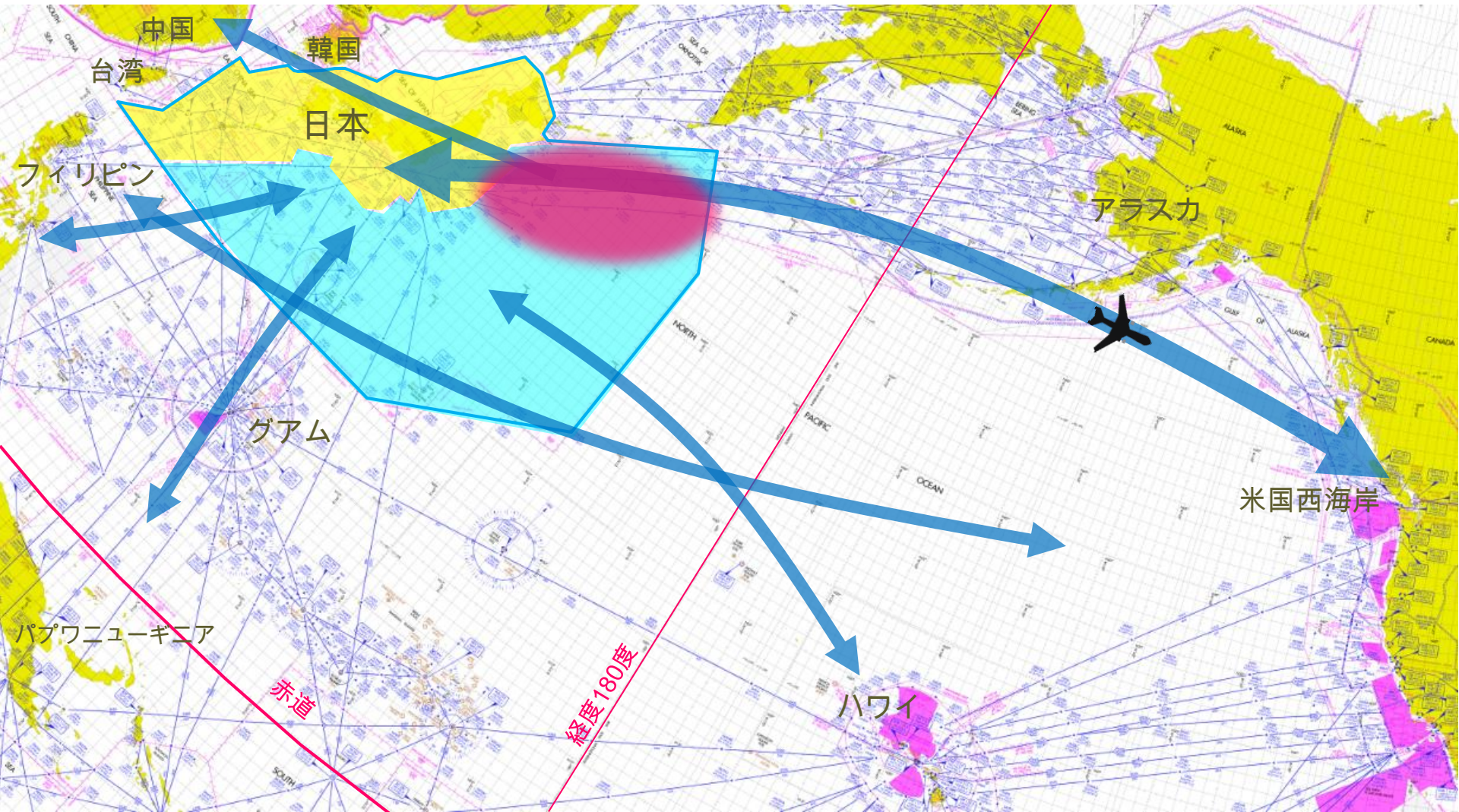


洋上管制運用効率化のための 経路設計に関する考察

航空交通管理領域

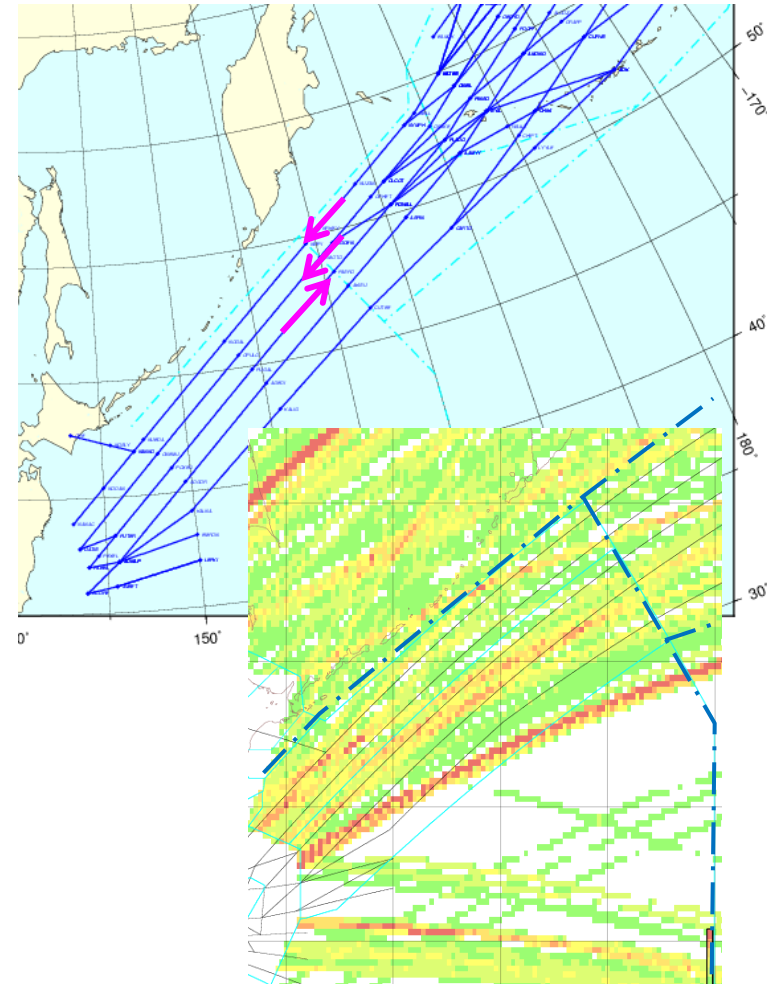
※平林博子, ブラウン・マーク, 福島幸子

考察対象空域



北太平洋上空域の航空管制

- ▶ **ADS-C監視、CPDLC通信**
- ▶ **PBN機能による管制間隔**
 - ▶ 例) RNP4機同士の場合
 - ▶ 縦間隔 30 NM、横間隔 30 NM、垂直間隔 1,000feet
- ▶ 洋上での飛行経路
 - ▶ **NOPAC (North Pacific)**
 - ▶ 5本の平行経路 (約50 NM間隔)
 - ▶ 一方通行運用
 - ▶ **PACOTS (Pacific Organized Track System)**
 - ▶ 上層風を考慮し日米の管制機関が毎日提供する
 - ▶ 米国・ハワイ⇔日本・東南アジア
 - ▶ **UPR (User Preferred Route)**
 - ▶ 運航者が自由に経路設計する利用者設定経路
 - ▶ **DARP (Dynamic Airborne Reroute Procedure)**
 - ▶ 最新の予報風データを使用し、CPDLCを介して飛行中に経路変更を要望



巡航高度に関する解析

- ▶ 長距離飛行 – 機体重量・飛行速度に最適な高度での飛行
- ▶ 上空通過機問題
 - ▶ 韓国・中国・東南アジアからの上空通過機
 - ▶ 日本出発機は、管制間隔が維持できるよう巡航高度を指定

日本出発機は最適高度で飛行できているのか! ?

