

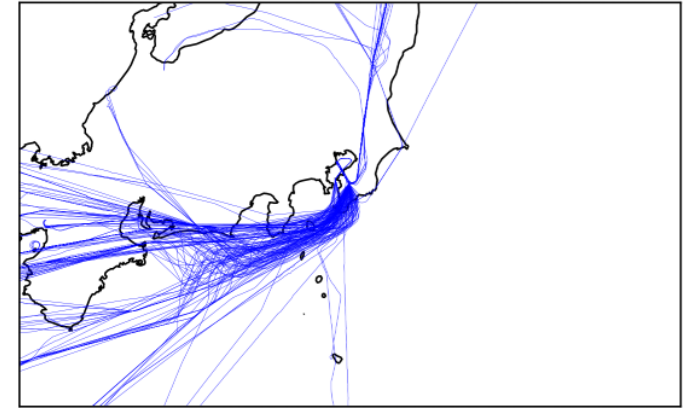
CARATSオープンデータ活用促進フォーラム2024

深層生成モデルを用いた 航空機軌道生成

松田治樹 (JAXA)

研究の動機：交通シミュレーションのシナリオを作りたい

- 交通シミュレーションの目的：運航方式の評価等
- シナリオに対する要求
 - － 要求1：忠実性 fidelity
 - － 現実の交通の特徴を備えること
 - － 結果の妥当性を確保するため
 - － 要求2：新規性 novelty
 - － 過去にない、可能な将来の状況を幅広く含むこと
 - － 将来の状況に対して便益、リスク等を評価するため
- 2つの要求の間にはトレードオフの関係がある
 - － 忠実性を維持したまま新規性を向上させるのは難しい



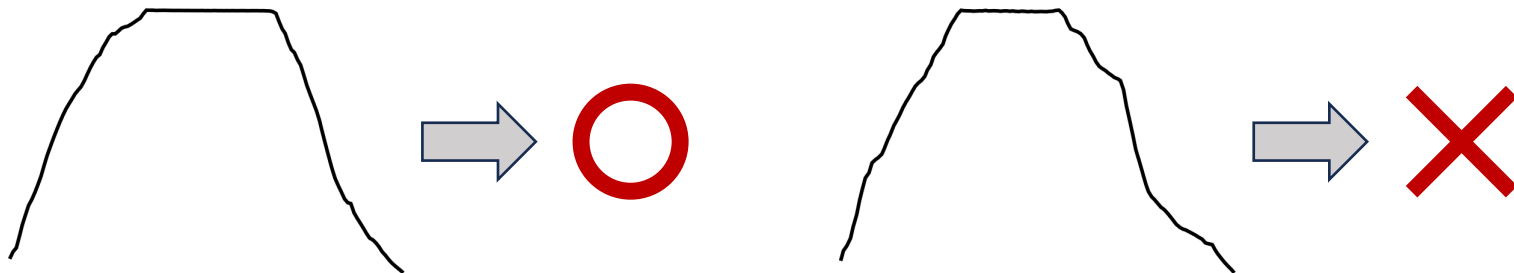
羽田へ到着する航空機の航跡

どのように忠実性&新規性のある軌道を生成するか？

- 深層生成モデル（生成AI）は表現力が高い
 - － データ生成過程をニューラルネットワークでモデル化
 - － 訓練データに含まれないデータを生成可能
- 航空機の軌道生成にも応用できないか？
 - － たぶんできる
 - － 常に高い品質の軌道が生成されるか？



