

論文

スマートフォンを利用した 転倒検知率向上に関する研究

猪股 史也 諏訪 敬祐

近年、我が国では高齢化が進展しており、高齢者の健康をどのようにして守るかが大きな課題である。それに伴い、高齢者が安心して暮らせる社会の実現に向けて多種多様な見守りサービスが普及している。本研究では、高齢者の寝たきりの要因として挙げられる転倒に着目し、近年普及が進むスマートフォンを利用した転倒検知精度の向上を実現する。具体的には、センサを活用したアルゴリズムを実装したスマートフォンアプリケーションを開発した。転倒検知率を誤って転倒と判断してしまう「偽陽性」と、転倒を発見することができない「偽陰性」の二点から評価した結果、偽陰性の値は、0%となりすべての転倒を検知できた。偽陽性の値は1.5%となり、従来方式と比べると10%以上の精度向上となった。二つの値から求めた総合的な転倒検知率も、従来方式では最大93.2%であったが、本システムでは99.58%となり、従来の転倒検知サービスより高い精度で転倒を検出することが可能となった。

キーワード：高齢者・Android・転倒検知・加速度センサ・気圧センサ、ジャイロセンサ

1 はじめに

現在、日本は高齢化社会である。65歳以上の高齢者人口は過去最高の3079万人（前年2975万人）となり、高齢化率も25.1%（前年23.3%）となっている。今後は人口の減少も予想され、高齢者率は2060年には39.9%に達し国民の約2.5人に1人が65歳以上の高齢者となる社会が来ると推計されている [1]。健康と長寿を両立することが地域社会、国にとってきわめて重要な問題である。図1に高齢化率の実測値と推移予測を示す。

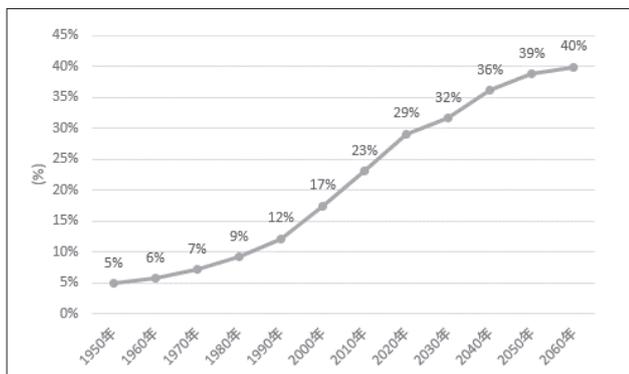


図1 高齢化率予測

高齢化社会では、高齢者の転倒が問題になっている。高齢者の転倒は死に至る「転倒死」や重大な障害を招き、寝たきりなどの介護が必要になる理由として挙げられる。2010年に厚生労働省が行った国民生活基礎調査の結果、脳卒中や認知症などの要因に続いて、転倒がワースト5に含まれている [2]。図2に介護が必要となった要因のグラフを示す。

転倒を防ぐことは困難であると考えられ、高齢者の転倒を速やかに、かつ正確に検出し大事に至る前に対策をとることが重要である。また、転倒は高齢者だけの問題ではなく、リハビリテーション患者におけるリスクとしても挙げられる。身体能力の低下だけではなく、身体機能に障害を持つ患者が事故に遭う事例も報告され、対策が必要であると考えられる。

本稿では、普及が進み今後は高齢者の所有率も上昇するとされるスマートフォンを利用し、搭載されている複

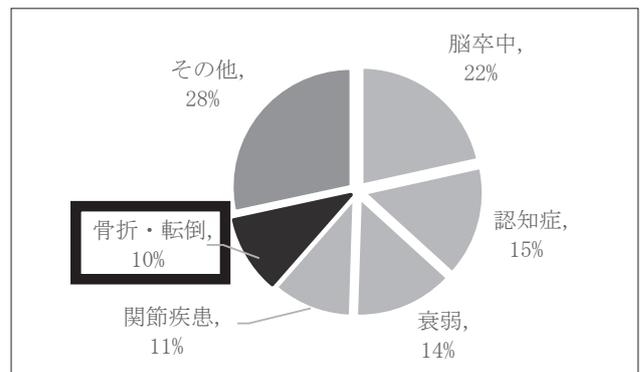


図2 介護が必要となった要因

INOMATA Fumiya
 東京都市大学大学院 環境情報学専攻 環境情報学専攻 2014年度卒業生
 SUWA Keisuke
 東京都市大学 メディア情報学部 情報システム学科 教授

数のセンサを活用して転倒検知と見守り機能を持つアプリケーションを開発する。複数のセンサを利用した転倒検知の手法を提案し、本システムにおける転倒検出率と既存の研究、サービスとの比較評価を行い本システムの優位性を明らかにする。

