

# 加速度に基づく集団行動の自動セグメンテーション

Automatic segmentation of group activity based on acceleration

上坂 和也\*<sup>1</sup> 今城 和宏\*<sup>1</sup> 柴田 征宏\*<sup>1</sup> 芳賀 博英\*<sup>1</sup> 金田 重郎\*<sup>1</sup>  
 Kazuya Kousaka Kazuhiro Imaki Kazuhiro Imaki Hirohide Haga Shigeo Kaneda

\*<sup>1</sup>同志社大学大学院

Graduate School of Engineering, Doshisha University

Children learn to fit into society through living in a group and their social ability is greatly influenced by their friendship relations. Therefore, preschool teachers need to understand the friendship relations to make an appropriate children care activity. We are conducting the research that analyzes the children's friendship relations from the acceleration data that represents the activity of children. In order to extract the appropriate friendship relation, we need to watch the children's group activity and identify the interval of the specific group activity called "Free Playing". In this paper, automatic segmentation method of the time series of acceleration data into group activity only from acceleration data is proposed. The method proposed in this paper is based on the wavelet transformation. Our method detects time series into the time from the acceleration data when the group activity changed and divides time series into each group activity.

## 1. はじめに

幼稚園・保育所での集団生活は子どもにとって社会性を身につけることのできる大切な場所であり、そこには保育者や友達との交友関係が大きく影響している。しかし、保育者が30名の子ども同士の関係を的確に把握することは困難である。

そこで我々は子どもに3軸加速度センサを装着させることで子どもの活動を記録し、記録されたデータから子どもの交友関係を分析する研究を行っている。この研究では、子どもが自由に遊び、友達との交友関係を築く「自由遊び」と呼ばれる集団行動の時間帯の加速度データから子どもの交友関係の抽出を行っている。[木原 07][柴田 08][今城 09]

この研究では「自由遊び」の時間帯を把握するために観察記録をとり、そのデータを抽出する必要がある。しかし、保育士が子どもの保育と同時に観察記録をとり、それと照らし合わせて「自由遊び」の時間帯のデータを抽出する作業を保育士の方々に任せるのは多大な負担をかけることになる。

そこで、上記の問題点を解決するために筆者らは、0.05秒ごとに子どもの活動を記録した3軸加速度データから子どもの集団行動の分析を行う手法を提案する。この手法は集団行動ごとに子どもの活動を記録した加速度データを分割する集団行動の自動セグメンテーションと分割された加速度データがどのような集団行動を行っているかを判別して、分類を行うクラス分類で集団行動の分析を行う。本論文では集団行動の自動セグメンテーション手法を提案し、検証を行った。

提案手法では、まず子ども全員の加速度の時系列データをWavelet変換して周波数スペクトルにする。次に、その周波数スペクトルから同じ時刻での子ども全員の活動の非類似度を算出する。最後に活動の非類似度から集団行動が切り替わった時刻を検出して、集団行動の自動セグメンテーションを行う。

以下、2章では提案手法について述べる。3章では評価実験について述べる。4章は検討を述べる。5章はまとめである。

## 2. 提案手法

### 2.1 集団行動の自動セグメンテーション

本節では子どもの活動を記録した0.05秒ごとの3軸加速度データを集団行動ごとに分割する集団行動の自動セグメンテーションについて述べる。

幼稚園ではあらかじめ決められた集団行動が行われている。集団行動の種類としては、「設定保育\*<sup>1</sup>」、子どもが好きな活動を自由に行う「自由遊び」、子ども全員が食事を行う「昼食」などがある。日によって行われる集団行動は異なり、また集団行動を行う時間帯も異なる。

集団行動の自動セグメンテーションとは子ども全員の活動を記録した時系列の加速度データからある集団行動から異なる集団行動に切り替わる時刻を求めて、集団行動ごとに加速度データを分割する処理のことである。

