

# 空港面交通データの 活用について

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

山田 泉



# 発表の概要

---

## 主眼

- CARATSオープンデータ(羽田空港の飛行場面データ)に用いられている航空機位置情報の特徴と、使用上の注意点(精度の制約等)
- ENRIのノウハウ(過去10年分ほど)のご紹介

## 発表の構成

1. 空港面交通データを用いた研究の背景
2. 空港面交通データの特徴
3. 研究事例
4. まとめ

# 空港面の交通データを用いる研究について

## かなり新しい研究分野です

- 交通状況の把握のためのデータを取得する手段の制約のため
  - スポット出発／離陸／着陸／スポット到着の時刻だけ（ACARSのOOOIメッセージ等）を用いた研究は古くから行われていますが...

## データの用途と要件

- 地上走行の分析、および、  
空港面交通シミュレーションのための基礎データ
  - 使用スポット、スポット出発／到着時刻がわかること
  - 使用滑走路、離陸／着陸時刻がわかること
  - 走行経路がわかること
  - 速度の履歴がわかること
  - 交通状況がわかること
- 航空機位置情報
- 混雑が待ち時間に及ぼす影響の分析
  - 全ての航空機の動きが記録されていること
    - さもないと・・・ 渋滞は見えても混み具合がわからない！

# 空港面の交通状況を把握する方法

大昔より: 目視、カメラ

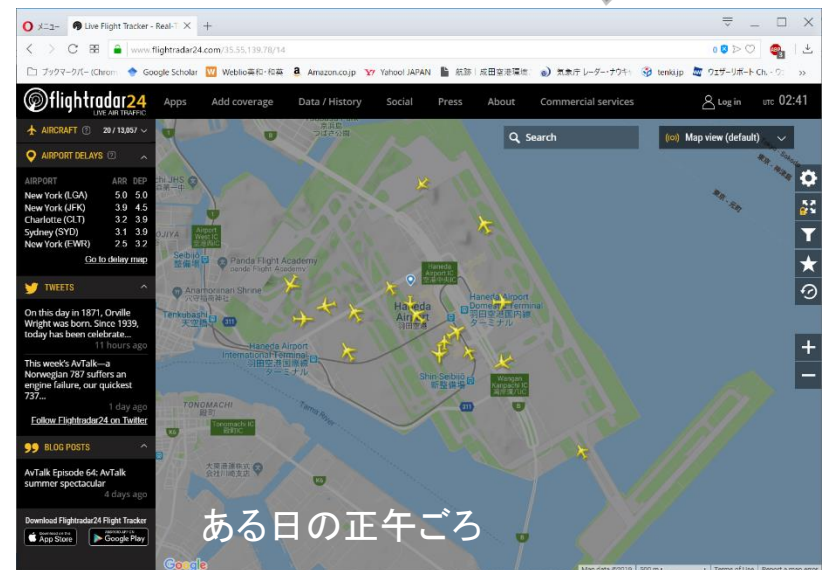
- 途方もない手作業

近年: マルチラレーション(後述)

- 日本: 2010年(羽田)に初めて設置

近年: ADS-B (FlightRadar24等で閲覧可能)

- 個々の航空機から放送される位置情報を受信
- 日本では、交通の全容を把握するには **適していない**
  - すべての航空機がADS-B信号を発しているわけではない
  - 日本ではADS-Bが義務化されていない
  - 空港では、受信機の設置場所によっては見えない場所が生じる(建物による遮蔽)



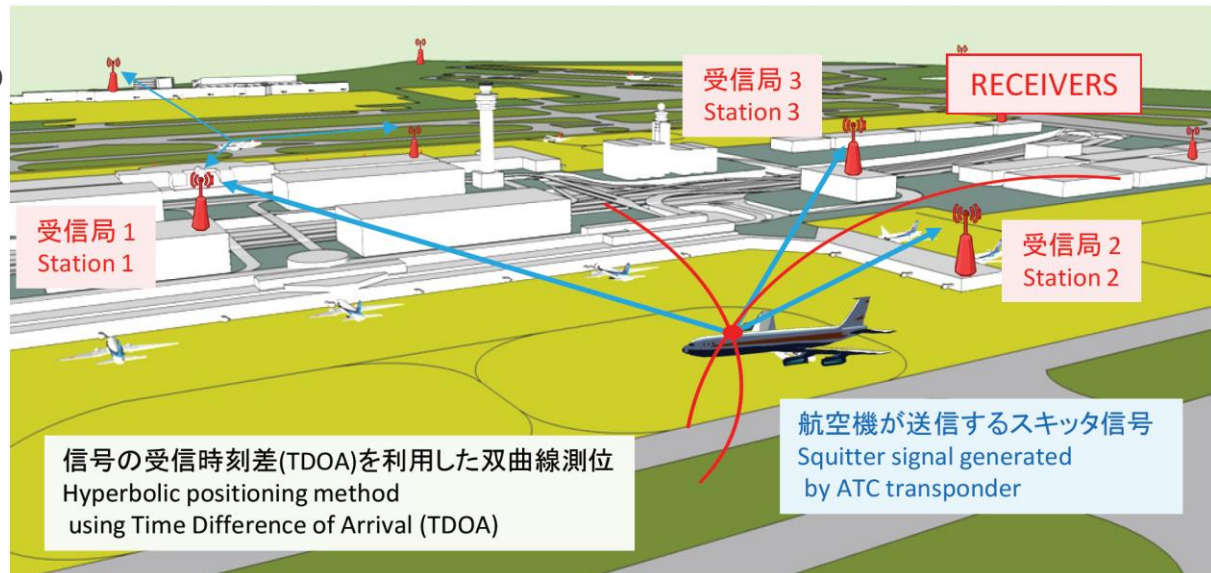
ADS-B(Automatic Dependent Surveillance – Broadcast) 放送型自動従属監視

