

# Miyagi University Research Journal

## 数字とグラフの数値比較課題による認識のしやすさの検討

Examining ease of recognition through numerical comparison tasks using numbers and graphs

長崎智宏<sup>1)</sup>, 茅原拓朗<sup>2)</sup>

Tomohiro Nagasaki<sup>1)</sup>, Takuro Kayahara<sup>2)</sup>

1) 宮城大学 事業構想学研究科／東北工業大学

2) 宮城大学 事業構想学群

1) School of Project Design, Miyagi University / Tohoku Institute of Technology

2) School of Project Design, Miyagi University

### 【キーワード】

グラフ, 数字, 比較, 認識, 反応時間

Graphs, Numbers, Comparison,  
Recognition, Response Time

### 【Correspondence】

茅原拓郎

宮城大学事業構想学群  
kayahara@myu.co.jp

### 【COI】

本論文に関して、開示すべき利益相反関  
連事項はない。

Received 2021.6.11

Accepted 2021.6.16

### Abstract

This study compares bar graphs and numbers as methods of data representation to determine which method presents numerical data more effectively in terms of accuracy and ease of recognition. Specifically, the study reviews the representation method (i.e., two levels of bar graphs and numbers), the variance in the data set (two levels of large and small variances), and the number of elements in the data set (three levels of three, five, and seven elements). The study considers the representation method, the data set variance, and the number of data set elements as the independent variables of a three-factor intra-participant design. A response time experiment is validated by objectively measuring performance according to reaction time and percentage of correct answers. Bar graphs are easily observable in nearly all conditions and are simpler than numbers in terms of representing the characteristics of the data. Bar graphs demonstrated a tendency toward feature search when the variance was large and a bias toward conjunction search when the variance was small, which is similar to visual search. In contrast to bar graphs, recognizing numbers is difficult despite the small number of elements, which indicates a tendency toward conjunction search. Moreover, recognition becomes proportionally and increasingly difficult with the increase in the number of elements. The same tendency is observed in a previous study. In the current study, however, a large variance is considered effective in reducing difficulty in recognition even when the number of elements reaches five or more. On the basis of this analysis, the study recommends that numerical data should be basically expressed in graphs (visualization) with a careful consideration of numerical distance. Moreover, numbers should be given a secondary role, such as an accompaniment to graphs.

## はじめに

近年、ゲノムや気候変動などの非常に複雑な事象を的確に理解することが求められることが増え、データビジュアライゼーションやインフォグラフィックスの重要性がこれまでに高まっている。しかし、それらの特に認知的な特性や効果についての科学的かつ包括的な理解は進んでおらず、それらのデザインは主にアナリストの経験に依らざるを得ないのが現状である。そのため本研究では、まずビジュアライゼーション自体の効果を検証するために、ローデータのまゝの場合（数字）とそれらをビジュアライズした場合（棒グラフ）の認識（データの読み）のしやすさについて、反応時間および正答率を指標として定量的に検討する。

データを数字のままではなくなんらかのグラフを用いてビジュアライズするのは、定量的な情報をより理解しやすくする（Macdonald-Ross, 1977）ためである。グラフ種別ごとの認識のしやすさについては、1990 年頃から応用的な視知覚・認知研究の中で検討されてきた（Spence, 1990; Rat-inckx, et al., 2001）。中でも Spence (1990) は、2 つのデータの大小を判断する際に様々なグラフ表現とともにデータが数字のままであった場合の認識精度（正答率及び反応時間）を検討し、正答率（正確性）においてグラフと数字に大きな差はなかったものの、数字はいずれのグラフ表現に比べても回答までに長い時間を要したことから、数値データに対するビジュアライゼーションの優位性を定量的に明らかにした。

2000 年以降には、グラフの実用的な観点からコミュニケーションにおけるグラフの理解という文脈でも表形式やグラフが比較されている（Freedman & Shah, 2002; Ratwani & Trafton, 2008; Tait et al., 2012; Etnel, et al., 2020; van Weert et al., 2021）。健康リスクを伝達する上でグラフ表現は表形式と比べて効果には差がなく（Etnel et al., 2020）、また、グラフ表現の好ましさと理解度は一致しなかった（van Weert et al., 2021）ことも報告されている。

以上、先行研究では、測定指標によって、あるいはリスクコミュニケーションなど利用シーンを特定した場合に数字（表形式）とグラフで大差ない場合もあったものの、認識のしやすさの点では概ねビジュアライゼーションの優位性が示されてきたと言える。しかし、Spence (1990) においてはわずか 2 つのデータ要素の大小比較においてグラフの優位性が示されただけであるなど、データの条件の面でもタスク（何を判断するか）の面でも単純に過ぎ、実際のビジュアライゼーションやインフォグラフィックスへの応用という点では実用に足る知見はまだ得られていないと言わざるを得ない。

