

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月3日現在

機関番号：32601

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2012

課題番号：20300098

研究課題名（和文）

ネットワーク空間における統計的空間分析の体系的な方法、算法、道具箱の開発研究

研究課題名（英文）Development research for systematic methods, algorithms and a toolbox for statistical spatial analysis on network space

研究代表者

岡部 篤行（OKABE ATSUYUKI）

青山学院大学・総合文化政策学部・教授

研究者番号：10114050

研究成果の概要（和文）：実世界の確率的事象には、ネットワークの上で生起する事象が極めて多いが、従来の統計空間分析法を適用すると誤った結論を導く可能性が極めて高かった。これを克服すべく本研究では、第1に新たな「ネットワーク統計空間分析法」を開発し、第2にその分析方法の効率的な算法を開発し、第3にその算法を容易に利用できるソフトウェアを開発し、第4に成果たる分析方法、算法、ソフトウェアを体系的に理解できる学術書を出版した。

研究成果の概要（英文）：In the real world, there are various kinds of probabilistic events that occur on or alongside networks. If the existing methods are applied to these events, they are likely to lead false conclusions. To overcome this shortcoming, this study developed: first, a new class of statistical methods, called network spatial analysis; second, efficient computational methods; third, a software package that implemented the resulting computational methods; and last, published a textbook that systematically described resulting statistical methods, computational methods and software packages.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2009年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2010年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2011年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2012年度	2,000,000	600,000	2,600,000
総計	11,400,000	3,420,000	14,820,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・統計科学

キーワード：空間分析、空間統計、計算機科学、算法、ソフトウェア、GIS、ネットワーク

1. 研究開始当初の背景

実世界で生起する確率的事象には、ネットワークの上、またはネットワーク沿いで生起する事象が極めて多い。例えば、ネットワーク上の事象としては、交通事故、路上犯罪、川の汚染、上下水道の故障、パイプラインの漏れなどがあり、ネットワーク沿いの事象としては、都市における各種施設の立地などがある。従来、これらの事象は、平面空間とユ

ークリッド距離を前提とした空間統計分析法で分析されていた。しかし、上記のようなネットワーク上または沿いの事象に従来の統計空間分析法を適用すると、誤った結論を導く可能性が極めて高かった。本研究開始当初の背景は、この従来の統計空間分析法の限界を克服したいということであった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、従来の統計空間分析法の限界を打破する新たな方法を開発することであった。具体的には次の4つの研究目的を立てた。

- (1) ネットワーク空間と最短経路距離を前提とする新たな「ネットワーク統計空間分析法」を開発すること。
- (2) 得られたネットワーク統計空間分析法の効率的な算法を開発すること。
- (3) その算法を使ってネットワーク統計空間分析法を容易に実行できるソフトウェアを開発すること。
- (4) 本研究の成果たる統計空間分析法、算法、ソフトウェアを体系的に示す学術書を出版すること。

3. 研究の方法

上記の研究目的を達成するために、

(1) 研究目的(1)については、以下の方法の統計数理的な定式化を行った。

- ①分析のフレームワーク
 - ②ネットワーク上の事象のモデル化
 - ③ネットワーク空間分析法に共通な基礎的算法の定式化
 - ④ネットワークボロノイ図の定式化
 - ⑤ネットワーク最近隣距離法の定式化
 - ⑥ネットワークK関数法の定式化
 - ⑦ネットワーク空間自己相関法の定式化
 - ⑧ネットワーク点クラスター法の定式化
 - ⑨ネットワーク点密度推定法の定式化
 - ⑩ネットワーク空間内挿法の定式化
 - ⑪ネットワークハブモデルの定式化
- を行う研究を進めた。

(2) 研究目的(2)については、(1)で得られた定式を効率的に計算する算法について以下の開発を行った。

- ①ネットワーク空間分析法に共通な基礎的算法
- ②ネットワークボロノイ図の算法
- ③ネットワーク最近隣距離法の算法
- ④ネットワークK関数法の算法
- ⑤ネットワーク空間自己相関法の算法
- ⑥ネットワーク点クラスター法の算法
- ⑦ネットワーク点密度推定法の算法
- ⑧ネットワーク空間内挿法の算法
- ⑨ネットワークハブモデルの算法

