

飛び方をデータマイニングで調べるための 折り紙飛行機モデル

林 亮子^{1,a)}

概要：折り紙飛行機は古くから製作されており，日本だけでなく海外においても製作されている．折り紙飛行機は多様な形状があり，飛び方にも多様性がある．折り紙飛行機の製作にはある程度の方法論は知られているが，飛び方との関係で定量的な評価は十分には行われていない．近年著者らは，折り紙飛行機の形状と飛び方の関係を画像処理技術を用いて数値的に調査することを試みており，軌跡データを十分蓄積した後にデータマイニングを用いて折り紙飛行機の飛び方を予測することを目的としている．本発表では，データマイニングの応用を想定して，折り紙飛行機の形状をモデル化した事例を報告する．

キーワード：折り紙，飛行機，データマイニング，自己組織化マップ

1. はじめに

折り紙飛行機 [1], [2], [3] は紙が使用されるようになってからのち，飛行機が発明されるよりも古くから作られており，日本においては遅くとも江戸時代から作られていたことがわかっている [1]．折り紙飛行機は矩形の紙を切らずに折って製作するため，紙を切って翼形状を直接製作する切り紙飛行機よりも厳しい制約条件で製作するが，それでもなお多様な形状があり，飛び方にも多様性がある．また，折り紙飛行機製作の方法論と飛び方との関係について，定量的な評価は十分には行われていない．

近年著者らは，折り紙飛行機の形状と飛び方の関係を，画像処理技術を用いて数値的に調査することを試みており，数値化のめどはある程度立っている [4]．今後は種々の紙飛行機を用いて軌跡データを十分蓄積し，紙飛行機の形状データと組み合わせてデータマイニング [5] を行い，紙飛行機の形状から折り紙飛行機の飛び方を予測することを目標とする．本発表では，データマイニングの適用を想定して，折り紙飛行機の形状をモデル化した事例を報告する．

第2節以降の本論文の構成を述べる．第2節は紙飛行機作成の方法論を紹介し，モデル化事例を紹介する．第3節は紙飛行機モデルに基づく形状データを用いて自己組織化マップを作成した結果を紹介する．第4節は本稿で得られた結果をまとめ，今後の課題を述べる．

2. 折り紙飛行機の形状モデル

文献 [1]pp.8 および文献 [2]pp.20–24 には，自分で新規の折り紙飛行機を製作する上での要点が述べられているので，以下に代表的な要点の概要をまとめ，紹介する．

紙の形状 正方形の紙を使用すると小型になりやすく，長方形の紙では長い翼や長い機体をつくりやすい．

主翼の形状 主翼を横長にすると，長時間飛びやすくなるが方向が逸れやすくなる．主翼を縦長にすると空気抵抗が少なく速度が大きくなり，飛行距離が長くなる．

重心位置 重心を機体のやや前方寄りにすると安定して飛びやすくなるが，極端に前方にすると墜落する．重心が機体後方では失速すなわち墜落しやすい．

垂直尾翼の形状 紙飛行機では，重心よりも後方となる垂直部分（胴体部分と翼端部分の両方を含む）が垂直尾翼となる．垂直尾翼の面積が大きくなるほど方向安定性が増え，直進しやすくなる．

補助翼 主翼に加えて水平尾翼など追加の翼があると，機体を安定させやすい．

本稿では紙面の都合で省略するが，上記の他には，翼端形状，主翼の進行方向断面形状，主翼の角度などが飛行性能に影響する．以上の内容を考慮して，折り紙飛行機の形状モデルを設定し，その形状を記述する記述子を選ぶ．

今回設定した折り紙飛行機の形状モデルを用いて，用意したデータの一例を表1に示す．今回は文献 [1][2][3] に掲載されている紙飛行機6種類を用いた．表1に示すように，各紙飛行機には形状や飛び方をイメージするような名

¹ 金沢工業大学
KIT, 3-1 Yatsukahoh, Hakusan, Ishikawa 924-0838, Japan
^{a)} ryoko@neptune.kanazawa-it.ac.jp