# 空港面の航空機監視について

## マルチラレーション (Multilateration: MLAT)

- 航空機から発せられる電波信号 (スキッタ) を用いた多辺測量 (双曲線測位)
  - スキッタは航空機固有の符号 (ICAO 24bit アドレス) を含むため、航空機の識別が可能
- 精度 (欧州の航空無線規格による精度要件)
  - 滑走路、誘導路: 7.5m 以内
  - エプロン誘導路: 12m 以内
  - エプロン: 20m 以内
- 更新頻度: 1秒
  - 航空機側の発信頻度のため

電子航法研究所の貢献:  
羽田、成田、関西空港への  
MLAT導入において技術評価  
(航空局様より受託)



# MLATの運用

MLAT設置空港において、自走している航空機はMLATで見える

- AIP(航空路誌) AD1.6.11「マルチラレーションシステムの運用」  
2「操縦士のとるべき措置」
  1. 自走により空港面を走行する場合、モードSトランスポンダを有効とすること。
  2. トランスポンダを有効とする時期は以下のとおりとする。  
なお、ゲート内で停止中はトランスポンダを有効にしてはならない。
    - a. 出発機: プッシュバック又は地上走行開始のいずれか早い時期。
    - b. 到着機: 到着ゲート内で停止するまで。

設置空港: 全国8空港

- 新千歳、成田、羽田、中部、関西、伊丹、福岡、那覇
  - 大きな空港: 管制塔からの目視だけで監視するには広すぎる
  - 繁忙な空港: たくさんの航空機を目視で識別するのはたいへん
  - RWSL(Runway Status Lights: 滑走路状態表示灯)の必要な空港



# 取得可能なデータと用いる情報

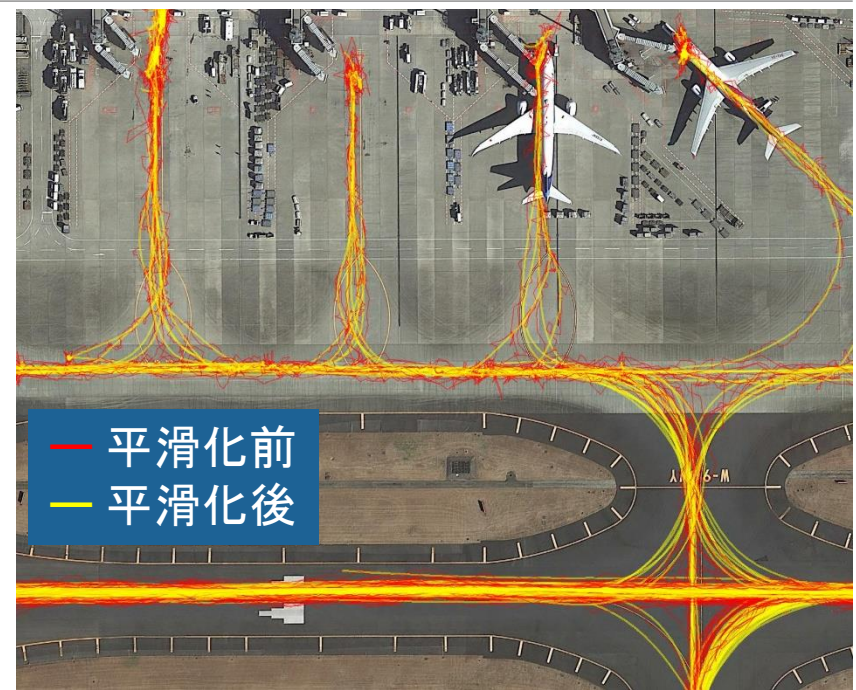
## MLATによる位置情報

- 航空機位置とタイムスタンプ(毎秒)
- 欠落について線形補間
- 平滑化: 前後各7秒(計15秒)の位置を用いた最小二乗法(2次曲線近似: 速度が算出できる程度の滑らかさにする)またはLOWESS平滑化

## 飛行計画データ

- 航空機型式
- 出発空港 / 目的空港
- 国内線 / 国際線の仕分けに用いる

オープンデータでは  
推測する必要がある



位置情報  
(毎秒)

