

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 10 月 12 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25390152

研究課題名(和文) 経済社会データおよび環境データを用いた次世代航空機ネットワーク構造の最適化

研究課題名(英文) Methods for optimizing the next-generation aviation networks using socioeconomic and environmental databases

研究代表者

佐藤 彰洋 (Sato, Aki-Hiro)

京都大学・情報学研究科・助教

研究者番号：50335204

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：世界の航空輸送ネットワーク構造の特定と、空間リスク、利便性、経済性の各指標を表す複数の目的関数から成るネットワーク構造の多目的最適化問題を定式化し、この数値解法アルゴリズムを提案した。空間リスクとして空港の自然災害リスクを特定し、津波リスクと感染症リスクとを計算するためのモデルと計算方法を導出した。また、重力モデルに基づき、利便性と経済性を計算するために、全世界における流量予測モデル係数を、2014年の1年間の航空輸送ボリュームデータと、Socioeconomic Data and Application Center (SEDAC)の人口グリッドデータを用いることにより算出した。

研究成果の概要(英文)：We identified a network structure for a global air transport system based on data, and proposed methods to solve multi-objective optimization problems numerically consisting of several objective functions in terms of its spatial risk, convenience and economic performance. We derived a model to calculate spatial risks by identifying the natural disaster of airports and flights, and calculated the risk of epidemic infection and the risk of tsunamis. In addition, we estimated parameters of the gravity model in order to quantify passenger flows in the whole world, and calculate the convenience and the economic performance, with a volume data of the global air transport system in 2014 and the gridded population estimate data provided by Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC).

研究分野：データ中心科学(経済情報学、経済物理学)

キーワード：航空輸送ネットワーク 多変量連立確率微分方程式 空間統計 重力モデル 最尤法 多目的最適化
リスク推定 並列計算

1. 研究開始当初の背景

持続可能性に係る課題解決のためには、我々の社会の現状がどのようになっているかについての正確な理解が必要とされる。しかしながら、研究開始当時、世界的な人の移動や活動がどのようになっているかについて、データを用いた高精度のモデルと、そのデータを用いた構造最適化に関する研究は端緒についたばかりであった。そのため、データを目的のために収集し、収集したデータを分析することを通じてデータの質を高めながら、異なる分野で集められたデータを相互に結合させ、目的を実現するためには、データ利活用を推進するための研究が必要とされていた。

特に、持続可能性の概念はグローバルシステムである地球体系全体の相互作用と関連するため、世界規模でどのようにデータを収集し、また、どのように構造を特定すべきであるかについては、データが巨大であるがゆえに未解決の問題が多く、その解決についてはデータの収集、データに基づく構造のモデル化、データとモデルに基づく現状の理解とその改変の可能性の定量化を世界規模で実施する必要があるということが課題となっていた。

2. 研究の目的

本研究では、輸送ネットワークのひとつである国際線航空機ネットワークを取り上げ、現実の社会経済データと環境データ、都市の位置情報を拘束条件として用いて、エネルギー、現実性、環境リスクを評価指標とした環境負荷の小さな次世代航空ネットワーク構造を、ネットワーク最適化手法により実現する方法を開発する。本研究の成果として、経済社会システムの運航で経験的に用いられてきた局所的方法論の高精度化と、利便性を保証しつつエネルギー効

率を向上させた次世代航空機ネットワークの構造に関する知見を得ることを目指す。

3. 研究の方法

データの収集(Plan)、蓄積(Do)、分析(Check)、意思決定(Action)に至る PDCA サイクルを小規模データから徐々に質と規模を向上・拡大させていながら実行し、全世界を網羅する航空機ネットワーク全体の構造を鳥瞰的観点から複数の目的関数に基づき最適化する(多目的最適化)ことを可能とするアルゴリズムの開発と、実データを用いた計算プログラムの実装、および、実時間計算を実現する。

【H25 年度】

- (1) **経済社会データの収集**
- (2) **環境データの収集**
- (3) **空間環境リスクの計量**
- (4) **航空機網の調査**

【H26 年度】

- (1) **世界的な航空機網の調査**
- (2) **経済性、リスク、利便性の空港パラメータに基づく航空機網の多目的最適化**
- (3) **多目的最適化アルゴリズムの効率化**

【H27 年度】

- (1) **航空会社ごとの世界旅客機ネットワークデータの分析**
- (2) **ネットワーク構造の改善・最適化ソフトウェアの開発**
- (3) **航空会社ごとのスケジュール改善アルゴリズムの開発と全世界航空輸送ネットワークへの統合**