2 関連研究

2.1 既存転倒検知サービス

転倒検知に関する研究や製品は既に存在しており、専用端末を利用したものから、スマートフォンを利用したものまでサービスとして世間一般に知られている。だが、それぞれのシステムに長所と短所があり、市場を占める決定的なサービスというものは存在しない。表 1 に既存の転倒検知サービスを示す。

2.2 加速度センサを利用した見守り

一般的な転倒検知システムは加速度センサを利用し、衝撃を検知することで転倒を判断する。既存の転倒検知サービスにおいて最も用いられる手法である。転倒検知に関する様々なアルゴリズムが考案され、単純な衝撃だけではなく、落下時に検知できる無重力状態や、転倒後のセンサの値を利用するなど、様々な手法で精度向上を目指している。文献 [3] [4] では精度向上のために複数のセンサを組み合わせている。文献 [3] では、加速度センサとジャイロセンサを身に着けることで、加速度による衝撃の検知とジャイロセンサにおける転倒後の体勢を計測し転倒したかどうかを判断している。

2.3 従来サービスの問題点

単一のセンサを用いた転倒検知では、検出精度に大きな問題がある。検出精度を、転倒したことを検知できない「偽陰性」と誤って転倒と判断する「偽陽性」の 2

つの観点からみると、偽陽性によって誤検知の値が大きくなる傾向がある。偽陽性と偽陰性を抑制するために複数のセンサを使う手法があるが、専用機器が必要である等、実用化には至っていない。コストの面を考慮しても、無料のスマートフォンアプリケーションを利用したものは精度が低く、企業がサービスとして提供しているものは非常に高価であるという問題点が存在する。表 2 に既存サービスの問題点を示す。

2.4 スマートフォンを利用した転倒検知

本稿では、同様のセンサ類を搭載し、複数のセンサを利用できるスマートフォンに着目する。文献 [3] では加速度センサとジャイロセンサをそれぞれ装着する必要があったが、スマートフォンを用いた場合には一つの端末を装着することで複数のセンサを利用できる利点がある。文献 [4] では、加速度を利用した衝撃とジャイロセンサにおける角速度を計測することで転倒を検知するアプリケーションを開発し、偽陽性と偽陰性を検証する実験を行っている。スマートフォンを利用することは、複数のセンサを利用できるほか、高い携帯率や個人に特化したアルゴリズムを利用できる等の利点が存在する。

2.5 スマートフォンにおける転倒検知の問題点

スマートフォンを利用することは、端末の携帯率が専用端末に比べると高いことが期待でき、センサ類も豊富に搭載されている等の利点が多い。しかし、サービスとして配布されているアプリケーションは転倒検出精度に関して審査を受けたものではなく、検出精度に対する信頼性が低いという問題点が挙げられる。

表 1 転倒検知サービス

	使用センサ	特徴	課題
文献 [3]	・加速度センサ ・傾きセンサ	・高い検出精度 ・姿勢を判断	・専用機器が必要 ・複数の機器を装着
文献 [4]	・加速度センサ ・傾きセンサ	・Android アプリ	・誤検知が多い ・装着位置に依存
iFall	・加速度センサ	・Android アプリ ・要閾値の設定	・検出精度が低い
Fade	・加速度センサ	・Android アプリ ・加速度を記憶	・検出精度が低い

表 2 既存サービスの問題点

サービス・製品名	使用機材	価格 (税込)	見守り範囲	問題点
フィリップス緊急通報サービス	・ペンダント型 ・固定電話	・登録費 ¥2,057 ・月額 ¥4,093	・室内	導入コストが高く検知できない転倒がある。
Me マモーレ	・専用端末 ・携帯電話	・端末費 ¥43,200	・室内 ・屋外	導入コストが高く検知用端末と、送信用端末が必要。
iFall	・Android	・無料	・室内 ・屋外	精度が低い
Fade	・Android	・無料	・室内 ・屋外	精度が低い

3 提案手法

本研究では、スマートフォンに搭載された複数のセンサを利用して、現状の転倒検知の問題である検出精度、特に誤検知率の高さに着目し、解決を目指す。利用するのは、一般的なスマートフォンに搭載されている加速度センサとジャイロセンサ、そして今後の搭載端末の増加が見込まれる気圧センサを利用する。気圧センサは端末周囲の気圧を測定できるため、端末のある高低差を相対的に計測することができる。現在、気圧センサを搭載した端末は限られているが、Android 端末でサポートされており、センサの小型化、高性能化、低廉化が進むことで搭載端末の増加が予想される。また、本研究で取り扱う転倒として、転倒後に救助が呼べず、身動きの取れない状況を想定する。

