

高密度クラウド型地震センサーネットワーク 構築に向けた取り組み

内藤昌平(防災科研)

2015/1/18 名古屋大学-防災科研 研究交流会

研究の背景と目的

気象庁や自治体、防災科研が管理する震度計等を合わせると、日本全国に4,000以上の震度観測点がある。

しかし、地震発生直後、局所的な被害状況を把握するために十分とはいえず、目視による確認やアンケート等、様々な手段による調査が行われている。

一方で、近年の技術革新により小型・安価な半導体センサーによる計測、および大容量のデータ処理技術が発展し、例えばスマートフォン等の多機能端末を利用することで、多数のセンサーをネットワーク接続することが容易に実現可能である。

本研究ではスマートフォン等、普及率の高い端末を利用した高密度な地震センサーネットワークを構築することで、個別建物毎の地震記録を取得し、クラウド環境でデータを集約・処理することにより、建物毎の健全性把握、防災意識啓発、および被害状況の迅速な把握によるリアルタイム防災への活用を目的とする。

本日の発表内容

1. スマートフォン地震計による地震観測実験
2. MEMSセンサーのノイズ低減手法開発
3. モバイル版アンケート震度演算システム開発
4. センサーネットワーク利活用に関するヒアリング調査

1. スマートフォン地震計による地震観測実験



2010年にリリース
「地震」(白山工業株式会社)
現在10万DL

スマートフォン(iPhone)地震計のスペック

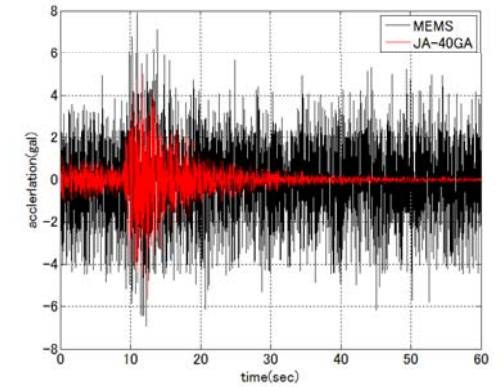
項目	スペック
サンプリング周波数	100Hz
チャンネル数	3
分解能	12bit (1.6gal)
ノイズ	10gal (p-p)
計測レンジ	±2,000gal
時刻校正	NTP (精度10msec)
通信	WiFi / 3G
トリガ	緊急地震速報による外部トリガ ／レベルトリガ
記録可能ファイル数	5分ファイル×30個

5

スマートフォン地震計の精度検証 (K-NET02型震度計との並行観測試験)



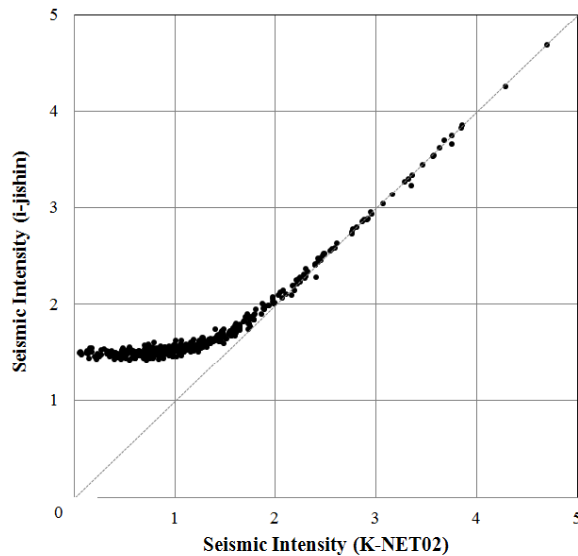
防災科研所内試験観測施設内での自然地震観測



K-NET02型震度計(赤)との波形比較
(ノイズレベル±5gal程度)

6

スマートフォン地震計と震度計との比較 (計測震度相当値)



震度2程度以下の地震はノイズに埋もれてしまい、スマートフォン地震計では観測できない。

振動台による加振試験



基準地震計(K-NET型震度計)と同時に加振試験を行い、各端末の性能を比較した。

震度計との性能比較

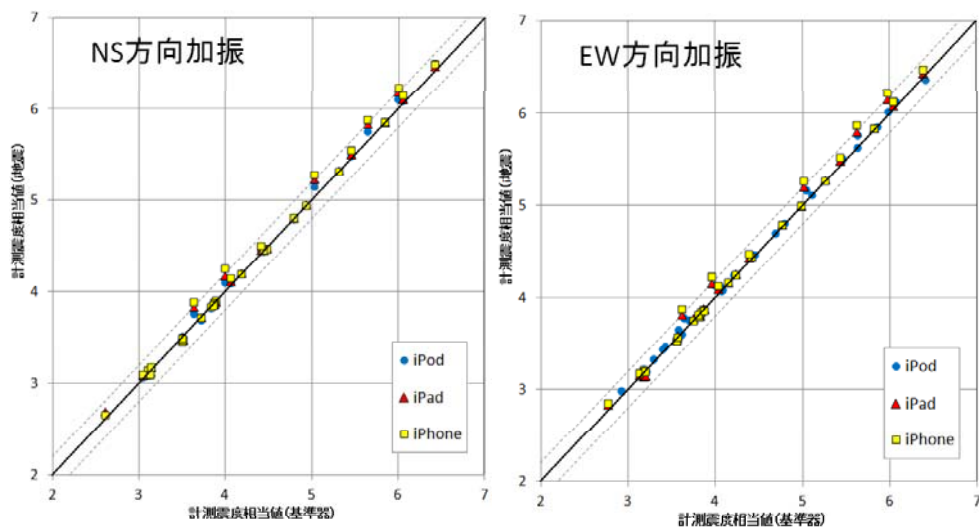
項目	震度計	スマートフォン地震計
センサー	JA-40GA08	LIS331DLH
計測範囲	±8G	±2G
分解能	24bit 1mgal以下	12bit 1.6gal
サンプリング周波数	100Hz	100Hz
ノイズレベル	1.4μG/vHz以下	218μG/vHz 10gal(p-p)
時刻校正	GPS	NTP

加振スケジュール

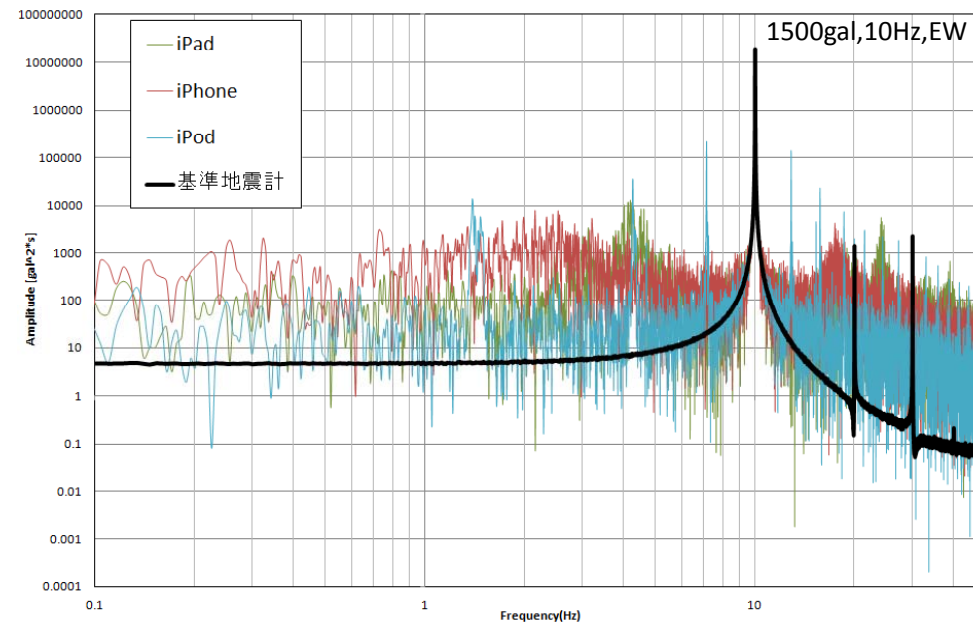
周波数(Hz)	最大加速度(gal)								
	5	10	20	40	100	150	500	1000	1500
0.5	○	○	○	○					
1	○	○	○	○	○	○			
3		○	○	○	○	○	○		
6		○	○	○	○	○	○	○	○
10		○	○	○	○	○	○	○	○

