

(公社) 日本地すべり学会関西支部長

太田 英将 (太田ジオリサーチ)

シンポジウム実行委員

委員	亀田	尚志	(日本工営(株))
委員	釜井	俊孝	(京都大学防災研究所)
委員	中井	真司	(復建調査設計(株))
委員	中根	久幸	((株)地研)
委員	土井	一生	(京都大学防災研究所)

(公社)日本地すべり学会関西支部協賛会員名簿

2021年4月1日現在 24社

(五十音・口数順)

(会社名)	(電話番号)	(口数)
有限会社 太田ジオリサーチ	078-907-3120	3
中央復建コンサルタンツ株式会社	06-6160-1121	3
日本工営株式会社 大阪支店	06-7177-9500	3
アジア航測株式会社 西日本インフラマネジメント部	06-4801-2250	2
株式会社 荒谷建設コンサルタント 品質企画部	082-292-5481	2
株式会社 エイト日本技術開発	086-252-8917	2
株式会社 エス・ビー・シー	0883-52-1621	2
応用地質株式会社 四国事務所	089-925-9516	2
川崎地質株式会社 西日本支社	06-7175-7700	2
国土防災技術株式会社 大阪支店	06-6155-4839	2
国土防災技術株式会社 高知支店	088-846-0545	2
株式会社 コスモ建設コンサルタント	0853-72-1171	2
株式会社 四国トライ	088-883-5908	2
島建コンサルタント株式会社	0853-53-3251	2
株式会社 相愛	088-846-6700	2
株式会社 ダイヤコンサルタント 関西支社	06-6339-9141	2
株式会社 地研	088-822-1535	2
株式会社 地圏総合コンサルタント 四国支店	0897-33-3123	2
中央開発株式会社 関西支社	06-6386-3691	2
株式会社 東建ジオテック	089-945-3328	2
株式会社 ナイバ	087-862-5121	2
日本工営株式会社 四国支店	087-811-2660	2
明治コンサルタント株式会社 大阪支店	072-751-1659	2
株式会社 四電技術コンサルタント	087-845-8881	2

研究対象空間領域のリ・スタート
ー沿岸・浅水域で発生する地すべりの発生場ー
Formative condition of landslides in coastal and shallow water areas

山崎 新太郎
Shintaro Yamasaki

1. はじめに

沿岸・浅水域で発生する地すべりは、多大な被害を発生させる可能性がある危険な現象である。1999年トルコ・コジャエリ地震においてはその発生によって沿岸域で多数の人命と共に海岸が消失した（國生，2009など）。その他、2018年のインドネシア・スラウェシ島地震でも沿岸域で地すべりが発生し、それによって津波までも発生した可能性が指摘されている（Sassa and Takagawa, 2019など）。一方で、このような現象は科学調査の困難さ故に、その発生環境やメカニズムについて不明なところが多い。事例は少ないものの、歴史記録や地形として残されているものがある。筆者らは沿岸浅水域で発生した地すべりの発生環境を地質学的に明らかにするために、水深100mより浅い水域で利用可能な音響調査装置類を利用して、特に近年コアデータが整備されつつある内陸湖をモデルとして調査を進めている。また、沿岸域で急速な地形変化を生じた長崎市沖の横島の事例も調査した。本発表では、調査を行った事例を紹介しながら、沿岸・浅水域での地すべりの発生環境とメカニズムについて考察を行う。

2. 神奈川県・芦ノ湖における事例

神奈川県芦ノ湖では水中に「逆さ杉」と呼ばれる水中林が存在しており、これが地すべりと関係しているとの指摘は古くからあった（大木，1993など）。筆者らは（山崎ほか，2016；Yamasaki et al, 2017）は高分解能のソナーやサイドスキャンソナーなどを用いて底質との分布の分析をし、芦ノ湖北西部の沿岸から沖合に舌状に伸びる長さ約400mの地形的高まりの部分に調査した。その結果、舌状の地形的高まりの部分に多くの水中林が分布し、さらに水中林の姿勢が立木の状態であるものから倒れているものなど攪乱をうけた状態で存在していることが明らかになった。これは、地すべりの地形であることを裏付ける結果である。地すべりが発生した沿岸域は現在弧状の砂浜であるが、移動体は塊状で水中林をそれに乗せて運搬したことから、塊状の移動体が低摩擦の下層を滑動したことが考えられる。もし結合力の小さな砂などの物質で移動体全体が構成されていれば、運動中に崩壊し、地形的高まりを構成するとは考えにくい。ため、この塊状の移動体は泥質の湖底堆積物の可能性がある。

3. 北海道・屈斜路湖における事例

屈斜路湖南部に長さ約 1km の明瞭な滑落崖と移動体が認められ、移動体上の地形には複数の水などを噴出して形成したと考えられる凹凸が認められる。高分解能音響地質調査によってもその地形の埋没はほとんど認められないことが判明している（内田ほか，2017）。屈斜路湖では、1938年に湖南部付近で地震（M 6.1）が発生し、その直後に 1 m 程度の湖水面の急上昇や濁水が発生しており、それとの関連が疑われている（山崎ほか，2015）。

4. 福島県・猪苗代湖における事例

猪苗代湖の南東部において沿岸域から発生した複数の巨大な湖底地すべりで形成された舌状地形があり、厚さ 12 m 以上の湖成堆積物の直下に覆瓦状構造を成す地すべりの地質構造が近年発見された（山崎ほか，2017）。この地すべり地形・地質構造のうち、最大のものは長さ約 2.8 km、最大厚さは 25 m である。猪苗代湖では 2012 年に湖成堆積物全層を貫通するコアが採取されており、音響地層探査の結果と堆積物と一致させての解釈が可能であった。その結果、地すべりのすべり面は、湖形成前の砂礫層であり、上方の半固結から固結したシルト質堆積物に変形していることが判明した。

おそらく砂礫層の液状化し、上方のシルト層がその水圧を封じて長距離のすべりが発生したものと考えられる。音響地質断面には液状化に伴う噴砂様の構造が複数認められた。また地すべり外の地すべり発生時と同時代の地形面より下方の湖成層は、その上方に比べて音響的に識別できる地層が乱れている場合が多かった。これは猪苗代湖全域が広域に亘って地すべり発生時に堆積物が乱されたことを示唆しており、この湖底地すべりは地震によって発生した可能性が高いと考えられる。

5. 長崎県・横島における陸地喪失の事例

横島は、東西に長さそれぞれ約 160 m、50 m の 2 つの小島からなるが、20 世紀初頭には 1 つの島であり、そして、その地下には炭鉱が開発され、建物が林立し、約 700 人が居住していたことが記録されている。しかし、炭鉱の閉山後、徐々に陸部が失われ国土地理院の保有する空中写真を判読する限りでは、1960 年代のはじめには 2 つの部分が残って島の西大部分が消失した。横島は半世紀もかけて徐々に島が消失していったものであり、その消失の原因については 2 つの考えがあった。一つは、島の広い範囲が岩盤すべりによって海底に没したとの考え、もう一つは、漸次的な地下坑道の崩壊によって海水準以下の高さまで陥没したとの考えである。筆者らは、NHK 長崎放送局より水中のダイビング映像の提供を受け、それらを分析すると共に、横島周辺海域において浅海域に適応可能なサイドスキャンソナーによる調査、UAV による上空からの観察とオルソ画像の作成、浅海用小型 ROV による海底観察、そして陸地部分の地質調査

を行った。その結果、横島の周辺には複数の岩盤崩壊の痕跡が認められるものの、それらは第一には海底の陥没に伴って発生したと考えられることが判明した (Yamasaki et al, 2021) この事例は自然の地すべりによる陸地喪失の例では無いが沿岸域では人為的な開発でも陸上が水中に没する可能性がある事実を示している。

引用文献

國生剛治 (2009) : 液状化現象－巨大地震を読み解くキーワード。

Shinji Sassa, Tomohiro Takagawa (2019): Liquefied gravity flow-induced tsunami: first evidence and comparison from the 2018 Indonesia Sulawesi earthquake and tsunami disasters, *Landslides*, 16.

大木靖衛 (1993) : 箱根の逆さ杉と南関東の大地震, *地学雑誌* 102.

山崎新太郎・松四雄騎・片岡香子・山口直文 (2017), 神奈川県・芦ノ湖の湖底調査－低価格サイドスキャンソナーによる水底調査の試み－, 京都大学防災研究所研究報告.

Shintaro yamasaki, Tomonori Tabusa, Shunsuke Iwasaki, Masahiro Hiramatsu (2017) : Acoustic water bottom investigation with a remotely operated watercraft survey system, *PROGRESS IN EARTH AND PLANETARY SCIENCE* 4.

山崎新太郎・原口強・伊藤陽司・吉川泰弘 (2015) : 1938年屈斜路地震津波を発生させたと推定される屈斜路湖湖底の地すべり, 日本応用地質学会研究発表会講演論文集.

内田康人・岡崎紀俊・山崎新太郎・高橋浩晃 (2017) : 道東・屈斜路湖で実施した高精度音響地層調査から判明した湖底地形・堆積構造, 北海道地質研究所報告, 第89号.

山崎新太郎・片岡香子・長橋良隆 (2017a) : 福島県・猪苗代湖における湖底堆積物の音響地質構造と巨大湖底地すべりの発見, 日本地球惑星科学連合2017年大会要旨.

Shintaro Yamasaki, Toshitaka Kamai, Tatsuya Watanabe (2021) : Geological and seafloor investigations of the cause of partial submergence of Yokoshima Island, Nagasaki, Japan. *Engineering Geology* (in prerss).

時間防災学の視点からのリ・スタート —土石流サイクルと切迫度による新しいリスク評価—

広島市安佐南区の県営住宅を直撃した土石流



山口大学大学院創成科学研究科
工学系学域社会建設工学分野

鈴木 素之

1

YAMAGUCHI UNIVERSITY

講演の概要

- 防府市、広島市など風化花崗岩とマサ土が分布する地域の土石流発生履歴
- 過去の災害を知ることが、今後の防災に対して、どのように生かせるのか

研究の背景

- 中国地方には水に脆弱な花崗岩・マサ土が分布していることから、土砂災害発生リスクはもともと高く、過去にも土石流や洪水が頻繁に起こっていた
- 最近の豪雨災害の被災者から「昔、ここで災害が起きた話なんて聞いたことがない」「安全な場所だと思っていた」といった声が聴かれた
- 災害の記録や教訓が伝承・周知されず、防災面に生かされていない

4

研究の現状

- 歴史アーカイブが地域や時期によって少ない(皆無)ことがある
- 豪雨土砂災害は点状に発生し、大々的に記述されにくい
- 土石流堆積物の組成と構造は複雑
- 災害発生予測の観点で、100~1000年のスケールで調査されていない

「地震→津波」の長期評価



東日本大震災

- 貞観地震869年

『日本三代実録』に記録有り

▶ 1000年間に1度の大地震

全国沿岸部で津波堆積物の調査が実施されている

「豪雨→土石流、深層崩壊」の長期評価



防府災害

- 平成2年にも土砂災害

▶ 250年間に一度の大雨

広島災害

- 平成11年に土砂災害

嘉永3年, 明治38年, 大

正15年にも土砂災害

土石流や崩壊の過去の回数・頻度等の調査は
未だ実施されていない → **早急に必要!**

5

災害リスクの長期評価の必要性

研究の目的

- 「いつ」「どこで」「どのような」災害が発生したかを解き明かし、それを現在、そして後世の人々に伝える
- 100～1000年の時間スケールで災害発生リスクを算定・評価
- ハザードマップや防災対策事業に反映させる

時間防災学の確立

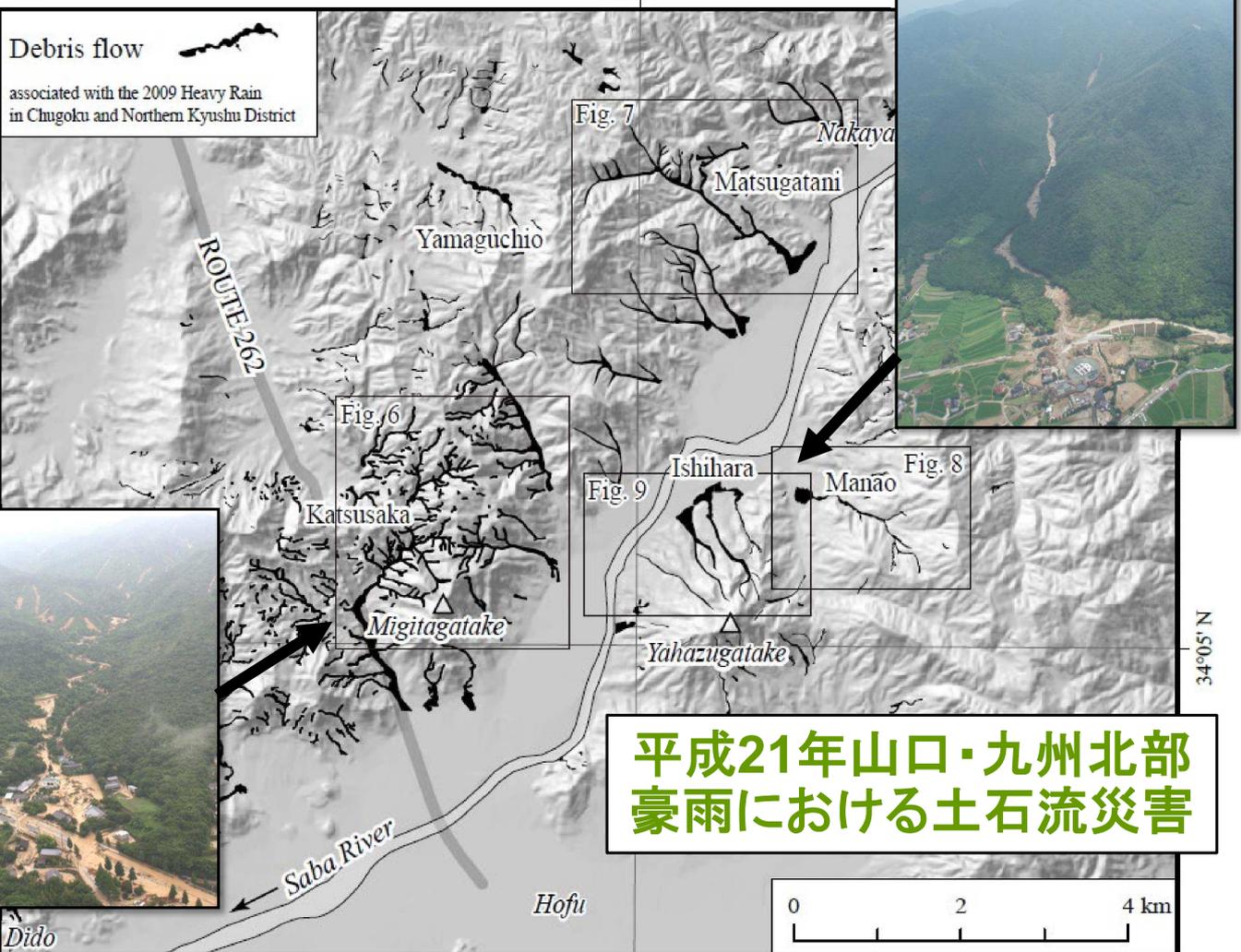
長時間スケールで災害と防災を考える【時間防災学】を提唱し、文理融合した研究チームを編成

H21防府災害、H26広島災害、H29九州北部豪雨災害、H30西日本豪雨、令和元年東日本台風等を調査



131°30' E

131°35'



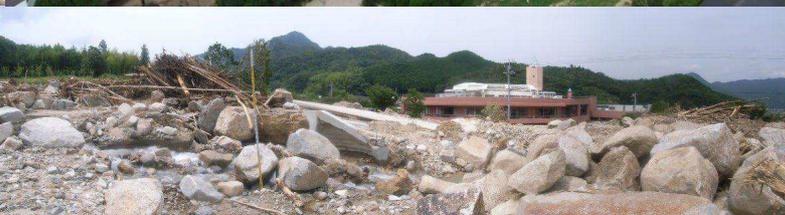
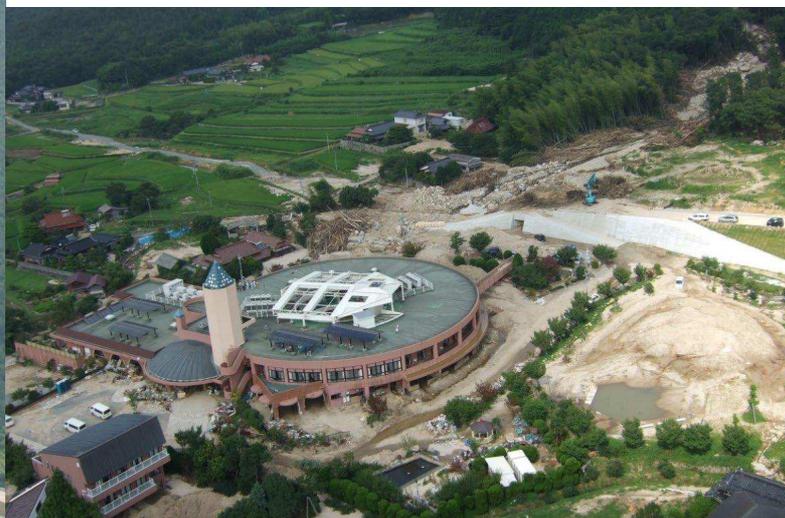
平成21年山口・九州北部豪雨における土石流災害

真尾地区

12:15頃発生

上田南川上流の数箇所崩壊に起因し、土石流が発生

特別養護老人ホームが被災し、12名死亡



石原地区

12:00頃発生

矢筈ヶ岳北斜面の土石流災害
大歳神社付近で2名死亡

下流の住宅地が被災
山火事の痕跡あり



過去の土石流堆積物の特徴

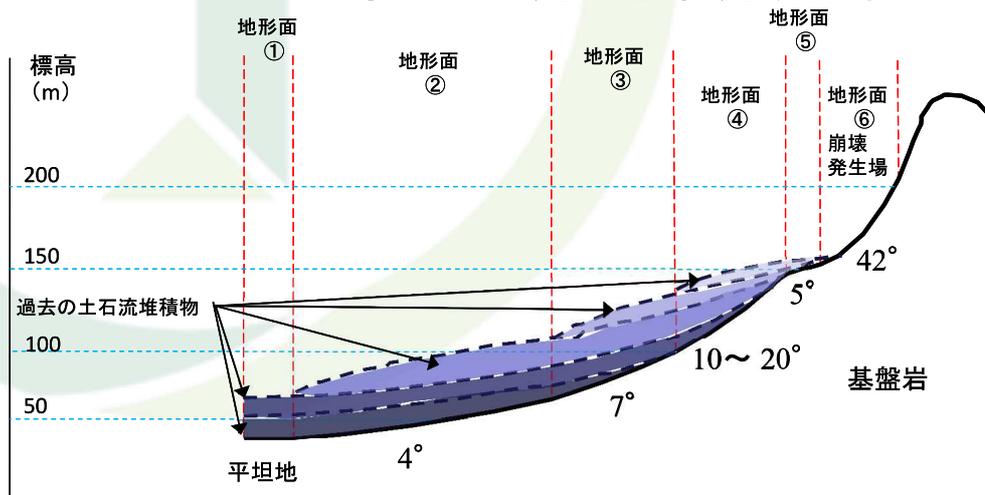


(a) 中流域



(b) 下流域

石原Aの下流から中流域の状況

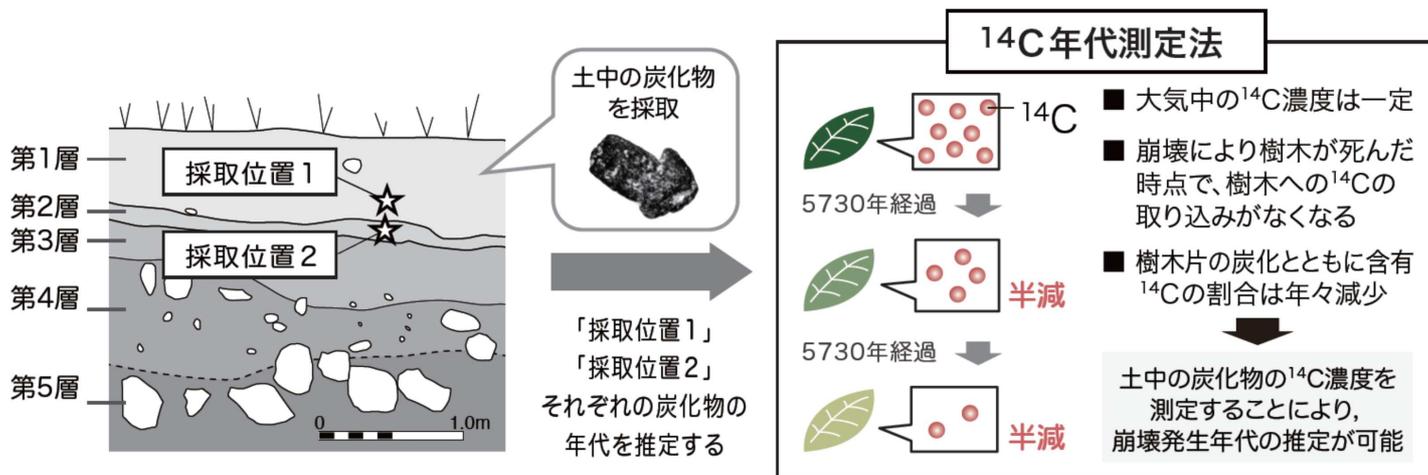


概略横断勾配と露頭から推察される過去の土石流履歴(小西純一氏作成)

