

# 複合的自然災害に関する 工学的視点からみた地域防災の有り方 —阿蘇地域での事象を例として—

座 長 鈴木 素之 山口大学

話題提供者 中村 洋介 福島大学

山里 平 気象庁

中濃 耕司 東亜コンサルタント(株)

千葉 達朗 アジア航測(株)

瀬戸 真之 福島大学

安養寺 信夫 (財)砂防・地すべり技術センター

日 時 平成29年9月11日(月) 13:00~15:00

場 所 九州大学伊都キャンパス

教 室 センター2号館 2303

火山工学研究小委員会・斜面工学研究小委員会



はじめに

「複合的自然災害に関する工学的視点からみた地域防災の有り方」  
－阿蘇地域での事象を例として－

2016年（平成28年）熊本地震（震度7）、地震後の土砂災害、2016年10月8日阿蘇山噴火（噴火警戒レベル3）、そして2017年7月九州北部豪雨災害と九州中央部の火山地域での「複合的自然災害」が続いている。

ここで「複合的自然災害」とは、一つの自然災害が発生し、その後に二つ目の自然災害が発生することにより、単独自然災害被害の単純和とはならない災害、とここでは定義する。一つ目の自然災害と二つ目の自然災害の間隔、それぞれの自然災害の種類と規模を想定することが困難なので、対策検討に必要な被害シナリオを設定できず、対応が非常に遅れている。

例えば「複合的自然災害」として、地震時の液状化により沈下した河川堤防において、復旧途上で大雨による洪水災害が発生する場合である。また、2016年熊本地震では、山地斜面において地盤に亀裂や緩みが発生し、これらが原因となりその後の大雨による土砂災害につながる場合である。首都圏では、直下型の地震と富士山噴火が連動する可能性が指摘されている。

このような複合的災害は、被害シナリオを設定することが困難であるが、日本では地震、豪雨、火山噴火等の自然災害が複合的に発生するケースが想定できるので、複合的自然災害に対する減災・防災を考える意義は大変大きい。そこで、九州の阿蘇地域を事例として、工学的視点からみた地域防災のあり方について、研究討論会を行うこととなった。

地盤工学委員会では熊本地震と阿蘇山噴火の災害調査を実施したので、その成果をまとめ、複合的自然災害の実情と問題点を以下のとおり論議する。

- ①阿蘇火山と熊本地震の特性を解説しどのような被害が起こったのか。
- ②どのような調査や対策がされたのか。
- ③今後の課題はどこにあるのか。

総合討論ではこれらの研究成果をもとに、地震・豪雨と火山噴火の複合的自然災害への減災・防災のあり方を討論する。

土木学会 地盤工学委員会 前委員長 後藤 聡

### 活断層布田川断層の活動

拡大  
遠望

県道28号線が約70cm右横ずれ  
走向はN60~70° E

大切畑ダムの北側壁面を構成する  
法枠の変形とそれに伴う石の飛び出し

福島大学人間発達文化学類 中村洋介

### 熊本地震発生前の評価 【布田川断層帯】

<将来の地震発生の可能性>

＜布田川断層帯(布田川区間)＞

- 地震の規模：M7.0程度
- ＜M7.5-7.8程度(布田川断層帯全体が同時に活動する場合)＞
- ＜M7.8-8.2程度(布田川区間と日奈久断層帯全体が同時に活動する場合)＞
- 地震発生確率：ほぼ0%~0.9%(30年)
- 地震後経過率：0.08-0.9
- 平均活動間隔：8100年-26000年程度
- 最新活動時期：約6900年前以後、約2200年前以前

・宇土区間及び宇土半島北岸区間は、平均活動間隔、最新活動時期や活動時のずれの量に関する資料は得られていない

文科省地震本部HPより

### 熊本地震発生前の評価 【日奈久断層帯】

<将来の地震発生の可能性>

＜日奈久断層帯(高野-白旗区間)＞

- 地震の規模：M6.8程度
- 平均活動間隔：不明
- 最新活動時期：約1600年前以後、約1200年前以前

＜日奈久断層帯(日奈久区間)＞

- 地震の規模：M7.5程度
- 地震発生確率：ほぼ0%~0.9%(30年)
- 地震後経過率：0.2-2.3
- 平均活動間隔：3600年-11000年程度
- 最新活動時期：約8400年前以後、約2000年前以前

＜日奈久断層帯(八代海区間)＞

- 地震の規模：M7.3程度
- 地震発生確率：ほぼ0%~16%(30年)
- 地震後経過率：0.1-1.5
- 平均活動間隔：1100年-6400年程度
- 最新活動時期：約1700年前以後、900年前以前(744年の肥後の地震の可能性)

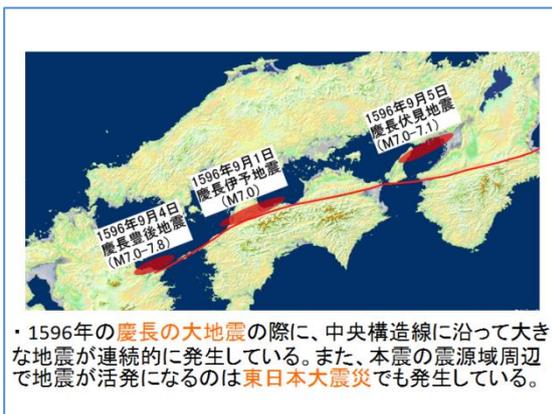
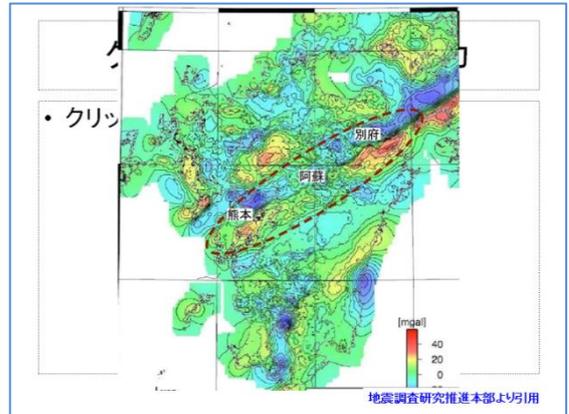
文科省地震本部HPより

