

# 海鳥の移動データの比較分析のための可視化ツールの開発

小貫 智弥<sup>1,a)</sup> 三末 和男<sup>2,b)</sup>

**概要：**海鳥はグループや生息地域や活動時期によって移動のパターンが異なる。したがって鳥類学者は鳥類の保全や生態解明のために、様々な条件下での移動データの比較を行う必要がある。移動体の移動データは可視化することで直感的な分析が可能になるが、比較に適した視覚表現を設計することは鳥類学者にとって煩わしい作業である。この作業を支援するツールを開発することが目的である。視覚表現の比較には並置 (Juxtaposition), 重ね合わせ (Superposition), 明示的提示 (Explicit Encodings) という3つの概念があり、本研究では複雑な比較条件に対応するべく並置と重ね合わせを利用した自由度の高い Small Multiples を用いることによって比較分析作業の支援を狙う。これを踏まえて海鳥の移動データの比較分析に適した視覚表現の設計、およびツールの開発を行った。比較分析のユースケースを通してこのツールが海鳥の移動データの比較分析に有効であることを確認した。

## 1. はじめに

海鳥は種類や生息地域や活動時期によって移動のパターンが異なる。従って様々な条件下での移動パターンを比較することは海鳥の生態を解明する手がかりになる。海鳥の移動はGPSやジオロケータなどのデバイスによって収集された時系列位置データから読み取ることができる。このような時系列位置データを移動データという。移動データは可視化することによって分析作業を支援することができ、これまでも鳥をはじめとする動物や飛行機、船舶などの様々な移動データが視覚的に表現されてきた。

海鳥の移動データの可視化ツールとしてArcGisというソフトウェアやR言語のパッケージであるMoveVisなどが挙げられる。しかしこれらを上手く利用するためにはプログラミング技術を必要とすることが多く、そういった技術や知識を持たない鳥類学者にとっては煩わしい作業となりかねない。またこれらのツールを用いて必ずしも比較分析に適した視覚表現を設計できるとも限らないうえ、時期や地域、種類や個体といった項目を組み合わせた複雑な条件下での海鳥の移動の比較分析が可能なツールは少ない。

データを視覚的に比較する基本要素としてCleicherら[1]

が提唱した並置 (Juxtaposition), 重ね合わせ (Superposition), 明示的提示 (Explicit Encodings) という3つの概念がある。Cleicherらによればこれらは組み合わせることも可能である。本研究では、自由度の高いSmall Multiplesを通じ並置と重ね合わせの両方を可視化に利用することで複雑な条件下での比較分析の実現を狙う。

## 2. 関連研究

これまでも海鳥を始めとする様々な移動体の移動データは視覚的に表現されてきた。ここでは海鳥に限らず様々な移動データの可視化に関する研究を説明する。

### 2.1 移動データの可視化手法

移動データは時間と共に変化する位置データであるため空間と時間それぞれの情報をどのように視覚的に表すかが重要になる。移動データの主な可視化手法は2種類ある。

まず1つ目はアニメーションによる手法である。これは地理平面上の位置を線分で結んだ軌跡を時間変化に伴って動的に変化させることで、時間的な位置の変化を表現する。Andrienkoらは[2]は移動データの可視化分析の手法としてインタラクティブな操作が可能な地図上の軌跡のアニメーションを用いている。また、アニメーションは移動データに限らず多くの時系列データに用いられている。Kriglsteinらは[3]ユーザがデータの変化を分析することを想定している場合において、時系列データのアニメーションを用いた可視化の有効性を示している。一方でデータが複雑でパターンをひと目で見るができないような場合はユーザが混乱する可能性も示唆した。

<sup>1</sup> 筑波大学理工情報生命術院システム情報工学研究群情報理工学学位プログラム

Master's Program in Computer Science, University of Tsukuba

<sup>2</sup> 筑波大学システム情報系

Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba

a) onuki@vislab.cs.tsukuba.ac.jp

b) misue@cs.tsukuba.ac.jp

2つ目は space-time cube[4] という手法である。これは立方体の底面 (X 軸-Y 軸) を緯度経度からなる地理平面に割り当て、高さ (Z 軸) を時間に割り当てるという手法である。地理平面上の位置と時刻で定まる点を線分で結んだ軌跡で移動の様子を表現することによって、時間に応じた位置の変化を視覚的に表している。Gonçalves らの 2D マップと space-time cube の組み合わせ [5] や Murray らの StretchPlot[6] といった拡張表現が提案されている。

## 2.2 視覚表現の比較

Cleicher ら [1] が提唱した視覚的な比較の 3 つの基本要素として並置、重ね合わせ、明示的提示がある。これらは移動データの可視化にも広く利用されている。Liang ら [7] は軌跡に付属する速度情報の可視化に並置を用いている。これは地理情報を取り除き速度の比較のみに焦点を当てた視覚表現である。また Andrienko ら [8] は重ね合わせに加えて、複数の軌跡の同時刻の点同士をハイライトした線分で繋ぐという比較分析のための補助的な表現を活用している。

