

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 7 日現在

機関番号：33917

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K17593

研究課題名(和文) 角度データのための理論的研究と応用

研究課題名(英文) Theory and applications to the circular data

研究代表者

阿部 俊弘 (Abe, Toshihiro)

南山大学・理工学部・准教授

研究者番号：70580570

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：ある地点における風向などを記録したデータは、円周上に値を取るデータとみなすことができ、これらを対象とする統計学は方向統計学と呼ばれている。具体的なデータの例としては、樹木の樹冠の向き、風向データ、渡り鳥の移動方向を記録したデータ等のような角度の観測値がある。これらの角度データは円周上の点と1対1に対応することから、円周データとしばしば呼ばれ、そのような円周データは円周上の分布を用いて解析することができる。申請者はこのようなデータに対して、当てはまりの良いモデルを提案し、実際のデータに対してパラメータ推定を行い、現象の解釈・説明を行った。

研究成果の概要(英文)：Directional data arise when one or more of the variables being observed is angular, and occur in fields as diverse as astronomy, ecology, medicine and the environmental sciences. Examples include the direction of tree crown, wind direction and moving direction of migratory birds. These angular observations correspond to points on the circumference and since they correspond one-to-one, it is often referred to as circular data. The circular data is often analyzed using the circular distributions. We have proposed models that fits well for such data, and considered the parameter estimation for the actual data sets to interpret and disentangle the phenomenon.

研究分野：方向統計学

キーワード：分布論 角度データ 森林データ解析 円柱分布 circular Markov過程

1. 研究開始当初の背景

方向統計学において von Mises 分布、cardioid 分布、巻き込み Cauchy 分布等の平均パラメータと集中パラメータを持つ対称分布が主要な分布であった。2000 年以前の分布論においてはそれらに関する研究が盛んに行われていた。2000 年以降になると、既存の分布を含む柔軟な分布族の提案がされるようになってきた。特に、Jones & Pewsey (2005) により提案された Jones-Pewsey 分布は、形状パラメータの導入により上記の分布等を含む非常に柔軟な円周上の対称分布族である。柔軟な対称分布族が提案されている一方、非対称性を示す分布族の提案もされるようになってきた。そのような分布族として、頂上付近が平坦もしくは急傾斜になる Papakonstantinou の円周分布族を拡張した研究(Abe, Pewsey & Shimizu, 2009)を行った。この研究を土台にして、我々はさらに対称な円周分布族の頂上付近を平坦もしくは急傾斜の性質を持たせる対称・非対称な変換の一般式を与えること(Abe, Shimizu & Pewsey, 2013)に成功した。

他の多くの非対称性を示す分布を調査するうちに、非対称性を満たす分布はあっても、密度関数が非常に複雑となったり、パラメータ推定を実行することが困難であるという問題が生じてきた。そのような状況の下で既存の分布族よりも単純で、数学的にも統計学的にも扱いやすい分布族が構成できれば理想的である。その観点から、Abe & Pewsey (2011)では、独自の摂動法を考案し、一般的な枠組みで円周上の非対称分布族を提案した。さらに、そのアイデアに基づいた別の摂動法による 2 峰性を示す対称な円周分布族(Abe & Pewsey, 2011)も提案した。

この摂動法に関する講演に興味を持っていただいた応用統計学者との交流により、倒木の角度分布から、森林の状態を調べる手法に興味を持ち、そのための第一歩として、樹木の倒壊パターンを調べるための統計的モデリングを行った(Abe, Kubota, Shimatani, Aakala, & Kuuluvainen, 2012)。また、そのデータの性質から、今後は軸分布族の考えが必要になることに気づき、対称な円周分布の摂動を参考にした非対称な軸分布の理論的研究(Abe, Shimizu, Kuuluvainen & Aakala, 2012)も進めた。

2. 研究の目的

シリンダー上のデータの例として、浜辺に置かれたカタツムリの移動距離と移動方向がセットになったデータがある。このデータを眺めていると、移動距離が長いほど、ある方向に集中している傾向がみられる。そのようなデータのために、長さの分布と角度の分布を組み合わせたシリンダー分布族が必要になるが、これについてはまだ研究の途上にある。このようなデータのための統計的モデルを作ることが最初の目標である。また実際

のデータに対してパラメータ推定を行い、既存のモデルと当てはまりの良さを比較する。

Abe, Kubota, Shimatani, Aakala & Kuuluvainen (2012)の延長として、次は樹冠方位のデータ解析を目指す。具体的には、樹木は何も障害がないとき、太陽の方向へ樹冠を向け成長していくが、実際は自分の身近に同じ種の競争相手がいることが普通である。身近に競争相手がいる状況の下で、樹冠の成長方向がどのようになるかをモデリングした上で、定量化を行い、それにより導かれる結果が生態学的にどのように解釈できるか研究していく。

