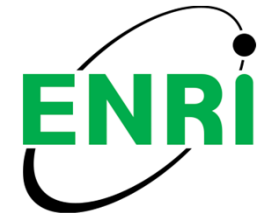
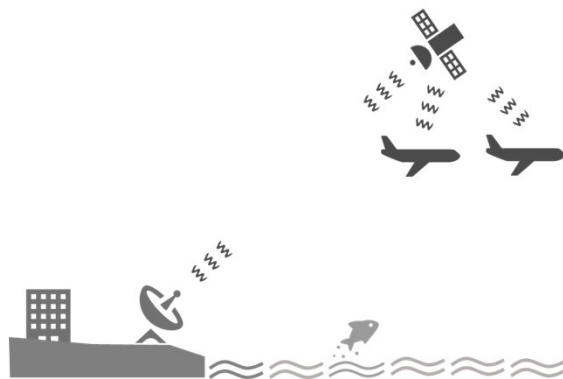


北太平洋上空のフリールーティング運用可能性の検討

航空交通管理領域

※平林博子、ブラウンマーク、武市昇（東京都立大学）



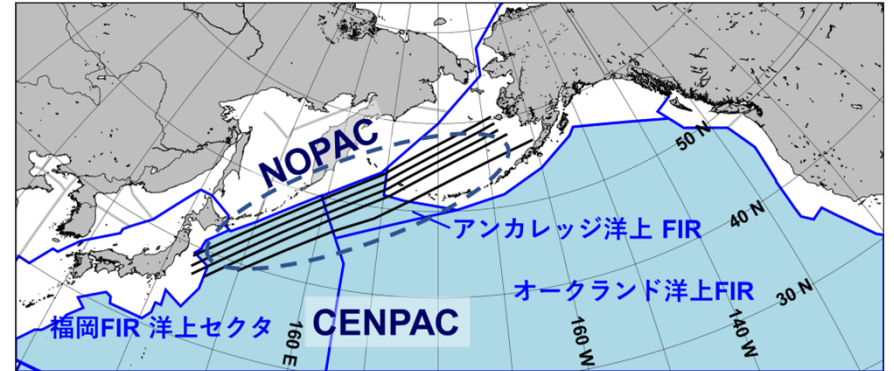
第22回 電子航法研究所 研究発表会

洋上管制

北太平洋上空

- アジアと北米を結ぶ主要路線が飛行する高需要空域
- 日米の管制機関により航空交通業務の提供
- 国内空域（レーダ監視など）とは異なる監視通信環境
- 1990年代～

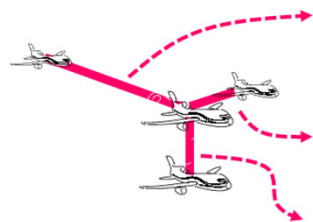
ICAOの衛星を使用した将来の航空航法システム（FANS）、それに引き継ぐ新CSN/ATMシステム構想, PBCS



FIR: Flight Information Region
 NOPAC: North Pacific
 CENPAC: Central Pacific

IPACG : Informal Pacific ATC Coordinating Group 日米航空管制調整グループ

- 1989年 太平洋上空での空域容量拡大及び航空交通の効率化を目的に設立
- 航空管制分野における技術向上を活用した管制間隔短縮の導入を積極的に進める
- NOPAC再構築の検討



