

東日本大震災からの教訓

野村昌治 高エネルギー加速器研究機構 〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

要旨 東日本大震災は高エネルギー加速器研究機構にも大きな被害をもたらした。被災状況を振り返ってみると、十分に備えが出来ていたものの被害は小さく、被害が大きかったのは備えが不足していたものであった。フォトンファクトリーにおける被災状況と今回の経験に基づく危険予知トレーニングをいくつか行ってみたいので紹介し、他の施設・大学等における防災計画の参考として頂きたい。

1. はじめに

2011年3月11日14:46に発生した東日本大震災はこれまで高エネルギー加速器研究機構（KEK）で経験した揺れを遙かに超え、震度6弱となり、大きな被害を出した。放射光科学研究施設（Photon Factory, PF）での被害を見ると、「基本的に忠実に被害を受けた」というのが率直な第一印象であった。まさに、「天災は忘れた頃にやってくる」、「Heaven helps those who help themselves.」であり、震災対策が十分になされていた機器の被害は皆無か、軽微であり、大きな被害を受けた機器は対策が不十分であったものであった。震災直後の避難、被災状況、復旧作業、諸施設のご協力による共同利用の継続・再開と今回の震災からの教訓を中心に記す。

2. 震災と避難

震災発生時、筆者は4号館2階の居室でPCのディスプレイを押さえていたが、戸棚からの書類の散乱や戸棚の転倒等の大きな被害もなく、揺れが治まると共にPFへ移動した。機構内の道路は一部を除き、通行に支障がなかった。そのため、その時点ではこれほど大きな被害をもたらしているとは想像していなかった。小林ホールではPF研究会が行われていたが、中断し、避難行動がとられた。PF関係でも、揺れが治まると共に避難行動がとられた。

KEKでは緊急時避難場所が決められており、PFの避難場所の防災用倉庫には職員名簿、ビームタイム配分表、安否確認表、筆記具、ハンドマイク、トランシーバー、発電機等が保管されている。通常の手順に従い、指定された緊急時避難場所への避難、安否確認が行われた。かなり大きな余震が頻発し、避難場所においても駐車中の車が大きく揺れる様が見られたが、車両同士がぶつかる程ではなかった。外部情報を得るために点けた車のラジオ、テレビで東北地方での津波被害の大きさを知らされた。このような

時の外部からの情報の重要性を感じた。震災後1時間半くらい経過した頃であったろうか、余震の続く中、有志でPF実験ホール内の状況確認を行った。停電のためホールの天井照明は消えていたが、非常灯の明かりと懐中電灯で概要の確認を行った。かなり大きな余震が続いたことや、相当な被害が見られたことから、それ以上の作業を中止し、ホール内は原則立ち入り禁止とした。その後暫くして職員の帰宅を促す構内放送が流れ、職員、ユーザーとも帰宅の途に就いた。東大通りの殆どの信号は消えており、塀が倒れている家もあったが、道路の通行に支障はなく、一方でスーパーマーケット、コンビニ等は閉店していたと記憶している。

震災発生時は機構の連絡運営会議の最中であり、機構長、役員、部長等一同に会していた。このため機構の対策本部は直ぐに立ち上がり、避難指示が出された。震災と共に停電が発生したが、速やかに自家発電が起動し、非常灯や放送、構内のPHS等は機能した。KEK内では、書庫が倒れて居室の扉が開かなくなり、PHSで助けを呼んだ例も何件もあり、自家発電が起動し、PHSを使った連絡が保たれたことは安否確認に役立った。確認はしていないが、一般の携帯電話は機能しなかったであろう。また、共同溝が破壊されていたら、発電した電力を利用出来なかっただろう。

実験ホール内で天井化粧ボードの落下はあったものの、照明器具やクレーンの部品が落下することもなく、建屋の健全性は保たれた。これらの条件に支えられ、怪我人も地下室やエレベータへの閉じ込めもなかった。被害が小さかった要因には、この日の朝9:00にPF、PF-ARの運転を終了し、多くのユーザーの方々は帰途につかっていたこと、またビームラインや加速器についてもほぼ停止措置をとり終えていたことも上げられる。実験終了後であったことが人的被害を防ぎ、化学事故や火災等の発生を防いだ可能性が大きい。実験ホールや加速器トンネル内で冷却水配管の破断等も発生せず、洪水にならずに済んだ。しかも晴