図1は集団行動の自動セグメンテーションの大まかな処理の流れである。集団行動の自動セグメンテーションは大きく分けて、合成加速度データのWavelet変換処理、子どもの活動の非類似度の算出処理、集団行動が切り替わる時刻の検出処理の3つのステップの順に処理を行う。

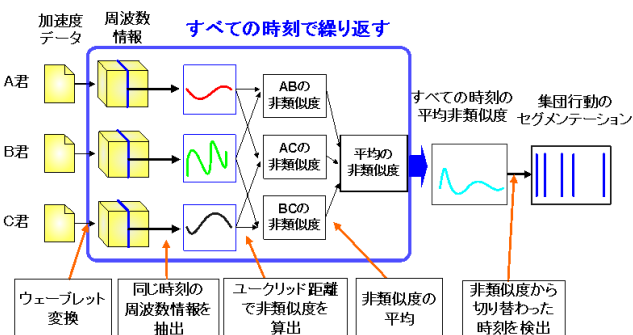


図1: 集団行動の自動セグメンテーションの処理の流れ

連絡先: 上坂和也, 同志社大学大学院工学研究科,  
 京都府京田辺市多々羅郡谷 1-3, 090-9761-9232,  
 kkousaka@ishss10.doshisha.ac.jp

\*<sup>1</sup> 保育者があらかじめ保育内容を決定して指導する。例えば、音楽の時間などがこれに当たる。

● 合成加速度データの Wavelet 変換

子どもの活動を記録した 0.05 秒ごとの 3 軸加速度データを 1 秒ごとの平均合成加速度データに変換した後で wavelet 変換を行う。合成加速度に変換することで 3 軸加速度データでは影響があった重力加速度を無視することができ、周波数情報に変換することで同じ時刻での子どもの活動の違いを判別できる。2.2 で詳細な手法を述べる。

● 活動の非類似度の算出

1 秒ごとの平均合成加速度を Wavelet 変換することで得られる子ども全員の周波数スペクトルからすべての時刻での子ども全員の活動の平均非類似度をユークリッド距離を用いて算出する。その方法として、ある子どもと別の子どもと同じ時刻での Wavelet 係数が 1~20 の周波数情報の非類似度をユークリッド距離で算出する。この非類似度が子ども 2 人の活動の違いとなる。子ども全員の組合せで同じ時刻の周波数情報の非類似度の算出を行い、同じ時刻の平均非類似度を算出する。最後にすべての時刻で子どもの活動の平均非類似度を算出する。2.3 で詳細な手法を述べる。

● 集団行動が切り替わる時刻の検出

すべての時刻の平均非類似度から集団行動が切り替わる時間を検出することで集団行動の自動セグメンテーションを行う。「設定保育」、「昼食」といった集団行動は観察記録から子ども全員が長時間同じ活動を行い、また激しい活動をあまり行わないので平均非類似度は小さいことがわかっていて、これらの平均非類似度が小さい集団行動が行われている時間帯を検出して、検出した時間帯の最初と最後の時刻を集団行動が切り替わった時刻として検出して、集団行動の自動セグメンテーションを行う。2.4 で詳細な手法を述べる。

2.2 合成加速度データの Wavelet 変換

Wavelet 変換処理を行う前に 0.05 秒ごとの 3 軸加速度データを 1 秒ごとの平均合成加速度に変換する。子どもの活動を記録する際は子どもの右腰に 3 軸加速度センサを装着させている。3 軸加速度センサの X 軸は子どもの前後の加速度、Y 軸は子どもの上下の加速度、Z 軸は子どもの左右の加速度を計測している。子どもの右腰につけたセンサは子どもが激しい活動をしたり、寝転んだりなどをするにより、傾くことがある。これにより、通常は Y 軸のみで計測されていた重力加速度が X 軸、Z 軸の加速度データに影響を与えて、子どもの活動を正しく計測することは困難になる。そこで、合成加速度に変換することで重力加速度の影響がない、子どもの活動を記録したデータとする。また、1 秒ごとの平均合成加速度にすることでデータ数が小さくなり、処理時間を大幅に削減することができる。