(3) 研究目的(3)については、(2)で得られた算法を、ソフトウェアとして実装する以下の開発を行った。

- ①ネットワーク空間分析法に共通なソフトウェア
- ②ネットワークボロノイ図のソフトウェア
- ③ネットワーク最近隣距離法のソフトウェア

- ④ネットワークK関数法のソフトウェア
- ⑤ネットワーク空間自己相関法のソフトウェア
- ⑥ネットワーク点クラスター法のソフトウェア
- ⑦ネットワーク点密度推定法のソフトウェア
- ⑧ネットワーク空間内挿法のソフトウェア
- ⑨ネットワークハブモデルのソフトウェア

(4) 研究目的(4)については、以上の研究成果を体系化する研究を進めた。

4. 研究成果

以上の研究方法で得られた研究成果は

(1) 研究目的(1)については、新たな空間分析法である「ネットワーク空間分析法」を体系化し、具体的には研究方法(1)で述べた①と②を定式化し、③から⑪の分析方法を完成させた。

(2) 研究目的(2)については、研究方法の上記(1)で述べた③から⑪の分析方法を実行する効率的な算法を完成させた。

(3) 研究目的(3)については、研究成果である上記(2)の算法を、ソフトウェアとして実装をし、一連のソフトウェアを一般研究者が利用しやすい形でまとめたソフトウェア道具箱 SANET (Spatial Analysis along Networks) を完成させた。SANET は、世界の研究者に無料公開をしているが、現在までに、52か国以上の研究者が利用している。

(4) 研究目的(4)については、以上の成果をまとめ、John Wiley 社の Statistics in Practice という統計シリーズの1巻として、*Spatial Analysis along Networks: Statistical and Computational Methods* というタイトルの教科書の本を2012年に出版した。その本の内容は、以下の通りである。

Chapter 1 Introduction

- 1.1 What is network spatial analysis?
- 1.2 Review of studies of network events
- 1.3 Outline of the book

Chapter 2 Modeling events on and alongside networks

- 2.1 Modeling the real world
- 2.2 Modeling networks
- 2.3 Modeling entities on and alongside networks
- 2.4 Stochastic processes on network space

Chapter 3 Basic computational methods for network spatial analysis

- 3.1 Data structures for one-layer networks
- 3.2 Data Structures for nonplanar networks
- 3.3 Basic Geometric Computations
- 3.4. Basic computational methods on networks

Chapter 4 Network Voronoi diagrams

- 4.1 Ordinary network Voronoi diagram
- 4.2 Generalized network Voronoi diagrams
- 4.3 Computational methods for network Voronoi diagrams

Chapter 5 Network nearest-neighbor distance methods

- 5.1 Network auto nearest-neighbor distance method
- 5.2 Network cross nearest-neighbor distance method
- 5.3 Network nearest-neighbor distance method for lines
- 5.4 Computational methods for network nearest-neighbor distance methods

Chapter 6 Network K function methods

- 6.1 Network auto K function methods
- 6.2 Network cross K function methods
- 6.3 Network K function methods in relation to geometric characteristics of a network
- 6.4 Computational methods for the network K function methods

Chapter 7 Network spatial autocorrelation

- 7.1 Classification of spatial autocorrelations
- 7.2 Spatial randomness of the attribute values of network cells
- 7.3 Network Moran's I statistics
- 7.4 Computational methods for network Moran's I statistics

Chapter 8 Network point cluster analysis and clumping method

- 8.1 Network point cluster analysis
- 8.2 Network clumping method
- 8.3 Computational methods for network point cluster analysis and clumping method

Chapter 9 Network point density estimation methods

- 9.1 Network histograms
- 9.2 Network kernel density estimation methods
- 9.3 Computational methods for network point density estimation

Chapter 10 Network spatial interpolation

- 10.1 Network inverse-distance weighting
- 10.2 Network kriging
- 10.3 Computational methods for network spatial interpolation

