

CARATSオープンデータ活用促進フォーラム

# 離陸時刻と下降区間距離を考慮した 航空交通流の多目的最適化

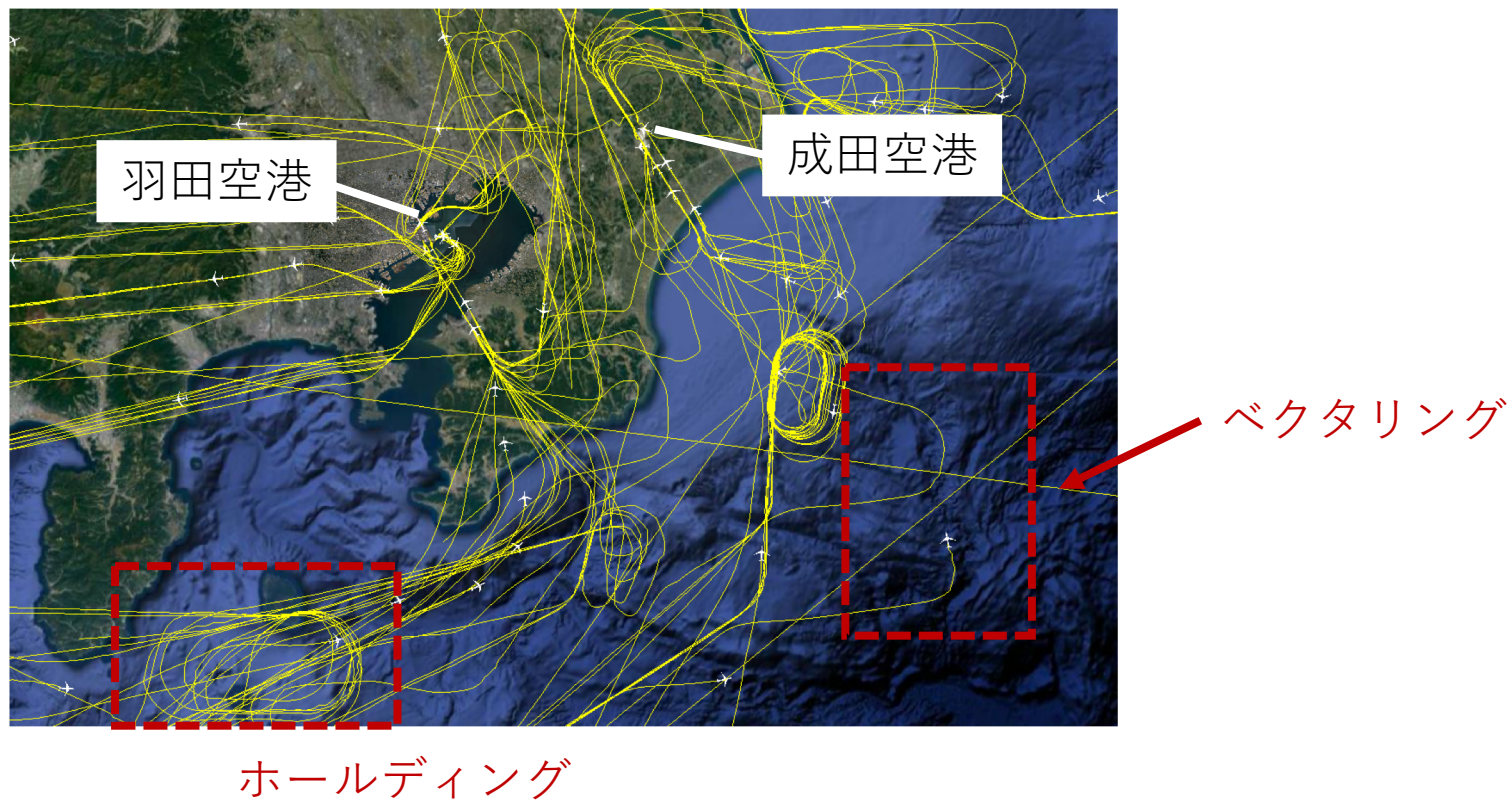
松本千尋，関根将弘，立川智章，藤井孝藏

東京理科大学

2019年11月27日

# 研究背景

## 航空機渋滞の影響



着陸許容量や安全間隔保持のために飛行距離を延ばして時間調整を行う

→ 遅延, 消費燃料が増加する

# 目的

---

下降区間距離の遅延時間と消費燃料への影響を評価する

## 方針

1. 離陸時刻と下降区間距離を最適化する
  - 最適化手法：多目的進化計算
  - モデル：Step Back Cellular Automaton（長岡ら, 計算力学講演会, 2018）
2. 最適化結果から，離陸時刻と下降区間距離がどのように影響するのかを分析する

