

CARATSオープンデータと数値シミュレーションを用いた空港面交通流解析



TOHOKU
UNIVERSITY

東北大学大学院工学研究科
航空宇宙工学専攻

川越 吉晃

✓ 自己紹介・研究背景

✓ 研究紹介

Y. Kawagoe, et al., IEEE Access 10 (2022) 95344

- CARATSオープンデータを用いた実運行解析

- セルオートマトンを用いた空港面シミュレータ構築

- 応答解析

✓ 現在進めている研究紹介

✓ まとめ

東北大学大学院 工学研究科 航空宇宙工学専攻
材料・構造スマートシステム学分野（岡部・川越・南雲・龍園研究室）助教
川越 吉晃（かわごえ よしあき）

経歴・研究歴

2009 – 2013 東北大学工学部機械知能・航空工学科

2013 – 2018 東北大学大学院工学研究科ナノメカニクス専攻
博士課程前期2年の課程・後期3年の課程

➤ マイクロ・ナノスケール気体流れに関する研究

Yonemura et al., Tribology Letters 55 (2014) 437-454

Kawagoe et al., AIP Conf. Proc. 1628 (2014), 856-861

Kawagoe et al., Microfluidics and Nanofluidics 20 (2016), 162

2018 – 2020 東北大学流体科学研究所 特任助教

➤ 高分子内熱伝導の分子動力学シミュレーション

Kawagoe et al., AIP advances 9 (2019), 025302

Kawagoe et al., Polymer 180 (2019), 121721

Kawagoe et al., Langmuir 36 (2020), 6482-6493

2020 – 現職

➤ 複合材料のマルチスケールモデリング

Kawagoe et al., Soft Matter 17 (2021), 6707-6717

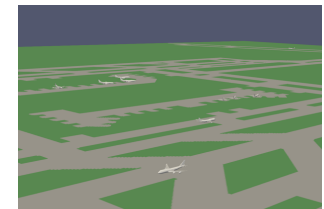
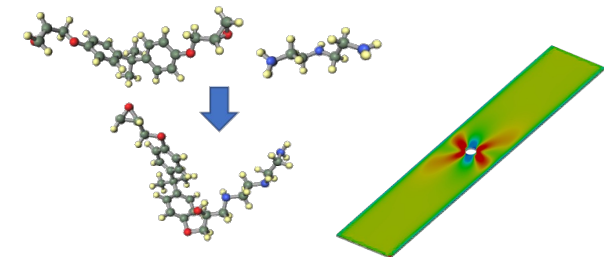
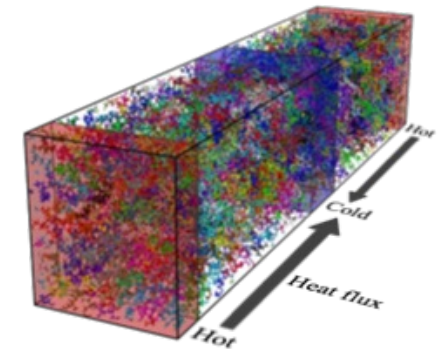
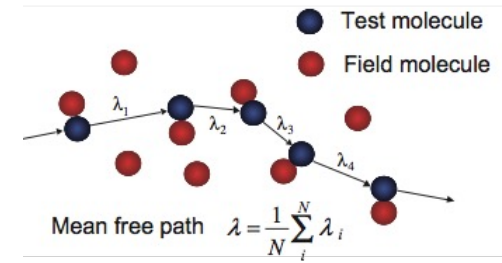
Kawagoe et al., Mechanics of Materials 170 (2022), 104332

Deng et al., Int J Numer Methods Eng 123 (2022), 4518-4544

Kawagoe et al., Computational Materials Science 228 (2023), 112333

➤ 航空交通管理の数値シミュレーション

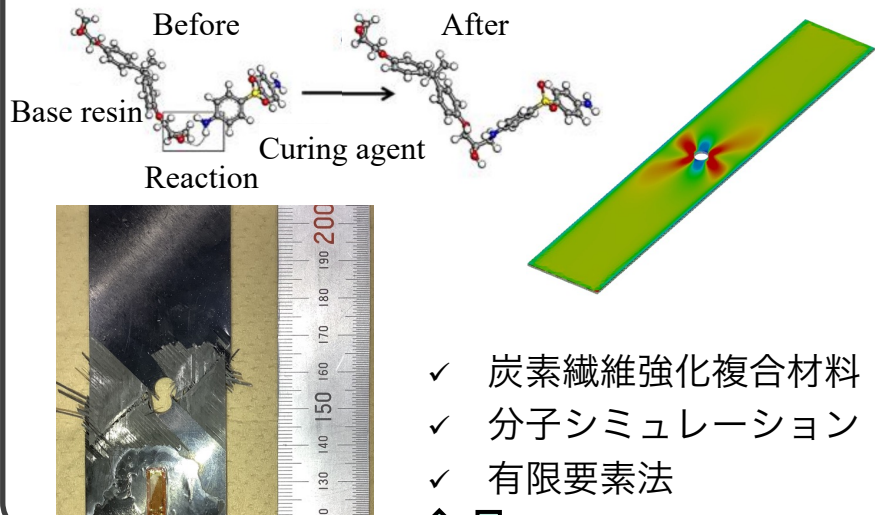
Kawagoe et al., IEEE Access 10 (2022), 95344-95355



