

2011 年 4 月 16 日

2011 年東北地方太平洋沖地震における  
東北工業大学アレー強震観測システム  
Small-Titan  
による強震記録について（速報 Ver.1）

東北工業大学工学部  
環境情報工学科客員研究員  
神山 眞

2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分頃起きた 2011 年東北地方太平洋沖地震は 4 月 1 日の持ち回り閣議において「東日本大震災」と災害名が命名された。この大震災により 1 万名を越える尊い人命が失われるとともに、1 万名を越える方々が未だ行方不明となっている。これらの犠牲となられた多くの方々に哀悼の意を表するとともに、被災された方々に心からお見舞い申し上げます。

## 1. はじめに

仙台市圏に 20 観測点をもって展開される東北工業大学アレー強震観測システム Small-Titan (Strong Motion Array of Local Lots by the Tohoku Institute of Technology Area Network) は 1998 年 6 月に設置されて以来、500 を越える地震の強震記録を得ている<sup>1), 2), 3)</sup>。同観測システムは 2011 年 3 月 11 日に発生した 2011 年東北地方太平洋沖地震 (M9.0) においても 20 観測点中 17 観測点において強震記録の取得に成功した。これらの強震記録は約 10 分間にわたり連続して観測されたものであり、稀にみる大きな加速度振幅値を系統的に取得したものとして注目される。ここでは記録概要を速報として示す。

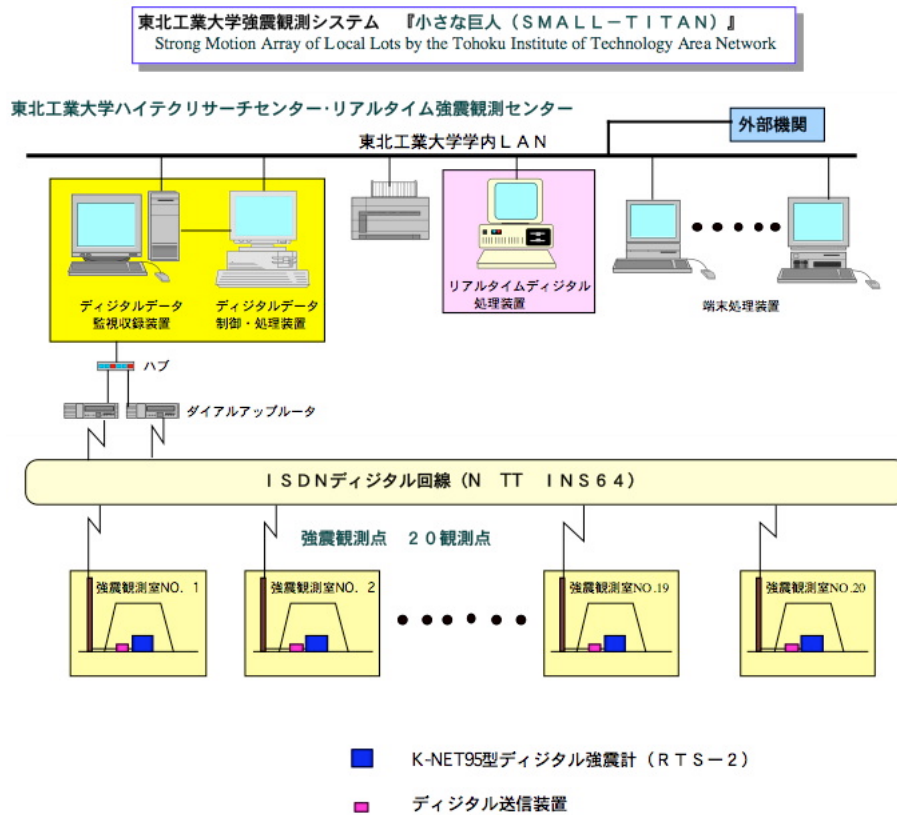
## 2. 観測システムの概要

### (1) システム全体構成

Small-Titan は次の諸点を初期条件として設計された。当初予算の制約から、観測点の配置は最大 20 サイトとすること、各サイトの地震動データは公衆デジタル回線 ISDN を利用して観測センターで集中的に受信・処理するオンライン・リアルタイムとすること、全観測点のデータは地震動感知後 3 分以内に観測センターで受信完了できること、地震計 (換振器) は±2000 ガルを記録できるデジタル強震加速度計として、A/D 変換機能は 24 ビット以上とすること、などである。これらの結果、システム構成は以下の通りとなっている。

- 換振器：リアルタイム伝送用強震計 RTS-2 ( (株) アカシ (現在, ミットヨ) )  
(防災科研の K-NET95 型と同等以上の性能でリアルタイムデータ取得が可能)
- 加速度検出器：(記録範囲±2000 ガル, 記録周波数特性 0.02~32Hz, 3 成分)
- A/D 変換器：(24 ビット)
- フラッシュメモリーカード (10MB)
- DSP(Digital Signal Processor)
- MPU(Micro Processor Unit)
- GPS(Global Positioning System)
- ISDN 用通信ポート
- RS-232C 準拠通信ポート (最大通信速度：38400BPS)
- バックアップバッテリー (停電保証時間 3 時間以上)
- バッファ出力

# システム構成概要図



Small-Titan観測センター

写真1 観測センターの状況

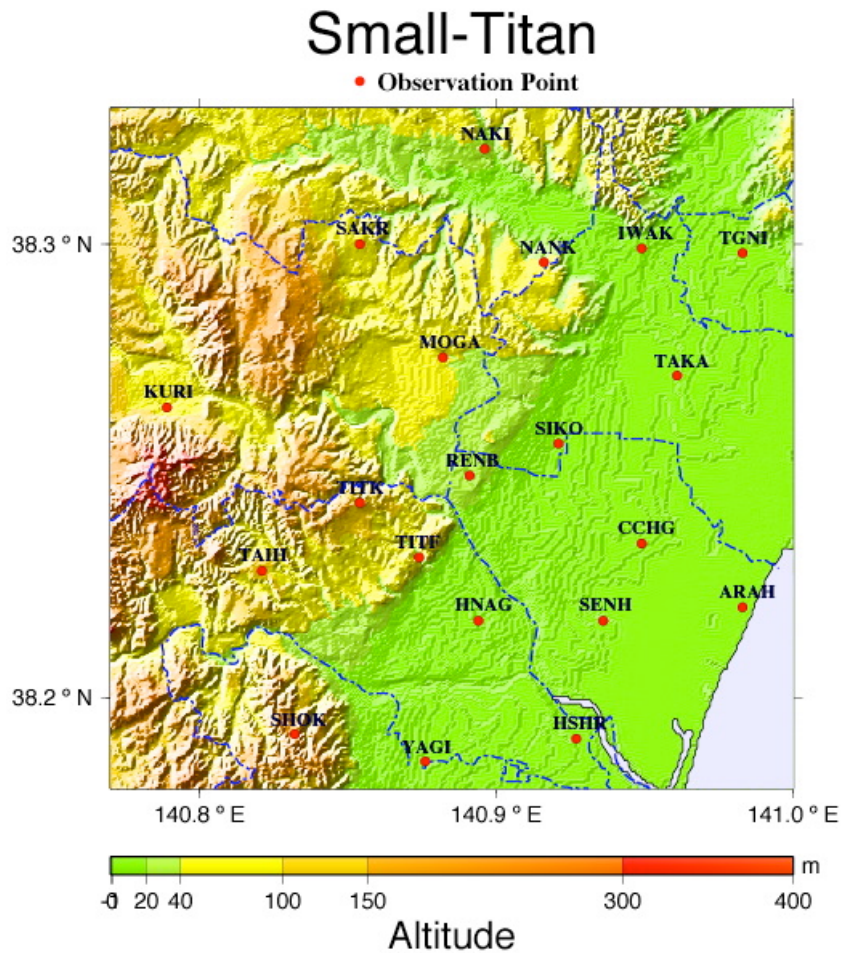


Observation station

写真2 観測点 (観測ステーション) の外観

## (2) 観測点構成と配置

略号	観測点	コード	北緯(度)	東経(度)
S1(AKA001)	尚綱学院大学	SHOK	38.192	140.832
S2(AKA002)	柳生中学校	YAGI	38.186	140.876
S3(AKA003)	東四郎丸小学校	HSHR	38.191	140.927
S4(AKA004)	荒浜小学校	ARAH	38.22	140.983
S5(AKA005)	仙台東高校	SENH	38.217	140.936
S6(AKA006)	東長町小学校	HNAG	38.217	140.894
S7(AKA007)	太白小学校	TAIH	38.228	140.821
S8(AKA007)	栗生小学校	KURI	38.264	140.789
S9(AKA008)	東北工大香澄町	TITK	38.243	140.854
S10(AKA008)	東北工大二ツ沢	TITF	38.231	140.874
S11(AKA009)	七郷中学校	CCHG	38.234	140.949
S12(AKA009)	仙台工業高校	SIKO	38.256	140.921
S13(AKA010)	連坊小学校	RENB	38.249	140.891
S14(AKA010)	桜ヶ丘小学校	SAKR	38.3	140.854
S15(AKA011)	(旧)宮城県立盲学校	MOGA	38.275	140.882
S16(AKA011)	南光台東小学校	NANK	38.296	140.916
S17(AKA012)	田子小学校	TAKA	38.271	140.961
S18(AKA012)	多賀城第二中学校	TGNI	38.298	140.983
S19(AKA013)	岩切中学校	IWAK	38.299	140.949
S20(AKA013)	七北田中学校	NAKI	38.321	140.896



### 3. 2011 年東北地方太平洋沖地震における記録の回収経過

#### (1) Small-Titan システムと東北工業大学研究室の被災状況

2 で示したように、Small-Titan は 20 観測点における観測ステーションとこれらの各観測ステーションのセンサーの状態を監視・制御するとともにデータを集中的に収録する観測センターから構成されている。観測ステーションのセンサーは任意に設定可能なトリガーレベルの加速度が感知されたとき、それらの加速度デジタルデータ (NS, EW, UD 成分) をフラッシュメモリーカードに保存すると同時に ISDN 回線を通して自動的に観測センターに送信するように設計されている。その際のサンプリングタイムは 100Hz, 200Hz の両設定が可能であり、トリガーの遅延時間も任意に設定できる (通常運用は 100Hz サンプリングタイム)。なお、各センサーにおける絶対時刻は GPS システムにより 1 時間ごとに補正され、これらの絶対時刻によるトリガータイムが加速度データとともに送信されることにより各ステーションの記録の同期がとられている。

観測センターは東北工業大学 8 号館 (3 階建て) の 1 階に位置しており、通常は観測センターのデータサーバーに伝送されるデジタルデータを東北工業大学 10 号館 (8 階建て) の 6 階に位置する神山研究室で処理することで運用がなされている。ただし、2011 年東北地方太平洋沖地震では神山研究室が被災して、処理コンピュータが転倒破損してリアルタイムにデータを処理する通常の運用が困難となった。東北工業大学 10 号館 (8 階建て) は 3 月 22 日 (月) に解除されるまで立ち入り禁止の処置が取られた。写真 3 に研究室の被災概要を示す。

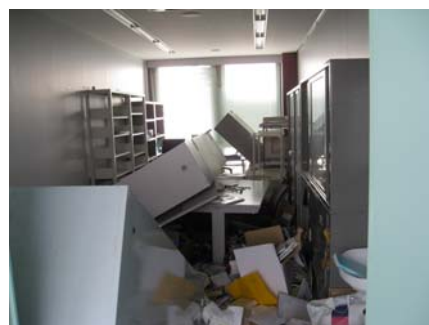


写真 3 研究室の被災状況

一方、観測センターの位置する東北工業大学 8 号館 (3 階建て) は神山研究室のある東北工業大学 10 号館 (8 階建て) に比較して被災が少なく、観測センターのデータサーバーなどの器具類は転倒、落下もなく、無傷であることが建物への立ち入り禁止が解除された 3 月 18 日 (金) に確認された。確認時の観測センターの状況を写真 4 に示す。また、観測センターの東北工業大学 8 号館 (3 階建て) 近辺の地盤に設置してある観測ステーション S09\_TITK の内部の状況も調査され、地震計, MPU, 通信装置などの器具も異常ないことを確認した。観測ステーション S09\_TITK の内部状況を写真 5 に示す。



写真 4 観測センターの状況

東北工業大学 8 号館 (3 階建て) 建物への立ち入り禁止が解除された 3 月 18 日 (金) に観測センターに通電をしてデータサーバーなどの状況確認を行った。その際のメモは以下の通り。

- ・ 各観測点からの地震記録データを収録するフォルダが最初にデータを送ってきた年月日時分秒を



写真 5 観測ステーションの内部状況

もって作成されていたが、中には各観測点の記録のデータファイルは一切なく空の状態。

- Small-Titan は各観測点の地震記録データをデジタル電話回線 ISDN の経由で自動電話をかけ、データを観測センターのサーバーへ送るとともに、各観測ステーションの地震計システム（耐水耐圧のセンサーとその制御装置 MPU とから構成）の MPU の CF メモリにデータを保存するように設定されている。サーバーにフォルダが作成されている状況から、各観測ステーションからデータを送り始めたことは確実で、かつ中にデータファイルがないことはデータ送信中に送信システムにトラブルがあったことを意味するものと推定される。
- 観測センターは無停電電源装置 UPS が設置されており、停電しても3時間は電源が保証されている。この結果から、上記の現象の原因は恐らくデータ伝送中に ISDN が停電でダウンしたことによるものと考えられる。以上のことから、20 各観測ステーションの MPU の CF メモリにデータが保存されていることを祈る思いで期待したい。
- 20 各観測ステーションは3時間の無停電電源装置を有しているのもので、これが正常に作動すれば、データを保存してくれているはずである。
- ただし、地盤に設置されている地震計のセンサーは耐水耐圧であるので、津波に耐えることが期待できるが、高さ約 80cm に設置してある MPU はそのようになっていないことから、いくつかの観測点は津波で水没しているものと推定される（衛星写真データなどから荒浜小学校に設置してある観測ステーション S04\_ARAH は明らかに水没）。

## （2）各観測ステーションの CF メモリの回収状況と経過

3月22日（火）から各観測ステーションへ赴き、強震記録を収録していると期待される CF メモリの回収作業が開始された。ただし、震災後の混乱から道路渋滞とガソリン不足の影響で思うように進展しない状況が続いた。そこで、かねて Small-Titan システム設置でお世話になった業者に回収作業の協力を頂きながら、回収を進めた。結果として、津波による被災で観測ステーションにアクセス不可能な荒浜小学校の観測ステーション（S04\_ARAH）を除く 19 観測ステーションの CF メモリの回収が完了したのは3月30日であった。

19 観測点の CF メモリの回収完了に伴い、それらのメモリにおけるデジタル記録の収録状況の確認が3月31日（木）に CF メモリリーダーを用いて行われた。その結果、次の3観測点において本震記録が欠測となっていることが明らかとなった。これら3観測点の欠測の理由は本震前後の地震記録の収録状況から、本震途中に発生した停電に伴い自動的に起動するはずの無停電電源装置が作動せず、その結果、デジタルデータが保存されない状況に至ったものと推定される。

3 観測点の欠測は大変に残念なことであるが、一方では他の 16 観測点において 10 分間に及ぶ継続時間をもって完璧に記録を収録しており、あのような状況のもとでは Small-Titan は一定程度の成果を収めたものと評価してよいと思われる。

本震記録の欠測観測点

- S06\_SENH 仙台東高校観測点
- S17\_TAKA 田子小学校観測点
- S18\_TAGN 多賀城第二中学校観測点

津波の被災を受けた荒浜小学校の観測ステーション



写真6 荒浜地区の津波被災状況  
（赤いガソリンスタンドの残骸の向こうに  
4階建ての荒浜小学校がみえる）



写真7 荒浜小学校近辺の被災状況



写真8 荒浜小学校観測ステーションの外観

ン (S04\_ARAH) への接近は4月1日頃から部分的に可能になった。同日の予備的な現況視察に基づき、荒浜小学校観測ステーションの小屋は津波により明らかに水没しているものの、小屋自体は移動することもなく、付近の構造物の惨憺たる被災状況のなか、原形を留めていることが確認された。ただし、観測小屋の周りには大小の津波漂流物が散乱しており、小屋のドアも容易に開閉できない状態であった。写真6~9に付近の津波被害と観測小屋の状況を示す。写真8に示すように、観測小屋の頭上に津波漂流の泥が堆積している状況から、この付近の津波高さは観測小屋より高かったのは明らかである。一方、写真9に示す荒浜小学校の裏手の1階給食厨房の被災が天井まで及んでいること、その上層階の水没がみられないことを勘案すると、この付近の津波高さは4~5mであったものと推定される。このような高さの津波の襲来に対してSmall-Titanの観測小屋が元の位置にあり、原形を留めていることは特筆すべきことと思われる。

4月4日(月)にSmall-Titan管理担当の3名



写真9 荒浜小学校1階、2階の被災差



写真10 荒浜観測ステーション内部  
(電源盤と通信設備で完全に水没した形跡を示している。手前にMPUを保護する覆いカバーがみえる)