Chapter 11 Network Huff model

- 11.1 Concepts of the network Huff model
- 11.2 Computational methods for the Huff-based demand estimation
- 11.3 Computational methods for the Huff-based locational optimization

Chapter 12 GIS-based tools for spatial analysis along networks and their application

- 12.1 Preprocessing tools in SANET
- 12.2 Statistical tools in SANET and their applications

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 19 件)

① A. P. A. Ling, K. Sugihara and M. Mukaidono (2012) The Japanese Smart Grid Initiatives, Investments, and Collaborations, International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 3, 44-54, 査読有

② A. P. A. Ling, K. Sugihara and M. Mukaidono (2012) A survey of Japanese current status on adopting smart grid technology, International Journal of Computers, Information Technology and Engineering, 6, 55-64, 査読有

③ K. Sugihara, A. Okabe and T. Sato (2011) Computational method for the point cluster analysis on networks, GeoInformatica, 15, 167-189, 査読有

④ 奥貫圭一, 佐藤俊明, 岡部篤行, 岡部佳世, 塩出志乃 (2011) ネットワーク空間分析ソフトウェアの開発研究, 日本地理学会 2010 年度秋季学術大会発表予稿集, 37, 査読なし

⑤ B. Haider, S. Imahori and K. Sugihara (2011) Success guaranteed routing in almost Delaunay planar nets for wireless sensor communication, International Journal of Sensor Networks, 9, 69-75, 査読有

⑥ H. Fujii and K. Sugihara (2010) Properties and an approximation algorithm of round-tour Voronoi diagrams, Transactions on Computational Science IX (Lecture Notes in Computer Science), 6290, 109-122, 査読有

⑦ D.-S. Kim, Y. Cho and K. Sugihara (2010) Quasi-worlds and Quasi-operators on Quasi-triangulations, Computer-Aided Design, 42, 874-888, 査読有

⑧ Nishida, T., K. Sugihara (2009) Boat-sail Voronoi diagram and its application, International Journal of Computational Geometry and Applications, 19, 425-440, 査読有

⑨ Okabe, A., T. Satoh, K. Sugihara (2009) A kernel density estimation method for networks, its computational method and a GIS-based tool, International Journal of Geographical Information Science, 23, 1, 7-32, 査読有

⑩ Ishikawa, T., K. Murasawa, A. Okabe

(2009) Wayfinding and art viewing by users of a mobile system and a guidebook, Journal of Location Based Services, 3, 4, 277-293, 査読有

⑪ Okabe, A. (2009) Preface, Journal of Geographical Systems, 11.2, 107-112, 査読なし

⑫ 星田侑久、佐藤俊明、岡部篤行 (2009) IPF法を用いた小地域の品目ごとの市場規模の推定, 地理情報システム学会講演論文集, 18, 246-249, 査読なし

⑬ 高橋昭子、岡部篤行 (2009) オンライン教材を用いたGIS実習のレポートに対する学習者相互評価の考察, 地理情報システム学会講演論文集, 18, 287-292, 査読なし

⑭ 佐藤俊明、奥貫圭一、岡部篤行、岡部佳世、塩出志乃 (2009) ネットワーク空間上における空間的解析ツールの開発, 地理情報システム学会講演論文集, 18, 433-496, 査読なし

⑮ Okabe, A., Satoh, T. and Sugihara, K. (2008) A kernel density estimation method for networks, its computational method and a GIS-based tool, Discussion Paper, Center for Spatial Information Science, University of Tokyo, 89, 査読なし

⑯ Sugihara, K., Okabe, A. and Satoh, T. (2008) Computational methods for the point cluster analysis on networks, Discussion Paper, Center for Spatial Information Science, University of Tokyo, 90, 査読なし

⑰ Furuta, T., Suzuki, A. and Okabe, A. (2008) A Voronoi heuristic approach to dividing networks into equal-sized sub-networks, Forma, 23, 73-79, 査読有

[学会発表] (計 14 件)

① D.-S. Kim and K. Sugihara, (2012) Tunnels and voids in molecules via Voronoi diagram, 9th International Symposium on Voronoi Diagrams in Science and Engineering (ISVD 2012), June 27-29, Piscataway, N, J, U, S, A,

