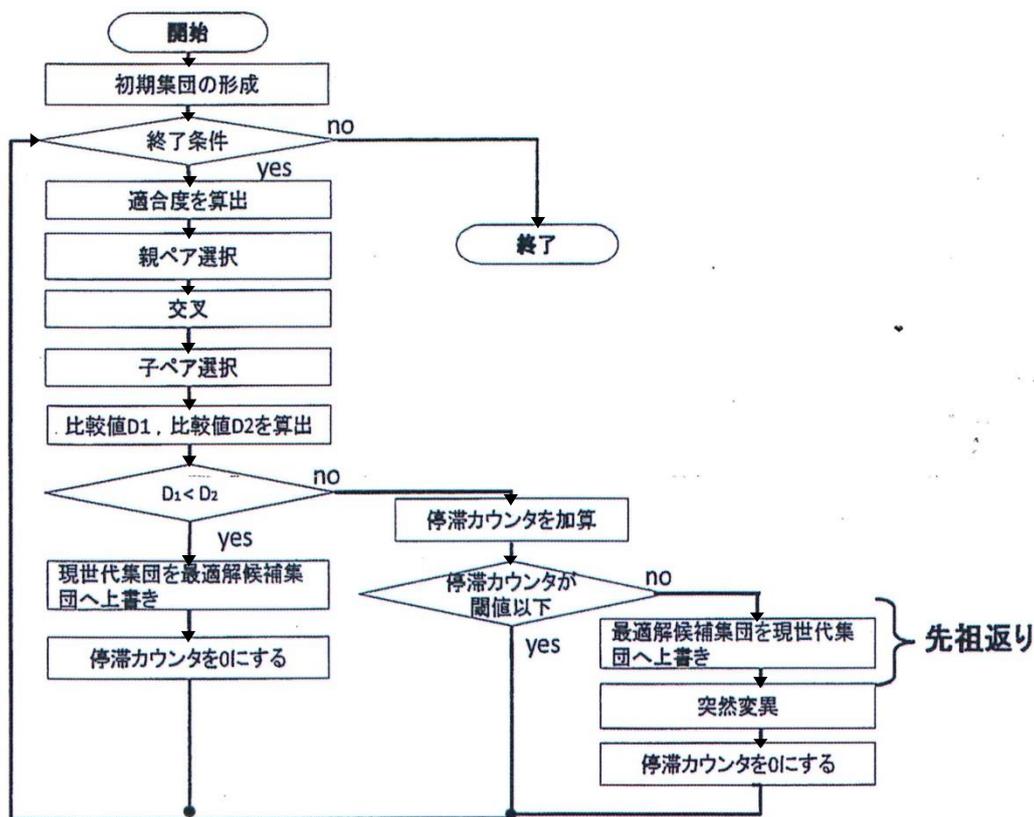


図 2.16 提案手法のフローチャート

提案手法のフローチャートでは通常の遺伝的アルゴリズムにある突然変異の代わりに次世代解の選択に変更し停滞回数のチェックを導入する。これは次世代の解を選択することにより最良解への収束を促進させると共に隔世遺伝を効率的にする先祖解の決定を行う。また、停滞回数によって先祖返りを実行し効果的なスケジューリングを行う。

2. 6. 1 各種基準の設定

スケジューリングを行うにあたり、訪問介護サービスに必要な情報を定義する。

- サービス提供日

利用者がサービスを求める日にち。

- サービス提供曜日
利用者がサービスを求める曜日。基本的に毎週など曜日での希望が反映される。
- サービス提供時間
利用者毎の要望に応じた時間設定と長さ。
- サービス利用者 ID
ヘルパーは利用者の自宅でサービスを行うため、この ID はサービスの提供を行う場所を表し、ID と ID の間の距離も全体評価に影響させる。
- ヘルパーの対応可否
各種制約条件に基づき、そのヘルパーがサービス「提供可能」か「提供不可能」、「可能だが提供しないこと」を表す。

その他に、

- サービスの開始日時が早い順にサービスを並べる。
本章でスケジューリングはあくまでもサービスの振り分けが主たる目的のため順序の基準は開始日時を基本とする。
- サービスの開始日時が同じ場合、終了時間が早い順に並べる。
開始時間の次に必要な基準としてはサービスの終了時間がある。この終了時間の如何によっては各ヘルパーのサービス量、移動時間など全体を評価する上で欠かせない評価値の基となる。よって終了時間でも並べる。
- 開始日時及び終了時間が同じ場合はそのサービス順番をランダムで決定する。

以上の定義を基にスケジュールをコード化する。その内容としては

- 横軸に各サービス、縦軸に各ヘルパー

- 横軸の長さ、つまり遺伝子長がサービスの総数
- 縦軸の長さ、つまり遺伝子数がヘルパー数
- 各遺伝子はそれぞれサービスを表し3つの整数で定義する。
 - 0：横軸のヘルパーが縦軸のサービスを担当可能だが担当していない。
 - 1：横軸のヘルパーが縦軸のサービスを担当可能で担当している。
 - 2：横軸のヘルパーが縦軸のサービスを担当不可能。

今回のスケジューリングの解の例として表 2.7 を挙げる。この場合、個体はヘルパーを意味しサービスはある利用者のサービスを指す。この期間のサービスは 5 件（横軸）でヘルパー数は 4（縦軸）である。その中でヘルパー 1 がサービス 1，サービス 2，サービス 4，サービス 5 を担当できることを意味している。しかし、サービス 2 とサービス 4 を担当している状況を示している。

今回のスケジューリングの場合、制約条件から遺伝子操作を受けない遺伝子が発生する。この例では「2」が該当するため、この遺伝子は値が変化しない。よってこの遺伝子は初期から最終回まで変化しない。

表 2.7 遺伝子の割り当て例

	サービス 1	サービス 2	サービス 3	サービス 4	サービス 5
ヘルパー 1	0	1	2	1	0
ヘルパー 2	1	0	0	2	0
ヘルパー 3	0	0	1	0	0
ヘルパー 4	2	2	0	0	1

2. 6. 2 初期集団

初期集団の生成方針としていくつか考えられるが探索範囲を絞るために、勤務可能時間が短いヘルパー順に、提供時間が長いサービスを割り当てて初期集団とした。これは勤務可能時間が短いほど対応するサービスが少なく、提供時間が長いサービスほど割り当てられるヘルパーが少ないため、無駄なくスケジューリングを行えるからである。

2. 6. 3 制約条件

本項ではスケジュールリングに必要な各種制約条件を確認する。制約条件には必ず満たす必要がある絶対条件と満たした方が望ましい十分条件がある。

● 絶対条件

➤ 同一時間サービスの禁止

一人のヘルパーは同一の時間に2件のサービス掛け持ちを行うことは出来ない。仮に同住所に住んでいる夫婦でも介護保険法上では禁止されているため必ずサービスが重複することはない。

➤ サービス提供時間の固定

サービス提供時間は利用者が必要としている時間のため、前後への移動、短縮、延長などは出来ない。

➤ 勤務時間の制限

各ヘルパーには勤務可能な時間が決まっており、不可能な時間の勤務は雇用契約の信頼関係が揺らぐ一因になる。よって勤務時間内にサービスを割り当てる。

➤ 担当不可の制限

対人サービスのため、ヘルパーと利用者の間柄等の理由で割り当てることが不可能な組み合わせが存在する。よってその場合も対象ヘルパーを対象利用者に割り当ては行わない。

➤ 休日数

労働基準法上で4週4休が最低限度の基準となる。

● 十分条件

➤ 労働時間

ヘルパー毎に希望する労働時間があるが、幅は大きく下限以下、或いは超過でなければ問題はない。

➤ 移動時間

利用者間の移動に関しては給与が発生するため、ヘルパーにとっては大きな問題にならない。しかしながら、経営を考える上で人的金銭的な損失とも言えるため、移動時間の合計は少ないにこしたことはない。

➤ 待機時間

サービス間の時間が空けばあくほど、ヘルパーにとっては無駄な時間と捉えがちになる。

2. 6. 4 評価関数

前項の制約条件を満たしつつスケジューリングに必要な評価関数を設定する。

- H : 配置しているヘルパーの集合
 i : ヘルパーの番号
 f_{i1} : ヘルパー i の労働時間の評価値
 f_{i2} : ヘルパー i の休日数の評価値
 f_{i3} : ヘルパー i の移動時間の評価値
 f_{i4} : ヘルパー i の待機時間の評価値
 f_{i5} : ヘルパー i の担当サービス数の評価値
 f_i : 個体 i の適応度
 w_n : 評価値 f_{in} の重み
 E : 解集団の評価
 $mean$: 集団内の個体評価値の平均
 dev : 集団内の個体の評価値の標準偏差
 w_{mean} : 平均値 $mean$ の重み
 w_{dev} : 平均値 dev の重み

- 労働時間の評価
各ヘルパーの希望する労働時間の超過時間を労働時間の評価値 f_{i1} で表す。
- 休日数の評価
各ヘルパーの休日数が4日未満となった場合、最低休日に対する休日数の不足数の評価値を f_{i2} とする。
- 移動時間の評価
各ヘルパーの1か月分の移動時間の合計を f_{i3} とする。
- 待機時間の評価
各ヘルパーの暦日におけるサービス間の時間の1か月の合計時間を f_{i4} とする。

- 担当利用者数
各ヘルパーが1か月を通して担当する利用者数の総合計を f_{i5} とする.
- 個体の適応度
各個体の適応度はそれぞれの適応度に各条件の必要性に応じた重みを用いて全体で単一目的の関数として扱う. その評価に関しては最小化が望ましいため, 評価値の線形荷重和にマイナスを乗じることで表す.

$$f_i = - \sum_{n=1}^5 w_n f_{in} \quad i \in H \quad (2.1)$$

・ 集団の評価

集団の評価は個体評価値の平均及び個体評価値の標準偏差を合わせることで全体的な評価とする. これは, 各ヘルパーの勤務コストが小さく, かつ各ヘルパーの勤務コストのばらつきが少ない良質な勤務表といえる.

$$E = w_{mean}|mean| + w_{dev}|dev| \quad (2.2)$$

2. 7 検証

各種設定は以下の通りで検証した.

- 計算時間 : 15分
- 停滞カウンター : 100回
- 職員数 : 16
- 利用者数 : 40
- サービス提供数 : 543
- 期間 : 31

2. 8 結果

上記の条件で行った結果は以下の通りとなった。まず、検証の前と後の業務サービス配分図を示す。表 2.8, 2.9 は横軸に各サービス、縦軸にヘルパーを配置し業務の可否を「○」で示してサービス提供の可否を一覧化した。表 2.8 は初期配置でサービスの提供は大前提ながら、適合度は加味せず作成した。その後、シミュレーションを行うことで表 2.9 の結果を得ることができた。この結果を比較するに辺り、初期条件より格段に適応度が改善され、評価に値する結果が出たと考えられる。また、この時の勤務表を図 2.16 に示す。

表 2.8 初期サービス配分

○ : 仕事の割り当てがある日
 空白 : 仕事の割り当てがない日
 / : 指定休日

f : 適合度

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	f	
h1	○	○	○	○	○	○	/	/	○	○	○	○	○	/	/	○	○	○	○	○	○	/	/	○	○	○	○	/	/	○	○	○	,f:-85.72
h2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	,f:-8333.18
h3	/	/	/	/	○	/	○	○	/	/	/	/	○	/	○	○	/	/	○	/	○	○	/	/	○	/	○	○	/	/	/	,f:-876.83	
h4	○	○	○	○	○	○	/	/	○	○	○	○	○	/	/	○	○	○	○	○	○	/	/	○	○	○	○	○	/	/	○	○	,f:-494.12
h5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	,f:-2217.81
h6	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	,f:0.00	
h7	○	/	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	,f:-1839.99	
h8	/	/	○	○	○	○	○	/	/	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	,f:-180.04	
h9	/	/	/	○	/	/	/	/	○	/	○	/	/	/	/	/	/	/	○	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	,f:-4.80	
h10	/	/	/	/	/	○	/	/	/	/	/	/	/	○	/	/	/	/	/	/	○	/	/	/	/	/	○	/	/	/	/	,f:-3.20	
h11	/	/	○	/	/	○	/	/	/	/	/	/	/	○	/	/	/	/	/	○	/	/	/	/	/	○	/	/	/	/	/	,f:-12.80	
h12	/	/	○	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	○	/	/	/	/	/	○	/	/	/	/	/	○	/	/	/	/	/	,f:-5.49	
h13	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	,f:0.00	
h14	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	,f:-3.30	
h15	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	,f:0.00	
h16	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	,f:0.00	

↑
h : ヘルパー

適合度の平均値 -878.58
 適合度の標準偏差 2104.76
 比較値 1930.38

表 2.9 シミュレーション後の配分

○ : 仕事の割り当てがある日
 空白 : 仕事の割り当てがない日
 / : 指定休日

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	f : 適合度	
h1	○	○	○	○	○	/	/	○	○	○	○	○	○	/	/	○	○	○	○	○	/	/	○	○	○	○	○	/	/		○	○	,f:-43.82
h2	○		○		○	○	○	○		○	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○			○	○		○	○	○	○	,f:-58.02	
h3	/	/	/	○	/	○	○	/	/	/	○	/	○	○	○	/	/	/	○	/	○	○	/	/	/	○	/	○	○	/	/	,f:-51.44	
h4		○	○	○	○	/	/	○		○	○	○	/	/	○	○		○	○	/	/	○	○	○	○		/	/	○	○	,f:-50.65		
h5	○		○	○	○	○	○		○	○		○	○	○	○		○	○	○	○	○		○	○	○		○	○	○	○	,f:-64.38		
h6					○	/	/					○	/	/			○		○	/	/					○	/	/			,f:-4.80		
h7	○	○	○	○	○		○	○	○			○	○	○	○		○	○	○	○	○		○	○	○	○		○			○	,f:-20.80	
h8		○	○	○		○	○		○	○	○		○	○	○		○	○	○	○	○		○	○	○		○	○	○	○	,f:-68.47		
h9	○	○	/	○	○	/	/	○	○	/	○	○	/	○	○	/	/	○	○	/	/	○	○	/	○	○	/	○	○	/	/	,f:-16.13	
h10	/	/	/	/	/	○	○	/	/	/	/	/	○	○	/	/	/	/	/	○	○	/	/	/	/	/	/	○	○	/	/	,f:-28.67	
h11	○	○	○	○		○	○		○	○	○		○	○	○		○	○		○	○	○		○	○		○	○	○	○	,f:-75.43		
h12	○		○	○		○	○	○		○	○	○	○	○		○	○	○		○	○	○		○	○	○	○	○			○	,f:-70.53	
h13	○	○	○	○		○	○	○		○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○		○	○	,f:-67.32	
h14	/		○	○	○	/	○	/	○	○	○	○	/	○	/	○	○	○	○	/	○	/	○	○	○	○	/	○	○	○	,f:-64.62		
h15	○	○		○		○	○	/	○	○		○	○	○	○					○	○				○	○	○	○		○	○	,f:-38.00	
h16	/	/	/	/	○	/	/	/	/	/	/	○	/	/	/	/	/	/	/	○	/	/	/	/	/	/	○	/	/	/	/	,f:-11.72	

↑
 h : ヘルパー

適合度の平均値 -45.92
 適合度の標準偏差 23.23
 比較値 56.61

29 day Saturday	30 day Sunday	31 day Monday
h1	h1 14:00 ~ 15:00 user 26	h1 9:30 ~ 10:10 user 30
h2 16:00 ~ 17:00 user 17	h2 10:00 ~ 10:30 user 4	10:30 ~ 12:00 user 31
h3	h3	15:00 ~ 15:40 user 24
h4 10:00 ~ 10:30 user 4	h4 13:00 ~ 14:30 user 37	h2 9:00 ~ 11:00 user 10
h5 9:00 ~ 10:00 user 10	h5 17:00 ~ 17:30 user 4	h3
11:00 ~ 12:00 user 14	h6	h4 9:30 ~ 10:30 user 16
14:00 ~ 16:00 user 30	h7	11:30 ~ 12:30 user 29
h6	h8 18:20 ~ 19:30 user 37	15:00 ~ 16:30 user 21
h7	h9 11:00 ~ 12:00 user 17	h5 8:30 ~ 9:40 user 36
h8 8:30 ~ 9:40 user 37	h10	10:00 ~ 10:30 user 4
15:00 ~ 17:00 user 39	h11 13:30 ~ 14:30 user 43	h6 17:15 ~ 18:15 user 34
h9 13:30 ~ 14:30 user 43	h12	h7 17:00 ~ 17:30 user 4
h10	h13 9:00 ~ 11:00 user 10	h8 8:30 ~ 10:00 user 42
h11 12:50 ~ 14:30 user 37	h14 8:30 ~ 9:40 user 37	14:30 ~ 15:30 user 20
15:00 ~ 16:00 user 19	h15 16:00 ~ 17:00 user 17	h9
16:40 ~ 17:40 user 31	h16	h10
18:20 ~ 19:30 user 37		h11 8:30 ~ 9:30 user 12
h12		10:00 ~ 11:30 user 5
h13		h12 8:30 ~ 9:40 user 18
h14		13:00 ~ 14:30 user 37
h15		16:20 ~ 17:40 user 31
h16		h13 15:00 ~ 16:00 user 12
		h14 9:00 ~ 10:00 user 6
		10:30 ~ 11:30 user 32
		15:20 ~ 16:20 user 28
		18:20 ~ 19:30 user 37
		h15 16:00 ~ 17:00 user 17
		h16

図 2.16 提案手法によるスケジュールの例

また従来の GA 方式では 1300 世代でおおよそ収束し、評価値としては一定の値を確保できたが、それ以後の進化に効果がなかったと言える (図 2.17, 表 2.10 参照).

