

神奈川工科大学

次世代センシングシステム研究所

研究報告

第 14 卷

2020 年度

目次

- ・環境水中の放射性物質のセンシングと簡易回収法の開発

応用化学科 齋藤貴

- ・COVID-19 対人飛沫を擬似体験する AR システムの開発

情報メディア学科 服部元史

情報メディア学科 坂内祐一

教職教育センター 佐藤智明

- ・医用画像診断支援システムの高度化に関する研究

電気電子情報工学科 武尾英哉

- ・測距・測位不要な信号源同士の近接関係推定による信号源クラスタリング

情報工学科 川喜田佑介、田中博

- ・センシング技術を活用した調理による食品栄養成分変化の予測法の開発

管理栄養学科 大澤絢子

- ・ノンターゲットケミカルセンシングに基づく発酵食品製造過程の最適化評価

管理栄養学科 飯島陽子

環境水中の放射性物質のセンシングと簡易回収法の開発

次世代センシングシステム研究所第1研究室

研究者名：工学部応用化学科 齋藤 貴

研究題目：「環境水中の放射性物質のセンシングと簡易回収法の開発」3年目(3年計画)

1. 研究の背景と目的

(1) 背景と目的

2011年の3月に発生した東方地方太平洋沖地震に伴い福島第一原子力発電所事故により、様々な放射性核種金属を含有した廃水の処理が問題となった。排水に含有している放射性物質中で長期間急性放射線症や不妊など人体に悪影響を与えるリスクがある。この廃水(汚染水)は事故によって溶解した核燃料を冷却するために使用した冷却水や雨水、地下水などであり約220m³/日の量(2017年度平均)で発生している。

30年の半減期を持つ放射性セシウムは自然界には少なく、問題となっている放射性セシウムは福島第一原子力発電所内の破損した原子炉の冷却水に使用された排水中に放射性物質が存在しており、それらが海水などと共に放出された。排水中の放射性セシウムはゼオライトなどの吸着剤で回収し浄化しているが、そのほかの放射性ストロンチウムなどはいくつかの工程を経て貯蔵・放水されている。ストロンチウムやセシウムは除去するための吸着装置「キャリオン」や「サリー」に通されている。

現在、放射性セシウムを含む大量の排水を処理することは未だ十分ではなく、大量の放射性廃棄物が出続けている。またその管理コストも課題となっている。さらに2020年にはALPS処理水を貯蔵しているタンクが満水近くになり、その後の処理の準備や認可に最低2年近く要するため処理水問題がより深刻化している。

そこで、本研究は外部からの刺激に応じて固相⇌液相に相変化するチキソトロピー現象を放射性物質の回収剤に応用することで、現行の放射性物質回収装置の前処理や負荷低減などを視野に入れ、新たな放射性物質回収剤の開発を行う。また放射性物質の回収に使用したチキソトロピーゲルを回収することで放射性廃棄物の削減や管理コストの削減を行うため、少量のチキソトロピーゲルで放射性物質の回収ができ、使用後のチキソトロピーゲルが処理水の上層でゲル化することで処理水と放射性物質回収済みチキソトロピーゲルの分離が容易になるような浮上型チキソトロピーゲルの開発を試みた。

(2) 研究のアプローチ

チキソトロピーゲルの物性挙動の変動を利用した新しい回収法を開発することにある。外部環境の刺激(静的及び動的挙動変化)に応じて固相⇌液相間の相変化を生じるチキソトロピー現象を金属イオンの回収剤に応用することで、現行のALPS処理装置の前処理法として、Csを含めた複数の放射性物質を回収することを目的としている。今回は、浮上型のチキソトロピーゲルへの新たな展開を行い、金属イオンの抽出条件の確立を行った。その後、いくつかの金属イオンに関して、回収率の詳細について調査を行った。

(3) 研究計画

本研究の3年計画における経緯と結果は次の通りである。本報告書は、最終年度となる。

・研究計画と経緯

1) 2018年度

- ①チキソトロピーゲルによるCs回収法の確立：チキソトロピーゲルによるCs濃度と回収率の測定及び評価、種々の吸着剤との吸着能の評価
- ②粒子状吸着剤ーチキソトロピーゲル回収法の確立：ゼオライトやプルシアンブルーの粒

子状吸着剤とチキソトロピーゲルとの併用型回収剤の開発

2) 2019年度

- ①チキソトロピーゲルによるCsを含む複数の金属種の回収能の検討
- ②金属種のゲルへの抽出に寄与する要因の解明

3) 2020年度

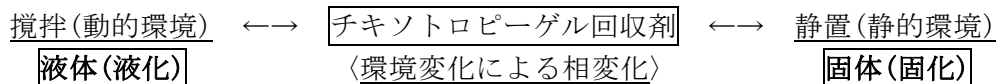
- ①浮遊型チキソトロピーゲルによるCsを含む主要な金属イオンの回収法の確立：チキソトロピーゲルの組成決定(ゲル化剤と有機溶媒の組成)、金属イオン濃度に対する回収率の測定と評価

2. 研究の特色、独創的な点、意義

(1) 学術的特色・独創的な点

廃水を浄化する際の前処理として、Cs等は粒子状吸着剤(ゼオライト粒子)により回収できるが、これらを廃水に利用した場合、水中で分散するため十分な回収が不可能となる。そのため沈殿凝集剤などの新たな添加操作が要求される。とはいえ、その時も吸着剤粒子の完全な回収は難しい。そのため、吸着剤粒子による二次汚染が危惧され、回収行程の増加によるシステムの複雑化の問題が生じる。

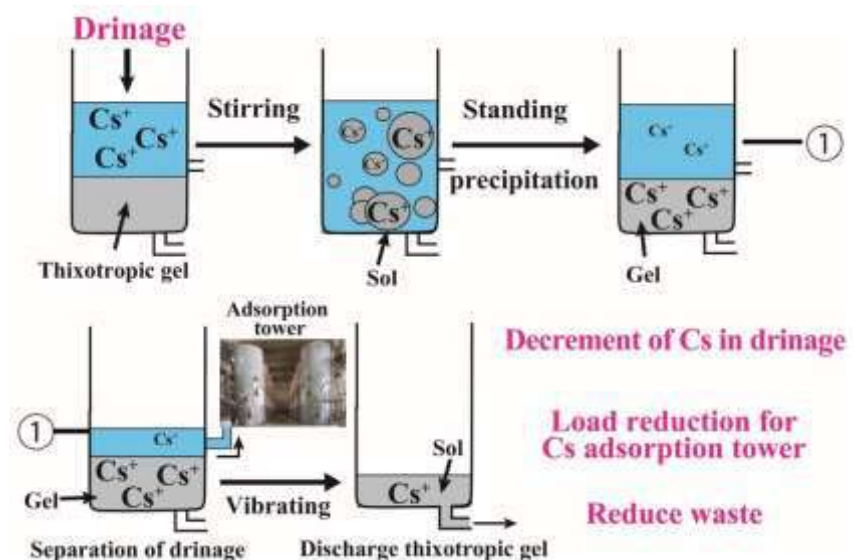
本研究で提案するチキソトロピーゲルによる回収法は、振動の有無で固相-液相の相変化を生じる機能性ゲル(すでに特許公開済み)の特徴を利用し、回収操作直前まで疎水性ゲルは固体を維持し、使用時(回収操作時)では動的環境下で液相となり、その後、静的環境下にある回収後は再び固体系に戻ることで、回収操作が容易となる回収システム系が構築できる点は、これまでにない抽出回収システムとなる。さらに、沈降型と浮上型の2種の新たな手法に展開をした。



本研究で開発したゲルは、当初静定環境にあるため固体であり、輸送時や取り扱いが容易である。一方、廃水中のCsを回収する際は、廃水に固体のゲルを添加して撈拌することで、ゲルが液相に相変化してゾル化し、抽出効率の高い液々抽出系となる。

その後、回収後は静置することで再びゲルは固相に変わり、廃水とゲルの分別操作が非常に容易となる。すなわち、固液系分離と液液系抽出の両者の利点を併せ持つこれまでにない新たな抽出・回収システムが構築できる。

最終年度は、チキソトロピーゲルによる浮上型回収法の開発を目的として、チキソトロピーゲルによる金属イオンの回収モデルを実現した(Fig. 1は沈降型モデル)。現在、福島原発事故跡地で使用されているALPS浄化装置に前処理用として本法の回収法を連携させた回収手法を想定して検討を進めた。



(2) 研究の意義

放射性廃水に含まれる種々の金属種(Cs、Co、Sr、等)のALPS浄化装置の前処理法として、かつ簡易な浄化法として、外部環境に応じて固体-液体の相変化を可逆的に生じるチキソトロピーゲルを考案し、これを用いた新規な回収法を提案することにある。この機能性材料を金属種の浄化・回収に応用することで、回収操作前までは取り扱いが容易な固体ゲル(回収剤)、廃水中で金属種を回収する際、廃水へ固体ゲルを投入し攪拌によりゾル化し、抽出効率の高い液体となって金属種を取り込む。さらに、金属種の回収後は再び固体ゲルに戻り、廃水との相分離に優れた固液系となる挙動を示す新規な回収法が構築できる。また従来の粒子状吸着剤と併用することで容易な回収だけでなく回収率自体の向上も見込めることが期待できる。

3. 研究成果

(1) チキソトロピーゲル

チキソトロピーゲルは、有機溶媒に対してゲル化剤としてLGBA(*N*-Lauroyl-L-glutamic- α , γ -dibutylamide)を加え、70 °Cで加熱しながら攪拌して溶解させた。その後、ゾル溶液が温かいうちに、抽出容器(遠心沈殿管)に分取し静置した。その後、ゲル化したチキソトロピーゲルを用いて種々の検討を進めた。なお、実験で用いた金属種は、安全性に配慮して放射性を持たない金属種を用いた。

