

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 13 卷

2019 年度

目次

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

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

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 斎藤貴

電力見える化から広がる消費電力予測と家電制御の研究

ホームエレクトロニクス開発学科 杉村博

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

深層学習を利用した IMU によるポジショントラッキング精度の向上

情報メディア学科 安本匡佑

IoT と AI 技術を活用する EdTech 開発

情報工学科 松本一教

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

研究者名：所属学科 飯島陽子：栄養生命科学科（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) 味噌の熟成による水溶性成分組成の変化

味噌の水溶性成分組成については、産地よりも熟成期間における変化が大きいことが前年度の本研究成果から分かり、熟成においてたんぱく質やでんぷんなどが酵素分解作用を受けて加水分解され、味噌の複雑な味を作り出していることが予想された。そこで本研究では、同一麹および大豆を用いて、味噌の製造においてどのような水溶性成分が熟成によって変動するのかを網羅的に調べ、その特性を調べた。

同一製造者において市販品(白味噌、中味噌、赤味噌)及び白味噌と同じ配合のものを、調製後一定条件で 0 日から 77 日まで経時的にサンプリングを行ったものを試料とした。味噌の GC-MS 分析により、仕込み直後の味噌と熟成 77 日後の味噌では麹由来の水溶性成分が多く含まれており、クロマトグラムの組成が大きく異なることがわかった。また、主成分分析(Scaling:Pareto)結果では、水溶性成分が熟成に従って経時的に増加することがわかった(図 1)。

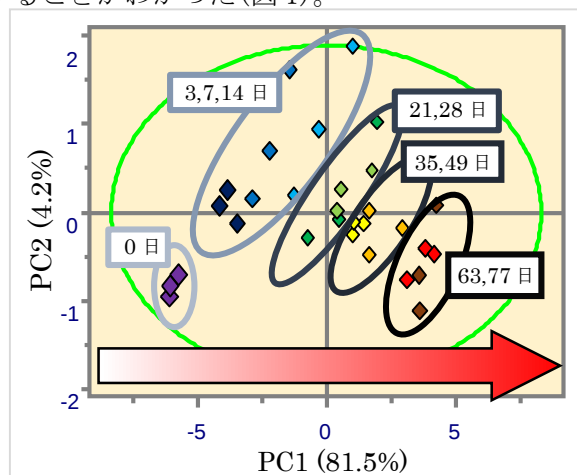


図 1 味噌の熟成による主成分分析結果

特に Glutamic acid を始めとするアミノ酸類、Maltose や Melibiose などの糖類の増加が大きく、味噌の熟成に従い麹菌によるたんぱく質・でんぷんの分解が進むと考えられる。一方、Sucrose や Raffinose、Stachyose は経時的に減少していた。これらの糖類は熟成に従って分解されるため、減少することが考えられた。市販品の味噌を比較すると、アミノ酸類・糖類どちらも長期熟成味噌で大幅に減少することがわかった。熟成によりこれら水溶性成分は経時的に増加するが、過度な熟成では減少する可能性が考えられた。

(2) 味噌の熟成による香気成分組成の変化

味噌のおいしさは、麹による発酵・熟成中に生成される多数の香味成分が複雑な特

有の風味を醸し出すことにより生じる。そこで味噌の熟成期間の違いによる香気成分組成の変化について調べることを目的とした。

サンプルは（１）と同等とした。SA-SBSE 法により味噌の香気成分を抽出し、分析を行った。また、熟成前後で味噌の香りに違いがあるかどうかを知るため、２種類の試料（調製後３日と 77 日）を用い、２点比較法によって香り、味、好みを評価項目にし、計 3 回官能評価を行った（パネル 12 名）。

香気成分データについて主成分分析を行った結果、熟成が進むにつれて、香気成分組成が大きく変化していた。ローディングプロットにより、熟成によって減少する成分よりも増加する成分の方が多いことがわかった。特に isoamyl acetate や 2-ethoxyethyl acetate、4-ethylphenyl acetate、2-phenylethyl acetate などのエステル類が増加していたことから、耐塩性酵母などの微生物の作用によりアセチル化が進んでいると考えられた。また、味噌の特徴香気成分と知られる 2-ethyl-4-hydroxy-5-

methyl-3(2H)-furanone や methionol などが熟成が進むにつれて増加していた（図 2）。

官能評価の結果では、77 日熟成の方が 3 日熟成に比べ、有意に「味噌らしい風味」が感じられた。また、味では「酸味」・「甘味」において 3 日熟成の方が 77 日熟成に比べ、有意に強く感じられた。よって、熟成によって起こる香気成分の変化が味噌らしい風味に影響を与えることがわかった。

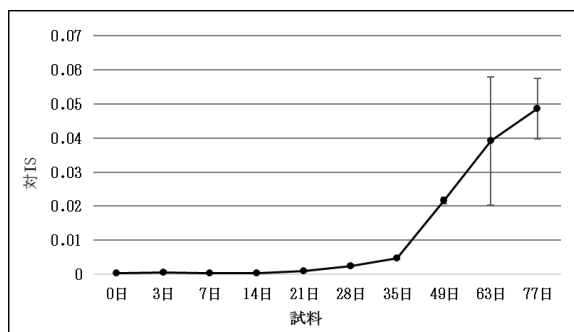


図 2 熟成が進むにつれて増加した成分(2-ethyl-4-hydroxy-5-methyl-3(2H)-furanone)

5. 今後の計画

①官能評価データの取得および成分データとの統合解析

今年度は 3 年計画であった本研究の最終年度であるので、主に官能評価データの取得を行う。すでに言葉だしは終わっており、確実にデータが取得できる予定である。さらに、すでに取得済みの成分データとの統合解析により、どのような風味特性にどのような成分が関与するかを特定し、品質指標マーカーとして活用できるか調べる。

②味噌の細菌叢と風味成分生成の関係

味噌の風味には使用する麴の種類の影響が大きい。そこで、味噌のメタゲノム解析を行い、細菌叢と成分生成の関係について探りたいと考えている。

6. 研究成果の発表

国内発表：1 件

国際発表：2 件

国内シンポジウム（招待講演）：2 件

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

本課題では、様々なセンシング技術の活用により、1) 生産規模が食品中の栄養成分に与える影響の検討、2) 調理・保管に要する時間が食品中の栄養成分に与える影響の検討、の2つの研究を行う。調理加工工程により生じる食品中の各種栄養成分の変化をより詳細に明らかにすることにより、同一、同比率の食材料を用いて調理した場合、生産規模や調理法の相違が、料理の各種栄養成分、抗酸化活性強度の差にどのように影響を与えるかを検討して変化の指標となる傾向を見出し、従来よりも迅速かつ正確に食材・料理中の栄養成分量を算出するための手法を開発することを目的として行っている。

本研究を行うことにより、調理の規模や所要時間と食材中の栄養成分の相関関係を見出すことができれば、給食・中食・外食などで生産される食事に含有される栄養成分量をより迅速かつ正確に定める技術の確立につながると考えている。

2. 研究の必要性及び従来の研究

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。また、より正確な栄養コントロールが必要となる疾患患者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。一方で、栄養士・管理栄養士に求められる役割も日々増大しており、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と考えている。

現在、給食や中食・外食産業で用いられている栄養成分表示は、多くの場合、日本食品成分表の食材（生）の栄養素量を参考に算出されているが、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る。従来の研究により、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が、これらの先行研究は少量の食材で調理して分析・検討している場合が多く、少量調理よりも調理時間や加熱時間が長い大量生産時にどのような変化が生じているかは不明である。

3. 期待される効果

食材（生）を料理して経口摂取するまでには様々な調理加工工程を経る必要があり、加工によって食材中の各種栄養成分に化学構造の変化や損失が生じる可能性があるが、前述したように従来の研究では少量で試料を作成し、検討していることが多い。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。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、献立作成時に各施設・状況に応じてより実際の摂取量に近似した栄養素量を予測できるようになると期待している。

また、調理加工に要する時間が異なれば、呈味成分や香り成分の量や組成が異なる可能性も高い。特に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関係を明らかにすることができれば、少量の食塩や砂糖で、おいしい食事を生産する技術が確立されることが期待できる。

これらの技術は、より適切な栄養量で、よりおいしく食事を生産する技術の確立へとつながり、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

本研究課題では、主に2つの研究を並行して行っている。

〔研究1〕生産規模が食品中の栄養成分に与える影響に関する検討

まず、研究着手初年度である昨年度の研究では、異なる調理規模（50人分、100人分、200人分）で「にんじん（根菜）」「キャベツ（葉菜）」「玉ねぎ（香味野菜）」の煮炊き調理を行い、料理に含有される栄養成分の相違点を初めて比較し、スープに溶出されたアミノ酸の組成が50人分と100人以上で異なる傾向を示し、特定給食施設で行われる100人以上の大量調理では、同一のレシピでも小規模な給食とは旨味傾向が異なるスープとなることが示唆された。また、スープ自体の抗酸化活性も異なることが明らかとなった。この結果を考慮して、2019年度の研究では異なる食材で同一の実験を行い、同様の傾向が観察されるかを検討した。すなわち、根菜であるにんじん、大根、れんこん、ごぼうを試料として同様の研究を行った結果、下記を初めて明らかにすることができた。

- ① 調理規模に関係なく水温 $50 \pm 10^{\circ}\text{C}$ 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（いちよう切り＞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°C 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。

[研究2] 調理・保管に要する時間が食品中の栄養成分に与える影響に関する検討

初年度(2018年度)の研究では、20種類の野菜を用いて、食材の皮むき・切裁後から加熱調理までの時間が長くなることによる含有栄養素量の変化を検討し、切さい後24時間の保冷中に総ビタミンC量と抗酸化活性強度が①増加する野菜、②変化しない野菜、③減少する野菜、④増加後に減少する野菜を明らかとした。

2019年度の研究では、お浸し等を想定し、加熱調理後に長時間保冷した野菜のビタミンC含有量と抗酸化活性強度がどのように変化するかを検討した。その結果、ビタミンC含有量、抗酸化活性強度ともに根菜類は80%以上残存するが、葉菜類は70%以下となることが明らかとなった。給食では葉菜(ほうれん草、白菜、キャベツなど)も根菜(大根、にんじん等)も和え物等でよく使用されるが、使用する食材によっては、保管時間が長くなるほど喫食者が摂取する栄養素量に影響することが、実験的数値として初めて明らかとなった。