図 2 はある子どもの活動を記録した 0.05 秒ごとの 3 軸加速度データを 1 秒ごとの平均合成加速度に変換したものである。縦軸が合成加速度 [G]、横軸が時間である。

合成加速度に変換した後で Wavelet 変換を行う。Wavelet 変換とは時間情報と周波数情報を解析できる手法である。Wavelet 変換は Wavelet 係数を変更することで既定関数の拡大縮小を行うので広い周波数領域の解析が可能である。子どもの活動を記録した加速度データは非周期的、非定常的な信号なので Wavelet 変換は有効な解析手法だといえる。

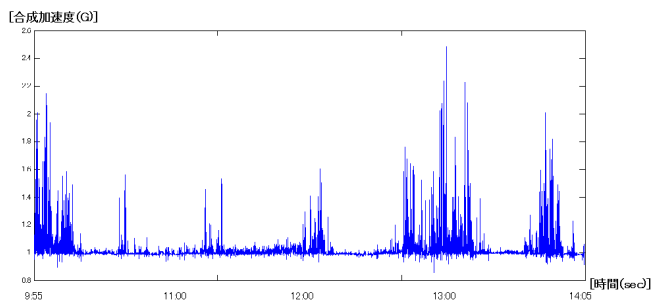


図 2: 1 秒ごとの平均合成加速度

図 3 はある子どもの 1 秒ごとの平均合成加速度データを Wavelet 変換したグラフである。横軸は時間軸、奥行軸は Wavelet 係数、縦軸は周波数成分の強さである。このグラフは Wavelet 係数の 1~20 までの周波数スペクトルを表示している。Wavelet 係数が小さいほど短時間での加速度データの変化を周波数スペクトルで表しており、Wavelet 係数が大きいほど長時間での加速度データの変化を周波数スペクトルで表している。

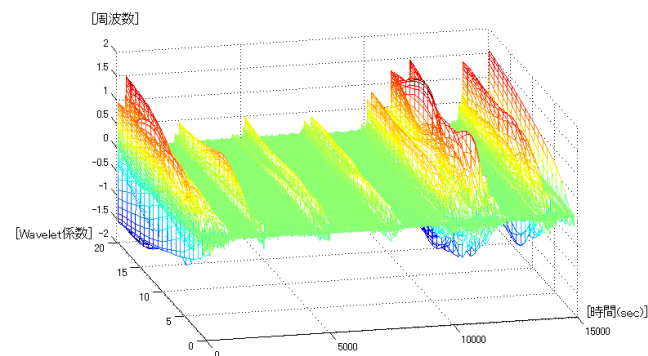


図 3: Wavelet 変換後の周波数スペクトル

2.3 活動の非類似度の算出

Wavelet 変換して得られた周波数スペクトルから活動の非類似度を算出する。「設定保育」、「昼食」といった子ども全員が同じ活動をしている集団行動は子どもごとの周波数スペクトルに違いがなく、逆に「自由遊び」、「リレー」といった子どもによって活動が異なる集団行動は子どもごとに周波数スペクトルが大きく異なっている。

これらの集団行動の特徴から、集団行動の切り替わった時刻を検出するために子ども全員の周波数スペクトルからすべての時刻の子どもの活動の違いを非類似度として算出する。非類似度を算出する方法としてユークリッド距離(式 1)を採用した。以下に子ども全員の周波数スペクトルからすべての時刻での子ども全員の活動の平均非類似度を算出する処理の手順を 1.~3. に分けて順に述べる。

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (i, j = 1, 2, \dots, 20) \quad (1)$$