写真11 荒浜観測ステーション内部  
(津波漂流の泥で覆い尽くされた地震計センサー)

(神山, 穴澤, 松川) が再度, 荒浜小学校観測ステーションに赴き, 同観測点における CF メモリ回収を試みた。周りの大きな障害物を片付け, 曲がりなりのスペースを確保して, 海水で錆び付いたドアをこじ開け, 小屋内部に強引に入室して, CF メモリの回収を行った。内部状況を写真 10~13 に示す。写真 10~13 から明らかのように小屋内部は完全に水没しており, 観測機器全体の機能回復は明らかに困難である。このような状況下での CF メモリの機能も大いに疑われるところであったが, 奇跡を期待して回収を行ったものである。

回収後, 帰学して直ちに CF メモリの収録状況の確認作業が行われた。CF メモリリーダーによる読み込みトライに対して容易に読み込み可能な状態ではなかったが, CF メモリを拭き取り, 息を吹きかけ, 微振動を与えるなどの試みを続けた結果, まさしく奇跡的に読み込み可能になり, かつ本震はもとより, その後の余震記録を本震発生後の約 1 時間後の 15 時 52 分 54 秒まで 16 個収録していることが判明した。この荒浜小学校観測ステーションの CF メモリに収録されている 15 時 52 分 54 秒はこの時間を期して観測システムの物理的な収録が不可能になった時刻を示すものであり, この時刻に津波の襲来があったことを暗示するものと考えられる。このように, 津波襲来の時間が明示的に収録されたことは極めて珍しいことである。逆に, 本震から最終収録余震までのこの時間差は防災・減災対策を考える上での多くの示唆を与えてくれる。荒浜地区から津波の防波堤となった仙台東部道路堤まで約 2km の短距離であることを考えると, ここで明示的に収録されている 1 時間という時間差は日頃の防災啓発運動から避難が十分可能な時間差であり, 荒浜地区で 200~300 名の犠牲者が出てしまったことは返すがえすも悔やまれることである。



写真 12 荒浜観測ステーション内部  
(MPU の覆い蓋を開いて中の基盤の状況を確認。完全に水没しており, 機能回復は困難と判断される状況)

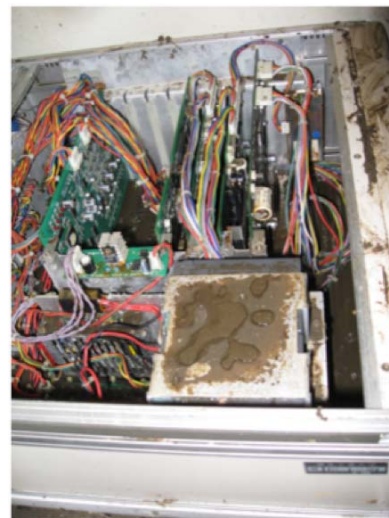


写真 13 荒浜観測ステーション内部  
(MPU の中身の拡大。内部にまで津波の泥が堆積。右から 2 番目の基盤に CF メモリが装着されている)



## 4. 2011年東北地方太平洋沖地震による記録概要

### (1) 各観測点の記録の一覧

以上のように Small-Titan は 20 観測点中 17 観測点において 2011 年東北地方太平洋沖地震の本震および多くの余震の強震記録の取得に成功した。表 1 はこれらのうち本震の記録の一覧を示したものである。最大加速度は観測点 S20\_NAKI（七北田中学校観測点）における 1853 ガルであり、最大震度は観測点 S11\_CCHG（七郷中学校観測点）の震度 7 である。特に、今回の地震で仙台市圏において気象庁の 10 段階震度階の最高震度階である震度 7 があったことが明らかとなったのは特筆すべきことである。

図 1～図 3 に NS（南北方向水平動）、EW（東西方向水平動）、UD（上下動）別に観測点 S01～S20 の順に時間軸を合わせて加速度記録を示す。観測点ごとに振幅レベルが観測点の地盤条件、地形条件などサイト固有の条件を反映して大きく変化することがわかる。これらの加速度記録から気象庁方式により計測震度を算定したものが表 1 に示されていると同時に、その分布がカラーイメージをもって図 4 に示されている。図 4 では仙台市圏の標高分布も重ね書きされているが、全体に標高が低く沖積層が堆積する東部において震度が大きくなっていることがわかる。この分布傾向は過去の多くの地震で観測されたものとはほぼ同じである。一方、今回の地震では震央距離を反映して震央に近い北部領域で震度が大きいという特徴がみられる。

表 1 Small-Titan による記録一覧

略号	観測点	コード	北緯(度)	東経(度)	最大加速度(ガル)	計測震度	震度階
S1(AKA001)	尚綱学院大学	SHOK	38.192	140.832	215	5.1	5強
S2(AKA002)	柳生中学校	YAGI	38.186	140.876	764	5.9	6弱
S3(AKA003)	東四郎丸小学校	HSHR	38.191	140.927	521	5.9	6弱
S4(AKA004)	荒浜小学校	ARAH	38.22	140.983	542	5.9	6弱
S5(AKA005)	仙台東高校	SENH	38.217	140.936	欠測		
S6(AKA006)	東長町小学校	HNAG	38.217	140.894	720	6.0	6強
S7(AKA007)	太白小学校	TAIH	38.228	140.821	709	5.6	6弱
S8(AKA007)	栗生小学校	KURI	38.264	140.789	564	5.5	6弱
S9(AKA008)	東北工大香澄町	TITK	38.243	140.854	471	5.8	6弱
S10(AKA008)	東北工大二ツ沢	TITF	38.231	140.874	429	5.6	6弱
S11(AKA009)	七郷中学校	CCHG	38.234	140.949	1074	6.5	7
S12(AKA009)	仙台工業高校	SIKO	38.256	140.921	542	5.8	6弱
S13(AKA010)	連坊小学校	RENB	38.249	140.891	521	5.7	6弱
S14(AKA010)	桜ヶ丘小学校	SAKR	38.3	140.854	681	5.8	6弱
S15(AKA011)	(旧)宮城県立盲学校	MOGA	38.275	140.882	700	5.6	6弱
S16(AKA011)	南光台東小学校	NANK	38.296	140.916	699	5.8	6弱
S17(AKA012)	田子小学校	TAKA	38.271	140.961	欠測		
S18(AKA012)	多賀城第二中学校	TGNI	38.298	140.983	欠測		
S19(AKA013)	岩切中学校	IWAK	38.299	140.949	859	6.4	6強
S20(AKA013)	七北田中学校	NAKI	38.321	140.896	1853	6.1	6強

