



# 味物質選択性を持つ電気刺激手法

## Taste-Selective Electrical Stimulation Method

原直弥<sup>1)</sup>, 原彰良<sup>1)</sup>, 古川正紘<sup>1,2)</sup>, 前田太郎<sup>1,2)</sup>

Naoya HARA, Akiyoshi HARA, Masahiro FURUKAWA and Taro MAEDA

1) 大阪大学 情報科学研究科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-5, naoya-hara@hiel.ist.osaka-u.ac.jp)

2) 独立行政法人 情報通信研究機構 脳情報通信融合研究センター (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-4, 2-11-16)

**概要:** 電解質の味物質を抑制・増強可能な味覚電気刺激について, 複数の味物質が混合した場合における, 選択的に特定味物質の抑制や増強が可能な電気刺激手法は知られていない. 本研究では, 各味物質を呈するイオンの価数や分子量の差によって生じる陰極電極側への引力や舌上への拡散力の違いを利用し, 電気泳動力学場上の 2 次遅れ系として電解質の移動をモデル化することで, 狙った味質の操作を可能とする電気刺激手法を提案する.

**キーワード:** 味覚電気刺激, 電気泳動, 拡散方程式

### 1. はじめに

食事をすることは身体を健康に保つうえで大切な行為である. しかし, 近年食の洋風化や豊富に供給される食糧によって過食や栄養過多, 偏食など様々な食生活の乱れが起こり, 生活習慣病の増加が社会問題となっている. 誰もが満足のできる食事を行いたいものであるが, 健康を考える上では丁寧な献立設計を行い, ある程度制限を設けなければいけない. よくある健康志向の食制限として, 減塩や糖質オフなど, 使用する調味料などを減らすことによって, 栄養過多を抑える方法が考えられている. しかしながら, 人によっては, そのような制限を設けることは, 味が薄くなることによる満足感の低下が起こり, 不満が溜まってしまう.

この問題の解決法として, 舌電気刺激(GTS:Galvanic Tongue Stimulation)による手法が注目され始めている. それは GTS を利用することで, 全ての基本五味を変化させることが可能であり, その効果により, 味の薄い食べ物を濃い味として感じられることが知られているからである. 主に GTS を行うことで, 舌の近くに陽極を配置した時(陽極刺激)には電気味と呼ばれる金属を舐めた時のような味を感じるとされている. またその逆として, 舌の近くに陰極を配置した時(陰極刺激)には電流印加時に口に含んだ電解質の味物質の味を抑制する効果が生じ, 電流印加停止時には, 抑制されていた味を強く感じる増強効果が生じるとされている.

GTS の研究として, 青山らは, 舌付近に電極の陰極側を配置して電気刺激を行うことで, 電解質の味物質を電気泳

動させることにより, 基本五味の全ての味を抑制可能であることを示している[1]. また, 原らは, 電流印加によって舌から離れたイオンが, 電流印加を停止すると濃度勾配によって拡散されることで, 電流印加終了時に舌付近で急激にイオン濃度が上昇することによる味覚増強効果に注目した連続矩形波による電気刺激手法を提案している[2]. そして, 連続矩形波による電気刺激を用いることで, 全ての五味について味覚増強が可能であること, そして咀嚼を行う間, 十分に味覚増強効果が持続できることを示している. また, これらを実際の食事へ応用できる形としたものとして, 近年中村らは, フォークを電極とするものやコップを電極として GTS を行う装置を提案し可用性を向上させた[3].

ここで, 本研究はこれらの先行研究では未解決な問題に注目する. それは先行研究ではどの電気刺激についても一つの物質に対して行っているのみであり, 複数の味物質の混合状態における効果が明らかにされておらず, すなわち味変調による複数の味の変調という設計論に必要な道筋が見出されていない. 電気刺激による味変調を実際の食事に適用することを考えた時, 基本的に一つの食品に対して甘さだけでなく, 少しの苦味も感じるといったような複数の味を感じるものが多いことから, 味変調技術において, 複数の味物質の混合状態を前提とすべき必然性が認められる. 本研究では, 複数の物質が混合された際に一方の味質を増強し, もう一方の味質を抑制するような選択性を持った電気刺激手法を考えることにした.

