

特定ペナルティの改善オペレータをもつ 共存型GAによる看護師勤務表の最適化



1.はじめに



比較的規模の大きな総合病院では、
診療科ごとに、20~30人の看護師が勤務している

日勤、準夜勤務、深夜勤務の3交代制

現場にはベテランの看護師や新人の看護師などが勤務

看護師A
看護師B
:
看護師X
:
看護師V
看護師W

日	準	休	深	休	...	日	日	深	準
準	深	日	日	休	...	休	深	準	休
:									
深	日	休	準	休	...	日	休	日	日
:									
準	深	日	日	休	...	準	休	休	深
日	日	休	深	準	...	準	希	日	休

看護師勤務表



看護師の勤務表を作成する際には、1カ月分(4周)を作成

1.はじめに

看護師勤務表を作成する際は、
多くの**制約条件**を考慮

たとえば...

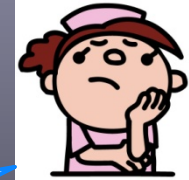
- ✓どの日においても十分な医療が提供できるメンバーがそろっているか?
- ✓各看護師の勤務の負担は公平か?
- ✓実際に勤務可能な連続勤務日数か?
-など

殆どの病院では、勤務表を人手により作成しており、
多大なコストがかかっていた

計算機を用いた自動作成が必要？

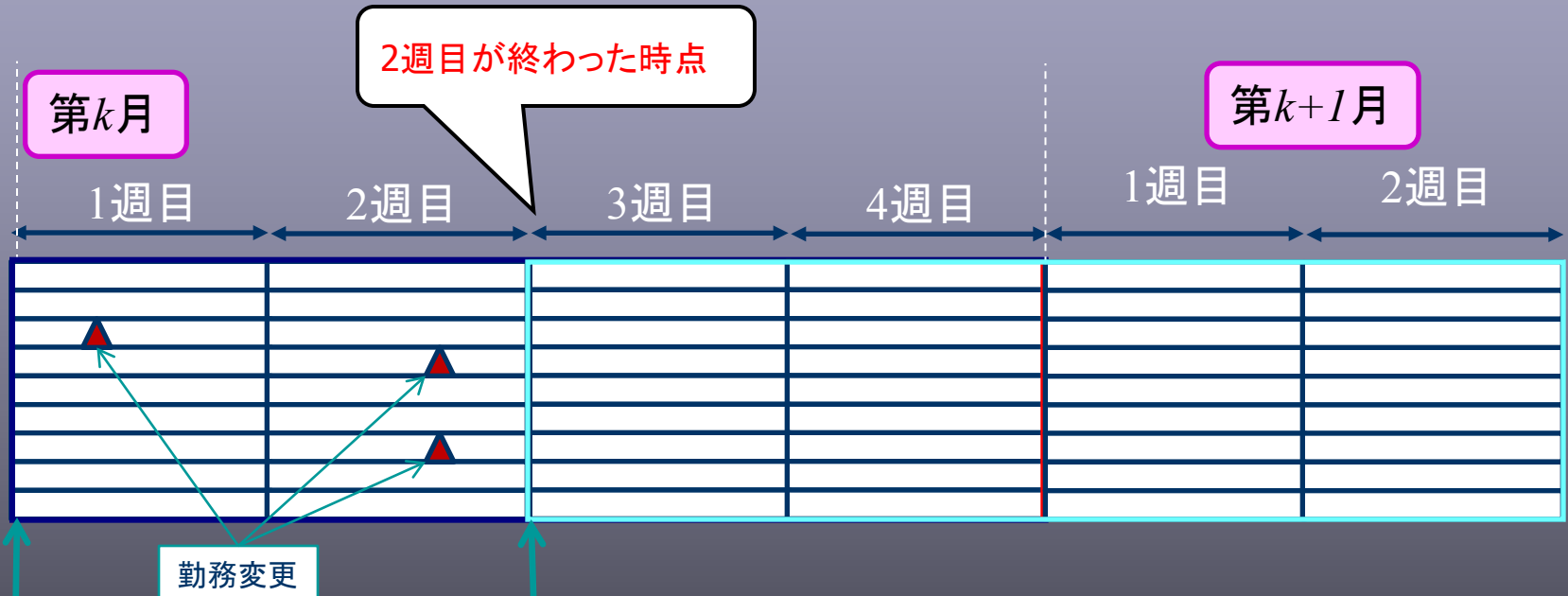
我々は...

共存型遺伝的アルゴリズム(共存型GA)による
看護師勤務表最適化を提案



2.問題設定

月の半ばに勤務変更が生じた場合に対応



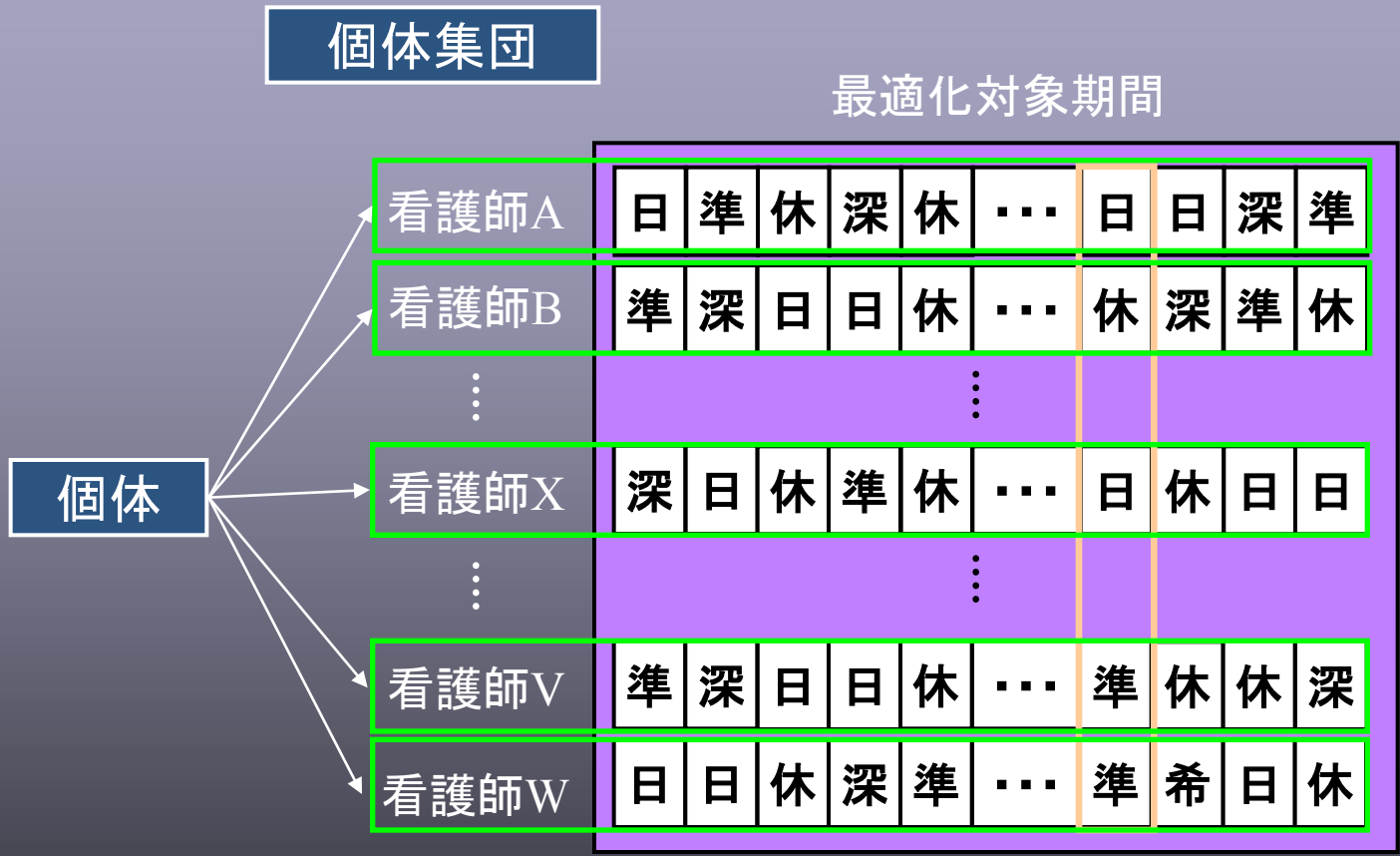
第k月の始めに
勤務表を作成

現在2週目が終わった
第k月の前半において**勤務変更**が
発生!!