補間、  
平滑化、  
速度算出

飛行計画

空港面  
交通データ

# MLATの得意／不得意

トランスポンダを動作させている  
全ての移動体の位置の把握が可能

- 出発便／到着便の航空機
- 一部の車両

離着陸時刻の検出等、滑走路／誘導路におけるイベントの時刻検出が可能

- 毎秒の位置がわかるため

数メートル程度の精度で毎秒の位置がわかる

- 交通状況の概要を知るためには十分な精度

トランスポンダを動作させていない  
移動体の位置は把握できない

- トーイング: 牽引車による移動
- たまに、トランスポンダを動作させない出発便／到着便もいる

スポット出発／到着の時刻検出は難

- 建物付近での測位が安定しないため（マルチパスの影響）

精密な位置の把握はできない

- ご要望の例: タキシングにおいて、誘導路中心線から左右どちらに何十cmずれて走る傾向があるか知りたい  
⇒ 無理です
- 数メートルのノイズに埋もれているため





# 研究事例

---

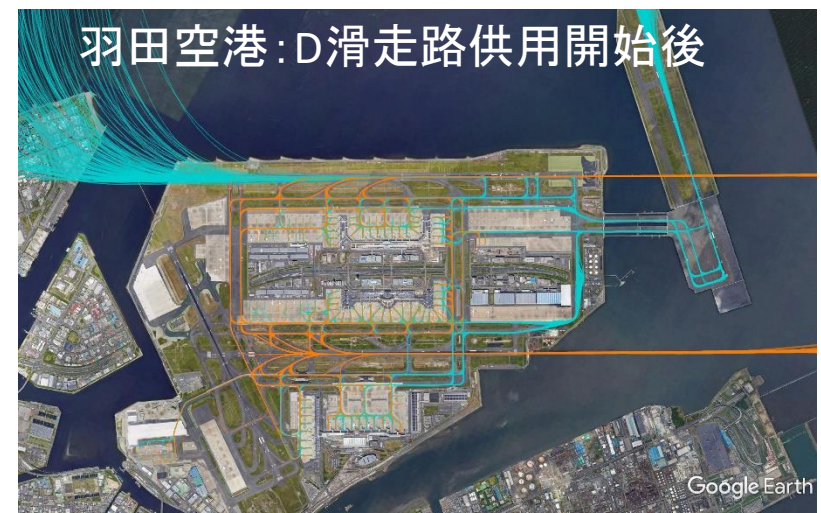
# 誘導路の交通分析：交通量計測

背景：主に誘導路において、予想以上に舗装の劣化が進む場合がある

- 設計・施工時に予期していなかった交通状況のため
  - 地上走行の動線の変化
  - 交通量の変化
- ▶ 空港面の交通の実態を把握し、設計・保守に役立てる必要がある

