

ものの大きさの印象を伝えるための 飛び出す絵本を模した表示方法の検討

松佳奈[†] 小松孝徳[†] 小林稔[†]

概要: ものの大きさを伝えるために実寸大写真を用いることがあるが、写真を見て感じた対象物の大きさの印象と、実物を見て感じた対象物の大きさの印象が必ずしも一致するとは限らない。本研究は、情報としてのサイズを伝えるだけでなく、対象を見たときに感じる大きさの印象を伝えることができる画像メディアの実現を目的としている。本報告では、被写体を斜め上からと真上からの2種類の角度から撮影し、撮影した画像を平面で表示した場合と、飛び出す絵本のように被写体の一部に厚みを持たせて浮かせる加工を加えて表示した場合とで、被写体の大きさの感じ方に違いが現れるか比較実験を行った。その結果から、大きさの印象を伝えるのに適した画像表示方法への応用可能性を考察した。

キーワード: 実物大画像, 大きさの印象, 飛び出す絵本

Suggestion on Photographic Interface Imitating a Pop-up Book to Communicate the Impression of the Dimensions

KANA MATSU[†] TAKANORI KOMATSU[†]
MINORU KOBAYASHI[†]

Abstract: There are occasions when you use actual size photos to convey the size of things. However, the impression of the size of the object felt by looking at the photograph does not necessarily agree with the impression of the size of the object felt by seeing the real thing. The purpose of this research is not only to convey size as information but also to realize image media that can convey the impression of the size felt when viewing the target. In this report, we photographed the subject from two kinds of angles from diagonally above and directly above. Comparative experiments were conducted to see whether differences appear in the way the subjects feel in terms of size when the captured image is displayed on a flat surface and when processed so as to be floated with the thickness of a part of the subject and displayed. From the results of the experiments, applicability to image display method suitable for conveying size impression was considered.

Keywords: Real scale Image, Impression of Dimensions, Pop-up Book

1. はじめに

飲食店で食事をしようとするとき、写真が掲載されたメニューを参考に食べたいものを選び注文することがある。メニューから得られる情報には、写真や、質量・熱量などの数値情報が挙げられるが、その情報だけで料理のサイズ感を完全に把握することは難しい。実物大の写真を提示する方法や、コインやマッチ棒など誰もが大きさを判断できるものと並べて撮影した写真により、見ている人の大きさの認識を補助する方法もあるが、これらの表示方法では、ものの大きさの印象を伝えることができるとは限らない。

本研究では、画像を見たときに対象の大きさを確かにその大きさであると感じさせることができるような表示方法を追求することを目的とする。実物大の画像を見て、「実物大である」と判断できることを確認するのではなく、「対象物の大きさを表す画像はこれである」と自信を持って判断できる画像表示方法を追求する。

本報告では、写真の一部に厚みを持たせて浮かせて表示する方法を提案し、大きさの感じ方に効果が見られるかを調査した。その結果から、大きさの印象を伝えるのに適した画像表示方法への応用可能性を考察した。

2. 関連研究

2.1 大きさの印象を伝える画像インタフェース

画像によって大きさの印象を伝えることを目的に、著者らは、画像から受ける対象物の大きさに関する個人差を吸収する仕組み[1]、立体表示および身体の一部の重畳表示による方法[2]などの実現に取り組んだ。また、画像に写る対象物までの距離の感覚と、受ける大きさの印象との関係についての議論を行ってきた[3]。

写真に写る対象物を見たとき、人の対象物の大きさの理解の仕方には、様々な可能性が考えられる。例えば、写真の表面に物体があると考えれば、写真に実物大で表示された画像の大きさが、対象物の大きさであると理解する。写真の表面より奥に物体があると考えれば、写真の表面で実物大に表示された対象物は実際よりも大きく感じてしまう。また、写真の表面より手前に物体があると考えれば、実物

[†]明治大学総合数理学部先端メディアサイエンス学科
Department of Frontier Media Science, School of Interdisciplinary
Mathematical Sciences, Meiji University

大に表示された対象物は実際よりも小さく感じられる。表示された対象物が表示面に対してどこにあると考えるかで、大きさの理解が変わってしまう。このように、画像に写る対象物の大きさをどのように感じるかは、観察者が画像に写る対象物との距離をどのように感じるかに依存する[1]。[2]では、ステレオ表示を用いることで、表示対象までの距離を明確に表現し、大きさの印象をより明確に伝えることを可能とした。加えて、観察者自身の身体の一部を対象物の画像にスケールを合わせて重畳表示することで、自分の身体との比較で大きさを把握しやすくした。[3]では、距離の感じ方のズレを、画像の表示形態と観察者固有の傾向の組み合わせにより決まる定数として記録し、画像を観察するときに、その定数に合わせて表示サイズを変更することを試みた。