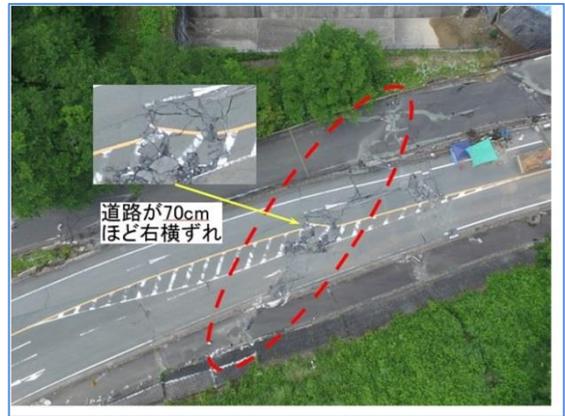
### 活断層調査における トレンチ調査の難しさ

- ・毎回同じ場所が割れるとは限らない
- ・活断層の地点によって変位が異なる
- ・地層が連続的に堆積しているわけではないので、変位の累積の見積もりが困難

2014年長野県北部地震(M6.7)の現地調査より

2014年長野県北部地震では一部の場所(塩島地区)では1m近い上下変位が確認されたものの、それ以外の地点での上下変位量は概ね0.5m以下であり、飯森地区以南では上下変位はわずかであった。かつて実施されたトレンチ調査は飯森地区よりも南側で行われており、2014年の地震では変位をほとんど受けていない。





### まとめ

- 熊本地震を起こした活断層(日奈久断層・布田川断層)に関しては、熊本地震発生前から体系的な調査が行われており、1)断層の分布、2)過去の活動、3)地震が発生した場合の規模などは明らかにされていた。
- しかしながら、現在の活断層研究において、地震の再来間隔を正確に見積もることは困難であり(活動イベントの見落とし、断層変位量や地震の規模のゆらぎなど)、さらなるデータの蓄積による精度の向上が求められる。

大規模地震の発生間隔

変位量 (D)

中規模地震

大規模地震

平均変位速度 (S)

大規模地震の変位量

時間 (T)

### 未知の活断層について

- 左の画像は、阿蘇カルデラ内で確認した圧縮成分を伴う活断層露頭である。この露頭は今回の地震では動いておらず、震源と近接している場所であっても動いたり動かなかったりする可能性がある。活断層地震の将来予測をさらに困難にしている。
- 日本の陸地には約2000本の活断層が走っているとされる。しかしながら、まだ見つかっていない未知の活断層は数多く存在することが予想され、活断層の有無に関わらない全国的な地震対策が必要になってくる。

阿蘇カルデラ内で確認した土壌層を切る活断層

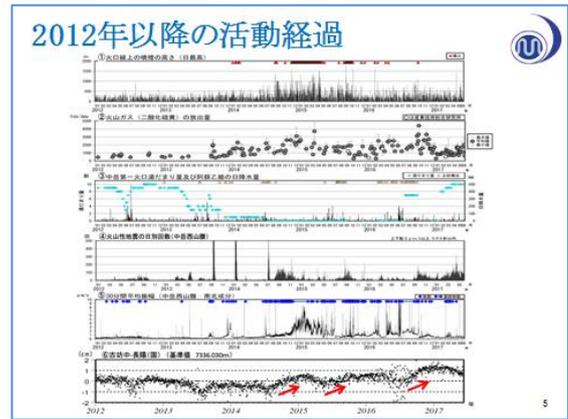
2017年9月11日  
土木学会平成29年度全国大会研究討論会  
複合的自然災害に関する工学的視点からみた地域防災の有り方  
—阿蘇地域での事象として—

## 2014-2016年阿蘇山の噴火活動



気象庁気象研究所  
山里 平

阿蘇山の今回の噴火の概要を解説する。



今回の活動経過図。火口湖（湯だまり）湯量の減少、火山性微動の活発化といった従来から知られた中岳の火山活動の典型的パターンがみられるとともに、GNSで草千里直下のマグマだまりの膨張が火山活動の高まりに対応して観測された。

### 阿蘇山の近年の噴火

近年（戦後）の主な死亡事故  
1953年4月 : 爆発、死者6、負傷者90余  
1958年6月 : 爆発、死者12、負傷者28  
1979年9月 : 爆発、死者3、負傷者11  
1997年11月 : 二酸化硫黄により死者2

阿蘇山の典型的な火山活動の推移

阿蘇山中岳の火山活動の典型パターンを示す。活動の高まりに応じて火口湖が干上がり、土砂噴出活動などを経て、ストロンボリ式噴火、爆発的噴火が起きる。過去には爆発的噴火で死亡事故がたびたび起きている。

### 2014年からの噴火①

噴火開始前年、2013年からの活動経過を示す。湯だまりの湯量が次第に減少して、2014年1月に最初のごく小規模な噴火が発生した。噴火警戒レベルは前年暮れに2に引き上げられていた。その後、活動が活発化、マグマ噴火に移行した。

### 阿蘇山の火山防災

1967(昭和42)年:阿蘇火山防災協議会設立  
構成機関:市町村、熊本県、環境省、気象庁 など  
気象庁の臨時火山情報火口規制のトリガーに  
1997(平成9)年:火山ガス安全対策専門委員会設置  
火山ガス濃度のモニタリングと規制ルールを明確化  
2003(平成15)年:火山活動度レベルに応じた火口規制  
2007(平成19)年:噴火警戒レベルに応じた火口規制  
周辺道路の規制も追加

火山ガスモニタリングシステム  
規制中の道路

火口見物に多数の観光客が訪れ、たびたび災害が起きていることもあり、昭和40年代から地元自治体等による火山防災体制が構築されている。現在は、気象庁の噴火警戒レベルに応じた規制、火山ガスによる規制がとられている。

### 2014年からの噴火②

2014年から2015年にかけては連続的に噴火が発生し、この画像にあるように、典型的な阿蘇山の噴火のひとつであるストロンボリ式噴火もみられた。そして9月には小規模な火砕流を伴うような噴火もあり、気象庁は一時噴火警戒レベルを3にまで引き上げている。

