

第3章

介護技能に関する動画検証解析 WG 報告

本事業では、介護職員の技能等の評価に関し、評価の公平性、均質性等を確保するための評価方策の検討として、動画検証解析WGを設置の上、介護技術の評価や技能の判定の際の評価者の主観的ブレの是正に資する方策についての検討を行った。

リハビリテーション学での分野では、従来より目視によるリハビリ評価によってきたが、運動軌跡や関節角度の画像解析によって、運動麻痺の重症度を客観的に評価できるようになった（ニューロリハビリテーション）。この研究の考え方を応用し、介護技能における介護者や被介護者の関節モーメント等の画像解析による介護技能の測定基準化の可能性について、検討を行った（研究1）。また介護動作を評価するためのフィージビリティスタディ（研究2）、既に社会実装されている、体操競技用のAI採点システム：Human Motion Analytics技術の介護分野への応用可能性（研究3）を通じて、画像解析技術を用いた介護技能評価への活用可能性について検討した。

以下、WGでの検討内容概要を示す。

1 ニューロリハビリテーションの研究と介護技術評価への活用可能性検討¹

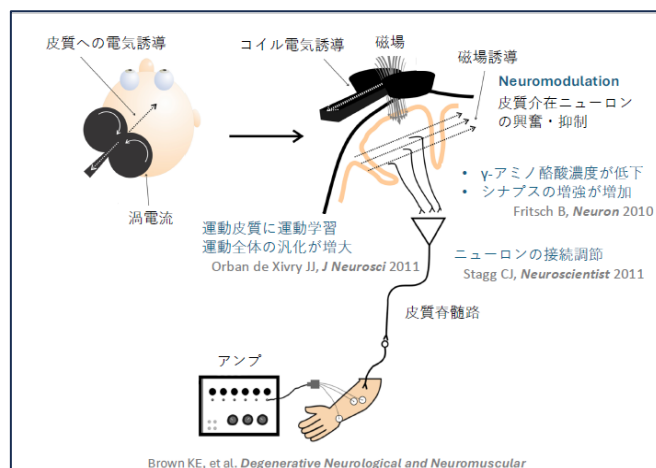
- ニューロリハビリテーション研究： 反復経頭蓋磁気刺激 集中的作業療法



脳卒中後の麻痺回復に、運動療法とともに非侵襲的脳刺激を加えて脳の神経活動を調整した手法が効果を上げている。特に、反復経頭蓋磁気刺激を適切に行うと、脳の賦活・抑制をコントロールしたあとに集中的に運動療法を行うことで運動学習効率を高められるようになっている。

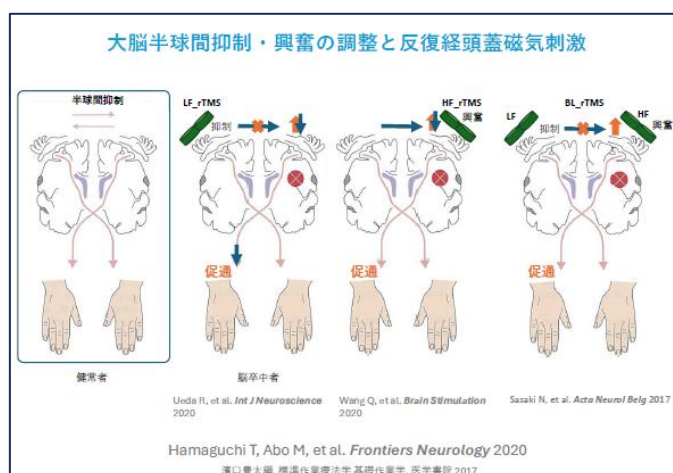
¹ 濱口委員 WG 発表資料より

- 皮質への電気誘導：



反復経頭蓋磁気刺激（rTMS）のメカニズムは、電気コイルによる磁場誘導が皮質介在ニューロンの興奮・抑制を引き起こす、この磁気刺激により、脳内で γ -アミノ酪酸濃度低下やシナプス増強、運動学習の促進など、神経調節（Neuromodulation）の効果が得られる。

- 大脳半球間抑制・興奮の調整と反復経頭蓋磁気刺激：



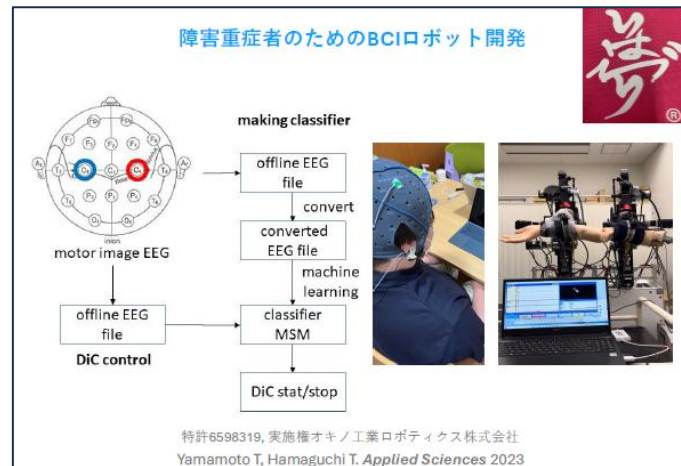
スライドは、健常者と脳卒中患者の大脳半球間抑制の違いと、それに対する低頻度rTMS (LF_rTMS)、高頻度rTMS (HF_rTMS)、両側性rTMS (BL_rTMS) の効果を示している。損傷した脳領域に対して、反対側の脳の活動が障害側を抑制する「半球間抑制」という作用が生じる。これを各種刺激法で損傷側と非損傷側の脳半球バランスを計画的に調整すると運動学習に効果が得られやすくなると考えられている。

