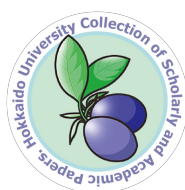




Title	2. 平成27年度の活動：「北海道／防災・減災リレーシンポジウム2015」報告集
Author(s)	高松, 泰; 小山内, 信智; 村上, 亮 他
Description	北海道／防災・減災リレーシンポジウム2015 -突発災害に対する防災・減災を考える-。平成27年9月8日旭川, 平成27年10月15日稚内, 平成27年10月23日釧路, 平成27年11月6日札幌。
Citation	北海道大学突発災害防災・減災共同プロジェクト拠点平成27年度報告書, 27, 15-88
Issue Date	2016-03-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/74580
Type	other
File Information	8-symposium.pdf



北海道の防災・減災
突発災害に備える

報告集

「北海道／防災・減災リレーシンポジウム 2015」について

東日本大震災や近年の多発する災害をふまえ、国や地方公共団体においては「防災・減災」に関する様々な取り組みが進められており、北海道大学においても最先端の研究や教育活動が進められています。2015年4月には、高度な大学教育プログラムの開発や学際的アプローチによる卓越した研究を行うプロジェクトチームのひとつとして「突発災害防災・減災プロジェクト拠点」が設置され、理系・文系といった学部の垣根を越えて自然現象と社会構造を同時に取り扱い、新たな災害対策への提言を行っていくこととなりました。

「北海道／防災・減災リレーシンポジウム ―突発災害に対する防災・減災を考える―」は、防災・減災プロジェクト拠点のメンバーが道内を回り、それぞれの地域の課題、取り組みなどに関する知見の交換、ディスカッションを行うこととして、2015年9月8日（火）に旭川会場でプログラム A、10月15日（木）稚内会場でプログラム B、10月23日（金）釧路会場でプログラム C、11月6日（金）に札幌会場でプログラム D を行いました。

A	・旭川会場	2015/ 9/ 8
B	・稚内会場	2015/10/15
C	・釧路会場	2015/10/23
D	・札幌会場	2015/11/ 6

各会場では、プロジェクト拠点のメンバーによる基調講演と行政機関のパネリストを加えたパネルディスカッションの2部構成でシンポジウムを進めました。

基調講演の演題については、各地域における自然災害のリスク等を鑑み、旭川会場では火山災害と水害、稚内会場では土砂災害と雪害および地震・津波、釧路会場では津波と火山災害及び雪害に関するテーマを選び、札幌会場では突発災害に関する話題（火山災害・土砂災害及び地震・津波）を総括的に取り上げました。

このような取り組みを契機として、大学が持つ知見や研究成果を地域で役立てていただき、北海道大学が地域の特性や実情に即した「防災・減災」に関する情報をより広く発信していければと考えております。

■突発災害防災・減災プロジェクト拠点の研究開発体制等

プロジェクト拠点では、以下のA、B、2グループ体制で研究開発を進めることとしています。本報告書ではプロジェクト拠点メンバーが行った基調講演をこのグループ分けに沿って再編し、掲載しました。

グループ A；山地・過疎地域における複合的リスクの分析と対応のあり方
グループ B；都市地域における複合的リスクの分析と対応のあり方

リレーシンポジウム コーディネーター
北海道大学公共政策大学院
特任教授 高松 泰

目 次

I. 山地・過疎地域における複合的リスクへの対応

1. 突発災害に対する防災・減災（火山災害・土砂災害）	小山内信智	20
2. 十勝岳の火山活動について	村上 亮	27
3. 雌阿寒岳の火山活動について	村上 亮	32
4. 十勝岳の火山砂防について	小山内信智	38
5. 人の生活を脅かす水と土砂の災害―「場」を知って災害に備える―	丸谷 知己	44

II. 都市地域における複合的リスクへの対応

1. 突発災害（地震・津波）に対する防災・減災	谷岡勇市郎	54
2. 北海道の水害について―石狩川上流域の水害を例に―	泉 典洋	59
3. 道路交通分野における暴風雪対策	萩原 亨	65
4. 津波の実態と防災・減災	山下 俊彦	70
5. 津波避難と GIS	橋本 雄一	74
6. 防災情報の読解法 ―自然科学からみるハザードマップと防災文化からみるリスクマップ―	岡田 成幸	82

I

山地・過疎地域における 複合的リスクへの対応



1. 突発災害に対する防災・減災

(火山災害・土砂災害)

北海道大学大学院農学研究院

特任教授 小山内 信智

1. 「突発災害防災・減災共同プロジェクト拠点」について

「北海道大学共同プロジェクト拠点」は、社会ニーズの高さや部局横断型プロジェクトであることなどが認められた研究チームについて北海道大学が積極的に支援する制度で、「突発災害防災・減災共同プロジェクト拠点」は、その一つとして 2015 年 4 月にスタートしました。

わが国は自然災害の多い国で、特に土砂災害、火山噴火災害、地震津波災害など突発的、広域的に発生する災害が多く、人命、資産に多大な被害をもたらされてきました。このような突発的大規模自然災害は複合的な災害現象を伴う場合があり、さらに北海道では積雪寒冷地という条件が加わって、対応も複雑、困難なものになる可能性があります。

したがって、避難行動や事前の防災・減災対策のあり方も、特定の分野における取り組みだけでは十分なものにならないと考えられます。そこで、各分野における防災対策、また、社会システムや人間の行動・心理などに精通した研究者が総合的な危機管理のあり方について研究し、突発的大規模自然災害の全体像とその対応方針を示すことが必要です。また、これは今後のわが国の社会の安定性を確保するための人材育成にとっても極めて重要です。「突発災害防災・減災共同プロジェクト拠点」は、こうした目的で立ち上げられました。

具体的な活動としては、グループ内の研究者の研究開発が基本となりますが、現在までに、14～15 名の研究者が賛同し、さらに増える可能性があります。研究開発は 2 つのテーマを定めています。一つは「山地・過疎地域における複合的リスクの分析と対応のあり方」で、どちらかと言えば中山間地域の問題、もう一つは「都市地域における複合的リスクの分析と対応のあり方」で、人口、資産が集積した地域の問題を分析しようとしています。

一方、防災教育の一環として、平成 28 年度から大学院共通授業科目として「突発災害危機管理論」の開設を準備しています。また、社会貢献として、市民や防災担当者に対する防災知識の普及を目的に「防災・減災リレーシンポジウム—突発災害に対する防災・減災を考える—」を 27 年度に今回を含めて、道内 4 カ所で開催します。

2. 火山噴火と土砂災害

(1) 2000 年有珠山噴火

では、火山災害と土砂災害という突発災害について、具体的に説明していきます。

2000 年 3 月 31 日の有珠山噴火については記憶に新しいと思いますが、この災害は、一般に避難のオペレーションが非常にうまくいった災害として受けとめられています。その通りですが、その前提には、火山研究者がしっかりと過去からのデータを取り、十分監視する体制が整っていたことがあります。

加えて、1977 年にも有珠山には非常に大きな被害をもたらした噴火があったのですが、その後のハード対策の施設整備が効果を発揮しています。砂防施設で言えば、泥流を導流するような流路工や上流側の砂防堰堤、また治山施設も整備したのですが、こうしたハード施設によって、少なくとも第一波の泥流に対してはかなり効果を上げることができました。その後、何度も繰り返し泥流が起こり、相当の被害が出るのですが、防災対策、特に危機管理という意味では、第一波をいかに極小化するかが非常に重要です。この地域では、ハード対策をある程度、行っていたことで、2000 年噴火の際に、結果的に人的被害を出さずに済んだのではないかと思います。

(2) 火山災害の特徴

火山災害の場合は、想定とは違った場所が噴火口になることもあります。自然災害が想定していた通りにならないのは当たり前のことです。火山災害の特徴として噴火に伴う現象は多様です。砂防で対応しているのが、泥流、土石流、積雪地域の融雪型火山泥流です。大正 15 年十勝岳災害は融雪型火山泥流でしたが、こうした流れてくるものに対する対応は、ある程度可能です。しかし、それ以外に噴石、降灰、火砕流、溶岩流、火山ガス、空振による振動などさまざまな形で被害が生じます。

そうした被害に対しては、非常に多くの部局が連携してオペレーションをとる必要があります。かなり準備はなされていると思いますが、行政対応では縦割りの部分もあって、そこをいかに融合させるかが課題であると考えています。

3. 大規模地震と土砂災害

(1) 深層崩壊推定頻度マップ

「深層崩壊推定頻度マップ」（独立行政法人土木研究所作成、国土交通省砂防部監修、2010 年公表）では、日本列島で深層崩壊が起こる可能性が高い場所を色づけしていますが、これによると、特に中央構造線に沿ったあたりは実際に大崩壊が起こっており、推定頻度の評価としても高い場所になっています。

また、中央防災会議の「南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ最終報告書」によると、南海トラフの地震が起こった場合に、中央構造線沿いのエリアは震度6から7程度の震度が想定されています。土砂災害の場合、震度6以上は、かなり危険な状態で大きな崩壊が起こると想定されますので、非常に注意が必要です。北海道については、特に日高山地のあたりの危険度が高いと推定されています。

(2) 東北地方太平洋沖地震で発生した崩壊と震度の分布

東日本大震災（2011年3月11日）による土砂災害の発生箇所をプロットした地図（国土省国土技術政策総合研究所砂防研究室調べのデータから作成）を見ますと、全部プロットし切れていないかもしれませんが、空中写真の判読などにより200カ所程度、発生したということがわかっています。どのくらいの規模のものを拾うかによって数字が変わりますが、やはり震度6以上のエリアを中心にそうした現象が起こっていることがわかります。

ただし、東日本大震災は海溝型の地震で、あれだけ強烈な津波災害が起こったので、土砂災害が取り上げられることはあまりなかったのです。また、海溝型地震と内陸直下型地震では、同じ震度であっても、崩壊の数は内陸直下型の方が多くなる傾向があります。

(3) 平成20年岩手・宮城内陸地震による土砂災害

岩手・宮城内陸地震（2008年6月14日）は直下型地震でしたが、東日本大震災に比べると非常に狭い地域に、実に3,500カ所以上の斜面崩壊が発生しています。したがって、これから予測されている南海トラフなど海溝型地震に対してのみならず、土砂災害については、むしろその後の内陸直下型地震に警戒しておく必要があります。

岩手・宮城内陸地震で起こった崩壊では、三迫川で大規模な土石流が発生し、下流にあった駒の湯温泉旅館が飲み込まれて死傷者の出る被害が生じています。また、一迫川最上流では巨大な崩壊が起り、天然ダムが形成されました。その後、そこに水がたまり、満水となったので、決壊を防ぐ対策もしていたのですが、5年後に決壊してしまいました。満水したものが越流決壊を起こして土石流が発生しているのですが、幸いなことに、直撃を受けるような下流の範囲に集落がなかったために被害はありませんでした。こうした現象が集落の近くで起こると非常に大きな災害になります。

(4) 宮城県女川町（東日本大震災）での体験

私は、東日本大震災当時、国土交通省に勤務していました。発生直後、本省に行き、そのまま一晩過ごして、翌朝、ヘリで被災地に向かいました。海岸沿いを北上していったのですが、茨城県中部くらいから海岸線は軒並み被害を受けていました。福島県上空に入ったときには、既にその時点で福島第一原発、第二原発は20km圏内立ち入り規制があり、ヘリは迂回して内陸を飛び、また宮城県に入ってから海側に出て北上しました。そこから海岸線沿いを見て、とんでもないことが起こったということがわかりました。この時点では、マスコミに

被災状況があまり伝わっておらず、死者が百何十人というような報道をしていましたが、そのような規模でないことは、被災地を見た瞬間にわかりました。

宮城県女川町まで飛んできたのですが、眼下は焼け野原のようで、町がなくなっている状況でした。木造の住宅は全くない状態で、鉄筋のビルは残っているのですが、一部ひっくり返っていたり、4階建てのビルの屋上に車が打ち上げられているような状態です。

そういうなかで、1カ所、がれきのない、きれいなスペースがありました。これを見たとき、私は少し複雑な思いがしたのですが、その場所は「堀切山特定利用斜面保全事業」という崖崩れ対策の事業を行った場所でした。この事業の目的は、民家が密集しているなかに突き出した大きな尾根の部分で崖崩れ対策を効率的にすることでした。単純にやろうとすると、非常に費用のかかる施設を張りつけていくことになるので、それよりは尾根そのものがある程度カットして、利用できるスペースをつくれば安い予算でできると取り組んだ、新しいタイプの事業でした。

(5) 特定利用斜面保全事業の効果

実はこの事業は、私が建設省の係長時代につくった新規事業で、その第1号の採択場所が、この女川町の堀切山でした。カットしてできた標高16mの平地には老人ホームと町立病院がつくられ、さらに高い約40mのところにもスペースをつくって津波が起きた場合の避難スペースにするという事業だったのです。

当時、私はそういう目的で、この事業を進めたわけですが、本当に津波の避難場所として活用することになるとは正直なところ、予想していませんでした。そして、この場所に実際に訪れることもなく30年が経っていたのです。

実際の被災では、老人ホームや病院のあるところは1~2m、水が乗って、建物の1階部分は浸水したのですが、なかにいた老人たちや病院にいた人たちは3階以上に避難して無事だったということでした。そして、事業でつくられた避難スペースに逃げてきたために、大勢の市民が助かったという状況でした。こうした施策によって人命を救うことも可能だということであらためて感じるところです。ただ、ここには崖下の家を崖崩れから守る施設もあり、それはそのまま残っているのですが、逆に守るべき家は1軒もなくなってしまったことに非常に複雑な気持ちになりました。

4. 拡大する都市の自然災害に対する脆弱性

(1) 2014年8月20日広島市土石流災害

次に、都市地域での自然災害の問題ですが、2014年8月20日、広島市で大きな土石流災害が起きました。この地域の空中写真を見ますと、山裾にびっしりと家が張りついており、防災の専門家はこれを見れば問題が多いと思うでしょう。しかし、一般市民のほとんどは、谷

の出口の扇状地形で急勾配ですが、非常に景色がよく、裏には緑があって環境がいいところだと思うでしょう。

しかし、こうした風景も植生をはがして細かい地形で見ると、少し感覚が違ってくるのではないかと思います。LP という手法によるデータをもとにつくった地形図を見ますと、家がびっしり張りついているところは、実は谷の出口であり、土石流が流れ込んで拡散するような場所です。そのような地形が扇状地形であり、小さなものは沖積錐、あるいはアルービアルコーンと呼ばれるものです。その土石流堆積物の上に家が張りついているのです。大雨が降ったことで谷という谷から土石流が流れ出て、非常に狭い範囲で74 人の方が亡くなるという悲惨な災害となりました。

(2) 2014 年 9 月 11 日札幌市豪雨災害

一方、2014 年 9 月 11 日の札幌市の豪雨災害について、雨量の状況を危険度判定図（60 分間の雨量と土壌雨量指数の関係を時間経過で見た図）で見ますと、札幌市街地から南に 15 km 程度離れた千歳市支笏湖周辺で 9 月 10 日 23 時 30 分、「スネーク曲線」が、このラインを超えると土砂災害の危険性が高まるという基準線（クリティカル・ライン）を超えています。それで、このエリアに対して土砂災害警戒情報が出されました。

それを受けて地元自治体が避難勧告などを行いますが、その段階では札幌市内ではほとんど雨は降っていませんでした。日付が変わって 11 日午前 2 時になると、札幌市南区周辺でクリティカル・ラインを突破した状況になり、札幌市に対して土砂災害警戒情報が発表されて、それに応じた形でさまざまな情報が流されることになります。

その後、支笏湖周辺では、さらに基準線をはるかに超えて雨は降り続き、災害が起こります。一方、南区周辺でもクリティカル・ラインは突破し、さらに降り続けていたのですが、幸運にも雨はやみ、大規模な災害は出なかったのです。これは非常に幸運なことで、あと少しで支笏湖周辺と同じ状況になるところでした。支笏湖周辺では土石流がたくさん出て、下流の国道 453 号線は土石流で埋め尽くされ、橋梁も壊されて、1 カ月ほど通行止めになっています。

このことからわかるように、自然現象だけが起こっても災害とは呼びません。道路の被害は道路災害ですが、もし支笏湖周辺に住宅がびっしり張りついていたら、とんでもない災害になるのですが、そうはならず、土石流自体は災害としては認識されていないのです。川の斜面がことごとく崩れたり、細かい土石流がたくさん起こっているのですが、人が住んでいない場所だったので、人が亡くなるような被害もありませんでした。

札幌の市街地周辺も南西部の山麓では、谷の出口に住宅がたくさん張りついています。広島市と同様に、もっと地形がよくわかるような図で見ると、これはどうだろうかと懸念するところです。この地域については、すでに北海道が調査し、ハザードマップが公表、配布され、地元の町内会などで避難訓練などに活用されています。

そのハザードマップを見ますと、黄色で示されたエリアは崖崩れの危険な場所、茶色は土

石流が氾濫する可能性の高い場所と、危険度の高いところを色分けしています。しかし、これら以外の場所は本当に大丈夫なのか、ということが気になります。避難指示や避難勧告が出た場合に、端的に言えば、この色のエリアの人は逃げればよいということになりますが、本当にそれだけでいいのか、ということです。

この地域の衛星写真について山の斜面や勾配の程度で色分けしてみます。ピンク色は勾配30度以上、赤い色は45度以上とします。30度以上の勾配とは、土砂が一旦動き出すと一気に崩れる形で下まで落ちていく可能性が高い勾配です。その崩れた先が谷地形をつくっていると土砂はとまりにくくなり、そのまま動いていく可能性があります。

先ほどのハザードマップに、この谷地形の地図を重ねると、マップで色がついていないところでも谷地形はあるし、斜面の後ろは急勾配なので、そうした場所で土砂崩壊が起こった場合、危険度はマップで色づけされた場所より低いものの、百パーセント安全かと言えば、そうは言えないということになります。ですから、この地域に非常に強い雨が降った場合には、自分が住んでいる場所は大丈夫か確認し、警戒した方がよいでしょう。

5. 正常化の偏見 (Normalcy Bias)

最後に「正常化の偏見」についてお話しします。

私は、防災の基本はハード対策だと思っています。想定した計画規模よりも大きい現象が起こってしまった場合は、ハード対策でも百パーセントの防災をすることはできないのですが、それでも一定の効果は必ずあります。

一方、ソフト対策は「危なくなったら逃げましょう」と呼びかけるなど、人が何重にも介在して、その結果、百パーセントうまくいけば逃げるができるというものです。避難指示や避難勧告は出されるまでに、人が何重にもかかわっているのです、非常に時間がかかったり、あるいは、結果的に避難勧告は出されなかったりということがあります。また、仮に出されたとしても、実際に避難する人は1、2%程度だったりします。

逃げない人は「自分は大丈夫だ」と思うからですが、それは多くの場合、「正常化の偏見」であると、防災の専門家は考えています。この言葉は「Normalcy Bias (ノーマルシー・バイアス)」という英語の日本語訳ですが、人が危機的な状況に陥ったり、不快な状態になったりした場合には2つの対応があるとしています。

例えば、大雨が降って「あなたの住んでいるところで土石流が起こる可能性があります。早く逃げないと、あなたは死ぬかもしれません」と言われると、言われた方は不快になります。不快に思ったらどうするかですが、一つの対応は、危機や不快の原因となるモノ・状態を直接除去することです。つまり、実際に逃げる、避難する、あるいは、そうなるもっと前から危険な場所にハード対策として砂防堰堤のようなものをつくって一定の安全度を高めておくというやり方です。

もう一つの対応は、強烈なストレスから精神を守るための自己防衛反応として、自分を不快な気持ちにさせる異常な状態が現実ではないと信じ込むことで、これが「正常化の偏見」です。「そんなことがあるはずはない」、「今まで一度も起こったことがないのだから大丈夫」、「仮にあったとしても自分は助かるだろう」というように、根拠のない自信を持つことが「正常化の偏見」です。しかし、今までの経験とは、そうした大雨が降って災害を受けたことがないという経験であって、それをいくら積み重ねても被災した経験にはなりません。

ここ1、2年、気象情報などで「これまで経験したことのないような雨です」という表現が、全国的に頻繁に使われるようになりました。今までの雨の降り方とは変わってきているのですから、今まで経験したことがないことが起こり得ると思わざるを得ないのです。

このように、防災上、大きな問題となるのが「正常化の偏見」で、これは特にソフト対策についての問題ですが、ハード対策を進める上でも、本当に安全なのかどうか、しっかりとデータを見て確認し、自分が対応すべきことはどういうことなのか、考えておく必要があると思います。

2. 十勝岳の火山活動について

北海道大学大学院理学研究院

教授 村上 亮

はじめに

私は北大地震火山研究観測センターで、地球物理学的な観点から火山の観測やメカニズムの研究をしています。自然災害に対する防災・減災を考える上で、まずはその対象をよく知ることが出発点になると思いますが、十勝岳について、これまでにどのような火山活動をしてきたか、また、どういう災害を起こしてきたかなど特徴を紹介します。

