

## 電気味覚による炭酸飲料の刺激増幅に関する基礎検討

野村 伊吹\* 小池 崇文\*

\* 法政大学情報科学部

## 1. はじめに

炭酸水は水に二酸化炭素を溶かした飲料であり、口を含むと酸味や苦味を感じる。また、炭酸には溶存炭酸ガスによる刺激が存在する。酸味や苦味といった味は舌表面の味細胞で受容し、炭酸刺激は舌や口腔内に存在する三叉神経で受容し、脳に伝達する [1]。しかし、開封して時間がたった炭酸飲料を飲んだ時、口腔内への刺激はより弱くなったように感じ、炭酸飲料の醍醐味である清涼感や爽快感を失ってしまう。

本研究では、飲料の摂取時に舌に電気刺激を提示することで炭酸飲料の刺激を増幅させる。電気刺激により得られる味覚を電気味覚と呼ぶ。陽極電気刺激時には酸味を増強させることが知られている。また、炭酸刺激は口腔内の酸味を感じる味細胞を活性化させる。そこで、炭酸飲料を飲むと同時に舌部への陽極電気刺激を付加する実験を行い、電気刺激による炭酸増幅の検討を行った。これによって、飲料開封後の経過時間に関わらず、開封直後の炭酸飲料の味と刺激を楽しむことができると考える。また、衛生面や大人数での実験に配慮した電気味覚デバイスを製作した。

## 2. 関連研究

## 2.1. 電気刺激による味覚増強のメカニズム

電気刺激は味の強さを増強することが知られている。そのメカニズムは、電気刺激による電場の影響を受けて味を感じるイオンが口腔内を泳動し、味細胞周辺のイオン濃度が増加することで、味覚が増強するという説がある。また、Bujas は電気刺激を付加した際に電流が味細胞や求心性神経線維を刺激し、味覚が増強するという説を唱えている [2]。

## 2.2. 炭酸水の味

味を感じる物質が舌表面に存在する味覚受容体を活性化させ、味を伝える神経細胞を通して脳に電気信号が送られることで人は味を認識する。炭酸水を口に含むと、個人差はあるが、酸味を感じる。Chandrashekar らは、炭酸水に溶けている二酸化炭素が舌表面上の上皮細胞に含まれる炭酸脱水酵素によって炭酸水素イオンと水素イオンに分解され、水素イオンが酸を感じる味覚受容体を活性化させることで、酸味を感じるというメカニズムを提唱した [3]。

## 2.3. 電気味覚の提示

電気刺激を用いた味覚変化の提示手法として、Ranasinghe らが提案した電極を直接舌部に当てる手法 [4] と、中村らが提案した飲食物を介した手法 [5], [6] が存在する。Ranasinghe らの手法では、2枚の銀電極で舌を挟み、陽極電気刺激および陰極電気刺激を付加するとともに電極の温度変化も利用している。基本味(酸味, 苦味, 塩味, 甘味, うま味)ごとに味を最も感じやすい電流の強さ, 周波数, 電極の温度を検証し、酸味, 苦味, 塩味, 甘味の4種類の基本味を再現した。中村らの手法では、ストローやフォークなどの食器を電極として用いる。飲食の検知を行い、飲食を行った瞬間に飲食物, 食器, 人体表面による回路が形成され、舌部への電気刺激が提示される。陰極刺激の提示と停止を繰り返すことにより、塩味が増強されることを再現した。有賀らはこれらの手法を用いて、飲食物を介した回路に陽極電気刺激および陰極電気刺

激を付加する電気味覚装置を製作し、電気味覚による酸味および塩味の再現を行う手法を提案した [7]。

## 3. 電気味覚デバイス

本研究では、炭酸飲料に電気刺激を付加するためのデバイスを製作した。デバイスは、電気刺激付加装置と電気味覚の提示デバイスにわかれる。

## 3.1. 電気刺激付加装置

電気刺激を付加する装置はマイコンボードの Arduino で行う。また、回路のスイッチ制御はリレーシールドを用い、付加する電圧の大きさの制御はモータードライバを用いる。モータードライバへの電源供給は出力電圧が 5V~30V の直流安定化電源を用いる。出力電圧を 0.1V 刻みで調整することが可能で、安定した電圧をかけることができる。

## 3.2. 電気味覚の提示デバイス

被験者への電気味覚の提示デバイスは、有賀らの提案手法ではスプーンを利用している。しかし炭酸飲料はコップで飲む方がより一般的であると考えられるため、コップを用いた提示デバイスを用いる [8]。我々の既提案デバイスでは紙やプラスチックなどの非導電性素材のコップを2つを用いているが、本実験では非導電性素材のコップ1つとスリーブを用意する。スリーブは、被験者の手が接触する部位に外部導電部を貼り付け、電気刺激付加装置の陽極側導線を接続する。また、スリーブの内側には、内部導電部を外部導電部の逆側の部位に貼り付け、電気刺激付加装置の陰極側導線と接続する。コップの側面にステープラーの針を刺し、スリーブの内部導電部と針が接触するようにする。

