

厚生労働科学研究費補助金（障害者対策総合研究事業）
総合研究報告書

支援機器利用実態の調査

研究分担者	井上剛伸	国立障害者リハビリテーションセンター 研究所福祉機器開発部 福祉機器開発部長
研究分担者	小崎慶介	心身障害児総合医療療育センター長
研究協力者	硯川潤	国立障害者リハビリテーションセンター 研究所福祉機器開発部 福祉機器開発室長
研究協力者	石渡利奈	国立障害者リハビリテーションセンター 研究所福祉機器開発部 第一福祉機器試験評価室長
研究協力者	久保勉	心身障害児総合医療療育センター 義肢装具士
研究協力者	佐野美沙子	心身障害児総合医療療育センター 作業療法士

研究要旨

児童の補装具の利用実態データの収集方法確立では、電動車椅子の操作ログ収集システムとして、設置が簡易なハードウェア構成を提案し、試作システムによる精度評価を行った。その結果約1度の推定誤差を実現できることを確認できた。また、車体傾斜補正の有用性もあわせて確認でき、今後の応用可能性が示唆された。また、児童の補装具の利用実態データの収集方法確立では、電動車椅子のジョイスティックや車体に慣性センサを固定し、ジョイスティック操作角度の推定を試みた。その結果、1度程度の誤差で連続的に操作をモニタリングできた。また片流れ路面でのオフセット操作を検知でき、操作技能評価への今後の応用可能性が示唆された。

下肢装具の利用状況収集では、1年次に、医師等にヒアリングを行い、破損に影響する可能性のある要因に活動度の違い等があることを明らかにした。また、2年次に、児童を専門とする義肢装具士へのヒアリングを行い、現状の下肢装具の利用と破損の課題を聴取した。さらに3年次は、質問紙を用いた半構造化面接、および活動量計を用いた1週間の活動量・歩数の計測により、児童の下肢装具の利用状況を収集するプロトコルを作成し、高活動児、低活動児で計測を行って、低負担、非干渉に利用状況を収集する方法を提案した。

A. 研究目的

児童の補装具利用実態の把握およびデータベース化

様案を作成する。

スマートフォンに内蔵された慣性センサを用い、加速度・角速度の計測結果から、電動車いすの旋回と、路面の段差状態を推定できることを確認した。普通型電動車いす（C300, Permobil）のアームレストにスマートフォン（SC-02H, Samsung）を固定し、センサーデータ収集ソフトウェア（Physics Toolbox Sensor Suite, Vieyra Software）を用いて加速度、角速度、GPS 位置情報を記録した。記録データは csv 形式で保存し、数値演算ソフトウェア

B. 研究方法

B-1. 電動車椅子の利用ログ収集

電動車椅子の利用ログ収集システムについて、これまでが開発した電動車椅子の走行・操作動態記録システムと、そこから得られた長期データの分析結果に基づき、簡易に実装・運用可能なシステムの仕

(Matlab, Mathworks) を用いて読み出し・分析した。位置情報に合わせた航空写真データは Google が提供する、Static map API を利用し、該当位置座標周辺のデータを取得した。

開発したシステムは、ジョイスティック操作角度計測、車体角度補正、車体挙動計測を目的とした 3 基の慣性センサユニットと、データ収集・記録用のマイコンボードから成る。3 基のセンサユニットは、それぞれ、ジョイスティック先端、アームレスト下部、車体中心にそれぞれ設置する。センサユニットとマイコンボードとの間の通信には、シリアル通信規格の一つである I2C を用いた。これにより、慣性センサにより加速度・角速度の 6 軸計測を行う場合でも配線数を削減できる。なお、本報告では原理確認のため 3 軸加速度のみを分析に用いた。

B-2. 下肢装具の利用状況収集

1 年次は、装具診療に携わる医師、義肢装具士、理学療法士、作業療法士、家族等を対象としたヒアリング、療育センター等での情報収集を行った。

2 年次は、二分脊椎研究会での情報収集、療育センターおよび児童の装具を専門とする義肢装具製作所の義肢装具士を対象としたヒアリングを行った。

ヒアリングでは、児童の下肢装具に関して、装具の種類ごとの破損事例や製作方法、ユーザ、材質と破損の状況等について聴取した。

3 年次は、質問紙を用いた半構造化面接、および活動量計を用いた 1 週間の活動量・歩数の計測により児童の下肢装具の利用状況を収集するプロトコルを作成し、高活動児 (H1: 6 歳女児、健常歩行に近いレベル)、低活動児 (H2: 8 歳男児、訓練室歩行レベル) で計測を行った。

(倫理面への配慮)

利用状況収集については、国立障害者リハビリテーションセンター研究倫理審査委員会および関係する施設の倫理審査委員会の承認を得て実施した。

C. 研究結果

C-1. 電動車椅子の利用ログ収集

支援機器の利用ログ収集システムについて、これまでに開発した電動車椅子の走行・操作動態記録システムと、そこから得られた長期データの分析結果にもとづき、簡易に実装・運用可能なシステムの仕様案を作成した。

既存技術の調査を実施し、収集すべきパラメータを確認した。また、小型スマートフォンの慣性センサを利用し、屋外走行データを収集することで、利用状態の解釈が可能であることを確認した。

電動車椅子の操作ログ収集システムとして、設置が簡易なハードウェア構成を提案し、試作システムによる精度評価を行った。その結果約 1 度の推定誤差を実現できることを確認できた。また、車体傾斜補正の有用性もあわせて確認できた。

C-2. 下肢装具の利用状況収集

1 年次は、ヒアリングから、原因疾患による活動度の違いや衝撃力 (遊具からの飛び降り等) が装具破損に大きく影響している状況を把握した。

2 年次は、ヒアリングにから、近年、高活動児に炭素繊維強化プラスチック製の短下肢装具が処方され、破損が課題になっている状況などを把握した。

3 年次は、半構造化面接、および活動量計の計測により、高活動児、低活動児の活動を記録し、登校や教室移動、休み時間、外出などで、歩数・活動量が多くなる傾向等を把握できることを確認した。

D. 考察

D-1. 電動車椅子の利用ログ収集

支援機器の利用ログ収集システムについては、仕様が決まり、次年度以降の試作の準備を整えることができた。

これまでに報告されている電動車いすの利用ログ収集システムでは、センサやロガーの設置に専用の治具が必要であったり、配線等の取り回しに一定の専門知識が必要なものがほとんどであった。一方、スマートフォンの性能向上により、内蔵の慣性センサ等のデータを高サンプリング周期で長時間保

存することが可能になっており、多様な運動解析への活用が進んでいる。本報告に示した結果は、スマートフォン本体を車体に固定するだけで、走行動態を多様な解釈が可能な形で記録できる可能性を示しており、今後電動車いすの適合などへの活用を進める上で、更なる手法の提案が有用であることが示唆された。

D-2. 下肢装具の利用状況収集

1年次のヒアリングからは、児童の下肢装具のユーザーは、低活動群（重度脳性麻痺等）と、高活動群（二分脊椎等）に二群化される可能性が示唆された。また、金属製下肢装具は、体重が重いケース、痙性が非常に強いケース、活動度が高いケースなどに処方され、高活動なケースでは、遊具からの飛び降り等の衝撃力が破損に大きく影響している状況が把握された。

2年次のヒアリングからは、炭素繊維強化プラスチック製短下肢装具の破損が課題になっている状況が聴取された。炭素繊維強化プラスチック製短下肢装具の試験方法は、規定されておらず、耐久性の詳細も明らかでないことから、同装具の利用状況の収集も必要と考えられた。一方、両側支柱付き金属製短下肢装具では、成人と児童の製作方法の違いが報告された。児童の製作方法は成人の製作方法よりコストを要するものの、応力集中は生じにくく、破損しにくい可能性が考えられる。破損リスクが高い、高活動、高体重のユーザへの対応策を検討するため、異なる製法による耐久性に関するデータ収集が望まれる。

