

# 海鳥の行動分析作業の支援を目的とした可視化ツールの開発

小貫 智弥<sup>†</sup> 三末 和男<sup>††</sup>

<sup>†</sup> 筑波大学 システム情報工学研究群 〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1 丁目 1-1

<sup>††</sup> 筑波大学 システム情報系 〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1 丁目 1-1

E-mail: <sup>†</sup>onuki@vislab.cs.tsukuba.ac.jp, <sup>††</sup>misue@cs.tsukuba.ac.jp

**あらまし** 海鳥のバイオリギングデータは行動の分析などにも活用される。このようなデータは可視化することで分析が促進されるが、データが大規模である場合、視覚表現の煩雑さやインタラクションの遅延の発生などの課題がある。また複数の作業工程を網羅的に支援できるツールが少ないことも課題である。本研究では海鳥の行動分析のための統合的なツールを開発し、海鳥研究者のデータの理解を支援することに取り組む。大規模なデータの視覚的探索の支援のために、データの概要と詳細をスムーズに探索できるビューや自動的な行動分類機能、海鳥の行動を時空間的かつ視覚的に分析するための視覚表現を設計した。開発したツールの有用性は海鳥の研究者らに聞き取り調査を実施することによって確認した。

**キーワード** 可視化分析, 軌跡, 位置データ, 時系列データ

## 1 はじめに

### 1.1 研究背景

動物や船舶、航空機といった移動体のデータの可視化に関する研究はこれまでも多く行われてきた。Andrienko ら [1] や Dodge ら [2] によれば移動データの可視化研究はいくつかのカテゴリに分類することができる。その中で基本的な可視化手法の 1 つが時系列位置データを地図上に軌跡としてプロットすることである。そこにアニメーションや 3 次元表現などを加え時間変化を表現することや、表現を拡張することで移動に付随するさまざまな属性のデータを表現し、より多角的な分析を行うことができる。

このような視覚的分析の対象となる移動体の 1 つが動物である。動物にセンサーをつけて取得したデータはバイオリギングデータと呼ばれ、動物の生態調査に活用される。例えばアホウドリなどを始めとする海鳥の調査においては位置データや 3 軸加速度データなどが用いられる。これらのデータは数日間に渡り計測される時系列データとして収集される。これらのデータの分析における鳥類研究者の興味は、鳥がいつ、どこで、どのような行動をしたかを知ることである。いつどこでという時空間的な情報は時系列位置データを地図上に可視化することで分析が可能である。一方でどのような行動をしていたかという情報は 3 軸加速度データを分析することで得られる。

専門家の要望は行動の分類ができるようになることである。海鳥の行動は飛行や採餌、休息などさまざまな種類があるが、鳥類研究者は特に飛行以外の行動の分析に興味がある。これらの行動は加速度と深度データの分析によって推定することができる。これらのデータはそれぞれ得られる情報が異なる。鳥の頭から尾にかけてを加速度の X 軸、左右方向を Y 軸、背から腹にかけてを Z 軸として計測した 3 軸加速度データをもとに飛行姿勢や羽ばたきを推定できる。さらに圧力センサーは海鳥の

潜水深度を推定できる。従って加速度データは各軸に意味があるため合成せずに可視化したほうが良い。また、より精度の高い分類を実現するためにデータは集約などの加工をせず生の状態で取り扱う必要がある。

### 1.2 扱うデータ

本研究では鳥類の研究者から提供を受けたデータを扱う。このデータは Axy Trek [3] という計測器で収集された 3 軸加速度、位置、深度、速度のデータである。すべて時刻付きの時系列データであり、それぞれ計測の頻度が異なる。時系列位置データは緯度、経度、高度の 3 次元座標からなる位置を時系列順に収集したデータでありおよそ 30 分おきに計測されている。時系列速度データは速度をおよそ 30 分おきに計測したデータである。時系列 3 軸加速度データは X-Y-Z の 3 方向の加速度を 0.04 秒おきに計測したデータである。時系列深度データは圧力を 1 分おきに計測し、深度に変換したデータである。3 軸加速度と深度のデータは同一の CSV 形式のファイルに含まれ、位置と速度のデータは同一の TXT 形式のファイルに含まれている。CSV ファイルと TXT ファイルは 1 羽につき 1 つずつある。

### 1.3 課題

大規模なデータを視覚的に分析するには 3 つの課題がある。1 つめは大規模データの可視化が困難なことである。本研究では 3 軸加速度データを折れ線グラフなどで表現するが、このデータは 1 千万件以上の膨大なデータである。視覚表現の描画処理の計算時間が膨大になることや、現在一般的に使われているディスプレイの解像度ではデータの全てを細部まで綺麗に表示することが難しいことが課題となる。

2 つめは大規模データの視覚的な情報探索が困難なことである。Shneiderman の “Overview first, zoom and filter, then details on demand” [4] という視覚的情報探索の基本的なアイ

データがある。これを海鳥の大規模な 3 軸加速度データの分析に当てはめると、まず 1 千万件分の折れ線グラフを見て、次にズームとフィルタリングを行うという手順を踏む。この時 1000 件のデータを表示するスケールまで拡大したとすると約 1 万倍の拡大になる。そして状況に応じてさらに詳細を確認するという作業を、1 千万件分すべてを網羅するまで繰り返すことになり、これは「非常に煩わし作業である。

3 つめは行動の分類と時空間的な分析作業を両方行うことができるツールが少ないことである。海鳥の 3 軸加速度データと位置データの分析ツールとして代表的なものに Ethograper [5] がある。このツールは 3 軸加速度データを用いた行動の分類作業が可能だが、分類した行動を位置データと併せて時空間的に可視化するためには Google Earth を併用する必要がある。

#### 1.4 目的とアプローチ

本研究の目的は海鳥の 3 軸加速度データと位置データを用いた行動分析のためのツールを開発し、海鳥研究者のデータの理解を支援することである。アプローチとしては、(1) 海鳥の大規模データの視覚的な探索を支援する機能、(2) 行動の分類を自動的に行う機能、(3) 分類した行動を時空間的に観察できる機能を備えたツールを設計することで、海鳥の行動を時空間的かつ視覚的に探索可能にすることである。データの概要の探索と時間的なフィルタリング、細部の観察、行動の分類、そして行動の時空間的なフィルタリングと観察といった複数の作業工程の全てを 1 つのツールで支援することによって研究者の作業効率を向上させる。

