

令和2年11月9日(月)

令和2年度 日本応用地質学会関西支部  
特別講演会・研究発表会

資料・論文集

日本応用地質学会 関西支部

# 令和2年度 日本応用地質学会関西支部 特別講演会・研究発表会

開催日時: 令和2年11月9日(月)13時00分～17時00分

## プログラム

◇ 開会挨拶、説明等 13:00－13:10

- ・ 開会挨拶
- ・ 注意事項説明、CPD活動証明の受け方等について

◇ 特別講演 13:10－14:00

「チベット高原南縁(ヒマラヤ)と東縁(眠山山脈)で起こっている山地の解体」

千木良雅弘 氏(深田地質研究所／理事長・京都大学名誉教授)

◇ 特別講演 14:10－15:00

「最近の豪雨の傾向について」

小原由美子氏(日本気象協会／気象予報士・防災士)

◇ 応用地質学会賞受賞記念講演 15:00－15:20

「こどものためのジオカーニバルの活動について」

奥野 拓 氏(ジオカーニバル企画委員会・大阪市立東高校)

◇ 一般講演(研究発表会) 15:30－17:00

特別講演 13:10－14:00

「チベット高原南縁(ヒマラヤ)と東縁(眠山山脈)で起こっている山地の解体」

千木良雅弘 氏(深田地質研究所／理事長・京都大学名誉教授)

チベット高原南縁(ヒマラヤ)と東縁(眠山山脈)で起こっている山地の解体

千木良雅弘(深田地質研究所)

## はじめに

インドプレートとユーラシアプレートとの衝突によって、チベット高原の南縁であるヒマラヤと東縁である眠山山脈は、急激に隆起しており、これらの山脈は隆起と侵食とマスマーブメントの場となっている。従来、テクトニクス、侵食、マスマーブメントに関する研究は両地域で数多くなされてきたが、地質構造も考慮してこれらを結びつけた研究は非常に少なかった。私たちは、両地域において、2.5m解像度の衛星画像(PRISM画像)、ALOS AW3Dの数値地形データ(5mDEM)を用いて、現地調査を行ってきた。調査地域は、ヒマラヤではカリガンダキ川流域、眠山山脈では眠江流域であり、これらの地域において河川侵食に対する山地斜面の応答でもある重力による山体の変形と地すべり・斜面崩壊について調査した。その結果、両地域ともに、河川侵食による遷急点の上流への波及と谷壁斜面の下部切断とが斜面の不安定化を引き起こしていることが明らかになってきた。

## ネパールヒマラヤ

カリガンダキ川は、チベット高原からヒマラヤを横断してインドに流れ下る大河川であり、アンナプルナ(8091m)とダウラギリ(8167m)の間を流れる世界一深い谷を形作っている(図1)。カリガンダキ川流域では、Kalopani と Talbagar とに明瞭な遷急点が存在する(Chigira et al., 2019)。Kalopani の遷急点は、流域で最大の天然ダムに位置している。この地すべりは、4100 年前に発生したと推定されており (Zech et al., 2009)、我々の調査によれば、発生前に calc gneiss が座屈変形していたと推定される。ここは、氷河に侵食された地域の端に位置しており、この斜面はおそらく下部を氷河に侵食されていた。この地すべりの下流には4つの巨大な地すべりがあり、最も上流のものは Talbagar 地すべりである。これは、顕著な遷急点の下流側左岸に位置している(図2)。この遷急点は、下流から上流に遡及しており、河床から 200 から 400m 高い位置に斜面の遷急線を形成した。これら4つの地すべりは、遷急線の形成によって下部切断された斜面に生じており、Talbagar 以外の3つの地すべりは事前にトップリング変形していたことがわかった。

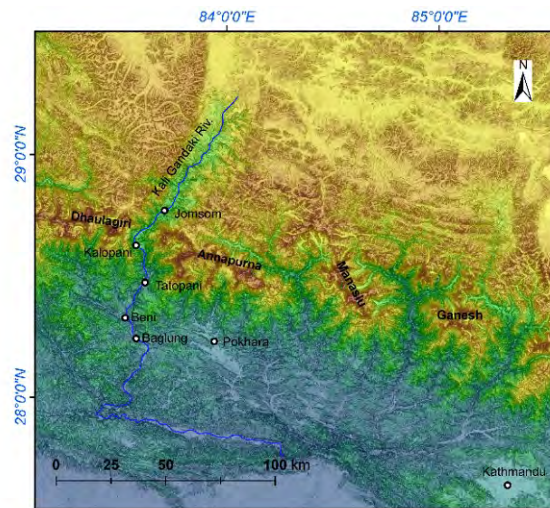


図1 カリガンダキ川周辺の地形



図2 Talbagar の遷急点

## 眠江

眠江には、2008年のブン川地震を引き起こした龍門山断層よりも上流側に2つの明瞭な遷急点が存在する(図3)。この遷急点の上流への遡及と谷中谷の形成が、河川と地質構造との幾何学的関係を反映した斜面の不安定化を引き起こしている(Zhao et al., 2019)。地質構造方向が河川の方と直交あるいは大きく斜交している場合には、地すべりは一般的に起こらないが、局所的な構造的欠陥を反映して、巨大な崩壊が発生していた。これらは層理面と節理による楔が眠江に向かって傾斜している場合と、谷方向にプランジする軸を持つ閉じた褶曲であった。眠江で最大のDiexiの崩壊は、遷急点の遡上によって引き起こされた楔型崩壊であった(図4)。地質構造方向が河川の方の方向にほぼ平行な場合には、地層の座屈あるいはトップリングが一般的に生じていた。

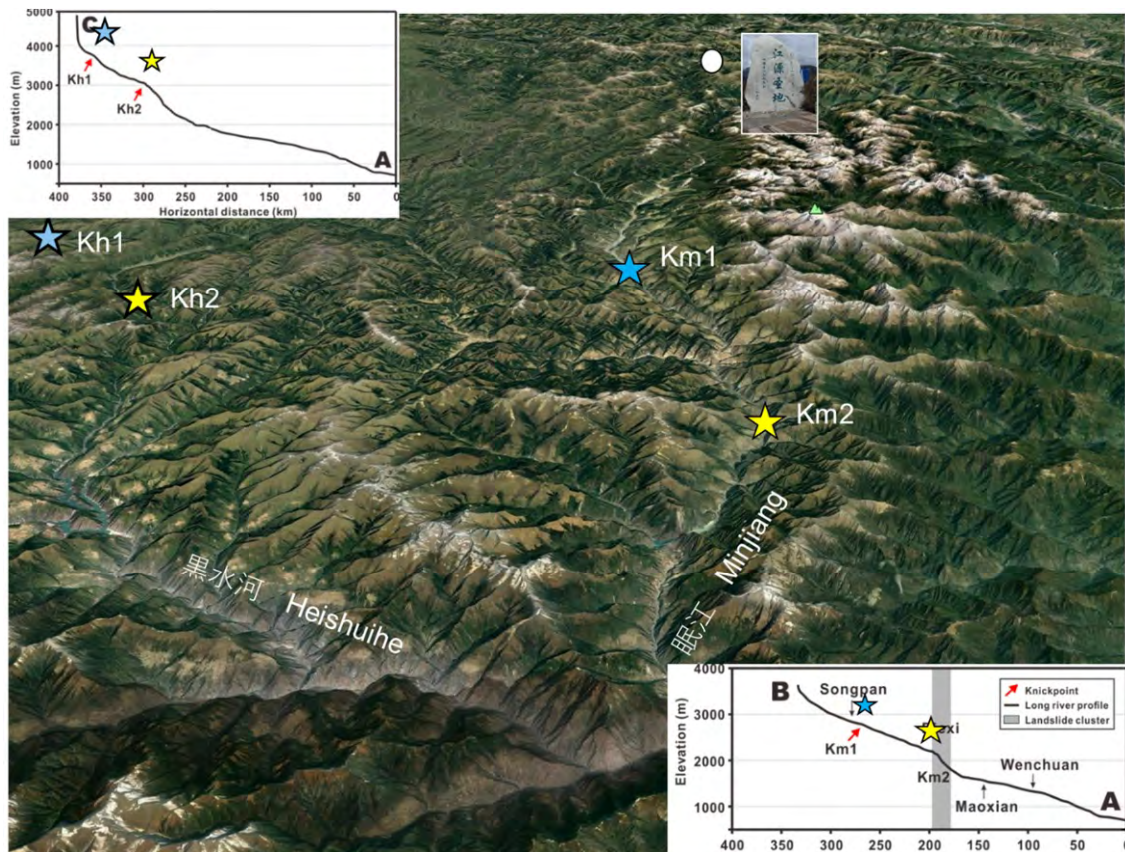


図3 眠江流域の地形と2河川の河川縦断図（左上は黒水河，右下は眠江）



図4 眠江沿いの Diexi およびその下流に連なる大規模崩壊.

おわりに

このように、ヒマラヤにおいても眠山山脈においても、隆起に伴って河川に遷急点が形成され、それが上流に波及して山地斜面が不安定化していくことがわかった。そして、この不安定化の様式は、地質構造に対して河川がどの方向に切り込んでいくかによって大きく異なることがわかってきた。これは、おそらく、他の造山帯においても言えることである。このような河川の浸食に対する斜面の応答の一つが巨大な深層崩壊である。

謝辞： 本報告の研究調査は，西南交通大学の巫賜勇教授，四川大学の趙思遠，弘前大学の鄒青穎の各氏とともにやってきたものである。

引用文献：

Chigira, M., Tsou, C.Y. & Higaki, D. 2019. Gigantic landslides aligned along the Kaligandaki River, Nepal Himalaya. *Geophysical Research Abstracts (European Geosciences Union)*, **21**, EGU2019-2738.

Zech, R., Zech, M., Kubik, P.W. & Kharki, K. 2009. Deglaciation and landscape history around Annapurna, Nepal, based on  $^{10}\text{Be}$  surface exposure dating. *Quaternary Science Reviews*, 28, 1106-1118.

Zhao, S., Chigira, M. & Wu, X. 2019. Gigantic rockslides induced by fluvial incision in the Diexi area along the eastern margin of the Tibetan Plateau. *Geomorphology*, **338**, 27-42, doi: 10.1016/j.geomorph.2019.04.008.