目的：空港面交通データを用いて、空港設計に資する知識を引き出す

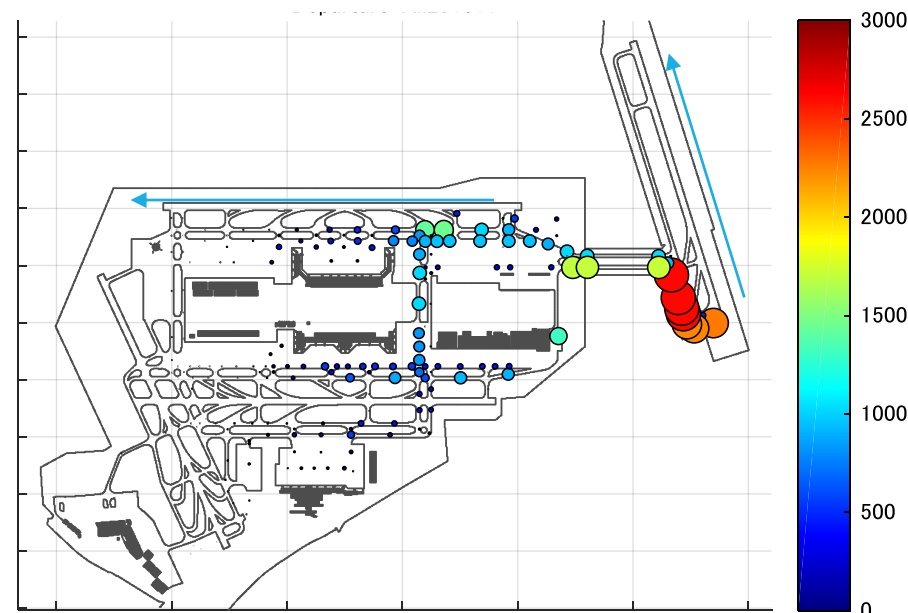
- 日々の誘導路の使用状況に応じた舗装厚の設計等を可能にしたい



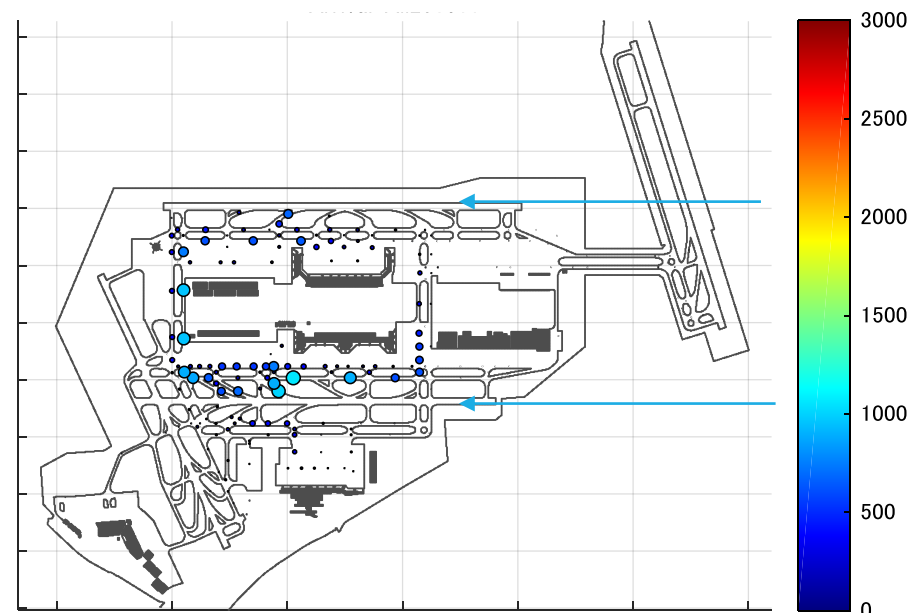
# 計測結果：地点ごとの交通量と仕分け

1週間分のデータを用いた交通量計測：  
誘導路およびエプロンの表示例

- 主要な動線に沿う地点で交通量が多いことを定量的に把握し、交通量の特徴を知ることができる



北風運用の出発便 (回/週)



北風運用の到着便 (回/週)

