

Small Multiples とアニメーションを用いた
分析・伝達支援のための多変量データ視覚化

筑波大学
図書館情報メディア研究科
2013年3月
埴生 孝慈

目次

第1章 序論	1
1.1 研究の概要と目的	1
1.2 研究の背景	2
1.2.1 情報デザインと視覚化の用途	2
情報デザイン	2
図の用途	2
分析と伝達のための視覚化	2
1.2.2 Small Multiples	3
本研究で対象とするもの	3
その特徴	3
1.2.3 アニメーション	5
本研究で対象とするもの	5
その有効性	5
1.2.4 データ分析と情報伝達を支援する視覚化ツール	5
1.2.5 Small Multiples とアニメーションの併用	6
Small Multiples を用いたデータ分析の例	6
Small Multiples の再配列	7
再配列におけるアニメーション	7
第2章 関連研究	8
2.1 Small Multiples とアニメーションの比較	8
2.2 分析のために Small Multiples を用いた視覚化システム	9
2.3 伝達のためにアニメーションを用いた視覚化システム	9
第3章 実験	10
3.1 概要および方法	10
3.1.1 概要	10
3.1.2 実験参加者	10
3.1.3 環境	10
3.1.4 タスク	11
3.1.5 刺激	11
画面構成	11

	再配列パターン	13
	アニメーション	14
	グラフ数	15
	使用データ	15
	探索対象の決定方法	16
3.1.6	主観評価項目	16
3.1.7	実験デザイン	16
3.2	結果	17
3.2.1	探索時間	17
	アニメーションとグラフ数の関係	17
	アニメーションと再配列パターンの関係	19
3.2.2	正解率	20
3.2.3	主観評価	20
第4章	視覚化ツールの開発	22
4.1	開発したツールの概要	22
4.2	ツールの構成	22
4.2.1	操作モード	22
4.2.2	プレゼンテーションモード	22
4.3	対象としたデータ	22
4.3.1	多変量データ	23
4.3.2	データの尺度分類	23
4.4	実現した視覚的表現	24
4.4.1	視覚変数と尺度との対応付け	24
4.4.2	段階的アニメーションのためのインタフェース	25
4.5	インタフェース	25
4.5.1	操作パネル	27
4.5.2	プレゼンテーションパネル	27
4.5.3	Small Multiples パネル	27
4.6	ツールの機能	29
4.6.1	視覚変数と尺度との対応付け	29
4.6.2	点の大きさの調整	29
4.6.3	点の不透明度の調整	29
4.6.4	アニメーションの実行順の変更	32
4.6.5	デュレーションの調整	32
4.6.6	プレゼンテーションの実行	32
4.7	実装言語および使用データ形式	33
4.8	アニメーション	33
4.8.1	実装方法	33

4.8.2	用いた状況および対象	34
第5章	ツールの評価	35
5.1	開発したツールを用いたプレゼンテーションに対する主観評価実験	35
5.1.1	概要	35
5.1.2	実験参加者	35
5.1.3	環境	35
5.1.4	刺激	35
	プレゼンテーションの内容	36
	プレゼンテーションで用いた資料の形式	37
5.1.5	主観評価項目	39
5.1.6	手続き	39
5.1.7	結果	40
5.2	開発したツールの利用結果に対するインタビュー調査	41
5.2.1	概要	41
5.2.2	使用したデータ	41
5.2.3	参加者	42
5.2.4	手続き	42
5.2.5	環境	42
5.2.6	結果	43
	分析およびプレゼンテーション準備の実施	43
	プレゼンテーションの実施	44
	聴衆からの主観評価	47
	聴衆から得られた意見	48
	プレゼンターから得られた意見	49
第6章	考察	50
6.1	Small Multiples の再配列におけるアニメーションの利用について	50
6.1.1	グラフの探索時間に与える影響	50
	水平単方向展開および垂直単方向展開の場合について	50
	水平展開・垂直展開・転置の場合について	50
6.1.2	主観評価に与える影響	51
6.1.3	実際の視覚化システムでの利用	51
6.2	プレゼンテーションにおけるアニメーションの利用について	52
6.2.1	資料がプレゼンテーションの評価に与える影響	52
	アニメーションあり動的資料について	52
	アニメーションなし動的資料と静的資料について	52
6.2.2	資料が説明内容の評価に与える影響	53
6.3	開発したツールについて	53

6.3.1	開発したツールを用いたデータ分析の特徴	53
6.3.2	開発したツールを用いたプレゼンテーションの特徴	53
6.3.3	開発したツールの構成が分析と伝達の実施に与える影響	54
第7章	結論	55
	謝辞	57
	参考文献	58
	付録 A	60
	付録 B	66
	付録 C	69
	付録 D	72
	付録 E	75

目次

1.1	Small Multiples の例	4
1.2	生産地（垂直方向）と生産年（水平方向）ごとの大麦生産量	6
1.3	生産年（垂直方向）と生産地（水平方向）ごとの大麦生産量	7
3.1	1 試行ぶんのタスクにおける手続き	11
3.2	提示した刺激の例	12
3.3	再配列パターン	14
3.4	タスク実施順の例	17
3.5	アニメーション・グラフ数・パターンごとの平均探索時間	18
3.6	グラフ数が少ない場合でのパターンの多重比較	20
3.7	グラフ数が多い場合でのアニメーションの各水準におけるパターンの単純主効果	20
3.8	パターンごとの主観評価結果の平均値	21
4.1	視覚変数	24
4.2	ツールのインタフェース	26
4.3	操作パネル	28
4.4	プレゼンテーションパネル	28
4.5	Small Multiples パネル	28
4.6	視覚変数と尺度との対応付け	30
4.7	点の大きさの調整	31
4.8	点の不透明度の調整	31
4.9	アニメーションの実行順の変更	32
4.10	デュレーションの調整	32
4.11	<i>easeINOUT</i> 関数の出力例	34
5.1	提示した刺激の例	36
5.2	各資料形式における視覚化結果の遷移の例	38
5.3	主観評価結果の平均値	40
5.4	プレゼンテーション実施の様子	43
5.5	プレゼンテーション実施時におけるツールの画面遷移	46
5.6	プレゼンテーションのまとめで使用されたスライド	47

表目次

3.1	パターンごとの配列方法 (グラフ数が少ない場合)	15
3.2	パターンごとの配列方法 (グラフ数が多い場合)	15
3.3	主観評価項目	16
3.4	再配列パターンの各水準におけるグラフ数とアニメーションの単純交互作用	18
4.1	多変量データの例	23
4.2	データの尺度分類	23
4.3	尺度とその表現に適した視覚変数	25
4.4	ツールで用いた視覚変数と尺度との対応	25
4.5	CSV ファイルの形式	33
4.6	アニメーションを用いた状況およびその対象	34
5.1	説明に用いた原稿の例	37
5.2	主観評価項目	39
5.3	使用した多変量データの形式	41
5.4	聴衆の属性	42
5.5	聴衆による主観評価結果の平均値	47

第1章 序論

1.1 研究の概要と目的

同一の形式で表された複数のグラフを平面上に配列させる、Small Multiples と呼ばれる視覚化手法がある。先行研究によれば、Small Multiples はデータ分析を目的とした場合において優れた視覚化手法である。またプレゼンテーションなどの情報伝達を目的とした場合においては、アニメーションが優れた視覚化手法であることが報告されている。情報デザインの観点からすれば、有益な知識を伝えるためには、データに形を与え、意味のある情報に変える行為が必要である。上記のような、目的に応じて異なる視覚化手法を用いることは、データに適切な形を与える行為であると言える。

Small Multiples とアニメーションのいずれかを用いた視覚化を行うツール、すなわち分析または伝達のいずれかを支援するツールは数多く見られる。しかしながら、分析から伝達までを一括して支援する視覚化ツールは見受けられない。

またアニメーションの利用は、統計グラフィックスの変形においても有効であることが報告されている。その一方で、アニメーションの利用は却ってそのグラフィックスを複雑にする危険性があることも指摘されている。そのため、アニメーションはそのデザインや利用場面によっては必ずしも有効ではないと言える。Small Multiples については、グラフの配列方法が異なる複数の視覚化結果を用いて新たな知見を得るための支援をできることが報告されている。ここから、Small Multiples を用いた分析においても、グラフの配列方法の変更、すなわちグラフィックスの変形が行われる必要があると考えられる。しかし、実際に Small Multiples 中のグラフの配列方法を変更する際におけるアニメーションの利用が有効であるかは明らかになっていない。

本研究の目的は、Small Multiples とアニメーションを合わせて用いることによりデータ分析から情報伝達までを一括して支援することである。

以上の目的のために本研究では、i) Small Multiples の再配列におけるアニメーションの利用が視覚的探索とユーザの主観評価に与える影響を明らかにするための実験、ii) Small Multiples とアニメーションを用いた視覚化ツールの開発、iii) 開発した視覚化ツールの評価、の3つを行った。

1.2 研究の背景

1.2.1 情報デザインと視覚化の用途

情報デザイン

情報 (*information*) の一般的な定義は、伝える (*inform*) 動作—心や性格の形成、陶冶、訓練、指示、教育—有益な知識を伝えることである [1]。しかしながら、第二次大戦後、情報という言葉は電線や機械的なチャンネルを通して送られるものを総称する技術用語としての使用が流行した。その結果、必ずしも伝える必要の無いものまでこの名前と呼ばれるようになった [1]。

また Wurman によれば、生のデータは情報になり得るが、それ自体は必ずしも情報と同一ではない。そのため、データに形を与え、意味のある情報に変える行為が必要となる。その行為が情報デザインである。

情報デザインという語自体は、1970年代にイギリスの情報デザイン協会が最初に使用を始めたものとされている [2]。しかし、その行為の起源は南フランス・ラスコーなどの洞窟に遺された石器時代の壁画にまでさかのぼることができる [3]。そのため、情報デザインと図には密接な結びつきがある。

図の用途

Bertin によれば、図の用途は以下の2種類である [4]。

1. 処理の図

データによって明らかになる関係を発見したり、言うべきことを見出したりするために利用するもの。

2. 意思伝達用の図

前もって知っている関係、すなわち既知の事柄を他人に伝えるために利用するもの。

また Bertin は、処理の図にはデータを単純化しながらも網羅的に示すことが、意思伝達用の図には単純さが、それぞれ求められると述べている。ここから、図がより効果的に利用されるためには、その用途に応じた情報デザインがなされるべきであると言える。

分析と伝達のための視覚化

視覚化とは、図によってデータを視覚的に表すことであるため、前述した図の用途は、そのまま視覚化の用途であると考えられることができる。

それぞれの用途において求められる性質が異なることから、これらの性質を満たすためには、同じデータを対象とした場合であっても、その用途に応じて異なる視覚化手法が用いられるべきであると言える。実際に Robertson らによれば、分析においては Small Multiples が、プレゼンテーションにおいてはアニメーションが、それぞれ適した視覚化手法であることが

報告されている [5]. なおこれ以降, 本論文においては特に断りのない限り, データを視覚化したものを用いて情報伝達を行うプレゼンテーションを指して, 単にプレゼンテーションと表記する.

1.2.2 Small Multiples

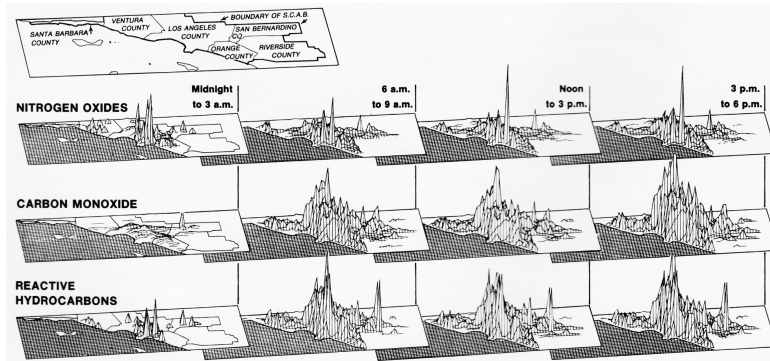
本研究で対象とするもの

Small Multiples とは, 複数の要素を平面上に配列させ, ひとまとまりのグラフィックスすなわち図とする視覚的表現手法である [6, 7, 8]. この名称を提唱した Tufte は, 配列される要素の種類や要素の配列方法について厳密には定義しておらず, 図 1.1 に示すようなものすべてを Small Multiples と称している. 視覚化手法としての Small Multiples は, 主に, 同一の形式で表された矩形のグラフ¹を, カテゴリ分けに応じて水平・垂直方向に整列させたもの (図 1.1(c) 参照) を指す ([5, 9, 10] など). そのため本論文においても, これ以降は図 1.1(c) に示す形式のものを指して Small Multiples と表記する. またこれ以降, Small Multiples 中のグラフを指して, 単にグラフと表記する.

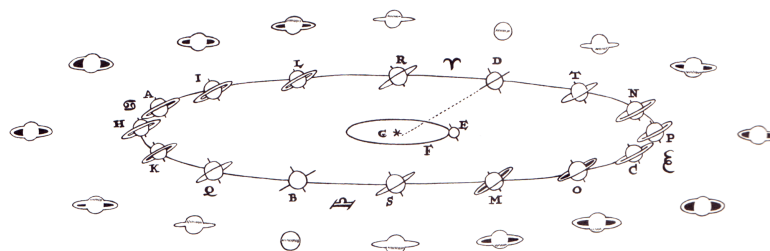
その特徴

Tufte は, Small Multiples の特徴として, 要素間の差分の検出や, 異なる領域の比較を視覚的に支援できることを挙げている [6]. Fabrikant らは, 眼球運動計測データをもとに分析を行い, Small Multiples の特徴は, ユーザが任意の順番・早さで情報を取得できる点であると述べている [11]. また前述の Robertson らは, 情報読みとりタスクの所要時間および正確性を計測した実験の結果をもとに, Small Multiples は分析を目的とした場合において優れた視覚化手法であると報告している [5].

¹ここでのグラフとは, 散布図や折れ線グラフなどを指す.



(a) 時刻と物質ごとに示された大気中の汚染物質質量 [6]



(b) 地球と土星の公転軌道および地球からみた土星の姿 [7]



(c) 平均寿命と子どもの死亡率の関係の推移を示したグラフを国ごとに整列させたもの [5]

図 1.1: Small Multiples の例

1.2.3 アニメーション

本研究で対象とするもの

本研究では、情報伝達の支援を目的としてアニメーションを用いる。そのため、Heer らの記述 [12] をもとに、本研究で対象とするアニメーションについて、次のように定義した。

**異なる 2 状態の遷移についての理解を促進するために、
それらの状態間を視覚的に補間 (visually interpolate) するもの**

その有効性

1.2.1 で述べたとおり、Robertson らはプレゼンテーションにおいてアニメーションの利用が有効であることを示した。また統計グラフィックスの変形時においては、段階的なアニメーションの利用により、情報読み取りの正確性や主観評価が向上することが Heer らによって報告されている [12]。

しかしながら、Tversky らによれば、アニメーションの利用には、却ってそのグラフィックスを複雑にする危険性があることも指摘されている [13]。また前述の Heer らも、有効であるのは適切にデザインされた (*appropriately-designed*) アニメーションであると述べている。ここからアニメーションの利用は、そのデザインや利用場面によっては必ずしも有効ではないと言える。

1.2.4 データ分析と情報伝達を支援する視覚化ツール

分析を目的とした場合において優れた視覚化手法であることから、実際に Small Multiples を利用した視覚化システムの研究 [9, 10] やソフトウェアの開発 [14] が行われている。これらはデータに対する多角的な視覚化を可能にすることで、ユーザによるデータ分析を支援している。しかしながら、その出力形式はアニメーションのない 1 枚の図であるため、意思伝達の図を作成する、すなわち情報伝達を支援する機能については不足があると言える。

またプレゼンテーションにおいてアニメーションを活用した例として、Rosling が TED²で行ったプレゼンテーション [15, 16] とそこで用いられたツールである Gapminder [17] が挙げられる。特に 2006 年 2 月に行われたプレゼンテーション [15] は 4,763,003 回再生³され、TED サイト内での再生回数上位 10 件に含まれている³など、高い評価を受けている。しかしながら、Gapminder は Small Multiples 形式の視覚化には対応していない。そのため、処理の図を作成する機能には改善の余地があると考えられる。

このように、データ分析または情報伝達のどちらかを支援する機能に優れた視覚化ツールは数多くあるが、分析から伝達までを一括して支援する視覚化ツールは見受けられない。

²<http://www.ted.com/>

³2012 年 12 月 21 日現在

1.2.5 Small Multiples とアニメーションの併用

アニメーションの利用は、Small Multiples を用いてデータ分析を行う際にも有効であると考えられる。以下では、Small Multiples を用いたデータ分析の例と、その過程におけるアニメーションの利用場面について述べる。

Small Multiples を用いたデータ分析の例

Becker らは、1930年代に行われた実験で得られた大麦の生産量についてのデータを、垂直方向は生産地ごとに、水平方向は生産年ごとにカテゴリ分けされた Small Multiples として視覚化した（図 1.2）。図 1.2 において、それぞれのグラフの縦軸は品種を、横軸は生産量を表している³。生産地は、あらかじめ生産量の中央値にもとづいて降順でソートされている。そのため、列ごとに見た場合、最上部の行である Waseca から最下部の行である Grand Rapids に向かうに従って、データ点はグラフの左側にプロットされる傾向になるはずである。しかしながら、3行目にある Morris についてのグラフのみ、その傾向に反しているという特徴があることが分かる。Becker らはこのような視覚化結果をもとに、大麦生産量の傾向についての考察を行った。

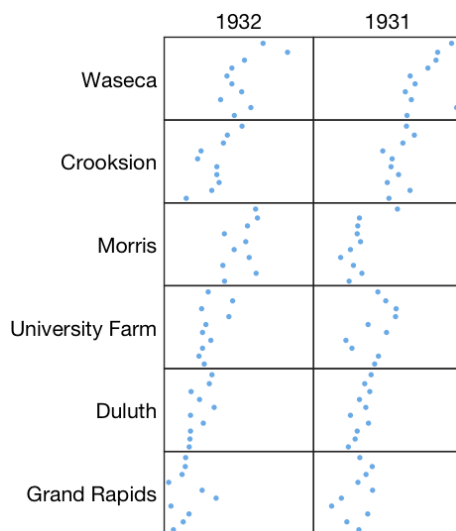


図 1.2: 生産地（垂直方向）と生産年（水平方向）ごとの大麦生産量

※ [9] をもとに再構成

³図 1.2 においてはこれらの値の詳細は割愛した。

Small Multiples の再配列

図 1.2 と同様に、品種と生産量についてのグラフを生産地と生産年でカテゴリ分けした Small Multiples としては、図 1.3 のようなものも考えられる。しかしながら図 1.3 では、生産地ごとのグラフは水平に配列されているため、図 1.2 に比べ、Waseca から Grand Rapids に向かうに従ってデータ点がグラフの左側にプロットされる傾向が読みとりづらい。そのため、Morris のデータについての特徴を発見するためには、図 1.3 のものよりも図 1.2 の配列方法がより適切であると言える。

また Stolte らによれば、視覚的な分析を行う過程は予測できないものであるため、表示方法などを容易に変えられるようにする必要があることが指摘されている [10]。

以上から、Small Multiples を用いてデータを視覚的に分析する過程では、新しい知見を得るのに適した配列方法を見出すために、Small Multiples 中のグラフの配列方法の変更が行われる必要があると考えられる。なおこれ以降、本論文においては、グラフの配列方法を変更することを指して、再配列と表記する。

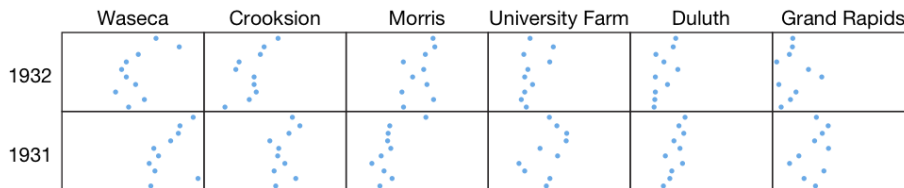


図 1.3: 生産年（垂直方向）と生産地（水平方向）ごとの大麦生産量

※ [9] をもとに再構成

再配列におけるアニメーション

Small Multiples の再配列もまたグラフィックスの変形であるため、再配列の際にアニメーションを用いることが有効であると思われる。しかし 1.2.3 で述べた通り、アニメーションの利用はそのデザインや利用場面によっては有効でない場合がある。Small Multiples については、アニメーションを合わせて用いた視覚化は行われていない。そのため、Small Multiples の再配列におけるアニメーションの利用がどのような影響を有するかは明らかになっていない。

第2章 関連研究

本研究に関連する研究について、Small Multiples とアニメーションの比較を行ったもの、分析のための視覚化に Small Multiples を用いたもの、伝達のための視覚化にアニメーションを用いたもの、の3つに分類して述べる。

2.1 Small Multiples とアニメーションの比較

Robertson らは、能動的・対話的に視覚化結果を提示できる環境（分析環境）および受動的に視覚化結果を提示される環境（プレゼンテーション環境）において Small Multiples とアニメーションを比較する実験を行った。この実験では、国ごとに記録された時系列データに関する情報読み取りタスクの正確性と所要時間が計測された。Small Multiples を用いた視覚化結果としては、国ごとの時系列データを示した折れ線グラフを配列させたものが使用された。またアニメーションを用いた視覚化結果としては、すべての国のデータをまとめた1枚の散布図上の点が時間の経過に伴い移動するものが使用された。結果は、正確性については、Small Multiples が有意に優れていた。所要時間については、分析環境においては Small Multiples が、プレゼンテーション環境においてはアニメーションが、それぞれ有意に短かった。ただし Robertson らは、プレゼンテーション環境におけるアニメーションの利用によってタスクの所要時間を短くするためには、プレゼンテーションを行う発表者がアニメーションについての説明や指示を聴衆に与える必要があることも指摘している [5]。

