

LED発光が透明液にもたらす味覚への影響

The Effect of LED's Colors on the Taste of Transparent Liquids

石橋 賢

Ken ISHIBASHI

熊本県立大学

Prefectural University of Kumamoto

中嶋 名菜

Nana NAKASHIMA

熊本県立大学

Prefectural University of Kumamoto

Keywords : LED light, Liquid, Taste

1. はじめに

2017年頃、透明飲料がブームとなり、コーヒーやコーラなど多様な不透明な飲料水が透明化された。それと同時期に、カフェやバーにおいて発光グラスや電球ボトルが話題を呼んだ。これらは、液体をグラスに注ぐことで底に内蔵されたLEDライトが発光する仕組みになっている。透明飲料のブームは過ぎ去った後でも、現在でもフレーバーウォーターといった透明飲料は定番商品として店舗に陳列されている。これらのブームの要因は、その目新しさと飲料の中身が特定されにくいことによる気軽さなどが挙げられる。一方で、飲料の味に主眼を置くと、色による味覚への影響も商品開発や飲料の提供方法として考慮すべき点だといえる。

先行研究[1]では、飲料水の色とフルーツフレーバーの違いが味覚へ影響を及ぼすことが報告されており、色とフレーバーの調和度合いについて言及している。また、先行研究[2]でも同様に飲料水の味覚と色、香りに関する調査が行われている。その調査結果では、色が各甘味、酸味、苦味に影響し、嗅覚変化とのマルチモーダルな影響があると結論付けられている。各先行研究では、食用色素を用いて飲料を着色しており、LED発光による影響は議論されていない。

先行研究[3]では、LEDによる飲料水の色変化、および、電気刺激の味変化、ディフューザーによる香り変化を組み合わせたシステムを開発し、色、味覚、香りの相互作用が議論されている。先行研究[4]では、容器を色付き画用紙で覆いパッケージ色が及ぼす味覚への影響を調査している。これらの研究では、飲料水を飲む際に人々が連想する具体的な飲食物を想像することが味覚に影響することに言及している。前者はLEDを利用しているものの、味覚が電気刺激で再現可能な塩味と酸味に限定して、フレーバーや色もそれらの味覚に調和性の高いと考えられる組み合わせでのみ実験を行っている。後者は、四味覚での溶液において実験を行っているが、各溶液での評価はその溶液の味覚評価（甘い溶液の場合は甘味のみ）に限定しており、溶液での別の味覚への影響が議論されていない。さらに、事前調査による味覚強度の予測値をもとにして水溶液の濃度を決定しているため、認知閾値を超える条件の溶液となり、

色が本質的に与える味覚への影響よりも、色と味覚とのマルチモーダルによる相乗効果が調査結果に影響する可能性がある。

以上を踏まえ本研究では、味覚と色の影響が溶液別に明らかにされていないLED発光色を対象とし、各味を感じる認知閾値での水溶液条件での調査を行うことで、先行研究と同様の色が味覚に与える影響が確認できるか、また、味が僅かなケースでも先行研究の結果を支持できるかを確認することで、色と味覚のマルチモーダルな影響を詳細にみていくことを目的とする。

2. 実験方法

本章では、実験に用いる水溶液、LED発光グラス、実験環境、および、実験の手順について説明する。

2.1 実験用水溶液

本実験では、文献[4]と同じ甘味、塩味、酸味、苦味の各水溶液を調製する。文献[4]では、味覚強度での濃度調整を行っている。また、味覚評価トレーニングで被験者の味覚評価基準を統制した上で、LED発光グラスによる味覚評価を実施した。さらに、被験者ごとの味覚感度と応答範囲が評価尺度に影響することを踏まえ、基準溶液との差分で評価する方式を採用した。同時に、認知閾値条件の溶液を用いることで、各味覚刺激を抑え、連続した味覚評価での順序効果による影響を軽減した。各溶液は、文献[5]を参考に認知閾値を決定し、表1に示す組成表に従い調製した。なお、実験に用いる水溶液は、蒸留水に高純度の1級試薬を用いてメスフラスコで調製し、磁気攪拌機で溶解した。

