

障害者向け運動教育・療法における加速度センサノードによる発達可視化システムの提案

大崎 英誉 諏訪 敬祐

武蔵工業大学 環境情報学研究科
〒224-0015 横浜市都筑区牛久保西 3-3-1
E-mail: {eiyo, suwa}@yc.musashi-tech.ac.jp

重度重複障害者を対象とした発達支援プログラムにムーブメント教育・療法がある。これは、障害のため乏しくなる対象者の運動経験を支援し、発達の好循環を作ることを目的としている。適切な支援を行うため、対象者の発達段階を確認する必要がある。本研究では、無線3軸加速度センサノードを用いて運動計測を行う発達可視化システムを提案する。このシステムでは、センサを対象者に複数装着して、部位ごとの加速度を計測し、補装具との連携も記録する。計測結果はインターネット経由でサーバに集約し、記録する。サーバは、記録を解析し、指導に役立つ情報を利用者へ提供する。本システムを用いて運動を好む重障害者の利き手の反応の計測と検定を行った。提案システムにより運動経験の特徴を検出できる見通しを得た。

Developmental Stage Visualization System by Wireless Wearable Acceleration

Sensors for Movement Education and Therapy

Hidetaka OHSAKI Keisuke SUWA

Research Division in Environmental and Information Studies
Musashi Institute of Technology

3-3-1 Ushikubo-nishi, Tuzuki-ku, Yokohama, Kanagawa 224-0015 Japan
E-mail: {eiyo, suwa}@yc.musashi-tech.ac.jp

Movement education and therapy are support programs for severely multi-handicapped individuals. A coach must know a developmental stage of a person. We propose a developmental stage visualize system by wireless wearable acceleration sensor nodes. The system will support related video data. A recorder stores data to a database on the Internet. A specialist can browse data in a remote place. A specialist can analyze data and cast the result for individuals by the network. We measured individual movements and did significance test about reaction by the dominant hand or another. These results are function samples of our beta system.

1. はじめに

心身両面の発達に重度の障害を持つ障害者の運動経験、発達の状況などを記録することは発達指導の効果を高めるうえで重要である。

本研究では、障害者向け運動教育・療法における運動記録の重要な手段として、無線加速度センサノードを用いたセンサネットワークシステムを提案する。センサを障害者の身体に複数装着することで、各部位の詳細な動きや、身体全体に加わる刺激などを定量的に記録する。大量に蓄積される計測結果につい

ては、インターネット上のサーバにアップロードして管理する。また、サーバに蓄積された計測結果を複数の機関で共有することを目指す。計測結果を解析した成果物を計測現場に提供する必要性を述べ、計測結果と解析についての例を示す。

2. システム提案の背景

2.1. ムーブメント教育・療法とは

心身両面の発達に重度の障害を持つ障害者をとくに重度重複障害者(以下、重障害者)と呼

ぶ。重障者は、その障害のため、身体運動が限定され、健常者に比べ、運動の経験は乏しくなる。健常者であれば、日常的な環境であっても運動の経験からその楽しさを知り、さらに高度の運動を求めるといふ発達の好循環が形成される。しかし、重障者は、その機会を得ることが難しい[1],[2]。

運動を経験させることで、発達の好循環を支援しようとする教育・療法プログラムがある。その一つにムーブメント教育・療法がある。日本では、肥田野直・小林芳文が、Frostig.Mの「Movement Education Theory and Practice」[3]を紹介し、普及している。

2.2. 運動記録の重要性

ムーブメント教育・療法では、“発達是一定の順序に従い、この順序は不変である[4]”としている。介助者は、適切な支援プログラムを選択するため、対象者の発達段階を正確に把握する必要がある。ムーブメント教育・療法では、身体運動の内容や、それによる諸機能の変化に注目する。身体運動の内容とは、身体の中の部位を動かしたか、複数の部位で連携しているか、リズムカルな動きであるかどうかなどを指す。諸機能の変化とは、心拍数、体温、表情、発声の変化などを指す。

