

季刊

消防防災の科学

冬
2023

特集

土砂災害と防災・減災（その1）

■ トピックス

雪崩などの雪氷災害の発生メカニズムと防災

北海道教育大学札幌校 教授 尾関俊浩

令和4年8月3日からの大雨 調査日：8/6（土）～7（日）

消防防災科学センター 齋藤 泰
古屋貴司

■ 連載講座

連載（第56回）

未来と共に過去の評価も…………… 作家 童門冬二

気象情報を生かそう（第8回）

アンサンブル予報で予報に信頼度付加… 気象予報士（元気象庁）饒村 曜

151

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、みんなの暮らしに役立っています。



移動採血車



ユニバーサルデザイン施設
ピクニックテーブル



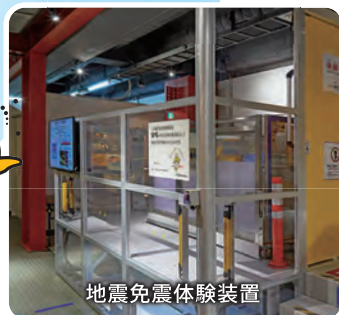
一輪車



宝くじ桜



こどもの国 ふれあい学び館



地震免震体験装置



星空観察映像展示施設



ドリームジャンボ絵本



消防団防災学習・災害活動車両



テント



総合検診車



フラワープランター

宝くじは、図書館や動物園、学校や公園の整備をはじめ、災害に強い街づくりまで、みんな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

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

令和4年8月3日からの豪雨災害



新潟県関川村 - 水没した越後大島駅の踏切（2022年8月撮影）



山形県飯豊町 - 白川にかかる大巻橋の崩落現場（2022年8月撮影）

消防防災の科学

No.151 2023. 冬

巻頭随想

人間の顔をした防災 ～人の尊厳を守る法制度への転換～

跡見学園女子大学 教授 鍵屋 一 2

特集 土砂災害と防災・減災（その1）

- 1 土砂災害等を巡る災害情報の論点
東京大学大学院情報学環総合防災情報研究センター 特任教授 田中 淳 5
- 2 近年の多発する土砂災害にどう備えれば良いのか
岩手大学 名誉教授・NPO 法人土砂災害防止広報センター 理事 井良沢 道也 9
- 3 土砂災害対応の安全管理について
消防研究センター技術研究部 上席研究官 新井場 公德 18
- 4 広域を対象とした土砂災害の予測・評価技術
東北大学 災害科学国際研究所 准教授 森口 周二 25

■トピックス

雪崩などの雪氷災害の発生メカニズムと防災

北海道教育大学札幌校 教授 尾関 俊浩 30

令和4年8月3日からの大雨 調査日：8/6（土）～7（日）

一般財団法人 消防防災科学センター
主任研究員 齋藤 泰
副主任研究員 古屋 貴司 37

■地域防災実戦ノウハウ（114）

－「高齢者等避難」の発令頻度の軽減－

Blog 防災・危機管理トレーニング 日野 宗門 41

火災原因調査シリーズ（108）

油圧ショベルの作動油が発火し出火した火災について

川崎市消防局予防部予防課調査係 44

■連載講座

連載（56回）

未来と共に過去の評価も 作家 童門 冬二 51

気象情報を生かそう（第8回）

アンサンブル予報で予報に信頼度付加 気象予報士（元気象庁） 饒村 曜 53

■防災・減災への取り組み事例

和歌山県土砂災害啓発センター －あの被害を繰り返さないために－

..... 和歌山県土砂災害啓発センター 所長 稲田 健二 58

編集後記

カラーグラビア

令和4年8月3日からの豪雨災害

バックナンバー

消防防災の科学バックナンバーは、右記のQRコードからご覧いただけます。



人間の顔をした防災 ～人の尊厳を守る法制度への転換～

跡見学園女子大学教授

鍵 屋 一

災害対策基本法の目的規定を考える

災害対策基本法（1962年施行、以下「法」という）は、1959年の伊勢湾台風を契機に成立する。法の目的は「国土及び国民の生命、身体及び財産を災害から保護する」となっている。自治体の地域防災計画の目的もこの法を援用して「住民の生命、身体及び財産を災害から保護する」となっているはずだ。

ところで、「生命、身体及び財産」の文言は、17世紀のイギリスの政治哲学者ジョン・ロックが基本的人権として示した「生命、自由及び財産」に酷似している。ロックが示したこの文言はトーマス・ジェファークソンが起草したアメリカの独立宣言、そして日本国憲法第十三条後段「生命、自由及び幸福追求に対する国民の権利については、公共の福祉に反しない限り、立法その他の国政の上で、最大の尊重を必要とする。」へと受け継がれている。

そうであれば、法の目的を「生命、自由及び幸福追求に対する国民の権利を災害から保護する」としても良かったのではないか。それが、なぜ「生命、身体及び財産」に矮小化されたのか、当時の議事録を見てもよくわからない。法の起草者は、当時は、災害時に「自由」や「幸福追求に関する国民の権利」までは守れないので「身体」、「財産」としたのかもしれない。

自由と尊厳

ロックが言うように自由という価値観は、生命と並び称されるほど重要である。しかし、自由を享受できるのは一定の豊かさ、健康な者というイメージがあることから、より根源的な人間の価値として「尊厳」が基本的人権にはふさわしい用語と考えられている。

たしかに認知症高齢者の自由を守ると言われてもピンとこないが、尊厳を守るとなればよくわかる。事実、介護保険法（2000年施行）では、その目的が「（要介護等）の者が尊厳を保持し、その有する能力に応じ自立した日常生活を営む・・・」とある。障害者総合支援法（2013年施行）では、「（障害者及び障害児が・・・）尊厳にふさわしい日常生活又は社会生活を営む」となっている。

また、1997年に複数の人道支援を行うNGOと国際赤十字・赤新月運動によって始められたスフィア・プロジェクトは、人道支援の質と説明責任の向上を目的としている。スフィア・プロジェクトの原理は以下の2つに基づいている。

- ・災害や紛争の影響を受けた人びとには、尊厳ある生活を営む権利があり、従って、支援を受ける権利がある。
- ・災害や紛争による苦痛を軽減するために、実行可能なあらゆる手段が尽くされなくてはならない。

(下線部は筆者による)

災害救助法と無差別支援の課題

災害時の支援法としては、1947年に災害救助法が制定されている。これは、被災後の応急的な生活支援を担っていた。特徴としては年齢や所得を問わない「無差別支援」である。実際に避難場所に逃げるのに、若い人や所得のある人は入れません、というわけにはいかない。

一方で、多数の避難者がいる場合、無差別支援であれば早い者勝ちになる。そうすると、元気な若い人が避難所に早く到着して良い場所を取り、遅れてきた高齢者や障がい者は入り口のそばなど環境の悪い場所や、避難所に入れずに路上や壊れた自宅に戻らざるを得なくなる。これは、阪神・淡路大震災で大きな問題になり、福祉避難所の制度化の端緒となる。

つまり無差別支援には、その語感とは裏腹に、災害時のように社会資源が不足するときは、強者優先になりかねない脆さがある。

高齢化の進展と災害関連死

わが国の75歳以上の高齢者人口は法制定の1960年当時は163万人であった。その後、75歳以上人口は増え続け、阪神淡路大震災時の1995年に約717万になる。この時点で無差別支援の脆さが露呈したのである。それが、さらに2020年には約1,870万人と急増している。

このため、近年の災害では、高齢者や障がい者等が逃げ遅れて亡くなるほか、避難生活で苦境に陥って多数の関連死も発生している。たとえば、2011年3月の東日本大震災で被災した福島県においては、死者・行方不明者が1,810名（警察庁、2021年3月）に対して、災害関連死が2,320名（復興庁、2021年3月）と500名以上も多くなっている。

2016年4月の熊本地震では直接死が50名であったのに対し、関連死が226名にも上る（熊本県、2022年4月）。その内訳は図1にみるように60歳以上の高齢者が9割以上だ。

また、図2のように、亡くなった場所で最も多いのが自宅であり、その次は自宅で具合が悪くなって病院に搬送された場合だ。

ところが、当時の熊本県益城町では避難所支援に6割の職員が従事し、とても在宅の高齢者を支援する余力はなかった。すなわち、東日本大震災や熊本地震クラスの災害になると、被災自治体には災害関連死を止める力はなくなる。被災自治体中心主義の限界である。

さらに、災害救助法には「医療・助産」が支援対象として位置づけられているが、福祉支援がな

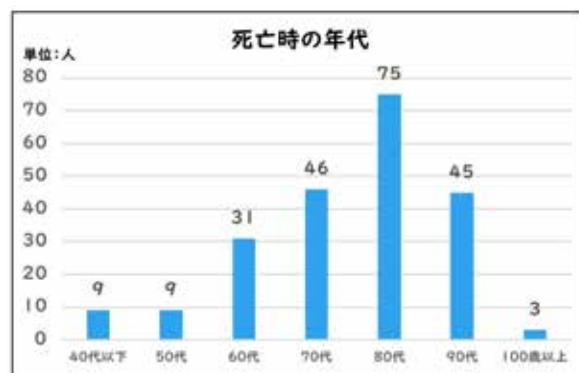


図1 熊本地震での震災関連死内訳

令和3年3月末時点218件（更新）

出典：熊本地震の発災4か月以降の復旧・復興の取り組みに関する検証報告書、R3.4.9報道発表

生活環境	人数	割合
発災時にいた場所及びその周辺	12	5.5%
避難所等への移動中	0	0.0%
避難所滞在中	10	4.6%
仮設住宅滞在中	1	0.5%
民間賃貸住宅・公営住宅等滞在中	0	0.0%
親戚や知人の家に滞在中	8	3.7%
発災前と同じ居場所に滞在中の場合【自宅等】	81	37.2%
発災前と同じ居場所に滞在中の場合【病院】	27	12.4%
発災前と同じ居場所に滞在中の場合【介護施設】	17	7.8%
入院又は入所後1か月以上経過し亡くなった場合【病院】	58	26.6%
入院又は入所後1か月以上経過しなくなった場合【介護施設等】	3	1.4%
その他・不明	1	0.5%
合計	218	

図2 熊本地震震災関連死 死亡時の生活環境区分

出典：熊本地震の発災4か月以降の復旧・復興の取り組みに関する検証報告書 R3.4.9報道発表

い。また、応急的な生活支援にとどまり、中長期的な自立支援についての定めがない。自治体は、中長期的な被災者支援については、災害のたびごとに発せられる省庁からの通知や予算制約の中で汲々とすることになる。

災害時の尊厳

災害時には、次のようなことが発生しやすい。

- ・高齢者の逃げ遅れ・関連死が多い
- ・障がい者（児）が安心して避難できない
- ・避難所では授乳時には人にジロジロ見られる
- ・避難所では夜間に女性が安心してトイレに行けない
- ・避難所では弁当は早く並んだ順に配られる

これらは、人の尊厳を守っているだろうか。「災害は弱い者いじめ」という状況から脱するためには、尊厳をキーワードに災害対応を根底から見直さなければならないのではないか。

人命とともに人の尊厳を守られる防災対策を、私は「人間の顔をした防災」と呼びたい。一人ひとりの被災者に寄り添いながら命と尊厳を守り、中長期的な自立を支えていく。だとすれば、おそらく平時の福祉政策を災害時にも可能な限り適用するアプローチになるだろう。すでに、介護保険法や障害者総合支援法は、当事者の尊厳を守ること法の目的としているからだ。

現実化するには、被災地内外から圧倒的な人的資源を調達し、コーディネーションする拠点機能が求められる。それを「被災者支援センター（仮称）」と呼びたい。

災害時にも尊厳を守る法制度を

2019年3月、戸田市は防災基本条例を制定し、

その目的に「尊厳」を規定した。

第1条（目的） この条例は、自助・共助・公助の考え方の下に、市民の生命、尊厳及び財産を守る上での基本理念と防災対策に関する市民、事業者、市及び議会の責務及び役割を明らかにし、防災に関する基本的事項を定めることにより、防災対策を総合的かつ計画的に推進し、被害を最小限にとどめ、災害に強いまちを実現することを目的とする。

2020年9月、熊本市も「尊厳」を含んだ防災基本条例を制定した。

第1条（目的） この条例は、災害時に市民等の生命、身体、財産及び暮らし並びに個人の尊厳を守るために、防災に関する基本的な考え方を示し、市、市民、事業者及び地域の防災組織の役割を明らかにするとともに、防災に関する意識の醸成を図ることにより、地域防災力の最大化を図り、もって現在及び将来の市民が安心して暮らすことができる真に災害に強いまちを実現することを目的とする。

自治体が先導した素晴らしい取り組みではないだろうか。ぜひ、全国の自治体でも、防災基本条例や地域防災計画の目的を、戸田市や熊本市のように尊厳規定を加えていただきたい。特に条例化することで、住民参画の条例検討会や議会審議を通じて、職員だけでなく、住民や議員にも、災害時に尊厳を守ることの意義が共有される。

多くの自治体がこのような取り組みをすることで、災害対策基本法の目的に尊厳が加わるであろう。そして、災害時にも尊厳が守られる「人間の顔をした防災」の実現に近づくことを願っている。

□土砂災害等を巡る災害情報の論点

東京大学大学院情報学環総合防災情報研究センター特任教授

田 中 淳

(1) 土砂災害と避難対策

土砂災害対策は、防災対策の中で先導的役割を果たしてきたと感じている。警戒区域の設定や土砂災害警戒情報の発表などソフト対策を先進的に推し進めてきた点である。平成13年に制定された「土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律」（土砂災害防止法）であり、その防災思想は平成13年の「土砂災害防止対策基本指針」に「それまでの砂防堰堤等の土砂災害防止施設の整備によるハード中心の対策に加え、避難体制の整備や一定の開発行為の制限等のソフト対策が推進されてきた」と書かれるとおりである。2011年に発生した東日本大震災後に津波防災が明確に総合的な対策へ舵を切った政策の先取りをしていたといえよう。国の中央防災会議専門調査会の報告書（中央防災会議、2011）には、「引き続き、比較的発生頻度の高い一定程度の津波高に対して海岸保全施設等の整備を進めていくことが求められる」一方で、最大クラスの津波高への対策の考え方として、「今回の巨大な津波の発生とその甚大な被害から、海岸保全施設等に過度に依存した防災対策には問題があったことが露呈した・・・このため、住民等の避難を軸に、土地利用、避難施設、防災施設などを組み合わせて、とりうる手段を尽くした総合的な津波対策の確立が必要である」と施設整備等ハード対策の限界と総合対策への転換が明示されたのである。

しかし、この先進性は、土砂災害の被害をすべて施設整備で防ぐことは難しいという実態から、避難や立地誘導にいち早く取り組んだのだとも言える。しかし同時に、土砂災害は、避難という観点から見ても大変難しい災害だと感じている。

その災害対策の難しさを改めて突き付けたのは、平成30年西日本豪雨であった。「平成30年7月豪雨による被害状況等について」（内閣府、平成31年1月9日17時00分現在）によると土砂災害発生状況は1道2府29県にわたり2,581件となっている。このうち土石流は3割にあたる791件が発生し、死者96名、負傷者17名、全壊263戸、半壊475戸という被害をもたらした。がけ崩れは1734件に達し、死者23名、負傷者37名の人的被害を生んだ。地すべりも56件発生し、全壊1戸、半壊1戸をもたらしたが、人的被害はなかった。土石流とがけ崩れとで合わせて、死者は119名となる。同資料によると死者は全体では237名、行方不明者8名となっており、土砂災害による被害と分かっている人だけで、約半数が土砂災害関係による被害だったことになる。

(2) 平成30年西日本豪雨にみる避難

それでは、住民側の対応はどうだったのだろうか。平成30年西日本豪雨時の住民の対応行動を、サーベイリサーチセンター（2018）が三原市民に対して実施した質問紙調査の結果に基づいてみよう。

市内の土砂災害の被害を受けた2地区を対象に避難行動を見ると、回答者88名のうち10.8%に当たる9名が自宅を離れて指定避難場所や知人宅等に避難している。これを水平避難とすれば、2階以上に上がったという垂直避難は6名(6.8%)だった。河川はん濫による被害が多かった地区をみると、水平避難は22.9%、垂直避難も15.2%と、合わせて38.1%が意識的な避難行動を取ったことになる。土砂災害地区の17.6%と比べると避難率は水平避難・垂直避難ともに2倍程度となっている。

避難の契機を見ると、河川はん濫地区では「河川の水位を見て」が最も多く、土砂災害地区では「家族で話し合っ」が最も多い。水位の変化は注目しやすいが、斜面の異常は感知しにくいためであろう。実際に、砂防・地滑り技術センターとの共同調査結果では、河川で増水やにごりが生じたり、溝から水が溢れたりするといった現象を目撃した人は少なからずいるが、他方、斜面から落石する、あるいは表面を水が流れるといった現象の目撃は少ない。これまでに多くの被災地で、土砂災害を警戒していたが、目の前の河川の水位が上昇してきたために河川はん濫に目が行ってしまったという声を聞いた。土壌よりも河川の異変に気が付きやすいことの反映だろう(田中淳ほか、2010)。

土砂災害の直接的な先駆現象を、一般住民が把握し避難に結びつけることは難しい。このことから、土砂災害では安全に早期の避難をするためには、降雨状況や土砂災害発生の切迫性を予測し、避難指示等に結びつけていくことが他の災害よりも必要性が高い。

(3) 土砂災害警戒情報とレベル化

それでは災害情報の活用状況を見てみよう。総務省消防庁の「平成30年7月豪雨及び台風第12号による被害状況及び消防機関等の対応状況(第60

報)」(令和元年8月20日13時時点)の別紙1によると、避難勧告・指示等を発令した市町村のうち、避難指示(緊急)のみを発令した市町村は12市町村、避難勧告・指示等及び避難指示の両方を発令したのが175市町村、避難勧告・指示等のみが発令したのが259市町村となっている。合計すると446市町村が避難勧告・避難指示の両方いずれかを発出したことになる。避難勧告・指示等を発令する判断根拠の一つとされる土砂災害警戒情報は、気象庁によると34道府県505市町村に対して発表されていた。もちろん、避難勧告・指示等は河川はん濫に対しても発表されており、446市町村が土砂災害警戒情報に基づいて、土砂災害に対して避難勧告・指示等を発令しているわけではない。土砂災害警戒情報が発表されていても、避難勧告・指示等を発令しなかった市町村もあることがわかる。

災害情報学会の調査によると、土砂災害警戒情報を受けて避難勧告・指示等を発令している市町村もあるが、それだけで判断していない市町村も少なくない。具体的には、岡山県や広島県が公開していた「土砂災害危険度情報」などメッシュ情報や降水の予測を合わせて、対象地域を決定したり、避難勧告・指示の発令のタイミングをはかっていたりしている。

土砂災害警戒情報に限らず、災害現象の予測にはどうしても不確実性が伴う。災害の発生を予測する災害情報には、「空振り」、つまり警報等災害情報が発表されていたものの予測されたような災害が生じなかったという本質的課題がつきまとう。同時に、災害情報は発表されていないのに災害が発生してしまったという「見逃し」も生じる。一般的に、見逃しを減らそうとすると、空振りは増加し、空振りを減らそうとすると見逃しは増加する。このうち見逃しは避けなければならないので、災害情報にとって空振りの可能性は常に残ることになる。その改善方策として、災害の切迫度の段階的活用がある。見逃しを避け空振りを許容する

初期の情報から、切迫度が高まるにつれ警戒度を上げた情報を段階的に発表していく考え方である。ある意味、これまで気象庁は大雨警報発表後になんらかの情報を発表し、危機感を伝えようと模索し続けてきたといえる。その端緒が昭和57年長崎水害の後に発表することとした記録的短時間大雨情報であり、その後も大雨警報（土砂災害）であり、土砂災害警戒情報であり、大雨特別警報、さらには線状降水帯に関わる顕著な大雨に関する情報を発表してきた。さらにこの切迫度に応じた段階的な情報を体系化する枠組みとして、大きな河川を対象とした洪水予報で採用されていたレベル化を、防災気象情報全般に採用することとなった。

それでも、土砂災害警戒情報の空振り率は残念ながら高い。気象庁の資料によると、2008年から2011年までの4年間で、土砂災害警戒情報の発表数は平均1,064回、このうち人および住宅に被害があった土石流またはがけ崩れ等が発生したのはやはり平均37回だったという。土砂災害警戒情報が発表されていた時に災害が発生した割合である災害発生率は3.5%となっている。それが2009年～2019年までの期間で見ると、土砂災害警戒情報を発表した時に対象災害が発生した割合である的中率は4.7%と改善されてきている（「防災気象情報に関する検討会」サブワーキンググループ（第1回）資料）。

それでも、依然として空振り率は高い。情報の精度を高める技術的な改善が求められる。しかし、改善されるまでは、社会の側でできることはやり続けなければならない。最後に、試論の段階であり、しかも長期的な議論だが、その方向について紹介して本稿を終えていきたい。

(4) 土砂災害からの避難に向けて

今、日本の防災気象情報はレベル化に踏み切ったが、次はそのレベル化と地質的・地形的脆弱性と組み合わせていくことが必要だと考えている。

現在は、切迫性の違いに相当するレベルを、高齢者等避難開始情報のように心身的な脆弱性と組み合わせ利用している。レベル3は脆弱層の避難であり、レベル4に上がると全員避難となる。ただ心身面だけではなく、地質的・地形的に脆弱である地域に居る人も、命を守るために早期にかつ確実に避難することが望まれる。西日本豪雨の市町村対応を見ていると、避難勧告等の発令地域を絞るためにメッシュ情報が使われていた。たしかに市町村全体の避難のコストを下げるためにも、地域は脆弱性の高い地域に限定された方が良い。

地質的・地形的な脆弱性については、建物が流出する範囲、すなわち垂直避難では助からない範囲に絞りこみを図ってはどうかと考えている。河川はん濫に関するハザードマップで家屋倒壊等危険範囲に相当する。現在すでに特別警戒区域が定められているが、「流出」という観点からより限定できる余地はあるのではないだろうか。しかし、現状の統計では住宅再建のための支援という観点から全壊や大規模半壊といった分類となっている。ここに、流出という概念を持ち込む必要があるのではないだろうか。

また、土砂災害は対象個所数が多く、時に急激に現象が悪化することがあるので、住民には主体的に対応してもらう必要がある。ただ、雨は日常的な現象でもあり、災害に結びつく変曲点はつかみにくい。そのためには、切迫感を地域社会で共有していく必要がある。災害情報が広まるには時間がかかる。災害情報を使って行動に移すには時間がかかる。少しずつ心構えを高め、一人でも多くの人に気が付いてもらうには、時間がかかるからである。

しかし、気象予測に基づくレベル相当情報の改善はまだまだ難しい。そこで、避難指示に至らない状況で如何に情報を住民に向けて出し、切迫感を醸成していくかを真剣に考えるべきだろう。避難指示の発令という市町村の判断結果だけを伝えるのではなく、市町村の対応活動や判断に至る過

程の情報も伝えていってはどうか。筆者は過程情報と呼んでいるが、たとえば市町村は災害対策本部を設置した、避難指示の検討を始めた、どのような状況になったら避難指示を出すかなどなどである。市町村などの対応や入手している情報を含めて、どうしたら切迫感を共有していけるか、避難指示一本で勝負することから、コミュニケーション・デザインを考えていく時期になったと思う。

【引用文献】

- ・サーベイリサーチセンター，2018，「平成30年7月（西日本豪雨）に関する調査 調査結果」
- ・中央防災会議「東北地方太平洋沖地震を教訓とした 地震・津波対策に関する専門調査会、2011、「東北地方太平洋沖地震を教訓とした 地震・津波対策に関する専門調査会 報告」
- ・内閣府，2020，「平成30年7月豪雨による被害状況等について」（平成31年1月9日17時00分現在）
- ・日本災害情報学会平成30年西日本豪雨災害調査団、2019年、「平成30年西日本豪雨災害に関する調査報告書」
- ・田中淳・宮瀬将之・菊井稔宏・中村功・関谷直也・中森弘道・地引泰人，2010，山口県防府市土砂災害の前兆現象の認知と避難，第29回日本自然災害学会学術講演会予稿集，pp.209-210.