5. 今後の計画

生産規模が食品中の栄養成分に与える影響に関する検討(研究1)に関して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。また、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する。

6. 研究成果の発表

- ①第15回 日本給食経営管理学会学術総会(2019年11月23日~24日)

「給食の生産規模が野菜スープの遊離アミノ酸量と組成に与える影響の検討」

(大澤絢子, 橋本加奈子, 比屋根舞)

- ②第67回 日本栄養改善学会学術総会(2020年9月2日~4日)

「保冷管理下における野菜の抗酸化活性の経時的変化」

(大澤絢子, 牛久保治奈, 中村貫勢)

以上

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」2年目(3年計画)

1. 研究の背景と目的

(1) 背景と目的

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴って、福島第一原子力発電所の事故の影響により、現在も放射性物質を含む廃水が蓄積され、処理問題が課題隣継続している。ウランを核燃料とする原子力発電において、副生成物として放射性物質のセシウム Cs 137、ストロンチウム Sr 90、ヨウ素 I 131などが発生し環境汚染を招いた。中でも物理学的半減期30年を持つ Cs 137は人体に対して長期的な影響を及ぼすことで、注目されている。現行の Cs などの放射性物質の廃水からの回収は $ALPS$ 浄化装置が利用されているが、処理能力を高めるには、現行の精密な浄化処理の前処理として、簡易迅速な Cs 回収法を構築することにより、その後の $ALPS$ 処理の負荷が軽減され、結果的に放射性物質の処理量の向上が期待でき、処理コストの低減にもつながる。なお、次年度(2020年度にトリチウムも含めて検討予定)は $ALPS$ 浄化装置の最大の欠点であるトリチウムが回収できない点についても、回収法の検討を加えて本研究の総括を行う方針である。

(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 Cs 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。これまで、回収時の適切なゲル化剤濃度、 Cs 回収率、 pH 変動による回収率への影響、海水共存下での回収率への影響、等について、諸検討を行ってきた。今年度は、 Cs を含めた他の金属種の回収能と再現性等について、詳細な検討を加えることとした。

(3) 研究計画

本研究の経緯と今後の展開は次の通りである。本報告書は、2)項の2019年度報告となる。

・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(計画中)

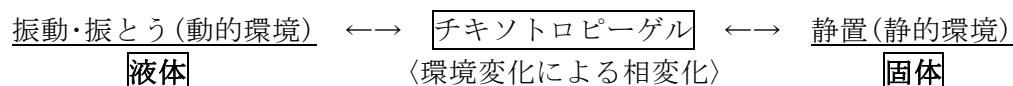
- ①チキソトロピーゲルによるトリチウム回収能の調査
- ②浮遊型チキソトロピーゲルによる Cs 回収法の確立：チキソトロピーゲルの組成決定(ゲル化剤と有機溶媒の組成)、 Cs 濃度に対する回収率の測定と評価。

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法として、放射性物質Cs等はゼオライトなどの粒子状吸着剤により回収することができるが、これらを廃水に利用する場合、水中で分散するため回収不能となり、そのため沈殿凝集剤などの添加が必要となる。ただし、その際でも吸着剤粒子の完全な回収は困難である。そのため、吸着剤粒子による二次汚染の危惧や、回収行程を増やすことによるシステムの複雑化の課題が発生する。

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。



回収に用いるゲルは、当初静環境にあるため固体であり、輸送時や取り扱い時に利用しやすい。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攪拌することで、ゲルが液相に相変化してゾル化し、回収中は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・回収システムが特殊な装置を必要とせず、構築できる。

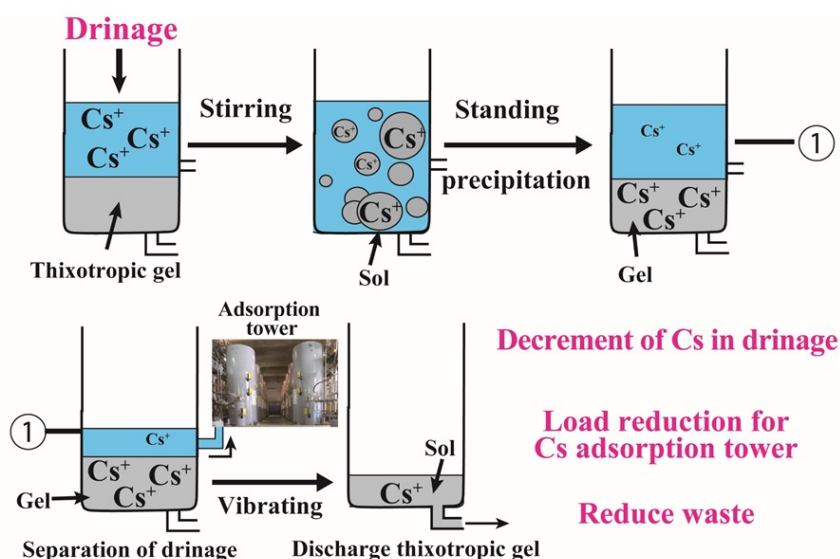


Fig.1 Model of Cs recovery system as a pretreatment

なお、今回はチキソトロピーゲルによる沈降型回収法の開発を目的として、本法のチキソトロピーゲルによるCsの回収システムのモデルをFig.1に示した。現在、福島原発事故跡地で使用されているALPS浄化装置に、前処理用としての本法のCs回収法を連携させた回収システムを想定して検討を進めている。

(2) 研究の意義

放射性廃水に含まれる種々の金属種(放射性物質Cs含む)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。この機能性材料を放射性廃水中の金属種の浄化・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て攪拌することでゲルがゾル化し、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前処理・回収法が構築できる。また従来の種々の粒子状吸着剤と併用することでその粒子状吸着剤も同時に回収できる発展的な回収剤とな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、*o*-ジクロロベンゼンに対してゲル化剤としてLGBA (*N*-Lauroyl-L-glutamic- α , γ -dibutylamide)を1.00 wt%加え、80 °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、10 mLの遠心沈殿管に一定量入れて室温まで静置した。その後、ゾル溶液が固体のゲルとなっ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。

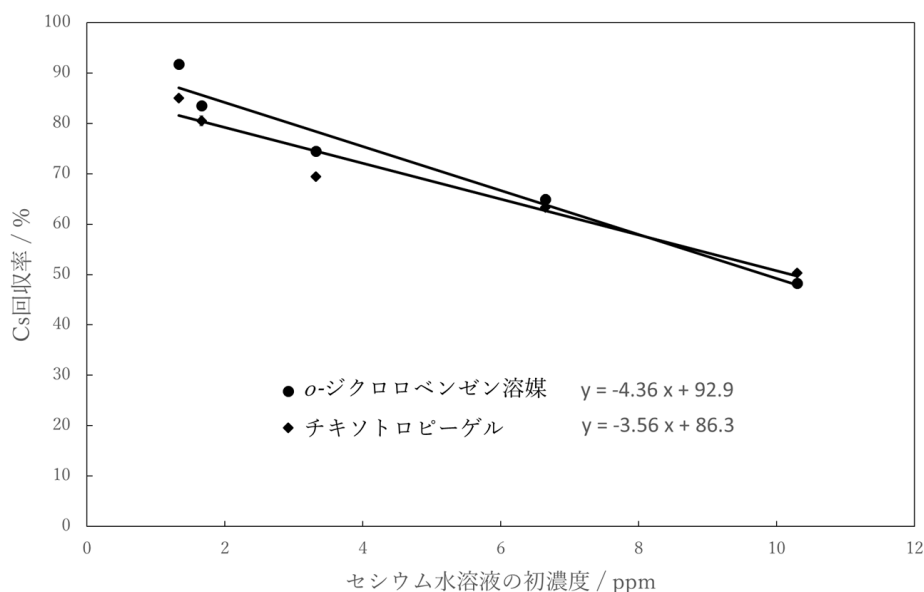
(2) チキソトロピーゲルによるCsの抽出回収における抽出溶媒の影響

昨年度までに、チキソトロピーゲルへのCsの回収における抽出メカニズムについて検討を行ってきた。その経緯より、Cs原子は、*o*-ジクロロベンゼンに溶解している*N*-ラウロイル-L-グルタミン酸- α , γ -ジブチルアミドのアミド基のO原子やN原子と配位結合して、錯形成して有機層に溶解してトラップされているものと推測していた。これは、Csイオンなどのアルカリ金属イオンは通常、疎水性有機溶媒に不要であることからの推測が基本となっていた。そのため、昨年度の本研究の報告では、錯形成のモデルを提案した。そこで、錯形成モル比を決定すべくモル比法により錯形成の反応モル比を求めるための検討を行った。しかしながら、実験値に再現性が乏しく、錯形成しているか否かの確証は得られなかった。

そこで、抽出機構を明確にするため、今年度は原点回帰して、疎水性有機溶媒である*o*-ジクロロベンゼンへのCsの溶解性を調査した。すなわち、Csのゲルへの抽出能に対して有機溶媒の役割を明確にすることから再検討した。

① *o*-ジクロロベンゼンへのCsの抽出能の検討

一定量の*o*-ジクロロベンゼン溶媒に、1～10 ppmのCs水溶液を加え、液液抽出を行った。その後、抽出前及び抽出後の水溶液中のCs濃度を原子吸光光度計で計測した。そして、そのときの*o*-ジクロロベンゼンへのCsの抽出率を算出した。その結果を、Fig. 2 に示した。その結果、図中の黒丸のラインとなり、抽出率はCs濃度の増加とともに低下し、濃度依存性を示した。さらに、Csが有機溶媒単体に溶解されていることが判明し、アルカリ金属イオンにもかかわらず、疎水性有機溶媒に溶解することが明らかとなった。この結果から、昨年度、モル比法による錯形成の検討実験において、明確な錯形成の挙動が見られなかった事実の裏付けになることがわかった。



