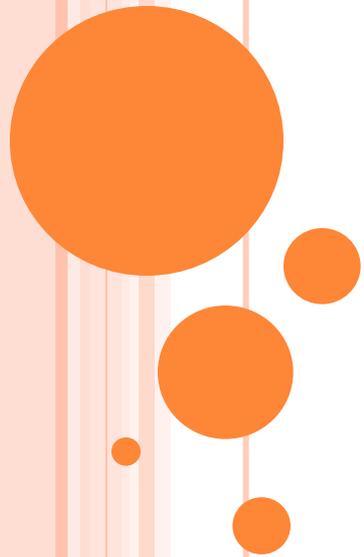


# ペナルティ調整法を適用した共存型GAによる看護師勤務表の最適化に関する検討



# 1.はじめに



大きな病院では科ごとに20~30人の看護師が働いている

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

1カ月分の作成に1~2週間を要する  
 市販のソフト ⇒ 使いにくい、最適化が不十分、遅い

# 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...

- ✓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xxxxx

人手による作成は困難: 1カ月分の作成に1~2週間を要する  
市販のソフト ⇒ 使いにくい、最適化が不十分、遅い

提案手法

効果的なアルゴリズムが必要

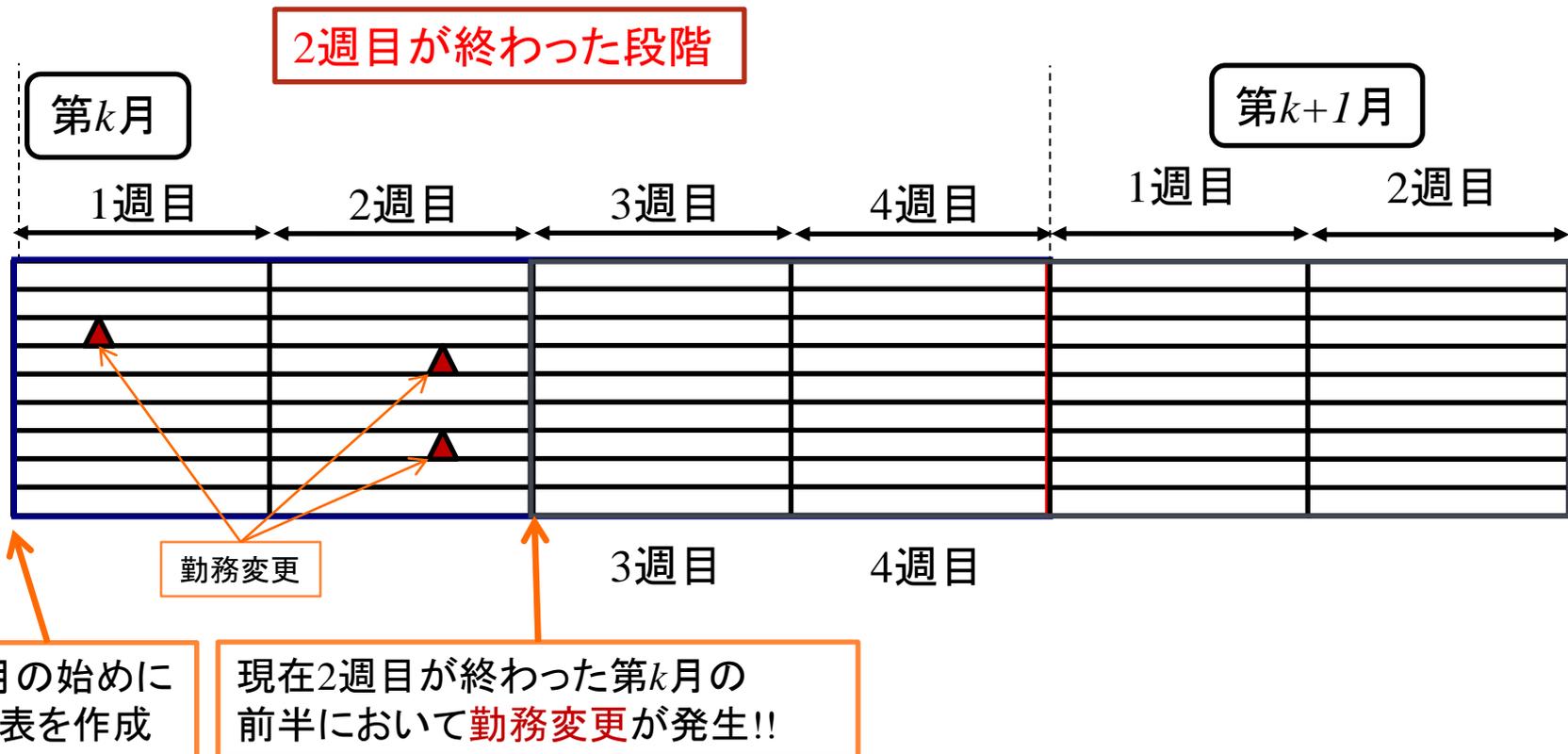
