

# 羽田空港における航空機地上運航の 滞留に関する分析

独立行政法人 電子航法研究所  
航空交通管理領域

※山田 泉、青山 久枝、  
福田 豊、森 亮太

# 発表の構成

1. 研究の目的
2. 出発便と到着便の滞留の比較
3. 出発便の滞留時間に関する分析
4. まとめ

# 背景

## ■ 羽田空港：日本最大の空港

### － 繁忙な運用

- 約900便/日(～H22.10)⇒約1,000便/日(H22.10～)
- 空港面の混雑による地上運航時間の増加

### － 国内線の運航：1日複数回の往復

- 地上運航時間の増加により遅延が生じれば、各航空機に遅延が蓄積されていく
  - － 計画的な運航管理の阻害要因

# 研究の目的

- 空港面の混雑による滞留のメカニズムの定量的把握のための分析
  - 滞留の生じる場所                      どこで？
  - 滞留の原因、発生メカニズム              なぜ？
  - 滞留時間                                      どれだけ？
- 滞留時間の予測・管理手法の検討

# 発表の構成

1. 研究の目的
2. 出発便と到着便の滞留の比較
3. 出発便の滞留時間に関する分析
4. まとめ

# 地上運航の交通流の特徴

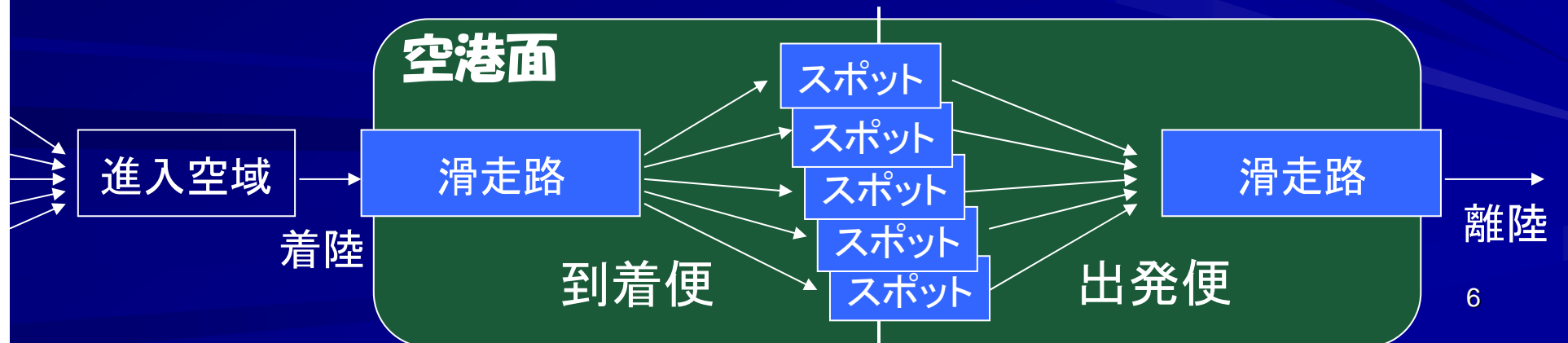
## ■ 2種類の交通流

- 出発便: 滑走路に向かって合流
- 到着便: 滑走路から分岐

## ■ 空港面にあるボトルネック

- 滑走路処理容量の制約

- 出発便: 離陸滑走路の手前に待ち行列を形成し、滞留  
⇒ 運航データによる定量的把握

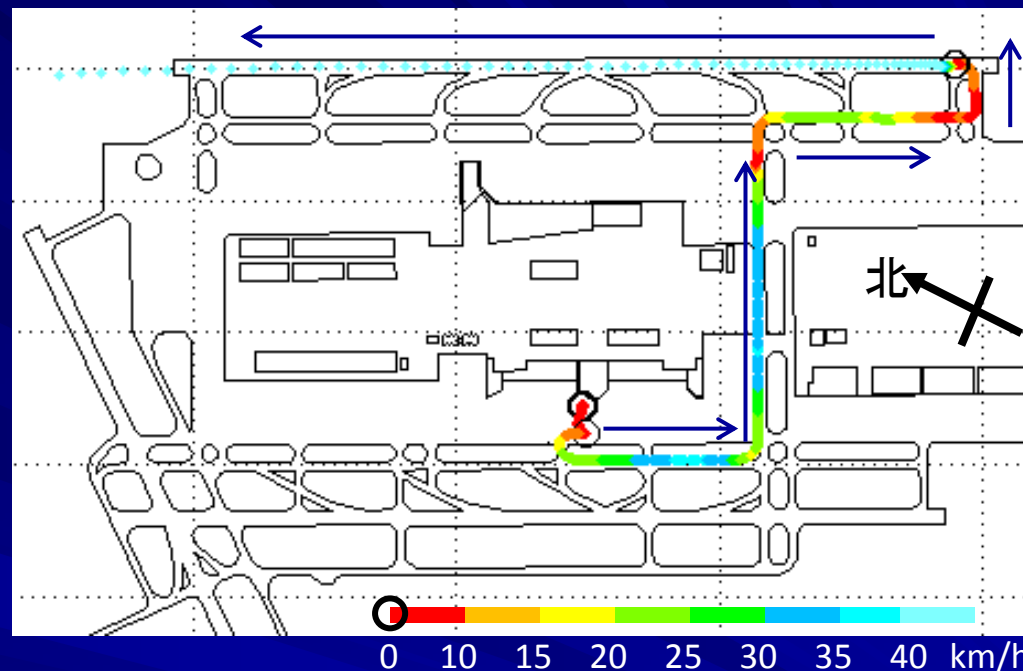


# 運航データ

- マルチラレーション監視システム(MLAT)導入評価運用時のデータを使用
  - 個々の航空機監視データの中身
    - 毎秒の航空機位置
    - 航空機固有の識別符号 (ICAO 24-bit address)
      - ⇒ 監視データから、各便の航跡を識別可能
- サンプルデータ
  - 平成20年8月～21年6月、隔月6～7日(計38日)
    - D滑走路供用開始前の通年データ
  - 北風運用について分析(データ全体の約67%)