## 2 関連研究

移動体の視覚的分析と時系列データの可視化、そして鳥類の行動分析に関する先行研究をそれぞれ紹介する。

#### 2.1 時系列位置データの可視化

時系列位置データは主に軌跡として可視化される。軌跡はデータが持つ位置情報を地図上にプロットし、それを時系列順に線分で結んだものである。さらに時刻データをエンコードするために、軌跡の持つ太さや色などの視覚的要素を利用する手法やアニメーション [6]、Space-Time Cube (STC) [7] といった手法がある。アニメーションは時間変化に応じて軌跡を変形させることで時刻を表現する。STC では地図平面に対して垂直な方向に時間軸をとった 3 次元空間上にプロットした点を線分で結ぶことで時刻を表現する。これらの手法は Perien ら [8] や Kriglstein ら [9] [10] が有効性を示している一方で Tversky ら [11] によって設計の上での注意点も報告されている。

また時系列位置データを加工することや同時に別のデータを収集することによって得られた情報を移動と同時に可視化する手法も多くある。特に自動車の渋滞の可視化 [12] や交通データを分析するツール [13]、鳥の時系列位置データを分析するツール [14] [15] などがある。

#### 2.2 大規模時系列データの可視化

大規模な時系列データの探索作業は非常に難しいため多くの可視化手法が提案されてきた。SignalLens [16] は電子機器で用いられる小型のディスプレイ上で信号の波形を部分的に拡大するための視覚表現である。ChronoLenses [17] は時系列データの探索的タスクをサポートするための可視化手法である。また、1 つの時系列データ上の複数の箇所を同時に拡大し並置して表示する Stacking Zoom [18] といった手法も存在している。

#### 2.3 鳥類のデータの分析

3 軸加速度データを用いた動物の行動分析は有効な手法である [19]。計測されたデータから海鳥の行動を推定することが可能であり、Williams らは急上昇に関する行動の推定手法について研究を行った [20] [21]。さらに行動の推定と分類に隠れマルコフモデルを用いた手法に関する研究 [22] [23] も行われてきた。また、加速度データの分析ツールの 1 つに Sakamoto らが開発した Ethographer [5] がある。ウェーブレット変換や K-means クラスタリング等を用いて Ethogram と呼ばれる視覚表現を作成し分析することが可能である。

## 3 ツールの概要

#### 3.1 分析フローの設計

鳥類研究者の求めているものは行動の分類作業が可能なツールである。そこで可視化されたデータの概要を徐々に拡大してゆき特徴的な範囲をより詳細に見ながら行動を分類し、さらにその行動を時空間的に可視化することで分析の視点が広がると考え、以下の分析作業のフローを設計した。

- (1) 全てのデータに関して全期間の折れ線グラフを閲覧する。
- (2) 折れ線グラフの拡大縮小や範囲の変更をすることでその特徴を探索する。
- (3) 折れ線グラフの特定の範囲を選択する。
- (4) 選択した範囲に対し行動ラベルを付ける。
- (5) 全期間の軌跡を表示しラベルを時空間的に探索する。
- (6) 軌跡に対し時空間的なフィルタリングを行い詳細な分析を行う。

#### 3.2 ツールの外観

ツールは Web ブラウザ上で動くアプリケーションとして実装した。図 1 のように大きく分けて (1) Overview, (2) Zoom View, (3) Map View, (4) Spectrum View, (5) Summary View, (6) Control Panel の 6 つの要素からなる。Overview と Zoom View では位置以外のデータを折れ線グラフで可視化し、インタラクションによる行動の分類作業を行うことを主な目的としている。Map View では分類された行動と位置データを可視化する。Spectrum View と Summary View は視覚的な情報探索の作業を補助的に支援する。そしてこれらの視覚表現を Control Panel を用いて調整することができる。

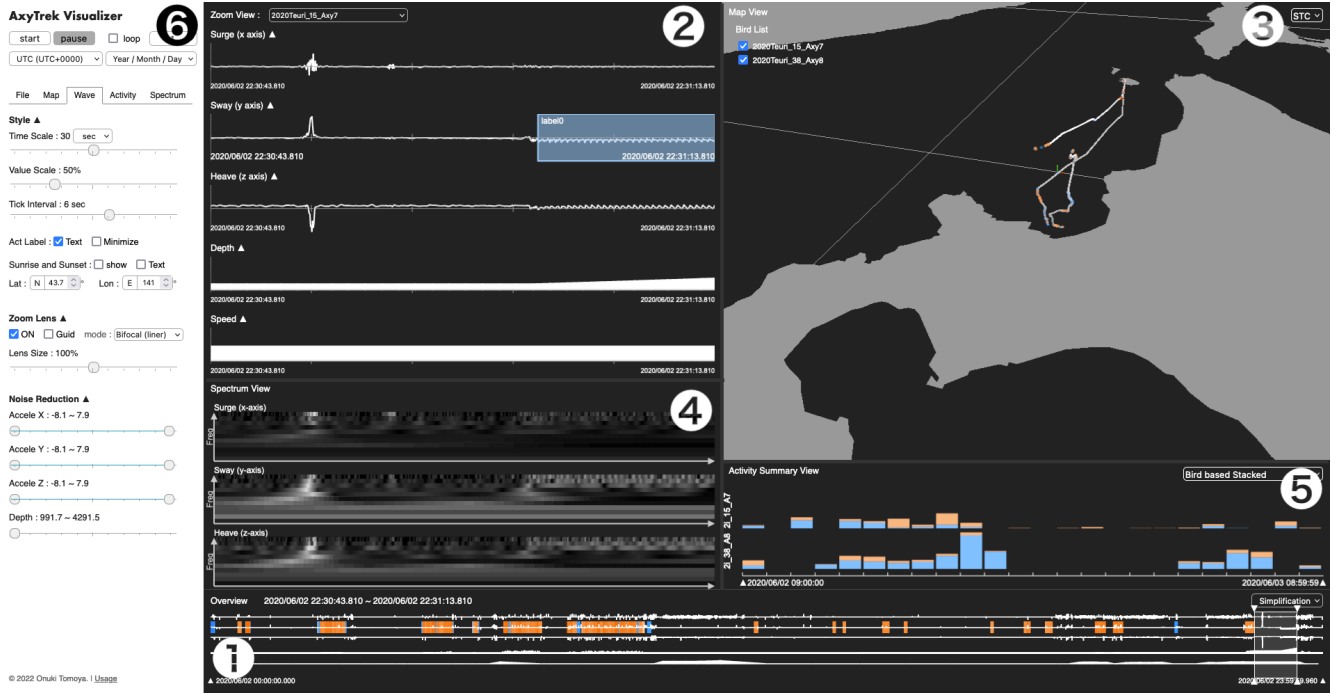


図 1: ツールの外観

## 4 加速度・速度・深度の可視化

位置以外のデータは Overview と Zoom View の両方で可視化される。Shneiderman の “Overview first, zoom and filter, then details on demand” という考え [4] に基づき、まずは Overview を用いた探索を行い次に Zoom View を用いて局所的な探索を行うことが可能な設計をした。3 軸加速度データは軸ごとの値を折れ線グラフで表現し、深度と速度のデータは面グラフで表現する。このツールにおける探索とは、折れ線グラフおよび面グラフが持つ特徴的な形状を探しだすことであり、それらから海鳥の行動を推測することができる。これらのビューで同時に可視化できる情報は 1 羽の海鳥の計測データである。