共存型遺伝的アルゴリズム(共存型GA)を用いた

ペナルティ係数調整アルゴリズムによる

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



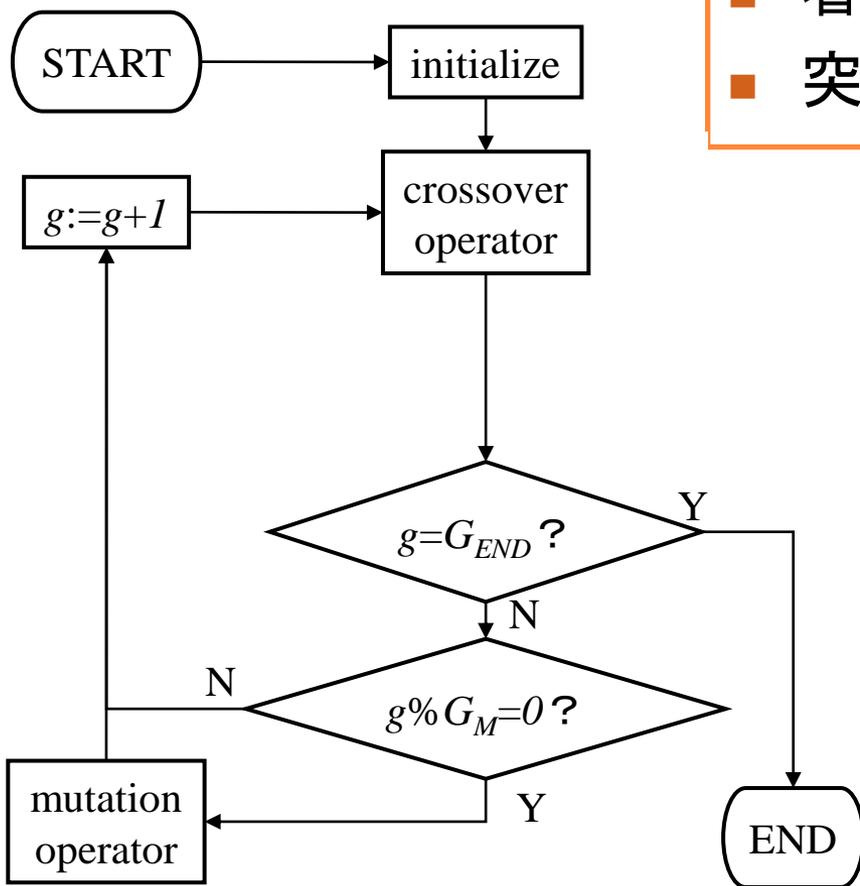
一部の看護師に勤務負担が集中するなど問題が発生。この問題を解消したい

# 3. 共存型GAの概要

## 3.1 最適化の流れ

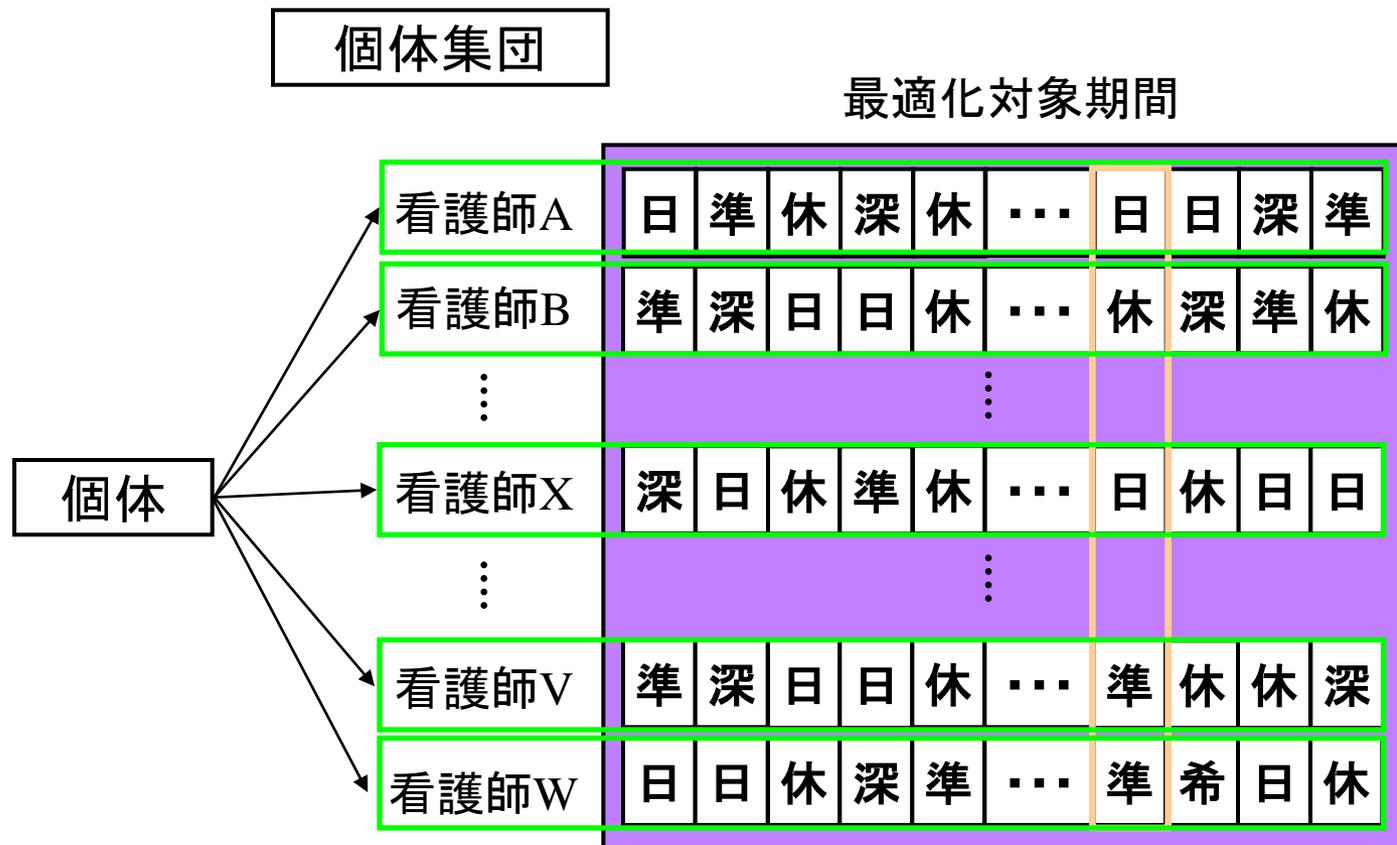
### 最適化に用いるオペレーション

- 看護師間の交叉
- 突然変異オペレータ



# 3. 共存型GAの概要

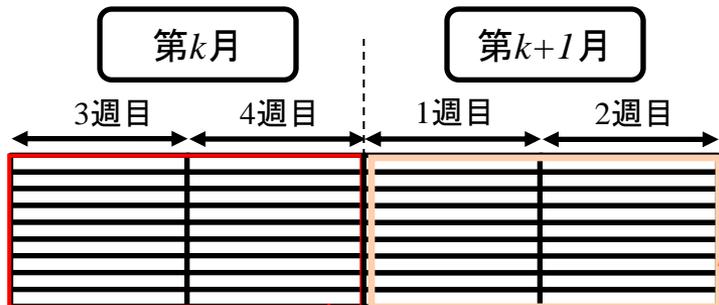
## 3.2 個体集団



個体が集まった個体集団が看護師勤務表

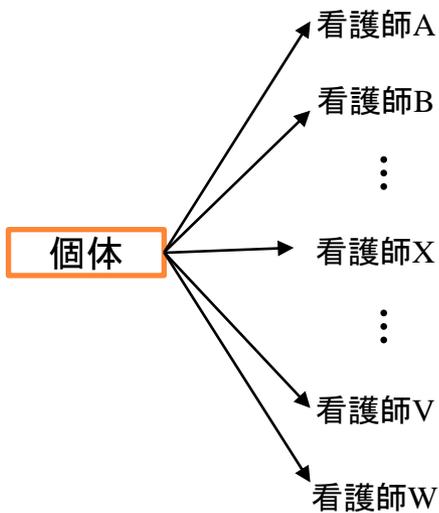
# 3. 共存型GAの概要

## 3.3 初期の勤務表の生成



1日の勤務者数を確保しながら  