収集されたセンサデータから転倒を判断するが、スマートフォン端末を用いた転倒検知の利点である携帯性の高さや個人に特化したサービスと既存サービスの検知率の高さを組み合わせたシステムを開発する。得られたデータを有効活用するために、転倒だけではなく被見守り者の状態を記録して見守りにつなげる。転倒検知に用いるセンサ処理の転倒判定フローを図3に示す。

誤検知を減らすために、転倒の衝撃ではなく、各センサの値を利用して転倒を判断する。転倒を定義するにあたり、倒れている状況は「歩行していない」という条件に該当する。「歩行していない」という状況下においても、立ち止まっている状況が考えられるので、体の向きの変化が生じたかどうか考慮しなければならない。もしスマートフォンを腿のポケットに入れている状況では、椅子に座った場合にも、向きの変化を検知してしまう。転倒と椅子に座った場合では、スマートフォン端末の落下距離に差が生じると考えられる。以上を考慮した上で、上記のアルゴリズムを考案した。提案アルゴリズムでは、加速度センサ、ジャイロセンサ、気圧センサの3種類を組み合わせて転倒検知を行う。処理の流れは①加速度

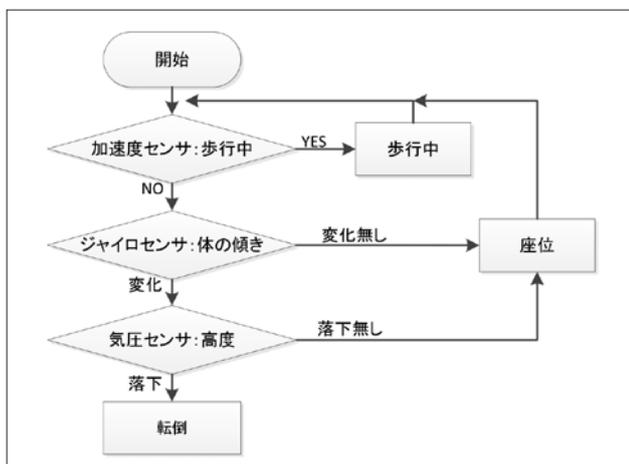


図3 転倒判定フロー

センサを使用して歩いているかどうかの判定②ジャイロセンサを利用した体の向きが変わったかどうかの判定③気圧センサを利用した高度の変化であり、各センサの処理は下記で述べる。

また、アプリケーションには高齢者の所持を促すような活動量計としての機能や、リアルタイムに見守りが可能なシステムも実装する。これは、高齢者だけではなく、リハビリテーション患者などの転倒のリスクが高い人全般に有効であると考えられる。

4 実装

アプリケーションは、サムスン電子及びGoogleが開発したAndroid搭載スマートフォン「Galaxy Nexus (SC-04C)」に実装した。この端末には従来の加速度センサとジャイロセンサに加えて気圧センサが搭載されており、端末周囲の気圧を計測することができる。表3に端末の仕様を示す。

システムの構成は見守り側と見守られ側が利用する開発アプリケーションを実装する端末2種とサーバである。アプリケーション間の通信はサーバを介して行われ、移動ログや転倒情報などを保存することができる。図4にシステム構成を示す。

4.1 加速度センサによる計測

従来の転倒検知システムは、加速度センサが検知する大きな加速度、すなわち転倒などの素早い動きの有無のみで判断を行っていた。素早い動きの有無のみでの判断は誤検知が発生する最も大きな要因である。本研究では

表3 Galaxy Nexus仕様

機器名	OS	CPU
SC-04C	Android 4.2.2	1.2GHz

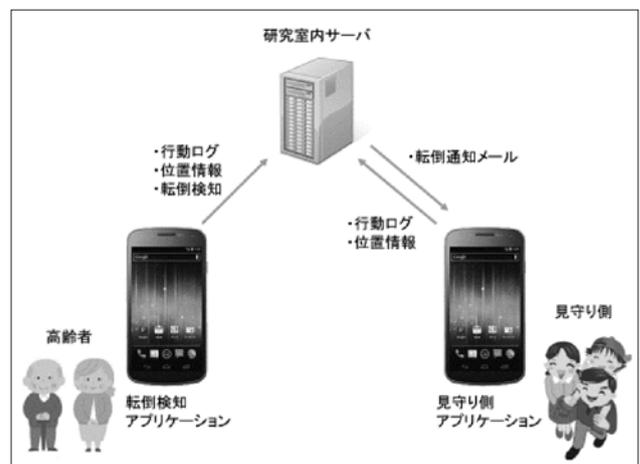


図4 システム構成

加速度センサは歩行しているか歩行していないかだけの判断を行う。ここで G_x, G_y, G_z は x 軸, y 軸, z 軸のそれぞれの加速度である。また、スマートフォン端末の向きに依存せず加速度を検知するために (1) の式を使って合成値を算出する。

$$|r| = \sqrt{|G_x|^2 + |G_y|^2 + |G_z|^2} \quad (1)$$

得られた合成値 r は歩行していない停止状態であれば、重力加速度は約 $9.8m/s^2$ を示し、歩行時には規則的に上昇下降を繰り返す。そこで、停止中を判定するために、 9.8 ± 1 を閾値とし 2 秒間一度も閾値を超えなかった場合に停止中と判断する。