② Yamada, I and Okabe, A. (2012) A new method for spatial autocorrelation, Association of American Geographers, Feb. 24-28, New York

③ Amy Poh Ai Ling, Masao Mukaidono and K. Sugihara (2011) Information Security of the IT Based Electronic Power System-Eliminate Smart Grid Security Vulnerability, ASEAN-Japan Academic Forum (AJAF) 2011, Dec. 11, Tokyo, Japan

④ Amy Poh Ai Ling, Masao Mukaidono and K. Sugihara (2011). A Review: The Natural Grid Concept and the Strategy of Asia's

Energy-Balance Pioneer, Smart Grid Electronics Forum, Session 5.2, Oct. 1, San Jose, U. S. A.

⑤ K. Sugihara (2011) Rescue boat Voronoi diagrams for inhomogeneous anisotropic, and time-varying distances, Eighth International Symposium on Voronoi Diagrams in Science and Engineering, June 28-30, Qingdao, China

⑥ T. Furuta, A. Suzuki, A. Okabe (2011) An improved algorithm for the equal sized network partitioning problem, National Conference of Operations Research Society of Japan, March 17-18, The University of Electro-Communications (震災で中止されペーパのみ)

⑦ Amy Poh Ai Ling, K. Sugihara and Masao Mukaidono (2011) Security Philosophy Important for a Sustainable Smart Grid System, Eighth International Symposium on Frontiers of Information Systems and Network Applications, March 1, Fukuoka, Japan

⑧ A. Suzuki, T. Furuta, A. Okabe (2010) An Improvement of the Solution Algorithm for the Equal Sized Network Partition Problem, 応用地域学会, December 12-14, 名古屋大学

⑨ A. Suzuki, T. Furuta, A. Okabe (2010) Improved Algorithm for Network Partitioning into p Equal Size Sub-networks, INFORMS Annual Meeting, Austin, November 7-9, Texas

⑩ K. Sugihara, T. Sato and A. Okabe (2010) Simple and unbiased kernel density functions for network analysis, 10th International Symposium on Communication and Information Technologies (ISICT 2010) October 26-29, Tokyo

⑪ 奥貫圭一、佐藤俊明、岡部篤行、岡部佳世、塩出志乃 (2010) ネットワーク空間分析ツール SANET4 の開発研究, ESRI ジャパンユーザ会主催第 6 回 GIS コミュニティフォーラム, 6 月 3 日、東京ミッドタウン

⑫ 佐藤俊明、奥貫圭一、岡部篤行、岡部佳世、塩出志乃 (2009) ネットワーク空間上解析ツールの開発, CSIS Days 2009, 9 月 13 日 東京大学柏の葉キャンパス

⑬ Fujii, H., K. Sugihara (2009) Round-tour Voronoi diagrams, Proceedings of the 6th International Symposium on Voronoi diagrams in Science and Engineering, June 23-26, Copenhagen, Denmark

⑭ Sugihara, K. (2008) Unsolved problems in robustness of geometric algorithms, Computational Geometry and Discrete Mathematics, RIMS Kokyuroku 1641m, oct. 16-19

〔図書〕(計3件)

- ① Okabe, A. and Sugihara, K. (2012) Spatial Analysis along Networks: Statistical and Computational Methods, John Wiley (a Volume in the Wiley series of Statistics in Practice), 288
- ② 杉原厚吉(2009) なわばりの数理モデル, 共立出版, 166
- ③ Okabe, A., T. Satoh(2009) Chapter23 Spatial Analysis on a Network (in The SAGE Handbook of Spatial Analysis edited by A. S. Fotheringham and P.A. Rogerson) SAGE, 443-464(511)

〔その他〕

ホームページ等

<http://sanet.csis.u-tokyo.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡部篤行 (ATSUYUKI OKABE)

研究者番号 : 10114050

(2) 研究分担者

杉原厚吉 (KOKICHI SUGIHARA)

研究者番号 : 40144117

(3) 連携研究者

なし