□近年の多発する土砂災害にどう備えれば良いのか

岩手大学名誉教授・NPO 法人土砂災害防止広報センター理事

井良沢 道 也

1. はじめに

近年においても集中豪雨等により土砂災害があとを絶たない。令和4年には、42道府県で788件の土砂災害が発生し、死者2名、人家被害284戸の被害が生じた（土石流等、地すべり、がけ崩れが発生した件数、1月1日から12月21日までの速報値¹⁾）。国土交通省によると、8月・9月の合計では、32道県で524件の土砂災害が発生し、直近10年（H24-R3）の同期間の平均発生件数（366件）を上回った。8月3日からの大雨は全国各地の36のアメダス観測地点で1時間降水量の観測史上1位を更新、その結果、土砂災害が局所的かつ

集中的に発生した。台風第15号では全数の9割以上の167件の土砂災害が静岡県で発生した。これは単一の台風、単一の県で発生した件数として歴代2位であった（※1位は令和元年東日本台風での宮城県の254件）。さらに、大晦日の令和4年12月31日には山形県鶴岡市西目で大規模斜面崩壊が発生し、2名の方が犠牲となった。

図-1に昭和57年以降の土砂災害発生件数の推移を示す。近年の土砂災害の発生件数の推移は減少するどころか、増加している状況にある。

2010年代以降の日本は多雨期に入った可能性あり、温暖化による水蒸気輸送量の増大が豪雨の極端化につながっているとの指摘もある。これまで

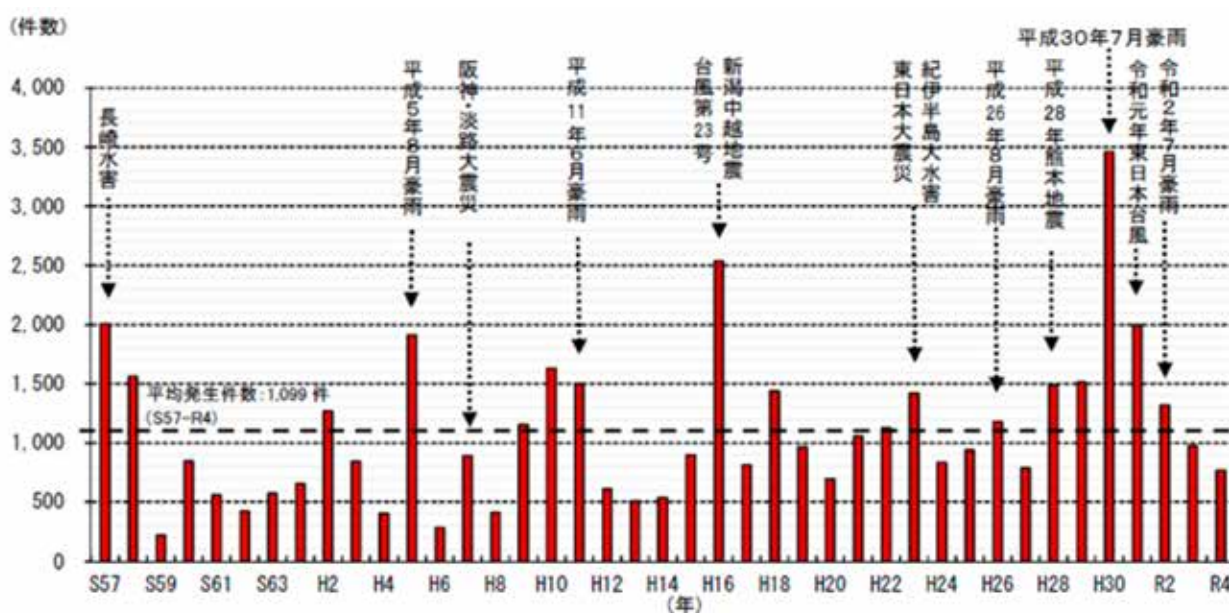


図-1 土砂災害発生件数の推移（S57～R4）（1月1日から12月21日までの速報値¹⁾）

豪雨の少なく「雨慣れ」のしていない斜面が多くある北海道や東北地方で豪雨災害の多発化傾向が顕著である。

2. 土砂災害発生の仕組み

山がちで平地の少ない我が国では、近年は年間で平均約1000件程度の土砂災害が発生している(図-1)¹⁾。土砂災害は山地流域や中山間地だけではなく、都市部での斜面や谷・沢でも発生する。

代表的な土砂災害としては、表層崩壊、地すべり、土石流があげられる。表層崩壊は、斜面土層内のせん断強度が、土層の風化等により徐々に低下したり、豪雨時に含水率や地下水位が上昇することにより一時的に低下し、斜面土層にかかっているせん断力よりも小さくなったときに発生する。土のせん断強度の長期的及び短期的変化と崩壊発生の条件を模式的に図-2に示す。経年的な風化により斜面中の土の強度は低下していることに留意すべきである。

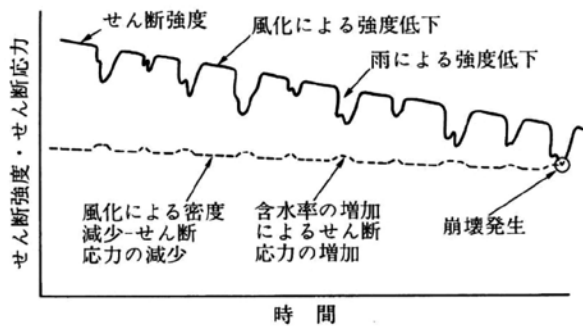


図-2 土のせん断強度の長期的及び短期的変化と崩壊発生の条件

表層崩壊の発生の仕組みについて述べる。表層崩壊の崩壊地の横断形状は一般に、深さに比べて幅が非常に大きいため、側面の抵抗、拘束などの3次元的な影響を考慮しなくて良い。このため、2次元的な取り扱いが可能である。このため、無限長斜面を想定した斜面安定解析がよく用いられる。無限長斜面を想定した斜面安定解析は、仮定として、地表面、地下水面、基盤(すべり面)は

互いに平行な平面であるとし、すべり面上で単位面積を底辺とする斜面のつり合条件を考えると、図-3に示すようになる。

$$\text{自重: } W = (w_0 h_0 + w_1 h_1) \cos \theta$$

$$\text{すべり面にはたらく垂直力: } N = W \cos \theta$$

崩壊(すべり)を起こそうとする力(せん断力):

$$T = W \sin \theta$$

$$\text{間隙水圧(浮力): } u = \rho_w h_1 \cos \theta$$

ただし、 θ : 斜面勾配、 h : すべり面の深さ、 w_0 : 土中が浸透水で満たされていない状態での単位容積重量、 w_1 : 土中が浸透水で満たされている状態での単位容積重量、 h_0 : 地下水面までの深さ、 h_1 : 地下水層の厚さ、 ρ_w : 水の比重、すべり面にはたらく土の極限せん断抵抗力はモール・クーロンの破壊規準にならい、崩壊(すべり)に対する抵抗力 R は次式となる。

$$R = C + (N - u) \tan \phi \quad (1)$$

ただし、 C : 土の凝集力(粘着力)、 ϕ : 土のせん断抵抗角(内部摩擦角)である。なお斜面に生えている樹木の根径の緊縛力は C を増加させることで評価される。

以上より斜面が安定であるための条件は、斜面の安全率 F_s という概念を導入すると、次のように表すことができる。

$$F_s = \frac{\text{崩壊に抵抗する力}}{\text{崩壊を起こそうとする力}} = \frac{R}{T} \quad (2)$$

通常は崩壊を起こそうとする力 T に対して、崩壊に抵抗する力 R がまさっているため、斜面は安定している。しかし、大雨や融雪水が地中に入り浸透すると、(1)式のように間隙水圧(浮力) U が働くため、崩壊に抵抗する力 R は小さくなり、土塊は安定を失い崩壊する。地震の場合は、地震力が土塊の崩壊を起こそうとする力 T に加わって増大し、土塊は安定を失い崩壊することとなる。

このように、斜面には絶えず重力方向に崩壊を起こそうとする力(T)とそれに抵抗する力(R)が働いている。通常は釣り合っているか、抵抗す

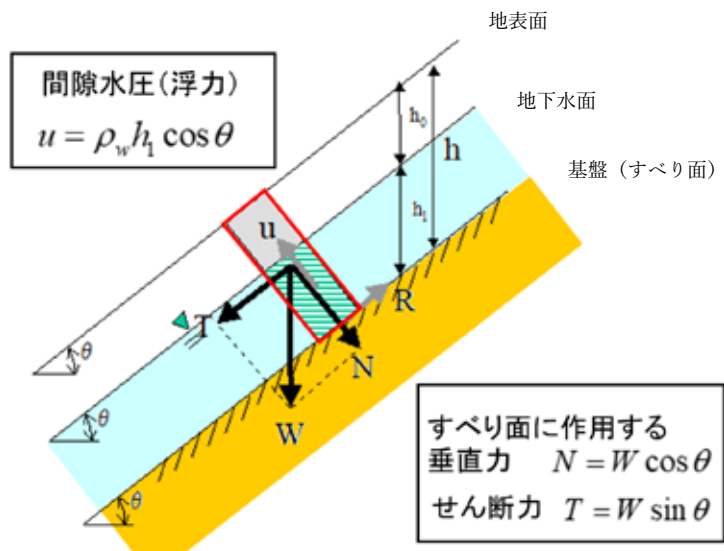


図-3 無限長斜面のつり合い条件

る力(R)が大きいため、崩壊は発生しない。しかし、豪雨時や地震時などでは、斜面の安全率 F_s が変化し、崩壊が発生する。また、図-2に示すように年々風化が進行することも留意すべきである。

以下に典型的な土砂災害である表層崩壊、地すべり、土石流について概説する。

表層崩壊はがけ崩れ(急傾斜地の崩壊)とも呼ばれ、斜面に水がしみこんで、土や石が突然くず

れ落ちる現象である。突然くずれるので、大変危険な災害である。表層の土層と基盤岩の境目で崩れることが多く、規模は小さいが、移動速度は急速で崩壊土塊は原型をとどめないことが多い。一度の雨で何百箇所も起こる場合もある。

地すべりは地層の弱面(すべり面)を使って緩慢な運動・停止を繰り返すものであり、移動体は源頭部から完全には流出せず、滑落崖とはらみ出し(移動体)のペアからなる地すべり地形を呈する。地すべりは地下水が地面のすべりやすい面にたまり、一度に広い範囲の土地がすべる現象である。地すべりは表層崩壊に

比べて、崩壊地の深さが大きく、円弧すべり面を想定した安定解析(簡便法)がなされることが多い。このため、地形その他の条件を考慮して、円弧のすべり面を想定する。想定したすべり円弧を適当な幅の細片(スライス)に分割する。それぞれのスライスごとに無限長斜面の安定解析の通り計算し、合計して安定を算出する。

写真-1は2009年7月の山口県防府市の表層崩壊(左)と2011年3月の東日本大震災の余震で発



写真-1 表層崩壊と地すべりの違い

(左) 2009年7月 山口県防府災害で発生した表層崩壊

(広島県砂防課提供)

(右) 2011年3月の東日本大震災の余震で発生したいわき市才鉢の地すべり

(福島県砂防課提供)

生した福島県いわき市才鉢の地すべり（右）である。表層崩壊（左）は崩壊した斜面には斜面下部以外にほとんど崩土が無いのに対し、地すべり（右）は多くの樹木をのせた地すべり移動体がまだ斜面に残存しており、今後二次災害が発生する可能性が高い。災害時のマスコミ報道では斜面崩壊は、「土砂崩れ」と呼ばれることが多い。このように、表層崩壊と地すべりは地表変形が異なることでリスクの違いがある。斜面崩壊では表層崩壊と地すべりのどちらの形態なのか見極める必要がある。

土石流は写真-2のように、山腹や川底の石や土砂が豪雨などにより水と一体となって流れ出す現象であり、水と巨礫を含んだ土砂の集合状流動である。岩塊や大礫、流木などを含む場合が多く、それらの内、大きな岩塊が先頭になり、回転・滑動しながら流下することが多い。溪流にたまった土砂の侵食に起因した土石流が発生する勾配は約 15° 以上（天然ダムが決壊して発生する土石流は、勾配 15° 以下でも発生する危険がある）である。

他にも以下のような特徴がある。

- 比重が大きく直進性があるため屈曲部でも曲がらず真っ直ぐに流下する。
- 最大速度は、20m/sec 程度になることがある。
- 勾配が $10^{\circ} \sim 2^{\circ}$ 程度までの区間に堆積する。こ



写真-2 2011年9月の台風12号によって発生した三重県紀宝町の土石流災害

（三重県提供）

のため土石流の危険区域は末端の勾配を 2° で設定する。

- 土石流の流出土砂量は、最大で $50,000\text{m}^3/\text{km}^2$ 程度が多い。
- 一度荒れた山の溪流には、沢山の土砂がたまっている。大雨の時には、これらの土砂が侵食されて土石流になる場合がある。

これまで豪雨を起因とする土砂災害について述べてきた。日本海側を中心とする豪雪地帯では毎年、融雪に起因する土砂災害が発生している。融雪に起因する土砂災害は、文字通り「雪が融ける」ことによって発生する災害であるが、崩壊などに限って言えば「雪が融けることによって発生した水分が土壌に供給される」ことによって発生する災害と言い換えることができる。融雪による土砂災害は「降雪」⇒「積雪」⇒「融雪」⇒「地下水上昇・地盤の強度低下」⇒「崩壊の発生」⇒「土石流化」といった一連の機構からなっている。つまり、積雪によって地上に水分が蓄えられ、春先の気温や日射量の上昇の影響を受け土壌へと水分が供給される。その結果、崩壊や地すべりなどの土砂災害が発生しやすくなるということになる。そのため、積雪がある斜面では、少量の降雨でも崩壊や土石流、地すべりへの警戒をする必要がある。

1997年には秋田県鹿角市八幡平澄川温泉で、全体量 250万m^3 に及ぶ大規模な地すべりが発生し、温泉施設は全壊した。地すべりの末端部から発生した土石流は2km下流まで流下し、澄川温泉、近郊の赤川温泉の計16棟を全壊、国道341号線を寸断するなど、大きな被害を残した。そのほか最近では、写真-3に示す2008年4月20日に岩手県雫石町葛根田で移動土塊量約 6万m^3 の地熱発電所の一部を被災させた地すべりである。2012年3月に発生した新潟県上越市板倉区で発生した国川（こくがわ）地すべりは人家11戸が全半壊するとともに、21世帯83人が2ヶ月以上の避難を余儀なくされた。



写真-3 2008年4月20日に発生した岩手県雫石町葛根田の地すべり。発生した地すべりの背後地形をみるとかつて発生した大きな地すべり地の末端部に位置していることがわかる
(国土交通省提供)

3. 近年の土砂災害の特徴

近年の土砂災害の特徴について述べる。ここでは、流木災害、深層崩壊、土砂・洪水氾濫について述べる。

近年、流木を伴った災害が全国的に多く発生している。流木を伴った土石流が家屋に衝突するこ

とによって、建物の倒壊・破壊の程度を増大させる例が数多く報告されている²⁾。また、流木が流下することで、ボックスカルバートや橋梁を閉塞させ、その地点から氾濫が発生する災害事例も非常に多い³⁾。写真-4は2013年(平成25年)8月9日に秋田県仙北市供養佛地区で発生した土石流災害の状況である⁴⁾。本災害では大量の流木を伴った土石流により、犠牲者6名、負傷者2名、住家全・半壊6棟の甚大な被害が生じた。特徴的なのは家屋に深々と突き刺さった大径のスギ流木である(写真-1)。発生した流木量は $1279\text{m}^3 \sim 2558\text{m}^3$ と推定されている⁵⁾。

災害発生後の空中写真判読により長さ1m以上の流木を判読したところ、ちょうど600本あった。そのうち、家屋と衝突したと判読できたものは66本存在した。66本のうち、26本が家屋1階を突き抜けるなど、流木は土砂災害の被害を大きくする要因となった⁵⁾。

他にも2017年九州北部豪雨での大量の流木流出や、2022年8月3日からの豪雨により新潟県村上市小岩内(こいわうち)で大量の流木を伴った土石流などの事例がある¹⁾。流木は、水や土砂とともに流下し、災害発生のかっかけを与えたり、災



写真-4 2013年8月に秋田県仙北市供養佛地区で発生した土石流



写真-5 2012年9月に台風12号により発生した深層崩壊と河道閉塞(天然ダム) 奈良県十津川村
(国土交通省提供)

害を大きくすることから対策が必要である。

深層崩壊はがけ崩れなど斜面崩壊の一つの形態であるが、すべり面が表層崩壊よりも深部で発生し、表土層だけではなく深層の地盤まで崩壊土塊となる大規模崩壊現象である。写真-5に示すように、2011年9月の台風12号では奈良県、和歌山県に深層崩壊が多数発生した。2004年の中越地震や2008年6月の岩手・宮城内陸地震でも発生している。深層崩壊は山地流域で発生しやすいため、深層崩壊の発生した土塊が山地の河道を閉塞することが起こる場合もある。こうした現象を「河道閉塞」といい、河川が閉塞されることで「天然ダム」が形成される。地すべりにより河道閉塞が引き起こされることもある。河道閉塞（天然ダム）の土塊は崩壊したばかりの土砂そのものであり、安定性に乏しい。天然ダム背後にたまった貯水が満杯となり、天然ダムを越流する場合などは浸食が急激に進み、決壊することが多いなど二次災害への備えが必要である。

冒頭で述べた2022年12月31日に発生した山形県鶴岡市西目地区の大規模崩壊は崩壊深さが最大8,9m程度もあり、「ミニ深層崩壊」とも言える斜面災害である。住民からの聞き取りでは前兆現象は無く、予兆の無かった災害であった。同様の事例は2018年4月11日に、大分県中津市耶馬溪町で発生した大規模崩壊があげられる。本災害は直前2週間の降雨が6mmであり、突然発生し、犠牲者6名を出した。今後は同様の災害事例を抽出し



写真-6 2019年東日本台風による宮城県丸森町五福谷川で発生した土砂・洪水氾濫
(国土交通省宮城南部復興事務所提供)

危険度判定などをしていく必要である。

土砂・洪水氾濫は、流域において多数の斜面崩壊や土石流が発生し、一度に大量の土砂が供給されると、流速の低下する中下流域で堆積することで、河床上昇や河道閉塞が生じ氾濫する現象である。2017年九州北部豪雨による福岡県朝倉市、2018年の西日本豪雨災害による広島県呉市等、2019年東日本台風による宮城県丸森町、2020年7月の熊本県球磨村など毎年のように発生している。土砂・洪水氾濫による土砂・流木の氾濫は広範囲に及び、大量の土砂・流木は地域の復旧・復興の妨げとなっている。また、今後も、気候変動の影響により、土砂・洪水氾濫の頻発化が懸念されており、土砂・洪水氾濫により大きな被害のおそれのある流域の調査と対策が急がれる。

これまで述べてきたように、土砂災害の特質としては以下の3点があげられる。

- 突発的 (ex: 地震→崩壊、降雨→土石流等)
- 死者・行方不明者の発生確率が高い
- 素因・誘因が多様 (降雨、地下水の増加、地震、地形・地質等)

こうしたことが、近年でも土砂災害の発生件数が減少しない要因になっている。

4. 土砂災害防止法による土砂災害警戒区域・土砂災害特別警戒区域の指定の取り組み⁶⁾

上述したように、土砂災害についてはその発生メカニズムや想定被害範囲についてはある程度把握することが可能となってきたものの、その発生場所や日時を予測することは未だに困難である。また、近年発生した土砂災害の特徴として、古くから形成されてきた地域社会においては、土砂災害に関する前兆現象等が伝承され、災害の防止軽減に役立てられてきた例がある。一方で、新興住宅街などにおいては危険性の認識すら不十分で、

警戒避難体制が確立できない状況が顕在化している。

こうした現状をふまえて、土砂災害におけるソフト面の新たな取り組むべき施策の充実を図るため、平成13年4月より「土砂災害危険区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律」（通称、土砂災害防止法）が施行されている。本法律は行政の「知らせる努力」と住民の「知る努力」が相乗的に働くことを期待した法律である。行政は過去の土砂災害の実態や土砂災害の恐れのある土地の区域等に関する情報を、その内容に正確を期するように配慮した上で、積極的に提供することにより、地域や個人が土砂災害に適切に対応できるよう、「知らせる努力」をすることが求められる。一方で、住民は行政が提供するこのような情報を日頃から把握するよう努めるとともに、土砂災害に関する特徴やその前兆等について正しい地域を得るための「知る努力」を惜しまないことが重要である。

これまで、土砂災害を対象としたソフト対策（主に警戒避難体制の整備等）は法律に基づかない形（いわゆる行政サービスとして）で実施されてきた。土砂災害防止法は土砂災害を対象としたソフト対策を法制化することで、警戒避難体制の整備に加えて、土地利用規制にも踏み込んだ画期的な法律である。具体的には、土砂災害防止法では土砂災害のおそれのある区域として、土砂災害警戒区域（以下、「警戒区域」と、警戒区域のうち、土砂災害が発生した場合には建築物に損壊が生じ住民等に生命等に著しい危害が生ずるおそれがある土砂災害特別警戒区域（以下、「特別警戒区域」）が定められてる。土砂災害は急傾斜地の崩壊（がけ崩れ）、土石流、地滑りの3種類があり、それぞれの区域指定のイメージは〈図-4〉のとおりである。