気象庁の震度検定を参考に加振周波数・加速度の組み合わせを作成した。

計測震度(相当値)の比較



スペクトルによる比較(10Hz加振)



E-Defense振動台実験における試験観測



(1)免震試験体
(平成25年3月実験)
E-Defense長周期化改造工事
における振動台性能確認試験
佐藤ほか(2013)

(2)体育館試験体
平成26年1月実験
大規模空間を有する試験体の地震時拳動天井の
脱落被害メカニズムの解明を目的とした実験
梶原ほか(2014)

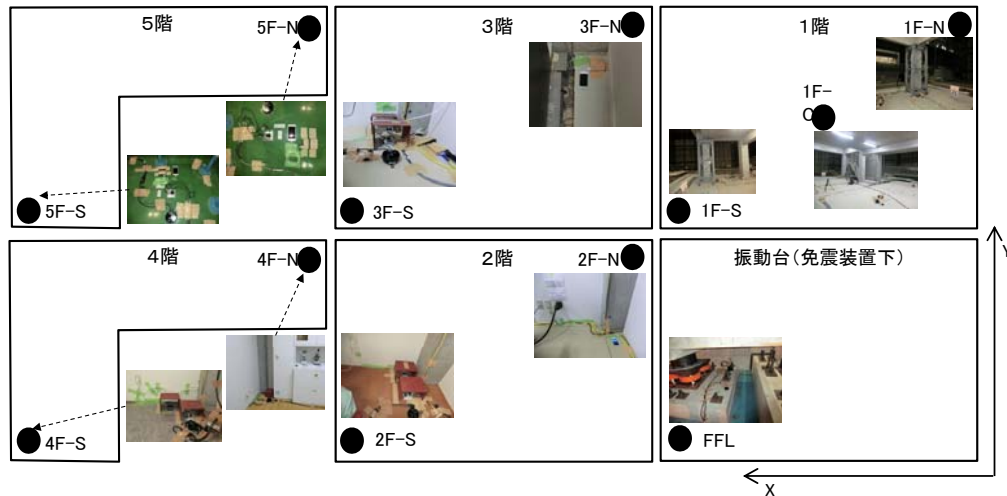
番号	構造	重量 (t)	階数	軒高 (m)	平面形状(m)	固有周期(s)	
						X方向	Y方向
(1)	RC	700	4	14.9	11.8×8	0.43-0.44 (上部構造)	
(2)	S	250	1	9.09	30.0×18.6	0.34	0.42

