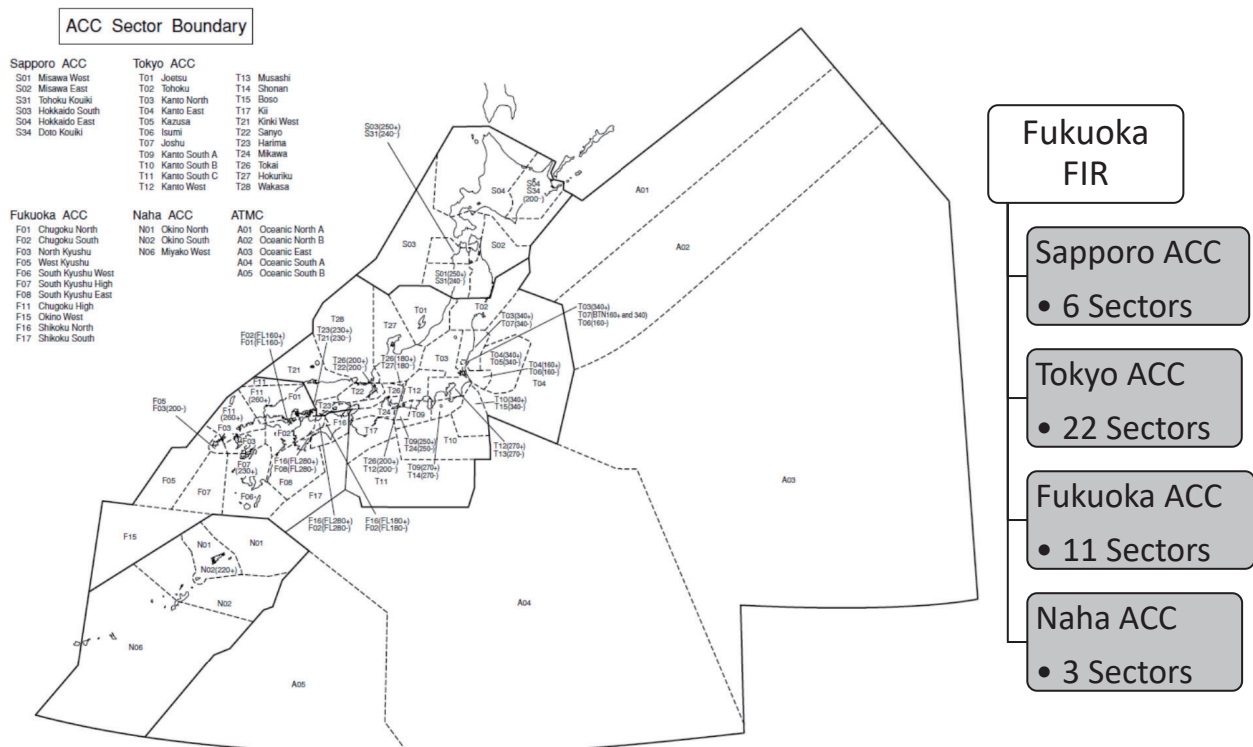


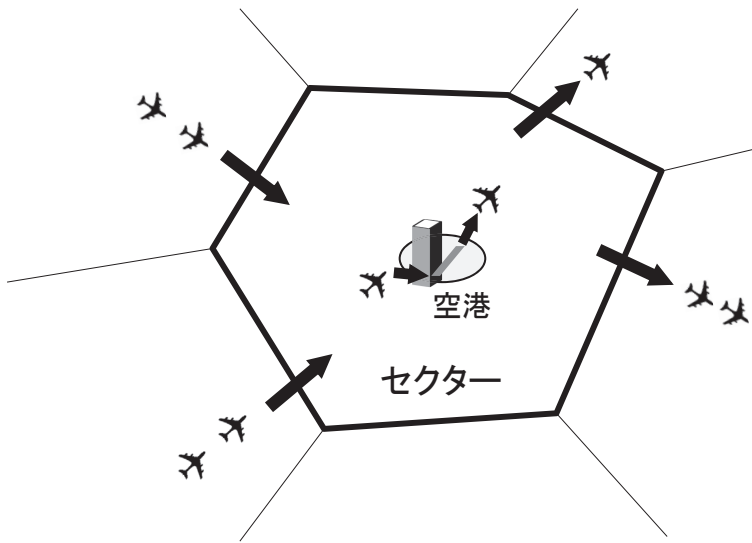
空域におけるセクター間 交通流のモデル化

北陸先端科学技術大学院大学・情報科学系
 平石邦彦



<https://aisjapan.mlit.go.jp>

空域交通流のモデル化



状態:

- セクター内の航空機配置

入力:

- 隣接セクターからの流入機
- セクター内空港への着陸機
- セクター内空港からの離陸機

出力

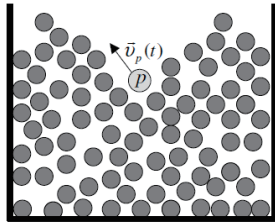
- 隣接セクターへの流出機

モデルの分類

- 個々の機体のモデル化
 - Lagrangian traffic flow model
 - Multi-agent simulation
- フローのモデル化
 - Eulerian traffic flow model
 - Aggregate sector flow models
- 中間的・ハイブリッド
 - Cell transmission model
 - Queuing network

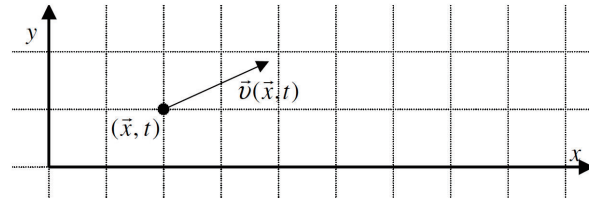
Lagrangian and Eulerian Models

Lagrangian



