

2017年8月にベトナム北部で発生した土砂災害 の調査報告と新しい調査方法の検討

A PRELIMINARY REPORT OF A LARGE SEDIMENT DISASTER IN NORTH
VIETNAM ON EARLY AUGUST, 2017 AND DISCUSSION FOR NEW SURVEY
METHODS

川村 喜一郎¹・大久保 泰邦²・Le Quoc Hung³・熊谷 勇河¹・藤田 勝³・

Nguyen Ho Kharn²

Kiichiro KAWAMURA, Yasukuni OKUBO, Le Quoc Hung, Masaru FUJITA, Yuga KUMAGAI,

Nguyen Ho Khanh

¹ 山口大学大学院創成科学研究科 (〒753-8512 山口市吉田1677-1)

E-mail: kiichiro@yamaguchi-u.ac.jp, zvhb_7_38@outlook.jp

² 一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構 (〒105-0011 港区芝公園3丁目5番8号)

E-mail: Okubo-Yasukuni@jspacesystems.or.jp, Fujita-Masaru@jspacesystems.or.jp

³ ベトナム地質鉱物総局 北西地質局 (6 Pham Ngu Lao Street, Hanoi)

E-mail: hunglan@gmail.com, nhkhanh@monre.gov.vn

Key Words: flash flood, drone survey, satellite imagery, sentinel-1, Son La province, It-Ong region

1. はじめに

土砂災害は、山腹や川底の石や土砂が集中豪雨などによって一気に下流へと押し流される土石流や、山の斜面や自然の急傾斜の崖、人工的な造成による斜面が突然崩れ落ちる崖崩れなどがある¹⁾。特に、集中豪雨による土砂崩壊の場合、広域的な被害の把握には、天候の回復を待つ必要があり、一定度の時間がかかる場合が多い。

一方で、本論のタイトルにあるベトナムをはじめとする東南アジア各国では、我が国のような気象システムが整備されておらず、集中豪雨による土砂災害を未然に防ぐための手段を今後、強化する必要がある²⁾。また、我が国のように国土全域をカバーする航空写真が取得されていない。土砂災害が発生し

た場合、発生前と発生後とを比較することは、迅速に災害規模を知るための重要な手段であるが、東南アジア各国では、そのような手段を取ることができないことが一般的である。

近年では、全世界を網羅した衛星データがウェブサイトにも公開されており、先で示したように、防災に関する手段の選択肢が少ない国々で利活用することが進められている。衛星データにおいて、DEMデータや光学センサーによる観測データでは、視覚的に理解可能な画像となり、土砂災害の発生域を航空写真と同様に、地形判読によって理解することが可能となる³⁾。しかし光学センサーによる観測では、同時に雲に覆われた場合、地形的特徴を把握することは困難となる。特に、東南アジア各国は、雨季における観測は事実上不可能となるだろう。また、豪

雨発生による土砂災害では、災害発生域は、当然雨雲によって覆われており、迅速に災害発生域を把握することは不可能である。

それに対して、レーダーによる観測では、雲による影響を考慮することなく、地表の状況を把握することができるため、近年、地すべりによる地表の変形の把握などさまざまな用途として活用されている⁴⁾。

このように、防災システムが乏しく、雲に覆われる期間がある東南アジア各国では、レーダーによる観測、すなわち SAR を用いた土砂災害の把握が求められている。

さらに、東南アジア各国では、毎年大規模な土砂災害が発生しているが、それが世界的に報道されることはほとんどなく、私たち日本人は、東南アジア各国において、どのような土砂災害が発生しているか知る術は少ない。しかし、これらの国々で発生する土砂災害の特徴を調べ、その情報をカタログ化して共有することは、今後の我が国の防災に役立つばかりでなく、我が国の技術を各国に活かす機会を与えるだろう。

そこで、本論では、このような観点に立って、ベトナム北部で 2017 年 8 月に発生した土砂災害について報告するとともに、地表での調査や衛星データ解析によって、東南アジアにおける調査のあり方について議論する。

2. ベトナムの気象学的・地質学的背景

(1) ベトナムの気象学的特徴とその観測網

一般的に、ベトナム北部は亜熱帯性気候とされ、ハノイでは 11 月～4 月は最高気温が 30℃を下回り、降水量が比較的少ない。それに対して、5～10 月は 30℃を上回り、ひと月の降水量が 200 mm を超える。