### 4.1 Overview

Overview では計測した全期間の 3 軸加速度データを折れ線グラフで、深度、速度データを面グラフで表示する。その目的はユーザーにデータの概要を提示することである。図 1(1) には 5 つのチャートが含まれている。一番上から加速度の X 軸の折れ線グラフ、加速度の Y 軸の折れ線グラフ、加速度の Z 軸の折れ線グラフ、深度の面グラフ、速度の面グラフである。また、ビュー全体がシークバーとしての機能を持っており操作することで着目する時刻を変更できる。着目した部分は Zoom View 上 (図 1(2)) で拡大表示される。

3 軸加速度と深度のデータは非常に大規模なデータであるため、加工を行わずに可視化をすると解像度が不足し視覚表現の細部が潰れてしまうことや描画処理時間が膨大になることが課題である。そこでデータの特徴的な変化を残しつつ標本数を削減して単純化するというアプローチを取った。単純化手法として (1) 微分値が閾値より小さい点を削除する方法、(2) 離散

ウェーブレット変換 (DWT) により得られた高周波成分のうち振幅が閾値より小さい点を削除する方法、(3) 異常値を検知する Change Finder [24] のスコアが閾値より小さい点を削除する方法、(4) 折れ線を単純化する Douglas Peuker アルゴリズム [25] を用いる方法の 4 つを検討した。ここでは 216 万件の 3 軸加速度データと 8.64 万件の深度データを用い比較検討を行った。検討に利用したマシンは MacBook Pro (14 inch, 2021), メモリ 16GB, チップ Apple M1 Pro である。単純化処理と描画処理のそれぞれの実行時間は表 1 に示す。

表 1: 実行時間の比較表

手法	描画処理 (ms)	単純化処理 (ms)
(1) 微分の利用	39	28
(2) DWT の利用	48	2029
(3) Change Finder の利用	597	6245
(4) Douglas-Peuker	51	19955
(5) 生データ	10876	—

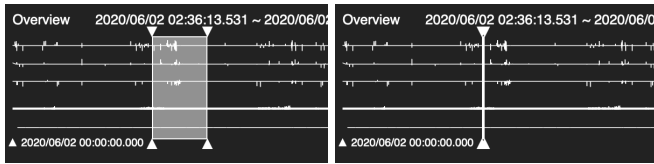
### 4.2 Zoom View

Zoom View では Overview で着目した部分を時間的に拡大して表示する。図 1(2) のように 5 つのチャートからなり、一番上から加速度の X 軸の折れ線グラフ、加速度の Y 軸の折れ線グラフ、加速度の Z 軸の折れ線グラフ、深度の面グラフ、速度の面グラフである。このビューの目的は 3 軸加速度、速度、深度のデータの視覚表現を詳細に観察し行動を分類することである。速度と深度は加速度に比べ値の時間的な変化が緩やかであるため、視覚的に変化を読み取りやすくするために面グラフで可視化した。Overview と Zoom View はともに、1 度に表示できる情報は 1 個体の海鳥のデータである。図 1(2) の上部のプ

ルダウンメニューを用いて別の海鳥のデータに切り替えることができる。また5つのチャートはそれぞれ表示と非表示を切り替えることができ、分析に不必要なチャートを非表示にすることで必要なチャートをより大きいビューで見ることができる。

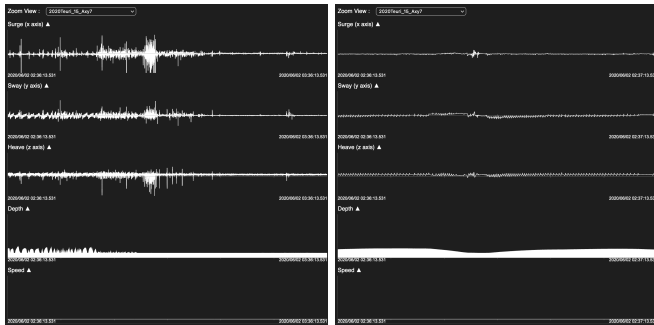
#### 4.3 シークバー

Overview はシークバーとしての機能を備えている。図 2a 上の白色の半透明の矩形部分が着目部分であり、この部分は図 3a のように Zoom View 上で時間的に拡大して表示される。この部分は左右に移動させることができ着目部分を変更できる。着目する部分の時間的長さすなわち横方向の長さが十分に長い場合は図 2a のように表現されるが、短い場合は図 2b のように線で表現されているように見える。線で表現されているように見ると時間的長さをもたないように感じる可能性があるが、実際は時間的な長さを持っており Zoom View 上では図 3b のように表示される。このように着目する部分の時間的長さが短い場合、Overview 上では時間的長さをもたないように見える一方で Zoom View では時間的長さをもつようにみえるというギャップがある。このギャップにより Overview と Zoom View の対応関係を直感的に理解できないという問題が生じてしまう。



(a) 着目部分が時間的に十分に長い (b) 着目部分が時間的に短い

図 2: Overview 上の着目部分の表現



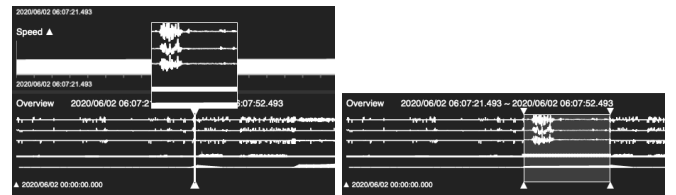
(a) 着目部分が時間的に十分に長い (b) 着目部分が時間的に短い

図 3: 図 2 の着目部分を Zoom View において拡大した表現

#### 4.4 Zoom Lens

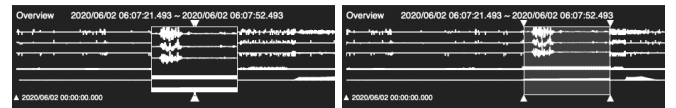
Zoom Lens 機能は 4.3 項で説明した Overview と Zoom View とのギャップをなくし、双方の対応の直感的理解を手助けすることを目的に設計した機能である。Zoom Lens は Overview で着目した部分を拡大した小さなビューであり、コントローラに追従する。本論文では設計した 4 つのタイプの Zoom Lens について説明する。1 つめは図 4a のように Overview の上にレンズを並べて表示するというものだ。この方法の利点はレンズの