4. 研究成果

本研究を通じて以下の成果を得た。

[1] 京都大学大学院情報学研究科主催 EU-Japan Workshop 2015 in Kyoto and Osaka: “Exploring complex socio-techno-environmental systems across the boundary” (2015 年 3 月 21 日~23 日開催、京

都大学時計台百周年記念館およびグランフロント大阪)に共催し、欧州(イギリス、イタリア、スイス、ドイツ)の研究者との間で国際旅客便の航空輸送に関する国際情報交流を行った。

[2] 国土交通省国土地理院国土数値情報標高傾斜角 3 次メッシュ(約 1km 四方)データおよびアメリカ気象大気庁(NOAA)の過去 1000 年間の津波上陸カタログオープンデータを用いて、日本国内(約 38 万 km²)の 3 次メッシュ津波ハザードの推計を行った。更に、総務省統計局国勢調査人口 3 次メッシュデータ、総務省統計局経済センサス事業所、労働者数 3 次メッシュデータを用いた日本国内の津波リスクの推計を行った。更に、世界約 4000 の空港に対する津波ハザードの推計と国際航空輸送ネットワークが有する津波リスクの推計を行った。この計算は京を中核とする HPCI 共用計算資源の利用研究課題(課題番号:hp140076, 実施期間: 2014 年 4 月 1 日~2015 年 3 月 31 日, 割当資源: 17,142 ノード時間)に基づきスーパーコンピュータを用いて計算した。

[3] 全世界の航空輸送ネットワークを航空会社ごとに分離し、航空輸送ネットワークのリスク、経済性、利便性を目的関数とする多目的最適化問題を定式化し、航空会社ごとに並列計算後、ネットワークの再結合を行うアルゴリズムを実装し、2014 年の航空輸送ネットワークデータに対する多目的最適解の候補の幾つかを数値的に計算した。この計算は京を中核とする HPCI 課題研究課題(課題番号:hp150106, 実施期間: 2015 年 4 月 1 日~2016 年 3 月 31 日: 割当資源量:46,100 ノード時間)に基づきスーパーコンピュータを用いて計算した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] 計 3 件

Aki-Hiro Sato, Hidefumi Sawai,
“Relationship between socioeconomic flows and social stocks: Case study on Japanese Air Transportation”, *Evolutionary and Institutional Economics Review*, Vol. 12(2) (2016) pp. 243-263.

佐藤彰洋, 澤井秀文, “航空機による人の移動とシミュレーション”, シミュレーション小特集「ビッグデータと社会シミュレーション」, シミュレーション, 第 33 巻第 4 号 (2014) pp. 20-27.

Aki-Hiro Sato, Hidefumi Sawai,
“Geographical risk assessment from tsunami run-up events based on socioeconomic-environmental data and its application to Japanese air transportation”, *Procedia CIRP*, Volume 19 (2014) pp. 27-32.

[国際研究集会発表論文] 計 8 件

2016 年 2 月 2 日, Aki-Hiro Sato,
“ Large-scale Computation of Geographical Evaluation Indicators with Socio-economic-Environmental Databases ”, *Kyoto-Bordeaux Mini-symposium*, Kyoto, Japan

Aki-Hiro Sato, Isao Ito, Hidefumi Sawai, and Kentaro Iwata, “An epidemic simulation with a delayed stochastic SIR model based on international socioeconomic-technological databases”, *Big Data (Big Data)*, 2015 IEEE International Conference on, Oct. 29 2015-Nov. 1 2015, pp. 2732-2741.

2014 年 11 月 4 日, Aki-Hiro Sato, Hidefumi Sawai, “ Geographical risk assessment from tsunami run-up events based on socioeconomic-environmental data ”, *Social Modeling and Simulations + Econophysics Colloquium 2014*, Kobe, Japan

2014年10月27日-30日, Hidefumi Sawai, Aki-Hiro Sato, “ Multi-Objective Optimization for Resilient Airline Networks Using Socioeconomic-Environmental Data ” , IEEE BigData Conference, Washington DC, USA

2015年10月9日, Aki-Hiro Sato, “ Large-scale computation of geographical evaluation indicators with socio-economic-environmental databases ” , ISM HPCCON 2015, Institute of Statistical Mathematics, Tokyo, Japan