一部の看護師に勤務負担が集中するなど問題が発生。この問題を解消したい

3. 共存型GAによる看護師勤務表の最適化

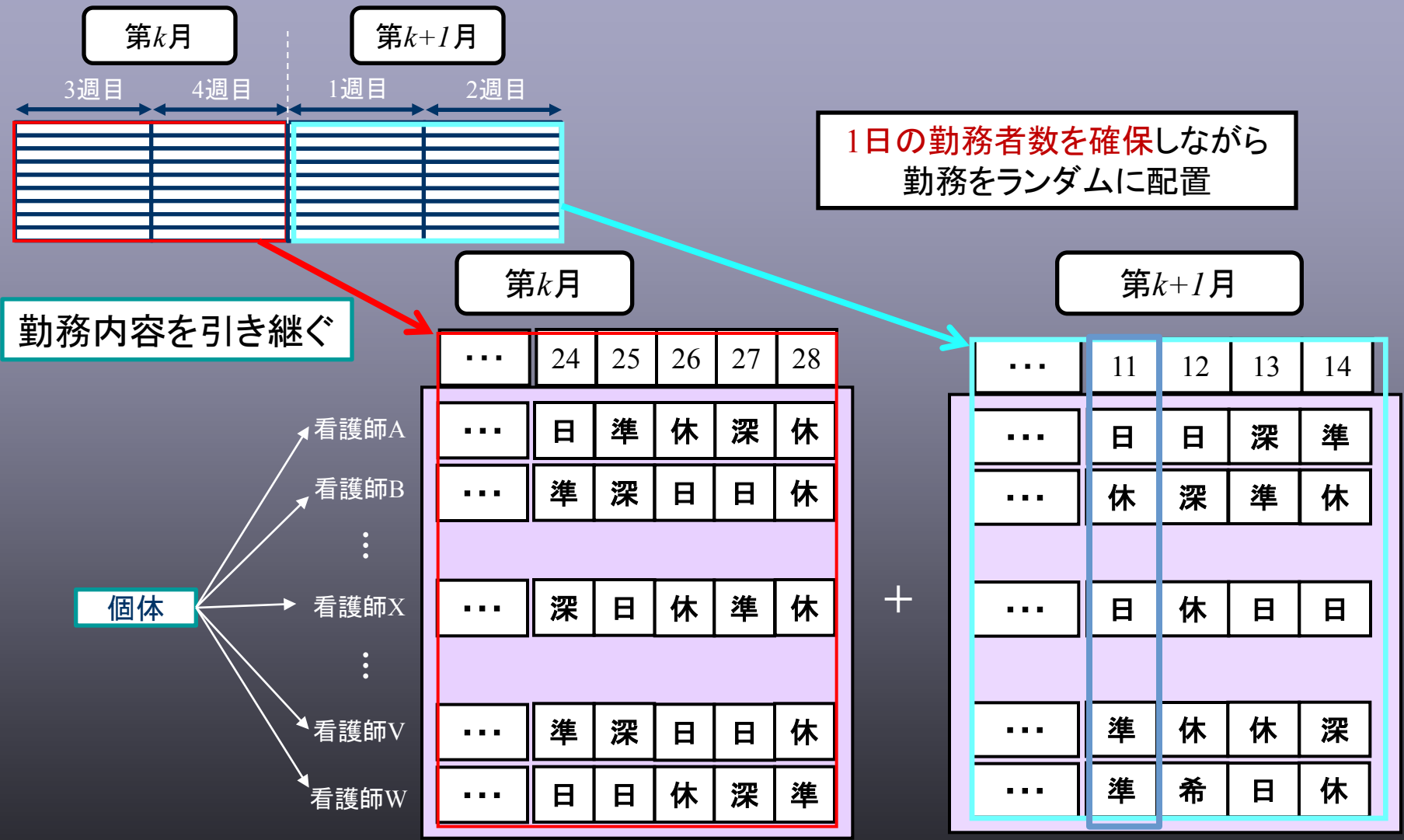
3.1 個体集団



個体が集まった個体集団が看護師勤務表

3. 共存型GAによる看護師勤務表の最適化

3.2 初期の勤務表の生成

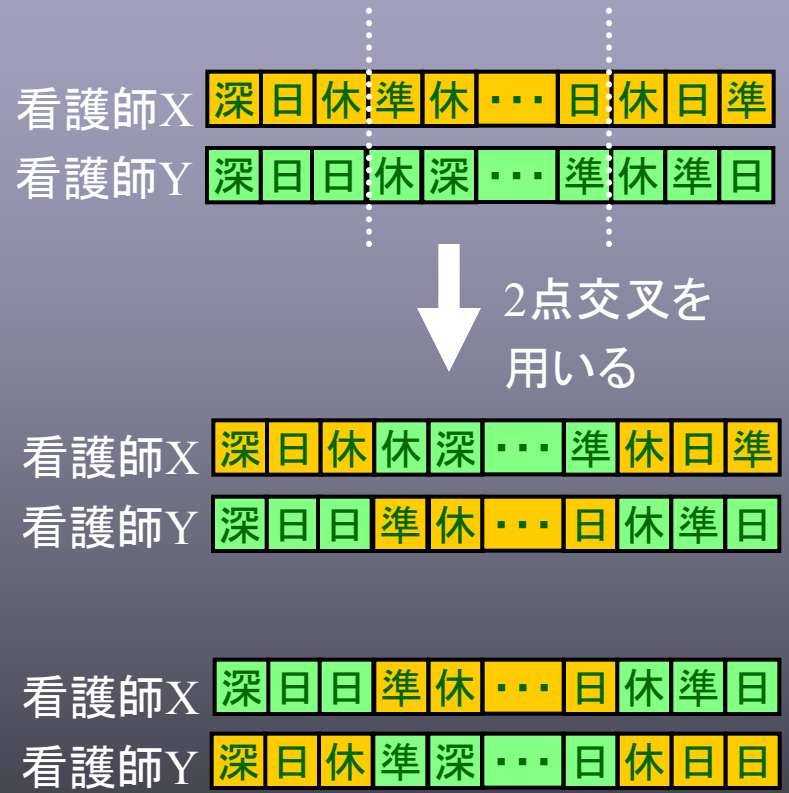


3. 共存型GAによる看護師勤務表の最適化

3種類の変換による基本探索

3.3 変換1 (看護師間の変換)

看護師A	日	準	休	深	休	...	日	日	深	準
看護師B	準	深	日	日	休	...	休	深	準	休
...										
看護師X	深	日	休	準	休	...	日	休	日	日
...										
看護師V	準	深	日	日	休	...	準	休	休	深
看護師W	日	日	休	深	準	...	準	希	日	休



それぞれ順に個体集団に戻して評価を行う

3. 共存型GAによる看護師勤務表の最適化

3.4 交叉2(勤務日間の交叉)

ペナルティの大きい日を特定

「看護師1の勤務内容を必ず入れ替える」とする

逆の勤務の看護師を探す

	X日	←	→	Y日
看護師1	深 準 日 日 休			日 休 準 日 準
看護師6	日 休 準			深 日 休
看護師9	日 休 休 日 日 日 日			深 日 日 準 深 日 休 休
看護師17	日 日 休 日 準 日			深 休 日 希 休 準
看護師23	日			深

入れ替え候補の1人と入れ替える

3. 共存型GAによる看護師勤務表の最適化

3.5 交叉3(勤務日間の交叉)

ペナルティの大きい日を特定

「看護師1の勤務内容を必ず入れ替える」とする

逆の勤務の看護師を探す

	X日	←	→	Y日
看護師1	深			日
	準			休
	日			準
	休			日
看護師6	日			深
	休			日
	準			休
看護師9	日			深
	休			日
	休			日
	日			準
	日			深
	休			日
	日			休
看護師17	日			深
	日			休
	休			日
	日			希
	準			休
	日			準
看護師23	日			深