縦間隔
 横間隔
 垂直間隔

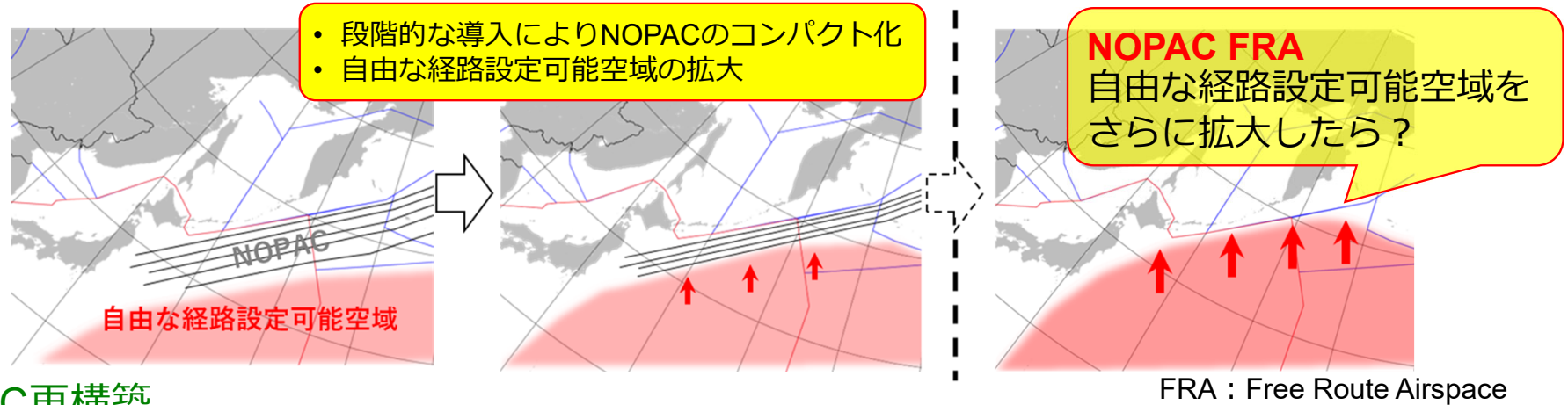
管制間隔の短縮化

	2005年～	2008年～
縦間隔 15 minute 約120- 150 NM	50 NM	30 NM
横間隔 100 NM	50 NM	30 NM
垂直間隔 2,000 feet	1,000 feet	

100 NM = 約182km
 1,000 feet = 約300 m

PBCS: Performance Based Communications and Surveillance

NOPAC



NOPAC再構築

- 23NM※横間隔を活用した経路設計 ※ICAOでは発表されているが日本の規定ではまだ定められていない
- NOPAC経路を圧縮し、NOPACの南側空域（CENPAC）のUser Preferred Routes等自由な経路設定可能空域を拡大
- 段階的な導入
- 一部空域（高度帯）はRNP4、RSP180及びRCP240承認機の排他的空域

本発表

さらに将来を見据えて、NOPAC経路を完全に排除した空域、NOPAC FRAを検討するためファストタイムシミュレーションを実施

検討の流れ

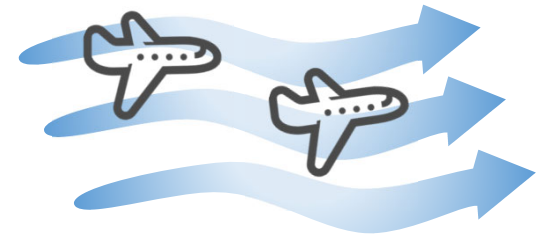
提案空域での交通流を現状空域での交通流と比較

- 二つの空域／経路のシミュレーション環境の構築

- **ベースライン** 現状
- **NOPAC FRA** 提案

- 運航者経路の作成

- 自由な経路設定可能空域における**風最適経路**



- 指標

- 個別飛行軌道
- 空域

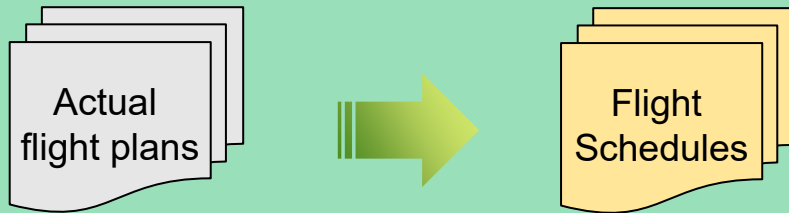
飛行時間、飛行距離、消費燃料



Potential of loss of separation (PLOS)