ベトナム気象水文局が気象・水文に関する防災機関として役割を果たしているものの、気象・水文に関する観測、情報の精度、発表する情報の質などの点において、改善の余地があると報告されている²⁾。例えば、ベトナムには気象レーダーと雨量計観測網はあるものの、北部では 3 台のレーダーについては地形エコー除去がされず、他のレーダーとの電波混信をはじめとする機器性能の不備とともに、ディジ

タルデータとして出力されていない²⁾。また、全国的にもそれぞれのレーダーが独立運用されており、全国レーダー合成図が作成されていない²⁾。さらに、雨量計によってレーダーデータが校正されておらず、信頼性が著しく低い²⁾。

このように、今後、ベトナムにおいて土砂災害の早期警戒システムを構築する上では、これらの気象観測システムの拡充が必須であるが、現時点において重要なことは、従来の固定式ではなく、おそらく信頼できる観測機器を搭載した移動式の観測システムかもしれない。

(2) ベトナムの地質学的背景と土砂災害の関係

ベトナム北部は、北進したインド亜大陸のユーラシア大陸への衝突によるインドシナ半島の形成プロセスと深く関わっている (図 1A)⁵⁾。図 1B にはベトナム北部の地質が示されており、ここはインドシナプレートと華南プレートに挟まれている。華南プレート南縁部には北西～南東方向の第 1 級の断層群があり、代表的な断層として Red River 断層がある。これは、インド亜大陸衝突に伴って活動しており、ベトナム北部では、Song Hong 断層と Song Chay 断層とにあたる。その北限は華南プレートの Ailao Shan 断層に連続し、全体として、Ailao Shan-Red River (ASRR) 断層と呼ばれる総延長 1000 km 以上の巨大な左横ずれ断層とされている⁵⁾。

両プレートの間には複数の変動帯があり、北から、20～24 億年前の原生代変成岩帯、ペルム紀～三畳紀の火山岩・堆積岩類の Song Da 帯であり、その南には、蛇紋岩化しているオフィオライトが分布している Song Ma 帯に分けられている⁵⁾。

今回の調査地域は、Song Da 帯の中に存在する後期ペルム紀～前期三畳紀の酸性火山岩類の地質体である Tu Le リフトに位置する⁶⁾。ここは、3000 m 級の山岳地帯であり、火山岩類の上には、ジュラ紀・白亜紀の赤色堆積岩類が覆うとされている⁷⁾。

このような急峻な山地では、急斜面が多数存在し、地すべりなどの土砂災害が発生しやすい地形的特徴となっている。また、多くの谷に村落があり、そのような谷は集水地形となっており、降雨による土石流が発生しやすい状況となっている。