YAMAGUCHI UNIVERSITY

放射性炭素年代測定(AMS法)による土石流堆積物の形成年代の測定

土石流堆積物層に巻き込まれた樹木炭化物に着目



(出典: 山口大学時間学研究所(2015)「時間学の構築I 防災と時間」, P.116, 図4-14)

土石流堆積物中の炭化物に対して¹⁴C年代測定を実施し、土石流堆積物の形成年代および土石流発生のインターバルタイムを明らかにする

試料の採取



露頭での写真



採取炭化物試料(左:石原A,右:松ヶ谷)

過去の災害記録

萩藩の当職所の日記

藩内で発生したことが記された

『公儀事諸控総目次』

『諸事小々控総目次』

萩藩が災害など何か発生した場合に幕府に報告したもの



宝永地震の記録（「公儀事控」）

『密局日乗』

萩藩の藩日記

『林家文書』 (山口大学所蔵)

幕末～明治の小郡地域の社会・政治・経済・文化の全般に渡る記録



林家文書デジタル高精細絵図

山口県文書館や防府地区の寺社に保管されている古文書を防災工学の観点から分析し、災害年表として整理。

地域に残る古文書の災害イベントと照合し、「土石流災害発生年表」を作成

防府地域の土石流発生年表

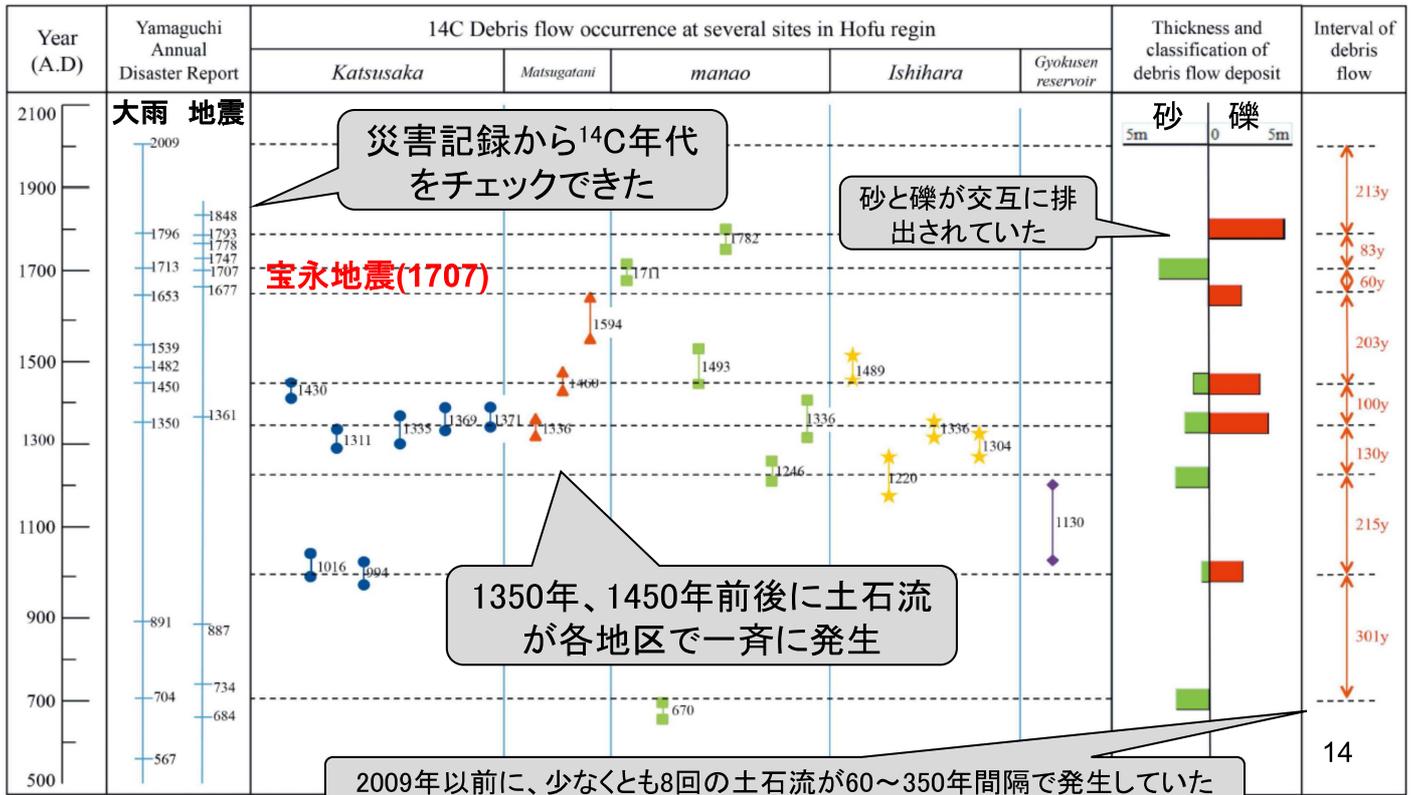
『山口県災異誌』

土石流インターバル

西暦

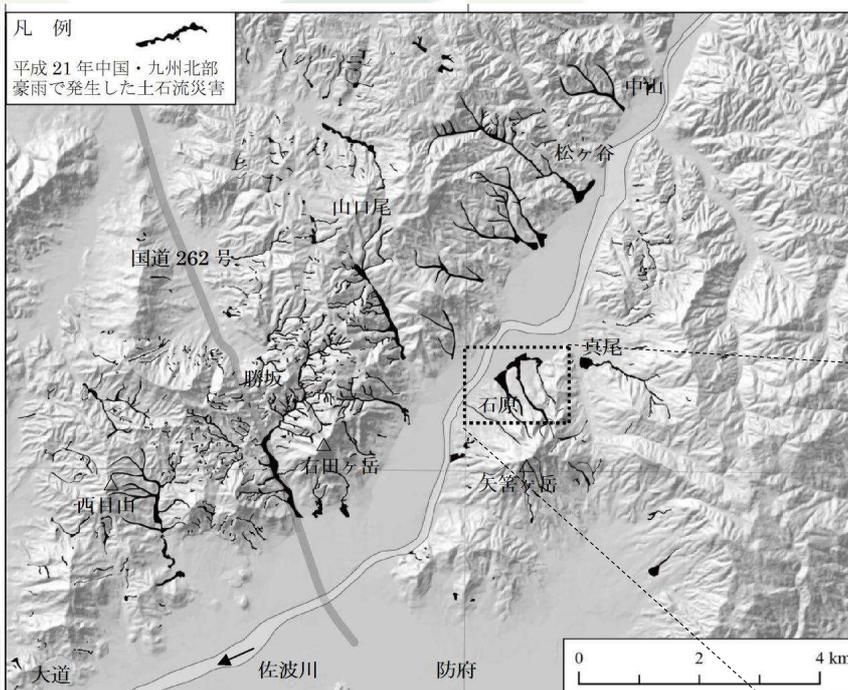
土石流発生暦

組成・層厚



YAMAGUCHI UNIVERSITY

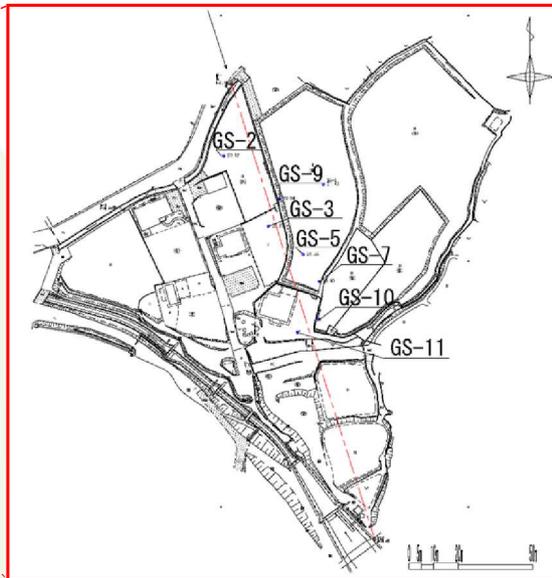
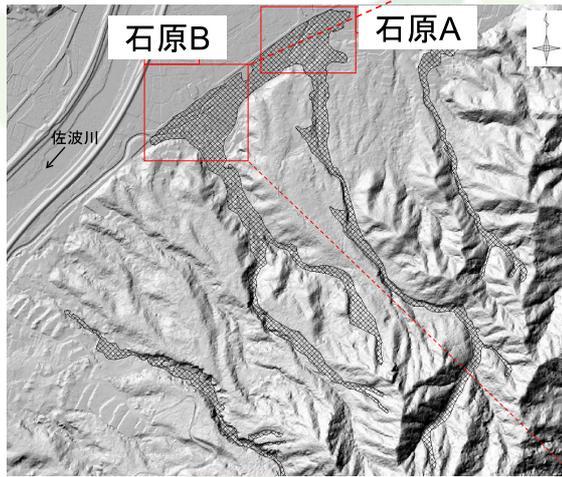
石原地区の土石流扇状地の調査



過去最高の250mm/24hの豪雨により、約670箇所で崩壊が、490溪流で土石流が発生

研究対象エリア 石原地区

調査箇所と手法



石原A地区では2箇所、石原B地区では10箇所です。試料採取を行った。



石原B地区の現況と試料採取位置



ジオスライサー作業状況

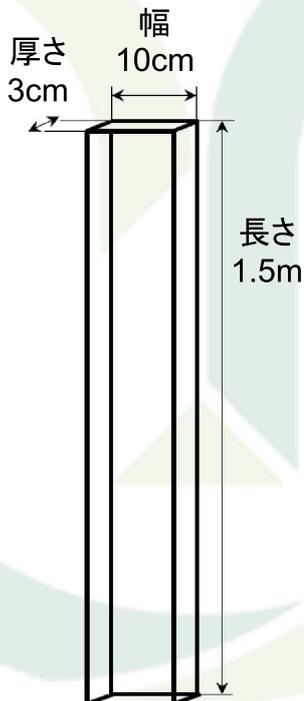


ジオスライサーによる連続採取試料 (GS-10) と含有炭化物

各地点で採取した土試料に対して土の含水比試験、土の粒度試験、土粒子の密度試験、土の強熱減量試験を実施

ジオスライサーを用いたサンプリング調査

サンプルボックスとシャッタープレートから成り、地層抜き取り調査に用いる装置



サンプルボックス



サンプルボックス、シャッタープレートの順にバイブレータで打ち込む (女性でも作業可能)

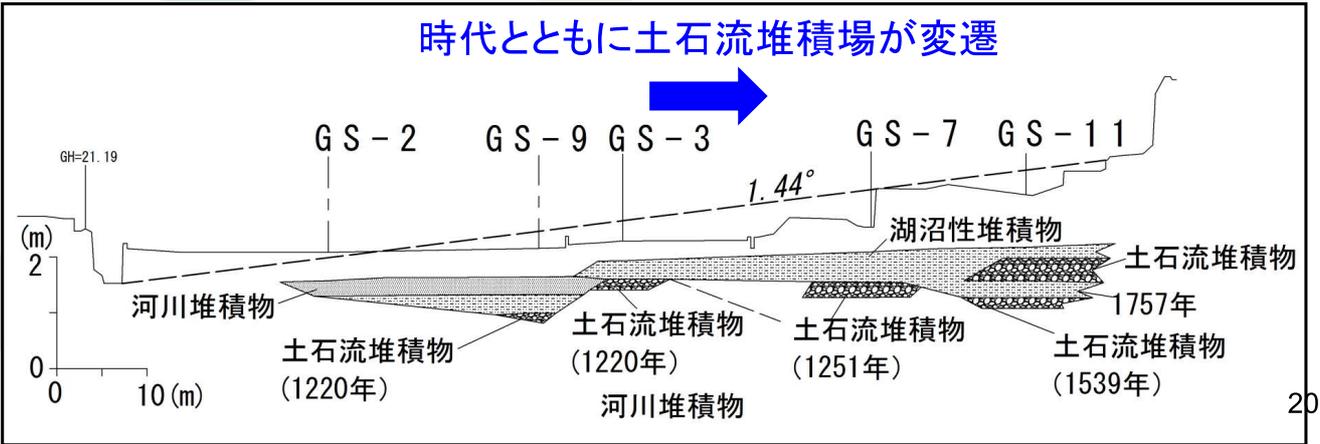


三脚とチェーンブロックを用いて地中から引き抜サンプラーを引抜き、土を採取

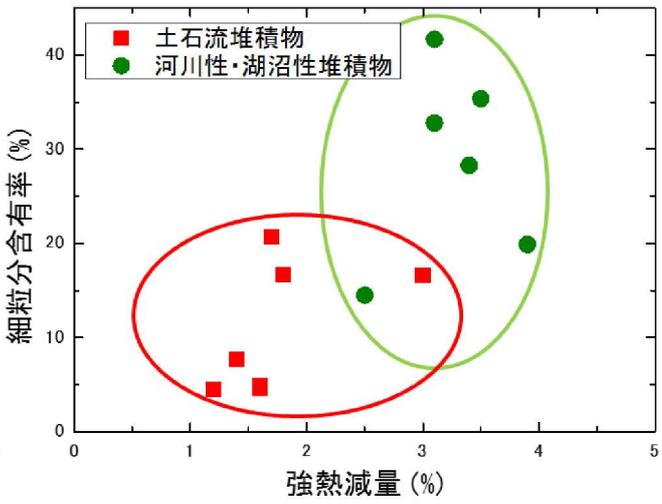
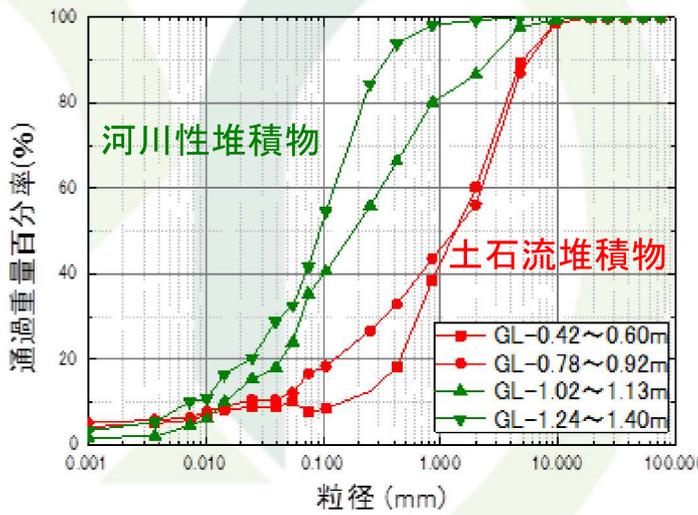
石原B地区の地盤構成

GL	GS-10	M	f	m	c	G	堆積層区分	GS-11	M	f	m	c	G	堆積層区分
														2009年
														土石流堆積物
														2009年
														土石流堆積物
														湖沼堆積物
														土石流堆積物
														湖沼堆積物
														土石流堆積物
GL-1.00m														土石流堆積物
														土石流堆積物
														湖沼堆積物
														1757
														湖沼堆積物
														1539
														湖沼堆積物
														土石流堆積物
														湖沼堆積物
														河川堆積物

凡例：M;シルト,f;細砂,m;中砂,c;粗砂,G;砂礫 表中数字は¹⁴C法中央値



粒径加積曲線 (GS-10)、細粒分含有率と強熱減量の関係

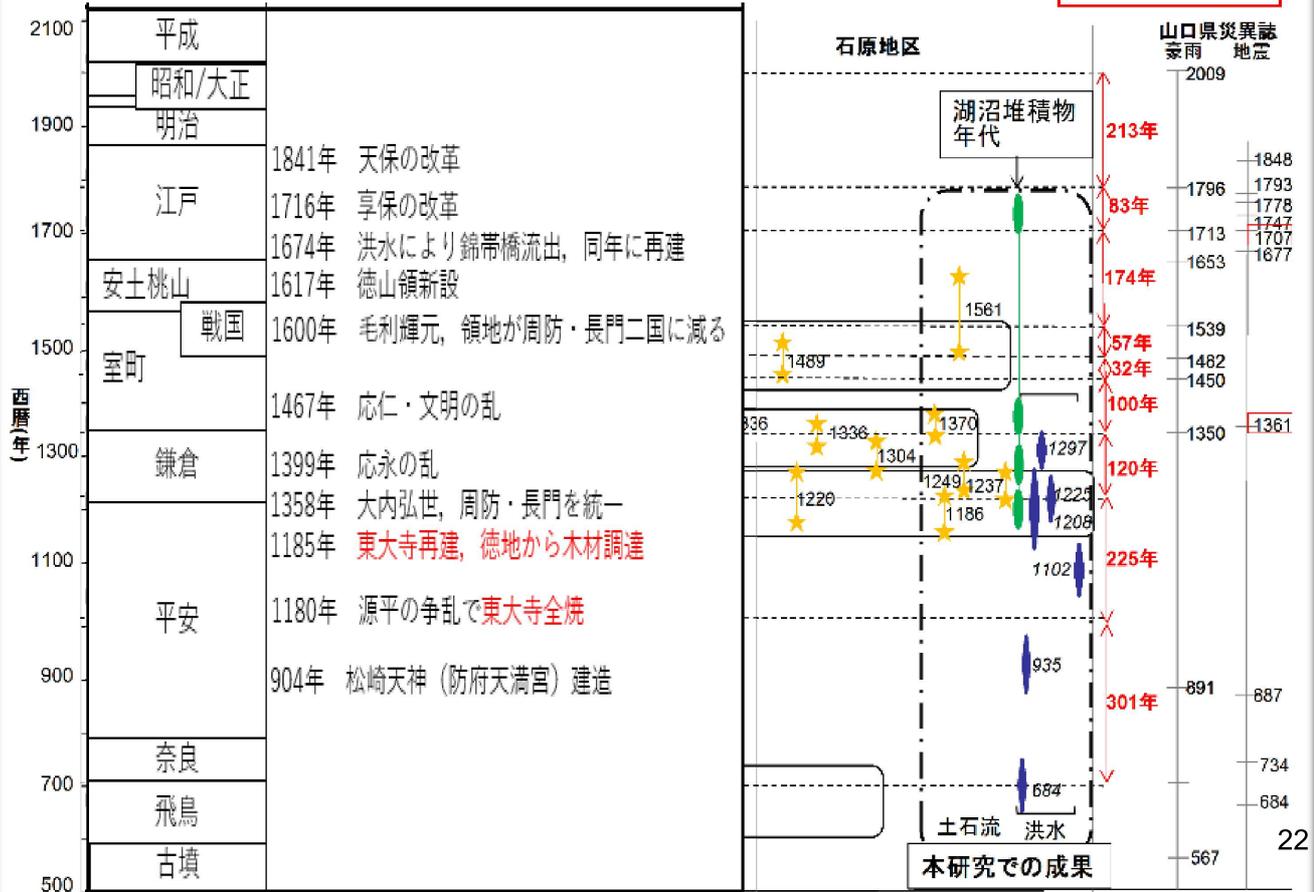


河川・湖沼性堆積物のほうが、粒度分布の範囲がせまく、粒径加積曲線は全体的に土石流堆積物よりも左側にシフトしていた

土石流堆積物と河川性・湖沼性堆積物の間には強熱減量、細粒分含有率の分布に違いがあった

防府地域の土石流・洪水発生年表

1707年:宝永地震
1361年:南海地震



平成26年8月20日広島市安佐南区の土石流災害

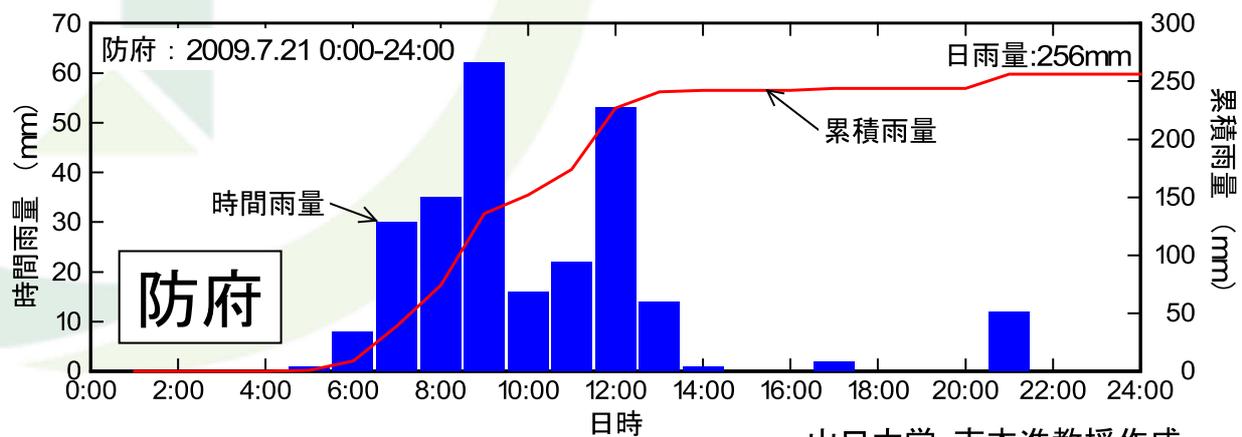
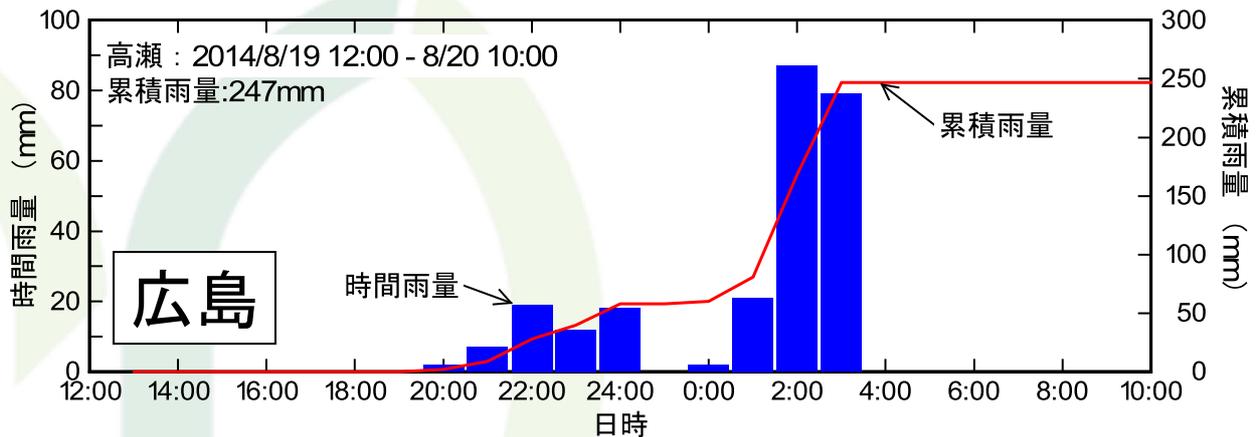
写真: 国土地理院