(2) 浮上型チキソトロピーゲルの物性判定

水より比重の小さく、かつLGBAを溶解する有機溶媒を選別した。その結果、*o*-キシレン、*m*-キシレン、*p*-キシレン、トルエンについて、LGBAの溶解が確認された。一方、シクロヘキサン、*n*-ヘキサン、*n*-ヘプタン、酢酸エチルには、LGBAは溶解されなかった。以上のことから本実験では、*o*、*m*、*p*-キシレン、トルエンの4種類の溶剤を選択し、浮上型チキソトロピーゲルの調製をすることとした。なおこの結果から、LGBAはベンゼン環構造を持つ有機溶媒に溶解しやすいものと推測された。

Table 1 Dissolution of LGBA to some solvents

溶 媒	ゲル化の判定
<i>o</i> -キシレン	○
<i>m</i> -キシレン	○
<i>p</i> -キシレン	○
トルエン	○
シクロヘキサン	×
<i>n</i> -ヘキサン	×
<i>n</i> -ヘプタン	×
酢酸エチル	×

(3) 浮上型チキソトロピーゲルの特徴と有機溶媒の決定

o、*m*、*p*-キシレン、トルエンに、LGBAの含有率1~13 wt%の間でゲルが調製可能か確認した。その結果をTable 2に示した。また有機溶媒ごとに調製したチキソトロピーゲルの特徴をTable 3に示した。

o、*m*、*p*-キシレン、トルエンいずれの有機溶媒もLGBA含有率が1~7 wt%では溶解性が高く、8~9 wt%の時点で一部ゲル固化部が溶媒に混在した。10 wt%以上に達するとゲル化した。これらを振とうしたところゾル化することが確認された。ただし、ゲルの種類によってはゾル化するために必要な振とうの強さに相違があり、*p*-キシレン<*m*-キシレン=トルエン<*o*-キシレンの順で強く振る必要があった。またゲル強度は振とうに要する力に比例し硬くなった。なお、ゲル化した媒体を純水中に投入したところ、いずれも液体表面で浮くことを確認した。またゾル化した時の粘性は、目視観察で、

p-キシレン＝トルエン＜*m*-キシレン＜*o*-キシレンの順に粘性が増加した。ゾル化後静置し再度ゲル化するか確認したところ、いずれのゾルもゲル化することがわかった。以上の結果から、浮上型チキソトロピーゲルを調製する際に用いる有機溶媒には、*o*-キシレンとすることとし、LGBAの含有率は、10wt%とすることとした。

Table 2 Gelation of LGBA for some organic solvents

Conc. /wt%	Organic solvent			
	<i>o</i> -キシレン	<i>m</i> -キシレン	<i>p</i> -キシレン	トルエン
1.0	×	×	×	×
2.0	×	×	×	×
3.0	×	×	×	×
4.0	×	×	×	×
5.0	×	×	×	×
6.0	×	×	×	×
7.0	×	×	×	×
8.0	△	△	△	△
9.0	△	△	△	△
10.	○	○	○	○
11.	○	○	○	○
12.	○	○	○	○
13.	○	○	○	○

Table 3 Characteristics of gel-sol on 10 wt% of LGBA

溶媒名 調査項目	<i>o</i> -キシレン	<i>m</i> -キシレン	<i>p</i> -キシレン	トルエン
ゲル→ゾル 転移	○	○	○	○
ゾル→ゲル 転移	○	○	○	○
ゲルの強度	強い振とうが必要	通常レベルの振とうでゾル化	かなり弱い力でゾル化	<i>m</i> -キシレンと同等強度
ゾル化時の粘性	高粘性	水飴程度	食品油程度	食品油程度
長期保存時の様子	変化無し	変化無し	変化無し	変化無し
長期保存後に再加熱し攪拌	変わらない	変わらない	変わらない	変わらない
再加熱攪拌後ゲル化	○	△	△	△

(4) チキソトロピーゲルによる金属の回収能

4-1 Csの回収率

浮上型チキソトロピーゲル1 mLに対して各濃度別Cs水溶液9 mLを加えた際の回収率をFig. 2に示した。回収率は概ね50～70 %となっている。これは、*o*-キシレン溶媒へのCsの回収能(溶解能)自体とほぼ同等であったことから、LGBA分子は回収能に阻害をしていないことがわかった。振とう回数は、120回/分とした。Csを含むゲル層は水上に浮遊していることも確認できた。

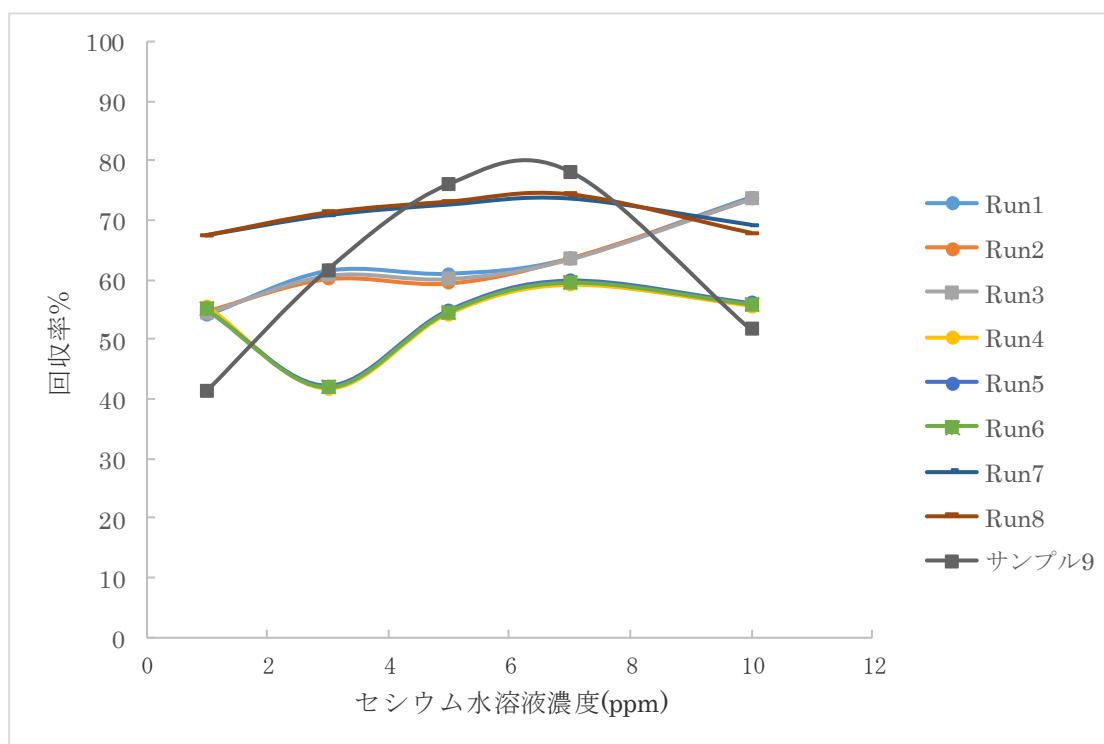


Fig.2 Recovery of Cs using a thixotropic gel

4-2 Srの回収能

Srにおける回収率をFig. 3に示した。回収率は70～100 %となり、高い回収能を示した。一方、抽出溶剤のみでSrを抽出したところ、回収率は、ほぼ同等であり、Csと同様にLGBAは、抽出時に阻害していないことが明らかとなった。

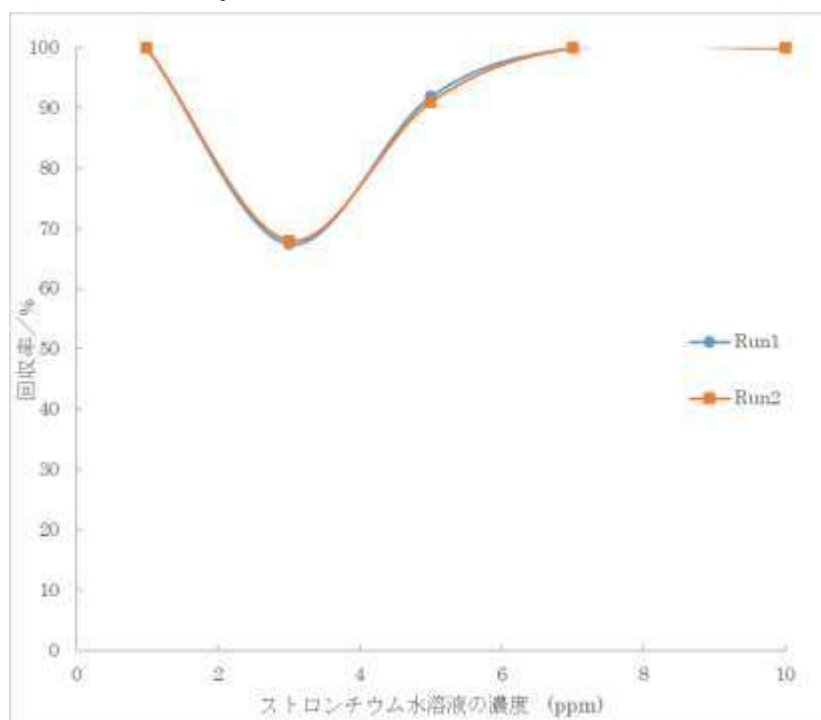


Fig.3 Recovery of Sr using a thixotropic gel

4-3 Caの回収能

浮上型チキソトロピーゲル1 mLに対してCa水溶液9 mLを加えた際の回収率をFig. 4に示した。回収

率は、20～40 %と低い傾向を示した。この要因は、Caは水溶性が高く、 σ -キシレンへの溶解性が抽出率30～40 % (濃度条件は同一)と低いため、溶剤へのSrの溶解度の低さが大きく回収能の低下を引き起こしている。