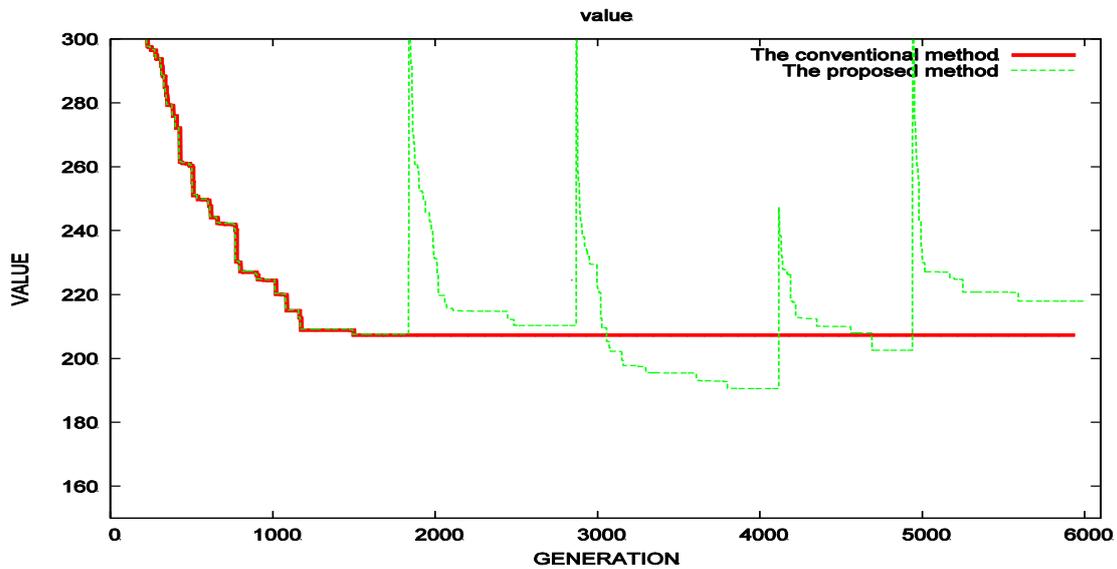


図 2.17 評価値の推移

表 2.10 評価値の比較

最高世代	先祖返り	提案手法での最高 評価値	既存手法での最高 評価値
3886	4	190.56	207.53

これに対して、提案手法でシミュレーションを行った結果、先祖返りで評価値の悪化が度々発生するも最終的に従来方式より高い評価値を得ると同時に最後まで最良解の探索を行えたと考えられる。

次に、提案手法で作成した勤務スケジュールの妥当性を考察する(表 2.11,2.12 参照)。ヘルパーの勤務時間の評価値 f_{i1} 及び休日数の評価値 f_{i2} はいずれも必要条件であり、すべての利用者で 0 になっており条件を満たしている。更に、移動時間の評価値 f_{i3} , 待機時間の評価値 f_{i4} , 担当サービス数の評価値 f_{i5} のいずれも多少のばらつきはあるものの全体評価で既存手法以上の評価が出ており、サービスの提供は可能と考える。また、実際のヘルパー及び利用者側からヒヤリングなどの検証では、すべてのヘルパーと利用者の希望曜日、時間にサービスが提供されており、この点でも実行可能と考えられる。

表 2.11 最良解の各評価値一覧

	f_{i1}	f_{i2}	f_{i3}	f_{i4}	f_{i5}
ヘルパー1	0.00	0.00	20.97	41.33	22.00
ヘルパー2	0.00	0.00	16.23	33.33	17.00
ヘルパー3	0.00	0.00	10.83	36.83	12.00
ヘルパー4	0.00	0.00	20.03	72.00	30.00
ヘルパー5	0.00	0.00	14.60	50.50	13.00
ヘルパー6	0.00	0.00	8.40	0.00	2.00
ヘルパー7	0.00	0.00	24.07	111.50	34.00
ヘルパー8	0.00	0.00	8.67	53.00	22.00
ヘルパー9	0.00	0.00	20.77	85.17	32.00
ヘルパー10	0.00	0.00	3.20	0.00	2.00
ヘルパー11	0.00	0.00	24.93	144.50	42.00
ヘルパー12	0.00	0.00	18.67	49.50	13.00
ヘルパー13	0.00	0.00	24.40	92.00	22.00
ヘルパー14	0.00	0.00	18.73	76.33	29.00
ヘルパー15	0.00	0.00	10.53	20.50	11.00
ヘルパー16	0.00	0.00	3.60	0.00	2.00

表 2.12 最良解での訪問スケジュールの例

ヘルパー1		開始時刻	終了時刻		利用者ID	移動時間	
日付	曜日						
1	月曜日	10	0	11	30	5	28
1	月曜日	14	30	15	30	20	42
1							16
3	水曜日	9	30	10	40	9	21
3	水曜日	14	30	15	30	20	35
3							16
4	木曜日	9	30	10	0	34	34
4	木曜日	10	30	12	0	32	20
4	木曜日	13	0	14	0	13	26
4	木曜日	14	30	15	30	23	18
4							13
8	月曜日	10	0	11	30	5	28
8	月曜日	14	30	15	30	20	42
8							16
10	水曜日	9	30	10	40	9	21
10	水曜日	14	30	15	30	20	35
10							16
11	木曜日	9	30	10	0	34	34
11	木曜日	10	30	12	0	32	20
11	木曜日	13	0	14	0	13	26
11	木曜日	14	30	15	30	23	18
11							13
15	月曜日	10	0	11	30	5	28

2.9 結言

本章では，訪問介護スケジューリングに CGA を実装し，通常の遺伝的アルゴリズムにある突然変異の代わりに次世代解の選択に変更し停滞回数のチェックを導入して効果的なスケジューリングを行った．これによって従来熟練の計画作成担当者が3時間以上かかる作業を15分程度の短時間で作成できる上，同様以上の最適な解が探索できたと共に，実務的にも現在の法律労働環境を踏まえた結果を得ることができた．

参考文献

- [1] J. H. Holland : Adaptaion in Natural and Artificial Systems , An Introductory analysis with Applications to Biology , Control and Artificial Intelligence . First edition. Ann Arbor, MI : University of Michigan Press, 1975.
- [2] 鳥羽稔:介護施設運営・管理ハンドブック, (2016), 日本法令
- [3] 李野暉尚:介護経営黒字化の極意, (2014), 幻冬舎
- [4] 厚生労働省 第74回社会保養審議会介護給付費分科会資料「介護人材の確保と処遇改善について」, (2011) .
- [5] 池上敦子, 緒方洋平, 森田準史, 土谷隆:訪問介護スタッフ・スケジューリング, 統計数理研究所共同レポート191, 最適化:モデリングとアルゴリズム19, (2006), pp. 302-316.
- [6] 三宮信夫, 喜多一, 玉置久, 岩本貴司:遺伝アルゴリズムと最適化, (1998) , 朝倉書店
- [7] 川中善治, 山本康高, 吉川大弘, 篠木剛, 鶴岡信治:遺伝的アルゴリズムを用いた看護婦勤務表の自動生成～制約条件を取り入れたコーディング法と遺伝的演算～, 電気学会論文誌C, 122, (2002), pp. 1023-1032.
- [8] 金川明弘, 山根千佳, 高橋浩光:バイナリーニューラルネットワークによるナース・スケジューリング問題の基本解の導出, 情報処理学会論文, SIG, 46, (2005), pp. 41-47.
- [9] 北田学, 森澤和子:急な欠勤発生に伴う動的ナース・スケジューリング問題のヒューリスティック解法, 日本経営工学会論文誌, 65, (2014), pp. 29-38.
- [10] 青山功, 佐藤裕幸, 中島克人:介護サービススケジューリング問題への遺伝的アルゴリズムおよびタブーサーチの適用とその比較, Journal of the Operations Research Society Japan, 44-3, (2001), pp. 261-280.
- [11] 川口裕貴, 藤野猛士, 金川明弘, 横田一正:先祖返り共存型 GA を用いた介護士勤務表の自動作成, スケジューリングシンポジウム2009講演論文集, (2009), pp. 181-186.
- [12] T. Kurokawa, T. Kitamura, A. Kanagawa : Home Helper Scheduling Using Genetic Algorithm With Throwback Operation , Proceedings of the 12th International Conference on Industrial Management, (2014), pp. 85-89.
- [13] 多田智史:あたらしい人工知能の教科書, (2016), 翔泳社

第3章 狩野モデルを用いた介護サービスの評価と応用

3.1 緒言

介護のサービス及びスケジューリングにおいては、人間の感覚的な評価が多く、複数の指標からの判断が必要となる。その内容としては多目的最適化問題であるが、多目的最適化問題において最良解は唯一ではなく複数の非劣解が得られることが知られている。そのため、各目的関数間におけるトレードオフ関係を考慮することが必要である。本章では、各目的関数から総合的な評価値を求める方法として希求水準法を用いる。希求水準法は多目的最適化問題において意思決定者によるトレードオフ分析に有効であることが示されている[1]。

また、ナース・スケジューリングなど勤務表作成問題は、必要人員や勤務形態等を充足すべき制約ととらえ、各条件の充足の度合いを目的関数として扱う場合が多い[2]。しかしながら制約の中には、充足さえすれば良いものから、あればあるほど良い望大特性の様な特性をもつものもある。狩野[3]は、製品の品質に対してユーザーの満足感・物理的充足状況の対応関係から品質要素を5種類に分類した。現在この分類法は狩野モデルと呼ばれる。

吉光ら [4]はプロスペクト理論をサービスの評価関数に取り入れ、サービスの機能要素を狩野モデルにより分類している。また、それらの機能要素がサービスの利用者に与える満足度を表す関数を S-AV 関数としている。さらに総合的な評価関数に各機能要素の S-AV 関数の線形加重和を用いている。これらによりサービスの利用者の満足度を個人の違いを含んで表現できるとしている。

本章では、介護サービスに対して狩野モデルによる分類を行う方法について提案する。またプロスペクト理論による S-AV 関数の同定法を提案する。最後にそれら満足度を統合した関数を目的関数として希求水準法による介護サービススケジューリング法の提案を行う。

3.2 狩野モデル

狩野[2]は、製品の品質に対してその物理的充足状況とユーザーの満足感の対応関係から品質要素を次に示す5種類に分類した。

魅力的品質要素	物理的充足状況が一定の水準に達していなくてもユーザーは不満足ではなく、充足していれば満足を与える品質要素。
一元的品質要素	物理的充足状況が充足していればユーザーに満足を与え、不充足であれば不満足となる一元的な品質要素。
当たり前品質要素	ユーザーが当たり前と思っている品質要素。物理的充足

状況が一定の水準に達していなければユーザーは不満足で、その水準を超えていても当たり前と捉えられ満足度はほとんど変化しない

無関心品質要素

物理的充足状況によらず満足度が変化しない

逆品質要素

物理的充足の度合いと満足度が負の比例となるような品質要素

物理的充足状況を横軸にとり、ユーザーの満足度を縦軸にとると無関心品質要素と逆品質要素以外の品質要素は 図 3.1 のように表される。

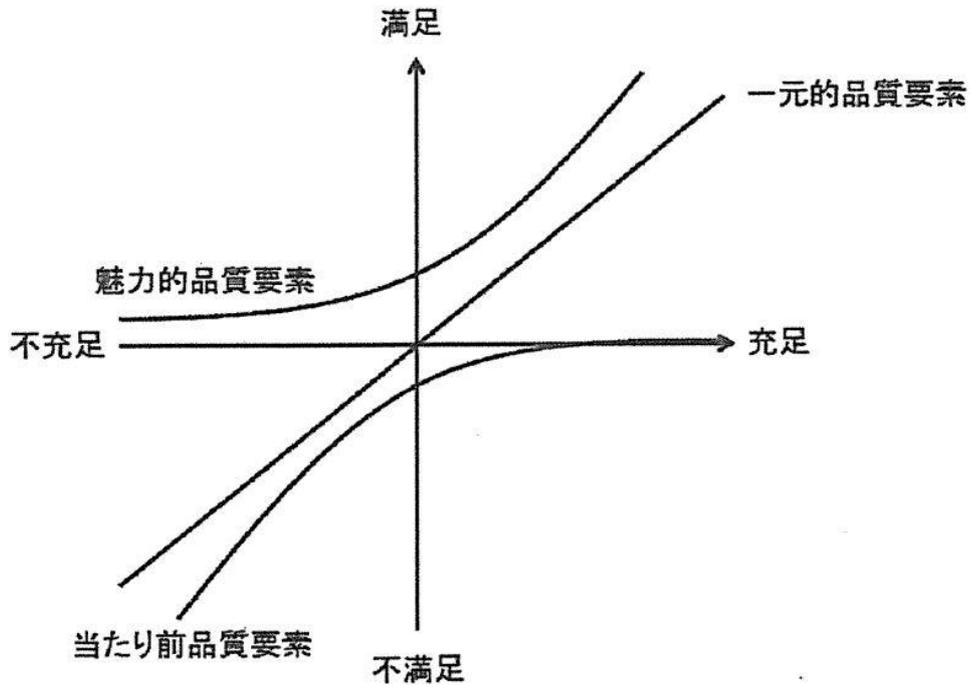


図 3.1 狩野モデル

テレビについての質問紙調査[3]によると、寿命や消費電力は一元的品质要素、写り具合や操作性などの基本的な機能については当たり前品質要素、リモコンなどの付加的な機能は魅力的品質要素と考えられる。

