

# 気象予報データの 利用者選択経路の導出に 与える影響



中村 陽一

ビクラマシンハ ナヴィンダ キトマル

瀬之口 敦

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所  
電子航法研究所 航空交通管理領域

# 発表内容

---

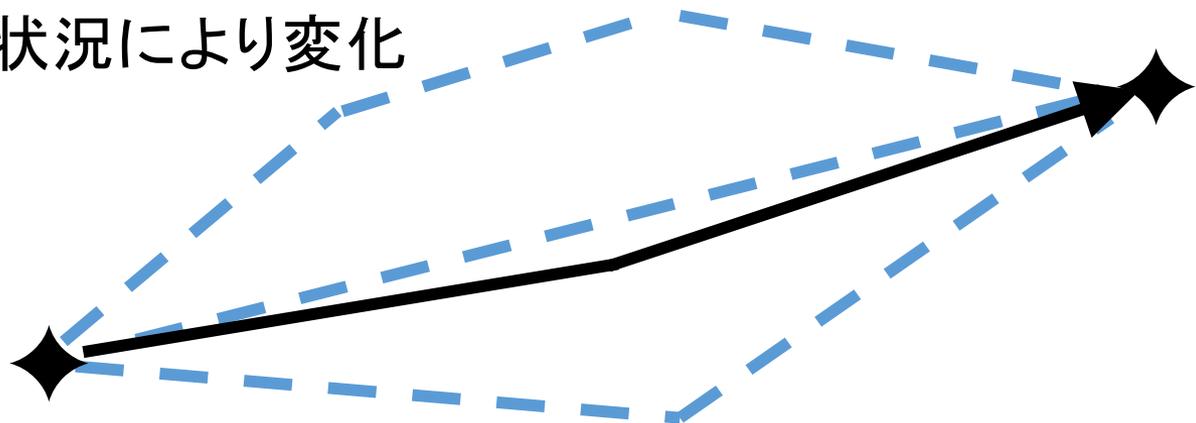
## UPRに対する気象予報データの影響

- 研究背景
  - 利用者選択経路 (UPR)
- 利用データ・計算手法
  - 飛行計画システム (FPM) データ, 気象データ
  - 経路の最適化手法
- 解析結果
  - 計算手法の妥当性
  - 羽田→那覇におけるUPRの便益
  - 気象予報データの経路への影響
- まとめ

# 研究背景

- CARATS (Collaborative Actions for Renovation of Air Traffic Systems)
  - 将来のビジョン: 多様化するニーズへの対応
    - 安全性, 効率性, 脱炭素への取り組み
- 利用者選択経路, UPR (User Preferred Route)
  - 固定経路ではなく, 状況に応じた経路
    - 特定の2点間 (Origin - Destination) を結ぶ
    - 飛行距離, 時間, 燃料の削減, CO2削減等
  - ※多数の研究開発, 実証例あり(洋上, 欧州のFRA等)

— UPR候補: 状況により変化  
— 固定経路



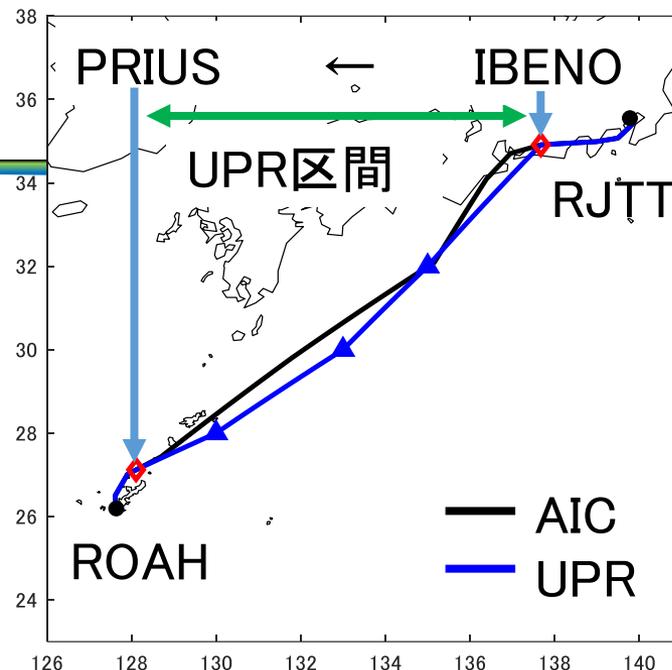
# 研究目的

- 国内での導入に向けた課題
  - 航空機側での経路の算出
    - 計算方法, 気象データの種類→便益への影響
  - 管制運用における問題→今後の課題
    - 管制負荷, 他の交通流との関係
- 気象の経路算出へ与える影響を明らかにする
  - 経路計算方法の確認
    - 実運航で利用されるFPMシステムの出力と比較
  - 異なる気象を前提に最適経路を算出
    - 経路の差異や時間, 燃料への影響を調べる
- 羽田→那覇の一部区間のUPRを仮定

# FPMデータ(JAL提供)

- 飛行計画システム
  - UPR計算機能を有する
    - WPは整数値, 2~3点
  - 算出条件
    - 11時(JST)羽田発
    - 巡航高度:40,000ft
    - AICおよびUPRの2通り
    - 合計90便(2021年6~8月)
  - パフォーマンスデータ
    - 時間(分単位)
    - 燃料(100lbs単位)

※UPR区間: 約98分の飛行  
PRIUSの時点では降下



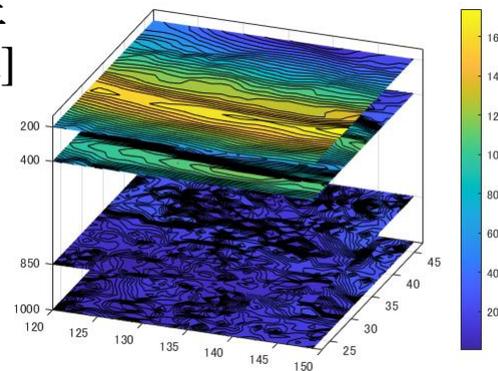
パフォーマンス(一部抜粋)