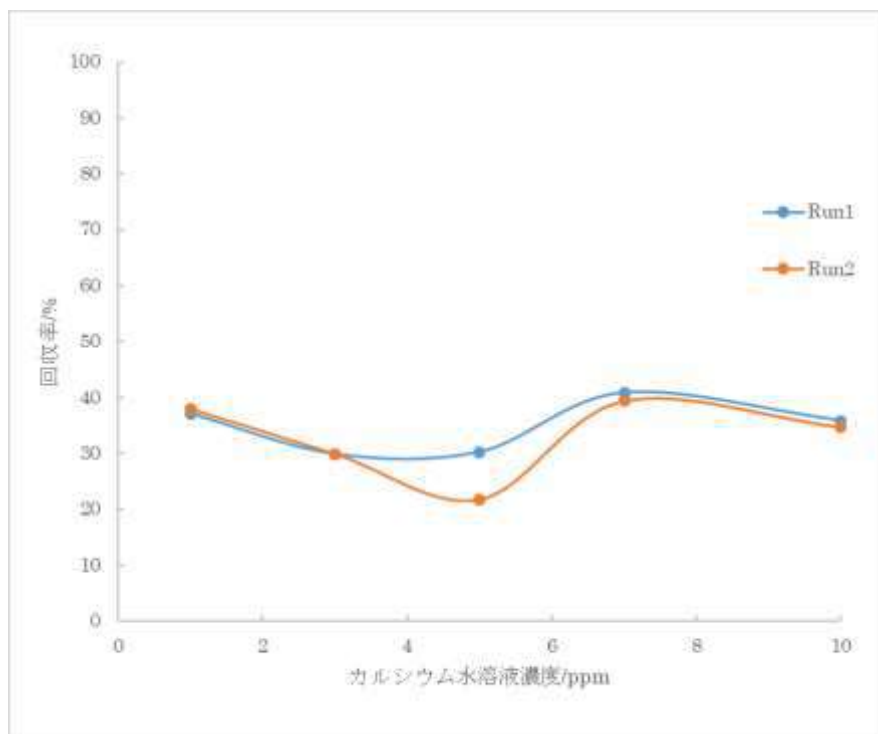


Fig.4 Recovery of Ca using a thixotropic gel

4-4 Coの回収能

コバルトCoにおけるチキソトロピーゲルへの回収率をFig. 5に示した。回収率は非常に高く、90～100 %に達することがわかった。コバルトCoが、 σ -キシレン溶剤に溶解しやすいことは知られていないが、高い溶解性を示すことが溶媒抽出で明らかになった。従って、Co放射性物質の回収には、本法は非常に優れていることが明らかになった。

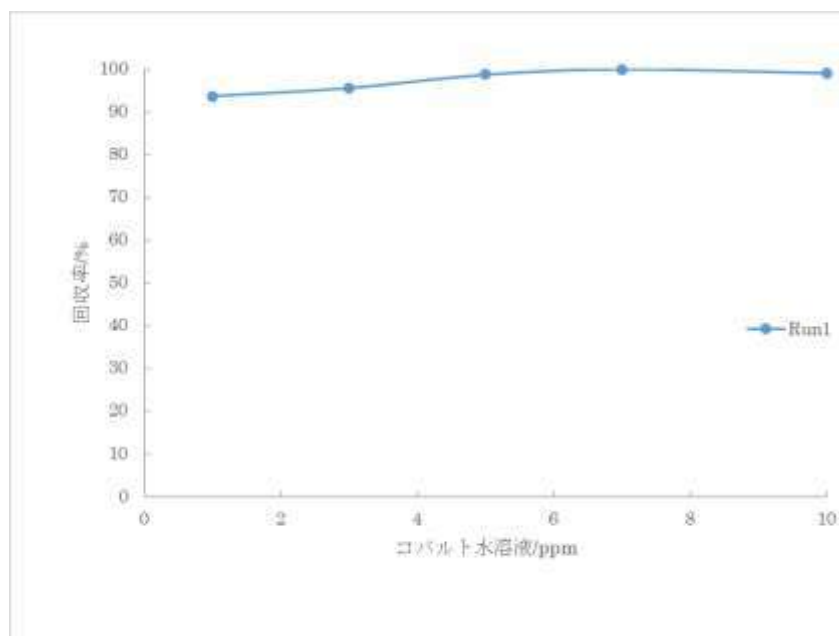


Fig.5 Recovery of Co using a thixotropic gel

4-5 共存金属系溶液からの金属種の回収能

浮上型チキソトロピーゲル1 mLに対して、5 ppm混合金属水溶液9 mLを加えて抽出を行ったときの各金属の回収率をFig. 6に示した。このときの各回収率は、単一金属水溶液からゲルにより回収した際の回収率と比較して、約4 %ほど低下した程度であり、回収率には大きく影響は与えないことが確認された。それゆえ、金属種が共存すると回収率の低下などを引き起こさずに回収できることが明らかとなった。

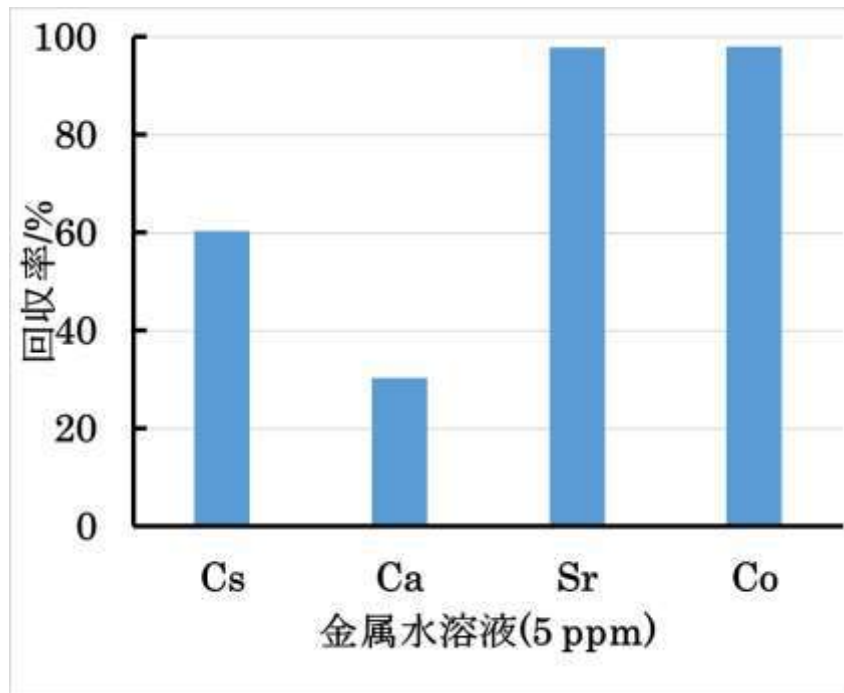


Fig.6 Recovery of 4 kinds of metallic ions using a thixotropic gel

(5) まとめ

本研究は3年計画のもと、下記の研究展開が達成された。

- 1) 沈降型チキソトロピーゲルによる放射性金属種の簡易迅速な抽出回収法の確立と研究成果の公表
- 2) 浮遊型チキソトロピーゲルによる放射性金属種の簡易迅速な抽出回収法の確立と研究成果の公表

4. 研究成果の発表

研究期間内(3年計画:2018~2020年度)における研究成果(2年間)は次の通りである。

- 1) 学術論文：齋藤貴： *Journal of Flow Injection Analysis*, 35(2), pp. 53-58 (2018).
齋藤貴，他：神奈川工科大学紀要B理工学編，43, pp. 7-11 (2018).
齋藤貴，他：環境バイオテクノロジー学会誌，19(1), pp. 67-72 (2019).
- 2) 学術学会における研究発表：25件(2018年度)、21件(2019年度)、9件(2020年度)

COVID-19 対人飛沫を擬似体験する AR システムの開発

研究者名：情報メディア学科 服部 元史
情報メディア学科 坂内 祐一
教職教育センター 佐藤 智明

1. 研究の目的

新型コロナウイルス COVID-19 は 2020 年 3 月から日本でも感染を始め、2021 年 5 月の現在になっても感染が続いている。このような状況の中で感染を防ぐためには、他人の口から吐かれる飛沫を浴びないように Social Distance を保ちながら 我々一人一人が生活する事が必要である。

例えば大学の教室のような現実空間において 他者が吐く飛沫を浴びないように Social Distance を保つ訓練を行うシステムを拡張現実(Augmented Reality , AR)の技術を応用しながら本研究計画で開発した(飛沫体験 AR システム)。本システムで訓練を行う者 (User)は、Head Mount Display を装着する。Head Mount Display のカメラから撮影される現実空間に、AR キャラクター達が合成されて歩き回るため、これら AR キャラクター達が吐く飛沫を避けるべく Social Distance を保つように、User は動いて行く。この時に、どのような状況で どの程度に User が飛沫を浴びてしまっていたのかを、この飛沫体験 AR システムは後で教示してくれる。

2. 研究の必要性及び従来の研究

新型コロナウイルス COVID-19 の感染が続く中を、理化学研究所 Super Computer 富岳などによって、人間の口から吐かれる飛沫の運動が数値解析シミュレーションされている。このような先行研究によって解明されている飛沫の運動を参考に、AR キャラクター達が吐く飛沫を Particle 群として実装し、飛沫体験 AR システムを開発している。