## 2016年10月8日の噴火(概要)



2016年5月のごく小規模噴火以降も、火山性微動振幅は大きく、二酸化硫黄の放出量も1日あたり1,000~3,000トン程度と概ねやや多い状態で経過。  
2016年7月頃からGNSS観測で草千里深部のマグマだまりの膨張を観測。噴火警戒レベル2(火口周辺規制)を継続。

10月7日10時~  
10時30分頃~  
21時52分  
23時50分頃~  
10月8日01時30分頃~  
01時40分、44分  
01時46分  
01時50分  
01時55分

火山性連続微動の振幅がさらに大きく  
二酸化硫黄放出量が急増(15,000トン/日)  
小規模な噴火(空振27Pa、詳細不明)  
火山性微動の振幅は小さくなったが、B型地震が急増  
傾斜計で火口方向が隆起する変化  
火山性微動の振幅がさらに小さく、B型地震も停止  
広帯域地震計で長周期パルスを観測  
爆発的噴火(空振189Pa)  
噴火速報  
火口周辺警報(噴火警戒レベル3(入山規制)へ引き上げ)

9

2016年に入ってから噴火頻度が減っていき、熊本地震に際しても、火山活動には目立った変化は起きていない。しかし、夏ころから、マグマだまりの膨張が見られるようになるなど火山課有働は不安定な状態で推移、10月8日の噴火は、噴火警戒レベル2の状態が発生した。

## 2016年10月8日の噴火



噴火直後の中岳火口周辺

中岳火口近傍の大きな噴石

火口近傍で大きな噴石、火砕流(大きな噴石は火口から1kmを超えている)  
火口から4km地点で火山れきが降下  
噴出量は60~65万トン(熊本大ほか)  
マグマ水蒸気噴火とみられる(産総研ほか)



火口から4km地点に降った火山れき

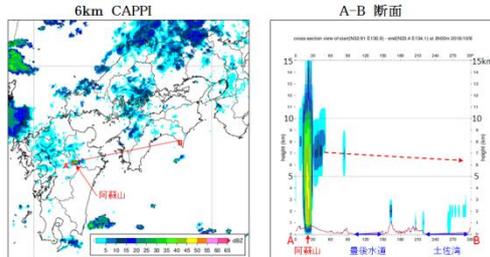
14

噴火直後の火口周辺の写真である。大きな噴石が火口周辺に飛散しており、火砕流によると思われる変色域も見られた。また、火口から4km離れたところに7cmの程度の火山礫も降った。

## 2016年10月8日の噴火(気象レーダー)



2016/10/08 01:00~06:00(10分ごと)

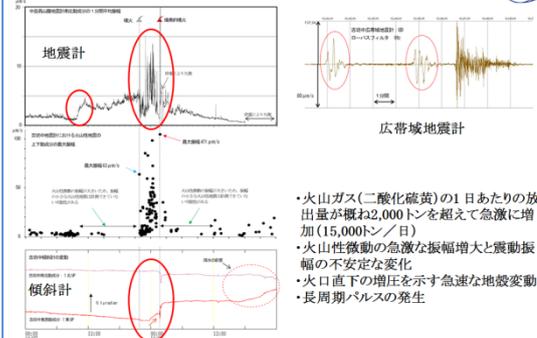


流向は東北東。火口から200km以上離れた土佐湾付近まで3時間近く検知。次第に上空のエコーが主体、高度が徐々に低下しているよう。

12

火山噴火は通常監視カメラで観測するが、この噴火の際には天候が悪く噴煙の状態などが見えなかった。しかしひまわりや気象レーダーで噴煙が捉えられた。

## 2016年10月8日の噴火(先駆現象)

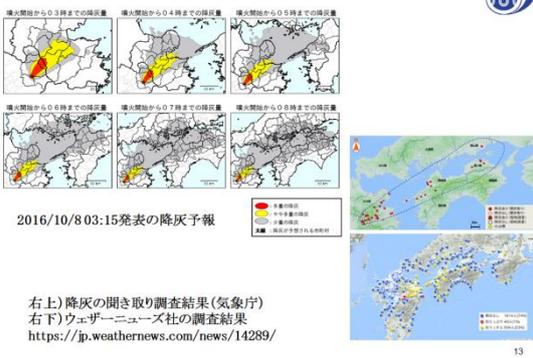


- 火山ガス(二酸化硫黄)の1日あたりの放出量が概ね2,000トンを超えて急激に増加(15,000トン/日)
- 火山性微動の急激な振幅増大と震動振幅の不安定な変化
- 火口直下の増圧を示す急速な地殻変動
- 長周期パルスの発生

15

今回の噴火の直前現象を示す。その前日から火山性微動の振幅の増大、二酸化硫黄放出量の急増、小規模な噴火があり、B型地震の急増、火口方向が隆起する傾斜変化が捉えられた。噴火直前には広帯域地震計で長周期パルスが観測された。

## 2016年10月8日の噴火(降灰)



2016/10/8 03:15発表の降灰予報

右上) 降灰の聞き取り調査結果(気象庁)  
右下) ウェザーニューズ社の調査結果  
<https://jp.weathernews.com/news/14289/>

13

気象庁は、ひまわりの画像から推定した噴煙高度から降灰予報を03時15分に発表した。四国地方まで火山灰が降ることを予測したが、実際、聞き取り調査等では四国北部に降灰があったことが分かっている。

## まとめ



- 阿蘇山の今回の噴火活動
  - 1988~93年以降のマグマ噴火
  - 近年の中岳の噴火活動推移の範囲内での活動
  - 前回噴火以降新たに始めていた観測により、様々な現象がみられた
    - マグマだまりの膨張
    - 火山ガス放出量の増加
    - 火口直下浅部の膨張
    - 長周期パルス
- 現在の阿蘇山
  - マグマだまりの膨張は停滞
  - 火口内では土砂や火山灰が噴出する可能性。
  - 噴火警戒レベル1(活火山であることに留意)
  - 火口周辺では火山ガスに注意。



