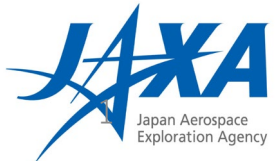


# 軌跡データから見える航空交通流制御とチャレンジ

アンドレエバ森 アドリアナ

CARATSオープンデータ活用促進フォーラム2023



# はじめに：本研究のアイデア

- 本研究：セルオートマトンでよく使われるマッピングを用いて、交通流の分析を行う
- Nagel-Schreckenberg(NS) モデル：交通流セルオートマトンモデルの一つ
- 時間と空間がともに離散化されている
- 道路はセルに分割され、一つのセルには一台の車しか入ることができない。
- 各車は前方の空のセルの数に応じて、最高速度の制限の下で加速減速を行う。

本研究のアイデア：

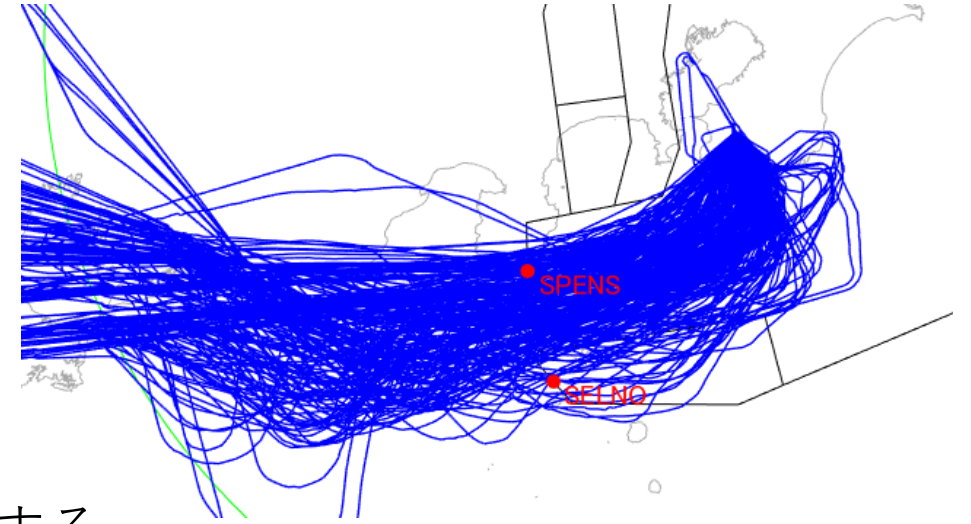
逆転させる → 減速区間がわかれば、交通流の分析ができる

セル番号	1	2	3	4	5	6	7
$t$	●			●	●		
		↙		↓		↘	
$t+1$		●		●		●	

# 車の渋滞 vs. 航空機の渋滞

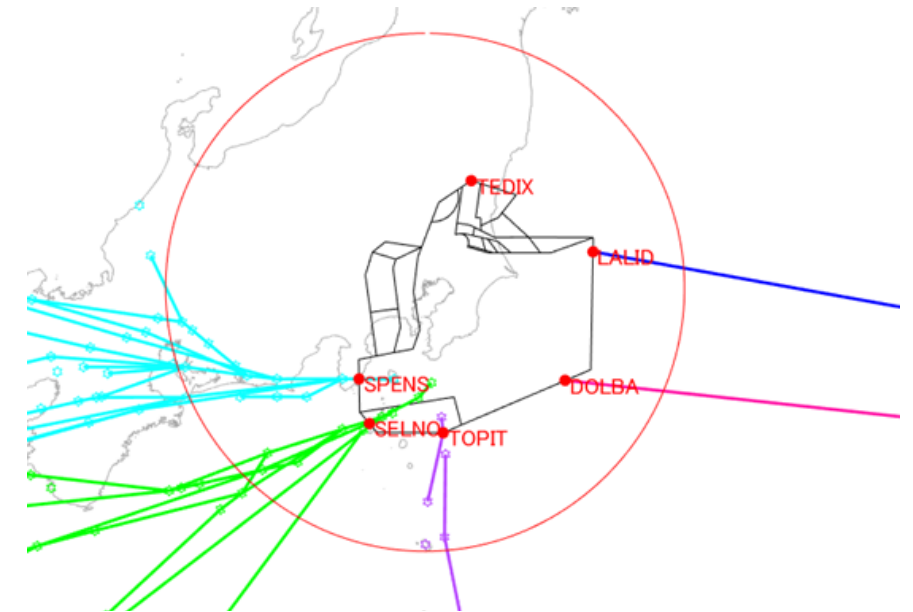
## 航空交通流の場合：

- 道のようなルートがない\*
  - セルサイズを決めるのが困難
  - 止まることができない
- 本研究の流れ
    - ① 実運航データに基づいた基本ルートを選定する。
    - ② 実レーダーデータを使用し、セルの適切なサイズを特定する。ノミナル飛行、つまり他の交通からの干渉がほとんどない飛行、をモデル化すると、単位時間ごとに1つのセルを移動する必要があるという条件でモデル化を行うと、よりスムーズな分析が可能になると考えられる。
    - ③ ステップ1と2で確立したノミナルフライトとセルサイズの仮定に基づいて、ベクタリングされたフライトの移動をモデル化する。
    - ④ 複数のルートの干渉があるような合流点を分析する。



