

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 17 日現在

機関番号：13501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25280098

研究課題名(和文) 多変量生体信号処理による食品感性分析に基づく食品デザイン技術の構築

研究課題名(英文) Construction of the food design technology based on the food sensitivity analysis by multivariate biosignal processing

研究代表者

阪田 治 (SAKATA, Osamu)

山梨大学・総合研究部・准教授

研究者番号：30391197

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題は、生体信号処理に基づく食品デザイン技術の研究開発である。主として得られた成果は次の通りである。(1)腸由来の音響信号の長時間計測および解析に基づく、食品・医薬品・栄養剤摂取による腸蠕動運動活性の可視化技術の開発、(2)重症患者に対するその臨床医療診断への応用、(3)健常者の消化活動活性度評価への応用、(4)心電等の自律神経活動指標を利用した食品嗜好感性分析、(5)複雑な食感デザインのための超音波断層動画像を用いた食品内部硬軟分布可視化技術開発、(6)嚥下障害患者の快適な食生活のための新しい食品デザイン基準の検討、他、が挙げられる。

研究成果の概要(英文)：This research project is research and development of the food design technology based on biosignal processing. The mainly obtained result is as follows.

(1) Development of the visualization technology of the peristaltic activity of a small intestine by food, medical supplies, and nutrient ingestion based on prolonged measurement and analysis of the audible signal stemming from bowel movements, (2) Application of (1) to the clinical medical diagnosis for patients in ICU, (3) Application of (1) to digestive activity evaluation of healthy people, (4) Food taste sensitivity analysis using autonomic nerve activity indices, such as ECG, (5) Research and development of visualization techniques of hard and soft distribution inside of a food for a complicated texture design based on analysis of ultrasonic tomography videos, (6) Study on new standard food design criteria for a swallowing difficulty patient's comfortable eating, and others are carried out.

研究分野：電子情報工学

キーワード：生体信号 食品デザイン 食感 腸音 超音波画像 栄養療法 重症患者

1. 研究開始当初の背景

近年、食生活環境の多様化はめざましく、様々なニーズに合う食品の開発・提供が求められている。特に消費者の個別ニーズに合う食品を提供するためには、開発した食品の品質が多面的かつ定量的に評価されていることが望ましい。しかし、食品開発の現場において、食品の安全性および栄養価に関する研究、さらに最近では食品の持つ機能に着目した研究等は盛んに行われているものの、食品開発に消費者の感性を反映させる方法は、パネルテスト程度の方法しか実用化されていないのが現状である。一方、近年我が国では生活習慣病が蔓延し、加えて急速に高齢化が進行しており、医療や福祉の充実の基盤となる食生活の充実・改善に対する社会的ニーズが高まっている。しかし、これに対して患者・高齢者の QOL に主眼を置いた有力な解決策は見出されていない。

このような社会背景の下、摂食時の感性と共に生理反応を的確に計測し、消費者の様々な感性や身体ニーズを満たす食品の開発技術が求められている。これに関連して、近年、様々なセンサで食品の物性を計測する研究や、食品の品質の善し悪しを多面的に判断する基準設定のための研究が国内外問わず急速に進められているものの、人間の食品感性を客観的に計測する技術は、従来のパネルテストを代替できるレベルには至っていない。しかし近年、人間の感性に基づく食品品質管理の重要性が各方面で認識され、官民の多くの研究機関で数々の研究プロジェクトが組まれている。本研究もその一環であり、複数の生体信号処理と、伝統的なパネルテストを含めた複数の感性評価指標を組合せた多変量解析としての食品感性評価技術開発およびこれを応用した食品デザイン技術の研究開発を目標とした。

2. 研究の目的

本研究は課題開始前に研究代表者らが行ってきた生体信号処理に関する基礎研究の成果をふまえて実施するものであり、「複数の生体信号処理による食品感性分析に基づく食品デザイン技術の構築」を目的としている。本研究では、広義の食品感性の定量分析結果を脳神経系・自律神経系・消化器官の間で因果的にリンクし、さらに食品試作と生体信号解析を反復・フィードバックすることで、高付加価値食料品のデザインや、体調・体質の異なる個人に対するオーダーメイドの食事管理・食事療法を実現する手法の確立を目的とした。