そこで本研究では、数字とそれを棒グラフで表現した場合の認識しやすさをデータをより複雑なものにし、またタスクもより実際的なものに近づけて検討する。

データの条件としては、データの要素数とデータ要素間の分散を要因として検討を行う。データの要素数については 3 以上で設定し、より実際に近づけて検討する。また要素数には複数の水準（条件）を設け、要素数が増えた時のパフォーマンスの変化から、データがさらに複雑化していったときのそれらの読み取りの特性についても検討していく。

データの要素間の分散については、要素間の散らばり（差）が相対的に大きい場合と、それらが相対的に小さい場合を条件とし前述の要素数と組み合わせて検討する。Moyer & Landauer (1967) は、2 つの数値の大小を比較する際に、それらの数的距離（分散）が小さくなると、判断に要する反応時間が増加する「数値距離効果」を報告しており、データセットの分散の大小により数字やビジュアライゼーション等のデータ表現の使い方や使い分けに関する知見が得られる可能性がある。

さらに、実験参加者に課すタスクは単なる大小判断ではなく、要素の中で最も大きなものを探し出すこととすることでより実際のデータ読み取り場面に近づく。3 つ以上の要素から最も大きなものを探し出すタスクは、複数の要素の中から一定の特徴を備えた要素を探し出すある種の視覚探索（visual search）課題と行うことができ、2 つの要素の大小を比較するタスクとは認知処理過程が大きく異なると考えられる。高次視覚研究において検討されてきた視覚探索の認知特性との比較でも数字やグラフの読み取りの特性を論じていく。

方法

1 実験

1-1 条件

3 要因参加者内計画で表現方法（棒グラフ／数字の2水準）、データセット内の分散（分散大 - 標準偏差 15／分散小 - 標準偏差 5 の2水準）、データセット内の要素数（3 個／5 個／7 個の3水準）が独立変数として操作された。

1-2 刺激

いくつかの数値データを数字と棒グラフで表現したデータセットが提示された（Fig.1）。平均（30~70 の数値）と標準偏差（5 または 15）を操作した正規分布からパーセンタイル値（3 個 :2.05, 50.0, 75.0; 5 個 :16.7, 33.3, 50.0, 66.7, 83.3; 7 個 :12.5, 25.0, 37.5, 50.0, 62.5, 75.0, 87.5）によってピックアップされた 1 から 99 までの整数値を用いて条件ごとのセットを作り、同一のセットから数字と棒グラフの画像として作成した。棒グラフのデザインと数字のフォントおよび大きさはすべての刺激で統一した。オンライン心理実験ライブラリ lab.js（Henninger et al., 2020）を用いて刺激を提示し、反応時間をミリ秒単位で測定した。