それぞれの区域のイメージをわかりやすく伝えるため、法律施行直後から、砂防の関係者の間では警戒区域を「イエローゾーン」、特別警戒区域

土砂災害警戒区域

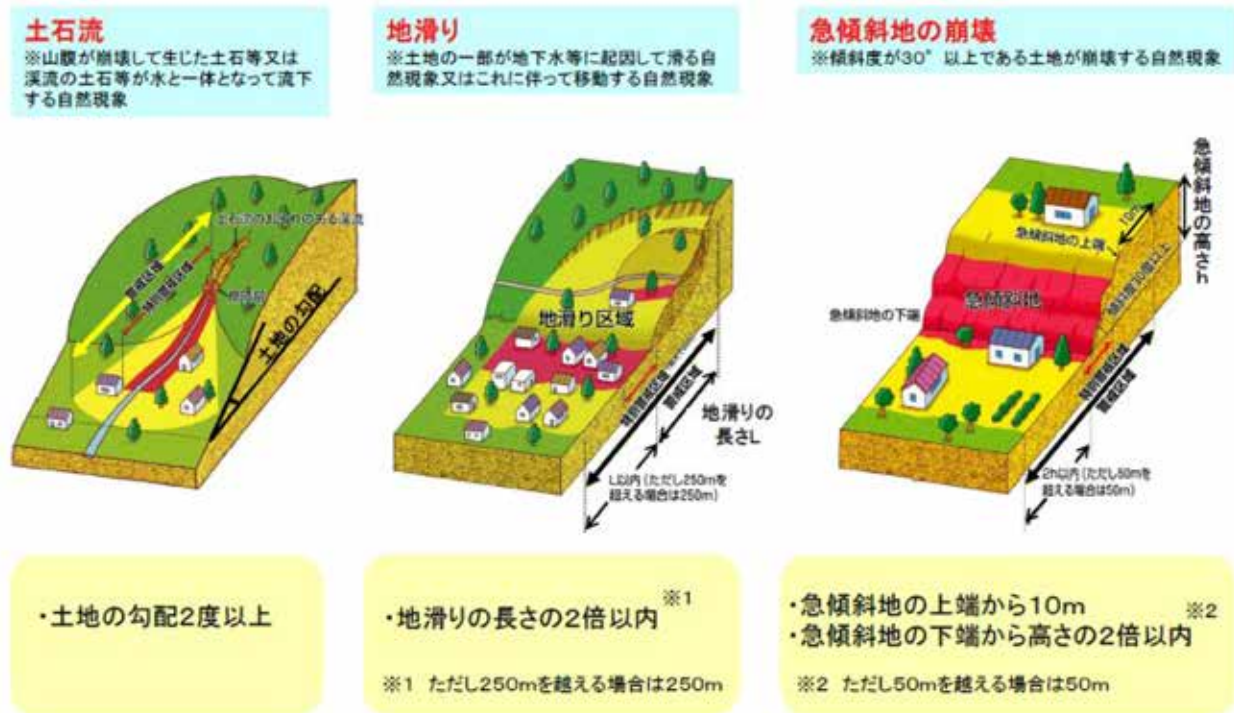


図-4 土砂災害防止法による区域指定のイメージ⁷⁾

を「レッドゾーン」と通称呼んでいる。

区域指定の進捗については、令和元年度末には、全国的に一通りの基礎調査が完了し、令和3年度末をもってそれら基礎調査完了箇所についての警戒区域等の指定が概ね完了している。

土砂災害警戒区域等の指定が進み、土砂災害のおそれのある区域が全国で約68万箇所も存在することが明らかとなった。わが国が土砂災害に対して大きなリスクを負っていることが改めて明らかとなった。土砂災害のリスクが「見える化」されたことにより、特別警戒区域に係る箇所の開発規制の強化、移転支援の充実等などが望まれる。

今後の課題としては、基礎調査の精度向上、警戒区域等の認知・理解度の向上、まちづくり・住宅分野との連携などがあげられる。このように土砂災害防止法が施行され、土砂災害対策のソフト対策が法的根拠に基づいて強力に推進されることとなった。土砂災害による減災を計るためには、行政と住民が常に情報を共有し、役割を的確に分担する社会システムの構築が急務であると言える。

6. まとめ

これまで述べてきたように、令和4年も8月・9月を中心に全国各地で土砂災害が多発している。令和3年は7月3日に静岡県熱海市で発生した土石流の甚大な災害は全国に衝撃を与えた。あらためて土砂災害は我々の身近な場所で、どこで発生してもおかしくないことを痛感させられた。今後、気候変動とともに土砂災害の被害が激甚化することが予想される中、住民と連携した土砂災害の取り組みが一層求められている。

ここでは、筆者が所属した岩手大学農学部砂防学研究室における、地域住民と連携し土砂災害の減災を目指した取り組みを通して、大学が地域防災に果たす役割について考えてみたい⁸⁾。

現在も、継続で取り組んでいる住民と一緒に作る「まるごと里ごとハザードマップ」への支援に



写真-7 住民らによる避難の意思決定訓練
(2021年6月)



写真-8 住民と実際の溪流や砂防施設を確認
(2020年6月)

について紹介する。

上述したように、土砂災害から身を守るためには、行政による対策（公助）だけでは限界があり、普段から自分で身を守る（自助）ための行動・考え方を学び、地域の住民が協力してお互いを助け合う体制（共助）をつくることが重要である。特に「自助」だけでは解決が困難なことに対して、住民や自主防災組織など、地域で協力して助け合う「共助」の充実を図ることが重要である。ここでは、3年前から国土交通省新庄河川事務所が進める「まるごと里ごとハザードマップ」作成の一環として、国土交通省東北地方整備局新庄河川事務所とともに、土砂災害の専門家として、弘前大

学、秋田大学、岩手大学が共同で始めた事例を紹介する。

対象地区は、2018年に被災した戸沢村角川の滝ノ下地区である。こうしたマップについては「作って終わり」ではなく、地域の安全・安心のために永続的に使ってもらえるようにすることが重要である。このように、行政と地域が連携した取り組みに、大学も土砂災害の専門家として参画することは大学砂防研究室の重要な役割と言える。行政の担当者は2～3年で異動することが多い一方、大学の研究者（教員）は、長年、地域をフィールドにした研究を実施しており、地域に精通した土砂災害の専門家として、継続性を持って活動に参加することは大学砂防研究室の強みと言える。さらに、地域防災力強化の観点から、行政と住民それぞれの立場を理解し、両者を結びつけるコーディネーターも大学の役割と言える。令和4年度は大蔵村肘折温泉を新たな対象地区として実施している。

今後激甚化していく土砂害に対しては、行政による公助だけでは地域住民の命を守ることが難しくなってくる。したがって、住民自身が自らの命は自らの手で守るという考えのもと、住民自身や地区の住民と自助・公助の重要性を認識するため、より一層大学が主体となり、行政や住民と連携することで、土砂災害から人命を守っていくことができるのではないだろうか。

なお、マスコミなどの報道では土砂災害は「土砂崩れ」という言葉で表現されることが多い。これは「土石流」「がけ崩れ」「地すべり」など土砂災害の詳細な形態がわからないためである。土砂災害の正確な種類が判別されることで、今後、どのような対応をすべきなのかわかるので、早期に調査をし、どのような土砂災害の種類なのか区分

し、公表することが望ましい。

近年の災害では、住民の避難率の低下が指摘されている⁴⁾。地区での警戒避難の課題としては、過疎化、高齢化、防災リーダーなどの人材確保などの課題が山積している。防災教育による次世代の人材育成、とりわけ若い世代も含めた地域の防災活動の拡充など求められている。地域の日頃の防災活動は、地域にあった方法を検討していくべきであるが、「楽しく」「気軽に」訓練や活動を行うことで、防災を知るきっかけづくりをつくっていくことも必要かと思われる。

【参考文献】

- 1) 国土交通省：8月から9月は平年を上回る土砂災害が発生～令和4年の土砂災害発生件数の速報値を公表～，https://www.mlit.go.jp/report/press/sabo02_hh_000135.html，参照2023-01-13
- 2) 丸谷 知己ら：2017年7月の九州北部豪雨による土砂災害，砂防学会誌 Vol.70, No.4, p.31-42, 2017
- 3) 南 哲行ら：1998年8月栃木県余笹川災害で発生した流木の実態，砂防学会誌 Vol.53, No.4, p.44-51, 2000
- 4) 井良沢 道也ら：2013年7月下旬及び8月9日豪雨により東北地方で発生した土砂災害，砂防学会誌 Vol.66, No.5, p.53-60, 2014
- 5) 佐藤翔汰，井良沢道也，林一成（2015）：2013年8月9日秋田・岩手豪雨災害で発生した土砂産及び流出の特徴，平成・27年度砂防学会研究発表会概要集，P2-006
- 6) 今森直紀：土砂災害防止法施行後の20年間と今後の展望，月刊河川5月号，p.27-32，2021
- 7) 国土交通省：土砂災害防止法の概要，<http://www.mlit.go.jp/river/sabo/sinpoupdf/gaiyou.pdf>，参照2023-01-13
- 8) 井良沢道也：地域と共に歩む大学砂防学研究室を目指して，砂防と治水，vol.54,, no.5, p4-5, 2021
- 9) 全体に，丸谷知己編：砂防学，朝倉書店，2019

□土砂災害対応の安全管理について

消防研究センター技術研究部上席研究官

新井場 公 徳

土砂災害は、我が国では十年間の平均で約1500件発生している¹⁾。災害が発生した場合には、消防機関には、状況を把握し、巻き込まれた方がいないか、被害の拡大の恐れがないか、などを調べる活動が必要となるが、岩、泥、流木による移動障害など、対応に苦慮することが多い。また、豪雨下での避難誘導などの災害発生前の時点から危険性が潜んでおり、安全管理は重要な課題と言える。本稿では、消防研究センターが行ってきた斜面の二次的な崩壊に関する研究、災害現場における技術支援及び消防機関の活動に関する聞き取り調査の結果を踏まえ、土砂災害現場における安全管理のあり方について考察する。

1. はじめに

表1は土砂災害と交通事故について、人的被害の状況を見たものである。土砂災害による死者(行方不明者含む)と負傷者数は、国土交通省が毎年発表している資料から得たものであり、自動車事故の死者及び負傷者数は、警察庁の発表資料から得たものである。これらの値から、人的被害(死者+負傷者)に占める死者の割合をそれぞれ求めた。発生件数に大きな差があること及び調査の方法が同じではないことから、厳密な比較はできないものの、土砂災害の殺傷性の高さが伺われる。そのような災害の特性を踏まえ、災害後の救助活動においては安全管理が重要であると言える。

表1 土砂災害及び自動車事故の人的被害の状況

	土砂災害				自動車事故			
	発生件数	死者(行方不明含む)	負傷者数	死者の割合(%)	発生件数	死者	負傷者数	死者の割合(%)
平成21年	1,058	22	13	62.9%	737,637	4,979	911,215	0.54%
平成22年	1,128	11	14	44.0%	725,924	4,948	896,297	0.55%
平成23年	1,422	85	20	81.0%	692,084	4,691	854,613	0.55%
平成24年	837	24	14	63.2%	665,157	4,438	825,392	0.53%
平成25年	941	53	24	68.8%	629,033	4,388	781,492	0.56%
平成26年	1,184	81	49	62.3%	573,842	4,113	711,374	0.57%
平成27年	788	2	14	12.5%	536,899	4,117	666,023	0.61%
平成28年	1,492	18	15	54.5%	499,201	3,904	618,853	0.63%
平成29年	1,514	24	8	75.0%	472,165	3,694	580,850	0.63%
平成30年	3,459	161	117	57.9%	430,345	3,532	524,695	0.67%
令和1年	1,996	23	12	65.7%	381,237	3,215	461,775	0.69%
令和2年	1,319	21			309,178	2,839	369,476	0.76%
令和3年	972	33	13	71.7%	305,196	2,636	362,131	0.72%
13年間平均	1,393	43	26	63.2%	535,223	3,961	658,784	0.60%

土砂災害の救助活動における危険性は、その規模や発生場所に着目すると、次のように分類できる。

- ①（掘削などを伴う活動中）転倒、転落、重機との接触など動作や作業による事故
- ②（掘削などを伴う活動中）作業による力の変化に起因する土や構造物の局所的な崩壊
- ③（崩壊した斜面直下で活動中）崩壊した斜面の左右上方に隣接する斜面や崩壊した面内に残った土砂の崩壊（転石含む）
- ④（溪流内で活動中）上流にあった土砂だまり（土砂が水流を塞いで上流に池を作ったもの）の崩壊や上流の斜面で遅れて発生した崩壊による土石流

これらのうち、①及び②は作業に関連する（したがって、作業を通じてある程度の制御ができる）危険性であり、③及び④は環境に関連する（したがって、制御の困難な）危険性と言える。ここでは、前者を作業の危険、後者を環境の危険として事例を上げ、安全管理の方法について検討したい。

2. 作業の危険

図1は2008年岩手宮城内陸地震による宮城県栗駒市熊倉の崩壊地での救助活動の様子である。ここでは、崖が再度崩れてくる危険性の他に、次の2つの危険性が考えられた。

- ・急であるが踏み込むと割れてしまう軟弱な凝灰岩斜面における転倒、転落
- ・切断した倒木や掘削土砂を下方へ排除するため、下方にいる隊員にあたる危険
- ・万一崖が再び崩れた際の退避の困難さ

そのため、遠距離からの上方斜面の目視監視、確保ロープの設置、他機関含め斜面内に入る人員の確実な統制及び2方向への退避ルートのロープ設置が行われた。



図1 2008年岩手宮城内陸地震による熊倉崩壊地での救助活動の状況

図2は富山県消防学校が行った掘削訓練の様子である。要救助者に見立てたダミー人形の周辺で掘削の傾斜がきつくなったことから、矢印で示した部分に亀裂が入った。頭を下に入れないように注意喚起した数分後にこの部分は崩落した。なお、田んぼの土と砂が混ざった土質であった。

以上のように、作業の危険は気づくことができれば対策を考えることがしやすい。掘削や切断などの作業について注意が集中しがちであるが、全体をまんべんなく観察し、危険の要素を見逃さないようにすることも必要であり、訓練のときから、そのような役割を担う隊員を（いわゆるコントローラー側の安全管理員の他にプレーヤー側で）割り振ることも有効であろう。



図2 掘削訓練時に生じた亀裂（その後崩落した）



図3 高知県土佐山田町繁藤で発生した地すべり災害の様子（土佐山田町による記録誌²⁾ から）

3. 環境の危険

図3は1972年に発生した高知県土佐山田町繁藤における地すべり災害である。この災害では、崩壊に巻き込まれた消防団員を救助活動中に大規模な地すべりが発生し、周辺住民もあわせ40名が亡くなった。当初の崩壊は豪雨の最中に発生したが、地すべりはそれから約4時間後の雨が弱くなってから発生した。

図4は20018年に広島県府中町で発生した土石流の動画（TBSのサイト³⁾ から）の1シーンである。この土石流は、災害をもたらした7月7日早朝豪雨から3日後の10日11時頃、晴天の中で突如発生している。原因については明らかになっていないが、林道の盛土の越水による崩壊⁴⁾ 又は上流にあった土砂だまりが水位の上昇などによって越



図4 2018年7月10日に発生した土石流の様子（TBSのサイト³⁾ より）

水決壊し土石流になって流下したものと見られる。このときは河川内で作業は行われていなかったので人的被害はなかったが、もし捜索や河川工事などが行われていた場合には二次災害になったであろう事例である。

2014年8月20日には広島市可部東六丁目で救助活動中の消防隊員の殉職事故が発生した。この事故の状況については平成26年度消防庁救助技術の高度化等検討会に報告されている⁵⁾。土砂の堆積状況から、少なくとも2回の土石流がこの場所に到来しており、救助要請時の土石流と、ちょうど隊員がこの場所に到達したときに発生した土石流

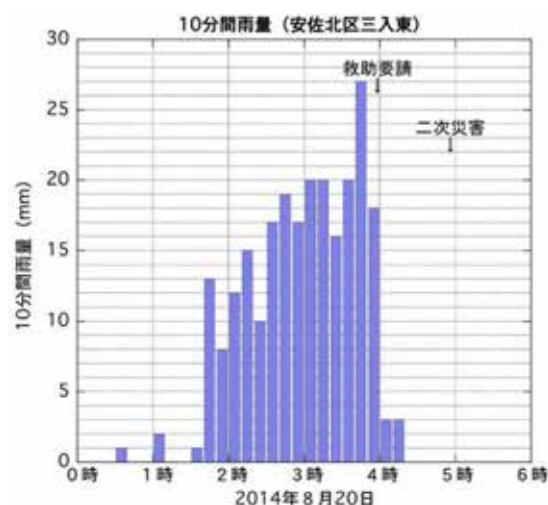


図5 2014年8月20日に発生した可部東六丁目の土石流発生前の雨量状況

に相当すると見られる⁶⁾。このときの降雨の状況を図5に示す。救助要請は豪雨のピーク時にあり、その後雨が観測されない時間が40分ほどある。降雨状況から見ると予測しにくい現象であったと思われる。

4. 安全管理に関する考察

(1) 安全管理のあり方

一般的に降雨による土砂災害では、雨がやんだあとに地表付近や地下の水の排水が進むとともに危険性は減じていくと言えるが、事例に見られるとおり地下水の横方向への移動や深部への浸透に時間がかかり遅れて土砂移動が発生することがある⁷⁾。そのことに留意して安全管理を考える必要がある。

崩れた斜面の直下に入るときには、周辺の斜面に、亀裂や段差、樹木の揺れなどの変状がないか調べ、崖に変状が現れないか、水の湧出量や色に変化がないか監視対象とする。また、落石が地面を叩いた痕跡が多い場合には、変状が続いている可能性に注意が必要である。落石の中には、乾燥によって土の表面張力が減少したり木の根が収縮することにより、二次的な崩壊とは関係なく発生するものも多いが、落石の頻度は斜面の変形の目安になるので記録しておき、増える傾向にあれば地すべりを疑う必要がある。

一方、溪流内に入る際には、府中町の土石流のような現象もあることから、上流に土砂だまりがないか注意する必要がある。災害が発生する規模の降雨があった場合、都道府県の砂防や河川などの部局では溪流の荒廃状況の調査などを行うことがあることから、そのような部局に調査の進展状況などを問い合わせることが有効であろう。情報が得られない場合には、上流の橋などに偵察や監視のための隊を派遣することも考えられる。土石流の速度は、秒速30mを超える観測値もあるが、人的被害が発生して消防隊が活動するような場所

では、およそ秒速10mを見込めばほとんどがカバーできると考えられる。その場合には500m上流に監視要員を置けば、50秒の退避時間を稼ぐことができる。

(2) 監視計器の活用

限られた時間と資材で簡便に扱える監視機器としては、レーザー距離計により対象までの距離変化を監視する機材や、地表傾斜計を複数設置して無線監視する機材がある。設置作業に危険な地域に入るリスクもあるが、継続的に監視ができれば、リスクのある地域に救助活動の隊を派遣する上で安全管理に役立つ。他に、設置には時間を要するが、2つの杭を打ちその間にワイヤーを張り、二つの杭の間の距離変化を高精度に測る伸縮計（地すべり計、移動量計とも呼ばれる）などの計器も土木分野では用いられている。

一般的な土木事業においては、地すべりなどの斜面変状が見つかった場合には、計器による観測が行われることが多い。どの計器をどこに配置するかは、専門業者によって慎重に検討される。消防活動のスケールで完全な配置を実現することは難しいが、例えば図1⁸⁾のような現場で土砂とされている部分で活動を行う場合、隊員を守るという観点から次のような考え方で設置することが有効と考えられる。

- ・活動地点に害をなす恐れのある不安定そうな土砂（崖よりも上方斜面で亀裂がある場合にはそれより下側（図A～Bの区間））
- ・不安定な土砂の同定が困難な場合又はそこまで行けない場合には、活動地点に来る土砂が通るであろう場所でセンサーが反応する場所（C）
（溪流周辺で活動する場合には、溪流の上流にさかのぼった場所）
- ・言わずもがなであるが、無線式の警報機は無線が届く場所であることを確認する。

図7は、2019年の相模原市での災害時に、傾斜型のセンサーを隊員が設置しているところである。

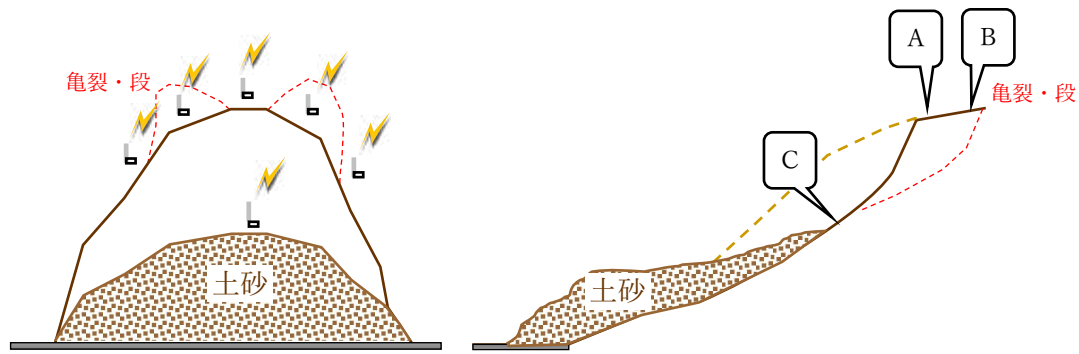


図6 監視装置（多点設置型の傾斜計）の設置場所の模式図⁸⁾



図7 2019年相模原市緑区牧野の救助活動現場におけるセンサー設置状況

この設置場所は次のように選定した。

- ①活動地点（溪流の底）のすぐ脇に急斜面があった
- ②この崖には、硬い岩盤の下に固結度の低い礫層をはさみ、安定性に懸念がある地層構造になっていた
- ③水が湧いていた形跡があり地下水の集まる場所と見られた
- ④この崖は崩れる徴候は見られていないが、万一ゆっくりと変形が進むと危険なので、機械で監視したい
- ⑤崖の上が傾斜のゆるい平坦地になっているので、その平坦地の崖に近いところ（＝斜面の変化が現れやすいところ）にセンサーを設置する
- ⑥指揮所から無線が届くことを確認した
なお、写真の隊員の向こう側が懸念された急崖

になっていて、その下で活動が行われている。

また、土石流に対しては、溪流を横切るようにワイヤーを張り、土石流が通過したときにその切断を検知するセンサーがある。設置に時間を要するが、溪流内での捜索救助活動がある場合には、上流への設置を都道府県の砂防部局に早めに要請することを検討したほうが良い。

(4) 警戒範囲

火災出動においては、火点一巡などの全容把握が早期に求められる。火災に限らず、あらゆる災害対応において、同様のことが言えよう。土砂災害は全容の把握が難しいため、現場の隊は奥行きや広がり意識して活動を開始する必要がある。

土砂の流送範囲は、同じ土質で同じ規模の崩壊を想定すれば、はじめの崩壊と同じ範囲が一つの目安である。発生することが高い落石や崩れた面の小規模な剥落に対しては、これが適応できる。一方、まれではあるが、災害時の崩落よりも高い斜面が崩落する場合には、より遠くまで到達する可能性がある。また、土砂の規模が大きくなると、広がる範囲も大きくなる傾向があり、この場合も、はじめの土砂よりも遠くまで到達する。なお、崩落した土砂の運動は水の影響を強く受ける。地表付近の水がはじめの災害時よりも少なくなっている場合には、二次的な崩落の土砂の到達範囲は小さくなる。参考までに図8は、住民が安心して生活できるレベルの安全を考慮したものであるが、