しかし、本課題採択後、代表者が所属機関において非研究業務について極めて負荷の大きな役割に就き、研究エフォートの激減を余儀なくされ、これは本研究課題遂行期間3年間中の2年間に及んだ。加えて、研究補助者となる山梨大学大学院生2名が健康上ま

たは経済的事情により研究への参画ができなくなった影響により、代表者が中核となって遂行予定であった脳神経関連研究計画に関してそのウェイトを減らし、消化や食品加工・デザインに関する部分のウェイトを大きくした。その主な研究目的は次の通りである。

- (1) 小腸の消化活動活性度を非侵襲的、定量的かつ簡便に計測するための技術・システムの開発、その技術の入院患者に対する栄養療法への応用、および医療用以外の食品と人間との適合性についての本システムを用いた調査研究
- (2) 主に歯ごたえや喉越しといった食感をデザインするための食品物性分析技術の開発
- (3) 嚥下障害患者等と対象とした苦痛なく食べることができる院内食品のデザイン技術の開発
- (4) 飲食に起因するストレスや緊張を可視化するための、心電位等の自律神経系反映指標の因果性解析手法の開発
- (5) 感性・情動・ストレス等の影響が現れていると考えられる生体信号に対するデータマイニング技術の研究開発

3. 研究の方法

複数の小課題が並行して実施された。前述の研究の目的で挙げた各項目について紹介する。

- (1) 代表者および分担者松田が中心となり、SHARP 株式会社の協力のもと、将来的な医療機器製品を念頭に置いた長時間リアルタイム腸音モニタリングシステムのプロトタイプを開発する。これを用いて、山梨大学附属病院 ICU 入院患者のデータを取得し、投薬や栄養療法の効果を我々の開発したシステムで評価可能であるかどうかの試験的検討を実施する。また同時に、得られた結果をシステムの使用法の検討やシステム自体の改良のためにフィードバックして研究を深化させる。一方、健常者を対象とした一般食品と人間との適合性や食品摂取の効用を腸音計測解析により定量的に調べることができるか否かの検証をする。
- (2) 代表者および分担者鈴木が中心となり、弾性食品の超音波断層画像に対して、医療診断技術として近年実用化されたエラストグラフィの原理を応用して食品内部硬軟分布可視化技術を開発する。弾性食品を圧縮変形させ、変形前と変形後の超音波断層画像を比較することにより、食品内部の相対的な硬質部分と軟質部分の分布を明らかにする画像処理技術を考案する。本課題では、

異なる2種類の画像処理法を提案する。

- (3) 本課題期間の終盤に着手した部分である。臨床現場における現状把握に始まり、様々な粘度・硬度・栄養成分の食品の試作と試食、嚥下状態を客観的に計測する技術の調査および提案を行う。
- (4) 脳神経活動由来信号として脳血流量分析(NIRS)、ストレス変化指標として唾液アミラーゼ量、不快指数としての顔面鼻部皮膚温、被験者のインタビュー調査、これらの同時計測・記録による同一食品の味付けの違いが感性に与える影響を調べる。食品としてはコーヒー飲料を用い、ミルクや砂糖による味の変化が加えられた試料を被験者が摂取し、その際の上記生体信号・生体情報の同時分析を行う。
- (5) 本研究課題で重視している腸音(の発生頻度変化)や心拍変動といった時系列信号の因果性解析手法を開発する。特に、情報通信理論で使われる情報エントロピーや相互情報量などを利用して、従来の周波数分析とは異なる知見を導く方法を提案する。

4. 研究成果

研究の方法で挙げた項目を中心に、それぞれに関する成果を以下に簡単に紹介する。

(1)

本研究課題では広義の食品として、医薬品や経腸栄養剤も研究対象としている。患者と医薬品や栄養剤、経腸栄養療法との適合性や有効性の客観的判断基準として、長時間腸音モニタリングは有効な手段になりうると思われる。そこで我々はまず臨床利用に耐えうる長時間リアルタイム腸音計測解析システムの開発を進め、さらにプロトタイプシステムを用いて臨床現場での試験的計測を多数実施した。