大きさを実感できる写真表示として、森川らは、人間の持つ大きさの恒常性の特性を用いて写真を直感的に閲覧できる方式を提案した[4]。ユーザが用意した写真を比較したい写真の中に等縮尺にして追加表示し、さらに、前後の動きに呼応して表示サイズを変化させることで、実空間でものを見るときのように写真を閲覧できる環境を提案し、その効果を検証している。これによって、見慣れた画像との比較を行うことを通して画像の中の対象のサイズを知ることができる。

ディスプレイを通した表示ではインタラクティブな表現を取り入れることができる。西らは、Web オークションでの商品説明における画像に関して、商品を周囲から簡易的に撮影した画像群から、ターンテーブルで回転させながら撮影したかのような画像群へと変換させる研究を行った[5]。

これらの手法には、装置が大きくなり観察範囲が限られることや、大きさの印象の曖昧さが大きいことなどのデメリットも存在した。また、対象物の大きさを表す画像の選択や、画像に写る対象物の大きさを選択させる等の方法により、大きさを選ばせることは行ってきたが、その大きさの選択を正しいと感じる強さについては調査してこなかった。確信を持って一つの大きさを選択した回答も、どれが正しいかわからずに選択した回答も同じように扱ってきた。

2.2 しかけ絵本

本報告では、研究の目的である、画像を見たときに対象の大きさを確かにその大きさであると感じさせることができるような表示方法を実現するために、仕掛け絵本の手法を参考にした検討を行っている。本節では、仕掛け絵本に関し参考にした文献を示す。

鏡の絵本[6][7][8]は、鏡のように反射する紙に絵が描かれている。平面で読む絵本とは違い、鏡の絵本は、本を机に対して垂直に置いて読むことで、両側のページが互いに映り込み、三次元的な絵として立体的に見ることができる。ページを開くと、そのページに折りたたまれていた紙が浮

き上がる飛び出す絵本のような仕掛け絵本もある[9]。この飛び出す仕掛けは、バースデーカードやクリスマスカードなどのグリーティングカードにも用いられる。岡村らは、デザインすることが難しく試行錯誤が必要なポップアップカードデザインの製作を支援するインタフェースを提案している[10]。このシステムによって誰でも簡単にポップアップカードを製作することができ、絵を立体的に見せる表現の幅が広がっていると考えられる。

3. 提案手法

従来研究では、画像に含まれる背景情報と対象物を観察する環境の背景を同じにする方法を試み、表示方法の違いによる画像から受ける大きさの印象の違いや、回答に対する確信度を調査した[11]。その結果は、条件や実験協力者によって確信度の値が変化するというもので、確信を持って大きさを感じることができる表示方法の発見には至っていない。画像を傾けたり、目と画像の距離を変えてみたり、画像を持ち上げたりして我々の目指す最適な表示方法を探索していく過程で、画像のみを浮かせて表示することが確信を持って大きさを感じることにつながるのではないかと考えた。そこで、しかけ絵本で使用される図絵が、表示された大きさをそのまま感じさせる方法として有効であると感じた。これをきっかけとして、しかけ絵本を参考に、確信を持って大きさを感じられる表示方法を考案した。

本報告では、絵や画像にある図形が表示面にただ投影されたものではなく、画像に表示された大きさで、かつ画像の置かれている位置に対象物が存在すると強く感じさせる方法として、画像に映る対象物を切り抜いて表示する方法を試みることにした。また、切り抜いた画像を机上面から対象物の厚み分浮かせることで、対象物を見るとき目と対象物の距離を、目と浮かせた画像の距離によって再現した。さらに、厚み分浮かせた部分画像に、対象物をみたときに見える部分全体の画像を付加することで、主要部分の大きさを感じさせると同時に、その部分が置かれた文脈情報を提供した。これらの方法によって、確信を持って大きさを感じられる画像表示ができることを期待した。

4. 実験方法

3章で示した表示方法の効果を調査するため、画像を表示する条件を変えて実験を行った。本研究では、対象物として、図1に示すお皿に盛られたホットケーキの食品サンプル（以下、お皿を含めたホットケーキの食品サンプルを「食品サンプル」、お皿の上に盛られたホットケーキの食品サンプルのみを「ホットケーキ」と表記）を用いた。ホットケーキは、単純な形であり、かつ馴染みのある料理の例として用いた。

