

季刊

消防防災の科学

秋
2019

特集

北海道胆振東部地震（平成 30 年）

138

一般財団法人 消防防災科学センター

この季刊誌は、宝くじの社会貢献広報事業として助成を受け作成されたものです。



宝くじは、 みなさまの豊かな暮らしに 役立っています。

消防団の方々と
防災学習!



一輪車に乗れるようになりました～!



桜の若木が
こんなに育ったよ♪



みんなで仲良く
読み聞かせ♪



街を華やかに
彩ります♪



宝くじは、図書館や動物園、学校や公園の整備をはじめ、
少子高齢化対策や災害に強い街づくりまで、さまざまなかたちで、
みなさまの暮らしに役立っています。



一般財団法人 日本宝くじ協会は、宝くじに関する調査研究や
公益法人等が行う社会に貢献する事業への助成を行っています。



一般財団法人

日本宝くじ協会

<http://jla-takarakuji.or.jp/>

令和元年台風第15号



強風で移動したコンクリートブロック（千葉県館山市）
撮影日：2019年9月20日（金）



強風による住宅被害（千葉県南房総市）
撮影日：2019年9月20日（金）

令和元年台風第19号



二子玉川駅付近の倒木の様子（東京都世田谷区）
撮影日：2019年10月21日（月）



丸子橋付近の水門（東京都大田区）
撮影日：2019年10月21日（月）

巻頭随想

台風

京都大学防災研究所 教授 牧 紀男 4

特集 北海道胆振東部地震（平成30年）

- 1 地震学の観点から見た北海道胆振東部地震の特徴
国立大学法人東京大学地震研究所・国立研究開発法人防災科学技術研究所 教授 平田 直 6
- 2 北海道胆振東部地震によって膨大な数の斜面崩壊が発生した理由
京都大学 防災研究所 教授 千木良 雅弘 10
- 3 平成30年胆振東部地震による火山灰谷埋め盛土の液状化被害
北海道大学大学院工学研究院 教授 渡部 要一 17
- 4 北海道胆振東部地震にみる積雪寒冷地住宅の強靱さと新たな問題
北海道大学広域複合災害研究センター 特任教授 岡田 成幸 22
- 5 災害多発時代に備える ―北海道胆振東部地震に伴う大規模停電―
関西大学社会安全学部 教授 小澤 守 30
- 6 大規模停電のインフラへの影響 ～2018年北海道胆振東部地震の事例から～
岐阜大学工学部社会基盤工学科 教授 能島 暢呂 35
- 7 北海道胆振東部地震による企業活動への影響
香川大学 創造工学部 防災・危機管理コース 教授 梶谷 義雄 41
- 8 平成30年北海道胆振東部地震による土砂災害地における搜索救助活動の危険性評価
消防研究センター 新井場 公德、土志田 正二、佐伯 一夢、清水 幸平 46

■コラム

災害ボランティアの24年：災害復興を中心に

大阪大学大学院人間科学研究科 教授 渥美 公秀 52

■連載講座

連載（第44回）

天文学者と柿の木・高橋至時 …………… 作家 童門 冬二 56

地域防災実戦ノウハウ（101）―BCP（優先業務時系列表）で応急対応は劇的に変わる― …… 日野 宗門 58

火災原因調査シリーズ（95）

リチウム電池の誤充電により出火した事例

熊本市消防局 62

編集後記 …………… 69

カラーグラビア

令和元年台風第15号

千葉県館山市（9/20）

千葉県南房総市（9/20）

令和元年台風第19号

東京都世田谷区（10/21）

東京都大田区（10/21）

台 風

京都大学防災研究所 教授 牧 紀 男

大都市での台風被害

近年、京都では先斗町・祇園南側・宮川町といった木造市街地でしばしば火災が発生しており、当初は京都の火災について書いてみようと思っていたのであるが、9月に首都圏を襲った台風15号の影響で、通勤時の大きな混乱、強風による屋根の被害、長期停電被害が発生し、大きな問題となっており、また昨年は関西でも台風被害が発生していることから、今回は大都市を襲う台風災害を取り上げることとした。まず台風15号についての報道を見て、昨年、関西で起こった台風21号（2018年）の経験が共有されていないことに驚く。マスメディアの報道が東京を中心に組み立てられていることが原因なのであるが、この原稿を書いている時点では事態は進行中であり分からないことも多いが、首都圏で起こったことは、現在までの状況を見る限り、昨年、関西で起こったことと同じである。

地球温暖化ということが注目されていることから、近年、すごく強い台風が、頻繁に日本を襲っているような印象を持つかもしれない。しかし、上陸時の台風の強さ（中心気圧）をみると、1960年前後が強い台風が日本を襲った時代であった。近年の台風21号（2018）の上陸時の中心気圧は950hPa、台風15号（2019）は960hPaであったのに対し、1961年の第二室戸台風は925hPa、1959年伊勢湾台風は929hPaであった。1950-60年代、構造物による防災対策がまだまだ貧弱であり、台風とともに強風・高潮被害により多くの人的被害

が発生した。構造物による防災対策が進められた結果、人的被害は大幅に減少しているが、近年の台風では社会生活に大きな混乱が発生している。被害の大きさは、ハザード（自然の外力）と社会の脆弱性、暴露量という3つの要素で決定されるが、鉄道・通信・流通といった社会生活を支える基盤システムが複雑化し、台風の強さではなく複雑化したシステムの脆弱性が社会的な混乱を発生させていると考えられる。

関西を襲った台風21号（2019）

阪神・淡路大震災（1995）が日本における戦後最大の都市災害であるが、風速50mを超えるような強風をともしう台風では、電力については同規模の被害が発生するということを知る必要がある。阪神・淡路大震災の電力被害は、停電軒数は260万軒、回線数で649回線であった。台風21号による被害は、停電戸数では220万軒、回線数は3765回線であり、停電軒数は阪神・淡路大震災級の被害であり、回線数ではそれ以上の被害が発生している。大きな被害が発生したこと、さらには広域にわたって被害が発生したことから復旧についても阪神・淡路大震災と同程度の期間がかかっている。阪神・淡路大震災の場合は、火災焼失地域等、送電を行うことができない地域もあり完全復旧はさらに先のこととなるが、復旧可能な地域については地震発生から6日後の1月23日15時04分に応急送電を完了している。21号台風の場合の99%復旧を同レベルの復旧と考えると、阪神・淡路大震

災と同程度の5日かかっている。山間部等、道路被害により復旧が難航する地域もあり完全復旧までには2週間程度の時間を要した。今年の台風15号では、当初、早期に復旧が可能であるといった発表がおこなわれたが実際には長期にわたる停電被害が発生している。強い台風の場合には阪神・淡路大震災レベルの電力被害が発生する可能性があることを認識しておく必要がある。

台風21号では復旧工事に加えて、停電にともなうユーザー対応が大きな課題となった。停電情報システムが、停電箇所多いことからシステムダウンし、停電箇所の把握を行うことができなくなるという問題が発生した。復旧見通しの提示が遅れたことから、問合せが殺到し、コールセンターの電話がつながりにくい状況が発生し、行政機関に停電状況・復旧見通しの問い合わせが殺到するという問題も発生した。

関西空港では連絡橋が使えなくなり多くの人が取り残されるという問題が発生したが、同様のことが、公共交通機関の運行が停止することにより、内陸に位置する成田空港においても発生した。台風21号の対応では、警察・海上保安庁・消防・鉄道会社の間での情報共有ができておらず、飛行機や公共交通機関の運行もふくめた空港システム全体として上手く対応ができなかった。その反省をふまえ直後に発生した台風24号から空港運営に関わる全ての関係者が本部会議に出席して全体で情報共有を行う仕組みが取り入れられた。

自然災害による不便さを容認する社会へ

首都圏でも台風15号の際には前日から電車の運休を告知する、いわゆる「計画運休」が実施されたが、JR西日本は以前から「計画運休」の取り組みを進めてきており、台風21号の際も、これまでも実施されてきたこと、前日から運休が知らされていたこともあり自宅で待機した人も多かった。「計画運休」ということが一般的に認知されるたのは今から5年前の2014年台風19号のことである。台風が接近した際に、近畿圏全域で、事前

に通知した上で「全面運休」が実施された。マスメディアはそのことを称して「計画運休」と呼び、「計画運休」という言葉が一般的に使われるようになった。2012年のハリケーン・サンディー時にニューヨーク地下鉄が事前に運行を停止し、その結果、車両の被害を免れた事例が知られることとなったのが、JRとして「計画運休」をする直接的なきっかけとなったのではと考えていたのであるが、どうもそうではないらしい。

計画運休のむつかしさは、予想された進路で台風が接近した場合は適切な対応が取られたという評価になるが、進路がずれた場合には、「なぜ計画運行を行ったのか」といった印象を一般の人は持つ場合もあり、当然のことながら減収につながる。災害に適切に対応する、安全の確保という観点から考えると、空振りを恐れずに計画運行を行うということは非常に重要であり、社会がそのことが通常の対応として受け入れる必要があると考える。そういった意味で、アメリカという国は災害に対して強いなと感じることをこの夏経験した。コロラド州のホテルで開催されていた学会中の出来事である。会議中にホテルで停電が発生し、マイクも使えないので椅子を寄せて避難口を示す非常灯の明かりだけで、何の問題もないように会議は継続された。数時間ほどで電力は復旧したのであるが、日本であれば大変な騒ぎになりそうであるが、特別なことではないらしく、よくある事故に対応したという感じであった。台風15号の停電被害をふまえて、どうすれば電力システムに被害を出さないようにできるのかという検討が行われることなると思う。被害が出ないことに越したことはないが、複雑化するシステムの被害を完全に抑止するには莫大な費用が必要となる。病院等どうしても必要な箇所だけについては対策を行い、その他の部分については、台風が来ると電車は止まる・停電が発生するかもしれない、ということに不便になることを前提とした社会のあり方についても考えてみる必要があるではないかと思う。

□地震学の観点から見た北海道胆振東部地震の特徴

国立大学法人東京大学地震研究所・国立研究開発法人防災科学技術研究所

教授 平 田 直

1. はじめに

2019年9月に発生した北海道胆振東部地震では、内陸の深さ37kmという比較的深いところで発生した地震にも関わらず、北海道厚真町では震度7という強い揺れに見舞われ、大きな被害が発生した。同年7月には西日本を中心に豪雨が発生していたが、8月には北海道でも大雨が降り、厚真町などの火山灰層には大量の地下水が蓄えられていた。強い揺れが水を含んだ火山灰層を襲い、多数の土砂崩れが発生し、多くの方が犠牲になった。さらに、火力発電所の被災をきっかけに大規模停電が発生した。あらためて、地震時の停電への備への重要性が明らかになった。この地震の特徴と被害の概要をまとめる。

2. 地震の概要

2018年9月6日3時7分に、北海道胆振地方中東部、深さ37kmで、地震規模マグニチュード(M)6.7の地震が発生した。気象庁は、この地震を「平成30年北海道胆振東部地震」と名付けた(本稿では、以下胆振東部地震という)。この地震で、北海道厚真町で震度7、北海道^{あひら}安平町、北海道むかわ町で震度6強、北海道^{ちとせ}千歳市、北海道^{ひだか}日高町、北海道^{びらとり}平取町で震度6弱が観測されたほか、北海道から中部地方の一部にかけての広い範囲で、震度5強～1が観測された。胆振東部地震に

伴い、^{あひら}安平町のK-NET^{注1)} 追分観測点で1796gal(三成分合成)など、大きな加速度が観測された¹⁾。気象庁の公式記録として、震度7が観測されたのは2016年4月16日の熊本地震以来で、これまで、1995年兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災を起こした地震)などで、今回が6回目。最大震度7が観測された厚真町などでは、大規模な土砂崩れが発生し、札幌市などでは液状化が発生した。

国土地理院の行ったGNS S^{注2)} 観測データの解析によると、地震に伴って、日高町の^{もんべつ}門別観測点が南に約5cm、苫小牧市の苫小牧観測点が東に約4cm移動するなどの地殻変動生じた。また、陸域観測技術衛星2号「だいち2号」の合成開口レーダー干渉解析の画像によると、震央周辺で最大約7cmの隆起及び、隆起域の東側で最大約4cmの東向きの地殻変動が観測された²⁾。

胆振東部地震が発生した地域の西側には石狩低地帯、東側には日高山脈が南北に連なり、地殻には東西に圧縮力が加わっている。地震を起こした地下の震源断層では、この東西圧縮場よって南北走行の逆断層運動が生じたと推定されている。地表には地滑りは多く観察されているが、地表地震断層(地下の震源断層が地表に到達した「ずれ」)は報告されていない。石狩低地帯の東縁には、石狩低地帯東縁断層帯(活断層)が南北に走っているが、胆振東部地震は、深さ37kmで発生したことから、水平距離、深さから考えて、この活断層で発生した地震ではないと推定された。ただし、石

狩低地帯東縁断層帯は、地震調査研究推進本部・地震調査委員会の評価によれば、その南部はAランク（発生確率がやや高い）に分類される活断層で、もし地震が発生するとM7.7の大地震の可能性はある。胆振東部地震の発生が、直接、石狩低地帯東縁断層帯に影響を与えた証拠は乏しいが、影響は否定できないので、今後の活動に注意が必要である²⁾。

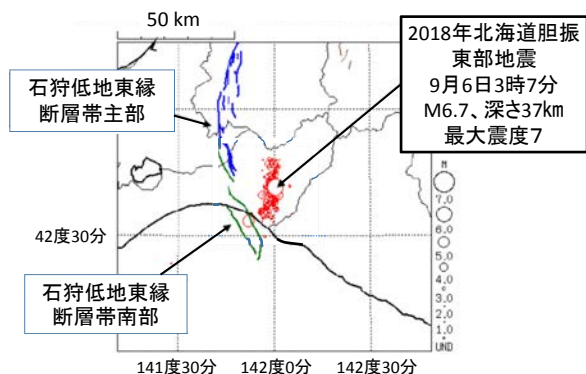


図1. 震央分布、2018年9月6日0時0分～16時0分、深さ0～60km。文献1)の気象庁作成図を修正。

大地震が発生すると、周辺で地震活動が活発になる。多くは最初の地震より規模が小さい余震である。2018年9月30日までに、震度5弱が観測された余震は1回、震度4が16回、震度3が33回など、震度1以上が観測された地震が277回と活発な地震活動が続いた。胆振東部地震発生後1年後の2019年9月6日までに、震度1以上が観測された余震は354回であった³⁾。胆振東部地震の最大余震は2019年2月21日に発生し、地震規模M5.8で最大震度6弱であった⁴⁾。この地震の余震数は、1995年兵庫県南部地震とほぼ同程度であり、2004年新潟県中越地震(M6.8)や2016年熊本地震(M7.3)より少なかったが、2016年鳥取県中部の地震(M6.6)、2000年鳥取県西部地震(M7.3)より多かった。

注1) K-NET (Kyoshin Net : 全国強震観測網) は、国立研究開発法人防災科学技術研究所が、1996年6月から運用する、現在では全国に約1,000箇所、約20km間隔で覆う地表設置の強震観測網。

注2) GNSS (Global Navigation Satellite System / 全球測位衛星システム) は、GPS、GLONASS、Galileo、準天頂衛星 (QZSS) 等の衛星測位システムの総称。
https://terras.gsi.go.jp/geo_info/GNSS.html

3. 地震の起きる背景

胆振東部地震の発生した場所の西側には石狩低地帯、東側には高い山脈、日高山脈が南北に連なっている。この地震の発生した深さは、約37kmと通常の内陸の地震としてはやや深い。なぜ、このように深い地震が発生するかは、必ずしも良くわかっていないが、石狩低地帯と日高山脈の形成と関係していると考えている研究者は多い。例えば、Iwasaki et al. (2019) は、過去の制御震源探査データの再解析によってこの地域の詳細な構造を求め、胆振東部地震の余震分布との関連性を議論している⁵⁾。精密に調べられた余震は東に急傾斜した形状を示し、東に緩やかに傾き下がる東北日本弧内の地殻・上部マントルの深さ7-45 kmに分布している。内陸部の地震は通常は深さが20km程度より浅く、地殻内で発生しているが、胆振東部地震の余震活動は、地殻より深い上部マントル内でも活発であり、通常の内陸の地震発生の仕組みとは異なっていることが示唆される。

北海道を東西に圧縮する力は、もともとは太平洋プレートの西進に起因している。北海道の東方沖にある千島海溝から太平洋プレートが沈み込んでいるが、海溝の走向と沈み込みの向きが斜向しているため、太平洋プレート沈み込みに伴い、北海道側は西方に押されている。この力が北海道の東西圧縮の源であり、千島弧の西進と日高山脈の形成につながっている。千島弧が西方に移動すると、千島弧の地殻は上部地殻と下部地殻に引き剥がされる。Iwasaki et al. (2019) は、千島弧側から剥離した地殻下部によって、東北日本弧上部マントル内の熱的対流が遮断されて、日高山脈の下^{ぜいせいいてき}の上部マントルに低温で脆性的な環境が形成されたと解釈した⁵⁾。北海道の中央部には、このよう

に他とは異なる地学的な環境が示唆されているが、日本の他の地域でも、30kmを超えるやや深い内陸の大地震が発生する可能性のあることが示された点が、防災上重要である。

4. 被害の特徴

胆振東部地震の被害の特徴について、自然環境に基づいている点についてまとめる。この地震では死者44人（うち災害関連死1名）、重傷者51人、軽傷者734人の人的な被害が発生し、全壊住家479棟、半壊1,736棟、一部損壊22,741棟に上った⁶⁾。これらの被害の内、震度7に見舞われた厚真町での被害が最大で、死者37人（災害関連死1人）、全壊住家233棟、半壊329棟となった。震度6強となった安平町（全壊93棟、半壊356棟）、むかわ町（全壊33棟、半壊139棟）も大きな被害となった。とりわけ、厚真町の吉野地区では全半壊率が90%を超え、高丘地区、幌里地区、富里地区、桜丘地区、東和地区、幌内地区の北部地域においても、全半壊率が50%を超えるなど甚大な被害がでた。

これらの被害は土砂災害によるところが大きい。胆振東部地震による斜面崩壊面積は、北海道全域で43.3km²に達し、2004年新潟中越地震や2016年年熊本地震を上回る、明治以降の主要な地震災害の中で最も多い崩壊面積となった。その内、厚真町では29.0km²に及んだ。とりわけ、19名の犠牲者がでた吉野地区など、厚真町の北部の厚真川上流域に崩壊地域が集中した。斜面崩壊の特徴を調査した村上他（2019）は、比較的勾配の緩い地形で発生した崩壊多かったことが指摘している⁷⁾。2004年新潟県中越地震に伴う斜面崩壊など、火山灰が厚く堆積した地域の地震に起因した斜面崩壊では、斜面勾配が30度以下の比較的緩い斜面で崩壊した例が知られており、本地震もその事例の一つとされている⁷⁾。

一方、胆振東部地震の発生の2か月前の2018年

7月には、日本各地に豪雨が発生し、特に西日本では、前線と台風7号の影響で6月28日から7月8日までの総降水量が四国地方で1,800mm、東海地方で1,200mmを超えるところがあるなど、7月の月降水量平年値の2～4倍となった。この、平成30年7月豪雨は、岡山、広島約6割の観測点で48時間降雨量が観測史上第1位を記録した。7月豪雨の影響は北海道にも及んだ。胆振東部地震の直前には雨はわずかであったが、6月から8月の降雨量は例年になく多く、山体に地下水が大量に含まれていた可能性がある。厚真町とその周辺には、支笏火山、クッタラ火山、恵庭火山や樽前火山など近傍の火山由来の降下火砕物（火山灰）が広く積層している。火山灰が厚く堆積した地域に大量の雨が降り、地下水が蓄えられたところに、地震による強い揺れがもたらされ、斜面が崩壊したと考えることができる。地震と大雨の複合災害である。また、地震による液状化現象と見られる異状が、北海道内の5市町村発生した。札幌市清田区では道路が陥没し、周辺の複数の家屋が傾く被害になった。あらためて、造成地の液状化対策が課題となった。

北海道電力苫東厚真火力発電所の運転停止により、道内のほぼ全域約295万戸で停電（ブラックアウト）が発生したことも、この地震から学ぶべき教訓となった。苫東厚真火力発電所は、設備の耐震設計値を上回る、震度6弱から6強の強い揺れに見舞われ、1号機と2号機のボイラー内蒸気配管が損傷し、発電所4号機でタービンから出火した。火災は、10時過ぎには鎮火したが、2号基、4号基が振動による機器の損傷で停止した。また、送電線事故が発生し、水力発電所からの電力も供給されなくなった。さらに、1号機が出力低下して、停止することによって、電力の需要と供給のバランスで生じる周波数変動で北海道全域が停電になった⁸⁾。

電力が失われたことによる社会への影響は大きかった。本稿では、詳しく議論できないが、酪

農・畜産関係の被害は顕著であった。

5. おわりに

2018年北海道胆振東部地震は、内陸の地震としてはやや深い地震であった。それにも関わらず、M6.7という大きな地震のために強い揺れがもたらされ、人的・物的な被害がもたらされた。2018年は北海道でも大量の雨が発生したため、表層の地層に雨水が蓄えられ、強い揺れによって土砂災害が多発し、多くの方が犠牲になった。地震と降雨の複合災害といえる。残念なことに、斜面災害のハザードマップには指定されていない場所で、土砂崩れが発生したことは、今後課題を残した。M7クラスの地震は、日本とその周辺では1年に一回程度は発生している。近年増えている気象災害が、地震災害と複合する可能性を忘れてはならない。あらためて、日本全国どこでも地震が発生して被害がもたらされることを理解して、適切に備える必要性を痛感した。

文献

- 1) 地震調査委員会（2018）平成30年北海道胆振東部地震の評価、平成30年9月6日 地震調査研究推進本部 地震調査委員会
https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2018/20180906_iburi.pdf
- 2) 地震調査委員会（2018）平成30年北海道胆振東部地震の評価、平成30年9月11日 地震調査研究推進本部 地震調査委員会。
https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2018/20180906_iburi_2.pdf
- 3) 気象庁（2019）「平成30年北海道胆振東部地震」の最大震度別地震回数表
https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/2018_09_06_iburi/iburi_jishinkaisu.pdf
- 4) 地震調査委員会（2018）2019年2月21日北海道胆振地方中東部の地震の評価
https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2019/20190221_iburi_1.pdf
- 5) Iwasaki, T., Tsumura, N., Ito, T. et al. Structural heterogeneity in and around the fold-and-thrust belt of the Hidaka Collision zone, Hokkaido, Japan and its relationship to the aftershock activity of the 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake. *Earth Planets Space* 71,103 (2019) doi:10.1186/s40623-019-1081-z
- 6) 北海道（2019年）平成30 年北海道胆振東部地震による被害状況等・第121報（令和元年9月5日現在）
- 7) 村上泰啓・水垣滋・西原照雅・伊波友生・藤浪武史（2019）、平成30年北海道胆振東部地震において発生した斜面崩壊の特徴、河川技術論文集、第25巻、2019年6月
- 8) 平成30年北海道胆振東部地震に伴う大規模停電に関する検証委員会（2018）、平成30年北海道胆振東部地震に伴う大規模停電に関する検証委員会最終報告、2018年12月19日
https://www.occto.or.jp/iinkai/hokkaido_kensho/files/181219_hokkaido_saishu_honbun.pdf

□北海道胆振東部地震によって 膨大な数の斜面崩壊が発生した理由

京都大学 防災研究所 教授 千木良 雅 弘

1. はじめに

2018年北海道胆振東部地震によって、厚真町を中心として震度7から6強の地域で我が国の過去に例を見ない数の斜面崩壊（崩壊性地すべり）が発生した（図-1）。国土地理院の地理院地図には、東西20km、南北20kmの範囲に約8000個の斜面崩壊がプロットされており、日高幌内川上流等に認められる岩盤地すべりを除くと、これらのほとんどは降下火砕物の崩壊である。いずれも、高速で遠方まで移動したものが多く、斜面下方の集落等は甚大な被害を受けた。本研究では、このように多数の崩壊が発生した重要な原因が、降下火砕物の風化と斜面の形態にあったことを述べる。



図-1 厚真町の崩壊発生状況。（アジア航測株式会社・朝日航洋株式会社）

2. 地質と地形

当該地域は、標高200mから400mの丘陵地であり、谷壁斜面が谷側で急になるような傾斜変換線を有しており、いわば谷の中に谷がある「谷中谷」となっている（図-2）。この谷中谷は、火砕物や崖錐に覆われて見えない場合も多いが、厚真町から静内方面にかけて広く認めることができる。その成因は明らかではないが、隆起あるいは海水準の変化が一因であると考えられる。斜面崩壊多発

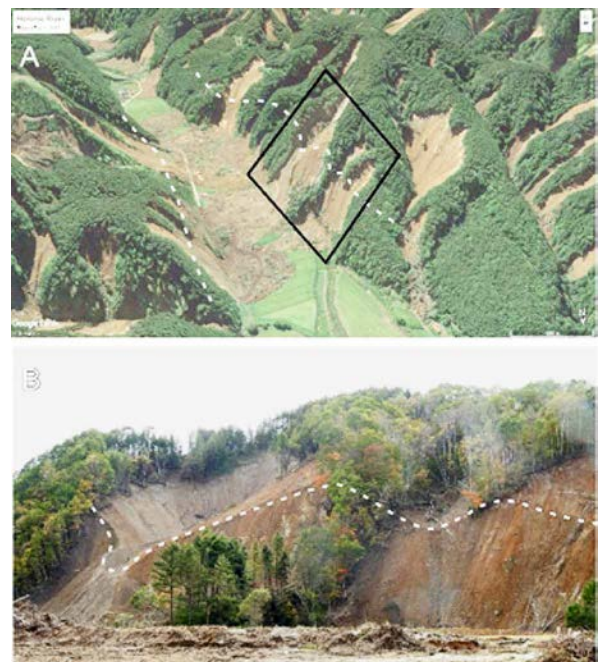


図-2 日高幌内川に見られた遷急線。(A) Google earth画像。白波線は遷急線。黒四角はBの範囲。(B) 遷急線よりも上方の崩壊。

地の基盤は中新世の堆積岩であり、その上に火砕物が堆積している。堆積岩類は泥岩、頁岩、砂岩、礫岩などからなり、北北西－南南東方向の走向を持ち、厚真川とその支流の頗美宇沢に中心を持つ複数のドームとバズンをなしている（松野・石田、1960）。これらを火山の噴出物が覆っている。斜面崩壊が多発した地域は、樽前火山起源の樽前d 降下火砕堆積物（Ta-d、9000年前）、恵庭火山起源の恵庭a 降下軽石（En-a、20000年前）の厚く分布する地域にあたる（中川ほか、2018）。

3. すべり面の形成された層準と風化状況

3.1 層序

20数か所の崩壊地の現地調査を行った。それによれば、崩壊したのは、南部では樽前山の噴出物、北部では恵庭岳から噴出した降下火砕物が主体であった。崩壊地の縁では、たいていの場合、降下火砕物の積み重なりが良く観察できた。調査地の北部ではEn-aが最大1.5mと厚く、また、南部ではTa-dが最大1.3mと厚い（図-3）。南部では、地表から、黒土、Ta-b、Ta-c、黒土、Ta-dの順に積み重なっていた。Ta-dの下は、すぐに基盤岩である場合、基盤岩との間に軽石混じり火山灰土、Ta-dの一部の再堆積物、En-aの再堆積物が挟まれる場合が認められた。北部では、Ta-b, cは数cmと薄く、Ta-dも赤色の火山灰土として認められた。Ta-dの下には、En-a、支笏火山由来の降下軽石堆積物（Spfa-1）、クッタラ火