# 航空機の地上走行ダイナミクス

- 各便の監視データの解析から得られるもの
  - 走行経路
  - 走行経路に沿った速度変化
  - 走行速度の時間履歴

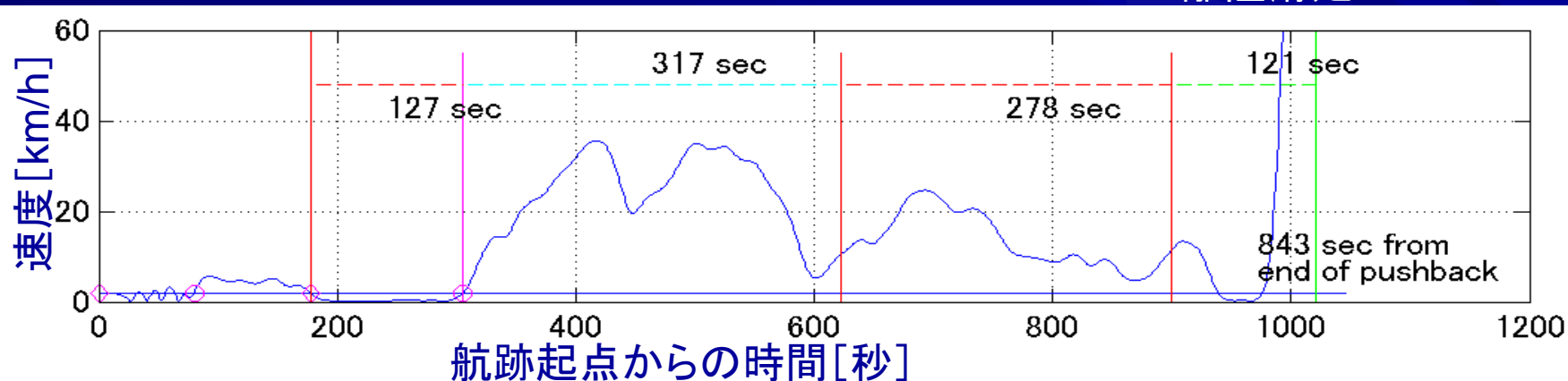


プッシュバック

停止

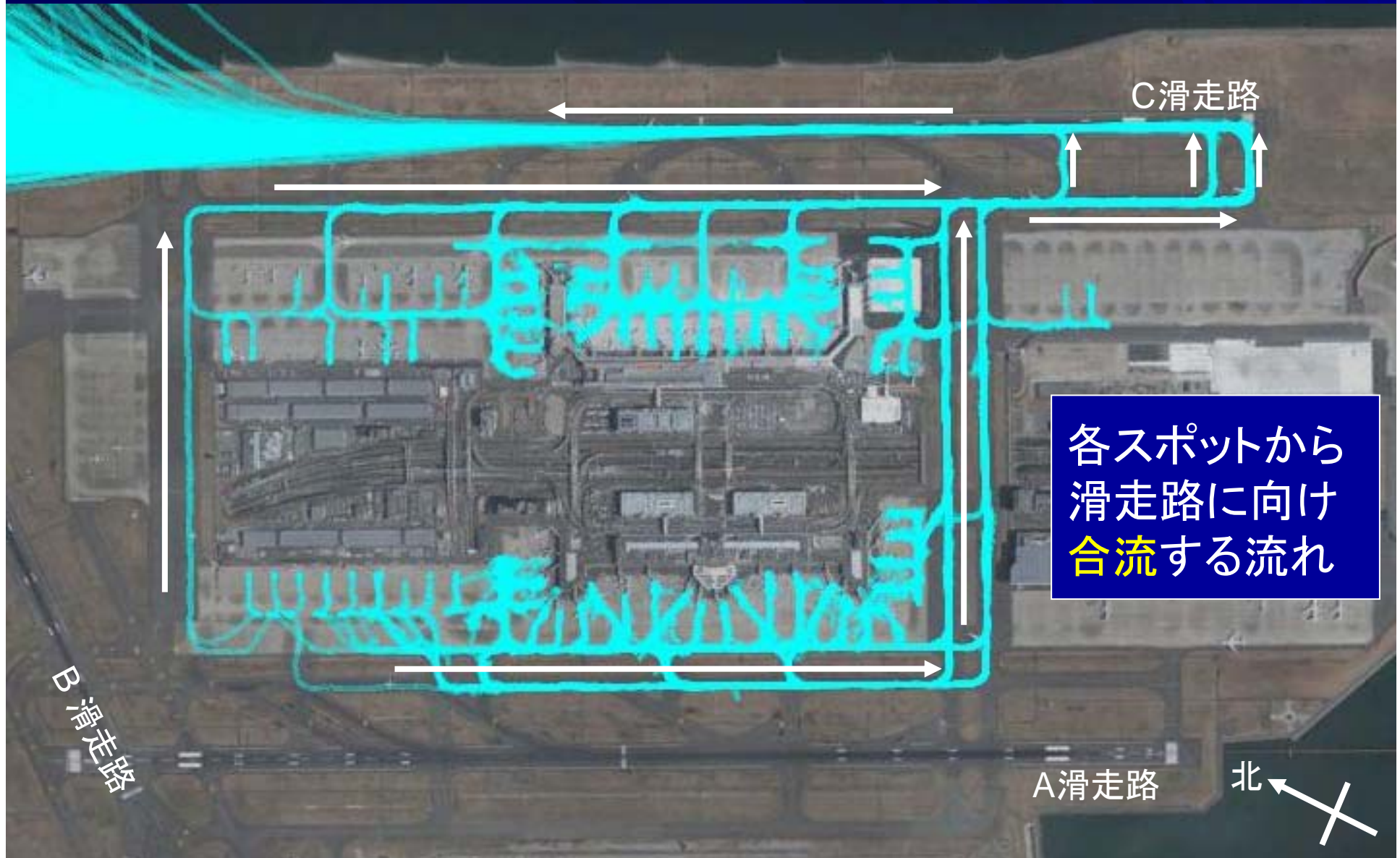
滑走路への走行

離陸滑走



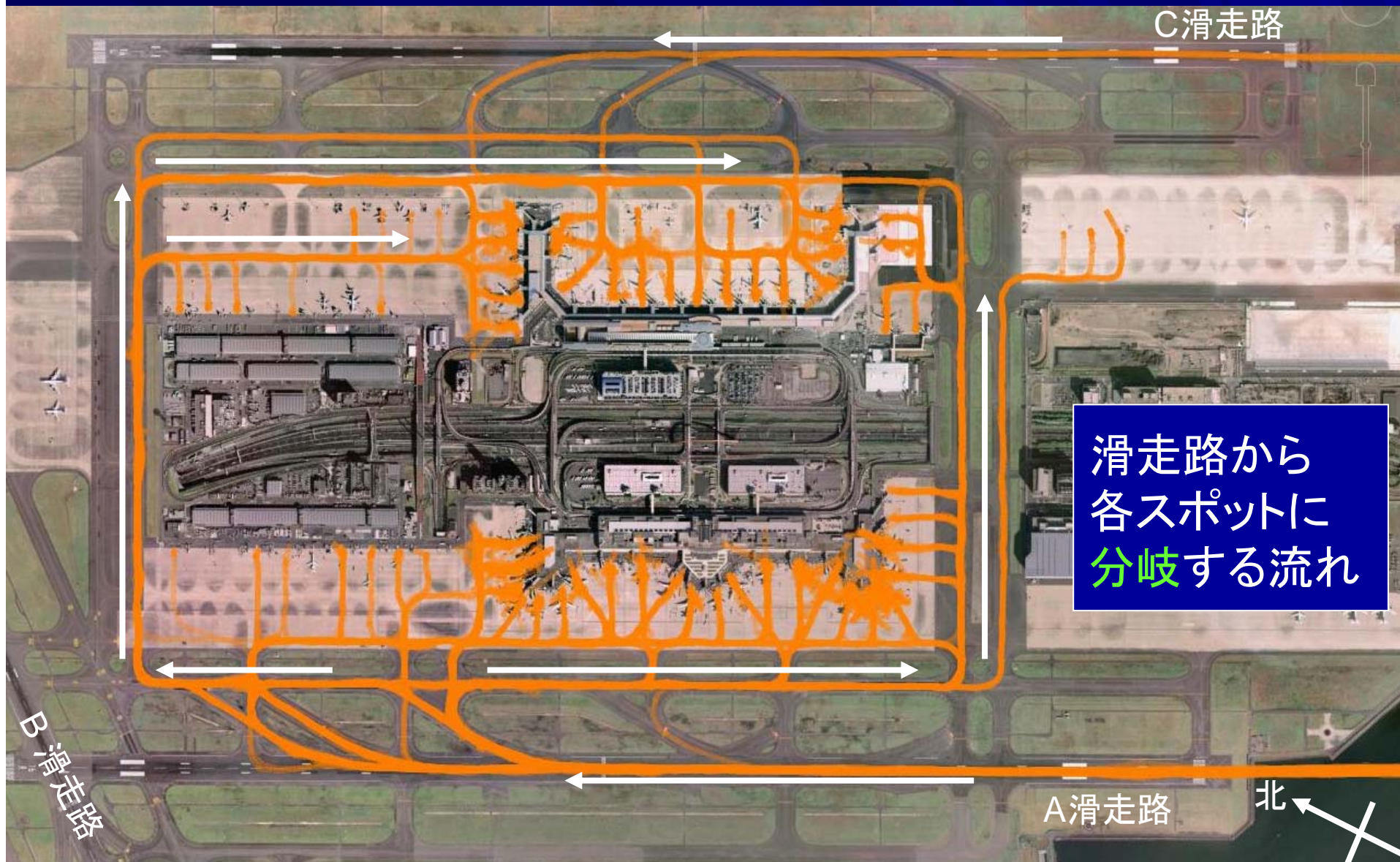