2.3. 既存の運動記録方法

ムーブメント教育・療法を含む障害者運動支援プログラムでは、運動内容の記録について、これまでも様々な方法がとられてきた。代表的な計測方法と、その特徴を表 2 に示す。

ムーブメント教育・療法の重要な発育判定法である MEPA-II[5]は、定性的な評価項目を採用しているため、測定方法も定性的な性質を有するものが多い。

定量的な計測方法では、人体装着型のセンサを多く用いる。また、定量的な方法では、運動に伴う諸機能の変化を捉えることで、運動の効果を計測するものが多い。運動を直接計測できる装置には、筋電図がある。身体への負荷を直接計測できる装置であるが、義肢や、補装具を含めた動きの連携を計測することはできない。また、重障者の発達は遅く、その把握には、記録を長期的に保存する必要がある、従来は、データを計測し、計測結果を蓄積、管理する有効な手段はなかった。

2.4. 加速度センサを用いた計測の利点

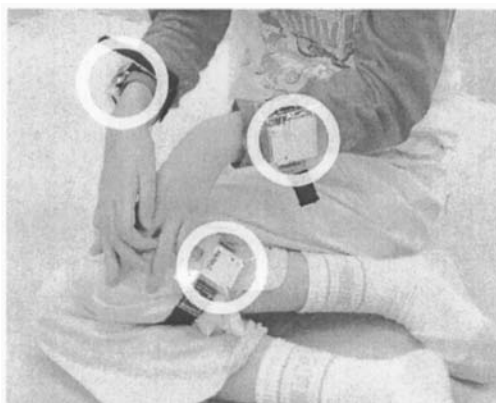


図 1 WAA-001 装着例

表 1 WAA-001 諸元^{[6],[7]}

筐体	寸法	W: 36.5(mm) H: 39(mm) D: 10(mm)
	重量(電源含む)	17 (g)
	稼働時間 (仕様最長)	4.5(時間)
計測	加速度センサ	日立金属 H48C
	最大計測周期	1000(Hz)
	最小計測単位	8.8(mG)
	分解能制約	33(mG)
	最大計測範囲	± 3(G)
通信	無線規格	Bluetooth Ver 1.2 Class 2 SSP
	最大転送帯域	700(Kbps)
	最大通信距離	10(m)
	最小送信周期	200(Hz)
	最大同時接続数	7(個)

本提案システムでは、運動計測に無線加速度センサを用いる。

3 軸加速度センサは、3 次元空間における、ある物体の動きの勢い、揺れなどについて、前後・左右・上下という 3 軸の成分に分解して計測できる。また、人体に装着することで、装着部位の運動を計測が可能である。運動記録装置としての性質を表 2 の番号 8 に示す。

本提案では、無線加速度センサとして、ワ

イヤレス テクノロジー株式会社の WAA-001 を用いる。装着例の写真を図 1 に示す。また、諸元を表 1 に示す。

WAA-001 は、3 軸の加速度を計測可能で、計測結果を正または負の整数として表す。

さらに、このセンサノードは Bluetooth による無線通信機能を持ち、最大 7 個まで同時にパーソナルコンピュータ(以下、PC)と接続できる。各センサで異なる無線チャネルを用いるので、PC は各個を区別できる。また、センサノードは、送るデータに送信時刻を付加する。PC は、その送信時刻を元に、時間経過に沿ってデータを並べることができる。

この二つの機能を組み合わせることで、センサノードは、複数箇所の同時計測を行える。

センサノード本体は、小型で軽量である。ベルト付きケースに入れることで、人体の各部位に簡単に装着できる。

運動内容計測を行う際、WAA-001 には、次のような利点がある。

1. 運動内容そのものを記録できる。
2. 運動のリズムを定量的に記録できる。
3. 運動する部位を特定して記録できる。
4. 各部位の連携を定量的に記録できる。
5. 計測結果の電子化が容易である。

表 2 ムーブメント教育・療法における運動計測方法 (番号 8 は本提案システム)

