

# 北海道における災害と対応について

## —寒冷地における災害対応と津波減災—

小野里 雅彦 (北海道大学)

### 1. はじめに

本報告では二つの内容に関して取り扱う。一つ目の内容は北海道に代表される寒冷な気候で人口密度の低い地域における自然災害対応が持つ特殊性についてである。これは、東京や大阪で生活している場合には意識されないことがらであり、日本列島の多様な地域的特性を災害対応においても考慮する必要があるという観点から論じる。

二つ目の内容は津波災害に対するロボット技術についてである。これまで国内のレスキューロボット研究者の多くは、平成7年の阪神淡路大震災での被害の中心となった木造倒壊家屋からの救命救助活動の支援を想定して研究開発を行ってきた[1]-[2]。しかしながら昨年の津波の規模と被災状況は、より広範な災害対応の状況[3]を想定することをロボット技術に求めている。

### 2. 北海道の災害における地域特性

北海道は日本の国土の北端に位置し、気象条件や自然環境において、本州、四国や九州とは多くの異なる点を有する。災害に関連する点で主要な項目は寒冷な気候、活火山の存在、人口密度の低さである。それぞれに関して簡単に説明を加える。

#### (1) 寒冷な気候

世界気候区分においては、本州等が温帯(温暖湿潤気候)に属するのに対して、北海道のみが冷帯(亜寒帯)に属し、冬季の気温、降雪量、積雪量にその特徴が現れる。内陸部の都市、旭川市の場合、史上最低気温が $-41.0^{\circ}\text{C}$ 、2月の日最低気温は平均 $-12.7^{\circ}\text{C}$ 、冬日(日最低気温が $0^{\circ}\text{C}$ 以下)が年間157日、真冬日(日最高気温が $0^{\circ}\text{C}$ 以下)が年間89日である。約3ヶ月間は気温が零下の環境下にある。

降雪・積雪に関しては、北海道の中心都市、札幌において、年間降雪量597cm、年間降雪日数126日、最大積雪量100cm、年間積雪日数132日であり、1年のうち約4ヶ月強は生活環境が雪に覆われている。

また、冬季に強風が吹くと降雪や積雪が空中に舞い上げられ吹雪となり、視界を失う状況が発生する。オホーツク沿岸から釧路にかけて厳冬期に接岸する流氷も北海道特有の気象現象である。

#### (2) 活火山の存在

日本国内(北方四島を除く)には噴火活動が盛んなランクAの活火山13のうち、十勝岳、樽前山、有珠山、北海道駒ヶ岳の4つがある。

十勝岳は1926年に死者144名、1962年に死者5名の火山泥流を中心とした火山災害[4]を起こしており、近年では2004年に小規模な噴火を観測している。

樽前山は支笏カルデラの縁に最も新しく形成された活火山であり、1909年の噴火で火口内に溶岩ドームを形成、現在も噴気や地熱上昇が観測されている[5]。

有珠山は洞爺カルデラ火山の一つで活発な火山活動が認められる。近年では2000年に噴火を起こし、周辺地域に大きな被害を引き起こしている。

北海道駒ヶ岳は道南渡島半島の海岸近くに位置し、1640年の大噴火で山体崩壊を起こし、それによる津波で大きな被害を内浦湾に与えている。近年では2000年に噴火を起こしている。

#### (3) 人口密度の低さ(データは2010年調査資料)

北海道の面積は本州の約1/3で九州の2倍強、人口は兵庫県よりやや少ない551万人である。このため、北海道全体での人口密度は $1\text{km}^2$ あたり70人と、全国平均の343人、東京6,016人、兵庫666人と比べて小さな数字となっている。さらに北海道の人口の4割強が札幌市とその近郊に居住しており、その他の地域の人口密度はさらに低くなる。北海道の全市町村179のうちの2割強にあたる40の町村では人口密度が $10\text{人}/\text{km}^2$ に満たない。また、農林業を基盤産業とした散居・散在集落が多く、集落間の距離も長い傾向にある[6]。

