

# 地点ならびに災害形態ごとに最適な雨量指標を用いた 土砂災害予測手法の提案

情報技術の進展に伴い、行政や学術の様々な分野において情報の利活用を目指す動きがみられるようになった。行政に関するものでは、2011年の東日本大震災を契機に策定された電子行政オープンデータ戦略(高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部,2012)において、政策の透明性・信頼性の向上、国民参加・官民共同の推進、経済の活性化、行政の効率化を目的として公共データの公開と活用を進める方針が示された。また、2016年に官民データ活用推進基本法が制定されたことにより、この方針は国だけではなく地方自治体にも波及した。ここで都道府県が策定することとされた官民データ活用推進計画の目的として、国が策定した手引(官民データ活用推進基本計画実行委員会・地方の官民データ活用推進計画に関する委員会,2019)では1番目の項目に「大きな災害の発生により顕在化したリスクへの対応」が挙げられている。これらの事柄が示すように、政府や自治体による情報利用においては災害への備えや災害発生時の対応が大きな目的の一つとなってきた。実際に、浦田ら(2018)の調査によってこの動きの初期(2016年6月)の時点でオープンデータを公表していた自治体のうち79%が防災情報に関するものを公開していたことが明らかになっており、自治体の防災情報への関心の高さを伺うことができる。なお、「オープンデータ」という単語についてはオープンデータ基本指針で以下のすべてを満たすものと定義されている。

- ① 営利目的、非営利目的を問わず二次利用可能なルールが適用されたもの
- ② 機械判読に適したもの
- ③ 無償で利用できるもの

(高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議, 2017)

学術界に関係するものでは、第5期科学技術基本計画(内閣府,2016)においてオープンサイエンス、オープンイノベーションに関する事柄が多く言及され始めた。特にオープンサイエンスの推進に関する方針では、研究データのオープンデータ化によって研究プロセスの透明化だけではなく研究成果の幅広い活用につなげることができると指摘されている。さらに、これを受け継いだ2022年の第6期科学技術・イノベーション基本計画(内閣府(2022),以下第6期計画)にはデジタルツインの観点やデータ駆動型の研究の推進が盛り込まれ、研究を通して得られたデータのさらなる利活用は社会生活、研究推進のどちらに対しても重要なものとして位置づけられるようになった。第6期計画において、防災と学術研究の関係については、気候変動の影響なども踏まえ頻発化、激甚化する自然災害への対応が具体的な取組の一つとして必要とされている。

防災と情報については、Third UN World Conference(第3回国連防災世界会議)で採

択された枠組みである The Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030(United Nations, 2015)において言及されている。ここでは、災害リスクのモニタリング、評価、理解に関する情報及びそれらの作られ方の共有(項目 14)や、機密性のない情報やサービスの共有・活用(項目 24,25)の重要性が強調された。この目標に対して、Li ら(2019)は防災リスク研究に必要なデータは多くの場合、公開されていたとしても分散した状態にあり、分野を横断して利用するための相互の接続性に課題があることを指摘した。また、この問題の解消のために交換に適したデータが満たす要件の標準化が必要であり、こうしたデータが研究上のニーズに適合したものになるよう研究者が積極的にこの取り組みに参加することを求めた。

これらをもとに、土砂災害と情報に関する事柄について考える。古くは、小橋(1988)において流域ごとに災害特性をデータベース化し、それに合わせた砂防計画を策定することの有効性が指摘されていた。しかしながら、この取り組みが後の制度化にはつながった様子はない。現在取り組みが進んでいる例として、災害発生以前に必要な警戒区域や避難所に関する情報は各自治体によって公開が進んでおり、国土地理院による地理院地図や国土交通省によるハザードマップポータルサイトなどそれらを一元的に扱うサービスが整備されつつある。このようなデータは、単純な位置データのみで扱うことができることから地理情報データ的一种として扱うためのデータ形式が整備されており、制定する主体や公表する社会的意義が明瞭であるなど管理や公開の上で扱いやすい特性を備えていることが利用の進んだ一因と考えられる。