# 出発便の走行経路(北風運用)





# 到着便の走行経路(北風運用)







# 滞留箇所と滞留時間の可視化

## ■ 場所ごとの滞留時間の総和をマッピング

– 滞留の定義: 交通状況による10km/h未満の低速走行

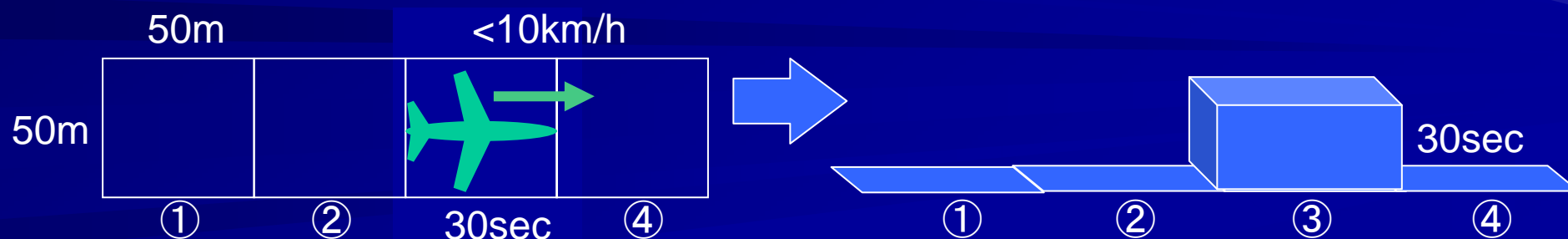
■ 混雑に関係なく行う低速走行を除く

例: プッシュバック中、タキシング開始直後など

– 空港面を50m×50mのセルに分割

– 滞留時間の定義: 滞留時のセル滞在時間

– 1日分の全航跡に対して、滞留時間の総和を  
空港チャート上に棒グラフで表示



# 出発便の滞留

■ 平成21年4月25日