Archambault らは、図中の要素数の増減などに関する情報読み取りタスクの正確性と所要時間についての比較を行った。所要時間については、Small Multiples がアニメーションより有意に短かった。正確性については、新しい要素の出現を検出するような場合において、アニメーションが Small Multiples より有意に優れていた [18]。Archambault らの、アニメーションと正確性についての実験結果は、新しい要素の出現をグラフィックスの変形に含めて考えれば、アニメーションの利用によってグラフィックスの変形に関する情報読み取りの正確性が向上するという Heer らの報告 [12] と一致する。

これらの結果から、Small Multiples は情報読み取りの正確性および所要時間ともにおおむね優れた視覚化手法であると言える。またアニメーションは、図中に新しい要素が出現する場合やアニメーション自体についての説明があるプレゼンテーションにおいて優れた視覚化手法であると言える。以上にもとづき、本研究では、データ分析の際は Small Multiples を、プレゼンテーションの際はアニメーションをそれぞれ用いることで、分析から伝達までを一括して支援する視覚化ツールの開発を行った。

2.2 分析のために Small Multiples を用いた視覚化システム

Becker らによる Trellis Display[9] は、格子 (trellis) 状の枠にしたがってグラフを配列させることでデータを視覚化するもので、枠の配列方法を操作することができる。Becker らは同一のデータに対する、配列方法の異なる複数の Small Multiples を示し、そのデータに対する新たな知見を見出すために活用した。

Tableau[14] およびその基盤となった Polaris[10] は、アイコンで示された変数をドラッグ & ドロップすることで、グラフの x 軸や y 軸の値あるいはグラフ上の要素の色や形状に対応付けることのできるインタフェースを持ち、Small Multiples を用いた視覚化にも対応している。

これらのシステムの出力は、いずれもアニメーションのない 1 枚の図である。また視覚化結果が変化する際においても、アニメーションは用いられていない。そのため、これらのシステムによる視覚化結果は、アニメーションを用いることで意思伝達用の図としても利用可能になるなど、改善の余地があると言える。

2.3 伝達のためにアニメーションを用いた視覚化システム

Slithy[19] はプレゼンテーション¹のためのアニメーション作成を支援するシステムである。その目的は、プレゼンテーション¹そのものをアニメーションの活用によって改善することである。本研究にて開発したツールは、データを視覚化し、その結果として得られた情報を第三者に伝える支援をするためのものであるため、Slithy とは目的が異なる。しかしながら、情報伝達のためにアニメーションを活用するという点では、本研究にて開発したツールと共通している。そのため、Slithy で用いられているアニメーションのためのデザイン理論は、本研究にて開発したツールによって生成されるアニメーションの基盤となっている。

¹ここでの「プレゼンテーション」とは、データを視覚化したものを用いずに行うプレゼンテーションも含む。

第3章 実験

3.1 概要および方法

3.1.1 概要

Small Multiples を用いて分析を行うプロセスの一例として、分析者が何らかの仮説にもとづいて再配列を行い、着目しているカテゴリについてのデータを示したグラフの探索を行うというものが考えられる。

Small Multiples の再配列におけるアニメーションの利用が、前述したような場面における視覚的探索およびユーザの主観評価に与える影響を明らかにするための実験を行った。実験では、再配列された Small Multiples の中から、指定された1つのカテゴリについてのグラフを探索するタスクを実験参加者に行わせた。これらのタスクを、再配列の際にアニメーションを利用したものと利用しないもののそれぞれを用いて行わせ、探索に要した時間とその正解率を記録した。また実験参加者には、タスク実施後に主観評価を行わせた。

3.1.2 実験参加者

20歳から25歳の大学生および大学院生20名(うち男性14名、女性6名、平均年齢22.4歳)が実験に参加した。

3.1.3 環境

刺激は Processing¹(Ver. 1.5.1) で実装したプログラムにより制御し、15インチの液晶ディスプレイ(1440 pixel × 900 pixel)上に全画面表示で提示した。入力デバイスには Bluetooth 接続式の無線マウスを用いた。提示した刺激の詳細については3.1.5で述べる。

¹<http://www.processing.org>

3.1.4 タスク

1 試行ぶんのタスクにおける手続き（図 3.1）は以下の通りである。

1. 初期状態の Small Multiples が提示される。実験参加者がディスプレイ上の任意の箇所をクリックすることで、Small Multiples の再配列が行われる。
2. Small Multiples の再配列が行われ、その結果が提示される。実験参加者がいずれかのグラフをクリックすることで、タスクの正否と探索時間が記録される。

記録する探索時間は、初期状態の画面においてクリックを行ってから、再配列後の画面においていずれかのグラフをクリックするまでの時間とした。なお各試行の前には、ディスプレイ上に何も提示しない 2 秒間の準備時間を設けた。

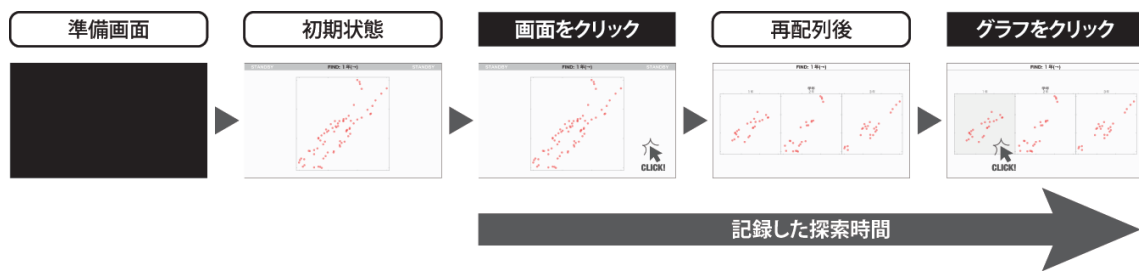


図 3.1: 1 試行ぶんのタスクにおける手続き

3.1.5 刺激

タスク実施の際に提示した刺激について、画面構成、アニメーション、再配列パターン、グラフ数、使用データ、探索対象の決定方法、の 6 つに分けて述べる。

画面構成

刺激は図 3.2 に示す形式で提示した。画面中央には Small Multiples を、その上部および左側には各グラフのカテゴリ名を示すラベルを配した。また画面上部には探索対象となるグラフのカテゴリ名と再配列パターンの情報を示すラベルを配した。探索対象のカテゴリ名は「FIND: ○○」または「FIND: ○○/△△」の形式で提示した。例えば図 3.2 では「FIND: 3 年/女性」と提示されていることから、探索対象は 3 年の女性についてのグラフである。そのため図 3.2 のような刺激が提示されたときは、実験参加者が右下のグラフをクリックした場合が正解となる。再配列パターンの情報の提示方法については後述する。

Small Multiples 中の各グラフは散布図とした。散布図中の点の大きさは 10 pixel とした。ま

た点の総数は72個とし、提示されている各グラフ内に含まれる点の個数は常に等しくなるようにした。例えばグラフが6個提示されている場合、各グラフは12個の点を含む。

各グラフの形状は正方形とした。正方形の1辺の長さは、次に示す手順により決定し、提示される全グラフ間で統一した。

1. 描画領域の横幅²を、列数で除算した値を求める。
2. 描画領域の縦幅³を、行数で除算した値を求める。
3. 1および2で求めた値のうち、より小さい値を各グラフの1辺の長さとする。

なお列数と行数は、それぞれ水平方向および垂直方向に配列されるグラフの個数を指す。また、これ以降 Small Multiples の配列方法は n 行 m 列と表記することとする (この表記法では、図 3.2 中の Small Multiples の配列方法は 2 行 3 列と表される)。

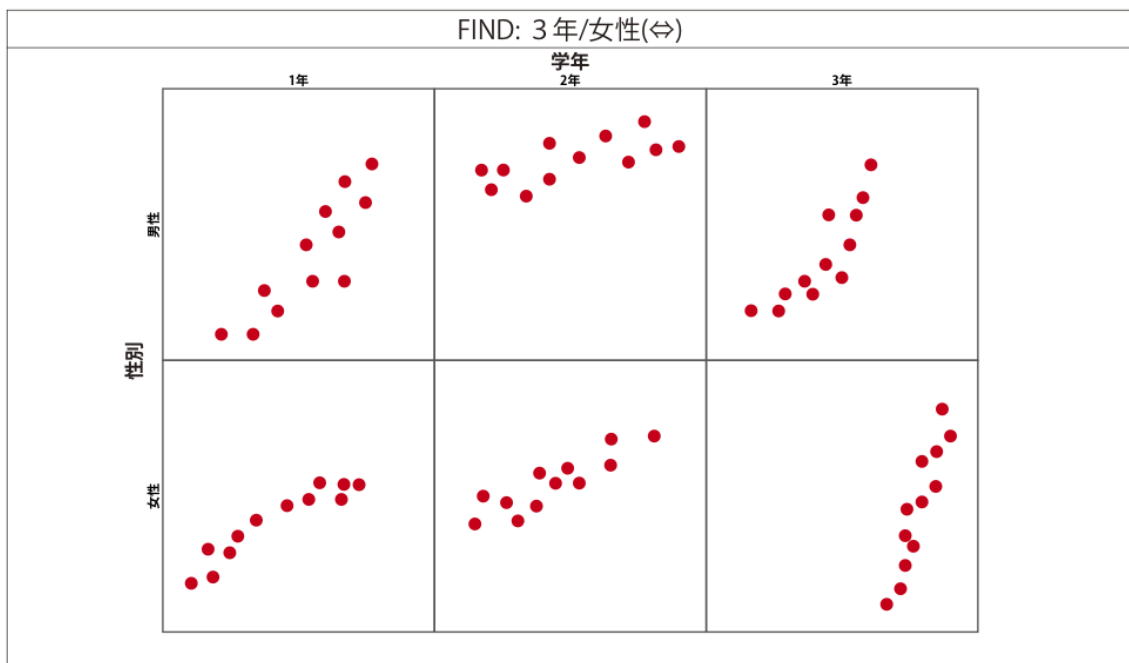


図 3.2: 提示した刺激の例

²描画領域の横幅は 1344 pixel であった。

³描画領域の縦幅は 693 pixel であった。

再配列パターン

Small Multiples の再配列パターン（以降は単にパターンと表記する）は以下に示す 5 種類とした。

1. 水平単方向展開

1 行 1 列に配列されたグラフが水平方向に展開し、1 行 n 列に再配列される (図 3.3(a)).

2. 垂直単方向展開

1 行 1 列に配列されたグラフが垂直方向に展開し、 n 行 1 列に再配列される (図 3.3(b)).

3. 水平展開

m 行 1 列に配列されたグラフ、すなわちあらかじめ垂直方向への展開がなされたグラフが水平方向に展開し、 m 行 n 列に再配列される (図 3.3(c)).

4. 垂直展開

1 行 m 列に配列されたグラフ、すなわちあらかじめ水平方向への展開がなされたグラフが垂直方向に展開し、 n 行 m 列に再配列される (図 3.3(d)).

5. 転置

m 行 n 列に配列されたグラフ、すなわちあらかじめ水平方向・垂直方向への展開がなされたグラフの行と列が入れ替わり、 n 行 m 列に再配列される (図 3.3(e)).

図 3.3(a)~(e) においては、左端の図が初期状態の配列方法を、右端の図が再配列後の配列方法を、中央の 3 枚の図はアニメーションを用いた場合の再配列の過程を示している。アニメーションの詳細については後述する。なお本実験では、1 行 1 列から n 行 m 列になるもの、すなわち水平方向・垂直方向に同時に展開するものはパターンに含めなかった。これは、実際の分析過程を想定した場合、1 回の操作で変更できるのは 1 方向のカテゴリ分けのみであると考えられるためである。ただし、水平方向・垂直方向のカテゴリ分けの入れ替えは 1 回の操作で行えるものとし、転置はパターンに含めた。

また、パターンの情報は 3 種類の記号 (→, ↓, ⇔) を用いて、探索対象のカテゴリ名と並べて画面上部に提示した (図 3.2 参照)。「→」は水平単方向展開および水平展開に、「↓」は垂直単方向展開および垂直展開に、「⇔」は転置にそれぞれ対応させた。

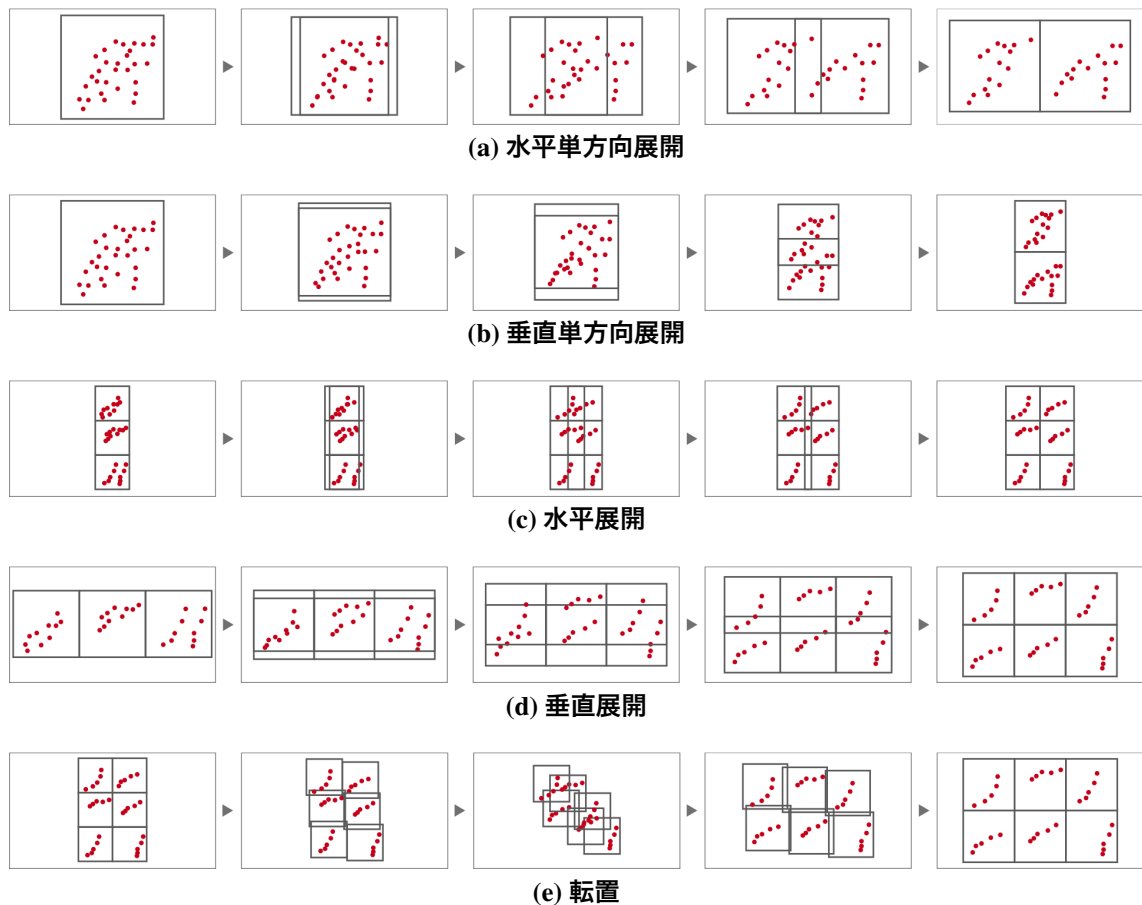


図 3.3: 再配列パターン

アニメーション

再配列を行う際に値の更新が行われるのは、各グラフの座標⁴とその1辺の長さとした。これらについて、初期状態における値から再配列後における値へと補間しながら、値の更新を連続的に行ったものを、これ以降「アニメーションあり」と表記する。対して、補間を行わず値の更新を不連続的に行ったものを「アニメーションなし」と表記する。

アニメーションありの場合、初期状態の画面にてクリックを行うことによってアニメーションが開始したのち、2秒後に再配列が完了するように設定した⁵。またアニメーションなしの

⁴各グラフ内に含まれる点の座標とカテゴリ名を示すラベルの座標は、グラフの座標にもとづいて相対的に決定される。そのためグラフの座標の更新に伴い、これらの座標も更新される。

⁵値の補間には、Processing に付属する Integrator クラスを用いた。Integrator クラスのメンバ変数である DAMPING および ATTRACTION はそれぞれ 0.1, 0.3 に設定した。

場合、初期状態の画面にてクリックを行うことによって瞬時に再配列後の Small Multiples が提示されるように設定した。

グラフ数

配列されたグラフ数の違いによって、探索タスクの難易度に違いが生じると考えられる。そのため再配列後のグラフ数に関して、少ない場合と多い場合の2水準を設けた。グラフ数が少ない場合における再配列後のグラフ数は、全パターン間で統一し、6とした。グラフ数が多い場合における再配列後のグラフ数は、水平単方向展開および垂直単方向展開については8、それ以外のパターンについては12とした。グラフ数が少ない場合と多い場合のそれぞれにおけるパターンごとの配列方法を表3.1および表3.2に示す。

表 3.1: パターンごとの配列方法 (グラフ数が少ない場合)

	水平単方向	垂直単方向	水平	垂直	転置
初期状態	1行1列		2行1列 又は3行1列	1行2列 又は1行3列	2行3列 又は3行2列
再配列後	1行6列	6行1列	2行3列 又は 3行2列		

表 3.2: パターンごとの配列方法 (グラフ数が多い場合)

	水平単方向	垂直単方向	水平	垂直	転置
初期状態	1行1列		3行1列 又は4行1列	1行3列 又は1行4列	3行4列 又は4行3列
再配列後	1行8列	8行1列	3行4列 又は 4行3列		

使用データ

本実験では、筆者が作成したダミーデータを使用して視覚化を行った。このダミーデータは、配列されたそれぞれのグラフに含まれる点の個数が、常に等しくなるよう調整を行ったものである。

探索対象の決定方法

各試行において探索対象となるグラフは、乱数を用いて決定した。乱数の生成には、Processingの標準ランダム関数を使用した。使用したランダム関数は、プログラム実行のたびに異なるシード値を設定し、それにもとづいて値を返す。そのため、探索対象となるグラフは、アニメーションの有無やパターン、グラフ数、試行回数とは独立して決定された。

3.1.6 主観評価項目

主観評価は表 3.3 に示した 3 項目に対し、アニメーションありとアニメーションなしのどちらが優れていたかを、5 段階でパターンごとに評価させた。また、自由記述による評価も行った。

表 3.3: 主観評価項目

	質問内容
Q1	探索に要した感覚時間の長さ
Q2	生じた変化の分かりやすさ
Q3	総合的にどちらが良いと感じたか

3.1.7 実験デザイン

本実験は、アニメーション（2水準;あり/なし）とグラフ数（2水準;多い/少ない）およびパターン（5水準;水平単方向展開/垂直単方向展開/水平展開/垂直展開/転置）による 20 条件の参加者内 3 要因計画により行った。

実験では、まず、実験参加者間での Small Multiples に対する知識・経験に差が生じないようにするため、教示⁶および練習試行を実施した。このうち、本試行と主観評価を実施した。

教示を行った内容は、タスク、本実験で用いる Small Multiples の形式、探索対象のカテゴリ名と再配列パターンに関する情報の提示方法、再配列パターン、の 4 つである。なお再配列パターンについての教示の際には、5 種類のパターンそれぞれに対し、実際のプログラム上での再配列の様子を提示した。

練習試行は、各パターンにつき 3 回ずつ、計 15 回の試行をアニメーションあり/なしそれぞれに対して行った。

本試行では、アニメーションの有無およびグラフ数によって条件分けされた 4 つのブロックを順に行った。ブロックの実施順は実験参加者間でカウンターバランスされた。各ブロックは 3 つのサブブロックから成る。1 つのサブブロックでは各パターンに対しそれぞれ 5 試行ずつ、計 25 試行実施した。なお、各サブブロック内における試行順はラテン方格を用いて

⁶教示の際に使用した用紙を付録 A に添付する。

パターンの偏りが生じないように決定した。また、Small Multiples を配列するためのカテゴリデータは全 12 サブブロック間でそれぞれ異なるものを用いた。本試行におけるタスク実施順の例を図 3.4 に示す。

主観評価は 3.2.3 で述べた内容を記した質問紙を用いて行った⁷。

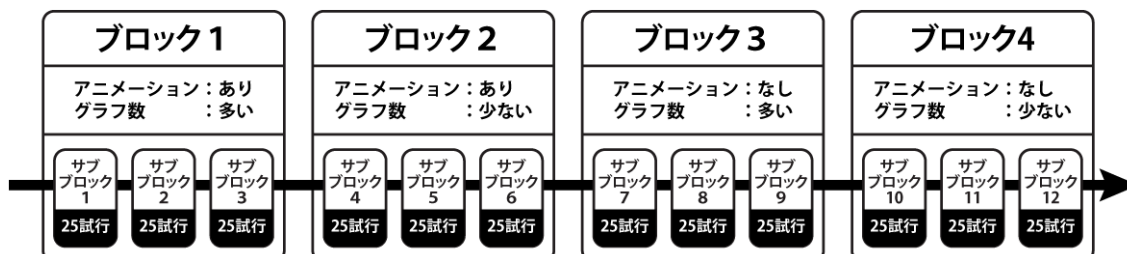


図 3.4: タスク実施順の例

3.2 結果

3.2.1 探索時間

記録された探索時間から、アニメーション・グラフ数・パターンごとに求めた平均探索時間を図 3.5 に示す。

探索時間を従属変数としてアニメーション・グラフ数・パターンの 3 要因分散分析を行った結果、アニメーション・グラフ数・パターンの主効果がいずれも有意であった ($F(1,19)=7.903$; $p<.05$, $F(1,19)=94.674$; $p<.001$, $F(4,76)=15.900$; $p<.001$)。1 次の交互作用については、アニメーションとグラフ数・アニメーションとパターン・グラフ数とパターンの交互作用がいずれも有意であった ($F(1,19)=10.417$; $p<.01$, $F(4,76)=3.226$; $p<.05$, $F(4,76)=27.667$; $p<.001$)。また、アニメーションとグラフ数とパターンによる 2 次の交互作用が有意であった ($F(4,76)=14.663$; $p<.001$)。