- 麻痺した上肢を回復させる5要素：

上肢麻痺回復のための主要因子には、次の5つがある。

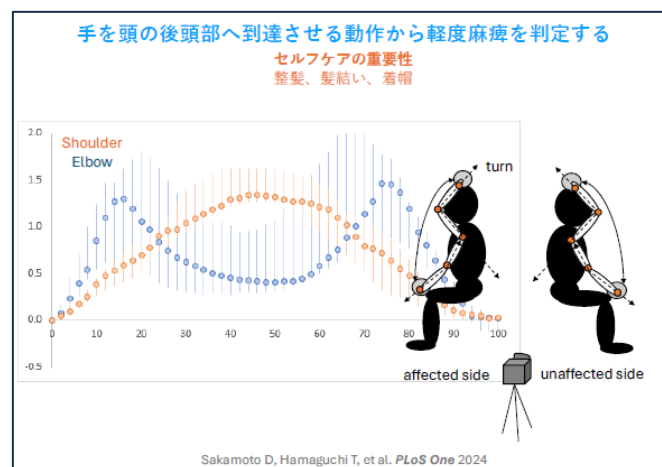
1. 使用依存的可塑性 (Use dependent plasticity)
2. タイミング依存的可塑性 (Timing dependent plasticity)
3. 報酬系を介した強化 (Reward-based reinforcement learning)
4. 教師あり学習 (Supervised learning)
5. 患者の目標に向かった努力 (Goal orientation)

- 障害重症者のためのBCIロボット開発：



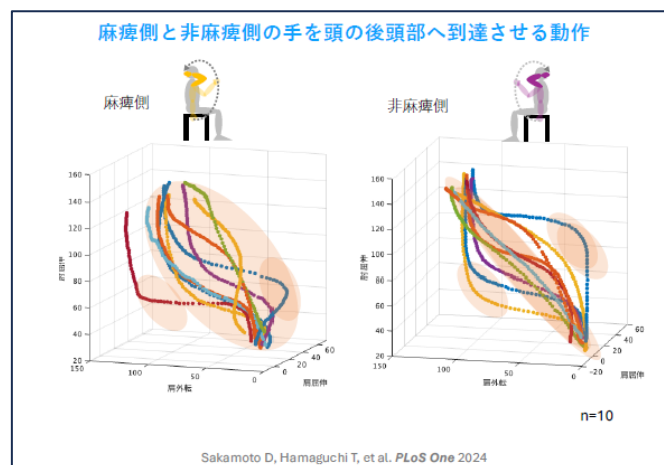
脳-コンピュータインターフェイス（BCI）を活用したリハビリテーションロボットは、脳からの運動神経伝達を電氣的に測定し、末梢の筋が反応しないために生じない関節運動を他動的に支援する装置である。脳波計測と機械学習による制御システムと、上肢運動介助用ロボットで構成されている。

- 手を頭の後頭部へ到達させる動作から軽度麻痺を判定する：



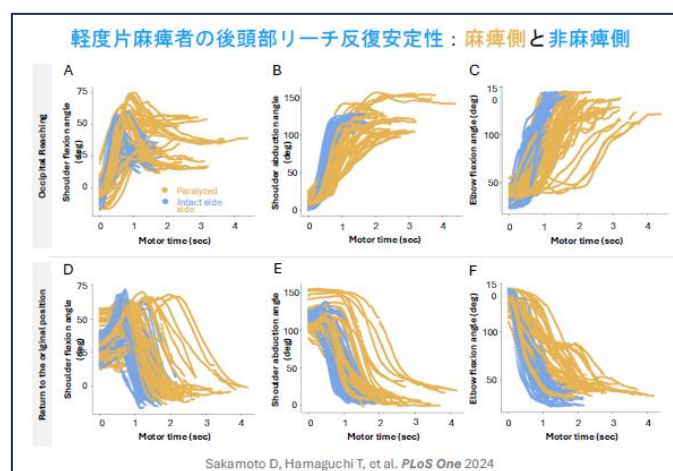
セルフケア（整髪、髪結い、着帽）に重要な後頭部への到達動作を通じて軽度麻痺を評価する方法を開発した。肩関節と肘関節の動きを解析し、麻痺側と非麻痺側の動作パターンの違いを視覚化できる。これにより、わずかな運動障害でも、判別することができるようになる。

