

筑波大学 情報学群 情報メディア創成学類

卒業研究論文

視覚的表現の理解を助けるアニメーションの作成

渡邊 玲

指導教員 三末 和男, 志築 文太郎, 田中 二郎

2015年 1月

概要

可視化分野において様々な視覚的表現が考案されているが、その中には馴染みが浅いために読み取り方が分かりにくいものがある。また、テキストや口頭によって視覚的表現の読み取り方を説明することは時間がかかるため、それらの視覚的表現はプレゼンテーションなどで使用しにくい。そこで本研究では、馴染みの浅い視覚的表現の効率的な理解を助けるために、馴染みの浅い視覚的表現と馴染みの深い視覚的表現の対応付けを行う。対応付けにはアニメーションを使用する。実際に、馴染みの浅い視覚的表現である Treemap と馴染みの深い視覚的表現であるノードリンクダイアグラムを対応付けるアニメーションを作成し、その有用性を評価した。評価実験では、作成したアニメーションと視覚的表現同士の表現の違いを説明したテキストが Treemap の理解をどのように助けたかを評価した。その結果、作成したアニメーションが Treemap に対して誤った読み取り方をしている人の理解を大きく助けられることが分かった。

目次

| | | |
|------------|-------------------------|-----------|
| 第1章 | はじめに | 1 |
| 1.1 | 視覚的表現による説明 | 1 |
| 1.2 | 視覚的表現の使用しやすさ | 1 |
| 1.3 | 研究の目的とアプローチ | 2 |
| 1.4 | 貢献 | 2 |
| 第2章 | 関連研究 | 3 |
| 2.1 | 教材 | 3 |
| 2.2 | 視覚的な変化の表現 | 4 |
| 第3章 | 視覚的表現の対応付け | 5 |
| 3.1 | 対象とする視覚的表現 | 5 |
| 3.1.1 | Treemap | 5 |
| 3.1.2 | ノードリンクダイアグラム | 6 |
| 3.2 | Treemapとノードリンクダイアグラムの違い | 6 |
| 第4章 | アニメーションによる対応付け | 8 |
| 4.1 | アニメーションの特徴 | 8 |
| 4.2 | 情報ごとの視覚的表現同士の対応付け | 8 |
| 4.2.1 | ノード | 9 |
| 4.2.2 | 親子関係 | 10 |
| 4.2.3 | 重み | 12 |
| 4.3 | 作成したアニメーション | 13 |
| 4.3.1 | アニメーション1 | 13 |
| 4.3.2 | アニメーション2 | 16 |
| 第5章 | 実験1 | 19 |
| 5.1 | 実験の設計 | 19 |
| 5.1.1 | 実験の流れ | 19 |
| 5.1.2 | 事前アンケート | 19 |
| 5.1.3 | 使用教材 | 20 |
| 5.1.4 | 実験タスク | 21 |

| | | |
|------------|------------|-----------|
| 5.1.5 | 実験ツール | 21 |
| 5.2 | 被験者 | 22 |
| 5.3 | 実験結果及び考察 | 22 |
| 第6章 | 実験2 | 23 |
| 6.1 | 実験の設計 | 23 |
| 6.1.1 | 実験タスク | 23 |
| 6.1.2 | 実験ツール | 23 |
| 6.2 | 被験者 | 23 |
| 6.3 | 実験結果及び考察 | 24 |
| 第7章 | 実験3 | 25 |
| 7.1 | 実験の設計 | 25 |
| 7.1.1 | 使用教材 | 25 |
| 7.1.2 | 実験タスク | 25 |
| 7.1.3 | 実験ツール | 26 |
| 7.1.4 | 事後アンケート | 27 |
| 7.2 | 被験者 | 27 |
| 7.3 | 実験結果 | 27 |
| 7.3.1 | 事前アンケート | 27 |
| 7.3.2 | 正答率 | 28 |
| 7.3.3 | 回答時間 | 30 |
| 7.4 | 考察 | 31 |
| 7.4.1 | 事前アンケート | 31 |
| 7.4.2 | 正答率 | 31 |
| 7.4.3 | 読み取り方の誤り | 33 |
| 7.4.4 | 回答時間 | 35 |
| 7.4.5 | 事後アンケート | 36 |
| 第8章 | まとめ | 37 |
| | 謝辞 | 38 |
| | 参考文献 | 39 |

図目次

| | | |
|-----|---------------------------|----|
| 4.1 | ノードの表現の対応付け | 9 |
| 4.2 | 親子関係の表現の対応付け | 11 |
| 4.3 | 重みの表現の対応付け | 12 |
| 4.4 | アニメーション 1 | 14 |
| 4.4 | アニメーション 1 (続き) | 15 |
| 4.5 | アニメーション 2 | 17 |
| 4.5 | アニメーション 2 (続き) | 18 |
| 5.1 | 実験 1 で用いたテキスト教材 | 20 |
| 5.2 | 実験ツール 1 | 22 |
| 7.1 | 実験ツール 2 | 26 |
| 7.2 | ノードリンクダイアグラムの例 | 27 |
| 7.3 | 包含を使用した図の例 | 27 |
| 7.4 | 正答率のグラフ | 29 |
| 7.5 | 回答時間のグラフ | 30 |
| 7.6 | 正答率の差のグラフ | 32 |
| 7.7 | フォルダの境界の誤りの図 | 34 |
| 7.8 | 回答時間の差のグラフ | 35 |

表 目 次

| | |
|---|----|
| 3.1 ノードリンクダイアグラムと Treemap の比較 | 7 |
| 7.1 事前アンケート結果 | 28 |

第1章 はじめに

1.1 視覚的表現による説明

視覚的表現を用いることで、説明を簡単にできることがある。例えば日付及びその日の気温が1年分記録されたデータセットに対し、折れ線グラフという視覚的表現を用いることで、1年を通して一番気温の高い日や気温の推移の傾向などを簡単に伝えられるようになる。あるいは商品名及びその商品を購入した人の年齢層が記録されたデータセットに対して、円グラフという視覚的表現を用いることで、その商品に対する年齢層の割合を示すことができ、ある年齢層に購入されやすいということを簡単に説明できるようになる。このように、視覚的表現を用いることによって、単なるデータの羅列を見せるよりも簡単に情報を伝えられることがある。そのため、視覚的表現はプレゼンテーションなどに用いられやすい。

1.2 視覚的表現の使用しやすさ

視覚的表現は、見る人にとってその表現に馴染みが深いかどうかでプレゼンテーションなどにおける使用しやすさが変わる。視覚的表現の中には、教科書中に用いられていたり¹プレゼンテーションソフトウェアに組み込まれたりして²、馴染みの深いものがある。例として、棒グラフやレーダーチャート、折れ線グラフや円グラフなどが挙げられ、木構造を表す視覚的表現としてはノードリンクダイアグラムが挙げられる。これらは馴染みが深いために読み取り方が分かりやすく、様々な場面で使用しやすい。上記の視覚的表現に比べると、馴染みの浅い視覚的表現がある。例として、PCP[1]やParallel Sets[2]、ThemeRiver[3]などが挙げられ、木構造を表す視覚的表現としてはTreemap[4]が挙げられる。これらは馴染みの深い視覚的表現では表しにくいデータを表すことができる。例えば、ノードリンクダイアグラムは視覚的表現上の空間効率が悪い⁵ため、100程度のノードを表すだけでも煩雑になってしまう[5]が、Treemapは空間効率が良いため、大規模なデータを表すことができる[6]。また、ノードリンクダイアグラムではノード同士の重みの関係を一見して読み取ることが難しいが、Treemapは重みの比が面積比で表されているため、重みの関係を簡単に読み取ることができる。しかし、これらの視覚的表現は馴染みが浅いため分かりにくく、プレゼンテーションなどに用いにくいという問題点がある。

¹牛島和夫, 朝廣雄一, 相利民. 離散数学. コロナ社, 2006.

²スライド プレゼンテーション ソフトウェア - microsoft powerpoint.[http://products.office.com/ja-JP/powerpoint\(2014-12-28\)](http://products.office.com/ja-JP/powerpoint(2014-12-28)).

1.3 研究の目的とアプローチ

この研究の目的は、馴染みの浅い視覚的表現の理解を助けることである。そのアプローチとして、アニメーションを用いることで馴染みの深い視覚的表現と馴染みの浅い視覚的表現との対応付けを行う。視覚的表現同士を対応付けることによって、馴染みの浅い視覚的表現の類推を助ける。

1.4 貢献

この研究による貢献は以下である。

- 馴染みの浅い視覚的表現である Treemap の理解を助けるためのアニメーションを設計したこと
- 作成したアニメーションに対する評価実験を行い、Treemap に対する読み取りの誤り方のパターンについて考察したこと

第2章 関連研究

本研究では、馴染みの深い視覚的表現を違う視覚的表現へ遷移させることで、視覚的表現同士を対応付けている。また、対応付けにより視覚的表現の読み取り方を説明している。本章では、教材の研究及び視覚的な変化を表現している研究について述べる。

2.1 教材

教材において言語テキストは重要な手段の1つである。言語テキストから読んだ文章内容を学び、別の状況でも使えるためには、内容が読み手の既有知識と関連付けられた状況モデルを形成できるかが重要になる [7]。Beck ら [8] は読み手の既有知識を考慮した教科書の改訂を行うことで、生徒がより多くの知識を獲得できたことを示した。

また、文字だけではなく視覚的表現を用いた教材に関する研究が進んでいる。Carney ら [9] は図のテキストに対する機能を、読み手の注意を向けさせる機能、簡潔にする機能、具体的にする機能、組織化する機能、理解しやすくする機能、読み手の事前知識とテキストを対応させる機能、記号化する機能とまとめた。アニメーションが教材に用いられることもあり、その代表として、アルゴリズムアニメーションが挙げられる。アルゴリズムアニメーションとは、アルゴリズムによって問題が解かれる過程を逐次ディスプレイ画面上に表示し、アルゴリズムの振る舞いを動画として見せることによって、アルゴリズムの振る舞いの全体的な流れを把握させるアニメーションのことである [10]。Hansen ら [11] はアニメーションだけではなく、テキストやオーディオ、静止画も用いたアルゴリズムの学習を提案した。アルゴリズム説明におけるアニメーションの効果については多く議論がされている。Tversky ら [12] は、アルゴリズムアニメーションによる学習は静止画による学習よりも有効でないと主張しているが、リアルタイムな時間的、空間的変化を持つ事象を伝えることには有用であるとしている。Betancourt ら [13] は、アニメーションを用いた学習は、学習者がその分野の初心者であり、ある現象のメンタルモデルを形成するのが難しいときに有効であるとしている。アルゴリズム以外でもアニメーションを用いた学習の研究がされている。Mayer ら [14] によると、アニメーションは学習の間注目する部分の選択の労力が少なくて済む、努力を発揮するための動機付けになるという利点があると述べている。

2.2 視覚的な変化の表現

視覚的表現の変化を表現する方法は、単純に変化前の視覚的表現を変化後の視覚的表現によって上書きする、変化前と変化後の視覚的表現をアニメーションで繋ぐ、変化の過程のスナップショットを並べる small multiples を用いる、同一の画面に変化の痕跡を重ねていくなど様々である。

視覚的表現の変化をもたらす要因として、データ内で注目する時間の変化がある。DiffAni[15]は、時間の変化によってネットワークの視覚的表現が変化する様子を small multiples、アニメーション及び変化の前後を重ねて描画する方法を混合させて表現している。このハイブリッドな手法によって、単純な small multiples よりも視覚的表現の空間効率が改善され、違う時間のネットワーク同士を比較することが容易になる。ギャップマインダー財団によって開発された Trendalyzer¹ は、データの傾向を表す統計ソフトウェアである。これは時間の変化によって変化するバブルチャートを、変化の痕跡を重ねる手法やアニメーションによって表現している。また、可視化分野ではインタラクティブな操作による視覚的表現の変化が多く用いられている。例えば3D画面において、ある視点から見た視覚的表現と違う視点から見た視覚的表現を繋げる際にアニメーションが用いられることがある [16, 17]。また、あるデータを表している視覚的表現から、より細かいデータを表している視覚的表現へ変化させる際にアニメーションが用いられることもある [18, 6]。Chevalier ら [19] は、複数のオブジェクトを同時ではなく少しずつタイミングをずらしてアニメーション遷移させることによる悪影響を説明しており、アニメーションを用いた変化の表現において変化のタイミングが認識に大きく作用することを示した。この研究の知見から、本論文のアニメーション設計においては、同じグループのオブジェクトアニメーション遷移のタイミングをずらさないようにしている。以上の表現はいずれも同一の視覚的表現における変化の表現である。一方 Heer ら [20] は同一のデータにおいて視覚的表現を変化させる場合、その視覚的な変化をアニメーションで表現することによる知覚的な好影響を示した。

¹Gapminder world. [http://www.gapminder.org/world\(2015-01-12\)](http://www.gapminder.org/world(2015-01-12)).

第3章 視覚的表現の対応付け

本研究では、ある視覚的表現の読み取りの理解を助けるために、その視覚的表現と別の視覚的表現の対応付けを行う。対応付けを行うことによって、見る人の類推を助ける。対応付けのために、2つの視覚的表現が同じ情報を表しているときの表現の違いをまとめる。

3.1 対象とする視覚的表現

視覚的表現の対応付けを行う最初の取り組みとして、重み付き木構造の視覚的表現の中でも馴染みの浅い視覚的表現である Treemap を対象とした。Treemap[4] は空間効率が良く、大規模なデータを表すことができる木構造の視覚的表現である [6]。しかし、馴染みが浅い表現であるため、読み取りに訓練が必要であり [6]、学習に数分を要するという欠点がある [21]。そこで、Treemap を同じく重み付き木構造の視覚的表現であるノードリンクダイアグラムと対応付けることで、効率的に Treemap の理解を助ける。ノードリンクダイアグラムは教科書中にも載っている¹ 木構造の一般的な視覚的表現である。

重み付き木構造は、データ構造の1つである木構造に重みの情報を付加したものである。木構造は、根ノードから始まるノードの集合である [22]。各ノードは値からなるデータ構造であり、他のノード(子)への参照のリストを持つ。その参照は重複せず、ルートを指さない。木構造の例としては、家系図やファイルシステムなどがある。

3.1.1 Treemap

Treemap はデータの持つ情報を以下のように表現する。

Treemap の表現 (1). ノードを矩形で表現する

Treemap の表現 (2). 親子関係を、親ノードを表す矩形の内部に子ノードを表す矩形を描画することで表現する

Treemap の表現 (3). ノードの重みの比を、矩形の面積比で表現する

Treemap でもっとも基本的なレイアウトは Slice and Dice レイアウト [4] である。これは同じ親を持つノードが水平に並ぶレイアウトである。このレイアウトは実装が簡単であるが、ノ-

¹牛島和夫, 朝廣雄一, 相利民. 前掲書.