番号	記録方法	運動計測方法	性質	機材	電子化	義肢/補装具
1	目視	直接的	定性的	不要	手作業	計測可能
2	感触	直接的	定性的	不要	手作業	計測可能
3	静止画撮影	直接的	定性的	必要	自動	計測可能
4	動画撮影	直接的	定性的	必要	自動	計測可能
5	心拍計	間接的	定量的	必要	自動	計測不可
6	血圧計	間接的	定量的	必要	自動	計測不可
7	筋電図	直接的	定量的	必要	自動	計測不可
8	加速度センサ	直接的	定量的	必要	自動	計測可能

2.5. 無線加速度センサ複数装着の現状

服装や運動を阻害しない点に着目し、無線加速度センサノードを複数装着するシステムは既にある[8]。

ムーブメント教育・療法の記録を目的として加速度センサノードを用いるシステムでは、以下のような課題が挙げられる。

1. 計測値や、その可視化図表を直接見ても運動の特性を読み取ることは難しい。
2. ミリ秒単位で計測するため、記録が大量に発生する。
3. 何時、誰が、何処に付けて、どの程度の精度で、何をした記録なのかなどの計測条件について、管理が煩雑である。

数種類程度の既知の運動を検出し、記録するのであれば、センサノードによる分散検出方式[9]により課題 1.および 2.を解決できる。

この既存方式は、センサノード内部で計測値の意味を要約して、その結果だけを送信する。この方式は、利用者の意味理解を容易に

し、同時に、通信データ量を低減することができる。しかし、この方式では、事前に運動の特性を十分に解析する必要があり、また、要約を前提とした固定長データで通信することから、未知で多様な運動の計測に適さない。

3. 提案システム

3.1. 提案方式の目的

課題と従来システムの特性を踏まえ、本提案システムでは、以下の機能を実現することを目的とする。

1. 加速度センサによるムーブメント教育・療法の記録を行う。
2. 未知の運動の計測が可能である。
3. 計測結果を共有する。
4. 動画など、他の定性的な計測結果との連結が可能である。
5. 計測、記録管理、運動指導に関する分業と協業が可能である。

3.については、利用者の利便性を重視し、

Web サイトによる共有を考える。ムーブメント教育・療法の指導員と加速度計測結果の信号処理を行う者が、異なる時間帯、異なる場所から情報交換できることを重視する。運動の意義と信号の意味を連結しなければ、目的に添った記録とはならないため、本システムでは、専門家同士の情報交換の仕組みを提供することを目指す。

5.については、計測・記録・波形解析の機能を垂直に分散することで、実現する。

3.2. ネットワーク構成図

本システムのネットワーク構成を図 2 に示し、その内容について以下に記述する。以下では、パーソナルエリアネットワークを PAN と表記する。

3.2.1. PAN 内部

加速度センサノードの計測結果は、ノート PC で受信する。計測時刻に沿ったデータの並べ替えは、ノート PC で行う。計測現場でムーブメント教育・療法の支援に必要な運動経験の特徴を検索し、表示するためには、ノート PC のアプリケーションによる計測結果の集約が必要となる。

デジタルビデオカメラ(以下、DV カメラ)の記録も計測後、ケーブルなどを通じて、一括してノート PC に保存する。

加速度センサの計測記録と DV カメラの映像について時刻を揃えて再生することはノート PC の性能でも可能だが、編集後の成果物の保存が煩雑になる。記録の編集作業は、コンテンツ管理サーバで行うことを前提とする。

3.2.2. PAN とインターネットの接続

ノート PC は、インターネットを通じて、計測結果データベースとコンテンツ管理サーバに接続する。計測現場は、加速度センサノードの計測結果および DV カメラの映像を計測結果データベースにアップロードして、情報を遠隔の指導員と共有する。また、計測担当者は、データの管理を専門家に委託できる。

ノート PC は、コンテンツ管理サーバから、運動経験の特徴の抽出に必要なファイルをダウンロードする。ファイルは、フィルタ、関数、代表値などである。このダウンロードは、計測を行わない時間に、一括で行う。