図1 ICUでの重症患者の腸音モニタリング

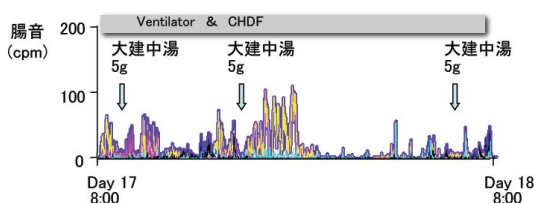


図2 重症患者の大建中湯投与後の腸音発生頻度変化

図1は、試作システムを山梨大学附属病院ICUで試験使用した様子である。概ね良好な計測が可能であることが確認された。図2は、重症患者に漢方薬(大建中湯)を投与した際の腸音発生頻度変化の長時間計測結果である。大建中湯は腸管蠕動運動亢進作用がある事が知られており、集中治療領域でも蠕動不安の症例に用いられている。消化管穿孔から腹膜炎、多臓器不全に陥った腸管蠕動不安の症例に対する大建中湯の効果を定量的に評価するため、大建中湯投与前後の腸音数の変化を観察したところ、投与後に腸音数の増加が観察された。他にも経腸栄養時の腸音データ等、多くの臨床ケースにおけるデータ取得を進めている。加えて、腸音モニタリング技術は、重症患者だけでなく、一般入院患者とその回復期における食事との適合性のチェック、一般家庭や施設における消化機能の低下した人たちのための日々の食事メニュー選択、または食品メーカーや外食産業における食製品デザインにおいても有効なツールになりうると思われるため、健常者を被験者とする腸音計測解析実験も数多く実施した。例を挙げると、ヤクルト(カゼイシロタ株)を摂取した際に、摂取後ほどなく腸音発生頻度変化グラフが明らかに上昇する様子が確認された。すなわち、摂取した食品の栄養学的成分により腸の蠕動運動活性が変化するとき、その様子を定量的に可視化することができることが確かめられたと言える。

本研究課題により開発された長時間腸音モニタリングシステムを用いて、健常者から重症患者まで、その腸蠕動運動活性の変化をとらえることができることが確かめられた。これは、科学技術研究の場にとどまらず、今後様々な医療・産業・生活の場面で利用できる有用なツールが開発されたということであり、基本的な人体計測技術の一つとして認知されていくことが期待される。

(2)

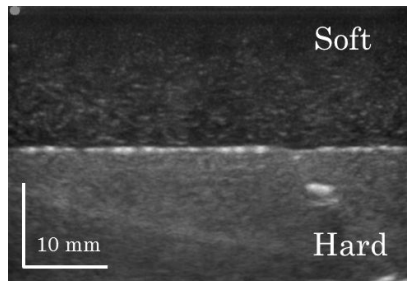
医療用超音波診断装置にはB-mode画像と呼ばれる2次元断層画像を撮影する機能が標準装備されている。本研究では、B-mode画像だけを用いて食品内部の硬軟分布を可視化する技術を2種類提案し、精度や適用対象への制約はあるものの、原理的には開発に成功した。既に、医療用途では悪性腫瘍の検出技術としての超音波エラストグラフィが実用化されているが、本研究で開発した技術はこれとは異なり、高価な特殊ハードウェアを必要とせず、安価な通常の超音波診断装置にソフトウェア上の機能追加のみで実現可能な技術であるため、将来的に医療以外の分野、特に食品産業界での利用が期待される。

開発した技術の1つは、弾性食品のB-mode画像中における、異なる音響特性を持つ複数

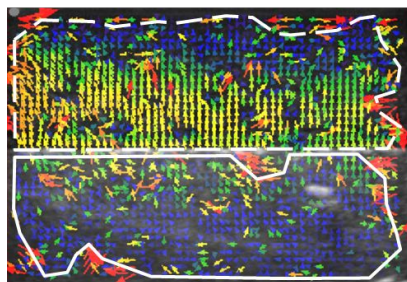
の閉領域の食品圧迫前後の面積変化から、食品内部の硬軟分布を可視化する方法である。これは本稿の主な発表論文リスト で公表済みである。主として、その内部において比較的硬軟分布境界がはっきりしている食品を測定対象と想定している。