— 特に滞留した日

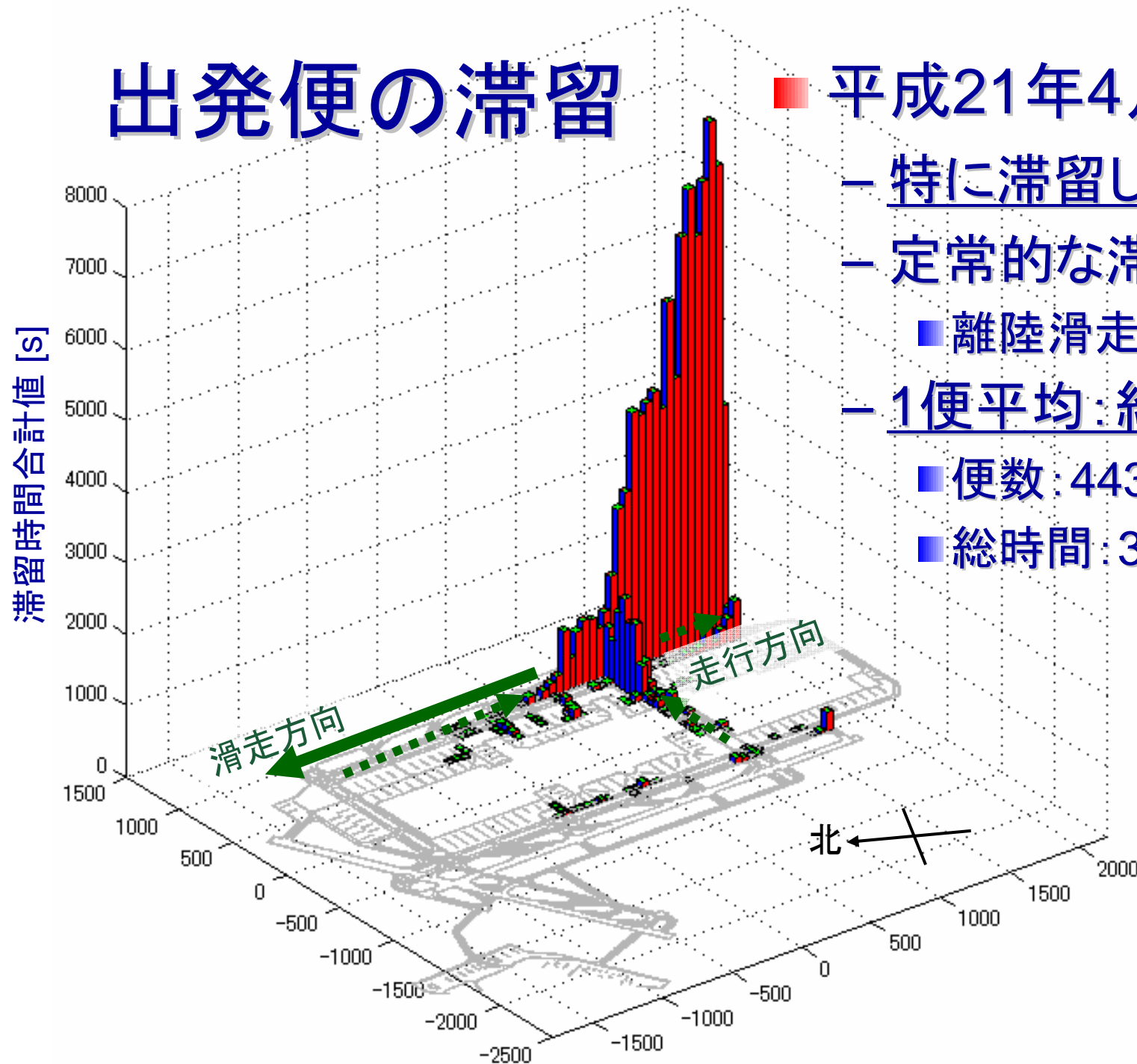
— 一定常的な滞留箇所

■ 離陸滑走路の手前

— 1便平均: 約5.0分

■ 便数: 443便

■ 総時間: 36.8時間





# 到着便の滞留

■ 平成21年4月25日

– 出発便に比べ、全般的に少ない

– 1便平均: 約0.3分

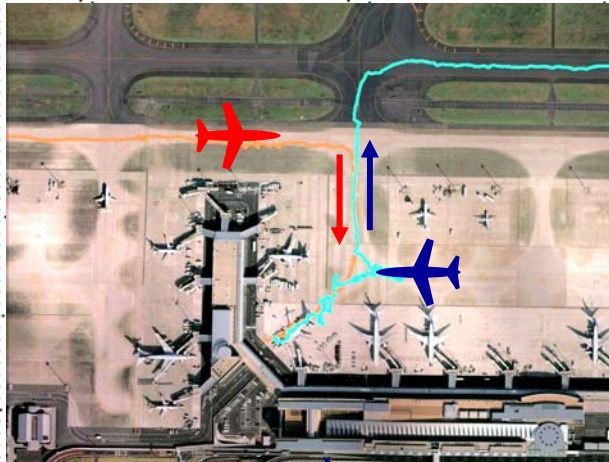
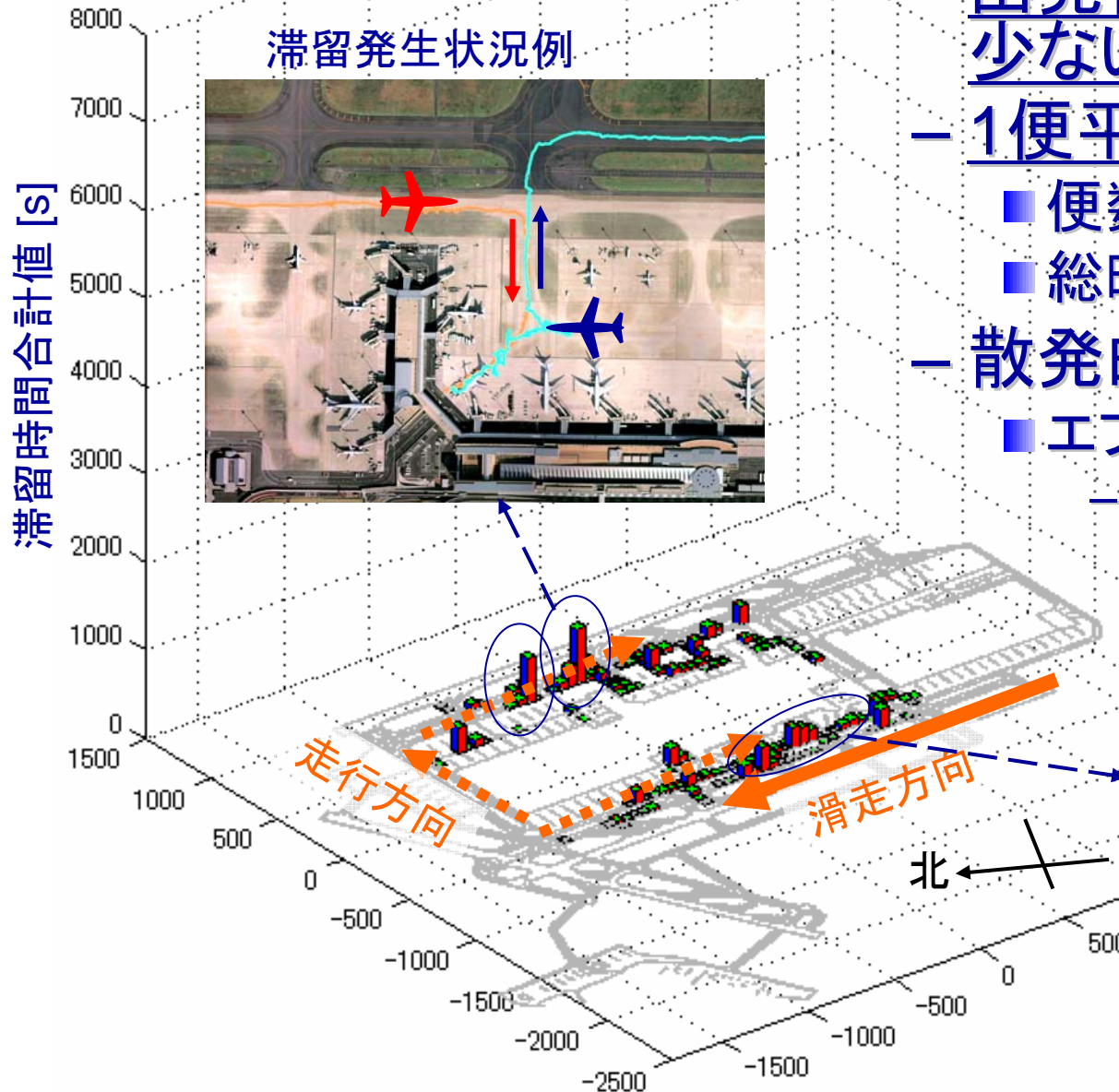
■ 便数: 443便