計測現場の指導員は、ノート PC にファイルを貯めることで、指導に役立てていく。

3.2.3. サーバの利用と運営

プライバシーの管理、通信の負荷、データバックアップの都合により、計測結果データベースの参照は、コンテンツ管理サーバから行う。複数分野の専門家が利用しやすい構造を重視する。

3.3. データフロー図

データフローの概要を図 3 に示す。

3.3.1. データフロー詳細

大量になるデータの管理の手間を減らすため、計測結果データベースは、成果物の保存に専念する。成果物は、加速度センサの計測結果、運動の様子を記録した動画、それらを利用した解析結果とする。

コンテンツ管理サーバから、計測現場にあるノート PC に対してフィードバックループを設ける。ムーブメント教育・療法を機械的に支援することを目指す。

実装し易さや計測現場での使い易さを考え、本提案では、フィードバックループとして配布するファイルについて、表計算ソフト用の雛形ファイルなどを検討している。

3.3.2. フィードバックループ活用案

フィードバックループ活用案として、補装具を用いた重障者の歩行支援を考える。補装具の利用例を図 4 に示す。重障者は、関節の歪みや筋肉の偏りが健常者より著しく、左右バランス良く足を動かすことが難しい。この時、指導員が、重障者の一方の足に重りを付けることで、本人の歩き易さを補助することができる。現在、この重りの調整は、対象者を良く知る指導員によって行われている。本人が直接意思表示をすることは難しく、また、調整の程度には個人差があるためである。