3. 期待される効果

「他者の口から吐かれる飛沫を避けているつもりになっていても、実際は飛沫を浴びてしまっている」事に、飛沫体験 AR システムで訓練してみた筆者達は気が付いた。新型コロナウイルス COVID-19 に感染し無いよう Social Distance を保てるためには、各自が意識的に訓練する必要が在る事を、飛沫体験 AR システムは教えてくれる。

4. 研究の経過及び結果・評価

図1のような現実空間に図2の如くARキャラクターを合成すると、ARキャラクターが空中に浮いているような違和感をUserが感じてしまう。そこで図3の如く、現実空間の床の上に仮想の床を合成しARキャラクターの蔭を床に描画することで、ARキャラクターが床に足を接地しているようにUserに感じさせる事に成功した。



図1 AR 合成前の現実空間



図2 AR キャラクターを合成



図3 AR キャラクターの蔭を描画

図4の如く「神奈川工科大学 学生サービス棟3階の机を稼働させられる教室」へ、図5の如く Head Mount Display や Motion Capture の装置を設置した。図6のようにARキャラクター達が歩き回るVR空間を、図4や図5の現実空間にAR合成することで、図7の如く飛沫を吐いているARキャラクター達にUserは遭遇す

るので、AR キャラクター達からの飛沫を避けるべく AR キャラクターとの Social Distance を保つように User は現実空間の中を動き回る。

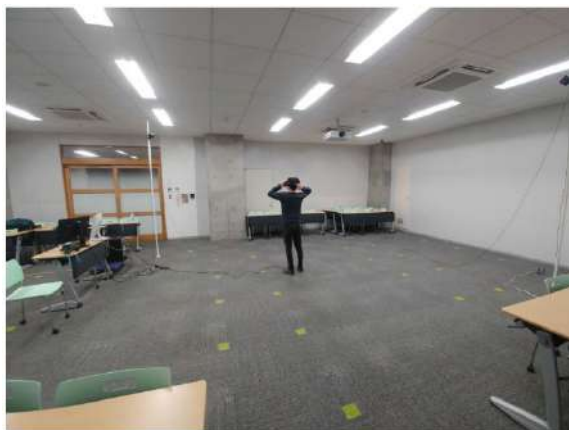


図 4 飛沫を体験する現実空間

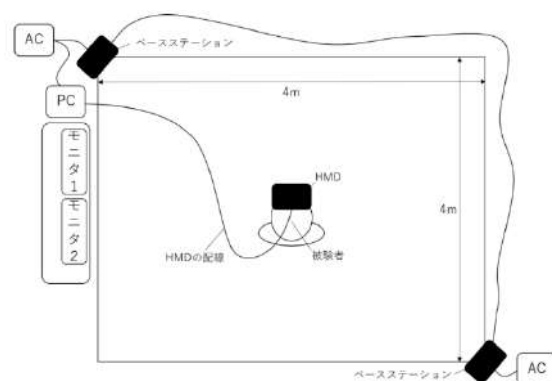


図 5 AR 装置を現実空間に設置

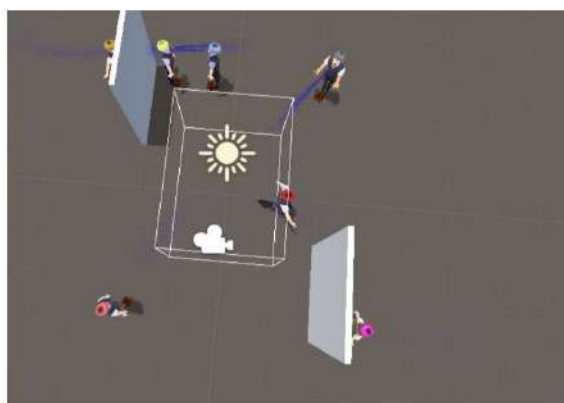


図 6 AR キャラクター達を俯瞰する



図 7 飛沫を吐く AR キャラクター

飛沫体験 AR システムにおいて 図 8 の左図のように、AR キャラクター達は口から飛沫を吐いている。しかしながら飛沫体験 AR システムで訓練する User には、図 8 の右図のように見えており、AR キャラクター達が吐く飛沫を陽に見ることができ無い。このように見え無い飛沫を常に意識しながら、それら飛沫を避けるべく、AR キャラクターとの接近を User は避けるように Social Distance を保とうとしながら行動する。

飛沫体験 AR システムによる 1 trial の訓練が終わった後で、図 8 の左図のように可視化される飛沫が記録されている動画を User が見直す事によって、AR キャラクターからの

飛沫を どの程度に浴びてしまっていたのかを User は確認する事ができる。



図 8 左図 飛沫を意図的に可視化 右図 訓練中の User に飛沫は見え無い

他者の口から吐かれる飛沫を避けているつもりになっていても、実際は飛沫を浴びてしまっている事に、飛沫体験 AR システムで訓練してみた筆者達は気が付いた。新型コロナウイルス COVID-19 に感染し無いよう Social Distance を保てるためには、各自が意識的に訓練する必要がある事を、飛沫体験 AR システムは教えてくれる。

5. 今後の計画

飛沫体験 AR システムを研究開発することで培われて行く 拡張現実 AR の技術を更に発展させつつある。簡便に AR キャラクターを制作できる利便性から、本報告では VRoidStudio を用いて 大量生産的に AR キャラクター達を制作した。しかしながら、AR キャラクター達が人間味のある雰囲気を持つように、Maya UI 化 Blender で AR キャラクターを制作し始めている。

図 4 のような現実の空間へ 図 6 のような VR 空間を合成するにあたり、VR 空間を制作したり AR 合成したりする ソフトウェアとして ゲーム エンジン Unity を使用している。Unity において実装する 質感 Material・照明 Lighting・陰影 Shading の表現の質を高めることによって、現実空間へ より自然に 違和感なく 合成できる複合現実 AR へ改良している所である。

6. 研究成果の発表

- 1) 「厚木市のマスコットキャラクター「あゆコロちゃん」の
アニメーションつき 3D モデルの制作」
殿谷遙・千田春奈・谷中一寿・服部元史
ゲーム学会 第 19 回 全国大会 講演論文集 pp. 29-32 (2021)
- 2) 「厚木市内でキャラクターの写真が撮れる AR アプリ」
千田春奈・殿谷遙・谷中一寿・服部元史
画像電子学会 第 295 回 研究会 セッション 1 3 件目 予稿集 (2021)

医用画像診断支援システムの高度化に関する研究

研究者名：電気電子情報工学科 武尾 英哉

1. 研究の目的

CT 等医療機器の高性能化によって 1 回の撮影で大量の医用画像が得られるようになった。また、長期的な放射線科医不足もあり、医師の読影の負担はますます増大している。そこで、AI 技術を利用したコンピュータによる画像診断支援システム (CAD: Computer Aided Diagnosis) の研究が盛んにされている。筆者も約 20 年間ほど CAD の研究と開発に取り組んできた。本研究のポイントは、これまで筆者が培ってきた乳がんや胸部 CT を対象としてきた CAD 技術を広く多くの部位へ展開し、CAD の適用領域の拡大と CAD の普及化を図ることが本研究の工学的 (学術的) な問いである。

これまで国内外の研究機関では、X 線画像や CT 画像を用いて、乳がん、肺がん、胃がん、肝臓がんなど一部の部位を対象とした CAD が開発されてきたが、これらは人体の疾病 (病変) の一部にすぎない。そこで、将来的には全身のあらゆる病変を対象とした CAD システムを開発するために、本研究では、以下の部位を対象とした CAD の適用領域の拡大を目的とする。

- (1) 乳がんを対象とした実症例を全く用いない人工石灰化画像による新しい CAD 開発手法の確立
- (2) 眼底画像を用いた眼科疾患への CAD の適用領域の拡大
- (3) 細胞顕微鏡画像への CAD の適用領域の拡大
- (4) CNN を用いた CAD 開発における高性能な学習法の提案 →今年度の研究課題 (A)
- (5) うつ病診断への CAD の適用領域の拡大 →今年度の研究課題 (B)
- (6) 大腸がん検出 CAD のための単純 CT 画像を用いた高精細な台帳領域の抽出 →今年度の研究課題 (C)

臨床的な知見の収集と臨床評価に関しては、(1) と (4) と (6) は新村病院、国際医療福祉大学病院及び (独) 国立がん研究センター東病院、(2) は佐伯眼科クリニック及び高橋眼科クリニック、(3) は本学のバイオメディカル研究センター (所長: 小池あゆみ先生)、(5) は本学の産業医でありかつ東京医科大学病院心療内科医の市来先生と連携を図った。

本研究の独自性・創造性は、一般的な AI 技術を単に利用しているのではなく、病気の種類や部位に応じた医学的・解剖学的な知識や特徴を捉えて AI の設計に生かしていることである。この AI の設計法 (特に、特徴量の開発) やアイデアは過去に例がなく独創的であると考える。

本年度は前記研究課題 (1) ~ (6) のうち、研究課題 (4) と (5) について研究を進めた。また、研究課題 (6) は本格的には次年度以降の主要な課題であるが、今年度プレスタディ (予備実験) を進め、良好な結果が得られた。そこで、本報告書では、この 3 件の研究内容の結果について報告する。

2. 研究の必要性及び従来の研究

これまで国内外の研究機関では、X 線画像や CT 画像を用いて、乳がん、肺がん、胃がん、肝臓がんなど一部の部位を対象とした CAD が開発されてきたが、これらは人体の疾病 (病変) の一部にすぎない。そこで、将来的には全身のあらゆる病変を対象とした CAD システムを開発する予定にある。

