

# 北米便に対する 上空通過機と日本出発機の モデリング

\*†村田 暁紀, †高玉 圭樹

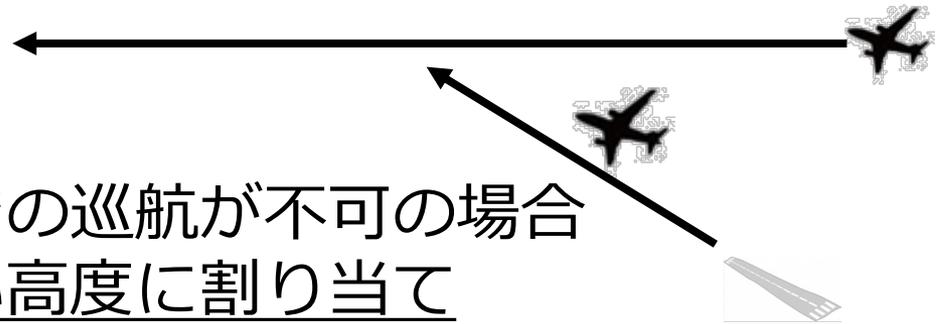
††マーク ブラウン, ††平林 博子, ††虎谷 大地

\* :発表者

† :電気通信大学大学院

††:電子航法研究所 航空交通管理領域

航空需要の増加に伴い日本洋上の航空交通量も増加  
北米方面の日本出発機と上空通過機の混雑



- 日本出発機は経路上での巡航が不可の場合  
要求する高度より低い高度に割り当て  
日本出発機の燃料搭載量が大きいため
- **混雑時**に日本出発機が巡航不可の場合  
出発時間の遅延

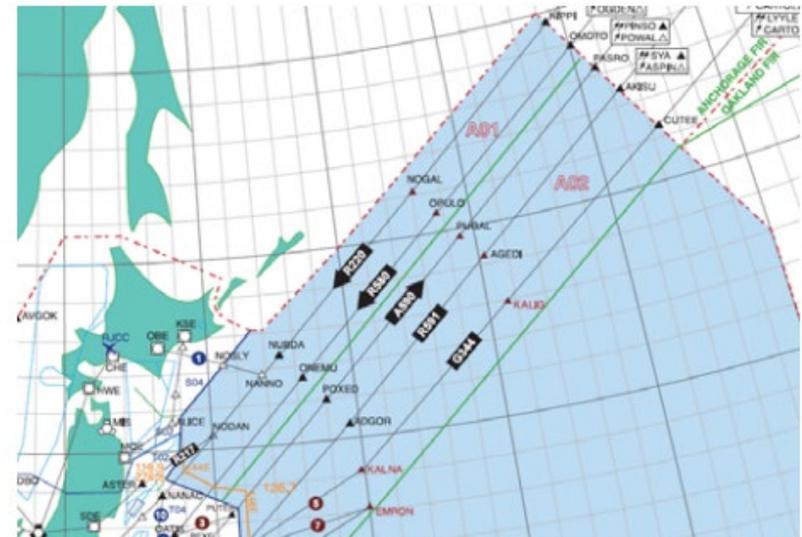
混雑時のコンフリクト解消が必要

# 実際の運用

NOPACルートと呼ばれる5本の経路

- 50 NM以上の横間隔
- 東経170度まで監視(関東東セクタ)
- 高度の割り当てをパイロットの要求に従い決定
- 要求する高度を割り当てられない場合  
東行きは原則，奇数高度
  - 運用上の取り決めで使用できる場合
    - ±1000ft
  - 使用できない場合
    - ±2000ft

NOPAC : North Pacific (北太平洋)