4. 2 ジャイロセンサによる測定

ジャイロセンサの判定では、体の向きが変化したかどうか調べる。スマートフォンに搭載されているジャイロセンサ、及び傾きセンサでは端末の向きを Pitch と Roll の二つの値で測定することが出来る。Pitch は端末上部が向いている位置、Roll が端末横が向いている位置であり、 $-180 \sim +180$ で示される。転倒が発生した場合には、歩行中と比べるとスマートフォン端末の向きに変化が生じる。具体的には図 5 のようにスマートフォンを身に着けていた場合には、転倒が発生すると Pitch と Roll が以下のように考えられる。

このように、歩行を検知している時と端末の傾きを比べることで、体の状態をある程度把握することが可能である。歩行しているかどうか、歩行していなければ体の向きに変化があったかどうかという流れで処理を行う。

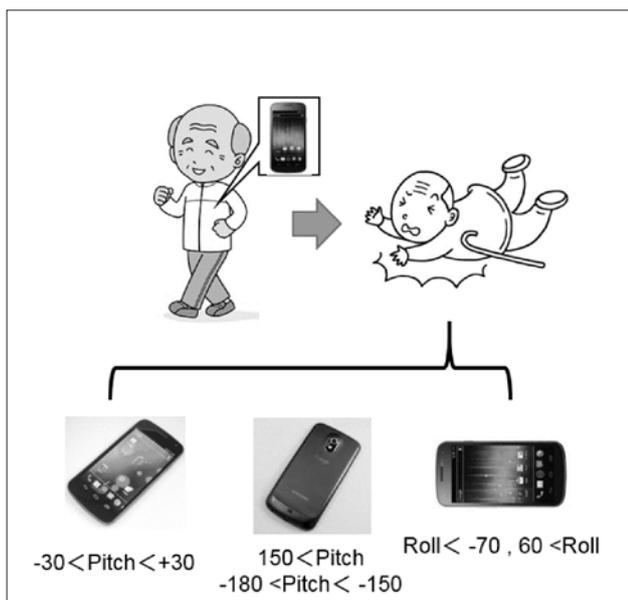


図 5 転倒時のジャイロセンサ

4. 3 気圧センサによる測定

気圧センサによる端末高度の判定を行う。加速度センサによる停止とジャイロセンサによる体の向きの変化を計測した後、端末の位置が下へ移動したと判断された場合にアプリケーションは転倒を検知する。センサデータの処理として、取得したデータに誤差が多くノイズの除去が必要であった。ノイズ除去の方法として、一定数のデータの平均を算出する方法と、移動平均を用いた方法があり、評価実験の実験①と実験②でそれぞれ用いる。単純平均法によるノイズ除去の結果を図 6、移動平均法におけるノイズ除去の結果を図 8、移動平均法と単純平均法における違いを表 4 に示す。

50 件毎に得られた平均が橙色で示されたものである。ノイズ除去の効果が高く、高低差の変化がない場合には、グラフにも変化が殆ど現れなかった。しかし、精度は向上したが、50 件のデータを取集するまでに 3 秒ほどかかるため、転倒の状況によっては、落下を検知できない可能性がある。図 7 に単純平均処理から得られた高低差で生じる気圧差を示す。