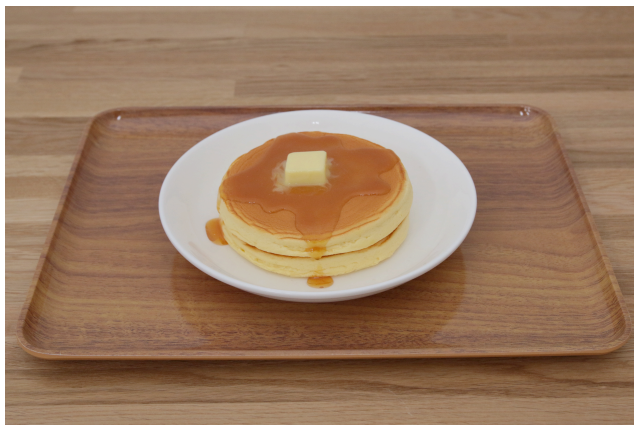


図 1 実験に使用した食品サンプル

Figure 1 Food sample for experiment.

まず、食品サンプルを真上から撮影し、次に、ホットケーキの部分だけを切り抜く。そして、切り抜いた画像をホットケーキの厚みの分だけ浮かせ、最後に、食品サンプルを斜め上 45 度の角度から撮影した画像を浮かせた画像の下に置いて表示する。この表示方法を提案手法とし、真上から撮影したホットケーキを切り抜いた画像のみを平面に表示させた場合、斜め 45 度の角度から撮影したお皿を含めた画像のみを平面においた場合、真上から撮影したホットケーキを切り抜いた画像のみを浮かせて表示した場合の 3 条件と比較する。

実験に用いる画像は、食品サンプルを木目の板の上に置き、図 2、図 3 示す位置関係で撮影した。図 2 が真上からの画像を撮影する場合、図 3 が斜め上 45 度の角度からの画像を撮影する場合の様子である。実験は、木目模様のトレーに加工した画像を乗せて提示した後、同じように木目模様のトレーにのせた食品サンプルを提示して比較する方法をとった。背景情報として、木の机で食事をする機会を想定し、木目模様を用いた。

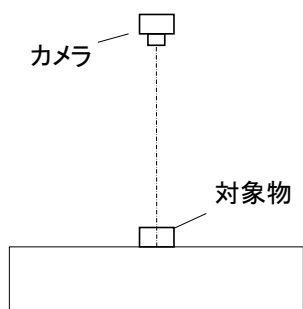


図 2 真上から撮影したときの位置関係

Figure 2 Arrangement of the object and the camera from directory above.

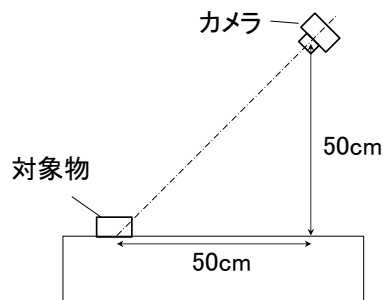


図 3 斜め上 45 度から撮影したときの位置関係

Figure 3 Arrangement of the object and the camera from an angle of 45 degree diagonally upward.

実験は、大きさを变化させた画像を表示した後で実物を観察し、画像から受けた大きさの印象に対して実物が大きいと感じたか小さいと感じたかを回答させることで行った。画像のサイズについて、真上から撮影した画像は、画像を印刷したときの画像中のホットケーキの直径が、ホットケーキの直径の長さと同じ長さの画像を 100%とした。斜め上 45 度の角度から撮影した画像は、画像を印刷したときの画像中のホットケーキの楕円の長軸の長さが、ホットケーキの直径の長さと同じ長さの画像を 100%とした。これら 100%の画像を基準として倍率を 10%ごとに变化させたそれぞれ 9 枚の画像、合計 18 枚を作成した。またホットケーキを浮かせるための台を、ホットケーキの厚みを 100%の基準として、10%ごとに变化させて 9 つ用意した。画像と台の倍率は (60%, 70%, 80%, 90%, 100%, 110%, 120%, 130%, 140%) である。

これらの手順によって準備した画像を用いて、

1. 真上から撮影したホットケーキの画像のみを平面で表示
2. 斜め上 45 度からの角度で撮影した食品サンプルの画像のみを平面で表示
3. 真上から撮影したホットケーキの画像のみを浮かせて表示
4. 斜め上 45 度からの角度で撮影した食品サンプルの画像を平面で表示した上に真上から撮影したホットケーキの画像を浮かせて表示

の 4 つの条件で実験を行った。図 4~7 に 1~4 の条件の 100%の画像の例を示す。



図 4 実験 1 で用いた画像の例(100%の画像)
Figure 4 Example of image used in Experiment 1
(100% image).