## 2. 味覚電気刺激のモデル化

これまでの実験を踏まえ、我々は味覚電気刺激による味覚抑制・増強の機序について考察する。抑制効果については、唇側を陰極、舌側を陽極とする刺激によって味蕾の受容体を発火させる陽イオンが電流印加時に陰極側へイオン泳動することにより、味蕾から引き離されることにより、神経が発火しなくなることによるものとして考えられる。また、増強効果は、電流印加によって、陰極側にイオンを泳動させた後に電流印加を停止すると、陰極側と陽極側の間の急激な濃度勾配によって起こる拡散力により、唇側に集中していた陽イオンが舌側に流入し、味蕾に触れる味物質の量が従来よりも増加することによるものであると考えている。このイオンに働く電極側と舌側に生じる二方向の力について、電気泳動によるクーロン力とフィックの法則から導かれる拡散方程式を元に運動方程式を導くことで、味覚電気刺激における各陽イオンのイオン勾配の時定数を求め、その際に支配的な要因を見つける。その支配要因に基づき、電気刺激を設計することで、選択的に陽イオンを味蕾へ接触させることによる特定味質のみを感じさせることのできる味覚電気手法が実現可能になると考える。

上記のモデル化を進めるうえで、イオンに働くクーロン力並びに、拡散力によるイオン泳動速度がイオンの水和半径に依存する可能性を考えている。なぜなら、味覚電気刺激による味質の抑制・増強効果が陽イオンに対して働く電極方向へのクーロン力と舌方向への拡散力の2点について、電流印加中はこの2力とも生じており、この2力を記述する電気泳動法の式と拡散方程式に注目し、陽イオンの可制御範囲を同定する可能性として、我々はDuty比を変調させる制御に注目した。

よって、本研究では水和半径の異なるイオンについて、クーロン力の取り除かれた際におけるイオン勾配の時定数に基づき、Duty比を変調させた電気刺激の印加と印加停止を繰り返すことにより、特定の味物質のみを味蕾に接触させ、選択的に味質を感じさせることのできる電気刺激手法を検討することを目的とする。

## 3. 実験1：単一物質水溶液におけるDuty比の変調による味検出域に関する実験

本研究の目的は2種類の味を混合させた水溶液において、一方の味質のみを感じることのできる電気刺激手法の検討である。本実験では、その予備実験として、単一物質を溶かした水溶液に対して、Duty比を変化させたときに抑制効果がされる瞬間のDuty比と増強効果を生じるDuty比をそれぞれの物質ごとに実験により求めることを目的とする。単一味物質に対して電流印加を行い、Duty比を変調していくことで増強効果の上下弁別閾を測る。Duty比が0%の時は電流が流れていない状態であり、特に増強効果は生じることがない。逆にDuty比が100%の時は陰極電流が流れることによる味抑制効果が働いている状態で

ある。しかし、Duty比を上げていくと、ある点を超えたところで、増強効果が生じていたにも関わらず、味を感じなくなる点があると考えられる。これは味物質である陽イオンが、電流印加後のオフタイムが時短になることにより、味蕾へ味物質が触れる前に再度電極側に引き付けてしまう現象が起こり、すなわち味覚の抑制効果と同様の状態が再現されるDuty比があるということである。また、その逆として、Duty比を下げていくと、電流印加による増強効果が感じられなくなる点があると考えられる。こちらは、電流印加時間が時短になることにより、陽イオンを舌付近から遠ざける確率が小さくなることにより生じる。すなわち、味覚増強効果にはDuty比の違いによって上下に閾値が存在すると考えられ、最初の実験では、単体の味物質についてDuty比の閾値を判別する実験を行うことにした。

### 3.1 実験方法

精製水によって基本五味と呼ばれる味質をそれぞれ以下のように用意した。

表 1:実験で使用する水溶液

味覚	試料
塩味	1.0%塩化ナトリウム水溶液
苦味	0.5%塩化マグネシウム水溶液
酸味	0.3%クエン酸水溶液
甘味	5%グリシン水溶液
旨味	0.5%グルタミン酸水溶液