気圧センサによる判断は、ノイズ除去を行い得られた

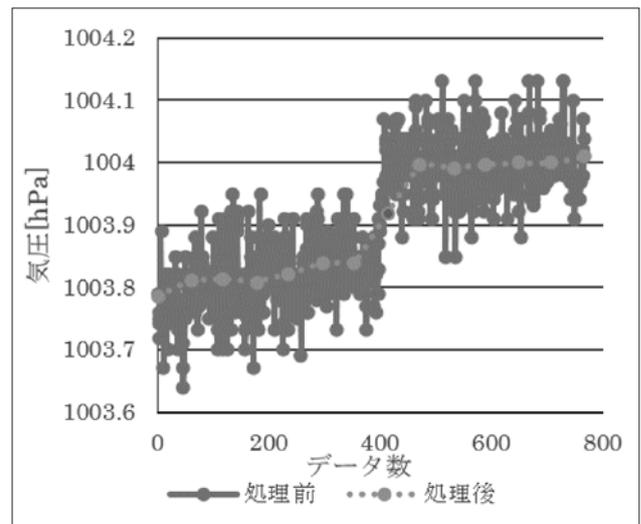


図 6 単純平均処理

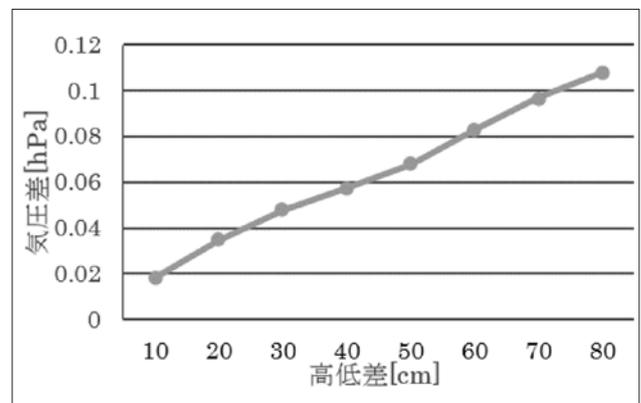


図 7 高低差で生じる気圧差

データを、前後で比べることで気圧の変化を読み取り、落下や上昇などの状態を判断する。図6のように単純平均を用いた場合には値間の間隔が広くなり、前後の値の大きさが明瞭になるので、落下判定の精度が高くなる。反面、次の値を取得する際に2～3秒ほど時間を要するので、リアルタイムの落下判定には向かないと考えられる。移動平均を用いた場合には、値間の間隔が狭くなるので、リアルタイムに落下したかどうかの判定が行える。しかし、単純平均に比べると、値間の大きな変動を検知することが難しいので、落下判定の精度が低くなる。図1のフローを用いた実験で単純平均によるノイズ除去を用い、その他の実験ではリアルタイム性の高い、移動平均を用いたノイズ除去を利用する。また、気圧センサの高度差における気圧の関連性の実験を行った結果、10cmあたり約0.017hPaの気圧変化が計測できた。得られる気圧変化グラフは、状態を①落下前②落下中③落下後の3つに区別することが出来る。①落下前と②落下後で、上記のグラフの結果が得られる為、②落下中の値で上記のグラフの半分の値が計測できた場合に落下と判断することが出来る。よって、50cmの落下検知においては約0.06hPaの気圧変化なので、0.03hPa以上の気圧変化が検知できた場合に落下と判断する。落下の判断は50cm以上の落下を検知した場合とし、各センサと並行して利用する。

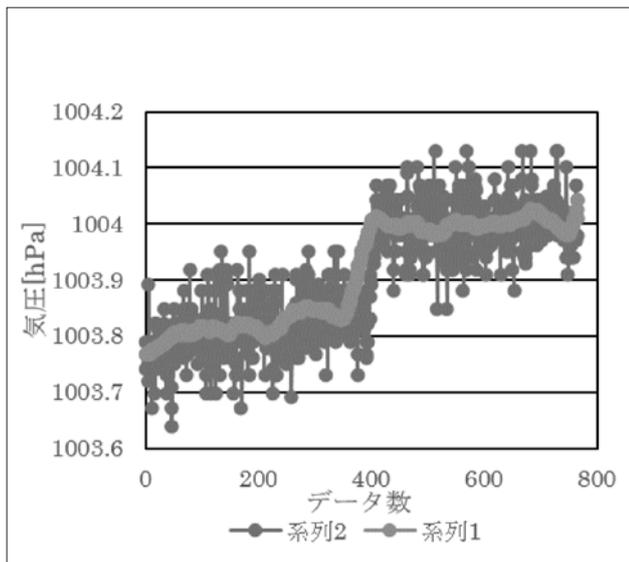


図8 単純平均処理

表4 平均処理の違い

	単純平均法	移動平均法
処理の間隔	約3秒	約0.06秒
精度	高い	低い

4.3 Android アプリケーション

開発したアプリケーションは、見守られる側が利用する「FallDetection」と見守り側が利用する「MimamoriView」の二種類である。各アプリケーションの処理の流れを、図9と図10に示す。

「FallDetection」では、三種類のセンサを利用して転倒検知を行う、カロリー計算、移動ログの表示が可能であり、転倒を検知した際はポップアップで通知が行われ、反応がなかった場合には事前に設定したメールアドレスへ転倒の通知を行う。インタフェースを図11に示す。「MimamoriView」では、リアルタイムで「FallDetection」をインストールしたアプリケーションの場所を表示することができる。図12にインタフェースを示す。本アプリケーションの起動はインタフェースから行えるが、高齢者の利用を見据えて自宅から離れた場合にも見守りがスタートする。「ON」のスイッチを押すと各種センサが起動し、見守りが開始され位置情報がサーバへ保存される。「View」ボタンを押すことで、見守られ側のアプリケーションでも位置情報のログを見ることができる。「Fall」ボタンは試験段階で利用した、擬似的に転倒状態を発信できるスイッチである。画面上には各種センサの値が表示され、Googleマップには現在位置が表示される。見守り側のアプリケーションでは上記のように、位置情報から移動ログと現在位置を見る