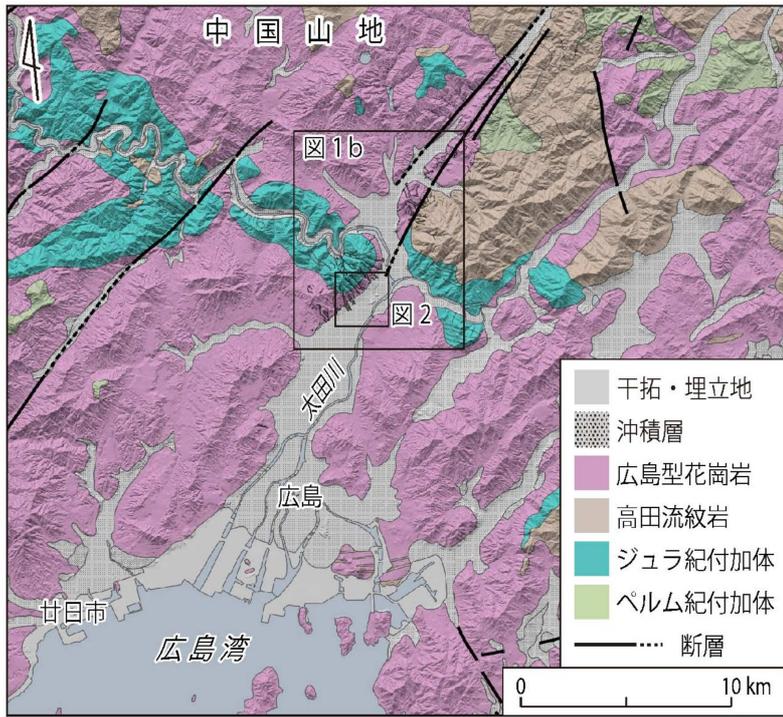
広島県の近年の主な土砂災害

発生年月	西暦	被災原因	主な被災場所	人的被害
大正12年7月	1923年	豪雨	広島市矢野町、坂町	死者 15名
大正15年9月	1926年	豪雨	広島市祇園町、高陽町 瀬野町、安芸郡府中町	死者 103名
昭和20年9月	1945年	枕崎台風	呉市、廿日市市大野町 江田島町	死者行方不明者 2012名
昭和26年10月	1951年	ルース台風	大竹市、廿日市市	死者行方不明者 166名
昭和42年7月	1967年	豪雨	呉市	死者行方不明者 150名
昭和47年7月	1972年	豪雨	三次市	死者行方不明者 39名
昭和63年7月	1988年	豪雨	安芸太田町加計町	死者行方不明者 14名
平成11年6月	1999年	豪雨	広島市、呉市	死者行方不明者 2名
平成18年9月	2006年	台風13号	広島市、北広島町 安芸高田市	死者行方不明者 33名
平成26年8月	2014年	豪雨	広島市安佐北区、安佐南区	死者行方不明者 74名
平成30年7月	2018年	豪雨	広島市、坂町、呉市	死者行方不明者 120名 (広島県内分)

災害発生時の降雨状況と防府災害との比較



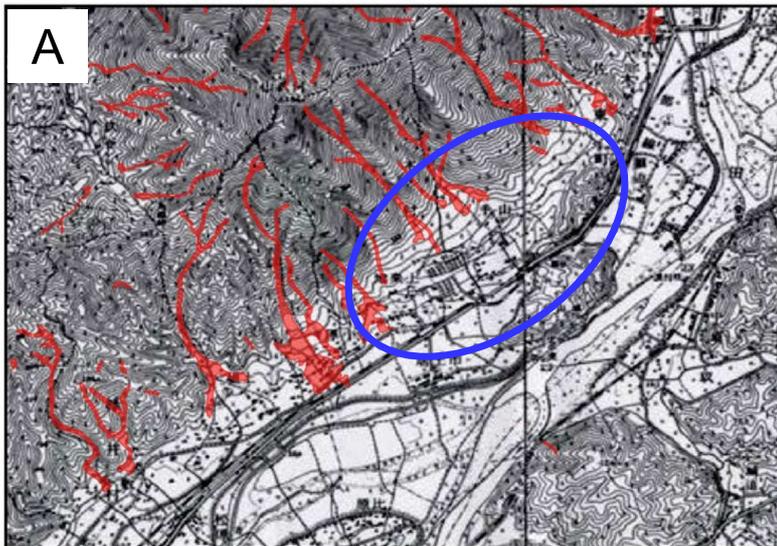
調査エリアの地質と調査箇所



産総研シームレス地質図



土石流発生地区の地形の変遷



住宅開発前(1928)の地形図



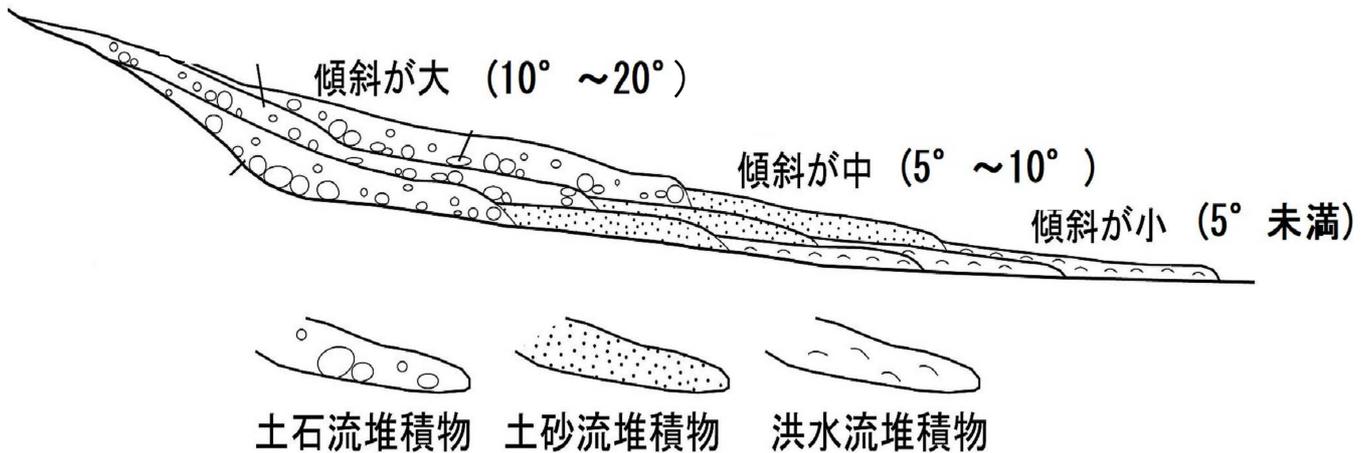
現在の地形図:扇状地の宅地化が進行

土石流堆積物の調査場所の選定

溪岸部の露頭調査と試料採取

定方位の連続試料が採取可能

ジオスライサーによる調査



28



県営緑丘住宅

八木3丁目で41名死亡



29

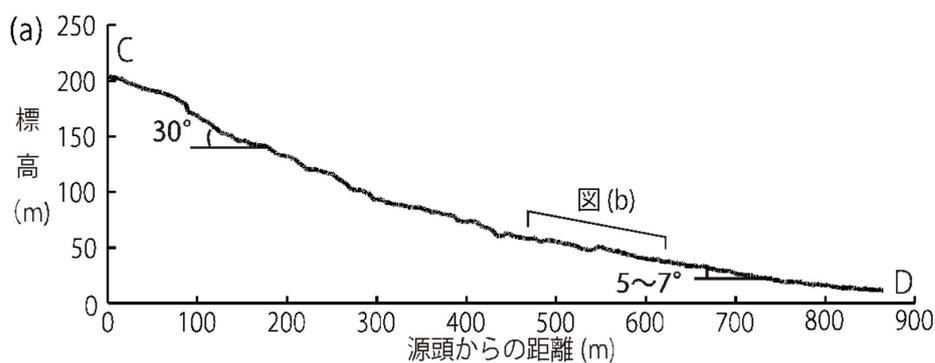
広島市安佐南区八木の県営住宅裏の溪流

過去の土石流堆積物の上に
住宅が建っている



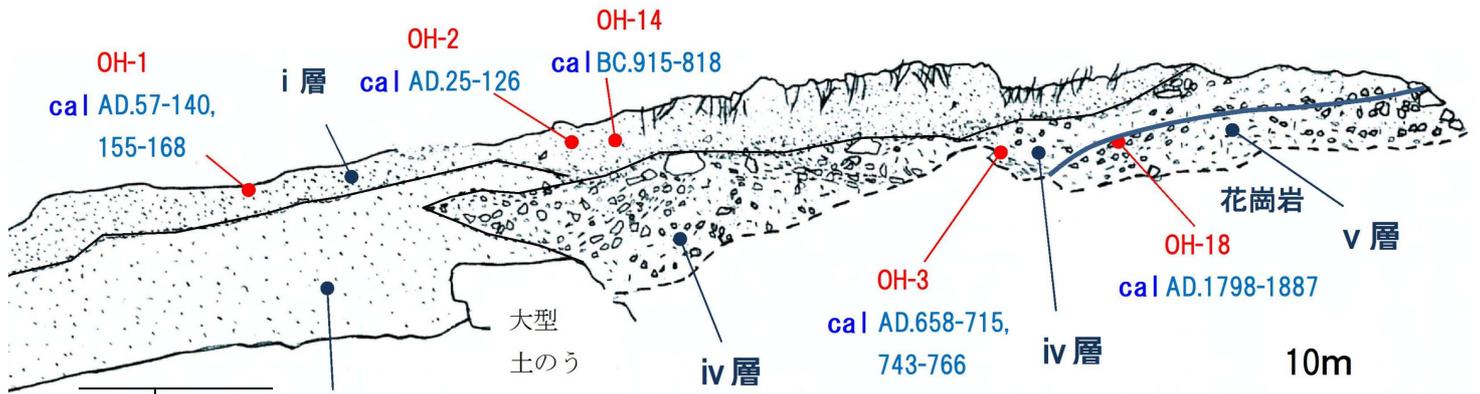
YAMAGUCHI UNIVERSITY

安佐南区八木地区 縦断面図と空中写真



被災住宅の
上流右岸で
詳細調査

被災溪流右岸の土石流堆積物の構成と年代



地層名	地層年代 (calAD.)
v 層	1801-1892
iv 層	658-774
i 層	25-140

v 層は20m上流の OH-8の年代による



← 下流

上流 → 32

調査箇所



作業状況写真



調査箇所(近景)



民家の敷地で地層採取調査を実施

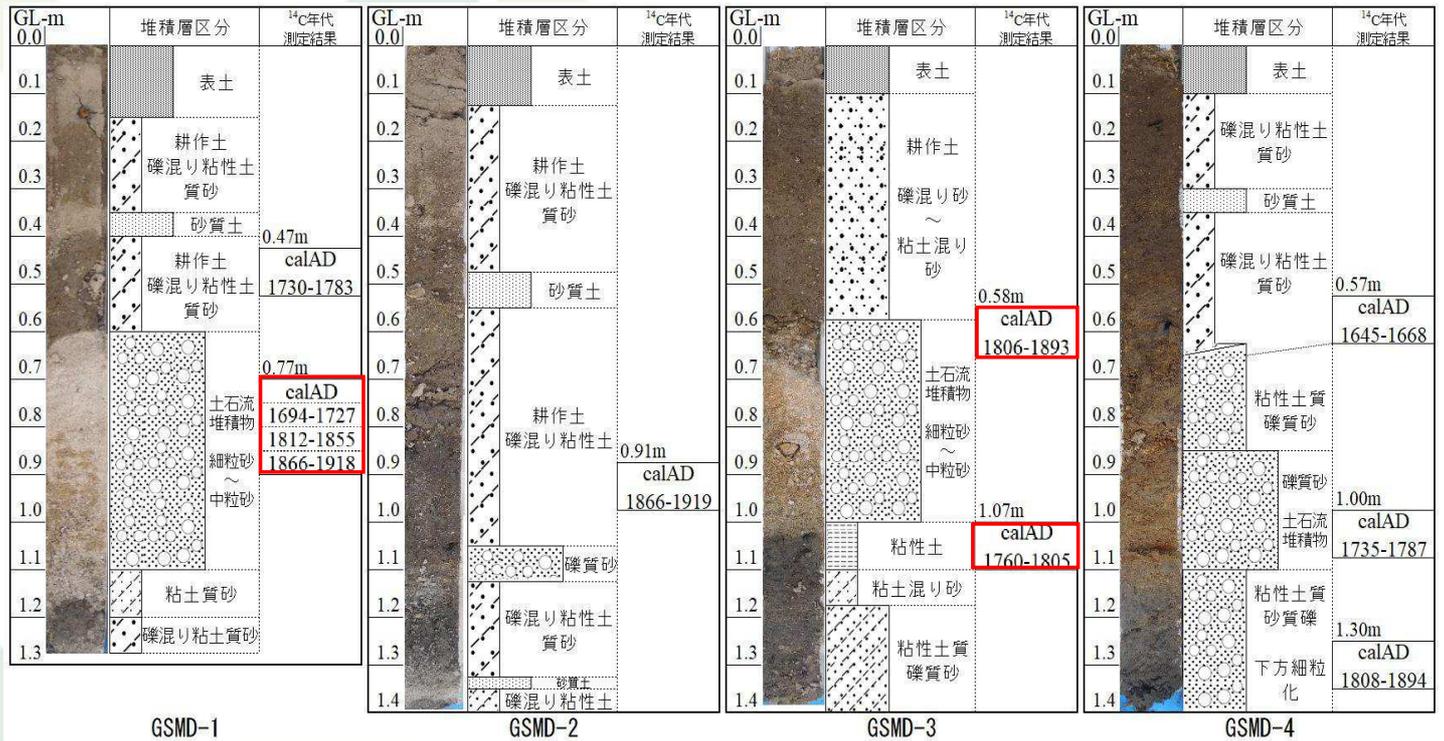


抜き取った地層から年代測定用の炭化物試料を採取する

取り出した炭化物試料

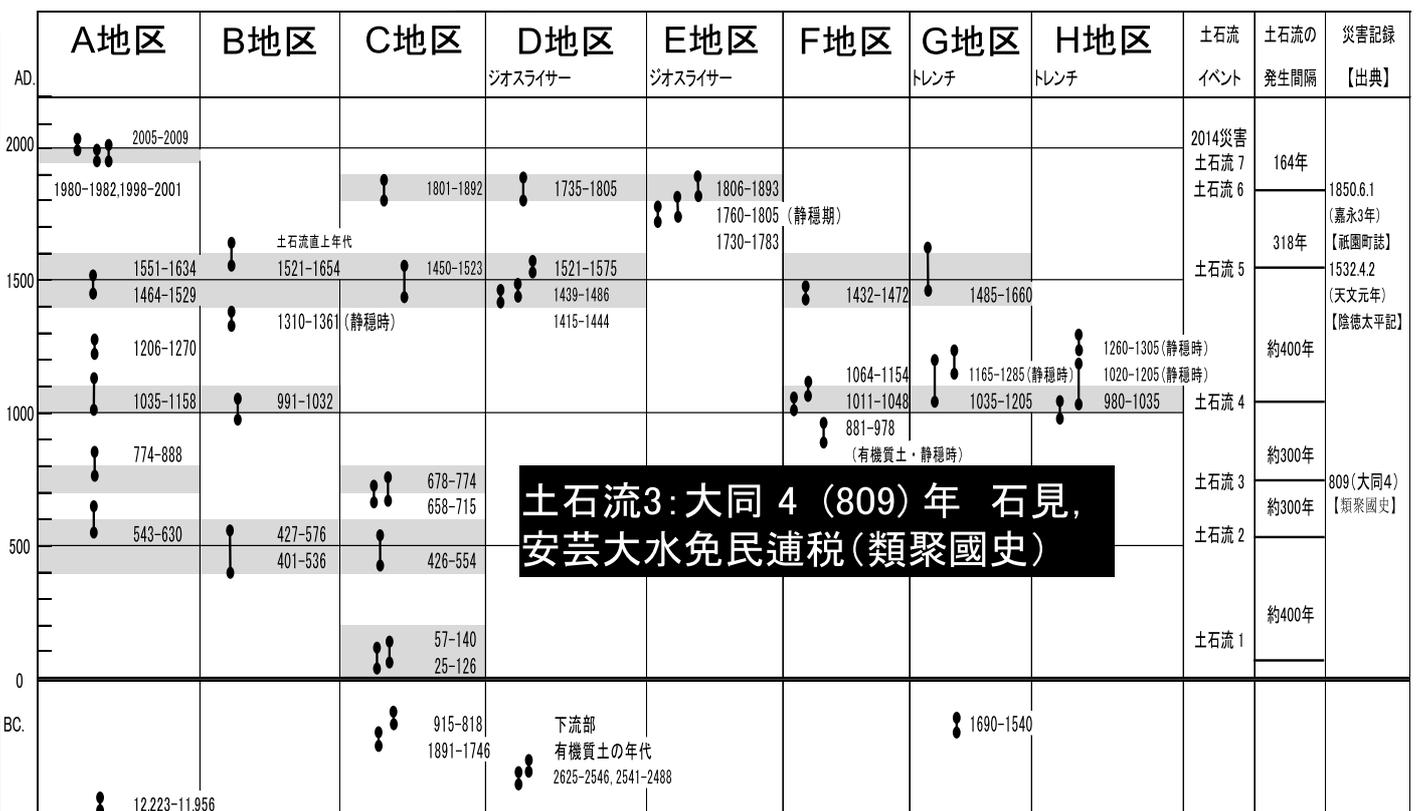


ジオスライサー試料と年代結果



土石流の発生時期: 西暦1760-1805年以降と推定

広島市周辺地区の土石流発生年表



* 黒線は試料の暦年較正年代の範囲、着色部は土石流の推定発生時期を示す

過去7回の土石流がおおよそ150~400年の間隔で発生

災害碑に基づく土砂災害頻度の推定

広島県内における水害碑の碑文資料, 藤本理志・小山耕平・熊原康博, 広島大学総合博物館研究報告, 8: 91-113, 12. 25. 2016.