自然災害に対して万全に備えることは難しいと思いますが、過去の活動の様子を知ることによって、将来、活動を起こしたときに大きな災害にならないようにしたり、人間社会に及ぼす影響を極小にできたりできるのではないかと思います。

「突発災害」というキーワードから考えますと、火山は前兆が出る場合もありますが、非常に微弱であったり、ほとんど前兆がなかったりして、いきなり変化が起こることもあります。火山の性質や同じ火山でも噴火の状況で違いがあります。明瞭に前兆的な現象を出してくれる場合もあり、それは大いに役立てるべきですが、必ずしも前兆があるとは限りません。

1. 十勝岳の最近の噴火の特徴

まず、十勝岳における最近の災害について簡単に振り返っておきます。20 世紀に、マグマが関係する噴火を 3 回起こしていますが、100 年間に 3 回というのは、日本の火山のなかでも頻度が高い方です。

(1) 20 世紀以降の主な噴火

① 1926 年噴火

最も有名なのは大正期の噴火で、大規模な融雪泥流が発生して、死者行方不明者が 144 名と伝えられています。出たマグマの量は普通の火山噴火と比べて非常に小さいものですが、起きた災害は非常に大きかったのです。これは十勝岳の火山災害の一つの特徴です。つまり、緯度の高いところにある高山で、冬期は雪があるのですが、火山の高熱の物質が噴出して雪を解かすと、かなり遠い地域、例えば上富良野であれば 20 km 以上離れていますが、

そこまで 25 分ぐらいで大規模な泥流が伝わっていきます。十勝岳には潜在的にそういう力があり、その点を私たちはよく知っておく必要があります。火山の噴火単独の現象としては、それほど大きなものではなくても、大きな災害を起こす可能性があることを理解しておく必要があるでしょう。

② 1962 年噴火

次に噴火したのは 30 数年後の 1962 年で、このときは火口の近くで硫黄の採掘が行われていたので、主に噴石に打たれて亡くなった方がいます。26 年に比べて多くの噴出物が出た大きな噴火でした。

亡くなった方の主原因は噴石の直撃ですが、助かった人もいます。大規模に噴石が飛んできたと思われませんが、助かった人がいることは今後の防災・減災を考える上で参考になります。

③ 1988－89 年噴火

1988 年と 89 年にも噴火しましたが、冬期でもあり、この時点では防災意識が地元で非常に高かったので、噴火前の準備が進んでおり、幸い犠牲者はいませんでした。噴火の大きさとしては、それまでの噴火のなかで中間ぐらいでした。

(2) 十勝岳の地形

上空から十勝岳の山頂部を見ますと、過去の活動で生じた火口がたくさんあります。十勝岳の背後にも大雪から十勝を通じて連なる火山の連峰があつて、この地域全体が非常に活動性の高い火山領域であると言えます。美瑛岳、十勝岳、上ホロカメットク山、富良野岳といったような北海道中央部に位置する火山列のなかで十勝岳は活動しています。

(3) 長期的な十勝岳火山群の活動

① 過去約 100 万年間の十勝岳火山群の活動

十勝岳の成り立ちを長期的な視点で見ると、約 100 万年から 30 万年前ごろに連峰の形成が始まっています。周囲は前富良野岳やオプタテシケ火山などが形成され、さらに十勝岳の両側で、美瑛富士火山、富良野岳火山のような火山が次々と形成されました。そして、約 1 万年前になって十勝岳が成長を始めたことが地質学的な研究から明らかになっています。したがって、現在、非常に活動的な十勝岳ですが、その成り立ちそれほど古いものではなく、最近、約 1 万年と考えられています。

② 最近 1 万年間の十勝岳の火山活動

その約 1 万年の活動をさらに詳しく見ますと、詳細な地質学的研究によって概ね 4 つのステージに分けることができると考えられています。

ステージごとに活動の場所は異なり、例えば、中央部が活動しているのは現在ですが、時

期によりマグマの性質も若干異なり、噴火の様式も異なります。噴火の様式とは、水蒸気爆発が主体になる噴火、溶岩を出すような噴火、溶岩を出さないで噴煙を非常に高く巻き上げる爆発的な噴火などで、1 万年の間に 4 回、それぞれ異なるような活動をしているとことがわかっています。

例えば、約 3,300 年前と約 4,700 年前には、火砕流を多量に出すような噴火を起こしましたが、これは山頂に近いところのグラウンド火口で起きたと考えられています。その後、溶岩流を出す噴火をしたこともあります。

噴火のタイプは、噴火を発生させるマグマの性質によって、ある程度決まります。マグマは 1 万年の間に大きく変化し、例えば爆発的な火砕流を出すようなマグマが支配的だった時期もあり、時代が下ると溶岩を出すような少し静かな噴火をするマグマが支配的な時期があります。要するに、同じ十勝岳でも活動にかかわるマグマの性質が地下で徐々に変わっているの、こうしたいくつかの段階に分けることができると考えられています。

(4) 十勝岳火口周辺の地形と地質分布

十勝岳の最近の活動は 500 年前からで、現在噴煙を上げている大正火口や 62-II 火口に集中して水蒸気爆発が起こり、それほど多くないマグマを噴出させるような噴火が支配的です。

地質学的研究によってマグマの大まかな性質がわかります。現在は中央部で比較的静かな噴火をしています。マグマが地下で大きく置き変わらない限り、これまでに起きてきた噴火に近い将来も繰り返すだろうと予想されます。今後の活動で、もし噴出物が出てきて、そのサンプルが今までと同じマグマであれば、これからの活動も今までと同じ様式で続き、もしマグマの性質がはっきりと変わっていると、ここを境に将来は新たな活動に移行するかもしれません。しかし、現在のところ、これまでと同じような活動状況、例えば、1926 年、62 年、88-89 年といったような噴火の経過の類似の活動を繰り返すだろうと予想されています。

噴火によって火砕流や溶岩を出すことがありますが、こうした噴火は現在起こっていませんし、起こるにしても非常に頻度が少ないだろうと思います。過去の噴火については、例えば、約 3,300 年前にグラウンド火口からは火砕流が出て、白金温泉近くまで達したことがあります。それ以降はこうした大きな火砕流は出ていません。また、やや北の火口から、やはり白金温泉に近いところまで溶岩が流れたこともありますが、これも最近では起きていません。

ただ、過去 4~5,000 年の間にそうした噴火を起こしたことがあるので、可能性は非常に少ないと思いますが、頭のなかに入れておくべきでしょう。現在、十勝岳で想定されているシナリオには、頻度は少ないが規模の大きい噴火の可能性が考慮されています。

(5) 十勝岳の過去 1 万年の噴出物量

私たちが火山の性質を見る場合に、どれぐらいのマグマが出るポテンシャルがあるのかを考えます。地質的な調査によると、十勝岳からこれまでに出てきた噴出物量は、1,000 年当たり 0.03 km^3 です。これはマグマの生産量と言い換えてもいいかもしれません。北海道の他の

山と比べてみますと、樽前山が $0.3\sim0.9\text{ km}^3$ で十勝岳の 10～30 倍程度、摩周火山は 1 km^3 です。すので 30 倍余りです。

したがって、代表的な北海道の他の火山に比べて、十勝岳のマグマの量はそれほど多くはありません。ただ、噴火の頻度は、例えば摩周火山に比べて高く、最近では数十年に 1 回の頻度で繰り返しており、過去 3 回の噴火では、火口付近にいた人が噴石の直撃で亡くなったこともあります。また、泥流が発生する場合には 20 km ぐらい離れたところでも 20 数分で泥流が来てしまうので、非常に特異な災害を起こしかねないことがわかります。ただ、純粋な火山自体のマグマの供給量から見ると、それほど大きいものではないのです。

(6) 十勝岳の最近 3,300 年の噴火の特徴

十勝岳の最近 4,700 年間の活動は 4 つのステージに分けることができ、それぞれのステージで特徴的な噴火をしています。現在は、今、噴煙を上げている周辺の火口に集中して繰り返し活動しているので、おそらく今後もマグマの性質が大きく変わらない限りは類似の活動をするだろうということがわかります。

もう一つ、防災上、注意すべきことは、火山活動にかかわりなく、過去 1 万年間に 7 回の泥流が流下していることです。これは堆積物の地質的調査からわかっており、時代をたどってサンプルを調べてみると、必ずしもそのときに火山活動があった証拠はないが、泥流が出ていることが確実にみとめられています。したがって、火山活動にかかわりなく泥流が出るという性格が十勝岳にはあるのかもしれませんが、大正噴火のときに泥流が出ていますが、泥流は噴火に伴って出るものだと思い込んでしまうと、そうとは限らないので、これも防災上、頭に入れておくべきことです。

それから、現在の十勝岳の火山対策や準備体制は、被害が大きかった大正噴火に注目して対策がとられている傾向があります。短い期間に準備体制を積み上げていくためには、それが優先すべきことであつたと思いますが、徐々に体制が固まってくると、これまでに足りない観点を見直し、さらに対策を万全にするために、これまでは脇に置いていた火山の災害要因についても目を向けるべきではないかと思います。

そうした観点の一つとして考えられるのは、ヌッカクシ火口（安政火口）で、現在かすかに噴気を上げ、古い熱変質が進んでいる火口です。活動的な火口から離れているので、あまり集中した対策は打たれていないのかもしれませんが、過去の活動を調べてみると、単独で小規模の水蒸気爆発を繰り返し、若干、岩屑流や土石流を流した活動をしている形跡があります。麓に影響を与えるという意味では、規模の大小はあるにせよ、ポテンシャルとして災害を起こす力を持っているのかもしれませんが、まだよく調べられていないのですが、今後、目配りをする必要があるかと思います。

1962 年の噴火のときには、大量の噴煙が出て道東に火山灰を降らせています。現在は、電子機器を活用した高度化した社会になっているので、計算機に影響を与えたり、電線に影響を与える可能性があります。

このように、十勝岳の噴火の影響は、火口周辺だけではなくて、場合によっては周囲に及ぶこともあるということも理解をしておく必要があると思います。

(7) 火山の主要な災害要因

火山は多種多様な災害を起こす要因になり得ます。例えば、雲仙の噴火で有名になった火砕流は非常に危険な火山の現象であり、御嶽山で多くの人を犠牲にした噴石は火口周辺で非常に危険なものです。

火山にはさまざまな災害要因がありますが、特に十勝岳について注意をすべき現象は、火口近傍では火砕流と火砕サージ、風が強くて噴煙がたくさん出たときには遠くで灰を降らせることもあり得ます。火口近傍では噴石、火山弾が非常に危険です。また、大正噴火のときには泥流が出て、ほとんど火山と関係ないと思われるような地域に大きな災害を及ぼしています。以上のような現象が、十勝岳の場合、特に防災・減災の対象になるのではないかと思います。

強調しておきたいのは、火砕流と火砕サージは爆発性の現象で、噴石・火山弾も爆発とともに飛んでくるもので、火口近傍で発生します。噴火のときに、もし人が近くにいれば生命の危険にさらされます。火山泥流も上富良野に20数分で達していますので、あまり時間的な余裕はありません。

十勝岳でこれまで人が亡くなっている例を見ると、噴石の直撃、またせいぜい20数分しか時間的な余裕がない泥流が特徴的です。したがって、十勝岳で防災・減災を考えるときには、最初の数分から20分ぐらいの間にどう避難するか、また、不幸にして噴火に遭遇した場合に、どうやって身を守るかを考えることが鍵になると思います。

3. 雌阿寒岳の火山活動について

北海道大学大学院理学研究院

教授 村上 亮

はじめに

釧路市周辺には活火山が2つあります。雌阿寒岳と雄阿寒岳ですが、最近では雌阿寒岳の方がはるかに活発です。釧路市の中心部から約50 km 離れていますが、市内からもきれいに山並みが見えます。

防災の観点から言えば、雌阿寒岳の場合には、すぐ近くに人口が密集するところがないので、噴火しても人命を直ちに奪うような被害が起こる可能性は、比較的低いと思います。ただ、ゼロではなく、危険な火山であることには違いありません。また、付近には重要な幹線道路が走っており、阿寒湖周辺には温泉があるので、多くの観光客が訪れています。道路が火山活動で通れなくなると、地域社会に対する二次的なインパクトは非常に大きく、防災上無視できない要素があります。

雌阿寒岳について、最近の噴火の特徴や山の歴史、最近の観測状況、それらを踏まえた防災上の留意点を紹介します。雌阿寒岳はさまざまなシグナルを出す山だということがわかっており、そうした観測情報を使って、できるだけ予測を立てたいと研究しています。今後の対策づくりの参考になればと思います。

1. 雌阿寒岳の最近の噴火の特徴

(1) 現在の活動的火山の様子

上空から火山を見ますと、雌阿寒岳の山頂には、2つの活動的な火山があります。一つはボンマチネシリ火山で、南側を中心に噴煙を上げています。あまり強い噴煙ではありませんが、現在活発に活動している火山です。もう一つは中マチネシリ火山で、両者の距離は1 km 程度あります。最近の活動は、専らこの2つの火山で行われています。

(2) 20世紀以降の噴火活動

雌阿寒岳の歴史記録は、おそらく1850年ぐらいからは確実に残っていると考えられますが、そうした記録で雌阿寒岳の噴火が最初に記録されているのは1955年です。それ以前の約

100 年間は鳴動や地震活動はあったようですが、噴火をしたという記録は残っていません。1955 年以降、ほぼ数年置きに水蒸気噴火を繰り返しています。

2 つの火口のうち、活動の頻度を見ると、1955 年以降 2008 年までに、ポンマチネシリ火口は水蒸気噴火を 11 回、中マチネシリ火口は 7 回起こしています。最近はポンマチネシリに集中していますが、1960 年代は中マチネシリに集中し、それ以前には両方で噴火した時期もあります。ただ、注目すべきは噴火はすべて水蒸気噴火で、マグマが直接、出ていない噴火であるということです。雌阿寒岳の最近の噴火の特徴として、この点が第一に挙げられます。

しかし、非常に精密な分析によれば、1998 年だと思いますが、非常に微量ながら新しいマグマの痕跡があったということです。マグマが地下に全くないということではなく、活動に応じて地上近くまで上がってくる可能性があるということで、このことからマグマ噴火の可能性もある活火山であると言えます。噴火のない時期にも、麓で聞こえるような鳴動や群発性地震が頻発している山です。

なお、このポンマチネシリの周囲に登山道が通っており、防災上の対策を考える場合の一つの出発点になると思います。

(3) 約 12,000 年前以降の雌阿寒岳の活動推移

さまざまな研究によって、約 12,000 年前以降の雌阿寒岳の形成のプロセスがわかっています。北海道釧路総合振興局のホームページには、雌阿寒岳の防災対策や噴火史が掲載されています。それによると、雌阿寒岳の活動推移は、まず 12,000 年前にかなり大きな噴火があり、火山帯の中心部が形成されます。その後、中マチネシリ、ポンマチネシリが噴火して大規模なマグマ活動が起こりますが、その後、下火になり、現在は水蒸気爆発をしているというのが大きな流れです。

2,000 年前に富士山型のきれいな山様をしている阿寒富士という山帯が形成され、このときはマグマが出て、溶岩が流出していますが、それ以降は目立ったマグマ活動はなく、水蒸気爆発が主体になっています。ただ、水蒸気爆発と言っても大小あり、400 年ぐらい前には、少し規模の大きな水蒸気爆発が起きて火山灰も多量に出ました。おそらく周囲に火山灰が降り積もり、その後、降雨があって、何度も泥流が出たということなので、同様の災害の可能性について防災対策上、考慮に入れておく必要があると思います。

(4) 12,000 年前の噴火

いくつか特徴的な噴火活動について見ると、まず、12,000 年前の噴火では中マチネシリが活動の中心でした。このときの重要なポイントは火砕流です。これは非常に危険な災害要因ですが、軽石や火山灰、ガスが混じり合った高温の火砕流が山の周囲に、場合によっては時速 100 km の高速で広がりました。そのなかに巻き込まれると生存は不可能ですが、それが阿寒湖に近いところまで広がったという活動もありました。

また、火山灰も広く降り積もり、おそらく噴火が終了した後の二次泥流や、降雨が降って土

石流になるという活動について、10年単位の長期間見ておく必要があります。

こうした大規模噴火の際にどういう災害が起こり得るかですが、まず噴石が火口から2～3 kmの範囲で飛び散ります。2014年の御嶽山噴火でも報道されましたが、噴石は危険で、噴火が起きそうになったら、立ち入らないようにする必要があります。

火砕流については、1991年雲仙普賢岳の際にも、周囲5 km程度の範囲で広がりました。巻き込まれると、まず助かりません。火山灰については、1991年のフィリピン・ピナツボ火山の例がありますが、立派な構造物でも屋根の上に数十 cm 火山灰が積もると、1 cm³で2 gの重さがあるので、50～100 cm 積もれば積雪で家がつぶれるのと同様に構造物が破壊されます。これに水が混じるとさらに厄介で取り去るのが難しくなりますから、これも大きな災害要因となります。

溶岩流についてはマグマの性質で流れ方なども異なりますが、土石流は流れた両側の領域で建造物が破壊されたりして、生命の危険とともにインフラのダメージという観点からも深刻な被害をもたらします。

(5) 2,500 年前以降の噴火

約2,000年前に阿寒富士がきれいな山形で形成されましたが、そのときには溶岩が噴出し、スコリアという色がついた軽石のようなものをかなり広域に降らせています。こうした規模の噴火も、今後、発生すると国道など社会インフラに与える影響は甚大です。

阿寒富士が形成された後の主たる活動は水蒸気爆発で、御嶽山で発生したようなマグマの関与がない噴火ですが、非常に規模が大きかったり、爆発的である場合もあります。500年前のポンマチネシリの水蒸気爆発は非常に広範囲に火山灰を降らせていますが、そうすると泥流が出るのです。北大名誉教授の勝井義雄先生は、そのときに降った火山灰に雨が降って泥流が出た痕跡を調査していますが、それによると泥流は阿寒湖畔を通過して現在の国道のところに達し、釧路方面への道のそばの川に沿っても泥流が出ています。こうした災害については、事前に逃げておけば、人命への直接の影響はないかもしれませんが、その後のインフラに対する影響は大きいと思われます。

泥流がいつ出るかは、なかなか予測できないことです。避難が終わってから泥流が起きるのであれば、対応の仕方があるかもしれませんが、避難の途中で泥流が出るような状況は最悪です。積雪期に熱い噴火物が出ると、そこで一気に氷や雪が解けます。水が一気に流れるような発生の仕方をした場合には避難途中で泥流が出るかもしれません。主要な避難経路は想定されていると思いますが、そういうところに泥流が襲うと、避難行動が逆に被災を生んでしまう可能性があります。したがって泥流に対する対策やそうした危険性があるときの避難方法については十分な検討が必要です。

その後も現在まで、概ね小規模な爆発ですが、それでも噴煙を火口の周囲に、平均500 m程度飛ばす規模の噴火をしています。

釧路市の雌阿寒岳のハザードマップを見ると、400年前の少し大きめの水蒸気爆発を小規

模爆発と呼んで想定しています。確率は、数十年に1回から数百年に1回という想定ですが、こうした規模では泥流が避難経路に達して流れる可能性があり、そこが重要なポイントだと思います。

最大級の噴火は12,000年前に起こって今まで起きていないので、目前の危険として強く意識する必要はないでしょうが、いつか起きるかもしれないと頭に入れておくべきだと思います。これについても大規模噴火としてハザードマップには掲載されています。

当面考えるべきは、最近は何年に1回は起きている非常に規模の小さい水蒸気爆発に対してきちんと対策を立てることです。

(6) 1955年11月19日噴出物の分布

参考になる過去のデータとして1955年の水蒸気爆発における噴出物の分布を挙げます。北大の佐久間修三先生のデータですが、ポンマチネシリ火口の南側の、今でも噴煙を上げている場所に近いところで噴火が発生しました。噴煙が飛んだ距離は最も遠いところで500m程度です。現在、雌阿寒岳は噴火警戒レベル2で、火口から500m立ち入り禁止の規制がありますが、それは、こうしたデータをもとに判断されています。したがって、もし噴火が発生しても人は立ち入っていませんから、その意味では安全だと考えられますが、御嶽山のように、予知にどれだけ力を入れていても、いきなり噴火するという場合もゼロではありません。そうした場合に、登山道を通る登山者をどう守るかは雌阿寒岳に関する非常に大きな課題です。

2. 雌阿寒岳の最近の観測結果

(1) 最近の活動の特徴

最近の火山活動の経過を見ますと、噴火はすべて水蒸気爆発ですが、1988年の例にあるように、噴火前には鳴動が発生したり、地震回数の頻度が高くなるなどシグナルがあります。それに応じて噴火警戒レベルを上げて規制をかけますので、不意打ちを食らう確率は小さくなりますが、不意に噴火する確率もゼロではないことは理解しておく必要があります。2006年3月、08年11月にも小規模噴火前に微動や地震が起きています。少し活動度が高まっていることから現在、警戒レベルが上がっています。