# 対象範囲

羽田空港に着陸する国内線，1日分のシミュレーション

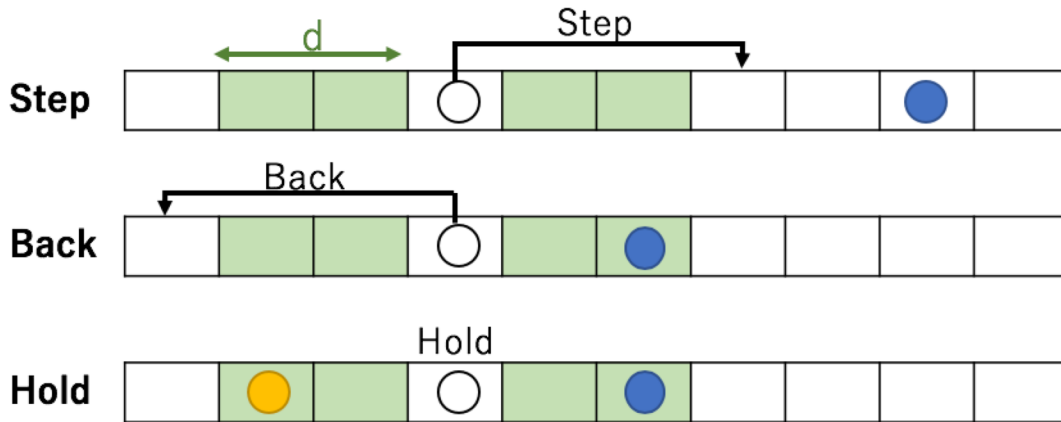


- 航空機は定められたルート上を航行する
- 合流を繰り返し羽田空港に着陸する

	北方ルート	南方ルート
最終合流点	STONE	DIIVA
出発空港数	17	31
航空機数	144	435

# SBCAモデル

- Step Back Cellular Automaton (長岡ら, 計算力学講演会, 2018)
- 航空機の現象をセルオートマトンを用いて簡単なルールでモデル化
- 航空機の進行方向の動きをStep, Back, Holdの3つで表す
- 挙動はBADA(Base of Aircraft Data)にしたがう



時間刻み幅 $\Delta t$ [秒]	1	
進行方向のセル長 [m]	70	
前方後方間隔 $d$ [mile]	上昇時	1
	巡航時	5
	下降時	3

# 最適化の問題設定

## 目的関数

最小化

$f_1$  : 遅延機の平均遅延時間 [s]

$f_2$  : 航空機の平均消費燃料 [kg]

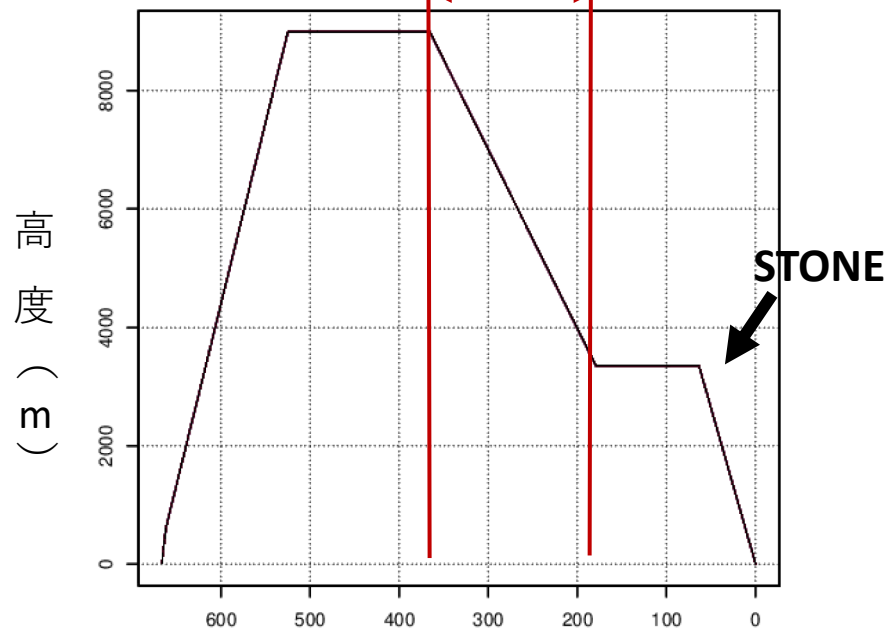
$f_3$  : 遅延機数の割合 [s]