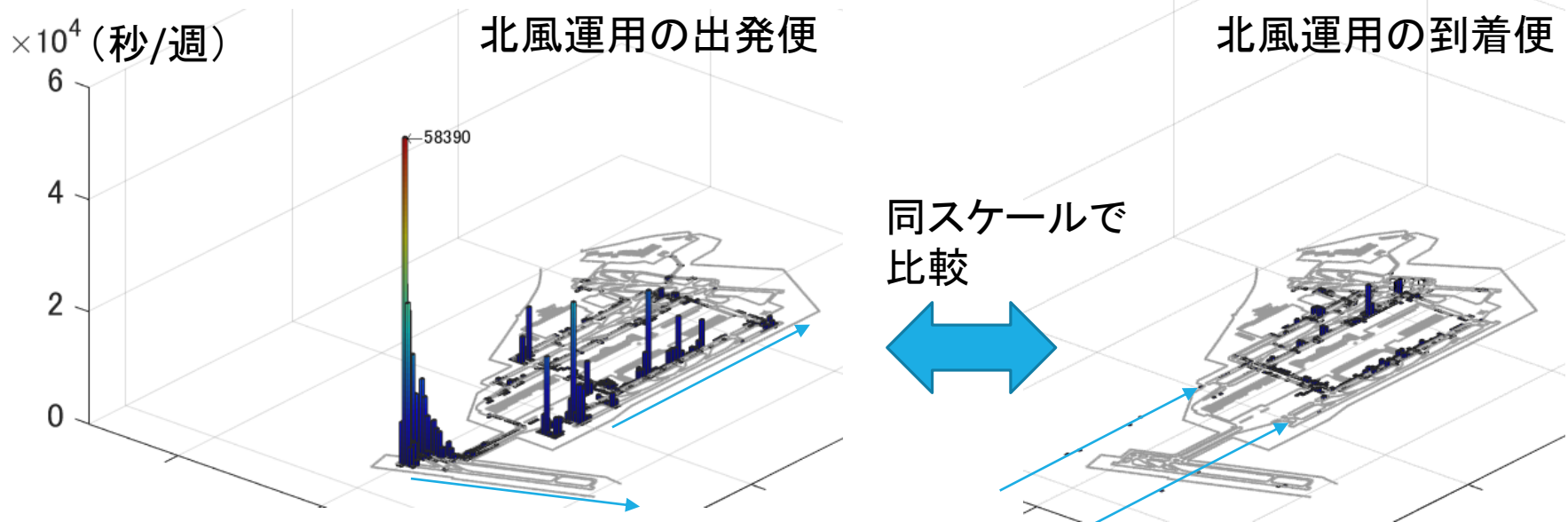
# 誘導路の交通分析：滞留箇所への把握

## 滞留時間のマッピング

- 走行速度10km/h未満となった時間を50m×50mメッシュごとに累積

## 誘導路における滞留は主に出発便において生じる

- 到着便に比べ、桁違いに滞留時間が多い
- 主な滞留箇所
  - 離陸滑走路の入口付近
  - 滑走路横断部分



# 誘導路の交通分析：補修履歴との相関

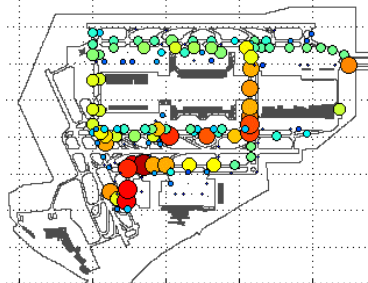
## 緊急舗装補修履歴との相関分析

- 交通量上位地点
- 滞留時間上位地点

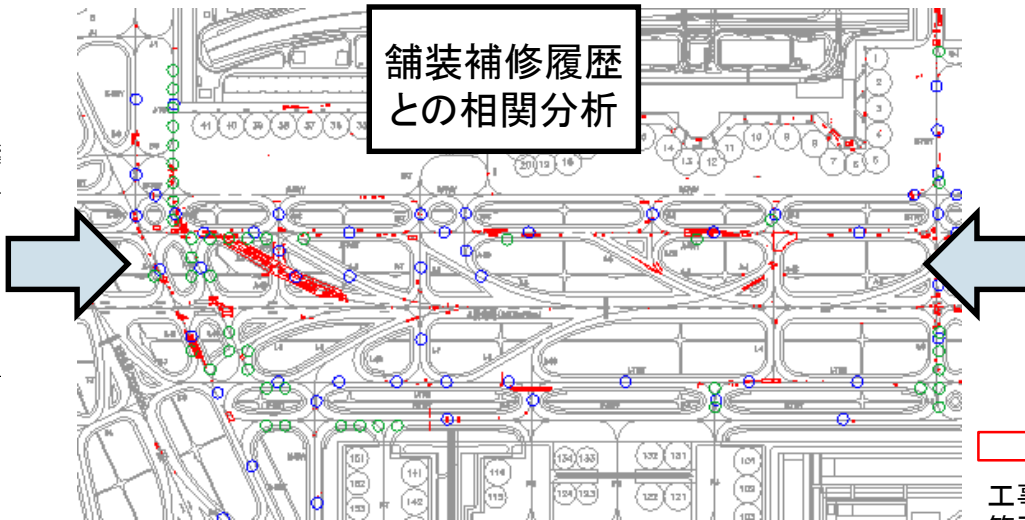