また、プラスチックや面ファスナーの耐久性に関して、染料が影響を与える可能性も示唆された。こちらについては、試験片を用いた耐久性試験によるデータ収集が望まれる。

3年次の計測では、活動量計の装着と記録用紙により、高活動児、低活動児の休日、平日の生活の様子や、歩数、活動量の違いの事例を計測することができた。活動量計は、一般でも健康管理目的で日常的に使用されており、小型軽量であることから、児童でも、低負担に連日の装用、計測が可能と考えら

れる。本計測による手法は、低負担、低干渉に、日常生活全体における下肢装具の利用状況を収集することに意義がある。今回の計測例から、装具に負荷がかかる典型的な生活場面として、高活動児では、登校時（定常的な通常歩行）、外遊び（走行を含む活発な活動）、教室移動（階段昇降含む）、屋内活動（断続的な少量ずつの歩行）などが考えられることが示唆された。

今回の計測は、高活動児、低活動児各1例の事例であるため、今後、複数名での計測を行って、より広く利用状況を収集し、典型的な場面を抽出していく必要がある。

E. 結論

電動車椅子の利用ログ収集システムの仕様案を作成した。

簡易に取り付けが可能な電動車いす利用ログシステムの開発を目的として、スマートフォンのロガーとしての利用を試み、旋回操作や路面状況を確認できることを示した。今後はより多様な情報を抽出するための手法構築を進める。

近年の汎用マイコンボードやセンサユニットの低価格化により、従来より安価かつ簡易に電動車椅子利用ログの収集が可能になった。しかし、その解釈や利用を検討した事例は数少ない。ジョイスティック操作動態からは、本報告で示した片流れ補正操作のように、操作の技能に関わる情報を抽出できる。今後、利用ログ収集の普及を進めるためには、これらの計測結果を解釈し、安全な利用を促進する手法の提案につなげる必要がある。

下肢装具の利用状況収集については、1年次のヒアリングにより、原因疾患による活動度の違いや衝撃力が下肢装具の破損に影響している状況を把握した。また、2年次のヒアリングにより、炭素繊維強化プラスチック製短下肢装具の破損など、装具の破損における現状の課題を聴取した。さらに、3年次の活動量計を用いた歩数・活動量の計測では、高活動児、低活動児の平日、休日の下肢装具利用状況が低負担、低干渉に収集できる可能性が示された。装具に負荷がかかる典型的な生活場面として、高活動

児では、登校時（定常的な通常歩行）、外遊び（走行を含む活発な活動）、教室移動（階段昇降含む）、屋内活動（断続的な少量ずつの歩行）などが考えられることが示唆された。

G. 研究発表

1. 論文発表

無

2. 学会発表

無

H. 知的財産権の出願・登録状況

無

厚生労働科学研究費補助金（障害者対策総合研究事業）
分 担 研 究 報 告 書

支援機器利用実態の調査

研究分担者 井上剛伸 国立障害者リハビリテーションセンター
研究所福祉機器開発部 福祉機器開発部長
研究協力者 硯川潤 国立障害者リハビリテーションセンター
研究所福祉機器開発部 福祉機器開発室長
研究協力者 石渡利奈 国立障害者リハビリテーションセンター
研究所福祉機器開発部 第一福祉機器試験評価室長

研究要旨

本研究では、エビデンスに基づく補装具費支給制度等の運用や評価の促進を目指し、児童の補装具の利用実態データの収集方法を確立することを目的とする。このため、電動車椅子の操作ログ、および下肢装具の利用状況を収集する方法を提案することを目標とした。

電動車椅子の操作ログ収集システムについては、走行状態と操作入力を継続的にモニタリングするシステムの構築を目指し、そのための要件を整理し仕様案を作成した。特に、位置情報の計測については、データ解釈の基礎となるため、重点を置き、実機での精度検証を行い、スマートフォンの利用が妥当であることを明らかにした。

下肢装具については、関係者にヒアリングを行い、原因疾患による活動度の違いや衝撃力が装具破損に大きく影響している状況を把握した。また、下肢装具のユーザーが高活動群、低活動群に二群化される可能性が示唆されたため、次年度は低負担、非干渉に利用状況を収集できる可能性がある活動量計に着目し、高活動状態が計測できるか否かを評価することとした。

A. 研究目的

本研究では、エビデンスに基づく補装具費支給制度等の運用や評価の促進を目指し、特に問題とされる、児童の補装具の利用実態データの収集方法を確立することを目的とする。

利用データ収集の対象としては、電動車椅子の操作ログ、および下肢装具の利用状況とし、両者の利用状況収集方法を提案することを目標とする。下肢装具では、児童向けの下肢装具の規格作成に向けて、日常生活の中で、低負担、非干渉に利用実況を収集する方法を提案する。

B. 研究方法

B-1. 電動車椅子の利用ログ収集

電動車椅子の走行状態と操作入力を継続的にモニタリングするための要件を、先行研究等を参考に抽出した。特に、位置情報の計測については、データ解釈の基礎となるため、重点を置き、実機での精度検証を行った。

B-2. 下肢装具の利用状況収集

下肢装具利用に関する情報収集のため、都内の療育センター、障害児通所施設等を訪問し、装具診療や療育、リハビリの様子などを見学した。施設には、複数日訪問滞在し、園児の登園から降園まで、1日

の流れの中で、下肢装具をどのように利用しているかも観察した。

また、下肢装具の利用に関わるステークホルダー（医師、義肢装具士、理学療法士、作業療法士、看護師、保育士、家族等）を対象に、以下の項目等に関するヒアリングを行った。

- 下肢装具の種類とユーザー（種類、材質、原因疾患等）
- 破損状況（経験の有無、内容、頻度、原因、フォローアップ）
- 利用実態（利用時間、利用目的）
- 下肢装具に関する課題（重さ、強度、耐久性、その他）

C. 研究結果

C-1. 電動車椅子の利用ログ収集

硯川らがこれまでに実施した研究では、電動車イス利用ログに必要な項目として、車体挙動（3軸加速度・角速度）、GPS位置情報、操作入力（2軸ジョイスティック傾斜角）が挙げられている[1]。この中で、GPS位置情報については衛星の補足数が十分ではない場合に精度が大きく低下することが知られている。スマートフォンを用いる場合は基地局情報などによる補正で精度が改善される。他にも、RTK-GPS（Real-Time Kinematic）と呼ばれる補正が知られている。今回、同手法を実装されたGPS位置情報計測器（Atlas Link, Hemisphere GNSS）を用いた車椅子位置情報の収集精度を確認したが、スマートフォンを代替するメリットは確認できなかった。したがって、スマートフォンを中心として、必要に応じてAD変換器を組み合わせたシステム構成が妥当であると考えられる。

C-2. 下肢装具の利用状況収集

ヒアリングにより、以下の利用状況が聴取された。

【下肢装具の種類とユーザー】

● 高活動ユーザーと低活動ユーザー

近年、医療の発達により、脳性麻痺は、重度、低活動の児童が増えている。一方で、二分脊椎のように高活動な児童がいる。

活動度が高いケースでは、病院は小さいころの受診のみで、療育施設等と無関係に過ごすことが多い。

● 金属製/プラスチック製の下肢装具の処方

金属製は、体重が重いケース、痙性が非常に強いケース、活動度が高いケースなど。

療育施設では、幼児は継手付きのプラスチック製下肢装具が多いが、小学校入学時など、徒歩での活動が増えるために、金属製が処方されるケースもあり。幼児では、四つ這いや自分での着脱のしやすさなどもあり、プラスチック製が処方されることが多い。

【破損状況】

● 大学病院と療育施設の違い

大学病院では、交通事故や先天異常などが多く、片足は、健足で、装具は補助的なケースもある。良く歩けるので、1ヶ月以内の未満の破損も多い。療育施設では、1ヶ月未満の破損は少ない。