山由来の降下軽石堆積物（Kt-1）の軽石層が認められた。これらの崩壊地の地質柱状図の代表的なものを図-4に示す。

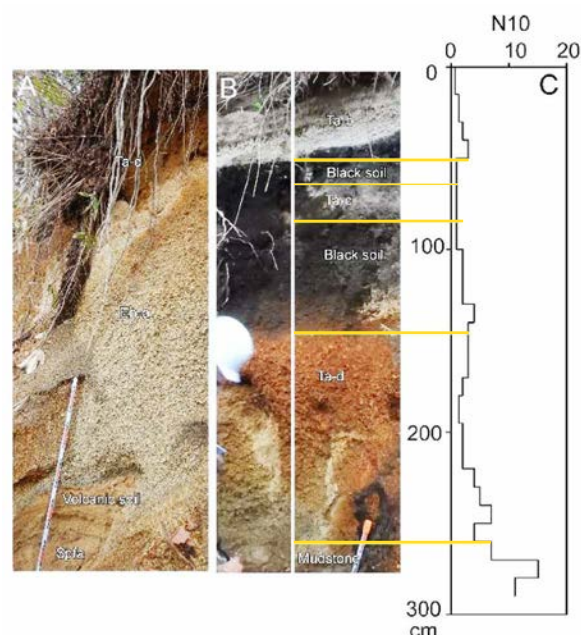


図-3 調査地の崩壊地に露出した典型的な露頭写真と簡易貫入試験結果。(A) En-aと下位のSpfa-1と間の火山灰土。安平川上流。(B) 旭地区の崩壊地の側部崖の露頭。Ta-dとTa-b。(C) 露頭B背後で実施した簡易貫入試験結果。これらの位置については、図-5を参照。

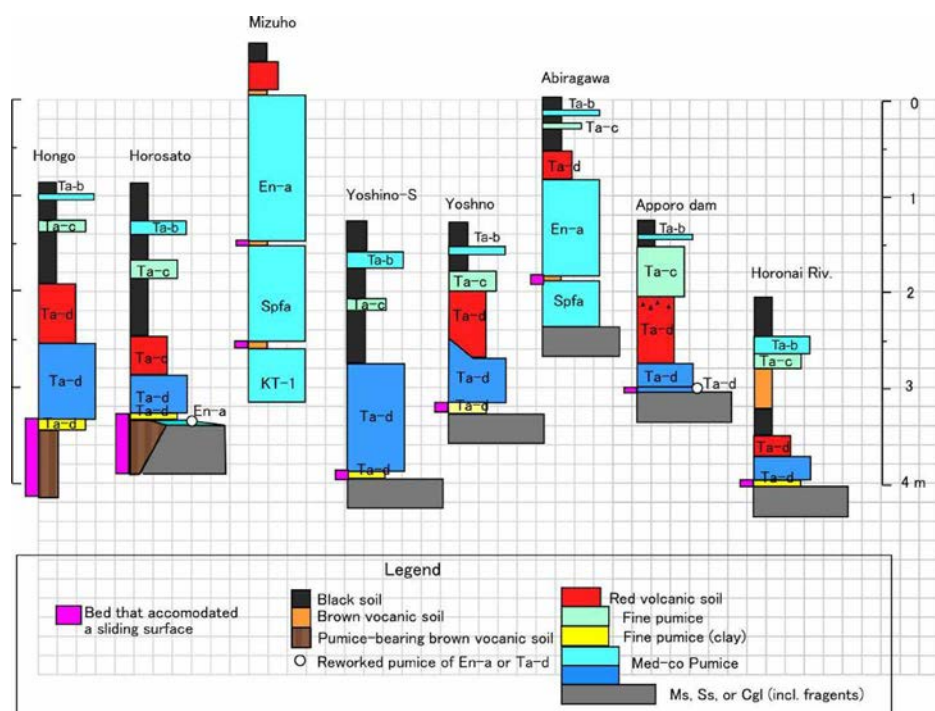


図-4 調査地域の地質柱状図（すべり面の位置を示す）。

3.2 すべり面の形成された地層

すべった地層は、軽石、火山灰土、黒土である。すべり面は、次のような個所に形成されていた。

- Ta-d 最下部の厚さ約 5 cm の細粒軽石層
- Ta-d 直下の軽石混じり火山灰土
- Ta-d 直下の En-a 再堆積物
- Ta-d 本体直下の Ta-d 再堆積物
- En-a 直下の火山灰土

すべり面の形成された層準を整理して地図にプロットしたものを図-5に示す。ここに示したように、北部では、En-a 直下の火山灰土にすべり面が形成されたものが確認された。中央部から南部では、Ta-d の最下部の風化軽石層、あるいは、Ta-d の下にある Ta-d あるいは En-a の軽石が再堆積した層、あるいは Ta-d の下の軽石混じり火山灰土 (PbVs) にすべり面が形成されていた。すべり面は決して隣り合う地層の境界に単一面と

して形成されているわけではなく、あるゾーンが“すべり層”となっていた。その例を図-6に示す。

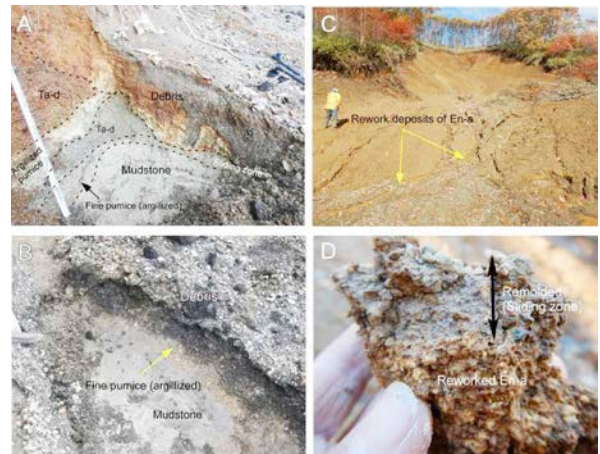


図-6 降下火砕物の地すべりのすべり層。(A) 泥岩基盤の上に載る Ta-d 最下部のすべり層。Ta-d 最下部層が崩積土の下すべり層に連続している。朝日地区。(B) 崩積土と泥岩との間のすべり層。朝日地区。(C) 再堆積した En-a が広く露出する崩壊地。幌里。(D) 再堆積 En-a 最上部の練り返しゾーン (すべり層)。幌里。場所は図-5参照。

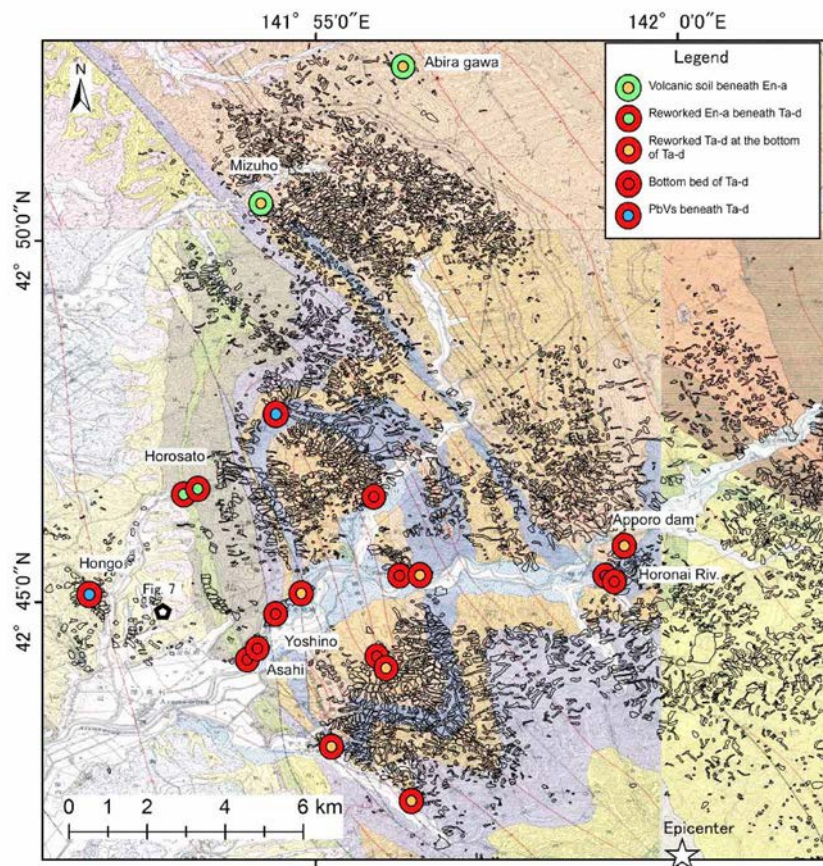


図-5 すべり面の層準の分布。図-4の柱状図と比較のこと。

3.3 火砕物の風化状況

地表から深部に向けて観察すると、後述する Ta-d 内部の特殊な部分を除いて、すべり面の形成された地層のみが特に風化して粘土化していた。Ta-b, Ta-c は硬い軽石からなり、ほとんど変質が認められない。風化は、Ta-b の下の黒土よりも下の Ta-d 以深に認められた。ただし、En-a や Spfa-1、Kt-1 の軽石に挟まれる火山灰土は粘土化していたが、これらの軽石自体が粘土化している様子は認められなかった。Ta-d 上部は赤色化している場合が多く、それらは指で容易に潰せるほど脆弱であったが、後述するように粘土鉱物は生成していなかった。

図-3C に動的簡易貫入試験によって得られた打撃回数のプロファイルを示した。これは、直径 1.5cm、先端角度 60 度のコーンを 3 kg の錘の 50cm 自由落下によって打撃し、コーンを 10cm 打ち込むのに要した打撃回数を測定するもので、つくばマルトー式の簡易貫入試験とほぼ同様の結果が得られる（戸邊、2008）。また、若月（2003）と Grachev et al. (2011) の関係式から、本試験結果の N_{10} は、標準貫入試験の N 値と、 $N=2.2N_{10}$ と関係づけられる。図-3C に示すように、 N_{10} 値は、Ta-d 上部まで 5 以下であるが、Ta-d 下部で増加し、その最下部で 5 となり、基盤岩では 10 以上となった。この Ta-d 最下部がすべり層に相当するが、実際には Ta-d 最下部の細粒軽石は厚さ 5cm 程度なので、この貫入試験では詳細にはとらえられていない。

3.4 Ta-d の特異な風化形態

Ta-d には、至る所で周氷河作用によるインボリューションに似た構造が認められた。これは、不規則形状な下縁を持つカーテンのような模様である（図-7）。この構造は Ta-d の層内に限られ、また、軽石相互のかみ合わせが保たれているので、インボリューションではない。

この構造は、断面的に見て、下縁形状が不規則

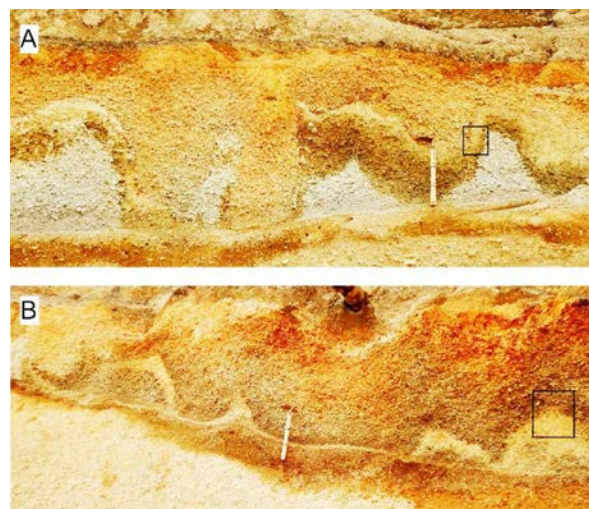


図-7 Ta-d に形成されたカーテン状構造。(A) 酸化フロント直下に粘土化軽石層（白色部）を伴う。(B) Ta-d 基底に形成された粘土化軽石層を伴うカーテン状構造。酸化帯は明瞭な酸化フロントを持たずに下方の非酸化帯に漸移する。スケールの長さは 30cm。

なカーテンが下がっているように見えることから、カーテン状構造と呼んだ。

このような風化帯構造は極めてまれなもので、筆者は、これら以外に今まで見たことがない。また、これらの構造は、Ta-d の軽石層の中を降下する浸透水と軽石との相互反応によることは明らかであるが、この構造と今回の地震による斜面崩壊の発生とは直接的な因果関係はないと思われるので、詳細は省略する。

3.5 すべり面形成層の鉱物組成

すべり面形成層準について 3.2 節で述べた。これらのすべり面構成物質を分析した結果、すべり面形成層にはすべてハロイサイトと呼ばれる粘土鉱物が主要粘土鉱物として含まれることがわかった。赤色火山灰土となった Ta-d は指で容易に潰せるほど脆弱であったが、粘土鉱物は含まれなかった。

すべり面となり、ハロイサイトを含む層は、基盤岩の難透水層の直上の細粒軽石（Ta-d 最下部）あるいは再堆積 En-a および再堆積 Ta-d、それ自

体が難透水で保水性が良いと思われる火山灰土あるいは軽石混じり火山灰土であった。

4. 膨大な数の斜面崩壊が発生した理由と従来の事例との比較

今回の地震で膨大な数の斜面崩壊が発生した理由は2つある。第1は、広い範囲に流れ盤の不安定な地盤構造が形成されていたことであり、第2は、これらの流れ盤構造をなす地層の斜面下部が広範囲にわたって切断されていたと推定されることである。

第1の、広い範囲に不安定な地盤構造があったことについて考える。3節までに述べたように、数多く発生した斜面崩壊の多くは、樽前火山から噴出した軽石 Ta-d 軽石の基底部あるいはその直下の軽石混じり火山灰土層にすべり面を持っており、一部は恵庭火山から噴出した En-a 軽石直下の火山灰土にすべり面を持っていた。これらのすべり面形成層は、風化によってハロイサイトと呼ばれる粘土鉱物を有していた。この鉱物は、後述するように、従来も地震によって流動的な崩壊の原因となっていたものである。Ta-d および En-a は噴出源の火山の東方に広く分布しており、いずれも空から降下して地表を毛布のように覆い、斜面ではすべりやすい流れ盤構造をなしていた。また、これらの地層は、地表からの浸透水によって同様の風化作用を受けたため、それらには同様の弱層が形成されていた。これらが第1の理由の説明である。

第2の流れ盤構造をなす地層の斜面下部が広範

囲にわたって切断されていたことについて述べる。第1節に述べたように、厚真および、その周辺のもっと広い範囲では、谷壁斜面の途中に傾斜が谷川に急になる傾斜変換線がある。これだけ広範囲に認められる理由は、まだ定かではないが、おそらく地盤の広域的な隆起に求められるように思える。いずれにしても、この傾斜変換線のため、谷壁に堆積した Ta-d などの降下火砕物は、急な谷中谷では失われていることも多く、また、失われていないにしても、斜面上方の地層を下方から支える力は小さかったと推定される。このため、斜面上方にある不安定な地層がいたところで崩壊したと推定される。これが第2の理由である。

2018年胆振東部地震によって引き起こされた斜面崩壊と同様の斜面崩壊は従来多数生じてきた(表-1、Chigira and Suzuki, 2016; 千木良, 2018)。降下火砕物は、前述したように、広い領域に同様の地盤条件を形作るため、たいていの場合一度の地震によって多数の斜面崩壊が発生した。これらの事例では、すべり面はハロイサイトに富む層に形成された。すべり面の深さは、最も深いもので200mであったが、多くの場合、数mであった。

すべり面の形成された層は、いくつかのタイプに分けられる(図-8、千木良, 2018に加筆)。最も多いのは、軽石が関係した層である。軽石直下の火山灰土、軽石そのもの、軽石直下の軽石混じりの土である。今回の2018年胆振東部地震によるものも同様である。そのほかに、火山灰土に挟まれる火山礫、褐色火山灰土の下の方の黒土、酸性溶岩に接する火山灰土にすべり面のできた例もあるが、これらの事例は少ない。

表-1 降下火災物の崩壊を多発した地震のリスト。Chigira and Suzuki (2016), 千木良 (2018) にデータを追加。

地震	1923 関東	1949 今市	1968 十勝沖	1978 伊豆大島近海	1984 長野県西部	2011 東北	2016 熊本	2018 胆振東部	2001 エルサルバドル	2009 パダン
発生日	9月1日	12月26日	5月16日	1月14日	9月14日	3月11日	4月14日, 16日	9月6日	1月13日	9月30日
マグニチュード	Mjma 7.9	Mjma 6.4	Mjma7.9 (Mw8.2)	Mjma 7.0	Mjma6.8	Mw 9.0	Mjma6.5 Mjma7.3	Mjma6.7	Mw7.7	Mw 7.5
崩壊発生域の震度 (JMA)	6	5~6	5	5~6	6	6~ ~6+	6+	6+ ~7	MM 6, 7 4~5-(JMA)	MM 8 (USGS) 5+ (JMA)
観測所 先行降雨 (mm)	—	宇都宮	八戸	稲取	御岳山	白河	南阿蘇	厚真	—	—
	10日間	22.5	181	12	183	12.5	79.5	30	データなし (11月~4月 は乾季) ^{b)}	データなし (降 雨中に発生)
	30日間	80.8	292	172	555	83.5	83	225		
	60日間	255	307	334	839	93.5	716	275		
崩壊性地すべりの数	2 (根府川)	88 ^{a)}	152 ^{b)}	7 ^{d)} (物質の分 布が狭かった)	5 ^{j)}	<10 ^{e)}	56<	8000	>1000 ^{d)}	160 ^{j)}
すべり面形成層の物質	風化軽石 ⁿ⁾ ハロイサイト	風化軽石 ⁿ⁾ , 火山礫 ^{m)} ハロイサイト ^{e)}	古土壌 (砂質火山灰) ハロイサイト ^{e)}	古土壌 ハロイサイト ^{e)}	風化軽石と スコリア ハロイサイト ^{k)}	古土壌 ハロイサイト ^{e)}	軽石, 火山灰 土	軽石, 軽石混 じり火山灰土 ハロイサイト	古土壌 ⁿ⁾ 粘土鉱物は不 明	風化軽石と古 土壌との混合 ハロイサイト ^{j)}
すべり面形成層の層準	米神溶岩 ^{o)}	鹿沼軽石 (32ka), 小 川火山礫, 今 市軽石 ^{m)}	十和田八戸テ フラ (15ka) ^{e)}	鉢の山テフラの 下位 (29ka) ⁱ⁾	千本松スコリア (84~76ka) ^{p)}	Sr10 (スコリア) 下位, 高久軽 石 (330ka) 相 当 ^{q)}	Kpfa (30ka) 他	Ta-d (9ka), En-a (18 ka) 下位の火山灰 土	Tobas Color Caf é deposits	Qhpt の基底 (70~80ka よ りも若い) ⁱ⁾
すべった物質	箱根火山の 安山岩熔岩, 火山礫 ⁿ⁾	箱根火山と 富士火山の テフラ ^{l)}	十和田火山 のテフラ ^{b,c)}	東伊豆単性火 山群のテフラ ^{d)}	スコリア, 溶岩, アグルチネート, 段丘堆積物	那須火山のテ フラ ^{e)}	阿蘇カルデラ内 の降下火災物	Tierra Blanca and the Tobas Color Caf é deposits の軽石等	Tandikat Volcano の軽石 (Qhpt)	
すべり面の深さ (m)	70m, 30m	3~5m ^{a)}	< 3m ^{b)} , 1~2.5m ^{e)}	2~6m ^{d)}	5m~200m	3~9m ^{e)}	2.5-13m	2-3m	ca.20m (Las Colinas) ^{f)}	3.5~5.5m ^{j)}
斜面に平行な層理	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有
下部切断	有	有	多分有	有	有	有	有	有	有	大部分有
犠牲者	447 ⁿ⁾	8	33	7	29	13	16	36	844 ^{e)}	600?
引用文献	a: Morimoto (1951); b: 井上他 (1970); c: 吉田・千木良 (2012); d: Chigira (1982); e: 千木良他 (2012); f: Crosta et al. (2005); g: Jibson et al. (2004); h: Evans & Bent (2004); i: Nakano et al. (2015); j: 平野他 (1985); k: 田中 (1985); l: 鈴木 (1993); m: 千木良他 (2017); n: Kamai (1990); o: 鈴木 (1987); p: 小林 (1992); q: 早川・小山 (1992); r): 笠間他 (2008); s): 竹内他 (1998); t) Tjia and Muhammad (2008); u): 高橋編 (2007)									

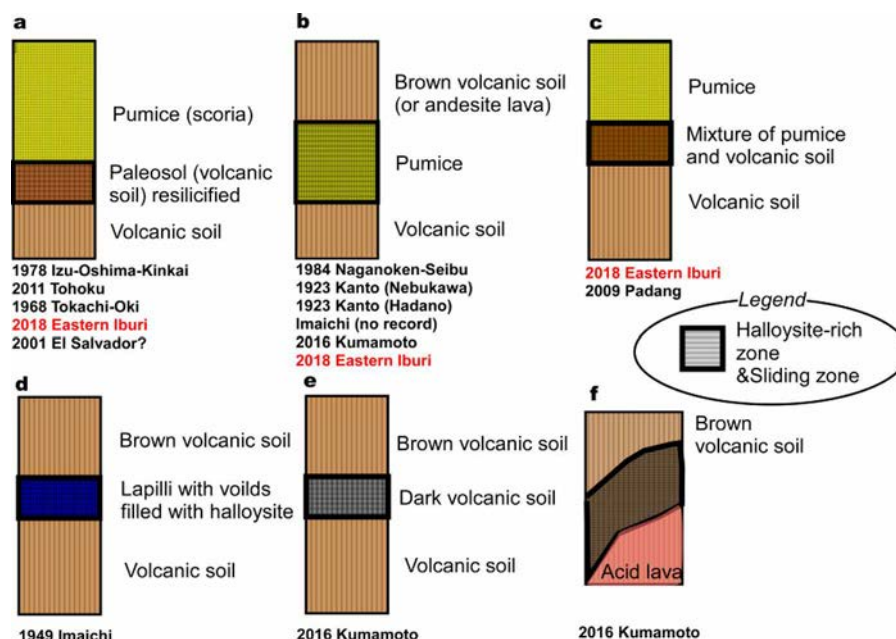


図-8 ハロイサイトに富むすべり層の層準を示す模式図。Chigira and Suzuki (2016) にデータを追加。

5. 結論

2019年北海道胆振地震によって発生した斜面崩壊の大部分は、降下火砕物の崩壊であり、特定の地層がハロイサイト化し、そこにすべり面ができたものであった。最も多かったのは9000年前のTa-dと呼ばれる軽石層の基底部の細粒軽石層にすべり面を持つものであった。そのほかは、Ta-dあるいはEn-aの再堆積物、Ta-dあるいは20000年前のEn-a直下の火山灰土および軽石混じり火山灰土にすべり面を持つもので、これらも軽石層に付随する層として考えることができる。これらの層は、給源火山の東方に広く分布しており、広範に同様の不安定な地盤構造を形作っていた。これが、膨大な数の崩壊が発生した第1の理由である。さらに、これらの地層は、広範囲で斜面下部で切断されていたこと、これが第2の理由である。

従来の地震時の降下火砕物の斜面崩壊をみても、今後の同様の現象を予測するには、まず第1に軽石層の分布、および斜面下部の地層切断状況を知ることが最重要であると言えよう。

謝 辞

本報告は、千木良・田近・石丸（2019）を簡略化したものである。

参考文献

- 中川光弘・宮坂瑞穂・三浦大助・上澤真平（2018）：南西北海道、石狩低地帯におけるテフラ層序学：支笏－洞爺火山地域の噴火履歴。地質学雑誌、124, pp. 473-489.
- 千木良雅弘（2018）：災害地質学ノート。近未来社、名古屋。
- 千木良雅弘・田近淳・石丸聡（2019）：2018年胆振東部地震による降下火砕物の崩壊：特に火砕物の風化状況について。京都大学防災研究所年報、印刷中。
- 戸邊隼人（2008）：風化花崗岩類の表層崩壊と風化様式、および岩石組織との関係について。京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻学位論文。
- 松野久也・石田正夫（1960）：5万分の1地質図幅早来。北海道開発庁。
- Chigira, M. & Suzuki, T. 2016. Prediction of earthquake-induced landslides of pyroclastic fall deposits. In: Aversa, S., Cascini, L., Picarelli, L. & Scavia, C. (eds.) Landslides and Engineered Slopes. Experience, Theory and Practice. Associazione Geotecnica Italiana, Rome, pp. 93-100.

