

# 中山間地の災害と対応について

## — 中越地震、中越沖地震の経験より —

木村哲也 (長岡技術科学大学) 大金一二 (新潟工科大学)

### 1. はじめに

地震国である日本では、全ての地域で地震対策を立てる必要がある。奇しくも著者らは、中越地域(2004年)、中越沖地震(2007年)を経験することになった。両被災地域には中山間地<sup>1</sup>が多い。よってここでは、両地域を中山間地と特徴づけ、中山間地の災害の特性とRTの応用の可能性を地震災害を中心に検討する。

### 2. 中越地震の経験より

#### 2.1 中越地震の概要と特徴

2004年10月23日に発生した中越地震は川口町を震央とし、最大震度7、マグニチュード6.8であった。人的被害として、死者68人、けが人4,795人、住居の被害として全壊、大規模半壊は5,342棟、半壊、一部損壊は116,262棟であった。中越地震の特徴を以下に示す:

- 被災地域の家屋は豪雪対応のため丈夫であり倒壊家屋が少なく、震度に比較し人的被害は少なかった。家屋の耐震設計の有効性が確認された。人口密度が低いことも、人的被害の少なさに関係した。
- 中越地震の特徴として、活発な余震活動が長く続いたことがあげられる。このような余震が続く中の救助活動、復旧活動は大変危険であった(例:10月27日の長岡市妙見土砂災害現場より男児救出や、脱線した新幹線の復旧作業、トンネルや下水管等の地下構造物の復旧作業)。
- 土砂崩れにより、孤立集落が発生した。また土砂災害による河道閉塞により、いわゆる「天然ダム」が作られ家屋の水没が生じた。天然ダムの決壊による土石流も懸念され、天然ダムの水抜き作業が行われた。
- 山間部では携帯電話やGPSの利用が困難な地域があり、災害対応活動に困難が生じた。
- 被災者には農家が多く、農作業コミュニティーを基盤とした次のような互助的、自主的な災害対応が行われた: 備蓄食糧の利用、井戸水の利用、自主避難所(ビニールハウス等)の設置、被災道路の自主復旧。
- 中越地震後の冬は19年ぶりの豪雪となり、例年以上の雪害が生じた<sup>[1]</sup>
- 高齢化率の高い地域の被災であり、自主的な避難・救助活動に困難が生じた。避難生活中にはエコノミークラス症候群(自家用車等の狭い空間で生活して発症)、廃用症候群(避難所・仮設住宅での運動不足と孤立による心身能力の低下)が発生した。
- ボランティアによる復興支援活動が拡大し組織化

された活動が行われた。一方、ボランティア活動の弊害(地域ニーズとのミスマッチ、活動中の事故)も報告され、ボランティアの重要性と課題が認識された<sup>[2]</sup>。

#### 2.2 ロボット技術の応用が期待される事例

##### 2.2.1 下水管の探査作業<sup>[3]</sup>

中越地震ではライフラインも大きな被害を受けた。下水管の復旧では口径800mm以上では人が入って探査することになっており<sup>2</sup>余震の続く中での有人探査作業は大変危険であった。下水管探査ロボットも実用化されているが、平時での運用を元に最適化されているため、地震被害を受けた下水管に適用が困難な場面があった(大きな段差(5cm程度以上)に対応できない、大口径管路ではレンズ視野角の関係で上手く全体が撮影できない等)。

このような下水管探査の危険性低減が移動探査型レスキューロボットにより可能であるか、長岡市の下水道関係者より検討の依頼があった。国内の関係者に連絡を取ったところ、小柳栄次研究室(当時桐蔭横浜大学、現在千葉工業大学)より協力の申し出があり同研究室で開発された移動探査ロボットを利用して、2004年11月中旬に探査実験を長岡市内で行った。探査を行った管の直径は60cmであった。作業の様子を図1に示す。

安全のため、全ての作業は陸上から行うようにした(下水管内には人は作業者は侵入しない)。また、探査する下水管は雨水管とし、滞留ガスによる爆発の可能性は無いことを下水管の専門家に事前に確認してもらっている。

ガレキ上での移動を前提に設計した移動ロボットは、下水管内での段差や砂利などの障害物は問題なく走破した。しかし、下水管はマンホール直下4mの底面から50cmほど上にあり(50cmの部分は泥貯として機能)、臨時のプラットフォーム(ホームセンターで購入した脚立)を利用する必要があった。また、プラットフォームから下水管内に降りるときや、逆に戻るときには、棒カメ(棒の先にカメラを取り付けたもの)の支援映像は大いに役に立った。探査活動を円滑に遂行するには、ロボット単体だけでなく他の支援システムとの連携が重要と感じた。