一方で、実際に災害が発生した後や、災害への対策工事が完了した後に得られた情報の公開や再利用は限定的である。例えば、国土交通省の報道発表(国土交通省, 2025)では2014年から 2023 年の 10 年間で平均 1499 件の土砂災害が発生したとされているが、それらのうち発生個所、日時、形態、被害などの詳細な情報が一般に得られるものは報道や論文文化がなされたごく一部の事例に留まる。また、近年は砂防施設の長寿命化に関する議論も多く行われているが(原田ら, 2020 など)、その対象となる砂防施設がいつ、どこに設置され、どのような状態にあるのかというモニタリング情報を一元的に得ることは難しい。また、公開された情報同士の接続性にも課題がある。例えば、近年発生した大規模な土砂災害の位置に関しては、国土地理院によって空中写真の判読結果が公開されている(国土地理院, 2018 など)一方で、それらによって生じた被害や復旧に関する情報など他の情報源と連携させるための手段は乏しい。

気候変動への対応とオープンデータについて考えると、データ統合・解析システム(DIAS)の整備やデータセット 2022(文部科学省・気象庁 2022)の公開などデータの共有に向けた取り組みは進みつつある。その一方、特に土砂災害に関する分野では、公開された情報群のうちどの情報をどのように用い、現在得られている研究成果や対策状況とつなげるかという情報の接続性に関しては発展途上である。また、シミュレーションの時間的・空間的解像度が向上し、想定シナリオが詳しくなるほど扱う情報量が増大していく。一例として、第 4 章で扱う将来気候のシミュレーション結果は 1 シナリオにつき数 TB の規模のデータ容量を必要とするため、これらを安定して取り扱うための経済的・技術的なハードルも高いものとなる。利用を促進するためには容量を削減した編集データを新たに公開することが有効と考えられるが、そのためには元となるデー

タのどの要素を残し、どの要素を削除するかといった要件を土砂災害研究の立場から示す必要がある。

このような状況から、土砂災害や砂防とオープンデータの関係について、管理の枠組みが整った情報の公開や活用に関しては進んでいるものの、情報の供給源が多岐に渡るものや、構造が複雑なデータの公開・活用には課題が存在していると言える。このようなデータに関しては、考えられる活用方法や社会的意義、そこで求められる要件、現状の課題点を現在得られる範囲で洗い出し、将来情報を供給・公開できると期待される人々に示していくことが必要となる。

本研究では、小杉(2015)などで指摘された発生地点の特性や発生形態が多様な土砂災害への警戒には幅広いタイムスケールの降雨に着目した警戒が必要であるという砂防学上の観点をもとに、様々な情報源から得られた大規模データを組み合わせることでその効果や課題点を明らかにすることを試みた。具体的な内容は以下の通りである。第2章では、本論文内の研究で共通して用いられる指標である実効雨量について、その計算方法と特性を記述する。第3章では、新たに提案した土砂災害警戒指標を1kmメッシュという高解像度で計算し、これに行政上蓄積された土砂災害発生地点に関する大規模データを組み合わせることで指標の有効性を検討した。第4章では、将来の気候について公開されたシミュレーション結果を土砂災害分野で活用するための手法の開発を行った。最後に、第5章では得られた成果を要約して結論とした。

