

遺伝的アルゴリズムの看護師勤務表作成問題への適用と一考察

星野 孝総* 安岡 優斗 服部 綾乃 四宮 友貴

(受領日：2014年5月7日)

高知工科大学システム工学群
〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口185

* E-mail: hoshino.yukinobu @kochi-tech.ac.jp

要約：近年、病院では最大限の看護を目指すとともに、看護師にもできるだけ良い労働条件を確保するような努力がなされている。一方、看護師の勤務表は通常、各病棟の師長が毎月作成している。この看護師勤務表作成問題では、看護師の要望と必要な看護勤務者・看護能力の確保という各条件を満たす勤務表を作成しなければならない。これはかなりの労力と時間が要求され、看護師の負担になっている。本研究では、遺伝的アルゴリズムを用いたコンピュータアルゴリズムによる勤務表作成を試みる。本稿では、選択手法の違いから遺伝的アルゴリズムの探索性能を比較し検証する。

1. はじめに

ナース・スケジューリング問題（NSP：Nurse Scheduling Problem）とは、労働基準法や看護師の力量などを考慮しつつ看護師の勤務表を作る問題である。スケジューリング問題に含まれており、NP困難問題と言われている¹⁾。しかし、近年の医療現場の状態に柔軟に対応する勤務表を作成するためには様々な条件があり、いまだ議論が続いている。自らの仕事が終わった後のプライベートな時間に勤務表作成を行わなければならないほど、スケジュールを組むのに多くの時間がかかり大きな負担となっている。

図1、図2は勤務表作成者（師長と主任）40名にアンケート調査（1994年実施）した結果である²⁾。図1より勤務表作成に4～6時間かかっている人が最も多く、図2より95%の人がプライベート時間にも勤務表を作成していることがわかる。また図1より6時間以上かかっている人たちもかなりの人数いることも注意しなければならない。これらより多くの勤務表作成者が多大な時間的犠牲を払っていることが明確である。

ナース・スケジューリング問題は最適化問題の1つであり、このような問題は人の手で解くことは困難である。また、膨大な時間が必要となる上、各看

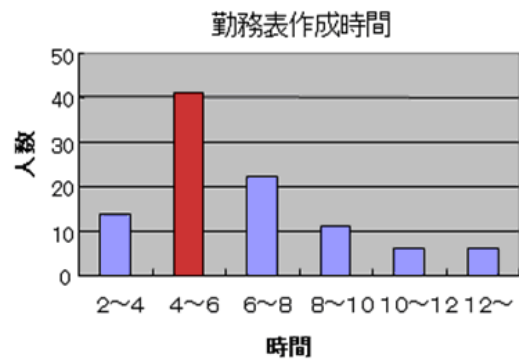


図1. 勤務表作成時間

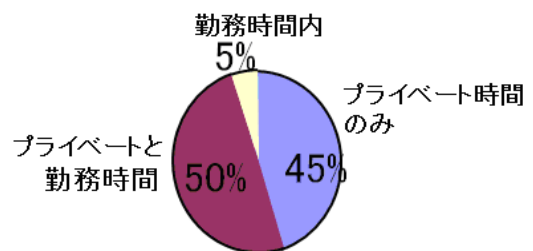


図2. 勤務表作成の時間帯

看護師に公平性がある最適な解となっているか判別し
たい。従ってコンピュータを用いて解く方法が数
多く研究・提案されており、その解き方も様々であ
る。現在も様々な手法でアプローチされており研究
開発が進められている²⁻¹⁸⁾。金川らの研究によると
ホップフィールド型のニューラルネットワーク^{10,11)}
を使用した解決方法の提案とモデル構築がなされ
ている。これらの方法では、扱う看護師の数が6の
倍数という制約があるものの労働負荷の均等化を
求める基本解ではほぼ満足のできる成果を上げて
いる³⁾。

本研究では現実的に実現不可能なシフトがなく、
毎日必要な数のスタッフで24時間体制の医療技術
を提供でき、なるべく看護師間のスケジュールに公
平性があるものを作るコンピュータアルゴリズムを
製作することを目的とする。