少しずつ移動している地すべりに対してどの程度の危険箇所を想定しておくかについての、一つの案として（独）土木研究所が示しているもの⁹⁾である。

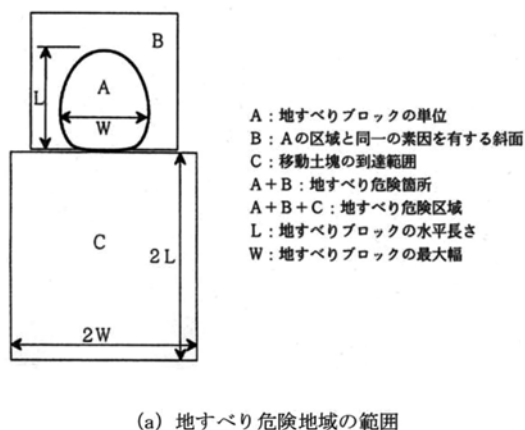


図8 地すべりの場合の危険区域の見込み方
(消防活動用ではないことには留意)⁹⁾

(5) 専門家の活用

斜面の中の土質の分布や地下水の流れは見えないことから、斜面の安定性を考えるときには、安全のための「のり代」を大きくとることが一般的である。活動現場の安全性について専門家の意見を求める場合には、砂防や治山といわれる分野の研究者や技術者が適当であるが、これらの専門家は一般的には日常生活を安心して行えるレベルの安全を考えることに慣れており、統制された組織が危険に備えつつ活動をするレベルの安全を考えることに慣れていないことが一般的である。そのため、安全側の判断をする傾向にある。より踏み込んだ安全性を考える必要がある場合には、「この地点までこういうルートで行きたいが、懸念される場所はどこか、監視しなければいけない斜面はどの範囲か」などの具体的な設問をすることにより、より消防活動の実態に即したリスク分析を得る手がかりとなると思われる。

(6) 初動期

最後に特に危険な初動期の安全管理について考えたい。図9は2018年に発生した土砂災害の現場

の状況である（航空写真は㈱パスコによる）。この災害が発生する直前に、避難の呼びかけのために1隊4名の消防隊が矢印の経路にそって斜面を登ってきた。お宅の玄関で避難を呼びかけたところ、住民の方（2名）は避難を決断され、1名が奥（写真では上方）に荷物を取りに行った瞬間に崩壊が発生し、家屋が倒壊した（この方は死亡）。消防隊が登ってきた経路も土砂に覆われており、少しでも時間が前後していれば、隊員も含めて被災していたおそれが高い。このようなヒヤリハットは救助活動の高度化等検討会のヒヤリハット事例にも寄せられている¹⁰⁾。

避難の呼びかけなどの時期から安全管理の体制を構築することが必要であると言える。そのためには、管内の土砂災害の警戒区域、特別警戒区域などを把握しておくこと、斜面に近づく際には一旦立ち止まって状況を把握することや万一の際の行動規範の申し合わせなどをしておくことが有効であろう。

なお、異常に気付いても逃げきれなかった事例もある。「何かをしながら」では災害の前兆に気づかないおそれが高い。少ない隊員数の中であっても、常に周囲を把握し、自分たちに土砂が流れてくるとすればどちらからか、どちら側に逃げるのが良いか、溪流の流れが異常ではないか、を観察し考える隊員を指名することが必要と考えられる。



図9 土砂災害現場におけるヒヤリハットの事例

5. まとめ

災害事例をもとに、土砂災害時の安全管理のあり方や具体的な方策について検討した。救助活動だけにとどまらず、災害発生状況の確認に向かった市町村職員やインフラ事業者の職員なども二次災害に遭遇している。本稿が将来起きうる二次災害を少しでも減らすことに役立てば幸いである。

【引用文献】

- 1) 国土交通省 (2022) : 令和 3 年に発生した土砂災害、<https://www.mlit.go.jp/river/sabo/jirei/r3dosha/r3doshasaigai.pdf>
- 2) 土佐山田町 (1973) : 昭和47年 7 月豪雨・繁藤山くずれ災害記録
- 3) TBS ホームページ ; <https://newsdig.tbs.co.jp/articles/-/87932> (2023年 1 月 6 日確認)
- 4) 海堀他 (2018) : 平成30年 7 月豪雨により広島県で発生した土砂災害、砂防学会誌、Vol. 71, No. 4 pp. 49-60.
- 5) 消防庁 (2017) : 土砂災害時の救助活動のあり方に関する検討会 (平成26年度救助活動の高度化等検討会) : https://www.fdma.go.jp/singi_kento/kento/kento142.html
- 6) 新井場他 (2016) : 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.
- 7) 新井場他 (2022) : 二次的な土砂移動が当初の現象からしばらくたって発生した事例、第61回日本地すべり学会研究発表会、pp.22-23.
- 8) オサシテクノス・神戸市消防局・神戸大学 (2019.3) : 「土砂災害現場での捜索救助活動等における 2 次災害防止を目的とした監視システムの研究開発」報告書、平成30年度消防防災科学技術推進制度終了課題報告、https://www.fdma.go.jp/mission/develop/item/H30_seika_osashi.pdf
- 9) 土木研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム : 地すべり防止技術指針及び同解説 (提案)、土木研究所資料、第4077号、ISSN0386-5878、(平成19年 9 月)
- 10) 消防庁 (2020) : 土砂災害における効果的な救助手法に関する高度化検討会 (令和元年度救助活動の高度化等検討会)、https://www.fdma.go.jp/singi_kento/kento/post-52.html

□ 広域を対象とした土砂災害の予測・評価技術

東北大学災害科学国際研究所准教授

森 口 周 二

1. はじめに

我が国は国土の7割を急峻な山岳地帯が占め、毎年のように発生する土砂災害により多くの被害が生じている。その防災・減災は、我が国のみならず、世界の多くの国や地域の共通の課題でもある。土砂災害の被害を最小化するために、予測・評価技術に関する研究が長年に渡ってなされてきており、その成果が社会に実装されてきた。また、1つの斜面に対する予測技術だけでなく、広域を対象とした評価を可能とする技術も発展している。この「広域の評価」という観点は防災・減災を論じる上で極めて重要なものである。なぜなら、広域で土砂災害が発生するような災害の場合に、特に多くの人命や財産が失われるからである。そのような広域災害の中では、救命、即時支援、応急復旧などの発災直後の行動を最適化する必要があり、そのためには広域を俯瞰した形で被害を予測することが必要不可欠なのである。本稿では、特に広域を対象とした土砂災害の予測・評価技術に焦点を絞り、現状の技術を概説するとともに、著者らが進めている最新の研究について説明する。

2. 現状の予測・評価技術

(1) 土砂災害の定義と誘因

ここでは、現状の土砂災害の予測・評価技術について説明する。ただし、その前に、土砂災害の

基礎的事項について簡単に確認しておく。我が国では、土砂災害防止法（正式名称：土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律）が平成13年に施行され、その中で土砂災害の発生形態として、急傾斜崩壊（がけ崩れ）、土石流、地すべりの3種類が定義されている。報道などでは、「土砂崩れ」という言葉でまとめて表現されたり、3種類の発生形態を意識せずに伝えたりするような状況も多くあるが、発生形態によって被害形態や必要な対応が変化し、ハザードマップ等でも区別されて表現されている場合があるため、これらの違いを認識することで、防災情報をより効果的に使えるようになる。なお、土砂災害と似た言葉として斜面災害という言葉があるが、斜面災害はより広い意味を持っており、例えば落石や雪崩など他の斜面に関する災害を含めて使う言葉である。

土砂災害の誘因（発生させる原因となるもの）は、基本的には地震と降雨（または雪解け水）と考えればよい。地震については、地震力で揺られることによって斜面が崩れるのに対して、降雨の場合は斜面内部に雨水が浸透し、それによって土の強度が下がるために斜面が崩壊する。これらの誘因がない状況下でも発生するケースもある（例えば、2018年大分県耶馬溪町金吉地区の崩壊¹⁾）ものの、そういったものはレアケースであり、そもそもそのようなケースの予測や評価は極めて難しいものであるため、地震と降雨というわ

かりやすいハザードの下での予測や評価を中心に考えるべきである。次節以降では、現状の社会実装されている土砂災害の予測・評価技術について説明する。

(2) ハザードマップと Web ツール

土砂災害のリスクを知ることが可能な社会実装された技術として最も認知されているものはハザードマップであろう。今さらそのような基本的なものを説明する必要があるのかと思われるかもしれないが、ハザードマップの存在は知っているが、見たことがない、またはどう見ればよいのかわからないという方も多いのではないと思われるため、あえてここで説明をしたい。ハザードマップは市町村レベルで作成されるものであるが、近年では Web 上でまとめた情報として閲覧可能な仕組みも発展している。例えば、国土地理院が提供するハザードマップポータルサイト²⁾の「重ねるハザードマップ」では、土砂災害だけでなく、洪水、高潮、津波などの他の災害のハザードマップも表示することが可能であり、それらを重ねて

表示することもできる。図1は仙台市の一部地域の土砂災害に関するハザードマップを重ねるハザードマップで表示したものである。先述の3種類の土砂災害について、危険箇所、警戒区域、特別警戒区域の3つのレベルで被害が発生する範囲が表示されている。特に警戒区域と特別警戒区域は、土砂災害が発生した際に物的・人的被害が発生する可能性が高い区域として指定されるものである。当然ながら、地図を拡大すれば、自宅や勤務先などの建物レベルで近くに存在する土砂災害リスクを確認することができる。ハザードマップの情報は、周辺のリスクを知るためではなく、通勤路や通学路、または避難所へのアクセス道路の検討にも役立つ。災害時には、多くの選択肢を持っていることが生死を分ける強みの1つになるため、今一度、高度化されているハザードマップの情報に触れて頂きたい。

(3) キキクル

地震に伴う土砂災害については、地震自体がいつどこで発生するのかを予測することが難しいため、

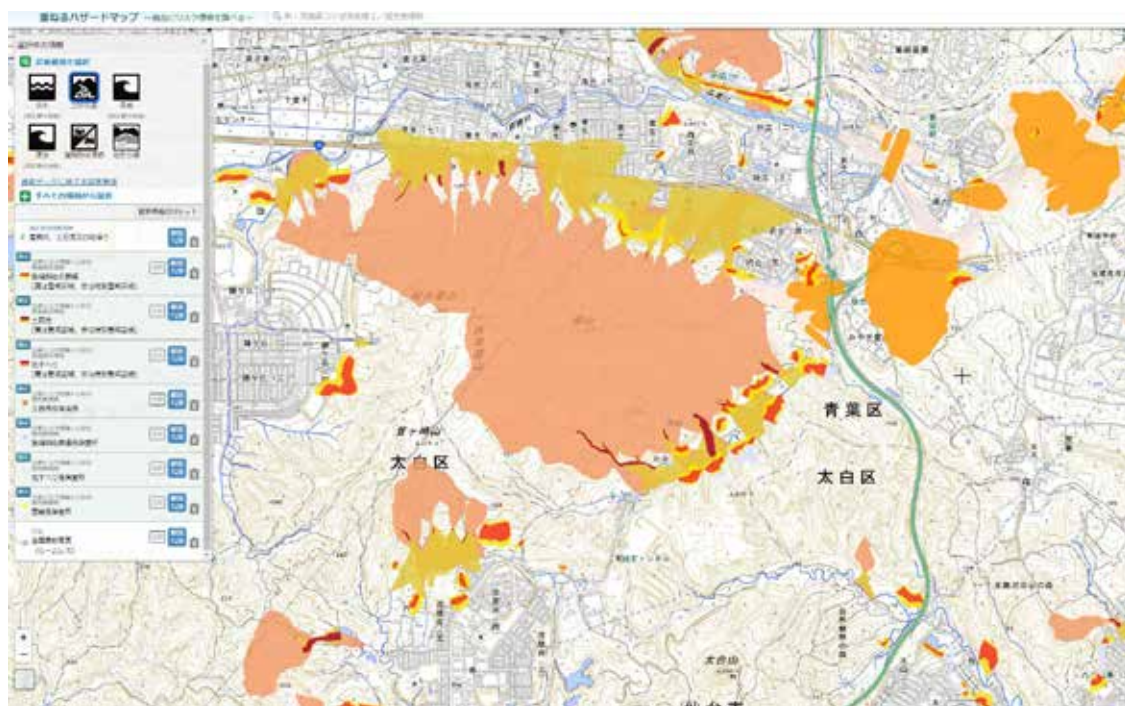


図1 重ねるハザードマップ（仙台市の一部の例）

それに誘発される土砂災害の場所や時間を予測することもやはり難しい。また、土砂災害については、緩慢な地すべりなどを除いて発生後に逃げるということが難しい場合が多い。そのため、個人で出来る対策と言え、事前にハザードマップを確認し、もしも土砂災害の被害にあったとして命がなんとか助かった場合のために保険に入ったり、可能な限り避難生活が苦痛にならないように事前に準備をしたりすることぐらいであろう。一方で、降雨に伴う土砂災害については、近年の気象予測技術の著しい発展の後押しもあって、発災直前のリアルタイムの予測の社会実装が実現している。気象庁が提供しているキキクル³⁾は豪雨災害のリスクを地図上で確認できるリアルタイム予測システムである。土砂災害の他にも、浸水害や洪水のリスクもリアルタイムで表示可能である。土砂災害に関する予測マップは土砂キキクルと呼ばれ、土砂災害警戒区域の情報も重ねて表示可能であるため、リアルタイムの情報を見ながら同時にハザードマップの情報も確認することができる。リスクのレベルは5段階で表示され、白、黄色、赤、紫、黒の順に危険度が上がる。この色の段階は2022年6月に変更されて最高レベルが黒になったが、それ以前は黒の代わりに濃い紫が使われており、名前も土砂キキクルではなく、土砂災害警戒判定メッシュ情報と呼ばれていた。図2はその時代の情報であり、2016年台風第10号の襲来時にキキクル上で表示された土砂災害のリスクマップと実際の土砂災害の発生分布の対応関係を分析した結果⁴⁾である。黄緑色の丸や三角が実際の土砂災害の発生個所を示している。当然ながら、リスクマップがWeb上に表示されていた時点では、実際の土砂災害がどこで発生しているかは不明であったわけであるが、予測と実際の土砂災害は非常に良い一致をしていることが理解できる。現状でキキクルの分解能は1 km メッシュであるため、自宅の周辺のリスクをピンポイントで評価するようなものではないが、広域の中で自分達がいる地

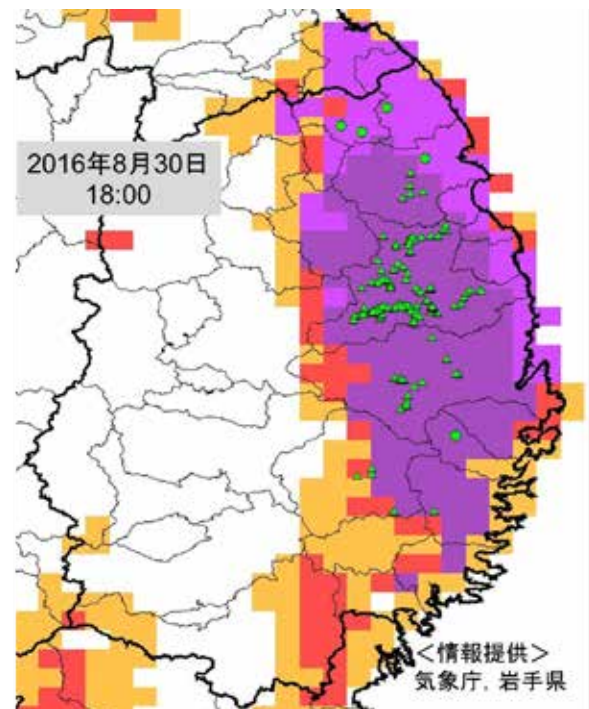


図2 土砂災害リスクマップと実際の土砂災害発生分布（2016年台風第10号襲来時）

域の危険度を知るという意味で極めて有効なリアルタイム予測システムである。キキクルは、優れた性能を有するだけでなく、使用性也非常に優れている。ただし、発災時に初めて触れるという状況では、システムの能力を十分に活用できない。日頃から触れて表示される情報の意味を理解しておくことが非常に重要である。また、日頃から見て表示情報に対する感覚を養っておくことで、「いつもと違う」と感じる嗅覚を研ぎ澄ますことにもなる。自分が住む地域だけでなく、他地域での豪雨災害の際にも、他人事と思わずにキキクルを眺めることで防災力が養われるはずである。

3. 力学に基づく予測技術

ここからは、著者らの研究グループで開発してきた力学に基づく予測技術について説明する。この技術は社会実装のレベルには達しておらず、今後多くの検証が必要な段階ではあるが、近未来型の土砂災害予測技術の1つとして紹介するもので

ある。先述のキキクルでは、土壌雨量指数（地中に雨水が浸透している量を示す指標）と短期雨量のデータを使って土砂災害の危険度を評価しているが、これらは主に雨のデータから得られる数値である。そのため、土砂災害そのものを予測しているわけではなく、雨のデータから間接的に危険度を評価していることになる。それでも十分に有用な予測技術ではあるが、著者らは、より高精度で高精細な予測技術の開発を目指し、力学に基づく予測の枠組みを高度化してきた。つまり、雨が降って雨水が地面に浸み込み、雨水の浸透によって強度が低下した斜面が崩壊するという複雑な物理現象を数式で表現されたモデルで計算し、シミュレーションによって豪雨による土砂災害を表現する手法の開発を行ってきた⁵⁾。また、最近で

は、地中に入りきらない雨水が地表流となって河川氾濫を引き起こすプロセスまでを含めて表現することを試みている。本稿ではモデルや計算の詳細は省略するものとして、計算結果の例のみを示す。図3は、令和元年東日本台風(2019年台風19号)による宮城県丸森町の被害を再現した結果である。丸森町では、中心市街地付近で内水・外水氾濫による浸水、山間部では河川氾濫と土砂災害の複合的な災害となり、人的被害（死者10名、行方不明者1名）を含む甚大な被害が発生⁶⁾した。丸森町は約273km²の面積があるが、5 mメッシュの解像度でシミュレーションを実施しているため、市町村レベルの広域を対象にしなが、1つの斜面を解像するレベルの高精細な計算を行っている。また、まだ簡易的ではあるものの、土砂災害による

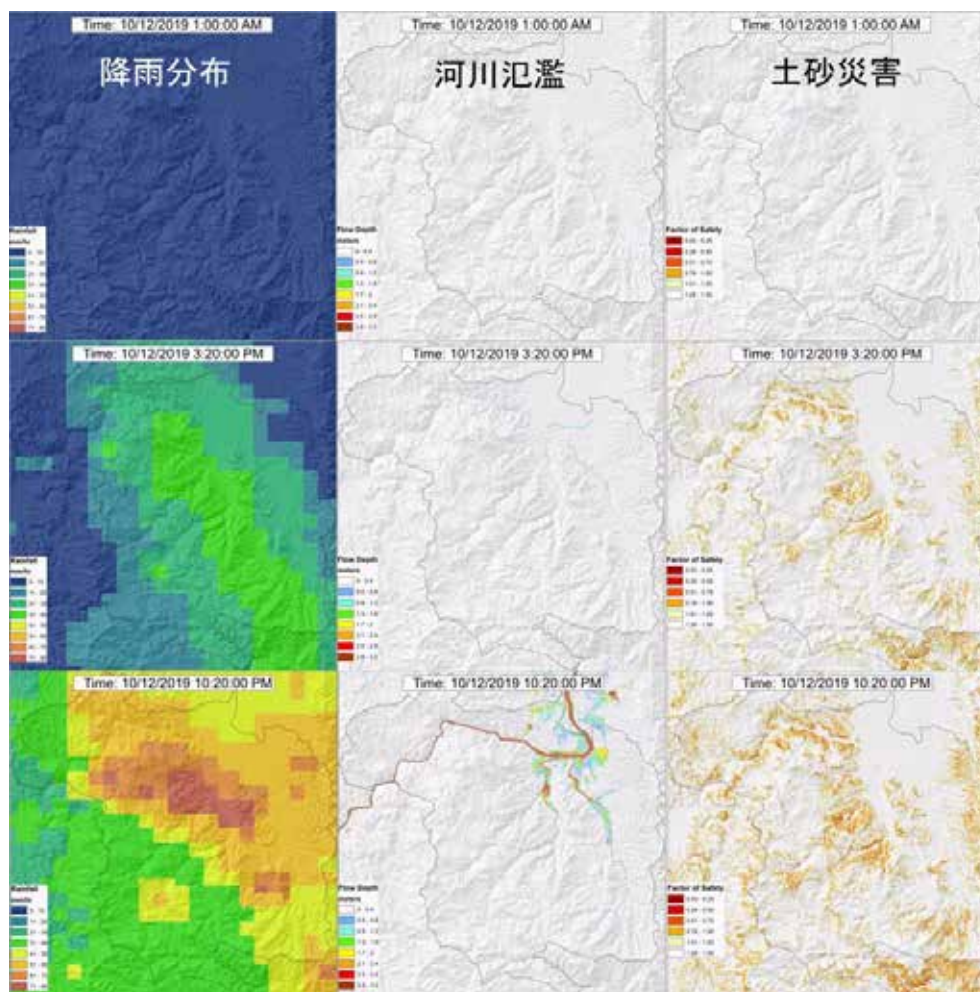


図3 令和元年東日本台風（2019年大風第19号）襲来時の斜面崩壊分布の再現

道路遮断なども評価できる枠組みの構築も進めている。今後、多くの過去の豪雨災害の再現を経て、さらなる高度化を目指す予定である。ここで、課題についても触れておく。このような力学に基づく予測手法の大きな課題として、入力データの精度向上が挙げられる。つまり、物理に忠実であるが故に、地形、地質、降雨などの必要となる入力データの精度も高いものが求められる。特に地質を含む地下の情報の整備は大きな課題である。そのため、予測手法の高度化と並行して、それらの情報の整備も高度化していく必要がある。

4. おわりに

本稿では、土砂災害の予測・評価技術について、現状の技術と著者らが研究を進めている力学に基づく近未来的な技術を紹介した。様々な技術が高度化された現代においても、土砂災害の予測や評価は未だ難しい点が多い。しかしながら、その技術は確実に進歩しており、防災・減災に役立つ情報の確度が上がっている。その情報の有用性を理解し、自分や家族の命を守るために、常日頃から手に入れられる情報にアクセスし、発災時に備えて頂きたい。

【参考文献】

- 1) 耶馬溪町金吉地区 山地崩壊原因究明等検討委員会, 平成30年(2018年) 4月に中津市耶馬溪町で発生した山地崩壊について最終報告(概要), https://www.pref.oita.jp/uploaded/life/2045589_2349104_misc.pdf
- 2) 国土地理院, ハザードマップポータルサイト, <https://disaportal.gsi.go.jp/>
- 3) 気象庁, キキクル, <https://www.jma.go.jp/bosai/risk/>
- 4) 森口周二・大河原正文・呉修一, 2016年台風10号による岩手県内の被害の分析ー地盤工学と河川工学の観点からー, 地盤工学ジャーナル, 13巻, 2号, 149-158, 2018.
- 5) Moriguchi, S., Matsugi, H., Ochiai, T., Yoshikawa, S., Inagaki, H., Ueno, S., Suzuki, M., Tobita, Y., Chida, T., Takahashi, K., Shibayama, A., Hashimoto, M., Kyoya, T., Dolojan, N. L. J., 2021. Survey report on damage caused by 2019 Typhoon Hagibis in Marumori Town, Miyagi Prefecture, Japan. Soils and Foundations, 61(2), 586-599.
- 6) Dolojan, N.L.J., Moriguchi, S., Hashimoto, M., Terada, K., Mapping method of rainfall-induced landslide hazards by infiltration and slope stability analysis, Landslides, Vol. 18, No. 6, pp. 2039-2057, 2021.