(2) 地磁気変化

雌阿寒岳では、地磁気の観測を連続的に山頂で行っており、地下の熱の状態に関する情報を私たちに与えています。

火山帯は地磁気があり、山全体が磁石になっているのですが、地下から熱水やガスなど熱が上がって温まると磁石としての力が弱くなります。この温度上昇による岩石の消磁の原理から、地磁気の変化を観測することで地下温度の変化を推測できます。

近年のデータを見ますと、2008年に噴火をした際は磁力低下が顕著でした。その後、14年、15年にも低下の変化があり、これも火口に近いところでの温度上昇をあらわしている可能性があります。このことも警戒レベルを上げる判断の基礎になっています。

(3) 火口外からの噴火の可能性

もう一つ、留意すべき点は、雌阿寒岳の火山活動は全部火口のなかで起こると考えられていましたが、2006年3月に火口の外側で起きました。このときは小規模ですが、泥流が出ています。その先端は雌阿寒温泉に達する前にとまったので幸いでしたが、今後、もう少し強い噴火が起こったり、場合によっては熱水が出てくることもあるので、もっと下まで災害が及ぶ可能性があります。これも準備しておくべき災害要因ではないかと思います。

雌阿寒岳の噴火活動は、ここ数年の間にも起きているので、今後も発生確率が非常に高いと思います。危険なのは噴石で、規模は小さいが爆風や小規模な火砕流が火口周辺で起こる可能性があります。近づかなければいいのですが、不意打ちを受けたときに登山者をどう守るかが今後の課題です。小規模ですが、熱泥流が出る危険性もあります。

3. 防災上の留意点

500年前に起きたような中規模噴火を想定すると、避難経路などを強靱化しておく必要があります。路線が限られているので非常に難しいとは思いますが、工夫が求められます。また、火山灰が積もると車はスリップします。除去も非常に難しいようなので、特に重要な路線に関しては事前に準備が必要でしょう。水蒸気爆発と違ってマグマが関係する噴火の場合は、マグマが地下で動く前にサインで活動を知ることができますので、準備期間がとれるかもしれません。

泥流が出る場所は決まっているので、泥流センサーや震度計を置くなど、そうした場所での検知能力を高めておく必要があります。避難のときに直撃を食らわない準備をすることが重要です。また、火山灰が降ると環境が一変して、避難路の条件が変わる可能性があります、そうした場合への備えも必要です。

4. まとめ

当面の重要なことは、2006年、08年に起きた小規模な水蒸気爆発にきちんと対応することです。周辺の住民にはほとんど影響はないと思いますが、噴石や爆風、低温の火砕流など、登山者や観光客には大きな影響を与える可能性があります。防災・減災の観点から言えば、設置責任の所在はわかりませんが、シェルターの設置が望ましいと思います。これも百パー

セントの安全ではありませんが、これによって助かる命があると思います。

水蒸気爆発でも小規模な熱泥流が出ることがあります。これはシミュレーションが可能ですので、ごく山に近いところの沢筋には「火山活動が活発化したときに、小規模な泥流が出ることがある」という看板を立てて注意喚起するだけでも効果はあるのではないかと思います。

4. 十勝岳の火山砂防について

北海道大学大学院農学研究院

特任教授 小山内 信智

1. 火山災害の特徴

「火山砂防」とは、主に噴火後の土砂移動現象にどう対応するかという防災です。最初に、近年の全国的な火山活動や噴火対応について概論的に触れておきたいと思います。

火山活動に伴うさまざまな現象のなかで何らかの対応ができるものはかなり限られています。例えば、火山ガスは非常に難しく、2000年の三宅島の噴火のときは全島避難しています。島民は5～6年間、帰島できなかったのですが、理由は、泥流の頻発もありましたが、最大の理由は火山ガスが収まるまで、かなり長い年月がかかったことです。

火砕流については1991年6月雲仙岳で、43名が亡くなる災害がありました。場合によっては何らかの対応ができるでしょうが、極めて難しいと思います。溶岩流については、86年伊豆大島の災害で海水を消防のポンプでくみ上げてかけ、流れる方向を変えるような試みをしたのですが、効果は限定的であったと思います。

噴石・降灰については、2014年の御嶽山噴火では、噴石の直撃によって多くの方が亡くなっています。シェルターをつくるなど最低限の対応はあり得ますが、対応策はかなり難しいと思います。

大量の火山噴出物が斜面に張りついた後には、非常に小さな雨でも土石流や泥流が出るようになります。そして十勝岳では、1926年噴火による融雪型火山泥流が大きな災害を起こしました。砂防という意味では、降灰後の土石流、それから融雪型火山泥流に対する対応をとることが重要です。

日本全体で110の活火山がありますが、そのうちの約3割が北海道にあります。北海道における火山活動に対する防災意識は高いと思いますが、今後もそれを維持しなければならないと思います。

2. 十勝岳の火山砂防

(1) 十勝岳の火山活動と火山砂防事業

十勝岳について、今後の噴火の火口がどこになるかは、なかなか予測がつかないことです

が、現在、活動の活発な、大正噴火や 1962 年噴火の火口周辺から起こる可能性が高いということで砂防事業が行われています。美瑛町や上富良野町で行っている防災対策の主眼は、大正泥流に相当するような現象が起こった場合に被害を極小化させることで、そのための工事やソフト対策を行っています。

十勝岳の噴火活動は、概ね 30 年前後の周期でやや大きな活動が起き、前回の昭和 63 年噴火から既に 27 年くらい経過しています。実際に活動度が高いかどうかは観測をしていてもわかりにくいのですが、過去の経験から考えると、相当注意をしておかなければいけない時期に来ています。

大正 15 年噴火の際には、美瑛川、富良野川で融雪による泥流の氾濫が生じ、特に富良野川については市街地に相当大きな被害を与えました。このような被害を減らそうと、北海道と北海道開発局によってかなり集中的な砂防工事が行われています。例えば、非常に大きなサンドポケットを有する連続的なスリット型の砂防堰堤を配置していますが、これだけ巨大な施設を整備している事例は、国内で北海道以外はないと思います。

十勝岳や有珠山など、北海道では比較的最近、火山活動が起こっているので、住民のコンセンサスを得て対応策が進められているのだらうと思います。大正噴火の泥流に相当するような災害規模が一応の目標になっているようですが、その対策のためには相当大きなものを営々とつくっていかなければならず、相当の年月がかかると思います。

(2) 火山噴火緊急減災対策砂防計画

何らかの噴火につながる兆候が見られた段階で、限られた活動期間で実施可能な効果的な被害軽減対策を行うことを目的につくられているのが火山噴火緊急減災対策砂防計画です。恒久施設をつくることだけではなく、仮設的、あるいは一時的な効果であっても、とにかく被害を局限化したり、時間稼ぎできるという発想も含めて緊急的に行う対策が計画されています。

計画では、過去 3 回の噴火シナリオと噴火警報に基づいて活動の変化が時系列的に整理されていますが、実際に対策が行われる期間は、警戒レベルで言えば 3 くらいの状態の間でしかできません。レベル 4 になると避難しなければならないので、実際に防災活動もできなくなります。ごく限られた数日から数カ月の期間にいかに効果的な対策が打てるか、準備することになります。

美瑛町付近の緊急ハード対策に関するシミュレーション結果によると、現状で大正噴火の泥流規模のものが起こると河川周辺で氾濫が起こりますが、緊急的な対応策で、かなりの程度、氾濫の範囲が縮減できることが示されています。

(3) ネバドデルルス火山の教訓

火山について、非常に大規模な現象が起こり得る場合には、ハード対策や緊急対応をやるべきですが、それができない場合は、避難というソフト対策をとらざるを得ないこともあります。それが機能するかどうかの判断は難しいところで、火山災害だけではなく、豪雨による

災害でも同様です。

南米コロンビアで、ネバドデルルイスという火山が 1985 年に噴火し、下流にあるアルメロ市に大きな被害を与えました。この噴火が起こる直前の 84 年に、何らかの兆候が出ていた段階で、研究者がハザードマップをつくっています。ネバドデルルイス火山噴火による火山泥流についての想定区域やアルメロ市の被害の想定が示され、噴火前に行政担当者に渡されたのですが、その結果があまりにも衝撃的だったために、公表すると非常な混乱を招く可能性があるということで結果的に公表されませんでした。

ところが、85 年 7 月に実際に噴火が起こり、2 時間ぐらいだと思いますが、非常に短時間に泥流がアルメロ市に到達し、ほぼ想定通りの被害が出たのです。21,000 人の住民が犠牲になったのですが、想定される災害が大きければ大きいほど、そんなことはあってほしくない、あるはずがないと思ってしまうのです。これは「ネバドデルルイス火山の教訓」と呼ばれています。

十勝岳の場合は、実際に大正時代に噴火災害が起こっているのですが、あてはまらないことでしょうが、一般的には、災害が起こる可能性が高いという情報を提供しても、「そんなことは、今まで自分は経験したことがないのだから起こらない」という判断をしてしまいます。そういう思考の形態を防災分野では「正常化の偏見」という言葉で表しています。

一般的には、災害の経験がない人は「災害が起こります」と言っても、なかなか受け入れ難いところがあります。したがって、ソフト対策は、最近、重視されているものの、きちんと機能するかどうかはなかなか難しいところがあります。ここを克服することが、ソフト対策を成功させるための最大のポイントではないかと思います。

3. 最近の火山活動への対応について

(1) 噴火警報発表中の火山

2011 年の東日本大震災以降、火山活動が活発化し、地震も多くなっているという報告がありますが、噴火警戒レベルが 2 以上になっている火山は全国に 13 あります（2015 年 8 月現在）。北海道は雌阿寒岳のみですが、全国的に見ると、口永良部島は現在、全島避難のレベル 5 の状態になっています。

桜島はレベル 4 ですが、その後レベル 3 に引き下げられています。しかし、ごく最近、かなり大きな噴火が爆発的に起こっているのです。油断はできない状況です。レベル 2 の段階から南岳火口から 2 km 圏内は立入禁止で、3 km 程度の範囲には人家がないので、危機的状态とは必ずしも言えないのですが、本当に大規模な噴火が起こるようであれば、住民は速やかに避難することになっています。桜島は活動がふだんから活発なので、地元の行政、自衛隊などの関係機関など協議会の組織が非常にしっかりしており、避難のための船の手配などはかなり周到に準備されています。箱根山はレベル 3 の状態が続いており、大湧谷の周辺は立

入禁止が続いています。

一方、十勝岳ですが、融雪泥流に対する対応で非常に大規模な対策が行われています。美瑛川や富良野川については少々の豪雨では氾濫する状況では、もはや、なくなっているはずです。しかし、火山噴出物がどの方向に飛ぶかは、そのときの風向きや火口の形成された場所によって変わってしまうので、大きな河川沿いの対応だけではなく、人家集落のすぐ近くの斜面に火山噴出物が大量に張りついてしまった場合には土石流の被害も心配する必要があります。

一般的に、融雪泥流は比較的限られたエリア、つまり、積雪地域以外はごく限られた期間しか心配する必要はないのですが、降灰後土石流に注意する必要があります。ですから、美瑛川、富良野川以外のところで、もし災害が起こるとすれば、そうした降灰後土石流の災害の可能性もあります。

(2) 雲仙普賢岳

降灰後の降雨による土石流の発生メカニズムについて、雲仙普賢岳を例に見てみます。ここでは溶岩ドームの崩壊によって発生する「メラピタイプ」と呼ばれている火砕流が、2年くらい続き、もともとの谷を埋め尽くしてしまいました。その後、時間雨量 10 mm 程度でも土石流、泥流が頻発するような状況になったのです。

活火山の地域なので、大きな扇状地形を呈しており、最初の段階の土石流、泥流は海に向かって直進するように氾濫を起こしました。緊急的にサンドポケットをつくるなどして、最初はその間に閉じこめることができたのですが、徐々に河床が上がってきたために、再度、氾濫し、結果的に全く人が住めるような状況ではなくなったのです。2年ほどの間に何度も土石流や泥流が流れてきてこうした状態になったということです。

なぜ、噴火が起こって噴出物が斜面に張りつくと泥流や土石流が出やすくなるのか。通常であれば、斜面の表土は透水性がいい場合が多く、少々の雨が降っても水は地中にしみ込んで表面に流れることはありません。ただし、大雨が降れば徐々に地下水が上がってきたり、表面流が発生したりして斜面が崩壊して土石流化することはあります。火山噴火によって噴出物が斜面にべったり張りつくと、最初の段階は火山灰が水を吸収するのですが、何回か繰り返されることで表面の火山灰がモルタル化して固まり、粘土質になって、次に降った雨が全くしみ込まない状態になるのです。その結果、雨量が少なくても、斜面に降った水が全部一斉に谷の中に集まり、豪雨が降ったのと同じような状況が谷のなかにできてしまいます。そして、谷にたまっていた不安定土砂が流動化し、土石流が発生するのです。すなわち、斜面に張りついたものがたくさんあるから土石流や泥流になるのではなく、斜面がコーティングされることによって雨が一気に集中するから土石流や泥流が発生するのです。

(3) 霧島山新燃岳噴火

そのような降灰による土石流災害が心配されたのが、2011年1月の霧島山新燃岳噴火で

す。宮崎県と鹿児島県の県境で噴火が発生しましたが、火山灰の堆積状況や降灰状況について調査しました。一応、降灰厚 10 mm 以上のエリアについては注意が必要だということになっています。このぐらいで本当に危機的かと言われると、判断は難しいのですが、気を付けるべきエリアとして 10 mm の降灰ラインを採用しています。

このエリアに急勾配の斜面を持った溪流があった場合には、そこから土石流が出やすくなるということで、ハザードマップにシミュレーションした結果を示しています。ただし、シミュレーションは、このエリアに地域の既往最大雨量の雨が降った場合や、浸透度がゼロになって降った雨が全部谷に集まるというような極端な場合を想定して行われています。

では、土石流はどのようなタイミングで起こるのか、どうなったら来ないのかということですが、雨の条件も示す必要があります。霧島の場合は、火山噴火後の土石流が起こった実績が、データの残っている期間にはなかったので、基準雨量を決められませんでした。それで雲仙普賢岳や 2000 年の三宅島の実績を参考に初期値を決めざるを得なかったのですが、その結果、1 時間に 4 mm の雨が降った場合には土石流が発生する可能性があるということになりました。実際、雲仙や三宅島では、そうした程度で発生しているのです。

ただ、実際には 1 時間 4 mm の雨は大した雨ではなく、その後、実際にそれ以上、雨が降ったが、土石流は発生しないということを何回か繰り返すたびに基準雨量は引き上げられていきます。

ハザードマップには「最大こんなことが起こり得る」ということが示され、地元やマスコミに公表されるのですが、やはり混乱が生じます。時間 4 mm の雨はよくありますし、気象台は災害の懸念から、通常の予報よりもさらに厳しく予測を出すことがあります。そうすると、ハザードマップで示されたエリアの住民には頻繁に避難勧告が出されることになります。さすがにそれはおかしいという声が上がって、徐々に見直されたのですが、かなり混乱が生じました。ですので、情報がどういう場面に適用されるのか、防災担当者も市民もしっかりと理解して運用する必要があり、この点は重要です。

(4) 霧島山噴火に対する避難体制と課題

霧島山噴火の際の避難体制整備に必要な情報の整理フローを見ますと、まず、「どのくらい噴出物が張りついた範囲があるか」という土砂災害緊急調査を行い、基準雨量などを設定します。霧島の場合には、自前の基準がなかったので非常に苦労したわけですが、十勝岳の場合には基準があるので、それに近い状況になったら避難することになります。

そして、実際、雨が降ったときにどうだったのかを検証します。降ったが、何も起こらなければ、基準雨量をもう少し引き上げたほうがいいのではないかという見直しをするのです。一方、降って何らかの現象が起こったが、想定していた氾濫区域よりも広いところまで土砂が到達したということになれば、それも見直さなければなりません。さらに新たな降灰を伴う噴火が起こると、そもそも従来の範囲や基準が適用されない可能性があるので、もう一度最初から見直すことになります。

こうしたルーティンを繰り返さなければいけないので、当初は1カ月ぐらい見ておけば概ね終息するのではないかと思っていたのですが、そんなことは全くありませんでした。その後、大きな噴火はなかったにもかかわらず、基準雨量を通常に戻すのに半年、それから体制を解除するのに約1年かかっています。大規模な噴火でなくても、それほどの長期間の対応が必要になるので、十勝岳で想定している現象であれば、相当長期間にわたって体制を維持せざるを得ないのではないかと思います。

霧島の場合、梅雨期に雨は何度も降っていますが、土石流は発生しませんでした。それで徐々に基準は上げていっているのですが、本当に発生しないかという点で非常に微妙です。新燃岳東側斜面のガリの状況を見ると、谷地形のところに集中していく様子がはっきり出ているのです。もう少し下流側に行くと、土砂がたまっており、火山灰がたまって相当侵食されているところもあって、実際、土砂移動現象は起きているのです。

しかし、緊急減災計画が既に2年前ぐらいにできていて、それに準じて緊急要請などを行っていたので被害はありませんでした。その後、徐々に土砂が出て満砂した状態になった砂防堰堤がいくつも確認され、下流には土砂は出ていないが、山の斜面では土砂移動現象が確認されています。ですから、こうした状態を土石流が出なかったという評価にしてよいのかどうかは、かなり慎重に判断しなければいけないと思います。

(5) 霧島山噴火に関する政府支援チームの取りまとめ事項

この霧島山噴火のときには、土砂災害だけでなく、さまざまな障害が出たので、内閣府がヘッドになって政府支援チームをつくりました。現地に担当者が張りついて、さまざまな観点から、都城市、高原町などを中心に生ずる問題に対して効率的に対応するように調整、指示する役割を担いました。さまざまな省庁から人が派遣されていましたが、私も国交省の隊員として参加し、対応策の取りまとめを行いました。

その取りまとめ事項には、噴火活動が活発化した場合の避難計画策定のガイドラインづくりで、「いつ」、「誰が」、「どこからどこへ」、「どうやって」、「避難にかかる時間は」などを明らかにすること。また、砂防に関して、土石流の対応の仕方やさまざまな観測データの共有化について混乱がないよう調整するための体制の構築、また、直接的な被害に直結する噴石、火山灰、空振への対処、さらに降灰を除去するための緊急的な対応として道路、農業、特殊林産振興関係、公園・宅地・下水道、教育施設、社会福祉施設について対策を講じ、雇用関係事業を活用して、効率的に処理するなどの対策計画などが挙げられています。

噴火災害では、非常にさまざまなことが起きて、準備することは大切ですが、想定した通りにはならないので、関係機関の意思疎通をスムーズにすることが重要です。

5. 人の生活を脅かす水と土砂の災害

—「場」を知って災害に備える—

北海道大学大学院農学研究院

特任教授 丸谷 知己

はじめに

「突発災害防災・減災共同プロジェクト拠点」では、自然災害に関するさまざまな専門分野の研究者が、研究活動を始めていますが、最初に、この拠点名称の「突発災害」という言葉について触れたいと思います。

私たちが研究している科学は、通常、繰り返しのある現象を扱うもので、繰り返しのない現象は扱いづらいというところがあります。例えば、一人の人間が生きている間に1回だけ災害に遭うとしたら突発ということになりますが、それは自分の人生を基準にした見方です。例えば、祖父から自分まで三代の百数十年間に3回災害に遭うと繰り返しになります。ですから、「突発」で起きた様にみえる災害も、実は「突発は突発ではない」ととらえ、自分の生きている時間を越えて起こる災害に対しても十分理解を深めておかなければいけないと思います。実は、めったに災害のない場所の方が怖いのであり、災害の記憶のないところほど災害に遭ったときに悲惨な目に遭う、と考えておいた方がよいでしょう。

私が以前に勤務していた九州地方の人は、雨については非常に慣れていますが。時間雨量50、60 mmでも逃げるすべを知っていますし、被害にあいにくいような家の建て方などもあります。このような地域に較べて降雨の経験のない地域では、降雨による災害に対して弱いということです。

1. 日本では、なぜ自然災害が多いのか

(1) 地面のさまざまな動き（地象）

日本ではなぜ自然災害が多いのでしょうか。大きく分けて3つの原因があります。①地面の動き、②空の動き（気象）、③人間の動き、です。

まず、地面の動きですが、日本は北アメリカ、ユーラシア、太平洋、フィリピン海の4枚のプレートの出会うところに形成された島嶼列島で、これらのプレートのほぼ重なり合う地点に富士山があります。2つのプレートがぶつかった境界が、いわゆるプレート境界で、北アメリカとユーラシアプレートの境界がちょうど稚内の真下あたりにあります。

地球規模で見ると、太平洋プレートがどんどん広がり、周りの北アメリカ、ユーラシア、オーストラリアなどのプレートの下に潜り込んでいく動きがあって、これが自然災害の大きな原因になっています。

日本の場合も、太平洋プレート潜り込みが原因となって地震や津波が起これ、火山活動や隆起した山からの土砂生産が激しいために、土砂災害が頻繁に起きることになります。

(2) 空のさまざまな動き（気象）

空にもさまざまな動きがありますが、一番大きな影響はモンスーン、つまり偏西風です。台風軌道や梅雨前線はすべて偏西風に影響されています。概ね北緯 30、40 度あたりの 1 万 m 上空で西から東に毎時 100 km 以上の強風が吹いています。このように日本列島は、気象条件においても非常に災害に遭いやすい条件がそろっています。