■ 総時間: 2.3時間

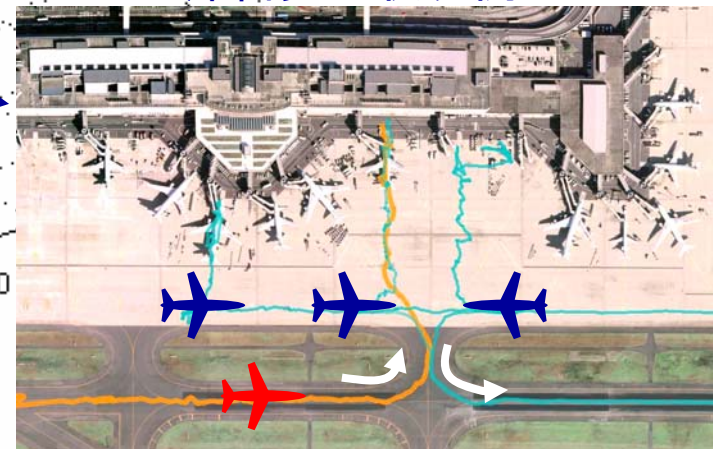
– 散発的、一時的な滞留

■ エプロン出入り口

– 主な要因: 出発便との  
経路競合、スポット競合



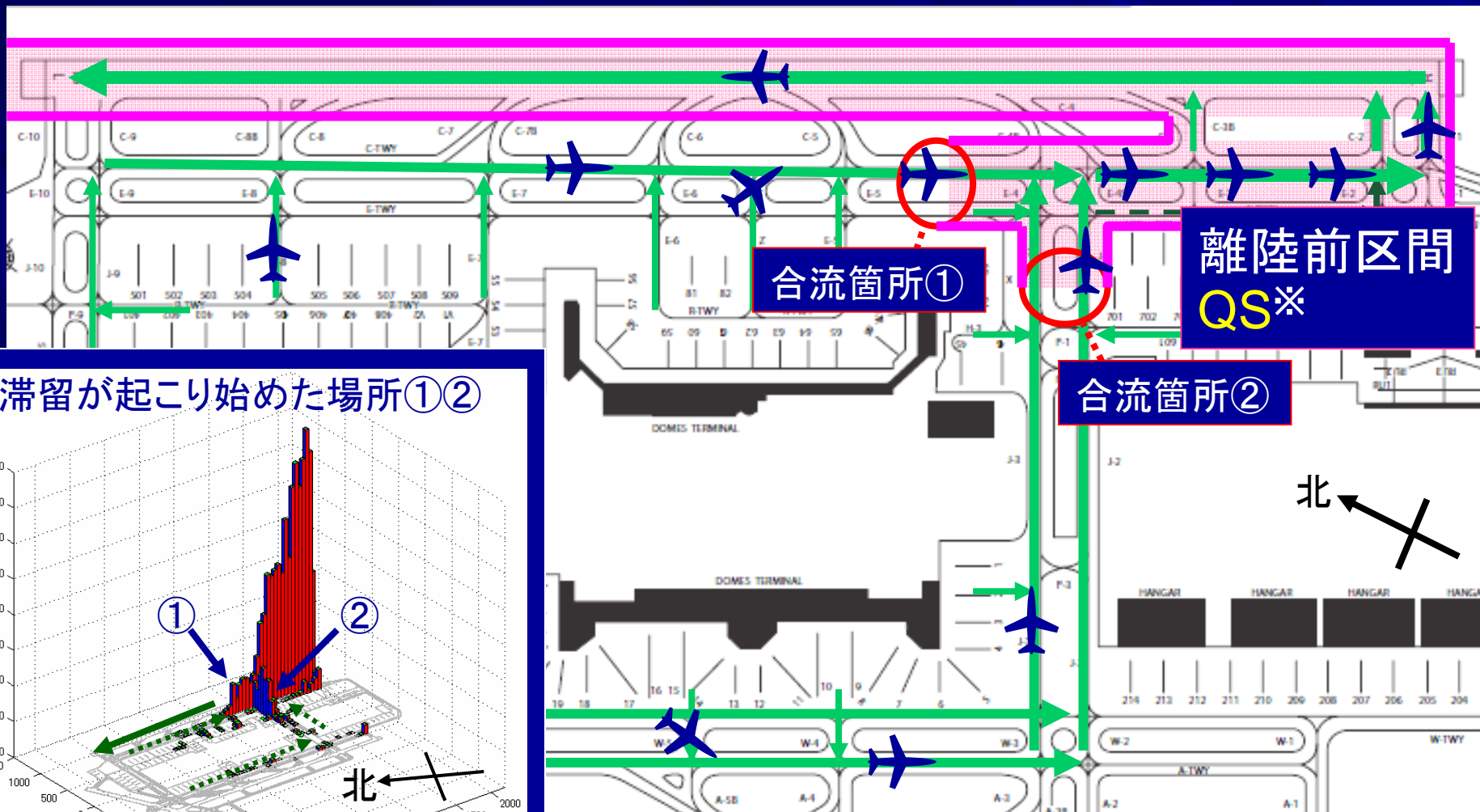
滞留発生状況例



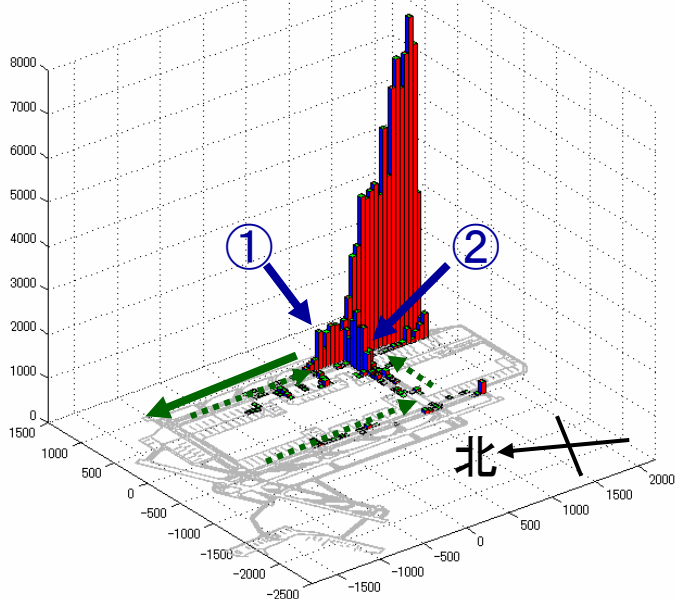
# 発表の構成

1. 研究の目的
2. 出発便と到着便の滞留の比較
3. 出発便の滞留時間に関する分析
4. まとめ

# 注目する滞留区間の定義



滞留が起こり始めた場所①②



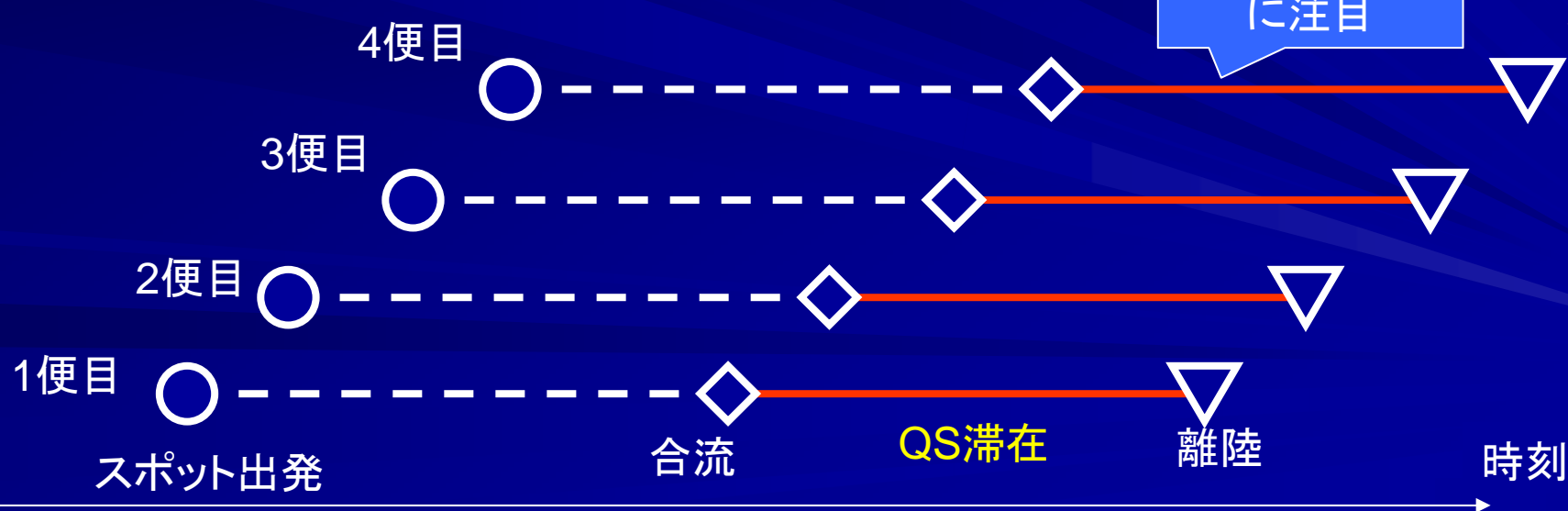
※QS: Queueing Segment(並ぶ区間)



