

# Ball Sort Puzzle における 初期盤面からの難易度推定

松香研究室 20L1034F 松田莉佳

## 1. 序論

### 1.1. 背景

我々は日常的に様々な課題に取り組んでいる。複数の課題が提示された際、課題に取り組む前に取捨や優先順位付けを行うことは重要である。そのような順位付けの判断基準の一つとして、「課題の難しさ」が挙げられる。本研究では、回答者に難しさを感じさせる要因が課題の視覚的複雑さにあると仮定し、視覚的複雑さが難しさに与える影響について、パズルを用いて検討する。

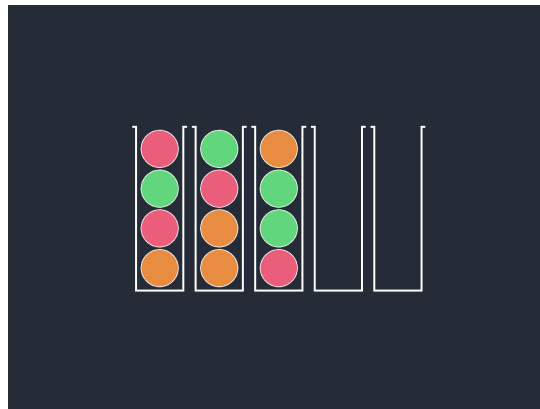
パズルの難易度推定を扱った研究の一例として、土出・真貝（2011）では、数独パズルを対象に初期盤面以外の要素からの難易度判定を行った。また、濱田・西野（2017）ではお絵かきロジックパズルを対象に、個人に対応した難易度推定モデルの構築を行っている。

これらの研究は、「機械的に難易度を求めたもの」、「問題を解いた後の評価からの難易度推定モデル」であり、「初期盤面から」「人が感じる」難易度について扱ったものではない。そこで、盤面同士の判別がしやすく、かつシンプルな盤面を有する Ball Sort Puzzle を対象として、初期盤面からの難易度推定について、本研究で検討する。

### 1.2. Ball Sort Puzzle とは

Ball Sort Puzzle とは、ビンとボールから構成され、ボールを並び替えることによってビン内の色を統一することを目的とする並び替えパズルの一種である（図 1）。並び替えを行う際、「一度に動かせるボールは 1 つまで」「異なる色のボールの上には移動できない」「ビンの容量以上にボールを積むことはできない」などのルールがある。

図 1. Ball Sort Puzzle の初期盤面の一例



## 2. 実験 1

### 2.1. 目的

本研究は、パズルの初期盤面が回答者の感じる難しさに与える影響について検討する。そのため、まずは盤面の画像を参加者に見せ、難易度評価をしてもらう。実験 1 では、色数と配置を変数として用い、それらが変化することによって難易度評価がどのように変わるのか調べる。

## 2.2. 方法

参加者：大学生 9 名 (21-22 歳) が参加した。

刺激：色数 4 (3, 5, 7, 9 色) × 配置 2 (E, H) × 色の並び 4 の計 32 種類の Ball Sort Puzzle の初期盤面画像を用いた。配置の難易度はスマホアプリのレベルを参考に設定し、レベルが低いものを E, 高いものを H とした。

手続き：刺激を提示し、各盤面の難易度評価と手順数予測をさせた。難易度評価は「とても難しい」「難しい」「どちらとも言えない」「易しい」「とても易しい」の 5 件法で、予測手順数は解くのに必要な手順数を 1-100 の整数で回答させた。

## 2.3. 結果

図 2. 難易度評価に対する色数と配置の交互作用

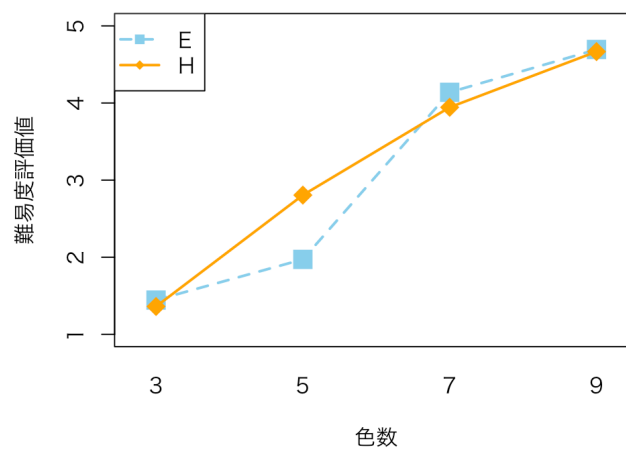
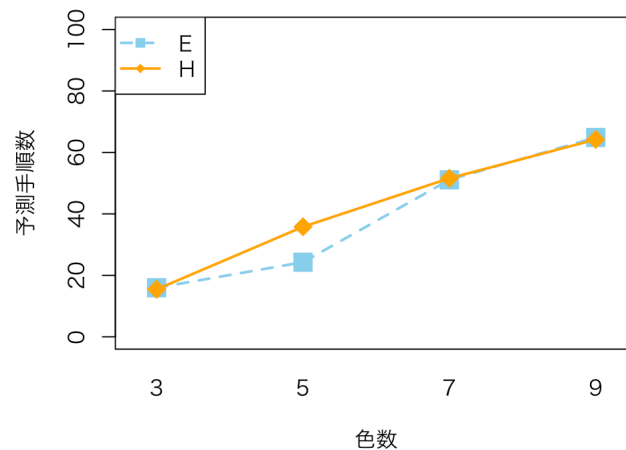