ドが細長くなりがちで、そのためノードを表す矩形を見にくい、選択しにくい、矩形同士のサイズを比較しにくい、矩形にラベル付けをしにくいなどの欠点を持つ [23]。それらの問題の対処として squarified レイアウト [24] が考案されている。これは矩形を正方形に近くなるように描画するレイアウトである。また、ordered レイアウト [23] は squarified レイアウトよりは細長くなりがちであるが、データセットの内容が変わっても順序関係が保持されるようなレイアウトである。

3.1.2 ノードリンクダイアグラム

ノードリンクダイアグラムはノードを表す円同士を線で結ぶことでノード同士の関係性を示す視覚的表現である。ノードリンクダイアグラムを用いた重み付き木構造を表し方は様々であるが、今回対応付けを行うにあたって使用するノードリンクダイアグラムでは、データの持つ情報を以下のように表現する。

ノードリンクダイアグラムの表現 (1). ノードを円で表現する

ノードリンクダイアグラムの表現 (2). 親子関係を、親ノードを表す円を子ノードを表す円よりも上部に配置しながら、親ノードを表す円と子ノードを表す円を線で結ぶことで表現する

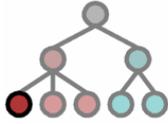
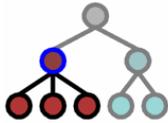
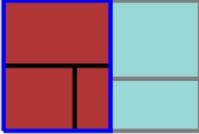
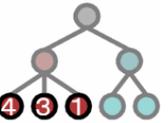
ノードリンクダイアグラムの表現 (3). 重みを、ノードを表す円に数字を書き込むことで表現する

3.2 Treemap とノードリンクダイアグラムの違い

ノードリンクダイアグラムの表現 (1)(2)(3) と Treemap の表現 (1)(2)(3) の違いを、情報ごとに表にまとめた (表 3.1)。

表 3.1: ノードリンクダイアグラムと Treemap の比較

ノードリンクダイアグラムとTreemapの違い

| | ノードリンクダイアグラム | Treemap |
|------------------|---|---|
| ノードの 表し方 |  <p>円で 表されている</p> |  <p>矩形で 表されている</p> |
| 親子 関係の 表し方 |  <p>親ノードと 子ノードが 線で結ばれて いる</p> |  <p>親ノードの内部に 子ノードが 描かれている</p> |
| 重みの 表し方 |  <p>個々のノード の重みが 数字で表され ている</p> |  <p>重みの比が 面積比で 表されている</p> |

第4章 アニメーションによる対応付け

本章では、アニメーションによる対応付けの設計について説明する。3.2節でまとめた表現の違いを対応付けることによって、視覚的表現を対応付ける。4.2節では各情報ごとの視覚的表現同士の対応付けの手法を考え、4.3節では、それらの手法のうち最も適当であると考えられる手法を採用し実際にアニメーションを作成している。

4.1 アニメーションの特徴

アニメーションとは、最小限異なる静止画を素早く連続して表示させることによって動きや形状変化の錯覚を作り出す処理のことである [25]。Heer ら [20] はアニメーションの利点、欠点を以下のようにまとめた。

- 利点
 - 動きが注意を引くことに非常に有効
 - オブジェクトの位置、サイズ、形状、および色の変化を自然に行うことができる
 - アニメーション動作は因果関係や意図していることの認識を生じさせることができる
 - 魅力的である
- 欠点
 - 誤解を招く情報をより魅力的にしてしまう
 - 変化中は項目の比較を複雑にする
 - 時間とエラーのトレードオフの問題がある

4.2 情報ごとの視覚的表現同士の対応付け

本節では、3.2節でまとめたノード、親子関係、重みの視覚的表現の違いの対応付けを行う。

4.2.1 ノード

ノードの視覚的表現を対応付けするために、ノードリンクダイアグラムの表現(1)と Treemap の表現(1)を対応付ける。図形同士の対応付けの方法としてハイライト、リンクング、オブジェクトの変形がある。ここでは以下の手法を考えた。

手法 A(1). ノードリンクダイアグラムの円を Treemap の矩形に変形させる (図 4.1 手法 A(1))

手法 A(2). ノードリンクダイアグラムと Treemap を並べて、対応するノードを表す円をハイライト・リンクングさせる (図 4.1 手法 A(2))

手法 A(3). ノードリンクダイアグラムと Treemap を並べて、対応するノードを表す円をハイライト・リンクングさせながら、ノードリンクダイアグラムの円を Treemap の矩形へ変形させる (図 4.1 手法 A(3))

手法 A(1) は画面に表示する視覚的表現が1つで済むため、注目してほしい点を示しやすくなる。手法 A(2) は視覚的表現が並んでいるため、対応付けを確実に行うことができる。手法 A(3) は変化後の状態を明示しているため、変化する先を予測しやすくなる。

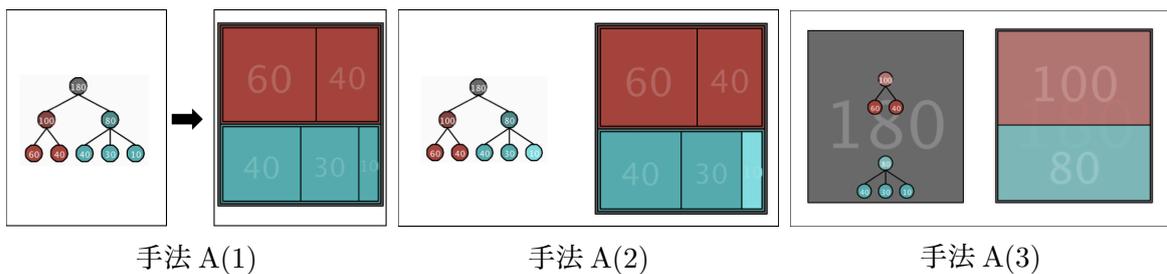


図 4.1: ノードの表現の対応付けの手法。手法 A(1) ノードリンクダイアグラムの円を Treemap の矩形に変形させる。手法 A(2) ノードリンクダイアグラムと Treemap を並べて、対応するノードを表す円をハイライト・リンクングさせる。手法 A(3) ノードリンクダイアグラムと Treemap を並べて、対応するノードを表す円をハイライト・リンクングさせながら、ノードリンクダイアグラムの円を Treemap の矩形へ変形させる

4.2.2 親子関係

親子関係の視覚的表現を対応付けるために、ノードリンクダイアグラムの表現(2)とTreemapの表現(2)を対応付ける。そこで、ノードリンクダイアグラムで表現されている親子関係がTreemapでも同様にあることを示すために、4.2.1項の変化に順番をつける。ここではその変化の順番を以下のように考えた。以下では根ノード、葉ノードという用語が出るが、それぞれもっとも階層が浅いノード、もっとも階層が深いノードのことである。

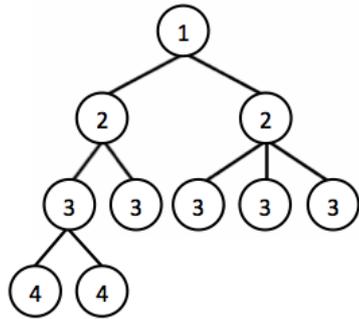
手法B(1). ノードを表す円を、根ノードから深い方へ深さごと順に変化させる(図4.2手法B(1)の順)

手法B(2). ノードを表す円を、葉ノードから浅い方へ深さごと順に変化させる(図4.2手法B(2)の順)

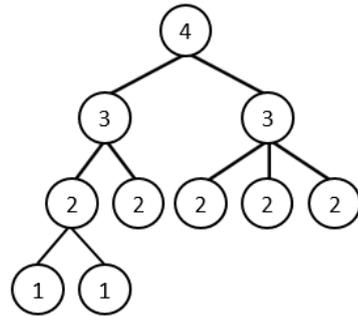
手法B(3). ノードを表す円を、深さ優先順に変化させる(図4.2手法B(3)の順)

手法B(4). ある親ノードを表す円に対して、ノードリンクダイアグラムにおける一番左の子ノードを表す円を深さごと順に変化させる(図4.2手法B(4)の順)

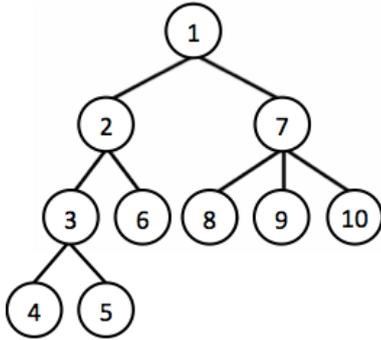
手法B(1)、(2)は一度に追うオブジェクトが多くなるが、同じ階層の深さであるノードが分かりやすくなる。手法B(3)は一度に追うオブジェクトの数が1つで済むが、同じ階層の深さであるノードが分かりにくくなる。手法B(4)は一度に追うオブジェクトの数が1よりは少なく済み、同じ階層の深さであるノードも分かりやすくなるが、違う親の子供との関係が分かりにくくなる。



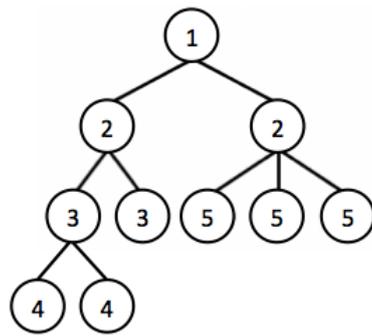
手法 B(1)



手法 B(2)



手法 B(3)



手法 B(4)

図 4.2: ノードを表す円を変化させる順番である。円に書き込まれた数字は順番を表す。手法 B(1) ノードを表す円を、根ノードから深い方へ深さごと順に変化させる。手法 B(2) ノードを表す円を、子ノードから浅い方へ深さごと順に変化させる。手法 B(3) ノードを表す円を、深さ優先順に変化させる。手法 B(4) ある親ノードを表す円に対して、ノードリンクダイアグラムにおける一番左の子ノードを表す円を深さごと順に変化させる。

4.2.3 重み

重みの視覚的表現を対応付けるために、ノードリンクダイアグラムの表現 (3) と Treemap の表現 (3) を対応付ける。そこで、ノードリンクダイアグラムにおいて重みを表している数字の比に基づいて、ノードリンクダイアグラムのノードを表す円を変化させる。ここでは、以下の手法を考えた。

手法 C(1). 数字の比を長さの比で表現するように、ノードリンクダイアグラムのノードを表す円を変形させる (図 4.3 手法 C(1))

手法 C(2). 数字の比を面積の比で表現するように、ノードリンクダイアグラムのノードを表す円を変形させる (図 4.3 手法 C(2))

手法 C(3). 数字の比を色で表現するように、ノードリンクダイアグラムのノードを表す円を変化させる (図 4.3 手法 C(3))

手法 C(2) はノードリンクダイアグラムのノードを表す円を直接 Treemap の矩形に変形させることである。

手法 C(1) はノード同士が隣り合っている必要があるという制限を持つ。手法 C(2)、(3) はそのような制限はないが、長さよりも正確に知覚しにくくなる [26]。

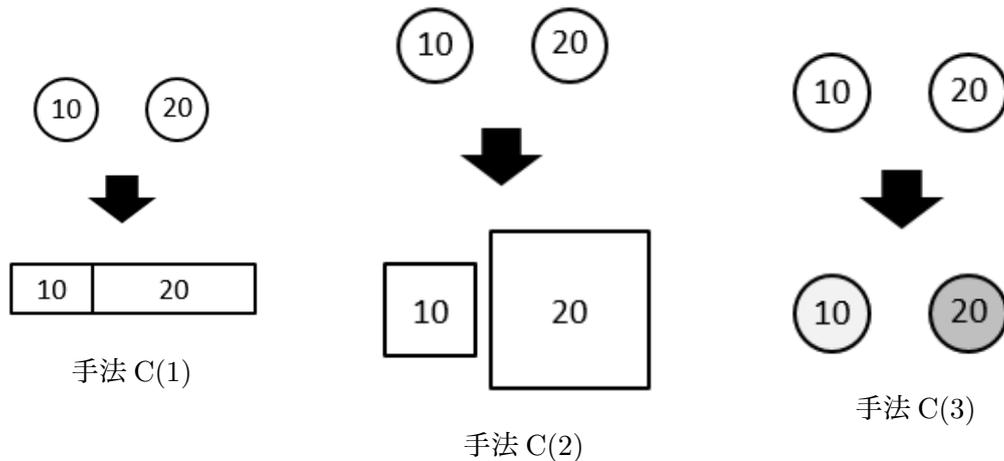


図 4.3: 重みの表現の対応付けの手法。手法 C(1) 数字の比を長さの比で表現するように、ノードリンクダイアグラムのノードを表す円を変形させる。手法 C(2) 数字の比を面積の比で表現するように、ノードリンクダイアグラムのノードを表す円を変形させる。手法 C(3) 数字の比を色で表現するように、ノードリンクダイアグラムのノードを表す円を変化させる。

4.3 作成したアニメーション

4.2 節の手法を使用して、アニメーションを 2 種類作成した。

まず考えた手法の適不適について述べる。今回作成するアニメーションは、インタラクティブな操作を用いず、ノードリンクダイアグラムから Treemap という一方向に変化するアニメーションである。よって、2つの視覚的表現を並べるのみの手法 A(2) では注目して欲しい点を見逃しやすくなるため、不適と考えた。また、作成するアニメーションは Treemap の効率的な理解を目指しているため、変化の段階を少なくすることで変化に要する時間を短くしたい。そこで、変化の段階が多い手法 B(3)(4) は不適だと考えた。また、Treemap は葉ノードを表す図形が前面に描画されるため、葉ノードでないノードを表す円が目立ちにくい。よって、変化が目立ちにくくなる手法 B(2) は不適だと考えた。そして、今回作成する Treemap はノードを表す図形に色を用いるため、色による重みの表現である手法 C(3) は不適だと考えた。

以上によって絞られた手法 A(1)、手法 A(3)、手法 B(1)、手法 C(1)、手法 C(2) の組み合わせによってアニメーションを作成した。

4.3.1 アニメーション 1

ある 1つのデータセット (データサイズ 10 程度) から作成した Treemap とノードリンクダイアグラムを対応付けるために、手法 A(3)、手法 B(1)、手法 C(1) を使用して、アニメーション 1 を作成した (図 4.3.1)。データの規模が小さいノードリンクダイアグラム及び Treemap であるため、2つの視覚的表現を並べても良いと考え、ノードの視覚的表現の対応付けに手法 A(3) を採用した。また、データの規模が小さいために変化の段階が少ないことから、正確に重みの比を表す手法 C(1) を使用しても変化に要する時間がそれほど伸びないと考えた。Treemap のレイアウトは Slice and Dice レイアウトである。また、ノードリンクダイアグラムの円が変形する前に、元のノードリンクダイアグラムを半透明で表示する。これによって今どの深さのノードが変形しているのか分かるようにしている。そして円が矩形に変形する前に数字を大きくすることによって、どのノードがこれから変形するのかを分かりやすくしている。