また、狩野[3]は置時計の製品企画への活用を行っている。それによると、時計の大きさや電池の交換のしやすさ等は一元的品質要素となり従来の一元的な把握方法で説明できる。しかし、インテリア性は魅力的品質要素となり二元的な把握方法でないと説明できないとしている。さらに、置時計に関する一般消費者に対する質問紙調査を実施した結果からインテリア性の満足向上を重点に

置いた製品企画を行えば良いという分析を行っている。そして、その分析を基に製品開発を行った結果、市場調査では類似の商品の平均売上よりも良い結果が得られている。狩野モデル自体、その提案はやや古い時代の物であるが、その思想は現代においても輝きを失っていない。最近でも Facebook の評価に用いられた報告例がある[4]。

3. 3 狩野モデルに基づく総合評価指標

3. 3. 1 吉光らによるサービス評価関数

介護などの人的サービスがその利用者に与える価値は、その利用者の知識や経験、生い立ちなどの個人的な価値観によって変化し、その点で製造物などのような画一的な製品が利用者に与える価値とは異なっている。しかしながら、吉光ら[5]は、サービスはモノと同様に人工物であるのでその設計は製品の製造と同様の手法が適用可能であると提案した。そこで、サービスを構成する各要素がサービスの利用者に与える満足度を表す関数として S-AV 関数を定義した。また、S-AV 関数にプロスペクト理論[6]の価値関数を導入し、各 S-AV 関数を狩野モデルによる品質要素に分類した。それによって、利用者の満足度に個人の違いを含んで表現できるとしている。

3. 3. 2 プロスペクト理論

プロスペクト理論[6][7]はリスクの存在する複数の選択肢に対して意思決定者による選択を定式化した理論である。プロスペクト理論では、利得や損失のリスクに対する価値を価値関数で表現する。価値関数では、人が物事を評価する際にそれが利得か損失かを判断する基準を参照点と呼ぶ。また、価値関数の形状は一般的には図 3.2 のように S 字型で表すことができるとされている

ここで、価値関数には以下の 3 つの性質があるとされている。

参照点依存性 人は物事を絶対的な価値で評価しておらず、人それぞれの経験や知識等に依存した基準に基づいた相対的な価値で評価する。例えば、給料が 20 万円で来月も同じ給料だと思っていたところ、実際 21 万円になった場合 1 万円の利得なので満足度が上がるが、来月は 22 万円になると思っていた場合は、1 万円の損失なので満足度は下がる。

損失回避性 一般的に人は損失を回避すると考えられる性質を指す。これは

図 3.2 に示すように、価値関数は参照点に近い所で利得よりも損失の方の傾きが大きくなることにより表される。

感応度逓減性 人が物事を評価する基準で利得や損失が小さい時よりも大きい時の方が価値の変化が小さくなる性質を指す。これは図 3.2 に示すように、利得や損失が参照点から離れるにしたがって傾きが小さくなることにより表されている。

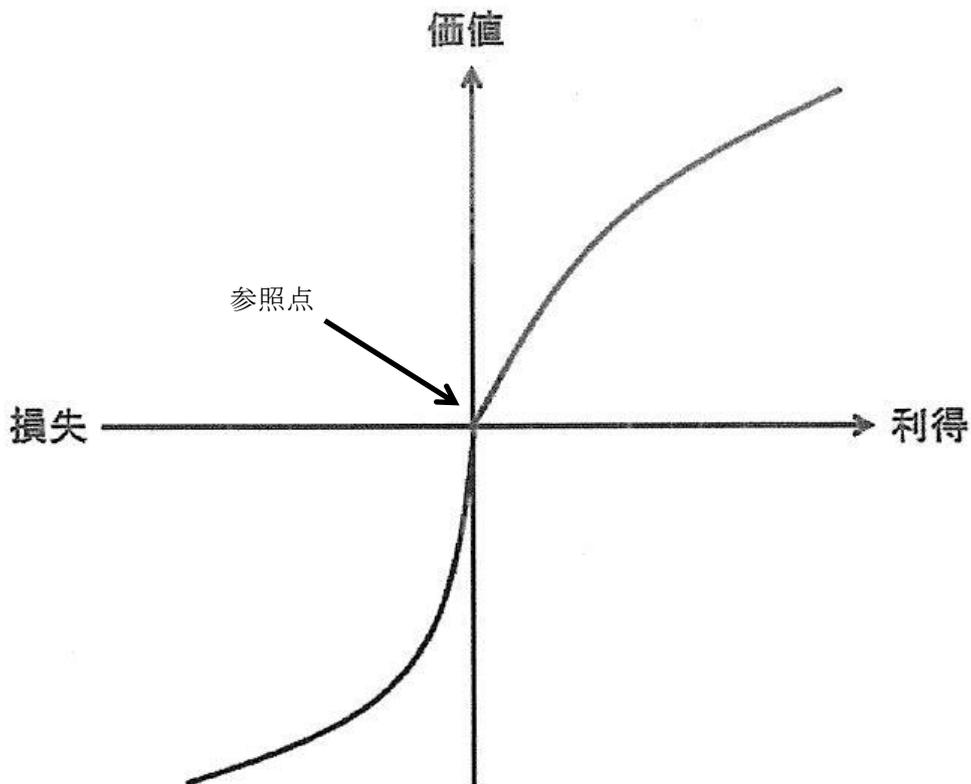


図 3.1 価値関数

さらに、プロスペクト理論では選択肢における利得や損失が発生する客観確率と人間が行動を決定する主観確率とは異なっていると考えている。その主観確率と客観確率との関係を定式化したものを確率加重関数と呼び、図 3.3 のような形状になるとされている。

確率加重関数の特徴として、客観確率が 0 に近い小さいときは主観確率が大きく見積もられ、逆に、客観確率が 1 に近く大きいときは主観確率が小さく見積もられる。これは、一般的に実際には起きる確率が小さいほど人間はそれよ

りも大きな確率で見積もり，実際には起きる確率が大きいほど人間はそれよりも小さな確率で見積もってしまうという特徴があることを表している。

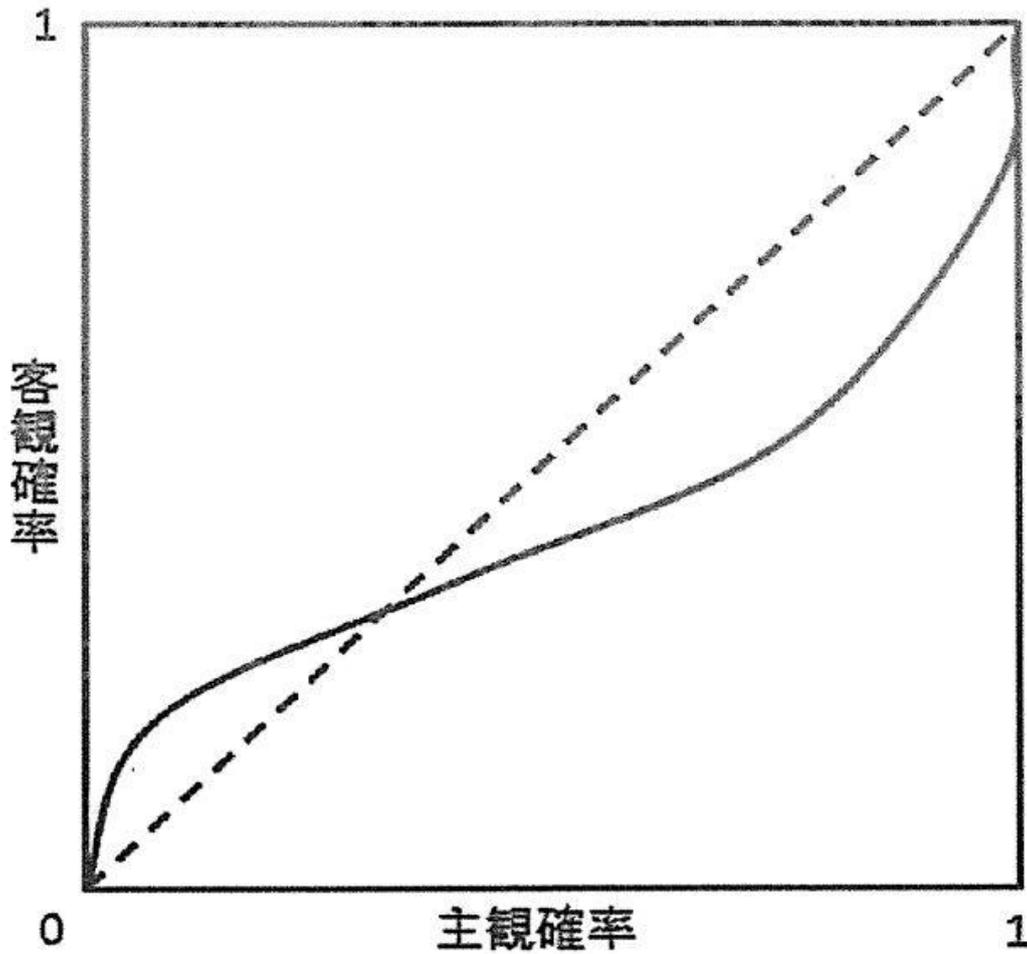


図 3.3 確率荷重関数

3. 3. 3 価値関数の定式化

吉光ら[5]は価値関数に式(3.1)で表されるベルタランフィ曲線[8]を用いている。

パラメータ

c : 参照点

α : 価値の最大値

K : 定数

$$f(x)=a(1 - e^{-K(x-c)}) \quad (3.1)$$

ここで，利得に対する価値を表 3.1 のように設定する．

表 3.1 利得評価設定

利得 (x)	価値
10	0.07
20	0.20
30	0.25
40	0.35
50	0.35
60	0.45

表 3.1 のデータから式(3.1)のパラメータをニュートン・ラフソン法で探索すると図 3.4 のようになる．

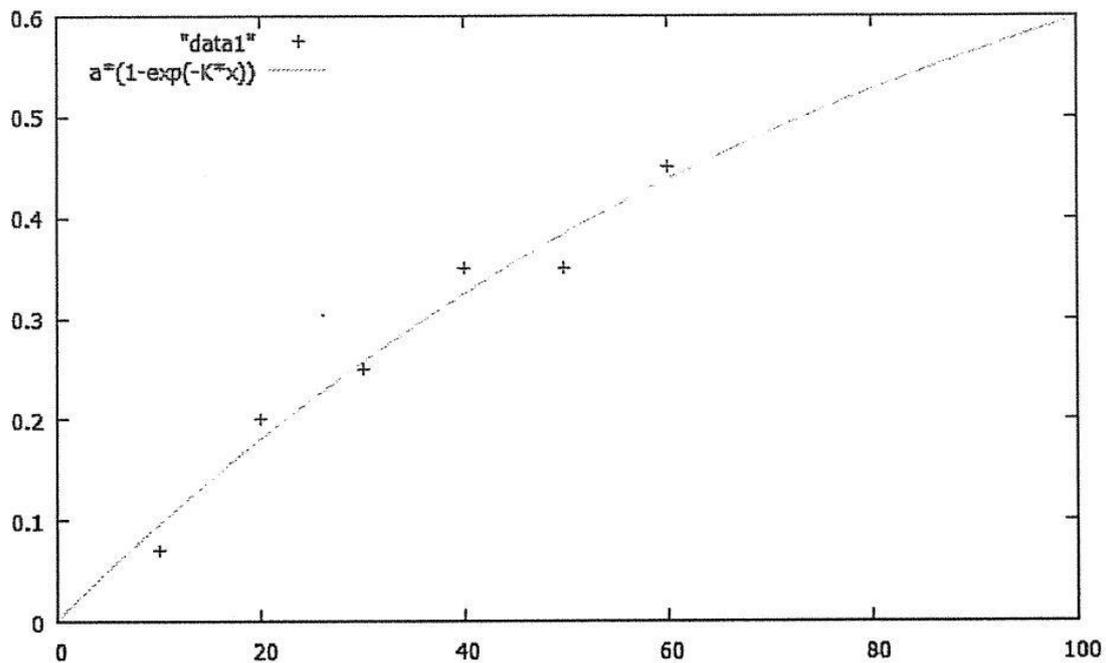


図 3.4 近似した価値関数

3. 3. 4 希求水準法

中山ら[1]は多目的最適化問題における評価関数として希求水準法を提案している。希求水準法は次の式で表され、各目的関数に対してそれぞれ理想値と希求水準値を設定しスカラー化を行う評価方法である。

パラメータ

- x : 解
- $f_i(x)$: i 番目の目的関数
- \bar{f}_i : 目的関数 $f_i(x)$ の希求水準
- f_i^* : 目的関数 $f_i(x)$ の理想値
- K : 目的関数の数
- α : 実験環境で扱える範囲での十分小さな正の数 (本研究では 10^{-6} とした)

$$F(x) = \max_{1 \leq i \leq K} \frac{f_i(x) - \bar{f}_i}{\bar{f}_i - f_i^*} + \alpha \sum_{i=1}^K \frac{f_i(x)}{\bar{f}_i - f_i^*} \quad (3.2)$$

各目的関数に適切な重みを設定して足し合わせる評価関数では解空間が非凸な形状だとすべてのパレート最良解が得られない可能性がある。しかし、希求水準法では拡大チェビシェフノルム[10]を基にしているのですべてのパレート最良解を得られる。例えば f_1 と f_2 の2つ目的関数がある2目的最適化問題を考えたとき、線形加重和の場合だと図 3.5 のように解空間 $f(x)$ が非凸な形状だとすべてのパレート最良解を得ることができない。しかし、希求水準法だと図 3.6 のように解空間 $f(x)$ が非凸な形状でも希求水準法の等高線が逆L字型になっているので、すべてのパレート最良解を得ることができる。また、パレート最良解の集合をパレートフロンティアと呼ぶ。