入れ替え候補全てを試す

3. 共存型GAによる看護師勤務表の最適化

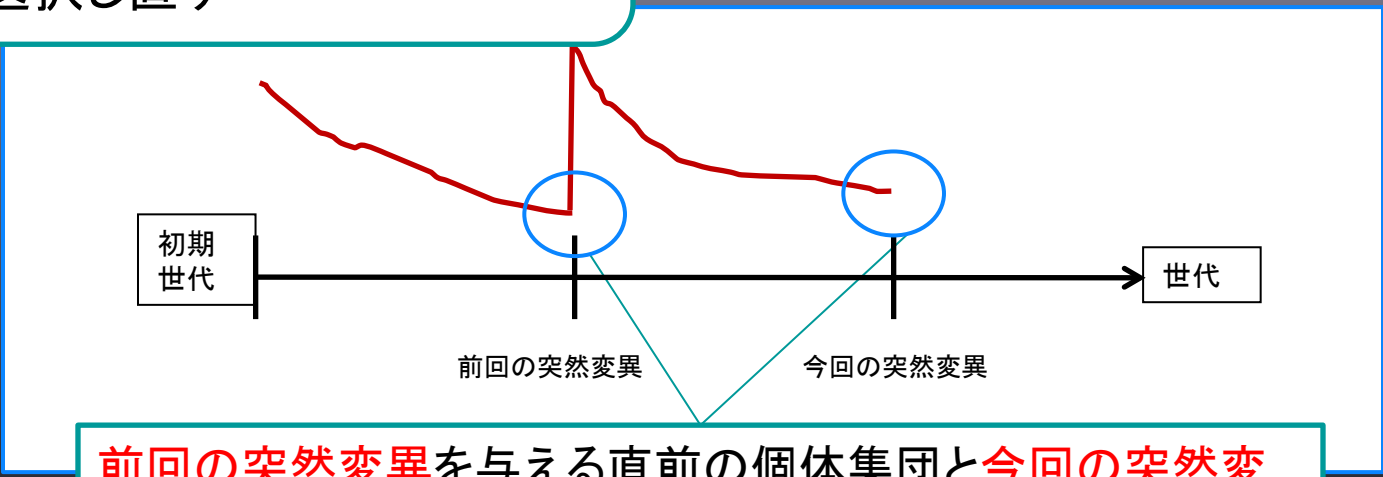
3.5 突然変異オペレータの概要

	11	12	13	14	15
m_1							
m_2							
m_7							
m_8							
m_9							
m_{10}							
m_{11}							

ランダムに勤務日と看護師を選択
固定勤務の場合は選び直す

勤務内容を入れ替え

同一日内で他の看護師をランダムに
選択。固定勤務もしくは同じ勤務内容
の場合は選択し直す



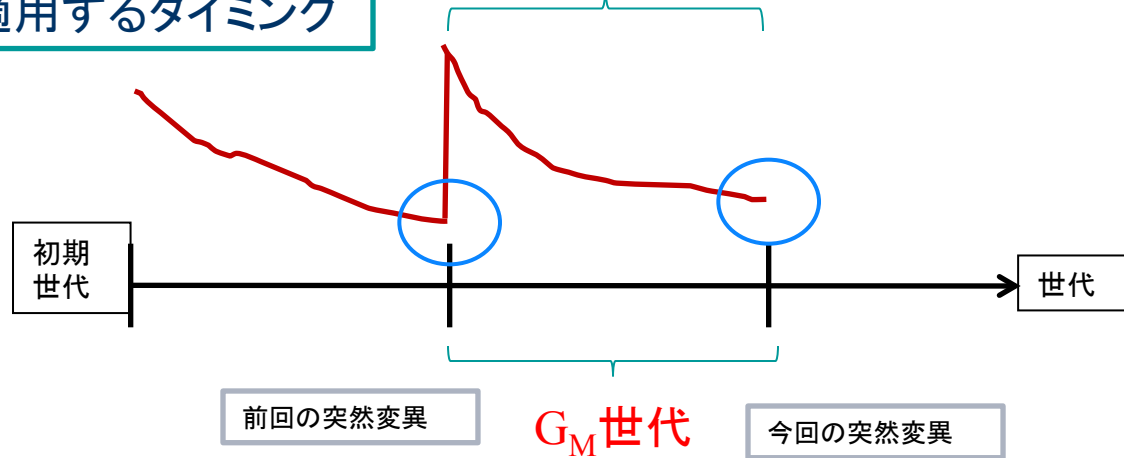
前回の突然変異を与える直前の個体集団と今回の突然変異を与える直前の個体集団を比較。
ペナルティの少ない個体集団に突然変異を適用

3. 共存型GAによる看護師勤務表の最適化

突然変異は周期的に行う

交叉を用いて最適化

突然変異を適用するタイミング



G_M 世代毎に突然変異を適用

3. 共存型GAによる看護師勤務表の最適化

3.12 看護師勤務表の評価

12個のペナルティ関数 F_1 - F_{12} を定義

各**看護師**に対するペナルティ

- F_{1i} : 勤務負荷の公平さ
- F_{2i} : 夜勤勤務の集中度
- F_{3i} : 勤務パターンの連続性
- F_{4i} : 勤務日数の公平さ
- F_{5i} : 休暇の日数
- F_{6i} : 連続勤務日数の制限

各**勤務日**に対するペナルティ

- F_{7j} : 日勤における看護レベル
- F_{8j} : 準夜勤における看護レベル
- F_{9j} : 深夜勤における看護レベル
- F_{10j} : 深夜勤での看護師間の相性
- F_{11j} : 新人どうしの深夜勤の禁止
- F_{12j} : 日勤および深夜勤におけるベテラン以上の配置

3. 共存型GAによる看護師勤務表の最適化

3.13 勤務表に対するペナルティ関数

F_{li} : 勤務負荷の公平さ

ペナルティが1発生する組み合わせ

ペナルティは発生しない組み合わせ

3日間に区切って、負担の発生する勤務の並びの場合はペナルティ

日	準	休	深	準	...	日	日	深	準
準	深	日	日	休	...	休	深	準	休
⋮									
深	日	休	準	休	...	日	休	日	日
⋮									
準	深	日	日	休	...	準	休	休	深
日	日	休	深	準	...	準	希	日	休

3. 共存型GAによる看護師勤務表の最適化

3.13 勤務表に対するペナルティ関数

F_{8j} : 準夜勤における看護レベル

準夜勤における必要な看護レベル - 勤務者の看護レベルを足す = ペナルティ

看護師A

日	準	休	深	準	...	日	日	深	準
---	---	---	---	---	-----	---	---	---	---

看護師B

準	深	日	日	休	...	休	深	準	休
---	---	---	---	---	-----	---	---	---	---

⋮

看護師X

深	日	休	準	休	...	日	休	日	日
---	---	---	---	---	-----	---	---	---	---

⋮

看護師V

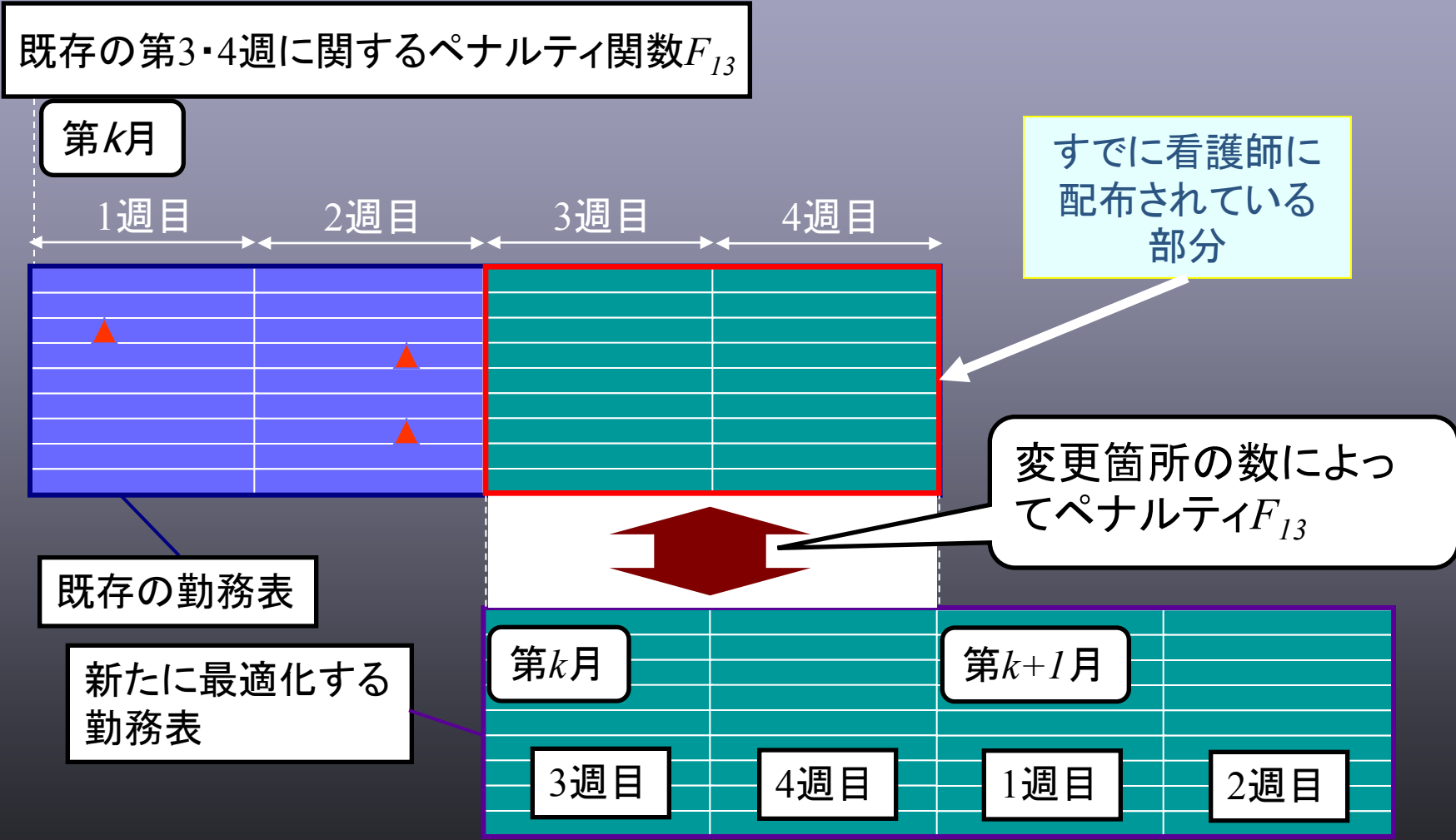
準	深	日	日	休	...	準	休	休	深
---	---	---	---	---	-----	---	---	---	---