提案システムでは、個別的な経験を要するノウハウを、可視化し、段階的に支援することを目指す。現在、計測結果の蓄積を進めている。

歩行練習を例に考える。まず、提案システムで、健常者の歩行との差を定量的に示す。次に、調整目標の発見を支援する。

さらに進めば、調整目標の演算も可能であろうが、ムーブメント教育・療法では、重障者と介助者の交流も重要な要素であるため、本提案では、完全自動化は目標としない。

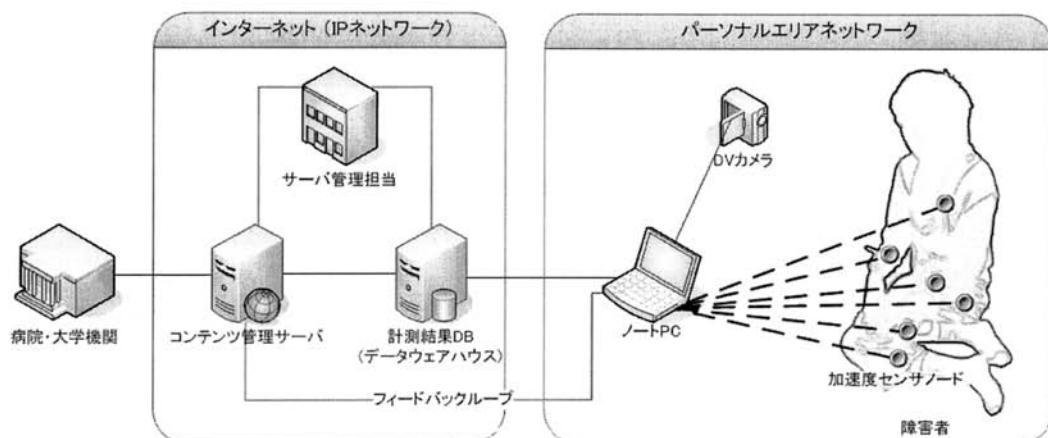


図 2 提案方式ネットワーク構成図

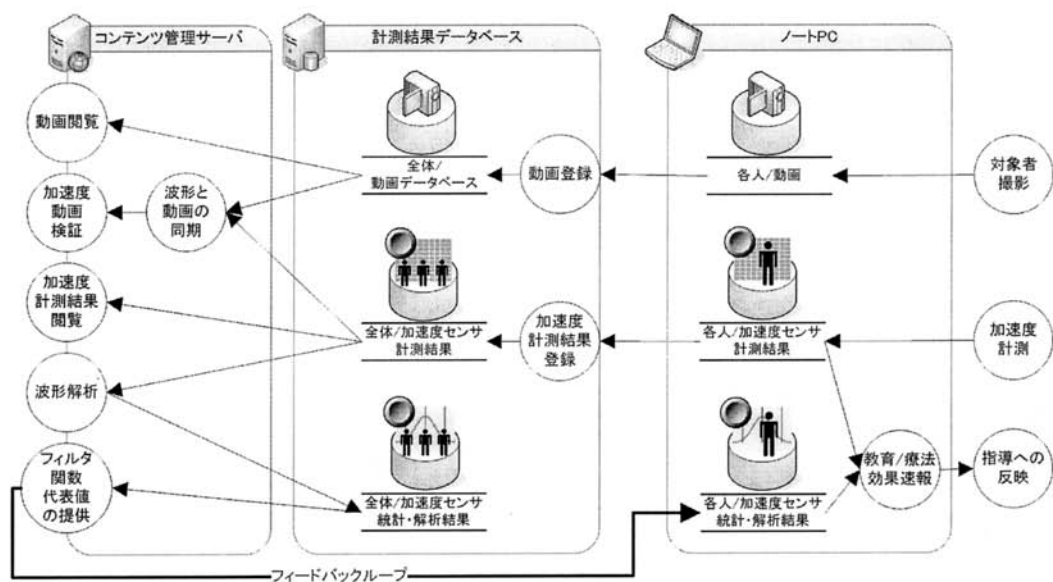


図 3 データフローの概要



図 4 補装具による歩行練習

4. 障害者運動の計測

4.1. パラシュート遊びの計測例

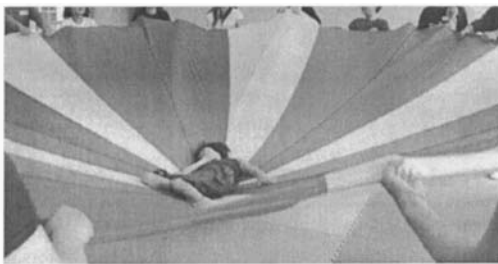


図 5 パラシュート遊びの様子

表 3 パラシュート遊び計測諸元

センサノード	WAA-001
計測間隔	5(msec)
時間平均回数	5(回)
装着部位	右手首 1(個) 左手首 1(個) 左脛 1(個)

表 4 計測対象者属性

性別	女性
年齢	20 歳 6 ヶ月
計測日	2007 年 07 月 14 日

加速度センサノードを用いたムーブメント教育・療法の計測例を示す。

図 5 はパラシュートの中心に対象者を乗せ、補助者たちが、生地の手を掴み、トランポリンのような上下運動の刺激を与える「パラシュート遊び」と呼ばれる運動である。この運動の場合について計測し、記録を行った。

計測の諸元を表 3 に示し、

計測対象者の属性を表 4 に示す。

両腕について、計測結果の一部を折れ線グラフとして可視化したものを図 6、図 7 に示す。図の縦軸は、加速度計測 5 回ごとの平均の値、横軸は、平均の計算を終えて計測結果を送信した瞬間の時刻を表している。左手の計測時刻には、1 ミリ秒の誤差があるが、送信間隔 25 ミリ秒に対して僅かな遅れであるため、解析に不都合は無いと考える。

波形は、パラシュートに乗った重障者が、音楽に合わせて上下運動の刺激を受けている様子を捉えている。

4.2. パラシュート遊びの検定例

計測対象者は、この遊びを好む。計測現場では、動かし易い利き腕(右手)によって喜びの反応を見せていた。この反応を定量的に検証した。

4.2.1. 検定方法

本来は、パラシュート遊びの上下運動に対し、計測周期が妥当であるかを検証した上で、周波数成分の解析などを行うのが望ましいが、未知の運動にも注目するという提案システムの目的をふまえ、特徴の抽出方法として、F 検定を用いることとした。これは、計測値のばらつきについて、二つの標本群に差があるかを検定するものである。利き腕である右手を激しく動かしているのであれば、左手の計測値より大きなばらつきになると考える。