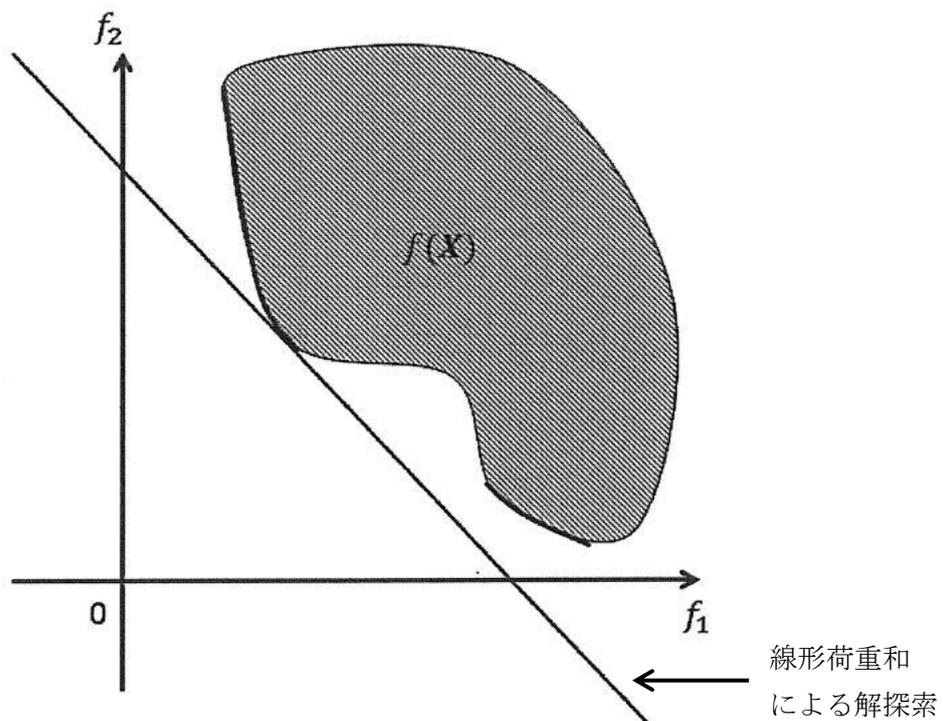


図 3.5 解空間が非凸の場合の線形加重和による最良解

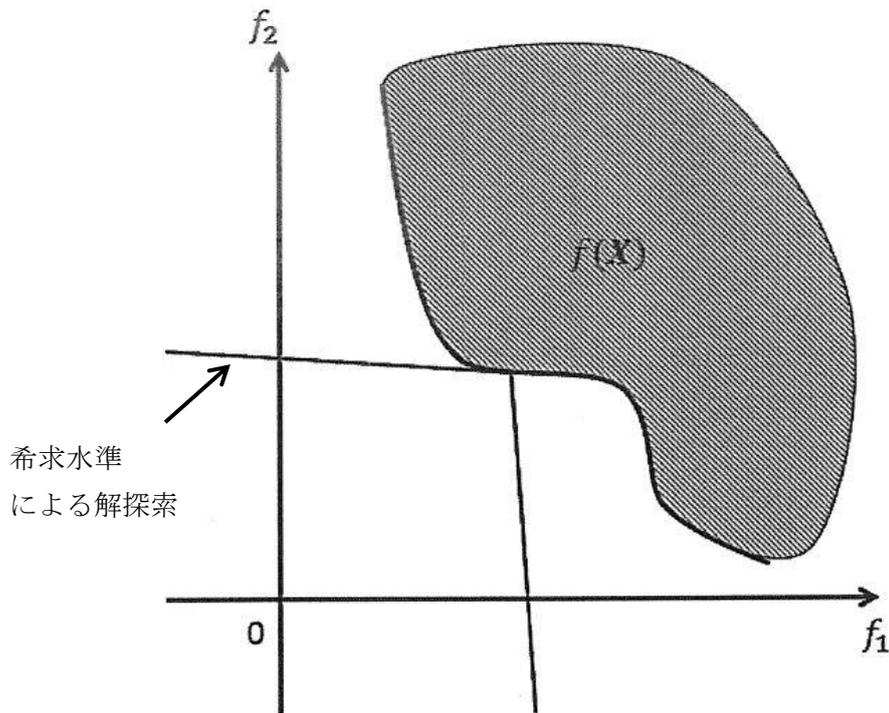


図 3.6 解空間が非凸の場合の希求水準法による最良解

また、式(3.2)の重みを

$$w_i = \frac{1}{\bar{f}_i - f_i^*} \quad (3.3)$$

とすると、 $w_i(f_i(x) - \bar{f}_i)$ は希求水準までの f_i の達成度を希求水準からの理想点までの距離で正規化しているとみることができる。それによって、目的関数間の次元の差や数の大小の違いを気にする必要がない。

α は、 $\alpha = 0$ とすると式 (3.2) で求めた最良解に対してパレート最良解を保証することができなくなる。例えば、図 3.6 のような 2 目的最適化問題のパレートフロンティアが定数 C として $x \neq x'$ のとき $f_1(x) = f_1(x') = C$ や $f_2(x) = f_2(x') = C$ となるような部分を含んでいる場合は 2 点を $X_1 = (x_1, C)$, $X_2 = (x_2, C)$ として $F(X_1) = F(X_2)$ かつ $x \neq x'$ となるような最良解が存在する。このような解を弱パレート解と呼ぶ。

また、 $\alpha \rightarrow \infty$ とすると式(3.2)の等高線が直線に近づき図 3.4 と同様の問題が生じる。よって、パレートフロンティアに対してパレート最良解のみを得たい場合は、 α は 0 に近い正の数を設定することが望ましい。

また、中山ら[2]は希求水準法として相互的な最適化法を想定している。具体的にはまず初めに各目的関数の理想値 f_i^* を目的関数の最小値以下の値に設定する。次に、各目的関数の希求水準 \bar{f}_i を意思決定者が任意に設定し、この時の評価関数を最小にする最適化を行う。得られた解に対して妥当と判断できる場合は終了し、できない場合は各目的関数のトレードオフ関係を考慮して再度希求水準を変更し最適化を行う。このような操作を妥当な判断ができるまで繰り返す。

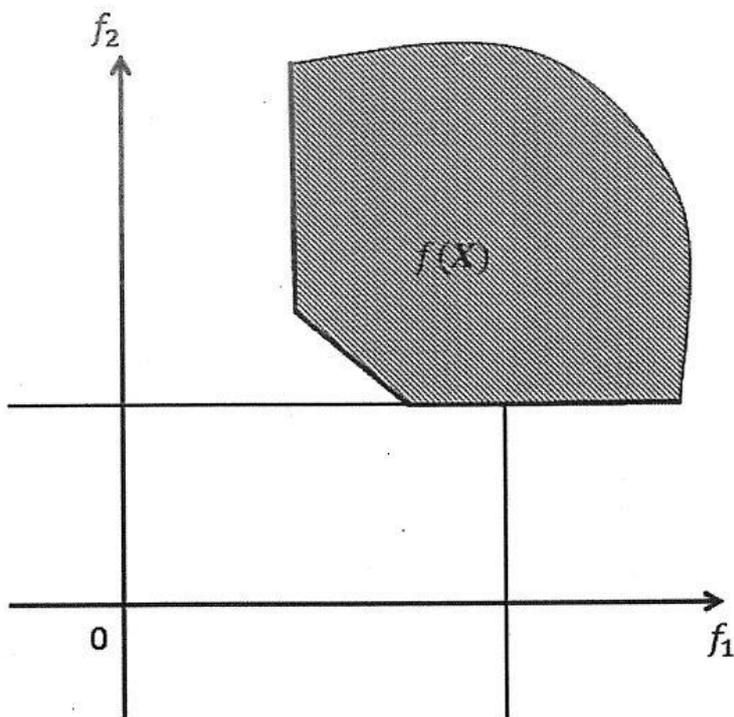


図 3.6 $\alpha = 0$ の場合は弱パレート解のみ保証

3. 3. 5 提案手法

本節では、介護サービススケジューリング問題の目的関数に対して狩野モデルによる分類を行う。そして、狩野モデルによる分類に応じて目的関数を次のように変形する

パラメータ

- x : 解
- m : 目的関数の数
- $f_i(x)$: 当たり前品質要素に分類される目的関数

$f_j(x)$:魅力的品質要素に分類される目的関数

$f_k(x)$:一元的品質要素に分類される目的関数

\bar{f}_i :目的関数 $f_i(x)$ の希求水準

\bar{f}_j :目的関数 $f_j(x)$ の希求水準

\bar{f}_k :目的関数 $f_k(x)$ の希求水準

$g_i(x)$:当たり前品質要素に分類される目的関数を補正した関数

$g_j(x)$:魅力的品質要素に分類される目的関数を補正した関数

$g_k(x)$:一元的品質要素に分類される目的関数を補正した関数

α :実験環境で扱える範囲での十分小さな正の数 (本研究では 10^{-6} とした)

$$\begin{aligned}g_i(x) &= \max(f_i(x), \bar{f}_i) + \alpha(f_i(x) - \bar{f}_i) + \max(0, f_i(x) - \bar{f}_i) \\ &\quad + \max(0, f_i(x) - \bar{f}_i)^2 \\g_j(x) &= \min(f_j(x), \bar{f}_j) + \alpha(f_j(x) - \bar{f}_j) + \max(0, f_j(x) - \bar{f}_j) \\ &\quad + \max(0, f_j(x) - \bar{f}_j)^2\end{aligned} \tag{3.4}$$

$$g_k(x) = f_k(x)$$

式(3.4)を図示すると図 3.7 のようになる.

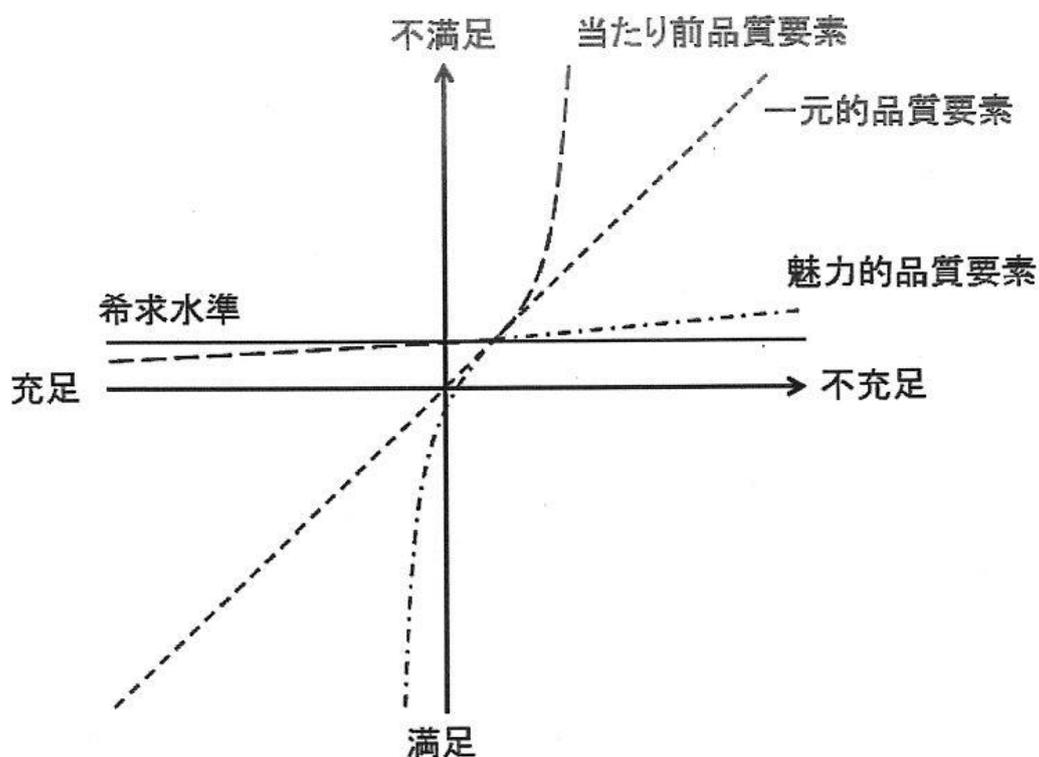


図 3.7 狩野モデルに基づいた目的関数の補完

式(3.4)を希求水準法によるスカラー化すると式 (3.5) になる.

$$F(x) = \max_{1 \leq x \leq K} \frac{g_i(x) - \bar{f}_i}{\bar{f}_i - f_i^*} + \alpha \sum_{i=1}^K \frac{g_i(x)}{\bar{f}_i - f_i^*} \quad (3.5)$$

3. 4 介護サービススケジューリングへの実装

3. 4. 1 介護サービススケジューリングの追加条件と定式化

本章では前章の目的関数に加えて青山ら[7]の介護サービススケジューリング問題を参考に目的関数や問題の設定を行った.

追加条件

- サービスを受けたい機関 (種類)

- サービスの希望に関する優先度合

いずれもサービス選択の幅を広げることで最良解の探索領域を広げ、有効なスケジューリングを行うことができると考えられる。そこで、要介護者方提示される希望例及びサービス提供機関のヘルパー情報例と介護サービススケジューリング問題で用いる目的関数を以下に示す。

表 3.1 要介護者の希望例

サービスを受けたい日時					
サービスの種類	回数/週	希望曜日	希望時間帯	希望機関	厳守
通所リハ	1	火, 土	9:00~15:00	第 1:C/第 2:A	○
訪問看護	1	木	10:00~11:00	第 1:B/第 2:A	
家事ヘルプ	2	水, 木, 金	10:30~11:30	第 1:B/第 2:A	
家事ヘルプ	1	月, 火	12:00~13:00	第 1:B/第 2:A	

サービスを受けない日時	
曜日	時間帯
日	0:00~23:59

表 3.2 要介護者の希望例

サービス提供機関 ABC

ヘルパー A		
サービスの種類	曜日	日時
介護ヘルプ, 訪問看護, 訪問リハ	月, 火, 金	6:00~12:00
		14:00~17:00
	水	10:00~15:00

ヘルパー B		
サービスの種類	曜日	日時
通所リハ, 介護ヘルプ	月, 火, 水, 木, 金	9:00~12:00
		13:00~18:00

目的関数

1. 希望曜日：要介護者の希望と異なるサービス実施日の数を最小にする。ただし、希望するサービスが実施されない場合も含める。

2. 希望時刻：担当するヘルパーの時間帯と要介護者が希望する時間帯との差を最小にする。ただし、希望するサービスが実施されない場合は含めない。
3. 希望機関：担当するサービス提供機関の希望順位を最高にする。ただし、希望するサービスが実施されない場合は含めない。
4. 実施日数：要介護者の希望から制約条件を違反しないスケジュールの組合せのうち、受けられるサービスの日数の最大値と実際にサービスを受ける日数の差を最小にする。
5. 担当機関：各要介護者に対してすべてのサービスを担当するサービス提供機関の種類を最少にする。
6. 派遣人数：立案したスケジュールに対して、サービス提供機関が派遣する人数からの超過分を最小にする。

それぞれの目的関数を定式化する

解 x における i 番目の目的関数を $f_i(x)$ とする。

3. 4. 2 希望曜日

希望するサービスが実施されない場合は、希望する曜日とは異なるを考える。そこで

R : 全要介護者の希望するサービスの回数（表 3.1 の「回数／週」）の合計

D : 全要介護者の希望する曜日と違う曜日に実施されたサービスの数
ただし、実施されないサービスは希望と異なる曜日として数える。

とすると、希望曜日の目的関数を

$$f_1(x) = \frac{D}{R} \quad (3.6)$$

と表すことができ、 $f_1(x)$ の最小値は 0 となる。

3. 4. 3 希望時刻

希望時刻は立案したスケジュールへ担当可能なヘルパーを割り当て、人数が足りないサービスは実施しないとしたスケジュールを作成し、そのスケジュールから要介護者の希望と異なる時間帯を計算する。

したがって、立案したスケジュールにおいては実施することになっているサービスが、実際には担当できるヘルパーがいない場合や担当するはずのヘルパーが他の要介護者のサービスを担当しているなどして実施できない場合もあり

得る．このような実施されないサービスは，希望時刻において評価の対象にならないサービスと考え，希望と異なる時間帯としてカウントしない．

しかし，実施されないサービスは望ましくないため，派遣人数目的関数（数式）で派遣人数を超過したサービスとして計算される．

以上を定式化したヘルパーの担当可能な時間帯を考慮したサービスの時間帯と要介護者の希望するサービスの時間帯との差 t_{diff} について各時刻を，

h_{start} : 立案したスケジュールに対して実際にヘルパーが担当する時間帯を考慮した時の実際に実施されるサービスの開始時刻（午前 0 時 0 分から経過分数）

h_{end} : 立案したスケジュールに対して実際にヘルパーが担当する時間帯を考慮した時の実際に実施されるサービスの終了時刻（午前 0 時 0 分から経過分数）

u_{start} : 要介護者の希望するサービスの開始時刻（午前 0 時 0 分から経過分数）

u_{end} : 要介護者の希望するサービスの終了時刻（午前 0 時 0 分から経過分数）

とおき，次のように計算する．

$$t_{diff} = |h_{start} - u_{start}| + |h_{end} - u_{end}| \quad (3.7)$$

また，

t_{sum} : 実際に評価する時間帯の t_{diff} の合計

N : 立案したスケジュールにおいて実施されないサービスの合計

とおくと，希望時刻に関する目的関数は

$$f_2(x) = \frac{t_{sum}}{R - N} \quad (3.8)$$

と表され， $f_2(x)$ の最小値は 0 となる．

3. 4. 4 希望機関

希望するサービス提供機関が担当しない場合は，要介護者が希望サービス毎に提示するサービス提供機関の順位表が 2 位までなので実際には存在しない 3 位の希望機関が担当すると考える（表 3.1 参照）．そこで要介護者の人数とサービス提供機関の希望順位を