particle p with properties
(density, velocity, pressure, ...)

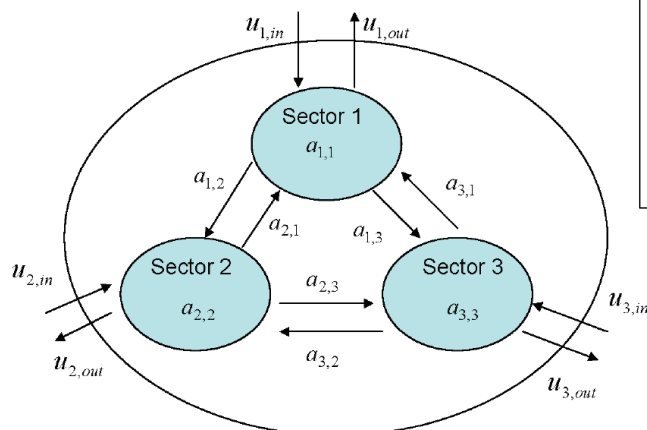
Eulerian



properties (density, velocity, pressure,
...) as functions of position and time

Marine Hydrodynamics Lecture 2, 2006 MIT Department of Mechanical Engineering
<http://web.mit.edu/13.021/demos/lectures/lecture2.pdf>

Aggregate Sector Flow Model



$$\mathbf{A}(k)\mathbf{x}(k) + \mathbf{u}(k) = \begin{bmatrix} \sum_{j=1}^N a_{j,1}(k) + u_{1,in}(k) \\ \vdots \\ \sum_{j=1}^N a_{j,N}(k) + u_{N,in}(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_1(k+1) \\ \vdots \\ s_N(k+1) \end{bmatrix} = \mathbf{x}(k+1).$$

