

GA 及びゲーム理論を用いた看護師スケジューリングに関する一考察

大谷 慎[†] 長谷山美紀[†] 北島 秀夫[†]

[†] 北海道大学大学院工学研究科

〒060-8628 札幌市北区北13条8丁目

E-mail: †{oya,mikich,kitajima}@media.eng.hokudai.ac.jp

あらまし 多目的最適化問題の一つである看護師スケジューリング問題 (Nurse Scheduling Problem: NSP) の解法として, GA 及びゲーム理論を用いた手法を提案する. NSP に対する従来の解法では, 最適化の対象は数式モデルとして表現可能な目的に限定されていた. そこで, 本文では, 看護師をプレイヤーとした交渉ゲームを導入した勤務決定手法を提案する. これにより, プレイヤーの戦略を個別に定めることで, 評価関数の設定が困難な目的の一つである看護師の個性の反映が可能となる.

キーワード 多目的最適化, スケジューリング, ゲーム理論, 遺伝的アルゴリズム

A Note on a Solving Method for Nurse Scheduling Problem Using GA and Game Theory

Shin OOYA[†], Miki HASEYAMA[†], and Hideo KITAJIMA[†]

[†] School of Engineering, Hokkaido University

Kita-ku, Kita-13 Nishi-8, Sapporo, 060-8628 Japan

E-mail: †{oya,mikich,kitajima}@media.eng.hokudai.ac.jp

Abstract This paper presents a method using a genetic algorithm and game theory for Nurse Scheduling Problem (NSP), which is one of the multiobjective optimization problems. The object for the traditional approach of the NSP has to be definitely formulated by a performance function. The proposed method provides an optimization scheme for solving problems including objects like nurses' preferences, which cannot be formulated by any performance functions by utilizing a game where each player has its own strategy.

Key words multiobjective optimization, scheduling, game theory, genetic algorithm

1. ま え が き

テレビ番組の編成や, 運航ダイヤの決定, 生産工程の設計等, 複数の作業における最適な処理順序を求めることは, 様々な分野において重要な課題である. この問題はスケジューリング問題と呼ばれており, 対象とする作業の組み合わせ数が多い場合には, 人手により最適な順序を求めることが困難となる. そのため, スケジューリングの自動化に対するニーズは高い.

スケジューリング問題の一つに, Nurse Scheduling Problem (以下, NSP と呼ぶ) に代表される人員配置問題がある [1]. NSP は病院内の勤務表を決定する問題であり, 苛酷な勤務の回避, 日勤及び夜勤者数の確保等の複数の目的を取り扱う. そのため, 各目的が競合関係にある場合には, これらを同時に満足

させる最適解 (以下, 完全最適解 [2] と呼ぶ) は存在しない.

そこで, 完全最適解が存在しない場合, 以下の2段階の手順により最適化が行われる. まず, 非劣位解であるパレート最適解 [2] の集合 (以下, パレート最適集合と呼ぶ) を求め (手順 1), 次に, パレート最適集合から一つの解 (以下, 選好解 [2] と呼ぶ) に絞る (手順 2). 手順 1 として, パレート最適集合を直接求める Genetic Algorithm (以下, GA と呼ぶ) の構成法が幾つか提案されている [3]~[5]. また手順 2 として, 文献 [2] では, パレート最適集合から, 単独の意志決定者により選好解を決定する手法 (重みパラメータ法等) を紹介している.

上記手順で用いる GA 及び重みパラメータ法では, 評価関数値に基づいた最適化を行うため, 対象とする目的をいかに評価関数として表現するかが問題となる. しかしながら, 現実の

NSP は評価関数の設定が困難な目的を含んでおり [6], 看護師の勤務に対する好みを看護師の個性と定義すると, 個性の数式モデル化及びその最適化は困難となる. そこで, 本文では, 手順 2 において, 看護師をプレイヤーとしたゲーム理論 [7] を導入することにより, 各看護師を意志決定者とした勤務表決定を行う手法を提案する. これにより, プレイヤーの戦略を個別に設定することで, 従来手法では困難であった看護師の個性の反映を可能とするスケジューリングシステムが実現する. また, 提案手法では, ゲーム理論における戦略進化モデル [9] を導入する. これにより, 看護師の個性の変化に応じた勤務表決定が可能となる.

