

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

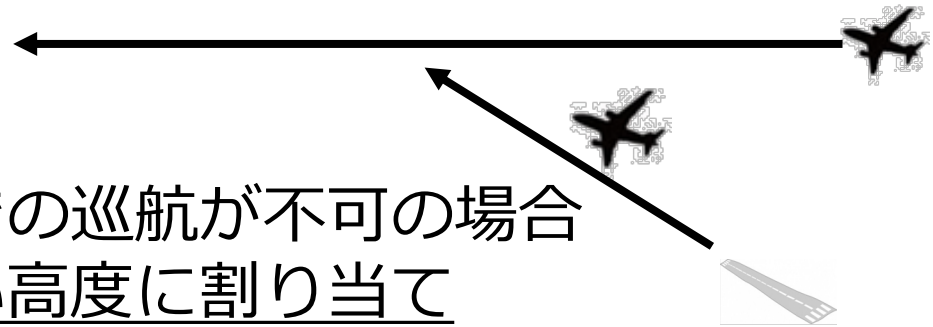
††マーク ブラウン, ††平林 博子, ††虎谷 大地

* :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

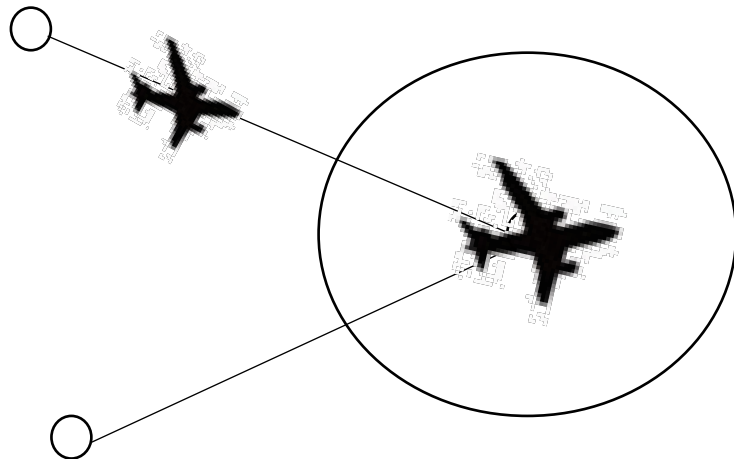
シミュレーション

BADAに基づく軌道計算

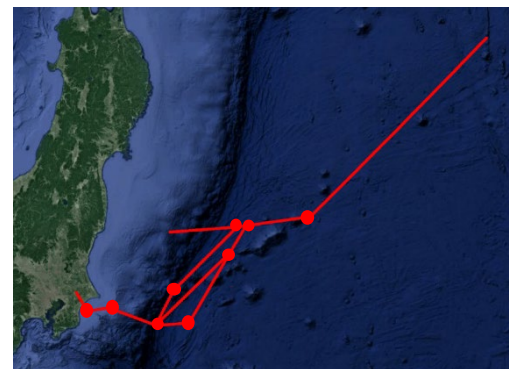


C : コンフリクト
 $Fuel$: 燃料消費量

リンク・ノードモデル



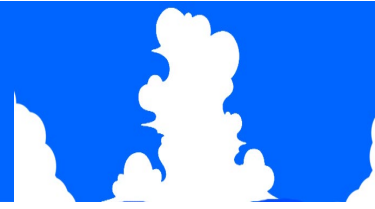
ノード：Waypointに相当
リンク：経路



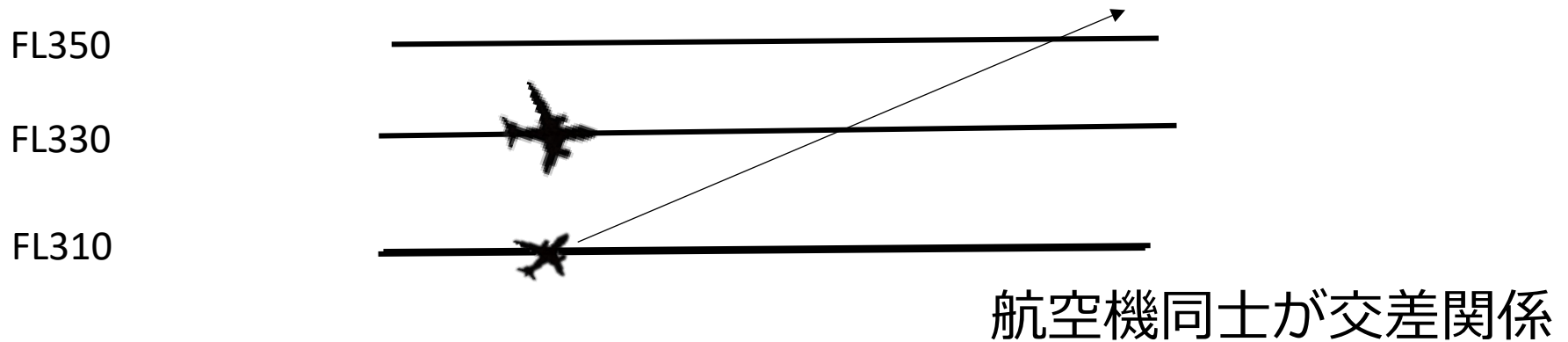
- 巡航予定の経路を航行
 - Waypoint通過時間を記録
- コンフリクト検知に利用