FL	WP	累積時間 [min]	残燃料 [klbs]
	RJTT	0	31.9
400	IBENO	22	24.4
400	TOHME	24	24.2
400	TONAR	81	15.6
DS	PRIUS	113	11.6

# 気象データ

- MSM (メソ数値予報モデル)
  - 格子点における気象データ
    - 風, 気温等
    - 3時間ごとに提供
      - 実況値 ~ 39時間予報

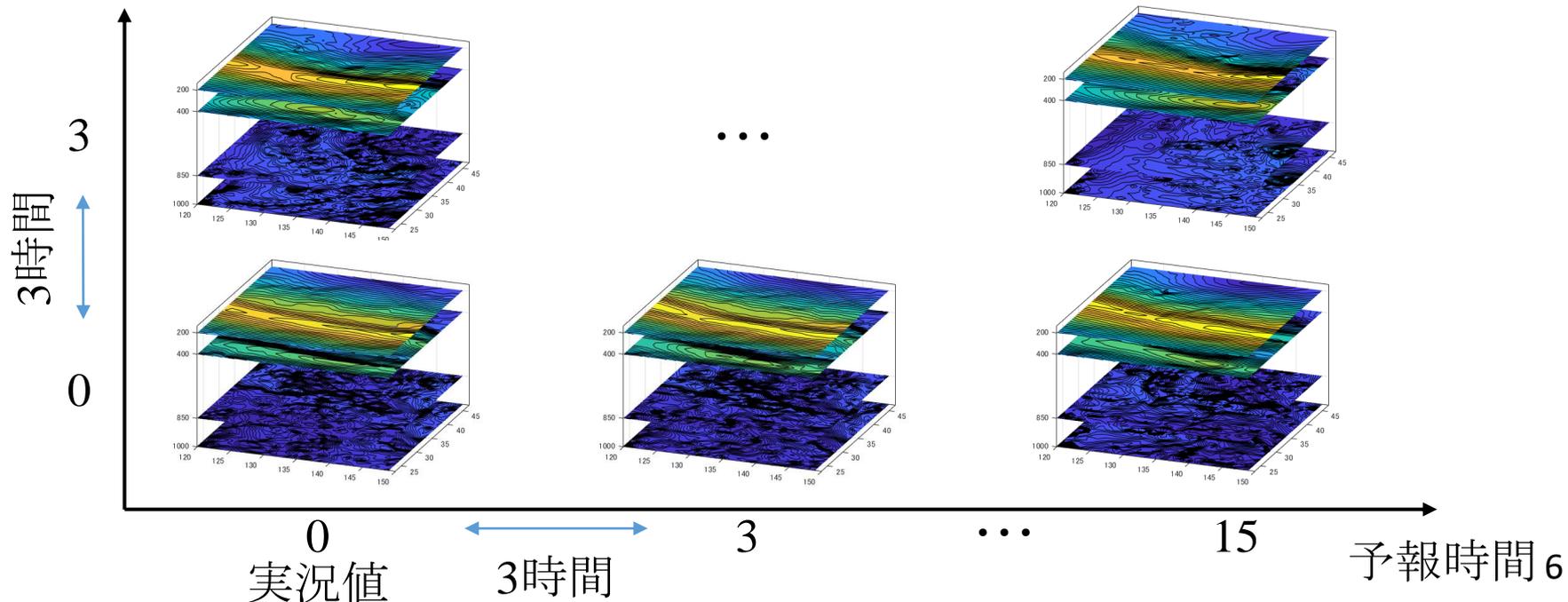
気圧  
[hPa]



風データイメージ

現在時刻

(※00,12時のみ51時間予報)