頻繁に使われる場所ほど舗装の劣化が生じることが明らかとなった

- 交通量の多い場所
- 滞留の多い場所：滑走路付近で待つ場所

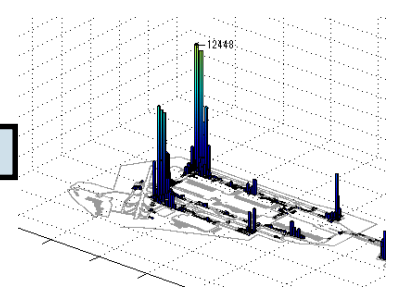
誘導路交通量の  
マッピング



舗装補修履歴  
との相関分析



滞留時間の  
マッピング



- 工事箇所
- 交通量上位
- 滞留発生上位

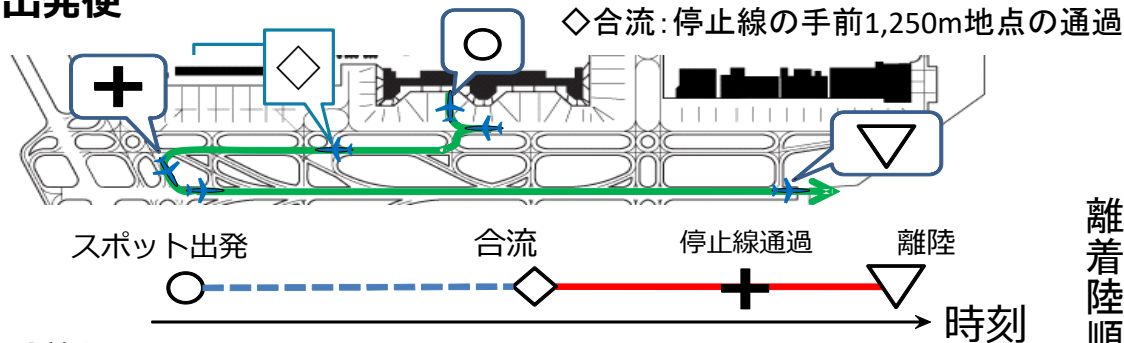


# 出発便の待ち行列分析

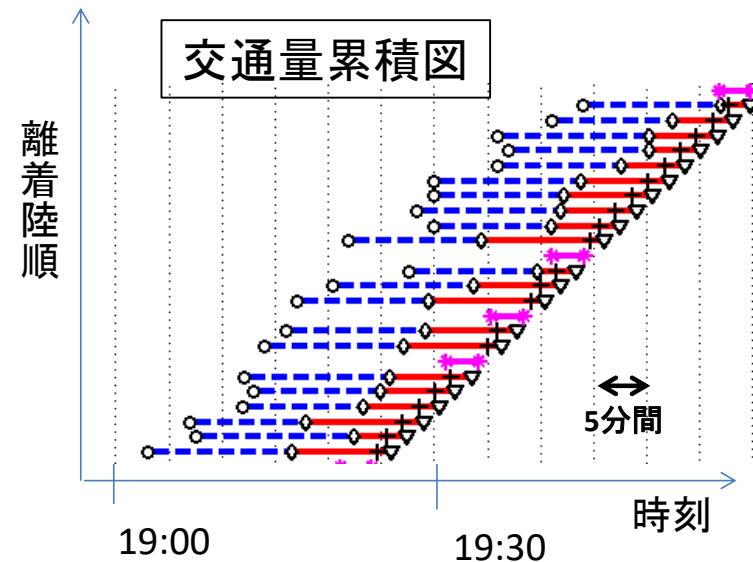
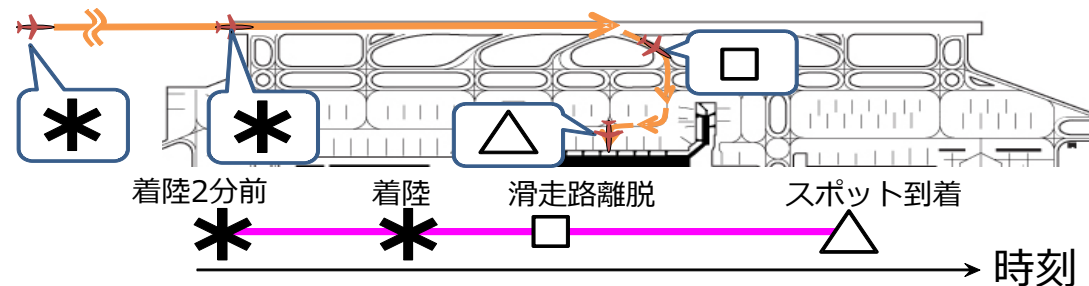
離陸滑走路がボトルネックとなる出発便の滞留のダイナミクス