- 麻痺側と非麻痺側の手を頭の後頭部へ到達させる動作：



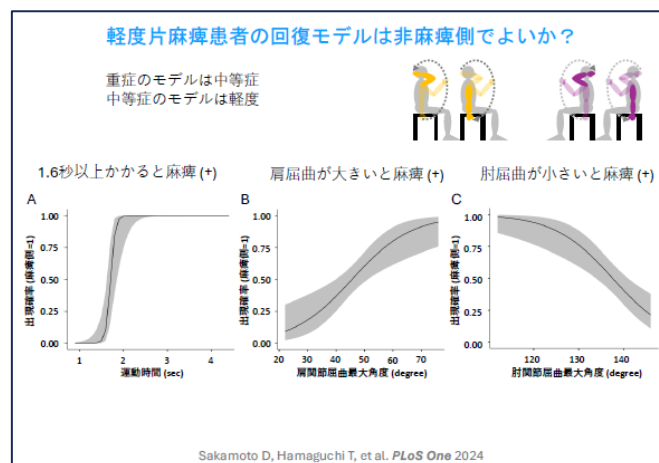
3D空間における後頭部リーチ動作の軌跡を麻痺側と非麻痺側で比較している。10名の脳卒中片麻痺患者の上肢運動を測定して、肩の外転、屈曲、肘の屈曲の違いを示した3次元プロットで、麻痺による動作パターンの違いを可視化している。これにより、運動パターンが麻痺側上肢と麻痺のない上肢で異なる特徴を捉え、軽微な麻痺を回復させる練習方法を計画する。

- 軽度片麻痺者の後頭部リーチ反復安定性：麻痺側と非麻痺側：



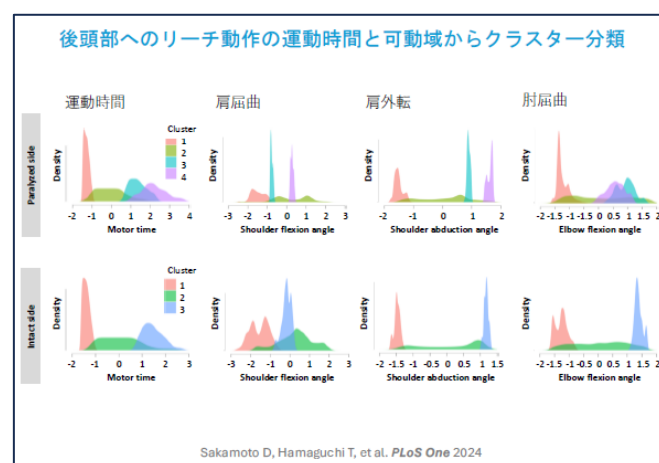
後頭部リーチ動作における肩関節屈曲角度、肩関節外転角度、肘関節屈曲角度の時間的変化を麻痺側（黄色線）と非麻痺側（青色線）で比較している。動作の安定性と再現性の違いが時間経過とともに示されている。このデータを機械学習させて、麻痺の判別ならびに適切な運動療法の計画に用いる。

- 軽度片麻痺患者の回復モデルは非麻痺側でよい？：



麻痺の判定指標として、(A)運動時間（1.6秒以上で麻痺あり）、(B)肩屈曲角度（大きいと麻痺あり）、(C)肘屈曲角度（小さいと麻痺あり）の関係が、3次元動作解析により明らかになった。重症度に応じた回復モデルの選択基準を作成して治療計画に役立てる。

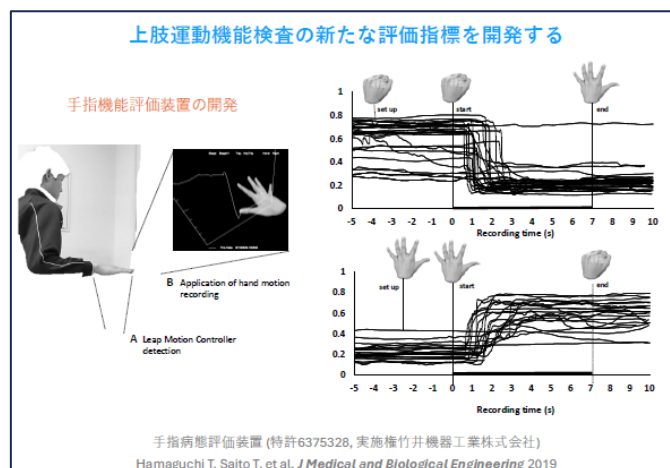
- 後頭部へのリーチ動作の運動時間と可動域からクラスター分類：



運動時間、肩屈曲、肩外転、肘屈曲の特性に基づいて患者をクラスター分析した結果を示している。麻痺側と非麻痺側のそれぞれでクラスターの分布が異なり、麻痺の程度や特性による患者グループ化の可能性を示唆している。これは、軽度の麻痺のある患者に「手を頭の上に乗せる」動作を行わせると、関節運動と運動時間で4つの群に麻痺のパターンが分類され、麻痺のない方の腕の運動パターンを目標に練習計画を立てるためのデータである。

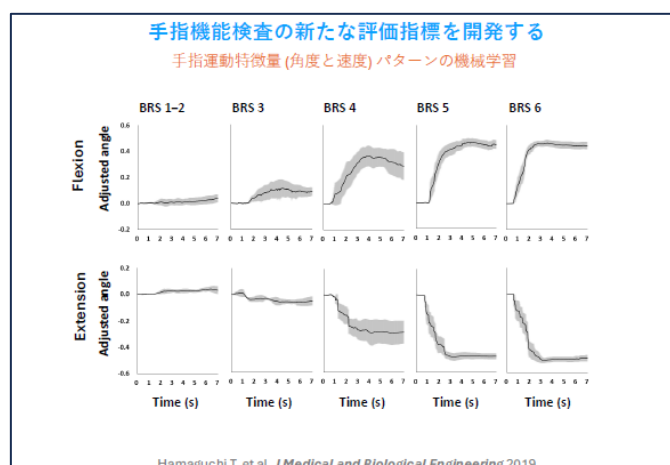
介護動作に熟達した人と、未熟な人がいたとして、それぞれの動作を機械学習させてみると、運動パターンで善し悪しが判定するための手法の1つにこの研究が活かせると思われる。