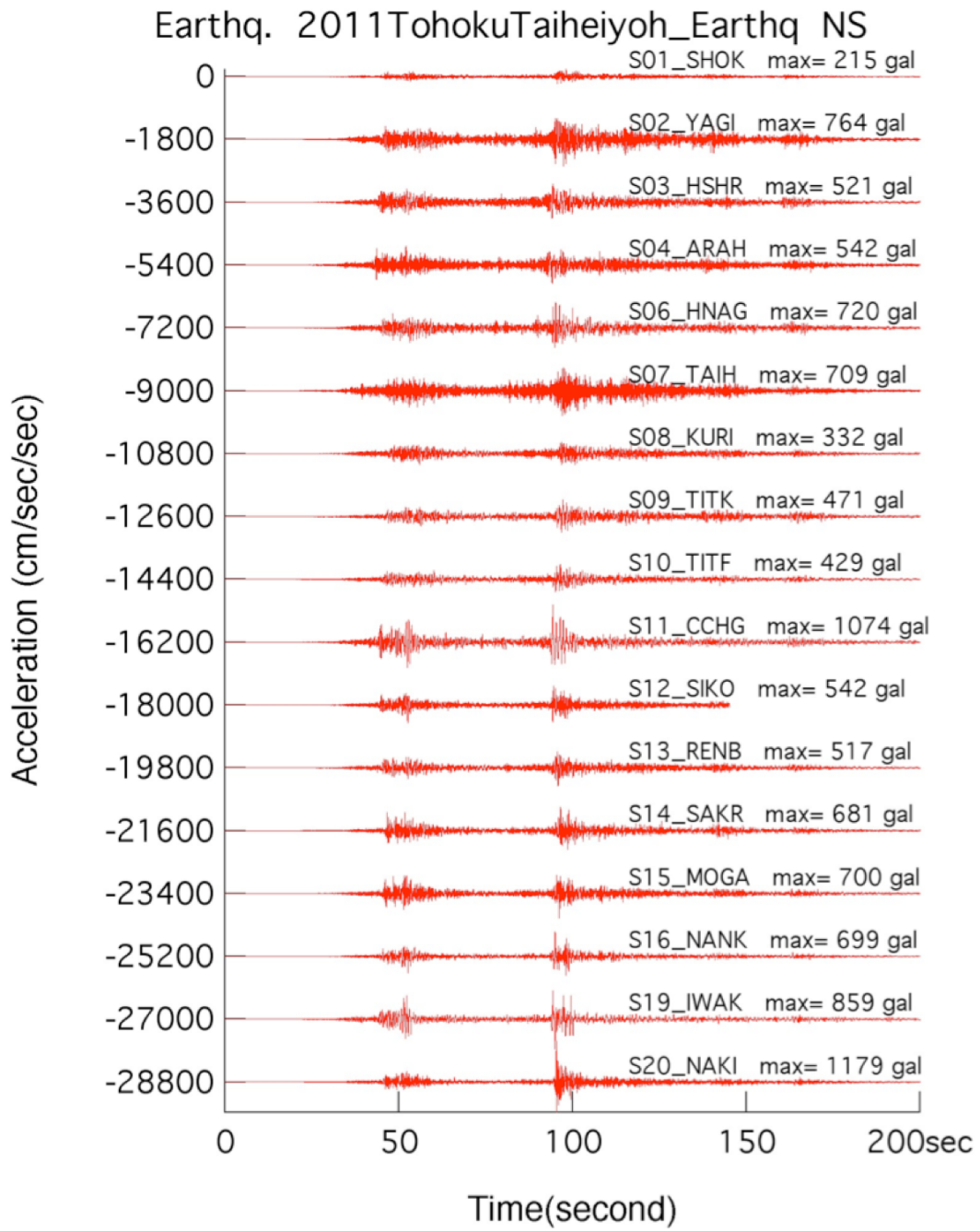


図1 NS成分の加速度記録

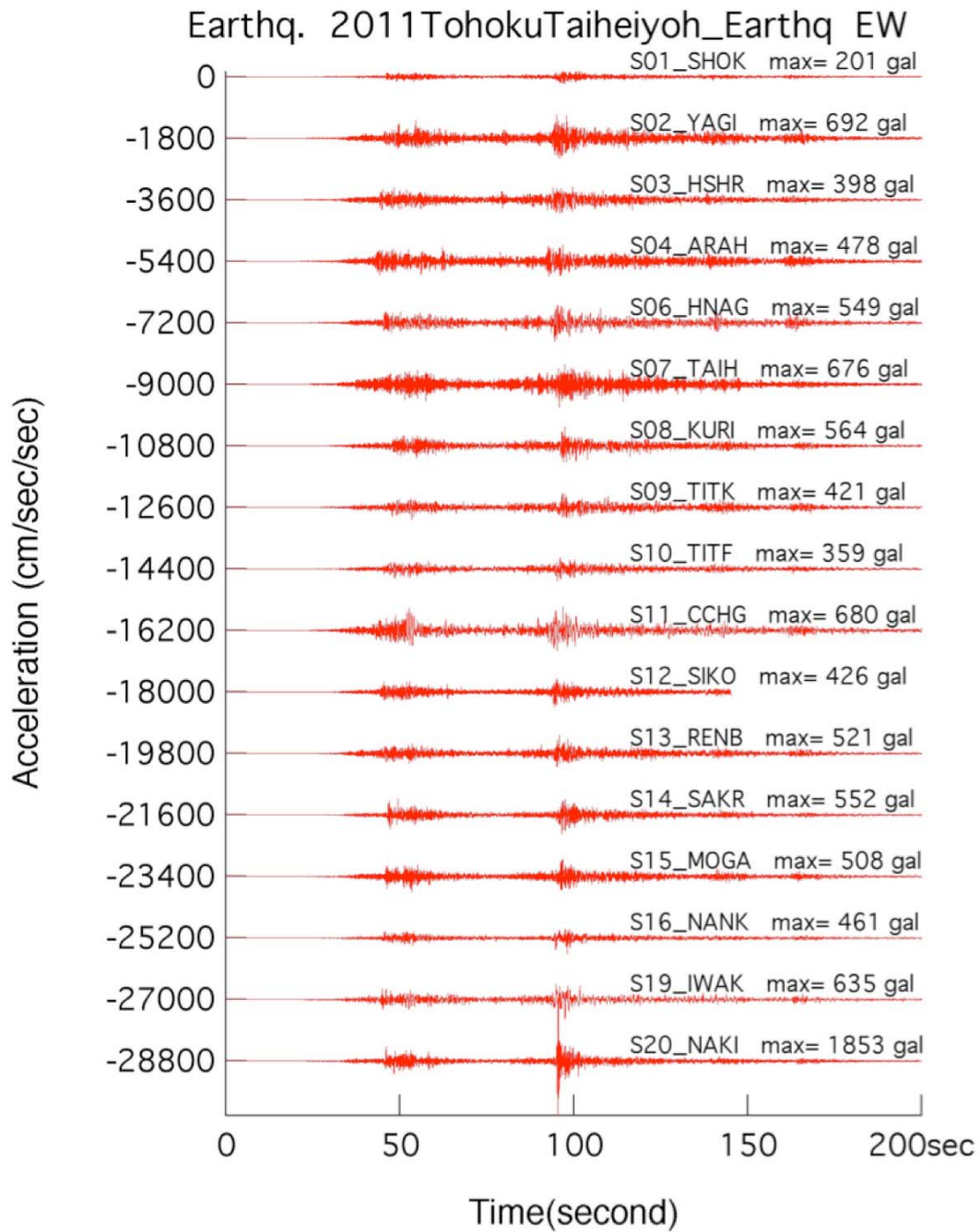


図2 EW成分の加速度記録

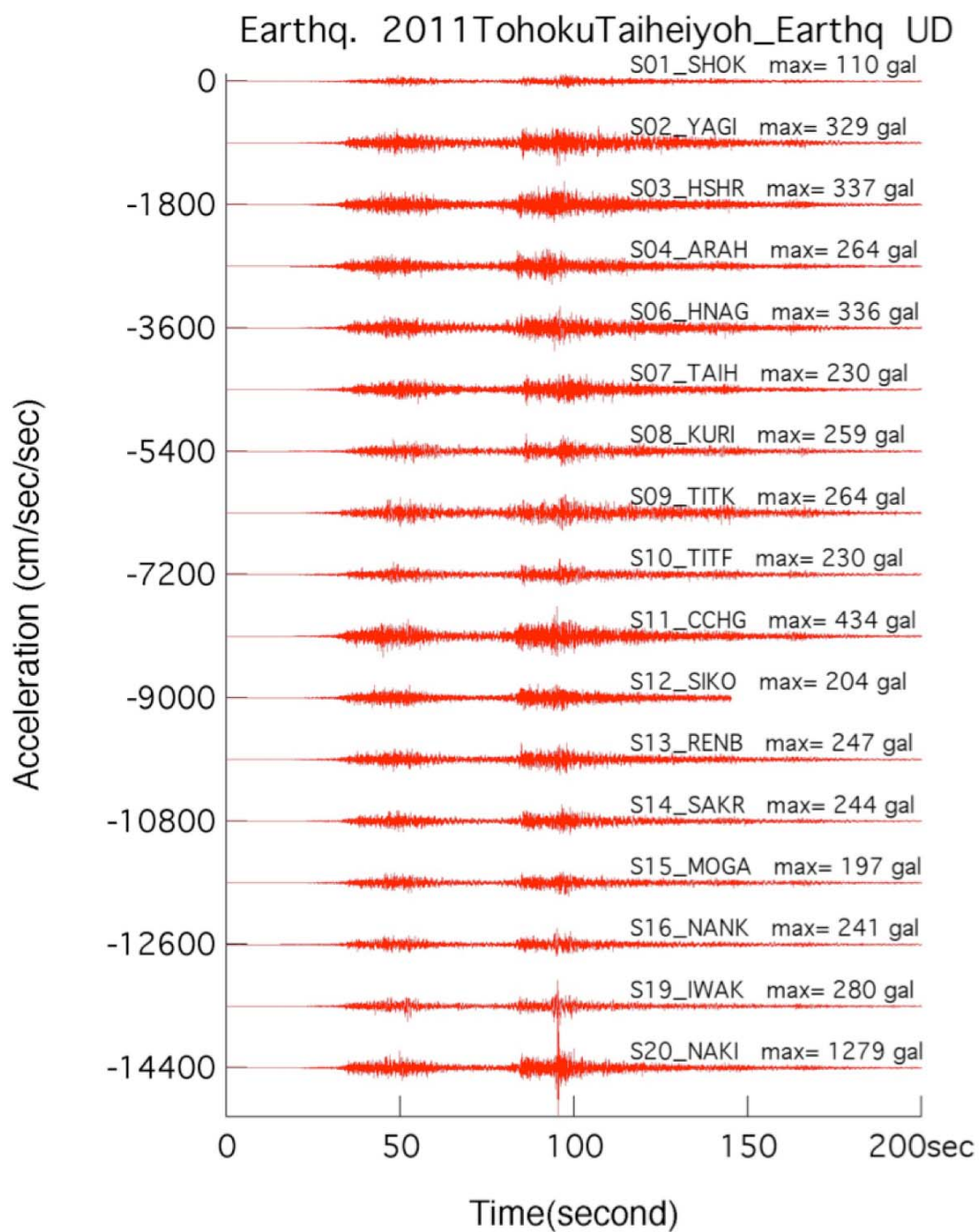


図3 UD成分の加速度記録

# Small-Titan20110311

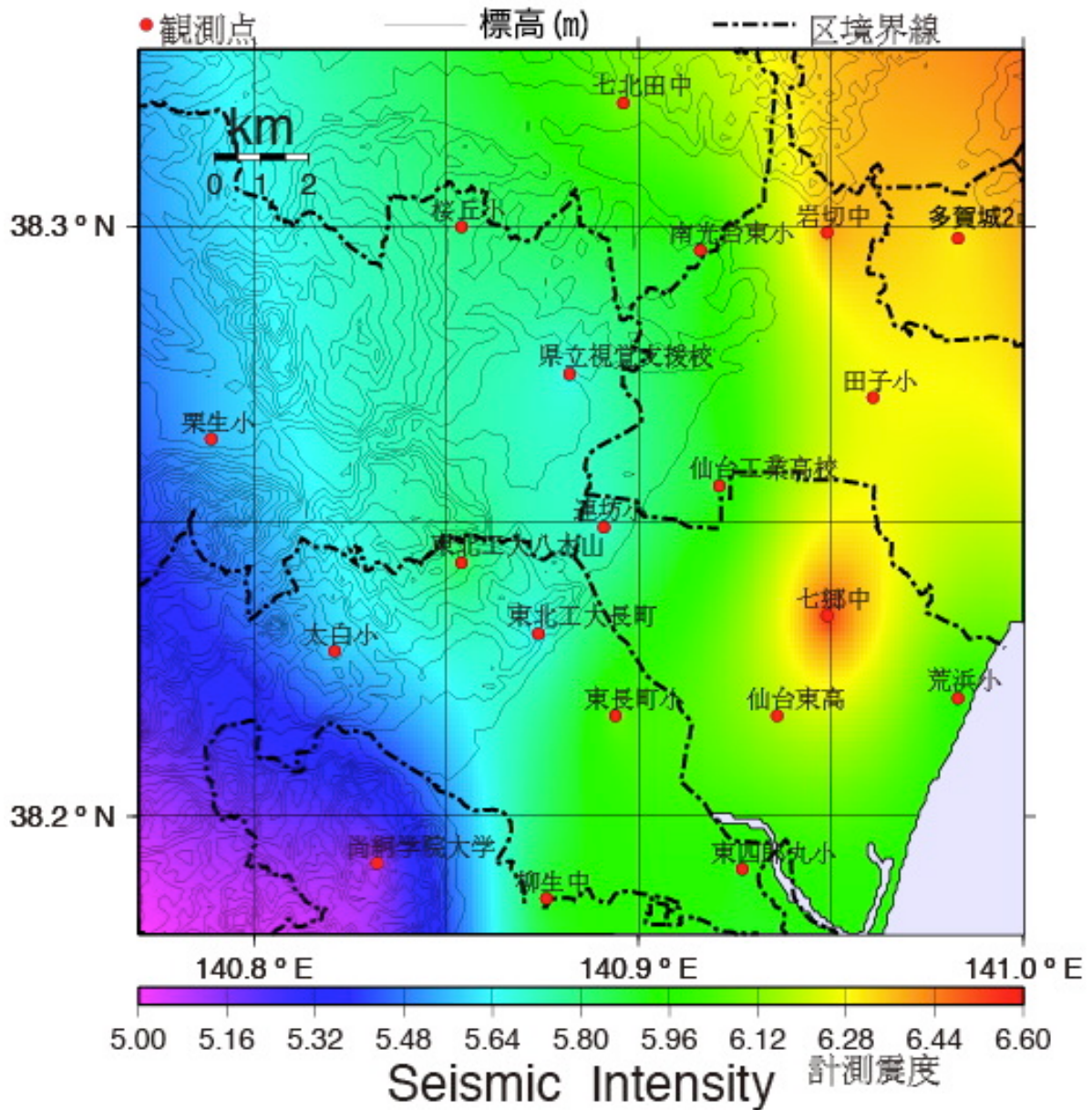
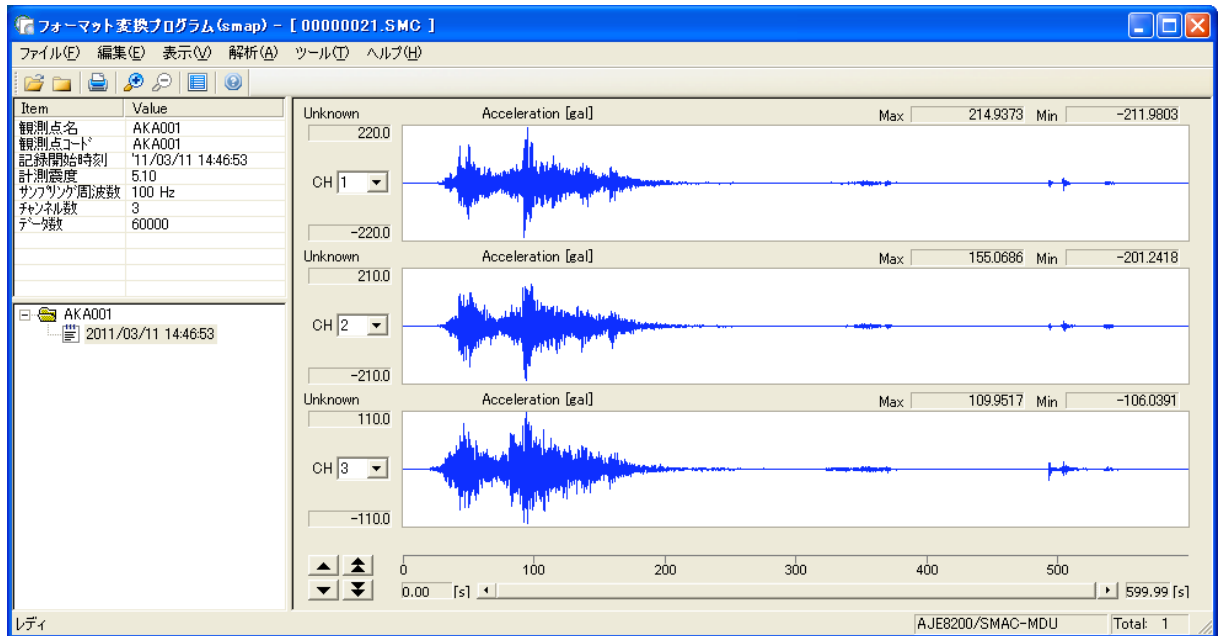


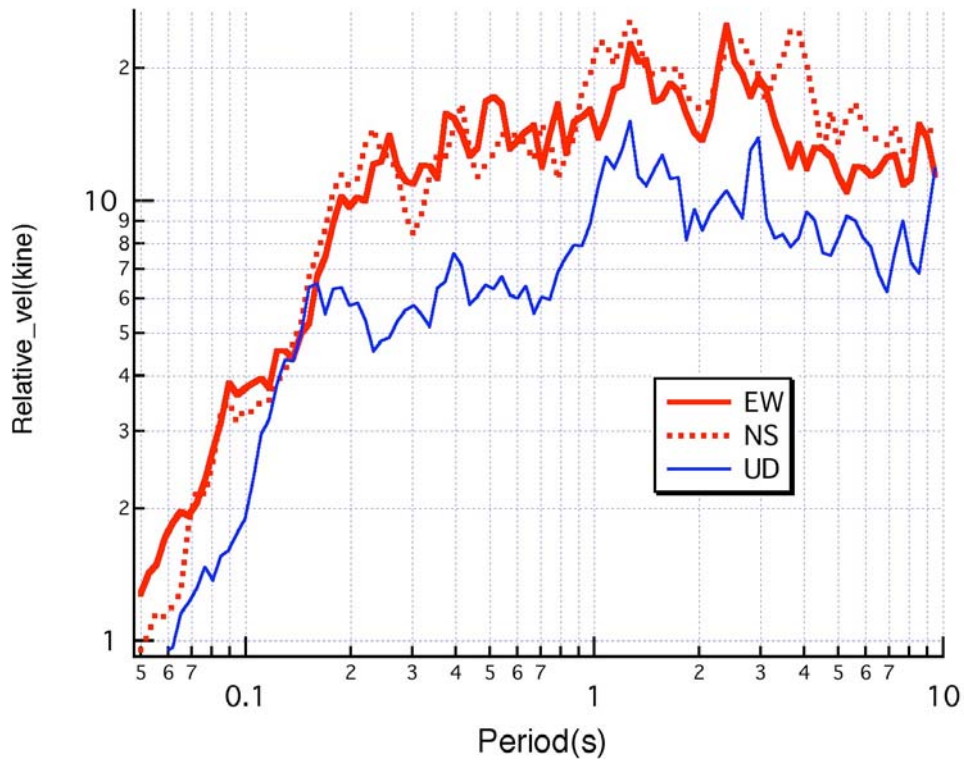
図4 Small-Titanにより求められた仙台市圏における計測震度分布

(2) 観測点ごとの記録と速度応答スペクトル(減衰定数  $h=0.05$ )

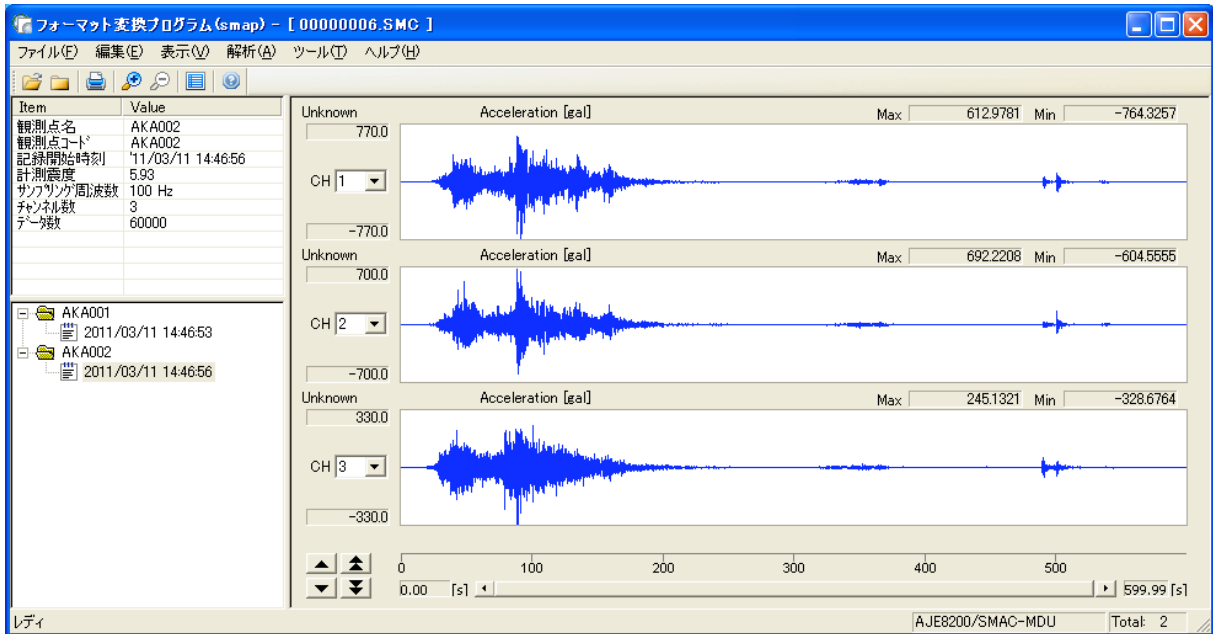
① S01\_SHOK (尚絅学院大学)



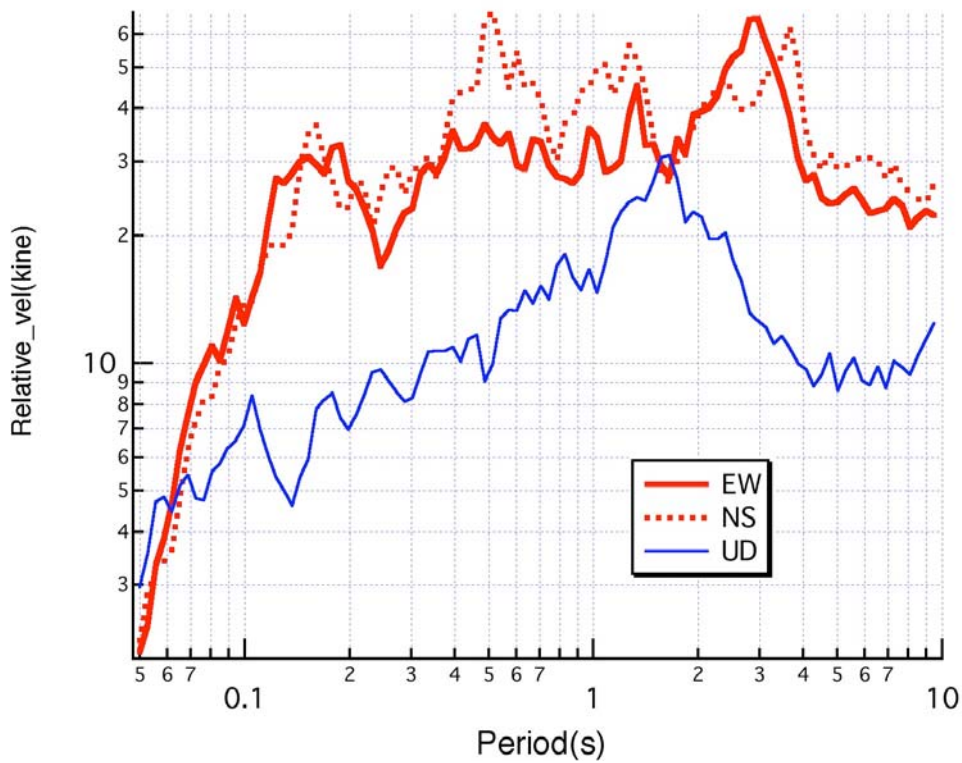
Earthq. S01\_SHOK S01\_SHOK ch. 1(NS) and 2(EW)  
Relative Vel Resp Spectrm of 2ch horizontal compsite Damping  $h=0.05$   
start=17.15---end=193.57



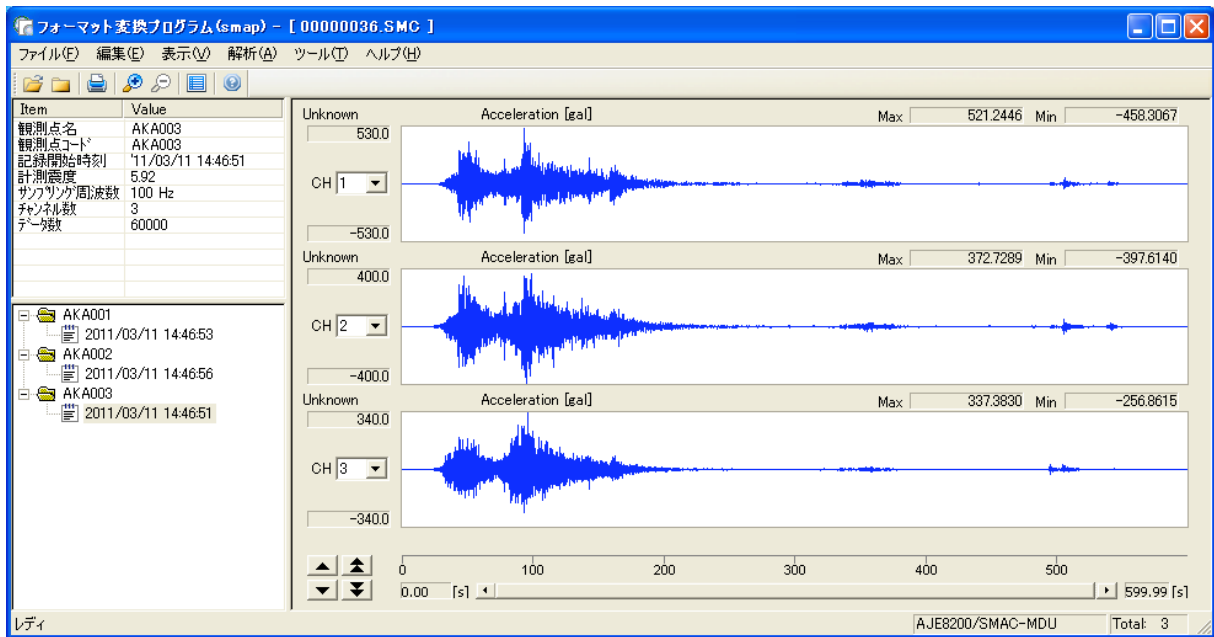
② S02\_YANG (柳生中学校)