2014年8月27日-29日, H. Sawai, A.-H. Sato, “ Multi-Objective Evolution of Airline Networks Using Socioeconomic-Environmental Data ” , SAI2014, Int. Conf. on Science and Information Conference, London, United Kingdom

2014年7月7日, Aki-Hiro Sato, Hidefumi Sawai, “Geographical risk assessment from tsunami run-up events based on socioeconomic-environmental data and its application to Japanese air transportation ” , Robust Manufacturing Conference (RoMaC2014), Bremen, Germany

2013年12月4日, Hidefumi Sawai, “ Efficient, Robust and Resilient Architecture for Communication and Infrastructure Networks ” , 2013 International Conference on Connected Vehicles & Expo, Las Vegas, USA

[国内会議発表論文] 計27件

佐藤彰洋, 榎峠弘樹, 澤井秀文, “ 経済社会デ

ータおよび環境データを用いた空間評価指標の大規模計算:地域メッシュ統計の利活用 ” , 統計数理研究所共同研究レポート361 (2016) pp. 90-101.

佐藤彰洋, 澤井秀文, “ 日本国内航空輸送ネットワーク上の流量と社会ストックとの関係 ” , 統計数理研究所共同研究レポート, 経済物理とその周辺(11) , Vol.332 (2015) pp. 90-96.

佐藤彰洋, 澤井秀文, “ 日本国内における津波リスクの空間計量と国内空港の物理的エクスポージャー ” , 統計数理研究所共同研究レポート, 経済物理とその周辺(10) , Vol.311 (2014) pp.21-30.

2016年6月8日, 澤井秀文, 佐藤彰洋, “ACOによる複雑ネットワークの創発と実世界応用”, 人工知能学会, 北九州国際会議場, 福岡市

2016年3月12日, 佐藤彰洋, 榎峠弘樹, Jang Tae-Seok, 澤井秀文, “ 経済社会データおよび環境データを用いた空間評価指標の大規模計算 ” , 情報処理学会第78回全国大会, 慶應義塾大学, 横浜市

2016年1月23日, 佐藤彰洋, 澤井秀文, 伊藤功朗, 岩田健太郎, “ ウイルス伝搬の数理モデル化とデータ駆動型シミュレーション ” , H27年度統計数理研究所共同利用研究集会第2回人流・物流ネットワークとその周辺研究会, 統計数理研究所, 東京都立川市

2015年12月6日, 佐藤彰洋, 澤井秀文, 榎峠弘樹, Jang Tae-Seok, “ 経済社会データおよび環境データを用いた空間評価指標の大規模計算:地域メッシュ統計の利活用 ” , 第6回横幹連合コンファレンス, 名古屋工業大学, 名古屋市

2015年12月4日, 佐藤彰洋, “経済社会データおよび環境データを用いた空間評価指標の大規模計算”, 経済物理学 2015, 京都大学基礎物理学研究所, 京都市

2015年12月3日, 佐藤彰洋, “経済社会データおよび環境データを用いた空間評価指標の大規模計算”, 第5回金融ネットワーク研究会, 京都大学, 京都市

2015年12月3日, 佐藤彰洋, “ウイルス伝搬の数理モデル化とデータ駆動型シミュレーション”, 第5回金融ネットワーク研究会, 京都大学, 京都市

2015年10月26日, 佐藤彰洋, “経済社会データおよび経済データを用いた空間評価指標の大規模計算” (hp140076), 第2回「京」を中核とする HPCI システム利用研究課題成果報告会(平成27年10月26日開催), 日本科学未来館, 東京都

2015年8月31日, 佐藤彰洋, 澤井秀文, “国土交通省航空輸送統計と総務省国勢調査・経済センサス調査メッシュ統計を用いた重力モデルによるフィッティング”, 平成27年度第1回統計数理研究所共同利用研究集会「人流物流ネットワークとその周辺」研究会, 統計数理研究所, 東京都立川市

2015年8月4日, 佐藤彰洋, “社会経済システムに対するデータ中心科学: 空間リスク、経済、エネルギーをめぐって”, 情報処理学会ネットワーク生態学研究グループ, 第12回ネットワーク生態学シンポジウム, 山喜旅館(招待講演), 静岡県伊東市

2015年7月31日, 佐藤彰洋, “ウイルス伝搬の数理モデル化とデータ駆動型シミュレーション”, 第58回人工知能学会 分子生物

情報研究会(SIG-MBI), Grand Front Osaka, 大阪市

2015年7月31日, 澤井秀文, “新しいモバイルワールド・ネットワークの創発と実世界応用”, 第58回人工知能学会 分子生物情報研究会(SIG-MBI), Grand Front Osaka, 大阪市