パラシュート遊びの最中は、日常とは異なり、左右のバランスが崩れた姿勢になる。腕の動きを検証するには、左右それぞれの手について、大きく反応している軸を特定する必要がある。

計測結果データ数 401 件を用いて、各部位各軸の加速度計測値の標準偏差を求めた。こ

ここでは、標準偏差は、計測値のばらつきを表す。波形が激しく振れる軸のデータ群ほど値が大きくなる。表 5 に結果を示す(小数点第 1 位を四捨五入)。値は右手の y 軸、左手の x 軸が最も大きいことが分かった。

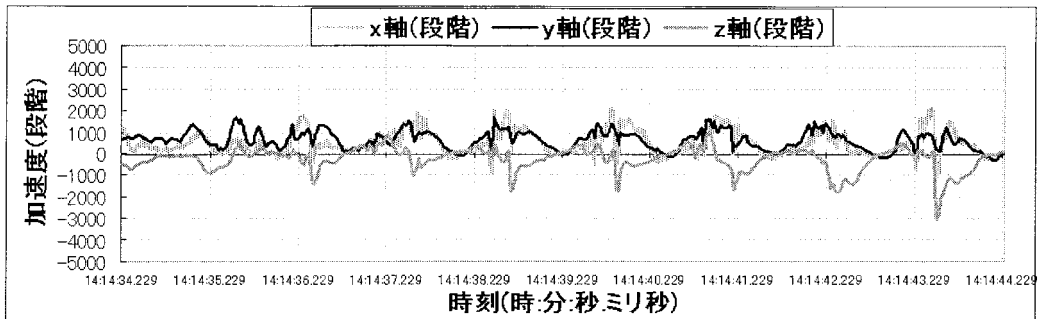


図 6 重障者パラシュート遊び 左手

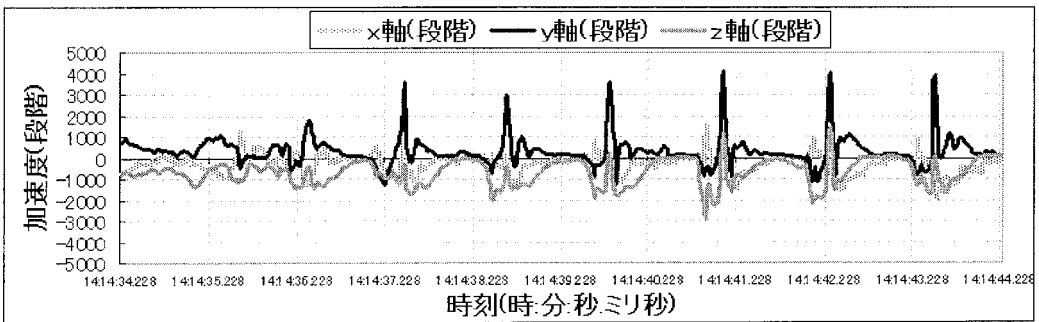


図 7 重障者パラシュート遊び 右手

表 5 各部位各軸標準偏差

	x 軸(段階)	y 軸(段階)	z 軸(段階)
左手	550	432	536
右手	469	665	591

表 6 2 標本を使った分散の検定

	右手 y 軸(段階)	左手 x 軸(段階)
平均	323.476309	488.421446
分散	442094.785062	302588.039439
観測数	401	401
自由度	400	400
観測された分散比	1.461045	
P(F<=f)		
両側	0.000079	
F 境界値		
両側	1.216863	

右手の y 軸と左手の x 軸、それぞれの計測データ群に対し、有意水準 α を 2.5% として、F 検定を行った結果を表 6 に示す(データ数、自由度を除き小数点以下 6 位まで表示)。2 つの標本群において、それぞれの不偏分散を求めた。その大きい方を分子においた比を F 値とした。標本群それぞれの母集団の分散が同じであった場合、ある F 値が生じる確率は、F 値を横軸、その発生確率を縦軸とした F 分布と呼ばれる標本分布に従う。F 分布を参照し、ある F 値が生じる確率を P 値とした。F 検定では、まず、「2 つの標本群の母集団において、分散は同じである」という帰無仮説を立て、しきい値となる十分に小さい確率 α を設定する。 α より P 値が小さければ、「母集団の分散が同じだと考えるには、標本から作った F 値の生じる確率が低すぎる」として、この仮説を棄却できるとする。棄却すること