*** コンフリクト**
管制間隔が要件より小さい状況

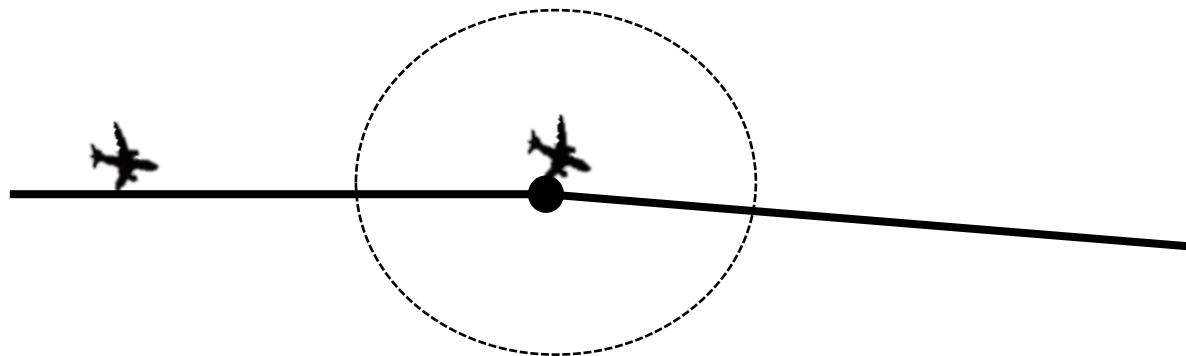
コンフリクト検知



リンク：高度上昇に対するコンフリクト検知

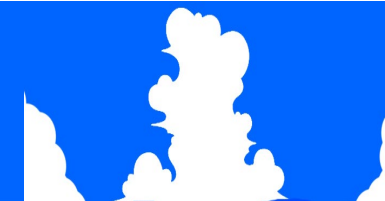


ノード：同高度でのコンフリクトを検知



□ 航空機一定の間隔が維持されているか

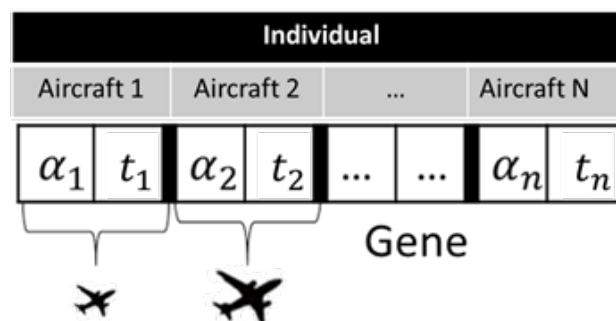
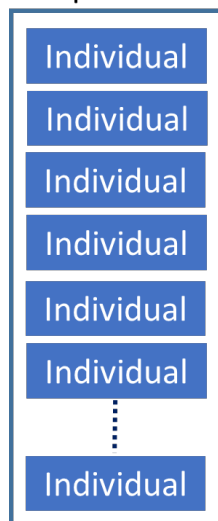
最適化アルゴリズム：遺伝的アルゴリズム