## 設計変数

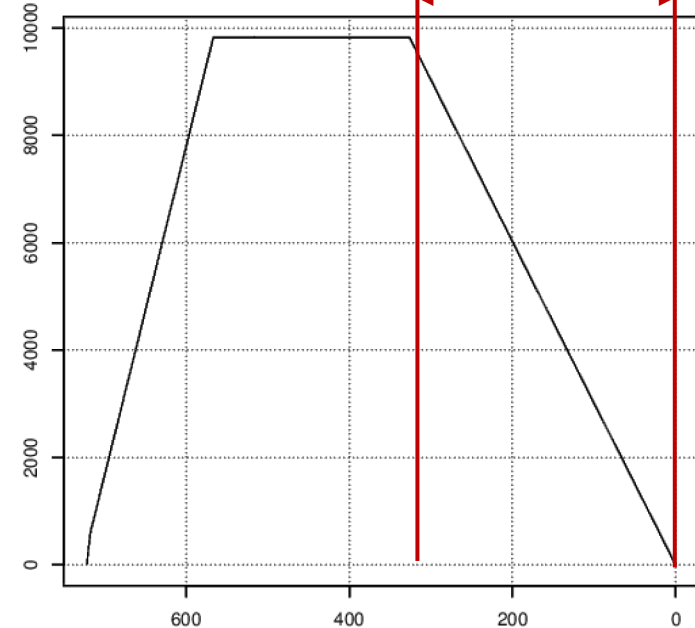
$t$  : 予め定められた離陸予定時刻との  
時間差 [s]

$distance$  : 下降区間の長さ [km]