偏西風のおかげで、日本は年平均降水量も多く、世界で第 6 位です。フィリピンやインドネシアは 2,000 mm 以上で別格としても、日本は 1,718 mm で、ニュージーランドなどとともに非常に雨の多い地域に属しています。

(3) 人間のさまざまな動き（気象）

自然災害の原因として人間の動きがあります。北海道は全般に人口密度が少ない地域ですが、過疎化している地域も札幌のように人口集中地域もそれぞれに新たな災害の原因をつくっていると言えます。

災害は人間がいるから起これます。人間のいないところでは、いくら山が崩れようと、川があふれようと、それだけのことで災害にはなりません。人間がどのように住んでいるか、どのように産業基盤として利用しているかということが、災害の大きな原因になっています。

日本の人口推移を見ますと、北海道の開拓が始まった 1868 年は、ちょうど全国的には人口が急増する直前です。1900 年ごろから急速に人口が増え始め、その人口は山間地や河川や火山の付近など、本来なら人が住まない様なところに進出していったと言えます。

北海道は、特に農業王国ですので、農業従事者が多く、牧畜を含めて山裾や火山の山麓に町や村を展開することになります。都市の広がりについて札幌を見ると、私が学生であった 40 数年前には人口 80 万人ほどでしたが、当時は何もなかった山麓に、今は市街が広がっています。10 数年前に札幌に戻りましたが、本来、町ではなかったところにびっしりと建物が建つようになっていました。しかも、以前は土石流危険渓流に相当するような谷だったところが完全に埋め立てられて住宅地になっていたりします。新しく宅地になると、過去の地形は全然わからない状態です。

位置エネルギーの観点から考えますと、100 年前の町並みはせいぜい 10 m 程度の高さしかなかったのが、現在の札幌市内では高層マンションや JR タワーなどが建ち、耐震構造になっているとは言え、100 m 以上の高さになっています。これは、いわば位置エネルギーが上がっているということですから、地震や火災などさまざまな災害に対してますます弱くなっている

ということです。人の命だけではなく、通信施設や道路などさまざまな面で脆弱化していると言えます。

このように、人間の要素を入れて考えると、自然災害というのは「農業、林業など人間の生産活動が引き起こすダメージ」と「家屋や人命やインフラなど人間や社会が受けるダメージ」の両方から成っていると思われます。つまり、自然災害は自然が動けば起こるわけではなく、「自然と人間社会の相互作用」によるものであることを理解することが重要です。

自然災害というのは、位置エネルギー、つまり高いところにあるものが下に落ちていくことによって運動エネルギーを得ることでもあり、人間社会にとっては、ある種、宿命でもあります。例えば、土砂災害は、水と土砂が位置エネルギーの高いところから低いところに動くことで起きます。これは、私たちがデコボコの地球上に住んでいる限り、永久になくならないことです。同時に、日本のような狭いところにひしめき合って住んでいますから、災害に遭わないはずがない、つまり、自然災害は未来永劫、無くならないと言えます。人は病気やけがを免れることはできないように、自然災害から逃れることはできないのです。そういう意味で、医学と災害科学は似ており、手法的にも、抱える問題の重要性も非常によく似ていると思います。自然災害は永久になくならないのですが、それに対して常に技術的な開発をして、人間の住まい方なども考えていかなければならないということです。

このように人間は自然災害に対して、なるべくダメージを軽くしようと、うまくつきあっていくしかありません。例えば、火山噴火による土石流や泥流などは、人間がダムをいくつかつくれば防げるというものではありません。人間が力でとめて防災できない場合には、何とかエネルギーを少しでも減らすよう対策したり、人間がもう少し安全な側に住んだり、産業のあり方を変えるなどしてダメージを軽くすることしかないのです。

2. 土砂災害とは何か

(1) さまざまな土砂災害

土砂災害のさまざまな事例を紹介します。

①深層崩壊

最近、新聞などでも報じられている災害で、少し問題がありますが、要するに深いところから崩れ落ちるのが深層崩壊です。最近では、宮崎県椎葉村大河内地区（2005年）の例など多数あり、紀伊半島や九州の豪雨災害でも見られます。

②表層崩壊

表層崩壊は地震や豪雨のときに比較的起こりやすく、山地では、樹木の根が張っていれば安全だと言われることもありますが、逆に樹木が生えたことによって地表面が板状体になっ

て、地震のときなどに滑り落ちるといった現象もよくあります。

③地すべり

地すべりは、近年の気候変動で、北海道など積雪寒冷地で多発しています。春先は気温の上昇速度が非常に速く、そのため融雪水が地面のなかで過飽和になります。それで地すべりが発生しますが、札幌近郊の中山峠など道内各地で、こうした融雪型地すべりが多発しています。

④河道閉塞と天然ダム決壊

地すべりも崩壊も、崩れた土砂はそれで終わりではなくて、その後、河道閉塞すなわち、谷を塞ぎ川の流れをせき止めます。河道閉塞がそのまま続くと、天然ダムとなり決壊するおそれがあります。河道閉塞がもたらす天然ダム決壊も道内各地で近年起こっている現象です。

⑤土石流

私たちが最も頻繁に取り扱う現象が土石流です。火山噴火などで生産された土砂が移動する現象で、谷地形であればどこでも発生しますが、例えば利尻島の火山でガリ（深い谷）ができ、そこから土石流が発生して、海岸まで到達して昆布やホタテの生産に被害を与えたことがあります。去年は恵庭岳で発生し、支笏湖にまで到達しました。

⑥流木

地上面には樹木が生えているので、崩壊や土石流とともにこれらの樹木が流れてきて流木化します。これらが住宅などに突き刺さると、被害が何倍かに増加することがわかってきました。流木災害は非常にダメージが大きいのです。

⑦火砕流・火山泥流・二次泥流

雲仙普賢岳や三宅島など火砕流の例はよく知られていますが、道内でも利尻や十勝岳などの火山で見られます。火山泥流は火砕流の直後にも起こりますが、北海道では特に融雪型の火山泥流の被害があり、十勝岳では 85 年前に融雪型火山泥流によって 150 名近い人が亡くなりました。

二次泥流の例では、2013 年伊豆大島三原山山麓の台風による土砂災害があります。火山噴出物の厚く堆積した山麓斜面が降雨により一気に崩れて土石流化して流れました。

(2) 土砂災害の発生件数

日本の土砂災害の危険場所は、国交省によれば崖崩れ、地すべり、土石流で、全国 52 万カ所となっています。また、土砂災害発生件数は、2013 年で 941 件となっていますが、さらに小規模なものを入れると、相当、多いでしょう。過去 10 年間平均値では年間 1,000 件程度の

発生となっています。

(3) 「土砂災害」とは何か

大雨・台風、地震、火山噴火について予測や予知がされていますが、例えば、大雨で雨に打たれても風邪をひく程度のことで、通常は死ぬことはありません。地震も地面の揺れ自体で死ぬことはなく、火山も遠方で噴火している限りでは、人間に直接被害を与えることはありません。

では、なぜ、台風や地震、火山噴火で、家が潰れ、人が亡くなるかです。大雨ではあふれた水や流れた土砂で人が亡くなり、家が壊れます。地震では崩れた土砂でも人が亡くなり、家が壊れます。火山も噴火で発生した土石が流れたり、伊豆大島三原山の災害のように、かつて火山碎屑物がたまったところに大雨があって流出すれば、被害が発生します。このように、被害というものは、豪雨や地震、火山そのものによるのではなく、それによって生産された土砂や、その後生育した樹木が、降った雨で動くことにより、発生します。

地震、火山、豪雨、強風によって、地すべり、山崩れ、土石流、火砕流、噴石、降灰、建物崩壊、河岸決壊、洪水氾濫などさまざまな現象が起こり、こうしたことをまとめて「土砂災害」と言いますが、すべての物質はいつか壊変し、位置エネルギーの高い場所から低い場所へ移動することによって発生するのであり、その運動エネルギーが災害の規模に相当するということです。

したがって、人の生命や資産を破壊するのは、雨や地震、火山でなく、それによって動き出す水と土砂であるということになります。「土砂災害」とは、一言で言えば、位置エネルギーの運動エネルギーへの変換であり、高いところにあるものは必ず落ち、落ちた分だけ力を持つということです。これは地球上のあらゆる存在の宿命であり、私たちは、落ちるものをいかに落とさないかというよりも、そこからいかに身を守るか、いかに軽減するかに留意すべきであると考えます。

3. 人間が引き起こす土砂災害

人間が引き起こす災害もいろいろあります。産業を興したり、町をつくることによって土砂災害の原因をつくっているのです。大きな災害となった外国の事例を紹介します。

(1) 中国・黄河流域：階段耕作と森林造成

中国の黄土高原の黄河では、昔から少ない天水を畑全体にいき渡る様に階段耕作をしていました。しかし、耕作地に蓄えた水が地面を掘り、ガリー浸食が進みました。周りの木は後に植林したのですが、すでに進行した浸食の防止には間に合わないという状態で、黄河に土砂が流れ込んでいます。やがて、これらの土砂は東シナ海にまで堆積するため、海は浅くな

り、近海漁業ができなくなっていました。それによって、中国は新たな漁場を別のところに求めて進出していくことになります。

(2) ニュージーランド・北島ワイアプ川流域：牧草地の造成と造林

ニュージーランドは国土面積が日本の 80% ぐらいで、北海道とよく似た歴史を持っています。150 年ぐらい前にイギリスやフランスからの移住者が入り、もともとは森林だったところを伐採して放牧地にしたのです。その結果、山がどんどん崩れ始めて、河川は土砂堆積のために表流水がなくなりました。100 年経って上流の土砂が下流部に到達し、河床が上昇し、砂礫だけの川になって、川幅は 300 m にも達しています。

(3) タイ・カンチャブレ地域：粗放過耕作

タイでは急激な人口膨張の時期があり、農村地帯に新規農耕者がたくさん入り過ぎた結果、粗放な畑作による過耕作が起きました。例えば、開発した畑作地のあぜ道はずっと人間が踏み続けたために浸食が進み、その土砂が河川に流入して河床を高め、洪水氾濫の原因になっています。

(4) オーストラリア・ピクトン地域：森林伐採・過放牧

オーストラリアは、ニュージーランドと同じく、160～80 年前にヨーロッパ人が入植し、牛や羊を放牧しました。過放牧によって地表面の浸透能が落ち、地盤が固くなり、地表面を流れる雨水の集中によって各所にガリー浸食が起こっています。ガリー浸食は一回発生すると、土砂で埋めてもまた掘れてしまい、元に戻らないのです。

(5) 北海道：放牧地のガリー浸食、河床低下

道東地方では数十年前から開拓が進み、放牧地が広がっていますが、牛馬が踏み固めた牧草地は固くなり、近年、ガリー浸食が進行しています。

また、道南や道東など北海道で著しいのは河床低下です。日本各地の川で起こっていますが、川に入ってくる土砂の量と出ていく土砂の量のバランスが狂い始めていることに起因します。河川を直線化したことも一つの原因にはなっています。河岸が不安定化するので、橋脚や護岸、川縁の住宅や道路が川に引き込まれて落ちていくような状況が起こり始めています。

4. 自然災害と人間の未来

(1) 「場」を知る

災害は、人の生活があって始めて起きるものです。人の生活を直接脅かすのは雨や地震、また、火山でもなく、そこから生産されて氾濫する水と土砂です。そして、水と土砂は、場所

の形、性質すなわち、地形や道路の状況などによって特徴的な動きをします。その場では人の生活も営まれ、場を変化させていきます。

ですから、場を知って災害に備えることが重要になるのです。もちろん、雨や地震を予測することも必要ですが、その前にまずは場を知って災害に備えることです。しかし、これまでは場を知って災害に備えることは重視されてこなかったと思います。

(2) 鬼怒川を取り巻く「場」の特徴

2015年9月10日の鬼怒川洪水災害について、地形の特徴を見ると扇状地と段丘があります。扇状地とは、もともと運ばれてきた土砂が氾濫して、広い範囲に扇形に堆積してできたものです。それが2つあり、川が決壊すると、2つの扇状地の表面に土砂が広がり、それによって洪水の範囲が広がっています。つまり、地形として、どういう場所なのかがわかっていれば、洪水が来れば危ないということがわかります。

ちなみに、その後の新聞報道によると「ここまで水が来ると思わなかった」というような発言が出ていました。しかし、扇状地の先端部は、もともと水利がよいので、田畑が集中するものであり、それが土地利用の原則です。ですから、時間はかかっても、当然、水が来るのです。そうした場の性質を理解していれば、ある程度、災害に備えることができるということです。

(3) 天災は忘れた頃にやってくる

「天災は忘れた頃にやってくる」という言葉は、寺田寅彦が言ったと言われています。しかし、実は寺田寅彦の本のどこにも書かれていません。これは、北大の雪の研究者として高名な中谷宇吉郎が、自分の恩師である寺田先生がそう言ったと、自著のなかで書いているのです。ですので、厳密に言うと、これは中谷宇吉郎が言った言葉です。

「天災は忘れた頃にやってくる」という言葉は、錯覚を与えていると思います。天災は別にやってくるわけではなくて、災害に「なる」のであり、「起きる」のです。そして、「忘れた頃」ではなく、「忘れる」からこそ、災害に遭うのです。正確に言い直すと、「災害は忘れたときに、また起きる」というのが正しいと思います。

北海道の場合、現在は開拓4代、5代目の世代だと思いますが、先祖が北海道に入ったころに1回災害に遭ったとしても、そんな記憶は薄れてしまって、孫の代には全く災害がないと思いきこんでいる場所もたくさんあります。そこでは、災害が忘れられているわけで、災害の記憶はないのです。災害がどのように起こったかを時間的な経過で忘れてしまうということも、災害の一つの大きな原因だと考えています。

(4) 災害経験を忘れないまちづくり

宮崎県椎葉村大河内地区は、過去に何度も土石流に襲われた地域です。大雨の多い九州でするので、どれぐらいの規模の土石流が出るか、住民はある程度知っています。ここでは土石

流は1954年、2004年に来たことから、それはきちんと今に言い伝えられています。それを計算して、集落の場所は、一定の高さのところから下りないようにしていたのです。新しく村に入ってきた人は、安全でない下の方に住んだりするのですが、小出博氏の『日本の国土』によると、本家は扇状地や高台に残し、分家は下流側に住むなどと決めていた時期もあったということです。

(5) 「場」を知るためのツール

「土石流危険渓流」と明示するサインボードや、避難場所を示したハザードマップなどは、場を知る上での重要なツールになっています。また、地すべり分布図や大規模崩壊分布図については、最近、レーザープロファイラーという技術によって、これまでの空中写真をもとにした分布図よりはるかに正確なものが作成されるようになりました。空中写真では、樹木の表面（樹冠部）をもって地形としていたのですが、レーザープロファイラーは、樹木を通り越して地面を直接計ることができ、1m間隔程度でレーザーが当たり、地形を読み取ることができます。そうすると、地すべりによるシワや崩壊の割れ目も拾い上げることができます。

昔は地面をはい回って調査したのですが、現在はレーザープロファイラーによって、昔10日かかったことを1時間ぐらいで答えが出せるようになりました。地すべり分布図や崩壊分布図として、場を知る有力なツールとして発展しています。

(6) 防災教育

場を知るためには、防災教育も重要です。文部科学省のプロジェクトで2年ほどかかわったのですが、研究成果を生かして小学校や中学校で災害に関する現象を伝え、まちづくりはどうすればいいのか、考えてもらうような取り組みをしました。

例えば、実験によって、科学的に火砕流の現象を起こして見せたり、模型で火山泥流を再現して理解してもらったりということをしました。研究で素材として使うものを小学校や中学校で防災教育として活用して、実際の災害のメカニズムを教えることで災害の知識を正しく与えることができます。

(7) 「時の予測」と「場の予測」

これまで、地震や豪雨、火山噴火の「時の予測」については相当な国の資金をつぎ込んで研究されてきました。しかし、自然災害がどこで起きるのかという「場の予測」については、国は重視してきませんでした。国土交通省や北海道開発局が取り組んできたことだと思いますが、これからますます重要になると考えられます。

「どこで」という場所が特定できない限り、「いつ」を知らせても住民は逃げようがありません。安全な土地の利用の仕方もわからないままです。今後、大事なものは「いつ」ではなく「どこで」を明らかにしていくことだと思います。

災害については昔から、さまざまな言い伝えがあります。例えば、東日本大震災の津波の

ときに有名になった言葉に「高き住居（すまい）は児孫（こまご）の和楽（わらく）、…此処（ここ）より下に家を建てるな」があります。また、「尾根筋のブナ、ミズナラは伐ってはならぬ」とか、「沢の水、止まればたちまち山津波が来る」。さらに「蜂の巣の高き年には、大水が出る」などがあります。これらの言い伝えは、場の特徴を伝えています。ここは危険だということで、人間は、直感的に場の危険性を感じる、あるいは感じるべきだと言われてきたのです。今後、もう少し科学的に、場の特徴を知るべきではないかと思います。

時の予測として、これまで降雨予測、地震予知、火山噴火予知がなされてきたのですが、今後、優先すべき災害対策は、土地利用の再検討、危険地予測、そして避難場所や、避難経路だと言えます。

昨年、札幌市で約 40 万人を対象に避難警報が出ましたが、避難した人はわずかでした。大きな原因の一つは避難経路が明示されていないことでした。避難所の小学校に行くと言っても、どこを通ればいいのかわからない。それでは、かえって逆に災害を起こします。避難経路まで含めてきちんと避難場所に行けるようにするという、つまり場の予測こそが、これからの災害軽減の鍵であると思います。

逃げるためには「場」を知ることが必要です。かつての第一次産業型社会時代では、農業など、一定の場所にとどまる時間が長かったのですが、現代のような高次産業型社会では、人間は広範囲に動き回ります。そうすると、行った先々の場所の情報がなければ危険極まりないということになります。逃げるためにも場の情報を知ることが非常に大事です。

(8) 自然災害を軽減するためには

私たちの「突発災害防災・減災共同プロジェクト拠点」では、さまざまな分野の研究者が集まっていますが、それぞれの研究成果を地図上にハザードのレイヤーとして重ね合わせて、安全地帯を見つけるという取り組みをしたいと考えています。

住民の目線からすると、洪水だけではなく、火山だけではなく、土砂だけではなく、すべての災害が、自分の住む場で起こる可能性があるわけで、個々の専門家が危険性を提示するだけでなく、それらを重ね合わせた状態を知りたいはずです。重ねていって、例えば、ある町については、どういう場所が安全地帯であり、そこに行くためにはどういう避難経路があるのかを明らかにしていく必要があるということです。

私たちの「突発災害防災・減災共同プロジェクト拠点」では、さまざまな分野の研究者による複数の知見を重ね合わせ、地域としてはどのような防災対策をすればいいか、まちづくりをすればいいか、産業のあり方を考えればいいのか、などについて提言できればと考えています。従来の災害研究では十分取り組まれていない「場の科学」を、自然科学、社会科学の各分野が連携して一つの拠点をつくり、目指していこうとしています。

Ⅱ

都市地域における 複合的リスクへの対応



1. 突発災害（地震・津波）に対する防災・減災

北海道大学大学院理学研究院

教授 谷岡 勇市郎

1. 津波災害に対する備え

(1) 2011 年東北地方太平洋沖津波

東北地方太平洋沖地震は宮城県沖を震源に、長さ約 500 km、幅約 200 km の領域が非常に大きく動いて巨大地震が発生しました。それによって津波が発生し、三陸地方から北海道、また茨城県、千葉県にかけて非常に大きな津波災害が発生しました。

多くの研究機関の調査結果を合わせて各地の津波の高さをプロットしたデータがありますが、これによると、三陸地方では 40 m 近い津波があり、北海道沿岸では 5 m ぐらいの津波があったことがわかります。一方、津波の高さにはばらつきが大きく、例えば三陸地方では 40 m のところもあれば、10 m を切るような場所もあります。このことから、気象庁が津波を予報する際の難しさがわかります。予測を正しく出したとしても、近い地域で予測の半分、あるいは倍の高さの津波が来る可能性があるということです。

津波は、海底地形と海岸地形に影響を受けるので、海岸がどういう地形をしているかによって高さが異なります。したがって、気象庁が 5 m と予測しても、10 m 程度の津波が来てもおかしくないという感覚を持って避難したり、行動することが大切です。気象庁の予測は 5 m だから、防潮堤は 5 m あるから大丈夫などと安心するわけにはいきません。ばらつきがあるという感覚を持つておくことが非常に重要です。

東北地方太平洋沖地震のときの北海道の津波被害の例を見ますと、えりも町には 5 m 程度の津波が来て、町は浸水しました。漁港に非常に大きな被害があり、津波は防潮堤を越えて市街の方に及びました。