スマートフォン地震計の設置方法

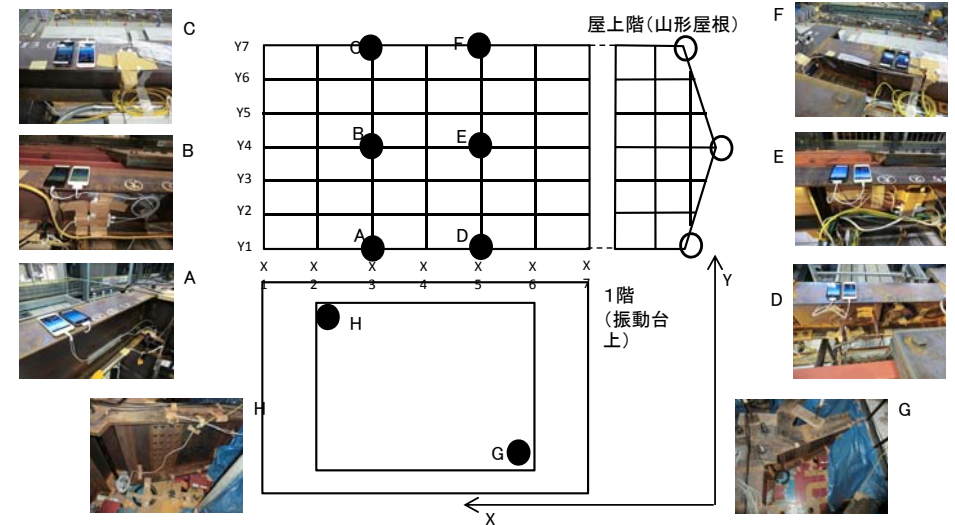


- ◆給電方法
モバイルバッテリーまたは交流電源
- ◆固定方法
金属用両面テープにより接着
- ◆データ回収方法
ノートPCからUSB接続により回収

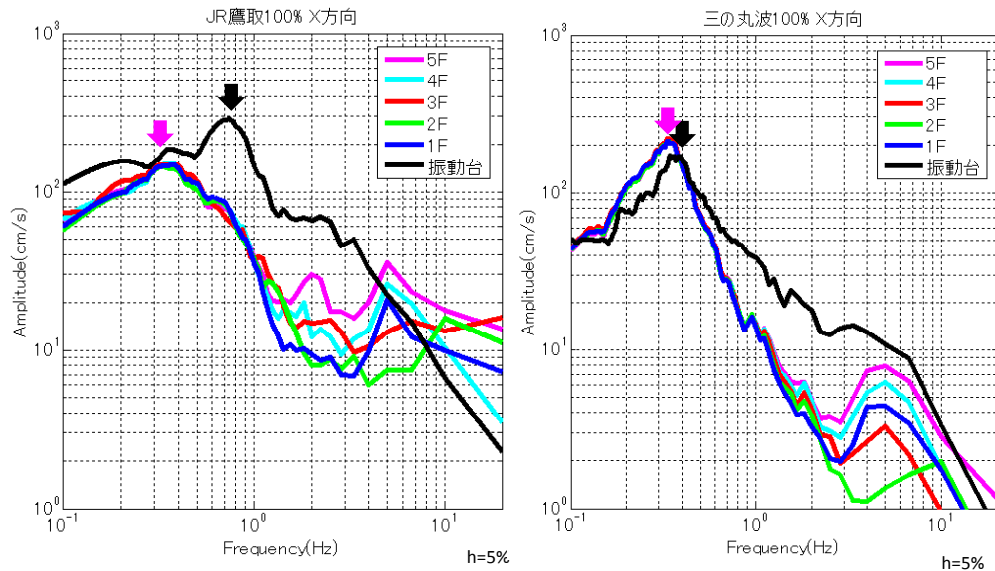
(1)免震試験体上の端末設置点



(2)体育館試験体上の端末設置点



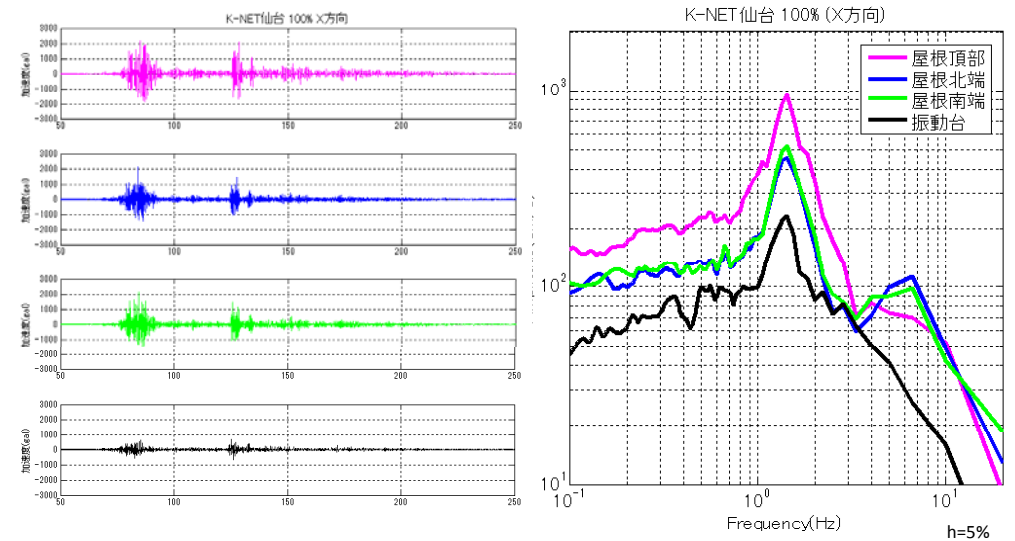
(1)免震試験体 地震波加振時の疑似速度応答スペクトル



JR鷹取波のようなやや短期成分が強い加振時は卓越周期の長周期化・速度低減等の免震効果が発揮されているが、三の丸波のような長周期成分が強い加振時は十分に免震効果が表れていないことがわかる。

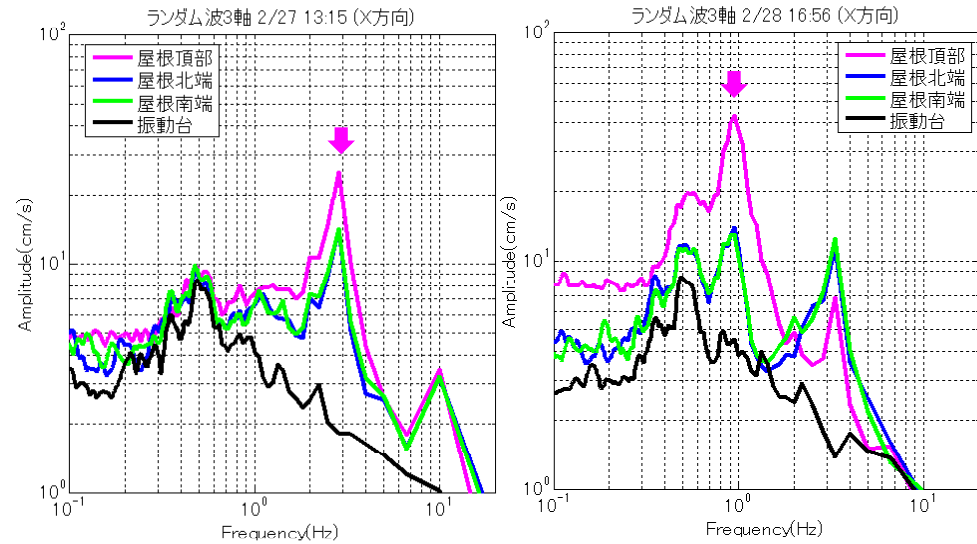
17

(2)体育館試験体 K-NET仙台波加振時の波形・疑似速度応答スペクトル



18

(2)地震波加振前後の試験体における固有周波数の比較



一次固有周波数: 2~3Hz

一次固有周波数: 0.9~1Hz

19

建物の地震観測実験

建物名称	構造種別	地上階数	建築年	耐震基準
H棟	RC	3	1975	旧
1棟	RC	3	1981	旧
2棟	RC	2	1995	新
D棟	RC	2	1999	新
K棟	RC	3	2003	新