雪崩などの雪氷災害の発生メカニズムと防災

北海道教育大学札幌校教授 尾 関 俊 浩

1. 自然災害の中の雪氷災害

近年は毎冬のように雪氷災害（雪害）の報道を目にしていることでしょう。平成の前半は全国的に少雪傾向が続いていたものの、平成18年豪雪以降、各地で大雪による雪害が発生しています。とは言うものの、雪氷災害と聞いて他の自然災害と比べてどれほどの災害となっているのか、あまり実感がないかもしれません。自然災害には他に地震、津波、火山噴火、気象災害（台風、豪雨）、土砂災害、洪水などがあり、これらによって大きな災害が起きたニュースを見ることもしばしばで

す。特に、平成23年に発生した東日本大震災（東北地方太平洋沖地震）では、死者・行方不明者22,312人（R4.3.8現在）を出す大災害となりました。このように地震とそれに伴う津波による災害は、頻度は多くないものの一旦発生すると大変な被害をもたらします。それでは、ここからは雪氷災害に焦点を当ててみたいと思います。

図1は内閣府の防災白書¹⁾による統計を元に作成した平成5年から令和3年の死者・行方不明者の経年変化のグラフです。各年の棒グラフは風水害、地震・津波、火山、雪害、その他に分けて表示してあります。平成7年の阪神・淡路大震災

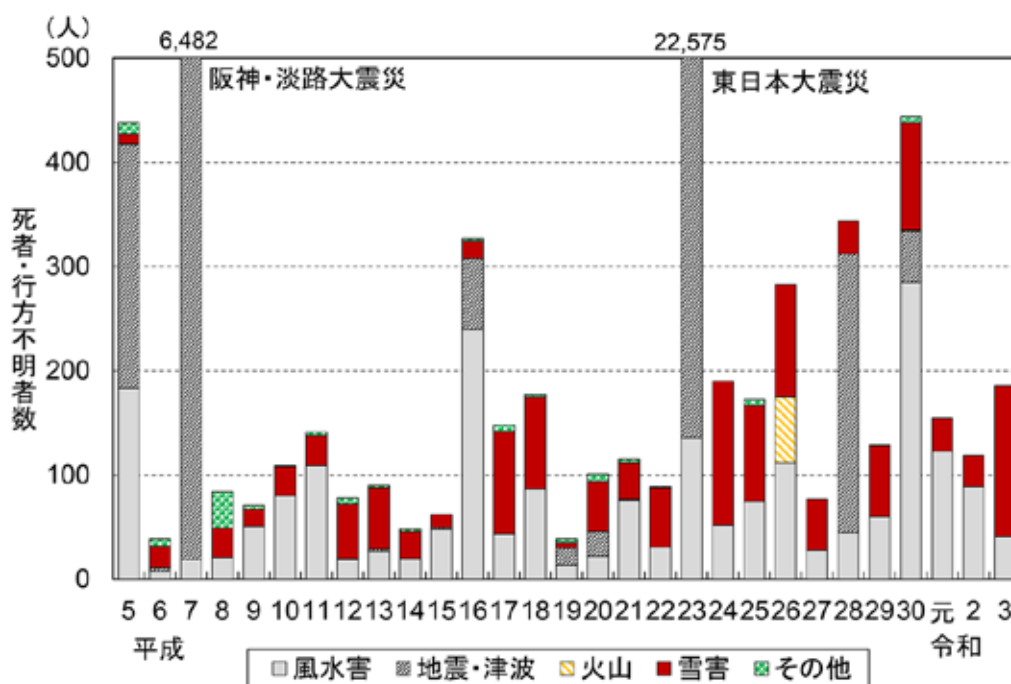


図1 平成5年から令和3年までの自然災害による死者・行方不明者の経年変化。

(兵庫県南部地震：死者・行方不明者6,437人)と平成23年の東日本大震災の年の棒グラフは抜き出して大きいので、枠外に総数を記載しました。これを見ると、わが国では地震・津波は数年に一度大きな被害が出ており、雪氷災害と風水害はコンスタントに被害が記録されていることが分かります。直近の令和3年に自然災害で亡くなった人は合計186人です。このうち、雪害で亡くなった方はなんと145人で、自然災害で亡くなった人の4人に3人は雪氷災害で命を落としているということになります。

次に、図2には地震・津波による犠牲者を除いた、風水害、火山、雪害、その他について平成5

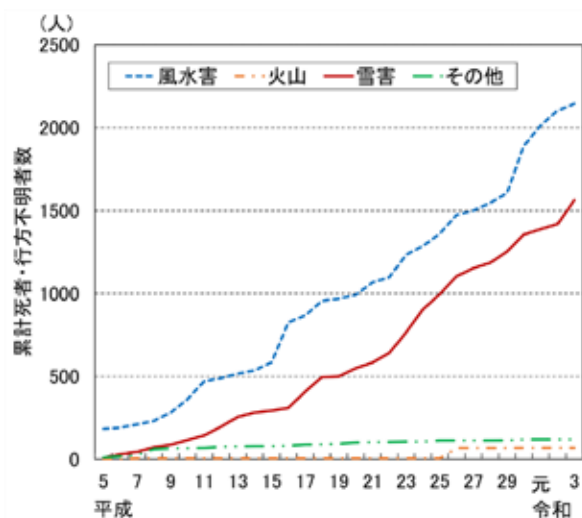


図2 平成5年以降の自然災害（地震・津波を除く）による死者・行方不明者の累積数。

年からの死者・行方不明者の累計数を折れ線グラフで示しました。これを見ると、風水害と雪害は同じような増加率で累計数が増えていることが分かります。さらに、雪害について平成の前半と後半に着目して増加率を直線回帰すると、平成の前半（H5～H15）では年率32.2人だったものが、平成の後半から今まで（H16～R03）では年率73.8人となり、後半のほうが増加率が大きいという結果が得られます。平成18年豪雪以降毎冬のように各地で発生している雪害がこのような形で数字に表れた形です。実数では平成16年から令和3年までの犠牲者の総数は雪害が1,269人、風水害は1,559人となります。図3に雪害と風水害による死者・行方不明者数の推移を示しましたが、雪害では年50～100人くらいの方が亡くなっていることが多く、およそ半分の年で風水害より多いのです。すなわち、雪氷災害は皆さんが印象として持っているよりも多くの犠牲者が出ている実態があります。

2. 雪崩の発生メカニズムと防災

2.1 雪崩の分類

雪氷災害には大雪、雪崩、吹雪、着氷・着雪などがあります。本節では中でも雪崩の発生メカニズムと防災に焦点を当てます。雪崩の発生メカニズムについて詳述する前に、まず雪崩の分類と名

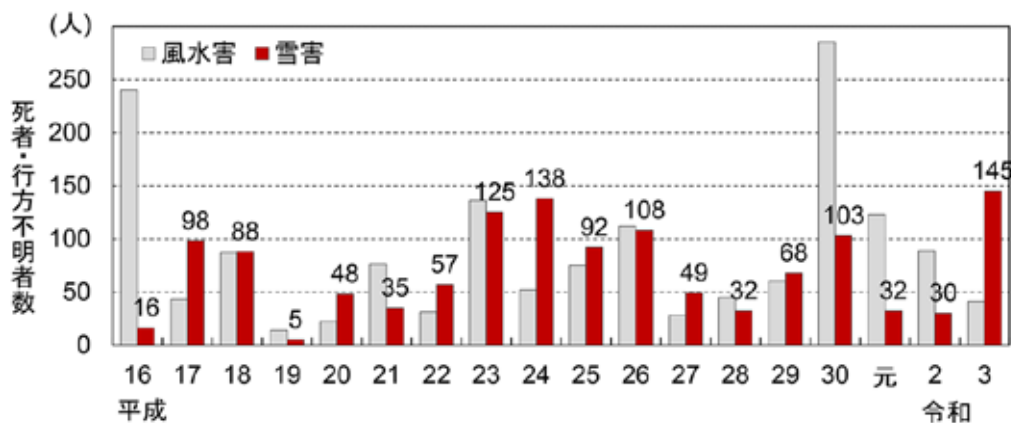


図3 平成16年から令和3年までの雪害と風水害による死者・行方不明者の推移。
各年の雪害の被害者数を棒上に記載した。

称について解説します。図4はなだれた斜面を正面から見た模式図です。斜面上部から発生した雪崩は運動しながら流下し、下方で停止します。比較的大きな雪崩の跡は、その形態より発生区、走路（滑走区）、堆積区の3つに分けることができます。発生区は積雪が破壊し動き始める区域、堆積区はなだれ落ちた雪の速度が落ちて、斜面に雪が停止し堆積する区域です。走路は、発生区と堆積区の間にあり、雪の堆積がほとんど起こらない区域です。雪崩は地面または積雪内のある面を境にして発生するので、この面を「滑り面」、滑り面上の始動積雪を「雪崩層」と呼び、なだれ落ちて堆積した雪を「デブリ」と呼びます。日本では発生区の以下の3つの要素により、雪崩を分類しています（図5）。

- ・始動積雪の破壊形態によって「点発生雪崩」と「面発生雪崩」、
- ・始動積雪の含水の有無によって「乾雪雪崩」と「湿雪雪崩」、
- ・滑り面の位置によって「表層雪崩」と「全層雪崩」。

前述のすべり面が積雪内のものが表層雪崩、地面のものが全層雪崩です。したがって全層雪崩では雪崩の発生区で地面が露出することとなります。この分類により、大まかな発生時の気象や積雪の状況、雪崩の規模、速度などが推定できます。

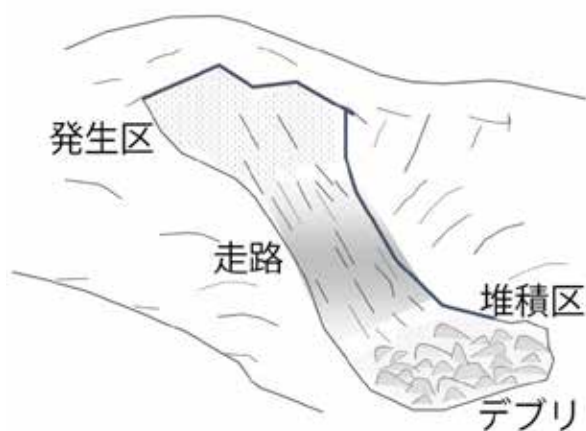


図4 雪崩の模式図。上から発生区、走路、堆積区。

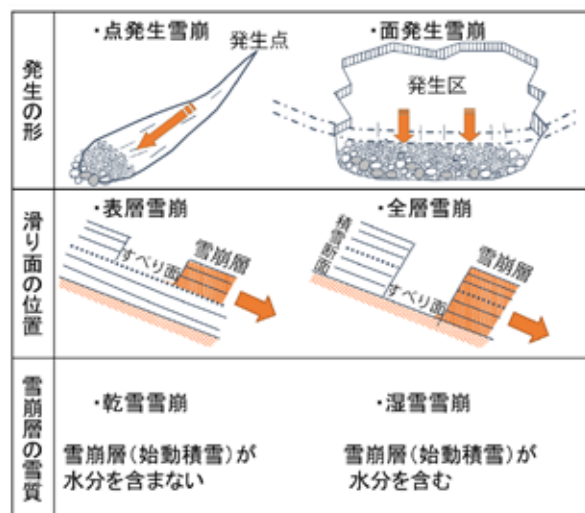


図5 雪崩の種類を決める発生区の3つの要素。

2.2 全層雪崩

雪崩の発生メカニズムは“全層雪崩”と“表層雪崩”を分けて考える必要があります。全層雪崩では発生の前兆として図6（a）のように斜面積雪の上方にクラックや下方に雪しわが見られることが多いのが特徴です。これはグライドによる積雪のひずみ速度が速いときに起きるので、グライド速度が全層雪崩の危険度の指標となります。新潟県の灌木斜面におけるグライド速度と全層雪崩危険度の間にはグライド速度が1 cm/min で危険、1 cm/hour では注意が必要、1 cm/day ならば全層雪崩発生危険はないとの報告があります²⁾。この結果はクラックが発生しても必ずしも全層雪崩にならないこと、すなわちグライド速度が重要であることを示しています。また、笹地の斜面では積雪に入り込んだ笹と地面に倒伏した笹が斜面積雪を支えているので、笹地斜面ではグライド量が笹の丈よりも長くなると笹が積雪から抜けてしまい、グライド速度がさらに速くなり、グライド速度が10～20cm/day 以上になるとクラックが発生し、1～2 m/day 以上になって雪崩が発生するという報告があります³⁾。したがって全層雪崩はグライドの観測によりある程度発生予測ができると考えられています。図6（b）のように雪しわやコブ状の隆起に縦の割れ目が入ってくる

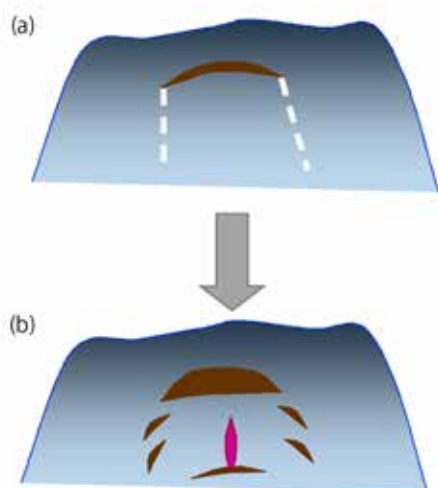


図6 全層雪崩の前兆現象。(a) クラックの発生と、斜面積雪のグライド。(b) 上部クラックの成長と雪しわのクラック発生。縦の割れ目が入ると危険度が上がる。

と、下方の積雪は支持力を失って全層雪崩の危険が高まります。

2.3 表層雪崩

表層雪崩は積雪内部にすべり面ができるので、雪崩の発生メカニズムには積雪の強度と上載積雪の荷重によって決まる積雪層の破壊現象が鍵となります。密度の小さい新雪はせん断破壊強度が小さいので、大雪により急斜面に大量に新しい雪が積もった場合には、しばしば表層雪崩が発生します。しかし斜面積雪は圧密によって密度を増していくので、降雪からの時間とともに雪崩発生の危険度は下がります。この種の雪崩は降雪粒子が短時間に多量に積もったときに見られる現象ですが、“弱層”と呼ばれるせん断破壊強度の弱い層が積雪内にサンドイッチ構造で含まれている場合には、図7に示すような大規模な面発生表層雪崩が発生する可能性があります。この弱層は同一の斜面で広く形成されることが多いので、ある箇所で起きた破壊が引き金となって破壊が弱層内を伝搬して大きな斜面の一斉崩落につながる場合があります。このような面発生表層雪崩は、大規模で高速な最もダイナミックな雪崩です。

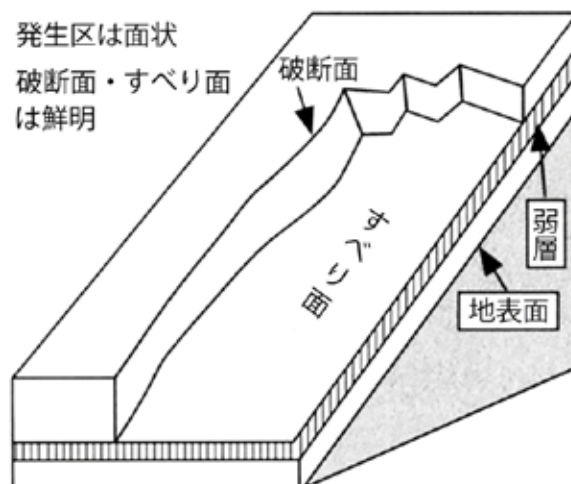


図7 面発生表層雪崩の模式図。発生区は面状、破断面やすべり面が鮮明。明瞭な弱層が含まれることが多い。

雪崩の規模と終速度には、大規模になればなる程、終速度が速くなるという関係があります。雪崩を止めようとする抵抗は表面積、すなわち空間スケールの2乗に比例して大きくなります。一方、重力に起因する雪崩の駆動力は雪崩の重量に比例するので、大まかに言って空間スケールの3乗に比例して大きくなります。したがって、雪崩の規模が大きくなるにつれて、スケールの3乗のほうがより大きくなるので、駆動力と抵抗が釣り合う終速度は速くなるのです。自然の雪崩では大きなものともなるとその速度は時速250kmを超え、新幹線の速さで流れ下ることが観測されています。さらに我々の経験を超える規模の雪崩が発生した場合、終速度はさらに増大し、今まで到達しなかった麓まで雪崩が達することを意味しています。またこのメカニズムにより、よく発達した雪崩では、頭部がふくらみ、尾部が長くのびた頭部尾部構造が現れます。

2.4 弱層の形成メカニズム

それでは大規模な雪崩につながる破壊層、すなわち“弱層”の雪質にはどのような特徴があるのでしょうか。一般的に弱層として観測されるものには降雪結晶系（広幅六花などの雲粒の付いてい

ない板状結晶、アラレ)、しも結晶系(こしもざらめ雪、しもざらめ雪、表面霜=雪面に成長した霜)とぬれざらめ雪があります。いずれも斜面方向の強度(せん断破壊強度)が弱い層構造をしており、上層と下層とを連結させる力が弱いという特徴があります。またこれらの雪質は雪粒子1~数個の層でも十分に弱層として働くので、数ミリにも満たない薄い層が大規模な崩落の原因となることもあります。すなわち、斜面の安定度を評価するには積雪の断面構造に関する情報を得ることがとても大切になります。ここではこしもざらめ雪・しもざらめ雪、表面霜、雲粒の付着のない降雪結晶を取り上げます。

(1) こしもざらめ雪・しもざらめ雪

北海道の太平洋側や大陸では積雪深が浅いことが多く、大気は寒いため、積雪の上下方向に大きな温度差ができます。大きな温度差は大きな水蒸気圧差があると同じなので、雪粒の間で水蒸気の輸送(昇華蒸発・凝結)が起きて、元の雪粒が霜の結晶へと置き換わります。変化が始まった段階が「こしもざらめ雪」(図8左)であり、よく変化した段階が「しもざらめ雪」(図8右)です。しもざらめ化が進むと雪の質感はサラサラになり、もろくなります。山岳域では初冬の積雪が薄い時期に発達することがあり、それが後になって雪崩の弱層となることが稀にあります。

この積雪の底に発達するしもざらめ雪が雪崩の

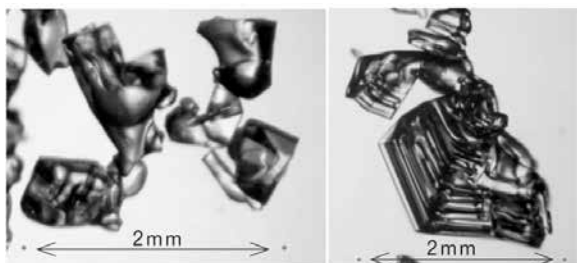


図8 こしもざらめ雪としもざらめ雪の結晶写真。左: こしもざらめ雪。きれいな面や角のある形が特徴で、粒は大きくない。右: しもざらめ雪。きれいな面と階段状の模様が特徴で、粒が大きい。(増補改訂版雪崩教本⁵⁾より)

発生に弱層として働くことは昔からよく知られていました。しかし、表層雪崩の弱層として最も働くのは表層付近で形成されるこしもざらめ雪・しもざらめ雪であることが近年分かってきました。こしもざらめ雪・しもざらめ雪は日本の表層雪崩では最も観測される弱層なのです。雪面直下に1℃/cmを超える大きな温度勾配が生じると、一晩で表層付近にこしもざらめ雪の弱層が形成されます。雪面から1~数センチの雪が日射で融解(内部融解という。0℃)した場合は、夜の放射冷却で雪面の温度がマイナス10℃以下にまで急速に下がると、1cmあまりの表層に10℃以上の温度差が生じることがあり、急激なしもざらめ化の原因になっています。

(2) 表面霜

よく晴れた朝に、降雪があったわけでもないのに雪面がきらきら光っていることがあります。表面霜で、放射冷却で表面温度が下がったときに積雪表面に形成される霜の結晶です。一つ一つの結晶は雪面からよきによきと柱が立ったような形状で、これが弱層としてサンドイッチ状に積雪内に挟まった場合、せん断力で容易に壊れてしまいます。表面霜は大きさが1~2mmを超えて成長すると弱層になりやすく、欧米では大きさ1cmを超える表面霜もしばしば観察され、雪崩の原因となった弱層の約半分が表面霜とされています⁴⁾。日本では成長に適した天候が長続きしないためか、大きさが数mmにまで成長することは珍しく、表層雪崩の原因となることは稀です。

(3) 雲粒の付着のない雪の結晶

弱層になる降雪と弱層にならない降雪は何が違うのでしょうか。風が弱く、雲粒が少ない大きな結晶の雪が積もると、隣の雪粒との接触点が少なく空隙が多くなり、密度の小さい弱い層が形成されます。そのため、焼結が進みづらく、せん断力に対して弱い層が形成されます。雲粒付着が少ない結晶の中でも、広幅六花などの大きな板状結晶は、比較的長時間その形が残って弱層になりや

すいすい（図9）。また角柱状結晶、砲弾状結晶、鼓状結晶などの結晶もまとまって降ると弱層となることがあります。このような雲粒の付着の少ない結晶は、層状雲や発達していない対流雲から降ることが多く、低気圧や気圧の谷が通過する前面で、よく弱層が作られます。

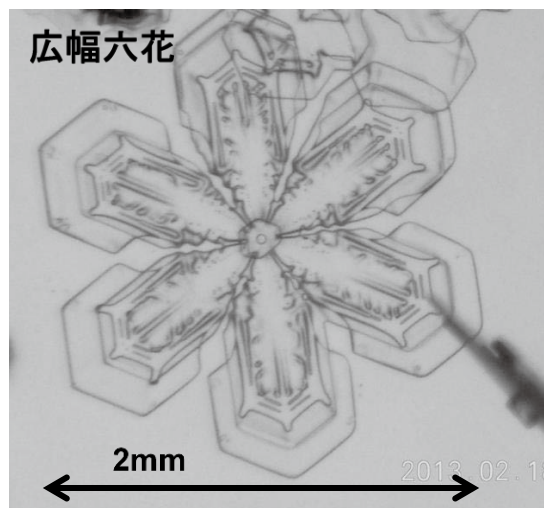


図9 雲粒なし降雪結晶の例。撮影：秋田谷英次

一方、激しい降雪のときは、雲粒付き（雲粒の微水滴が付いて凍結したもの）結晶やいくつもの雪結晶がからまり合って降ってくることが多いです。また、吹雪いているときの降雪は、結晶が細かく破碎されており、このような結晶が積もると、大きな粒子の間には小さな粒子や破片が入り込み、隙間のない状態となります。また、雲粒や小さな結晶が多いほど、隣同士の結晶と多くの点で接触することになり、焼結で接触点が結合し太くなり、じきに丈夫になる傾向があります。

3. 雪崩の防災と屋根雪崩

雪崩災害を見ると、集落や道路が雪崩に襲われて犠牲になるものと、山岳域にスキーヤーや作業従事者が登坂・滑走して犠牲になるものとの2つに大きく分けることができます。雪崩の発生メカニズムはいずれも変わらないものの対策は異なってきます。集落や道路構造物への雪崩被害の防災

を行う場合には設置計画や、雪崩対策施設による対策が主になります。ここで“高橋の18度の法則”と言われる経験則があります。堆積区のデブリの末端から発生区の破断面を見上げた見通し角を調査したところ、全層雪崩で最大24度、表層雪崩で最大18度となることが知られています。したがって、構造物を計画するにあたっては想定される雪崩の発生区から見通し角18度よりも遠くに設置することが望ましいことになります。それよりも大きな角度になる地点であれば、何らかの雪崩対策施設の導入を検討する必要があります。ただし、表層雪崩の節で述べたように、過去にないほどの大規模な雪崩が発生した場合には終速度がより速くなり、18度よりも遠くに達することがあります。

山岳域で活動するスキーヤーや作業従事者は、この18度の法則よりも内側、すなわち発生区に近い側で活動することがしばしばあります。その場合には、雪崩に巻き込まれるリスクを下げる行動が必要となります。雪崩はいつも起きるとは限りません。もっとも警戒しなければならない面発生乾雪表層雪崩の場合には、弱層の上に雪崩の本体になる上載積雪が載ってはじめて危険な状況が生まれます。したがって雪崩斜面に近づくときには、入山前から気象状況を確認し、入山したら積雪の層構造と安定度をチェックし、雪崩被害にしやすい地形を回避する行動をとる必要があります。また、不幸にも雪崩に巻き込まれてしまった場合は、同行者による素早いレスキューが大切になります。遭難者は雪崩に埋没してから18分を超えると急激に生存率が下がることが知られていますので、救助隊を待っているのは手遅れになる可能性が高いのです。紙面の都合上、雪崩のリスクマネジメントとレスキューについて詳述することができませんので、興味のある方はぜひ雪崩教本⁵⁾をご参照ください。

2節の分類とは別に、その他の雪崩現象として、スラッシュ雪崩（大量の水を含んだ雪が流動する

雪崩)、氷河雪崩・氷雪崩(氷河が崩落して砕かれながら斜面を流れ下ってくる雪崩)、ブロック雪崩(雪庇・雪渓などの雪塊の崩落)、法面雪崩(道路などの法面で発生する雪崩)、屋根雪崩(屋根からの落雪)も雪崩の一形態として位置づけられています。特に、屋根の雪下ろしで屋根から落ちたり、屋根雪に埋もれたりして亡くなる人が雪氷災害の内でも多くを占めることから、防災には屋根雪崩への対策が重要です。この場合も、雪に埋没した場合は18分以内、できれば15分以内に掘り起こす必要があることから、屋根の雪下ろしは単独では行わず、必ず複数人で行うことが大切です。さらに、“屋根雪崩”だと思って対策を心掛けることが肝要です。なお、北海道の建築基準では屋根雪が積もっても倒壊しないことがわかっていますので、むやみに雪下ろしをしないことが第一です。

4. 引用文献

- 1) 内閣府, 2022: 防災に関してとった措置の概況令和4年度の防災に関する計画. 393pp.
<<https://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/r4.html>>
- 2) 納口恭明, 山田穰, 五十嵐高志, 1986: 全層なだれにいたるグライドの加速のモデル. 国立防災科学技術センター研究報告, 38, 169-180.
- 3) Endo, Y., 1985: Release Mechanism of an Avalanche on a Slope Covered with Bamboo Bushes. *Annals of Glaciology*, 6, 256-257.
- 4) Schweizer, J. and J.B. Jamieson, 2000: Field observations of skier-triggered avalanches. *Proceedings of the International Snow Science Workshop*, Big Sky, MO, 192-199.
- 5) 阿部幹雄, 及川欧, 大西人史, 尾関俊浩, 榊原健一, 中村一樹, Genswein, M., 2022: 増補改訂版雪崩教本. 山と溪谷社, 160pp.