(2) 北海道の巨大津波

①霧多布における 20 世紀の地震の津波浸水域

北海道で過去に起こった津波の例を見ますと、1952 年の十勝沖地震津波があります。これによって霧多布が浸水して非常に大きな被害が出ました。冬だったので、流水が津波によって運ばれ、それが家屋に当たり被害を拡大したと言われています。1960 年のチリ地震津波でも霧多布は広範囲に浸水しています。

②霧多布における津波地積物調査

北大の平川一臣教授は津波堆積物調査で知られています。この霧多布の2000年ごろの産総研による調査結果によると、17世紀の津波は前述の1952年津波や60年チリ地震津波の浸水に比べて非常に大きく奥まで浸水していることがわかりました。このことから、以前にマグニチュード8.5程度の地震が起こっているのではないかと推測され、その対策として釧路市などで津波ハザードマップがつくられています。

北海道太平洋沿岸における津波堆積物調査の結果を見ますと、地面を掘って調べた柱状図から、約2,700年前の樽前火山の火山灰などが見られ、3,000年間に8回程度、大きな津波が入ってきたことが明らかになっています。太平洋沿岸の津波高と津波堆積物痕跡比較から、2011年東北地方太平洋沖津波の後、それまでに調査された津波堆積物から津波の状況が明らかになっています。

③大津波（巨大）ハザードマップ（釧路地区）

北海道は、こうした太平洋沿岸の津波高と津波堆積物痕跡比較のデータをもとに津波の浸水予測をしようとデータを公表しました。それに沿って各自治体は「津波ハザードマップ」をつくっており、釧路市の場合は「大津波（巨大）ハザードマップ（釧路地区）」があります。

これを見ますと、釧路の市街地のほとんどが浸水するということが示されており、釧路市はこれに対応するために、高い建物を避難ビルに指定し、そうしたところに逃げるように避難対策を立てています。さまざまな避難対策を立てながら防災訓練を行っているのが現状で、釧路だけでなく、太平洋側のさまざまな地域でこのような防災対策が行われています。

(3) 日本海側で発生する巨大地震

①1993年北海道南西沖地震（奥尻島青苗地区）

日本海側で発生した地震の例では、北海道南西沖地震があります。マグニチュード7.8で奥尻島に非常に大きな被害をもたらしました。津波の高さは、最も高い藻内地区で約30mあり、青苗地区では200人以上が亡くなりました。高台に避難したのですが、第一波は概ね地震発生から6分後で、さらに方向を変えた津波が来たのは18分後でした。こうしたことから大きな被害があったと言われています。

注目すべき点は、火災が起こっていることで、これが被害を大きくする要因になりました。2011年東北地方太平洋沖津波のときも気仙沼で大きな火災が起こって、それが被害を大きくしています。津波は水の波なので火災は起こらないと思われがちですが、実は非常に火災が発生しやすい状態になります。特に、港湾施設があると船の往來を支えるための重油の施設があり、重油自体は火がつかないのですが、壊れた家の木材が重油を吸って火がつくと燃え広がってしまうのです。

その後、奥尻島では防災対策がなされ、青苗地区の小学校などは校舎の下側を空けて津波が抜けるようになっています。また、漁港で働く人が避難できる施設や防潮堤がつくられた

り、川の水門に地震計をつけ、異常な事態になると自動的にゲートが閉鎖するという構造物もつくられました。

②構造物に頼りすぎてもいけない

このように構造物については、国がきちんと対策を打つなど整備されてきています。しかし、それだけで十分ではないのです。例えば、南西沖地震のとき、青苗地区は5 mの防潮堤で囲まれていました。これは1988年に日本海中部地震が起これ、津波に襲われたので築されました。しかし、南西沖地震で来た津波は約10 mだったので、役に立たず、家が流されてしまいました。

さらに、この5 mの防潮堤は非常に頑丈につくられていたために、津波の来襲後、水がはけていく場所がなく、たまってしまう。つまり、構造物はしっかりつくってあったのですが、それを越えた津波の場合、逆に大きな被害になってしまうことがあります。構造物だけを過信することは非常に危ないのです。

東北地方太平洋沖津波でも、多くの防潮堤が壊れました。壊れるまでは時間を稼いでくれるし、防潮堤が全部防いだという場所もたくさんあるので、防潮堤は大事ですが、過信していると、それを越えてきた津波の場合には被害が大きくなる場合があります。

高知県では、避難のタワーを100個程度つくり、それが防災に役立っていると聞いていますが、それは津波が来ることを認識する上で非常に重要だということです。奥尻島の青苗地区でも、津波が11.7 mに達したということでタワーを立てています。これによって、次の世代の人にも津波の防災対策の大切さを伝えることができます。こういう持続性のある防災対策や防災教育が非常に大事です。

もう一つ重要なのは避難路です。いつでも逃げられるような状態をつくるのが大事であって、ただ、つくるだけでは意味がありません。雪が降ったときに使えなくなっているような状態では無意味で、住民がどう使うかを念頭に置いて標示なども整備し、訓練も行わないと役立ちません。防災には、気象庁は気象庁なりの、国、道、市町村もそれぞれに対策を打つのですが、基本的に、地域の住民がきちんと行動できないと、せっかくの構造物も無用の長物になってしまいます。

③1741年渡島大島噴火による大津波

日本海側の地震で忘れてならないのは1741年の渡島大島噴火による津波です。当時の絵などが残っていますが、渡島半島近くにある渡島大島が噴火し、20 m近くの津波が北海道の道南に押し寄せました。約2,000人が亡くなりましたが、歴史上、北海道で最も津波被害が大きかったのは、奥尻島でも十勝沖でもなく、この渡島大島の津波でした。

渡島大島だけでなく、北海道の日本海側には火山がたくさんあります。渡島大島は噴火により地すべりが発生して、山体崩壊になっています。海底まで全部が崩壊したので、大津波が発生し、大きな被害となったのです。山体崩壊は、火山活動によって、いつ、どちらの方向に

起こるのか予測は難しいのですが、火山活動そのものは比較的予測が可能です。この予測を利用して対策を打たなければならない状況にあると思います。

④日本周辺のプレート

日本海側は、太平洋側に比べて、マグニチュード7クラスの地震の頻度は少ないので、安心してしまいがちです。しかし、渡島大島の噴火のように、頻度は少ないが、非常に大きな地震が起こる可能性があります。油断することなく、日ごろの防災教育が大事です。

長い年月の間隔において大きな地震が発生するとすれば、地域の方は、日本海側は大丈夫だと防災を忘れがちです。しかし、100年、200年経って、孫やひ孫世代が津波の被害を受けるということになります。次の世代のためにきちんと防災計画をしておくという心構えが、特に日本海側では大事だと思います。

(4) 津波被害軽減に向けて

①海底地震津波観測網の構築

2011年東北地方太平洋沖津波以降、国はさまざまな対策を始めました。例えば北海道では、太平洋側にケーブルを敷設し、地震計と津波計を入れるプロジェクトを行っています。三陸側の設置が終わって、現在、北海道の設置がなされている段階です。地震計と津波計による検知で、非常に早く津波情報が入ることになります。実用化はまだ先ですが、北大の私の研究室では、津波被害軽減のために非常に早い浸水予測をしようという取り組みをしています。

②津波被害軽減のための最新の研究

2011年東北地方太平洋沖津波で、陸前高田市では津波浸水域が沿岸から6 kmにも達しました。沿岸から2 km奥まったところの津波の高さは15 mです。その地域に住んでいた人は地震を感じた後に、まさか15 mの津波に襲われるとは思わないでしょう。情報を知ったら、早く逃げなくてはなりません。

津波の浸水予測を迅速に行おうと、北大の私の研究室で開発しているのは、例えば地震後10分後に、携帯電話（スマートフォン）で、これぐらいの津波が来ると津波浸水予測を表示するしくみです。携帯からホームページにアクセスすると、自分のいる位置では何 mの津波が来るかがわかる、というシステムですが、さらに、NHKと共同で、こうしたしくみができた場合に避難行動にどう役立てるかについて研究しています。

こうしたシステムができて、地域住民が、自分はどういう行動をすればいいのか、避難訓練をしておかないと意味がありません。実際に予測情報が出たからといって、すぐに行動できるものではないのです。国の取り組みも進み、気象庁も改善を重ねていますが、基本的には住民が自分たちで、その情報をどう活用して逃げるのか、常に頭に置きながら訓練をしていないと役に立たないのです。住民の持続的な防災意識の向上が不可欠であることを強調し

ておきたいと思います。

2. 内陸型地震（直下型地震）への対応

札幌で感じる地震の数は、年平均で震度1以上が5回程度です。東京では40回、根室では41回、釧路49回ですから、それに比べると非常に少ないです。したがって、安心しがちですが、日本全体で内陸型地震は、かなりの頻度で起こっています。1995年の阪神大震災から2008年の岩手内陸地震まで、マグニチュード7クラスの地震が7回起こっています。たまたま北海道では起こっていませんが、起こる可能性は非常に高いので、対策を考えなくてはなりません。

北海道の内陸の地震は活断層で起こると言われており、活断層がどこに走っているかは調査されています。ただ、活断層は表面にあらわれている傷のようなもので、固い岩盤が表面にあるところでは、それがわかります。しかし、苫小牧や石狩平野は非常にやわらかい層がたまっているので、活断層が下にあったとしても表面にあらわれず、わからないのです。断層があれば、どこがどれぐらいの震度になるか計算ができます。例えば、増毛山地東縁断層帯が動いたら、札幌は震度4ぐらい、当別断層帯が動いたら5ぐらいと予測されます。

札幌市は地下の地震断層について調査し、断層を見つけています。月寒断層はその一つで、実際に2010年12月にマグニチュード4.6の地震がその断層面上に発生したと言われています。最大震度5弱でしたが、M4.6なので2km×2km程度の断層がすべっただけでした。もし断層全体がすべると大きな震度になります。それがどれぐらいになるかは札幌市がホームページで公表しています。地盤で差が出ますが、市街で震度7になる場所があります。

このような公表されている地震防災マップを見て、自分のいる場所はどれぐらい揺れるのか、そうした揺れが起こったときに、自分はどのような行動をとるかということは考えておく必要があります。震度7が札幌市で起きたときに、市役所が十分機能するかどうか、わからないし、避難すれば救助がすぐ来てくれるかと言えば、そんなことはおそらく難しいでしょう。特に、札幌市民は地震を感じる頻度が少ないので、釧路市民などに比べて地震の恐ろしさを知らないということになります。自分自身で対応できるように防災意識の向上が不可欠です。

2. 北海道の水害について

—石狩川上流域の水害を例に—

北海道大学大学院工学研究院

教授 泉 典洋

1. 石狩川上流域の水害と治水の歴史

(1) 石狩川流域の概要

石狩川流域は、流域面積では国内第2位、川の長さ（幹川流路延長）では第3位です。

流域面積の第1位、長さ第2位は利根川ですが、この川は人工的に2つの水系をくっつけた川です。徳川家康が江戸に入ってからすぐに始めたのが利根川の東遷事業で、もともと利根川は今の隅田川の方に流れていたのですが、家康は湿地帯である江戸を見て、この利根川の流れをなんとかすれば、もっと有用な土地になると考えたのではないかと思います。今の利根川の中流域から渡良瀬川、鬼怒川が今の銚子の方に流れていたのですが、それをくっつけて利根川上流からの水を銚子の方に流そうと工事を行いました。馬車や人力による作業ですから、それこそ江戸時代を通じて長く行われる事業となりました。

したがって、自然の状態では国内最大の流域面積を持つのは石狩川です。しかも、長さについては、蛇行していた川を、捷水路をつくることによって100 km近く短くしたということですから、もともとの石狩川は、現在、長さで第1位の信濃川に匹敵する長さを持っていました。そうすると、石狩川は自然の状態では日本で一番大きな川と言ってもいいかもしれません。道内には、他にも国内屈指の大きな川があり、十勝川は流域面積で第6位、天塩川が第10位です。幹川流路延長では天塩川が第4位で、十勝川は15位、釧路川は16位です。

石狩川上流域を見ますと、上川盆地があり、盆地の出口のところは神居古潭です。ここに東西北に向かって4つの大きな支川が集まっています。よく見ると非常に洪水になりやすい地形の川です。

日本の他の川でも、こうした上流域に比較的大きな盆地を持ち、そこに人がたくさん住んでいる川はいくつもあります。代表的なのは淀川で、淀川の上流には京都盆地があり、京都のまちがあります。京都盆地の出口あたりに、生駒山地から続く微高地が延び、その対岸に天王山があります。このあたりが狭窄部になっており、3つの大きな川が合流しています。京都の方から桂川、琵琶湖から流れてくる宇治川、そして南の方から流れてくる木津川です。3つの川が狭窄部を流れるので、水位が上がります。それによって、盆地の出口部分で水が流れなくなってよどみます。この付近には巨椋池という大きな池がありますが、3川が合流する地帯は大湿地帯で、高度に利用することができなかった土地です。今は、この淀川流域の狭

窄部上流では8つのダムをつくることによって京都盆地を守っています。それによって巨椋池は、今では干拓されて農地として使われているのです。

数年前、桂川が増水して観月橋が水害に遭ったことがありました。桂川の川沿いにある桂離宮は、実は水害を想定した建物で、水位が上がっても大丈夫なように高床式になっています。京都で桂川が増水することに驚いた人も多かったと思いますが、もともとは桂川もそうした性質の川だということがわかります。

宮城県と岩手県を流れる北上川も、淀川と同様、上流に北上盆地という盆地があり、その出口の狭窄部に一関市という町があります。その近くに奥州藤原氏で栄えた平泉がありますが、この付近は、戦後間もない時期にカスリーン台風とアイオン台風により大きな被害を受けました。それは盆地の出口であるため、水がたまりやすいことが関係しています。現在、北上川は5つのダムによって洪水調節され、一関市には非常に大きな遊水地がつくられています。

信濃川の場合は、長野県から新潟県に出る付近に狭窄があります。この狭窄部上流に、洪水調節のダムは2つしかありません。長野盆地の末端の部分ですが、この付近は今でも洪水に苦しんでいます。ただ、あまり高度な土地利用が行われていないので、それほど問題になっていません。

九州の球磨川の地域は、実は私の生まれ故郷ですが、人吉盆地があります。人吉市は、この盆地の一番下流にあり、その直上流に川辺川という大きな支川が流れています。川辺川は山地を流れる川で、雨が降ると大量の雨を集めて流れ下ってくる川です。ですから、盆地の出口にあり、大きい支川の下流にある人吉市は非常に洪水の危機にさらされやすいところなのです。町が水没するような被害は1983年が最後でしたが、それ以降も小さい水害には頻繁に見舞われています。川辺川にダムをつくる計画があったのですが、残念ながら住民の反対によって中止になりました。水害に遭いやすい地形でありながら、市房ダムという小さいダムしかないために、いまだに人吉市は水害の危険度が高い地域となっています。

東北の阿武隈川は、仙台平野に太平洋に流れる河口を持っています。宮城県から福島県に入る部分に狭窄部があり、福島盆地、郡山盆地という大きな盆地があります。大きなダムをつくれない状態で今に至っており、盆地の下流端の出口は洪水危険性の高い地域となっています。

(2) 石狩川上流域の治水の歴史

①明治期

明治31年(1898年)の石狩川上流域の河道を見ると、現在と比較してわかるように網状になっています。水深に対して比較的川幅が広い川は網状で流れる傾向があると言われています。網状で流れる川は河道を頻繁に移動させるので、あふれやすい川になります。しかも、下流端の神居古潭で堰上がり起きるのですから、当然、洪水が起こりやすくなります。

②大正期

大正4年（1915年）に洪水があり、旭川周辺が広範囲に浸水しました。浸水域は明確ではありませんが、美瑛川、辺別川、忠別川の各川沿いと合流点付近です。11年（1922年）の洪水の氾濫状況を見ると、狭窄の部分に向かって水がはけずに浸水している様子がわかります。きちんとした堤防をつくらなければ、往々にして水があふれるということが起きるのです。そこで、大正時代に河川改修が始まります。旭川の中心部の市街地、そして陸軍第7師団を守るために石狩川と忠別川に堤防が建設されます。

③昭和期以降

昭和5年（1930年）から7年（1932年）、牛朱別川の切替工事が行われました。牛朱別川は現在の中心市街地を流れていたのですが、上流で石狩川本川につけかえることによって、旭川市中心部を守るという計画でした。現在、牛朱別川は旭橋の直上流で合流していますが、以前はずっと下流で合流していたのです。さらに、27年（1952年）の地図を見ると、市街地を守るために石狩川、牛朱別川などに、ある程度高いきちんとした堤防が設置されています。それにより、狭窄部で水がよどんでも、それほど浸水しなくなりました。

それでも45年（1970年）に洪水が起こります。4つの川から水が集まり、まとまった流量になるので、上流からの水を減らさないと解決にならないのです。

そこでつくられたのが大雪ダムです。大雪ダムは、本川上流部に建設された多目的ダムで、洪水調節、流水の正常な機能の維持、かんがい用水の補給、水道用水の供給、発電を目的として、43年（1968年）に着工し、50年（1975年）9月に完成しました。

ダムの完成直前の50年8月に洪水が起こっています。石狩川上流の狭窄部付近が流量の基準地点ですが、そこで既往最大流量を観測しています。それにもかかわらず、浸水域は非常に少なく、これは完成直前大雪ダムの効果だと言われています。

そして、56年（1981年）8月上旬、石狩川全体では既往最大の洪水が起こります。石狩川上流では50年に次ぐ第2位の洪水でしたが、浸水域は小さくなっています。このときも大雪ダムが効果的に機能したと思います。

59年（1984年）に牛朱別川分水路事業が着手され、平成16年（2004年）に完成しました。新しくできた永山新川は、洪水時に牛朱別川上流の洪水を市街地上流で石狩川へ分流する役割を果たしています。

上川盆地ぐらいの規模であれば、大雪ダムだけでなく、もう一つダムが必要ということで、19年（2007年）に忠別ダムが完成しています。有効貯水量が7,900万トンで、大雪ダムは5,400万トンです。本州の流域で考えると、もう少しポケットが欲しいところですが、北海道は比較的、雨が少ないので、これで効果が上がったのだと思います。

④まとめ

このように、石狩川本川及び支川の河川整備の進展と2つのダムの完成によって、上川盆

地の治水安全度は格段に向上しました。この治水安全度は一朝一夕に得られたものではなく、先人たちのたゆまぬ努力によって獲得されたものであることを忘れてはなりません。おそらくほとんどの旭川市民は、こうした工事の積み重ねによって、現在は洪水が起こらないことを知らないのではないかと思います。治水事業の非常に切ないところは、うまくやればやるほど、後世の人はその恩恵を忘れてしまうということです。ですから、治水の歴史は、繰り返し子供たちに伝えていくべきではないかと思っています。

2. 最近の雨と水害、そしてこれから

(1) 日本の降水量の極値

日本の降水量の極値について、1時間降水量と日降水量の記録を見ますと、1時間降水量の第1位は153 mmで千葉県香取市（1999年10月）と長崎県長崎市（1982年7月）で記録されています。長崎市は長崎大洪水のときの記録です。次が152 mmで沖縄県多良間村、以下、150 mmで高知県土佐清水市、149 mmの高知県室戸市です。

日降水量の第1位は、高知県安芸郡魚梁瀬（2011年7月）の852 mmです。以下、奈良県上北山村の844 mm、三重県尾鷲市の806 mmです。北海道で言えば、オホーツク沿岸あたりの地域の1年分の雨量が1日で降ってしまうという量です。

ちなみに世界の記録では、アメリカにおいて、ホルトの42分で305 mm、ロックポートの2時間10分で483 mmという記録があります。概ね1時間換算で350 mm程度が世界の極値かと思いますが、これは、おそらく乾燥地帯の砂漠地方ではないかと思います。24時間の雨量では、フランス海外領レユニオン島シラオスの1,870 mmという記録があります。これは東京では1年間の雨量に相当します。この島はインド洋に浮かぶ雨の量で有名な島です。

(2) 北海道の降水量の極値

北海道の降水量の極値では、1時間雨量で登別や苫小牧の126 mmが、記録が残っている最高の1時間雨量です。旭川では57 mmで、上川地方で最も高いのは士別の72 mmです。これは2015年8月14日の記録です。札幌の最高は50 mmで、石狩地方で記録的なのは千歳の92 mmです。これも最近で2014年9月の記録です。支笏湖付近で非常にたくさんの雨が降り、札幌市にも避難勧告が出たときです。

日降水量を見ますと、やはり登別の509 mmが道内で最大の記録です。旭川での最高は168 mmで、上川地方での記録は2003年占冠の243 mmです。札幌では1981年に220 mmを記録しています。札幌、旭川ともに豪雨洪水のときの記録です。石狩地方で日降水量の最高記録は、やはり2014年9月の支笏湖畔280 mmでした。このように北海道は、本州に比べればかなり雨が少なく、特に石狩、上川地方は少ないことがわかります。

(3) 平成 22 年 8 月北海道豪雨災害

2010 年 8 月 23 日から 24 日にかけて、北海道の大雪山西側に流れを発する忠別川および美瑛川流域を中心に記録的な集中豪雨が発生しました。局所的で短時間の集中豪雨によって河川水位は急激に上昇し、橋台背面や道路の崩壊などによって 4 人が死傷するとともに、上流の天人峡温泉では 300 人が孤立しました。