表1 実験溶液の組成表

味	試薬	認知閾値 (%)
甘味	グルコース	0.4
酸味	酒石酸	0.006
塩味	塩化ナトリウム	0.07
苦味	硫酸キニーネ	0.0003



図1 実験で使用したLED発光グラス(6色)

2.2 実験用具および実験環境

本実験では、市販のLED発光グラス(6色)、紙コップ、プラスチック製ストローを用いた(図1)。市販のグラスは、本調査結果が一般的な環境で利用できること、ならびに、先行研究[1]にてプラスチック素材のコップでの調査を行っていることからプラスチック製のものを選定した。光量は、簡易照度計の計測結果では、平均27.2 lux(標準偏差6.2)である。紙コップはうがい用に、プラスチック製ストローは溶液摂取時のにおいの影響を軽減するためにそれぞれ準備した。実験場所は、官能検査室とし、発光色の視認性を優先し、室内の照明は利用せず窓からの外光は遮断することで室内の明度を落とした。なお、室温は20℃～25℃、湿度は40%～50%で統制し、被験者にとって快適な室内環境を維持した。

2.3 実験手順および評価方法

本実験の手順は、次のとおりである。

- STEP1**：味覚トレーニングを二回以上実施し、正答率100%の状態になるまで繰り返す。
- STEP2**：対象溶液10 mlを入れた紙コップとストローを渡し、ストローで摂取してもらい、味覚評価の基準値とする。
- STEP3**：対象溶液10 mlを入れたLED発光グラスとストローを渡し、見た目からの味覚予想による印象評価を行う。
- STEP4**：続けて、ストローで摂取してもらい味覚評価を行う。
- STEP5**：蒸留水の入った紙コップを渡し、STEP4で摂取した際の口腔内の味が完全に消えるまでうがいしてもらう。
- STEP6**：STEP3～5を繰り返し異なる3色のグラスで評価したら、STEP2に戻り、次の溶液で同じ手順を繰り返す。
- STEP7**：すべての評価対象溶液を評価し、実験を終了する。

味覚トレーニングは、4種類の対象溶液をそれぞれ摂取し、どの味覚に該当する溶液かを回答してもらう。評価値の付け方は、STEP2の溶液を基準値として、比較評価を行う。そのため、6色すべてのLED発光グラスを一度に評価せず、3色ずつに分け二度の実験とした。溶液の提示順は、味覚閾値を考慮し、甘味、塩味、酸味、苦味の溶液順とした。LED発光グラスは、「赤、青、緑」、および、「ピンク、黄、橙」の二つに分け、被験者の半分が一回目の実験で「赤、青、緑」、二回目で「ピンク、黄、橙」を評価した。残り半分は、反対での提示条件となる。ただし、各実験における色の提示順は、恒常誤差の順序効果を考慮してランダムに振り分けた。一例を挙げると、甘味溶液で赤→青→緑の各LED発光グラスで評価を行

い、次に塩溶液で青→緑→赤の各LED発光グラスで評価することを、酸味、苦味の溶液でも繰り返し、別日に「ピンク、黄、橙」のLED発光グラスで同様の実験を行う流れとなる。

評価では、印象評価と味覚評価で、甘味、塩味、酸味、苦味の4項目に対して、STEP2での摂取時の味覚評価を基準に、「まったく感じない-3、感じない-2、あまり感じない-1、変わらない(基準と同じ)0、やや感じる1、感じる2、とても感じる3」の7段階リッカート尺度法で評価した。

