

神奈川工科大学 ヒューマンデザイン研究センター
研究成果報告書

第 10 号

平成 26 年度

神奈川工科大学

工学教育研究推進機構

ヒューマンメディア研究センター
平成 26 年度研究成果報告の発刊に際して

研究代表者：情報ネットワーク・コミュニケーション学科 井上哲理

ヒューマンメディア研究センターでは、コンピュータ・ソフトウェア技術、ネットワーク技術、メディア表現技術を駆使して、自然なコミュニケーションを可能にして、現実空間では実現の難しい場面でのコミュニケーションを人間にとって自然な形で提供できるメディアについて基礎研究、応用研究を行っている。研究メンバーは、情報通信分野の研究者に加えて、工学分野やバイオ・栄養科学分野の研究者も参加・協力している。

基礎研究では、立体映像や拡張現実映像メディアの表示処理技術、仮想空間に対する人間の特性やインタフェースの研究、さらにサウンドを使った空間提示の基礎研究を行っている。応用研究では映像や音響、触力覚情報を組み合わせたメディアを学習やトレーニングに応用する際の課題などの研究が実施されている。

平成 23 年度～25 年度には、研究プロジェクト「次世代ヒューマンメディアを活用した体験・体感型学習支援技術の研究」を実施した。本プロジェクトの目的は、「立体表現メディア技術」、「仮想空間入出力メディア技術」などの次世代ヒューマンメディア技術を学習・訓練場面に効果的に応用することであり、対象や環境への直接体験に近い感覚を得られる学習コンテンツの提案を目指した。研究成果として、3 次元コンテンツ作成・描画法やモーションキャプチャ基盤システムの研究、サウンド提示の感性・認知への効果・影響の研究で一定の研究成果を得ることができた。特に、モーションキャプチャ基盤システムと音響研究の一部は実用開発段階へと発展した。一方、個々の研究では一定の成果は得られたが、研究プロジェクト全体での体験・体感型学習支援技術については十分な成果は得られず、個々の基盤研究成果を統合した応用研究実施への課題が残った。

今年度（平成 26 年度）は、従来からの研究テーマを個々の研究員が継続して研究を行うとともに、次のプロジェクト研究に向けたテーマや課題について検討を始めた。本研究成果報告書は、その中で得られた知見等をまとめたものとなる。

研究プロジェクトメンバー

研究代表者

情報学部 情報ネットワーク・コミュニケーション学科 井上哲理

研究メンバー

氏名	所属・職位等	役割分担
井上 哲理	情報ネットワーク・コミュニケーション学科・教授	全体統括 仮想空間での評価
上平 員丈	情報ネットワーク・コミュニケーション学科・教授	3次元インタラクションの 基礎研究
谷中 一寿	情報メディア学科・教授	3次元コンテンツ提示法の研究
服部 元史	情報メディア学科・教授	3DCG コンテンツ作成法の研究
高尾 秀伸	ロボットメカトロニクス学 科・准教授	仮想環境評価の脳機能面での 基礎研究
田中 博	情報工学科・教授	動作認識のヒューマンメディア への応用研究
小島 一成	情報メディア学科・准教授	生体計測のヒューマンメディア への応用研究
吉野 和芳	ロボットメカトロニクス学 科・准教授	訓練コンテンツ作成法の研究
西口 磯春	自動車システム開発工学科・ 教授	サウンド提示の感性への効果 の研究
黒川 真毅	情報メディア学科・准教授	サウンドの空間認知への 影響評価
澤井 淳	栄養生命科学科・教授	ヒューマンメディアの管理栄養 教育への応用
原島 恵美子	栄養生命科学科・准教授	栄養教育へのヒューマンメディア の応用
澤井 明香	栄養生命科学科・准教授	ヒューマンメディア利用時の ストレス評価

目 次

研究成果報告

- | | | | |
|------|--|-------------|----|
| (1) | 仮想対象と自然なインタラクションを可能にする 3 次元表示対象の視覚的知覚位置の推定に関する研究 | 上平 員丈 | 1 |
| (2) | ミクストリアティのための裸眼立体表示方式の研究 | 谷中 一寿 | 5 |
| (3) | 粒子法 MPS 連続体力学シミュレーションの数理厳密化と計算高速化による 3DCG 描画システム | 服部 元史 | 10 |
| (4) | 仮想空間を用いた学習コンテンツの研究 ～没入型空間提示システムを用いた臨場感表現～ | 井上 哲理 | 16 |
| (5) | fNIRS を用いた味覚の客観的評価に関する基礎研究
— 一体型と食欲求が脳の賦活に与える影響 — | 高尾 秀伸 | 22 |
| (6) | 超音波センサとスマートフォン内蔵センサを用いた屋内測位基盤の構成法とその実証 | 田中 博 | 26 |
| (7) | リハビリテーション指導支援のための体操インストラクタ・ロボット・システムの開発 | 吉野 和芳 | 30 |
| (9) | サウンド提示の感性への効果の研究 | 西口 磯春、黒川 真毅 | 33 |
| (10) | 塩素処理に変わる安全・安心を目指した焼成カルシウムによるフレッシュ食品の殺菌・除菌法の開発 | 澤井 淳 | 36 |
| (11) | 食事バランスガイドを活用した大学生の食事評価と栄養教育への展開 | 原島恵美子 | 40 |
| (12) | 精神ストレスおよび日常動作の簡易客観評価のための測定器の開発 | 澤井 明香 | 44 |

仮想対象と自然なインタラクションを可能にする3次元表示対象の視覚的知覚位置の推定に関する研究

研究者名：情報ネットワーク・コミュニケーション学科 上平員丈

1. 研究の目的

3D表示された仮想対象の視覚位置を高精度に推定する技術を確立し、人間が自分の身体を使って仮想対象を操作する場合、実対象を操作する場合と同様に自然な操作を可能にするヒューマン・コンピュータインタラクション技術の実現を目的とする。

2. 研究の必要性及び従来の研究

ユーザが自らの手など身体の一部を使って3D表示された仮想対象（以下、単に仮想対象とよぶ）と直接インタラクションできるシステムは、エンタテインメント、遠隔作業、遠隔医療など様々な分野で多くの魅力的な応用が期待されている。このようなシステムにおいて自然なインタラクションを可能にするには、ユーザが仮想対象に触れたと見える位置で仮想対象が反応することが必要である。また、触角や力覚などを用いるマルチモーダルシステムでは仮想対象に触れたと見える位置で手に触角や力覚を与えることが必要であり、この位置がずれると自然なインタラクションが実現できない。すなわち、システムが取得する仮想対象の位置と、ユーザが視覚的に知覚する仮想対象の位置が一致する必要があり、特に遠隔作業等で精密作業を行う場合は、この両者が正確に一致することが必須となる。

上記のようなことは実対象とのインタラクションにおいては特に問題になることはない。しかし、仮想対象とインタラクションを行う場合は、ユーザが知覚する仮想対象の位置を正確に取得することが難しく、従来のシステムでは自然なインタラクションが実現されるに至っていない。ユーザが知覚する仮想対象の位置を正確に取得できない理由は、通常、仮想対象の奥行き位置は立体視の生理的要因の一つである両眼視差に基づいて計算されるが、人間の視覚系に奥行き位置を知覚させる要因は両眼視差だけではないため、両眼視差から求めた奥行き位置がユーザの視覚位置とは必ずしも一致しないためである。また、視覚位置は同一人物でも状況によって異なるとされている。

以上の理由から、仮想対象と自然なインタラクションを実現するために正確な仮想対象の視覚位置を取得する技術の開発が不可欠である。

3. 期待される効果

視覚奥行きを正確に推定できると上記のように仮想対象と自然な相互作用が可能になる。この結果、3D画像を用いる各種作業の作業効率を向上させることが可能となる。特に、3D画像を用いた精密作業において本技術の効果は大である。

4. 研究の経過及び結果

本研究では、人間が仮想対象に操作を加えるため仮想対象に向けて手を伸ばすリーチング運動における手の速度と時間の関係、すなわち速度プロファイルから仮想対象の視知覚奥行きを推定を試みる。リーチング運動における速度プロファイルは仮想対象の視知覚奥行きに依存するので、逆にこの速度プロファイルから仮想対象の視知覚奥行きを推定することが可能と考えた。仮想対象とのインタラクションとして、様々な形態があるが、これまでは、仮想対象を掴まむ、握る、またリーチングの方向とは直角方向に仮想対象を押すなどのインタラクションを想定し、仮想対象に触れる位置で指の運動が止まる場合を取り上げてきた。ここでは、手の速度プロファイルをガウス関数で表すことにより仮想対象の視知覚奥行きを推定可能なことを示した。さらに、速度プロファイルが非対称となる場合について、 χ^2 分布関数を用いる方法を提案し、実験によりその有効性を実証した。

また、インタラクションの種類によっては仮想対象の位置で手の運動を止めないものもある。例えば、打つ、叩く、突くなどである（以下、これらをヒッティングとよぶ）。ヒッティングに対しては、手が仮想対象に達した時点で手の速度が最大になると予想される。したがって、手の加速度は手が仮想対象に向かう途中で最大値をとり、仮想対象に到達した時点でゼロになると考えられる。そこで、加速度プロファイルをガウス関数で近似して、加速度が0となる位置を予測することにより仮想対象の視知覚奥行きを推定する方法を検討し、その可能性を確認した。

平成26年度は、ヒッティングによるインタラクションについて、さらに詳しい検討を行った。ヒッティングにおける運動プロファイルについては、実対象についても過去の研究例がほとんどないため、実対象の場合について調べて、本研究の基礎データとし、仮想対象の場合との比較によって得られた知見をシステム設計に反映させることを狙いとした。さらに、仮想対象についても、手の運動を画面と平行として仮想対象の横からヒッティングする場合の手の速度プロファイルを調べた。

図1に実対象を用いた実験の構成を示す。被験者の指の運動開始位置より30, 40, 50cm前方に実対象としてロッキングドールを置き、10人の被験者にこれを指で突き倒すタスクを与えた。このときの指の運動をビデオカメラで撮影して指の速度を求めた。

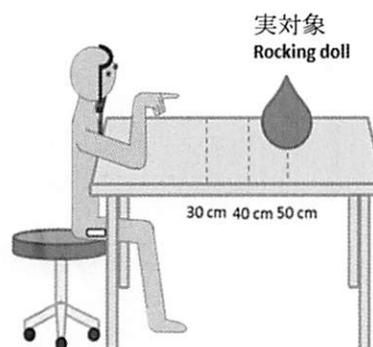


図1 実験の構成（実対象の場合）

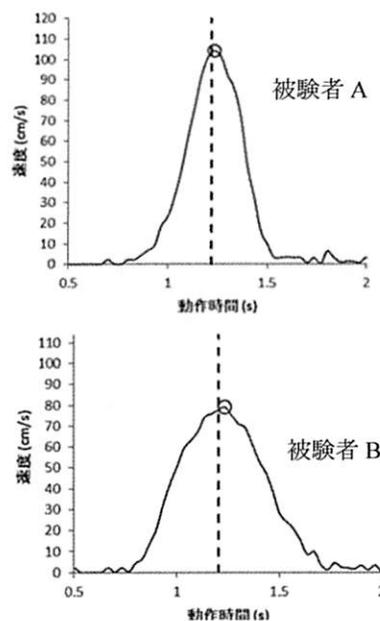


図2 速度プロファイルの例

図2に速度プロファイルの測定例を示す。図2において、破線は衝突時刻、丸は速度がピークとなった時間を示す。図2から、速度プロファイルはベル型を示すことがわかる。また、速度がピークとなる時刻は衝突位置よりわずかに後ろにずれることがわかる。

図3は指の速度がピークに達する時間と実対象に衝突した時間の差について10名の被験者がそれぞれ10回試行した平均値と標準偏差を示す。図3から、衝突位置の少し後ろで速度がピークに達することがわかる。

図2および図3に示す結果から、指の速度がピークとなる位置は、衝突位置のわずか後ろ側になることがわかったが、これは、このような運動によって実対象に最大のエネルギーを与えることができるためと考えられる。

図4に仮想対象を用いた実験の構成を示す。仮想対象を用いた実験では、右側から対象を叩く動作について速度プロファイルを測定した。実験結果から、右側から仮想対象を叩く場合も、正面から叩く場合と同様に速度プロファイルはベル型を示した。また、指の速度はほぼ仮想対象との衝突位置でピークになることがわかった。

仮想対象の場合については、H25年度およびH26年度の実験結果から実対象の場合に比べて、ピーク速度位置と衝突位置の顕著な違いは認められていないが、今後、データをさらに詳細に分析して実対象の場合と同様の傾向がないか確認していく。

5. 今後の計画

H26年度までの研究においては、仮想対象とのヒッティングによるインタラクションではピーク速度位置は衝突位置とほぼ一致したが、仮想対象の場合でもインタラクション時に触力覚が提示されれば、実対象と同様にピーク速度位置が衝突位置より後ろ側にシフトする可能性がある。今後、仮想対象、実対象の双方で対象の形状や提示する感覚の種類、大きさなどにどのように依存するか詳細に調べる。

さらに、3D表示された仮想対象が運動している場合についても本技術が適用できることを実験により実証する。また、本技術を応用した危険回避など、緊急動作を補助・支援するシステムの実現性を明らかにする。

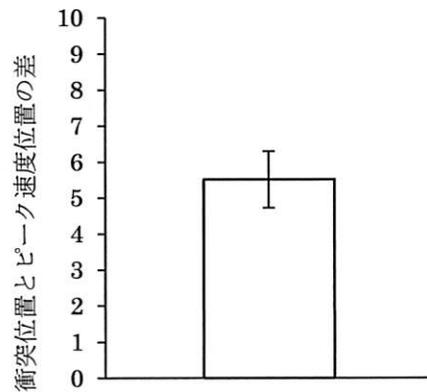


図3 衝突位置とピーク速度位置の差

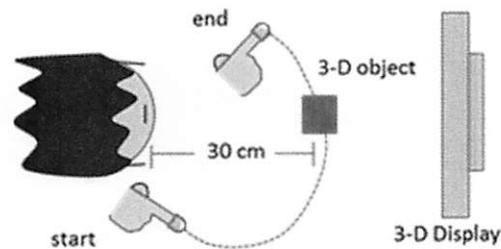


図4 実験の構成（仮想対象の場合）

6. 研究成果の発表

- [1] 土田望、ピヤラット シラパスパコンウォン、海野浩、鈴木雅洋、上平員丈、” ヒッティング動作の時空間特性”， 電子情報通信学会技術報告、HIP2014-2、 (2014.5)
- [2] Piyarat Silapasuphakornwong, Masahiro Suzuki, Hiroshi Unno, Kazuki Matushima, Kazutake Uehira, and Yuichi Takeda, “New Technique to Estimate Positions of 3 -D Images by Fitting Velocity of Reaching Movements into Function of Chi-Squared Distribution”, Proceedings of the 2nd International Conference on Human-Computer Interaction, pp. 125-1 – 125-6 (2015.8)
- [3] Piyarat Silapasuphakornwong, Masahiro Suzuki, Hiroshi Unno, Kazutake Uehira, “ Estimation Technique for hitting position based on human body movement in real objects and Virtual objects conditions”, Proceedings of ICIPT2015 (2015.11)
- [4] Masahiro Suzuki*, Hiroshi Unno, and Kazutake Uehira, “Exact Interactions Executed with New Technique Estimating Positions of Virtual Objects by Using Human Body Movements”, Proceedings of IEEE Symposium on 3D User Interfaces, pp. 185-186 (2015.3)

ミクストリアリティのための裸眼立体表示方式の研究

研究者名：情報メディア学科 谷中 一寿

1. 研究の目的

ミクストリアリティにおいて特殊なメガネなしで現実空間と仮想空間とを重ね合わせるための立体表示方式としては、横だけでなく縦方向にも視差を生ずるインテグラルフォトグラフィ (Integral photography, 以下 IP と略す)方式が望ましい。特に IP の一種で、かつて筆者らが提案した拡張フラクショナルビュー (Extended Fractional View, 以下 EFV と略す) 方式を用いれば、安価に高品質な IP が実現できる。ミクストリアリティでは、仮想空間と現実空間の重なる領域が大きいことが望ましく、そのため飛出し量の増大や大画面化などが求められるので、それらに必要なさまざまな技術確立することを目的とする。

2. 研究の必要性及び従来の研究

両眼視差を利用した数ある 3D ディスプレイの中でも 1908 年にリップマンが提案した IP は、ホログラフィにも似た優れた特徴を有する優れた方式であるが、実用化はかなり先と考えられてきた。その理由の一つは、非常に高精細な液晶ディスプレイ (LCD) やそれ専用のフライアイレンズが必要なため、非常に高価なものになってしまうことがある。筆者が提案した EFV 方式を用いれば、図 1 に示すようにフライアイレンズのピッチと LCD の画素ピッチの比率が整数に限定されないため、安価な既製品で IP を実現することができる。しかしながらこの方式をミクストリアリティに適用するには、立体表示の飛出し量の増大や大画面化をはじめ、解決すべき課題があり、さらなる研究が必要な状況である。

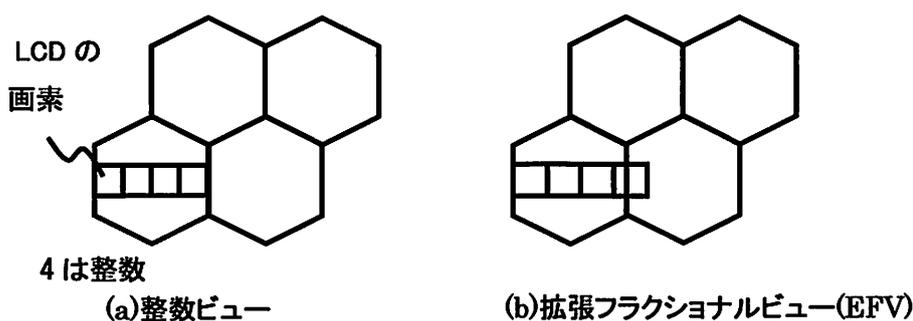


図1 整数ビューと拡張フラクショナルビューの違い

3. 期待される効果

本研究によって、従来 EFV 方式で実現されてきたものよりも飛出し量を多く確保でき、仮想空間と現実空間が重なる領域が広がるので、インタラクションが容易になる。また、ユーザの操作に応じて実時間で立体表示された物体を動かすことができるようになる。これにより、バーチャルリアリティやミクストリアリティなど、人とコンピュータがより

自然にインタラクションを行うことが要求される用途に適用できるようになる。

4. 研究の経過及び結果

平成 26 (2014) 年度には、以下のような進捗があった。

4. 1 1台のプロジェクタを用いた投影型インテグラルフォトグラフィ[1]