- 交通量累積図により、単一サーバ待ち行列として振る舞うことを確認
  - 先入れ先出し(First In, First Out)
  - 離陸間隔よりも詰まった間隔で合流している間、待ち時間が長くなっていく

(a) 出発便



(b) 到着便



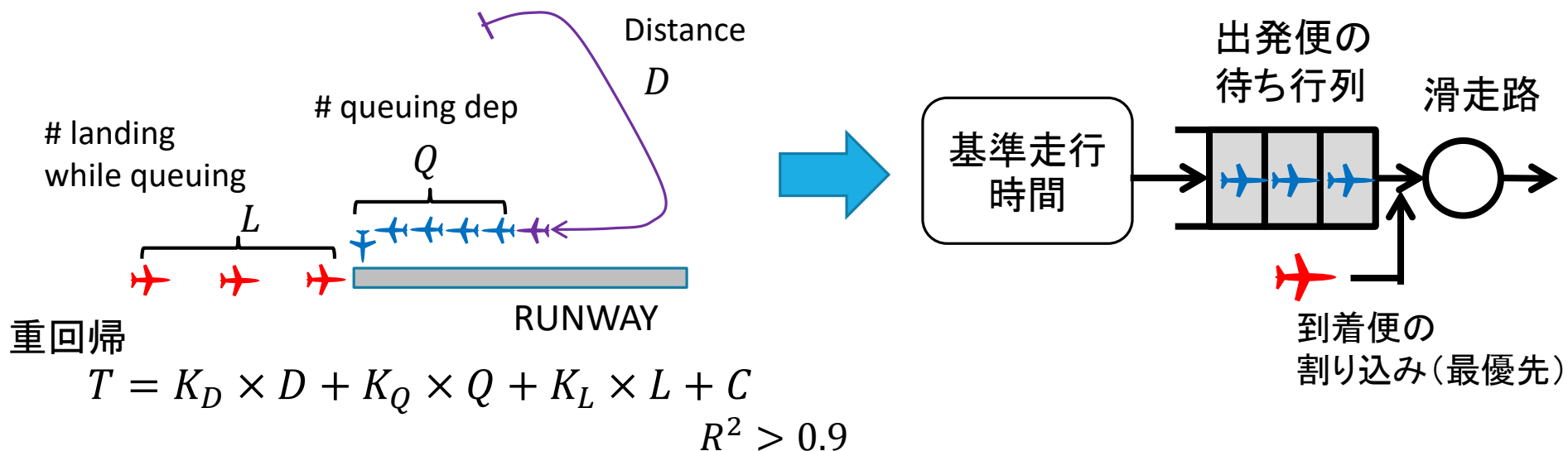
交通工学研究会, 「道路交通技術必携2007」



# 出発便の地上走行時間のモデル化

## 地上走行時間を構成する要素

- スポットから滑走路までの距離を移動するのに必要な時間(基準走行時間)
- 滑走路端における待ち時間
  - 行列において前にいる出発便による待ち時間
  - 到着便の干渉による待ち時間



山田, 住谷, ブラウン, 青山, 森, 「成田空港出発便の地上走行時間に関する分析」, 第14回電子航法研究所研究発表会講演概要, pp. 51-56, 2014.

# 空港面交通シミュレーション

交通データ(動態)を模擬するシミュレータを作成

- 交通データを重畳して表示することで性能検証できる

マルチエージェントシミュレーション

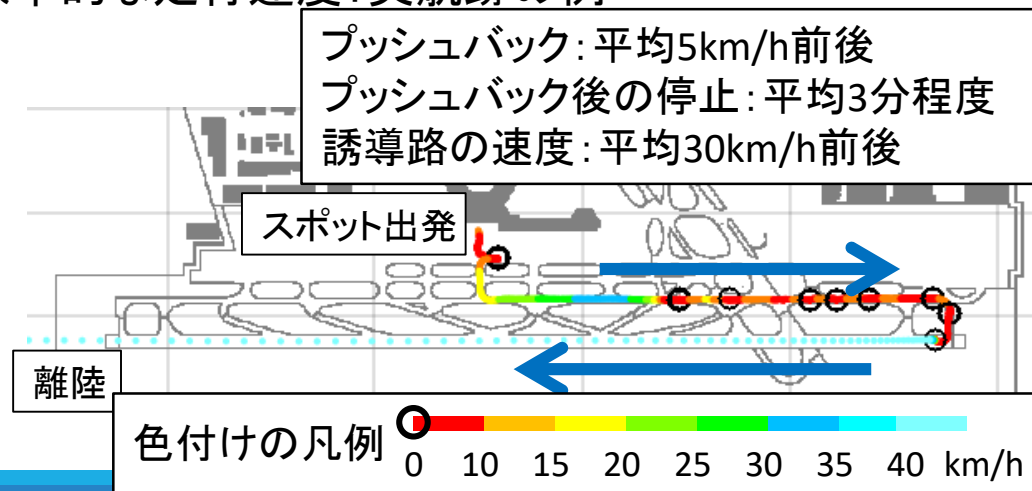
- エッジとノードで定義されるマップ上を多数の航空機モデルが走行
- 空港面交通データの分析をもとに、現実の地上走行を模擬
  - 走行経路
  - 走行速度
  - 衝突回避