H棟



1棟



2棟



D棟

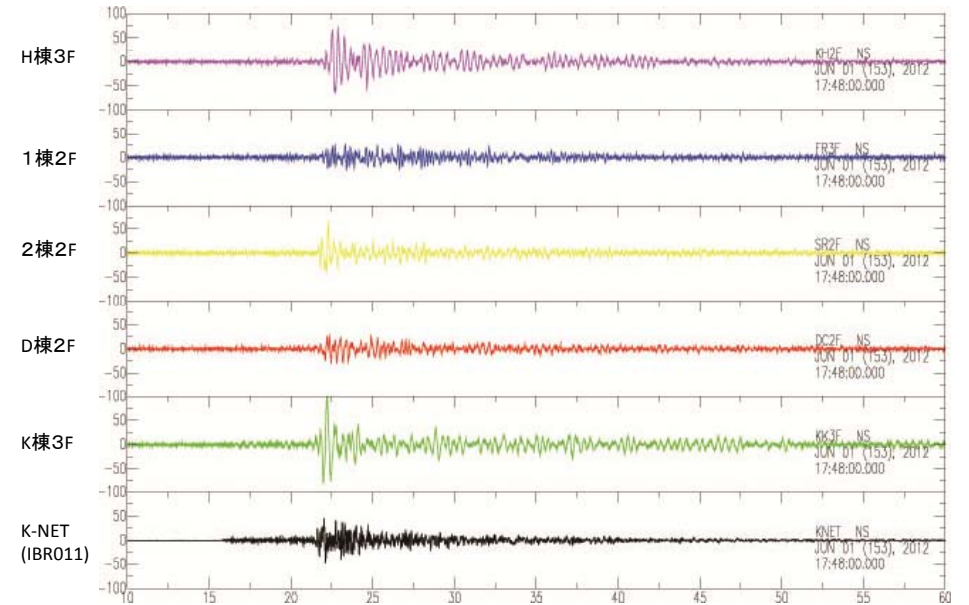


K棟

スマートフォン地震計の設置状況

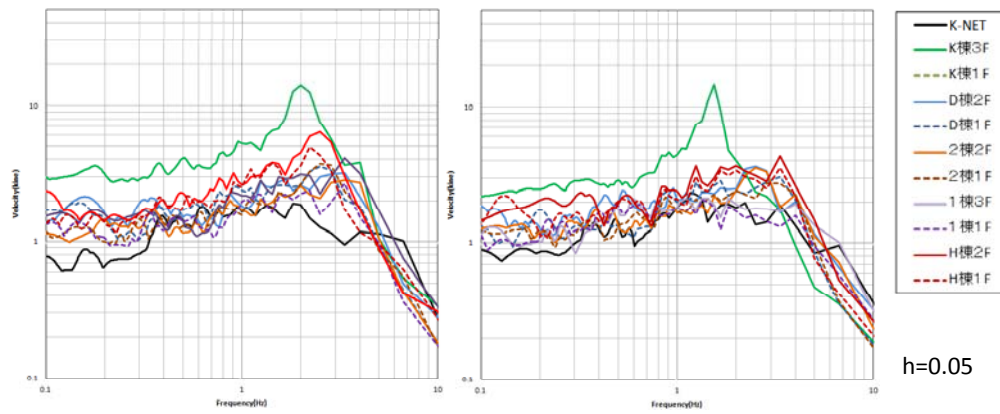


スマートフォン地震計により取得された地震波形



2012/06/01 17:48 茨城県南部 最大震度4

スマートフォン地震計の波形から 速度応答スペクトルを算出



長辺方向

短辺方向

2012/4/25 5:22 千葉県北東部 M5.5

地域におけるスマートフォン地震計観測実験



自治体・企業・NPO
等を窓口にして建
物内に設置。
常時微動計測も行
い、解析結果を実
験協力者にフィッ
ドバック。

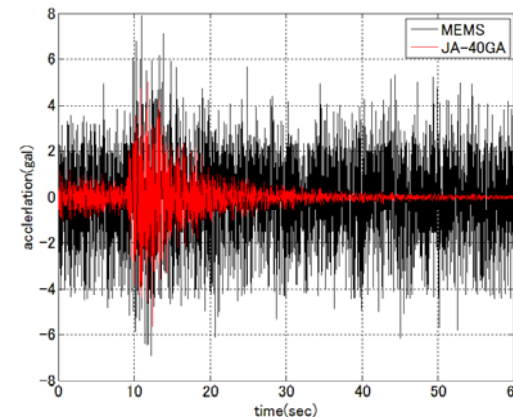
関東地方や新潟県等、複数の建物内で観測中。

一連の実験から抽出された課題

- ① 計測可能な地震が概ね震度3程度以上であるため、余震活動が活発な地域において、あるいは長期間をかけて観測を行わない限りなかなか結果を入手できない。
- ② ソフト・ハードのバージョンアップ等、仕様がスマートフォン自体の変化に依存される。
- ③ 設置協力者にとってのメリットが、専門的知識の提供(建物毎の震度や固有周期等)以外に明確でない。

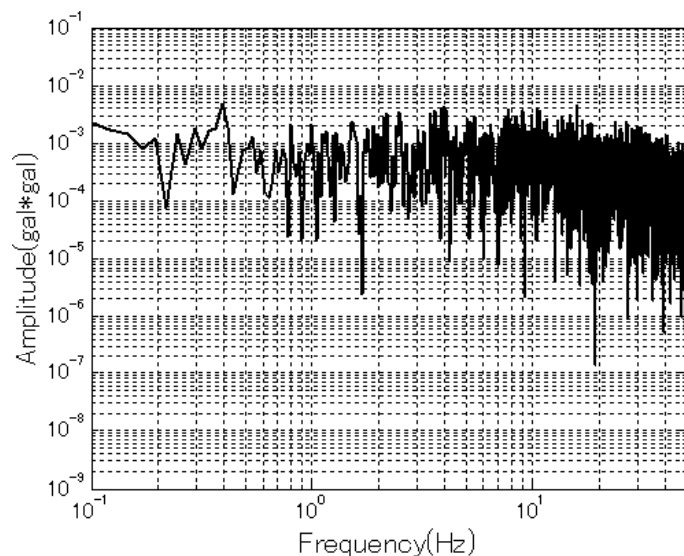
2. MEMSセンサーのノイズ低減手法の開発

iPhone内蔵のMEMS加速度センサーを利用した地震計アプリでは、ノイズの影響により震度2程度以下の地震は通知することができない。そのため、より発生頻度が高い震度2以下の表示を実現するための手法について検討を行い、震度0~1程度が表示可能なアプリを民間企業と共同開発した。



