

海鳥の行動パターンと移動軌跡の視覚的な表現の設計

三浦 志菜^{1,a)} 三末 和男^{2,b)}

概要: 海鳥の生態を分析する研究者を支援するために、海鳥の移動軌跡と行動パターンを同時に可視化する視覚表現を設計した。具体的には、海鳥が各時刻において飛翔しているのか、または採餌行動をしているのか、もしくは休息しているのか、海鳥の行動を表す3次元量的データを移動軌跡と共に表す手法として、パイチャートやRGBの混色を使った表現手法を設計した。また、移動軌跡についても海鳥の進行方向がわかるように明度や色相、アニメーションを使った表現手法を設計した。さらに、これらの表現手法について考察し、同時に可視化する際の適切な組み合わせについて検討した。

1. はじめに

多変量データは、研究者や科学者など様々な種類のアナリストがあらゆる面で遭遇するが、アナリストが期待するデータを効率的に検出及び探索したり、予期しないデータを発見するのは容易ではない。これを助ける手段として情報の可視化は有効な手段である。海鳥を研究する分野においても、軌跡データを可視化したツール [4] やそれに加えて気象データなどの環境情報を表示するツール [3] など、多変量データに関して様々な可視化手法が開発されている。しかし、海鳥が飛翔しているのか採餌活動をしているのか休息しているのかなどの行動パターンを表すデータを可視化するツールはほとんどない。

本研究の目的は、海鳥の位置データと行動データを同時に可視化する視覚表現を設計して海鳥の生態を分析する研究者を支援することである。そのために、海鳥の行動を表す飛翔、採餌、休息の3次元量的データを移動経路とともに表す手法を設計した。

2. 関連研究

2.1 多変量データの可視化

多変量データの視覚化の重要性についてはこれまでも多くの論文で提唱されてきた [2]。Chan らは、多変量データの視覚化の必要性と課題について調査した。彼らは、多

変量データに関してデータ分析者が期待するデータを探索するのは困難であるが、情報の可視化はこれを助ける手段として有効であるとして、可視化の必要性を述べた。また、高次元データを可視化する際に密な構造をもたらす可能性が高い問題や、情報量、単純性、正確性の間のトレードオフなど、多変量データの可視化の課題をいくつか挙げた。

Wong らは、過去 30 年間に開発された多次元多変量データの視覚化手法について調査した [1]。彼らは多次元多変量データを2変量の場合と多変量の場合に場合分けし、視覚化手法の分類を行った。そして、データが2変量の場合は、主に2次元のポイントプロットやラインプロット、データが多変量の場合は、主にカラフルなグラフィックが使用され、データを双方向の相関関係を示す時系列として表すことができる場合は、アニメーションに拡張することができるとした。本研究でも、2変量についてはラインプロットやこれをアニメーションに拡張したもので表現し、多変量については色相などを使用して表現している。

2.2 移動体の軌跡の可視化

Andrienko らは、位置データを分析するための視覚分析ツールを提案している [7]。単純に移動軌跡を線分で地図上に表示するものに加えて、軌跡のクラスタリングやフィルタリング、重要箇所の抽出ができるような機能を開発している。

Kazempour らは、従来のツールが提供する軌跡表示機能に加えて、鳥類学者の分析を支援する機能を追加した包括的なツールを開発した [4]。彼らが開発したツールには、軌跡の類似性の自動計算、ヒートマップのカラーリングによる類似性の視覚化、軌跡のクラスタリングなど、軌跡の分析を助ける様々な機能が備わっている。

¹ 筑波大学理工情報生命学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

² 筑波大学システム情報系 Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba

^{a)} miura@vislab.cs.tsukuba.ac.jp

^{b)} misue@cs.tsukuba.ac.jp

Xavier らは、海鳥の軌跡と環境の関連性を可視化した [3]. 彼らが開発した可視化ツールでは、軌跡を線分のアニメーション、海鳥が飛翔する速度を線の太さ、風速を彩度、海鳥の進行方向に対する風向きを色相で表現している。本研究においては、海鳥の軌跡と行動パターンの関連性を可視化する方法を考える。

2.3 海鳥の行動分類

Lecome らは、野生において長命な動物であるアホウドリの老化のパターンについて調査した [5]. このとき、年齢と採餌行動の関係について検討するため、海鳥の足に塩分検知回数を計測するアクティビティデータロガーを取り付け、これによるデータを飛翔時間、採餌時間、休息時間の3つの行動に分類する方法を提案し、研究を進めた。