N_{user} : 全要介護者の人数

r_i : 実施スケジュールにおいて要介護者 i へ担当するサービス提供機関の希望順位の合計

ただし，サービスを実施しない場合は含めないとする．

例えば，要介護者 i が 3 つのサービスを希望しており，それぞれのサービスを担当する機関に対する利用者の希望順位が 1 位，2 位，1 位の場合は $r_i=4$ となる．

とすると，希望機関に関する評価は

$$f_3(x) = \frac{t_{sum} \sum_{i=1}^{N_{user}} r_i}{R - N} \quad (3.9)$$

となり， $f_3(x)$ の最小値は 1 となる

3. 4. 5 実施日数

サービスの実施の日数は安否確認などのため，多いほど望ましい．実施日数と曜日の種類を

d_i : 要介護者 i の希望から実施可能な組み合わせのうち，実施する日数の最大値

例えば，ある要介護者がサービス 1 を月曜日から木曜日のうち 3 日すべて同じ時間帯で希望し，サービス 2 を火曜日から木曜日のうち 2 日すべて同じ時間帯で希望する場合，実施する日数の最大値は 4 日となる．

u_i : 立案したスケジュールにおいて要介護者 i の曜日の種類

例えば，要介護者 i の希望するサービスが立案したスケジュール上で月曜，火曜，金曜に実施される時， $u_i=3$ となる．

とすると、実施日数に関する評価は

$$f_4(x) = \frac{\sum_{i=1}^{N_{user}} (d_i - u_i)}{N_{user}} \quad (3.10)$$

となり、 $f_4(x)$ の最小値は少なくとも 0 以下になる。

3. 4. 6 担当機関数

各要介護者の同一サービスを提供するサービス提供機関の数の平均を求める。できるだけ各要介護者の同一サービスを担当する提供機関は少ないほうが良いと考える。そこでサービス種類とサービス提供機関を

s_i : 要介護者 i に実施するサービス種類

k_i : 要介護者 i に実施するサービスのうち、各サービスを提供するサービス提供機関の数の合計。

例えば、要介護者 i がサービス 1 を 3 日、サービス 2 を 2 日希望しており、サービス 1 は提供機関 A と提供機関 B が担当し、サービス 2 は提供機関 C が担当する時 $k_i = 2 + 1 = 3$ となる。

とおくと、担当機関数の評価は

$$f_5(x) = \frac{\sum_{i=1}^{N_{user}} s_i}{\sum_{i=1}^{N_{user}} k_i} \quad (3.11)$$

と表すことができ、 $f_5(x)$ の最小値は少なくとも 1 となる。

3. 4. 7 派遣人数

立案したスケジュールにおいて、サービス提供機関が派遣する人数からの超過分の平均を求める。このとき、人数が超過するとは立案したスケジュールにおいて次の 3 つのいずれかの場合である。

- サービス提供機関が希望のサービスを提供できない場合.
- サービス提供機関に希望のサービスを担当できるヘルパーがいない場合.
- 各ヘルパーの勤務時間帯とヘルパーの人数を考慮して立案したスケジュール通りにヘルパーを割り当てて実施スケジュールを作成した時, 希望するサービスを担当するヘルパーがいない場合.

上記の状況を踏まえて超過人数を

T_{diff} : 各要介護者の実施するサービスにおいて, 超過した人数の合計

とすると, 派遣人数に関する評価は

$$f_6(x) = \frac{T_{diff}}{R - N} \quad (3.12)$$

と表すことができ, $f_6(x)$ の最小値は 0 となる.

3. 5 検証

3. 5. 1 探索手法

解の探索手法は前章と同じ先祖返り CGA を活用する.

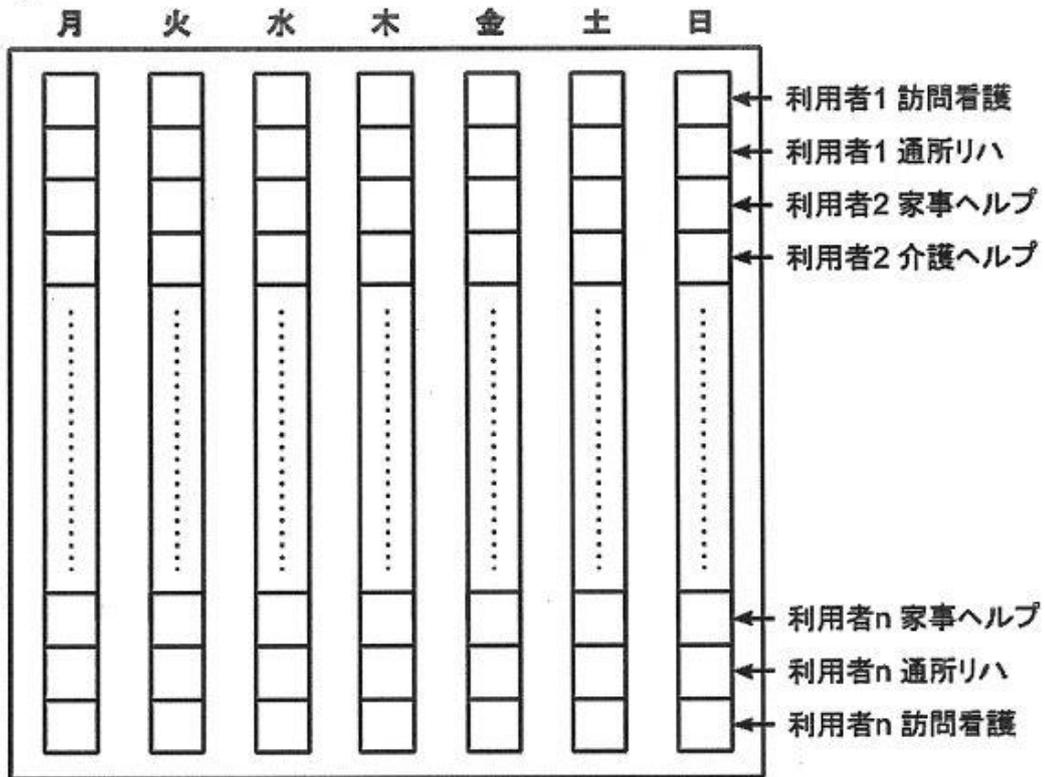
3. 5. 2 CGA による解表現

CGA の表現は前章のような一か月すべてのスケジュールを作成するのではなく, 青山ら[7]の CGA と同様に各個体は 1 日分のスケジュールを表し月曜から日曜の計 7 つの個体で解を表す. これは, プロスペクト理論でもあったように参照点に近いほど利得を感じにくく損失に向きやすい為, 満足度を考慮する場合は 1 か月のスケジューリングよりも 1 週間程度の定期的なスケジューリングが人間の価値観に近似するためである.

また, ヘルパー遺伝子については青山ら[7]にはなかったものだが, 今回の問題設定ではヘルパーが複数のサービスを担当するためヘルパーを区別する必要があり導入した.

CGA による介護サービススケジューリング問題の解の表現例を図 3.8 に示す.

解の構造



各遺伝子座の遺伝子

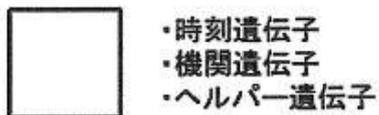


図 3.8 共存型遺伝的アルゴリズムによる解表現

3. 5. 3 初期解の生成

まず，各要介護者の希望厳守サービスについて希望曜日の組合せを総当たりし，制約条件を違反しない希望通りの日時でサービスを行う日程を決定する。

次に，その他の各遺伝子をランダムな順序で以下の手順により決定する。

1. 要介護者が希望する曜日の中からサービスを実施する曜日をランダムに選ぶ。
2. サービス開始時刻を要介護者の希望と同じとする。
3. 1., 2. で決定した遺伝子により解が制約違反している場合はそのサービスは実施しない(時刻遺伝子を-1)として，以下の処理を実行しない。
4. サービス提供機関を全機関の中からランダムに選び決定する。
5. ヘルパー遺伝子をすでに決定しているサービス提供機関のうち，そのサービスを提供できるヘルパーの中からランダムに決定する。該当するヘルパーが1人もいない場合はヘルパー遺伝子を0とする。

3. 5. 4 選択

● 複製選択

複製選択とは，各曜日に対して均等になるようにサービスの割り当て変更をするため，複製選択で選ばれた累積回数が少ない個体ほど選択される確率を高くして2つの個体を選ぶ方法である。

具体的には i 番日の個体 ($i = 1 \sim 7$) が複製選択で選択された累積回数を S_i とする。ただし， S_i の初期値は0ではなく十分小さな正数として 10^{-9} とする。そして，個体 i の選択確率 p_i を

$$p_i = \frac{\frac{1}{S_i}}{\sum_{j=1}^7 \frac{1}{S_j}} \quad (3.13)$$

とする。

● 生存選択

生存選択とは，解が最も改善される新規個体ペアを選ぶ方法である。具体的には，交叉と突然変異により生成された新規個体ペアの中で，親個体ペアと入れ替えた場合に解の評価値が最も改善されるペアを親個体ペアと入れ替

える。改善するペアがない場合は親個体ペアをそのまま残す。

3. 5. 5 交叉

交叉による操作で変更されるのは実施日のみである。これはスケジューリングの特性上、サービス担当者の不在となる操作を行わないためである。ここで次の3つの制約条件を違反しないように交叉を行わなければならない。

- 1人の要介護者は同時に2つ以上のサービスを受けられない。
- 希望厳守のサービスの場合は希望する日にサービスを実施する。
- 日曜日の次の日にまたぐサービスは実施しない。

具体的な交叉手順を以下に示す。

1. 2箇所の遺伝子座をランダムに選択し、その間を交叉範囲とする。
2. 交叉範囲内の各遺伝子座に対して、入れ替えを行うかどうかを確率的に判定する。
3. 入れ替えを行う遺伝子座に対しては入れ替えを行う。ただし、遺伝子を入れ替えたことにより、上記の3つの制約条件を違反する場合は遺伝子を入れ替えない。

3. 5. 6 突然変異

青山らのCGA[8]ではヘルパー遺伝子が導入されていないので、ヘルパー遺伝子も変更する突然変異を行う。具体的には

- (1)時刻遺伝子のみ値を変更
- (2)ヘルパー遺伝子のみ値を変更
- (3)時刻遺伝子とヘルパー遺伝子の両方の値を変更
- (4)ヘルパー遺伝子と機関遺伝子の両方の値を変更
- (5)すべての遺伝子の値を変更

の5通りの中からランダムにいずれか1つの処理を実行する。また、ヘルパー遺伝子は機関遺伝子に依存する値なのでヘルパー遺伝子を変更せずに機関遺伝子を変更するという操作はできない。

以下に、突然変異の手順を示す。

1. 突然変異を行う遺伝子座をランダムに G 個選択する。
2. 選択した各遺伝子座に対して
 - (1)時刻遺伝子のみ値を変更
 - (2)ヘルパー遺伝子のみ値を変更

(3)時刻遺伝子とヘルパー遺伝子の両方の値を変更

(4)ヘルパー遺伝子と機関遺伝子の両方の値を変更

(5)すべての遺伝子の値を変更

の中からランダムにいずれか 1 つの処理を実行する。ただし、その遺伝子を変更したときに制約条件を違反する場合は変更を行わない。

この操作により各遺伝子をランダムに変更する範囲を以下に示す。

時刻遺伝子 : 要介護者の希望時刻から前後 2 分の間を変更範囲とする。

機関遺伝子 : 変更前のサービス提供機関以外の提供機関の中から選ぶ。

ヘルパー遺伝子 : 機関遺伝子で表されるサービス提供機関の中から、遺伝子座に対応するサービスを担当できるヘルパーから選択。ただし、該当するヘルパーがない場合はヘルパー遺伝子を 0 とする。

また、先祖返り CGA で用いたパラメータは以下のとおりである。

- 終了条件 : 探索を開始してから 30 分経過した時
- 停滞期間 : 10000 回 (局所解に陥ったと判断)
- 交叉率 : 0.8
- 突然変異率 : 0.8
- 交叉時に交叉範囲内の各遺伝子座の値を入れ替える確率 : 0.2
- 交叉における繰り返し回数 : $M = 50$
- 突然変異における遺伝子の選択数 : $G = 15$ (「個体長 / 10」)

また、局所解に陥ったと判定された場合は解を直前の解に変更し、交叉と突然変異を 1 回行う。先祖返りでの複製選択は前回の先祖返りあるいは探索開始から解を悪化させた回数が多いほど高確率で選択するルーレット選択を行った。

なお、この先祖返りで行う複製選択と交叉・突然変異の回数を決定するにあたり複製選択の種類を次のように Selection1 から Selection5 として定め表 3.3 で示す予備実験において狩野モデルを使用しない場合で各 10 回行った時、最も評価値の平均値が良かった物を使用している。

- **Selection1**

先祖返り後 (あるいは初期解後) から次の先祖返り開始までの間で交叉と突然変異の度に親個体ペアと入れ替えた場合、解の評価関数値が悪化する個体ペアの回数を記録し、その回数が最も多い個体ペアのみを選択する。

- **Selection2**

先祖返り後（あるいは初期解後）から次の先祖返り開始までの間で交叉と突然変異の度に親個体ペアと入れ替えた場合，解の評価関数直が悪化する個体ペアの回数を記録し，その回数が多いペアほど高い確率で選択するルーレット選択を行う．

- **Selection3**

先祖返りの操作を行う度に月曜から日曜までの計7つの個体から一組の個体ペアを選択する組合せ ${}_7C_2 = 21$ 通りの中から復元抽出を行う．

- **Selection4**

先祖返り後（あるいは初期解後）から次の先祖返り開始までの間で交叉と突然変異の度に親個体ペアと入れ替えた場合，解の評価関数値が改善する個体ペアの回数を記録し，その回数が多いペアほど高い確率で選択するルーレット選択を行う．

- **Selection5**

先祖返り後（あるいは初期解後）から次の先祖返り開始までの間で交叉と突然変異の度に親個体ペアと入れ替えた場合，解の評価関数値が改善する個体ペアの回数を記録し，その回数が最も多い個体ペアのみを選択する．

さらに，先祖返り CGA の実装として解の評価にかかる時間を短縮する試みとして，サービス提供機関のデータ構造として図 3.9 のようなグラフ構造を用いた．このデータ構造の狙いは，ヘルパーの数よりもサービスの種類の方が少なく，サービスの種類よりも曜日の数の方が少ないと考えられるので，担当できるヘルパーから探索するよりも希望する曜日から探索するほうが少ない計算量になると考えた．

表 3.3 検証実験で用いる先祖返りの操作を繰り返す回数 U と複数選択の方法の組合せ

実験	複製選択の方法	先祖返り操作を繰り返す回数 U
1		1
2	Selection1	10
3		1000
4		1
5	Selection2	10
6		1000
7		1
8	Selection3	10
9		1000
10		1
11	Selection4	10
12		1000
13		1
14	Selection5	10
15		1000