ロボットには市販のズーム機能付IPカメラが搭載されていた。下水管はコンクリート材質で内面は灰色一色のため、コントラストが悪く、亀裂の観察のためにはかなりの照明が必要であった。照明を適切に設定した結果、習得した画像は下水管の状況を判断するのに十分な質を有していることが確認された。

<sup>1</sup>平野の外延部から山間地を意味し、国土面積の6.5%を占める(農林水産省ホームページより)

<sup>2</sup>労働省基発第204号「下水道整備工事、電気通信施設建設工事等における労働災害の防止について」



a) 棒カメによる事前探査



b) 下水管内の移動

図1 移動探査型レスキューロボットによる下水管内探査

倒壊家屋内移動探査を目的にした移動探査レスキューロボットは、移動能力や探査センサの汎用性が高く、下水管探査の他、トンネル内調査等様々な応用の可能性がある。下水管内探査は、通常でも埋没の他ガスの発生による窒息の危険性があるため、有人探査は極力避ける事が望ましいと感じた。平常時の探査の非有人化（ロボット化）が災害時の対応能力の向上につながると考えられる。

### 2.2.2 積雪期の倒壊家屋内調査 [3]

現在の倒壊家屋内移動探査ロボットの研究開発では、家屋内での移動探査の研究が多いが、実際の運用ではどのように家屋にアプローチするのかという研究開発も重要である。特に積雪期の豪雪地域では倒壊家屋が雪で覆われることから、どこから進入したらよいのか目安をつけるのが困難である。また、積雪で覆われた倒壊家屋上やその周辺の移動は危険性が高いため（薄い積雪部を踏み抜いて、釘などが露出した倒壊家屋内部に落ちる可能性がある）、積雪下の状況の把握は重要である。

図2に雪で覆われた倒壊家屋の写真を示す（2005年1月14日に川口町で撮影）。図2-aの左下部分は倒壊家屋の屋根であり、中央に人が立っている部分が壁であると考えられる。図2-bは図2-aの立っている人の足元の雪をどけた状態であり、屋根の縁が見える。積雪量は1m程度である。このような状況で適切なアプローチを効率的にするためには、除雪前に積雪下の状況を把握する必要がある。電磁波等の利用の他、棒カメなどを利用して雪下にカメラを潜らせ、状況を直接把握する方法も有効と考えられる。



a) 倒壊家屋の近景。左下部分が倒壊した屋根部分。



b) 倒壊した屋根部分の積雪の様子。深さ約1m。

図2 積雪で覆われた倒壊家屋（川口町、2005年1月14日撮影）

### 2.3 除雪システム [4]

除雪は雪国では必須の作業であり、これまでも多くの技術開発が行われている道路除雪では、大出力の機械除雪技術が実用化されている。一方、家屋周辺の路地や屋根上を安全かつ効率的に除雪する技術は広く実用化はされていない。また、図2に示されるような倒壊家屋上の除雪を行う場合、既存の小型除雪機だとガレキを巻き込んでしまい利用ができない。雪とガレキを選別し、雪のみを効率的に除去するシステムの研究開発は、これまで行われていない。このようなシステムは、歩道除雪にも応用が可能と考えられ、今後の研究開発が待たれる。

現在、レスキューRTとして多自由度アームを有する大型レスキューロボットの開発も進められている [10]。多自由度アームを用いることで、従来の建築機械では実現が難しかった作業（構造物の縁にそって雪を除去する等）が容易に実現できると考えられる。その有効性を検討するため、2006年に大型レスキューロボット「援竜」（テムザック社製、アーム最大到達距離：6m、アーム最大可搬重量：500kg、アーム7自由度：7）を用いて、高さ3m、距離2mの場所の雪を落とす実験を行い、人力の数倍の効率で雪を除去できることを確認した。図3に実験の様子を示す。

日本の雪国人口は全人口の2割（2800万人）といわれており、地震・豪雪複合災害へ対応できるレスキューRTの研究開発を今後は進めなければならないと考える。

#### 2.3.1 その他

- 地震発生の翌日に、国際レスキューシステム研究機構の研究者と同機構が開発した蛇型探査ロボッ



図3 多自由度アームを有する大型レスキューロボット「援竜」による積雪除去実験の様子(長岡市, 2006年2月3日)

ト「蒼龍」が長岡市に搬入され利用が検討されたが, 実際の利用はなかった [6].

- 無人ヘリコプター等による上空からの被災地の調査が行われた [7][8].
- 遠隔操縦型建築機械による無人化施工により, 国道 291 号復旧活動等が行われた [9].