また本研究課題では、これとは別の第2の手法の開発も行った。こちらは本稿執筆時点ではまた学術論文として公表はしていないが、概要は次のとおりである。

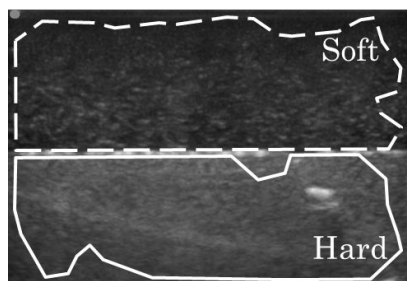
弾性食品を外部から圧迫・圧縮したときに撮影した圧縮前後の B-mode 画像を比較・処理する点では前述の方法と同じであるが、こちらでは B-mode 像中の硬軟部位に明確な領域境界線が見いだせないタイプの食品に有効な手法である。圧縮前後における B-mode 画像中の斑模様（スペックル）の移動の様子を動画像処理技術として有名なオプティカルフローを用いて食品内部の硬軟部位の区別を行う。図3は、硬い木綿豆腐と柔らかい絹ごし豆腐を2層に重ねたものを計測した様子である。図3（A）は B-mode 断層画像、図3（B）は圧縮前後の画像から算出したオプティカルフロー、図3（C）は（B）を基に推定した硬軟部位の分布である。明確に硬軟部位の違いが可視化されていることがわかる。



(A)



(B)



(C)

図3 硬軟2種類の豆腐を重ねたもの

本研究ではさらに、幾通りの加工条件下で作成した歯ごたえの異なる米麺の内部硬軟分布の可視化も試みた。その結果、米麺生地の練り量の違いに起因する米麺内部の硬軟分布の緻密さを画像として描出することができた。

この技術は、他の弾性食品の内部測定にもそのまま適用可能であるため、食品加工における新たな物性測定法として有効であると思われる。ただし、現時点では手動で行う作業も多く、また精度も低いため、産業界での実用化のために解決しなければならない問題が幾つも残されている。

(3)

ゼリー状やゲル状食品の加工・調理について、その方法や調整と実際に完成する食品の食感との関係を客観的指標で測定し、数値として食感評価をするための基礎実験に取り組んだ。本稿執筆時点でまだ着手後の端緒の段階であり、ケーススタディを積み重ねている状況である。別紙業績リスト中の学会発表として、ペクチン凝固に関する報告を数例挙げている。

(4)

健常被験者に味付けの異なるコーヒー飲料を摂取させ、その際に複数の生体信号・生体情報の同時取得を行った。実験イメージを図4に示す。



図4 生体信号計測イメージ

被験者に対して、すべて同一ボトルの市販アイスコーヒーで次のように味付けを変化させた試料を摂取させた。

ブラックコーヒー 砂糖入り ブラックミルク入り ブラック（これを3回繰返す）

脳血流計測（NIRS）および顔面サーモグラフィは常時計測とし、摂取開始前、摂取終了後、各試料間のタイミングで唾液アミラーゼ量測定を実施した。図5に唾液アミラーゼ量変化、図6に鼻部皮膚温度変化、図7に脳血流量変化の例を示す。