このときの特徴は、河道内、河道外に土砂が非常にたくさん流れたことです。局所的な雨が多くの土砂を動かしたのです。もう一つの特徴は雨域の変化で、当時の気象衛星の写真や合成レーダー図を見ると、8 月 23 日 23 時から 24 日 5 時まで 6 時間程度の変化を見てもほとんど雨域が動いていないことがわかります。しかも、雨域は線状になっています。こういう雨は、本州ではこれまで頻繁に起こっていました。

こうした線状降水帯の発生事例を見ますと、前述の 2010 年 8 月の忠別川豪雨のほかに、2004 年 7 月の新潟と福島の場合、同じく福井の場合があります。やはり、線状の降水帯が 7～8 時間停滞することで激しい水害をもたらしました。

こうした線状降水帯の発生が、最近、北海道でも増えているという報告があります。2010 年 8 月の豪雨について観測雨量と既往の雨量を見ると、例えば、湧駒別は 36 年間の解析年数で、年 3 時間最大雨量が 89 mm と第 2 位を記録したり、24 時間雨量が 140 mm で第 3 位を記録しています。旭岳では 3 時間雨量が第 3 位、忠別ダムは記録年数が 4 年間と少ないので当然ですが、このとき年最大降雨量、年最大 3 時間雨量、年最大 24 時間雨量ともに第 1 位を記録しています。それから天人峡温泉のある松山では 42 年間の解析年数で、年最大雨量第 3 位で、3 時間雨量が第 1 位、小化雲では 1 時間雨量、3 時間雨量、24 時間雨量ともに第 1 位となり、記録的な降雨であったことがわかります。

(4) 平成 23 年 9 月辺別川出水

2011 年 9 月には辺別川で出水がありました。このときは 9 月 2 日より 4 日にかけて北海道付近に前線が停滞し、断続的に時間雨量 30～40 mm の激しい雨が降り、累計雨量が 200 mm を超える大雨となりました。石狩川上流の基準地点、伊納で、昭和 50 年、56 年、48 年降雨に次ぐ水位上昇となり、辺別川で河岸侵食と堤防の一部が流出しました。土砂がたくさん移動するような現象が起きています。

(5) 平成 26 年 8 月出水

2014 年 8 月には、台風 12 号から変わった低気圧が、4 日夜に前線を伴い日本海中部へ進み、5 日の日中には北海道付近を通過しました。この低気圧や前線に向かって南から暖かく湿った空気が入り、大気の状態が非常に不安定となったため、北海道では、日本海側北部を中心に非常に激しい雨が降りました。上川・留萌地方においては、下川サンル地点で、4 日 18 時から 5 日 15 時までの総雨量が 212 mm になりました。このときは上川盆地よりも天塩川流域で多くの雨が降りました。

(6) 日本における近年の降雨の状況

このように、近年は北海道の雨の降り方が変わってきていますが、これは全国的傾向でもあります。約 30 年前の 10 年間（1976～85 年）と最近 10 年間（2004～13 年）について、時間雨量 50 mm を超える短時間強雨の発生件数をアメダス 1,000 地点で比較しますと、約 30 年前は平均 174 回でしたが、最近 10 年間では平均 241 回と、約 1.4 倍に増えています。この原因は温暖化にあると思われます。

最近、温暖化によってどういう変化が起きるか、コンピューターを使ってグローバル・サーキュレーション・モデルで予測するということが行われています。この予測がどれだけ正確かはわかりませんが、一例として気象庁発表の「地球温暖化による降水量の変化」（「地球温暖化予測情報第 8 巻」2013 年）を見ますと、北海道は春、夏に降水量が増えそうで、年間を通した予測では、概ね 10～20% 程度増えるという結果になっています。

同じく「短時間強雨の年間発生回数の変化」を見ると、1 時間降水量 30 mm 以上、50 mm 以上、80 mm 以上、100 mm 以上の雨が降る回数の予測では、30 mm 以上、50 mm 以上について、年間 0.1 回から 0.2 回増加するとなっています。これは 10 年に 1 回、5 年に 1 回程度増えるということを意味しています。

(7) まとめ

このように、短期間集中豪雨が北海道でも増えることが予想されています。年間総雨量の増加だけでなく短期集中豪雨の増加に伴い、山地に貯留された不安定土砂が流出し、2010 年の天人峡のような土砂関連災害が増加する可能性があります。

また、局所的に比較的短時間の豪雨の発生頻度が上がることで、整備の遅れている中小河川で突発的な水害が発生する可能性が増加します。特に、局所的で、中小河川にびたりと一致するような雨域が発生する場合には、その河川があつという間にあふれるという可能性もあります。そういう意味で、災害の発生に対しては、突発的な雨の降り方に注意する必要があります。迅速な避難がさらに重要になります。

3. 道路交通分野における暴風雪対策

北海道大学大学院工学研究院

教授 萩原 亨

はじめに

私は道路交通関係が専門ですが、そこに雪がかかわったときに生じる問題にどう対処するかという観点から暴風雪対策に取り組んでいます。そのきっかけは、2013年3月2日、中標津など道東で発生した吹雪災害でした。非常に大きな災害で人命も失われ、こうしたことを二度と起こしてはいけないと思いました。それで道路災害リスクマネジメントに取り組みはじめ、近年も暴風雪が起きている中標津町を例に、リスクコミュニケーションの研究にかかわっています。

吹雪について気象情報は伝えますが、実際に地上で何が起きるのか、よくわからないところがあります。津波や火山活動、豪雨については、さまざまなハザード指標が出されますが、暴風雪については、予測はあっても、一体何が起きるのかというハザード指標がありません。これを明らかにするために、私たちは技術開発に取り組んでいます。

1. 2013年3月2日の吹雪災害について

2013年3月2日、中標津などを襲った吹雪災害の様子は大きく報道されました。注目したのは道路上の雪の量の多さで、わずか5、6時間で、相当の雪がたまってしまったことが大きな特徴です。2014年冬、4、5時間で道路上に4～5mの雪がたまることを私たちも初めて観測し、吹きだまりが大きな問題であることがわかりました。

この暴風雪の原因は急速に発達した低気圧で「爆弾低気圧」と呼ばれています。2013年3月2日の特徴は、昼12時ころまで常呂、斜里、中標津の地域では晴れていたのに、その後急激に悪化したことです。これは人間の生活パターンに反するようなタイミングで低気圧がやってきたということで、半日晴れているので、いくら悪化する情報が提供されても、それに反する備えがなかなか感覚的にできないのです。そのできないところに、急激に悪天候がやってきました。オホーツク海側と道北の道路では多くの地点で通行止めになりました。実は80年前にもこのような暴風雪で小学生が亡くなった例がありますが、こうした天候の急変に、私たちは非常に弱いことがよくわかります。

そこで、こうした被害を防ぐためにどうすべきか、中標津町や釧路市では検討を重ね、私たちも道庁を中心に検討してきました。3月1〜3日当時の気象台の対応を見ますと、各地に暴風雪警報が発表される1日から2日前に気象情報が発表されています。その発表から警報までの間に何らかの対応をし、警報発表された時点では準備完了することが暴風雪に対抗できる唯一の手段ではないかと考えました。

その後、半年間にわたり検討し、次の冬から関係機関全体で実行に移していきました。その結果、多くの暴風雪がありましたが、雪による大きな災害は、今のところ発生していません。これは大きな成果であり、私たちとしてもさらに学術的にアプローチしていこうということになりました。

ここでの私たちのチャレンジであり、難問は、低気圧に関する気象情報をどうやってうまく活用し、吹雪による道路交通への影響を小さくするかということです。そのリスクマネジメントの可能性を追求することが重要だと考えました。道路管理者や交通管理者をはじめ、行政、住民、観光や農業、漁業などさまざまな人が、この難問にかかわることになると思います。

2. 吹雪による道路災害リスクマネジメント

私たちが概念として提案しているのは「吹雪による道路災害リスクマネジメント」で、それは、吹雪によって道路で発生するリスクを把握し、そのリスクに対して使用可能なリソースを用いて、効果的な対処方策を実施するための検討が必要ということです。そして、唯一、短期的に有効な対処方策が「リスクコミュニケーション」です。つまり、警報の前に対応を開始するということで、災害軽減のために最も重要な手段と考えています。

この「リスク」の定義ですが、分野によって少し違いますが、「積極的な行動の結果、危険状態に陥る、もしくは予想以上の成果を得る可能性」という意味です。「予想とのぶれ」、つまり、警報を出しても大きく外れるリスクもあるということで、その不確定がリスクであると考えてるのが最も妥当ではないかと思います。そして、「マネジメント」とは、その不確定要素を最小化し、目標達成の可能性を最大化するための管理手法です。

さらに「リスクコミュニケーション」とは、社会を取り巻く想定とのぶれ、つまり、リスクに関する正確な情報を行政、専門家、企業、市民などの関係主体間で共有し、相互に意思疎通を図ることです。リスクは非常に幅広く、危ない場面もあれば、外れる場合もあります。通行規制がかけられているのに、全く晴れているという地域もあるのですが、そうした予想とのぶれをみんなで共有して、いかにそれに対応するか、それぞれの立場でできることをするか、ということが大事だと思います。

一例を挙げますと、2012年4月5日に稚内では道路にひどい吹きだまりできるほどの積雪がありました。4月1日に行政関係者は異動があつて担当者の顔ぶれが変わり、除雪機はほとんどしまわれる時期です。そこにひどい積雪があつたのですが、関係者は経験を生かして通

行規制を早めにかけたのです。それが非常に功を奏し、大きな災害に至らずに済みました。吹きだまりは、道路災害のリスクの直接要因になる最大のハザードとして成立する指標ではないかと、私たちは考えています。

横軸をハザードの大きさ、縦軸を負のリスク評価の大きさとして「ハザードとリスク評価の対応概念図」を考えてみます。そうすると、4段階の対応ができるだろうと考えられます。つまり、ハザードも負のリスク評価も小さいときは「1. リスク保有」、いずれも中くらいのときは「2. リスク低減（対策）」、いずれも大きいときは「3. リスク回避（行動の中止）」、ハザードは大きい、負のリスク評価は小さいときは「4. リスク移転（保険）」ということになります。

具体的に言えば、暴風雪時の道路交通に関する負のリスク評価で、実際には道路のハザード、つまり吹きだまり量はよくわかりません。ですから、残された選択は、低気圧に関する気象情報を用いた「3. リスク回避（行動の中止）」しかないということになります。

2013年3月2日の暴風雪災害の経験により、同年12月から翌年3月にかけては、このような考え方にに基づき、各関係機関全体が、暴風雪警報が出れば、リスク回避（行動の中止）を行ったのではないかと思います。

行動の中止ということになると、通行規制で外出を控えることになりますが、社会活動において観光面など大きな別のリスクを生むことになります。これを分担していくためには社会の理解と協力が必要です。リスクに関して、それぞれのステークホルダーがマイナス面もあるが、やっていこうという理解が不可欠で、そこにリスクコミュニケーションの重要さがあります。

3. 中標津町を例としたリスクコミュニケーション

前述の2013年3月の暴風雪災害の後中標津町を中心とした地域では暴風雪が発生していますが、被害はほとんど起きていません。私たちは、関係者のリスクコミュニケーションが充実したために吹雪に対する防災力が高まった可能性があると考え、今後の暴風雪災害対策のために現地でヒアリング調査を実施しました。2014年6月と2015年6月に、中標津町の防災関係者、道路行政の関係者、住民の各ステークホルダーを対象に話を聞きました。

2014年2月に、3～4日間通行規制がかかる大きな暴風雪が発生しましたので、2014年調査のときには、このときの経験について聞きました。2015年6月の調査では、2014年12月から2015年2月の間に何度も低気圧に襲われて、防災関係者は仕事に追われる大変な状況になっていましたので、そのときの話を聞かせてもらいました。

また、住民の吹雪による道路災害リスクについての認識をより広く詳細に知るため、2年にわたりアンケート調査を実施しました。その結果が、ホームページ上に詳しく掲載されています（北海道建設部建設政策局・維持管理防災課「平成27年度道路管理に関する検討委員会」

HP)。暴風雪に関する人の意識がどう変化していくのか、地域によってどういう違いがあるかなどが、この調査結果からうかがえます。例えば、2013 年当時の釧路地域は、稚内や日本海側の地域に比べて暴風雪に関して意識が高くなかったことがわかります。ただ最近では、全道一様に、暴風雪に関して高い危機意識が持たれていることも明らかになっています。

こうした調査でわかってきたことは「気象シナリオ」の重要性です。これは気象台が、暴風雪警報を出すことになりそうな 2、3 日前に関係の行政機関などに知らせるもので、気象台もより正確に、早く、気象情報を出そうと力を入れています。新聞でも暴風雪警報の出る 1 日前ぐらいから暴風雪の予報を出すようになっています。

一例として 2014 年 2 月 16 日の暴風雪による通行規制概況を見ますと、この日は日曜日ですが、12 時ころに暴風警報が発表されると同時に通行規制が一斉にかけられています。気象情報を見ても 16 日昼ごろから 30～40 cm の積雪量になっています。場所によっては道路上で 1 m から数 m の積雪になっているところがたくさんあったと思いますが、その前に通行規制したのです。

道路の通行規制は、かなり勇気が要ることで、従来は、道路は人を通し、物流を支える大切なものなので、決して止めてはならないという考え方でした。それを変えなければ、現在の暴風雪には対応できないことが少しずつ理解されるようになってきたのです。現在では、一般市民やマスコミ、また行政などさまざまな立場の人が、止める方がメリットがはるかに大きいと認識するようになり、通行規制ができるようになりました。2014 年からこうした考え方で、少し止めすぎではないかとの声もありましたが、現在は、吹雪く前に道路の通行規制もされている状況になっています。

中標津町の防災関係者のヒアリング調査から、町では細やかに、非常にたくさんの取り組みがされていることがわかりました。特に、中標津町のフェイスブックは優れており、住民にいかに関係情報を統合して伝えるかを重視し、さまざまな行政機関から出てくる情報を図にして知らせています。例えば、気象情報について 1 枚、道路関係の通行止めについて 1 枚でわかりやすく示しています。通常、道路の通行規制は、国道、道道、町道をまとめて表示する地図はないのですが、ばらばらではわかりにくいので、行政区分関係なしに通行規制を示すようになっています。また、店舗や行政窓口、郵便局の閉まる時間など身近な情報提供もなされています。利用者から見て極めて自然な情報提供がなされているということです。

私たちのヒアリング調査は道路管理者、行政、住民と三者別個に実施しましたが、各結果から連絡や情報共有体制が十分、組み上がっていることがわかりました。共有すべき情報は非常に明確に認識され、組織間連携が構築されていました。2013 年 3 月の経験を経て、半年間でこういう体制が生まれ、それが現在まで維持されていることがわかります。

地域住民も、暴風雪に関する情報を積極的に事前に収集し、中標津町などから情報を得て準備する姿勢が見られました。この準備も、2014 年冬より、さらに 2015 年冬の方が高度化しているとうかがわれました。また、早期の通行規制については、不満もあるようですが、これは災害の経験から「やむなし」の意見が多くなっていました。

このように、中標津町の調査から、リスクへの相互理解が進んだ背景には、2013年3月の災害についての記憶が大きいことがわかります。この記憶を防災に生かして、どう継続していくのが重要な課題です。この課題についての認識の共有はまだ十分には図られていないと思われます。そのために、やはりきちんとしたハザードをつくるべきではないかと私たちは考えています。

4. カメラ画像を利用した吹きだまり検知に関する技術開発

ハザードをつくるために、私たちはカメラ画像を利用した吹きだまり検知、視程障害検知という技術開発に取り組んでいます。道路上の吹きだまりを的確にとらえることは極めて難しく、局所的に発生する吹きだまりをどう評価するか、いろいろなことを試みています。特に、気象データによる吹雪量とカメラ画像から分析する吹雪量を比較して補正し、その結果をもとに空間内挿法によって面的に展開するという取り組みをしています。さらに道路構造・沿道環境を加味した吹きだまりの推計技術を開発しようとしています。

暴風雪対策については、地域のステークホルダー間の連携が重要であり、リスクコミュニケーションを持続していくことが大切です。その一方で私たちとしては、道路の吹きだまり予測を強化し、それにより精密な道路管理ができるような状況をつくり出したいと考えています。吹きだまり予測は「ハザードの見える化」であり、これを目指して技術開発に取り組んでいます。

4. 津波の実態と防災・減災

北海道大学大学院工学研究院

教授 山下 俊彦

1. 津波の性質

(1) 津波の速さと高さ

津波の速さと高さは、例えば、太平洋の中央など水深約 4,000 m のところで波高 1 m の津波が海岸に到達したとき、その波の高さは約 8 m に達します。スピードは水深 4,000 m のあたりではジェット機（時速 720 km）ぐらいですが、水深 1 m では津波の水位が盛り上がり、時速 34 km で岸に到達します。津波は水深が深いほど速く、浅いほど高いのです。当然のことながら、海岸近くにいる人は早く高いところに逃げなければなりません。

津波は、普通の波と異なり、岬や島などの障害物の後ろにも簡単に回り込むことができます。湾の奥では、津波のエネルギーが集まるので津波は大きくなり、岬の先端でも、津波のエネルギーが先端周辺に集まり、津波は高くなります。北海道では、襟裳岬などで高い波が発生することになります。

(2) 避難の際の津波情報

避難の際の津波情報は基本的に3つで、①津波到着時間、②津波の高さ、③津波継続時間、です。津波の到着時間は、津波のスピードが水深によって決まるので、断層などの発生地点がわかれば、比較的精度よく見積もることができます。一方、津波の高さは、正確に予測することは不可能に近いのです。初期の津波の波形がわかれば、到着時間や海岸線に来る波の高さはかなりの精度で予測することができますが、どんな初期波形ができるのかを予測することは非常に難しいのです。

例えば、東日本大震災のときに、岩手南部の GPS 波浪計で測られた波形を見ると、それは前例にないものでした。基本的に波形は、地震が起こったときの地盤の隆起や沈降によって起こり、通常は地震の規模や深度からある程度推定できますが、東日本大震災の際はそうではありませんでした。というのは、最初の海底断層の発生によって形成された津波は約 2 m ですが、その後、もう一度海底地形の急激な変動が発生し、それに起因する津波は 6.5 m 以上になっています。こういうものが観測されたのは初めてのことで、再度、海底地形が大きく動いたことによって起こったと推測されています。こうした地盤の動きを予測することは非常に難しく、そのために初期津波の高さを正確に予測することは困難です。最近の海洋研究開

発機構の研究によると、海底で断層が発生し、その影響で高熱が発生し、間隙水圧が上がって、周囲の土砂を動かすというメカニズムで2番目の海底地形の急激な変動が発生した可能性もあるのではないか、とされています。

また、地震の規模の割に津波が大きい「津波地震」と言われているものがあります。これは、地震によって地底の緩い堆積層が崩れるなどして地形が比較的大きく動くと、それが水面にあらわれて津波になるのです。津波には、そうした不確定要素があることも念頭に置く必要があります。このように、地震による海底地形の変動を正確に予測することは非常に難しいのです。今後、沖合の津波高さを把握するための観測網を増やす計画もあるようですが、それが必要だと思います。

津波継続時間について、北海道沿岸について東日本大震災のときの津波の第1波到達から最大水位になるまでの時間を見ますと、釧路付近では8時間ぐらいですが、全道各地の沿岸で非常にばらつきがあります。例えば、津波は襟裳岬等で大きくなり、沿岸方向に津波高さに差が出ると、その波は沿岸方向にエッジ波として伝播し、別の岬等からのエッジ波と重なり、波高が大きくなります。津波はなかなか減衰しないため、このようなことが繰り返され、最大水位が発生する時間を市民の方々が予測するのは難しいです。

地震発生後の3月11日以降の水位を見ると、東北地方は天文潮位に対して-2 m から+4~5 m の変化でそれが時間的には約1日間続いています。その後、徐々に減衰してきますが、かなり大きな波が続くことを想定して、避難所から帰る際には警報などをよく注意しておく必要があります。

2. 津波被害の概要

(1) 明治以降の津波の発生と被害

明治以降、日本で100人以上の死者を出した津波の発生を振り返ると、まず、明治三陸地震（1896年）があります。マグニチュード8.5の地震で死者約22,000人、津波の最大高さは38 m でした。昭和三陸地震（1933年）は、マグニチュード8.1で死者行方不明者が約3,000人、津波の高さは29 m です。東北地方が多いですが、2013年の東日本大震災はマグニチュード9.0で、死者行方不明者数は約2万人、津波高さは40 m 強と過去最高です。チリ地震津波（1960年）もマグニチュード9.5と大きく、6 m の津波で142人が亡くなりました。このときには北海道にも霧多布などに津波が来て、流水が漂流物となって被害を大きくしました。これは寒冷地独特の津波災害と言えるでしょう。