## 北方ルート



## 南方ルート



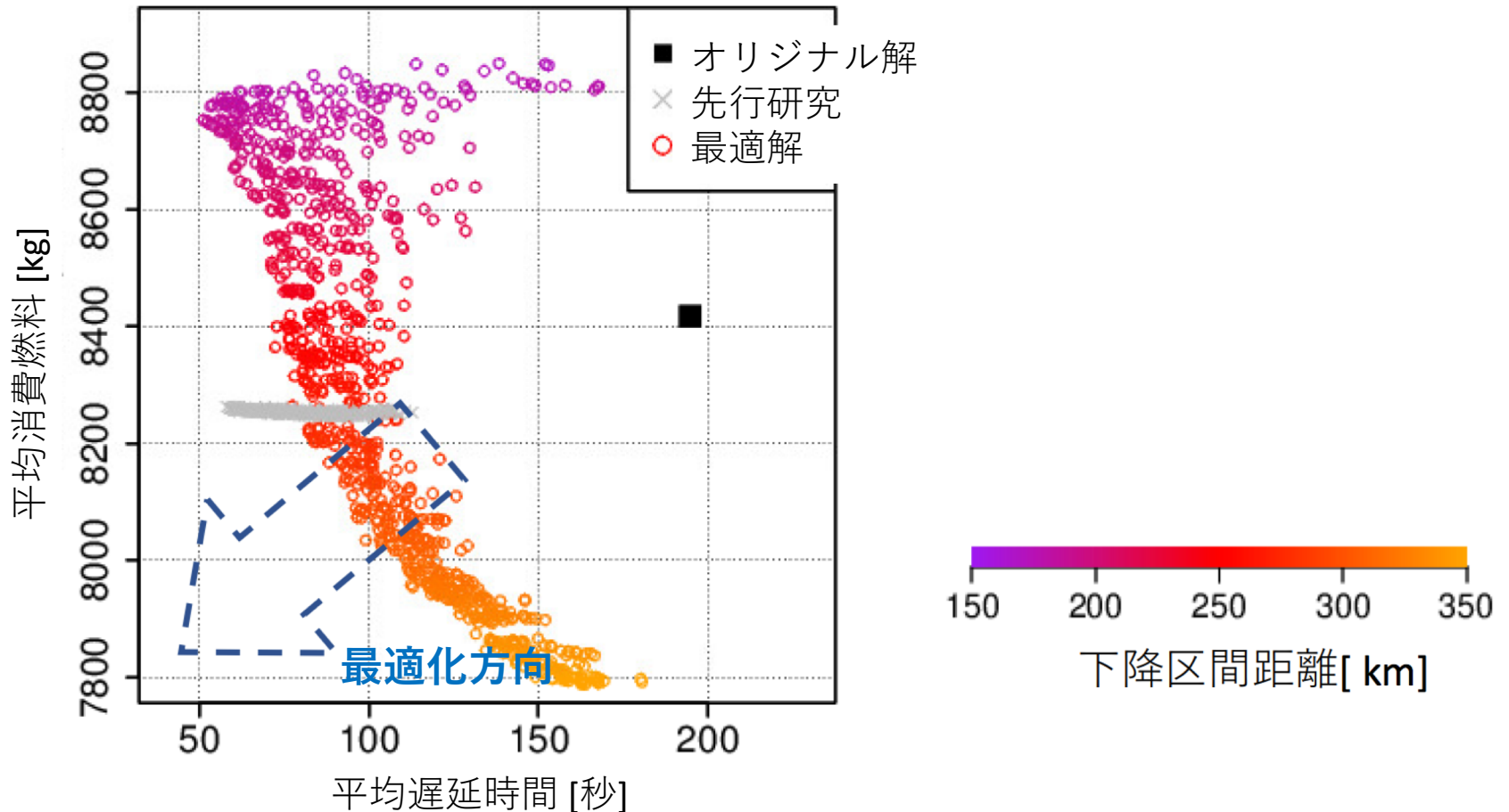
# 最適化の計算条件

関根ら, 計算力学講演会, 2018

		最適化前	先行研究	共通	出発空港ごと
最適化手法		-	NSGA-II	NSGA-II	NSGA-II
集団サイズ		-	200	200	200
世代数		-	200	200	200
試行数		-	1	1	1
設計変数 (離陸時間差)	個数	-	579	579	579
	範囲 [秒]	0	[-300, +300]	[-300, +300]	[-300, +300]
設計変数 (下降区間距離, 北)	個数	-	-	-	17
	範囲 [km]	186	186	186	[110, 186]
設計変数 (下降区間距離, 南)	個数	-	-	1	31
	範囲 [km]	250	250	[150, 350]	[150, 350]

# 最適化結果

(南西方向からの航空機の下降区間を共通にしたとき)