アニメーションとグラフ数の関係

図 3.5 より、パターンが水平展開・垂直展開・転置のいずれかであり、かつグラフ数が多い場合に限り、アニメーションありの方が探索時間は短いことが分かる。特にこの点について検討を行うため、パターンの各水準におけるグラフ数とアニメーションの単純交互作用の検定を行った (表 3.4)。結果は、1) 水平単方向展開および垂直単方向展開の場合、2) 水平展開・垂直展開・転置の場合、の 2 つに分けて述べる。

⁷使用した質問紙を付録 B に添付する。

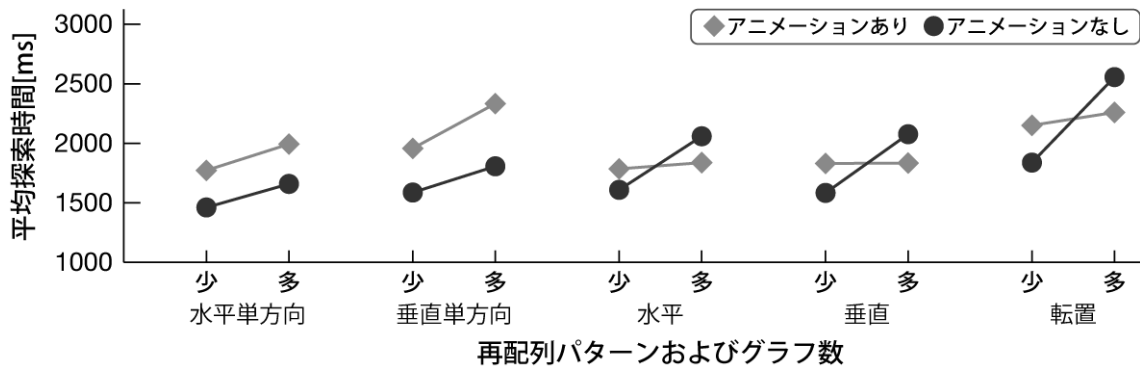


図 3.5: アニメーション・グラフ数・パターンごとの平均探索時間

表 3.4: 再配列パターンの各水準におけるグラフ数とアニメーションの単純交互作用

	水平単方向	垂直単方向	水平	垂直	転置
グラフ数	31.996*	28.389*	27.367*	51.738*	43.125*
アニメーション	29.507*	81.912*	0.108	0.002	0.010
グラフ数×アニメーション	0.082	3.937	13.265**	31.444*	11.723**

表中の値は F 値 (いずれも F(1,19)) を表す (*:p<.001, **:p<.01)

1. 水平単方向展開および垂直単方向展開の場合について

アニメーションとグラフ数の交互作用は有意でなく、それぞれの主効果が有意であった (いずれも $p < .001$)。ここから、水平単方向展開および垂直単方向展開においては、アニメーションなしの方がアニメーションありに比べて探索時間は有意に短いことが分かる。またグラフ数は少ない場合の方が多い場合に比べて探索時間は有意に短いことが分かる。

2. 水平展開・垂直展開・転置の場合について

グラフ数の主効果 (いずれのパターンも $p < .001$) およびアニメーションとグラフ数の交互作用が有意であった (水平展開と転置は $p < .01$, 垂直展開は $p < .001$)。アニメーションの主効果は有意でなかった。

交互作用が有意であったため、アニメーションの各水準におけるグラフ数の単純主効果の検定 (Bonferroni 法を用いた。以降の単純主効果の検定および多重比較も同様) を行った。アニメーションなしにおけるグラフ数の単純主効果はいずれのパターンにおいても有意であった (いずれも $p < .001$)。アニメーションありにおけるグラフ数の単純主効果は有意でなかった。ここから、これら 3つのパターンにおいては、グラフ数の増加に伴い探索時間が有意に長くなるのは、アニメーションなしの場合のみであることが分かる。また、グラフ数の各水準におけるアニメーションの単純主効果の検定を行ったところ、

いずれのパターン・グラフ数においてもアニメーションの単純主効果が有意であった(水平展開と転置は $p < .05$, 垂直展開は $p < .01$). ここから, これら3つのパターンにおける探索時間は, グラフ数が少ない場合ではアニメーションなしの方が有意に短い, グラフ数が多い場合ではアニメーションありの方が有意に短いことが分かる.

アニメーションと再配列パターンの関係

前述したグラフ数とアニメーションの単純交互作用の検定では, パターンの有意性が判定されていない. そのため, グラフ数の各水準におけるアニメーションとパターンの単純交互作用の検定を行った. 検定の結果は, 1) グラフ数が少ない場合, 2) グラフ数が多い場合, の2つに分けて述べる.

1. グラフ数が少ない場合について

アニメーションおよびパターンの主効果がそれぞれ有意であった ($p < .01$, $p < .001$). アニメーションとパターンの交互作用は有意でなかった.

パターンの主効果が有意であったため, 多重比較を行った結果を図3.6に示す. 図3.6より転置は, 概してそれ以外のパターンに比べて, 探索時間が有意に長いことが分かる.

2. グラフ数が多い場合について

パターンの主効果およびアニメーションとパターンの交互作用がそれぞれ有意であった(いずれも $p < .001$). アニメーションの主効果は有意でなかった.

アニメーションとパターンの交互作用が有意であったため, アニメーションの各水準におけるパターンの単純主効果の検定を行った. その結果を図3.7に示す. また, パターンの各水準におけるアニメーションの単純主効果の検定を行った結果, いずれのパターンにおいてもアニメーションの単純主効果が有意であった(水平単方向展開および垂直単方向展開は $p < .001$, 垂直展開は $p < .01$, 水平展開および転置は $p < .05$).

図3.7(a)の結果より, アニメーションありの場合においては, 垂直単方向展開と転置はそれ以外のパターンに比べて探索時間が有意に長いことが分かる. また図3.7(b)の結果より, アニメーションなしの場合においては, 水平単方向展開と垂直単方向展開 < 水平展開と垂直展開 < 転置の順で, 探索時間が有意に長くなっていることが分かる.

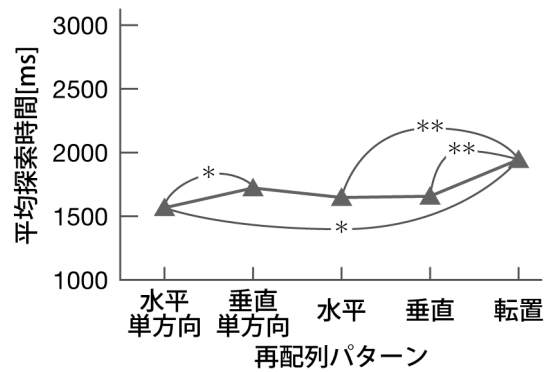


図 3.6: グラフ数が少ない場合でのパターンの多重比較

(*: $p < .001$, **: $p < .01$)

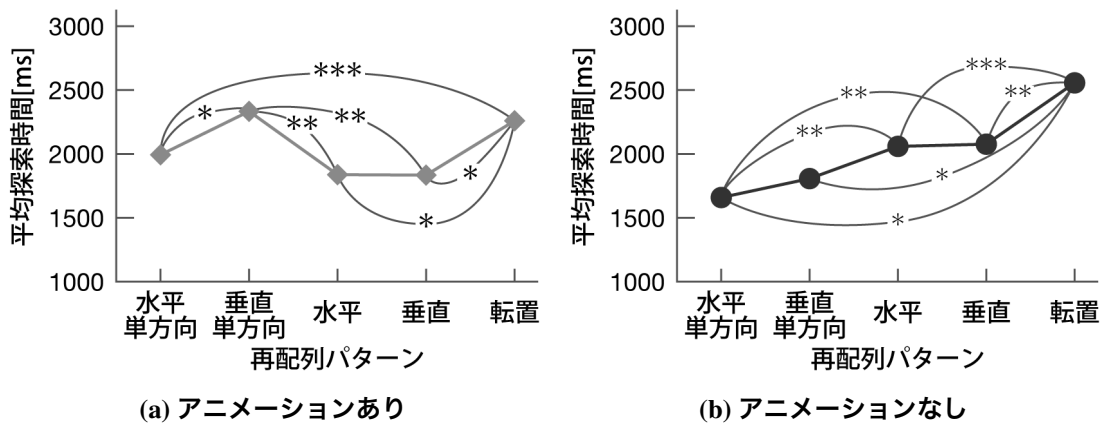


図 3.7: グラフ数が多い場合でのアニメーションの各水準におけるパターンの単純主効果

(*: $p < .001$, **: $p < .01$, ***: $p < .05$)

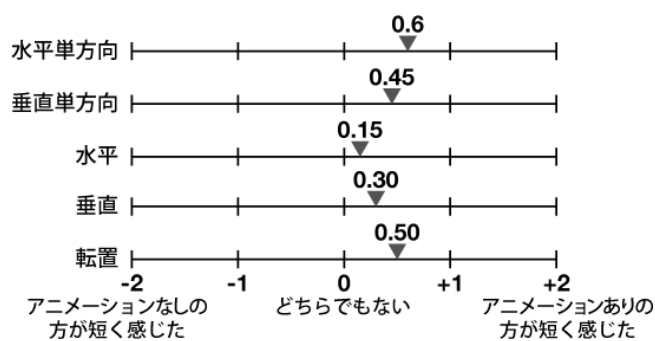
3.2.2 正解率

すべての条件において、平均正解率は90%以上であった。また、正解率を従属変数としてアニメーション・グラフ数・パターンの3要因分散分析を行った結果、主効果および交互作用はいずれも有意でなかった。

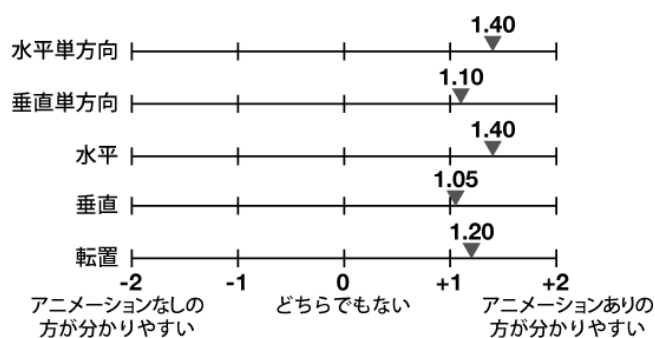
3.2.3 主観評価

パターンごとの主観評価結果の平均値を図3.8に示す。図3.8の平均値は、「アニメーションなしの方が優れていた」から「アニメーションありの方が優れていた」までの5段階で記入

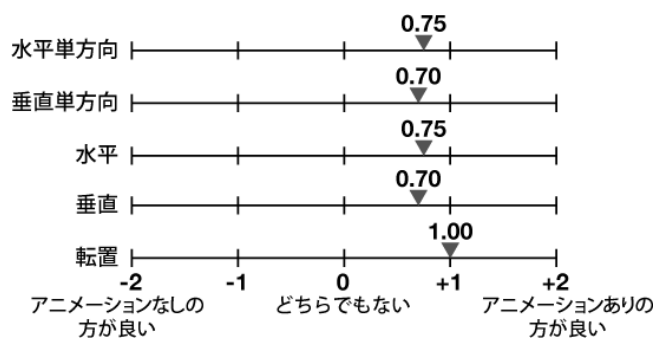
させた評価結果を、-2から+2の範囲に割り当てた値をもとに算出した。図3.8より、いずれの評価項目についてもアニメーションありの方が優れていたと評価されていることが分かる。その傾向は、生じた変化の分かりやすさ(図3.8(b))において最も顕著であった。



(a)Q1: 探索に要した感覚時間の短さ



(b)Q2: 生じた変化の分かりやすさ



(c)Q3: 総合的にどちらが良いと感じたか

図 3.8: パターンごとの主観評価結果の平均値

第4章 視覚化ツールの開発

4.1 開発したツールの概要

本研究にて開発したツール（以降、本ツールまたは開発したツールと表記）は、Small Multiples とアニメーションを合わせて用いることにより、データ分析から情報伝達までを一括して支援することを目的としている。ここでいう情報伝達とは、特にプレゼンテーションによるものを指している。そのため、本ツールでは分析からプレゼンテーションの準備および実施までを行う機能を実装した。

4.2 ツールの構成

本ツールは、データ分析から情報伝達までを一括して支援するために、以下に示す2つのモードを備える構成とした。

4.2.1 操作モード

操作モード (manipulation mode) は、Small Mutliplies 形式での視覚化に対して、ユーザが視覚変数と尺度との対応付け（4.4.1にて後述）を自由に操作できるモードである。このモードにより、多角的なデータ分析を行うことを支援する。

4.2.2 プレゼンテーションモード

プレゼンテーションモード (presentation mode) は操作モードで得られた視覚化結果を、段階的アニメーション（4.4.2にて後述）を用いて動的に変化させながら提示するモードである。このモードにより、分析によって得られた知見についてのプレゼンテーションを行うことを支援する。

4.3 対象としたデータ

Small Multiples を用いた視覚化を実現しているシステムの多くは、視覚化を行う対象として多変量データを用いている [9, 10, 14]。そのため本ツールにおいても、多変量データを用いて視覚化を行った。

4.3.1 多変量データ

多変量データとは、表 4.1 に示すような、 n 件の対象の各々について p 種類の変数の値が観測されているデータのことである [20, 21]。また、本研究において扱う多変量データは、定性的尺度に分類されるもの、定量的尺度に分類されるものの双方を変数として含むことのできるものとした。

なお 4.4 で後述するが、本ツールでは視覚変数を考慮した視覚的表現を実現した。そのため、これ以降は視覚変数と区別するため、本項における変数のことを指して尺度と表記する。

表 4.1: 多変量データの例

対象 No.	特性			
	x_1	x_2	...	x_p
1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1p}
2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2p}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
n	x_{n1}	x_{n2}	...	x_{np}

4.3.2 データの尺度分類

Stevens は、データをその特徴から 4 つの尺度に分類し、許容される統計値などを示した [22, 23]。Stevens によるデータの尺度分類に、浮田ら [24, 25] の記述を加えたものを表 4.2 に示す。以降、本論文では表 4.2 の分類に従い、名目尺度および順序尺度をまとめて定性的尺度と表記する。また同様に間隔尺度と比例尺度をまとめて定量的尺度と表記する。

表 4.2: データの尺度分類

	目的	特色	許容される統計値	例	
定性的	名目尺度 (Nominal)	分類・命名	$A=B$ または $A \neq B$ の決定	最頻値	性別, 背番号
	順序尺度 (Ordinal)	順序付け	$A > B, A = B, A < B$ の決定	中央値, パーセントイル	順位, モース硬度
定量的	間隔尺度 (Interval)	等間隔の目盛り付け	$(A-B) + (B-C) = A-C$ の成立	平均値, 標準偏差, 積率相関	気温 (摂氏/華氏), カレンダーの日付
	比例尺度 (Ratio)	絶対的原点からの等間隔目盛り付け	$A = kB, B = lC$ ならば $A = klC$ の成立 ($k, l \neq 0$)	相乗平均, 変動係数, デンベル変換	長さ, 重さ

4.4 実現した視覚的表現

多変量データの視覚化を効果的に行うために、本ツールでは視覚変数と尺度との対応を考慮した。また 1.2.3 で述べた通り、グラフィックスを変形する際には、段階的なアニメーションの利用が特に有効である [12]。そのため本ツールにおいても、視覚化結果を変化させる際には段階的アニメーションを用いることとし、そのためのインタフェースを採用した。

4.4.1 視覚変数と尺度との対応付け

Bertin は、図素において知覚可能な 8 つの変化を視覚変数 (図 4.1) として定義した [4]。また浮田ら [24, 25] は各尺度の表現に適した視覚変数を表 4.3 のようにまとめた。

以上にもとづき、本ツールで用いる視覚変数を表 4.4 のように定めた。x 座標および y 座標は定性的尺度の表現に適していることから、本ツールにおいてはグラフ自体の座標により定性的尺度を表すこととした。また、x 座標および y 座標は定量的尺度の表現にも適している。そのため、Small Multiples 中に配列されるグラフは散布図とし、グラフ上の点の座標により定量的尺度を表すこととした。色は名目尺度の表現に適していることから、本ツールにおいてはグラフ上の点の色により定性的尺度を表すこととした。大きさは比例尺度の表現に適していることから、本ツールにおいてはグラフ上の点の大きさにより定量的尺度を表すこととした。

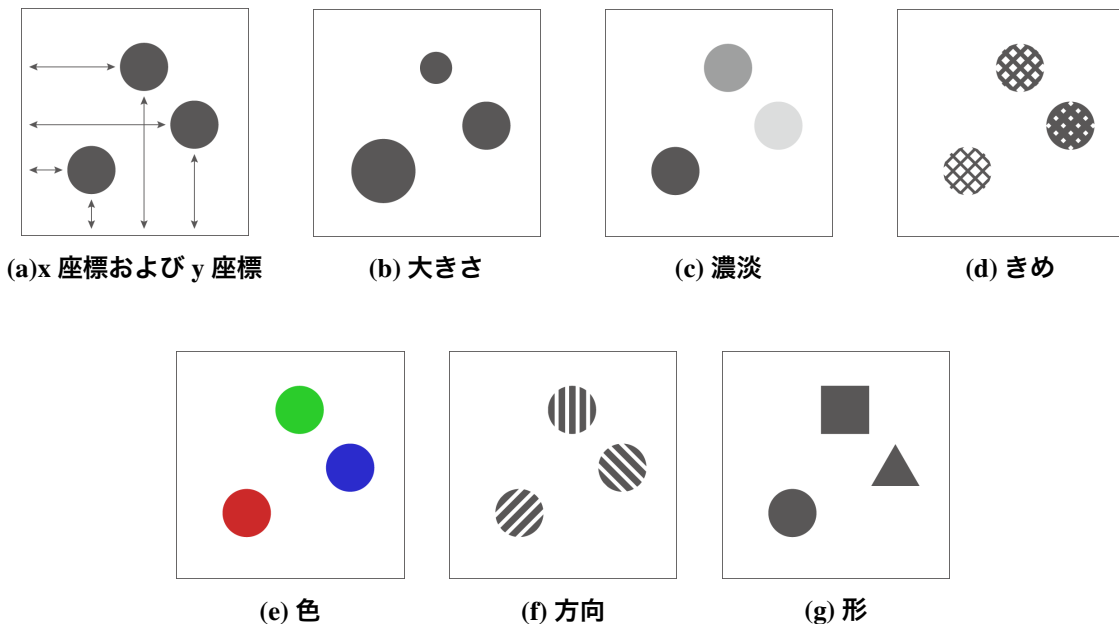


図 4.1: 視覚変数

表 4.3: 尺度とその表現に適した視覚変数

	位置	大きさ	濃淡	きめ	色	方向	形
名目尺度	◎	×	×	○	◎	○	◎
順序尺度	◎	◎	○	×	◎	×	○
比例尺度	◎	◎	○	×	×	×	×

※位置は x 座標および y 座標に相当するものである

表 4.4: ツールで用いた視覚変数と尺度との対応

	視覚変数
定性的尺度	x 座標 (グラフ)
	y 座標 (グラフ)
定量的尺度	色
	x 座標 (点)
	y 座標 (点)
	大きさ

4.4.2 段階的アニメーションのためのインタフェース

Zongker らによる、プレゼンテーション¹におけるアニメーションのためのデザイン理論 [19] によれば、いちどに多くのものが変化すると、個々の変化に集中するのは難しいため、いちどに行われるのは 1 つのアニメーションにすべきである。このことは、段階的アニメーションが有効であるとした Heer らの報告 [12] とも合致する。また Zongker らのデザイン理論では、伸縮や誇張などの伝統的なアニメーションを伝達のために用いることは、却って悪い結果を生ずるとして、すべての変化には意味を持たせるべきであるとされている。

そのため本ツールでは、視覚化結果を変化させる際以外にはアニメーションを用いないこととした。またアニメーションを段階的なものとするために、Tableau [14] および Polaris [10] のものを参考として、変数すなわち尺度を表すアイコンをドラッグ&ドロップすることで操作を行うインタフェースを実装した。

4.5 インタフェース

本ツールのインタフェースを図 4.2 に示す。本ツールは、ユーザによる各種操作を受け付ける編集パネルと、それにより得られた視覚化結果を示す Small Multiples パネルから成る。また編集パネルの構成は、操作モードにおけるもの（以降は操作パネルと表記）とプレゼンテーションモードにおけるもの（以降はプレゼンテーションパネルと表記）でそれぞれ異なる。なお、操作パネルとプレゼンテーションパネルの切り替えすなわちモードの切り替えは、各パネルの最上部に配したタブの操作によって行われる。