## 2.3 視覚的混雑の解消

軌跡を用いた移動データの可視化はデータ数が増えるほどに視覚的混雑が生じるという課題がある。これに対して Simplification やクラスタリングといった解決策が用いられる。Vrotsou ら [9] は Simplification によって軌跡の特徴を強調する手法を提案した。これによって視覚的混雑を解消するとともに、加工前の軌跡からは読み取りづらい細かな情報の強調を可能にした。Kazempour ら [10] は Dynamic Time Warping を用いて計算された軌跡間の類似性に基づいたクラスタリングを行い、複数の軌跡を 1 つに集約することで視覚的混雑さを解消した。Andrienko ら [11] は複数の個体の座標の重心を線分で繋ぐことで、複数の軌跡を 1 つのグループ軌跡に集約した。これは視覚的混雑の解消とともに、グループ内での個体同士の相対的な位置関係を示すことに役立つ。

## 2.4 移動体の可視化ツール

Ding ら [12] は軌跡の視覚表現をインタラクティブに編集するツールを開発しており、ユーザーインターフェースを整備することの重要性を述べている。Ferreira らが開発した BirdVis[13] では鳥の個体数の変動を時間変化する密度マップで表現し、その分析を補足するために折れ線グラフやワードクラウドを用いている。Guo らの TripVista[14] は交差点における車両の経路を可視化するツールを開発した。軌跡と合わせて円状のヒストグラムや ThemeRiver や Parallel Coordinates などの複数の手段でデータを可視化することで多角的な分析を可能にしている。Xavier ら [15] はガラパゴスアホウドリの移動データと海洋環境の関連性

を可視化するツールを開発した。Andrienko ら [11] はいくつかの視覚表現を用いて分析を進めるワークフローの提案とそれを実現するツールを開発した。

## 3. 目的

2.2 節で説明したように、視覚表現の比較には並置、重ね合わせ、明示的提示がある [1]。並置は簡単に作成できる一方で見る人の記憶に負担がかかる。重ね合わせでは記憶ではなく知覚に頼るため直感的ではあるが、視覚的に複雑になりやすい。そして明示的提示では比較作業の負担は小さいが、表現の読み取りに一定の訓練が必要である。このように比較の 3 要素にはトレードオフの関係があり、またこれらは組み合わせることも可能である。本研究ではこれらの要素に着目し、海鳥の生息地、活動時期、グループという性質の異なる条件を組み合わせる移動データの比較を行うためのツールの開発を目的とする。

## 4. ツールの開発

この章では、対象となるデータとそれに適した視覚表現の設計、およびその視覚表現をインタラクティブに編集できるツールの開発について説明する。

### 4.1 扱うデータ

本研究で扱うデータはジオロケータと呼ばれる計測機器で測定された海鳥の位置データである。ジオロケータは非常に小型かつ軽量であり調査対象の動物への負担が軽減される一方で、得られるデータには誤差が生じやすいという欠点もある。

計測されたデータは 1 個体につき約 1 年分存在する。計測の開始日は個体によって異なり、データは基本的に 2 日ごとに存在するが中には 10 日から 20 日ほどの欠損もある。データ提供者によるデータの前処理として明らかな外れ値の除外は行なわれているものの、誤差は大きい。前処理を行ったデータは様々な情報を含んでいるがそのうち利用するのは日付、緯度、経度、鳥の個体番号、生息地域、種である。本研究では、天売島\*1 を生息地域とする 10 羽のウトウ\*2、ミドルトン島\*3 を生息地域とする 23 羽のウトウ、ミドルトン島を生息地域とする 8 羽のエトピリカ\*4 の各個体につけられたジオロケータで計測された計 41 個体分のデータを利用する。1 個体のデータは種、生息地域、個体番号と、時刻データをキーとした緯度と経度の組からなる地理データ群が含まれている (図 2)。