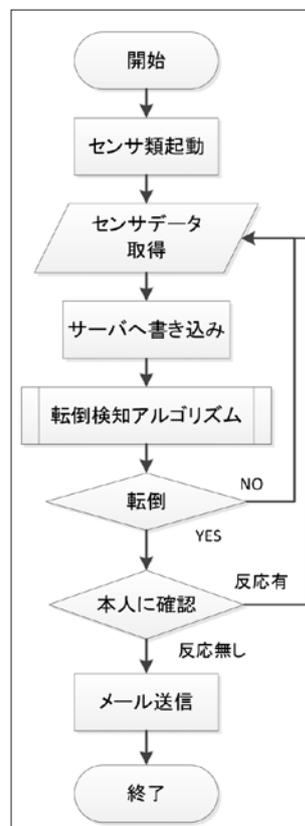


図9 FallDetection

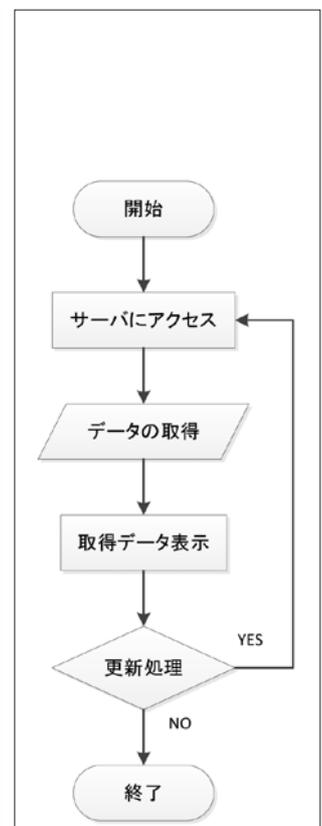


図10 MimamoriView



図 9 FallDetection
インタフェース



図 10 MimamoriView
インタフェース

ことが可能である。「更新」ボタンを押すたびにサーバにアクセスし、位置情報から行動ログを更新する。「ログ削除」ボタンはサーバに保存されている位置情報を削除することができる。このように見守り側のアプリケーションからはいつでも見守りを行うことが可能である。

5 評価実験

5.1 評価手法

提案手法を利用したアプリケーションと、一般的に用いられている加速度センサのみで行われる転倒検知、文献 [3] で利用された加速度センサとジャイロセンサを用いた転倒検知の 3 つのアプリケーションを同一の端末にインストールし、偽陽性と偽陰性の評価を行い、総合的な検出率を評価する実験①を実施した。また、提案したセンサの利用フローの有用性を検証するために、3 種類のセンサを処理の順番を入れ替える実験②も実施した。偽陽性を評価するために、被験者は図 13 のように端末を身に付けて 10 分間普段の生活で起こり得る動作を行い、誤って検出される転倒データを収集した。図 14 が偽陰性の実験であり、歩いている状態から床に倒れる動作を行い正しく転倒を検知できるかの実験で評価した。



図 13 装着位置



図 14 実験の様子

表 5 実験①の評価結果

	偽陰性	偽陽性	総合検出率
提案方式	0%	1.5%	99.25%
従来方式 B	2.84%	11.2%	93.2%
従来方式 A	14.0%	14.6%	85.7%

5.2 評価結果・考察

実験①の評価結果を表 5 に示す。偽陰性は発生した転倒を検知できなかった場合であり、偽陽性は誤って転倒を検出した場合である。総合検出率は偽陰性と偽陽性の値から求める。加速度のみで判定する従来方式 A では、倒れる方向によって検知できない場合があり偽陰性が高くなっている。文献 [4] による検出では 11.16% 改善され、3 つのセンサを組み合わせた提案方式では確実に転倒を検出することができた。

偽陽性においては従来方式 A と従来方式 B において、共に 10% を超える偽陽性であったが、提案方式では 1.5% に抑えることができた。総合検出率を比較した場合においても、従来方式 A と従来方式 B と比較するとそれぞれ、13.5% と 6.05% の精度向上という結果になった。これはセンサを増やしたことによる、「偽陽性」の値の低下、すなわち誤って転倒と判断することが従来方式に比べて圧倒的に減少したことが挙げられる。これは、転倒の判断に至るまでに、従来方式の 1 つと 2 つのセンサ数と違い、3 種類利用していることが最も大きな要因であると考えられる。判定基準のセンサが増え、条件が厳しくなったことで、「偽陽性」評価においては効果が高いことが明らかになった。図 15 に偽陽性を比較したグラフを示す。