LCD などのフラットパネルディスプレイ (FPD) にフライアイレンズを重ねるインテグラルフォトグラフィ (図 1(a)) では、画面サイズは FPD のサイズと同じになるので、大画面化には限界がある。これに対し、投影型はそのような制約がないので、大画面化に適した方式である。従来、視点の数だけのプロジェクタを用いる方式が提案されているが、装置が大規模になり高価になりがちである。よってプロジェクタ 1 台のみを用いるシンプルな投影型 IP を研究した。図 2 (a) は LCD などの平面ディスプレイに IP 画像を表示させ、その手前にフライアイレンズを設ける方式であり、これは投影型ではないが比較のためにここにお示しした。図 2 (b) に示すように、フライアイレンズの背面に拡散板を設け、そこにプロジェクタで IP 画像を投影すれば、拡散板から光が出たのと等価になるので投影型 IP が実現できるが、拡散板で光が拡散するため立体像の明るさや解像度が損なわれる可能性がある。そこで、図 2 (c) に示すような、拡散板を使わない方式を提案した。図 3 に示すようにプロジェクタから出た光はほぼ平行光線とみなせるので、フライアイレンズで屈折し、フライアイレンズの手前側 (観察者の側) の焦点に集まった後、それぞれの方向に直進する。従って観察者の側から見ると、あたかもフライアイレンズの手前側の焦点から、方向によって異なる光線が出ているように見えるので、図 4 に示すような実験装置で図 5 に示すような IP による 3D 画像が表示される。

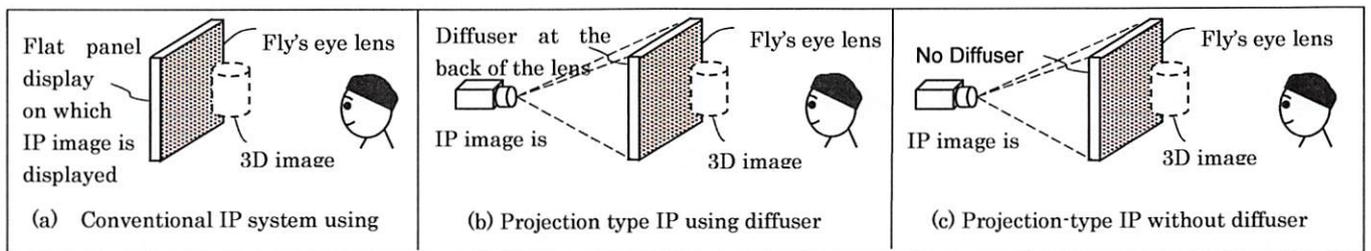


図 2 IP 方式の比較

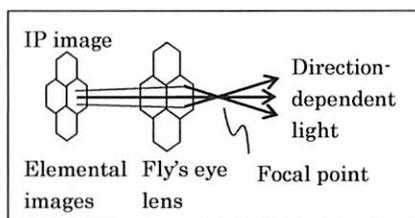


図 3 光線の軌跡

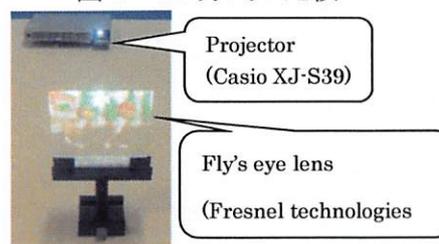


図 4 実験装置



図 5 表示された 3D 画像

4. 2 タブレットベースの IP を用いた物理シミュレーション[2]

タブレットを傾けるとボールがあたかも重力によって移動するように見える物理シミュレーションシステムにおいて、臨場感を高めるため、EFV方式のインテグラルフォトグラフィによる裸眼立体表示を導入した。EFV方式では、物体とフライアイレンズの相対的な位置は、フラットパネルディスプレイの物体の位置によって変わるので、ボールを異なる位置に表示する際、1枚のIP画像の表示位置を単に変える方法では正しい立体表示ができない。そこで予めレンダリングしておいた $8 \times 8 = 64$ 枚のIP画像のうち、最も適したものを選択して表示する方式を用いた。

タブレット PC フライアイレンズ 飛び出して見えるボール

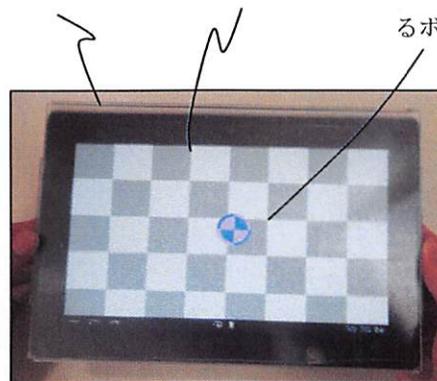


図6 タブレットベースの IP を用いた物理シミュレーションシステム

4. 3 IP による物体の輝きの表現[3-4]

通常の CG ではただ1つの視点から見た画像がレンダリングされるので、当然のことながら観察者の視点が移動しても画像は変化しない。よって、宝石などのキラキラとした輝きを表現するには限界がある。これに対し IP を用いると、図7に示すように1つのシーンが複数のカメラで同時に捉えられ、ディスプレイの各画素から方向に依存した光が出るので、図8に示すような輝きを伴う質感表現が可能である[3]。さらに、IP 画像を並べ替えて手を加えることで、輝きを強調したり、特定の方向から見ると特定の色に見えるといったエフェクトを加えることが可能になる[4]。なおこれらの研究は映像作家で本学助教の牧奈歩美氏との共同研究であり、主として氏が芸術を、報告者が技術を担当した。

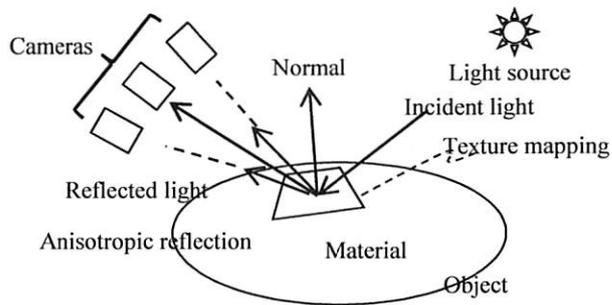


図7 複数のカメラによるレンダリング



図8 IP による立体表示の例

4. 4 IPの飛び出し量の増大[5]

現在のところIPで大きな飛び出し量を得るのは困難であるが、その主たる理由はフライアイレンズから離れるにつれ光線の密度が低下することにある。LCDの解像度を上げれば解決できるが、それには限界がある。もう一つの方法は、フライアイレンズの焦点距離を長くする方法である。但しフライアイレンズの試作には莫大な費用がかかるので、今回は既存のフライアイレンズを水没させることで焦点距離を伸ばした。水の屈折率が1.3334、フライアイレンズの素材がアクリルの場合その屈折率が1.5であるとする、フライアイレンズを水没させることによって焦点距離が約3倍になるので、それだけ大きな飛び出し量が得られる。なおこの研究は映像作家で本学助教の牧奈歩美氏との共同研究であり、主として氏が芸術を、報告者が技術を担当した。図9の作品では、結晶になった化石をモチーフに3DCGで制作された美しい物体が、あたかも水中にあるように見える。

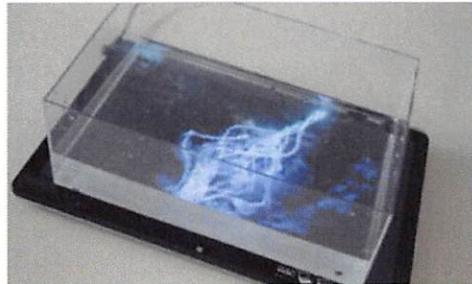


図9 フライアイレンズを水没させて飛び出し量を増やしたアート作品

4. 5 インタラクティブなテニスの壁打ち練習システム[6]

壁打ちはテニスの効果的な練習法であるが、対戦相手がいないので単調で退屈なものになりやすい。そこで図10に示すように、実在のテニスボールが実在の壁に当たった音を、壁に設置された3つのマイクで捉えてそれらの時間差により衝突位置を検出し、その位置にたとえば火花などの映像効果をプロジェクタで投影するシステムを構築した。壁には映像効果だけでなく、対戦相手などの目標物の画像や、スコアなどが表示されるので、ゲーム感覚で楽しく練習できる。なおこのシステムにはまだ立体表示が導入されていないが、もし導入されれば、より実際の試合に近い高い臨場感が得られることが期待される。

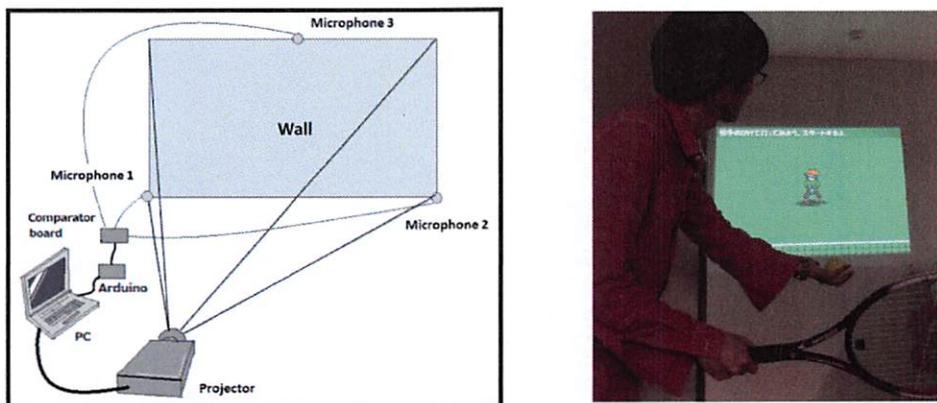


図10 インタラクティブなテニスの壁打ち練習システム

5. 今後の計画

裸眼立体表示については、引き続き、飛び出し量を増やすための検討を進める予定である。そのためには、入手可能なうちで最も高解像度の液晶ディスプレイを用い、かつフライアイレンズを水などの液体に浸す方式を引き続き検討する予定である。ミクストリアリティに関しては、既にレンティキュラー方式の裸眼立体表示と Leap Motion とを組み合わせた方式についてはできているので、今後、レンティキュラー方式を IP 方式に変更できないかを検討する。

6. 研究成果の発表

[1] Kazuhisa Yanaka: Simple projection-type integral photography system using single projector and fly's eye lens. ACM SIGGRAPH 2014 Posters. (Aug. 2014)

[2] Kazuhisa Yanaka, Yusuke Kawano, Teluhiko Hilano, Kazutake Uehira: Autostereoscopic Dinamic Simulation System Using Integral Photography on a Tablet PC. Proceedings of the 2nd International Conference on Human-Computer Interaction, Prague, Czech Republic, August 14-15, 2014, Paper No. 129. (Aug. 2014)

[3] Nahomi Maki, Akihiko Shirai, Kazuhisa Yanaka: 3DCG art expression on a tablet device using integral photography. Proceedings of Laval Virtual VRIC '14, Article No.20. (Apr. 2014)

[4] Nahomi Maki, Kazuhisa Yanaka: 3D CG Integral Photography Artwork Using Glittering Effects in the Post-processing of Multi-viewpoint Rendered Images. Human Interface and the Management of Information. Information and Knowledge in Applications and Services, Lecture Notes in Computer Science, Volume 8522, pp 546-554. (Jun. 2014)

[5] Nahomi Maki, Kazuhisa Yanaka : Underwater Integral Photography. IEEE VR 2015 Reserch Demo. (Mar. 2015)

[6] Shintaro Hashimoto, Syungo Kakizawa, Motofumi Hattori, Takayuki Kosaka, Kazuhisa Yanaka: Intelligent Tennis Wall for Interactive Solo Tennis Practice. Proceedings of ICIPT 2014 (International Conference on Imaging and Printing Technologies), Nov. 5-7, 2014, Bangkok, Thailand, pp.96-100. (Nov. 2014)

粒子法 MPS 連続体力学シミュレーションの数理厳密化と 計算高速化による 3 DCG 描画システム

情報メディア学科

服部元史

1 研究の目的

嚥下機能(食べ物を人間が飲み込む機構)に障害を有する患者は、固体としての食物を摂取する事が困難であるため、液状の食品を摂取する事に成る。摂取し易い液状食品を効率的に開発するために、口腔・咽頭・食道を通して飲み込まれて行く液状食品の変形運動を流体力学シミュレーションでできる技術が望まれる。

口腔・咽頭・食道の筋肉と衝突しながら分離や融合を繰り返して飲み込まれて行く液状食品の変形運動は、自由表面(移動する自由な境界)を有する Navier-Stokes 流体運動方程式で記述される。自由境界の変形運動まで捕捉しながら Navier-Stokes 方程式を数値計算できる技法として、粒子法 Moving Particle Semi-implicit (MPS) が越塚誠一教授(東京大学工学系)によって 1995 年頃に提唱され、その後も様々な大学や企業で研究され改良が加えられ続けている。

この粒子法 MPS の Algorithm を Navier-Stokes 方程式の数学理論に基づいて検討し直し、計算結果の精度を向上させる事で、液状食品を効率的に開発できる流体力学シミュレーションを改良して行く事が本研究の目的である。

2 研究の必要性及び従来の研究

自由境界を有する液体の変形運動をシミュレーションする必要がある産業界の様々な分野に应用されている粒子法 MPS であるが、流体粒子の速度と位置が適切に計算されるにもかかわらず、計算される圧力の時系列が数値的に振動する(高い周波数の雑音を含んでしまう)という欠点を生じた。この欠点を修正するべく、粒子法 MPS の圧力 Poisson 方程式の Source 項に補正項を追加する手法が、南佳成研究員(海洋技術安全研究所, 2007)らによって提案され、広く使用されるに至っている。

計算される圧力の時系列が数値的に安定化できる(高い周波数の雑音を除去できる)効果が得られるため heuristic に付加された補正項であるが、その物理的な根拠が不明であったため数値計算手法の正当性が明確では無かった。そこで粒子法 MPS の圧力 Poisson 方程式の Source 項に付加された補正項の物理的な意味を、流体運動方程式(Navier-Stokes 方程式)の数学理論に基づいて本研究で検討した。

嚥下機能に障害を有する患者が栄養を摂取するために飲む液状食品は、液体としては粘性の高い物が多い。このような高い粘性を有する液体について、口腔・咽頭・食道の筋肉と衝突し分離や融合を繰り返しながら飲み込まれて行く時に、液体変形運動を粒子法 MPS で正確に数値計算するためには、粒子法 MPS の時間発展スキームが速度 v についても陰的 Implicit である事が望ましい。そこで速度 v についても圧力 p についても陰的 Implicit な時間発展スキームを本研究で導出した。

3 期待される効果

粒子法 MPS で圧力を求解する Poisson 偏微分方程式(Laplace 偏微分作用素と source 項から構成される偏微分方程式)を越塚誠一が最初に導出するにあたっては、液体の非圧縮性を考慮し質量密度が一定値である前提に基づいて、Navier-Stokes 流体運動方程式と質量保存の連続の式から Poisson 偏微分方程式が導出されていた。

流体粒子の速度、位置、圧力を粒子法 MPS で数値計算するにあたり時間発展は差分法によって計算されるため、現在の時刻 s における流体粒子の速度、位置、圧力の数値が計算済みである状況の下で将来の時刻 $t = s + \Delta s$ における流体粒子の速度、位置、圧力の数値を計算する。時刻 s, t などの各節目の time step において粒子法 MPS では非圧縮性が成立しているが(非圧縮性を成立させるように流体粒子の位置と圧力を計算しているが)、現在の時刻 s から将来の時刻 $t = s + \Delta s$ までの間の中間的な時間区間 $[s, t]$ において圧縮した状態にある事が粒子法 MPS の特徴である。

この中間的な時間区間 $[s, t]$ における圧縮した状態を考慮し越塚誠一教授が最初に導出された時よりも高い近似で質量保存の連続の式を扱いながら、圧力を求解する Poisson 偏微分方程式を本研究で導出したところ、上記の南佳成による補正項まで込めて導出する事に成功した。

圧力 Poisson 偏微分方程式の Source 項に付加されて来た補正項は、heuristic な経験則だけに根拠を有するものではなく、Navier-Stokes 流体運動方程式と質量保存の連続の式から物理的に導出できるものである事を本研究で明らかにした。

また上記の考察を深めて行く事によって、圧力 p についても速度 v についても陰的 Implicit な時間発展スキームを粒子法 MPS で導出し直す事にも成功した。圧力を求解する Poisson 偏微分方程式としては、偏微分方程式論の基本である Yosida 近似を伴う Laplace 偏微分作用素を有する物として求めた。

嚥下機能に障害を有する患者が摂取する液状食品は高い粘性を有する液体であるため、患者の口腔・咽頭・食道の筋肉と衝突しながら飲み込まれて行く時の液状食品の変形運動を陰的 Implicit な時間発展スキームによる粒子法 MPS で数値計算すれば、正確なシミュレーション結果が得られる。

4 研究の経過及び結果

4.1 圧力についても流速についても陰的な MPS を導く

自由境界を有する非圧縮 Navier-Stokes 方程式の近似解を数値計算するアルゴリズムとして、粒子法 Moving Particle Semi-implicit method (MPS method) を越塚誠一らは 1995 年に提案している。時間と共に変形して行く液体領域を膨大な個数の粒子達によって空間離散化する方法を粒子法 MPS は採用している。越塚誠一らによって提案された original な粒子法 MPS の時間発展スキームは、流速 v について陽的 Explicit であり、圧力 p について陰的 Implicit であった。

偏微分方程式の数学理論に基づいて柴田良弘と清水扇文は 2007 年に、自由境界を有する非圧縮 Navier-Stokes 方程式の厳密解を構成している。ここで Hille-Yosida による解析半群の理論によって厳密解が構成されているため、柴田・清水による時間発展スキームは流速 v について陰的 Implicit である。

粒子法 MPS で数値計算される近似解が柴田・清水による厳密解に収束する事を理論的に保証するためには、流速 v についても圧力 p についても陰的 Implicit な時間発展スキームに成るような粒子法 MPS を導出する事が望ましい。