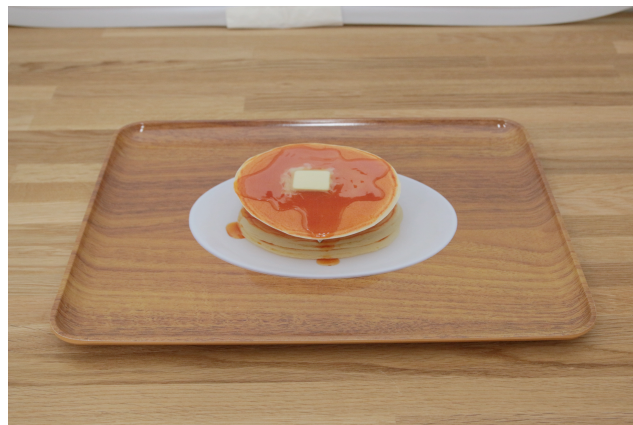


図 7 実験 4 で用いた画像の例(100%の画像)
Figure 7 Example of image used in Experiment 4
(100% image).



図 5 実験 2 で用いた画像の例(100%の画像)
Figure 5 Example of image used in Experiment 2
(100% image).



図 6 実験 3 で用いた画像の例(100%の画像)
Figure 6 Example of image used in Experiment 3
(100% image).

本学科の 20~23 歳の 12 名の学生が実験参加者として本実験に参加した。実験は、実験参加者に 4 条件それぞれで倍率の異なる 9 枚の画像、計 36 枚に対して次の手順を繰り返してもらった。

- (1) トレーに設置した画像を見る
- (2) トレーに置いた食品サンプルを見る
- (3) 質問に答える

実験の画像表示条件は 1~4 の順で、それぞれ倍率の異なる 9 枚の画像を表示する順序は、数独の問題を利用した乱数で決めた。数独の問題は 9×9 のマスがあり、縦・横・ 3×3 のブロックの中でそれぞれ 1~9 の数字が 1 つずつ存在している[12]。この配置を利用し、60%の画像を数独の答えの 1、70%の画像を数独の答えの 2、といったようにあてはめていく。これによって、画像のサイズが順番に並んでいることによる大きさの判断への影響を低減した。また、画像と食品サンプルの入れ替えは実験者が行った。36 枚全ての画像に対して、次の 2 つの質問に回答させた。

- a 画像に比べて実際の食品サンプルの大きさはどう感じましたか？
 - b a の回答について、どのくらいそう感じましたか？
- 実験参加者には、a については、「小さいと感じた」、「同じくらいと感じた」、「大きいと感じた」の 3 つの中から 1 つ回答させた。b については、「はっきりそう感じた」、「そう感じた」、「どちらかといえばそう感じた」の 3 段階で回答させた。36 枚すべての画像に対する回答終了後、大きさを感じやすかった画像表示条件の順序を回答させた。回答は、画像の横に置いたコンピュータで画像に合わせて、表示される質問に答える形で入力させた。

画像観察時は、飲食店でメニューを見るときを想定したため、見る角度や姿勢の指定は行わなかった。しかし、立ったりしゃがんだり観察位置を大きく変えて画像を見ることで、画像を浮かせている隙間の部分が見えてしまうことを防ぐため、椅子に座ったままの状態で見るとを教示し

た。また、目と画像との距離を保つため、画像自体を持ち上げないようにすることも教示した。実験の様子を図 8 に示す。



図 8 実験の様子

Figure 8 Situation of experiment

5. 実験結果

実験 1~4 の質問 a に対する回答を図 9~12 に示す。図 9~12 は、表示画像の倍率ごとの質問 a に対する回答の分布を示している。手前の列が小さいと感じた回答数で、真ん中が同じくらいと感じた回答数、奥が大きいと感じた回答数である。