本文では, まず 2. で提案手法で取り扱う NSP の概念について説明する. 次に 3. において, 従来法では困難であった各看護師の個性の反映を可能とする勤務表の決定法を提案する. 4. で提案手法の有効性を検証するために行った実験結果を示す.

2. NSP

本章では, まず 2.1 において提案手法で対象としている NSP の概念について述べる. 次に 2.2 で NSP に対する従来法, 及び, 従来法における問題点について説明する.

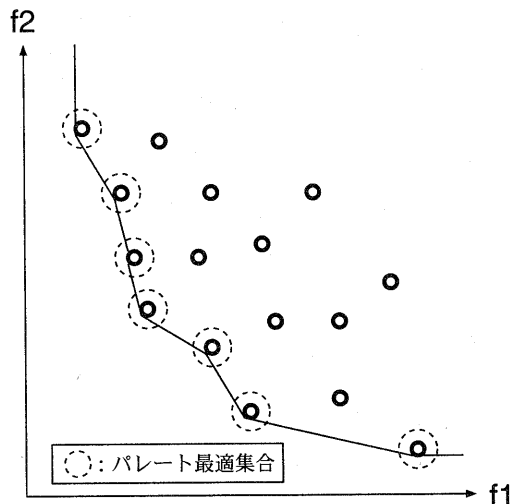
2.1 NSP の概念

病院内の看護師の勤務表作成は, 苛酷な勤務の回避や勤務者数の確保, 看護師の要望の反映といった複数の目的を考慮しながら看護師長が手作業により行う. しかしながら, 勤務形態の組み合わせの数は膨大であるため, 勤務表決定を行なう際には多大な時間を要する. 例えば, 作成する勤務表における勤務日数を 30 日, 看護師数を 15 人, 勤務形態を日勤 (8:00~16:00), 準夜勤 (16:00~24:00), 深夜勤 (0:00~8:00), 休日の 4 通りとすると, 制約条件がない場合には勤務形態の組み合わせ数は 10^{271} となる. また, 看護師の人数に余裕が無い場合には, 上記目的間に競合関係が生じ, これらを同時に反映した勤務決定は困難となる. このとき, 勤務表作成者に対し大きな負荷が課せられる.

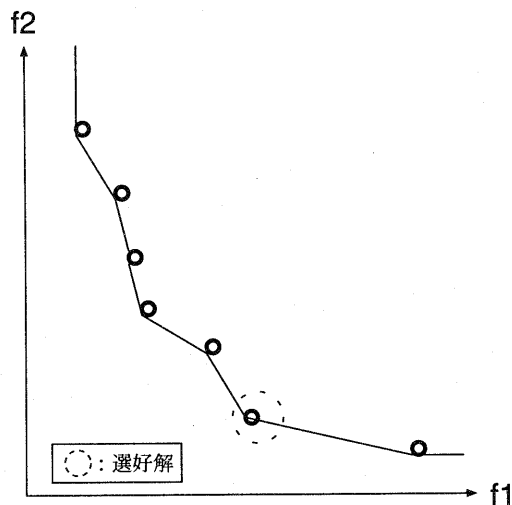
2.2 NSP に対する従来法

本節では, NSP に対する文献 [6] の手法 (以下, 従来法と呼ぶ) について説明する. NSP は多目的最適化問題であり, 2.1 で述べたように, 目的間に競合関係が生じる場合には複数の目的を同時に満足させる完全最適解は存在しない. そこで, 従来法では, まず手順 1 としてパレート最適集合を求め (図 1(a)), 次に手順 2 としてパレート最適集合の中から一つの解を選択する (図 1(b)) 手法を提案している. ここで, 手順 1 においては GA が適用されている. GA では解候補の集合を用いて探索が進められるため, パレート最適集合を直接求めることが可能となる [3]~[5]. また, 手順 2 では, 重みパラメータ法を用いており, パレート最適集合の中から複数の目的の加重和の値が最小 (又は最大) となる解を選択する [2].