2015年3月27日, 佐藤彰洋, 澤井秀文, “経済社会データおよび環境データを用いた航空輸送ネットワークの最適化”, 統計数理研究所共同研究集会「経済物理学とその周辺」, 統計数理研究所, 東京都立川市

2015年3月17日, 佐藤彰洋, 澤井秀文, 伊藤功朗, 岩田健太郎, “国際航空ネットワーク上での遅れ確率 SIR モデルによる感染症伝播シミュレーション”, 情報処理学会第77回年次大会, 京都大学, 京都市

2014年11月30日, 佐藤彰洋, 澤井秀文, “経済社会環境データを用いたリスク計量と最適化: 航空機ネットワークの経路問題への応用”, 第5回横幹連合総合シンポジウム, 東京大学, 東京都 (PDF)

2014年9月12日, 佐藤彰洋, 澤井秀文, “日本国内航空輸送ネットワーク上の流量と社会ストックとの関係”, 統計数理研究所共同研究集会「経済物理学とその周辺」研究会, キヤノングローバル戦略研究所, 東京都

2014年8月22日, 澤井秀文, 佐藤彰洋, “経済社会データおよび環境データを用いた航空機ネットワークの多目的最適化 - 地理的リスクと経済性の指標に基づく日本国内航空機ネットワークの評価”, ソフトウェア科学会ネットワークが創発する知能研究会, 電気通信大学, 東京都

2014年5月21日, 佐藤 彰洋, 澤井 文, “日本国内線航空機ネットワークのリスクと経済性の計量”, 第58回システム制御情報学会研究発表講演会, 京都テルサ, 京都市

2014年3月8日, 佐藤 彰洋, 澤井 秀文, “日本国内航空機ネットワークのリスクと経済性の計量”, 日本統計学会, 同志社大学, 京都市

2013年12月26日, 佐藤 彰洋, “経済社会データおよび環境データに基づく空間リスクの計量”, 第8回京都大学 ICT イノベーション, 京都大学, 京都市

2013年12月21日, 佐藤 彰洋, 澤井 秀文, “経済社会データおよび環境データを用いた空間リスク計量”, 第5回横幹連合コンファレンス, 香川大学, 高松市

2013年9月26日, 澤井 秀文, “蟻の生態にヒントを得た複雑ネットワークの創発とビッグデータを活用した世界の航空網の頑健性の検討”, 一般社団法人テレコムサービス協会関東支部ネットビジネス21研究会, 東京都

2013年9月26日, 佐藤 彰洋, “国際旅客航空機における距離と価格との関係に関する実証分析”, 日本物理学会 2013 年秋季大会, 徳島大学, 徳島市

2013年9月2日, 佐藤 彰洋, 澤井 秀文, “経済社会データおよび環境データを用いた定量的リスク評価の試み”, 統数研共同研究集会「経済物理学とその周辺」研究会, キヤノングローバル戦略研究所, 東京都

〔図書〕(計 1件)

Aki-Hiro Sato, “Applied Data-Centric Social Sciences”, Springer, Tokyo (2014).

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

【ホームページ】

<http://ssuopt.amp.i.kyoto-u.ac.jp>

【受賞】

佐藤彰洋, 一般財団法人 高度情報科学技術研究機構, 第2回京を中核とするHPCI課題研究成果報告会, 優秀成果賞, 2015年10月26日

佐藤彰洋, 特定非営利活動法人 横断型基幹科学技術研究団体連合, 第4回木村賞(2015年度), 2016年4月27日

6. 研究組織

(1)研究代表者

佐藤 彰洋 (Aki-Hiro Sato)
京都大学・大学院情報学研究科・助教
研究者番号: 50335204

(2)研究分担者

澤井 秀文 (Hidefumi Sawai)
情報通信研究機構・ユニバーサルコミュニケーション研究所・技術員
研究者番号: 70359074

梅野 健 (Ken Umeno)

京都大学・大学院情報学研究科・教授
研究者番号: 10358872

(3)連携研究者

伊藤 功朗 (Isao Ito)
京都大学・医学研究科・助教
研究者番号: 40447975

岩田 健太郎 (Kentaro Iwata)

神戸大学・医学研究科・教授
研究者番号: 90513549