2. 勤務表における禁止パターン

看護師の勤務表を作成する上で禁止されている
勤務パターンがいくつかある。以下が禁止条件で
ある。

- (1) 6日間連続勤務
- (2) 夜勤明けの日勤
- (3) 準夜勤・夜勤は合わせて月9回以上
- (4) 6日間に準夜勤・夜勤合わせて4回以上

(1)と(3)と(4)は労働基準法を守る上で推奨
される禁止パターンである。(2)は看護師の負担軽
減のため今回導入した禁止パターンである。これ
らの勤務パターンがスケジュール上に発見された場
合、マイナスの評価をつける。また本研究では、実
在する病院の看護部看護部長の協力のもとに実際
の勤務パターン例と勤務に対する禁止パターンを
用いることとする。実際の禁止勤務パターンとして
以下の評価項目を導入した。

- (5) 新人看護師の土・日・祝日出勤
- (6) 新人看護師の準夜勤・夜勤

この2点は新人教育のため必須項目となってい
る。(1)～(6)の全禁止パターンを考慮した勤務
表作成が目的である。しかしながら、全禁止パター
ンが網羅された表が解として存在することが確定的
でない。したがって、ある程度守れた表を短期間
で作成するアルゴリズムを開発・検証することが本
研究の課題となる。これらの禁止パターンをマイナ
ス評価とし、看護師の人数×看護能力を最大にする
適応度関数(fitness関数)を設計し遺伝的アルゴ
リズムで表の探索を行う。したがって、遺伝的アル
ゴリズムはペナルティ付の最大評価値探索問題を解く

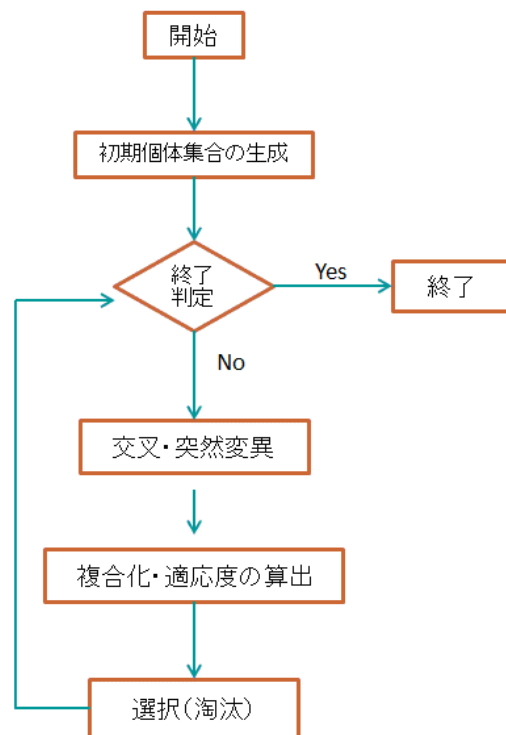


図3. 遺伝的アルゴリズムの処理の流れ

ことになる。

3. 遺伝的アルゴリズム (GA)

遺伝的アルゴリズム (GA : Genetic Algorithm) と
は遺伝子で表現した「個体」を複数用意し、適応度
(fitness) の高い個体を優先して選択して交叉 (組み
換え)・突然変異等の操作を繰り返しながら解を探
索するアルゴリズムである。適応度は設計者が設定
した適応度関数によって与えられる。生物における
遺伝子をコンピュータ内の記号で模擬し、この記号
列を個体として取り扱う。また、この記号列をラン
ダムに他の記号に置き換えることで、突然変異を模
擬し、2つの記号列の一部を入れ替えることで交叉
を模擬する^{1,19,20)}。遺伝的アルゴリズムの処理の流
れは図3の通りである。

本研究では遺伝子を1、2、3、4とし、個体はその
順列とする。遺伝子はそれぞれ1:日勤シフト、2:
準夜勤シフト、3:夜勤シフト、4:休日を表してい
る。遺伝子列構造は、全看護師の1ヶ月の勤務スケ
ジュールを1個体とした。したがって1個体の組み
合わせは4パターンの遺伝子×看護師の人数×30
日となる。遺伝子列は、1人の1か月スケジュール
を一列に並べ、さらにそれらを人数分並べる構造と
した。