- 上肢運動機能検査の新たな評価指標を開発する：



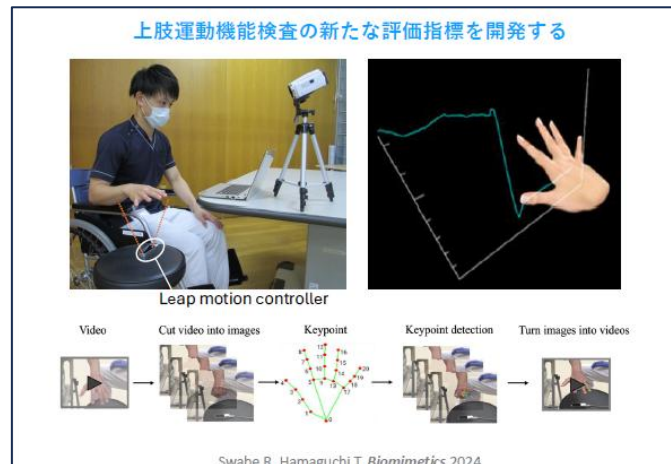
手指機能を評価するためのLeap Motion Controllerを用いた装置を開発した。手の開閉動作を測定するシステムと、その測定結果のグラフで示している。これまで、医師や理学療法士、作業療法士らが目視して判定していた麻痺の重症度を、動画撮影すれば定量的に判定することができるようになっている。

- 手指機能検査の新たな評価指標を開発する：



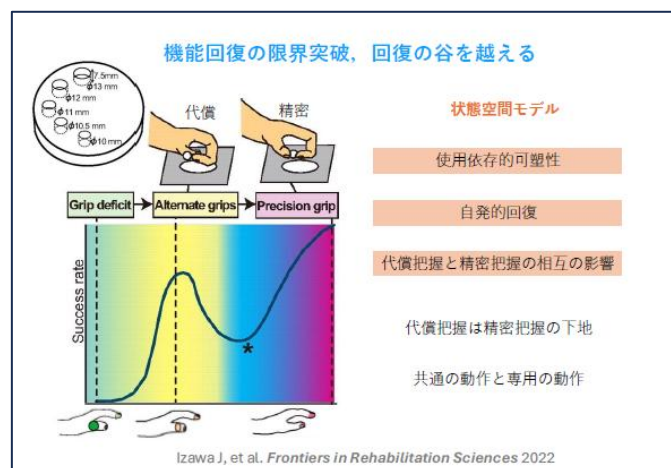
スライドは、手指の屈曲・伸展動作パターンを機械学習で分析した結果を示している。麻痺の回復度を示すBrunnstrom Recovery Stage (BRS) の各段階 (1-2, 3, 4, 5, 6) における手指運動の特徴を角度変化のグラフで視覚化し、比較することができる。

- 上肢運動機能検査の新たな評価指標を開発する：



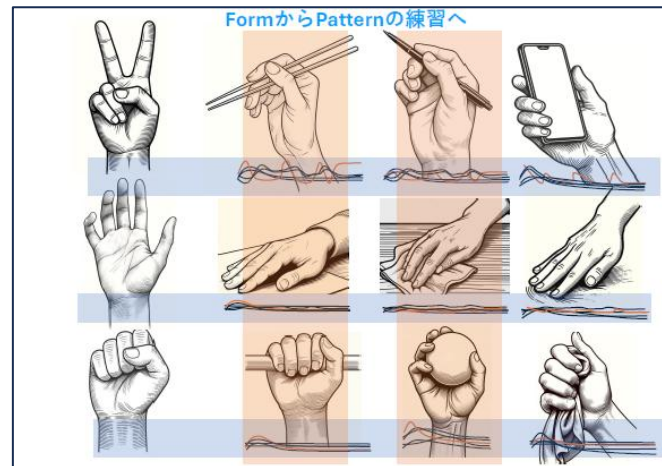
スライドは、Leap Motion Controllerを使った手指動作の評価システムを示している。画像から手の動きを検出し、ビデオをキーポイント分析することで手の運動を定量化できる。

- 機能回復の限界突破、回復の谷を越える：



把握動作の回復過程では、代償把握から精密把握への移行過程があり、そこに「回復の谷」と呼ばれる短い停滞期があることが知られている。使用依存的可塑性や自発的回復、代償把握が精密把握の基礎となる理論を基盤として、状態空間モデルを用いて「回復の谷」を乗り越える戦略が提唱されているが、このために手指の運動解析が重要である。

- FormからPatternの練習へ：



手の麻痺を回復させるための運動療法に、新しい訓練計画を提案しようとしている。手の形 (Form) から動作パターン (Pattern) への訓練移行は、さまざまな手の形と実際の日常動作 (箸、ペン、スマートフォン、タオル、握る動作など) におけるパターンにより説明できるようになってきた。手指の縦分離と横分離がその1つで、効率的に練習するシナリオを記述することが課題である。