実験時には、図1に示すように、スリーブとコップを密着するように重ねる。電気は陽極側導線、外部導電部、手、舌部、飲料、ステープラーの針、内部導電部、陰極側導線の順に流れることで、飲料と舌を含む閉回路を形成している。

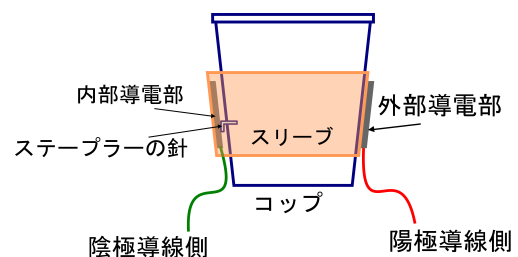


図1: 電気味覚デバイスの構成

## 4. 実験

陽極電気刺激による炭酸水の刺激の変化度合いを明らかにし、電気味覚による炭酸増幅の効果を検討する。実験に用いた飲料はソーダストリームで作成した炭酸水である。炭酸の強さはソーダストリームの炭酸注入ボタンのプッシュ回数によって異なる。プッシュ回数が0~4回の異なる炭酸の強さの飲料を5種類用意し、プッシュ回数が2回の飲料を基準の飲料とする。電気刺激を付加した状態の基準の飲料を飲んだ時に感じる炭酸の強さが、他の4種類の飲料のうち、どの飲料の炭酸の強さに近かったのかを比較する。また、飲料の基本味の変化についてのアンケートを行う。

First Study on Amplifying the Stimulus with Carbonated Beverage by the Electrical Stimulation on the Human Tongue  
Ibuki Nomura and Takafumi Koike  
Faculty of Computer and Information Sciences, Hosei University  
3-7-2 Kajino-cho, Koganei-shi, Tokyo, Japan

#### 4.1. 実験方法

被験者は20代の男女11名(男性6名, 女性5名)を対象として行った。被験者には人体に電気刺激を提示することを事前に伝え, 同意の上で実験を行った。電気刺激提示時の回路の電位差は直流電圧で5V~8Vになるよう調整し, 開目状態で舌部への陽極電気刺激を行う。ソーダストリームに用いる水は市販の軟水である。ソーダストリームの炭酸注入ボタンは1回1秒程度で押下する。飲料の温度は10°Cで行った。

まず, 被験者は水を飲んで口内環境を整える。次に, 基準の飲料を味が判別できるまで口に含んでから, 飲み込む。どの基本味を感じたかを主観的な評価で回答してもらった。また, 被験者の炭酸飲料の嗜好および飲用頻度についても調査した。

次に電気刺激を付加しながら炭酸飲料を飲んだ際の, 炭酸刺激の変化を調査する。実験の手順を以下に示す。

- 1) 被験者に水を飲んでもらい口内環境を整える。
- 2) 基準の飲料を陽極電気刺激を付加しない状態で飲む。
- 3) 陽極電気刺激を付加しながら基準の飲料を飲ませ, 炭酸の強さを記憶する。
- 4) 他の4種類の飲料と基準の飲料の5種類の飲料を飲み, 3)で記憶した炭酸の強さに近い飲料を1つ回答する。
- 5) 電気刺激前と刺激後の飲料の味の変化について, 基本味の各味ごとに「味が弱くなった」、「変わらない」、「味が強くなった」の3択から1つ回答する。

あらかじめ被験者には, 舌部に電気が流れるよう飲み方を指導している。また, 1回あたりに飲む量は指定していない。

#### 4.2. 実験結果

被験者の炭酸飲料の嗜好および飲用頻度に関するアンケートでは, 被験者11名のうち9名が炭酸飲料を好んでいる回答した。しかし, 炭酸飲料の飲用頻度は月1~2本が6名, 週1~2本が5名であったことから, 炭酸飲料は好まれているが飲用頻度は多くなく, 日常的な飲み物とされていないと思われる。

そして, 基準の飲料に陽極電気刺激を付加したときの基本味の感じ方の変化度合いにおいては, 酸味, 塩味, うま味は変わらないと回答した被験者が多かった。甘味と苦味は回答にばらつきが出た。また, 苦味が弱くなったと回答した被験者は甘味が強くなったと感じた被験者が多かった。

電気刺激による炭酸刺激の変化の回答結果を, 図2に示す。横軸は, 実験前に用意した5種類の飲料それぞれの炭酸注入ボタンのプッシュ回数であり, 炭酸の強さを示す。被験者11名全員が炭酸の強さに変化があったと回答した。電気刺激付加中の基準の飲料の炭酸刺激が, プッシュ回数が3回の飲料の炭酸刺激の強さに近いと回答した被験者が4名, 4回プッシュした飲料と回答した被験者は4名であった。基準の飲料に近いと回答した被験者3名においては, 全員が炭酸刺激が若干強くなったと感じたが, 3回プッシュした飲料の炭酸刺激の強さよりは弱いと回答している。また, 実験後の自由回答から, 電気刺激を付加することで炭酸水の味がまろやかになり飲みやすくなったと感じる場合が多かった。また, 付加電圧を上げると陽極刺激の電気味や苦味を強く感じ, 飲みづらくなったという意見があった。