▶ 解析対象期間

- ▶ 2013年3月～2016年3月 (約3年分)
- ▶ 日本から出発する (沖縄地域を除く) 洋上空域を飛行する北米行き飛行

▶ 出発前計画高度

- ▶ 飛行計画に記載の巡航高度

▶ 出発前承認高度

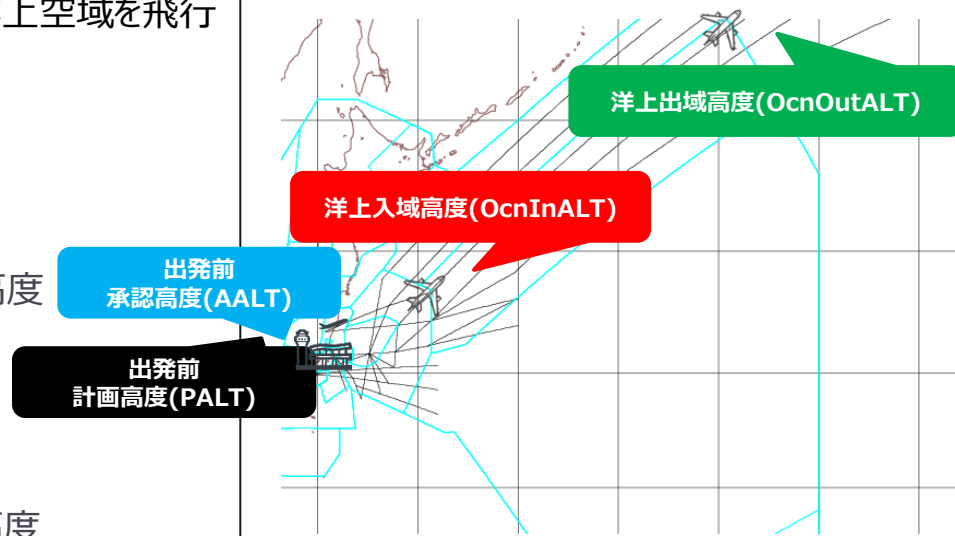
- ▶ 出発前に管制機関より指定される巡航高度

▶ 洋上入域高度

- ▶ 洋上空域入域時の高度

▶ 洋上出域高度

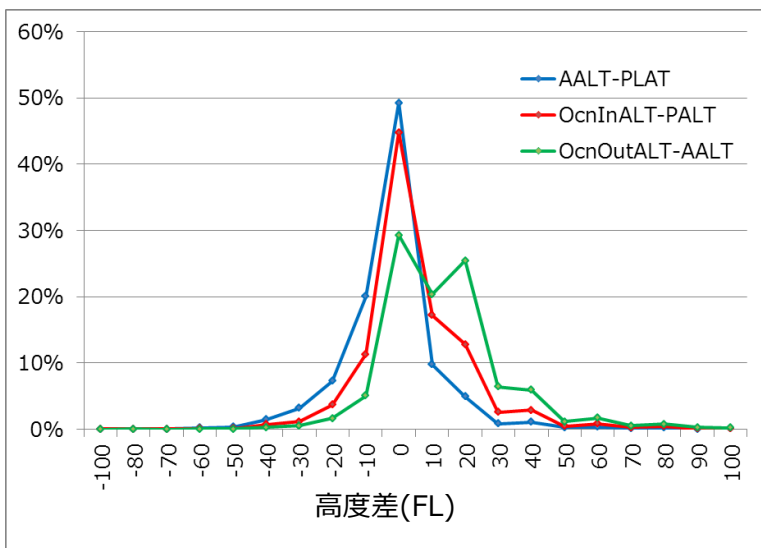
- ▶ 福岡FIRを出域し隣接FIRへ移管時の高度



日本出発機の希望高度取得率

▶ 計画高度と比較

- ▶ 高度差の分布
- ▶ ゼロ未満、ゼロ、及びゼロより大きい 飛行数の割合



計画高度と各高度の高度差が
ゼロ未満、ゼロ、ゼロより大きい飛行数の割合

	承認高度 AALT	洋上 入域高度 OcnInALT	隣接FIR 移管高度 OcnOutALT
ゼロ未満	33%	17%	8%
ゼロ	49%	45%	29%
ゼロより大きい	18%	38%	63%

計画高度と各高度の高度差の分布

徐々に高度が上昇

出発前の承認段階では約**3割**の航空機は計画高度よりも低い高度がアサインされているが、出発後はその割合は**17%**まで減少さらに、隣接FIR移管時には、その割合は**8%**まで減少