□平成30年胆振東部地震による 火山灰谷埋め盛土の液状化被害

北海道大学大学院工学研究院 教授 渡 部 要 一

1. はじめに

平成30年9月6日午前3時7分に発生した「平成30年北海道胆振東部地震」は、胆振地方中東部にある逆断層において深さ約37kmを震源とするMw6.6の内陸直下型地震であった。震央に近い厚真町内では、北海道で初めてとなる震度7が観測された他、震央より西側の地域では、苫小牧市から札幌市にかけての広い範囲で震度5弱～6弱の強い揺れが観測された。沿岸の埋立地だけでなく、札幌市南部の火山灰谷埋め盛土や札幌市北部の地下鉄開削工事の埋め戻し土などで液状化被害が発生した。本稿では、胆振東部地震で発生した液状化被害のうち、液状化した土砂の流出により住宅地が大規模に陥没するといった、他にあまり例を見ない特異な被害が発生した札幌市清田区里塚一条1丁目の谷埋め盛土の被害とその発生原因について報告する。

2. 被災概況

札幌市郊外の住宅地で発生した液状化被害のうち、札幌市清田区里塚一条1丁目では、帯状に続く一帯が液状化により大規模に陥没したにもかかわらず、地表面に噴砂が現れない珍しい形態での被害が発生した。被災地を南西に向かって上空から撮影した写真を写真-1に示す。液状化により著

しい陥没が帯状に発生した範囲と、その下流部で地表面に土砂が大量に噴出した箇所、地震による水道管損傷箇所と大量の水が流れた範囲や流下した土砂が堆積した範囲を写真に重ね合わせて示している。土砂が噴出した箇所は、後述するように、地表面勾配が増加し、地下水位が地表面直下まで相対的に浅くなっていた箇所に該当する。水道管の損傷は地盤の液状化が原因であると考えられるが、当該箇所の土砂は流出しておらず、大規模な

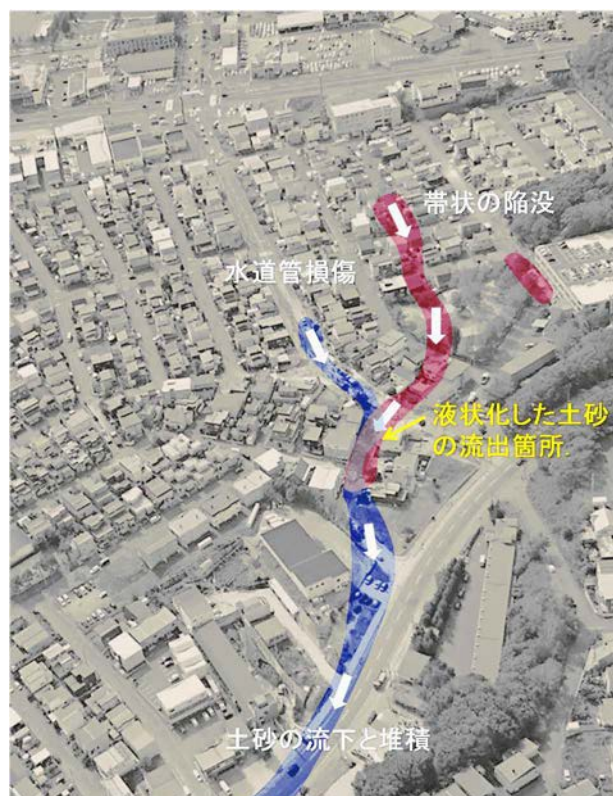


写真-1 被災地（里塚一条）の航空写真と被害範囲

陥没の原因とはなっていない。水道管から流出した大量の水は道路面を流下し、アスファルトが剥離した土砂噴出箇所付近の路面を侵食し、帯状の陥没域からの流出土砂とともに下流側の広い範囲に運んだと推察される。

帯状の陥没が著しい範囲、ならびに周辺で損傷した水道管からの流出水が流下した範囲を図-1の地図上に描いた。帯状の陥没範囲は、南西側から北東に向かって傾斜し、上流部と下流部では約10mの高低差があり、特に下流部で標高60mの等高線に標高55mの等高線が近づいて勾配が急になっている。図中の(a)～(e)で撮影した現地の被害状況を写真-2～6に示す。

写真-2は、帯状の陥没範囲の最も上流部に当たる地点aにおける被害状況で、右側の住宅が1m近く陥没し、陥没帯の境界部上に位置する車庫の傾きが著しい。車庫内の舗装に数10cmの段差が生じているが、近隣の住民の話によると、地震直後から段差はあったもののここまでひどくはなく、車庫から車を出すことができたという。また、この付近で陥没した住宅に住んでいた別の住民の話によると、地震の揺れが収まって外に出て様子を見たら、目の前の道路が隆起したように思えたという。その後、明るくなってから外に出ると、さらに隆起がひどくなっていたと話していた。これ

らのことは、地震直後にもある程度は陥没していたこと、その後少し時間をかけて著しい陥没となったことをうかがわせる。また、陥没した住宅の住民の方が、実際とは逆に目の前の道路が隆起したと勘違いしたと証言していることから、加速度を感じない程度にゆっくりと陥没したことが示唆される。



写真-2 被災地の状況（地点a）

写真-3は、地点bで撮影した帯状の陥没域を挟んで建つ2軒の住宅の被害状況である。写真中央付近で2m近く陥没していた。左側の住宅は、約40年前に宅地造成された当初からの住宅で、直接基礎であることから、地盤の陥没とともに著しく傾いたのに対し、右側の住宅は、建替えの際に杭基礎を施工したことで、地盤の大変形にもかかわらず建物の傾斜が最小限に抑えられていた。



図-1 被災地の地図と写真撮影箇所



写真-3 被災地の状況（地点 b）

写真-4は、里塚中央ぽぷら公園の脇にある道路の陥没と住宅の被害状況である。里塚中央ぽぷら公園からこの写真の辺りにかけての沈下量が最も大きく、約3mに達していた。右側の建物は、被災した建物の中で最も傾斜が大きかったものの一つである。道路上には水が溜まっているが、この水はその後長期間にわたり溜まっていたことから、地下水位とほぼ一致すると考えられ、当該地域の地下水位が比較的浅いところにあることが示唆される。溜まっている水は細粒分を含み濁っているものの、濁った地下水が湧いている程度で、液状化による噴砂とは言えない状況であった。



写真-4 被災地の状況（地点 c）

このように、写真-2～4に示したように、里塚一条1丁目の被害の特徴は帯状に続く大規模な陥没であり、地表面への噴砂痕がないことから、一見すると液状化に起因した被害ではなく、地中にできた空洞に起因した陥没のように見えてしまう。しかし、さらに下流側の地点 d 付近の被災状況を示した写真-5を見ると、液状化した土砂が地中か

ら大量に噴出し、特に写真の左手前側地表面に大量の土砂が堆積していた。これは、地中で液状化した土砂が上流部から連続する地層で発生したために、下流部では被圧状態となり、下流部の地面（アスファルト舗装）を押し破って一気に土砂流出し、その土砂が周辺に堆積したと推察される。その状況は液状化層の底が抜けたような状況であり、地中から作用する泥水圧が高まって地面を押し上げたことは、写真-6に示すように、周辺の住宅前の路面が著しく盛り上がっていたことからもうかがい知ることができる。地表面のみならず、コンクリートの塀も写真の手前側が押し上げられていた。液状化・流動化した土砂がアスファルトの路面を剥離させて流出し続けたところに、周辺で損傷した水道管からの大量の水が合流してきたことで、写真-5に見られるようにガリ侵食が進み、被害が拡大したと考えられる。



写真-5 被災地の状況（地点 d）



写真-6 被災地の状況（地点 e）

3. 被災原因

被災地の最新の地図と旧地形図とを重ね合わせた地図が国土地理院から公開されている（図-2）。被災地は谷埋め盛土に沿って発生したことが読み取れる。当該地区は支笏火砕流堆積物からなる台地のほぼ末端に位置し、幾筋もの谷地形が形成されていた。古い地形図を見ると、尾根と谷では最大で約25mもの高低差があり、札幌郊外で宅地開発が進んだ1970年代後半に切土・盛土によって宅地が造成された。谷埋め盛土の厚さは最大で10m近くあり、谷地形に沿って流れていた三里川はボックスカルバートによる暗渠河川として地中に埋設された。ボックスカルバート内には地震による損傷は見られず、健全な状態であった。ただし、地下水面下約5mの高い水圧下にあるにもかかわらず、接続する排水管（塩ビ製の有孔管）からの流入量が多いとは言えず、目詰まりなどにより地域全体の排水機能が低下している可能性が示唆された。なお、地震後に確認したこの状況が地震前から続くものなのかは明らかではない。



図-2 被災地の旧地形図との重ね合わせ

被害が発生した盛土地区も被害が発生しなかった切土地区も、地盤を構成する土質は軽石からなる火砕流堆積物の砂質土で、細粒分（粒径0.075mm以下の粒子）が30～40%も含まれている。火山灰のような粘性を持たない細粒分を多く含む土は、適度に水分を含んだ状態で盛土を施工する場合、十分に締め固めれば液状化しにくい強固な地盤を

造成できるが、締固めが不十分であると水分を含んだ細粒分が「だま」を作って密にならず、緩詰め状態の盛土が造成されてしまう。緩詰め状態の盛土であっても排水が十分に機能して地下水位が上昇しなければ、それなりの強度を有し液状化もしない。しかし、造成から時間が経過して排水機能の低下などにより地下水位が上昇してくると、緩詰め状態の盛土はきわめて液状化しやすいものになってしまう。

地震後の様々な調査結果に基づいて推測された土砂流出と陥没のメカニズムは、図-3を用いて、以下の①～④により説明できる。

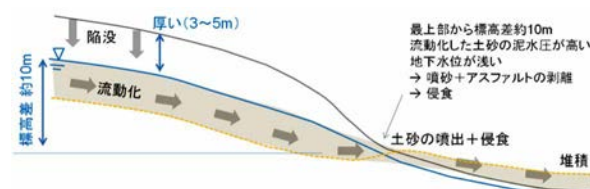


図-3 推測される液状化による土砂流出と陥没のメカニズム

- ① 支笏火砕流堆積物からなる台地の末端に位置する当該地域は幾筋もの谷筋が刻まれていて、1970年代後半に切土・盛土により宅地として造成された。当時は盛土造成に関する技術基準はまだ制定されておらず、今日の技術から考えると、十分な施工管理がなされておらず、緩詰め状態で造成されていた可能性が高い。しかし、造成当初は地下水位が低く、比較的安定した宅地として機能していたと見られる。
- ② 造成から40年が経過し、排水機能の低下に加えて地震前日の台風による影響もあり、地下水位が上昇していたところに強い地震が発生したために、谷埋め盛土が広範囲にわたって液状化した。盛土の上流側の宅地では、地下水位は上昇してもなお地表面からは3～4mと深く、液状化した土砂が噴砂となって地表面に表れることはなかった。
- ③ 傾斜地で高低差が約10mあり、液状化した層が上流側から下流側まで連続していたことから、

下流側では泥水圧が高まり、勾配が増加する箇所（図-1の標高55mの等高線が盛土側に向かって入り込んでいる箇所）、すなわち、地下水位が相対的に浅くなる箇所の路面を押し破って噴出した。

- ④ 下流部での土砂の流出により、上流部では土砂が抜け出た分だけ宅地が陥没した。土砂が噴出した下流部では、近傍での水道管損傷による流出水で侵食が進行し、地盤に著しい変状を来した。

4. まとめ

土地造成時には地下水位はきわめて深く、簡単な排水管を埋設しながら気中での盛土施工が行われるが、水分を含む細粒分が集合体（だま）を作り、これが間隙の多い高位な骨格構造を作ったために、緩詰め状態の地盤ができてしまったようである。造成から約40年が経過する中で、10年ほど前から増改築のために数カ所で地盤調査がなされていた。その結果によると、スウェーデン式サウンディング試験による換算N値が地下水位以深で0～2しかない軟弱層の存在が明らかになっており、写真-3の右側の住宅のように杭基礎を採用した住宅も多い。地下水位より上部では強度があるのに、地下水位より下部では強度がない状況は、地下水位の上昇と密接に関係していると考えられる。宅地造成時には想定されていなかった地盤状態変化であるが、このような地盤情報が地域住民

の間で共有されることはまずない。土地という個人財産の価値を左右しかねない情報になるので、地盤情報の扱いは慎重になるべきであるが、地盤に対する対策は、個人ではどうにもならないことも多く、地域で情報を共有して早めの対策をとることも視野に入れて考えるべきである。

里塚一条1丁目の支笏火砕流堆積物と同様の地盤材料で谷埋め盛土された地区は、札幌市清田区を中心としていくつか存在しており、今回の地震だけでなく、2003年の十勝沖地震などでも液状化被害が発生している。これらの地区では、液状化による噴砂や住宅のめり込み沈下が見られたが、里塚一条1丁目のような大規模な陥没は発生していない。その後の調査により、この違いは、盛土造成地の下流側末端部分の勾配に起因していることがわかってきた。里塚一条1丁目では、上述のように下流側末端部分の勾配が急になるために相対的に地下水位が浅い下流部から液状化した土砂が流出したのに対して、美しが丘や清田団地などでは盛土の下流側末端部の勾配が急ではないために、下流部からの土砂流出により上流部が陥没するような被害にはならなかったと考えられる。地盤材料、造成年代、地下水の条件などを考えれば、下流部からの土砂流出を伴ったかどうかの違いはあるものの、広い範囲で液状化が発生した点では同じである。なお、液状化が発生した地域の多くは、札幌市の防災マップで液状化しやすい地域として色づけされていた。

□北海道胆振東部地震にみる

積雪寒冷地住宅の強靱さと新たな問題

北海道大学広域複合災害研究センター 特任教授 岡 田 成 幸

1. はじめに

防災関係者の間では胆振東部地震は「土砂災害」と「ブラックアウト」の二つのトピックで終了してしまったかのごとく見える。この二つがなかったなら、忘れ去られてしまう地震の一つかもしれない。しかし本当にそうであろうか。筆者は未来の災害の形を垣間見せた地震災害として特筆すべきものがあると思っている。それは温暖化に代表される地球環境問題に伴う災害シナリオの変化と、少子高齢化に代表される社会動態変化に伴う地域の復旧遅れと地方消滅助長の動きである。本稿はそこに焦点を絞る。

2. 地震動と被害の概要

気象庁発表の地震諸元と各地の計測震度¹をそれぞれ表1と表2に、北海道総務部危機対策局危機対策課発表（第121報、2019年9月5日現在）の被害一覧を表3に示す。筆者所属の旧研究室ⁱ（以下、当研究室）では北海道内全市区町村221

（合併前212市町村。ただし札幌市は10区）を対象にアンケート震度調査を実施している²。表2及び図1に気象庁発表の震度分布（分布図は共に平滑化处理を施してある）との比較を示す。当該地震は北海道で初の震度7を計測した地震であったが、計測震度計は市域外に設置されている場合が多く、また設置した『点の震度』を計測している。それに対しアンケート震度は居住地域の『面の平均震度』を算出するものであり、これまでも被害との相関性は高い。同図表よりアンケート震度と計測震度との震央距離減衰傾向は極めてよく類似しているものの、絶対値についてはアンケート震度は計測震度よりも概ね0.5程度低く算出されているのが分かる。一方被害については、建物被害は相当数発生しているものの（表3）、震動による建物倒壊に伴う死者はゼロであることが目を引く（表4）³。死者はほとんどが山崩れによる土砂に巻き込まれた住宅の2階で発生している。

表2 各地の計測震度とアンケート震度

場所	公表震度			
	気象庁 計測震度	K-NET 計測震度	KiK-net 計測震度	アンケート 震度
厚真町鹿沼	6.5(7)			6.12(6強)
厚真町京町		6.0(6強)		5.70(6弱)
安平町早来		6.4(6強)		5.72(6弱)
安平町追分		6.4(6強)	6.74(7)	5.49(5強)
むかわ町松風		6.4(6強)		5.81(6弱)
むかわ町穂別		6.1(6強)	5.41(5強)	5.62(6弱)

表1 北海道胆振東部地震の地震諸元

発生日時	2018年(平成30年)9月6日午前3時7分頃
気象庁マグニチュード	6.7
震源深さ	37km
地震名称	平成30年北海道胆振東部地震

ⁱ 北海道大学大学院工学研究院都市防災学研究室

表3 人的被害と建物被害数（2019年9月5日現在）

被害	項目	被害数
人的被害	死	44名
	重・中等傷	59名
	軽傷	726名
住家被害	全壊	479棟
	半壊	1,736棟
	一部損壊	22,741棟
非住家被害	全壊	1,213棟
	半壊	1,407棟
	一部損壊	3,881棟

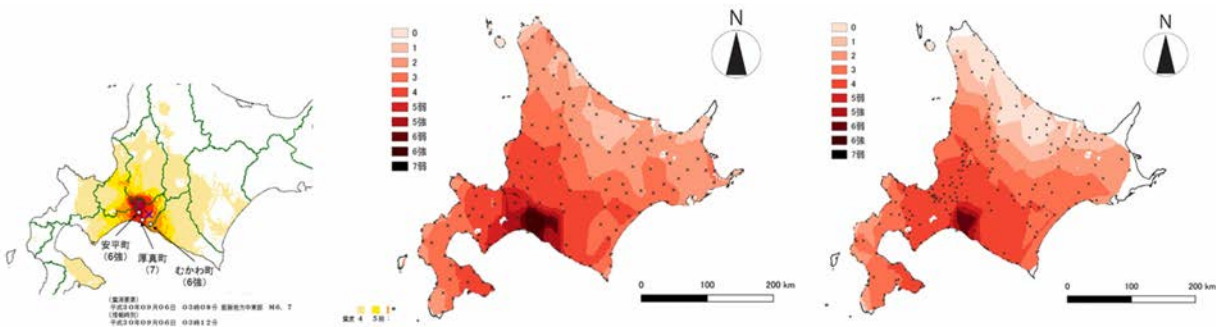
表4 死因別集計表

死因	性別	年齢					計
		0～19歳	20～59歳	60～69歳	70歳～	不明	
土砂崩れ	男		5	8	7		20
	女	1	2	3	10		16
住家震動崩壊	男	0	0	0	0	0	0
	女	0	0	0	0	0	0
家具下敷き	男		2		1		3
	女						0
行動	男				1		1
	女						0
不明	男		1				1
	女						0
関連死	不明					1	1
計		1	10	11	19	1	42

北海道新聞：2018年9月7日第27230号(日刊)等

3. 震動に伴う建物被害の特徴

各市町村ごとに木造住家被害を集計し、震動強さ（震度）に対する全壊率を図2に示す。同図には当該地震のほか、比較のために他の地震被害もプロットしてある。揺れが大きいほど被害率は大きくなる右上がりの傾向は当然としても、一見して地域差が大きい。新潟・鳥取・宮城の各県の市町村被害率は北海道市町村のそれに比較し約10倍大きい。木造住家の耐震性能は壁の量・壁の強さ・配置及び経年劣化を基に耐震評点で数値化されるⁱⁱ。築年ごとに全国平均の耐震評点の存在確率と北海道のそれとを比較したのが図3である⁴。積雪寒冷地対策構法の違いが1970年代以降顕著になってきており、全国平均に比較し北海道の住家は耐震的であることが分かる。これが図2において、同震度における北海道の被害率の小ささになって表れている。当研究室では被害が大きかったむかわ町鶴川地区と安平町早来地区において外観目視による木造建物悉皆調査を実施している⁵。その結果を図4に示す。被害をD0（無被害）からD6（完全倒壊）に7分類し、集計している。一般に全壊と判定されるのはD4以上である。当該地震では震度6強以上の大きな揺れにもかかわ



気象庁発表震度分布 計測震度分布図(平滑化) アンケート震度分布図(平滑化)

図1 震度分布図

ⁱⁱ 木造住家の耐震評点の数値的意味は、0.7未満が「倒壊する可能性が高い」、0.7～1.0未満が「倒壊する可能性がある」、1.0～1.5未満が「一応倒壊しない」、1.5以上が「倒壊しない」とされている。

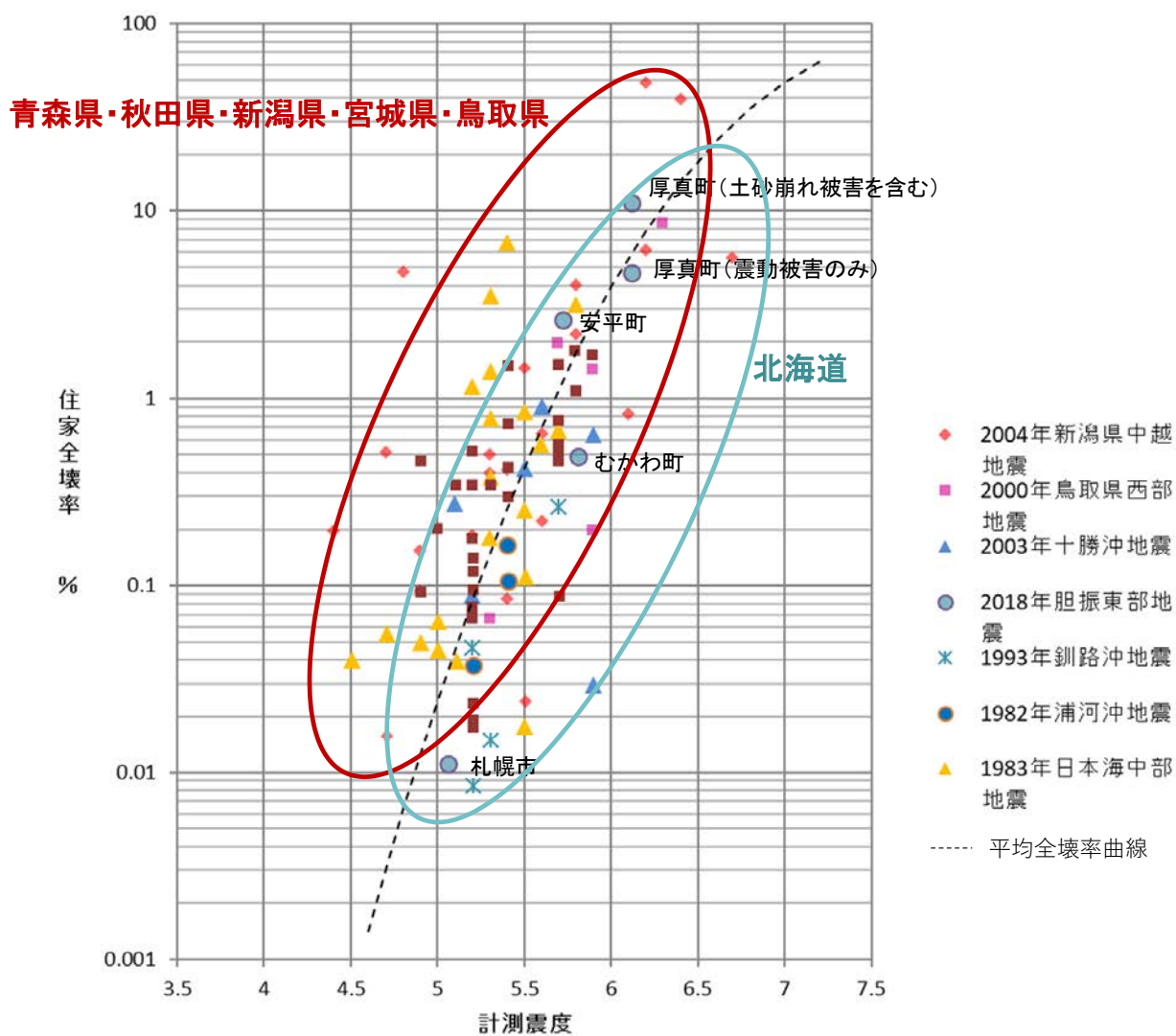


図2 木造全壊率と震度

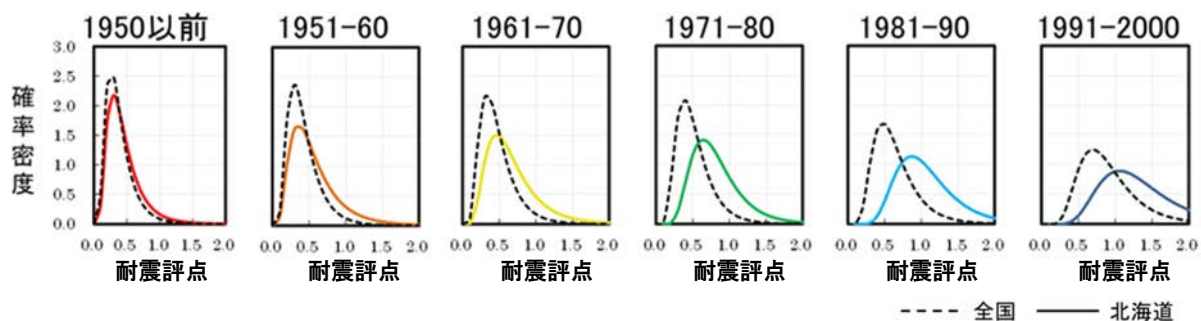


図3 全国と北海道の木造住家耐震評点の比較

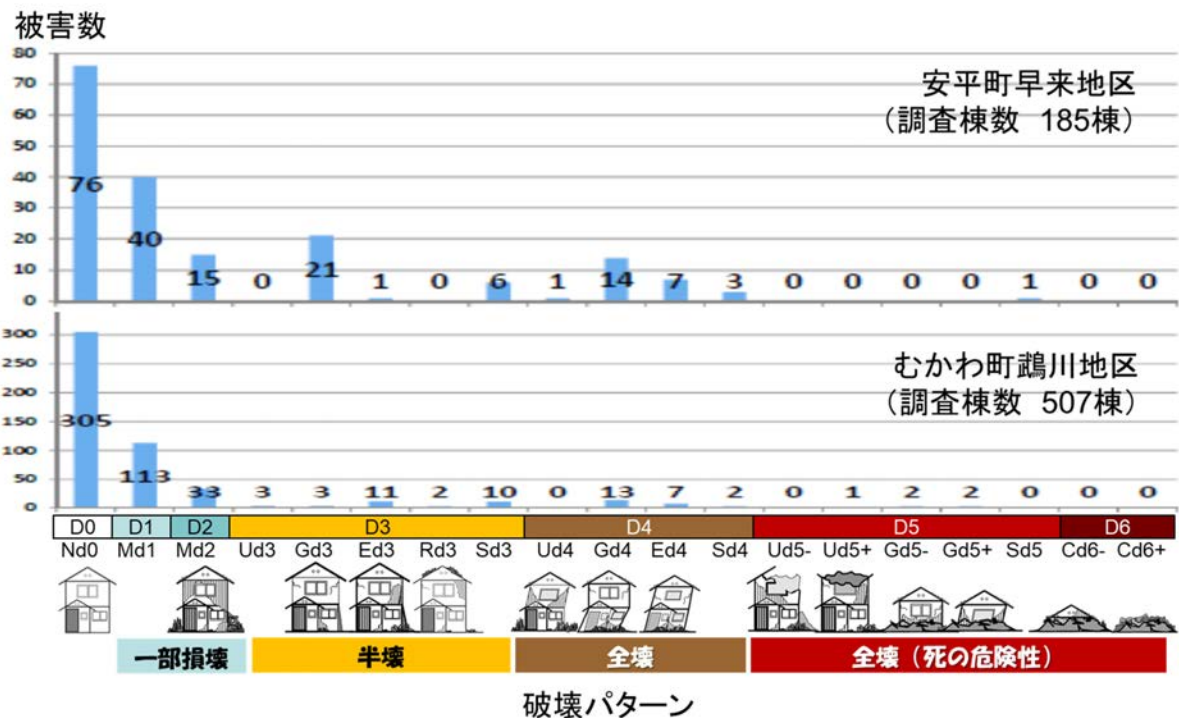


図4 悉皆調査による破壊パターン別木造建物被害棟数

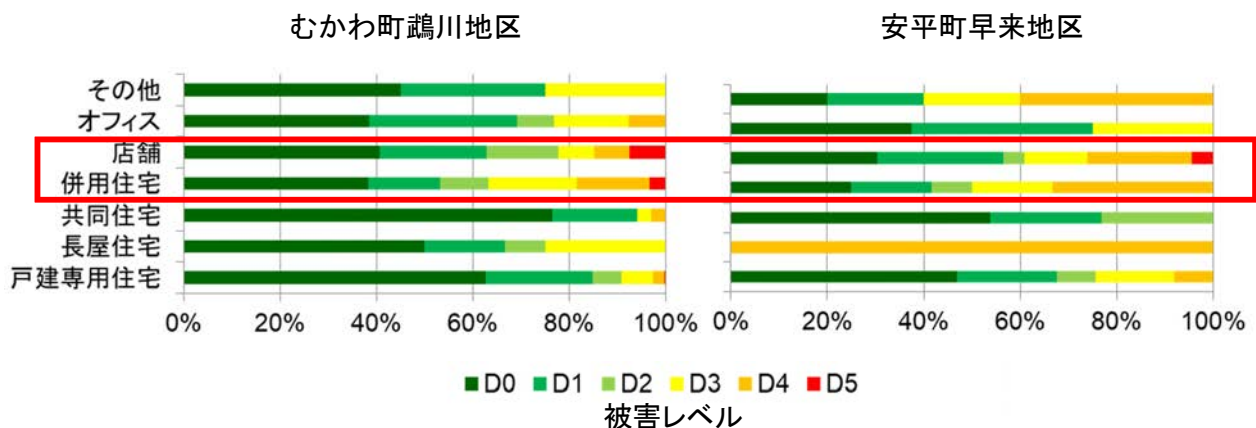


図5 建物用途別の破壊パターン割合

らず、層崩壊を伴う D5 以上の被害はほとんどない。北海道住家の耐震強さの故であろう。建物の用途種別による被害区分（損傷度）が図5であり、層崩壊しているのは1階に耐震壁の少ない店舗あるいは店舗併用住宅に限定されている。古くて非耐震的な構建造物のみが崩壊した。阪神・淡路大震災の事例にみられるとおり、建物倒壊に伴う死者は層崩壊（D5以上の被害）による圧死が主要因である。参考までに、阪神・淡路大震災におけ

る建物被害と死亡率の関係を図6に示す⁶。層崩壊するD5以上で死亡率が急増することが分かるであろう。今回の地震は午前3時の夜間に発生したためD5以上の層崩壊が散見された店舗には居住者がいなかったこと、そして居住者がいた住家はD5以上の層崩壊に至らなかったことが震動による建物倒壊で死者が発生していない理由であろう。