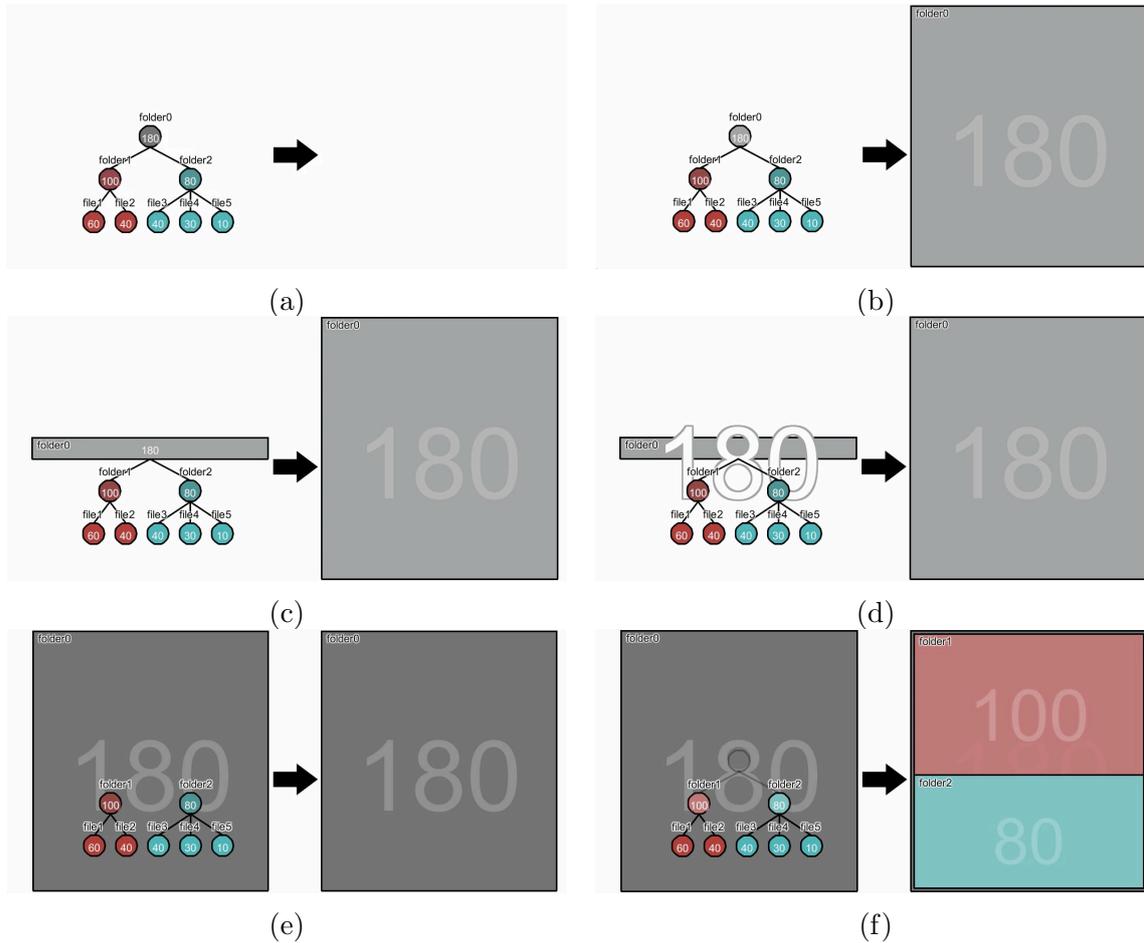


図 4.4: アニメーション 1(a) 最初の状態 (b) 根ノードを表す図形がハイライトされている状態 (c) 根ノードを表す図形が長さの比を表している状態 (これは根ノードのため兄弟はない) (d) 根ノードを表す図形の数字が大きくなっている状態 (e) 根ノードを表す図形が Treemap の矩形に変形し終わった状態 (f) 根ノードの子ノードを表す図形がハイライトされている状態

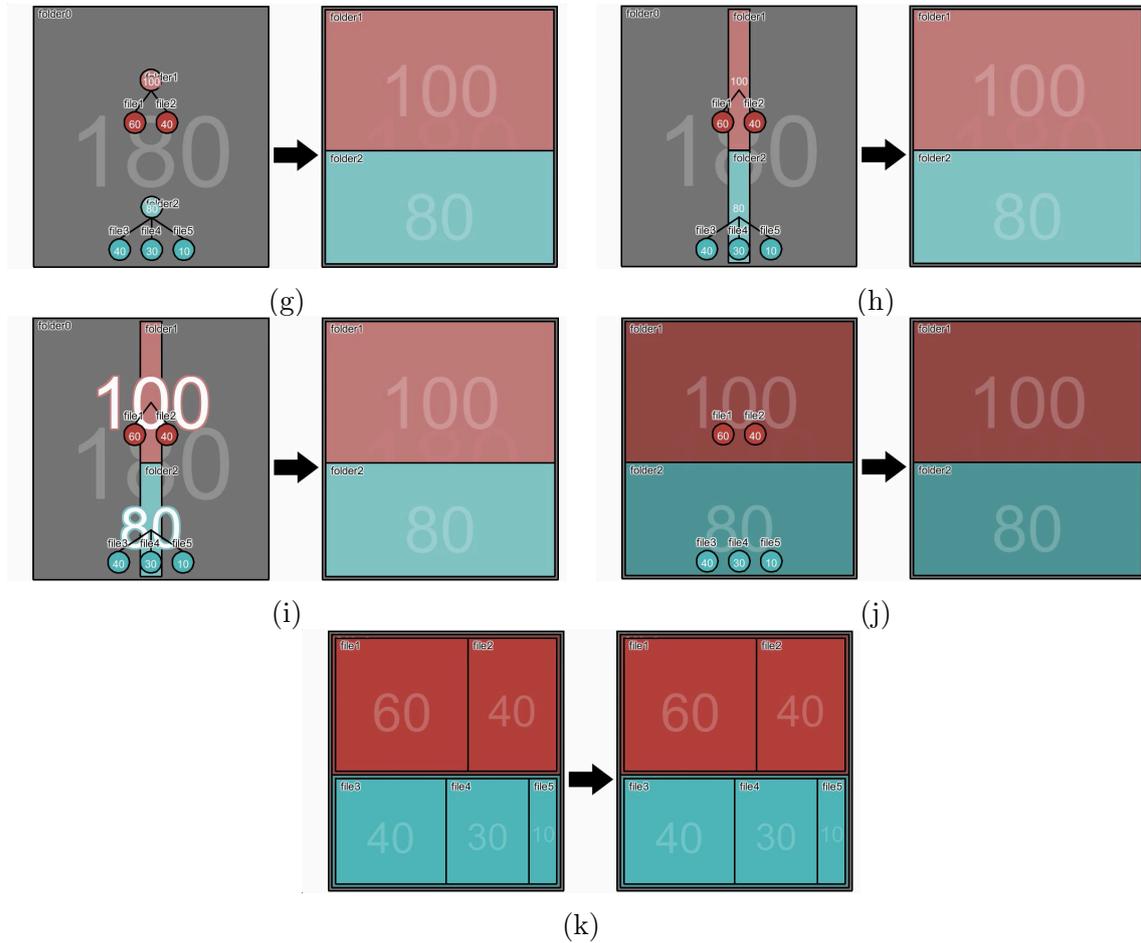


図 4.4: アニメーション 1 (続き) (g) ハイライトされたノードを表す図形が Treemap の位置に移動している状態 (h) ハイライトされたノードを表す図形が長さの比を表している状態 (i) ハイライトされたノードを表す図形の数字が大きくなっている状態 (j) ハイライトされたノードを表す図形が Treemap の矩形に変形しおわった状態 (k) (f)~(j) の変化を繰り返した最終的な状態

4.3.2 アニメーション 2

入力するデータによって動的に作成される Treemap とノードリンクダイアグラムを対応付けるために、手法 A(1)、手法 B(1)、手法 C(2) を使用して、アニメーション 2 を作成した (図 4.3.2)。入力するデータには 100 程度の規模の大きいデータサイズを想定しているため、手法 A(3) を使用すると視覚的表現の描画だけで画面が埋まってしまうと考えたため、手法 A(1) を採用した。また、手法 C(1) を用いず手法 C(2) にすることでアニメーションの変化に要する時間を削減した。Treemap のレイアウトは squarified レイアウトである。また、ノードリンクダイアグラムの円が変形する前に、変化後の Treemap を半透明で表示し、ノードの親を表す図形を太く縁取りしている。これによってこの先どのように変形するのかを予測しやすくし、動いている範囲を注目しやすくしている。そして円が変形する前に数字を大きくすることによって、どのノードがこれから変形するのかを分かりやすくしている。

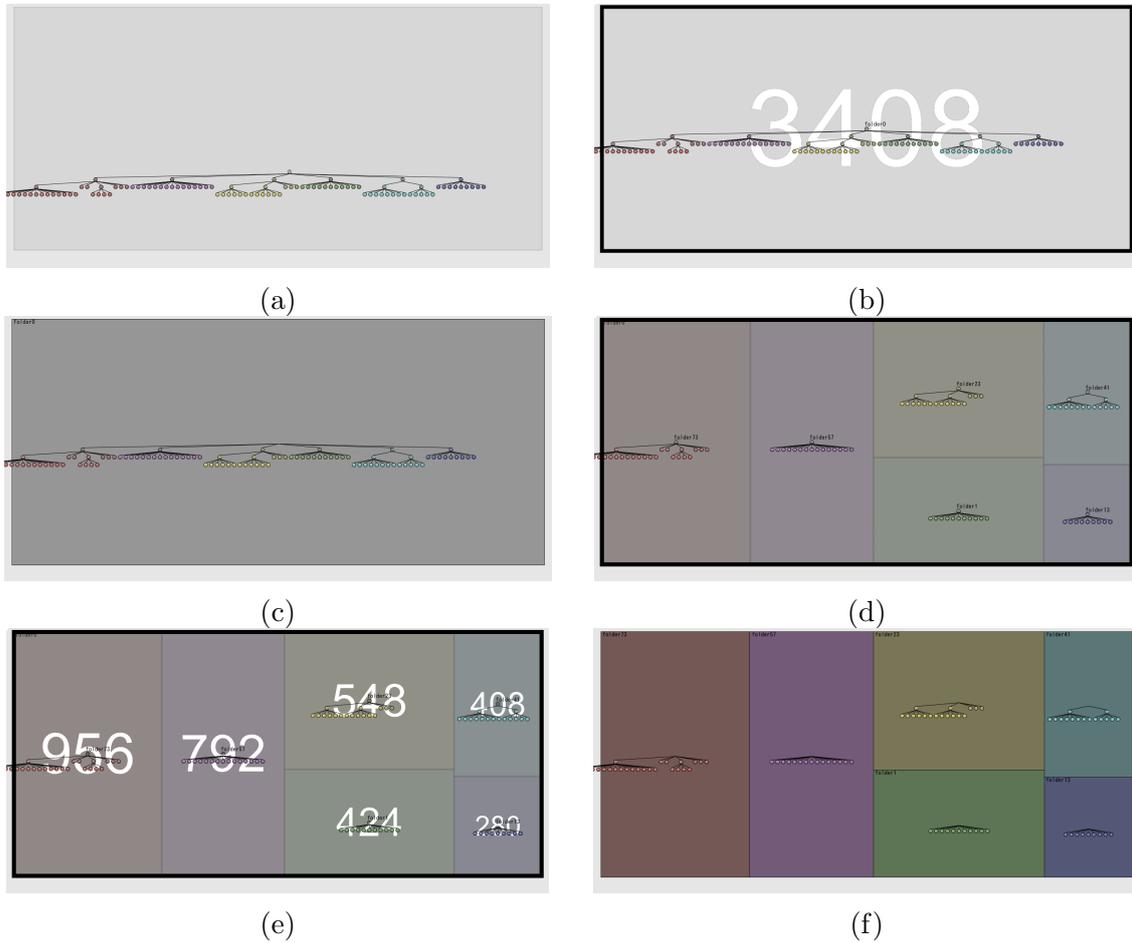
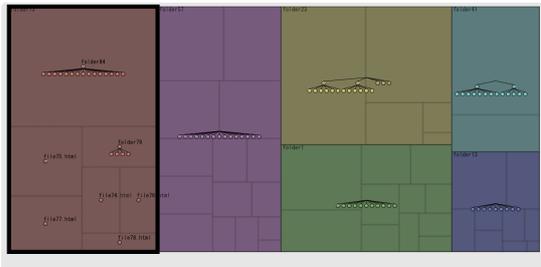
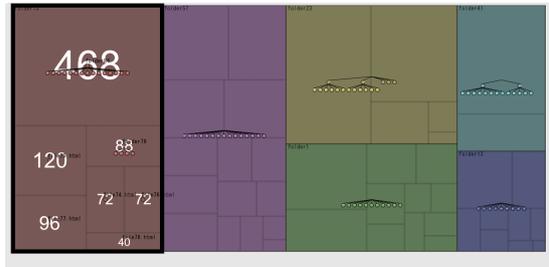


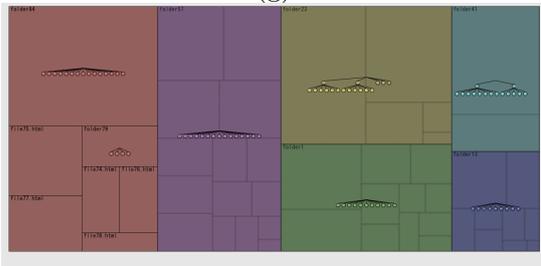
図 4.5: アニメーション 2(a) 根ノードを表す図形が、Treemap に変化した後の状態を半透明で表示している状態 (b) 根ノードを表す図形の数字が大きくなっている状態 (c) 根ノードを表す図形が Treemap の矩形に変形し終わった状態 (d) 根ノードよりも 1 つ階層が深いノードを表す図形が、Treemap に変化した後の状態を半透明で表示している状態 (e) ノードを表す図形の数字が大きくなっている状態 (f) ノードを表す図形が Treemap の矩形に変形し終わった状態



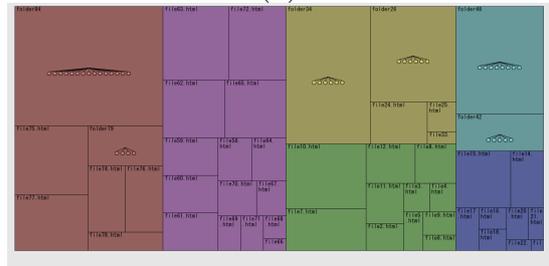
(g)



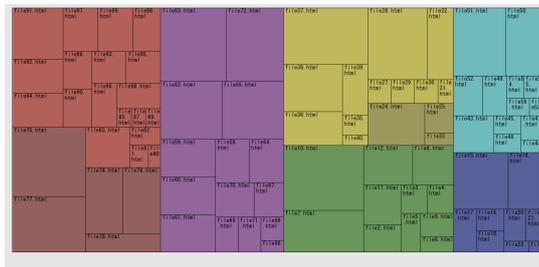
(h)



(i)



(j)



(k)

図 4.5: アニメーション 2 (続き) (g) さらに1つ階層が深いノードが、Treemapへ変化した後の状態を半透明で表示している状態 (h) ノードを表す図形の数字が大きくなった状態 (i) ノードを表す図形が Treemap の矩形に変形しおわった状態 (j)(g)~(i) の変形を繰り返した最終的な状態

第5章 実験1

アニメーション1がTreemapの理解を助けたかどうかを調べるために実験を行った。また、木構造の視覚的表現としてどのようなものを想像するかを調べるために、実験の前に事前アンケートを行った。

5.1 実験の設計

5.1.1 実験の流れ

実験は以下の流れで実施した。全被験者に対して同一の計算機を用いている。

1. 事前アンケートを実施
2. 実験の趣旨について説明し、同意書への署名を依頼
3. 実験ツールと問題について説明
4. ノードリンクダイアグラムを用いた練習問題を実施
5. Treemapを用いた問題を実施
6. 教材を提示
7. Treemapを用いた問題を実施
8. 事後アンケートを実施

5.1.2 事前アンケート

事前アンケートの目的は、木構造の視覚的表現としてどのようなものを想像するかを調べることである。そのために、被験者に対し「ファイルシステム(ファイルとフォルダの関係)を視覚的に表現する場合、どのように描くか」という質問を行った。