Fayet らは、遠洋性の海鳥であるニシツナメドリの分散移動のメカニズムやそれに適応する潜在能力について調査した [6]. ここで、移動のばらつきの行動との関連性、重要性を調べるため、Lecome らによって提案された行動分類方法を使用して研究を進めている。

本研究においても、海鳥の行動に関して Lecome らが提案した行動分類方法を利用して可視化していく。

3. 本研究で扱うデータ

本研究で扱うデータは海鳥の位置データと行動データである。どちらも同じウトウという種類の海鳥についてのデータであり、約1年分のデータが10羽分存在する。

3.1 位置データ

位置データはジオロケータ (GLS) を使用して計測している。ジオロケータは照度と時刻によって毎日の日の出・日の入り時刻を推測し、日中の長さが緯度と経度によって異なることを利用して、海鳥の位置を推定する。ジオロケータはGPSに比べて小型で軽量なため小さな鳥にも装着可能であるが、計測結果による誤差は数百キロに及ぶ。

本研究を進めるにあたり提供を受けたデータは、誤差の影響を軽減するために外れ値の除去等を施したデータセットである。そのなかから、日付、鳥の個体番号、緯度、経度を使用した。ここで、このデータは時刻と鳥の個体番号に対する2次元座標であるので、時刻と個体番号から2次元座標への関数として表せる。時刻の集合を T 、個体番号の集合を N 、2次元座標の集合を $R_0 \times R_1$ で表すとすると、式1のように表すことができる。データのイメージを表1に示す。

$$T \times N \rightarrow R_0 \times R_1 \quad (1)$$

表1: 位置データのイメージ
Table 1 An image of position data

date	birdID	med_lon	med_lat
2016-04-29	10a92511	140.440	45.51
2016-04-30	10a92511	140.105	46.28
2016-05-02	10a92511	140.590	43.49
...

3.2 行動データ

行動データは、塩分を検知する機器 (immersion activity loggers) を海鳥の足に付けて計測している。3秒に1回センサーが塩分を調べ、10分ごとに塩分を検知した回数返している。10分=600秒、600秒/3秒=200であるので、10分間ずっと海に浸かっていると塩分を検知した回数は200となる。また、24(時間)×60(分)/10(分)=144であるので、1日につき144行のデータが存在する。このデータから海鳥の足が海水に浸かっているのかどうかのかわかり、例えば、塩分検知回数が0に近い場合は、海鳥の足がほとんど海に浸かっていないので、空を飛んでいるか陸上にいる、塩分検知回数が200に近い場合は、海鳥の足がずっと海に浸かっているため海上にいて休息をとっている、塩分検知回数が0にも200にも近くない場合は、海に足が浸かったり浸からなかったりを繰り返しているため採餌活動をしているなど、海鳥の行動の様子を推定することができる。

Lecome らの手法 [5] を利用すると、10分間の行動データの塩分検知回数を x としたとき、式2のように行動を分類できる。

$$\begin{cases} \text{飛翔時間} (0 \leq x \leq 2) \\ \text{採餌時間} (3 \leq x \leq 197) \\ \text{休息時間} (198 \leq x \leq 200) \end{cases} \quad (2)$$

この行動分類方法で海鳥の1日の行動の様子を割合で出し、飛翔時間(%), 採餌時間(%), 休息時間(%)の3次元量的データ(1日ごと)に変換し、これを可視化する。

行動データの元のデータには日付、時刻、塩分検知回数があり、鳥の個体番号がファイル名に組み込まれている。そのうち利用するのは日付、塩分検知回数、鳥の個体番号の3種類である。ここで、このデータは時刻と鳥の個体番号における量的データであるので、時刻と個体番号から量的データへの関数として表せる。時刻の集合を T 、個体番号の集合を N 、量的データの集合を Q で表すとすると、式3のように表すことができる。行動の元データのイメージを表2に示す。

$$T \times N \rightarrow Q \quad (3)$$

この元データを式2の分類方法を用いて変換すると、データは日付、鳥の個体番号、飛翔時間の割合、採餌時間の割合、休息時間の割合となる。このデータは鳥の個体番号と

表 2: 行動データの元データのイメージ
Table 2 An image of original data of behavior data

date	birdID	count
17-May-2016	10a92511	0
17-May-2016	10a92511	183
17-May-2016	10a92511	87
...