3. 実験の詳細

実験は、2017年11月に複数回に分けて実施し、被験者として熊本県立大学の大学生36名(女性19名、男性17名)を募った。色覚と味覚の識別については、本被験者全員が正しく識別できることを確認している。実験時間帯は、満腹または空腹状態を避けるため、10時と14時に指定し、前日の飲酒の禁止、当日の実験開始1時間前からの飲食の禁止、禁煙をそれぞれ徹底した。加えて、口元の化粧がある場合は、実験時に取り除く条件で参加してもらった。実験では最大4名の被験者が同時に参加するが、官能検査室は個別ブースで仕切られており、他被験者の発光色や様子を確認することはできない。「赤、青、緑」と「ピンク、黄、橙」の異なる色グループでの実験を行うため、被験者は二度の実験に参加する。味覚評価を伴うため、一回目と二回目は5日以上間隔を空けて実施した。なお、実験実施に際しては、熊本県立大学生命倫理審査委員会に承認を得て、被験者に十分な説明を行い、同意書に署名してもらった上で適切に実施した。

4. 実験結果および考察

本章では、実験結果および、その考察について述べる。実験では、見た目による味覚の印象評価と、実際に摂取して評価する味覚評価の二段階での評価を採用している。実験結果においては、印象評価、味覚評価、それぞれの結果について述べ、最後に印象と味覚の違いについて分析する。なお、統計分析では、すべて有意水準5%で議論し、本章記載の図中にある「*」は、その統計的有意差が認められた群間を示している。

4.1 印象評価(見た目からの味覚予想)

前述の2.3節の実験手順STEP3では、溶液を飲む前に見た目での味覚の予想による印象評価を行っている。本評価では、溶液4種×グラス6種、計24パターンを一人の被験者が評価している。よって、同一色のグラスを4回評価している。これは、味覚評価による印象評価への影響があると考えられたためである。ここで得られたデータ数は、864(被験者36名×24パターン)となり、印象評価データとして全データを利用して分析を行う。

分析に際して、等分散性を確認するためにアンケートの味覚項目ごとにデータを分けて、バートレット検定を行った。

LED発光が透明液にもたらす味覚への影響

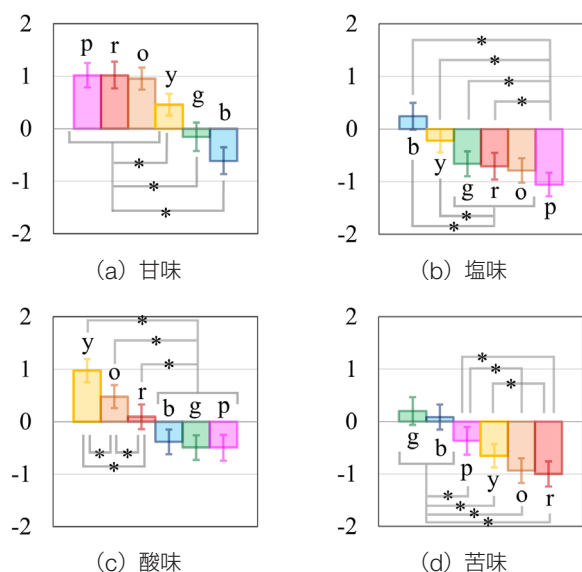


図2 味覚項目ごとの多重比較結果 (印象評価)

その結果、甘味は不等分散 (p 値 = 0.001) であり、それ以外の味覚項目は等分散の結果となった。そこで、甘味項目データは、フリードマン検定とウィルコクソンの順位和検定による多重比較を実施し、他の項目データは、分散分析とホルム法による多重比較検定を実施した。フリードマン検定および、分散分析の結果では、すべて統計的有意差が認められた。そのため、すべての味覚評価項目で色による見た目の印象が変化していることが確かめられた。図2は、各味覚項目での多重比較の結果を示す。なお、グラフは、各味覚項目で降順ソートしている。

図2(a)より、甘味の評価は、暖色系（ピンク，赤，橙）で評価値が高く，黄，緑，青との間にそれぞれ統計的有意差があった。また，図2(b)では，青のみ塩味を感じる評価値となっており，黄を除くすべての色間で統計的有意差があった。図2(c)では，黄が最も高い評価値となり，すべての色間で統計的有意差が認められた。最後に図2(d)より，寒色系（緑，青）で苦味を感じる評価値となっており，それ以外の色間で統計的有意差が確認できた。