# QS滞在時間の変動の可視化

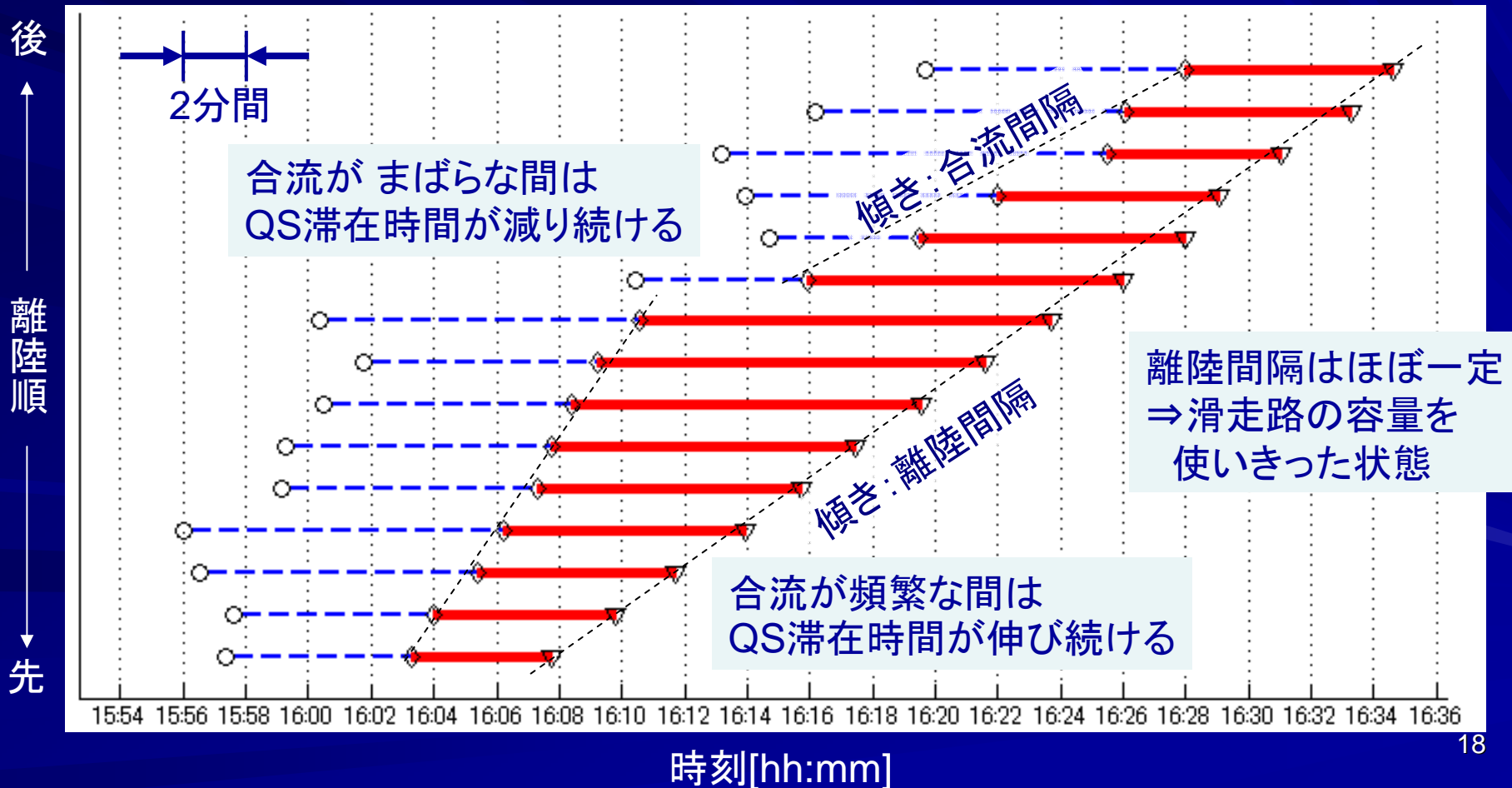
## ■ 合流後の地上走行時間に注目した複数航空機の運航状況の時系列表示

- 合流～離陸間の時間(QS滞在時間)の増加／減少ダイナミクスを可視化



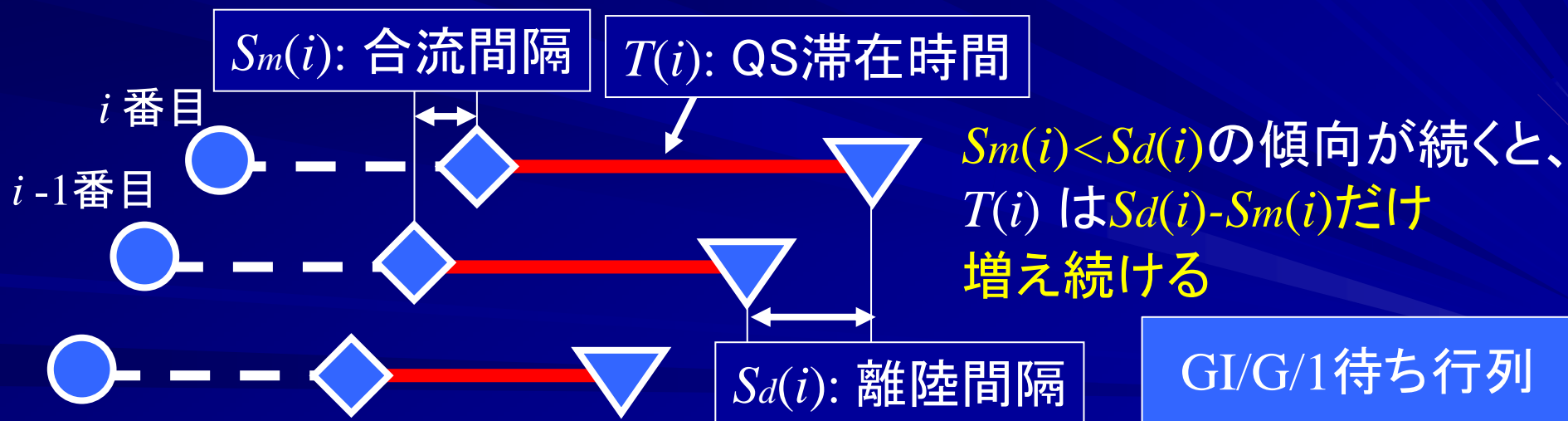
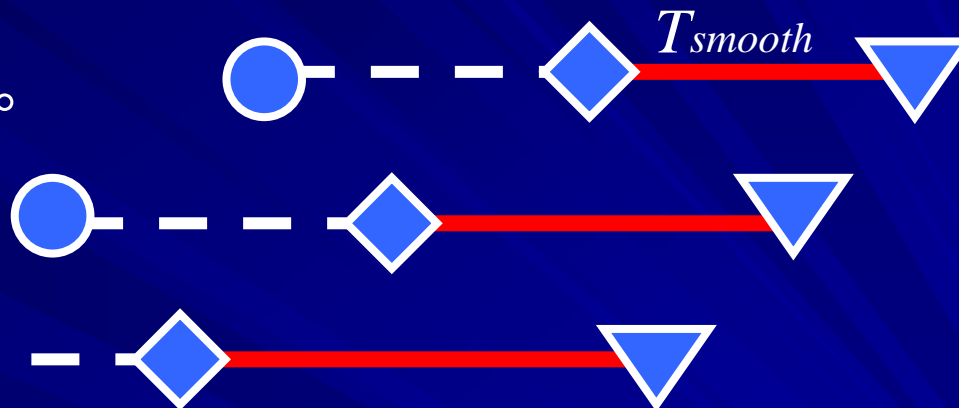
# 合流状況とQS滞在時間の変化