## チベット高原南縁(ヒマラヤ)と東縁(眠山山脈)で 起こっている山地の解体

千木良雅弘  
(京都大学防災研究所)

謝辞:  
**Himalaya:**  
**Tsou, C-Y. (Hiroaki Univ.)**  
**Higaki, D. (Hiroaki Univ.)**

**Minshan:**  
**Zhao, S. (Sichuan Univ.)**  
**Wu, X. (Southwest Jiaotong Univ.)**

## 自己紹介

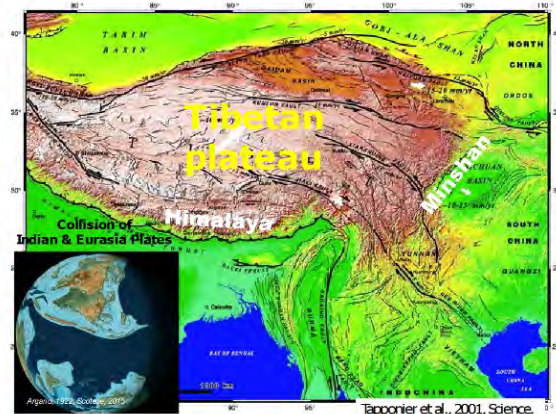
- 1955年2月 群馬県生まれ
- 1980: 東京大学大学院理学系研究科地質学専攻修士課程
- 1980-1981: 同博士課程
- 1981-1997: (財)電力中央研究所
  - ダム、発電所、送電鉄塔などの基礎の調査、放射性廃棄物の地層処分に関連する研究
  - 岩石の風化、重力による変形
- 1987: 岩石の長期的重力変形 (東京大学、理学博士)
- 1997-現在: 京都大学防災研究所
  - 岩石の風化、重力による変形、斜面崩壊
  - 国内外の様々な地質災害の調査研究

## 調査してきた主要な地質災害 (地すべり, 斜面崩壊等)

- 1996年2月 **三浦トンネル** 災害 (北海道, 20名死亡)
- 1997年5月 **八幡平** 災害 (人的被害なし)
- 1997年7月 **出水** 災害 (鹿児島, 21名死亡)
- 1998年8月 **福島県南部** 災害 (人的被害なし)
- 1999年2月 **新潟県** 災害 (人的被害なし)
- 1999年5月 **広島県** 災害 (24名死亡)
- 1999年9月 **台湾** 災害 (24名死亡)
- 2000年9月 **東海** 災害 (24名死亡)
- 2001年7月 **神奈川** 災害 (24名死亡)
- 2002年8月 **台風** 災害 (24名死亡)
- 2003年7月 **水俣** 災害 (24名死亡)
- 2004年7月 **新潟** 災害 (24名死亡)
- 2004年10月 **新潟** 災害 (24名死亡)
- 2005年9月 **台風** 災害 (24名死亡)
- 2005年10月 **パキスタン** 災害 (24名死亡)
- 2007年3月 **能登半島** 災害 (24名死亡)
- 2007年7月 **新潟** 災害 (24名死亡)
- 2008年5月 **中国四川** 災害 (死者9万人, 山崩れで2万5千人)
- 2008年6月 **台湾** 災害 (死者619名, 小林村で400名以上)
- 2009年9月 **パダン** 災害 (スマトラ, 死者600名以上)
- 2011年 **東北地方太平洋沖** 災害 (土砂災害で16名死亡)
- 2011年 **台風** 災害 (死者93名, 56名は土砂災害)
- 2014年 **広島** 災害 (死者74名)
- 2015年 **ネパール** 災害 (死者37名)
- 2017年 **九州北部** 災害 (死者37名)
- 2018年 **西日本豪雨** 災害 (死者94名, 広島県)
- 2018年 **北海道胆振東部** 災害 (死者36人)
- 2019年 **台風** 災害 (死者9人)

雨によるもの  
地震によるもの  
他に山崩れなし

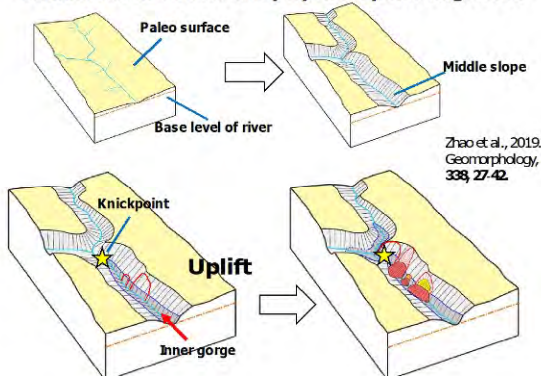
チベット高原南縁(ヒマラヤ)と東縁(眠山山脈)で  
起こっている山地の解体



## Previous studies about Deep-seated Gravitational Deformation (DGSD) and landslide controlled by river incision and geological structures

|                                                      | DGSD                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Goal                                                             | Landslide                                                                                                                            |
|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Control by river incision (slope break & knickpoint) | Korup and Schlunegger (2007); Harkin and Chigira (2011); Gallen et al. (2011)                                                                                                                                                                                                                           | Chigira (2003); Tsou et al. (2015)                               | Chigira and Evans (2003); Norup (2004, 2005, 2006, 2009, 2010); Larsen and Montgomery (2012); Tsou et al. (2014); Tsou et al. (2017) |
| Morpho-structure                                     | Radbruch-Hill (1976); Bovis (1982); Dramis and Sorriso-Valvo (1994); McDolpin (1999); Crosta and Zanchi (2000); Agliardi et al. (2001, 2009); Ambrosi and Crosta (2006); Crosta et al. (2013)                                                                                                           | Crosta et al. (2004); Hewitt et al. (2008)                       |                                                                                                                                      |
| Geological structure of rock                         | Zischinsky (1966, 1969); Mohr (1977); Bovis (1982); Cruden (1989, 1996); Chigira (1992); Chigira and Kito (1994); Chigira et al. (2003, 2009, 2010, 2013); Cruden et al. (2007); Jaboyedoff et al. (2009); Tommasi et al. (2009); Tsou et al. (2011, 2015); Redrazini et al. (2013); Zhao et al. (2018) | Cruden and Yarnes (1996); Cruden (1999, 2003); Jaboyedoff (2004) |                                                                                                                                      |

## Landslides are induced by by knickpoint migration

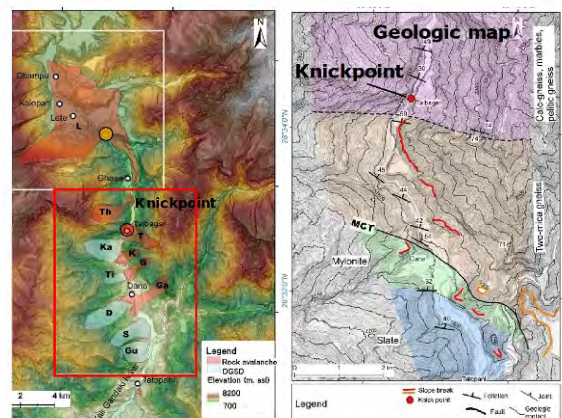
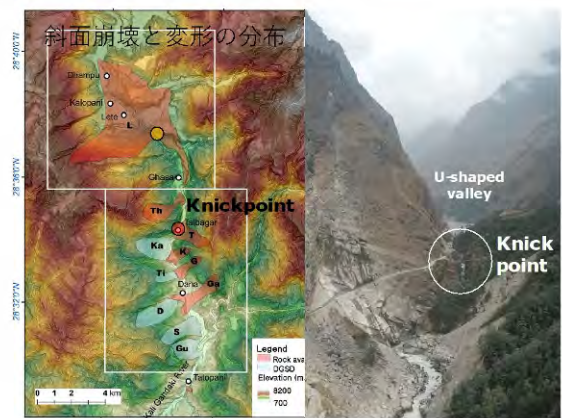
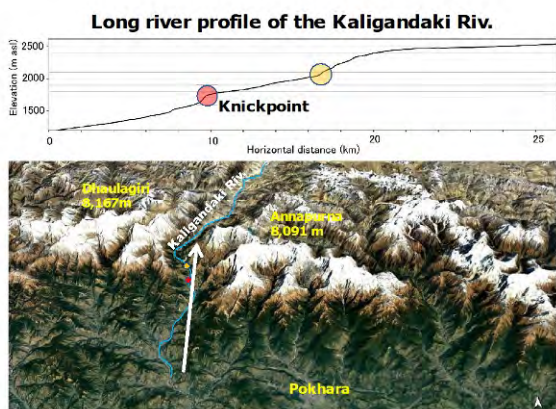
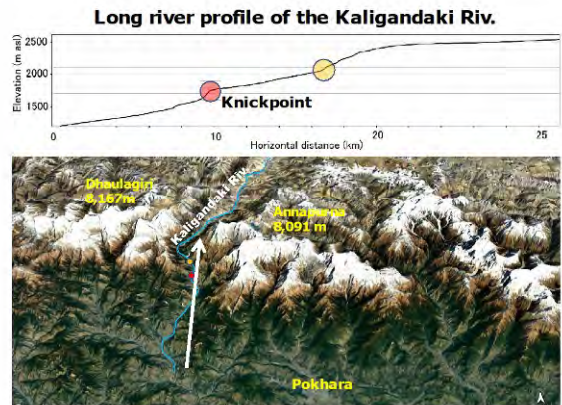
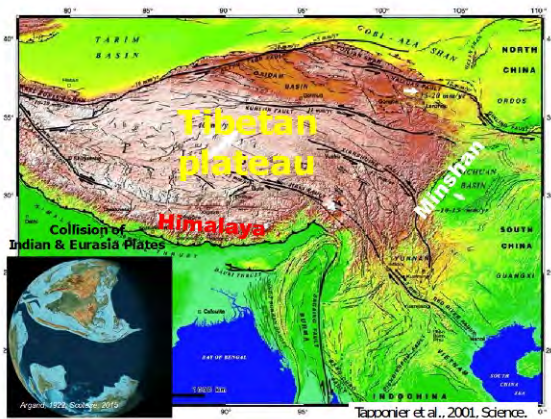


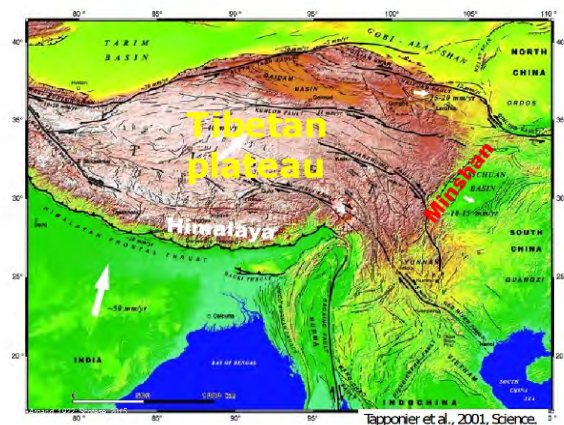
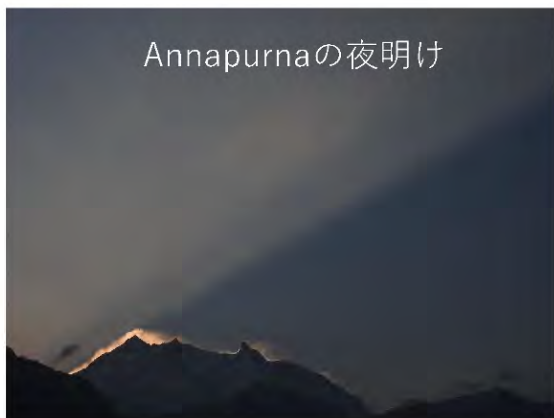
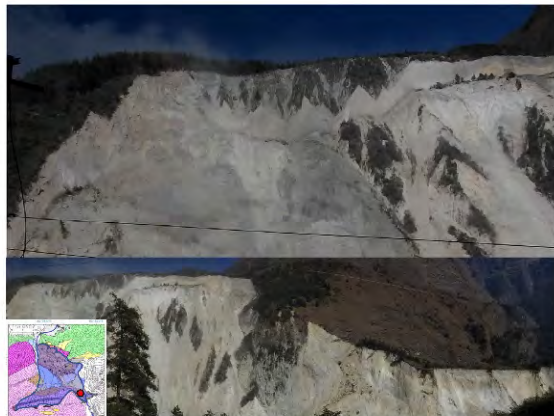
## 研究地域