# 基本ルートの決定

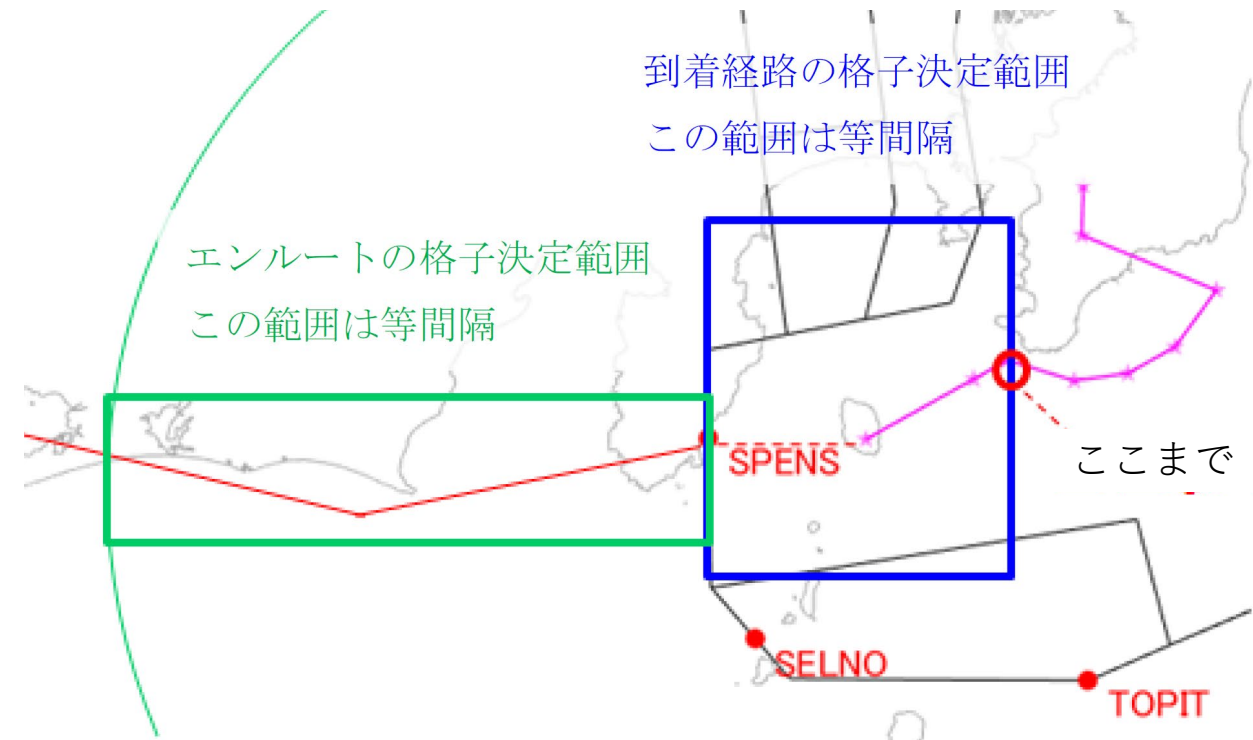
- 東京国際（羽田）空港の34L着陸便に注目
- 羽田空港34L着陸予定便のうち、34Lへ着陸する出発空港および海外便ストリームの基本ルートの調査を行った
- 34L着陸便は、東京進入管制区（以下、東京ACA）へ5つのFIX(SPENS, SELNO, TOPIT, DOLBA, LALID)から入域
  - TOPITは八丈島出発便
  - DOLBAとLALIDは日本～アメリカ間の北太平洋の空域において設定された洋上国際航空路→SPENSとSELNOのみを対象とした



2019年6月18日に公表されたAISの情報をもとにしている

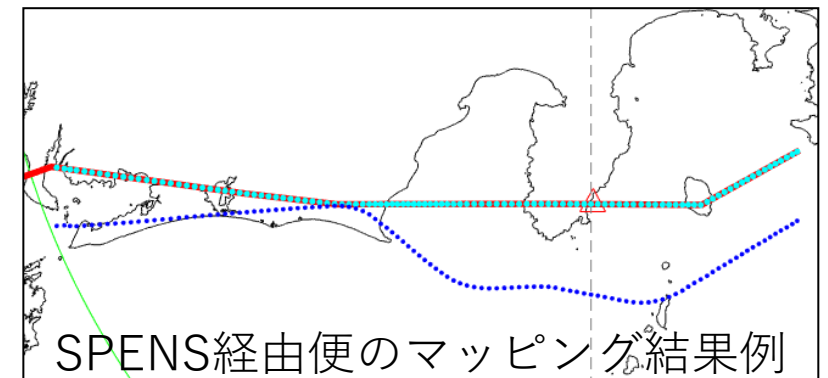
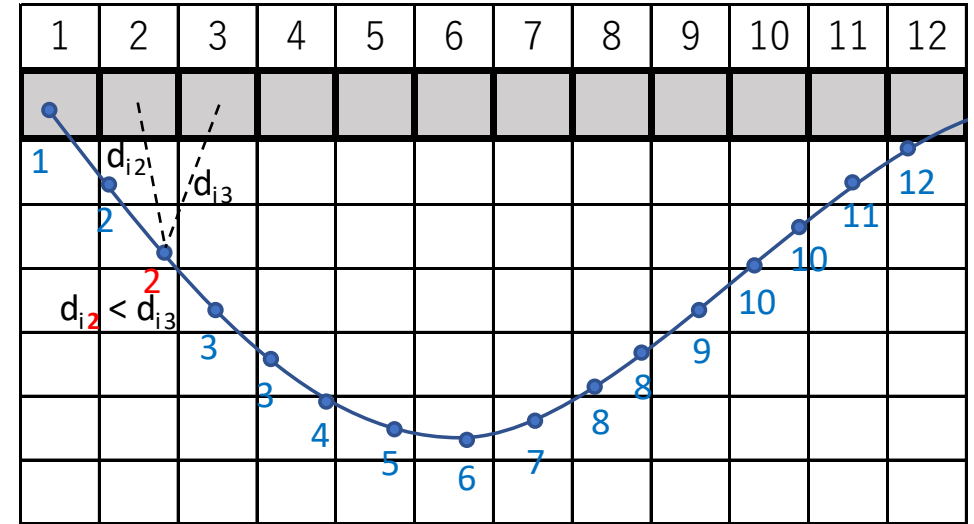
# セルサイズの設定

- セルは基本ルートを軸として定義
- ノミナルフライト（ベクタリングされていない便）：1ステップ（10秒）で1セル進むように
- 通常、エンルートに比べて到着経路では減速しており、エンルートと到着経路で同じセルサイズを用いると、前述の条件を満たすことが難しくなる。
  - エンルートと到着経路のそれぞれにおいて等間隔とし、別々に決定することにより対応した。
  - 到着経路は、Point Merge Systemの分岐する前のFIXまでとした。