時刻における 3 次元量的データであるので、個体番号と時刻から 3 次元量的データへの関数として表せる。時刻の集合を T 、個体番号の集合を N 、3 次元量的データの集合を $Q_0 \times Q_1 \times Q_2$ で表すとすると、以下のように表すことができる。変換後のデータのイメージを表 3 に示す。

$$T \times N \rightarrow Q_0 \times Q_1 \times Q_2 \quad (4)$$

表 3: 行動データの変換後データのイメージ
Table 3 An image of converted data of behavior data

date	birdID	activity	feeding	rest
17-May-2016	10a92511	2.08	34.72	63.19
18-May-2016	10a92511	61.11	14.58	24.30
19-May-2016	10a92511	83.33	11.11	5.55
...

3.3 データの平滑化

開発の途中段階で海鳥の研究者に本研究の可視化を評価してもらった際、大まかな流れを把握できるようにしたい、また、位置データにエラーが多いので、これを解消したいという意見をいただいた。そこで、本研究では指定した日数でデータを平滑化できる機能を追加した。ここで、平滑化できる最大の日数を 30 日とした。

- 軌跡データの平滑化

n を自然数 ($0 < n \leq 30$) として、 n 日間で平滑化する時、 n 日間ごとに中央値を出し、これを平滑化後の軌跡データとした。軌跡データにはエラーが存在するが、中央値を取ることで外れ値を削減できる。ここで、軌跡データは緯度と経度の 2 つの値の組み合わせであるが、緯度と経度それぞれで中央値を算出し、そこで得られた値の組み合わせを平滑化後の軌跡データとした。また、軌跡データが n 日間で 1 つも存在しない場合は、前後の値の midpoint を平滑化後の軌跡データとするようにした。さらに、最後に n 日間未満のデータが余った場合、余った日にち分の軌跡データの中で中央値を取り、これも平滑化後の軌跡データに加えた。

- 行動データの平滑化

n を自然数 ($0 < n \leq 30$) として、 n 日間で平滑化する時、 n 日間の行動の割合を平滑化後の行動データと

した。ここで、最後に n 日間未満のデータが余った場合、余った日にち分の行動の割合を算出し、これも平滑化後の行動データに加えた。

4. 設計方針

海鳥の位置データを可視化するための便利なツールはこれまでにも数多く開発されてきたが、行動データを扱う場合は単純に折れ線グラフや円グラフなどによって統計量を見ることで研究が進められている [6]。ここで、時刻によって位置データと行動データを対応させることで地図上に行動データを可視化すれば、海鳥の各地点での行動の様子が一目でわかり、海鳥の研究に役立つのではないかと考えた。また、位置データと行動データを同時に視覚的に見ることができれば、海鳥の生態に関しての新しい発見に繋がるのではないかと考えた。

本研究で使用する軌跡データは、式 1 のようなデータ構造であるので、Wong らが提案した視覚化手法の分類 [1] に基づき、2 次元座標については地図上の各地点を線分でつなげること (ラインプロット) で表現する。本研究では、これを前提として、行動に関する 3 次元量的データを移動経路と共に表す可視化手法を設計する。ただし、これを達成するには次のような質問に答える必要がある。

- 軌跡データの可視化について

軌跡データを可視化するとき、2 次元座標 ($R_0 \times R_1$) の系列は地図上の線分で表現するが、軌跡の向き (T) について表現するためには、どのような表現手法を用いれば良いか。

- 行動データの可視化について

地図上の各地点に行動に関する 3 次元量的データを表すには、どのような視覚表現を用いれば良いか。

- 全体について

軌跡データと行動データを同時に可視化するには、それぞれのデータに対してどのような視覚表現の組み合わせにすれば良いか。

したがって、本研究では以下のような方針で研究を進める。

- (1) 軌跡データの可視化について、軌跡の向きを表す視覚表現を検討する。
- (2) 行動データを 3 次元量的データとして、これを可視化するための視覚表現を検討する。
- (3) 2 つのデータを同時に可視化する際に適切な組み合わせについて比較検討する。

5. 視覚表現の設計

本研究では、第 4 章の方針に基づき、まず、軌跡の向きを表す視覚表現と行動の 3 次元量的データを表す視覚表現について検討し、次に、軌跡と行動を同時に表現するには、どのような視覚表現の組み合わせが適切か考える必要がある。



図 1: 明度のグラデーション
Fig. 1 Brightness gradient



図 2: 色相のグラデーション
Fig. 2 Hue gradation



図 3: アニメーション
Fig. 3 Animation

5.1 軌跡に関する視覚表現

軌跡を描く際、各地点を線分でつなぐだけではなく軌跡の向き（海鳥の進行方向）も表現したい。そこで、軌跡の可視化について、軌跡の向きを表す視覚表現をいくつか検討した。ここで、第3章で述べたように、外れ値除去や中央値により誤差を減らした位置データを使用した。