看護師W

日	日	休	深	準	...	準	希	日	休
---	---	---	---	---	-----	---	---	---	---

3. 共存型GAによる看護師勤務表の最適化

3.14 変更箇所に対するペナルティ



3. 共存型GAによる看護師勤務表の最適化

3.15 総合ペナルティ値

総合ペナルティ

$$P = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + h_{51}F_{13}$$

$$H_1 = \sum_{i=1}^M (h_{11} \cdot F_{1i} + h_{12} \cdot F_{2i} + h_{13} \cdot F_{3i}) \quad H_3 = \sum_{j=1}^D (h_{31} \cdot F_{7j} + h_{32} \cdot F_{8j} + h_{33} \cdot F_{9j})$$
$$H_2 = \sum_{i=1}^M (h_{21} \cdot F_{4i} + h_{22} \cdot F_{5i} + h_{23} \cdot F_{6i}) \quad H_4 = \sum_{j=1}^D (h_{41} \cdot F_{10j} + h_{42} \cdot F_{11j} + h_{43} \cdot F_{12j})$$

h は各ペナルティの重要度に応じた**重み定数**パラメータ

h の値は1~7

h_{51} は5

4. 多重分岐型突然変異オペレータ(MBM)

3種類の交叉と突然変異による最適化では、 F_1 の減少の停滞が観測された。

4.1 入れ替え候補

看護師A	日	準	休	深	日	日	深	...	深	準
看護師B	準	深	日	日	休	休	深	...	休	日
看護師C	休	日	深	深	日	休	日	...	準	休
看護師D	準	深	日	準	深	準	休	...	準	日
看護師E	休	深	深	日	日	日	休	...	休	深
看護師F	準	日	深	深	日	休	日	...	深	日
看護師G	準	深	日	日	休	休	深	...	準	休
看護師H	深	深	日	準	準	準	日	...	休	深
看護師I	準	日	深	深	日	休	休	...	準	日

入れ替え候補を決定する際、

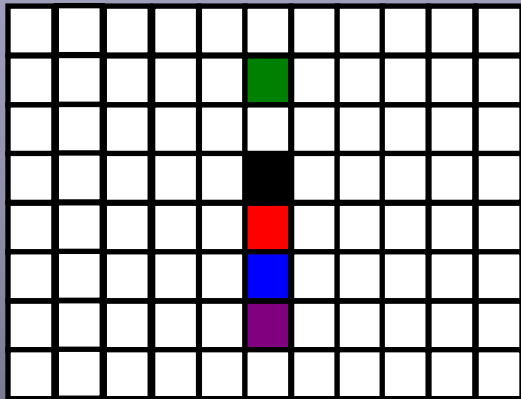
- ① 全ての入れ替え候補を試す場合
- ② ペナルティ関数 F_1, F_2, F_3, F_6 を参照して入れ替え候補を絞る場合
- ③ ペナルティ関数 F_1 のみを参照して入れ替え候補を絞る場合

同一日内において他の看護師を入れ替え候補として特定する。
ただし固定勤務の場合や、同じ勤務の場合は入れ替え候補から除く

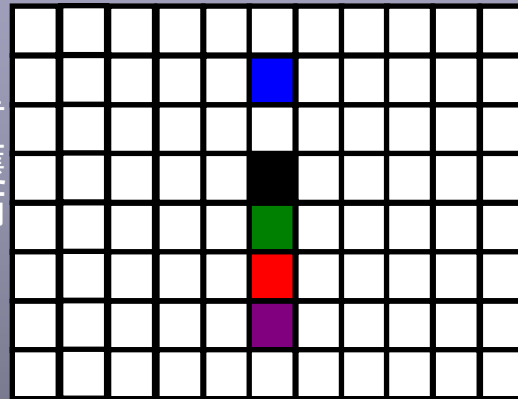
4. 多重分岐型突然変異オペレータ(MBM)