震度1の地震時のiPhone内蔵MEMSセンサーと震度計との波形比較

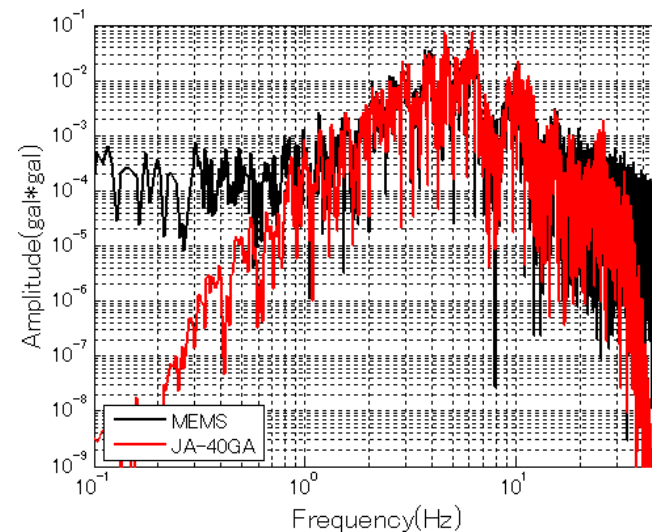
iPhoneのMEMSセンサーのノイズの パワースペクトル



スペクトルは全ての周波数帯においてほぼ同じ強度。

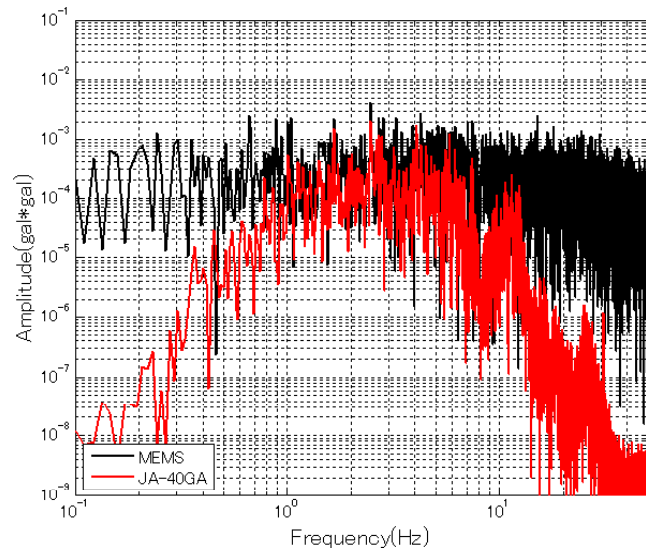
震度4の地震時のスペクトル比較

計測震度 震度計(JA-40GA) 3.7 MEMS 3.7

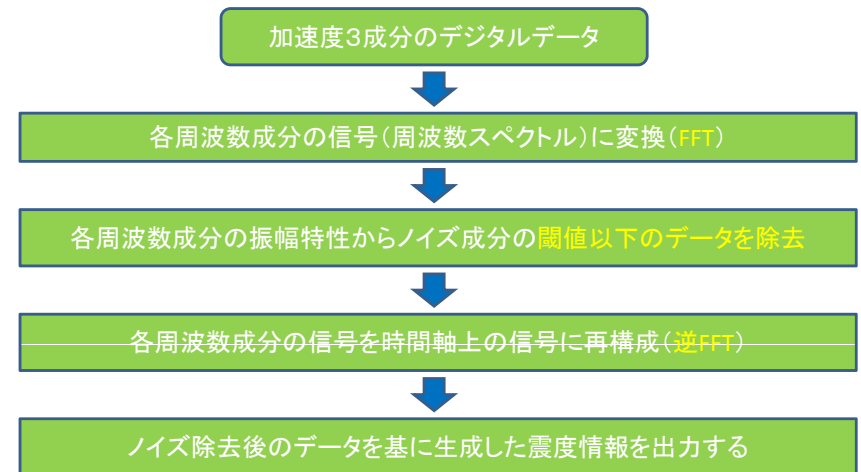


震度1の地震時のスペクトル比較

計測震度 震度計(JA-40GA) 1.1 MEMS 1.5



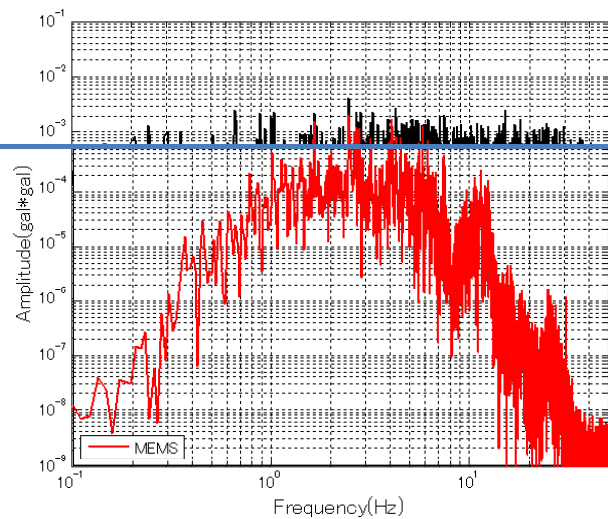
本研究で提案するノイズ低減手法



震度1の地震時のスペクトル比較

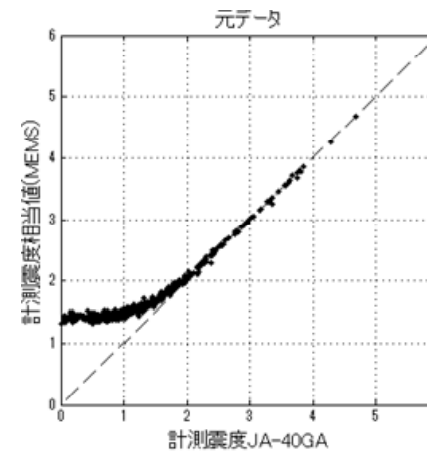
計測震度 震度計(JA-40GA) 1.1 MEMS 1.5
震度計(JA-40GA) 1.1 MEMS 1.2

閾値を設定

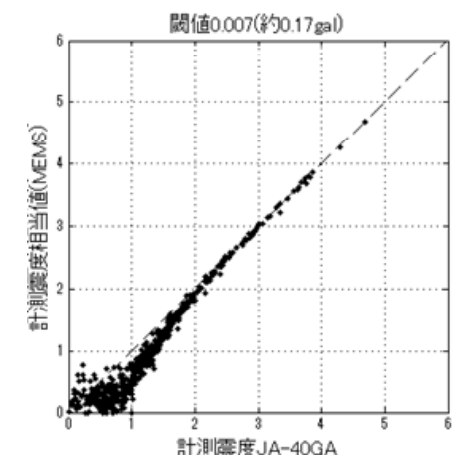


ノイズ低減手法適用前後の計測震度

ノイズ低減手法適用前



ノイズ低減手法適用後



計測震度0~1を算出可能だがばらつきが大きく、震度2以下の記録の精度は良くない。

ノイズ低減手法の適用例

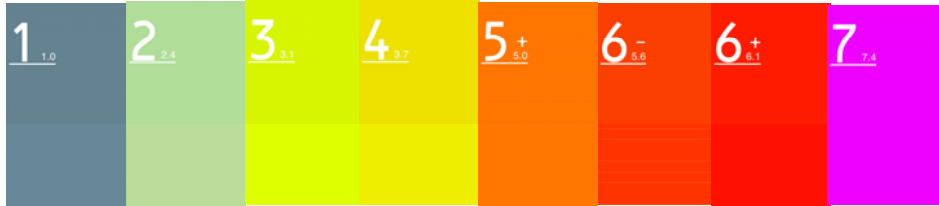


ノイズ低減手法を適用することで、震度0表示を可能にした。

震度階に応じて背景色が変わる。

地震発生時と収束時に写真を撮影する機能あり。

「i震度」白山工業(株) 2013年リリース



3. モバイル版アンケート震度演算システムの開発

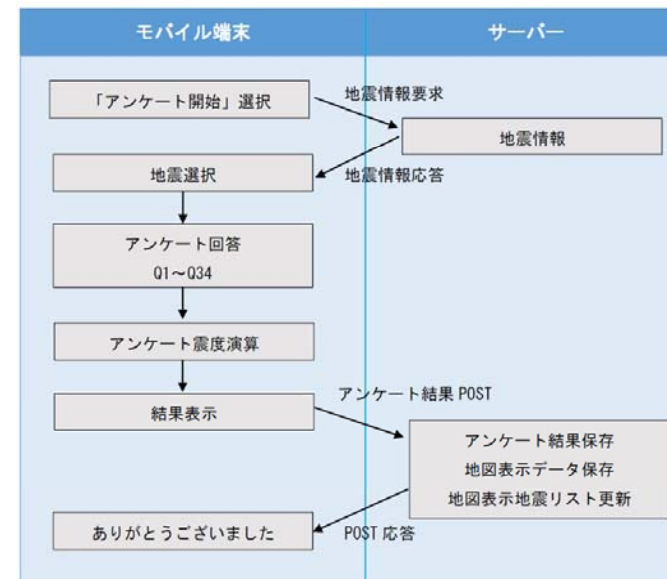
- 地震発生後にアンケートを配布し集計された結果から、気象庁震度に相当する詳細な震度分布を2桁の精度で算出する手法は太田・他(1979,1998)によって開発された。また、これまで多くの被害地震において「太田方式」に基づくアンケート調査がなされ、様々な検証が行われてきた。
- これらの研究においては役所・教育委員会等の公共機関経由で依頼を行いアンケート用紙を配布する方法が主であるが、ばらつきの影響を考慮して信頼性の高いアンケート震度を得るためには数千~数万枚以上のアンケート用紙の配布、集計が必要となり、実施は容易ではない。
- 今回、この太田方式のアンケートを、様々な場所にいる多数の人が、地震発生直後に簡単に実施することが可能な仕組みを構築することを目的とし、近年普及率が高まっているスマートフォン、タブレット等のモバイル端末を用いてアンケート震度調査を実施し、結果を集計するシステムを開発した。

開発環境について

モバイル端末	開発言語	HTML5, JavaScript
	モバイルフレームワーク	jQuery mobile
	マップライブラリ	Google Maps JavaScript API v3
サーバー	使用サーバー	Amazon EC2
	サーバータイプ	T1.micro
	OS	Amazon Linux AMI 2013.09.2(64bit)
	開発言語	Python
	Webサーバー	Tornado 3.2

本システムはモバイル端末に標準搭載されているブラウザ上で動作するようにHTML5,JavaScriptを利用して開発した。

演算処理について



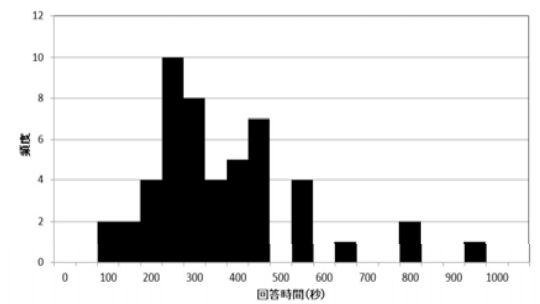
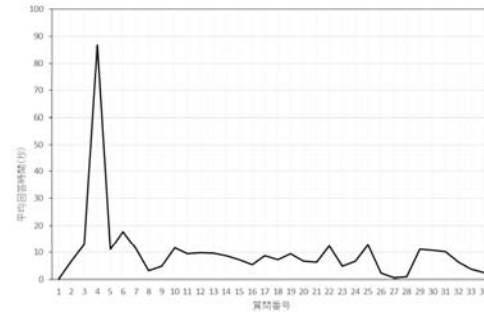
アンケート震度の演算はモバイル端末側で行い、回答データをHTTP POSTでサーバー側に送信する。また、各質問の回答時間についてサーバ上に記録される。また、各アンケート項目については原則的に太田・他(1979,1998)と同一としたが、太田方式で地震時の住所を問う質問はマップ上でマーカーを動かすことで緯度経度を選択する方式に変更した。