1. 同じ時刻での子ども 2 人の周波数情報の非類似度をユークリッド距離で算出

子ども全員の中から 2 人を選んで、Wavelet 変換された周波数情報の中から同じ時刻での Wavelet 係数が 1~20 の周波数の非類似度をユークリッド距離で算出する。図 4 は非類似度の算出方法を簡単な図にしたものである。図 4 の A 君がおとなしい活動をしており、B 君は活発な活動をしている。非類似度を求めるためにはまず、2 人の周波数の差を求める。次に、周波数スペクトルの Wavelet 係数ごとの周波数成分の強さの差の累乗を求めて、その総和を求める。最後に、その総和の平方根を求めると非類似度を算出できる。非類似度は互いの周波数スペクトルに差がなければ 0 に近づき、互いの周波数スペクトルの差が大きいほど 0 から遠ざかる。

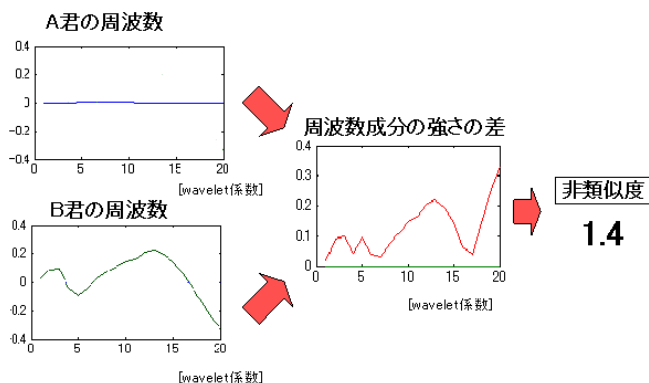


図 4: 非類似度の算出方法

2. 同じ時刻での子ども全員の平均非類似度を算出

子ども全員の組合せで同じ時刻の非類似度を算出して、その平均を算出する。これにより、同じ時刻での子ども全員の活動の違いを非類似度で表すことが出来る。表 1 は同じ時刻での子ども全員の組合せの非類似度をユークリッド距離で算出した一部である。

表 1: 子ども全員の組合せの非類似度の一部

	子ども A	子ども B	子ども C	...
子ども A				
子ども B	1.2			
子ども C	0.8	2.1		
...	...	...	...	...

3. すべての時刻の平均非類似度を算出

1 と 2 の処理をすべての時刻で行い、すべての時刻での子どもの活動の平均非類似度を算出する。図 5 はすべての時刻で子どもの活動の平均非類似度を算出したものである。縦軸が非類似度であり、横軸が時間である。非類似度が小さいほど子どもが同じ活動をしており、非類似度が大きいほど子どもが自由な活動をしている。

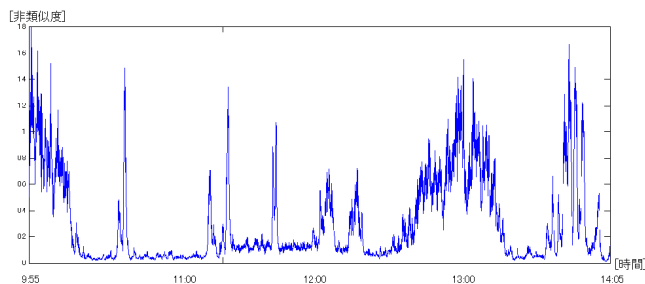


図 5: すべての時刻の平均非類似度

検出方法としては、0.3 以下の非類似度が 5 分以上続いている時間帯を検出して、最初の時刻と最後の時刻を集団行動が切り替わる時刻とする。観察記録から非類似度が 0.3 以下の時間帯で行われている集団行動は「設定保育」、「昼食」といった子どもの活動が同じ集団行動だということがわかっている。また、「自由遊び」は「設定保育」、「昼食」といった検出しやすい集団行動に挟まれているので「設定保育」、「昼食」の集団行動の開始時刻と終了時刻を検出することができれば「自由遊び」の開始時刻、終了時刻も検出できる。また、0.3 以下の非類似度が 5 分以上続いている時間帯を検出した理由は「リレー」のように自由に活動する、同じ活動をするを繰り返す集団行動と「設定保育」ように長時間子ども全員が同じ活動をする集団行動と区別するためである。図 6 の上のグラフは集団行動が切り替わった時刻を検出して集団行動の自動セグメンテーションを行ったものである。横軸は時間である。