● 破損を生じやすいケース

活動度の高い二分脊椎等の児童で、1ヶ月未満に何度も破損が生じるケースがみられる。数か月から1年で破損が生じるケースは、活動度が高く良く歩いたり、走ったりする児童。破損の頻度は、児童のキャラクターによる。活発な子は、良く破損が生じ、仮合わせ中に、公園で数時間遊んでいて、破損が生じたケースもあった。

● 破損原因

遊具や階段からの飛び降り、ジャンプなど、走るよりも飛んだ衝撃で破損が生じている印象がある。どこかに装具が挟まって、課題な負荷がかかったケースもある。

● 破損部位

あぶみの付け根、あぶみの立ち上げ部、あぶみの補強溶接部、シャンク、足継手など。

足継手は、内外反などがあり、前額面内の力がかかっている時に、ボックス継手が八の字に開いてくる。開いてくると、穴の部分の摩擦が大きくなり、楕円に伸び、音がして、壊れる。半年で壊れるケースなどもある。

クレンザック継手の可動制限部が大きくなってしまいうケースなどもある。

- 金属製の部品以外の破損例
ウレタン製の継手などで、バチンと破断してしまうことが多い。金属と違って、一気に破断するため、顔面から転倒することがある。

その他、マジックテープの破損など。

- 破損の気づき
児童では、成人と違い、いつ壊れたかに本人が気づきにくい。気づかないまま、使っていることもある。親や、周りの専門職が破損を発見したり、特に、病院の受診時（半年に一回程度）に気づくことが多い。

- 破損への対策と課題

あぶみを曲げただけだと弱いので、トラスなどで補強する（引張荷重になるので、だいぶ強度は増すが、それでも壊れる。

シャンクもあぶみもロングタイプなどを使う。

完成用部品だけでは、強度的に持たない。かといって、補強をあらかじめつけてあると曲げ加工ができない。溶接をしないといけない。

高活動なケースでは、シャンクやあぶみが頻繁に折れるので、頑丈にしようと、どんどん重くなる傾向がある。疾患によっては、もう少し軽くできると考えられる。

車椅子にのっている分には、多少重くなっても問題ない。

【利用実態】

- 不使用のケース

家族が装具の必要性を十分理解していない実態も少なからず見受けられ、自宅では利用していないケースあり。子供がつけるのを嫌がり、つけないこともある。

- 利用目的

歩行の他に、変形予防や立位/歩行訓練など。

【下肢装具に関する課題】

- 通気性
- 重量や外観

必要なのに、重い、見た目が悪いなどの理由で利用されないケースもある。

- 脱着のしやすさ

保育士を始め、様々な人が利用するので、どんな人が使っても脱着しやすいようにできているとよい。

D. 考察

D-1. 電動車椅子の利用ログ収集

近年のIoT技術の進展はめざましいものがあり、支援機器の利用ログ収集技術においても、これらの動向を見据えながら進めていく必要があると考えている。今年度検討したGPS位置情報計測器については、専用機とスマートフォンが本目的においてはほぼ同等な性能を有していることを確認した。スマートフォン等の汎用製品の活用は、安価なシステム構築に有利に働くという利点もあり、今後もこのような視点を基に、システム構築を図っていくことの重要性が示されたと考えている。

また、今年度得られた仕様を基に、次年度は試作を実施する予定となっており、それに資する成果が得られたと考えられる。

D-2. 下肢装具の利用状況収集

ヒアリングの結果、児童の下肢装具のユーザーは、低活動群（重度脳性麻痺等）と、高活動群（二分脊椎等）に二群化される可能性が示唆された。

金属製下肢装具は、体重が重いケース、痙性が非常に強いケース、活動度が高いケースなどに処方され、高活動なケースでは、遊具からの飛び降り等の衝撃力が破損に大きく影響している状況が把握された。

高活動児では、1ヶ月未満に頻回に破損が生じ、予防策として、頑丈に作り重くなるケースがある一方で、必要なのに、重量等の問題で、使用されなくなるケースも報告された。従来の規格は、一律で負荷値が決められているが、児童向けの規格では、ユーザーの活動度等の違いを想定し、試験方法を検討する必要性が考えられる。

高活動児、低活動児でどのように下肢装具が利用されているかについては、日常生活を妨げないように、低負担、非干渉に利用状況を収集する必要がある。また、個人差も大きいことが予想されることか

ら、複数ケースの計測が可能な収集方法を採用することが望ましい。

このため、収集手段として、1日の活動をワイヤレス、かつ安価で簡便に計測できる軽量な活動量計に着目し、次年度、座位安静作業、歩行、走行等を含む高活動状態を計測できるか否かを評価することとした。

E. 結論

電動車椅子の利用ログ収集システムについては、技術動向をふまえて、継続的なモニタリングを実現するための仕様を決定することができた。また、児童の下肢装具の利用状況については、原因疾患による活動度の違いや衝撃力（遊具からの飛び降り等）が装具破損に大きく影響している状況を把握した。

次年度は、電動車椅子の利用ログ収集システムの試作を行うとともに、下肢装具利用者の利用状況を収集できる活動量計に着目し高活動児と低活動児の利用状況収集方法を検討する。

G. 研究発表

1. 論文発表

無

2. 学会発表

無

H. 知的財産権の出願・登録状況

無

I. 参考文献

[1] 硯川潤, “車椅子ライフログによる走行・操作評価手法の開発 —ビッグデータ時代の安全性評価を目指して—”, 電子情報通信学会誌, 99(6), pp. 505-510, 2016.

厚生労働科学研究費補助金（障害者対策総合研究事業）
分 担 研 究 報 告 書

支援機器利用実態の調査

研究分担者 井上剛伸 国立障害者リハビリテーションセンター 研究所
福祉機器開発部 福祉機器開発部長
研究協力者 硯川潤 国立障害者リハビリテーションセンター 研究所
福祉機器開発部 福祉機器開発室長
研究協力者 石渡利奈 国立障害者リハビリテーションセンター 研究所
福祉機器開発部 第一福祉機器試験評価室長

研究要旨

本研究では、エビデンスに基づく補装具費支給制度等の運用や評価の促進を目指し、児童の補装具の利用実態データの収集方法を確立することを目的とする。このため、電動車いすの操作ログ、および下肢装具の利用状況を収集する方法を提案することを目標とした。

電動車いすについては、車体にスマートフォンを固定し、慣性センサのデータを走行中に記録することで、操作や走行の状況を把握することを試みた。旋回操作や、段差踏破などを検知でき、今後の応用可能性が示唆された。

下肢装具については、児童を専門とする義肢装具士へのヒアリングにより、現状の下肢装具の利用と破損の課題の聴取、低負担、非干渉に利用状況を調査するための活動量計等の機種選定を行った。

A. 研究目的

本研究では、エビデンスに基づく補装具費支給制度等の運用や評価の促進を目指し、特に問題とされる、児童の補装具の利用実態データの収集方法を確立することを目的とする。

利用データ収集の対象としては、電動車いすの操作ログ、および下肢装具の利用状況とし、両者の利用状況収集方法を提案することを目標とする。下肢装具では、児童向けの下肢装具の規格作成に向けて、日常生活の中で、低負担、非干渉に利用実況を収集する方法を提案する。

B. 研究方法

B-1. 電動車いすの利用ログ収集

スマートフォンに内蔵された慣性センサを用いることで、電動車いすの走行動態を簡易にモニタリングできる。今年度は、加速度・角速度の計測結果から、電動車いすの旋回と、路面の段差状態を推定で

きることを確認した。普通型電動車いす（C300, Permobil）のアームレストにスマートフォン（SC-02H, Samsung）を固定し、センサーデータ収集ソフトウェア（Physics Toolbox Sensor Suite, Vieyra Software）を用いて加速度、角速度、GPS 位置情報を記録した。記録データは csv 形式で保存し、数値演算ソフトウェア（Matlab, Mathworks）を用いて読み出し・分析した。位置情報に合わせた航空写真データは Google が提供する、Static map API を利用し、該当位置座標周辺のデータを取得した。