画面遷移

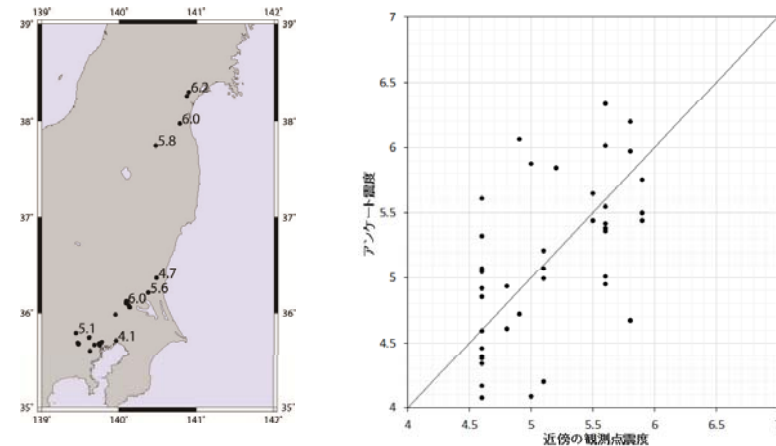


システム評価について

- システムの評価を目的とし、2011年東北地方太平洋沖地震を対象として、展示会来訪者等約50名に対して、本システムを利用したアンケート震度調査を行った。
- 各質問回答に費やした時間は、4番目の位置情報の入力で平均1分30秒程と最も長いが、そのほかの各項目は1質問あたり概ね平均20秒以内で回答しており、全アンケート回答にかかった時間は5分～10分程度が大部分を占めた。



アンケート震度結果について



評価時に取得したアンケート震度については、回答者が地震時にいた場所は関東地方が約86%、鉄骨・RC建物内が約80%、回答者のうち男性が約78%、30～49才が約68%と属性に偏りがある調査になったが、アンケート震度約3.1～6.4の記録が取得できた。
 さらに、アンケート震度(太田・他(1998))と近傍の震度観測点の震度との比較を試みたが、同じ震度観測点近傍のデータにおいても1.5以上の差が生じるなどばらつきの大きいデータになった。これは建物・地盤による増幅・減衰効果のほか、回答者の個人差、地震から3年以上経過したことによる記憶の劣化等が影響しているものと考えられるが、現状では結果について検討するに足る十分な標本数を入手したとは言えない。

4. センサーネットワークの利活用に関するヒアリング調査

- これまでスマートフォンを利用して高密度な地震観測網を構築する実験を各種行ってきたが、安定性や精度面での課題も多い。
- これらの課題を解決するためには専用機器の開発等が必要だが、そのためには社会におけるニーズや課題の抽出が必要不可欠となる。
- 今回、複数の民間企業や公共機関に対して、既に地震計測をおこなっている場合は観測点増設や情報公開に関する課題を、地震計測を行っていない場合はセンサーネットワーク導入に関する課題を把握することを目的とし、ヒアリングを実施した。

ヒアリング調査の方法と質問内容

複数の民間企業・公共機関の防災あるいはBCP担当者に対し個別に依頼を行い、許諾を得られた計19事業所、34名の担当者に対し、アンケート用紙を用いた訪問式のヒアリングを用いた。
質問内容は選択式と口頭記述を併用し、2~3名の調査官が1件あたり1時間30分程度かけてヒアリングを行った。

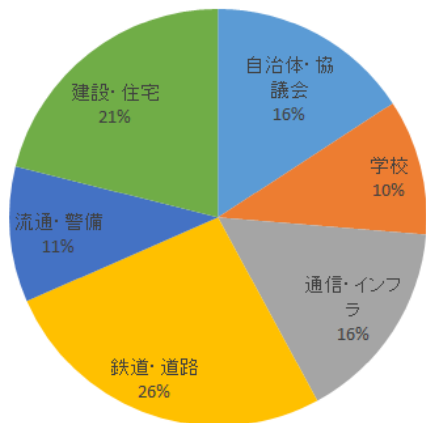
項目	項番	質問内容
事業所の実態	1-1	回答者の属性について
	1-2	拠点数について
	1-3	地震時の初動対応の際に必要な情報
	1-3'	東日本大震災等、過去の地震時に発生した問題点・成功事例
高密度センサーネットワークへの期待と潜在ニーズ	1-4	BCPまたは災害対応マニュアルの策定状況、徹底に際しての問題点
	2-1	既設のセンサー・防災システム
	2-2	現状以上に高密度なセンサー網を構築する取り組みに対する考え
	2-3	高密度センサー網により入手したい情報
	2-4	高密度センサー網設置により期待される効用
	2-5	センサーに求められる機能
	2-6	妥当なセンサー設置コスト
センシング情報公開に関する課題	3-1	センシングデータを公開可能な範囲
	3-2	センシングデータを公開可能なタイミング
	3-3	センシング情報のうち公開可能な内容
	3-3'	データ公開に対する注意点・課題について

ヒアリングを実施した事業所と対応者一覧

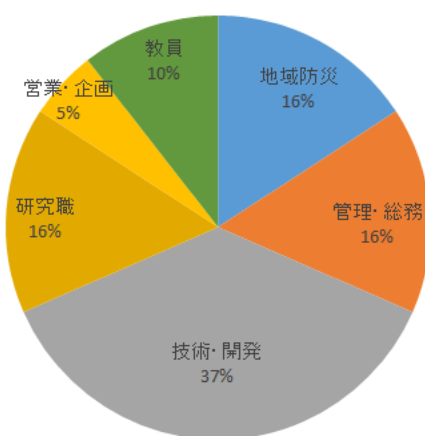
分類	No	カテゴリ	業態	対応者
地震計測システムを持っていない	1	自治体	市町村	防災担当
	2	協議会(エリア防災)	高層ビル地域協議会	協議会委員
	3	協議会(エリア防災)	高層ビル街区	管理責任者
	4	学校	小学校	防災担当
	5	通信	携帯キャリア	新規事業開発担当
	6	警備	警備保障	新規事業開発担当
	7	流通	コンビニ、スーパー等	危機管理責任者
地震計測システムを持っている	8	住宅	ハウスメーカー	技術担当
	9	住宅	ハウスメーカー	危機管理担当
	10	住宅	ハウスメーカー	新規事業開発担当
	11	建設	研究所	耐震構造技術者
	12	鉄道	研究所	研究者
	13	鉄道	民間鉄道	危機管理担当
	14	鉄道	民間鉄道	危機管理担当
	15	鉄道	民間鉄道	施設管理責任者
	16	インフラ	ガス事業者	危機管理担当
	17	学校	大学	研究者
	18	道路	研究機関	研究者
	19	インフラ	研究機関	研究者