Wikipedia「生成的人工知能」より
『スペース・オペラ・シアター；
Midjourneyによって作成された画像』



研究の概要

■ 目的

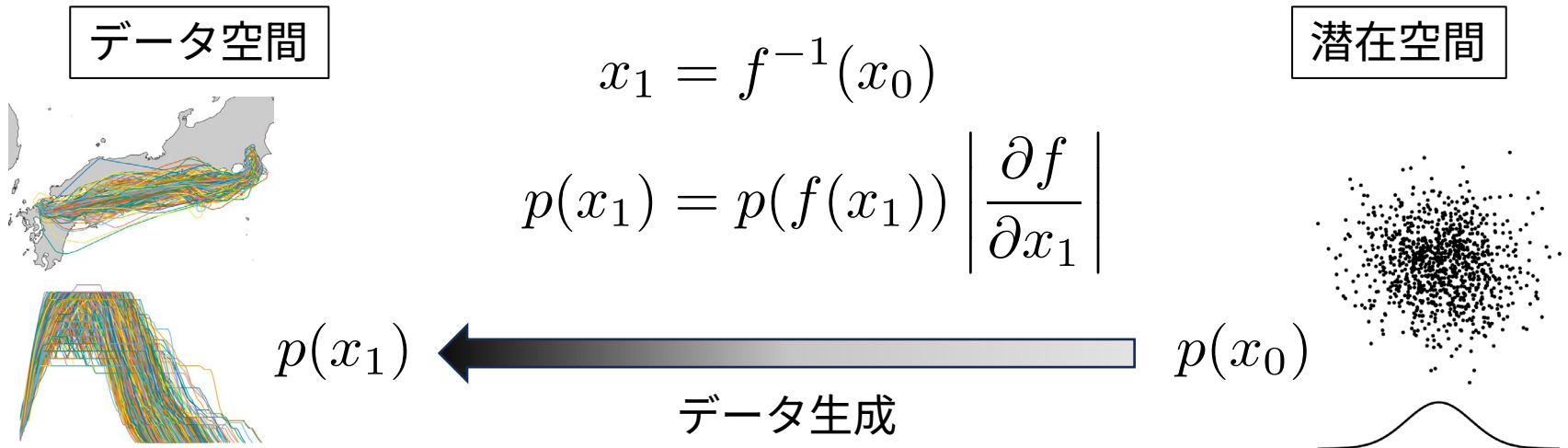
- 運航方式の評価等を目的とした交通シミュレーションのシナリオとして利用可能な航空機軌道の生成

■ 目標

- 忠実性と新規性を持つ軌道を生成する → 深層生成モデル
- 生成軌道の品質低下を検出可能

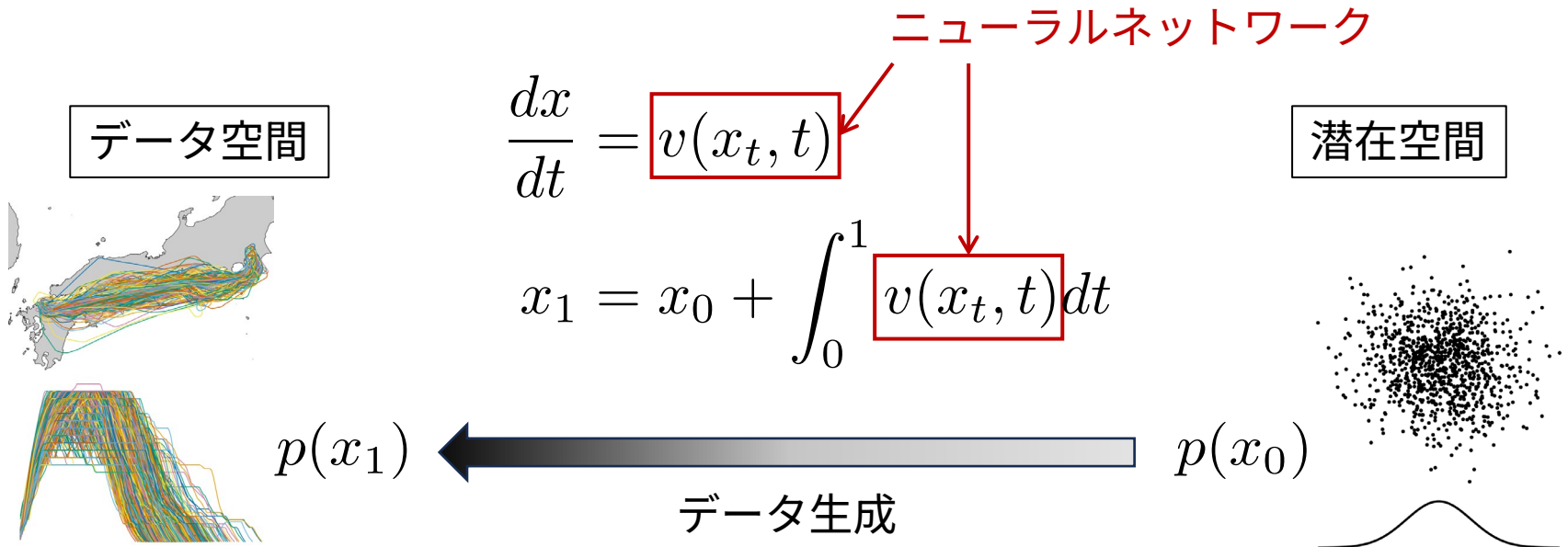
フローベース生成モデルの概要

- やりたいこと：データ分布から新たな軌道をサンプリングする
 - － 通常、データ分布は複雑なので直接的なサンプリングは困難
 - － 潜在空間で容易に得られるサンプルをデータ空間へ写像する
- フローベース生成モデル：可逆な変換を用いる
 - － データの周辺確率 $p(x_1)$ が得られる
 - － 訓練データの分布に照らして、生成された軌道がどの程度発生しやすいか定量的に評価 → 生成された軌道の品質低下を検出可能