経過年数	出典
164	祇園町誌
92	水害碑
111	水害碑
111	水害碑

100~150年前に発生

発生周期がわかれば、将来の災害発生確率の算定に寄与できる

地誌に基づく土砂災害頻度の推定

西本宏(元広島県): 広島大学修士論文『広島湾沿岸地域における土石流災害について~2014年広島土砂災害と大正15年豪雨災害との比較』, 平成29年7月

表-7 土石流のサイクル性について (2)

年月日	地域など 表-6 資料番号 河川名など	太田川		瀬野川		呉		大野町			廿日市町			宮島町		
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑦	⑦	⑧	⑧	⑧	⑨	⑨	⑨
1541	温品川															○
1615	榎川															
1620	矢野町															
1674-1675	奥海田村	○														
1681	仁方大津江川			○												
1704.8.23	川尻町															
1708	中山川		○													
1728.6.6~7	丸石川															
1736	毛保利川															
1738長雨	佐伯郡つえぬけ															
1804.8.29	宮内村															
1821.7.18	地御前村															
1836.6.11	紅葉谷川															
1839.6~	白糸川															
1845.8.6	大元川															
1848		9														
1850.5.26																

地誌から土石流の発生記事を抽出・整理

概ね45年~140年で発生

まとめ

1. 土石流堆積物の年代測定結果と分布状況から、土石流の時間・空間的発生分布が解明された
2. 歴史資料・既往トレンチ調査等の結果との照合から、土石流の詳細な発生時期が解明された。年表の土石流発生年代が災害記録と概ね整合した
3. 現時点のデータに限れば、土石流の発生間隔は、防府の場合約100～200年、広島の場合約150～400年と推定される

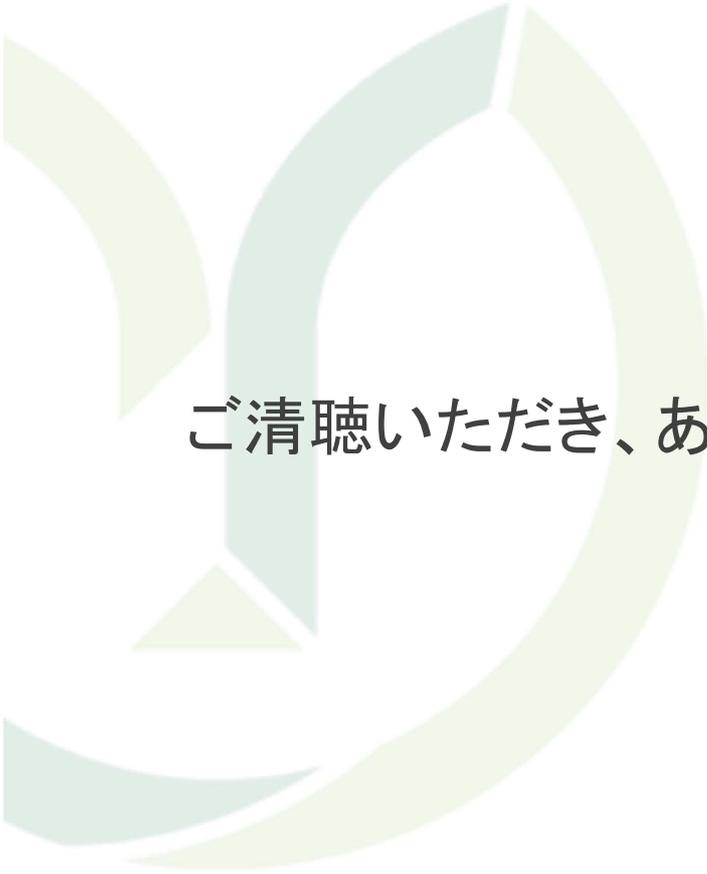
気候変動によっては、上記の数値よりも高い頻度で土石流の発生が考えられる。土石流発生の周期性は、将来の土石流発生の予測をするうえで重要な情報であり、危険溪流の被災リスクの評価や対策の優先度の検討に期待できる

41

本研究プロジェクトを支えた研究助成

- 科研費・特別研究促進費(羽田野袈裟義, 21900001)
- 科研費・基盤研究(B)(中田幸男, 22360187)
- 科研費・基盤研究(A)(三浦房紀, 24241057)
- 平成25年度山口大学「呼び水プロジェクト」(戦略的研究推進プログラム)(鈴木素之)
- 国土技術研究センター研究開発助成金(鈴木素之)
- 科研費・挑戦的萌芽(鈴木素之, 26560185)
- 科研費・特別研究促進費(山本晴彦, 2690001)
- 科研費・基盤研究(B)(鈴木素之, 15H04038)
- アジア航測・復建調査設計との共同研究(鈴木素之)
- 科研費・挑戦的研究(萌芽)(鈴木素之, 17K18954)
- 平成28年度河川財団河川基金助成事業(鈴木素之)
- 山口大学山口学研究プロジェクト(鈴木素之)
- 平成30年度河川財団河川基金助成事業(鈴木素之)
- 平成30年度中国建設弘済会技術開発支援事業(鈴木素之)
- 科研費・基盤研究(A)(鈴木素之, H00785)

42



ご清聴いただき、ありがとうございました

デジタル技術を活用したリ・スタート －熟練技術者の技術の伝承など－ Restart using digital technology

太田敬一 日本工営株式会社中央研究所
Keiichi OTA, Nippon Koei Co.,LTD. R&D Center

1. はじめに

ボーリングコアの柱状図は、地すべりの機構解析や設計を進める際の基礎的なデータの1つとして必要で重要な情報である。その柱状図は、ボーリングコアの観察者がマニュアル¹⁾等を参照し作成されるが、観察者の技量や経験値に依存する部分があると考えられる。そのため、技量や経験値が異なる若手技術者とシニア技術者が作成する柱状図には違いが生じる場合もあると想定される。

また、ボーリングコアの性状は、採取する場所や調査の目的に応じて異なり、コアを採取した地質毎の見方、柱状図の利用方法の違いによる見方などにより使い分けられていると考えられる。

ボーリングコアに対する技術者の技量や経験値の違いによる知見を抽出し、また観察対象毎の見方の違いを定量化できれば、経験値の浅い技術者がシニア技術者の技術を受け継ぐことができ、いわゆる技術伝承に役立てられる。また複数種類の観察対象毎の見方の違いの知見をデータベース化などで整理できれば、柱状図の自動作成による効率化に繋がられる可能性があると考えられる。

トビー社製のアイトラッキングデバイスは、技術伝承などを目的に開発された図1に示す眼鏡型のデバイスである。その使用例として、製造業や運送業の現場にて熟練者の視線を記録し、それを基にした教育ツールに利用されている²⁾。

そこで、今回、ボーリングコア観察時の技術者の視線をトラッキングするデバイスを用いて、ボーリングコアの観察へ試行的に利用したので、検討途中であるがその状況を報告する。その他、図2に示すHoloLensというMR技術を実現するデバイスを利用した現場とオフィスの間での遠隔支援ツールについて紹介する。若手技術者



図－1 トビー社製 Tobii Pro Glasses 2



図－2 MicroSoft 社製 HoloLens

がシニア技術者から技術指導を受ける1つのツールとして利用可能であることを示す。

2. ボーリングコアをアイトラッキングする

2. 1 ボーリングコア

観察に用いたボーリングコアは、茨城県の地すべり地にて採取したものであり、採取箇所は地すべりブロックのほぼ中央部である。地すべり調査のために採取されたボーリングコアであり、すべり面を含む全長約20mのボーリングコアである。今回、このボーリングコアを使い、入社20年近いシニア技術者と、これまでボーリングコアを見たことが無い技術者に観察を依頼し、それぞれがアイトラッキングデバイスを装着し、観察時の視線のデータを取得した。観察時の様子を図3に示す。



図-3 ボーリングコアの観察時の様子

2. 2 アイトラッキングデバイス

利用したデバイスは、トビー社製のアイトラッキングデバイス³⁾である。眼鏡型のデバイスで、図4に示すように、デバイス内に配置された複数のLEDライトで両眼の眼球を照らし、その反射光を小型の赤外線カメラで検出、解析エンジンで反射光の軌跡を分析することで、装着者の視線をトラッキングする。記録されるデータは、視線をトラッキングした動画である。

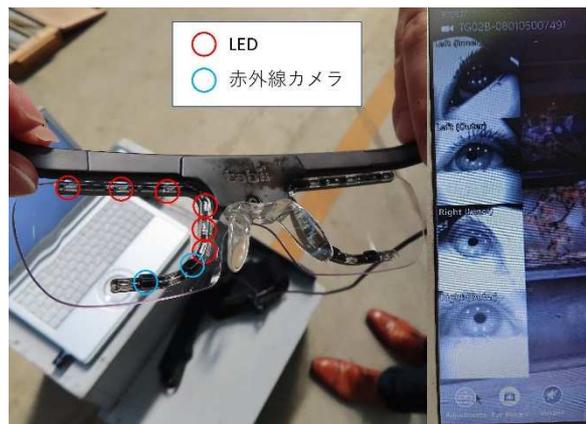


図-4 両眼を照らすLEDと赤外線カメラ

このデバイスを技術伝承に用いる場合、先ず熟練者がデバイスを装着しデータを記録し、その記録された動画を非熟練者が時系列で視聴することで、非熟練者が熟練者の手順を確認することができる。また注視した箇所を図5に示すように、ヒートマップで整理し、どこに着目したのか確認することができる。

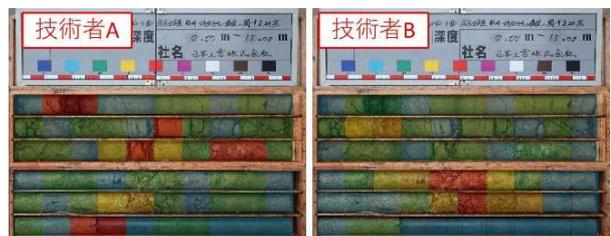


図-5 ヒートマップの作成イメージ

このデバイスで得られた動画を用いてトラッキングのデータやヒートマップを作成

すること以外の他の使い方として、トラッキング結果に基づき、被験者へのインタビューを通じ、視線を向けた理由を取得し、被験者の暗黙知を形式知にすることに利用されている。

2. 3 現時点での試行結果

シニア技術者と若手技術者にアイトラッキングを装着し、同じボーリングコアを観察した。観察の結果得られた記録した動画と、解析の結果得られた視線先のマーカー、さらにマーカー発生後、3秒間のトラッキング結果をラインで表示した結果を図6に示すように重ね合わせた。シニア技術者と若手技術者の結果を比較した結果、例えばシニア技術者は、観察開始後、先ず全体をざっと見た後、細部を見ること、若手技術者よりシニア技術者の視線のブレが小さいこと、シニア技術者は観察する際、コアの対する視線の位置がほぼ一定であることなど、動画を通じシニア技術者と若手技術者の違いを確認することができる。

またトラッキングの結果を見ながら、シニア技術者からのインタビューを通じ、今まで暗黙知であった知見を形式知にし、コアの見方の参考とする知見を得た。図7はインタビュー時の様子である。

今後、サンプル数を増やし、例えば「すべり面の検出用」や「花崗岩地帯用」など、コア観察の目的や対象毎にトラッキングの様子を整理できれば、若手技術者がコアを観察する際に参考にするコンテンツとして提供することができると考えられる。またインタビューした結果から、共通するコメントを抽出し、記録した画像データと合わせたデータ分析を行えば、コア写真から自動的にコメントや柱状図の作成を支援するような仕組みを構築することも考えられる。



図-6 視線のトラッキング状況



図-7 ヒアリングの実施状況

3. ホロレンズを用いた遠隔支援システム

3. 1 ホロレンズについて

ヘッドマウントディスプレイの1つ、マイクロソフト社の HoloLens⁴⁾はガラス型、ハンズフリー型の MR (Mixed Reality、複合現実) デバイスで、それを装着することにより、グラス越しに目の前に見える現実の風景の中に、仮想の AR (Augmented Reality、拡張現実) オブジェクトを重ねて表示する。現実空間と仮想空間を融合した世界を見

せることにより、例えば、実際の建設現場にて設計予定の土木構造物を実物大の AR で表示し、設計で想定した構造物の配置を現地で確認できるため、設計成果の妥当性を示すことに役立つことができる。

また施設点検にあたり、現地で実施した過去の点検結果を現地の風景に重ねて AR で表示しながら点検を実施すれば、タブレットや台帳を持参することなく、点検を実施することができる。

3. 2 遠隔支援システムへの利用

若手技術者の支援システムとして、HoloLens を用いた遠隔支援システムを示す。

想定するシーンとして、若手技術者が HoloLens を用いて現地へ行き、シニア技術者がオフィスで遠隔支援することを想定する。図 8 はトンネル調査や電力施設の設備点検を実施した際のもので、若手技術者は現場で HoloLens を掛けて調査し、HoloLens で撮影された映像がオフィスに居るシニア技術者のパソコンに表示されている様子を示したものである。映像と共に音声での会話ができ、オフィスに居るシニア技術者が現場の映像を見ながら、現地に居る若手技術者に指導することができる。また音声以外にペンツールが備わっており、映像を見ながら双方で現場の着目箇所をマーキングし、そのマーキングした結果を画面上で共有することができる。



図-8 トンネル調査[上]と電力施設の点検[下]における遠隔支援の実施状況

この遠隔支援システムは、マイクロソフトが提供しているアプリケーションであり、HoloLens と WiFi の通信環境があれば利用可能である。

3. 3 その他の利用方法

図 9 はトンネル内での亀裂調査を想定したもので、過去の調査結果を予め HoloLens 用のモデルデータとして配置し、図 10 に示す現地で位置合わせ用の AR マーカーを読み込むことで、実際のトンネルの内壁に調査結果を配置した事例である。HoloLens は両手が空くため、台帳やタブレットで手がふさがれないため、調査時の利便性は高い。



図-9 トンネル調査での利用

その他、昨年度末にこの AR マーカーを用いた表示を由比地すべりの深礎杭の現地へ適用、施工済みや施工中の深礎杭を現地で表示させた。図 11 はその際の表示結果を示したものである。深礎杭は施工予定箇所に配置され、施工箇所周辺の現地の様子と重ねて視聴することができるため、設計者と施工者の意思疎通に役立つこと、施工計画の一助となり、施工時の手戻り防止などに役立つと考えられる。

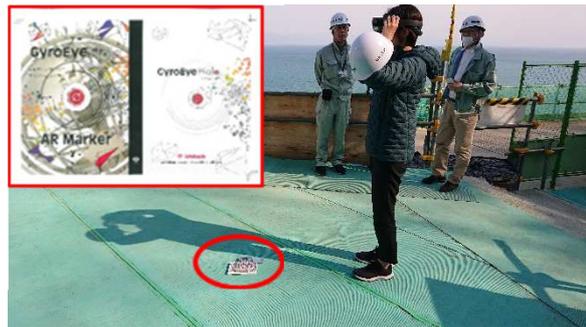


図-10 AR マーカーの配置

4. 今後の課題

アイトラッキングデバイス、HoloLens を用いて、技術伝承や遠隔支援に役立つデジタル技術を紹介した。このような技術を活用することで、地すべりの調査や防災技術のレベルアップに役立つものと考えられる。またこれらの技術を利用することで、これまで気付いていなかった新たな洞察を得る契機となり、より付加価値のある研究や業務に役立つものと考えられ、皆様の積極的な利活用を期待したい。



図-11 現地での深礎杭の表示

参考文献

- 1)ボーリング柱状図作成及びボーリングコア取扱い・保管 要領 案 ・同 解説、平成 27 年 6 月、一般社団法人全国地質調査業協会連合会 社会基盤情報標準化委員会
- 2)「百聞は一見にしかず（技能伝承）」 https://www.tobiipro.com/ja/fields-of-use/skills_transfer/
- 3)「TobiPro 製品紹介」 <https://www.tobiipro.com/ja/product-listing/>
- 4)「ビジネスに対応した Mixed Reality」 <https://www.microsoft.com/ja-jp/hololens>

地すべりの予測技術のリ・スタート
- 斜面災害軽減のための危険度評価の取り組み -

Restart of a prediction technology for landslides

- Effort of landslide susceptibility mapping for disaster risk reduction-

林 一成（奥山ボーリング株式会社）

Kazunori HAYASHI (OKUYAMA BORING Co., LTD.)

1. はじめに

一般に、「災害の予測」といった場合、時間（いつ起こるのか？）と場所（どこで起こるのか？）の2つの視点がある。土砂災害の予測に関しては、現状、土砂災害警戒情報や土砂災害警戒区域が運用されている。ただし、土砂災害警戒情報では、降雨指標との相関が比較的良いがけ崩れや土石流が対象となっており、（狭義の）地すべりは対象外である。これは、地下水等が関与する地すべりやすべり面の比較的深い崩壊の誘因は複雑で、動態観測を行っている場合を除くと、その発生時間が予測しにくいためであると考えられる。

このため、これまで地すべりの危険度予測は、地形や地質などの素因による「場所の評価（どこでより起こりやすいのか?）」が中心となっている。これらの先駆的な取り組みとしては、空中写真判読による地すべり地形の認定や、斜面の地形発達における地すべり地形の理解、それらを応用した地すべり地形の危険度評価が挙げられる。あるいは、近年は数値地形データの整備やその処理技術が発達したことから、斜面の不安定化要因を空間データとして分析することで、相対的に不安定な斜面を抽出しようとするような取り組みもみられるようになった。ここでは、このような斜面変動の発生場の危険度評価について、特に分析に用いる要因データの重要性について紹介したい。本シンポジウムにおける議論の一助となれば幸いである。

2. 地形・地質などの要因を用いた危険度評価

一般に、地すべりや斜面崩壊に関する要因データを用いた斜面の危険度評価は、以下のような手順で検討される（図-1）。

- ① 地形量、地質区分、植生、土地利用、降水量、震度・・・など、地すべりや斜面崩壊の発生と関連のある素因・誘因のデータ

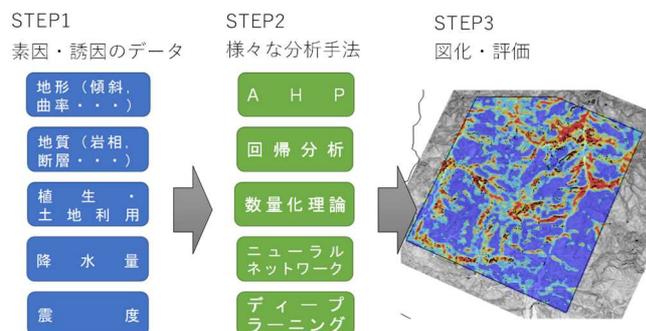


図-1 典型的な斜面の危険度評価の一例

を準備する。

- ② AHP、回帰分析、数量化理論、ニューラルネットワーク、ディープラーニング・・・などの分析手法をもちいて、要因データと斜面変動の発生との関係を、実際の発生場を教師データとして分析する。
- ③ 分析により検討した危険度評価モデルを使って、評価結果を図化し、ハザードマップ等として提示する。

このようなパターンの分析は、特に GIS が普及して大量の空間データを統計的に処理する環境が整ったため、2000 年代以降に各地で多くの研究事例が報告されるようになった。

一方で、このような危険度評価モデルの前提となるのは「教師データに用いた斜面変動の発生と要因データとの関係」であるため、この前提が崩れると適切な評価が出来なくなる。例えば、ある場所のあるイベント（集中豪雨や大きな地震）で発生した斜面変動を教師データとして構築したモデルを、別の場所に適用しても良い結果が得られない…というようなことがしばしば起こる。これは、地すべりや斜面崩壊の発生様式やメカニズムが、その場所の地形や地質条件を反映したものであることによると思われる。また、同じ場所であっても、表層崩壊を教師データとして作ったモデルを地すべり（深層すべり）に適用するとうまくいかない…といったケースもみられる。

すなわち、斜面の危険度評価にあたっては、対象とする現象の発生様式やメカニズムを踏まえた、適切な要因データを考えることが重要であるといえる。さらに言えば、斜面変動の発生に寄与する要因を適切に表現できる指標を要因データとして用いれば、比較的簡易な分析手法であっても、ある程度精度の良い危険度評価モデルを構築できるのではないかと考えられる。

3. 要因データを工夫した検討事例

以上の観点から、様々な条件で発生する斜面変動を考慮して、要因データを工夫した事例をいくつか紹介したい。

3. 1 堆積岩地域の層理に規制されたすべり

阿部・林（2011）は地震時に発生した斜面変動の事例を整理して、地形・地質条件に基づく斜面変動の発生様式の類型化を行い、第三紀層の堆積岩地域では、基岩の堆積構造に規制された並進性のすべりが、比較的規模の大きな地すべりとして発生していることを示した。2004 年新潟県中越地震においても、河道閉塞を生じるような大規模な地すべりは、層理面に沿った流れ盤の地すべりであった。

このような地すべりの発生要因を指標化するために、地層の走向・傾斜と、それによる個々の斜面の傾斜方向における地層の見かけの傾斜（≒地質構造に規制されるすべ

り面の傾斜と近似) を数値化することを試みた。幸い中越地域では 5 万分の 1 の地質図から均一で高密度な走向・傾斜のデータが得られることから、これらを GIS 上でデジタル化し、内挿補間 (ここでは線形補間) 処理を行うことで、地層の走向および傾斜のメッシュデータを作成した。次に、個々の斜面において、「地層の傾斜角 (α)」と「斜面と地層の傾斜方向の差 (β)」を用いて、「斜面の傾斜方向における地層の見かけの傾斜角 (γ)」を算出した (図-2)。中越地震時に発生した地すべり (八木ほか (2004) による「深層すべり」) が発生した斜面の地層の見かけの傾斜 (γ) と、発生した地すべりの規模との関係を示したのが図-2 である。規模の大きい (面積が 10^4m^2 (1ha) 以上の) 地すべりは地層の見かけの傾斜 (γ) が $0^\circ \sim 40^\circ$ 程度の流れ盤斜面で発生していることが表現されている。