\*1 北海道北西部の日本海に浮かぶ離島

\*2 チドリ目ウミスズメ科ウトウ属に分類される海鳥

\*3 アラスカ州南部の太平洋に浮かぶ無人島

\*4 チドリ目ウミスズメ科ツノメドリ属に分類される海鳥

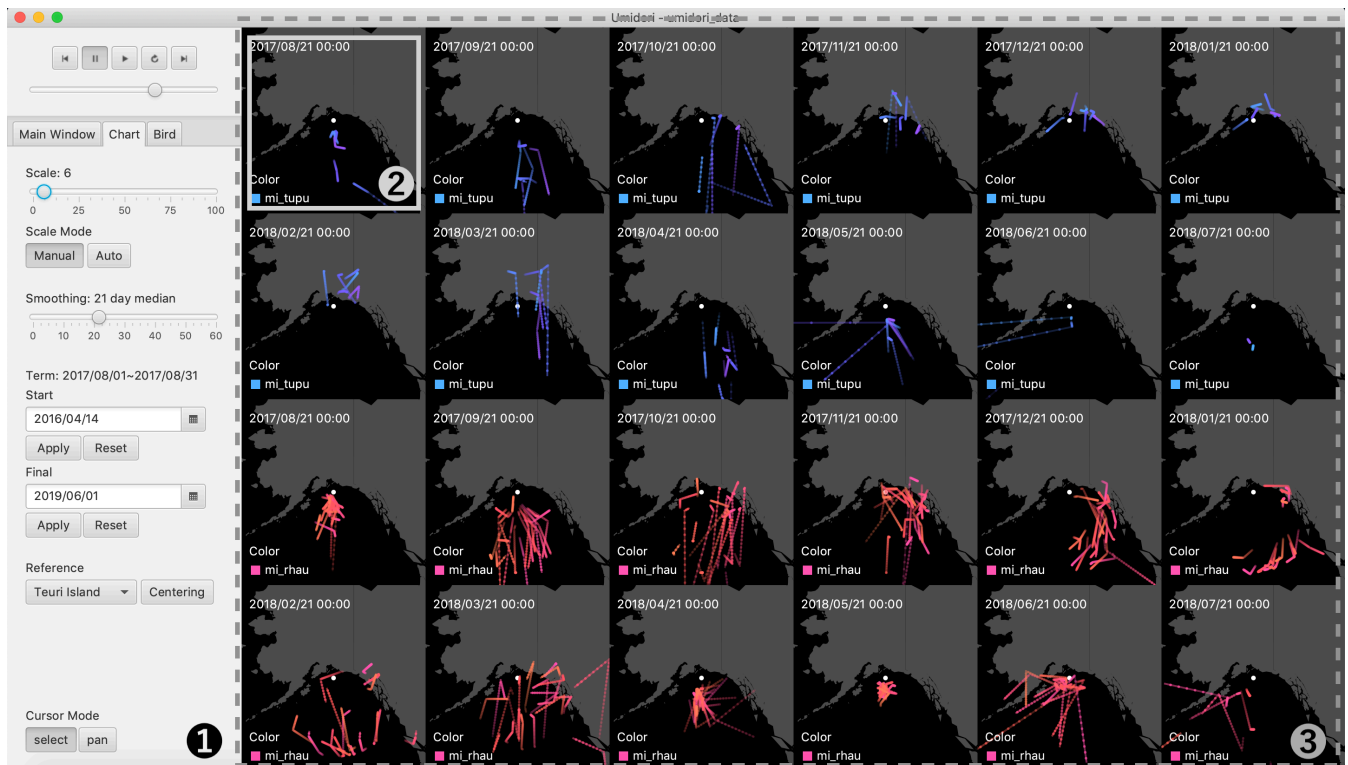


図 1: 同一の生息地域における別種の海鳥の移動の比較 (1) コントロールパネル：視覚表現を設定するためのユーザーインタフェース. (2) チャート：視覚表現を構成する最小単位の基本表現. 地図と軌跡のアニメーションを表示する. (3) メインウィンドウ：Small Multiples を用いた表現であり，チャートが 1 つ以上集まって構成される.

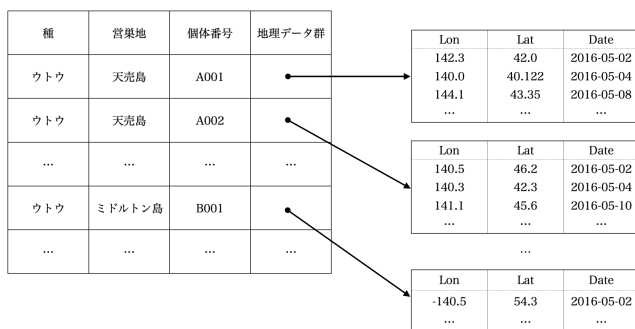


図 2: データの図解

## 4.2 視覚表現の設計

開発したツールでは移動データを地図上の軌跡として表現し，これらを海鳥の生息地域，活動時期，グループといった条件によって比較する。

生息地域が違う個体の移動データは空間的に異なる地図上の軌跡として表現されることになり，これは空間的に分離していることを意味する。また，活動時期が違う個体の移動データの比較は時間的に分離していることを意味する。Cleicher ら [1] によれば，このように時空間的に分離された比較には並置の利用が好ましい。

海鳥のグループの比較はグループ同士の比較とグループ内の個体同士の比較に分けられる。複数のグループは同じ時空間に存在するとは限らないためこの比較には並置の利

用が好ましい一方で，1つのグループに属する全ての個体は同じ時空間に存在するため重ね合わせを効果的に利用することができる。

まず地図上の軌跡のアニメーション表現を基本表現とする。基本表現では軌跡の重ね合わせによって個体同士の比較が可能になる。さらに生息地域，活動時期，グループなどの異なる条件を設定した基本表現を複数作成し，これらを並べる並置によって複雑な条件の比較を可能になる。このように本研究では並置と重ね合わせを組み合わせた視覚表現をもつ可視化ツールを開発する。

## 4.3 ツールの概要

開発したツールはデスクトップアプリケーションであり一般的なノートパソコンおよびデスクトップパソコンで使用することを想定している。UIの外観は図1の通りであり，「チャート」「メインウィンドウ」「コントロールパネル」の3つの要素からなる。

「コントロールパネル」は視覚表現を設定するためのユーザーインタフェースであり，図1(1)にあたる。

「チャート」は4.2節で説明した基本表現にあたり，図1(2)のような表現である。1つのチャートに地図と軌跡のアニメーションが表示され，これに対し様々な条件を設定する。このチャートが1つ以上集まって構成されるものがメインウィンドウである。

「メインウィンドウ」は前述のチャートが1つ以上集まって構成される。図1(3)は24個のチャートから構成されるメインウィンドウである。ユーザーはクリックすることでチャートを選択することができ、選択したチャートに対してコントロールパネルを介して様々な条件を設定する。

