



Title	ポスト「京」に向けた航空交通流の大規模計算と可視化プログラムの開発
Author(s)	安福, 健祐
Citation	サイバーメディアHPCジャーナル. 2019, 9, p. 7-10
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/77144
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

ポスト「京」に向けた航空交通流の大規模計算と可視化プログラムの開発

安福 健祐

大阪大学 サイバーメディアセンター サイバーコミュニティ研究部門

1. はじめに

京コンピュータの後継機ポスト「京」の開発事業（フラグシップ 2020 プロジェクト）では、ポスト「京」を用いて重点的に取り組むべき社会的・科学的課題に向けたアプリケーション開発として9つの重点課題に加え、ポスト「京」で新たに取り組むチャレンジングな課題として萌芽的課題4テーマが設定され、2016年に8つの課題が決定された（表1参照）。筆者は、萌芽的課題(2)「複数の社会経済現象の相互作用のモデル構築とその応用研究」において「堅牢な輸送システムモデルの構築と社会システムにおける最適化の実現」（課題責任者：東京理科大学 藤井孝藏教授、研究期間：2016年8月1日～2020年3月31日）という課題に参画しており、主に可視化プログラムの研究開発を行っている。

表1：ポスト「京」萌芽的課題（4テーマ8課題）

萌芽的課題	
01 基礎科学のフロンティア- 極限への挑戦	02 複数の社会経済現象の相互作用のモデル構築とその応用研究
03 太陽系外惑星(第二の地球)の誕生と太陽系内惑星環境変動の解明	04 思考を実現する神経回路網の解明と人工知能への応用

<https://www.rcsrrken.jp/fs2020p/>

01	基礎科学の挑戦- 複合・マルチスケール問題を通した極限の探求 極限の探求に資する精度保証付き数値計算学の展開と超高性能計算環境の創成 複合相関が織りなす極限マテリアル-原子スケールからのアプローチ
02	多層マルチ時空間スケール社会・経済シミュレーション技術の研究・開発 堅牢な輸送システムモデルの構築と社会システムにおける最適化の実現
03	太陽系外惑星(第二の地球)の誕生と太陽系内惑星環境変動の解明
04	脳のビッグデータ解析、全脳シミュレーションと脳型人工知能アーキテクチャ ボトムアップで始原的知能を理解する昆虫全脳シミュレーション

本課題で対象としている輸送システムとは、現時点では航空機を対象としている。近年そのシステムは複雑化し、混雑や乗客のトラブル、気象の影響などに対して脆弱となり、日常的に遅延が生じている。本課題は、個別の遅延やトラブルへの効果的な対応の策定を越えて、一定規模の地域や国内全体（さらに将来には国際社会）の大規模輸送手段を一つのシステムと捉え、相互作用を考慮した上で全体最適を

実現、加えてトラブル時への対処が容易な堅牢性を有する運行方式によって安全性と効率性という相反する要求を両立する手法の確立を目指している。このような複雑な社会的課題に対して先端スーパーコンピュータを利用した取り組みはこれまでに例がなく、ポスト「京」開発事業において社会問題を対象とした新たな利用分野の創出を行う観点でも高い意義がある。

本課題の研究体制としては、東京理科大学（藤井孝藏教授）が航空機交通モデル構築・並列化・最適化等のHPCI利用を担当、東京大学（西成活裕教授、柳澤大地准教授、都築怜理特任助教）が運航数理モデル化およびデータ解析を担当、電子航法研究所（伊藤恵理主幹研究員）が次世代の航空管制システムの設計およびモデル化を担当、大阪大学が大規模並列エージェントモデルの開発と表示技術を担当している。本稿ではその研究成果の一部を紹介する。