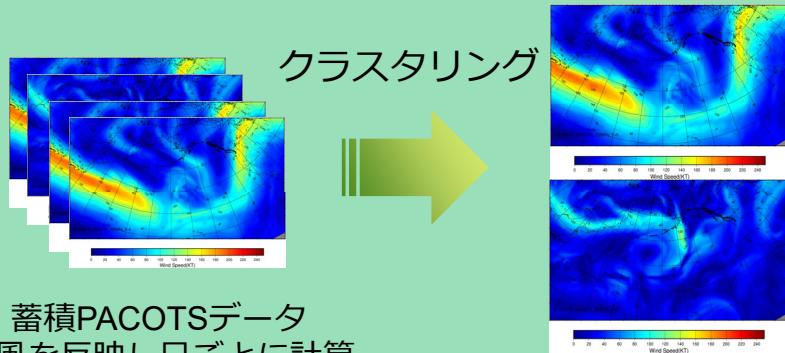
検討手順 1 : データ準備

1. 交通シナリオの作成



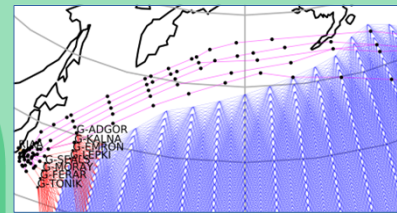
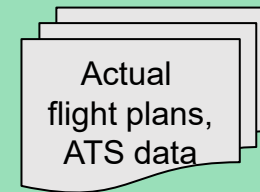
一日あたり451 飛行便 178 (シティペア)

2. 反映上層風の選択

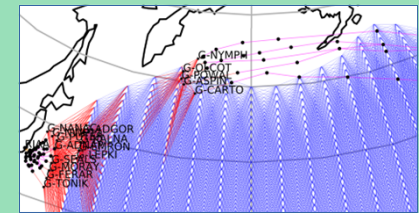


3. ネットワークの作成

飛行計画経路探索のための準備



ベースラインネットワーク
現在の飛行経路構成を模擬

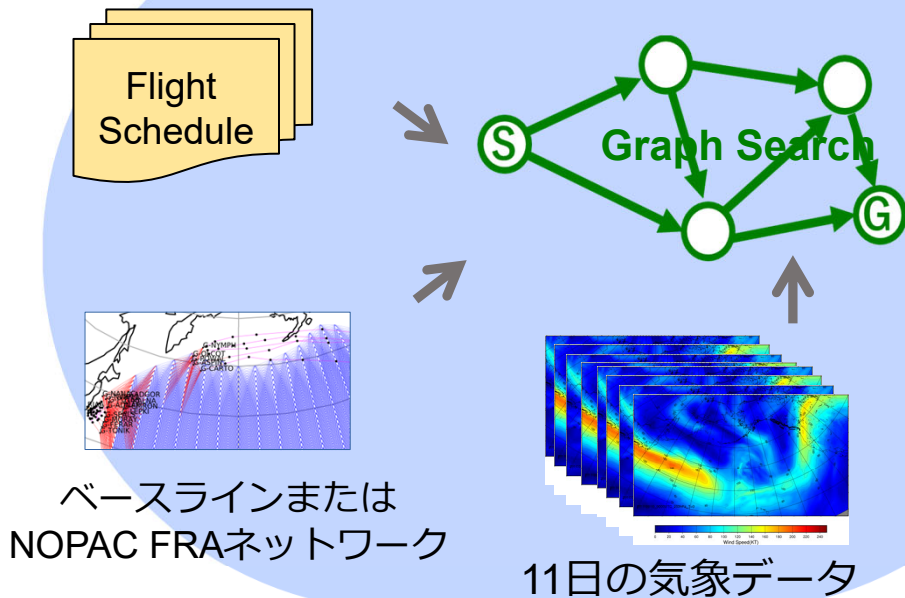


NOPAC FRAネットワーク

本発表ではここについて詳しく説明します

検討手順 2 : 評価過程

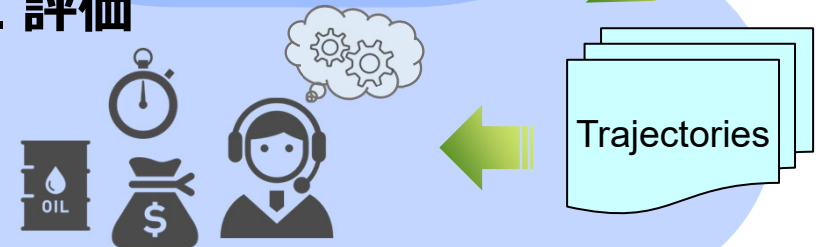
4. 上層風を反映した各飛行の最適飛行計画経路の計算



5. 軌道生成



6. 評価



変数 : 2パタンの空域設計
11日分の気象データ
指標 : 飛行時間、飛行距離、消費燃料
PLOS (Potential of loss of separation)
3つの管制間隔を考慮
50NM、30NM (現在)、15NM (将来を想定)