4.2 通信と最適化

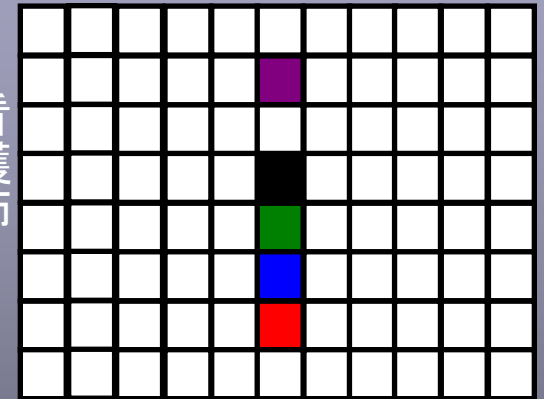
入れ替え候補と入れ替えた後の勤務表



看護師



看護師



PC1



PC2



PC3

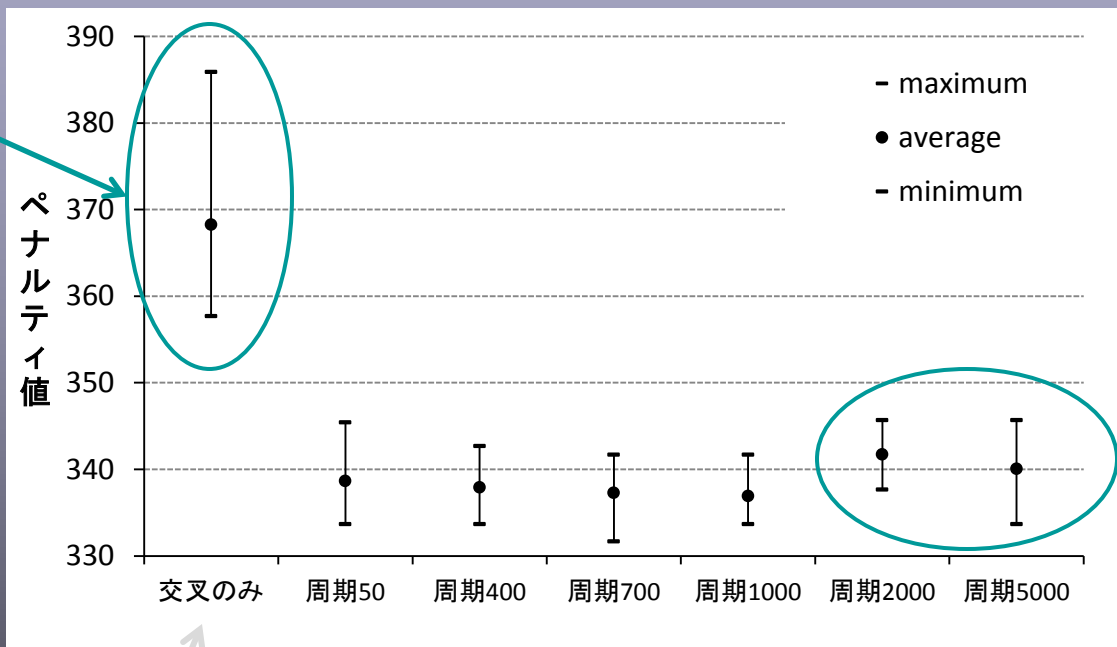
それぞれのパソコンにおいて最適化

5.最適化結果

全ての手法において100万世代に渡たる最適化を10回行った

突然変異の効果

大きなペナルティのまま最適化が終了

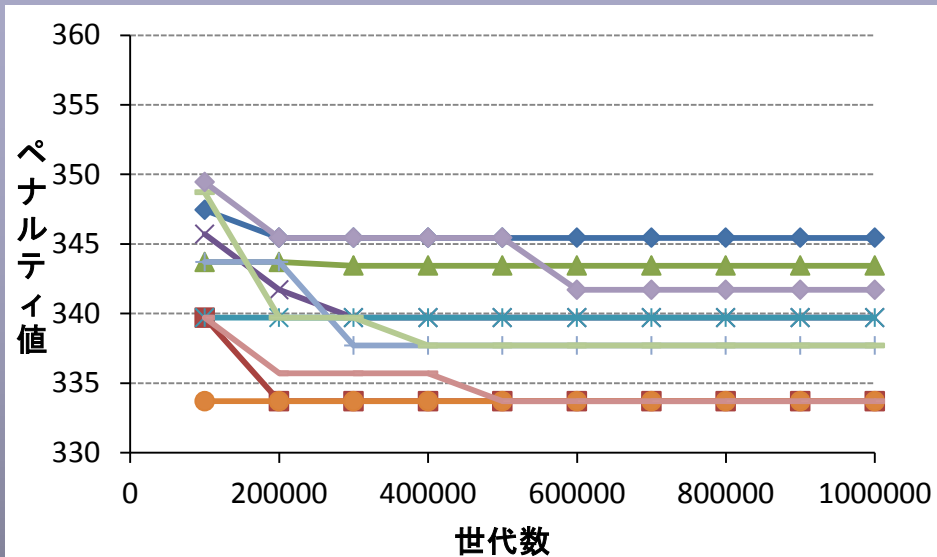
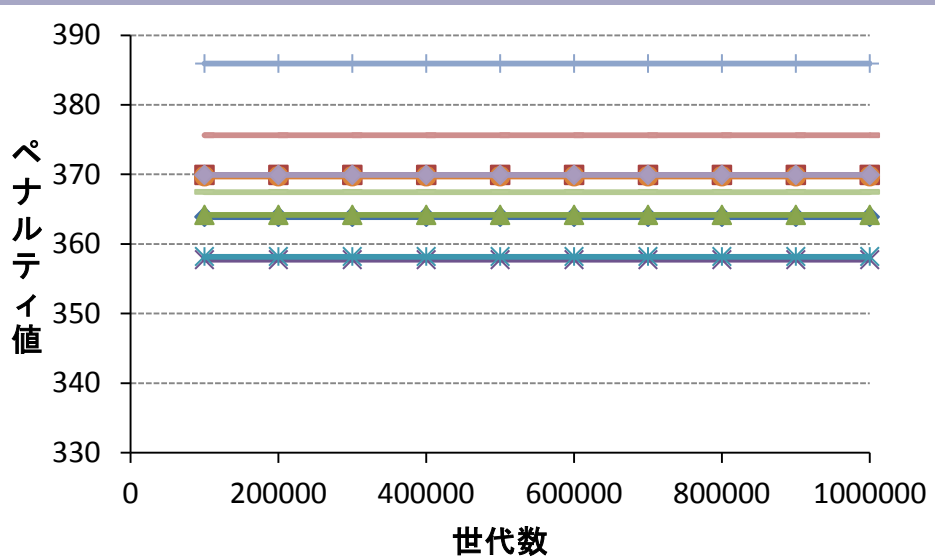