図 3. 手順数予測に対する色数と配置の交互作用



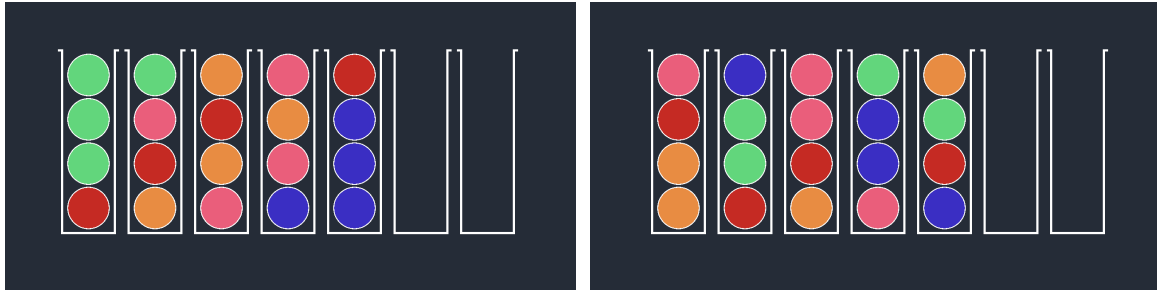
実験 1 で得られたデータに対し、難易度評価値に対して 2 要因の分散分析を行った (図 2)。色数が多くなるほど難しいと評価された ( $F(3,8) = 131.62, p < 0.001$ )。一方で配置の違いによる評価の変化は見られなかった。しかし、5 色刺激では E と H の難易度評価に差が見られ、5H の方が有意に難しいと評価された ( $p < 0.05$ )。

同様に、予測手順数に対しても 2 要因の分散分析を行った (図 3)。色数が多くなるほど、必要な手順数は多く予想された ( $F(3,8) = 38.567, p < 0.001$ )。一方で配置の主効果はなかった。

## 2.4. 考察

色数が多くなるほど難しいと評価され、手順数は多く見積もられた。さらに、5色刺激の5Eと5Hは色数が同じにも関わらず評価値に差が見られた。このことから、5Eと5Hは「難しい」または「易しい」と評価される何らかの盤面的特徴を有していると考え、両盤面を比較した(図4)。

図4. 5E(左)と5H(右)の比較



5Eは同色のボールが縦に3つ連なった「3つの群」が2つあるのに対し、5Hにはない。一方5Hには同色のボールが縦に2つ連なった「2つの群」が4つある。難易度評価の違いはこれらの個数差によるものだと考え、実験2では「群」に注目する。

## 3. 実験2

### 3.1. 目的

実験1から、色数が同じであっても難易度評価が異なる配置の存在が示唆された。そこで、盤面上の「群」に注目し、2つの群と3つの群の個数が変化すると難易度評価がどのように変わるのか調べる。

### 3.2. 方法

参加者：成人14名(21-55歳)が参加した。

刺激：群のパターン14×色の並び4の計56刺激を用いた。群のパターンは、3つの群は0-5個、2つの群は0-10個の間で個数を調整したものを14通り用意し、合致する盤面をRで出力した。