2. 航空交通流の大規模計算

ポスト「京」に向けたアプリケーション開発の基礎研究として、新しいCA（セルオートマトン）エージェントモデルの開発と並行して、プログラムの並列化とノード間通信手法の検討を行った。二つの手法の通信コストを単純に比較すると、一対一通信が集団通信に勝っていたが、各エージェントの計算負荷が高くなるモデルを開発中であることを考慮し各エージェントの計算負荷を高めた計算を行った結果、集団通信が優位となった。開発中のモデルでは、全ての航空機のデータが各航空機の移動に影響する。この点を考慮した結果、基本的には集団通信が優位と結論づけた。ただし、各エージェントが持つデータ量がプロジェクト進行と共に変わること、複雑性を緩和したモデルのシミュレーションプログラムも同時に開発することから、一対一通信への対応

も考慮しながらプログラム開発を進めている。

また、ポスト「京」に向けたアプリケーションの前段階として、電子航法研究所が開発している FIM 評価用の SPICA シミュレータを京コンピュータに導入した。FIM のシミュレーションにおける時間間隔と途中経過における時間間隔と速度、高度の推移について調べ、FIM を実行した航空機が滑走路に着陸する際には一定の時間間隔になることが確認できた。京コンピュータを使用したことにより、計算速度を 144 倍まで向上させることに成功し、従来 1 シナリオあたり 3 日間かかっていた計算をわずか 30 分にまで短縮した。この成果から、今後実施予定の様々なデータ取得のためのシミュレーションに要する時間を大幅に削減することが可能になった。

3. 航空交通流モデルの可視化プログラム開発

シミュレーションによって出力される大量の航空交通流データを理解するため、人間の視覚的な認知能力を活用したインタラクティブな可視化が有効となる。本章では航空交通流モデルとそのシミュレーション結果およびオープンデータとなっている実データを対象に、インタラクティブな探索操作によってデータ同化の検証や最適化結果の有効性を直観的に把握できる可視化システムを紹介する。

3.1 航空交通流モデル

航空交通流は、個々の航空機の相互作用によって全体の挙動が変化する複雑な現象である。そのモデル化には、局所的でシンプルなルール設定で現象の再現が可能といわれるセルオートマトン (CA) を用いる。特にここでは、東京進入管制区内の到着時間間隔調整アルゴリズムとして、Step Back という概念を加えた CA モデル (SBCA) を利用する[1]。SBCA は、1 次元 CA を用いて各セルの中を粒子 (航空機) が移動していくことを考え、それぞれの粒子に速度 s (1 ステップに s セル進めるか) を割り振る。その上で前方間隔 d 、加算距離 BD を設定し、前方間隔の条件に従って、各粒子の総移動距離を加算していくモデルとなる。このモデルは、前方 d 個のセル全てが粒子に占領されているセルがある場合は、 BD

セル後ろに戻ることで総移動距離を加算していく。また、粒子が後ろに戻る際、途中で他の粒子が存在する場合は戻ることが出来ずその場に留まるものとする。

図 1 上は SB モデルの時空図を示す。1 行目の白色の粒子は前方間隔 (図中の薄灰色のセル) に粒子が存在するが、加算距離上 (図中の濃灰色のセル) にも粒子が存在するため、次のステップでもその場に留まっている。それに対して、1 行目の黒色の粒子は前方間隔に粒子が存在し、加算距離上に粒子が存在しないため、次ステップで加算距離分後ろに戻っていることがわかる。

ここでは、日本全体を 8 つのエリアに分割し、それぞれのエリアを出発する航空機が東京管制区内で合流し、最終的に FAF (Final Approach Fix) にて二つのルートに合流して羽田空港に着陸するものと仮定する。具体的な模式図を図 1 下に示す。