材料設計

Before → After

Base resin + Curing agent → Reaction



- ✓ 炭素繊維強化複合材料
- ✓ 分子シミュレーション
- ✓ 有限要素法

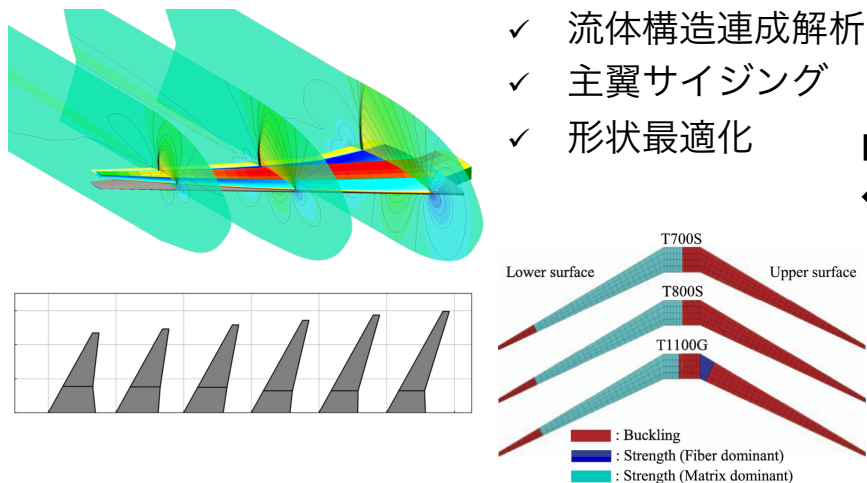
材料・構造スマートシステム学分野

航空機・複合材料を題材として

- ・マルチスケール（複数のスケール）
 - ・マルチフィジックス（複数の物理）
- に渡る現象の解明・工学利用をめざす

構造設計

- ✓ 概念設計
- ✓ 流体構造連成解析
- ✓ 主翼サイジング
- ✓ 形状最適化

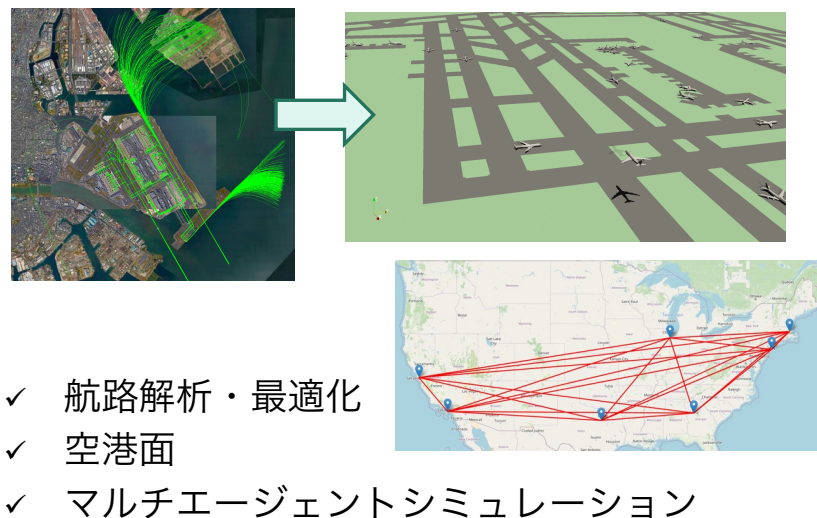


Lower surface / Upper surface

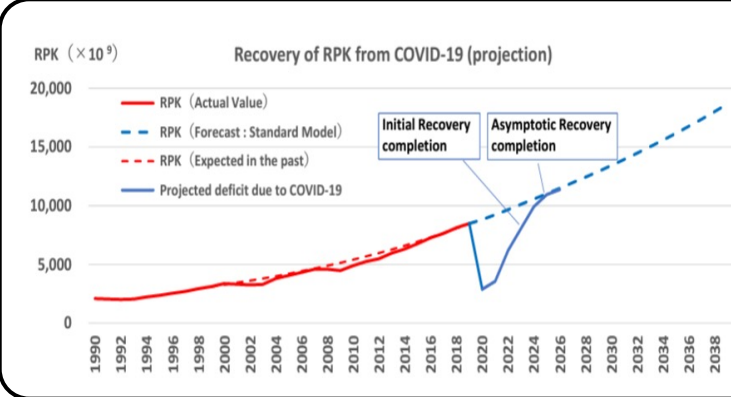
T700S, T800S, T1100G

- : Buckling
- : Strength (Fiber dominant)
- : Strength (Matrix dominant)

運用解析

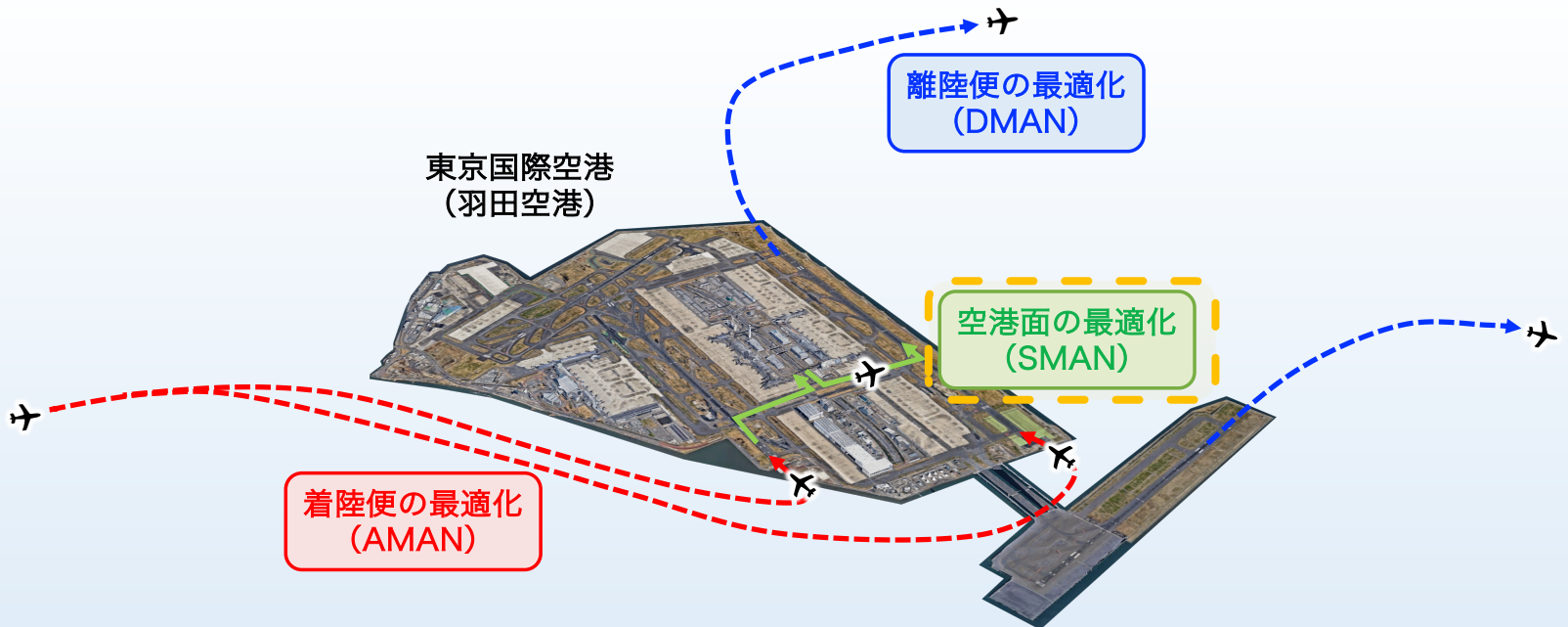


- ✓ 航路解析・最適化
- ✓ 空港面
- ✓ マルチエージェントシミュレーション



世界の航空機需要は**20年で2倍**に増えると予想
現状の航空交通管理方法では対応できない
→ **航路選択方法の抜本的な見直しや、
空港および周辺空域での混雑緩和が必須**

- ✓ 着陸便の最適化 (AMAN: Arrival Manager)
- ✓ 空港面の最適化 (SMAN: Surface Manager)
- ✓ 離陸便の最適化 (DMAN: Departure Manager)



Received 21 June 2022, accepted 4 September 2022, date of publication 6 September 2022, date of current version 15 September 2022.

Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2022.3204819

RESEARCH ARTICLE

Analyzing Stochastic Features in Airport Surface Traffic Flow Using Cellular Automaton: Tokyo International Airport

YOSHIAKI KAWAGOE¹, **RYOHEI CHINO¹**, **SATORI TSUZUKI²**, **ERI ITOH^{3,4}**,
AND TOMONAGA OKABE^{1,5,6}

¹Department of Aerospace Engineering, Tohoku University, Sendai, Miyagi 980-8579, Japan

²Research Center for Advanced Science and Technology, The University of Tokyo, Tokyo 153-8904, Japan

³Department of Aeronautics and Astronautics, The University of Tokyo, Tokyo 113-8656, Japan

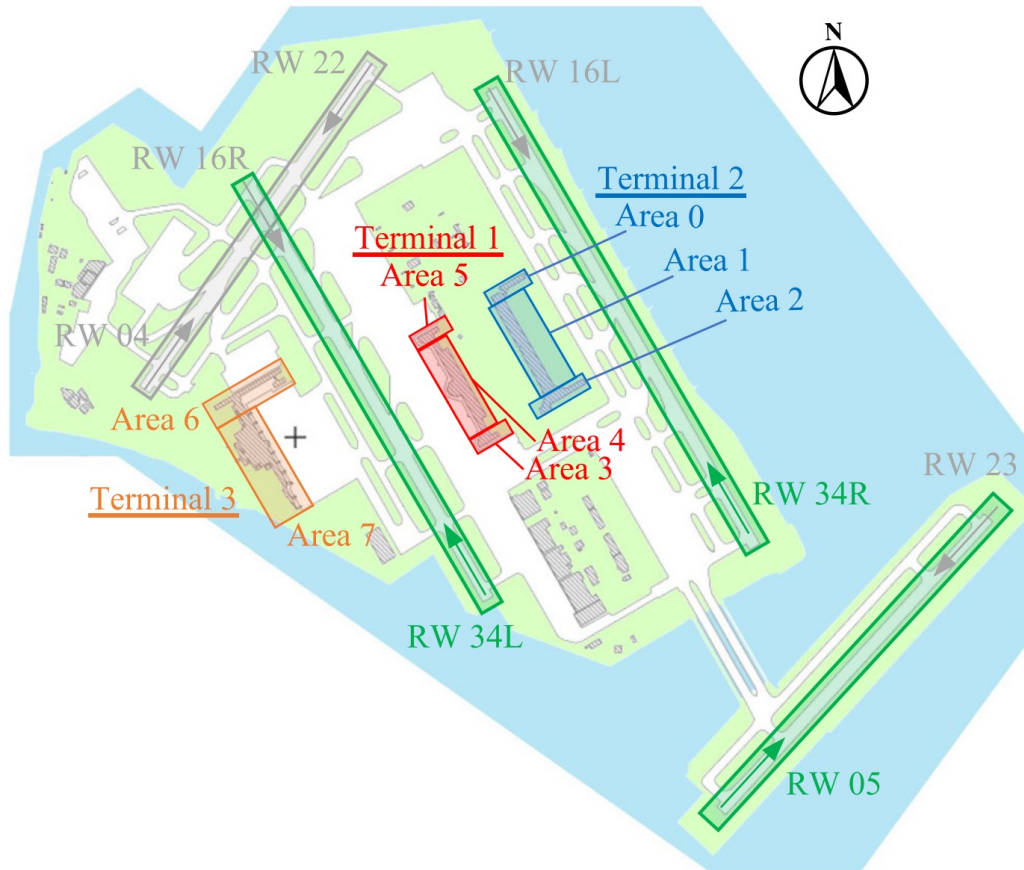
⁴Air Traffic Management Department, Electronic Navigation Research Institute, Chofu, Tokyo 182-0012, Japan

⁵Department of Materials Science and Engineering, University of Washington, Seattle, WA 98195, USA

⁶Research Center for Structural Materials, Polymer Matrix Hybrid Composite Materials Group, National Institute for Materials Science, Tsukuba, Ibaraki 305-0047, Japan

Corresponding author: Yoshiaki Kawagoe (kawagoe@tohoku.ac.jp)

- CARATSオープンデータを用いた空港面実運行解析
- CARATSオープンデータとセルオートマトンシミュレーションを連携した空港面シミュレータの構築と応答解析



利用データ

羽田空港空港面データ

2016 - 2018の北風運用の20日分
(平均化して評価)