比較的ペナルティが大きい

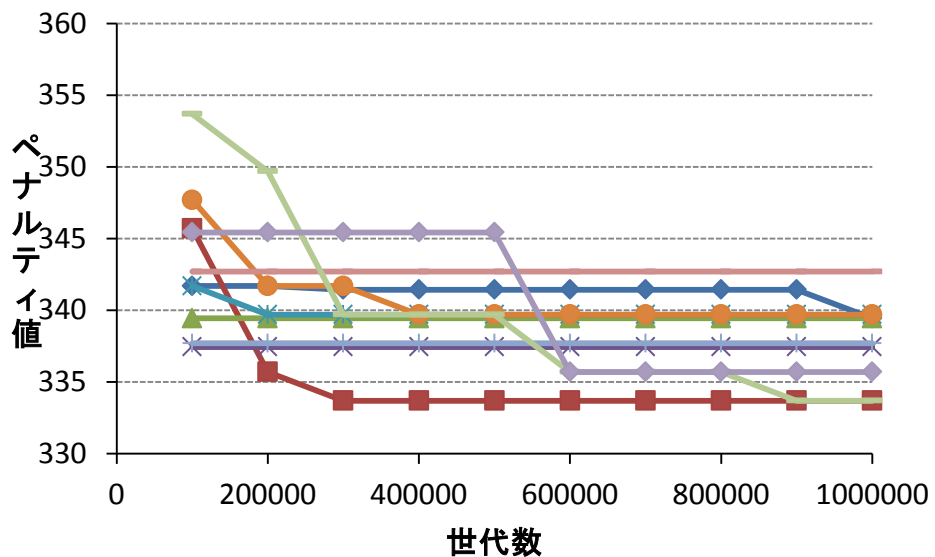
看護師毎の交叉のみを用いた場合

5.最適化結果

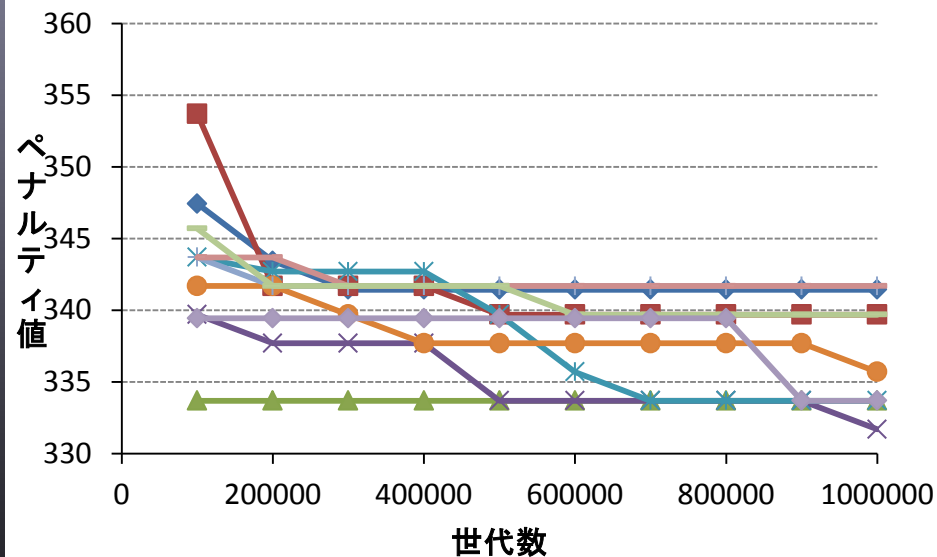
突然変異の効果



交叉のみを用いた場合



突然変異50

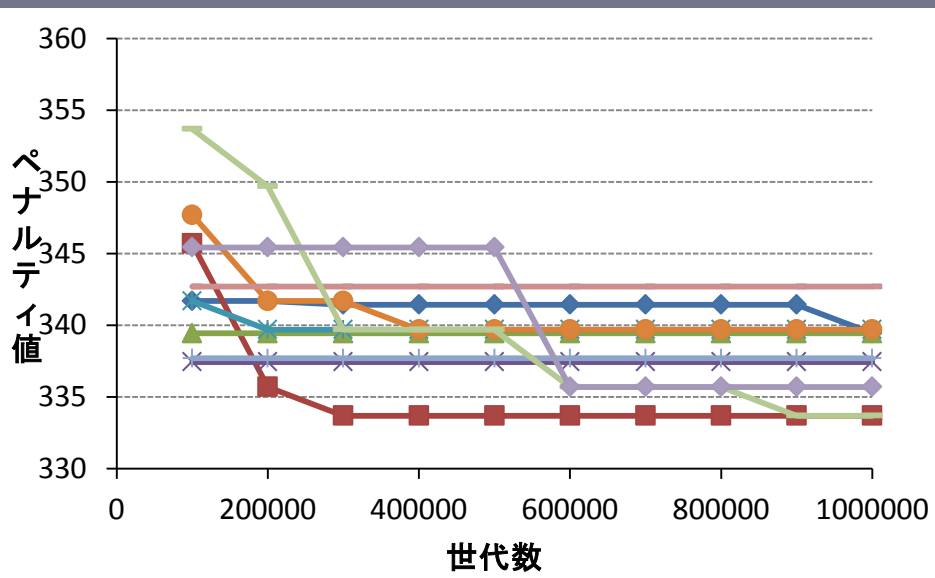
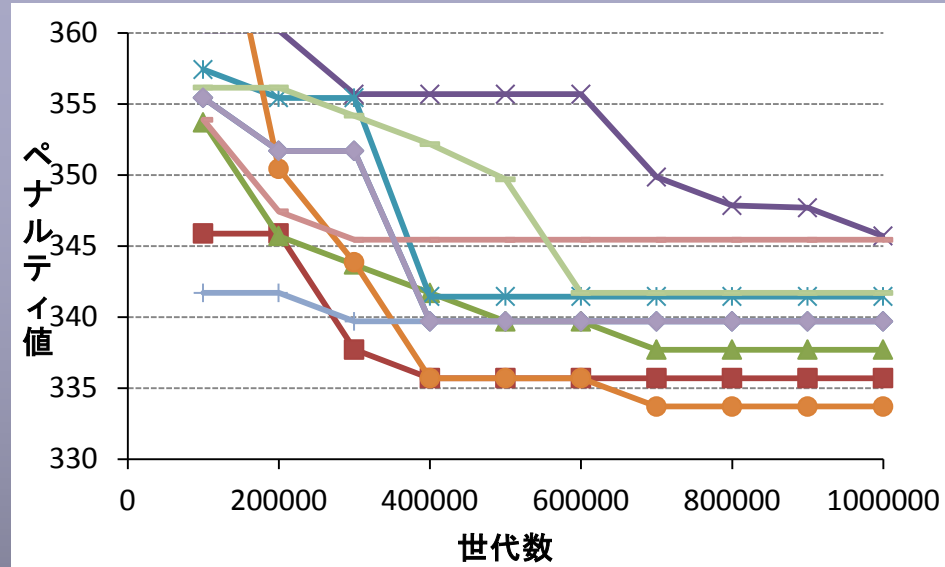
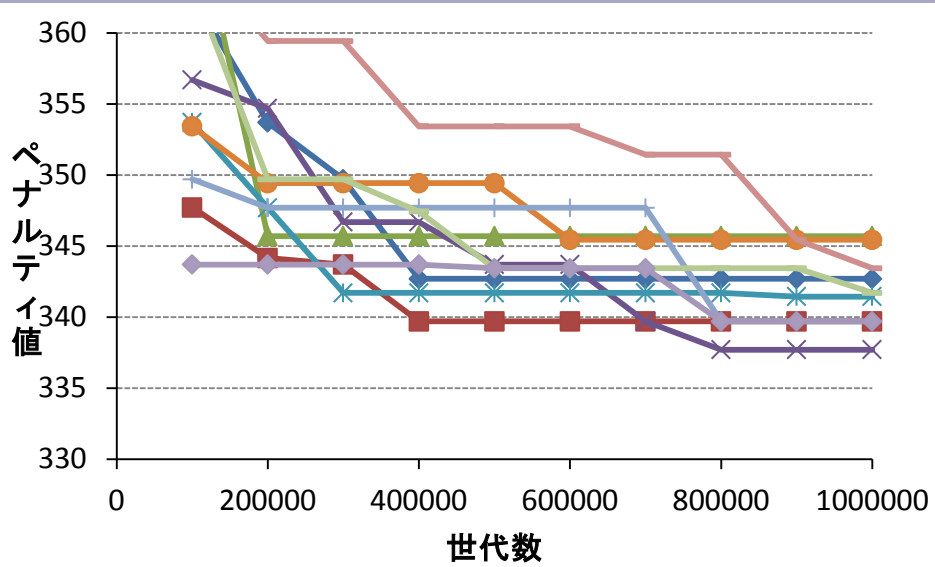


突然変異400

突然変異700

5.最適化結果

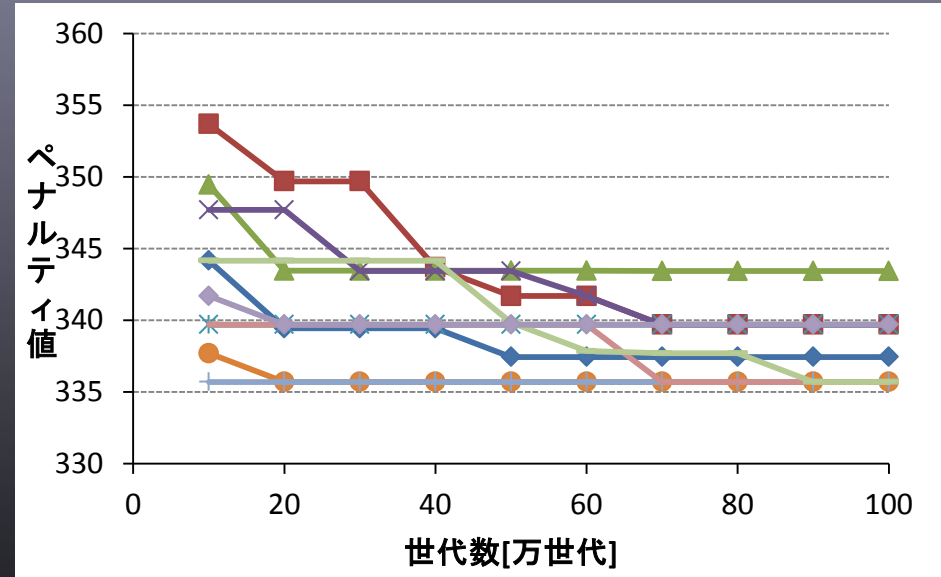
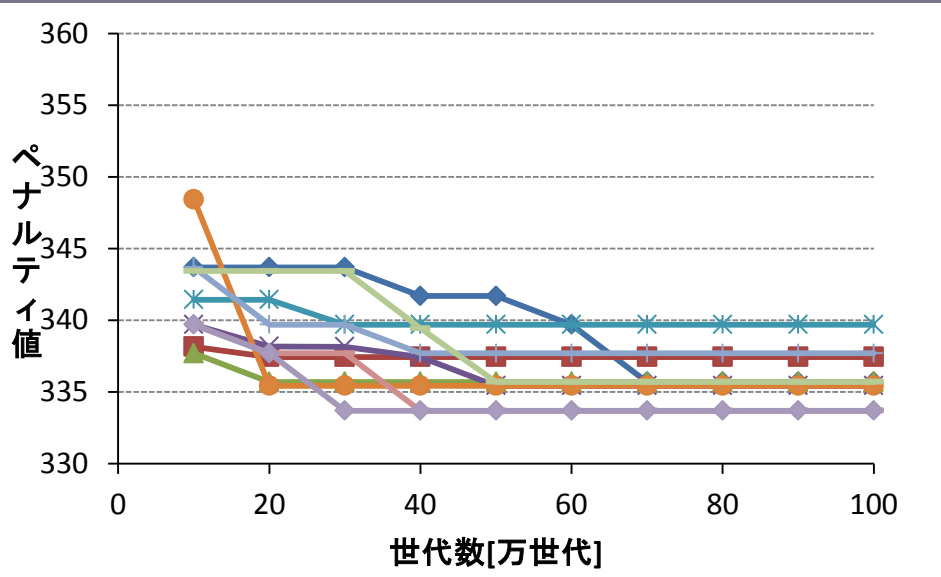
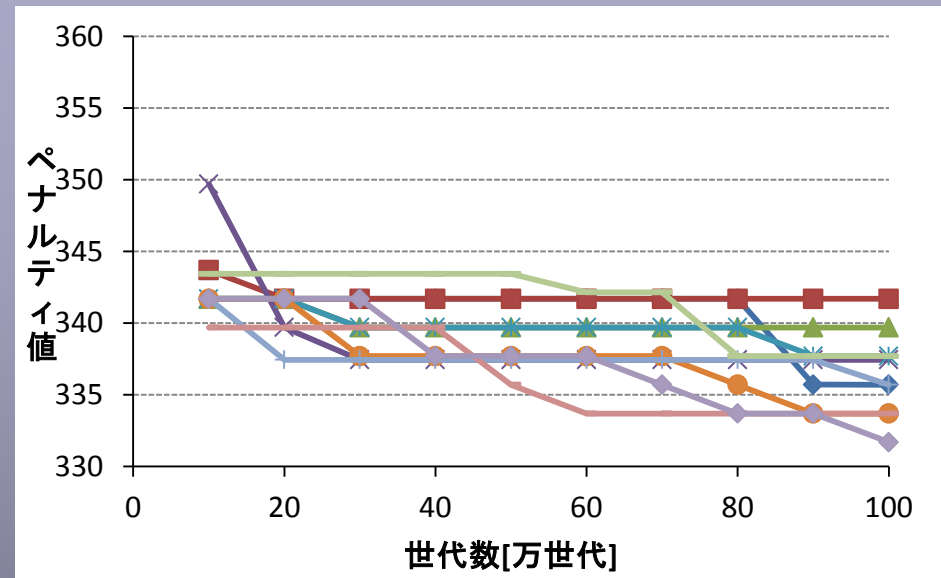
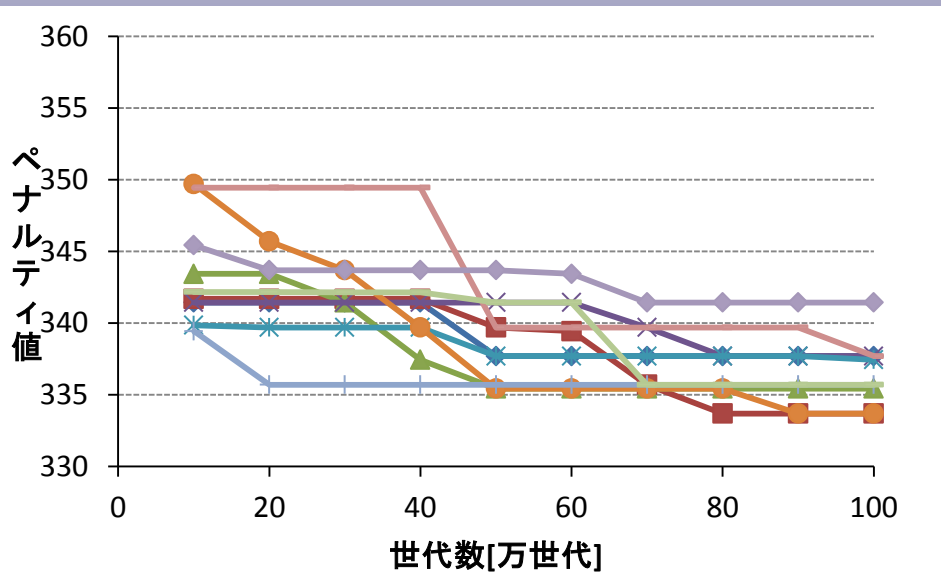
突然変異の効果