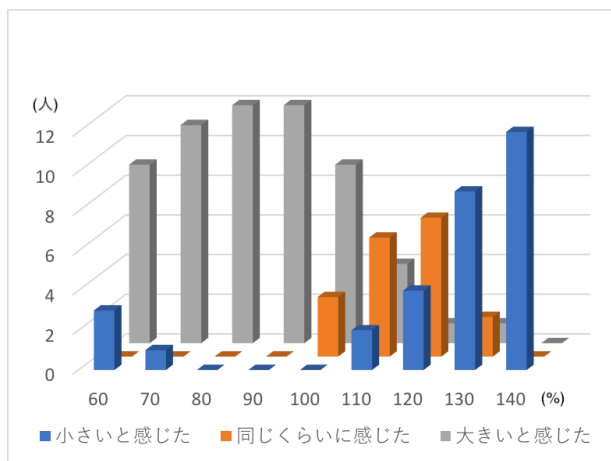


図 9 実験 1 の質問 a の回答

Figure 9 Answer to Question a in Experiment 1.

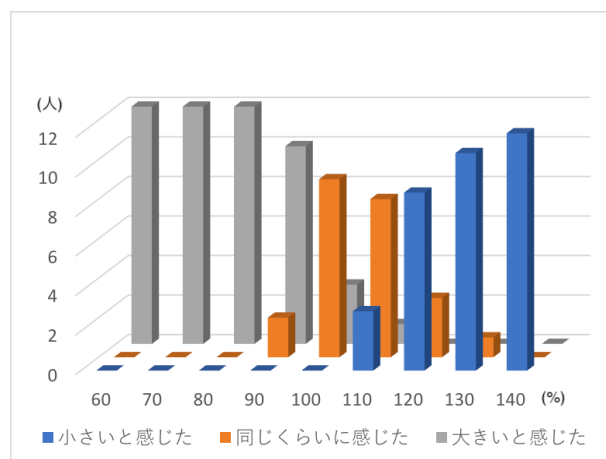


図 10 実験 2 の質問 a の回答

Figure 10 Answer to Question a in Experiment 2.

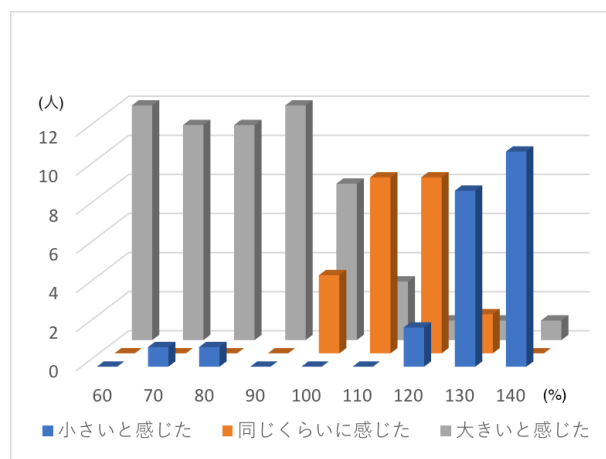


図 11 実験 3 の質問 a の回答

Figure 11 Answer to Question a in Experiment 3.

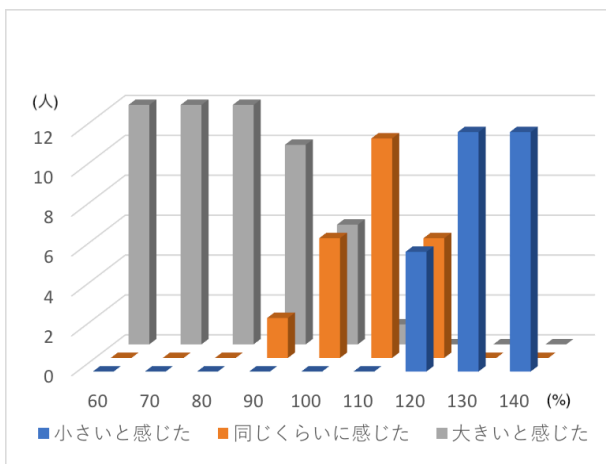


図 12 実験 4 の質問 a の回答

Figure 12 Answer to Question a in Experiment 4.