上記手順において用いる GA 及び重みパラメータ法は共に,



(a) パレート最適集合の獲得



(b) 選好解の決定

図 1 2 目的最小化問題

評価関数値に基づき最適化を行なう. そのため, 従来法を適用する際には, 各目的をいかに数式モデルとして表現するかが問題となる. したがって, 従来法において最適化の対象となる目的は, 評価関数の設定が困難な各看護師の個性や看護師間の相性等を除いたものに限定されるという問題点が生じる.

3. 提案手法

2.2 で述べた従来法では, NSP の問題設定を評価関数の設定が困難な目的を除くことで単純化している. そこで, 本章では, 従来法では最適化が困難であった目的の一つである看護師の個性の反映を可能とする手法を提案する. 提案手法では, パ

レート最適集合から解の一つに絞る際に、看護師をプレイヤーとした交渉ゲームを導入し、交渉ゲームの妥結点を選好解とする(3.1)。また、戦略進化モデルを導入し、各看護師の個性が変化する場合においても選好解決定を可能とする(3.2)。

尚、本稿におけるNSPの問題設定として、勤務日数を42日、看護師数を25人、割り当てる勤務形態を日勤、準夜勤、深夜勤、休日の4通りとする。勤務決定を行う際の目的は、(1)16時間連続勤務の回数(2)1週間に6日以上働く回数(3)看護師の個性の反映の3つとする。パレート最適集合を獲得する際には目的(1)、(2)を、パレート最適集合から選好解を決定する際には、目的(1)~(3)を最適化の対象とする。

3.1 ゲームの導入

本節では、パレート最適集合から一つの解を選択する際に用いる交渉ゲームについて説明する。まず、スケジューリングの対象である看護師を交渉ゲームのプレイヤーとする。次に、パレート最適集合に含まれる全ての勤務表を各プレイヤーに提示する。このとき、プレイヤーは、各々の勤務表に対して図2に示すように評価を下す。尚、評価項目はパレート最適集合を求める際に用いた目的(1)16時間連続勤務の回数、(2)1週間に6日以上働いた回数とする。

<アンケート用紙>		名前 [看護師 A]	
	16時間連続勤務	週6日以上勤務	
勤務表 1	満足 不満	満足 不満	
勤務表 2	満足 不満	満足 不満	
勤務表 3	満足 不満	満足 不満	
...	
勤務表 N	満足 不満	満足 不満	

図2 パレート最適集合に対する評価

次に、各プレイヤーの用いる評価手段として、ゲーム理論で用いられる“協力”及び“裏切り”[7]の2通りの行動を導入し、それぞれを図3に示すように設定する。全プレイヤーが全パレート最適解の評価を終了した後、パレート最適集合の中からより多くのプレイヤーを満足させる勤務表を選択する。選択された解を交渉ゲームにおける妥結点とし、妥結点が求まった時点で1回の交渉ゲームを終了する。尚、ゲームにおけるプレイヤー*i*の利得 f_i は、次式に示すように設定する。

$$f_i = S_1 + S_2 \quad (1)$$

ここで、 S_1, S_2 は妥結点である勤務表に対する目的(1)、(2)におけるプレイヤー*i*の満足度合をである。以下、事前に設定

した終了基準を満たすまで同様の操作を繰り返す。尚、プレイヤーの取る行動は、過去の有限回の対戦結果に基づく戦略により決定する。そして、各プレイヤーにより個別に戦略を定めることで、従来法では最適化が困難であった目的(3)看護師の個性の反映が可能となる。以上、提案手法における繰り返し交渉ゲームの概要を図4に示す。