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

Population

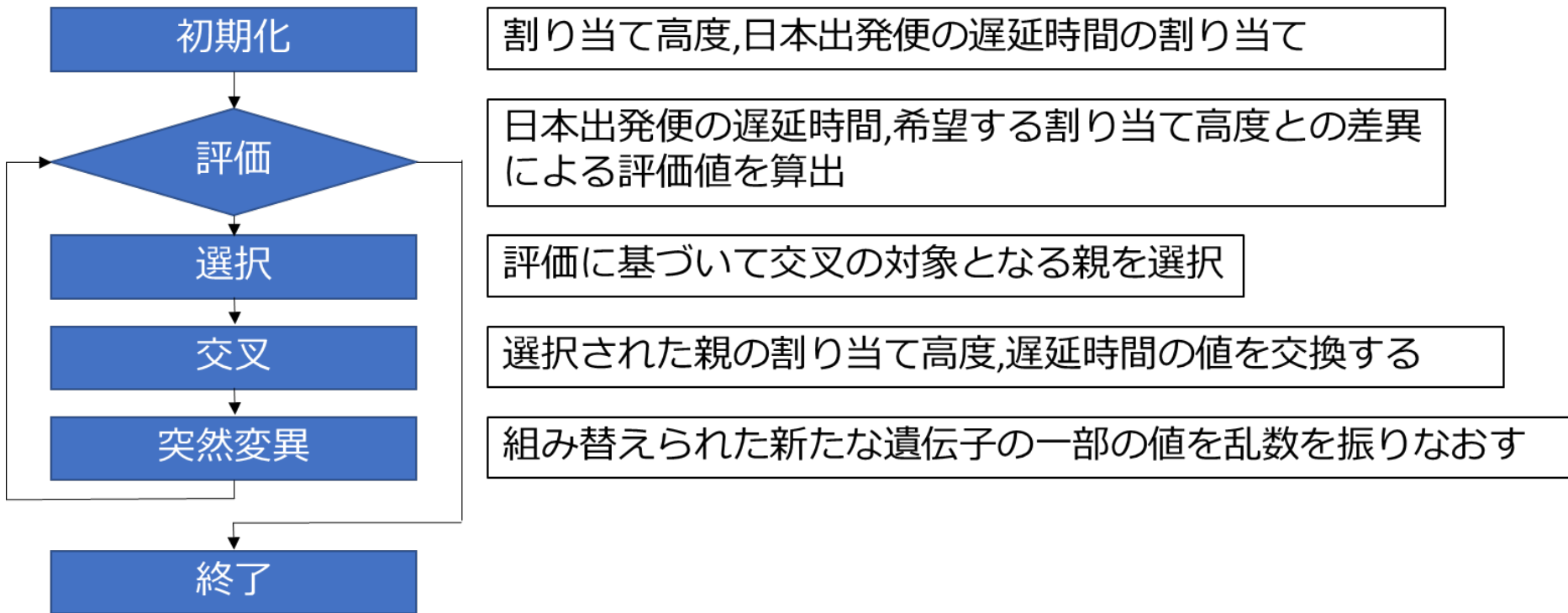


α_i : Altitude

t_i : Delay

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 |

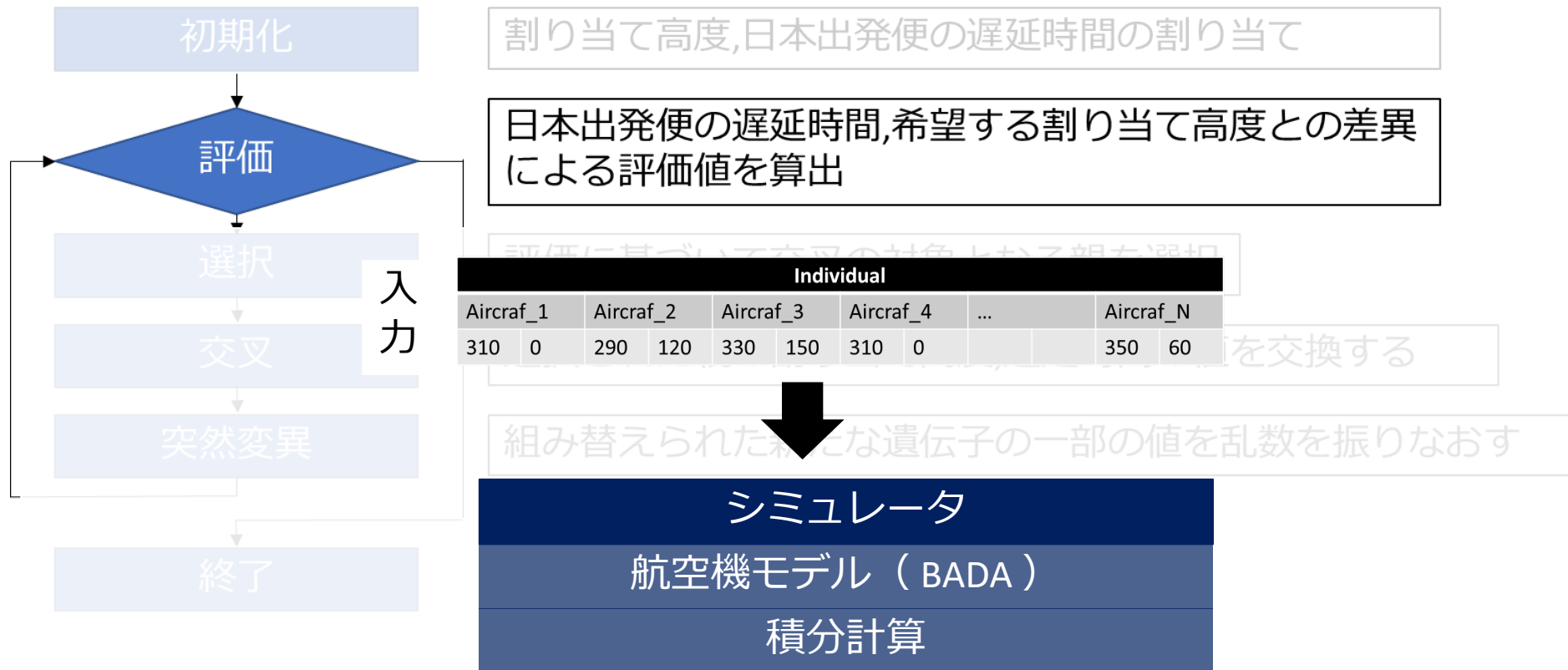
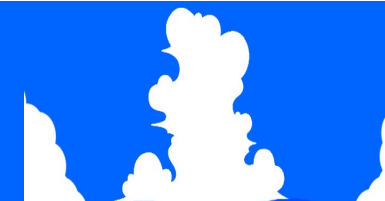
突然変異