5.1.1 明度のグラデーション

時刻に合わせて軌跡の線の明度を変えていくことで軌跡の向きを表す。ここでは、図1のように時刻が進むにつれて線の明度が徐々に小さくなるようにした。

5.1.2 色相のグラデーション

時刻に合わせて軌跡の線分の色相を変えていくことで軌跡の向きを表す。ここでは、図2のように時刻が進むにつれて、黄色→緑→青の順に徐々に色相を変えていくようにした。

5.1.3 アニメーション

時刻に合わせて軌跡の線分上をアイコンが進んでいくことで軌跡の向きを表す。ここでは、図3のようにアイコンが軌跡上をなぞっていく。

5.2 行動に関する視覚表現

第3章で述べたように、海鳥の1日の行動を3次元量的データとして、これを可視化するための視覚表現をいくつか検討した。

5.2.1 パイチャート

- 3色パイチャート

海鳥の1日の行動の割合を、飛行時間を赤、採餌時間を緑、休息時間を青として、図4(a)のように地図上に

3色パイチャートとして表示した。

- 2色パイチャート

パイチャートを地図上などに複数表示する場合、色分けを3色以上にするとデータ分析者が正確な情報を受け取りづらく、色分けを2色以内にした方が良い可能性がある。そこで、分類した行動データの内、飛行時間を赤、休息時間を白、採餌時間をパイチャートの面積で表現し、海鳥の1日の行動の割合を図4(b)のように地図上に2色パイチャートとして表示した。

ここで、採餌時間の割合が大きいほど円の大きさが大きくなるようにした。

5.2.2 RGBの重ね合わせ

分類した行動データに対して、飛行時間にR、採餌時間にG、休息時間にBを割り当て、RGB値を0~1として行動の割合と対応させる。これによって定めた色の円を、図4(c)のように地図上の各地点に表示した。例えば、飛行時間の割合が0%で採餌時間と休息時間が50%ずつだった場合、RGB(0, 0.5, 0.5)となり、円の色は緑と青に近い色(●)になる。また、飛行時間の割合が80%で採餌時間と休息時間が10%ずつだった場合、RGB(0.8, 0.1, 0.1)となり、円の色は赤色に近い色(●)になる。このように円の色から、海鳥の1日の行動の割合を読み取ることができる。

5.3 視覚表現の組み合わせ

この節では、それぞれの視覚表現の特徴を正確性、メリット、デメリットの観点から考察し、その考察をもとに適切な視覚表現の組み合わせを考える。

5.3.1 軌跡の向きに関する視覚表現の特徴

本研究では、各時刻の位置データを線分でつなげることで軌跡を表現し、その軌跡における海鳥の移動方向を表すための表現手法として明度のグラデーション、色相のグラデーション、アニメーションの3つの方法を考案した。これらの視覚表現の特徴を表4に示す。

まず、軌跡の向きを表すのに明度のグラデーションを用いた場合、軌跡を1つの色相で表現できるので、他の視覚表現と組み合わせやすい。しかし、変化が緩やかなため、ある1つの地点について観察しようとした場合は前後関係がわかりづらい可能性がある。続いて、色相のグラデーションを用いた場合、複数の色相を用いているため、全体的な流れは見やすいが、明度のグラデーションと同様に1つの地点についての前後関係がわかりづらい可能性がある。また、アニメーションを用いた場合、ある1つの地点についての前後関係ははっきりとするが、全体を観察する際は時間がかかってしまう。