手続き：刺激を提示し、各盤面の難易度評価をさせた。「とても難しい」「難しい」「やや難しい」「やや易しい」「易しい」「とても易しい」の6件法で行った。

### 3.3. 結果

図5. 2つの群の個数と難易度評価

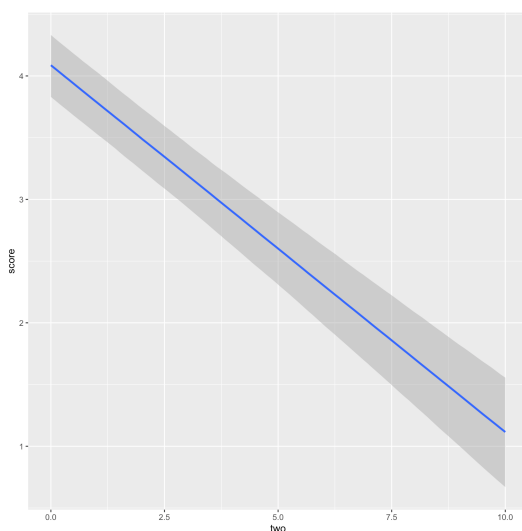


図6. 3つの群の個数と難易度評価

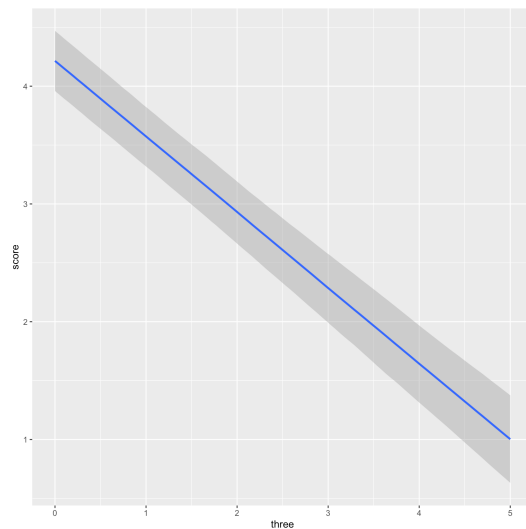
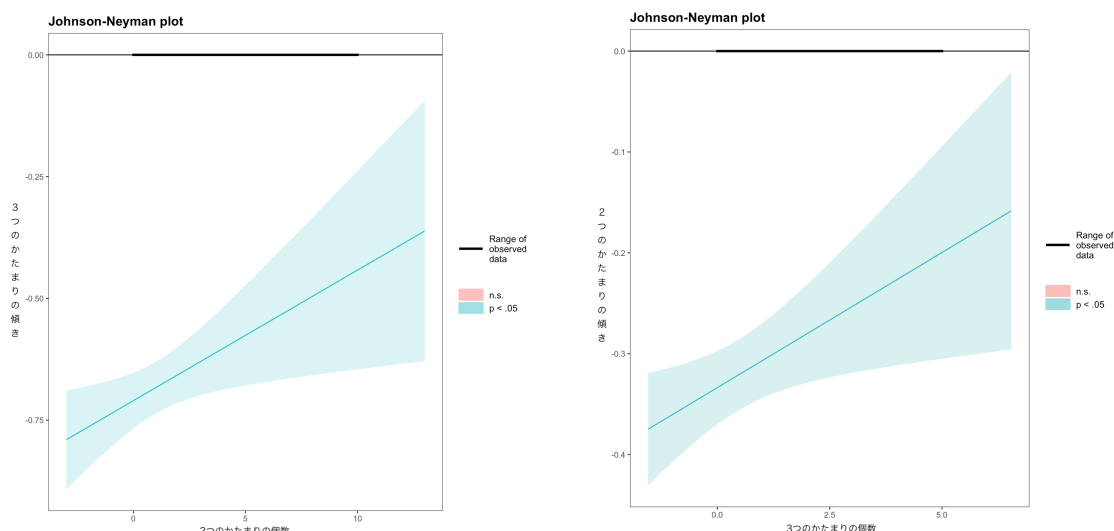


図7. 2つの群の個数と3つの群の効果（左），  
3つの群の個数と2つの群の効果（右）



2つの群，3つの群それぞれの個数に対して重回帰分析を行った（図5，図6）。どちらも群の個数が多くなるほど易しいと評価される，負の効果があった。双方を比較すると，3つの群の方が，効果量が大きくより強い負の効果が見られた。一方で交互作用は小さく，ほとんどなかった。

また，重回帰分析の結果を，ジョンソン・ネイマン法を用いてプロットした（図7）。2つの群は3つの群の個数に関わらず有意に負の効果があったが，3つの群の個数が増えるとその効果が減少していた。これは逆でも同様で，3つの群は2つの群の個数が増えると負の効果が減少した。

### 3.4. 考察

2つ，3つの群のどちらにおいても，多いほど易しいと評価される負の効果が見られた。また，その効果量は3つの群の方が大きかった。2つの群と3つの群の交互作用は小さかったが，相手の個数が増えると効果が減少していた。これは，盤面上に存在できる群の上限値は決まっているため，相手の個数が増えるほど効果が小さくなるのは自明だと考えられる。

## 4. 総合考察

Ball Sort Puzzleの初期盤面において，色数つまり盤面要素の数が多い盤面ほど難しいと評価される。また，要素数が同じであっても配置により評価が異なる場合がある可能性が5Eと5Hの比較から示唆された。このような評価の差は，同色のボールが縦に連なった2つまたは3つの群の個数により生じると考えられる。群の個数が多くなるほど易しいと評価されることが実験2の結果からわかった。同数の群であっても難易度評価に差が生じる場合についても，検討する必要がある。

以上から，パズルにおける視覚的複雑さである初期盤面は，難易度を推定する際の重要な判断材料の一つであると言える。このような視覚的複雑さが難しさの感じ方に与える影響について，他のパズルや一般的な課題においても共通するのか，今後の検討が必要であると考えられる。