表示サイズを自由にできることである一方で、欠点は Overview 以外のビューが隠されてしまうことである。2 つめは図 4b のように Overview にレンズを重ねて表示する虫眼鏡のような表現だ。この方法ではレンズの重複によって Overview が部分的に見えなくなるという欠点がある。また見えなくなる範囲を小さくするためにはレンズの表示サイズを小さくしなければならないという欠点もある。3 つめは Overview 上にレンズを埋め込む bifocal と呼ばれるものだ。図 4c のように着目部分を拡大しそれ以外の部分は縮小したままにしてレンズを埋め込む。こうすることによってレンズの重複によって見えない部分が生じることを防ぐことができるという利点が生まれる。4 つめは同様にレンズを埋め込む表現だが (図 4d), 着目していない部分を着目部分から遠くなるにつれ周期が短くなるように歪ませて表現する、この手法は SignalLenes [16] を参考に bifocal として設計した。



(a) 並置表現

(c) 周囲を線形変換した Bifocal



(b) 重ね合わせ表現

(d) 周囲を非線形変換した Bifocal

図 4: Zoom Lens の一覧

#### 4.5 周波数スペクトル

離散ウェーブレット変換により得られた周波数スペクトルを図 1(4) のように表示することで、分析作業を支援する。Ethograper [5] という海鳥の加速度データを分析するツールでは連続ウェーブレット変換を利用しているが、本研究では大規模なデータに対応するために計算時間がより短い離散ウェーブレット変換を採用した。横軸は時刻を縦軸は周波数を明度は振幅の大きさを表現する。Control Panel 上で振幅の配色を調整することにより、大きい振幅を強調することや全ての振幅を見えるようにすることができる。

#### 4.6 日の出と日の入りの可視化

膨大なデータの分析の際にはフィルタリングによる探索範囲の絞り込みが重要である。鳥の行動は日中と夜中で異なるため時間的なフィルタリングが利用できる。図 5 のように灰色にハイライトされた部分が日中であることを意味する。

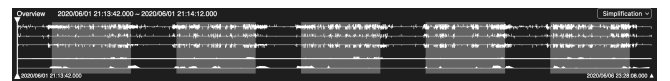


図 5: 日の出と日の入りの可視化

## 5 行動のラベル付け機能

海鳥の行動には休息や滑空、上昇、採餌などがある。本研究で開発したツールでは行動を分類しラベル付けを行い可視化することができる。このラベルを行動ラベルと呼ぶ。ユーザーは Overview 上でチャートに対し手動あるいは自動で行動ラベルをつけることができ、その行動ラベルは Map View 上に表示され海鳥がいつ、どこで、どのような行動をとったかを分析することができる。

### 5.1 手動のラベル付け

開発したツールでは Zoom View で表示されるチャートに対しラベル付けを行うが、それに先立ちまずはラベルの情報を作成する必要がある。図 6 のように Control Panel 上の Activity タブで追加ボタンを押すとラベルのコントローラが作成される。ラベルのコントローラによって色と名称を設定できる。次に折れ線グラフおよび面グラフに対してラベル付けを行い行動を分類する。Zoom View 上でマウスをドラッグするとその部分を図 7 上の青い矩形のように範囲選択することができる。するとモーダルが表示されるので選択範囲をラベルとして登録することが可能である。

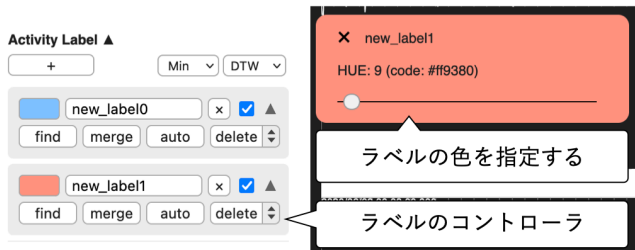


図 6: 行動ラベルの作成と編集をするためのコントローラ

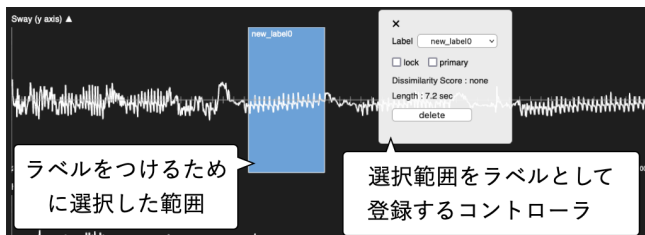


図 7: 行動ラベルの作成

### 5.2 半自動的なラベル付け

データが膨大になるにつれ行動ラベルをつける作業の量は多くなる。ラベル付けの作業を自動化することによって鳥類研究者の作業量を大幅に減らすことができると考えた。自動的なラベル付けは 5 つの時系列データの各々 1 つの時系列データを部分時系列に分割しそれぞれ分類することである。そこで本研究ではまず手作業で代表的な部分時系列を選択し、その代表的な部分時系列とその他のラベルがついていない部分時系列との非類似度を図 8 のように滑走窓方式を用いて計算し、非類似度が

閾値より小さい部分時系列に対してラベル付けを行うというアイデアを用いる。

非類似度の計算には動的時間伸縮法 (DTW) を用いる。鳥の行動はその継続時間が時々によって異なる。従って、時間的長さが異なる 2 つの部分時系列の距離を計算できるこの手法を採用した。ユーザーはあらかじめ代表的な部分時系列を選択する。これをプライマリラベルと呼ぶこととする。このプライマリラベルと別の部分時系列の非類似度を DTW によって計算する。また、プライマリラベルには複数の部分時系列を指定することが可能である。この場合は各々のプライマリラベルと 1 つの部分時系列との距離を DTW により計算し、距離の二乗平均平方根 (RMS) あるいは最小値を求めその部分時系列の非類似度とする。このとき RMS を用いるか最小値を用いるかはユーザーが Control Panel から指定することが可能である。