### 3. 中越沖地震の経験から

#### 3-1 中越沖地震の概要と特徴

2007年7月16日に発生した中越沖地震は柏崎市沖約2kmを震央とし, 最大震度は6強, マグニチュード6.8であった. 震央が沿岸から近いことから海岸沿いを中心に大きな被害をもたらした. 人的被害として, 死者14人, けが人1,664人, 住居の被害として全壊, 大規模半壊は1,797棟, 半壊, 一部損壊は22,629棟であった. 中越沖地震の特徴を以下に示す:

- 中越沖地震の主たる被災地の柏崎地域では, 過去の大規模な火災の経験から火災に強い土蔵を改良し住居として利用されていた. これらの家屋が市内中心部をなど多数存在していたが, その多くが地震で倒壊した.
- 道路の損壊は市内中心部, 海岸沿いに多発し, 海岸沿いを走る国道352号線には大きな被害が発生した. 震央に近い観音岬は地盤が緩く, 古くから被害が絶えない場所であったことから, 中越沖地震では大き幅250m高さ100mに渡り, 崩壊や緩みが発生し, 国道を寸断した.
- JR信越線青海川駅付近でも大きな地滑りが発生し, 線路と駅ホームを埋没させ復旧まで2ヶ月間を要した.
- 震央から約16kmの距離には7つの原子炉を有し, 821.2万kWの発電量を持つ柏崎刈羽原子力発電所がある. 地震当日は稼働中の3つの原子炉が緊急停止をしたが, 3号機建屋付近の変圧器からの火災などがあり, 大地震による原子力発電所の安全に対し注目を集めた.
- 中越沖地震では津波の最大高さは32cmであり, 津波による被害は確認されていない.

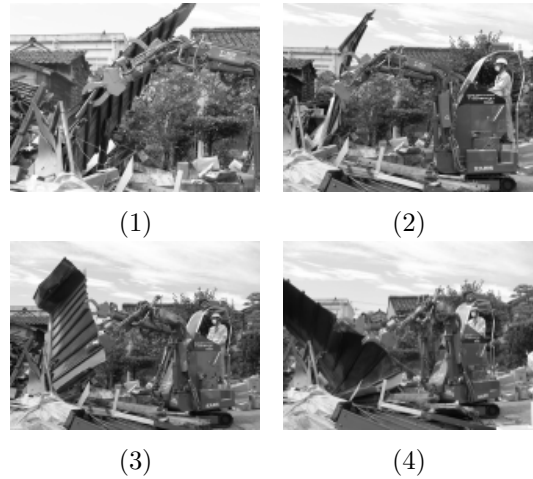


図4 双腕ガレキ除去ロボットによる平らなガレキ除去の様子: (1) → (4)

#### 3-2 ロボット技術の応用が期待される事例

##### 3-2.1 ガレキ除去ロボットによる作業とその問題点 [10]

中越沖地震では被災後にテムザックの援竜 T53 がガレキ除去作業を行った. 作業内容を以下に示す.

- 文具店倉庫(全壊)での作業: 築年数100年程度, 建坪120, 2階建ての倉庫において, 小学校で使用される教科書等の商品を取り出す作業を行った. 作業に関わった人数はのべ24名で, 作業時間は約18時間であった. 成果として, 事務機のカタログや商品等を100点ほどを取り出すことが出来たが, 複雑に屈曲したスチールロッカーが妨げとなり, 教科書を取り出すことは出来なかった.
- 民家倉庫での作業: 築年数40年程度, 建坪30の平屋倉庫において, 生活物品の取り出し作業を行った. 作業に関わる人数は24名で約13時間の作業ですべての物品を取り出した.

本作業において, 依頼者が取り出した物品を, たとえそれが一見些細な日常品であっても, 非常に大切そうに扱っている姿が印象的であった. この事から, 倒壊家屋内の状況を把握し, 必要な物品を早急に取り出す作業は被災者の心のケアという意味からも必要であると考えられ, 災害後のロボットの役割として注目する必要がある.

援竜は被災地において有用な作業を行ったが, 援竜の活動において最も大きい問題であったのが, "被災地がロボットを受け入れる"体制である. 被災直後に, 援竜派遣の打診があったが, 作業場所の選定や受け入れの準備に時間がかかり, 被災地で作業を開始するまでに2週間かかった. この理由としては, 以下の点が挙げられる.

- 行政はライフラインの普及と被災者の生活支援で手が一杯であり, 受け入れが積極的に出来ない状況.
- ボランティア団体は, 基本的に解体, 瓦礫除去の作業の対応をしない.