### 3. 寒冷地における災害対応の特殊性

次に、上述してきた北海道の地域特性が、自然災害の状況と対応にどのように影響を与えるかについて考えてみる。ここでは代表的な5つの場合を取り上げる。

#### (1) 地震+積雪

降雪が続き屋根に大量の雪が積もった状態で激しい地震に見舞われた場合、家屋倒壊の危険性が高まる。また倒壊した家屋の上を覆う雪は内部にいる

表1 北海道の地域特性と災害状況、機器への要求と操作者の留意点のまとめ

種別	地域特性	災害状況	機器への要求	操作者の留意点
気候	低気温	<地震>倒壊家屋内の要救助者の体温低下と凍死の危険増大 <全般>可動部固着/路面凍結/消火栓凍結	バッテリー性能維持/可動部の固化防止/電子デバイスの低温動作保証	防寒, 栄養摂取/防寒装備対応UI/金属の皮膚張り付き防止
	積雪	<地震>屋根の積雪による家屋倒壊の危険度増大/雪崩の誘発 <全般>要救助者搜索の障害/車両通行の障害	積雪上移動の実現/積雪下の構造物アクセス/積雪環境での環境認識	落雪・雪崩への注意, 移動経路の確保, 目の晴天時紫外線保護(雪目)
	降雪	<全般>災害現場の視界不良/無線通信障害/UAV飛行不能/道路交通網の障害/有線放送のスピーカー音声の吸音	着雪・着氷防止/障害物検知/降雪時の飛行実現/安定した通信の実現	吹雪時視界不良による遭難・転落・衝突防止, 操作盤の除雪
自然	流水	<津波>接岸した氷塊が海水にのって遡上し港湾や陸上の構造物等を破壊.	(流水の状態と津波接近監視)	(海岸からの迅速な退避)
	活火山	<火山噴火>積雪期は融雪型火山泥流を発生して広域に被害	(火山活動のモニタリングと噴火事前検知・警報発令)	(危険地域からの迅速な退避)
社会	低人口密度	<全般>交通・通信の途絶/救助地点の地理的分散/相互扶助実施の困難	可搬性の向上/連続運転時間の拡大	少人数での運用体制/支援補給体制

要救助者の搜索・救命活動の妨げになる。

山間部においては、地震で誘発された雪崩による人的被害や道路の寸断などが起こりやすい。

## (2) 地震+降雪

降雪中の大地震発生は救命救助活動に大きな支障を及ぼす危険性がある。災害発生直後においては、被害状況の確認のため、上空からの空撮映像や高所設置監視カメラの映像が重要となるが、降雪で視程がとれないため、明瞭な映像が入手できなかったり、飛行不能であったりする。また、地上の道路網に関しても除雪が不能な場合、地震災害での道路被害に加えて路上に残された積雪による車両通行の障害が深刻化する。

## (3) 地震+低気温

北海道の冬季の生活は断熱性の高い住居と暖房により成り立っている。地震により家屋が破壊し、暖房が停止した場合、要救助者は外気温の環境に防寒の用意なく長時間、身を置く状況となり、低体温症の発症と凍死する危険が高まる。このため、救命医療における生存率低下の目安とされる72時間よりも迅速な救助活動が求められる。

## (4) 火山噴火+積雪

積雪期に活火山が噴火すると、山体の積雪が火砕流や噴気、溶岩により大量に解けて流れ出す融雪型火山泥流[7]を発生させる危険がある。これは無雪期の噴火による泥流よりも山麓の広域に被害を及ぼす。泥流の到達までの時間が短いため、噴火前に安全な場所に避難が完了していることが防災には重要となる。北海道の市町村でも影響を受ける場合、融雪型火山泥流のハザードマップが作成され公表されている。

## (5) 津波+流水

稚内から釧路沿岸で1月中旬から3月末の流水接岸時に津波に襲われた場合に発生しうる[8]。災害状況としてはかなり特殊であるが、1952年3月4日の十勝沖地震において、浜中町霧多布では湾内の流水が陸上に遡上し被害を拡大したと考えられている[9]。

上で述べた内容は、北海道という地域性を元に述べているが、必ずしも北海道に限定されるものではなく、日本国内では東北、信越、北陸、本州の高所寒冷地、海外でも欧州や北米などの高緯度帯の地域などにおいても一部、当てはまる。

#### 4. 寒冷地における災害対応機器への要求事項

これまで述べてきたような北海道の地域と災害状況を考え合わせると、関東や関西を想定して開発された災害対応機器（レスキューロボットを含む）が実用とならない場合が想定される。ここでは低温、積雪、降雪、低人口密度の特殊性と操作者対応に区分して代表的な課題を列挙する。

##### (A) 低温対策

- 1) 低温によるバッテリーの能力低下への対策。容量増加やプレヒートなど。
- 2) 可動部のグリス等の固化防止。低温用グリスや低温用シールの使用など。
- 3) 電子デバイスの動作保証の低温側限界拡張。HDDや電解コンデンサなどは要注意。

##### (B) 積雪対策

- 1) 移動ロボットの積雪上の移動性確保。雪上でスタックしない移動機構の実現。
- 2) 積雪下の構造物（倒壊家屋など）へのアクセス。雪中を移動できる機構の実現。
- 3) 積雪環境で使用可能な環境認識技術。冬季には無雪期に作成したモデルと環境が大きく変化し、シーンにおける画像特徴点が激減する。