#### 4.4 アニメーションを用いた表現

基本表現であるチャートでは、移動データは軌跡のアニメーションとして表現される。これによって時間経過と共に移動する海鳥の様子を視覚的に表現することができる。線分の長さはユーザーが入力した任意の日数分で表示され、古い日付の位置を示す線分は徐々に非表示になる。データは約2日ごとの位置情報をもつためデータが存在しない時刻は線形補間することで軌跡を描画している。軌跡は1つ以上表示することができ、その動きを比較することができる。

#### 4.5 Small multiples を用いた表現

メインウィンドウ(図1(3))のような表現を Small Multiples といひ [16], 複数の異なる視覚表現を比較することができる。例えば全てのアニメーションに同じ種々の海鳥の群れと、異なる期間を割り当てることで、その海鳥の群れの時期による行動の違いを可視化することができる。他にもアニメーションごとに異なる海鳥の群れを表示することで群れごとの行動の違いを可視化することや、別の生息地域を割り当てることで同じ種々の海鳥の地域ごとの動きの違いを分析することが可能になる。このツールではグループ、個体、活動期間、生息地域の4つの条件を組み合わせた異なる複数のアニメーションを並べることが可能な自由度の高い Small Multiples の機能を備えている。

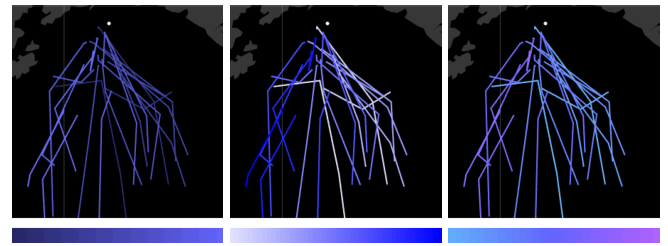
#### 4.6 軌跡の配色機能

一つ一つの軌跡に対し個別の色を指定するような単純な繰り返し作業は煩わしい。本ツールでは海鳥の種類ごとに軌跡の色を一括で指定することができる機能を備えている。

チャート内では重ね合わせによってグループや個体の移動を比較しており、これらの軌跡の識別には色を用いる。色のみでグループの識別と個体の識別を両立するために、グループごとに異なる色相を割り当て、さらにそのグループに属する各個体に対してグループの色相に基づく異なる色を割り当てるといった配色を行う。ユーザーは鳥のグループに色相を割り当てるだけで、グループに属する個体の軌跡の配色は自動で行われる。配色は図3のように明度、彩度、色相に基づく3種類のグラデーションを用意した。

#### 4.7 軌跡の単純化

軌跡の単純化とは軌跡の頂点数を削減することである。これには3つの目的がある。1つ目は移動の概形の表示、2



(a) 明度のグラデーション (b) 彩度のグラデーション (c) 色相のグラデーション

図3: 軌跡の配色

つ目は視覚的混雑の解消、そして3つ目は外れ値の削減である。まず移動の概形の表示について説明する。これは研究の途中段階で行った鳥類研究者との打ち合わせで、長期間の移動の様子においては詳しい移動経路以外に大まかな移動の概形を見ることができると良いという意見を得たことに基づいている。

次に視覚的混雑の解消についてである。ここまで説明した視覚表現には2つの課題がある。1つ目は移動体の可視化において複数の軌跡が重なることで視覚的に混雑する課題、2つめは Small Multiples によってひとつひとつの視覚表現が小さくなり時には読み取りが困難になるという課題である。これらが組み合わせることで、読み取りをより困難にする可能性がある。

最後に外れ値の削減についてである。4.1節にて説明した通りジオロケータで計測されたデータは誤差が生じやすい。海鳥の生態に関する研究 [17] などで分析に移動データの中央値が用いられていることから、中央値を用いた外れ値の削減を行う。

これらを踏まえ本研究では位置データの中央値を用いて軌跡を単純化することで、重複した軌跡の読み取りの改善と軌跡の概形の表示と外れ値の削減を同時に実現する。位置データの中央値は緯度経度それぞれで計算したものを1組とし、それを新たな位置として与えることにする(図4)。

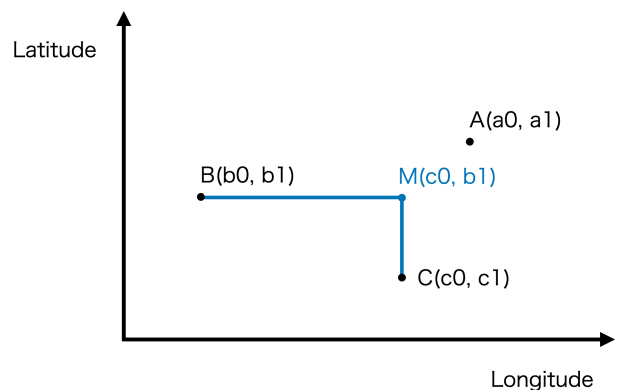


図4: 3つの位置の中央値の求め方の図解

$N$  日間の中央値を求める処理をデータが存在する初日から最終日までの範囲で1日ずつずらしながら繰り返すことで軌跡を単純化する(図5)。 $N$ はユーザーが任意に指定できる。図6(a)に対し単純化処理を施すと図6(b)のようになる。

