

「スマートフォン搭載加速度センサーを使用した簡易地震計システムの提案」

澤本 潤（ソフトウェア情報学部、教授）

緊急地震速報的中率は60%程度で、この精度は地震計の設置密度（全国で1000箇所）に依存している。スマートフォンには3軸加速度センサーが内蔵されており、これを地震計として利用することで観測点数を飛躍的に増やし市区町村の初動対応や住民の自助・共助を支援することを提案する。この課題の解決に向け、スマートフォンなどの加速度センサー搭載機器を利用しその位置の正確な震度を計測し地域で共有するシステムの開発を行う。

1 研究の概要

緊急地震速報的中率は60%程度で、この精度は地震計の設置密度（全国で1000箇所）に依存している。しかし、このような震度情報はあくまで観測点が設置された地点固有の情報であり、その地域を代表するものではない。地域住民と直接的にかかわる市区町村の初動対応において、また住民の自助・共助において市区町村内の詳細な震度分布を地震発生後できるだけ早く把握することは極めて重要であるとされている[1]。

スマートフォンには3軸加速度センサーが内蔵されており、これを地震計として利用することで観測点数を飛躍的に増やすことを提案する。スマートフォンで測定した加速度成分を分析することにより得られる地震波から、その位置の正確な震度を知ること適切な避難誘導を促し、後に避難者の行動経路も追跡可能とすることができる。この課題の解決に向け、スマートフォンなどの加速度センサー搭載機器を利用し、統計的な地震波形の分析からその位置の正確な震度を計測し地域で共有するシステムの開発を行う。

2 研究の内容

① 地震検知機能の開発

数種類のスマートフォンを使って、加速度

データの取得および加速度データ更新機能を実装する。この機能をベースに地震を検知し、最大加速度、計測震度を計算・表示する機能を開発する。さらに、多数のスマートフォンから得た位置情報と地震情報をデータベースに集積し、地図上にその場所の計測震度、継続時間等の表示を行う機能の開発を行う。

② 機能評価の実施

地震検知に関する機能部の評価として、加速度更新部、地震検知部、DB更新部、地震情報の送信部に分けてそれぞれの機能評価を実施する。また、スマートフォンの地震情報管理システムで記録したデータが正しくサーバに蓄積されて、PCもしくはスマートフォンにより地図上に地震情報の表示が行え、情報共有できることを確認する。

2.1 地震検知機能の開発

2.1.1 地震検知機能(地震計アプリ)の概要

図1に、スマートフォンに搭載された地震検知機能(地震計アプリ)の概要を示す。また、表1に個々の要素機能の説明を加速度データからの震度計算処理の流れとして示す。

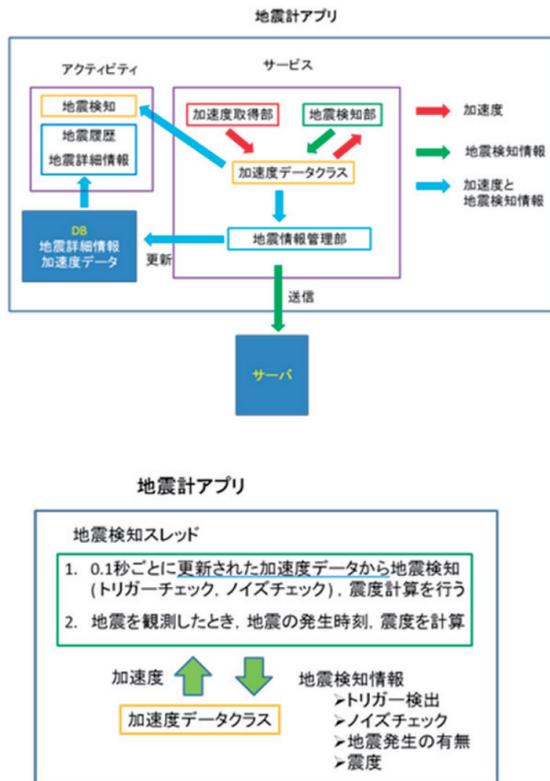


図 1：地震検知機能の概要

表 1：地震検知の要素機能

機能分類	概要	機能名
初期化機能	各クラスのインスタンス化やスレッドの作成などの初期化を行う	スレッド作成機能
		加速度データ保存メモリ確保機能
地震情報管理機能	地震データの DB 管理、送信を行う	DB 更新機能
		地震情報送信機能
加速度データ更新機能	加速度データの更新と、データ更新時間の取得を行う	加速度データ更新機能
		加速度データ格納先更新機能
		加速度データ更新時間取得機能
地震検知機能	地震検知と震度計算を行う	地震検知初期化機能
		加速度データ取得機能
		トリガーチェック機能
		ノイズチェック機能
		震度計算機能
	地震検知情報設定機能	