B-2. 下肢装具の利用状況収集

下肢装具ユーザーと、下肢装具の利用状況について調べるため、二分脊椎研究会での情報収集、療育センターおよび児童の装具を専門とする義肢装具製作所の義肢装具士を対象としたヒアリングを行った。

ヒアリングでは、児童の下肢装具に関して、装具の種類ごとの破損事例や製作方法、ユーザー、材質と破損の状況等について聴取した。

また、低負担、非干渉な利用状況の収集手段として、活動量計に着目し、サイズ、重量、防水性、分解能、連続計測時間等の仕様を比較し、利用状況収集に適した機種を選定した。

さらに、装具にかかる負荷をひずみゲージと小型ロガーで計測することとし、チャンネル数や重量等を考慮して機種を選定した。

C. 研究結果

C-1. 電動車いすの利用ログ収集

図1に、140秒間の試行データを示す。航空写真上に示された各点が位置座標を、色が各点で計測された3軸合成加速度とヨー軸角速度をそれぞれ表す。GPS位置情報の測定間隔は 1.18 ± 0.52 秒（平均±標準偏差）であった。加速度・角速度の測定間隔はこれより短いため、各時間区間における最大値を疑似カラー化して表示した。なお今回の計測では、加速度と角速度の実効サンプリングレートは、それぞれ50、5 Hzであった。この値は、用いるスマートフォンの性能やソフトウェアとの相性などにより変動するため、分析時には注意が必要である。

図示した試行では、時計回り・反時計回りの旋回操作がそれぞれ、4回、3回含まれていた。これは、ヨー軸角速度に 0.4 rad/s の閾値を用いることで全て検知できることが分かった。また、試行中のヨー軸角速度の絶対値は、 $0.10 \pm 0.14 \text{ rad/s}$ であり、計測時間中の92%で、平均+2 SDを下回る値が記録されていた。合成加速度からは、点字ブロック上の通過や、歩道と車道との段差乗り越え等を視覚的に確認できた。

C-2. 下肢装具の利用状況収集

ヒアリングでは、以下の内容が聴取された。

【炭素繊維強化プラスチック製AF0】

- 近年、高活動児に対して、炭素繊維強化プラスチックを用いたAF0の処方が増加している
- たわみを許さない炭素繊維強化プラスチック製後方支柱では、部品自体は破損せず、プラスチックモールド側が破損する
- 支柱から、部品が取れることで転倒につながった事例もあった

- 炭素繊維強化プラスチック製の一体型AF0では、足底から支柱につながる側方の立ち上がり部で応力集中が生じ、層が緩んできて1年くらいで破損しそうになるケースがある

【両側支柱付き金属製AF0】

- （聴取した義肢装具製作所では）破損を防ぐという観点よりは、軽量を重視して、ギリギリの強度で製作している（破損したらより丈夫なものに変える）
- 成人では、ハッカーであぶみを90度に曲げて製作するが、子供の場合は、できるだけ足に沿わせるため、半足板を少しずつカーブさせて曲げ、シャンクを溶接している（加工には成人のケースの約10倍の時間がかかる）

【二分脊椎ユーザー】

- 踵足にならないよう、背屈を制限する
- 感覚障害等のあるため、踵の部分に、きちんと履けているかを確認するための穴を開けることもある
- ウレタン製の足継手付きプラスチック製装具など
- 後方のベルトが切れたり、ベルトのカンや留めている箇所穴が破損する、通気用の穴に亀裂が入って繋がるケースなどがある

【脳性麻痺ユーザー】

- 片麻痺等で、高活動、中等度以上の痙性があるケースなどで破損することがある
- 両側支柱付き金属製下肢装具で年に1回くらい

【材質】

- プラスチックで、染料が入っている材料（黒など）は、経験上、破損しやすい感がある
- 同じ患者さんでも、色つきの装具が破損した際に、色無しのものにすると、耐久性が良くなる

【面ファスナー】

- 海外製のものの方が破損しやすい
- 当初の付き具合は変わらないが、使用している間に付きが悪くなる
- 国産のものも、環境を重視した製品が出てきているが、以前の製品にくらべ、付きが悪くなりやすい

- 染料の関係か、黄色や青の製品は付きが悪くなりやすい印象がある

活動量計については、表1に示す研究用3種、一般用2種の機種について、仕様を比較した。この中から、児童に用いることや、使用状況、装具に取り付ける可能性等を考慮し、高分解能、小型、軽量かつ、本体に操作ボタンや表示部等がなく、被験者が操作できないもの、活動量計自体が本人および周囲の児童の注意を引かず、より目立ちにくいと考えられる機種（キッセイコムテック社製小型活動量計 KSN-200 図2）を用いることとした。

また、装具にかかる負荷を記録するロガーとして、4chのひずみゲージの入力を計測でき、36gと軽量で、電池で作動する機種（Easy Measure 社製小型データログ Condition Catcher S CCS-4S 図3）を用いることとした。

D. 考察

D-1. 電動車いすの利用ログ収集

これまでに報告されている電動車いすの利用ログ収集システムでは、センサやロガーの設置に専用の治具が必要であったり、配線等の取り回しに一定の専門知識が必要なものがほとんどであった[1-3]。一方、スマートフォンの性能向上により、内蔵の慣性センサ等のデータを高サンプリング周期で長時間保存することが可能になっており、多様な運動解析への活用が進んでいる。本報告に示した結果は、スマートフォン本体を車体に固定するだけで、走行動態を多様な解釈が可能な形で記録できる可能性を示しており、今後電動車いすの適合などへの活用を進める上で、更なる手法の提案が有用であることが示唆された。

D-2. 下肢装具の利用状況収集

ヒアリングにより、活動度の高い児童では、近年、炭素繊維強化プラスチック製短下肢装具も処方されるようになり、同装具の破損が課題になっている状況が聴取された。炭素繊維強化プラスチック製短下肢装具の試験方法は、規定されておらず、耐久性の

詳細も明らかでないことから、同装具の利用状況の収集も必要と考えられた。

一方、両側支柱付き金属製短下肢装具では、成人と児童の製作方法の違いが報告された。児童の製作方法の方が製作にコストを要するものの、応力集中は生じにくく、破損しにくい可能性が考えられる。破損リスクが高い、高活動、高体重のユーザーへの対応策を検討するため、異なる製法による耐久性の差異等のデータ収集が望まれる。

また、プラスチックや面ファスナーの耐久性に関して、染料が影響を与える可能性も示唆された。こちらについては、試験片を用いた耐久性試験によるデータ収集が望まれる。

E. 結論

簡易に取り付けが可能な電動車いす利用ログシステムの開発を目的として、スマートフォンのロガーとしての利用を試み、旋回操作や路面状況を確認できることを示した。今後はより多様な情報を抽出するための手法構築を進める。

また、児童の下肢装具の利用状況については、ヒアリングにより、炭素繊維強化プラスチック製短下肢装具の破損など、装具の破損における現状の課題が聴取された。次年度は、活動量計等を用いて、下肢装具ユーザーによる下肢装具の利用状況を収集し、フィールドでの収集手法を提案するとともに、汎用試験機等を用いた工学的試験を実施する。

