コラム

ロボット系大学教員が体験した大震災

An Experience Report of a Robotics Faculty in the Earthquake Disaster

熊谷 正 朗* *東北学院大学工学部

Masaaki Kumagai* *Tohoku Gakuin University

1. は じ め に

あの日から半年が経った。幸いにして、筆者に関していえば日常のスケジュールがほぼ戻った：少なくとも、夏期休業期間に開発に打ち込んだり、締切間際になって論文を書いたり、この原稿を書く程度に、出勤経路の幹線道路沿いには改装オープンした大型店も随分増えてきたが、同時に、まったく手つかずの被災建物や通常ではあり得ない姿勢角の自動車などが見え、あちらこちらに水平な茶色の線が残る。しかし、これは津波が来た地域としては復旧したほうで、各種報道のとおり惨状が続き、地域にも、大学教職員・学生諸君のなかにも苦しい生活を続けている方々が多い。また、この状況に対応すべく、精力的に活動されている研究者も多く、そのような方々の話こそ本誌の読者向けの知見だと思う。このような状況で、この原稿を書くことには様々なためらいもあるが、一事例として書いてみる。

事の発端は、3月下旬に来た一通のメールによる。以前報告した玉乗りロボットの動画の件 [1] 以来、メールのやりとりがある IEEE Spectrum ブログ編集者の Erico Guizzo 氏から、「様々な報道はあるものの、生の日常のを知りたい」との打診があった。その手のブログ記事はすでにネットにあふれていたが、英語記事は少なく、ボランティアの一つと考えて引き受けた。これは“Japan Earthquake Diary: ‘Suddenly I Heard a Roar From the Ground’” [2] として公開された。以下では、この記事の中の要点を拾いつつ、ロボット系教員としての立場からも改めて振り返る。

2. 地 域 の 背 景

筆者は仙台で生まれ育った地元民である。本学、東北学院大学も地元出身の教職員は多く、学生の大半は宮城県および東北の出身者である。片道 90 分かけて大学に通う者も珍しくはなく、東北本線、仙石線という JR 線が最寄り路線である。遠隔地の出身者は大学周辺に一人暮らしをし

ているが、地震当時は春休みであり、帰郷していた者が多い[†]。この点は教員も学生も全国から集まる東北大学との違いの一つである。例えば、東北大学ではキャンパスを中心とした内陸部に居住場所が分布する傾向が強いが、本学は県内に広く分布し、沿岸部も少なくない。また「宮城県沖地震」というキーワードへのなじみ具合にも差がある。

「宮城県沖地震」は地域の重要な防災キーワードであり、1978 年にあった M7.4 の地震と、10 年来「30 年以内に同規模が再来する確率が 99% 以上」といわれ続けてきた「次の大地震」を指す。この地震、すなわち震度 5~6 程度の地震に耐えられるように備えることが家庭や企業や学校の考えの根底にある。そのため、震度 5, 6 の地震が発生すると「これは宮城県沖地震であるかどうか」が大きな関心事となる^{††}。ただし、ここで重要なのは「ライフラインに影響はでるが、地震で死ぬ危険性は少ない、津波は大きくない」という暗黙の理解である。もちろん、三陸海岸で何度も大きな津波被害があったことは我々の地域では一般常識ではあるが、「宮城県沖地震」との関連は弱く、ましてや仙台湾に大きな津波が来ることは話題になることもない。今回の地震では津波被害を除外すると、阪神淡路大震災で目を引いた建物等の倒壊は少なく、研究が進むレスキューロボットで対応ができたと考えるが、津波がまさに「想定外」であったと思う。もちろん、貞観の津波はたまに話題に上っていた（固有名詞ではなく千年ほど前に大津波、という程度で）。また、仙台湾への津波が繰り返しあったらしいことも知られ始めていたが、具体的に津波に対する啓蒙はなかった。約千年周期と分かっていたら可能性を考慮すべき時期ではあったが、本学にも海中に沈んだ遺構を調査している教員がいて、話を聞いてはいたが、まさかそれが来るとはまったく思っても見ていなかった。