令和4年8月3日からの大雨

調査日：8/6(土)～7(日)

一般財団法人 消防防災科学センター

主任研究員 齋 藤 泰

副主任研究員 古 屋 貴 司

令和4年8月3日(水)からの大雨に際し、消防防災科学センターの研究員2名が発災から3日が経過した6(土)～7(日)にかけて新潟および山形方面で現地視察・調査を行った。

●気象の概況

8月3日(水)に東北地方を通過した低気圧に伴う前線が4日(木)にかけて北陸地方へ南下して停滞していたところに、台風第6号を起源とする暖かく湿った空気が流れ込んだため、5日(金)にかけて東北地方と北陸地方を中心に断続的に猛烈な雨が降り、記録的な大雨となった。

●被害・応急対応の概要

現地入り前日までの状況としては、気象庁から東北地方各地に対して「記録的短時間大雨情報」が発表され、最上川(山形県)の5か所、米代川(秋田県)の4か所、梯川(石川県)の1か所、後志利別川(北海道)の1か所をはじめとする1水系52河川が氾濫し、家屋浸水や土砂流出や道路損壊による通行止めが覚知で発生していた。5

日(金)には、山形県、新潟県、石川県及び福井県における21市町村に対して災害救助法の適用が決定されていた。

なお、本稿執筆時の最新報^{1,2}によれば、51水系132河川で氾濫が起これ、これらにより、人的被害は死者2人、行方不明者1人、重傷2人となり、住家被害は、全壊28棟、半壊586棟、一部破損337棟、床上浸水1,710棟に及んでいる。

●災害弔慰金のはじまり

これまで、新潟県や山形県では、いくどとなく水害に見舞われてきている。当時戦後最悪と言われた、1967年(昭和42年)8月に発生した羽越豪雨災害³では、死者104名を出す大きな被害となり、激甚災害に指定された。この災害がきっかけとなり、新潟出身の政治家である佐藤隆らの働きかけにより「災害弔慰金の支給等に関する法律」が1973年に成立した。災害が多発するわが国における災害公助の先駆けとなった制度であり、災害により死亡した者の遺族に対して災害弔慰金を支給することなどが規定されている。災害弔慰金は、国が1/2、都道府県が1/4、市町村が1/4を負担し

¹ 内閣府、「令和4年8月3日からの大雨等による被害状況等について(令和4年11月1日13時00分現在)」

² 国土交通省、「令和4年8月3日からの大雨等による被害状況等について(令和4年11月14日10時30分現在)」

³ 伊藤健一、シリーズ「我が国を襲った大災害」－昭和42年発生羽越豪雨災害－、水利科学 No.318, 2011年, https://www.jstage.jst.go.jp/article/suirikagaku/55/1/55_100/_pdf



図1 主な移動ルート（赤い線：GPS ログ）

※背景地図は OpenStreetMap ©OpenStreetMap contributors / CC BY-SA

で支払うことを定めており、現在は生計維持者が死亡した場合には500万円、その他の場合には250万円と定められている。

●調査計画

我々消防防災科学センターの研究員は2名体制で現地入りした。国立研究開発法人防災科学技術研究所が運用する「防災クロスビュー」というwebマップサービスを通じて、JAXA等の人工衛星観測結果、朝日航洋(株)の航空写真撮影結果(CC-BY-NC-SA ライセンス)、国土地理院等による面的浸水域の推定結果、国土交通省 XRAIN による雨の稀さ（まれさ）の推移等の情報、さらに、日本道路交通情報センター（JARTIC）が配信する道路交通情報 Now 等を参照して調査計画を立てた。そして、1日目は上越新幹線で新潟市に入り、レンタカーで胎内市を抜けて村上市へ、また関川村から小国町にかけて国道113号を中心に移動し、米沢を目指すこととした。2日目は、山形県の飯豊（いいで）町から最上川沿いに大江町まで北上し、山形駅へ戻ることを目指すこととした。

【1日目】

<村上市>

荒川付近での市街地に位置し、車が半分水没するほどの冠水被害となっていた羽越本線 坂町駅周辺では、既に水は引いていたものの、路面に土砂が流れた後が散見された。注意深く路地を見渡すと、住戸から出た家財等が大分搬送された形跡があった。

村上市役場においては、被害状況や対応情報でホワイトボードが埋め尽くされていたが、週末ということもあり、役場の状況は大分落ち着いていた。市町室付近の廊下には、ピークであった3日（水）から4日（木）にかけての市内の記録写真が掲示されていた。

複数の住宅が巻き込まれる土石流災害が発生した小岩内地区には、経路上アクセスができなかった。地区役員が3日夜に地域住民へ避難を呼びかけ一旦は公会堂に参集したものの、羽越水害の教訓から高台方面へ再避難をしたことによりその後公会堂は流木による土砂崩れに巻き込まれたが、結果として一人も犠牲者を出さなかった。

<関川村>

村上市から関川村にかけて、荒川に注ぐ土石

流にて道路、線路が寸断されていた（図2）。JR米坂線 越後大島駅の西側の踏切は水没しながら、警報が鳴り続いていた（図3）。国道113号では、片側通行ができる程度に復旧工事が進んでいたものの、一般車両が通行止めとなっていた（図4）。

荒川の北岸へ続く小見橋（国道273号線）は通行止めとなっており、役場の北西の湯沢地区からアプローチしたものの、ところどころ発生していた道路陥没により逆戻りを余儀なくされた（図5）。畳や家具等の災害廃棄物は家屋からの運び

出しが済み、空地へ積み上げられていた（図6）。

関川村役場もかなり落ち着いた状況であった。災害対策本部会議は継続していたものの、リエゾンが撤収した後であった。

【2日目】

<飯豊（いいで）町>

役場を含む町内では断水が発生していた。小白川が蛇行する大巻橋が崩落し（図7）、通過中の車に乗っていた1名が犠牲となっている。町の傾斜地では、路面に拳大の石が散乱するとともに、



図2 関川村での斜面崩壊



図3 水没した越後大島駅西側の踏切



図4 山からの水が流れ続ける中の復旧作業
（関川村 - 小岩井地区の国道113）



図5 陥没した道路（湯沢地区）



図6 空地へ積み上げられた災害廃棄物（湯沢地区）



図7 崩落した大巻橋（飯豊町）

水流による掘削痕跡がみられ、マンホールが露出している箇所もあった。また、役場から北上した荻生川に架かる二反田橋周辺では、欄干を破壊するほどの濁流の痕跡があり、抉られた護岸に立っていた家屋は傾いていた。

<大江町>

大江町役場に昼頃到着した際には、昨日から続く晴天が嘘のように土砂降りとなっていた。新型コロナ禍中で地元民のみで結成されたボランティアが午前の活動を終えて役場駐車場のボランティアセンターへ帰着したところであった。

最上川のヘアピンカーブに位置し、メディアで露出していた左沢（あてらざわ）地区では、電柱に「令和2年7月豪雨の実績浸水深（1.7m）」と「想定浸水深（4.8m）」を示すサインがあった（図8）。この2年前および50年前にも被災経験がある住民からは、再来に備えピロティ（建物の1階部分に住居を置かず、駐車場や倉庫、庭や通路などで利用する構造）を設けた民家があることや、災害廃棄物の分別や撤去がスムーズにいったこと等を伺うとともに、浸水時の生々しい写真データを提供いただいた（図10）。



図8 実績浸水深を示すサイン（左沢地区）

●所感

激しい豪雨に見舞われながらも、両県とも2年前の風水害での対応が活かされ、早期の行動が功を奏したようであった。当センターが実施してい



図9 最上川に続く路地（8月6日時点）



図10 最上川に続く路地（8月3日時点）

る市町村防災研修事業に参加された自治体においては、災害対応時における情報処理の帳票を利用いただいたり、日ごろからの知識を高める小冊子「地震に自身を」や「竜巻を知る」等を常設していただいたようであった。日ごろからのつながり、事前対策の重要さが身に染みた現地調査であった。

謝辞

本調査にあたり、災害対応中にも関わらず快くわれわれを受け入れ情報提供いただいた高橋亨様（新潟県村上市総務課危機管理室 防災専門員）、佐藤智昭 様（山形県飯豊町総務課防災管財室長）、五十嵐大朗 様（山形県大江町総務課長）、小林克志 様（山形県大江町総務課危機管理係主事）、ほか地域住民の皆様に感謝申し上げます。

地域防災実戦ノウハウ (114)

—「高齢者等避難」の発令頻度の低減—

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

前号では、「高齢者等避難」、「避難指示」の発令は機械的に行うことをお願いしました。それは、機械的に対応することで誰が担当しても同じ判断となる（迷いがなくなる）ことは大きなメリットだからです。

機械的な対応とは、「避難情報に関するガイドライン（令和3年5月、令和4年6月更新、内閣府）」（以下「ガイドライン」という）に例示されている表1のようなものです。このような流れで高齢者等避難を発令している市町村も多いでしょう。

表1 高齢者等避難の発令の流れ（例示）^(注)

大雨警報（土砂災害）が発表され、土砂災害の危険度分布において「警戒（赤）」のメッシュが出現し、そのメッシュが土砂災害警戒区域等と重なった場合、あらかじめ警戒レベル3 高齢者等避難の発令単位として設定した地域内の土砂災害警戒区域等に警戒レベル3 高齢者等避難を発令する。

（注）避難情報に関するガイドライン（令和3年5月、令和4年6月更新、内閣府）、p.85、一部加筆

しかし、現場を預かる市町村の関係者（首長、防災担当者等）からすれば、「避難指示はともかく、高齢者等避難の発令を機械的に行うことは難

しい」との声をしばしば耳にします。

その理由は、前号でも触れましたが土砂災害を対象とした場合以下のような状況が生じるからです。

- ① 大雨警報（土砂災害）の発表回数が1市町村平均で年に5回程度と多く（前号の表3及び本文を参照）、機械的対応では高齢者等避難の発令回数も同程度の高頻度となること
- ② 大雨警報（土砂災害）で高齢者等避難を発令した場合、実際に人家等が土砂災害に遭う確率は1%程度であること^(注)

（注）土砂災害警戒情報が発表され実際に人的・家屋被害のあった土砂災害の割合は6%程度であること（前号表4）。また、大雨警報（土砂災害）の発表回数は土砂災害警戒情報の5～6倍程度と推測されること（前号表3）。以上のことから、大雨警報（土砂災害）が発表され実際に人的・家屋被害があった土砂災害は1%程度と推測できます。

- ③ 対象者の多くが立ち退き避難や避難所生活が負担となる高齢者等^(注)であることから、高頻度での立ち退き避難は精神的・肉体的に大きな消耗を伴い健康悪化の懸念があること

（注）以下では「高齢者等」とは前出のガイドラインが定義する「避難を完了させるのに時間を要する在宅又は施設利用者的高齢者及び障害のある人等、及びその人の避難を支援する者」とします。

- ④ ①、②、③の事情等から、高齢者等避難発令

に伴い避難所を開設しても避難者が0人というケースが多く、市町村の負担になっていること以上のことから、機械的な高齢者等避難の発令を躊躇する市町村も多いはずです。実際、ガイドライン中にも表2のような記述がみられます。

そこで、本稿では高齢者等避難の発令頻度の低減方策を考えることにします。

表2 警戒レベルと警戒レベル相当情報との「不一致」^(注)

(レベルの不一致)
市町村によっては、・・・・(中略)・・・・大雨警報(土砂災害)の発表のみでは警戒レベル3 高齢者等避難を発令することとしていない場合もある。

(注) 同前 p.45

2. 高齢者等避難の発令頻度の低減方策

(1) 低減方策1—大雨警報(土砂災害)の発表を受け高齢者等に対し市町村から避難準備を促すが、高齢者等避難は発令しない—

ガイドラインでは、高齢者等避難の発令頻度が高く、「空振り」が多いことへの対策として、要配慮者利用施設管理者による避難頻度の低減方策を例示しています(表3参照)。

その中では、高齢者等避難のタイミングで避難時の持出し品を避難先に移送するなどの避難の準備を行い、避難指示のタイミングで避難するという方法が紹介されています。

この考え方は要配慮者利用施設に限定する必要はなく、「高齢者等避難が発令された段階で高齢者等が避難準備を行えば、避難指示発令のタイミングで避難することも可能」と一般化することもできます。

さらに突き詰めれば、「大雨警報(土砂災害)が発表された際、市町村からの的確な注意喚起に

より高齢者等が避難準備を行えば、高齢者等避難発令の保留や避難指示発令のタイミングでの避難も可能」と考えることもできそうです。

ただしこの場合、高齢者等に避難準備を促すための適時的確な情報伝達を行いうる体制の確保が重要になります。

表3 要配慮者利用施設管理者による避難頻度の低減方策(例)^(注)

警戒レベル3 高齢者等避難は、比較的早いタイミングから発令されるために、結果として災害が発生しない、いわゆる「空振り」の発令になりやすいうえに、発令頻度が比較的高いという実情がある。そのような中、施設利用者に避難行動自体が負担になる人がいる場合には、警戒レベル3 高齢者等避難が発令される度に施設利用者全員が避難することが必ずしも望ましくない場合も考えられる。このため施設管理者等は、例えば警戒レベル3 高齢者等避難のタイミングでは避難時の持ち出し品のみを避難先に移送し、警戒レベル4 避難指示のタイミングで十分な避難支援体制のもと施設利用者が円滑かつ確実に避難できるようにするなど、施設利用者の状態や支援体制等に応じた避難行動をとることで、避難する頻度を抑える工夫をすることが考えられる。

(注) 同前 p.12

(2) 低減方策2—高齢者等避難の発令は、道府県の土砂災害危険度情報システムが提供しているスネーク曲線の1時間後予測で行う—

気象庁の土砂キキクルでは、スネーク曲線の2時間後の予測値が大雨警報の基準値に到達すると予測されるときは危険な場所から高齢者等は避難することが推奨されています(図参照)。この段

階では大雨警報（土砂災害）も発表されていると予想されます。ここで機械的に対応すれば、高齢者等避難の高頻度発令は避けられません。

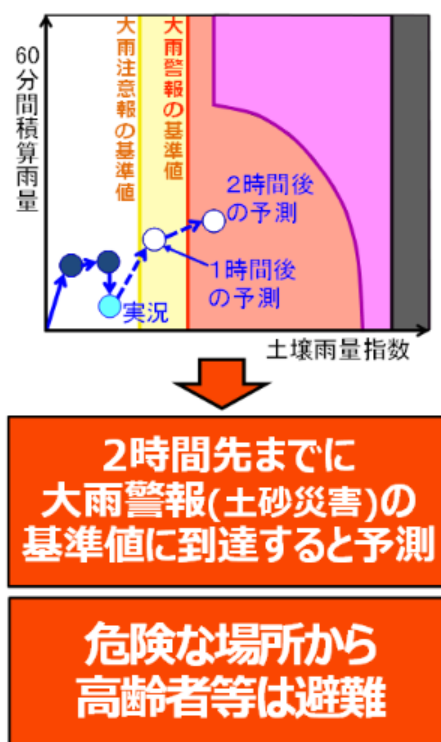


図 高齢者等避難の判定模式図（気象庁）

土砂キキクルでは、避難に要する時間を考えて「2時間」後の予測値が使われています。この「2時間」については「要支援者が避難に要する概ねの時間」（「土砂災害発生危険度の解析・予測技術」、気象庁土砂災害気象官、2018年3月）とされています。しかし、(1)で考察したように、高齢者等が避難の準備を整えていればこの2時間は短縮可能であり、絶対条件ではありません。

予測値を用いる場合、予測時間が長いほどその信頼性は低下します。すなわち、「2時間」後の予測値よりも「1時間」後の予測値を用いた方が高齢者等避難発令の判断の確実性は高まります。そして、それに応じて高齢者等避難の発令頻度を

低減することができます。1時間後の予測値を用いることにより、その分だけ避難の余裕時間は少なくなりますが、上述したように避難の準備を整えていれば問題とはならないはずです。

残念ながら土砂キキクルではスネーク曲線を直接見ることはできませんが、道府県の土砂災害危険度情報システムではスネーク曲線の1時間後予測を表示できるところもありますので、それを積極的に活用されることをおすすめします。

(3) 低減方策3－独自の発令基準を設定する－

ガイドラインでは、体制的に可能であれば独自の避難情報発令基準の設定が推奨されています（表4参照）。現在の基準に満足されていないならば、避難情報発令頻度の低減やタイミングの改善を目的に独自基準の設定に挑戦されたいかがでしょうか？

表4 独自の発令基準の設定について^(注)

本ガイドラインの記載内容より高度又は臨機応変に運用できる体制を有している市町村においては、防災気象情報等の様々な予測情報や現地の情報等を有効に活用し、適時的確な避難情報の発令について検討することが望ましい。

（中略）

発令基準の設定に当たっては、関係機関の助言も受けつつ、少なくとも過去数年間程度の実例に則して発令頻度がどの程度になるか確認し、現実的に運用できるか検討することも重要である。

（注）同前 p.50

油圧ショベルの作動油が発火し 出火した火災について

川崎市消防局予防部予防課調査係

1 はじめに

車両火災において、オイルに起因する火災は、高温になった排気管にオイルが付着することで発火する事例は広く知られているところであるが、今回紹介する事例は、油圧ショベルの油圧系統から出火した事案で、油圧ホースが外れ、高温の作動油が噴き出したことで、酸化発熱反応を生じ、自然発火したものである。

の炎が上がっている本火災を発見した（写真1及び図1参照）。



写真1：出火箇所周囲の状況

2 火災の概要

- (1) 出火日時：令和3年9月
- (2) 出火場所：川崎市
- (3) 火災種別：車両火災
- (4) 構造：油圧ショベル（クローラー式）、
2016年製
- (5) 被害状況：油圧ショベル1台焼損
- (6) リコール情報：なし

3 発生状況

屋外の貯炭場（高さ20メートル、総量約7万トン）の上で、作業員が油圧ショベルを巡回させようとした際、オペレーター室内モニターの警告灯が点灯すると同時に、「パン」という破裂音を聞いたため、周囲を確認したところ、オペレーター室右後方にある油圧ホース付近から約1メートル



図1：構内配置図

4 出火前の状況

- (1) 油圧ショベルは平成28年4月に新車で購入し

ており、最後に実施した月次点検は令和3年9月で、点検時に異常はなかった。

- (2) 油圧ショベルの稼働状況については、作業員が交代するとき及び小休止のときを除き、常に稼働している状況であった。
- (3) 出火当日、作業員は油圧ショベルで貯炭場の石炭を搬出口へ移動させる作業を行っていて、当初は作動に異常は感じなかったが、休憩後の作業再開後から、作業能力の低下を感じている。

5 調査結果

(1) 焼損状況

ア 第1回実況見分は、高さ20メートルの位置にある足場の悪い貯炭場という劣悪な環境のため、外観のみ見分を実施した。

バケット、アーム及びクローラーに焼損は認められず、オペレーター室及び上部旋回体が焼損しているのが認められる。(写真2、3参照)

イ 第2回実況見分では事業所職員に協力を求め、貯炭場の下へ焼損車両を降ろし、同型車と比較しながら各部の焼損状況を見分した。

その結果、焼損状況及び延焼方向から電気関係及び燃料系統からの出火した可能性は低く、油圧系統から出火した可能性が高いと考えた。

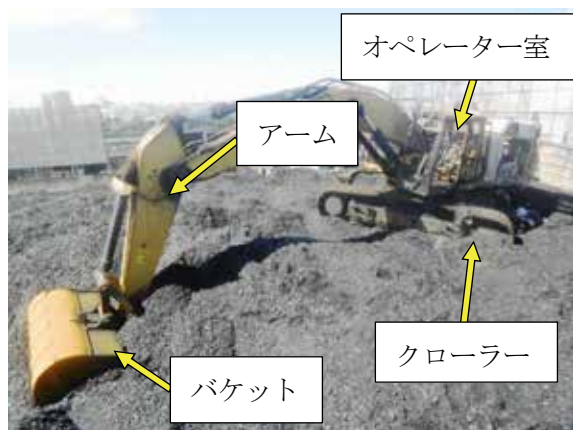


写真2：油圧ショベルの状況



写真3：上部旋回体の状況

(ア) ポンプ室内を見分すると、油圧ポンプは塗装が焼けており、燃料、エンジンオイル、パイロット及びドレンの各フィルタは焼失している。また、作動油タンクにつながるサクションラインのゴム製ホース部が焼失している。(写真4～6参照)