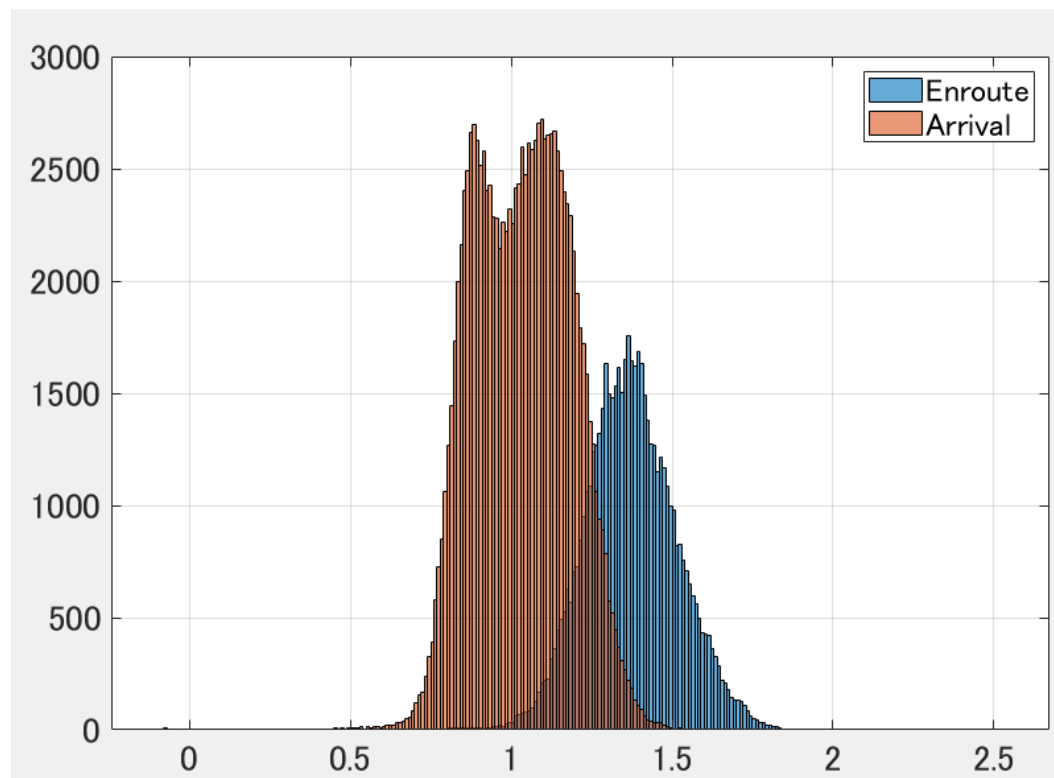
# マッピングの概要

- サンプルフライト (青) と基本ルート (灰色のセル) を考える。
- 軌跡データは 10 秒ごとに取得できるとする。
- 各軌跡点  $i$  について、この点と基本ルートの各セルの間の距離が計算される。
- 次に、軌跡点  $i$  は、最小距離によって決定される最も近いセルにマッピングされる。
- 例えば、点  $i=3$  がセル #2 に最も近いため、そこにマッピングされる。
- すべての軌跡点にわたってこのプロセスを繰り返すと、マッピング [1 2 2 3 3 4 5 6 7 8 8 9 10 10 11 12] が作成される。



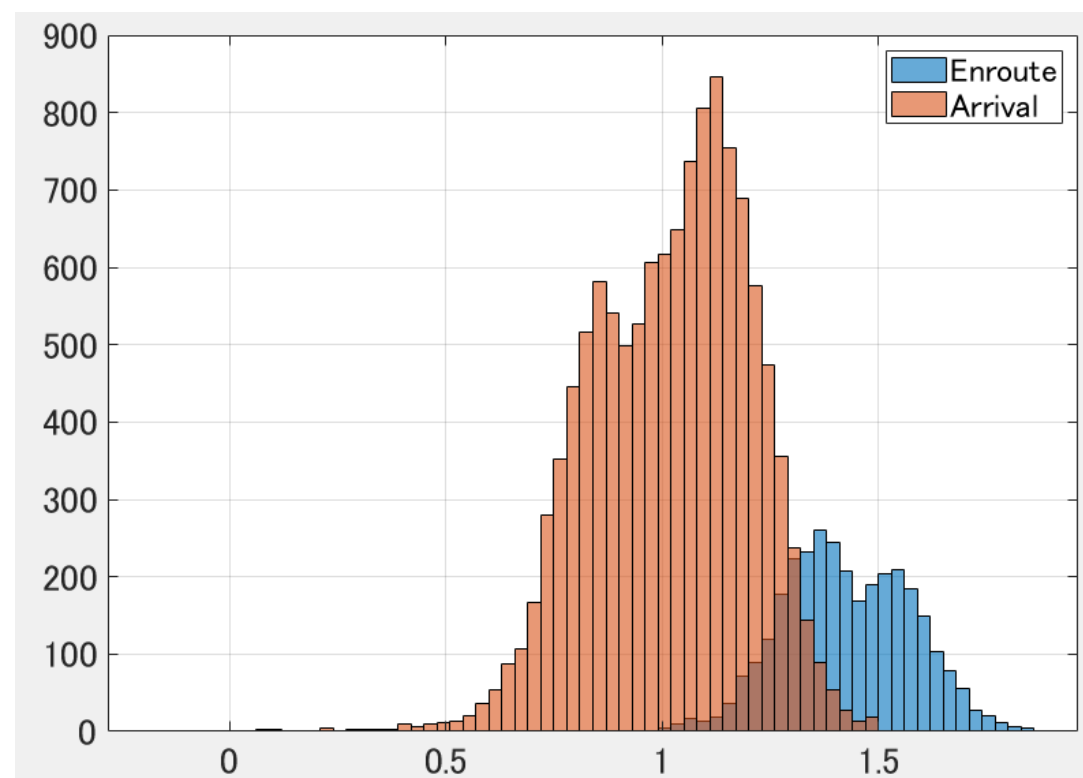
# セルサイズ：ベクタリグされていない便が対象

## • SPENS通過便



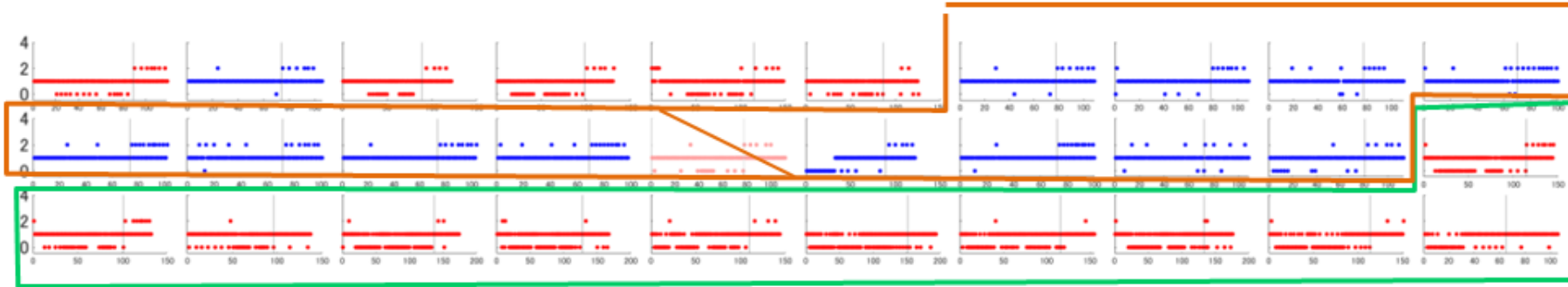
エンルートセルサイズ (平均)	1.3734 nm
到着経路セルサイズ (平均)	1.0328 nm
エンルートセルサイズ (中央値)	1.3688 nm
到着経路セルサイズ (中央値)	1.0355 nm

## • SELNO通過便



エンルートセルサイズ (平均)	1.4269 nm
到着経路セルサイズ (平均)	1.0222 nm
エンルートセルサイズ (中央値)	1.4158 nm
到着経路セルサイズ (中央値)	1.0422 nm