[†] 本人は被災しなかったが、留守のアパートが津波被災して引っ越しを余儀なくされたという事例がいくつもあった。

^{††} 「確実に来る厄災を乗り切れた、もうしばらくはこれで安泰」と確認したい。最近では、三陸南地震、宮城県北部地震（2003 年）、宮城地震（2005 年）、岩手・宮城内陸地震（2008 年）で大きな揺れを感じ、すぐに「これはあの地震か？」と話題になった。震源が内陸と分かるとがっかりし、沖合でもすぐに地元新聞に話題がでる。今回の地震でも、「これだ」「いや違う」「想定震源域もすべった」などと何回か目にしている。

原 2011 年 9 月 21 日

キーワード：2011 Tohoku Earthquake and Tsunami

*〒985-8537 多賀城市中央 1-13-1

*Tagajo-shi, Miyagi

3. 地震前後

2日前の3月9日の前兆余震のときは大学の自室で学生と英語論文を読んでいた。少し強めに揺れたため、「とりあえず、ドア開けてくれる?」程度でそのまま作業を続けた。

3月11日は午前から研究室の玉乗り・トレーラロボットの搬出準備をしていた。2日後に仙台市文学館での実演の依頼を受けており、昼からは乗用車へ積み込み始めた。おおむね終わったころ、大きな地鳴りが始まった。本キャンパスの地盤は固いらしく、大きな地震は地鳴りで始まることを経験していたので、「宮城県沖地震か?」と身構えた。実際、すぐに揺れ始めた。大地震には間違いないが、すぐに経験とは違うことに気づいた。体感した揺れは周波数的に高め成分が強い。「ゆらゆら・ぐらぐら」とは異なり「ガタガタガタガタ」という印象である。目の前の建物のガラスが割れ落ちると思うほどに明確に波打っていたし、別の建物の屋上の避雷針は「まさか超弾性合金?」と弾性の限界を疑うほどに左右に揺れていた。などと目を引く現象も多く、また偶然通りかかった教員と立ったまま話していたので、極端に長かった印象はない。もっとも、収まりそうな雰囲気からさらに大きくなったことは非常に不安であった。

この揺れの周期の特徴は、自宅でも観測されていた。この本震ではトイレの洋式便器の水があふれたのに対し、4月7日の余震（体感的には「普通地震」）ではトイレに被害はなく、風呂の浴槽の水があふれて半減した。両者の共振周波数は異なり、本震は短周期成分が多かったことを示唆している。市中でも、本震の被害が大きい家と7日のほうが大きい家があったと聞く。

さて、地震発生当時の実験室には、3年生以下の学部生が7人いた。春休み中であるが、6月のロボットコンテストに向けて開発に来ていた。特に地震対策訓練などはしていないが、工作機械の即時停止、退路の確保、モニタの支持などを手分けして行ったとのことである。室内では物品の散乱はあったが、棚類は壁面に固定しており、大きな被害は出ていない。少しして、職員が津波情報に基づき、キャンパス内で標高の高い場所に誘導を開始した。天気が急変して冷たい雪が降ってきたが、建物内は避け、表にいた。

この屋外に避難した場所に多数のテレビがあったことはこれまでの大地震と違う点である。じきに学生のざわつきが激しくなったとき、彼らの手元の携帯電話には仙台空港に押し寄せる津波の信じがたい映像が流れていた。通勤で

通る、大学から1キロほどの主要交差点に水が来た、という伝聞もあった。先の映像を見たあとでも、なんとなく数センチの水たまり程度を思い浮かべ、「念のため、帰りは内陸を通るか」と考えていたことを覚えている。だが、そこには2メートル程の水が来ていたことを後に知った。