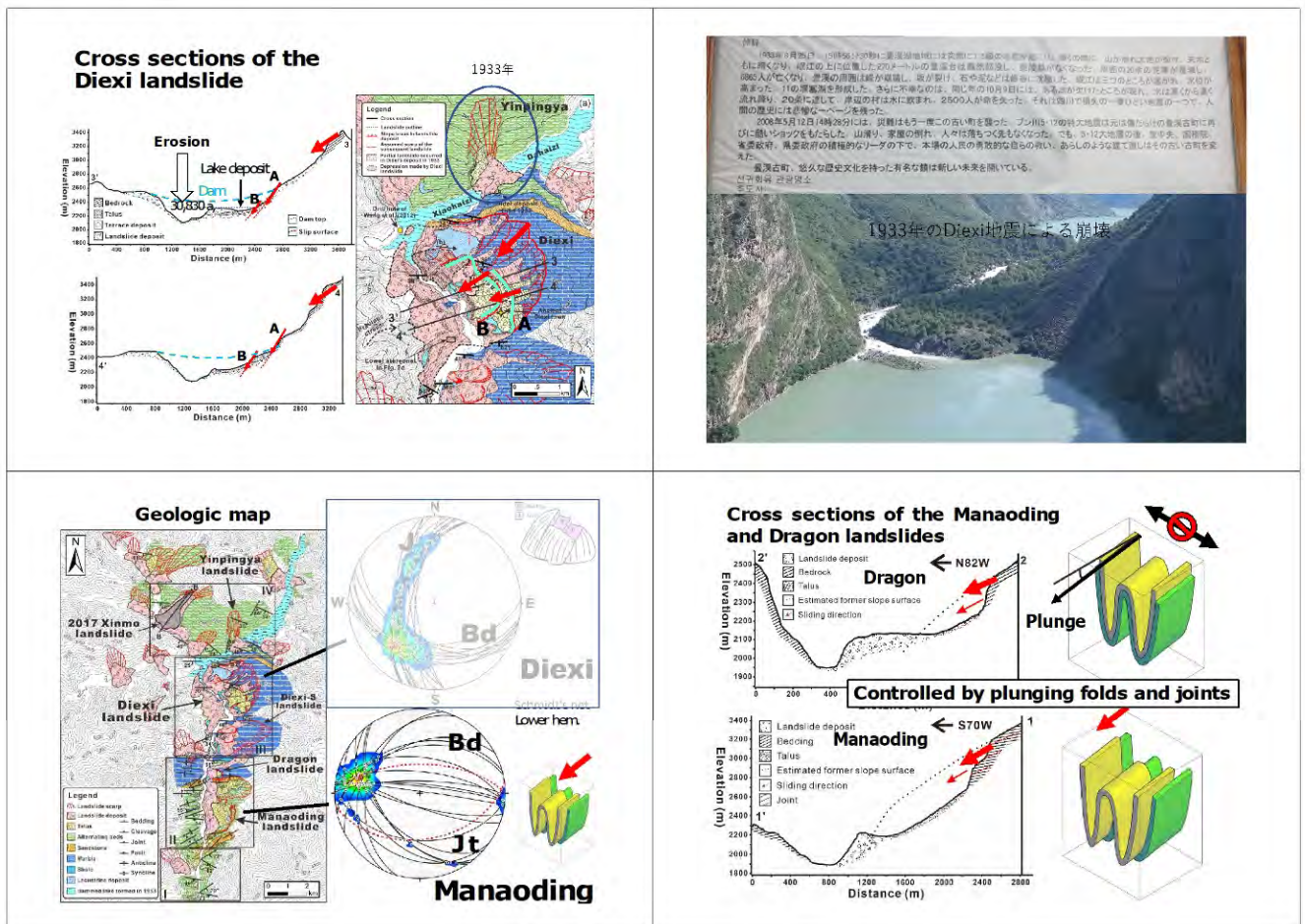
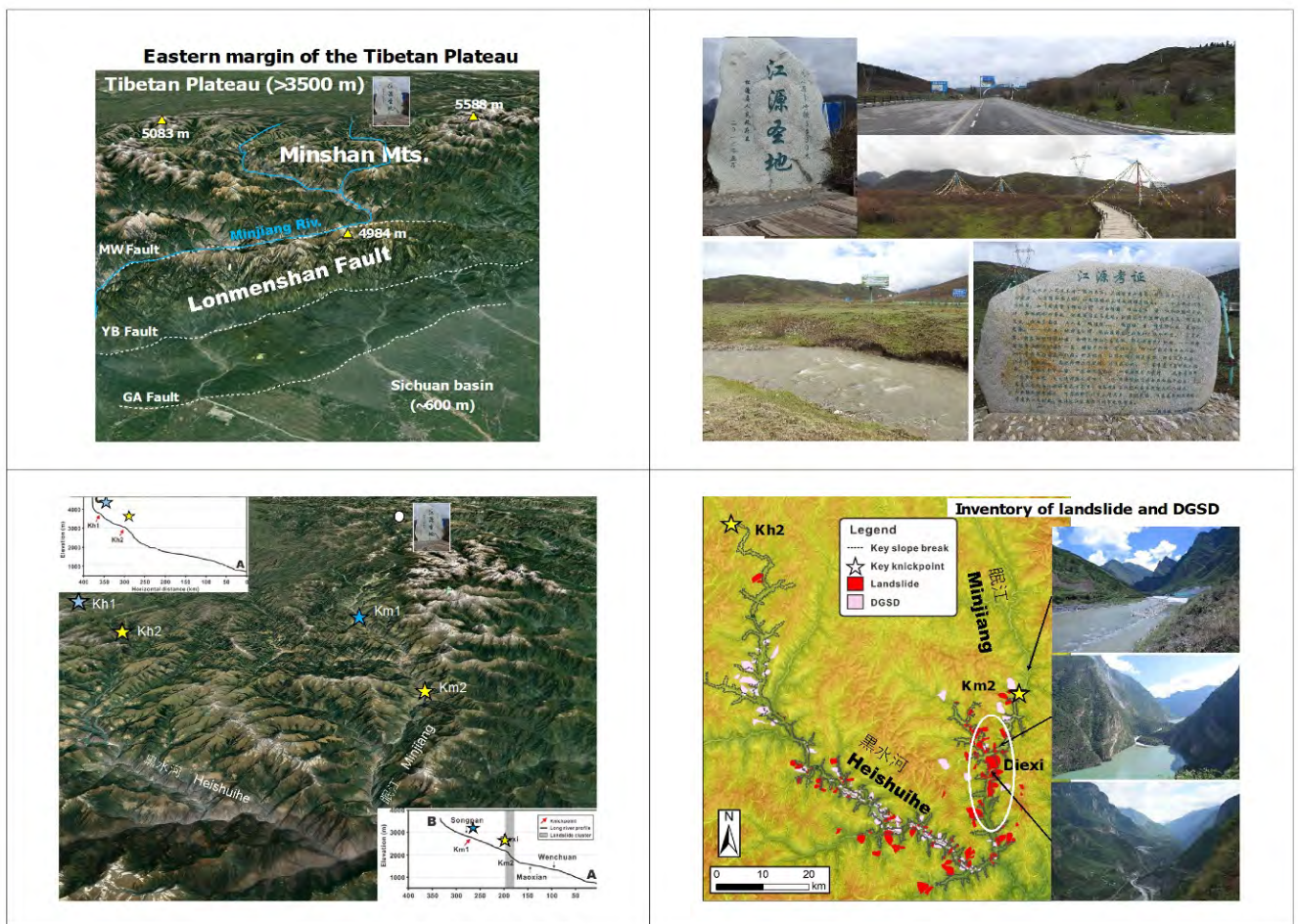
- Southern margin of Tibetan Plateau (**Himalaya**)
- Eastern margin of Tibetan Plateau (**Minshan** 眠山)

## 方法

- Satellite image (PRISM, 2.5 m resolution)
- 5-m DEMs (ALOS AW3D)
- Geological mapping
- Topographic survey and analysis on GIS

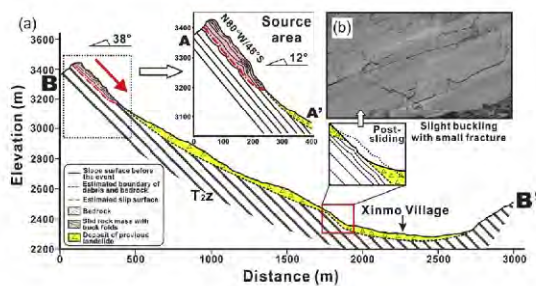
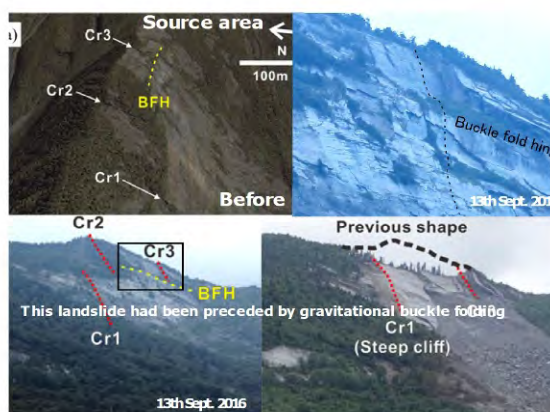






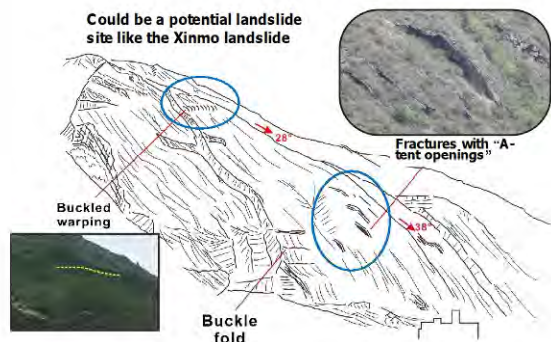
## 新磨 (Xinmo) の大崩壊

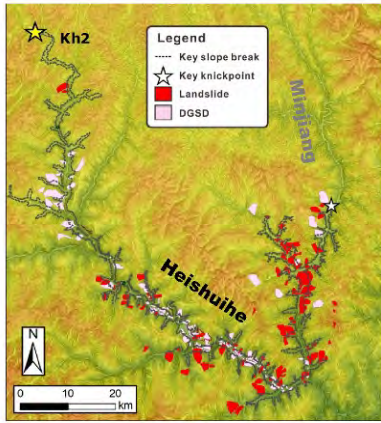
2017年7月24日午前5:46  
死者102名、村が壊滅  
体積1800万 m<sup>3</sup>