そこで以下のようにして、流速 v についても圧力 p についても陰的 Implicit な時間発展スキームを導出した。

4.2 流れを Lagrange 記述する

ユークリッド空間 \mathbb{R}^{Dim} ($\text{Dim} = 2, 3$) における非圧縮な流れを考える。過去の時刻 $s(\geq 0)$ において位置 $x = (x_1, x_2, \dots, x_{\text{Dim}}) \in \mathbb{R}^{\text{Dim}}$ に居た流体粒子が、未来の時刻 $t(> s)$ において位置 $z = (z_1, z_2, \dots, z_{\text{Dim}}) \in \mathbb{R}^{\text{Dim}}$ に到達している事を、

$$z = r(t/s, x) \quad (1)$$

の式で表わす事にする。

ユークリッド空間 \mathbb{R}^{Dim} において、流体粒子の位置 r ・速度 v ・加速度 a を

$$r = (r_1, r_2, \dots, r_{\text{Dim}}) \in \mathbb{R}^{\text{Dim}} \quad (2)$$

$$v = (v_1, v_2, \dots, v_{\text{Dim}}) \in \mathbb{R}^{\text{Dim}} \quad (3)$$

$$a = (a_1, a_2, \dots, a_{\text{Dim}}) \in \mathbb{R}^{\text{Dim}} \quad (4)$$

のように表わす。過去の時刻 $s(\geq 0)$ において位置 x に居た流体粒子が、未来の時刻 $t(> s)$ での位置 z において有している速度が $v(t/s, x)$ である。過去の時刻 $s(\geq 0)$ において位置 x に居た流体粒子が、未来の時刻 $t(> s)$ での位置 z において有している加速度が $a(t/s, x)$ である。過去の時刻 $s(\geq 0)$ において位置 x に居た流体粒子が、未来の時刻 $t(> s)$ での位置 z において有している圧力が $p(t/s, x)$ である。過去の時刻 $s(\geq 0)$ において位置 x に居た流体粒子が、未来の時刻 $t(> s)$ での位置 z において有している質量密度が $\rho(t/s, x)$ である。初期時刻 0 における液体の質量密度を ρ_0 とおくと、液体の体積が膨張したり縮小したりするにつれて

$$\rho(t/s, x) = \rho_0 \left\{ \det \left(\frac{\partial z}{\partial x} \right) \right\}^{-1} \quad (5)$$

のように質量密度 $\rho(t/s, x)$ が定まる。

液体の変形運動を考察している事から、流れに非圧縮性

$$1 = \det \left(\frac{\partial r(t/s, x)}{\partial x} \right) = \det \left(\frac{\partial z}{\partial x} \right) \quad (6)$$

を仮定するため質量密度 $\rho(t/s, x)$ は定数 ρ_0 と成る、つまり

$$\rho(t/s, x) = \rho_0 \quad (7)$$

が未来の時刻 $t > s \geq 0$ において成立する。

過去の時刻 $s(> 0)$ における液体領域を $\Omega(s) \subset \mathbb{R}^{\text{Dim}}$ で表わす。必然的に $x \in \text{Int } \Omega(s)$ が成立する。

過去の時刻 $s(> 0)$ における液体領域 $\Omega(s)$ は時間の経過と共に変形するので、未来の時刻 $t(> s)$ において $\Omega(t) \subset \mathbb{R}^{\text{Dim}}$ と成る。必然的に $z \in \text{Int } \Omega(t)$ が成立する。

殆どいたる所の a.e. $x \in \text{Int } \Omega(s)$ に対して z は x の関数に成る。逆に、流れに非圧縮性が仮定されている事から、殆どいたる所の a.e. $z \in \text{Int } \Omega(t)$ に対して x は z の関数に成る。

4.3 Lagrange 記述による Navier-Stokes 方程式で流れをモデル化する

Lagrange 記述による Navier-Stokes 方程式

$$z = r(t/s, x) \quad (8)$$

$$\frac{D r(t/s, x)}{Dt} = v(t/s, x) \quad (9)$$

$$\frac{D v(t/s, x)}{Dt} = \frac{\mu}{\rho_0} \sum_{j=1}^{\text{Dim}} \frac{\partial^2 v(t/s, x)}{\partial z_j^2} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p(t/s, x)}{\partial z} + c_{\text{gravity}} \quad (10)$$

と質量保存による連続の式

$$0 = \frac{D \rho(t/s, x)}{Dt} + \rho(t/s, x) \sum_{i=1}^{\text{Dim}} \frac{\partial v_i(t/s, x)}{\partial z_i} \quad (11)$$

for a.e. $x \in \text{Int } \Omega(s)$, for a.e. $z \in \text{Int } \Omega(t)$

によって、液体の変形運動はモデル化される。

Laplace 偏微分作用素 (Laplacian) Δ_z と勾配の偏微分作用素 $\partial/\partial z$ を用いると、

$$z = r(t/s, x) \quad (12)$$

$$\frac{D r(t/s, x)}{Dt} = v(t/s, x) \quad (13)$$

$$\frac{D v(t/s, x)}{Dt} = \frac{\mu}{\rho_0} \Delta_z v(t/s, x) - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p(t/s, x)}{\partial z} + c_{\text{gravity}}$$

$$0 = \frac{D \rho(t/s, x)}{Dt} + \rho(t/s, x) \frac{\partial}{\partial z} \cdot v(t/s, x) \quad (14)$$

for a.e. $x \in \text{Int } \Omega(s)$, for a.e. $z \in \text{Int } \Omega(t)$.

のように略記される。ここで D/Dt は Lagrange の時間微分作用素である。

4.4 粒子法 MPS の時間発展スキームを 陰的 Implicit に変更する

粒子法 MPS の時間発展スキームにおいて各 step の時間区間を $[s, t]$ で考える。ここで時間区間幅を Δs として

$$t = s + \Delta s \quad (15)$$

である。

$$\frac{z - x}{\Delta s} = v(t/s, x) \quad (16)$$

離散化された時間についての Navier-Stokes 方程式

$$\frac{v(t/s, x) - v(s/s, x)}{\Delta s} = \frac{\mu}{\rho_0} \Delta_z v(t/s, x) - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p(t/s, x)}{\partial z} + c_{\text{gravity}} \quad (17)$$

によって、未来の時刻 $t = s + \Delta s$ における位置 z と速度 $v(t/s, x) = v(s + \Delta s/s, x)$ が計算される。この離散時刻 Navier-Stokes 方程式は、圧力 p について陰的 Implicit であると共に速度 v についても陰的 Implicit である。

4.5 仮の速度 と 仮の位置

離散時刻 Navier-Stokes 方程式において、圧力項を無視し粘性項と重力項だけに基づいた

$$\frac{v_{(\text{tmp})}(t/s, x) - v(s/s, x)}{\Delta s} = \frac{\mu}{\rho_0} \Delta_x v_{(\text{tmp})}(t/s, x) + c_{\text{gravity}} \quad (18)$$

によって、仮の速度 $v_{(\text{tmp})}(t/s, x) = v_{(\text{tmp})}(s + \Delta s/s, x)$ を計算する。

過去の位置 x において流れが非圧縮である事から従う divergence free 条件によって

$$0 = \frac{\partial}{\partial x} \cdot v_{(\text{tmp})}(t/s, x) = \sum_{i=1}^{\text{Dim}} \frac{\partial v_{(\text{tmp})i}(t/s, x)}{\partial x_i} \quad (19)$$

が成立する.

仮の速度 $v_{(\text{tmp})}(t/s, x)$ を用いた

$$\frac{z_{(\text{tmp})} - x}{\Delta s} = v_{(\text{tmp})}(t/s, x) \quad (20)$$

によって, 未来の時刻 $t = s + \Delta s$ における仮の位置 $z_{(\text{tmp})}$ を計算する.

2つの式

$$\frac{v_{(\text{tmp})}(t/s, x) - v(s/s, x)}{\Delta s} = \frac{\mu}{\rho_0} \Delta_{z_{(\text{tmp})}} v_{(\text{tmp})}(t/s, x) + c_{\text{gravity}} \quad (21)$$

と

$$\frac{z_{(\text{tmp})} - x}{\Delta s} = v_{(\text{tmp})}(t/s, x) \quad (22)$$

とをお互いに繰り返し計算する事によって, 仮の速度 $v_{(\text{tmp})}(t/s, x)$ と仮の位置 $z_{(\text{tmp})}$ とが収束するまで計算する.

4.6 仮の速度と仮の位置を修正する

仮の速度 $v_{(\text{tmp})}(t/s, x)$ と仮の位置 $z_{(\text{tmp})}$ において, 流れの非圧縮性が成立しておらず

$$0 \neq \frac{\partial}{\partial z_{(\text{tmp})}} \cdot v_{(\text{tmp})}(t/s, x) \quad (23)$$

と成ってしまっているために,

$$v(t/s, x) = v_{(\text{tmp})}(t/s, x) + v_{(\text{mdfy})} \quad (24)$$

$$z = z_{(\text{tmp})} + z_{(\text{mdfy})} \quad (25)$$

のように速度と位置とを修正し, 非圧縮性

$$0 = \frac{\partial}{\partial z} \cdot v(t/s, x) \quad (26)$$

を成立させる方策を, 以下のように考える.

離散時刻 Navier-Stokes 方程式

$$\frac{v(t/s, x) - v(s/s, x)}{\Delta s} = \frac{\mu}{\rho_0} \Delta_z v(t/s, x) - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p(t/s, x)}{\partial z} + c_{\text{gravity}} \quad (27)$$

$$\frac{z - x}{\Delta s} = v(t/s, x) \quad (28)$$

が最終目標である.

仮の速度と仮の位置とは

$$\frac{v_{(\text{tmp})}(t/s, x) - v(s/s, x)}{\Delta s} = \frac{\mu}{\rho_0} \Delta_{z_{(\text{tmp})}} v_{(\text{tmp})}(t/s, x) + c_{\text{gravity}} \quad (29)$$

$$\frac{z_{(\text{tmp})} - x}{\Delta s} = v_{(\text{tmp})}(t/s, x) \quad (30)$$

によって定められている.

2つの式 (27)(28) の差を考えて得られる式および, 2つの式 (29)(30) の差を考えて得られる式

$$\frac{v_{(\text{mdfy})}}{\Delta s} = \frac{\mu}{\rho_0} \Delta_{z_{(\text{tmp})}} v_{(\text{mdfy})} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p(t/s, x)}{\partial z_{(\text{tmp})}} \quad (31)$$

$$\frac{z_{(\text{mdfy})}}{\Delta t} = v_{(\text{mdfy})} \quad (32)$$

から計算される $v_{(\text{mdfy})}$ を速度の修正子に採用し, $z_{(\text{mdfy})}$ を位置の修正子に採用する.

ここで, 粒子法 MPS における空間偏微分に関して越塚誠一が提案している近似

$$\frac{\partial}{\partial z} \cong \frac{\partial}{\partial z_{(\text{tmp})}} \quad (33)$$

を用いている.

4.7 圧力を求解する Poisson 偏微分方程式を導出する

空間偏微分作用素 $\partial/\partial z_{(\text{tmp})}$ により式 (31) の両辺の divergence を考えて

$$\left\{ \frac{1}{\Delta s} I - \frac{\mu}{\rho_0} \Delta z_{(\text{tmp})} \right\} \frac{\partial}{\partial z_{(\text{tmp})}} \cdot v_{(\text{mdfy})} = \frac{-1}{\rho_0} \Delta z_{(\text{tmp})} p(t/s, x) \quad (34)$$

を得る。つまり

$$\frac{1}{\Delta s} \left\{ I - \Delta s \frac{\mu}{\rho_0} \Delta z_{(\text{tmp})} \right\} \frac{\partial}{\partial z_{(\text{tmp})}} \cdot v_{(\text{mdfy})} = \frac{-1}{\rho_0} \Delta z_{(\text{tmp})} p(t/s, x) \quad (35)$$

を得る。圧力を求解する Poisson 偏微分方程式を導出するうえで、この式は重要である。

過去の時刻 s での位置 x から未来の時刻 t での位置 z への流れにおいて質量が保存されている、つまり、 (s, x) から (t, z) への流れにおいて質量が保存されているから、連続の式より

$$0 = \frac{D\rho}{Dt} + \rho \frac{\partial}{\partial z} \cdot v \quad (36)$$

$$= \frac{\rho(t/s, x) - \rho(s/s, x)}{t - s} + \rho(t/s, x) \frac{\partial}{\partial z} \cdot v(t/s, x)$$

$$= \frac{\rho_0 - \rho_0}{\Delta s} + \rho_0 \frac{\partial}{\partial z} \cdot v(t/s, x) \quad (37)$$

$$\cong \frac{\rho_0 - \rho_0}{\Delta s} + \rho_0 \frac{\partial}{\partial z_{(\text{tmp})}} \cdot v(t/s, x) \quad (38)$$

が成立する。

過去の時刻 s での位置 x から未来の時刻 t での仮の位置 $z_{(\text{tmp})}$ への流れにおいて質量が保存されている、つまり、 (s, x) から $(t, z_{(\text{tmp})})$ への流れにおいて質量が保存されているから、連続の式より

$$0 = \frac{D\rho}{Dt} + \rho \frac{\partial}{\partial z} \cdot v \quad (39)$$

$$= \frac{\rho_{(\text{tmp})}(t/s, x) - \rho_0}{\Delta s} + \rho_{(\text{tmp})}(t/s, x) \frac{\partial}{\partial z_{(\text{tmp})}} \cdot v_{(\text{tmp})}(t/s, x) \quad (40)$$

が成立する。

仮の質量密度 $\rho_{(\text{tmp})}(t/s, x)$ は

$$\rho_{(\text{tmp})}(t/s, x) = \rho_0 \left\{ \det \left(\frac{\partial z_{(\text{tmp})}}{\partial x} \right) \right\}^{-1} \quad (41)$$

によって定義される。

式 (38) と式 (40) との差を考えて

$$0 = \frac{\rho_0 - \rho_{(\text{tmp})}(t/s, x)}{\Delta s} + \left\{ \rho_0 - \rho_{(\text{tmp})}(t/s, x) \right\} \frac{\partial}{\partial z_{(\text{tmp})}} \cdot v_{(\text{tmp})}(t/s, x) + \rho_0 \frac{\partial}{\partial z_{(\text{tmp})}} \cdot v_{(\text{mdfy})} \quad (42)$$

を得る。つまり

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial z_{(\text{tmp})}} \cdot v_{(\text{mdfy})} \\ &= \frac{-1}{\Delta s} \frac{\rho_0 - \rho_{(\text{tmp})}(t/s, x)}{\rho_0} + (-1) \frac{\rho_0 - \rho_{(\text{tmp})}(t/s, x)}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial z_{(\text{tmp})}} \cdot v_{(\text{tmp})}(t/s, x) \end{aligned} \quad (43)$$

を得る。

この式 (43) を式 (35) へ代入する事によって、次の Poisson 偏微分方程式

$$\begin{aligned} & \left\{ I - \Delta s \frac{\mu}{\rho_0} \Delta z_{(\text{tmp})} \right\}^{-1} \left(\frac{-1}{\rho_0} \right) \Delta z_{(\text{tmp})} p(t/s, x) \\ &= \left(\frac{-1}{\Delta s^2} \right) \frac{\rho_0 - \rho_{(\text{tmp})}(t/s, x)}{\rho_0} + \left(\frac{-1}{\Delta s} \right) \frac{\rho_0 - \rho_{(\text{tmp})}(t/s, x)}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial z_{(\text{tmp})}} \cdot v_{(\text{tmp})}(t/s, x) \end{aligned} \quad (44)$$

を得る。

この Poisson 偏微分方程式は, Laplacian への Yosida 近似

$$\left\{ I - \Delta s \frac{\mu}{\rho_0} \Delta_{z(\text{mp})} \right\}^{-1} \Delta_{z(\text{mp})}. \quad (45)$$

を伴っている所に特徴がある。

この Poisson 偏微分方程式 (44) の解として, 未来の時刻 t での圧力 $p(t/s, x)$ を計算できる。

4.8 未来の速度と未来の位置とを計算する

Poisson 偏微分方程式 (44) の解として得られた圧力 $p(t/s, x)$ を, 2つの式 (31)(32) へ代入し, 速度の修正子 $v(\text{mdfy})$ と位置の修正子 $z(\text{mdfy})$ を計算できる。すると2つの式 (24)(25) によって, 未来の時刻における速度 $v(t/s, x)$ と未来の時刻における位置 z とを計算できる。

以上によって, 速度 v についても圧力 p についても陰的 Implicit な時間発展スキームを粒子法 MPS において導出した。

5 今後の計画

本研究で導出された 陰的 Implicit な時間発展スキームを有する粒子法 MPS を活用して, 嚥下機能に障害を有する患者が 液状食品を飲み込んで行く時の液状食品の変形運動を数値計算シミュレーションして行く。

そのためには, 嚥下機能に障害を有する患者の口腔・咽頭・食道の正確な 3D モデルを製作し, 患者の嚥下運動に合わせて 3D モデルを animation させる必要がある。

このように患者の口腔・咽頭・食道といった稼働する境界条件の下で, Navier-Stokes 流体運動方程式に従って液状食品が変形運動して行く様子を粒子法 MPS で数値計算シミュレーションして行く事に成る。そのために, 稼働する境界条件を有する偏微分方程式の理論を駆使して, 粒子法 MPS の理論を検討して行く。

粒子法 MPS で数値計算シミュレーションされた液状食品の変形運動を医師・歯科医師・看護師が判断したり患者へ説明したりするするためには, 粒子法 MPS で計算された結果を分かり易い 3DCG Animation で描画できる技術が重要である。そのためには, 患者の口腔・咽頭・食道が稼働する様子が 3DCG Animation で分かり易く描画されると共に, 液状食品の変形運動も 3DCG Animation で分かり易く描画される必要がある。

患者の口腔・咽頭・食道が稼働する様子が 3DCG Animation で分かり易く描画するために, 神奈川工科大学 情報工学科 情報メディア コースと Seattle Art Institute で美術大学のカリキュラムで CG を学んだ殿谷遥デザイナの協力を得て患者の口腔・咽頭・食道が稼働する様子を美術的にも高質な 3DCG Animation で分かり易く描画する技術を開発する。

液状食品の変形運動も 3DCG Animation で分かり易く描画するためには, 粒子法 MPS で計算される膨大な個数の粒子達の運動から液体が占有している領域を正確に抽出する必要がある。これは時々刻々と変形して行く液体の自由境界を正確に抽出する問題に帰着される。東京大学 越塚誠一教授 研究室と武蔵野赤十字病院 特殊歯科 口腔外科 道脇幸博 医療部長との共同研究によって, 液状食品の自由境界を正確に抽出する方法を検討して行く。

液状食品の自由境界を正確に抽出できるように成れば, それを Polygon 化する事によって液体としての質感を施す事が可能と成り, 美術的にも高質で分かり易い 3DCG Animation 描画を実現できる。殿谷遥デザイナとの共同研究によってこの描画技術も開発して行く。

6 研究成果の発表

1. Motofumi Hattori, Youhei Seta, Kazuya Shibata and Seiichi Koshizuka, "A new derivation of pressure Poisson equation in Moving Particle Semi-implicit method", Proceedings of the 11th World Congress on Computational Mechanics, Volume 4, pp.4028-4038, July 20-25, (2014)
2. 服部元史, 柴田和也, 越塚誠一, "粒子の条件付き遷移による粒子法 MPS の数学表現", 日本応用数理学会 2014 年度 年会 講演予稿集, 研究部会 OS: 連続体力学の数理 (1) 9月3日: 09:30-10:50: F 2014年9月3日-5日, 政策研究大学院大学 (2014)
3. Motofumi Hattori, Kazuya Shibata, Seiichi Koshizuka, Hiroyuki Kase and Hiroshi Kawakami, "CG visualization of liquid's motions by Moving Particle Simulation", Proceeding of the 2nd international Conference on Imaging and Printing Technologies 2014 (ICIPT 2014), 11:25-11: 50 November 5-7, 2014, Bangkok, Thailand (2014)
4. 服部元史・越塚誠一, "自由境界 Navier-Stokes 方程式数学理論による粒子法 MPS の検討 第1報", 日本機械学会 第27回 計算力学講演会 論文集 Organized Session 24 「メッシュフリー/粒子法とその関連技術」-3, 講演番号 2411, 2014年11月22日~24日, 岩手大学 工学部 (2014)