5.3.2 行動に関する視覚表現の特徴

本研究では、海鳥の行動データを位置データと対応した1日ごとの3次元量的データとして可視化した。この3次

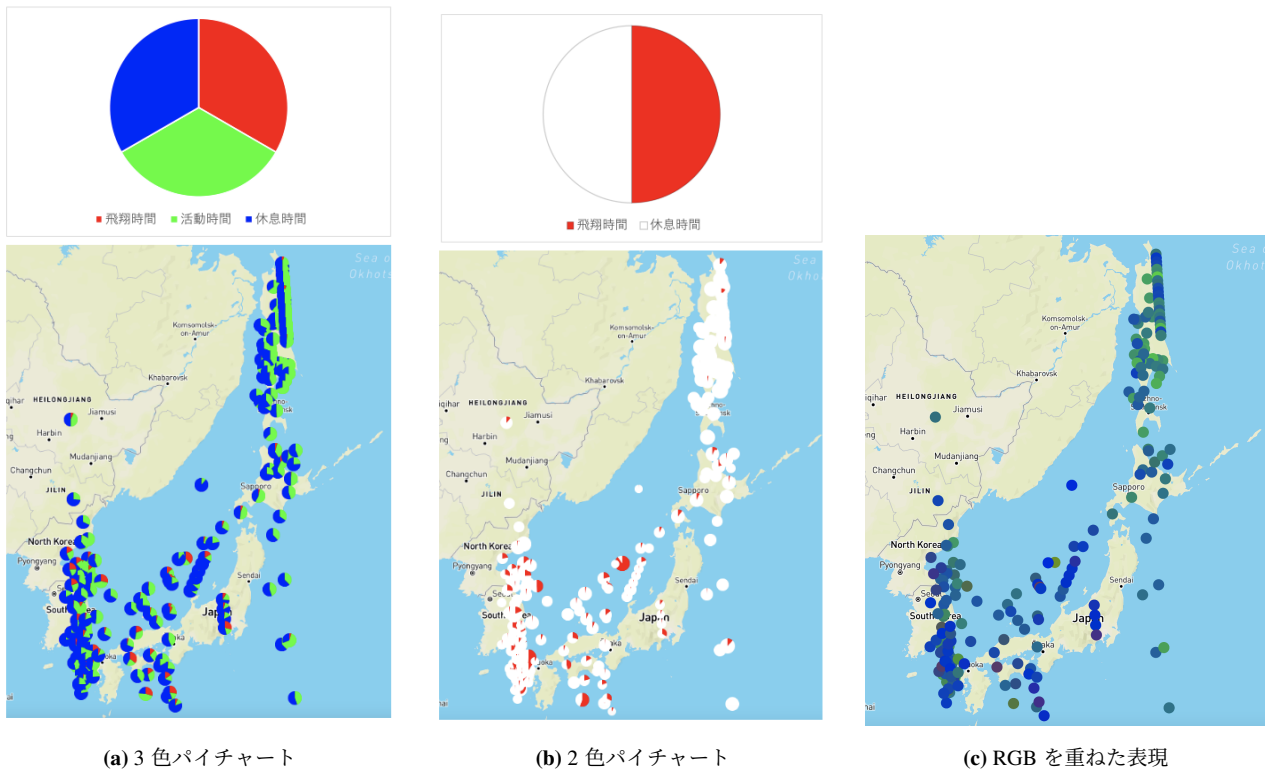


図 4: 行動を表す視覚表現

Fig. 4 Visual representation of behavior

表 4: 軌跡の向きに関する視覚表現の特徴
Table 4 Characteristics of visual representation of trajectory

視覚表現	正確性	メリット	デメリット	設定
明度のグラデーション	△ (正確な時刻はわからない)	他の視覚表現と組み合わせやすい	ある1つの地点について前後関係がわかりにくい	時刻に沿って徐々に明度が小さくなる
色相のグラデーション	△ (正確な時刻はわからない)	全体的な流れが見やすい	ある1つの地点について前後関係がわかりにくい	時刻に沿って黄色→緑→青の順に色相が変化
アニメーション	○ (アイコンの動きに合わせて正確な時刻を表示できる)	ある1つの地点について前後関係がわかりやすい	観察に時間がかかる	時刻に沿って軌跡上をアイコンが進む

元量的データを表すための表現手法としてパイチャートやRGBを使った3つの方法を考案した。これらの視覚表現の特徴を表5に示す。

3色パイチャートは、3つの方法の中で最も正確にデータを表現することができる。ただし、地図上でのパイチャートは1つ1つが小さくなってしまったため、3色であると比較が難しくなる可能性がある。

2色パイチャートはこの問題の改善策となりうる。2色にしたことで3色パイチャートよりも見やすくなった*1。行動は3次元量的データとして表せるが、3変量が独立で

はなく、2変量の値が決まると残りの1変量の値も決まるため、この性質を活かせば、2色パイチャートのように2種類以上の視覚表現を用いて表現できる可能性がある。

その一方で、RGBをそれぞれの行動に対応させて、その割合に応じた色を重ねた円を描く手法は、パイチャートに比べて、1つ1つの円が小さくなってしまっても見やすいが、色を重ねているので、感覚的には本来の値を正確に読み取れない可能性がある。

5.3.3 軌跡と行動の視覚表現の組み合わせ

データ分析者が何を見たいのかをパターン1~4で場合分けをして、それに合わせて適切だと思われる表現手法の組み合わせを5.3.1や5.3.2での考察を踏まえて、以下のよう提案する。