16

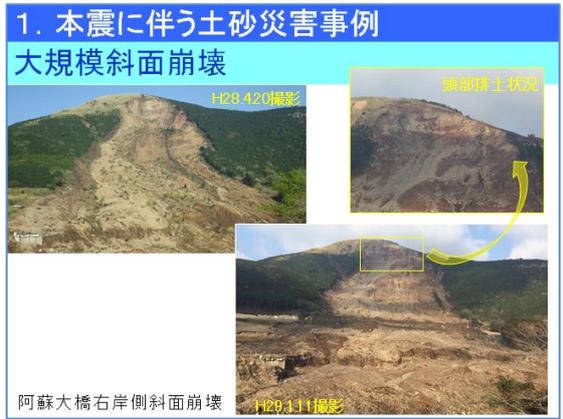
1988~93年以降のマグマ噴火であった今回の活動は、近年の中岳の噴火活動推移の範囲内での活動といえるが、前回にはわからなかった様々な現象が捉えられた。福岡管区気象台松末火山活動評価官、気象研究所新堀主任研究官から資料提供を受けた。御礼申し上げる。

# 熊本地震・豪雨による 土砂災害

東亜コンサルタント株式会社      中濃 耕司

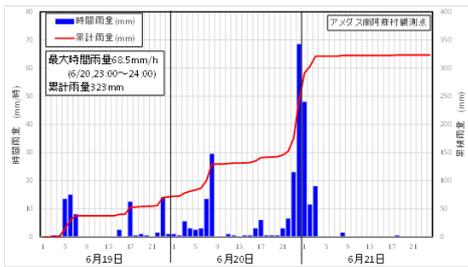
## 報告内容

1. 本震に伴う土砂災害事例
2. 6月20日の降雨に伴う土砂災害事例
3. 土砂災害の特徴
4. 対策事例
5. 今後の課題



## 2. 6月20日の降雨に伴う土砂災害事例

### 降雨状況



H28.6.19～6.21にまとまった降雨あり。  
特に、6.21PM23:00～6.22AM1:00に強い降雨あり。

## 2. 6月20日の降雨に伴う土砂災害事例

### 山王谷川(上流, 崩壊源)



- ①新規の崩壊発生は少ない。
- ②崩壊地内及び溪床部に堆積した黒ボク層の流出が確認。

## 2. 6月20日の降雨に伴う土砂災害事例

### 山王谷川(溪床部)



- ①溪床部に堆積したが土砂の二次移動が確認。
- ②堰堤直下が洗掘。

## 2. 6月20日の降雨に伴う土砂災害事例

### 山王谷川(氾濫箇所)



新畑橋の閉塞・土砂堆積遡上により、上流域で右岸側に土石流が氾濫、家屋及び倉庫に被害を及ぼした。

## 2. 6月20日の降雨に伴う土砂災害事例

### 山王谷川(氾濫箇所)



橋梁横過部、湾曲部で閉塞・土砂堆積、これに伴う遡上により、土石流が氾濫、家屋等に被害あり。

## 2. 6月20日の降雨に伴う土砂災害事例

### 山王谷川(氾濫箇所)



橋梁横過部、湾曲部で閉塞・土砂堆積、これに伴う遡上により、土石流が氾濫、家屋等に被害あり。

## 2. 6月20日の降雨に伴う土砂災害事例

### 夜峰山(斜面崩壊→土石流化)



夜峰山北東側斜面(地獄温泉上流)

## 3. 土砂災害の特徴と対策

### 土砂災害の特徴

#### 【地震による土砂災害の特徴】

- ・多種多様な土砂災害が発生  
⇒大規模斜面崩壊, 岩盤崩壊, 表層崩壊, 地すべり, 土石流
- ・流動距離の長い土砂移動が発生  
(高野台地区, 山王谷川)  
⇒高含水の軽石層の影響が想定される
- ・降雨のない状態で土石流が発生(山王谷川)  
⇒詳細不明。上述の軽石層等の影響も推測される。

### 3.土砂災害の特徴と対策

#### 土砂災害の特徴

【6月20日の降雨による土砂災害の特徴】

- ・多数の崩壊・土石流が発生した。
- ・地震時に発生した亀裂へ雨水が浸透し崩壊が発生した。(夜峰山等)
- ・地震時に渓床に堆積した土砂の二次移動伴う土石流が発生した。(山王谷川等)

### 4.対策事例

#### 観測機材設置

ぬき板設置  
(西原村;  
H28.6.14  
設置)



歪計(火の  
鳥温泉;設  
置日不明)



### 4.対策事例

#### 警報装置設置



三王谷川砂防堰堤(山王谷川)

### 4.対策事例

#### 除石工(巨石小割含む)



流路工内除石(山王谷川)

### 4.対策事例

#### 導流堤



山王谷川

### 4.対策事例

#### 横工(土砂捕捉工)



火の鳥温泉地区

### 4.対策事例

#### 無人化施工



阿蘇大橋右岸側斜面崩壊地

### 5.今後の課題

- ①地震により発生した亀裂や崩壊土砂は多数・多量に現存するため、今後も降雨などに伴い、崩壊・土石流の発生が懸念される。そのため、早期に対策工の整備を進める必要がある。
- ②すべり等には高含水の軽石層等の地質が影響したことが推測される。同様な災害の発生が予測できるように、上述の軽石層等の分布の把握手法の確立が望まれる。

「UAVによる阿蘇山2016年噴火災害の状況把握」

**UAVによる阿蘇山2016年噴火災害の状況把握**



アジア航測株式会社総合研究所  
千葉達朗

**火口近傍の状況把握の重要性**

火口の位置、地形変化、噴出物の性質、噴出レートの把握、被害拡大の予測が必要

無人機は危険！

火口周辺の状況

溶岩流・泥流

頭石や火砕流等の危険！

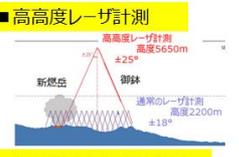
**立ち入りは危険！**

<課題>  
噴出レートの計算には、火口近傍の層厚分布の繰り返し計測が重要。噴火中の立ち入り調査は危険。精度の良い計測が必要。

**現状実施している火口付近の状況把握事例①**

規制区域外～安全エリアからの遠望監視

■ 高高度レーザー計測



新燃岳 25°  
2200m 18°

差分画像  
火口核心部および黒色火山灰堆積域はレーザーの透過や反射率が低く計測困難

■ 無人機空撮 望遠斜め



望遠斜め

■ 人工衛星, SAR等

<現状の問題>  
◆ 無人機：火口周辺に噴火中は近づくことができない、遠望、高高度では情報不足噴煙に遮られて観測困難なケースが多い  
◆ 衛星画像：雲の影響、即時性が不足  
◆ SAR：噴煙の影響を排除できるが、斜め計測