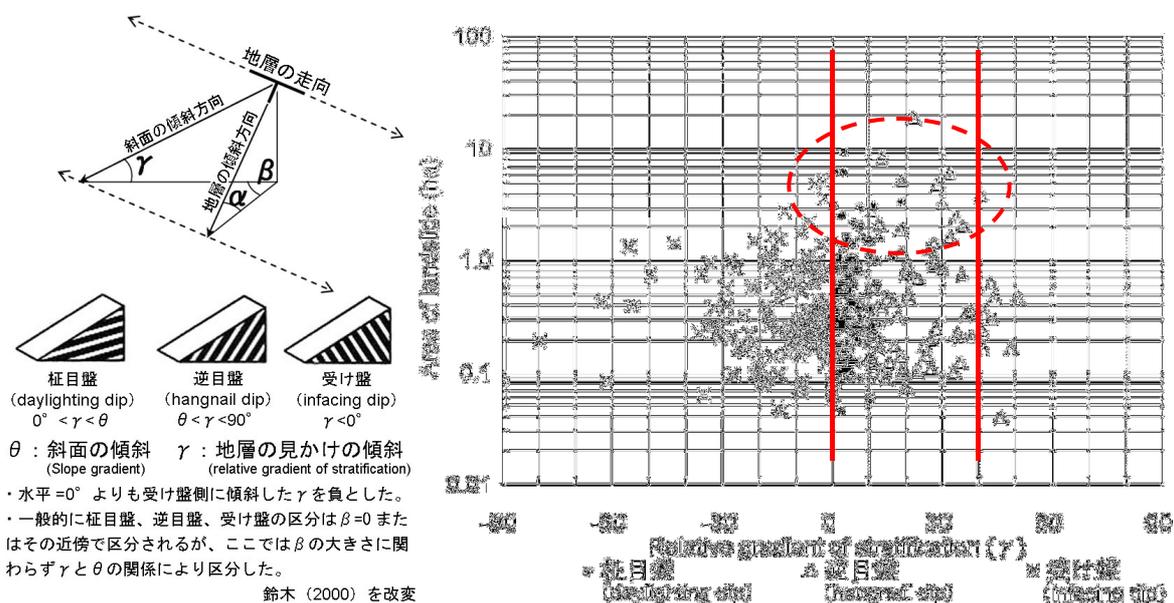


図-2 中越地震時に発生した地すべりの面積と地層の見かけの傾斜角 (γ) の関係 (林ほか, 2011)

3. 2 高起伏山地における重力性山体変形の定量的評価の試み

古第三系やそれ以前の中古生層分布域の高起伏山地では、尾根付近に二重山稜や多重山稜とよばれる小崖地形が分布しており、重力性山体変形の指標として注目されている。大規模な崩壊が発生する前の地形を詳細に観察した結果、これらの地形が観察されるといった事例も報告されている (千木良ほか, 2012)。このような変形がある閾値に達したときに、大規模な地震や豪雨をきっかけとして、崩壊が発生すると考えられる。

危険度評価の視点からは、このような変形状態を定量的に表す指標を考えることが重要である。ここでは、図-3 に示す方法で格子状のDEM から重力性山体変形の指標 (Bell-shape index ; BSI) を求めた事例を紹介したい。BSIは、任意の検索半径 L に含まれる山体の脚部から尾根までの起伏 (H) を持つの斜面において、「断面形状が直線であると仮定した状態から実際の地形がどのくらい膨らんでいるか」を断面積の比で表したものである。

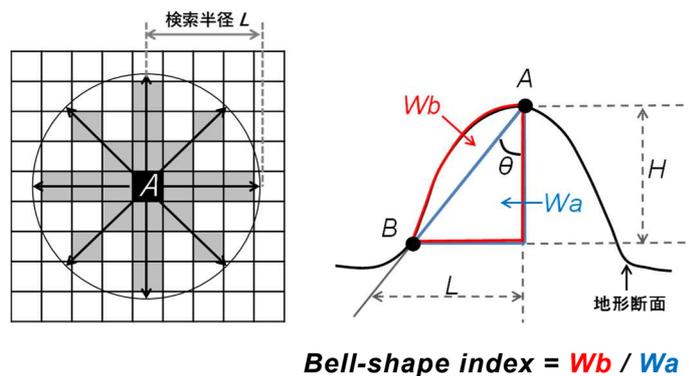


図-3 DEM から求める重力性山体変形の指標 (林・八木、2015)

実際に崩壊が発生した斜面の元地形で BSI を試算したところ、尾根付近の小崖地形が観察される範囲が BSI の高い範囲として抽出され、平均値は 1.12、最大値は 1.25 の値が得られた (図-4)。

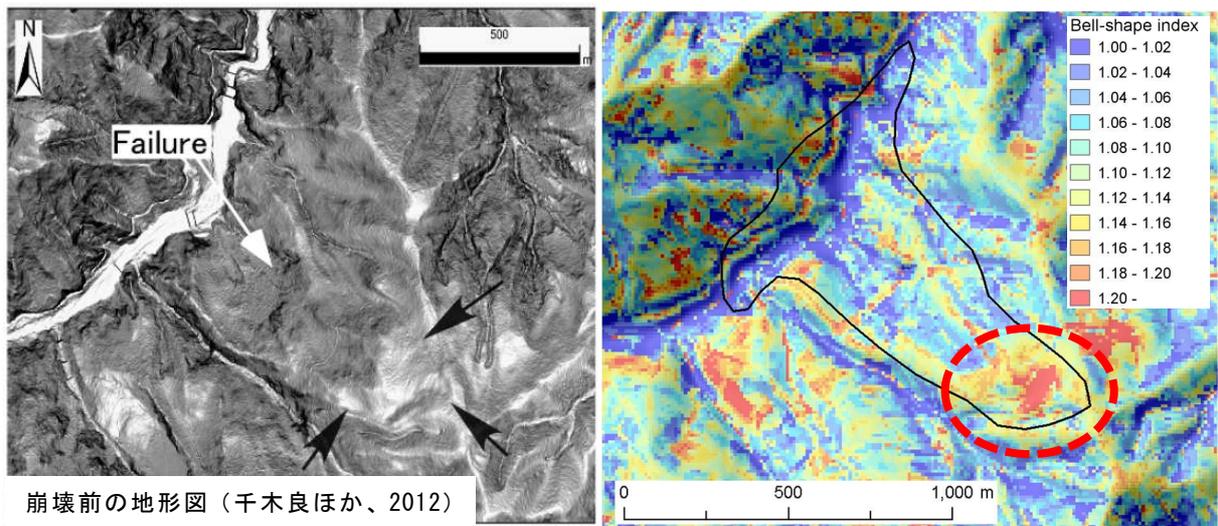


図-4 崩壊前地形における BSI の試算例 (林・八木、2015)

3. 3 火山地域における未固結な堆積物斜面の抽出

未固結な火山噴出物が斜面表層を被覆するような地域において、豪雨や地震時に流動性の高い長距離移動を伴う崩壊が発生することがある。このような崩壊は比較的緩傾斜な斜面や、明瞭な谷地形が発達していない未開析な斜面で発生することが多いため、土砂災害防止法における警戒区域からも漏れているケースもある。このような場所を抽出・指標化するためには、崩壊源となる物質 (未固結な火山噴出物) が斜面中に残存している箇所を上手く表現する方法を考える必要があると思われる。

ここでは、DEM から求められる接峰面標高と現地形標高との差分を「推定侵食高」として用いる方法を試みた（図 - 5）。これにより、図 - 6 に示した推定侵食高の大きい（赤色）箇所は谷地形の発達した部分を、推定侵食高の小さい（青色）箇所は尾根や直線的な断面形状を示す斜面を表している。一方で、中間的な値（黄色～緑色）を示す箇所は、やや凹地状の地形を示すものの周辺と比較してそれほど侵食が進んでいない緩やかな谷地形に該当する部分であり、ここで実際に流動性の高い崩壊が発生している。

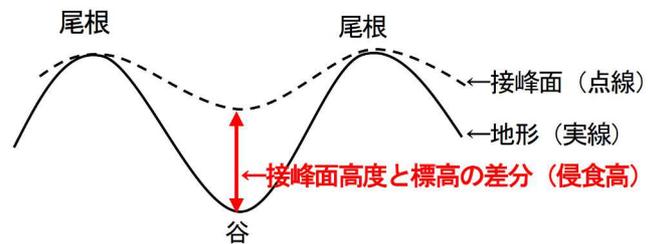


図 - 5 接峰面による推定侵食高の概念図

図 - 6 崩壊地周辺における推定侵食高の試算例（林・井良沢、2017）

3. 4 0次谷や谷中谷の境界である遷急線

このほか、「次の崩壊」の発生源として集水地形の源頭部である0次谷、あるいは侵食が進んだ谷地形に沿って連続する谷中谷の境界部にあたる遷急線が、崩壊発生 of 地形要因の一つとされることから、これらの抽出・指標化の試みを検討中である。

試行した結果の一部を図 - 7 に示す。傾斜や曲率等の地形量だけでは表現できない集水地形内部の遷急線（0次谷の境界）を抽出することができる。今後崩壊地との対比などを検討していきたい。

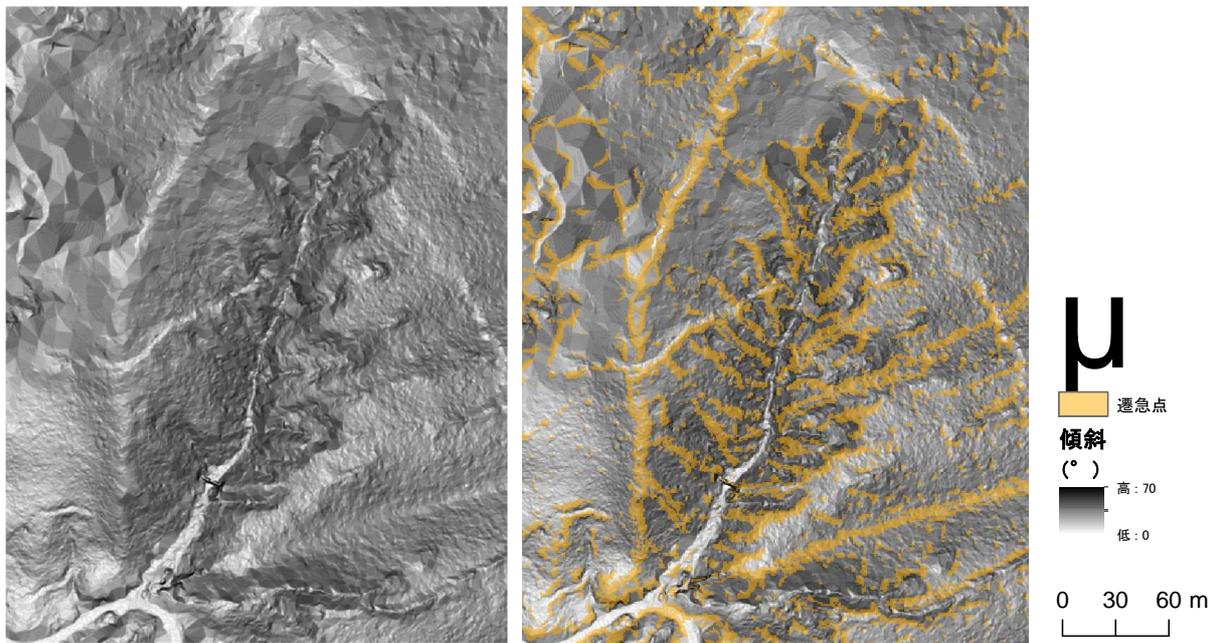


図-7 DEM による集水地形内部の遷急線の抽出例

4. まとめ

土砂災害、特に深い崩壊や地すべりの発生様式は、地域の地形や地質条件を反映している。精度の良い危険度評価のためには、「実際に地すべりや崩壊の発生に寄与する要因をいかに表現できる指標をつくれるか？」がカギとなると考えて、要因データを工夫した検討事例を示した。斜面の危険度評価にあたっては、予測される斜面変動のタイプやその背景となる地域の地形や地質を反映した適切な要因データを用いることが重要である。

参考文献

- 阿部真郎、林一成．2011．近年の大規模地震に伴う地震地すべりの運動形態と地形・地質的発生の場合．日本地すべり学会誌．Vol.48, No.1, pp.52-61.
- 千木良雅弘、松四雄騎、ツォウチンイン、平石成美、松澤真、松浦純生．2012．2011年台風12号による深層崩壊、京都大学防災研究所年報、No.55A, pp.193-211.
- 林一成、井良沢道也、2017．火山地域における未開析斜面抽出のための地形解析．第66回平成29年度砂防学会研究発表会概要集．pp.414-415.
- 林一成、若井明彦、田中頼博、阿部真郎．2011．地形・地質解析と有限要素解析の連携による地震時の地すべり危険度評価手法．日本地すべり学会誌．Vol.48, No.1, pp.1-11.
- 林一成、八木浩司．2015．地形量計測に基づく重力性山体変形の定量的評価の試み．第7回 GIS-Landslide 研究集会講演集．pp.87-97.



日本地すべり学会関西支部シンポジウム
「地すべり研究のリ・スタート」

従来研究からのリ・スタート

— 新たな研究要素の発掘による地すべり研究の新展開 —

松浦純生

本日の内容

1. はじめに
2. 地震時における地すべりの流動化
3. 積雪が地すべり変位に及ぼす影響
4. 海象条件と汀線接続斜面での地すべり
5. 高時間分解能・高分解能観測のすすめ
6. おわりに

■リ・ボーンするため、リ・スタートしよう

Realignment : 再編

Reborn : 生まれ変わり、再生、復活

Reexamination : 再検討

Reform : 改革

Regeneration : 再生

Renewal : 刷新

Restart : 再起動、再出発

Restoration : 回復、変革 → Meiji Restoration

Review : 再調査

Revolution : 大変革、革命

Reborn するためには？

Review → Restart → Renewal → Reborn

■ 総説(2021~2006)

総説とは:

地すべりにおける特定の研究課題や分野に対し、これまでの研究成果を整理し評価するとともに、研究が不足している領域を抽出し、今後の研究方向や研究シーズを提示するもの。

- 中村真也(2017): すべり面研究の最近の動向、54(2)、37-45.
- 若井明彦, 吉松 弘行(2013): 地すべりを再現するための数値解析手法の現状、50(1)、7-17 .
- 松浦純生(2012): 斜面変動場における地下水文・水理学の進展と今後の課題、49(3)、95-105 .
- 上野将司, 中里裕臣(2012): 地すべり調査・観測の進展と展望、49(1)、1-11 .
- 千木良雅弘(2011): 日本の地すべり研究の発展と未来 (地質・地形)、48(5)、243-250 .
- 山崎孝成(2011): すべり面の構造とせん断強度研究の現状と課題、48(3)、125-138 .
- 鵜飼恵三(2011): 学会誌200号発行を記念して、48(2)、75-80 .
- STROM, Alexander (2010): Landslide dams in Central Asia region、47(6)、309-324 .

(日本地すべり学会誌に掲載された総説)

■ 論説(2021～2006)

論説とは:

すべりにおける特定の話題について、技術的な進捗や社会的な背景などをもとに、問題点を論じたり理念などを提案するもの。

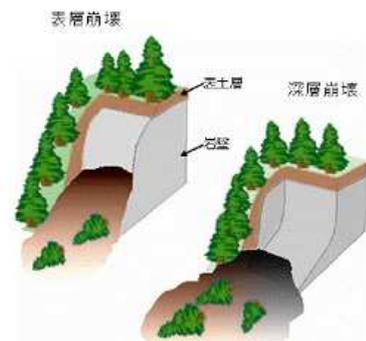
- 川邊 洋(2019):新潟地域における地すべり発生要因の多様性、日本地すべり学会誌、56(3)、101-103 .
- 笹本正治(2018):伝説と土石流災害ー伝承から災害地を考える、55(6)、273-281 .
- 廣田清治(2018):歴史的砂防堰堤を活かした斜面維持管理の活動ー福山市堂々川砂留の例ー、55(6)、282-285 .
- 菊池 聡(2018):災害における認知バイアスをどうとらえるか、ー認知心理学の知見を防災減災に応用するー、55(6)、286-292 .
- 中村二三雄(2014):地すべりの対策技術の変遷と課題、51(2)、37-40 .
- 前田寛之(2014):基岩地質に基づく新たな地すべり分類の提案、51(1)、1-4 .
- 前田寛之(2013):地すべり移動体構成物質区分に基づく新たな地すべり分類の提案、50(6)、253-255 .
- 横山俊治(2013):なぜ、西南日本外帯で降雨時あるいは地震時に深層崩壊が多発するか?、50(1)、1-6 .
- 榎田充哉(2012):斜面防災分野の学術論文に蔓延する不思議な数学、49(3)、106-108 .
- 古谷 尊彦(2009):大規模地震と地すべり、45(6)、413-417 .
- 川上 浩(2009):地すべり地における地下水の挙動、45(5)、351-357 .

(日本地すべり学会誌に掲載された論説)

■ 一般的な表層崩壊と深層崩壊の定義

	表層崩壊	深層崩壊
現象	斜面基盤層の上部に堆積した、もしくは基盤層が風化して形成された表土層が、基岩との境界で崩壊する現象	一般的に、斜面基盤層の内部に形成された弱面を境界として崩壊する現象
地質条件	特定の基盤地質との関係は少なく、どのような地質条件でも発生する	付加体や火山体周辺地域など地質条件との関係が深い

- ◆風化残積土:岩石がそのままの位置で風化し堆積
- ◆運(堆)積土:
 - 水積土:水によって運搬され堆積したもの
 - 河成土:河川の流水によって運搬・堆積
 - 海成土:海流等によって運搬・堆積
 - 湖成土:湖などで堆積したもの
 - 風積土:レスと呼ばれ日本の山地に広く分布
 - 崩積土:重力によるもの。崩壊や地すべりなどにより堆積
- ◆火山性土:降下火山砕屑物である軽石、スコリアなどを含む



■これも表層崩壊？

- しかし、従来の定義に当てはまらない事例も散見される。
- 一般的に基盤地質に影響を受けないとされるが、実際は基盤地質に大きな影響を受けると考えられる。



豪雨によって発生した深さ5mの「表層崩壊」
(福岡県朝倉市黒川地区)



豪雨によって風化岩盤表層部で発生した「表層崩壊」
(北海道礼文町元地地区)

九州北部豪雨災害(平29(2017)年)では、多数の崩壊が発生したが、深成岩類である花崗閃緑岩地帯では、風化残積土が深部まで発達したため、5m以上の深さを持つ「表層崩壊」が発生した。これらの崩壊面は、マサ土とサプロライトのそれぞれの層内と境界部分、サプロライトと基岩の境界部分などで発生。

平成26(2014)年8月の豪雨により、礼文島では多数の崩壊が発生した。その中に、桃岩で「表層崩壊」が起こった。桃岩は新第三紀中新世にデイサイトマグマが貫入してできた巨大な岩塊。

■地震時に発生する流れる地すべり



地震によって発生した流れる地すべり
(長野県王滝村御嶽高原)



熊本地震
(平成28(2016)年4月)

長野県西部地震
(昭和59(1984)年9月)

2. 地震時における地すべりの流動化



地震によって長距離にわたり移動した地すべり
(熊本県阿蘇市)



北海道胆振東部地震 移動体が流動化した地すべり
(平成30(2018)年9月) (北海道厚真町)

2. 地震時における地すべりの流動化

■地震時の間隙水圧の応答

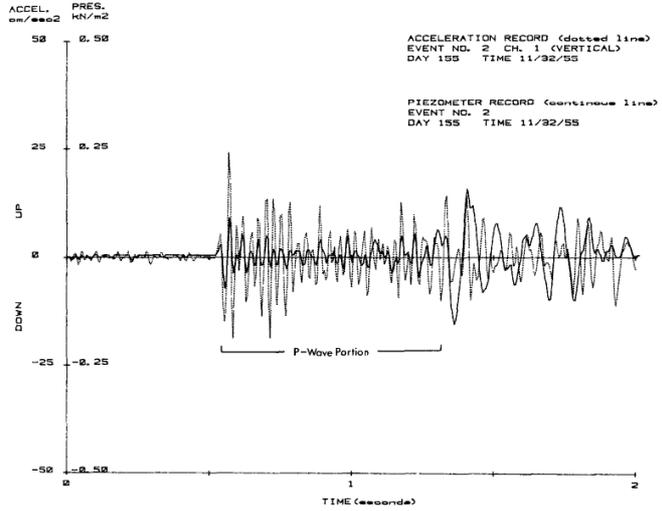


Convict 湖沿岸に発生した亀裂と側方流動
(Harp et al., 1984)

地震等の外力によって埋め立て地盤だけでなく自然斜面でも過剰間隙水圧が発生することが、Harp et al.(1984)によって報告される。

Harpらは1980年に発生した地震に伴い、マンモスレイク市にあるConvict Lakeの砂質地盤で発生した過剰間隙水圧の観測に成功した。

- 弾性歪みに伴う間隙の体積変化
- 固体と液体の振動の位相差
- 土粒子の配列の変化
- 土粒子構造の破壊
- 間隙水の流動
- その他



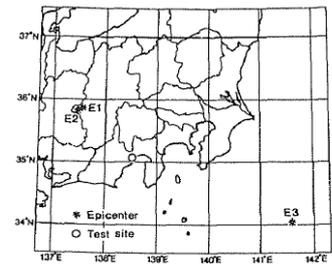
観測された地震加速度と間隙水圧
(Harp et al., 1984)