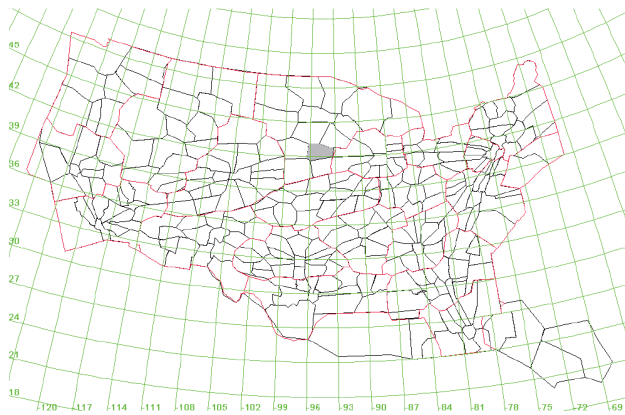
状態方程式



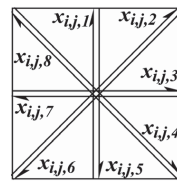
混雑度予測

Banavar Sridhar, An Aggregate Sector Flow Model for Air Traffic Demand Forecasting,
9th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference, 2009

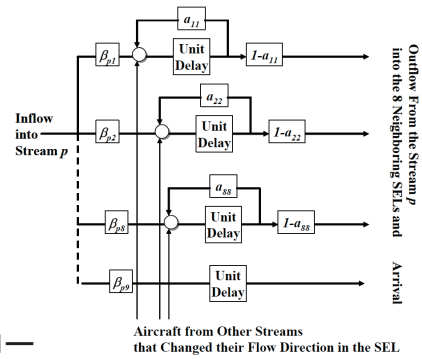
Eulerian Traffic Flow Model



緯度・経度によるグリッド分割



8方向の移動フロー



各セルに対するフローの入出力

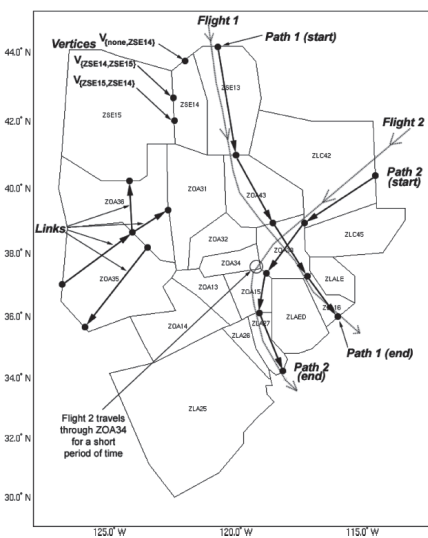
$$x(k+1) = A(k)x(k) + Bu(k) + B_d q^{depart}(k) + B_e q^{exo}(k)$$

$$y(k) = C(k)x(k) + D_1 v(k)$$

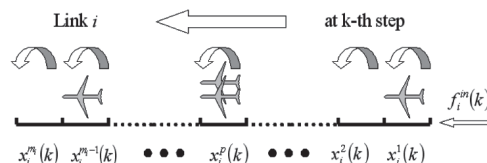
状態方程式

Menon, P.K., Sweriduk, G.D., Lam, T., Diaz, G.M. and Bilimoria, K.D., 2006. Computer-aided Eulerian air traffic flow modeling and predictive control. Journal of guidance, control, and dynamics, 29(1), pp.12-19.