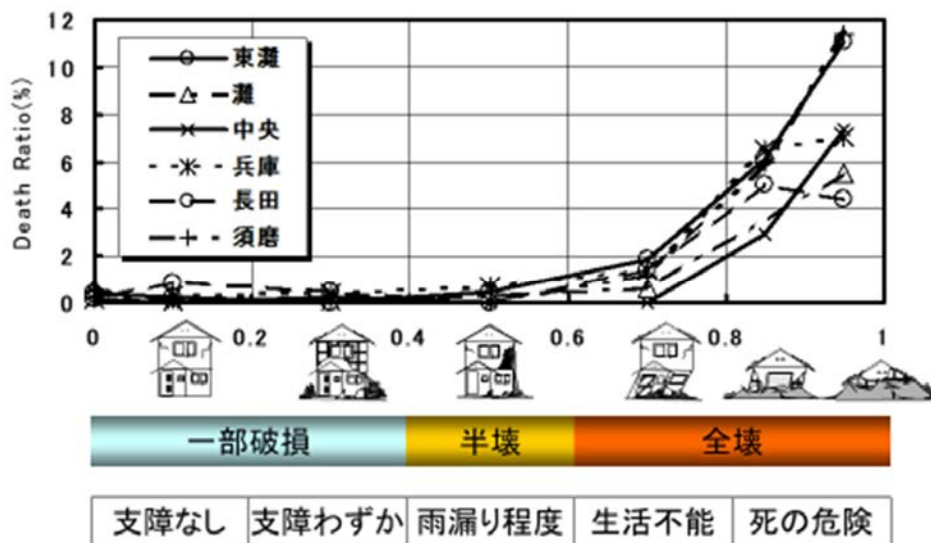


図6 建物損傷度と死亡率の関係（1995年阪神淡路大震災）

4. 建物被害にみる課題

当該地域は1982年浦河沖地震で同じ被災中心地において当時の気象庁震度6の大きな揺れに見舞われている。当時の住家被害率（全半壊率）を今回の地震と比較して図7に示す⁷。震度に対する被害率はほぼ同程度であることが分かる。35年経過しても住家被害率に変化はない。どういことであろうか。図3から分かるとおり浦河沖地震が発生した1982年当時の北海道の住家は全国平均よ

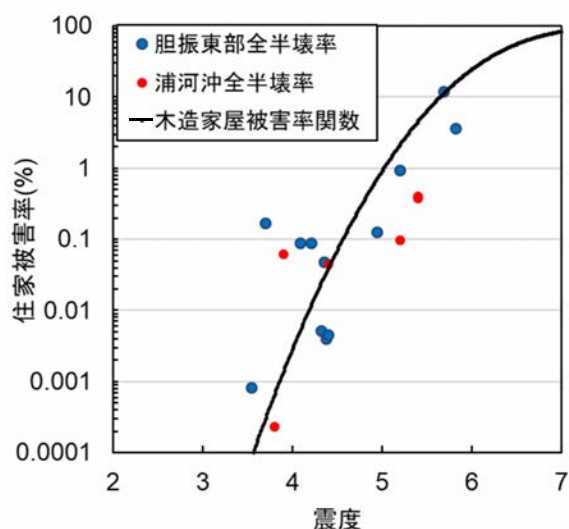


図7 1982年浦河沖地震と2018年北海道胆振東部地震の住家被害率の比較

りも強い。しかし35年経過しても同程度の被害率ということは、この地域において住家の更新・耐震補強がほとんど進んでいないことを意味している。ちなみに、北海道で発生した過去の地震における住家被害率を比較したのが図8である⁸。1952年十勝沖地震、1968年第2十勝沖地震、1982年浦河沖地震と年を経過するに従い建物被害率が小さくなっていく、すなわち北海道の建物が耐震化してきている状況が見て取れる。しかし、それ以降、被害率の低下は観測できていない。

今回の地震で被害の大きな建物では、不適切な断熱構法による結露が進展し土台や構造柱が腐食してる事例が発見されている。当該地域における建物のメンテナンスが十分になされていない証左である。さらに、かつては北海道にはいないとされていたシロアリの被害も発見された。地球温暖化によりヤマトシロアリの野外生息が北海道名寄市（北緯44.3°）において報告されている⁹ことから、建物の耐震性保持のためにもメンテナンスは重要である。

関連して、店舗に被害が大きかったことの原因がここから見て取れる。店舗は出入口を開放する必要性より1階部分は開口部が多く壁の少ない、いわゆる一階がSoft Story構造となる。この非耐

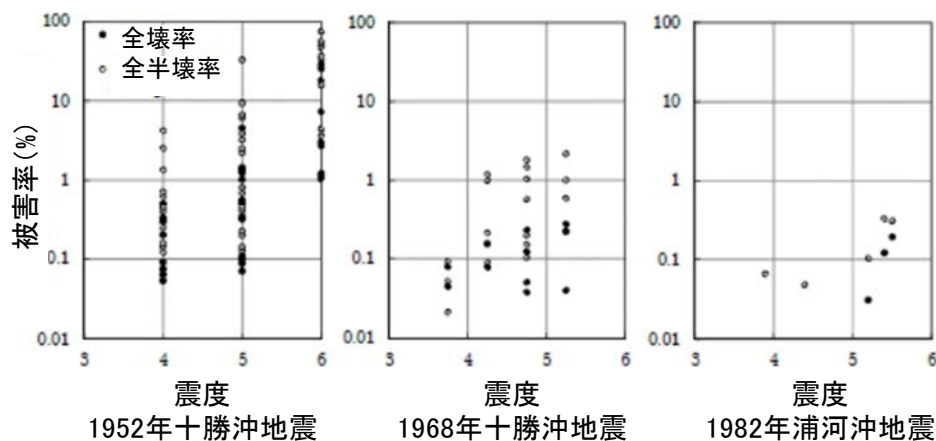


図8 住家被害率の3地震比較

震性に加え、少子高齢化に伴う地方の商店の後継者が育っていないことによる店舗の更新・補修が軽視されていることが被害拡大の背景にあるのではないかと推察する。

地震10か月後にむかわ町鶴川地区と安平町早来地区の復旧状態を調査した⁵。全壊の店舗はほとんどが解体撤去されたままで、商売は再開されていない（図9）。これも後継者が育っていないことが大きな理由と考えられ、地震をきっかけに廃業を決意する地元住民も多い。かつての商店街が消滅する危機を迎えている。商店は集落形成の核となる施設であり、早急なる商店街復旧が地域にとって優先されねばならない。少子高齢化により地方の消滅が危惧されている時代である。地震襲来がその兆候に拍車をかける一因ともなりかねない。

5. 小手先の対策ではもはや死者を防ぐことはできない

表5と表6に被害の特徴と本地震で見えてきた課題をそれぞれ整理する。

震動による建物倒壊に伴う死者が皆無であったことは幸運であった。地震動が大きかったにもか

表5 北海道胆振東部地震の被害特徴

当該地震の被害特徴

1. 積雪寒冷地住宅の強靭さ

- (1) 木造住宅の被害はD4以下（層崩壊なし）
 - ① 耐震評点は全国平均に比べ高い
 - ② しかし、耐震補強・メンテナンスは軽視されている
- (2) 木造店舗・店舗併用住宅にはD5被害あり（層崩壊あり）
 - ① 建築年が古い
 - ② 1階に壁の少ないsoft-story構造

2. 震動被害による死者なし

- (1) 深夜発生したことによる幸運
- (2) 暴風雨の後に地震発生した災害ハザード発生順位の幸運
- (3) 冬季を避けた幸運

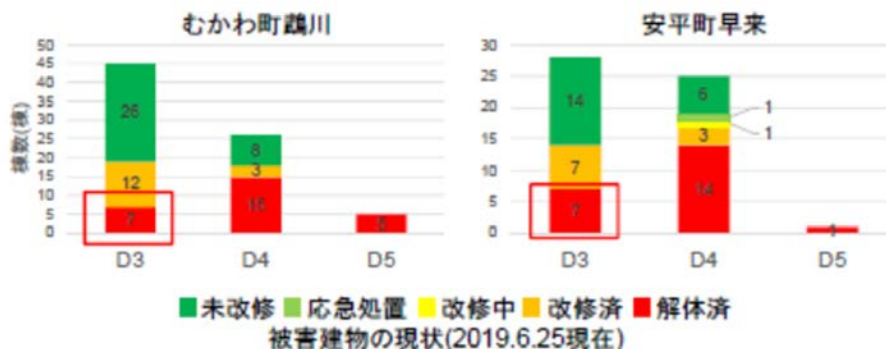


図9 被害建物の復旧率

表 6 北海道胆振東部地震から学ぶべき課題

学ぶべき課題
1. 地球環境変化に伴う地震被害の課題
(1) 温暖化によるシロアリ生息地北上による経年劣化増長 (2) 異常気象常態化＋地震破壊によるハザードの複合化 (3) 地震＋大津波による閉じ込めと溺死者の増加
2. 社会構造変化に伴う地震被害の課題
(1) 少子高齢化による救出救助負担の増大 (2) 生業後継者不在によるメンテナンス軽視が災害のトリガーレベルを低下 (3) 生活圏二極化(札幌圏一極集中と広域過疎集落増加)による ① 札幌における都市システムの複雑化が被害連鎖を拡大 ② 地方におけるインフラ未整備が災害トリガーレベルを低下

かわらず住家の層崩壊がなかったのは、積雪寒冷地域という北海道の気候風土がもたらした住家の強靱さ故であり、必然的理由で説明が可能である。しかしなお幸運であったと断言するのは、夜に発生した地震であったということが一つ。少子高齢化という社会動態が北海道の地方をより熾烈に浸潤しており、建物のメンテナンスや耐震補強を軽視する風潮を作り上げてしまっていたということにより店舗および店舗併用住宅の耐震性劣化が著しかったということである。もしこの地震が従業員や来店中の客が多い夕刻に発生していたなら、ブラックアウトも重なり、救出救助の混乱は激烈さを極めたであろう。

さらなる幸運は、災害ハザードの発生の時系列順位にある。当該地震の前日9月5日、台風21号が北海道を襲っていた。倒木も各地で多く発生するほどの風害であった。地震が先に襲来していたならば、後続する暴風雨により、より大きな被害が想定される。地震動による住家を含むハード系の被害が先行した場合、その後の気候災害には住民は無防備状態で受け入れざるを得ない。

そして被災地住民が多く語っていたのが、冬でなくてよかったということである。積雪寒冷地の断熱住宅であっても、電気がなければ暖房が使えない世帯が多い。冬季であったなら身体的・精神的に極めて厳しい環境に放り込まれたに違いない。

近年の地球温暖化をはじめとする地球環境変化は激烈である。2018年は北海道全域において大雨

が続いていた。当該地域も地震前7月に入ってから平年の降水量を上回る長雨に見舞われていた。当該地震では傾斜度の小さな緩勾配の山腹斜面においてさえ過去に例を見ない広範囲な土砂崩壊が発生したが、長雨が崩壊土層の滑り面形成の原因の一つとする解釈もある¹⁰。地球温暖化により異常気象の常態化が叫ばれている。そこに地震や火山のような異種災害ハザードが重なったり追い打ちをかけることは確率的にも低いこととは言えなくなっている。災害ハザードの複合化である。これまで想定していた単発ハザードの災害シナリオでは対応が難しくなっている環境に我々がいることに、この地震から学ぶべきであろう。

災害が複合化することに対する根本的対策は、地すべり危険地域・液状化危険地域・津波危険地域など災害危険地域に集落を形成せずになるべく複合化しないように工夫をすることである。危険地域にある既成の集落については、幹線道路の付け替えによる集落移転誘導等の長期的国土形成計画で対応すべきであろう。住家耐震補強・備蓄計画・避難支援などの自助や共助の重要性を否定するわけではもちろんないが、自助や共助のレベルを超えた災害リスクも低頻度高被害(Low-Probability, High-Consequence)ではなく、対策すべきあり得る災害対象(High-Probability, High-Consequence)として考えねばならない時代に入ってきたということである。なお、少子高齢化問題が地震と津波被害の複合化に、より重い負

担を課すことをシミュレーションにより筆者らは指摘している¹¹。興味があればそちらも参照頂きたい。

参考文献

- 1 国土交通省気象庁：震度データベース検索 2018年9月6日3時7分 北海道胆振東部地震
- 2 岡田成幸・中嶋唯貴：2018年北海道胆振東部地震の被害調査 その1 北海道全域のアンケート震度マクロ調査と被害概要、日本建築学会大会（金沢）、2019年9月
- 3 北海道新聞：2018年9月7日第27230号（日刊）等
- 4 竹内慎一・岡田成幸・中嶋唯貴：地域性及び時代性を考慮した木造建築物の地域地震被害率関数構築法の提案ー北海道を例とした耐震評点分布を利用する方法ー、日本建築学会構造系論文集, Vol.83, No.753, 1549-1559, 2018年11月
- 5 岩崎祥太郎・中嶋唯貴・岡田成幸・植松武是・松島信一・佐伯琢磨：2018年北海道胆振東部地震の被害調査 その2 被災中心地域の住家被害悉皆調査、日本建築学会大会（金沢）、2019年9月
- 6 田畑直樹・岡田成幸：地震時の木造建築物倒壊に伴う死者数推定に向けた棟死亡率関数の提案、日本建築学会構造系論文集 第605号、71-78、2006年7月
- 7 岡田成幸・太田裕：市町村単位でみた地震時被災・復旧プロセスの要因分析 第1報 1982年浦河沖地震の被害、日本建築学会構造系論文報告集、361、41-48、1986年3月
- 8 鏡味洋史：建物被害からみた耐震性変化の事例研究、第20回自然災害科学総合シンポジウム講演論文集, pp.164-167, 1983年
- 9 大村和香子・神原広平・加藤英雄：ヤマトシロアリの野外生息マップ、森林総合研究所、研究成果選集、2016年
- 10 砂防学会北海道支部：平成30年北海道胆振東部地震土砂災害緊急調査に基づく提言、2018年10月25日
- 11 角田叡亮・岡田成幸・中嶋唯貴：少子高齢化現象が地震津波複合災害の人的被に与える影響評価～自助・共助・公助による減災対策効果の限界～、日本地震工学会論文集第19巻第5号（2019年9月刊行）

□災害多発時代に備える

－北海道胆振東部地震に伴う大規模停電－

関西大学社会安全学部 教授 小 澤 守

1. はじめに

2018年9月6日3時7分59.3秒に北海道胆振地方で最大震度7の大規模な地震が発生し、死者43人、重傷者48人、軽傷者734人、住宅被害は全壊469棟、半壊1660棟、一部損壊13849棟^[1]という大きな被害がでた。しかも震源地近くに立地する北海道電力（北電）苫東厚真火力発電所が被災して、それを端緒として全道で停電、即ちブラックアウトが発生した。北海道電力は他電力の協力も得ながら2日間でおおよそ99%の復電を達成し、10月4日にはすべての地域で復電を達成した。ただし1か月近くも停電状態にあった地域もあった。

大規模停電は地震に限らない。災害多発時代と言われる今日を代表するかのような事象が、胆振地震から1年後の2019年9月9日朝に東京湾を抜け千葉県に上陸した台風15号（Faxai）によってもたらされた。2本の送電塔と非常に多数の電柱の倒壊損傷によって、千葉県、神奈川県で約90万戸が停電に見舞われたのである。9月17日21時現在で、なお約6万戸が停電しているという。地震と台風では被害の様相は当然異なるが、社会基盤である電力網が大きな被害を受けた点では同じである。本稿では北海道でのブラックアウトについての私見を述べてみたい。

2. 北海道電力の概要

図1に北海道の電力網を示す。

かつて北海道は九州に並んで多くの炭鉱が存在し、鉄道網は人の輸送のみならず石炭の輸送網として建設され、電力網の整備も当然ながら石炭産業と密接な関係があったと思われる。国内石炭産業が衰退し、石炭産地では炭鉱に代わる産業の展開がなく、電力を大量消費する産業地域は道央に限られてしまった。今回、火力発電所が損壊した胆振地方もこれに含まれる。

戦時体制下で形成された日本発送電北海道支店と北海道配電が合体する形で1950年に再編成され



図1 北電電力網と発電所^[2]（ の部分は参考文献^[3]をもとに描いた炭田炭地）

表1 北電の火力発電所^[2]

発電所	ユニット	出力 MW	燃料	運開年	経過年数
苫東厚真	1	350	石炭	1980	38
	2	600	石炭	1985	33
	4	700	石炭	2002	16
砂川	3	125	石炭	1977	41
	4	125	石炭	1982	36
奈井江	1	175	石炭	1968	50
	2	175	石炭	1970	48
苫小牧	1	250	重原油・天然ガス	1973	45
伊達	1	350	重油	1978	40
	2	350	重油	1980	38
知内	1	350	重油	1983	35
	2	350	重油	1998	20

た北海道電力は、石炭を多量に算出した北海道の歴史的経緯からか、表1に示すように石炭火力2250kW、重油火力1400kW、重原油・天然ガス火力が苫小牧の250kW（地震発生時のデータ。現在は2019年2月に運開した石狩湾新港の1号機、LNGコンバインドプラントがある）で、圧倒的に石炭火力の出力が大きく、しかも苫東厚真4号機、知内2号機を除いて、運開以来いずれも30年以上の年数を経過している。また表2、表3および図1に示すように北電とグループ会社を含めて非常に多くの水力発電所を有するが、京極揚水発

表2 北電の代表的な水力発電所^[2]

名称	号機	河川	出力 MW	運開
雨竜		石狩川	51	1943
滝里		石狩川	57	1999
野花南		石狩川	30	1971
野平峡		石狩川	51.9	1972
富村		十勝川	41.3	1978
上岩松	1	十勝川	20	1956
	2		10.4	1953
十勝		十勝川	40	1985
奥新冠		新冠川・沙流川	44	1963
新冠	1	新冠川	100	1974
	2		100	1974
高見	1	静内川	100	1983
	2		100	1993
静内	1	静内川	23.5	1966
	2		23.2	1979
京極	1	尻別川	200	2014
	2		200	2015

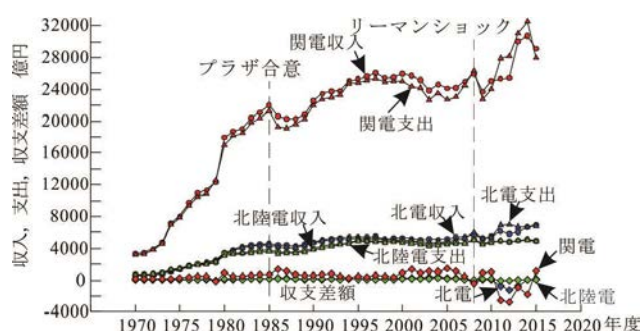
表3 北電の電源別出力^[2]

発電所		数	出力合計 MW
水力発電所		56	1,648.4
火力発電所	汽力	6	3,900.0
	ガスタービン	1	148.0
	内燃力	4	17.2
	合計	11	4,065.2
原子力発電所		1	2,070.0
地熱発電所		1	25.0
太陽光発電所		1	1.0

電所を除いて、いずれも長期経過した、小規模水力が多い。なお泊原子力発電所は1～3号機合計2070MWの発電設備を有する加圧水型原発であるが、関西電力（関電）、九州電力（九電）と違って、再稼働がいまだ見通せない状況にある。

北電の最大電力は表4に示すように、北陸電力（北陸電）や四国電力（四電）と同等であるが、関電や東京電力（東電）に比べると、それぞれ約1/5、1/10程度に相当する。これを収入支出などの点から見ると、図2に示すように、経営規模は北陸電力とほぼ同等であるが、関電とは当然ながら大きな開きがある。

また火力設備の運開時期と規模を他電力と比較

図2 北電、北陸電、関電の収支状況（電事連電力統計情報^[3]のデータによる）

すると、図3に示すように全体として、設備の規模は苫東厚真を除いて関電より小さく、四電と同等である。ただし苫東厚真の4号機はかなり大きく、比較的新しいプラントでもある。火力プラントは一般にスケールメリットがあり、新規の大規模プラントは発電効率も総じて高い。

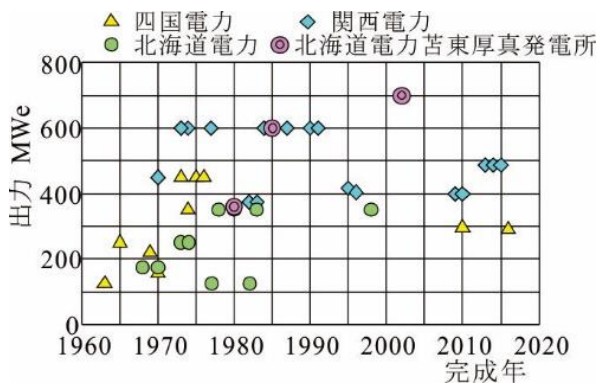


図3 火力発電設備の出力と運開年（電事連電力統計情報^[3]のデータによる）

北海道は面積83450km²で、近畿、四国、九州地方の合計面積88670km²とほぼ同等である。この広大な面積をカバーするために表4に示すように配電の線路亘長はかなり長く85764km、最大電力は5788MWである。最大電力は四電の5966MWと同程度であるが、四電は線路亘長は53773kmとかなり短い。面積当たりの最大発電量でいえば、北電は69.4kW/km²、亘長当たり最大発電量は北電は67.5kW/kmで10電力中最も少ない。これらのことから北電は他電力に比べて送配電設備にかなりの経費が掛かることが分かる。

表4 電力各社の供給面積および線路亘長当り最大電力（電事連電力統計情報^[3]及び各電力会社資料より算出。ただし関西電力の供給面積は近畿地方のデータで代用）

電力会社	供給面積 km ²	最大電力 MW	面積当り 最大電力 kW/km ²	線路 亘長 km	亘長当り 最大電力 kW/km
北海道	83,450	5,788	69.4	85,764	67.5
東北	79,469	15,572	196.0	179,821	86.6
東京	39,575	59,988	1,515.8	351,473	170.7
中部	39,000	27,093	694.7	172,458	157.1
北陸	12,622	5,732	454.1	42,722	134.2
関西	33,120	30,950	934.5	135,301	228.7
中国	31,818	12,009	377.4	98,988	121.3
四国	18,800	5,966	317.3	53,773	110.9
九州	36,750	17,498	476.1	167,495	104.5
沖縄	2,281	1,480	648.8	10,863	136.2

3. 地震発生時の状況

ここで地震発生直前からブラックアウトに至るまでの経過をたどってみよう。

地震発生直前には火力では奈井江（61MW）、伊達2号（76MW）、知内（96MW）のいずれも夜間であったため30%前後の部分負荷運転状態にあった。それに対して苫東厚真は338, 556, 598 MWと定格の85～96%で運転されていた。水力はいずれも小規模のものが合計で780MW、風力その他合計で510、北本連系で72MW、全体で3,087MWという状況にあった。

地震発生の3:08には火力の中心的存在である苫東厚真の2、4号機（合計1,154MW）が停止し、水力、風力も一部ダウンした。これを受けて北本連系線を通じての融通電力を増加するとともに、周波数低下に伴って負荷遮断などを行った。その結果、周波数は回復傾向になり、3:10の段階で一応受配電のバランスがとれ、定格周波数に回復した。その後、需要増加により徐々に周波数が低下したため、伊達、奈井江の出力を増加させて再度回復したが、苫東厚真1号機の過熱器管の損傷、ドラム水位の低下などにより出力が低下、さらなる負荷遮断によって周波数は回復基調にあったものの、3:25頃苫東厚真1号機が完全に停止、関連して周波数が急速に低下し、他の火力も水力も周波数低下を受けて停止した。これら電力の喪失を受けて、他励式である北本連系設備も停止し、3:25

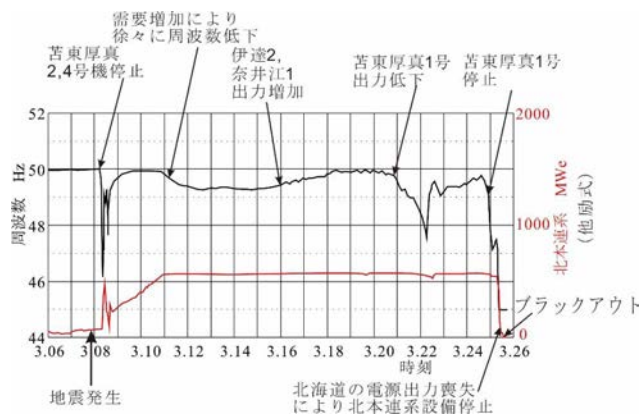


図4 地震時の電力周波数の推移（資料^[4]に基づいて作成）

過ぎにブラックアウトに至ってしまった^[4]。

先にも述べたように、北電は経営規模が小さく、かつまた燃料費の面から見て、関電、九電などと同じ加圧水型原発である泊原発の早期再稼働を目指して、経営資源を多く投資していたと推察される。原発が再稼働しない現状では、規模が大きい、なおかつ発電効率が高い新規プラント、具体的には苫東厚真を重点的に利用したのは当然である。また震央から遠く離れた地域に同レベルの火力発電所が分散していること望ましいが、北海道の産業構造の歴史的推移にも依存して現状があることを考えれば、そのような方策は容易にはとれない。

ブラックアウトに至った直接的な要因は、苫東1号機の停止であり、仮に1号機の停止による電力不足を補うために京極の揚水発電の稼働ができていれば、継続時間に制限があるものの、対応する時間的余裕が確保でき、その間に伊達、奈井江などの火力の出力を定格にまで増加し、それによって他励式直流600MWの北本連系線を定格まで利用できておればブラックアウトには至らなかったのではないだろうか。

地震後の2019年3月には青函トンネル経由の自励式300MWの連係線が運用を開始し、合計900MWになった。電力広域的運営推進機関ではさらに300もしくは600MW積み増しして1200あるいは1500MWの連系体制についての検討もなされている^[5]。この連系が交流であれば、なお北電の耐性が強化されることになる。また石狩湾新港に建設されたLNGコンバインドプラント1号機の運開は、主力の発電所の地域分散に資することにも繋がり、今後、ブラックアウトのリスクについては、かなりの低減が期待できる。

4. おわりに

戦時体制とはいえ、全国をカバーした日本発送電と地域電力の北海道配電が合併して、1950年に北海道電力が組織されたことを述べた。JR民営

化時と同様に、地理的条件のみに基づいて北海道を本州から切り離し、平常時の効率的運営に主眼を置いた政策が取られた。その結果として、北電の経営規模が小さいにも関わらず対応すべき配電系が非常に大きく、維持管理に大きな経費が必要であること、電力融通のための北本連系線は他励式直流600MWで、今回のような危機的な状況ではバックアップとしては極めて脆弱な体制であったこと、小規模水力、火力が多く、しかも老朽化がかなりの発電所で進行していること、泊原発の再稼働が見通せないこと、したがって福島第一原発事故以前は火力発電が40%程度であったのが、現在では70~80%を占め、燃料費も2,000億円程度増加していること、さらには京極揚水発電所が2基とも停止中で稼働できなかったことなど、ブラックアウトに至る複数の要因をあげることができる。

今後の対応として、鉄塔、開閉所などの強靱化と、北本連系線の早急な更なる増強、最低でも自励式、できれば交流600MWは最低限必要であろう。交流連系線があればそれによって直流600MWの連系線をフルに利用でき、合計1,500MWは苫東厚真の3基合計1,650MWに匹敵する電力になるからである。この新々北本連系^[5]の費用は北電編成時の経緯からして、当然ながら国が負担すべきものと考えている。