② チキソトロピーゲルへのCaの抽出能に検討

チキソトロピーゲ

Fig.2 Recovery into *o*-dichlorobenzene and thixotropic gel of Cs

ルを用いて、上記と同様に、1～10 ppmのCs水溶液について抽出回収能を検討した。その結果をFig. 2に記述した。

その結果、低濃度域では多少のばらつきは見られるものの σ -ジクロロベンゼン有機溶媒によるCs抽出の条件の結果と抽出回収率はほぼ一致した。

そのため、水溶液中のCsの抽出能はゲル化剤である σ -ジクロロベンゼン分子には関与せず、有機溶媒に大きく依存して抽出されていることが今回明らかになった。 σ -ジクロロベンゼンへのCsの溶解度に関する抽出データは、現在、他には報告されていない。この結果から逆に考えると、有機溶媒へのCsの溶解度は、ゲル化剤が共存しても妨害はせずに抽出回収率が維持されることを意味している。特にCsの低濃度域で、80%以上の高回収率が維持されている点は有利な点となろう。

(3) チキソトロピーゲルによる放射性核種関連金属の抽出回収能(単体系抽出回収能)

核燃料冷却水のような汚染水の中にはセシウム以外にも様々な放射性同位体を持つ金属が含まれている。通常、放射性同位体である原子は多数あり、周期表のうち同位体を持たない原子は数原子のみである。同位体のすべてが強い放射性を持つものではないが、本研究では、今年度より、幅広い利用を目指すことも考慮し、金属種の拡大を行い、回収能の検討を行うこととした。しかし、通常の強い放射能を有する核種からなる金属は、実験の安全性を確保する意味でも利用は避けたい。そこで、Csに加えて、ストロンチウムSr、コバルトCo、鉛Pb、マンガンMnに関して、チキソトロピーゲルによる回収能を評価した。

なお、抽出能を明らかにする上で、金属種固有の抽出能を明確にしたいため、単一金属元素の金属イオンを含む水溶液試料を調製してゲルによる抽出回収能を評価した。

1～10 ppm濃度の5種類の金属種(Cs, Co, Sr, Mn, Pb)に関するチキソトロピーゲルによる抽出回収率をFig. 3に示した。

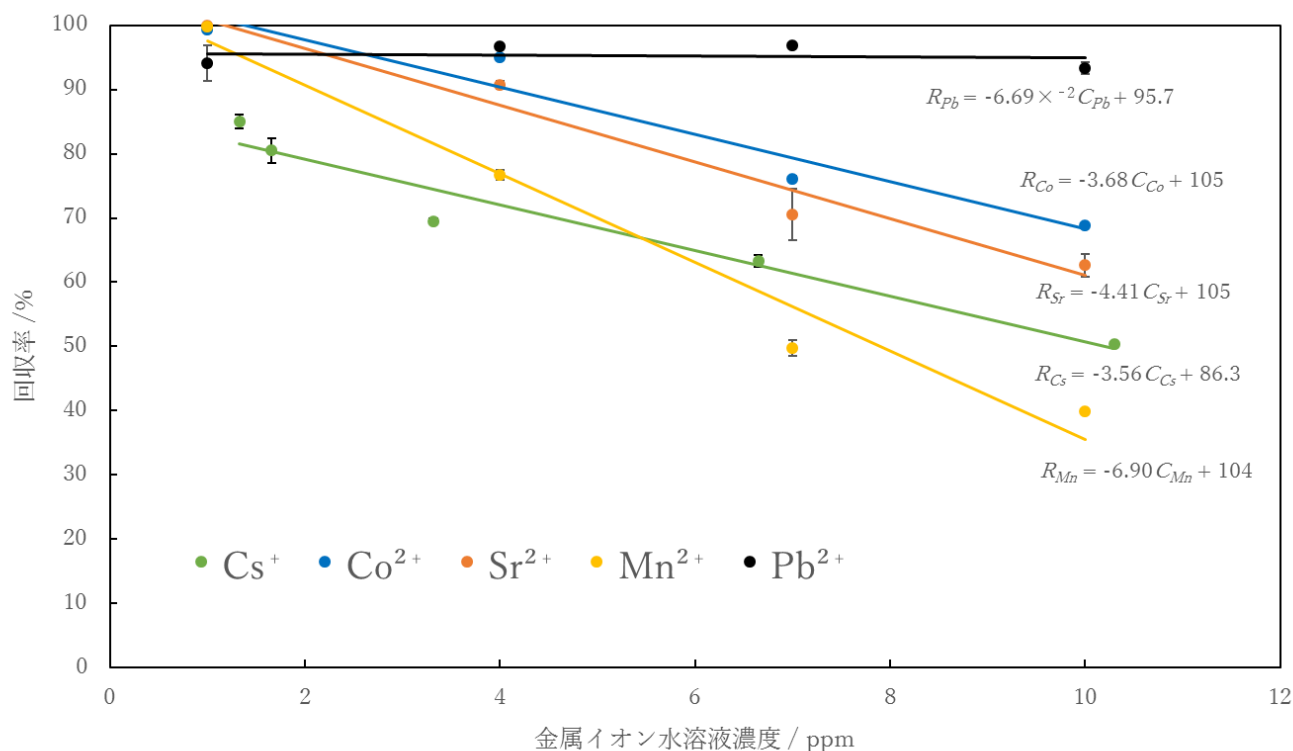


Fig. 3 Recovery of Cs, Co, Sr, Mn and Pb into a thixotropic gel

①C s の回収能

1～10 ppmのC s の抽出能は、50～85 %であり、低濃度域ほど高回収率を示した。1 ppm付近では、80%以上が回収されている。

②C o の回収能

C o は、C s に比較して全領域で20 %以上の回収能の差があり、70～100 %を示した。特に、低濃度領域の1 ppm以下では、回収率は100 %に達し、高い抽出能を示すことがわかった。

③S r の回収能

S r は、C o に匹敵する高い回収率を示し、同様に低濃度域では完全回収されることがわかった。チェルノブイリ原発事故や福島原発事故では、放射性物質S r も放出され、大気中に粉塵として拡散した事例が報告されている。

④M n の回収能

低濃度域では高い回収能(100 %)を示しているが、濃度の上昇とともに回収率は低下し、10 ppmでは、35 %まで減少した。

⑤P b の回収能

P b の回収率は、他の金属と比べ特異的な抽出挙動を示し、全濃度域で95 %の回収能が得られ、非常に実用性の高い結果が得られたと判断できる。

(4) チキソトロピーゲルによる放射性核種関連金属の抽出回収能(混合系抽出回収能)

混合金属種水溶液からのC s の回収能を評価した。これは、実際の核燃料冷却水のような汚染水には種々の金属種が含まれていることを想定している。なお、検討には前述の金属種の回収率の調査において、東京電力(株)が定める告知濃度限度の事項に含まれる金属種として、C s、C o、S r の3種について、混合水溶液を調製し回収率の比較を行った。金属種濃度は1～10 ppmとした。3種の金属の混合系水溶液及び単独系の水溶液を用いて、比較した結果をFig. 4に示した。

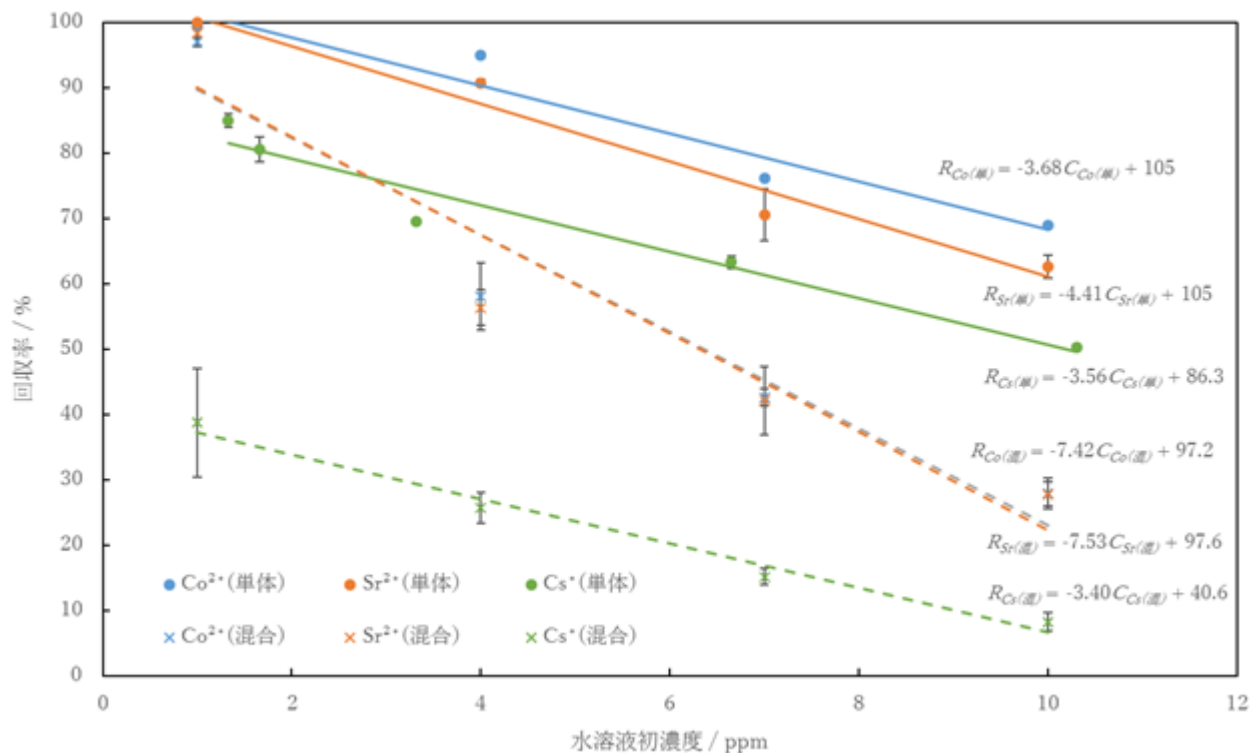


Fig.4 Recovery of C s , C o and S r into a thixotropic gel

Fig. 4中の破線は金属種混合系における3種金属の回収率を示している。その結果、単一系における回収率に比較して、いずれの金属種も混合系でゲルによる回収操作を行うと、回収率は低下し、SrとCoは、高濃度域で特に顕著に減少しているが、低濃度域の1 ppm程度では大きな減少傾向は示さなかった。