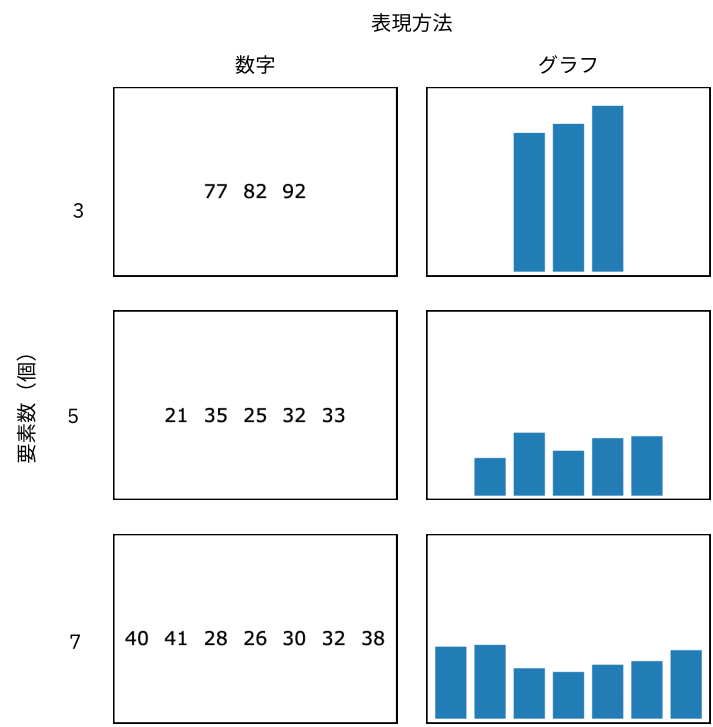


Fig1 刺激の構成（数値は一例）

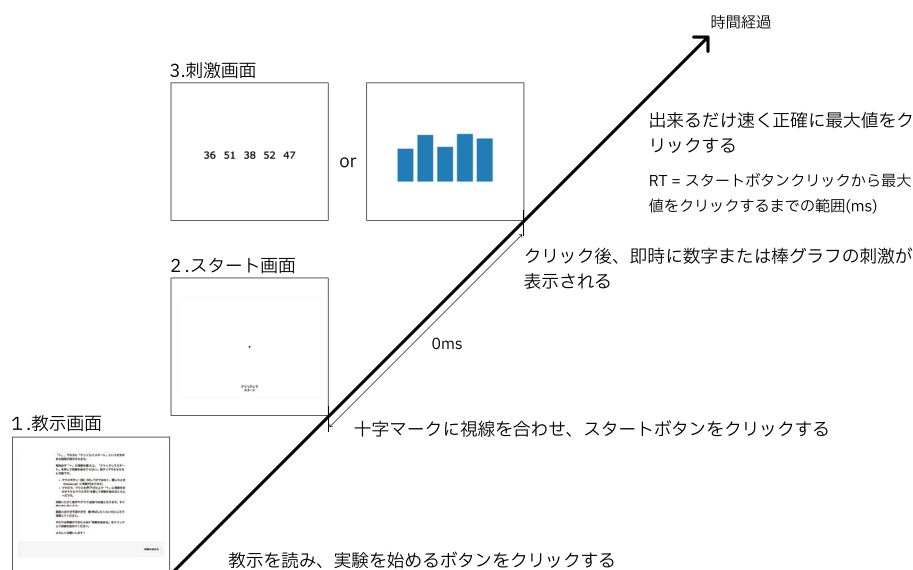


Fig2 1 試行内のタイムコース

### 1-3 手続き

実験参加者は約 60 cm の距離から PC を観察し、実験手順の通り操作した (Fig.2)。教示画面 (Fig.2 の 1) が表示されたあと、開始ボタンをクリックすることで実験が開始され、スタート画面 (Fig.2 の 2) と刺激画面 (Fig.2 の 3) が繰り返し提示された。スタート画面は計測開始時の視線とマウスポインタの初期位置を揃える目的で提示され、十字記号に視線を合わせた後、ボタンをクリックして刺激が提示された。刺激画面では、いずれかの刺激がランダムに選ばれ、また視野の左右位置より同一刺激の認識が異なる可能性 (Ratinckx, et al., 2001) を避けるために表示位置が  $\pm 100\text{px}$  の範囲内でランダム化されて提示された。実験参加者は提示された刺激から最も大きい数値をできるだけ速く正確にクリックすることが求められた。この刺激は実験参加者が反応するまで提示された。実験参加者 1 名につき合計 60 試行を行った。実験の中断はなく、全員が試行を完了した。実験完了後に実験参加者の PC に実験データがダウンロードされ、オンラインアンケートフォーム (WebClass, 日本データ・パシフィック社) を通じて、アンケート実施と共に回収した。

### 1-4 実験参加者

東北工業大学の学部生 25 名 (男性: 18 名, 女性: 7 名) が参加した。実験参加者は同じ教室内の任意の席に着席した。事前に口頭で実験の説明を行い、インフォームドコンセントを取得した。その後、準備の整った実験参加者から自身の所有する PC とブラウザを用いて実験を行った。

## 結果と考察

分析対象としたデータは、全 1500 試行の平均反応時間 (RT) である。分析には統計分析ソフト HAD (清水, 2016) を使用した。試行全体の正答率は 93.0% であった。

表現方法の違いは棒グラフ (平均反応時間  $M = 1056$  ms, 標準偏差  $SD = 190.89$ ) よりも数字 ( $M = 1725$  ms,  $SD = 291.32$ ) の反応時間が長くなった (Fig.3)。正答率は棒グラフの方が高かった (Fig.4)。要素間の分散は、分散大 ( $M = 1294$  ms,  $SD = 212.55$ ) よりも分散

小 ( $M = 1487$  ms,  $SD = 246.25$ ) の場合に RT が長くなった (Fig.5)。要素数の違いでは, 3 個 ( $M = 1084$  ms,  $SD = 161.07$ ) , 5 個 ( $M = 1414$  ms,  $SD = 259.26$ ) , 7 個 ( $M = 1674.07$  ms,  $SD = 351.80$ ) と要素数が増えるごとに RT が長くなった (Fig.6)。

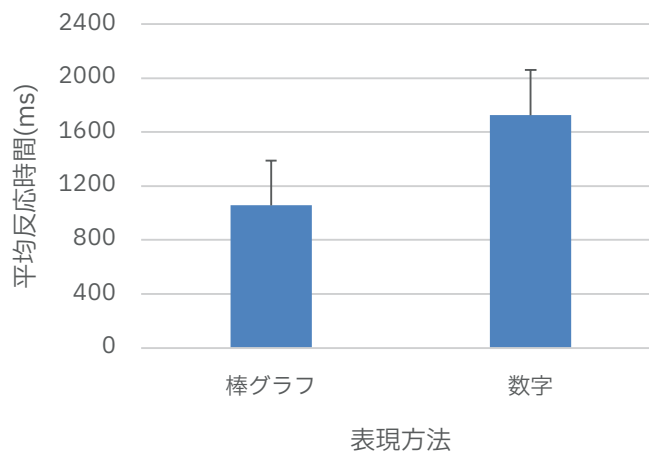


Fig 3 表現方法による平均反応時間 (誤差棒は標準誤差)