フローベース生成モデルの実装

- Continuous Normalizing Flows (CNFs) (Chen+2018)
 - 高い表現力が得られるが、学習が数値的に不安定
- Conditional Flow Matching (Lipman+2023)
 - CNFsの学習時の困難を解消 → 安定した学習で高い表現力



数値実験

- 内容

- 実際の航跡データを学習したモデルを用いて航空機軌道を生成する
- 生成した軌道の忠実性、新規性を確認する

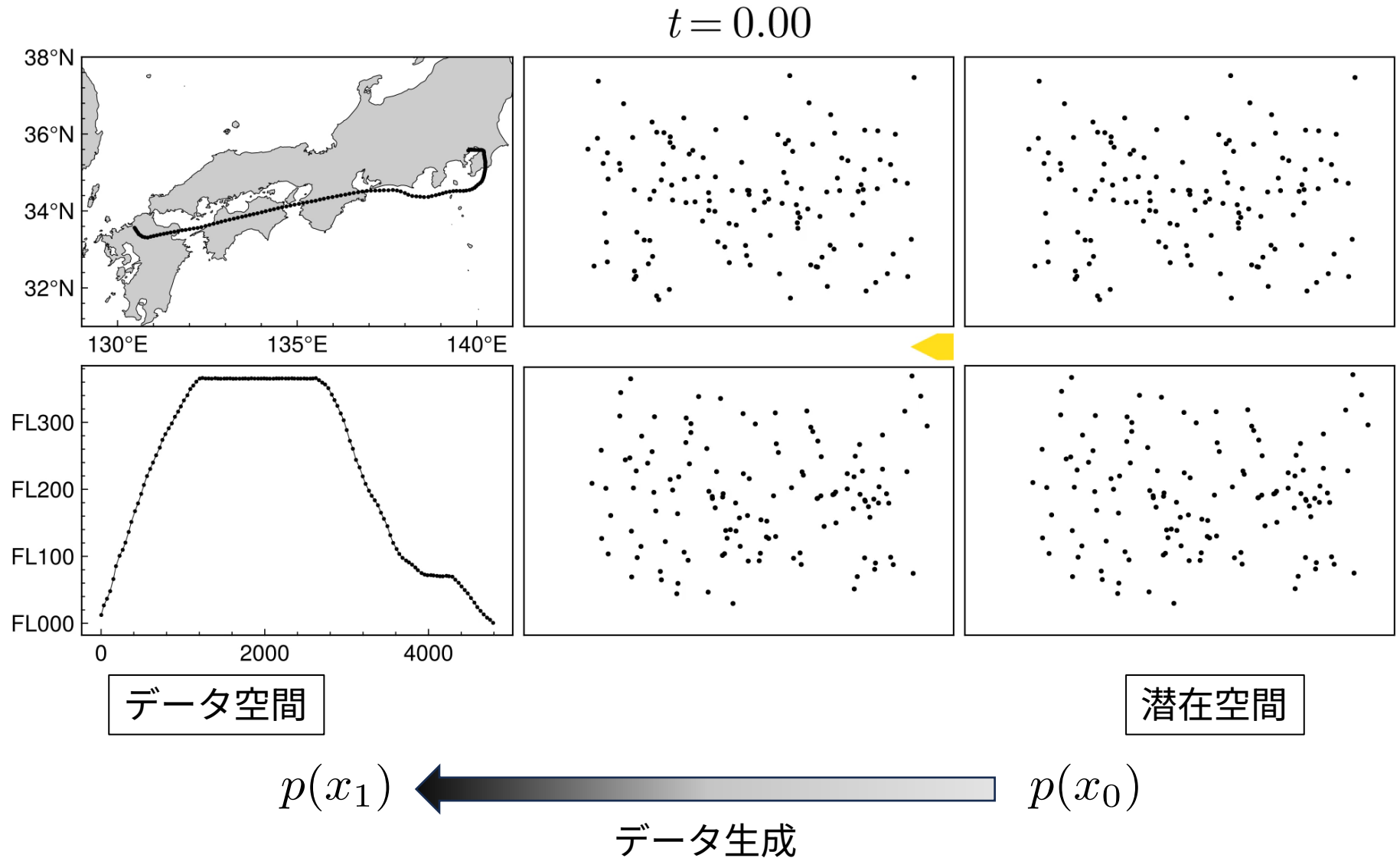
- 使用したデータ

- CARATS Open Data 2017/2018；福岡—羽田、9,056フライト
- 日時、仮想便名、（航空機型式、）緯度、経度、気圧高度
- 今回は気象、機体性能等は考慮しない

