

東北地方太平洋沖地震におけるオフライン地震観測報告 および臨時観測についての考察

芹澤正人*†・坂 守*・小原一成**・加藤愛太郎***

The report about the potableseismic observation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, and consideration of dense temporarseismic observations

Masato SERIZAWA*†, Mamoru SAKA*, Kazushige OBARA** and Aitaro KATO***

はじめに

2011年3月11日14時46分頃に東北地方太平洋沖地震(Mw 9.0)が発生した。この地震によって誘発されたと考えられる地震活動が、茨城県北部から福島県南東部にかけて観測された。東京大学地震研究所では、震源域周辺に臨時観測点を設置し、地震発生に関する様々な研究を行うことにした。本文ではオフライン観測点の設置に関する報告と、今回生じた問題点とその原因について、そして臨時観測に求められる技術水準についての考察を述べることにする。

実施概要

オフライン臨時観測点の設置は2回に分けて行われ、まず3月28日に茨城県の計10ヶ所に臨時観測点(クローバテック製DAT型レコーダ:4台, および白山工業製LS-7000XT:6台)を設置し、連続波形記録の収録を開始した。さらに4月13日に、福島県いわき市にもDAT型レコーダによる臨時観測点を7点追加設置し、合計17点での観測を始めた(図1・青丸)。全ての観測点で、レナーツ社製1Hz型3成分地震計LE-3D Liteを使用している。

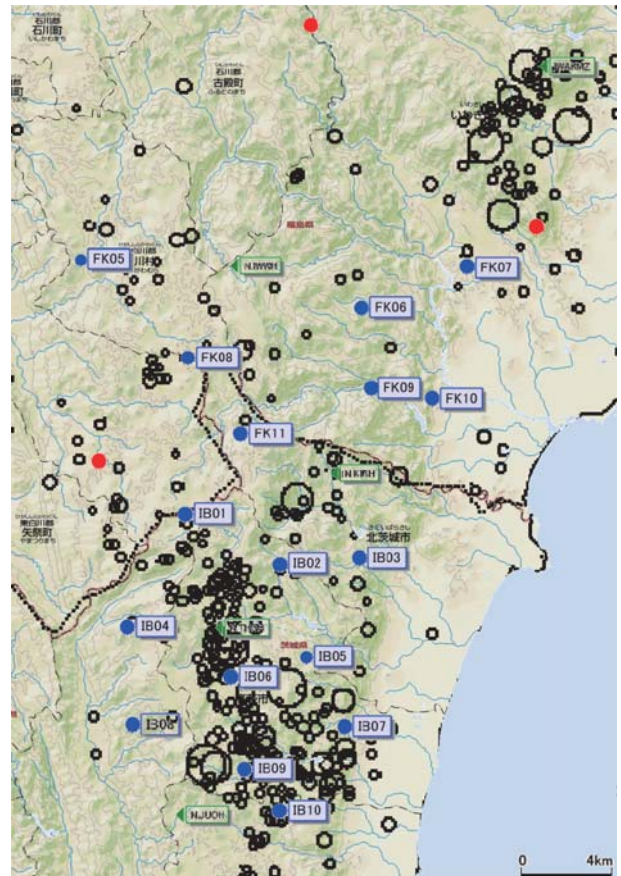


図1. 臨時観測点配置図(青丸および赤丸)
緑は気象庁およびHi-net(防災科研)観測点
黒丸は3月11~28日の地震活動をプロットした
(自動震源処理を含む)

2011年11月4日受付, 2011年12月13日受理

† serizawa@eri.u-tokyo.ac.jp

* 東京大学地震研究所技術部総合観測室,

** 観測開発基盤センター,

*** 地震火山噴火予知研究推進センター.

* Technical Supporting Section for Observational Research, Earthquake Research Institute, the University of Tokyo,

** Center for Geophysical Observation and Instrumentation,

*** Coordination Center for Prediction Research of Earth-

quakes and Volcanic Eruptions.