G. 研究発表

1. 論文発表

無

2. 学会発表

無

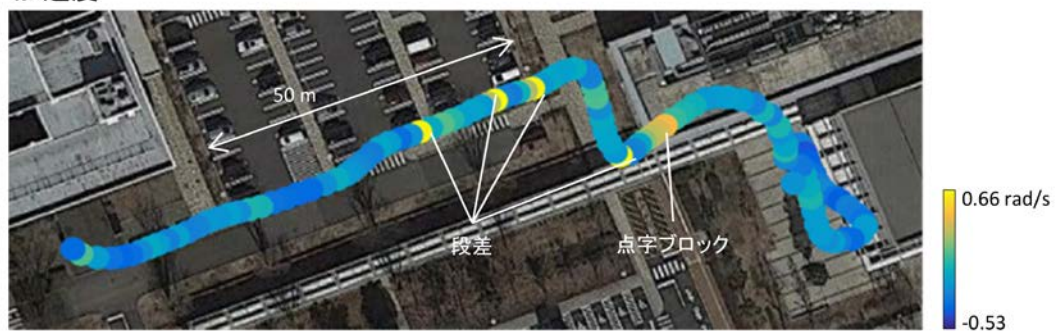
H. 知的財産権の出願・登録状況

無

I. 参考文献

- [1] 硯川潤, “車椅子ライフログによる走行・操作評価手法の開発 —ビッグデータ時代の安全性評価を目指して—”, 電子情報通信学会誌, 99(6), pp. 505-510, 2016.
- [2] Komoto K, Suzurikawa J, “Estimation Method of Wheelchair State during Joystick Operation Using WELL-SphERE.”, Proceedings of the 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, pp. 2499-2502, 2013.
- [3] J. Pineau, A. K. Moghaddam, Hiu Kim Yuen, P. S. Archambault, F. Routhier, F. Michaud, P. Boissy, Automatic Detection and Classification of Unsafe Events During Power Wheelchair Use, IEEE J. Transl. Eng. Heal. Med. 2 (2014) 1-9.
doi:10.1109/JTEHM.2014.2365773.

加速度



角速度

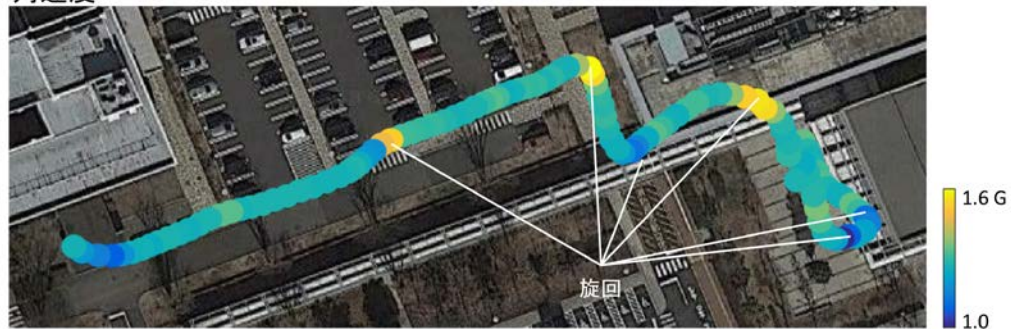


図1 走行時の加速度・角速度データ



図2 活動量計 KSN-200 図3 小型ロガー CCS-4S

表1 活動量計の比較

メーカー	商品名	概要	想定装着箇所	メモリ	サイズ (mm)	重さ (g)	防水機能	電源	通信方式
オムロン	Active style ProHJA-750C	<ul style="list-style-type: none"> ・クリップ型 ・高精度の3D加速度センサ搭載 ・10秒ごとに歩行と生活活動(座位、通常歩行、ゆっくり歩行、速歩、ジョギング、掃除、洗濯等)を識別し、METsを記録 ・研究用 	腰	45日間	H52×W40×D12	23	—	リチウム電池CR2032 (寿命2ヶ月)	NFC-F Bluetooth USB
スズケン	生活習慣記録機ライフコーダGS 4秒版	<ul style="list-style-type: none"> ・クリップ型 ・4秒(2分)ごとの運動強度を詳細に記録 ・歩行やジョギングなど ・1分ごとの運動量、歩数、平均METsの出力 ・活動グラフを測定項目と同一画面で表示、運動量・歩数・エクササイズ・総消費量・距離を計測、1週間メモリー表示 ・研究用 	腰	35日間	H72×W42×D29.1	45	IPX2	リチウム電池CR2032 (寿命6ヶ月)	USB
キッセイコムテック	小型活動量計KSN-200	<ul style="list-style-type: none"> ・クリップ型(平蓋型) ・活動量・姿勢・カロリー・歩数を任意の時間間隔で記録可 ・活動(姿勢)について、10秒、30秒、1分、2分の記録間隔を選択可 ・他、歩数・活動カロリー・消費カロリー等を計測可 ・研究用 	腰他(姿勢計測機能あり)	12時間から13日	φ27×D9.8	9	—	リチウム電池CR2032 (寿命3ヶ月)	近距離無線通信 Felica方式
MISFIT	RAY	<ul style="list-style-type: none"> ・リストバンド型 ・活動量・歩数・カロリー等を日、週、月単位で記録 ・日常活動記録用 	腰、手首、足首など	最長30日間	φ12×L38	8~16	50m防水	RENATAボタン電池393×3 (寿命4~6ヶ月)	Bluetooth
fitbit	flex 2	<ul style="list-style-type: none"> ・リストバンド型 ・歩数・距離・消費カロリー・アクティブな時間・時間毎のアクティビティを記録 ・日常活動記録用 	手首	7日間	S : 外周14~17 L : 外周14~20.5	11	50m防水	専用充電式電池	Bluetooth

厚生労働科学研究費補助金（障害者対策総合研究事業）
分担研究報告書

支援機器利用実態の調査

研究分担者	井上剛伸	国立障害者リハビリテーションセンター 研究所福祉機器開発部 福祉機器開発部長
研究分担者	小崎慶介	心身障害児総合医療療育センター長
研究協力者	硯川潤	国立障害者リハビリテーションセンター 研究所福祉機器開発部 福祉機器開発室長
研究協力者	石渡利奈	国立障害者リハビリテーションセンター 研究所福祉機器開発部 第一福祉機器試験評価室長
研究協力者	久保勉	心身障害児総合医療療育センター 義肢装具士
研究協力者	佐野美沙子	心身障害児総合医療療育センター 作業療法士

研究要旨

本研究では、エビデンスに基づく補装具費支給制度等の運用や評価の促進を目指し、児童の補装具の利用実態データの収集方法を確立することを目的とする。このため、電動車椅子の操作ログ、および下肢装具の利用状況を収集する方法を提案することを目標とした。

電動車椅子の操作ログ収集システムとして、設置が簡易なハードウェア構成を提案し、試作システムによる精度評価を行った。その結果約1度の推定誤差を実現できることを確認できた。また、車体傾斜補正の有用性もあわせて確認できた。

下肢装具については、質問紙を用いた半構造化面接、および活動量計を用いた1週間の活動量・歩数の計測により、児童の下肢装具の利用状況を収集するプロトコルを作成し、高活動児、低活動児で計測を行って、低負担、低干渉に利用状況を収集する方法を提案した。

A. 研究目的

本研究では、エビデンスに基づく補装具費支給制度等の運用や評価の促進を目指し、特に問題とされる、児童の補装具の利用実態データの収集方法を確立することを目的とする。

利用データ収集の対象としては、電動車椅子の操作ログ、および下肢装具の利用状況とし、両者の利用状況収集方法を提案することを目標とする。

電動車椅子操作ログについては、これまでに分担者が開発したスマートフォンを利用したジョイスティック操作角度収集システムを、より簡易で、長期

の運用に適した構成に改訂し、その精度を評価する。

下肢装具の利用状況の収集では、将来的な児童の下肢装具の規格作成に向けて、日常生活における高活動児、低活動児の歩行量、活動量等を低負担、低干渉に収集することを目標とした。

規格作成では、最終的に、装具にかかる負荷を調べるため、下肢装具にひずみゲージを貼付して計測することが必要になる。成人の場合は、計測用の下肢装具を製作し、典型的な生活場面を想定して、複数名での計測が行われてきた。児童の場合は、成人と生活様式が異なることから、まずは、負荷計測の