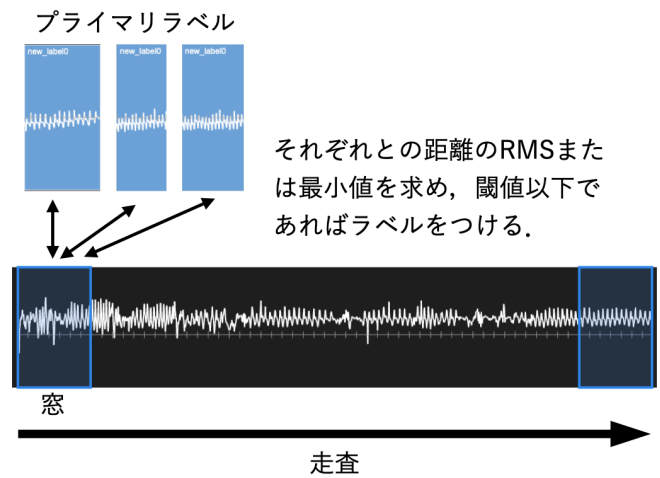


図 8: 滑走窓方式によるラベル付け

## 6 位置データと行動ラベルの可視化

### 6.1 Overview と ZoomView における行動ラベルの可視化

Overview と Zoom View 上では行動ラベルは図 1(2) のように折れ線グラフや面グラフに重複する半透明の四角形の図形として表現される。行動ラベルの色相は行動の種類を意味し、彩度は非類似度を表現し彩度が大きいほど非類似度が低いことを意味する。

### 6.2 Map View における位置データの可視化

Map View では地図上にプロットした海鳥の位置を時系列順に線で結んだ軌跡を表示することで移動を表現する。さらにその軌跡の視覚変数を用いて行動ラベルを可視化することにより海鳥がいつ、どこで、どのような行動をしたかを時空間的に探索、分析することが可能である。

Map View は (1) 緯度、経度からなる 2D 地図による表示。 (2) 緯度、経度、高度からなる 3D 地図による表示。 (3) 緯度、経度、時刻からなる Space-Time Cube (STC) による表示の 3 つの表示法を採用した。どの方法でも地図は図 1(3) のように灰色の平面として表示し、海面は黒い面として表示する。時系



列位置データは位置座標を地図上の座標に変換し、それらを時間順に結んだ軌跡で表現する。この時 (1) 2D 地図による表示では緯度、経度を変換した 2 次元座標を用い、(2) 3D 地図による表示では緯度、経度、高度を変換した 3 次元座標を用い、(3) Space-Time Cube(STC) による表示では緯度、経度、時刻を変換した 3 次元座標を用いる。STC では緯度と経度が張る地理平面と直交する軸を時間軸とした表現であり、図 9c では上方向に行くほど時間が進んでいることを意味する。軌跡の時間的な変化は STC 以外にも表現できる。1 つめは軌跡の明度を用いる方法で、軌跡は各部分の時間が先頭に比べ古いほどその色を薄くすることで時間的な変化を表現している。2 つめは図 10 のように目盛りを用いた時間の変化の表現である。3 つめはアニメーションを用いた表現である。

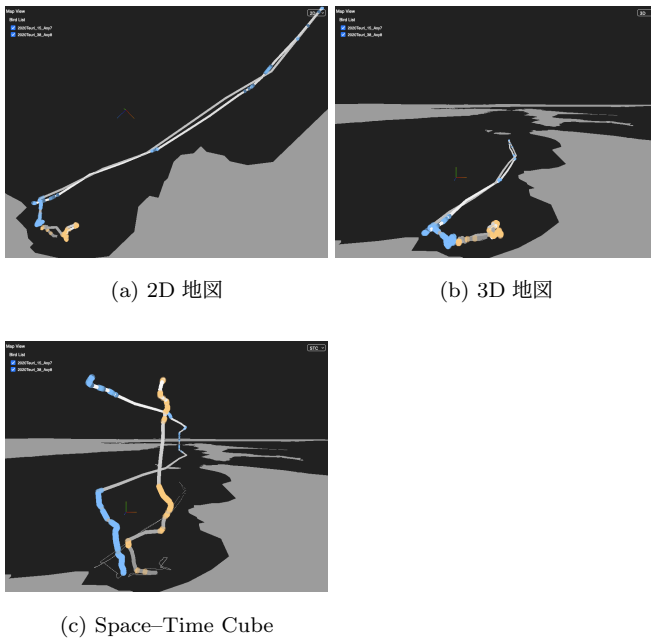


図 9: さまざまな軌跡の表現

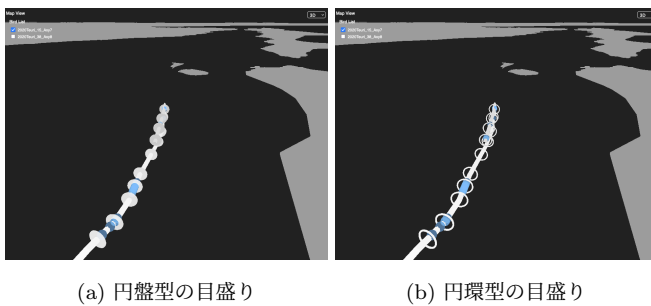


図 10: 2 種類の日盛りによる時間の表現

### 6.3 Map View における行動ラベルの可視化

Map View 上では行動ラベルは図 9 のように軌跡の色として表現される。色相がラベルの種類を、彩度がラベルの非類似度を意味する。ある時間内で地理的な移動が少ない場合、STC では縦方向に大きく移動する様子が見えるが 2D および 3D の地図では移動していないように見えるという違いがある。STC

によって表現した図 9c では青いラベルが縦方向に密集している様子が見てとれるが、図 9a および図 9b では行動ラベルのオクルージョンが発生しているため読み取りづらさが発生している。このことから「いつ」行動をしたかという情報の探索は STC が向いていると考えられる。一方で、STC では高度の情報が失われることや立体表現による遠近感によって正確な位置の情報を読み取ることができない恐れがある。したがって「どこで」行動をしたかという情報の探索は 2D 地図や 3D 地図が向いていると考えられる。つまり時空間的な行動ラベルの視覚的探索ではまず STC を用いて全期間の移動と行動の概要を閲覧し注目すべき行動とその時刻を探しだし、次に時間的フィルタリングを施し 2D 地図や 3D 地図を用いてその行動が行われた場所を詳細に観察するという手順で分析を行う。