ペナルティ値が収束していない。
突然変異を適用する周期が大きすぎる。

5.最適化結果

MBM1 (全候補を試行:4CPU)



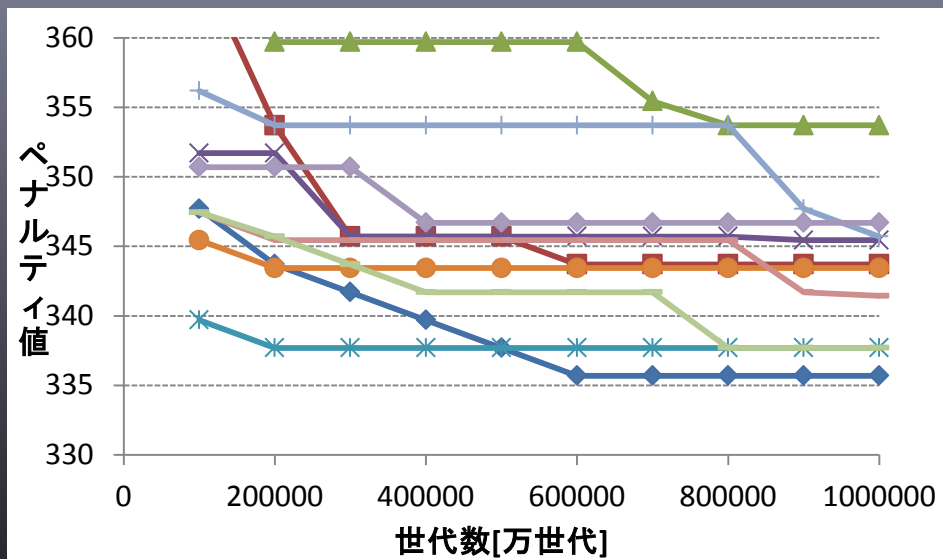
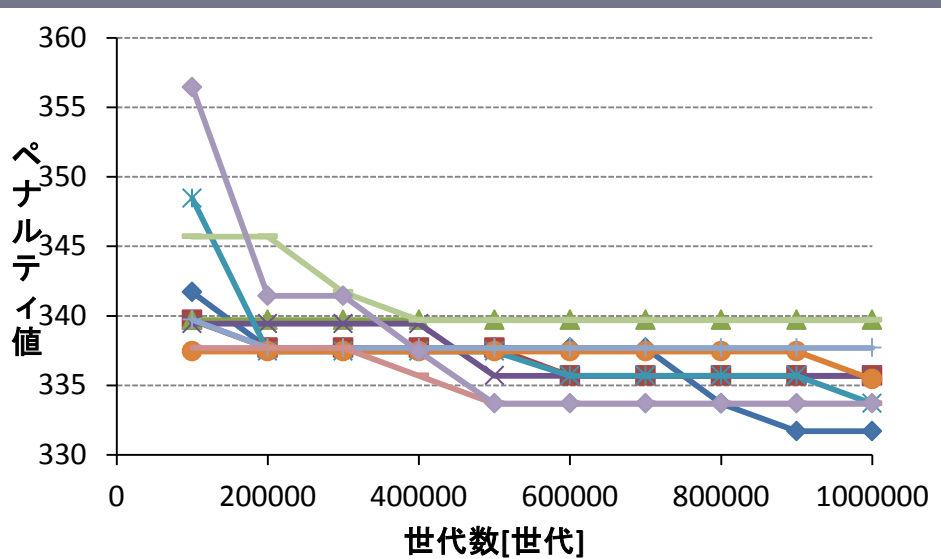
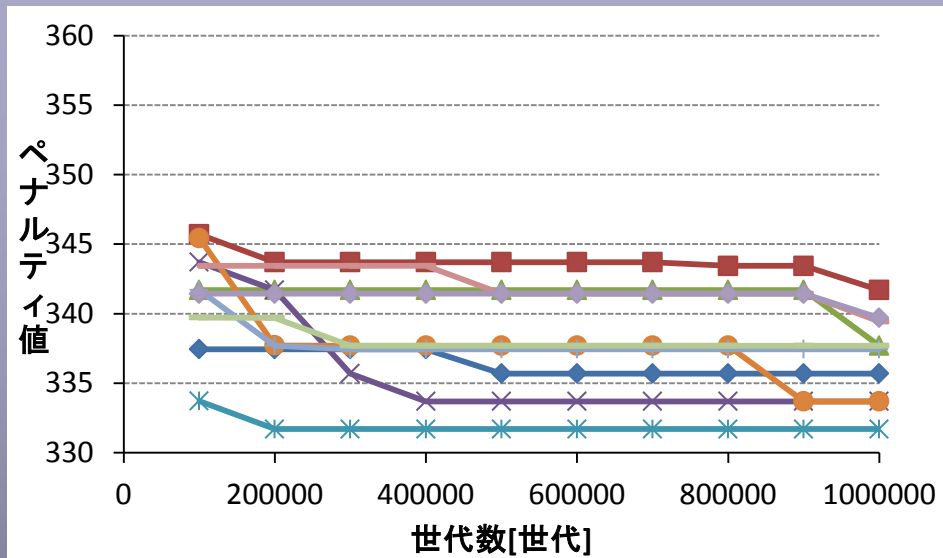
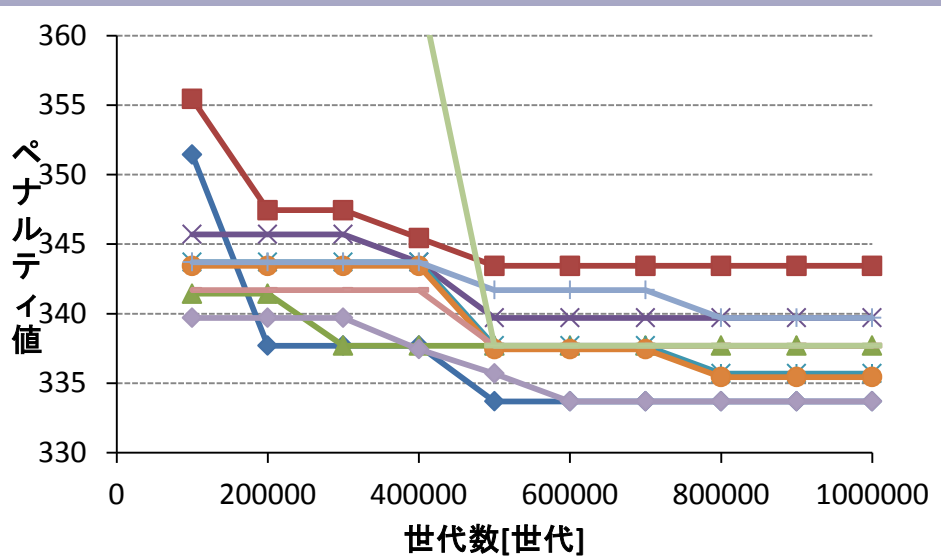
5.最適化結果

MBM1（全候補を試行:4CPU）

- ◆いずれの場合でも、「交叉＋突然変異」より良好であった。
- ◆MBM1を適用した世代において、最適化が進行していることが確認された。

5.最適化結果

MBM2 (ペナルティ関数 F_1, F_2, F_3, F_6 を参照: 4CPU)