実験②においては、3 種類のセンサの処理の順番を入れ替えた 6 パターンの実験を行った。表 6 に実験結果を示す。実験②を行うに当たり、加速度センサの処理を移動平均法へ変更した。これは図 1 のフローの順番を入れ替えるに当たり、気圧の次の処理に素早く移るためのものである。

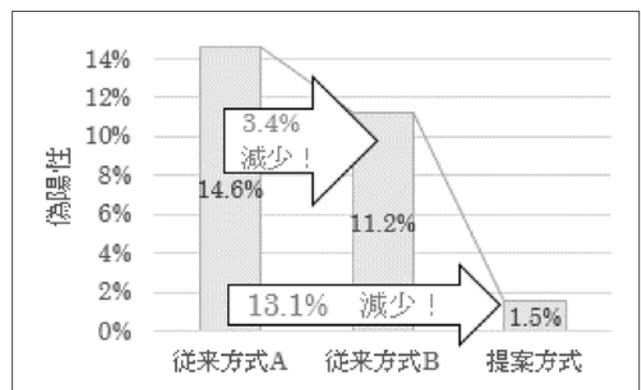


図 15 偽陽性比較

表 6 実験②の結果

順番	偽陰性	偽陽性	検出率
加⇒傾⇒気	0%	0%	100%
加⇒気⇒傾	0%	0%	100%
傾⇒加⇒気	0%	0%	100%
傾⇒気⇒加	0%	1%	99.5%
気⇒加⇒傾	0%	0%	100%
気⇒傾⇒加	0%	0%	100%

注) 加：加速度センサ 傾：ジャイロセンサ 気：気圧センサ

提案アルゴリズムとセンサの処理の順番を入れ替えた結果、どの順番での提案アルゴリズム以上の転倒検知率となった。転倒を検知できない「偽陰性」に関しては共に0%であったが、センサの処理の順番を入れ替えた際に「偽陽性」に変化が現れた。提案方式では1.5%あった値が、センサの処理を入れ替えた場合に0.16%にまで減少した。これはセンサの処理の順番を入れ替えたことより、加速度センサの判定を移動平均にすることにより、リアルタイム性が増したことが要因であると考えられる。本アプリケーションでは、常にセンサで値を取得し続けていて、加速度センサとジャイロセンサはほとんど同タイミングで判定していたが、提案アルゴリズムでは最後の処理である気圧センサが、落下の判定するのに時間を要していた為、このような結果となったと考えられる。しかし、3種類センサすべてがリアルタイムで判定を行えることで、順番を入れ替えてもすべてのパターンで同じ結果になったと考えられる。提案アルゴリズムとセンサの順番を入れ替えた際の総合検出率の比較グラフを図16に示す。

結論として、3種類のセンサを利用した転倒検知を考慮した場合、本研究の結果から全てのセンサでリアルタイム性の高い判定を行い、3種類のセンサによる3つの判定がすべて真になった場合が最も転倒検出精度が高い最適なセンサ処理と考えられる。イメージとしては、図17の状態になった場合が転倒である。