画一のルール、および  
個別の航空機における設定(必要に応じて)

標準的な走行経路: 実航跡の例



標準的な走行速度: 実航跡の例

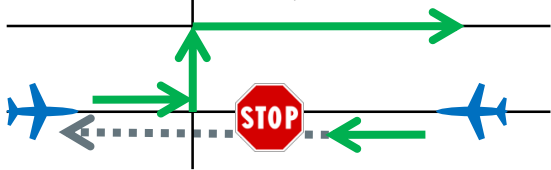


# シミュレータの機能の概要

点と線で表した  
走行経路設定の例

経路探索: 優先路を設定した  
最短時間経路探索

衝突回避ロジック



同方向: 追突しない間隔  
反方向: 各々の航空機の経路が  
反方向で重複する区間を先取り  
されたら、区間の手前で止まる

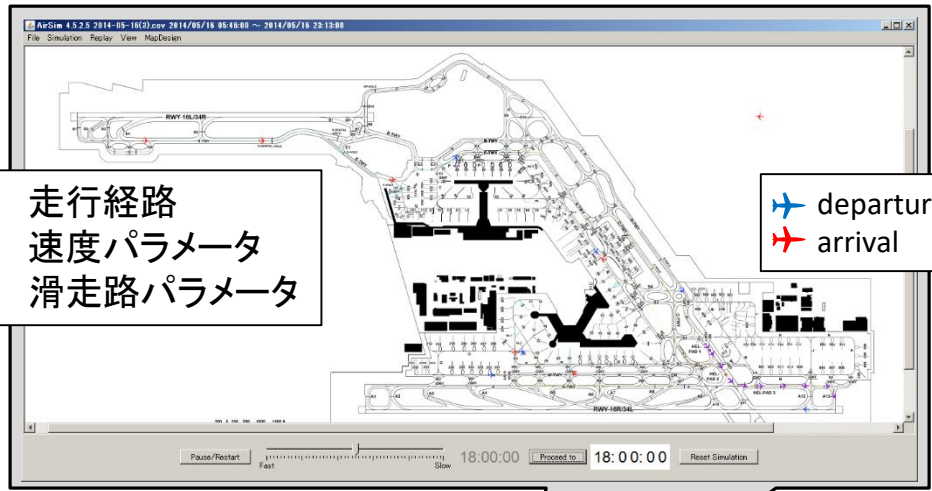
空港面交通  
データベース

- 走行経路
- 速度パラメータ
- 滑走路パラメータ

現状模擬シナリオの  
書き出し

シナリオ

ファストタイムシミュレーション



空港面交通  
シミュレータ

結果  
ファイル

# シミュレーション実施例：交通データとの比較

File Simulation Instruction Replay View MapDesign

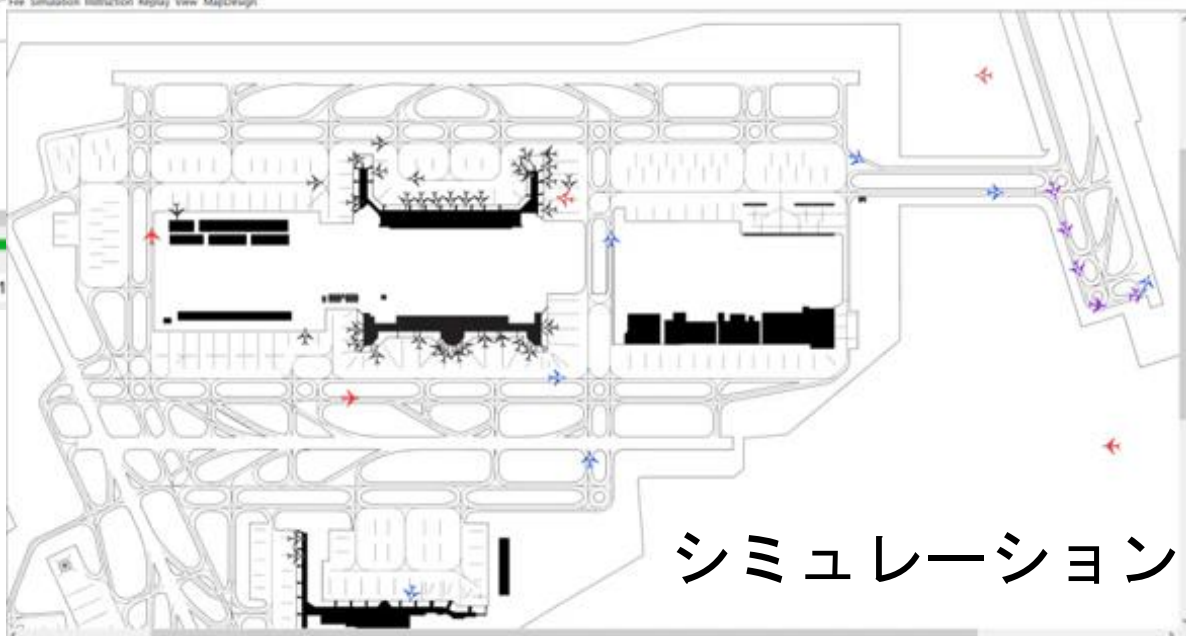


ENRI内製シミュレータ



空港面交通データ

視覚的な比較により、  
妥当性検証、パラメータ調整が  
可能



シミュレーション



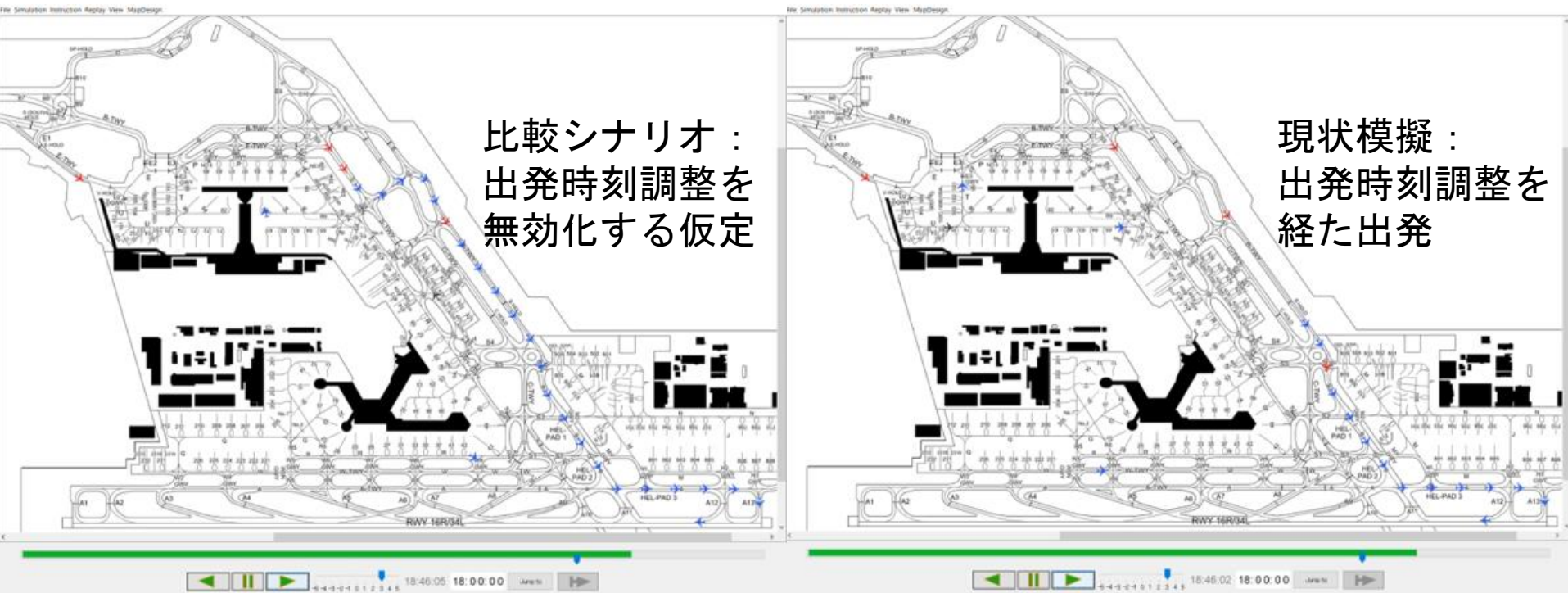


# シミュレーション実施例：交通管理手法の検証

## スポット出発時刻調整の有効性：成田空港

- 現状模擬：管制によるスポット出発時刻調整を受けた交通状況の模擬
- 比較シナリオ：出発時刻調整に係るスポットでの待ち時間の分だけ、スポット出発時刻を前倒しする仮定（航空機側の出発要求時刻どおりの出発）

滑走路端の待ち行列の軽減に有効であることを確認



# まとめ

空港面交通データを用いた研究は、かなり新しい研究分野

- 近年、MLATの整備により大量の位置情報が取得可能になったため

空港面交通データ(MLAT)の特徴

- モードSTランスポンダを動作させている全ての移動体の位置が把握できる
- 精度の制約により得意／不得意がある

空港面交通データを用いた研究の事例

- 誘導路の交通量計測
- 地上走行の滞留時間計測と待ち行列分析
- 出発走行時間のモデル化
- 空港面交通シミュレーション

基本的な処理アルゴリズム等は  
ENRIより提供可能です

皆様のご活用をお待ちしております

- 新しいアイデア、共同研究のご提案等、歓迎いたします