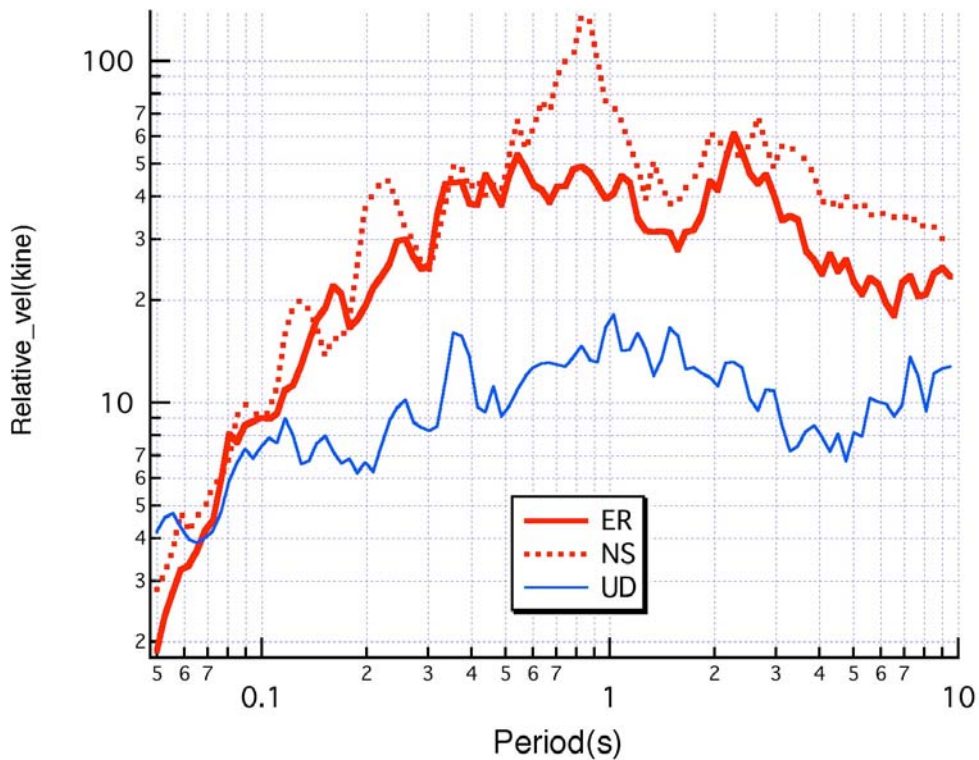
Earthq. S02\_YANG S02\_YAGI ch. 1(NS) and 2(EW)  
 Relative Vel Resp Spectrm of 2ch horizontal compsite Damping h=0.05  
 start=11.43---end=194.29



③ S03\_HSHR (東四郎丸中学校)

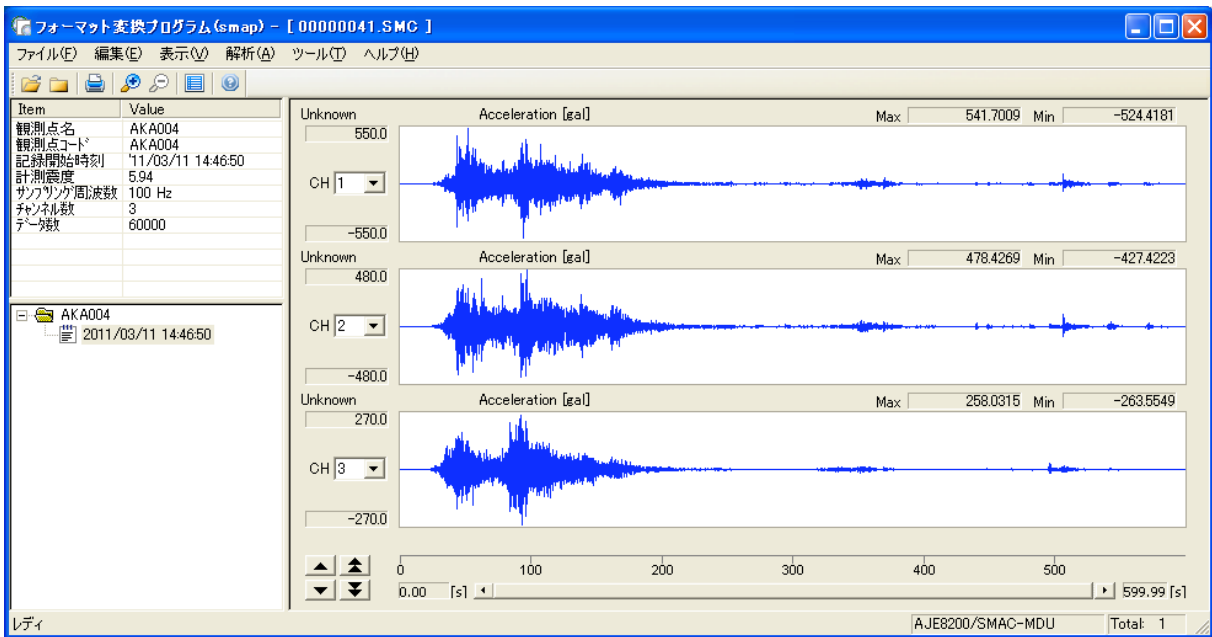


Earthq. S03\_HSHR S03\_HSHR ch. 1(NS) and 2(EW)  
 Relative Vel Resp Spectrm of 2ch horizontal compsite Damping  $h=0.05$   
 start=15.03---end=193.19

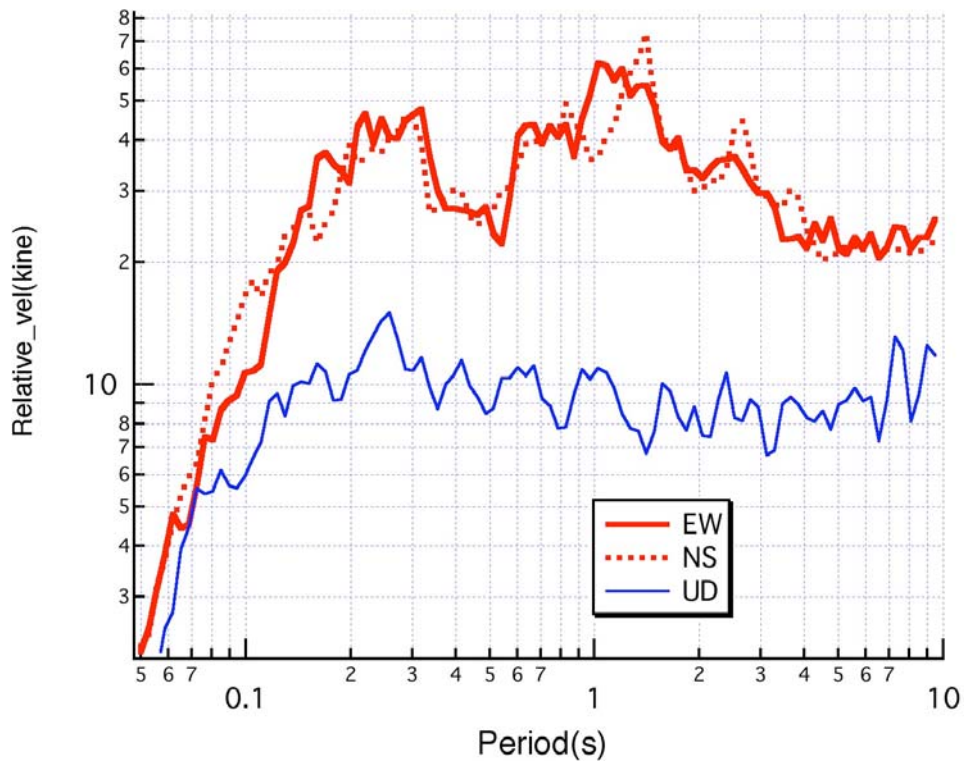




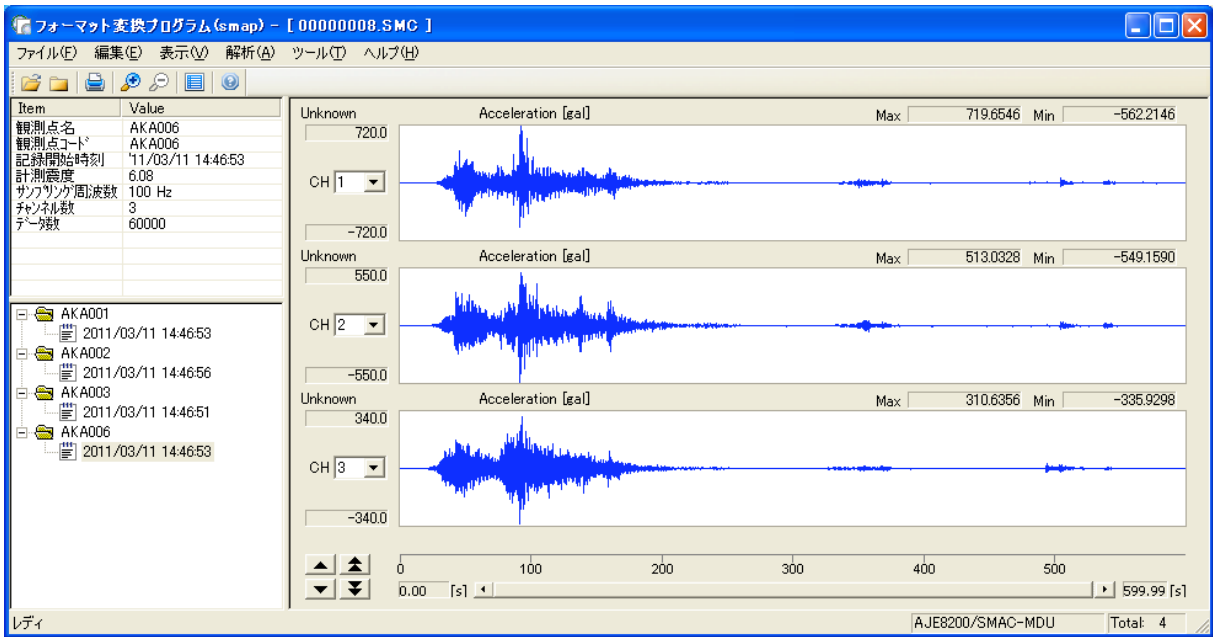
④ S04\_ARAH (荒浜小学校)



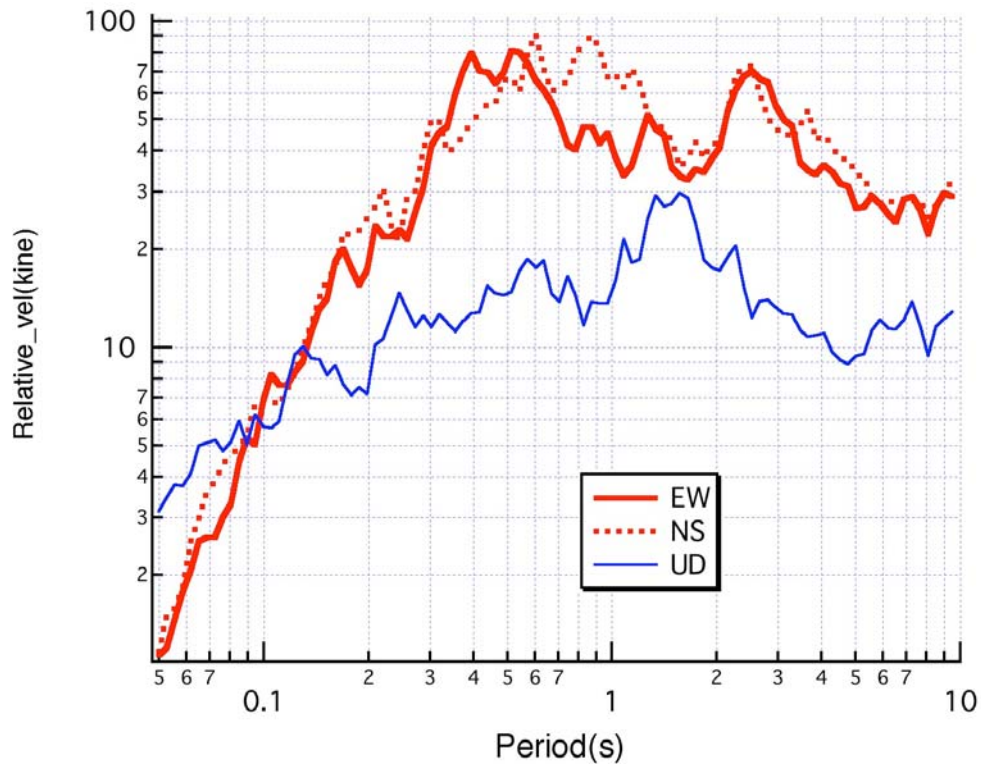
Earthq. S04\_ARAH S04\_ARAH ch. 1(NS) and 2(EW)  
Relative Vel Resp Spectrm of 2ch horizontal compsite Damping  $h=0.05$   
start=10.72---end=207.86



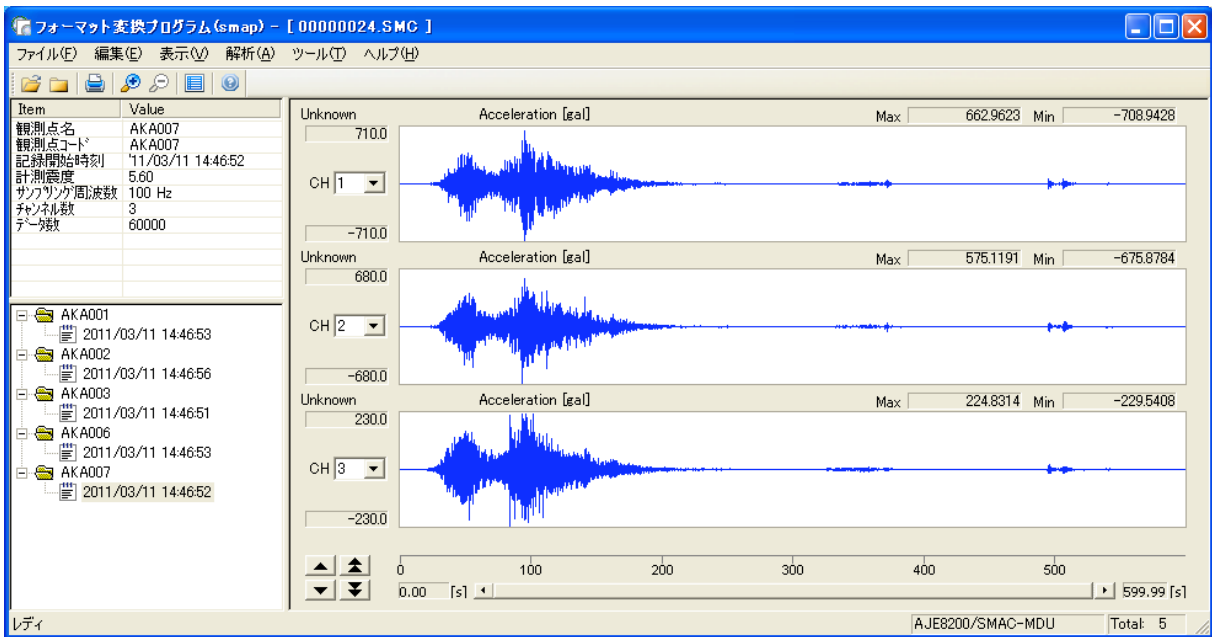
⑤ S06\_HNAG (東長町小学校)