5.1.3 使用教材

実験の流れ6で使用する教材は以下の3種類である。

- 58秒間のアニメーション1を見てもらう
- テキスト(図5.1)を58秒間見てもらう
- 教材を見せないまま58秒間待ってもらう

被験者には3種類の教材のうちランダムに割り当てられた1つの教材を見てもらった。

ノードリンクダイアグラムとTreemapの違い

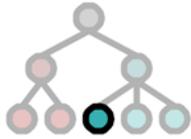
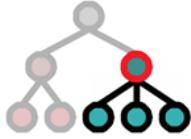
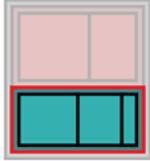
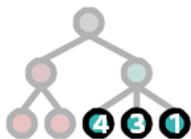
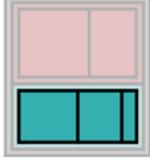
| | ノードリンクダイアグラム | Treemap |
|----------|--|---|
| ノードの表し方 |  <p>円で表されている</p> |  <p>矩形で表されている</p> |
| 親子関係の表し方 |  <p>親ノードと子ノードが線で結ばれている</p> |  <p>親ノードの内部に子ノードが描かれている</p> |
| 重みの表し方 |  <p>個々のノードの重みが数字で表されている</p> |  <p>重みの比が面積比で表されている</p> |

図 5.1: 実験1で用いたテキスト教材

5.1.4 実験タスク

被験者には Treemap を見て問題を問いてもらった。Treemap の描画にはネスト化した squarified レイアウトを用いている。タスクで提示した問題は以下の3種類である。

タスク 1(a). あるフォルダやファイルの兄弟を1つ答える

タスク 1(b). あるフォルダやファイルの兄弟の中で、一番サイズが大きいフォルダやファイルを答える

タスク 1(c). 図の中で一番サイズが大きいフォルダやファイルを答える

タスクに使用したデータセットは、データサイズが10、30、100の重み付きの木構造データで、それぞれ6種類用意した。被験者には1つのデータセットに対し1種類の問題を、教材を見せる前後で問いてもらった。被験者1人に対するタスクの合計実施回数は18回であった。

5.1.5 実験ツール

本研究では、PC上で実施できる実験ツールを、Javaを用いて開発した(図5.2)。被験者には、このツールによって提示された Treemap から問題に対する回答に当てはまるファイルやフォルダを考えてもらい、そのラベル名をキーボードで入力してもらった。入力が終わった後に Enter キーを押すことによって、問題が切り替わる。

この実験ツールでは以下の情報を記録する。

- 問題番号
- 入力したファイルやフォルダの名前
- 問題が始まってから問題に対する回答の入力を終えるまでの時間

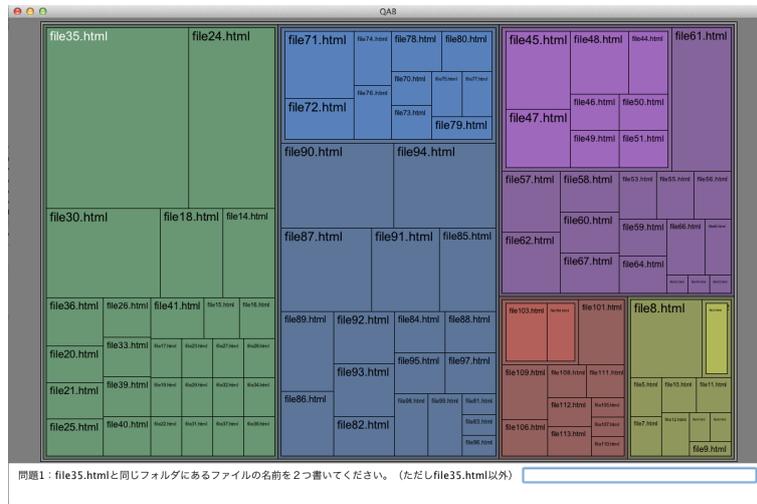


図 5.2: 実験ツール 1

5.2 被験者

被験者は情報系を専攻する大学生及び大学院生 6 人で、男性が 4 人、女性が 2 人であった。

5.3 実験結果及び考察

実験にかかる時間は 1 人あたり概ね 15 分程度を必要とした。アニメーション 1 を見た被験者 2 人のタスクの平均正答率は 86 %、何も教材を見なかった被験者 4 人のタスクの平均正答率は 93 % であり、タスクの正答率に大きな差はなかった。また、回答時間にばらつきのある被験者が見られた。回答時間のばらつきは、ラベル名を入力する際にキーボードの入力ミスをし、その訂正のために回答時間が延びてしまうことによると考えられる。また、タスクで提示する Treemap の数が多いため、Treemap に慣れてしまうという問題があると考えた。そこで、回答時間の計測方法の精度の向上及び提示する問題の変更のために、実験計画を再度検討することにした。

第6章 実験2

実験1の実験設計を修正し、再び実験を行った。

6.1 実験の設計

実験の目的、事前アンケート、使用教材、実験の流れは実験1と同様である。

6.1.1 実験タスク

実験1からの変更点を述べる。実験1ではタスクで提示する Treemap の数が多く、そのため被験者が Treemap に慣れてしまうという問題点があった。その問題点を解決するため、実験2ではタスクで提示する Treemap を2種類のみにした。使用しているデータセットは、重み付きの木構造データセット(データサイズ100)2種類である。被験者には、1つの Treemap に対し6問を、教材を見せる前後で聞いてもらった。被験者1人に対するタスクの合計実施回数は12回であった。

6.1.2 実験ツール

実験1からの変更点を述べる。実験1では、キーボードの入力ミスの訂正による時間のために、タスクの回答時間にばらつきが生じてしまっていた。そこで、回答時間の計測方法の精度を向上させるために、入力ミスを減らすよう、実験2では問題に対する答えに当てはまるファイルやフォルダのラベルの数字のみを答えてもらうようにした。

6.2 被験者

被験者は大学生及び大学院生11人で、男性が7人、女性が4人、情報系を専攻している学生が8人、情報系を専攻していない学生が3人であった。

6.3 実験結果及び考察

データとして有効な 10 人についてのみ述べる。実験にかかる時間は 1 人あたり概ね 15 分程度を必要とした。タスクの正答率について、アニメーション 1 を見たグループ、テキストを見たグループ、何も教材を見ていないグループからそれぞれ 1 人ずつ正答率が大きく低い被験者が見られた。その 3 人を除くと、アニメーション 1 を見た被験者 2 人のタスクの平均正答率は 95 %、テキストを見た被験者 3 人のタスクの平均正答率は 90 %、何も教材を見なかった被験者 2 人のタスクの平均正答率は 100 % であり、タスクの正答率に大きな差はなかった。正答率の低い被験者の回答から、その正答率の低さはフォルダの境界線を誤解していることによるものであると考えられる。教材を見る前に正答率が低かった被験者は、アニメーション 1、テキスト教材を見ても正答率が低かった。これは、アニメーション 1 やテキストにおける Treemap のレイアウトが Slice And Dice レイアウトであるのに対し、タスクで提示した Treemap が squarified レイアウトとなっており、対応が取れていないためだと考えられる。また、問題文に対する捉え方に誤解があると思われる回答がいくつか見られた。これは、問題文中に示されたファイルやフォルダを回答に含んではいけないと考えたからだと思われる。そのため、問題文を改善する必要があると考えた。また、実験 1 から改善した回答時間の計測方法も、やはり入力ミスが発生してしまうため、キーボード入力ではない方法にする必要があると考えた。そこで、問題文の修正、教材の訂正、回答時間の計測方法の精度の改善のために、実験計画を再度検討することにした。

第7章 実験3

実験2の実験設計を修正し、再び実験を行った。なお、実験3に使用した書類を付録として掲載している。

7.1 実験の設計

実験の流れ、実験の目的、事前アンケートは実験2と同様である。

7.1.1 使用教材

実験3で使用した教材は以下の2種類である。

- 60秒間のアニメーション2を見せもらう
- テキスト(図3.1)を60秒間見せもらう

実験1、実験2から、教材を見ていない場合には Treemap に対する読み取り方に変化が生じなかったため、今回は教材を見ていないのグループを削除している。アニメーション2は入力するデータによって表示されるノードリンクダイアグラム及び Treemap が変化するよう設計されているが、今回は教材後に問いてもらうタスクで使用する Treemap のデータを入力した。被験者には、2種類の教材のうちランダムに割り当てられた1つの教材を見せもらった。

7.1.2 実験タスク

実験2からの変更点を述べる。実験2での被験者の回答から、問題文に対する捉え方に誤解が生じてしまうと考えた。そこで、実験2の問題文に補足を付け加えることにした。タスクで提示した問題は以下の2種類である。

タスク3(a). あるフォルダやファイルの兄弟(それ自身は含まない)を答える

タスク3(b). あるフォルダやファイルの兄弟(それ自身を含む)の中で、一番サイズが大きいフォルダやファイルを答える

タスクに使用したデータセットは、重み付きの木構造データセット (データサイズ 100) 2 種類である。実験 1、実験 2 の回答結果から、Treemap に対してフォルダの境界線に誤解が発生すると考えた。フォルダの境界に関してより詳しくデータを取るために、ネスト化をしていない Treemap を使用した。1 つの Treemap 内にある 20 個のファイルやフォルダに対し 2 種類の問題を、教材を見せる前後で聞いてもらった。被験者 1 人に対するタスクの合計実施回数は 80 回であった。

7.1.3 実験ツール

実験 2 からの変更点について述べる。実験 1、実験 2 ではキーボード入力による回答方法であったため、入力ミスの訂正による回答時間のばらつきが見られた。そこで、実験 3 では入力ミスが生じないようにマウスによる回答方法に変更した。また、実験 1、実験 2 では回答時間に回答を入力する時間を含んでいたが、今回は問題に対する答えを考えるまでの時間 (回答時間とする) と回答入力時間を分けて記録する。実験 3 で使用する実験ツールでは、被験者にこのツールによって提示された Treemap から問題に対する回答に当てはまるファイルやフォルダを考えてもらい、回答が思いついた段階で Enter キーを押してもらい、その後、ファイルやフォルダをクリックやドラッグ操作によって選択してもらい、選択が終わる次第 Enter キーを押してもらい、選択が終わった後の Enter キーによって、問題が切り替わる。

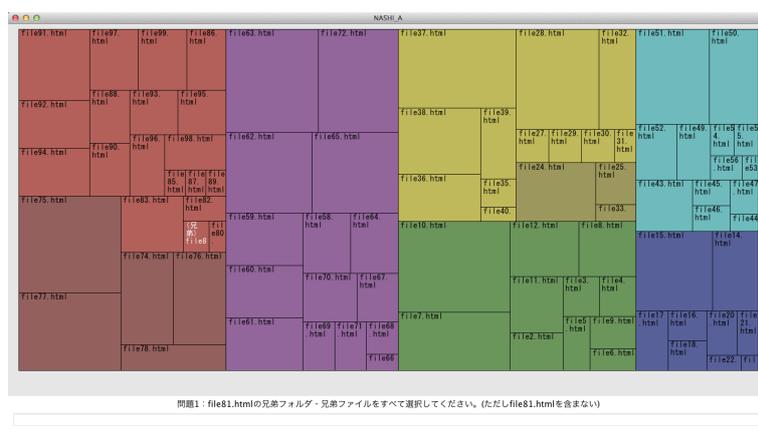


図 7.1: 実験ツール 2

この実験ツールでは以下の情報を記録する。

- 問題番号
- 選択したファイルやフォルダの名前
- 問題に対する答えを考えるまでの時間 (最初に Enter キーを押した時間)
- 回答を終えた時間 (二回目に Enter キーを押した時間)

7.1.4 事後アンケート

教材及び Treemap に対する評価をしてもらうために、事後アンケートを行う。

7.2 被験者

15 人の被験者を対象に実験を行った。被験者は全員が大学生及び大学院生で、その内 12 人が男性、3 人が女性であり、12 人が情報系を専攻している学生、3 人が情報系を専攻していない学生であった。被験者に対して口頭で色弱や色盲に当てはまるかを確認し、1 人は色弱の疑いがあるとの申告があった。

7.3 実験結果

事前アンケート、タスクの正答率、タスクの回答時間の結果を述べる。事前アンケートの結果には、同様のアンケート内容であった実験 1、実験 2 の事前アンケートを含めている。タスクの正答率と回答時間については、有効な回答である 10 個についてのみ示している。またそれらはすべて情報系を専攻している被験者による回答である。この先、図に 1~10 の番号が振られることがあるが、すべて被験者番号を示す。なお、1~5 番の被験者はテキスト、6~10 番の被験者はアニメーション 2 の教材を見ている。実験にかかる時間は 1 人あたり概ね 40 分程度であった。

7.3.1 事前アンケート

事前アンケートの結果を表 7.1 にまとめた。このアンケートに答えた被験者は、32 名 (うち男性 23 人、女性 9 人、情報系を専攻している学生 26 人、情報系を専攻していない学生 6 人) であった。なお、ノードリンクダイアグラムは図 7.2 のような図、包含を使用した図は図 7.3.1 のような図を指す。Finder 及びファイルエクスプローラーは、Mac OS や Windows で使用されるファイル管理アプリケーションを指す。

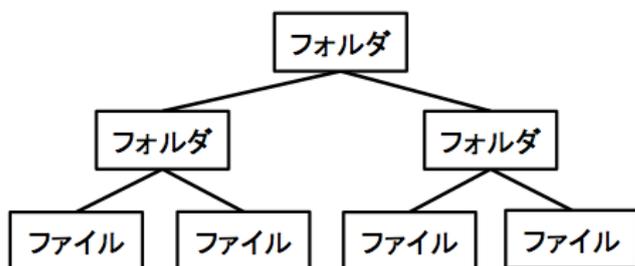


図 7.2: ノードリンクダイアグラムの例

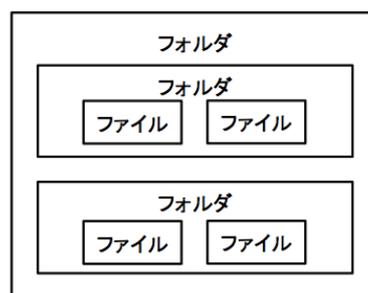


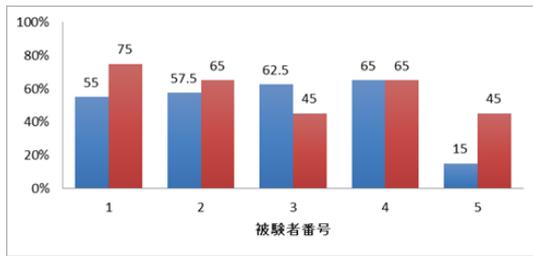
図 7.3: 包含を使用した図の例

表 7.1: 事前アンケート結果

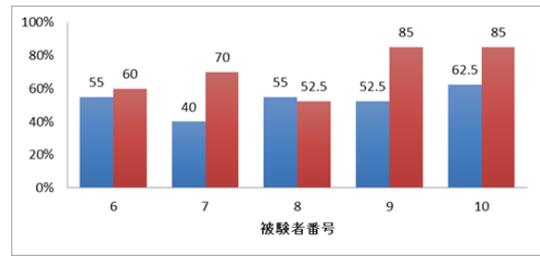
| 種類 | 数 |
|---------------------------|----|
| ノードリンクダイアグラム | 23 |
| 包含を使用した図 | 1 |
| Finder やファイルエクスプローラーのイラスト | 8 |
| その他イラスト | 4 |

7.3.2 正答率

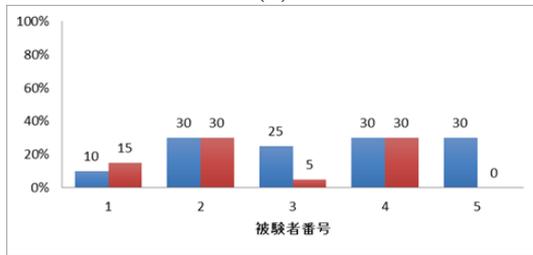
タスクの正答率を以下にまとめた。なお、タスク 3(b) の問題に対する回答については、その直前に回答してもらっているタスク 3(a) の問題に対する回答の中で一番大きいものを答えていれば正解としているため、タスク 3(a) の問題に不正解でも、タスク 3(b) では正解となることがある。