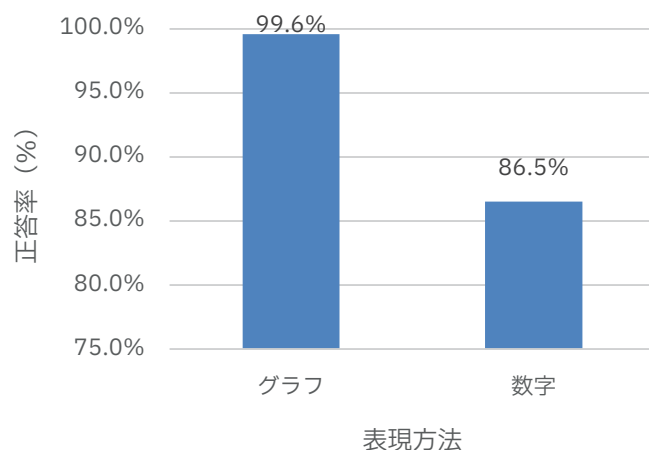


Fig 4 表現方法による正答率

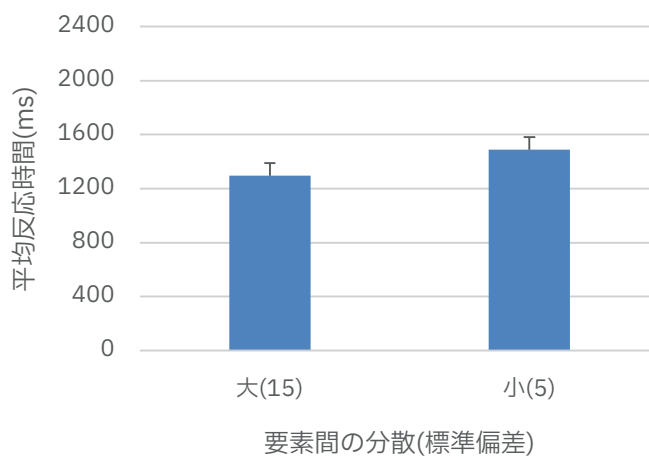


Fig 5 要素間の分散による平均反応時間 (誤差棒は標準誤差)

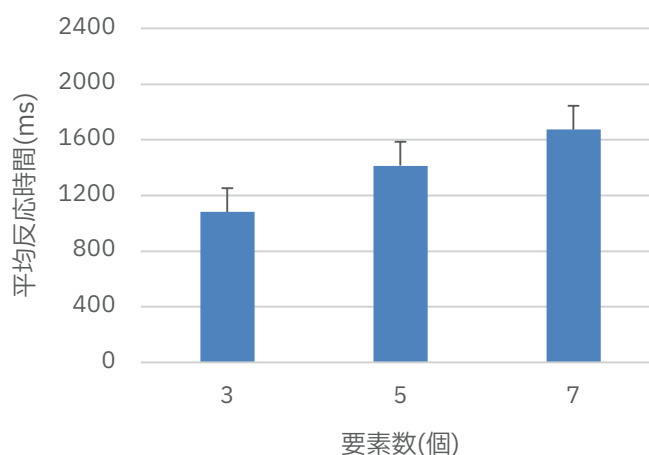


Fig 6 要素数による平均反応時間（誤差棒は標準誤差）

表現方法と要素間の分散, 要素数について 3 要因分散分析を行った結果, すべての主効果が有意となった (表現方法:  $F(1, 124) = 687.09, p < .001$ ; 分散:  $F(1, 124) = 92.036, p < .001$ ; 要素数:  $F(2, 248) = 228.381, p < .001$ )。数字よりは棒グラフが, 要素間の分散は分散小より分散大が, また要素数が少ないほうが RT が短く, 認識しやすいと言える。