以下に、地震検知機能についてその詳細を表 2 において説明する。

表 2：地震検知機能

機能名	機能説明
地震検知初期化機能	加速度データが 10 秒分以上溜まるまで地震検知の実行を待機する
加速度データ取得機能	加速度データクラスから更新されたデータを取得する
計算加速度値更新機能	地震検知で計算したフィルタリング後の加速度値と加速度合成値を、加速度データクラスに格納する
トリガーチェック機能	加速度データに地震と思われる波形パターン(トリガー)がないかフィルタリング後の加速度の 3 成分合成値 (mgal) を規定の閾値と比較してチェックする
ノイズチェック機能	トリガーが検出されたとき、ノイズかどうかを周波数、ゼロクロス回数、継続時間から判定する
震度計算機能 (計測震度)	ノイズチェックの結果、地震と判定されたとき、その震度をトリガーチェックで算出した加速度合成値から計算する
地震検知情報設定機能	加速度データクラスに、トリガーチェックとノイズチェックの結果、および地震の観測時刻、震度情報を渡す

「計測震度」とは、地震動の強さを表す指標として、次の算式により算出した値をいう [2]。

1. デジタル加速度記録 3 成分 (水平動 2 成分、上下動 1 成分) のそれぞれのフーリエ変換を求める。
2. 地震波の周期による影響を補正するフィルター (周期の効果を表すフィルター、ハイカットフィルター、ローカットフィルター) を掛ける。
3. 逆フーリエ変換を行い、時刻歴の波形にもどす。
4. 得られたフィルター処理済みの 3 成分の波形をベクトル的に合成する。
5. ベクトル波形の絶対値がある値 a 以上となる時間の合計を計算したとき、これがちょうど 0.3 秒となるような a (gal) を求める。
6. 5. で求めた a を、 $I = 2 \cdot \log_{10} a + 0.94$ により計測震度 I を計算する。計算された I の小数第 3 位を四捨五入し、小数第 2 位を切り捨てたものを計測震度とする。

2.1.2 アプリの初期化と地震情報の管理の動作
 図2に地震計アプリの初期化と地震情報の管理の動作の概要を示す。表3に地震情報管理機能について説明する。

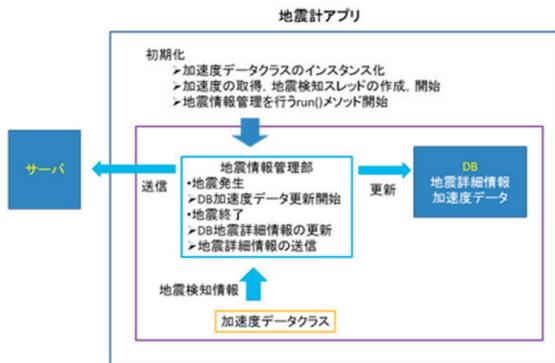


図2：地震計アプリの初期化と地震情報の管理の動作

表3：地震情報管理機能

機能名	機能説明
DB更新機能	加速度データから地震検知情報を参照し、適宜DBの更新を行う ▶ 地震発生：5秒前のデータから加速度データのDBへの追加を開始 ▶ 地震終了：地震詳細情報をDBに追加する。またこの時点から5秒後まで加速度データをDBへ追加する。
地震情報送信機能	ユーザがログイン状態である時、地震終了のタイミングで地震情報をXML形式で送信