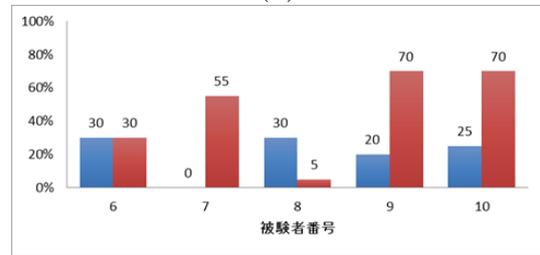
(a)



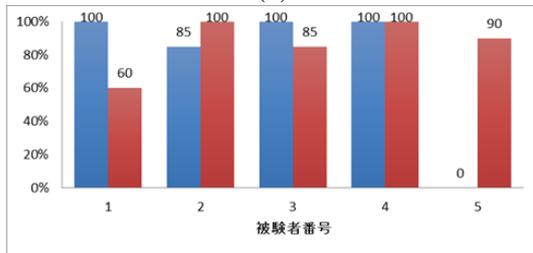
(b)



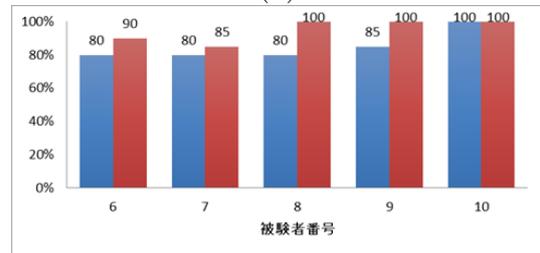
(c)



(d)



(e)



(f)

図 7.4: タスク別 (タスク全体、タスク 3(a)、タスク 3(b)) 及び被験者の見た教材別 (テキスト、アニメーション 2) の正答率のグラフ。青は教材を見る前、赤は教材を見た後である。(a) タスク全体の正答率 (テキスト) (b) タスク全体の正答率 (アニメーション 2) (c) タスク 3(a) の問題の正答率 (テキスト) (d) タスク 3(a) の問題の正答率 (アニメーション 2) (e) タスク 3(b) の問題の正答率 (テキスト) (f) タスク 3(b) の問題の正答率 (アニメーション 2)

7.3.3 回答時間

回答時間を以下にまとめた。

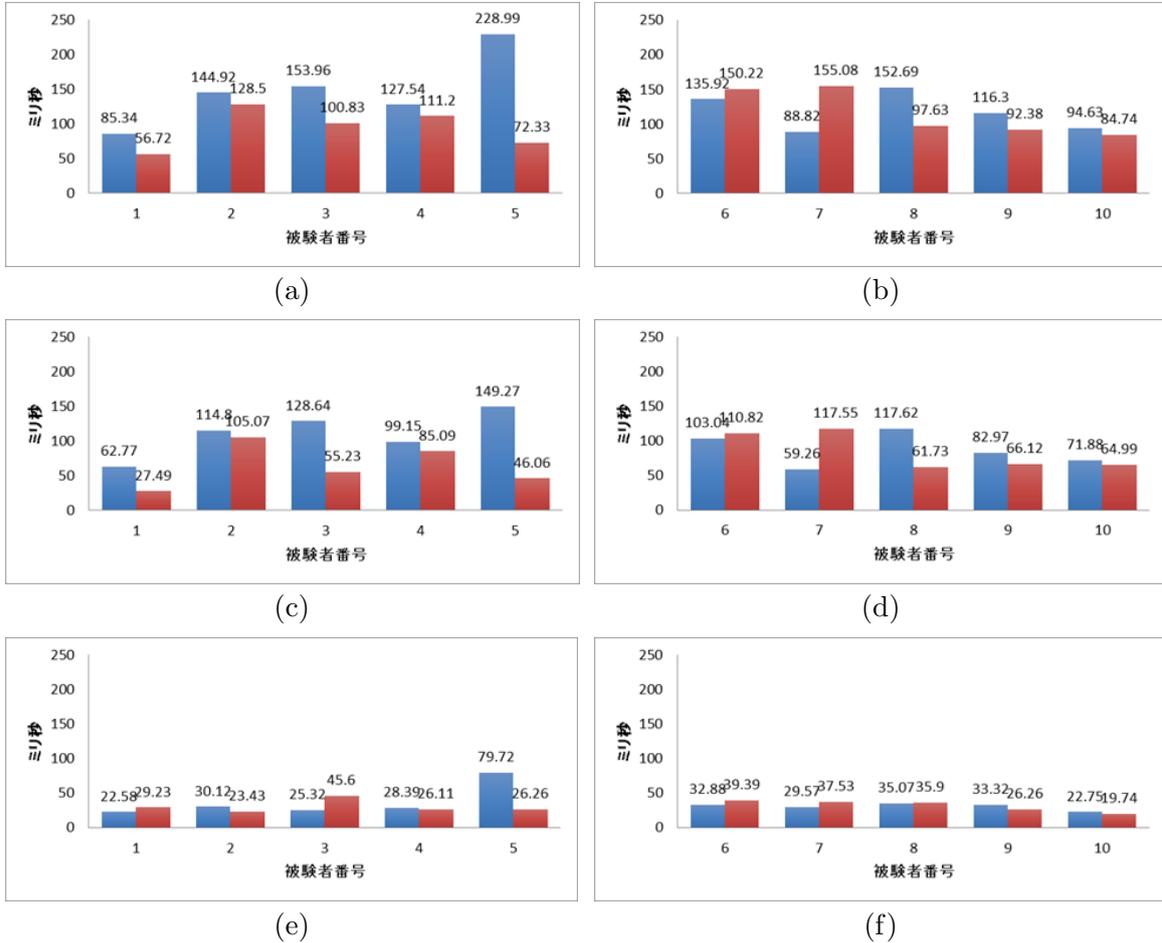


図 7.5: タスク別 (タスク全体、タスク 3(a)、タスク 3(b)) 及び被験者の見た教材別 (テキスト、アニメーション 2) の回答時間のグラフ。青は教材を見る前、赤は教材を見た後である。(a) タスク全体の回答時間 (テキスト) (b) タスク全体の回答時間 (アニメーション 2) (c) タスク 3(a) の問題の回答時間 (テキスト) (d) タスク 3(a) の問題の回答時間 (アニメーション 2) (e) タスク 3(b) の問題の回答時間 (テキスト) (f) タスク 3(b) の問題の回答時間 (アニメーション 2)

7.4 考察

事前アンケート、タスクの正答率及び回答時間、事後アンケートについて考察を行った。また、回答から考えられる Treemap の読み取り方の誤りについても考察を行った。

7.4.1 事前アンケート

ノードリンクダイアグラムの回答が一番多く、ノードリンクダイアグラムが馴染み深い表現であることが分かった。

7.4.2 正答率

タスク別に正答率の考察を行う。教材を見る前のタスク 3(a) の正答率 (図 7.4(c)(d)) は、色弱の疑いがあるとの申告があった被験者を除くと、テキストが平均 25 %、アニメーションが平均 21 % と低い数値となっている。数値から、被験者にとって兄弟の読み取りが難しかったと言える。タスク 3(b) の問題の正答率 (図 7.4(e)(f)) については、外れ値である被験者 5 を除くと、教材を見る前の平均が 90 %、教材を見た後の平均が 91.1 % であり、被験者にとってサイズの読み取り方は分かりやすかったと言える。教材を見る前後の正答率の差を図 7.6 に示す。

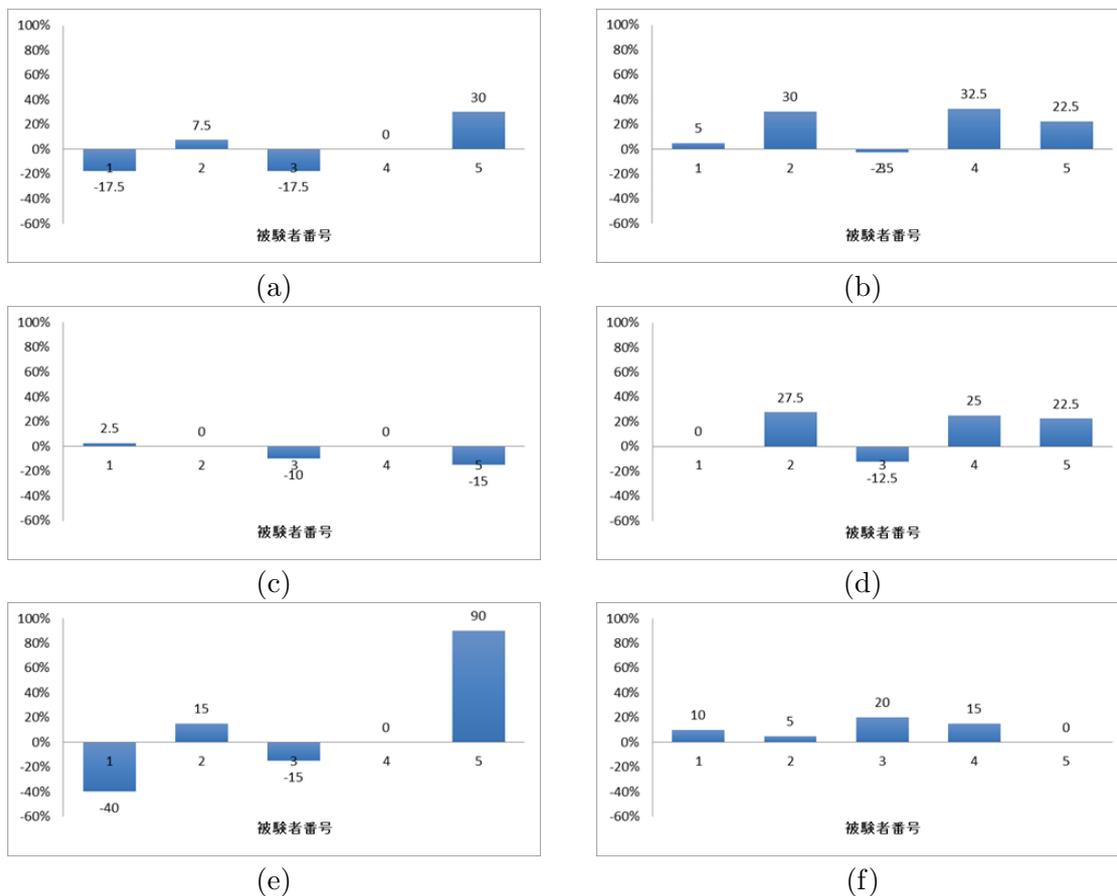


図 7.6: タスク別 (タスク全体、タスク 3(a)、タスク 3(b)) 及び被験者の見た教材別 (テキスト、アニメーション 2) の正答率の差のグラフ。青は教材を見る前、赤は教材を見た後である。(a) タスク全体の正答率の差 (テキスト) (b) タスク全体の正答率の差 (アニメーション 2) (c) タスク 3(a) の問題の正答率の差 (テキスト) (d) タスク 3(a) の問題の正答率の差 (アニメーション 2) (e) タスク 3(b) の問題の正答率の差 (テキスト) (f) タスク 3(b) の問題の正答率の差 (アニメーション 2)

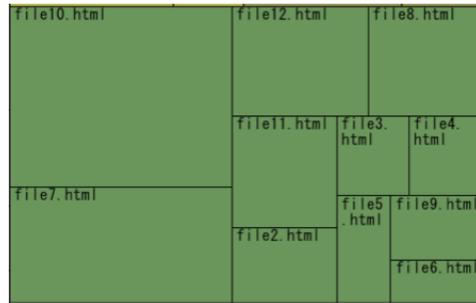
タスク 3(a) の正答率の差 (図 7.4) について、アニメーションを見た被験者 7、9、10 が回答率を大きく上昇させたことが分かる。兄弟を答える問題において、被験者 8 はアニメーションを見たグループの中でも唯一正答率を下げており、兄弟の表現に改善の余地があったと考えられる。今回の実験では正答率の差に関して Wilcoxon rank sum test による検定では有意差は見られなかったが、被験者を増やすことで有意差が出ると考えている。

7.4.3 読み取り方の誤り

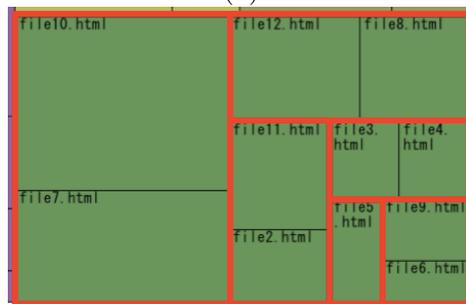
実験によって Treemap に対する読み取り方の誤りのパターンをいくつか発見することができた。特に、フォルダの境界 (兄弟) の間違え方にはパターンがあったと考えられる。図 7.7(a) を例にとると、1 つ目は、小さい矩形で区切られる範囲を兄弟と考えるパターンである (図 7.7(b))。区切り方の範囲は被験者によって様々であった。これはゲシュタルト要因の中の包含の要因によるものだと考えられる。2 つ目は図 7.7(c) のようにある一辺が連続する矩形を兄弟と考えるパターンである)。これはゲシュタルト要因の中の連続の要因によるものであると考えられる。3 つ目は、色が同じものが兄弟であると考えられるパターンである。

教材を見る前に 2 つ目のパターンで兄弟を間違えていたと考えられる被験者は 1、7、9 であった。被験者 1 についてはテキストを見ることによって 1 つ目のパターンのような間違え方をするようになった。被験者 7 は正しく答えられたり、1 つ目のパターンかつ少し範囲が広いものが兄弟と答えるようになったりした。被験者 9 はフォルダの範囲を正しく答えられたり、1 つ目のパターンかつ少し範囲が広いものが兄弟と答えるようになったりした。

教材を見る前に 3 つ目のパターンで兄弟を間違えていた被験者は 2、3、4、6、8、10 であった。被験者 2、4、6 は教材を見ても同様に 3 つ目のパターンで回答をしていた。被験者 3、8 は、教材を見ることによって 1 つ目のパターンで答えるようになった。2 つ目のパターンにならなかった理由は、教材によってフォルダの境界が矩形であることを学んだからであると考えられる。



(a)



(b)



(c)

図 7.7: (a) ある 1つのフォルダを表す Treemap (b) 小さい矩形で区切られる範囲を兄弟と考えるパターン (c) 一辺が連続して隣接しているものを兄弟と考えるパターン

7.4.4 回答時間

図7.5(c)(d)(e)(f) から、タスク3(a)の問題と比べて、タスク3(b)の問題の回答時間が短く、被験者にとってサイズの読み取り方は分かりやすかったと言える。