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

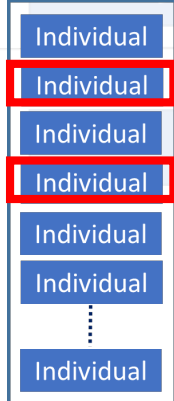
評価に基づいて交叉の対象となる親を選択

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

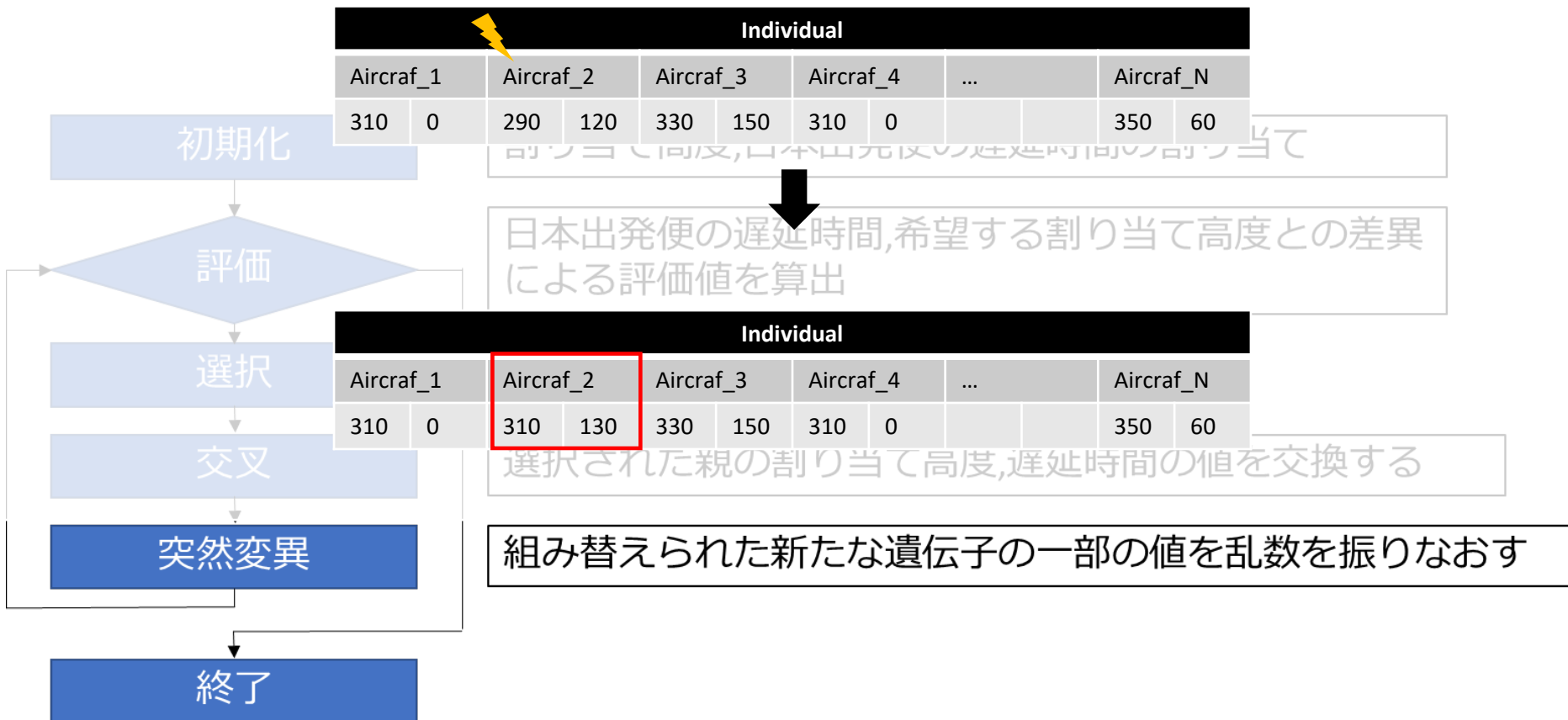
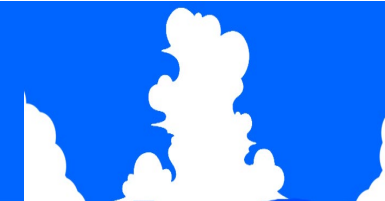
組み替えられた新たな遺伝子の一部の値を乱数を振りなおす



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

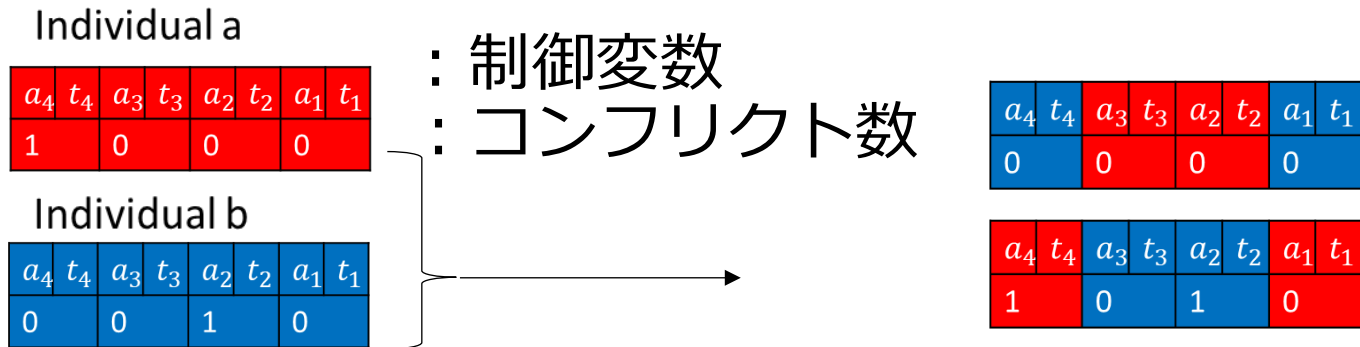
| Individual | | | | | | | | | | | |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----|-----------|-----|---|--|--|-----|-----|
| Aircraf_1 | Aircraf_2 | Aircraf_3 | Aircraf_4 | ... | Aircraf_N | | | | | | |
| 300 | 0 | 310 | 100 | 300 | 180 | 310 | 0 | | | 330 | 120 |

Red boxes highlight the swapped values in the 'Aircraf_3' column of both individuals. Red arrows point from the top individual's 'Aircraf_3' (330, 150) to the bottom individual's 'Aircraf_3' (300, 180), and vice versa.