MBM2: 60-100万世代

MBM2: 0-100万世代

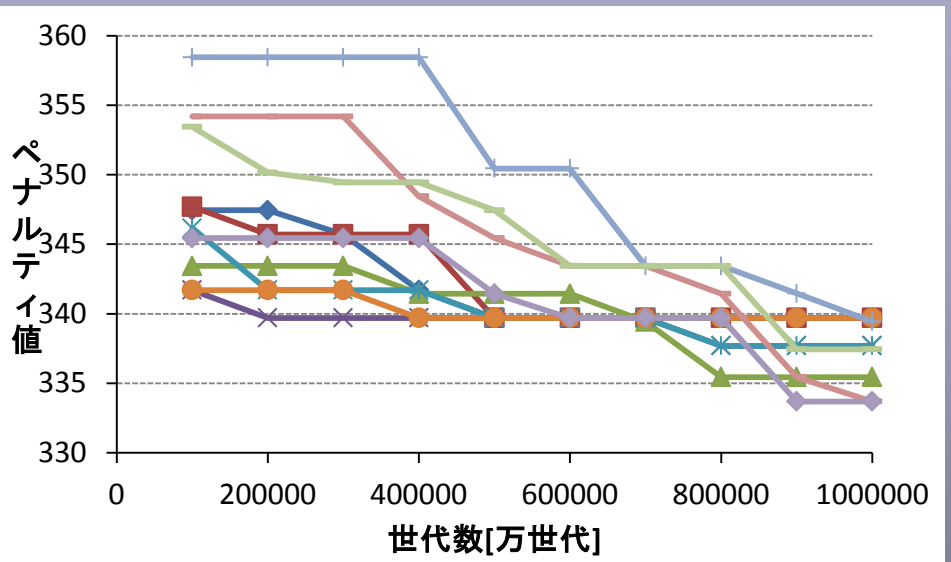
5.最適化結果

MBM2 (ペナルティ関数 F_1, F_2, F_3, F_6 を参照: 4CPU)

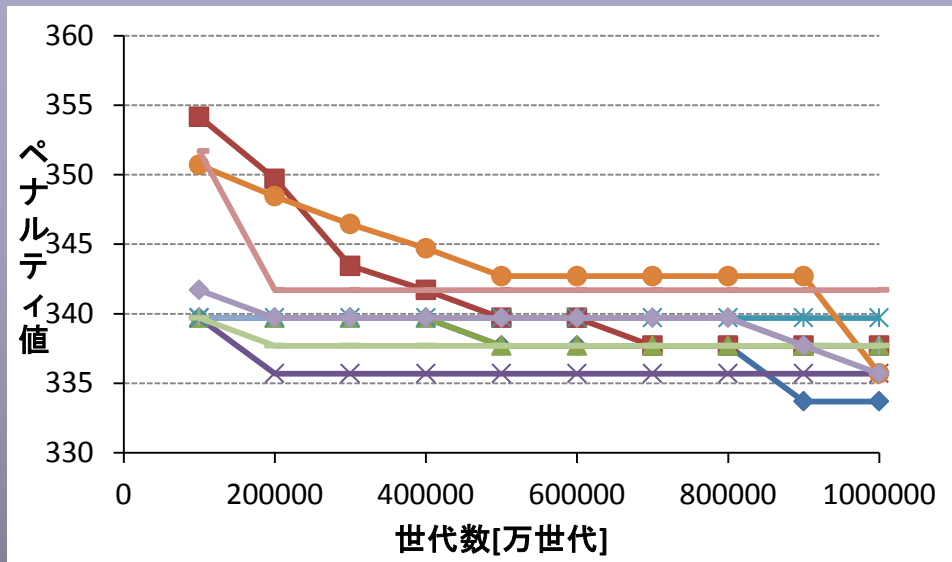
- ◆全世代にMBM2を適用した場合は、良好な結果は得られなかった。
- ◆それ以外では、「交叉+突然変異」とほぼ同等であった。
- ◆MBM2を適用した世代において、最適化が進行している場合も確認できたが、そうでない場合(停滞)もあった。

5.最適化結果

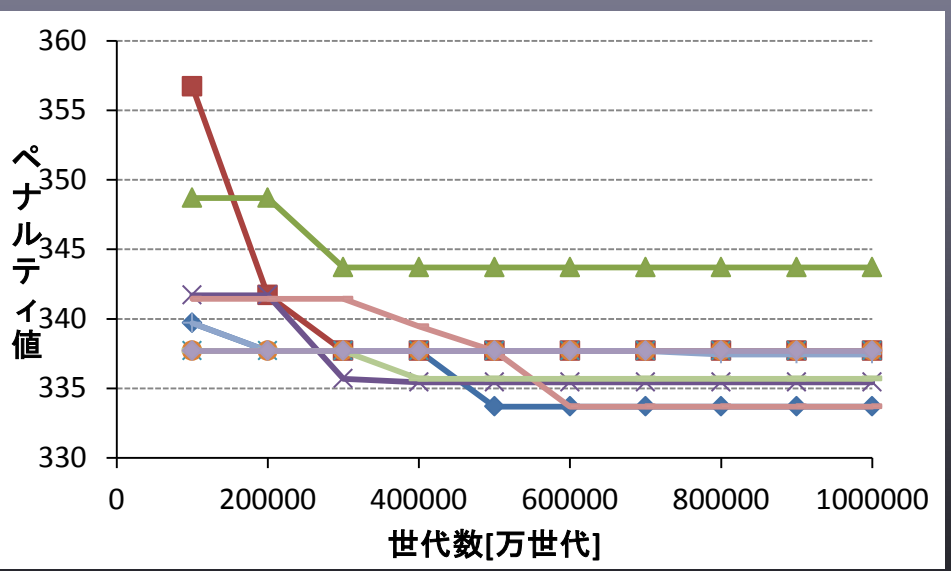
MBM3 (ペナルティ関数 F_L のみを参照: 4CPU)



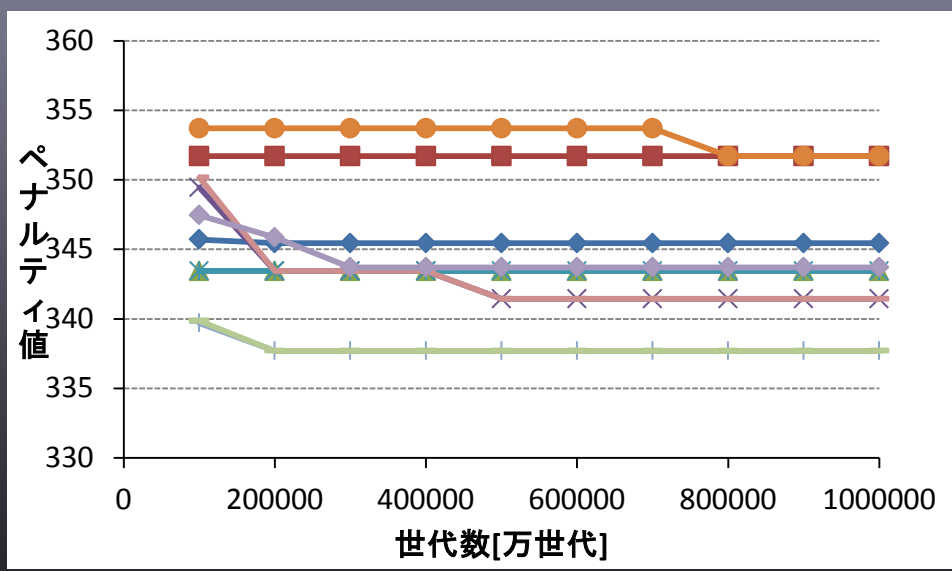
MBM3: 0-40万世代



MBM3: 20-80万世代



MBM3: 60-100万世代



MBM3: 0-100万世代

5.最適化結果

MBM3 (ペナルティ関数 F_1 のみを参照: 4CPU)

- ◆「交叉+突然変異」と比較して、良好な結果は得られなかった。
- ◆MBM3を適用した世代において、最適化が停滞していることが確認できた。

6.まとめ

■ 本発表では

- 共存型GAを用いた看護師勤務表の最適化について検討した。
⇒3種の交叉と突然変異による探索
- 突然変異周期の有効な範囲を調べた。
- 「交叉＋突然変異」ではF1の停滞がみられた。
- ⇒多重分岐型突然変異(MBM1～3)オペレータを提案
⇒並列処理が可能

- 突然変異の周期は、50から1000と広い範囲で効果的に作用した。
- 全ての候補を試行するMBM1が良好な結果を与えた。