# 気象データ

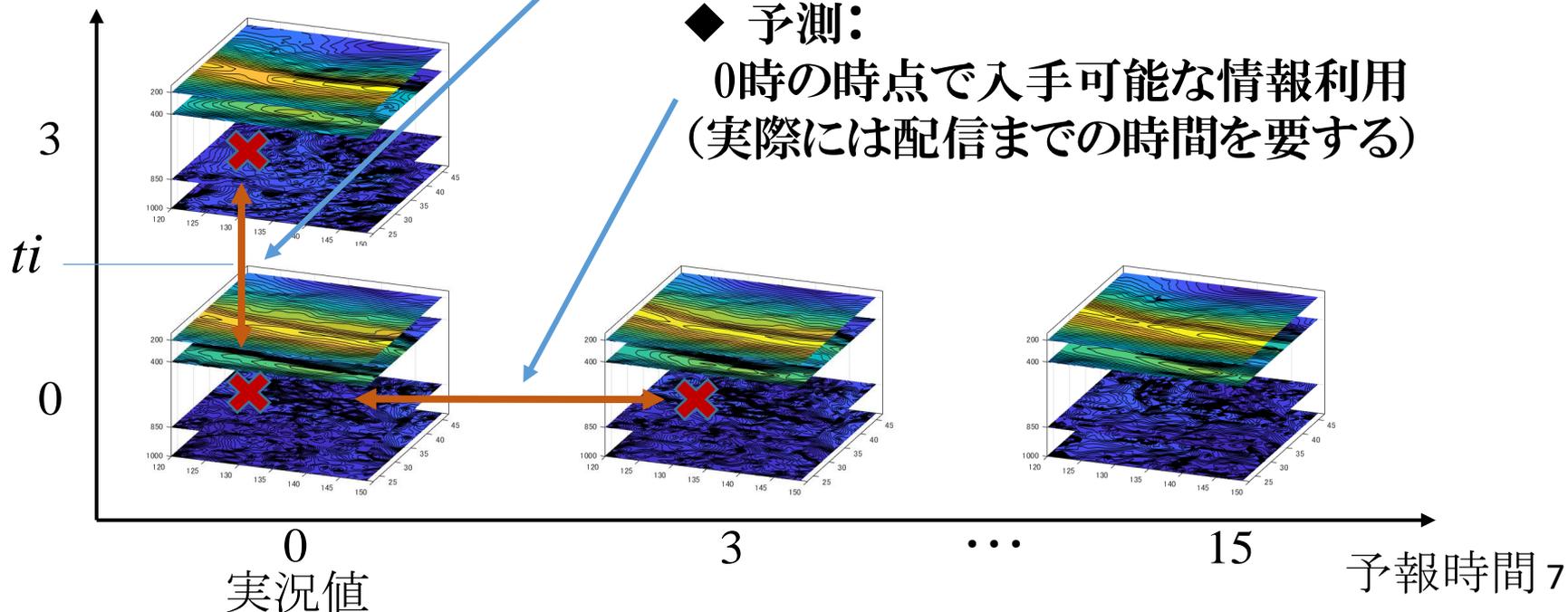
- 風の補間

- 空間補間：水平，高度方向に線形補間
- 時間補間：指定時刻を挟むデータから線形補間

◆ 事後解析：高精度  
 $t_i$  の時点で3時の情報は不明

◆ 予測：  
0時の時点で入手可能な情報利用  
(実際には配信までの時間を要する)

現在時刻



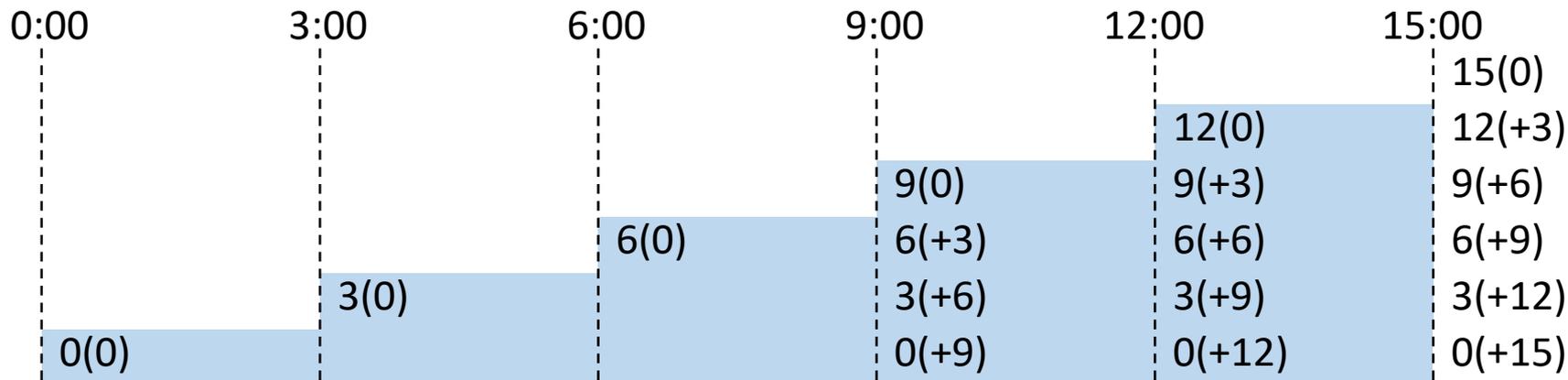
# 気象データ

- 利用した気象データ種別
    - 比較, 検証用: 最も実環境に近い
      - 9, 12, 15時の実況値
    - 気象の影響の調査用: 2種類
      - 予報データを利用→補間(TP)
        - 例. TP3: 3時の時点の予報
- ※実際はデータ配信の時間が生じる
- ある瞬間の気象(TF)
    - 例. TF3: 3時の気象

種別	時刻
T0 (真値)	9(0), 12(0), 15(0)
TP1	9(0), 9(+3), 9(+6)
TP2	6(+3), 6(+6), 6(+9)
TP3	3(+6), 3(+9), 3(+12)
TP4	0(+9), 0(+12), 0(+15)
TF1	9(0)
TF2	6(0)
TF3	3(0)
TF4	0(0)

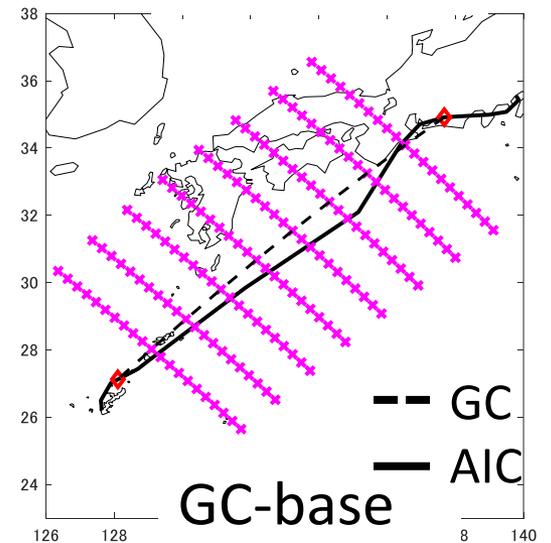
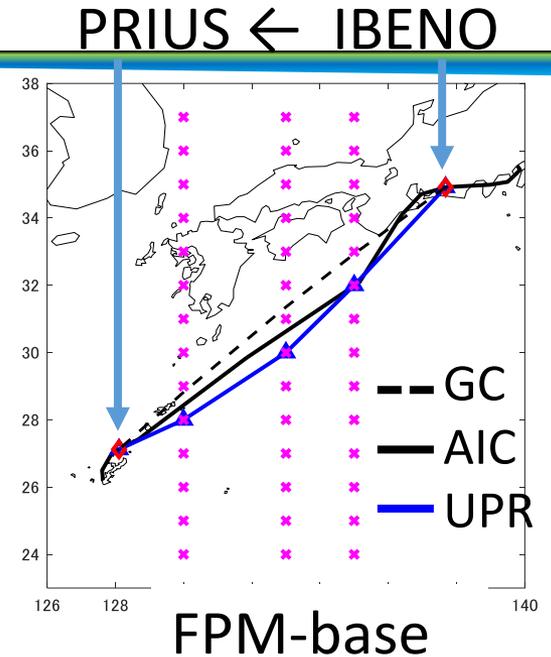
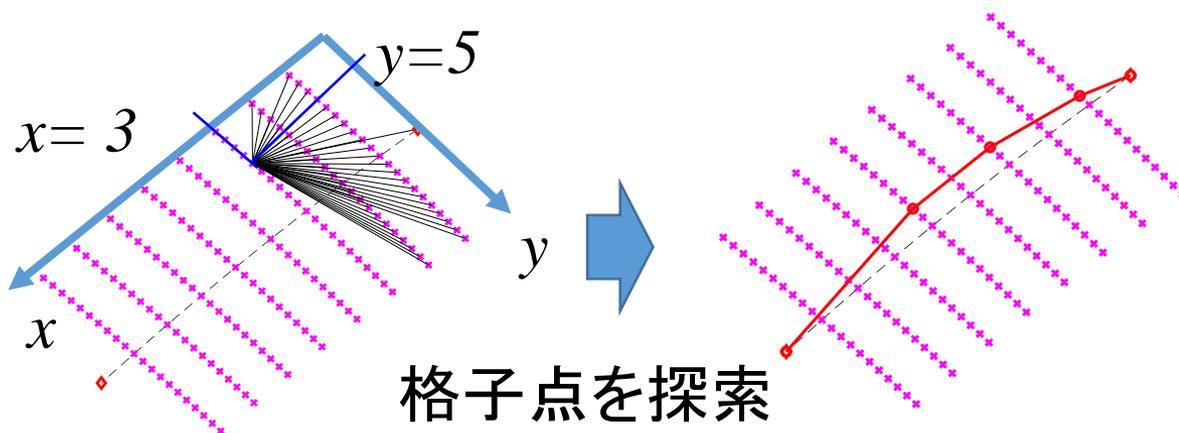
補間無