**現状実施している火口付近の状況把握事例②**

無人機撮影 SfM技術による状況把握

■ 空撮 斜め写真からモデル化作業



■ 3Dモデル作成



危険を冒して、マスコミのヘリから大学の先生が撮影したデジカメ画像  
→GPSデータがない  
◆ 解析：精度が不足し、詳細計測は困難。

**無人機の自立飛行で解決**

**阿蘇山2016年10月8日噴火**



2016年10月8日未明、噴火。  
火山灰は、上空11000mまで到達、四国方面まで拡散。  
噴火後のヘリからの映像からは、火口縁やその周辺に火山弾や降灰、ロープウェイ駅舎の屋根に大きな穴など、噴火前から大きく変わった状況が確認された。

**阿蘇中岳 UAVによる撮影状況**

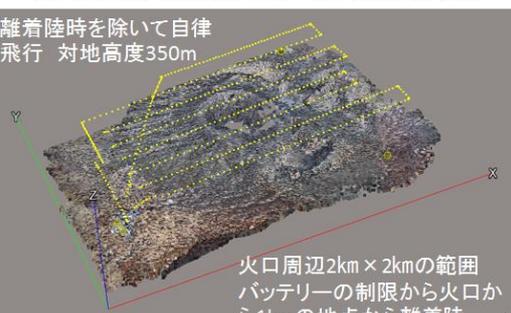


UAV：TAROT-X6 TAROT社  
カメラ：Canon EOS 6D  
飛行時間制限：15分  
レンズ：24mm固定焦点  
撮影間隔：3秒

緊急的に火口周辺2km四方の状況を把握するために、火口から1.3kmのロープウェイの駅舎前の駐車場を離陸地点とし、10月8日にUAVによる撮影を行った。

**SfMによる撮影位置の推定状況**

離着陸時を除いて自律飛行 対地高度350m



火口周辺2km×2kmの範囲  
バッテリーの制限から火口から1kmの地点から離着陸

**3秒インターバル撮影の写真500枚**



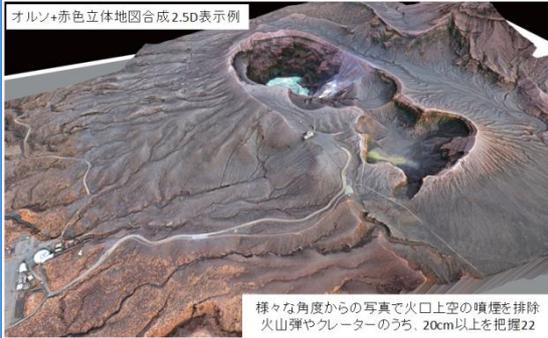
フルサイズデジタル1眼レフ  
で24ミリf2.8レンズ  
ジンバル機構、直下撮影

### 3次元モデルの作成

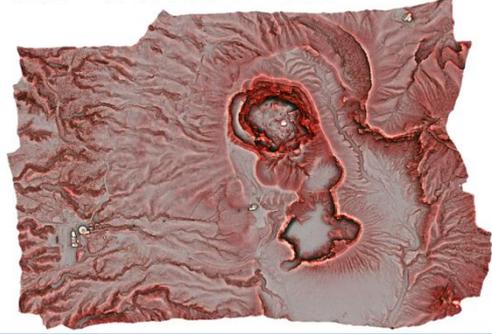
Bentley社のSfM/MVSソフトウェア「ContextCapture」を用いて撮影位置を推定し、モデルを作成した。GCPとして、阿蘇山ロープウェイ駅の駐車場の白線上に、現地測量点を2点設置した。また追加点として、Point1~4を設置した。これらの追加点の位置情報は、GoogleEarthから取得した。

### 三次元モデル作成成果

オルソ+赤色立体地図合成 2.5D表示例

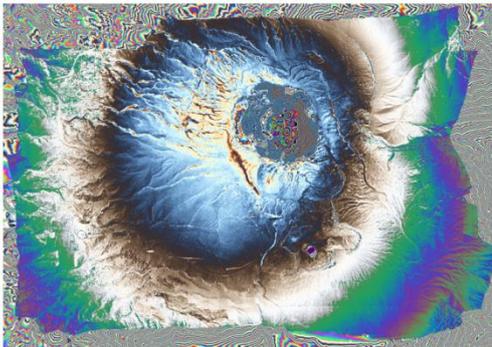


### 赤色立体地図 解像度20cm 噴煙の影響を完全に排除



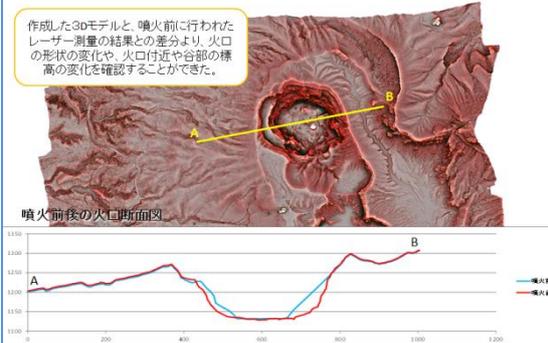
### 地形変化量の計算

クレーター、泥流、土石流、降下火山灰の状況を把握できた



### 三次元モデル作成成果

作成した3Dモデルと、噴火前に行われたレーザー測量の結果との差分より、火口の形状の変化や、火口付近や谷部の標高の変化を確認することができた。



### 課題

- 噴火を認知してから実際の撮影まで、2ヶ月を要した。  
→あらかじめ、噴火時の緊急撮影のためのルールを定めておくか、危険区域外からも長距離・長時間自立飛行できるような、機体の開発が必要。
- 作成した3Dモデルから、噴石による1m程度のクレーターのサイズや位置を把握できた。火山弾などのでっばりの高さは1.5m程度でも十分把握可能  
→クレーターの底は画像が対応しにくいので、深さについては直径3m程度は必要。