どの条件においても、半数以上が、60%~90%の画像を見た後の食品サンプルを大きいと感じ、130%、140%の画像を見た後の食品サンプルを小さいと感じている。質問 a の

回答について、条件1(図9)の60%, 70%と、条件3(図11)の70%, 80%の画像をみた後の食品サンプルを小さいと感じている人がいたが、後日ヒアリングを行ったところ、「質問の意図を勘違いしていた」「選択ミスをしてしまった」との意見があったため、以降の考察では考慮に入れないこととする。画像と食品サンプルが同じくらいの大きさであると感じた人が最も多かったのは、条件1(図9)については120%の画像で、条件2(図10)については100%の画像、条件3(図11)については110%と120%の画像が同数で多く、条件4(図12)では110%の画像であった。

次に、実験1~4の質問bに対する回答を、回答ごとに「どちらかといえばそう感じた」と回答した結果を図13に、「そう感じた」と回答した結果を図14に、「はっきりそう感じた」と回答した結果を図15に示す。

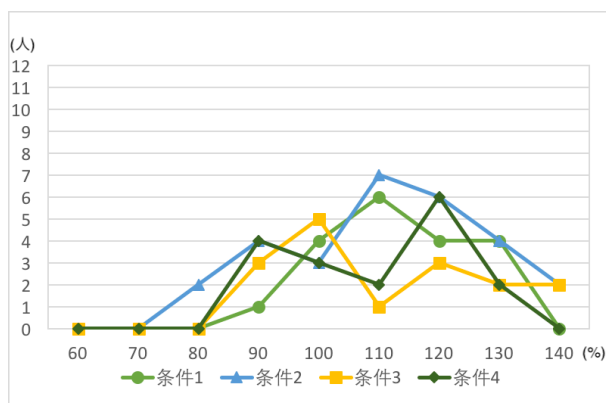


図13 質問bで「どちらかといえばそう感じた」と回答した実験参加者

Figure 13 Experiment participants answered "If anything, I felt so" in the Question b.

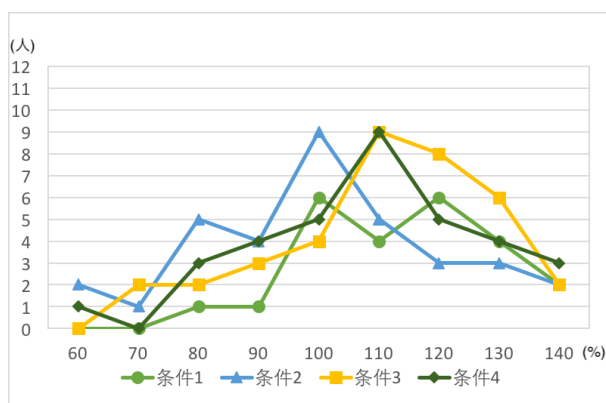


図14 質問bで「そう感じた」と回答した実験参加者
 Figure14 Experiment participants answered "I felt so" in the Questionn b.

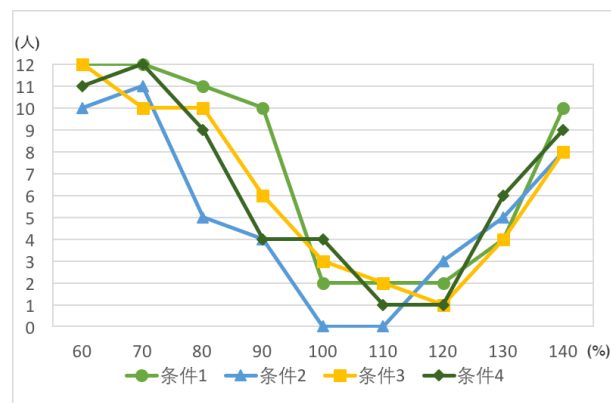


図15 質問bで「はっきりそう感じた」と回答した実験参加者

Figure15 Experiment participants answered "I felt so clearly" in the Question b.

図13では、どの条件においても、端の画像で「どちらかといえばそう感じた」と回答した実験参加者が少ない。また、条件2の110%の画像に対して最も多くの実験参加者が「どちらかといえばそう感じた」と回答している。図14は「そう感じた」回答数を示すが、条件3では110%、条件4では110~130%の回答が多かった。図15は、図13とは逆の傾向を示し、端の画像に「はっきりそう感じた」と回答した実験参加者が多かった。また、どの条件においても、100%に近い画像で、「はっきりそう感じた」と回答した実験参加者が少なかった。特に条件2の100%と110%の画像では、「はっきりそう感じた」と回答した実験参加者はいない。

各画像に対する質問a, bを回答した後に実験の最後で尋ねた質問について、最も大きさを感じやすかった条件を図16に、大きさを感じにくかった条件の人数の割合を図17に示す。

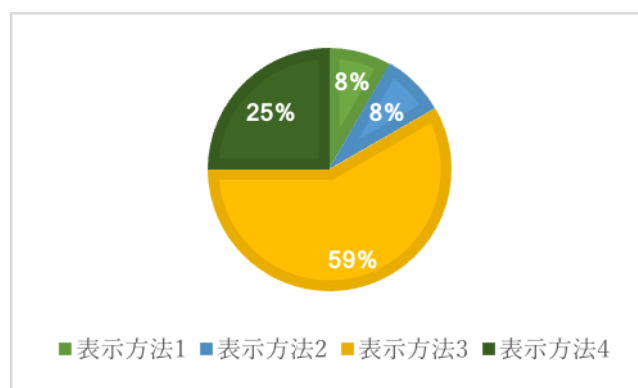


図16 最も大きさを感じやすかったと回答した表示条件の人数の割合

Figure 16 Percentage of the number who answered that it was easy to feel the size.