天の週日の昼間時間帯であったため、避難・安否確認も比較的容易に行えた。また、駐車場で車両同士がぶつかり、火災が発生することもなかった。実験中の週末の夜間で、土砂降りの雨天で、車両火災が発生しても同程度の被害で済んだと言いつけることは出来ない。

つくばエクスプレスの運行状況を確認せずに駅まで行かれた方々は駅で帰宅難民となり、駅近くのホテル、学校等に避難された。KEKでは帰宅出来なくなったユーザーの方に共同利用宿舎を開放し、また売店の協力を得て食料、飲料の提供を行った。結果論ではあるが、つくば駅向かうよりもKEKに滞在した方が快適に過ごせたかもしれない。これも共同利用実験が終了し、宿舎に余裕があったことが幸いしたと思われる。自家発電した電力は宿舎地区に優先的に回した。震災のため、電気、上水、地下水、都市ガスが全て停止したが、翌日にはプールの水を汲み上げて、宿舎のトイレ洗浄水用として配布した。

当日の反省点としては、宿舎を開放したことが十分に伝わらず、会議室等で夜を過ごした職員、ユーザーが居たことである。また、英語による情報が極めて不足していたため、日本語を理解できない人に情報が十分に伝わらなかった。つくば市内の外国人用宿舎では、停電のなか終夜体制でサポートを行った所もあったと聞いた。

3. 被災状況

PF関係の建物では天井の化粧ボードの落下や壁のクラック発生等があったが、立ち入り自体が危険となる様な被害はなかった。一方、ERL開発棟では天井の照明器具が落下し、機構内ではいくつかの建屋が立ち入り禁止とされた。PF-AR北棟前や一部の道路で陥没が生じ、通行止めとなったが、PF関係では大きな支障はなかった。インフラ関係では機構の特高受電変電施設や受水槽等が被災した。

入射器本体は地下にあるが、至る所でベローズが大きくひしゃげ、破断した。また、線形加速器のダクトを支える架台が変形して、四極電磁石が架台から落下する等の被害が発生した (Fig. 1)。これらのために600 mの入射器は全域が大気に曝された。架台の変形のために入射器自体が数cm移動し、1階にあるクライストロンと地下にある加速器をつなぐ導波管が床を貫通する穴にぶつかっている箇所があった。また、建物の接合部にある expansion joint 部から地下水が建物内に漏れ、洪水状態となった。

PFリングでも北RFセクション下流のベローズが破断した。停電が続くニューマチックバルブが緩んだためと推測されるが、リングの西側半周が大気に晒された。また、線形加速器と蓄積リングをつなぐ入射路では建屋継ぎ目で段差が発生した。垂直ウィグラー下流ダクトからの真空リークやRF用高圧電源の碍子の破損等も発生した。また、シールド壁部の鉛ブロックのずれが生じた。PF-ARは幸い真空状態を保ったが、建屋の継ぎ目で段差が生じ、



Fig. 1 (Color online) A triplet Q-magnet fell down in the linac.

またシールド壁のコンクリートブロック、鉛ブロックに大きなずれが生じた。その後の測量により、両リングとも大きなアライメントの狂いが確認された。

実験ホール内のミラー、分光器等ビームラインの主要コンポーネントは全てアンカーで床に固定されていたこともあり、転倒、移動等の大きな被害は観測されなかった。但し、軟X線用分光器で回折格子を交換する機構が外れ、X線用ミラーでは調整の狂いが生じた。ミラーの両端を支えて、弯曲させる機構でありながら、長さ1 m級のミラーの破断が生じなかったのは単に幸運だったのかも知れない。磁気浮上ターボ分子ポンプ (TMP) の殆どが使用不能となったのではないかと心配したが、幸い使用不能となったものは十数台で、そのほか同数程度のロータリーポンプや真空計が使用不能となった。直接の被害とはならなくても、磁気浮上TMPではタッチダウンが生じ、余命を短くしたと考えられる。