主に旅客機を対象とし、第1~第3
ターミナルに駐機した機体を考慮

滑走路

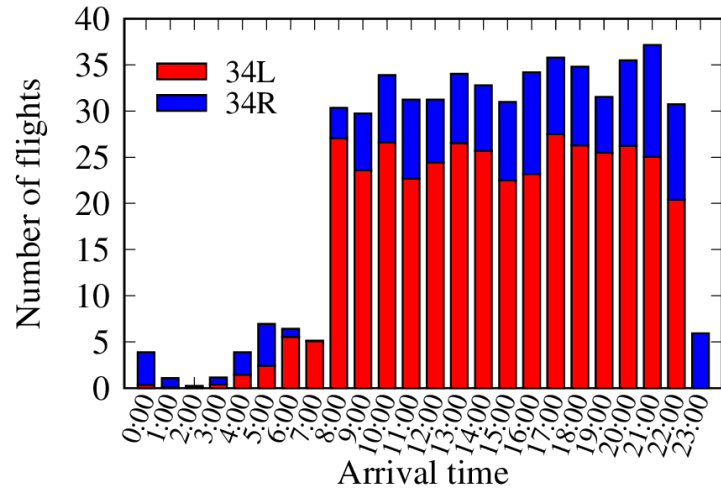
離陸滑走路：RW05, RW34R

着陸滑走路：RW34L, RW34R

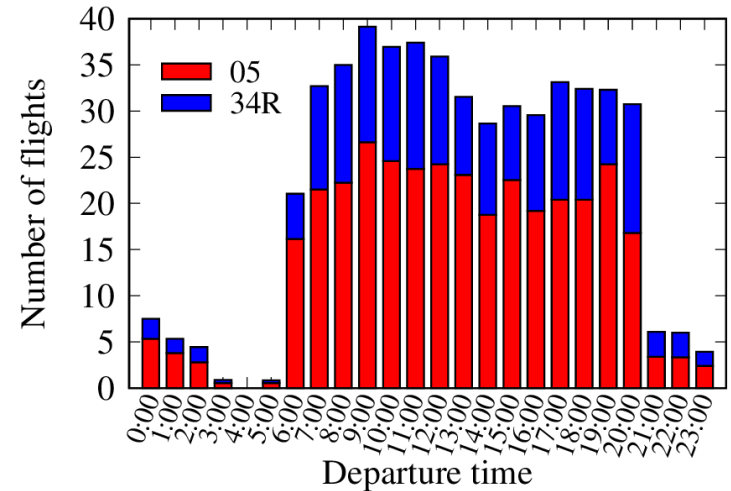
駐機場

ターミナルをエリア0~7に細分化

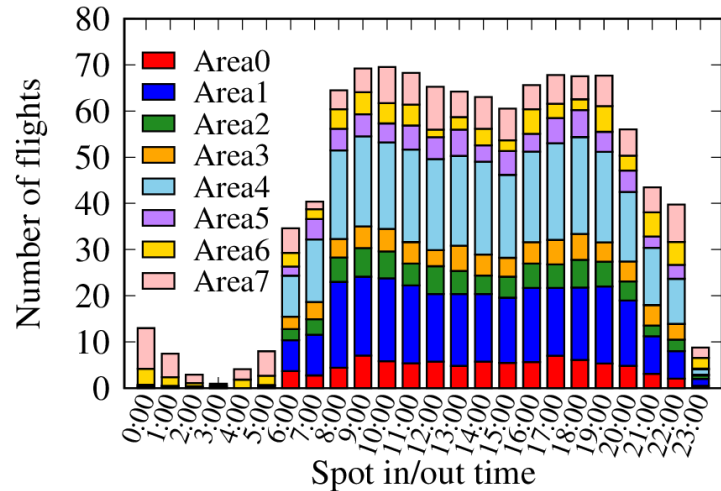
実航跡データから解析に必要な特徴量を取得する



着陸滑走路の使用比率



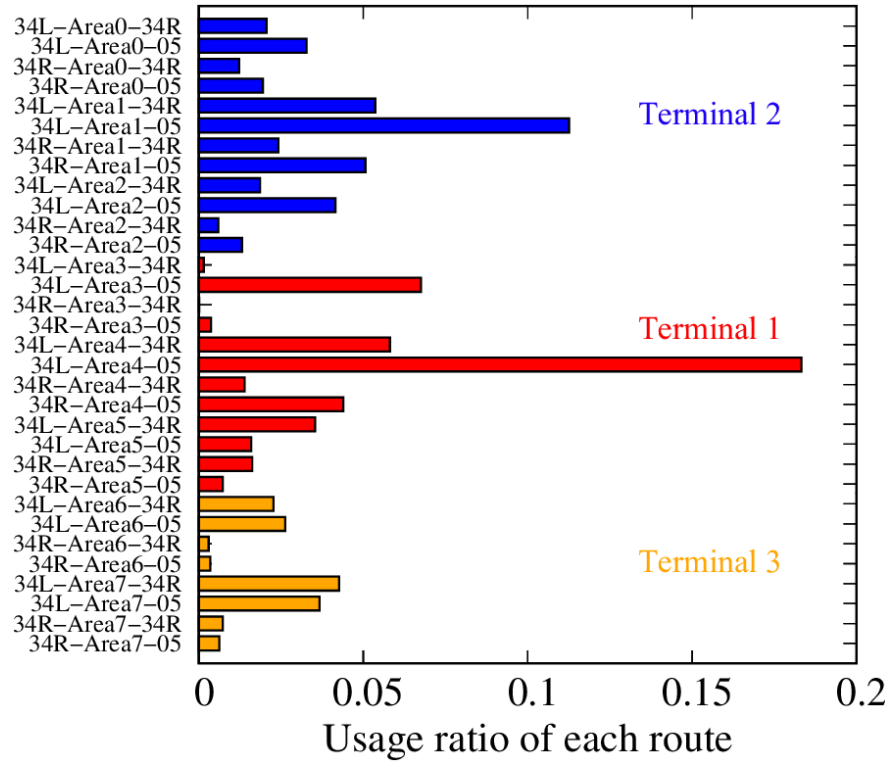
離陸滑走路の使用比率



駐機エリアの使用比率

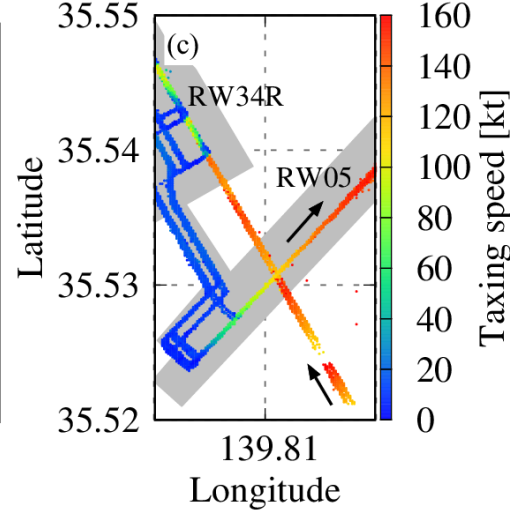
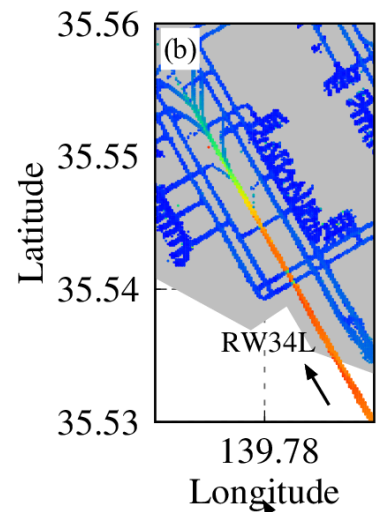
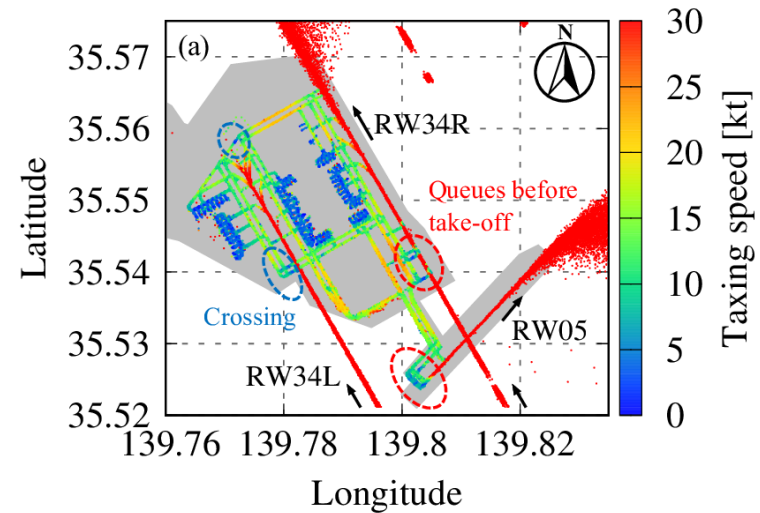