# 速度分布の例



セル番号	1	2	3	4	5	6	7
$t$	●			●	●		
$t+1$		●		●		●	

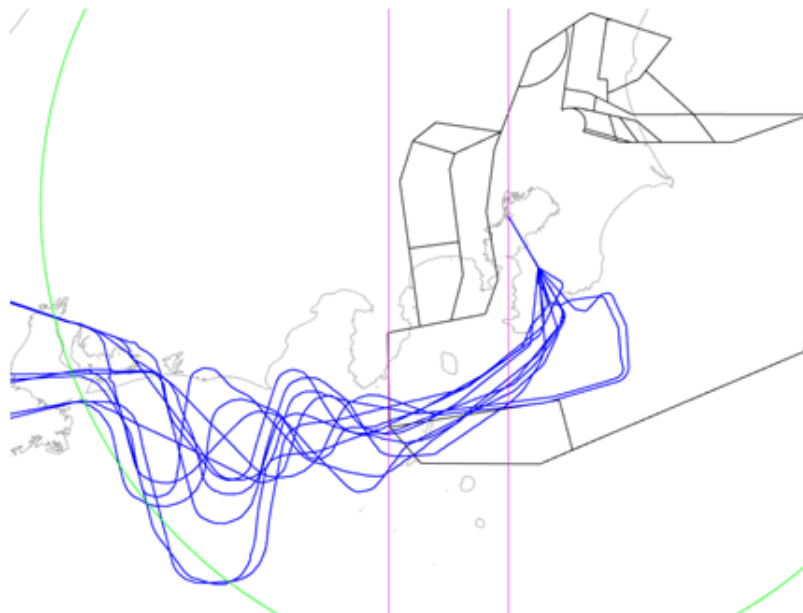
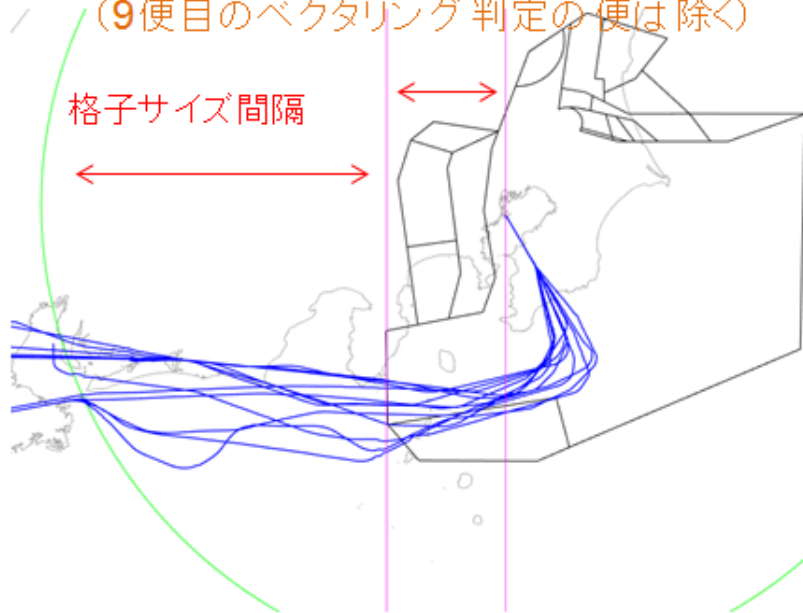
● 速度1  
● ノミナル
 ● 速度0  
● 減速
 ● 速度1

オレンジで囲んだ12便の航跡

(9便目のベクタリング判定の便は除く)