交互作用の検討では, 表現方法と要素数の交互作用 ( $F(2, 248) = 79.238, p < .001$ ) が有意となり (Fig.7), Holm 法による多重比較を行った結果, 棒グラフと数字いずれも提示される要素数が増えると目的のデータを見つけにくくなる傾向があった。正答率にも同様の傾向が見られたが, 特に数字の場合に正答率が低下した (Fig.8)。棒グラフは要素数が 3 個から 5 個に増えると RT が有意 (3 個-5 個:  $t(5.174), P_{adj} < .001$ ) に増加したが, 5 個から 7 個に増えたときには有意ではなかった。正答率は 3 個のとき 100.0%, 5 個が 99.6%, 7 個が 99.2% となった。棒グラフは要素数が増えても間違いが少なく, 認識のしやすさへの影響は少ないことが分かった。また, 3 個の場合に速く認識できていることから, 人間が 1 ~ 3 個の視覚的情報を素早く認識することができ, 4 個以上で認識にかかる時間が急激に増加する現象として知られるサビタイジングと同様に, 要素数によって判断が質的に変わる可能性がある。数字の場合では, 要素数のすべての水準で RT が有意 (3 個-5 個:  $t(14.73), P_{adj} < .001$ ; 3 個-7 個:  $t(22.267), P_{adj} < .001$ ; 5 個-7 個:  $t(9.836), P_{adj} < .001$ ) に長くなった。正答率は要素が増えることに低下し (3 個: 94.8%; 5 個: 85.2%; 7 個: 79.6%), 要素数の影響が顕著に現れる結果となった。

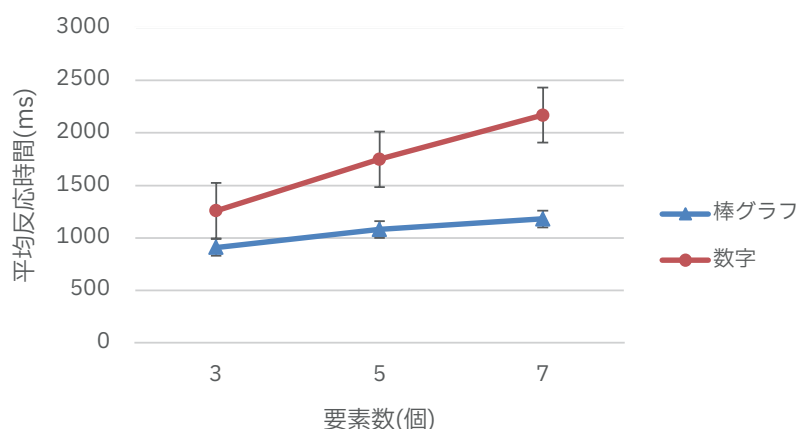


Fig7 表現方法と要素数の交互作用（誤差棒は標準誤差）

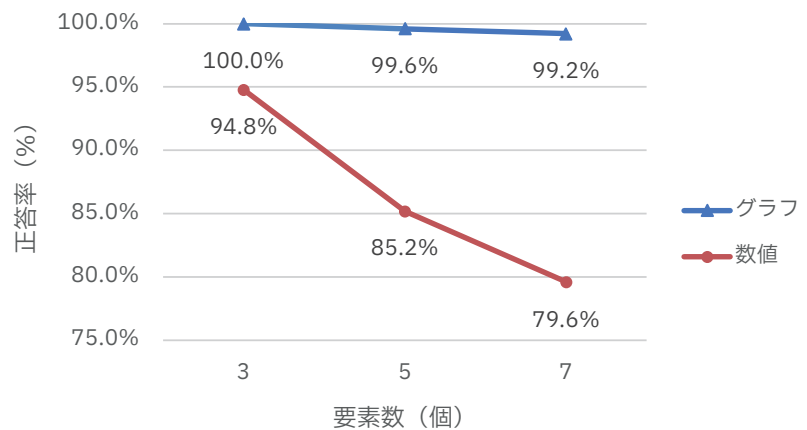


Fig8 表現方法と要素数の交互作用における正答率

また、要素数と要素間の分散の交互作用 ( $F(2, 248) = 18.368, p < .001$ ) にも有意差が得られた (Fig.9)。多重比較の結果は、5 個のときの分散大と小にはやや有意差 ( $t(2.463), P_{adj} = .015$ ) があり、7 個のときの分散間 ( $t(10.055), P_{adj} < .001$ ) は有意差が得られ、正答率に低下傾向が見られた (分散大: 90.4%; 分散小: 88.4%)。提示される要素数が少ない時は分散の影響は小さいが、要素数が増えるにつれ分散の影響が増してくることが示された。表現方法と要素間の分散の交互作用 ( $F(1, 124) = 2.353, p = 0.128$ ) は有意とならなかった (Fig.10)。