– 27分間に離陸した15機



# 待ち行列理論によるモデル化

$S_m(i) > S_d(i)$ の傾向が続くと  
 $T(i)$  は  $S_m(i) - S_d(i)$ だけ減り続ける。  
 ただし、非混雑時の時間( $T_{smooth}$ )  
 を下回らない。



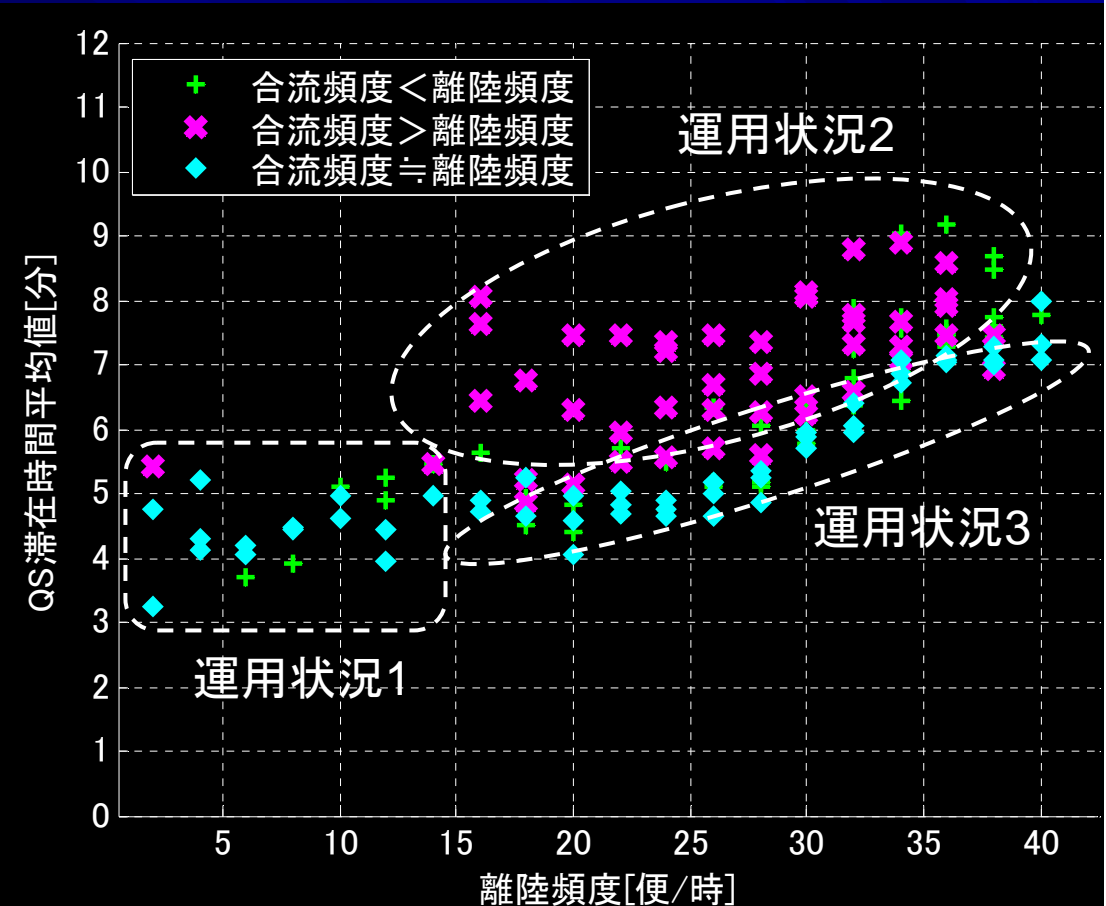
$S_m(i) < S_d(i)$ の傾向が続くと、  
 $T(i)$  は  $S_d(i) - S_m(i)$ だけ  
 増え続ける

GI/G/1待ち行列

$$T(i) = \max(T_{smooth}, T(i-1) + S_d(i) - S_m(i))$$

# 合流・離陸の頻度とQS滞在時間の関係

- 全データ期間(38日)に関して、30分あたり離陸/合流数(離陸/合流頻度:1時間あたり換算値)とQS滞在時間平均値の関係
- 対象:北風運用の8,507便
  - 合流間隔、離陸間隔、QS滞在時間を算出できた便数
- 合流と離陸が同程度の頻度ならばQS滞在時間平均値は小さく抑えられる(運用状況3)
  - 待ち行列は形成されるものの、滑走路が捌ける分だけ合流しているため
- 離陸を上回る頻度で合流すると、滞在時間が大きくなる(運用状況2)
  - 滑走路が捌ける量を超えて頻繁に合流しているため