図 2. LS-8800 観測機材の例
中央が LS-8800, 左は LE-3D Lite

その後、観測が長期化する見込みであることと、原発事故などの影響を踏まえ現地作業回数を減らすことを目的に、5月13日および6月6～8日の2回に分けて収録装置を低消費電力な白山工業製 LS-8800 に切り替える作業を行った(図2)。LS-8800 は地震研の臨時地震観測としては初の投入となった。電源は当初乾電池とカーバッテリーの2種類が混在していたが、後に全てカーバッテリーに変更している。

なお、本年7月頃からは同地域において有線テレメータ観測点(図1・赤丸)も3点稼働している。(藤田ほか, 2011)

作業内容

3月28日の設置作業は震災により現地での宿泊が困難であることと原発事故による被曝をできる限り避けるため、4班体制で日帰りの日程となった。また、ハンディタイプの線量計を各班に装備し、屋外作業開始前と終了後に線量値を連絡本部へ電話連絡するなどの安全対策が取られた。

4月13日には7観測点の設置(図3)に加えて、先行して設置した10点分の観測点のデータ回収および電池交換も行った。その際、同様の安全対策が取られた。

それぞれの作業において計測された線量値は非常に低く、また事故もなく無事に完了した。

設置終了後、DAT型レコーダやLS-7000XTでは電源や記録メディアの都合から長期間の連続観測が行えず、低消費電力・大容量メディア対応レコーダへの交換が検討された。そして当時地震観測では実績の浅いLS-8800を投入することになった。電源については調達の都合上乾電池とカーバッテリーの2種類を使うことにし、乾電池の観測点

では単一乾電池40個が収まる電池ボックスを2台接続して約半年間の連続観測を目指した。バッテリーを使う観測点では82Ah(5HR容量表記では66Ah)のカーバッテリーを1台または2台(機材変更時期によって異なる)を使用した。



図 3. FK10 観測点 (いわき市田人町)

消費電流から、単一乾電池40本で約3ヶ月以上、80本では半年程度の寿命を見込んだ。またバッテリーは82Ah型1台で3カ月程度、2台では半年を見込んだ交換スケジュールを組んでいる。なお、乾電池での見込みは、メーカーの連続動作試験結果(パナソニック製EVOLTA乾電池単一型8直列12Vにて21.5日)を元にしてしている。

6月下旬にメーカーよりLS-8800用の新しいファームウェアがリリースされたのを受け、7月5日から7日まで、現地にてレコーダのファームウェアアップデート作業を行い、その際にデータ回収も行った。1点(IB05)のみ観測停止状態になっていた他は特に問題なく観測データを回収した。

9月27日から28日まで、全点のデータ回収とバッテリー交換を2班で行った。バッテリーは基本的には82Ah型1台に切り替える予定だったが、一部の点は部材調達の都合から41Ah(5HR表記では33Ah)型×2台での運用になった。

問題点と原因

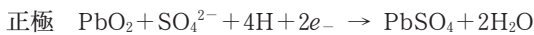
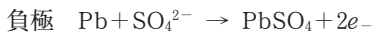
9月27日から行われた交換作業の後、すぐにデータ解析を行ったところ、SDカードのログに不審な点を発見した。またデータの欠落状況をスクリプトでチェックすると数十分～1日以上欠測があり、早いものでは9月上旬より始まっていた。

LS-8800にはロガーの状態を記録しているログファイル

がいくつかあり、その中でGPS受信機から座標を得た際に追記していくファイルがある。設置時の設定では起動時にのみ得られた座標をログファイルに書き出すようになっていたが、ほとんどの観測点で位置情報が複数追記されており、その時刻が欠測から復旧した時刻とほぼ同一であった。

このことからなんらかの障害によりロガーがシャットダウンし、その状況が改善されて再起動していることが推測できた。また、8月までは欠測が無く、9月に入ってから時間の経過とともに欠測回数・欠測時間ともに増加傾向がみられることなどから、この障害は電源電圧が関係しているのではないかと考え、まず電源容量が十分であったかについて検討を行った。

カーバッテリー（鉛蓄電池）は負極に鉛、正極に二酸化鉛、電解液に希硫酸を用いており、その放電時の化学式は



となる。常に電極が希硫酸に触れているため、負荷を繋がないくともゆっくりとはあるがこの反応は連続して発生している。これが自己放電と呼ばれる現象である。これにより、充電から時間が経過するにつれ徐々に容量が減少する。この度合は電極の種類や外気温により異なるが、今回使用したバッテリーに近い、カルシウム付加型での自己放電グラフ（千代田デンソー株式会社 HP）を参考にバッテリーを1~4台並列接続した場合の減少量について計算を行った。また、観測機材全体で消費される電力は