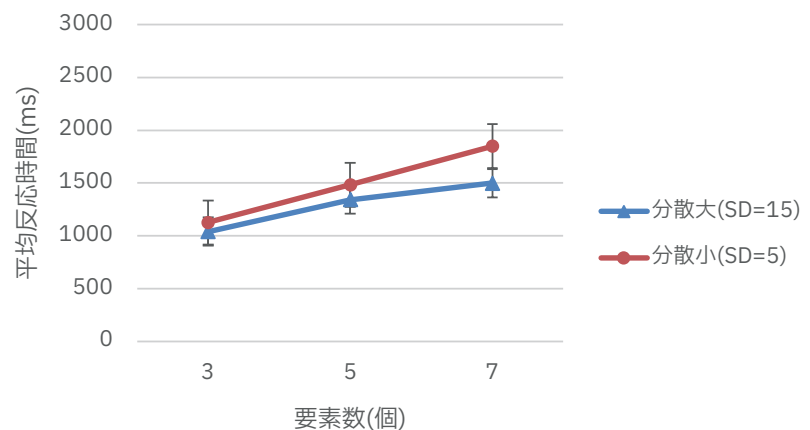


Fig9 要素数と要素間の分散の交互作用

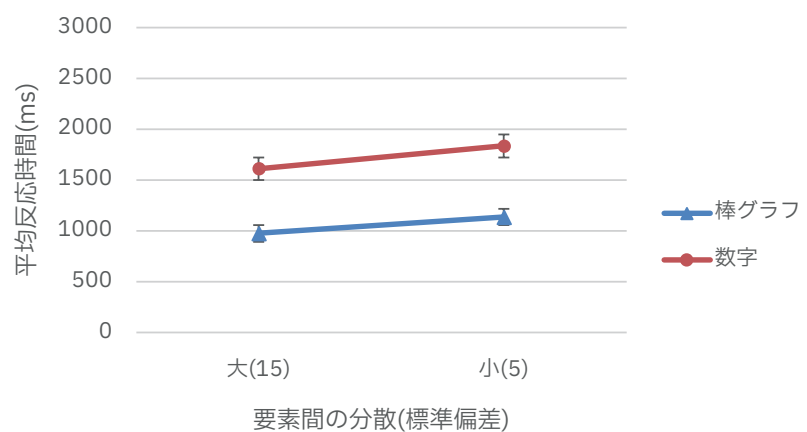


Fig10 表現方法と要素間の分散の交互作用

次に、2 次の交互作用（表現×分散×要素数）で有意差（ $F(2, 248) = 5.369, p = .008$ ）が現れたため、単純交互作用の検定を行った結果、棒グラフにおける分散と要素数の単純交互作用は有意（ $F(2, 248) = 5.611, p = .005$ ）となった。単純主効果では分散大と要素数（ $F(2, 496) = 13.797, p < .001$ ）、分散小と要素数（ $F(2, 496) = 50.094, p < .001$ ）のどちらも有意になったため、多重比較を行った（Fig.11）。

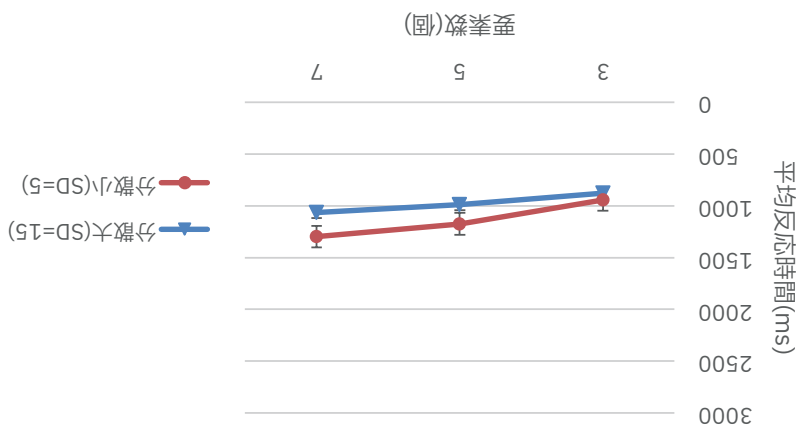


Fig11 棒グラフにおける分散と要素数の単純交互作用

分散大と要素数では、少ない時にやや有意となった（3個-5個： $t(3.1), P_{adj} = 0.002$ ；3個-7個： $t(5.713), P_{adj} < .001$ ；5個-7個： $t(2.017), P_{adj} = 0.046$ ）。正答率はすべての要素数で 100% だった。分散小と要素数ではすべての水準で有意差（3個-5個： $t(6.449), P_{adj} < .001$ ；3個-7個： $t(10.779), P_{adj} < .001$ ；5個-7個： $t(3.235), P_{adj} = .002$ ）が現れた。正答率には低下傾向が見られた（3個：100.0%；5個：99.2%；7個：98.4%）。全条件で棒グラフの正答率が 100% にならなかったのは、分散小と 5 個、7 個の組み合わせのときだけである。棒グラフの認識のしやすさは、分散大のときほど要素数の影響を受けるが、分散小のときは要素数の影響が増幅され、認識に影響することが示された。

数字における分散と要素数の単純交互作用も有意（ $F(2, 248) = 13.731, p < .001$ ）となった。要素数 5 個以上で RT に開きがある点を下位検定で検討した（Fig.12）