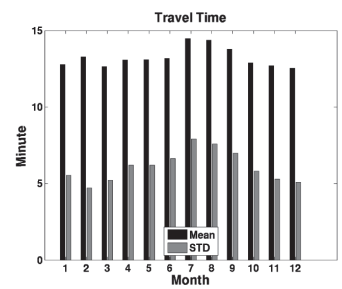
Large-capacity Cell Transmission Model



Vertices and links



リンク上のセル分割



各リンクの移動時間

$$x_i(k+1) = A_i x_i(k) + B_i^{in} f_i^{in}(k) + B_i^{desc} f_i^{desc}(k)$$

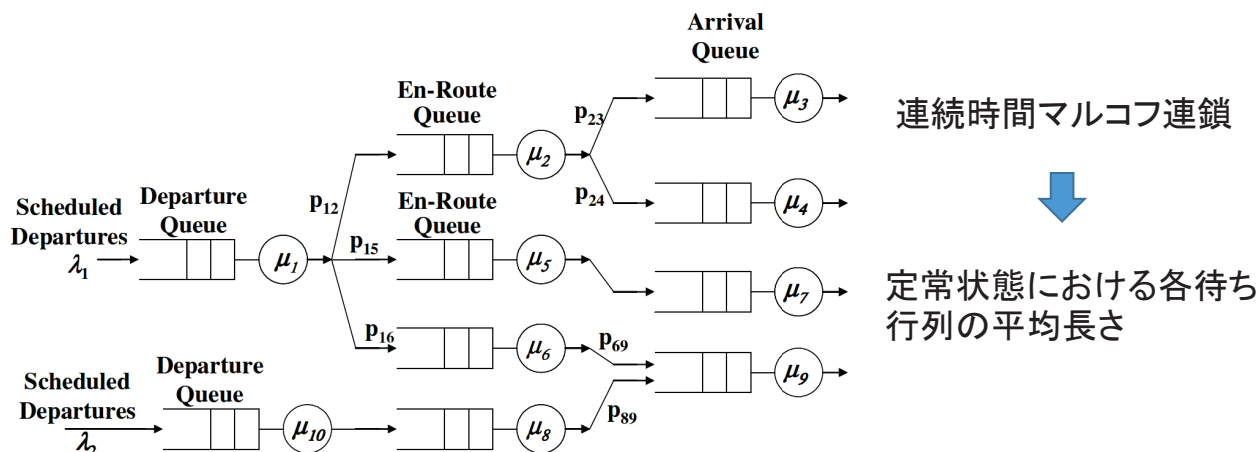
$$+ B_i^{climb} f_i^{climb}(k) + B_i^u u_i(k)$$

$$y_i(k) = C_i x_i(k)$$

状態方程式

D. Sun and A. M. Bayen, Multicommodity Eulerian-Lagrangian Large-Capacity Cell Transmission Model for En Route Traffic, JOURNAL OF GUIDANCE, CONTROL, AND DYNAMICS, Vol. 31, No. 3, May-June 2008

Queuing Network



Monish D. Tandale et. al., Queuing Network Models of the National Airspace System, The 28th Congress of International Council of the Aeronautical Sciences, 2008.

本研究の内容

1. CARATSデータにおける各座標位置のセクター判定(データの前処理)

Shoya TOKUMARU, Kunihiro HIRAISHI: Sector Identification for a Large Amount of Airspace Traffic Data, IEICE Trans Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Vol.E102-A, No.5, pp. 755-756 (2019/5)

2. Large-capacity Cell Transmission Modelの拡張と, CARATSデータを用いたモデルパラメータの推定

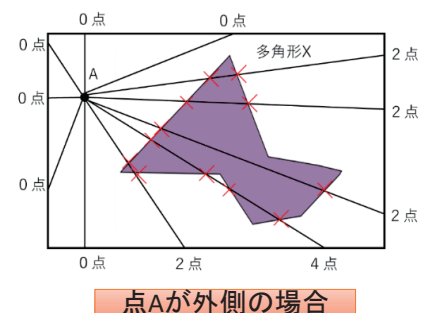
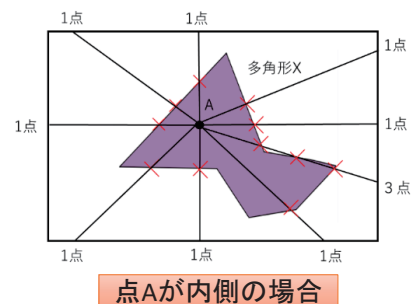
Quang Khai Tran, Kunihiro Hiraishi: An Improved Version of Cell Transmission Model for Air Traffic Flow, 3rd Int. Conf. Transportation Infrastructure and Sustainable Development (TISDIC2019), (2019/8/31-9/1, Danang, Vietnam)
Quang Khai Tran, Master Thesis, JAIST (2018/03)

座標位置のセクター判定問題

- 関連する計算幾何(Computational Geometry)の問題
 - Point location問題: 点座標と空間の領域分割を与え, 点が含まれる領域を求める.
 - Point in Polygon問題: 点座標とポリゴンを与え, 点がポリゴンの内部にあるか否かを判定する.