第2章では、次章以降の解析で共通して用いられる実効雨量について手法の整理を行った。特に、時間解像度の細かい観測データを用いることで時間刻みによって生じる誤差を把握し、用いるパラメーターの範囲について詳しく考察した。その結果、雨量の得られる時間刻み以上の半減期を用いた場合に適切な計算ができることが示され、細かい降雨強度の指標が必要な場合は別途指標を用意するほうがよいことがわかった。これに従い、以降の解析では実効雨量の半減期の下限を雨量観測の時間刻みと同じとし、それより短期的な雨量指標が必要な場合には時間降水量をそのまま用いることにした。ここでは実効雨量のみに関して考えたが、野外から収集した情報を処理するにあたって時間刻みを考慮することの重要性は他の項目、指標でも共通するものだと考えられる。例えばAMeDASの観測に関して言えば、2003年から10分刻みでの観測結果が蓄積されている。雨量計のデータは空間的密度に関しては解析雨量に及ばないが、観測の頻度、信頼性は高い。このように、情報ごとの強みを生かした解析を行うことで手法の理解がさらに進んでいくのではないかと考えられる。

第3章では実効雨量を用いてスネーク曲線を作成し、災害発生以前の最大範囲と災害発生期間中の降雨の比較から危険度を定量化する手法を提案した。この研究を進めるにあたり重要だった事柄として、高解像度な雨量観測データが蓄積されてきたことと、災害発生に関するデータベースの内容を精査できる環境が整備されたことが挙げられる。まず雨量データに関しては、面的な状況を把握できるレーダー・アメダス解析雨量の観測が続けられたことで平成30年(2018年)時点で1kmメッシュのデータが12年、助走用に使った2.5kmメッシュデータから数えると16年分が蓄積されていた。これにより、局地的な降雨を捉えられるだけの解像度を確保しながら判断の基準とした既往最

大の降雨を計算する期間を十分に確保することが可能になった。災害データベースに関しては、災害発生直後の大変な環境下で情報収集にあたった方々によって情報のほとんどが整備されたが、このことの重要性は言うまでもない。これに加えて、地域に根差した報道がアーカイブされていたこと、災害前後の航空写真とその判読結果が公開されていたこと、地名とその指し示す範囲を面的にとらえるためのデータセットが整備されたことはこのデータベースの欠損を補う上で非常に大きく貢献した。これによって 2000 件以上の災害に関する情報を検証に用いることが可能になり、高解像度で解析を行う意義が大きく増したといえる。

この解析の結果、次のような結果を得た。まず、細かい発生時刻が信頼できる少数の災害事例を用いて災害発生期間中の危険度の変動と災害発生時刻の関係について調査した。その結果、いずれの地点も災害発生時点で危険度は警戒基準を超えていた可能性が高いことが示された。2 番目の結果として、災害発生期間に記録された最大の危険度と災害発生地点の分布を比較した結果災害発生地点のほとんどで危険度が警戒基準を超えていたことが明らかになった。さらに、空間的な誤差を考慮し参照するメッシュサイズを広げることで危険性が見逃しが減少することも示された。第 3 の結果として、がけ崩れの集中度合いと危険性が見逃しについて整理した結果、がけ崩れが集中するほど見逃しは減少していくことが明らかになった。第 4 の結果として、危険度判定を行った個々のスネーク曲線ごとの災害との対応を調べた結果、特にがけ崩れで災害発生と関連が深いと思われる半減期の組み合わせが存在した。一方で、その組み合わせのスネーク曲線単体ではすべての災害を説明することはできなかったため、今後も幅広い状況を想定したスネーク曲線で検討を続けていくことが重要だと考えられる。最後に、設定した警戒基準に達することなく土石流が発生した事例について解析を行った。その結果、この事例では既往最大値を抽出する期間中に災害を引き起こした台風による大雨を経験していることが分かった。今後さらなる情報収集を進め、過去に起きた災害の履歴を考慮することができる基準の設定方法を導入することで精度と説得力を向上させることができると期待される。