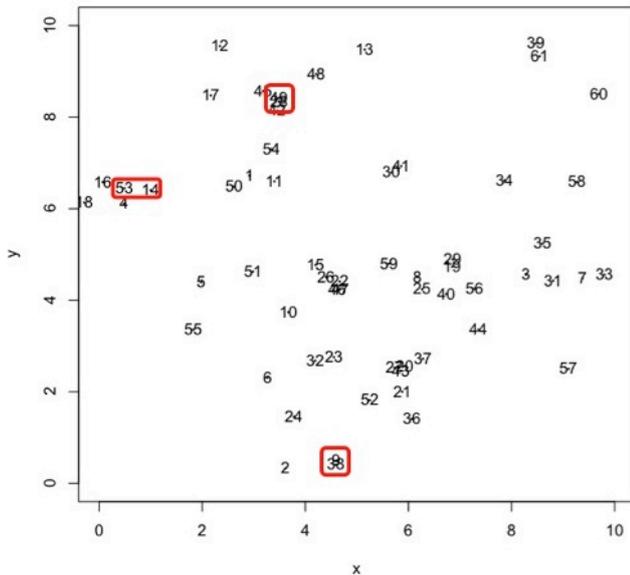


図 1 61 種類の紙飛行機による自己組織化マップ

前がついているが、文字列の名前はデータマイニングでは扱いにくいので、「オブザベーション番号」として通し番号を振り、名前の代わりに使用する。

今回使用した記述子は、文献に掲載されている写真と折り方の説明部分から識別できるもので、飛び方に関係が深いことが予想されるものである。具体的には、使用する紙の形状が長方形か正方形か、全体形状が縦長、横長、または中庸か、機首先端形状の尖りの有無、機体の垂直尾翼の有無、翼端の垂直尾翼の有無、機首の補助翼の有無、機体ふくらみの有無である。表 1 では「有」「無」などの文字データで記載しているが、実際に入力データでは「無」なら 0、「有」なら 1 のように、0 と自然数を用いた 2 値または多値で全て表している。また、全体形状は今回は文献掲載写真および折り方説明図の印象で決定しており、ある程度のあいまいさがある。

3. 紙飛行機形状の自己組織化マップ

本稿では、統計プログラミング言語 R(以後、「R」と記す)を使用する。R はオープンソースであるため、データマイニング手法を含む数多くのパッケージがこれまでに開

表 1 使用データ例

紙飛行機名	コクーン [1]	つばめ [1]
オブザベーション番号	2	8
紙形状 (長方形, 正方形)	長方形	正方形
全体形状 (中庸, 縦長, 横長)	縦長	横長
機首先端形状の尖り (無, 有)	無	有
機体の垂直尾翼 (無, 有)	無	有
翼端の垂直尾翼 (無, 有)	無	無
機首の補助翼 (無, 有)	有	無
機体ふくらみ (無, 有)	無	無

発され、公開されている。本稿ではパッケージ som を用いて自己組織化マップを作成する。som は、教師なし学習によって高次元データの類似度を計算し、類似度に応じてデータの代表点を 2 次元空間上に表示する。今後は som で得られた類似度を用いて、あらかじめ用意した代表形状の飛行データから新規紙飛行機の飛び方を予測することを想定しているため、本稿では som を用いた結果を示す。

今回作成した自己組織化マップを図 1 に示す。図 1 中の数字は、各紙飛行機のオブザベーション番号である。文献 [1][2][3] は同一著者によるもので、オブザベーション 9 と 38, 28 と 49, 14 と 53 は同一形状であって、形状データは同じ内容になる。図 1 ではこれら 3 組の位置を赤枠で囲んだ。これら 3 組はほとんど同じか近くに配置されていて、おおむね適切に自己組織化が行われているものと考えられる。図 1 では 61 種類が全体に分散して配置しているが、いくつかクラスターになっている箇所もある。

自己組織化マップでは、データの追加によって全体の分布やクラスターが大幅に変化する可能性がある。複数の紙飛行機作者による紙飛行機データを追加すると、自己組織化マップの形状も大きく変化する可能性があるため、引き続き形状データを蓄積し、使用するデータマイニング手法の検討も含め、紙飛行機形状の分類を検討する必要がある。

4. おわりに

本稿では、R の som パッケージを用いて 7 個の記述子による紙飛行機形状の類似度を計算した。その結果、同じ形状は同じクラスターに所属する自己組織化マップが得られ、いくつかのクラスターが得られた。

今後の課題は以下の通りである。紙飛行機の解説書は国内と海外に複数存在するので、今後はそれらも形状データと飛行実験に加えていきたい。また、今回使用した紙飛行機の形状データは、写真など文献から得られるものである。一方で重心位置や翼面積など、飛び方に直接関わる重要なデータで、実際に紙飛行機を製作して調べられるデータを追加していくことが今後の課題である。一方、現在紙飛行機の飛行データを測定中であり、飛行データと組み合わせたデータマイニングによる新規の紙飛行機の飛行予測に今後は取り組んで行く予定である。

参考文献

- [1] 戸田拓夫: 親子であそぶ折り紙ヒコーキ, 二見書房 (2005).
- [2] 戸田拓夫: おり紙ヒコーキ大集合 BOOK, いかだ社 (2014).
- [3] 戸田拓夫: 最新型 世界一良く飛ぶ 折り紙ヒコーキ, 二見書房 (2015).
- [4] 土山 紫穂, 林 亮子: 画像処理を用いた折り紙飛行機の軌跡追跡, 情報処理学会第 77 回全国大会, 講演論文集 4-61 (2015).
- [5] 豊田秀樹: データマイニング入門, 東京図書株式会社 (2008).