被験者は20代の男性1名で行い、頸部背側に陽極電極としてゲル電極(フクダ電子製クリアロード)、ストローに予め導線を通しておいたものを使用し、水溶液を口に含むことで、陰極電極とした。水溶液を介した陰極刺激を周波数15Hzの方形波電流刺激を0.5mAで行った。被験者には舌先周辺での電流密度の集中により生じるびりびり感を避けるため、できるだけ舌を動かさないように指示をした。また、実験前に皮膚抵抗を下げ、触覚刺激を抑えるために被験者には陽極を貼る後頸部の位置をウェットティッシュで拭き、皮膚処理剤によって皮質などを十分に除去し、再度ウェットティッシュで拭いた。

この実験ではDuty比を被験者に調節してもらい、味の変化を感じたら刺激を止めるように伝えた。電流印加はDuty比0%から始まる条件とDuty比100%から始まる条件が交互に行われた。また、口腔内を初期状態として保つために、各試行が終了するごとに精製水によって口をゆすいでもらった。この試行を各Duty比条件で10試行行い、計20試行で得られた味の変化点について、各味質間にDuty比の違いによって差があることを検証する。

### 3.2 実験結果

各試料における得られた味印象の変化した際のDuty比

についての箱ひげ図を図 1, 2 示す。

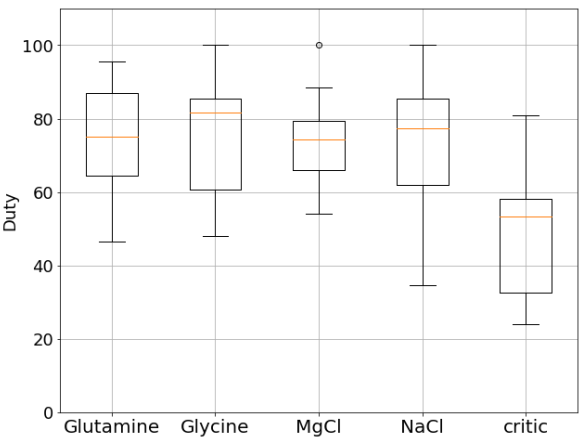


図 1:増強効果の生じる最小 Duty 比

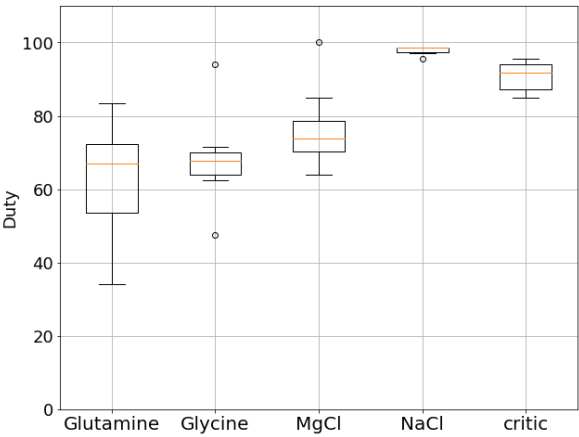


図 2: 抑制効果がなくなる最大 Duty 比

図 1 の結果は矩形波刺激による増強効果の生じる最小の Duty 比を示しており、大きなばらつきがあるが、有意水準 5%のクラスカル・ウォリス検定において、有意差が確認された。また、図 2 は抑制効果が切れる瞬間が存在する、すなわち陰極刺激を停止して次の陰極刺激を行うまでの区間に陽イオンが舌に到達する最大の Duty 比を示しており、ばらつきは図 1 に比べると小さく、有意水準 5%のクラスカル・ウォリス検定において、有意差が確認された。

4. 実験 2：混合物質水溶液における Duty 比の変調による味質制御に関する実験

実験 1 では、味増強効果の得られる上下弁別閾について検討した。この際非常に顕著な味印象の変化として報告されたのは塩味であった。また、この塩味の閾値と差を持つと考えられる苦味を用いることで、それぞれの上閾値間に含まれる Duty 比ではナトリウムイオンによる塩味の印象が強くなり、苦味の上弁別閾下であれば、塩味と苦味の混合味がする可能性が考えられる。その仮説を検証するべく、感じている味を答えてもらう指差しによる方法で仮説を主観的に評価することにした。

