

東北大学 地震・噴火予知研究観測センターにおける 東北地方太平洋沖地震の被害と復旧活動

中山貴史^{*†}・出町知嗣^{*}・平原 聡^{*}・鈴木秀市^{*}・海田俊輝^{*}

Extensive damages caused by the M9 Tohoku Earthquake and the post-earthquake restoration of the seismic observation system of the Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Tohoku University

Takashi NAKAYAMA^{*†}, Tomotsugu DEMACHI^{*}, Satoshi HIRAHARA^{*},
Syuichi SUZUKI^{*} and Toshiki KAIDA^{*}

はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震(M9.0)は、東北から関東におよぶ広い地域に甚大な被害をもたらした。地震・噴火予知研究観測センター(以下、「センター」)は、沿岸部からは遠い東北大学青葉山キャンパスに位置するため、津波による被害を受けることはなかったが、地震そのものによる被害によって、本震発生から約1週間は十分に業務が遂行できない状態にあった。地震観測に携わる者にとって、被災地域で観測業務に当たることは珍しくないが、今回のように自らが所属する大学の地域センターが、地震によって著しい被害を受けると同時に、多数の観測点が一度に停止してしまったことは、非常に珍しいケースである。

そこで本稿では、センターにおけるデータ収録や流通の機能、および各地の地震観測点におけるデータ送信や収録の被害と復旧について報告する。なお、GPS連続観測点の復旧については、出町・他(2012)によって報告されている。さらに、これら業務の大きな妨げとなった被災の状況(主に物資の不足やライフラインの障害)や、原発事故の影響についても紹介する。本稿は、海野(2011)を参考に執筆し、平成24年度技術業務報告では紹介しきれなかった情報を補ったものである。

本震発生時の様子

2011年3月11日14時46分過ぎ、センター内に本震の発生を告げる緊急地震速報が鳴り響いた。予測震度は3であった。この2日前に発生した前震(三陸沖M7.3)の発生時も、緊急地震速報の予測震度は3(仙台市青葉区の実際の計測震度と同じ)であったが、S波の到達時刻がカウントダウンされている際中に実際に感じた地震動は、2日前より明らかに激しいものであり、今までに経験したことのない強烈な地震が発生したことをただちに認識した。この地震の震度は6弱であったが、揺れの大きさもさることながら、継続時間が非常に長いことが印象的であった。

本震による揺れがある程度収まった頃、センターの職員と学生は自主的に屋外へ避難し、建物の前庭へ集合して安否確認を行った。センターでは、震災前から緊急連絡網を編成し、緊急時にはまず班単位で安否確認を行い、各班の情報を集約して、全体の取りまとめを行う決まりになっていた。当日は、回線の混雑などで電話・メールともに連絡が滞りがちだったが、安否の未確認も含む約60名全員の状態確認まではさほど時間を取らずに完了した。情報整理のため、屋外にホワイトボードを持ち出し、逐次情報を書き出した。当日に不在だった一部のメンバーとは連絡が取れるまでに時間を要したが、時間を置いて何度か連絡を試みることで、夕方頃にはほぼ全員の安否が確認できた。

避難してからはしばらくは屋外に留まっていたものの、この日の仙台市は、1日の平均気温が1.5℃と冬のような寒さで、長時間屋外で過ごすのは耐え難い状況だった。しかしながら、センターの建物には、柱の亀裂や外壁の落下が

2013年11月19日受付, 2013年12月24日受理.