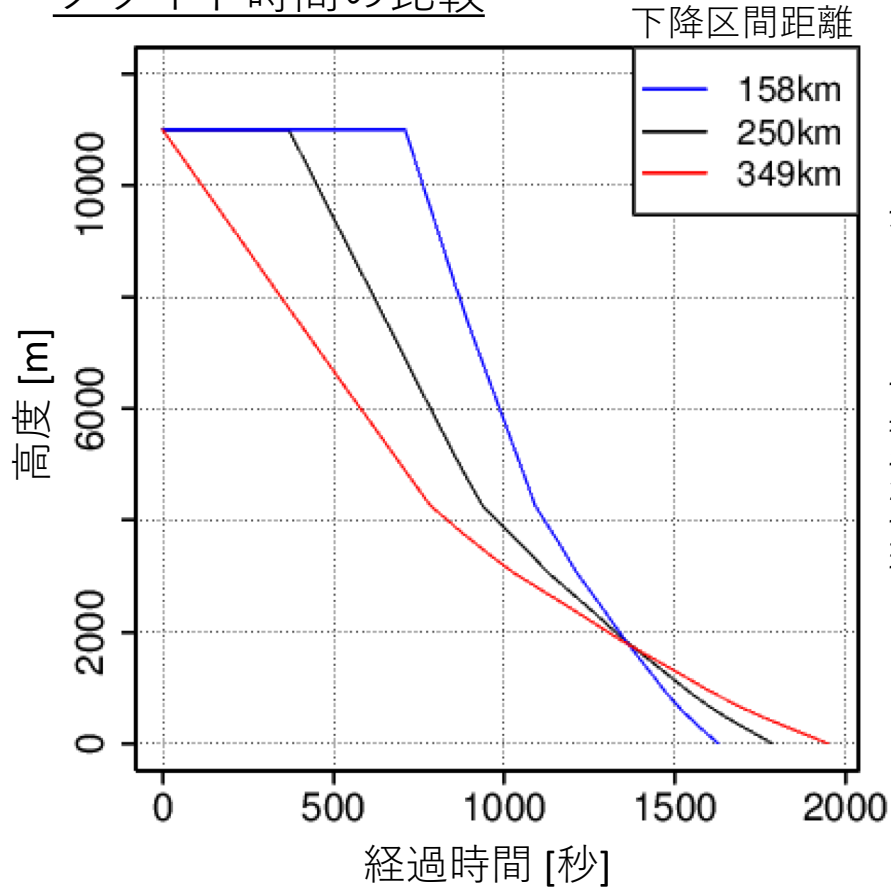


下降区間距離が遅延や消費燃料に大きな影響を与えている



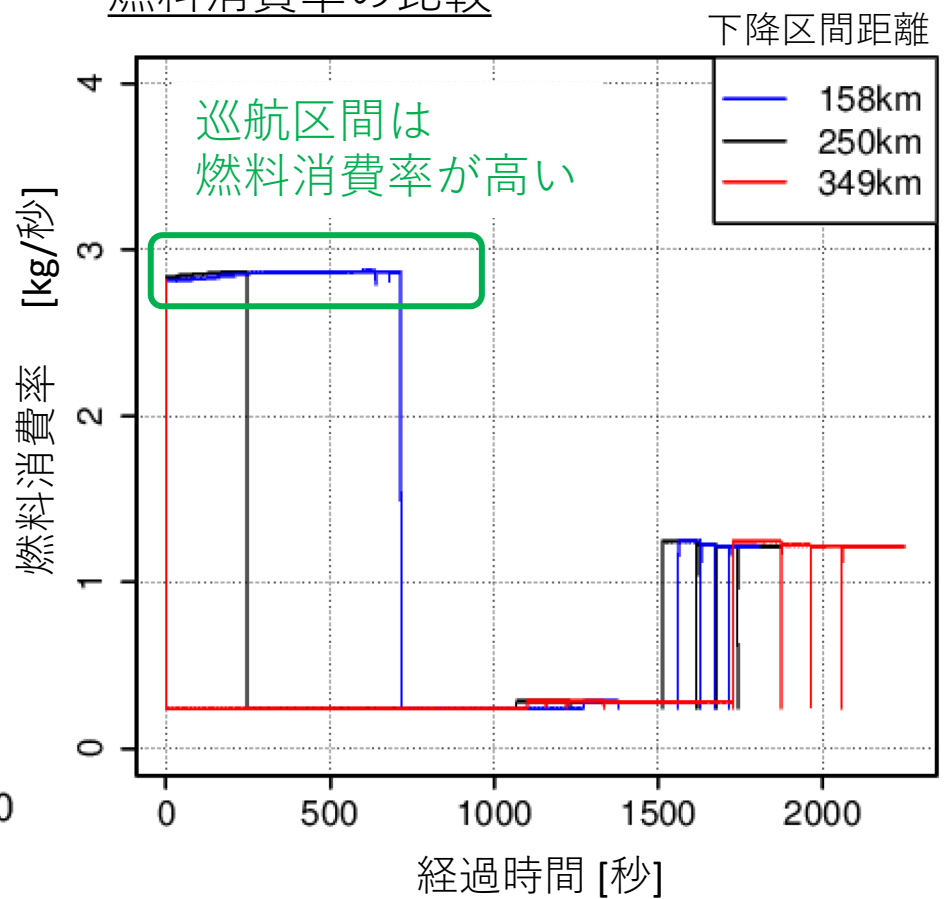