また、近年 CAD の研究分野にも CNN が積極的に用いられるようになった。一般的に、機械学習には様々なバリエーションを有する症例画像を網羅的に与えて学習することで、汎用的で高性能な判別器の設計を目指す。しかし、筆者らの研究によれば、学習データを複数のカテゴリーに分割するサブセットという概念を用いて学習と評価を繰り返しながら判別器を設計していく方法がより最適な CNN の設計法であることがわかった。この方法を確立できれば、ひとつの AI の開発手法の定石が完成することになる。

そこで、本研究では、上記の観点を鑑みて、下記の検討を目指して研究を進めた。

研究課題（A）CNN を用いた CAD 開発における最適学習法の提案

研究課題（B）精神疾患（うつ病診断）への CAD の適用領域の拡大

研究課題（C）単純 CT 画像を用いた高精細な台帳領域の抽出の開発

本研究の進め方の特徴は、これまで乳がんを中心に 20 年間以上研究を進めて築いてきた CAD の基盤技術を、広く他の疾患に展開するとともに、臨床の現場と連携を図りながら実用化（役に立つシステムの運用の実現）を目指していく点にある。

3. 期待される効果

本研究は、医療分野のある単一疾患にとどまらず、X 線や CT や MRI で撮影された医用画像による画像診断、さらには精神疾患（患者の診察の様子を動画で撮影）まで至っている。また、検診～診断、さらには治療や新薬研究（細胞画像解析）に至るまでの分野にわたっている。このように、CAD の応用領域の拡大化を図っており、医学・臨床（医療・治療）の発展に大きく寄与している。

また、本年度の研究の中心でもあるように、AI を使った（特に医用画像を対象とした CNN）効率的な開発手法が確立されれば、本分野の研究はさらに加速してくる。さらに、CAD を直接的な医用画像でなく、カメラ等で撮影した動画、さらには発話なども対象とすれば、さらに適用領域は広がると考えられる。研究課題（B）はそれを狙ったものである。

なお、本研究を進める上で、市場サイドの声を反映するために、より一層、臨床サイド（医療機関）との連携を強めた。本学に加え、新村病院（黒木放射線科医）、国際医療福祉大学病院（縄野放射線科医）、国立がん研究センター東病院病院（永井臨床放射線技師）と共同研究および共同開発を進めた。

4. 研究の経過及び結果・評価

本研究の特徴は、これまで各種疾患（がんなど）を対象に 20 年間以上研究を進めて築いてきた CAD 技術を、広く多部位に展開するとともに、臨床の現場と連携を図りながら実用化（役に立つシステムの開発）を目指していく点にある。そして、その研究成果は CARS2020 国際会議^{[1], [3], [4]}、IWBI2020 国際会議^[2]、日本医用画像工学会（JAMIT2020）国内学会^{[5], [7]}で発表した。さらに現在は、本研究成果をより発展させて、AI 技術によるさらなる高性能化の検討を行っており、その研究成果は 2021 年度中に海外を中心とする学会で発表する予定である（現在、CARS2021 国際会議および JAMIT 誌へ投稿中）。

【研究課題（A）】CNN を用いた CAD 開発における最適学習法の提案^{[1], [2]}

近年、CAD の研究分野にも CNN（畳み込みニューラルネットワーク）が積極的に用いられるようになった。一般的に、機械学習には様々なバリエーションを有する症例画像を網羅的に与えて学習することで、汎用的で高性能な検出器を設計する。しかし、CNN の学習データを構成する中で、データを一様に与えるのではなく、複数のサブセットに分け、その比率を調整することで効果的な学習ができる可能性が確認できた。本研究では、このサブセットを使用して CNN の学習を段階的に繰り返し行う学習法について提案する。

本研究では、肝腫瘍の学習データを腫瘍の大きさと濃淡をもとに個々のサブセットを作成し、学習した CNN を評価用として複数用意したデータセットを用いて最適比率を検討し、

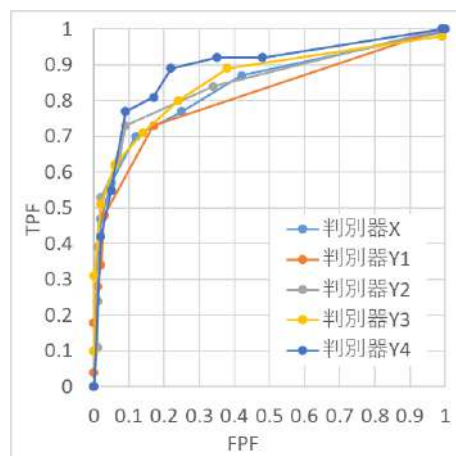


図1 段階的学習法による CAD の検出性能の向上

実際の未知データで性能評価を行う。そして、評価データで検出ミスの多かったサブセットの比率を上げて再学習を行う。これを AUC（図 1 に示す ROC カーブの下面積）の上昇が見られる間複数回繰り返す、性能の高い CNN を設計した。この CNN を未知データへ適用した結果、単純に網羅的に学習データを与えた CNN と比べて AUC が高いことがわかり、本学習法の有効性が確認できた。図 1 に示す通り、網羅的に収集した画像を全て使って設計した判別器 X よりも段階的に設計した判別器（Y1→Y2→Y3→Y4）の方が性能が向上する。

【研究課題（B）】精神疾患（うつ病診断）への CAD の適用領域の拡大^{[3], [6]}

我が国におけるうつ病患者は増加傾向にあるが、これは、受診者の増加が原因の一つとしてあげられる。この受診者の増加によって、過剰診断等の問題が増えており、より適切な診断が行われることが求められている。しかしながら、現在の診断は客観性のある指標を用いておらず、その診断の正確性が問われている。そこで我々はうつ病の客観的な診断のために、うつ病である確信度を算出し、医師の診断の参考にしてもらうシステムの開発を行った。うつ病である確信度を算出するシステムについて、図 2 に示す 2 段 stacking 構成で行った。これは、視線方向と表情に着目し、それぞれのデータを単体の判別器で学習させ、その 2 つのモデルの出力を組み合わせる。そして、それを入力として複数の判別器で学習を行い、逐次選択型という方法などでスコアの算出を行う方法である。さらに、より高い精度を目標として、この構成に対し、音声判別器の追加などの構成の最適化を行った。また、

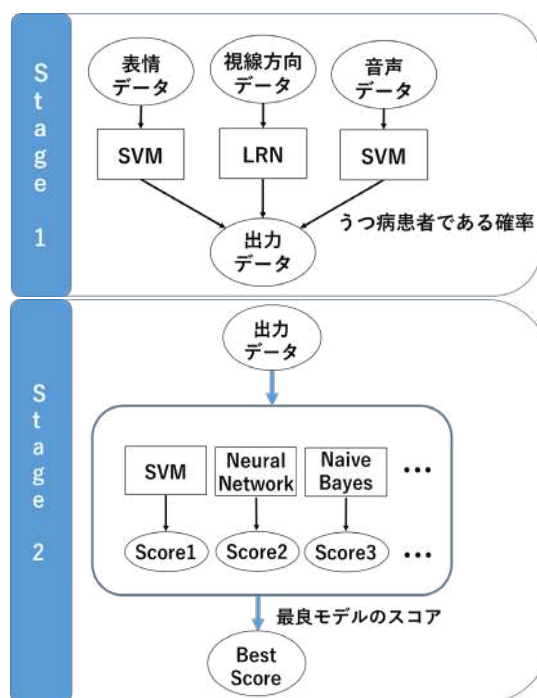


図2 2段スタッキングモデル

18 の特徴量選択手法を用いた特徴量選択や、特徴量の組み合わせの総当たりアルゴリズムを用いた最適モデルの抽出も行った。その結果、従来の判別精度である 83% より高い、男性と女性、男女混合のデータでそれぞれ 90%、95%、100% の判別精度を得ることができた。

さらに、患者の顔画像や音声情報に着目し、AI を用いてうつ病である確信度を算出することで客観的指標を提示し、医師の診断に役立ててもらうためのシステムを開発した。そのシステムを構成する音声判別器の開発を行った。患者の音声とうつ病者に見られる特徴から、全 42 個の特徴量を作成し SVM を用いて判別器の作成と評価を行ったところ、女性データに対しては約 90%の精度が得られたが、男性データに対しては 55%程度の精度であった。そこでこの特徴量を 18 の特徴量選択アルゴリズムとその組み合わせに手法により選別し、再度判別器の作成と評価を行ったところ、男性データでも約 90%の精度が得られた。表 1 には、提案するうつ病判定システムの判別精度結果を示す。音声と動画の両方の情報を組み合わせることで高性能な判定ができることがわかる。

表1 うつ病判定システムの判別精度の比較

音声			動画像			音声+動画像
男性のみ	女性のみ	全体	視線方向	表情	視線方向 + 表情	全体
68%	75%	72%	76%	76%	83%	88%

【研究課題（C）】単純 CT 画像を用いた高精細な台帳領域の抽出の開発^[7]

大腸は周辺臓器との分離の難しさから CT を用いての CAD 開発はあまり行われてこなかった。最近で

は、内視鏡検査の高精度化や CT コロノグラフィー検査の普及などから大腸がんの発見などに CAD の研究が行われている。しかし、内視鏡検査や CT コロノグラフィー検査は事前準備が必要であり、特に CT コロノグラフィーにおいては炭酸ガスの注入による大腸の拡張を行う点から一部の症例では大腸に負担がかかるため検査自体が行いにくいなどの問題もある。