3. 研究の方法

近年、多くの研究者により提案されているモデルは先人達の生成法を用いているが、本研究では、摂動を基礎とした既存の手法にはこだわらない独創的なアイデアを元に行っている。また、対称モデルの摂動を中心に行っていることから、既存の多くの理論モデルに比べて、より扱いやすいことがわかっている。また、他分野との研究の関連付けにより、より広い理論的な拡張をする。樹冠のデータ解析等の応用を考える際に、適切な理論分布を選択し、検定により適切な判断を下すことができる。また、生態学に限らず、風向データ等のような角度を伴う環境データ等にも適用可能となる。

4. 研究成果

Aakala, T., Shimatani, K., Abe, T., Kubota, Y. & Kuuluvainen, T. (2016)では既存の円柱分布を用いた樹木データのモデリングを行った。具体的には Johnson-Wehry 分布の円周部分の位置パラメータにある種の関数の構造を入れ、太陽の影響を定量的に評価できるような工夫をした。これにより、樹冠に対して太陽の影響と競合相手の影響を定量化しそこからデータに潜む現象の解釈を行うことができた。

Abe, Ogata, Shiohama & Taniiai (2017)では Wehrly & Johnson(1980)のモデルの集中パラメータに時間依存性を組み込んだ、circular Markov 過程におけるモデルを作り、周期自己相関関数を考え、漸近正規性を示した。また、推定量の性質を確かめるべく、シミュレーションにより自己相関関数を推定した。

Abe & Ley (2017)では既存のシリンダー上の分布は長さの分布として指数分布を用いているが、長さの分布としては Weibull 分布の方が柔軟である。また、角度の分布としては von Mises 分布が使われているが、Abe & Pewsey (2011)の正弦関数摂動法による非対称分布族を用いたほうが実際の現象に当てはまりがよいことがわかっている。申請者はこの 2 つの分布を理論的に扱いやすいように組み合わせ、正規化定数も単純である柔軟なシリンダー分布を生成した。また、その分布族の乱数生成、パラメータ推定を考え、実際のデータを用いて、どのくらい当てはまりが

良いか考察した。

Abe & Shimatani (2018)では、Abe & Ley (2017)の WeiSSVM モデルを用いて Aakala et al. (2017)のデータの再解析を行い同様の結論を得ている。さらに鳥の飛翔方向データに対してもパラメータ推定を行い、データ解析例を与えている。

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 6 件)

Abe, T. & Ley, C. (2017). A tractable, parsimonious and flexible model for cylindrical data, with applications. *Econometrics and Statistics*, Elsevier, Volume 4, pp. 91-104. 査読あり

Abe, T., Ogata, H., Shiohama, T. & Taniai, H. (2017). Circular autocorrelation of stationary circular Markov processes. *Statistical Inference for Stochastic Processes*, Springer, Volume 20, Issue 3, pp. 275-290. 査読あり

Aakala, T., Shimatani, K., Abe, T., Kubota, Y. & Kuuluvainen, T. (2016). Crown asymmetry in high latitude forests: disentangling the directional effects of tree competition and solar radiation. *Oikos*, Wiley, Volume 125, Issue 7, pp. 1035-1043. 査読あり

Abe, T. (2015). Discussion: On families of distributions with shape parameters. *International Statistical Review*, Wiley, Volume 83, Issue 2, pp. 193-197. 査読あり

Fujisawa, H. & Abe, T. (2015). A family of skew distributions with mode-invariance through transformation of scale. *Statistical Methodology*, Elsevier, Volume 25, pp. 89-98. 査読あり

Pewsey, A. & Abe, T. (2015). The sinh-arcsinh logistic family of distributions: properties and inference. *Annals of the Institute of Statistical Mathematics*, Springer, Volume 67, Issue 3, pp. 573-594. 査読あり

[学会発表](計 25 件)

"On estimating finite mixtures of sine-skewed von Mises distributions", 10th International Conference of the ERCIM Working Group on Computational and Methodological Statistics, Invited talk, Senate House, University of London, UK, 16th-18th December 2017, Toshihiro Abe, Yoichi Miyata & Takayuki Shiohama.

"Bayesian inference for mode preserving distributions on the circle", 10th International Conference of the ERCIM Working Group on Computational and Methodological Statistics, Invited talk, Senate House, University of London, UK, 16th-18th December 2017, Toshihiro Abe, Yoichi Miyata & Takayuki Shiohama.