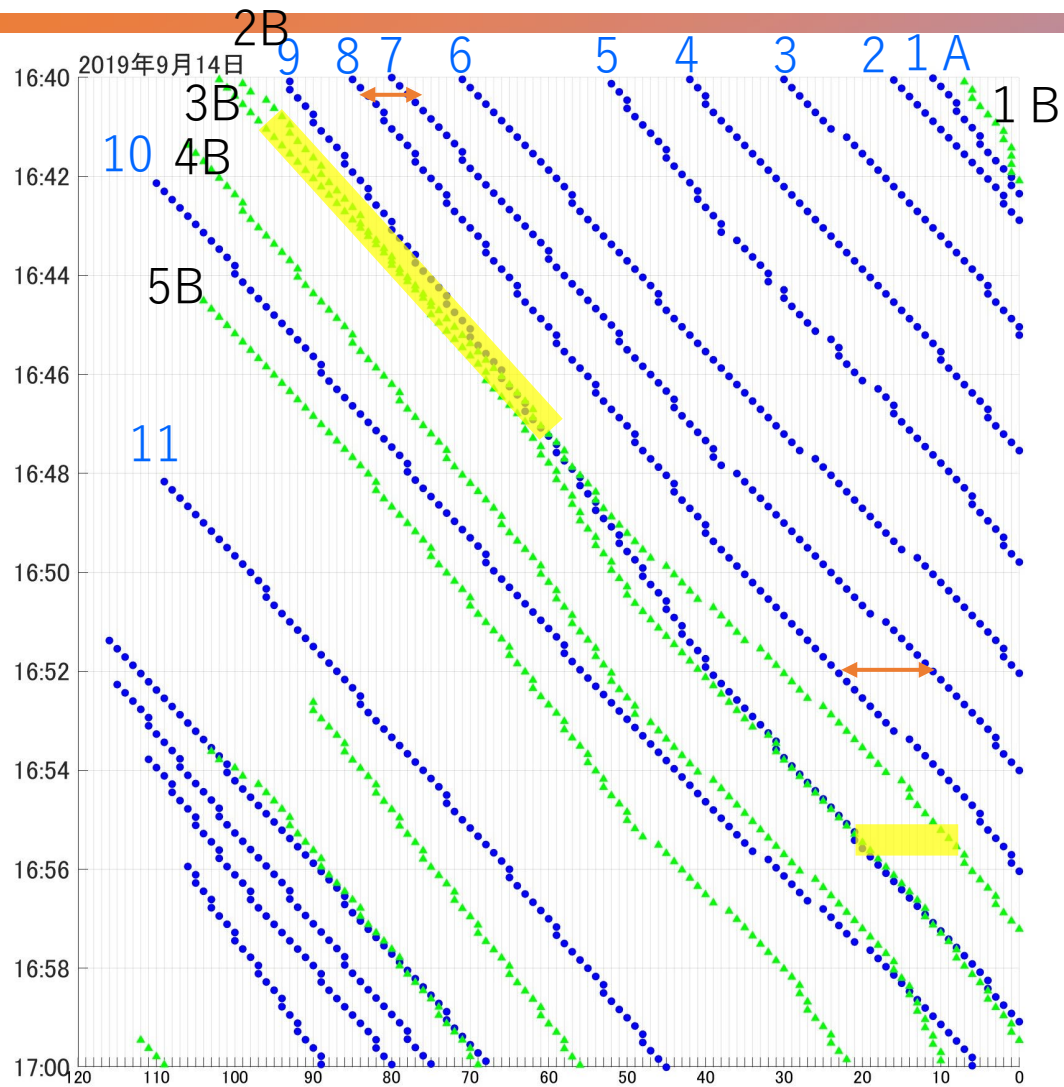
格子サイズ間隔

緑で囲んだ11便の航跡





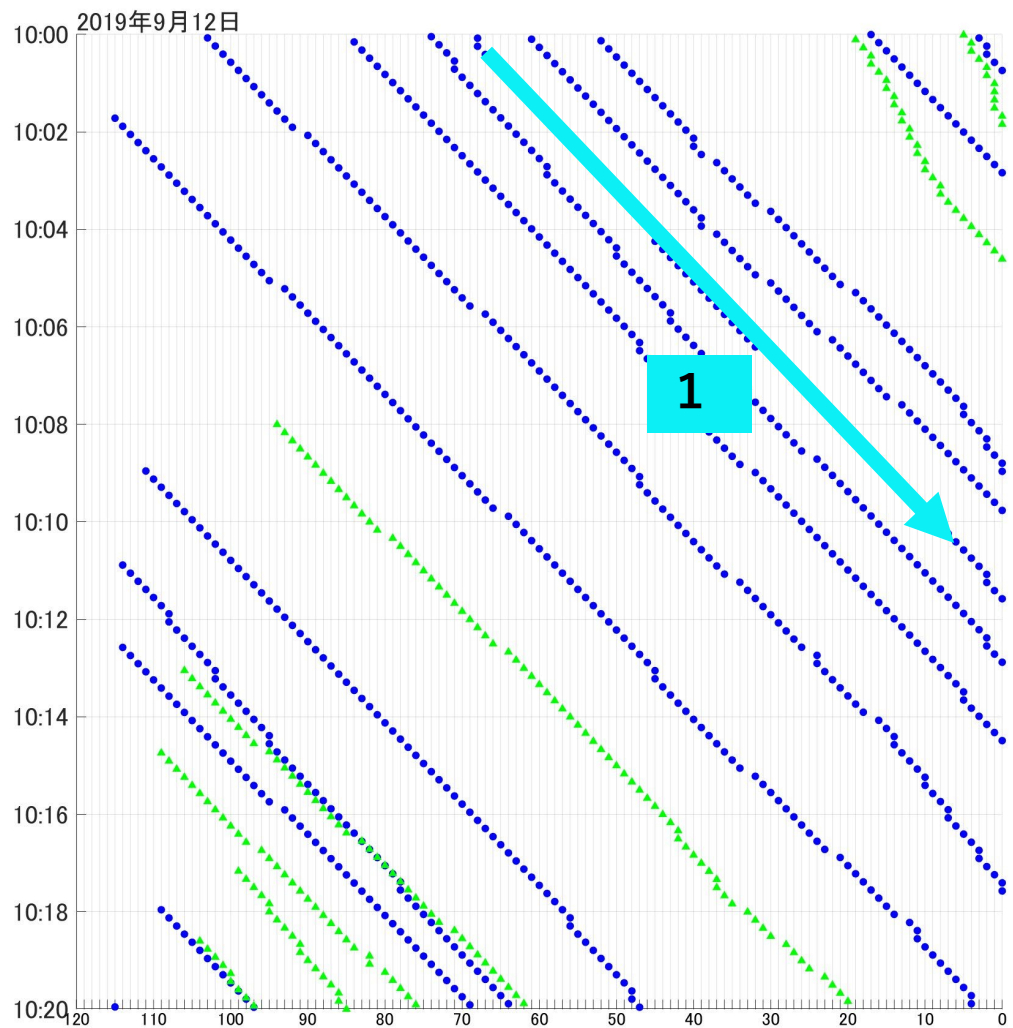
# 交通流の分析：time-space diagrams



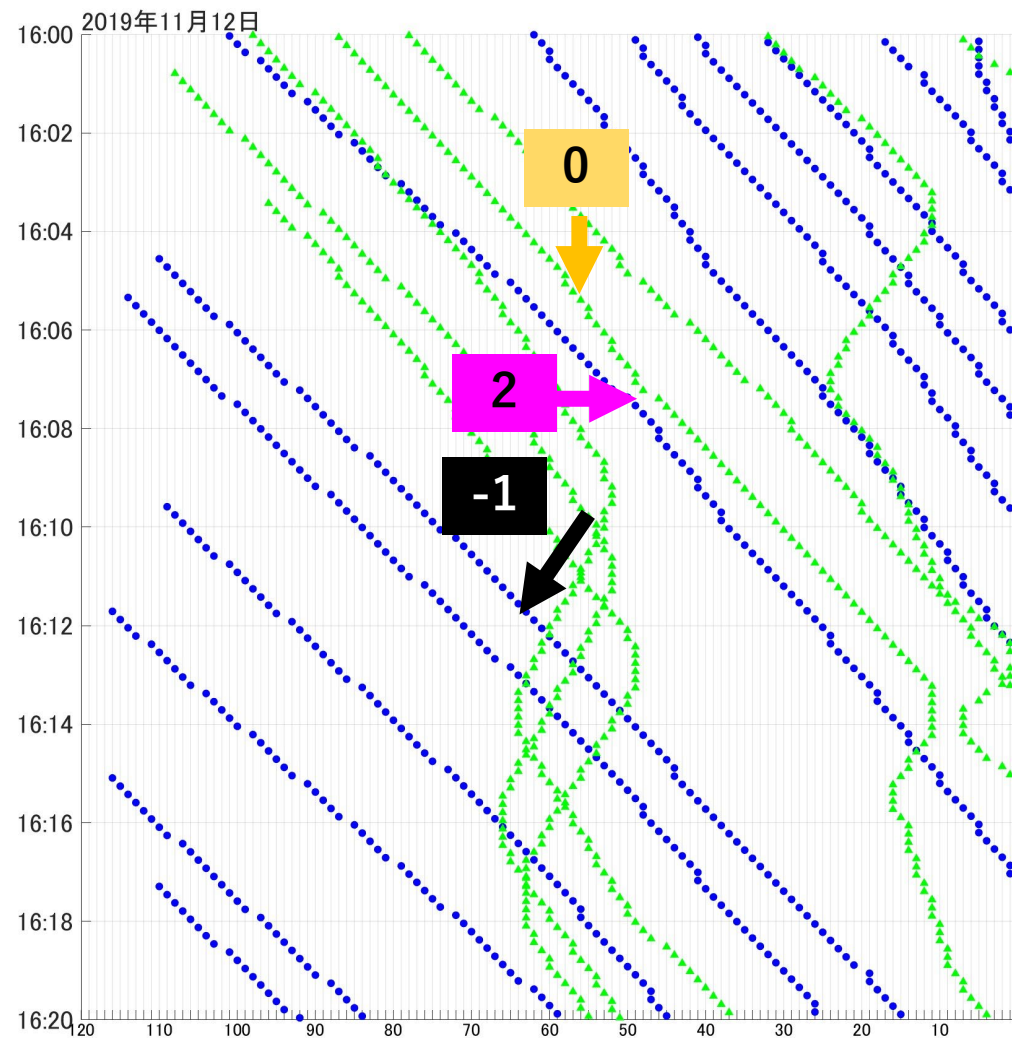
SPENS通過便、A便  
SELNO通過便、B便

- 図の読み方
  - ノミナル便：1セル/unit time
  - ショートカットや加速：skipped cell
  - ベクタリング・減速：縦
- 7Aと8A間 ↔
  - 5セル@16:40
  - 12セル@16:52