実航跡データから解析に必要な特徴量を取得する



各ルートの使用比率

着陸RW2本 × 駐機エリア8個 × 離陸RW2本
= 32経路



地上走行速度分布

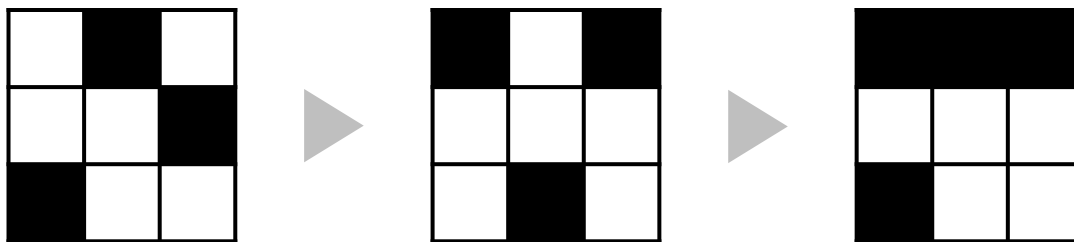
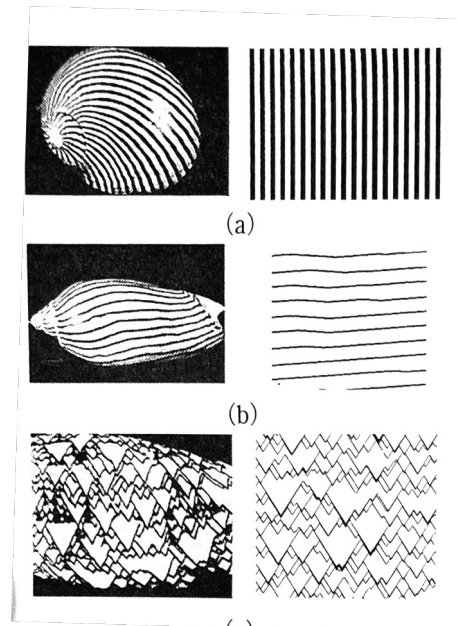
セルオートマトンとは

簡単な局所的相互作用から複雑な現象（複雑系）を再現する手法

- 生物現象（生体組成, バクテリア）
- 反応・拡散現象（生物の紋様形成, 化学反応）
- フラクタル自然現象（結晶成長, 凝集, 相分離）
- 災害（森林火災, 地震, 地滑り）
- 交通・経済（車の流れ, 株価, 景気の循環）

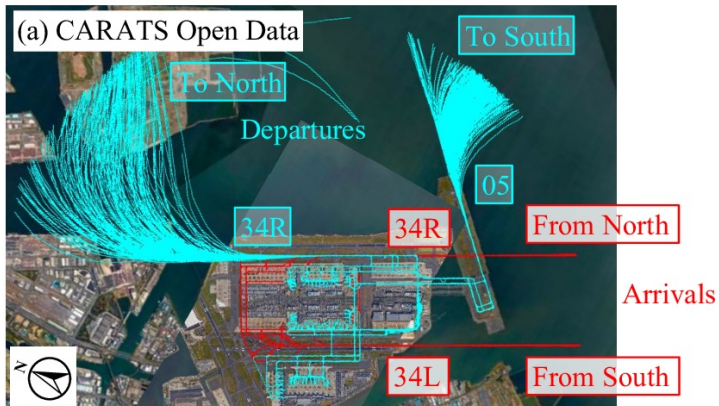
自然界の不規則性を人の手を介さずに再現できる

発展形としてマルチエージェント, 格子ガスオートマトン, 格子ボルツマン法がある



単純な手順と簡単な規則から複雑系を再現

脱支配方程式・データ駆動型の解析が可能

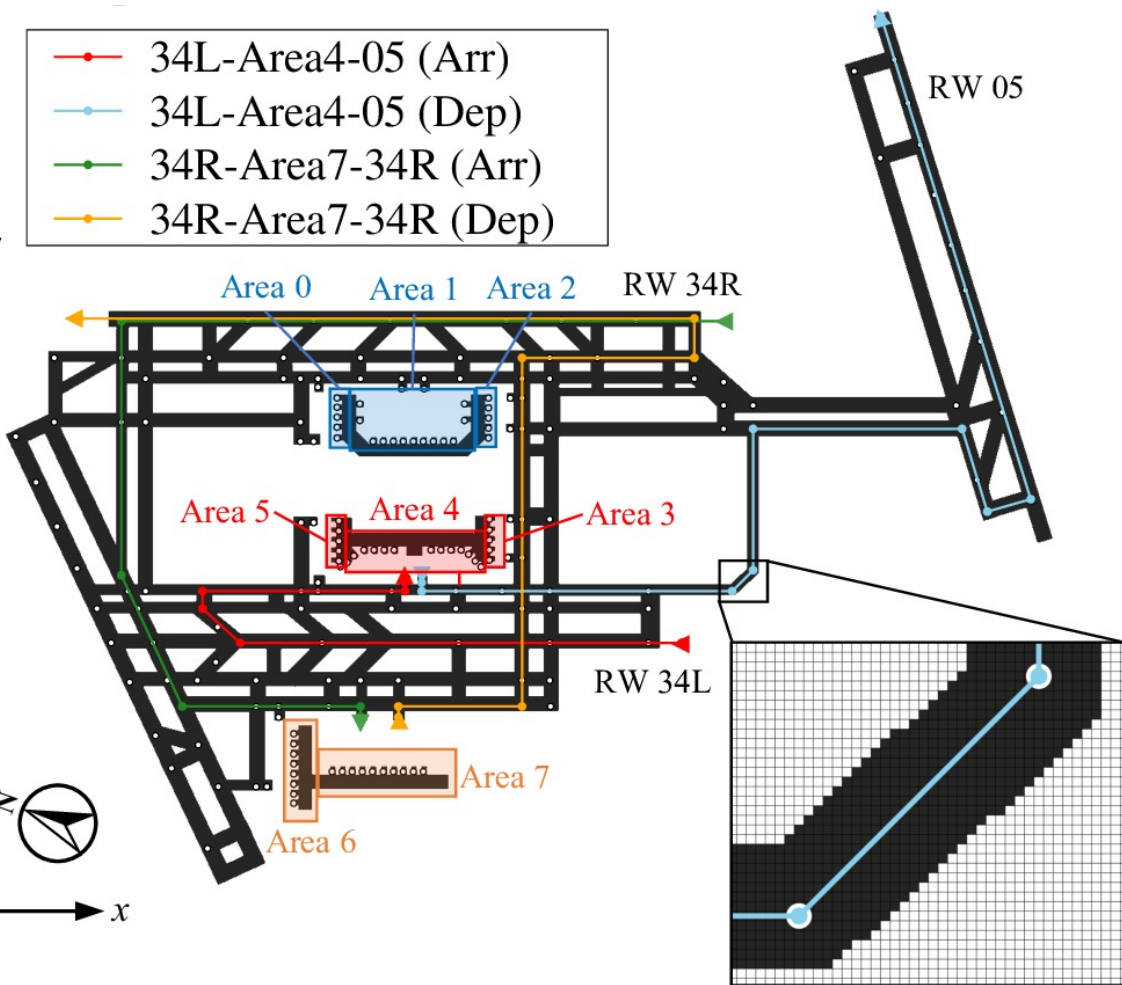
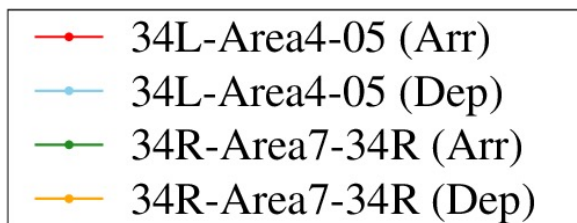