最後に、病院や自治体などの公的機関は当然ながら、住民の避難場所としての学校などにも非常用電源を準備し、燃料供給会社などとの連携を通じて非常時の燃料供給ルートを確保しておき、たとえ長期に停電が発生しても避難場所では電源が確保されることが必要である。災害多発時代に備えるには、平常時の無駄を許容し、余力を持つことが必須である。なお今回の胆振東部地震に伴うブラックアウトは2日後にはほぼ解消した。これには北海道電力を中心とした電力各社の連携、自治体、国の協力の成果であり、関係各位の尽力のおかげであった。

参考文献

- [1] 消防庁応急対策室、平成30年北海道胆振東部地震による被害及び消防機関等の対応状況(第35報)(2019.8)。
- [2] 北海道電力ホームページ、http://www.hepco.co.jp/corporate/company/ele_power.html (2019.7.1閲覧)。
- [3] 電気事業連合会、電力統計情報、www5.fepc.or.jp/tok-bin/kensaku.cgi (2019.7.1閲覧)
- [4] 平成30年北海道胆振東部地震に伴う大規模停電に関する検証委員会、最終報告書(案)、(2018.12)。
- [5] 電力広域的運営推進機関、第1回電力レジリエンス等に関する小委員会 資料3-2 (2018.12)。

□大規模停電のインフラへの影響

～2018年北海道胆振東部地震の事例から～

岐阜大学工学部社会基盤工学科 教授 能 島 暢 呂

1. はじめに

2018年北海道胆振東部地震は、9月6日午前3時7分頃に北海道胆振地方中東部の深さ37kmを震源として発生し、マグニチュードは6.7で、最大震度7を記録した。消防庁のまとめ¹⁾によると、死者43人（うち厚真町36人、札幌市3人）、重傷者48人、軽傷者734人、住家被害は全壊469棟（うち厚真町224棟、札幌市97棟）、半壊1,660棟、一部破損13,849棟である。こうした被害の多くは、厚真町の大規模斜面崩壊や、札幌市清田区における造成盛土地盤の液状化によるものである。

一方、北海道内の電力系統全停電すなわち「ブラックアウト」により、ほぼ北海道全域に及ぶ295万戸の大規模停電が発生し、インフラ機能、災害対応、市民生活、産業経済などに大きな支障を与えた。本稿では、供給系ライフラインの機能的被害・復旧の概要と、大規模停電の発生と復旧の経緯^{2)~4)}、ならびに、インフラへの影響⁴⁾についてまとめる。

2. 供給系ライフラインの機能的被害と復旧の概要

図1は、供給系ライフラインの初期停止戸数について、5地震（阪神・淡路大震災、東日本大震災、熊本地震、大阪府北部の地震、北海道胆振東部地震）で比較したものである。各地震とも、停

電、断水、都市ガス停止の順に初期停止戸数が多い点で共通している（大阪府北部のみ断水と都市ガス停止が逆転）。北海道胆振東部地震における停電は約295万戸で東日本に次いで2番目、断水は約6万戸で5地震の中で最少であった。都市ガスについては、供給停止判断に至る強震動が観測されず、非常用発電設備により停電の影響も回避され、都市ガス停止はなかった。

北海道胆振東部地震の震度曝露人口を試算した結果、震度5弱以上が約206万人、5強以上が約

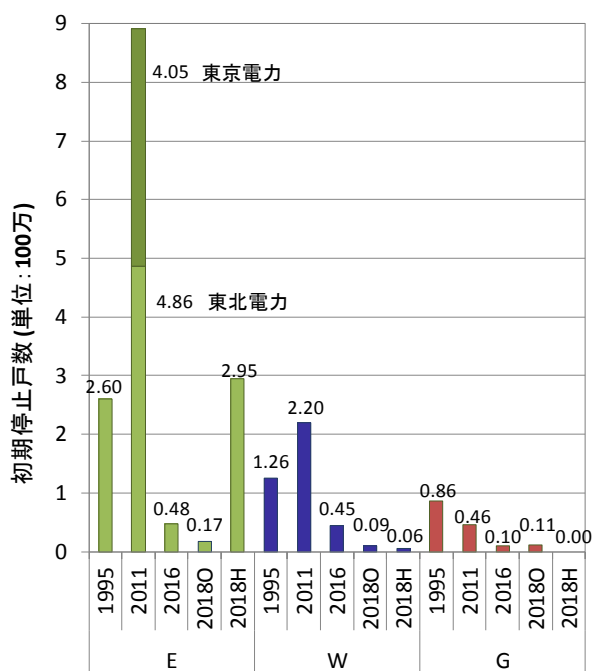


図1 停電(E)・断水(W)・都市ガス停止(G)の初期停止戸数の比較（阪神淡路:1995、東日本:2011、熊本:2016、大阪府北部:2018O、北海道胆振東部地震:2018H）

94万人、6弱以上が約7万人、6強以上が約2.4万人、震度7が約0.34万人であった。5地震で比較した図2に示すように、相対的に低い曝露レベルである。既往地震の分析によると、初期停止戸数との相関が高い震度曝露人口は、停電は震度5強以上、断水は震度6弱以上、都市ガス停止は震度6弱以上ないし6強以上である。この観点からみると、北海道胆振東部地震における停電戸数の多さは特異的である。

停止戸数の解消過程および復旧率曲線（最大停止戸数を100%とした復旧率）を図3に示す。既

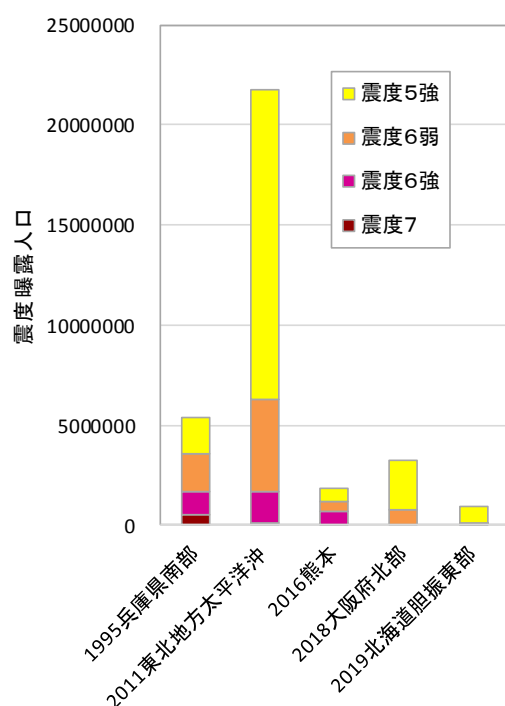


図2 震度曝露人口の比較

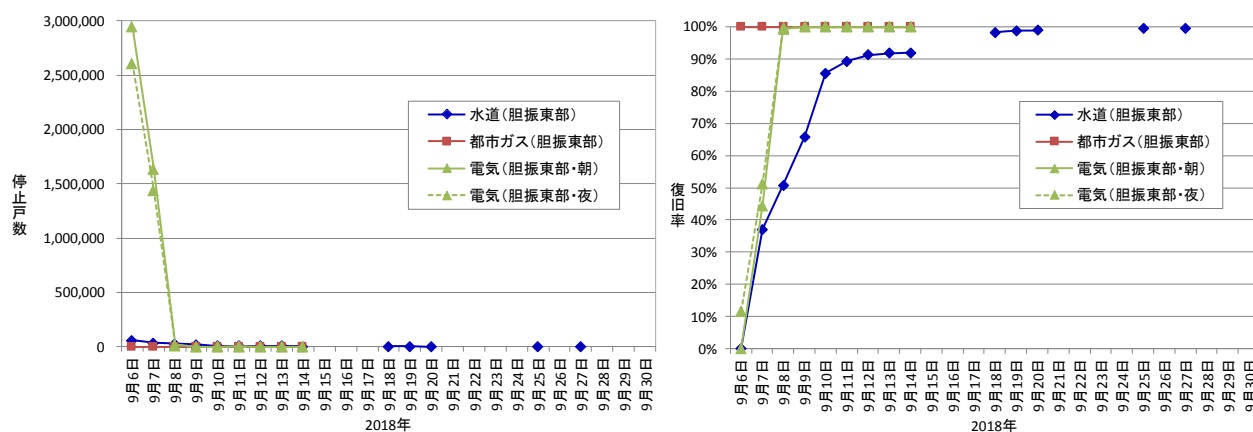


図3 停止戸数の解消過程（左）および復旧率曲線（右）の比較（停電は朝・夜の2系列を表示）

往地震においては、電気、水道、都市ガスの順に復旧が早い傾向が明確であった。大規模停電はほぼ全道に及んだものの、約45時間ではほぼ通電は完了した。復旧率曲線で比較すると、断水の復旧は後にずれ込んでおり、影響が停電より長期化したことがわかる。

3. 大規模停電の発生と復旧²⁾⁻⁴⁾

3.1 ブラックアウトの発生

検証委員会の最終報告²⁾によると、ブラックアウトの主な原因は、地震時の出力308.7MWの48%を担っていた石炭火力の苫東厚真発電所1、2、4号機に生じた被害（N-3事故）と、送電線4回線の地絡事故（N-4事故）である。地震時に苫東厚真発電所の2号機と4号機がタービン振動を検知して自動停止し、周波数が低下したため約130万kWの負荷遮断が行われた（1回目）。また狩勝幹線など3線路4回線の送電線が地絡事故で停止し、道東・北見エリアが停電（約13万kW）した。その後、ボイラー管が損傷していた1号機の出力が低下（20万kW）して周波数が低下したため約16万kWの負荷遮断が行われた（2回目）。さらに1号機がドラム水位低下のため3時25分に停止し、周波数が急激に低下したため、約6万kWの負荷遮断（3回目）が行われたものの、周波数を回復できなかった。これにより火力3基(34

万 kW) が停止し、水力等も設備保護のため停止したことにより、道内の全供給力を喪失し、3 時 25 分にブラックアウトに至った。この間、本州～北海道間で電力融通を行う北本連系設備は、最大受電量 60 万 kW まで潮流を増加させたものの、ブラックアウト回避には容量不足であった。

3.2 ブラックスタートとその後の供給力回復

系統全停電状態からの復旧は「ブラックスタート」と呼ばれ、一部の発電機から他の発電所に電力を供給しながら、徐々に発電機を起動させてゆく必要がある。検証委員会の最終報告²⁾によると、北海道電力でその機能を有するのは揚水式発電所であった。まず 9 月 6 日 4 時 00 分に高見発電所から系統復旧操作を開始したが、泊発電所の非常用電源からの切り替え作業時に異常電流が流れ、ブラックスタートに失敗した。2 回目は新冠発電所から系統復旧操作が行われた。1 回目の事故機器を回避しながら、13 時 35 分の砂川 3 号機をはじめ、火力発電所への送電を優先して系統を順次拡大していった。北本連系設備は 7 日 5 時 30 分に受電を開始、24 時には 60 万 kW フル受電となり供給力確保に貢献した。

一般負荷送電については、6 日 11 時 43 分に開始され、火力・水力発電所の起動および北本連系設備の融通による供給力確保にあわせて順次増加された。図 4 に停電の解消過程³⁾を示す。地震発生

から約 45 時間後の 8 日 0 時 13 分には一般負荷送電が完了して北海道内のほぼ全域に供給を再開した。8 日 18 時には約 4,000 戸、9 日 20 時には約 400 戸(厚真町・安平町)を残すのみとなり、道路啓開に合わせて作業が進められ、10 月 4 日に完全解消した。

供給力不足が続いた間は、節電協力として、9 月 8～14 日には「節電目標 20%」、15～18 日には「需要減 1 割の確保に向けたできる限りの節電」、19 日以降は「無理のない範囲で節電への協力」が呼びかけられた。

4. インフラへの影響

4.1 水道^{4),5)}

北海道内で断水が生じた市町村の分布を図 5 に示す。断水の原因として停電以外の要因(基幹施設被害や管路被害などの物理的被害)を含む市町村は、震源近傍と札幌市などに限定される。これに対して停電に伴って生じた要因(浄水機能やポンプ機能のマヒ)のみを原因とする市町村は全道に広がっている。断水戸数の解消過程⁵⁾を図 6 に示す(地震直後はデータ欠損のため適宜補完して表示)。停電のみを原因とした断水(江別市など)は、電力復旧とともに解消したが、物理的被害を伴った断水(厚真町、安平町など)は、復旧までに相対的に長時間を要した。

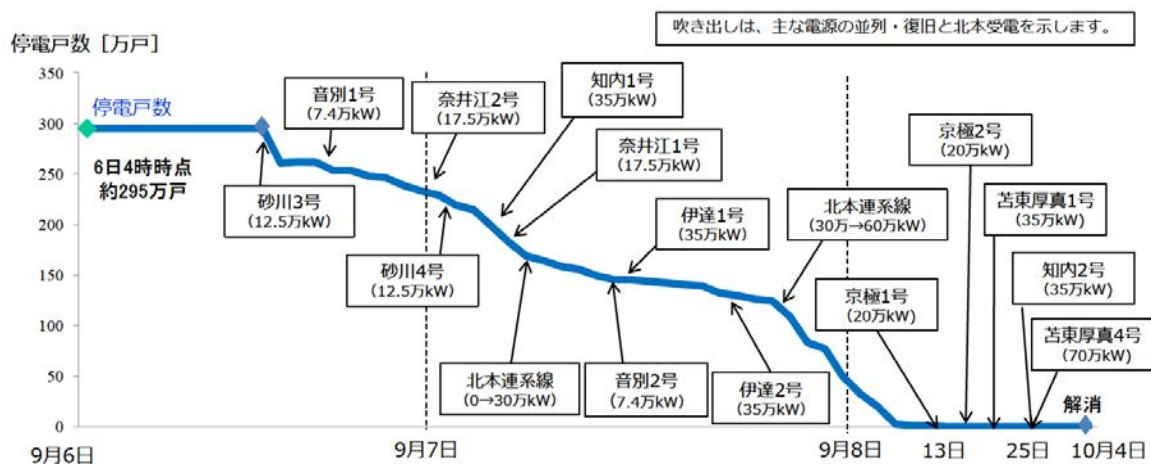


図 4 停電の解消過程³⁾

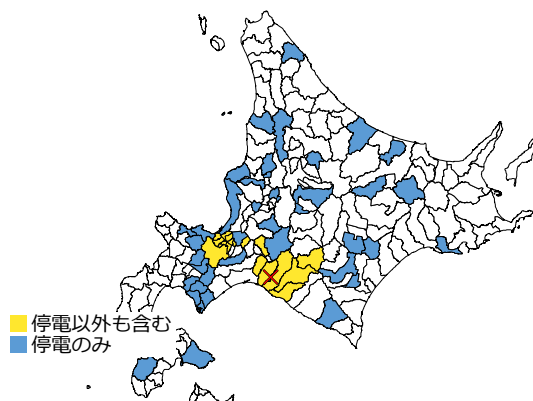


図5 断水が生じた市町村

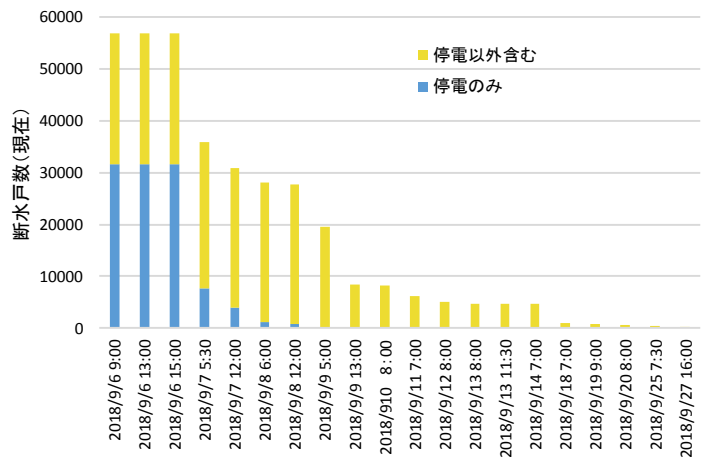


図6 断水戸数の解消過程(文献5)より作成)

4.2 道路^{4),6-8)}

北海道内の一般道路では、停電により道路照明が約40,000灯、トンネル照明238箇所の消灯、道路情報板の消灯、CCTVカメラ1,970基の映像の途絶などが発生した⁶⁾。また交通信号機が約13,000基で減灯したため、最大で約1,300人(9月6日)、完全復旧(9日7時50分)までの4日間で延べ約1,800人の警察官が交通整理に従事した⁷⁾。ただし停電のみを理由とした通行止めはなかった。

高速道路に関しては、NEXCO 東日本管内の総延長696.3kmの51%にあたる357.6kmで、安全点検のため通行止め措置がとられた。インターチェンジやトンネル等132箇所で自家発電設備への切替えが行われ、停電の直接的影響は回避された⁶⁾。しかし停電の長時間化により燃料確保と小口配送の面で限界に近い運用を強いられ、燃料枯渇の恐れも生じた。高速道路の施設被害は比較的軽微であり、地震当日17時05分に通行止めはすべて解消した。しかし一般道路の信号機の減灯は、通行止めが長引く一因となった。本線開通後においてもインターチェンジ3箇所において、接続交差点の混雑回避のため出口閉鎖の措置がとられ、その解除には警察の発電機接続や高速隊の手旗信号などの対応を要した⁸⁾。これは停電を介した交通システム間の影響波及といえる。

北海道開発局では9月8～19日の間、道路照明を約2万灯消灯あるいは半数消灯して節電に協力し、NEXCO 東日本では、停電解消後においても通常の使用電力の約20%を節電した⁶⁾。

4.3 鉄道^{4),9),10)}

JR 北海道の路線施設の被害は千歳・石勝・室蘭・日高の4線のみであったが、停電により全区間で運休した。路線延長2,552kmのうち76.7%は非電化路線であるが、停電による駅舎・踏切・信号設備等の機能支障により運休した。運行再開に向けた手順⁹⁾については、まず線路・設備・構造物の点検と異常箇所の復旧作業が行われた。電力回復後、停電により鳴動継続となった踏切の復旧作業が行われ、運転再開区間すべての踏切動作の現地確認が行われた。JR 北海道における運休距離の推移を図7に示す¹⁰⁾。9月7日に運行再開したのは、北海道新幹線、快速エアポート、はこだてライナーなど輸送密度が高い路線である。その後の復旧ペースは遅く、運休が2週間以上続いているのは、輸送密度が低い路線が中心である。地震の直接的影響による JR 北海道の運休本数⁹⁾は6,471本(在来線6,432本、新幹線39本)で、多くは停電の影響によるものである。9月10～19日の間、電力需要が高まる時間帯を中心に節電協力が行われ、在来線で228本が運休した⁹⁾。

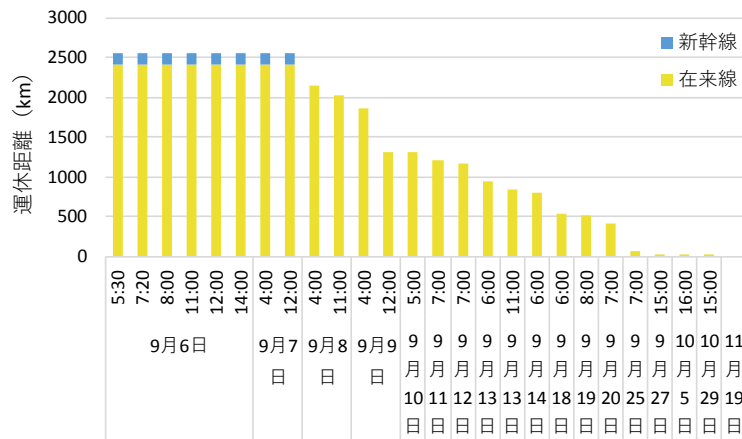


図7 JR北海道における運休距離の推移（文献10）に基づいて作成）

札幌市の地下鉄（南北・東西・東豊線の3線、48営業km）および路面電車（8.9営業km）においては、点検の結果、設備や線路等に異常がないこと確認されたものの、当日15時の時点で電力復旧の見込みが立たず、いずれも終日運休が決定された⁹⁾。地下鉄では地震当日1,000便が運休となり、9月7日12時46分には全線への送電が完了し、7日14時50分には全線の営業運転を再開した。路面電車では6日22時30分には電力が復旧したが、道路交通信号機の滅灯のため運休継続となり311便が運休した。7日8時30分に全信号が点灯して巡回開始し、10時51分には営業運転を再開した。9月10～19日の間、節電協力のため、平日10時～16時30分に1日あたり地下鉄で30便、路面電車では15便が減便された⁹⁾。

4.4 通信^{4),11)}

固定電話¹¹⁾に関しては、土砂崩れによる中継伝送路断により胆振東部・日高地域において3.4万回線にサービス支障が生じた。当日午前中に仮復旧したもの、停電長期化による通信ビルの予備電源枯渇が懸念されたため、9月6日19時30分～8日8時まで計7回、サービス支障見込みが発表された。これは利用者の準備行動を促す災害情報提供の好例といえる⁴⁾。実際に7日19時現在で最大約14万回線のサービス支障が発生した。携帯電話

話¹¹⁾に関しては、基地局の予備電源枯渇により最大約6,500基地局で停波した（6日21時現在、大手3社計）。通信事業者は資材（移動電源車、ポータブル発電機、車載・過搬型基地局、燃料など）や人員を道外からも調達して支障エリアの応急復旧にあたった。一方、北海道電力からの通電・停電地域に関する情報提供が遅れたため、発電機持ち込み等によるサービス早期復旧が阻害され¹¹⁾、災害情報伝達の面で解決を残した⁴⁾。

5. おわりに

本稿で示した大規模停電の発生・解消過程と、停電が及ぼしたインフラへの影響については、土木学会による被害調査報告書⁴⁾に詳しいので参照されたい。

大規模停電の教訓として、発電所の地理的集中、発電形態の集中、電力調整容量不足などの問題が挙げられる。北海道電力では石狩湾新港発電所の1号機（56.94万kW）が2019年2月27日に営業運転を開始し、新北本連系設備（30万kW）も2019年3月28日に運転を開始した¹²⁾。地震前に稼働していればブラックアウトを回避できた可能性もある。電力事業者としては、分散性・多様性・多重性・自律性などの観点から電力供給網の強靱化を推進するとともに、時々刻々と変化する停電状況

や復旧見込み情報を適切に提供する体制を構築することが望まれる。

インフラ事業者を含む需要家としては、停電の影響の緩和策を強化してレジリエンス向上を図ることが課題である。予備電源が有効であった例も多いが、燃料枯渇、燃料調達・運搬困難の例や、復電後の影響解消まで長時間を要した例も多数ある。停電が長期化すると影響がさらに顕在化することが懸念される。

折しも、2019年台風15号により大規模停電が発生してきわめて長期化した。その後の台風19号もインフラ全体に甚大な被害をもたらした。地震と台風とでは被害形態は異なるものの共通課題も多い。これらの災害で得られた教訓を社会全体で共有し、次の災害に備える必要がある。

謝辞

被害調査にあたっては、多くの方々にヒアリングにご協力いただくとともに、貴重な資料をご提供いただきました。末筆ながら関係各位に深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 消防庁応急対策室：平成30年北海道胆振東部地震による被害及び消防機関等の対応状況（第35報）、2019年8月20日。
- 2) 平成30年北海道胆振東部地震に伴う大規模停電に関する検証委員会：最終報告、電力広域運営推進機関、2018年12月19日。
- 3) 北海道電力：北海道胆振東部地震に伴う設備被害および復旧対応について、産業構造審議会、保安・消費生活用製品安全分科会、第17回電力安全小委員会 資料1、2018年10月15日。
- 4) 土木学会地震工学委員会・地震被害調査小委員会 2018年北海道胆振東部地震被害調査報告書編集部会：2018年北海道胆振東部地震被害調査報告書、2019年9月。
- 5) 厚生労働省：平成30年北海道胆振東部地震による被害状況等について。https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/newpage_00018.html
- 6) 国土交通省：道路の耐災害性強化に向けた有識者会議、第1回配布資料、近年の主な災害で得られた教訓と課題、2018年11月19日。
- 7) 北海道警察：災害対策本部員会議資料「北海道胆振東部地震における道警察の災害警備活動、2018年9月9日。
- 8) NEXCO 東日本・北海道開発局による提供資料。
- 9) JR 北海道・札幌市交通局による提供資料。
- 10) 国土交通省：北海道胆振東部地震による被害状況等について（第1報～第28報）、2018。
- 11) 総務省北海道総合通信局：平成30年北海道胆振東部地震・ブラックアウト 通信・放送の被害状況と当局の対応、2019年1月21日。
- 12) 北海道電力：プレスリリース「石狩湾新港発電所1号機の営業運転開始について」、2019年2月27日、「新北海道本州間連系設備の運転開始について」、2019年3月28日。

□北海道胆振東部地震による企業活動への影響

香川大学 創造工学部 防災・危機管理コース 教授 梶 谷 義 雄

1. はじめに

2018年9月6日未明に発生した胆振東部地震（気象庁マグニチュード6.7）は、北海道地域の社会経済に多大な影響を及ぼした。本地震では、北海道全地域が停電状態となる、いわゆるブラックアウトが発生しており、地震動によって物的な被害が発生した地域だけでなく、その他地域の住民や企業も停電による被害を被った。2回のブラックアウトスタートを経て、全域の停電が解消するまでには約45時間を要している¹⁾。この間に災害拠点病院では非常用電源を使用しながらの対応が行われ、信号が停止している交差点では警察官による交通整理が行われるなど、様々な緊急対応が実施された。

ブラックアウト発生の原因や経緯については、電力広域的運営推進機関に設置された「平成30年北海道胆振東部地震に伴う大規模停電に関する検証委員会¹⁾」において詳しく調査が行われている。北海道電力は、地震前から計画していた新たな火力発電所の稼働と北本連系線の増強を完了した他、この検証を受けて、負荷遮断（広域停電回避のための部分的な強制停電）量の上限の引き上げや、ブラックアウトの要因の一つとなった送電線の揺れ防止装置の導入²⁾なども実施している。

このように電力供給側としての対策は進められつつあるが、自然災害が激甚化する傾向にある現状を考えると、ユーザーである一般家庭や企業に

においても自衛のための対策の進展が求められる。筆者らが調査を実施した企業活動に限っても、今回の災害によって生産施設の停止や保有する在庫や動植物の被害、水道、道路などの他の社会基盤施設の機能障害による影響、従業員の参集困難や物流機能の麻痺といった様々な波及被害が生じている。以下では、各企業がどのような被害状況に遭遇し、それに対してどのような対応を行い、また今後の災害や停電リスクへの備えがどのように変化したかを紹介しながら、今後の大規模停電を伴う災害対応について私見を述べさせていただく。

2. 企業調査による被害集計結果の概要

企業への調査は、2019年2月3日から3月15日にかけて、京都大学防災研究所・防災社会システム研究分野ならびに北海道大学大学院工学研究院・北方圏環境政策工学部門と共同で郵送形式によって実施した。配布総数は約9000件（うち、震度5強以上が観測された市町村から5000件）であり、回収数は製造業、非製造業併せて約1700件になる。主要な調査項目として、事業所の回復過程、停電・節電・設備被害・観光客減少等の影響、被害額（設備、在庫、営業利益減）と資金調達、事業継続計画（BCP）と災害対策の効果について尋ねており、操業や売上げ回復の支障要因だけでなく、被害軽減要因についても分析を行うことを意図している。図1に回答をいただいた企業の従業