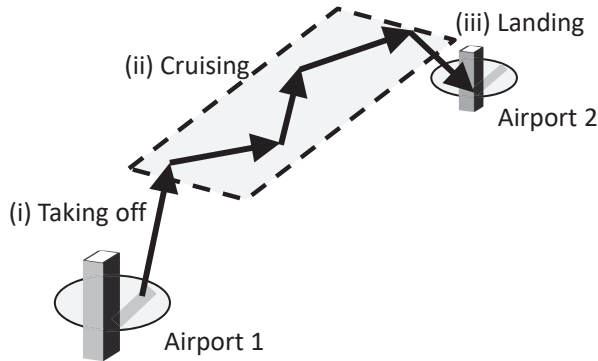
Point in Polygon問題

- Point in Polygon Problem
 - ポリゴンと点の内外判定をする.
 - 点Aからあらゆる方向に無限に広がる線を引き, 与えたすべてのポリゴンとの交点をカウントする.
 - 奇数の場合, 点AはポリゴンXの内側に存在する. 偶数の場合, 外側に存在する.
 - 実行時間は, 与えたポリゴンの頂点数に対し線形である.
- CGAL (Computational Geometry Algorithms Library) ではbounded_side_2()として実装.



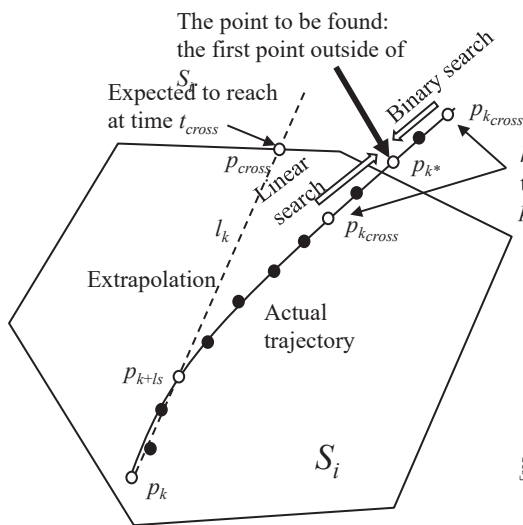
計算の効率化に向けたアイデア

- Point location, Point in polygonアルゴリズムを全点に適用するのか？
→ 多くの計算時間がかかる.
- 以下の2つのファクトを利用し, 計算時間の短縮を図る.
 - 飛行パターン(離陸→巡航→着陸)
 - データは(セクターの大きさと比較して)短い間隔の時系列データ



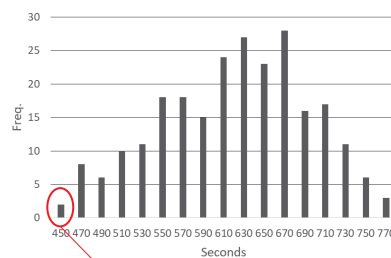
時刻	便名	経度(度)	緯度(度)	高度(ft)	形式
8:00:00	FLT0001	42.413533	141.681313	6247	B763
8:00:00	FLT0002	33.877210	131.116394	11800	DH8D
8:00:01	FLT0003	42.275752	141.749411	20266	B773
8:00:02	FLT0004	35.508394	133.801179	7979	B738
...					
8:00:10	FLT0001	42.426521	141.656398	6417	B763