高度変更リクエストに対する応答

▶ 過去に解析したUnableリプライ率

▶ Unableリプライ率：

パイロットからの高度変更リクエストに対して10分以内に返答された最初の回答がUnableであった割合

▶ 2009年～2012年の91日分

□ CPDLC 25%

▶ 2013年2月、3月、4月の21日分RNP4の割合

□ CPDLC 26%、HF通信 33%

▶ 2013年3月、5月、7月の21日分

□ RNP4 27%、RNAV10 31%、HF通信 35%

□ 反方向または交差経路上に関連機が存在するとき航空機間隔が大きくなる傾向

▶ 2013年3月～2016年3月の133日分

▶ 高度変更リクエスト数 37,259

(CPDLC 85%, HF通信15%)

経過解析を実施

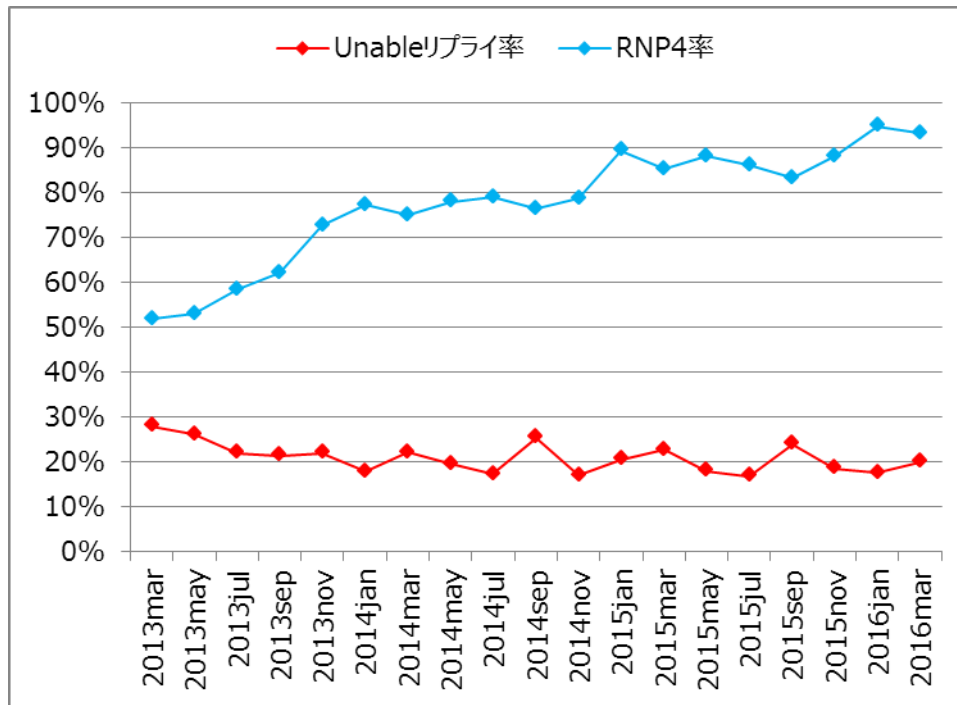
NOPAC3 NOPAC経路の北から3本（一方通行経路）

Unableリプライ率の傾向

Unableリプライ率（2013年3月～2016年3月）▶ NOPAC3の低いUnableリプライ率

	CPDLC	HF	メッセージ全体
洋上空域全体	24%	37%	26%
NOPAC3	20%	31%	21%

- ▶ 交差経路なし
- ▶ 2014年1月まで
 - ▶ RNP4率の増加に伴いUnableリプライ率の減少傾向
- ▶ 2014年3月以降
 - ▶ RNP4率が増加し続けているが、Unableリプライ率は横ばい