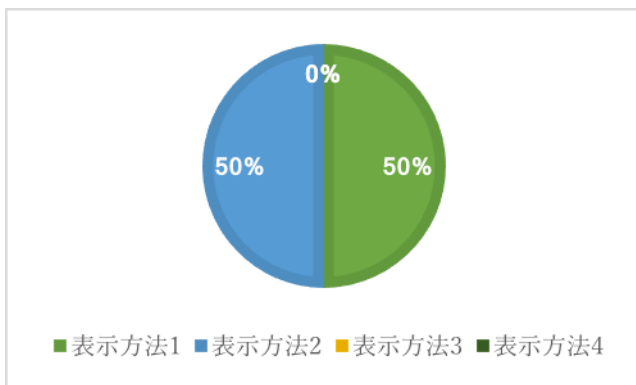


図 17 最も大きさを感じにくかったと回答した表示条件の人数の割合

Figure17 Percentage of the number who answered that it was hard to feel the size.

半数以上の実験参加者が、表示方法 3 (実験 3) が最も大きさを感じやすかったと回答し、また、25%の実験参加者が表示方法 4 (実験 4) の画像が最も大きさを感じやすかったと回答した。大きさを感じにくかった条件については、半数の実験参加者が表示方法 1 (実験 1) と回答し、残りの半数が表示方法 2 (実験 2) と回答した。

6. 考察と今後の課題

5 章に示した結果をもとに、提案手法の効果の考察と、今後の課題を示す。質問 a の回答の結果に着目すると、条件 2 が実物大である 100%の画像に食品サンプルと同じくらいの大きさであると回答した人が多かった。しかし、本研究の目的は、第 1 章で述べたように、自信を持って大きさを判断できる画像表示方法であるため、質問 b の回答についても合わせて考慮する必要がある。

質問 a に対して「同じくらいに感じた」と回答し、かつ質問 b に対して「はっきりそう感じた」と回答した実験参加者の数に着目し、その数を表 1 に示す。「同じくらいに感じた」かつ「はっきりそう感じた」と答えた回答者は条件 2 では 0 人で、他の 3 つの条件についても数人であった。

次に、質問 a において「同じくらいに感じた」と回答し、かつ質問 b において「はっきりそう感じた」または「そう感じた」と回答した実験参加者の数に着目し、その数を表 2 に示す。100%の画像の回答を見ると、「同じくらいに感じた」、かつ「はっきりそう感じた」または「そう感じた」と回答している実験参加者は、4 つの条件のうち、条件 2 が最も多く、7 名であった。しかしここでほかの画像サイズについて見てみると、条件 3 の 110%に 9 名、120%の画像に 8 名、条件 4 の 110%の画像に 10 名が「同じくらいに感じた」、かつ「はっきりそう感じた」または「そう感じた」と回答している。また、図 17 で示したグラフから、大きさを感じにくい画像表示方法として、条件 3、条件 4 を回答した実験参加者はいなかった。

表 1 質問 a で「同じくらいに感じた」と回答し、かつ質問 b で「はっきりそう感じた」と回答した実験参加者の数

Table 1 Number of experiment participants who answered “I felt the same size” in a Question a and answered “I felt so clearly” in a Question b.

	条件 1	条件 2	条件 3	条件 4
60%	0	0	0	0
70%	0	0	0	0
80%	0	0	0	0
90%	0	0	0	0
100%	0	0	0	2
110%	0	0	1	1
120%	1	0	1	0
130%	0	0	0	0
140%	0	0	0	0
合計	1	0	2	3

表 2 質問 a で「同じくらいに感じた」と回答し、かつ質問 b で「はっきりそう感じた」、「そう感じた」と回答した実験参加者の数

Table 2 Number of experiment participants who answered “I felt the same size” in a Question a and answered “I felt so clearly” or “I felt so” in a Question b.