一方、Csに関しては、複数の金属種が共存すると、全濃度域で約45%程度減少することが明らかとなった。この要因は、複数の金属種がo-ジクロロベンゼンに溶解しているため、個々の金属種の溶解度が低下したためと考えられる。現在の放射性汚染水中の金属濃度は以前よりは低濃度に移行しているとはいえ、回収能の低下は改善する余地がある。このような場合には、昨年度検討した固体粒子状吸着剤との併用を行い、抽出回収能の上昇をもたらす手法も必要と考える。

(5) 今後の方針

本研究は3年計画のもと、最終年度にあたる2020年度は次の事項を検討する。

- 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まとめと研究成果の公表
- 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思索と検討の実施

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)

電力見える化から広がる消費電力予測と家電制御の研究

研究者名：ホームエレクトロニクス開発学科 杉村博

1. 研究の目的

本研究の目標は電気の知識が乏しくても長期的な利用価値のある HEMS を提案することである。そのための問いは「どのようにして常にユーザに電力見える化画面を見せるか？」と「どのように電気の知識のないユーザに節電行動を促すか？」である。この二つの問いに対して研究を実施した。

一つ目の問いに関しては節電の継続性向上を目的としたものであり、「どのようにして常にユーザに電力見える化画面を見せるか？」という発想が根底となっている。ここでは「手軽であること」、「見える化以外の機能をもつこと」が重要と考えた。手軽さとは、場所と時間を選ばずにいつでも利用でき、すぐに画面が表示される必要がある。また、見える化機能だけではどうしても人間は飽きてしまうことから、見える化以外の機能を併せ持ち、人間にとっては受動的に情報提示されることが望ましい。例えば家の外からの遠隔制御を電力見える化画面を利用して実行するなどが考えられる。消費電力予測も電力見える化に重畳してユーザへの心理へ働きかけることで、節電行動へ結びつける。

二つ目の問いは節電知識の獲得方法に関して支援するという発想であり、「どのように電気の知識のないユーザに節電行動を促すか？」という問いにシステムをどう構築するかを検討した。ここでは「グラフに興味を持たせること」、「グラフに意味があること」が重要である。現在は単純に消費電力量のグラフを表示して、自宅の電気代を表示する程度であるが、電気の知識のないユーザにとっては、そこから先の節電行動には繋がらない。そこで、例えばブレーカーが落ちるラインと現在利用状況をリアルタイムで表示しておけば意味のあるグラフへとつながってゆく。さらに家電の IoT 化によって情報収集を行い、各家電の消費電力量から、全体への利用割合などを算出する。

2. 研究の必要性及び従来の研究

ネットワークに繋がる家電の増加と共に Home Energy Management System (HEMS) が注目されている。HEMS はネットワーク接続された家電が連携しあって各家庭でできる限りの省エネを実行し、またそれらが集合して地域全体の省エネを目指すというシステムであって、現在の HEMS は消費電力の見える化や家電の遠隔制御という機能によってユーザの省エネをサポートしている。今後は IoT 技術並びにネットワーク家電の普及によって、この HEMS 技術開発の重要性は一層高まってゆくものと思われる。本課題は HEMS の問題点と改善点について研究している。

見える化機能は家庭の消費電力情報をユーザに提示することで、ユーザの現状を明らかにして積極的にユーザにエネルギーの関わりを持たせ、節電行動へと導く。しかし、現在の見える化は消費電力を単純にグラフ化して表示するもので、人間の飽きによって機能そのものが利用されなくなることが判明している(Ref. 1)。さらに、単純な消費電力の時系列データのグラフ表示だけでは、一般ユーザの中心である主婦にとっては省エネへの改善点の発見が困難であり、具体的な節電行動へと結びつけることができないという問題も抱えている。

見える化の次のステップとして、電気配線に従って家電設置状況を入力したデータベースを持たせた HEMS によって各家電の電力量を切り分けて、節電アドバイスを行う支援機能も開発されている。しかし、家電設置状況の入力の煩雑さや、ユーザの生活の多様性への適合がなされていないなどの理由によって現実的にはなかなか利用されていない。また、ユーザが家電の優先度と使用する電力量を決定してシステムがユーザに対して快適に節電できる家電の操作方法をアドバイスするようなシステムも開発されている(Ref. 2)。やはりこの手法でも、ユーザが細かく HEMS 設定を行う必要があり、電気知識のないユーザに対しての配慮がなされていない。

本研究は、このような電気知識のないユーザでも常に見える化による電力をどのように意識させるべきかについて検討を行い、実装と評価を行うものである。

(Ref. 1) 「見える化機器」利用前・利用後アンケート結果:

<http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndl.jp/pid/10189884/www.city.osaka.lg.jp/kankyo/page/0000148884.html> (2012)

(Ref. 2) 大木 浩司, 玉井 盛彦, 安本 恵一: 快適さと省エネを同時に考慮した複数家電への電力量配分支援インターフェース, 情報処理学会研究報告コンピュータセキュリティ(CSEC), Vol.2014-CSEC-64, No22, pp. 1-8 (2014)

3. 期待される効果

本課題の最終目標は HEMS における消費電力削減である。しかし実環境測定には時間がかかるため、本課題では住人の節電への行動変容について着目して効果測定を実施している。本課題は目的に示す通り「節電行動の継続性」と「節電知識の獲得」である。本課題で開発したシステムを利用することによって日常的に電力見える化画面を利用し、電気の知識のないユーザでも自発的に考えて節電行動を促すことができるようになる。さらに各家庭での自発的な節電マネジメントが実行されると考えられる。

4. 研究の経過及び結果・評価

2018 年度では、1 つ目問いの「どのようにして常にユーザへ電力見える化画面を見せるか？」について研究した。IoT 化した分電盤から実際の電力量を取得して全体の見える化を行って、さらにネットワーク家電の消費電力量の値も随時取得して、消費電力の割合や過去のデータとの比較もおこなった。ネットワーク家電は遠隔制

御ができる点が特に重要な機能で、本システムでは電力見える化機能に対して遠隔制御機能を組み込んだ。消費電力を見ながら家電の動作を中央管理してスケジューリングすることによって、結果としてユーザに対して電力見える化画面の提示回数を増加させることができた。具体的にシステム全体に必要な機能と全体開発スケジュールを下記のように整理して実施した。

2019 年度では課題である「どのようにして電気の知識のないユーザに節電行動を促すか？」について重点的に研究を実施した。行動変容の分野で、人間の精神的な部分にタッチするような手法も検討したが、まずはシンプルに電気の知識のない人間と、電気の知識のある人間の違いについて分析をした。さらに、節電行動とはどのような行動なのかについても検討した。これによって、節電という目標に向かった PDCA サイクルを定義し、それぞれ P, D, C, A に関して行動も定義した。P は節電計画、D は節電行動、C は節電結果分析、A は節電行動改善である。この節電行動の PDCA に当てはめて従来の HEMS に足りない機能を検討し、システム化を行った。また、節電行動改善として、知識のないユーザに向けに、どのような家電がどのくらい消費電力があるのか、各家電に対して具体的に取る節電行動にはどのようなものがあるのかなどの情報を取りまとめ、システム上ですぐにアクセスできる形で用意して、知識のないユーザの知識不足を補うこともできた。

5. 今後の計画

システムの大まかなプラットフォーム化ができ、実験も実施して、データも収集できた。このシステムを元にして 2020 年度では研究の発展と普及を中心に実施する。現在 HEMS に関して現在積水化学工業や Sony コンピュータサイエンス研究所とともに研究活動を行っている中で、下記の点についての検討の必要性が指摘されており、その重要性や有効性から優先度を整理して研究を継続してゆく予定である。

今回作成したシステムを利用して、HAL (Home-life Assessment List) という仕組みの開発にも着手している。これは現在大学のブランディング研究事業で要素技術となっている部分でもあり、HEMS データと AI 分析の融合によって高度高齢者見守りシステムを作るというものである。このようにプラットフォーム化を進めて様々な仕組みと研究の土台となるように開発を進めるつもりである。

- ・ システムのプラットフォーム化（一部完了）
- ・ システム（または各モジュール）のオープンソース化（権利の確認等が必須）
- ・ ECHONET Lite 以外の家電通信プロトコルへの対応
- ・ 家電消費電力の予測と、そのための人工知能アルゴリズム開発
- ・ システム継続利用を見込んだシステムのコンテンツの魅力向上（ゲーミフィケーションの導入）

6. 研究成果の発表

論文誌 1 件

1. Takumi Shida, Hiroshi Sugimura, Moe Hamamoto, Masao Isshiki: Development of Interface for Assisting Energy-Saving Utilizing Information From Network Home Appliances, Human-Computer Interfaces and New Modes of Interactivity, IGI Global, pp.138--147 (2019) (2019.05)

査読無し口頭発表 4 件

1. 寺崎 越, 宮井智也, 宇田悠佑, 酒井貴洋, 佐野芳樹, 杉村 博, 一色正男: HAL : 生活の見直しを支える生活評価表, 第 82 回情報処理学会全国大会論文集, No. 3, pp.175-176, Mar. (2020) 2020.03.05
2. 宇田悠佑, 金子佐代, 渡部智樹, 杉村 博, 一色正男: HEMS を利用した行動変容による生活改善手法 (HEMS 時計) の提案, 第82回情報処理学会全国大会論文集, No. 3, pp.179-180, Mar. (2020) 2020.03.05
3. 酒井貴洋, 佐野芳樹, 増田 陸, 松方直樹, 村上隆史, 杉村 博, 一色正男: 国際標準規格 ECHONET Lite (ISO/IE014543-4-3) に基づく IoT スマートハウス機器情報取得システムの改善方法の提案, 第 82 回情報処理学会全国大会論文集, No. 3, pp.211-212, Mar. (2020) 2020.03.05
4. 増田 陸, 佐野芳樹, 松方直樹, 酒井貴洋, 濱本望絵, 杉村 博, 一色正男: IoT スマートハウス機器 (家電機器とスマートメーター等) による生活者行動推定技術の開発, 第 82 回情報処理学会全国大会論文集, No. 3, pp.213-214, Mar. (2020) 2020.03.05