上層風選択手法

ジェット気流

- 太平洋上空の飛行に大きな影響を与える要素
- 経路計算に上層風を考慮する必要

課題 季節を通した全体効果を測るために、
どのような（何通りの）風況を経路計算に考慮するべきか



想定

- ✓ 一回のシミュレーションは一日のシナリオ（スケジュール）を使用
 - ✓ 現実的な風況を反映
 - ✓ 過去の気象データ（全球数値予報モデルGPV全球域（GSM）ナウキャスト）を使用
- 気象データを経路計算に反映させる過去の“日”を決めれば良い

PACOTS Pacific Organized Track System に着目

- 日ごとに設定される可変経路
- 日米航空局から公示
- 複数の主要都市を想定して計算
- アジアー北米・ハワイ間

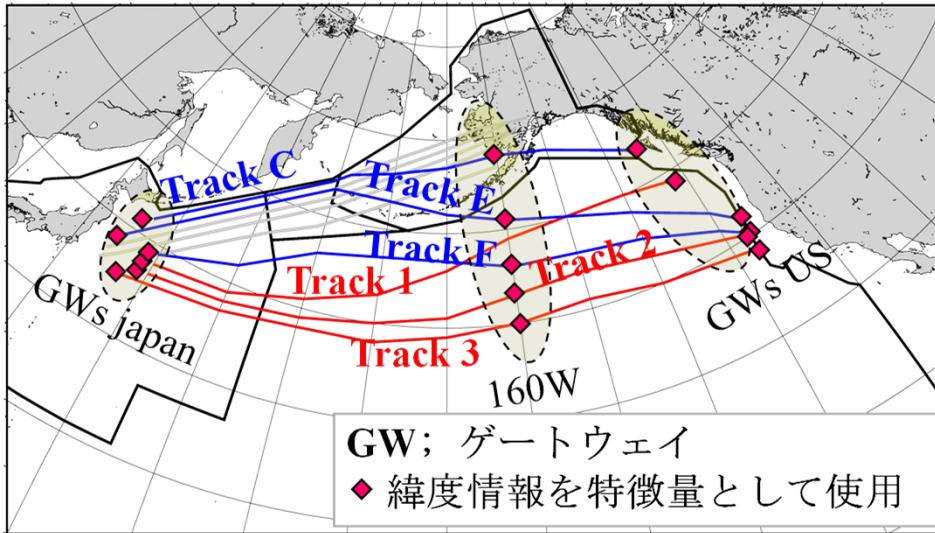
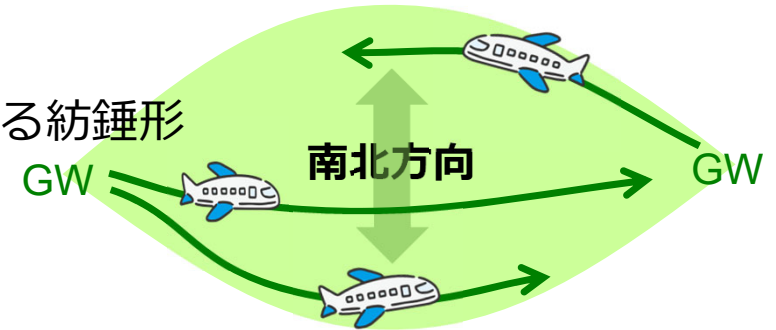
着目理由

- 風を考慮して計算されている
- 蓄積されたデータ
- “日”毎のデータ
- 二次元への次元の削減

上層風選択手法 - クラスタリング

風最適経路の季節変動は、南北方向に表れる

出発・到着空港近傍のゲートウェイ（GW）を頂点とする紡錘形



特徴量

PACOTSの主要トラックの緯度 ϕ (南北成分)