  - セル35前で間隔調整が完了している  
(cf.東京進入管制区の入域は40-50セル頃)
- 9A、2Bと3B
  - 2Bと3B間：3セル@16:40、16:48までほぼ間隔維持
  - 2Bと3B間：12セル@16:56
  - 9Aと3B間：1セル@16:56→SPENS/SELNO合流はまだ考慮されていない

# 交通流の指標について

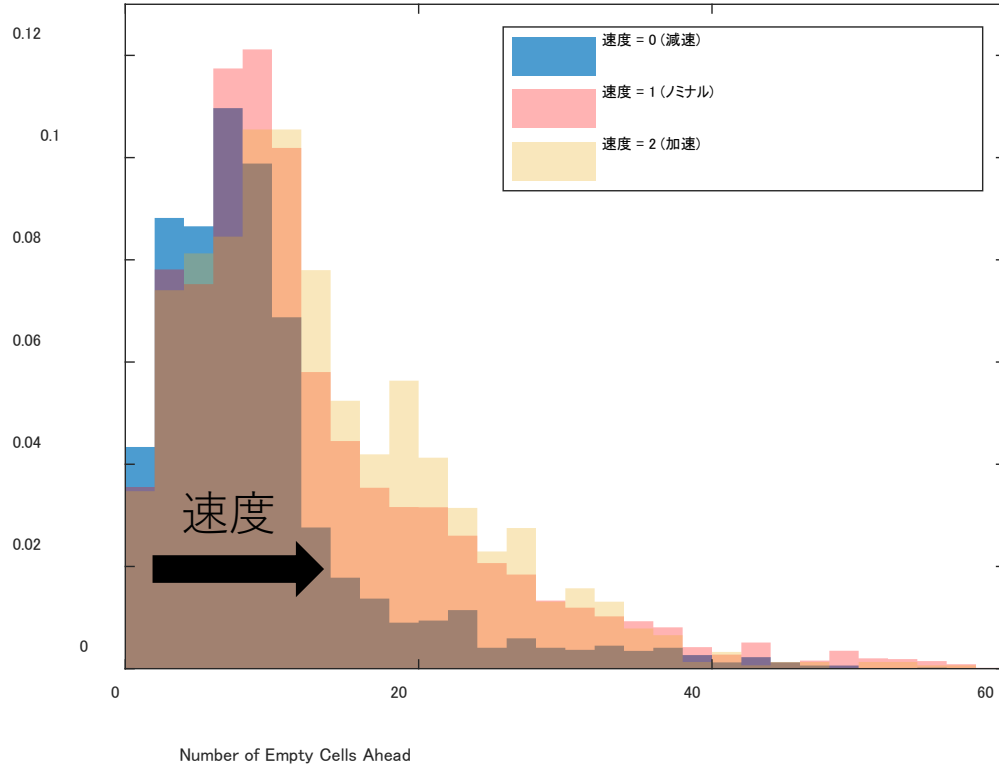


SPENS通過便  
SELNO通過便

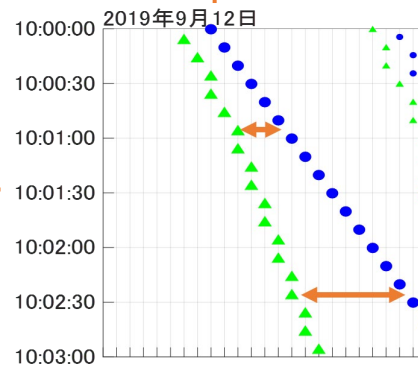
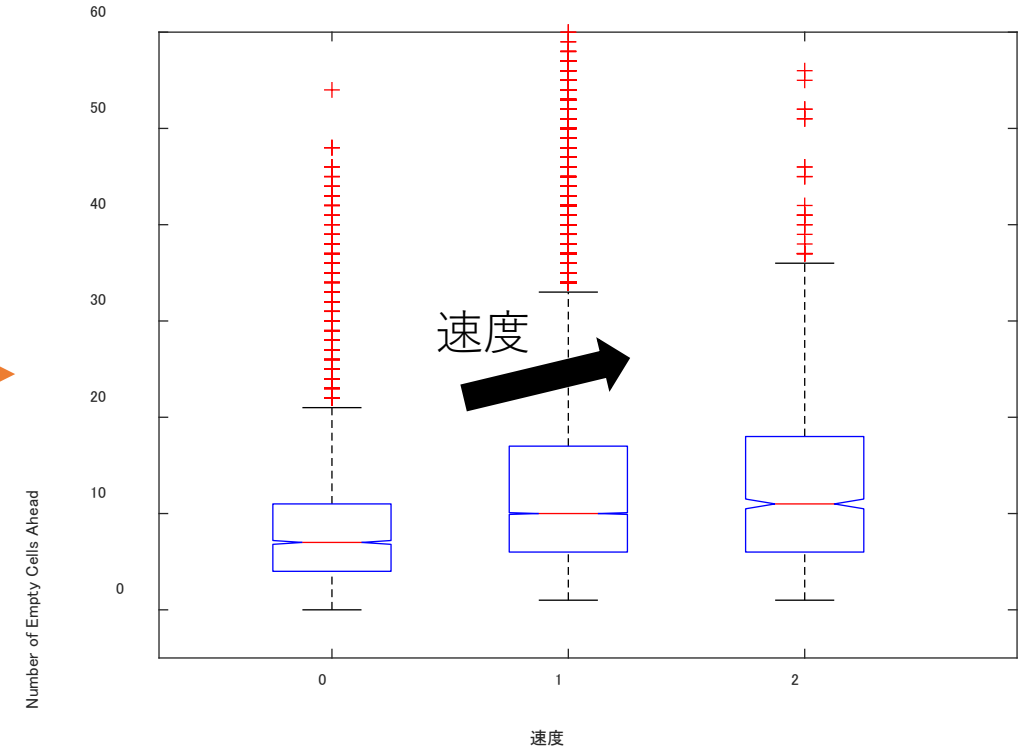