- 麻痺した手を回復させるための運動解析：



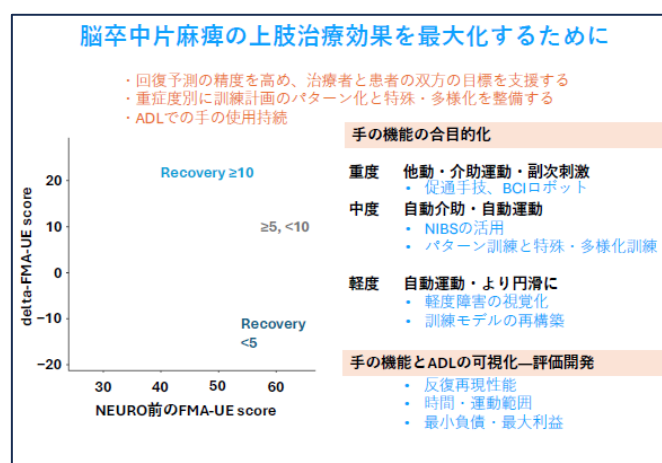
効率的な手指練習のための運動パターン分析を進めてきた。①手指の軌道パターンを再定義する (横の分離、縦の分離)、②日常生活での手指パターンから練習要素を分離する (箸や匙の使用パターン) という2つのアプローチを行っている。

- 生活で使用する手の静的型と動的型の系統仮説：



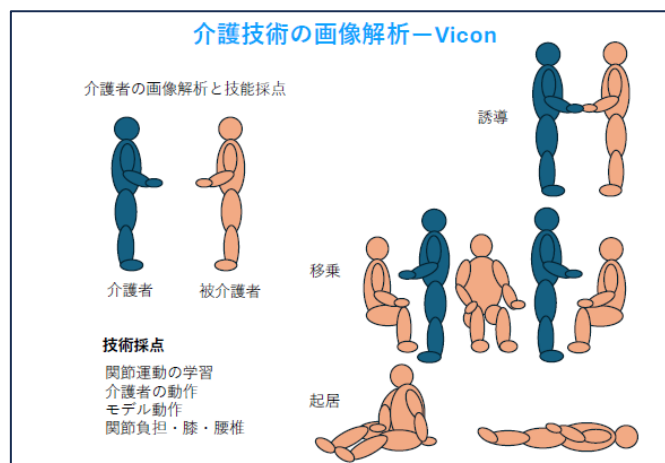
日常生活での手の使用パターンを横伸びと縦伸びの系統に分類し、ネットワーク図で示している。様々な日常動作（スマホ操作、紐結び、ドアノブ回し、物掴みなど）がどの系統に属するかを視覚化し、「脱・訓練人生」の考え方を提示している。

- 脳卒中片麻痺の上肢治療効果を最大化するために：



麻痺の回復には、重症度別の訓練計画が重要であるほか、回復予測の精度向上や患者の目標支援、などの戦略がある。重度・中度・軽度の麻痺に応じた治療アプローチ（他動運動、自動介助運動、自動運動など）と、FMA-UEスコアに基づく回復予測により、治療効果最大化の方針を提案している。

- 介護技術の画像解析-Vicon :



我々のこれまでの研究より、Viconシステムを用いた介護技術の動作解析を提案させていただいた。介護者と被介護者の相互作用（誘導、移乗、起居など）を捉え、技術採点（関節運動の学習、介護者の動作、モデル動作、関節負担など）を行う手法を考えている。

- 介護技術の学習支援 :

介護技術区分	評価基準	1点 (要改善)	2点 (基本的)	3点 (熟練)	4点 (模範的)
安全管理	安全性	危険な動作が見られる。被介護者の安全が脅かされる。	基本的な安全対策は行っているが、一部不十分。	適切な安全対策を実施。転倒リスクを最小限に抑えている。	卓越した安全管理。予測的な危険回避行動が見られる。
	個別性への配慮	個別ニーズへの配慮がほとんど見られない。	基本的な個別性への配慮はあるが、不十分。	適切に個別ニーズに対応している。	卓越した個別対応。文化的背景まで考慮した介護を行う。
	衛生管理	衛生管理が不十分。感染リスクが高い。	基本的な衛生管理は行っているが、一部不十分。	適切な手洗いと環境の清潔維持ができています。	徹底した衛生管理。予防的な対策も実施している。
身体	チームワーク	協力を得る判断、役割分担が不明確。連携がほとんどない。	協力体制と基本的な役割分担はあるが、連携に課題がある。	協力体制として適切な役割分担とスムーズな連携ができています。	卓越したチームワーク。高度な連携と相互サポートが見られる。
	効率性	無駄な動きが多く、介助に時間がかかる。	基本的な効率性はあるが、改善の余地がある。	スムーズな動きで効率的な介助を行う。	極めて効率的。適切な道具使用と洗練された動きが見られる。
	姿勢と体mechanics	不適切な姿勢が多い。腰痛リスクが高い。	基本的な姿勢は保持するが、一貫性に欠ける。	適切な姿勢と体の使い方ができています。	卓越した身体の使い方。長時間の介助でも疲労が少ない。
心理	被介護者の能力活用	過剰介助が目立つ。自立支援の意識が低い。	基本的な自立支援は行っているが、一貫性に欠ける。	適切に被介護者の能力を活かした介助を行う。	卓越した自立支援。被介護者の潜在能力を最大限に引き出す。
	時間管理	時間配分が不適切。緊急時の対応が遅い。	基本的な時間管理はできているが、改善の余地あり。	適切な時間配分と迅速な対応ができています。	極めて効率的な時間管理。余裕を持った対応が可能。
	心理的サポート	心理的サポートがほとんど見られない。	基本的な声かけは行っているが、効果は限定的。	適切な励ましと共感的態度を示している。	卓越した心理的サポート。被介護者の不安を大きく軽減。
心理	コミュニケーション	指示が不明確。被介護者との意思疎通が不十分。	基本的なコミュニケーションは取れるが、改善の余地あり。	明確な指示と適切な意思疎通を行う。	優れた対話能力。被介護者との信頼関係構築が顕著。