本研究では、腹部検診時に撮影する単純腹部 CT 画像から高精細に大腸領域を検出する手法についての研究・開発を行った。これにより、大腸に負担を与える CT コロノグラフィー検査などを行わずに CAD 開発に用いる画像の取得が行える。本手法での検出結果と手動での検出結果の一致率は 71%となり、本手法での検出性能が確認できた。図 3 には、検出結果の一例を手動の場合と比較してします。

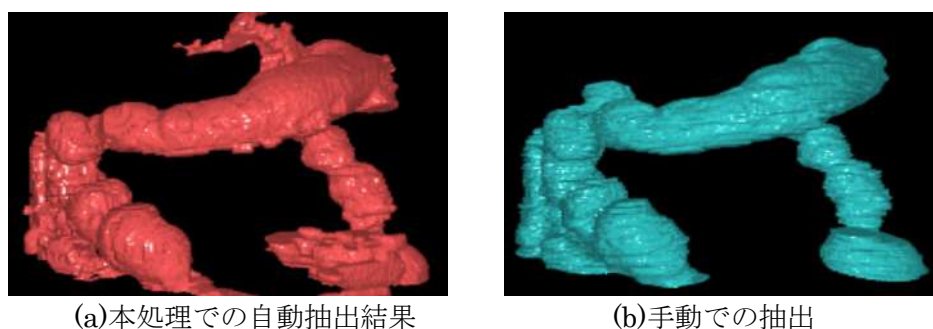


図 3 大腸領域検出結果

5. 今後の計画

本研究成果で得た CAD 技術を発展させて、今後も多部位・多疾患展開（最終的には全身 CAD の開発を夢見ている）、を進め、CAD システムの普及に貢献したい。また、本技術を HEMS やホームヘルスケア分野にも応用していきたい。

6. 研究成果の発表

- [1] Proposal for an incremental learning method for CNN-based hepatic tumor CAD development, Computer Assisted Radiology and Surgery 34th International Congress and Exhibition, CARS2020, pp. S202-S203, 2020 June, Munich, Kazuya Abe, Hideya Takeo, Yuichi Nagai, Shige Nawano
- [2] Proposal for an incremental learning method for CNN-based breast cancer tumor detection CAD development, " Proc. SPIE 11513, 15th International Workshop on Breast Imaging (IWBI2020), 115131U (22 May 2020); doi: 10.1117/12.2552448, K. Abe, H. Takeo, Y. Nagai, S. Nawano
- [3] Developing High Performance CAD for Depression by Integrating Multiple Classifier Systems, Computer Assisted Radiology and Surgery 34th International Congress and Exhibition, CARS2020, pp. S204-S205, 2020 June, Munich, Yuta Maki, Syota Wada, Kazuya Abe, Hideya Takeo, Yuichi Nagai
- [4] Developing High Performance CAD for Depression by Employing Image and Voice Information, Computer Assisted Radiology and Surgery 34th International Congress and Exhibition, CARS2020, pp. S203-S204, 2020 June, Munich, Syota Wada, Yuta Maki, Kazuya Abe, Hideya Takeo, Yuichi Nagai
- [5] 特徴量選択手法およびシステム構成の最適化によるうつ病 CAD の高性能化, 第 39 回日本医用画像工学会大会 (JAMIT2020), P1-2, Sep. 2020, 牧優太, 和田昇太, 安倍和弥, 武尾英哉, 永井優一
- [6] 画像と音声情報を用いたうつ病 CAD の高性能化, 第 39 回日本医用画像工学会大会 (JAMIT2020), P1-3, Sep. 2020, 和田昇太, 牧優太, 安倍和弥, 武尾英哉, 永井優一
- [7] 単純腹部 CT 画像からの高精細な大腸領域検出法の検討, 第 39 回日本医用画像工学会大会 (JAMIT2020), P1-18, Sep. 2020, 安倍和弥, 武尾英哉, 永井優一, 縄野繁

測距・測位不要な信号源同士の近接関係推定による信号源クラスタリング

研究者名：情報工学科 川喜田佑介・田中博

1. 研究の目的

本研究では、測距・測位不要な信号源同士の近接関係推定を行うことで、信号源のクラスタリング結果の時間推移を得、各々のクラスタのアノテーションを活用する近接性アプリケーションの創出を目的としている。半導体技術の進歩による低消費電力化、バッテリーの小型軽量化により BLE タグなどの無線タグが市販されている。無線タグの用途として位置推定は関心が高く、多くの位置推定手法が提案されているが、既存の位置推定手法はあらかじめ位置のわかっているノードを配置するなど事前の準備が必要とすることが普及の妨げとなってきた。

著者らは、設置済みあるいは各ユーザが携帯する信号源をクラスタリングし、そのクラスタリングの変化をアノテーションできれば、新たな近接性アプリケーションが創出できるのではと考えた。ここで、意味のあるクラスタとは、「ユーザ A が携帯する信号源群のクラスタ」のようにアノテーションが可能なクラスタを指している。著者らは、そのようなアプリケーションを対象として、測距・測位不要の信号源近接性推定技術を提案している。提案手法（図 1）では、受信電力強度（RSSI）の時系列データを特徴量とし、それぞれの系列間の類似度を距離関数で表し、階層的クラスタリングすることで近接関係を定量的に示すコーフェン行列とデンドログラムを得る。コーフェン行列から任意の信号源同士の近接性を定量的に表すことができる。

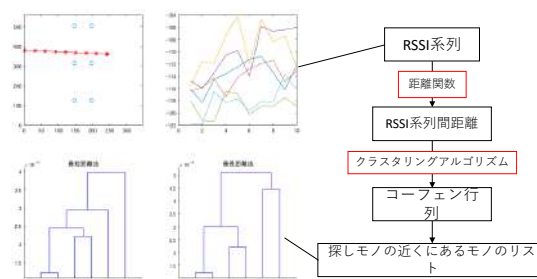


図 1 RSSI 特徴量を用いる近接関係推定

提案法を含めた従来法は、時系列クラスタリングと呼ばれ、対象とするデータセットの全区間で 1 つのクラスタリング結果を出力する。本研究では、対象とするデータセットから顕著なクラスタリング結果をいくつか出力し、その推移を得ようとするものであり、これまでは無かった新たな価値を創造することを目指している。

2. 研究の必要性および従来の研究

一般的に、時系列クラスタリングでは、距離関数はユークリッド距離が、クラスタリングには、モデルベース、特徴ベース、形状ベースなどがあり時系列データでは動的時間伸縮法 (Dynamic Time Warping : DTW) がよく使われている。提案手法では、近接関係を定量的に示すコーフェン行列を得、このコーフェン行列から任意の信号源同士の近接関係を定量的に表すことができる。また、これまで、近接関係の観点で階層的クラスタリングの結果を評価する手法は存在しなかった。そこで、距離関数とクラスタリングアルゴリズムの組み合わせによるクラスタリング結果を評価する基準として、最近傍候補数を提案した。この基準を用いることで、距離関数とクラスタリングアルゴリズムの組み合わせを網羅的に評価でき、対象とするシステムにとって適切であることを評価できる。また、ユークリッド距離や DTW などの距離関数は時系列データ分析で一般的に使われているが、ノイズに弱いという欠点がある。これに対し、ノイズ耐性のある離散フーリエ変換を用いた距離関数が提案されている。この離散フーリエ変換を用いた距離関数は距離を推定する位置推定手法で使われているが、近接関係の推定にも有効であるかは検討されていなかった。そこで、電波伝搬環境の影響を受けやすい RSSI 時系列データから発信源の近接関係を推定する問題に対し、離散フーリエ変換を用いた距離関数の適用し、その効果を定量的に評価した。その結果、離散フーリエ変換を用いた距離関数は、一般的に用いられている距離関数と比較し最大約 7dB の RSSI 変動への耐性がある、最大約 20%精度が向上することが明らかになった。また、ノイズの影響が強く出る高周波成分をカットすることでより高い推定精度が得られることを確認している。

ここまで述べた提案法を含めた従来法では、対象とするデータセットの全区間で1つのクラスタリング結果を得るのに対し、クラスタリング結果の時間的な推移を得る点が本研究の独自性であると考えられる。また、一部のデータをアノテーションすることで多量の教師なしデータから学習する半教師あり学習の対象として、信号源のクラスタリング結果は今まで検討されてこなかったと考えられる。

各々のクラスタのアノテーションを活用する近接性アプリケーションにおいて、要素クラスタの顕著な変更、任意の信号源のクラスタへの統合や分離を用いて、ユーザの同行者数や忘れ物の検知を行うことができるものと考えられる。定置型のビーコンと可搬型のビーコン・デバイス群をアノテーションすることで、測距・測位システムのアンカーノードの選定にも利用可能であると考えられる。

3. 期待される効果

これまで当該分野の研究は主に測距・測位の精度の向上を目指して行われ、測距・測位不要で直接近接関係を推定する研究は、提案以外手付かずのままであると考えられる。高精度の測距を実現している研究事例あるものの、その多くは事前の準備が必要である。また、信号源と観測点の測距や近接性を推定するのみで、任意の信号源同士の近接関係を推定する

ものは著者の研究以外に事例がない。スマートフォンなどで BLE デバイスを対象とする測距は、RSSI を計測することで信号源からの大まかな距離を推定しており、精度は 3~5 メートル程度と言われる。例えば、iBeacon の近接検知では、Immediate、Near、Far の 3 段階を提示するのみである。到来方向検知を組み合わせることセンチメートルオーダーを実現することは可能であるが、受信設備が高価になる。いずれの手法でも、あらかじめ位置のわかっているノード（アンカノード）や観測点の設置が事前に必要となる。近接性の推定を目的とするコンシューマ向け製品では、事前にこれらの準備をすることが難しい。