##### (C) 降雪対策

- 1) 着雪・着氷の防止。素材の選定が重要。北海道の低気温下では溶解した雪は再氷結する。
- 2) 吹雪時の障害物感知。レスキューロボット用ミリ波レーダーの開発など。
- 3) UAVフライトの実現。雪上の離発着、降雪環境での飛行とホバリングなど。
- 4) 安定した無線通信。降雪による減衰やアンテナ着雪の影響への対処。

##### (D) 低人口密度地域対応

- 1) 機材の可搬性の確保。大型車両が通行できない道路が多く、小型の車両で搬送できる寸法・重量・運用必要人数が必要。
- 2) 運用可能距離の長距離化。操縦ポイントと運用ポイントが長距離化する傾向が高く、無線通信可能距離や運用可能時間を長くする必要がある。

##### (E) 機器操作者向け対応

- 1) 防寒装着でのUIF操作性。防寒用の厚い手袋着用での操作可能な操縦盤など。
- 2) 金属面の皮膚張り付き防止。機材表面の非金属材料の使用やコーティング。
- 3) 強降雪・吹雪や低気温下での長時間屋外作業の支援環境の提供。シェルター、暖房設備、暖かい飲食物。

こうした災害対応機器への様々な対策の成果は、北海道のみならず、他の地域での利用においても、機器の性能や信頼性、操作性の向上につながる。

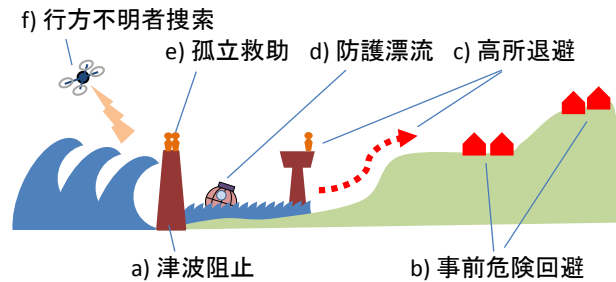


図1 津波減災に向けた5つのアプローチ

#### 5. 津波災害に対する減災のアプローチ

次に北海道の地域性を離れて、2011年3月11日に発生した東日本大震災での被害状況に関する考察をもとに、津波災害における被害を防止または軽減する上で有効と考えられるアプローチについて論じる。本節と次節の内容は、東日本大震災から約1年半を経過し、各種の調査報告書[10]や著作[11]-[14]、報道[15]、現地視察等を通じて作成した著者の既報[16]の内容の一部に基づいている。

津波災害での人的被害を減ずる可能性のある方策を大別すると以下のようになる。

- a) 津波阻止：防波堤、防潮堤、防潮林、水門、盛土などの設置
- b) 事前危険回避：予想浸水域の非居住地化と住民移住
- c) 高所退避：地震発生時の高台への水平的避難、高階ビルへの避難
- d) 防護漂流：浮力・耐衝撃性を持った装置による津波に巻き込まれた後の安全確保
- e) 孤立救助：浸水域中で孤立した避難者を発見・救助
- f) 行方不明者捜索：浸水域と河川、海面、海中を含む。

これらの5つの対策のうち、はじめの二つの項目の津波阻止と事前危険回避は、治水事業と土地利用制限による予防的なアプローチであり、ロボットシステムとの関連は薄いためここでの議論の対象としない。

三番目の高所退避については、

- i) いかんにして避難の必要性・切迫性を住民に確実に知らせるか、
- ii) 安全な避難場所を災害状況に応じてどう見出し住民に指示して避難誘導するか、
- iii) 津波到達までの限られた時間でいかに迅速かつ安全な住民の避難行動を支援するか、

といった項目が課題として挙げられる。

四番目の防護漂流では、高台退避できずに津波に巻き込まれた場合においても生命を守る手段を提供するものであり、退避用カプセルなどが国内外で開発されている。ただし、東日本大震災のような大量のがれきが混在した津波の場合のカプセルの安

全性には課題が残る。

次の孤立援助では、津波の襲来の合間、または津波後において、孤立して救助を待つ者を発見し、救助するものである。実際の救助作業は警察、消防や自衛隊が実施する必要がある、ロボットシステムとしては、要救助者の発見、要救助者への物資輸送(水、食料、医薬品等)、救助活動の支援活動(たとえば、ガイドロープ渡し)などが想定される。

最後の行方不明者捜索では前項と違い、被災者の生死によらず長期間かつ広域にわたり行われる捜索活動であり、現状では警察、消防、自衛隊などによる人海戦術で展開されている。また、こうした捜索を実施した上で重機等によるがれき撤去がなされるため、被災地の復旧・復興のためにも速やかな行方不明者捜索が求められる。