対象とする典型的な生活場面を抽出する必要がある。

計測システムの装着は、配線による安全面の課題や重量の負担もあり、日常生活への適用は難しく、より負担の少ない方法で利用状況を収集する必要がある。

また、児童の場合は、体格差も大きく、同一の装具を複数名に装着してもらうことも難しい。負荷計測を少人数で行う際、利用状況は、個人内、個人間で異なることから、計測を行った被験者の休日、平日の利用状況の違いや、他の利用者との歩数や活動量の違いを明らかにすることが望ましい。

以上より、本研究では、装具への負荷の計測の前段階として、小型軽量の活動量計を用いて、より簡易的に下肢装具の利用状況の収集を行った。

B. 研究方法

B-1. 電動車椅子の利用ログ収集

開発したシステムは、ジョイスティック操作角度計測、車体角度補正、車体挙動計測を目的とした3基の慣性センサユニットと、データ収集・記録用のマイコンボードから成る。3基のセンサユニットは、それぞれ、ジョイスティック先端、アームレスト下部、車体中心にそれぞれ設置する。センサユニットとマイコンボードとの間の通信には、シリアル通信規格の一つであるI2Cを用いた。これにより、慣性センサにより加速度・角速度の6軸計測を行う場合でも配線数を削減できる。なお、本報告では原理確認のため3軸加速度のみを分析に用いた。

ジョイスティック操作角度は、ジョイスティック先端のセンサユニットの重力加速度の分力計測値から推定した。この際、車体全体の路面傾斜などによる傾斜を補正するために、ジョイスティック近傍の補正用センサとの差分値を用いた。また、推定値精度を検証するために、ジョイスティック回路内部から前後・左右角度に対応した電圧値を同時計測した。

B-2. 下肢装具の利用状況収集

下肢装具の利用状況の収集のため、義肢装具士、

作業療法士、医師、リハエンジニアで協同し、①児童とその保護者を対象とした質問紙を用いた半構造化面接、②10m歩行計測、③活動量計と記録紙を用いた1週間の日常生活の計測によるプロトコルを作成した。

①では、金属製下肢装具の規格作成時に実施された装具実態調査^[1]を参考に、性別等の基本情報、運動麻痺等の障害状況、関節可動域等の身体状況、装具の使用時間等の日常生活と装具に関する状況、使用中の装具、前回の装具等の項目からなる半構造化面接用の質問紙を作成した。

②では、被験者の腰および短下肢装具に活動量計（キッセイコムテック社製小型活動量計 KSN-200 図1）を装着し、10m歩行を2回実施した（図2）。歩行路は、前後2.5mの助走距離を設け、全体で15mとした。歩行中の様子をビデオで撮影し、動画解析により、10mの歩行時間（秒）、歩行速度（m/分）、歩行率（ケイデンス＝1分間に何歩歩いたか、歩数/歩行時間（歩/分））を求めた。また、活動量計による歩数と、動画解析による実際の歩数との比較を行った。

③では、被験者の腰および短下肢装具に活動量計を装着し、1週間の日常生活における活動量、歩数を計測した（記録可能時間：8日間、記録間隔：活動（2分）、歩数（10分））。計測期間中は、保護者に協力を依頼し、記録用紙に1時間ごとの活動内



図1 活動量計 KSN-200



図2 活動量計の装着

容を記入してもらった。また、計測期間終了後、計測や活動量計の取り扱いについて、困ったことがなかったか等のアンケートを行った。

作成したプロトコルを用い、高活動児、低活動児各1名について、短下肢装具の利用状況データ収集を行った。計測結果について、歩数、活動量計のグラフを作成し、記録用紙に記録された活動内容と比較した。

(倫理面への配慮)

本研究は、国立障害者リハビリテーションセンター、および心身障害児総合医療療育センターの倫理審査委員会の審査を受け、承認を得て実施した。

C. 研究結果

C-1. 電動車椅子の利用ログ収集

図3に、平坦な路面を走行した際のジョイスティック操作角度推定結果を示す。走行経路は、図3(a)に示した通り4回の右左折を含む。図3(b)の通り、前後 (FB, forward-backward) ・左右 (LR, left-right) とともに角度推定値は真値と概形

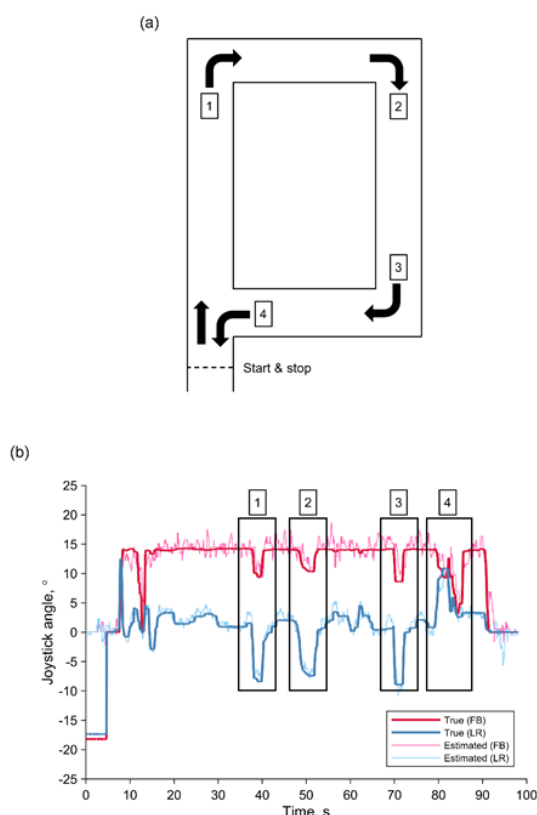


図3 平地走行でのジョイスティック操作角度推定
(a) 走行経路概要 (b) 推定結果

が一致していた。サンプリング周期は約30msであり、計測誤差のサンプルごとの平均と標準偏差は前後方向で $1.2 \pm 1.0^\circ$ 、左右方向で $0.8 \pm 0.6^\circ$ であった。

車体傾斜補正の有用性を示すために、図4に示したように横傾斜路面走行時の角度推定を行った。図4(a)に示したように、進行方向の左側に向かって7度の傾斜がある路面を走行した。図4(b)に傾斜補正がある場合とない場合の推定結果をそれぞれ示す。傾斜補正により、横傾斜走行区間 (区間2) において、左右方向の角度推定精度が向上したことがわかる。これにより、傾斜面による片流れの影響を補正する操作が把握できるようになった。

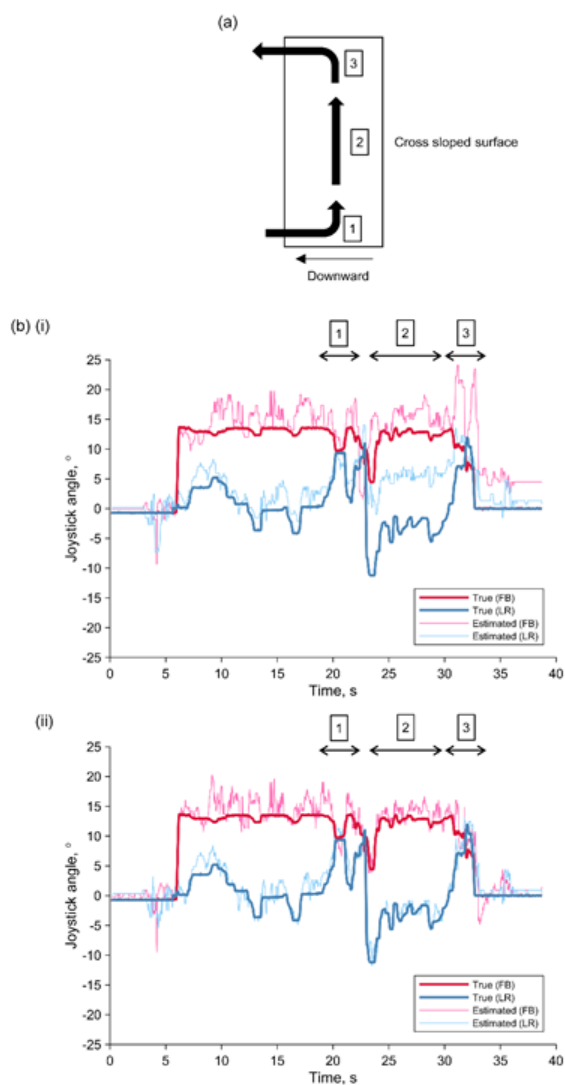


図4 横傾斜路面での
ジョイスティック操作角度推定
(a) 走行経路概要
(b) 推定結果 (i) 傾斜補正無 (ii) 傾斜補正有

C-2. 下肢装具の利用状況収集

表1に、半構造化面接により聴取した被験者の属性を示す。また、表2に、10m歩行計測の結果を示す。

H1（高活動児）は、健常児に近い歩行が可能であり、変形の予防や矯正のために、主に学校にいる間に装具を装着していた。走行や遊具での遊びが可能であり、体育の際は、装具を外すこともあるが、装着したままでの走行、遊具での遊びも行われていた。