セルオートマトンによって羽田空港の
空港面交通流を模擬

- 交通流の支配因子の特定
- 最適化（遅延の最小化）

- ✓ ルート
- ✓ 到着率
- ✓ 使用比率
- ✓ 走行速度
etc...

- + 特有ルール
- ✓ ROT
 - ✓ 横断禁止



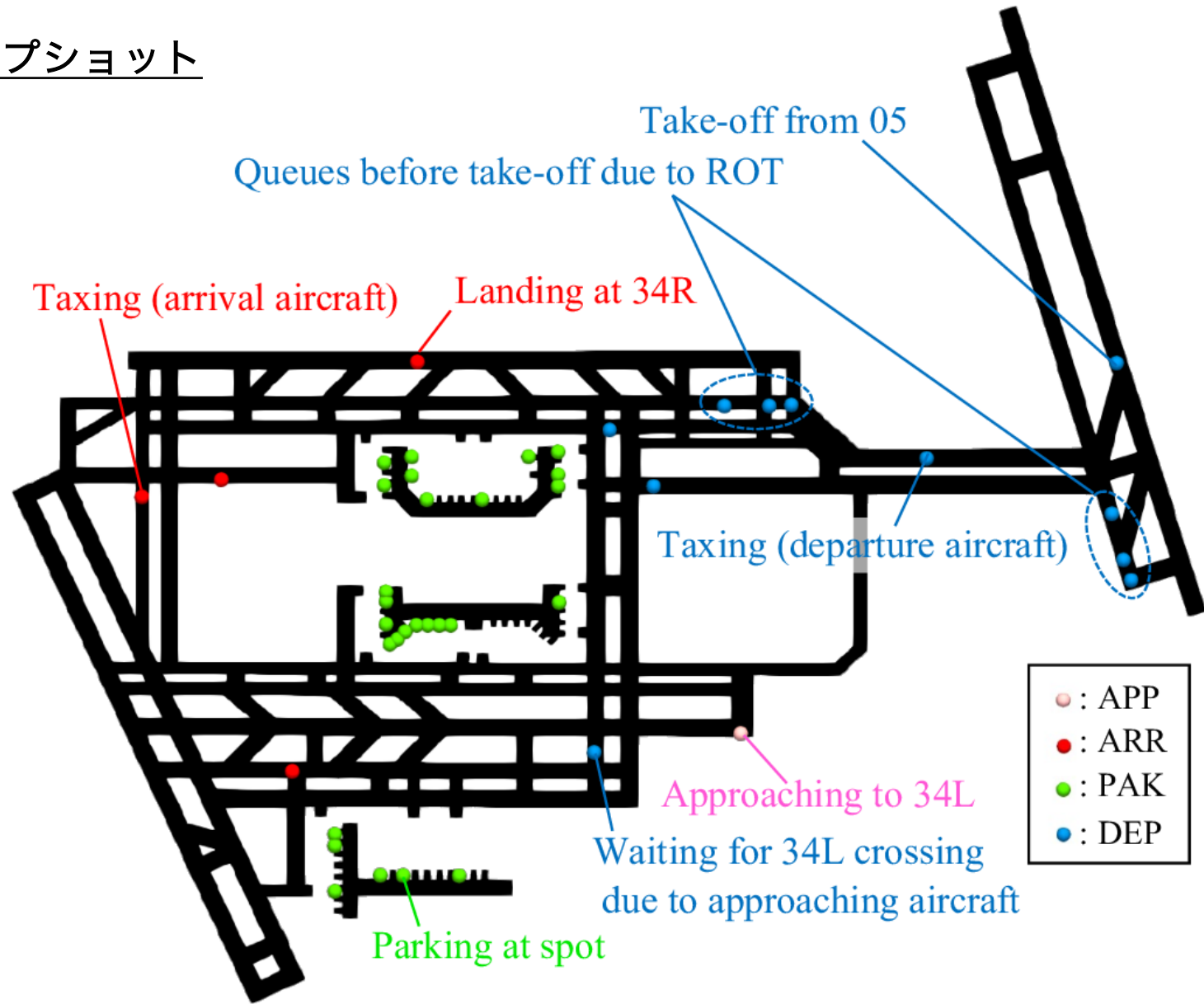
地上走行速度設定

$$v_{tx} = \begin{cases} 5 \text{ kt} & \text{in area} \\ 14 \text{ kt} & \text{in normal taxiing way} \\ 20 \text{ kt} & \text{in high speed section} \\ 140 \text{ kt} & \text{in runway.} \end{cases}$$