紡錘形の2つの頂点 (GWsと最も広がる点(160W)の3点

トラック k から F_k を作成

$$F_k = (\phi_{GW_{japan}}, \phi_{160W}, \phi_{GW_{US}})$$

F_{day} は一日のデータセット

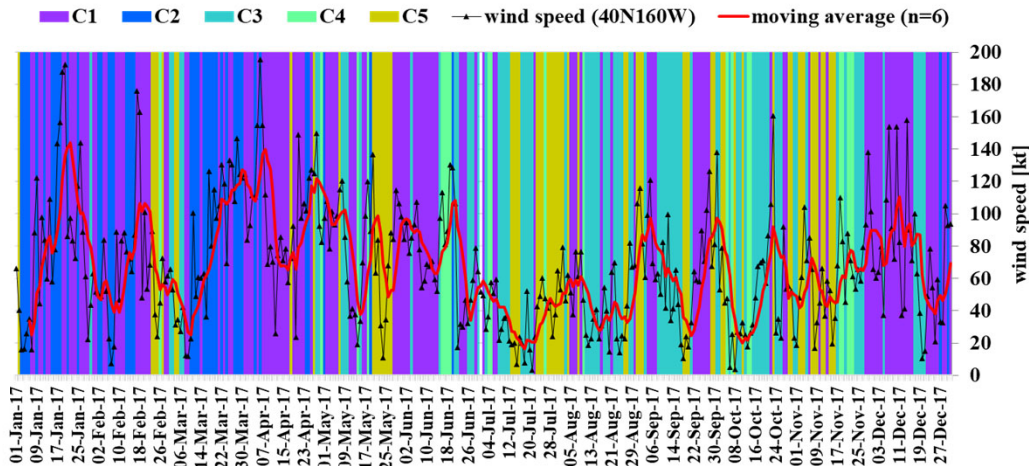
$$F_{day} = [F_C, F_E, F_F, F_1, F_2, F_3]$$

ここでは、トラック C, E, F, 1, 2, 3 を使用

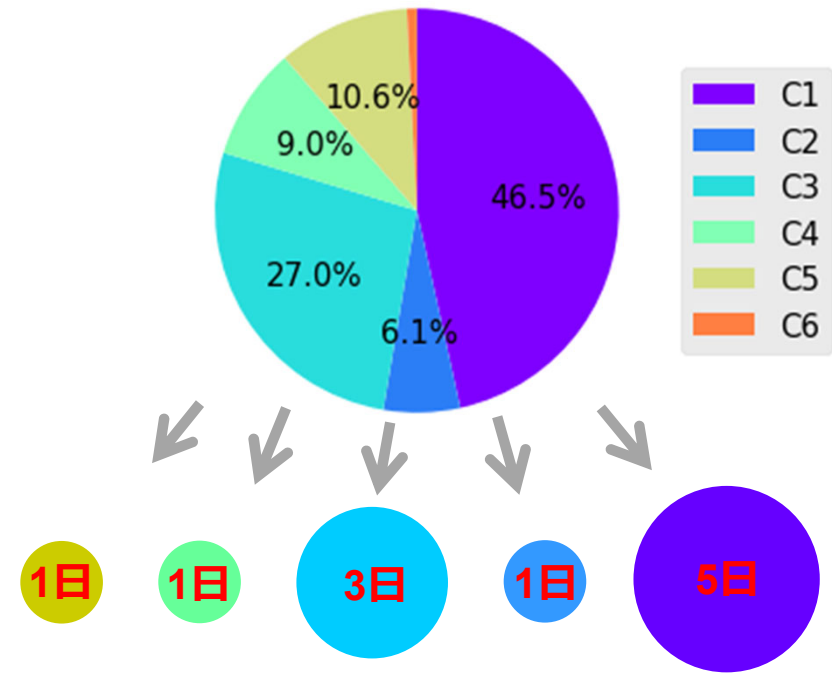
約7年分のPACOTSデータを使用しクラスタリング (X-means) を実施

風反映日の選択

- クラスタリングの結果から、各グループの割合に応じた日数を選択
- 風最適経路計算時に、選択された日の気象データを反映
- 一日451便の経路計算を実施
2つのネットワーク（NOPAC FRA、ベースライン）
11日の風