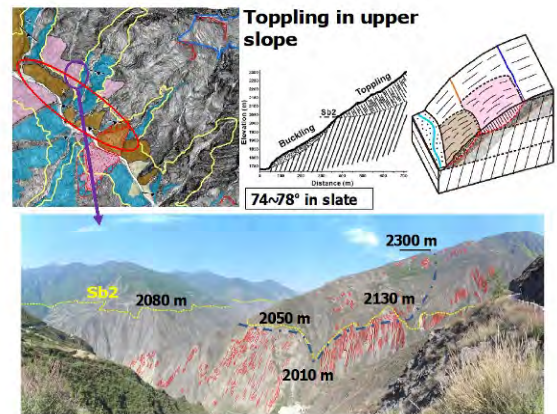
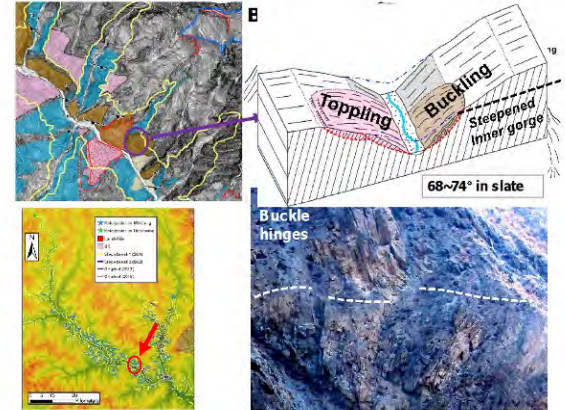
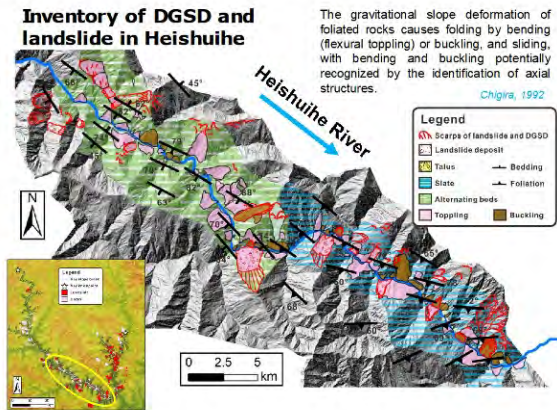
## Eastern hillslope of Xinmo

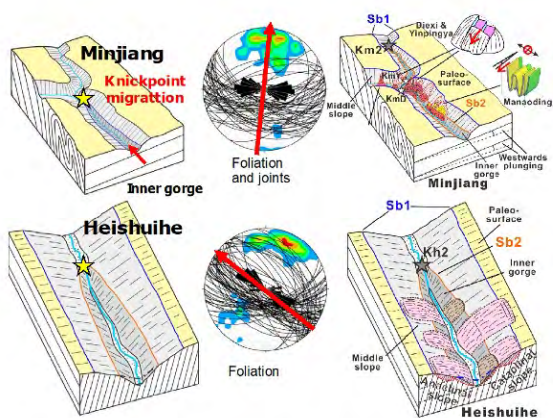
Could be a potential landslide site like the Xinmo landslide





Heishuihe  
(黑水河)





結論 チベット高原南縁のヒマラヤにおいても、  
東縁の眠山山地においても、  
隆起に伴う遷急点の上流への遡及が斜面の不安定  
化をもたらしてきた。  
斜面の応答は、地質構造によって大きく異なる。



特別講演 14:00－15:00

「最近の豪雨の傾向について」

小原由美子氏(日本気象協会／気象予報士・防災士)

## 最近の豪雨の傾向について

2020年11月9日

一般財団法人日本気象協会 関西支社  
情報サービス課 小原 由美子

JWA 日本気象協会

## 一般財団法人日本気象協会とは



- ・設立：1950年5月10日  
2009年10月～一般財団化
- ・従業員数：812名（2020年7月1日現在）
- ・主たる事務所：東京、札幌、仙台、名古屋、大阪、福岡
- ・主たる業務：気象予報事業、  
気象情報提供事業  
防災事業（コンサルタント等）  
環境事業（コンサルタント等）



本社：池袋 サンシャイン60



今年70周年を迎えました  
<https://www.jwa.or.jp/70th/>

空を見つめて70年  
未来を見つめて70年

JWA 日本気象協会

## 一般財団法人日本気象協会の事業内容

| 情報サービス                                                              | メディア・コンシューマ                                                        | 環境・エネルギー                                                          | 社会・防災                                                              |
|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| <b>日本気象協会の情報提供の基盤を支える</b><br>✓ 気象情報システムの開発・運用<br>✓ 気象予報士によるコンサルティング | <b>社内外と連携した情報発信</b><br>✓ テレビ・ラジオ・新聞などマスメディアへの情報配信<br>✓ tenki.jpの運営 | <b>環境に配慮した安心・安全な社会の構築</b><br>✓ 環境対策関連のアセスメント<br>✓ 再生可能エネルギーの発電量予測 | <b>気象情報を使って防災・減災のサポート</b><br>✓ 鉄道、道路、ダム、河川向けコンサル<br>✓ 商品需要予測プロジェクト |

JWA 日本気象協会

## こんな取り組みもしています

### ドローン (UAV) を用いた高層気象観測の可能性調査

### 商品需要予測

JWA 日本気象協会

## 目次

1. 災害につながる気象要因
  - 1) 台風 台風の基礎知識
    - 【事例】令和元年台風第19号
    - 【参考】JWA台風アンサンブル予想（独白）
    - 【参考】台風とエルニーニョ/ラニーニャ
    - 【参考】インド洋ダイポールモード現象
  - 2) 梅雨前線と豪雨
    - 【事例】①平成30年7月豪雨
    - 【事例】②令和2年7月豪雨
  - 3) 線状降水帯
    - 【参考】なぜ線状降水帯の予測は難しいのか
    - 【参考】最新の研究 SIPでの取り組み
2. 最新の気象サービス GoStop マネジメントシステム
  - 【参考】予測精度の向上を図る
3. 自らの命は自らが守る

JWA 日本気象協会

## 1. 災害につながる気象要因



JWA 日本気象協会

## 1) 台風

台風とは…北西太平洋に存在する熱帯低気圧のうち、低気圧域内の最大風速がおおよそ17m/s以上のもの。

| 台風の大きさ       | 台風の大きさ           | 風速15m/s以上の半径     |
|--------------|------------------|------------------|
| 大型 (大きい)     | 500km以上800km未満   |                  |
| 超大型 (非常に大きい) | 800km以上          |                  |
| 台風の強さ        | 最大風速             |                  |
| 強い           | 33m/s(64knot) 以上 | 44m/s(85knot)未満  |
| 非常に強い        | 44m/s(85knot)以上  | 54m/s(105knot)未満 |
| 猛烈な          | 54m/s(105knot)以上 |                  |

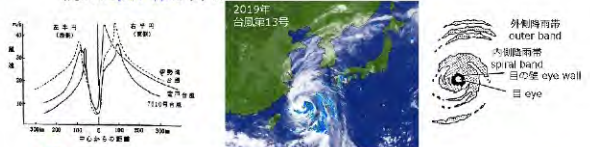
JWA 日本気象協会

## 台風に関する注意事項

### 【台風に関する注意事項】

①台風の周囲では反時計回りの風が吹いている。  
➡台風進行方向の右側では、南風に台風の進行速度が加わり、**風や雨が強まる**（特に秋台風）。

②台風から遠い地域でも、外側降雨帯(outer band)により断続的に**強い雨**が降る。



JWA 日本気象協会

## 台風に関する注意事項

- ③南斜面では南寄りの風により、局地的に雨が強まる。
- ④台風の前面に前線が停滞している場合は、台風に先行して強い雨が降り雨量が多くなる。



JMA 日本気象協会

Japan Weather Association (JMA) Right Reserved

## 台風の月別の主な経路と、2020年の台風



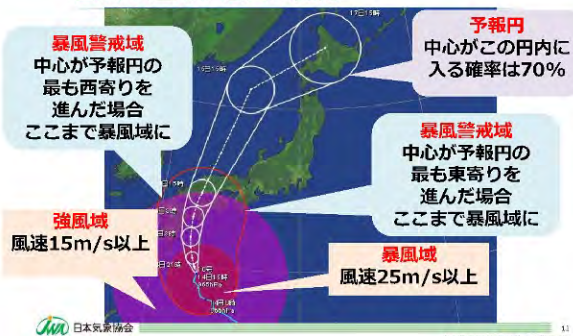
太平洋高気圧の盛衰に従い台風の経路が変化する。  
7月～9月に日本本土に多く上陸している。

平均：年間発生数25.6個  
上陸数2.7個  
2020年：年間発生数19個  
上陸数0個

JMA 日本気象協会

Japan Weather Association (JMA) Right Reserved

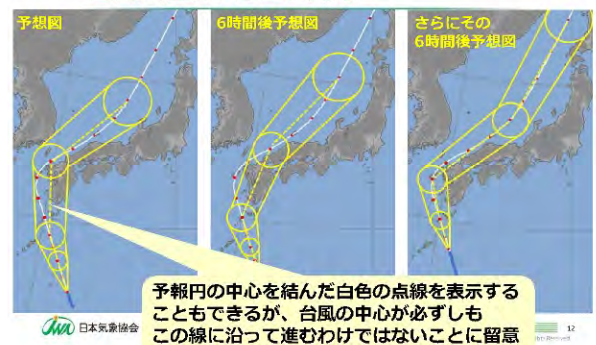
## 台風の進路予想図の見方



JMA 日本気象協会

Japan Weather Association (JMA) Right Reserved

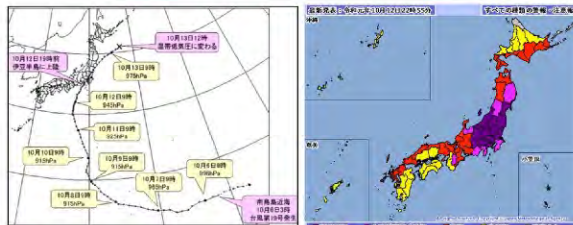
## 台風の進路予想図の見方



JMA 日本気象協会

Japan Weather Association (JMA) Right Reserved

## 【事例】令和元年台風第19号



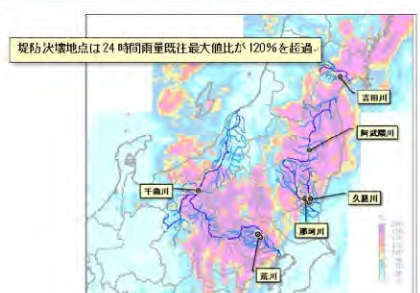
大雨特別警報が12日に静岡県、神奈川県、東京都、埼玉県、群馬県、山梨県、長野県、茨城県、栃木県、新潟県、福島県、宮城県、13日に岩手県に発表された。