# 前に空いているセルの数を速度の分析

2019年9月12日 SPENS&SELNO

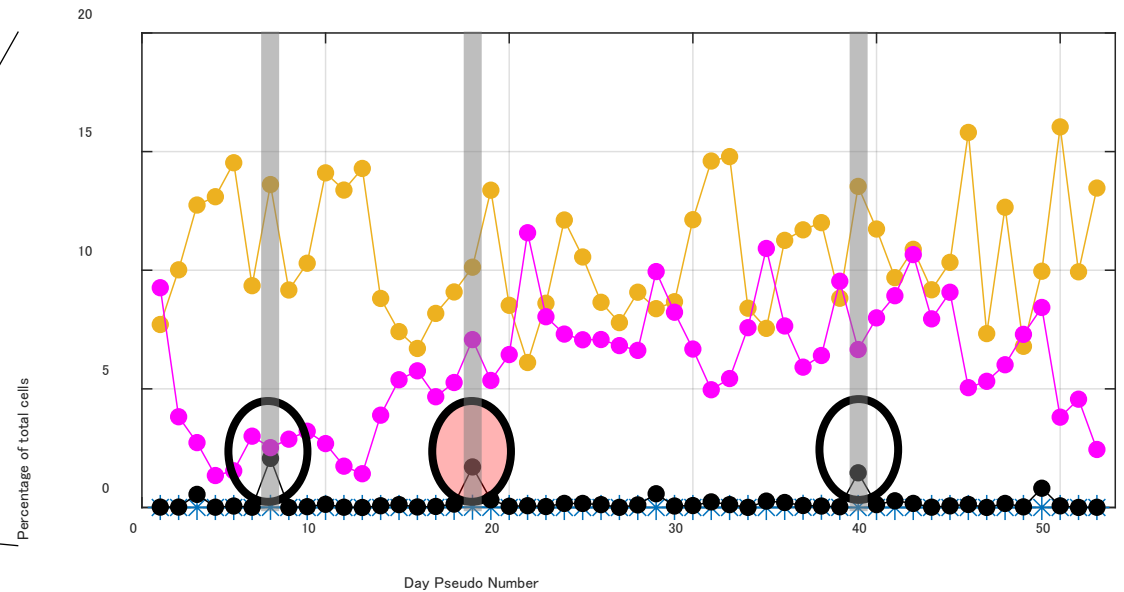
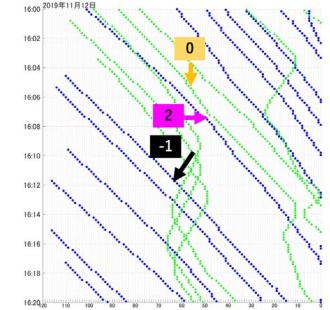
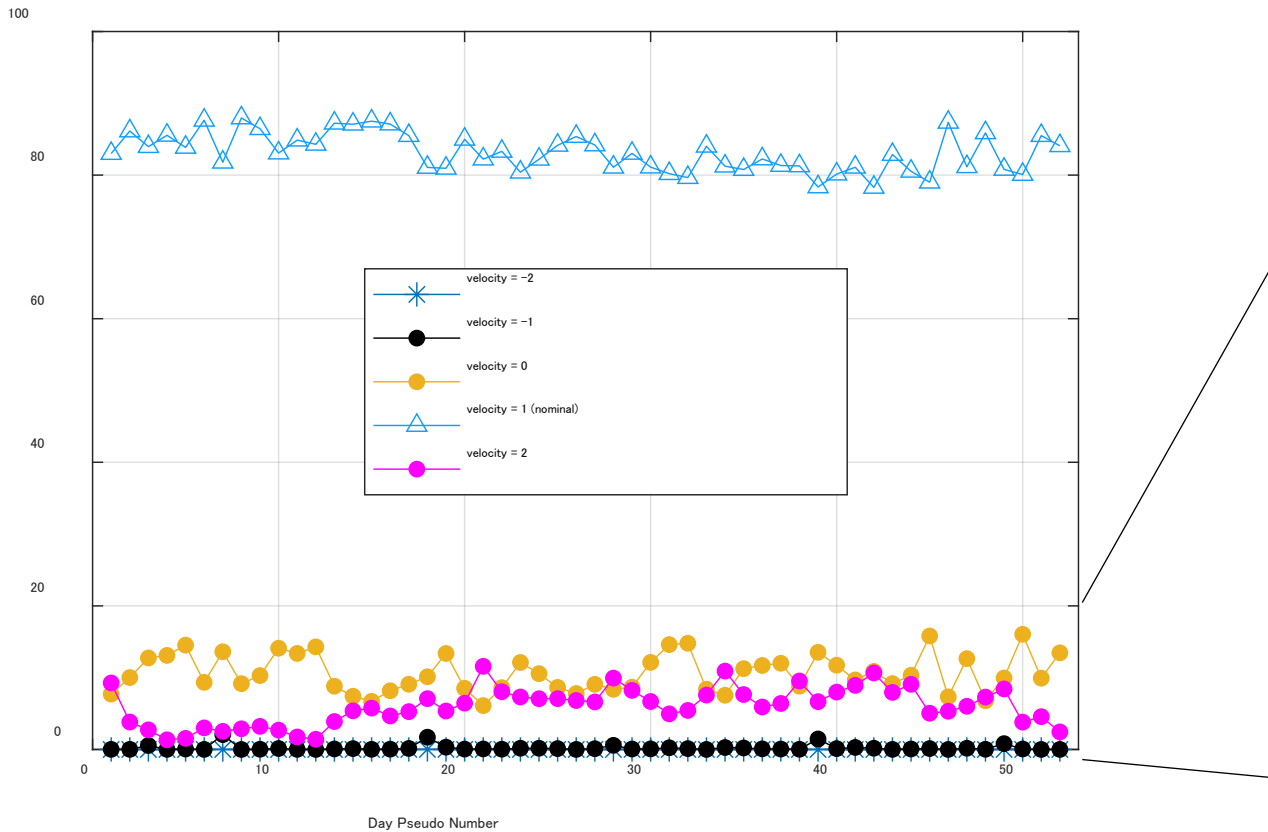