¹ここでの「プレゼンテーション」とは、データを視覚化したものを用いずに行うプレゼンテーションも含む。

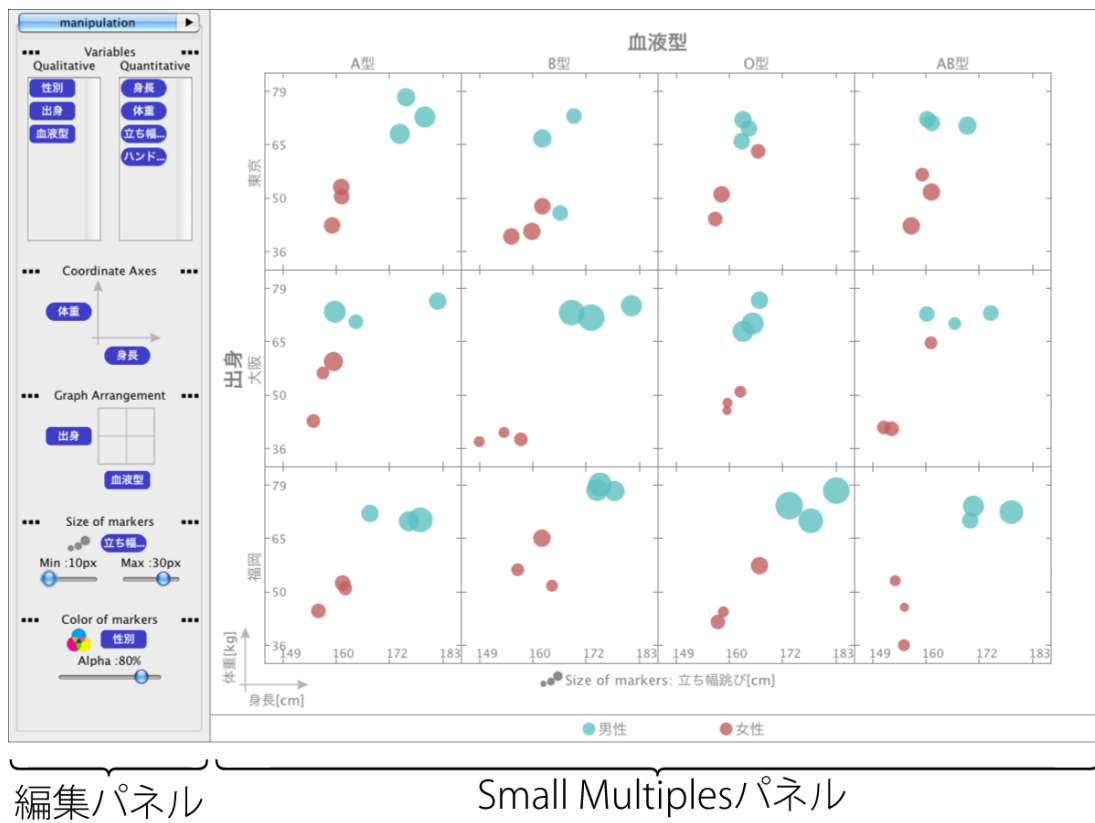


図 4.2: ツールのインターフェース

4.5.1 操作パネル

操作パネルの概観を図 4.3 に示す。

パネルの最上部には、モード切り替え用のタブを配した (図 4.3 中①)。

モード切り替え用タブの下部には視覚化対象となる多変量データの尺度リスト (同②) を配した。尺度リストは、定性的尺度と定量的尺度ごとに配した。尺度はそれぞれの尺度名を記したアイコン (以降は尺度アイコンと表記) により表した。尺度アイコンは幅 50 pixel, 高さ 20 pixel の角丸長方形とした。また尺度分類の違いを視覚的に示すために、尺度分類ごとに角丸の半径を違えた。角丸の半径は、定性的尺度を示すものについては 10 pixel, 定量的尺度を示すものについては 20 pixel とした。

変数リストの下部には視覚変数を示す枠を配した。上から、グラフ上の点の x,y 座標 (同③), グラフ自体の x,y 座標 (同④), グラフ上の点の大きさ (同⑤), グラフ上の点の色 (同⑥) の順に配した。点の大きさについての枠の下部には、その最小サイズおよび最大サイズを調整するためのスライダ (同⑦) を配した。また点の色についての枠の下部には、その不透明度を調整するためのスライダ (同⑧) を配した。

なお、それぞれの視覚変数がどの尺度と対応付け可能であるかを視覚的に示すために、それぞれの枠の形状は、尺度アイコンの形状と同様のものとした。

4.5.2 プレゼンテーションパネル

プレゼンテーションパネルの概観を図 4.4 に示す。

パネルの最上部には、モード切り替え用のタブを配した (図 4.4 中①)。

モード切り替え用タブの下部にはプレゼンテーション時におけるアニメーションの実行順リスト (同②) を配した。その下部にはアニメーションのデュレーションを調整するためのスライダおよびテキストボックス (同③) を配した。

4.5.3 Small Multiples パネル

Small Multiples パネルの概観を図 4.5 に示す。

パネル中央には、4.6 にて後述する各種操作に応じて変化する Small Multiples を配した。その上部および左側にはカテゴリ名を示すラベル (図 4.5 中①) を配した。また、Small Multiples の左下には、各グラフ上の点の x,y 座標に対応している尺度名およびその単位を示すラベル (同②) を配した。Small Multiples の下部には、点の大きさに対応している尺度名およびその単位を示すラベル (同③) を配した。パネル下部には、点の色の凡例とそれに対応するカテゴリ名のラベル (同④) を合わせて配した。

なおこれらのラベル類は、そのラベルが表す視覚変数と尺度との対応付けがされていない場合は表示されない。

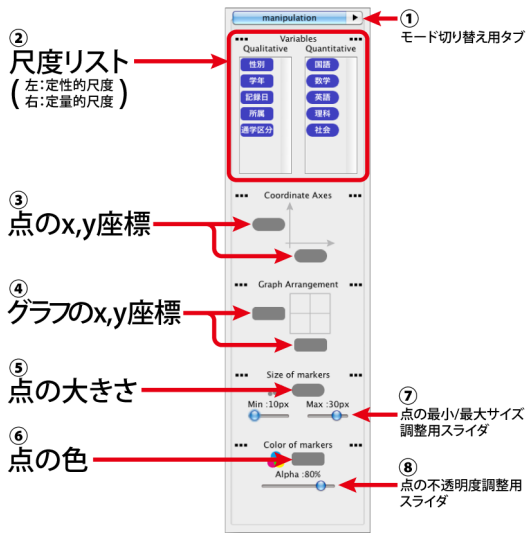


図 4.3: 操作パネル

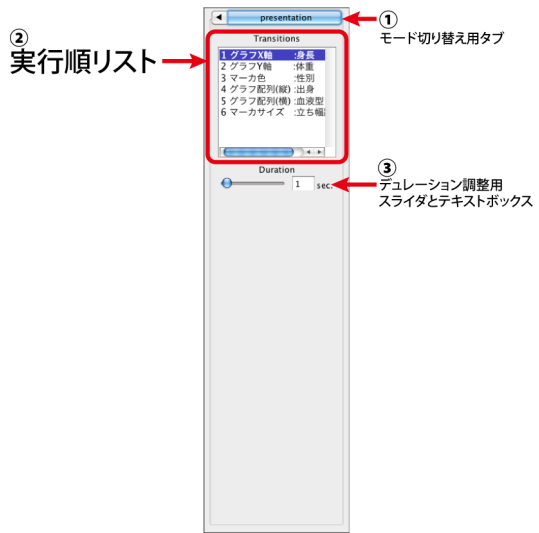


図 4.4: プレゼンテーションパネル

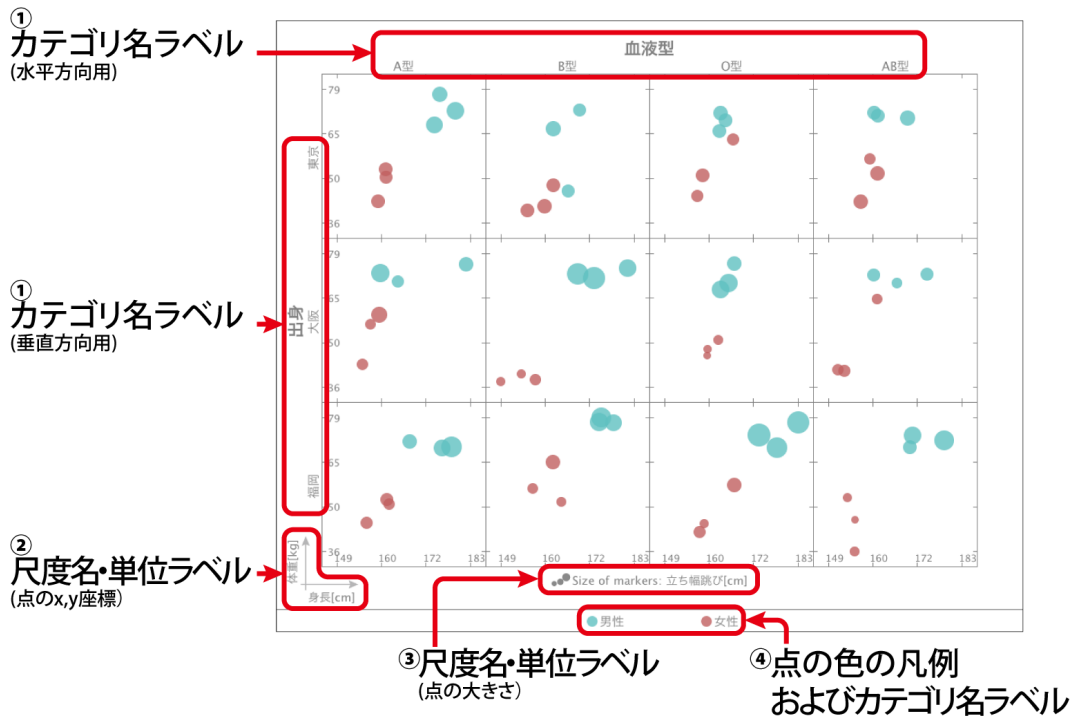


図 4.5: Small Multiples パネル

4.6 ツールの機能

本ツールで実装した6種類の基本機能および各機能の操作方法について述べる。

4.6.1 視覚変数と尺度との対応付け

視覚変数と尺度との対応付けは、操作パネル上にて行うことができる。具体的には、尺度アイコンを、視覚変数を示す枠の近傍にドラッグ&ドロップすることによってなされる（図4.6）。また視覚変数との対応付けがなされた尺度アイコンを、視覚変数を示す枠の近傍以外の箇所にドラッグ&ドロップすることによって視覚変数と尺度との対応付けが解除される。

なお、定性的尺度を表現するための視覚変数²については定量的尺度との対応付けができないよう、プログラムにより制限を設けた。定量的尺度を表現するための視覚変数³についても定性的尺度との対応付けができないよう、同様に制限を設けた。

4.6.2 点の大きさの調整

グラフ上の点の大きさの調整は、操作パネル上にて行うことができる。具体的には、点の最小サイズおよび最大サイズ調整用スライダ（4.5.1 参照）を操作することによってなされる（図4.7）。

点の大きさは5 pixel から40 pixel までの範囲内で、1 pixel 間隔で設定できるようにした。ただし、点の最小サイズ \geq 点の最大サイズとなる設定ができないよう、プログラムにより制限を設けた。

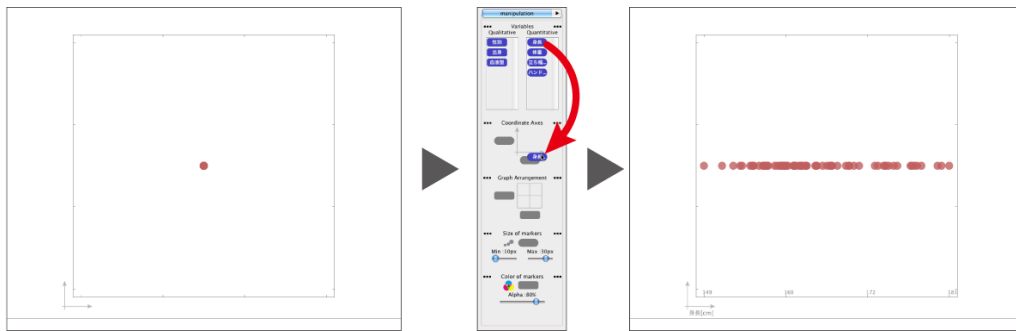
4.6.3 点の不透明度の調整

グラフ上の点の不透明度の調整は、操作パネル上にて行うことができる。具体的には、点の不透明度調整用スライダ（4.5.1 参照）を操作することによってなされる（図4.8）。

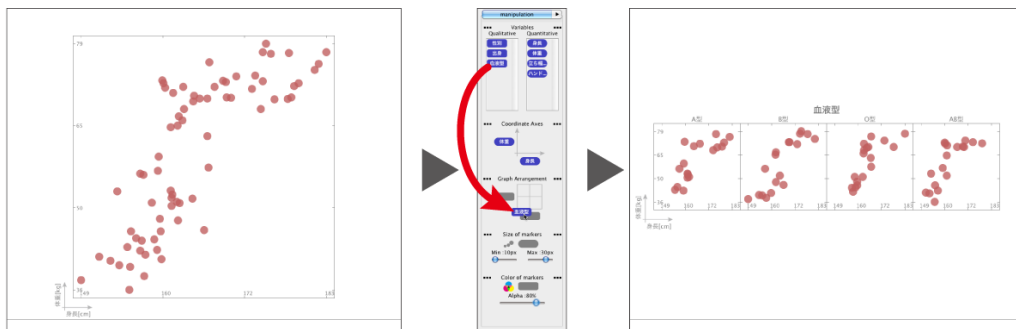
点の不透明度は0%から100%までの範囲内で、1%間隔で設定できるようにした。

²グラフの x,y 座標およびグラフ上の点の色を指す（表4.4 参照）。

³グラフ上の点の x,y 座標および大きさを指す（表4.4 参照）。



(a) グラフ上の点の x 座標と定量的尺度との対応付け



(b) グラフの x 座標と定性的尺度との対応付け



(c) 点の大きさと定量的尺度との対応付け



(d) 点の色と定性的尺度との対応付け

図 4.6: 視覚変数と尺度との対応付け

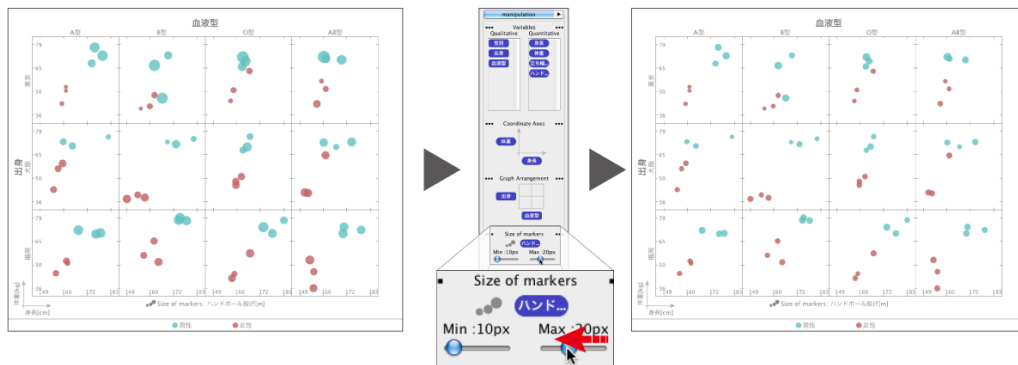


図 4.7: 点の大きさの調整

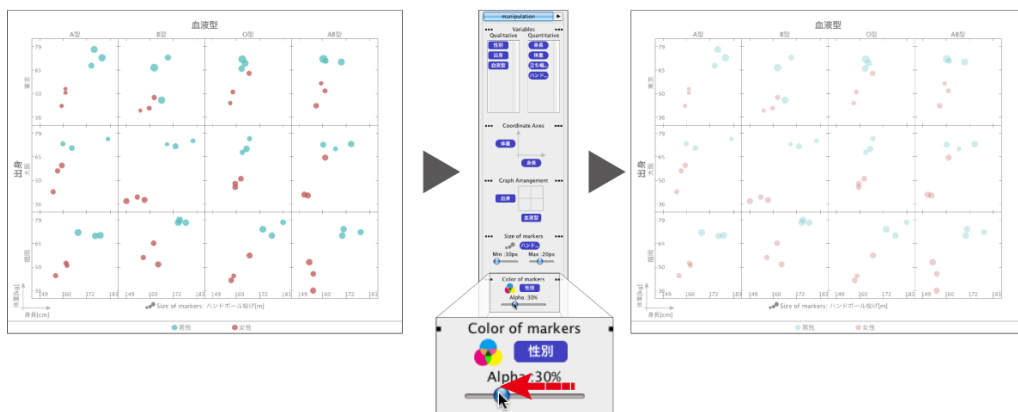


図 4.8: 点の不透明度の調整

4.6.4 アニメーションの実行順の変更

アニメーションの実行順の操作はプレゼンテーションパネル上にて行うことができる。具体的には、アニメーションの実行順リストから操作対象となるアニメーションを選択したのち、キーボード操作を行うことによってアニメーションの実行順の変更がなされる（図4.9）。

操作対象の選択は、要素名へマウスオーバーを行うか、キーボードの上矢印または下矢印キーの押下を行うことによってなされる。また実行順の変更には、キーボードのAキーとZキーを用いた。Aキーの押下により、操作対象のアニメーションの実行順を1段階分早めることができる。Zキーの押下により、操作対象のアニメーションの実行順を1段階分遅らせることができる。

4.6.5 デュレーションの調整

アニメーションのデュレーション調整の操作はプレゼンテーションパネル上にて行うことができる。実行順変更の操作と同様に、まずアニメーション実行順のリストから操作対象となるアニメーションを選択する。このとき、選択されているアニメーションのデュレーションの値に応じて、スライダおよびテキストボックスの表示が変更される。スライダの操作またはテキストボックスへの数値の入力によって、デュレーションの調整がなされる（図4.10）。なお、デュレーションは0.5秒から10秒までの範囲内で、0.5秒間隔で設定できるようにした。

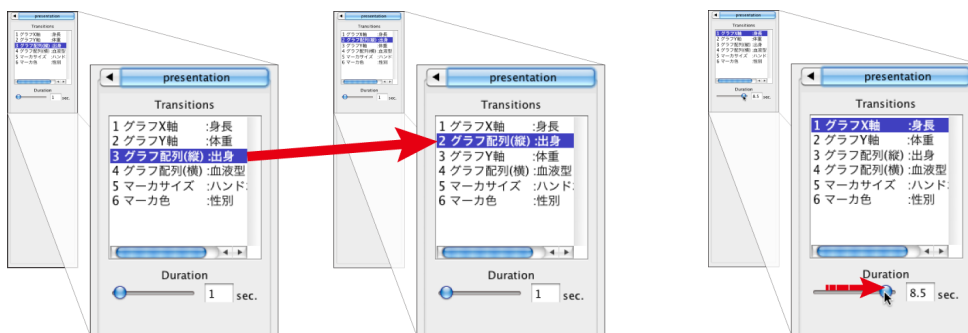


図 4.9: アニメーションの実行順の変更

図 4.10: デュレーションの調整

4.6.6 プレゼンテーションの実行

プレゼンテーションの実行は、プレゼンテーションモードにおいて行うことができる。スペースキーの押下により、アニメーションの実行順およびデュレーションの設定にもとづいて、状態を1段階分進めるアニメーションが実行される。またバックスペースキーの押下により、状態を1段階分戻すアニメーションが実行される。なお、状態を1段階分戻す際のデュレーションは、0.5秒に統一した。

4.7 実装言語および使用データ形式

本ツールの実装には Java 言語 (Java SE 6(Mac OS X Default)) を用いた。多変量データは表 4.5 に示す形式の CSV ファイルとして記録し、読み込みを行った。

CSV ファイルの先頭 3 行はヘッダとし、1 行目は尺度分類を、2 行目は尺度名を、3 行目は単位を記録した。実際のデータは 4 行目以降に記録した。1 行目のデータは、定性的尺度については「String」、定量的尺度については「float」と記録することで尺度を分類した。

表 4.5: CSV ファイルの形式

String	float	float	...	String
性別	身長	体重	...	学年
NaN	cm	kg	...	NaN
男	170.8	60.3	...	1 年
女	160.0	45.9	...	1 年
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
男	180.2	70.1	...	4 年

4.8 アニメーション

4.8.1 実装方法

本ツールにおけるアニメーションの実装では、以下の式によるイーズイン/イーズアウトを用いた。

$$easeINOUT(sv, gv, f, F) = \begin{cases} easeIN(sv, gv, f, F) & (2f \leq F \text{ のとき}) \\ easeOUT(sv, gv, f, F) & (\text{それ以外}) \end{cases} \quad (4.1)$$

sv と gv はアニメーションの初期値と目標値を、 f は現在のフレーム数を、 F はアニメーションに要する総フレーム数⁴をそれぞれ示している。

4.1 式にて示した通り、アニメーションの前半では $easeIN$ 関数によりイーズインを、後半では $easeOUT$ 関数によりイーズアウトを行う。本ツールにて用いた $easeIN$ 関数および $easeOUT$ 関数は以下の通りである。

$$easeIN(sv, gv, f, F) = (gv - sv) * \left(\frac{f}{F}\right)^n + sv \quad (4.2)$$

$$easeOUT(sv, gv, f, F) = (gv - sv) * [1 - \{1 - \left(\frac{f}{F}\right)\}^n] + sv \quad (4.3)$$

なお、4.2 式および 4.3 式中の n は任意の正の偶数である。本ツールでは、 $n = 4$ と定めた。図 4.11 に、総フレーム数 $F = 24$ 、初期値 $sv = 100$ 、目標値 $gv = 200$ とした場合の $easeINOUT$ 関数の出力例を示す。

⁴なお、本ツールのフレームレートは 24 fps に設定した。

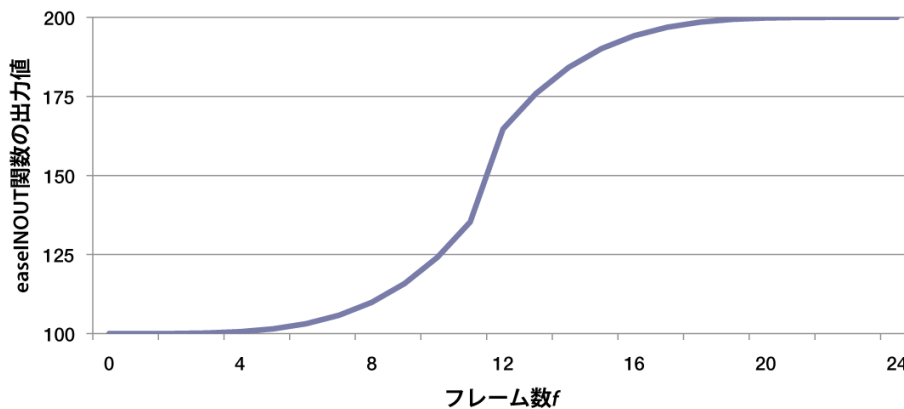


図 4.11: *easeINOUT* 関数の出力例

4.8.2 用いた状況および対象

本ツールにおいてアニメーションを用いた状況と、それぞれの状況における対象を表 4.6 にまとめて示す。なおこれらのアニメーションのデュレーションは、4.6.6 で述べた場合を除き、すべて 1 秒に設定した。