"Pareto type probability distribution for cylindrical data", 10th International Conference of the ERCIM Working Group on Computational and Methodological Statistics, Invited talk, Senate House, University of London, UK, 16th-18th December 2017, Tomoaki Imoto, Kunio Shimizu & Toshihiro Abe.

"On transformation of scale distributions on the circle with mode and antimode preserving property", 10th International Conference of the ERCIM Working Group on Computational and Methodological Statistics, Invited talk, Senate House, University of London, UK, 16th-18th December 2017, Toshihiro Abe, Yoichi Miyata & Takayuki Shiohama.

"シリンダー上の Pareto 型分布", 2017 年度統計関連学会連合大会, 一般講演, 南山大学, 2017/9/4-6, 清水 邦夫, 井本 智明, 阿部俊弘.

"On a mode preserving circular distribution and its Bayesian inference", 2017 年度統計関連学会連合大会, 一般講演, 南山大学, 2017/9/4-6, 塩濱 敬之, 阿部俊弘, 宮田 庸一.

"Bayesian estimation for the inverse Batschelet distributions on the circle", The 1st International Conference on Econometrics and Statistics (EcoSta 2017), Invited talk, Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong, 15th-17th June 2017, Takayuki Shiohama, Toshihiro Abe & Yoichi Miyata.

"Asymptotically optimal inference for two modal concentration of antipodally symmetric circular distributions", The 1st International Conference on Econometrics and Statistics (EcoSta 2017), Invited talk, Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong, 15th-17th June 2017, Toshihiro Abe, Hiroaki Ogata, Takayuki Shiohama & Hiroyuki Taniai.

"A flexible cylindrical model as a combination of the Weibull and SSVM distributions for cylindrical data", *Advances in Directional Statistics*

(ADISTA17), Invited talk, Department of Political Sciences, University of Roma Tre, Rome, Italy, 8th-9th June 2017, Toshihiro Abe.

"A simple cylindrical model as a combination of the Weibull and sine-skewed von Mises distributions", 9th International Conference of the ERCIM WG on Computational and Methodological Statistics (CMStatistics 2016), Invited talk, University of Seville, Spain, 9th-11th December 2016, Toshihiro Abe.

"Weibull 分布と sine-skewed von Mises 分布を用いたシリンダー上の分布の生成", 複雑な生命現象を読み解くための大規模データ解析とモデリング, 一般講演, 久留米シティプラザ, 2016/11/7-8, 阿部俊弘.

"The WeiSSVM: A tractable, parsimonious and highly flexible model for cylindrical data", 8th International Conference of the ERCIM WG on Computational and Methodological Statistics (CMStatistics 2015), Invited talk, Senate House, University of London, UK, 12-14 December 2015, Christophe Ley & Toshihiro Abe.

"Modeling circular Markov processes with time varying autocorrelation", 8th International Conference of the ERCIM WG on Computational and Methodological Statistics (CMStatistics 2015), Invited talk, Senate House, University of London, UK, 12-14 December 2015, Takayuki Shiohama, Toshihiro Abe, Hiroaki Ogata & Hiroyuki Taniai.

"A circular autocorrelation of stationary circular Markov processes", 8th International Conference of the ERCIM WG on Computational and Methodological Statistics (CMStatistics 2015), Invited talk, Senate House, University of London, UK, 12-14 December 2015, Hiroaki Ogata, Toshihiro Abe, Takayuki Shiohama & Hiroyuki Taniai.

"Length dependent models for cylindrical data through sine skewed wrapped Cauchy distribution", 8th International Conference of the ERCIM WG on Computational and Methodological Statistics (CMStatistics 2015), Invited talk, Senate House, University of London, UK, 12-14 December 2015, Toshihiro Abe.

"シリンダー上の確率分布とその周辺", 日本数学会 2015 年度秋季総合分科会, 特別講演, 京都産業大学神山ホール,

2015/9/13-16, 阿部俊弘.

"ベータ型の分布を用いたシリンダー分布", 2015 年度統計関連学会連合大会, 一般講演, 岡山大学, 2015/9/6-9, 阿部俊弘.
〔図書〕(計 1 件)

Abe, T. & Shimatani, I. K. (2018). Cylindrical distributions and their applications to biological data. Applied Directional Statistics: Modern Methods and Case Studies, Chapman & Hall/CRC Interdisciplinary Statistics.

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

阿部 俊弘 (ABE Toshihiro)
南山大学・理工学部・准教授
研究者番号: 70580570

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号:

(4) 研究協力者

()