教材を見る前後のタスクの回答時間の変化率を以下にまとめた。

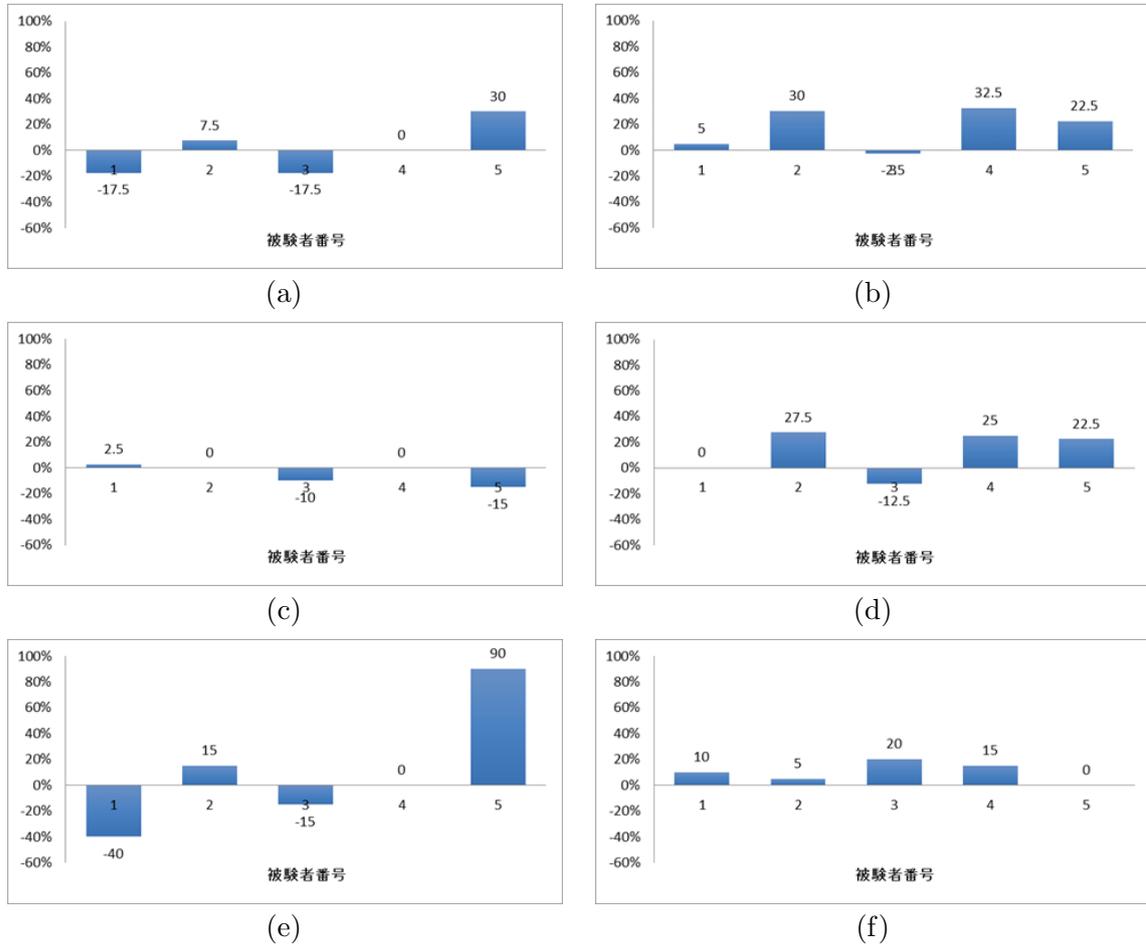


図7.8: タスク別 (タスク全体、タスク3(a)、タスク3(b)) 及び被験者の見た教材別 (テキスト、アニメーション2) の回答時間の差のグラフ。青は教材を見る前、赤は教材を見た後である。(a) タスク全体の回答時間の差 (テキスト) (b) タスク全体の回答時間の差 (アニメーション2) (c) タスク3(a)の問題の回答時間の差 (テキスト) (d) タスク3(a)の問題の回答時間の差 (アニメーション2) (e) タスク3(b)の問題の回答時間の差 (テキスト) (f) タスク3(b)の問題の回答時間の差 (アニメーション2)

タスクの回答時間については、テキストを見た被験者 1、3、5 の回答時間が大きく下がっている。被験者 1、3 は正答率が上がっていなかったため、テキストを見ることでテキストを見る前に考えていた Treemap の読み取り方に対して確信を持ったと考えられる。被験者 5 はタスク 3(b) の問題の正答率が大きく上昇し、回答時間が減少している。このことから、テキストが被験者 5 に対して、Treemap の面積の意味をよく理解させたと考えられる。

7.4.5 事後アンケート

事後アンケートによって、アニメーションが Treemap の理解を助けたこと、Treemap がやや分かりにくい表現であることが分かった。「教材によって、Treemap が分かりやすくなりましたか？」(1=まったくそう思わない、5=強くそう思う)という質問に対し、色弱の疑いのある被験者を除くと、テキストを見たグループは最頻値 2、アニメーションを見たグループは最頻値が 4 となり、アニメーションによって分かりやすくなったと感じた被験者が多かったことが分かる。アニメーションを見たグループに対してのみ、「速さは適切でしたか？」(1=遅すぎる、5=速すぎる)という質問を行ったところ、4 名が 4(速い)を答えた。また、自由記述に「アニメーションが速すぎた」と回答した被験者もいたため、アニメーションの速度が適切とは言えなかったことが分かる。また、テキストにおいてもアニメーションにおいても「色付けの定義が分からない」という記述があったため、色付けに対する説明が必要であったと考えられる。

Treemap の評価については、「Treemap は分かりやすい表現でしたか？」(1=まったくそう思わない、5=強くそう思う)という質問に対し最頻値 2 となり、やや分かりにくい表現であったと考えられる。「Treemap において分かりにかった点をお答えください」という自由記述に対しては、「親子関係や兄弟関係が分かりにくい」「ファイルサイズが分かりにくい」という回答が得られた。この 2 点が教材において重視すべき点だったと考えられる。

第8章 まとめ

馴染みの浅い視覚的表現の理解を助けるために、その表現を馴染みの深い視覚的表現と対応付けた。視覚的表現同士で共通する情報をまとめ、アニメーションによって対応付けをした。実際に Treemap の理解を助けるために、ノードリンクダイアグラムと対応付けるアニメーションを作成した。被験者実験によって、アニメーションが Treemap の理解を助けたことを示した。また、被験者実験によって Treemap の読み取りの誤りにどのようなものがあるかを示した。

今後の課題として、アニメーションを短くすることが挙げられる。これは、今回の実験で作成したアニメーションが1分近いもので、プレゼンテーションなどで使用するには長いためである。また、今回の実験ではテキストとアニメーションで違うデータセットを用いたため、同じデータセットによる比較が必要である。

謝辞

本研究を行うにあたり、三末和男先生には多大なご指導をいただきました。研究に行き詰まった際には何度も相談に乗っていただき、その度に多くの助言をいただきました。心より感謝申し上げます。また、田中二郎先生、志築文太郎先生、高橋伸先生には研究室のゼミを通して有意義なご意見を多くいただきました。ここにお礼申し上げます。

インタラクティブプログラミング研究室の方々には公私ともに大変お世話になりました。特に NAIS チームの皆様には研究生活の中で様々な貴重なご意見をいただきました。深く感謝いたします。そして、NAIS チームの解説アニメーション班の方々には研究を進めるにあたり大変お世話になりました。まことにありがとうございます。

また、被験者の方々のご協力無しには本論文を完成させることができませんでした。心よりお礼申し上げます。

最後に、様々な面で支えてくださった家族や友人に厚く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] Alfred Inselberg. The plane with parallel coordinates. *The Visual Computer*, Vol. 1, No. 2, pp. 69–91, 1985.
- [2] Fabian Bendix, Robert Kosara, and Helwig Hauser. Parallel sets: Visual analysis of categorical data. In *IEEE Symposium on Information Visualization*, pp. 133–140, 2005.
- [3] Susan Havre, Beth Hetzler, and Lucy Nowell. Themeriver: Visualizing theme changes over time. In *IEEE Symposium on Information Visualization*, pp. 115–123, 2000.
- [4] Ben Shneiderman. Tree visualization with tree-maps: 2-d space-filling approach. *ACM Transactions on graphics (TOG)*, Vol. 11, No. 1, pp. 92–99, 1992.
- [5] JohnAlexis Guerra-Gomez, Michael L Pack, Catherine Plaisant, and Ben Shneiderman. Visualizing change over time using dynamic hierarchies: Treeversity2 and the stemview. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 19, No. 12, pp. 2566–2575, 2013.
- [6] Catherine Plaisant, Jesse Grosjean, and Benjamin B Bederson. Spacetree: Supporting exploration in large node link tree, design evolution and empirical evaluation. In *Proceedings of IEEE Symposium on Information Visualization*, pp. 57–64, 2002.
- [7] 稲垣佳世子, 鈴木宏昭, 大浦容子. 認知過程研究—知識の獲得とその利用. 放送大学教育振興会, 2007.
- [8] Isabel L Beck, Margaret G McKeown, Gale M Sinatra, and Jane A Loxterman. Revising social studies text from a text-processing perspective: Evidence of improved comprehensibility. *Reading Research Quarterly*, pp. 251–276, 1991.
- [9] Russell N Carney and Joel R Levin. Pictorial illustrations still improve students’ learning from text. *Educational psychology review*, Vol. 14, No. 1, pp. 5–26, 2002.
- [10] 榎原博之, 中野秀男, 中西義郎. 解説 アルゴリズムアニメーション. 電気情報通信学会誌, Vol. 73, No. 3, pp. 244–247, 1990.
- [11] Steven Hansen, Daniel Schrimpscher, N Hari Narayanan, and Mary Hegarty. Empirical studies of animation-embedded hypermedia algorithm visualizations. Technical report,

- Tech. Rep. CSE98-06. Computer Science and Software Engineering Dept. Auburn University, 1998.
- [12] Barbara Tversky, Julie Bauer Morrison, and Mireille Betrancourt. Animation: can it facilitate? *International journal of human-computer studies*, Vol. 57, No. 4, pp. 247–262, 2002.
 - [13] Mireille Betrancourt. The animation and interactivity principles in multimedia learning. *The Cambridge handbook of multimedia learning*, pp. 287–296, 2005.
 - [14] Richard E Mayer, Mary Hegarty, Sarah Mayer, and Julie Campbell. When static media promote active learning: annotated illustrations versus narrated animations in multimedia instruction. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, Vol. 11, No. 4, p. 256, 2005.
 - [15] Sébastien Rufiange and Michael J McGuffin. Diffani: Visualizing dynamic graphs with a hybrid of difference maps and animation. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 19, No. 12, pp. 2556–2565, 2013.
 - [16] George G Robertson, Jock D Mackinlay, and Stuart K Card. Cone trees: animated 3d visualizations of hierarchical information. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pp. 189–194, 1991.
 - [17] George Robertson, Kim Cameron, Mary Czerwinski, and Daniel Robbins. Animated visualization of multiple intersecting hierarchies. *Information Visualization*, Vol. 1, No. 1, pp. 50–65, 2002.
 - [18] Ka-Ping Yee, Danyel Fisher, Rachna Dhamija, and Marti Hearst. Animated exploration of dynamic graphs with radial layout. In *IEEE Symposium on Information Visualization*, pp. 43–43, 2001.
 - [19] Fanny Chevalier, Pierre Dragicevic, and Steven Franconeri. The not-so-staggering effect of staggered animated transitions on visual tracking. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 13, No. 12, pp. 2241–2250, 2014.
 - [20] Jeffrey Heer and George G Robertson. Animated transitions in statistical data graphics. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 13, No. 6, pp. 1240–1247, 2007.
 - [21] Ben Shneiderman. Discovering business intelligence using treemap visualizations. *B-EYE-Network-Boulder, CO, USA*, 2006.
 - [22] Tree (data structure). [http://en.wikipedia.org/wiki/Tree_data_structure\(2015-01-12\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Tree_data_structure(2015-01-12)).

- [23] Ben Shneiderman and Martin Wattenberg. Ordered treemap layouts. In *IEEE Symposium on Information Visualization*, pp. 73–73. IEEE Computer Society, 2001.
- [24] Mark Bruls, Kees Huizing, and Jarke J Van Wijk. *Squarified treemaps*. Springer, 2000.
- [25] Animation. <http://en.wikipedia.org/wiki/Animation>(2014-01-13).
- [26] Jock Mackinlay. Automating the design of graphical presentations of relational information. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, Vol. 5, No. 2, pp. 110–141, 1986.

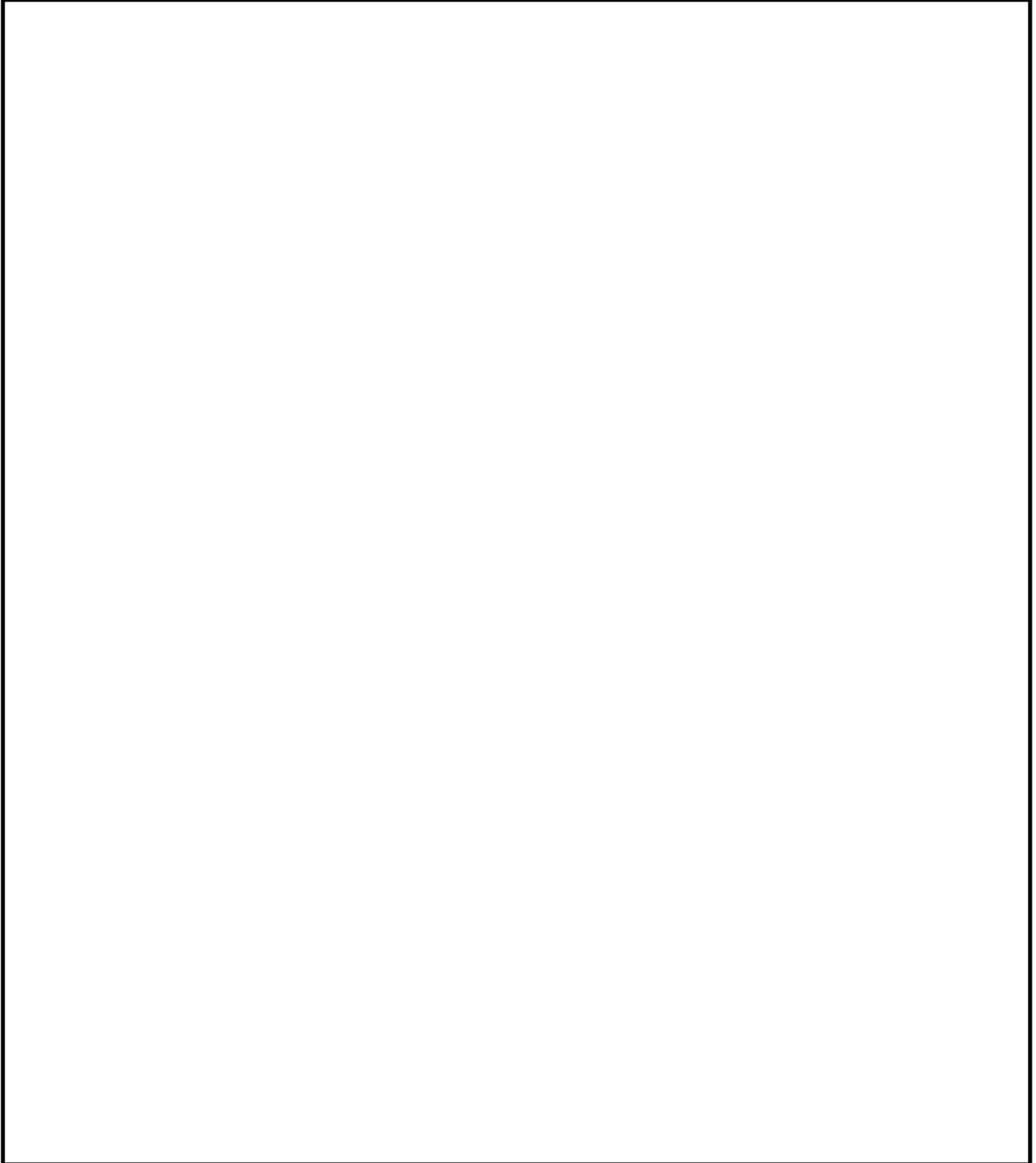
付録

実験に用いた事前アンケート、
同意書、実験手順書
及びアンケート

番号：

事前アンケート

あなたがファイルシステム（ファイル・フォルダの関係）を視覚的に表現するとしたらどんな図を描きますか？下の四角内に自由にお描きください。

A large, empty rectangular box with a black border, intended for the respondent to draw a visual representation of a file system. The box is currently blank.