4.1 実験手法

この実験は 20 代の男性 2 名によって行い、0.8%塩化マグネシウム水溶液と、1%塩化ナトリウム水溶液を混合した水溶液を用意し、電流印加前に味の印象を「苦味」、「塩味」、「無味」、「苦味と塩味」の 4 択を指差しによって答えてもらう。その後、15Hz の 0.5mA を用いた方形波電流印加を Duty100%の状態を開始し、電流印加が開始した時点で確かに 2 種の混合物質が抑制されているかの確認を同様の選択肢を用いて指差しで行った。さらに、100%の時以降の味印象の変化点を、Duty 比を下げていきながら、変化した点で、味印象を答えてもらった。この試行を 3 回行うことで、主観報告を得た。

4.2 実験結果

各被験者の回答結果を図 3, 4 に示す。

電流刺激状態	口頭報告回数	被験者 1					
		1 試行目		2 試行目		3 試行目	
		Duty比	味印象	Duty比	味印象	Duty比	味印象
無印加	1	—	塩味	—	両方	—	両方
	2	100	無味	100	苦味	100	無味
	3			92.5	苦味	83.5	塩味
	4			80.5	苦味	79	苦味
	5			64	両方	44.5	両方
	6			43	苦味	0	無味
施行終了時	—	—	塩味	—	苦味	—	無味

図 3:被験者 1 の主観報告

電流刺激状態	口頭報告回数	被験者 2					
		1 試行目		2 試行目		3 試行目	
		Duty比	味印象	Duty比	味印象	Duty比	味印象
無印加		—	塩味	—	両方	—	塩味
	1	100	無味	100	無味	100	無味
	2	82	塩味	19	塩味	85	塩味
	3	61	無味				
施行終了時	—	—	無味	—	塩味	—	塩味

図 4:被験者 2 の主観報告

混合液の純粋な味に関する報告は両方の味がしていると答える他に塩味のみであるという報告があった。このことから、苦味の印象が溶液内でそもそも感じにくいものであったことが分かる。また、電流印加中については、無味になる回答が得られ、このことから、電流印加によって確かに抑制効果は生じていると考えられる。しかし、このうち塩味苦味の両方があるという印象の場合でも、抑制開始時に無味にならない場合も存在し、これは電流値を小さくしたことに起因する抑制の失敗であると考えられる。一方で、抑制効果によって無味が得られた時は、Duty 変化で両方の味印象ではなく、片方の味印象だけを出すことに成功しており、仮説通り塩味の印象が最初に出る場合が多い結果となっている。しかし最後の Duty 比 0%の条件で最初の味印象に戻っておらず、無味と回答した人がいたことから、順応によって味が消えたという印象になってしまっ

いるのではないかと考えられる。

## 5. むすび

本研究では 2 種類の味を混合させた水溶液において、一方の味質のみを感じることのできる電気刺激手法の検討するために、基本五味を呈するそれぞれの電解質を溶かした単一物質溶液に対して Duty 比を変更することにより、抑制効果と増強効果の生じる境界条件を調べた。

この結果に基づき、電気刺激による複数物質溶液中の味覚制御を実現するために、最も塩化マグネシウムと塩化ナトリウムの混合溶液に対し、Duty 比を連続的に変化させることによって無味・塩味・塩味と苦味の混合味の三つの味質を提示できる可能性を確認した。

今後はこれらのイオンの水和半径とその価数に対するクーロン力と拡散力の関係式からこれらの結果を考察し、Duty 比による味物質選択性を持つ電気刺激手法の可制御範囲を明らかにする。また、クーロン力と拡散力の関係式であるから、クーロン力によるイオン泳動速度が電圧で制

御できる可能性もあるため、同様に検討を進める。

## 参考文献

- [1] Kazuma Aoyama, Kenta Sakurai, Satoru Sakurai, Makoto Mizukami, Taro Maeda, Hideyuki Ando: Galvanic Tongue Stimulation Inhibits Five Basic Tastes Induced by Aqueous Electrolyte Solution; *Frontiers in Psychology*, doi:10.3389/fpsyg.2017.02112, 2017.
- [2] 原彰良, 安藤英由樹, 櫻井健太, 前田太郎, 青山一真: 連続矩形波電流刺激による五味の継続的増強; 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.24, No.1, pp.13-21, 2019.
- [3] 中村裕美, 宮下芳明: 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; 情報処理学会論文誌, Vol.54, pp.1442-1449, 2013.