図 6 の上のグラフから、集団行動が切り替わった時刻が短時間で連続している部分がある。これは、ある集団行動が終了してから異なる集団行動が始まるまでの時間帯を 1 つの集団行動として検出したからである。したがって、集団行動が切り替わった時刻が短時間で連続している部分を 1 つの集団行動が切り替わった時刻とする必要がある。集団行動が切り替わる時刻が短時間で連続している場合、その連続した集団行動が切り替わった時刻の平均時刻を算出して、1 つの集団行動が切り替わった時刻とする。図 6 の下のグラフは短時間で連続している集団行動が切り替わった時刻を 1 つの集団行動が切り替わった時刻としたものである。横軸は時間である。

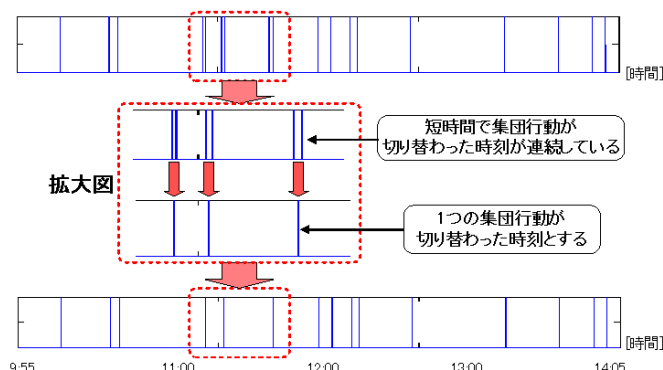


図 6: 集団行動の自動セグメンテーションの結果

2.4 集団行動が切り替わる時刻の検出

すべての時刻の平均非類似度から集団行動が切り替わる時刻を検出することで集団行動の自動セグメンテーションを行う。

### 3. 評価実験

#### 3.1 社会実験

本論文の提案手法の有効性を検証するため、社会実験を行った。社会実験の環境は以下の通りである。

- 場所：D 幼稚園
- 対象：5 歳児クラス
- 人数：30 名
- 活動記録時間：9:55 ~ 14:05
- 観測日：2008 年 12 月 11 日

本社会実験では株式会社日立製作所の 3 軸加速度センサ AirSense ロガーノード [日立] を子どもに装着させて行動の記録を行った。この加速度センサを右腰に装着した場合、X 軸は前後、Y 軸は上下、Z 軸は左右の加速度を 0.05 秒ごとに ±2 G まで計測する。3 軸加速度センサの重量は 36 グラム、寸法は高さ 53mm、幅 42mm、奥行き 16mm と子どもの行動に影響は無いものと考えられる。

以上の社会実験の環境でデータの取得を行ったが、3 軸加速度センサの不具合により 6 名の活動を記録した加速度データを失い、計 24 名の加速度データしか測定できなかった。以上の活動データから提案手法の評価を行った。

#### 3.2 提案手法の評価

本節では提案手法で得られた集団行動の自動セグメンテーションの結果を観察記録と比較することで提案手法の有効性を確認する。図 7 は観察記録と比較した集団行動の自動セグメンテーションの評価である。

観察記録で引かれた実線は観察記録で確認できた集団行動が切り替わった時刻である。提案手法で引かれた実線と点線は提案手法が検出した集団行動が切り替わった時刻である。実線は観察記録の結果と一致した集団行動が切り替わった時刻であり、点線は提案手法が誤って検出した集団行動が切り替わった時刻である。図 7 から、提案手法が誤って検出した 4 箇所以外は観察記録で確認できる集団行動の切り替わった時刻をすべて検出していることがわかる。