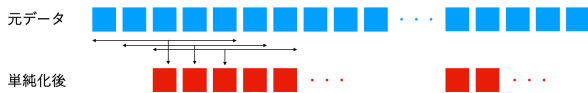
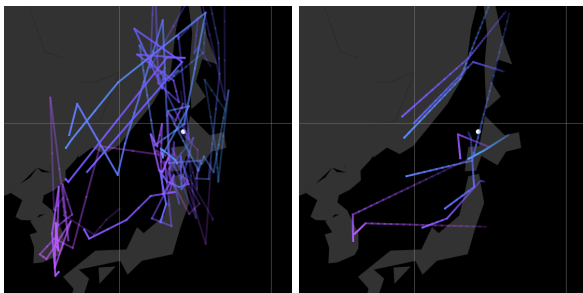


図 5: 5 日間の位置の中央値を用いた単純化処理の図解



(a) 単純化処理を施す前の軌跡 (b) 単純化処理を施した後の軌跡

図 6: 単純化処理による視覚的混雑の解消

#### 4.8 実装

開発言語には JavaSE14 を、GUI の実装には JavaFX11 を用いた。

### 5. ツールの使用方法

例として3つのチャートを持つ視覚表現を作成する方法を紹介する。それぞれのチャートに割り当てる条件は表1の通りとした。各チャートは(行番号, 列番号)と表記し識別することとする。

表 1: 作成する視覚表現の条件の一覧

(行, 列)	種	生息地域	分析の対象となる期間
(1,1)	ウトウ	天売島	2016年8月 ~2017年1月
(1,2)	エトピリカ	ミドルトン島	2017年8月 ~2018年1月
(1,3)	ウトウ	ミドルトン島	2017年8月 ~2018年1月

- (1) ツールを起動するとファイル選択画面が表示され、移動データファイルを読み込むことができる。
- (2) コントロールパネルの Row と Col を操作し、図7のような  $1 \times 3$  の Small Multiples を作成する。
- (3) Reference を操作し各チャートマップの中心をそれぞれ

の生息地域に変更する。表1より(1,1)は Teuri Island を、それ以外は Midolton Island を選択する。

- (4) 各チャートの期間, 表示する個体を指定する。

以上で視覚表現は完成となる(図8)。見栄えや視覚的な複雑さに応じて軌跡の色の指定や、単純化などの機能を用いる。また作成した視覚表現は JSON 形式で保存することができ、後から視覚表現を再現することも可能である。



図 7: メインウィンドウ内に3つのチャートを生成する

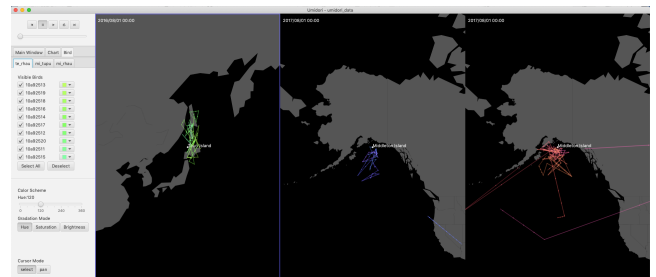


図 8: 完成した視覚表現

### 6. 評価

想定されるユースケースに応じた視覚表現を用意した。これらをデータの提供者である鳥類研究者に対してデモンストレーションを行い、フィードバックを得た。

#### 6.1 ユースケース1: 生息地域の違うウトウの比較分析

生息地域が異なる2種類のウトウの移動データを比較する視覚表現(図9)について説明する。まずは軌跡の色に注目する。緑色の軌跡が天売島を生息地域とするウトウで、赤色の軌跡がミドルトン島を生息地域とするウトウである。各チャートには1ヶ月ごとの軌跡を表示している。1行目は最も右の列から順に2016年6月, 7月, ..., 2017年1月となっており, 2行目は最も右の列から順に2017年8月, 9月, ..., 2018年2月となっている。

1ヶ月ごとに分けることで月ごとの分布の違いを視覚的に把握できることが良いというフィードバックを得ることができた。特に時期によって緯度の分布の違いがあることはデータから知られていたがそれを視覚的に確認できたこと, またその分布の変化を時系列に沿って見ることができたことの2点に対して好意的な意見を得ることができ