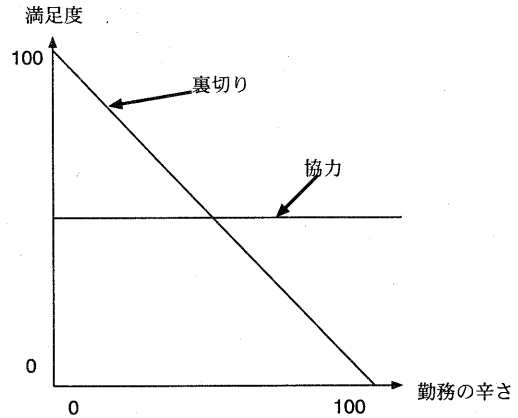


図3 協力行動と裏切り行動

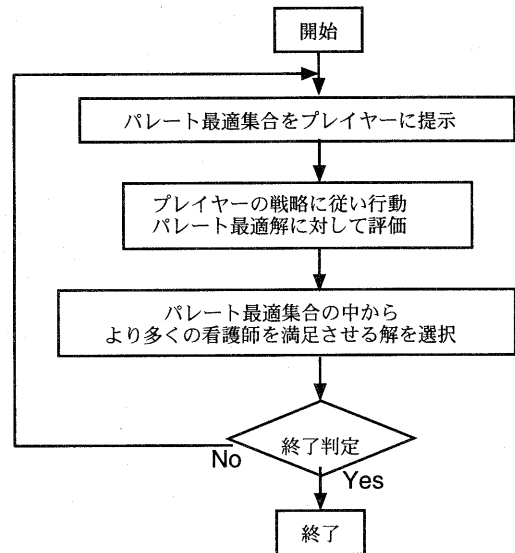


図4 繰り返し交渉ゲームの概要

3.2 戦略進化モデルの導入

前節で述べた手法を含む繰り返しゲームにおける戦略の進化に関する研究はこれまでに幾つか行われており、文献[8]では、GAを適用することで戦略進化のモデル化を実現している。そこで、本節では、3.1において提案した繰り返し交渉ゲームを看護師の個性が変化する場合においても勤務決定を可能とする手法へ拡張するために、上記[8]の戦略進化モデルを導入する。

戦略進化モデルを用いた看護師スケジューリングの処理手順を以下に示す。

まず、有限長のビット列により戦略を表現する。協力行動を記号1、裏切り行動を記号0とすると、過去1回の対戦結果のみを用いる1記憶戦略は長さ5のビット列となる。例えば、Axelrodのトーナメント[9]で優勝した戦略である“しっぺ返し(Tit for tat:TFT)”は図5に示すように表現できる。

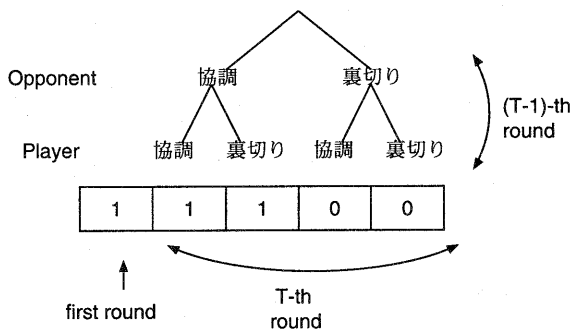


図5 TFT戦略のコード化

次に、ビット列(以下、個体と呼ぶ)で表現するプレイヤーの初期戦略をランダムに設定し、この初期戦略に従いながら前節で述べた繰り返し交渉ゲームを行なう。繰り返しゲームが終了した後、各プレイヤーの獲得した利得を累積し、その累積値に基づいたルーレット方式[10]を用いて個体を選択する。プレイヤー*i*が用いている戦略を s_i 、繰り返し交渉ゲームにおけるプレイヤー*i*の利得の累積値を $f(s_i)$ 、交渉ゲームに参加するプレイヤーの総数を M とすると、次世代において戦略 s_i を表す個体を選択される確率 $p(s_i)$ は次式となる。

$$p(s_i) = \frac{f(s_i)}{\sum_{j=1}^M f(s_j)} \quad (2)$$

次に、選択された個体に対して交叉操作、突然変異操作を施し、新しい個体を生成する。このとき、事前に定めた世代数に達していない場合には、遺伝的操作により生じた新たな個体が示す戦略に従い、上記の繰り返しゲームを行なう。以上、提案手法における戦略進化モデルの概要を図6に示す。