昭和20年前後に発生したのが、昭和東南海地震（1944年）と、昭和南海地震（1946年）で、大きな津波が来ることが心配されましたが、津波の高さはそれぞれ9 m、6 m でした。日本海側では日本海中部地震（1983年）で14 m、北海道南西沖地震（1993年）で30 m の津波がありました。太平洋側は海溝型で、プレート境界で起こる地震であるのに対し、日本海

側の地震はプレートのなかで起こり、いつ、どこで発生するかを予測するのは難しいです。

北海道で最も多くの死者が出た津波は地震によるものではなく、火山噴火によるものです。明治以前ですが、1741 年、大島噴火により対岸の渡島半島に 30 m の津波が起こり、約 2,000 人が亡くなりました。もう一つは、1640 年の駒ヶ岳噴火で、噴火湾で津波が起き、死者約 700 人の被害となっています。これは噴火したものや噴火による山腹崩壊による土砂が多量に海に流入して生じる津波ですが、こうした津波もあることを忘れてはなりません。鹿児島では桜島の噴火が心配されていますが、そうしたところでは噴火による津波の可能性もあります。

(2) 津波の高さと被害

津波痕跡高さ（浸水高さ、遡上高さ）については、東日本大震災のときは 40 m 程度が最大ですが、明治三陸地震では約 38 m でほぼ同程度です。

東日本大震災のとき、女川町では約 15～20 m の津波が来ました。鉄筋コンクリートの建物でも、しっかりしたものは残っていますが、かなり根こそぎ倒壊している状況です。気仙沼市ではかなり大きな船が陸上に移動し、石油タンクなども流されて火災が発生しました。漂流物の対策は非常に重要です。津波の高さ 10 m の宮古市田老地区では倒壊した防潮堤が見られました。引き波で壊れたようですが、大津波の場合には、構造物対策には限界があるということです。なによりも高い場所へ避難することが大切です。

高さ 8～10 m の津波の被害では、石巻市の例があります。鉄筋コンクリートの建物や民家もかなり残っています。護岸を見ると背後が押し波のときに洗掘されています。防潮堤の被害は押し波でも引き波でも背後の洗掘や転倒が起きています。

3. 防災・減災の考え方

(1) 「設計津波の対象津波群（L1）」と「最大クラスの津波（L2）」

「設計津波の対象津波群（L1）」は、発生頻度が数十年から百数十年で防災の対象となりますが、「最大クラスの津波（L2）」は、発生頻度は極めて低く、想定被害をなくするためには多大の費用がかかります。防災対策だけでなく、避難と減災を前提にした対策が必要です。海岸の環境・利用に及ぼす影響からハード整備は難しいので、避難を中心にして、土地利用の検討や避難施設や防災施設の整備、また防災教育などによって減災を目指すことが求められます。釧路管内の津波予測図を見ると、津波の高さが 30 m 以上の地域もあり、L2 に対するきちんとした対策が求められます。

過去の津波を見ると、100 年規模の地震については根室半島沖に断層があり、釧路沖などでは概ね 70 年に 1 回ぐらい地震が起こると言われています。北海道には文書があまり十分残っていませんが、北大理学部で痕跡を調べると、根室沖や十勝沖が連動するような地域では約 500 年間隔で地震による津波があると推測されます。

2011 年東北地方太平洋沖地震については、600～700 年に 1 回ぐらいの間隔の発生と言われています。1960 年のチリ津波はマグニチュード 9～9.5 ですが、300 年に 1 回ぐらいと言われています。

100 年に 1 回というような発生確率は、1600 年以降の年代で津波の発生を時系列で見て推定します。過去津波をもとに津波高さの高い方から確率を足し、累積発生確率 150 分の 1 に達したところを基準とします。17 世紀初頭に起こった、500 年に 1 回の確率のものは既に 400 年ぐらい経っており、100 年ぐらいは誤差が出ることもあるので、非常に高い確率で近い将来の地震の発生が考えられます。また、東北で大震災が起こったので、その周囲にひずみがたまってきており、さらに発生の可能性は高まっています。防災・減災対策に力を入れるべきでしょう。

国土地理院による「90 年間の地盤変動量」のデータを見ると、地盤沈下している地域がわかりますが、これも何かひずみがたまっていることをあらわしているのではないかと思います。構造物も沈下速度の大きい場所では 1 年間に 1 cm 程度下がっているので、長い目で見ると津波に対して危険な現状になりつつあるということです。

(2) 防災・減災対策について

国交省の「いのちを守る津波防災地域づくりのイメージ」を見ると、津波防護施設や浸水想定区域、また特別警戒区域の指定、土地利用規制や避難路の確保など、防災に対するさまざまな取り組み方がわかります。

港湾については、発生頻度 100 年に 1 回程度のものについては、できる限り構造物で人命・財産を守り切る防災を目指すことが必要です。防護ラインで守り、漂流物防止施設や荷役機械の防災機能強化、避難施設の確保などが挙げられます。また、発生頻度は非常に低いが大規模な津波の場合は、粘り強い構造を有する防波堤等をつくり、少しでも減災を目指すことが必要でしょう。少しでも浸水域を狭め、復興を早める取り組みが必要です。

津波の予測精度を高くすることも求められています。現在は GPS 波浪計などを使い、正確なデータを集めて、なるべく早く予測することを目指しています。まだ、整備中ですが、日本海溝海底地震津波観測網（S-net）の整備・運用も急がれるところです。これは津波の正確な予測に役立ち、津波の発生機構を探る上でも有効でしょう。

道東付近は、前述のように、少なくとも 500 年間に 1 回以上の津波が、いつ起こっても不思議ではないような状況です。防災・減災について綿密に計画し、被害をできるだけ減らす方向への取り組みを進めることが必要です。

5. 津波避難と GIS

北海道大学大学院文学研究科

教授 橋本 雄一

1. 地理情報システム（GIS）とは

(1) 地理学と地理情報システム（GIS）

北海道大学大学院文学研究科（地域システム科学講座）で人文地理学を担当しています。人文地理学は地域の科学であり、社会と空間の科学であると私は考えています。人間活動が投影された空間を扱う地理学において地図は重要なツールであり、その地図を最近ではデジタル化してコンピューターで扱うことが多くなりました。それが地理情報システム（GIS）です。

GIS とは、空間データと属性データをコンピューター上で統合し、分析・検索・表示を可能としたものです。例えば斜里町についてデータをつくってみますと、空間データは白地図でただの絵ですが、それに、属性データとして地名、人口、世帯など、普通エクセルなどで処理するような数値データを入れ、コンピューターで統合します。そうすると、人口を等級シンボル、人口密度をコロプレスマップ、男女比をパイチャートで示すなどさまざまなことができます。

これを高度に活用した例が、札幌市の 1960～80 年の年平均人口増加率の図です。これによって、郊外で人口が増えて都心で減るという典型的なドーナツ化現象が見て取れます。同様に 2000～05 年の図を見ると、逆に人口の都心回帰の現象が進んだことをわかりやすく示すことができます。

(2) マイクロジオデータと GPS 情報の活用

最近ではマイクロジオデータ（Micro Geo-data）という、高い精度と網羅性をもつ詳細な地理空間情報があります。これは例えば、スマートフォンで測定した緯度経度データの蓄積などを指し、それによって個人の移動がわかります。そういう細かいデータを使って社会に役立つことをしようという技術が開発されています。

別の例としては、札幌市中心部でマンション建設のボーリング調査の結果が蓄積されています。このデータを使えば、軟弱地盤の泥炭層についてどこにどれくらいあるか、3 次元的分布を地理情報システムで見ることができます。表層のデータは地図になっているのですが、地中の泥炭地を 3 次元化して見ることができ、視覚的にチェックできるのです。

また、「凍結路面における自動車走行状況に関するデータベース」は、以前、萩原亨先生と

共同で研究したもので、冬季路面管理用ウェブデータベースを3次元で作成したものです。

(3) ニセコ町冬季 Wi-Fi 実証トライアル

最近、取り組んだものに「ニセコ町冬季 Wi-Fi 実証トライアル (2012 年度)」があります。ナビタイムがつくったスマホ用のアプリで、利用者は性別、年齢、使用言語を入力し、起動した時点から GPS 情報の記録が開始されます。

このスマホをニセコのスキー場にきた外国人観光客に利用してもらいました。このアプリにより自分がどのようなコースを滑ったかがわかります。その滑った緯度・経度などのデータを、利用者の方の了承を得た上で、全部こちらが管理するサーバーに集めました。

その結果、オーストラリア人は朝早く来て、広いコースを高速で滑って、早く帰ってしまうとか、中国人は傾斜の緩いところを滑るとか、日本人は朝から晩までさまざまなコースを選んで丹念に滑るといった傾向が見られます。スキーの滑り方にも国際色のあることがわかって面白いのです。

このニセコの情報についてのアプリがどこでインストールされたか調べると、オーストラリアの東海岸の人が多く、このアプリを配信したウェブサイトが全世界でチェックされていることがわかりました。

(3) 東日本大震災の被災状況の分析

2011 年の東日本大震災のときには、地理情報を生かして被災状況の分析を行いました。大津波が起こった後では、どこに何があったかわからなくなるため、地理情報は災害救助のために非常に重要な情報となります。国土院が整理している基盤地図情報を地図に重ねたところ、駅など建物の確認に役立ちました。精度を上げれば罹災証明や評価にも利用できるのではないかと思います。等高線と重ねると、概ね 5 m 程度のところまでが被害を受けている範囲とわかります。

2. マイクロジオデータによる積雪寒冷地の防災研究

(1) 地理空間情報の活用に関する国家計画の推移

このような防災に関する地理空間情報の活用がいつから始まったかと言えば、1995 年の阪神・淡路大震災がきっかけです。このとき、私のいた研究室では、被災地のどこでどのような死者が出たか、GIS による地図を作成しましたが、これは震災での活用の初めての例ではないかと思います。これを朝日新聞がいち早く掲載してくれました。

以前から私たちは災害状況を GIS で処理し、それを救助活動につなげることが重要だと考え、研究してきました。阪神・淡路大震災当時、地図と言えば、紙媒体であり、役所にしかなかったのです。その役所が倒壊するなどして地図が使えなくなってしまったことから、救助

も復旧も作業がなかなか進まないということがあったのです。

そこで国交省は、役所が保管する地図を電子化し、その情報を分散させて、いつどこで何があっても情報をとれるようにしようという動きを進めてきました。2007年には地理空間情報活用推進基本法という法律ができ、2008年には地理空間情報活用推進基本計画、2012年には新しい地理空間情報活用推進基本計画が策定されました。その特徴は、従来、GISだけが注目されていたのですが、地理空間情報のデータや、GPSの位置情報にも注目した計画となったことです。この計画は、2011年の東日本大震災の発生を契機にさらに進化し、災害対策強化を目的に、災害関係の情報を中核に、衛星測位、GIS、地理空間情報の3つを重ね合わせて整備することになりました。そのなかでマイクロジオデータの利用促進が図られるようになったのです。

(2) 積雪寒冷地における災害研究へ

そうしたなかで、私の研究室では積雪寒冷地における災害研究に取り組んでいます。地震や津波などは自然現象として起こりますが、人が全くいないところに大きな波が来ても、それだけでは災害にはなりません。人的被害や経済的被害が出て災害となります。では、その人的被害、経済的被害がなぜ出るかと言えば、これは都市ができるからであり、開発によって災害リスクが高まります。

札幌で起こっているような都心への人口回帰、また臨海部への人口集中などは災害への社会的脆弱性につながります。しかし、しっかりした防災対策を立てれば、それは抵抗力となって災害リスクを下げる方向に働きます。

そのような災害研究のために、気象庁のデータ使って北海道における最深積雪を示す地図データをつくりました。1971年から2000年の30年間の平年値を示したもので、各地の積雪の特性が読み取れます。釧路地方は少ないですが、札幌では公園が雪で埋まるほど積雪が多いことがわかります。せっかく北海道という積雪寒冷地にいるので、この災害に対する社会的脆弱性に積雪寒冷地の特徴をあわせた研究に取り組んでいます。

3. 積雪期における沿岸都市の津波災害時避難

(1) 北海道太平洋沿岸における新津波浸水想定

北海道と東北地方の都市分布を見ますと、東北地方は主要都市が内陸です。高速道路も新幹線も内陸を通り、そこに福島、郡山、仙台、盛岡と中心都市が並んでいます。ところが北海道の場合は、根室、釧路、苫小牧、室蘭、函館など、主要都市は沿岸部です。

ということは、東日本大震災のような津波があった時、北海道の場合には、都市自体が被害を受ける対象になってしまいます。この点が北海道の深刻さではないかと思います。

そこで、その対策に役立つ研究を進めていますが、その一つが太平洋沿岸における新しい

津波浸水想定に関するものです。2004年6月に公表された津波シミュレーション結果データは、北海道総務部危機対策局危機対策課がオープン化したものであり、市街地は10mメッシュで、津波堆積物のデータを利用して作成されました。その分析結果を紹介します。

①北海道沿岸地域における津波想定地域の人口推定

津波想定域における人口推計は、夜間人口、昼間人口ともに国勢調査をもとにしています。津波想定域は10mメッシュ、つまり、10m×10mの四角形に地域を区切り、そこは何mの浸水があるのかを可視化しました。この成果は以下のようなものです。

北海道の津波浸水想定域人口は、2010年で455,124人です。これは2000年の推定の495,570人から減少しているものの、まだ多くの人口が想定域に分布しています。減少の理由は、海岸部の集落人口が減っているためです。なお、これは被災想定人口ではなく、どれだけの人が津波浸水想定域に住んでいるかを推定したものです。

2010年では、北海道人口の8.3%が津波浸水想定域に住んでいるということになります。内陸の札幌市には北海道全体の3分の1が集中しているので、この札幌市の人口を除くと概ね12.3%、8人に1人が津波浸水想定域に住んでいるということになります。

②津波浸水想定域の深度別人口

では、津波浸水想定域に住む人々について、津波の深度はどのようなものかを見ますと、概ね5~6m以下に住む人が多くなっています。そして、どの深度でも2000年から2010年にかけてその人口は減少しています。

さらに、津波浸水想定人口の深度別累積人口（2010年）を算出すると、何mまでの深度に全体の人口の何%が住んでいるかがわかります。その結果、3m未満の深度の地域に夜間人口の49.6%、昼間人口の48.8%が住んでいることがわかります。3m未満に人口の約半分が住んでいるということです。建物の1階部分の高さは通常、3.5mとしますので、あくまで数字の上ですが、強固な2階建住宅の2階に上がっていれば助かると思われる人口が約50%と言うことができます。同様に、深度6m未満に住んでいる人口は約8割なので、3階建の強固なビルの3階部分にいれば助かる人が人口の約8割を占めるという計算になります。

②津波浸水想定域における市町村別人口

では、どの市町村で浸水想定域に住む人が多いのかを見ると、釧路市が突出しており、夜間人口で128,273人です。次いで函館市59,390人、苫小牧市57,302人で、いずれも太平洋側です。現在、日本海側とオホーツク海側の浸水想定を見直していますので、その結果を見ないとわからないのですが、おそらくこの上位3市町村は変わらないのではないかと思います。続いて、登別市、室蘭市、北斗市となります。

津波浸水想定域の人口割合の多い、釧路、苫小牧、函館、根室の各市について、それぞれ、どの程度の津波高の地域に住む人が多いのかを見ると、苫小牧市は津波高の非常に低い

ところに人口が集中し、函館市は陸繋砂州の周辺で苫小牧市よりも少し高い地域、釧路市はもっと高いところに人口が多いことがわかります。根室市はさらに高い地域に人口が分散しています。津波浸水想定域に住む人たちには、津波高の面から異なる津波リスクがあることがわかります。

(4) ネットワーク空間における避難圏域分析（釧路市）

特にリスクの高い釧路市について、避難する上でどのような問題があるのか、避難圏域の分析をしました。

①釧路市の気候・位置・市街地区分

釧路市は、札幌市と比較して雪は少ないですが、気温が非常に低くなるので、路面凍結によるアイスバーンができます。加えて、少雪ながら、雪のために道路の幅員減少もあり、1列でないと歩けないという場所も少なくありません。市街地は2つの川にはさまれ、高架になっていないJRに挟まれた地域です。

②釧路市における津波の歴史

今までの釧路市における津波の歴史を見ると、春採湖での調査から、過去9,000年間に20層のイベント堆積物が確認されており、このことから400～500年の間隔で20回の大きな津波があったことがわかります。釧路地区の津波ハザードマップは、以前は海岸部の狭い範囲が津波想定域として危険とされていましたが、現在は市域全体に危険範囲が広がっています。

③ボロノイ分割による津波避難圏の分析

避難圏とは、任意の避難場所が担当する範囲のことです。例えば、一つの避難場所があって、その避難場所と別の避難場所との間を分割します。避難場所Aに最も近い場所がAの避難圏ですが、この領域分割による設定を「ネットワークボロノイ領域分割」と言います。この手法を進化させることが、私たちのミッションの一つです。

避難場所の計画が重要ですが、距離で機械的に配置できるわけではなく、その間に川や建物があり、人間は直線には進めません。そこでまず、道路に関して考えなければなりません。2つの避難場所の中間点で道路を切ってみます。その地点をつなぐようにして領域分割をするプログラムを開発しました。そうすると、川や橋、ビルなどさまざまな道沿いに最も近い避難場所を目指していくような結果が出てくるので、現実的な領域分割ができるのではないかと思います。これによって地域を区切り、さまざまな分析をしていきます。

都市計画基礎調査で、建物の状況を見ると、海岸部に津波エリアが増えています。専用住宅や共同住宅、つまり一戸建てやマンションが増えているのです。一戸建てが増えているのは、市街地の西側で、大楽毛や鳥取で増えています。都心部で増えているのは、低層の専用住宅や集合住宅で、これらは避難場所としては使用できません。

各避難場所には収容定員がありますが、各避難圏の人口と重ねて合わせてみると、市街地西部と都心部で避難場所の収容能力が不足していることがわかります。津波避難ビルが最近では増加しているものの、もし津波避難ビルに行っても入れないような状態になれば困ります。こうした避難場所の計画について役立つ手法を私たちは開発しています。

もう一つ、私たちが考えたのは到達圏で、これは任意の時間内に避難場所に到達できる範囲のことです。北海道の場合は、3種類の到達圏を考える必要があります。第一は、一番広い避難圏で500 m 範囲の非積雪期の到達圏です。第二は、道路が凍結していたり、少し歩にくいときの距離で、積雪1期の到達圏。第三は積雪で道路幅が減少し、なかなか進めない積雪2期の到達圏です。この3段階の到達圏を設定することが必要です。

ネットワークバッファによる到達圏の設定として、非積雪期は国交省も設定している500 m とします。道路が凍結している積雪1期は係数0.83 を乗じて416.5 m の範囲。さらに積雪2期は係数0.417 を乗じて208.25 m の範囲としました。

一人で何もなしの場所を逃げるのであれば、かなり長距離逃げられるでしょうが、多人数で列になって逃げる場合には、当然歩行速度が遅くなります。また、坂などを上する場合も同様です。これらのことを考えて、試行錯誤しながら専門の会社にも協力してもらい、GIS で計算を行うためのプログラムを開発しました。

その結果が「釧路都心部の避難圏ネットワークバッファによる避難圏」ですが、避難場所が遠過ぎて逃げるのが困難な地域にどれくらい人が住んでいるのか、また、避難圏の外にいる人口はどれくらいかが気になることです。そこで避難圏ごとの到達圏外人口の比率を算出しました。その結果、厳冬期には、釧路市の全域で避難場所に到達が困難になると考えられます。なお、到達圏外の地域では高齢者率も高いことが確認されています。

こうした分析によって、釧路市に限らず、避難所の収容能力、高齢者率、避難所への入口の混雑の状況などさまざまな予測が立てられます。さらに、避難場所が遠く到達困難な地域を特定できたり、避難圏外での高齢者の増加を推計することもできます。

④ 釧路市における町内会の取り組み

これまでの分析を踏まえて、市内の町内会を対象に防災に関する取り組みについて聞きました。そうすると、足腰の弱いお年寄りの所在やどうやって避難させるかなど、住民同士で細かいことまで話し合っている町内会や、避難ルートに関して、さらに避難しやすくするために相談をするなど積極的に防災について取り組む町内会もありました。釧路市は確かに津波で危険なところが多いのですが、地域のなかで独自の防災活動に取り組んでいることは高く評価できます。

⑤ 釧路市における認可保育園の集団避難

もう一つ、私たちが中心になって取り組んでいるのが保育園の集団避難の研究です。浸水想定が変わって、新たに浸水域に入った保育園のうち、想定浸水深4 m 以上の浸水域にある

保育園全部について聞き取り調査をしました。

その結果、わかったことは、東日本大震災以後、どこの園も避難場所を変えていることです。市役所から4階以上の建物に逃げるように指示がきたとのことで、以前は公共施設主体だったのが、民間施設や住宅施設に変更しているのです。より近く、より高いところに避難場所を変えているので、良い点もありますが、毛布や食料が備蓄できないなど別の問題が出てきています。

また、散歩の時間帯や朝晩の職員の少ない時間帯には避難の遅延が懸念されます。これについては地域住民や町内会の協力を得られないか検討が行われています。新しい避難場所に食料や毛布をどう備えるかなども含めて、保育園でも避難に関する課題の認識が進んでいる点は素晴らしいと思います。