勤務をランダムに配置

勤務内容を引き継ぐ



第k月

...	24	25	26	27	28
看護師A	日	準	休	深	休
看護師B	準	深	日	日	休
...					
看護師X	深	日	休	準	休
...					
看護師V	準	深	日	日	休
看護師W	日	日	休	深	準

第k+1月

...	11	12	13	14
...	日	日	深	準
...	休	深	準	休
...	日	休	日	日
...	準	休	休	深
...	準	希	日	休

# 3. 共存型GAの概要

## 3.4 交叉

### 看護師ごとの交叉

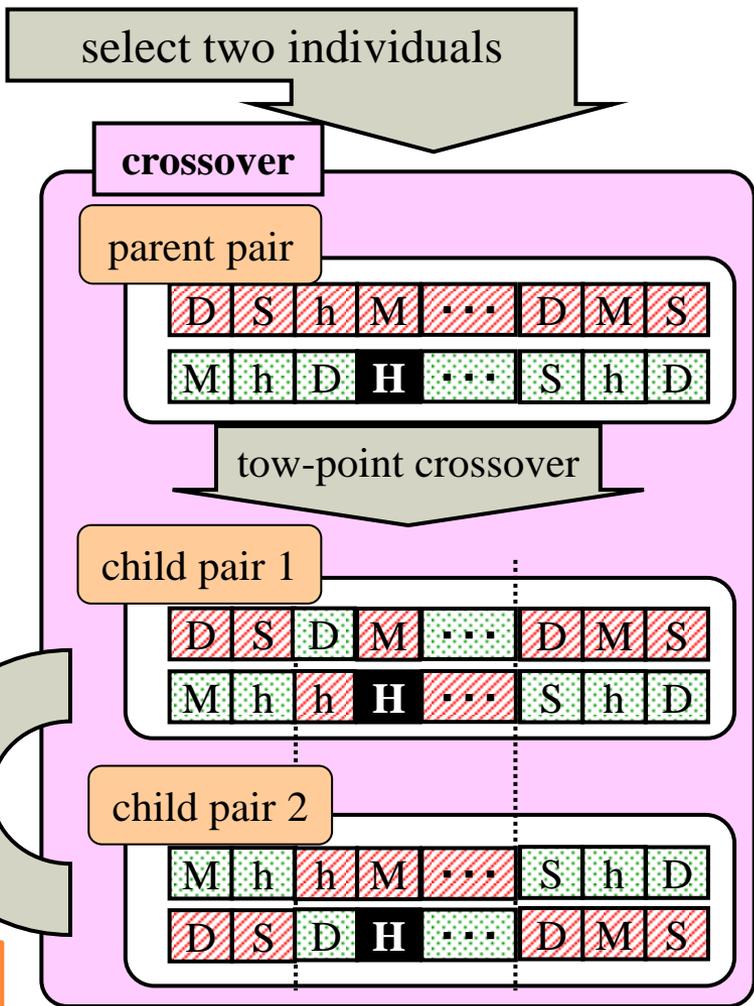
	date							
	1	2	3	4	...	26	27	28
nurse A	D	S	h	M	...	D	M	S
nurse B	S	M	D	D	...	M	S	h
nurse C	M	h	D	H	...	S	h	D
⋮					⋮			
nurse Y	S	M	D	D	...	h	h	M
nurse Z	D	D	h	M	...	H	D	h

