

「気象砂防学事始め 大規模な土砂災害を発生させる豪雨の要因解明の旅 (仮称)」書籍原稿作成事業 報告書

ダイチ株式会社

専務取締役

牧野裕至 (博士：環境学,

技術士：建設部門,

総合監理技術部門)

1. 初めに

土砂災害と豪雨

日本では毎年多くの土砂災害が発生し、地域社会が破壊され多くの命が失われています。原因には地震や火山活動もありますが、その大部分は強雨によって引き起こされています。特に、土石流をはじめとする激甚な土砂災害（以下、土砂災害）を誘発する豪雨（以下、豪雨）のメカニズムの解明は、防災対策における喫緊の課題です。これまで気象庁を中心として、大学、研究機関、民間企業が連携して研究を進めてきましたが、その全容解明にはいまだ至っていません。

砂防

土砂災害対策は、国土交通省砂防部を中心に、各地方整備局の砂防事務所および都道府県の砂防担当部局によって進められています。対策には砂防法等に基づく砂防工事などの「ハード対策」と、土砂災害防止法に基づく土砂災害警戒区域における警戒避難体制の整備などの「ソフト対策」があります。ハード対策では、実施主体が現地に入り地域住民の方々と連携した取り組みが見られます。ソフト対策では、土砂災害防止法の土砂災害警戒情報についての市町村や地域住民、さらには防災の専門家やボランティアが参画した取り組みが見られます。

土砂災害場と気象場（前線・線状降水帯）

土砂災害の発生した時間と空間の広がり（土砂

災害場）は、豪雨により各所で土砂災害が発生しているように見える場合であっても、個別の事象に着目すると発生時刻は異なります。時間を限定して土砂災害場を見ると、その広がり是非常に限定された空間（例えば、土石流の発生から堆積し停止に至る区間：豪雨によるものであれば通常の長さ1km以内）に留まります。一方、豪雨の起因となる前線や台風は、日本列島の長さに及ぶ総観スケールからメソ α スケール（水平距離：200～2,000 km）の現象です。しかし、強降雨域内の全ての区域で土砂災害が発生しているわけではなく、土砂災害場は気象場の中で極めて局所的に発生しています。この関係は、線状降水帯（長さ50～300km程度 [メソ β ～ α スケール：筆者加筆]、幅20～50km程度の線状に伸びる強い降水域：気象庁、2026）についても成立しています。

根本的な課題

上記の事柄を整理しますと、土砂災害の時空間は気象庁の線状降水帯の時空間に含まれ、線状降水帯は前線の時空間に含まれる構造となっています。

土砂災害 \subset 線状降水帯 \subset 前線・台風

上記事柄は、私たちに根本的な課題を突き付けていることとなります。

課題：土砂災害の原因は、前線・台風の（中に存在する線状降水帯の）中に存在する物理的な何かによって発生し、前線・台風、線状降

水帯は豪雨の原因ではない。
 しかしながら、誰もその課題解決に着手して
 いない（と推察される）。また、物理的な
 何かの考研に着手していない（と推察され
 る）。

2. 土砂災害の原因の解明に着手

牧野は2013年から上記の課題解決に取り組みま
 した。時間的には半世紀以前の、空間的には日本全
 域を対象として、激甚な土砂災害を発生させた豪
 雨（以下、豪雨）の解析と豪雨の要因解明に取り組
 みました。

研究着手5年後の2018年5月の公益社団法人砂
 防学会の研究発表会に最初の報告を発表しまし
 した。「P-002(T2-07)_土石流が発生する可能性のある
 降雨の早期の予測について」（牧野ら、2018）で
 す。この発表を足掛かりとして、査読付き論文を砂
 防学会に投稿し、掲載されました。「詳細地形の影

響を考慮したメソ α スケールの気象現象時間の降
 雨量予測に基づく土砂災害（土石流）警戒判定につ
 いて（第1編：牧野ら、2019）」です。当論文は、
 2021年度砂防学会論文賞を受賞
 (<https://jsece.or.jp/prize/>) する名誉に浴しました。

過去に土砂災害が発生した区域を対象として、
 気象庁のMSMを境界条件とした領域気象モデル
 （WRF：Weather Research & Forecasting Model）を
 用いて、時空間解像度を詳細なものとした再解析
 （気空間のダウンスケーリング）を行いました。
 WRFの計算結果は元のMSMより精度が向上する
 ことが見出されました。この結果を土砂災害防止
 法に使用されている土砂災害警戒情報の基準を定
 める基準（CL）に適用すると、本研究結果は土砂
 災害の発生12時間から24時間前に予想降雨量
 がCLを超えるか否かを判断することが可能であ
 ることを示唆していました。（解析箇所：信濃川流
 域、利根川流域、吉野川流域の4豪雨）