遺伝的アルゴリズムを利用したプログラムを動

かす際には、個体数、個体が交叉をする確率（交叉確率）、個体が突然変異を起こす確率（突然変異確率）、終了条件を指定する必要がある。

選択、交叉、突然変異、適応度の計算、終了条件の確認のループを1世代と呼ぶ。

3.1 初期集団の生成

個体をランダムに指定された個数生成する。初期集団の個数をいくつに設定するかで解の多様性が大きく異なる。初期集団が多ければ多いほど解は多様となるが、その分計算時間が増加する。少なければ計算時間は短くなるが、個体が収束して局所的な解に陥りやすい。初期個体を生成した後は各個体の適応度を求める。本研究では実在する勤務表を準備し、初期集団としてその勤務表を1個体、その他をランダムに生成した。

3.2 適応度 (fitness)

個体毎に評価値を求める。問題が求める解、つまり環境に適しているならば評価値を高くし、選択の処理をしたときに残りやすくする。その評価値を適応度 (fitness) と呼ぶ。

問題が求める解の条件に当てはまらない遺伝子の組み合わせを致死遺伝子と呼び、致死遺伝子がある個体は、評価値を低くしておけば次世代に残る可能性を下げるができる。

また致死遺伝子が含まれる個体は破棄し、新たな個体を生成する方法もある。

適応度を求めるための関数を適応度関数と呼び、設計者が自ら決めた関数を用いる。本研究では禁止パターンに沿ったペナルティ関数を設計し実装した。

3.3 選択

適応度を基に個体を選択する。適応度の高い個体ほど選択されやすく、適応度が低いものは選択されにくい。選択方法にもよるが、世代の中で最も適応度が低い個体は選ばれることはほとんどない。

選択方法はトーナメント選択、ルーレット選択、ランキング選択、エリート保存戦略などがある。どの選択方法を採用しても、選択前の個体数と選択後の個体数は必ず同じ数にする。本論文では、この選択方法の種類による結果の違いを報告する。

トーナメント選択は、図4に示すように適応度によってトーナメントを個体の数だけ行って決定する方法である。トーナメントの残り方によって、上位適応度が比較的選ばれる方法であるが、必ずしもエリートが保存されるとは限らない選択方法である。しかし、トーナメントにかける個体選択に乱数が用いられる。

ルーレット選択は図5に示すような方法である。

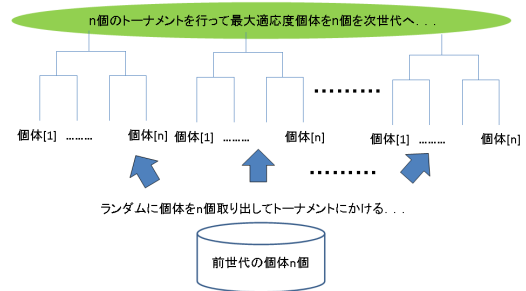


図4. トーナメント選択

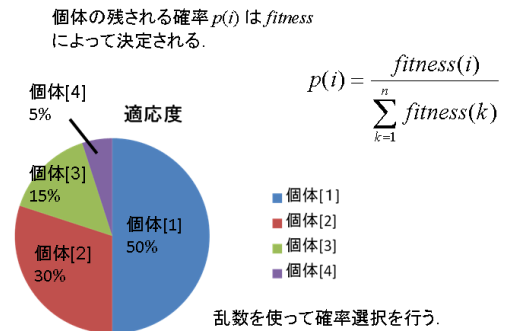


図5. ルーレット選択

rank	individual	fitness	次世代
1位	個体[1]	80 → 3個残す	1.個体[1]
2位	個体[2]	50 → 2個残す	2.個体[1]
3位	個体[3]	45 → 1個残す	3.個体[1]
4位	個体[4]	44 → ✕	4.個体[2]
5位	個体[5]	10 → ✕	5.個体[2]
6位	個体[6]	3 → ✕	6.個体[3]

図6. ランキング選択

オーソドックスに使われる選択方法である。単純な確率選択になっているためエリートが保存されることがあり探索速度が速く、単峰性の解を探索するのに適している。

ランキング選択は、図6に示すように適応度のランキングによって各ランキングから次世代に残す方法である。上位グループが確実に多様性を保ちながら次世代に残ることができる選択方法である。しかしながらパラメータの設定が問題依存になり、調整が困難な一面を持っている。個体デザインを含めた固定的な問題に対してパラメータを決定的に決められれば最も性能を発揮する選択方法である。