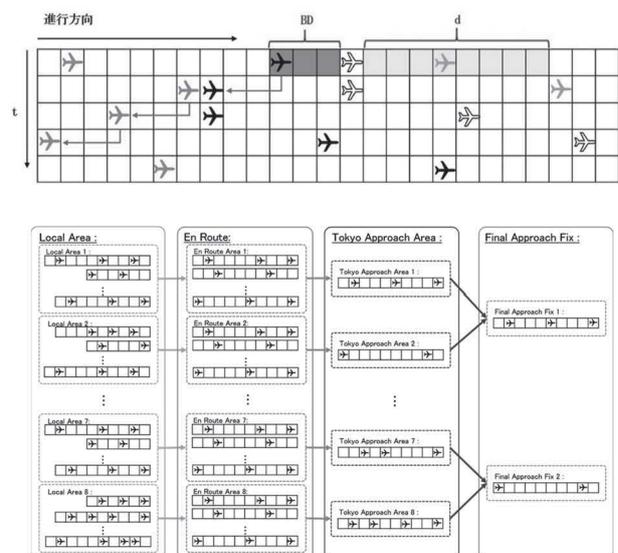


図 1 : SBCA のイメージ

3.2 可視化プログラム

可視化プログラムの特徴は大規模な航空交通流データを高いフレームレートを維持しながらリアルタイムレンダリングし、インタラクティブな操作によって必要なデータを絞り込み、詳細に分析を行うことである。開発環境は C++ をベースにグラフィックスライブラリとして OpenGL、GLFW、ImGui、NFD (Native File Dialog) を利用している。以下、可視化プ

プログラムを用いた分析のワークフローを説明する。

可視化プログラムを起動すると、画面にはメインメニューと 3D 地球儀モデルが表示される。3D 地球儀モデルはマウス操作によって任意軸方向の回転、拡大縮小が行える。また 3 次元空間内のカメラを自由に回転して傾けることもでき、自由な角度から 3D 地球儀モデルを表示できる。カメラの持つパラメータとしては投影方法（透視投影または平行投影）、焦点距離がありメインメニューから変更ができる。3D 地球儀モデルの表示オプションとして空港名と位置、ウェイポイント名と位置の表示・非表示をメインメニューから選択できる。

分析はまずメインメニューから航空交通流データのファイルを読み込む。ファイルは CSV 形式で CARATS Open Data のフォーマット[注 1]をベースとしており、時刻に対する便名と航空機の型式および緯度、経度、高度の位置情報からなる。データ読み込み時には全航空機の軌跡データが時系列で生成されるが、コンピュータのメモリ量に応じてそのタイムステップを 1 分単位、2 分単位、4 分単位の 3 段階で指定できる（デフォルトは 2 分単位）。また読み込みデータに指定されたタイムステップのデータが含まれない場合は線形補間が行われる。データが読み込まれると、先頭データの時刻における航空機の位置データから 3D 地球儀モデル上に 3D 航空機モデルが表示され、指定された時間単位で位置データを更新する（初期設定は画面が 1 フレーム進むごとに 1 分経過する。フレームレートが 60 fps の場合は 60 倍の再生速度となる）。ファイルが読み込まれるとサブメニューが表示されており、時系列データの範囲内のタイムラインがあり、再生、停止、早送り、巻き戻し、任意の時刻への移動が可能となる。前述のマウスの操作によって自由なカメラ視点で航空交通流を表示できる。カメラを傾ければ航空機同士の高低差が視認できる。初期画面は 3D 地球儀モデル全体が表示されているが、画面を拡大して羽田空港周辺を表示すれば、空港内の道路や建物も衛星写真で表示でき、その上空の航空交通流を確認できる。マクロな視点からマイクロな視点へ連続的な切り替わ

るときには、3D 航空機モデルのスケールは動的に変化させて航空機の状態を把握しやすいようにし、空港レベルのマイクロな視点にくると 3D 航空機モデルが実スケールで表示される。このようにして 3D-CG をベースに航空機の高低差を確認できるとともに、各航空機を常に視認しやすいスケールを自動調整することで直観的な航空交通流の理解を支援する。