# 合流・離陸の頻度とQS滞在時間の関係

- 全データ期間(38日)に関して、30分あたり離陸/合流数(離陸/合流頻度:1時間あたり換算値)とQS滞在時間平均値の関係

- 対象:北風運用の8,507便

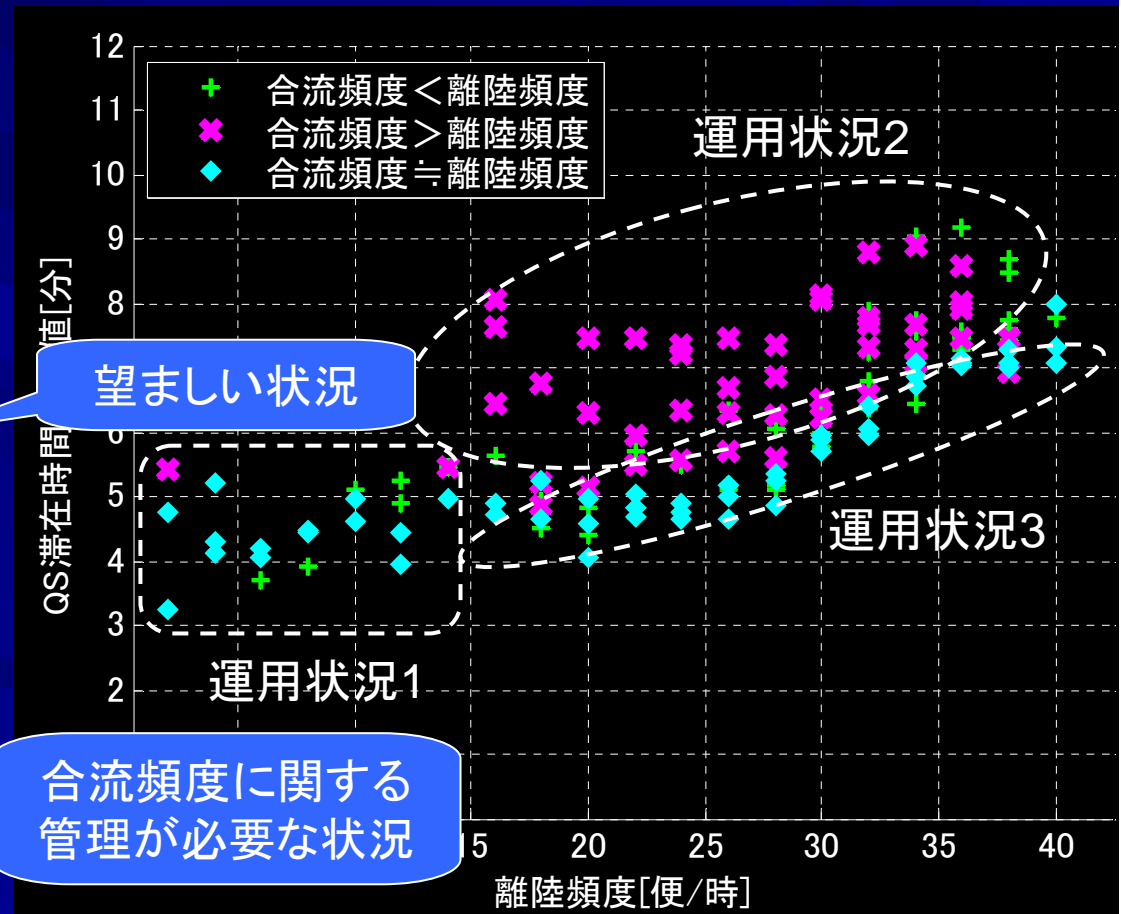
- 合流間隔、離陸間隔、QS滞在時間を算出できた便数

- 合流と離陸が同程度の頻度ならばQS滞在時間平均値は小さく抑えられる(運用状況3)

- 待ち行列は形成されるものの、滑走路が捌ける分だけ合流しているため

- 離陸を上回る頻度で合流すると、滞在時間が大きくなる(運用状況2)

- 滑走路が捌ける量を超えて頻繁に合流しているため



# 発表の構成

1. 研究の目的
2. 出発便と到着便の滞留の比較
3. 出発便の滞留時間に関する分析
4. まとめ

# 結論

- 空港面地上運航における主要な滞留
  - 出発便で生じる
  - 離陸滑走路の手前の区間(QS)で生じる
- QSでの滞留時間の性質
  - 待ち行列理論モデルに当てはまる
    - 滑走路が捌ける量に比べて合流が頻繁な場合には滞留時間は増加し続ける
    - 滑走路が捌ける量と同程度の合流頻度であれば滞留時間は増加しにくい



# 展望

## ■ 待ち行列的な滞留の持つ予測性

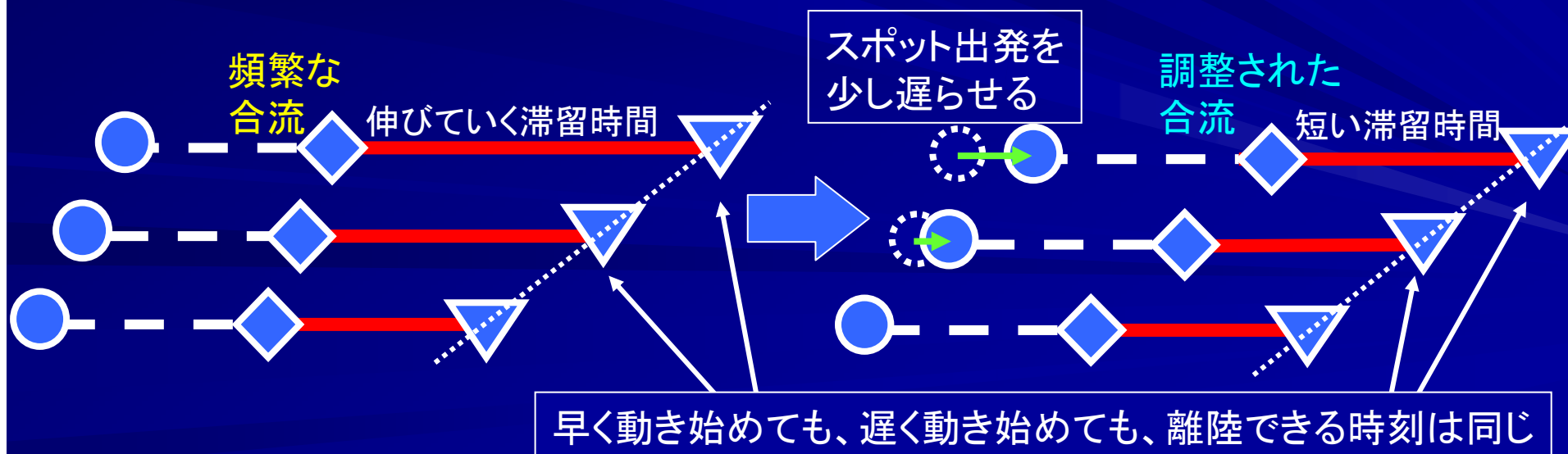
– 行列が途切れなければ、

**前に並んでいる便数と離陸間隔から離陸時刻が決まる**

■ 常に少数の出発便が待っている状態を維持しつつ  
合流頻度を抑制すれば、

**滞留時間の低減と離陸時刻の事前予測が両立可能(混雑時に有効)**

⇒ **空港面交通管理の基本コンセプト(待ち行列管理)**





# 今後の課題

- 離陸間隔の予測：待ち行列管理のための基本パラメータ
  - － 離陸間隔に影響する要因と影響度の評価
    - 気象条件、時間帯、滑走路運用方式など
- 空港面交通管理手法に関する検討
  - － 待ち行列管理のアルゴリズム化、シミュレーション検証
- D滑走路供用開始後の空港面運用に関する分析
  - － 新たな滞留箇所、滞留時間、滞留の発生メカニズム

# 謝辞

空港面監視データの使用について  
ご協力を賜りました

国土交通省航空局

国土交通省東京航空局

東京空港事務所

の皆様に、厚く御礼申し上げます

# Thank you!