また、提案手法を的中率と包含率で評価する。的中率とは提案手法が検出した集団行動の切り替わった時刻の内、観察記録と一致した割合である。包含率とは観察記録で確認できた集団行動の切り替わった時刻を提案手法が検出した割合である。提案手法を評価した結果、的中率は 73%、包含率は 100% という高い精度を得ることができた。

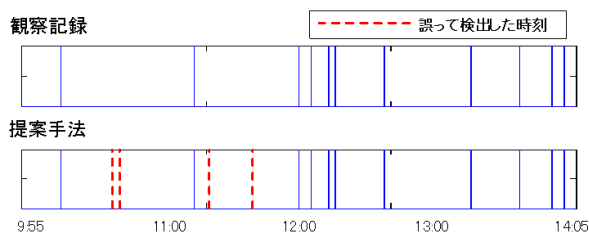


図 7: 集団行動の自動セグメンテーションの評価

### 4. 検討

#### 4.1 集団行動の自動セグメンテーション

図 7 から、提案手法は的中率 73%、包含率 100% という高い精度で集団行動の自動セグメンテーションを行えることがわかる。しかし、的中率は包含率と比べると若干であるが低い。提案手法的中率が 74% であった理由は、「設定保育」中の短時間の活動の変化まで検出したからと考えられる。「設定保育」は基本的には非類似度が低い集団行動である。しかし、「設定保育」中に踊りや子ども達の場所の移動といった非類似度が高い活動を行うことがあり、提案手法では非類似度が低い集団行動中の活発な活動を検出する問題がある。この問題を解決するためには、提案手法よりも詳細に非類似度の変化から集団行動の切り替わった時刻を検出する必要がある。また、クラス分類の結果から、隣の集団行動が同じ集団行動と判定された場合には 1 つの集団行動としてまとめることができる。

#### 4.2 実験データの不足

本論文で提案した手法の有効性を評価するための問題点として実験データの不足が挙げられる。1 日分のデータだけでは提案手法を評価しきれない。また、今回実験をさせて頂いた D 幼稚園以外の幼稚園でも実験データを取得する必要がある。これは幼稚園が違えば行われている集団行動も集団行動の時間の長さも異なっており、別のある幼稚園では D 幼稚園で行われていない「朝礼」という集団行動があることがわかっている。

### 5. まとめ

本論文では 0.05 秒ごとに記録できる 3 軸加速度センサを子どもの装着させて子どもの活動を記録して、得られた時系列の加速度データから集団行動の自動セグメンテーションを行う手法を提案し、検証を行う。この手法はまず、子ども全員の加速度の時系列データを Wavelet 変換して周波数スペクトルにする。次に、その周波数スペクトルから同じ時刻での子ども全員の活動の非類似度を算出する。最後に活動の非類似度から集団行動が切り替わった時刻を検出して、集団行動の自動セグメンテーションを行う。

提案手法の集団行動の自動セグメンテーションを評価した結果、的中率 73%、包含率 100% という高い精度を得ることができた。この精度は、子どもの集団行動の分析手法のもう 1 つの処理であるクラス分類を行う上で十分な精度であり、提案手法の有効性を証明することができた。

### 参考文献

- [木原 07] 木原真哉, 糖野亜紀, 新谷公朗, 芳賀博英, 金田重郎:活動量のクラスタリングに基づく子どもの交友関係の自動抽出, 情報処理学会第 69 回全国大会, 2M-6, 2007 年 3 月
- [柴田 08] 柴田征宏, 勝木琢也, 糖野亜紀, 新谷公朗, 芳賀博英, 金田重郎:活動量に基づく幼児の交友関係の抽出, 第 22 回人工知能学会全国大会, 3G3-8, 2008 年 6 月
- [今城 09] 今城和宏, 上坂和也, 柴田征宏, 芳賀博英, 金田重郎:RFID 及び加速度センサによる子どもの交友関係の自動抽出, 第 23 回人工知能学会全国大会, 2009 年 6 月発表予定

[日立] 株式会社日立製作所

<http://www.hitachi.co.jp/wirelessinfo/airsense/index.html>