研究の全体工程

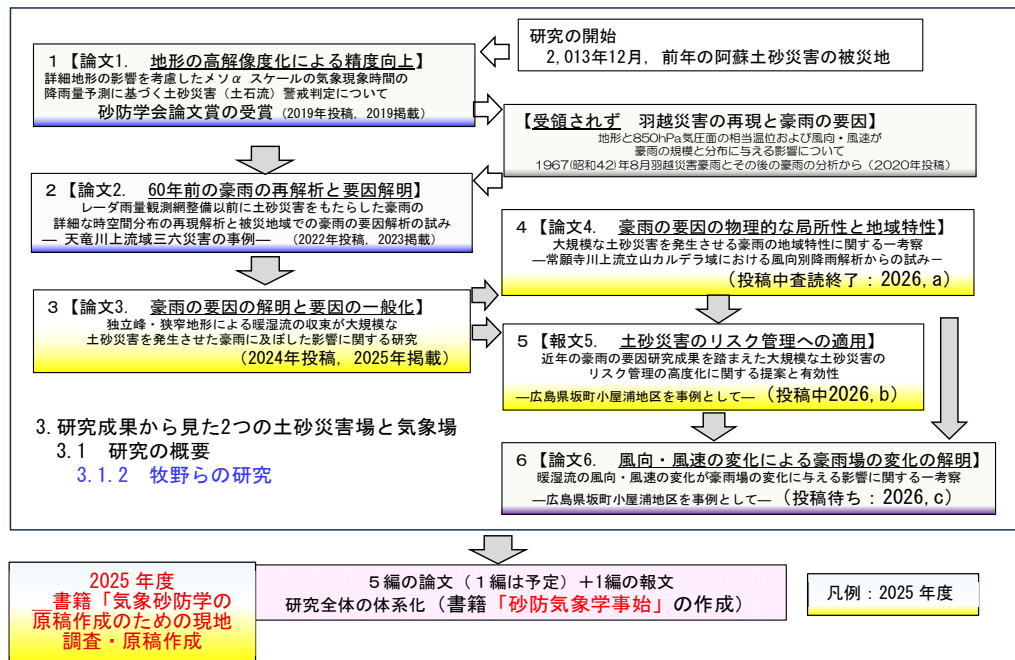


図-1 研究の全体像と工程

現行の土砂災害警戒上の発表が 2 時間であることに照らしますと大きな進歩です。

この成果をお認め頂いたものと認識しています。WRF 計算において、地形の空間分解能と解像度を変数として降雨の再現精度が正の関係を描くことは、降雨量は暖湿流が土砂災害の被災地に移流して豪雨となる場合、地形が決定権をもっているようです。しかしながら当該課題の詳細な検討を行い結論に到達することはサンプル数の課題から困難でした。名誉は頂きましたが豪雨と土砂災害の関係解析に対し、同等以上の責務を負うこととなりました。

3. 本助成事業申請までの研究成果

3.1 土砂災害誘発収束帯の発見

図-1 に本研究の全体像を示します。申請実施までに 3 編の論文を投稿し、2 編が掲載されました。第 1 編は記述の通りです。第 2 編 (牧野ら, 2024) は 1961 年 6 月に長野県下伊那郡大鹿村と上伊奈群中川村を被害の中心とした三六災害豪雨を対象に、気象庁の長期再解析データセット (JRA-55) を対象とし、WRF を用いて再解析を行うと、両村での豪雨の 1 時間毎 1 km 格子での概ねの再現が可能でした。その結果は、豪雨の要因が中央構造線上の峠 (地藏峠) による前線による暖湿流の収束帯が被災地の上空に到達し豪雨となり、その後風向の変化により恵那山による暖湿流の収束帯が連続して被災地上空に到達し豪雨となったことを示唆していました。時間を連続したものとして 2 つの「土砂災害誘発収束帯」が大鹿村・中川村に到達し、豪雨を発生させたのでした。当論文は全く新しい概念を含むものであり、また、豪雨が 60 年前のものであることから、査読者様 (2 名) のは慎重なものとなり、投稿から受領まで 5 度の査読と 2 年の時間を要するものとなりました。