## 目的

NOPACエリアの便益バランスングを目指し  
シミュレーションモデルの構築及び妥当性の検証

## アプローチ

最適化アルゴリズム

遺伝的アルゴリズム



Alt : 巡航高度  
 $t$  : 遅延時間



※高度, 時間の組み合わせでコンフリクトを解消

シミュレーション

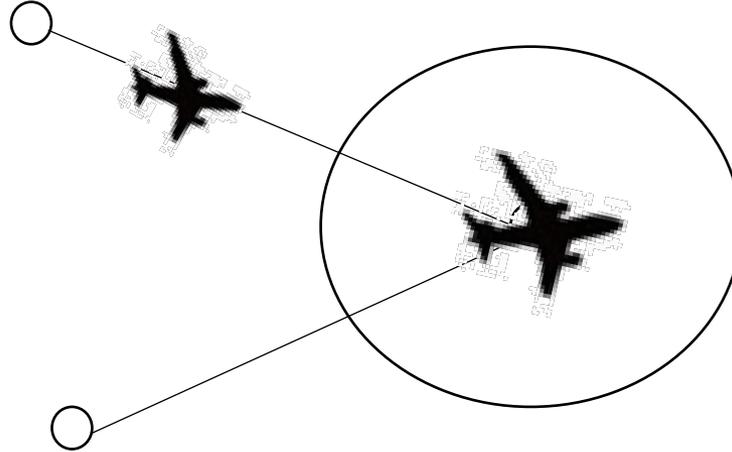
BADAに基づく軌道計算



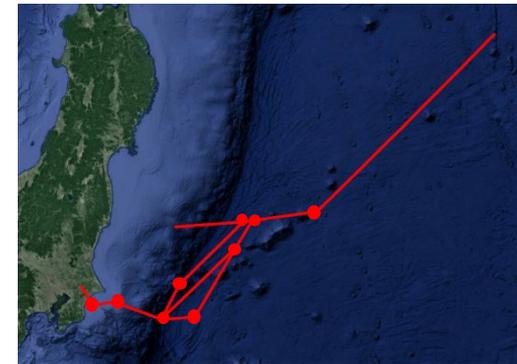
$C$  : コンフリクト  
 $Fuel$  : 燃料消費量



## リンク・ノードモデル



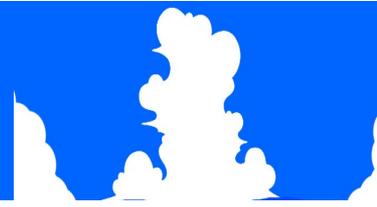
ノード：Waypointに相当  
リンク：経路



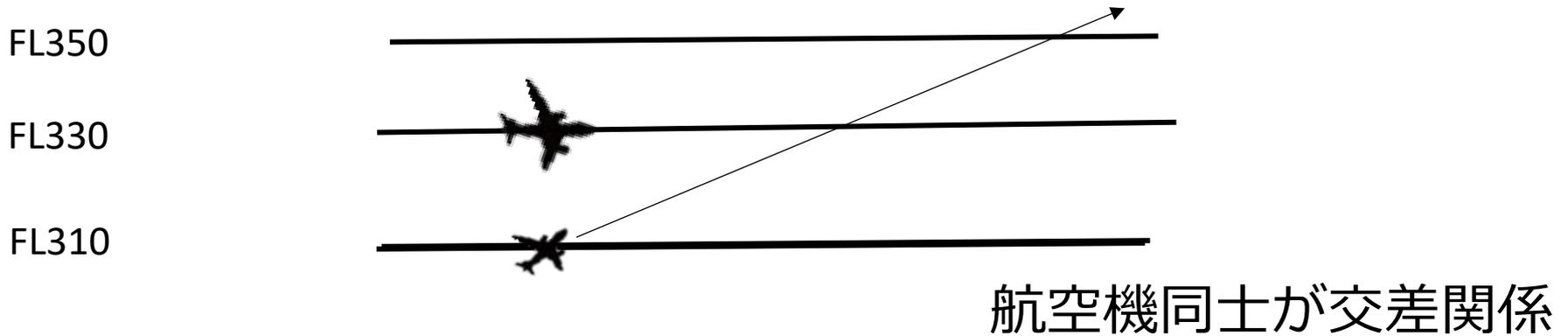
- 巡航予定の経路を航行
  - Waypoint通過時間を記録
- コンフリクト検知に利用