駐機時間設定

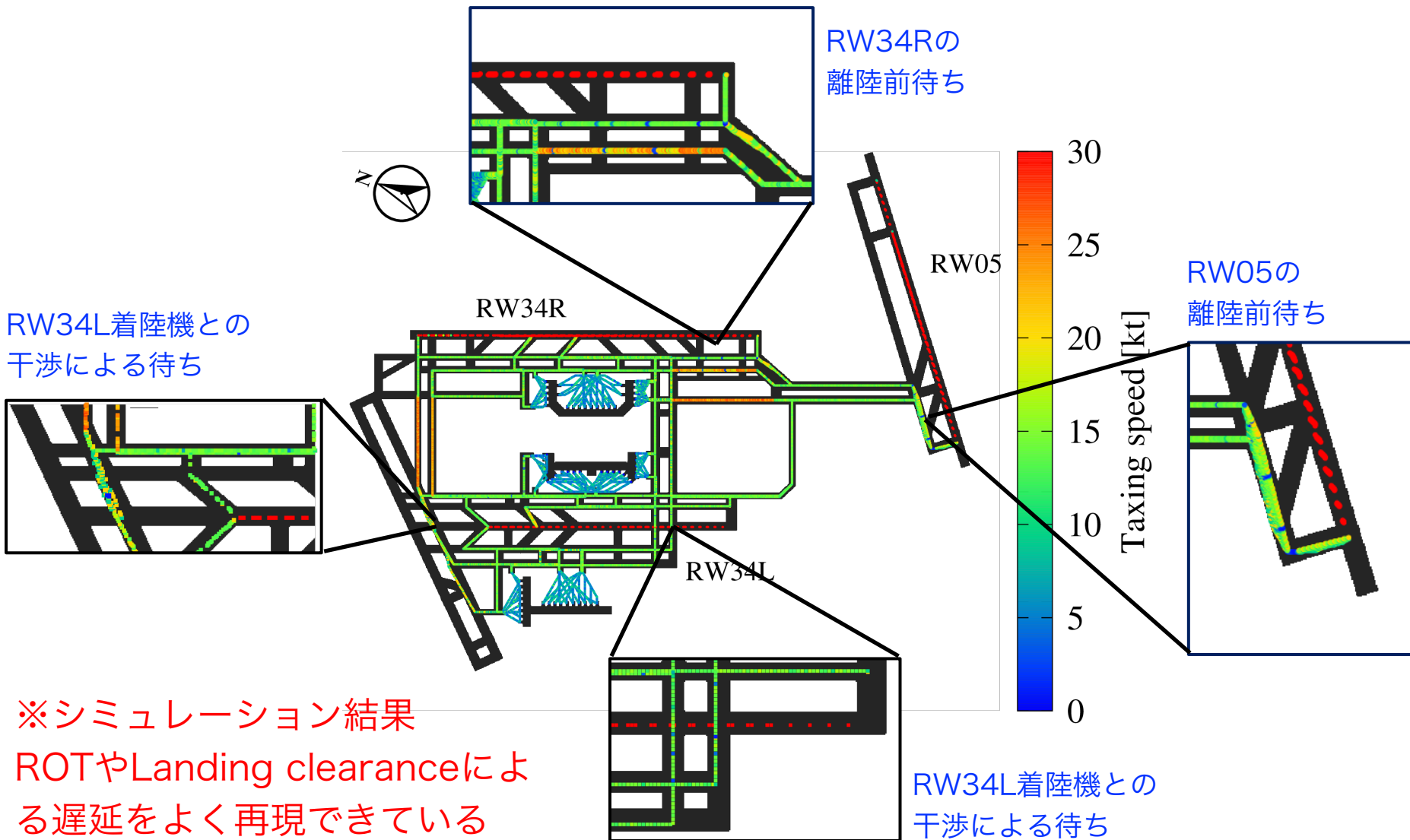
Terminal 1, 2: 2700 sec
Terminal 3: 5700 sec