2019年9月12日 SPENS&SELNO

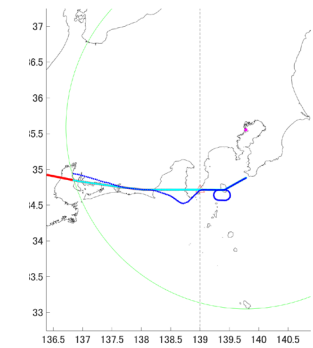
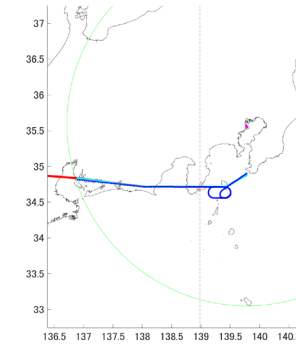
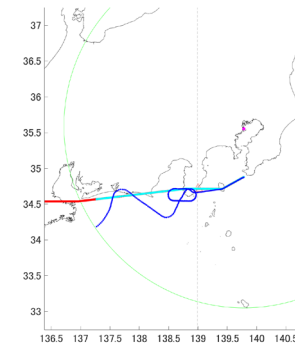
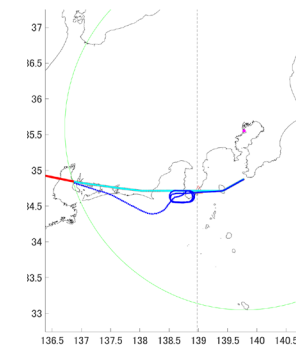
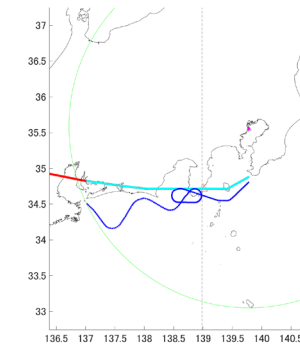
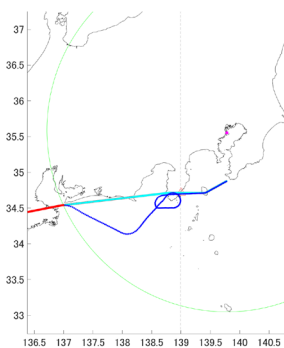
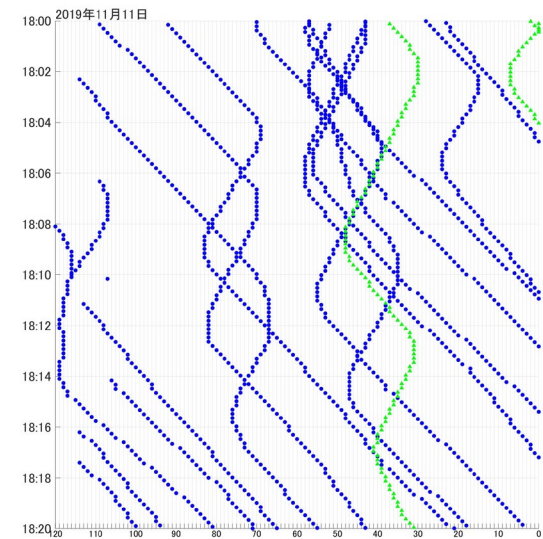
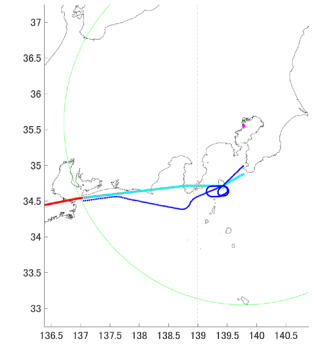
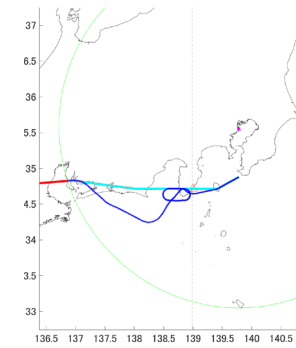
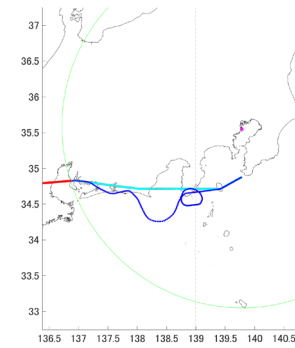
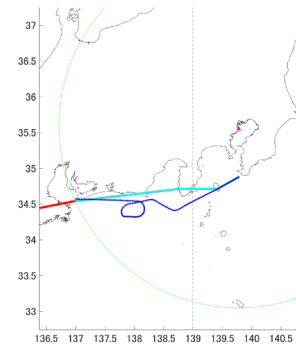
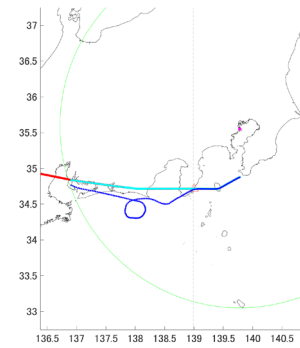
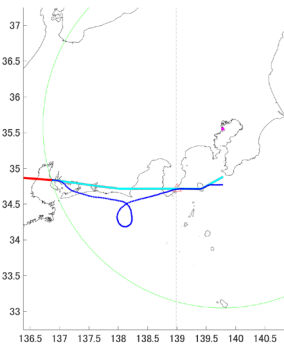
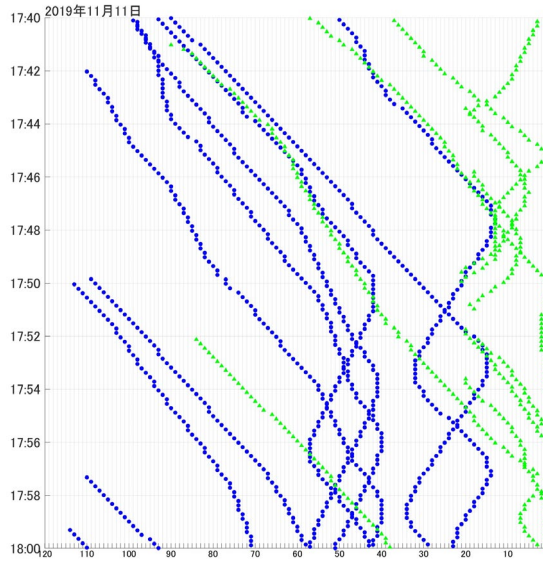


# 交通流の指標に向けて

- 期間中（例えば、一日中）の「-2, -1, 0, 1, 2」速度の割合



# 2019年11月11日の例



マッピング速度の特徴から異常度が判断できる



$$\text{指標} = \sum_{i=-2}^2 a_i v_i,$$

where  $v_i$  は速度  $i$  のセル数の割合、 $a_i$  は重み

- チャレンジ：重みの決め方
  - 予測性を重視： $a_1$  の重みが最も大きい
  - 効率性(?)を重視： $a_2$  の重みが最も大きい
  - ベクタリング、ホールディング関連のペナルティ： $a_{-2,-1}$  の重み
- 管制官のワークロードと交通流の効率性を同時に評価できるのでは？