一方で、ビームラインのエンドステーション、実験装置関係では多くの被害が発生した。BL-6Cでは実験架台上に置いてあったX線回折計が台の下に転落し (Fig. 2)、BL-18Bや20Bでは回折計が位置調整用のレールから脱線し、18Bでは脚部が破損した。軟X線のビームラインでは実験装置を入れ替えて実験することが多いが、これらの真空槽や計測系が多数転倒し破損した (Fig. 3)。実験装置を光軸に合わせるためにコンクリートブロックや金属ブロックで嵩上げをした機器はブロックから脱落した (Fig. 4)。また、計測用やインターロック用のラックは脚を床に突っ張っていただけで、床に固定されていなかったために転倒したり、数十cm移動したものがあつた。実験中にこれらの機器が転倒、移動した場合、人的被害が発生する可能性もあつたし、動いた機器が真空槽の電流導入端子等につぶかってビームラインの装置類を破損する可能性もあつた。一方で、定盤等の安定性の良い実験装置は移動したものはあつたが、転倒や大きな損傷は観測されなかった。

このほかに目立ったのは多数の古いツールボックスで全ての引き出しが飛び出してバランスを崩して転倒したこと



Fig. 2 (Color online) A diffractometer fell down from its support table.



Fig. 4 (Color online) A table fell down from concrete blocks.



Fig. 3 (Color online) A vacuum chamber tipped over.



Fig. 5 (Color online) Unlocked tool cabinets dropped over and damaged neighboring equipments.

である。転倒したツールボックスが隣接した機器を倒した例も見られた (Fig. 5)。鍵の掛かっていたものや複数の引き出しが同時に出ない機構を備えたものは転倒を免れた。また、上段、下段の間を固定していなかった書庫では上段が転落し、転落防止柵のなかった戸棚からは機器類が落下して破損した。戸棚の中に収納された機器類も動いていたが、扉が施錠されていた場合は転落を免れ、被害を小さくした。机に置かれていたPCやディスプレイ、計測器等は多数、床に転落し使用不能となった。床に固定していなかったポンペスタンドでは転倒するものがあり、まとめて束ねていたポンペは転倒した。また、複数の寒剤用のデューワーが転倒し、一部は使用不能になった。

構造生物学研究センターでは結晶化ロボットから試料が散乱して使用に耐えなくなった。震災後に停電が続いたた

めに低温保存が必要な試料が損傷した。また、実験室で使用していた遠心分離器等の実験装置も使用不能となった。

4. 復旧作業

機構では震災後直ちに対策本部が立ち上げられ、当初は電気を使用出来ない中、日に1~2回被災状況把握、復旧対策が議論された。PC、プリンタ等が使用できなかったため、壁新聞方式で情報を伝達した。震災により機構の中央変電所が被災し、受電を出来ない状態になったが、関係各方面の努力により13日には受電を再開した。東京電力の電力状況が逼迫していたこともあり、暖房、照明を含め使用できる電力は厳しく制限されたが、井戸水を洗浄水としているトイレが使用可能となった。一方で、この頃には自家発電の燃料がほぼ枯渇し、燃料の補充が出来ない状態になっていた。しかし、末端まで給電するためには、機構内にあるサブ変電所等の安全確認作業が必要で、PF、PF

-AR 地区の変電所が稼働したのは18日、機構内全域が復電したのは28日であった。電気事故を防ぐため、ビームライン、居室等では全てのブレーカーを落とし、安全確認をしながら一つずつブレーカーを投入していった。上水道は22日に、都市ガスは25日に復旧した。外国人宿舎では都市ガスを使って調理をしていたため、暖かい食事をとれない状態が継続した。当初は計画停電が予定されていたが、茨城県内は被災地域として免除された。震災直後は、スーパーマーケットやコンビニエンスストアも閉店や品不足状態が続き、またガソリンや灯油を求めて長い列が出来たが、1週間を過ぎる頃からは状態が緩和してきた。反省点としては日本語でしか情報を伝えられなかったことで、特に機構外に居住している外国人には給水情報等も伝わらなかったようであった。