7人の学生と帰宅方法を相談した。JR線は止まり、彼らの帰宅手段はない。比較的近くの2人は自力を選択、仙台からもさらに遠い2人は大学で待機。3人が仙台市中心部近くに当てがあるとのことで仙台行きを希望した。余震の中、一度積んだロボットを実験室に戻し、学生を乗せて出発した。ただ、この時点でなお「文学館でのデモは実施されるかも」と考え、玉乗りロボットを1セットだけは積んでいた。単なる認識不足か、敢えて楽天的に考えようとする心の保護回路か。

この後、完全に停電した市街地での大渋滞に巻き込まれた。そのさなか、学生が「ここからなら歩いたほうが早いと思うので」というので目的地手前で下ろした。この日に下した選択の中で唯一、これだけは間違いだったかもしれないと後に後悔した。時間がかかっても、彼らの目的地の責任ある人に送り届けるべきであったと。後日、無事が確認できるまで心配が残り続けた。その後、市街地にある本学のメインキャンパスを経由して、帰宅した。通常は1時間もかからないが6時間が過ぎていた[†]。

4. 地震後2週間

ここから先は、日常が徐々に戻っていくとともに、様々な被害を目の当たりにする過程である。

まず、電力は3日目の朝に復旧していた^{††}。自宅周辺は約30年前に大雪で1週間ほど停電したことがある。そのときガスも灯油もあったが、電気がないと動かない暖房器具が多かった経験から、父の勧めでエンジン発電機を用意していた。しかし、今回の停電では使っていない。明るくなったら起きる、暗くなったら寝る、情報は電池式のラジオ、照明は秋月電子で安売りされていた握ると光るLED電灯^{†††}。デモ用にトレーラ用の鉛蓄電池がのべ12[V]40[Ah]充電してあって、12[V]→100[V]のインバータも実験室にあったことをあとで思い出し、持ち帰るんだったとは思ったが、電力の復旧で様々な物が動くようになったが、やはりテレビで見る映像が衝撃的だった。

この時点で電話、ネットの通信環境は復旧していなかったが、高台にある自宅のベランダで空にPHSをかざしたところ、通電の早かった麓の市街地と弱いながらリンクした。すぐに学生のメールアドレスを探して無事を確認するメールを送信、何人かの知人に無事を連絡、そして一人に無事情報をTwitter転送するように依頼した。学校である以上、学生の確認は優先度が高い。本学は域外に確認システムを構築していて、地震後すぐに登録アドレスに発送で

[†]IEEE記事[2]では「家に駆け込み、妻の無事を確認した」とあるが、大地震のあとで電気の切れた家に駆け込んだりはしていない。編集による脚色である。こういった点に、文化の違いを感じた。

^{††}前日に市内の祖母宅でも復旧していたが、いずれも暗い時間帯に通電開始している。通電のモニタのためかもしれない。

^{†††}あまりに活躍したので、ネット開通後に大量発注して実験室に備えている。今回は研究室学生全員に持たせられるように。

(a) 雨水タンク。パイプの先にもう1個あり、あわせて1[t]の水。この水が非常に役立った

(b) 結果から判明した“拘束条件の設定ミス”。これで外れて倒れる危険性もあるという教訓

(c) 倒壊した本棚と家サーバ。サーバ内の自家製カメラ監視システムは発生時を記録していた

(d) 転落を免れたモニタ。地震後、大学の自室で見た奇跡。このモニタの重心はどこに、と

(e) 本類の堆積。学会誌は平積みしていたのだが、表紙の摩擦係数が運命の分かれ目だった

(f) 実験室。この程度の被害ですんだのは、地盤と建物構造と建物内の部屋の場所のためらしい

図1 ロボメカ屋の視点で見ると“片付けへの絶望”以外の何かも見える地震後写真

きたようである。しかし、返答率はあまり高くなかったと聞く。研究室単位での確認の重要度は高いといえる。当日に市街地で別れた3人の無事も追って確認でき、ほっとした。ただし、帰宅時に学生の住所、電話番号などの個人情報簿を持ち帰り忘れたことは、失敗であった。個人情報の取り扱いの観点からすると、学外への持ち出しは制限されるべきであるが、特に、今回のように地域によって被害状況がまったく異なるケースでは、住所は重要であった[†]。