介護技術評価のためのルーブリック（評価基準表）を提案できる。安全管理、身体技術、心理面などの項目ごとに1点（要改善）から4点（模範的）までの段階評価基準を作ることによって、介護技術の学習と評価のためのフレームワークを提案できる。

2 介護動作の画像解析システム開発にあたって留意すべき事項²

(1) はじめに

介護動作の画像解析システムを開発するにあたって留意すべき事項を検討した。以下で、その要点を記す。

介護動作を実際に観測する場合、以下の二つの観点がある。

① 介護者を患者から分離して、介護者の動作だけを観測する。

この観点では、患者の状態は介護者の動作に反映されていると見る。

② 介護者と患者を協調的に動作する一体の対象として観測する。

この観点では、介護者だけを観測した場合には本質的に取得不可能な情報があると見る。

本来、介護動作は3次元空間画像（時間軸を含めるならば4次元時空情報）であるが、以下に述べる分析では、観点①に立って介護動作の2次元空間画像（時間軸を含めるならば3次元時空情報）を対象とする。3次元画像に比べて、2次元画像は観測と解析が容易である。しかしながら、2次元画像（x-y平面上の画像）ではz方向における動作に関する情報が欠落している。このような情報欠損が、介護動作の評価において決定的影響をもたらすかどうかについては、現時点では断言できない。

(2) 介護動作の観測

介護動作を観測するにあたって
(object-tracking：物体追跡の立場から)

- ・介護者が**柔らかい物体**を運ぶ様子を観測するのか？
 - ・介護者の動作だけを観測すればよい。
 - ・介護者の動作には患者の心的・肉体的情報が含まれているから。
- ・介護者と**患者との協同動作**を観測するのか？
 - ・介護者と患者を一体の物体として観測する。
- ・物体移動における**重心の軌道**を追跡すればよいのか？

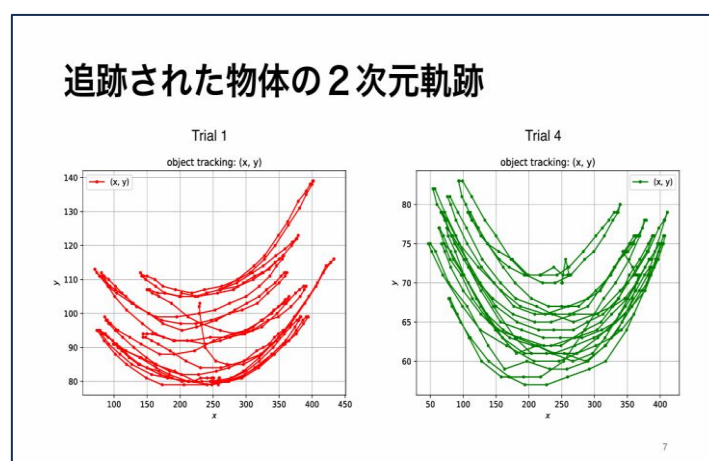
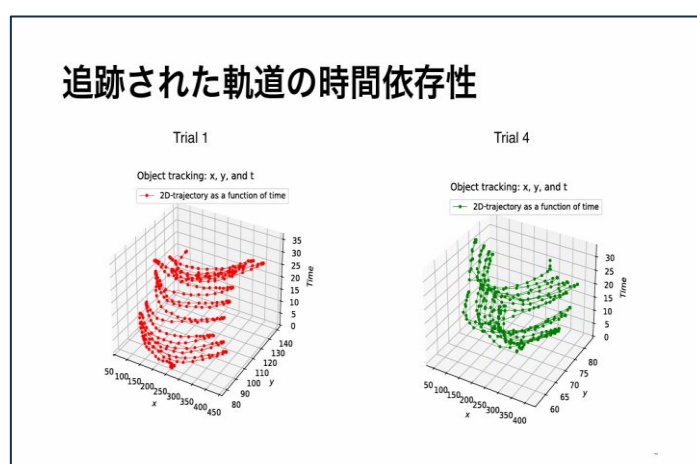
介護動作を評価する場合、（観点①の立場からは）介護者の姿勢の時間的変化を調べることに
なると思われるが、本報告では、予備的検討のために、観測が容易な「物体追跡（object
tracking）」、すなわち、被験者の重心位置の軌道に関する実験結果を用いる。

² 宮野委員・筒井委員 WG 発表資料より

身体動作に関する今回の予備的実験は、以下のシステムを使用して実施された。

- ・ハードウェア：Raspberry Pi 5 (8GB), Web-camera (USB camera)
- ・ソフトウェア：Raspbian (Linux) OS, Python 3.11.2, OpenCV-contrib-python-4.10.0.84