仮想空間を用いた学習コンテンツの研究 没入型空間提示システムを用いた臨場感表現

研究者名：情報ネットワーク・コミュニケーション学科 井上哲理

1. 研究の目的

ヒューマンメディア研究プロジェクトでは、「立体表現メディア技術」、「仮想空間入出力メディア技術」、「感覚協調メディア技術」を中心とするヒューマンメディア技術の基礎・応用技術を研究テーマとしている。特に、学習やトレーニング場面を対象として、そこでのメディアの効果的な活用やそのためのインタフェースの検討、ならびに学習・訓練効果の評価手法を主なテーマとしている。特にヒューマンメディア技術により実現される直接体験化に基づく学習体験が、学修効果の向上につながる学習コンテンツの提案を目指して、コンテンツ作成、入出力技術開発、学習・訓練効果の評価を継続して行っている。これらの研究をとおして、学習環境の発展に資する次世代ヒューマンメディア技術の技術体系を創出することを目指している。

本研究課題は本研究プロジェクトの中で、没入型空間提示システムが提示する高臨場感仮想空間の応用と評価、および映像、音声、触覚提示等による感覚協調メディアの応用をテーマとしている。今年度は次の2つを中心に研究を行った。

(1) 没入型空間提示システムで表示された立体映像の臨場感、視覚負担の研究

没入型空間提示ディスプレイで表示する学習用コンテンツとして「海底探査の仮想体験」を、平成 23 年度に制作した。このコンテンツでは観察者の手元近くに魚の CG モデルが表示されるような立体映像を用いている。このような立体映像の臨場感と視覚負担について評価実験を行い、安全性の観点から検討した。

(2) 広視野 HMD における視覚誘導運動効果の研究

昨年度（平成 25 年度）から没入型映像表示ディスプレイとして、広視野ヘッドマウントディスプレイ（HMD）を使用している。本年度は、広視野表示の特徴である視覚誘導運動効果について、広視野 HMD を用いた実験を実施した。動きのある映像の高臨場感表示として広視野 HMD の可能性を検討した。

2. 研究の必要性および従来の研究

ヒューマンメディア研究プロジェクトは立体映像技術、仮想空間技術、感覚協調メディア技術にもとづく次世代ヒューマンメディアの有用性を実応用において示すことを目指したものである。プロジェクト開始当初の研究はヒューマンメディア技術そのものの開発や特性評価を中心としていたが、平成 22 年度からは具体的な応用として学習・訓練場面を想定した応用研究を進めている点の特徴である。

ヒューマンメディア研究プロジェクトの中で、本報告での研究テーマは没入型空間提示システムおよび感覚協調メディアの可能性の評価と応用コンテンツの制作を主なテーマとしている。具体的には、リアリティに富んだ仮想環境の構築・提供が期待できる没入型空間提示システムを用いたコンテンツの制作と、コンテンツに対するユーザ反応の評価から実応用への研究を進めている。

3. 期待される効果

本研究プロジェクトはヒューマンメディア技術を学習・トレーニング場面に効果的に応用することを目指しているが、仮想環境が実体験と同等の体験を提供可能だとすると、学習やトレーニング・訓練場面への有効であり、期待が大きい。臨場感（リアリティ）に富んだ仮想環境と、体験感の豊かなコンテンツを用いることで、学習効果やトレーニング効果の向上が期待できる。

4. 研究の経過及び結果

4.1 没入型空間提示システムで表示された立体映像の臨場感、視覚負担の研究

(1) はじめに

本研究は、没入型空間提示ディスプレイを用いて表示された立体映像コンテンツの、臨場感と視覚負担の度合いに関するものである。平成 23 年度に学習用コンテンツとして「海底探査の仮想体験」を制作して、観察者の手元近くに魚の CG モデルが表示されるような立体映像を提示した。今年度は、このような立体映像の臨場感への効果と視覚負担について実験を行った。

本研究では、没入型空間提示ディスプレイとして CAVE 型ディスプレイを用いた。CAVE 型ディスプレイの特徴として、観察者が映像空間の中に入り込むような視聴体験が可能であることと、対象モデルが原寸大で表示されることがあげられる。そのため、観察者は自由に身体を動かして、自分の身体寸法と比較しながら対象モデルを観察することができる。平成 23 年度には、被験者の手元辺りに提示される立体像を観察している際の、立体位置やモデルの大きさの知覚量を調べた。実験結果からは、観察者に近い位置に提示した立体像に対しては、位置、サイズとも正確に捉える傾向にあることなどがわかった。

今年度は、観察者の手元付近に呈示される立体像に対する臨場感および視覚負担を調べた。観察者の手元付近の立体像は、立体感も強く臨場感が高いことが期待されるが、一方でこれらのもつ両眼視差量（スクリーン位置との両眼視差）は大きく、視覚負担が大きいことも予想される。そこで、CAVE 型ディスプレイでの立体映像観察の臨場感、視覚負担を視差条件、スクリーンの視野角を変えて調べた。

(2) 実験内容

実験用に、海底や魚の 3DCG 映像を CAVE 型ディスプレイにて原寸大で呈示するコンテンツを用いた（図 1）。これは、平成 23 年度に制作したものと基本的には同じである。

観察の条件として、次の 3 つを設定した。

条件 1：CAVE 型ディスプレイ、視差 5 度（手元付近の立体像）

条件 2：CAVE 型ディスプレイ、視差 1 度（スクリーン近くの立体像）

条件 3：正面スクリーンのみで視野角 33 度となるようにマスクを表示（図 2）、
視差 5 度（手元付近の立体像）

被験者は各条件で、立体映像を 5 分間鑑賞した後、臨場感・没入感に関するアンケートに回答した。また、各条件で、鑑賞前、鑑賞直後、5 分経過後および 10 分経過後に視覚負担についてのアンケートに回答した。



図 1. 実験用映像 (海底と魚モデル)

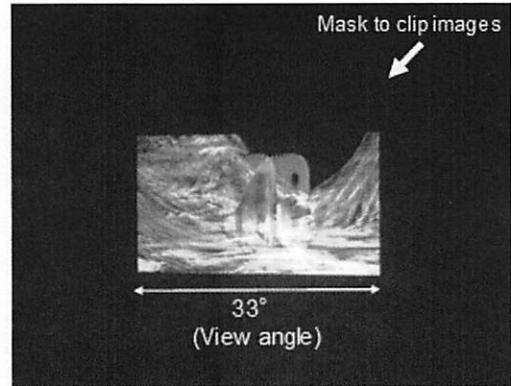


図 2. 条件 3 (視野角を制限した映像)

(3) 実験結果

実験結果からは条件間での有意な差は見られなかった。CAVE 型ディスプレイでは比較的大きな視差を持った立体映像呈示で没入感などの評価は上がる (図 3)。一方、視覚負担は従来型ディスプレイと同じ程度であることがわかった (図 4)。

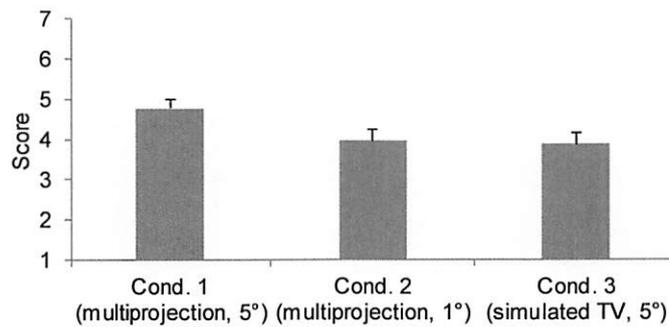


図 3. 没入感に関する結果

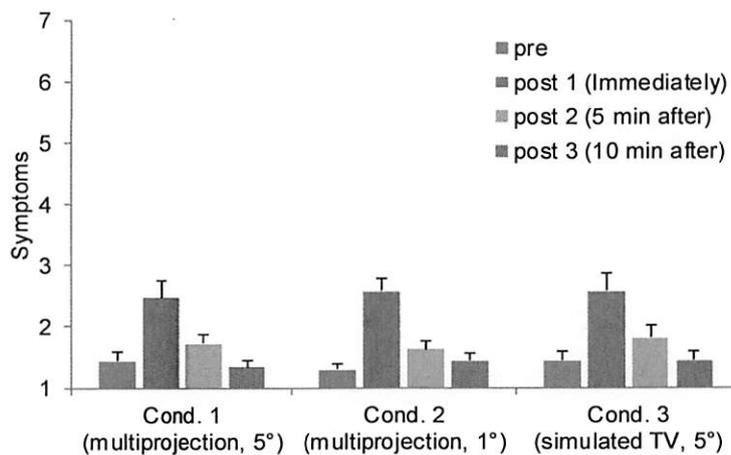


図 4. 視覚負担 (目が痛い) の結果

(4) まとめ

本年度までの実験からは、没入型映像表示システムでは被験者の手に届くような範囲の映像呈示で、立体像の位置やサイズ知覚の正確度が高まり、臨場感が向上すること、疲労感については従来型ディスプレイと差がないことがわかった。これらから周辺視野にも映像が呈示される没入型映像表示システムでは大きな視差を持った立体映像を比較的安全に呈示可能であるといえる。

これまでの研究から、没入型ディスプレイが立体映像に適している、その理由のひとつが周辺映像であるとの知見は得られたが、原因や要因に関する考察は十分とはいえず、さらなる検討が必要である。

4.2 広視野 HMD における視覚誘導運動効果の研究

(1) はじめに

近年、低価格な広視野ヘッドマウントディスプレイ (HMD) が発売されており、Oculus VR 社の Oculus Rift (図 5) はその代表的な製品である。広視野 HMD とは、レンズ作用と映像処理により、広い視野範囲に映像 (図 6) を表示することが可能 HMD である。従来の HMD の視野角が 30 度程度なのに対して、Oculus Rift DK1 では 110 度と非常に広い視野範囲に映像を提示している。このような広視野 HMD が今後もいくつかのメーカから発売されることとなっている。

Oculus Rift DK1 の映像表示範囲 110 度 (視野角) がもたらす映像の迫力、映像との融合感は没入型空間提示ディスプレイとして十分期待できるものである。

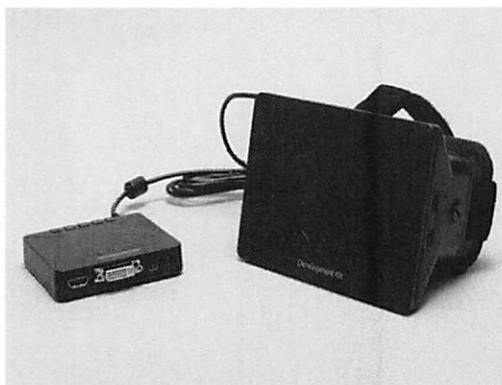


図 5. Oculus Rift DK1

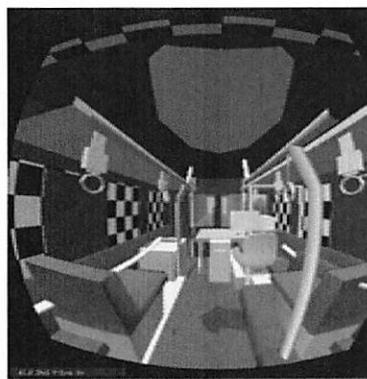


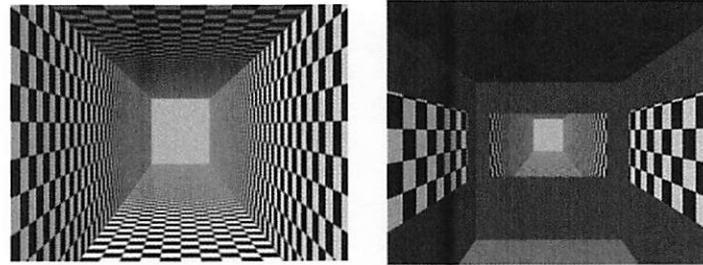
図 6. Oculus Rift の映像例

本研究プロジェクトで没入型空間提示ディスプレイとして用いてきた CAVE 型ディスプレイは、複数の平面スクリーンをユーザの周囲に配置して広視野な立体映像表示を実現したディスプレイである。CAVE 型ディスプレイで提示された映像の特徴として、視覚誘導運動効果が現れやすいことが知られている。視覚誘導運動効果とは自分自身は静止しているにもかかわらず運動している対象を見ている際に自分が動いている感覚を持つ現象である。視覚誘導運動効果は常に起こるわけではなく、また効果の度合いも各種の条件により変わり、例えば視野の広さ、対象の動き (速度・方向・加速度)、対象の図柄やパターン、対象内の静止物 (前景画像) などの条件で変わることが知られている。平成 20~23 年度に実施した研究では運動するパターン (チェック柄) に対する視覚誘導運動効果をさまざまな条件で調べた。

(2) 実験内容

今回、視覚誘導運動効果が広視野 HMD でも現れやすいのかを CAVE 型ディスプレイの実験結果と比較しながら検討した。

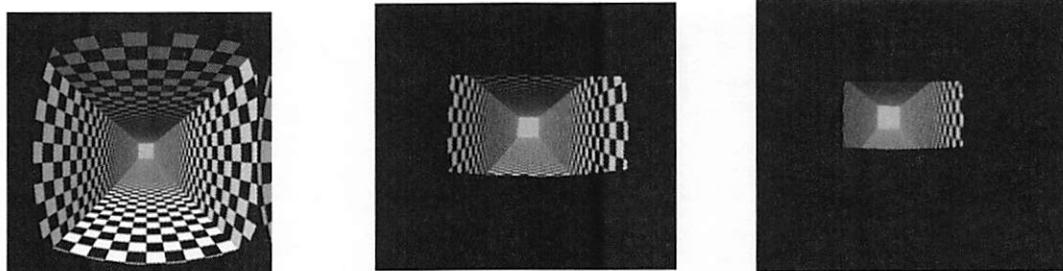
実験では前方向、左方向、上方向の 3 つの動きで誘導運動を感じ始める動き速度を調べた。映像としてはパターンのみと枠ありの 2 つで調べた (図 7)



(a) 運動パターンのみ (b) 枠あり

図 7. HMD での視覚誘導運動効果の実験映像

また、誘導運動を感じやすい要因を探ることを目的として、視野の広さを 3 条件設定して違いを調べた (図 8)。



(a) 大 (視野角 90 度)
CAVE 正面のみに対応

(b) 中 (視野角 50 度)

(c) 小 (視野角 30 度)
ハイビジョン型に対応

図 8. HMD での視覚誘導運動効果の実験での視野の広さ条件

(3) 実験結果

CAVE での結果に比べて、広視野 HMD の方が非常に遅い速度で誘導運動効果を感じた (表 1)。このことは、パターンが動き出してすぐに誘導運動効果が得られることを意味しており、広視野 HMD では誘導運動効果が現れやすいと考えられた。

表 1. 視覚誘導運動を感じ始める速さ (単位: m/秒)

動きの方向	前	左	上
HMD	0.04	0.05	0.02
	0.05	0.05	0.02
CAVE	0.98	1.04	0.20
	1.43	0.96	0.18

[上段: パターンのみ, 下段: 枠あり]

また、視野が大 (水平 90 度)、中 (水平 50 度) の条件では、視野を制限しない場合と大きな

差はなかった。視野小（水平 30 度）では 1.1（m/秒）と、CAVE 型ディスプレイでの結果に近い値であった（図 9）。この条件はハイビジョンテレビと同じであるが、これ以上の視野があれば運動効果の違いはなく、HMD において視野の広さは運動効果の大きな要因ではないと考えられた。

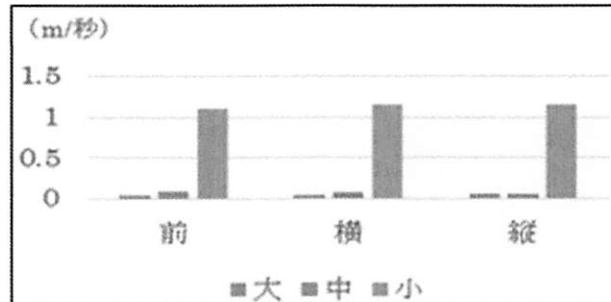


図 9. 視野を制限した場合に誘導運動を感じはじめる速度の違い

(4) まとめ

広視野 HMD で表示された映像に対しては、誘導運動効果を非常に感じやすいことがわかった。誘導運動効果を活かしたコンテンツ（例えば、ドライビングシミュレータなど）では、広視野 HMD の利用は有効であると言える。なお、今回の実験からは広視野 HMD で誘導運動効果が得やすい理由は分からなかったが、今後さらに検討する予定である。

5. 今後の計画

今後の計画として、本年度の研究テーマをさらに進めるとともに、具体的な学習・トレーニング場面として、スポーツ場면을想定してコンテンツ制作、実験を行う予定である。

6. 研究成果の発表

今年度（平成 26 年度）は、研究成果の学外発表として、次の発表を行った。

【国際学会（査読有）】

- ① Tetsuri Inoue and Takashi Shibata: "Effect of Virtual Body Images on the Sense of Height in HMD Environments," Proc. Intl. Conf. Imaging & Printing Technology (ICIPT2014, BangKok), pp.14-17 (2014.11)
- ② Takashi Shibata and Tetsuri Inoue: "Educational VR Simulation in an Immersive Multi-projection System," Proc. Intl. Conf. Imaging & Printing Technology (ICIPT2014, BangKok), pp.27-30 (2014.11)

(学会発表)

- ① 日本人間工学会第 55 回年次大会（平成 26 年 6 月 6 日・神戸）
「ユーザの仮想身体モデルが臨場感に与える影響」
- ② 2014 年映像情報メディア学会年次大会（平成 26 年 9 月 1 日・大阪）
「没入型ディスプレイにおける高所表現での周辺映像の影響」

(以上)

fNIRS を用いた味覚の客観的評価に関する基礎研究 —体型と食欲求が脳の賦活に与える影響—

ロボット・メカトロニクス学科 高尾 秀伸

1. 研究の目的

機能的近赤外分光法(fNIRS: functional Near-InfraRed Spectroscopy)を用いて主観評価中の前頭野を測定することで、食欲との関連が深い脳部位を明らかにすると共に客観的評価手法の検討を行う。同時に食欲求の強さをアンケートによる主観的評価と fNIRS による客観的評価によって肥満者及び非肥満者の 特性を明らかにする。