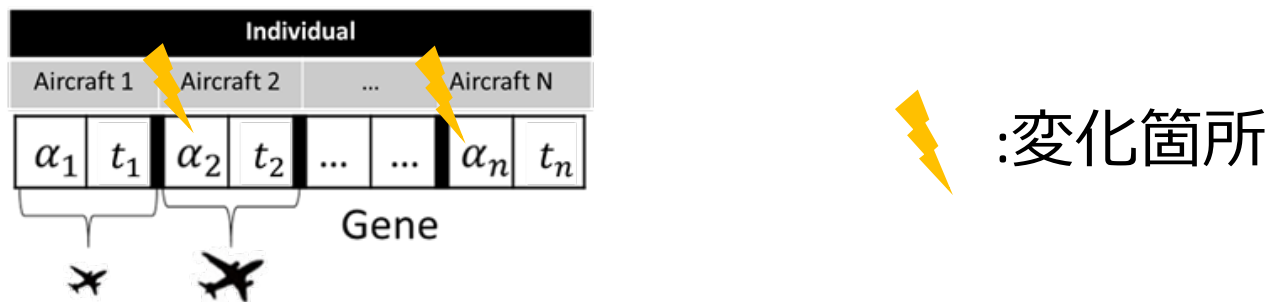
最適化のオペレーター

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

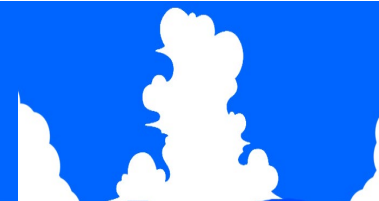
突然変異



- 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)

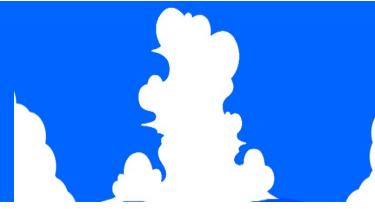
Alt' : 割り当て高度

γ : 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 γ 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

