

## 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24年3月31日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21300107

研究課題名（和文） 環境・生態データの統計科学的解析およびその基礎理論の研究

研究課題名（英文） Statistical Analysis and Modeling of Environmental and Ecological Data

## 研究代表者

清水 邦夫（SHIMIZU KUNIO）

慶應義塾大学・理工学部・教授

研究者番号：60110946

研究成果の概要（和文）：大気中の窒素酸化物や水中の酸素等の時間的・空間的濃度分布を知ることが環境を理解する上で重要と考えられます。また、鳥の飛翔行動や森林の更新の理解は生態系を把握する上で大切です。本課題では、データに基づいて環境・生態を理解するにはどのように数理的モデルを構成すればよいのかについて研究を行い、環境・生態に関する実データの統計的解析も合わせて行いました。

研究成果の概要（英文）：We studied about how to construct statistical models for environmental and ecological data such as concentration of nitrogen oxides in the atmosphere and oxygen in the water. Statistical analysis of real data such as orientations of migrating birds and fallen trees was also studied using directional statistics.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
2010年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
2011年度	4,600,000	1,380,000	5,980,000
年度			
年度			
総計	12,400,000	3,720,000	16,120,000

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・環境統計、方向統計、データサイエンス、環境リスク評価、ベイズ統計、エシエロン解析、統計的予測

## 1. 研究開始当初の背景

環境には社会的環境と自然的環境があり、生態と密接に関係する。環境保全や自然保護、資源ごみのリサイクル、汚染物質排出量削減など環境・生態へのさまざまな切り口・接近法がある。このような背景の下で、本研究の動機は、環境・生態を表現するデータの統計科学的取扱い（環境・生態データサイエンス）に焦点を当てることであった。

## 2. 研究の目的

環境・生態データを得ること自体意義深いのは当然であるが、本研究では環境・生態データの多くが時間的・空間的に変動が大きく、また再現性に乏しいことを考慮し、環境・生態データのよりよい取扱い・解釈のための統計的モデル化と解析を目的とした。具体的には、GPS 測位データから鳥の飛翔時の方向統計学的解析、船上観測された風向・風速・波高時系列データの隠れマルコフモデル化と解析、広域的な降雨強度のモデリング等を通して、環境・生態データのモデル化・解析を

行うことであった。

### 3. 研究の方法

研究代表者および研究分担者はいずれも環境・生態において現れるデータに焦点を当てて、そのモデリングと応用について研究を行った。

- (1) 清水 邦夫：環境科学において典型的な風向などの角度データを扱う方向統計学に関連し、von Mises 分布の拡張である Batschelet 分布および関連分布の性質とパラメータの推定法について研究した。また、連携研究者の甫喜本司と共同して、北海道内浦湾中央部の定点において船上観測された風向・風速・波高の時系列データの隠れマルコフ連鎖によるモデル化の研究を行った。
- (2) 柏木 宣久：最近の東京湾内で水温の上昇や湾奥における貧酸素水塊の増加などの新たな問題が次々と生じている。対策策定のため水質の将来予測が不可欠になってきた。そこで、将来予測を可能にする統計的方法について検討した。
- (3) 栗原 考次：生態系プロセスにおける空間パターン解析を行った。すなわち、景観生態学における空間パターンやそれらの変化のプロセスを把握するために、空間のエシエロン階層構造に基づく空間データの分類と空間構造の単純性や複雑性を求める手法を研究した。
- (4) 西井 龍映：複数の波長帯により地表面を観測した多変量空間データを用いて、地表面の特定のカテゴリ（植生、裸地等）の検出やその混合比を推定する研究を行った。主にスペクトルやカテゴリの確率モデルによる判別や、学習理論等の非確率モデルによる手法を研究した。
- (5) 福地 一：日本及びアジア地域における降雨強度のデータの取得とともにデータの統計的解析とその次世代衛星通信・放送システム回線設計への活用に関する研究を行った。
- (6) 金藤 浩司：環境中の化学物質の影響評価に対する環境リスク評価の必要性が顕在化している。そこで、環境分野の幅広い対象毎に最適な定量的リスク評価を行うための基礎的統計理論の研究と水質基準に対する方法論の研究を行った。
- (7) 大西 俊郎：一般化線形モデルの Bayes 解析、特に、Tweedie 分布と呼ばれる指数型分布族をベースにした一般化線形モデルにおいて共役解析を論じ、オーストラリア東部の降水量データの解析を行った。

### 4. 研究成果

(1) 清水 邦夫：von Mises 分布の拡張である Batschelet 分布および関連分布の性質とパ

ラメータの推定法について統計学専門誌に発表した。連携研究者の甫喜本司と共同して、北海道内浦湾中央部の定点において船上観測された風向・風速・波高の時系列データの隠れマルコフ連鎖によるモデル化の研究で得た結果を国際学会 NEDETAS Conference で甫喜本が発表した。