[†] nakayama@aob. gp. tohoku. ac. jp

^{*} 東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測センター

^{*} Research Center for Prediction of Earthquake and Volcanic Eruptions, Graduate School of Science, Tohoku University

地震・噴火予知研究観測用 IPネットワーク構成図

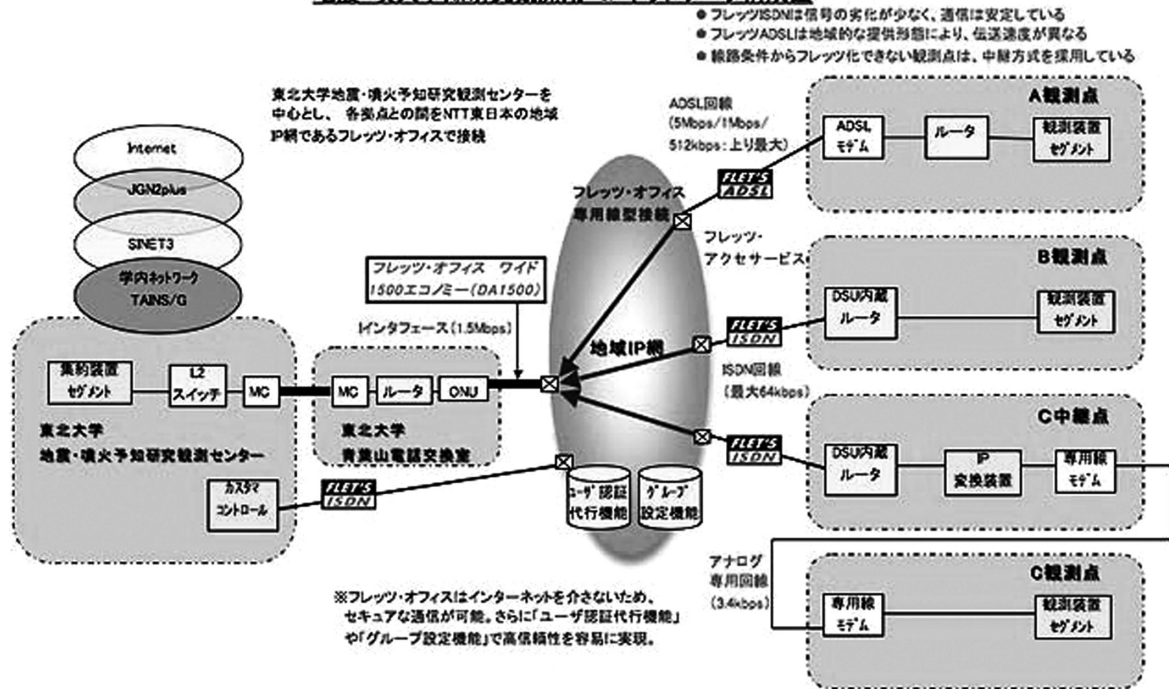


図 1. センターと観測網(フレッツ・オフィスによる)の接続構成。

見られるなど少なからず被害があり、また屋内では、足の踏み場もないほど物品が散乱して、すぐに使用できそうな部屋はほとんど無かった。そんな中、比較的安全と思われた建物は、倒壊の恐れが少ない平屋建ての別館だったため、この建物にある会議室を一時避難場所として使用することとなった。それから約1ヶ月間、この会議室は情報収集および復旧対応の拠点となった。

センターと東北大学内の障害と復旧

1. データの概要

センターで利用しているデータは、大きく2種類に分類される。1つは、自前で運用する観測点のデータ(以下、「観測点データ」)、もう1つは、外部機関から提供されるデータ(以下、「流通データ」)である。

観測点データの取得に利用しているサービスは、NTTのフレッツ・オフィスであり、流通データの取得のために接続しているネットワークは、JDXnetである。なお、JDXnetへの接続には、SINET4とJGN-Xを利用している。

観測点データが届くまでの物理的な経路は、NTT 東日本の支店ビル(以下、「NTT 支店ビル」)から、学内の電話交換所を経由して、センターに接続される。流通データは、SINET4とJGN-Xのアクセスポイントがある、学内の情報基盤施設(以下、「学内AP」)を経由している。

2. 本震直後のデータの推移

観測点データは、本震発生から約2分後の14時48分ま

で、チャンネル数にして平常時の約1/5程度まで激減した。その後15時02分には、フレッツ・オフィスによる観測点データが完全に停止、15時18分には、JDXnetによる流通データが停止し、この時点から、データによる地震活動の把握が全くできない状況となった。