セクター交差位置予測アルゴリズム

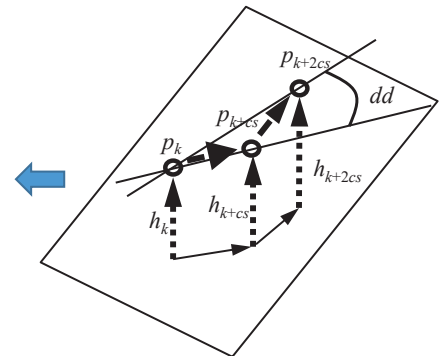


予測アルゴリズム

- 現在の方向ベクトルを外挿し, セクター境界との交差点を予測.
- 予測交差点からの探索により, 真の交差点を求める.
- 外挿パラメータ設定: 網羅的探索



最適パラメータ

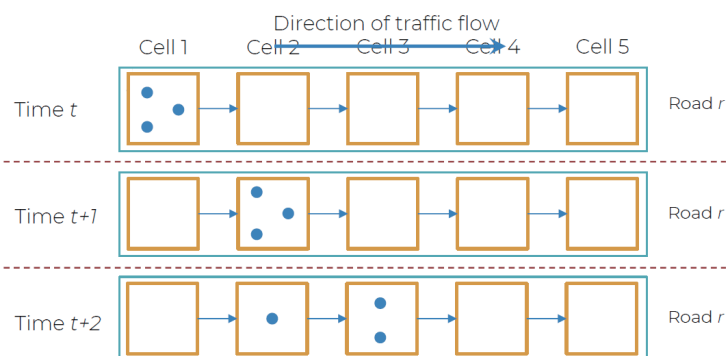


外挿のためのパラメータ

計算結果

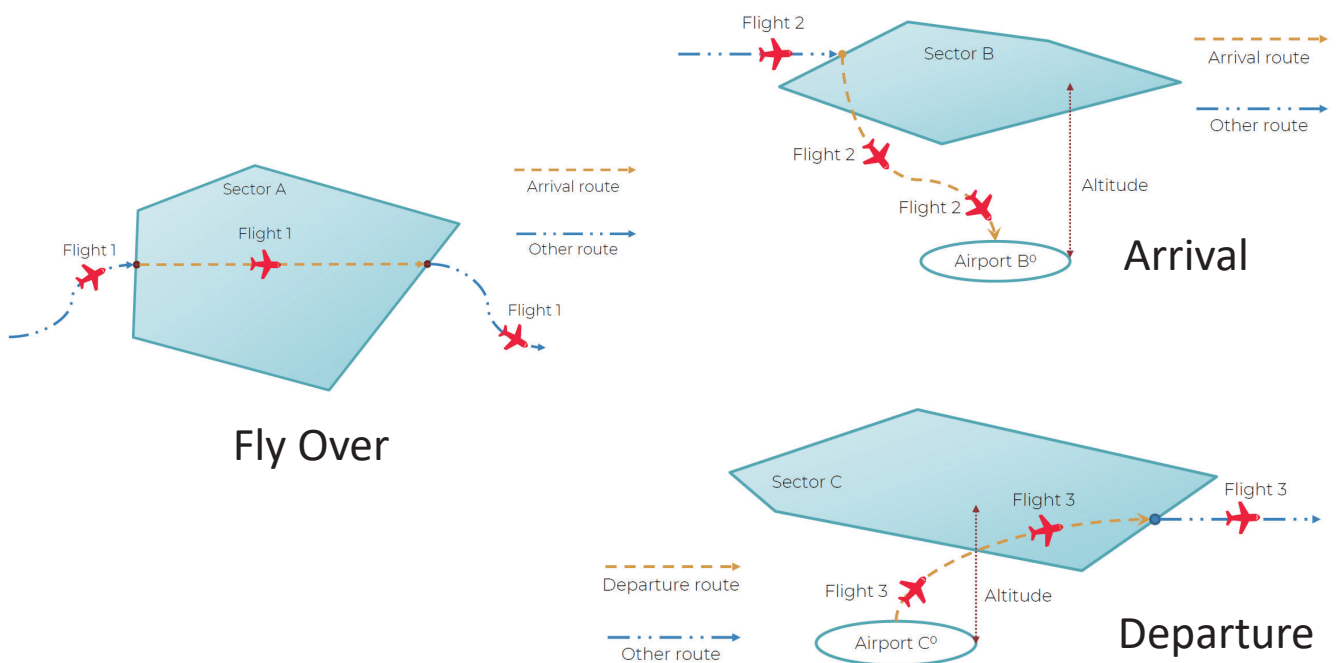
- Test data: tk2016 03 07 12 18.csv (size 40.5MB, 793,585 points).
- 全点テスト: 1,303 sec.
- 提案手法: 456 sec. (35%に削減)