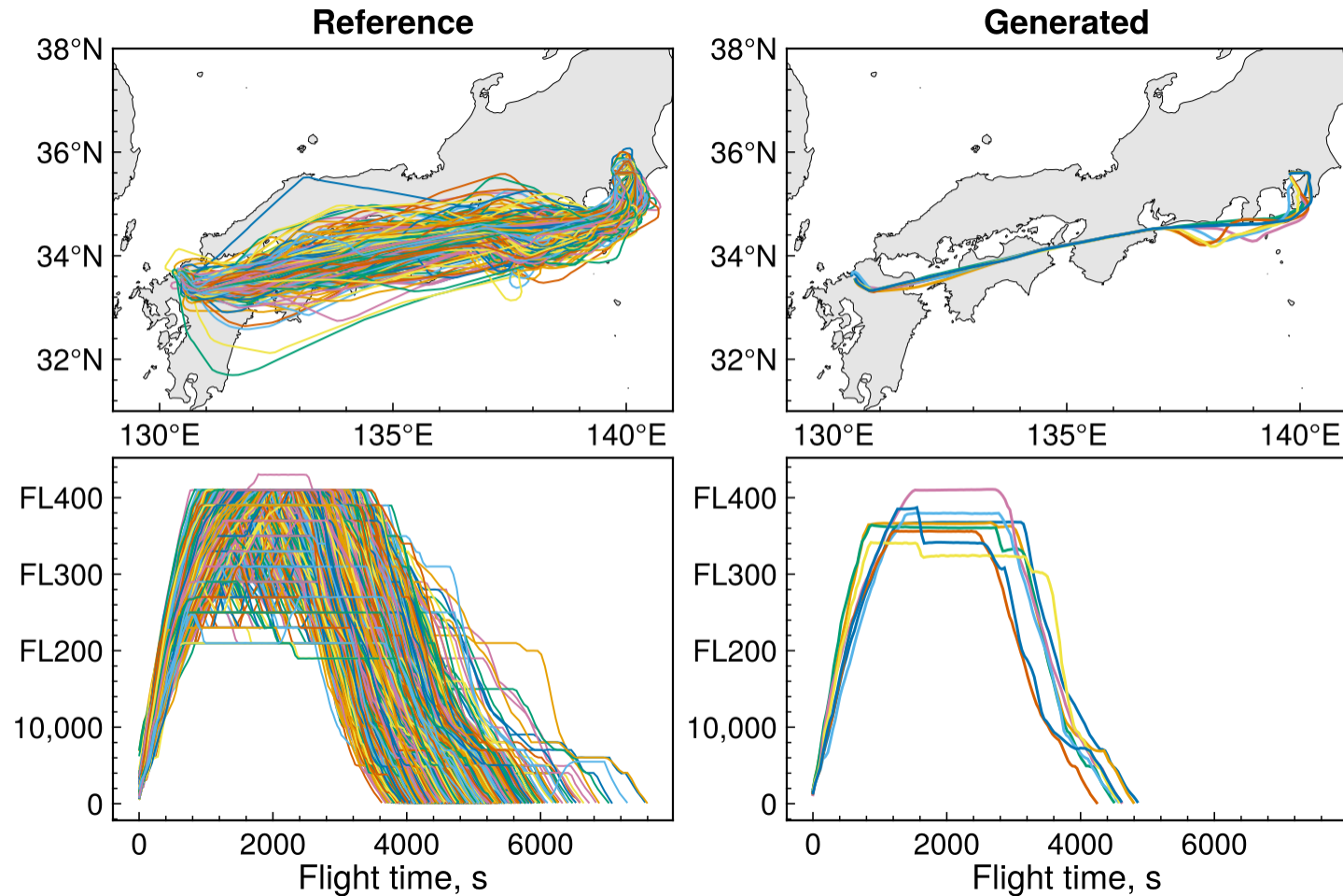
- データの前処理

- 各フライトの飛行時間を等分し、線形補間を適用して128点とする
- 値が一定範囲に収まるよう正規化：飛行時間、緯度、経度、気圧高度

生成過程の例（動画）：

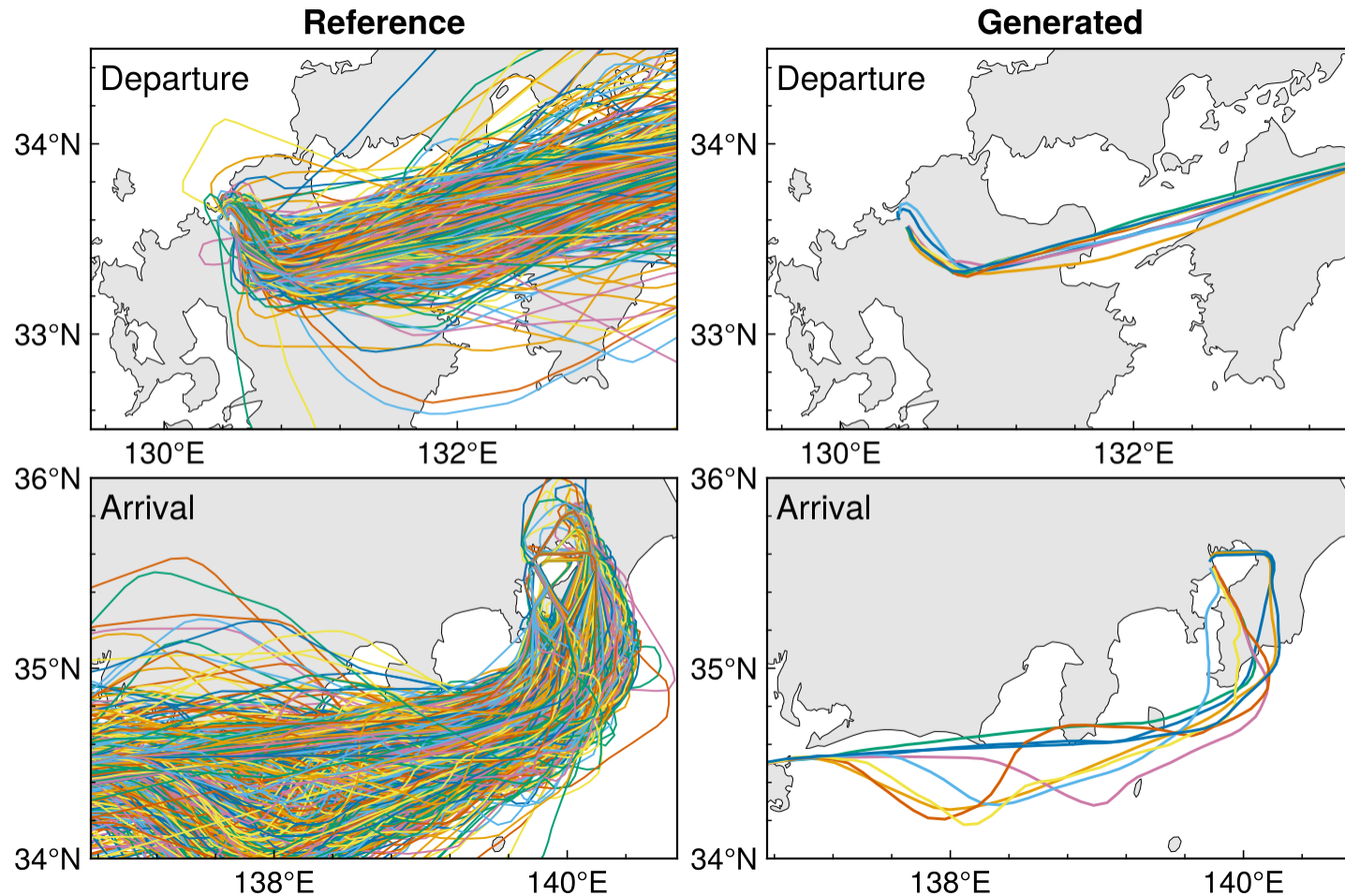


軌道生成結果の例：実際の運航に合う