この研究の大きな課題点として、災害の発生時刻を詳細に知ることが難しかったこと、過去の災害の履歴を考慮することが難しかったことが挙げられる。まず災害の発生時刻については、データベースで整理した災害が 2000 件を超えたのに対して時刻を考慮できた災害は 17 件と 1% 以下にとどまる。災害の発生と非発生の境界線を正確に把握することは警戒指標の精度向上に直結すると考えられるため、第 2 章のような災害発生期間中の危険度の変動と災害発生の関係について解析事例を増やすことが重要である。過去の災害の考慮については、扱いやすいデータベースを整備するだけでなくそれぞれのデータを適用できる範囲の見極めが必要になると考えられる。同一地点で同じ形態の土砂災害が繰り返し発生する場合は過去の事例を参考にしやすいが、例えば距離が近くとも地質が違えば全く特徴が違う降雨を警戒するほうがよい可能性もある。このような観点からも、土砂災害に関する情報の整理を進めつつ、災害以外の情報源と適切に連携する方法を考えていくことが重要である。

第 4 章では、広く公開されている気候変動に関するデータセットを土砂災害への対策に生かす方法を考案し、その解析結果を示した。この研究を行う上では、情報が単体ではなくデータセットとして

取りまとめられていることで解析の手法を組み立てやすくなった。具体的な内容としては、①データの入手先が DIAS に統一され、ある程度共通した方法で解析の準備ができたこと、②データの解析資料で特徴が整理されており、解析の目的に適した情報を選ぶことができたこと、③本研究で扱う事柄が土砂災害に関する解析手法のみに限定でき、気候変動に関する信ぴょう性と問題を分離できたことが主な恩恵として挙げられる。

この解析の全体的な結果として、将来の気候変動を最小限に抑えた RCP2.6 シナリオでは最大の温室効果ガスの排出を想定した RCP8.5 シナリオと比べて降雨規模の変化が小さくなることが分かった。また、どちらのシナリオでも短期的な降雨指標の規模が大きくなる地点の数と比べて、長期的な降雨指標の規模が大きくなる地点数は限られることが分かった。このことは、短期的な集中豪雨の発生は増えても、年雨量のような長期的に見た降雨の傾向は大きく変化しない地点が多いことを示唆する。さらに、気候変動に関する論では降雨規模の拡大が危惧されることが多いが、一定数の地点では降雨規模の減少が予測された。地域ごとの解析では、危険度の上昇する傾向の強い地点、弱い地点が存在することが分かった。ただし、すべての地点ではっきりとした特徴が見られた訳ではなく、紀伊半島や南部九州の RCP2.6 シナリオなど全国的な傾向との差が明確ではないケースも存在した。

これらの解析の課題点として、最も大きなものは考慮するシナリオやシミュレーション年数を拡大する必要性があることである。将来を予測するための解析として、変動の幅が極端な 2 シナリオ、考慮する年数が 20 年というのはおそらく不十分なものだと考えられる。しかし一方で、検討すべきシナリオ数、期間がどれだけかということについては特に統一された見解が存在するわけではない。他の利用分野の動向も注視しながら、防災という目的に沿った基準の策定が今後必要になると考えられる。また、地域ごとの解析で着目すべき範囲を選ぶ基準は気象、地質、土地利用など様々な基準が考えられる。他の地理データなどと連携し、このような範囲を決定する手法も検討が必要である。

これらの結果および課題からも、多様な情報源の長所の組み合わせによる解析の有用性と、それらの信頼性を向上させていく必要性が示された。また、今後新たな情報が入手可能になった場合にも対応できる拡張性の高い手法を構築すること、またこのような手法の利用・拡張が様々な人々によって行われることも重要であると考えられた。

土砂災害に限定した観点から言えば、実効雨量という比較的単純な指標でも災害の短期的・長期的な予測の双方において活用できることが示された。ただし、このことは複雑な各種のモデルが不要であることを意味するわけではない。想定される状況全体を網羅する目的において最も簡単な指標を用いたというのが現状であって、より手法を洗練させるといった観点からは様々な指標を採用する可能性は十分に存在する。また、本研究で用いた各解析手法、結果の表示手法のそれぞれにおいても使用する指標の種類を変更することは比較的容易と考えられる。上に述べた課題の解決を目指すためにも、今後も様々な手法の導入を試みていくことが重要である。