### 6.4 Summary View における行動ラベルの可視化

Summary View では行動ラベルの時間的な分布を探索することができる。時刻を横方向の位置で表し任意の時間おきの行動ラベルの累計時間を長方形の高さで表したヒストグラムによって表現する。行動ラベルは海鳥の個体と行動の種類の 2 つの属性によって分類できることから、これらの属性を表現するために拡張したヒストグラムを表示できる機能を設計した。まずは個体と行動の種類のどちらかを基準にヒストグラムを並べる。そして基準ではないもう一方の属性をグループ化や積み重ね、並置によって表現する。さらに個体と行動の種類のそれぞれに違う色を割り当てることで視覚的に分類する。図 11 では青とオレンジで 2 つの行動を表し、レイアウトや彩度によって 2 つの海鳥を表現している。

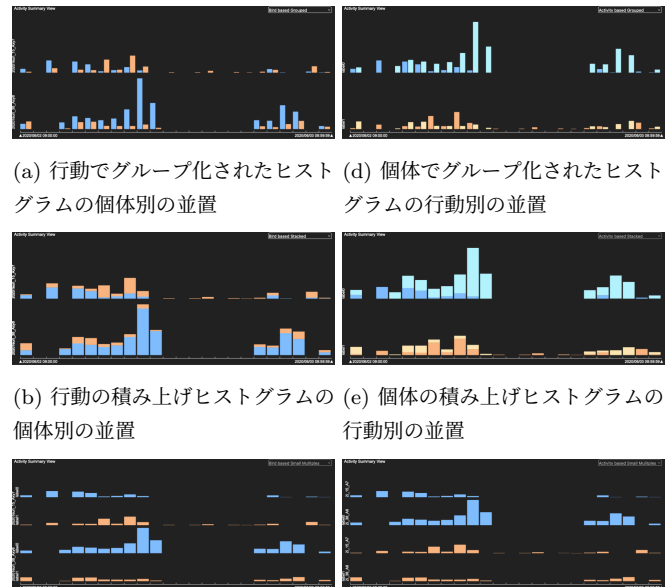


図 11: 目的に応じたレイアウトが可能な Summary View

## 7 ユースケース

### 7.1 ツールの利用例

ここでは2個体のウトウという海鳥の24時間分のデータを用いた分析手順を説明する。まず2個体分のデータを読み込む。1個体のデータは位置と速度データを含んだTXTファイルと加速度と深度データを含んだCSVファイルの2つから構成されるため、この場合は4つのファイルを読み込む。今回は加速度のY軸上にある鳥の羽ばたきを意味する可能性が高い波形を探し青いラベルを付けるという分析を行う。3つの青いプライマリラベルを手動でつけた状態が図12である。Overviewの中央から4分の3あたりの部分は波形の形状が平坦になっている。ここは夜中であることから羽ばたき行動は少ないと考えられる。したがって波形の変化が激しい部分に対してのみ自動ラベリングを行った。非類似度の閾値を15、窓のサイズを6秒として自動ラベリングを行った結果が図13である。付けた行動ラベルは図14のようにMap View上で鳥の移動と重ねてSpace-Time Cube上に表示し、いつでもどのような行動を行ったかという全体像を探索する。次に注目したい箇所を時間的にフィルタリングし3D地図に変換する。ここまでの操作を2個体分を行った結果が図15である。

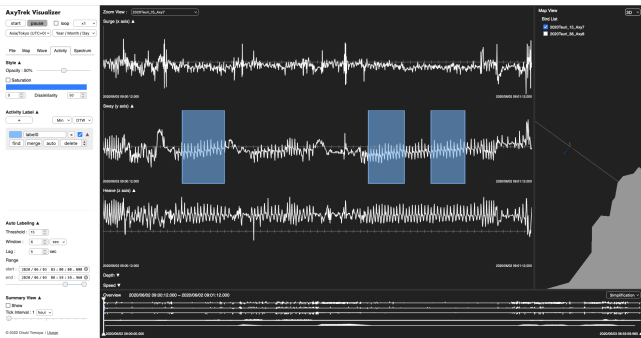


図 12: 手動でプライマリラベルを付けた様子

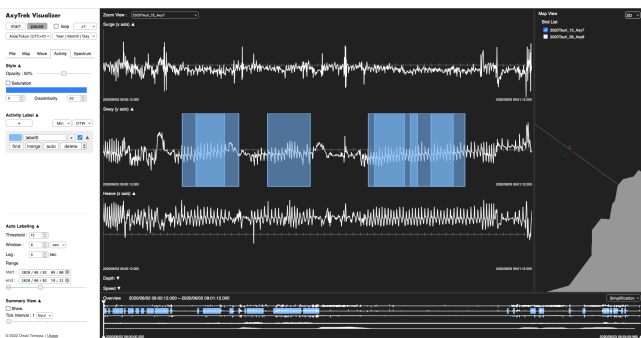


図 13: 自動ラベリングを行った結果

### 7.2 研究者への聞き取り調査

1名の鳥類研究者と鳥類の研究をおこなっている5名の学生を対象にツールのデモンストレーションを実施し各機能に関するフィードバックを集めた。詳細な内容は表2にまとめた。

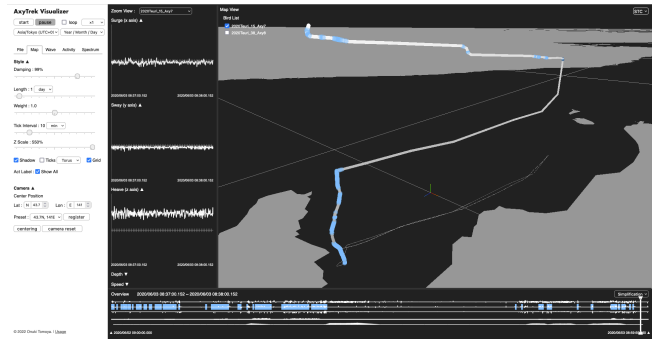


図 14: 行動ラベルを重ねた軌跡の時空間による表現

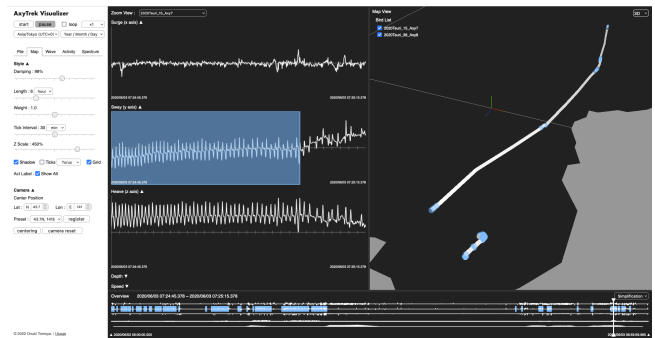


図 15: 行動ラベルを重ねた2個体分の軌跡を表示し時間的にフィルタリングした結果

大規模データを可視化した際の描画処理にかかる計算時間が膨大になる課題の解消法として Overview 上での折れ線グラフの単純化の4つの手法について意見を求めた。行動を読み取るという目的に対しては鳥類研究者にとっては生のデータを観察することが重要であるため、どの手法が良いということは一概には言えないという回答であった。一方で全体を大まかに把握するという目的のためには値が大きく変化する場所を残せる単純化手法がよいという意見を得ることができた。