# 下降区間距離の影響

## フライト時間の比較



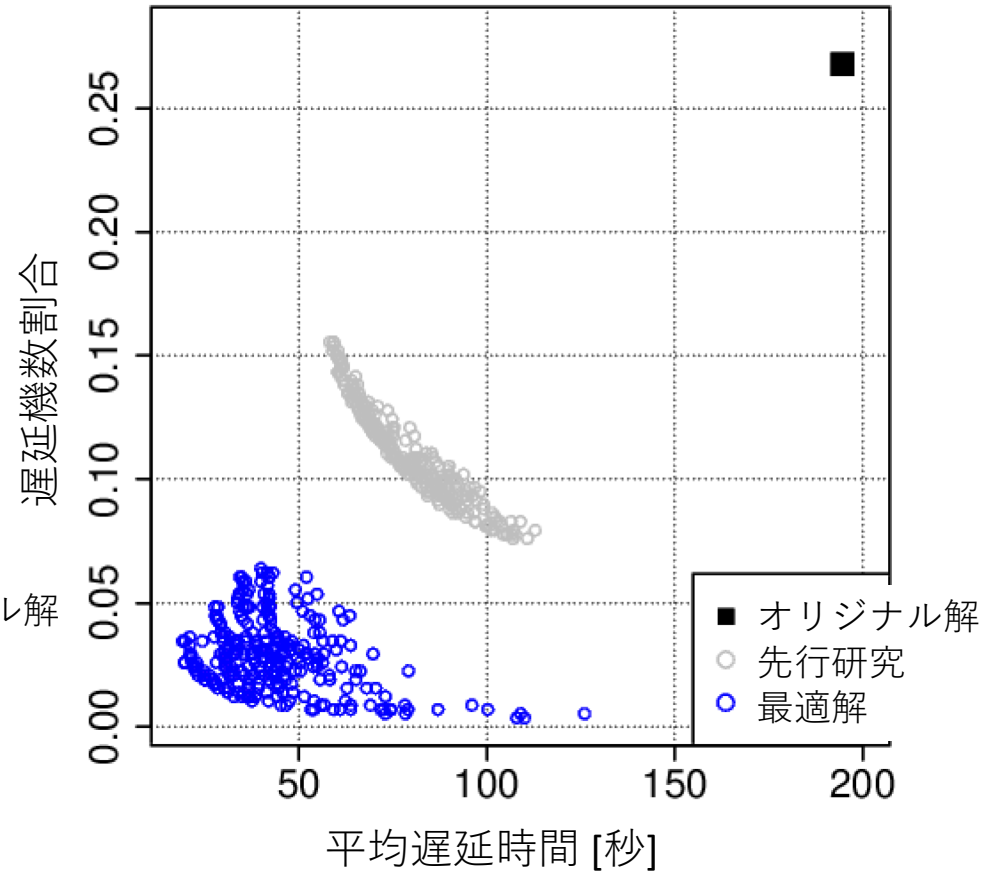
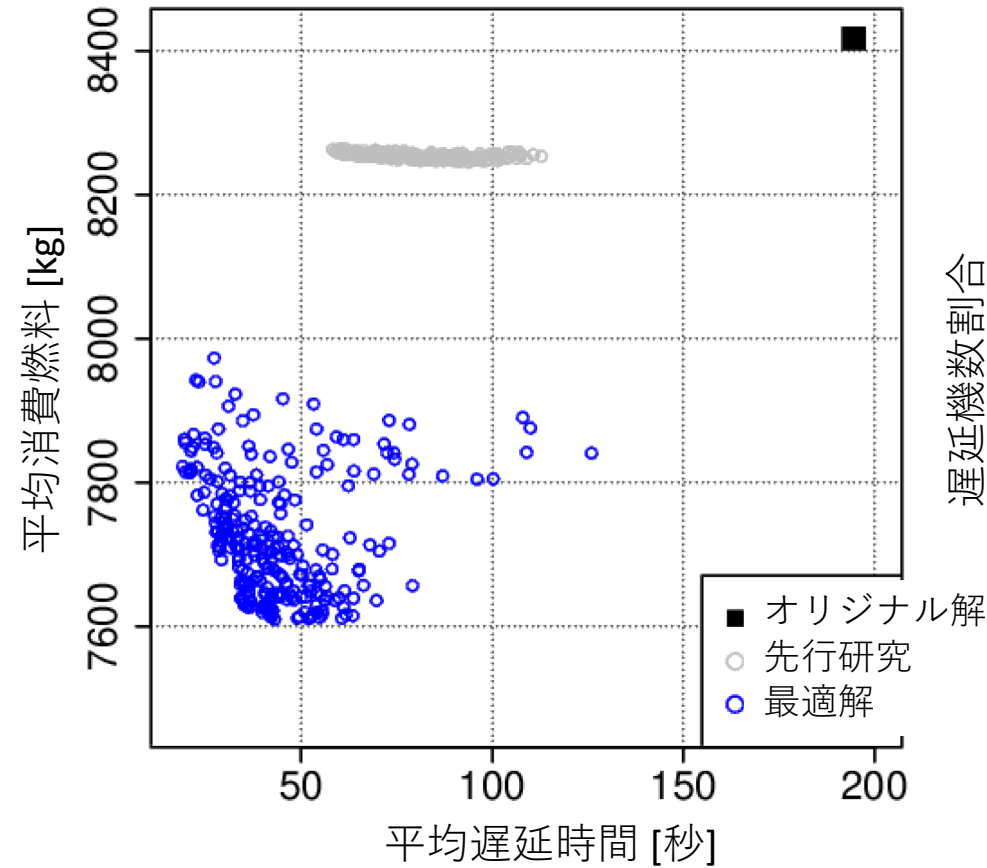
下降区間が短いほど、  
フライト時間も短くなる