JMA 日本気象協会

Japan Weather Association (JMA) Right Reserved

図(左) 東京管区気象台HPより (右) 気象庁HPより

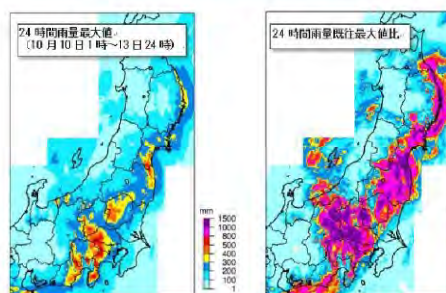
## 大雨により甚大な被害が発生 台風第19号



JMA 日本気象協会

Japan Weather Association (JMA) Right Reserved

## 大雨が短期間に集中した台風第19号

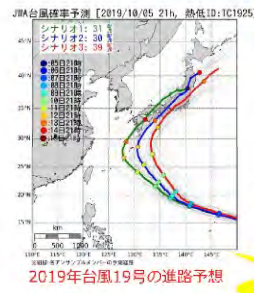


JMA 日本気象協会

Japan Weather Association (JMA) Right Reserved

図：国土交通省レーダ解析雨量から作成

## 【参考】JWA台風アンサンブル予想（独自）



JMA 日本気象協会

Japan Weather Association (JMA) Right Reserved

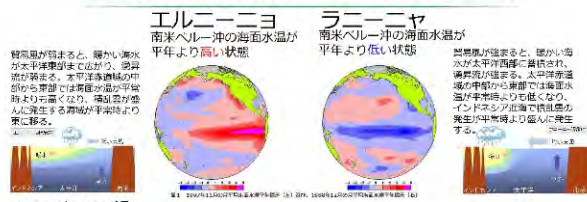
図：国土交通省レーダ解析雨量から作成

### 他社にはない独自情報

- 最も予測精度の高いECMWF（ヨーロッパ中期予報センター）によるアンサンブル予測を利用
- 3つのシナリオで台風の予測進路を表現
- どの進路に進む可能性が高いか重みづけをして「%」で評価
- 最大10日先までの進路を予測（気象庁は5日先まで）

10月5日時点、熱帯低気圧の段階でここまで予測

## 【参考】台風とエルニーニョ/ラニーニヤ



西日本の天候

夏：エルニーニョ発生時…低温、日本海側を中心に多雨傾向

ラニーニヤ発生時…太平洋側でやや多雨傾向

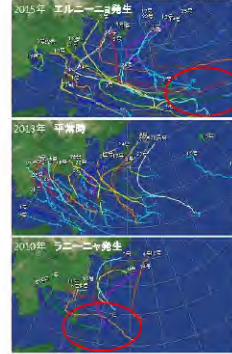
冬：エルニーニョ発生時…高温傾向

ラニーニヤ発生時…やや低温傾向



図：気象庁HPより

## 【参考】台風とエルニーニョ/ラニーニヤ



### エルニーニョ発生時の傾向

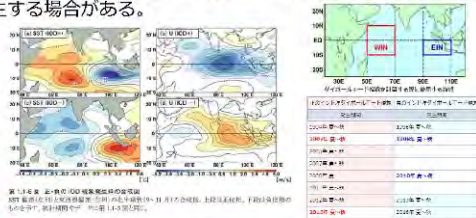
- ・7月～9月の発生数が平年より少ない
- ・発生位置が平常時より南東にずれる
- ・夏、最も発達した時の台風の中心気圧が、平常時よりも低い
- ・秋、台風から消滅までの寿命が長くなる

### ラニーニヤ発生時の傾向

- ・台風の発生位置が、平常時に比べて西にずれる
- ・秋、台風から消滅までの寿命が短くなる

## 【参考】インド洋ダイポールモード現象

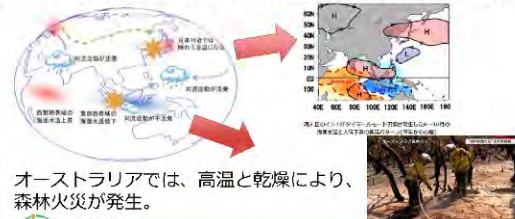
初夏から晩秋にかけて、インド洋熱帯域の東部と西部で海水温の分布が2種に分かれて変化する現象。正・負の2つの状態がある。エルニーニョ/ラニーニヤ現象と同時に発生する場合と、単独で発生する場合がある。



図：気象庁HPより

## 【参考】インド洋ダイポールモード現象

インド洋熱帯域の海面水温が南東部で平年より低く、西部で平年より高くなる「正のインド洋ダイポールモード現象」が発生すると、偏西風の蛇行等により西日本の夏から秋にかけての天候が高温傾向になる。地球温暖化により、より現象が顕著になる恐れがある。



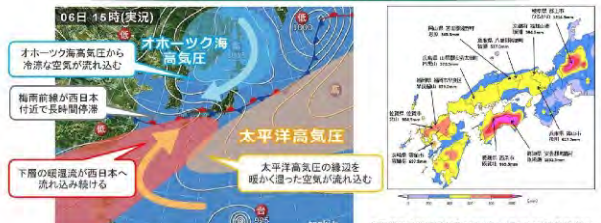
図：気象庁HPより 写真：NHK HPより

## 2) 梅雨前線と豪雨



図：気象庁HPより

## 【事例】①平成30年7月豪雨

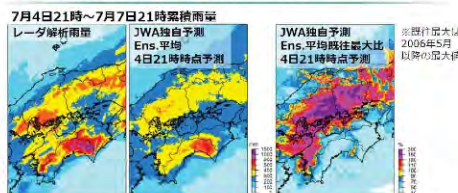


大雨特別警報が、7月6日福岡県、佐賀県、長崎県、岡山県、広島県、鳥取県、兵庫県、京都府、7月7日岐阜県、7月8日高知県、愛媛県に発表された。



図：気象庁HPより

## その地域にとって危険な雨の量

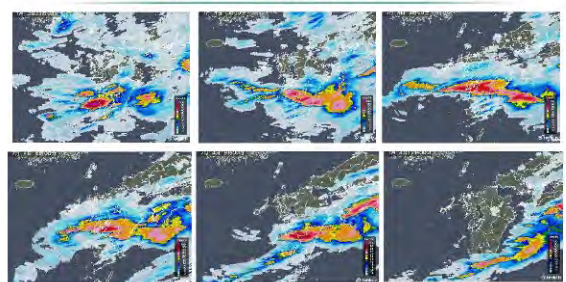


累積雨量よりも、「その地域にとって危険な雨の量」に着目し、危険度を把握することが重要。日本気象協会が静岡大学牛山素行教授との共同研究で調査した、平成30年7月豪雨時の降水量と犠牲者の発生数の関係によると、**既往最大比150%前後**から犠牲者の発生数が急増する可能性が示されている。

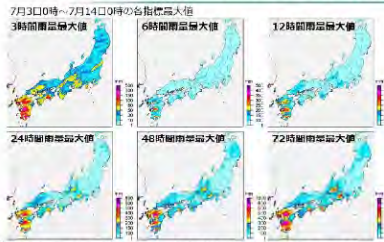


図：気象庁HPより

## 【事例】②令和2年7月豪雨



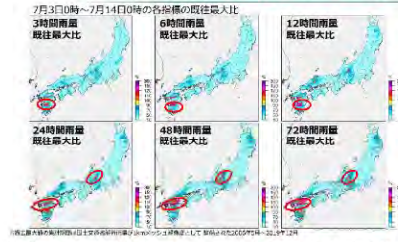
図：気象庁HPより



・6時間雨量、12時間雨量では熊本県周辺で多い。

・24時間、48時間、72時間雨量では、九州、四国、近畿南部、東海で多い。

7月3日から13日にかけて、活発化した梅雨前線の影響で暖かく非常に湿った空気が流れ込み、九州北部地方など広い範囲で大雨となった。九州では、この期間の総降水量が1,000ミリを超える地域があった。3日から4日にかけては、福岡川流域に**記録性大雨**が停滞し、24時間雨量（流域平均）が400ミリを超え、土壌流出などで河川の氾濫が発生した。6日から8日にかけては、九州北部・中部を中心に**記録性大雨**による**大雨**となり、48時間雨量が500ミリを超え、浸水害や土砂災害が発生した。



・熊本県では、  
3～24時間雨量で**既  
往最大値を超過。**

・九州北部、岐阜・長野では24～72時間雨量で**既往最大値を超過**。

近年の過去最大雨量を大きく上回る大雨により、筑後川では氾濫災害が発生した。既往最大比150%を超える大雨により、岐阜県・長野県では、氾濫や浸水被害、土砂災害が発生。線状降水帯の多発が影響。

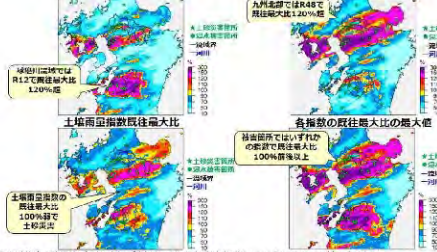
The logo of the Japan Meteorological Association (JMA) is located in the bottom right corner. It consists of a stylized green circular emblem followed by the text "日本気象協会" in black.

被害箇所ではいずれかの指数で**既往最大比**をほぼ超過

・球磨川では流域全体で12時間雨量で既往最大比**120%**を超えていた。

7月3日0時～7月14日0時の各指標の既往最大比

12時間雨量既往最大比



② 日本経済新聞、東京新聞、毎日新聞は同日に、それぞれ「おどろく! 耳鳴りによる脳血管障害について」(1月16日6頁)と「おどろく! 耳鳴りによる脳血管障害について」(1月16日6頁)と題して、この研究について取り上げた。



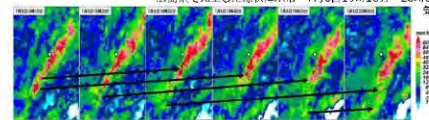
上層風の上流域で次々と積乱雲が発生し、風下側に移動を繰り返すバックビルディング型が多い。

→積乱雲が組織立って線状に並ぶ。  
全国どこでも発生する！

【事例】平成30年7月豪雨

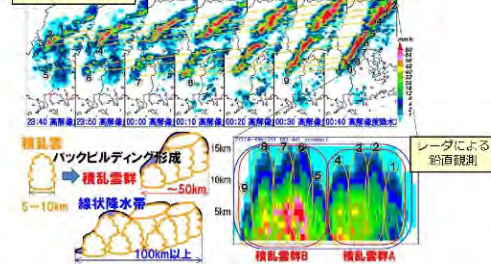
広島県で発生した線状降水帯 7月6日19時10分～20時00分

気象庁HPより

 日本気象協会

### 積乱雲が次々と生成・組織化（2014年8月広島豪雨の事例）

降水強度 (解析値)



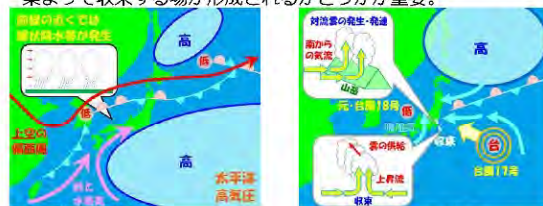
日本気象協会

出典：平成26年度予報技術研修テキスト（気象庁）

- ① 大量の暖かく湿った空気が大気下層（およそ高度1km以下）に継続的に流入  
前線へ流れ込む湿った空気、低気圧や台風による南風の収束など
- ② 大気下層の暖かく湿った空気を、自由対流高度（浮力のみで空気塊が上昇できる高度）まで持ち上げる強制力  
前線、地形、冷氣プール（大気下層の冷氣層）など
- ③ 大気の成層状態が不安定  
上層に寒気流入、下層に暖気流入など
- ④ 個々の積乱雲が組織化するための適度な鉛直シア（上層と下層の風向・風速差）の存在  
鉛直シアが小さいと、組織化した降水系がでにくい

The logo of the Japan Association of Airway Medicine (JAM) is located in the bottom right corner. It features a stylized green circular emblem with a white figure inside, followed by the text "日本気管協会" in black.