表 1. 各観測点のレコーダ変遷と連続記録日数

観測点	設置場所	レコーダ変遷				LS-8800 欠測開始	連続稼働日数	電源
		3月28日	4月11日	5月13日	6月8日			
IB01	道路土止め	LS-7000XT	→	LS-8800	→	9月14日	124	乾電池
IB02	公民館基礎コンクリ	LS-7000XT	→	LS-8800	→	9月9日	119	バッテリー2台
IB03	別荘区画内埋設	LS-7000XT	→	LS-8800	→	9月10日	120	バッテリー2台
IB04	風車傍道路土止め	LS-7000XT	→	LS-8800	→	9月19日	129	乾電池
IB05	民家庭先石	LS-7000XT	→	LS-8800	→	9月14日	124	乾電池
IB06	ゴルフ場埋設	DAT-4	→	→	LS-8800	9月14日	98	バッテリー1台
IB07	廃工場コンクリ水槽	DAT-5	→	→	LS-8800	9月13日	97	バッテリー1台
IB08	道路土止め	LS-7000XT	→	LS-8800	→	9月17日	127	乾電池
IB09	林道土止め	DAT-5	→	→	LS-8800	9月27日	111	バッテリー1台
IB10	道路土止め	DAT-5	→	→	LS-8800	9月26日	110	バッテリー1台
FK05	倉庫基礎コンクリ	DAT-4	→	LS-8800	9月21日	105	バッテリー1台	
FK06	道路土止め	DAT-4	→	LS-8800	9月18日	102	バッテリー1台	
FK07	民家前埋設	DAT-4	→	LS-8800	9月14日	98	バッテリー1台	
FK08	休耕田転石	DAT-4	→	LS-8800	9月27日	111	バッテリー1台	
FK09	道路脇ガードレール下	DAT-4	→	LS-8800	9月15日	99	バッテリー1台	
FK10	道路脇露岩	DAT-4	→	LS-8800	9月25日	109	バッテリー1台	
FK11	道路土止め-道路脇埋設	DAT-4	→	LS-8800	9月17日	101	バッテリー1台	

ロガー LS-8800 消費電力 0.2 W

地震計 LE-3D Lite 消費電力 96 mW

合計 約 0.3 W (12 V 電源での消費電流 0.025 A)

であることがわかっている。自己放電による残容量と、消費電力の積算グラフを図4に示す。

表 2. 電源方式ごとの平均連続動作日数

方式	観測点	日数	
乾電池ボックス2個	IB01	124	
	IB04	129	
	IB05	124	
	IB08	127	
	平均	126	
82Ahバッテリー2個	IB02	119	
	IB03	120	
	平均	119.5	
82Ahバッテリー1個	IB06	98	
	IB07	97	
	IB09	111	
	IB10	110	
	FK05	105	
	FK06	102	
	FK07	98	
	FK08	111	
	FK09	99	
	FK10	109	
	FK11	101	
	平均	103.7273	

このグラフの実線と破線の交点が理論上の連続観測可能日数となり、バッテリー1台では110日前後、2台並列では170日前後という結果が得られた。

乾電池は一般に自己放電が少なく、半年程度ではほぼゼロであるとみなし、メーカーの試験結果を参考に

$$21.5 \text{ 日} \times 5 \text{ 並列 (40 本)} \times 2 \text{ 台} = 215 \text{ 日}$$

を理論値とした。

その一方で、実際の各観測点ごとの連続記録日数を調べた（表1）。この表は最初の欠測が電源寿命によるものと仮定し、設置日または電源交換日からの欠測日までの経過日数を求めたものである。さらに電源の種類別に平均と最長-最短差についても計算した（表2）。

その結果、バッテリー1台での観測では110日の予測に対し実測平均約104日と、概ね計算通りの観測日数となったが（図4・●印）、他の2種類についてはバッテリー2台が170日の予測に対し実測約120日、乾電池が215日の予測に対し実測約126日と、予測より大幅に少ない日数で欠測が始まっていたことがわかった。（図4・◎★印）

これらの結果やSDカードに記録されたログなどをメーカーに送り検証を行った結果、電源電圧低下だけではなく、SDカードへの書き込み処理に起因する欠測も発生していることが判明した。書き込み処理が一定時間内に完了できず、システムのウォッチドッグタイマーが作動してリ