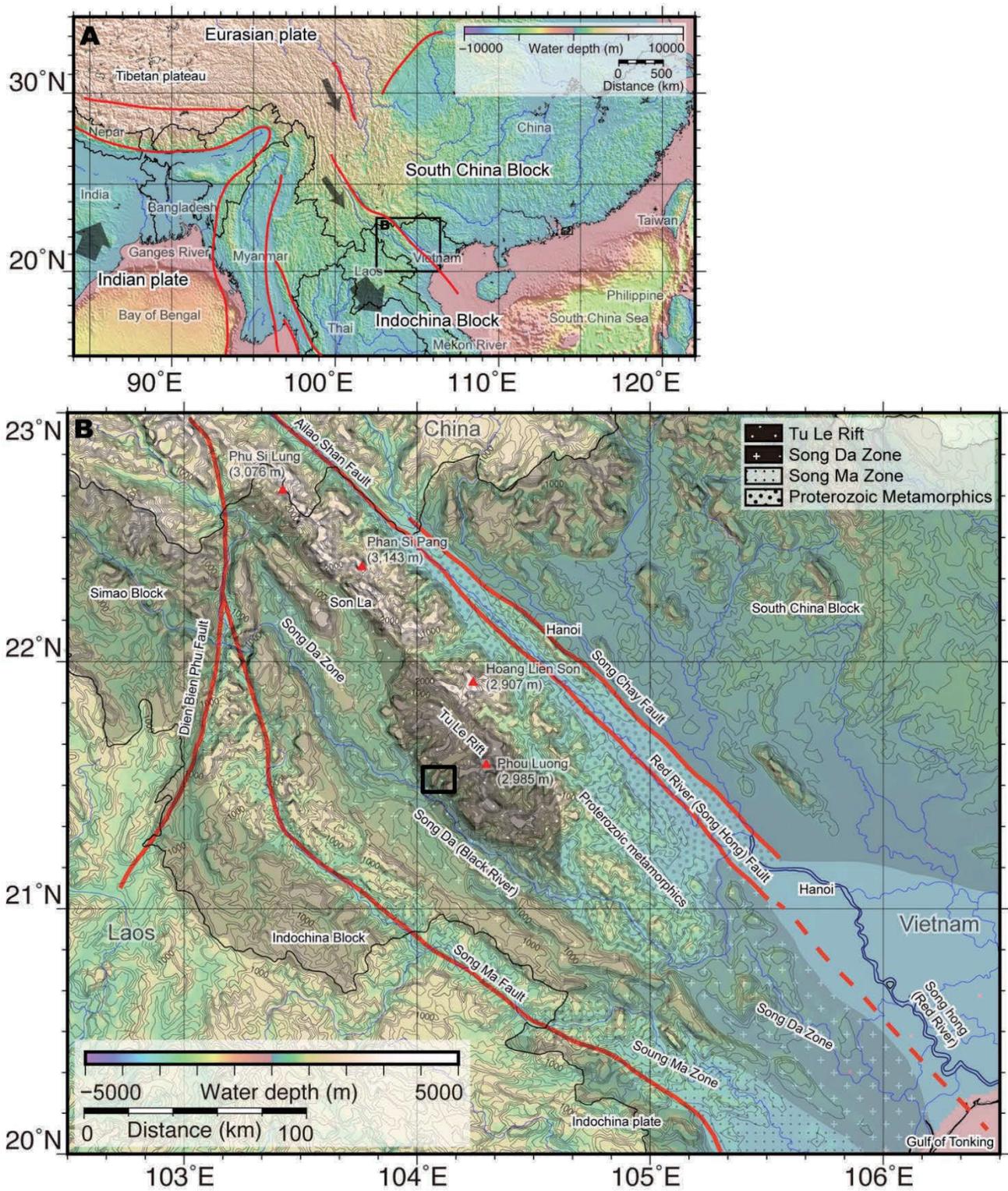


図-1 調査地域の概要。A：調査地域のベトナム北部の広域的な地形的特徴。調査地域はベトナム北部であり、黒枠は図-1Bの位置を示す。調査地域は、西にラオス、北に中国との国境があり、北西—南東方向に山地や谷が伸びている。これらの地形的特徴は北進するインド亜大陸の衝突に伴って変動した地形である^{5) 6)}。B：調査地域のソンラ省周辺の詳細な地形的特徴と地質^{5) 6)}。黒枠で囲まれた地域が調査地域であり、北西—南東方向に山脈が伸びている。調査地北部にはソンホン川、南部にはダー川が流れている。山脈の標高は3000m級であり、調査地域はその南側斜面にあたる。

3. ベトナム北部で発生する土砂災害の特徴

ベトナム北部ではほぼ毎年土砂災害が発生してお

り、その発生原因は主として豪雨と考えられている。例えば、ベトナム北部のソンラ省イトン地区を中心として、2017年8月3日夜からの豪雨によって、

大規模な土石流が発生した。それによって、川沿いにあった集落を襲い、死者 27 名、行方不明者 14 名、住居 231 棟が押し流され、425 棟が地すべりなどによって被害を受けた⁸⁾。4 章以降では、この土砂災害での解析例を詳細に示す。

このような災害は、ASEAN ウェブサイトなどを通じて報告されているが、我が国においてそのような災害を知ることは容易ではない。しかし、このような災害は、我が国との共通点もあると考えられ、相互の情報交換をさらに緊密に進める必要がある。

ベトナムをはじめとした東南アジア各国で毎年発生する土砂災害をカタログ化し、それらの特徴を把握することは今後、重要性を増すだろう。

4. ベトナム北部の衛星データの特徴と解析

ベトナム北部で利用可能な衛星データは、DEM データとして ASTER、光学データとして、Sentinel-2、レーダーデータとして、Sentinel-1 がある。これらは基本的に無料で公開されている。