前線や台風、高気圧の縁辺流などに伴う暖湿流が、**2方向から**集まって収束する場が形成されるかどうか重要。



①2014年8月広島豪雨  
太平洋高気圧の縁辺流  
+前線に伴う湿った空気  
→広島市から内陸に向かって線状降水帯

②2015年9月関東・東北豪雨  
元台風18号の低気圧に向かう南西風  
+台風17号に伴う湿った東風の収束  
→関東から東北にかけて線状降水帯

 日本気象協会

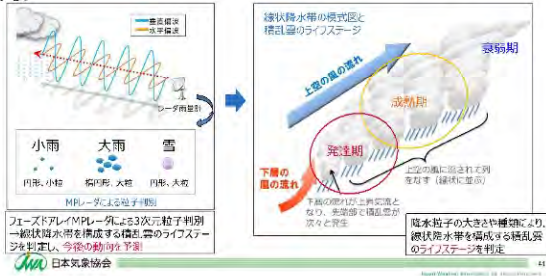
- ・雨量が多くなるのは、同じ場所で強い雨が長時間続くから。
- ・その地域にとってどれくらいの雨が降っているのか、把握することが重要。「既往最大比」
- ・「線状降水帯」の発生は、大雨や災害に繋がる。日本全国どこでも発生する。
- ・二方向から暖かく湿った空気が流入し、収束する場が形成されると、線状降水帯が発生するリスクが高まる。
- ・ただし、線状降水帯の発生場所等を予測するのは、難しい。

日本気象協会



## フェーズドアレイ気象レーダの活用

フェーズドアレイMPLレーダの3次元粒子判別情報を用いて、線状降水帯を構成する擾乱雲のライフステージを判定し、今後の線状降水帯の動向や局地的豪雨の発生危険度を予測する。



## 2.最新のサービス



一般財団法人 日本気象協会

**悪天候時の輸送リスクを低減するための  
配送計画の作成や輸送可否の判断をサポートします**

日本気象協会は、悪天候時の輸送安全を支援する物流向け新サービス「GoStopマネジメントシステム」の提供をしています。  
近年顕著化する気象現象や多発する気象災害に伴って、「ホワイト物流推進運動」の取り組み（異常気象時の運行中止・中断の判断）や「異常気象時における措置の目安」が推奨される等、物流における気象情報の必要性はより高くなっています。本サービスによって、配送計画の作成や輸送の可否の判断、ドライバーの安全確保に貢献します。

日本気象協会

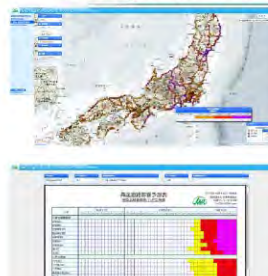
## GoStopマネジメントシステム

- GoStopマネジメントシステムの特徴**
- 1 輸送影響リスクは1時間単位で72時間先まで表示
  - 2 輸送影響リスクの気象要素は大雨、暴風、大雪、吹雪、越後の5要素
  - 3 1日8回、3時間毎の予測情報更新
  - 4 接続可能な地図と予測表の2画面表示
  - 5 警報・注意報の発生状況も確認可能
  - 6 台風進路予測線、独自技術である3本線で表示
  - 7 台風の事前対策に必要な大雨や暴風の予測情報を上陸の最大7日前から提供



日本気象協会

## GoStopマネジメントシステム



「GoStopマネジメントシステム」は全国の高速道路を対象に、気象による輸送影響リスクを悪天候の72時間前から地図や表によりひと目で確認できるWebサービス。各路線のIC毎に1時間毎の輸送影響リスクが詳細に把握できるため、悪天候時の配送計画の作成や輸送可否の判断、ドライバーの安全確保に役立つ。

1. 高速道路がどの場所でのような気象現象によって輸送影響リスクが高いのか、ひと目で確認可能（上図）
2. 走行する高速道路についてICごとに、72時間先まで1時間単位の輸送影響リスクを表示（下図）
3. 台風が発生した際には、日本気象協会が保有する独自技術を使うことで詳細な台風進路予測や雨量、暴風予測などを、運行タイムラインに沿って台風上陸の最大7日前から提供

日本気象協会

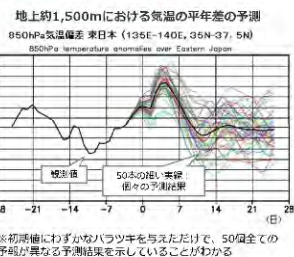
## 【参考】予測精度の向上を図る

気象予測が外れる原因

- ・数値予測モデルの不完全性
- ・初期値に含まれる誤差  
→ 予測時間とともに誤差が拡大（カオス）

アンサンブル（集団）予測

- ・少しずつ異なる初期値を多数用意して、多数の予測計算を実施  
→ 最も起こりやすい現象や現象の起きる確率を予測

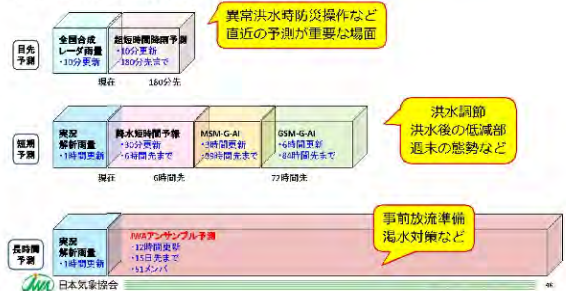


日本気象協会

出典：気象庁HP

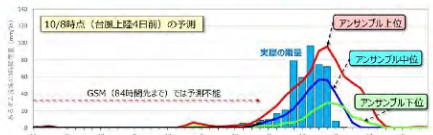
## 目的に沿った降雨予測データの活用

ダム流降雨予測情報の一例



日本気象協会

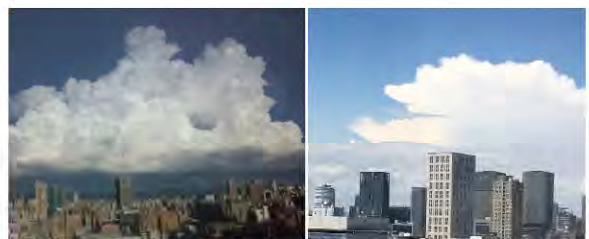
## アンサンブルを活用したサービス



- ・アンサンブル予測を活用
- ・メンバーを平均しているため、予測更新毎の変動が少ない、**上限・下限が定量的に確認できるというメリットがある**  
上位：大雨のリスクを見逃さないための安全側予測  
中位：最も精度が高い予測  
下位：最低でも見込まれる雨を把握するための予測

日本気象協会

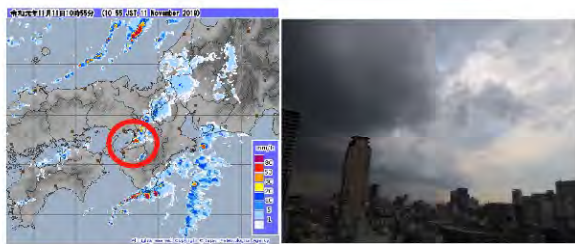
## 3.自らの命は自らが守る



どちらの雲が、より怖いでしょうか…

日本気象協会

## 観天望気



レーダーで観測されている発達した雨雲の端は、地上からこのように見えます。



日本気象協会

Japan Meteorological Association All Rights Reserved

| 警戒レベルと防災気象情報 <small>tenki.jp</small> |                            |                                      |
|--------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|
| 警戒レベル                                | 取るべき行動                     | 気象庁等の情報                              |
| 5                                    | 命を守るための最善の行動をとる            | 氾濫発生情報<br>大雨特別警報                     |
| 4                                    | 速やかに避難                     | 高潮特別警報<br>土砂災害警戒情報<br>大雪警戒情報<br>高潮警報 |
| 3                                    | 準備が整い次第避難開始<br>高齢者等は速やかに避難 | 大雨警報<br>洪水警報<br>氾濫警戒情報               |
| 2                                    | 避難行動を確認                    | 高潮注意報<br>氾濫注意報<br>大雪注意報<br>洪水注意報     |
| 1                                    | 災害への心構え                    | 早期注意情報（警報発の可能性）                      |



日本気象協会

Japan Meteorological Association All Rights Reserved

## 国土交通省 川の防災情報



日本気象協会

Japan Meteorological Association All Rights Reserved

出典：国土交通省HP

## 防災ハザードマップ（重ねるハザードマップ）

<https://disaportal.rsi.go.jp/>



日本気象協会

Japan Meteorological Association All Rights Reserved

出典：国土交通省HP「ハザードマップポータルサイト～身のまわりの災害リスクを調べる～」より

## 避難方法 避難場所



まず「水平避難」か「垂直避難」「屋内安全確保」かの判断を。「水平避難」の場合は密を避けるために「分散避難」を。



日本気象協会

Japan Meteorological Association All Rights Reserved

図：（左）気象庁HPより （右）NHK HPより

## 最後に

### 激甚化する気象災害

- ・気象予測、解析の精度は日々向上している一方で、激しい気象現象も多発。
- ・地域の特性、危険度を知った上で、新しい情報を正しく上手に利用する必要がある。
- ・防災、減災につなげるためには、早めの対策が必要。今後、より細かな情報と、より先の予測が必要になってくる。



日本気象協会

Japan Meteorological Association All Rights Reserved



日直予報士のポイント解説（防災・予測）



西国地方 あざっけに雨が降って  
お天気に注意！雨の降り 土砂  
災害に警戒 6月10日18時



月の上の夕景  
あすも暑気候 6月10日18時

**日直予報士**  
気象予報士が、日直当番で  
天気のポイントを的確にお  
伝えします。



「いいね！」お願いします



日本気象協会

Japan Meteorological Association All Rights Reserved



ご清聴ありがとうございました



日本気象協会

Japan Meteorological Association All Rights Reserved

応用地質学会賞受賞記念講演 15:00－15:20

「こどものためのジオカーニバルの活動について」

奥野 拓 氏(ジオカーニバル企画委員会・大阪市立東高校)