写真4：車両右側の状況

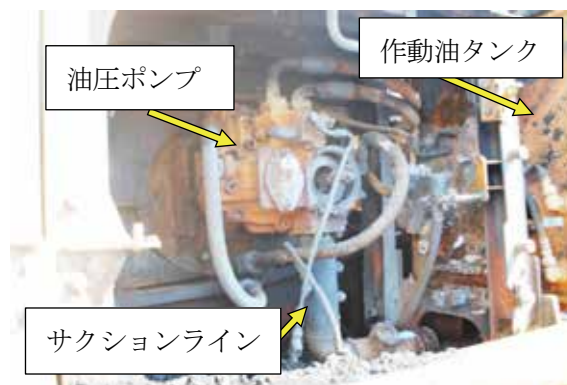


写真5：焼損車両ポンプ室の状況

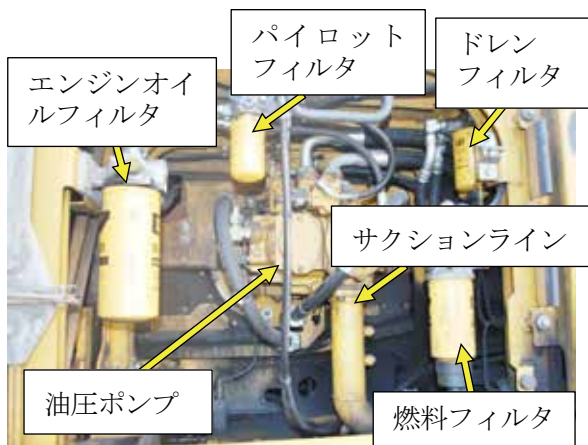


写真6：同型車ポンプ室の状況

(イ) 作動油を制御しているコントロールバルブは、オペレーター室の後方に位置しており、塗装が焼失して地金が露出し、白く変色している。

接続されている11本の油圧ホースは被覆が焼失し、スチール製のワイヤーが露出している。また、左クローラー走行用の油圧ホースが脱落しており、この油圧ホースのみが茶色く変色しているのが認められる。

コントロールバルブ付近には熱源となるものは確認できない。(写真7、8参照)

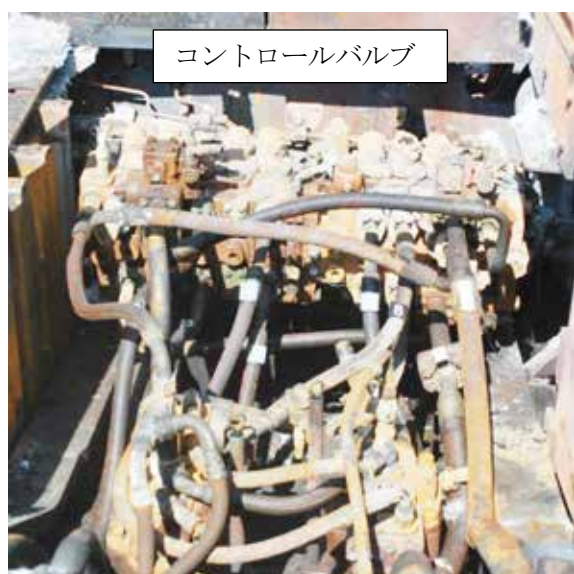


写真7：コントロールバルブの状況

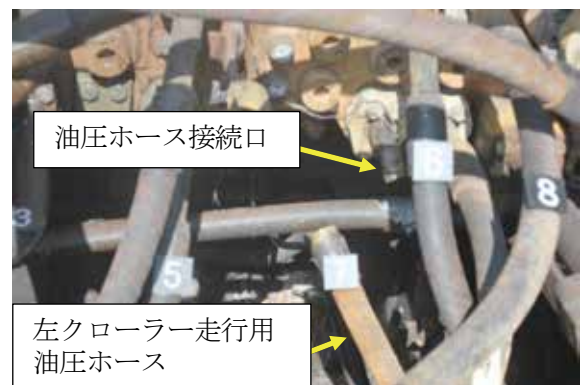


写真8：油圧ホースの状況

ウ 油圧系統を更に詳細に見分するため、工場へ搬送しようとしたが、車両重量が約48トンあり、そのまま工場へ搬送するのが困難であったことから、製造会社に油圧系統各部の説明を求め、解体して部品のみを工場へ搬送し、第3回実況見分を実施することとした。

工場で各部品を復元できるようにするため、製造会社へ解体時の注意事項を指示し、搬送を依頼した。

(ア) 脱落した左クローラー走行用油圧ホースを見分すると、油圧ホースは被覆が焼失しているため、製造会社は判別できないが、接続ステムは正規品のものと形状が違いうことから社外品であることが認められる(写真9～11参照)。



写真9：油圧ホースの状況

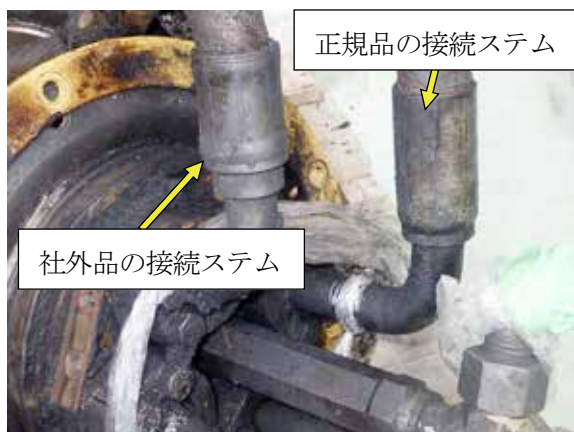


写真10：左クローラー走行用油圧ホースの状況



写真13：バルブスプールの状況



写真11：左クローラー走行用油圧ホースの状況

(イ) 作動油の送油を開閉するバルブスプールのコントロールバルブから取り外し見分すると、いずれのバルブスプールもオイルが付着しており、オイルが黒く変色している（写真12、13参照）。

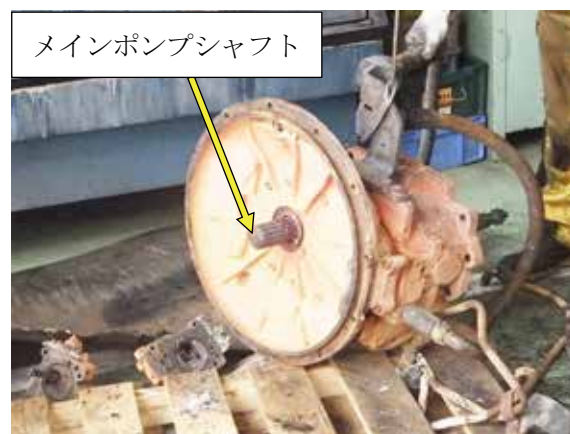


写真14：油圧ポンプの状況



写真12：コントロールバルブの状況

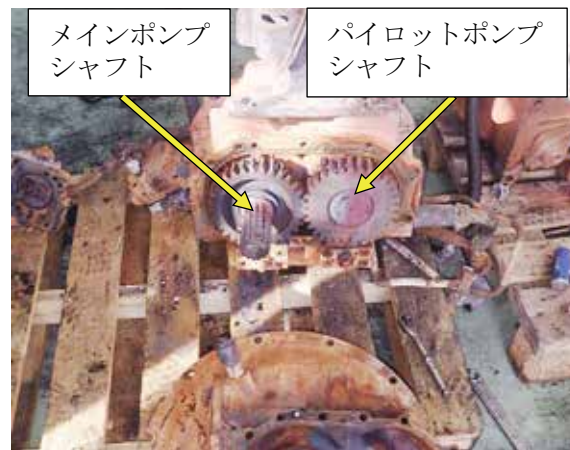


写真15：油圧ポンプ内部の状況

している。

また、ギヤの隙間には炭化物が堆積している。(写真14～16参照)

(エ) ギヤを取り外してシャフトベアリングを見分すると、シャフトベアリングの合成樹脂製の保持器は溶融し、ころが不規則な間

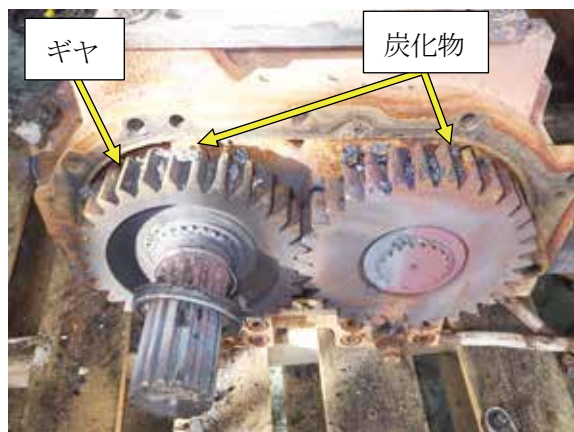


写真16：ポンプシャフト及びギヤの状況

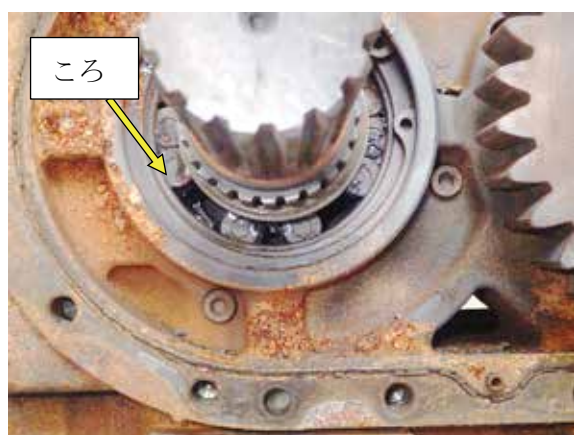


写真17：シャフトベアリングの状況

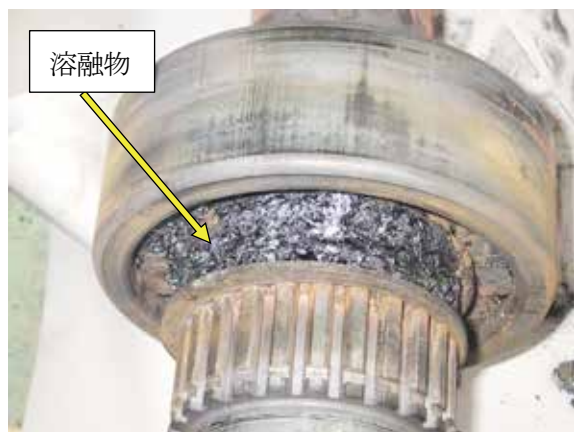


写真18：シャフトベアリング内側の状況

隔で固着している。さらに、メインポンプシャフトを取外すと、シャフトベアリングの内側には溶融して黒く炭化した樹脂が固着している。(写真17、18参照)

6 鑑定結果

コントロールバルブ内に残存していた作動油と油圧ショベルに使用される新品の作動油を収去し、熱分析装置により分析を行う。

コントロールバルブに残存していた作動油（試料1）、新品の作動油（試料2）を比較すると残存していた作動油は黒く変色している。(写真19、20参照)



写真19：残存していた作動油の状況



写真20：新品の作動油の状況

分析した結果、残存していた作動油は、酸化発熱反応が摂氏363度から確認できるのに対し、新品の作動油は、酸化発熱反応が摂氏403度から確認できた。

以上のことから、残存していた作動油は、酸化発熱を開始する温度が約40度低下しており、熱影響による劣化が考えられる。(図2、3参照)

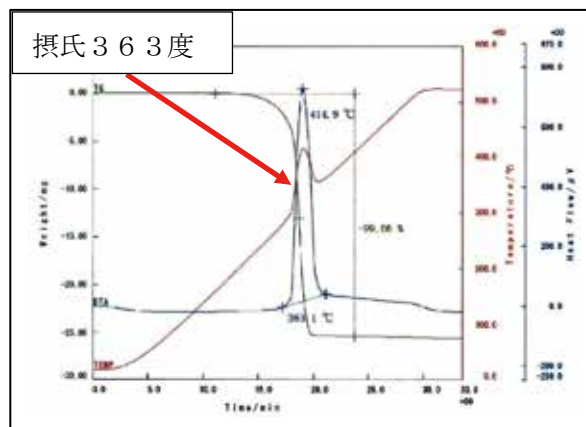


図2：試料1の分析結果

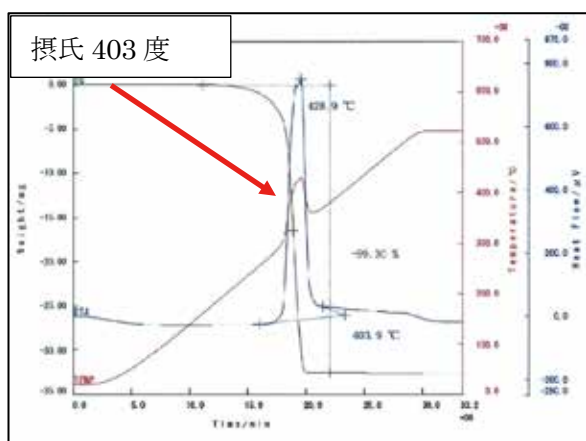


図3：試料2の分析結果

7 検討結果

油圧ポンプ内部を見分した結果、通常、保持器により等間隔に設置されているシャフトベアリングのころが、不規則な間隔で固着していることが認められた。

黒く変色した作動油の状態を見れば、適正に維持されていたとは考え難く、作動油の劣化かオイル量の減少によるものかは定かではないが、このことがシャフトベアリング内のころが固着する要因になったと推察される。よって、油圧ポンプ内が潤滑不良の状態となり、摩擦熱が発生して作動

油が高温になっていたと考えられる。

次に脱落した油圧ホースであるが、油圧ホース接続システムの圧着方法はロウ付けであり、正規品も社外品も同様とのことである。正規品のロウ材の融点は450度以上であるが、社外品のホースは焼損が激しく製造元を特定できないことからデータは得られていない。

しかしながら、油圧ホースが圧着箇所から脱落しているところを見ると、作動油がロウ材の融点を超えるほど高温となっていたために、圧着箇所の強度が下がっていたという可能性は十分考えられる。

その状態で、クローラーの旋回操作により油圧ホースに負荷がかかったことでホースが脱落し、作動油が噴出した可能性が高い。

また、鑑定結果によると、焼損車両の作動油は摂氏363度から酸化発熱反応が確認できることから、摂氏363度を越えた作動油が空気に触れ、発火に至った可能性は十分考えられる。

以上のことから、本火災は、油圧ポンプが潤滑不良の状態であったことに気づかないまま稼働を続けたことで、摩擦熱によりシャフトベアリング内のころが焼付き、その影響で作動油が高温になっていたところに、クローラーを旋回させようと負荷をかけた際、コントロールバルブから油圧ホースが外れ、高温となった作動油が噴出して空気に触れたことにより、発火し出火したものと判定した。

8 おわりに

本火災は、油圧ショベルから出火した珍しい事案であり、出火した油圧ショベルは重量が約48トンあったため火災現場から移動ができず、足場の悪い貯炭場での実況見分を余儀なくされ、さらに車両を解体後に部品の一部を工場へ搬送して実施する等、条件の整わない中での実況見分となった。

製造会社は当初、燃料からの出火を疑っていた

が、社員立会いのもと合同見分を実施し、各部品の構造説明を受けながら油圧ポンプを解体した結果、シャフトベアリング内の潤滑不良による焼損を発見するに至り、油圧系統からの出火を裏付ける物証が得られたことで製造会社も消防の見解を認めることとなった。

加えて、熱分析装置による鑑定を行った結果、残存していた作動油の発火温度が科学的に立証さ

れ、本火災の原因判定を確たるものにすることができた事例である。

冒頭に触れたとおり、車両火災でオイルに起因するものと言え、排気管をまず疑うが、その先入観に捉われると原因を見失うこととなる。改めて現場を「よく見る」ことの大切さを感じた事例であった。

連載講座

第56回

未来と共に過去の評価も

作家 童 門 冬 二

1948年（昭和23年）は、忘れられない年だ。私の生き方の基礎はこの年にコンクリートされた気がする。

まずいくつかの外国人の発言に出会った。この年の誕生日に私は20歳になった。しかし社会的混乱と食糧不足で“成人式”なんぞ誰も発想しない。神田に行って書店の店頭で、「世界からの励まし」みたいな本をみつけた。中にルーマニアの作家コンスタンチン・ゲオルギウのメッセージが目にとまった。というより“心”にとまった。以後、いまだにとまっている。つぎのような発言だ。

「たとえ世界の終末が明日であろうとも、私は今日（も）リンゴの木を植える」

その時の世界情勢にピッタリのメッセージだ。乗る飛行機がなくて、不完全燃焼の気持を抱いたまま“娑婆（世間）”に戻ってきた海軍の予科練出の私は、生き方に途惑っていたが、このメッセージを読んで思わず、（道標はこれだ！）と心にきざみつけた。

もう一つの衝撃はジョージ・オーウェルが四八年をひっくりかえして書いた、「一九八四年」という空想物である。

「八四年には人間生活にこういう科学製品が参加している」として、百くらいの機器を空想していた。テープレコーダー・テレビ（多重放送）・AI・ロケット・コンピュータ等々。

ある研究者が八四年に、
「オーウェルの空想はどのくらい実現したか」

を調べて発表した。八十余あった。

私は恐怖と同時に、

「人間が空想する物は必ず実現する」

という鉄則めいたものを感じた。

「AI が感情を持つようになったら怖いな」

と思っていたら、“アイ・ロボット”というアメリカ映画が上映された。無感情だと思って雇ったロボットが、いつのまにか感情をもち、主人を憎み、しまいには殺そうと追いかけてまわすストーリーで、私は、

（必ずありうる）と覚悟することをおぼえている。だからやたらにロケットをとばして、均衡の保持で成立している宇宙をあまり荒してほしくない。

前回、トム・クルーズの“新トップ・ガン”を見た。ラスト・シーンでトムちゃんはクラシックなプロペラ・プレーンを、天空でツルのように舞わせた。私は嬉しかった。

「トムちゃん、おぬしはタダ者ではないな」

とスクリーンに呼びかけ、持っていた“デパチカ（デパートの地下）”で買った“スキヤキ弁当”を、きれいに平らげてしまった。

（それが九十五歳のジジイのやることかよ！）と、自分でも呆れるが、からだはどこも悪くないのだからやむをえない。

この間誰かに「いまの世の中をどう感じるか？」ときかれたから“ブラボー”でなく“ベラボー”な社会だ」とニクマレロを叩いた。

本気でそう思っている。どんな世の中になろうとリンゴの木を植えつつける。それには未来ばかり空想しないで、過去を鉱脈として掘り返すことも必要だ。

昭和二十年代に黒沢明監督の黄金時代があり、多くの傑作映画が生れた。“生きる”はその一本で私にとってはいまだに“生きるためのバイブル”になっている。

戦後の民主主義社会で、市役職員も“おかみ(上)”から、“パブリック・サーバント”“住民への奉仕者”に変わった。本当にそうだったか、の検証映画だが、ストーリーではそうっていない。前以上の官僚主義の横行だ。

しかしこの映画には救いがある。小田切みきという天使がいた。バイトでお茶汲みだ。彼女は“お茶汲みの哲学”を持っている。

「わたしのいれたお茶をのんで、この課の職員が住民をよろこばせてくれたら、こんなうれしいことはない」。

ところが職員はお茶はのんでも、住民をなげかせるばかりなので、怒って辞めてしまう。幼児のオモチャをつくる町工場に転職する。ある日、前にいた市役所の上司に会う。小田切みきさんはポケットからウサギの人形を出してこういう。

「このウサギはあたしがつくったの。ウサギ一羽つくるたびにあたしはこう思うの。きょうもどこかの赤ちゃんとおともだちになっちゃった」

ガツーン！ と頭を叩かれた思いがした。自分に言葉を叩きつけた。

「おまえはバカだ！ なにが生きる道標だ？ バイトのみきちゃんはキッチンと働らく意義を心得てるじゃないか。遠くの芝生ばかりみないで足もとをみろ」

以来、多少はマトモな公務員になったのでしょう。七十歳の時に勲三の勲賞をもらいました。

今、住んでいる区（目黒区）で名誉区民になっている。二人いてもう一人は王貞治さんだ。王さんは国家的仕事で忙しいので、区の行事には私が出て何か話す。

ここ数年は「成人式」でも「老人の日」でもゲオルギウのメッセージを復誦している。

考えてみればあのころ（昭和二十年代）には、日本中“リンゴの唄”が流行っていた。作詞家はゲオルギウのメッセージに気づいていたのだろうか。

過去にも磨けば宝石になる原石が沢山埋もれている。

連載
講座

アンサンブル予報で予報に信頼度付加

気象予報士（元気象庁） 饒 村 曜

1 天気予報に不可欠な数値予報

場所や高さによって異なる大気の状態は、3次元的な格子点ごとの風向や風速、気圧、気温、水蒸気量などで定量的に表すことができます（図1）。このように格子点上に表された気象要素の時間変化を物理学の法則を用いて計算し、将来の大気の状態を予想するのが数値予報です。しかし、これらの方程式は複雑に組み合わせられており、膨大な計算量が必要な数値解析という方法を用いて解いています。数値予報という名前の由来です。

数値予報の可能性を示したのは、ノルウェーの気象学者ヴィルヘルム・ビヤークネスで、明治41

年（1908）のことです。しかし、その実現のためには大気の状態の三次元的な観測と、膨大な量の計算が必要であり、すぐにできるものではありませんでした。大正11年（1922）にイギリスの気象学者ルイス・フライ・リチャードソンは、この物理方程式を解く方法を考案し、たった一人で手計算を試みました。リチャードソンは、毎日の予報を数値予報で行うことを考えていましたが、コンピュータのない時代の話です。実現のために、6万4000人の計算係を一カ所に集め、指揮者の号令で一斉に計算を行うという、壮大な夢を描いていました。しかし、リチャードソンの試みは失敗に終わり、数値予報は「リチャードソンの夢」と言われました。

この夢が実現されたのは、第二次世界大戦後にコンピュータが作られてからです。コンピュータの生みの親であるアメリカのジョン・フォン・ノイマンと、気象学者ジュール・グレゴリー・チャーニーの協力で数値予報が成功し、昭和30年（1955）には、アメリカの気象局で定常的な業務として実用化されています。

日本では、昭和34年（1959）に当時としては世界最大級のIBM社製のコンピュータを使い、アメリカ、スウェーデンについて世界で3番目に業務としました。老朽化した気象庁の建物の更新より、海にもものとも山のものともわからなかった数値予報の導入を優先したことに、大蔵省（現在の