4. 実験

本章では、提案手法の有効性を検証するために、実データを用いて実験を行なった結果を示す。まず、4.1において、交渉ゲームを導入することにより、看護師の個性の反映が可能であることを示す。次に、4.2では、3.2で述べた戦略進化モデルに関する実験を行なう。尚、実験では、文献[3]の手法を用いて獲得したパレート最適集合を用いた。図7は実験に用いたパレート最適集合である40個の勤務表における16時間連続勤務回数及び1週間に6日以上働いた回数である。

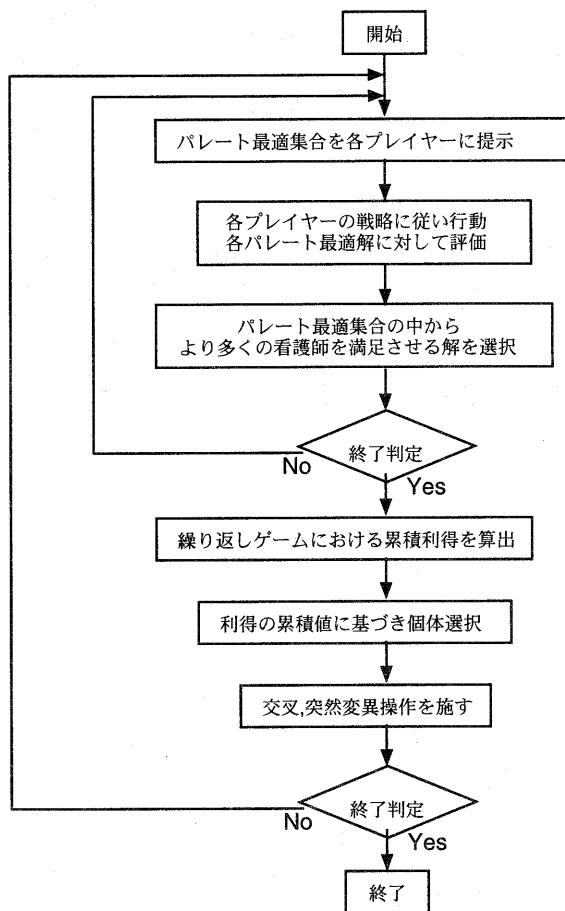


図6 戦略進化モデルの概要

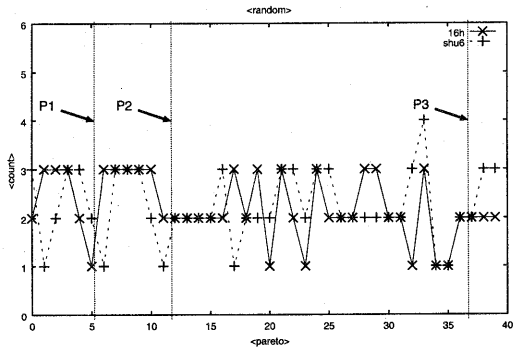
4.1 実験 1

3.1で述べた提案手法を適用し、看護師の個性を反映した勤務表決定を行なう。まず、プレイヤーの戦略を表1に示すように設定する。ゲームの終了条件として繰り返し数は100回とする。以上の条件に基づき行なった繰り返し交渉ゲームにおける妥結点の推移を観察し、その結果を図8に示す。

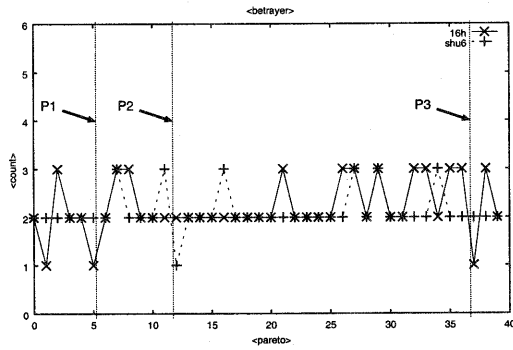
表1 プレイヤーの戦略

看護師	戦略
Nurse1~Nurse5	疑似乱数に基づき行動をとる
Nurse6~Nurse15	常に裏切り行動をとる
Nurse16~Nurse25	常に協力行動をとる