### 課題

- 噴火を認知してから実際の撮影まで、2ヶ月を要した。  
→あらかじめ、噴火時の緊急撮影のためのルールを定めておくか、危険区域外からも長距離・長時間自立飛行できるような、機体の開発が必要。
- 作成した3Dモデルから、噴石による1m程度のクレーターのサイズや位置を把握できた。火山弾などのでっばりの高さは1.5m程度でも十分把握可能  
→クレーターの底は画像が対応しにくいので、深さについては直径3m程度は必要。



ご清聴ありがとうございました。

### 謝辞

京都大学火山研究センター、気象庁、阿蘇火山防災会議協議会から協力と支援を頂いた。  
本研究は、文部科学省の次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトの一環で行ったものである。

土木学会第72回全国大会研究討議会

### 地形変化，被害の現状と対策



瀬戸 真之 (福島大学つくしまふくしま未来支援センター)

### 本日の話題提供

1. 熊本地震と地形変化
2. 地形変化の特徴
3. 地形配置と地形変化・家屋被害の状況
4. 地表地震断層の出現
5. まとめ

### 1. 熊本地震と地形変化

地震(熊本県熊本地方)

前震 4月14日21時26分  
マグニチュード6.5  
震度7 益城町宮園

本震 4月16日1時25分  
マグニチュード7.3  
震度7 益城町宮園，  
西原村小森  
(気象庁)

+

同年6月の梅雨前線による豪雨

土石流 57件  
地すべり 10件  
斜面崩壊 123件  
(国土交通省)

+

豪雨による土砂移動

- ・2回の大きな地震動
- ・豪雨による水の供給
- ・テフラが多い地質

### 3. 地形配置と地形変化・家屋被害の状況

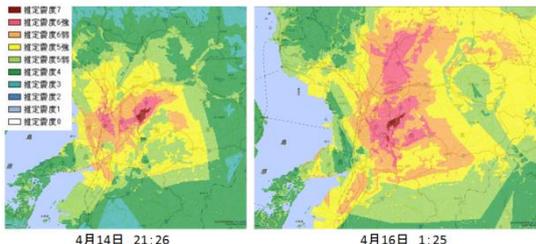


斜面傾斜の緩急に依らず，崩壊や地すべりが発生した。

↓

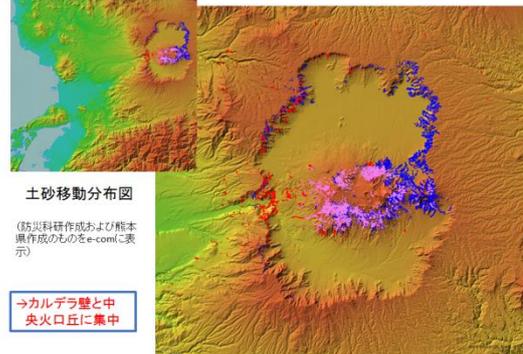
一部は土石流化した。  
(山王谷川地区の例など)

### 3. 地形配置と地形変化・家屋被害の状況

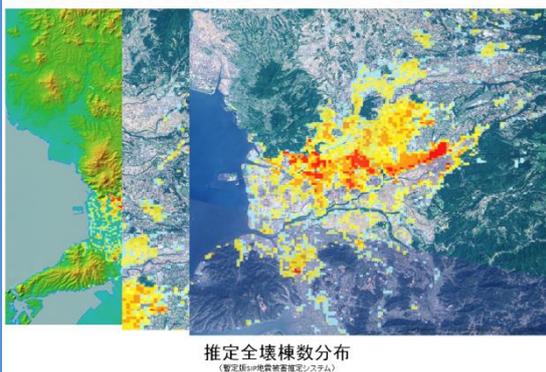


熊本地震の前震・本震の震度分布  
(J-RISQIによる)

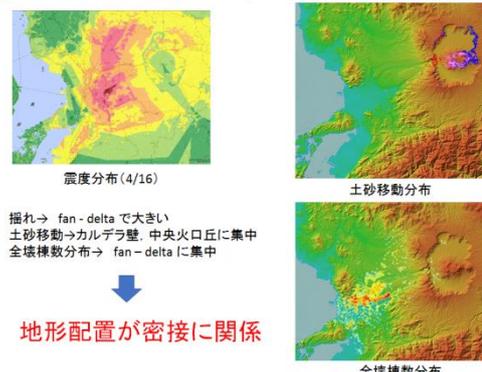
### 3. 地形配置と地形変化・家屋被害の状況



### 3. 地形配置と地形変化・家屋被害の状況



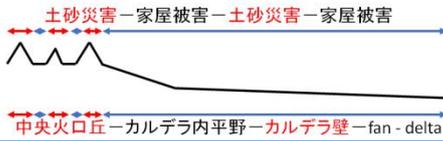
### 3. 地形配置と地形変化・家屋被害の状況



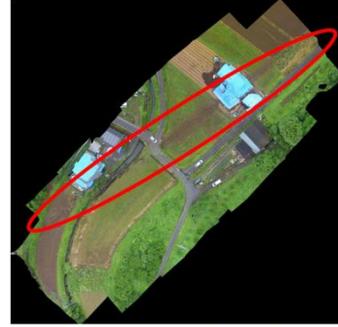
### 3. 地形配置と地形変化・家屋被害の状況



火山とfan - deltaが連続し、土砂災害と地盤の揺れ・液状化による2種類の被害が発生した。

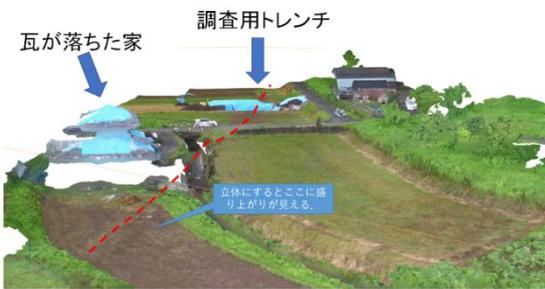


### 4. 地表地震断層の出現



益城町に出現した地表地震断層 (UAVによるオルソ画像)