**\* コンフリクト**  
管制間隔が要件より小さい状況

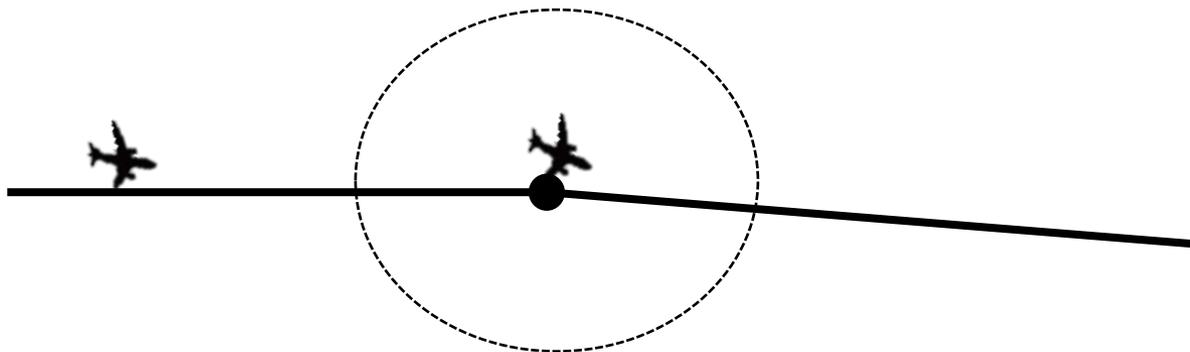
# コンフリクト検知



リンク：高度上昇に対するコンフリクト検知



ノード：同高度でのコンフリクトを検知

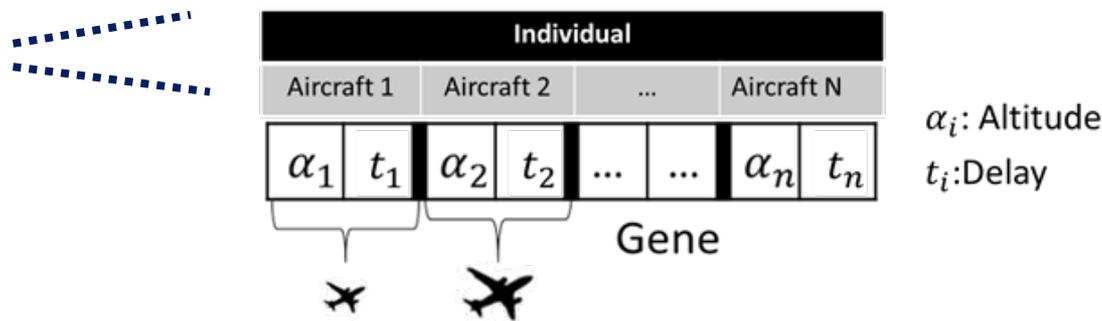


□ 航空機一定の間隔が維持されているか



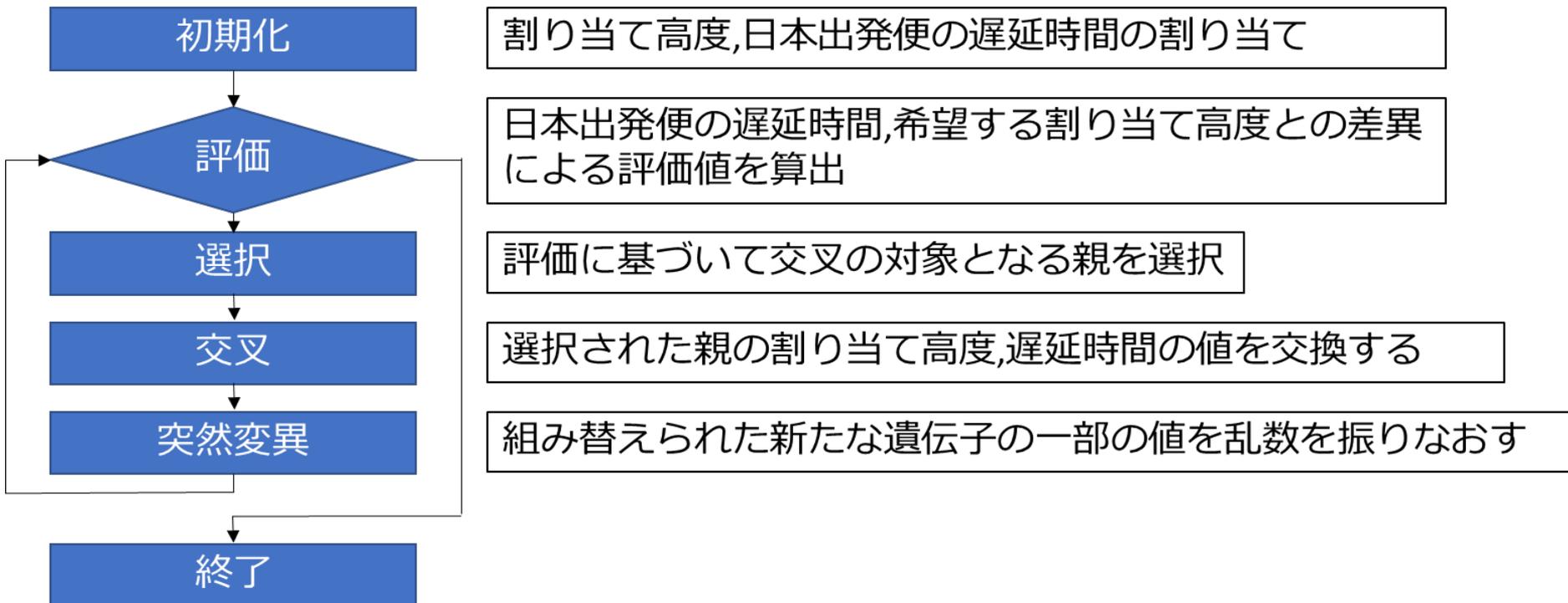
## 遺伝的アルゴリズム

- 生物の進化を模擬した最適化手法
- 柔軟なモデリングが可能
- 個体(Individual)は一つの解を表す
- 解集団 (Population) を用い集団の情報を活用



一つの個体 (Individual) ずつ各航空機の軌道計算  
評価値算出のため

## 最適化のフロー



# 最適化のフロー

初期化

割り当て高度,日本出発便の遅延時間の割り当て

評価

日本出発便の遅延時間,希望する割り当て高度との差異による評価値を算出

## Individual

Aircraf_1	Aircraf_2	Aircraf_3	Aircraf_4	...	Aircraf_N						
310	0	290	120	330	150	310	0			350	60