3. 電源の喪失と発電機の始動

停電は、本震の揺れの最中に発生し、直後に自家発電機が始動した。しかしながら、この際に発電機から発生した煙は通常の運転時と比べ異常であると判断されたため、一度は手動で運転を停止させた。本震によるダメージや次々に発生する強い余震による影響を考慮し、老朽化した発電機からの火災発生を予防するための措置だった。また、同じ建物の各居室においては、地震によって物品が著しく散乱した状態にあり、一度火災が発生すると一気に燃え広がる恐れがあるため、発電機の運転には慎重を要した。運転再開に踏み切ったのは、余震が比較的収まってきた18時頃であった。本震発生から3時間以上、商用電源や発電機からの電源供給がストップしていたが、テレメータ室の主要なサーバは、CVCFやUPSからの電源供給によって17時40分頃まで稼働していたことを、後に連続波形記録の収録状況から把握することができた。

4. テレメータ室の復旧

発電機の始動後、データ処理機能を回復すべく最初に行ったのは、テレメータ室の復旧作業だった。発電機系の電源は、室内の照明には供給されないため、物品が散乱し



図 2. 青葉山キャンパスにおけるセンターと関連施設の位置関係。

た暗闇の中を懐中電灯の明かりに頼りながらの作業となった。観測データを処理するサーバの多くは、コンクリートの床面に固定されたラックにマウントされているため被害はそれほど多くなかったが、デスクトップPCの転倒、または机から落下したものが多かったほか、ラックに固定されていない物はほぼ全てが散乱して足の踏み場もない状態だった。データ処理に最低限必要なサーバやネットワーク機器の配置や配線の接続を元通りに戻し、順次電源を投入すると、本体の転倒や電源喪失による強制シャットダウンの影響は少なく、多くは無事に再稼働することが出来た。観測点データの集録を再開したのは、当日の19時30分頃で、この時確認できたデータは、全122点のうち、17点のみであった。また、この時点ではJDXnetとの接続は回復しなかった。

5. データ処理機能回復までの経過

テレメータ室復旧によって回復した一部のデータは、翌3月12日の早朝に再び停止した。システムが健在でありながら、フレッツ・オフィスとの接続断によってデータが全く受信できない状態がしばらく続いた。フレッツ・オフィスとJDXnetへの接続は、本震発生から2日後の3月13日16時頃と18時頃にそれぞれ回復したが、それまでの間にも幾度か部分的な回復と停止を繰り返していた。このようなデータの増減の情報からは、その時々で発生した障害の内容がある程度推測できる。例えば、観測点側の停電または回線障害、テレメータ室のサーバのダウン、学内APの障害、学内電話交換所の障害、学内電源復旧前の一時的

な通電試験などである。また、後日行った学内および学外関連施設への障害状況の確認からは、データの受信状況から推測された障害と、ほぼ一致した情報が得られた。

6. 問題点の整理

フレッツ・オフィスとJDXnetへの接続に関する障害を整理すると、その原因の大部分は、停電によって学内の施設がその機能を失ったことによるものと判った。一方で学外において、NTT支店ビルやSINETデータセンターは、地震の被害が深刻だった仙台市内にありながらも稼働し続けていたという情報を得ている。各拠点施設が健在であっても、学内の経由区間の障害が解消されないことが、データの停止を長引かせる要因となった。

大学内においては、災害時でも電源や通信回線を途切れることなく維持し続ける前提で対策を行っている施設が少なく、その状況は今後も大きくは改善されない可能性がある。しかし、今回の調査結果によって、学外施設の耐災害性については、以前より明らかになった部分もある。システム全体の耐災害性向上を検討する場合、災害に対して強いと考えられる施設に一定の機能を移行する、また、観測点データ取得から流通までの経由区間をできるだけ簡略化する、などの考え方ができる。

災害時のトラブルシューティングで苦労した点は、インターネットが使用できず調べ物が十分にできなかったことや、資料全般が散逸してシステムの構成や関連施設の連絡先の確認が難しかったことであった。必要な情報の整理は、日頃からそのような点に配慮して行われると良いと思わ