### 4. 地表地震断層の出現



益城町に出現した地表地震断層 (UAVによる3次元モデル画像)

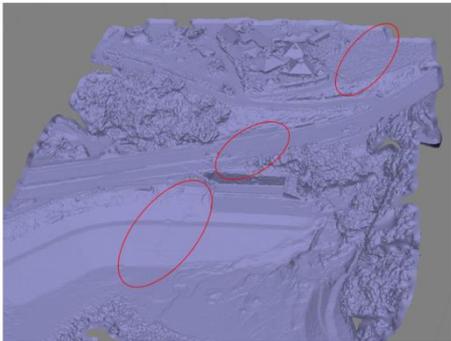
→広い範囲で地表地震断層の出現が確認された。

### 4. 地表地震断層の出現



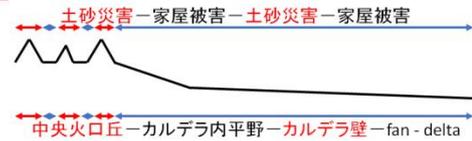
大切畑ダムを通る地表地震断層 (Seto and Nakamura, 2016)

### 4. 地表地震断層の出現



大切畑ダムを通る地表地震断層 (UAVによる3Dモデル)

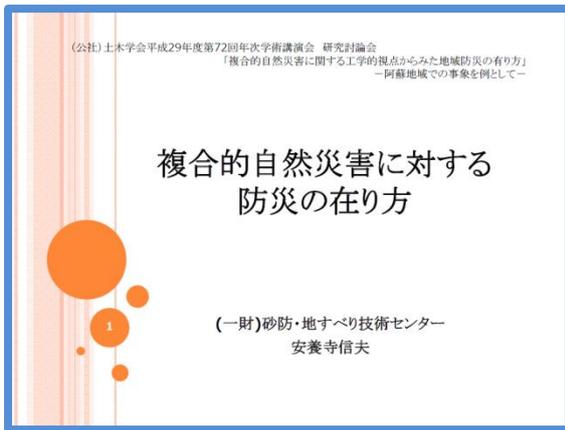
### 5. まとめ



■地形配置に対応し、異なる種類の被害が発生した。



■多数の地表地震断層が出現した。



### 自然災害の要因(素因+誘因)

- 災害現象の発生メカニズムと規模  
被害種類や程度(大きさ)に関係する
- 複数誘因の組み合わせ  
災害現象が特徴づけられる
- 発生タイミング  
災害現象が起こる時間差による被害状況の変化
- 被災対象の属性による災害形態の変化  
地域社会やその構成要素による脆弱性の相違

→ 複合的自然災害をどのように定義するのか?

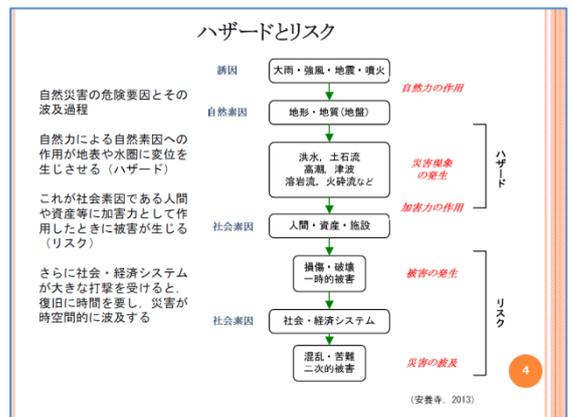
複合的自然災害を定義づけるために、自然災害の要因を再整理する。人間社会へ影響を与える災害現象に関して、現象の発生メカニズムと規模が被害の種類や程度に関係する。また複数誘因が組み合わせることによって、災害現象が特徴づけられる。そのような複合的自然災害の防災を考えてみたい。

### 複合的自然災害

- 自然災害 = 自然誘因(豪雨, 地震, 火山, 津波など) × 自然素因(地質, 地形, 地盤など) × 社会の脆弱性
- 「複合」のもつ意味  
複数の現象が起こること **multi-phase**
- 同時性 **synchronicity**: 同一の災害誘因によって複数の災害現象が発生する
- 連動性 **succession**: ある災害現象が別の災害現象を誘発させる
- 連鎖性 **chain**: いくつかの引き金を立て続けに起こり複数の災害が発生する(丸谷2017)

**複合的自然災害は発生タイミングによって影響程度が異なる**

複合的自然災害を定義する際に「複合」のもつ意味を考える。

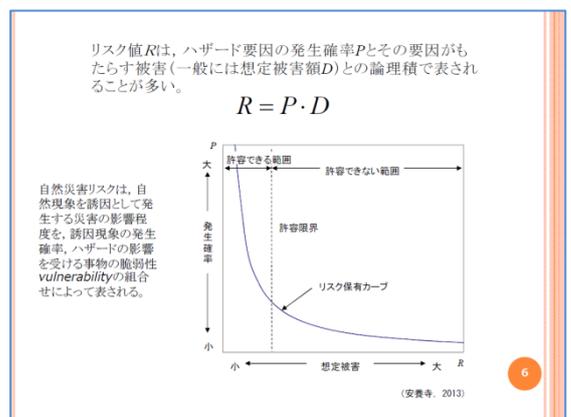


複合的自然災害に対する防災対策はどのように考えれば良いのだろうか。そのためにハザードとリスクの関連を考える。

### 防災の基本

- リスク評価がいかんにか正当になされるか?  
より適正な外力の発生確率  
外力規模に応じた被害想定  
地域ごとのリスク評価と社会全体のリスク評価
- 評価結果に対する意志決定の仕組みとプロセス  
防災対策の必要性(リスク評価結果の正しい解釈)  
誰が最終決定者か?  
意志決定までの判断プロセスが定められていないケースがある
- 対策の実施にかかわる制約条件  
地域住民の認識不足・同意  
技術的限界  
財政・予算 他事業との予算バランス  
無理解に基づく政治判断