震災により、機構の WEB や電子メール等ネットワーク関係が使用できなくなった。このため、3月14、15日に予定していた PF シンポジウム中止の連絡は職員個人のメール等を使用して連絡を行った。ユーザーの方々も関係者に連絡を伝えて頂いたようで、中止を知らずに会場に来られた方は皆無であった。14日には機構の WEB が、15日は機構の電子メールや PF の WEB の運用が再開され、WEB を使った情報伝達が可能となった。PF としては出来るだけの情報をお伝えすべく、16日から英語を含めた WEB での情報発信を開始した。同時期に福島第一原子力発電所の事故による放射線レベルの上昇もあり、放射線科学センターでは測定値を WEB でお知らせした。他に信頼出来る情報源がなかった時期であり、好評を得た。土壌表面の汚染のために靴が汚れ、放射線管理区域から出ようとした人がモニターに引っかかるトラブルが何件も発生した。

KEK では共同利用を行っていた PF、PF-AR の運転再開を最優先することを決め、まず入射器の仮復旧作業に取りかかった。先に記したように入射器は全て大気に晒され、しかも地下水の漏水で極めて湿度の高い状態にあったので、まずは乾燥空室で封止する作業が行われた。入射器は A~C と 1~5 の 8 つのセクターから構成され、KEKB に 8 GeV の電子を入射する能力を有しているが、PF、PF-AR への入射にはそれぞれ 2.5 および 3 GeV の電子を使用するので、使用可能な機器をかき集めて、下流の 3~5 セクターを立ち上げることに集中した。圧搾空気、冷却水等のインフラも使用出来ない状態で、コンプレッサーをかき集めて、当初のニューマチックバルブやシャッターの駆動試験を行った。4月下旬にはこれらのインフラも仮復旧した。入射器関係者以外の加速器研究施設の協力もあり、4月25日には第三セクター以降の真空を復旧し、マイクロ波の投入試験が開始された。ゴールデンウィークを通して加速管をエージングした結果、5月10日にはビームの加速試験を開始するに至った。その後、調整を進め、16日には PF へ、6月1日には PF-AR へビームを入射することが出来た。

点検に必要な場所のみ照明を点灯する、総使用電力をコントロールするといった厳しい電力制限を行いながら、入射器の仮復旧に対応してビームを受けて光を出せるように、水漏れの確認、真空漏れの修理、真空の立ち上げ、RF のエージング、測量など電子蓄積リングの復旧作業が進められた。5月16日には電子ビームの入射を開始したが、入射路部の建屋のずれ等のために、ビーム軌道を補正しながらの入射となった。また、その後、リングへの入射部の磁石の位置がずれていることが判明し、補正を掛けながらの入射となった。かなりの無理をしながらも、翌日には 450 mA の蓄積を行う事が出来た。

PF-AR は冷却水の復旧が 4月25日になり、PF の約 2 週間後のスケジュールで復旧作業を進め、6月1日に運転再開となった。PF-AR はリングが大気に晒されなかったことが幸いし、比較的順調に作業が進められた。両リングとも精密なアライメントは未了で、今年の夏に予定されている。ただ、不思議なことに、PF-AR では 2011年 4 月の測量と比べて 2011年夏の測量では自然治癒の傾向が観測された。

実験ホール内でも厳しい電力制限の中、目視点検、通電試験から始まり、修理、機器交換、真空の立ち上げ等の作業がゴールデンウィークを通して行われた。全てのビームライン要素について、目視で確認を行う事は非現実的であるため、5月23日には低蓄積電流条件で運転し、ビームラインへ光を導入し、放射線レベルの安全確認、放射光を用いたビームラインの機器、光学素子などの状況確認を行った。光学素子の調整の狂い等は観測されたが、致命的な問題はなく、各ビームラインの調整、引き続いてユーザーの皆様のご協力を得て実験装置の調整に進むことが出来た。PF-AR においてもほぼ 2 週間遅れのスケジュールで同様の調整作業が行われた。これらの作業を通して、秋からの共同利用実験再開の自信を深めることが出来た。PF ではないが、KEKB リングも被災し、High Energy Ring に設置された 800 個に及ぶ RF コンタクトを内蔵するベローズの健全性を X 線イメージングで確認する作業が進められている。