一方、時系列クラスタリングの分野では、次元削減、系列間の類似性測定、クラスタリングアルゴリズム、クラスタプロトタイプの 4 つが主要な研究課題とされている（S. Aghabozorgi, et al., "Time-series clustering - A decade review," Information Systems 2015）。これらの研究の目的は、対象とするデータセットの全区間で 1 つのクラスタリング結果を得ようとするものである。本研究では、対象とするデータセットから顕著なクラスタリング結果の推移を得ようとするものであり、これまでには無かった新たな価値を創造することを目指している。

4. 研究の経過及び結果・評価

（1） 部分時系列クラスタリングの検討

部分時系列クラスタリングについての既存研究の調査を行った結果、滑走窓方式の k 平均部分時系列クラスタリングがパターン抽出手法としては無意味である旨の報告があり、本研究課題においても同様の結論となるかさらに検討する必要性を認めた。

（2） 信号源の多様化の検討

当初の計画では、設置済みあるいは各ユーザが携帯する信号源をクラスタリング対象としていたが、これに加えてアラーム音などの室内音源を信号源として利用することを検討した。これにより、BLE タグが十分普及するのを待たず近接性アプリケーションを活用することを目指す。BLE タグなどの特定が容易な信号源と同等に室内音源を使用するためには、音源の特定に至る前処理やその判別が課題となる。そこで、室内音源識別のための前処理としての雑音除去性能の比較実験を行った。正規化した 2 次元相互相関を用いて求めた雑音重畳音源と各種雑音除去音源の原音源に対する類似度から、雑音除去効果の改善値を求めた。この成果を電子情報通信学会ソサイエティ大会および総合大会で発表した。

本研究と並行して、構造物の構造特性把握、健全性診断のためのケーブル敷設や電力供給などの負担を解消するセンサ信号の高速かつ多チャネル受信をバッテリーレスで可能とするマルチプル・サブキャリア・マルチプル・アクセス（MSMA）の研究開発を進めている。この研究では、バッテリーレスの無線端末によるセンサ信号のストリーミングを検討している。この無線システムが実現すると、多数のセンサ端末を構造物に植え込むことが可能となり信号源として有望であるため、先に述べた、アラーム音などの室内音源に加え信号源として検討した。構造物の振動を信号源として解析する手法に MSMA によるセンサを適用するための

初期的な検討として、市中で入手可能なセンサデバイスを用いて、データ取得の方法による解析結果比較やそれらから構造特性のモデルとなる伝達関数を求め、この結果を電子情報通信学会総合大会で発表した。

(3) データの前処理の検討

本研究で対象とした RSSI 時系列データは、受信機の特性から非線形となる領域や、測定が不可能となり欠損値となる領域があると考えられる。欠損値を補間する手法をオープンデータを対象に適用し、その効果を確認した。この結果は、電子情報通信学会センサネットワークとモバイルインテリジェンス研究会で発表した。

5. 今後の計画

対象とする信号源については、市場の動向を注視して検討をすすめる。期待されていないが、なかなか普及しない BLE タグについて、Apple Airtag を候補として検討する。AirTag は、所有者のスマートフォンだけではなく他の iOS デバイスが協調してセンシングを行うことでユーザの利便性が向上し爆発的に普及する可能性があるが、Apple のプラットフォームに閉じているため、RSSI 時系列データのような生のデータを入手することができるか不明な点も多い。これを信号源の候補とできるか引き続き検討する。時系列クラスタリングそのもののコア技術については、否定的な既存の報告があり新規性を見出すことが困難であっても、アノテーション等を行ってシーン推定など新たなアプリケーションの創出についても引き続き検討する。

6. 研究成果の発表

- (1) 村上史尚, 佐野将太, 川喜田佑介, 田中博, “室内音源識別のための前処理としての雑音除去性能の比較実験,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-15-30, p.200, September 2020.
- (2) 齋藤諄也, 田中博, 川喜田佑介, “[ポスター講演] 無線信号源の近接関係推定における欠損値補間の一検討,” 電子情報通信学会技術報告 (SeMI) , vol. 120, no. 261, SeMI2020-27, pp. 49-50, November, 2020.
- (3) 折山翔太, 川喜田佑介, 田中博, 三次仁, “IoT 加速度センサを用いたハンマリングによる振動特性測定実験,” 電子情報通信学会総合大会 ISS ポスターセッション, ISS-P-019, p.95 March 2021.
- (4) 村上史尚, 佐野将太, 黒岩大雅, 川喜田佑介, 宮崎剛, 田中博, “スペクトログラムの類似度比較による雑音除去効果の評価手法の検討,” 電子情報通信学会総合大会, B-15-17, p.432, March 2021.

センシング技術を活用した調理による食品栄養成分変化の 予測法の開発

研究者名：管理栄養学科 大澤絢子

1. 研究の目的

人々の健康の維持増進において食事から摂取する栄養成分は重要な働きを担っており、食物に含まれる様々な栄養成分は、バランスよく、適量で摂取することが望ましい。

学校、各種医療機関、高齢者福祉施設、事業所などで実施される『給食』は、特定かつ多数の者に対して継続的に食事を提供できる効率的な栄養管理システムである。現在、給食の予定給与栄養量は、多くの場合、日本食品成分表（文部科学省）に掲載されている食材（生）の栄養素量を参考に算出している。しかし、食材を料理として経口摂取するまでには様々な調理加工工程が必要であり、これまでの研究により、各調理技法（煮る、焼く、蒸す等）や栄養成分・機能性成分の種類によって化学構造の変化の様子や損失率に違いがあることは明らかとなっている。そこで本研究では、『特定給食施設で行われる 100 食以上の食事の大量生産において、同じ食材を使用して調理した際に、調理規模（食数）や調理条件により栄養成分組成にどのような変化が生じるか』を科学的に明らかにしたい。

2. 研究の必要性及び従来の研究

給食は、喫食者が適切に栄養を摂取できるように設計されているが、より正確な栄養コントロールが必要となる疾患患者（重度の生活習慣病患者、腎臓病患者など）やアスリートなどの栄養管理を行う際には、計算により算出した摂取栄養量と実摂取量の誤差が大きくならないよう、様々な配慮が必要となる。しかしながら、栄養士・管理栄養士に求められる役割は日々増大しており、労働人口の減少が著しい現代において個別の配慮には限界がある。そのため、より正確かつ効率的で持続可能な栄養管理システムを再構築することは急務である。

従来の研究では、各調理技法（煮る、焼く、蒸すなど）による栄養成分の化学構造の変化や損失率については検討されているが、いずれも少量で調理して検討したものが多。しかしながら、給食のように一度に大量生産する場合や、中食・外食産業のように調理後に長時間保管している場合、その状況や食数に応じて加熱時間や酸性調味料への浸漬時間等が異なり、計算による予測値よりも大きく栄養成分が損失する可能性が考えられる。

3. 期待される効果

本研究により、様々な調理状況と時間における各種栄養成分の変化の指標を見出すことができれば、各施設の状況に応じた栄養素量の変化を予測することができ、管理栄養士が、献立作成時により実際の給与栄養素量に近似した値を予測できるようになると期待している。

また、うま味成分や香り成分は、塩味や甘味の閾値との関連も深く重要であり、調理加工時間と食品中のこれら成分の変化の相関性を明らかにすることができれば、より少量の食塩や砂糖で、よりおいしい食事を生産する技術が確立され、人々の健康の維持増進に大きく貢献すると考えている。

4. 研究の経過及び結果・評価

本研究は3年間の計画で実施しており、2018年度および2019年度の研究では、同一の食材、火力、加熱条件（水温20℃で加熱開始、85℃以上、5分で加熱終了）を用いて、野菜スープ（食塩濃度0.6%）を50人分、100人分、200人分の3種作成し、含有ビタミンC量と遊離アミノ酸量に関する比較検討を行った結果、下記の事項が明らかとなっていた。

試料食材：にんじん（千切り）・キャベツ・玉ねぎ（2018年度）

にんじん（いちょう切り）・大根・蓮根・牛蒡（2019年度）

- ① 調理規模に関係なく水温50±10℃で各食材から栄養成分が溶出されはじめ、加熱時間が長い試料（＝調理規模が大きい）ほど食塩水に溶出した栄養成分が多かった。
- ② エステル化度が高いペクチンの含有量が多い野菜ほど低水温・短時間加熱で栄養成分が溶出された。食材の繊維組織を切断する切裁方法の方が溶出開始は早かった（いちょう切り>千切り）。
- ③ スープ全体（液体試料＋食材試料）に含有されるビタミンCの残存率は、調理規模が大きい試料の方が低く、全体推移としては60℃到達後10分で減少傾向を示した。
- ④ スープの液体試料の抗酸化活性（DPPHラジカル消去活性）は、100人分と200人分ではビタミンC含有量が異なるにも関わらず、同程度の活性強度を示した。定量分析の結果、緩慢加熱となる200人分の方が100人分よりも酸化型ビタミンCの割合が多く、活性源である還元型ビタミンCの含有量は調理終了時点では同程度であった。
- ⑤ 野菜スープの液体試料に含まれる遊離アミノ酸の組成を比較検討した結果、50人分と100人分は組成も含有量も異なるのに対して、100人分と200人分はほぼ同一の組成であることが明らかとなった。85℃以上、5分を加熱終了条件として野菜スープを作成すると、100人分と200人分では調理規模が異なっても同じ味のス