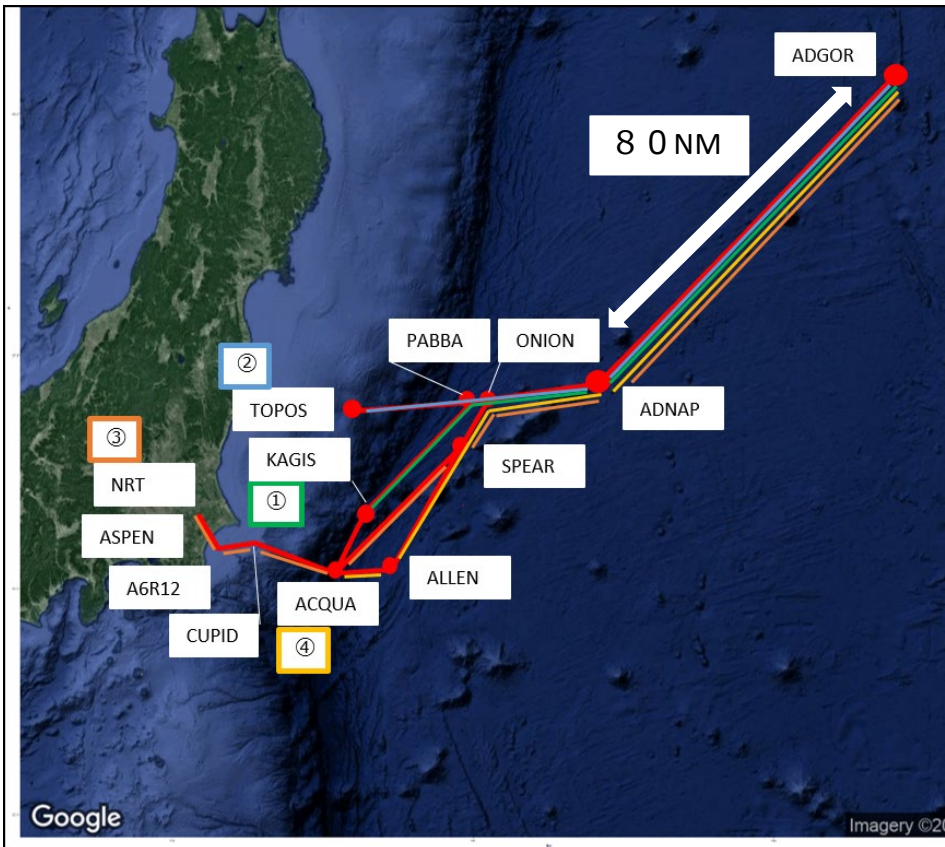
FL300以上

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

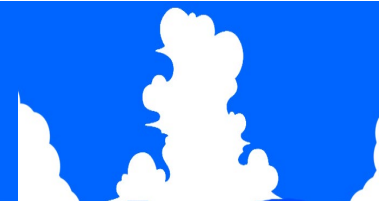
初期検討として

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）

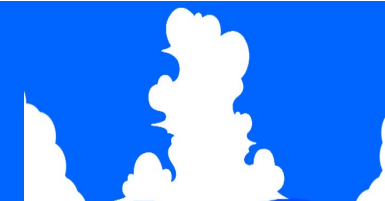
スケジュール期間：2700（sec）

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 |

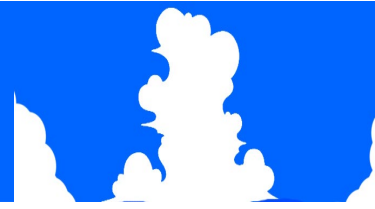


試行数 30回

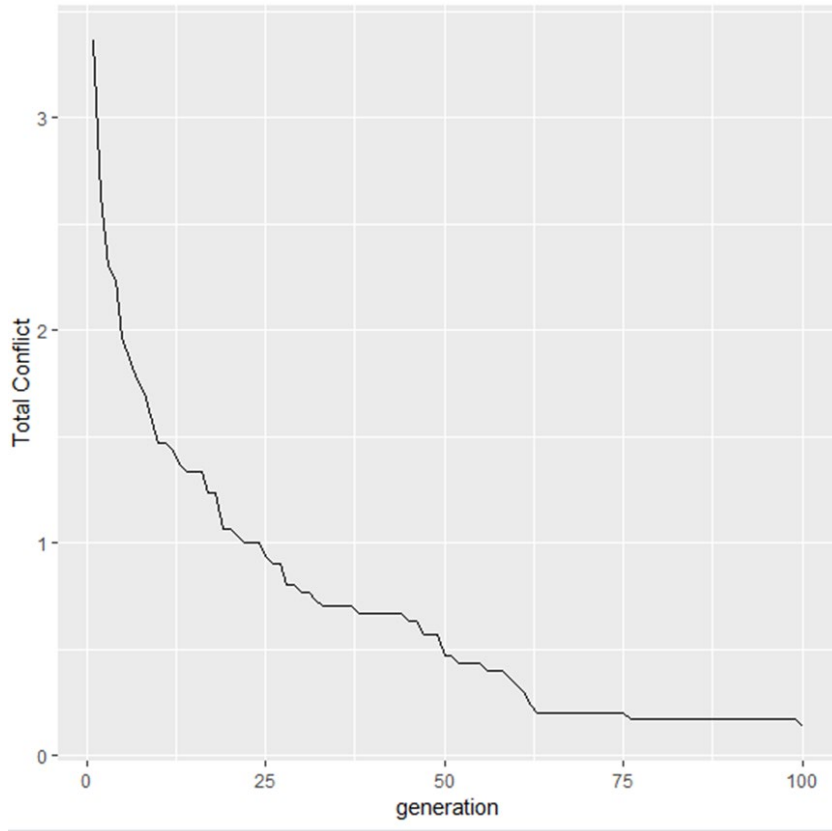
遺伝的アルゴリズム

| 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) |
| γ | 100,000 |
| 集団数 | 100 |
| α_{min} | 300 |
| α_{max} | Alt(要求高度) |