(5) 衛星測位を利用した津波避難行動分析

避難行動についてGPSとビッグデータを活用した実験も実施しました。2012年8、9月と2013年2月に、学生を調査者として津波発生の擬似的避難をし、データ収集をしました。一人がGPS、もう一人がビデオカメラを持つ2人一組で、さまざまな地点から避難場所までを歩き、到達時間や速度低下要因など収集・分析しました。

避難場所までの到達時間は、概ね15分以内で到達できましたが、オーバーするところもあり、特に冬季には時間がかりました。その要因は坂や階段で、それをGISで可視化するために利用したのが「カーネル密度推定」です。平均歩行速度を出し、それより歩行速度が急激に落ちるところを色分けし、地図上で3次元化しました。速度が落ちるのは、傾斜、階段、あるいは横断歩道のツルツル滑るところなどです。各ルートで、その遅い部分がどれぐらいあったか、3次元図で示すと地区の状況がわかりやすくなります。例えば、夏には階段の昇りのところでゆっくりになって渋滞ができるのに対し、冬には全般にゆっくり安定したペースで、傾斜を降りるときは滑るので速度がさらに落ちるなどの傾向があり、夏と冬では避難の対策が違ってくることがわかります。

海岸部の津波浸水想定地域について見ると、夏の速度が落ちる地点、冬の速度が落ちる地点を両方重ね合わせることで、避難行動への対策が検討しやすくなるのではないかと思います。

4. 地理空間情報の流通加速の必要性

自然科学分野では自然現象に関するマクロな研究成果がどんどん生まれていますが、それをミクロな生活圏レベルで活用し、防災計画の立案に生かすことが重要です。町内会など地域の社会活動では、ある程度安定した、生活のなかにあるミクロな情報が必要ですが、マクロな情報とミクロな情報をつなぐことは簡単ではありません。その課題解決のために、地理空

間情報の流通を加速していくことが重要ではないかと思います。

私は、北海道総務部の危機対策課によるオープンデータを活用して、各自治体でハザードマップ作成が無料でできる「フリーソフト QGIS を用いた津波ハザードマップ作成マニュアル」を開発しました。さまざまな自治体で活用してもらっていますが、厚岸町からは「ハザードマップ費用が半分程度で済んだので、予算を別の部分で活用できる」という声が寄せられ、とても嬉しく思いました。

このように、私たちの GIS と地理空間情報に関する研究成果が、広く社会経済活動に役立つことを願っています。都市開発と災害リスクの関係を GIS と空間情報で考えることは、災害時の自助・共助を最適化するために、どのような公助が必要かということを考える手段となるという意味で非常に重要だと考えています。私たちの取り組みの詳細は『QGIS の基本と防災活用』（橋本雄一編・古今書院・2015 年）にまとめられています。

6. 防災情報の読解法

—自然科学からみるハザードマップと防災文化からみるリスクマップ—

北海道大学大学院工学研究院

教授 岡田 成幸

1. 「災害弱者」とは誰か

まず、災害が発生したときに、誰が犠牲者になるかについて考えてみます。言葉の定義としては、一般に「災害にやられた（傷ついた）人」を「犠牲者」、「災害でやられやすい（傷つきやすい）人」を「災害弱者」と言います。

「犠牲者のうち、弱者は何%か」という問いを考えてみましょう。健常者と弱者の存在割合が8対2であったとすると、犠牲者のうち弱者は何%でしょうか。これは「ベイズの定理」で計算できますが、これを知らなくても計算は可能です。存在確率だけ考えると8対2なので、犠牲者の割合も健常者が8、災害弱者が2の割合ではないかと思いますが、そうはならないのです。全体のなかで健常者と弱者の割合が8対2で、そのなかで犠牲者が発生することになります。この犠牲者に対して弱者がどのくらいかという計算ですから、（犠牲者／弱者）に弱者をかけて、それを犠牲者で割ればよい。弱者の値は約分されて（弱者／犠牲者）が出てきます。これを計算すると、全体の犠牲者に占める弱者の割合は71%という結果が出てきます。それだけ弱者に犠牲が集中するということです。

今の仮定では、全体が健常者8対弱者2という割合で計算したもので、その結果、被災による犠牲者の約7割が弱者ということですが、最初的前提である災害弱者は本当に2割なのだろうか、という点に疑問がわきます。

「あなたは災害弱者ですか」と尋ねられると「とんでもない。災害弱者ではありません」と答える人がほとんどです。では、「どういう人が弱者でしょうか」と問うと、通常、「体力的に弱い人（高齢者、幼児、身障者など）」や「近隣に不案内な人（外国人など）」、「既存不適格住宅（危険なところ）に住んでいる人（仕送り学生など）」という答えが返ってきます。

しかし、災害弱者とは、実は情報を知らない人、あるいはきちんとした情報が伝わっていない人のことだと言わざるを得ません。しかも、ただ、情報をとれない人だけではなく、自分の周りに危険があることを認識しない人、危険の本質を理解しない人、つまり対策の仕方がわからない人、また、自分自身の弱さを正當に評価できない人、それがわかっているにもかかわらず実践しない人も含めて災害弱者になり得るということです。そして、高齢者など体力的に弱い人などは構造的弱者のなかに含まれ、この人たちには公的支援（制度）が必要ということになります。

したがって、防災を学習することで災害弱者から脱却することは可能です。リスクマネジメ

ントの極意は「認識なくして対策なし」、「理解なくして対策なし」、「評価なくして対策なし」、「実践せずして対策なし」ということです。私は、この極意から、認識（Perception）、理解（Comprehension）、評価（Assessment）、実践（Governance）の頭文字をとって「PCAG ステップ」と呼び、この順番に取り組むよう勧めています。マネジメントについては、PDCA サイクル（Plan、Do、Check、Act）もよく言われますが、このサイクルは評価から実践の各ステップのなかで回転していくものです。災害リスクに関しては、まず、認識と理解がなくては評価、実践のステップに進むことができません。

2. 認識篇

(1) 対策を拒む自然の摂理：人間の心理

最初のステップである「認識」は、気づくことですが、単に気づくだけではなく、何とかしなければならない、という思いが伴わなければ本当の気づきではありません。

また、対策を拒む自然の摂理として人間の心理を考えておく必要があります。そこには、災害というものを記憶から外しておこうと本能が働いています。人には嫌なことを忘れるという心の働きがあり、忘れることは人間が生きていくなかで、老若男女を問わず大切な能力です。例えば「偶然の必然化／必然の偶然化」ということがあります。プロ野球の野村監督は「負けに不思議の負けなし、勝ちに不思議の勝ちあり」と言いましたが、不運や負けには当然理由があり、その理由を知らないと、次に生かせないということです。

災害は、めったにやっこないのですが、やってきても助かることは結構あります。これを必然の結果だと受けとめるか、それともたまたま助かったと考えるか、これによって大きな違いがあります。人間には偶然を必然と考える心の働きがあるのです。

また、社会心理学者が指摘する「正常化への偏見」もよく知られています。これには2種類あり、「非常ベルはいつも故障している」と考える「同化性バイアス」と他人の動きに同調し、空気を読む風潮を指す「同調性バイアス」があります。こうしたものは、もともと人間の心のなかにあるのです。

それから「経験の風化」という、過去のことは美化して、嫌なことは忘れたいという心理もあります。嫌なことを忘れないでいたら、それほどつらいことはないでしょう。さらに「感受性の鈍化」は緩慢な刺激や環境の変化に対して人間は強いということがあります。むしろ、それで耐性をつくっていくというようなこともあります。このように、人間には忘れようとする本能があることを認識することが大事です。

(2) 技術革新が進むと対策は忘れがちになる

一方、社会の動きのなかにも災害を排除しようとする力が働いています。技術革新が進むと対策は忘れられがちになるのです。リスクは発生確率に被害規模を乗じたもので評価され

ます。不確実性を縦軸、被害規模を横軸にグラフを書くと、発生確率の高い、小さな被害は技術革新でどんどん克服していきます。そうすると、めったに起こらない被害の大きな災害、つまり想定外の低頻度大規模災害は市場の原理に乗ってこないのです。企業はそれに対して投資しようとしません。それで、ますます世の中から忘れ去られていくのです。つまり、技術革新は防災を忘却させるという矛盾した現象が起こります。防災投資の市場原理は成り立たなくなってしまうのですが、社会全体の動きのなかにも、災害に対する対策を拒絶する力があることを忘れてはなりません。

このように、リスクは一人ひとりの心のなかで、そして社会の仕組みのなかで忘れ去られる運命を持っています。したがって、一人が頑張っても無理で、社会全体で守っていくしかありません。私は防災・減災を日本の文化に昇華させたいと考えており、北海道には防災文化が育つ土壤があると思っています。

3. 理解篇

(1) リスクマネジメントの手順

災害の本質が何かについて理解するステップに入ります。リスクは発生確率と被害規模のかけ算で定義されると説明しました。今、被害が発生したことを考えると（発生確率＝1.0）、リスクは発生した被害規模、すなわちリスク＝災害となり、それはハザード（誘因）とバルナラビリティ（素因）を掛け合わせたもので、それでリスクの大きさが決まります。こうした災害に関する仕組みをまず理解することが必要です。

そして、災害に対する自分自身、あるいはわが家やわが町の防災力はどうなのかを数値評価します。敵の攻撃力（ハザード）を評価し、自分の防御力（バルナラビリティ）を数値評価して、掛け合わせることで、弱点が発見できます。

弱点が発見できれば、改善目標を設定します。設定する対策は一つではだめで、多重対策を挙げておくのが防災対策の基本中の基本です。その上で自分の能力やさまざまな経済的な問題などがあるでしょうが、優先順位をつけて実践に移します。これがリスクマネジメントの手順です。

(2) ハザードとリスク

ハザードとは、地震や川の氾濫などの自然現象の大きさを意味します。そこに私たちの町ができて、地震により構造物が破壊されたり、水害で集落が水没すると、それがリスクになります。ハザードは自然現象、リスクは災害現象と考えることができます。

そうすると、ハザードは自然現象なので、それに関する情報は自然科学的、理学的な情報であり、気象庁がさまざまな形で情報を提供しているので、比較的入手しやすいと言えます。一方、災害現象は私たちの町のなかにかかわるもので、土木や建築、工学、農学などの

情報が関連しますが、それらはさまざまなところに散在しています。最近では、行政がこうしたリスク情報をまとめてホームページなどに公開していますので、かなり入手しやすくなりました。しかし、まだ、ハザード情報は得やすいが、リスク情報は得にくい状況にあります。

(3) 稚内市の防災ガイドマップ

例として、稚内市の防災情報をインターネットで検索しますと「防災ガイドマップ」があります。それを見て、少し気になる部分がありました。「災害のおそれがあるときは、自分の判断で自主的に避難し、最良の行動をとりましょう」とあります。その通りですが、では「災害のおそれがあるとき」とは、どういうときでしょうか。また、「自分の判断」と言っても、どうして判断したらいいのか。「自主的に避難」というのは、どこに避難すればよいか。「最良の行動」とはどんな行動なのか。これらは具体的には記されていないのです。この書かれていない情報こそ、必要な情報であり、行政がかき集めて住民に提供しなければいけない情報です。

もう一つ、「防災ガイドマップ」に市街地区の地図がありますが、掲載されている主な情報として、①避難場所、②津波一時避難場所、③急傾斜地崩壊危険箇所、④土石流危険箇所、⑤津波の高さ、⑥津波到達時間、があります。ということから、市は「津波と降雨による土石流については慎重に対応してください」と注意喚起していますが、他の自治体では防災情報として掲載している場合が多い地震や液状化などについては稚内は考えなくていいのか、と少し疑問を持ってしまいます。

稚内市の地域防災計画書を見ますと、地震や風水害など大規模災害について全部載っていますが、内容的には残念ながら一般的なことでとどまっています。これを見ても、どう対応するか、具体的には見えてきません。計画は少し概略的過ぎるという印象があります。行政には「ハザードマップからリスクマップへ変換する技術が必要であり、それを情報として提供してほしい」と一般住民は思うはずです。

(4) 土砂災害のメカニズムと危険箇所

そのためには、災害発生のメカニズムを理解することが必要で、それができれば、評価と対策に結びつきます。例えば土砂災害のメカニズムは、雨により土砂と斜面の間に働く摩擦力が小さくなり、土石が流れますが、その摩擦力は押し付ける力に比例します。雨が降ると土の粒子に浮力が働いて軽くなり、摩擦力が小さくなって流れるのです。

ただ、どのぐらい危険なのか、危険箇所の情報が重要です。崖の高さと土石流の流れ落ちる崖下の幅との関係で、崖からの距離が高さの2分の1ぐらいの場所まで土砂が流れる可能性が高いのですが、それをもとにした危険箇所の情報が必要であると思います。

稚内市の防災ガイドマップは、地すべり危険区域として6カ所、急傾斜地危険区域102カ所、土石流危険渓流箇所48カ所、土砂災害警戒区域16カ所と掲載されています。これを対策にどう生かすかですが、一般住民としては、この場所での居住を避けるということしか方策

はないかもしれません。土石流に耐え得る住宅の構造にしようとするとは非常にお金のかかる建物になってしまいます。

異常を察知したときは避難場所へ逃げるとのことですが、異常とはどういうものかを知る必要があります。例えば、水がたまって山が崩れてくるときには、地面から水がしみ出す、地鳴りがする、溪流の水が止まる、湧き水が濁る、山腹に亀裂が入る、石が落ちてくる、プチプチ音がする、焦げ臭いなどの現象が起こります。こうした情報を、その発生原因とともにしっかり発信すると、住民にも何をすればいいかわかるのではないかと思います。また、避難場所に行く時間もない場合には、なるべく上の階に逃げれば土石流に遭う確率が下がることも知らせる必要があります。

また、山の斜面で植生が変わっているところから土石流の痕跡を知ることができます。1891年濃尾地震の水鳥断層涯の痕跡について1974年の写真を見ると、断層涯は80年以上経っても残っており、そこで植生が変わっています。稚内市内でも、植生が変わっているところはたくさんありますが、こうした場所がかつて土石流が起こった可能性があるとは注意喚起する必要があります。行政はそうした情報も発信した方がよいのではないかと思います。

(5) 地震と地震（動）

地震については、地震、断層、活断層、伏在断層、トラフ、破碎帯、撓曲などさまざまな言葉があります。例えば、活断層は、現在、動いていて地表面に達したもので、伏在断層は地表では確認できないものです。

紛らわしいのは「地震」という言葉です。震源を意味する場合も、揺れを意味する場合も日本語では「地震」です。揺れは地震動という言葉もありますが、英語では、震源は Earthquake、揺れの方は Ground motion で、はっきりと違います。日本語ではどちらも地震で通用してしまうので、その結果、マグニチュードについても混乱してしまうことがあります。こうした違いについてしっかり認識する必要があります。

マグニチュードは対数（log）で表した数値ですが、例えば、マグニチュード7は近くで発生すると非常に大きな被害を及ぼしますが、マグニチュード（M）が1高くなったM8になると約32倍になります。東日本大震災のときはM9でしたが、M10は日本全体がほぼ入ってしまうほどの規模になります。地球が壊れる規模のマグニチュードはM11.7と想定されます。ということは、M10以上の地震はほとんど起こらないと考えてよいのです。

一方、震度には体感震度と計測震度があります。1996年の阪神・淡路大震災を契機に、それまでの体感震度から計測震度になりました。体感震度は気象庁職員が判断した値で発表していたのですが、より客観的に機器による計測震度になりました。ただ、私たちの印象では、体感震度に比べて計測震度の方が、少し数値が大きい傾向があります。それで困るのは、過去に経験した揺れの大きさと災害の規模の大きさに少しずれが生じることがあることです。これも修正していかなければならないことです。

震度とは揺れの強さですが、これと被害との関係は建物の強さ、いわゆる素因によってか

なり変わってきます。震度6でも全然壊れないものもあれば、弱い建物は倒壊してしまうかもしれない。自分の家がどのぐらいの強さでどうなるのか、きちんと評価しておかなければいけません。その評価の仕方については資料があるので、対策も含めて確認しておく必要があります。

(6) 揺れを知る・稚内市のハザード

地震の起こるメカニズムによって、地震にはさまざまな名前がついています。プレート同士がすれ違ってポンと跳ね上がる地震は「プレート間地震」、プレートが重みで切れてしまうことによる地震は「スラブ内地震」と言います。首都直下型地震で言われているようなプレートがひずんで壊れる地震は「プレート内地震」、日本海溝の外側で起きる地震で「アウターライズ地震」と呼ばれる地震があります。これは日本から遠いので震動被害は起こしませんが、津波については考えておかなければなりません。北海道が稚内市に影響する地震として想定している地震は「プレート間地震」と「プレート内地震」の2つの種類です。

直接的な地震で影響を及ぼすと想定されるのは、プレート内地震のサロベツ断層帯による地震とプレート間地震の北海道北西沖の地震です。共に歴史地震の記録はありませんが、北海道北西沖の地震については地震性堆積物の解析から3,900年間隔の発生と考えられています。直近は約2,100年前なので、この間隔であるとすれば、1,800年後ということで発生確率は低いですが、起こる可能性はあります。津波の影響については、まだ計算されていませんが、稚内市の最大震度は6.5、木造全壊家屋数1,557棟、全道死者数39人と推定されています。

恐ろしいのはサロベツ断層帯で、伏在断層なので地表面には出ていません。深さ7kmでマグニチュード7.6、30年以内発生確率は最大で4%です。阪神・淡路大震災が10%程度で起こっていますので、決して小さい確率ではありません。起こった場合、稚内市の最大震度は6.8です。6.5以上が震度7に相当しますので、大きな揺れです。市内の木造全壊数1,916棟、全道死者数27名と推定されています。

以上のようなことをまとめると、稚内市における敵（ハザード）は、とりあえずサロベツ断層帯による直下地震と考えられます。揺れの大きさは震度7ですが、震度7には上限がなく、最も大きい揺れを7としているので、実際、8に近いのか、9を越えているのか、全くわからないのです。したがって、震度7には対応の仕方がないということで、防災の立場からは震度6強を最大として対策を立てることになっています。その直下地震による想定住家全壊棟数約1,900棟、想定死者数は約30人です。もう一つのハザードは海溝型地震の北西沖地震で、津波の発生を考えておく必要があります。

稚内市のまちづくりを振り返りますと、明治30年代以降、どんどん市街が湾に沿って広がってきています。これをハザードマップと比較して見ておくことが重要です。震度6強から7のところに稚内の中心市街地が広がっている事実は知っておくべきでしょう。

では、揺れが来るとどうなるのか。鉄筋コンクリートの建物では剪断破壊が起こります。木

造では継ぎ手の曲げ破壊で潰れてしまいます。液状化の心配もあります。液状化は簡単に言うと、砂が噴射するような状況です。地盤の条件も関係するので関連データなしには詳細はわかりませんが、建物の基礎が支え切れないので、そこに住むことはできなくなります。

問題は港湾です。埋め立ててつくりますから、液状化が必ず起こります。港の海側に地面が流れることを側方流動と言います。鳥取県西部地震（2000 年）の際の境港の岸壁を見ると膨れ上がっていることがわかります。こうなると漁港として使えないのです。

津波については、北海道防災会議から公表されているデータを見ますと、着目すべきなのは、津波の高さ（遡上高）よりも地面からの水の高さ、つまり浸水深です。浸水深で家が潰れるかどうかが決まります。湾岸では、最大浸水深 2~4 m で、一番大きな波が来るのは 28 分と考えられています。家屋の 1 階分は完全に水につかり、2 階の一部も水浸しになってしまいます。水の力は土砂と同じぐらいなので、木造建物はひとたまりもありません。ただ、大きな波が到達するのに約 30 分あるので、この間に逃げれば命だけは助かります。

4. 評価・対策篇

地震動対策について重要なのは、時間軸上でさまざまな対策を多重的にしなければいけないということです。リスク回避に始まり、リスク予防、リスク軽減、リアルタイム対応、緊急対応、リスク保有、リスク移転と、さまざまな時点で対策があります。リスク回避は、例えば、災害のない場所に自宅を選ぶという土地の問題であり、リスク予防は建物耐震化や室内の安全化です。リスク軽減は避難の問題で、家族会議や防災グッズの準備などがあります。さらに実際に起こったときは、1 分 1 秒あれば命だけは助かるということもあるので、そのための誘導対策などがあります。

緊急対応は避難所生活の送り方で、リスク保有は資産管理です。お金が決定的に大切で、東日本大震災であればどの被害があっても、お金があれば何とか生き延びられるという面があります。どのぐらいの被害でどうなるのかというシミュレーション結果も示されていますが、お金（預貯金）の重要性をもっと行政も発信した方がいいのではないかと思います。

最後はリスク移転で地震保険加入などが挙げられます。人の命は助からないかもしれないが、お金で補償するということですが、低頻度最大規模の地震の場合には、現時点ではこれで妥協するというのも一つの割り切った考え方（対策）と言えるかもしれません。