5. 外部からの支援、共同利用

この間、3月28日に予定されていた量子ビーム施設の連携・協力に関する連絡会議が文科省で開催され、その中で被災施設の復興に向けた協力体制についても議論された。上坪先生の呼びかけにより、4月5日に日本国内の主な放射光施設の加速器関係者が PF にお集まり下さり、現地視察、震災からの復旧に関しての支援のお申し出を頂いた (Fig. 6)。また、4月27日には日本放射光学会をはじめとする「34学会 (44万会員) 会長声明 日本は科学の歩みを止めない~学会は学生・若手と共に希望ある日本の未来を築く~」が¹⁾、6月2日には中性子科学関連 24 学協会から



Fig. 6 (Color online) Specialists of accelerator inspected the damage of linac.



Fig. 7 (Color online) Many racks are fixed on the floor.

「東日本大震災による被災中性子および量子ビーム施設の早期復旧に関する要望」が出され¹⁾、それらの中ではPFの名前をあげて復興が要望された。これらの支援は大変有り難く、心強いものであった。

被災により夏までの共同利用は中止となったが、SPRING-8をはじめ国内外の多数の放射光施設から技術協力、ビームタイム提供の提案を頂いた。PFでは夏までにビームタイムを配分する予定にしていた課題を対象に希望を募り、可能な限りこれらの施設を利用して実験を行える機会を確保した。PFとはほぼ同等の条件でユーザーの方々に実験をして頂くために、可能な範囲でPFスタッフの派遣、旅費の支援を行った。PFスタッフにとってはPFの復旧と他施設での支援が重なり相当の負担を掛けたが、無事にこの間の利用支援を行なえ、ユーザーの皆様も研究を継続出来た。

6. 教訓

阪神・淡路大震災の教訓を基に、KEKでも「防災マニュアル」を作成し、居室の戸棚の上下左右の固定、壁面への固定といった基本的な措置はかなりとられていた。また、毎年、防災防火訓練を行い、ユーザーの方を含めた避難・誘導、安否確認等の訓練を行ってきた。什器等で転倒、移動等被害の大きかった物は、これらの措置がとられていなかった物か不十分であった物で、これらの備えは確実に役立った。また、訓練の効果は十分であったと思われる。これらの経験を基に、震災後、什器の他に計測用のラック等も床に固定した (Fig. 7)。また、定盤上に置いた回折計も定盤上に固定する措置がとられた。

ポンベスタンドは床に固定し、ポンベは1本ずつ上下二カ所で固定することで被害を小さく出来る。市販のポンベスタンドではポンベを固定する鎖が一本であったり、二本あっても下部の鎖はポンベ数本をまとめて固定する構造になっているものがあるが、このようなポンベスタンドか

らポンベが抜けた例もあった。

戸棚、工具箱等は施錠をすることで、バランスを崩しての転倒や機器類の転落を防ぐことが出来る。また、化学薬品は菓子箱の様な柵付のコンテナに保管し、薬品棚に柵を設けることで全く被害がなかった。

様々な条件がプラスに作用して被害は最小に収められたと考えている。しかし、次も同じ幸運に恵まれるという保証はなく、危険予知トレーニング (KYT) を行ってみる。常設機器の固定は進んだが、使用する実験装置を入れ替える実験ステーションでどのようにして機器の転倒を防止するかは今後への課題である。標準的な間隔にアンカーボルトを打っておいて、実験装置側にも同様の穴を開けて、使用時はボルトで固定する等の方法が考えられるかもしれない。