## 燃料消費率の比較



下降区間が長いほど、  
消費燃料を抑えることができる

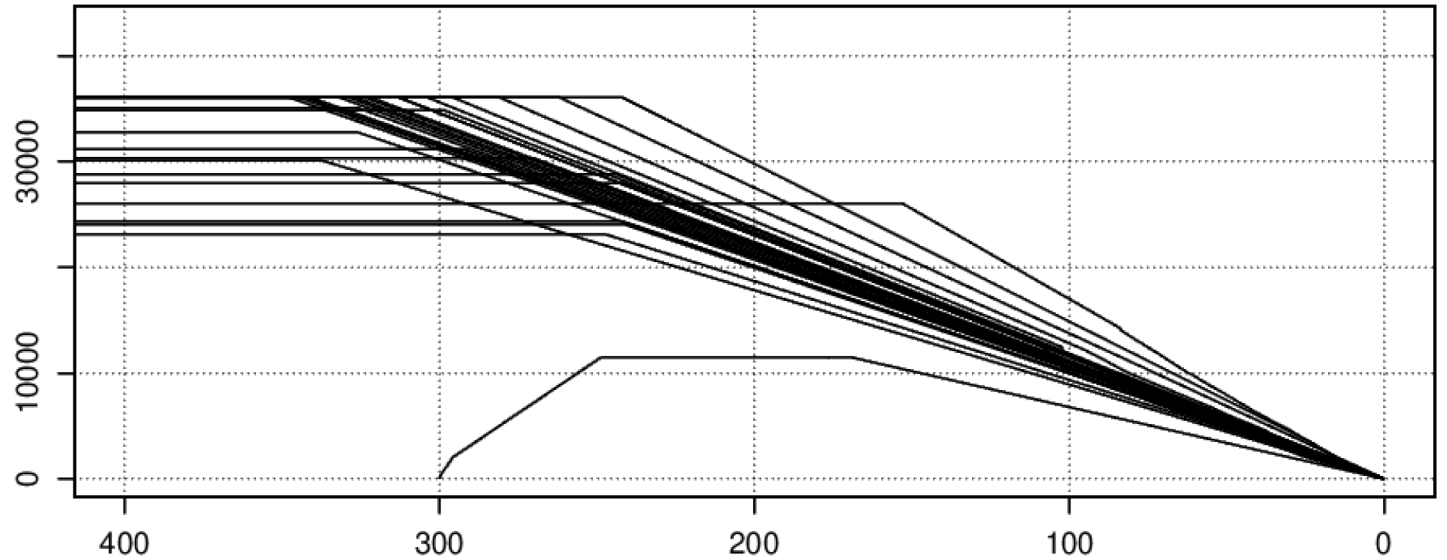
# 最適化結果 (出発空港ごとに下降区間距離を設定したとき)



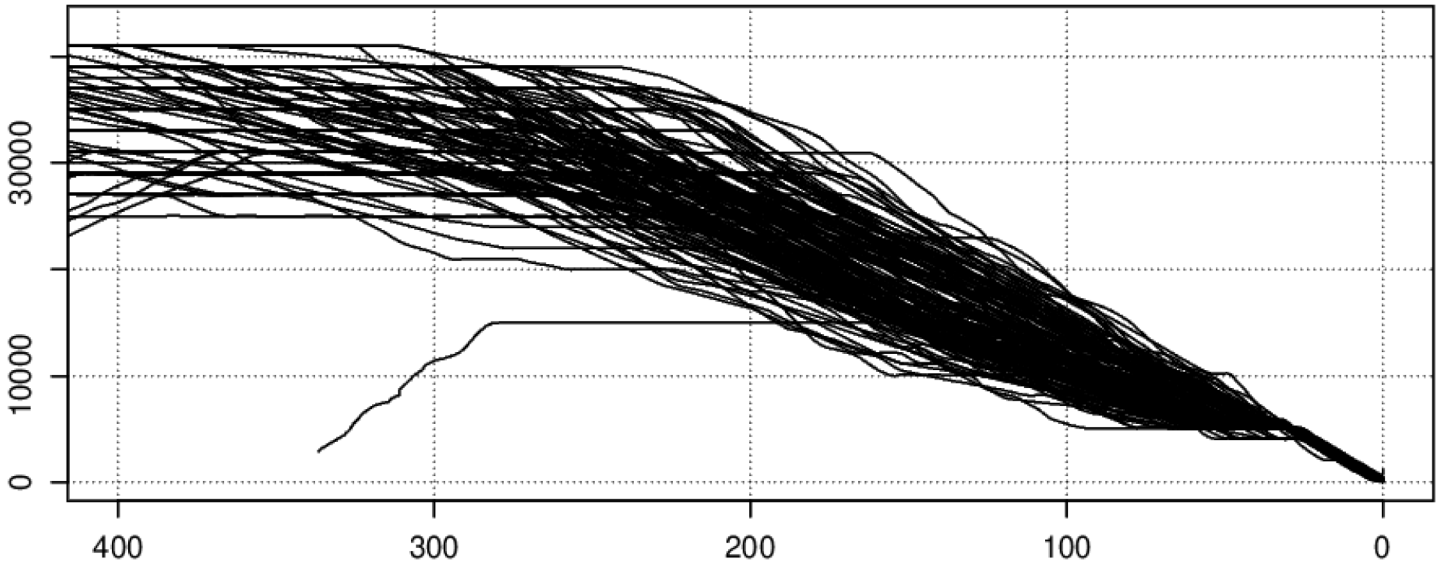
# 最適化結果との比較（南西方向の全航空機）

遅延時間  
最小解

高度 [ft]