ープになる可能性が示唆された。

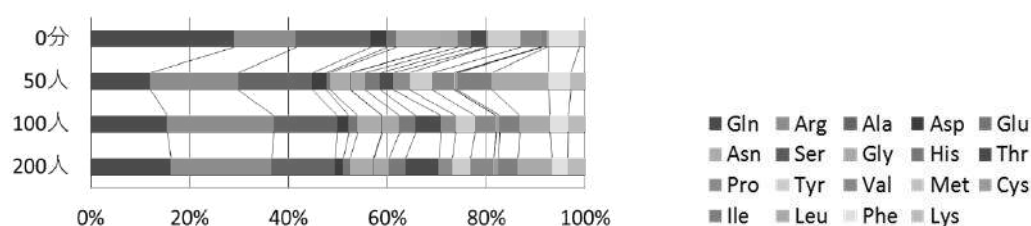


図 1：野菜スープ（にんじん・キャベツ・玉ねぎ混合）の
遊離アミノ酸組成の調理規模による違い

以上の結果を踏まえ、本年度の研究計画を提出した時点（2020 年 1 月）では、下記 2 点の研究に取り組む予定であった。

- ① 比較的熱耐性の高い栄養成分（脂溶性ビタミンなど）やポリフェノールなどについて試料調整条件との相関性を検討し、ビタミン C や遊離アミノ酸との変化傾向の相違を検討する。
- ② これまでの研究では同一火力で比較していたが、異なる加熱条件を用いた際に各試料の変化の傾向がどのように変動するかを明らかにし、上記研究成果①～⑤との相違を検討する。

しかしながら、コロナ禍による入構制限等の影響で 2020 年度は学内で実験に取り組める時間が少なかったため、上記を断念し、下記 2 つの研究に取り組んだため、これを報告する。

- ① 生産規模及び加熱条件が野菜スープの甘味とスクロース含有量に与える影響
熱耐性の強い栄養成分である糖（スクロース）を指標とし、塩分濃度 0.5% の鶏だしスープ 120 g（食塩 0.6 g、鶏だし 84 mg、水 120 g）と野菜 30 g（キャベツ、人参、たまねぎ各 10 g）を 1 食分として、100 食分で生産した野菜スープ（試料 S）、試料 S と水温上昇直線を統一した 10 食分の野菜スープ（試料 A）、試料 A の 2.5 倍の火力で調理した 10 食分のスープ（試料 B）を作成し、生産規模と加熱条件が野菜スープの甘味とスクロース含有量に与える影響について検討した。

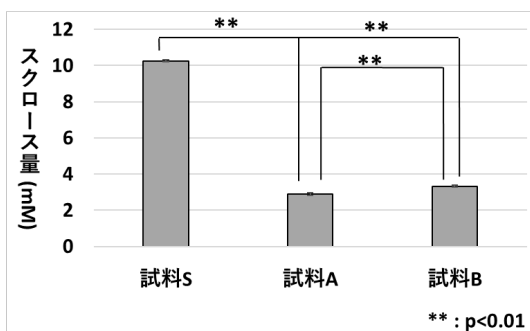


図 2：野菜スープに含有されるスクロース量

その結果、各野菜スープに含有されるスクロース量は図 2 の通りとなり、各試

料のスクロース濃度からの予測では、試料 S は試料 A・B と比べて甘く感じられる可能性があった。しかし②で述べる官能評価の結果では、試料 S と試料 A・B 間で甘味の強さに有意な差は認められなかった。理由としては、野菜からでる苦味や香気成分により甘味が抑制された、もしくは、スクロース以外の糖や甘味成分などが影響した可能性を考えている。

② 生産規模及び加熱条件が野菜スープの味と喫食者の嗜好に与える影響

上記のような食材溶出成分の違いが実際にどの程度味質に影響するのかを官能評価で検討した。具体的には、100 食分で生産した野菜スープ（試料 S）、試料 S の 10 分の 1 量で生産した野菜スープ（試料 A）、試料 A の 2.5 倍の火力で生産した野菜スープ（試料 B）の 3 種類を用いて官能評価を行い、生産規模及び加熱条件の違いが料理の味や喫食者の嗜好に与える影響を検討した。

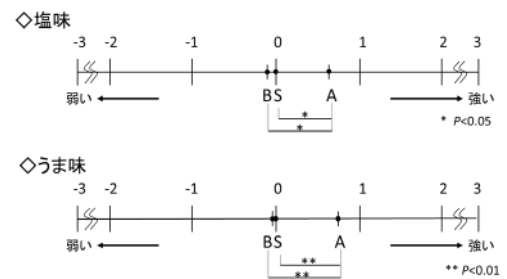


図 3：塩味およびうま味の官能評価結果

塩味の強さは、少量で大量調理と同様の緩慢加熱を行った試料 Aの方が、試料 S、B よりも有意に強く感じられるという結果となった($p < 0.05$)。また、うま味については、塩味と同じく試料 Aの方が S および B よりも有意に強く感じられた ($p < 0.01$)。試料 A は試料 S、B よりも塩味を強く感じられるため、塩味によるうま味の対比効果により、うま味を強く感じたのではないかと考えている。野菜の風味、味の好ましさについては、いずれの試料間においても有意な差は認められなかった。

5. 今後の計画

研究計画としては本年度が最終年度となるが、今年度断念した熱耐性の高い栄養成分が大量調理でどのように変化するかと、異なる加熱条件を用いた際に各試料の変化の傾向がどのように変動するか、の 2 点については継続して検討していきたいと考えている。

6. 研究成果の発表

これまでの研究成果をまとめ、日本給食経営管理学会に論文として登校したいと考えている。

ノンターゲットケミカルセンシングに基づく発酵食品製造過程の最適化評価

飯島陽子：管理栄養学科（次世代センシング研究所第一研究室）

1. 研究の目的

発酵食品は、食品のみならず、飲料、調味料などで幅広く食されている。発酵食品は、食材、微生物、発酵条件など様々なパラメーターが存在しており、大手食品メーカーでは、これら全てが管理された状況で生産されている。一方、このような発酵食品では、“地場もの”と呼ばれる全国の小規模企業がそれぞれ風味を特化させたものも多く、また近年のインターネット販売の拡大によって、このような“個性”を生かした製品の人気が高まっている。しかしながら、このような製造業者は、製造者の勘や伝統によるものであり、嗜好性における確固としたパラメーターが確立されていないのが現状である。そこで本研究では、申請者らが確立している網羅性を高めた成分分析と官能評価分析を統合解析し、発酵食品の美味しさに関与する成分をスクリーニングし、製造最適条件の確立、評価を行うことを目的とする。

2. 研究の必要性及び従来の研究

食品分野において、「食のおいしさ」の解明は、重要かつ困難なテーマの一つである。そのためには、各食品のおいしさを構成する特性の理解が必要である。従来の研究方法は、特定の既知の風味成分（グルタミン酸、5'-イノシン酸など）のみに着目し、議論したものが多く、それ以外の成分については余り触れてこない評価であった。また、食品の多くは、味成分と香り成分の相互作用によっておいしさが決定づけられるものであるが、これまでの研究では、味成分と香り成分を単独で解析したものがほとんどである。本研究では、我々が構築した既知の味成分、香り成分および未同定成分を全て含んだノンターゲットに成分分析を行い、様々な成分組成と官能評価によって統合解析し、官能評価用語との相関性により、新規の成分を含めた風味成分の特定、その構成との関係を調べようとするものである。

3. 期待される効果

本研究では、代表的な発酵調味料として味噌をサンプルとする。様々な製造状態（メーカーの違い、熟成の違いなど）における風味特性を網羅的成分分析と官能評価によって調べる。本手法によって、これまでにない風味成分のスクリーニングが可能となり、これらに焦点を絞れば、発酵食品の製造における最適指標を導くことが可能となる。

4. 研究の経過及び結果・評価

(1) 味噌の熟成における不揮発性マーカー成分

昨年度の本研究において、水溶性成分の網羅的分析の結果、いくつかのマーカー成分を同定した。特に Glutamic acid を初めとするアミノ酸類が増加したが、これは麴のたんぱく質分解によるものと考えられた。また、麴由来と思われる Maltose や Melibiose などのオリゴ糖の増加も大きかった。一方、大豆オリゴ糖である Sucrose や Raffinose、Stachyose は経時的に減少していた。この結果から熟成によりオリゴ糖類が分解し、より低分子の糖が増加することがわかった。

また、LC-MS によっても網羅的分析を行い、熟成による変化を確認したところ、イソフラボノイドは熟成のよってあまり変化が見られなかったが、それ以外の大豆由来と思われる二次代謝物の分解、増加がみられた。

(2) 味噌の熟成における揮発性マーカー成分

昨年度において、味噌の熟成に伴う香気成分変動を確認したので、これらの成分を同定するとともに、その定量を行った。さらに、その量が閾値と比べて官能的に意味があるものとならないものに分類した。また、市販の味噌（27 種）についても網羅的香気分析を行い、熟成によって変動した成分の量的比較も行った。味噌の種類による香気組成の違いは味噌の明度（L 値）との関係が大きく、香気成分組成から明度を予測できることが示された。その中には熟成によって増加現象する成分も含まれており、味噌の熟成を特定の香気成分から予測できる可能性が示された。

5. 今後の計画

2020 年度は 3 年計画の最後の年であったが、新型コロナウイルスの流行により十分に研究活動を行うことができなかった。揮発性成分、不揮発性成分ともに味噌の熟成マーカー候補となる成分が見いだされてきたので、今後官能評価データの関連から、味噌の風味予測の構築を行っていく予定である。

6. 研究成果の発表

学術論文：1 報

学会発表：0 回

著書（総説）：1 報