これらの結果から，甘味を感じさせる発光ガラスは暖色系，酸味を感じさせるのは黄色であることがわかった。一方で，塩味と苦味は，色によって各味覚のイメージを高める効果が薄い傾向にあり，その中では塩味が青色，苦味が緑または青色が各味覚を想起させることが確かめられた。ピンク色はモモ，赤色はリンゴ，橙色はミカンなど果実系のイメージがしやすいことから，甘味の印象を想起していると考えられる。また，黄色はレモンを代表して酸味を想起しているといえる。一方で，緑や青色は実際の飲料として，野菜ジュースやお茶，スポーツ飲料などを想定していることが影響しているのか，それぞれ苦味と塩味を感じる傾向にあった。これらの連想については，先行研究における色から連想されるイメージ評定の結果でも，上位の連想する飲食物として挙げられていた [4]。

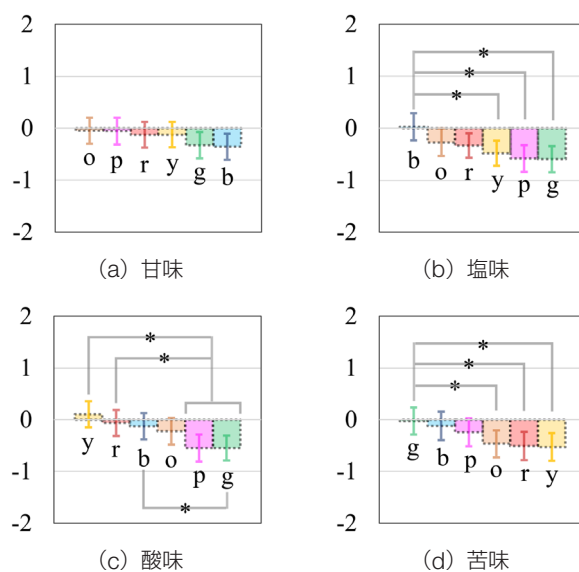


図3 味覚項目ごとの多重比較結果 (味覚評価)

4.2 味覚評価

本評価では，溶液4種×ガラス6種，計24パターンをそれぞれ提示し，被験者が実際に摂取して各パターンの味を評価している。

4.2.1 すべての溶液における色の影響

最初に溶液別ではなくすべての溶液での評価値を用いて，4.1節の分析手順と同様の手順で分析を行う。パトリット検定の結果では，すべて統計的有意差が認められず，等分散の結果となった。続けて分散分析を実施し，甘味を除く味覚項目で統計的有意差が認められた。すなわち，塩味，酸味，苦味の評価項目で色による味覚評価が変化することが確かめられた。最後に，それら三項目にてホルム法による多重比較を行った。図3は，各味覚項目での結果を示す。なお，グラフは，各味覚項目で降順ソートしている。

図3の全体的な傾向として，認知閾値で調製した溶液のため，基準溶液より各味覚を強く感じることを示す正の値の結果となった色は，わずかである。また，味の異なる溶液すべての評価データを利用していることも関係している。ここでは，各色間の相対的な差分が色の傾向を表すことから，多重比較にて有意差が認められた項目に注目する。図3(a)より，甘味ではすべての色間で統計的有意差が認められなかった。続けて図3(b)より，「青色－黄，ピンク，緑色」間で統計的有意差が確認できた。特に，ピンク色は図2(b)でも最も評価値が低く，青色との有意差もあったことから，見た目の印象が味覚にも影響したと考えられる。図3(c)では，「黄色－ピンク，緑色」，「赤色－ピンク，緑色」間，および，「青色－緑色」間で統計的有意差があった。共通する緑色は，印象評価でも下位にあり，緑色が酸味を感じさせにくくする影響を与えることが伺える。最後に図3(d)をみると，「緑色－橙，赤，黄色」間で有意差が確かめられる。見た目の印象でも同様の傾向がみられたが，青色とその他の色間では有意差がみられなかった。