- パターン1 (行動を重視して観察したい場合)
行動を重視して観察したい場合、考案した視覚表現の

*1 今回の2色パイチャートの設計に関しては、読み取りの正確性に関して問題が生じた。飛行時間と休息時間の割合をパイチャートで表しながら、採餌時間をパイチャートの大きさで表したことから、飛行時間と休息時間の割合はどちらも小さい場合に、パイチャート自体の大きさは大きくなり、全体的に見ると、飛行と休息の割合が大きいのかのような誤解を与える危険性がある。

表 5: 行動に関する視覚表現の特徴
Table 5 Characteristics of visual representation of behavior

視覚表現	正確性	メリット	デメリット	設定
3色パイチャート	○ (割合を正確に表現可能)	鳥の行動データを正確に表示可能	円が小さいと見づらい可能性がある	飛翔時間を赤, 採餌時間を緑, 休息時間を青で表現
2色パイチャート	△ (大きさを表現する値の割合が大きい場合, 正確性に欠ける)	2色であるので, 3色パイチャートより見やすい	大きさにどの値を当てはめるかによって印象が大きく変わってしまう可能性がある	飛翔時間を赤, 採餌時間を大きさ, 休息時間を白で表現
RGBの重ね合わせによる表現	△ (割合が偏っていないと正確に読み取りづらい)	円が小さくても見やすい	観察の際, 感覚と実際の値が異なる印象を与える可能性がある	飛翔時間を R, 採餌時間を G, 休息時間を B で表現

中では, 3色パイチャートが最も正確な表現であるので, 行動を3色パイチャートで表す. このとき, 軌跡の向きにはパイチャートの3色をできるだけ妨げずに表現するのに適切な明度のグラデーションを使って表現する. パターン1の可視化例を図5(a)に示す.

- パターン2 (全体的な流れを把握したい場合)
軌跡の全体的な流れを把握したい場合, 軌跡の向きを表す視覚表現としては色相のグラデーションが適切である. このとき, 色相のグラデーションは複数の色を利用するので3色パイチャートなどを使うと混乱してしまう可能性がある. よって, 行動には2色パイチャートを用いる. パターン2の可視化例を図5(b)に示す.
- パターン3 (軌跡の前後関係を詳細に見たい場合)
軌跡の向きにおいて, 1つ1つの地点の前後関係など細かく観察したい場合, アニメーションが適切である. しかし, アニメーションで表現する際は, アイコンが見えるように行動の表現の上に軌跡を表示しなければならない. このとき, パイチャートであると, 上に描かれた軌跡の線によって色の境目などが見えづらくなってしまふのに比べて, RGBを重ねた表現は円全体が同じ色であるので影響が少ない. よって, 行動にはRGBを重ねた表現を用いる. パターン3の可視化例を図5(c)に示す.
- パターン4 (軌跡と行動の関係を詳細に見たい場合)
ほとんど平滑化をせずに軌跡と行動の対応付けを詳細に観察したい場合, 軌跡の向きについて, アニメーションで見ると時間がかかってしまい, 明度のグラデーションで見ると変化が緩やかで各地点での軌跡の前後関係が見えづらい可能性がある. よって, 軌跡の向きには, 軌跡の長さが長くても前後関係を表現しやすい色相のグラデーションを用いる. また, 行動について, パイチャートは数多くあると配色が多くて混乱してしまう可能性がある. そこで, 行動には各地点において1つの色で割合を表すRGBを重ねた表現を用

いる. パターン4の可視化例を図5(d)に示す.

6. 評価

本研究で設計した可視化手法について, データ提供者でもある海鳥の研究者に, 見やすい, 普通, 見にくいの3段階評価と意見をもらうことで評価とした.

6.1 各表現手法に対する評価

軌跡データのみを表示した場合, 軌跡の向きを表す表現手法としては, 明度や色相のグラデーションを用いたものが, 全体的な流れを把握しやすく良いという感想ももらった. しかし, 軌跡の向きだけでなく年月の情報があると, どの時期にどのような行動パターンとなるのかがわかり, より有意義になるのではないかという意見ももらった. 行動データのみを表示した場合, 表現手法としては3色パイチャートが正確でわかりやすいが, RGBを重ねた表現は今までにあまり見たことのない表現で, 平滑化せずに見る場合 (頂点数が多い場合) には適しているのではないかという意見ももらった.