2.1.3 加速度データの詳細および加速度データ更新機能

加速度データの詳細につき、図3および表4に示す。また、加速度更新機能につき、図4および表5に示す。

加速度データクラスのメンバ

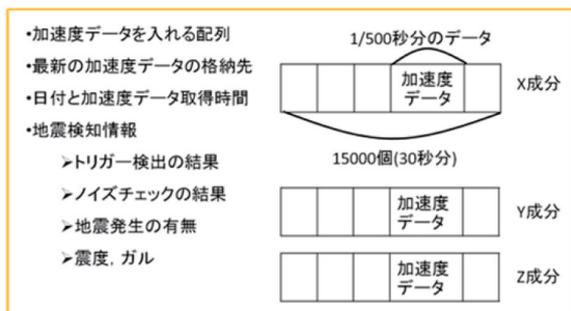


図3：加速度データクラス

表4：加速度データの詳細

格納する値	備考
加速度値	30秒分のデータ数分メモリを確保する。500Hzの場合は15000
最新の加速度値の格納先	0~(データ数1)
観測日時	
トリガー検出結果	true: トリガー検出 false: トリガー未検出
ノイズチェックの結果	1: ゼロクロス回数が設定値未満 2: 継続時間が設定値未満 3: 周波数が設定値より高い 0: ノイズチェック通過
地震発生の状態	true: 地震発生中 false: 地震無し
ガル	震度計算に用いた3成分合成加速度値
震度	計算震度
震度階級	1~4, 5弱, 5強, 6弱, 6強, 7
警報レベル	設定画面で設定した警報レベル

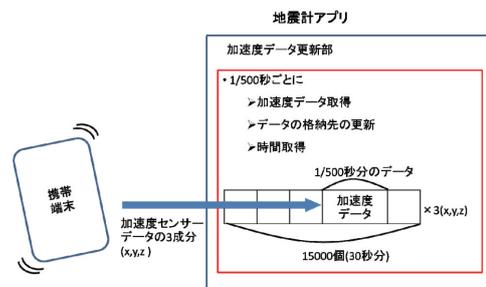


図4：加速度データ更新部の動作

表5：加速度データ更新機能

機能名	機能説明
加速度データ更新機能	加速度センサーの値を取得し、加速度データクラスのメンバの配列に格納する。 全ての配列に値が入っている場合、古いデータの入った配列に新しいデータを入れていく。
加速度データ格納先更新機能	配列のなかで一番新しいデータが入っている配列の番号を更新する。
加速度データ更新時間取得機能	一番新しい加速度データを更新した時間を取得する。

2.2 地震検知情報表示機能

図5は、スマートフォンでの地震検地時の画面表示例を示す。加速度センサ値については、X,Y,Z軸の加速度値 (gal) を表示する。地震検知状態として、「トリガー検知」、「地震発生中」など地震検知状態を表示する。また、「観測地震加速度記録中」として最後に送信した地震情報のXML情報を表示する。



図5：地震検知情報スマートフォン表示画面例

2.3 地震詳細情報の表示機能

図6に、地震の詳細情報表示画面例を示す。震度、震度階級、gal、観測日、地震継続時間、位置情報、警報、警報レベル、データ数などを表示する。ここで、データ数はDBに記録されている加速度のデータ数を表示する。また、データ出力では、K-NET[3]のツールで確認できる形式で地震情報をSDカード上の指定した場所に保存する。



図6：地震詳細情報スマートフォン表示画面例

2.4 地震情報の共有機能

図7に、PC上でのgoogleMAPを使った地震情報の共有画面例を示す。複数のスマートフォンからの地震情報がPCサーバに蓄積されていき、地震発生日時前後15分間に検知された地震の数を表示したり、最新に検知した地震情報(10件)を表示することができる。また、検索機能により、日付指定開始日から日付指定終了日まで、かつ検索震度以上の地震情報を検索した地震一覧として表示する機能も提供されている。

市区町村内での詳細な震度分布を共有することによって、市区町村の初動対応に役立てることが可能となると考えている。また住民の自助・共助による地震時の対応においても市区町村内の詳細な震度分布を地震発生後できるだけ早く把握することは極めて重要であるとされている。

3 これまで得られた研究の成果

これまで得られた成果として、地震検知に関する機能部の評価として、加速度更新部、地震検知部、DB更新部、地震情報の送信部に分けてそれぞれの機能評価を実施した。また、スマートフォンの地震情報管理システムで記録したデータが正しくサーバに蓄積されて、PCもしくはスマートフォンにより地図上に地震情報の表示が行えることを確認した。ここでは、地震検知部の評価について述べる。