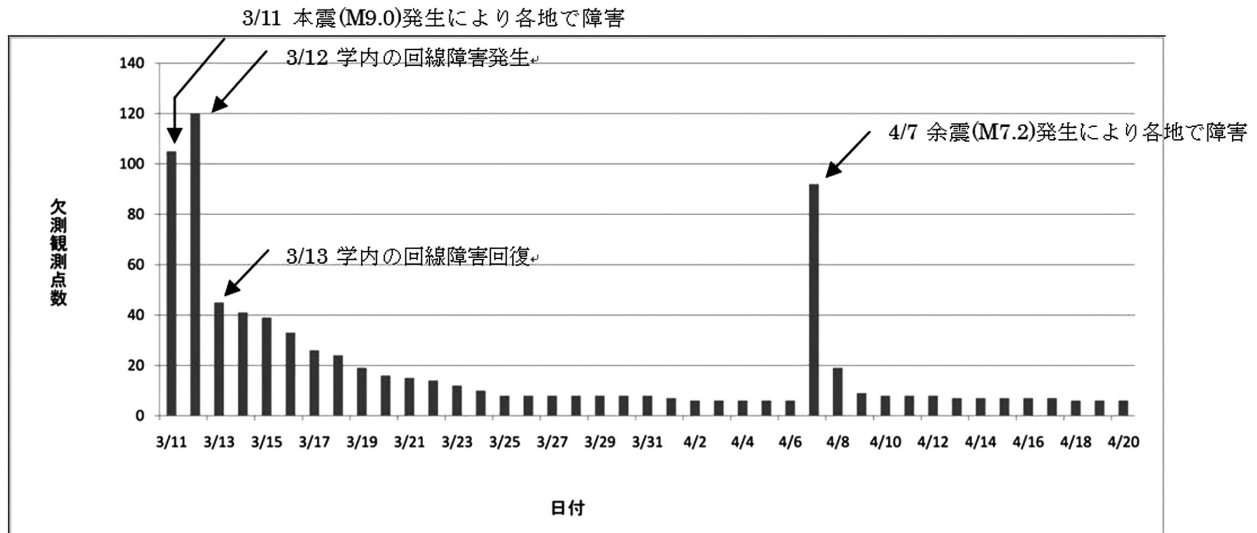


図 3. 観測点の復旧状況.

れる。

観測点の障害と復旧

1. 観測点について

震災発生時、センターで運用していた観測点は 122 点であった。各点からのデータ送信方法は、携帯電話の回線使用が 2 点あるのみで、それ以外は ISDN、ADSL などのフレッツ回線でデータを送っていた（一部の点では専用線で中継している区間あり）。

2. 復旧方法

センターのデータ処理機能が回復した 3 月 13 日夕方の時点で、欠測が続いていた東北大学の観測点は、全体の約半数に当たる 60 点余りであった。欠測の主な原因は、各地で発生している停電や回線障害であり、これらは日を追うごとに解消される傾向にあったが、被害の大きい地域では復旧の遅れが予想されたため、以下の三種類のような応急処置が施された。

1) データロガーによる現地収録

リアルタイムでデータが届かなくても、本震後間もない期間の観測データを残すことは大変重要である。そのため、テレメータ機能付きのデータロガーを観測点に設置して、現地収録に切り替えた。ロガーの電源入力は、1 系統をバッテリーに、もう 1 系統は、その時点ではまだ回復していない商用電源に接続し、本体にはテレメータ設定も施した。この方法により、障害中はバッテリー駆動で現地収録しながら、障害解消後にはデータ送信も自動的に再開する環境を整えた。近年のテレメータ装置は、低消費電力かつデータ収録機能を持つものが一般的になりつつあるため、日頃から予備電源を備えておくことで、非常時にも現地収録が継続される環境を比較的容易に構築できる。