2017年1月1日～12月31日

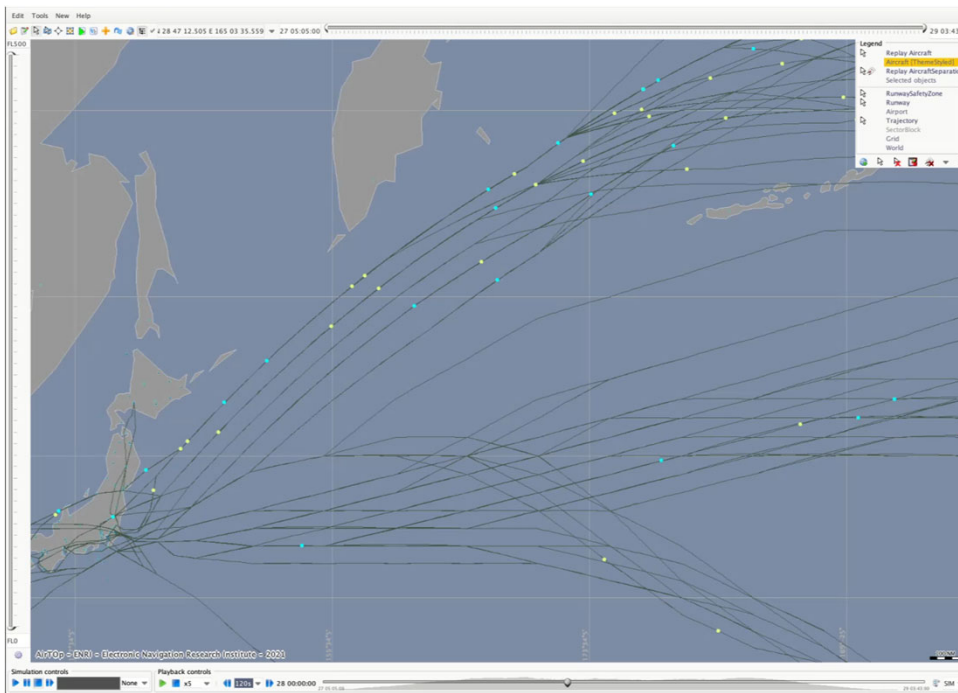


クラスタリンググループの割合に応じた日数選択

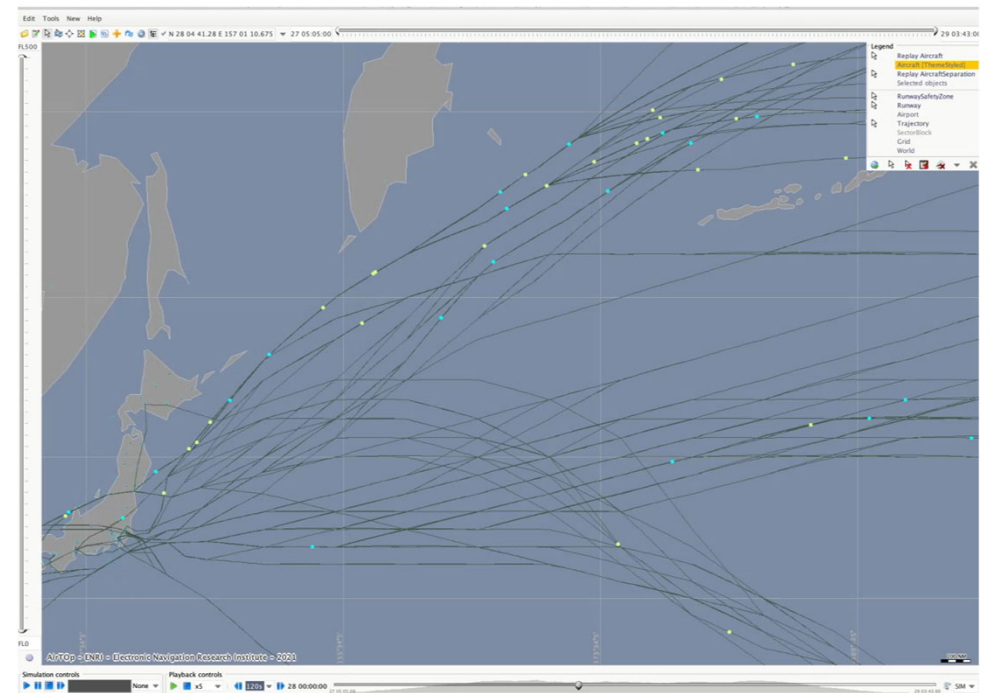
FAST TIME SIMULATION

風最適経路を飛行経路としてファストタイムシミュレーションを実施

Baseline



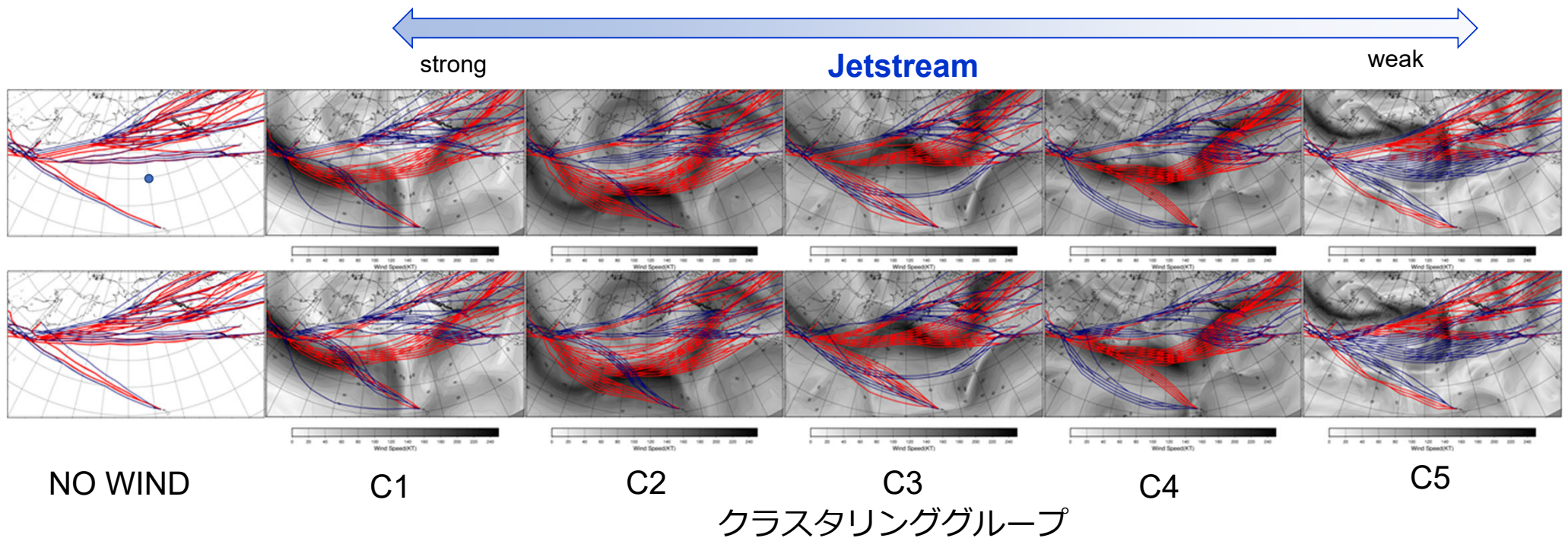
NOPAC FRA



軌道情報を評価に使用

飛行経路傾向 - クラスタリンググループ

- 東行飛行 (—): ジェット気流が追い風となるため、ジェット気流が強いときは軸に沿った飛行経路、弱い時は最短距離経路（大圏経路）に近い経路を
- 西行飛行 (—): 向かい風となるジェット気流を回避する経路





結果と考察 個々の飛行経路における便益

NOPAC FRA、ベースラインそれぞれの飛行の飛行距離 fd 、飛行時間 ft 、及び消費燃料 fc を比較

	Δfd [NM]		Δft [minutes]		Δfc [kg]	
	east	west	east	west	east	West
Max	239	261	23	31	2053	4119
75%	0	4	0	0	0	0