2. 研究の必要性及び従来の研究

高い人工現実感や心理的訴求性を提供するためには、五感に対して複合的に情報メディアを呈示することが効果的である。五感のうち、視覚をはじめとして、最近では聴覚、触覚の人工現実感に関する研究が進められているが、味覚メディアに関する研究は比較的進んでいない。その理由の一つとして、客観的に食欲求を評価する方法はまだ開発されていないことが挙げられる。従来、食欲求の評価手法として官能評価が主として用いられてきたが、これは主観的な評価方法であった。そこで、味覚メディアを評価するうえで、より客観的な評価指標の確立が求められている。

3. 期待される効果

マルチメディアコンテンツを開発するうえで、五感のひとつである味覚の情報メディアを効果的に複合することで、より高い人工現実感や心理的訴求性を提供することが可能となる。その際、より客観的、科学的観点から設計、評価を行うことができる。

4. 研究の経過及び結果

4.1 脳血流測定

(1) 近赤外光イメージング装置

脳の活動を計測する手段として、近赤外光イメージング装置(島津製作所, FOIRE-3000)を使用した。この装置は近赤外分光法(NIRS: Near-InfraRed Spectroscopy)を用いている。近赤外光は頭皮、頭蓋骨を透過しやすく、ヘモグロビンの酸化状態により近赤外光の吸収量が異なる特性がある。本装置は近赤外光を用いて脳血管内の酸化ヘモグロビン(oxyHb)濃度と脱酸化ヘモグロビン濃度を測定し、脳賦活を計測することができる。

(2) 測定部位

本実験では、味覚における快・不快の判断を測定する為、前頭連合野を測定する。測定基準として、国際 10-20 法に基づき、受光ファイバ9(青の9)をFpzに設定した。領域は前頭連合野のうち、関心、興味、作動記憶 に関わる背外側前頭前野(ch1~4)、将来の予測や計画に 関わる前頭極(ch5~13)ならびに情動、報酬系である眼窩 前頭皮質(ch14~17)の3部位計17chとした。

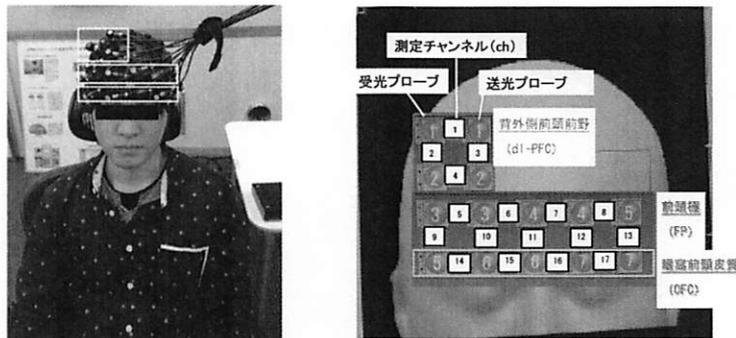


図1 fNIRS プローブ配置

(3) 実験手順

体型と食欲求が脳の賦活に与える影響を検討するため、体型要因を肥満及び標準体型の 2 水準, 食欲求要因 を食欲求増進, 減退ならびに食欲無しの 3 水準即ち 2×3 の 6 条件で脳の賦活の 2 要因の混合計画を行った. 肥満者は BMI25 以上, 標準体型者は BMI18.5~24.9 とした[表 1].

表 1 実験計画表

		食欲求画像評価		
		増進(B1)	減退(B2)	無関係(B3)
体型	肥満(A1)	A1 × B1	A1 × B2	A1 × B3
	標準体型(A2)	A2 × B1	A2 × B2	A3 × B3

被験者は心身共に健康な大学生 10 名(男性 10 名, 平均 年齢 21.9±0.94 歳, 全員右利き, 肥満者 5 人, 標準体型者 5 人)とした. 被験者の 3 時間以内の飲食・喫煙を禁止した. 実験中は安静開眼状態で食品の画像提示後に主観 的食欲求として, 「とても食べたい」から「全く食べたくない」までの 7 件法で答えてもらった. 同時に fNIRS を用いて実験前安静 5 分間をベースラインとした各脳部位の ch 毎の oxyHb の濃度の変化量を測定した. 測定部位は前頭連合野のうち, 関心, 興味, 作動記憶 に関わる背外側前頭前野(ch1~4), 将来の予測や計画に関わる前頭極(ch5~13)ならびに情動, 報酬系である眼窩 前頭皮質(ch14~17)の 3 部位計 17ch とし, 測定基準は国際 10-20 法に基づき設定した. 評価画像は 3 種類用意し, 1) 食欲増進画像 10 枚, 2) 食欲減退画像 10 枚, 3) 風景画像 10 枚を用意した. 1 試行中には増進画像, 減退画像ならびに風景画像をそれぞれ 1 枚ずつ使用した. 課題前レスト 10 秒間は白画面を目視, その後, 食品または風景画像 5 秒見てもらい, 前画面が食品画像の場合のみ 7 段階評価アンケートを行った. 画像の順番は 1 試行内でランダムに呈示した. この 1 試行を 10 セット行った[図 2].

安静条件	課題	画像	アン	課題	画像	アン	課題	画像	アン
300sec	前レスト	ランダム	ケート	前レスト	ランダム	ケート	前レスト	ランダム	ケート
	10sec	5sec	5sec	10sec	5sec	5sec	10sec	5sec	5sec

図2 実験プロトコル

本研究は, 神奈川工科大学・ヒトを対象とした 研究に関する倫理審査委員会の承認(第

2014-010 号) を受け、倫理指針を遵守して実施された。

4.2 実験結果

被験者の測定 ch 毎に画像提示中の oxyHb の標準得点化を行い、ja-STAR 2012 を用いて体型および食欲求の 2 要因の分散分析を行った結果、[図 2][図 3]に示す通り、要因の主効果に有意差が認められた。

次に、下位検定として Holm 法による多重比較を行った。背外側前頭前野である 1~4ch において食欲求増進水準および減退水準で、食欲求無し水準に比べ、有意に賦活が見られた ($p < 0.01$)。同様に、前頭極である 5~14ch において食欲求増進水準で、特に上部に食欲求無し水準に比べ有意に賦活が見られた ($p < 0.05$)。前頭極である 14~17ch では食欲求増進、減退ならびに食欲求無し水準間に有意差は認められなかった ($p > 0.10$)。肥満者と標準体型者の脳血流量の標準得点を比較した時、2~17ch において、肥満者は標準体型者に比べ、有意に賦活が低かった (ch7, 10, 15 ($p < 0.10$), ch2, 3, 4, 6, 8, 11, 12, 13, 14, 16, 17 ($p < 0.05$), ch5 および ch9 ($p < 0.01$))。

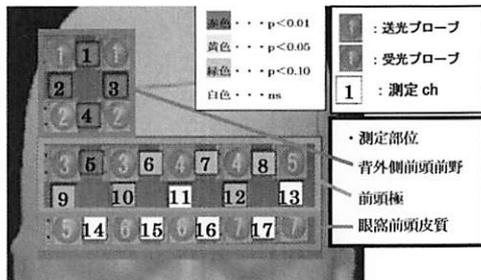


図 2 食欲求水準における要因の主効果

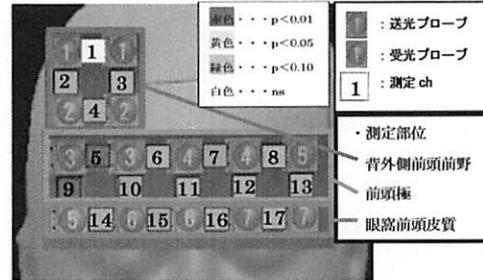


図 3 体型水準における要因の主効果

4.3 実験結果

(1) 食物の認識について

食欲求増進および減退条件で、食欲無し条件と比べ、右背外側前頭前野領域全体および前頭極上部の賦活に有意な傾向が見られた。人が食品を視認してから食欲求が沸くまでのプロセスは、視認した食品の情報が後頭葉第一次視覚野を通じて大脳皮質、視床や前頭連合野等へと信号として送られる。前頭前野では、まず背外側前頭前野において、食品である事を認識し、興味、関心を向け、それが好ましいものかを作動記憶を用いて判別、想像する。作動記憶システムとは、中央制御部、音韻ループ、視空間クラッチパッドの 3 つの独立した構成要素からなる。入力された視覚刺激に対して視空間クラッチパッドで視覚的イメージ情報を保持し、音韻ループで言語的情報を短期記憶として保持する。その後中央制御部において、これらの情報を統括した上で長期記憶と照合し、食品の味や風味の推定、想像・評価を行うと考えられる。そして前頭極において、背外側前頭前野の作動記憶と連動し、好ましいと判断した食品を食べた時の評価等を行い、その情報を扁桃体や視床下部等の各脳部位と連動して食欲求を生み出していると考えられる。

(2) 肥満者と標準体型者

肥満者の脳血流が標準体型者と比べ全体的に低かった。これは、前頭連合野表面で食欲求の抑制を行っている可能性が示唆される。その一方で肥満者が標準体型の者に比べて、食欲求が減退する、又はどちらとも言えないという回答頻度が高かった事から、肥満者においては視覚以外の味覚や嗅覚、聴覚といった別の感覚刺激を重要視している可能性も挙げられる。

5. 今後の計画

今後の課題として、被験者が少数だったため、被験者を増加する事、賦活機序の特定並びに、多様な刺激呈示時の反応について検討が必要であると考えている。

6. 研究成果の発表

・小住 航, 佐藤 彰良, 饗場 直美, 高尾 秀伸：“体型と食欲求が脳の賦活に与える影響”，第23回日本人間工学会システム大会講演集，AE-15-03，2015.3.

以上

超音波センサとスマートフォン内蔵センサを用いた 屋内測位基盤の構成法とその実証

情報工学科 田中 博

1. 研究の目的

位置情報はナビゲーション、情報提供や物流管理などに利用され、極めて有用な情報である。屋外での位置情報取得手段としては GPS がすでに広く普及し、事実上の標準システムとなっている。しかし、屋内エリアでの位置情報取得のための測位方法は、一般に屋外よりも高精度な位置検出が要求されるものの、GPS のように一般的な方法としては確立していない。

我々はこの問題点の解決手法の一つとして、広域な屋内エリアに適用可能な経済的、かつユーザ要求（精度、エリア等）に柔軟に対応可能な測位方法の検討を進めている。具体的には電波を用いる方法に比べて高精度な測位が可能な超音波を用いるとともに、経済的な測位を実現するために慣性センサと組み合わせる方法である。特に、近年の普及が著しいスマートフォン（以降、スマホと記述）に実装されている慣性センサの利用を前提にする。

明らかにした要素技術を広域屋内測位プラットフォームとしての汎用化を実現し、多様な応用システムへの展開を容易とすることをポイントとする。さらに、具体的事例として、実用的なアプリケーションシステムを構築、デモすることを目標にしている。また、H25 年度からは超音波に加えてスマホ内蔵スピーカから発生可能な非可聴音による測位の実現性を検討している。本方式が実現すれば、超音波送信機という専用機器を用いる必要がなく、ユーザの負荷が大きく軽減され、システムの普及が期待できる。

2. 研究の必要性及び従来の研究

屋内での位置検出については、大規模な地下街やアーケード内でのナビゲーション、視覚障害者のためのガイダンス、工場内での搬送車両の位置管理や自動運転など多くの適用領域が考えられるが、実際にそれらの要求に答えることができる汎用的なシステムは実用化されていない。

前述に示したように屋内での測位法として確立されたものはなく、(1)無線 LAN などの電波強度や到達時間差を用いたもの、(2)RFID を床等に配置し、その受信から位置を割り出す方法などが多く検討されている。しかし、(1)では精度的には数 m の誤差が生じること、(2)では広いエリアでの測位を実現しようとする RFID を稠密に配置するために膨大な数量の RFID が必要となり、現実的なシステムとはならない。一方、デッドレコニングと呼ばれる慣性センサを用いた測位も多く提案されているが、その蓄積誤差を補償する方法も提案されているが、精度に課題が残る。我々の提案手法と同じ原理である超音波を用いた測位法の研究例があるが、これらは狭い空間や室内での位置を正確に測るという観点で検討され

ている状況にある。また、屋内での位置情報として重要となる在階推定は、天候変化による気圧変動のために、長時間にわたる推定は現状技術では困難である。

我々の研究は従来の研究とは異なり、超音波を用いた測位法を広域エリアへの測位システムと展開するための要素技術とアーキテクチャを明確にするとともに実際に試作を行い、屋内測位基盤として実現する。特に、スマートフォンに内蔵されている慣性センサ、気圧センサに着目してその内蔵センサと併用した屋内測位で重要な位置を占める在階推定を含めた測位システムを実現し、センサの設置数の削減による低コスト化や精度、エリアのユーザ要求に柔軟に対応するものである。

3. 期待される効果

現在のシステムにない屋内での広域エリアに適用可能な高精度な測位システムを提供できる。そして、屋内版 GPS として、多くのアプリケーションを展開できる基盤技術、プラットフォームと成り得る。合わせて、要素技術の研究開発に留まらず、汎用プラットフォームとしてその上に応用システムを構築し、実証システムとして実現するため、単なる学術的な成果という観点ではなく、産学共同研究や事業への展開の可能性も期待できる。特に、音源としてスマートフォンのスピーカからの非可聴音を用いた測位が可能となれば、ユーザの汎用機器を用いた広域屋内測位となり、広い適用範囲が可能となる。

4. 研究の経過及び結果

平成 26 年度は、超音波からスマホのスピーカからの非可聴音を用いた測位の可能性の検証、HDM (Head Mount Display) を想定した慣性測位の手法の検討、および位置情報と地図情報をリンクさせるマップシステムの改善を行い、以下の進捗を得た。

(1) スマホ内蔵スピーカからの発生音による受信特性評価

スマホから発生可能な非可聴音として 17kHz~22kHz の音波を発生させ、受信の可能性を評価した。その結果、スマホの機種依存があること、低い周波数の方が比較的良好な受信特性が得られることを確認した。また、帯域通過フィルタを設計、試作することにより、環境雑音環境下においてもスマホからの音を受信できることを確認した。

(2) スマホ内蔵スピーカからの発生音による測位システムの開発と評価

上記受信特性を確認後、1.5m 四方のフレーム構造を用いて、スマホ (音源) と 5 つのマイクセンサ、受信機を設定した構成で、測位実験を行った。静穏環境として研究室、騒音環境として混雑時の第一食堂で測位実験を行い、環境に依存せず、数 cm 以下の誤差での測位を実現し、超音波測位システムと同等の測位精度が確保できることを確認した。また、廊下天井にマイクセンサを配置した現実的な構成でも測位精度が確保できることを確認した。

(3) HMD を想定した慣性測位手法の検討と評価

我々はこれまで、スマホの現実的な所持形態として、腰、胸ポケットに所持、腕に装着、

手で所持の4パターンでの加速度センサ、ジャイロセンサによる慣性測位を検討してきた。慣性センサ内蔵のHMDの発売という状況と、本ディスプレイ上への地図、現在位置などを表示することの実現を目的に、HMDを装着したパターン（小型な加速度センサで取り付けを模擬）での歩数検出、曲り検出が他のパターンと同等の精度で検出できることを確認した。

(4) 位置・地図情報共有プラットフォームの開発

上記(3)の技術を有効に利用するためには、地図表示や現在位置を高速に表示する必要がある。また、移動経路の表示や地図の拡大、縮小など、GoogleMapsと同等な機能を持つべきである。しかし、GoogleMapsでは公衆エリア以外の屋内情報を扱うことができない。これまでに構築してきた上記共有プラットフォームの構成を見直し、表示の高速化を含めて追加機能を実装したプラットフォームを構築した。

(5) 測位情報の電動車いすの自動走行への応用

車両の自動走行に関する検討が活発化している。その屋内版として、高齢化社会や大型屋内施設の増加を念頭に、電動車いすの自動走行を検討してきた。H26年度では、Laser Range Finder(LRF)を用いた建物構造（曲り角）の検知による推定位置補正方法を提案、検証し、同一フロア内での高精度（20cm以内の誤差）な自動走行を実現した。

5. 今後の計画

H27年度は以下の3項目に注力して検討を進める。また、外部発信にも継続して注力する。

(1) 複数のスマホを収容可能な測位システムの設計開発と評価

H26年度は、単一のスマホによる測位の確認と評価であった。これをより実用性の高いものとするために、複数スマホの収容が可能な測位システムを実現する必要がある。このための方法として、第三世代の携帯電話システムで適用されていた符号拡散技術を適用する。各ユーザに拡散符号を事前に与え、それを用いて拡散した音を用いた測位システムに関してシミュレーションにより実現性を確認したのち、実機の設計と構築を行う。

(2) 慣性測位法のHMD型端末への展開

これまでに得た慣性測位に関する技術、知見のHMD型端末への適用を検討する。地図情報を見ながらの“歩きスマホ”を解決するための一つの方式になる可能性がある。具体的には、前年度の検討結果を活用するとともに、より高精度化に向けて検討と評価を行っていく。

(3) 電動車いすによる測位応用システムの構築と実証

これまでに検討してきた在階推定、昇降判定技術、マップマッピング技術、経路探索技術の検討を深化させ、フロア間移動を含めた電動車いすの自動走行制御技術として最適化を図る。最終的には、目的地設定のみで、自動的にその場所に車いすが走行することを実演する。

(4) 外部発信

学会発表に加え、CEATECなどへの出展を計画する。

6. 研究成果の発表

上記遂行にあたって、H26年度に発表したものを以下に示すとともにその別刷りの一部を添付する。

- (1) 村田 翔太郎, 布施 諒, 屋良 朝克, 五百蔵 重典, 田中 博, ” スマートフォンの非可聴音を用いた屋内測位のための基本実験 2014 信学総大, B-18-59, p. 627.
- (2) 村田 翔太郎, 屋良 朝克, 金田 一将, 五百蔵 重典, 田中 博, ” 非可聴音を用いた屋内測位のための受信機の試作とその評価 , 測位航法学会 2014,
URL : <http://www.gnss-pnt.org/taikai26/yoko26/murata.pdf>.
- (3) 村田 翔太郎, 屋良 朝克, 金田 一将, 五百蔵 重典, 田中 博, ” スマートフォンの非可聴音を用いた測位システムの開発と実現性の確認 (DICO) , 7D-3, pp. 1608 - 1613.
- (4) Shotaro Murata, Chokatsu Yara, Kazumasa Kaneta, Shigenori Ioroi and Hiroshi Tanaka, “Accurate Indoor Positioning System using Near-Ultrasonic Sound from a Smartphone Next Generation Mobile Apps, Services and Technologies2014 (NGMAST) , pp. 13 - 18, Oxford, UK.
- (5) 鈴木 洋平, 屋良 朝克, 五百蔵 重典, 田中 博, “HMD 搭載慣性センサの利用を想定した屋内位置推定とその評価 , HCG シンポジウム 2014, HCG2014-A-2-1, pp. 57-62.
- (6) 金田 一将, 村田 翔太郎, 五百蔵 重典, 田中 博, “音を用いた屋内測位システムの使用音源に関する基本検討 , 2015 信学総大, B-18-60, p. 607.