#### 4.3. 考察

本実験で, 電気刺激付加中に痛みを感じたと回答をした被験者がみられたが, 原因は判別できなかった。電気刺激の電流による痛み, あるいは炭酸刺激による痛みが原因と考えられる。実験前の炭酸水の味についてのアンケートにおいて, 酸味よりも苦味を感じた被験者が多かったことから, 炭酸水を口に含むと酸味を感じるという先行研究の知見とは異なる結果となった。これは, 使用した炭酸飲料のpHが5.0で弱

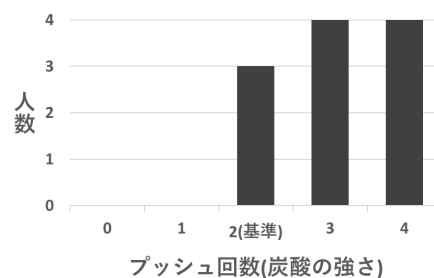


図2: 電気刺激を付加している際の炭酸刺激の強さの変化

酸性水であったため, 炭酸による酸味よりも水に含まれるミネラルの苦味を強く感じた可能性があると考えられる。

陽極電気刺激による炭酸刺激の強さの変化においては, 被験者全員が炭酸刺激の強さは増幅したと回答したことから, 陽極電気刺激による炭酸刺激の増幅効果が得られたことが明らかとなった。このことから, 微炭酸の飲料に電気刺激を付加することでより強い炭酸刺激を再現できることが確認されたといえる。また, 電気刺激において味覚変化を感じた被験者のうち6名は苦味が弱くなったと感じていると回答したが, 先行研究の知見では, 陽極電気刺激により酸味や苦味を感じることが多い。このことから, 炭酸飲料へ陽極電気刺激を与えた場合, 苦味が弱くなる可能性が示唆された。また, 苦味が弱くなったと感じた被験者6名のうち4名は甘味が強くなったと感じているが, 苦味が弱くなったと感じたことで甘味が強くなったように感じるものが原因であると考えられる。被験者のうち3名が酸味が強くなったと感じており, これは先行研究の知見と同様に, 陽極電気刺激により酸味が惹き起されたことが示された。

#### 5. 結論

本研究では, 飲料を通して舌部に陽極電気刺激を行うことで, 電気味覚による炭酸飲料の炭酸増幅効果の検証を行った。そして, 電気味覚を提示することで炭酸飲料の炭酸刺激が増幅されるとともに, 炭酸飲料の味に変化が出ることが示された。

しかし電気味覚の感じ方には個人差があるため, 炭酸飲料の味の変化度合いにばらつきがみられた。このことから, 被験者をさらに増やし, 電気味覚による炭酸増幅効果や味の変化を定量的に評価する必要がある。

#### 参考文献

- [1] 駒井, 井上, 長田, “口腔・鼻腔の三叉神経を介した刺激性物質の受容機構”, におい・かおり環境学会誌, Vol. 37, Issue 6, pp. 408-416, 2006.
- [2] Z. Bujas, “Electrical Taste,” *Handbook of Sensory Physiology*, Vol.4 Chemical Senses, Pt.2 Tatse, ed. L. M. Beidler (Berlin: Springer-Verlag), pp.180-199, 1971.
- [3] J. Chandrashekar et al., “The Taste of Carbonation”, *Science*, Vol. 326, Issue 5951, pp. 443-445, 2009.
- [4] N. Ranasinghe et al., “Tongue Mounted Interface for Digitally Actuating the Sense of Taste,” *ISWC '12*, pp.80-87, 2012.
- [5] 中村, 宮下, “電気味覚による味覚変化と視覚コンテンツの連動”, 情処学会論文誌, Vol. 53, Issue. 3, pp. 1092-1100, 2012.
- [6] 中村, 宮下, “一極型電気味覚付加装置の提案と極性変化による味質変化の検討”, 情処学会論文誌, Vol. 54, Issue. 4, pp. 1442-1449, 2013.
- [7] 有賀, 小池, “電気刺激を用いた酸味・塩味の再現によるスープレの味覚変化”, 日本バーチャルリアリティ学会研究報告, Vol. 20, Issue CS-1, pp. 13-18, 2015.
- [8] 野村, 小池, “飲料の電気味覚のための簡易デバイスに関する基礎検討”, 日本バーチャルリアリティ学会研究報告, Vol. 24, Issue CS-4, pp. 3-4, 2019.