3.2 土砂災害誘発収束帯が豪雨の要因であることの一般性の証明

三六災害豪雨において、「土砂災害誘発収束帯」は 1961 年の天竜川上流域で物理現象として発生しました。物理現象ならば、他の豪雨も物理現象として原理を同一なものとして発生することになります。土砂災害の原因としての一般性を持つことが想定されます。

そこで、第 3 巻 (牧野ら, 2025) では WRF を用いて、過去に土砂災害が発生した地域を対象に要因解析実験を行いました。実験は豪雨の要因が独立峰と推察されるもの 1 事例、狭窄地形と推察されるもの 1 事例の合計 2 事例を対象としました。その結果は豪雨の要因は一般性を持つことが極めて高いことを示唆していました。一般性に関する結果は、2 豪雨での詳細な解析に加え、1961 年以降の全国の 25 豪雨 (内 1 豪雨は前記 2 豪雨の 1 豪雨を含み、本研究対象の 2018 年 7 月豪雨を含む) の解析より得られました。また、25 豪雨の解析は、土砂災害の発生時において、被災地の風上の独立峰等の土砂災害誘発場から土砂災害場に至る空間の地理院地図より得られる地形の情報と、上空に位置する気象場の GPV (Grid Point Value) を用いた 850hPa 気圧面風向での風向、風速および相当温位等の土砂災害気象場の情報との関係から土砂災害誘発収束場の存在を明らかにしました。また、豪雨が物理的局所性 (物理的な現象の影響はその近場に限定されること: グリーン, 2016) に基づく地域特性を持つ可能性を考察して議論しました。以上をまとめて、2024 年末に砂防学会誌に投稿しました。

4. 2025 年度の研究成果

第 3 編の論文は、「豪雨の要因は土砂災害誘発収束帯によるものであり、要因は一般性を持つ」との根幹的なものでしたが、当論文は前論文での議論

を踏まえたものであり、実験結果も状況証拠による解析も 26 事例と多数であったこと、また WRF を用いた解析と用いない解析の対象豪雨が存在することなどから、投稿から受領まで 1 年半の速度で通過し、2025 年 10 月号に掲載となりました。

4.1 豪雨が物理的な局所性に基づく地域特性を持つことの証明

そこで、前論文の掲載が決定した 2025 年 10 月に、第 4 編（牧野ら、2026）「大規模な土砂災害を発生させる豪雨の地域特性に関する一考察 ―常願寺川上流立山カルデラ域における風向別降雨解析からの試み―」を砂防学会誌に投稿しました。本文は幾度かの豪雨の歴史を持つ常願寺川上流の立山カルデラ域を対象として、独立峰等の地形と暖湿流の関係において当該地域が豪雨となり得る関係を解析し、過去の豪雨での両者の関係を解析・検証することにより、当該地域が豪雨となり得る風向は限定され、豪雨は物理的な局所性に基づく地域特性を持つとした仮説の立証を研究の目的としました。その結果、特定の 2 風向のみ立山カルデラ域に豪雨が発生し、過去の 4 豪雨の天気図の風向と一致しました。

この結果は、立山カルデラ域で最大の豪雨であった 1969 年 8 月の豪雨が称名川流域に移流した日本海からの暖湿流が称名滝地点で一約 500m の標高差を気に上昇し、土砂災害誘発収束場が立山カルデラ域に発生し、土砂災害誘発収束帯は黒部川を横断し、信濃川流域の高瀬川流域にも豪雨をもたらしたことが解析されました。この結果は、立山カルデラ域ではメソ γ スケールでの物理的な局所性に基づく地域特性が成立することを示唆していました。当論文は査読が終了し 2026 年 5 月の砂防学会誌の掲載が予定されています。

4.2 豪雨が物理的な局所性に基づく地域特性を持つことの証明

第 3 編の論文は土砂災害誘発収束場における土砂災害誘発収束帯の発生が一般性を持つことを示唆していました。そこで、現在までの豪雨に関する研究成果を踏まえ、1907（明治 40）年以降、同一地区で 5 度の土砂災害を被った広島県安芸郡坂町の小屋浦地区を対象に、WRF を用いることなく、牧野らの研究成果を使用して、土砂災害場およびその周辺域と前線や台風的位置および風向・風速（土砂災害気象場）との関係の解析を行い、住民等が本成果を用いてリスク管理を高度化することの可能性を示すことを目的とした新たな報文（第 5 編、報文：有用性・信頼性、論文：新規性、普遍性）として、昨年末に投稿いたしました。報文としたのは、本研究が「有用で信頼できるもの」であることによります。