Median	0	0	0	-1	0	-154
25%	-3	-18	-2	-5	-194	-662
Min	-645	-663	-47	-120	-7362	-12136
Mean	-6.9	-14.3	-1.6	-3.6	-242.6	-468.5
SD	34.6	58.2	3.7	7.5	565.8	908.1

$$f_{NOPAC FRA} - f_{ベースライン}$$

負の値はNOPAC FRAの飛行経路の方が

- 短い飛行距離
- 短い飛行時間
- 少ない消費燃料

であることを示す

NOPAC FRAはベースラインと比較し、有益な飛行経路の設定可能性が高い

結果と考察 空域容量-PLOS

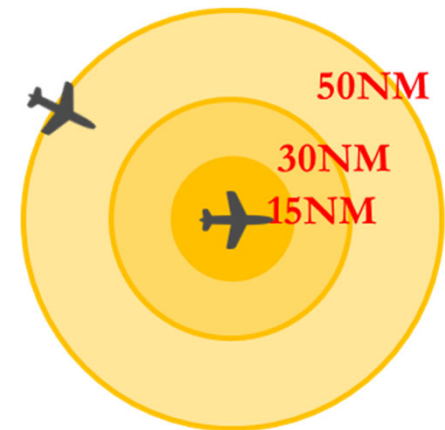
PLOS: Potential loss of separation

一日のシミュレーションの軌道データから、PLOSを計算
一分毎に2機の飛行間に発生するPLOSをカウント

PLOS 数 ペア (2機) 数
PLOS 時間 間隔欠如 (loss of separation) の飛行時間

3つの間隔

- 現在、最も使用されている間隔
50 NM (ADS-C and RNAV10) **30 NM** (PBCS)
- 将来のさらなる短縮を想定した間隔
15 NM