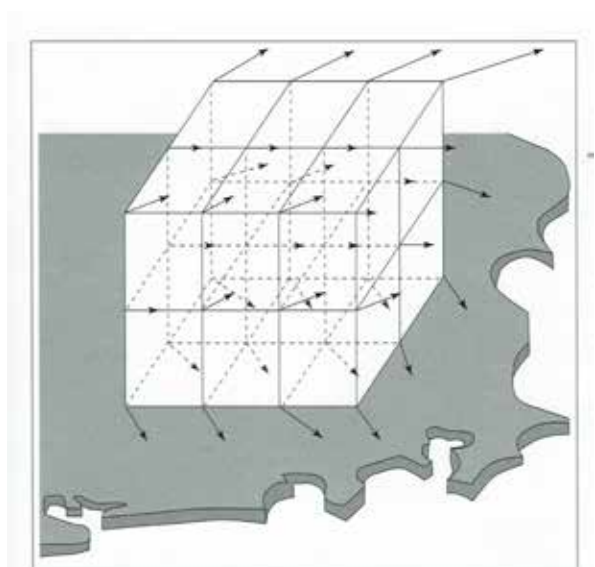


図1 数値予報のための格子の模式図

出典：著者作成

財務省)担当者は、あきれはてたという話が伝わっています。しばらくは精度が悪く、全く使い物になりませんでした。昭和55年(1980)頃になると、コンピュータの能力は飛躍的向上し、また、気象衛星などによる観測網も充実してきました。さらに、数値予報技術そのものが進歩したことなどもあって実用的なものとなり、現在は、数値予報を欠いては、天気予報は成り立たないところにまで進歩しました。

2 数値予報の種類

数値予報は、その利用目的によって、いくつかの種類(モデル)があります(表)。現在、数時間～9時間先の大雨や暴風などの災害をもたらす現象の予報には2km格子の局地モデルと、5km格子のメソモデルを、1週間先までの天気予報には約20km格子の全球モデルを使用しています。また、防災気象情報や府県天気予報など比較的予報期間が短い予報ではアンサンブル予報も併用さ

れていますが、3か月予報など、長い期間の予報は全てアンサンブル予報です。季節アンサンブル予報システムでは、地球全体を大気の様子と海洋の様子を同時に計算する大気海洋結合モデルが使われていますが、この手法を最初に発見し、この功績で令和3年(2021)度のノーベル物理学賞を受賞したのが真鍋叔郎博士です。

一般的に、この格子間隔が小さくすればするほど、予報期間を長くすればするほど、飛躍的に計算量が増えていきます。物理学の法則の数を増やし、より精密に適用すれば計算量はさらに増えます。研究のためなら良いのかもしれませんが、天気予報に使うためには24時間先を計算するのに24時間はかけられません。電子計算機の能力から、数値予報の予測精度の上限が決まっています。

昭和34年(1959)に導入した最初の電子計算機の演算速度を1とすると、平成30年(2018)6月に導入した第10世代の電子計算機は約1兆倍の能力を持っています(図2)。第10世代の電子計算機により、6時間先まで可能だったきめ細かな降

表 主な数値予報モデルの概要

予報モデルの種類	モデルを用いて発表する予報	予報領域 (格子間隔)	予報期間	実行回数
局地モデル	航空気象情報、防災気象情報、降水短時間予報	日本周辺 (2km)	10時間	毎時
メソモデル	防災気象情報、降水短時間予報、航空気象情報、分布予報、時系列予報、府県天気予報	日本周辺 (5km)	39時間	1日6回
			78時間	1日2回
全球モデル	分布予報、時系列予報、府県天気予報、台風予報、週間天気予報、航空気象情報	地球全体 (20km)	5.5日間	1日2回
			11日間	1日2回
メソアンサンブル予報システム	防災気象情報、航空気象情報、分布予報、時系列予報、府県天気予報	日本周辺(5km) (21メンバー)	39時間	1日4回
全球アンサンブル予報システム	台風予報、週間天気予報、早期天候情報、2週間気温予報、1か月予報	地球全体 (18日先まで約27km、18～34日先まで約40km) (51メンバー)	5.5日間	1日2回
			11日間	1日2回
			18日間	1日2回
			34日間	週2回
季節アンサンブル予報システム	3か月予報、暖候期予報、寒候期予報、エルニーニョ監視速報	地球全体(大気55km、海洋25km) (5メンバー)	7か月	1日1回

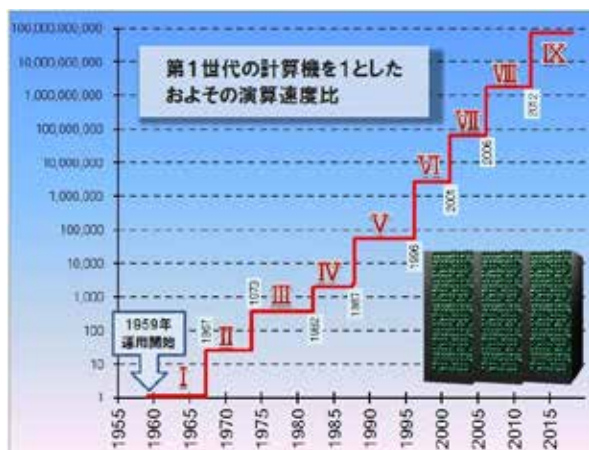


図2 気象庁のコンピュータの演算速度の推移
出典：気象庁ホームページ

水量予測（降水短時間予測）を15時間先までに、台風強度予測も3日先から5日先への延長が行われました。

3 アンサンブル予測

アンサンブル予測は、従来の天気予報が一つの初期値から出発する単独予報であるのに対して、実況値にごく近い複数の初期値から出発する複数の数値予報を行い、それを統計的に処理することにより、よりたくさんの情報を得ようとするものです。アンサンブル予測では、初期値、予報結果をある決まった値と考えるのではなく、ある広がりをもった有限個（メンバー数）のかたまりと

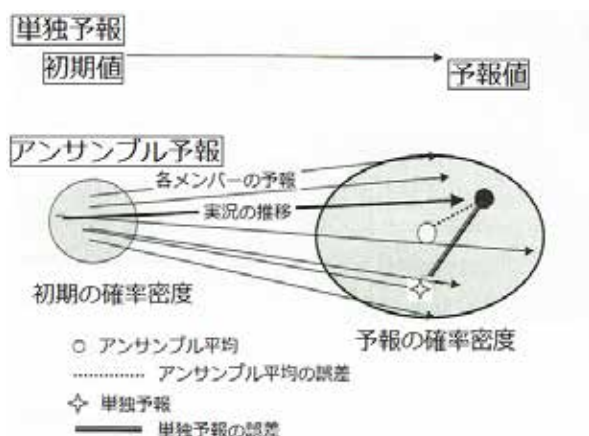


図3 アンサンブル予測の説明図
出典：気象庁ホームページ

考えます（図3）。そして、全メンバーの中で平均をとったり、予報結果の類似しているものどおしを集めてグループに分け、その平均をとったりします。グループ毎の平均のばらつきが小さいほど、信頼度（スキル）が高いことに相当しているからです。このように、アンサンブル予報結果に基づき、統計的な処理をすることで、最良の予報値や予報誤差などを推定することができます。

ただ、一つの数値予報でも膨大な計算を必要とするのに、たとえば21回計算を行うアンサンブル予報（21メンバー）では、普通の数値予報を行う場合の21倍の計算機を必要とします。

図4～図6は、気象庁が専門家向けに提供している図の一部です。令和4年12月18日21時の観測値をもとにしての8日先（192時間先）までの上空約1500mの気温偏差予想図で、現在の平年よりは低い気温が21日に向けて上がってゆくという予想は、札幌、館野（つくば市）、福岡共に揃っています。そして、那覇では、22日以降は、バラツキが小さく、気温は平年より低く推移するという

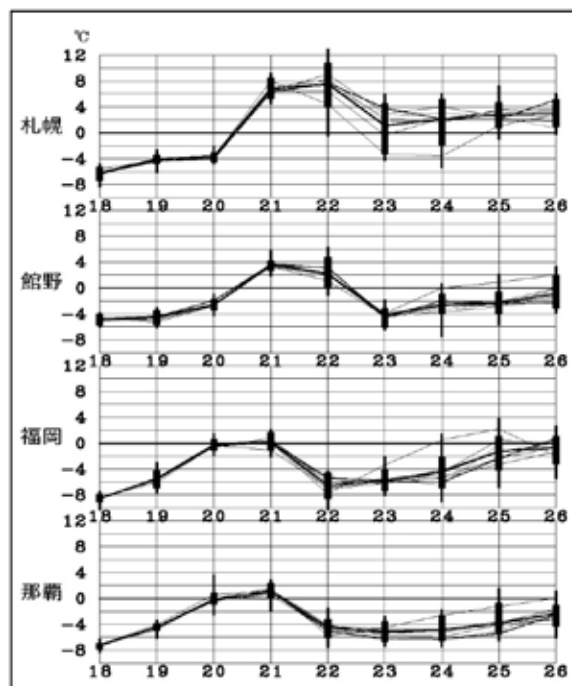


図4 上空約1500mの気温偏差予想（クラスター平均）
縦太線は80%、縦帆祖先は全メンバーの範囲
出典：ウェザーマップ提供

予想です。しかし、札幌は、21日以降バラツキが大きくなり、特に、22日と23日は大きく、予報の信頼度が低くなっていますが、気温は平年より高めに推移する予想です。

そして、これらのアンサンプル予報の平均を使って地上天気図を予想したのが図5ですが、22日21時の地上天気図の予想（上段中央）で北海道

付近にある低気圧の予想精度は低いということがわかります。

また、図6は、令和4年12月14日21時を初期値とした一ヶ月先までの気温変化傾向をみたものです。これによると、北日本は12月17日に大きく気温が下がるものの、12月下旬は平年より高くなるという傾向にはバラツキがありません（北海道付

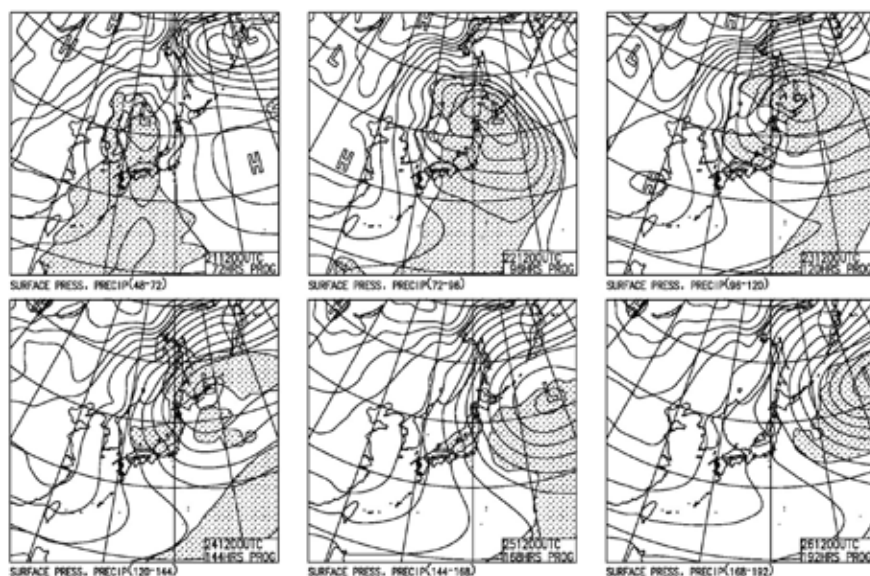


図5 予想天気図（上段左上から12月21日、22日、23日、下段左から24日、25日、26日の予想）

出典：ウェザーマップ提供

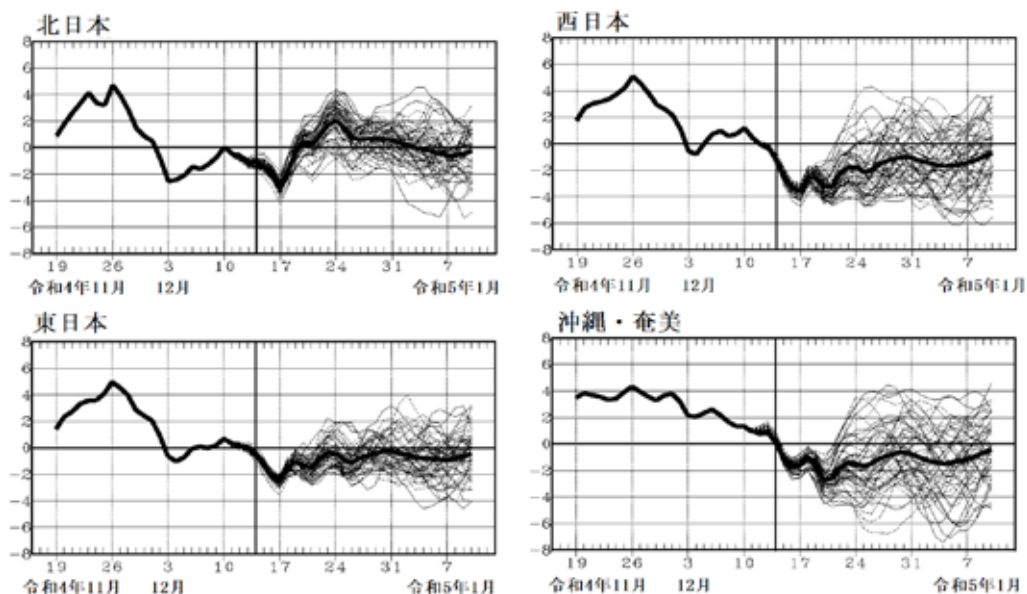


図6 アンサンプル予報による上空約1500mの気温変化傾向（令和4年12月14日21時を初期値とした一ヶ月予報）

出典：ウェザーマップ提供

近の低気圧の位置がずれても暖気が入るという予想の精度は高い)。これに対し、西日本や沖縄奄美地方は、中旬に気温は平年より低くなったあと、下旬は平均すれば、気温は低く推移しますが、バラツキが大きく精度が低いと考えられます。

アンサンブル予報の利用は近年拡大しています。

図7は台風進路予報のアンサンブル予報ですが、これをもとに予報円の大きさが決められていますので、台風の進路予報は、信頼度が分かるものが付いた予報ということができます。

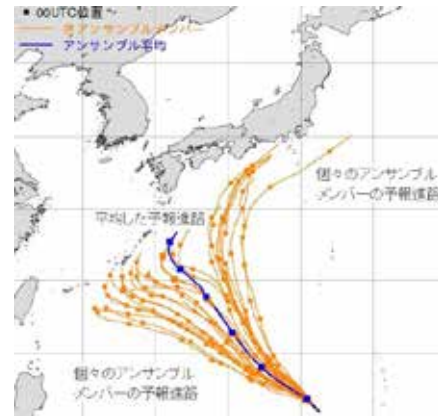


図7 台風進路のアンサンブル予報の例（平成25年（2013）10月19日3時を初期値とする台風27号の予報）

出典：気象庁ホームページ

和歌山県土砂災害啓発センター

－あの被害を繰り返さないために－

和歌山県土砂災害啓発センター

所長 稲田 健二

1. はじめに

和歌山県では平成23年台風12号紀伊半島大水害の豪雨により広範囲にわたって災害が多発し、死者・行方不明者61名、8,465棟もの建物被害など、甚大な被害に見舞われました。県ではこの甚大な被害を繰り返さないため、土砂災害の記憶を後世に伝えるとともに、土砂災害に関する研究の拠点として、和歌山県土砂災害啓発センターを平成28年4月に開館しました（図1）。



図1 和歌山県土砂災害啓発センター外観

2. 和歌山県土砂災害啓発センターについて

啓発センターの建物は紀伊半島大水害で土石流により甚大な被害が発生した那智勝浦町的那智川流域にあります。施設は紀州材（111m³使用）を使用した木造2階建て、延べ床面積492m²（1階

297m² 2階195m²）の建物で、1階には土砂災害の記録パネルや映像などの展示スペースや団体への研修を行う研修室があります。2階には紀伊半島大水害を契機として、平成26年4月より那智勝浦町を活動拠点とし、大規模土砂災害の研究等をおこなっている「国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター」が入所、さらに、平成27年3月に「大規模土砂災害対策研究機構」（図2）が設立され、国・県・町・研究機関が一体となった研究・啓発活動に率先して取り組んでいます。



図2 大規模土砂災害対策研究機構構成メンバー

3. 館内展示物

館内展示物は、展示スペースに「和歌山県のすがた」「紀伊半島大水害の記録」「土砂災害の種類」「土砂災害を防ぐために」「土砂災害から身を守る

ために」のパネルを常設し、タッチパネルやモニターを設置し、土砂災害に関する啓発を行っています（図3）。また、研修室では映像を使った研修活動を実施しています（図4）。



図3 土砂災害の記録パネル



図4 研修室

○土石流模型装置

国土交通省近畿地方整備局紀伊山系砂防事務所から貸与されている「土石流模型装置」を活用した土石流の発生の様子や砂防堰堤の施設効果に加え、透過型堰堤と不透過型堰堤の機能の違いにつ



図5 模型装置を用いた防災学習

いても説明できるよう職員の手で模型を作成し研修・学習を行っています（図5）。

○360°動画

土砂災害のおそれのある箇所の認知度向上のため、視線を360°回転して土砂災害警戒区域等を確認できる動画の展示を行っています（図6）。



図6 360°動画の展示

○模型を使った石積み体験

紀伊半島大水害時で被害のあった那智川で実施されている直轄工事では、景観に配慮して砂防堰堤や護岸に現地の石を張り付ける石積み工事が行われています。砂防事業を身近に感じてもらうために模型を使った石積み工事を体験できます（図7）。



図7 模型を使った石積み体験

○地元語り部（久保榮子さん）の被災体験紙芝居の上映

紀伊半島大水害の被災者の久保榮子さんが紙芝

居を用いて自身の体験を語る動画を上映しています（図8）。実体験に基づいて久保さん本人が作成された紙芝居であり、迫力と臨場感のある内容となっています。



図8 被災体験紙芝居に関する展示

4. 啓発活動

1) 一般研修および小・中学校の防災学習

啓発センターでは、自治会や自主防災組織、行政等の団体研修のほか、和歌山県内の小・中学校への出張講座、修学旅行の受け入れ等の防災学習にも積極的に取り組んでいます。防災学習は、将来の防災の担い手となる子どもに必要な知識を身に付けてもらうだけでなく、子どもから家庭へ、さらに地域へと防災意識が普及する効果も期待できるため、本センターの活動の柱と考えています。一般研修、防災学習共に共通する部分があるため、主に防災学習の中身について説明します。

まず、本センターでの特徴として、対象者が自分ごととして土砂災害に関する知識を身につけてもらう狙いから、対象者の地域の地形、地質、災害履歴の情報を盛り込んでいます。特に防災学習では、学校近くの降雨状況、危ない場所、地域の災害写真を活用し、学校の実情に合わせた内容を担当教員と相談しながらコンテンツの充実に努めています。効果的な防災学習の実現のために、それぞれの学校に合わせた教材を考えたり、実験や現地調査を組み入れて児童が興味をもつような学

習内容を心がけています。

その際、児童・生徒の発達段階に応じた学習内容に配慮しています。具体的には「災害」「避難」という言葉自体が低学年での学習においては理解できない場合もあります。そのため、言葉の意味を理解できるようイラストなどを用いて表現の工夫をおこなっています。

次に、実験や現場体験を通じた学習にも取り組んでいます。児童・生徒は土砂災害に関する事前知識はほとんどないため、土砂災害について知ることから始まります。この際、実験や現場を見学することがとても効果的です。例えば、小さな砂山に噴霧器で雨を降らせ、それが崩れる様子を観察して土砂災害のイメージを持ってもらったり（図9）、先ほど紹介した土石流模型実験装置を使って土石流の怖さと砂防堰堤の効果の説明を行ったり、転倒ます型雨量計を用いた降雨観測実



図9 雨が降ると山が崩れる実験



図10 砂防堰堤の見学

験等を行うなど、児童・生徒が関心や興味を持つようにしています。また、啓発センターに近接して砂防堰堤が設置されていることから、砂防堰堤の近くまで移動し、堰堤の実際の大きさを体感してもらったりしています（図10）。

2) デジタルコンテンツの活用

文部科学省のGIGAスクール構想や新型コロナウイルス感染症対策を踏まえ、デジタルコンテンツの活用も積極的に行っています。

防災学習において、和歌山工業高等専門学校の辻原研究室と共同で防災RPG（ロールプレイングゲーム）の開発を行い（図11）、現在まで3作品が完成しています。地元的那智勝浦町立市野々小学校をはじめ、多くの小中学校の防災学習に活用され好評を得ています（図12）。



図11 防災 RPG の画面



図12 防災 RPG を用いた防災学習

防災学習による地域への波及効果を期待して、子どもたちによる手作りのハザードマップ作りも手掛けています。GISソフトを用いて作製した学校周辺の土砂災害警戒区域等のハザード情報を重ねた地図を用い、避難経路を記入し、自分だけのハザードマップを作ります（図13）。これを家庭に持ち帰ることで、より広がりのある学習効果を狙っています。



図13 手作りハザードマップを用いた防災学習

その他、WEBミーティングソフトを使った土石流模型実験のライブ配信等にも取り組んでいます。これにより、和歌山県外の学校や自治体等への啓発研修を行うことが可能になりました。

5. おわりに

啓発センターでは、開設以来、土砂災害に関する啓発活動に積極的に取り組んできました。今後も土砂災害による被害をなくすため、継続的に活動が続けていきたいと思います。

また、世界遺産である那智大社や熊野古道（大門坂）に近いという立地条件を活かし、日本や世界各地から来る観光客の方々にも土砂災害の怖さや土砂災害から身を守るための日頃の心構えについて学んでもらえるよう取り組んでいきたいと考えております。皆様方の和歌山県へのお越しをお待ちしております。

編集後記

○ 本号では、「土砂災害と防災・減災（その1）」をテーマに特集を組ませていただきました。

最近、大雨や台風・地震等に伴う土砂災害が増大しており、国土交通省の資料によると、ここ10年間における土砂災害の平均発生件数は、その前の10年間の平均発生件数の約1.3倍になっているなど、各地で土砂災害が頻発しています。

今回から「土砂災害と防災・減災」をテーマに特集を組むことにした訳ですが、国土交通省のホームページに「積雪・融雪による土砂災害発生状況」を掲載したページがあり、北国等では大雨や地震のほかに、積雪・融雪により発生する土砂災害があることを学びました。

そこで今回、こうした原因で発生する土砂災害についても論じていただけるようにとの思いで、岩手大学名誉教授の井良沢先生に「積雪・融雪による土砂災害も含めて土砂災害に関する原稿をお願いします。」と執筆を依頼させていただきましたところ。それが偶然にも、昨年末に山形県鶴岡市西目で、雪どけにより土砂

崩れが発生したことには、驚かされました。

土砂災害発生と聞いて、『大雨が降った後なのかな』と思われた方も多いのではないかと思います。そうではなく、大雪が降った後しばらく日数がたってから、雪解けにより地下に水が浸透して土砂崩れを誘発した可能性が高いそうです。

今冬は、12月にも降雪が多かったのですが、「融雪後の地下水浸透が地滑りを誘発した可能性が高い。」との報道があったように、山形県鶴岡市西目の土砂災害は「積雪・融雪による土砂災害」の事例とおおむね言えそうです。

本号においては「近年の多発する土砂災害にどう対処すればよいのか」（P9～P17）に、融雪による土砂災害について掲載していますので、その発生メカニズム等参考になるものと思われる。

今回の特集が、消防・防災関係者等にとって、土砂災害への対応を考える上で、少しでもお役に立てば幸いです。

〔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. 151 2023. 冬季号

発行 令和5年1月31日

発行人 荒川 敦

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 <https://www.isad.or.jp>