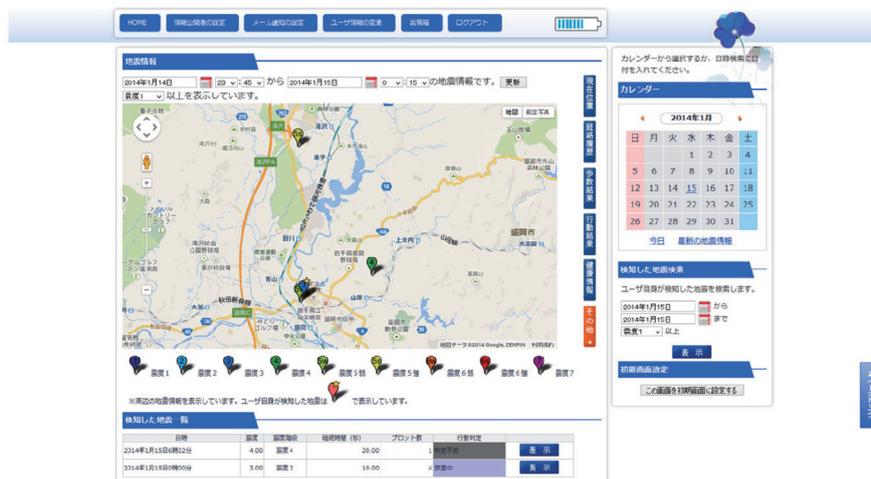


図7：地震情報のPC共有画面例

3.1 評価環境

使用機器：

- SonyEricsson XPERIA IS12S Android4.0.4
- SamsungGALAXYNote II SC-02E android4.1.1
- SharpAQUOS PHONE ZETA SH-6E android4.2.2

評価環境：

- JavaSE DevelopmentKit7 update5
- AndroidSDK
- EclipseIDE for Java Developers

3.2 地震検知部の評価

3.2.1 トリガー基準値の適正值評価

トリガー基準値の範囲を変更しながらアプリを動作させ、防災科学技術研究所 強震観測網 (K-NET) [3]のデータからトリガーを検出し、手で持ったときの加速度の変化に対してはトリガーを誤検出しない基準値の適正範囲を評価した。

値を変えながら実験的に調査した結果、トリガーチェックを行うデータの時点から約20秒間のUD方向の加速度平均値の1.5~3.0倍が基準値の適正範囲であると確認した。

3.2.2 震度計算機能の震度計算精度 (その1)

K-NETにある過去に観測された地震のデータに対して震度計算機能で地震検知を行い、K-NET との比較を行うことで震度計算の精度を評価した。震度計算は、地震が検知されたときのみ行う仕様であるので、ここではトリガーチェックとノイズチェックをせず地震検知を実行した。

図8に、K-NETによる地震情報の表示例を示す。また、表6にその評価結果を示す。元の観測震度に対し、震度計算機能は誤差0.4以内の震度を計算していることが確認できた。

表6：震度計算機能の震度計算精度評価結果 (その1) (抜粋)

観測点コード	記録開始時刻	K-NET データの震度	震度計算結果	誤差
IWT018	2012/12/21-17:07:40	2.6	2.5	-0.1
IWT018	2012/12/07-17:19:10	3.8	3.8	0
IWT018	2011/03/11-15:08:30	3.6	3.4	-0.2
IWT018	2011/03/11-20:37:02	3.5	3.5	0
IWT020	2011/4/07-23:33:12	5.4	5.4	0
IWT010	2011/04/07-23:33:02	5.9	6.0	+0.1
IWT007	2011/04/07-23:33:04	5.6	5.6	0
IWT012	2011/04/07-23:33:06	5.8	5.9	+0.1
IWT009	2011/04/07-23:33:01	5.6	5.5	-0.1
IBR003	2011/03/11-14:47:05	6.4	6.4	0
IBR013	2011/03/11-14:47:17	6.4	6.3	-0.1
TCG009	2011/03/11-14:47:22	6.2	6.0	-0.2
FKS016	2011/03/11-14:47:06	6.1	5.7	-0.4
MYG004	2011/03/11-14:46:51	6.6	6.6	0

表7：震度計算機能の震度計算精度評価結果 (その2) (抜粋)

DB に記録した震度	500Hz データ計算結果		100Hz データ計算結果	
	震度	誤差	震度	誤差
2.72	2.92	+0.20	3.04	+0.68
2.91	2.36	-0.55	2.63	-0.28
3.34	3.27	-0.07	4.51	+1.17
3.82	2.54	-1.28	2.62	-1.20
3.95	4.27	+0.32	4.46	+0.51
4.70	4.81	+0.11	5.14	+0.44
5.09	5.17	+0.08	5.23	+0.14
5.74	5.79	+0.05	5.79	+0.05
6.28	6.14	+0.14	6.27	-0.01
6.43	6.51	+0.08	6.51	+0.08