なお、本研究に対する一部の実験時の動画は
<http://www.tnklab.ic.kanagawa-it.ac.jp/tanakalab/kenkyu.htm> から視聴可能である。

リハビリテーション指導支援のための体操インストラクタ・ロボット・システムの開発

ロボット・メカトロニクス学科 吉野 和芳

1. 研究目的

身体能力改善や維持のためのリハビリテーションや体操を効果的に実施させるためには、一方的に動作方法を指示するだけでなく、利用者が実施した動作に対してフィードバックすることが重要であるという観点から、リハビリテーションや体操を指導するインストラクタ・システムの構築を目的とし、今年度は、特に、リハビリ動作中におけるアドバイスのための評価対象動作の切り出し、動作を伴う運動をしている利用者へのCG人間モデルのフィッティング方法に関する検討、および、最終年度としての体操インストラクタ・ロボット・システムの性能評価を行なう。

2. 研究の必要性及び従来の研究

動作を教示するシステムとして、民族舞踊の学習支援などを目的とし、ロボットやコンピュータグラフィックス（CG）を利用して学習者へ提示するシステムなどの研究が進められているが、これらのシステムでは学習者がシステムから一方的に指示された動作を模倣するだけであり、その模倣した動作が正しいか否かについては学習者自身が判断するしかない。これに対して本システムは、動作を指示するだけでなく、利用者の動作を評価し、その結果を利用者にフィードバックすることで正しく動作させるよう指導するものである。

利用者の動作にフィードバックするシステムとしてMITのDavisらのVirtual Personal Aerobics Trainerがある。このシステムは、エアロビクスをビデオ映像で指示し、その指示に従っているかを評価することによって、"Good job!"や"Get moving!"というようなコメントを利用者に伝えるものである。しかし、このシステムにおける利用者の動作評価は、正誤だけである。これに対し、本システムは、動作の正誤だけではなく、動作が誤っている場合には正しく修正する方法をアドバイスすることによって、リハビリテーション実施効果の向上を狙ったものである。

3. 期待される効果

体操インストラクタ・ロボット・システムを利用することによって、適切にリハビリテーションを実施させることができ、身体機能を維持し、生活の質を向上させることに貢献できる。また、高齢化によって病院や施設などで不足しているリハビリテーション指導者を支援することも可能である。さらに、動作推定に利用しているステレオカメラの撮影速度が将来的に向上することによって、速い動作を推定させることができ、スポーツ分野でのインストラクタやアミューズメント分野での振り付けやダンスの指導などへのロボットの利用も考えられる。

4. 研究の経過及び結果

リハビリテーションやストレッチ体操、速い動きのない体操（ラジオ体操など）の指導する体操インストラクタ・ロボット・システムに必要な基礎技術の確立を行い、実際のリハビリ施設や高齢者施設、体操指導施設のような現場で利用できるシステムの構築を目的とし、本年度は、実際の施設での指導を想定し、リハビリ体操を実施している評価対象者を検出する方法に関して検討した。

リハビリ体操を実施する施設では、体育館やリハビリ室のような大きな部屋で複数の方が同時にリハビリ体操を実施するという状況が一般的である。これまで本研究で構築してきた体操インストラクタ・ロボット・システムでは、リハビリ実施者がシステムの前に来てリハビリ体操を実施することで、運動実施者のリハビリ体操を評価し、アドバイスを行なうものであるため、実際の現場への適用は難しい。そこで、体育館のような広い空間において、体操インストラクタ・ロボット・システムが移動しながら、複数のリハビリ体操実施者を指導していくというシステムへの改良を施すこととし、体操インストラクタ・ロボット・システム自体を積載して移動させるためのベースロボットの製作、および、そのベースロボットをリハビリ実施者のところへ移動させる制御システムの構築を行なった。

ベースロボットは、リハビリ体操実施者が複数人いる部屋の中を自由に動き回ることを想定し、かつ、体操インストラクタ・ロボット・システムを積載して移動することから、サイズは人の肩幅程度の600mm×600mmとし、旋回中心が車体の中心になる超信地旋回できる仕様として製作した。図1に製作したベースロボットを示す。ベースロボットの制御部にはArduinoマイコンを利用し、LabVIEWを用いてリハビリ体操実施者の検出のための画像処理、および、ベースロボットの制御を行なっている。

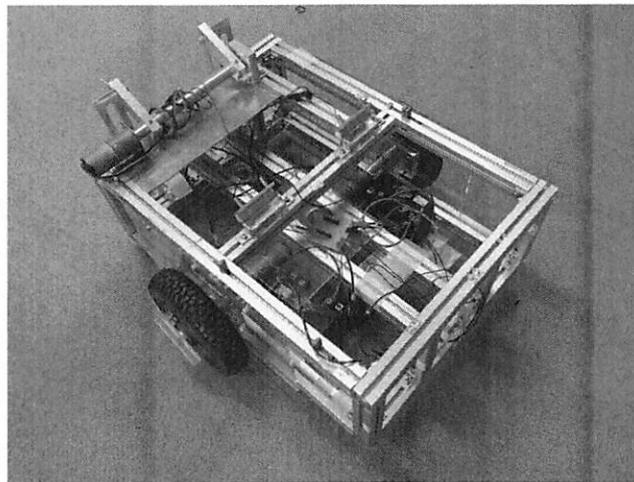


図1 ベースロボット

リハビリ体操実施者への指導は、はじめに、リハビリ体操実施者を特定するための色情報を決定し、その色情報を手がかりとしてリハビリ実施空間内を探索しながら実施者を見つけ、その実施者に合わせたリハビリを実施させ、アドバイスしていく。

リハビリ体操実施者の色情報は、リハビリ体操実施前に昨年度検討してきた個人の身体特性を考慮して評価するためのカルテファイルを読み込むために体操インストラクタ・ロボットの前でリハビリ体操実施開始の登録をするときに撮影した画像から特徴のある色を抽出することで決定する。リハビリ体操実施者が複数人いる場合は、それぞれの特徴色が重ならないように決定していく。

リハビリ体操実施者の特定色が決定された後は、リハビリ実施空間内を探索して特定色を検出し、リハビリ体操の評価を行なうための姿勢判定領域と体操実施者とが重なるような距離にベースロボットがリハビリ体操実施者のところへ移動していく。移動後は、これまでのようにリハビリ体操実施者の顔と手の位置を検出して体操実施者の体型に姿勢判定領域をフィッティングし、姿勢判定領域を利用して体操動作評価を行ない、必要に応じてアドバイスしていく。

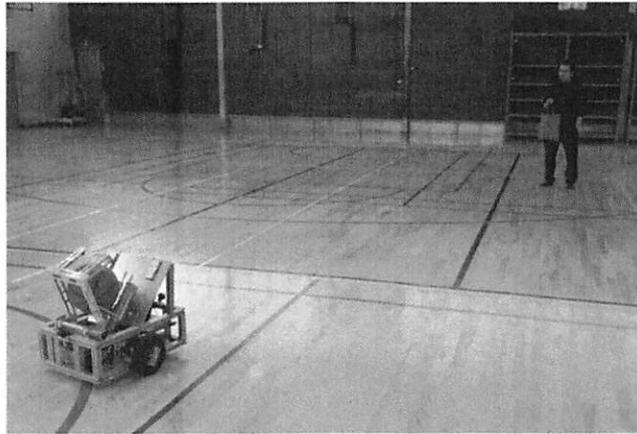


図2 ベースロボットのリハビリ実施者の検出と移動の様子

この方法によって、実際の現場のように広い空間内で複数人がリハビリ体操を実施しているような状況においてもこれまでの方法によってリハビリ体操の指導を実施できるようになる。

5. 今後の計画

これまでの体操インストラクタ・ロボット・システムをベースとして、リハビリ実施施設等で利用できるシステムの構築を目指し、今後は、リハビリ実施者へのリハビリ動作の分かりやすい提示方法の検討、リハビリ実施者との双方向コミュニケーションによるリハビリの指導とアドバイス方法の検討、さらに、本研究で構築したインストラクタ・ロボットの有効性を総合的に評価するため、本システムによりアドバイスを受けて体操を実施した場合とアドバイス無しで実施した場合における体力向上率の比較を行っていく。

研究課題名

サウンド提示の感性への効果の研究

研究者名：自動車システム開発工学科 西口磯春

情報メディア学科 黒川真毅

1. 研究の目的

本研究は、「次世代ヒューマンメディアを活用した体験・体感型学習支援技術の研究基礎形成」の一環として実施しており、主に音楽音響学の立場から体験・体感型学習支援技術の進展に寄与することを主眼としている。具体的には、

- ・物理モデルを用いた音源制作技術の開発
- ・新しい手法(新しい楽器や音源制作技術)を用いた音楽コンテンツ制作

を中心に活動を行う。更に、これらの応用・実践として、

- ・音楽と食との関連性に着目した一般社会人向けのイベントを実施する。

2. 研究の必要性及び従来の研究

音楽と心の状態(emotion)や感覚的能力についての研究は、近年、新しい展開を見せている。(例えば、P.N. ジュスリン, J.A. スロボダ (編), 音楽と感情の心理学, 大串健吾ら (翻訳), 誠信書房, 2008)。この原因の一つは、fMRI や PET などの新しい技術により、脳神経科学が急速に発展したことがあげられる(例えば、佐藤正之「音楽はなぜこころに響くのか：医学からのアプローチ」, 山田真司・西口磯春編著：音楽はなぜ心に響くのか, 第6章, コロナ社, 2011)。本研究課題の目的に挙げた物理モデルを用いた音源制作技術についても、コンピュータの計算能力の向上を背景に、よりリアリスティックな音源を目指した研究がなされている。

3. 期待される効果

最終的には、音楽(サウンド)と心の状態(emotion)や感覚的能力の関係の解明に寄与することが期待されるが、これらは広範囲の学問分野を統合してアプローチすべき、非常に大きなテーマである。本研究においては、その解明に向けて、限定的ではあるが、着実な成果が得られる分野への寄与を目指した基礎研究を行う。具体的には、emotion と音楽の関係を調べる上で重要な音源作成技術の開発を目指す。この技術は、電子楽器の音源としての利用や楽器製作技術への応用等も期待される。

4. 研究の経過及び結果

これまでに楽器の物理音源モデルの開発を中心に研究を行ってきた。また、音楽と心の

状態の関係については、日本音響学会をベースとして関連する研究者との連携を試み、その結果を元に2011年度に本を出版している（山田・西口編著；音楽はなぜ心に響くのか、コロナ社、2011年）。2012年度は、物理モデルに関する研究を継続するとともに、新しい電気鍵盤楽器の開発を継続した。また、黒川真毅准教授がサウンドクリエイター、西口がプロデュースを担当し、5.1chの音楽作品を制作して、DVDとして商品化した。さらに、平成24年12月には、「音楽と食のコラボレーション」とのタイトルの一般社会人向けのイベントを行い、約40名の学外からの参加者があった。これらの参加者に対するアンケートも実施した。新しい電気鍵盤楽器については、メジャーレーベルのジャズピアニストの目にとまり、この楽器を用いた音楽作品が発表された（西口明宏、PINGO、2013年2月発売、D-neo ダイキムジカ）。

2013年度も引き続き、物理モデルに関する研究と新しい電気鍵盤楽器の開発を継続した。

この楽器を用いた新譜CDが発売された。（トライソニック、ボーダレスアワー、2013年7月発売、ユニバーサルミュージック）。また、ライブ用に改良した新しい楽器を開発し、全国の9箇所のライブ会場で演奏に使用した。また、「音楽と食のコラボレーション」については第3回を2014年1月に開催し、前回以上の応募者があった。サラウンドピアノシステムの表現力（演奏制御機能）の向上を試みると共に、アコースティックベースへの応用を試みサラウンドベースシステム開発をした。サラウンドベースシステムにおいては、プロミュージシャンの試奏による実用に向けた研究開発を継続中である。上述の5.1chの音楽作品については、2013年5月に代表的な音楽配信サイトの一つであるe-onkyo musicから音楽配信を開始した。

2014年度に関しても、物理モデルに関する研究と新しい電気鍵盤楽器の開発を継続した。

新しい電気鍵盤楽器に関しては、鍵盤部に新しい機構を採用するとともに、DSP(Digital Signal Processor)組み込むための検討を行い、イコライジング機能の組み込みについて見通しを得た。また、2014年11月21日から23日までの3日間、東京ビッグサイトで開催された2014年楽器フェアに、共同開発のパートナーである（有）ソナリサーチ社との合同で新しい電気鍵盤楽器を出展した。今回の入場者数は40,647人とのことであり、反響も大きかった。また、「音楽と食のコラボレーション」については第4回を2015年1月に開催し、学外からの参加者にも好評であった。

サラウンドピアノシステムの表現力（演奏制御機能）の向上としては、スピーカシステムに新たに無指向性スピーカの導入を試み、スピーカの制作およびその効果について見通しを得た。

5. 今後の計画

物理音源モデルに関しては、超小型3次元ピックアップ等の開発を進める。楽音が人間

の心の状態に与える影響の評価法についても検討を加える予定である。新しい電気鍵盤楽器についても開発を継続予定である。またサラウンドピアノシステムの表現力（演奏制御機能およびスピーカ改善による聴取者への影響）の向上の試みと共に、サラウンドベースの実用化および利用した作品制作をしていく予定である。

6. 研究成果の発表

引き続き、学協会等への論文発表、書籍出版、DVD等の音楽作品の公開を進めていきたい。サラウンドピアノシステムに関しては、2014年に芸術科学会誌 Diva35号に掲載された。ピアノの物理モデルに関しては、2014年7月に新刊（西口（編著）、ピアノの音響学、コロナ社）を出版した。

塩素処理に変わる安全・安心を目指した焼成カルシウムによるフレッシュ食品の殺菌・除菌法の開発

研究者名：栄養生命科学科 澤井 淳

1. 研究の目的

本研究は、次亜塩素酸ナトリウム処理に変わる「安全・安心」を目指したフレッシュ食品の殺菌・除菌技術としての焼成カルシウム処理技術の確立を目的とする。

H26年度の目的・目標

上述の目的を踏まえ、研究初年度は

- ①セメント工業の分野において、糖を添加することで石灰類の凝結が制御できることが報告されており¹⁾、焼成カルシウム（焼成ホタテ貝殻粉末：HSSP）への各種糖類添加によるスケール生成抑制および抗菌活性へ及ぼす影響について検討する。
- ②熱量測定法における各種微生物数と検出時間とのキャリブレーションを行い、検出濃度、増殖速度などを算出し本評価方法の特性を把握する。

2. 研究の必要性及び従来の研究

- ①焼成カルシウムは、貝殻や造礁サンゴなど炭酸カルシウムを主成分とする天然物を加熱処理することで得られ、食品衛生法における既存添加物として認可されている。これらの焼成カルシウムが優れた抗微生物活性（細菌、カビ、耐熱性芽胞、ノロウイルス、鳥インフルエンザウイルスなど）を有することが報告されている²⁾。また近年では、海外においてもその利用が注目されており、多くの研究者が次亜塩素酸ナトリウムに変わる殺菌・除菌方法として注目し、精力的に研究を進め始めている³⁻⁵⁾。しかしながら、その利用において、炭酸カルシウムのスケールの発生が利用拡大のブレーキとなっている。
- ②従来食品中の微生物数の評価方法（公定法）は、食品をストマッカーと呼ばれる破壊処理を施した後、放出された微生物を含む溶液を希釈し寒天培地で培養・カウントするものである。この方法は熟練した技術と結果が出るまでに長時間を要する（細菌で2日、真菌で7日間）。食品中の微生物の非破壊・迅速評価方法としては、濁度法や電気伝導度法などがあるが、装置的に測定可能なサンプル量が公定法と比較すると1/10-1/100以下であった。「食品」というバラツキが多い性質上、サンプル量が少ないことは、これらの方法の信頼性を低下させる大きな要因の一つであった。そこで、従来微生物が代謝・増殖に伴い発生する微量な熱量を電気的シグナルとして測定する熱量測定装置について検討・改良を行い、公定法と同レベルのサンプル量であっても安定した電気シグナルが得られる目途がついている。

3. 期待される効果

日本では依然として次亜塩素酸処理による殺菌・除菌処理が主流であるが、塩素処理は発ガン物質を生成し、従事者の健康へも悪影響を及ぼすことは多くのレポートにおいて報告されていることである⁶⁾。焼成カルシウムは天然成分であり、また貝殻の利用は海で取れた海産廃棄物を「資源」に変換し、食品・環境および医療への微生物制御に応用した後、使用後は河川を通して再び海に戻る「循環型」の資源である。この点、次亜塩素酸等の有機合成薬剤とは全く異なるものである。このような特性のため海外でも焼成カルシウムの研究は精力的に行われている。ここでの目的は課題である焼成カルシウムによるスケールの生成を抑制に加え、焼成カルシウム粉体の改良（糖コーティング）および処理後のフレッシュ食品に+αの付加価値を付与する技術の開発を狙うことであり、この波及効果は国内外において著しいものである。

4. 研究の経過及び結果

1) 糖添加による焼成カルシウムのスケール抑制

表1にHSSPに各糖を添加し、24h後のスケール生成の結果をまとめる。グルコース、スクロース、ソルビトールにスケール抑制効果が認められた。一方、エリスリトールは全く抑制効果を示さなかった。

表1 糖添加によるHSSPのスケール生成抑制

糖の名称	濃度(mol/L)										
	0.01	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Glucose	±	-	-	-	±	+	+	+	+	±	++
Sucrose	\	+	++	+	+	-	-	-	-	-	-
Xylitol	\	+++	++	++	++	+++	++	+	+	+	+
Erythritol	+	-	+	+	+	±	±	+	++	++	++
Sorbitol	\	-	-	+	\	±	\	+	\	\	+

+:スケール有 -:スケール無 \:未実験

焼成ホタテ貝殻:4 mg/mL

常温 24h 静置



24 h 静置後(-)



24 h 静置後(±)



24 h 静置後(+)



24 h 静置後(++)



24 h 静置後(+++)

表2にHSSP(1mg/mL)に各糖を1mol/Lの濃度で添加したときの大腸菌に対する庫ウツ菌活性の変化を示す。グルコース、スクロースの場合、HSSPの抗菌活性が著しく低下した。一方、エリスリトール、ソルビトールでは低下は認められなかった。以上の結果より、グルコースおよびスクロースは抗菌活性を低下させるとともに微生物に資化されやすいため、焼成カルシウムのスケール生成抑制にはソルビトールが最適であった。