電話・光通信回線は4日目に復旧した。朝の4:30に復旧に気がついて、すぐにPCを起動して、Twitterなどにアクセスし、無事の報告や体験などを書き始めた。大学のサーバも復旧しており、大学の現況も確認できた。建物への立ち入り制限など、この状況で出勤しても邪魔にしかならないと考え、当面は自宅ですることすることにした。この日はテレビとネットに張り付いていたが、惨状に接しすぎたためか夕方に目眩がして何も考えられなくなった。

3日目に開始した学生の確認は、4日目の段階までに4年生9人中7人が判明、5日目に8人となったが、最後の一

人の確認が取れたのは10日目であった。携帯電話のメールは連絡手段として非常に便利であるが、逆に返事がないことが、本人に何かあったのか、基地局など回線の問題なのか^{††}、単に電池切れや紛失なのか、といった問題の切り分けが難しく、心理的な負担は大きかった。

水道の復旧は14日目、ガスは36日目であった。電気の復旧でも生活が変わったが、やはり水の重要性は高かった。自宅が高台にあり、停電はポンプの停止→断水に繋がるため、断水対策も重要である（今回はさらに上流の破損で長引いた）。自宅と、近所の父母宅は、父の考えで雨水タンクを設置してあった。通常は散水などで使用し、災害時にはトイレなどで使用する目的である。2軒で500[l]タンク4基、合計2[t]の水があった（破損に備え多重化していたがすべて存続）。主に父母宅で備蓄されていた飲料水とともに、断水期間の必要量はほぼまかなえた。それでも、蛇口からの水の有無は、洗い物などの点では大きな違いがあった。また、水汲みを日課とした学生は多かったようである。

ガスの復旧が遅いことは前回の宮城県沖地震で既知であり、両家とも暖水はガス・灯油の2系統に多重化していた。プロパンガスを使用していたアパートなどを除くと都市ガス復旧まで風呂に苦労した方も多くな^{†††}、水の復旧と併に風呂に浸かれた。33年前の経験を元にした、父の備え・示唆があつてこそ、ここまでの対策がとれていた。一方で、多くの技術が進歩しても復元まで要する作業は大きくは変

[†]無事を知らせるメールの文面に違和感を感じたことがあったが、その表現の意味に、住所を確認できたときに初めて気づいて愕然としたことも実際にあった。

^{††}学生によっては電波の繋がるところまで移動したときに連絡できた、というケースもあった。

^{†††}Twitter上にはどこの浴場で整理券を何時から配るといったような情報が様々流れていた。

わっていない。来るべき地震への備えは常に必要であろう。

5. 自宅での学術・開発・実験

電気とネットとコンピュータがあれば、かなり仕事は自宅でできるということを改めて認識できた期間であった。学術論文の査読も行ったほか、まとまった時間がないと（心理的に）着手しにくい技術を試すことができた（図2）。

具体的には OpenHRP3, OpenHRI とそのコンポーネント間通信やコントローラ記述に用いる RT Middleware (OpenRTM aist) である [3]。OpenRTM はサンプルを動かしてみたことはあったが、目的を持って実装に用いたのは今回が初めてである。OpenHRI はサンプルを試して、少し修正を加えてみた程度であったが、音声合成や認識があまりに簡単にできたことは驚きであった。20 年ほど前から、音声合成や認識にはある種のあこがれをもっていたが、不特定話者の認識が手軽に導入できることが分かったことは収穫であった。