ADS-C: Automatic Dependent Surveillance-Contract
PBCS: Performance Based Communications and Surveillance

結果と考察 空域容量-PLOS

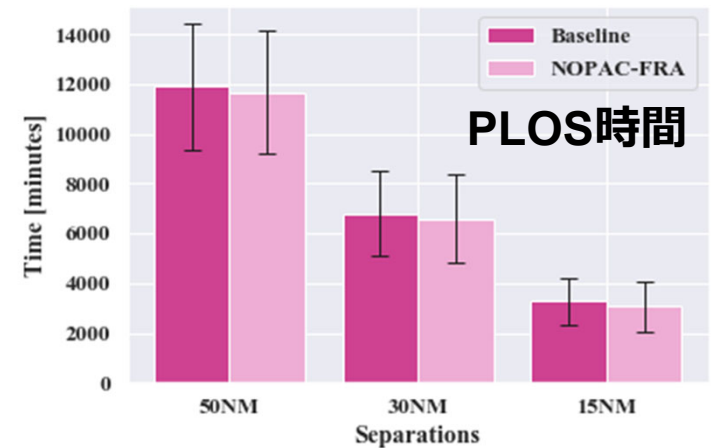
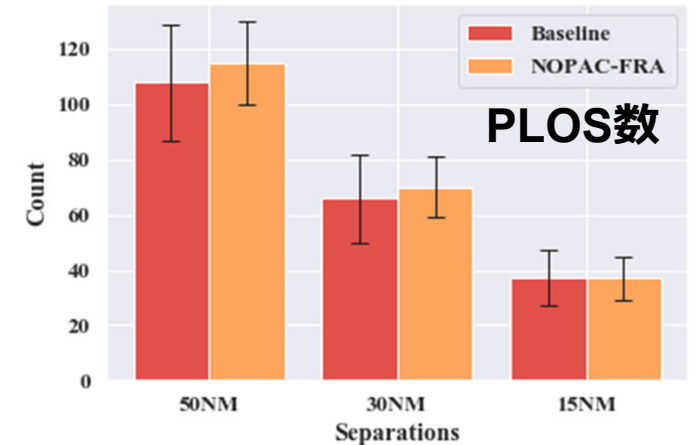
PLOS数

- NOPAC FRAの方が多い
- 間隔維持のため各飛行は垂直方向へ回避する
- 理想高度での飛行が不可能
- しかし、適用管制間隔が小さくなると、PLOS数の差が小さくなる

PLOS時間

- NOPAC FRAの方が短い
- 同一飛行経路の飛行時間が短い
- 各飛行経路は一旦は近接するが、航空機対はすぐに離れていく傾向

- NOPAC FRAは現状の空域／経路構成と比較し効率的な運用が可能であるとは言い切れないが、さらなる管制間隔短縮運用が可能となることで、効率的運用の可能性が高まる
- 管制官の監視可能な交通流であるかの判断も必要
支援機能、自動化、空域複雑性





おわりに

- 北太平洋上空へフリールーティング運用を導入し自由な運航者設定経路運用が可能な空域を拡大した際の、飛行経路の優位性及び運用可能性についてシミュレーションを実施し評価した結果について紹介した。
- 個々の飛行経路の優位性を測る目的とした評価指標として、飛行距離、飛行時間及び消費燃料を使用した結果は、全体としてNOPAC FRAの空域／経路構成はより便益のある飛行経路設定が可能であることを示した。
- 一方、空域容量を測る目的として使用した評価指標である潜在的管制間隔喪失（PLOS）の結果は、現状の管制間隔においては、NOPAC FRA空域／経路構成は現状と比較し効率的な運用が可能であるとは言い切れない結果を示した。
- しかし、将来、さらなる管制間隔短縮運用が可能となることで、効率的運用可能性が高まることが示唆された。