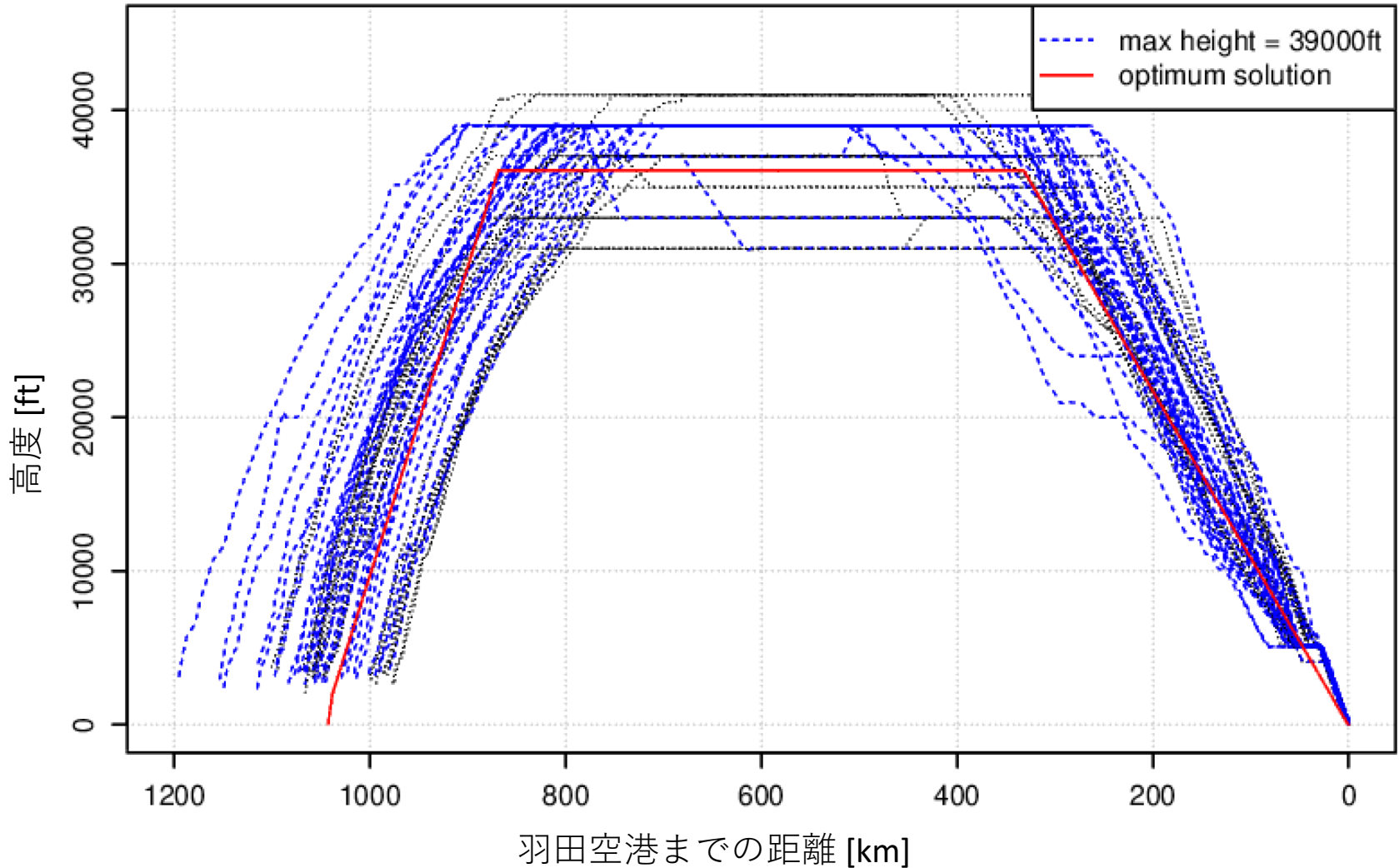
CARATS  
2012年5月7日  
ADDUM経由便



羽田空港までの距離 [km]

# 最適化結果との比較

福岡空港発の航空機の挙動を比較する



# まとめ

---

**セルオートマトンを用いて航空交通流の多目的最適化をし、  
下降区間距離が遅延や消費燃料に与える影響の分析を行った**

## 最適化結果より

- 下降開始位置が遅延と消費燃料に影響を与えていることがわかった
  - 遅延時間と消費燃料にはトレードオフ関係がある
  - 飛行速度の遅い下降区間を短くすることで、フライト時間が短縮され遅延時間を減らすことができる
  - 燃料消費率の低い下降区間を長くすることで、消費燃料を減らすことができる

## CARATSとの比較より

モデルの妥当性と最適化結果の有効性を示した