飛行の  
11時間前



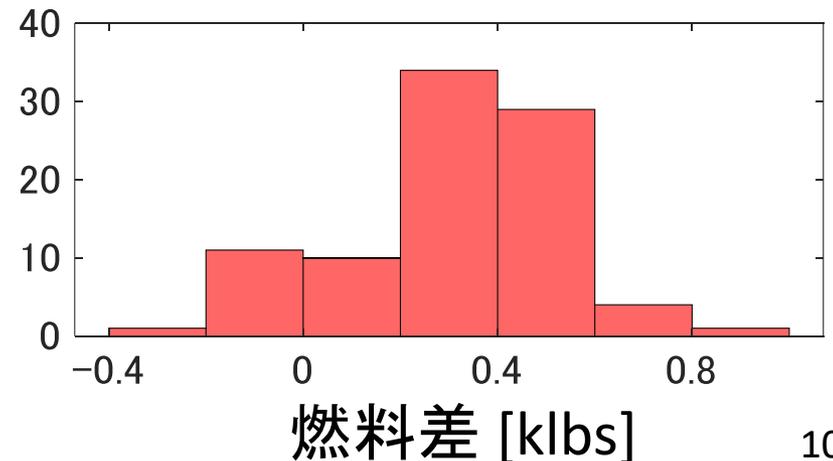
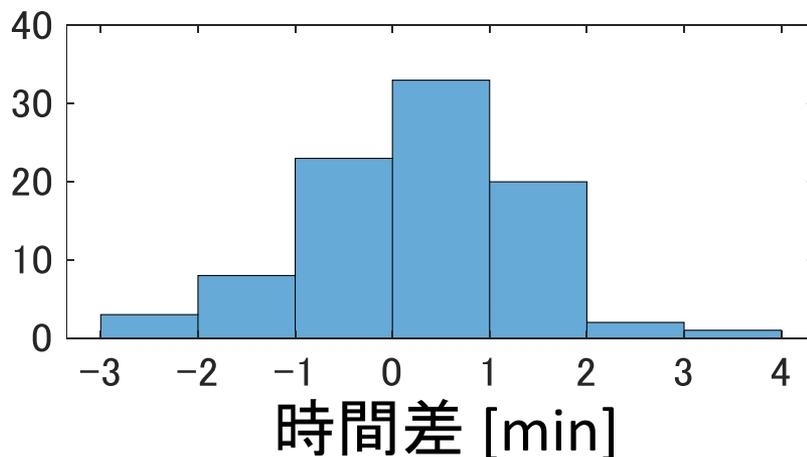
# 経路最適化の手法

- 計算条件
  - BADA Family3 (Base of Aircraft Data)
  - 一定高度, 一定マツハ数
- 最適経路の探索 (動的計画法)
  - FPM-base (FPMと比較用)
    - 指定経度の整数値のみ
  - GC-base
    - 大圏経路を基準