Cell Transmission Model

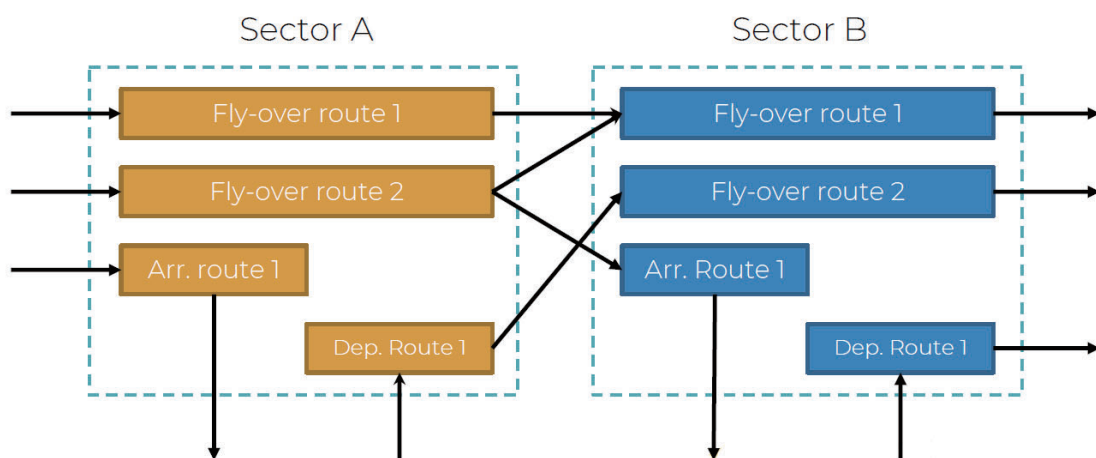


- 道路交通流のモデル
- 空域交通流への適用には、「道路」を定義する必要がある。

セクター内航路の分類



空域交通流ネットワークモデル



空域交通流ネットワークモデル

Sector	Fly-over routes	Arrival routes	Departure routes
F11-2	22	2	2
S01	14	1	0
T02	19	4	5
T04-1	24	8	3

実際のルート数

Route	Average flight time (seconds)	Number of cells
<i>S01_{S032}→T01</i>	710	12
<i>S01_{S032}→S31</i>	595	10
<i>S01_{T01}→S03-2</i>	584	10
<i>S01_{T01}→S31</i>	504	9
<i>S01_{S31}→S02</i>	304	6