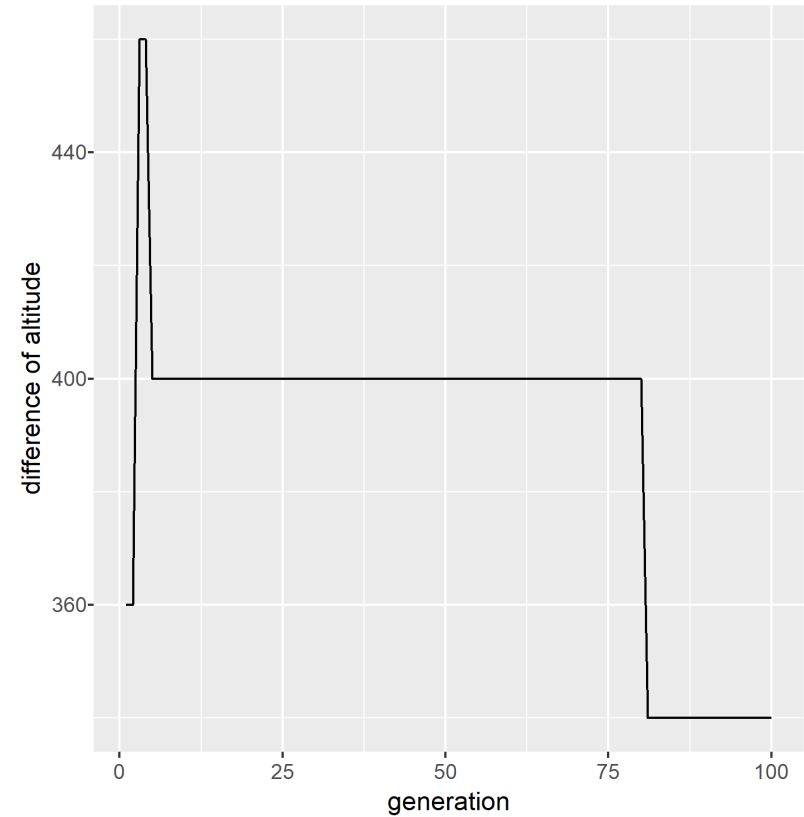
結果



30回の試行の平均

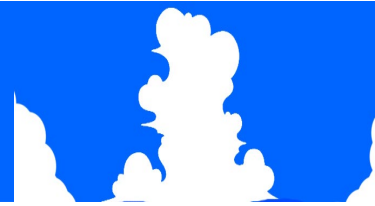


1試行の高度差の推移



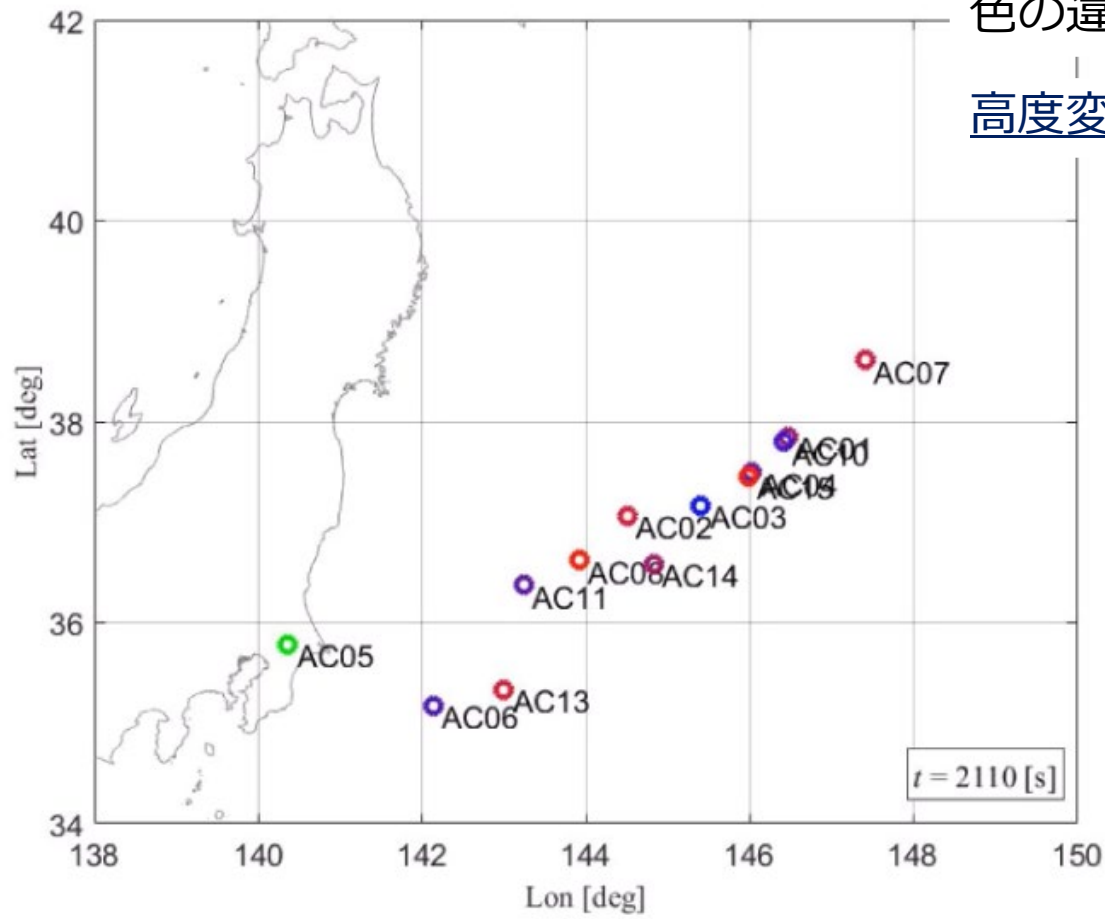
Generation : シミュレーション回数に相当

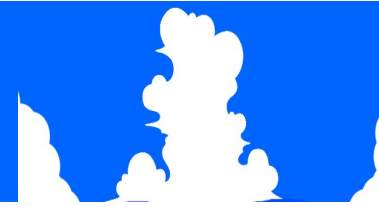
コンフリクトを解消+要求高度差を最小化するよう作用



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