このようなロボット利用に積極的でない理由として、ロボットによるガレキ除去の前例がなく有用性が見えないことに原因があったと考えられる。中越沖地震での作業では、著者らが大学や市民に対し積極的に作業場所提供を呼びかけることで実現できた。それは、被災地に大学があり、そこにレスキューロボットの研究者がおり、そのネットワークを使って実現できたのであり、稀なケースと考えることも出来る（被災地の大学、研究者も被災者であり、その協力は限定的になる）。今後、災害対応ロボットが広く社会に受け入れられるためには、平時よりロボットが被災後に活用できるということを社会が認知出来るような努力をする必要がある。

また、被災地での作業は被災に乗じた不法行為等の懸念があるため、信頼のおけるところが後ろ盾になる必要があった。中越沖地震では被災地の大学がその役目を果たしていた。

### 3.2.2 評価フィールド（フィールド障害物）の開発 [11]

中越、中越沖地震によって被災し半壊、全壊した家屋に見られる被災状況は、石やコンクリート構造物が多い他国における被災状況とは異なる点が多数見られた。この被災状況の差異はそこで求められるロボットの性能の差異を示しており、ロボットを評価するためのフィールドもその差異を考慮し検討、設定する必要がある。図5はFlexible Steps（以下、FS）というフィールド障害物である [11]。FSは直径5mm針金でできた格子と直径28mm、14mmの木材、外径30mmの塩ビパイプ（長さは共に920mm程度）によって構成されている。FSはロボットが通過時に揺れる程度の剛性を持つ。また、ロボットの通過時において、クローラの過度な駆動力変動や進路調整により部材の落下や部材の破壊が起きる。これは災害現場でも想定されることであるが、通常はロボットの進行上、大きな問題となる。FSではそのような状態を再現している。FSは用いる部材の配置、形状（断面形状、太さ）により難易度を容易に変更することが可能で、障害物自体の設置も用意であるなどフィールド障害物として適している。



図5Flexible Step

## 4. おわりに

本稿で見たように中山間地は、高齢化や土砂災害による孤立化という災害対応上の課題を抱えている。一方、地域の繋がりは都市部に比べて強く、互助による災

害対応の基盤は備わっている。1995年の阪神淡路大震災後に蓄えられた災害対応ロボット技術のいくつかは、本稿で紹介したように中越地震（2004年）、中越沖地震（2007年）で利用されている。現場で本当に役に立つ災害対応技術開発は、ロボット技術だけでなくシミュレーション技術 [12] 等と統合される必要がある。今後は、現場ニーズと関連技術シーズを整理し、両者の効率の統合を図る必要がある。

著者らの経験を他の研究者と共有するため、著者らは災害対応を目的としたロボット競技会（例：ロボカップレスキューロボットリーグ）や、ロボット技術を用いたボランティア活動を実施して、興味ある読者の参加を望む。

謝辞：2.2節、3.2節で紹介した結果は、実施各団体の協力による。また雪害に関しては上村靖司准教授（長岡技術科学大学）より助言を受けた。感謝いたします。

### 参考文献

- [1] 上村靖司: “起きていない災害を想定する—中越地震後の豪雪災害—”, シミュレーション, Vol.24, No.4, pp.49-53, 2005
- [2] 本間和也: “新潟県中越大地震におけるボランティアセンターの活動及び課題～長岡市災害ボランティアセンター統括チーフとしての活動を通じて～”, 消防科学と情報, No.81, 2005
- [3] 木村哲也, 上村靖司: “新潟県中越地震から見たレスキューRTへの期待”, ロボット, No.164, pp.26-29, 2005.
- [4] 木村哲也, 上村靖司: “雪崩対応技術へのレスキューRT応用の基礎的検討”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会論文集, 2P2-D01(1)/(3), 2006
- [5] 木村哲也, 上村靖司: “地震・豪雪複合災害へのレスキューRT応用の基礎的調査（新潟県中越大地震における調査活動報告）”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会論文集, 1P1-S-076(1)-(3), 2005
- [6] 田所論: “地震災害救助ロボットの現状と展望”, 消防科学と情報, No.81, 2005
- [7] 文部科学省研究開発局, 独立行政法人防災科学技術研究所, 特定非営利活動法人国際レスキューシステム研究機構: “大都市大災害軽減化特別プロジェクトIII 被害者救助等の災害対応戦略の最適化 4. レスキューロボット等次世代防災基盤技術の開発 平成18年度成果報告書”, 2006
- [8] 長井正彦他: “無人ヘリコプターを用いた新潟県中越地震による農地地すべり調査”, 応用測量論文集, Vol.17, pp.77-85, 2006
- [9] “建設無人化施工協会ホームページ”, <http://www.kenmukyoku.gr.jp/>
- [10] 木村哲也, 大金一二: “中越沖地震にみる双腕型レスキューロボットの可能性”, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会2007(SI2007)講演論文集, pp.579-580, 2007
- [11] 木村哲也, 大金一二, “ロボカップレスキューロボットリーグにおけるリスク管理と評価フィールド設計”, 日本ロボット学会誌, Vol.28, No.2, pp.41-44, 2010
- [12] 上村靖司他, “地震後の防雪施設の復旧履歴のデータベース化と道路被災度のシミュレータの開発”, 日本雪氷学会全国大会講演予稿集, p.159, 2006