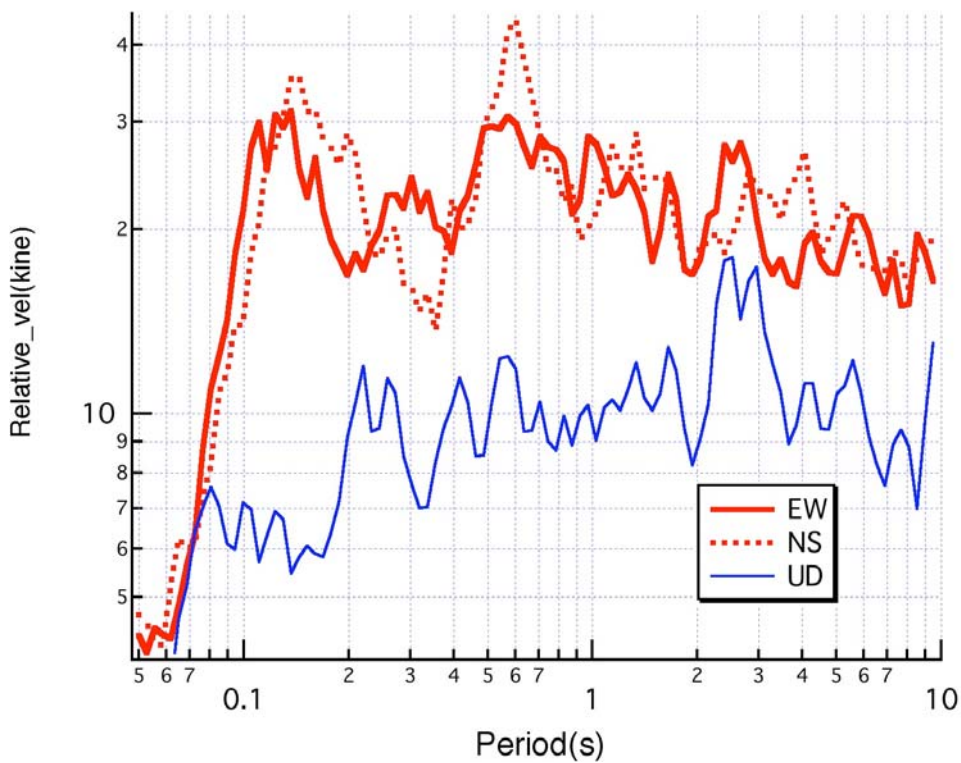
Earthq. S06\_HNAG S06\_HNAG ch. 1(NS) and 2(EW)  
 Relative Vel Resp Spectrum of 2ch horizontal compsite Damping  $h=0.05$   
 start=15.08---end=217.51



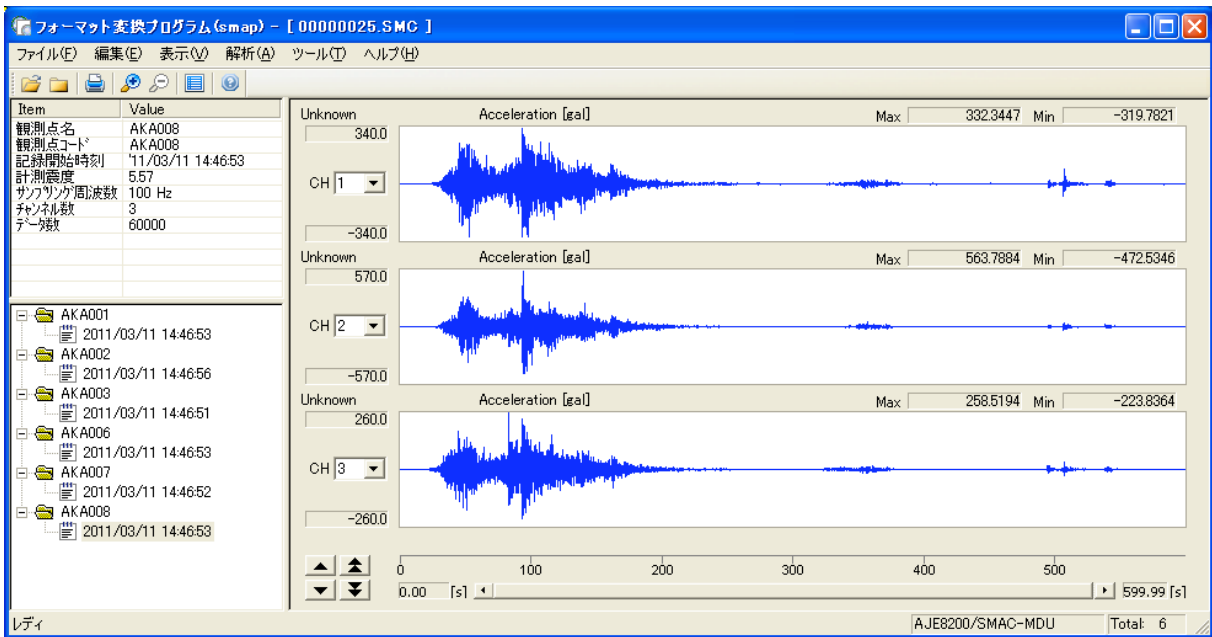
⑥ S07\_TAIH (太白小学校)



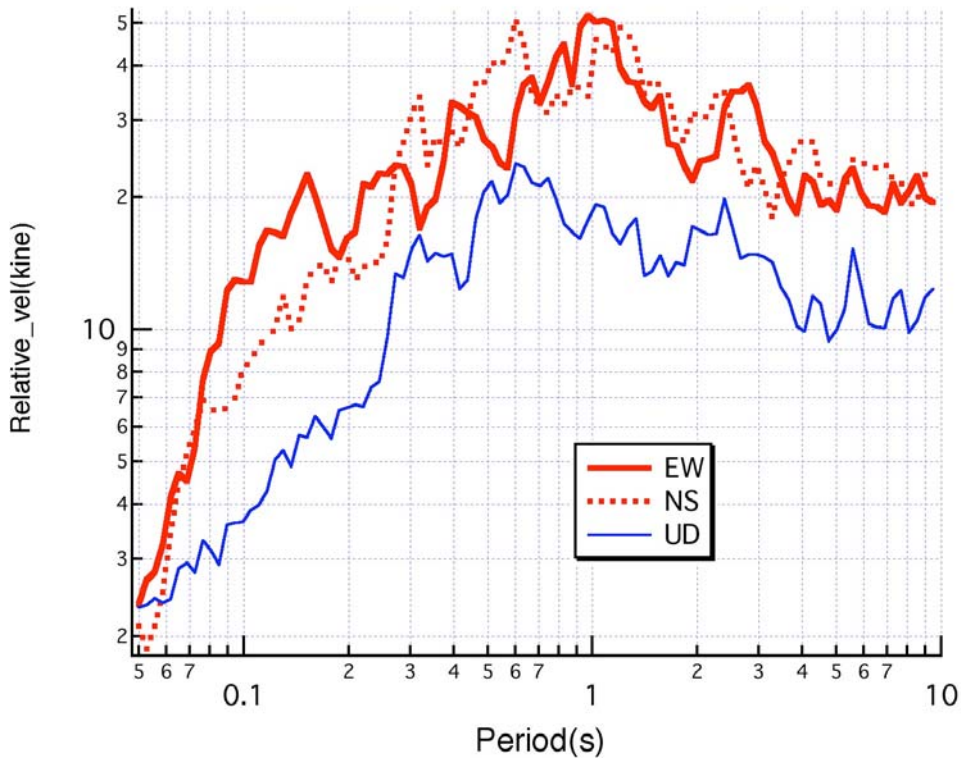
Earthq. S07\_TAIH S07\_TAIH ch. 1(NS) and 2(EW)  
 Relative Vel Resp Spectrum of 2ch horizontal compsite Damping h=0.05  
 start=12.9---end=197.79



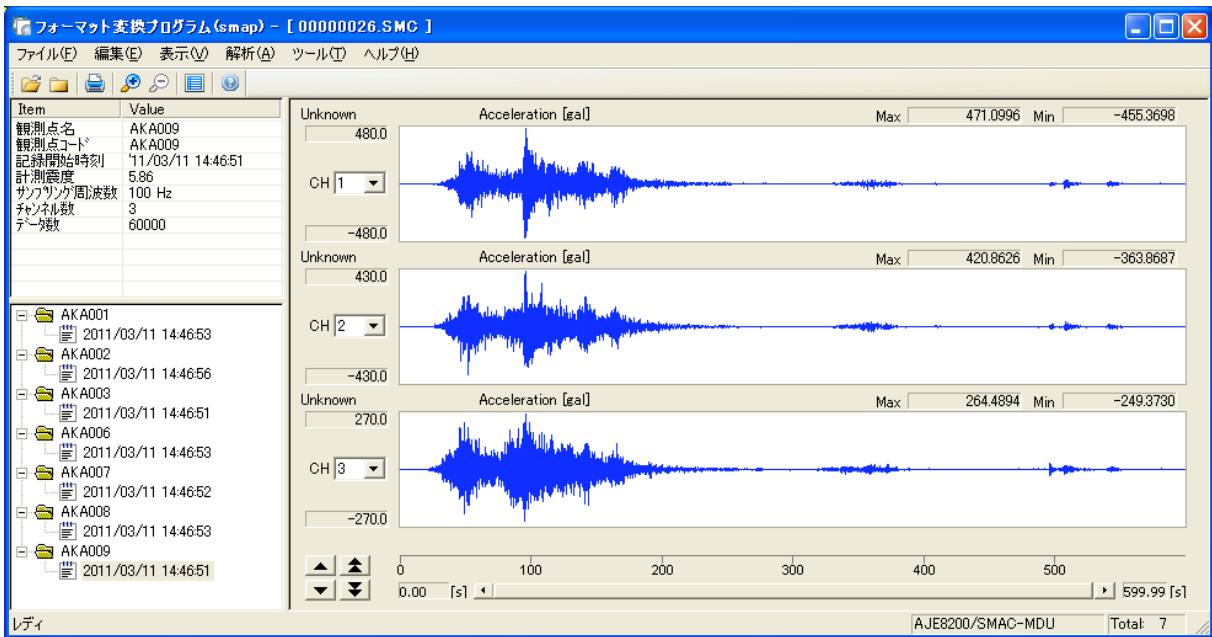
⑦ S08\_KURI (栗生小学校)



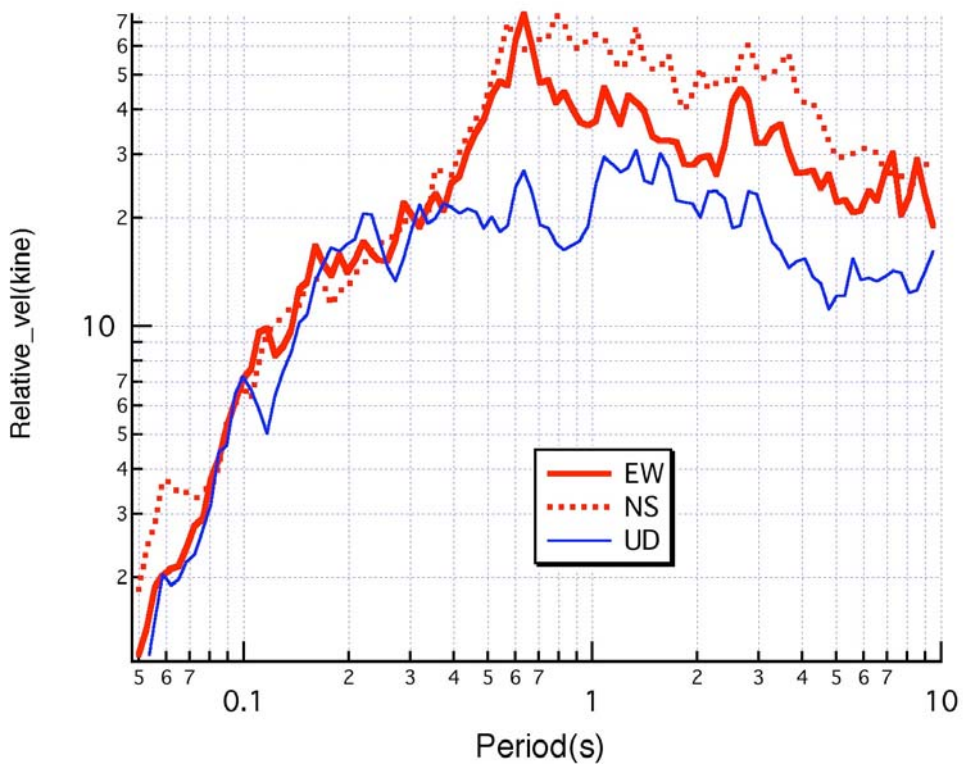
Earthq. S08\_KURI S08\_KURI ch. 1(NS) and 2(EW)  
 Relative Vel Resp Spectrm of 2ch horizontal compsite Damping h=0.05  
 start=10.77---end=200.28



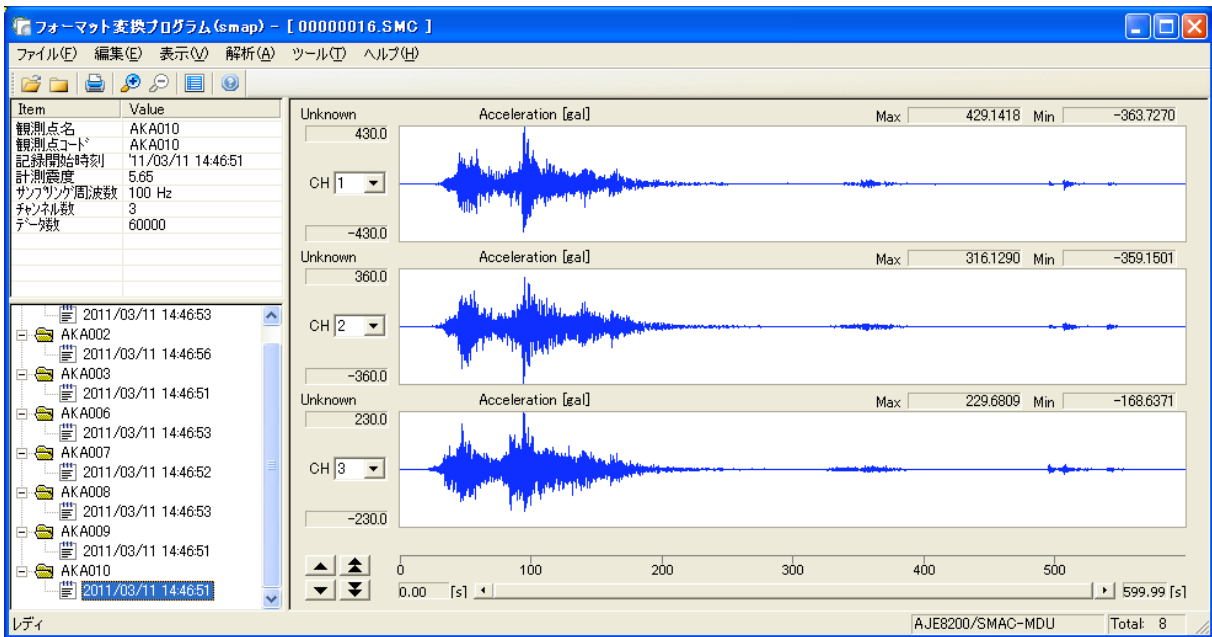
⑧ S09\_TITK (東北工業大学八木山キャンパス)



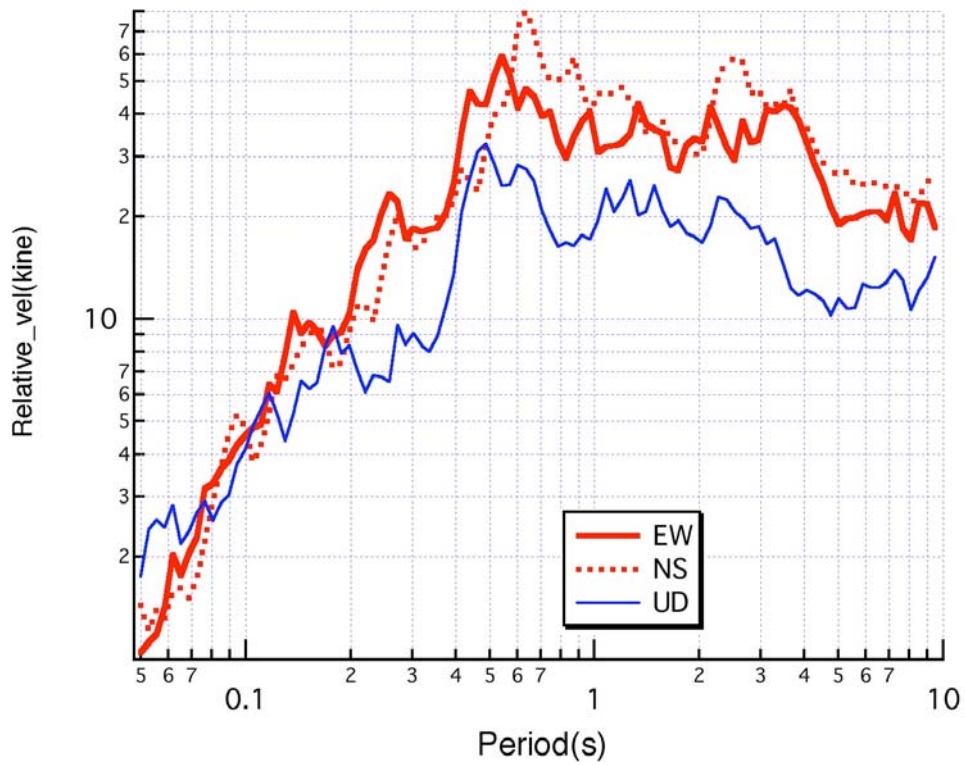
Earthq. S09\_TITK S09\_TITK ch. 1(NS) and 2(EW)  
 Relative Vel Resp Spectrm of 2ch horizontal compsite Damping  $h=0.05$   
 start=12.88---end=248.98