# こどものためのジオ☆カーニバルの活動について

奥野 拓（大阪市立東高等学校・こどものためのジオカーニバル企画委員会）

## 1. ジョーカーニバルの概要

「こどものためのジオ・カーニバル」（ジオカーニバルと略す）は、毎年11月第一土曜とその翌日の日曜の二日間にわたって大阪市内で行われる科学イベントである。本年は新型コロナ感染拡大防止のために開催を中止したが、2019年に第20回を迎えた。主に小学生を対象とし、体験的に地学全般にわたり学んでもらい、地学の楽しさと防災・環境などの大切さを感じてもらうことを目的としている。50分程度の授業形式で行う「セミナー」4～5出展と、随時工作等が行える「ブース」13出展前後で行い、例年2千人強の参加者がいる。



## 2. ジョーカーニバルの経緯

ジオカーニバルは、2000年7月に行われた「21世紀の地学教育を考える大阪フォーラム」（フォーラムと略す）のイベントの一つとして始まった。当時こどもの「理科離れ」や全国的な地学教員採用の減少や停止など地学教育の将来への危機感から、大阪をはじめとする近畿の高校教員を中心に開催された。大会会長に竹内均氏を迎え、講演に松本零士氏、宇宙飛行士の毛利衛氏にビデオメッセージを頂くなど、力の入った催しとなった。その催しの一つとして、近い将来地学を学ぶであろう子どもたちに、地学の楽しさを体験し、地学に対する親近感を育てるために、東淀川高校を会場にジオカーニバルが開催された（第1回のみ1日開催）。



当初ジオカーニバルはフォーラム同様単発イベントとして開催されたが、各所からこのような子ども向けの地学イベントを求める声が強くなり、翌年以降大阪市立科学館を会場として2日間の開催となった。第2回のフォーラム開催を模索していたため、第14回まではフォーラムの付属イベントという体裁で行っていたが、第2回開催の可能性もほぼ無くなり、委員長が廣木に交代することをきっかけにフォーラムから独立したイベントとして行うようになった（マークも一新）。第19回は大阪市立科学館が改装のため、会場を大阪市立自然史博物館に移し、以降2会場を交互に使用することを「原則」とした。



## 3. 開催への流れ(企画委員会)

ジオカーニバルは有志による「企画委員会」によって運営されている。現在17名で、3名の博物館関係者以外は教員である。

例年2月頭に第1回の企画委員会を行い、募集要項等を定め出展者募集を開始する。以降ジオカーニバル終了までに7回前後の会合を持ち、その間はメーリングリストを用いて詳細を検討し

ている。4月末で出展を締め切り、5月6月の2カ月をかけて出展内容を検討し、出展者を決定する。応募者には6月中に可否を連絡し、出展者には7月中旬を締め切りにタイトルの決定と広報用に1000字での内容紹介文の提出をお願いする。また出展者には8月中旬までに当日配布するガイドブックの原稿を提出いただき、詳細な内容をチェックし、不安な部分があるところには改善をお願いする。

9月下旬に「打ち合わせ会」を開催し、出展者へ注意事項の伝達や事務手続きを行う。当日参加された団体には、試作品などを用いて出展内容の簡単な紹介を行っていただく。初参加の団体などには会場の下見も行う。遠隔地の出展者に対しては、連絡内容等をメールにて伝達している。9月上旬頃の企画委員会からこの打ち合わせ会までの間に、ポスターやちらしなどの広報用印刷物が出来上がるようにし、ここから本格的な広報活動が始まる。近年はFacebookやTwitterなどのSNSを利用した広報活動も活発に行っている。

ここからジオカーニバル当日までの1カ月半の間に、各担当は最後の詰めを行う。会計は交通費を計算し、当日渡す謝礼や弁当等の雑費の準備を行う。運営担当は、出展者と連絡を取り当日参加する者の名簿を作成し、名札等を準備する。当日の運営にかかわるボランティアを府内の高校に依頼するのだが、近年は地学系クラブの生徒も減り、模試等の行事とぶつかることも多く、人手不足のまま行っていることも多い。自然史博物館で開催したときには、普段自然史博物館でボランティアをされている方数名にご協力いただいた。当日の役割分担を決め、準備物を確認・補充し、当日を迎える。



準備は前日の閉館後から行う。我々は机の移動や装飾などの準備を行い、出展者の一部が物品搬入などを行い、1時間半程度で退去する。初日は開館前に全員参加で開会式を行い、注意点などの共有を行う。当日はみな忙しく動き回っているが、この時に見られる子供の笑顔が何よりのご褒美である。20回の中で大きな事故はなく、カッターで指先を切る程度のけがが3件程度あっただけで済んでいる（救急箱の準備等の対策は取っている・イベント用の保険にも加入している）。1日目の夜には出展者(希望者)を交えての懇親会を行い、地学教育に関する情報交換やイベントの改善につながるご意見をいただいたりしている。二日目の終了後は、清掃を行い館の現状復帰（出展者は自分の場所だけで良い）が終われば解散となる。

参加者（子どもたちなど）にはブースの出口やセミナー終了後に、アンケートに記入をお願いしている。出展者にもアンケートを行っており、まとめの会議では集計データを基に改善点などの検討を行う。「子どもゆめ基金」の支援を受ける場合は、来年度の募集締め切りが間近なこともあり、来年度の開催についての承認を行うことが多い。「子どもゆめ基金」の支援を受けている場合は、終了後1カ月内に報告書の提出が必要なので、会計と事務局代表はしばらく書類作成に追われる。

#### 4. 反響（アンケート集計から）

参加者数は、ここ 2 回（第 19 回、第 20 回）は 3000 人前後になっている。入場者を単純にカウントしているだけなので、ある程度の重複はあるが実人数でも千人前後になるであろう。参加者アンケートは任意での記入なので、比較的好意的な方が記入している可能性はあるが、アンケートからみられる満足度は高い。ブースとセミナーで別々に取っているので重複はあるが、ブースのアンケート数は、20 回 161 枚、19 回 101 枚、18 回 149 枚、17 回 118 枚と 150 枚前後が回収できている。「ブースでの体験は楽しかったか」という設問に対して「とても楽しかった」という回答の割合は 4 回の平均で 69%である（最大 74%最小 64%）。参加が初めての方が 7 割以上だが、3 回目以上の方が



毎回 1 割以上存在する。「また来たいですか」という設問に「ぜひ来たい」と答えた方も 4 回平均で 73%（全て 70%以上）である。「あなたは理科が好きですか」という設問には「好き」という回答は 4 回平均で 79%あるので、もともとの「理科好き」層が参加していることが大きく影響しているかもしれない。しかし「今日好きになった」という回答が 4~18%（4 回平均 8%）

あることは、やっていてよかったと思える部分である。

セミナーは人数制限があるため、第 10 回から「抽選制」に変更した。第 9 回は整理券配布の列に二つ先の整理券を求めて並ぶ方が何組も出てしまったため、抽選制を決意した。現状では抽選になるのはセミナーの半分以下で、10 回前後の殺伐とした雰囲気と比べるとかなり平和になった気がする（とはいえ抽選の時はかなり殺気立っている）。宝石や化石がお土産になるものは特に人気が高い。セミナーのアンケートで「とても楽しかった」という回答は 8 割前後で、毎回ブースの回答を上回っている（セミナーは終了後に全員にアンケートに回答いただいている）。



#### 5. 問題点と今後

「企画委員」は現在 17 名であるが、第 10 回頃は 20 名を超えていた。企画委員に名を連ねていても 1 年間会議・会場に姿を見せられない者もあり、実質 10 名前後で運営を行っているので、一人当たりの負担が大きくなってしまっている。また、ほとんどが学校関係者で学校を取り巻く環境がシビアになってきていることや、新人がほとんど入らず 20 年の間に企画委員も高齢化してしまい、活動に困難をきたすようになった。現体制では継続できないとの判断を下したが、応用地質学会関西支部より協力の申し出をいただき、今後の継続を見据えて来年度第 21 回を開催する。皆様のご協力をよろしくお願いいたします。



## こどものためのジオ☆カーニバルとは

- ・ 11月第一土曜とその翌日に開催 を基本
- ・ 対象は 小学校高学年～中学生（目標）  
実際は 学齢前～小学校低学年 がほとんど
- ・ 会場は大阪市立科学館で18回開催  
大阪市立自然史博物館（第19回）、東淀川高校（第1回）



## こどものためのジオ☆カーニバルとは

- ・ 内容は 地学全般（かなり広め）体験的なもの  
天文・宇宙技術・気象・地質・古生物・防災・環境 など  
ブース と セミナー の2形式
- ・ 出展者は学校関係者が多かったが  
最近では多種にわたるようになった



## 始まりは

### 「21世紀の地学教育を考える 大阪フォーラム」

2000年7月29日開催

## 背景に

「理科離れ・地学離れ」

阪神大震災・  
地球環境問題



付属行事として

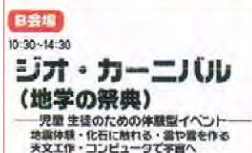
## ジオ・カーニバル（地学の祭典）

B会場：大阪府立東淀川高校

35出展（ブースのみ）

数教室に分かれて開催

校庭では「起震車」・「ドラム缶つぶし」も



継続を望む声が多く、翌年以降も開催

大阪市立科学館の協力で会場変更

土日の2日間開催に

第2回から

「セミナー」導入

委員長は山下 晃

（大阪教育大学教授）に

2～10回は同じデザイン→



**現状**

ブース出展 13程度  
科学館の場合 研修室7 多目的室5 アトリウム1



**現状**

セミナー出展 4～5  
1回30人程度・抽選制  
4出展では50分、5出展では45分



ジオカーニバル11/5(日)セミナー案内

| セミナー名                       | 抽選券配布時間 | 抽選時間  | 抽選人数 | 開始時間  | 終了時間  |
|-----------------------------|---------|-------|------|-------|-------|
| がらみがいも・サボテンを<br>栽培を学ぶ(しらぬい) | 10:00～  | 10:10 | 30   | 10:30 | 11:20 |
| 夏まじろ                        | 11:30～  | 11:40 | 30   | 12:10 | 13:00 |
| 園のサボテンを育てて、いろいろな<br>花を鑑賞しよう | 13:15～  | 13:25 | 30   | 13:50 | 14:40 |
| 植物で伝説(植物の力)を<br>つくる         | 14:50～  | 15:00 | 30   | 15:30 | 16:20 |



**現状**

来場者 2日で2千人程度  
大阪市内4～5割、府内3～4割、他府県2割  
小学生半分弱、幼児2割程度 「家族で」8割

過半数は「初めて」だが、リピーターも多い



**1年間の流れ**

11月下旬 「ゆめ基金」申請

2月頭 第1回企画委員会  
組織・募集要項の決定→募集開始

4月末 応募締め切り →内容検討  
出展者へ問い合わせ・調整 等

6月末まで 出展者決定・連絡

7月中旬 タイトル・宣伝コメント決定  
ポスター・ちらし用

8月中旬 ガイドブック原稿提出

会議②  
会議③  
会議④  
会議⑤

9月下旬 出展者打合せ会  
ポスター・ちらし 配布  
交通費・経路の確認  
ボランティア手配  
参加者名簿の作成  
使用物品の確認・手配

11月上旬 前日準備・本番

翌週 まとめの会議  
「ゆめ基金」報告 (1か月以内)  
次回準備開始

会議⑥

**現状の問題点(企画委員会)**

ほぼ教員  
委員長 廣木 義久(大阪教育大学教授)  
高校教員4名 中学教員1名 小学校教員3名  
教育委員会1名 退職教員3名  
博物館関係 3名

企画委員の高齢化・多忙  
60代5名 50代4名 40代3名  
30代2名 20代2名

# 一般講演(研究発表会)

15:30～17:00 (発表/質疑:計 15 分)