現状の適用管制間隔及び経路編成の環境では、高度変更リクエストのうち約2割は最初の応答ではリクエストが応じられていない

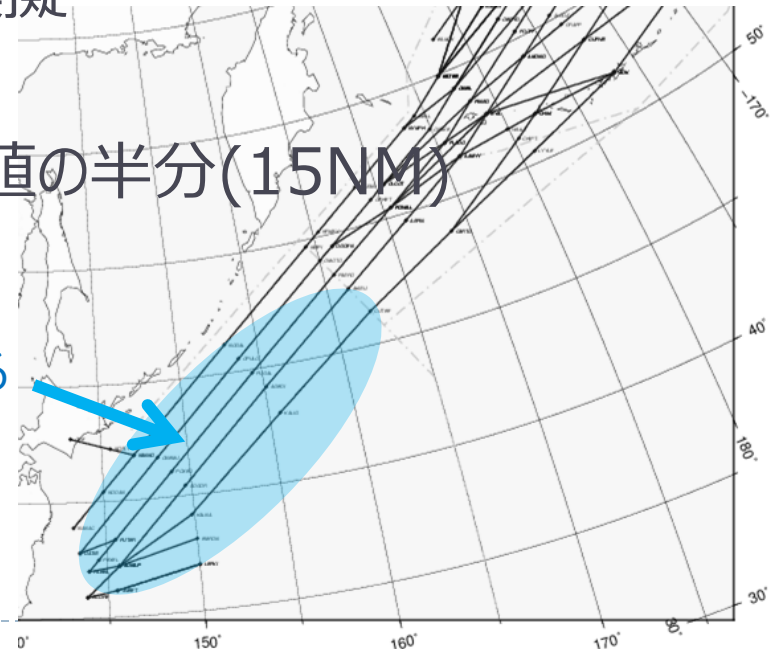
最初の応答でUnableであった場合リクエストをキープし高度変更可能な状況になったときにリクエストに応じるケースは多々ある

NOPAC3におけるUnableリプライ率とRNP4率

Full UPR シミュレーション

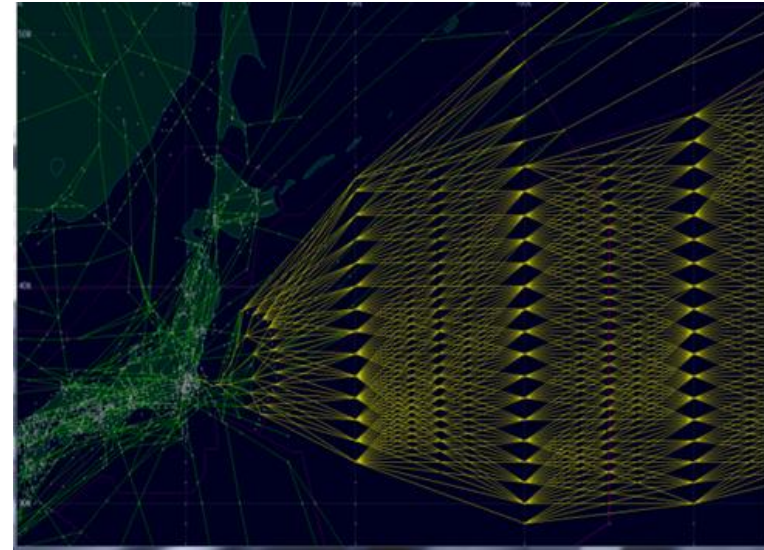
- ▶ 将来の可能性の一つとして、監視能力向上による洋上空域におけるさらなる短縮間隔の適用を考える
- ▶ 経路の自由度はどの程度まで高められるか?
 - ▶ NOPAC空域でのUPR運用を模擬
 - Full UPR
 - ▶ 想定適用間隔は、現行の最小値の半分(15NM)

UPRを可能とする



ネットワークとシナリオ

- ▶ NOPAC空域でのUPRの模擬
 - ▶ 緯度1度 経度10度のネットワーク
 - ▶ 与えられた風情報を基に消費燃料が最小となるような最適経路を計算



- ▶ シナリオ
 - ▶ 中国・韓国・東南アジア・日本の各空港ー北米各都市の空港
 - ▶ 24時間でNOPAC空港を飛行するする**286便**
(東行139便、西行147便)
- ▶ 風データ
 - ▶ 無風、夏の風2パタン、冬の風3パタン (計**6パタン**)

飛行時間、飛行距離、消費燃料

▶ 各飛行が最適軌道を飛行した場合

表 現行NOPAC経路とFull UPRの比較

	飛行距離差(NM)	飛行時間差(分)	消費燃料差(ポンド)
無風	-10	-1	-252
夏1	-6	-1	-233
夏2	-8	-2	-385
冬1	-16	-1	-207
冬2	-20	-1	-263
冬3	-6	-1	-119
西行	-17	-2	-304
東行	-5	-1	-178
全体	-11	-1	-243