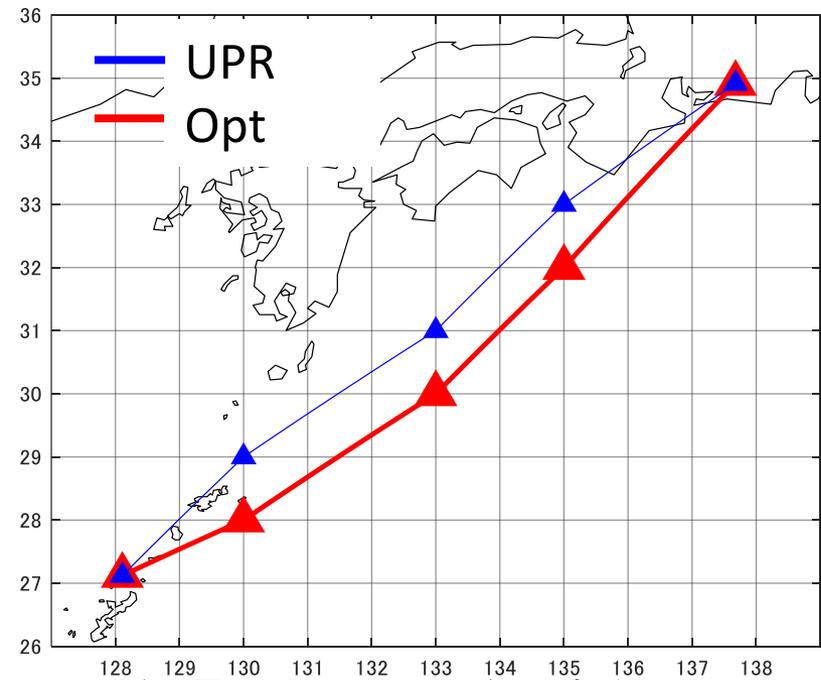
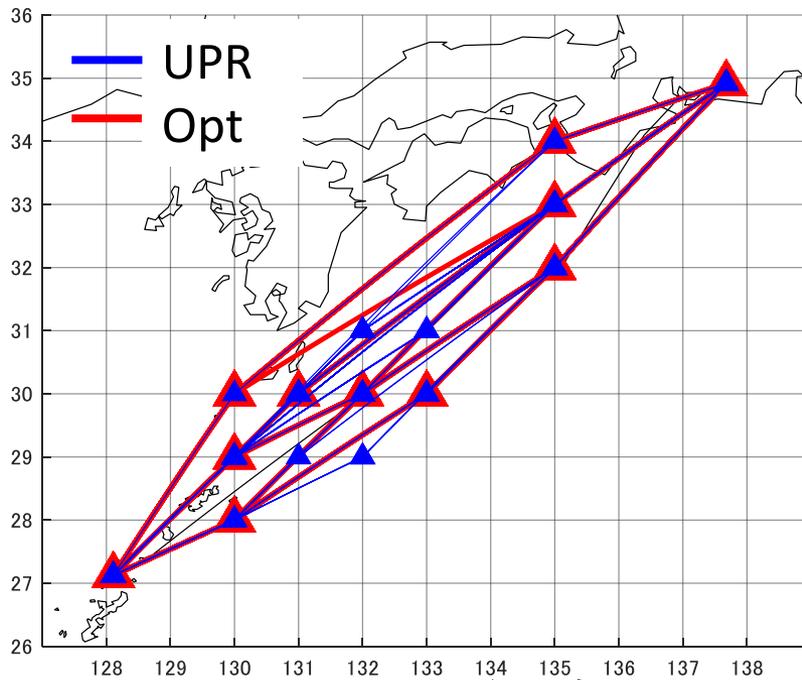
# FPMとの比較

- 同一経路 (AIC経路) でFPMと計算結果を比較
  - FPM: AIC経路に沿った飛行のシステム出力
    - 時間:分単位, 燃料:100lbs単位
  - SIM: 同一の経路, MSM実況値(T0)を利用
    - 一定高度 (FL400), 一定マッハ数 (0.85)
  - 時間差 ( $T_{SIM} - T_{FPM}$ ), 燃料差 ( $F_{SIM} - F_{FPM}$ )
    - 概ね近い傾向, SIMの燃料が若干多め
      - PRIUS直前の降下局面の無視が要因の一つ



# FPMとの比較

- FPMによるUPRと最適経路の比較
  - UPR:FPMにより出力された経路
  - Opt:動的計画法により導出した最適経路
  - ✓ FPMと概ね近い経路が算出できることを確認



# 羽田→那覇におけるUPRの便益

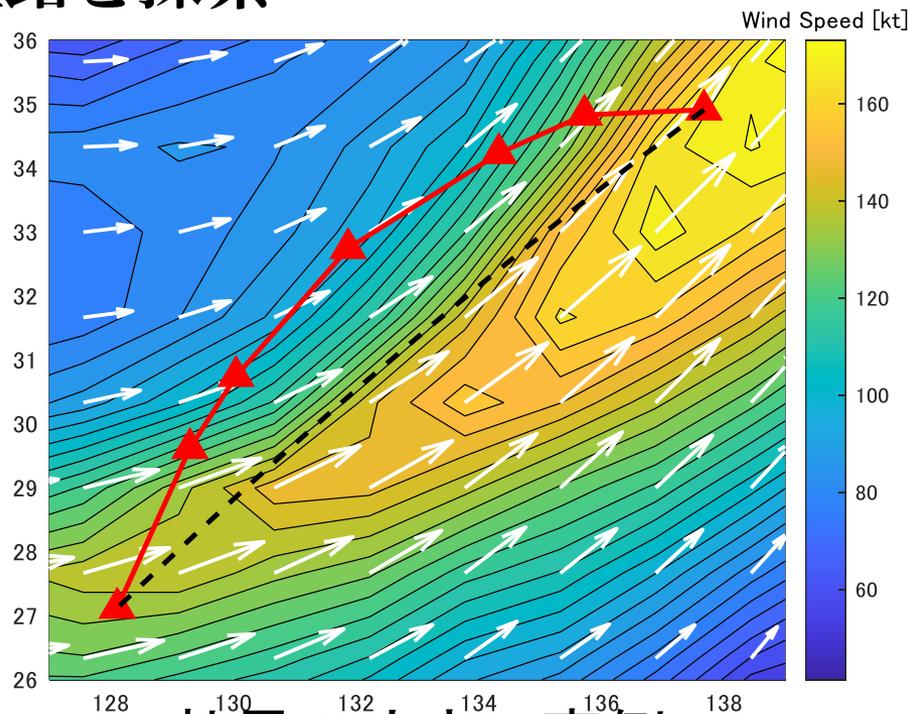
- UPRによる潜在便益

- 始点:IBENO, 終点:PRIUS

- 初期時刻:11時(JST), 2021年の365日分

- 一定高度(FL400), 一定マッハ数(0.84)