DEM データは、解像度 30 m であり、詳細な地形解析が可能である (図 2)。

光学データは、ベトナムの気象的特徴でもあり、雲で覆われることが多く、取得されたデータのうち、解析可能か否かを判定するために取捨選択する必要がある。これに多くの時間を要する。図 3 には、取得された光学データを植生と裸地とに色分けした解析結果 (NDVI 値の分布図) の例を示す。この図は、2018 年 11 月 3 日に取得されたデータであり、先に紹介した 2017 年 8 月 3 日での土砂災害を含んだ山地斜面での土石流が明瞭に示される。このように、光学データによって、かなりの精度で土石流などの土砂災害を把握することは可能であり、過去の解析例³⁾でも示されている。このような情報をストックすることができれば、土砂災害前後の解析により、その規模を定量的に評価することも可能だろう。しかし、一方で、これらのデータは天候に左右され、取得時に雲で覆われていると、このような解析を行うことができない。土砂災害が発生する瞬間だけでなく、雲量が小さくなるまで待たなければならない、期間を要する。また、解析結果について定量的に評価するためには、天候以外にも取得条件を合わせる必要がある。例えば、太陽の位置によって、山岳の影が平地に生じ、NDVI を用いた解析に大きな影響を与える。

合成開口レーダー (SAR) は先の光学データと異なり、マイクロ波を用いている。マイクロ波は雲を透

過することから、天候に左右されずにデータを取得することができる。解析結果には、2017 年 8 月 1 日と 2017 年 8 月 13 日とを用いており、先の 2007 年 8 月 3 日の土砂災害の前後に取得されたデータを用いている。二時期に取得された反射マイクロ波の干渉作用を用いて、解析したものが図 4 になる。衛星からの照射波と地表からの反射波で、解析に用いる振動方向によって、VV、VH、HV、HH の 4 種類の解析があり、さらに、衛星が地球を周回する軌道が上昇方向と下降方向の二種類がある。計 8 種類のデータから、図 4 は VV 偏波の下降軌道による例である。土砂災害の規模は、衛星データの範囲に対して規模が小さいため、干渉解析によるヒンジが抽出されない。しかし衛星画像を拡大すると、小規模で地形的・地表面的変化を示す結果が散見される。

この研究では、実際に土砂災害が確認できた地点で、光学衛星やドローンによる現地踏査の結果を用いて、クロスチェックした。これら結果から、土砂災害に伴う地表面変化と地形変化を検出できることを確認できた。ただし、土砂災害の解析において SAR を用いた例⁴⁾は徐々に増えてきており、今後研究をさらに加速させる必要がある。

5. 現地調査・ドローン調査での成果

2017 年 8 月 3 日の土砂災害発生後、ベトナム地質鉱物総局が 8 月 15 日に現地入りし、地表踏査を行い、8 月 21 日にドローンを用いた調査を実施した (図 5、6)。

ドローンは土砂災害の被災地を俯瞰することができ、土石流が稜線より数 m 下がった斜面上部から発生していることがわかる。踏査による調査が困難な場所の状況を迅速に把握でき、その後の調査計画を立てる場合や二次災害の可能性を検討する際に現場で役立つだろう (図 5)。また、衛星光学データによる解析結果と合わせて、衛星データを検証することが可能であり、航空写真が少ないベトナム北部においては極めて有効な手法である。このようなドローンによる調査を土砂災害前に行うことができていれば、土砂災害前後の比較により、土砂災害の規模を正確にすることも可能であろう。