In-situ 環境での実験ではユーザーが持ち込んだガスハンドリング装置を使って実験することが少なくないが、これらの装置やボンベボックスは床に固定されておらず、使用中であれば、これらの機器が移動や転倒して、配管の破断、ガス漏れ等の事故が起きた可能性もあった。これらの装置の常設化を進め、ボンベボックス内のポンベの主バルブを即時に閉める機構を整備する必要がある。寒剤のデューワーも転倒したが、寒剤が気化して酸欠状態になることが懸念される。小さな部屋では酸素濃度計等を用意しておく必要があるだろう。

実験装置が移動することで、電源配線を切断した例もあった。電気火災が発生した可能性もあり、電気配線と機器配置の関係には注意を払い、床配線等は避けるべきである。

震災によって発生した停電や電力制限は広範囲、長期間に及んだ。自家発電が稼働することで、機構内のPHS等連絡手段が確保出来、また宿舎での最低限の生活が出来た。一方で、低温保存が必要な試料等に給電できるように、非常電源の配電系統も再検討する必要がある。復電後に、ある低温薬品保管庫でアラームが鳴ったが、担当者が不在で、施錠された扉が開かなかった例があった。昇温することで反応が進むような試薬があれば、大きな化学事故

になる可能性があった。低温保存試薬のリスト、昇温時の処置法を明確にし、保管庫の鍵を一元的に管理する必要がある。

停電時にはネットワーク機能が使用出来なくなるので、情報伝達に使う代替連絡手段を用意しておく必要がある。緊急用のマニュアル等がWEBに収められている場合は、印刷物を用意しておくべきである。

最近の建物では高架水槽が設けられていない例が多いが、PF研究棟には高架水槽があったため断水が復旧するまでの間、上水を確保する事が出来た。普段は無駄と思えるものが役立つものだ。

また、今回はそのような例はなかったが、震災時に荷を吊ったクレーンや荷を上げたフォークリフトがあった場合、被害が拡大した可能性も否定できない。

今回の震災の被害を率直に言うと、「基本的に忠実に被害を受けた」ということである。バランスが必ずしも良くないのに転倒しなかった機器や積み重ねてあったのに崩れなかった箱等はあったが、転落、転倒等被害を受けた物品は多くの場合その被災原因は明確であった。日頃からKYT（危険予知トレーニング）を行なうことで、これらの危険は予知可能と考えられる。ユーザーをはじめとする皆様のご支援により、PFは運転を再開することが出来たが、加速器のアライメントや入射器上流部の復旧等復旧途上にあり、更なるご支援をお願いしたい。ここに記したことは震度6弱以下で、建屋の健全性が保たれた場合にしか適用できないが、ここに記した経験を日本全体の研究者が生かせれば、同程度の地震が来た時の被害を遙かに小さく出来

るだろう。対岸の火事ではなく、是非他山の石としてPFの経験を生かして頂きたいと思う。以前より、震災に関して多くの報告がなされているので、併せて参考にして頂きたい²⁻⁴⁾。

参考文献

- 1) これらの内容は日本放射光学会のホームページから参照出来る。
- 2) 編集グループ、「化学研究室と地震」、現代化学 1978年8月号 p. 26 (1978).
- 3) 磯部寛之：化学, 66巻5号, p. 13 (2011).
- 4) 指方研二, 尾形孝輔：「理工系大学の「根本的な地震対策」を考える」, 化学66巻12号 p. 12 (2011).

● 著者紹介 ●



野村昌治

高エネルギー加速器研究機構 理事

E-mail: masaharu.nomura@kek.jp

専門：XAFS

【略歴】

1982年東京大学大学院理学系研究科博士課程修了。理学博士。1982年高エネルギー物理学研究所放射光実験施設 助手, 同助教授, 教授 (途中改組により高エネルギー加速器研究機構)。2012年より現職。

Lessons from the Great East Japan Earthquake

Masaharu NOMURA High Energy Accelerator Research Organization (KEK),
Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801, Japan

Abstract KEK suffered serious damage owing to the Great East Japan Earthquake. However, the degree of damage strongly depended on how they were equipped to minimize the damages. I will report the damages and recovery process of the Photon Factory and show some proposals according to our experiences.