値は Full UPR - 現行NOPAC のフライトあたりの平均値

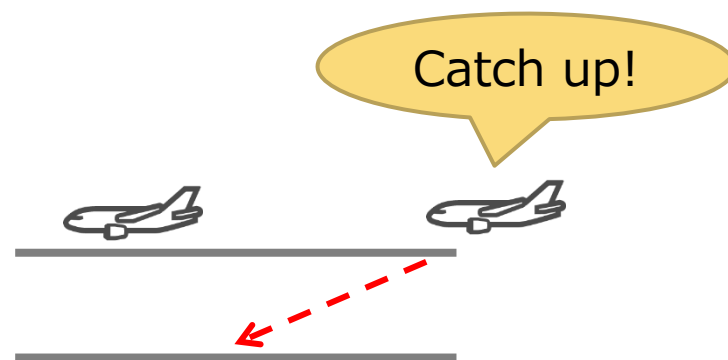
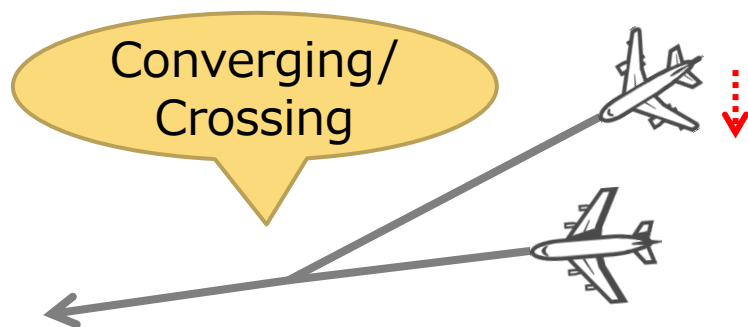
マイナスの値 → Full UPRの方が短い飛行距離、短い飛行時間、少ない消費燃料

フライトあたり 約1~2分、200~300ポンド程度 Full UPR経路の効果

軌道の重なりーコンフリクト発生

- ▶ 各飛行の経路効果はあったとしても
 - 軌道が重なりコンフリクトが発生
 - 高度変更によりコンフリクト回避
 - 結果、最適高度での飛行ができない

経路構成、
航空機間隔に依存



コンフリクト発生数

ジェット気流をさけるように北側に集中

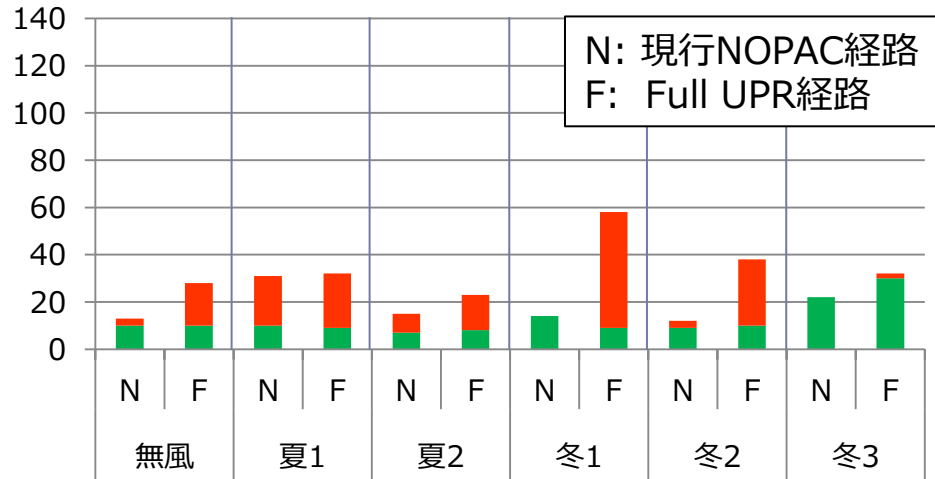
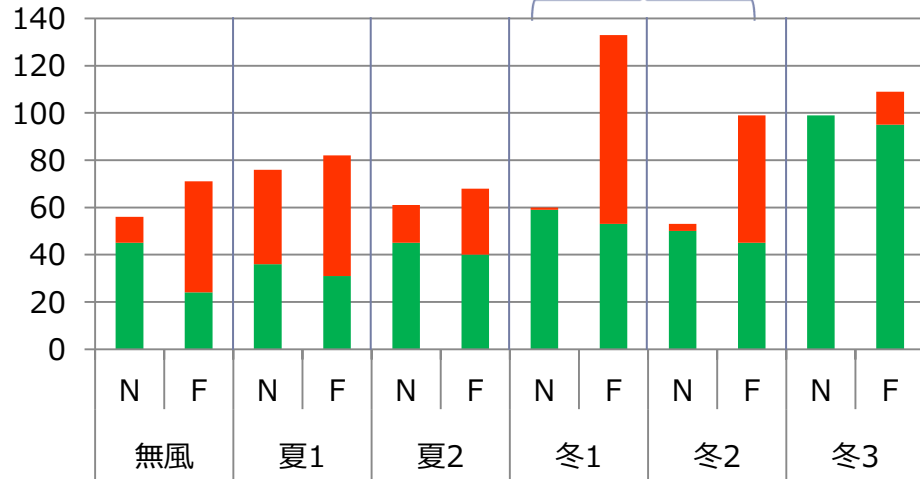
NOPACにおける北一本への集中度合いが大きい