This procedure is repeated for 100 parent pairs. One pair giving best performance is selected for the next generation.

Each pair is taken back to the original position of their parents and whole population is performed.

200回評価を行ったら1世代とカウントする

### 2点交叉を用いる



### 3. 共存型GAの概要

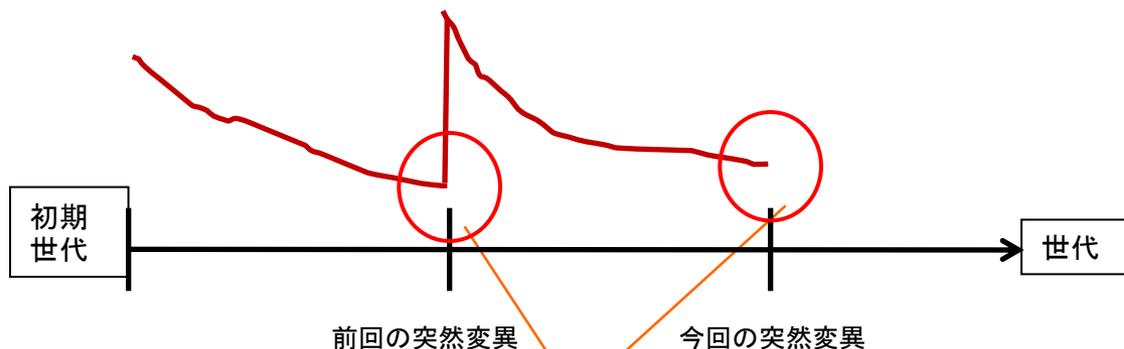
#### 3.5 突然変異オペレータの概要

	.....	11	12	13	14	15	.....
m <sub>1</sub>							
m <sub>2</sub>							
m <sub>7</sub>							
m <sub>8</sub>							
m <sub>9</sub>							
m <sub>10</sub>							
m <sub>11</sub>							

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の概要

#### 3.6 看護師勤務表の評価

13個のペナルティ関数 $F_1$ - $F_{13}$ 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

#### 勤務変更に対するペナルティ

- $F_{13}$ : 勤務変更

### 3. 共存型GAの概要

$F_{li}$ : 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の概要

$F_{gj}$ : 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の和

=

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
---	---	---	---	---	-----	---	---	---	---

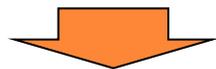
### 3. 共存型GAの概要

$$H_1 = \sum_{i=1}^M (h_1 F_{1i} + h_3 F_{3i} + h_3 F_{3i})$$

$$H_2 = \sum_{i=1}^M (h_4 F_{4i} + h_5 F_{5i} + h_6 F_{6i})$$

$$H_3 = \sum_{j=1}^D (h_7 F_{7j} + h_8 F_{8j} + h_9 F_{9j})$$

$$H_4 = \sum_{j=1}^D (h_{10} F_{10j} + h_{11} F_{11j} + h_{12} F_{12j})$$



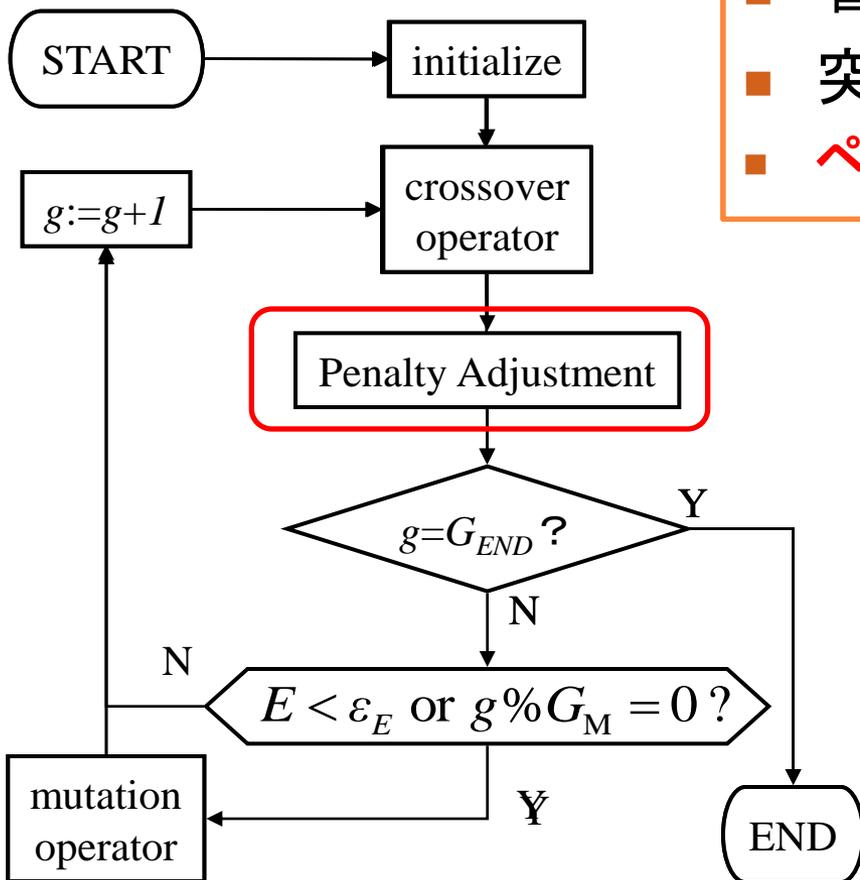
$$E = \sum_{k=1}^4 H_k + h_{13} F_{13}$$