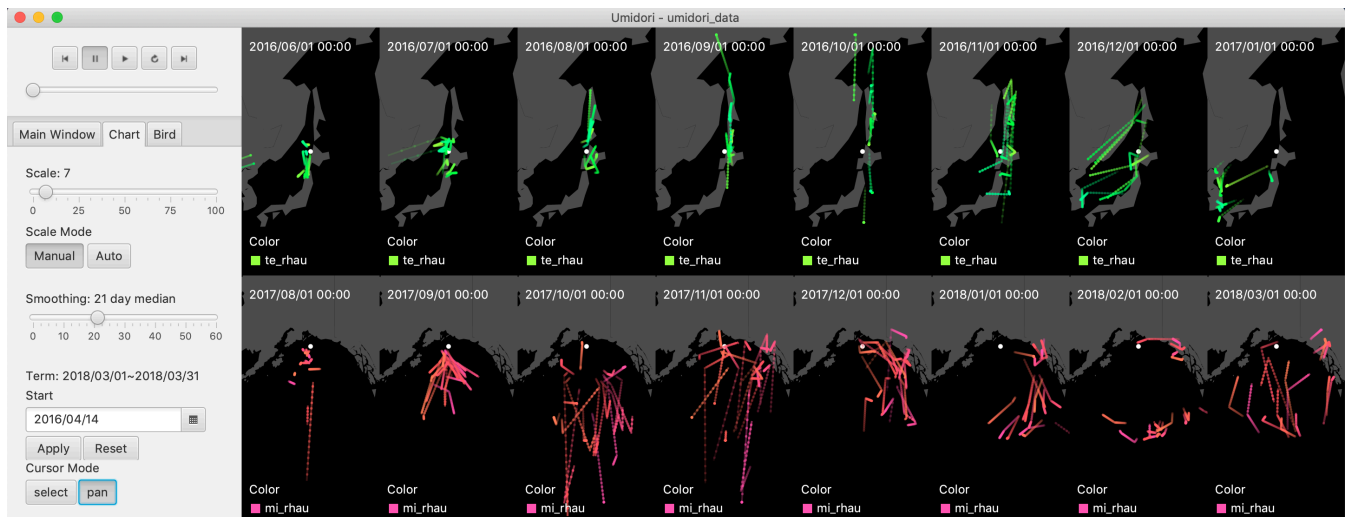


図 9: ユースケース 1: 生息地域の違うウトウの比較分析のための視覚表現

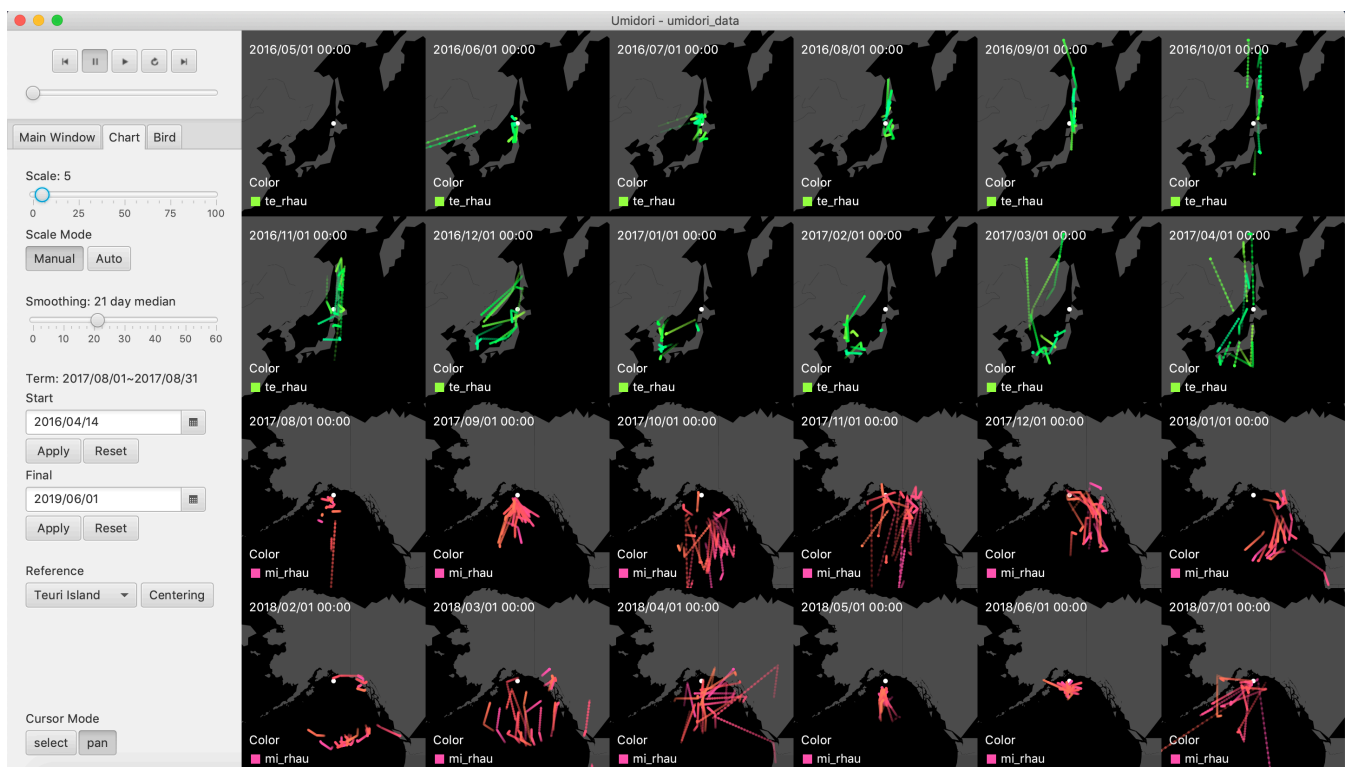


図 10: ユースケース 1: 専門家のフィードバックを元に改善した生息地域の違うウトウの比較分析のための視覚表現

た. 図 9 の例では 8 ヶ月分のデータしか表示しなかったが, 12 ヶ月分見ることができた方が良いという意見もあったため改めて図 10 の視覚表現も作成した. データによって観測した時期が異なる場合は配置に工夫が必要となる.

## 6.2 ユースケース 2: ミドルトン島に生息するウトウとエトピリカの比較分析

ミドルトン島を生息地域とするウトウとエトピリカの 2 種の海鳥の移動データを比較する視覚表現 (図 11) について説明する. まずは軌跡の色に注目する. 緑色の軌跡がウトウで, 赤色の軌跡がエトピリカである. 次に縦方向に注

目すると 1 列目と 2 列目がウトウで, 3 列目がエトピリカになっていることが読み取れる. ここではチャート内の軌跡の数が増えることで生じる視覚的煩雑さを解消するために, 個体数が多いウトウは無作為に 2 グループに分けている. 次に横方向に着目する. 各行で異なる時期を指定しており, 1 行目は 2017 年 8 月 1 日からの 4 ヶ月間, 2 行目は 2017 年 12 月 1 日からの 4 ヶ月間, 3 行目は 2018 年 4 月 1 日からの 4 ヶ月間となっている.