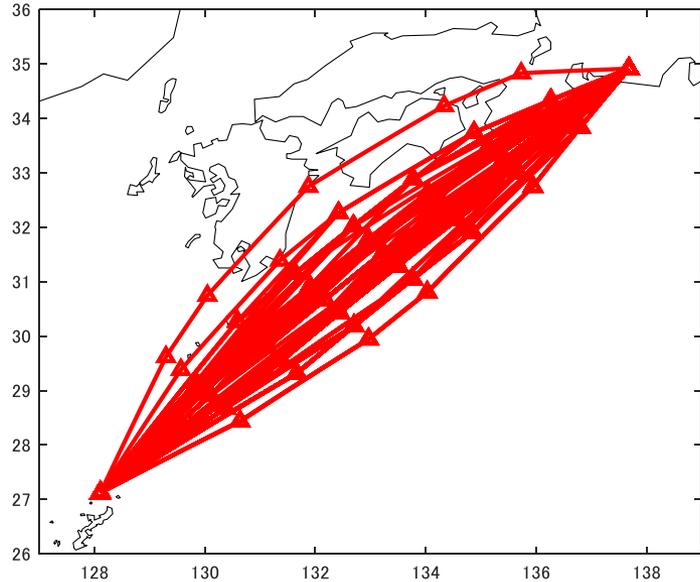
- 最適経路を探索



効果の大きい事例

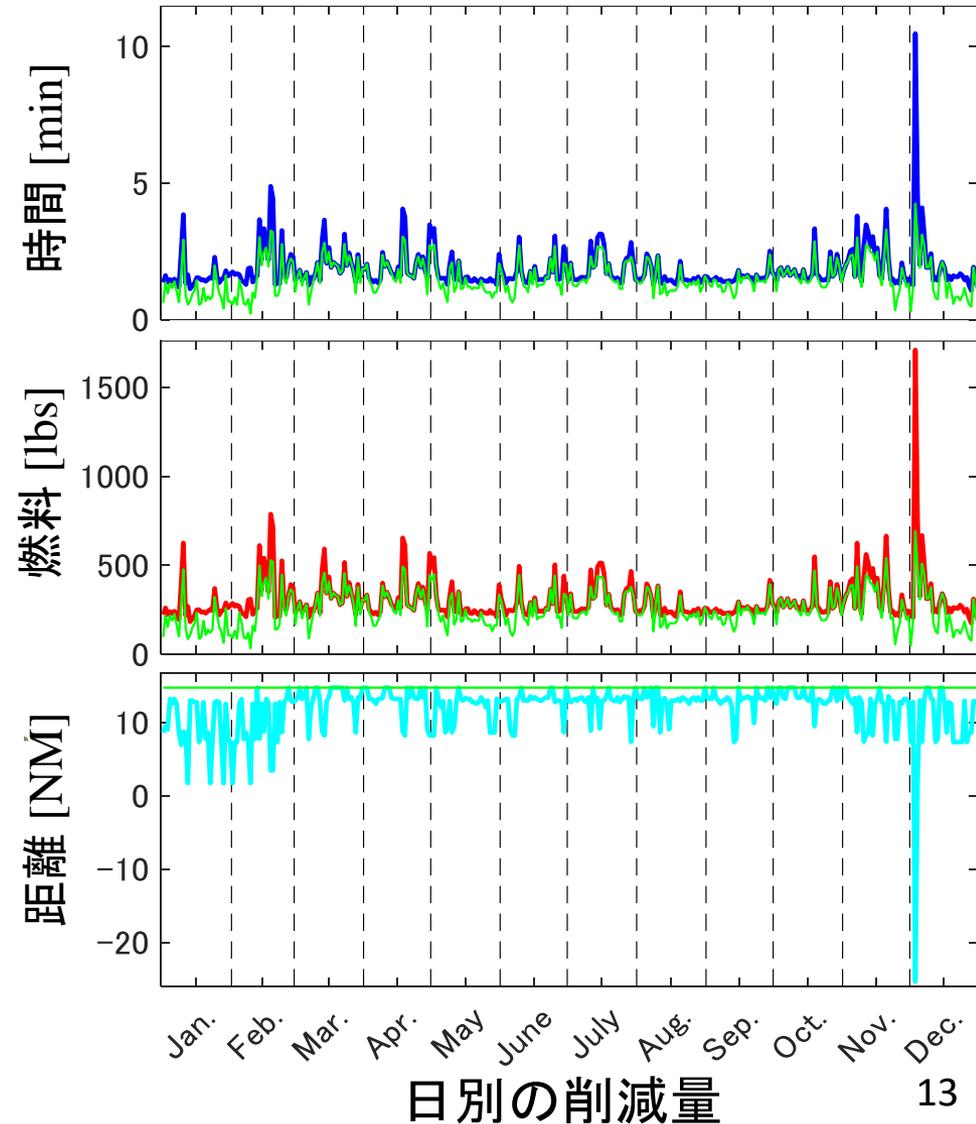
# 羽田→那覇におけるUPRの便益

## ● 最適経路 (365ケース)



AIC経路と比較した削減量

	最適		大圏	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.
時間	1.85	0.76	1.55	0.62
燃料	302	124	253	101
距離	11.99	3.34	14.77	0



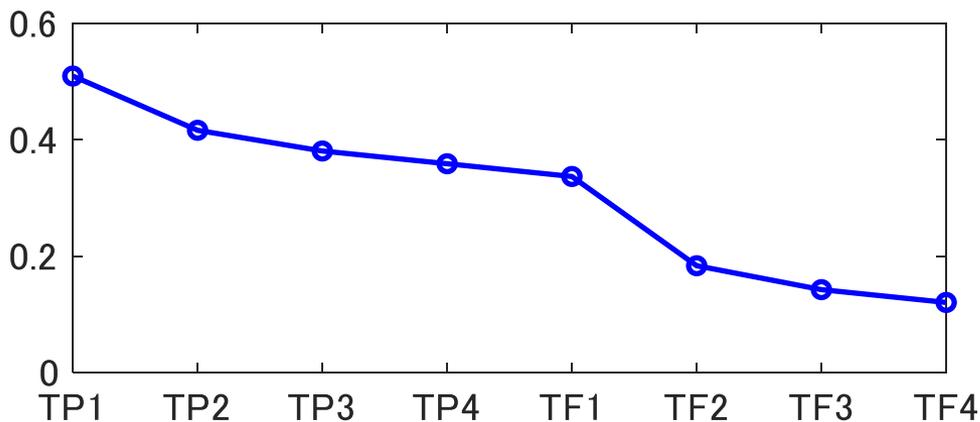
# 気象データによる影響

- 最適経路の算出に与える影響
  - 算出に利用する気象データを変化
    - 実況値(T0)を真値と仮定
    - データの時間, 補間の有無の異なる8ケースと比較
  - 1. 計画時の誤差
    - 8ケースの気象を利用→最適化
      - 算出される経路の違い
      - 時間, 燃料の予測の違い
  - 2. 実際に飛行した時の誤差
    - 全て実況値(T0)を利用
      - 1. で算出した経路を飛行
      - 時間, 燃料の違い