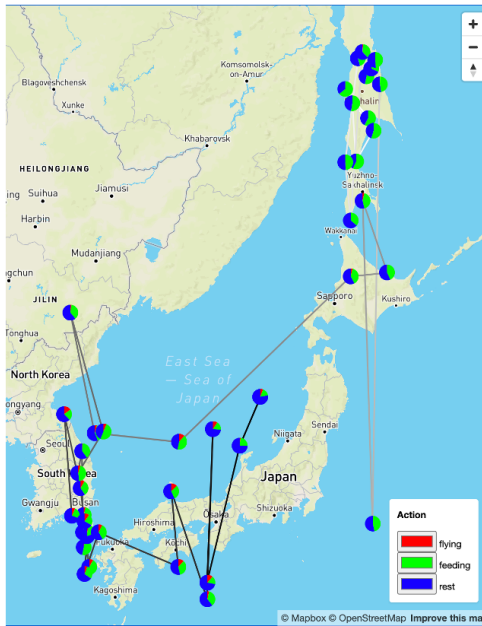
6.2 表現手法の組み合わせに対する評価

5.3.3で提案したパターン1~4について, 見やすさに関する3段階評価を行ってもらった. 結果を表6に示す.

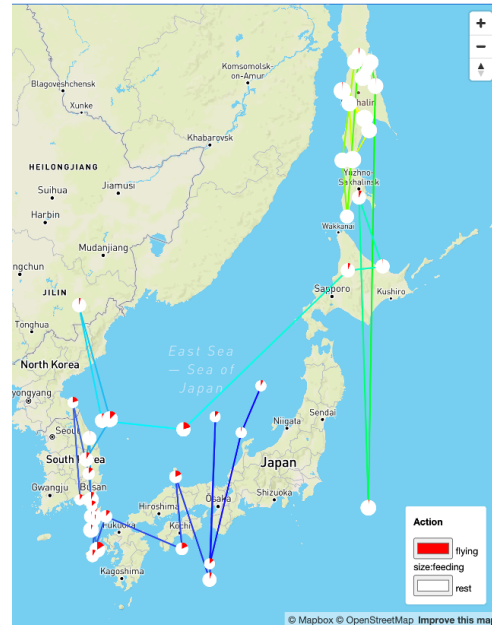
表 6: 表現手法の組み合わせに対する評価
Table 6 Evaluation of combinations of expression methods

組み合わせ	3段階評価
パターン1	見やすい
パターン2	見にくい
パターン3	普通
パターン4	普通

パターン1は特に行動について見やすいが, パターン2は色が見にくいという意見ももらった. パターン3, 4は目的と使い次第では有効かもしれないが, 行動パターンについて, 異なる色 (RGBを重ねた表現) で表示されてい



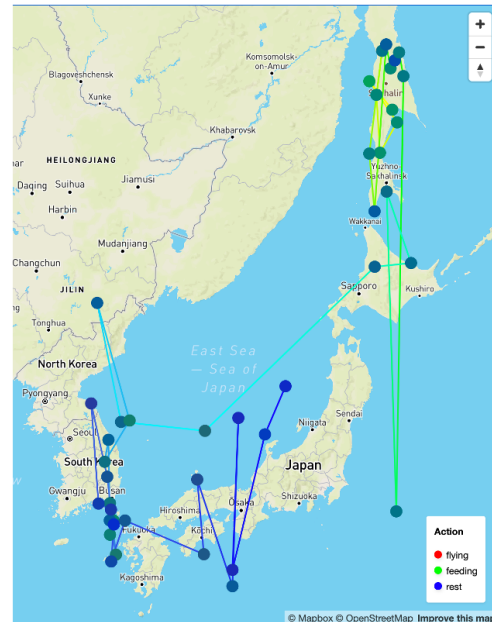
(a) パターン 1 (軌跡: 明度のグラデーション, 行動: 3色パイチャート)



(b) パターン 2 (軌跡: 色相のグラデーション, 行動: 2色パイチャート)



(c) パターン 3 (軌跡: アニメーション, 行動: RGB を重ねた表現)



(d) パターン 4 (軌跡: 明度のグラデーション, 行動: RGB を重ねた表現)

図 5: パターン別の可視化

Fig. 5 Visualization by pattern

るよりも、パイチャートとなっている方が情報を理解するのが簡単で短い時間で済むことから、パターン 1 の方が見やすいという意見をもらった。

6.3 1羽分の可視化

パターン 1~4 の可視化の例を見てもらい、以下のような回答を得た。

- 海鳥の非繁殖期の渡りルートを知ることができる。
- 場所ごとの行動パターンが定量化されている。

6.4 複数羽の比較

本研究の可視化を適用して複数の海鳥について比較してもらった。平滑化しない場合と 10 日間で平滑化した場合で、それぞれ 4 羽ずつの可視化を比較してもらい、そこから読み取れることとして、以下のような回答を得た。