HSSPにソルビトールを添加した結果、スケールの生成が抑制されただけでなく、HSSPの沈殿個体量が著しく減少する現象が観察された。HSSP存在下と非存在下でのFTIRデータではソルビトールのピーク位置、高さ、幅等に変化は認められず、またソルビトール添加前後のpHの変化もなかった。以上のことより、ソルビトールの添加により、HSSPが微粒子化していることが考えられた。

表2 各糖を1mol/L添加によるHSSP(4 mg/mL)の大腸菌に対する抗菌活性

	pH	生存率[-]			
		0 sec	120 sec	240 sec	480 sec
HSSP単体	12.7	1	ND	ND	ND
Glucose	11.1	1	8.8×10^{-1}	5.0×10^{-1}	1.6×10^{-1}
Sucrose	11.7	1	1.1×10^{-2}	4.0×10^{-3}	2.0×10^{-4}
Sorbitol	12.4	1	ND	ND	ND
Erythritol	12.7	1	ND	ND	ND

2) 熱量測定による食品中微生物の非破壊・迅速評価

供試菌として大腸菌および黄色ブドウ球菌を使用した。 $10^6 \sim 10^2$ CFU/mL に培養液をそれぞれ希釈した。熱量測定には、微生物活性計測システム Antares(ULVAC 理工(株))を使用した。試料計測ユニットに恒温水を循環させ、 37°C とした。そこに SCDLP 培地、普通ブイヨン液体培地、ブレインハートインフュージョン(BHI)培地、トリプトソイブイヨン培地、LB 培地(40 mL)を分注したバイアル瓶をセットした。一定温度に到達後、希釈した菌液(0.4 mL)を分注し、熱量のシグナル変化を 24 時間連続測定した

いずれの培地においても、大腸菌および黄色ブドウ球菌の増殖に伴い、発熱が確認され、シグナルが増大した。シグナル変化はほぼ 10 時間以内で起こり、公定法の培養時間(48 時間)と比較するときわめて短時間で微生物の検出が可能である。大腸菌において最も大きなシグナル変化は BHI 培地で認められた(図 1)。

シグナル値の 100 に到達するまでの時間を検出時間とし、初期菌数(対数)との関係を図 2 に示す。直線の相関係数(R^2)は、BHI 培地で 1.0 と非常に高い値が得られた。検出感度は SCDLP 培地より下回ったものの、黄色ブドウ球菌においても良好な結果が得られた。以上の結果より、食品中の微生物数の計測に使用する培地としては、BHI 培地が適していると考えられた。

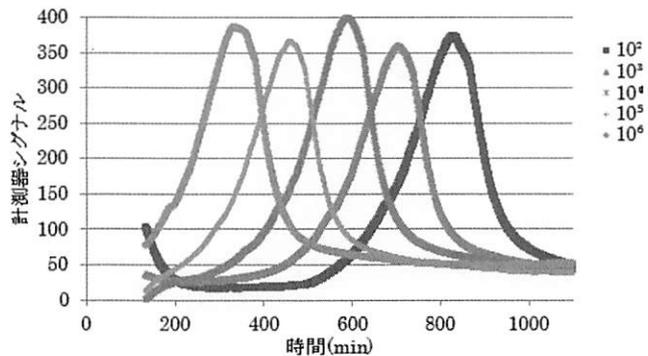


図 1 ブレインハートインフュージョン培地における大腸菌の測定

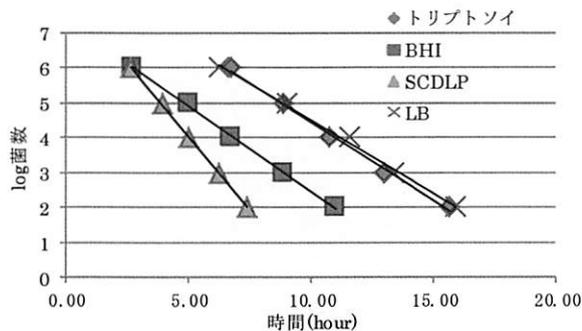


図 2 各培地における大腸菌の検出時間 (シグナル=100)

文献

- 1) 小堀茂次、寺田一郎 (1999) 無機マテリアル, 6, 588-592.
- 2) Sawai, J. (2011) *Biocontrol Science*, **16**, 95-102. (Review)
- 3) Bodur, T. and Cagri-Mehmetoglu, A. (2012) *Food Cont.*, **25**, 1-9.
- 4) Mamun *et al.* (2012) *Agric. Food Anal. Bacteriol.*, **2**, 222-231.
- 5) Fransisca *et al.* (2011) *J. Food Sci.*, **76**, M404-M412.
- 6) Kim, J.G.(2007) *Fresh-cut produce industry and quality management*. Semyeong Press, Suwon, Korea.

5. 今後の計画

以下の全体計画で目標の達成を狙う。

年度	①糖添加による焼成カルシウムのスケール抑制	②熱量測定による食品中微生物の非破壊・迅速評価
27	糖添加焼成カルシウムによる食品の処理 > 処理後の生菌数、大腸菌群数の変化 > 処理後保存中における微生物学的変化	熱測定法の実食品へ応用 > 各種食品における従来法との相関性の把握 (①に処理食品において相関性を検討)
28	糖コーティングによる焼成カルシウム製剤改良と食品への応用 > 糖のコーティング条件の検討 > 糖コーティングによる抗菌性、操作性、吸湿性の変化 > 実食品への処理とコーティング効果の熱測定法による迅速評価	
<最終目標> ・次亜塩素酸ナトリウム以上の殺菌・除菌効果および保存効果の実現 ・従来法との相関の実現と迅速評価 (細菌は数時間、真菌で2日以内)		

6. 研究成果の発表

6-1 査読付き研究論文

- 1) Watanabe, T., Fujimoto, R., Kikuchi, M., Sawai, J., Yahata, S., Satoh, T.: Antibacterial characteristics of heated scallop-shell nano-particles. *Biocontrol Science*, **19** (2) 93-97 (2014. 6).
- 2) Yasue, S., Sawai, J., Kikuchi, M., Nakakuki, T., Sano, K. and Kikuchi, T.: Sporocidal characteristics of heated dolomite powder against *Bacillus subtilis* spores. *Biocontrol Science*, **19** (3), 113-119 (2014. 9).
- 3) Shimamura, N., Irie, F., Yamakawa, T., Kikuchi, K. and Sawai, J.: Heated scallop-shell powder treatment for killing and removal of *Listeria* sp. biofilm formed at low temperature. *Biocontrol Science*, **20** (2)(2015. 6)

6-2 総説・解説

- 1) 澤井淳：天然由来物質「抗菌活性の基礎知識」, クリーンテクノロジー, 25 (3) 32-37 (2015. 3).

6.3. 学会発表

- 1) 石川美紀、野本侑李、菊地幹夫、澤井淳：Sorbitol コーティング焼成ホタテ貝殻粉末スラリーの食品への応用. 日本防菌防黴学会第41回年次大会、25Pp-22, 東京、きゅりあん (2014. 9)

食事バランスガイドを活用した大学生の食事評価と栄養教育への展開

栄養生命科学科 原島恵美子

1. 研究の目的

望ましい食生活は、食事摂取基準に則った栄養の確保と規則正しい食事の摂取やどのような形態で誰と食事をするかなど、多くの要素が関わってくる。しかし、現代の生活環境における食事習慣は、価値観の多様化を反映して、3度の食事の意味や重要性は必ずしも十分理解されていない。大学生は、自主的、自立的な食事の選択力を身につける重要な時期にあるが、不規則な日常生活から偏った食生活に陥りやすく、栄養過剰や不足になることも少なくない。将来のメタボリックシンドロームや生活習慣病の予防のためにも、大学生のうちに望ましい食習慣を形成することが重要であり、本研究ではその支援の方策を検討することを目的とする。

2. 研究の必要性及び従来の研究

内閣府の全国の4年制大学の大学生を対象とした「大学生の食に関する実態や意識についてのインターネット調査」では、朝食欠食の状況は、上級学年ほど、男性ほど、下宿生ほど問題があり、朝食欠食の理由として、「もっと寝たい」、「身支度などで忙しい」などがあげられた。朝食をとらないほど身体面で健康な状態（勉学に支障のない程度）ではないと思う傾向にあり、学部による違いは見られなかった。また、今後の食生活では、「栄養バランスのとれた食事の実践」や「規則正しい食生活リズムの実践」に力を入れたいと思う割合が多かったと報告されており、大学における健全な食習慣形成の支援は急務である。しかし、食生活のバランスが大きく乱れ、また、食事改善への関心が低い大学生が正しい健康・栄養知識を習得し行動変容に至るには、学習者のニーズや行動変容の準備状態を確認し、改善目標を決定するなどのアプローチが必要である。

一般の人々が栄養教室等でも改まった学習をしなくても、手軽に、気楽に、バランスのよい食べ方が出来るように開発された「食事バランスガイド」は、主食、副菜、主菜、牛乳・乳製品、果物を組み合わせて1日の食事の栄養バランスを考えようという料理ベースの食事計画・栄養診断ツールであり、栄養教育のツールとしての有用性が期待される。食事バランスガイドを用いた授業実践では、小学生における主食・主菜・副菜の認識が向上し、日常の食生活において朝食の欠食が減少したという報告がある。また、高等学校の家庭科においては、栄養バランスの良い食事の指導ツールとして生徒の理解度、満足度の評価も高く有効であることが検証されている。しかし、大学生を対象としたe-ラーニング教材による学習では、食事例の副菜・主菜のサービング(SV, つ)を数えることが難しいことが報告されており、食事の自己診断のために食事バランスガイドを活用できるようにするためのプログラムの工夫と検証が必要である。

3. 期待される効果

栄養教育プログラムにおいて目標を達成するためには、正しい健康・栄養知識を習得させ、学習者自らが問題行動に気づき、知識を獲得する中で態度の形成を図る。次に技術を学習すると行動変容がもたらされ習慣化する。集団全体を対象とした情報提供と対象（学習者）の実態把握に基づいた栄養教育プログラムの実施により、大学生の食生活改善の効果が期待される。

4. 研究の経過および結果

平成26年度は、学生の食生活の実態把握を行った。本学の20歳以上の健康な男子15名を対象に調査の説明会を開催し、研究参加への同意を得た後、指定日（4日間）に飲食したものを携帯電話で撮影するように依頼した。写真は、必要事項（食物の入手方法、購入・外食時の店名やメニュー名、食べた時間）を記入の上、メール添付にて送信することとした（図1）。居住形態の内訳は、実家暮らし5名、一人暮らし8名（自炊3名、非自炊5名）、寮2名であった。食事は、朝食において、4日間のうち1回でも欠食した者が15名中10名見られた。一人暮らしで自炊を全くしない5名の内4名は習慣的に朝食を欠食していた（表1）。朝食の食事内容は、5名が菓子パンやおにぎりのみで済ませていた。昼食は、実家暮らしは家庭食（弁当）を持参することもあったが、ほぼ全員が外食（学食）やコンビニ食に頼っていた。夕食は、実家暮らしはほぼ全て自宅で済ませ、主食・主菜・副菜がそろった食事であった。非自炊者は、外食（ファストフード、ラーメンなど）やコンビニでの購入であった。自炊者3名は、4日間とも自炊をしていた。入寮者は、原則寮食であったが、長期休暇中は寮食が提供されないため、購入したものや外食（ファストフード）で済ませていた。

15名から報告された料理の内、最も多かったのは牛丼であり5名から申告された。非自炊者のうち4名は、全ての食事において副菜としてカウントできる野菜料理が全く含まれていなかった。自炊者は、1日1回は野菜料理を食べていた。また、8名が間食や食事中にジュースや酒などの嗜好飲料を摂取していた。



朝食：菓子パンのみ

昼食：牛丼2種と麦茶

夕食：幕の内弁当、スパサラ、豚汁

図1 送信された食事写真（例）

表1 ひとり暮らし・非自炊者の4日間の食事(例)

		朝食	昼食	夕食	間食
一 日 目	入手方法	購入		購入	購入
	内容	塩むすび 赤飯おこわ 豆大福(5個入り) コーヒー飲料	欠食	3種のチーズ牛井 (中盛) 牛井(並)生卵 し好飲料(カピス)	し好飲料(ミニ ツツメイド)
二 日 目	入手方法		外食	購入	
	内容	欠食	シロコロホルモン ラーメン 餃子 水	ネギ玉牛井(並) とりそぼろ井(並) 生卵2つ コーヒー牛乳	
三 日 目	入手方法		外食	購入	購入
	内容	欠食	山かけまぜのつけ 朝食(ご飯大盛)	幕の内弁当・梅 スパサラ 豚汁	プロテイン(ザ バス)水300ml, スプーン3杯
四 日 目	入手方法		外食	外食	
	内容	欠食	山かけまぜのつけ 朝食(ご飯大盛)	焼肉(食べ放題メニ ュー全品)	

エネルギー収支バランスの指標であるBMIの平均は $22.3 \pm 1.8 \text{kg/m}^2$ であり、全員が適正体重の範囲に入っており、必要なエネルギー量は確保されていると判断された。一方、送信された画像から、4日間の食事を1日ごとに食事バランスガイドにあてはめ、主食、副菜、主菜、乳・乳製品、果物および菓子・嗜好飲料類に分類しそれぞれの摂取SV数(つ)を対象者ごとに算出した結果、日常の食事バランスはかなり偏っていた。食事バランスガイドの目安SV数と比較して主食、副菜、牛乳・乳製品、果物は少なく、主菜は目安の範囲内、菓子・嗜好飲料が多いパターンが最も多くみられた(図2)。主食の不足は、朝食欠食、または、朝食として菓子パンを食べていたことから、主食ではなく「菓子・嗜好飲料(コマのヒモの部分)」に分類されたためであった。また、日常生活で不足しがちな野菜は、主に、ビタミンやミネラル、食物繊維の供給源であり、朝・昼・夕の毎食に摂取すべきであるが、肉を中心とした外食やコンビニ食には副菜として算定出来るだけの量が含まれておらず、副菜が各食事に全くカウントされていないものも見られた。さらに、カルシウムの供給源となる乳・乳製品を4日間で全く摂取していないものが15人中7名、ビタミンC、カリウムなどの供給源となる果物を4日間に全く摂取していないものも15人中7名みられた。一方、摂取SV数が概ね適正範囲(4つ~6つ)に収まっていた主菜は、おもにたんぱ

く質、脂質、鉄などの供給源となるが、主材料の種類により栄養価が異なるので、主材料の配分にも留意する必要がある。対象者の4日間の主菜（肉・魚・卵・大豆料理）の平均SV数（図3）から、全員が肉料理中心の食生活であり、中には、魚や大豆料理は全く摂取していないものも見られた。主菜は、生活習慣病予防のために油脂類が多い料理を少なめにし、主材料の種類や調味・調理法が偏らないように注視し、油脂、食塩の多少にも留意して料理を選ぶ必要がある。

今回の調査から、対象とした大学生の食生活状況は、居住形態にかかわらず食事改善の必要性が示された。大学生のQOLの向上のためには、規則正しく食事を摂取してバランスのとれた食事を確保するための正しい知識の習得と態度の形成とともに、外食・中食におけるヘルシーメニューの提供などの食環境の整備の取り組みも合わせて実施する必要があると考えられた。

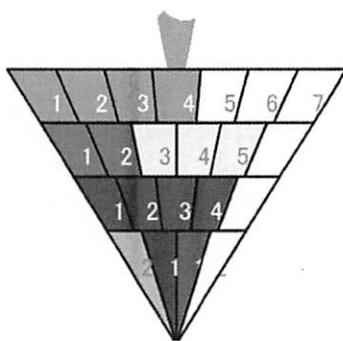


図2 食事バランスガイド（例）
（図の上から主食、副菜、主菜、乳・乳製品、果物の区分。塗りつぶされたエリアが摂取の算定されたSV数）

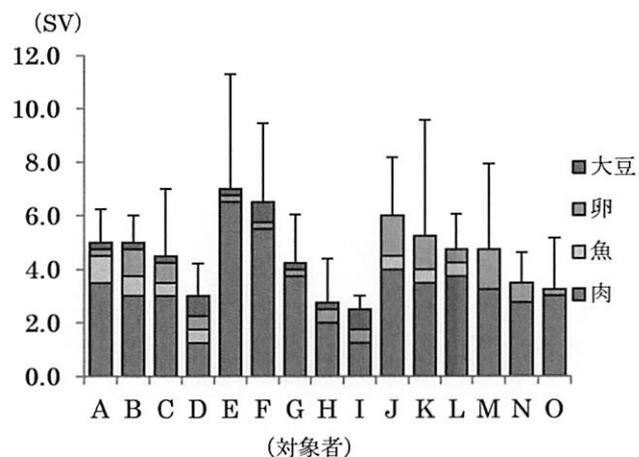


図3 対象者の主菜の主材料の摂取状況

5. 今後の計画

今後は、大学生の食事改善のための「食事バランスガイド」を活用した栄養教育プログラムを立案し、実施・評価を行う。また、多数の学生が望ましい食生活について主体的に学ぶことができる「食事バランスガイド」のWebベースの学習プログラムを作成し、大学生の食習慣の改善につなげていきたい。

6. 研究成果の発表

研究成果は、学術雑誌等に投稿していく予定である。

腕時計型ストレス・カロリー計を用いた 臨床現場における活用法の検討

神奈川工科大学 応用バイオ科学部 栄養生命科学科 准教授 澤井明香

1. 研究の目的

我々の研究グループでは、日常生活における精神ストレスや消費エネルギーを簡易客観評価するための「腕時計型ストレス・カロリーメータ (WSC monitor : G200)」をセイコーエプソン社と開発した。昨年度は実験室内で統一した幾つかの活動（安静、人前スピーチ、暗算、顔再認課題、散歩、通常歩行、速歩、ジョギング）を行い、当機の精度について調べ、当機は両者の比較によりある程度の精度を保持していることがわかった。また、実験上作成した幾つかの精神ストレス（暗算、人前スピーチ、顔再認課題）回答時の心拍数の上昇についても、精密代謝器に付属した心電計から得た心電図の解析により、高い相関を得たことを報告した。しかし一方で、精密代謝器による測定は、代謝測定用のマスクを鼻部および口に装着して得た呼気ガス（ O_2 、 CO_2 ）を分析するものであり、測定においては被験者の行動を拘束する、例えば、代謝用マスクを装着した状態での睡眠時エネルギー消費量の測定には、寝返り等の対応が難しいために現実的ではなく、ウェアラブル装置ではないため屋外における活動の評価についても困難である。

このように本装置は、精密代謝器との精度確認はおこなったものの、人の24時間の日常生活における装着や実験室で設定された精神ストレスや身体活動以外の状態、睡眠状態、消費エネルギーの測定状況については確かめる必要がある。したがって本研究では、24時間装着による装置の動作確認および当装置の24時間測定によって評価される幾つかの項目について、調べることを目的とした。すなわち、本研究では(1)WSC monitorの体動係数および非体動係数を固定した場合における被験者が記入した行動記録票との比較と(2)病院での栄養指導における活用法の検討を目的とした。