複合的自然災害に対する防災の基本とは、リスク評価と結果に対する意志決定の仕組みである。対策の実施には多様な制約が存在する。



リスク値はハザード要因の発生確率と、それがもたらす被害の論理積として表される。

## 防災のあり方

- 対策効果と限界  
ハード対策による効果; 想定規模の土砂の処理 (通常1回)。  
複数回の土砂移動に対応するための手段  
同時発生; 複数現象に対応できる機能と構造  
連続発生; 施設規模を大きくして処理量増  
連鎖発生; 複数現象対応と処理量増  
いずれのケースにも限界がある。  
地形的制約, 経済的制約, 社会的合意

➡ ハード対策によって直接被害をできるだけ軽減するとともに、ソフト対策に重点をおいて被害の拡大を最小限度にとどめるような対策

7

複合災害を防止軽減するための対策では、対策の効果に限界があることを理解する必要がある。発生現象の組み合わせとタイミングによって対策の取り方が異なる。

## 複合的自然災害への防災対策(案)

- 災害予防と緊急対策
- 事前対策∞応急対策  
連鎖的災害リスクの増大・二次災害への対応
- 警戒避難体制(ソフト対策)  
複合災害の影響範囲が不定 避難計画の複雑化  
避難タイミング
- 被災の長期化への対応

8

具体的な防災対策はどのように考えるか? 予防的対策を進めながら、災害状況に応じた緊急対策の組み合わせが重要。ソフト対策がより重要で、二次災害防止などの警戒避難体制を複合災害のケースに応じて検討しておく必要がある。

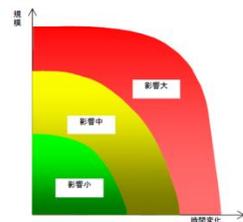
## 減災への課題

- 災害情報に基づく避難体制  
複合災害の可能性をどこまで周知するか?  
連続的/連鎖的災害の兆候が予測できるか?  
警戒避難のゾーニングやタイミング設定の課題
- 動的リスク評価  
複合災害発生の時間差(タイミング)に応じたリスク評価  
一次災害による脆弱性の変化を反映させる
- 土砂災害発生警戒基準の変更  
地震後、噴火後の地表擾乱と浸透能変化に対応した雨量等の基準値の迅速な変更  
通常の雨量基準より低めに設定される。

9

減災を図るためには避難行動につながる災害情報が必要である。複合災害が発生する条件が分からないと、早期の避難行動や避難範囲の拡大を決定することができない。技術的問題として複合災害による対策の必要性を判断するためのリスク評価手法が求められる。様々な方法が考えられるが、発生時間差に対応して脆弱性の変化を予測してはどうだろうか?

災害要因の規模(移動する物質の総量)と時間変化(速度)  
被災要因の脆弱性vulnerability(位置, 被災物の強度)

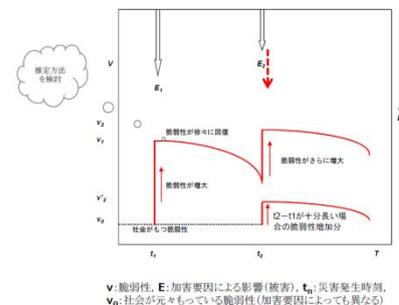


(安藤寺, 2016)

10

自然災害の影響を評価する際に、災害要因の規模と時間変化による影響程度を測ることが重要である。時間変化は災害要因が進行する速度とその継続時間で表される。

## 動的リスク評価の提案

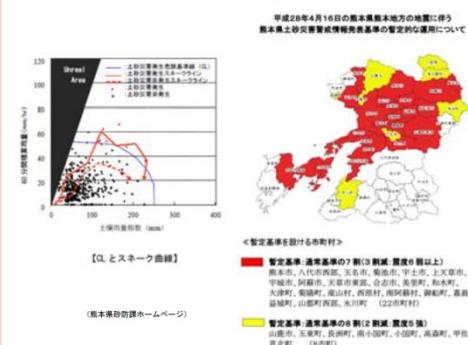


(安藤寺, 2017)

11

その概念を導入して時間軸における脆弱性の変化を概念的に考えてみる。社会がもつ自然災害に対する脆弱性は、災害現象の加害要因によって発生直後に急増する。一般には救援、応急復旧、復旧・復興によって社会の脆弱性は徐々に回復する。しかし災害前の状態に回復する前に次の加害要因が影響を与えると、脆弱性はさらに増大し、場合によっては回復速度がより遅くなることも考えられる。これを動的リスク評価として提案したい。

## ソフト対策の例 土砂災害警戒情報の変更(熊本地震)



12

ソフト対策の一例として、熊本地震後の豪雨による土砂災害警戒情報の引き下げを示す。震度6以上の地域では通常の雨量基準から3割減、震度5強の地域では2割減が暫定基準とされた。これは過去の事例に基づいているが、今後は地質条件の相違などを考慮したより詳細な引き下げ率の検討が望まれる。

## おわりに

日本列島は、世界でも屈指の、多くの地震や火山噴火を発生する変動帯であり、また、プレート運動による急峻な褶曲地形を持つ国であることは言うまでもありません。さらに、気候も、高温・多雨で、モンスーン気候から亜熱帯気候へと変化していく気候も感ぜられ、地震、津波、火山噴火、豪雨など、様々な場面で、自然災害を被ってきました。

今回の討論会の企画の時点においても、九州地方のみならず日本列島の各地で豪雨に見舞われ、多くの犠牲者を出しています。この災害は、歴史的に見ても、ただの偶然ではありません。しかし、自然の脅威を止めることは、現在のところ、できません。では、どうすればよいのでしょうか。

我々は、いかに、災害を減らすかを改めて考える必要があります。これが、内閣府の目指す、国の強靱化政策にほかなりません。「打たれ強い日本の創生」とでもいいでしょうか。内閣府は大学・官庁が中心になって政策を進めてはいますが、まだまだ十分ではなく、被害を受けそうな地域住民も、自ら、災害に備えることが重要と考えます。公表されているハザードマップなどを参考に、「自分の身は自分で守る」を基本理念として、行動されるようにしてください。

最後に、熊本・福岡で亡くなられた方々に対し、追悼の念を表すとともに、皆様のご冥福をお祈り申し上げます。

土木学会 地盤工学委員会  
斜面工学研究小委員会  
火山工学研究小委員会