	条件 1	条件 2	条件 3	条件 4
60%	0	0	0	0
70%	0	0	0	0
80%	0	0	0	0
90%	0	2	0	0
100%	2	7	2	5
110%	2	4	9	10
120%	5	1	8	3
130%	1	0	1	0
140%	0	0	0	0
合計	10	14	20	18

これらのことより、条件 3、条件 4 の画像が、自信を持って大きさを判断する画像表示方法として適していると考えられる。条件 3 と条件 4 は、どちらも画像を平面ではなく浮かせて表示した条件である。浮かせたことによって、画像と目の距離が料理の表面と目の距離に近づいたことや、浮かせて影ができたことで、立体感をつかみやすくなり実物を見る時の環境に近づいたことなどが要因として考えられる。しかし、この要因については今回の実験だけでは明確ではないため、調査を進める必要がある。

条件 4 の表示方法については、今回の提案手法であり、

全体のイメージを保存しながら表面のエッジで大きさを強く感じることができるため、印象を伝えやすいと考えていた。しかし、今回の実験だけでは、この手法が最適であるという明確な結果は得られなかった。今後、より工夫を凝らした表示方法を考案していく必要があり、実験の検討が必要であると考えます。

また、本報告では、形が単純であるホットケーキのサンプルを用いて実験を行った。そのため、複雑な形をした別の料理に応用できるかに関して明確ではない。そこで、今後、ホットケーキ以外の料理のサンプルについても実験を進め、どのような形の料理に対しても応用可能であるインタフェースを検討していく予定である。

7. まとめ

情報としてのサイズが伝わるだけではなく、対象を見たときに自信を持って「この大きさである」と感じられるような画像表示方法の実現を目的として、飛び出す絵本を模して料理の画像を、厚みを持たせて表示する方法を試みた。平面で表示する方法との比較を行い、大きさの印象の違いと、その印象に対する確信の強さについて調査した。今回の提案手法は、今回の実験では、大きさを正しく判断することに大きな効果は見られなかったが、大きさを自信を持って判断するという面では、十分な効果を発揮した。今後は、様々な料理の画像に対して応用可能な、自信を持って大きさを判断できる画像インタフェースを検討していく。

謝辞 実験にご協力いただいた皆様に、謹んで感謝の意を表す。また、本研究は、JSPS 科研費 JP15K00287 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] Kobayashi, M.. The Issues Regarding the Distance between the Surface and the Displayed Objects. Proceedings of the Late-Breaking Papers in CollabTech 2014, 2014, p. 1-6.
- [2] 小林稔, 志和新一, 北川愛子, 島田義弘, 一之瀬進. ステレオ重畳表示によるリアルスケールビデオシステム, 情報処理学会論文誌, 1999, Vol. 40, No. 11, p. 3834-3846.
- [3] 小林稔, 志和新一, 北川愛子, 島田義弘, 一之瀬進. 大きさの印象を共有するための等倍表示システム, 情報処理学会論文誌, 1999, Vol. 40, No. 2, p. 517-528.
- [4] 森川治, 戸田賢二. 大きさを実感できる写真表示方式. ヒューマンインタフェース学会論文誌, 2009, Vol. 11, No. 4, p. 127-134.
- [5] 西紗記子, 東野進一, 坂本竜基. Web オークション出品時における疑似 3D 画像の生成. 情報処理学会 インタラクション 2016, 2016, p. 961-963.
- [6] わたなべちなつ. きょうのおやつは. 福音館書店, 2014.
- [7] わたなべちなつ. ふしぎなにじ. 福音館書店, 2014.
- [8] わたなべちなつ. かがみのサーカス. 福音館書店, 2016.
- [9] R. Sabuda and L. Carroll. Alice's Adventures in Wonderland. Little Simon, 2003.
- [10] 岡村聡介, 五十嵐健夫. ポップアップカードデザインの製作支援インタフェース. Visual Computing/グラフィックスと CAD 合同シンポジウム予稿集, 2009, Vol. 2009, p. 53.

- [11] 松佳奈, 井上一真, 小松孝徳, 小林稔. ものの大きさの印象を伝える画像インタフェース手法の検討. 研究報告グループウェアとネットワークサービス, 2017, Vol. 2017-GN-100, No. 22, p. 1-7.
- [12] 谷尾祐香里, 越後宏紀, 上河恵理, 阿原一志. Pict-Doku: 入力画像に基づく数独問題自動作成システムの提案. ゲームプログラミングワークショップ 2016 論文集, 2016, p. 89-93.