これに対し鳥類の研究者からは, 無作為なウトウのグルーピングは無意味でありこれによってチャートの数が増えることで視線の移動が多くなり読み取りが困難になる

という意見を得た。このことから軌跡の属性が同じである限りはたとえチャート内の軌跡の数が多くなったとしても全ての軌跡を同じチャート内に表示した方が良いと言える。このフィードバックをもとに改善した視覚表現が図 12 である。これは図 11 でふたつのグループに分類していたウトウをひとつのグループに統合したものである。

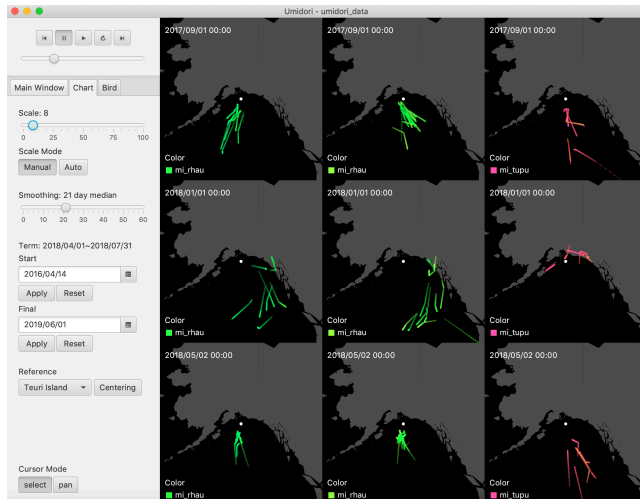


図 11: ユースケース 2: ミドルトン島に生息するウトウとエトピリカの比較分析のための視覚表現

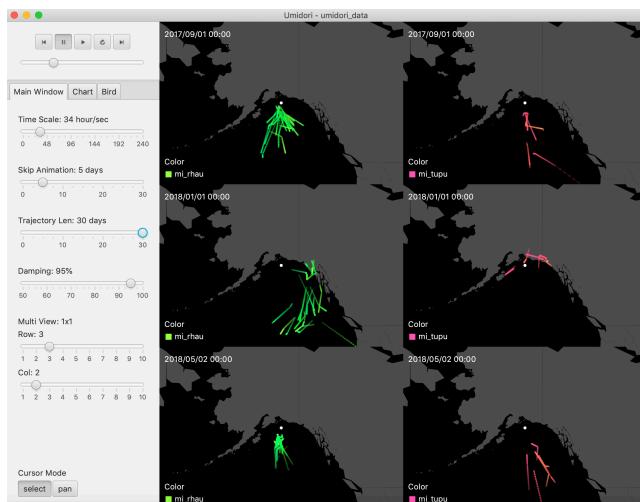


図 12: ユースケース 2: 専門家のフィードバックを元に改善したミドルトン島に生息するウトウとエトピリカの比較分析のための視覚表現

### 6.3 考察

ユースケースを通じて得たフィードバックからは、同一種々の海鳥の移動は一つの表現に重ねて表示したほうが良く、また活動時期の異なる移動の様子に関しては様々なスケールで分割し並べて表示した方が良いといえる。海鳥の比較分析には並置と重ね合わせを用いた Small Multiples を用

いることの有効性を確認できた。

また軌跡の単純化に関して、単純化を行っていない軌跡はエラーを含む一方で局所的な移動の様子を見ることができ、単純化をおこなった軌跡で長期間での大まかな移動を見ることがより重要であるという意見を得た。

## 7. 結論

本研究では海鳥の行動データの比較分析を支援することを目指し、並置と重ね合わせを用いた視覚表現の設計と、その視覚表現を自由に編集することが可能なユーザーインターフェースをもつツールの開発を行った。

並置と重ね合わせによる自由度の高い Small Multiples を用いた軌跡の可視化ツールの事例は少ないため、その設定を自由に行うことが可能な UI を設計し、また Small Multiples によって生じる視覚的煩雑さを解消するための軌跡の単純化の機能や、重ね合わせを用いた軌跡の比較を行うための軌跡の配色作業の半自動化機能を検討した。このツールによって生息地域、活動時期、グループといった条件による海鳥の移動の違いを比較することができるようになった。

ユースケースを通してこのツールの有効性を確認した。特に軌跡の単純化によって視覚的煩雑さを取り除くことは海鳥の移動軌跡の可視化において重要であることや、データを描画する期間を指定し海鳥の地理的な分布の違いを比較することによって時系列に沿った緯度方向の移動の様子の違いを視覚化できることの有効性を確認した。

今後の展望は周囲の環境データとの関係性を可視化することによって海鳥の行動における新たな発見を可能にすることである。特に海水温度や採餌に関するデータとの関連性を可視化することによって、時期ごとの海鳥の移動の違いの根拠を可視化できると推測する。また Small Multiples とアニメーションを用いた比較作業の効率化に有効な視覚表現を探り、被験者実験などを通し定量的に評価されることを期待する。

**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、また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。

## 参考文献

- [1] Gleicher, M., Albers, D., Walker, R., Jusufi, I., Hansen, C. D. and Roberts, J. C.: Visual Comparison for Information Visualization, *Information Visualization*, Vol. 10, No. 4, pp. 289–309 (online), DOI: 10.1177/1473871611416549 (2011).
- [2] Andrienko, N., Andrienko, G. and Gatalsky, P.: Supporting Visual Exploration of Object Movement, *Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces, AVI '00*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 217–220 (online), DOI: 10.1145/345513.345319 (2000).