2) 携帯電話回線によるデータ送信

携帯電話は、地震の発生直後においては回線の混雑等によって使用が困難であった。それでも NTT 施設が津波被害を受けた三陸沿岸の観測点では、フレッツ回線の復旧を待つより早い時期にデータの送信再開を可能にした。通信機器として、現地には携帯電話通信端末とモバイルルータを設置した。この方法により、3 月 23 日に普代で、3 月 24 日には宮古で、データ送信を再開した。携帯電話回線は、被災地域の復旧や捜索活動のために配備される移動基地局によっても使用可能となるため、壊滅的な被害を受けた地域であっても比較的早い時期に通信の回復が見込める場合もある。

3) 衛星回線によるデータ送信

離島にある観測点では、携帯電話回線の復旧の見通しも立たない状況であったため、VSAT や衛星携帯端末を使用して、衛星回線によるデータ送信を行った。また、停電の解消時期も未定だったため、ソーラーパネルとバッテリーを組み合わせることで電源の確保を図った。この方法により、3 月 25 日に江島（衛星携帯）、4 月 1 日に金華山（VSAT）のデータ送信を再開した（平原・他, 2012）。衛星回線によるデータ送信は、電源さえ確保できれば周囲の被害状況にかかわらずデータ送信が可能になるため、特に災害時に有効であることを再認識した。

3. 復旧方法の問題点

携帯電話回線、衛星回線を利用した機動的なテレメータ観測の方法は、被害が特に甚大な地域で有効だったが、実際に運用していくうえで以下のような問題が見られた。

携帯電話回線は、現地の電波状況を確認するまで使用の判断ができないことと、設置作業時間内では問題がなくても、その後の長い期間で見るとデータが途切れることも

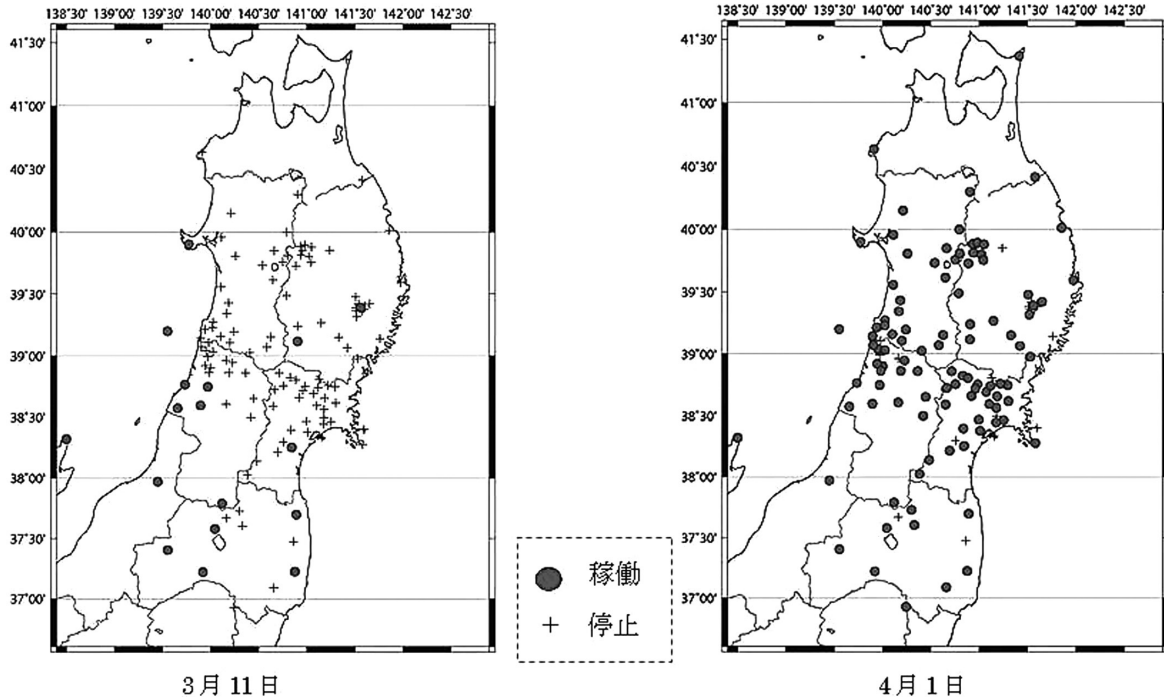


図 4. 欠測観測点数の推移.