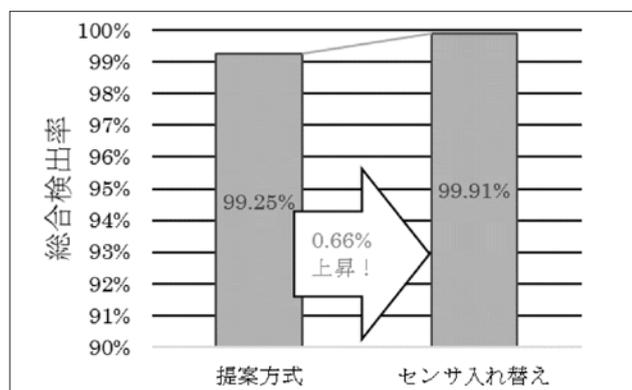


図 16 総合検出率比較

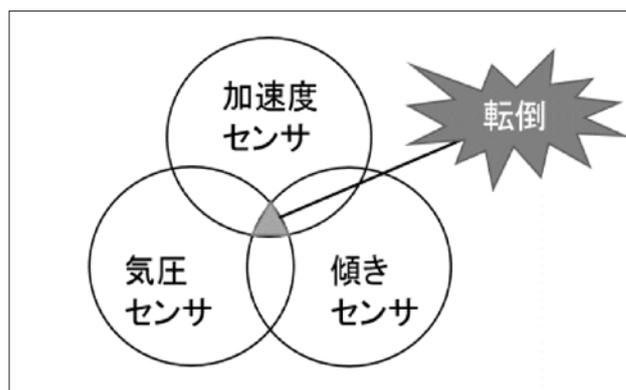


図 17 最適処理

表 7 既存サービスとの比較

サービス・製品名	転倒検知後の処理	通知方法	価格(税込)	検出精度
本システム	・警告音 ・第三者へ通知	・電話 ・メール ・移動ログ	・無料	99.58%
フィリップス緊急通報サービス	・警告音 ・第三者へ通知	固定電話を介した通話	・登録費 ¥2,057 ・月額 ¥4,093 ・救助 ¥10,286	95%以上
Me マモーレ	・警告音 ・第三者へ通知	専用端末を介した通話	・端末費 ¥43,200	-
iFall, Fade	・警告音 ・第三者へ通知	・電話 ・メール	・無料	-

本研究では3種類のセンサを判定に利用したが、ウェアラブルで利用できるセンサの種類は多く、今後も普及が進むと考えられる。センサを増やし、最適な処理を行うことで、より高精度の転倒検知が可能であると考えられる。表7に、本システムと関連サービスの転倒検知精度と使用を比較したものを示す。

6 付加機能の検討

専用機器を利用した高齢者の見守りにおいては、高齢者が忘れずに機器を身に着けなければいけないという問題がある。本システムにおいては、高齢者が積極的に端末を身に着けるようになる付加機能の追加を行った。Android4.4から実装された機能による万歩計の実装、さらに消費カロリーの計算を加えることで、健康促進の意識づけを促進している。

アプリケーションの起動や停止といった動作を逐一行うことは高齢者にとって大きな負担になると考えられる。そこで、近年普及が進むiBeaconを利用した、範囲を設定することで、屋外に端末を持って行った際に



図 18 総合検出率比較

アプリケーションが自動起動し、帰宅すると自動的に見守りを終了する。実用化の際には高齢者にかかる負担を減らすことが可能である。図 18 に iBeacon の利用イメージを示す。

また、サーバにスマートフォンの GPS 情報を記録することで、第三者からリアルタイムでの見守りが可能であるほか、データ量が豊富であれば転倒位置などをサーバに保存することで、転倒の恐れがある場所などの推測が可能になる。

6 おわりに

本研究では、スマートフォンを利用した転倒検知アプリケーションを構築し、考案したアルゴリズムにおける転倒検知アプリケーションの検出精度の評価をした。提案手法においては、単一のセンサにおける閾値を利用した転倒検知ではなく、3種類のセンサの閾値を組み合わせることで、転倒検知における偽陽性を抑えることができ、検証実験の結果から検出精度が向上できることが明らかとなった。

表7のように既存の転倒検知サービスと比較しても、スマートフォンを利用した既存のサービス以上の検出精度となり、スマートフォンを利用する利点である、専用機器を使う必要のない高い携帯性と速やかな第三者への通知システムを融合することができた。既存の有料転倒検知サービスと比較しても、検出精度は同等以上になり初期費用や維持費に掛かるコストを抑えることができた。また、既存システムでは搭載されていなかったに活動量計としての機能や、リアルタイムで現在位置と移動ログを見ることが可能なシステムを構築することで、より総合的な見守りサービスとなると考えられる。

今後は、実用化のために高齢者の見守りへの特化だけではなく、同様に転倒のリスクが高いリハビリテーション患者や徘徊老人にも応用できるより総合的な見守りサービスの実現を目指す。また実用性の向上のために利

便性の高いインタフェース設計やサーバサイドとの連携、見守りに繋がる新機能の実現に向け研究を進めていく。

謝辞

本研究の遂行にあたり、ご指導を賜りました東京都市大学大学院環境情報学研究科、大谷紀子准教授、奥平雅士教授に心より御礼の言葉を申し上げます。また、被験者として本研究に協力してくださった高齢者の皆様、本学の学生の皆様に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 内閣府 平成 26 年度高齢者白書 p2 2014
- [2] 厚生労働省 国民生活基礎調査 2010
- [3] Qiang Li, John A. Stankovic, Mark Hanson, Adam Barth and John Lach, "Accurate, Fast Fall Detection Using Gyroscopes and Accelerometer-Derived Posture Information", Wearable and Implantable Body Sensor Networks, 2009. BSN 2009. Sixth International Workshop on, pp138-143 (2009) .
- [4] Jiangpeng Dai, Xiaole Bai, Zhimin Yang, Zhaohui Shen, and Dong Xuan. "PerFallID: A Pervasive Fall Detection System Using Mobile Phone", Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops), 2010 8th IEEE International Conference on, pp292-297 (2010) .