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 の適応領域の拡大と 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 開発における最適学習法の提案
- （５） 精神疾患（うつ病診断）への CAD の適用領域の拡大

臨床的な知見の収集と臨床評価に関しては、（１）と（４）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佐伯医師及び高橋眼科クリニック高橋医師、（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ていく。

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）～（５）のうち、研究課題（４）について研究を進めた。また、研究課題（５）は本格的には来年度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 2 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。

(A) CNN を用いた CAD 開発における最適学習法の提案

(B) 精神疾患（うつ病診断）への CAD の適用領域の拡大

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 CARS2019 国際会議^{[1], [3]}、日本医用画像工学会 (JAMIT2018) 国内学会^{[2], [4]}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 2020 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、CARS2020 国際会議、IWBI2020 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]}

（概要）

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、乳がん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、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 の上昇が見られる間複数回繰り返し、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 が高いことが確認でき、本学習法の有効性が確認できた。また、本学習法を肝腫瘍にも適用したところ、同様の結果が得られ、この学習法の汎化性も確認できた。

(方法)

提案する段階的学習法の流れを図 1 に示す。学習データ全体を図 2 に示すように、濃度とコントラストをそれぞれ 3 段階、計 9 個のサブセットに分割する。まず初めに、各サブセット単体での CNN と各サブセットを網羅した CNN を作成する。作成した判別器にて評価データセット（未知データ）を用いて評価を行い、判別性能を求める。各学習における判別性能 AUC（ROC カーブの下面積）を算出する。また、同時に各サブセットから均等に抽出した網羅型学習データで CNN を設計し、その判別性能も算出する。各サブセットで学習した CNN の AUC と網羅型で学習した CNN の AUC を比較し、後者の AUC を上回ったサブセットのみの組み合わせで学習を行い、CNN を設計する。そして以降は、検出ミスの多いサブセットに学習データを追加し、これを複数回繰り返す。各回のサブセットの組み合わせの CNN を AUC を用いて評価して、最高値の AUC を得た CNN を最終的に採用する。

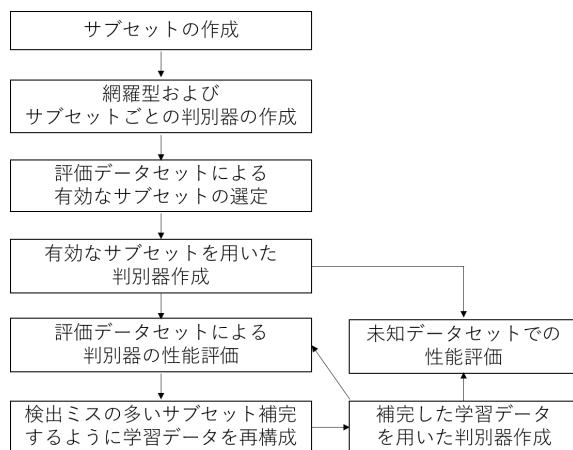


図 1 段階的学習法の流れ

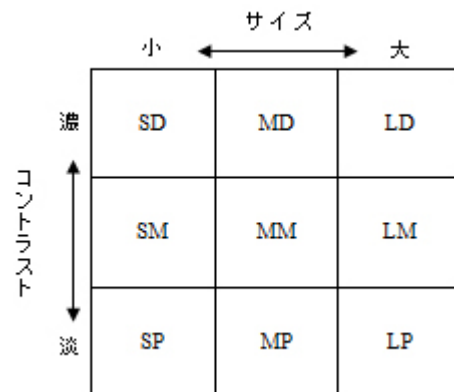


図 2 サブセットの定義

(結果)

提案する段階的繰り返し学習法の効果を表 1 および図 3 に示す。この結果から、従来の学習手法である網羅型による判別器の性能よりも本提案手法による性能方が高く、提案手法の有効性が確認できた。

表 1 判別性能の比較 (AUC)

判別記名	AUC
判別器 X (網羅型学習)	0.840
判別器 Y1 (繰り返し 1 回目)	0.814
判別器 Y2 (繰り返し 2 回目)	0.852
判別器 Y3 (繰り返し 3 回目)	0.858
判別器 Y4 (繰り返し 4 回目)	0.888

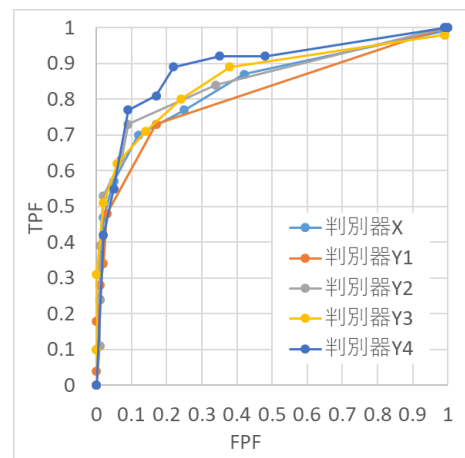


図 3 判別性能の比較 (ROC グラフ)

【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], [4]}

（概要）

近年の精神病の診断は主に DSM-5 や ICD-10 などの国際疾病分類を用いており、これらによってうつ病は当て嵌まる症状の数による診断が行われている。この診断方法は医者の主観や患者のその日の体調によって診断結果が左右されてしまうため、画像診断のような科学的、客観的な評価による診断ができていないという問題がある。本研究は、うつ病の客観的な評価を行うために、うつ病であるかどうか画像工学技術を利用して、うつ病の重症度の算出とうつ病の判別を行うシステムシステムの開発を目的としている。

（方法）

①視線方向を用いたうつ病重症度の算出 (Method A)

視線方向を用いたうつ病重症度の算出は、視線方向判別処理とうつ病重症度判定処理で行うことができる。視線方向判別処理は、フレーム/秒ごとの静止画像を入力すると、視線方向を出力する。これは、図 4 に示す 9 方向の視線方向に分類する CNN を用いている。また、うつ病重症度判定処理は、複数の特徴量を入力するとうつ病の重症度を出力する。特徴量は、視線方向判別処理で出力された 350 秒間の時系列順の視線方向（図 5 の (a), (b) に例を示す）から 12 個（エントロピー、頻度、分散/標準偏差等）の値を算出する。重症度の出力は、SVM (:Support Vector Machine) を用いた。評価は、うつ病患者 15 名と健常者 15 名、計 30 名の動画像を用いて、leave-one-out 交差検証法により、30 名の重症度算出と閾値処理によってうつ病患者と健常者を判別したときの精度を確認した。

②表情を利用したうつ病重症度の算出 (Method B)

図 6 に、表情を用いたうつ病重症度の算出の一連の流れを示す。本処理は、表情判別処理とうつ病重症度判定処理の 2 つで構成される。表情判別処理は、フレーム/秒ごとの静止画像を入力すると表情名を出力する。これは、無表情 + 基本 6 表情（怒り、嫌悪、恐怖等）の計 7 表情に分類する CNN を用いている。うつ病重症度判定処理は、180 秒間の時系列順（図 7 の (a), (b) に例を示す）の表情を入力すると重症度を出力する。入力する 180 秒間の時系列順の表情は表情判別処理で出力されたものである。重症度の算出は、3 層ニューラルネットワークを用いた。評価法は①と同じである。

（結果）

Method A で得られたうつ病の程度（0～100）を表 2 に示す。表 2 から、健常者は値が小さく、うつ病患者は値が大きくなっていることがわかる。また、閾値を 60 として分類すると、健常者のうち健常者であると判別したものが 15 人中 12 人、うつ病患者のうちうつ病であると判別したものが 15 人中 11 人となり、全体の精度は 76.7% となった。

Method B で得られたうつ病の程度を表 3 に示す。表 3 から、健常者は値が小さく、うつ病患者は値が大きくなっていることがわかる。また、閾値を 60 として分類すると、健常者のうち健常者であると判別したものが 15 人中 13 人、うつ病患者のうちうつ病であると判別したものが 15 人中 10 人となり、全体の精度は 76.7% となった。

いずれの精度も、まだ十分とは言えないが、有意な判別性能を得ていると考えられる。Method A では、関連性の高い特徴量を追加する。Method B では、ニューラルネットワークの構成等を最適化することで判別精度の改善ができると考えられる。また今後は、Method A と Method B のうつ病判別システムを組み合わせたりすることで、重症度と判別がより高精度になるのではないかと考えられる。

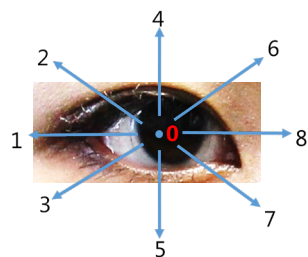
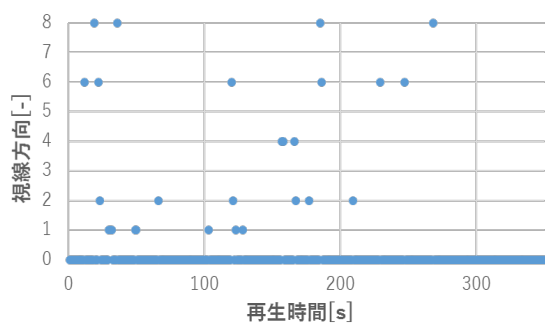