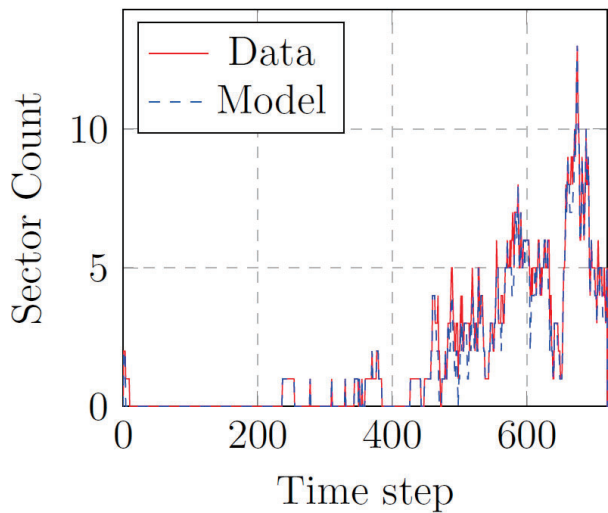
Misawa West Sectorのルート長



各ルートのセル分割数を決定

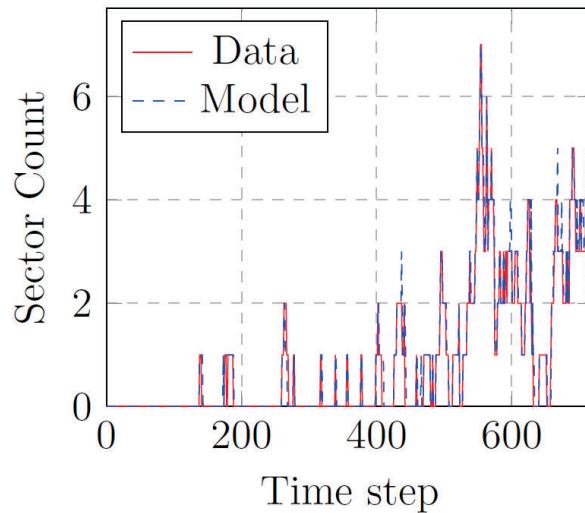
モデルの評価

- 航空機密度の異なる4つのセクターをピックアップ:
F11-2 Chugoku High Sector, S01 Misawa West Sector, T02 Tohoku Sector, T04-1 Kanto East Sector.
- セクター内航空機数の時間変化を提案モデルと実データで比較. モデルへの入力の実データを使用.



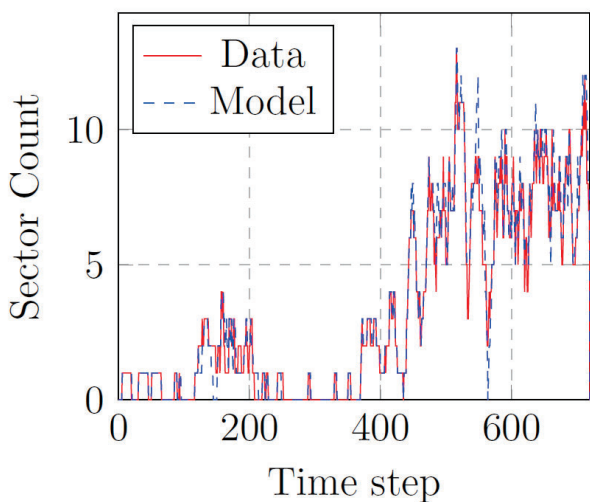
(a) May 11, 2015

Chugoku Sector



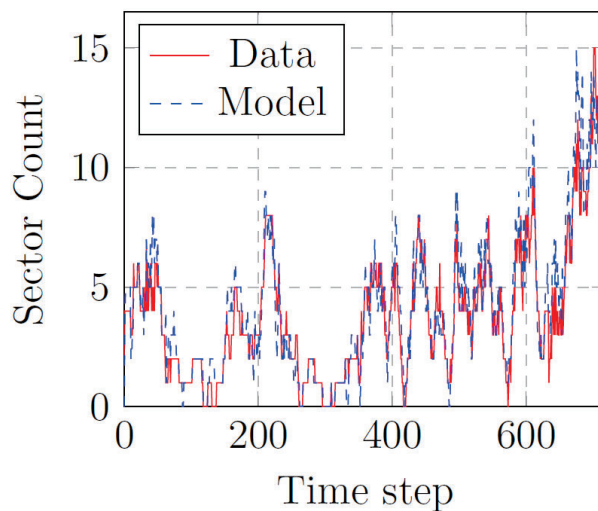
(a) May 11, 2015

Misawa West Sector



(a) May 11, 2015

Tohoku Sector



(a) May 11, 2015

Kanto West Sector

おわりに

- セクター内交通流モデルの単体テスト → ○
 - 今後, セクター内交通流モデルを結合したモデルをテスト.
 - その他, 統計的学習による混雑度予測も.
-
- おまけ
<http://jaist.ac.jp/~s1520751/BSS/control.htm>