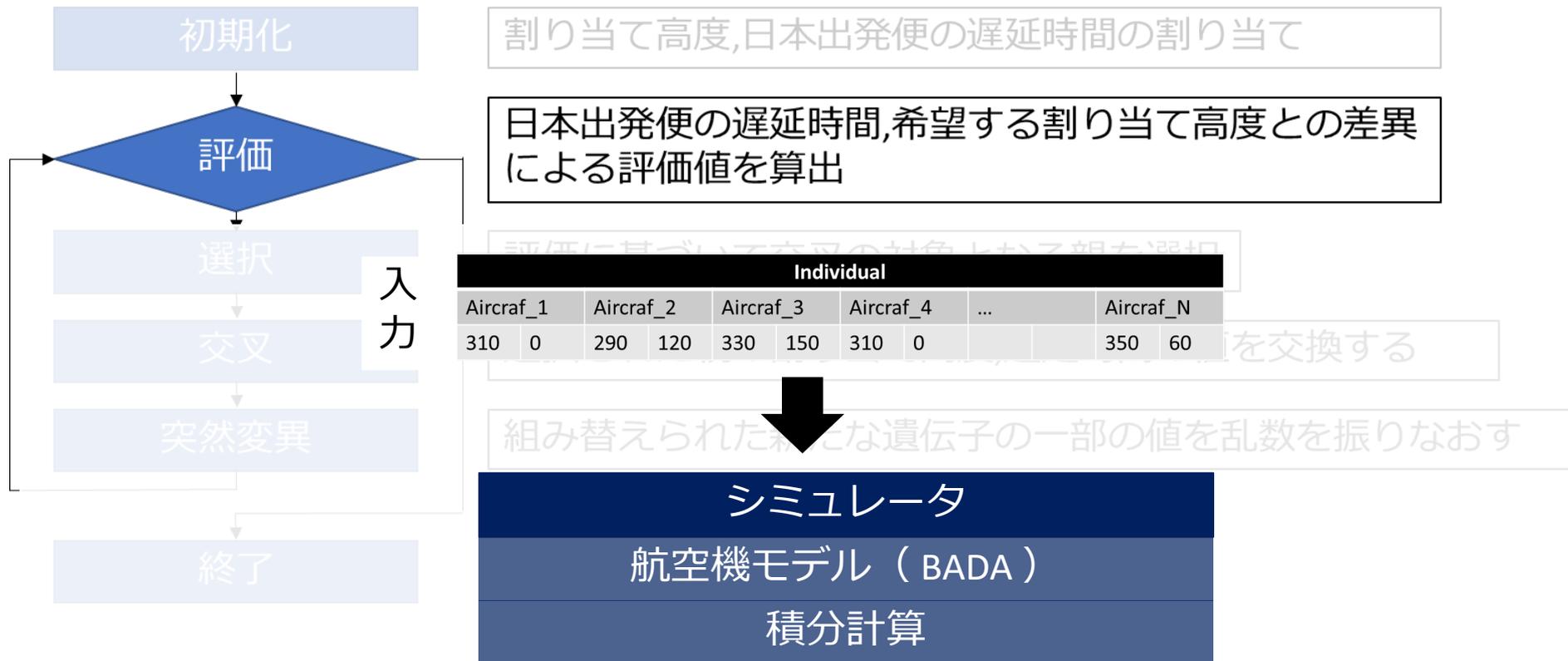
突然変異

組み替えられた新たな遺伝子の一部の値を乱数を振りなおす

FL 遅延時間

終了

集団全てを初期化



出力

コンフリクト数  
燃料消費量

初期化

割り当て高度,日本出発便の遅延時間の割り当て

評価

日本出発便の遅延時間,希望する割り当て高度との差異による評価値を算出

選択

評価に基づいて交叉の対象となる親を選択

交叉

選択された親の割り当て高度,遅延時間の値を交換する

Population 突然変異

組み替えられた新たな遺伝子の一部の値を乱数を振りなおす

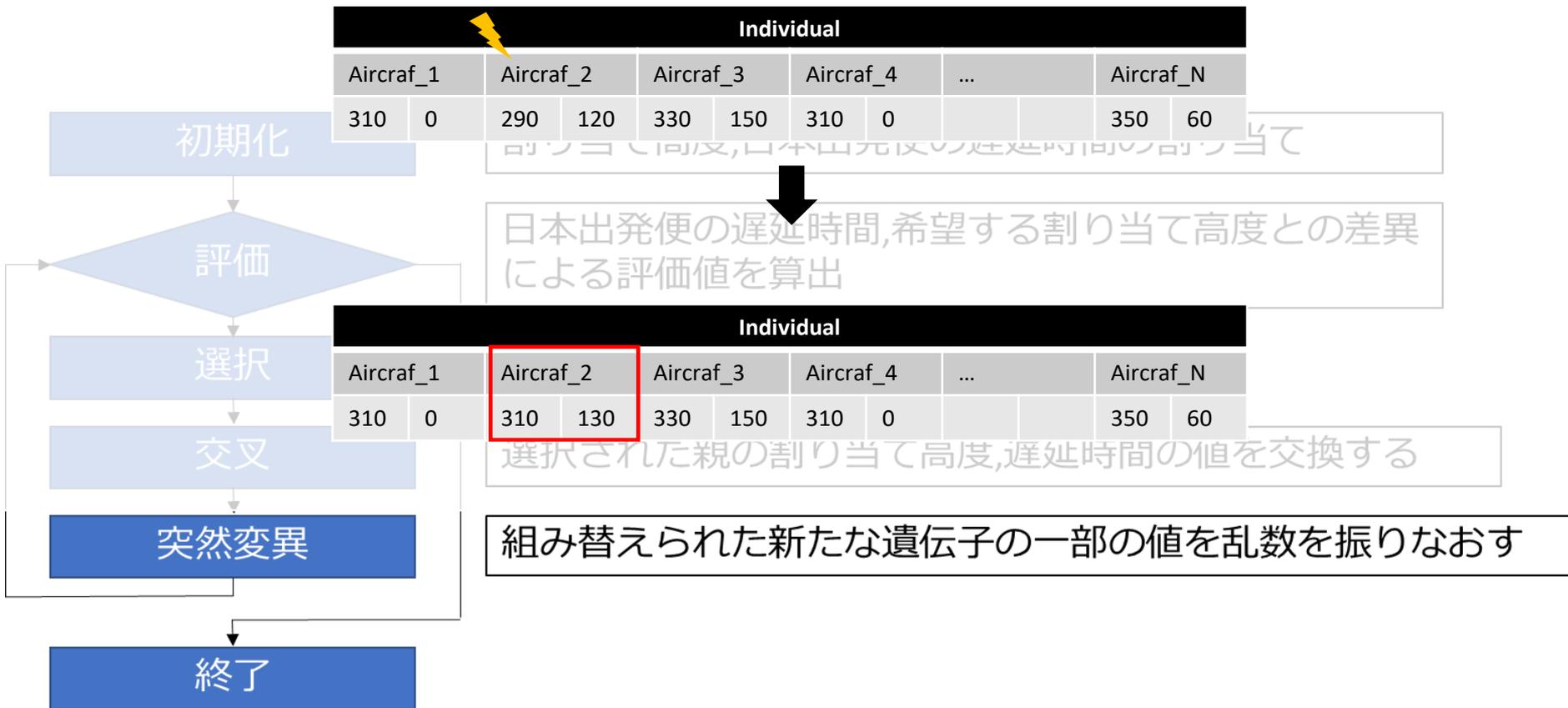
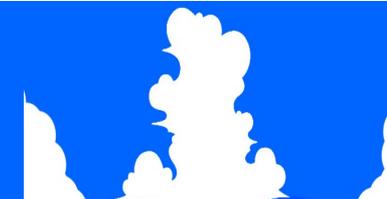


Individual											
Aircraf_1	Aircraf_2	Aircraf_3	Aircraf_4	...	Aircraf_N						
310	0	290	120	330	150	310	0			350	60