実験は以下の手順で行われた。被験者はWeb-cameraの前で座ったままで身体の往復運動（10回の往復運動）を行う。身体に関心領域（Region of Interest, ROI）をマウスで四角く囲った領域として指定し、移動するROIをモニター上で追跡する。Web-cameraで観測されるROIの中心点軌道は2次元空間面内で往復運動を表す。この際、被験者は身体が同一の軌道上で往復運動を行うように留意する。同様な運動観測を4回行い、ROIの中心点の位置変化を時間の関数として観測した。初回の往復運動と第4回目の往復運動に関する結果を以下に示す。



被験者は単純な身体動作を行ったにもかかわらず、初回では中心点軌道のばらつきが大きく、第4回ではばらつきが顕著に減少している。これらの結果は、運動に関する学習効果を表すと思われるが、各観測回における運動のばらつきは、運動は本質的に非定常であり、正確に同一の運動を行うことは被験者にとって困難であることを反映していると考えられる。

(3) 介護動作の解析にあたって

介護動作を統計解析するにあたって

(object-tracking：物体追跡の立場から)

- 介護動作の分布は**独立・同一分布ではない**だろう。
 - 分散の比較にF検定を用いるにしても....
- 介護動作の分布は**時間的に定常ではない**だろう。
 - 介護者と患者の疲労が非定常をもたらす。
 - 介護者を患者の学習効果が非定常をもたらす。

進矢正宏, “ばらつき研究のための統計学的基础”, 日本神経回路学会誌, Vol. 31, No. 1, pp. 3–11 (2024)

4

統計学的観点からは、運動軌道の分布は、同一被験者であっても、独立同一ではなく、かつ、（疲労や学習効果のために）非定常性を有する可能性がある。介護動作の評価基準を設定する際には、実際に観測された多数の介護動作画像データの（独立同一分布と統計分布の定常性を前提とする）統計分析を用いることになるだろうが、独立同一分布の破れや非定常性を何らかの形で考慮すべきである。例えば、「正しい」介護動作は唯一解（unique solution）ではなく、ある許容範囲 ε 内にある多数の正解（ ε -insensitive solutions）に対応すると考えて、一定の幅のある評価基準（一定の幅の範囲内では同一の評価スコアが与えられる）を設定すべきかも知れない。

介護動作を評価するにあたって

(object-tracking：物体追跡の立場から)

- 正しい介護動作は **unique solution** か？
 - 正しい軌道からの距離を測る。
 - 距離に応じてスコアを与える。
- 正しい介護動作は **many solutions** か？
 - 正しい軌道群がある。
 - 正解幅（ ε ）の中にある軌道には同じスコアを与える（ストライクゾーン）。
 - **ε -insensitive evaluation**（イブシロン不感評価）
 - **diversity** ではなく **epsilon**

3

ここまでの検討では、介護者の動作を患者の挙動から分離して、介護者の動作だけを考察の対象として扱ってきた。しかしながら、本報告の冒頭部分で述べたように、介護は介護者と患者との協調によってなされるのであり、そもそも、介護者の動作は患者の挙動から分離不可能であるとも考えられる。このような協調的挙動は非線形力学の研究対象である（線形力学系では、介護者と患者の動作が分離可能であることを前提とする、すなわち、全体は部分からなるのである）。

研究事例

工藤和俊, 岡野真裕, 紅林亘, "非線形力学系としての身体", 日本物理学会誌, Vol. 78, No. 7, pp. 390–398 (2023)

①逆相と同相の協調パターン

左右の人差し指を逆相で動かす。テンポが速くなると運動パターンが逆相から同相に切り替わる。

②HKBモデル

パターン変化は、Haken-Kelso-Bunz (HKB) モデルで記述され、パラメータ変化に伴う安定平衡点の消失として説明される。

③多重安定性、臨界揺らぎ、ヒステリシス

協調パターンの変化には、多重安定性、臨界揺らぎ、ヒステリシスなどの現象が関与している。

運動のリズムや協調パターンの変化は、力学系モデルで解析され、特性が明らかにされている。

運動の協働効果

- **情報を介してつながる身体演奏やダンス**：複数人で行われることが多く、パフォーマーたちは情報を介して互いに動きや音を同期させる。
- **社会的環境の影響**：複数人が場を共有することで、個々の行動が変化し、相互作用によって創発現象が生じる。
- **合奏のテンポの加速**：演奏中のテンポが速くなる現象は、心理的要因や同期のためのタイミング調節が影響している可能性がある。

音楽とダンスの役割



文化的活動：音楽とダンスはヒト社会における普遍的な文化的活動で、感覚と運動の強固な関係を示す。



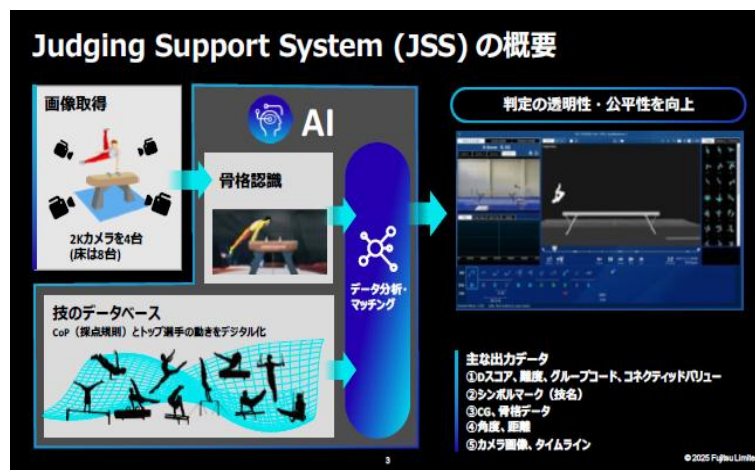
社会的親密感の向上：演奏やダンスを通じて身体運動を同期させることで、ポジティブな情動や社会的親密感が高まる。