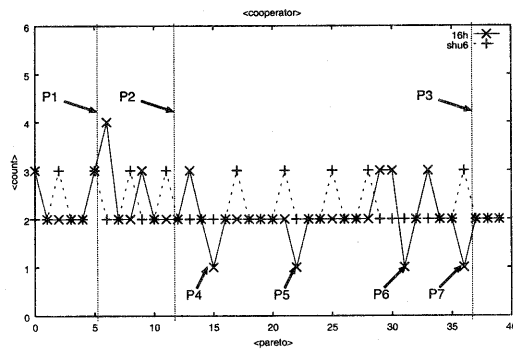
図8から、繰り返し交渉ゲームにおいてパレート最適解 P1,P2,P3は選好解として高い頻度で選択されていることが確認できる。ここで、図7(b)に着眼すると、選好解 P1,P2,P3は他のパレート最適解に比べ16時間連続勤務の回数及び1週間に6日以上働く回数が少なく、非協力的である Nurse6~Nurse15にとってより良い労働条件となっていることがわかる。一方、図7(c)より、常に協力的な行動をとる Nurse16~



(a)Nurse1~Nurse5



(b)Nurse6~Nurse15



(c)Nurse16~Nurse25

図7 実験に用いたパレート最適集合

Nurse25にとって好条件な勤務であるパレート最適解 P4~P7 は、繰り返し交渉ゲームにおいて選択されていないことが確認できる。以上より、プレイヤーの戦略に応じた勤務決定が行なわれていることがわかる。

4.2 実験 2

本節では、3.2 で述べた GA による戦略進化モデルを適用し

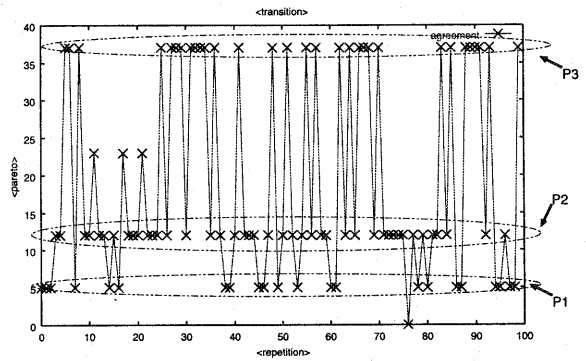


図8 妥結点の推移

た実験を行った。本節の実験において使用したパラメータの設定を表2に示す。

表2 本実験における各パラメータの値

世代数	1000 世代
ゲームの繰り返し数	100 回
突然変異確率	0.001

表2のパラメータを用いて実験を行なった結果を図9に示す。図9より、符号0の遺伝子座を多く持つ個体が選択されていることが確認できる。符号0は裏切り行動を表現しており、非協力的である戦略の進化が促進されていることがわかる。

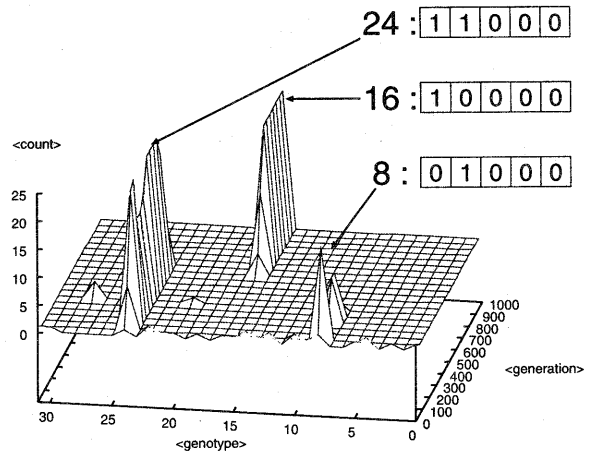


図9 戦略の進化 (報酬なし)