次に Overview 上での視覚的情報探索の支援機能についての意見を求めた。まずは4.6節で説明した日が出ている時間帯をハイライトする機能について、鳥の行動は日の入り及び日の出と関係があるためハイライト表現によって探索範囲を絞ることができることは良いという意見を得た。また4.4節で説明した Zoom Lens 機能については並置表現、重ね合わせ表現、Bifocalの3種類についてそれぞれの利点と欠点を得ることができた。並置表現に関しては拡大部の前後が見えることと時間スケールが変化しないことが利点であるが、他のビューとの重複が生じることが欠点である。重ね合わせ表現については最も直感的に理解できると感じたが、レンズの重複により直前あるいは直後の情報が失われることが懸念された。最後に Bifocal はシーカーそのものが拡大されることによって、移動したい場所に確実に移動できるため大規模なデータを限られたサイズのディスプレイ上で操作する上では有効である可能性が示唆されたが、時間スケールが変化することが懸念された。

次に Map View における視覚的情報探索の支援機能についての意見を求めた。まず Map View のように地理的な探索に

よって、これまでの数値上での分析では見落としていた可能性のある情報が見えることについて好意的な意見を得ることができた。Space-Time Cube での軌跡の表現については大多数が行動がいつ起きたかを見るのに適していると感じ好意的な回答が多かった。緯度、経度、高度からなる空間での軌跡の表現については高度データが正確な場合は有用だという意見があった。さらに目盛り表現は時間のみならず速度を読み取ることも可能である点が有用であることが示唆された。

総合的にはより細かく正確なデータは海鳥の行動データの視覚的な分析に有用であると感じたという意見があった。また開発したツールにおいて位置データの活用は十分になされているため、今後は深度データをうまく活用することによってより良い視覚的分析が可能になる可能性が示唆された。

表 2: 聞き取り調査の結果

内容
<b>Overview における視覚表現の単純化機能の妥当性について</b>
1-1 どの単純化手法がよいかは一概には言えない。
1-2 全体を大まかに把握するという目的のためには値が大きく変化する場所を残せるものがよい。
1-3 単純化した結果の数値と海鳥の行動のリファレンスがあるならば、単純化した結果からも行動を推測できる可能性がある。
<b>日中の時間帯をハイライトする機能について</b>
2-1 日中と夜間の違いが視覚的にわかるのが便利である。
<b>ZoomLens の見やすさについて</b>
3-1 並置表現が最も見やすいが他のビューと被らない方がよい。
3-2 重ね合わせ表現が見やすい。重複がないと混乱を招く可能性がある。
3-3 重ね合わせ表現は拡大部分の前後を連続的に見れないのが不便である。
3-4 並置表現と重ね合わせ表現は時間スケールが変化しないため直感的だと感じた。
3-5 細かい表現は見たい部分に上手くカーソルを合わせられないことがある。そのような場合は Bifocal が便利だと感じた。
3-6 Bifocal は時間スケールが変化する点が不便である。
<b>Map View の見やすさについて</b>
4-1 Space-Time Cube によって時間変化を見ることができるのは便利である。特に高度の精度が低いデータ分析で使用したい。
4-2 Space-Time Cube は海鳥がいつどのような行動をしているかを見る際に役立つと感じた。
4-3 数値上の分析では見落としていた部分が地図上で視覚的に見ることができるのは便利である。
<b>ツール全体を通した感想</b>
5-1 粗いデータよりも細かいデータの方が可視化がより活かされているように感じた。
5-2 1 個体を見ることより複数個体の比較をすることが多いため軌跡を比較するための機能があるとより良い。
5-3 GPS データの活用は十分だと感じた。深度データをより活用できる機能があると良い。

## 8 結 論

本研究では海鳥の行動の分析を支援することを目的とした大規模なバイオリギングデータの可視化ツールを開発した。大規模データを可視化する際の視覚的煩雑さと、視覚的情報探索の難しさを解消するために (1) 海鳥の大規模データの視覚的な探索を支援する機能、(2) 行動の分類を自動的に行う機能、(3) 分類した行動を時空間的に観察できる機能を持つ統合的なツールを設計した。単純化した視覚表現による Overview と生データを観察できる Zoom View、そしてこれらのビューの探索をサポートする Zoom Lens を設計することで大規模データの視覚的な探索を支援した。さらに動的時間伸縮法を用いた自動的な行動ラベル付け機能により行動分類作業をサポートし、複数の表現手法を採用した Map View により海鳥の行動の時空間的な分析の支援を行った。本研究の貢献は海鳥の行動の分類作業と行動と移動の関係を地図上の軌跡で視覚的に探索する作業の両者を行うことができる統合的なツールを開発したことである。このツールによってこれまでは見落としていた可能性のある情報を視覚的に観察できる可能性が示唆された。

実施した聞き取り調査の結果と表 1 にて示した実行時間を総合すると、データの特徴を残した視覚表現でありスムーズなインタラクションを提供できることから波形の単純化には微分を利用した手法と離散ウェーブレット変換を利用した手法が適していると考えられる。また Zoom Lens や Map View といった機能については局所的探索と大局的探索を行う場合でうまく使い分けることで効果的な作業をできると考えられる。加速度データの大局的な探索では重ね合わせによる Zoom Lens がより直感的であるが、局所的探索では Bifocal による表現によって前後の変化の読み取りや操作性の向上が期待できる。また Map View での軌跡の表現は大局的な探索では Space-Time Cube を用いることで移動とそれに伴う行動の全容を把握することに向いており、局所的な探索では緯度、経度、高度による 3 次元表現を用いて厳密な位置を観察することに向いているといえる。今後の展望としては深度データの可視化の活用の検討が挙げられる。また海鳥の個体数が増えた際の軌跡による表現の視覚的煩雑さの解消についても検討が必要である。

**謝辞** 筑波大学 生命環境系 庄子晶子准教授にはデータの提供や設計に関する意見、ツールに対する評価など数多くのご支援を頂きました。深くお礼申し上げます。また庄子研究室の学生の皆様にはツールに対する聞き取り調査にご協力いただき、多くの意見を賜りました。感謝申し上げます。

## 文 献

- [1] Natalia Andrienko and Gennady Andrienko. Visual analytics of movement: An overview of methods, tools and procedures. *Information Visualization*, Vol. 12, No. 1, pp. 3–24, 2013.
- [2] Somayeh Dodge and Evgeny Noi. Mapping trajectories and flows: facilitating a human-centered approach to movement data analytics. *Cartography and Geographic Information Science*, Vol. 48, No. 4, pp. 353–375, 2021.
- [3] Axy-trek marine hd. <https://www.technosmart.eu/>



axy-trek-marine-1000/.