回答者の担当業務

アンケート対象事業者の分類

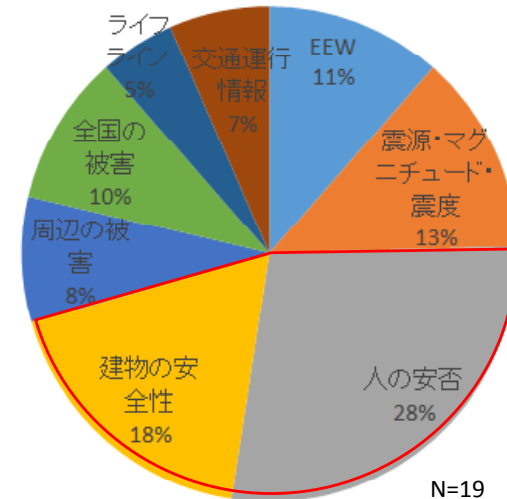


アンケート担当者の職務



N=19

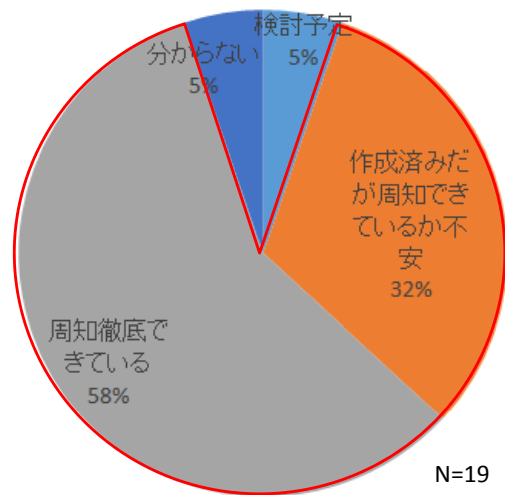
地震発生直後の初動対応に必要なとする情報は？



N=19

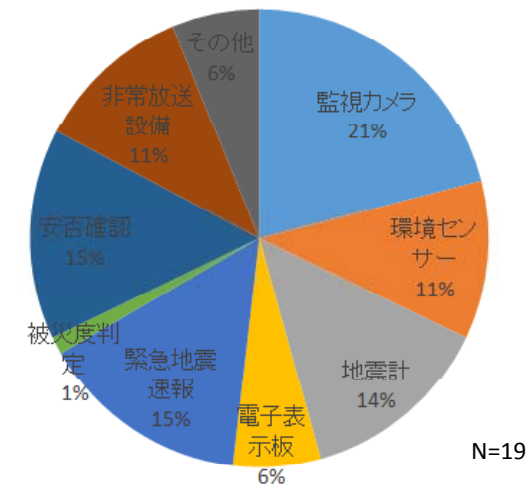
各回答者とも第一に人の安否確認、次に建物の安全性確認が初動対応の際に重要と考えている。

BCP等、災害時対応マニュアルの策定状況は？



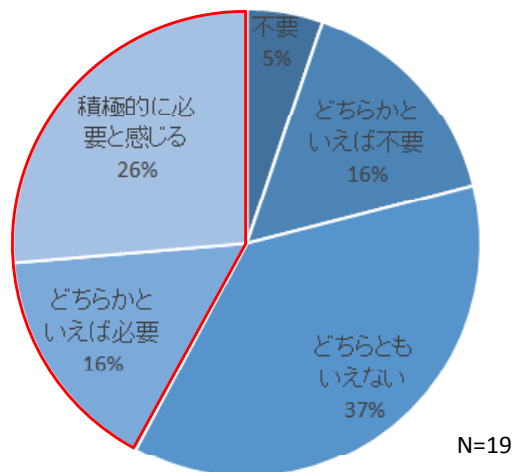
ほぼ全ての事業所がBCPまたは災害時対応マニュアルを策定しており、マニュアルに従った訓練を定期的実施し、周知に努めている。また、東日本大震災以降、マニュアルの改訂や訓練の高度化を行ったという事業者が多かった。なお、鉄道やガス等、インフラ事業所ではリアルタイムのセンシング情報を事業継続へ活用している事例を聞くことができた。

既設のセンサー・防災防犯システムについて教えてください。



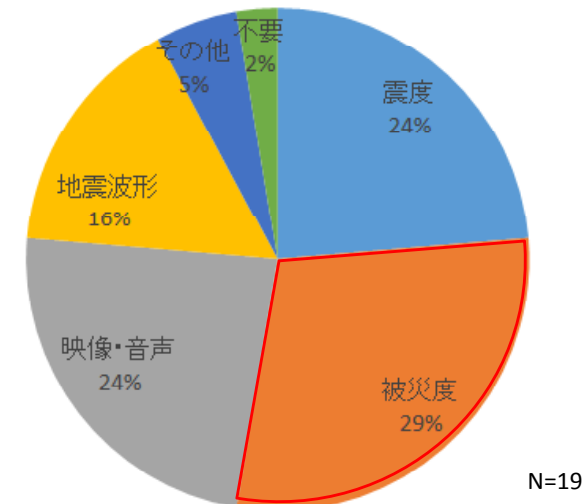
各事業所とも監視カメラや安否確認システム、緊急地震速報の導入数が高い。地震計はインフラ、鉄道、建設業等に多数導入されているものの、地震計・変位計の記録を用いた被害度判定システムの導入事例は一部の高層ビル地域のみで聞くことができた。

高密度なセンサーネットワーク構築が必要だと思いますか？



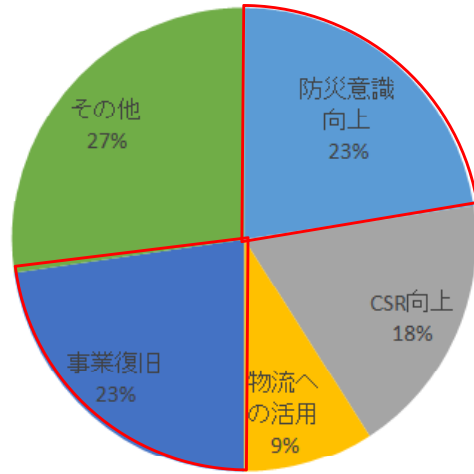
「積極的に必要と感じる」または「どちらかといえば必要」という回答が42%であった。センサーを多数置く試み自体は賛同する意見が多いものと思われる。「どちらともいえない」の中ではセンサーを使用しておらず、高密度に設置することによる効果がよくわからないという意見が多かった。なお、既に多数のセンサーを設置している鉄道やインフラ事業者では当面増設は不要という声が多かった。

高密度なセンサーネットワークにより入手したい情報は何ですか？



震度よりも被害状況をより直接的に推定できる「被災度」の把握を求める意見が多かった。また、映像や音声といった実際の被害状況を把握できる情報への要望が多かった。なお、地震波形を入手したいかどうかについてはデータを解釈できる専門家がどうかで異なる回答となった。

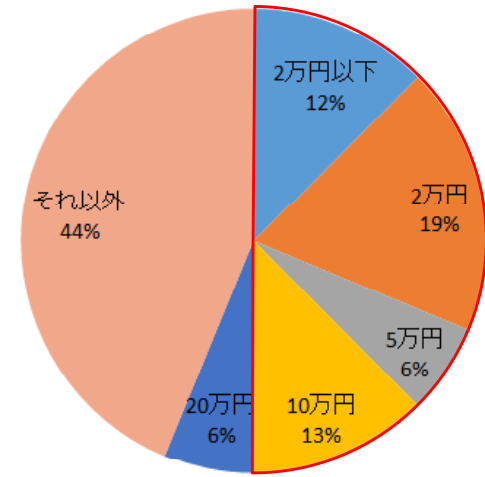
高密度なセンサーネットワークにどのような効果を期待しますか？



N=19

防災意識向上、事業復旧に活用したいという意見が多かった。次に、CSR向上という回答が多かった。その他としては「自分や家族が安全かどうかわかる情報」、「研究への利用」、「現象の解明」、「被害の軽減」などが挙げられた。