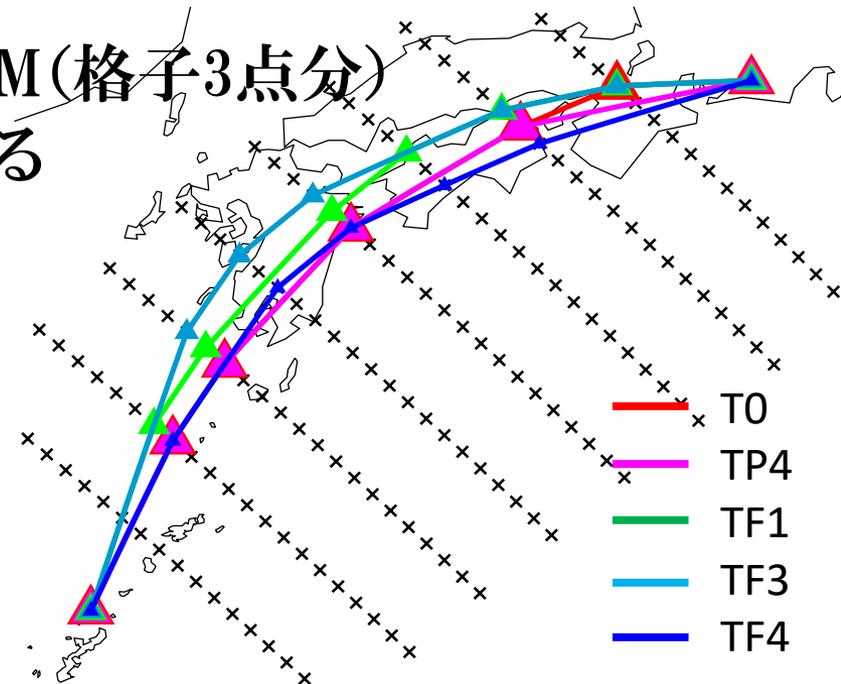
種別	時刻
T0 (真値)	9(0),12(0),15(0)
TP1	9(0),9(+3),9(+6)
TP2	6(+3),6(+6),6(+9)
TP3	3(+6),3(+9),3(+12)
TP4	0(+9),0(+12),0(+15)
TF1	9(0)
TF2	6(0)
TF3	3(0)
TF4	0(0)

# 気象データによる影響

- 計画時の経路の違い
  - 異なる気象を利用→異なる経路が算出される
    - 直前の予報データを利用→半分以上は同じ経路
    - 補間なしのある瞬間の気象を利用→大きく下がる
  - 経路に対する差は小さい
    - 横方向誤差が最大で60NM(格子3点分)
    - 概ね近い経路が算出される



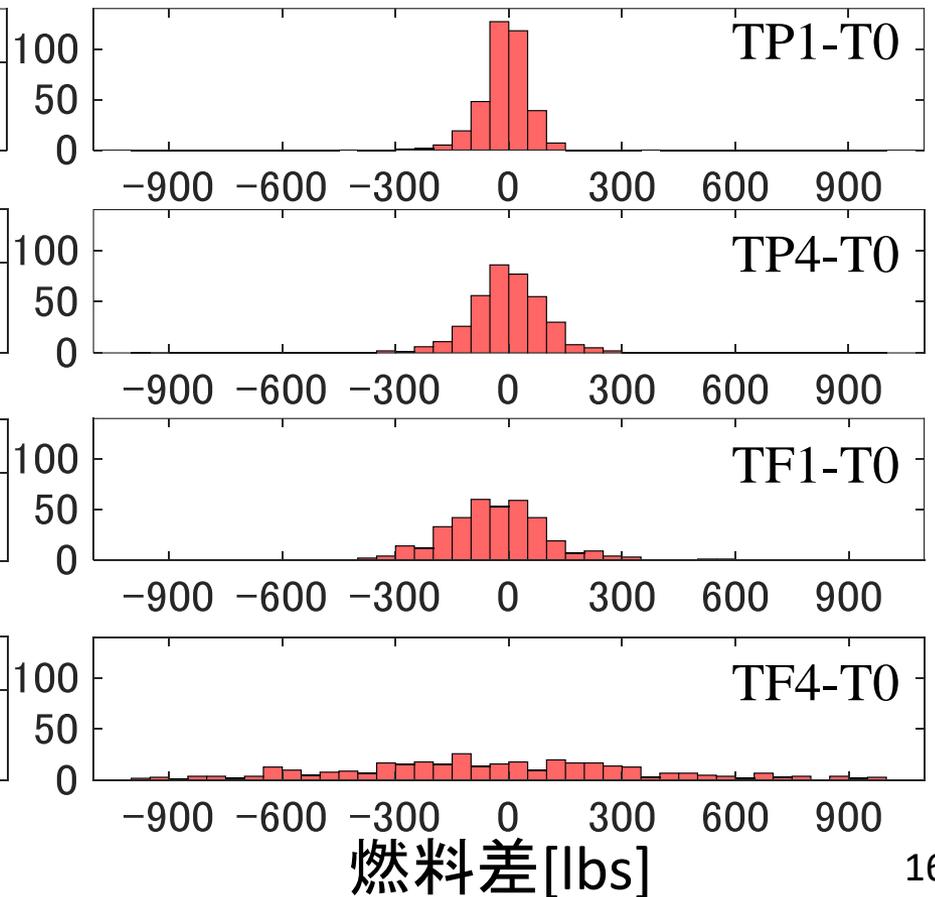
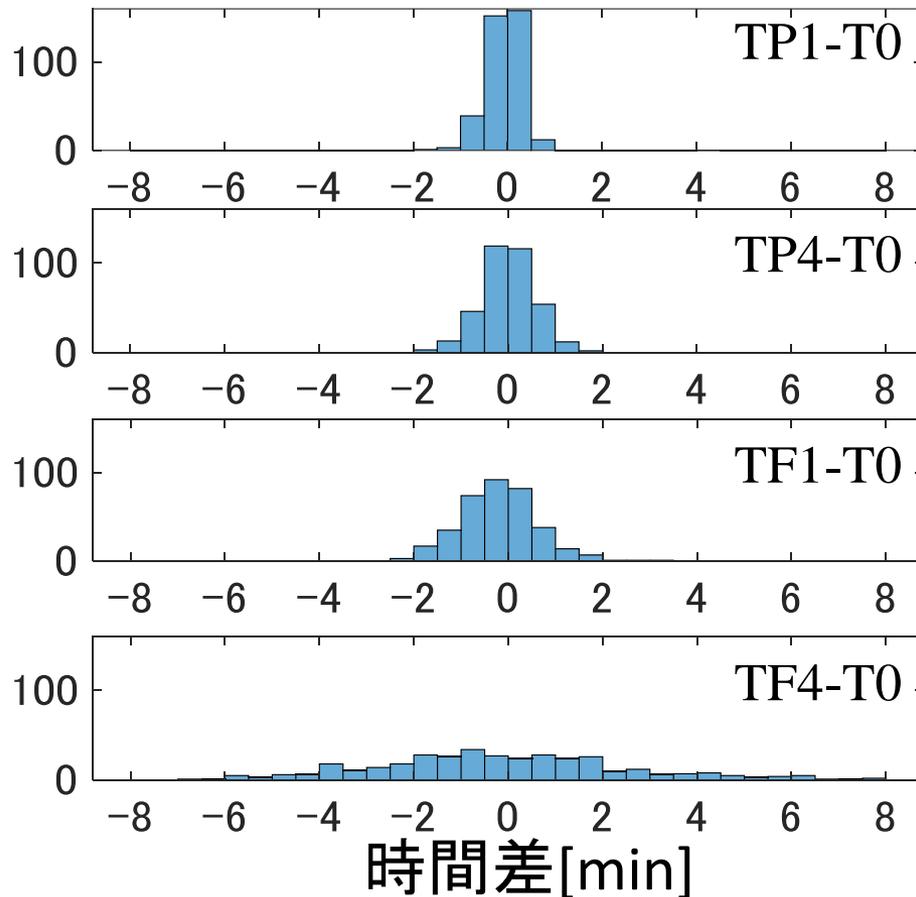
経路の一致する割合