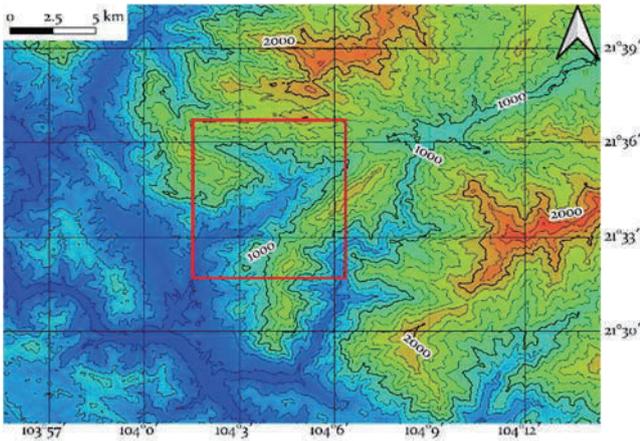


図-2 ASTERのDEMデータによるソンラ省の表示例。表示される位置は、図-1Bの黒枠に示される。

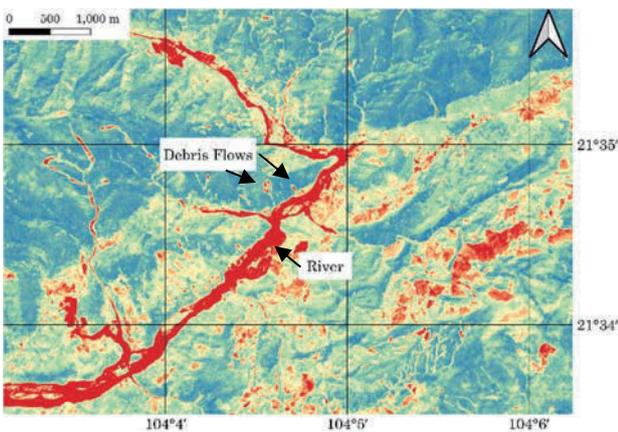


図-3 光学データによるNDVIによる解析結果の例(2018年11月3日)。ベトナム北部、ソンラ省、イトン地区周辺。図-2の赤枠に位置が示される。図中の濃く塗られた部分(カラーでは赤で表示)が裸地を、それ以外の部分(カラーでは青で表示)が植生を示す。裸地の中で、河川に沿った線状のものは河原などを表し、図中にRiverとして示している。また、斜面上のものは土砂崩壊を示し、その代表例を図中にDebris flowsとして示している。

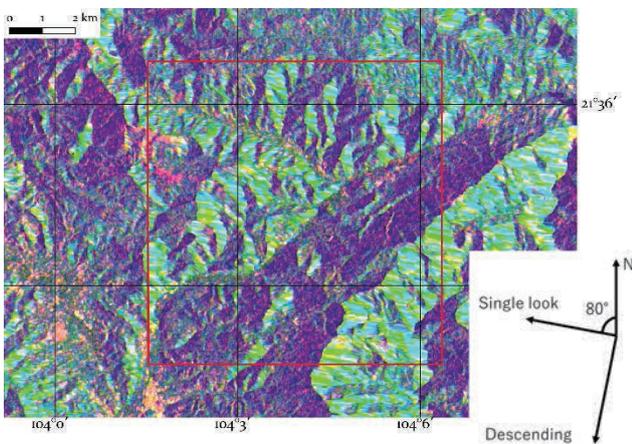


図-4 SARデータ解析結果の例。解析には、2017年8月1日と13日に取得されたものを用いた。VV偏波下降軌道。

現地調査では、土石流の発生源やその流下物について調べることができる。今回の場合、斜面に存在する風化帯が削り取られて下り、斜面上部での土石流発生メカニズムは、集中豪雨に起因したものが推測される(図7)。風化帯に存在していた巨礫も一緒に流下し、斜面直下に撒き散らされ、水田などが使用不能になったり、住居を直撃したりしている。

6. 今後の課題

ベトナム北部は、上記のように土砂災害が発生し、それは毎年生じている。さまざまな資材のあるハノイからのアクセスは必ずしも良くなく、自動車でも8時間以上かかる。このような中国など諸外国との国境沿いの山岳地帯における防災は、今後の東南アジア各国での課題となる。

筆者らは、そのような地域での防災において、必要資材を自動車に搭載したような防災車のようなものがふさわしいのではないかと考えている。衛星回線でハノイの本庁とリンクできるのならば、本部が移動して調査活動を行えるかもしれない。

先に示したドローンの映像や、衛星データなどが、災害現場において、土石流災害前のもので迅速に比較することができれば、災害直後であったとしても、その状況を迅速に把握することができるだろう。

また、整備の行き届いていない気象システムなども現地に持っていくことが可能ならば、二次災害を防ぎながら、調査活動を行うことができるかもしれない。現在JAXAが世界の雨分布速報(GS Map)を配信しており、これと併用することによって、簡易的な気象システムであっても有効活用できるかもしれない。