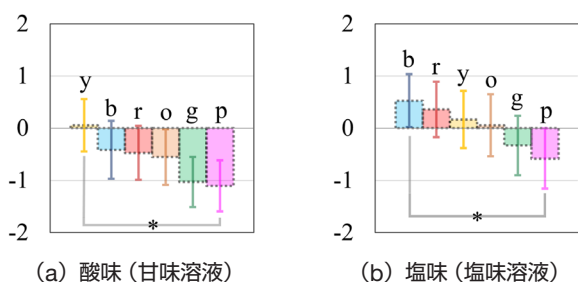


図4 各溶液での味覚項目ごとの多重比較結果

ことから、実際の味覚への影響は緑色の方が高いといえる。以上の結果から、見た目の印象が味覚へ影響することが支持された。ただし、認知閾値の場合、先行研究に比べてその差異は多くない。すなわち、色の影響は味覚強度が高まることで相乗効果がもたらされると推測できる。

4.2.2 溶液別での色の影響

続けて、溶液ごとの分析を行った。これまでと同じ手順で、パートレット検定ですべてが等分散であることを確認した後、分散分析を実施したところ、甘味溶液の酸味項目、塩味溶液の塩味項目にて統計的有意差がみられた。それぞれでホルム法による多重比較を行い、図4の結果が得られた。

図4の結果では、図3の対応する味覚項目と概ね類似した傾向がみられる。図4(a)より、甘味溶液では、黄色が酸味を高め、ピンク色が酸味を弱める効果が確認できる。黄色とピンク色間での有意差が甘味溶液にのみみられたことから、図2(a)のピンク色が甘味の印象を高める効果が関係するといえる。甘味溶液も認知閾値で調製したため、被験者の予想より甘味評価が極端に低いことから、直接的に甘味項目で色間の有意差は確認できなかったものの、酸味の評価に色の効果が現れたものと考えられる。図4(b)は、塩味溶液での塩味項目であり、図2と図3と同様の傾向がみられることから、青色が塩味を高め、ピンク色が塩味を弱めることがわかった。すなわち、認知閾値条件の溶液でも塩味は色の影響がみられる。

4.3 印象評価と味覚評価の比較

印象評価と味覚評価における評価の違いを確認するため、溶液の味と同じ味覚項目のデータを用いて、印象評価と味覚評価の差異について、スチューデントの t 検定でその平均値の差を統計的に分析する。例えば、甘味溶液の場合、甘味項目のデータで検定を行い、見た目の印象評価データはその溶液の摂取直前の印象評価データに限定している。

図5は、各味覚での比較結果を示す。図中の「*」は、同一色、同一味覚での t 検定結果で統計的有意差が認められた色である。なお、図中の凡例の項目番号1は印象評価結果、項目番号2は味覚評価を表す。

図5より、赤色はすべての味覚、橙色は酸味以外の味覚で有意差があった。また、ピンク色と青色は、甘味と酸味で有意差が認められた。緑色は酸味のみ有意差があり、黄色はどの味覚でも有意差がみられなかった。

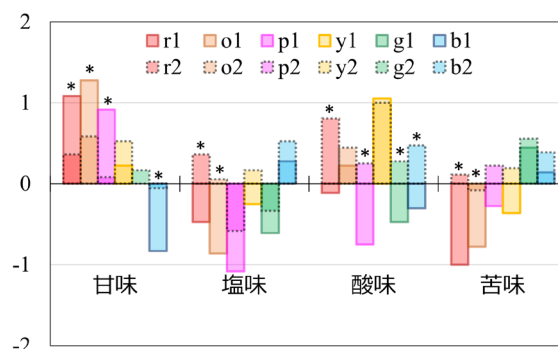


図5 印象評価と味覚評価の比較結果

赤色・橙色：甘味と酸味の場合、溶液の甘味強度が高くなる印象と味覚が一致する可能性がある。塩味と苦味では、いずれも見た目が負の値の評価となり、味覚評価と反転した結果である。よって、赤色と橙色は、甘味と酸味は溶液の濃度によって調和を図れるが、塩味と苦味は印象と味覚の評価の不一致が生じるといえる。