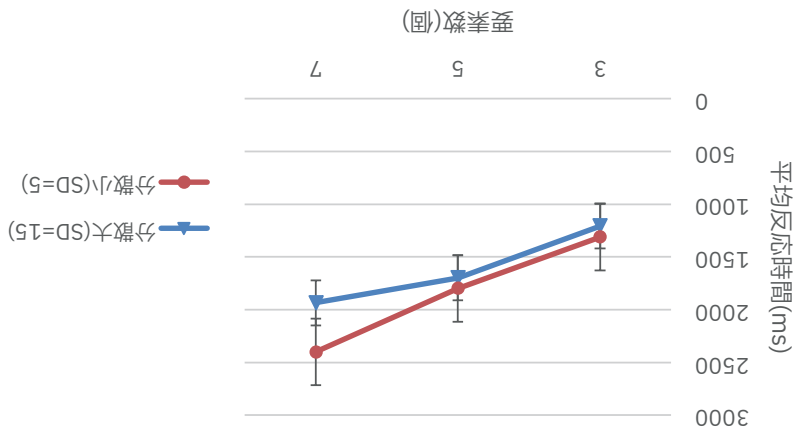


Fig12 数字における分散と要素数の単純交互作用

単純主効果は分散 2 水準と要素数で有意差（分散大-要素数： $F(2, 496) = 72.933, p < .001$ ；分散小-要素数： $F(2, 496) = 157.125, p < .001$ ）が得られ、分散大の多重比較はすべて有意（3個-5個： $t(9.157), P_{adj} < .001$ ；3個-7個： $t(10.521), P_{adj} < .001$ ；5個-7個：

$t(3.218)$ ,  $P_{\text{adj}} = .002$ ) となった。正答率は要素が増えるにつれ低下した (3 個 : 93.6%; 5 個 : 87.2%; 7 個 : 80.8%)。分散小と要素数の単純主効果は有意 ( $F(2, 496) = 50.094$ ,  $p < .001$ ) となり, 多重比較では要素数のすべての水準に有意差 (3 個 - 5 個 :  $t(9.028)$ ,  $P_{\text{adj}} < .001$ ; 3 個 - 7 個 :  $t(15.725)$ ,  $P_{\text{adj}} < .001$ ; 5 個 - 7 個 :  $t(8.213)$ ,  $P_{\text{adj}} < .001$ ;) が認められた。正答率は要素数が増えるにつれ低下した (3 個 : 96.0%; 5 個 : 83.2%; 7 個 : 78.4%)。数字は要素数が増える と認識しづらいが, 5 個以上の場合, 分散によって認識に差がでることが示された。

#### 総合考察

本研究ではデータの表現方法, データの要素数, データ要素間の分散が異なる 12 種類の刺激を用いた反応時間実験により, 反応時間と正答率を指標として数字と棒グラフの認識のしやすさを検討した。分析の結果, ほぼすべての条件で, 棒グラフは数字より反応時間が短く, 正答率も高くなることが見いだされ, 総体としてデータを読み取る際のビジュアライゼーションの優位性が改めて確認される結果となった。実験後の参加者に対するヒアリングでも概ね「グラフのほうが簡単だった」という回答が得られており, 参加者の主観的評価とも合致する。

数字と棒グラフのパフォーマンスの差は, 要素数を増やしていったときにより有意かつ顕著に表れており (Fig.7 および Fig.8), 特にデータ規模が大きい場合には数字 (表) を用いるべきではなく, 何らかのビジュアライゼーションを施すべきであることが示唆される。

特に注目したいのは, Fig.8 に示された要素数の関数としての正答率の変化である。Spence (1990) では, データの要素数が 2 つの場合には, 正答率 (正確さ) の点で数字とグラフの間に大きな差は見られないことが報告されていた。本研究でも要素数が 3 つの場合は正答率に大きな差は見られないものの, 要素数が大きくなるにつれ数字のみ正答率が大きく低下している。正確さの面でも数字 (表) を用いることができるのは, 要素数が 3 つ以下の場合に限られることが示唆される。

データの読み取り特性として興味深いのは Fig.7 と Fig.8 における棒グラフの結果である。棒グラフにおいては要素数が増えていっても反応時間, 正答率ともほとんど影響を受けていない。要素一つ一つを比較して最も値の大きな要素を判断しているのであれば, 要素数の増加にともなって反応時間も増えるはずであり, 本研究の結果として反応時間が増えなかったことはつまり, 棒グラフにおいては要素数にかかわらず瞬時にかつ正確に最も値の大きな要素の読み取りが行われていることを示している。要素数にかかわらずある条件下において視覚的特徴が瞬時に見つけられる現象については視覚探索における「ポップアウト (pop-out)」現象として知られている。今後, 様々なデータ規模や, データ表現, 読み取りタスク等において読み取るべき特徴がポップアウトする場合とそうでない場合 (「結合探索 (conjunction search)」現象と呼ばれる) を実験的に仕分けていくことが応用面でさらに有益な知見につながっていくと考えられる。