(2) 柏木 宣久：東京湾水質の長期変動について検討するため、ベイズ型季節変動モデルを構築し、データに適用した結果、表層で塩分濃度が低下し、底層で塩分濃度と水温が上昇しているのが分かった。これにより、表層への淡水流入量が増加し、誘発されて底層への外洋水流入量も増加し、エスチャリー循環が強化されているのが明らかになった。

(3) 栗原 考次：森林は生態学的に林冠、低木層、ギャップ等の共通属性を持つパッチによるモザイク構造をしているが、客観的なパッチの検出法はない。そこで、空間の位相的構造を階層的に表現できるエシエロン解析を利用し、樹木の生態や森林の更新を反映した同位相をもつ近隣樹木群で構成される領域に基づくパッチ検出法について提唱した。

(4) 西井 龍映：自己回帰成分を持つ時系列データの回帰モデルにおいて、罰則および重み付き最小 2 乗法による母数推定の GIC 基準を求め、車両運転装置に応用する装置を開発した。また森林被覆率に関する判別問題と非線形回帰モデルについて、人口密度と起伏量を説明変数とする空間モデルを開発した。

(5) 福地 一：日本及びアジア地域における降雨強度の時系列データの統計的解析を通じて、降雨強度の時空間相関特性を求めた。この特性は、次世代衛星通信技術に不可欠な電波の降雨減衰対策技術の設計に有益な情報を提供している。また、衛星からの合成開口レーダ観測データの統計的解析により、都市域の特徴量を効率的に抽出する手法を検証することができた。

(6) 金藤 浩司：化学物質のリスクトレードオフ解析や底層溶存酸素量の評価基準に関する研究を進めた。具体的には、化学物質代替におけるリスク評価のための統計的モデルの開発やリスクトレードオフに関する論文を作成した。また、東京湾等の閉鎖性海域での底層溶存酸素の水生物への影響評価と底層溶存酸素基準の評価法に関する研究を行った。

(7) 大西 俊郎：最尤推定量、Stein 推定量、Bayes 予測分布は、一般によい性質をもつとして知られている。これらは（対数尤度比） $=$ （望小項）という等式を成立させる。望大項と望小項のバランスを意味するので鞍点

等式と呼ぶこととし、この新しい概念がモデル選択・モデル平均に有用であることを明らかにした。

#### 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 31 件)

- (1) 森林被覆率の非線形回帰モデリング, 宮田大毅, 西井龍映, 田中章司郎, 統計数理, 査読有, 60 巻 第 1 号, 掲載決定, 2012.
- (2) Modeling and comparing the organization of circular genomes, Shieh, G.S-R., Zheng, S., Johnson, R. A., Chang, Y-F., Shimizu, K., Wang, C-C. and Tang, S-L., Bioinformatics, 査読有, 27(7), 912-918, 2011.
- (3) On an extension of the von Mises distribution due to Batschelet, Pewsey, A., Shimizu, K. and de la Cruz, R., Journal of Applied Statistics, 査読有, 38, 1073-1085, 2011.
- (4) A family which integrates the generalized Charlier series and extended non-central negative binomial distributions, Sugita, T., Shimizu, K., Ong, S.H. and Ng, C.M., Communications in Statistics-Theory and Methods, 査読有, 40, 1977-1998, 2011.
- (5) A Bayesian approach to probabilistic ecological risk assessment: risk comparison of nine toxic substances in Tokyo surface waters, Hayashi, T. and Kashiwagi, N., Environmental Science and Pollution Research, 査読有, 18, 365-375, 2011.
- (6) Airlines scheduling model and solution algorithms, Al-Sultan, Ahmed Thanyan, Ishioka, F. and Kurihara, K., Communications of the Korean Statistical Society, 査読有, 18(2), 257-266, 2011.
- (7) Discriminant analysis of native thoracic aortic curvature: Risk prediction for endoleak formation after thoracic endovascular aortic repair, Nakatamari, H., Ueda, T., Ishioka, F., Raman, B., Kurihara, K., Rubin, G., Ito, H. and Sze, D., Journal of Vascular and Interventional Radiology, 査読有, 22(7), 974-979, 2011.
- (8) 高速衛星放送システム実現のための降雨減衰対策技術ーアジア多雨地域でのタイムダイバーシチ効果の検討ー, 福地一, Telecom Frontier, 査読無, 70, 34-49, 2011.
- (9) An extension of risk measures using non-precise a-priori densities, Kageyama, M., Fujii, T., Kanefuji, K. and Tsubaki, H., Journal of Uncertain Systems, 査読有, 5, 314-320, 2011.
- (10) Conditional value-at-risk for random immediate reward variables in Markov decision processes, Kageyama, M., Fujii, T., Kanefuji, K. and Tsubaki, H., American Journal of Computational Mathematics, 査読有, 1(3), 183-188, 2011.
- (11) Saddlepoint condition on a predictor to reconfirm the need for the assumption of a prior distribution, Yanagimoto, T. and Ohnishi, T., Journal of Statistical Planning and Inference, 査読有, 141, 1990-2000, 2011.
- (12) Symmetric unimodal models for directional data motivated by inverse-stereographic projection, Abe, T., Shimizu, K. and Pewsey, A., Journal of the Japan Statistical Society, 査読有, 40, 45-61, 2010.
- (13) A Bayesian method for deriving species-sensitivity distributions: Selecting the best-fit tolerance distributions of taxonomic groups, Hayashi, T. and Kashiwagi, N., International Journal of Human and Ecological Risk Assessment, 査読有, 16, 251-263, 2010.
- (14) Duality induced from conjugacy in the curved exponential family, Ohnishi, T. and Yanagimoto, T., Journal of the Japan Statistical Society, 査読有, 40, 23-43, 2010.
- (15) On Papakonstantinou's extension of the cardioid distribution, Abe, T., Pewsey, A. and Shimizu, K., Statistics & Probability Letters, 査読有, 79, 2138-2147, 2009.
- (16) Verification of polarimetric calibration method including Faraday rotation compensation using PALSAR data, Takeshiro, A., Furuya, T. and Fukuchi, H., IEEE Trans. Geoscience