ピンク色・青色：甘味の場合、ピンク色は溶液の濃度を高めることで評価の差異が埋まると予想できるが、青色は負の値を示すため、その差異を取り除くことは難しいといえる。酸味については、両色ともに見た目が負の値を示していることから、酸味を弱める印象が高く、印象と味覚の不一致は取り除けないものと考えられる。

黄色・緑色：黄色はすべての味覚で、緑色は酸味以外では統計的有意差が認められなかった。このことから、これらの色の影響が特定の味覚に影響しづらい、あるいは、特定の味覚との印象が認知閾値条件で一致しているといえる。特に、黄色は酸味の印象、緑色では苦味印象と同じ評価値となっており、各味覚は少量でも知覚しやすい味覚であるため、印象と味覚がほぼ一致したものと考えられる。

5. 全体考察

以上の結果、ならびに、先行研究 [2, 4] の調査結果を比べて、本実験結果に対する全体の考察を行う。まず、見た目の印象評価結果は、甘味を感じる色として、赤、橙、ピンク、塩味が感じられる色が青色、酸味が黄色、そして苦味が緑色でそれぞれ高い評価値となったのは、先行研究 [2, 4] の両方の結果と一致する。すなわち、色による味覚の印象は、本実験結果は先行研究の結果を支持する。

次に、味覚の観点では、先行研究 [4] では塩味でピンク色が高く、酸味で黄色、苦味で青色がそれぞれの味覚評価値を高く評価する傾向があったが、本実験では塩味は青色が最も高くピンク色との間に有意差があり、反対の結果となった。酸味は、甘味溶液であるが同様に黄色とピンク間で有意差があり、酸味への影響も同じ結果が得られた。苦味については本実験では統計的有意差が認められなかった。塩味で異なる結果となった理由として、LEDと色画用紙の実験条件の違い

LED発光が透明液にもたらす味覚への影響

が挙げられる。これはボトルパッケージと実際の飲料の色がそれぞれ味覚へ異なる変化を与える可能性を示唆している。

さらに、見た目の印象と実際の味覚の評価における相違については、先行研究[4]にて見た目では青色が塩味を感じさせる色として本実験結果と同じであったにも関わらず、味覚評価では見た目では低評価値だったピンク色が高い評価値を示した。本実験結果では、見た目の印象と実際の味覚の評価の色間の相対的な傾向はほとんど変化がなかった。すなわち、溶液の着色した方が、色の連想を味覚に直接影響させ、見た目のイメージと一致しやすいことが示唆される。

6. おわりに

本研究では、LED発光グラスを用いた見た目の印象、ならびに、味覚に関する色の影響を異なる味の水溶液で調査した。見た目の印象については、先行研究の結果と類似した調査結果が得られ、甘味が赤、橙、ピンク、塩味が青、酸味が黄、苦味が緑色で、それぞれ感じる味覚の印象評価値が高い結果となった。これらは、色によるイメージが影響していると考えられる。

次に、味覚評価の結果では、溶液の種類を問わずに色の影響を分析したところ、甘味以外の味覚で色間の差異が確かめられた。先行研究でも、分散分析による主効果が認められたのは、甘味以外であったことから、色の影響は甘味以外で差異が生じやすいことがわかる。一方で、差異のみられた色は、塩味でピンク色が反対の結果を示した。これはLEDと色画用紙の色の違い、または、直接飲料を着色するか容器を着色するかの違いだと考えられる。本研究では、見た目の影響と同じく、味覚評価でも塩味が青、酸味が黄、苦味が緑色で相対的にそれらの評価値の低い色と比べて統計的有意差が確かめられた。