3.4 交叉

交叉確率を基に選択によって選ばれた個体の中から2つの個体をランダムに選ぶ。このときの2つの

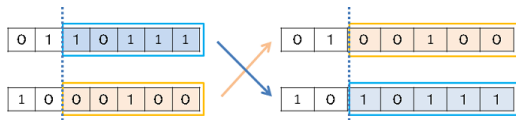


図 7.1 点交叉

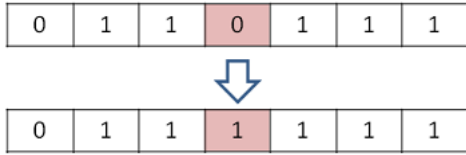


図 8. 突然変異

個体を親と呼び、2つの親を基にして親とは少し異なる2つの個体を作るのが交叉である。新たにできた2つの個体を子と呼ぶ。交叉は親集団と子集団の個体数が同じになるまで続けられる。

遺伝子が数字の並びで表現される個体では1点交叉や2点交叉、遺伝子が順列で表現されている個体では部分一致交叉、順序交叉などがある。図7は1点交叉の例である。

3.5 突然変異

突然変異確率を基に突然変異する個体を選び、選択された個体の一部の遺伝子の値を変更する。個体内の遺伝子2つの位置を逆にしたり、遺伝子の値を反転したりするなどのさまざまな方法がある。

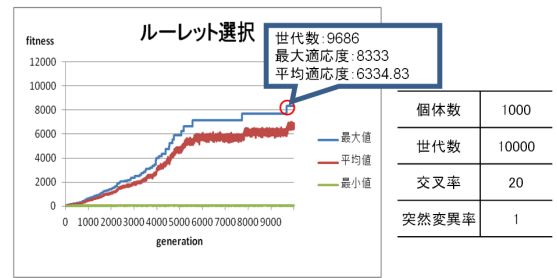
突然変異は個体の収束を防ぐ有効な手段である。突然変異確率が高ければランダム探索になってしまい、また、低ければ個体が収束をしやすくなり、良い解が出にくくなるので突然変異確率の設定は重要である。図8は突然変異の例である。

3.6 終了条件

あらかじめ定められた世代まで試行を行うことを終了条件としたり、エリート値が一定世代変わらなければ終了としたりするなどの終了条件の設定方法がある。

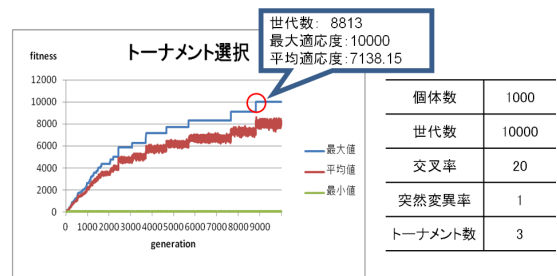
4. 遺伝的アルゴリズムの適用

今回は、実際看護師長が作成し、現場で使われた勤務表を初期値の勤務表として使用した。勤務表は1カ月が30日想定で記されている。本研究では、遺伝的アルゴリズムを用いて解探索を行う。なお、ベテランの看護師は9名、中堅の看護師は25名、新人の看護師は8名の総数42名である。したがって、1個体は4パターン×42人×30日になる。また、実験ではルーレット選択、トーナメント選択、ランキ



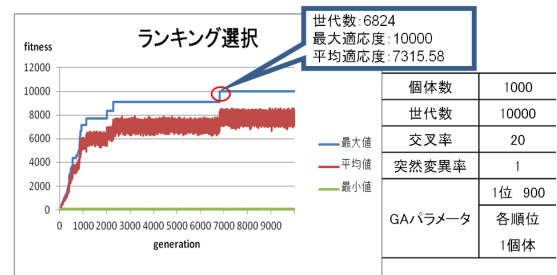
処理時間(s): 2272.41

図 9. ルーレット選択の結果



処理時間(s): 2403.7

図 10. トーナメント選択の結果



処理時間(s): 3775

図 11. ランキング選択の結果

ング選択のそれぞれの結果を比較した。シンプルな比較のため1点交叉のみ、個体は1000個体のみを用いた。打ち切り世代数10000回、交叉率20%、突然変異率1%を用いた。

5. 実験結果

本研究ではナース・スケジューリング問題に対して選択方法の異なる遺伝的アルゴリズムを適用して看護師間のシフトが公平な勤務表を作成する方法について検証する。最初にルーレット選択法を使った場合の過去の結果との比較を行った。