同意書

筑波大学システム情報系長 殿

私は、視覚的表現の設計および評価に関する研究について、研究の概要、被験者の必要性、方法、その成果、危険の回避、個人情報の保護について十分な説明を受けました。

説明の際、本研究に協力することに同意しなくても何ら不利益を受けないこと、さらに、同意後も私自身の自由意思により不利益を受けず、いつでも撤回できることも聞きました。私は、このことを理解した上で被験者になることに同意します。

平成 年 月 日

氏名 _____ (才)

(保護者等：被験者が未成年の場合)

氏名 _____ (本人との続柄)

視覚的表現の理解を深めるための研究について、次の内容について平成 年 月 日に説明を行い、上記のとおり同意を得ました。

説明者 所属 情報学群情報メディア創成学類
氏名 渡邊玲

① 研究の概要について

この研究の目的は馴染みの浅い視覚的表現の読み取り方を効率的に理解させることで、その手法を利用しやすくすることです。そのために、該当する可視化手法についての教材を作成します。この実験では、教材によってどの程度学習効果が得られたかを計測します。

② 被験者の必要性、方法、その成果について

この研究は学習効果に関する研究ですので、教材の評価において被験者実験が必要となります。実験では、提示された教材を見て、簡単なタスクを行っていただきます。具体的なタスクについては別紙にて説明します。タスク毎に回答時間および回答を記録し、後でそれらを分析します。

③ 個人情報の保護について

学会・論文などでデータを発表する際は、データおよびそれを統計的に処理したものだけを用います。実験参加者を表現するためには、記号・数字を用います。個人を特定できる情報は公表しません。ただし、実験参加者全体については、性別の実験参加者数、年齢の範囲、所属を公表することがあります。

(注) 同意書は2通作成し1通は本人の控えとして手渡すこと。(コピー可)

未成年の場合には保護者と一緒に説明して保護者からの同意を得ること。

研究や実験に協力した結果、不都合があった場合の連絡先

実施分担者 (所属：情報学群情報メディア創成学類 氏名：渡邊玲 TEL：080-1092-1199)

実施責任者 (所属：システム情報系 氏名：三末和男 TEL：029-853-5802)

事務担当者 (筑波大学システム情報系研究倫理委員会事務局

・システム情報エリア支援室 TEL：029-853-4989)

画面の説明

問題1 : folder0と同じフォルダにあるファイル、フォルダをすべて選択してください。(ただしfolder0を含む)

回答不可能 わからない

- 画面中央にはファイルシステム（フォルダ、ファイル、ファイルやフォルダのサイズと名前）を表す図が表示されています。
 - 画面下部には図の読み取りに関する問題と回答のためのボタンが表示されています。
- ※例では練習に使用する図を表示しています。実際に使用する図とは違うものです。
- ※ファイルやフォルダの名前は描画上の都合により表示されない場合もあります。

クリックまたはドラッグで選択

The screenshot shows a file tree with the following structure and values:

- folder0 (190)
 - folder1 (140)
 - file7.html (60)
 - folder2 (50)
 - file4.html (40)
 - file3.html (10)
 - folder5 (30)
 - file6.html (30)
 - folder8 (50)
 - folder9 (30)
 - file11.html (20)
 - file10.html (10)
 - file12.html (20)

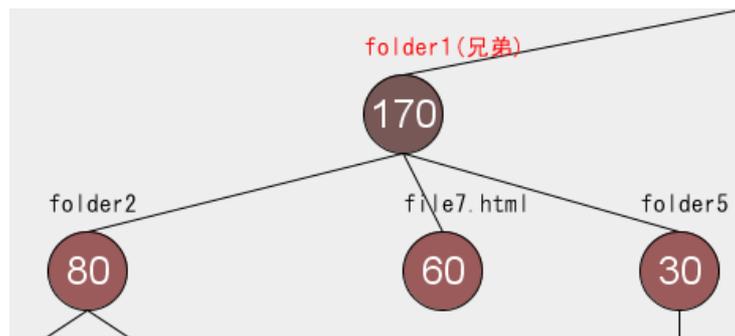
Callouts point to buttons at the bottom: "回答不可能ボタン" (Answer Impossible Button) and "わからないボタン" (I Don't Know Button). A pink bar at the bottom contains the text: "問題1: folder0と同じフォルダにあるファイル、フォルダをすべて選択してください。(ただしfolder0を含む)" and the two buttons.

- 問題に対する答えが分かり次第 **Enter** を押してください。下部背景が **ピンク色** に変わり、選択モードになります。
- 問題に対する答えに当てはまるものをすべて選択し、選択し終わったら **Enter** を押してください。次の問題に移ります。

※答えが分かるまではマウス操作はしないでください。

※**Enter** を押した後に考え直さないようにしてください。

※問題で示されているファイル名は強調して表示されています。(例では赤・問題では白)



※回答不可能な問題である場合は、回答不可能ボタンを押してから **Enter** を押してください。(下部背景が **水色** に変わります)

※わからない場合はわからないボタンを押してから **Enter** を押してください。(下部背景が **緑色** に変わります)

問題について

問題は二種類あります。

1. ○○の兄弟フォルダと兄弟ファイルをすべて選択する問題（○○が入っているフォルダ直下のフォルダとファイル）
※ただし○○は含めない
2. ○○の兄弟の中で一番サイズが大きいファイル・フォルダを選択する問題（○○が入っているフォルダ直下のフォルダ・ファイルのなかで一番サイズが大きいフォルダ・ファイル）
※ただし○○を含む

問題の種類は強調表示されているファイルやフォルダの横に「兄弟」「サイズ」という形で示してあります。



また、ウィンドウ下部にも書いてあります。

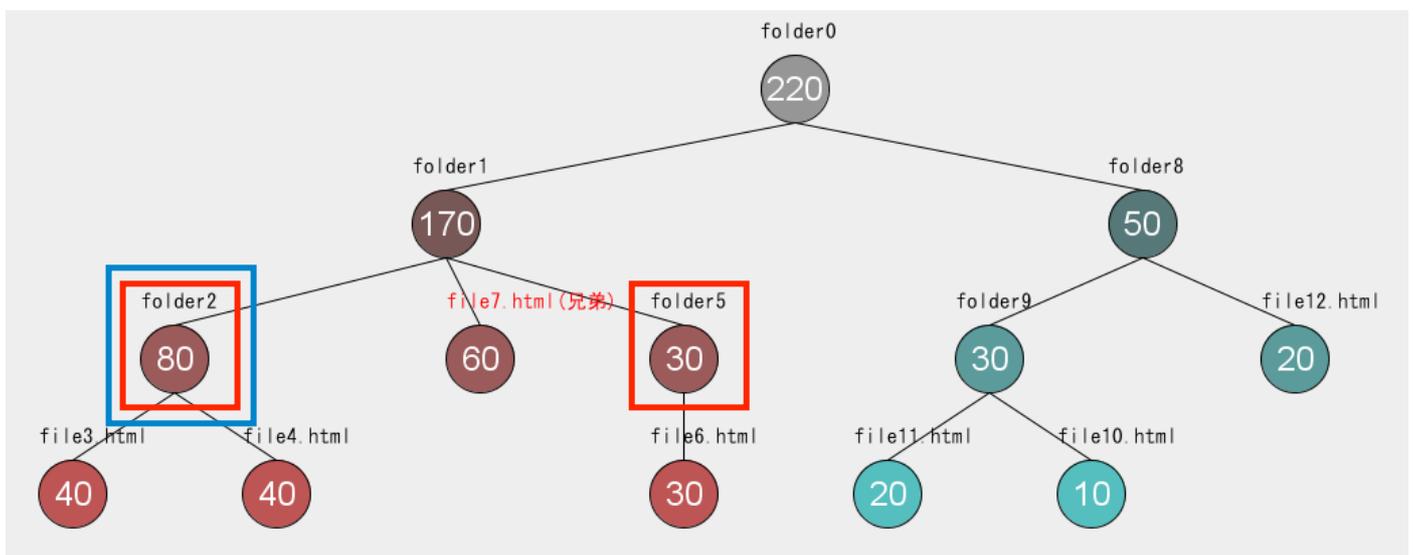
二種類の問題が繰り返し出題されます。(2種類×20題 全40題)

問題例1) file7.htmlの兄弟フォルダ・兄弟ファイルをすべて選択してください。(ただしfile7.htmlを含まない)

→**folder2, folder5**

問題例2) file7.htmlの兄弟フォルダ・兄弟ファイルのなかで一番サイズが大きいフォルダ・ファイルをすべて選択してください。(ただしfile7.htmlを含む)

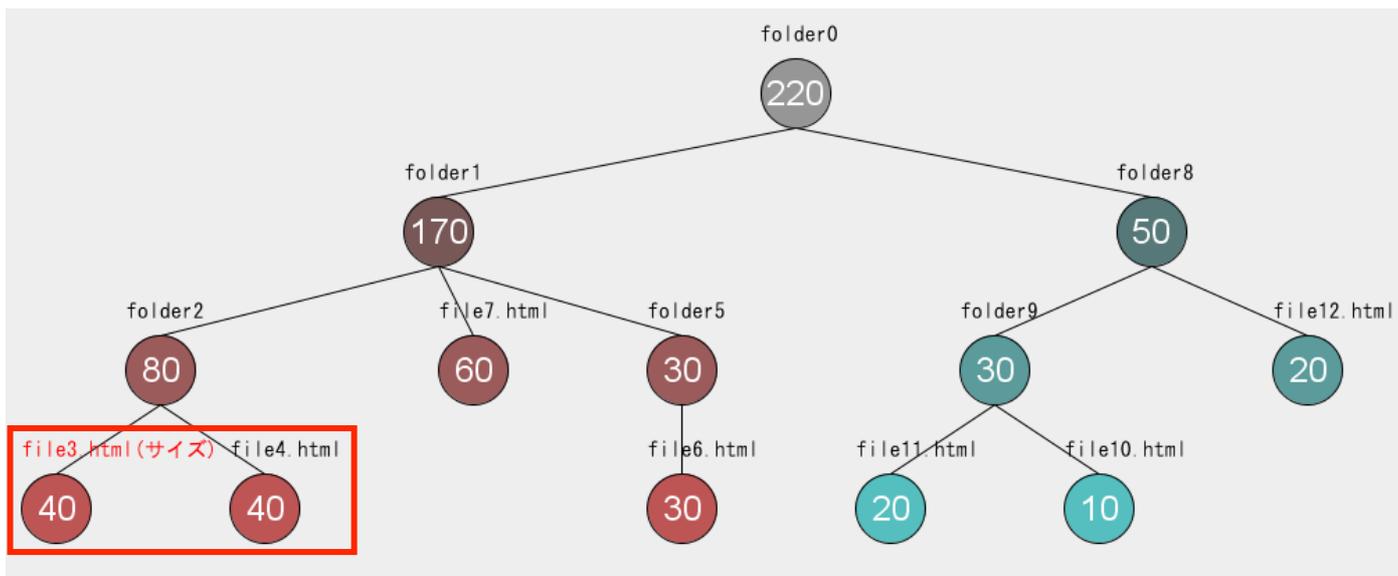
→**folder2**



問題例3) file3.htmlの兄弟フォルダ・兄弟ファイルのなかで一番サイズが大きいフォルダ・ファイルをすべて

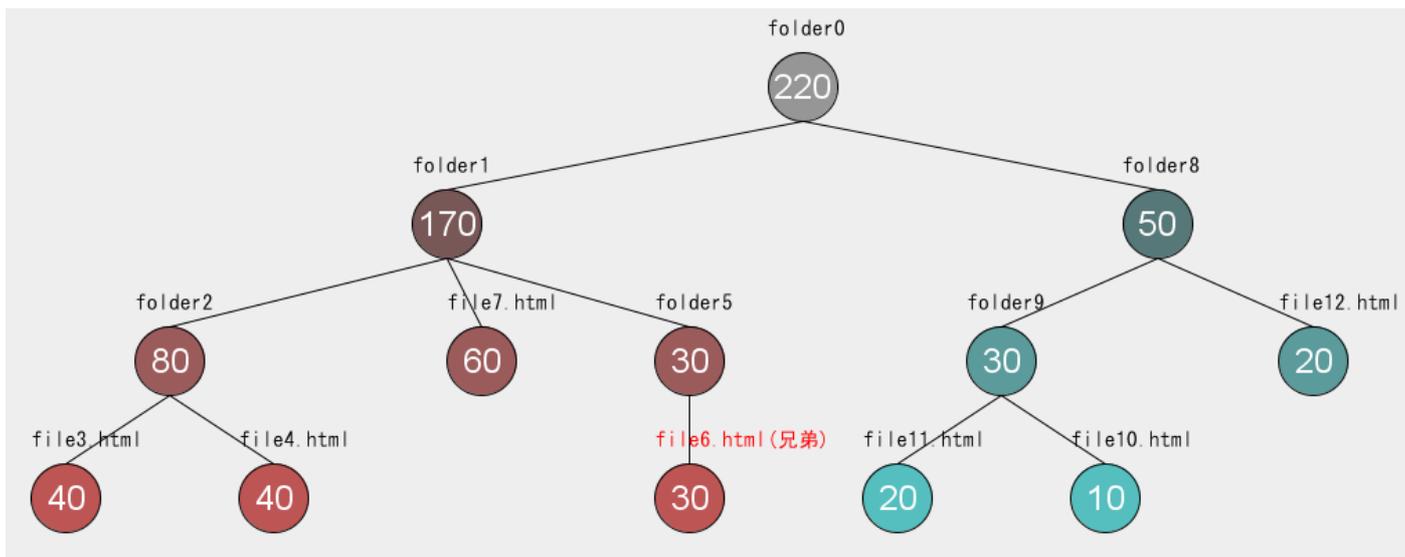
選択してください。(ただし file3.html を含む)

→file3.html,file4.html



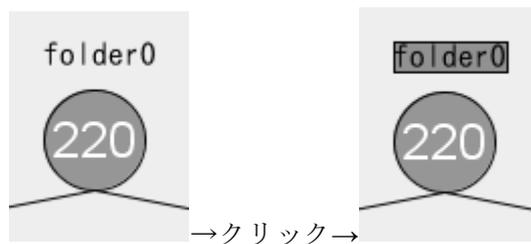
問題例 4) file6.html の兄弟フォルダ・兄弟ファイルをすべて選択してください。(ただし file6.html を含まない)