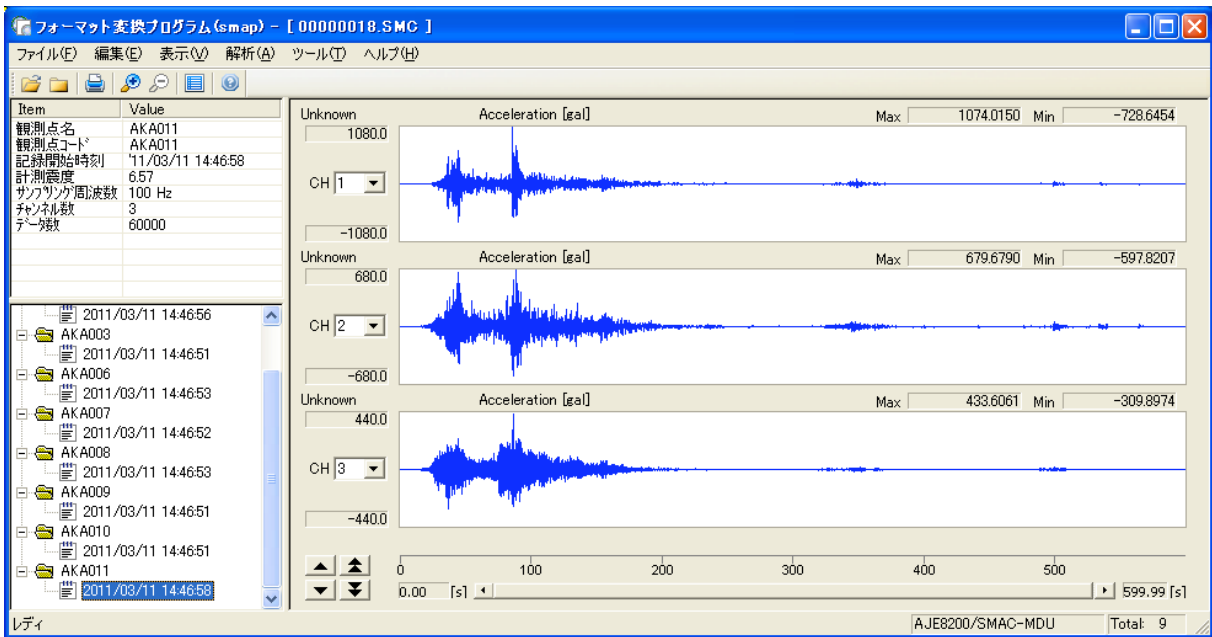
⑨ S10\_TITF (東北工業大学長町キャンパス)



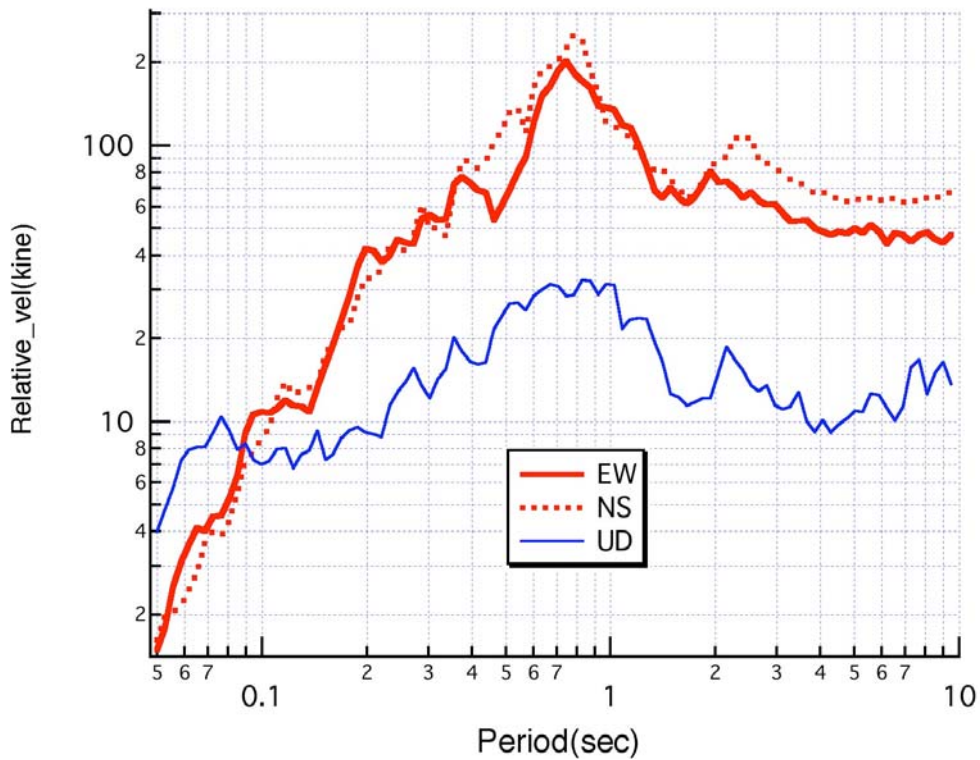
Earthq. S10\_TITF S10\_TITF ch. 1(NS) and 2(EW)  
 Relative Vel Resp Spectrm of 2ch horizontal compsite Damping  $h=0.05$   
 start=12.88---end=212.5



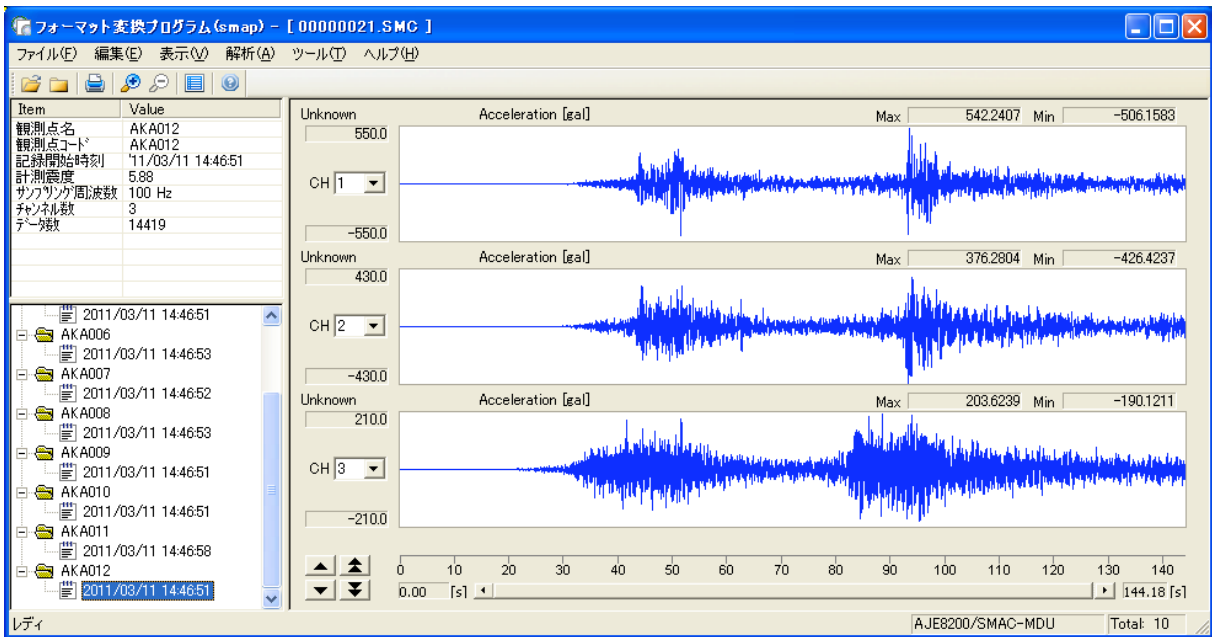
⑩ S11\_CCHG (七郷中学校)



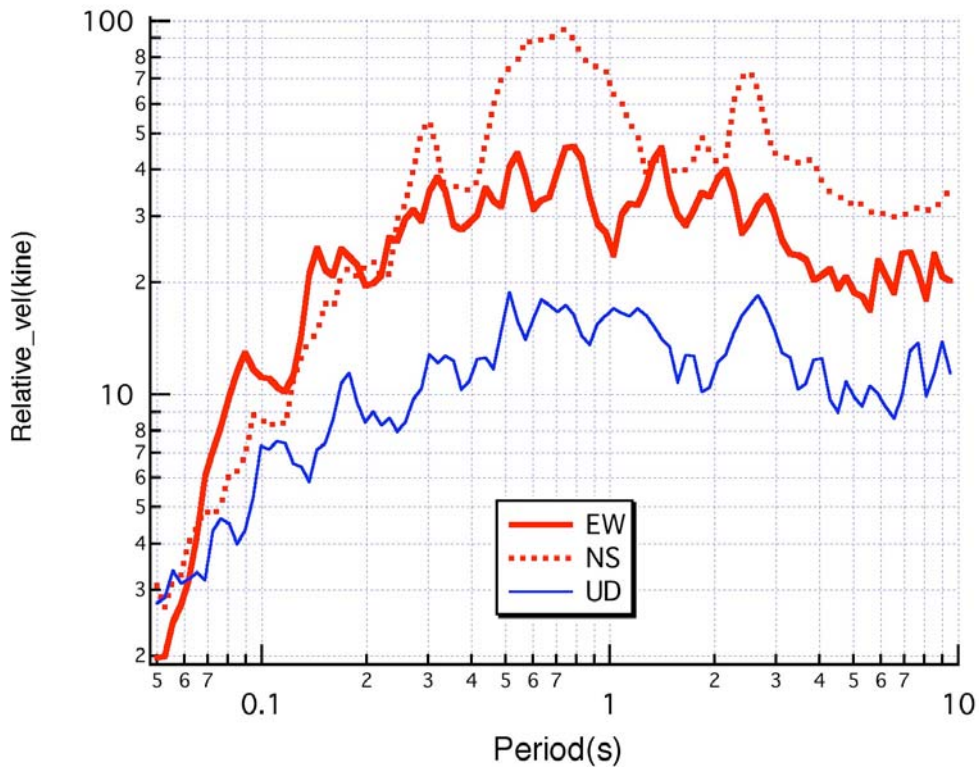
Earthq. S11\_CCHG S11\_CCHG ch. 1(NS) and 2(EW)  
Relative Vel Resp Spectrm of 2ch horizontal compsite Damping h=0.05  
start=13.58---end=190.72



⑪ S12\_SIKO (仙台工業高校)

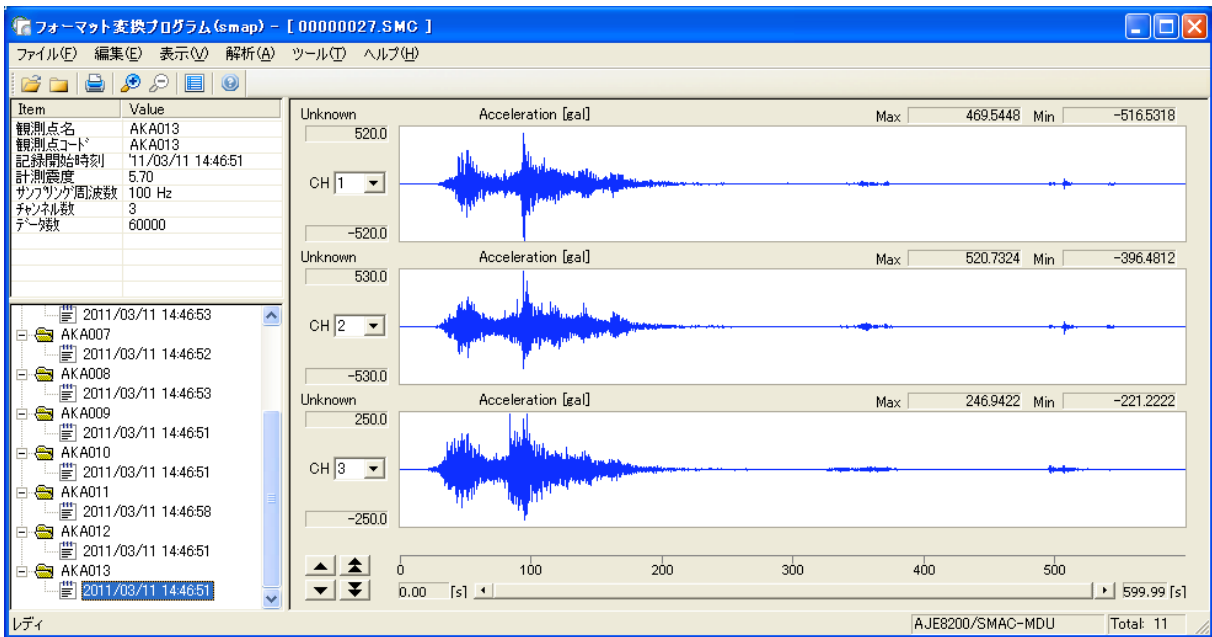


Earthq. S12\_SIKO S12\_SIKO ch. 1(NS) and 2(EW)  
 Relative Vel Resp Spectrm of 2ch horizontal compsite Damping  $h=0.05$   
 start=16.6---end=140.59

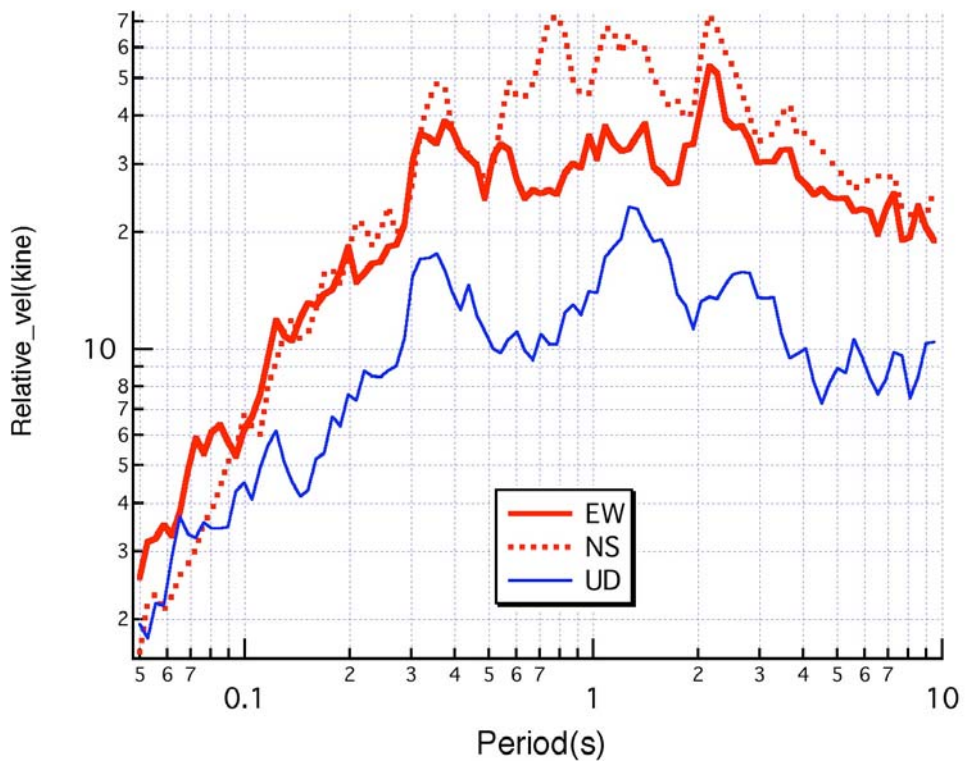




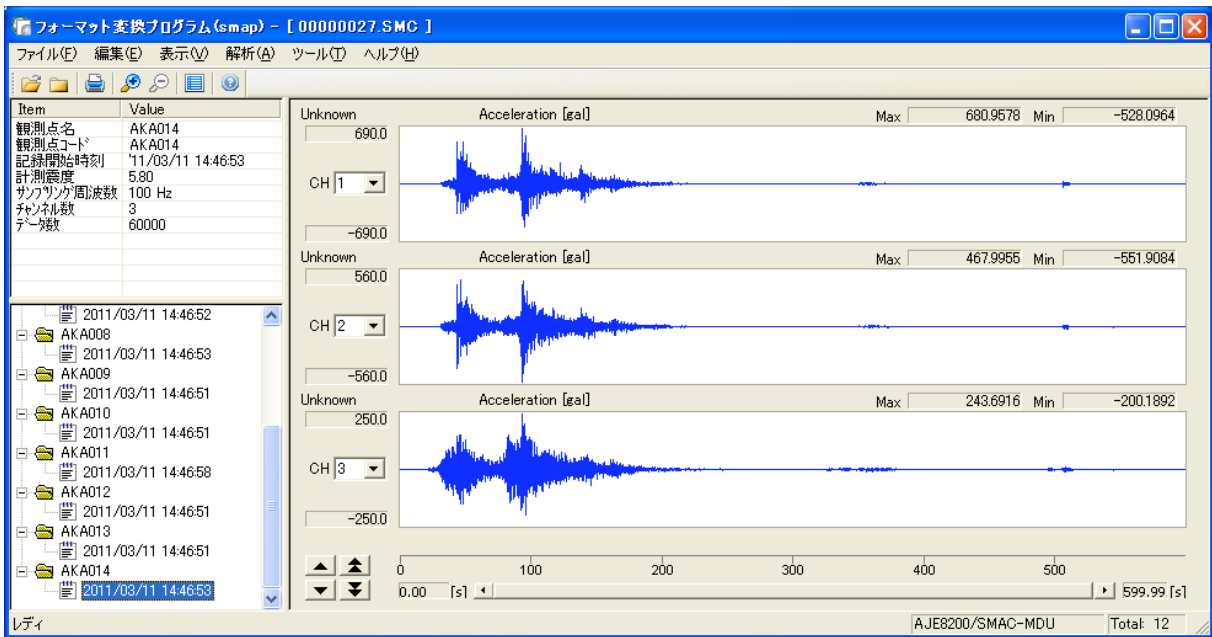
⑫ S13\_RENB (連坊小学校)