可視化プログラムには航空交通流を詳細に分析する主な機能として各航空機の航跡表示がある。表示オプションとしては、データに含まれている全航跡の表示と、表示中の時刻から遡った「任意の時間単位の長さ」での航跡表示がある。航跡を表示することで、ベクタリングやホールディングの発生状況が把握できる。特に時間単位の航跡表示は、近接する航空機同士の近接状態などを視覚的かつ定量的に表現することができる（図 2 参照）。



図 2：可視化プログラムの画面

大規模な航空交通流データから特定の航空機を抽出して表示するため、可視化プログラムでは任意の航空機を選択機能と表示・非表示機能がある。航空機の表示・非表示は、大きく「出発前」「フライト中」「到着後」の 3 パターンで切り替えることができる。

その中からさらにマウスによって選択した航空機の表示・非表示が設定できる。選択操作は、画面のある範囲をマウスでドラッグすることで、その矩形範囲内にある航空機に対し、「選択」「追加選択」「選択解除」を行う。この選択操作の有用な使い方として、CARATS Open Data から特定の空港の出発機、到着機のみを表示することが挙げられる。例えば、羽田空港への到着機のみを表示したい場合、タイムラインを最後まで移動させて、「到着後」の全航空機を表示させる。次に羽田空港に到着した航空機をマウスにより選択した後、表示する航空機を「フライト中」に変更することで、羽田空港への到着機のみが表示される。CARATS Open Data 自体には、出発空港、到着空港の情報が含まれていないが、可視化プログラムのGUI操作によって画面上で容易に航空機をフィルタリングすることができる。表示している航空機のデータのみを保存しておきたい場合は選択した航空機のみファイルの出力も可能である。

可視化プログラム上で行うことができる視覚的な分析方法として、シミュレーションデータと実データの比較、シミュレーション上での最適化前後の比較がある。そのために可視化プログラムは二つのファイルを同時に開くことができる。二つのファイルを開くと、3D 航空機モデルは一つの 3D 地球儀モデル上に重なって表示されるが、ファイルごとに別々のサブメニューが表示されている。サブメニューには、タイムライン、航空機と航跡の表示・非表示およびカラー設定があり、色分けして表示することで、一つの画面で二つのデータの軌跡を比較することができる。メインメニューのほうには、共通のタイムラインが表示されており、こちらで操作をすると二つのデータを同時にコントロールすることができる。さらに画面は左右に 2 分割することができ、それぞれの画面に二つのデータを表示して比較する機能がある（図 3 参照）。オプションによって、左右のカメラの位置を別々に操作するか、同時に操作するかを選択できる。画面分割状態で一つのファイルを開いたときは、左右に同じデータが表示されることになり、異なる視点から同じデータを見て分析する

という使い方もできる。



図 3：可視化プログラムによる航跡の比較

4. おわりに

本課題は 2019 年度が最終年度であり、今後ポスト「京」時代およびその先に向けて、航空交通流や空港内での航空機の移動の最適化、構成要素が互いに影響し合う効果を分析・予測する技術を開発し、将来の運航・運用方式の基盤となる最適な交通輸送システムの提案に結びつける。さらにその先に、リアルタイムなスーパーコンピュータ利用の可能性を拓くことを目指している。

本稿で紹介した研究成果は、ポスト「京」萌芽的課題アプリケーション開発「複数の社会経済現象の相互作用のモデル構築とその応用研究（堅牢な輸送システムモデルの構築と社会システムにおける最適化の実現）」（課題番号：170226）の助成を受けたものである。

注

- (1) CARATS Open Data とは一定期間の航空機の位置・時刻情報等について、国土交通省航空局が保有するエンルート管制用レーダーと羽田ターミナル管制用レーダーのデータを基に、座標変換等の処理を行ったものである。

参考文献

- (1) 長岡慎介, 安齋洸也, 立川智章, 藤井孝藏, “ステップバックセルオートマトンを用いた羽田空港周辺の航空機渋滞モデルの初期的検討”, 第 64 回理論応用力学講演会(2017).