2. 地震時における地すべりの流動化

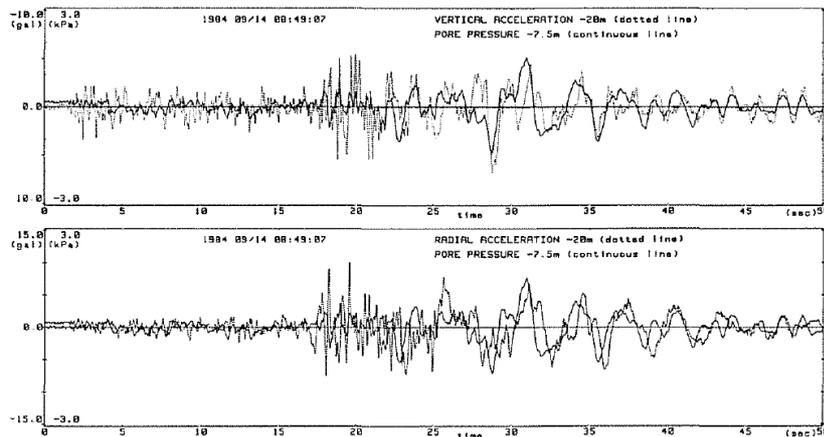
■地震時の間隙水圧の応答

日本でも1984年9月14日の長野県西部地震の本震等によって、静岡県に位置する地すべり地で間隙水圧の動的観測に成功した。

弾性歪みに伴う間隙の体積変化？



観測地点と震央 (落合他、1989)



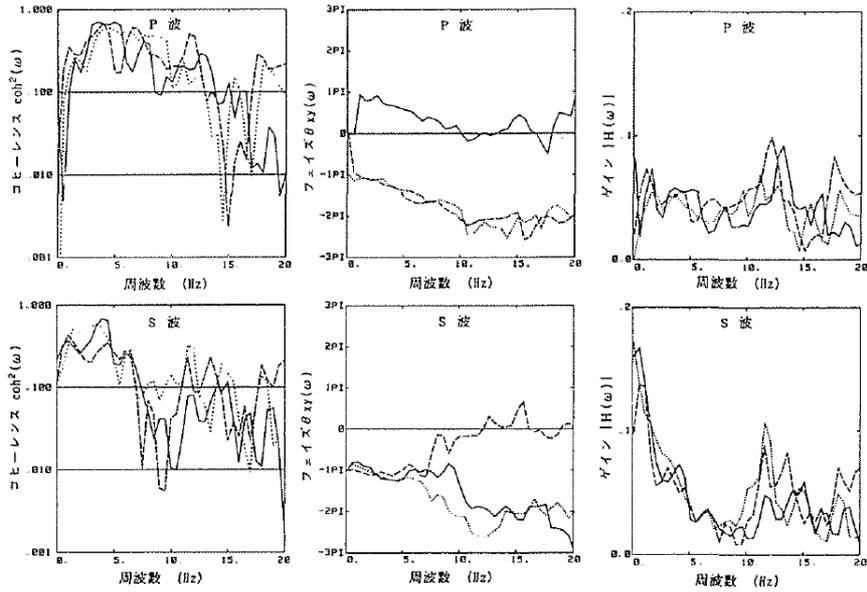
地震加速度の垂直成分、水平成分と間隙水圧の波形 (落合他、1989)



凡例
 ① 東名高速道路
 ② 国道1号
 ③ 東海新幹線
 ④ 静岡県本線
 ⑤ 林野庁直轄 由比地区地すべり防止区域

静岡県由比地すべり (東京営林局、1995)

■地震時の間隙水圧の応答

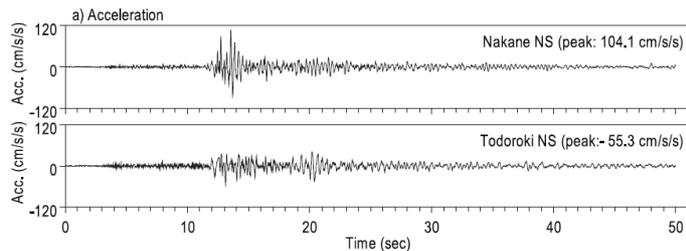


地震加速度の垂直成分、水平成分と間隙水圧のコヒーレンス、フェイズ、ゲイン (落合他、1989)

間隙水圧は地震加速度の垂直成分との間で、特に10Hz以下の領域では線形に近い関係が得られた。

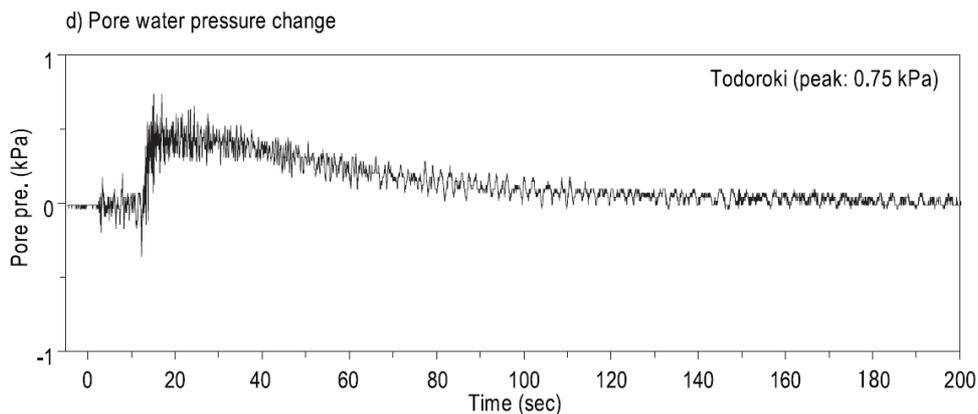
■地震時における過剰間隙水圧の生成

谷埋め盛土での強震動観測によると、地震動卓越周期は基盤上の被覆層全体の厚さに強く影響される。一方、増幅特性は極表層の地盤構造(谷埋め)に大きく支配される。



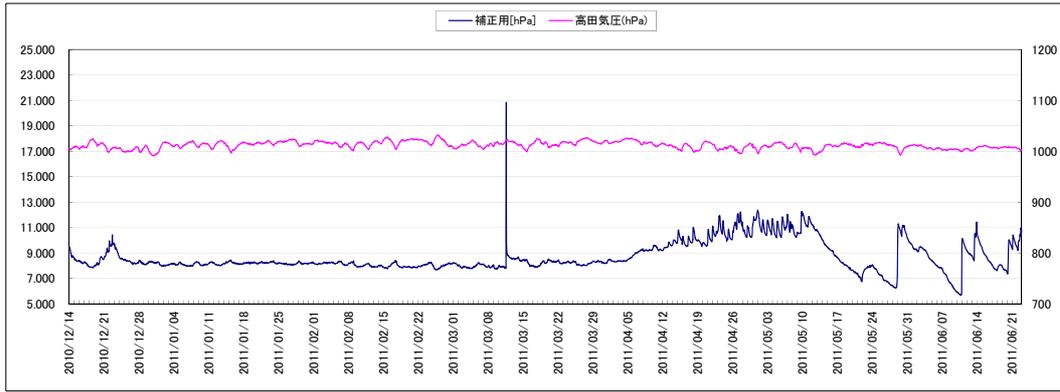
千葉県北西部地震 (M6. 0) で観測された地震加速度 (釜井ほか、2011)

土構造の破壊による過剰間隙水圧の発生

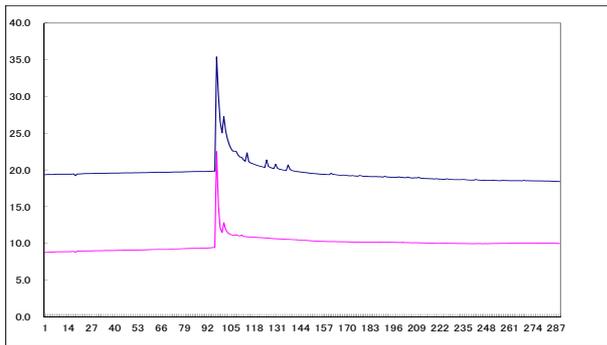


千葉県北西部地震で観測された過剰間隙水圧 (釜井、2011)

■地震時における過剰間隙水圧の生成



中山間地帯に位置する再活動型地すべり地での間隙水圧の連続観測



長野県北部地震で観測された過剰間隙水圧の発生と消散

長野県北部地震(2011年3月12日、3時59分頃、M6.7)によって再活動型地すべり地で非線形な間隙水圧の応答が観測され(最大13~15kPa)、約7時間で消散した。ただし、計測間隔が10分なので、地震動との詳細な関係は不明。

■移動体が流動化し、長距離にわたって流下する条件

- 速度の早い変位
- 移動体の著しい変形
- 移動時の大きな振動(縦断勾配の変化など)
- 大きな外力(地震加速度等)
- 豊富な地下水と過剰間隙水圧
- 応力履歴の少ない未固結な地盤
 - 火山性堆積物
 - 溪床堆積物
 - 谷埋め盛土



地すべり地に残された風化軽石層

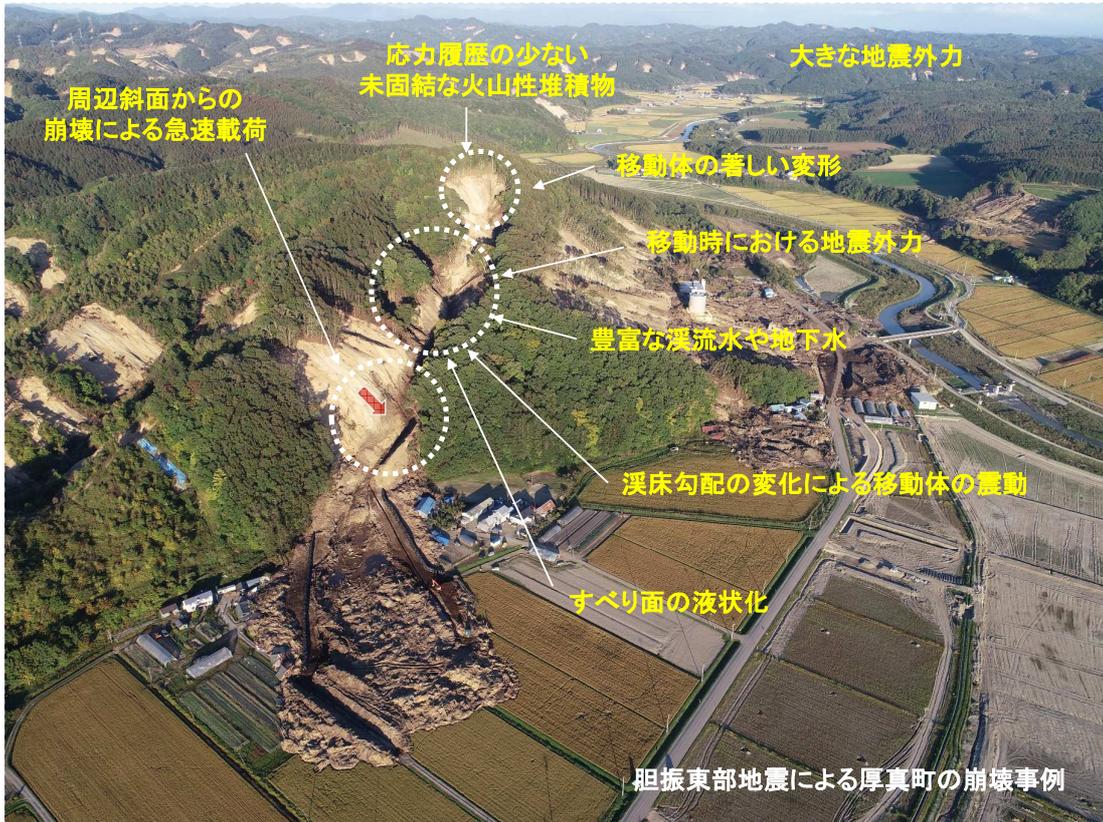
- 比較的均等な粒度分布
- すべり面の液状化

地すべりが移動した場合、すべり面付近にある土粒子が破碎され、過剰間隙が発生することが実験などによって確かめられている。移動体距離は累積した過剰間隙水圧と深い関係があり、そのためには間隙水圧の生成と消散が重要。
- 移動体下部地盤の液状化

移動体が通過することによって、下部地盤が急速載荷された状態になり、過剰間隙水圧が発生し、長距離移動に関与。

2. 地震時における地すべりの流動化

■移動体が流動化し、長距離にわたって流下する条件



2. 地震時における地すべりの流動化

■ただし、地下水が関与していないと思われる事例もある。。。



崩壊源と流送および堆積域(2008年6月20日撮影)



崩壊源の状況 (宮城県栗原市清水山地区)

風化溶結凝灰岩地帯での崩壊が発生し、長距離にわたり流下。地下水が関与した可能性は低い。発生メカニズムだけでなく、一旦地山から分離した移動体の流送距離や拡散範囲に関する地震動の関与も重要。

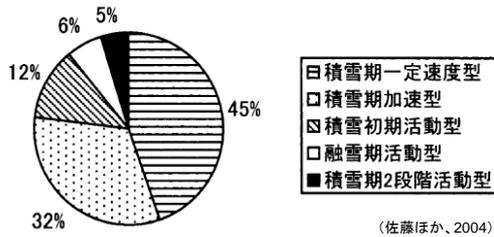
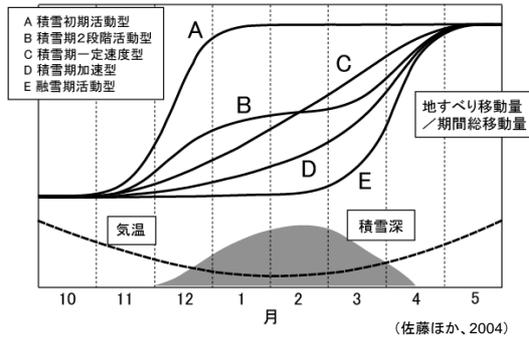


堆積域の縁端の状況

3. 積雪が地すべり変位に及ぼす影響

■積雪地帯の地すべり変位は複雑

地すべり Landslide



積雪期における各変動パターン割合
The percentage of the occurrence of landslide and the beginning of movement, each month.



融雪期に発生した地すべり (新潟県提供)
(新潟県上越市国川地区)



寒冬多雪年の最寒期に発生した地すべり (新潟県提供)
(新潟県長岡市上馬場地区)

3. 積雪が地すべり変位に及ぼす影響

■さまざまな要因の可能性が

積雪層が斜面変動(地すべり)に及ぼす効果 Effects of snowpack on landslide

■物理的性質

- 質量(積雪相当水量としての)
- 質量(荷重としての)
- 断熱作用

■力学的性質

- せん断強度
- 引張り強さ

■熱的性質

- 低温の融雪水

■移動と変形特性

- グライド作用

積雪地帯における多様な地すべり地での変位量の観測結果を類型化した研究によると、積雪期以前から活動し積雪期になると沈静化するものや、積雪深の増加とともに地すべり活動が活発化するものなど、多様な変動パターンがあることが分かっている。

したがって、積雪層は荷重や融雪水の供給源としての役割だけでなく、積雪層の多様な性質によって、地すべりに複雑な影響をもたらすと考えられる。

積雪層に外力が加わる場合、その働き方によって粉粒体、粘性体、弾性体、塑性体の性質が現れる特徴をもつ。繰り返しの降雪により積雪層となった場合は、集合体として外力に対しさまざまな挙動を示す。

例えば、速いが小さい力に対しては弾性体のように挙動するものの、速度が遅く大きな応力が働くと粘性的に振る舞うことがある。このため、地表面に変位が生じて、積雪層表層に亀裂等が出現しない場合がある。

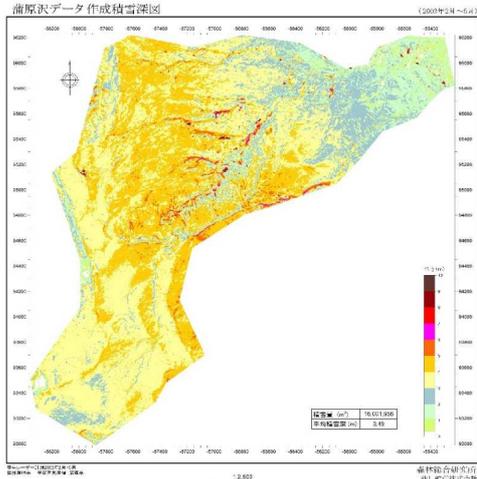
このような積雪層の性質が積雪期間における地すべり変位を覆い隠す結果となり、地すべりの発見を遅らせている場合もあると考えられる。

3. 積雪が地すべり変位に及ぼす影響

■しかし、その前に

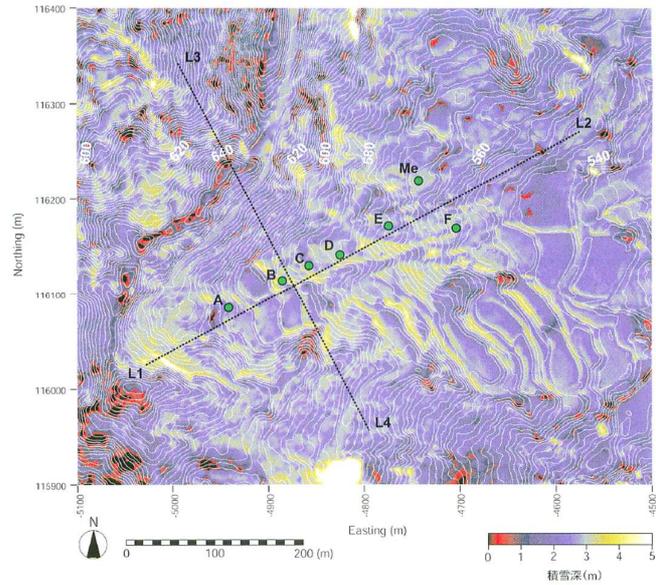
山間地における積雪の分布を把握するのは困難

積雪は削剥と再堆積を繰り返すため(再移動)、積雪層厚の分布は変化し、斜面では大きく偏在する。頭部陥没帯に堆積すれば頭部載荷に、末端部に厚く堆積すれば、押さえ盛土としての効果を発揮。



(森林総合研究所, 2004)

山地流域における積雪深分布



(岡本ほか, 2004)

航空レーザー測量を用いた地すべり地での積雪深分布
Distribution of snow depth determined by airborne laser scanner
(LiDAR : Light Detection and Ranging)

3. 積雪が地すべり変位に及ぼす影響

■意外と難しい融雪予測

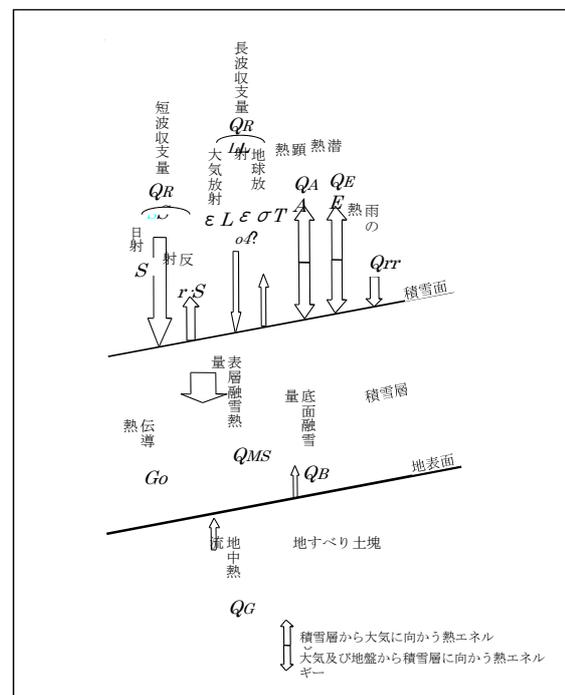
融雪の大部分は積雪表層で発生する。したがって、表層の融雪量を正確に推定することが重要。

融雪予測法としては、積算暖度法、積雪面低下法、熱収支法などがある。

→それぞれ長短有り

積雪期間中の豪雨やフェーンなどの強風による融雪メカニズムは未解明な部分が多い。

さらに、地表面の状態によっても融雪水量は大きく変化する。



積雪層における熱エネルギー収支
Snowmelt and snowpack energy balance

3. 積雪が地すべり変位に及ぼす影響

■意外と難しい融雪予測

しかし...