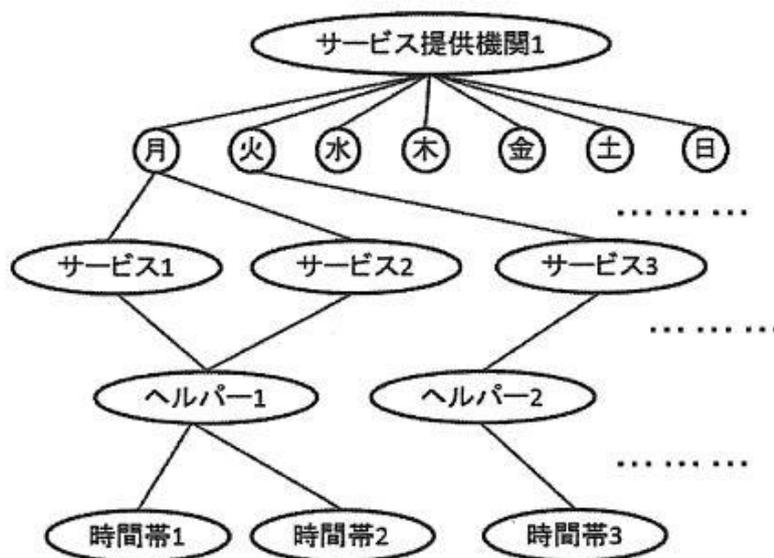


図 3.9 サービス提供機関のデータ構造

3. 6 検証実験の各種基本データ

3. 6. 1 要介護者のデータ

要介護者のデータは以下のとおりである

要介護者の人数：46人

独自に作成した要介護者の希望データ各要介護者のサービスの希望データは希望通りのサービスが実行可能になる組み合わせが存在する。また、要介護者の希望するサービス毎につける希望のサービス提供機関の順位表は2位までとする。

なお、今回のデータを用いると個体長は154になる

3. 6. 2 サービス提供機関のデータ

サービス提供機関のデータは以下のとおりである

- サービス提供機関の数 : 3
- サービスの種類 : 5
- ヘルパーの人数 : 42

各ヘルパーはそれぞれ複数のサービスと複数の時間帯を担当することができるとする。また、各要介護者の希望をサービス提供機関の順位を1位且つ、サービスを実施する日時を希望通りで実施した場合、派遣人数を超過しない実施スケジュールが存在する。つまり、希望曜日目的関数値、希望時刻目的関数値及び派遣入数目的関数値がすべて0となり、希望機関目的関数値が1となる実施スケジュールが存在する。

3. 6. 3 先祖返り CGA のパラメータと実験環境

先祖返り CGA で用いたパラメータは以下のとおりである。

- 終了条件 : 探索を開始してから30分経過した時
- 停滞期間 : 10000回(局所解に陥ったと判断)
- 交叉率 : 0.8
- 突然変異率 : 0.8
- 交叉時に交叉範囲内の各遺伝子座の値を入れ替える確率 : 0.2
- 交叉における繰り返し回数 : $M = 50$
- 突然変異における遺伝子の選択数 : $G = 15$ (「個体長/10」)

実験環境は以下のとおりである。

- Windows10 バージョン 1607 OSビルド 14393.693
- CPU : Intel Core i7 3.4GHz
- メモリー : 8GB (800MHZ DDR3×2)
- 実装 : Cygwin(Ver.17.30)の g++(Ver.4.8.3)を用い C++で実装

3. 6. 4 狩野モデルによる分類

実務の専門的知見により本研究の介護サービススケジューリング問題に対する目的関数の狩野モデルによる分類を行った。また、理想値も以下の通り設定する。

一元的品質 : 希望機関 (サービス), 実施日数
 当たり前品質 : 希望曜日, 希望時刻, 派遣人数
 魅力的品質 : 担当機関 (サービス) 数

理想値 - 1 : 希望機関 (サービス), 希望曜日, 希望時刻, 派遣人数
 0 : 実施日数, 担当機関 (サービス) 数

従来の希求水準法と狩野モデルを取り入れた希求水準法のそれぞれについて各10回の実験を行い目的関数値と評価関数値の平均値を計算した。また、提案法について感度解析を試みた。

3. 7 検証結果

狩野モデルを使用しない方法で感度解析を行った結果を表 3.4 に示す。この実験は、すべての目的関数を一元的品質とした場合と同じである。狩野モデルを取り入れた方法で感度解析を行った結果を表 3.5 に示す。なお、表 3.4 と表 3.5 の探索後の目的関数値は $g_i(x)$, $g_j(x)$, $g_k(x)$ ではなく元の $f_i(x)$, $f_j(x)$, $f_k(x)$ の値である。

表 3.4 狩野モデル未使用の結果

	希望曜日	希望時刻	希望機関	実施日数	担当機関数	派遣人数
希求水準値	0.00	0.00	1.20	0.58	1.16	0.00
探索後の目的関数値	0.10	0.00	1.30	0.00	1.06	0.10
判定	緩和	緩和			厳しく	緩和
希求水準値	0.10	0.10	1.20	0.58	1.10	0.10
探索後の目的関数値	0.11	0.01	1.25	0.00	1.06	0.11

表 3.5 狩野モデル使用の結果

	希望曜日	希望時刻	希望機関	実施日数	担当機関数	派遣人数
希求水準値	0.00	0.00	1.20	0.58	1.16	0.00
探索後の目的関数値	0.10	0.01	1.27	0.00	1.05	0.10
判定	緩和	緩和			厳しく	緩和
希求水準値	0.10	0.10	1.20	0.58	1.10	0.10
探索後の目的関数値	0.10	0.00	1.19	0.00	1.08	0.10

狩野モデルを使用しない場合と使用する場合のどちらの場合においても、2回目の解の探索では希望曜日・希望時刻・派遣人数を緩和し、担当機関数を厳しくしており、他の目的関数は希求水準を変更していない。

表 3.5 から分かることとして、2回目の解の探索では希求水準を希望曜日・希望時刻・派遣人数に対して緩和させたが、それに応じるように目的関数値が悪化している。また、担当機関は希求水準を厳しくしたが目的関数値は変化していない。さらに、希望機関は希求水準を変化させていないが目的関数値が改善している。

表から分かることとして、2回目の解の探索では希求水準を希望曜日・希望時刻・派遣人数に対して緩和させたが、希望時刻の目的関数値が改善し、それ以外は目的関数値が変化していない。一方、担当機関数は希求水準を厳しく設定したが 1.05 から 1.08 に悪化している。

3. 8 結言

狩野モデルを使用しない場合では、2回目の探索の時に希求水準を変更するとそれに応じるように変化していることがわかった。一方、狩野モデルを使用した場合では 2 回目の探索の時に希求水準を変更するとその操作にはあまり影響してないことがわかった。具体的には、希望曜日・希望時刻・派遣人数に対して希求水準値を緩和させているにも関わらず、希望曜日・派遣人数の目的関数

値は変化しておらず、希望時刻についてはむしろ改善している。これは恐らく、希望曜日・希望時刻・派遣人数が当たり前品質要素に分類されるため、式 3.13 の影響が強く少し希求水準を変更しただけでは目的関数値は変化しなかったためだと思われる。あるいは、他の要因として全体として希求水準値の設定が厳しすぎたのかもしれない。また、担当機関数は 2 回目の探索の時に希求水準を厳しく設定したが目的関数値が 1.05 から 1.08 に悪化している。これは、担当機関数が魅力的品質要素であるため、この目的関数が希求水準に達していなくても満足できると考えるので少し希求水準を厳しくしただけでは目的関数値を改善させるのに十分ではなかったと考えられる。希望機関は希求水準を変更していないが、目的関数値が 0.01 から 0.00 に改善している。これは誤差かもしれないが、当たり前品質要素の希求水準を緩和させたので希求水準を変更する前の探索空間と変更後の探索空間を比較した場合、変更後において評価値が良い部分が多くなったと思われるので、初期収束しにくくなり結果としてこの目的関数値が改善したとも考えられる。一方、実施日数の目的関数値については狩野モデルを使用する場合と使用しない場合でどちらも変化していないがこれは、どちらも一元的品質要素の分類であったということや希求水準よりも十分良い値になっていることから改善しやすい目的関数であると考えられる。

参考文献

- [1] 訪問看護ステーション評価マニュアル, (1999), 社団法人全国訪問看護事業協会
- [2] 中山弘隆: 多目的計画に対する満足化トレードオフ法の提案, 計測自動制御学会論文集 20(1), (1984), pp. 29-35.
- [3] 狩野紀昭, 願楽信彦, 高橋文夫, 辻新一: 魅力的品質と当り前品質, 品質, 14(2), (1984), pp. 147-156.
- [4] Chien-Chah Wang , Chia-Ying , Hsin-Ling Hsieh : Analysis of Facebook Group Buy Services Quality Using Kano model , Proceedings of the Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference , (2017)
- [5] 吉光陽平, 新井民夫, 下村芳樹, 原辰徳: サービス工学に基づくサービス CAD システムの構築 (第 28 報) -プロスペクト理論に基づいた受給者視点のサービス評-, 精密工学会学術講演会講演論文集, (2006), pp. 91-92.
- [6] D. Kahneman , A. Tversky : Prospect Theory An Analysis of Decision under Risk , Econometrica , XLVII, (1979), pp. 263-291.
- [7] 西崎一郎: 意思決定の数理, (2017) , 森北出版
- [8] 赤嶺達郎: 水産資源解析の基礎, (2007) , 恒星社厚生閣
- [9] 青山功, 佐藤裕幸, 中島克人: 介護サービススケジューリング問題への遺伝的アルゴリズムおよびタブーサーチの適用とその比較, Journal of the Operations Research Society of Japan, 44(3), (2001), pp. 261-280.
- [10] R. E. Steuer , Eng-Ung Choo : An interactive weighted Tchebycheff procedure for multiple objective programming , Mathematical programming 26. 3, (1983), pp. 326-344.

第4章 高齢者専用住宅におけるスケジューリングに関する提案

4.1 緒言

近年高齢者専用住宅における介護サービスとして訪問介護を利用する事業者が急増した。すなわち、平成23年の法令改正[1]により、高齢者賃貸住宅の安否確認が必須のサービスとなり、その介護サービスは各利用者の要介護度の程度に応じて支給される単位を使用することで受けられることになった[2]。ここでの単位とは、市町村から支払われる介護保険給付の名称で、1単位で10円相当の保険給付金が保険者から事業者へ支給される。当然のことながら毎月支給される単位は最大限使用することが利用者にとっても、事業者にとっても望ましい。しかしながら既存のナース・スケジューリングでは特定の日だけに勤務を決定し労働環境の公平性と機能性を高める研究で、今回の法令改正に対応した単位数を最大限活用するスケジューリングの研究はまだ十分になされてきていない。

よって、本章では高齢者専用住宅における訪問介護のサービス提供スケジューリングを行う。このスケジューリングではヘルパーが勤務している時間帯に出来る限り多くのサービスを詰め込むことで1つ1つの単価を積み重ねて全体の利用単位を最大にしつつ、労働環境の公平性を保つ内容となっている。更に、以下の点を重視したスケジューリング法を提案する。

- (1) 青山らの希求水準法より一般的な多目的スカラー法による多目的最適化を志向する。
- (2) 青山らが検証したメタ解法をより、多くの解法を検証する。
- (3) 平成23年度より導入された高齢者専用住宅に対応するスケジューリング法を提案する。

4.2 高齢者専用住宅における現状と評価基準の設定

高齢者専用住宅とは高齢者住まい法[1]の改正により新たに創設された医療・介護が連携し高齢者の安心を支えるサービスを提供する住宅である。住宅としては居間の広さや設備、バリアフリーといった生活していく面で住みやすいように設計されており、専門家による生活相談や安否確認などのサービスを提供することで高齢者が安心して暮らすことの出来る環境が用意されている[2][3][4]。

介護を受けるには、各利用者の要介護度によって支給される単位を使用することで介護サービスを受けることができる仕組みになっている。単位は毎月支給され前の月の残りの単位を使用できないため、1ヶ月に使用できる単位の上

限は支給額と決まっている．そのため最大限単位を利用できるように介護サービス数，介護内容を設定する必要がある．要介護度は要支援1・2及び要介護1～5の7段階に分けられる[5]．

介護サービスは食事や排泄，入浴，薬の服用の補助などを行う身体介護と，清掃や洗濯，健康診断，生活相談などを行う生活援助がある．また，希望者はデイサービスを受けることも可能である．これらのサービスを受けるのに単位が必要であるが身体介護と生活援助はサービス内容により必要な単位数が決まっているのに対して，デイサービスは利用者の要介護度及び利用時間によって決まるため全利用者一律ではない．これらのことから単位数の調整や介護サービスを行うためのスケジュール表の作成は作成者への負担は大きく自動化が望まれている[6][7]．

4. 3 求解に用いたメタヒューリスティックス

メタヒューリスティックスとは生物の進化や物理的変化の仕組みをモデル化し，組合せ最適化問題の近似解を得る手法である．その手法はいくつかあるが，今回の事例に関する先行研究は存在しないため，一般的な遺伝的アルゴリズムからいくつか特徴的な探索方法を選択した．以下に本章で使用するものを示す．

4. 3. 1 遺伝的アルゴリズム(GA)

遺伝的アルゴリズムに関しては，諸条件が第2，3章で用いているアルゴリズムと似ているため，そのまま使用する．

4. 3. 2 差分進化(DE)

近年ストーンらによって提案されたアルゴリズムであり，様々なベンチマーク問題で優れた探索性能を有している[8][9]．遺伝的アルゴリズムと同様の探索アルゴリズムで解集団から交叉や選択など操作を行うが突然変異を行わず，集団から選択された1個体とランダムに選択された個体対により差分変異個体を生成し集団の解とこの差分変異個体で交叉を行う．

また，次世代の個体の選択の際に子を残すのではなく親と子と比較して良い方を残すところが特徴である．手順を以下に示す．

1. N 個の個体からなる初期集団 $\{x_i, i = 1, 2, \dots, N\}$ を生成する．
2. 各個体の評価を行う．
3. 親となる個体 x_i と差分変異個体を生成するための3個体 x_j, x_k, x_l を選択する．
4. 新しいベクトル x' を基本ベクトル x_j 及び差分ベクトル $(x_k - x_l)$ から式

(4.1)に基づき差分変異個体を生成する.

$$x' = x_j + S(x_k - x_l) \quad (4.1)$$

ここで, S はスケーリングパラメータである.

5. 親個体 x_i と差分変異個体 x' とで交叉を行う.
6. 子個体を評価し親個体と子個体で優れている方を次世代に残す. この時終了条件を満たしていなければ「3.」へ戻る. 満たしていれば終了する.

4. 3. 3 タブーサーチ(TS)

グローバーによって提案されたアルゴリズムである[10]. 現在の解の近傍を探索し, 近傍解の中で最良の解への更新を行う. 更新を行う際に過去に通った解を保存するタブーリストを参照し, 一致しなかった解の中から最良の解を選択し, 解の更新を行うことを繰り返すことで最良解を求めるアルゴリズムである. タブーリストに保存された解と一致した場合は解の遷移を許可しないため, 必ずしも良い解へと遷移するとは限らず, 解の悪化に繋がることもあるが, この悪化により局所解からの脱出を行うのが特徴である. 以下に手順を示す.

1. 初期解を1つ生成する.
2. 近傍解を N 個探索する.
3. 近傍解の評価を行う.
4. 近傍解の評価の良いものからタブーリスト参照を参照し, 一致しないものを選択する.
5. 現在の解をタブーリストに追加し, 選択した解を次世代の解として更新する.
6. 終了条件を満たしていなければ「2.」へ, 満たしていれば終了.

4. 3. 4 擬似焼きなまし法(SA)

物質を融解状態まで加熱しゆっくりと結晶化するまで温度を制御しつつ冷却する操作を焼きなましと言い, この過程をシミュレートするアルゴリズムである[11]. 特徴の1つとして局所解に陥りにくいということがあげられる. 解の探索を行う際に近傍探索を行うが, 温度パラメータの状態により探索を行った解が確率的に改悪の方向へ遷移することを認めることで局所解へ陥るのを防ぎ, 良質な解を得るアルゴリズムである. 手順を以下に示す.