(4) まとめ

一人の人間のリズム運動や複数の人間がかかわる集団的動作については、上のスライドに示したように注目すべき先行研究が報告されている。介護を介護者と患者との協調的動作として捉える観点では、介護者と患者の動作を一体的に画像観測し、両者の姿勢推定 (pose estimation) を深層学習 (deep learning) によって行い、「正しい」介護動作が探索される。これに関する基礎検討は実行可能である。実際、報告者らは、カーネギー・メロン大学から配布されている OpenPose-Python (制限付きフリーソフトウェア) に基づく姿勢推定ソフトウェアを開発中であり、今後、予備実験を行う予定である。

3 Human Motion Analytics 技術と介護技能評価への活用可能性³

人の動きを採点する競技において、画像解析による評価システムは、既に社会実装化されている。Human Motion Analytics 技術（富士通（株））を活用した体操競技のAI 体操採点システム（JSS: Judging Support System）は、2019年より世界選手権において採用されている。



JSSは、審判が客観的な数値を活用し、同一基準での判断を可能にすることにより、採点の公平性や透明性の向上を図ることをねらいとする。

4台のカメラ（床の場合のみ8台）で演技画像を取得し、演技画像からAIによる骨格認識技術を用いて人の3次元の骨格の位置を割り出し、骨格の位置を用いた計算により、肘や膝、腰などの角度を数値データとして提供が可能になる。

審判は数値データを選手が演技した技の判定に利用でき、例えば、下半身の姿勢が抱え込み、屈伸、伸身のどれに該当するか数値により正確に判別できる。さらに、骨格の時間的な変化がわかれば、あらかじめ用意しておいた技の辞書と突き合わせることで、体操競技で定義している技の名前を自動で判別し、JSSでは選手が実施した技を判定して出力している。



³ 本田委員 WG 発表資料より

例えば、平均台の前後開脚という技は、足が180度以上開脚されていることが技の認定条件であるが、微妙な演技が実施された場合、一瞬の目視で判断することは難しいが、本機能を使うことで実際の開脚時の角度を数値として把握することができ、審判の採点活動支援が可能になる。

最下段の画面は、本システムのAIが自動判定した演技の技の認識結果を表示している。技のD難度、C難度といった難度を判別し、最終スコアであるDスコアと共に審判に情報を提供する。審判はこの結果を活用して最終的な採点を行う。

Human Motion Analytics技術の主な技術として、以下の3点があげられる。

- ①精度向上に有用な学習データを人工的に大量に生成するフォトリアル技術： これにより手動での大量な教師データの作成を不要として、有用な学習データを人工的に大量に生成することができる。
- ②画像解析における課題であったディープラーニングによる姿勢認識のブレを大幅に低減する独自の補正アルゴリズム。
- ③人の動きを4次元（3次元＋時系列）で捉え、一連の動きとして動作を認識する動作認識技術これらの技術により人の多様な動きを高精度にデジタル化する技術。

このような採点技術により、採点の公平性の担保、トレーニングの競技力向上、観戦の魅力向上を図る好循環の実現を目指しており、体操以外のスポーツや、ヘルスケア分野、といった他分野への活用もされている。（ヘルスケア分野：スマートフォン等で撮影した映像を基に、動作測定や姿勢分析により身体の状態を可視化し、適切なりハビリ・運動改善を提案。産業分野：エルゴノミクス作業負荷分析への活用。特定の動作や作業の身体への負荷を、評価し、怪我予防に向けた生産設備の最適化などに活用）

ヘルスケア領域 (Well-being/リハビリ) FUJITSU

常に一定の基準での数値表現により、目視によるブレを低減します。お客様の状況の見える化、診察時間の短縮化を実現できます。



姿勢分析がわずか10秒以内に完了

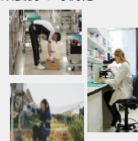
REHASAKU

© 2022 Fujitsu Limited

産業用途(エルゴノミクス作業負荷分析) FUJITSU

- 1人1人別負荷評価指標で作業姿勢を評価し、怪我予防に向けて生産設備最適化

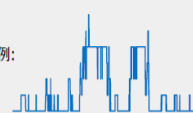
作業姿勢の可視化



複数台カメラを用いた
高精度な作業姿勢データや
単数カメラでの簡便に
取得できる作業姿勢データ
による作業姿勢の可視化

REBA, OWASなどエルゴノミクス
負荷評価指標に従った毎フレームごとの
姿勢データのスコア化、ラベル付け

スコアの例:



ラベルの例: 上体の姿勢が上腕が肩より上

© 2022 Fujitsu Limited

WGでの検討を受けて

このように、画像解析による評価はすでに社会実装化されており、介護技能の画像評価においても測定値データを用いた分析可能性が検討できる。しかしながら、先述のように測定値には、一定の「ゆらぎ」が生じることがわかっており、この範囲をどのように評価基準に反映させるかが今後の課題といえる。今後に向けては、まずは、介護技能の測定値データの収集が必要であり、これを一定の基準で評価できるプログラムの開発が求められる。