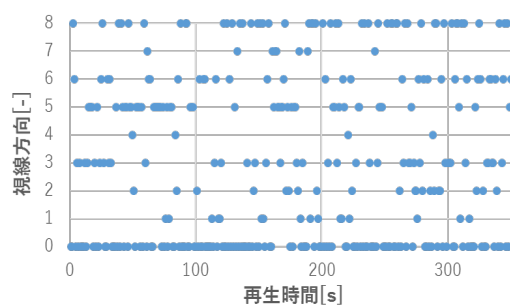
図4 視線方向の定義



図6 顔表情の定義

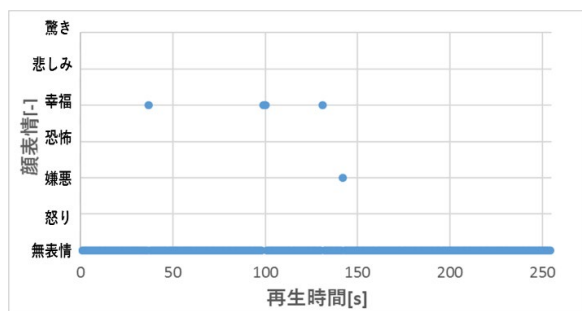


(a) うつ病患者の視線の動き

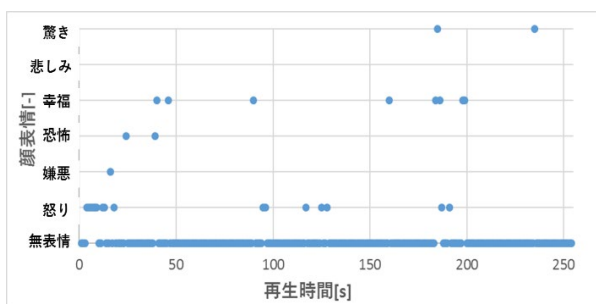


(b) 健常者の視線の動き

図5 視線方向の時系列変化



(a) うつ病患者の表情変化



(b) 健常者の表情変化

図7 顔表情の時系列変化

表2 Method Aで算出された16名のうつ病の可能性推定値 表3 Method Bで算出された28名のうつ病の可能性推定値

Method A	
Healthy subjects	Subjects with depression
74	26
54	51
77	36
56	47
29	75
52	71
78	67
58	70
50	70
58	73
47	86
56	69
51	73
47	67
48	67

Method B	
Healthy subjects	Subjects with depression
39	63
21	48
57	61
34	65
28	24
38	69
53	69
79	81
43	54
55	71
43	63
42	4
68	79
52	69
41	53

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] Kazuya Abe, Hideya Takeo, Yuichi Nagai, Shige Nawano, “Proposal for self-evolving CAD system that uses CNN “, Computer Assisted Radiology and Surgery 33rd International Congress and Exhibition, CARS2019, pp.S182-S183, 2019 June, Rennes.
- [2] 安倍和弥, 武尾英哉, 永井優一, 縄野繁, 「CNN を用いた CAD システムにおける繰り返し更新学習法の提案」, 第 38 回日本医用画像工学会大会 (JAMIT2019), OP2-18, July. 2019.
- [3] Yuta Maki, Kazuya Abe, Hideya Takeo, Yuichi Nagai, “Quantification of the diagnosis of depression through application of image recognition technology “, Computer Assisted Radiology and Surgery 33rd International Congress and Exhibition, CARS2019, pp.S181-S182, 2019 June, Rennes.
- [4] 牧優太, 和田昇太, 安倍和弥, 武尾英哉, 永井優一, 「画像認識技術によるうつ病診断の定量化」, 第 38 回日本医用画像工学会大会 (JAMIT2019), OP1-17, July. 2019.

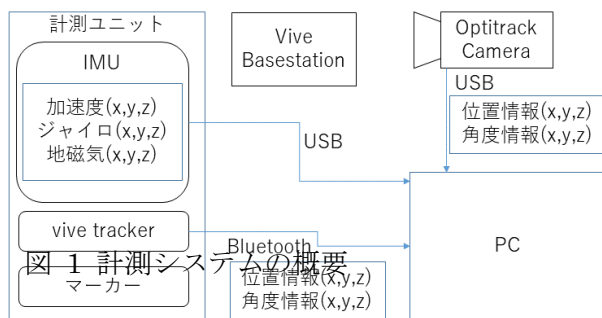
深層学習を利用した IMU によるポジショントラッキング精度の向上

研究者名：所属学科 D 氏名 安本匡佑

1. 研究の目的（以下タイトルは、11 ポイント、MS ゴシック）

本研究はスポーツ、特にアーチェリーやバイアスロンなどの機材スポーツにおける機材の位置・角度情報を高精度かつ場所の制限を受けずに取得するため、小型の IMU 単体でミリ精度の位置推定を実現する。そのために複数のセンサと IMU を組み合わせた様々な動きの情報を教師データとして蓄積させ、それを用いた深層学習により高精度の位置情報推定を目論む。

スポーツの技術の向上やトレーニングのためには正確な動きの取得が必要であり、そのためモーションキャプチャを使用することもあるが、マーカーやセンサを



装着すると本来の身体動作を妨げてしまう。また、アーチェリーやバイアスロンなどは屋外スポーツであり、その環境下で身体運動を妨げずに正確な動きを取得するのは従来システムでは困難である。また機材スポーツは特性上トレーニングを行うためには

広いスペースが必要となり、新規参入するには敷居が高い。これらのことから身体全体ではなく、まず機材単体の正確な動きのみでも取得できれば、xR(VR/AR/MR)関連技術と組み合わせ、室内トレーニングも可能となり、さらにはカジュアルなアーチェリータグや Air Soft などの競技を xR 化して安全に遊ぶことも可能となるだろう。そのためには弓や銃の動きを高精度・高速で取得する必要がある。HMD を使用することを想定した場合 90fps 以上の速度、遠距離射撃では角度が僅かにずれただけで遠くの的には当たらないためミリ単位の正確な精度、射撃時の衝撃に耐え、装着しても運動に支障のない程度に小型化が必須となる。本研究では国内で安全に実験可能なアーチェリーを実験対象とする。

これらのことから IMU (Inertial Measurement Unit) と Deep Learning に着目した。IMU は 3 軸の加速度、ジャイロ、地磁気を備えたもので、高速かつ耐衝撃性能の高い Xsens MTi-100 シリーズの使用を想定している。しかしセンサが高性能でも位置

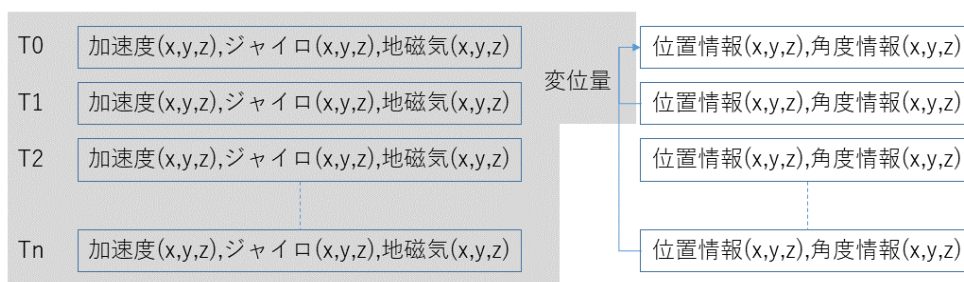


図 2 蓄積するデータセット、灰色の箇所をひとまとめにする

情報に変換するためには最低2回の積分が必要で、積分誤差が蓄積し、ずれが

大きくなる。本研究では、**Deep Learning** を使用し、この誤差を減らす、あるいは運動軌跡から変位量を推定することで、従来手法よりも誤差の少ない位置推定が行えるのではないかと仮説を立て、これを実証していく。

2. 研究の必要性及び従来の研究

これまでにメディアアートの制作を中心として、それを実現するためにその周辺分野の研究とそれを活かした作品制作に取り組んできた。近年ではその一部は **xR** 分野として広がっていき、既存の枠にとらわれず、学術以外の応用範囲も広く、ゲーム分野、エンターテインメント分野でも広く評価されている。近年では脚光を浴び、**HMD** 中心だった **xR** 分野において、徐々にその周辺機器であるハプティックデバイスやフォースフィードバック機構、様々なインターフェースへも関心が向いてきている。もともと身体性をテーマとして認知心理学や脳科学の分野からの切り口でメディアアートに携わり、そこから弓や銃といった道具とそれを使ったときにどう感じるのか、どういうフィードバックを与えることでリアルに感じるのか、モノ感や力覚、操作方法を分析し、新たな道具として、アート作品としての「電子弓」や、視覚と身体性のかかわりから動的かつ立体的なディスプレイである「**VISTouch**」の研究開発を行ってきた。そこからさらに発展させ、特に弓を使って子供でも安全に扱え、よりフィジカルな **e-Sports** を実現することで **xR** の民主化を図ろうと **VAIR Field** の研究開発を進めてきた。これらの研究において常々必要に感じてきたのが、より小型で高精度な広範囲のポジショントラッキングであった。特に弓や銃といった道具のフィードバックを解析、再構成しようと試みており、また弓に既存のセンサを取り付けて計測した際に、衝撃で正確に計測ができなかったという経緯がある。これらのことから本研究の単一の **IMU** での位置推定が可能となれば、アートに限らずエンターテインメント、**xR**、スポーツの広い分野において、応用が期待できるため意義があると考えている。

しかしながら実現するためには、数学的な手法で単純に **IMU** の加速度を2回積分して位置情報に変換するのは積分誤差の影響で困難であり、**Deep Learning** を用いることで積分によらない位置推定、正確には変位量の推定を行うことは十分に可能であると考えているが、スポーツにかかわるものでありながら、**xR**、人工知能、

数学といった様々な分野の融合であり、挑戦的な課題であると考えている。

3. 期待される効果

本研究の主体はセンサの融合による学習データの構築と、そこから変位量を高速、高精度で推定する **Deep Learning** のモデルの構築にある。すでに決まったやり方があるわけではなく、積分をある程度利用をする必要があるかもしれないし、数値データのみから推定可能かもしれない。また 100%の精度が出るものではなく、手法を変えながら最適なモデルを模索していかなければならない。動き方、サンプリング時間など複数のパラメータが存在しているが、人の動き、特に人が持つ道具の動きのため、ある程度動き方に法則性は存在していると確信している。結果として積分に劣る可能性もあり、単一の IMU では実現は困難かもしれないが、これが実現することで、アート、エンターテインメント、ゲーム、スポーツの各分野において広く応用ができ、さらに多くの分野でのこれからの研究につながるため、わずかでも可能性があるのであれば挑戦する意義は十分にあるだろう。