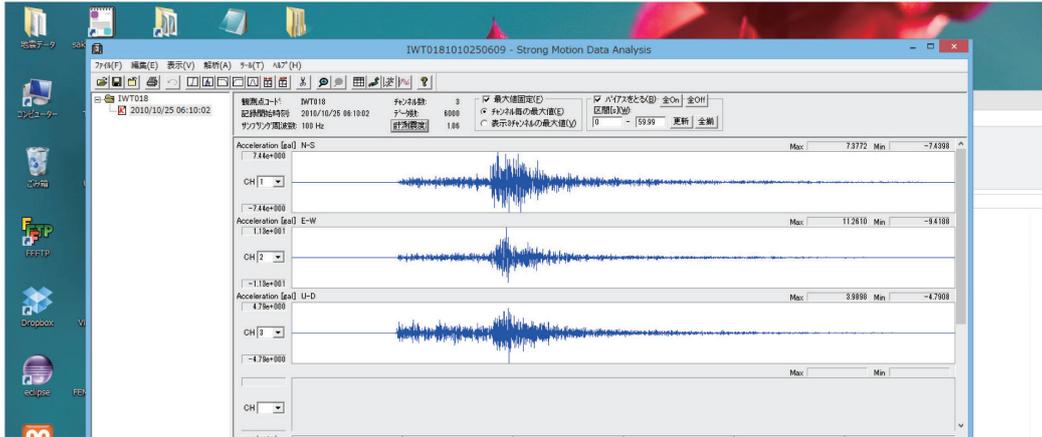


図 8 : K-NETによる地震情報の表示例

3.2.3 震度計算機能の震度計算精度（その2）

スマートフォンに手で振動を与え、震度計算機能で震度計算した結果と、スマートフォンからその加速度データをK-NETデータ計算用のツールStrong Motion Data Analysis Ver.2 (SMDA2)に取り込み震度計算を行ったときの結果を比較しスマートフォンの地震管理システムの震度計算精度を評価した。地震データを100Hzと500Hzで出力し、それぞれの震度をSMDA2で計算した。結果を、表7に示す。

震度計算機能の震度計算結果とSMDA2で計算した震度は概ね近い値となった。誤差に関して、500Hzの方が100Hzに比べ誤差が小さい場合が多く見られた。ここで使った地震データは手で揺らして観測させたデータであるため、誤差が0.5以上のデータもあり、その原因はK-NETの地震加速度データに比べると周波数が低い、または高い成分の最大加速度値が高いためであると考えられる。

4 今後の具体的な展開

スマートフォンに内蔵された3軸加速度センサーにより500Hzで地震波を受信解析し、地震の規模・継続時間などを割り出す解析方法を開発・実装し、評価実験を行った。多数のスマートフォンから得た位置情報と地震情報をデータベースに集積し、地図上にその場所の計測震度、継続時間を表示する機能の開発を行った。

本研究で開発した技術をベースに、平成26年度総務省戦略的情報通信研究開発推進事業

(SCOPE)への申請「居住者の行動と住居の危険度・被災度をMEMS加速度センサーで見守る研究開発」を行い初年度フェーズで採択されることとなった。

SCOPEでの研究開発では、本研究で蓄積した加速度センサー技術を活用し、住居に設置した高精度MEMSセンサーの加速度情報を用いて、常時微動とは異なった人の様々な行動パターンや住居の振動特性を表す信号を実測し、その振動データから居住者の行動や住居の危険度・被災度を把握し、異常を検知・警報可能とする住居見守りセンサーネットワーク応用技術を確立する予定である。具体的には住居に複数の3軸加速度センサーを設置し、地表面や住居に絶えず存在する常時微動と地震時および地震後の強振動の振動特性の違いを詳細に分析することで、居住者の行動と住居の危険度・被災度を推測することによって居住者と住居の見守りを1つで融合的に行うことを目指す。

5 参考文献

- [1] 小田義也, 岩楯敬広. (2008). 2地点の計測震度と微動H/Vおよび地形・地質分類を利用した面的震度分布の即時推定. 物理探査, 61(6), 523-532.
- [2] 気象庁告示第四号 気象庁震度階級表
http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/nc/k19960215001/k19960215001.html
- [3] 防災科学技術研究所 強震観測網K-NET:
<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>