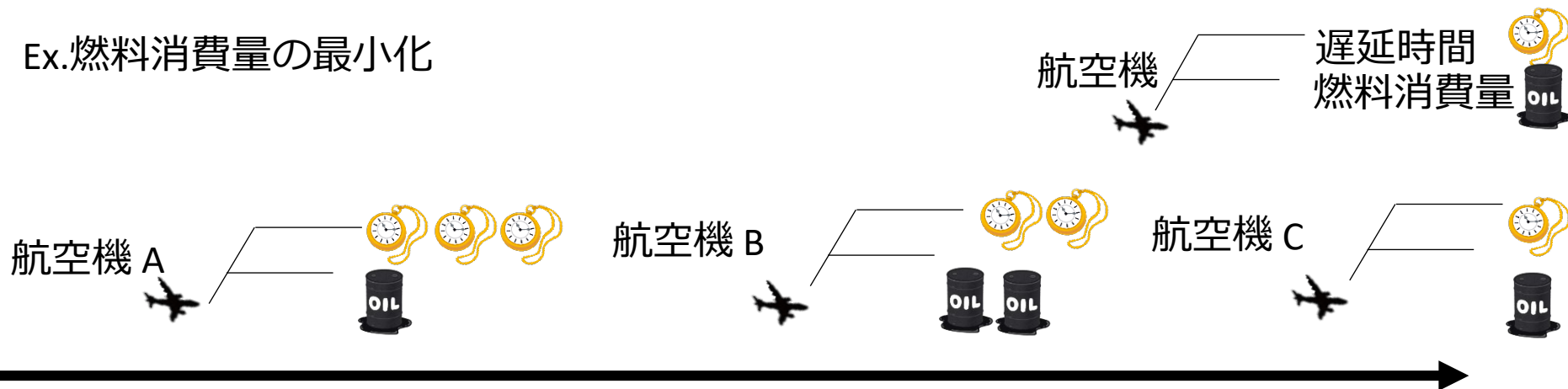
空域の拡張
多目的化へ拡張

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



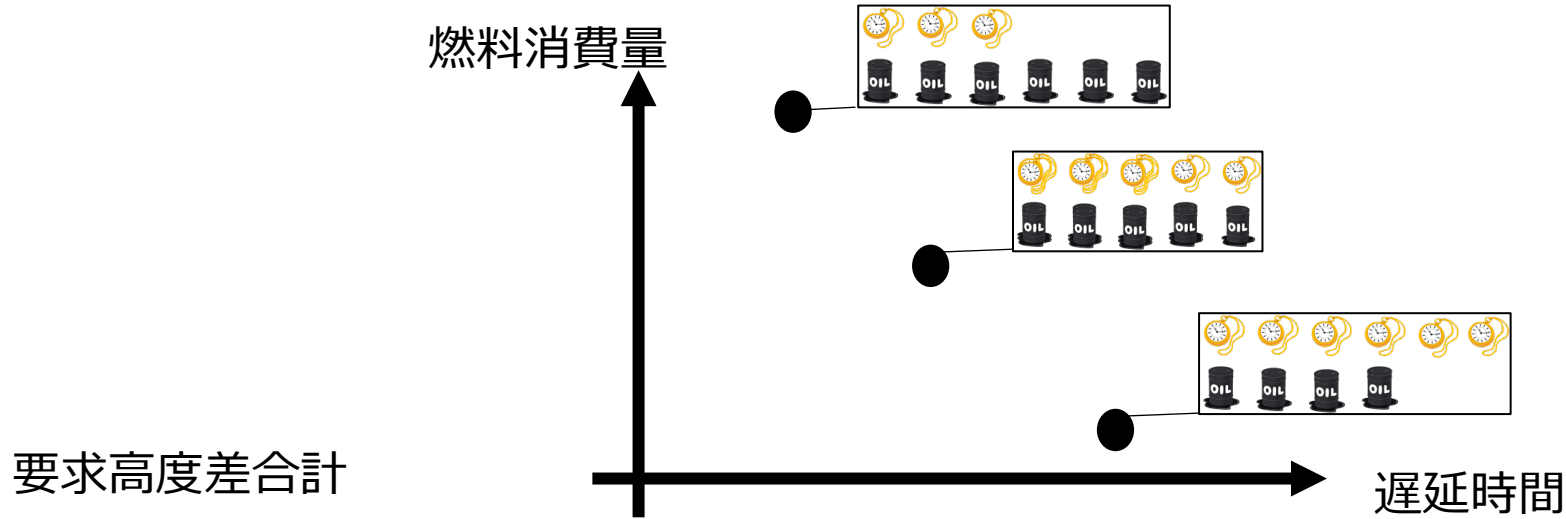
合計遅延時間



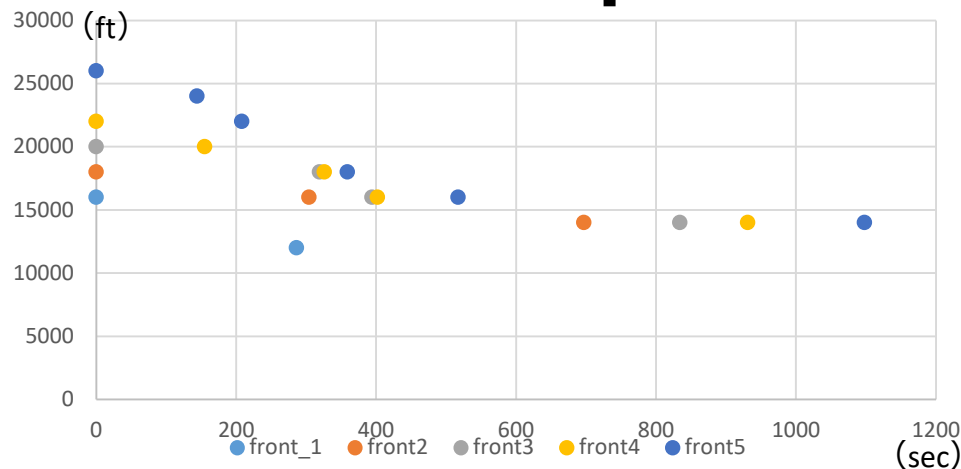
合計燃料消費量



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