## 4.ペナルティ関数調整法(PA) 最適化の流れ

### 最適化に用いるオペレーション

- 看護師間の交叉
- 突然変異オペレータ
- **ペナルティ関数調整法(PA)**



## 4.ペナルティ関数調整法(PA)

最良個体群の評価に基づき最適化速度を定義する。

$$N_g = g - g_{\text{prim}}$$

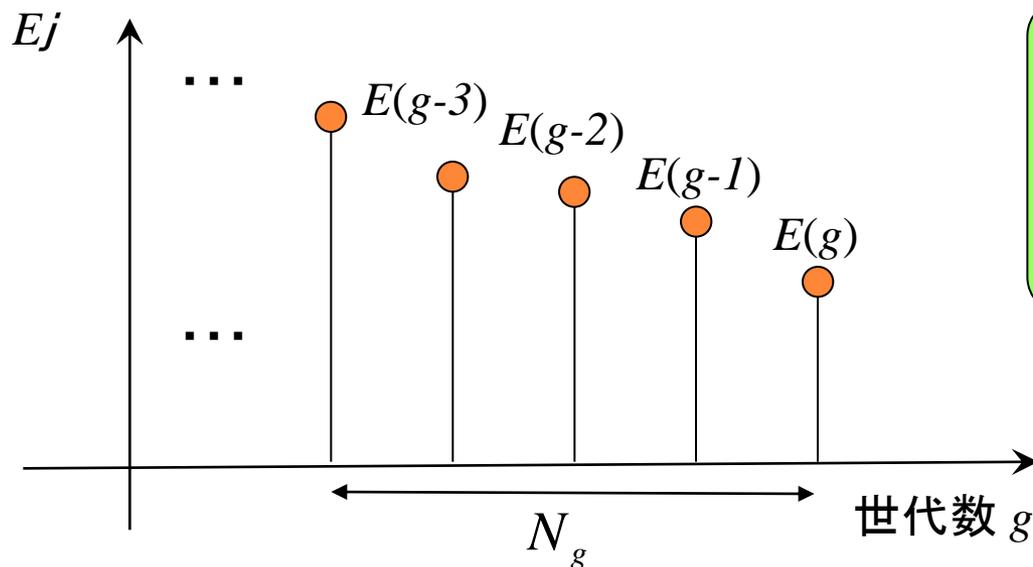
突然変異を行ってから現在世代までの世代数

$$A_E(g) = \frac{1}{N_g} \sum_{h=0}^{N_g-1} E(g-h)$$

$N_g$  世代間のペナルティ値の平均値

$$v_E(g) = A_E(g-1) - A_E(g)$$

最適化速度

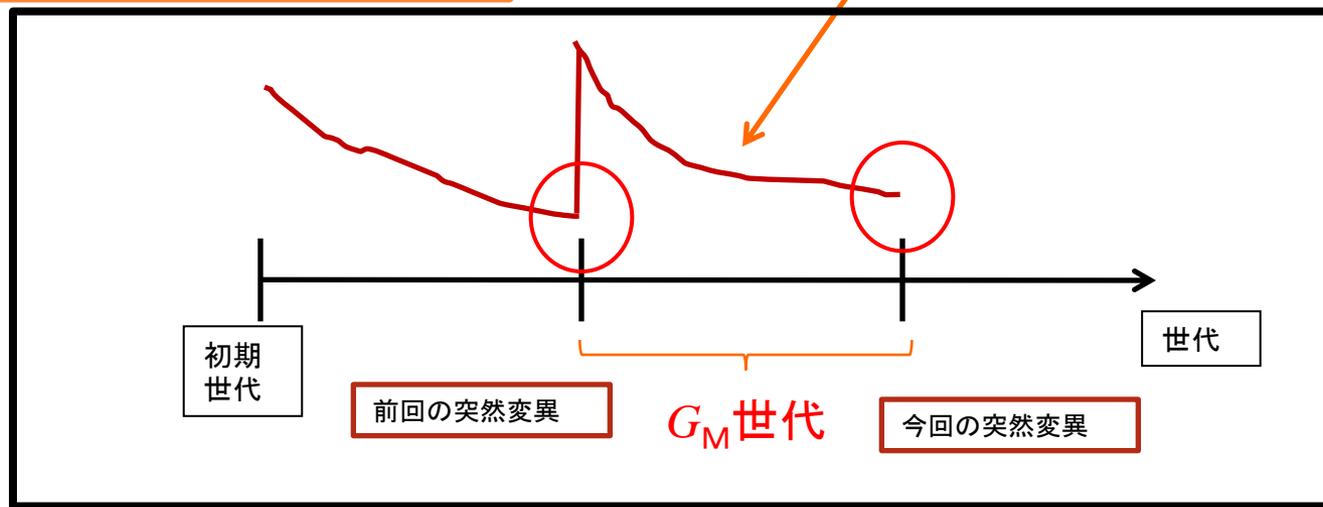


同様の計算を、各ペナルティ  $F_1 \cdots F_{13}$  についても行い、各ペナルティの進行速度  $v_1 \cdots v_{13}$  を得る。