あった。時間帯によって電波状態が多少変化するためと思われる。

衛星携帯は、通信料が非常に高額であり、地震観測に必要なデータ量を常時送信するとなると費用の面で実用化は難しい。なお、今回使用できたのは、新規契約の前提で特例的に端末を借用し、通信料を免除されたためである。

VSAT は、太陽光発電によって長期で安定稼働させることが難しく、概算で求めた発電量と蓄電容量に対応するソーラーパネルとバッテリーの台数では実際には電源不足となり、夜間や天気の良い日に停止するケースが目立った。

これらの方法は、使用可能な場所、機材の価格、ランニングコスト、設置の手間、必要な機材の量、消費電力など、それぞれの長所・短所があるので、状況に応じた方法を選択する必要がある。

また、通常時と災害時、両方のデータの安定化を考えると、特に重要な観測点では、日頃からフレッツ回線とそれ以外の方法で、データ送信を2重化するなどが考えられる。

4. データの遠隔回収

データ収録機能を持つ観測点については、通信が回復する前に現地収録のみ再開している場合があった。また、ガソリンの入手難の影響もあって、多点にわたる現地回収の数には限界があった。そのため各点の回線復旧後は、センターからFTPによるデータ回収を一斉に行った。収録メディアの容量が小さい観測点や収録チャンネルが多い観測点では、最短2週間程度でデータが上書きされる恐れが

あったため、優先順位も考慮しながら作業を進めた。ISDN回線を使用する多くの観測点からのデータの吸い上げには時間を要し、各点の復旧日時と現地に蓄積し得る保存期間、およびセンター側の吸い上げの進捗状況を確認しながら、スケジューリングを繰り返す作業であった。

5. 復旧時期の傾向

各地の観測点の復旧状況をみると、最も回復が遅かったのは離島の観測点、次いで津波の被害を受けた地域にある観測点の順であった。また、内陸部であっても最大震度7を記録した宮城県北部では、周辺地域と比較して復旧がやや遅れ気味となった。

原発事故の影響

事故発生後にまず問題になったのは、通常通りの生活を送る上で被曝する可能性があるか否か、見通しが立たないことであった。福島第一原発からセンターがある仙台市までの距離は約95kmであるが、事故当初はこの距離であっても安全が確保できている保証が全くなかった。さまざまな情報が錯綜する中、センターでは、3月15日午後からの業務停止を決定し、遠方へ避難するか否かは、ニュースなどで伝えられる情報をよく確認して、各自で判断するよう指示を出した。しかし実際には、16日のうちにテレビ・ラジオ等の情報から、仙台市には直ちに深刻な被害が及ばないことが判ったため、17日からは業務を再開した。その後、4月以降には線量計を購入して、陸上および海域の

観測における安全確認に使用した。

人間の安全確保の次に問題になったのは、原発に近い観測点の維持管理をどう対応するかだった。具体的には、いわき(24km)や北阿武隈(35km)などがあるため、事故発生から約1年以内に行った保守作業の際には、観測点周辺の線量を慎重に確認した。結果は、高いところで約2 μ Sv/hと直ちに人体に影響のある値ではなかったが、局所的に放射線量の高い場所が残っていないとも限らないため、現地では今後も注意が必要である。また、保守を担当している他機関の協力観測点が20km圏内に1か所存在し、今後どのような対応を取っていくか検討が必要な部分もある(2012年10月現在)。

放射線の影響に対しては、知識の浅い素人が簡単に対策を打てるものではないが、線量値に応じた行動基準等について、あらかじめ明確にしておくなどのことは必要と思われる。

物品・建物被害

センター屋内では、未固定のデスクトップPCの多くが机から落下した。また、外付けHDDも未固定のものが多く、観測データの保存状態にも一部影響が出た。居室の書棚は、L字金具で壁面にビス留めするなどの固定が徹底されており、コンクリートに固定していた箇所では被害が少なかったが、石膏ボードに固定していた箇所については軒並み固定金具が外れて、本が納められたままの棚が重量物となって倒れかかってきたケースもあった。