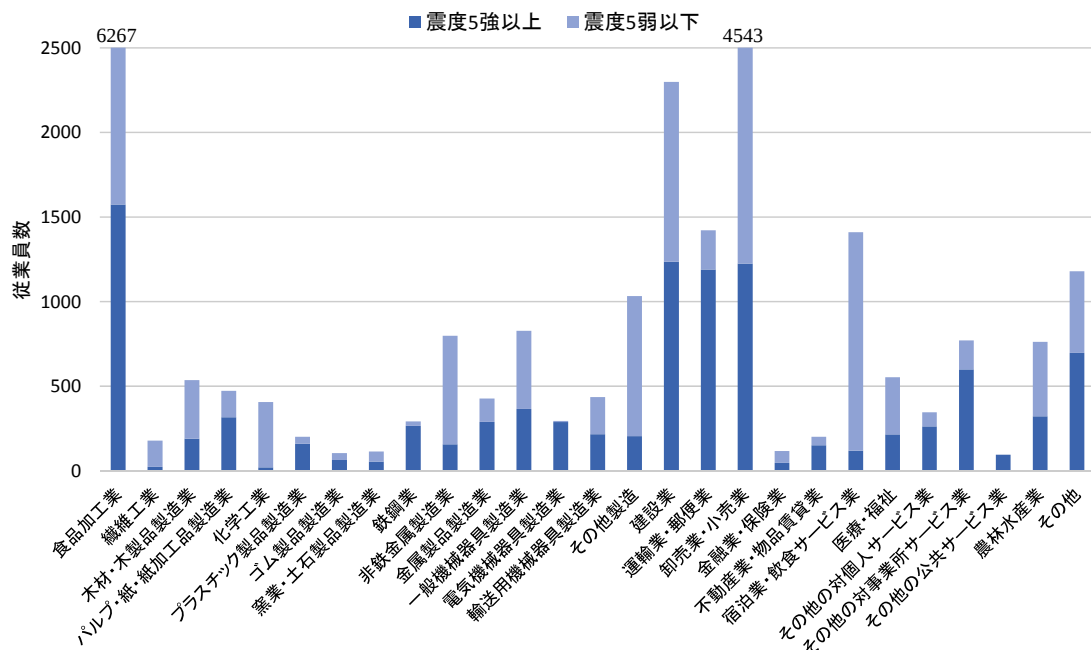


図1 業種別の従業員数の合計 (2019年6月1日集計時点)

員数合計の業種別の分布を示す。北海道の産業の特徴である食料品製造業や卸売・小売産業からの回答（従業員数）が多いことが見て取れる。また、この二つの業種は、冷凍・冷蔵庫を有する運輸業や宿泊・飲食サービス業とあわせて、生鮮品を管理することが多く、在庫被害が発生しやすい産業でもある。

回答した事業所のうち、建物被害が発生しているのは243件（一部損壊が90%強）で、全体の15%弱となる。設備被害や（地震動による）在庫被害も建物被害が発生した事業所を中心に発生している。図2は、各事業所に回答していただいた物的被害額、災害対策費、ならびに売り

上げの減少額を集計し、その内訳別の割合を示したものである。今回の地震災害では物的被害の復旧費用よりも停電による在庫被害や売り上げの減少による損失が大きくなっていることがうかがえる。

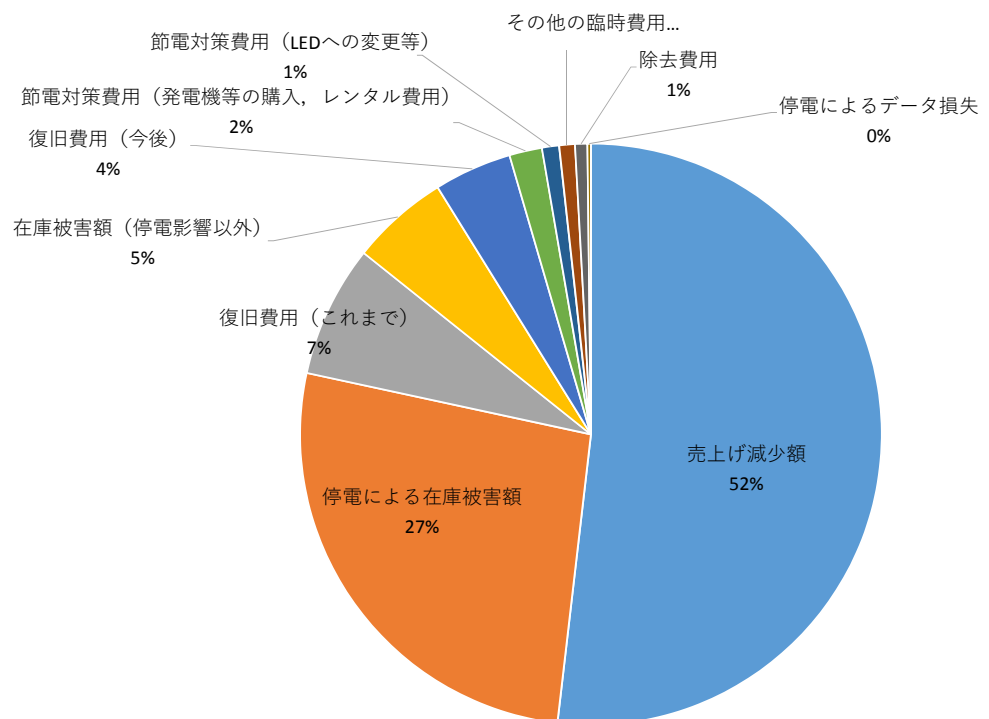


図2 物的被害、災害対策の費用、ならびに売り上げの減少額等の割合

図3は停電対策・節電に関する各項目について、既に実施している事業所ならびに今後実施を検討している事業所数を示したものである。照明の間引きを除けば、LEDや非常用発電機の導入などのハード的な対策を実施している割合がやや高く、導入を検討している事業所数も多くなっている。ただし、各項目とも全体に占める実施済みあるいは予定している事業所の割合は少なく、停電や電力不足への対策の余地はまだ大きく考えられる。

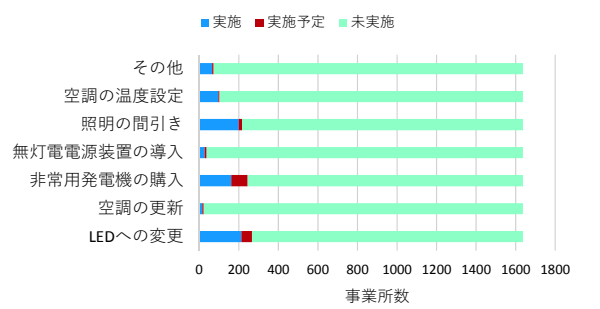


図3 停電対策・節電の実施状況

3. 地震災害・停電の企業活動への影響と得られた教訓

今回の地震災害は大規模広域停電を伴うものであり、直接的な被害のなかった事業所にも大きな影響を及ぼしている。各事業所が直面した被災状況や対応をすべて紹介することは困難であるが、可能な限り被災の実態を網羅できるように、各事業所の被災事例や災害対応事例を表1にまとめて紹介する。停電の中での復旧作業、在庫の対応、従業員の参集、ガソリン、情報伝達、物流、動植物への対応の難しさなど、各事業者の業態において様々な問題が発生していることが分かる。

一方、表2は、被災時に役立った準備・対応や今回の災害で得られた教訓についての記述をまとめたものである。燃料の在庫、防災訓練、BCP（事業継続計画）が役立ったと回答した事業所は掲載したケース以外にも多く見られ、事前の対策が一定の効果を発揮したことがうかがえる。そのほか、

観光客への対策や燃料供給の優先順位の設定など、政策的な提言も含まれている。その他、北海道経済部がまとめた被害や対応事例³⁾も公開されているので参照されたい。

表1 北海道胆振東部地震による被害・復旧の概要

事業所の種等	被害・復旧の概要
食料品製造業	建物が一部損壊。3日目に電力が復旧し、5日目までは片づけのみを実施。整備業者やグループ会社の応援をいただき、7日目より一部ラインを稼働させた。
食料品製造業	建物被害は無かったが、当日加工予定だった原料（解凍済みの冷凍水産物）は全量（760kg）廃棄。2日目に廃棄と工場内を清掃。3～5日目は工場休業とし、6日目より通常操業。人的被害は無かったが、自宅の停電のため、全員復旧するのに3日を要した。
機械製造業	機械整備の位置ずれがあり、修復に2日要した。停電中人力にて商品仕掛品の廃棄終了。電力改復後、仕込み作業を再開し、5日目より出荷可能となった。
金属製造業	弊社は金属熱処理加工工場であり100％電気炉の為、2日目電力が復旧し始めて炉内確認ができず炉内のヒーターが全部折れ、2日間で取り換えを実施。1基はメーカーに修理してもらい、地震発生により8日間で全面操業。
鉄鋼製造業	製鋼、圧延操業中に停電となり、各工程で運転停止による被害発生。原料・製品がすべて廃却となる。設備への損害発生、復旧作業には停電の間は日中のみの出勤要請で対応。復電後、昼夜で復旧にあたった。損傷した設備は使用できないので、予備品のやり繰りで対応した。
窯業・土石製品製造業	地震の被害としてタンクに貯蔵していた製品の一部にサビ等混入した。その調査のため数日要した。停電時は何もできなかった。また、製品移送ラインの一部が損壊し、その復旧の為に業者の手配を試みたが、どこも多忙の為、工事完了までに約3ヶ月かかった。幸い従業員への影響はない。
建設業	1週間ほど陳列棚等の設備の補修、点検。電力の復旧は3日目以降だったものの震災初日から営業を始める。時短営業にし、従業員の負担を減らしながらの営業を1ヶ月ほど行う。
運輸業	停電のため自社電話の使用ができず大変だった。自社スタンドへの給油予定がたたず、普段使用していないスタンドを使用したため経費が増えた。本州で配送していたドライバーの仕事がなくなり、待機時間が延長された。

卸売・小売業	初日～電力復旧まで店頭販売。電力復旧後操業の本格復旧へ向かう。従業員は初日より出勤し、復旧及び商品提供。交代で休日取得。本社より人員数名により12日間の復旧応援あり。
自動車修理サービス業	停電が4日間あり、5日目夜に復旧した。また地震の影響により生活物資の運送が優先され、自動車整備に使用する部分、材料が届くまで1ヶ月程度要した。
不動産業	ライフラインの停止影響が大きかった。交通障害の影響から4日間の臨時休業し、電気・水道が完全復旧した5日目に営業を再開した。
医療・福祉業	電力が早く復旧したが、従業員が復帰するのに時間がかかり、出勤がままならない状態にて、対応を行った。
宿泊・飲食サービス業	9月6日は自宅の片づけを実施。7日より店の食器等の片づけを始めたが、油物がとびちり水洗いだけではきれいにならない。うす暗い停電の中で温水器がつかえない作業は大変だった。8日も店の片づけ、夜8時頃に電気が来た。9日は従業員も出勤し、店内掃除等を行った。10日にプロパンガス復旧し、仕入れ先の原材料の用意が出来、すぐ仕入・下準備を実施。10日（火）にやっと食堂を営業することができ、ボランティアの人達等の昼食が間に合い喜ばれた。
卸売・小売業（牛乳販売）	牛乳、乳製品の保管の為、車の冷蔵庫にて保管。3日目に電力が復旧し、正規の冷蔵庫にて保管。在庫の商品（牛乳、乳製品）が4～5日で尽き、1週間後に1部の商品のみ仕入可能。すべての商品の復活に1ヶ月用した。
非製造業（酪農業）	停電による生乳の出荷停止だけでなく乳房炎による損失が大きく復旧までに時間がかかった。

表2 被災時に役立った準備・対応、得られた教訓

事業所の業種等	内容
機械製造業	常時置いてある程度の燃料(ガソリン・軽油)が役立った。
食料品製造業	従業員への情報共有、連絡ではLINEが役立った。携帯電話での連絡はなかなか通じなかった。工場の非常用発電機は通信手段の確保に役立った。
食品製造業（工場併設型小売店舗）	コンビニ等のパン・弁当類がなかったせいか、来店客が多く、感謝された。その後もスーパー等から米がなくなり、普段は店売りしてない赤飯・おこわ等も作って喜ばれた。災害時は食料品の供給者としての仕事でもあったと感じた。
食料品製造業	BCPなど使う日は来るまいと思っていたが、数日間ではあるものの非常に役に立った。

食料品製造業	冬であればもっと被害が拡大していた。また、電力の復旧順位について、消費電力の高い〇〇（地域名）が後回しになるのもわかるが、物流拠点の重要性も考えていただきたい。〇〇の冷凍食品が全滅していたら大変なことになっていたと思う。
鉄鋼製造業	地震避難訓練や復旧訓練を毎年実施していたので、従業員の動き、統率は比較的良かった。
ゴム製品製造業	車のガソリンをできるだけ満タンにしておく。1/4減ったくらいで入れるようにしている。2台の車ともガソリンほぼ満タンだったので情報収集のための移動ができた。
建設業	非常食を備えてあったので活用できた。ヘルメットが十分にあったので外部からの来報にも対応できた。
木材・木製品製造業	地震発生前日の台風による被害の方が大きかった。倉庫・屋根が破損する被害が生じた。台風による被害も地震による被害と同様の対応を希望する。
卸売・小売業（燃料販売店）	地震当日救助用重機の燃料が足りなくなり、各メーカー、団体、役場などに問い合わせたが、供給できなかった。全国の石油組合等を窓口にするなどの被災地優先の供給システムが出来ると非常に助かる。
建設業	土木工事業なので、燃料の保管を少し考えておいたほうがよかった。
サービス業（観光業）	「元気です北海道」キャンペーンや航空機、宿泊の利用者の「復興割」はありがたかった。当社は地震前日の台風被害のほうが大きく、倒木や土砂崩れの復旧に時間を要した。
卸売・小売業	停電時に電動シャッターを手で開けられるように日ごろから準備しておいたほうがよかった。信号機が作動していないことによる交通整理について、警察だけではなく、その他の機関の方の力も要請できると良いと感じた。
建設業	当社では太陽光発電設備があり、停電時でも2kw相当の自立電源を確保し、携帯携帯電話の充電サービスを実施したところ地域の住民の方が多数来社された。公共施設等にも太陽光発電設備を設置することにより日中は自立電源を確保できるので混乱を避けられる。

4. まとめ

本稿では、事業所へのアンケート調査を基に、北海道胆振東部地震による企業活動への影響の実態について、その一端を紹介した。本地震災害の特徴は、長期・広域的な停電にあり、在庫被害にみられるように停電による被害が大きくなっている。また、復電後すぐに社会経済の混乱が収束するわけではなく、しばらくは物流の停滞などの混

乱が続いている。このような自然災害に伴う広域停電は今後も発生することが予想され、2019年9月の台風15号においても千葉県を中心に長期的な停電被害が発生している。電力は需要社会基盤産業と呼ばれる医療・通信・交通・水道・金融などを支えるさらに重要なインフラであり、今回の地震災害でも他の重要社会基盤への波及影響が表出している。より長期の停電に備えた想定を深めるためにも、今回の地震災害の教訓を整理していくことが必要である。水道が使えない中での火事の発生や厳寒期において停電が発生したケースなども想定しながら、災害対策や防災訓練を実施していくことが重要である。特に、胆振東部地震の場合は、冬場の災害でなかったため、被害が軽減された可能性を指摘する声が多い。

本稿で紹介した事業所の被害事例において、ガソリンスタンド、信号、通信の停止などが事業に影響した様子が記載されている。地域の生活を支えるガソリンスタンドはもとより、いくつかの事業所が今後の教訓として回答しているように、避難所などの災害時に人が集まるような拠点において停電対策を行っていくことも必要である。また、いくつかの事業所では自社の発電機を周辺住民に提供したり、食事の提供を行ったりしている。長期停電を想定しながら、地域社会の全ての構成員が業態に応じて保有しているリソースを災害時に

提供・活用し、被害を軽減することが緊急対応において求められる。基本的に、事前の停電・節電対策はほとんどの事業所において進んでいない現状も明らかとなっている。今回の地震によって各社が直面した災害状況の事例や身に染みて得られた教訓などが、今後の災害に備えた各事業所の対策の検討につながることを望まれる。

謝辞：事業所調査は、文部科学省（特別研究促進費）「平成30年北海道胆振東部地震とその災害に関する総合調査（代表：北海道大学大学院教授 高橋浩晃）」の一環で、京都大学防災研究所と北海道大学と共同で実施しました。協力いただきました事業所を含めた関係諸氏に感謝申し上げます。

- 1) 平成30年北海道胆振東部地震に伴う大規模停電に関する検証委員会最終報告, https://www.occto.or.jp/iinkai/hokkaido_kensho/files/181219_hokkaido_saishu_honbun.pdf, 2018年12月18日.
- 2) 北海道電力, 道東方面の安定供給対策の完了および音別発電所1、2号機の廃止時期延期について, https://www.hepco.co.jp/info/2019/1242122_1803.html, 2019年7月10日.
- 3) 北海道経済部, 大規模停電への備え＜事例集＞, <http://www.pref.hokkaido.lg.jp/kz/kke/jireisyuu.pdf>, 2018年11月.

□平成30年北海道胆振東部地震による土砂災害地 における搜索救助活動の危険性評価

消防研究センター 新井場公德、土志田正二、佐伯一夢、清水幸平

1. はじめに

2018年9月6日3時8分頃発生した北海道胆振東部地震（M6.7）により、厚真町で震度7など、北海道胆振地方は強い揺れに見舞われた。特に震源近傍の厚真町では広い範囲の斜面が崩落し、死者41名などの被害を生じた¹⁾。消防研究センターでは、土砂災害が広い範囲で発生しているという状況から、搜索救助活動における安全管理に対する技術的助言のため研究官を派遣した。本稿では、その内容を報告する。

土砂災害は平均して年間約1000件発生し、被害家屋は約300軒²⁾という我が国の主要な災害の一つであるが、その対応については、個々の消防機関に経験が少ないことが多く、対応に苦慮することが多い。平成26年度の「救助技術の高度化等検討会」では、土砂災害時の救助活動のあり方について検討され、基本原則のほか、救助隊一隊での活動から関係機関集結後の活動まで時系列に沿った安全管理や活動体制、連携のあり方などがまとめられている³⁾。また、当該報告書を参考にして、消防機関においても活動要領などの作成が

行われており、土砂災害時の消防機関の対応について、一定の共通認識が醸成されつつあるところである。

土砂災害現場での救助活動では、当初の災害の後に再度土砂災害が発生することがあり、また、掘削などの作業に伴う地盤の崩れなども発生することもあることから安全性の管理及び効率的な活動が求められる⁴⁾。消防研究センターでは、表1の土砂災害において、安全管理に係る技術支援を実施してきた^{4)～8)}。これらの経験から、著者らは、

表1 土砂災害に係る消防研究センターの技術支援の実績

災害	助言の内容
2004年中越地震	妙見崩壊地での救助活動における、二次的崩落の危険性（土木研究所の後を引き継いだもの）
2006年長野県岡谷市土石流災害	湊6丁目の土石流災害地での救助活動における、二次災害の発生危険性、監視場所及び監視対象、緊急待避にかかる猶予時間、降雨時の活動停止の基準、避難勧告の発出範囲
2008年岩手宮城内陸地震熊倉崩壊地	2箇所の崩壊地での救助活動における、二次的崩落の危険性の評価、地下水の湧出量増に伴う退避の助言、立ち入り危険箇所の指定、監視場所、監視対象及び退避範囲の指定、
2014年広島市土石流災害	「山が動いている」という通報に対するヘリコプタによる確認、保育園の安全性に関する助言
2016年熊本地震	3箇所の崩壊地において、二次的な崩落の危険性の評価、監視場所及び監視対象の指定、変状の監視、降雨時の活動停止の基準、降雨後の活動再開の判断
2018年北海道胆振東部地震	吉野地区、富里地区、幌内地区における搜索救助活動における、二次災害の発生危険性の評価、降雨時の活動停止基準、二次的な出水に対する対応策

消防機関の活動条件、環境及び人的資源の現状に即した土砂災害現場の安全管理のための技術や機材が不足していると感じている。十分な調査及び対策が可能な防災工事とは異なり、消防活動においては、迅速に実施する必要があること、調査を十分に行う時間がないこと及び軟弱な地盤などの環境の悪さがあることから、我が国の高い土砂災害対応技術が消防活動現場に十分には活かされていない現状がある。その背景には、体系的な安全管理手法が確立されていないことがあると考えられる。

本稿は、そのような手法の確立に資することを目的として、今回の技術支援において観察したこと、考察の経過及び判断の内容を事例として報告するものである。

2. 技術支援の内容

図1は、国土地理院が9月6日、8日及び11日に撮影した空中写真から判読した今回の地震によって生じたと考えられる土砂災害の範囲を示したものである⁹⁾。この地域に高い密度で土砂災害が発生していることが分かる。このうち、著者が到着した9月7日7時の時点では、4箇所（吉野地区、富里地区、幌内地区第一現場、同地区第二現場）で行方不明の住民の捜索救助活動が行われていた。本稿では、吉野地区の状況及び幌内地区第一現場について紹介する。

土砂災害現場における安全管理上の着目点については、表2の通りまとめており¹⁰⁾ 各現場について、地形・地質の確認、発生した土砂災害の深さや機構に関する観察及び考察を行い、この表の各項目について、検

討した。調査に当たっては、ドローン（DJI 社製 MAVIC Pro）を活用し、全体像の把握や沢の上流の閉塞の有無の調査などに用いた。

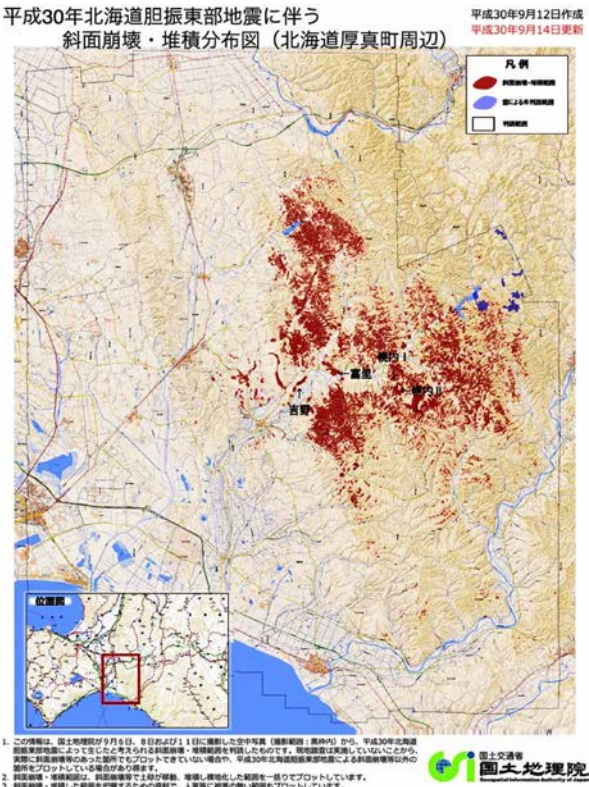


図1 平成30年北海道胆振東部地震に伴う土砂災害の分布（国土地理院作成の図に技術支援を行った救助活動現場の位置を加筆）

表2 土砂災害地における捜索救助活動へ影響を与える事象の評価と軽減策の考え方

発生しうる事象	可能性に影響を与える因子	影響に影響を与える因子	軽減策の候補
斜面の再崩壊	亀裂の規模 地形 土質 余震 地下水	地形 土質 流走域の地下水 距離	活動制限 監視→退避
堆積している土砂の移動	地形 土質 地下水 余震	土砂量 土質 地下水	活動制限 監視→退避 地震警報器等
サイト周辺の掘削箇所の崩壊	地形 土質 余震 地下水	地形 土質 作業状況	活動制限 監視→活動制限 亀裂計・傾斜計等
アプローチの危険	地形 土砂ダム	地形	情報収集 活動制限 (監視→退避)

3.1. 吉野地区

図2に、9月9日にドローンで撮影した吉野地区の状況を示す。丘陵が一面に崩落し、麓にあった13世帯が被災し19人が亡くなった。我々が到着時には12名の方が行方不明であった。全体の活動統制は吉野地区の自治会の見取り図（道路と家の位置の概略に住民氏名が入ったもの）を利用して行われていた。

図3は9月7日の崩壊の源頭部の様子である。斜面は1～2mの深さで崩落しており、滑落崖には図4の通り軽石が噴出した穴が見られたことから、地震動により軽石層の間隙水圧が上昇して液状化に近い状態になったと推察された。すでに地下水は流出しておらず、軽石は乾いていた。崩壊は尾根のすぐ下から発生しており、亀裂は見えるものの、再度崩落する場合でも奥行き数m程度で、土砂量は小さいものと見積もられた。図5は崩壊

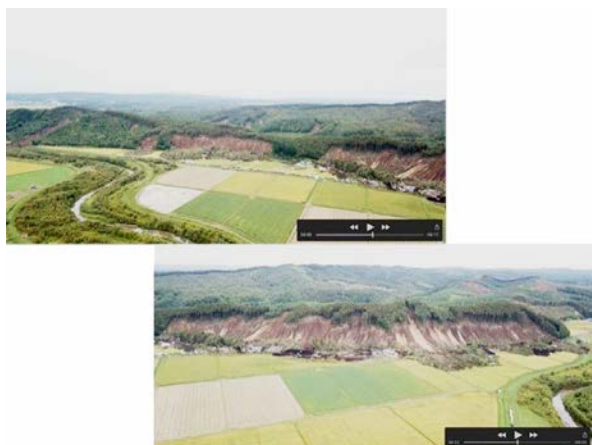


図2 吉野地区の崩壊の様子（9月9日撮影）



図3 吉野地区の崩壊の源頭部の状況

と捜索救助現場の状況である。土砂は土石流のような「流れ」の形態ではなく、「すべり」によって家屋を押しつぶしたように見受けられた。崩落時に発生した間隙水圧によって土砂が乾燥時よりも長距離流走した¹¹⁾可能性が高いと考えられた。

地下水が流失していることから、再び地震動を受けた場合でも、崩落にいたるおそれが極めて低く、また、万一崩落した場合でも、水の影響がないために流走距離が小さいと見られること、さらに、崩落土砂量も小さいと見積もられることから、活動場所への影響はほとんど無く、この救助活動地点については、降雨が無い限りは特段のリスクはないと評価し、現地で活動している苫小牧市及び仙台市の救助隊の隊長に伝達した。



図4 吉野地区の崩壊現頭部に見られた軽石層の噴出口



図5 吉野地区の捜索現場のうちの一つ。左奥に崩壊地が見える。

3.2. 幌内第一現場

図6は幌内地区の二つの救助活動現場のうち、第一現場と名付けられた場所をドローンにより撮影したものである。沢の奥で崩落した土砂が、沢内を流下して集落を襲ったものである。崩落場所へ行って直接観察することは時間がかかることから、ドローンによって観察したところ、崩落場所の地形的な特徴及び崩落メカニズムは、吉野地区と同様であると分かった。また、沢沿いにドローンを飛行させ、沢の中に土砂が水せき止めて場所がないか確認した。これは、そのような場所がある場合には、時間とともに水が増えて土砂を水压で押し流したりオーバーフローして土砂を削ったりしてせき止めている土砂が不安定化し、土石流となって流れ下る現象が発生するおそれがあるからである。この沢についてはそのようなせき止めはなく、活動地点に対する危険性は、軟弱な地盤上で活動する重機の転倒やすべりなど作業に起因するもののみと評価し、現地で活動していた緊急消防援助隊青森県隊長へ伝達した。

ところがその後、帰還のために図左方向へ道路を歩いていたところ、前方から自衛隊員が2名、「鉄砲水が出た」と走ってきた。集落を襲った土砂が流出した沢の隣の沢（図6左端）から泥水が流出してきていた。ドローンで確認すると、沢の上流で土砂が崩落して沢沿いに流送してきたのは第一現場と同じだが、図7のとおり中流部分に2箇所土砂によるせき止めで水がたまっていた。こ