で、「二つの母集団の分散は異なる」と考える。ただし、P 値が α 以下になる確率も α ある。よって、仮説の棄却が誤りである確率が α ある。なお、標準偏差を 2 乗し、(データ数/(データ数 - 1))を掛けた値が不偏分散である。

4.2.2. 検定の実施と結果

P 値は 0.000079 であり、 α より小さい。よって、「2 標本の母集団の分散に有意な差は無い」という帰無仮説は棄却できる。右手と左手について、代表軸の分散の差は有意である。加速度計測値を用いたこの検定結果により、「利き腕を良く動かしている」という目視によって発見した運動経験の特徴を、確認できた。

4.3. 計測と検定における今後の課題

本研究は、目視を元に標準偏差と F 検定を用いて計測結果の検定を行った。補助者のパラシュートの動かし方、対象者の姿勢、センサの装着状態などの要因が、どの程度影響するかについて、検証する必要がある。さらなる計測記録の蓄積が必要と考える。

今回の結果が、特定の個人に因らず、普遍的特徴であるかについても実験的検討が必要である。

複数の対象者に対する定期的な計測によって、ムーブメント教育・療法に対する重障者の反応の変化を捉えることは、発達支援の項目を選択する根拠となるため、重要である。

5. おわりに

本研究では、ムーブメント教育・療法における運動計測に無線 3 軸加速度センサノードを用いるシステムを提案し、特徴、適用効果を明らかにした。まず、加速度センサノードを用いた計測における課題と目標を整理し、提案システムの概要を述べた。次に、提案システムの一部の機能を用いて、ムーブメント教育・療法の計測例を示した。目視と計測例の検定によって運動を解析する例を示した。今後は、利用者のインタビューをくり返しながら提案システムの実装を進めていく。また、提案システムを用いて、ムーブメント教育・療法による重障者の運動経験を記録し、解析していく予定である。

文献

- [1] 小林 芳文 編, “ムーブメント教育・療法による発達支援ステップガイド”, 株式会社 日本文化科学社, p11, 2006.2
- [2] 監修: 仁志田 博司, 編集: 小林 芳文, 藤村 元邦, “医療スタッフのためのムーブメントセラピー”, 株式会社メディカ出版, p15, 2003.3
- [3] Marianne Frostig 著, 小林 芳文 訳, “フロスティグのムーブメント教育・療法”, 株式会社 日本文化科学社, p6, 2007.6
- [4] Marianne Frostig 著, 小林 芳文 訳, “フロスティグのムーブメント教育・療法”, 株式会社 日本文化科学社, p9, 2007.6
- [5] 小林 芳文(著者代表), “乳幼児と障害児の感覚運動発達アセスメント”, 株式会社 コレール社, pp8-9, 1992.1
- [6] ワイヤレステクノロジー株式会社, “小型無線加速度センサ Model: WAA-001 取扱説明書 (Ver. 2.1.0 2006.9.20)”, ワイヤレステクノロジー株式会社, 2006.9
- [7] ワイヤレステクノロジー株式会社, “WT I_Note Q&A”, http://www.wireless-t.jp/note_qa.html, 2006
- [8] 大崎 英誉, 諏訪 敬祐, “加速度センサノード人体複数装着による身体動作分散検出方式の提案”, 社団法人 情報処理学会, 情報処理学会研究報告, 2006-MBL-39, Vol.2006, No.120, pp56-66, 2006.11
- [9] 大崎 英誉, 諏訪 敬祐, “身体動作分散検出方式による装着用 3 軸加速度センサノードの無線送信データ量の低減”, 社団法人 情報処理学会, 第 69 回 (平成 19 年) 全国大会講演論文集 (3), pp251-252, 2007.3