and Remote Sensing, 査読有, 47(12), 3960-3968, 2009.

[学会発表] (計 67 件)

- (1) 大西俊郎, 柳本武美, Inherent dual structure of optimal predictors in Bayesian model averaging, 科研費研究集会「数理統計学と代数統計の新たな展開」, 2012年1月21日, つくば国際会議場.
- (2) Shimizu, K., Modified Möbius distributions on the unit disc, International Conference on Advances in Probability and Statistics - Theory and Applications: A Celebration of N. Balakrishnan's 30 years of Contributions to Statistics, 2011/12/29, The Chinese University of Hong Kong, China.
- (3) 二宮勝幸, 柏木宣久, 岡敬一, 永山恵, ダミー変数を用いた重回帰による海水温のトレンドの推定と考察, 日本水環境学会, 2011.
- (4) Kurihara, K., Spatial clustering for spatial-temporal lattice data and its applications in modern industry, 2011 International Conference: Applications of Statistical Methods in the Modern Industry, Chung-Ang University, June 24, 2011, Seoul.
- (5) Fukuchi, H., Spatiotemporal properties of rainfall rate and rain-induced attenuation for attenuation mitigation technologies, AIAA ICSSC2011, 28 Nov.-1 Dec., Nara, 2011.
- (6) Kanefuji, K., Iwase, K., Okada, M. Statistical assessment methods for ambient water quality criteria for dissolved oxygen, In JSM Proceedings, Statistics and the Environment Section. Alexandria, VA: American Statistical Association, Miami Beach, Florida, August 2, 2011.
- (7) Hokimoto, T. and Shimizu, K. Application of hidden Markov model for the sea state analysis, New Developments in Theory and Applications of Statistics, Ankara, Turkey, May 3, 2011.

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 車両用運転支援装置

発明者: 西井 龍映

権利者: 九大・マツダ

種類: 特願

番号: 2011-158888

出願年月日: 2011/7/20

国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等

<http://www.stat.math.keio.ac.jp/shimizu/index.ja.html>

<http://www.ems.okayama-u.ac.jp/kurihara/>

<http://www.sd.tmu.ac.jp/~rsl/index.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

清水 邦夫 (SHIMIZU KUNIO)

慶應義塾大学・理工学部・教授

研究者番号: 60110946

### (2) 研究分担者

柏木 宣久 (KASHIWAGI NOBUHISA)

統計数理研究所・データ科学研究系・教授

研究者番号: 50150032

栗原 考次 (KURIHARA KOJI)

岡山大学・環境学研究科・教授

研究者番号: 20170087

西井 龍映 (NISHII RYUEI)

九州大学・マス・フォア・インダストリ研究所・教授

研究者番号: 40127684

福地 一 (FUKUCHI HAJIME)

首都大学東京・システムデザイン学部・教授

研究者番号: 90358820

金藤 浩司 (KANEFUJI KOJI)

統計数理研究所・データ科学研究系・教授

研究者番号: 40233902

大西 俊郎 (OHNISHI TOSHIO)

九州大学・経済学研究科(研究院)・准教授

研究者番号: 60353413

### (3) 連携研究者

甫喜本 司 (HOKIMOTO TSUKASA)

東京大学・経済学研究科・特任研究員

研究者番号: 00241373