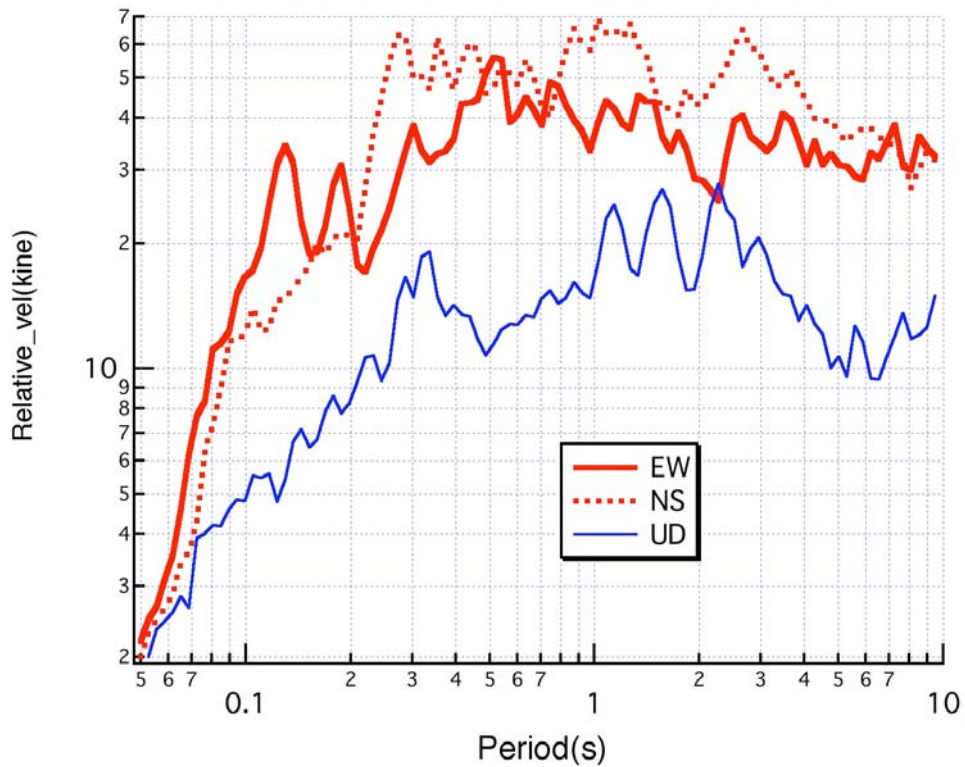
Earthq. S13\_RENB S13\_RENB ch. 1(NS) and 2(EW)  
 Relative Vel Resp Spectrm of 2ch horizontal compsite Damping h=0.05  
 start=6.44---end=218.94



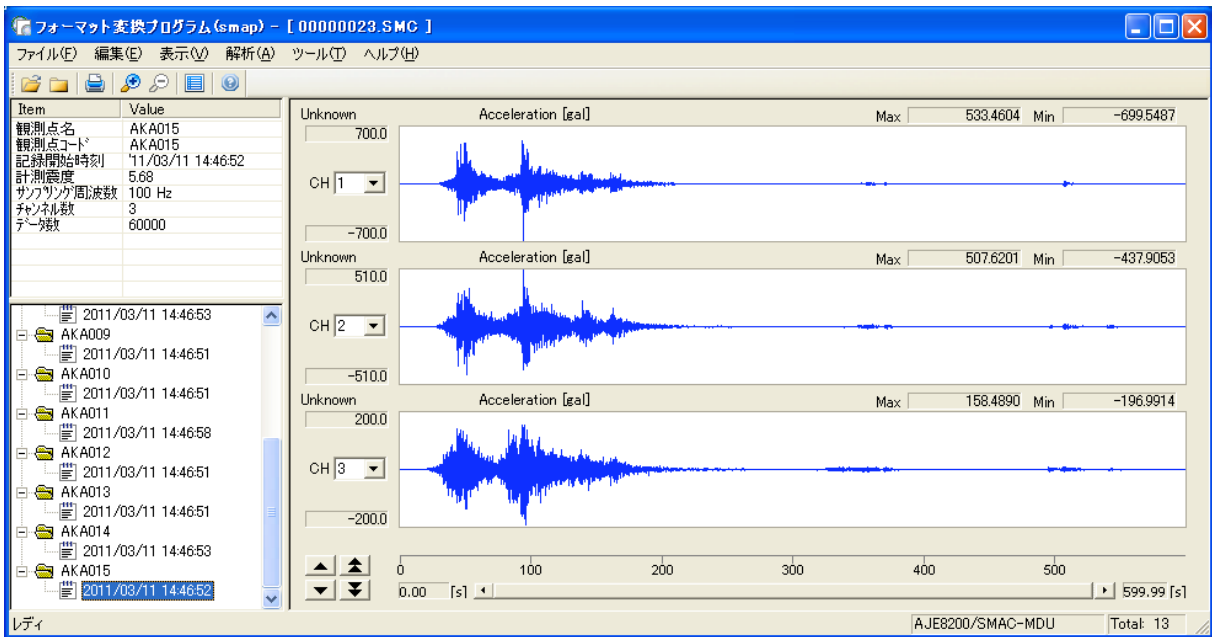
⑬ S14\_SAKR (桜丘小学校)



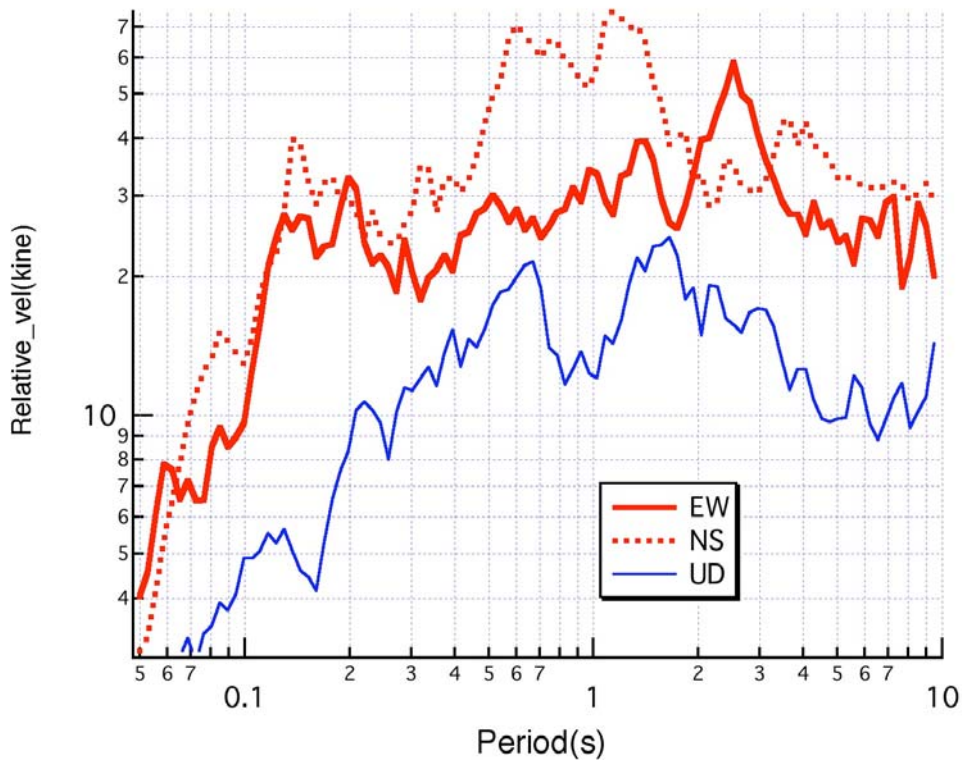
Earthq. S14\_SAKR S14\_SAKR ch. 1(NS) and 2(EW)  
 Relative Vel Resp Spectrm of 2ch horizontal compsite Damping h=0.05  
 start=15.08---end=211.04



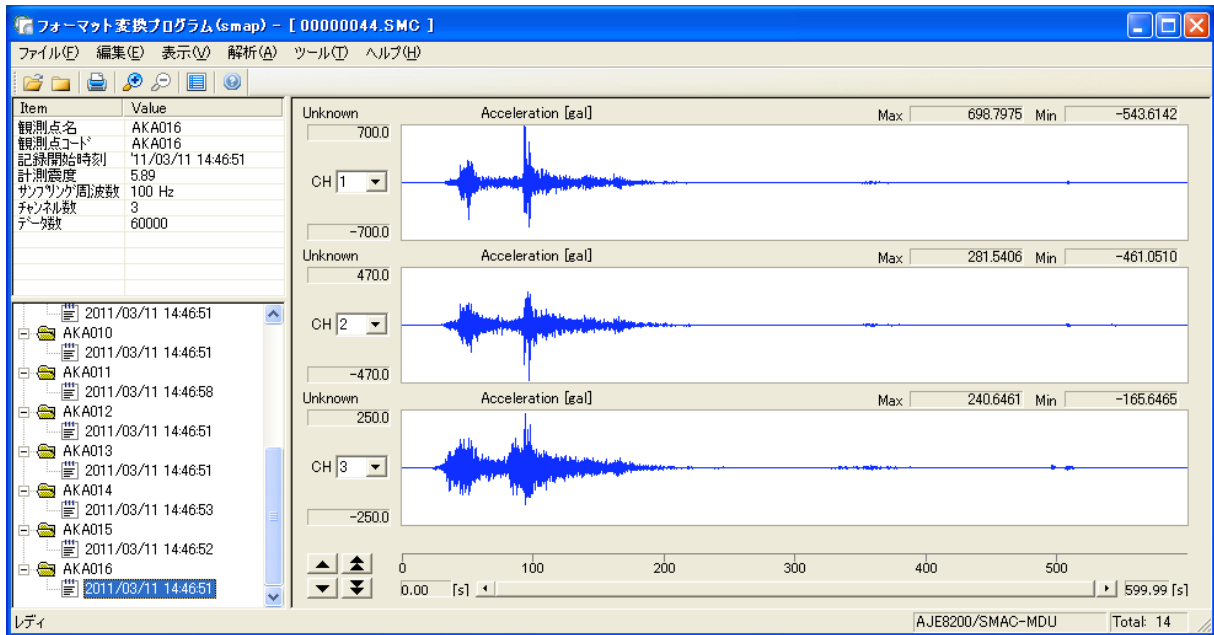
⑭ S15\_MOGA (宮城県立視覚支援学校)



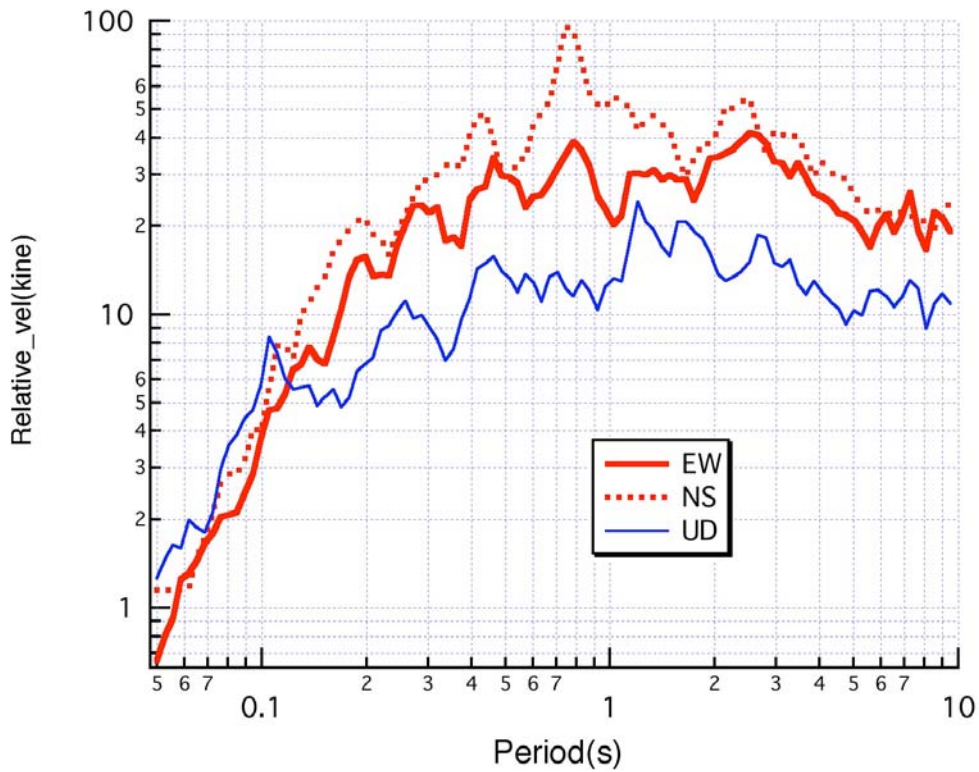
Earthq. S15\_MOGA S15\_MOGA ch. 1 (NS) and 2 (EW)  
 Relative Vel Resp Spectrm of 2ch horizontal compsite Damping h=0.05  
 start=12.9---end=217.14



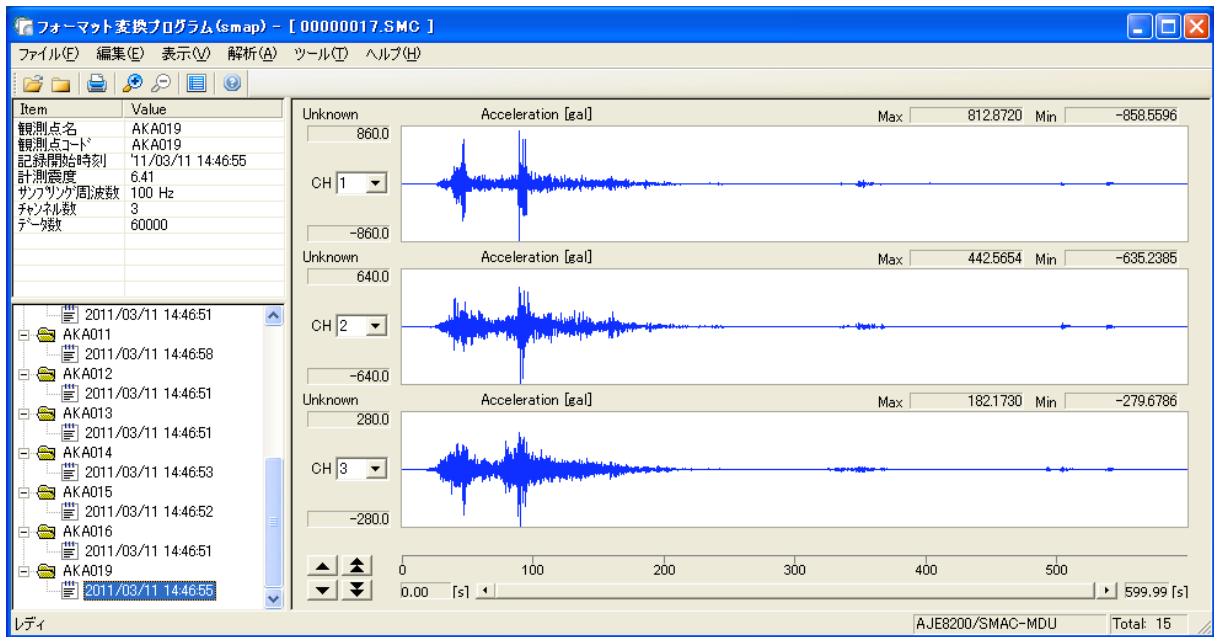
⑮ S16\_NANK (南光台東小学校)