上記結果のように繰り返し N 個体ゲームでは協力関係の維持は困難であり、文献 [11] では非協力個体に対して制裁行動を与えることで、この問題を回避している。そこで、協力行動をとる看護師に対し 16 時間連続勤務の回数を 1 回減らすという報酬を導入し、上記実験との比較を行なった。その結果を図10に示す。図10より、報酬を与えない場合に比べ符号1を多く含む協力的な戦略の進化が促進していることが確認できる。

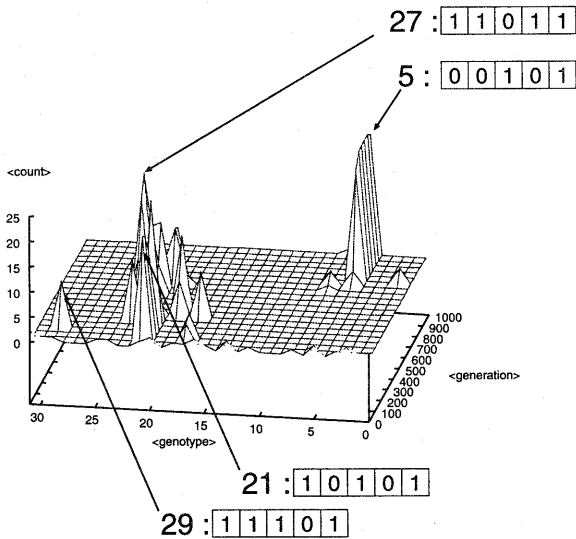


図 10 戦略の進化 (報酬あり)

5. まとめ

本文では、看護師スケジューリング問題に対する解法として看護師をプレイヤーとしたゲーム理論を用いる手法を提案した。これにより、プレイヤーの戦略を個別に定めることで、看護師の個性を反映した勤務決定が可能となった。さらに、GAを用いた戦略進化モデルを導入し、個性の変化に応じた勤務決定法を提案した。また、計算機実験により提案手法の有効性を確認した。尚、提案手法はNSPのみならず、様々な多目的最適化問題に適用可能である。今後は、評価関数の設定が困難な看護師間の相性問題等の取り扱いについて検討する予定である。

文 献

- [1] K. M. Garner R. N. Bailey and M. F. Hobbs, "Using simulated annealing and genetic algorithms to solve staff scheduling problems," *Asia-Pacific journal of operational research*, vol. 14, 1997.
- [2] 西川 よし一, 三宮 信夫, 茨木 俊秀, 最適化, 岩波書店, 1982.
- [3] C. M. Fonseca ,P. J. Fleming, "Genetic Algorithms for Multiobjective Optimization : Formulation, Discussion and Generalization," *proc. of the fifth international conference on genetic algorithms*, 1993.
- [4] J. D. Schaffer, "Multiple objective optimization with vector evaluated genetic algorithms," *proc. of the first international conference on genetic algorithms and their applications*, 1985.
- [5] H. Tamaki, M. Mori and M. Araki, "Multi-Criteria Optimization by Genetic Algorithm," *Abstracts of the third conference of the association of asian-pacific operational research societies within IFORS*, 1994.
- [6] 太田 有人, 山村 雅幸, 小林 重信, "遺伝的アルゴリズムを用いた Nurse Scheduling Problem の解法," 知能システムシンポジウム, 1992.
- [7] メイナード・スミス, 進化とゲーム理論, 産業図書, 1985.
- [8] 石淵 久生, 中理 達生, 中島 智晴, "空間型繰り返し囚人のジレンマゲームにおける隣接プレイヤー間での信頼関係のモデル化,"

信学論 (D-I), Vol.J83-D-I, No.10, pp.1097-1108, 2000.

- [9] ロバート・アクセルロッド, つきあい方の科学, HBJ 出版局, 1987.
- [10] E. E. Goldberg, "Genetic Algorithms in Search", *Optimization, and Machine Learning*, AddisonWesley, Reading, MA, 1989.
- [11] D. D. Heckathorn, "The dynamics and dilemmas of collective action", *American Sociological Review* 61,pp250-277,1996.