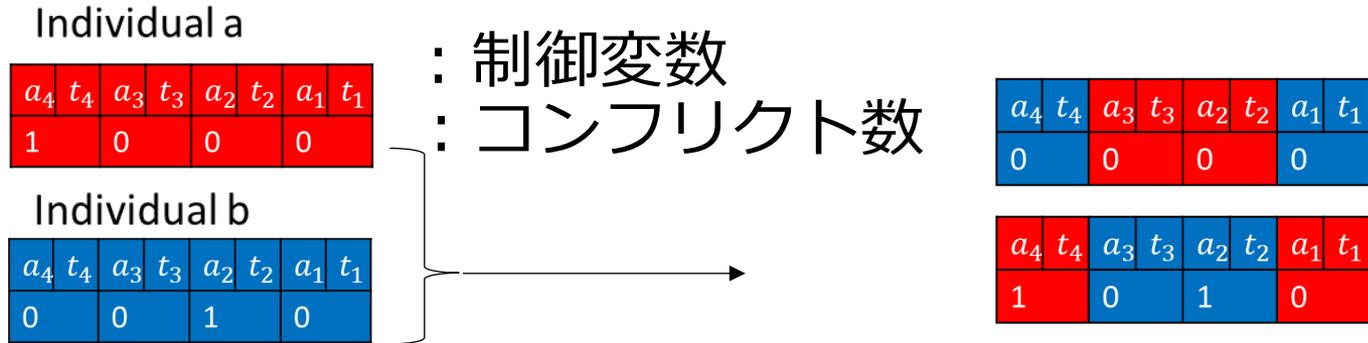
Individual											
Aircraf_1	Aircraf_2	Aircraf_3	Aircraf_4	...	Aircraf_N						
300	0	310	100	300	180	310	0			330	120

Red arrows indicate the exchange of values between the two individuals in the 'Aircraf\_3' column.



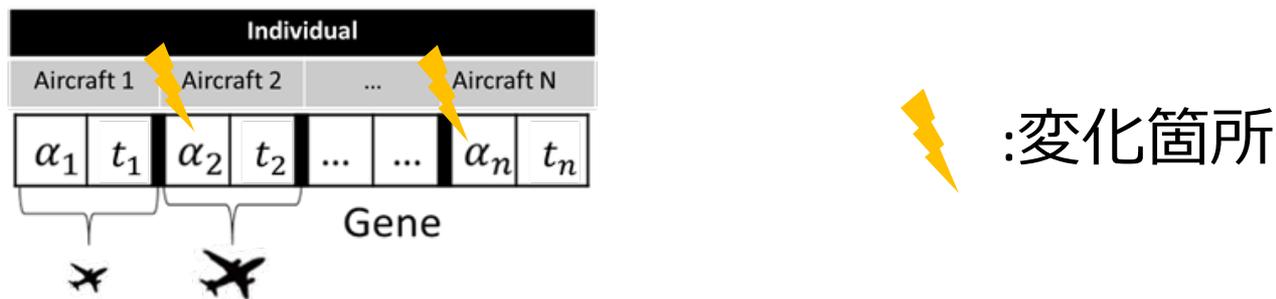
# 最適化のオペレーター

## 交叉



- 優良な遺伝子同士の情報（速度，高度）を交換
- コンフリクト数が少ない遺伝子を引き継ぐ

## 突然変異



- 一定の確率で高度・対地速度を変化

$$t_{min} \leq t \leq t_{max}$$

$$\alpha_{min} \leq \alpha \leq \alpha_{max}$$



$$Fitness = \sum_{i=1}^N |Alt_i - Alt'_i| + \gamma C$$

Fitness: 適応度 (Individualに対する評価)

$Alt$  : 要求高度 (パイロットからの)