- 行動パターンの視覚表現から、どの場所でもどの行動の割合が高いのかわかる。ある場所において、1羽の海鳥だけその行動の割合が高いのか、複数羽の海鳥が高いのかわかることは、その海域がどのくらい重要である

るのかの評価に役立つ。

- 行動パターンの表示から各地点の滞在時間量を知ることができる。例えば、日本海側の地点においては飛翔と休息の割合が多く、採餌の割合が少ないことから、どの鳥も日本海側にはあまり滞在しないことがわかる。
- 個体によって越冬中の利用海域が異なることがわかる。行動パターンに関する視覚表現について、1羽について分析した場合は、行動パターンの違いを1つの図の中で観察するため、パイチャートの方がよかった。しかし、複数羽について比較する場合は、個体間で比較するには情報量が多すぎることと、パイチャートの割合が微妙である場合などは比較が難しいことから、RGBを重ねた表現の方が比較しやすいという意見をもらった。

6.5 まとめ

海上での海鳥の軌跡や行動を可視化することにより、海鳥の重要海域や生態的情報を得ることができるとして、本研究の可視化に関して肯定的な意見を得ることができた。

また、将来的には、今回の可視化に漁船データを加えることで、海鳥の混獲リストを評価し、禁猟区域や禁漁期を設けるなど自然保護上の活用方法や、水族館などの施設における展示物の説明として、よりわかりやすく情報を提供するものとしての活用方法などが望めるという意見をもらった。

最後に、本研究で設計した可視化では各地点の行動の情報可視化しているが、各地点までの累計の情報を可視化すれば、海鳥の視点に立って行動を分析できるのではないかと、そのような可視化ツールを開発すると尚良いという意見をもらった。

7. 結論

本研究では海鳥の生態を分析する研究者を支援することを目的とし、海鳥の位置データと行動データを同時に可視化するための視覚表現を設計した。

軌跡の向きと行動についてそれぞれ3つの視覚表現を提案し、考察した上で、適切な視覚表現の組み合わせについて検討した。

評価を通して、本研究の可視化が海鳥の重要海域や生態的情報を得るのに役立つことがわかった。また、1羽について観察する場合は3色パイチャート、複数羽を比較する場合はRGBを重ねた表現など、何を見たいのかにより適切な表現手法が異なることがわかった。さらに、行動を表す表現があることで、各地点の滞在時間量を知ることができ、どの地域に分布が集中しているかがわかりやすくなっていることがわかった。

謝辞 本研究を進めるにあたり、筑波大学生命環境系の庄子晶子准教授には、データの提供や設計上のアドバイス、設計した可視化の評価をしていただきました。深くお礼申

し上げます。

参考文献

- [1] Wong, Pak Chung and Bergeron, R. Daniel. 30 years of multidimensional multivariate visualization, *Scientific Visualization*, Vol. 2, pp. 3–33, 1994.
- [2] Chan, Winnie Wing-Yi. A survey on multivariate data visualization, *Department of Computer Science and Engineering*. Hong Kong University of Science and Technology, Vol. 8, No. 6, pp. 1–29, 2006.
- [3] Xavier, Glenn and Dodge, Somayeh. An Exploratory Visualization Tool for Mapping the Relationships between Animal Movement and the Environment, *Association for Computing Machinery*, No. 7, pp. 36–42, 2014.
- [4] Kazempour, Daniyal and Beer, Anna and Herzog, Friederike and Kaltenthaler, Daniel and Lohrer, Johannes-Y and Seidl, Thomas. 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, 2018.
- [5] Lecomte, Vincent Julien and Sorci, Gabriele and Cornet, Stéphane and Jaeger, Audrey and Faivre, Bruno and Arnoux, Emilie and Gaillard, Maria and Trouvé, Collette and Besson, Dominique and Chastel, Olivier and Henri Weimerskirch. Patterns of aging in the long-lived wandering albatross, *The National Academy of Sciences*, Vol. 107, No. 14, pp. 6370–6375, 2010.
- [6] Fayet, Annette L. and Freeman, Robin and Shoji, Akiko and Boyle, Dave and Kirk, Holly L. and Dean, Ben J. and Perrins, Chris M. and Guilford, Tim. Drivers and fitness consequences of dispersive migration in a pelagic seabird, *Behavioral Ecology*, Vol. 27, No. 4, pp. 1061–1072, 2016.
- [7] Andrienko, Gennady and Andrienko, Natalia and Wrobel, Stefan. Visual analytics tools for analysis of movement data, *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, Vol. 9, No. 2, pp. 38–46, 2007.