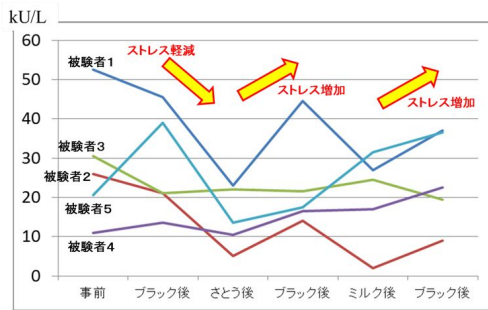


図5 飲料の味の変化に起因する唾液アミラーゼ量変化

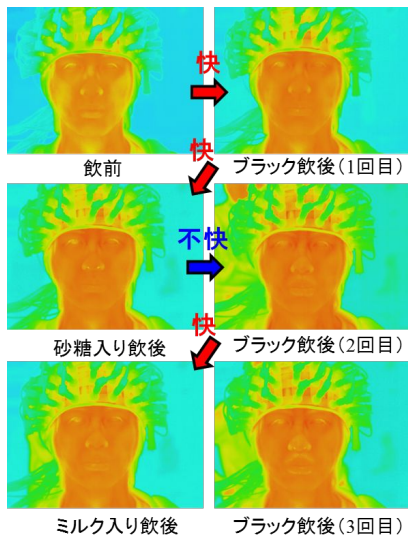


図6 飲料の味の変化に起因する顔面鼻部皮膚音変化

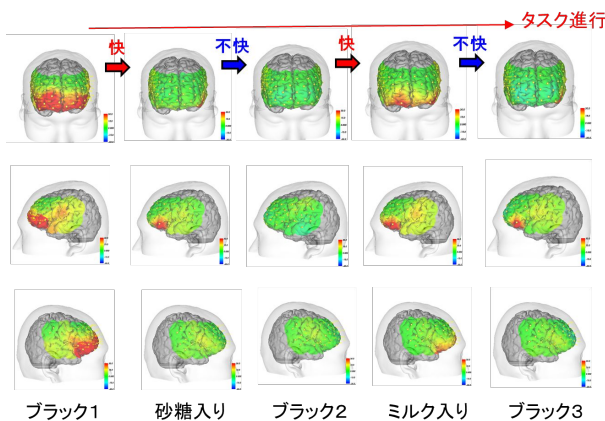


図7 飲料の味の変化に起因する脳血流量変化

被験者は5名であったが、唾液アミラーゼ計測に基づくストレス変化測定は、実験後に各被験者に実施したストレス感アンケートの結果とほぼ一致した。これを基準として、他の生体信号計測結果と比較した。図6, 7

はいずれも快 - 不快という情動に基づくストレス変化に反応すると言われている鼻部皮膚温と大脳前頭前野血流量であるが、被験者5名に共通する顕著な特徴は見出されなかった。被験者がストレスを感じ、かつその強度が実験中に変化していることもほぼ確定事項であるため、このような結果については、被験者数が少ないことによる影響、およびこの測定結果の2次処理によるデータマイニングの必要性が考えられる。

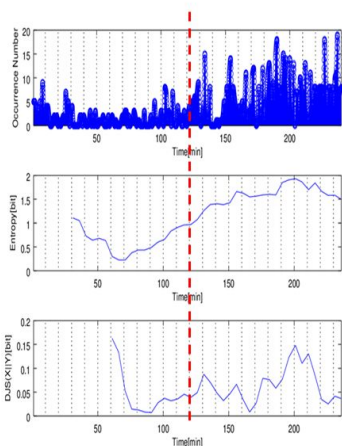
同一の実験において複数(3種以上)の生体信号・生体情報の測定を行っている感性研究はあまり例が無いが、測定対象信号・情報が少ない(1, 2種類)場合、実験者に都合のよい実験結果解釈をさせるおそれがあると思われる。仮に本研究で唾液アミラーゼと他1種類の測定しか行っていなかった場合、またはいずれが1種類のみ測定を行っていた場合、結果の客観的な評価を行うことが難しかったであろうことが推察される。今後はより測定対象情報の種類を増やし、実験者の主観や希望的観測が可能な限り入り込む余地の無いような実験仕様を組んだうえで感性評価研究をする必要がある。

(5)

生体信号を食品デザインに利用するためには、食品による人間への刺激に起因する各生体信号の変化を見出さなければならない。これは測定した生体信号の時間波形に明白な形で表れているとは限らない。計測信号の2次加工によって初めて何らかの知見が明らかになるという可能性も十分にあるが、本研究課題開始時点において、食品感性を表わす有力な生体指標は明らかになっていない。そこで、本研究では、食品刺激と人体反応との因果性や関係性を可視化するための生体信号の2次加工技術の開発を試みた。