H2（低活動児）は、訓練室歩行レベルであり、日常的には車いすを使用し、日中、装具を装着していた。学校での朝会や、持久走（歩行器を使って歩く）の際には、歩行器を使用し、装具での歩行も行っていた。

表3に、活動量計による歩数と動画解析による実歩数との比較を示す。実歩数との比較の結果、H2のように、歩行器を使いながらの歩行でも、活動量計の歩数計測値と、実歩行の歩数は概ね一致していた。

図5に、H1の1週間の歩数・活動量の計測結果、図6に、H2の1週間の歩数・活動量の計測結果を示す。

H1は、休日、平日共、外遊び等で活発に活動していた様子が記録された。1日の中で、最も歩くのは登下校時で約1000歩/10分、他、教室移動や、休み時間、外出などで、歩数・活動量が多くなる傾向がみられた。H2に比べ、座学や家庭内での歩数・活動量も多いことが確認された。

H2は、体調不良により学校を欠席した日もあり、普段より活動が少なかった旨が保護者より報告されたが、登校日に関しても、最大で約150歩/10分程度と、歩数・活動量が少なかった。H2の場合の最大の活動は、外出（習い事）の際の約350歩/10分であった。在宅時は、歩行がない時間が長く、歩行があっても、約50歩/10分程度であった。

計測期間終了後のアンケートでは、計測や活動量計の取り扱いについて、記入をどこまで詳細にすれば良いか（使用している補装具や、介助の状況等）

表1 半構造化面接結果（一部抜粋）

質問項目	H1	H2
性別	女	男
年齢	6	8
障害名	脳性まひ（痙直性）	脳性まひ（痙直性）
障害部位	片麻痺（左）	四肢麻痺
最大歩行能力 （装具を使用して）	2Km以上	訓練室歩行
装具の使用目的	変形の予防 変形の矯正	体重の支持 変形の予防 変形の矯正
使用装具（着用部位）	足継手つき プラスチック 製短下肢装具 （左型）	両側支柱付き 金属製下肢装具 （両足）
他の補装具の使用状況	なし	歩行器：ときどき使用 車いす：常に使う
どのような時につけ/ 外しているか？	学校に行く時のみ 帰宅時に外す 体育や遊びの際、 動きづらいときは外す	自宅の小上がりで休息するときなどに外す
走行	可（鬼ごっこなどに使用）	歩行器を使用して持久走をする（本人は走っている気持ち）
遊具等での能動的な遊び	可（ジャングルジムやブランコなど）	不可
スポーツ	可（なわとびなどに使用することもあり）	持久走をする

表2 10m歩行計測結果

被験者	計測回	10m歩行 時間（秒）	歩行速度 （m/分）	歩行率 （歩/分）
H1	1回目	9:25	64.9	125.8
	2回目	9:44	63.6	130.2
H2	1回目	14:58	41.2	98.4
	2回目	13:92	43.1	94.8

表3 活動量計による歩数と
動画解析による実歩数との比較

被験者	計測回	活動量計による歩数計測値 （歩行開始から、停止する まで）		歩行開始から、歩行終了まで	歩行開始から、歩行終了後、足をそろえて、停止するまで
		腰	装具		
H1	1回目	29	31	28	31
	2回目	28	31	28	31
H2	1回目	35	37	35	37
	2回目	32	36	34	35