OpenHRP3 では、玉乗りロボットのシミュレーションを試みた。サンプルやチュートリアルは敢えてスキップして現実的な用途を目的とすることで、何がどうできるのかを知るため、初心者としては無謀な設定とした。もちろん、シミュレーションと現実の一致は最重要であり、動特性を直感的に理解している点でも玉乗りが適していた。結果は、バランス制御については感覚に合致した特性が得られたが、玉の駆動については不十分であった。“球と円筒の接触による摩擦伝達”という接点の扱いが困難であることは想像していたが、やはり難しいようである。その“dirty な”解決のために RTM によるコントローラの入出力を様々に実装したことはよい経験となった。

なお、これらソフトウェアの配布場所であったつくばの産総研も地震で大きな被害を受け、17 時には電源遮断のためにサーバを停止させていた、とのことである。その後、関係者のご尽力で 24 時間稼働サーバへのミラーなど、対応が次々に取られていった。また、Twitter などを通して、不明点のサポートをいただいた。謝意と敬意を表したい。

さて、地震の当日に一式だけ積んで帰った玉乗りロボットも、地震後 3 日目から傍らで「地震のときに制御はどうなるか」という疑問に答えるために常時待機していた。普段は制御中に地震がくるということは極めて稀であるが、今なら地震を待ち受けられる。PC に導入した緊急地震速報ソフト[†]が警報音を出すたび動作させて応答を見ていた[‡]。幸いにして、電源投入中は大きな地震が来ることはなく、最大で震度 3（気象庁発表）までの応答にとどまったが^{†††}、目で見た感

(a) 家のリビングで玉乗りの地震耐性を実験

(b) OpenHRP3 で実装してみた玉乗りロボット。こだわりは球のメッシュ設計

図2 地震後の在宅研究? の様子

じではまったく影響はなかった。姿勢制御の基準に加速度センサを併用しているがほぼ直流成分担当で、1 [Hz] 程度の成分はレートジャイロが担当する帯域なので姿勢検出で影響を受けにくいこと、また震度 3 程度では床面からの外乱は振幅がさほど大きくなく、周期も短いため、と考えられる。家具が大きく動いた本震並の揺れでの応答は興味がある。玉が滑り、全体が平行移動する場合は（正確には、床が移動している）、玉を反動車として姿勢制御できる可能性がある。仙台市は震度 7 まで再現できる地震体験車「ぐらら」を有しており、いずれ、そこで検証実験を行う許しをいただいている。

6. おわりに

とりとめもなく、体験の一部を記述してみた。これから大地震が来るといわれる地域は日本には多いが、その地域の方々が「なにが起こりうるか」を想像するきっかけとなれば、幸いである。だが、それなりの備えをしていたとはいえ、被災地域の中では被害が少ない部類であり、これより遙かに大変な経験をしている研究者も多く、この程度では済まない場合もあることは最後に明言しておきたい。

末筆ではあるが、ここまでの復旧には直接的間接的に非常に多くの方にお世話になった。この場でも謝意を表したい。

参考文献

- [1] 熊谷：“ロボット研究開発とネット動画—玉乗りロボットと YouTube, ニコニコ動画—”, 日本ロボット学会誌, vol.29 no.2, pp.136–139, 2011.
- [2] <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/robotics-software/earthquake-diary-roar-from-the-ground>
- [3] OpenRTM, OpenHRP3, OpenHRI とともにネット検索で情報を得た：<http://www.openrtm.org/>, <http://www.openrtm.jp/openhrp3/>, <http://openhri.net/>

熊谷正朗 (Masaaki Kumagai)

2000 年 東北大学大学院修士, 博士 (工学). 同大学助手. 2003 年から東北学院大学工学部講師, 現准教授. 2009~10 年 米 Carnegie Mellon RI visiting prof. (兼任). 2008 年から仙台市地域連携フェロー (兼任). メカトロ開発に従事. (日本ロボット学会正会員)

[†] ストラテジー株式会社製 SignalNow Express

^{††} 電源投入から 3 秒程度でセンサ初期化 → 制御開始できるので、速報音を聞いてからで間に合う。

^{†††} 4 月 7 日の余震は入浴中であつたため、電源を落としていて確認できていない（そのかわりに、液面の共振観察になった）。