表 4.6: アニメーションを用いた状況およびその対象

状況	対象
グラフ上の点の x,y 座標と定量的尺度との対応付け	グラフ上の点の座標
グラフ上の点の大きさと定量的尺度との対応付け	グラフ上の点の大きさ
グラフの x,y 座標と定性的尺度の対応付け	グラフの座標 ⁵ グラフの 1 辺の長さ
グラフ上の点の色と定性的尺度の対応付け	グラフ上の点の色相
アイコンのドラッグ&ドロップ操作実行後	アイコンの座標

⁵各グラフ内に含まれる点の座標およびカテゴリ名などを示すラベルの座標は、グラフの座標にもとづいて相対的に決定される。そのためグラフの座標の更新に伴い、これらの座標も更新される。

第5章 ツールの評価

開発したツールの評価を，以下に示す2つの方法により行った．

1. 開発したツールを用いたプレゼンテーションに対する主観評価実験
2. 開発したツールの利用結果に対するインタビュー調査

5.1 開発したツールを用いたプレゼンテーションに対する主観評価実験

5.1.1 概要

開発したツールを用いて行われたプレゼンテーション，すなわちアニメーションを用いて動的に変化する資料を用いたプレゼンテーションが，聴衆の主観評価に与える影響を明らかにするための実験を行った．

実験では，開発したツールを用いたプレゼンテーションおよび2種類の比較用プレゼンテーションを実験参加者に提示し，主観評価を収集した．

5.1.2 実験参加者

19歳から25歳の大学生および大学院生21名（うち男性14名，女性7名，平均年齢21.9歳）が参加した．

5.1.3 環境

刺激は15インチの液晶ディスプレイ（1440 pixel × 900 pixel）上に全画面表示で提示した．提示した刺激の詳細については次項で述べる．

5.1.4 刺激

刺激として，プレゼンテーションの様子を記録した動画を提示した．動画中の音声としては，プレゼンターによる説明を記録した．また動画中の画像としては，図5.1のようなプレゼンテーション用の資料のみを記録した．

刺激は9種類のものを用意した．具体的には，音声すなわちプレゼンテーションの説明内

容として3種類のものを用意し、これらのそれぞれに対し、用いる資料の形式が異なる3種類の動画を作成した。なお、音声は事前に作成した原稿を筆者が読み上げたものを用いた。

視覚化に使用したデータは、適切なカテゴリ分けを行うことによって顕著な特徴が見出せるように筆者が値を調整したダミーデータであった。

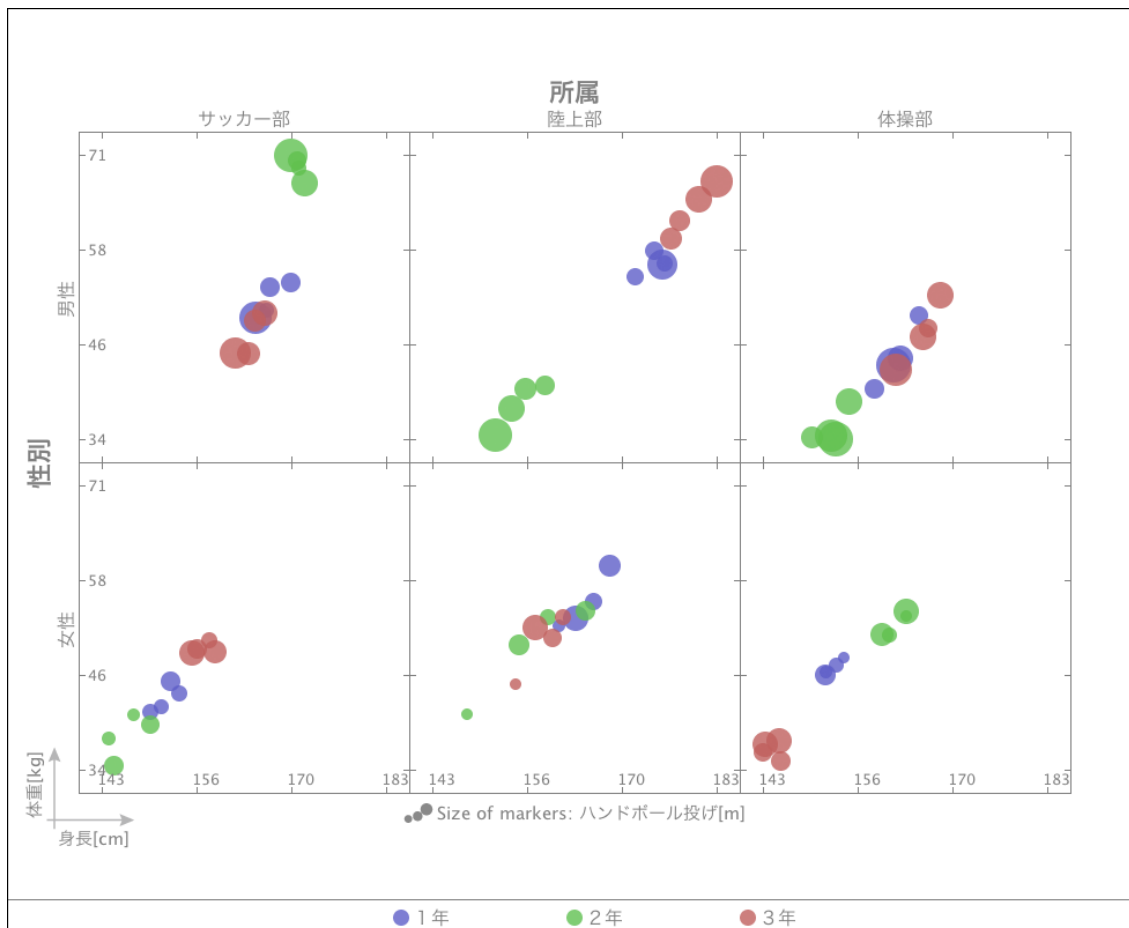


図 5.1: 提示した刺激の例

プレゼンテーションの内容

いずれの内容においても、開発したツールで利用可能な6つの視覚変数をすべて用いて視覚化を行い、その視覚化結果から分かる事柄についての説明を行った。3種類の説明を記録した音声の長さはいずれも2分程度であった。説明に用いた原稿の一例として、図5.1に示した視覚化結果についての説明に用いたものを表5.1に示す。

表 5.1: 説明に用いた原稿の例

身長と体重の関係を見てみましょう。散布図からもわかる通り、身長と体重には強い正の相関がありそうです。さらに、これらとハンドボール投げの記録の関係を見てみましょう。マーカの大きさに表されているのがハンドボール投げの記録です。グラフを見る限り、どうやらハンドボール投げの記録は、身長あるいは体重との間に相関関係はないようです。続いてこれを、部活、そして性別ごとのグラフに分けて比較してみましょう。これを見ると、サッカー部に所属する男性は、他の部活に所属する人よりも、身長が増加に伴う体重の増加の割合が大きいことが分かります。さらに、マーカの色で学年を表してみましょう。すると、陸上部と体操部の男性は、3年生、2年生、1年生の順で身長・体重が大きいが、サッカー部のみ2年生、1年生、3年生の順で身長・体重が大きくなっている。すなわち1つだけ傾向が違うということが分かります。

プレゼンテーションで用いた資料の形式

用いた資料の形式は以下の通りである。

1. アニメーションあり動的資料

口頭での説明の進行に合わせて、動的に、アニメーションを用いて視覚化結果が変化する資料。

2. アニメーションなし動的資料

口頭での説明の進行に合わせて、動的に、アニメーションを用いず視覚化結果が変化する資料。

3. 静的資料

口頭での説明の進行に関わらず、静的で、視覚化結果が変化しない資料。

アニメーションあり動的資料によるものが、開発したツールを用いて行ったプレゼンテーションに相当する。なお、アニメーションなし動的資料および静的資料についても開発したツールを用いて作成したため、基本的な画面構成はいずれも共通である。ただし、アニメーションなし動的資料については、視覚化結果が変化する際のアニメーションはカットし、変化前後の視覚化結果が瞬時に切り替わるように編集した。また静的資料については、常に最終的な視覚化結果が表示され続けるように編集した。これらの動画編集には Adobe Premiere Pro CS4¹を用いた。

図 5.2 に各資料形式における視覚化結果の遷移の例を示す。

なお、現在説明している箇所を示すために、動画中には、その資料の形式によらずマウスカーソルが移動する様子を記録した。

¹<http://www.adobe.com/jp/products/premiere.html>

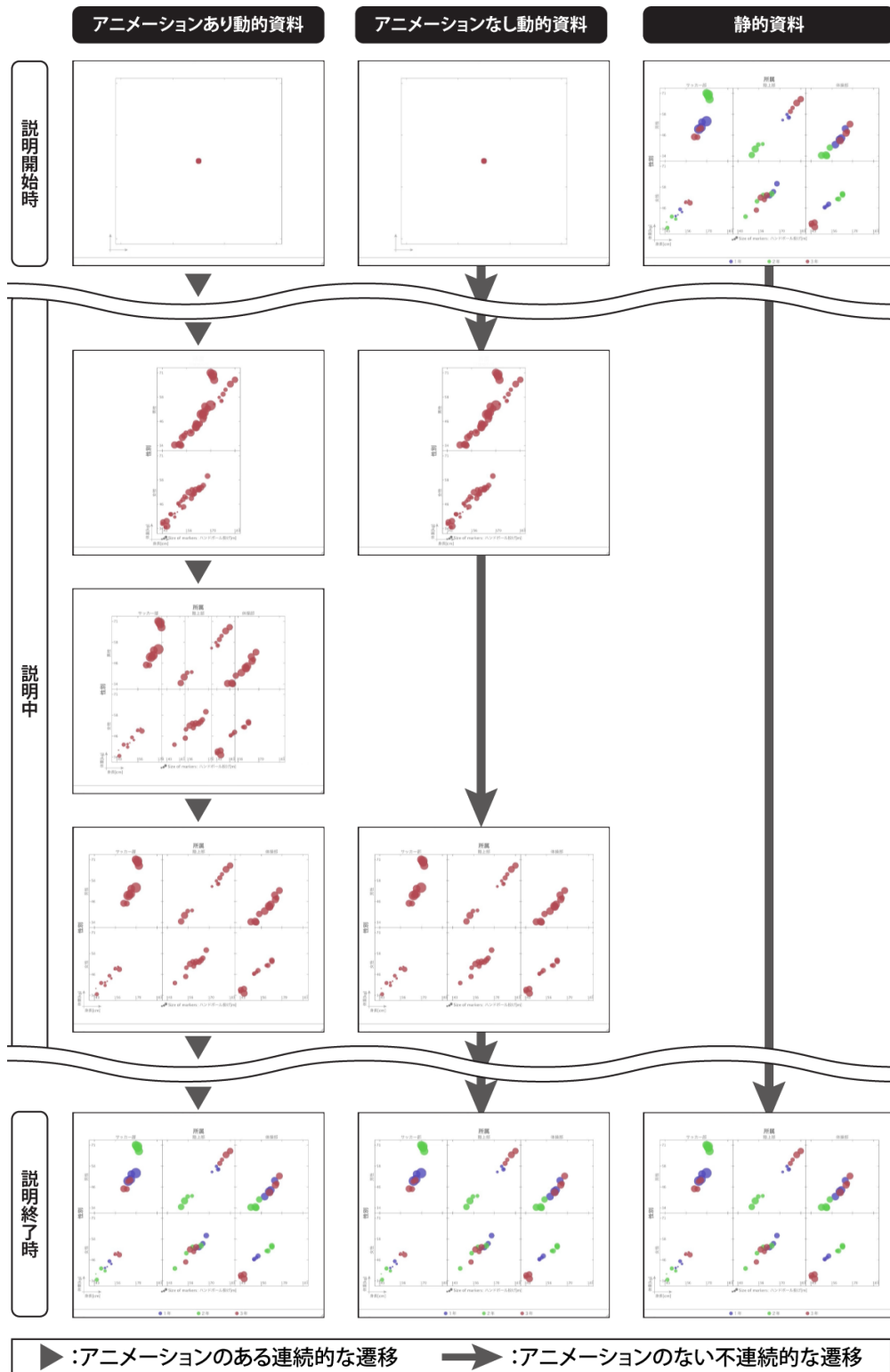


図 5.2: 各資料形式における視覚化結果の遷移の例

5.1.5 主観評価項目

主観評価は表 5.2 に示した 7 項目に対し、5 段階で評価を行わせた。ただし、静的資料は視覚化結果が変化しないため、Q4 についての評価は行わなかった。また、自由記述による評価も行わせた。

表 5.2: 主観評価項目

	質問内容
Q1	プレゼンテーションで説明されている内容は易しいと思ったか ²
Q2	プレゼンテーションで説明されている内容は理解できたか
Q3	内容を理解するのに資料は役に立っていたか
Q4	視覚化結果に生じた変化を把握するのは容易であったか ³
Q5	どの箇所に関する説明をしているのかについて把握するのは容易であったか ³
Q6	プレゼンテーションで使われていた資料に対する総合的な評価
Q7	プレゼンテーションに対する総合的な評価

5.1.6 手続き

実験参加者には、合計 9 種類の刺激のなかから、内容および資料形式がいずれも異なる 3 種類のものを提示した。刺激の提示順は、内容については実験参加者間で統一され、形式については実験参加者間でカウンターバランスされた。

手続きとして、まず刺激の提示方法について教示を行った。教示の際、図 5.1 のような提示される刺激の例を示した。ただし、刺激として提示される各資料形式の詳細についての教示は行わなかった。

教示を行ったのち、1 種類目の刺激の提示を行った。刺激すなわち動画の再生操作は実験参加者本人に行わせた。なお刺激の提示中は、動画の一時停止は禁止した。動画の再生が終了したのち、刺激として提示されたプレゼンテーションに対する主観評価を実施させた。主観評価には、5.1.5 で述べた内容を記した質問紙を用いた⁴。2 種類目以降の刺激についても、同様に刺激の提示および主観評価の実施を繰り返して行った。

²実際に使用した質問紙中では「難しいと思ったか」という表記を使用した。

³実際に使用した質問紙中では「困難であったか」という表記を使用した。

⁴使用した質問紙を付録 C に添付する。

5.1.7 結果

得られた主観評価結果をもとに、資料形式および評価項目ごとに求めた平均値を図 5.3 に示す。図 5.3 の平均値は、5 段階で記入させた評価結果を、点数が大きいほど高評価となるように、1 から 5 の範囲に割り当てた値をもとに算出した。

図 5.3 より、いずれの評価項目についてもアニメーションあり動的資料に対する評価が最も高かったことが分かる。各評価項目についての評価結果を従属変数として資料形式についての 1 要因分散分析と多重比較（Bonferroni 法を用いた）を行った。その結果、「プレゼンテーションで説明されている内容は易しいと思ったか」（Q1）ではいずれの資料間においても有意差は見られなかった。また「内容を理解するのに資料は役に立っていたか」（Q3）および「どの箇所に関する説明をしているのかについて把握するのは容易であったか」（Q5）では、アニメーションあり動的資料とアニメーションなし動的資料との間に有意傾向が、アニメーションあり動的資料と静的資料との間に有意差が見られた。それ以外の評価項目では、アニメーションあり動的資料とそれ以外の資料との間に有意差が見られた。

また、いずれの評価項目についてもアニメーションなし動的資料と静的資料との間に有意差は見られなかった。

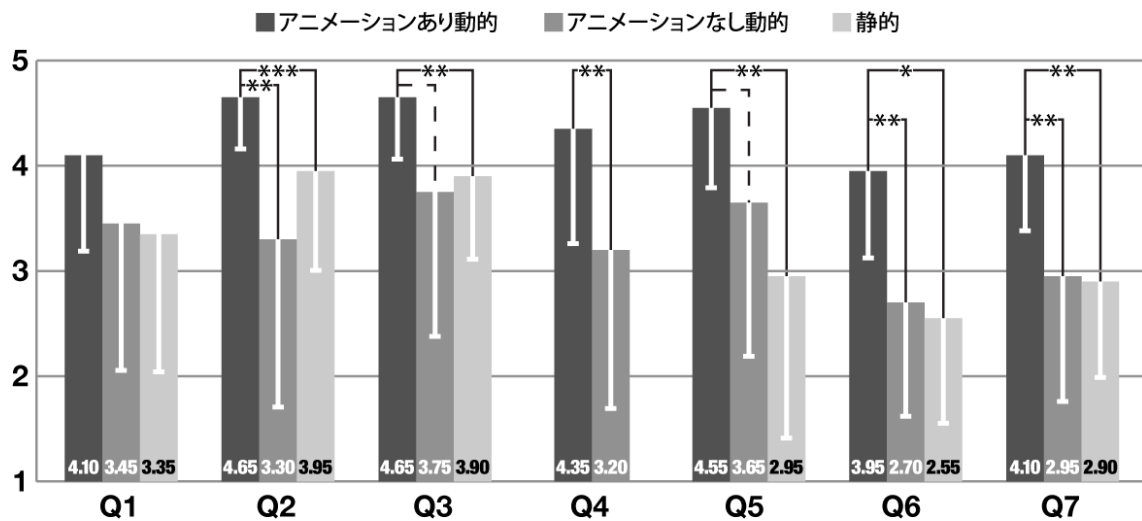


図 5.3: 主観評価結果の平均値

(*: $p < .001$, **: $p < .01$, ***: $p < .05$, 破線: $p < .1$)
 ※各グラフ中の白線は標準偏差（負方向のみ）を表している
 ※※各グラフ中の下部に示した値は平均値を表している

5.2 開発したツールの利用結果に対するインタビュー調査

5.2.1 概要

開発したツールを用いて行うデータ分析およびプレゼンテーションがどのような特徴を有するかを明らかにするための調査を行った。

具体的には、プレゼンター役の参加者に、開発したツールを用いてデータ分析とプレゼンテーションを行わせた。プレゼンテーション実施後、そのプレゼンテーションを聞いた聴衆およびプレゼンター本人にインタビューを行い、開発したツールに対する意見を収集した。

5.2.2 使用したデータ

3章の実験および5.1の評価実験における視覚化で使用したデータは、いずれも筆者が値を調整したダミーデータであった。本調査では、ダミーデータ以外に対しても、開発したツールを用いることでデータの特徴を見出せるかを検証するため、実際に収集されたデータを使用した。

使用したのは、2012年度入学の本学体育専門学群1年生を対象者とした体組成および食生活バランスについての多変量データである。これらのデータの収集は神家ら[26]のものと同様の方法により行われたものである。データ件数は167件であった。1件ぶんのデータの形式を表5.3に示す。

表 5.3: 使用した多変量データの形式

尺度分類	尺度名
定性的尺度	性別
	競技種別 ⁵
	期分け ⁶
	通学区分 ⁷
定量的尺度	食生活バランス評価点数 ⁸
	身長
	体重
	体脂肪率
	脂肪量
	BMI

⁵競技種別とは、瞬発系・持久系・球技の3水準からなる名目尺度である。

⁶期分けとは、準備期(鍛錬期)・試合期・移行期(休養期)の3水準からなる名目尺度である。

⁷通学区分とは、自宅・寮・下宿または一人暮らし・その他の4水準からなる名目尺度である。

⁸食生活バランス評価点数とは、対象者本人が行った食生活への自己評価をもとに算出された値である。

5.2.3 参加者

データ分析およびプレゼンテーションは、概して対象となるデータに関する専門知識を有する者によって行われると考えられる。そのため本調査においては、栄養学を専門にしている博士後期課程1年の男子学生に、データ分析およびプレゼンテーションを行わせた。なおこれ以降、この参加者をプレゼンターと表記する。

またプレゼンテーションを行う際の聴衆は、1) 特定の専門分野を持たない一般的な聴衆、2) プレゼンターと専門分野が異なる聴衆、3) プレゼンターと専門分野が同一である聴衆、の3つに大別できる。そのため本調査における聴衆は、表5.4に示す属性の4名とした。聴衆AおよびBは、プレゼンターとは専門分野が異なり、また学士課程の1年生であることから、一般的な聴衆として位置づけた。聴衆Cはプレゼンターとは専門分野が異なるが、大学院で研究に従事していることから、専門分野の異なる聴衆として位置づけた。聴衆Dは、専門分野・所属課程ともにプレゼンターと同じであることから、専門分野が同一である聴衆として位置づけた。

なお、プレゼンターおよび4名の聴衆はいずれも、5.1で述べた主観評価実験には参加していない。

表 5.4: 聴衆の属性

	専門	所属課程	学年	性別
聴衆 A	情報学	学士	1年	男
聴衆 B	情報学	学士	1年	男
聴衆 C	情報学	博士前期	2年	女
聴衆 D	栄養学	博士後期	2年	女

5.2.4 手続き

プレゼンターには、まず開発したツールの操作方法に関する説明を行ったのち、開発したツールを用いてデータ分析およびプレゼンテーションの準備を行わせた。そののち、分析の結果について説明するプレゼンテーションを、4名の聴衆に対して行わせた。

プレゼンテーションを行ったのち、プレゼンターに対しては30分の個別インタビューを、聴衆に対しては20分のグループインタビューを、それぞれ実施した。なお、聴衆に対するグループインタビューの実施前に、聴衆には5.1で述べた主観評価実験において用いたものと同じ質問紙による主観評価を行わせた。

5.2.5 環境

プレゼンテーションは、4m × 7.5m 程度の広さの部屋にて行った。プレゼンテーションの際には、プロジェクターを用いてプレゼンターが操作する端末の画面をミラーリングして投

影した。投影された画面の大きさは70cm×106cm（50インチ相当）であった。

プレゼンテーションは開発したツールを用いて行われた。ただし、開発したツールは文章等の表示はできないため、必要に応じてPowerpoint⁹やKeynote¹⁰などのプレゼンテーション¹¹用ソフトウェアの使用を許可した。ただし、プレゼンテーション¹¹用ソフトウェアを使用できるのは、概要の説明やプレゼンテーションのまとめなど、データ分析に関する説明以外の話を行う場合のみとした。また、プレゼンテーション実施時には、プレゼンターには指示用のレーザーポインタを貸与した。