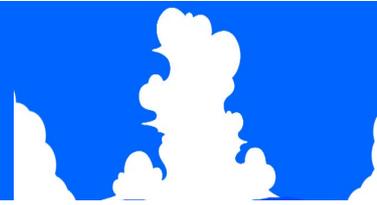
$Alt'$  : 割り当て高度

$\gamma$  : 係数

$C$  : コンフリクト数

Fitnessを最小化

コンフリクトから解消するよう $\gamma$ により調整



## 目的

日本出発機及び上空通過機の軌道変更によるコンフリクトの解消

## 条件

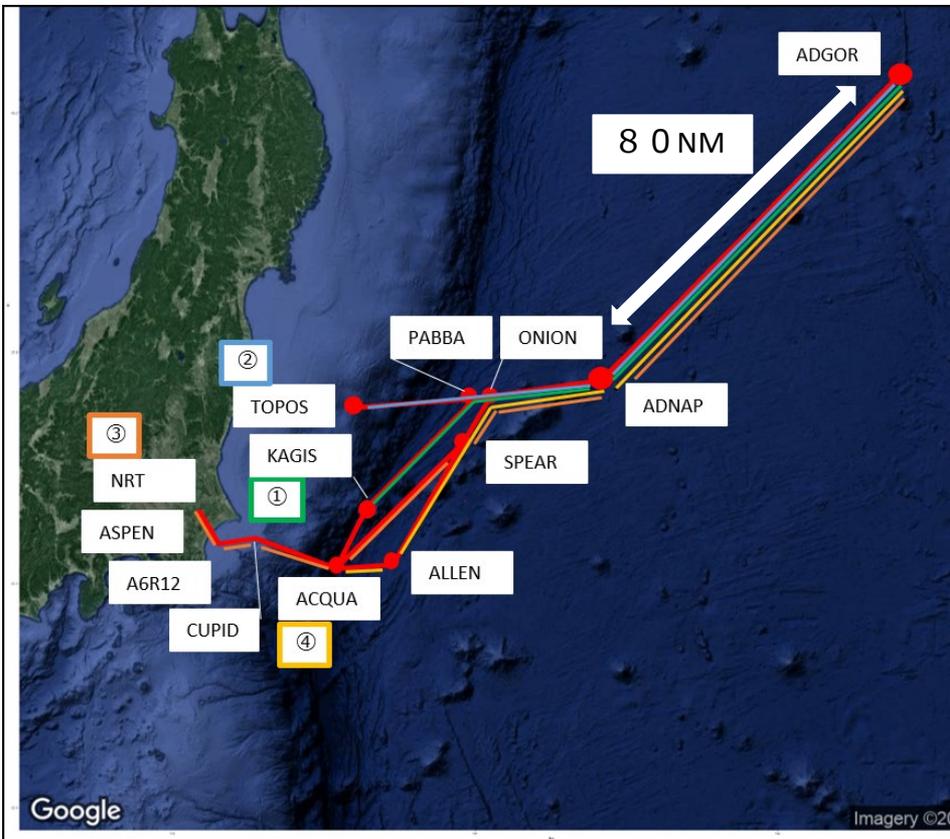
FL300以上

航空機のサイズはMedium  
(B777-200) に相当

洋上は80NM以上間隔を維持  
レーダー範囲内は10NM間隔

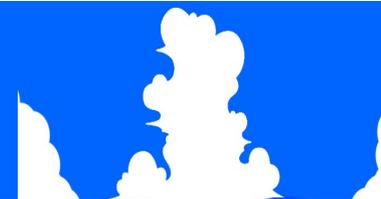
## 初期検討として

NOPACは5本中1本使用  
遅延時間も使用しない



2019/6/20

# シミュレーション設定



## シナリオ

日本出発機 + 上空通過機

日本出発機 : 5機

上空通過機 : 11機

日本出発機 (成田便)

スケジュール期間 : 2700 (sec)

## 評価基準

- 全航空機を対象とするコンフリクト数の合計
- 全航空機の要求高度に対する割り当て高度差の合計

## 航空機の初期データ

Time	Route	Ini. FL	Req. FL	Ini. TAS
600	1	290	350	488
1500	2	350	350	487
1200	2	250	250	493
600	4	310	310	493
2100	3	0	370	0
1200	3	0	350	0
0	4	300	350	490
300	3	0	370	0
2500	4	310	350	485
800	2	280	370	486
1800	1	300	350	487
2700	3	0	370	0
900	3	0	350	0
1100	4	290	330	490
1000	2	290	370	487
1200	1	350	350	488

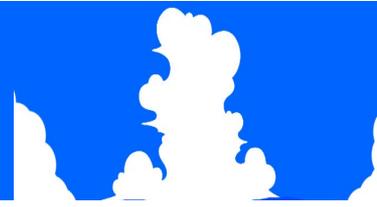


試行数 30回

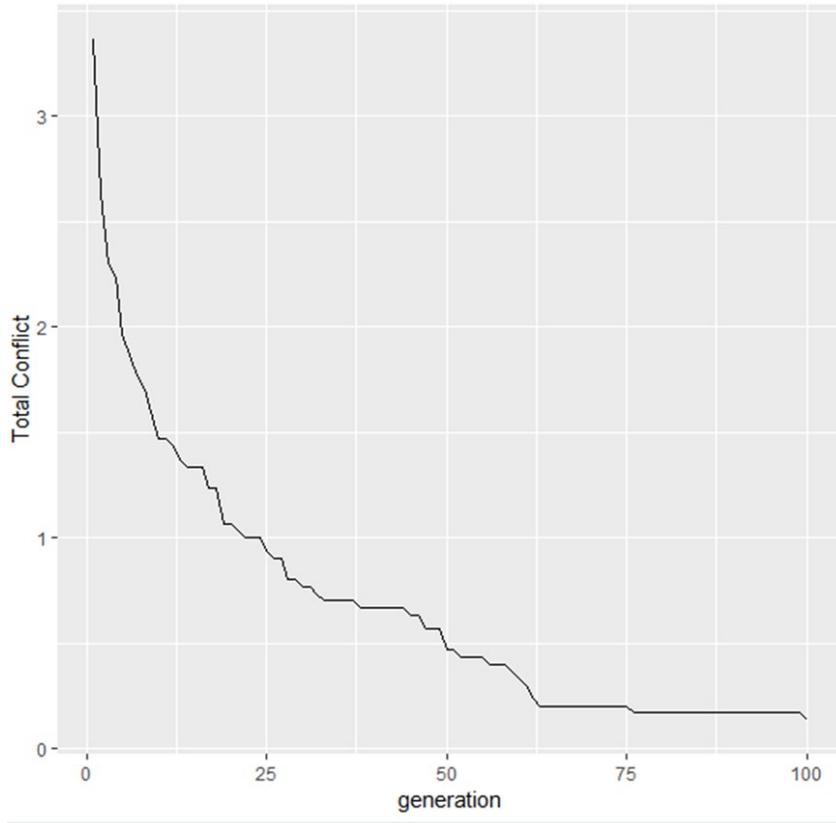
## 遺伝的アルゴリズム

パラメータ	値
世代数	100
交叉率	1.0
突然変異率 (コンフリクトがない場合)	1/l (lは遺伝子長)
$\gamma$	100,000
集団数	100
$\alpha_{min}$	300
$\alpha_{max}$	Alt(要求高度)