- [3] Kriglstein, S., Pohl, M. and Stachl, C.: Animation for Time-oriented Data: An Overview of Empirical Research, *2013 17th International Conference on Information Visualisation*, Los Alamitos, CA, USA, IEEE Computer Society, pp. 30–35 (online), DOI: 10.1109/IV.2012.16 (2012).
- [4] Kraak, M.-J.: The space-time cube revisited from a geovisualization perspective, *Proc. 21st International Cartographic Conference*, Citeseer, pp. 1988–1996 (2003).
- [5] Gonçalves, T., Afonso, A. P. and Martins, B.: Combining and Assessing 2D Maps and Space-Time Cubes for Trajectory Data, *Proceedings of the 2015 British HCI Conference*, British HCI '15, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 273–274 (online), DOI: 10.1145/2783446.2783607 (2015).
- [6] Murray, P. and Forbes, A.: StretchPlot: Interactive visualization of multi-dimensional trajectory data, *Proceedings of 2014 IEEE Conference on Visual Analytics Science and Technology (VAST)*, pp. 261–262 (online), DOI: 10.1109/VAST.2014.7042520 (2014).
- [7] Liang, S., Xu, Q., Guo, Y. and Fan, Y.: Multiscale Visualization of Trajectory Data, *Proceedings of 2015 19th International Conference on Information Visualisation*, pp. 206–210 (online), DOI: 10.1109/iV.2015.45 (2015).
- [8] Andrienko, N., Andrienko, G., Garcia, J. and Scarlatti, D.: Analysis of Flight Variability: a Systematic Approach, *IEEE Transactions on Visualization & Computer Graphics*, Vol. 25, No. 01, pp. 54–64 (online), DOI: 10.1109/TVCG.2018.2864811 (2019).
- [9] Vrotsou, K., Janetzko, H., Navarra, C., Fuchs, G., Spretke, D., Mansmann, F., Andrienko, N. and Andrienko, G.: SimpliFly: A Methodology for Simplification and Thematic Enhancement of Trajectories, *IEEE Transactions on Visualization & Computer Graphics*, Vol. 21, No. 01, pp. 107–121 (online), DOI: 10.1109/TVCG.2014.2337333 (2015).
- [10] Kazempour, D., Beer, A., Herzog, F., Kaltenthaler, D., Lohrer, J. and Seidl, T.: FATBIRD: A Tool for Flight and Trajectories Analyses of Birds, *Proceedings of 2018 IEEE 14th International Conference on e-Science (e-Science)*, pp. 75–82 (online), DOI: 10.1109/eScience.2018.00023 (2018).
- [11] Andrienko, N., Andrienko, G., Barrett, L., Dostie, M. and Henzi, P.: Space Transformation for Understanding Group Movement, *IEEE Transactions on Visualization & Computer Graphics*, Vol. 19, No. 12, pp. 2169–2178 (online), DOI: 10.1109/TVCG.2013.193 (2013).
- [12] Ding, X., Chen, R., Chen, L., Gao, Y. and Jensen, C. S.: VIPTRA: Visualization and Interactive Processing on Big Trajectory Data, *Proceedings of 2018 19th IEEE International Conference on Mobile Data Management (MDM)*, pp. 290–291 (online), DOI: 10.1109/MDM.2018.00055 (2018).
- [13] Ferreira, N., Lins, L., Fink, D., Kelling, S., Wood, C., Freire, J. and Silva, C.: BirdVis: Visualizing and Understanding Bird Populations, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 17, No. 12, pp. 2374–2383 (online), DOI: 10.1109/TVCG.2011.176 (2011).
- [14] Guo, H., Wang, Z., Yu, B., Zhao, H. and Yuan, X.: TripVista: Triple Perspective Visual Trajectory Analytics and its application on microscopic traffic data at a road intersection, *Proceedings of 2011 IEEE Pacific Visualization Symposium*, pp. 163–170 (online), DOI: 10.1109/PACIFICVIS.2011.5742386 (2011).
- [15] Xavier, G. and Dodge, S.: An Exploratory Visualization Tool for Mapping the Relationships between Animal Movement and the Environment, *Proceedings of the 2nd ACM SIGSPATIAL International Workshop on Interacting with Maps*, MapInteract '14, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 36–42 (online), DOI: 10.1145/2677068.2677071 (2014).
- [16] Tufte, E.: *Envisioning Information*, Graphics Press (1990).
- [17] Fayet, A. L., Freeman, R., Shoji, A., Boyle, D., Kirk, H. L., Dean, B. J., Perrins, C. M. and Guilford, T.: Drivers and fitness consequences of dispersive migration in a pelagic seabird, *Behavioral Ecology*, Vol. 27, No. 4, pp. 1061–1072 (online), DOI: 10.1093/beheco/arw013 (2016).