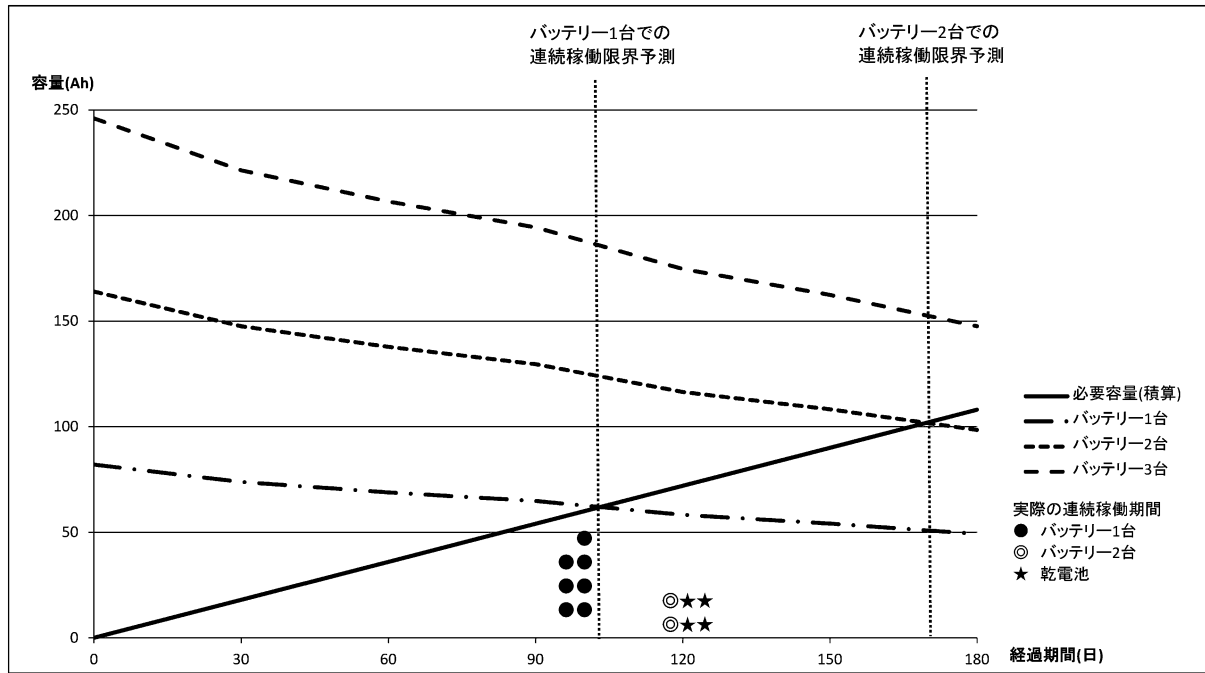


図 4. バッテリーの自己放電量（理論値）と消費容量および実際の連続稼働期間
自己放電量および連続稼働期間は 82 Ah 型バッテリーを使用。乾電池の自己放電はほとんど無いものとして省いた

ブートを行っていたのである。

これまで臨時観測で主に使われていたクローバテック製 DAT レコーダでは観測開始前にメモリカードを初期化し、1つのファイルにシーケンシャル（連続的）にデータを追記していくのでこのような問題は発生していなかった。しかし LS-8800 ではファイルシステムに FAT を採用しているため、ファイル操作の度に複雑な処理が必要となり、消費電力を抑えるために CPU の性能に制限がある本機では非常に重い処理となっていたのではないかと考えられる。また保存したファイル数が増えれば増えるほど処理が重くなるため短期間の設置やメディア交換では分ならず、今回のように長期間連続観測をおこなったことで初めて露見したバグだったと思われる。

この問題に対応した新しいファームウェアが 11 月下旬にリリースされており、12 月中に行われる電池交換作業において現地でアップデートを行う予定である。

臨時観測についての考察

今回に限らず、臨時観測における観測点の選定や設置方法はその作業者に任されている部分が多く、特に緊急観測においては現場での判断に任せられる部分が多いため、作業に携わる者の経験値によって左右される。作業時の安全管理についても、むしろ経験者のほうがつい蔑ろにしがちであるというのはどの分野でも同じで、地震観測も

もちろん例外ではない。

安全に、かつ高品質の観測を行うためには、観測業務に携わる人間が同じ共通認識を持つことが大切である。そこで、私なりの考え方についてここでは述べることにする。

観測点の設置場所については次のようなポイントを押さえて決めることになる。

- ・観測点全体の位置バランス（アレイの場合は設置間隔）
- ・土地の形状（岩盤やコンクリート構造物にこだわるか、埋設を可とするか）
- ・使用/占有許諾
- ・定常ノイズ（ロードノイズ・生活ノイズなど）
- ・治安（安全性）
- ・観測中の環境変化
- ・その他