- 明確な飛行フェーズ：上昇、巡航、降下
- 巡航中の高度変更、上昇／降下中の水平飛行
- 課題：離散的でない巡航高度

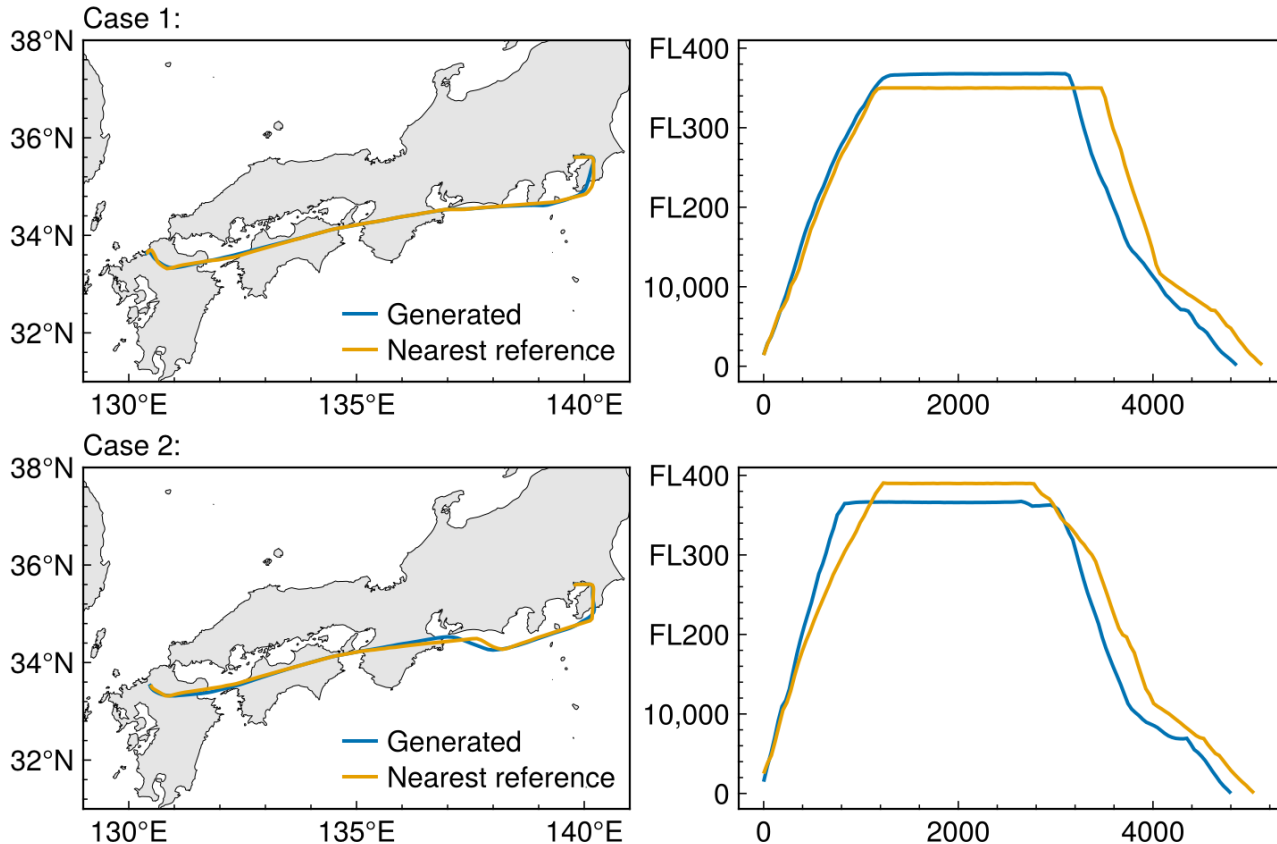
軌道生成結果の例：実際の運航に合う



- 出発経路／到着経路
- 関東南A入域 → ベクタリング開始

生成された軌道は訓練データに含まれない

- 生成された軌道に最も近い実際の軌道



- 実際の航跡に近いが同一ではない
→ 高い忠実性を持ちながら、過去には存在しない軌道

貢献

- 航空機の軌道生成に対して、フローベース生成モデルが適用可能であることを示した
 - － 忠実性＆新規性を持つ軌道を生成
 - － 生成された軌道の周辺確率が得られる → 品質低下を検出可能

課題

- 忠実性に関するより合理的な指標
- 運航等の制約を明示的に課す方法