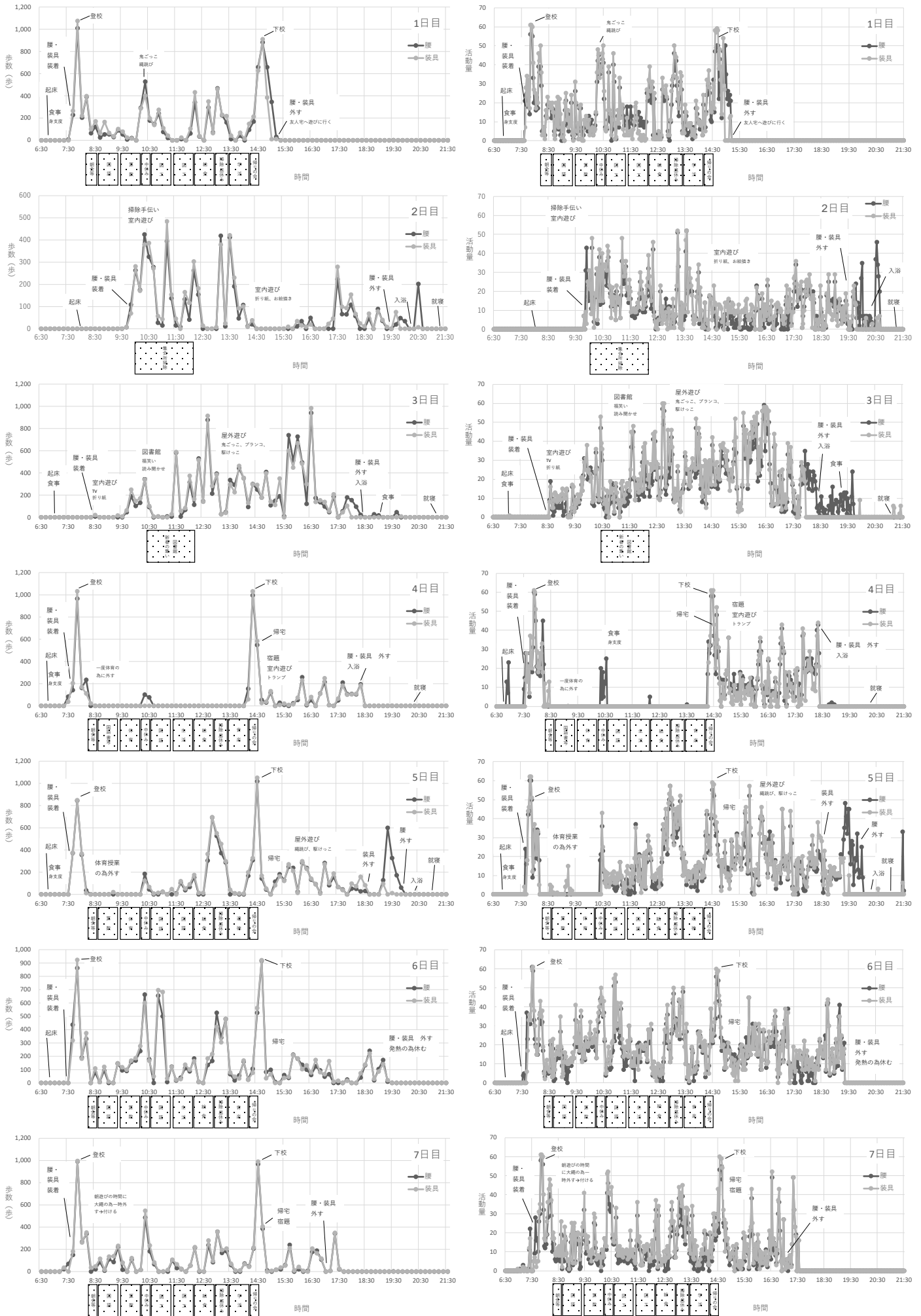


図5 H1 歩数・活動量計測結果

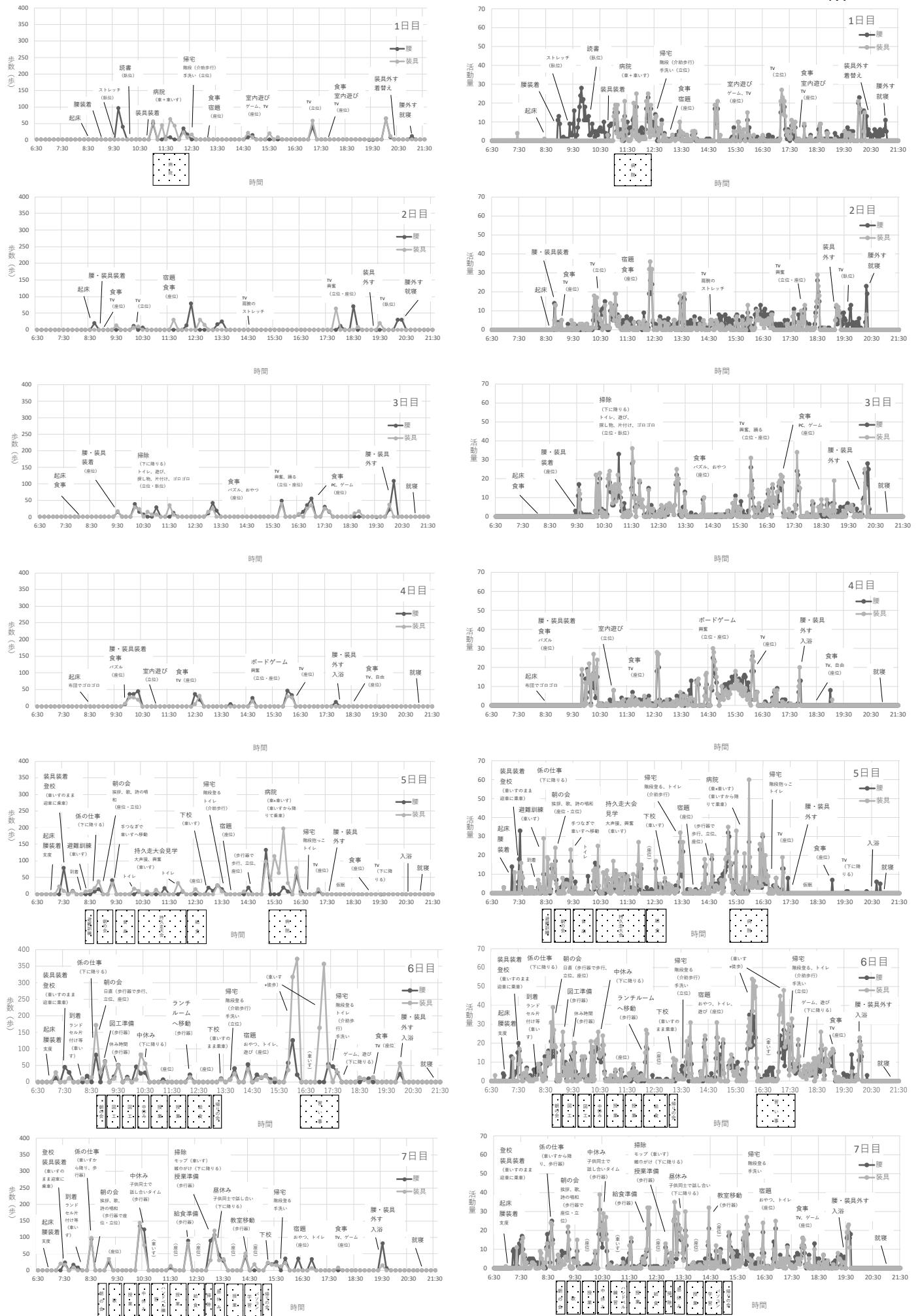


図6 H2歩数・活動量計測結果

の判断が難しかったとの回答があった。また、その他として、季節により、外出の頻度が異なる、運動会前などでは、活動が多くなるなどの指摘があった。このことから、計測の際は、年間の活動状況の変化に関する聞き取りも必要と考えられた。

D. 考察

D-1. 電動車椅子の利用ログ収集

近年の汎用マイコンボードやセンサユニットの低価格化により、従来より安価かつ簡易に電動車椅子利用ログの収集が可能になった。しかし、その解釈や利用を検討した事例は数少ない。ジョイスティック操作動態からは、本報告で示した片流れ補正操作のように、操作の技能に関わる情報を抽出できる。今後、利用ログ収集の普及を進めるためには、これらの計測結果を解釈し、安全な利用を促進する手法の提案につなげる必要がある。

D-2. 下肢装具の利用状況収集

10m歩行計測について、阿久津のデータによれば、5-9歳の一般的な歩行速度は、男児 59.2 (m/分) 女児 64.9 (m/分)、歩行率は、122.1 (歩/分) 132.5 (歩/分) である。今回の計測では、高活動児のH1(女児)は、健常女児と同程度の歩行速度、歩行率を示していると考えられた。

また、活動量計による歩数と動画解析による実歩数との比較では、腰の活動量計に比べ、装具の活動量計の歩数が2-4歩程度多くなっていた。実歩数でも、2-3歩程度、装具の方が多くなっていた。これは、腰・装具での歩数は、通常の歩行による加速度の変化により計測されるが、装具では、腰の上下動が少なくなる歩行終了後、足をそろえる際などにも動きが計測されるためと考えられる。

先のヒアリングにより、児童の下肢装具ユーザーでは、高活動児と低活動児がいることが指摘されていたが、活動量計の装着と記録用紙により、高活動児、低活動児の休日、平日の生活の様子や、歩数、活動量の違いの事例を計測することができた。活動量計は、一般でも健康管理目的で日常的に使用されており、小型軽量であることから、児童でも、低負担に連日の装用、計測が可能と考えられる。

活動量計と記録用紙による方法は、下肢装具の利用状況を簡易的に収集することができるため、本手法により、高活動児、低活動児の利用状況を複数名で調査し、他の児童との利用状況の違いを明らかにした上で、負荷の計測を行う対象児の、より詳細な計測を行うことが可能と考えられる。

本計測による手法は、低負担、低干渉に、日常生活全体における下肢装具の利用状況を収集できることに意義がある。今回の計測例から、装具に負荷がかかる典型的な生活場面として、高活動児では、登校時(定常的な通常歩行)、外遊び(走行を含む活発な活動)、教室移動(階段昇降含む)、屋内活動(断続的な少量ずつの歩行)などが考えられることが示唆された。

今回の計測は、高活動児、低活動児各1例の事例であるため、今後、複数名での計測を行って、より広く利用状況を収集し、典型的な場面を抽出していく必要がある。

E. 結論

電動車椅子の利用ログ収集システムについては、慣性センサを利用してジョイスティック操作角度推定を行うシステムを開発し、1度程度の計測誤差を実現できたことを確認した。

下肢装具の利用状況収集について、質問紙を用いた半構造化面接、および活動量計を用いた1週間の活動量・歩数の計測により、低負担、低干渉に利用状況を収集する方法を提案した。

G. 研究発表

1. 論文発表

無

2. 学会発表

無

H. 知的財産権の出願・登録状況

無

I. 参考文献

- [1] 日本リハビリテーション医学会. 昭和 54 年度福祉関連機器（義肢・装具）の標準化推進のための調査研究報告書. 1980, p 62-197.
- [2] 阿久津邦男. 歩行の科学. 1975, p56-57.