4. 研究の経過及び結果

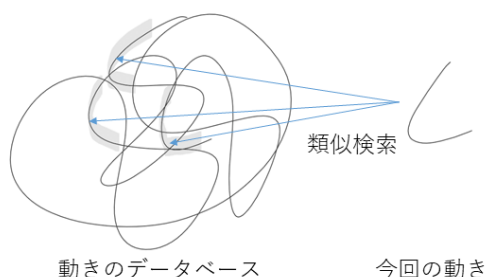


図 3 類似の動きの検索

本研究の主体はこの IMU 深層学習にある。まず測定範囲が限られるが、高精度かつ高速な光学式モーションキャプチャシステムで IMU の位置情報（3 軸の位置、角度）を取得する。これには比較的安価で精度の高い **Optitrack V120:Trio**、VR 機器でリアルタイムに高速に位置情報の取得が可能な **htc vive pro** の 2 つを使用した。IMU に

3 点の再帰性反射材マーカー及び **htc vive tracker** を組み合わせた計測ユニットを制作。図 1 のように IMU と PC は USB ケーブルで接続し、**Optitrack** のカメラと **htc vive** も同様である。これによって IMU で取得可能な 9 軸の情報とリファレンスとなる位置情報を同時に取得可能となった。

瞬間的な IMU の値から絶対座標を計算することは不可能だが、動きは連続したものであり、図 2 のように一定時間をひとまとめにし、さらに位置ではなくその差分の変位量に変換することで再利用性を高めることを目論んだ。この一定時間の IMU の値とそれに対しての変位量を教師データとしてデータベースへの蓄積を行っていく。様々な動きを蓄積することで、推定する際には図 3 のように動きを蓄積し、現在の動きと類似の動きから変位量を高精度で推定できるかどうかを検証。計測システムによって様々な動きの情報を蓄積していき、それらを教師ありデータのデータセットとして **DeepLearning** を試みようとした。

現段階で2つの問題を抱えている。まず optitrack と htc vive の計測が完全に同期していないため正確なデータの取得が困難であることが上げられる、これら別々の計測機器を完全に同期させるための方策を検討する必要がある。次にこれに付随して正確な教師データを得られないことから、深層学習による学習も困難である点があげられる。

5. 今後の計画

本研究は研究の途上であり、まずは根本的な原因である2つの計測機器の完全な動機を実装する必要がある、lab streaming layer などの実装を行うか、ハードウェア的に同期用の機材を追加する必要があると考える。引き続き完全な教師データを得られるようにしてから、本研究の主題である学習による位置情報の推定が可能かどうかを検証していきたい。

6. 研究成果の発表

本研究と直接的な関係のある研究発表はまだなされていないが、本研究のもととなった弓と xR に関する研究を国際学会 HCII2019 にて“Application of Archery to VR Interface”として発表を行った。

IoT と AI 技術を活用する EdTech 開発

情報工学科 松本 一教, 田中 哲雄

1. 研究の目的

本研究では, IoT や AI の技術を組み込んだ次世代学習支援技術 EdTech (Education Technology) の開発を目標としており, 今年度においては特に以下の開発を目的とした研究開発をすすめてきた:

- (1) カメラやセンサーを通じて得られるデータから, 集中度などの学習者の状況を自動的に推定する IoT と AI 技術を開発する.
- (2) 演習問題への解答状況のデータなどをリアルタイムに収集する技術を開発し, そのデータを用いて, 学習者の理解度や学習への興味などの状況を可視化してリアルタイムに提示したり, 自動的に推定する技術を開発する.

人間の有能な教師は, 学習の進捗や成績などのデータに加えて, 学習者の振る舞いや行動を良く観察して, 学習者を理解した上で, 振る舞いや行動に関連付けた深い指導を行っている. 本研究は, 教師による観察, 理解, 指導という一連の知的な行為を, IoT によるデータ収集とビッグデータ化, ビッグデータ上の AI による高度な推定, および人間教師から抽出した知識の活用により, 総合的な AI システムとして実現しようとする新たな試みである. この最終目標に向かって, 今年度は上記の(1), (2)に焦点を絞った研究を進めた.

2. 研究の必要性及び従来の研究

様々なセンサー類から IoT によって大規模にデータを収集し (ビッグデータ), データマイニングや AI を使って高度に活用するという技術は研究開発が活発化している. 製造業分野や流通分野などが先行しており, 研究開発事例も増えてきているが, 複数データソースの活用や, その上でのデータマイニングや AI の活用は未だに不十分な状況である. 特に, 教育分野での研究開発事例は少なくこれからである. 本研究での開発は, センサーデータからの行動推定や人間の内面的な状況推定技術を含んでいる. これは個人を見守る技術として, 福祉分野などでの応用が可能であり, 本研究の成果の拡がり期待できる.

教育分野においては, 近年の大学や学校における情報インフラの大容量化, 高速化にともない, ネット上で講義資料や学生のレポートを管理する LMS (Learning Management System)やデジタル教科書の整備が進められている. さらに, LMS 上のデジタル教科書の閲覧ログに基づき, 学生の学習行動を分析・可視化し, 教員や学生にフィードバックするラーニングアナリティクス (Learning Analytics, LA) への

関心も高まっている。LA により学習者の将来的な学習成果の予測や学習における隠れた問題の発見が可能となる。

実際の教育現場においては、教員は教室での学生状況に目を配り、学生の授業態度や心の状態（集中している、ねむい、ついていけない、あきらめ、など）と理解度（わかった、わからない）に合わせて柔軟に授業を進めている。例えば、教室全体での集中度や理解度が低下すれば、適宜演習問題を課したり、短時間の休憩的な措置を取ったりしている。このような人間教師による状況に応じた柔軟な対応は、100 人を超えるような大人数授業では困難となる。そこで、EdTech を用いた解決が望まれる。従来の技術では、学習に関わるデータのオフライン型分析が主流であり、教室での授業をリアルタイムな方法で支援する技術は極めて少ないという状況である。本研究では、これらの解決を目指している。

従来の LA あるいは EdTech 技術においては、教材の閲覧ログに基づき、学生の学習行動を分析・可視化するオフライン型の手法で主流である。従って、教室の授業現場において、教師の授業をリアルタイムにサポートする能力が不十分である。また、最近では教室の無線 LAN の整備や学生が個人所有のノート PC などを教室に持ち込む BYOD により、教室で授業中の教員や学生を支援するリアルタイム型のラーニングアナリティクスの環境が整いつつある。従来技術では、BYOD への対応も十分とはいえない。

本研究においては、これらの課題解決を目指している。

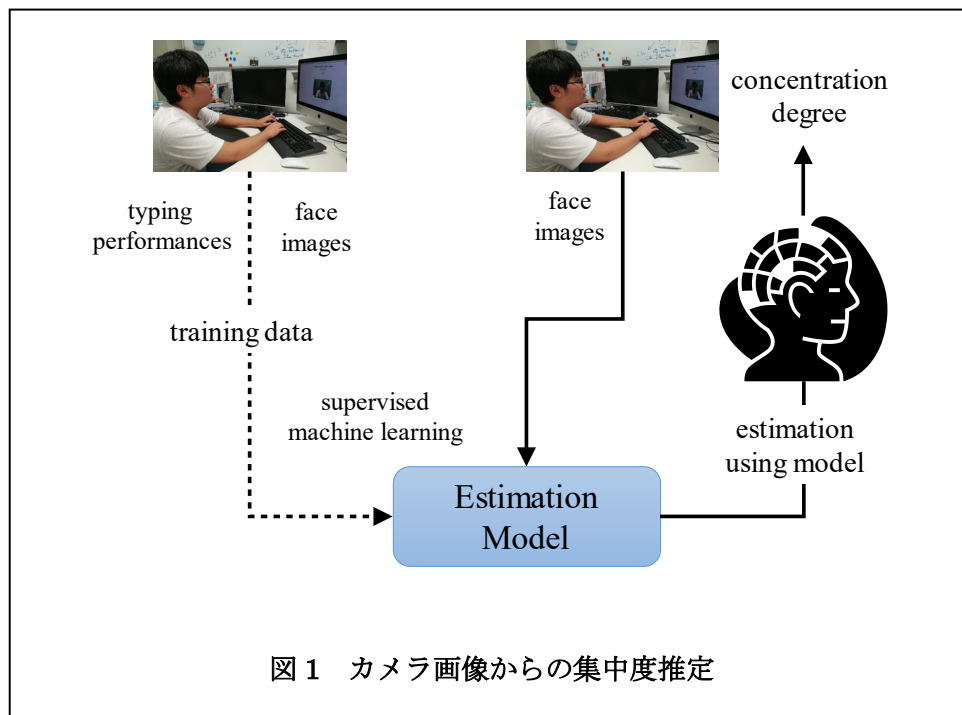
3. 期待される効果

教育は人間が行う最も高度な知的な活動であるといえる。それゆえに、人工知能 (AI) 技術への期待が高まっている。AI が能力を発揮するためには、良質なデータが必要となる。本研究では、学習者自身に関するデータと学習状況に関わるデータの両方を収集する技術を開発し、AI 技術により人間の教師に匹敵する能力を持つシステムの開発を目指している。このようなシステムは、教育の質を高めるためのツールとして、大学や各種学校の現場で広く活用していくことができる。とくに、最近注目を集めているオンライン教育においても、その質を高めるための技術として活用することができる。

本研究の根幹は、学習者に関するデータを収集し、学習者の状況を推定するという技術であり、学習者を見守る技術であるといえる。この技術は、高齢者や弱者（病気や身体にハンディキャップを持つ人々）の見守り技術と共通点が多く、そのための見守りシステムに組み込んでいくことが可能となる。とくに高齢者においては、認知能力の維持が重要であるが、学習者の状況推定や能力推定の技術が応用できると期待できる。

4. 研究の経過及び結果・評価

学習者に関するデータとして、今年度はカメラによる動画データを用いた。学習中に連続して撮影される動画を一定の時区間に区切り、その時区間上での学習者の集中度を画像データから判定できるようにした。時区間の長さとしては、予備実験の結果から 5-20 秒の範囲で指定できるようにしている。判定を行うために、機械学習の技術を用いた。画像データに対して集中度を教師データとしてラベル付けして与えて学習済のモデルを構築し、モデルによる推定ができるようにする(図 1)。