以上のように、ベトナム北部では、我が国とは異なる状況であり、さまざまな克服する点があるが、一方で、土砂災害の対策は、毎年発生しており、必要なインフラが整備されるまで待っていることはできない。必要なインフラがなかったとしても、迅速に対応することができるシステムが求められている。ここに提案される防災車構想は、その一つかもしれない。

謝辞：本研究の一部は、国際地質学連合ジオハザード・タスク・グループ運営金を利用させていただいた。



図-5 ドローン調査。8月21日に実施された。



図-6 地表踏査。8月15日に実施された。このときでもまだ水は引いておらず、豪雨は間欠的に続いていたと予想される。ただし、気象システムによる検証はできない。

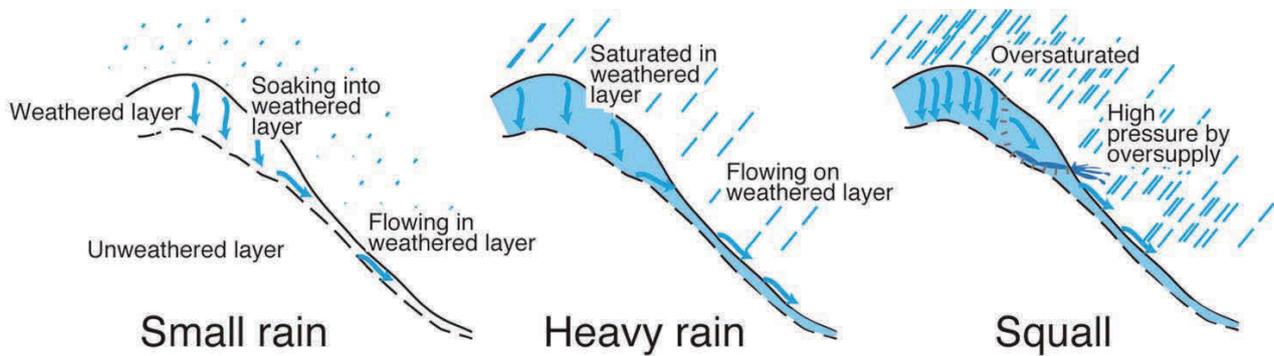


図-7 斜面における土石流の発生メカニズム（模式図案）

参考文献

- 1) 気象庁：知識・解説，台風や集中豪雨から身をまもるために，土砂災害，https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/ame_chuui/ame_chuui_p2.html，2019.
- 2) 独立行政法人国際協力機構地球環境部：ベトナム国 気象水文観測・予測・警報業務に関する 基礎情報収集・確認調査 報告書，環境 JR，13-136，2013.
- 3) 大野博之，稲垣秀輝，大久保拓郎：人工衛星 DEM データと光学データを用いた地すべり地形の評価，地すべり学会誌，45 巻，2 号，pp. 55-59，2008.
- 4) 角田富士夫，日外勝仁，倉橋稔幸：衛星観測画像の干渉 SAR による地すべり変動検出について，気候変動に伴う積雪寒冷地の地盤災害に関するシンポジウム，地盤工学会北海道支部，pp. 1-6，2017.
- 5) Ishihara, S., Hirano, H., Hoshino, M., Can, P.N., Dung, P.T., Tran, T-A.: Mineralogical and chemical characteristics of the allanite-rich copper and iron ores from the Sin Quyen mine, northern Vietnam, Bull. GSJ, Vol. 62 (5/6), pp. 197-209, 2011.
- 6) 石原舜三，浦部徹郎，渡辺寧：ベトナムの非鉄金属鉱物資源の概要，資源地質，58 (1)，pp. 27-36，2008.
- 7) Faure, M., Lepvrier, C., van Vuong, N., Zechao, W.L.: The South China Block-Indochina collision: where, when, and how?. J. Southeast Asian Ear. Sci., Vol. 79, pp. 260-274, 2014.
- 8) AHA Center, AHA Centre situation update No. 4: Landslides and flash floods in northern Viet Nam, Thursday, 10 Aug 2017, <https://reliefweb.int/report/viet-nam/aha-centre-situation-update-no-4-landslides-and-flash-floods-northern-viet-nam>, 2017.

(2020. 7. 1 受付)