プレゼンテーション実施の様子を図5.4に示す。



図 5.4: プレゼンテーション実施の様子

5.2.6 結果

分析およびプレゼンテーション準備の実施

以下に、分析およびプレゼンテーション準備の過程においてプレゼンターが行った操作の流れを示す。なお、開発したツールの操作モードを用いて分析を行った時間は約60分、プレゼンテーションモードを用いてプレゼンテーション準備を行った時間は約30分であった。

操作モードの使用時においては、プレゼンターはまず6種類の視覚変数それぞれと何らかの尺度との対応付けを行った。次いで、グラフのx座標と対応する定性的尺度を期分けに固定

⁹<http://office.microsoft.com/ja-jp/powerpoint/>

¹⁰<http://www.apple.com/jp/iwork/keynote/>

¹¹ここでの「プレゼンテーション」とは、データを視覚化したものを用いずに行うプレゼンテーションも含む。

した状態のまま、グラフ上の点の x 座標および y 座標と対応する定量的尺度を様々な組み合わせに変化させていた。このうち、グラフ上の点の x,y 座標と対応する定量的尺度を固定した状態のまま、グラフの x,y 座標と対応する定性的尺度の組み合わせを変化させる操作、すなわち Small Multiples の配列方法を様々なものに変化させる操作を行っていた。この過程において、プレゼンターは「上下左右に並べると多いな」とコメントしていた。これらの操作が行われていた間、グラフ上の点の色と対応する尺度は一貫して性別に固定されており、それ以外の定性的尺度を点の色と対応付ける操作は行われなかった。グラフ上の点の大きさについては、尺度との対応付け操作はほとんど行われなかった。また、点の最小/最大サイズ調整用スライダ（図 4.3 参照）を操作し、点のサイズを小さくするための調整を頻繁に行っていた。

プレゼンテーションモードの使用時においては、プレゼンターはまずアニメーションの実行順の確認を行っていた。このうち、1) グラフ上の点の y 座標, 2) グラフ上の点の x 座標, 3) グラフの x 座標, … の順であったアニメーションの実行順を、…, 2') グラフの x 座標, 3') グラフ上の点の x 座標, … の順に変更するなどの操作を行っていた。また、グラフの x, y 座標についてのアニメーション、すなわち Small Multiples の配列方法を変化させる際のアニメーションについては、他のものに比べデュレーションが長くなるよう調整していた。

プレゼンテーションの実施

プレゼンテーションの実施時間は約 5 分であった。以下に、行われたプレゼンテーションの流れを示す。

1. 自己紹介

まず、プレゼンター自身についての自己紹介が行われた。プロジェクターで投影された画面には何も表示されていなかった。自己紹介に要した時間は約 20 秒であった。

2. データの概要説明

導入として、このプレゼンテーションにおける説明で用いるデータが、体育専門学群の新入生の体格に関するものであることの説明がなされた。この間、画面には Powerpoint を用いて作成されたスライドが表示されていた。この説明に要した時間は約 50 秒であった。

3. 体脂肪率の分布についての説明

これ以降、画面には開発したツールを表示したうえで説明がなされた。まず、グラフ上の点の y 座標と体脂肪率との対応付けが行われた（図 5.5(a)）。体脂肪率の分布が 10% を中心として広がっていることや、最小値は分布の中心から近いこと、最大値は分布の中心から遠いことについての説明がなされた。この説明に要した時間は約 30 秒であった。

4. 性別による分布の違いについての説明

グラフ上の点の色と性別との対応付けが行われた（図 5.5(b)）。点の色分けが行われたのち、まず青色の点が男性のデータを、赤色の点が女性のデータを表していることについての説明がなされた。そのうち、男性の方が、女性に比べて体脂肪率が低い傾向にあることについての説明がなされた。この説明に要した時間は約 15 秒であった。

5. BMI と体脂肪率の関係についての説明

グラフ上の点の x 座標と BMI との対応付けが行われた (図 5.5(c))。こののち、まず BMI の定義についての簡単な説明がなされた。次いで、BMI と体脂肪率には正の相関が見られることについての説明がなされた。加えて、女性の方が男性に比べ、体脂肪率が高い範囲内において相関関係にあることについての説明がなされた。この説明に要した時間は 40 秒程度であった。

6. 食生活バランス評価点数の対応付け

グラフ上の点の大きさと食生活バランス評価点数との対応付けが行われた (図 5.5(d))。この対応付けに関する内容についての説明は行われなかった。

7. 競技種別ごとの分布について説明

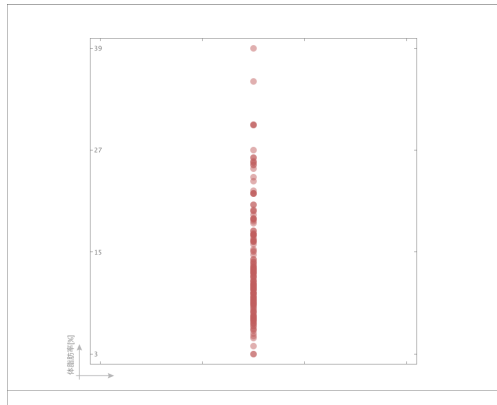
グラフの x 座標と競技種別との対応付けが行われた (図 5.5(e))。こののち、まずそれぞれのグラフと競技種別との対応 (左端のグラフは球技を専門とする人についてのデータを示していることなど) についての説明がなされた。次いで、球技を専門とする人の体格は、広い範囲に分布していることについての説明がなされた。そののち、持久系種目を専門とする人は、比較的体格が小さく、体脂肪率も低い範囲に分布していることについての説明がなされた。最後に、瞬発系種目を専門とする女性についてのデータは広い範囲に分布していることと、瞬発系種目を専門とする男性は体格が小さく、体脂肪率の値も低い範囲に分布していることについての説明がなされた。この説明に要した時間は 40 秒程度であった。

8. 性別ごとの肥満度の基準について説明

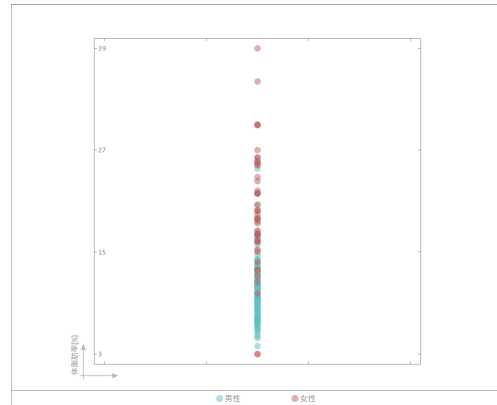
グラフの y 座標と性別との対応付けが行われた (図 5.5(f))。こののち、性別ごとにグラフを並べたこと理由として、性別によって肥満度の判定基準となる値が異なることについての説明がなされた。それぞれのグラフと性別・競技種別との対応 (左上のグラフは球技を専門とする男性についてのデータを示していることなど) についての説明はなされなかった。そののち、プレゼンターはレーザーポインタを用いて、各グラフにおける肥満度の基準となる箇所を指し示した。この説明に要した時間は 30 秒程度であった。

9. 体型分類の説明

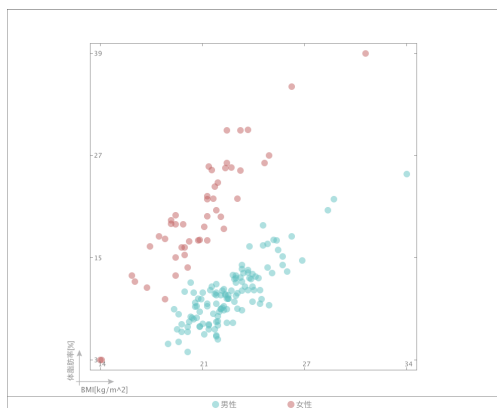
画面には、再び Powerpoint で作成したスライド (図 5.6) が表示された。スライドの内容は、肥満度合いの判定基準となる 2 本の線とその上にプロットされた散布図であった。このスライドを表示したのち、まず基準となる線によって分けられた 4 領域が、それぞれどのような体型を表すかについての説明がなされた。そののち、今回のデータの対象者すなわち体育専門学群の新生は、標準体型の人が多くことについての説明がなされた。最後に、データの測定時から時間が経過しているため、現在はトレーニングの成果が現れ始め、分布に変化が生じているとの予想が述べられ、プレゼンテーションが終了した。この説明に要した時間は 1 分 15 秒程度であった。



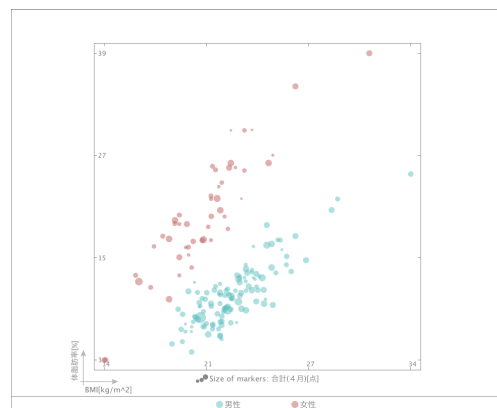
(a) 1段階目：点の y 座標と体脂肪率と対応付け



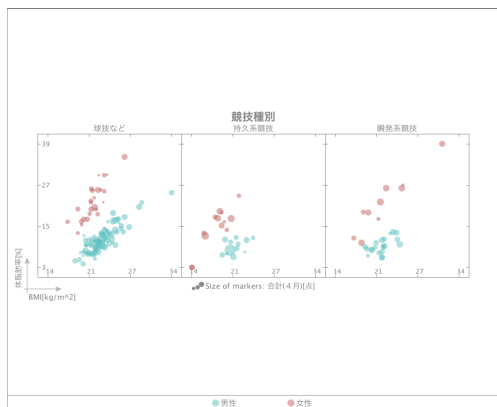
(b) 2段階目：点の色と性別との対応付け



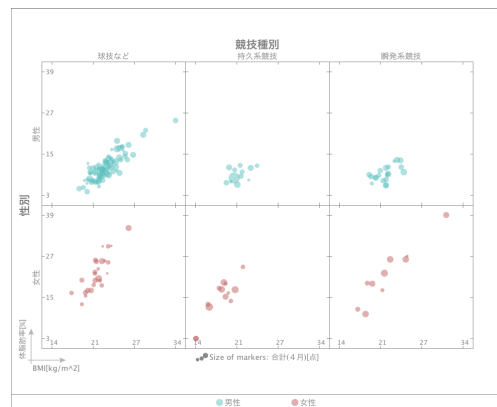
(c) 3段階目：点の x 座標と BMI との対応付け



(d) 4段階目：点の大きさと食生活バランス評価点数との対応付け



(e) 5段階目：グラフの x 座標と競技種別との対応付け



(f) 6段階目：グラフの y 座標と性別との対応付け

図 5.5: プレゼンテーション実施時におけるツールの画面遷移

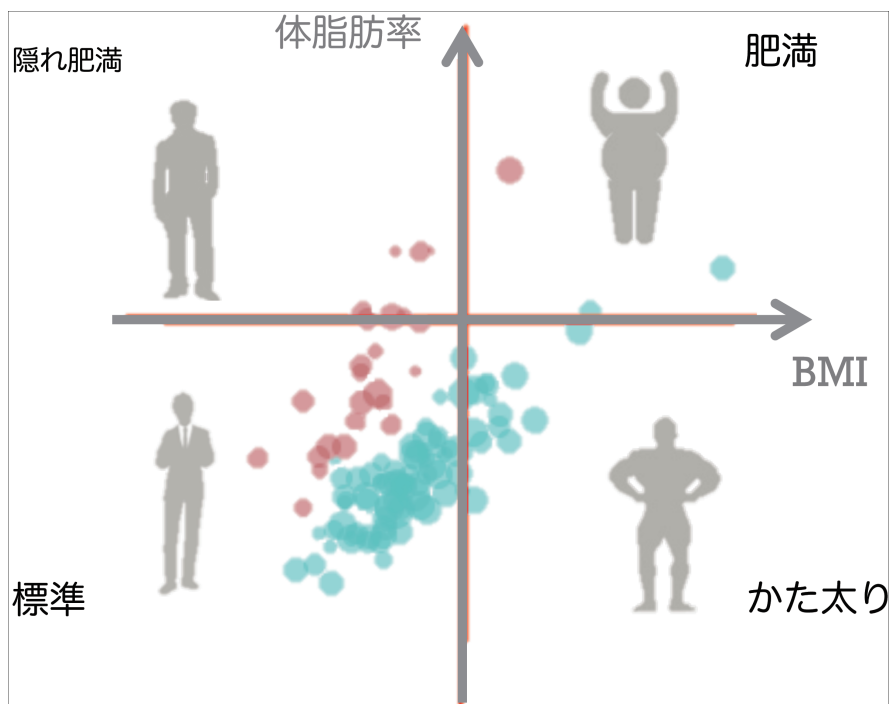


図 5.6: プレゼンテーションのまとめで使用されたスライド

聴衆からの主観評価

実施されたプレゼンテーションに対する聴衆からの主観評価結果をもとに、図 5.3 に示したものと同様の方法により算出した平均値を表 5.5 に示す。

表 5.5: 聴衆による主観評価結果の平均値

	質問内容	平均値
Q1	プレゼンテーションで説明されている内容は易しいと思ったか	4.50
Q2	プレゼンテーションで説明されている内容は理解できたか	4.50
Q3	内容を理解するのに資料は役に立っていたか	4.50
Q4	視覚化結果に生じた変化を把握するのは容易であったか	4.50
Q5	どの箇所に関する説明をしているのかについて把握するのは容易であったか	4.50
Q6	プレゼンテーションで使われていた資料に対する総合的な評価	4.00
Q7	プレゼンテーションに対する総合的な評価	4.50

聴衆から得られた意見

4名の聴衆に対して行ったグループインタビューから得られた意見を抜粋して以下に示す¹²。なお、意見は開発したツールに対してポジティブな評価がなされたものとネガティブな評価がなされたものに分けて示す。

● ポジティブな評価¹³

- 情報が増えるというよりも細分化されたというイメージで、分かりやすかった [A]
- これまで見たプレゼンテーション¹⁴に比べて流れがあってグラフの繋がりが見えやすかった [B]
- 「自分が気になったところ」を説明してくれたと感じた [C]
- 他の分野の人が見ても、分かりやすいのではないかと [D]

● ネガティブな評価¹³

- 点の密度が高いところが、1本の線に見えて分かりにくいと感じた [B]
- 概観はグラフの形から分かるが、軸の目盛りや単位などが見づらく、詳細が把握できなかった [C, D]
- ひとつひとつの点の大きさが大きい [C, D]
- 変化すると全体像が消えるので、全体の中での位置づけが分かりづらかった [D]

聴衆から得られたポジティブな評価としては、アニメーションによってプレゼンテーションの流れが分かりやすくなったという趣旨のものが多かった。またネガティブな評価としては、点や文字の大きさなど、視覚的なデザインに関するものが多かった。

このほか得られた意見としては、「プレゼンター不在で、自分1人でグラフだけ進めていっても、何が言いたいのかは分からなかったと思った [A]」、「質疑応答などですぐに新しいグループ分けをしてデータを示せるのではないかと [D]」、「分析以外でも、スポーツの指導などにも役立つと思った [D]」などであった。

¹²聴衆から得られたすべての意見を付録 D に添付する。

¹³各意見の後ろにある [A] などの文字列はその意見を述べた聴衆を示す。

¹⁴ここでの「プレゼンテーション」とは、データを視覚化したものを用いずに行うプレゼンテーションも含むと考えられる。

プレゼンターから得られた意見

プレゼンターに対して行った個別インタビューから得られた意見を抜粋して以下に示す¹⁵。なお、意見は開発したツールに対してポジティブな評価がなされたものとネガティブな評価がなされたものに分けて示す。

● ポジティブな評価

- すぐに変数を入れ替えられるので、グラフ化した結果を受けて、色々な組み合わせを試すことができた
- 出来上がった1枚の図からだけでなく、変数を変えたときの点の動き方からも変数間の関係を知ることができた
- グラフ自体が動いたり、アニメーションで後から出したりできるので良かった
- アニメーションの順番を変更できる機能により、特徴的な動きをするグループを発見することができ、その内容をプレゼンテーションに盛り込むことができた
- 普段のプレゼンと比べて、グラフで見せる重要度が高いと思った
- 動かないグラフに比べて、色々なことを示せるので、色々なことを示した方が良かったと思った

● ネガティブな評価

- グラフの領域に比べて点のサイズが大きかったので、分布が密であると使いにくかった
- グラフの数が4つ以上になると、プレゼンテーションで使うには多いと感じた
- 軸の文字が小さかったので、それらについて念入りに説明する必要があった
- グラフ以外の図や文字を入れられないので、そのような説明をする場合はExcel¹⁶やPowerpointの方が優位性があると思った

プレゼンターから得られたポジティブな評価としては、プレゼンテーションにおいてアニメーションを利用できることを高く評価しているものが多かった。また、視覚化結果をすぐに変更できる点についても肯定的な評価がなされていた。ネガティブな評価としては、点や文字の大きさなど、視覚的なデザインに関するものが多かった。

またグラフの数については、プレゼンテーションすなわち説明をする前提では、4つ以上は多いとの意見が得られたが、分析のためだけに用いるのであれば、その限りではないとの意見も得られた。

このほか、プレゼンテーションの準備に関して「聴衆に分析の迫体験をさせようと意識して準備した」との意見が得られた。

¹⁵プレゼンターから得られたすべての意見を付録Eに添付する。

¹⁶<http://office.microsoft.com/ja-jp/excel/>

第6章 考察

6.1 Small Multiplesの再配列におけるアニメーションの利用について

6.1.1 グラフの探索時間に与える影響

水平単方向展開および垂直単方向展開の場合について

水平単方向展開および垂直単方向展開では、グラフ数が多い場合・少ない場合のいずれにおいても、探索時間はアニメーションなしの場合の方が短かった。これらのパターンでは、初期状態において提示されるグラフは1個であり、そのうち6個または8個に再配列される。ここで、実験参加者は再配列後のSmall Multiplesの具体的な配列方法を事前に予測できなかったと仮定すると、これらのパターンにおける探索タスクは、アニメーションの有無によらず6個または8個のグラフから1個のグラフを探すタスクになるものと考えられる。また自由記述では「アニメーションありでは、変形の初期段階ではラベルの文字が重なっており、読みづらかった」との意見も得られた。

以上より、水平単方向展開および垂直単方向展開ではアニメーションの有無によらずタスクの性質に差は生じないが、アニメーションありの場合では再配列の過程で一時的にカテゴリ名の判別が困難になるため、アニメーションなしの場合に比べて探索時間が長くなったと考えられる。

水平展開・垂直展開・転置の場合について

水平展開および垂直展開では、初期状態における配列方法をもとに、いくつかの行または列は探索を行う対象から除外できると思われる。アニメーションがある場合では、Small Multiplesの配列方法は連続的に変化するため、これらのパターンにおける探索タスクは、探索を行う対象から除外されなかった行内または列内に再配列される2個～4個のグラフから1個のグラフを探すタスクになるものと考えられる。また転置では、初期状態の時点で探索対象のグラフが提示されている。そのため、アニメーションがある場合では、このパターンにおける探索タスクは、そのグラフの動きを追跡するタスクになるものと考えられる。

一方、アニメーションがない場合では、Small Multiplesの配列方法が不連続的に変化するため、初期状態で得た配列方法についての情報が活用できない。そのため、アニメーションがない場合、これらのパターンにおける探索タスクはいずれも、6個または12個のグラフの中から1つのグラフを探すタスクになるものと考えられる。

以上より、水平展開・垂直展開・転置においては、アニメーションの有無によってタスクの

性質，ひいては難易度に差が生じたため，グラフ数が多い場合ではアニメーションありの方がアニメーションなしに比べ探索時間が短くなったと考えられる。

6.1.2 主観評価に与える影響

図 3.5 より，実際の探索時間は，大半の条件においてアニメーションなしの場合の方が，アニメーションありの場合よりも短かったことが分かる。しかし探索に要した感覚時間についての評価結果(図 3.8(a))より，いずれのパターンにおいても，アニメーションありの場合の方が探索時間は短く感じられることが分かる。ここから，ダウンロード処理などの待ち時間を短く感じさせるために用いられるプログレス表示と同様の効果が，アニメーションの利用により生じたのではないかと考えられる。

主観評価において最もアニメーションありが優れていたと評価をされた項目は生じた変化の分かりやすさ(図 3.8(b))であった。自由記述では「アニメーションなしだと，展開時に何の変化が起きたのか分からないことがあった」といった意見も得られた。ここから，Small Multiples の再配列におけるアニメーションの利用によって，実験参加者が感じた最も大きな違いは，生じた変化の把握が容易になることであったと考えられる。

また，総合的な評価(図 3.8(c))では，全てのパターンにおいてアニメーションありの方が優れていたと評価されていた。このことは，アニメーションの利用により主観評価が向上するという Heer らの報告 [12] とも合致する。

6.1.3 実際の視覚化システムでの利用

探索時間および主観評価の結果から，アニメーションの利用により主観評価は向上するが，実際の探索時間は長くなると言える。しかし，グラフ数が多い場合の水平展開など，アニメーションの利用によって実際の探索時間が短くなる例も見られた。

ここから，実際の視覚化システムにおける Small Multiples では，再配列パターンやグラフ数に応じてアニメーションを使い分けることで，主観評価の向上および探索時間の短縮の双方が実現できると予想される。

使い分けの方法としては，1) 水平単方向展開を行う際やグラフ数が少ない場合はアニメーションを利用しない，またはアニメーションに要する時間を短くする，2) グラフ数が多い場合に水平展開を行う際はアニメーションを利用する，といったものが考えられる。

6.2 プレゼンテーションにおけるアニメーションの利用について

6.2.1 資料がプレゼンテーションの評価に与える影響

アニメーションあり動的資料について

プレゼンテーションに対する総合的な評価の結果（図 5.3 中 Q7）から、アニメーションを用いて動的に変化する資料を用いることで、プレゼンテーションに対する聴衆の主観評価を向上させられると言える。アニメーションあり動的資料に対する自由記述では「グラフが目に見える形で変化するので、説明との関連付けがしやすかった」「説明に適切なグラフに切り替わっていた点良かった」など、プレゼンターによる説明と資料との対応付けが行いやすかった点を高く評価するコメントが得られた。このことは、アニメーションを用いた視覚化が有効であるのは、アニメーションについての説明や指示がある場合であるとする、Robertson らの結果 [5] とも合致する。ここから、アニメーションあり動的資料を用いたプレゼンテーションは、口頭での説明とアニメーションとの対応付けがなされていたため、聴衆の主観評価を向上させたと考えられる。