センターに5棟ある建物は全て、耐震強度の測定結果において、ただちに使用に差し支えるほどの問題はないという判定がなされたが、柱に大きな亀裂が入った1棟については、補修工事が完了するまで使用を自主的に控えていた。また、敷地内の谷側に近い箇所では地面に亀裂が入り、補修が完了するまでは地滑りが心配されるほどであった。

観測点では、津波の被害によって撤収を余儀なくされたGPSの臨時観測点もあったが、それ以外では地震や津波そのものによる建物や観測機器等の被害は比較的少なかった。被害を免れた観測点の多くでは、ラックを床へ固定したことに加え、そこに納められている機器をマジックテープや紐でラックに縛りつけるような対策が功を奏したように見受けられる。また、本震の揺れによって地震計の状態に悪い影響がなかったかどうかについて確認を行った結果、目視で確認が可能な観測壕や屋外の地表付近に設置されているものについては、方位、および水平レベルに目立った不具合は見られなかった。ただし、壕内に設置された広帯域地震計の上下動1成分において、本震発生後にゼロレベルが大幅にずれ、ゼロ調を行うまで波形が不調となった事例もあった。

被災状況

1. センターでの生活

本震発生直後に避難場所となった別館会議室は、そのまま4月上旬まで職員・学生の待機場所となった。特に最初の3日間は、10~20名が復旧対応と避難の目的でそこに寝泊まりする生活が続いた。センターの環境は、立地や設備の面で一般的には参考にならない部分もあると思われるが、被災生活の様子を簡単に紹介する。

電気は、発電機によって賄われたものを、やむを得ない目的に限り使用した。飲料水は、センターの受水槽に蓄えられたものをバケツで直接汲んだ。なお、受水槽の水は限りがあるため、トイレに使用する水は敷地内の雪を集め融かして使用したり、車で川へ酌みに行き確保した。食糧は、本震直後にある程度買い込んだもののすぐに底をつき、その後しばらくは周辺の店舗が軒並み閉店したため調達がほぼ不可能だった。その間の食事は、米やカップ麺、缶詰めなど保存のきく物でしのいだ。後に遠隔地の観測所職員や東北地方を訪れた他大学の観測グループから支援物資が届けられたことにより、食糧難がある程度緩和された。震災に関する情報は、会議室に設置したテレビから得ていたが、これは発電機があったから出来たことで、一般には電池で動くラジオが活躍した。

センターでのライフラインの復旧時期は、3月14日に電気、3月22日に水道、3月28日にガスの順であった。なおガスについては、センターの設備がプロパンガスであったため復旧が幾分早かったが、市内の都市ガス復旧にはさらに時間を要し、特に入浴等には大変支障をきたした。

交通の面では、青葉山キャンパス周辺の道路も影響を受けた。市内南部へ通じるルートでは、八木山橋に大きな段差ができたために、発生後から10日前後車両の通行が出来なくなったほか、市内中心部から南部へ向かう市道も青葉城址の城壁がくずれ、2年以上にわたって通行止めになるなど、キャンパス周辺では道路の障害のために車による移動に支障が出た。



図5. 会議室での被災生活の様子。

2. 連絡手段

地震発生直後に電話回線が非常に混雑していたことは言うまでもないが、センターの代表電話は災害時優先電話(発信のみ優先扱い)であるため、ほとんどの時間帯で使用できた。ただし、学内の電話交換所で障害があった3月12日と13日は、使用できない時間帯があった。学内のネットワークが復旧するまでの間、外部との文章のやり取りには主にFAXを使用した。また、青葉山周辺での携帯電話の電波状態は、本震当日よりも翌日と翌々日の方が悪かった。時間差で悪化した原因としては、基地局の予備電源が切れた可能性が考えられる。また、電波状態が不安定であったため、通話よりもメールの方が有効だった。センターでは、近年使用頻度の減少により一度は解約していた衛星携帯を、この震災を機に契約し直すこととなった。