一方, データ要素間の分散については反応時間に与える効果が有意となり分散が大きい場合にやや読み取りがしやすく (反応時間が短く) なったものの (Fig.5), 分散の大小によってデータ表現の優位性が変わることはなく (Fig.10), 総体として要素数ほどの影響を及ぼさないことが明らかとなった。

ただし, Fig.11 にみられるように, データ表現ごとに要素数の関数として要素間分散の大小を比較すると, 分散が大きい場合は要素数の影響を受けず明らかにポップアウト的な読み取りが行われているといえるのに対し, 分散が小さい場合は要素数が増加するにつれ若干反応時間が増加する傾向を見せており, データ規模等の条件によってはグラフの場合も結合探索的に一つ一つの要素を判断しなければならない場合がでてくる可能性も示唆される。

以上, 本研究ではより実際に近いデータ条件において改めて数字に対するビジュアライゼーションの優位性とその一部の特性を明らかにした。特に, 先行研究で示されていた数字 (表) がもつ「正確さ」は, データの要素数が少数の場合のみにしか言えない限定的なものであることが明らかとなった。また, グラフ読み取りの際の特性として, 視覚探索におけるポップアウト現象に類する特性が見いだされ, 今後さらに様々な条件においてデータ表現に対する認知特性を検討する際のひとつの重要な切り口となっていくことが期待される。

# Miyagi University Research Journal

## 文献

- Dehaene, S., Dupoux, E., & Mehler, J. (1990) . Is numerical comparison digital? Analogical and symbolic effects in two-digit number comparison. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 16 (3) , 626-641.
- Etnel, J. R. G., de Groot, J. M., El Jabri, M., Mesch, A., Nobel, N. A., Bogers, A. J. J. C., & Takkenberg, J. J. M. (2020) . Do risk visualizations improve the understanding of numerical risks? A randomized, investigator-blinded general population survey. *International Journal of Medical Informatics*, 135, 104005.
- Freedman, E. G., & Shah, P. (2002) . Toward a Model of Knowledge-Based Graph Comprehension. *Diagrammatic Representation and Inference*, 18-30.
- Hinrichs, J. V., Berie, J. L., & Mosell, M. K. (1982) . Place information in multidigit number comparison. *Memory & Cognition*, 10 (5) , 487-495.
- Henninger, F., Shevchenko, Y., Mertens, U. K., Kieslich, P. J., & Hilbig, B. E. (2020) . labjs: A free, open, online study builder. doi: 10.5281/zenodo.597045
- Moyer, R. S., & Landauer, T. K. (1967) . Time required for judgements of numerical inequality. *Nature*, 215 (5109) , 1519-1520.
- Macdonald-Ross, M. (1977) . 2: Graphics in Texts. *Review of Research in Education*, 5 (1) , 49-85.
- Ratinckx, E., Brysbaert, M., & Reynvoet, B. (2001) . Bilateral field interactions and hemispheric asymmetry in number comparison. *Neuropsychologia*, 39 (4) , 335-345.
- Ratwani, R. M., & Trafton, J. G. (2008) . Shedding light on the graph schema: perceptual features versus invariant structure. *Psychonomic Bulletin & Review*, 15 (4) , 757-762.
- Spence, I. (1990) . Visual psychophysics of simple graphical elements. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 16 (4) , 683-692.
- 清水 裕士. (2016) . フリーの統計分析ソフト HAD: 機能の紹介と統計学習・教育, 研究実践における利用方法の提案. *メディア・情報・コミュニケーション研究*, 1, 59-73
- Tait, A. R., Voepel-Lewis, T., Brennan-Martinez, C., McGonegal, M., & Levine, R. (2012) . Using animated computer-generated text and graphics to depict the risks and benefits of medical treatment. *The American Journal of Medicine*, 125 (11) , 1103-1110.
- van Weert, J. C. M., Alblas, M. C., van Dijk, L., & Jansen, J. (2021) . Preference for and understanding of graphs presenting health risk information. The role of age, health literacy, numeracy and graph literacy. *Patient Education and Counseling*, 104 (1) , 109-117.

## 文献

- 『心理学, 認知・行動科学のための反応時間ハンドブック』, 綾部早穂／井関龍太／熊田孝恒 著, 株式会社勤草書房, 2020 年
- 『マジックにだまされるのはなぜか「注意」の認知心理学』, 熊田孝恒 著, 株式会社化学同人, 2012 年
- 『数覚とは何か?』, スタニスラス・ドゥアンヌ 著, 長谷川真里子 訳, 株式会社早川書房, 2010 年