→ 回答不可能

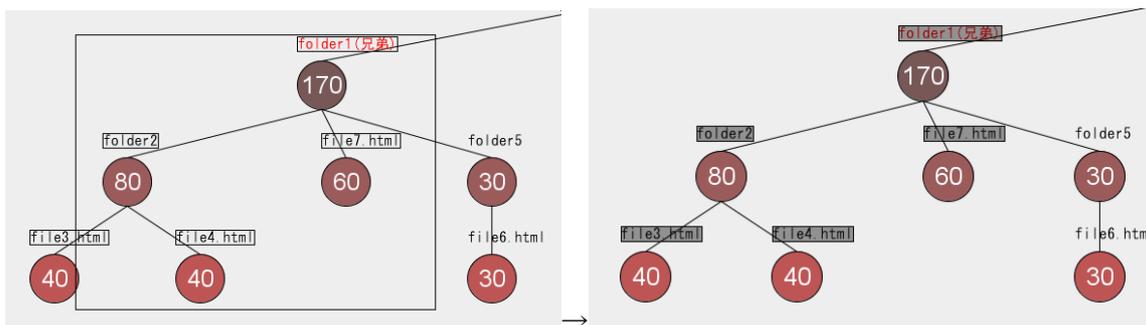


選択の仕方

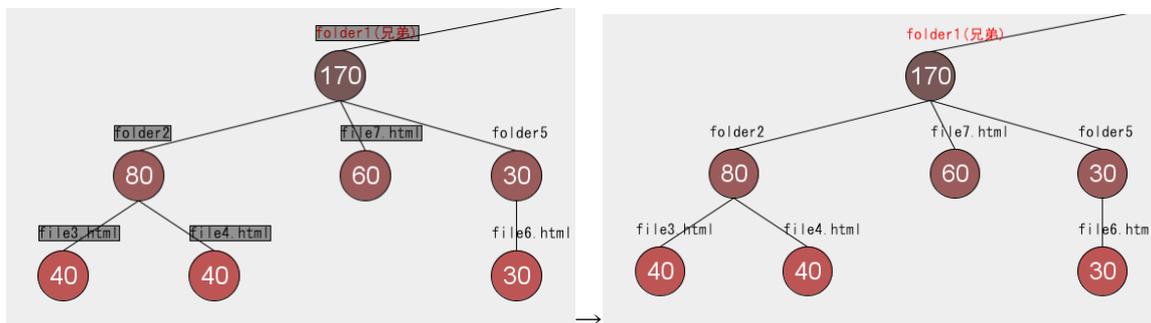
名前をクリックすると、選択・非選択を変更することができます。



ドラッグすると、選択範囲と重なった名前が選択されます。



Space キーを押すと選択をすべて消すことができます。



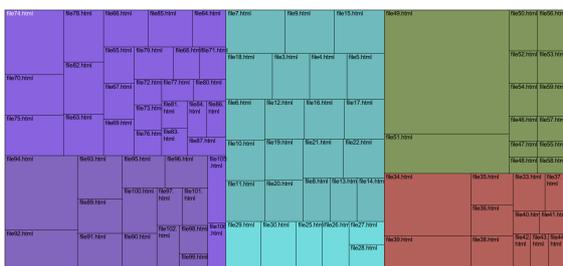
アンケート

ご自身についてお答えください。

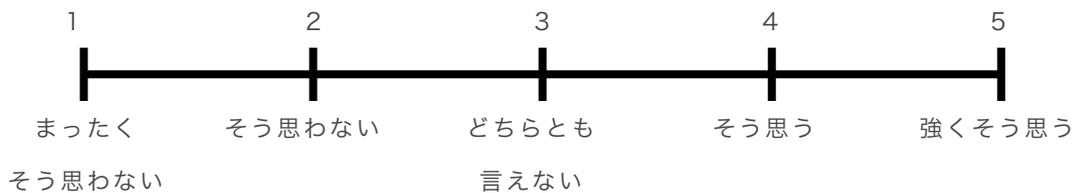
| | |
|--------|------|
| 氏名 | |
| 性別 男・女 | 年齢 才 |
| 所属 | 国籍 |

実験で見た教材についてお答えください。

1. 実験で見た教材によって、問題の視覚的表現が分かりやすくなりましたか？



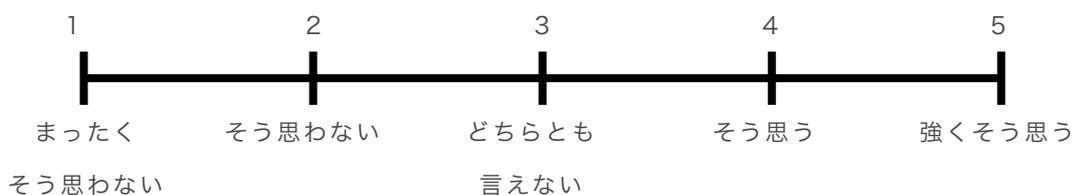
←問題の視覚的表現



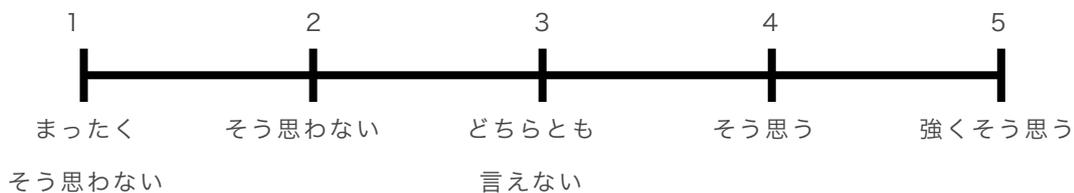
2. 実験で見た教材によって、問題の視覚的表現のノードの表し方が分かりやすくなりましたか？
(ノードが矩形で表されていることが分かりやすくなりましたか？)



3. 実験で見た教材によって、問題の視覚的表現の親子関係を読み取れるようになりましたか？
(親ノードの内部に子ノードが描かれているということが分かりやすくなりましたか？)



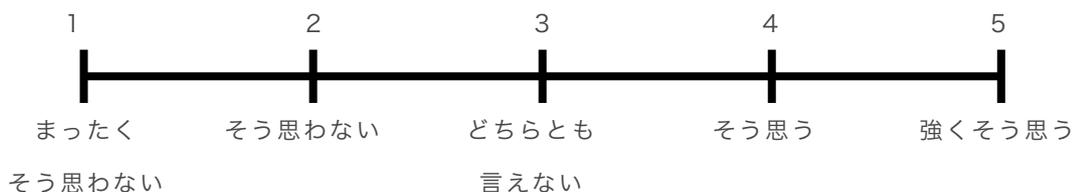
4. 実験で見た教材によって、問題の視覚的表現の重みの表し方が分かりやすくなりましたか？
(重みの比が面積比であることが分かりやすくなりましたか？)



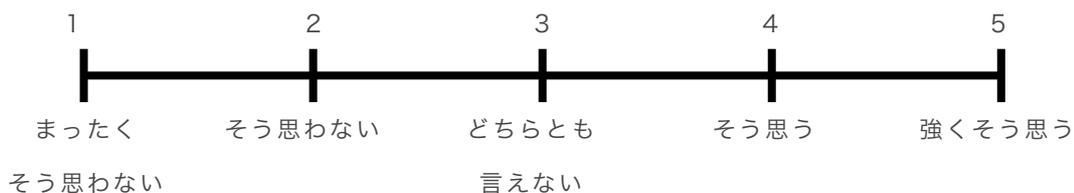
- その他教材を見てどんなことが分かるようになったかをお答えください

- 教材でよく分からなかった点をお答えください

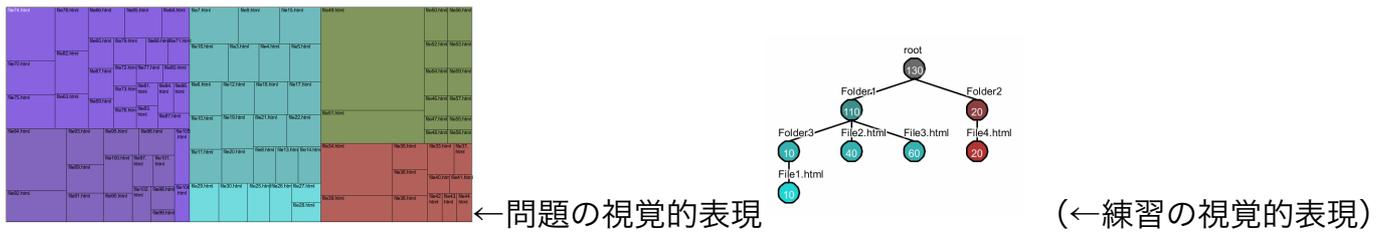
5. 実験で見た教材は問題に答えることに役に立ちましたか？ (回答しやすくなった、あるいは問題が簡単になりましたか？)



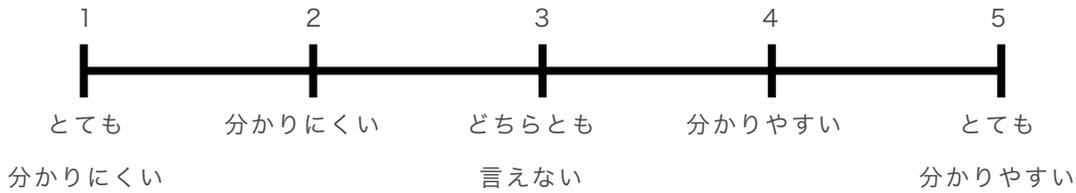
6. 実験で見た教材は見ていて楽しいものでしたか？



問題に使用していた視覚的表現についてお答えください。

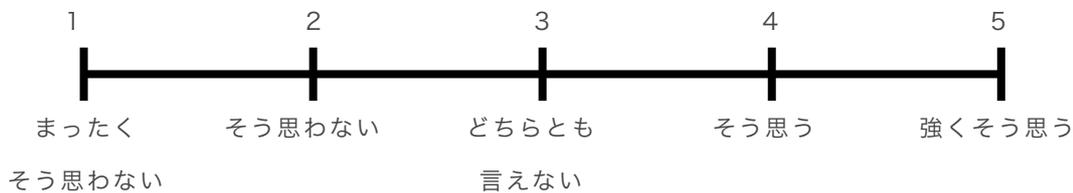


1. 問題の視覚的表現は分かりやすい表現でしたか？

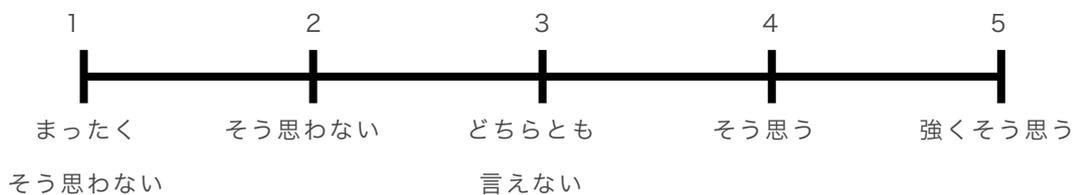


● 分かりにくかった点をお答えください

2. 問題の視覚的表現は練習の視覚的表現よりも小さいデータセットを表現するのに適していると思いませんか？



3. 問題の視覚的表現は練習の視覚的表現よりも大きいデータセットを表現するのに適していると思いませんか？



その他感想などあれば下の四角内に自由にお書きください。

ご協力ありがとうございました。

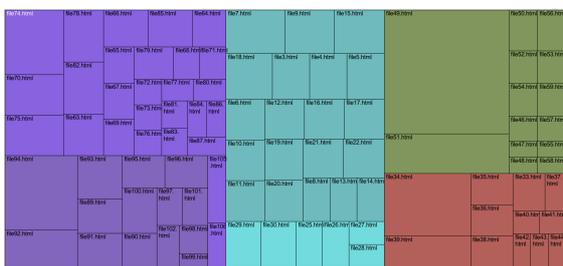
アンケート

ご自身についてお答えください。

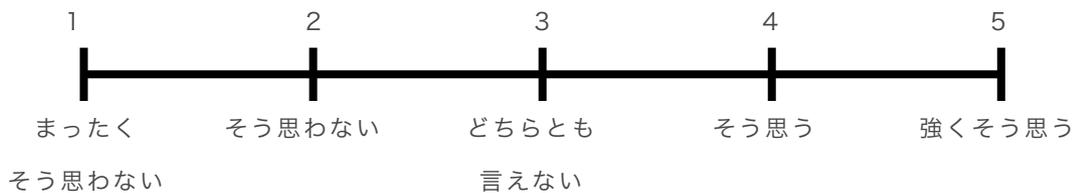
| | |
|--------|------|
| 氏名 | |
| 性別 男・女 | 年齢 才 |
| 所属 | 国籍 |

実験で見たアニメーションについてお答えください。

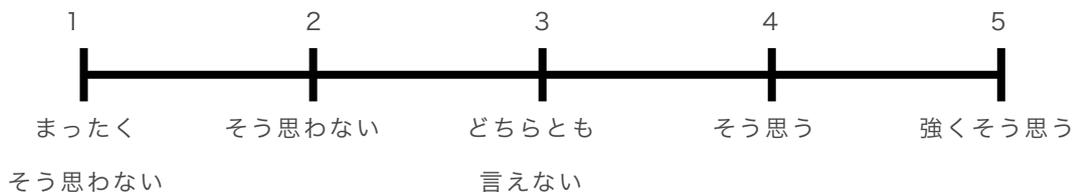
1. 実験で見たアニメーションによって、問題の視覚的表現が分かりやすくなりましたか？



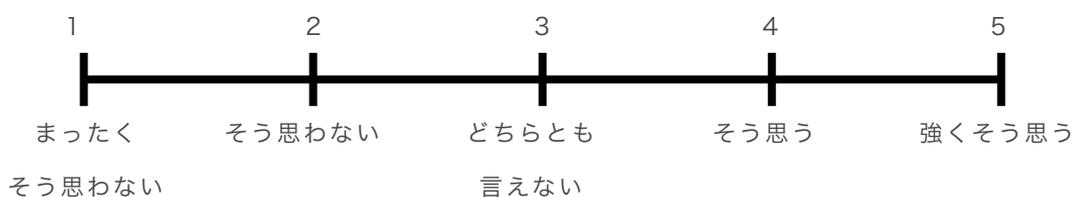
←問題の視覚的表現



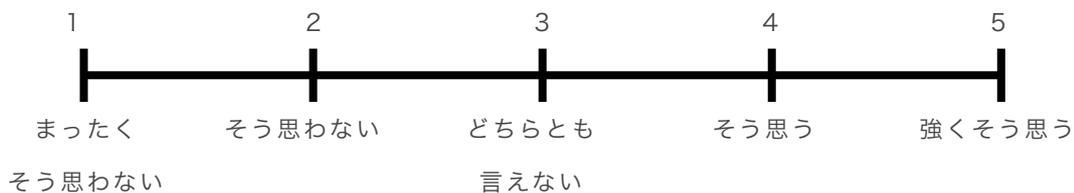
2. 実験で見たアニメーションによって、問題の視覚的表現のノードの表し方が分かりやすくなりましたか？（ノードが矩形で表されていることが分かりやすくなりましたか？）



3. 実験で見たアニメーションによって、問題の視覚的表現の親子関係を読み取れるようになりましたか？（親ノードの内部に子ノードが描かれているということが分かりやすくなりましたか？）



4. 実験で見たアニメーションによって、問題の視覚的表現の重みの表し方が分かりやすくなりましたか？（重みの比が面積比であることが分かりやすくなりましたか？）



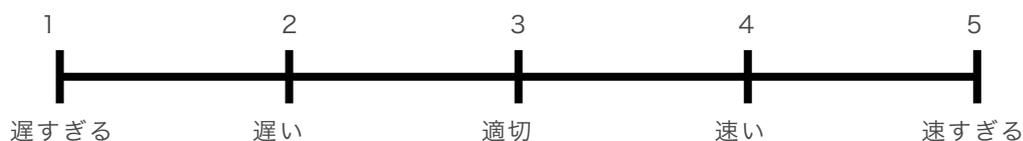
● その他アニメーションを見てどんなことが分かるようになったかをお答えください

● アニメーションでよく分からなかった点をお答えください

5. 実験で見たアニメーションは問題に答えることに役にたちましたか？（回答しやすくなった、あるいは問題が簡単になりましたか？）



6. 実験で見たアニメーションの速さは適切でしたか？



その他感想などあれば下の四角内に自由にお書きください。

ご協力ありがとうございました。