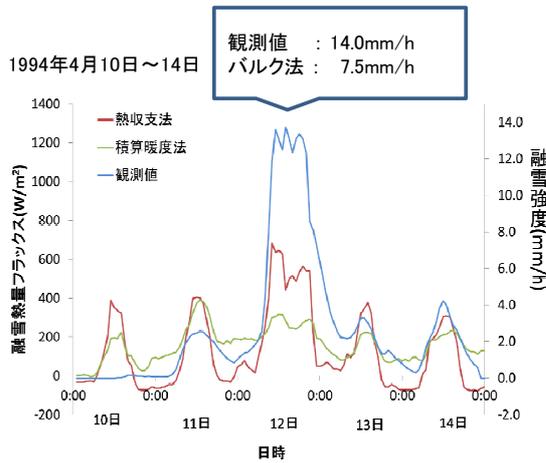
フェーンなどによる強風時の融雪については、降雨と比較して発生頻度が低い上に、風で急激に雪が融けるといったことが、必ずしも流域内の住民に共有されていない。

→災害発生に対する警戒心が薄くなる。



(新潟県砂防課)

融雪期に発生した地すべり(国川地すべり)
平成24(2012)年3月発生



現場の観測によって、強風時には従来の予測よりも、2～3倍もの雪が融ける場合があることが明らかになった。

→災害の発生危険度が高まっているにもかかわらず、見過ごしてしまう可能性が高くなる。

3. 積雪が地すべり変位に及ぼす影響

■なぜ、強風時には想定以上の雪が解けるのか？

強風時における観測融雪水量と計算による融雪水量の大きな乖離は、山地斜面の粗度が原因？

推定される要因	水平方向		鉛直方向	
a)地形特性	マイクロ α	0.2～2km	境界層	<1km
b)森林等の植生	マイクロ β	0.02～0.2km	接地層	<0.05km
c)積雪面状態	マイクロ γ	0.002～0.02km	接地層最下部	<0.005km



a)地形特性



b)森林等の植生

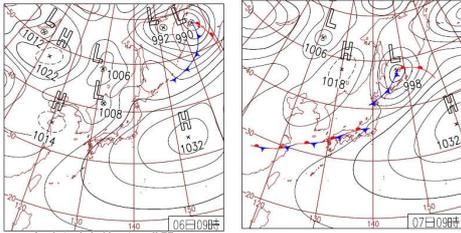


c)積雪面の凹凸

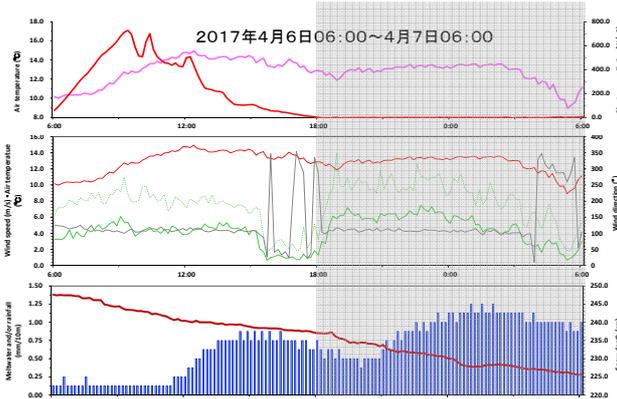
3. 積雪が地すべり変位に及ぼす影響

■局地的な気象擾乱によって発生した地すべり

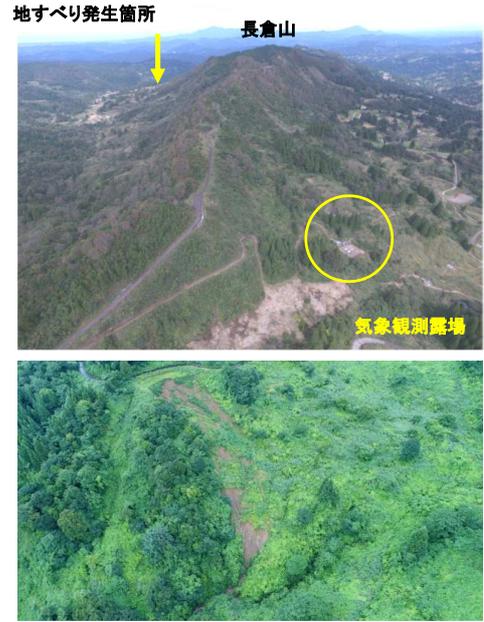
2017年4月6～7日に局地的に強風が吹き、
多量の融雪水が発生→地すべりが発生



この強風は、総観規模 (synoptic scale)の擾乱と異なり、前線の形成にともなう、メソスケール(メソβ or メソγ)の擾乱によってもたらされたと考えられる。



メソスケール(メソβ or メソγ)擾乱時の
気象観測結果



局地的な擾乱による融雪によって発生した地すべり
(新潟県上越市安塚区朴の木地区)

総観規模とは：
水平距離 $10^3 \sim 10^4$ kmの規模で発生する気象現象のこと
メソスケールとは：
水平距離 $2 \sim 2 \times 10^3$ kmの規模で発生する気象現象のこと

3. 積雪が地すべり変位に及ぼす影響

■積雪層内における融雪水などの浸透経路



積雪層内には難透水層の氷板の存在などにより
一様に鉛直浸透せず、特定の水みちが発達する
場合が多い。
したがって地表面にライシメータを設置しても捕
捉率が悪い。

地表面到達水量の観測

意外と難しい地表面到達水量の観測と推定



積雪層内における水の浸透



設置作業中の平面ライシメータ

3. 積雪が地すべり変位に及ぼす影響

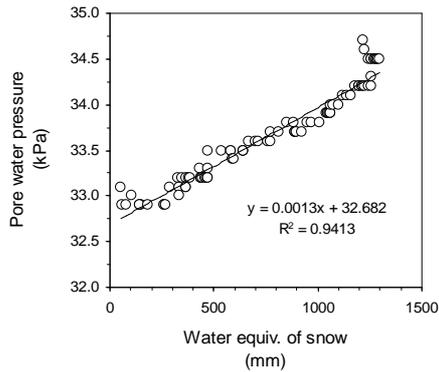
■残された諸問題

- 簡易な融雪予測手法
- 極端な気象現象時の融雪予測
- 積雪に雨が降った場合のリスク評価
- 積雪層内の浸透過程
- 積雪載荷時の移動体の変形や側圧の変化
- 積雪載荷時のすべり面強度の回復
- 積雪分布による偏荷重
- 緩速載荷時の間隙水圧の変動
- 積雪層のせん断強度や引張り強度の影響
- 積雪層のクリープとグライドの影響

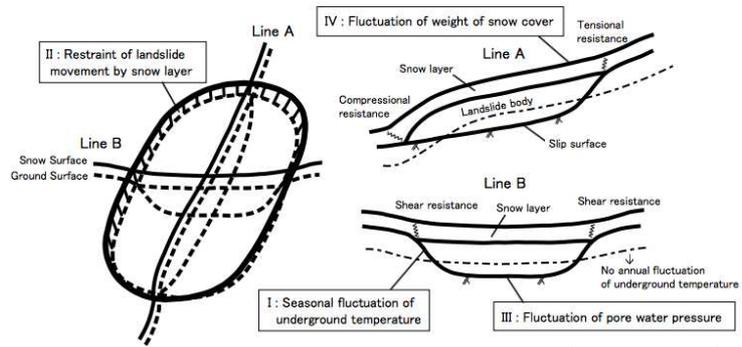


新潟県津波町

冬期間の積雪層の移動



積雪堆積期における積雪水量と間隙水圧の関係



(Shibasaki et al, 2008)

4. 海象条件と汀線接続斜面での地すべり

■海岸斜面で発生していること

現在、日本列島の海岸斜面では崩壊や地すべりなどの斜面変動が多発し、毎年のように汀線が大きく後退している。平成28(2016)年4月には、島根県浜田市と北海道知床半島で海岸隆起を伴う大規模な地すべりが相次いで発生した。

降雨などと違い水面状態の変化を起因とした斜面変動に関する研究は少なく、残留間隙水圧の生成・消散過程や水位が過剰間隙水圧の発生に及ぼす影響などについては未解明な点が多い。



徳島県鳴門市土佐泊地区



鹿児島県鹿儿島郡十島村中之島地区



香川県三豊市山本町逆瀬地区

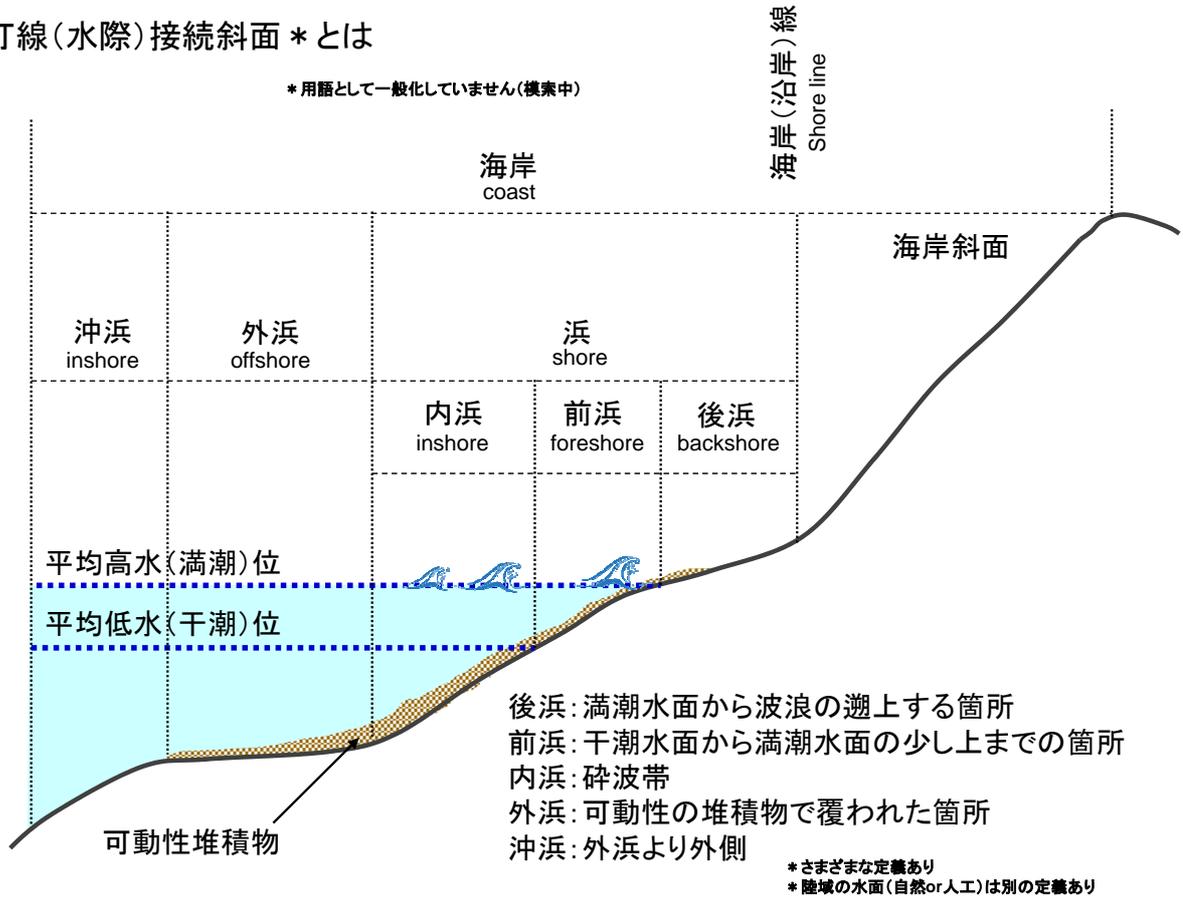


兵庫県南あわじ市灘地野地区

4. 海象条件と汀線接続斜面での地すべり

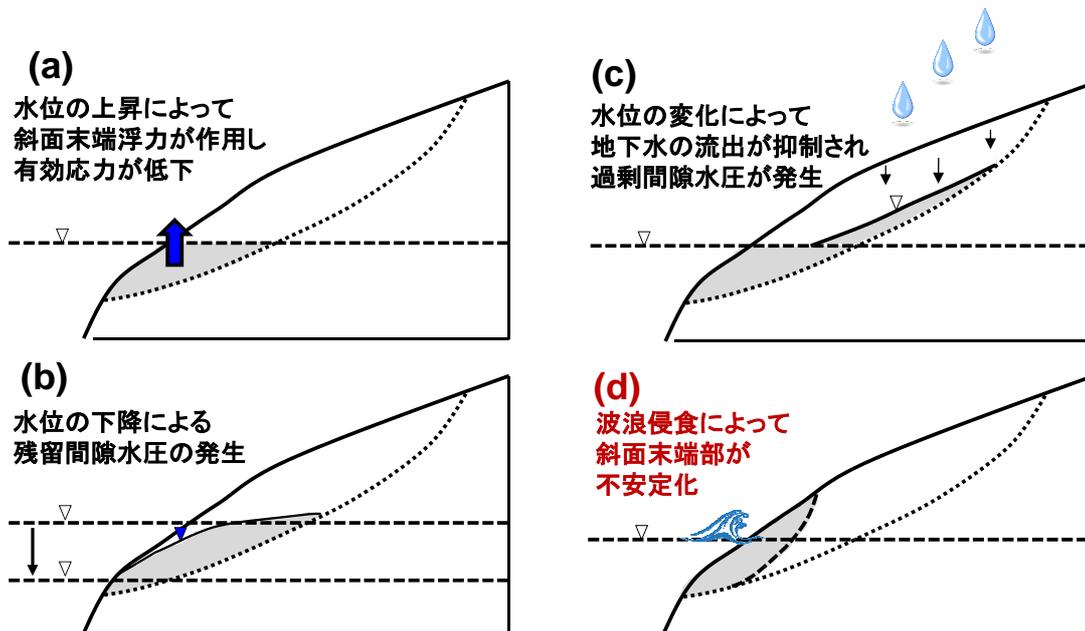
■汀線(水際)接続斜面*とは

*用語として一般化していません(模索中)



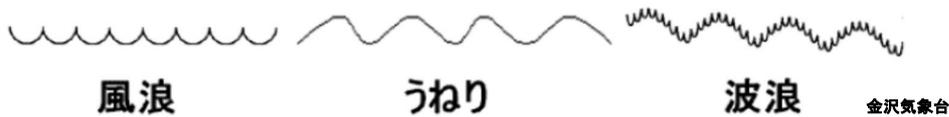
4. 海象条件と汀線接続斜面での地すべり

■海象条件と汀線接続斜面の不安定化



■さまざまな海水面の変動

波の名称	周期(s)	具体例な波
表面張力波	$0 \sim 1 \times 10^{-1}$	さざ波
短周期重力波	$1 \times 10^{-1} \sim 1 \times 10^0$	風波
重力波	$1 \times 10^0 \sim 3 \times 10^1$	風波、うねり
長周期重力波	$3 \times 10^1 \sim 3 \times 10^2$	磯波帯の海面動揺、静振
長周期波	$3 \times 10^2 \sim 8.64 \times 10^4$	静振、津波、高潮、潮汐
遷移長波	$8.64 \times 10^4 \sim \infty$	潮汐、海面の季節変動



■北海道東部での諸問題

素因:

- ①地質条件
 - ・固結度が低く、容易に風化
 - ・流れ盤構造

誘因:

- ①気象条件
 - ・降雨
 - ・融雪
- ②海象条件
 - ・波浪(風浪・うねり)
 - ・潮位の変化
 - ・津波
- ③地象条件
 - ・地震
 - ・地盤凍結



猛烈(爆弾)低気圧通過時の海面状態



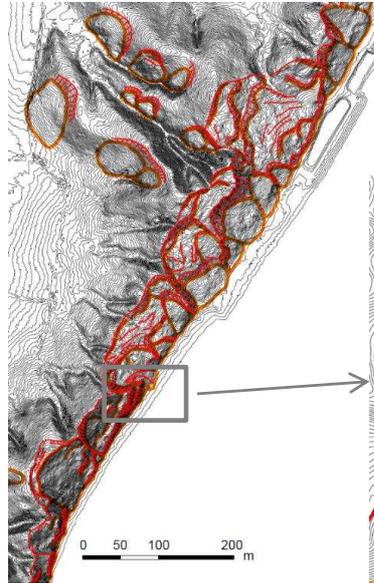
汀線接続斜面の流れ盤構造



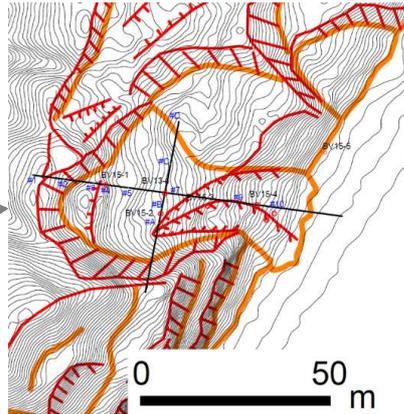
汀線接続斜面で発生した地すべり

4. 海象条件と汀線接続斜面での地すべり

■観測地と観測方法



正面から見た試験地



厚岸町沖万別地区
再活動型の地すべり
長さ:約80m
幅:15~20m

- 中生代白亜紀
- 羽幌層群
- 右岸側は正断層で規制
- すべり面は2段
- 泥岩・シルト岩
→スレーキングしやすい

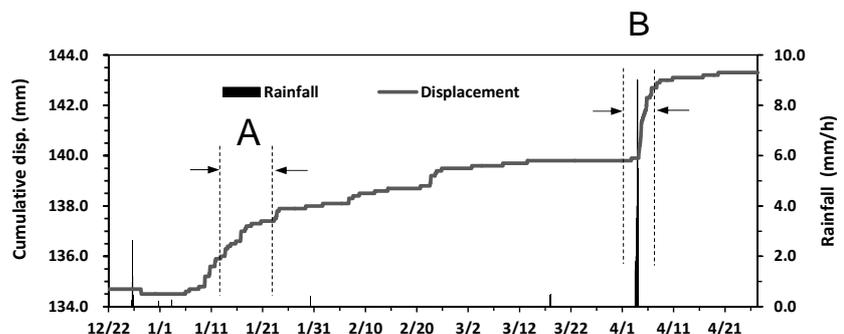
4. 海象条件と汀線接続斜面での地すべり

■観測結果

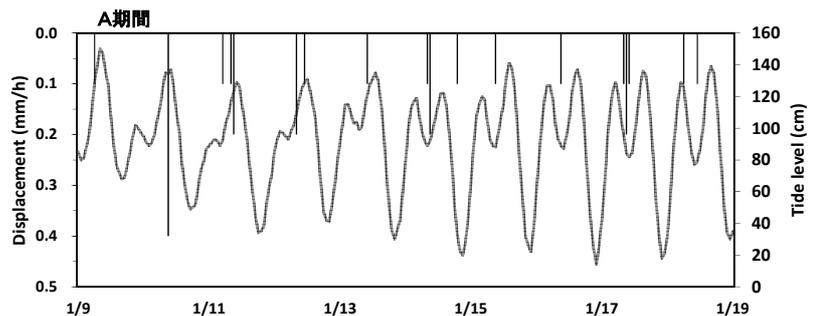
冬期間における4ヶ月間の累積移動量は8.6mmと少ないものの、全期間で断続的な移動を観測。

最も大きな日移動量を観測したのは4月5日で1.2mmとなったが、最寒期の1、2月でも微小な移動を記録。

最寒期の道東地方の降水量は、ほとんどが固体降水なので、降水が誘因とは考えられない。一方、潮位と明確な対応が見られるので、波食が原因となった可能性がある。



地表伸縮計による変位量の観測結果
(2013年12月22日~2014年4月28日)

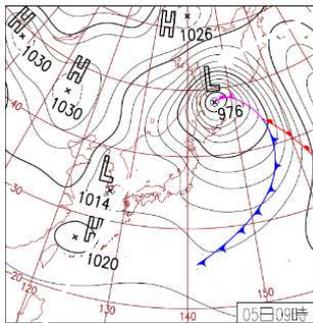
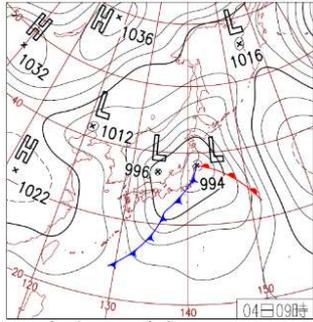


最寒期における移動量観測結果
(2014年1月9日~19日) 潮位(厚岸漁港)

4. 海象条件と汀線接続斜面での地すべり

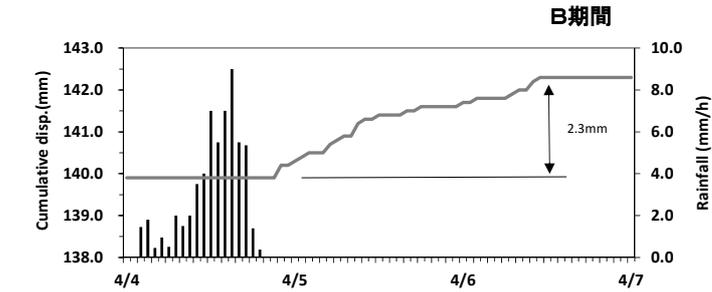
■観測結果

低気圧が接近し通過した4月4日以降の海上は大しけと推定。厚岸漁港の潮位データに加え、釧路港で観測された平均波高、有義波高、最高波高について検討。

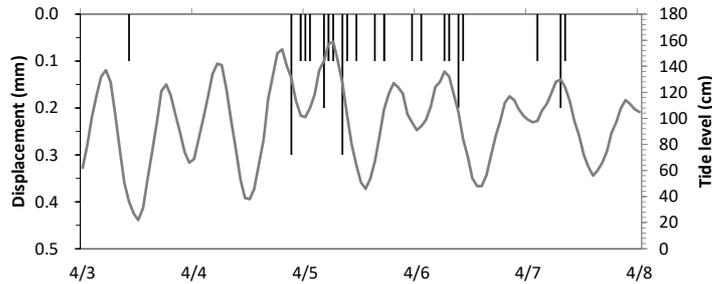


(日本気象協会)