アニメーションなし動的資料と静的資料について

図 5.3 中の Q7，すなわちプレゼンテーションに対する総合的な評価の結果から、アニメーションを利用せず動的に変化する資料は、静的で変化しない資料を用いた場合と比べて、プレゼンテーションに対する聴衆の主観評価に有意な差が生じないことが分かる。これらの資料間では、有意差の見られた評価項目はなかったため、平均値の差が大きかった項目の結果をもとに考察を行う。

説明箇所の分かりやすさについての結果（図 5.3 中 Q5）から、動的に変化する資料を用いることで、説明している箇所の把握が容易になる傾向にあることが分かる。またアニメーションなし動的資料に対する自由記述では「説明と資料があっていた」「資料のどこを見れば良いかはっきりしていた」といった意見が得られた。ここから、アニメーションなし動的資料は、個々のタイミングにおいては説明に適した資料を提示できていたと考えられる。

しかしながら、説明内容の理解度の結果（図 5.3 中 Q2）から、アニメーションなし動的資料は静的資料に比べ、説明内容の理解が困難であったことが分かる。アニメーションなし動的資料に対する自由記述では「グラフの変化前後の関係を把握しづらかった」「逆に理解の妨げとなっているように感じた」といった意見が得られた。これらの主観評価結果や自由記述の意見は、6.1.2 で述べた、Small Multiples の再配列におけるアニメーションの利用によって、生じた変化の把握が容易になるという結果とも一致する。ここから、アニメーションなし動的資料は、変化前後における資料の対応関係が理解しづらいため、説明内容そのものに対する理解を妨げたと考えられる。

以上より、アニメーションなし動的資料は、説明箇所の把握を容易にするが、説明そのものに対する理解を妨げるため、プレゼンテーションに対する総合的な評価を向上させられなかったと考えられる。

6.2.2 資料が説明内容の評価に与える影響

図 5.3 中に示したそれぞれの平均値は、3種類の各説明内容について7件ずつ、合計21件の評価結果から算出したものである。説明内容の易しさについての結果（図 5.3 中 Q1）は、資料やプレゼンテーション全体についての評価ではなく、説明内容そのものに対する評価であるため、資料の違いによる差は生じないはずである。しかし、アニメーションあり動的資料に対する Q1 の評価結果は、有意ではないものの、それ以外の資料に比べて平均値が 0.5 以上高かった。ここから、資料の違いは説明内容の難しさに対する主観評価にも影響を与えることが示唆された。

6.3 開発したツールについて

6.3.1 開発したツールを用いたデータ分析の特徴

プレゼンターからの評価として、「(開発したツールは) すぐに変数を入れ替えられるので、グラフ化した結果を受けて、いろいろな組み合わせを試すことができた」という意見が得られた。実際に、開発したツールの操作モードを使用していた際、プレゼンターは視覚化結果を様々なものに変化させていた。ここから、開発したツールには、視覚化結果を適宜変更させながら分析を進めることが容易であるという特徴があると考えられる。またプレゼンターからは、「アニメーションの順番を変更できる機能により、特徴的な動きをするグループを発見することができ、その内容をプレゼンテーションに盛り込むことができた」との意見が得られた。ここから、本来は情報伝達を支援するためのプレゼンテーションモードの機能であるアニメーションの実行順の変更によっても、データ分析の支援ができたと言える。このほか、「出来上がった1枚の図からだけでなく、変数を変えたときの点の動き方からも変数間の関係を知ることができた」という意見も得られたことから、Small Multiples とアニメーションを合わせて用いることは、6.1.2 で述べたような、生じた変化の把握が容易になることに加えて、変数すなわち尺度間の関係についての情報を提示できる可能性が示唆された。

6.3.2 開発したツールを用いたプレゼンテーションの特徴

聴衆から得られたポジティブな評価としては、開発したツールを用いたプレゼンテーションは、話の流れが分かりやすいという意見が多く得られた。その理由としては、情報量が増えていくのではなく細分化されていく(聴衆 A の意見より)・聞いていて気になった点が説明されていく(聴衆 C の意見より)ような構成であったことなどが挙げられる。また、プレゼンターと専門分野が同じである聴衆 D からは、専門が異なる人としても分かりやすいのではないかと意見が得られた。このことは、開発したツールを用いたプレゼンテーションを、プレゼンターとは専門分野が異なる聴衆 A,B,C の3名が高く評価していたこととも合致する。

ネガティブな評価としては、視覚的なデザインに関するものが多かった。特に、ラベルが読みづらく詳細の把握が困難であることについては、研究に従事している聴衆 C および聴衆

Dの双方から指摘された。また聴衆Dからは、開発したツールは専門的な議論をする上ではあまり有効ではないことを懸念する意見も得られた。

以上より、開発したツールを用いたプレゼンテーションは、話の流れが分かりやすくなるため、専門分野が異なる聴衆にも分かりやすいものになると考えられる。しかしながら、開発したツールの視覚的なデザインのもとでは、詳細を把握して議論を深める際にはあまり有効でない可能性があることもまた示唆された。

6.3.3 開発したツールの構成が分析と伝達の実施に与える影響

プレゼンターに対して行ったインタビューでは、「聴衆に分析の迫体験をさせようと意識して準備した」という意見が得られた。そのためプレゼンターは、自身が経験した分析の過程とともに分析結果を伝えるプレゼンテーションを行っていたと考えられる。Wurmanによれば、情報伝達の生産性をあげるには、コンテキストとともにメッセージを伝えることが重要である [27]。表 5.5 や図 5.3 の結果からは、開発したツールを用いたプレゼンテーションは、内容が理解されやすいことや聴衆から高く評価されていることが分かる。以上より、開発したツールを用いることによって、聴衆にとって分かりやすく、生産性の高いプレゼンテーションを行う支援ができたと言える。

またプレゼンターは、分析の過程において「(グラフを) 上下左右に並べると多い」とのコメントをしていた。インタビューでは「プレゼンテーションを行う前提ではグラフが4個以上になると多いが、分析のみが目的であればその限りではない」といった趣旨の意見も得られた。ここから、開発したツールを用いた場合、プレゼンターは分析を行う際にも情報伝達を行うことを考慮していたと考えられる。加えて6.3.1で述べた通り、情報伝達の支援を目的として実装された機能によっても、データ分析を支援することができた。ここから、プレゼンターはプレゼンテーションの準備を行う際にも分析を行っていたと考えることができる。

以上より開発したツールは、データ分析と情報伝達という2つの行為を、ひとつながりの行為として行うことをプレゼンターに促したと言える。これは、開発したツールがデータ分析から情報伝達までを一括して支援する構成であったためだと思われる。

第7章 結論

Small Multiples とアニメーションを用いた視覚化によってデータ分析から情報伝達までを一括して支援することを目的として、実験と視覚化ツールの開発およびその評価を行った。

1. Small Multiples の再配列におけるアニメーションの利用が、視覚的探索およびユーザの主観評価に与える影響を明らかにするための実験では以下の3点が明らかとなった。
 - i) 特定カテゴリについてのグラフ探索に要する時間は、アニメーションの利用によって長くなる場合が多い。
 - ii) グラフ探索に要する感覚時間を短くするなど、アニメーションの利用は主観評価を向上させる。
 - iii) アニメーションの利用によって主観評価が特に向上するのは、生じた変化の把握しやすさについてである。
2. 1の結果にもとづき Small Multiples とアニメーションを用いた視覚化ツールを開発し、そのツールを用いたプレゼンテーションの主観評価を行ったところ、以下の2点が明らかとなった。
 - i) アニメーションを用いて、動的に変化する資料を用いたプレゼンテーションは、静的で変化しない資料を用いたものに比べ、主観評価が向上する。
 - ii) アニメーションを用いず、動的に変化する資料を用いたプレゼンテーションは、静的で変化しない資料を用いたものに比べ、主観評価は向上しない。加えて、資料の違いは説明されている内容の難しさに対する聴衆の主観評価に影響を与えることが示唆された。
3. 開発したツールを操作したプレゼンターから得られた意見、および開発したツールを用いたプレゼンテーションを聞いた聴衆から得られた意見から、以下の2点が明らかとなった。
 - i) 開発したツールを用いたプレゼンテーションは、議論を深める際にはあまり有効でないが、話の流れが把握しやすく専門的な知識を持たない人にも分かりやすい。
 - ii) 開発したツールは、データ分析と情報伝達をひとつながりの行為として行うことをユーザに促す。

これらの結果から、Small Multiples とアニメーションを用いた視覚化は、分析においては生じた変化の把握を容易にし、情報伝達においては聴衆の主観評価を向上させることが明らかとなった。また開発したツールは、データ分析と情報伝達をひとつながりの行為として行うことをユーザに促し、専門的な知識を持たない人にも分かりやすいプレゼンテーションを行う支援ができた。

謝辞

本論文の執筆にあたり、金尚泰講師には視覚化結果やツールのインタフェースについての視覚的なデザインやツールの評価方法、実験デザインなどについて、多岐に渡ってご指導いただきました。西岡貞一教授には折に触れて相談に乗っていただき、厳しくも温かいアドバイスをいただきました。本研究に取り組んだ2年間のご指導に対して、改めて御礼申し上げます。

グラフィックデザイン研究室のみなさまからは、日々のゼミなどの議論を通して、研究を進める上で非常に有益な意見を多くいただきました。また共同のゼミ室を使用している西岡・鈴木両研究室のみなさまにも、大変お世話になりました。

森田ひろみ講師には、実験デザイン等を決定するにあたって相談に乗っていただき、有意義な助言を数多くいただきました。麻見直美准教授をはじめとする本学体育科学系運動栄養学研究室のみなさまには、ツール評価を行うにあたり研究データを提供していただくなど、多大なご協力をいただきました。

種々の実験・評価にご協力いただいたみなさまにも、大変お世話になりました。

また、「大学院生学際研究フォーラム 院生プレゼンバトル」への出場などを通じて、より良い情報伝達やプレゼンテーションを行うための技術・知識を学ぶことができました。これらの技術・知識は、本研究を進める上で必要不可欠なものでした。このような機会を設けてくださった、つくば院生ネットワークを始めとするみなさまにも大変感謝しています。

最後に、この2年間私を見守り、支えてくださった家族、特に両親に対し心からの感謝を申し上げます。

ありがとうございました。

参考文献

- [1] リチャード・ワーマン著, 松岡正剛訳, ”情報選択の時代 : 溢れる情報から価値ある情報へ”, 日本実業出版社, 1990
- [2] ロバート・ヤコブソン編, 食野雅子訳, “情報デザイン原論 : 「ものごと」を形にするテンプレート”, 東京電機大学出版局, 2004
- [3] 情報デザインアソシエイツ編, “情報デザイン 分かりやすさの設計”, グラフィック社, 2002
- [4] ジャック・ベルタン著, 森田喬訳, ”図の記号学 : 視覚言語による情報の処理と伝達”, 地図情報センター, 1982
- [5] George Robertson, Roland Fernandez, Danyel Fisher, Bongshin Lee, John Stasko, ”Effectiveness of animation in trend visualization”, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Volume 14, 2008
- [6] Edward R. Tufte, ”The visual display of quantitative information”, Graphics Press, 1983
- [7] Edward R. Tufte, ”Envisioning information”, Graphics Press, 1990
- [8] Edward R. Tufte, ”Visual explanations : images and quantities, evidence and narrative”, Graphics Press, 1997
- [9] Richard A. Becker, William S. Cleveland, Ming-Jen Shyu, ”The Visual design and control of trellis display”, Journal of Computational and Statistical Graphics, No. 5, 1996
- [10] Chris Stolte, Diane Tang, Pat Hanrahan. ”Query, Analysis, and Visualization of Hierarchically Structured Data using Polaris”, Proceedings of ACM SIGKDD, 2002
- [11] Sara Irina Fabrikant, Stacy Rebich-Hespanha, Natalia Andrienko, Gennady Andrienko Daniel Montello, ”Novel Method to Measure Inference Affordance in Static Small-Multiple Map Displays Representing Dynamic Processes”, Cartographic Journal, Volume 45, 2008
- [12] Jeffrey Heer, George Robertson, ”Animated transitions in statistical data graphics”, IEEE Information Visualization, 2007

- [13] Barbara Tversky, Julie Bauer Morrison, Mireille Betrancourt, "Animation: can it facilitate?", *International Journal of Human-Computer Studies*, Volume 57, 2002
- [14] "Tableau Software", <http://www.tableausoftware.com/> (accessed in 2012.06.25)
- [15] "Hans Rosling: Stats that reshape your worldview — Video on TED.com", http://www.ted.com/talks/hans_rosling_shows_the_best_stats_you_ve_ever_seen.html(accessed in 2012.12.21)
- [16] "The seemingly impossible is possible - Gapminder.org", TED2007, <http://www.gapminder.org/videos/hans-rosling-ted-talk-2007-seemingly-impossible-is-possible/> (accessed in 2012.06.29)
- [17] "Gapminder", <http://www.gapminder.org/> (accessed in 2012.06.29)
- [18] Daniel Archambault, Helen C. Purchase, Bruno Pinaud, "Animation, Small Multiples, and the Effect of Mental Map Preservation in Dynamic Graphs", *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Volume 17, 2011
- [19] Douglas E. Zongker, David H. Salesin, "On Creating Animated Presentations", *Eurographics/SIGGRAPH Symposium on Computer Animation*, 2003
- [20] M.G. ケンドール著, 奥野忠一, 大橋靖雄共訳, "多変量解析", 培風館, 1981
- [21] 奥野忠一ほか, "工業における多変量データの解析", 日科技連出版社, 1986
- [22] Stanley Smith Stevens, "On the Theory of Scales of Measurement", *Science* 7, 1946
- [23] Stanley Smith Stevens, "Handbook of experimental psychology", Wiley, 1951
- [24] 浮田典良, 森三紀, "地図表現入門: 主題図作成の原理と実際", 大明堂, 1988
- [25] 浮田典良, 森三紀, "地図表現ガイドブック: 主題図作成の原理と応用", ナカニシヤ出版, 2004
- [26] 神家さおり, 武田哲子, 麻見直美, "アスリートのための食生活バランスチェック票を用いた食生活の自己評価が食習慣に及ぼす効果", *体育科学系紀要*, Volume 35, 2012
- [27] リチャード・ワーマン著, 松岡正剛監訳, "理解の秘密: マジカル・インストラクション", NTT 出版, 1993

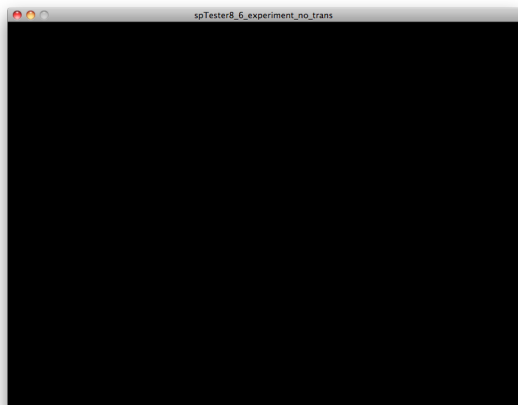
付録 A

Small Multiples の再配列におけるアニメーションの利用が，視覚的探索およびユーザの主観評価に与える影響を明らかにするための実験において使用した教示用紙（5 ページ）。

実験説明(1)

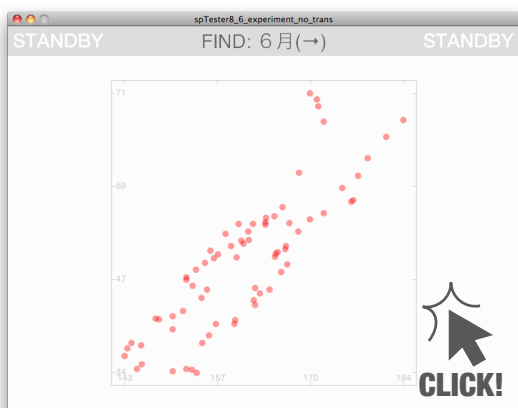
実験フローについて

今回の実験では、2つのプログラムに対し、以下の1)~4)×30回を1セットとし、各5セット行います。



1)黒い画面が表示される

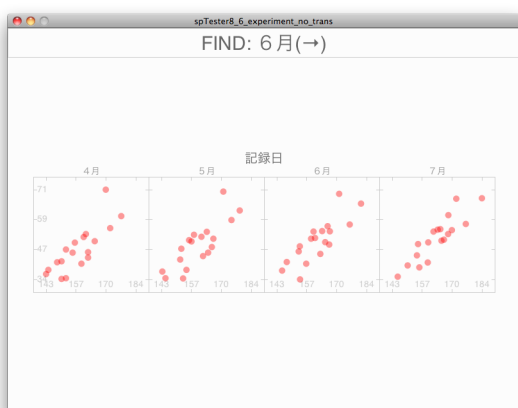
2秒経過



2)変形前のグラフが表示される

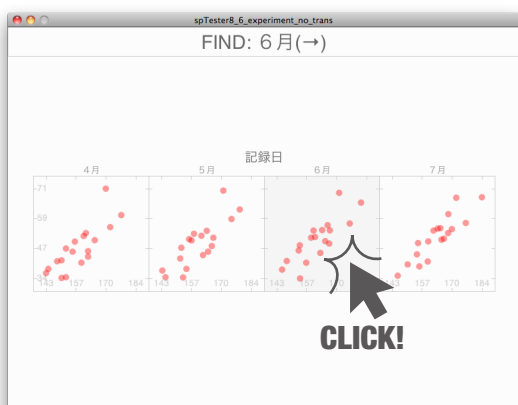
画面上部にはクリックするターゲットおよび変形方法(別紙参照)が表示されます。

マウスをクリック



3)変形後のグラフが表示される

2)と同様に画面上部にはクリックするターゲットおよび変形方法(別紙参照)が表示されます。



4)ターゲットをクリックする

このとき、ターゲットと異なる枠をクリックしても1)に戻ります。ただし、枠以外の箇所をクリックしても、プログラムは反応しません。

※枠内にマウスを重ねると、背景色が変わり、選択状態であることが示されます。

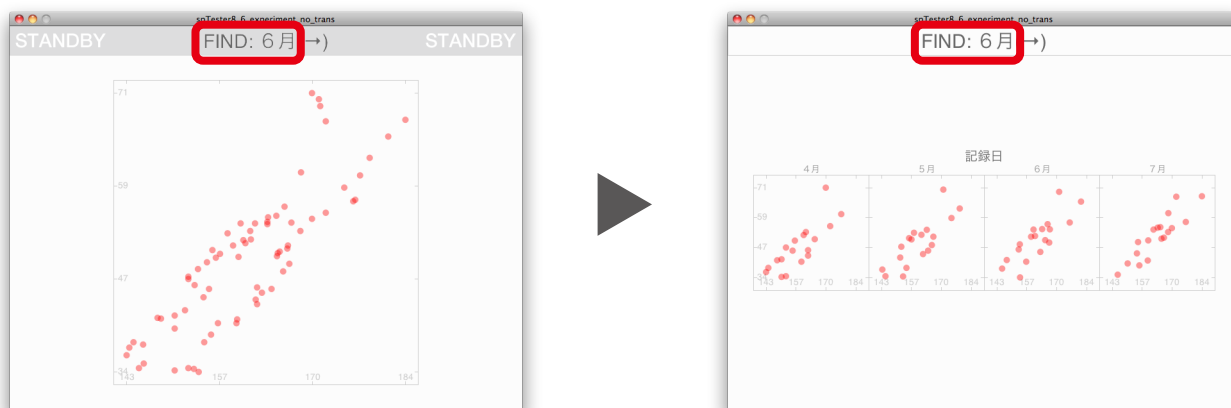
実験説明(2)

ターゲットについて

実験において、ターゲット(クリックする対象となるカテゴリを示している枠)について説明します。

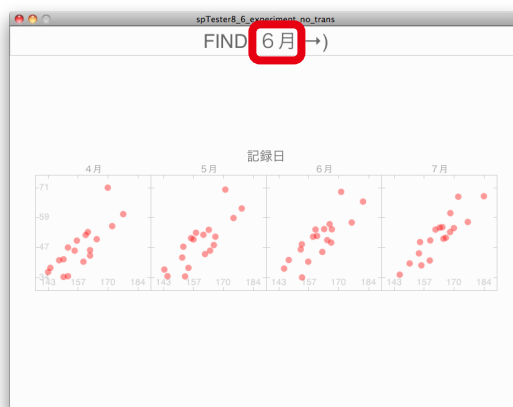
1)ターゲットは画面上部に**FIND:○○**(◇)という形式で示されます

ターゲットの表示はグラフ変形の前後で変化しません。

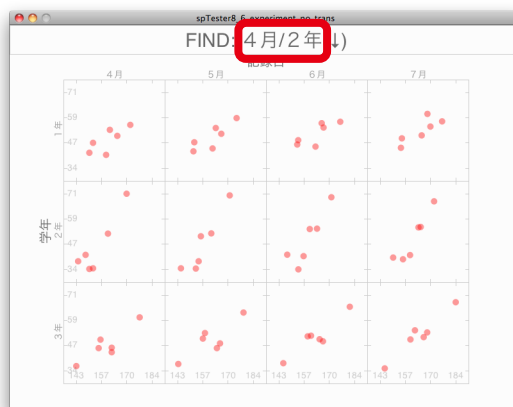


2)ターゲットの表記は枠の並び方によって異なります

枠の並び方が1行×n列, n行×1列の場合, ターゲットの表記は○○となります。



枠の並び方がn行×m列の場合, ターゲットの表記は○○/△△となります。



実験説明(2)