スナップショット



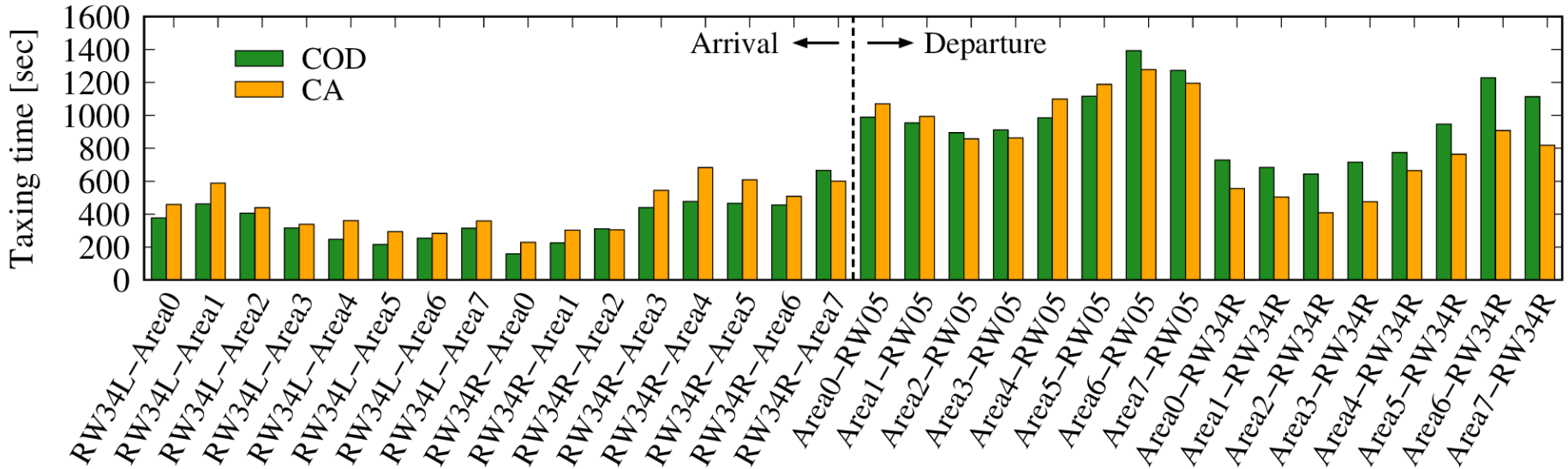
セルオートマトンで得られた地上走行速度分布

実データ同様に滑走路前および着陸機との干渉地点に低速領域が生じている

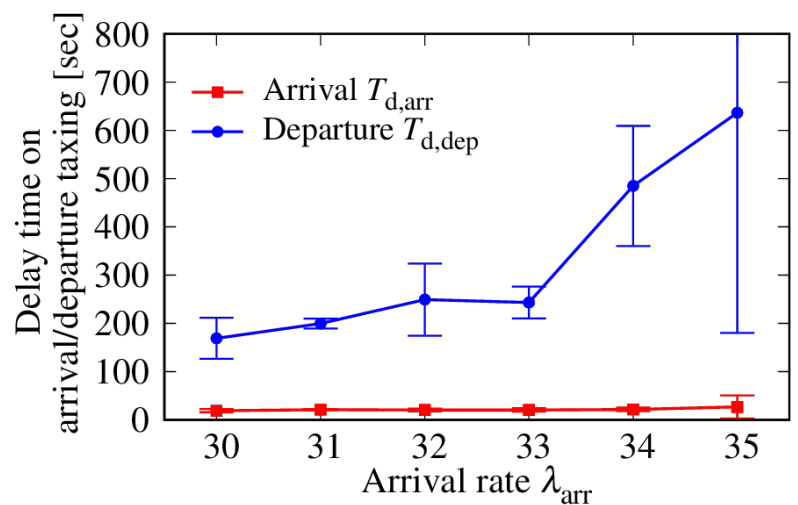


Taxing時間の比較

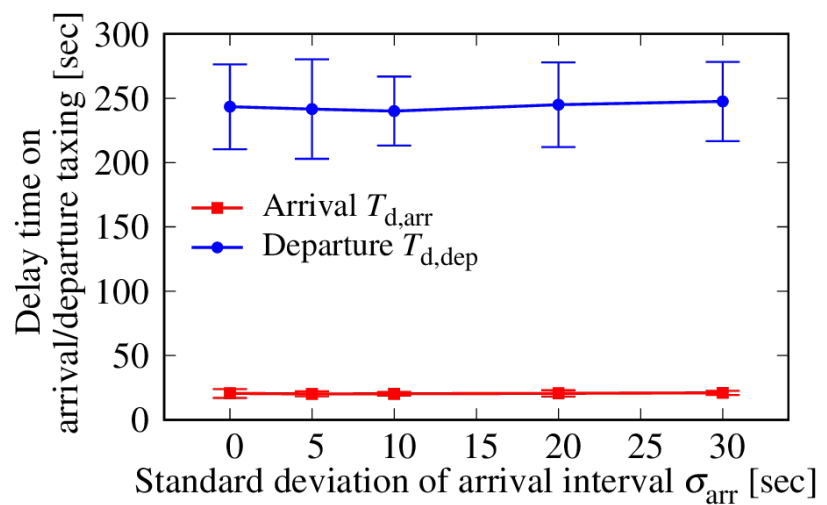
Carats Open DataとCAでTaxing時間のルートごとの分布を比較



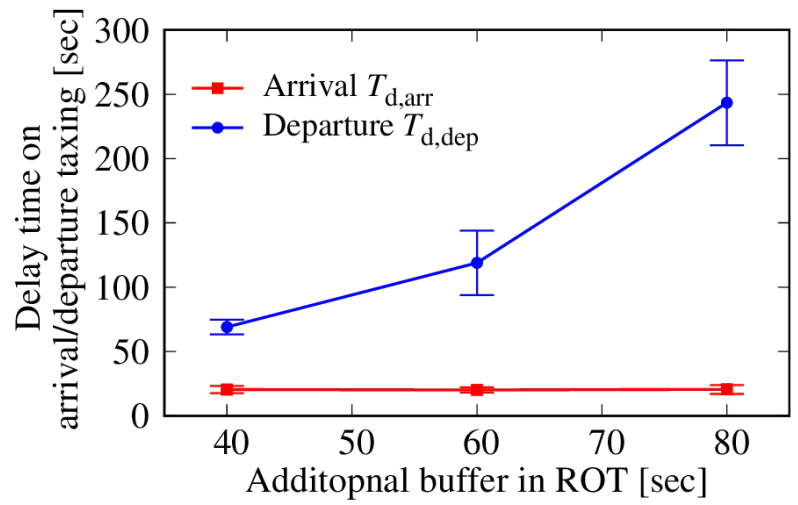
- ✓ 全体としてCarats Open Dateの傾向とよく一致した。
- ✓ 平均として着陸経路にくらべ離陸経路の方がTaxing時間が長い
→ 滑走路前での待ち由来と思われる



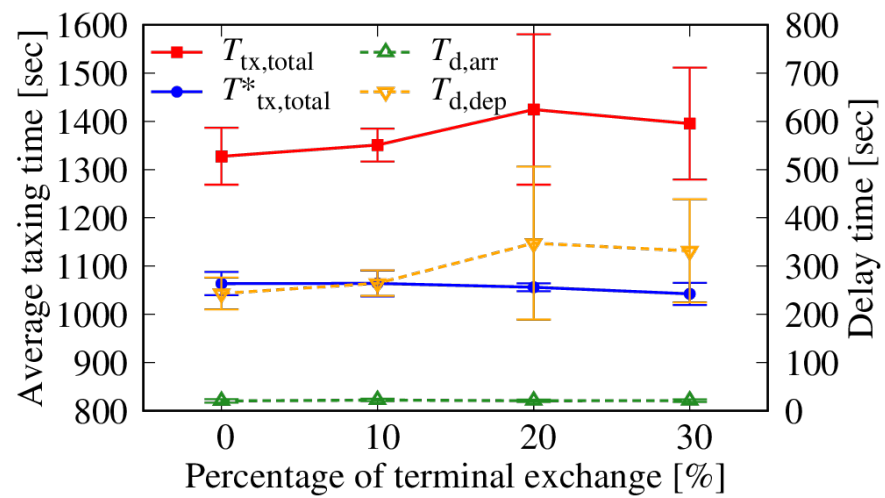
到着率増加時の離着陸機の遅延



到着間隔時間のゆらぎと遅延量の関係[1]



滑走路のセパレーションと遅延量の関係



別アライアンス間のスポット交換の効果検討[2]

[1] E. Itoh and M. Mitici, Aeronaut. J., 124 (2020) 447–471.

[2] T. Chen and S. Hanaoka, Aerospace 9 (2022) 145

- ✓ シミュレータの拡張・汎用化
セルオートマトン → マルチエージェントシミュレーション
量子アニーリング手法と連携した交通最適化シミュレータの構築
- ✓ 気象データの利活用
2018年からCARATSオープンデータで気象データの提供も開始
気象と空港面交通流の相関解析
天候状況を考慮した空港面交通シミュレーション
- ✓ 大型プロジェクトへの参画
成田空港のモデリング

「富岳」が拓く次世代航空宇宙モビリティとその社会システムへの展開

東京大学，東京理科大学，東北大学



東京大学 伊藤恵理 教授

都築怜理 講師

東京理科大 立川智章 准教授

東北大学 川越吉晃

複雑ネットワークと動的な流量管理が錬成する航空交通シミュレータ

- ✓ 次世代の航空交通管理のためのシミュレータを構築
- ✓ 航空旅客交通だけでなく，空港を起点とした人流や物流・将来的なエアモビリティも包括したシステムとして社会実装を目指す

(具体的な取り組み)

施設拡張を想定したフライトスケジュールでの成田空港の周辺空域および空港面の交通流予測・効率化

CARATSオープンデータを用いて空港全域を再現する空港面シミュレーターを構築した。実際に評価することが難しい、さまざまなシナリオや施設拡張効果の評価が可能であり、施策や運用方針に資するような成果が期待できる。さらに、航路・周辺空域の解析と連携し、航空交通全域を予測・効率化するツールへと発展・拡張をしていく。

謝辞

CARATSオープンデータをご提供いただきました国土交通省航空局様、共同研究者の東京大学 伊藤恵理教授、都築怜理講師、東京理科大 立川智章 准教授、東北大学 岡部朋永教授に厚く御礼申し上げます。

ご清聴ありがとうございました