ルーレット選択の結果を図9に示す。この実験では適応度に応じたルーレット選択を行った。また、この実験では最大適応度の個体だけはエリートと

して次世代に残すように処理を行った。最大適応度は 10000 程度となった。

また、平均適応度の振幅も小さいことから局所領域での探索を進めていると考えられる。また、探索初期の 5000 世代までの進化が低調であることが問題となる。また、最後の適応度推移が上昇傾向にあることから、まだ探索途中にある可能性がある。もう少し大域に探索を進める必要がある。

以前、個体数 100 で行った場合、適応度 3000~4000 程度で看護師からは「使えなくない」「もう少し手直しが必要」と評価してもらっていたことを考えると以前よりは精度向上が見られていると考えられる。

トーナメント選択の結果を図 10 に示す。最後の適応度推移が飽和傾向にあることから解収束傾向にある。しかし、まだ安定的ではなく、平均適応度の振幅も小さいことから大域的探索ではないと考えられる。このことから、まだ探索により別の解が見つかる可能性がある。

ランキング選択の結果を図 11 に示す。最初の 1000 世代までで適応度 8000 程度の解が見つまっている。また、最後の適応度推移が飽和傾向にあることから解収束傾向にある。安定的に解が探索されていることが分かる。また、平均適応度の振幅がある程度大きく安定的な幅を保っている。このことから探索はある程度の広域を保持しながら進めていると考えられる。

6. 考察

本研究ではナース・スケジューリング問題に対してシンプルな遺伝的アルゴリズムを適用することで看護師間のシフトが公平な勤務表を作成する方法について選択方法を変えて検証した。各シフトを 1~4 の遺伝子とし、その並びを個体とすることによって適用し、勤務表を実際に作成した。結果としてほぼ満足のできるものが得られたが、数か所禁止パターンが含まれてしまっているため、完全に公平な勤務表を作成することはできていない。

選択方法によって解探索の効率に違いがみられ、解の探索性能に違いがあることが分かった。この問題は禁止パターンが多く、全ての条件を満たす解を見つけることは難しい。また、スキーマ破壊がされやすい個体構造をもつため¹⁾、探索中の適応度の分散が広い。これらの特徴に対しては、選択方法の違いにより効果が異なることがすでに研究されているが、パラメータ調整が難しい問題点もある。これらを含めた探索アルゴリズムの改良が今後の課題

となる。また、禁止パターンは各病院によって異なる。それぞれの病院に合わせて開発者はソフトを作成することが求められてくる。本研究では個体数を 1000、世代数を 10000 と設定し実験を行った。一回の探索で行う評価回数は、 $1000 \times 10000 = 10^7$ 回となる。もし、遺伝的アルゴリズムを使用せず全探索した場合は、 $4^{42 \times 30} = 4^{1260} = 2^{2520}$ 回評価することになり、 10^7 よりははるかに大きな数となる。

これにより、遺伝的アルゴリズムを使用した本研究の評価回数が圧倒的に少ないことがわかる。また、計算時間も 40~50 分程度で終わっていることから人の手による作成を支援するアルゴリズムとして期待できる。

文献

- 1) Hoonq-Chuin Lau, "On the Complexity of Manpower Shift Scheduling." 情報処理学会研究報告, AL, アルゴリズム研究会報告, pp. 25-32, 1994.
- 2) 糸賀健, 谷口典之, 星野孝総, 亀井且有, "共存型 GA の探索効率の改善." 第 19 回インテリジェントシステムシンポジウム講演論文集, pp. 145-149, 2003.
- 3) 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." 情報処理学会論文誌. 数理モデル化と応用, pp. 41-47, 2005.
- 4) 坂口卓也, "地域型遺伝的アルゴリズムを用いたナーススケジューリング." 情報処理学会研究報告. MPS, 数理モデル化と問題解決研究報告, pp. 247-250, 2007.
- 5) 糸賀健, 星野孝総, 亀井且有, "共存型 GA の探索効率改善とナーススケジューリング問題への適用." 第 13 回インテリジェントシステムシンポジウム講演論文集, pp. 146-149, 2003.
- 6) 中島純, 長谷川美紀, 北島秀夫, "集団意思決定理論に基づいたナーススケジューリング問題に関する一考察." 電子情報通信学会技術研究報告, pp. 43-48, 2004.
- 7) 大谷慎, 長谷川美紀, 北島秀夫, "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 (画像符号化・通信・ストリーム技術および一般)." 映像情報メディア学会技術報告, pp. 81-86, 2002.
- 8) 大谷慎, 長谷川美紀, 北島秀夫, "ナーススケジューリング問題の GA による解法に関する考察." 電子情報通信学会技術研究報告, pp. 125-130, 2002.