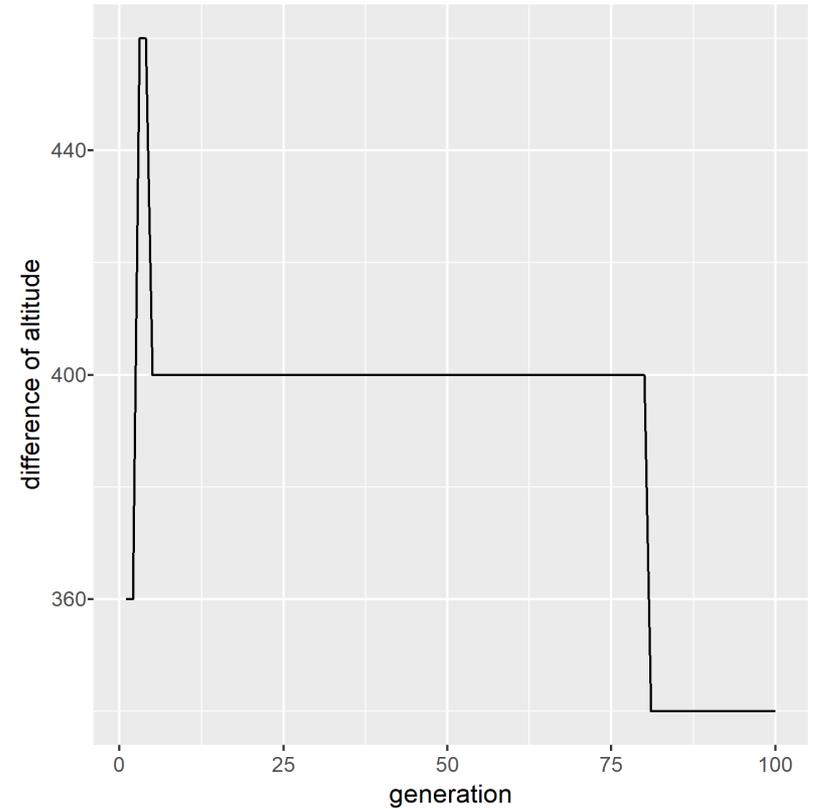
# 結果



30回の試行の平均

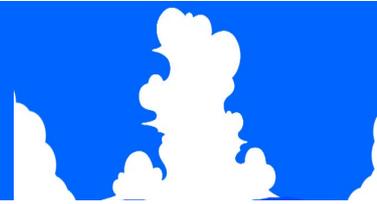


1試行の高度差の推移



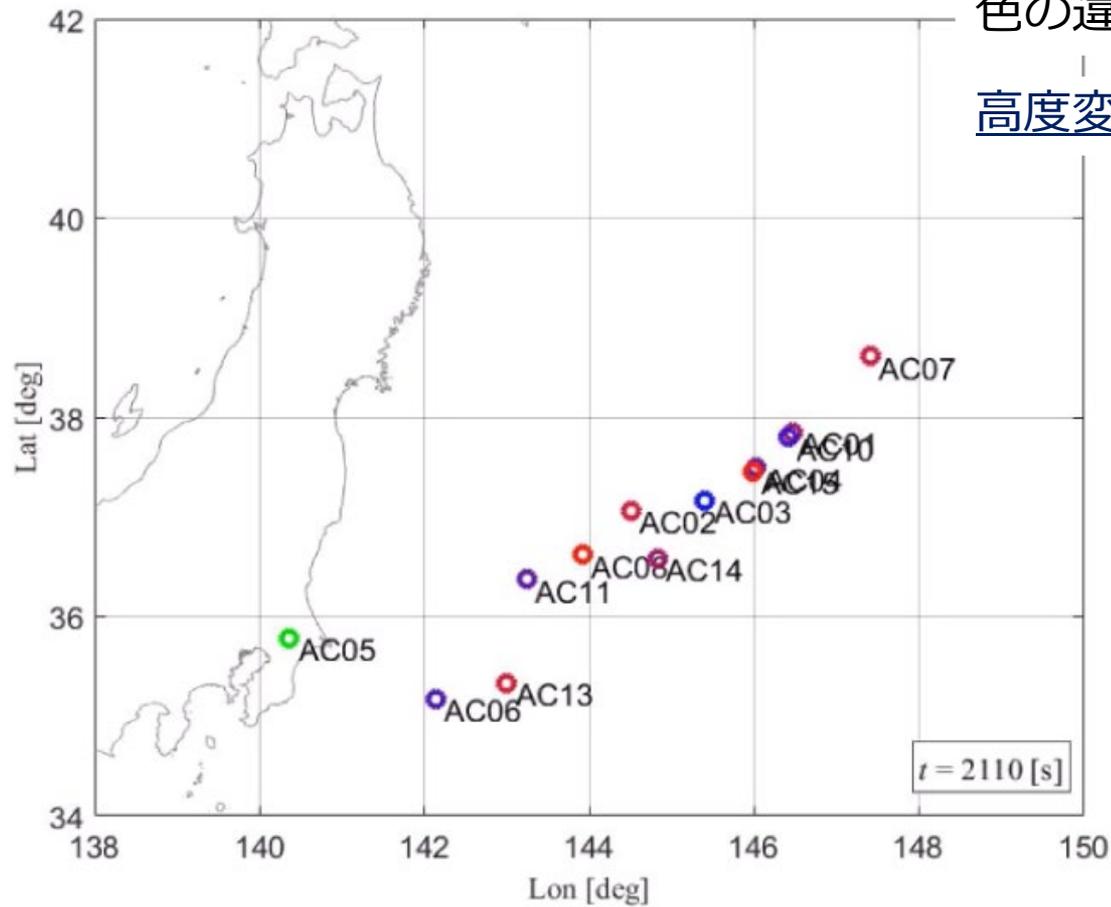
Generation : シミュレーション回数に相当

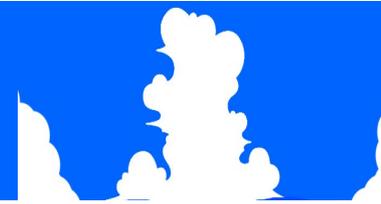
コンフリクトを解消+要求高度差を最小化するよう作用



色の違い：異なる高度で巡航

高度変更によりコンフリクトを解消





北米に向かう日本洋上の航空交通流

現運用のモデリングを及びその妥当性の検証  
(遺伝的アルゴリズムを用いた最適化手法)