- [4] Ben Shneiderman. Designing the user interface. reading massachusetts, berkeley california, mexico city, 1998.
- [5] Kentaro Q. Sakamoto, Katsufumi Sato, Mayumi Ishizuka, Yutaka Watanuki, Akinori Takahashi, Francis Daunt, and Sarah Wanless. Can ethograms be automatically generated using body acceleration data from free-ranging birds? *PLOS ONE*, Vol. 4, No. 4, pp. 1–12, 04 2009.
- [6] Natalia Andrienko, Gennady Andrienko, and Peter Gatal-sky. Supporting visual exploration of object movement. In *Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces*, pp. 217–220, 2000.
- [7] Menno-Jan Kraak. The space-time cube revisited from a geovisualization perspective. In *Proc. 21st International Cartographic Conference*, pp. 1988–1996, 2003.
- [8] Charles Perin, Tiffany Wun, Richard Pusch, and Sheelagh Carpendale. Assessing the graphical perception of time and speed on 2d+time trajectories. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 24, No. 1, pp. 698–708, 2018.
- [9] Simone Kriglstein, Margit Pohl, and Claus Stachl. Animation for time-oriented data: An overview of empirical research. In *2012 16th International Conference Information Visualisation (IV)*, pp. 30–35. IEEE Computer Society, 2012.
- [10] Per Ola Kristensson, Nils Dahlback, Daniel Anundi, Marius Bjornstad, Hanna Gillberg, Jonas Haraldsson, Ingrid Martensson, Mathias Nordvall, and Josefine Stahl. An evaluation of space time cube representation of spatiotemporal patterns. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 15, No. 4, pp. 696–702, 2009.
- [11] Barbara Tversky, Julie Bauer Morrison, and Mireille Be-trancourt. Animation: can it facilitate? *International journal of human-computer studies*, Vol. 57, No. 4, pp. 247–262, 2002.
- [12] Gennady Andrienko, Natalia Andrienko, Christophe Hurter, Salvatore Rinzivillo, and Stefan Wrobel. Scalable analysis of movement data for extracting and exploring significant places. *IEEE Transactions on Visualization & Computer Graphics*, Vol. 19, No. 07, pp. 1078–1094, 2013.
- [13] Hanqi Guo, Zuchao Wang, Bowen Yu, Huijing Zhao, and Xi-aoru Yuan. Tripvista: Triple perspective visual trajectory analytics and its application on microscopic traffic data at a road intersection. In *Proceedings of 2011 IEEE Pacific Visualization Symposium*, pp. 163–170, 2011.
- [14] Glenn Xavier and Somayeh Dodge. An exploratory visualization tool for mapping the relationships between animal movement and the environment. In *Proceedings of the 2nd ACM SIGSPATIAL International Workshop on Interacting with Maps*, pp. 36–42, 2014.
- [15] Nivan Ferreira, Lauro Lins, Daniel Fink, Steve Kelling, Christopher Wood, Juliana Freire, and Claudio Silva. Bird-vis: Visualizing and understanding bird populations. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 17, No. 12, pp. 2374–2383, 2011.
- [16] Robert Kincaid. Signallens: Focus+context applied to electronic time series. *IEEE Transactions on Visualization & Computer Graphics*, Vol. 16, No. 06, pp. 900–907, nov 2010.
- [17] Jian Zhao, Fanny Chevalier, Emmanuel Pietriga, and Ravin Balakrishnan. Exploratory analysis of time-series with chronolenses. *IEEE Transactions on Visualization & Computer Graphics*, Vol. 17, No. 12, pp. 2422–2431, dec 2011.
- [18] Waqas Javed and Niklas Elmqvist. Stack zooming for multi-focus interaction in time-series data visualization. In *2010 IEEE Pacific Visualization Symposium (PacificVis 2010)*, pp. 33–40, Los Alamitos, CA, USA, mar 2010. IEEE Computer Society.
- [19] Jesús Hernández-Pliego, Carlos Rodríguez, Giacomo Dell’Omo, Javier Bustamante. Combined use of tri-axial accelerometers and gps reveals the flexible foraging strategy of a bird in relation to weather conditions. *PLOS ONE*, Vol. 12, No. 6, pp. 1–29, 06 2017.
- [20] Hannah J Williams, ELC Shepard, Olivier Duriez, and Sergio Agustin Lambertucci. Can accelerometry be used to distinguish between flight types in soaring birds? *Animal Biotelemetry*, Vol. 3, No. 1, pp. 1–11, 2015.
- [21] Hannah J Williams, Mark D Holton, Emily LC Shepard, Nicola Largey, Brad Norman, Peter G Ryan, Olivier Duriez, Michael Scantlebury, Flavio Quintana, Elizabeth A Magowan, et al. Identification of animal movement patterns using tri-axial magnetometry. *Movement ecology*, Vol. 5, No. 1, pp. 1–14, 2017.
- [22] Vianey Leos-Barajas, Theoni Photopoulou, Roland Langrock, Toby A. Patterson, Yuuki Y. Watanabe, Megan Murgatroyd, and Yannis P. Papastamatiou. Analysis of animal accelerometer data using hidden markov models. *Methods in Ecology and Evolution*, Vol. 8, No. 2, pp. 161–173, 2017.
- [23] Melinda G. Connors, Théo Michelot, Eleanor I. Heywood, Rachael A. Orben, Richard A. Phillips, Alexei L. Vyssotski, Scott A. Shaffer, and Lesley H. Thorne. Hidden markov models identify major movement modes in accelerometer and magnetometer data from four albatross species. *Movement Ecology*, Vol. 9, No. 1, p. 7, 2021.
- [24] Junichi. Takeuchi and Kenji. Yamanishi. A unifying framework for detecting outliers and change points from time series. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, Vol. 18, No. 4, pp. 482–492, 2006.
- [25] David H Douglas and Thomas K Peucker. Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, Vol. 10, No. 2, pp. 112–122, 1973.