上層風による影響が大きく反映されるため、上層風の傾向との関連を今後とも検討していく必要がある

■ 同一経路 ■ 交差経路

■ 同一経路 ■ 交差経路

N: 現行NOPAC経路
F: Full UPR経路



30NM適用時

15NM適用時

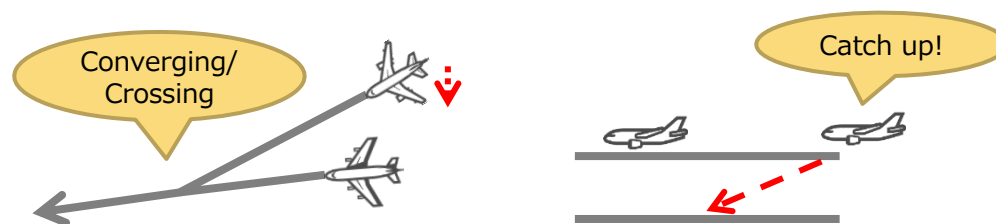
NOPACとFull UPRとの比較では、Full UPRにおいて**40%**コンフリクト数増加

30NM適用と15NM適用を比較すると、コンフリクト数は**67%**減少

Full UPRの方がコンフリクト数が多い傾向は同じ

コンフリクトあたりの損失燃料の推定

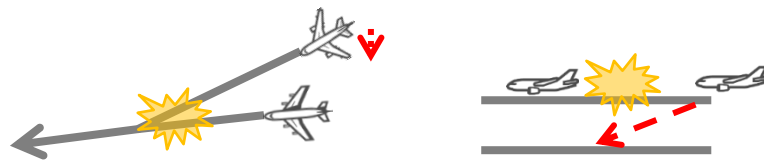
- ▶ 高度変更によるコンフリクト回避により損失燃料の推定
 - ▶ 福岡FIRのNOPAC空域に発生したコンフリクトの回避措置を実施
 - ▶ 回避措置は高度変更