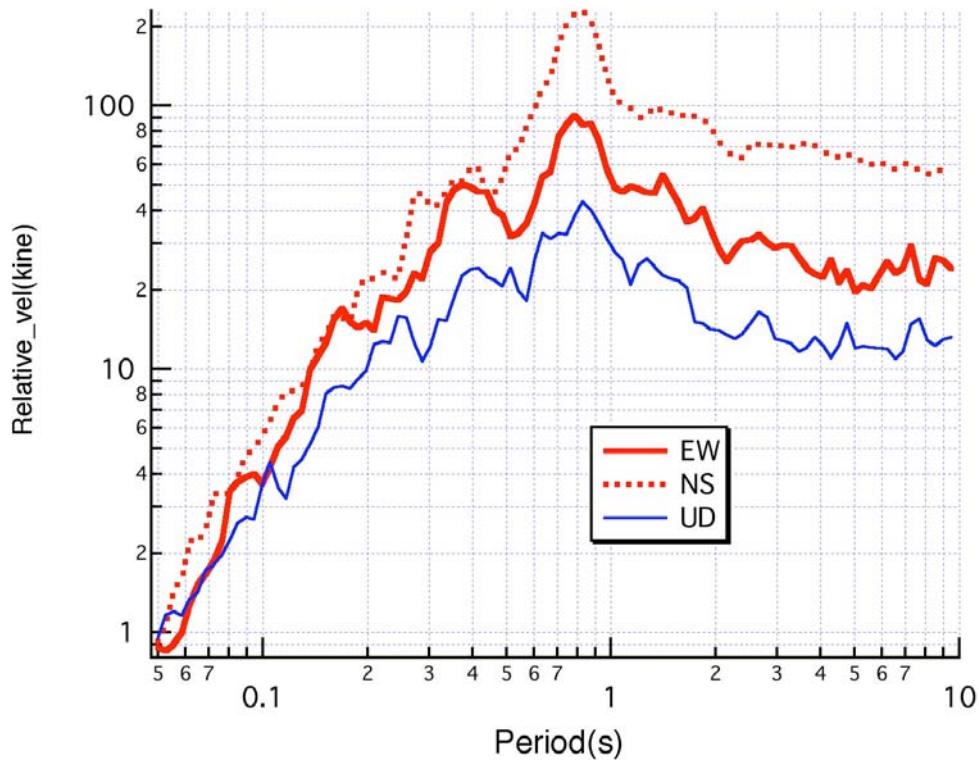
Earthq. S16\_NANK S16\_NANK ch. 1(NS) and 2(EW)  
 Relative Vel Resp Spectrm of 2ch horizontal compsite Damping h=0.05  
 start=10.74---end=199.62



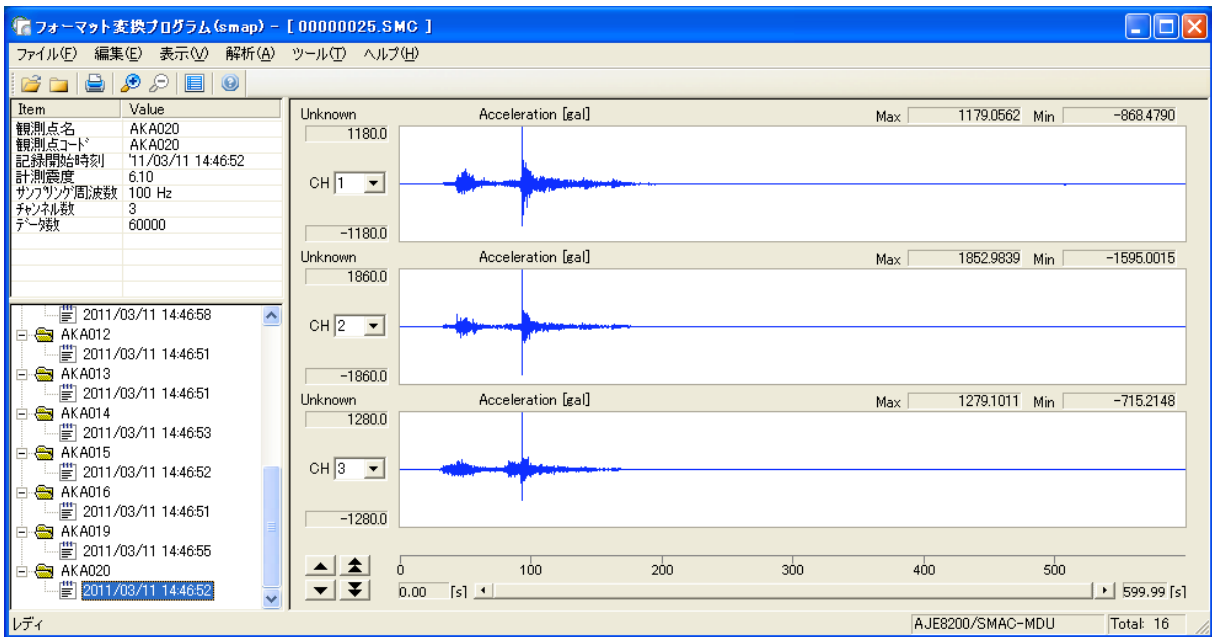
⑩ S19\_IWAK (岩切中学校)



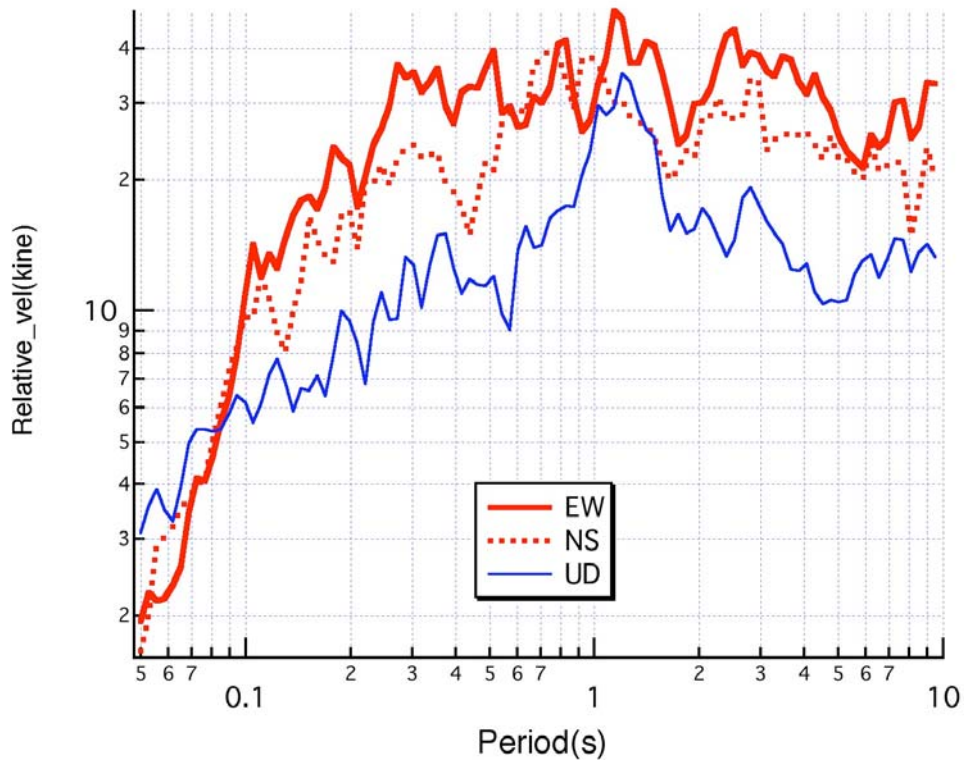
Earthq. S19\_IWAK S19\_IWAK ch. 1(NS) and 2(EW)  
 Relative Vel Resp Spectrm of 2ch horizontal compsite Damping h=0.05  
 start=15.13---end=209.59



⑰ S20\_NAKI (七北田中学校)



Earthq. S20\_NAKI S20\_NAKI ch. 1(NS) and 2(EW)  
 Relative Vel Resp Spectrm of 2ch horizontal compsite Damping h=0.05  
 start=8.6---end=187.05



## 5. 強震記録と被害との関係 - 暫定的な考察 -

今回の地震の記録には震度分布に仙台市圏の北部で大きい傾向がみられることを既述した。ここで、各観測点の付近を視察した結果に基づき、強震記録による揺れの大きさと被害との関係についての暫定的で簡単な検討結果を述べる。

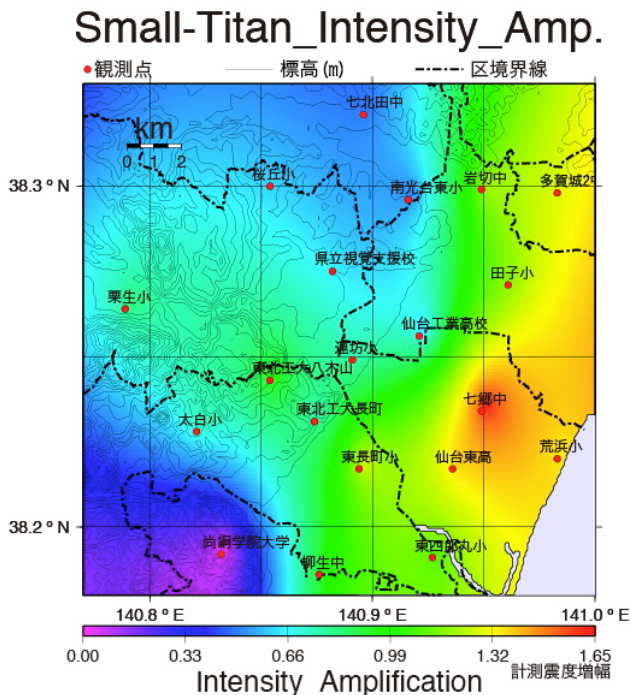


図5 過去の地震による計測震度の増幅度分布

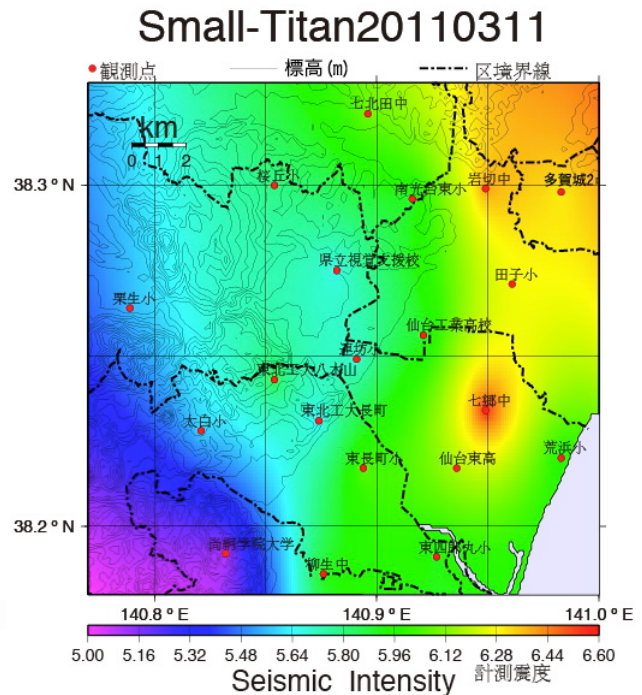


図6 今回の地震による計測震度分布

図5はSmall-Titanの全観測点で記録が得られた過去の49地震の統計解析から求められた計測震度の平均的な増幅度の分布をプロットしたものである<sup>3)</sup>。一方、図6は今回の計測震度分布を比較のため再掲したものである。両者を直接、比較することにより今回の地震の特徴がより明らかである。

今回の地震で震度6強以上が観測された地点は東長町小学校（計測震度6.0、震度6強）、七郷中学校（計測震度6.5、震度7）、岩切中学校（計測震度6.4、震度6強）、七北田中学校（計測震度6.1、震度6強）の4観測点である。このうち、七北田中学校の観測点はこれまでの過去の地震で相対的に小さな震度を示してきた観測点との特徴がある。これに加えて、過去の地震で相対的に揺れにくい観測点であった南光台東小学校も今回の地震では計測震度5.8で東部の観測点に匹敵する大きな揺れを示している。また、過去の地震でも相対的に揺れの大きい観測点の岩切中学校が今回の地震では計測震度6.4で震度階7に近い過去の地震に比較してより大きな揺れを示す傾向が見られる。これらの特徴を反映して図5と図6の比較では、今回の地震では北部の七北田中学校、南光台東小学校、岩切中学校、七郷中学校に至る地域での揺れの大きさが目立つ。

以上の特徴を反映して、一般民家、ライフラインなどの被害もそれらの揺れの分布の特徴と整合する分布を示しているように思われる。特に、著者が視察した限り、上記の地域の被害は際立つようである。この中でも、七北田、南光台、松森、岩切、卸町、七郷の各地域での一般民家、ライフラインの被害は甚大との印象をもっている。岩切中学校の近辺での民家の被害を視察中に住民から、「今回の地震では津波が注目されているが、岩切での揺れによる被害をもっと取り上げて欲しい」との要請を受けたほどである。これらの地域での被害写真の代表を以下に示す。



写真 14 七北田中学校校舎の被害状況  
（壁にせん断破壊のひび割れが多く認められ、当面使用不能、授業は別な学校で）



写真 15 七北田中学校観測点（約 1800 ガル）  
の観測小屋と付近の民家の被害



写真 16 仙台地下鉄南北線の七北田川橋梁の  
被害（七北田中学校に近い）。その他、南北  
線の高架橋橋脚にはせん断ひび割れが多い）



写真 17 仙台市松森地区（七北田から岩切へ  
至る地区）の被害状況、被災民家が多い。近  
くの仙台市松森清掃工場も被災。



写真 18 岩切中学校観測点（計測震度 6.4）  
の観測小屋と付近の民家の被害（木の向こう  
側の民家は軒並み被害）



写真 19 岩切中学校観測点（計測震度 6.4）  
の付近の民家の被害（立ち入り禁止の民家が  
多い）





写真 20 岩切中学校観測点（計測震度 6.4）の付近の民家の被害（立ち入り禁止の民家）



写真 21 岩切中学校観測点（計測震度 6.4）の付近のアパートの被害（立ち入り禁止）



写真 22 岩切中学校観測点（計測震度 6.4）の付近のマンションの被害（外観と異なり，壁，柱にひび割れ多く，ドアの開閉が不能に）



写真 23 岩切駅付近の東北新幹線の高架橋の被害（橋脚の被災と架線の被害が岩切地区で著しい）



写真 24 南光台東小学校（Small-Titan 観測点）の体育館の被害，柱の座屈が顕著であり，危険建物として体育館は立ち入り禁止



写真 25 南光台東小学校（Small-Titan 観測点）の校庭被害（全面的に液状化）。その他，南光台地区はライフラインの被害顕著。



写真 26 仙台市六郷地区の被害（民家，電線，田んぼ，道路など）



写真 27 七郷中学校（計測震度 6.5）の近辺民家の被害（転倒寸前で立ち入り禁止）



写真 28 七郷中学校（計測震度 6.5）の近辺民家の被害（新築に近いが立ち入り禁止で危険の赤紙がみえる）



写真 29 七郷中学校（計測震度 6.5）の校舎の被害



写真 30 荒浜地区の七郷よりの民家の被害（地震動と津波による二重の被害）



写真 31 卸町地区の建物被害

## 5. おわりに

稀にしか生起しなくて、しかもいつ来るかわからない巨大地震に対して粘り強くシステムを維持して継続する強震観測の研究は、素早く成果が求められる傾向の強い今日の学術研究の動向ではなかなか理解を得られない研究である。しかし、確率が少ない事象であればこそ、一旦記録が得られれば計り知れない貢献をもたらす。今回の Small-Titan による仙台市圏の系統的な強震記録の取得はその意味で一大快挙といえよう。

1998年に設置以来、Small-Titanは今日まで何とか騙しだましシステムを維持してきた。最近では老朽化が目立ち、予算措置の関係もあり、その継続について担当者間で廃止についての議論もでていたところである。そのような中での今回の系統的な強震記録の取得は「やっと間に合った」という感が深い。3観測点について欠測となったことことはまことに残念であり、リアルタイムなデータ取得という当初の構想に失敗したことも大きな反省点であるが、それにも増して、それらのことを想定したバックアップ方法により記録を完璧に取得したことの意義は大きいと考える。特に、Small-Titanは観測点設置条件がK-NETと全く同じであり、設置環境と強震計自体の性能の信頼性も高いことから、それらの系統的なデータの工学上の価値は高いと考えられる。

今回の記録はある地域で系統的に実施されてきた観測システムによるものであり、今後の詳細な検討により多くの知見がもたらされると期待される。この種の強震記録は実施研究機関の財産であることはもちろん、広く世界の、すべての人類の財産でもある。データの質に関する入念な再チェックを経て、何らかの方法によりデジタルデータの公開がなされることになるだろう。

### (参考文献)

- 1) 神山眞, 荘司雄一, 松川忠司, 浅田秋江, 中居尚彦: オンラインアレー地震観測システムの構築とその記録の若干の考察, 土木学会論文集 No.688, pp283-298, 2001.
- 2) 荘司雄一, 神山 眞: Small-Titanの観測記録に基づく震源・伝播経路・ローカルサイト特性の推定, 土木学会論文集 No.736, pp237-253, 2002.
- 3) 神山眞, 松川忠司, 片岡俊一: アレー強震観測システムを利用したローカルサイト増幅に関する研究, 土木学会地震工学論文集, 第30巻, pp38-51, 2009.

以上