## 4.ペナルティ関数調整法(PA) 突然変異を適用するタイミング

突然変異を適用するタイミング

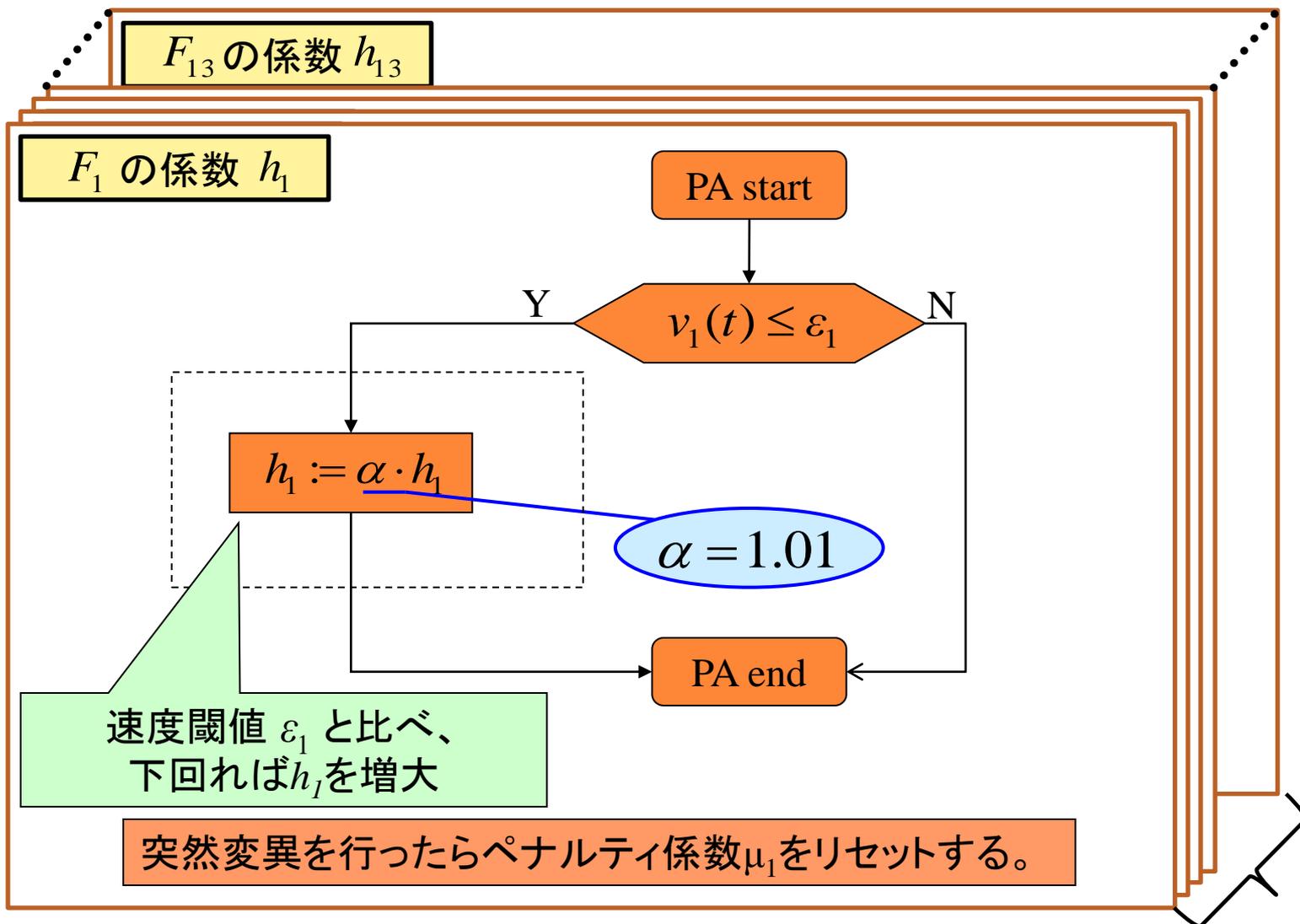
交叉を用いて最適化



最適化速度が閾値  $\varepsilon_E$  より遅くなるか、  
 $G_M$ 世代に達したら、突然変異

## 4.ペナルティ関数調整法(PA)

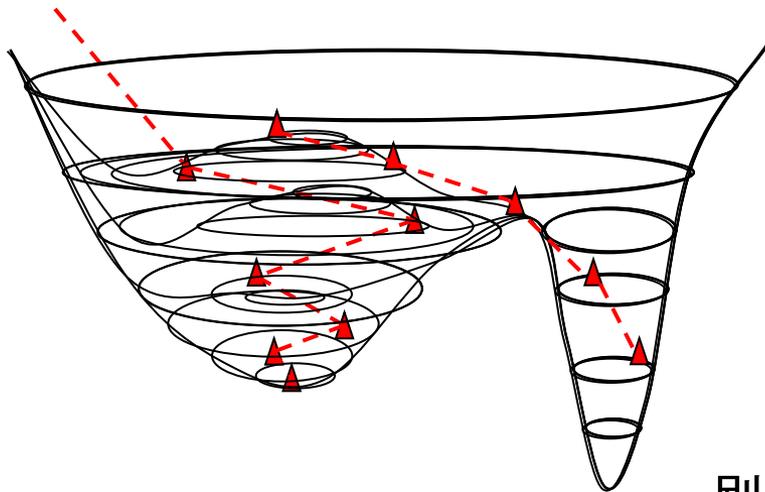
$G_M$ 世代ごとに最適化速度 $v(t)$ を調べ、 $v(t) < \varepsilon_{F^*}$  (\*には1~13が入る)のとき、PAを開始する。



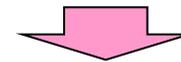
## 4.ペナルティ関数調整法(PA)

### ★PAの効果

最適化の停滞  $\Rightarrow$  大きな局所最適解の領域



PAにより解空間が隆起



別の局所解空間への到達の可能性

## 5.実験

### 実際の医療現場を模した例を用いて最適化実験

- ・看護師数23人、勤務日数を28日
- ・ペナルティ係数を1として、最適化を行い突然変異の際に計算速度も計測
- ・各看護師には看護レベル、熟練度、他の看護師との相性を設ける
- ・それぞれの場合において、 $G_M$ 世代=2000世代、突然変異回数 $N_M=500$ 回として試行する。
- ・突然変異を $G_M$ 世代周期で適用する場合と速度によって突然変異を適用する(PA)場合の2つの最適化を各10回試みる。