図6 幌内地区第一現場の状況



図7 幌内地区第一現場の西隣りの沢の土砂による湛水の状態

のうち下流側のせき止め箇所から泥水が流出を始めて道路まで到達したのであろうと考えられた。下流側のせき止め箇所は道路から約150m程度離れていた。下流側のせき止め土砂がこの後の浸食の進行によってまとまって押し流されたり、上流側のせき止め土砂が押し流されて、下流のせき止め土砂を巻き込みながら流れ下ることが考えられた。蓋然性については不明だが、これらの現象により人命に影響のある規模の土砂が道路まで到達することは考えられることから、この沢と道路が交わる箇所は危険であると判断し、活動中の隊長にその旨を伝達した。隊長は他機関と情報共有して対策を考えると言うことであった。消防研は、厚真町役場に置かれているテックフォースへ対応を依頼することを要請されたため、この箇所をよけて厚真町役場へ向かった。

4. 考察

土砂災害は、消防機関が日常的に対応している火災や事故とは異なり、影響範囲が広域にわたり、見通しがききにくく、移動がしにくい、地盤の中は見えないという理由から、情報が入手しにくいという特徴がある。その結果として、不確実性の高い情報に基づく判断が必要とされ、時間とともに質及び量とも増える情報をもとに判断を更新していくことが求められる。

4.1. 不確実性

災害の規模（土砂が崩落した場所、大きさ、流走距離、堆積の範囲）、要救助者のいた場所及び現象の状況（火災や事故車両、土砂の分布等）という基本的な「災害状況」は、通常の火災であれば、住宅地図及び現着後の偵察などで把握するが、土砂災害の場合には、住宅地図だけでは状況が把握できず、偵察も前述の特徴によって時間を要する。近年ではドローンによる上空からの把握ができるようになり、天候が許せば早期の概要把握は可能となってきている。一方、地下水の流れの変化や地盤の特徴など、二次的な崩落につながる情報は現在の技術では簡易に知ることが出来ないため、崩落した斜面の山が大規模に崩落することや崩落した斜面に隣接する斜面が崩落することを精度良く予測することは出来ない。必然的に、現場へのアプローチ及び現場土砂への侵入には慎重である必要がある。また、不確実な情報から発生した災害の機構を推察し、その結果及び現在の状況を元に次に起きうる現象を考察するには学術的な知見が必要であり、早に関係機関との連携を構築する必要がある。

情報は時間の経過とともに質量ともに増えるはずである。特に、二次災害の元として警戒が必要な、河道閉塞による湛水については、土砂災害防止法に国土交通省による緊急調査が記載されており、このような情報を積極的に入手することが重要である。

4.2. 生存救出の可能性

雪崩に埋まった人について、時間と共に生存率を調べた研究によれば、図8のように窒息を主体に生存が出来なくなっていく¹²⁾。土砂は雪よりも密度が高いために、衝突時の衝撃力及び埋没時の圧力が大きいことから、土砂災害に見舞われた人は、衝撃による物理的損傷による死亡率はより高く、また、窒息の影響も、より強く現れると考えられる。そのため、土砂に巻き込まれてしまった

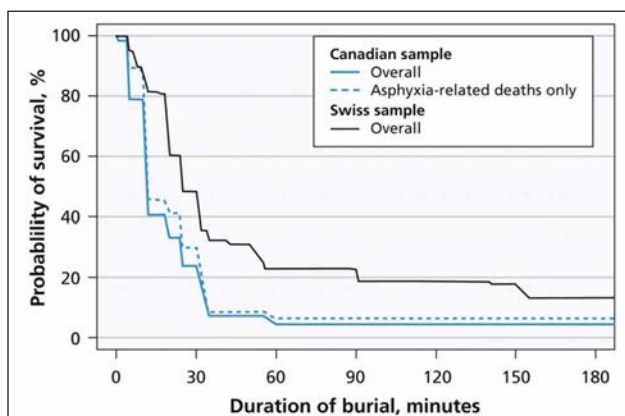


図8 カナダ（青色）及びスイス（黒色）における雪崩に巻き込まれたあとの生存率の変化 青の点線はカナダのデータのうち窒息によるもの¹²⁾

人、特に水のある場所に埋まった人の長期の生存は極めて厳しいといえよう。消防研では土砂災害における生存救出事例について収集しているが¹³⁾ 家屋の屋根の下からのものが多いようで、その他、水の無い岩の間など呼吸が確保できる場所で生存救出がなされている。このことから、生存者を救出するために次のような優先順位が考えられる。

- 1) 災害直後であれば、見える地表を全て検索する
- 2) 屋根、車、家屋痕跡の間などの空間
- 3) 岩などが集まっていて空間が大きく、かつ、水に満たされていない場所
- 4) その他

5. おわりに

土砂災害現場に限らず、大規模な自然災害の現場では、消防機関が通常扱う火災や事故とは異なり、情報の不確実性を考慮に入れる必要がある。具体的には状況の把握、今後の推移に対する考察及び対応の優先付けが重要である。本稿が、土砂災害対応における一つの事例として、参考になれば幸いである。

引用文献

- 1) 消防庁応急対策室：平成30年北海道胆振東部地震における被害及び消防機関等の対応状況（第33報）、消防庁 HP、<http://www.fdma.go.jp/bn/9520145863e888fd7b721b22266dd8c76350ec89.pdf>
- 2) 「平成29年全国の土砂災害発生状況」、国土交通省 HP、<http://www.mlit.go.jp/common/001021024.pdf>
- 3) 「平成26年度救助活動の高度化等検討会報告書 土砂災害時の救助活動のあり方について」消防庁国民保護・防災部参事官付、平成27年3月
- 4) 新井場公德・土志田正二・佐伯一夢：2014年8月広島市において発生した降雨停止後の土砂災害の要因と土砂災害時の活動の安全確保に関する考察、消防研究所報告、第121号、pp.1-8（2016）
- 5) 消防研究所：斜面崩壊現場の二次崩壊危険度予測手法に関する研究報告書、消防研究所研究資料第70号、平成18年3月
- 6) 新井場公德・田村裕之・杉井完治・喜多洋樹・岩手・宮城内陸地震における斜面災害地での技術支援について、消防研究所報告第106号、pp. 6-16（2009）
- 7) 新井場公德・土志田正二・尾川義雄：土砂災害地での応急対応活動における危険性管理、日本地すべり学会誌、第54巻2号、pp. 10-17（2017）
- 8) 新井場公德・土志田正二・佐伯一夢：2014年8月広島市において発生した降雨停止後の土砂災害の要因と土砂災害時の活動の安全確保に関する考察、消防研究所報告、第121号、pp.1-8（2016）
- 9) 国土地理院：斜面崩壊・堆積分布図、国土地理院HP
<https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H30-hokkaidoiburi-east-earthquake-index.html#10>
- 10) 新井場公德・土志田正二・尾川義雄：地震後の土砂災害地での捜索救助活動の危険管理，第55回（公社）日本地すべり学会研究発表会，2016.8.
- 11) 佐々恭二・李宋学：高速リングせん断試験機による地すべり運動時の見かけの摩擦角の測定、地すべり、第30巻、第1号、pp.1-10.
- 12) Pascal Haegeli et al., "Comparison of avalanche survival patterns in Canada and Switzerland", Canadian Medical Association Journal, Vol. 183, No. 7, pp. 789-795, 2011.
- 13) 新井場公德・土志田正二：土砂災害現場における生存救出の可能性に関する考察，第57回（公社）日本地すべり学会研究発表会，2018.8



災害ボランティアの24年：災害復興を中心に

大阪大学大学院人間科学研究科 教授 渥 美 公 秀

災害ボランティアは、災害時の救援活動だけでなく、被災地の復興過程にも参加する。前回（135号）では、災害救援活動に参加する災害ボランティアが、秩序化に向かう動きと遊動化に向かう動きに二極化している現状を示し、秩序化が過度に進むと災害ボランティアの持ち味ー被災者中心に既存の枠組みにとらわれず臨機応変に活動することーが失われかねないという懸念を示した。本稿では、災害ボランティアによる復興支援活動の焦点を絞り、その活動の変遷を概説し、課題を抽出する。今回も、阪神・淡路大震災以来、災害ボランティアとして、災害NPO（認定特定非営利活動法人日本災害救援ボランティアネットワーク）の一員として、そして、研究者として被災地で出会った事柄を中心に印象記風に記すことにする。

1. 災害復興へと参入する災害ボランティア

災害ボランティア元年と呼ばれた阪神・淡路大震災（1995年）以来、救援場面での活動に注目が集まっていた災害ボランティアは、約10年が経過したときに発生した新潟県中越地震（2004年）を契機に、災害復興の場面でも活動することが目立つようになった。中越地震の被災地は、被災前から過疎高齢化に悩む中山間地であった。従って、災害救援活動が成果を上げて復旧が叶ったとして

も、過疎高齢化の問題は加速し、解決への展望は容易には得られないように思われた。そこで、災害ボランティアとして駆けつけた人々の中から、被災地の長期的な復興過程に注目する声上がり、継続的な活動が展開された。実際、地元の人々を中心に結成された民間組織の名称は中越復興市民会議という復興を冠したものであった。学界もこれに呼応し、地元で成立した復興デザイン研究会をもその一部として吸収する形で日本災害復興学会が設立された。

災害復興に関する議論は、国連防災世界会議に依拠した大きな方針を示す議論もあれば、被災地に住む人々の最後の一人までを見据えた細やかな議論もある。いずれの議論も、次なる災害を見据えつつも、人々の生活が少しでも豊かになるようにまちづくりを展開していく支えとなるべき議論だと考えたい。両者を端点とした線分を想定すれば、現状では、その線分上に存在する多様な論点の間で十分な議論が行われている状況にはないように思われる。具体的には、様々な復興事例が報告され、時には、それらの事例の基盤となった理論的な観点や政策的な方針が紹介されるが、多くの場合、各議論は並行したままであって、現場でも学会でも試行錯誤が続いているのが現状である。

ここで災害ボランティアの特徴を踏まえて、災害復興過程を見てみよう。災害ボランティアは、災害が発生したことを契機に被災地を訪れる。そ

ここで出会う人々は、災害前からの知り合いではないことがほとんどである。言い換えれば、災害を契機に、見ず知らずの人々との関係づくりを始めて行くところに災害ボランティアの特徴がある。被災地の人々から見れば、災害ボランティアは救援活動を通して接するよそ者である。ただ、災害ボランティアは、最初はよそ者であっても、救援活動を通して被災地の人々との関係が深まっていく。被災地の復旧が進み、被災された方々も避難所から仮設住宅、復興住宅へと移って行かれる。こうした過程をともに過ごしていく中で、被災地の人々と災害ボランティアの関係が深まってくる。その後も長期にわたって被災地に通い、あるいは、被災地に住み込んで、住民とともに復興のまちづくりへと参画していく災害ボランティアが、災害復興における災害ボランティアである。ただ、復興における災害ボランティア活動も試行錯誤が続いている。次節では、筆者自身が関わっている事例から試行錯誤の様子を紹介しよう。

2. 災害復興における災害ボランティアの現状

災害復興過程に災害ボランティアが関わり始めたのが2004年の中越地震であった。筆者もその1人として、現在も新潟県小千谷市の塩谷集落で活動を継続している。15年にわたる活動は、参考文献欄に挙げた論文に紹介しているので、ここでは災害ボランティアとしての関わりに絞って簡単に概要を紹介する。

2004年10月23日夕刻に地震発生の一報を受けた筆者は、翌日、災害NPOの一員として現地を訪れた。最初のうちは、長岡市内に避難された方々に対し、避難所および仮設住宅での支援活動に従事した。中越復興市民会議の設立にも立ち会った。当時は、緊急期を過ぎれば被災地を去ることを想定していた。ところが、避難している方々と話し、甚大な被害を受けた中山間地集落を訪問している

と、避難者の集落復興への想いと、集落が直面していた高齢過疎問題がいわば身に染みるようになってきた。そこで、ご縁のあった小千谷市塩谷集落への関わりが始まった。地震前49軒あった集落も、地震の被害によって集落を離れざるを得ないと判断された29軒、集落へ戻ることを決断された20軒に分かれることになった。

筆者は、災害NPOを通じたボランティアや勤務先の大学生ボランティアらとともに塩谷集落に通うことになった。文字通り集落に足繁く通った。集落内に宿泊できる場所（倉庫の2階）をお借りすることもでき、数日から1週間程度の滞在を繰り返すことで、集落にいつもいる人という風に認めてもらい、日々の対話や手伝いを通じて信頼関係を築いていった。田植えや盆踊り、稲刈りや小正月の伝統行事などには、学生達にも参加してもらい、断続的ではあるが、賑やかな集落になっていった。

3年を過ぎる頃から住民ワークショップを開催させてもらって、集落の復興について一緒に考えていく場ができた。ワークショップは、多くの葛藤や紆余曲折を経て、2008年秋に「塩谷分校」の開校へと結実していった。夏は住民から農業を中心に実地に学び、冬は我々のネットワークを通じて雪や錦鯉、闘牛といった現地特有の事柄を改めて学び、集落の復興と一緒に考える場が動き出した。毎月有志の参加で開かれる分校定例会による企画運営のもと、田植え交流会や稲刈り交流会には、大阪大学、関西学院大学、立命館大学、そして、地元の長岡技術科学大学の学生らが多く参加するようになり、交流人口としての集落の賑わいは確保されていった。さらに、大学を卒業して社会人になった学生達は塩谷分校同窓会を結成して、塩谷集落の関係人口として定着していつている。

塩谷分校は、分校という学校なのだから、日直があり、給食当番があって、クラブ活動もあってよいのではないかということになって、住民が自らそれぞれの役割を担って運営していくツールと

なった。例えば、楽器を演奏する住民や学生ボランティアらは、軽音楽部を結成し、塩谷分校卒業式で演奏することが恒例となっている。

塩谷集落の復興過程で、筆者ら災害ボランティアが果たした役割は、ワークショップを開き、「分校」という学校の比喻が飛び出したときに、それをもり立てていったことに尽きるだろう。無論、分校の運営について、またチラシの作成や広報など様々な活動は分担したが、外部者である災害ボランティアだからこそできたことといえば、ワークショップを開催し同席したことだけである。しかし、ワークショップに同席したことには、復興過程における災害ボランティアの役割が凝縮されているともいえる。ワークショップを型どおりに開くのであれば、突然訪れた専門家であってもできるだろう。しかし、ずっと集落に滞在し、ワークショップ以外の場で、一緒に時を過ごしてきたからこそ、様々な葛藤や紆余曲折を経て、ワークショップでいわゆる本音の意見も出たのだろうし、もめ事が発生しても徐々に解消していったのだろうと思う。

注意したいのは、外部者としての災害ボランティアと集落の住民の間の緊張関係も極めて大切であるということである。災害ボランティア側から提案をしても、けんもほろろに拒否されることはある。集落住民から提案が出されれば、災害ボランティアは真剣に議論し、反対であれば反対を告げる。そもそも様々な事柄はワークショップや会議で決まるわけではないのは当然であって、それまでの丁々発止の議論が下支えとなる。前回の会議で決めていても、次回集落を訪問したときには覆っていることも多々ある。当然ながら、災害ボランティアがいないときに集落で様々なネットワークが作用して議論が行われているからである。不思議なことではない。実は、集落の復興は、こうした議論が活性化していくことにこそある。ただ、ここまで述べてきたことは、正直なところ、試行錯誤の繰り返しでもあった。そして、その試

行錯誤は現在も続いている。

3. 災害復興における災害ボランティアの課題と展望

前節では、災害ボランティアが長期にわたって、特定の集落の復興に向けて、じっくりと住民との関わりを進めている事例を紹介した。当然ながら、こうした災害ボランティアの動きには様々な課題が存在する。ここでは3点指摘しておきたい。

まず第1に、復興過程に関わる災害ボランティアに関する社会的な認知がまだ十分に広がっていない。大きな災害が発生すると、メディアを通じて全国から注目が集まり、災害ボランティアが現地に駆けつける。しかし、報道量は日々少なくなっていく、周年行事が報道されるだけといった事態になるのが通常で、それに伴って社会の関心は如実に低下する。実は、復興過程に関わる災害ボランティアが活動を始めるのはこの時期である。当該の災害そのものが風化していく中で、被災地には災害ボランティアを含む復興の厳しい歩みがあるという認知が必ずしも広く共有されない。実際、災害NPOには、災害発生当初には寄付が集中するが、災害復興に対する寄付の願いをしたところで多くは集まらない。復興過程における災害ボランティアの必要性についても十分に認識されていないために、災害復興に関わる災害ボランティアを支える仕組みは醸成されない。前節で挙げた事例についても、当初は災害NPOとしての活動であったが、継続できたのは、実は、日本自然災害学会から定点観測調査に関する特別な助成、筆者の所属機関からの研究・教育費や科学研究費などを得ることができたからである。

第2に、復興過程に関わる災害ボランティアの活動内容に関する学術的な議論が不足している。災害復興に関する学術的な議論は、日本災害復興学会を中心に緒に就いたばかりではある。しかし、設立から10年を経た現在においても、復興過程に

における災害ボランティアに関する事例報告と一部に極めて示唆的で高度な学術的な議論が起こりつつあるだけで、それに応じる周到的議論—例えば、復興過程における災害ボランティアのネガティブな側面に関する学術的な議論や復興過程における災害ボランティアを支える仕組みに関する政策的議論などは、未だ十分になされているとは言えない。

第3に、復興過程に関わる災害ボランティア活動はいつ終わるのか、それは誰が決めるのかという問題がある。集落の人々と一緒に決めていくというのが、現時点で示すことのできる応えであろう。ただ、懸念されるのは、第1の問題点が示唆するように、いわゆる金の切れ目が縁の切れ目となりうることであり、これは今後議論していく必要がある。一方、より深刻なのは、外部者である災害ボランティア側が、集落の人々との信頼関係を十分に樹立しないままに自らの企画を推進し、その成果を得られたら（得られないと見切ったら）撤退するといった事態である。これでは、被災した集落の住民は外部からの災害ボランティアに使われているだけであって、集落の復興などお

よそおぼつかない。前節で、筆者らが常に肝に銘じ、反省会で繰り返し採り上げ、集落の人々とも何度も話し合ってきたのは、実はこの点であった。

本稿では、あまり知られていない災害復興過程における災害ボランティアの現状と課題に注目してみた。災害過程には、救援、復興の先に、防災がある。災害が発生した地域でも、これから予想される地域でも、どこであって地域防災の必要性は論を俟たない。実は、地域防災に関する災害ボランティアにも多くの課題が見られるので、次稿にて検討していきたい。

参考文献

- Atsumi, T., Seki, Y., & Yamaguchi, H. (2019). The Generative Power of Metaphor: Long-Term Action Research on Disaster Recovery in a Small Japanese Village. *Disasters*, 43(2), 355–371.
- 山口洋典・渥美公秀・関嘉寛 (2019). メタファーを通じた災害復興支援における越境的対話の促進—新潟県小千谷市塩谷集落・復興10年のアクションリサーチから— 質的心理学研究, 18, 124–142.

連載講座

第44回

天文学者と柿の木・高橋至時

作家 童 門 冬 二

信用を失った幕府製の暦

宝暦10(1760)年5月1日に日食があった。しかし幕府天文方発行の暦には、正しい予測記事が書かれていなかった。3年後の宝暦13(1763)年9月1日また日食があった。この時も幕府発行の暦にはキチンとした予測記事の記載がなかった。

二度の過失で幕府の暦は信頼を失った。特に民間の天文好きは一斉に抗議した。それは大坂の天文学者が、二回の日食をピタリと予測していたからだ。予測者は麻田剛立（あさだ・ごうりゅう）といった。豊後国（大分県）の生れで子供の時から“神童”の名をほしいままにしていた。特に天文に関心を持ち、独学で天文学を修め、大坂に出て医者になった。「医業で天文学を学ぶ資を得る」という生活を営んだ。

しかし医業よりも天文学で名を馳せ、弟子入りをする者が多かった。高橋至時（たかはし・よしとき）と間重富（はざま・しげとみ）は特に有名だ。

二度の失敗ですっかり信用を失くした幕府は「改暦」を思い立った。しかしその時の天文方（現在の気象庁）役人を信用せず、麻田に依頼した。麻田は、

「ありがたい話だが、すでに老令で任を全うできない。代りに弟子を使ってほしい」

と高橋至時と間重富を推せんした。至時は大阪城勤務の同心（下級役人）、重富は店を11軒も持

つ質屋だ。至時は内職に傘を張ったり楊子を削ったりしなければ食えない貧乏役員、重富はあり余る余財を新式の測量機械に投ずる富商だ。至時にはすでに数人の子供もいた。

幕府は剛立の意見に従って二人を江戸に招致した。東下りをした二人は浅草の暦局に勤務することになった。至時は、

「江戸へ行っても家族全員は養えない」

といって単身赴任をすることにした。出発の日、庭に出て隅にある柿の木の切株をいとおしげに撫でた。そして、

「この木が無事なら、おまえたちのくらしに幾分役に立ったのに」

と未練気にいった。

至時のいうように、切られる前の柿の木はかなり高橋家の家計に寄与していた。秋になって実る実は美事で美味だった。“高橋家の柿の実”は周辺に有名で、実には結構な値がついた。だから至時は家人に、

「大切に育てるように」

と口やかましく注意していた。剛立の所で天文学を学んでいる時も柿の木のことが頭から離れない。特に実がなるころは盗みにくる者のことが気になって仕方がない。普段から狙っていて、家人が外出した留守に柿の実を盗む人間の姿が、嫌でも脳裡に浮ぶ。そうなると次第に勉学にも身が入らなくなる。天文学は数学が多いからそんな状況では、どうしてもおろそかになる。

やがて師の剛立気づく。
「高橋、どうした？」
と訊く。至時は慌てて、
「何でもありません」
と否定するが、剛立は至時の反応をみて、
（何でもないはずはない。きっと何かある）と感じた。

新暦誕生の苦難

そこである日、至時が城へ勤務している時を狙って自宅を訪れた。

「近頃ぼんやりすることが多い。何か屈託事があるのか？」

と至時の妻に訊いた。妻は狼狽した。良妻賢母の噂が高い女性だ。恩を受けている師なので、かくしきれずに柿の木の話をした。庭に出て柿の木を見た剛立は、

「実に美事な木だ。しかしわしの大事な弟子を悩ませるのは怪しからぬ」

と呟いた。そして木を睨みながら凝っと考えた。やがて至時の妻をふり向いてこういった。

「この木を伐って下さい」

「え！」

妻はびっくりした。この先生は何ということをお願い出すのだろう、と呆れた。

「そんなことはとてもできません。この木は……」

いい淀む妻に剛立はいった。

「柿の実のことはわしも知っている。だからこそ伐ってほしいのだ」

「でも……」

妻は胸が一杯になり、情ない気持が眼に涙を浮べさせた。剛立にはその妻の気持がよくわかった。

実の成る時期には妻は特に緊張して柿の木の監視をいいつけられているに違いない。にもかかわらずその木をいきなり伐れといわれて、妻はどうしていいかわからなくなったのだ、柿の実までもくらの資に加えなければならない、貧乏役人の辛さが一挙に押し寄せたのだ。

今日までがまんがまんを重ねてきた。そのがまんの堰が崩れ、堰き止められていた忍耐の堆積物がドンと溢れ出たのだ。妻自身が今までどれだけこの木を伐ろうと思ったか知れない。

（夫に何という情ない思いをさせるのだ）

と、妻は柿の木を憎んでいた。剛立にいわれなくても、妻は毎日この木を伐りたいと希っていた。妻は学究の徒である至時を尊敬し愛していた。だから純粋に天文学に没頭してほしいと希っている。柿の木はその夫の純粋さを濁らせる。憎い存在なのだ。

至時の妻の混乱ぶりに剛立は同情した。しかしここは鬼になっても乗り切らなければならない。剛立はいった。

「ただで木を伐ってくれといっているのではない。柿の実は来年の分までわしが買う」

「……！」

妻は驚いて剛立を凝視した。剛立は温かい笑みでその凝視に堪えた。剛立自身にそんな余裕はない。剛立自体が貧乏学者なのだ。

以下は筆者の推測だ。この時の剛立はおそらくもう一人の弟子重富のことを頭に浮かべていたに違いない。

（重富に工面してもらおう）

と考えていた。柿の木は伐り倒された。家に戻って庭を見た至時は呆然とした。おそらく至時は怒り狂っただろう。この話は、「至時の妻の内助」の美談として残されていて、この時の家庭内トラブルについては触れていない。

江戸の天文方役所では、至時は面目を潰された従来の所長や古参たちのいじめに会う。それを乗り越えて、“正しい暦”の製作に努力する。その助長剤になるのは、従来学んできた中国の古い理論でなく、オランダの新しい理論で“地動説”にまで及んでいく。が、これは別の話になる。

けなげな妻は、江戸に呼ばれる前に大坂で死ぬ。武士社会の身分や家格の問題は、優れた天文学者をパワハラで追い廻した。



地域防災実戦ノウハウ (101)

— BCP(優先業務時系列表)で応急対応は劇的に変わる —

Blog 防災・危機管理トレーニング
(<http://bousai-navi.air-nifty.com/training/>)

主 宰 日 野 宗 門

(消防大学校 客員教授)

1. はじめに

2018年6月1日現在の業務継続計画(以下「BCP」という)の策定率は、都道府県100%、市町村80.5%(2018年度中策定予定を含めると89.4%)となっています^(※1)。つまり、BCPは策定段階を過ぎ運用の段階に入ったということです。

そして、多くの市町村では、「作成ガイド」^(※2)が指摘する下記の①～⑥がBCPの主内容となっているはずです。

※1 「地方公共団体における業務継続計画策定状況の調査結果」(総務省消防庁、2018年12月26日)

※2 「市町村のための業務継続計画作成ガイド～業務継続に必須な6要素を核とした計画～」(内閣府、2015年5月)

- ① 首長不在時の明確な代行順位及び職員の参集体制
- ② 本庁舎が使用できなくなった場合の代替庁舎の特定
- ③ 非常用発電機と燃料の確保、職員等のための水・食料等の確保
- ④ 災害時にもつながりやすい多様な通信手段の確保
- ⑤ 重要な行政データのバックアップ
- ⑥ 非常時優先業務の整理

これらのうち、①～⑤は平常時に準備・完了しておくべきもので地震発生後に行うものではありませんが、⑥の「非常時優先業務の整理」は地震発生後の運用を前提としています。その要点は、非常時に優先して実施すべき業務を整理し、その開始目標時間を定める(時系列で記載すること、つまり「優先業務時系列表」を作成することです。

そして、この優先業務時系列表の運用次第では地震時の災害対策本部運営や応急対応が劇的に変わる可能性があります。今回はこのことについて述べます。

2. 優先業務時系列表の効果

- (1) やるべきことが分からない職員がいなくなり、総力戦体制を築ける

大きな地震災害を体験した市町村職員の手記集を読むと、「何をしたら良いのか」、「いったいこの先どうなるのか」、「いつまでこんな状況が続くのか」、「予期せぬことが次から次に」といった類いのものが多いことがわかります。このことは相当数の職員が「指示待ち対応」、「場当たり的対応」、「後手々々の対応」に終始したことを意味しています。そして、現在もこのような状況は大なり小なり繰り返されています。

その根本原因は、今何をしなければならないか、今後どのような活動・業務が必要となるかを知らないことにあります。

地震発生時に全職員が優先業務時系列表を活用すれば上述の問題は解決され、容易に総力戦体制を築けるようになります。

(2) 真の意味で危機管理が可能となる

表1は、米国サンフランシスコ市の災害対策本部の基本機能を示したのですが、その一つが「目標管理に基づく活動の実施」(表1下線部分)です。目標管理は危機管理の中核を構成すると筆者は以前から考えていましたが、さすが危機管理の先進国の計画であると感心しました。