1. 初期解を1つ生成する.

2. 初期解の評価を行う。
3. 近傍解の探索を行い現在の解と比較を行い，近傍解の方が良い場合は「4.」へ，そうでない場合は「6.」へ。
4. 現在の解を近傍解とする。
5. 最良解と近傍解との比較を行い，近傍解の方が良い場合は最良解を近傍解とする。「7.」へ
6. 0 から 1 の乱数を生成しこの値が $e^{-\Delta Cost/T}$ より小さい場合は現在の解を近傍解とする。 T は温度パラメータであり， $\Delta Cost$ は現在の解と近傍解の差分値である。
7. 温度パラメータ T の更新を行う。
8. 終了条件を満たしていなければ「2.」へ，満たしていれば終了。

4. 4 提案手法

ここでは本節で提案する目的関数に基づき最適なスケジューリングを作成する方法を説明する。本論文での提案法は支給単位の最大限利用を目的関数の形式で陽に明示することはせず，単位数超過を起こさないよう，探索木を用いてサービスを調整する点に特徴がある。

4. 4. 1 制約条件

本スケジューリング問題において以下の制約条件がある。

- C_1 : 介護時間制約：すべての利用者に日中及び夜にサービスを行うが希望者にのみ深夜帯にサービスを行う。利用者の安眠を確保すべく、夜間に起こすようなサービスは極力減らす。
- C_2 : 介護度制約：要介護度 2 以下の利用者は食事の時間に介護を行わない。食事は全員一斉に行うためサービス重複を極力削減したい時間帯である。よって、食事の介助はよほどの方でない限り重度者に分配する。
- C_3 : 時間帯制約：毎週同じ時間帯に同じサービスを行う。サービス時間の固定化は事業所にとって利便性が向上し，入居者にとっては習慣化することで日常生活にメリハリが付き両者にとって有効となる。
- C_4 : 間隔制約：サービス終了から次サービス開始までの時間を 2 時間以上空ける。介護保険法上，2 時間の間隔が無い場合は，前後を合算して計算する。その際，合算した単価は個別の単価より落ちるため収支上 2 時間あけてサービスを構成するのが一般的である。

- C_5 : 勤務間の空き時間 : ヘルパーの勤務間に空き時間が発生しないようにする. 手待ち時間なく労働者がサービス提供を行うことにより, 労働生産性を向上させるため制約条件に加える.
- C_6 : 勤務時間の平等性 : ヘルパーの勤務時間を可能な限り平等にする. 公平な労働環境を構築するため, ヘルパーによって勤務内容を均一化している.

以上より 6 つの制約を設けた. なお, 本章で扱う支給単位については単に不等式を満たせばいいという立場ではなく, なるべく使い切るという立場から求解のプロセスに導入した.

4. 4. 2 目的関数

スケジュール表の作成にメタヒューリスティックスを使用し, 解の評価として各制約条件をどれだけ満たしているかによって評価を行う. 評価法として各制約に重みを設ける重み係数法を用いる. 重み係数法とは, 多目的最適化問題の複数の目的に重みを設け, 重み付きの目的関数の総和を 1 つの目的関数として総和を最小化し, パレート最良解を求める手法である. 以下に各制約条件に対する評価値の決定法を述べる.

C_1 はすべての利用者にて対して日中, 夜の介護サービスを行うが希望者のみ深夜帯のサービスを行うため必ず満たさなければならない. したがって C_1 に対する評価値は

$$F_1 = 0 \quad (4.2)$$

となる.

C_2 は要介護度 3 以上の利用者に対しては食事の介護が必要である. しかし要介護度 2 以下の利用者に対しては食事の介護を必要としていない. そのため要介護度 2 以下の利用者に対しては食事の時間に介護を行わないようにする.

C_3 はサービスを受けるに当たり毎週同じ時間帯に同じサービスが行われるのが利用者にとって都合が良い. そのため, なるべく同じ時間帯に同じサービスを行うようにする.

C_4 は同じ利用者に対してサービス終了から次のサービス開始までの時間が短すぎるのはサービス提供上好ましくないため一定の時間を空ける必要がある.

C_5 はサービス感に空き時間が多いと勤務上好ましくないためなるべく空き時間を作らないようにする必要がある.

制約条件 $C_2 \sim C_5$ は制約ごとに満たしていない回数を v_i とし、対応する重み w_i との積を評価値とする.

$$F_i = v_i w_i \quad (i = 2, 3, 4, 5) \quad (4.3)$$

一方 C_6 はヘルパーのサービス実施時間が多い人や少ない人がいると特定のヘルパーに掛かる負担が大きくなるため、平等性を評価する上で、標準偏差 σ に重み w_6 との積を評価値 F_6 とする.

$$F_6 = w_6 \sigma \quad (4.4)$$

ここで σ は

$$\sigma^2 = \frac{1}{k} \sum_{d=1}^m \sum_{j=1}^k (t_j - S_d)^2 \quad (4.5)$$

より定義され、 k はヘルパーの人数、 d は日付、 m は1ヶ月に日数、 t_j はヘルパー j のサービス実施時間、 S_d は d 日の平均勤務時間を意味している。また S_d は式 (4.6) のように定義される。

$$S_d = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k t_j \quad (4.6)$$

これらより解の評価値 F を次式 (4.7) で設定し、これを目的関数とする。

$$F = \sum_{i=1}^6 f_i \quad (4.7)$$

この評価値は小さいほど望ましい。

4. 4. 3 各解法の表現について

実装にあたり各アルゴリズムともに解を配列で表現し、配列の要素としてサービス ID を格納する。サービス ID を参照することで利用人名、サービス内容、サービス時間などが参照できる。配列の前から順に時系列に並ぶものとして探索を行った。

4. 4. 4 遺伝的アルゴリズム

親個体の選択にルーレット選択を用いた。これは各個体の適合度に比例する確率で選択されるものである。適合度の計算は集団の個体の中から最も悪い評価値と各個体の評価値との差を適合度とした。代表的な交叉は二点交叉や一様交叉などがあるが、部分一致交叉を用いた。二点交叉などの場合、遺伝子に同じ数字が重複する可能性がある。そこで、重複を回避するために部分一致交叉を用いた。手順は二点交叉と同様に交叉範囲をランダムに決める。そして交叉範囲内の遺伝子ともう片方の親の同じ遺伝子座の遺伝子を入れ替える図 4.1 例にすると「1」と「3」、「2」と「6」を入れ替えることで出来た個体を子個体とする。

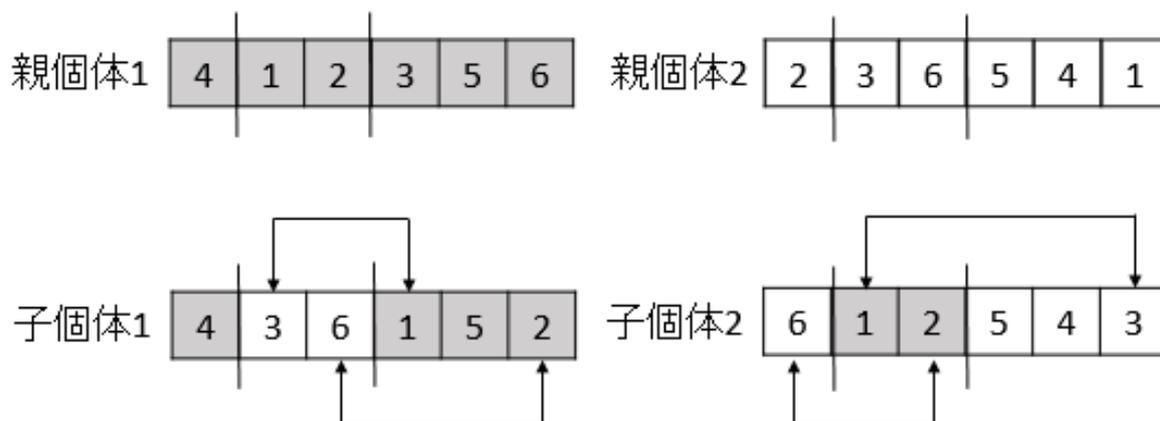


図 4.1 部分一点交叉

突然変異は確率により遺伝子进行操作するものである。遺伝子に含まれる内容の変更ができないため遺伝子座を入れ替えることで突然変異を行うこととする。この操作はタブーサーチと擬似焼きなまし法で行う近傍探索と同じ操作にあたる。

4. 4. 5 差分進化

差分変異個体の生成に用いる式(4.7)をそのまま本問題に当てはめることは

不可能である。したがって以下のように置き換える。

$x_k - x_l$ では2個体間の差分を取る。ここでいう差分とは2個体の違いであり、 x_k の値を x_l に変更することを指す。取った差分は、 x_j を変更する要素とする。変更する要素の数はスケーリングパラメータによって決まるものとする。これによってできたものを差分変異個体とする。

図 4.2 を例にすると、 x_k と x_l の要素の異なる 5 箇所が差分となる。スケーリングパラメータをとした時 $x_k - x_l$ 中の 5 つの差分すべてを変更する。交叉については遺伝的アルゴリズムと同様の操作を行う。

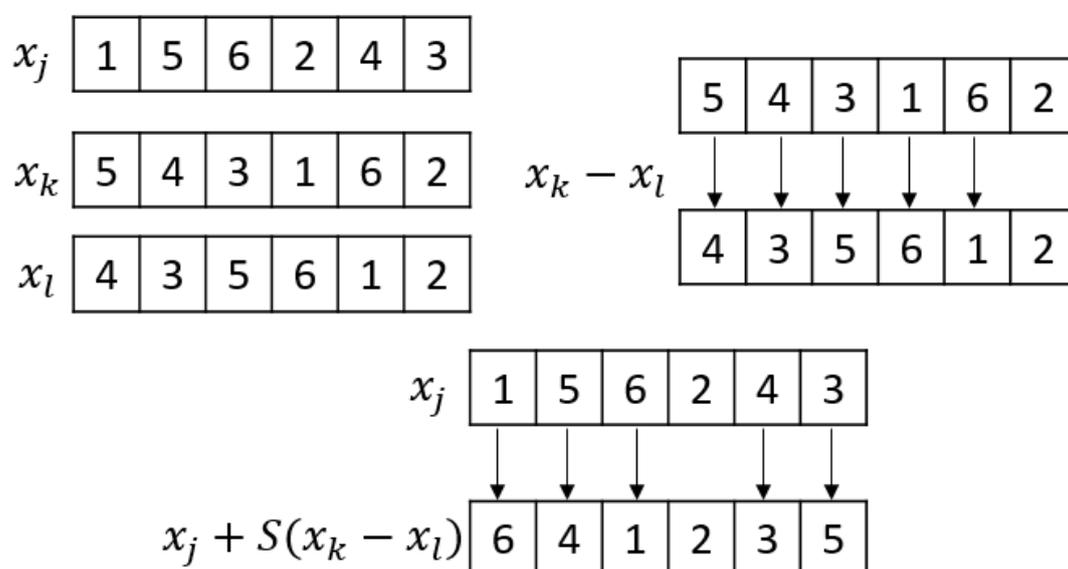


図 4.2 差分進化

4. 4. 6 タブーサーチ

近傍探索は現在の解から少し変更を加えたものが近傍解となる。これを一度に複数個探索し図 4.3 のように配列の数字を入れ替えることで探索を行う。

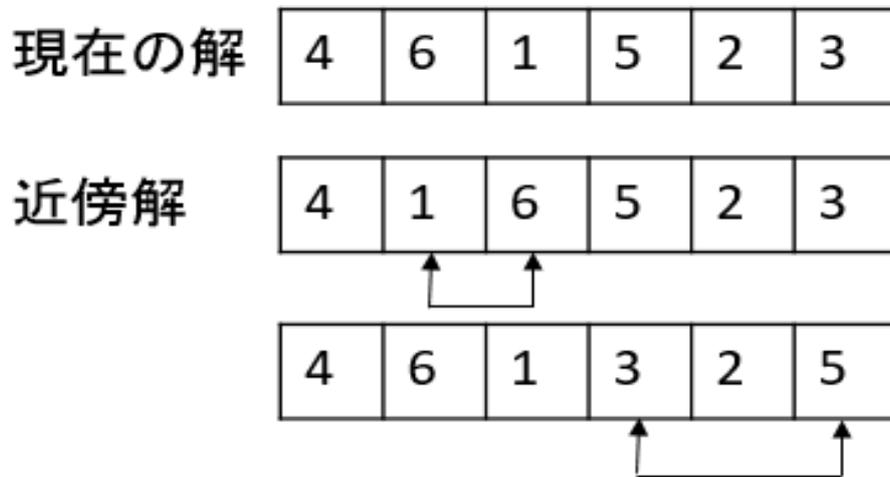


図 4.3 タブーサーチリスト

4. 4. 7 擬似焼きなまし法

近傍探索の方法はタブーサーチと同様に行う。ただし、タブーサーチの場合一度に複数の解の探索を行うが、擬似焼きなまし法の場合は1つの解を探索し現在の解と比較する手順を複数回行った後にパラメータの更新を行う。

4. 4. 8 単位数最大化

各利用者が1ヶ月あたりに利用できるサービスを全て利用したとする。その時に使用単位数が受給額(上限値)を超えた利用者に対しては以下の操作を行い、いくつかサービスを外すことで受給額を超えない最大の値にする。また、介護サービスには毎日行われるものと指定の曜日のみ行われるものがあり、ここで選択する介護サービスは毎日行われるもののみを選択する。

p_i をサービス実施に必要な単位、 z_i をサービス回数、 U を減らすサービスの合計単位数としたとき、

$$U = \sum_{i=1}^k p_i z_i \quad (4.8)$$

と定義し単位数最大化の手順を以下のように行う。試行錯誤の結果、深さ優先探索を使用することが使用単位数で最も有効であったので以下にその手順を示す。

1. 介護サービスを受けるのに必要な単位数が最小の介護サービス p_{min} を選択。

2. 選択した介護サービスが $z < \left\lceil \frac{D}{p_{min}} \right\rceil$ となる z を求める. ここで D は使用単位数と上限値の差とする.
3. この時の z を, レベル p をノードとした探索木で表現する.
4. 深さ優先探索を行い D 以上かつ最小の U となる組み合わせを求める.

以上の手順により求めた介護サービスとその数をスケジュール表から外す. 図 4.4 の例では深さが 3 で介護サービス数が 4 つだった場合のものとし, $p_2 \rightarrow p_2 \rightarrow p_3$ と選ばれているため p_2 を 2 つ, p_3 を 1 つスケジュール表から外すことで単位の最大限活用を行う. 外す日の選択は, 外す介護サービスの利用者のサービス数が最も多い日から選択する. これが複数存在する場合は全利用者合計の介護サービス数が最も多い日から選択する. これも複数存在する場合はこの中からランダムに選択する.