# 5.実験 実験結果

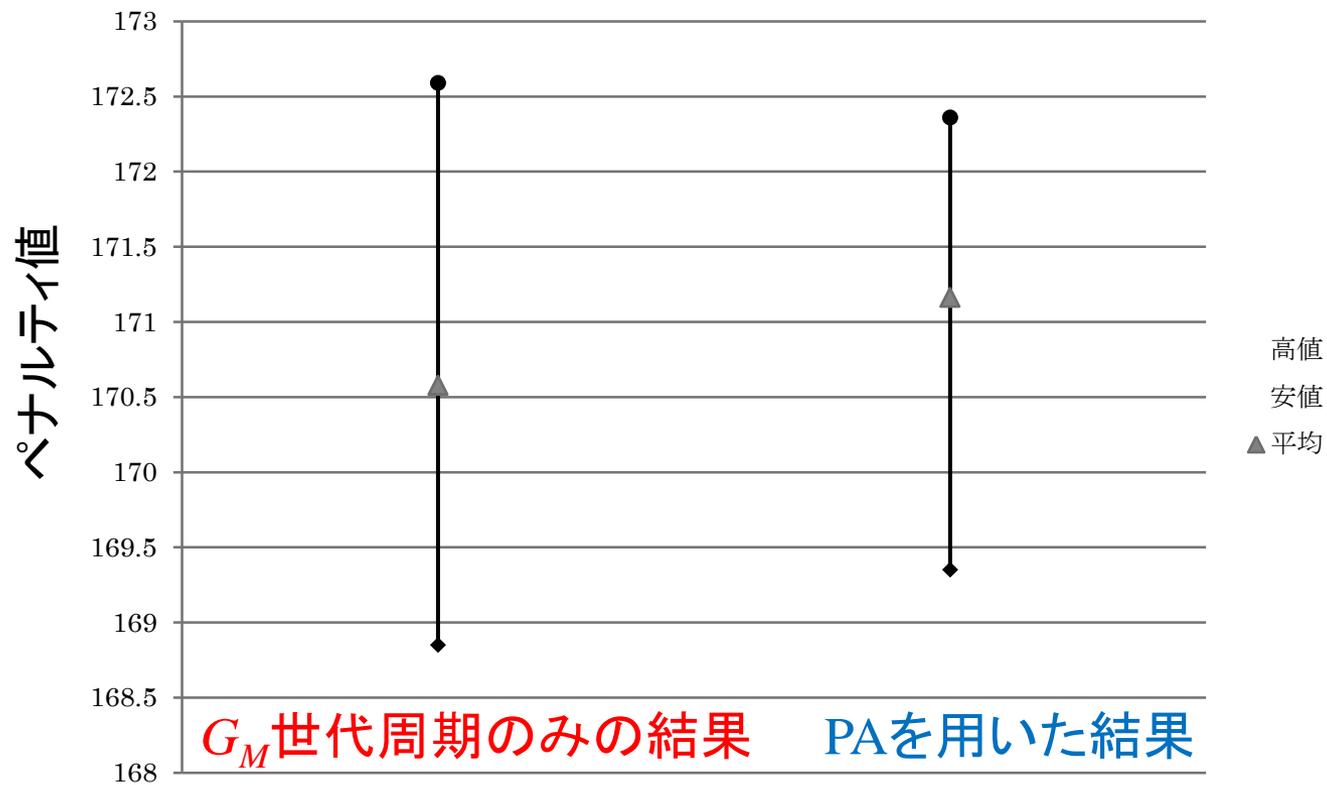


図1 実験結果

## 5. 実験 実験結果

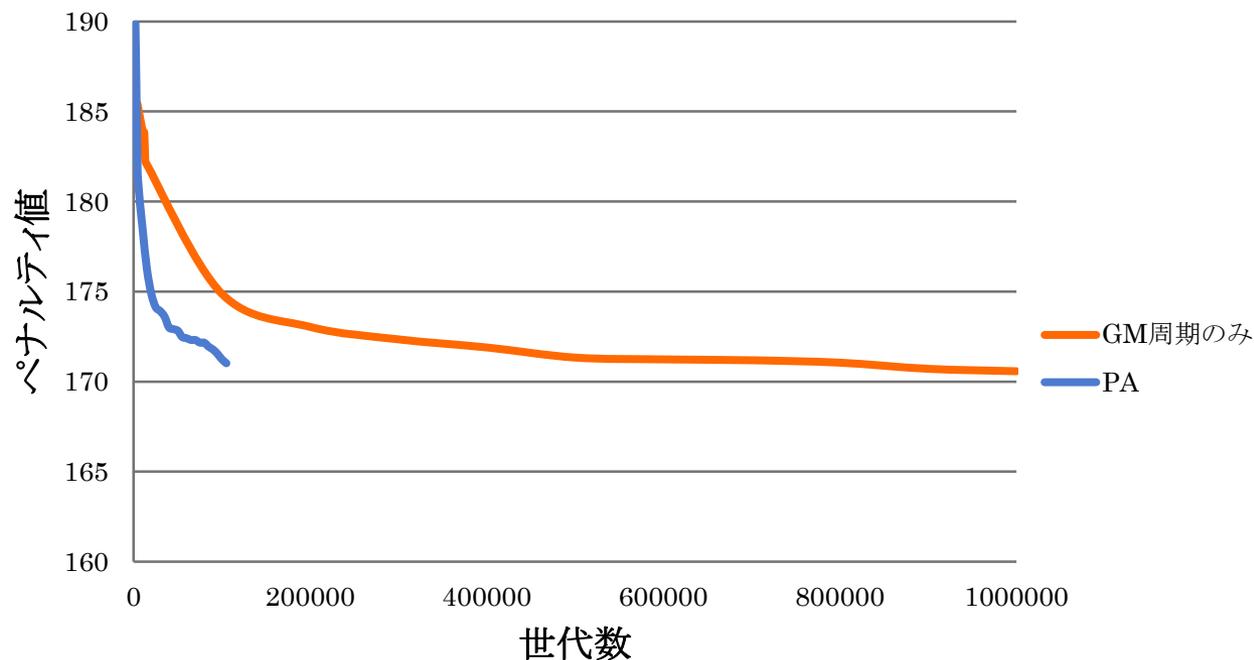


図2 10回行った実験の平均結果

GM周期を用いる方法とPAを用いる方法では  
ペナルティ値の値はほぼ同じ結果が得られた

## 5.実験 実験結果

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	
GM周期	240分8秒	236分21秒	236分35秒	236分21秒	240分36秒	
PA	18分57秒	20分4秒	19分34秒	18分57秒	20分16秒	
	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目	平均
GM周期	256分48秒	245分22秒	239分6秒	237分56秒	237分27秒	240分40秒
PA	19分31秒	19分24秒	20分32秒	20分29秒	21分11秒	19分54秒

表 処理にかかった時間結果

突然変異500回

GM周期のみでは1000000世代かかる



PAを用いると平均105100世代で完了

GM周期を用いるよりPAを用いる方が  
高速化が得られた

## 6.まとめ

### 提案手法

共存型遺伝的アルゴリズム(共存型GA)を用いた  
ペナルティ係数調整アルゴリズムによる  
看護師勤務表最適化を提案

### 結果

ペナルティ関数調整法(PA)を用いることで、高速で既存法とほぼ同じペナルティ値の結果を得ることができた

### 今後の予定

- ・より最適なペナルティ関数の係数算出
- ・高速でかつ高性能な勤務表の作成
- ・速度閾値を自動調整

# 補足：速度閾値を自動調整させるアルゴリズムについて

## $\varepsilon_E$ について

最優良個体の保存回数を採択回数とする。

- ・突然変異が頻繁に起こるが、採択回数が0回  $\Rightarrow \varepsilon_E$  を小さくする
- ・突然変異が  $G_M$  世代でしか起きない、採択回数が0回  $\Rightarrow \varepsilon_E$  を大きくする
- ・採択あり  $\Rightarrow \varepsilon_E$  はそのまま

## $\varepsilon_F$ について

係数を更新した回数を更新回数とする。

- ・前回の突然変異区間において、たくさん更新してもあまり採択されない  
 $\Rightarrow \varepsilon_F$  を小さくする
- ・前回の突然変異区間において、全く更新されずあまり採択されない  
 $\Rightarrow \varepsilon_F$  を大きくする