味覚評価を味別の溶液で分析すると、甘味溶液における酸味の評価項目、塩味溶液における塩味の評価項目で、統計的有意差が確認できた。前者は色による甘酸っぱい印象が関係しており、黄色がレモンをピンク色がピーチをそれぞれ想起させ、果汁の酸味が多いレモンと少ないピーチによる印象の差異が味覚評価に現れた結果だと考えられる。

最後に、印象評価と味覚評価の差異を分析した結果では、ほとんどの味覚において、赤色と橙色で評価値の平均値の差が統計的に確認できた。甘味と酸味項目では、溶液の濃度を高めるとその差異が埋まり、印象と味覚が一致すると考えられるが、塩味と苦味は一致する可能性が低いいため、これらの味を想定させるには不適切な色であるといえる。ピンク色と青色は、甘味と酸味で有意差が認められた。青色は甘味と酸味のイメージを弱めるため、それらの味覚の飲料との不一致が生じる。ピンク色は、甘味は濃度を高めると差異を埋められる可能性があるが、酸味は青色と同じくその味覚を弱めるイメージを持つため不適切な色といえる。黄色と緑色では、有意差がほとんどみられなかった。特に、黄色と緑色では

それぞれ酸味と苦味の印象と味覚の差異がなく、他の味覚でも影響が少ないことから、いずれの場合に用いても大きな差異を生じさせない色であるといえる。

今後の課題として、溶液の濃度を段階的に設定した際の評価への影響を考慮した追加実験、先行研究で取り上げられている香り（フレーバー）とのマルチモーダルな影響について詳細に調査し明らかにする必要がある。

参考文献

- [1] Zampini, M., Sanabria, D., Phillips, N. and Spence, C.: The multisensory perception of flavor: Assessing the influence of color cues on flavor discrimination responses, *Food Quality and Preference*, 18, pp.975-984, 2007.
- [2] 奥田紫乃, 荒金美幸, 竹村明久, 岡嶋克典: 清涼飲料水の予想されるおいしさと味覚に対する色と香りの複合効果, *日本官能評価学会誌*, 19(2), pp.99-105, 2015.
- [3] Ranasinghe, N., Nguyen, T.N.T., Liangkun, Y., Lin, L-Y., Tolley, D., and Do, E. Y-L.: Vocktail: A virtual cocktail for pairing digital taste, smell, and color sensations, *Proceedings of the 25th ACM International Conference on Multimedia*, pp.1139-1147, 2017.
- [4] 岡田和也, 一川誠: 容器の色彩による飲料についての味覚強度の変動, *VISION*, 33(3), pp.117-138, 2021.
- [5] 大越ひろ, 神宮英夫: 食の官能評価入門, 光生館, p.20, 2009.

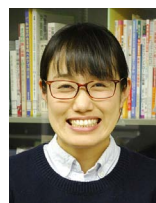
(2023年4月28日受理)

著者紹介



石橋 賢 (正会員)

2014年 北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科博士後期課程修了。博士(知識科学)。同年、日本学術振興会特別研究員PD。2015年より熊本県立大学総合管理学部総合管理学科講師。2018年 准教授。現在に至る。感性情報メディアの創出およびグラフィックデザインの支援に関する研究に従事。電子情報通信学会、ACM、芸術科学会など各会員。



中嶋 名菜

2004年 熊本県立大学環境共生学部環境共生学科食・健康環境学専攻卒業。2015年 同大学大学院環境共生学研究科博士課程修了。博士(環境共生学)。2008年 千里金蘭大学生活科学部助教。2018年より熊本県立大学環境共生学部講師。2020年 准教授。現在に至る。2016年より日本栄養改善学会評議員。日本生物環境工学会では、2019年度九州支部ベストポスター賞(共著)受賞。