医療診断や認知心理学の分野では、ストレスや快 - 不快の検出と目的として、脳波や心電図などの周波数分析がよく行われているが、本研究では周波数情報以外のアプローチを検討した。図8はその一例である。図8の上段は腸音発生頻度変化を表わす時系列信号である。測定途中にヤクルトを摂取し、腸の蠕動運動活性を強制的に高められている様子が観察できる。これに対し、図8の中段は上段グラフを元にして導出した情報エントロピーの経時変化、図8下段は上段グラフを元にして計算した Jensen-Shannon ダイバージェンスである。中段の情報エントロピーは腸の蠕動運動活性の不安定さの指標として扱うことができ、下段の Jensen-Shannon ダイバージェンスは、プロットした時刻とそこから30分前までの時間区間との腸蠕動運動活性パターンの類似性を表わすとみなすことができる。これらの情報論的數量を感性分析に利用した例は我々が調査した限り他に無いため、健常者および入院患者の腸音計測データを用いて、その有効性について統

計的に調査中である。同時に、本提案法は長時間の親泊変動信号分析にも適用可能であると考え、基礎実験検討を開始している。今後の研究によってこの提案法が腸音または心電図解析において有効であることが判明すれば、食品デザインにおける生体信号解析の活躍の場が広がると思われる。また、派生的に、長時間腸音モニタリング法の医療現場における用途が広がり、かつストレス脳科学のトピックである脳腸関連の研究における強力なツールとなることが期待される。



120分にヤクルト摂取

図8 腸音発生頻度変化の情報エントロピーによる解析

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計8件)

阪田治, 二村真弘, 鈴木裕, 佐竹隆顕: 食品性状評価のための超音波断層画像解析に基づく食品内部硬軟分布推定. 農業施設学会誌, 査読有, Vol. 46, No. 2, pp. 11-17, 2016. <http://www.sasj.org/journal/jour46.html#2>

Junko Goto, Kenichi Matsuda, Norikazu Harii, Takeshi Moriguchi, Masahiko Yanagisawa, Osamu Sakata: Usefulness of a real-time sound analysis system in patients with severe sepsis (pilot study). Journal of Artificial Organs, 査読有, Vol. 18, pp.86-91, 2015. DOI: 10.1007/s10047-014-0799-4

Osamu Sakata, Yutaka Suzuki, Kenichi Matsuda, Takaaki Satake: Temporal changes in occurrence frequency of

bowel sound in the fasting state. Journal of Artificial Organs, 査読有 Vol.16, No.1, pp.83-90, 2013. DOI: 10.1007/s10047-012-0666-0

〔学会発表〕(計29件)

佐野笑花, 西本純, 谷本守正: ペクチンの凝固条件の違いによる食感と物性値の関係. 日本食品科学工学会関東支部大会. 2016/03/05. (神奈川県・藤沢市・日本大学生物資源科学部)

二村真弘, 阪田治, 鈴木裕: 食品内部弾性分析による高齢者のための新しい食品品質評価法の検討. 日本福祉工学会第19回学術講演会, 2015/11/28. (山梨県・甲府市・山梨大学)

松田兼一: 栄養管理から栄養療法へ. 第41回日本集中治療学会学術大会, 2014/03/01. (京都府・京都市・京都国際会館)

阪田治, 鈴木裕, 佐竹隆顕: 腹部超音波断層動画像中の消化物のテクスチャに関する一考察. 日本食品工学会第14回年次大会, 2013/08/09. (京都府・京都市・京都テルサ)

6. 研究組織

(1)研究代表者

阪田治 (SAKATA, Osamu)
山梨大学・総合研究部・准教授
研究者番号: 30391197

(2)研究分担者

佐竹隆顕 (SATAKE, Takaaki)
筑波大学・生命環境系・教授
研究者番号: 00170712

鈴木裕 (SUZUKI, Yutaka)
山梨大学・総合研究部・助教
研究者番号: 40516928

松田兼一 (MATSUDA, Kenichi)
山梨大学・総合研究部・教授
研究者番号: 60282480

佐竹隆顕 (TANIMOTO, Morimasa)
山梨大学・総合研究部・教授
研究者番号: 60621323