知見

コンフリクトを解消する航空機の高度の組み合わせを獲得  
コンフリクトを検知・解消を遺伝的アルゴリズムによって実現

今後の課題

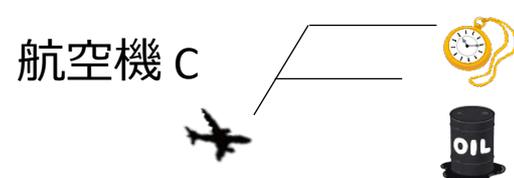
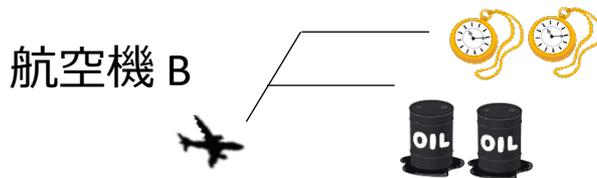
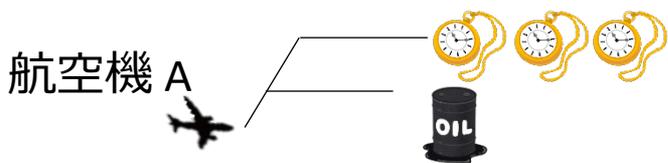
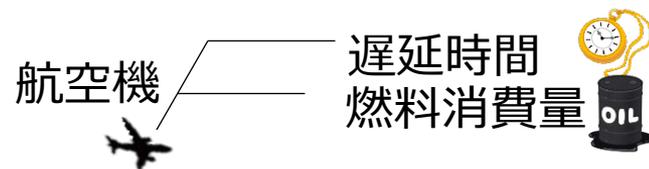
空域の拡張  
多目的化へ拡張

# 展望

## 既存のフレームワーク

- 最適解を提示（一番良い答えを出力）
- 管制官にとっての判断はYes/No

Ex. 燃料消費量の最小化



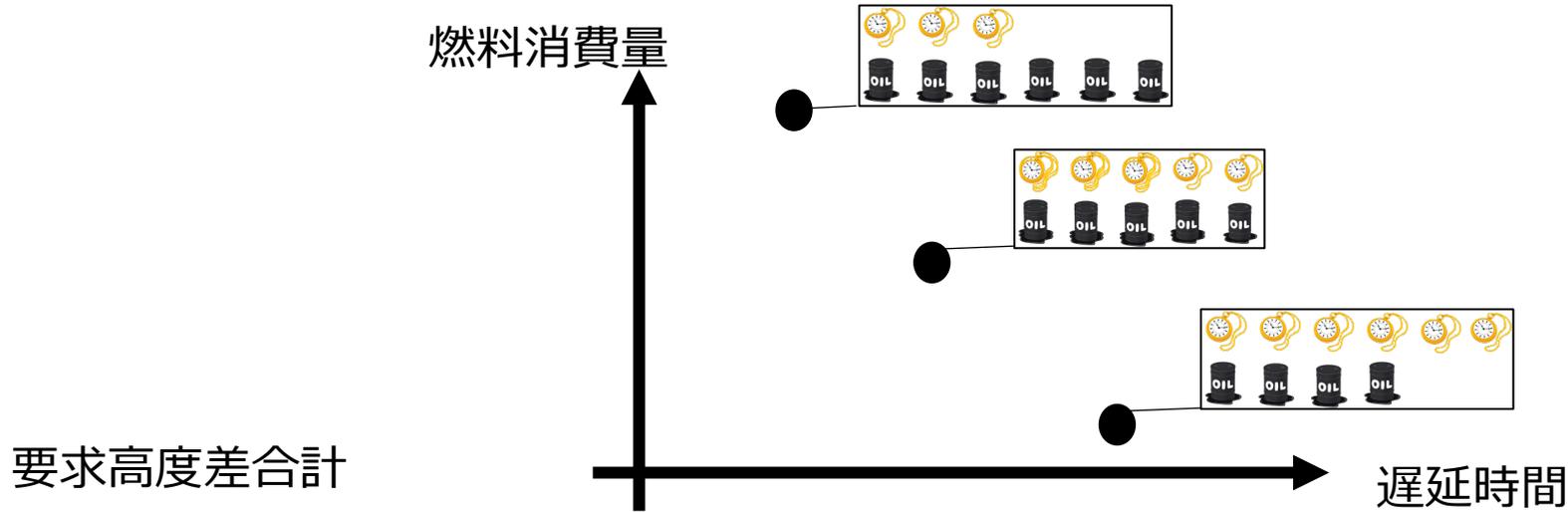
合計遅延時間



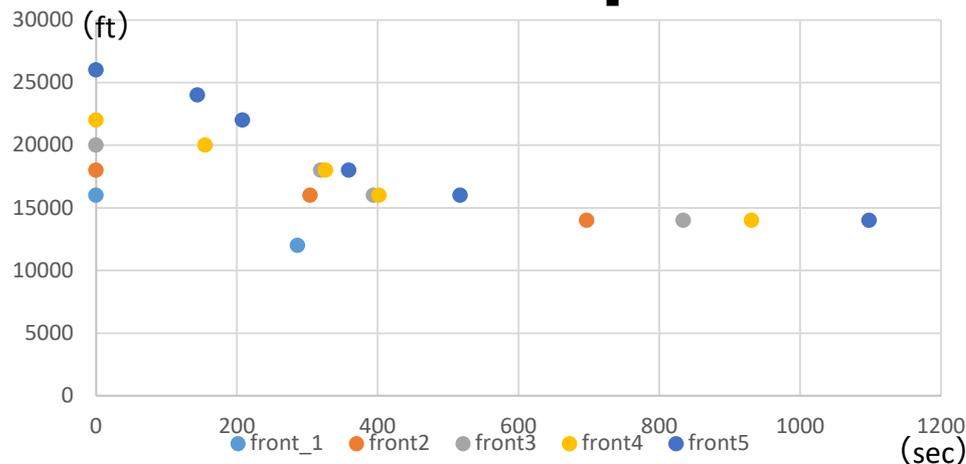
合計燃料消費量



# 提案 □ 管制官の意思決定の支援



要求高度差合計



遺伝的アルゴリズムは同時に  
トレードオフ解集団を獲得可能

遅延時間