経路差の大きい一例

# 気象データによる影響

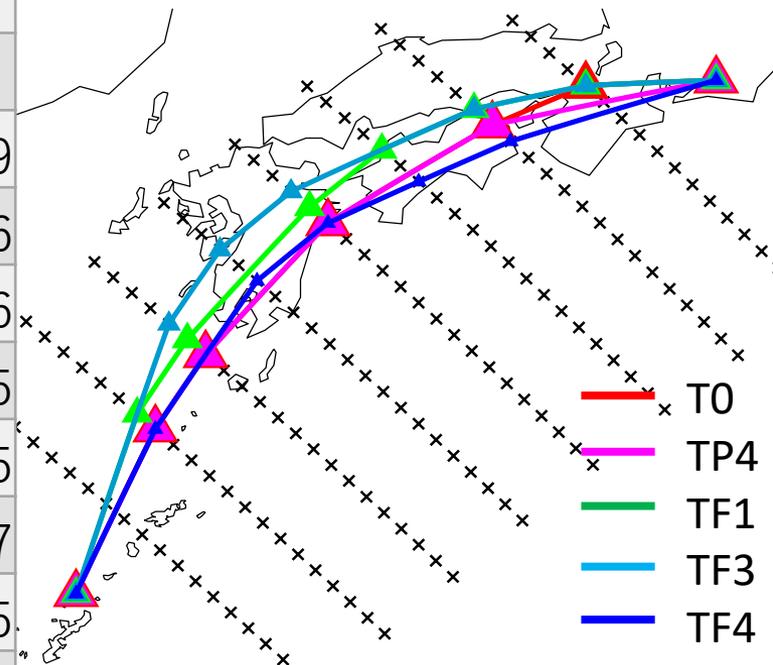
- 時間,燃料の予測誤差 ✓ 予報データ利用→誤差は小
  - 予報データ(11時間前)→平均 34秒, 92 lbs 程度
  - 補間無し(11時間前)→平均162 秒, 444 lbs 程度



# 気象データによる影響

- 計画段階で異なる経路を飛行した時の誤差
  - 真値を想定した経路との比較
    - 最悪(補間無し)でも1分半, 232 lbs程度
- ✓ 導出経路の違いによる時間, 燃料への影響は軽微

	時間[sec]			燃料 [lbs]		
	mean	std	max	mean	std	max
TP1-T0	1	2	13	2	5	39
TP2-T0	1	2	16	3	6	46
TP3-T0	1	2	17	3	7	46
TP4-T0	1	3	17	4	8	45
TF1-T0	2	4	24	5	10	65
TF2-T0	4	7	54	11	18	147
TF3-T0	6	11	73	17	30	195
TF4-T0	8	13	86	22	35	232



# まとめ

- 気象データの経路計算への影響
  - 国内UPRを想定
    - 羽田→那覇路線, IBENO→PRIUS区間
  - 計算方法の妥当性を確認
  - 経路自体への影響は小さい
    - 11時間前の気象データでも概ね近い経路を算出
  - 予測精度へ与える影響は無視できない
    - 将来のTBOなどの高精度な時間管理
- 今後の課題
  - 周辺交通流や運用における制限等の考慮

---

## 謝辞

本研究にあたり飛行計画システムのデータならびに  
様々な知見を提供いただいた日本航空株式会社の方々に感謝の意を表します

ご清聴ありがとうございました