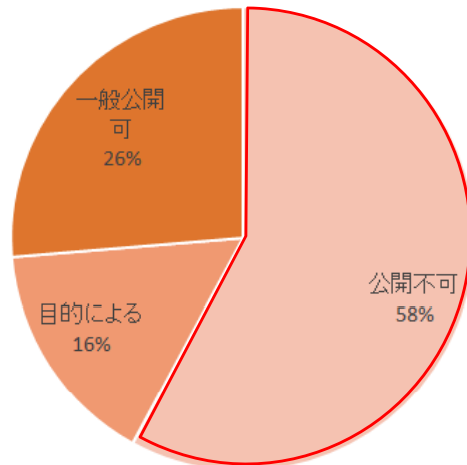
センサー1点あたりいくらなら導入したいと思いますか？



N=17

半数が10万円以下の数字を回答した。しかし、高くても必要な機能があれば購入する、答えにくい、判断できないという回答もあった。

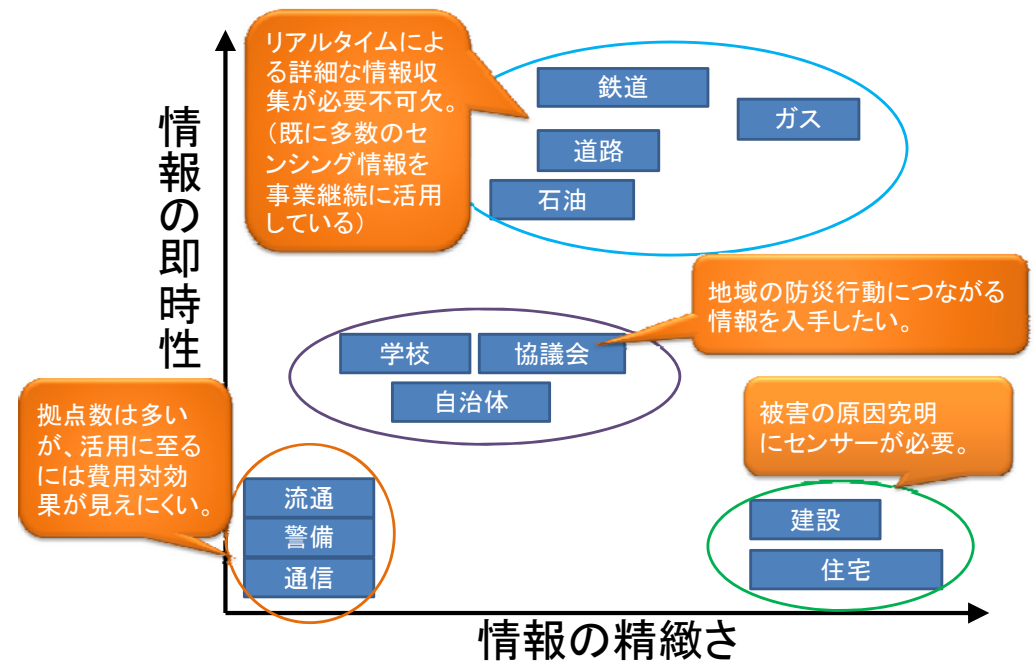
センシングデータを公開し、防災・研究用途で活用することに関してどう考えますか？



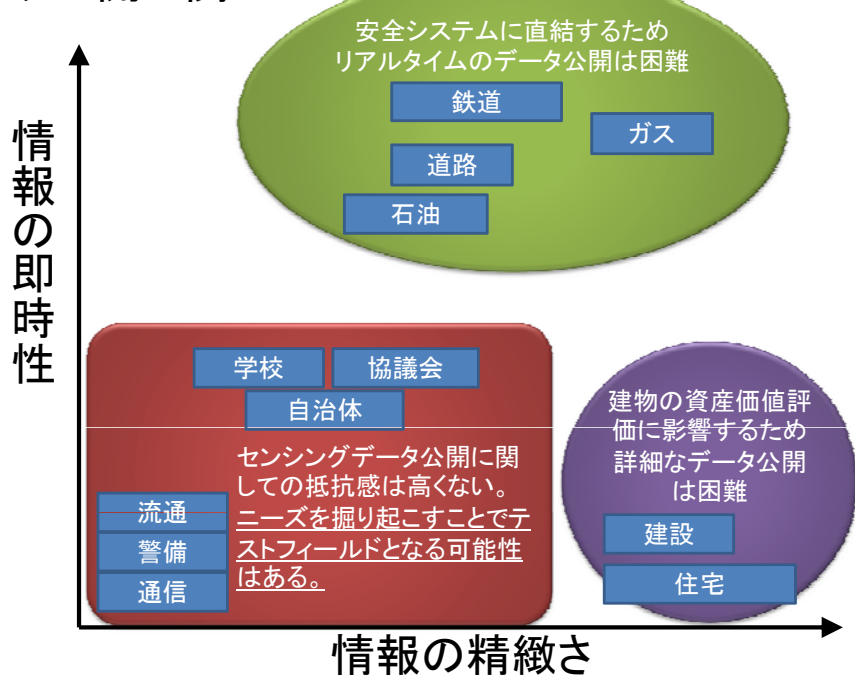
N=19

自治体や学校等公共機関では、データは個人情報保護の観点から問題なければ一般公開しても問題ないという回答が多かった。しかし、インフラ、鉄道、建設、住宅等の設備被害が自社のサービス・資産価値に関わる民間企業においては公開不可という意見が多かった。また、民間でも自社ビルではなくテナントの場合はデータ公開してもよいという意見があった。

業態により要求されるニーズは異なる



データ公開に関して



平時・災害時におけるセンサーネットワーク活用法(案)

ターゲット	平時の活用	災害時の活用
民間企業	オフィスビルの健全性評価 BCP訓練での活用 CSR面での効果	建物各フロアの被災度把握 遠隔拠点の被害状況の俯瞰 緊急対応の時間短縮
公共機関 (学校・自治体)	防災教育・啓発への活用 地域の災害リスク把握	避難所、避難経路の安全性の把握 地域の被害状況の面的な把握

平時・災害時におけるセンサーネットワーク活用法(案)

ターゲット	平時の活用	災害時の活用
民間企業	オフィスビルの健全性評価 BCP訓練での活用 CSR面での効果	建物各フロアの被災度把握 遠隔拠点の被害状況の俯瞰 緊急対応の時間短縮
公共機関 (学校・自治体)	防災教育・啓発への活用 地域の災害リスク把握	避難所、避難経路の安全性の把握 地域の被害状況の面的な把握

防災科研の目指す公的な方向性と民間企業の利益保持のために目指す方向性を調和させる提案を行うことが必要。

自治体と協力し、避難所等の地域防災拠点へのセンサー設置や住民参加型のセンシング実験等を実施する。

今後の方向性

社会のニーズ

発災時だけでなく、平時でも活用できるセンサーネットワークを構築する。

センサーネットワークに求められる機能

- ・各種建造物の健全性をリアルタイムで推定する
- ・遠隔拠点の現在の被災状況を面的に可視化する
- ・場所毎の被害推定情報を即時的に通知する
- ・極めて稀に発生する規模の災害発生時、局所的な被災記録を残す

必要な技術開発

- ・建物種別毎の被災度推定手法の開発
- ・地盤情報、人口モデル等を活用した被害推定手法の開発
- ・様々な機関が保有するセンシングデータの利活用
- ・先端IT技術を利用したリアルタイム被害状況可視化手法の開発

まとめ

- スマートフォン等の普及率が高いセンサー端末を利用して地震波形、計測震度、あるいは体感震度を集計するシステムを構築し、クラウド環境でのデータ収集実験を実施した。
- センサーネットワーク活用のユーザニーズを把握するためのヒアリングを行った。センサーの様々な活用事例を聞くことができたが、既に多点のセンサーを活用している市場において多点の増設は容易ではなく、既設センサーのデータをリアルタイムに活用するためには様々な障壁をクリアする必要がある。
- 新規に多点のセンサー網を構築するためには民間企業に対してはそれぞれの市場ごとに異なる、費用対効果に見合うストーリーを提示する必要があり、公的機関に対しては地域と連携した関係を構築した上で、住民や学校を対象とした実証実験を行うという手段が考えられる。
- 今後も多点のデータを効率的に、かつ利便性が高い形で提供するシステムの開発に努めるとともに、高密度観測データ利活用の可能性について引き続き探っていきたい。