ここでの教師データ（集中度）を得るためには、集中度の定義を明確にしておく必要がある。本研究では、単純作業の作業量を通じて測定可能な量を用いることに決定し、単純作業としてはキーボードのタイピング作業を用いた。個人によりタイピング能力は異なるが、最大能力を発揮したときに可能な文字数と現在の状況でタイプした文字数との比が集中度となる(式(1))。最大能力が発揮できれば集中度は 1 であり、まったく作業できなければ 0 なので、集中度は 0 から 1 の連続値となる。

$$\text{Concentration degree} = \frac{\text{Current typing speed}}{\text{Max of typing speed}} \quad (1)$$

本研究では、21 歳から 24 歳までの大学生および大学院生 10 名によりデータを収集した。まず、各被験者に十分なタイピング練習を施し、タイピング能力がほぼ安定した後にデータ収集を行った。タイピング作業中に意図的に妨害（音や画像）を与えて作業状況を変化させ、その状況下での画像と集中度を収集した。このよう

にして収集したデータからの機械学習には、畳み込みニューラルネットワークを用いた学習済みモデルとして良く知られている VGG16 を用いた。実験結果については、本報告書末尾の論文[4]で報告しているが、推定する状況に制約を課すことで、平均的に 70%程度の集中度推定を行うことができている。推定精度や推定の制約に関する解析は未だに作業中であり、精度向上の技術開発と共に継続している。

1. 型と変数宣言

(1) 変数と型, 基本型

- - 変数は値を保持するための記憶領域である
 - アルゴリズムの実行過程で、様々な値を保持する
 - 多くの場合、一つの変数は同じ種類の値だけを保持する
- (type)
 - 同じ種類の値の集まりを型(type)という
 - 型には、 と がある
- **基本型の例**
 - int型 整数 (1, -32, 500 など)
 - float型 浮動小数点数 (3.14, 1.0 など)
 - char型 文字 ('A', 'b', '@' など)
 - string型 文字列 ("tanaka", "A\$%#", など)
 - bool型 論理値 (真(true)と偽(false))

ソフトウェア基礎論(3)

Slide 48

図 2 穴埋め式教材の例

一方、学習に関するデータを効率よく収集するために、穴埋め式教材を用いる方式を開発した（図 2）。教師の口頭説明や別教材での説明を参照しながら、学習者はこのような教材の穴埋め作業を行っていく。穴埋め結果の正解・不正解だけではなく、入力履歴、キーストロークに関する時間情報も収集するようにしている。収集したデータは、リアルタイムに集計され可視化されて教師に提示される。各種の可視化方式を実装して効果を検証中である。一例を図 3 に示す。このようなデータを見ながら、教師は学生のリアルタイムな学習状況を判定することができる。今年度の研究では、100 人を超える実際の講義中に用いており、開発したシステムが実用規模での実験に耐えることを検証したほか、この手法の有効性についても評価している。詳細については、末尾に示す論文実績[1], [2]で報告している。

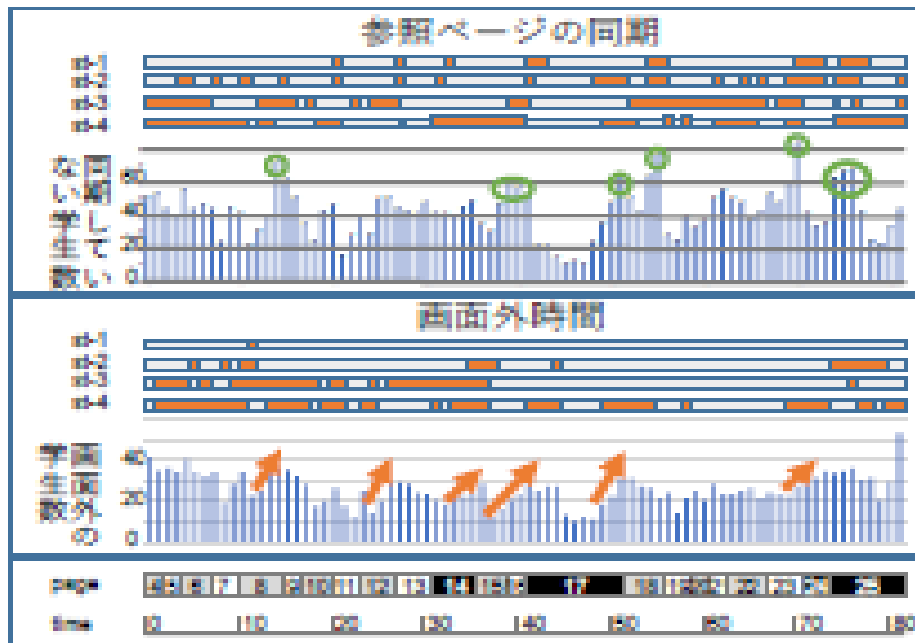


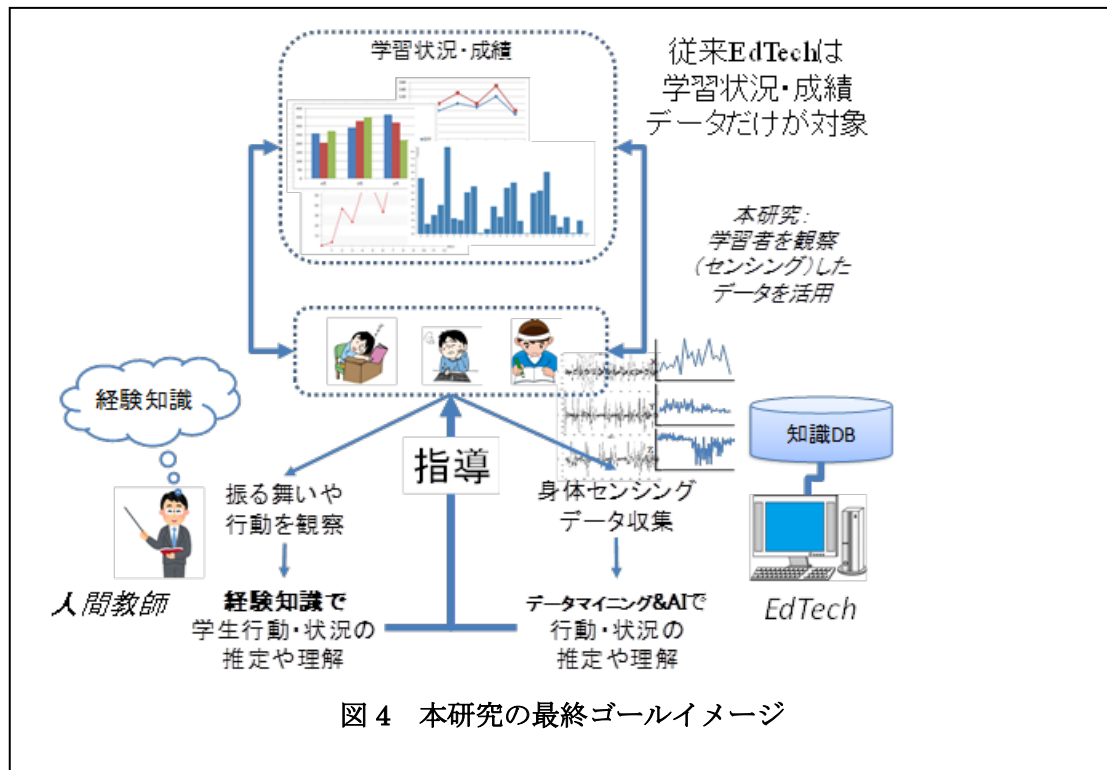
図3 収集したデータのリアルタイム可視化の一例

5. 今後の計画

本研究の最終的なゴールとしては、図4に示す総合的なEdTechシステムの開発である。この最終目標に向かって、今後は以下のように研究を進めていく予定としている：

- (1) カメラ画像データからの推定技術の開発。精度をさらに向上させるだけでなく、集中度以外の状況、例えば今の学習に対する興味の度合い、疲労の度合いなどである。従来研究では、顔画像から喜怒哀楽の推定を行う技術が開発されているが、本研究で進めている状況推定は未だに少ない状況である。
- (2) 他のセンサーデータを利用するようにする。本研究では、学習者に負担を掛けないことも目指しているため、できる限り非接触型のセンサーを用いる。とくにマイクにより収集する音情報に着目している。音環境が集中度に与える影響が知られているので、音情報を併用することにより集中度推定の精度向上も期待できる。また、学習者が学習中に発する無意識の音の利用も計画している。
- (3) 穴埋め教材で収集したデータとセンサーデータとの融合により、高度な状況推定ができる技術を開発していく。今年度では、両者は個別に研究を進めた別システムであった。これらを融合することで、両者の推定結果を相補的に利用できるようにしていく。
- (4) 学習教材の動的な提示など、教材や学習の自動的な制御に向けての開発も行う。

ていく。教師が柔軟に授業を進めることに類似な手法を EdTech でも可能となるように研究を進めていく。



6. 研究成果の発表

- [1] リアルタイムラーニングアナリティクスに向けた穴埋め式ワークブックシステムの学習行動ログ分析, 安部功亮, 田中哲雄, 松本一教, 電気学会情報システム研究会資料, IS 2019(24-45), pp.97-102, 2019.
- [2] Kousuke Abe, Tetsuo Tanaka, Kazunori Matsumoto, Analysis of Learning Behavior Logs based on a Fill-in Workbook System -Toward Real-time Learning Analytics -, International Journal of Education and Information Technologies, Vol. 13, 2019, pp.154-159, 2019.
- [3] Recommendation based on Emotional Preference, Nguyen Hoang Son, Masaaki Goto, Yu Takahata, Akihiko Ohsuga, Tetsuo Tanaka, Kazunori Matsumoto, IEEE 2nd Global Conference on Life Sciences and Technologies (LifeTech), 2020.
- [4] Estimating the Concentration of Students from Time Series Images, Nguyen Hoang Son, Takahata Yu, Goto Masaaki, Tetsuo Tanaka, Akihiko Ohsuga and Kazunori Matsumoto, 35th International Conference on Computers and Their Applications, (CATA 2020), 2020.