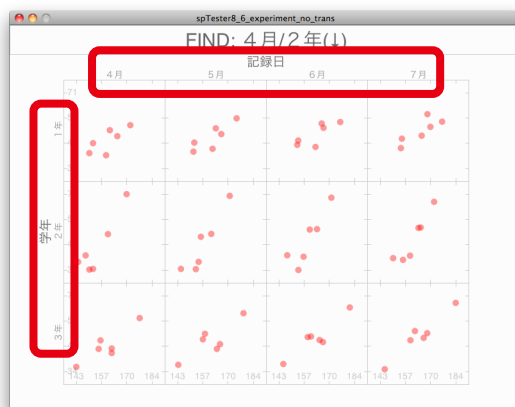
ターゲットについて

実験において、マウスでクリックする対象となる枠(以下ターゲット)について説明します。

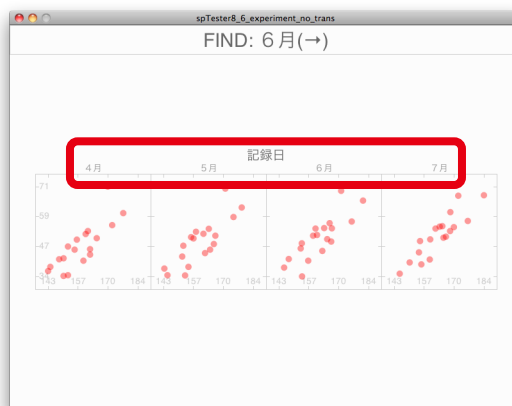
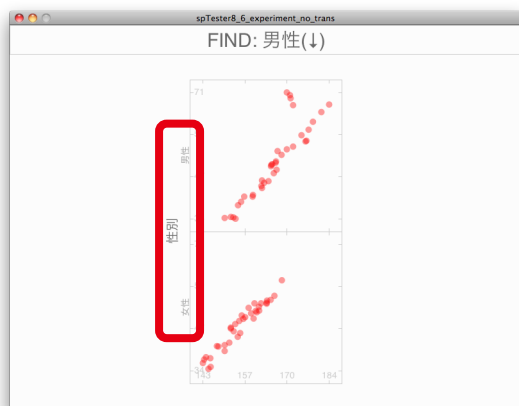
3)各枠が表すカテゴリはその**上側または左側**に示されます

最上部/最左部にはカテゴリの名称(例: 学年/性別)が大きく表示され、

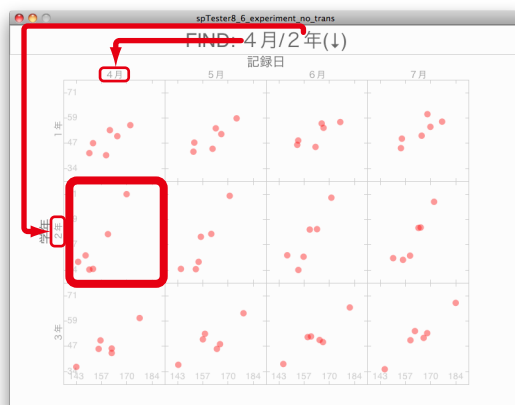
その下/右にはカテゴリの値(例: 1年, 2年/男性, 女性)が小さく表示されます。



カテゴリの表示は、その必要がない場合には行われません。



例:ターゲットが「4月/2年」の場合、下図の太い赤線で囲われた枠をクリックしてください。



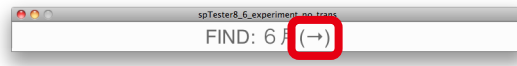
実験説明(3)

変形方法について

実験における, グラフの変形方法について説明します.

1)変形方法は画面上部にFIND:◇◇(○)という形式で示されます

変形方法の表示はグラフ変形の前後で変化しません.

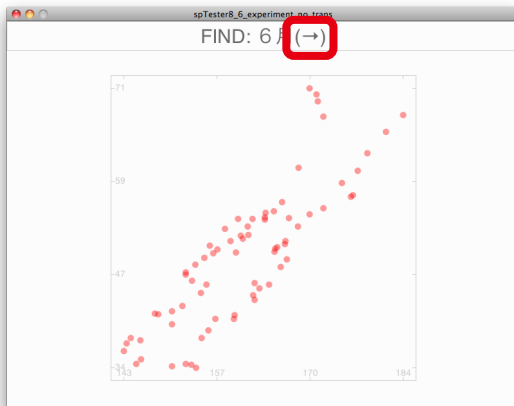


2)変形方法の表記→, ↓, ⇄の3種類

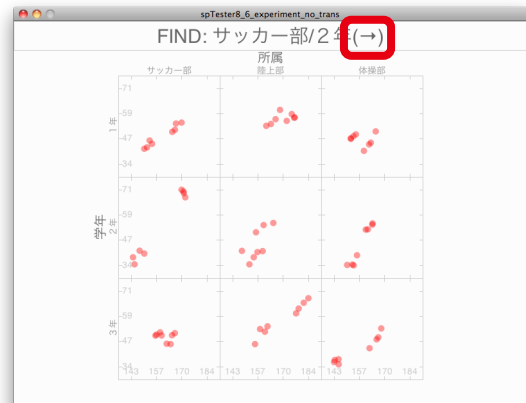
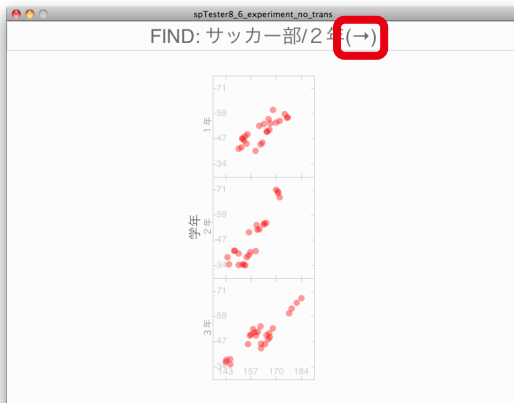
表記と変形方法の対応は3)を参照.

3)変形方法は5種類

A)1行×1列のグラフから横方向に変形する場合(表記:→)



B)n行×1列のグラフから横方向に変形する場合(表記:→)

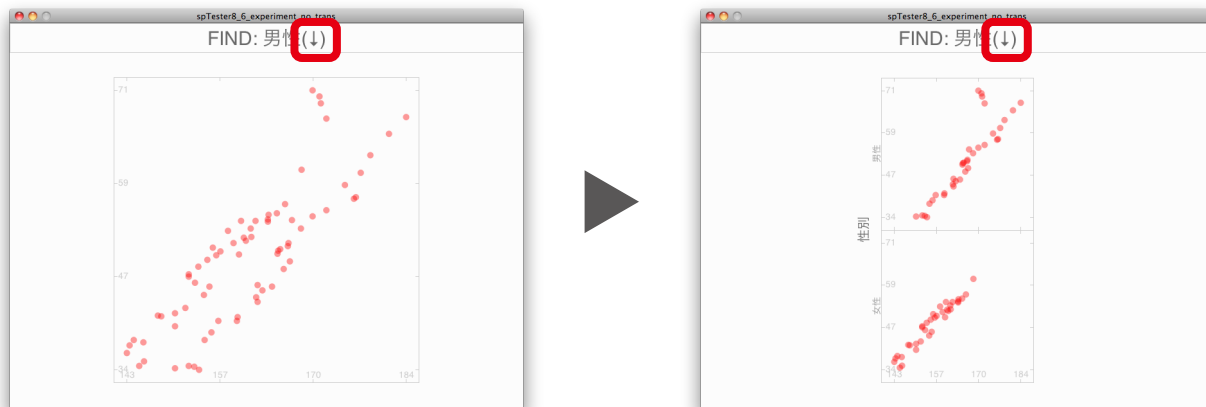


実験説明(3)

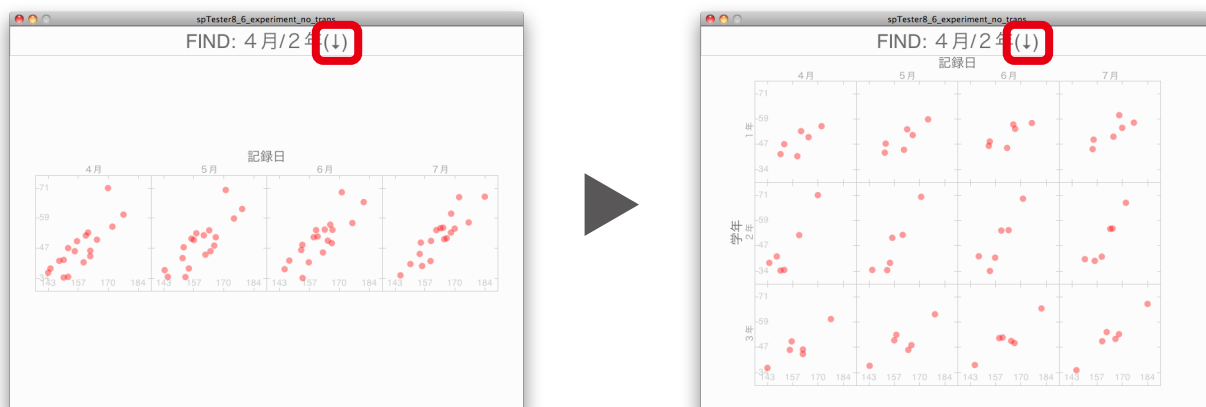
変形方法について

実験における, グラフの変形方法について説明します.

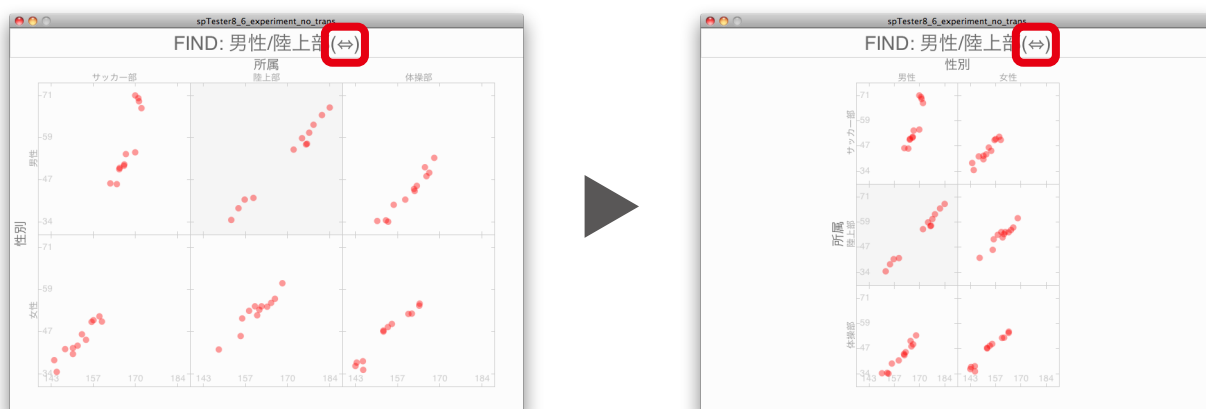
C) 1行×1列のグラフから縦方向に変形する場合(表記: ↓)



D) 1行×n列のグラフから縦方向に変形する場合(表記: ↓)



E) n行×m列のグラフからm行n列のグラフに変形(転置)する場合(表記: ⇄)



↑ 2行3列のグラフ(左)が3行2列のグラフ(右)になり, 1行2列の箇所に配置されていた男性/陸上部のグラフ(左, 背景がグレーの枠)が, 2行1列の箇所(右, 同)に移動している

付録B

Small Multiples の再配列におけるアニメーションの利用が，視覚的探索およびユーザの主観評価に与える影響を明らかにするための実験において使用した質問紙（2 ページ）。

実験後アンケート

ID _____

1),2)および3)については、あてはまる箇所に○をつけてください。

性別	男・女	年齢	歳
----	-----	----	---

1)ターゲットの探索に要した体感時間

○A)の変形について

アニメーションなしの
方が短いように感じた。

どちらでもない

アニメーションありの
方が短いように感じた。

○B)の変形について

アニメーションなしの
方が短いように感じた。

どちらでもない

アニメーションありの
方が短いように感じた。

○C)の変形について

アニメーションなしの
方が短いように感じた。

どちらでもない

アニメーションありの
方が短いように感じた。

○D)の変形について

アニメーションなしの
方が短いように感じた。

どちらでもない

アニメーションありの
方が短いように感じた。

○E)の変形について

アニメーションなしの
方が短いように感じた。

どちらでもない

アニメーションありの
方が短いように感じた。

2)どのような変形が起きたかの判りやすさ

○A)の変形について

アニメーションなしの
方が判りやすい。

どちらでもない

アニメーションありの
方が判りやすい。

○B)の変形について

アニメーションなしの
方が判りやすい。

どちらでもない

アニメーションありの
方が判りやすい。

○C)の変形について

アニメーションなしの
方が判りやすい。

どちらでもない

アニメーションありの
方が判りやすい。

○D)の変形について

アニメーションなしの
方が判りやすい。

どちらでもない

アニメーションありの
方が判りやすい。

○E)の変形について

アニメーションなしの
方が判りやすい。

どちらでもない

アニメーションありの
方が判りやすい。



3)総合的にどちらが良いと思うか

○A)の変形について

アニメーションなしの
方が良い。

どちらでもない

アニメーションありの
方が良い。



○B)の変形について

アニメーションなしの
方が良い。

どちらでもない

アニメーションありの
方が良い。



○C)の変形について

アニメーションなしの
方が良い。

どちらでもない

アニメーションありの
方が良い。



○D)の変形について

アニメーションなしの
方が良い。

どちらでもない

アニメーションありの
方が良い。



○E)の変形について

アニメーションなしの
方が良い。

どちらでもない

アニメーションありの
方が良い。



4)その他,感じたことや実験全体への意見など(自由記述)

付録C

開発したツールを用いたプレゼンテーションに対する主観評価実験において使用した質問紙（2ページ）.


実験後アンケート

ID _____

性別	男・女	年齢	歳
----	-----	----	---

1)このプレゼンテーションおよびその資料についての主観評価

以下の例に従って、5段階で評価を記入してください

例) 
目盛りのあるところに○を記入してください。

a)プレゼンテーションで説明されている内容は難しいと思いましたが、それとも思いませんでしたか。

難しいと思わなかった |-----| どちらでもない |-----| 難しいと思った

その理由(空欄でも可):

b)プレゼンテーションで説明されている内容は理解できましたか、それともできませんでしたか。

理解できなかった |-----| どちらでもない |-----| 理解できた

その理由(空欄でも可):

c)内容を理解するのに資料(グラフ)は役に立っていたと思いますか、それとも思いませんか

思わなかった |-----| どちらでもない |-----| 思った

その理由(空欄でも可):

d)資料中のグラフの表示が変化*したとき、それ以前に表示されていたものからどのように変化したかについて把握するのは、困難でしたか、それとも困難ではありませんでしたか。

*グラフ上の点の移動、グラフの並べ方の変更、点の色の変更、点の大きさの変更、の変化方法すべてを総合した「変化」について記入してください。特定の変化方法に関しては「理由」欄もしくは裏面の自由記述欄に記入してください。

困難ではなかった |-----| どちらでもない |-----| 困難であった

その理由(空欄でも可):

e)資料中のグラフの、どの箇所に関する説明をしているのかについて把握するのは、困難でしたか、それとも困難ではありませんでしたか。

困難ではなかった |-----| どちらでもない |-----| 困難であった

その理由(空欄でも可):


f)これまでの質問を踏まえた上で、このプレゼンテーションで使われていた**資料**に対する総合的な評価を記入してください。

非常に悪い |-----| 悪い |-----| どちらでもない |-----| 良い |-----| 非常に良い

その理由(空欄でも可):

g)これまでの質問を踏まえた上での、**このプレゼンテーション**に対する総合的な評価を記入してください。

非常に悪い 悪い どちらでもない 良い 非常に良い



その理由(空欄でも可):

2)このプレゼンテーションおよびその資料の良かった点(自由記述)

3)このプレゼンテーションおよびその資料の悪かった点(自由記述)

4)その他, 意見などあれば自由に記述してください

付録D

開発したツールの利用結果に対する聴衆へのインタビュー結果（2ページ）。

聴衆へのインタビュー結果

聴衆へのインタビューにより得られた意見を、内容ごとおよび話者ごとに分けて列挙する。
なお、それぞれ意見の前にある「A:」といった文字列は、その意見を述べた聴衆を示している。

● プレゼン全体に対する評価（ポジティブ）

- A: 前の説明で使った点を使い回して流用していく印象を受けた
突然画面が切り替わるといったことがなく分かりやすいと思った
- B: 動きがあるので、これまで見たプレゼンテーションに比べて流れがあってグラフの繋がりが見えやすかった
- C: どこからデータが来ているかが分かりやすくて良かった
- D: 自分がデータ分析する時のことを考えると、あるグループに特徴があることがすぐに視覚的に分かれば、その後の統計分析を行うまでの時間を短縮出来ると思った
他の分野の人が見ても、分かりやすいのではないかと
スライドとは異なり、一画面で済むところがスマートだった

● プレゼン全体に対する評価（ネガティブ）

- B: 点の密度が高いところが、1本の線に見えて分かりにくいと感じた
- C: 概観はグラフの形から分かるが、軸の目盛りや単位などが見づらく、詳細を追うことが出来なかった
ひとつひとつのマーカの大きさが大きい
- D: 丸が大きいと感じた
学会発表など数字の詳細を知りたいときには使いにくそう
変化すると全体像が消えるので、あるグループの全体の中での位置づけを見れなかった

● 情報量の増加について

- A: 情報が増えるというよりも細分化されたというイメージで、分かりやすかった
次のグラフに変わる前のタイミングで説明していることが分かれば、情報が増えて困ることはないと思った
プレゼンター不在で、自分1人でグラフだけ進めていっても、何が言いたいのかは分からなかったと思った
プレゼンターによる補足で埋めていくように進めると、特に情報が増えて困ることはないと思った
- C: 「自分が気になったところ」を説明してくれたと感じた
分野も興味があるところだったので、それも助けになった。そうでない分野のデータだったら無理だったかもしれない

D: 今回くらいの情報量の増え方だったら特に問題はなかった
自分が興味があるデータだったら、増えていくことは嫌とは思わないかもしれないが、見せ方にもよるかも知れない

- **アニメーションごとの分かりやすさ/分かりにくさ**

C: 色分け前のデータ点は赤だったが、色分け後の女子も赤だったことが気になった
後で色分けするならば、最初は黒とかグレーのほうが良いと思った

- **自分ならどのように使うか**

D: 質疑応答などですぐに新しいグループ分けをしてデータを示せるのでは
分析以外でも、スポーツの指導などにも役立つと思った

- **改善されると良いと思う点**

B: Powerpoint のようにテキストや図の追加ができれば、よりスムーズに説明できる
のでは

D: 点と対応しているデータがすぐに把握できると良い

付録E

開発したツールの利用結果に対するプレゼンターへのインタビュー結果（3ページ）。

プレゼンターへのインタビュー結果

プレゼンターへのインタビューにより得られた意見を、内容ごとに分けて列挙する。

● 使い方について

- 最初はある程度予想を立ててグラフを作っていた
- すぐに変数を入れ替えられるので、グラフ化した結果を受けて、色々な組み合わせを試すことができた
- フィードバックを受けて、またグラフを作りなおすサイクルが回しやすかった

● 視覚変数の用途

- グラフ間を比較する場合は、横に分けた方が比較がしやすい
- 縦は2つ並べただけでも比較しにくいので、比較よりも区別のために使う方が良いと思って使った
- グラフの領域に比べて点のサイズが大きかったので、分布が密であると使いにくかった
- マーカの色に関しては、同じグラフ上に点があるので比較にも区別にも使える

● グラフの数について

- グラフの数が4つ以上になると、プレゼンテーションで使うには多いと感じた
- 横だけの場合は4つ以上だが、縦だけの場合は3つ以上になった時点で多いと感じた
- マーカが大きいのので、グラフの数を多くする(=1つ1つのグラフを小さくする)ことが出来なかったというのも理由
- 分析で使うだけならば、グラフの数はいとわないと思った

● 定量的尺度を操作することについて

- 出来上がった1枚の図からだけでなく、変数を変えたときの点の動き方からも変数間の関係を知ることができた
- 例えば体脂肪に対する影響が、体重と筋肉量ではどちらの方が大きいのかを見るうえで、その影響を動きで見れるのは良かった

● デュレーションについて

- 初期状態からの移動は、すぐ出るようにした
- 2軸への展開やカテゴリ分けについては、動きが重要だと思い、長めにした

- 動きによる変化が重要だと思ったところ（2軸への展開）は、見ていて「おお」ってなると思い、最も長くした

● 軸の説明について

- 普段から意識して説明しているので、今回も同様におこなった
- このプログラムでは、軸の文字が小さかったので、それらについて念入りに説明する必要があった

● 順番変更機能について

- アニメーションの順番を変更できる機能により、特徴的な動きをするグループを発見することができ、その内容をプレゼンテーションに盛り込むことができた
- この機能による、話の構成への影響はあった
- 聴衆に分析の追体験をさせよう意識して準備した

● excel+ppt との比較（作業時）

- Powerpoint では、1つのグラフの中で要素別にアニメーションさせることが難しい
- その点に関しては、このプログラムはグラフ自体が動いたり、アニメーションで後から出したりできるので良かった

● excel+ppt との比較（説明時）

- 普段のプレゼンでは1枚絵なので、説明をしっかりとしないといけないというのがあった
- このプログラムではグラフが動くので、説明の負荷は少ないと思った
- 普段のプレゼンと比べて、グラフで見せる重要度が高いと思った
- 動かないグラフに比べて、色々なことを示せるので、色々なことを示した方が良かったと思った
- グラフ以外の図や文字を入れられないので、そのような説明をする場合は Excel+Powerpoint の方が優位性があると思った

● 機能面の不満

- マーカが大きい点
- マーカの色やサイズ変更が不自由な点
- 軸の間隔・最大値・最小値を操作できない点
- プレゼンテーションの実行がスペースキーでしか出来ない点（矢印でも操作したい）
- プレゼンテーションモードが、「準備するモード」と「実行するモード」の2つに分かれていない点

- Powerpoint に組み込めたら良い
- 動画などに出力できたら良い