3. ガソリンの調達

地震発生後から3月いっぱいまでは、ガソリンの調達が非常に難しかった。最も深刻な時期には、日本海側の一部を除く東北の広い範囲でガソリンスタンドがほとんど閉店状態となった。センターの公用車は、宮城県に申請して緊急車両の登録を受けることにより、一般車両に比べると多少は優遇されたが、1回の給油が10Lまでに制限されたケースも多く、観測点への移動は大幅に制限された。そのためしばらくの間は、職員・学生が観測や通勤の際に確認した営業店舗を、道路の規制情報などと共に携帯からメーリングリストに流し、情報を共有して燃料の確保に努めた。また、携行缶もしばらくは非常に入手困難だった。同じ東北地方でも比較的被害が少なかった秋田県の観測所からは、食糧と共にガソリンも何度か輸送され、これによって完全にひっ迫した状態を回避できた。4月に入ると供給がある程度安定してきたが、4月7日の余震(M7.2)で発生した広域停電により、一時的ではあったものの再び入手困難に陥ったことから、それからしばらくは、燃料を詰めた携行缶を観測の標準装備として持ち歩いた。震災直後のガソリンの入手難については、観測業務に最も深刻な影響を及ぼした事柄と捉えている。

おわりに

震災によって受けた被害は大きく、復旧には困難も伴ったが、それらは現状の問題点を改めて再認識するきっかけにもなった。自身の経験に基づいていくつかの注意す

べきことを述べてきたが、実際にはどれだけ準備を整えていても、災害時にすべての機能を維持するのはほぼ不可能であり、復旧にあたる職員も、被災や安全確保のため通常通りの能力を発揮することが難しい。そのため、最低限維持すべき事柄をあらかじめ整理し、優先度を考慮して割り切った対策を検討しておくことも、災害に対する備えとして必要なことと考える。これまで経験した被害地震と今回を比べて痛感させられたことは、ライフラインや物資など普段当たり前にある環境が、広範囲で長期間失われることによって、いかに業務に差し支えるかということだった。そのため、業務に直接関係のない内容についてもあえて詳細に記したが、次に大きなイベントが発生した際にはまた、被害の状況が異なり、観測・データ処理等の技術も変化していることと思われる。そういった意味では、この1回の記録がどの程度参考になるかわからないが、震災を経験していない人にも当時の状況を伝えるため、また自分自身の記憶の保存の意味で本稿を執筆した。イベント発生時はいつも慌ただしく、目の前の業務に追われてしまいがちだが、その時の記録が、文字や写真などでしっかり残っていると有用になることがある。その記録は、まず個人がそれぞれの持ち場について残すこと、さらにそれらの情報が全体で集約されることで、次につなげることができるのではないだろうか。

謝辞：震災発生時の観測点復旧および物資の支援等におきましては、宮城県総務部危機対策課、株式会社NTTドコモ、北海道大学、九州大学、他、合同観測グループの皆様にご多大な援助を頂きました。また本稿を改善するにあたり、査読者の岩崎貴哉教授、飯高 隆准教授、編集委員長の新谷昌人准教授には有益なご助言をいただきました。記して感謝申し上げます。

文 献

- 出町知嗣・立花憲司・佐藤俊也・三浦 哲・大園真子・太田雄策, 2011, 2011年東北地方太平洋沖地震発生後の東北大学GPS連続観測点の復旧作業について, 日本測地学会第116回講演会要旨集, P-23.
- 海野徳仁, 2011, 観測網 完全復旧まで61日, 日本地震学会広報紙「なるふる」, 86, 2-3.
- 平原 聡・中山貴史・鈴木秀市・出町知嗣・海田俊輝, 2012, 東北地方太平洋沖地震発生後の緊急観測システムの構築, 平成23年度東北大学大学院理学研究科 技術部報告, 24, 15-20.