通常の臨時観測の場合、全体的なバランスや土地の形状が優先されるが（だからといって他の項目が蔑ろにされるという意ではない）、緊急観測の場合はそこに置けるか（置いていいか）がバランスなどよりも優先されることが多い。地図上である点を指定されたとき、通常の臨時観測ではそこから半径何 m 以内などといった範囲か、またはアレイならラインに対して鉛直方向で探すなどするが、緊急観測においてはそもそも道路が寸断され、指定された点にたどり着けないということも十分有り得る。今回の観測で

は予定点に向かう道路が落石でふさがれており、設置予定点の数 km 以上手前にしか設置できなかった箇所もあった(図5)。こういった場合の対応については、事前に研究



図 5. 落石でふさがれた道路 (いわき市田人町)

者側と打ち合わせておくことで代替点の搜索がスムーズに進む。

また地震直後の緊急観測では住民が避難したり工場が操業を停止するなど人工ノイズが非常に少ない状態であることもよくあるが、特に道路脇に設置する場合には、復旧や復興によって交通量が設置時に比べて回復することを念頭に置く必要がある。

設置場所が決まると大抵の場合は自ずと設置方法も決まってくる。露岩やコンクリート構造物に地震計を置くなら石膏止め、そのようなものが見当たらなければ埋設ということになるが、単に置けばいいというものではない。たとえば石膏ひとつをとっても次のような注意点がある。

・混水量は製品によって異なる

石膏は硫酸カルシウムを主成分とし、水を加えて攪拌することで化学反応により硬化する。美術彫刻用・工業型枠用など様々な種類があり、規定混水量も石膏重量比でおおよそ 20~80% と大きく異なる。地震計固定に使っているのは主に美術彫刻用で、67~80% である。現場ではプラスチックコップによる目分量となるため体積比で測らないよう注意が必要である。

・攪拌時間を惜しまない

現場では時間短縮の為、石膏に水を入れて適度な粘度を得るようなやり方も見受けられるが、これは間違いである。化学物質への加水は、水に対して対象物を少しずつ攪拌しながら入れていくのが原則である。こうすることによって急激な加水反応を防ぐことができ、まんべんなく混

ぜ合わせることができる。石膏においては攪拌が不十分だと「ダマ」が出来、脆くなって観測中に石膏が雨水などで流れてしまうなどトラブルの原因になる。

・気温/水温に注意する

それぞれ温度が高いほど硬化が早く始まり、早く完全に固まってしまうので、特に夏季においては迅速な作業が必要となる。特に暑い場合は冷水を使うと攪拌時間を延ばせるので覚えておきたい。

このように、観測点の設置には様々な技術と知識が必要である。

安全確保はいかなる場合においてもすべての項目に優先する。時間に追われてつい蔑ろにされがちであるが、我々はあくまで研究が目的であり、観測作業は無事故で終わることが最大の成果である。高所や崖・落石の危険・不安定な足場といった危険な場所は可能な限り避ける。これは作業者の安全だけではなく、観測機材にとっても同様で、万が一機材が落下して人などにぶつかることがあってはならない。安全に、かつ研究に最適な場所を見つけることが最も重要な技術であるといっても過言ではない。

結 べ り に

今回は道路脇から休耕田まで、様々な設置場所・設置方法があった(表1)。限られた時間、限られた条件の中でそれぞれが最良の結果を出したと思うが、この経験を生かして次の観測ではさらに良いデータがとれるよう努力したい。

謝 辞：茨城・福島臨時観測点設置・交換作業の参加メンバーを以下に記します。(敬称略)

酒井慎一(観測開発基盤センター・准教授)
五十嵐俊博(地震予知研究センター・助教)
加藤愛太郎(地震火山噴火予知研究推進センター・助教)
萩野 泉(技術部総合観測室)
坂 守(同上)
芹澤正人(同上)
藤田親亮(同上)
平田安廣(同上)
宮川幸治(同上)
森 健彦(同上)
渡邊篤志(同上)
雑賀 敦(地震予知研究推進センター・特任研究員¹⁾)

¹ 所属は設置当時。現在は東濃地震科学研究所に在籍

レコーダ等の調達およびファームウェアの入れ替えにつきましては白山工業株式会社・吉田信氏にご協力いただきました。ここに記して感謝申し上げます。

文 献

- 藤田親亮・森健彦・荻野泉, 2011, 福島県南東部におけるオンライン地震観測点の設置福島オンライン臨時観測点, 震研技報, 17, 42-47.
千代田デンソー株式会社「バッテリーの知識」, <http://www.chiyoda-denso.com/>