2014年4月4~5日の天気図



融雪初期における移動量と降雨量
(2014年4月4日~7日)

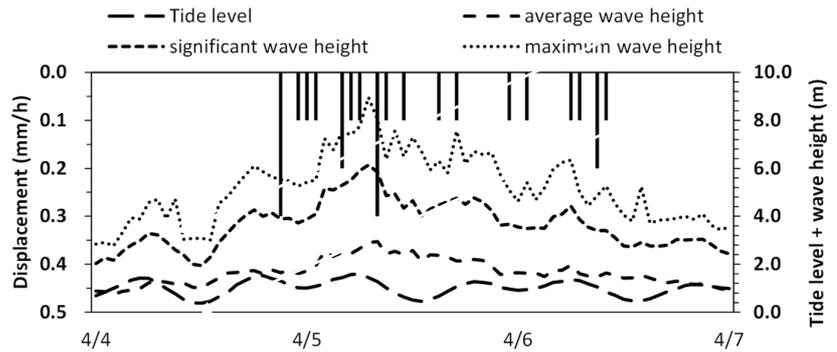


厚岸漁港の潮位と移動量
(2014年4月4日~7日)

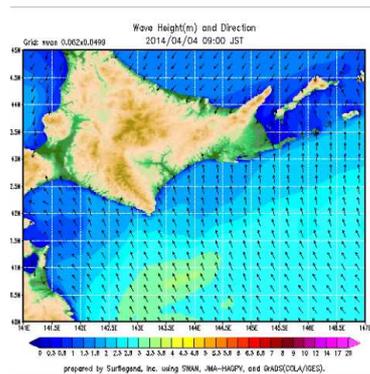
4. 海象条件と汀線接続斜面での地すべり

■観測結果

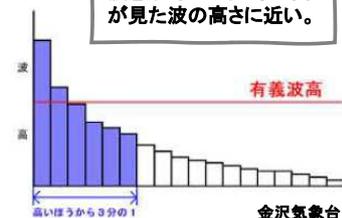
厚岸漁港の潮位データに加え、釧路港で観測された平均波高、有義波高、最高波高について検討。地すべり移動時の波浪は非常に大きかったことが判明。釧路港は厚岸漁港から約40km離れていることから詳細な検討が必要なものの、波浪の影響も排除できない。さらに、土壌が凍結していなければ、さらに移動量が大きくなった可能性がある。



釧路港の有義波高、最高波高、および厚岸漁港の潮位と移動量の関係



有義波高:
波高が高い方から1/3の波を平均したもの。人間が見た波の高さに近い。



金沢気象台

関西大学 安田誠宏博士提供

ナウファス(NOWPHAS):
全国港湾海洋波浪情報網(Nationwide Ocean Wave information network for Ports and HarbourS)

5. 高時間分解能・高分解能観測のすすめ

■ 飛躍的に向上した分解能



<http://yascovicci.exblog.jp/25888477/>

ハッブル宇宙望遠鏡



<http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/1994/01/image/a/>

宇宙望遠鏡を修理する飛行士

<http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/1994/01/image/a/>



打ち上げ当初の撮影画像



修理後の撮影画像

ハッブル宇宙望遠鏡

1990年に打ち上げ

1993年修理完了

0.002mmの誤差を修正

反射鏡の端が0.002mm歪んでいたことが原因。飛躍的に性能が向上し、数々の発見をした。

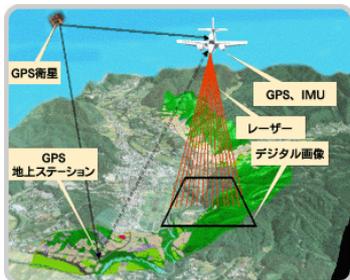
センシング技術の大幅な進化によって、今まで見えなかったものが見えてきた。

5. 高時間分解能・高分解能観測のすすめ

■ 飛躍的に向上した分解能

航空レーザ測量

LiDAR (Light Detection and Ranging、Laser Imaging Detection and Ranging)

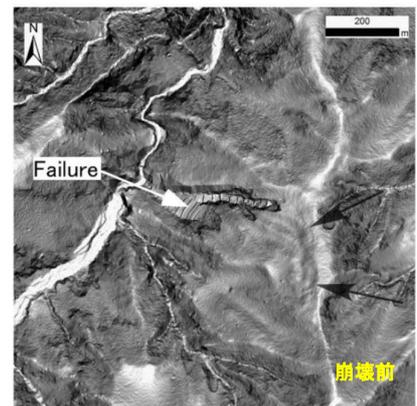


国土交通省国土技術政策総合研究所



■ 崩壊発生前後の地形図(長殿)

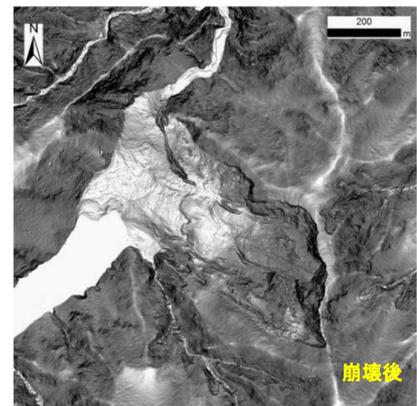
長殿地区では、斜面下部に小崩壊が認められた。したがって、上部斜面を不安定化させていたと推察。



崩壊前

GPSとIMU(航法慣性装置)によって常に空間的な位置をモニタリングした航空機から地上に向けてレーザ光を照射し、地表から反射してくるレーザの時間差で地表面の絶対座標を計測するシステム。LPと呼ばれることも多い。

→これによって、格段に細かい地形が見えるようになった。



崩壊後

5. 高時間分解能・高分解能観測のすすめ

■技術革新により高時間分解能観測が容易に

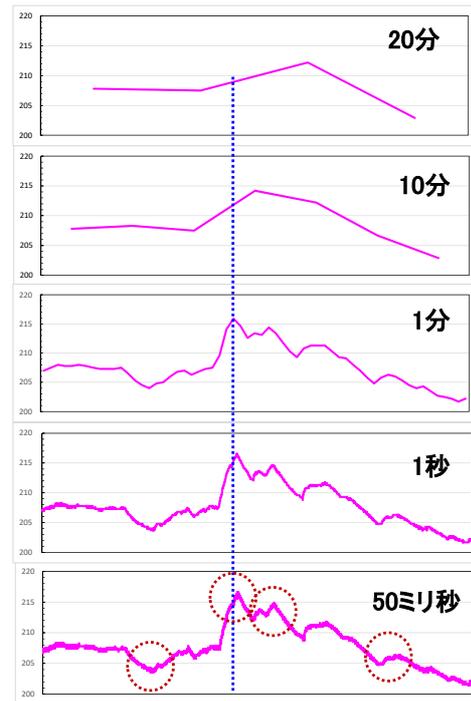
地すべり変位や間隙水圧の観測は、電源やメモリなどの制約により、高頻度観測が困難であった。

しかし、技術革新によって24bitA/Dの分解能で1kHz(1ms)での観測も可能になっている。

高頻度観測によって、細かな変動が明らかになるとともに、生起時間などを正確に検出できるようになってきた。

これらの観測システムを用いると、下記の現象を捉えることが可能となる。

- ◆ 滑動時の地すべり変位
- ◆ 変位時の間隙水圧の変動
- ◆ 地震時の変位と間隙水圧の挙動



時間分解能の違いによる間隙水圧の変動

5. 高時間分解能・高分解能観測のすすめ

■技術革新により高時間分解能観測が容易に

海面との接続斜面
再活動型の地すべり
長さ:約70m
幅:約35m
涙滴(るいてき)型

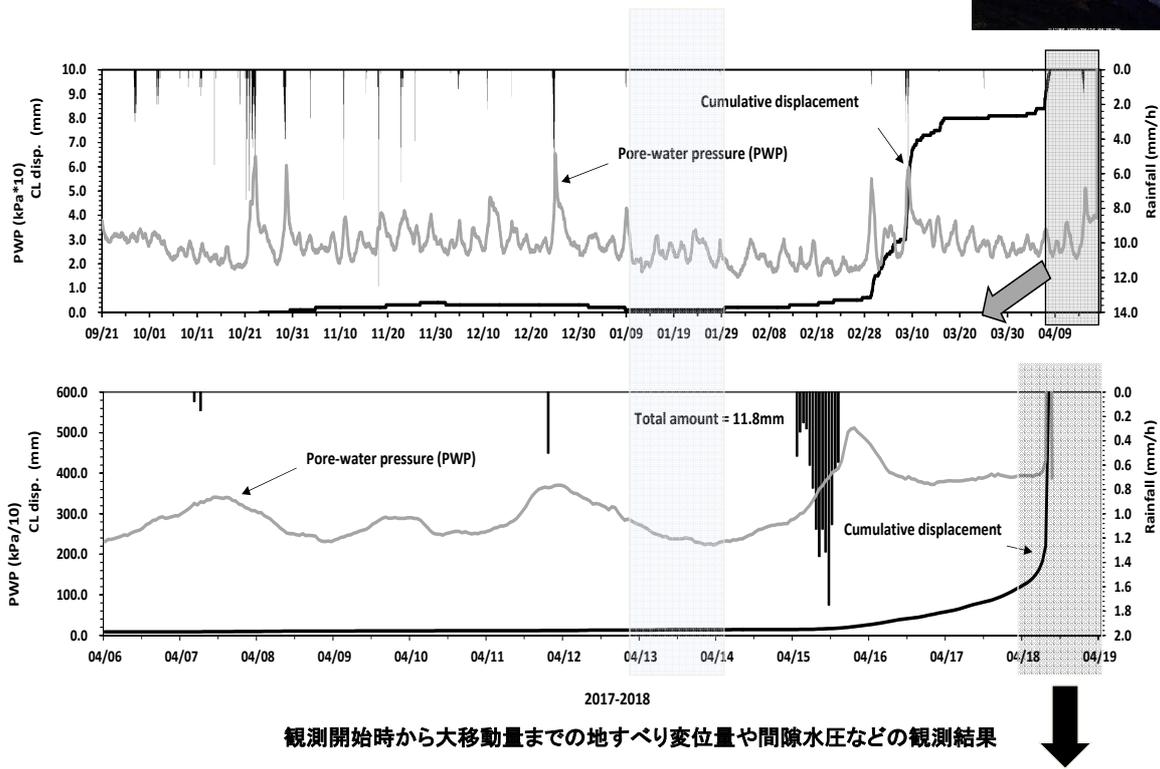


- 中生代白亜紀の泥岩・シルト岩・砂岩の互層。
- 部分的に凝灰岩や炭酸塩岩が狭在。
- 整然層は約16~21°の流れ盤斜面で、すべり面は層理面に規制され直線的。
- 地すべりブロック西側に隣接する側方滑落崖や東側の岬には、乱堆積構造や褶曲を伴う層が露出
- 地すべりの末端は汀線にあり、波浪などによる侵食を受け不安定な状態。
- 過去にも繰り返し、大きな地すべり変位を起こしている。



5. 高時間分解能・高分解能観測のすすめ

■ 高時間分解能観測の事例



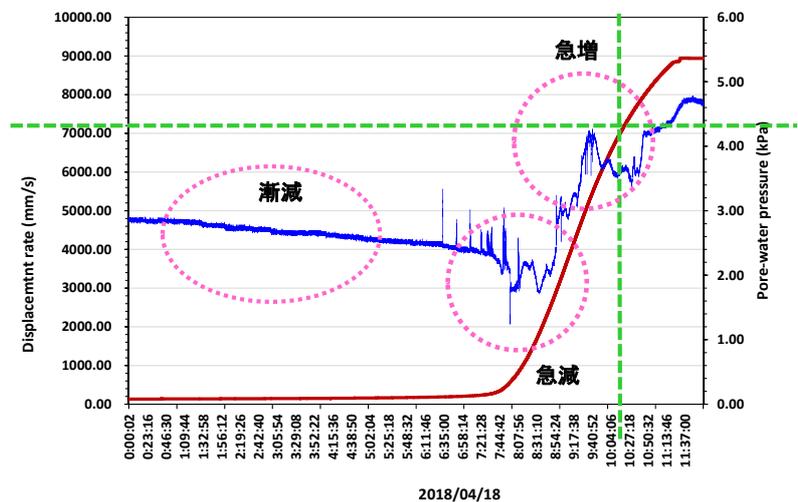
5. 高時間分解能・高分解能観測のすすめ

■ 高時間分解能観測の事例

- ・平成30(2018)年4月18日に大きな変位が発生
- ・4月15日以来、降雨はなし
- ・海面状態は安定
- ・累積変位量は9~10 m



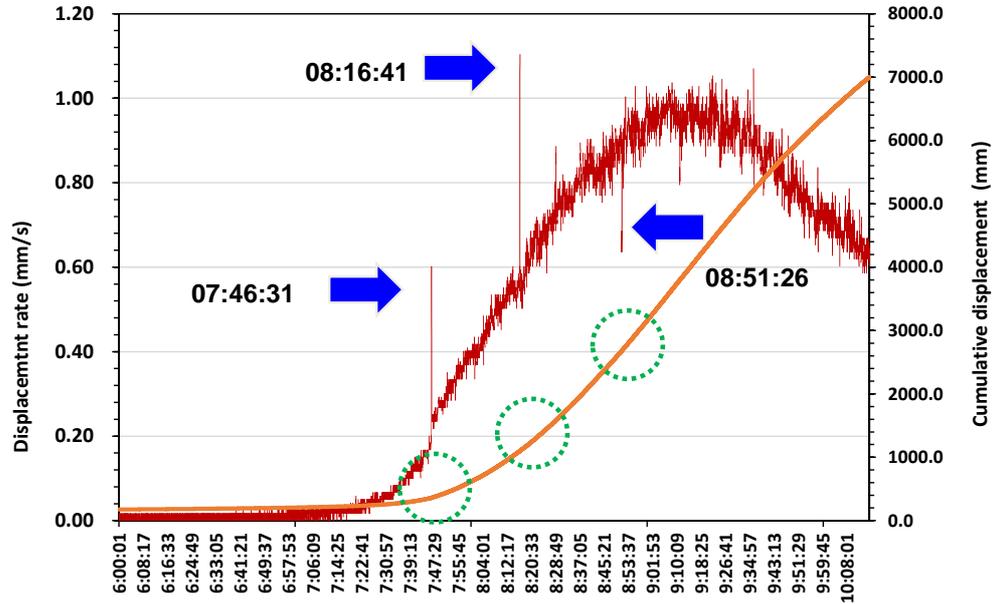
2018年4月18日



地すべりの変位と間隙水圧の関係

■高時間分解能観測の事例

- 7時頃から0.1(mm/s)を越える変位速度を記録
(* ポテンシオメータの精度やA/Dの分解能から0.042mmが検出限界)
- 平均最大速度は9時頃で約1(mm/s) ÷ 3.6(m/h)



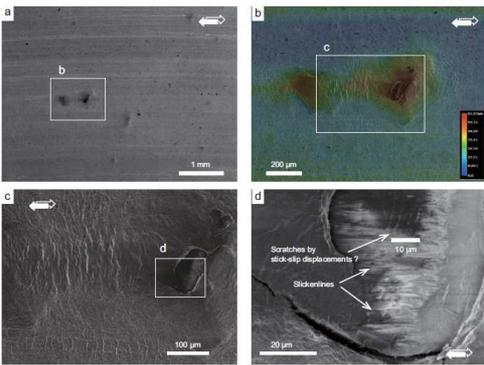
04/18 06:00~10:08

2018/04/18

地すべり変位速度と累積変位量

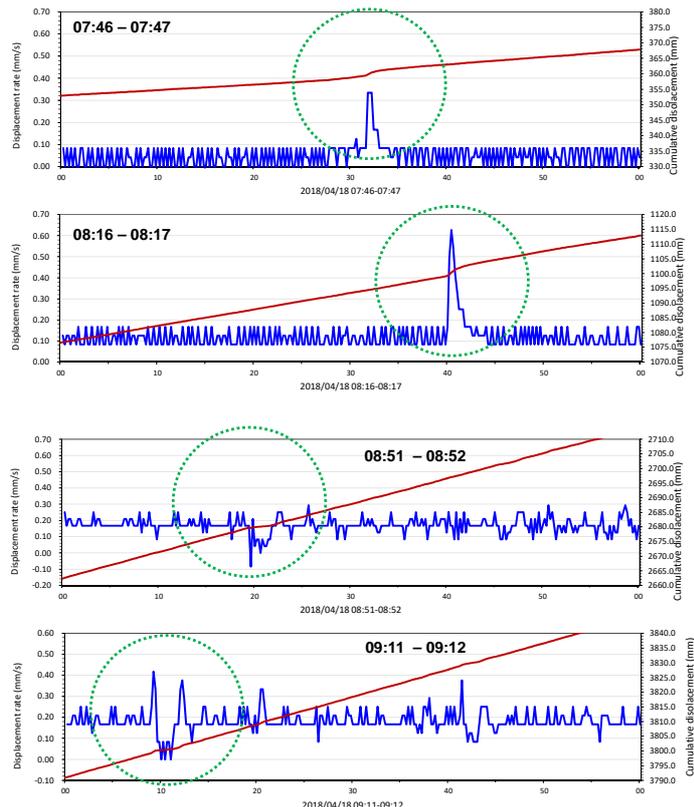
■変位速度が急変し元の速度に戻った事例

- すべり面のアスペリティの影響？
- すべり面形状の変化？
- すべり面粘土の速度効果？
- 移動体と不動体域の縁端効果



(Shibasaki, 2019)

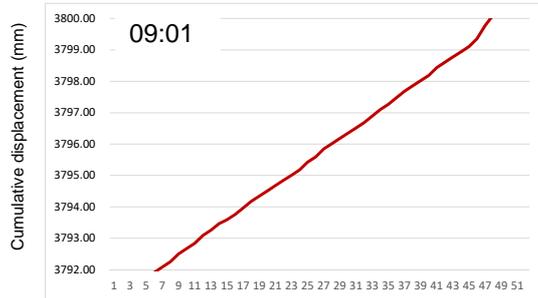
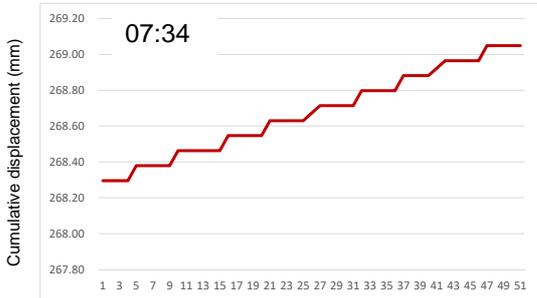
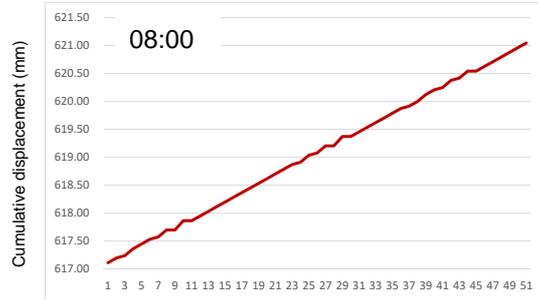
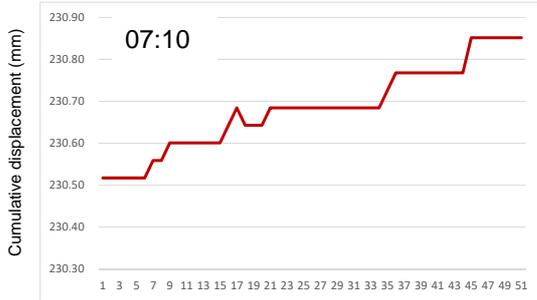
せん断面上に存在する砂粒が原因と考えられる凸部



観測された変位速度の急変現象

■変位速度が急変し元の速度に戻った事例

- 初期の変位は200ms以内で発生する間欠的な地すべり変位によって特徴付けられる。
- その後、間欠間隔が短くなるとともに、一回の変位量が大きくなり、大きな変位速度に移行。



■梶井基次郎(冬の日)

季節は冬至に間もなかった。
 堯(たかし)の窓からは、地盤
 の低い家々の庭や門辺に立っ
 ている木々の葉が、一日ごと
 剥がれてゆく様が見えた。

ごんごん胡麻は老婆の蓬髪
 (ほうはつ)のようになつてし
 まい、霜に美しく灼けた桜の
 最後の葉がなくなり、櫛が風
 にかさかさ身を震わすごとに
 隠れていた風景の部分が現わ
 れて来た。

◆冬の日:昭和2(1927)年に同人誌「青空」に発表

■リ・スタートしてリ・ボーンしよう

- レビューをしっかりと
 - 手戻りを少なくするとともに、従来の成果を懐疑的に捉える必要も
- 現状の足りない点や未解決な点の的確な把握
 - 基本設計をきちんと組み立て作業仮説を立てる
- 従来の固定概念にとらわれない柔軟で大胆な発想
 - 異分野の発想や考え方を積極的に取り入れる
- 陳腐な発想でもアプローチで変える
 - 分野横断・学際的なアプローチ
 - 従来の固定概念にとらわれない柔軟で大胆な発想
 - 革新技術と適正技術の適切な使い分けと融合