2. 研究の必要性及び従来の研究

生活習慣病の予防や治療には、適性体重の保持を目的として肥満者を中心として保健栄養指導が行われている。生活習慣の是正のための保健指導には、問診により睡眠やストレス、食事時間等の把握が行われている。また、栄養指導では、食事摂取時間や食事の質（摂取量、摂取内容）に対して行われており、食事の質の指導では、生活習慣の指導と同様に対象者の生活活動状況（睡眠時間や覚醒時の活動）を評価したうえで生活活動強度を求め、個人の体格（身長、体重）や疾病者は疾病状況を考慮したうえで、必要栄養量が算出される。

このように保健栄養指導においては、対象者の生活習慣を適切に評価することが求められているが、現在もなお自己申告や観察記録(行動記録表)、あるいは歩数計や、稀ではあるが

心拍計を利用した身体活動の把握程度であり、これでは客観性に欠けるため評価が充分であるとは言い難い。また、現在の日本人の生活は睡眠、精神活動、身体活動の順に時間が長いのだが、歩数計は身体が動いた時のみの評価であり、心拍計から得る消費エネルギー量は、安静時の精神活動の客観評価が長期にわたり難しかったことから、身体活動時を軸にして心拍数からエネルギー消費量が換算されているため、日本人の現在の実態には十分に適合するデバイスであるとは言い難い。我々の研究グループでは、睡眠と精神活動（ストレス）時のみの消費カロリーを評価する機器を開発しており、当測定器（ストレスメーター）は、英語論文として報告した。これにカロリー換算機能を新たに備えた開発器（ストレス・カロリー計）は、昨年度の当報告書において開発器の精度を示し、さらに現在では内容の詳細をまとめて学術誌（英文誌）に投稿中である。

3. 研究の経過および結果

本研究は年間を通じて2種類の取り組み（1）WSC monitorの24時間装着と被験者の行動記録票との比較（2）WSC monitorを用いた24時間の生活習慣の評価を行った。

(1) WSC monitorの24時間装着による消費エネルギーと行動記録票から換算した消費エネルギーの関係性の検討

1. 対象者

学生健常者12名（男性2名、女性10名）中高年健常者6名（男性2名、女性4名）メタボリックシンドローム患者6名（男性2名、女性4名）（Table.1）とし、書面にて全員からインフォームドコンセントを得た。メタボリックシンドローム患者は横浜予防医学協会の朽久保修教授に協力を仰ぎ、同協会のメタボリック外来に通う患者に依頼した。メタボリックシンドローム患者が、年齢層・性別・職業に関する統一性は特になく、集団であった。10名に測定を依頼したが、実施後に、行動記録票の不備等による脱落者やWSC monitorの誤作動がみられたことから、これらの人物を外し、実際の患者の測定は6名となった。なお、当研究は予防医学協会にて倫理委員会において承認を得て実施した。

2 使用装置（WSC monitorについて）

当機は皮膚表面から脈波を計測できるブルーセンサーを用いて、橈骨動脈部位で脈波を計測する。内蔵された3軸加速度センサーによる加速度（G）を測定し、Gを段階別に分けて評価を行い、さらに脈拍より睡眠時の基底心拍数（HR₀）を算定して基準値とし、加速度と心拍変動の組み合わせにより被験者の活動状況（身体活動や精神活動等）が選別され、精神活動、身体活動、精神活動ストレス、身体活動ストレス、睡眠の5つに評価する。さらにエネルギー消費量は、これらの各々の活動における時間と心拍変動と心拍変動を利用して換算される。なおエネルギー消費量への換算については、特定の係数（体動係数・非体動係数）が利用されている。エネルギー消費量への換算式は以下のとおりである。

$$EE = EE_0 + [X] \times EE_0 \times (HR - HR_0)$$

分時エネルギー消費量を EE 、分時基底エネルギー消費量（分時基礎代謝量）を EE_0 、体動係数を $[X]$ 、心拍数を HR 、基底心拍数を HR_0 としている。

3. 測定

被験者は睡眠を含む連続した24時間以上、WSC monitor を装着し、行動記録票を10分刻みで準備し、行動が変化した時点ですみやかに記入するように指導した。WSC monitor の装着時は、年齢、身長、体重、性別を設定後し利き手とは逆の手首に装着し「ぴったりゾーン」を測定して開始した。

行動記録票は10分刻みに記録するスペースを準備し、朝、昼、夜の3食を摂り各時間の記入、睡眠についても就寝時間と起床時間を記入した。また通学・通勤については移動手段と座位、立位の記入、トイレの時間の記入、またその他に行った活動も活動内容とし記入した (Figure 1)。

24時間装着によりWSC monitor から算出された1日消費エネルギー量と、被験者に記入した行動記録票をもとにMETsを用いた1日の消費エネルギー量を計算し、この二点を比較した。また、比較に際しては1日の消費エネルギー量をBMI補正し体格による影響を軽減して比較した。

4. 統計分析

WSC monitor と行動記録票から得られたデータを比較し両者の相関を求め、相関関係 (r) として示した。

5. 結果

消費エネルギーの平均値はWSC monitor $2904.3 \pm 783.06 \text{kcal}$ METsを用いた消費エネルギー $2484.8 \pm 621.86 \text{kcal}$ と差がみられた。被験者の行動記録票によるMETsを用いた消費エネルギーと、WSC monitor かの消費エネルギーにおいては相関係数 (r) 0.47 を示した。また、 n 数が少なく相関係数 < 0.75 のためスピアマンの順位相関係数の検定を行った (Figure. 3)。 $t=2.46$ となり有意相関が確認された。

$$t = \frac{\text{相関係数} \times \sqrt{\text{例数} - 2}}{\sqrt{1 - (\text{相関係数})^2}}$$

6. 考察

WSC monitor と被験者の申告に基づき記載された行動記録票の消費エネルギー量との間には有意相関が認められたが、相関係数は $r=0.47$ と低かった。WSC monitor は既存の精密代謝測定器 (Power Lab BRC 社製) との比較では良好な精度 ($r=0.90$ 以上) が得られている。今回の取り組みでは、WSC monitor より得た測定値と被験者の申告と比較を行ったものであり、被験者が記述した行動記録票はエネルギー消費量を換算するために、さらにMETs表を利用している。被験者の自己記録を換算したものは、被験者の過大または過小報告の可能性とMETs表換算時の性別、年齢、身長の考慮の難しさの双方から生じた相関と推察する。

WSC monitor 側の課題としては、消費エネルギーへの換算に用いられる係数（体動係数、非体動係数）について、開発器の精度検証に測定した対象者とは異なる年代や健康状態にある人物も今回の測定では対象となっているおり、特に心拍出量が年齢や体格の影響を受けるため、換算係数については、今後、さらに精査する必要があると考える。

(2) 健常学生、健常中高年、メタボリックシンドローム患者の比較による臨床現場における応用法の検討

1. 対象者

対象者の内訳は、学生健常者 12 名 中高年健常者 6 名 メタボリックシンドローム患者 6 名であり、第一実験と同じ被験者である。

2. 方法

(1) と同様の方法により WSC monitor を装着し、得られた結果を 24 時間装着した WSC monitor で算出された項目 (Figure 2) を学生健常者、中高年健常者、メタボリックシンドローム患者の各データで比較した。

3. 統計分析

SPSS Statistics17.0.1 for windows を用い Kruskal Wallis 検定、Mann-Whitney 検定を用い、学生健常者、中高年健常者、メタボリックシンドローム患者のデータを比較した。有意水準は危険率 5%とした。

4. 結果

得られたデータを健常学生、健常中高年、メタボリックシンドローム患者において各項目で比較を行った。Kruskal Wallis の検定の結果、BMI は健常学生と患者の比較において $p=0.001$ の有意差がみられ、健常中高年と患者の間には $p=0.054$ の有意傾向がみられた。さらに Mann-Whitney の U 検定により、メタボリックシンドローム患者と健常中高年では BMI において $p=0.054$ の有意傾向がみられた。メタボリックシンドローム患者と健常学生では、BMI $p=0.01$ 、深睡眠時間 $p=0.015$ の有意差がみられた。健常中高年と健常学生との間には BMI $p=0.005$ 、フィジカルストレス（運動） $p=0.011$ 、体動時間 $p=0.031$ の有意差がみられた。深睡眠時間と概算睡眠時間の平均値の差は、健常学生で 2.9 時間、健常中高年で 3.4 時間、メタボリック患者は 3.5 時間であった (Figure 4)。また、睡眠時間の心拍変動の詳細をみると、メタボリック患者では睡眠時無呼吸症候群の可能性のある者が複数確認された (Figure 5)。

5. 考察

WSC monitor では、基底心拍、体動時間、安静時間、体動時間消費カロリー、安静時消費カロリー、体動時心拍比の平均、安静時心拍比の平均、深睡眠時間、フィジカルストレス、メンタルストレスが測定できる。BMI は、3 群間で有意差が見られており、これは経年による体重の増加や健常者と患者の体型の相違が観察されたものと考えられる。

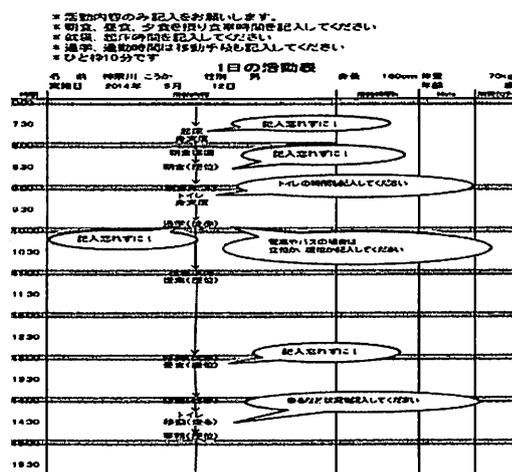
フィジカルストレスと体動時間は、健常中高年と健常学生の間有意差が見られた。

フィジカルストレスとは、運動と判定できる負荷がかかった時間のことであり、その平均時間は、健常中高年では 4 ± 1.85 時間、健常学生では 7 ± 2.11 時間であり、両者で約 3 時間の差が生じた。一方、メンタルストレスについては、今回は統計学的有意差が確認されなかった。WBC monitor は、心拍変動から消費エネルギーを換算する際には、精神活動と身体活動の係数を分けており、この面が新しい考え方となっている。換算係数を導出した際に利用されたものは、生活習慣病患者を主な被験者として考慮されており、身体活動係数の年代による異なる可能性について示している。若年者を対象とした測定の場合は、現在よりも高い加速度 (G) からを運動と判定するよう改良する必要があると思われる。また、体動時間はフィジカルストレス時間と、身体を動かしているが運動とまで判定されていない時間を足したものであり、健常中高年で 7 ± 2.11 時間、健常学生で 10 ± 2.53 時間であった。同様の理由により、加速度での選別を再考する必要がある。

深睡眠時間は患者と健常学生の間有意差が見られたが、概算睡眠時間には両者に差はなかった。概算睡眠時間とは就寝時間と起床時間の差、深睡眠時間は心拍数が一定数以下となり眠りに付いている時間帯のことを示している。良い睡眠とは、規則正しい時間に 7~8 時間、生理的に寝入りがよく、午前 1~2 時ごろ深い眠りにつき 90 分間周期でレム睡眠を伴いながら明け方にすがすがしく覚醒できるものと考えられている。逆にレム睡眠だけが多いような悪い睡眠は、十分な睡眠とは言えずさまざまな健康障害を起こすと考えられている。睡眠が短いと食欲を増進するグレリンが多く分泌され、逆に食欲を抑えるレプチンの分泌が少なくなることが知られている。睡眠の評価は、自覚症状においてもある程度の判定が可能ではあるが、メタボリックシンドローム患者にも多い睡眠時無呼吸症候群などでは深い眠りにつけていなくとも自覚できない人も多い。また、睡眠時間の心拍変動の詳細をみると、メタボリック患者では睡眠時無呼吸症候群の可能性のある者が複数確認された。以上のことからメタボリックシンドローム患者においても、睡眠の質を評価するものとして、WSC monitor は有効であると考えられる。

WSC monitor に用いる変換係数は今後様々な年代の対象者を増やして、精査が必要ではあるが、昨年度の実験室における精密代謝器との比較や、今回の取り組みにより被験者の行動記録ともある程度の相関を保っており、日常生活での利用は可能であると考えられる。睡眠の評価については、当機の利用により深睡眠時間の評価や睡眠の質について、客観的な評価が行えることが示唆された。生活習慣の改善に向けて臨床の現場における活用が期待できるのではないかと考える。

Figure 1. 行動記録票



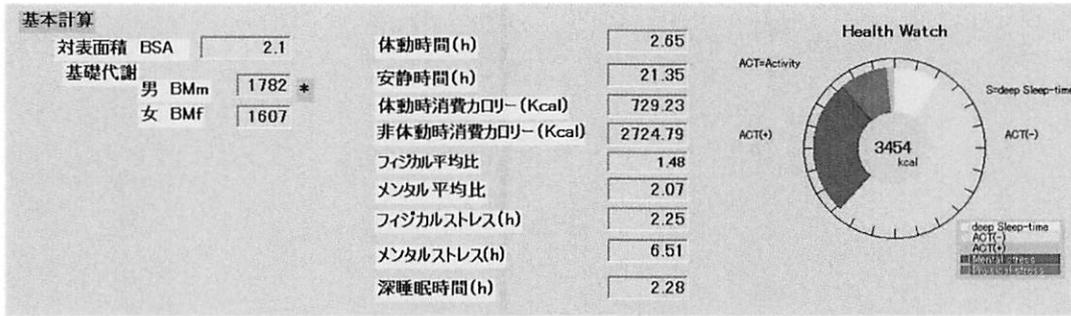


Figure 2. WSC monitor の分析画面

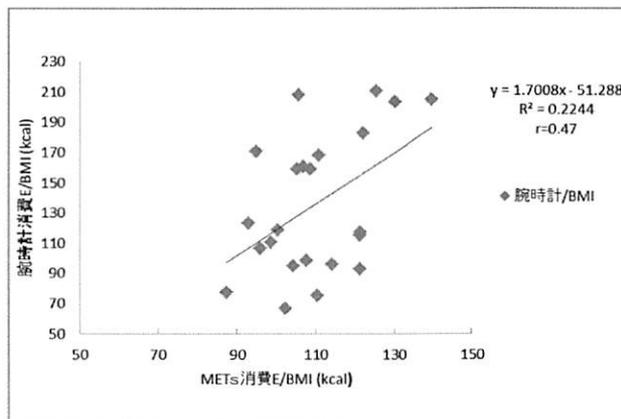


Figure 3. WSC monitor と行動記録用を METs 換算した消費エネルギーの比較

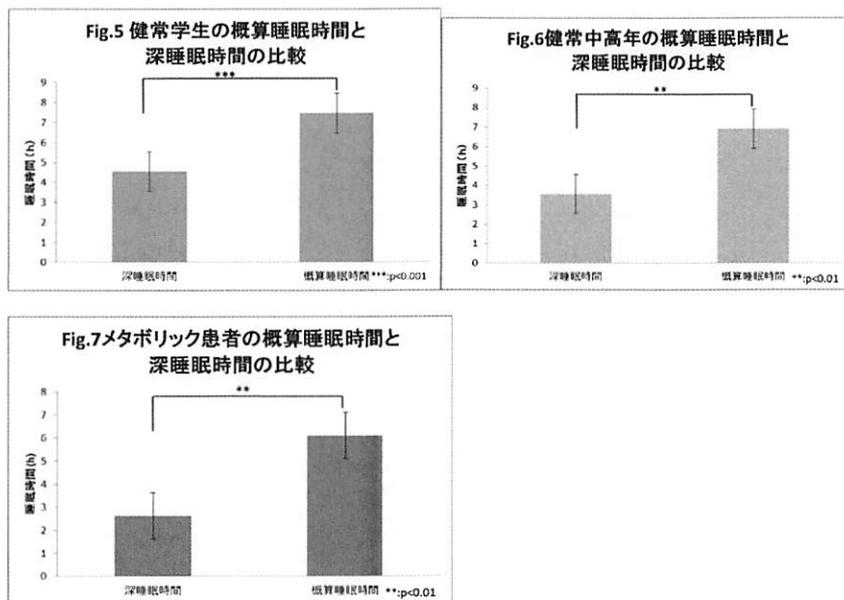


Figure 4. 概算睡眠時間と深睡眠時間の比較

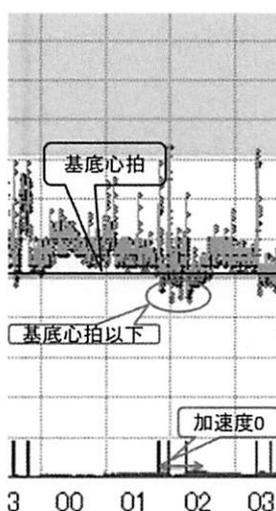


Figure 5. 睡眠時無呼吸と推察されるデータ

Table 1 対象者のデータ

	平均年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	BMI
健常学生	21±1.17	163±5.46	51±4.81	19±1.22
健常中高年者	53±9.27	165±8.98	62±8.86	23±2.11
生活習慣病患者	52±17.40	161±5.01	71±15.05	27±5.85

5. 今後の計画

本装置は生活習慣病予防および治療の目的で開発されたモデルであり、昨年度に身体活動や精神活動の負荷試験を行い精密代謝器との比較をおこなったものを、本年度で学生、中高年者、生活習慣病患者に対して24時間装着をおこない、臨床現場での活用の可能性について検討した。今回3群の比較において、運動時の消費エネルギーに特に差がみられており、当結果が被験者の申告による誤差なのか、装置の換算係数の問題なのかについては、今後詳細に検討する必要がある。このため今後は、様々な年代の被験者について精密代謝器との生理実験による比較を行い、エネルギー換算に用いる係数の精査を行うことや、現在の対象者数をさらに増やし、24時間測定における被験者の申告状況を細かく調べる必要がある。また24時間計測においては、日常的な精神ストレスを捉えることを考えていたが、3群間に統計学的な差はみられておらず、実際に精神ストレスを感じている時間も短かった。環境によるものも大きいと考えるため、今後は、対象者の幅を広げる必要がある。また当機を利用して実際に栄養指導を行った際には、当機利用による改善がみられるかどうかの検討も必要である。

以上より、今後は精密代謝測定器との比較による様々な年代でのエネルギー消費量の換算係数の見直しを図ること、精神ストレスを感じた場合の心拍変動の動きを詳細に調べることや実験的に精神ストレスを受けた場合の反応を確認すること、当機を利用した栄養指導における効果について調べる予定である。

6. 研究成果の発表予定

澤井明香, 内海杜野, 朽久保修, 腕時計型ストレス・カロリー計の臨床現場における応用法の検討, 第15回日本健康栄養システム学会大会, 2015年6月21日, 女子栄養大学駒込キャンパス.