その結果、今年の 2 月末に査読者様の査読が終了との連絡を頂きました。なお、立山カルデラ域に関する論文の査読が終了し、5 月号の掲載のお知らせを頂きましたので、第 5 編報文は第 4 編の立山論文の成果である地域特性を踏まえたものとして再投稿いたしました。

4.3 土砂災害誘発収束場における風向・風速の役割の詳細な解析

以上を踏まえ、前 5 編の課題を解析しました。この第 6 編の論文はすでに投稿準備が完了しており、第 5 編の報文の掲載号が決定次第（砂防学会のルール）投稿することとしています。

5. 2025 年度の業務成果

以上を踏まえ、以下のことがらを実施しました。

- 1) 研究成果を書籍化すべく、筑波大学の内田太郎教授のご指導を頂いた。
- 2) 書籍化にあたり、第 3 巻で議論した災害対策基本法公布以降で死者 10 名以上を起こした土砂災害誘発収束場の位置と、独立峰等

と被災地の現地調査を行った。

- 3) 書籍化にあたり、出版を行っている会社から書籍化に関するご指導を頂いた。
- 4) 著作権の関係からここに公開することはいけないが、書籍の素案となるものを作成した。
- 5) 書籍の表紙を飾る絵画の作成を画家に依頼した。
- 6) その他、必要な事柄を行った。

6. 2026年度の予定

6.1 研究に関する事柄

既述の通り、論文第4巻以降のものを完成させ、掲載（新たな投稿に関する論文：第6巻は査読の速度に支配される）させることを予定しています。

6.2 書籍の作成に関する事柄

出版元を確定させ、書籍の原稿の素案を完成させる。

書籍のイメージ

- 1) 版の大きさ：B5判 300ページ程度
- 2) 対象読者：砂防、防災、ダム（北陸のダムは流域面積が小さく、本研究成果が援用される）管理者、市町村・都道府県防災関係者、国土交通省関係者、砂防や降雨に興味がある方
- 3) 本文の作成：6編の論文と土砂災害誘発収束場および土砂災害誘発収束帯に関する写真等を用いて、土砂災害の実態を読者にわかりやすく説明する。

6.3 成果の普及に関する事柄

本研究成果の論文と書籍は、理学としての気象を砂防の眼で再構築し、実学としての砂防の世界で再構築したものです。

土砂災害の被害に遭われた方々に豪雨の要因を

ご理解いただき、次の差豪雨に備えることが重要かと思慮されます。

幾つかの機会を捉え、豪雨の被災地域の方々を含め、多くの方が本書の内容をご理解いただき、事前の対策が進捗できます様微力を尽くしてまいり所存です。

御礼

最後となりましたが、本業務をご支援いただきました（一財）北陸地域づくり協会様に篤く御礼を申し上げます。

引用文献

- 牧野裕至・綱川浩章・吉村元吾・菅原寛明・田中健貴、杉本利英、藤田暁、坂井紀之（2018）：土石流が発生する可能性のある降雨の早期の予測について、2018年砂防学会研究発表会
- 牧野裕至・田村圭司・森下淳・赤沼隼一・伊藤誠記・後藤健・奥山悠木・藤田暁・高田望・因幡直希・池淵周一：（2019）：砂防学会誌，Vol.72，No.4，p.3-14
- 牧野裕至・佐藤保之・伊藤誠記・藤田暁・高田望・因幡直希・須田明弘・内田太郎，（2024）：レーダ雨量観測網整備以前の土砂災害をもたらした豪雨の詳細な時空間分布の再現の試み，一天竜川上流域三六災害の事例一，砂防学会誌，Vol.76，No.5，p.18-29
- 牧野裕至・坂井佑介・吉田桂治・山上直人・野村康裕・松下一樹・松井潤一・土方涼子・高田望・因幡直希・須田明弘・内田太郎（2025）：独立峰・狭窄地形による暖湿流の収束が大規模な土砂災害を発生させた豪雨におよぼした影響に関する研究，砂防学会誌，Vol.78，No.4，p.3-14
- 牧野裕至・石田孝司・小竹利明・村元陽介・福井幸太郎・松井潤一・土方涼子・高田望・因幡直希・須田明弘・内田太郎（2026）大規模な土砂災害を発生させる豪雨の地域特性に関する一考察—常願寺川上流立山カルデラ域における風向別降雨解析からの試み—，砂防学会誌，Vol.79，No.3，（掲載ページ未定）



図-2 ウンディーネ：
物理的な局所性の象徴として