- ▶ 飛行高度変更 → 消費燃料変更
- ▶ コンフリクト回避前後で消費燃料を比較
→ コンフリクトあたりの損失燃料の推定

コンフリクトあたりの損失燃料の推定

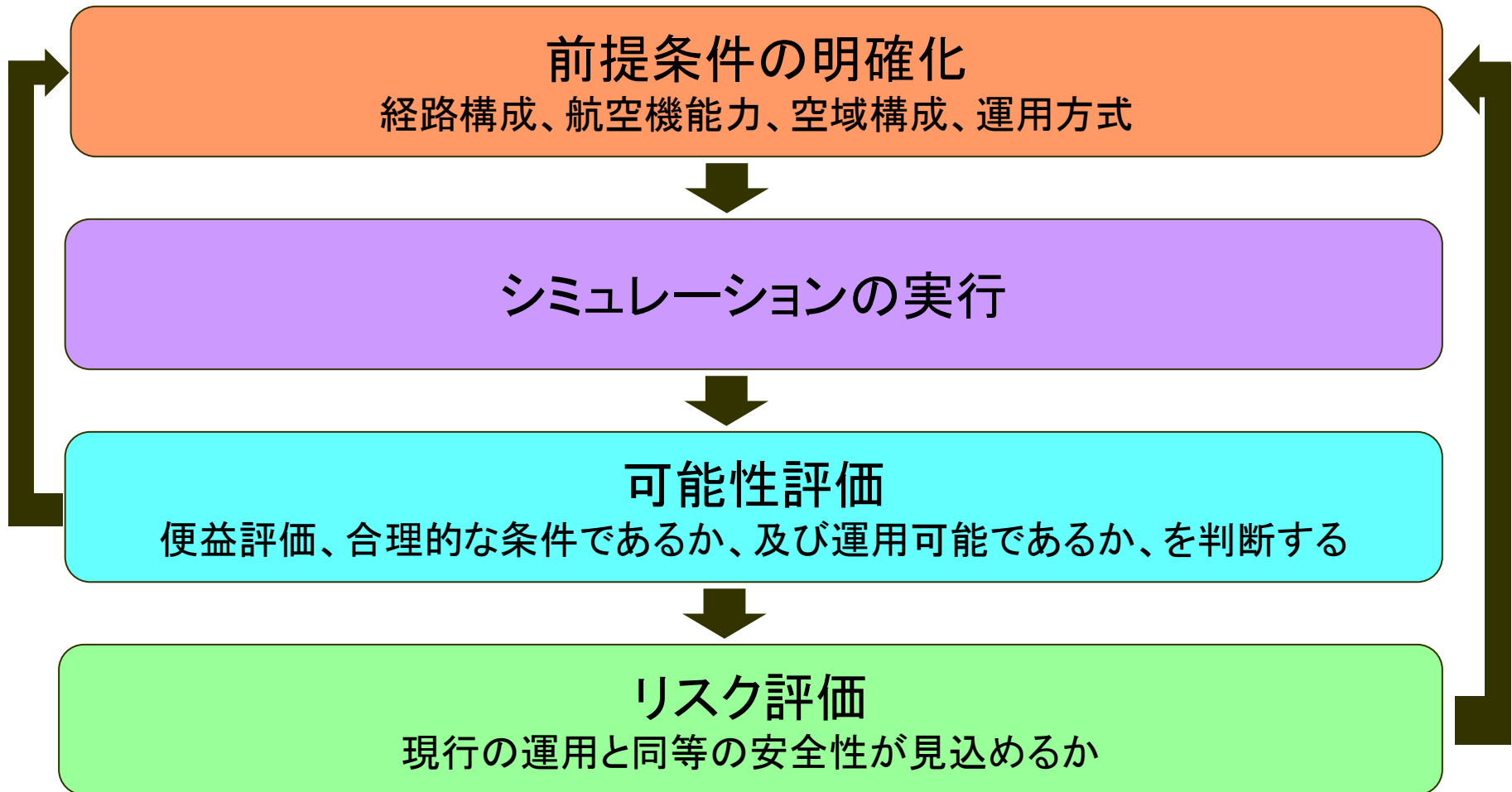
- ▶ 冬2 Full UPR試行において回避措置を実施
 - ▶ 38のコンフリクト発生
 - ▶ 25の飛行において
 - ・ 福岡FIR NOPAC空域内
 - ・ 2,000フィート下の高度へ変更
 - ▶ 回避措置を実施しない飛行と比較し、
フライトあたり約1,400ポンド余分に燃料を消費
 - ▶ コンフリクトあたり約**926ポンド**の燃料損失と推定



コンフリクトが増える → 全体効率を下げる

NOPAC空域に関しては、ある程度固定経路を取り入れた運用の方が効果的かもしれない

NOPAC経路再編プロセス



まとめ

- ▶ 短縮管制間隔適用と経路の自由度
 - ▶ 巡航高度に関する解析
 - ▶ 日本出発の北米便
 - ▶ 飛行前は3割の飛行が計画高度よりも低い高度をアサイン
 - ▶ 洋上空域入域時はその割合は17%まで減少
 - ▶ 福岡FIRを出域時は約9割の飛行は飛行計画高度以上
 - ▶ 高度変更リクエストへの応答解析
 - ▶ 現状のRNP4搭載率、適用管制間隔、経路編成の環境
 - ▶ 約2割はそのリクエストが最初の応答ではおうじられていない
 - ▶ Full UPRシミュレーション
 - ▶ 現状のNOPACと比較するとコンフリクト発生数が約40%増加
 - ▶ 30 NM適用を15 NMまで短縮すると、コンフリクト発生は約67%減少
 - ▶ コンフリクトあたりの損失燃料は約926ポンドと推定