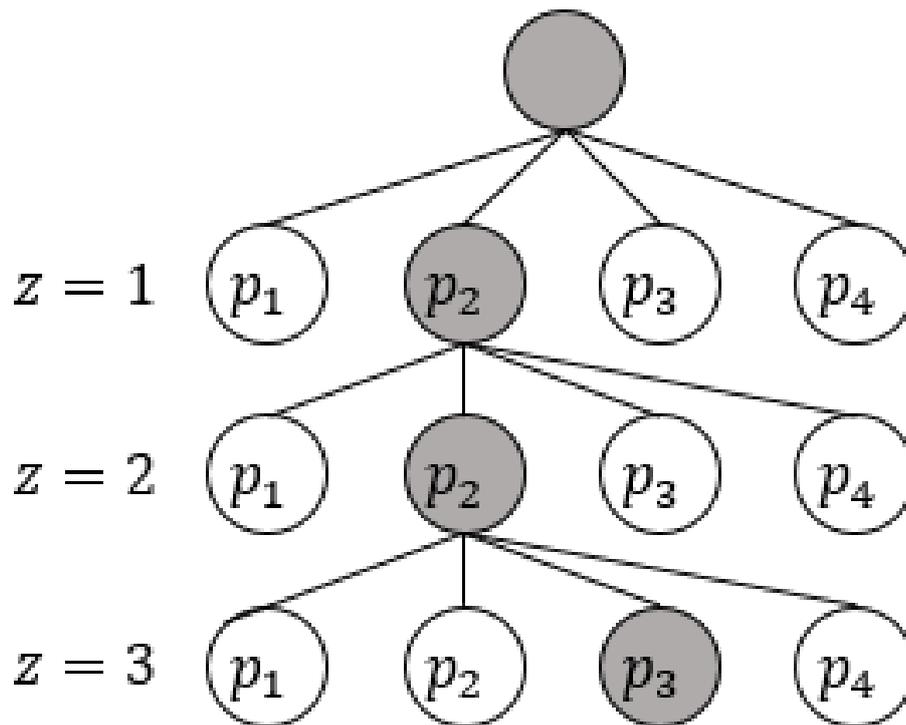


図 4.4 探索木の例

4. 4. 9 評価方法

ここでは作成したスケジュールに対しての評価を行う. 作成したスケジュール表の評価方法として式 (4.6) より作成したスケジュール表の評価を行う. この式中には単位に関する項が存在しないが, 単位とスケジュール表の評価では

次元が異なるため別に評価を行う。

4. 5 検証

各アルゴリズムでスケジュール表の作成を行い，評価値により比較を行った。初期解はすべてランダムで作成されるものを使用した。

本章で使用した入力データは(株)両備ヘルシーケアから提供されたものを用いた。各パラメータを表 4.1 に示す。重みの値については検証を繰り返し，適切な値を選択した。

表 4.1 各種設定パラメータ

共通パラメータ	
利用者数	18 人
スケジューリング日数	31 日
一日あたりのヘルパー	5 人
GA のパラメータ	
交叉法	部分一致交叉
集団サイズ	100
突然変異率	0.1
DE のパラメータ	
交叉法	部分一致交叉
集団サイズ	100
スケールリングパラメータ	0.5~1
TS のパラメータ	
近傍解の探索個数	100
更新回数	1000
タブーリスト長	100
SA のパラメータ	
初期温度	10
冷却係数	0.99
更新回数	1000
重みパラメータ	
w_2	0.7
w_3	1.0
w_4	0.3
w_5	0.3
w_6	1.0

4. 6 結果

各アルゴリズムで 10 回の検証を行った。それぞれの結果から得られた評価値の最小値，最高値および平均値を表 4.2 に示す。また各アルゴリズムで式 (4.7) より得られた評価値が最も良い結果を得られた解の評価値の推移を図 4.5 に示す。

表 4.2 検証結果

手法	最小値	最高値	平均値
GA	44.5	51.6	48.29
DE	44.4	59.7	49.79
TS	25.4	34.4	28.99
SA	12.8	19.3	15.95

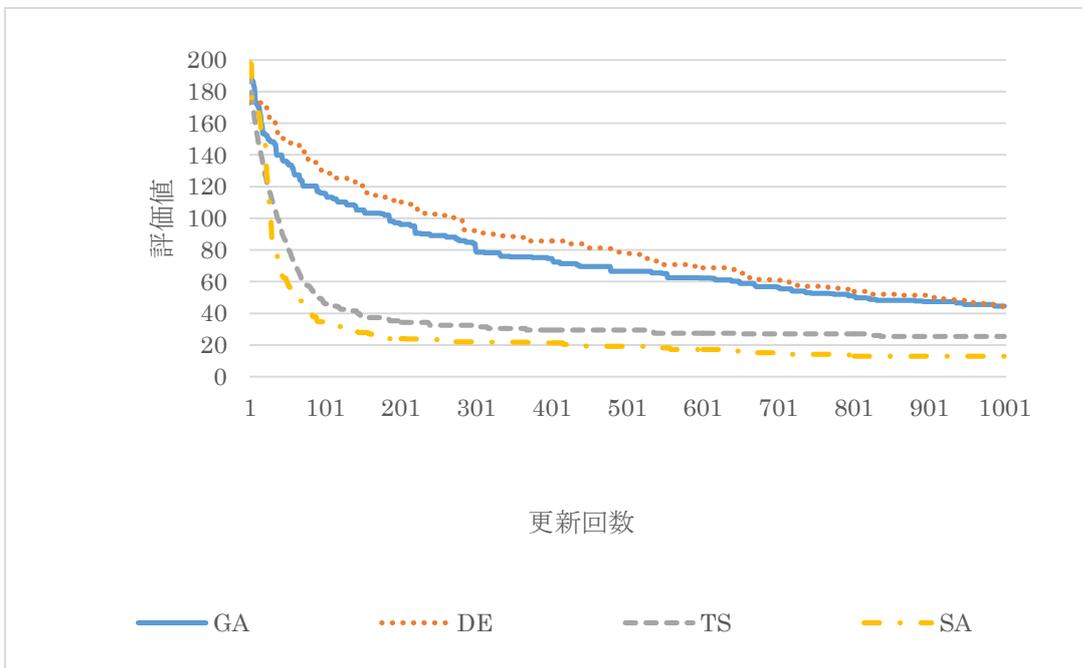


図 4.5 評価値の推移

この結果より擬似焼きなまし法を使用することで最も良い結果を得られることがわかった。タブーサーチと擬似焼きなまし法は少ない更新回数で良い結果が得られたのに対して、遺伝的アルゴリズムと差分進化では1000回更新したにも関わらずあまり良い結果を得ることができなかった。擬似焼きなまし法やタブーサーチで行う近傍探索が遺伝的アルゴリズムや差分進化で行う交叉などの操作を行うよりもこの問題に適していたのではないかと考えられる。今回は比較のためすべてのアルゴリズムで更新回数を1000回としたが、更新回数を増やすことで遺伝的アルゴリズムと差分進化でも良い結果を得る可能性がある。

数値評価として入力データの全利用者の合計単位数に対して、人の手で作成したものでは使用単位数は98.10%であったが、提案手法での使用単位数は

99.21%であるため本手法は支給単位最大限利用という観点から大変有効であるといえる。表 4.3 に内訳を示す。この入力データ以外にも過去 2 年分のデータでも検証した結果、いずれにおいても手作業よりも使用単位数が 1%から 3%を上回ることができ、良好な結果を得ることができた。また、実験に用いたデータを提供された(株)両備ヘルシーケアに作成したスケジュール表を実務的な点からの評価を依頼した。内容評価として作成したスケジュール表は訪問介護事業所として十分提供可能なスケジューリング、デイサービス事業としても受け入れ可能、居宅介護支援専門員が利用者毎のプランを作成するにあたって時間配分と時間帯について問題はないとの評価をされた。作成したスケジュール表の一部を表 4.4 に示す。表の見方として各行は 15 分毎に分けられており利用者名と実施される介護サービス名が記されている。列は左端が時間で他の列は各ヘルパーのスケジュールが記されている。何も書かれていない箇所は待機及び休憩時間となっている。10:00 に早番のヘルパーが利用者名(つ)様に入浴介助等の身体介護 2 のサービスを提供するようになっている。各行が 15 分刻みになっているのはサービス時間が最も短いものが 30 分であるが、その次に短いものが 45 分、60 分…といった時間で行われるため 15 分刻みにスケジュール表の作成を行った。

表 4.3 作成後の使用単位一覧表

利用者名(略称)	使用単位数	支給単位数	使用率
利用者 1(あ)	36,049	36,065	99.96%
利用者 2(い)	35,993	36,065	99.80%
利用者 3(う)	35,993	36,065	99.80%
利用者 4(え)	30,755	30,806	99.83%
利用者 5(お)	30,766	30,806	99.87%
利用者 6(か)	30,761	30,806	99.85%
利用者 7(き)	30,761	30,806	99.85%
利用者 8(く)	26,278	26,931	97.58%
利用者 9(け)	26,911	26,931	99.93%
利用者 10(こ)	26,891	26,931	99.85%
利用者 11(さ)	26,884	26,931	99.83%
利用者 12(し)	19,583	19,616	99.83%
利用者 13(す)	19,565	19,616	99.74%
利用者 14(せ)	19,373	19,616	98.76%
利用者 15(そ)	18,881	19,616	96.25%
利用者 16(た)	16,612	16,692	99.52%
利用者 17(ち)	16,317	16,692	97.75%
利用者 18(つ)	16,317	16,692	97.75%
平均使用率			99.21%

表 4.4 作成後のヘルパーのスケジュール

	早番ヘルパー	日勤1ヘルパー	日勤2ヘルパー	遅番ヘルパー
10:00	(つ)身体2	(す)生活2	(こ)生活2	
10:15	(つ)身体2	(え)身体1	(こ)生活2	
10:30	(つ)身体2	(え)身体1	(お)身体1	
10:45		(せ)生活2	(お)身体1	
11:00		(せ)生活2	(き)身体1	
11:15		(せ)生活2	(き)身体1	
11:30		(か)身体1	(う)生活2	
11:45		(か)身体1	(う)生活2	
12:00	(さ)身体1		(う)生活2	
12:15	(さ)身体1		(こ)身体1	
12:30	(あ)身体1		(こ)身体1	
12:45	(あ)身体1			
13:00	(え)身体1	(い)身体1		(そ)身体1
13:15	(え)身体1	(い)身体1		(そ)身体1

4. 7 結言

本章では高齢者専用介護住宅における支給単位充足型の問題に対する探索木による支給単位の有効活用について、十分な結果が得られた。また、いくつかのメタヒューリスティックスを用いて比較を行った。その結果、式(4.7)の F 値を最小にするという観点からは、擬似焼きなまし法が特に有効であるという結果を得ることができた。この評価基準は必要条件から求めた数理的なものであるが、最終的に得られたスケジュール表を実務の観点から吟味しても使用可能との考えられる。また、作成に関しても実際の現場では利用者の退居や入居、要介護度やニーズの変化などに応じてスケジュール表を組み直すことが多い。提案手法による求解は検証したケースで約20分である。これに対して手作業では熟練の職員でも約3時間を要することから大変有意義な手法と言える。

参考文献

- [1] 高齢者住まい法の改正について, <http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H23/H23F19002003002.html>
- [2] 厚生労働省, 第 102 回社会保障審議会介護給付費分科会資料「高齢者の住まいについて」, (2014).
- [3] 李野暉尚:介護経営黒字化の極意, (2014), 幻冬舎
- [4] 鳥羽稔:介護施設運営・管理ハンドブック, (2016), 日本法令
- [5] 介護報酬の解釈 単位数表編, (2017), 社会保険研究所
- [6] 村山要司, 若林敬造, 鈴木邦成, 豊谷純:ナース・スケジューリング問題に関する先行研究について, 日本大学生産工学部第 47 回学術講演会講演概要, (2014), pp. 391-394.
- [7] 池上敦子, 緒方洋平, 森田準史, 土谷隆:訪問介護スタッフ・スケジューリング, 統計数理研究所共同レポート 191「最適化:モデリングとアルゴリズム 19」, (2006), pp. 302-316.
- [8] K. Price, R. M. Storn, Jouni A. Lampinen : Differential Evolution:A Practical Approach to Global Optimization, (2005), Springer
- [9] 吉川友真, 川田昌克 : 差分進化に基づく 2 軸ヘリコプタの PID 制御系設計と実機実験による検証, システム制御情報学会誌, Vol. 30, No. 11, (2017), pp. 411-419.
- [10] 白石洋一:組合せ最適化アルゴリズムの最新手法, (2002), 丸善
- [11] 相吉英太郎, 安田恵一郎:メタヒューリスティックスと応用, (2007), オーム社

第5章 結 論

本論文では介護保険事業において、少子高齢化の進行による需要の急増と慢性的な労働者不足により事務作業のシステム化が急務となっている。労働環境の改善及び利用者の満足度を高めるべく現行法律に即した訪問介護において、いかにスタッフを適切な労働環境におくか、また、それによりいかに適切な介護サービスを提供できるかが大きな問題となっている。本論文では介護分野におけるスタッフ・スケジューリングに関して新しい提案を行った。すなわち、効率的なスケジューリングの作成に関する新たな提案や、各種条件の必要性や重要性を最大限考慮した評価及びスケジューリング方法、また、最近著しく数が増加している高齢者専用賃貸住宅専用の訪問介護スケジューリング方法など新しい利用分野について研究を行った。

第2章では共存型遺伝的アルゴリズムを用いた訪問スケジューリングでは、先祖返りと優秀な遺伝子の隔離を行うことで、現在の法律に即したサービス提供ルールと現在の利用者及びヘルパーが希望するそれぞれの需要を満たしたスケジューリングを行うことができた。また、この作成時間は職員が時間と手間をかけて作成するよりも格段に早く作成が可能であり、現在課題となっている利用者の体調不良や入院、状態変化による頻繁なサービスの増減や、急病や家庭の事情、退職や入職などのヘルパー側の労働条件の変更にも対応がしやすい利点がある。

第3章では、利用者及び職員の満足度を評価する評価値を設定し両者の満足度を高めるスケジュール及び評価では、共存型遺伝的アルゴリズムを用いたスケジューリングについて狩野モデルや吉光らのプロスペクト理論を用いてそれぞれの制約条件に重要度を持たせて評価値を設定し、最良解全体の評価を行うと同時により最良な解の算出を行った。その結果、満足度を統合した目的関数を定義可能とした。

第4章では、高齢者専用賃貸住宅専用の訪問介護スケジューリングでは、探索木による支給単位の有効活用について、十分な結果が得られた。また、いくつかのメタヒューリスティックスを用いて比較を行った結果、擬似焼きなまし法が特に有効であるという結果を得ることができた。必要条件から求めた数理的な評価基準は、最終的に得られたスケジュール表を実務の観点から吟味しても使用可能と考えられる。作成時間についても手作業で3時間かかるものが提案手法による求解では約20分であり、利用者の退居や入居、要介護度やニーズの変化などに応じてスケジュール表を組み直すことを踏まえるとその簡易性から有意義と考えられる。

今後の課題としては、基本単価や提供条件の変更などの法改正や、新たに制定されたサービスなどにも応用可能なスケジューリング方法などをはじめ、入退院や状態の変化によるリスケジューリングの効率化などに一定の検討の余地があると考えられる。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、懇切な指導，ご鞭撻いただきました金川明弘教授に心より感謝申し上げます。

本論文の執筆に際しまして，様々なご助言をいただきました岩橋直人教授，菊井玄一郎教授，山内 仁准教授に深く感謝申し上げます。

本学での研究活動において様々なご助言をいただきました，小野孝男准教授，滝本裕則助教，ならびに基礎研究において協力いただいたアステック株式会社竹原勇朔氏，両備システムサービス山本貴大氏に感謝申し上げます。

産学連携及び本学での研究活動のため，先の博士課程修了者である岡本辰夫氏や藤野猛士氏と同様の深いご理解とご配慮を賜りました株式会社両備ヘルシーケア松田久社長及び小山嘉紀常務取締役にご心より感謝申し上げます。

本論文の基礎となる論文及び発表等で様々なご意見をいただきました，中嶋和夫氏，井出涼介氏，両備介護研究所 岡部一光上席研究員，富田隆一郎氏に感謝いたします。

本研究について日頃から有意義なご助言をいただきました，情報数理学研究室及び株式会社両備ヘルシーケアの皆様にご厚く御礼申し上げます。