目標管理の概念は日本の災害応急対策計画(地域防災計画)ではほとんど見られないものですが、優先業務時系列表における「業務開始目標時間」の設定は「目標管理」の足がかりとなるものです。

表1 サンフランシスコ市の災害対策本部(EOC = Emergency Operations Center)の基本機能(primary functions) (抜粋)

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">○ 情報共有の中心的なセンター(a central information sharing center)としての活動○ データの収集・蓄積・分析○ COP(Common Operating Picture)の(作成の)維持・継続○ 状況報告書(Situation Report)の作成○ 目標管理(management-by-objective)に基づく活動の実施<ul style="list-style-type: none">・ 競合する目標の調整・ 資源配分の優先順位の調整 |
|---|

(出典) Emergency Response Plan (City and County of San Francisco)、2017年5月

残念ながら、「作成ガイド」や「手引き」^(※)

では「業務開始目標時間」の設定が中心ですが、「業務完了目標時間」の設定も同様に大きな意味を持ちます。「○日後までに避難所の自主運営体制を確立」、「○日後までに避難者への食料の安定供給体制を確立」、「○日後までに水道を100%復旧」等々の目標設定により、資源の効率的運用や活動(体制・意識)ベクトルの統一などが惹起され大きな進捗が可能となります。「目標管理」の本来的な意味で言えばこちらの方がより重要です。

※「大規模災害発生時における地方公共団体の業務継続の手引き」(内閣府、2016年2月)

いずれにしろ、地震発生時に災害対策本部中枢(本部長・副本部長・本部員等、本部会議、本部事務局)が、対策(防災活動)の進捗状況をこの優先業務時系列表と照合しながら管理することで、明確な目標・方向性を持って主体的に状況を切り開き、危機をコントロール(マネジメント)する真の意味の「危機管理」が可能となります。

3. 優先業務時系列表の実戦的活用

地震時に以下のように活用することで応急対応のレベルが劇的に向上します。

- (1) 地震発生後、全職員が優先業務時系列表を参照し、自分や班の今なすべき業務に従事する
- (2) 本部(員)会議や本部事務局の運営は優先業務時系列表をベースに行う

地震発生後は節目ごとに災害対策本部(員)会議が開催されることになります。このとき優先業務時系列表を用いれば、その時点で本部(員)会議では何を集中的に議論するべきか、本部員は何を発言するべきかが容易にわかります。

本部(員)会議で大事なことは、本部員は現

状報告にとどめず、(優先業務時系列表に記載されている) 今後必要になる業務の準備状況と方針を発言することです。そのことにより、状況後追的な対応を脱し、先読みしながらの先手々々の対応が可能になります。また、優先業務時系列表を用いれば「目標」どおりに対策活動を遂行できているかを常に意識することとなり、そのことが表1にあるように「競合する目標の調整」や「資源配分の優先順位の調整」を促し、目標達成を早めることになります。

本部事務局も優先業務時系列表をベースに行えば、方向を見失わず効率的な運営が可能となります。

- (3) 本部員個々も優先業務時系列表をベースに所管の優先業務の指示・調整を行う

4. 優先業務時系列表をパワーアップする

- (1) 時系列表の業務は具体的にイメージできるレベルまで落とし込む

大事なことは、時系列表に記載された業務は具体的にイメージできるレベルまで掘り下げられていることです。一般的・抽象的な表現では実際の場面では判断に迷い役に立ちません。業務を掘り下げる作業には、(4)の図上訓練が役立ちます。

- (2) 想定被害量とリンクさせる

B C Pには対象とする想定地震と被害想定(想定被害量)が記載されているはずですが、しかし、この想定被害量とリンクしていない優先業務時系列表が少なくありません。

想定被害量とリンクさせることの重要性は次のとおりです。

たとえば、避難者数が人口の0.5%か20%か(実際の地震災害に照らしても20%は非現実

的な数字ではありません)では全く異なります。人口10万人の市町村では、避難者が500人か20,000人かの違いです。500人であれば指定避難所でのみの開設で十分対応可能で、避難所要員も割り当てることができます。食料・水の安定供給も問題にはならないでしょう。高齢避難者等へは福祉避難所を用意することもできます。総じて、避難者対応は円滑に進むでしょう。

しかし、避難者が20,000人の場合は状況が全く異なります。指定避難所以外の建物・施設に避難する人も多く、それらの避難者の把握は遅滞します。指定避難所以外の避難所に避難所要員を割り当てれば人員不足に陥り他の業務が滞ります。避難所に入れず車中泊する人が増え、エコノミークラス症候群の心配が生じます。食料・水も全く足りず、丸一日水も食料も口にできない人が続出します。

このように、被害量によって災害の様相は大きく異なります。当然、それに応じて対応も変わらざるを得ません。皆さんのところの優先業務時系列表が想定被害量とリンクしているか確認をお願いします。

なお、近年(特に3.11以降)においては、「想定外」をなくすることが防災の基本となっています。想定される最大規模の被害量とリンクさせて優先業務時系列表を作成しておけば、地震時に生起するほとんどのことは「想定内」になります。

- (3) 優先業務時系列表の改善

これまでの議論等を踏まえ優先業務時系列表の改善案を表2に示しました。表2は「市民対策部」の優先業務時系列表の例であり、下線部が改善(追加)すべき項目です。この追加項目に留意しながら、(4)の図上訓練などにより業務詳細等を見直せばより実戦的な優先業務時系

列表になると考えます。

なお、運用場面を考えると優先業務時系列表は広範囲を一覧できるA3サイズでの作成がおすすめです。

(4) 図上訓練で優先業務時系列表のパワーアップと全職員の習熟を図る

以下に、見出しの目的に沿った図上訓練の進め方を解説します。

- ① 業務詳細欄を空白にしたA3サイズの「訓練用」優先業務時系列表を用意
- ② 図上訓練の条件設定

1回目の図上訓練は、想定地震（被害想定）で設定されている地震発生の季節・時刻・気象条件等で行います。1回目の図上訓練の設定が「冬・勤務時間外」であれば2回目以降は「夏・勤務時間内」のように設定条件を変えて行います。
- ③ 対策部（又は対策班）毎に、優先業務時系

列表の最初の時間区分（3時間）における業務詳細を「想定被害量・想定状況」を前提に検討します。この作業は、作成済み優先業務時系列表と照合しつつ進めます。このとき重要なことは図上訓練参加者が具体的にイメージできるまで業務を具体化することです。

最初の時間区分では意見が百出するはずですが、これはその後の時間区分の議論を円滑に進める上で重要ですので十分な時間を確保します。3時間の図上訓練であれば1時間程度は必要です。

制限時間が近づいたら議論を整理し可能な範囲で業務詳細を定めます。議論の中で出て来た課題は記録しておき、その後の活動体制や優先業務時系列表の改善に役立てます。

- ④ ③の作業を最後の時間区切りまで行います。
- ⑤ 時間があれば、全体を通しての振り返りや他の対策部との意見交換を行います。

表2 優先業務時系列表（例）

<市民対策部>

非常時優先業務の種類 (想定被害量・想定状況)	業務開始目標時間・完了目標時間と業務詳細						対応計画・マニュアル、連携部班
	3時間	12時間	24時間	3日	1週間	2週間	
市民への情報伝達・広報に関すること (想定される伝達・広報手段の被害)	〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇	〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇	〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇	〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇	〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇	〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇	
報道機関に対する情報提供、連絡調整等に関すること	〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇	〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇	〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇	〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇	〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇	〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇	
市民からの広聴活動に関すること					〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇	〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇	
指定避難所の開設及び管理運営に関すること (想定避難者数●●・避難所数●●)	〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇	〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇	〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇	〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇	〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇	〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇	
指定避難所における給食計画の作成に関すること (想定避難者数●●)	〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇	〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇	〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇	〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇	〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇	〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇	
所管施設の被害調査及び応急対策に関すること	〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇	〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇	〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇	〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇			
住家等の被害調査及び被災証明の交付に関すること (想定住家等被害数●●)					〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇	〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇	
帰宅困難者対策に関すること (想定帰宅困難者数●●)	〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇	〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇	〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇				
公共交通機関等との連絡調整に関すること	〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇	〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇	〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇	〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇	〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇	〇〇〇〇〇 〇〇〇〇〇	

リチウム電池の誤充電により出火した事例

熊本市消防局

1 はじめに

本件は、使い切りのリチウム電池を誤って充電したことにより発生した火災であり、製品評価技術基板機構九州支所（以下「n i t e」という。）及び熊本県警察本部科学捜査研究所と連携し、原因を究明した調査事例である。

近年、スマートフォンやモバイルバッテリーが急速に普及しており、これらに使用するリチウム電池に起因した火災も増加傾向にあることから、今後の参考として紹介する。

2 火災の概要

- (1) 出火月時：平成29年10月 午前6時頃
- (2) 火災種別：建物火災
- (3) 出火場所：熊本市消防局管内
- (4) 焼損程度：ぼや（金属製キャビネット内の収容物を焼損）

3 出火時の状況

地下1階で勤務中の職員が自動火災報知設備の作動により火災に気付く。9階の現場へ向かい確認すると、執務室に置かれた金属製キャビネットの中央付近から炎が上がっているのを発見した。

粉末消火器1本を使用して初期消火に成功。

4 現場見分状況

(1) 現場到着時の状況

9階の執務室に設置された金属製キャビネット（以下「キャビネット」という）及び内部の収容物のみ焼損しており、火災は完全に鎮火していた。

(2) キャビネットの見分

キャビネット中段付近の事務用品、電気製品、工具類が焼損しており、特に上から3段目の棚に置かれた金属製の箱の中身が、強く焼損している状況である。



【写真1 焼損したキャビネット付近の状況】



【写真2 焼損したキャビネットの側面】



【写真3 キャビネット3段目を撮影】



【写真4 金属製の箱を拡大して撮影】

(3) キャビネット周囲の見分

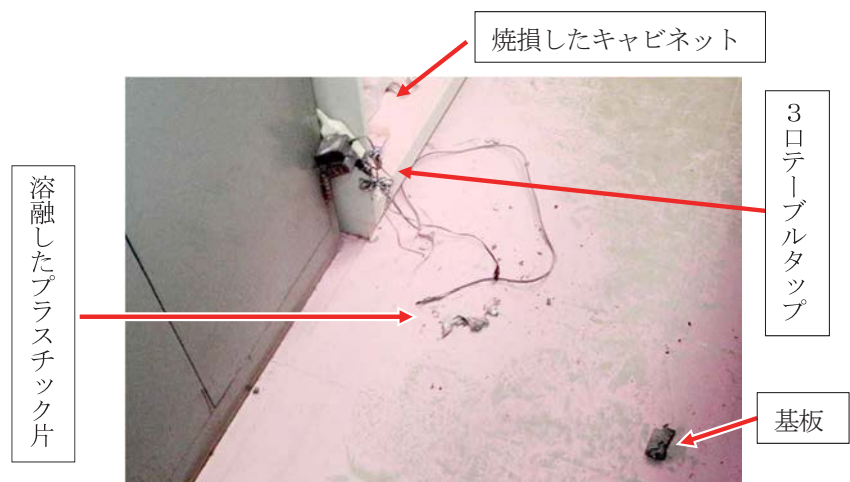
キャビネットの周囲には、3口テーブルタップ、溶融したプラスチック片、焼きした基板が確認される。

3口テーブルタップを見分すると、すべての差し込み口に電源プラグが接続された状態であり、各電源プラグを引き抜いてみると、受け刃、差し刃共に溶融痕は認められない。また、各電源プラグのコードについてはすべて断線しているものの、芯線同士の接触は無く、断線部分を基点に延焼した形跡は認められない。

床面に散乱したプラスチック片と基板については、電気製品等の基板とその一部であることは確認できるが、現場見分の段階では特定が困難である。

更にこのプラスチック片と基板を詳細に見分すると、表面には粉末消火器の粉が付着

しているが、裏面には付着しておらず、除去後の床面にも粉は付着していないことから、消火器の噴射により飛び散ったものではなく、初期消火以前からその場にあったことがうかがえる。



【写真5 床面の状況を撮影】

(4) 関係者の供述

ア 出火当日、建物内へ入ることができたのは、関係者のみであった。また、出火した9階の執務室は無人であった。

イ 喫煙については指定された場所のみ許可されていた。

ウ キャビネットの上から3段目に置かれた金属製の箱には、工具類、事務用品、電池等を収納しており、それらの上でハンドライトに使用するリチウム電池を充電していた。

エ 出火場所付近で、これまでに異変を感じたことは無かった。

(5) 実況見分状況のまとめ

ア 執務室内の電気配線及び3口テーブルタップには異常は認められなかった。

イ 金属製の箱内は焼損が強く、物品の取り出しを試みたが固着しており困難であった。

ウ 関係者が充電していた電池と同形状のリチウム電池が、キャビネット内に多数確認された。

エ 金属製箱内の物品からの出火を検討するため、収去後、製品火災も視野に入れ鑑識を行う事とした。

5 鑑識の状況

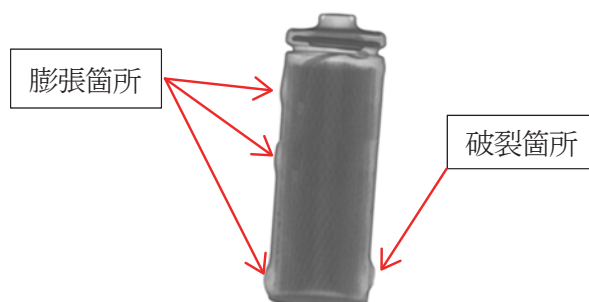
(1) 熊本県警察本部科学捜査研究所での鑑識（出火2日後）

当局ではX線撮影装置を保有していないため、県警科学捜査研究所の協力のもと鑑識を実施する。

ア 収去した金属製の箱内に多数の電気製品や電池、工具類を確認する。

イ 金属製の箱の内面には扇状の焼き痕があり、その近くに激しく焼損した電池2本が確認される。

ウ 箱内から焼損した電池を取り出しX線撮影を行った結果、電池内部において膨張箇所や



【写真6 撮影したX線写真の状況】

破裂箇所が確認された。

(2) n i t eでの鑑識（出火17日後）

収去した物品をn i t eに持ち込み類似品と比較しながら、さらに詳しく鑑識を実施する。

各物品のX線撮影結果は表1のとおりで、発火源の可能性として残るのは、リチウム電池（一次電池）、リチウムイオン電池（二次電池）及び充電器である。

金属製箱内の最も焼損が激しい部分から充電器が発見されたが、原形をとどめておらず、基盤の部分が欠損している。

このことから、キャビネット周辺の床面に見分された基盤と熔融したプラスチック片については、充電器の一部であることが判明した。

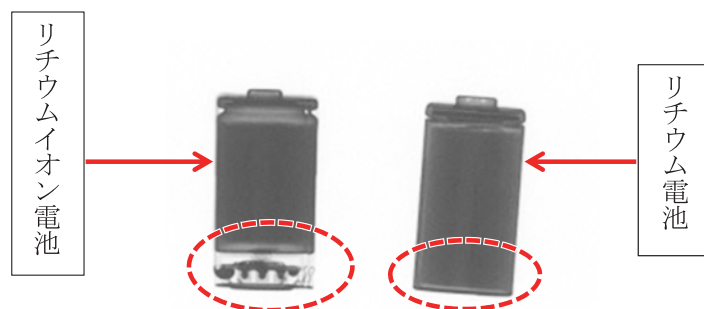
表1 X線撮影した物品の状況

1	デジタルカメラ2台	異常なし（内部に電池なし）
2	電卓	X線異常なし
3	電池	焼損、短絡痕なし
4	工具	焼損、短絡痕なし
5	充電器（2台）	基板からの出火痕なし
6	スケール	異常なし
7	ヘッドライト	異常なし（内部に電池なし）
※	リチウム電池及びリチウムイオン充電器は別途記載する	

ヒートガンを使用し固着物を剥離した際、新たに電池が2本発見されたため、県警科学捜査研究所で発見された2本と類似品2本も含め、次の3パターンについてX線撮影の結果を比較する。

ア 類似品のリチウム電池（一次電池）及びリチウムイオン電池（二次電池）を撮影

一見すると両者に差はないが、X線写真を見ると充電可能なリチウムイオン電池のマイナス極側には安全装置が確認されるのに対し、使い切りのリチウム電池には安全装置がない。この違いは電池の種類を特定するうえで大きな判断材料となる。



【写真7 類似品のリチウム電池及びリチウムイオン電池】

イ 県警科学捜査研究所で発見された焼損電池2本
激しく焼損した電池2本にはマイナス極側

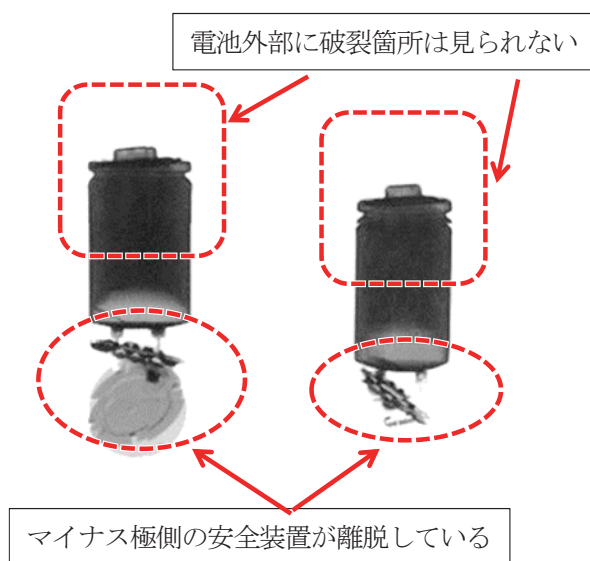
に安全装置が確認されないことから使い切りのリチウム電池であることが判明した。



【写真8 県警科学捜査研究所で発見された焼損電池】

ウ n i t e で固着物を剥離した際に発見され
た焼損電池2本
マイナス極端子側の安全装置が離脱してい

る状況が確認されるため、本電池2本は充電
可能なリチウムイオン電池であることが判明
した。



【写真9 n i t e で固着物を剥離した際に発見された焼損電池2本】

6 出火原因

リチウム電池は使い切りの一次電池であるため、取扱説明書では「充電禁止、誤って充電すると発熱、破裂、発火の可能性があります」と記されている。

これに対し、リチウムイオン電池は充電可能な二次電池である。

見た目が酷似しているこの2種類の電池が同じ場所に混在していたこと、充電した職員は2種類の電池が存在すること自体を認識していなかった事実、これらを踏まえ検討すると、使い切りのリチウム電池（一次電池）を誤って充電し、放置した可能性が高い。

よって本火災の原因は、本来は充電することができないリチウム電池を誤って充電し5日間放置したことで、リチウム電池が発熱、発火したものと結論付ける。

7 予防対策

市民に対しては、電池の種類の違いや、誤って充電した場合の危険性について、ホームページを利用して広報を実施した。

また、火災が発生した事業所に対しては、電池自体に印をつけて一次電池と二次電池を区別するとともに、保管場所も分けるよう類似火災防止の指導を行った。

リチウム電池に関する注意について

リチウム一次電池は充電することができません。
充電すると「発熱」「発火」「破裂」「漏液」などの重大事故が発生する危険性があります。
一次電池（使い切り電池）には、電池本体や包装パッケージに「充電式ではありません」「充電しないで下さい」などの記載がされておりますので、注意書きをご確認いただき、絶対に充電しないよう注意してください。

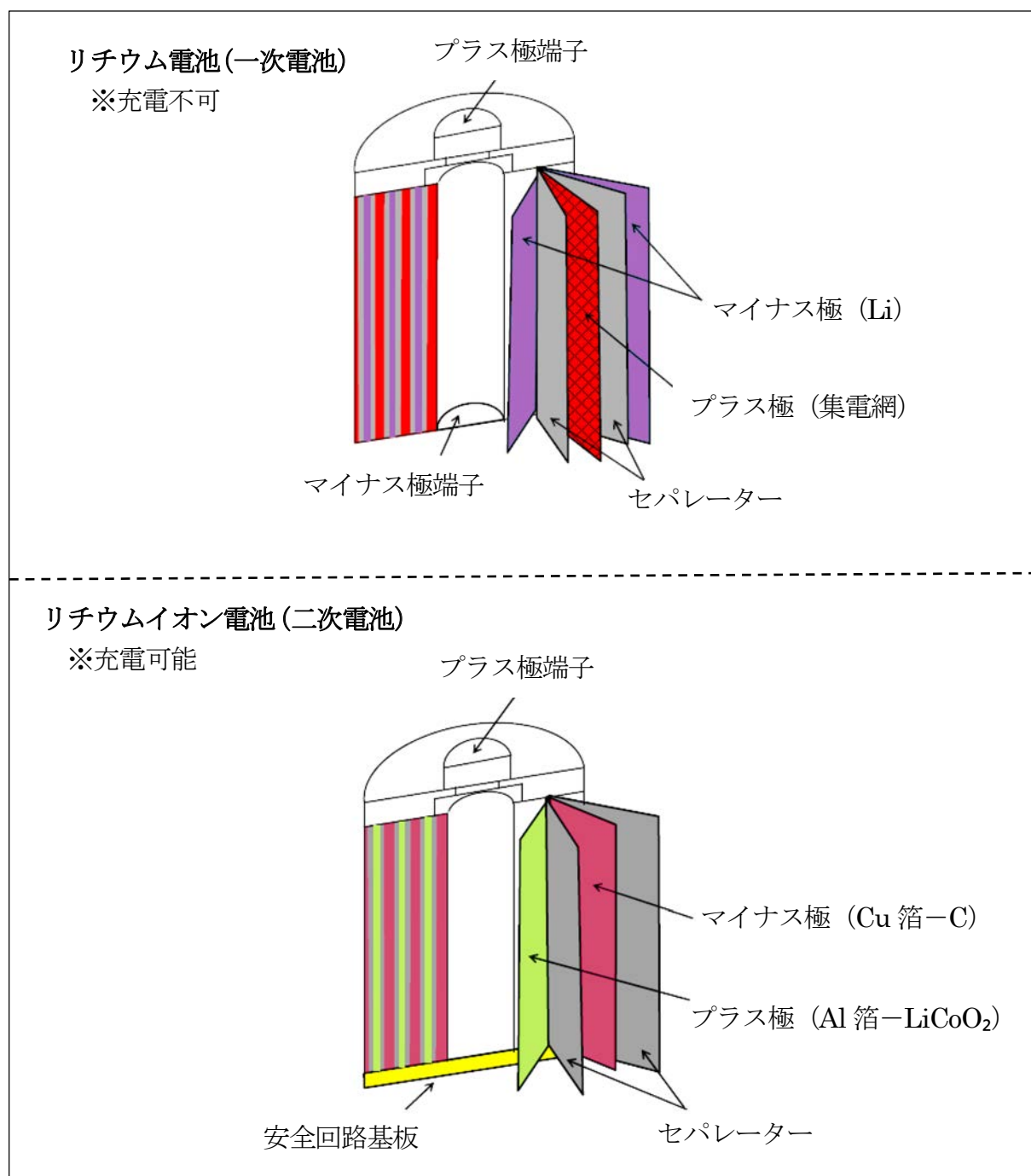


※ 使用前に、必ず機器の取り扱い説明書、または注意書きをお読みください。

【ホームページでの広報内容】

8 参考

リチウム電池及びリチウムイオン電池の内部構造について



【図1 電池内部構造】

○再現実験

リチウム電池（一次電池）を充電した場合の温度上昇を調査するため、以下の製品を用いて温度測定を行った。

- ・充電器（Y社 中国製）
- ・ACアダプター（メーカー不明）
- ・リチウム電池2本（X社製 CR123A ①②ともに同型品）

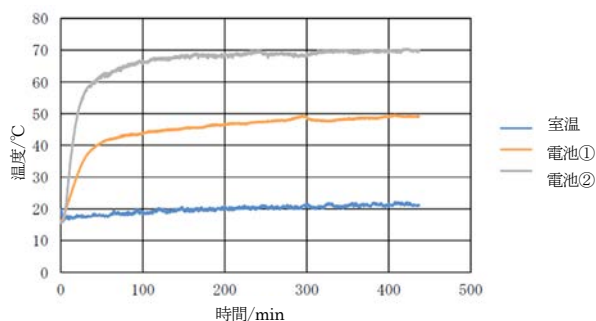
○測定条件

負荷装置に接続しリチウム電池を完全に放電させた状態で充電器に接続、充電中の電池の表面温度を測定した。各状態における電池の開放電圧を表2及び温度測定結果を図2に示す。

測定の結果、表面温度が電池①は50℃、電池②は70℃まで温度が上昇した。

【表2 電池の開放電圧（単位：V）】

	購入時	放電後	測定後
電池①	3.651	3.013	3.323
電池②	3.686	2.877	3.200



【図2 温度測定結果】

9 おわりに

本件は、リチウム電池が引き起こす火災の危険性を認識していなかったことで発生した事例であり、類似火災防止の対策としては、ホームページやSNS等を活用し、より分かり易く、伝わり易い広報の重要性を改めて感じた。

また、原因究明に関しては、関係機関と連携し効率よく原因を究明した事例であり、普段から顔の見える関係を気付いていたことが功を奏したともいえる。

今後も限られた時間で的確に原因を究明し、その結果をタイムリーに広報できるよう、技術、知識の向上に努めたい。

編集後記

- 「平成30年北海道胆振東部地震」は、地震の規模はマグニチュード6.7、震源の深さは37km、最大震度は7（厚真町）を観測した内陸地震であった。

この地震により、死者42人、負傷者762人、住家全壊462棟、住家半壊1,570棟（北海道総務部危機対策課資料）などの被害が生じ、震源地に近い厚真町、安平町、むかわ町を中心に、最大時には1万6千人以上の方々が避難生活を余儀なくされました。

また、地震発生直後に起きた北海道全域の停電「ブラックアウト」により、断水や交通機能の麻痺なども相まって道民の生活や経済活動に大きな障害となったところです。

本号の特集は、「北海道胆振東地震（H30年）」を取り上げました。

- 北海道沖の千島海溝沿いの海と陸のプレートの境界でマグニチュードが8.8以上の超巨大地震が今後30年間で起こる確率を最大40%と見積もられております（2017年12月、政府の地震調

査委員会）。

過去には350年前後の間隔で地震が発生し、前回の発生から400年程度経過していることから、次の巨大地震が切迫している可能性が高いと言われております。地方公共団体も重く受け止めているようですが、各自の万全の備えが急がれます。

- 関東に上陸した台風としては観測史上最強級といわれた台風15号は、9月9日千葉県を中心に甚大な被害が発生しました。その傷がいえぬ間の10月12日到来した台風19号は大型で強い勢力を保ちながら伊豆半島に上陸、その後、関東地方を通過し、13日未明に東北地方の東海上に抜けました。

巨大台風は、15号の被災地を含む関東甲信越地方、東北地方を中心に広い範囲で記録的な大雨を降らせ全国各地に大きな爪痕を残しました。

犠牲になられた方へのご冥福を申し上げ、1日も早い復旧・復興をお祈り申し上げます。

〔本誌から転載される場合にはご連絡願います。〕

季刊「消防防災の科学」 No. 138 2019. 秋季号

発行 令和元年11月30日

発行人 市橋保彦

発行所 一般財団法人 消防防災科学センター

〒181-0005 東京都三鷹市中原三丁目14番1号

電話 0422 (49) 1113 代表

ホームページ URL <http://www.isad.or.jp>