- 9) 長野弘志, 宮崎茂次, “勤務に対する嗜好の個人差を考慮した看護婦スケジューリング: 遺伝アルゴリズムによる看護婦スケジューリング (第一報).” 日本経営工学会誌, pp. 143-149, 1996.
- 10) 萩原将文, “今なぜニューラルネットワークか.” ニューロ・ファジィ・遺伝的アルゴリズム, 産業図書株式会社, pp. 4-10.
- 11) 萩原将文, “遺伝的アルゴリズム.” ニューロ・ファジィ・遺伝的アルゴリズム, 産業図書株式会社, pp. 93-111.
- 12) 乾伸雄, 池上敦子, “ナーススケジューリング問題における混合整数線形計画問題と充足可能性判定問題による厳密解法の比較 (論文・研究レポート).” 社団法人日本オペレーションズ・リサーチ学会, オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学 55 (11), pp. 706-712, 2010.
- 13) 秋田博紀, 池上敦子, “1-I-4 ナース・スケジューリングにおける動的計画法の利用 (スケジューリング).” 日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会アブストラクト集 2011 (28), pp. 154-155, 2011.
- 14) 秋田博紀, 池上敦子, 岩永二郎, 田辺隆人, “2-B-2 ナース・スケジューリングにおける部分問題解空間の把握 (スケジューリング (1)).” 日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会アブストラクト集 2011, pp. 140-141, 2011.
- 15) 池上敦子, “ナース・スケジューリング (<特集> 医療の効率化).” オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学 54 (7), pp. 401-407, 2009.
- 16) 池上敦子, 森田隼史, 山口拓真, 菊池丞, 中山利宏, 大倉元宏, “鉄道運賃計算のための最安運賃経路探索: 複数の鉄道会社を含む場合.” 日本オペレーションズ・リサーチ学会和文論文誌 51, pp. 1-24, 2008.
- 17) 山口拓真, 池上敦子, 森田隼史, 菊池丞, 中山利宏, “2-B-4 運賃計算ネットワーク Farenet の実用化に向けて (交通 (1)).” 日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究会発表会アブストラクト集 2008, pp. 176-177, 2008.
- 18) Wasserkrug Sagev, Taub Shai, Zeltyn Sergey, Gilat Dagan, Lipets Vladimir, Feldman Zohar, Mandelbaum Avishai, 池上敦子, “3 次レベル IT サポートのためのシフトスケジューリング: 課題, モデル, ケーススタディ (<特集> IBM における OR).” オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学 53 (3), pp. 144-151, 2008.
- 19) 北野弘明, “遺伝的アルゴリズムの基礎.” 遺伝的アルゴリズム, 産業図書株式会社, pp. 3-41, 1995.
- 20) 小林重信, 山村雅幸, “遺伝的アルゴリズムにおけるコード化と交叉.” 遺伝的アルゴリズム, 産業図書株式会社, pp. 43-60, 1995.

Application of the Genetic Algorithm for the Nurse Scheduling Problems

Yukinobu Hoshino* Yuto Yasuoka Ayano Hattori Yuki Shinomiya

(Received: May 7th, 2014)

School of Engineering, Kochi University of Technology
185 Tosayamadacho-Miyanokuchi, Kami, Kochi, 782–8502, JAPAN

* E-mail: hoshino.yukinobu @kochi-tech.ac.jp

Abstract: In recent years, hospitals are required to make the high quality service. And hospitals must ensure good working conditions for nurses. On the other hand, the schedule of nurses is created each month by the chief nurses of each group. The nurse scheduling problem must be met to ensure the necessary quality and nursing needs of nurses. Considerable labor and time are required with this, and this work is the burden of nursing. It tries working table preparation by the computer algorithm which genetic algorithms were used for by this research. The search performance of the genetic algorithms is compared with three choice techniques. This paper shows those results.