## 6. 津波減災に向けたロボットシステムの要件

上に挙げた、減災へのアプローチを踏まえて、津波減災に資するロボットシステムの要件を以下に述べる。

- (A) 既存基盤への非依存性：電力や通信を災害に脆弱な既存のインフラに頼らないこと。ただし衛星通信は利用可。
- (B) 広域展開性：津波災害は広域で同時に発生するため、サービスを広域に展開できないといけない。たとえば、安価なものを分散配置する、高速移動により広域をカバーする、など。
- (C) 遠隔操作性：安全な場所から機器の操作が可能であること。人間が危険な場所で機器の操作をする状況は回避すること。
- (D) 防水性：被災した浸水域での活動に加えて、浸水域外でも塩水を浴びる可能性が高く、機器の防水性は必須となる。
- (E) 全天候・夜間対応：津波の発生は半分の確率で夜間に発生する。24時間活動が可能であると共に、雨天でも活動可能であることが求められる。
- (F) 操作容易性：特殊な訓練を受けることなく操作が可能であること。挙動と操作法が直感的に理解でき、一般の人でも利用できることが重要である。
- (G) 安全性：機器が人に危害を与えたり、避難や救助活動等を妨げたりしてはならない。これは津波災害に限らない一般的な要件である。

現実にはこれらの要件をすべて高いレベルで満たすロボットシステムの開発は困難であり、何らかの限定の元での段階的に実用化をはかることが必要となろう。

## 7. 終わりに

以上、本学会に設置された災害関係記録作成分科会の分科会メンバーとして調査活動して行ってきた北海道における災害対応と津波減災に向けたロ

ボットシステム技術の要件を中心に述べてきた。本稿の段階では調査分析はまだ中途の段階で有り、継続して災害とロボットシステムに関して、寒冷地対応と津波減災の観点から情報収集と分析を今後に行っていく予定である。関係諸氏からのご意見・ご批判・ご協力をいただければ幸いである。

## 参 考 文 献

- [1] 田所諭, " 文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクト: レスキューロボット等次世代防災基盤技術の開発", 日本ロボット学会誌, Vol. 23, No. 5, pp. 541-543, 2005.
- [2] 田所諭, " 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, pp. 62-66, 2005.
- [3] 田所諭, " ロボットによる震災対応", 東北大学震災3ヶ月報告会(2011.6.10開催) URL: [http://www.dcrc.tohoku.ac.jp/surveys/20110311/docs/20110610\\_3-2\\_tadokoro.pdf](http://www.dcrc.tohoku.ac.jp/surveys/20110311/docs/20110610_3-2_tadokoro.pdf)
- [4] 中央防災会議災害教訓の継承に関する専門委員会, "1926年十勝岳噴火報告書", 2007.
- [5] 樽前山火山噴火緊急減災対策砂防計画検討委員会, " 樽前山火山噴火緊急減災対策砂防計画に関する検討報告書", 2010.
- [6] 南慎一, 高橋章弘, 竹内慎一, " 北海道における集落の地域防災力評価手法に関する研究", 北海道立北方建築総合研究所調査研究報告, No. 254, 2009.
- [7] 堤大三他, " 噴火による融雪型火山泥流の発生機構に関する基礎的検討", 京都大学防災研究所年報, No. 54B, pp. 593-601, 2011.
- [8] 高橋良正他, " 氷盤群の津波による陸上への遡上機構に関する実験的研究", 海岸工学論文集, Vol. 42, pp. 1236-1240, 1995.
- [9] 小野延雄, " 津波流氷災害に関する資料解析", 自然災害科学総合シンポジウム要旨集, Vol. 20, pp. 144-147, 1983.
- [10] たとえば, 日本建築学会編, " 2011年東北地方太平洋沖地震災害調査速報", 丸善, 2011.
- [11] 徳田雄洋, " 震災と情報—あのとき何が伝わったか", 岩波新書, #1343, 2011.
- [12] 外岡秀俊, " 3.11 複合被災", 岩波新書 #1355, 2012.
- [13] 河田恵昭, " 津波災害—減災社会を築く", 岩波新書, #1286, 2010.
- [14] 平田直, 佐竹健治, 目黒公郎, 畑村洋太郎, " 巨大地震 巨大津波—東日本大震災の検証", 朝倉書店, 2011.
- [15] たとえば, 河北新報, " 特別縮刷版 3・11 東日本大震災1ヶ月の記録", 河北新報社, 2011
- [16] 小野里雅彦, " 津波災害に対する減災に向けたロボットシステム開発の課題", (社)日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'12講演論文集(DVD-R), 2A2-N09, 2012.