- |                                                                                                                                                                                                                                                         | 頁  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. 災害碑調査の実施 ―災害地質研究部会の活動について―<br>北田奈緒子 ((一財)地域地盤環境研究所・応用地質学会災害地質研究部会)<br>応用地質学会災害地質研究部会                                                                                                                                                                 | 1  |
| 2. テフラの差別風化とハロイサイト高含有層の形成に関する水文化学的研究<br>Hydrochemical study on the differential weathering of tephra and the formation of halloysite-rich layer<br>福井宏和・松四雄騎 (京都大学防災研究所)<br>渡邊哲弘 (京都大学農学研究科・地球環境学堂)<br>北尾真司・小林康浩 (京都大学複合原子力科学研究所)<br>篠田圭司 (大阪市立大学理学研究科) | 5  |
| 3. 土壌によるアルカリ中和能力試験および土粒子吸着試験<br>万木純一郎・畠中与一・大栗究・改田行司・原大輔 ((株) 建設技術研究所)<br>鍵本司、秋田憲 ((株) KGS)                                                                                                                                                              | 8  |
| 4. アンコールトムバイヨン寺院主塔の砂盛土基壇 直接基礎上で700年間なぜ安全か？<br>岩崎好規((一財)地域地盤環境研究所)                                                                                                                                                                                       | 12 |
| 5. 質疑応答                                                                                                                                                                                                                                                 |    |

## 災害碑調査の実施 ―災害地質研究部会の活動について―

一財) 地域 地盤 環境 研究所      北田 奈緒子,  
応用地質学会災害地質研究部会

### 1. はじめに

近年、災害が多発している。豪雨災害や地震災害など、例年、災害地質研究部会では、災害調査を実施しているのが現状である。地球温暖化に伴うものなのか、東日本太平洋沖地震に関係するものなのか、あるいは、近い未来に発生するといわれている南海トラフ地震に関係するものか、その因果関係はいまだ確定的には判っていない。しかしながら、「災害は忘れた頃にやってくる」という言葉通り、実際に過去に災害が発生した場所において、災害が再発する場合が多々ある。洪水や斜面災害、津波災害などは、特に地理、地形、地質の特性に応じて発生していることが多く、過去の情報を知ることによって未来の防災につながることも多い。

国土地理院では、2019年度から「自然災害伝承碑」の情報を地方公共団体と連携して収集を始めている。集めた情報は、国土地理院のウェブ地図「地理院地図」や2万5千分1地形図に掲載され、「災害への『備え』」を支援することを目的にしている。災害碑マークも新たに追加され、地図上に掲載されている。2020年10月16日現在では、622基の災害碑が地図上に示されているが、実際には、この何倍もの数の災害碑があると推定されている。応用地質学会では、災害地質部会を中心として、この災害碑の情報収集を独自に実施し、地域の防災意識の向上を促す一助になる活動を全国的に実施することになった。本発表では、その詳細を説明し、支部会員の皆様に協力いただけることを要望するものである。

### 2. 災害調査方法について

国土地理院が現在公開している災害碑については、地理院地図の位置に記号が示されるだけではなく、以下の情報が付属して公開されている。

- 1) 碑名 : 自然災害伝承碑の名称
- 2) 災害名 : 同碑の対象となっている災害名
- 3) 災害種別 : 同碑の災害の種類
- 4) 建立年 : 同碑が建立された年
- 5) 所在地 : 同碑の所在地
- 6) 伝承内容 : 碑文に記載された内容に、死者数や建物被害など被害の規模を示す情報等を補足し、100字程度に要約した情報
- 7) 写真 : 同碑の写真

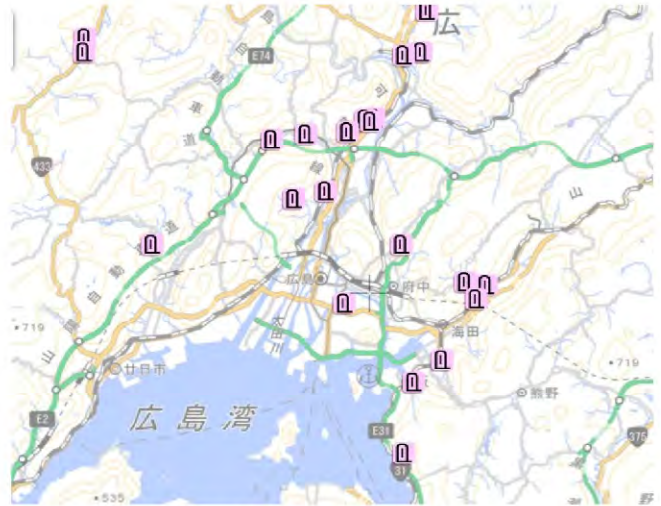


図1 国土地理院電子地図にある災害碑分布図(一例)

これに対し、応用地質学会での災害碑調査では、地理院の情報と同様の災害碑の場所や写真による碑の紹介だけではなく、その地質学的、地形学的な背景などを示すことで、より災害発生の要因や問題点を明らかにする。これによって、細かな災害への備えや点検項目などをあぶりだし、地域防災教育などに利活用してもらうことを目的とする。

調査方法は、支部ごとに手分けして実施することを基本としている。調査表はエクセルファイルで国土地理院に示す情報に加えて、緯度経度、発災年月日、災害碑の特徴や災害碑建立の背景として地質学的な要因を考察して記述する(図2)。必要に応じて、旧地形図や地質図などを用いて説明することで、発災に至った地形、地質の特性を考察する。データは、支部、都道府県、などで分類する以外に、キーワードを入力することで、大量のデータとなった際に、キーワード検索が可能である。主なキーワード一覧を図3に示す。

### 3. 調査表記入協力をお願い

調査は応用地質学会会員であれば、誰でも可能であるが、支部ごとに調査場所や調査結果を取りまとめることになる。調査表に掲載する災害碑の写真は転載は禁止とし、必ず調査者が撮影することを原則とする。地形図や文献を引用した場合は、必ず引用を明記するなどの決まりを守って、できれば、一人1地点は調査に協力いただきたいと考えている。

# 災害碑調査票

|                     |         |                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                 |                       |   |
|---------------------|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------|---|
| 支部                  | 都道府県    | File No.                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 5. 関西           | 27. 大阪府               | 1 |
| 名称（碑名）              |         | 安政大津波碑                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                 |                       |   |
| 地理院地図への掲載           | 碑の材質    | 掲載あり                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 岩石<br>（〇〇岩・加工品） |                       |   |
| 建立日                 | 建立者     | 昭和〇年                                                                                                                                                                                                                                                                                         | △△ 太郎           |                       |   |
| 住所（場所）              |         | 大阪府大阪市浪速区 幸町<br>道頓堀川と木津川の合流ポイント                                                                                                                                                                                                                                                              |                 |                       |   |
| 北緯                  | 東経      | 34.667941                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 135.481266      |                       |   |
| 標高(m)※              |         | 3.6                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                 |                       |   |
| 災害の種類<br>（災害名）      | 分類      | 津波災害碑                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 2. 津波           |                       |   |
| 発災<br>年月日           | 西暦      | 1854年11月4-5日                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                 |                       |   |
|                     | 和暦      | 安政元年9月14-15日                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                 |                       |   |
| 災害碑の特徴<br>（碑への記載内容） |         | <p>安政元年には、11月4日に東海道沖、翌日11月5日に南海道沖で地震が発生した。海溝型地震発生前に多数発生した直下型地震の際には、地面が揺れるのが気持ち悪く感じ、多くの方が船に避難していた。その後、海溝型地震が発生した折も、同じ方法で船に避難したところ、津波が襲来したため、多数の方が亡くなった。そこで、当時の被害を後世に伝え、同じ過ちが起らないように、地震発生時には船に避難しないように、という教訓が後世に伝えられるため、この碑を代々管理することが明記されている。</p> <p>石碑が作られた場所は、木津川と道頓堀川の合流ポイントで、河口付近にあたる。</p> |                 |                       |   |
| 碑建立の背景<br>（応用地質的考察） |         | <p>大阪は、水都と呼ばれていたように、堀や川が多くあり、古地図をみても、内陸部まで多くの河川が入り組んでいる。これらの河川の川岸には、多数の船を停泊させていたようである。河口部から遡上した津波がより細く河川が枝分かれする部分において、船舶が流されて集積し、大きな被害が発生した模様である。液状化の発生も懸念される。図には、今後の南海トラフ地震時の液状化予測地図を示す。液状化の危険レベルは赤が最大、右の予測震度は6弱である（大阪府による）。</p>                                                            |                 |                       |   |
| その他                 |         | ・碑の劣化の程度    ・文字の読みやすさ    ・説明版の有無 など                                                                                                                                                                                                                                                          |                 |                       |   |
| キーワード               |         | 海溝型地震、南海トラフ、津波、伝承                                                                                                                                                                                                                                                                            |                 |                       |   |
| 作成者                 | 作成(更新)日 | 〇× △□                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                 | 2020年7月〇日 作成（7月〇日 追記） |   |



※ 北緯、東経、標高は、地理院地図から転記した。

図2 調査表の記入例

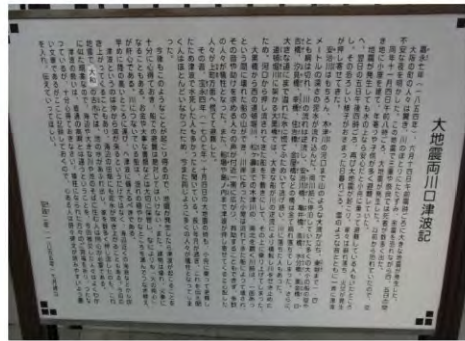


図2 調査表の記入例（その2） ※ 図面のみ、一例

| キーワード(主要分類) |       |       |      |       |      |
|-------------|-------|-------|------|-------|------|
| 地震          | 津波    | 洪水    | 高潮   | 土砂災害  | その他  |
| 海溝型地震       | 段波    | 梅雨前線  | 梅雨前線 | 地すべり  | 火災   |
| 直下型地震       | 海溝型地震 | 秋雨前線  | 秋雨前線 | 崩壊    | 火山活動 |
| 火山性地震       | 遠地津波  | 台風    | 台風   | 落石    | 強風   |
| 津波          |       | 集中豪雨  | 大潮   | 土石流   |      |
| 地すべり        |       | 短時間豪雨 |      | 岩屑なだれ |      |
| 崩壊          |       | 堤防決壊  |      | 河道閉塞  |      |
| 落石          |       | 内水氾濫  |      | 梅雨前線  |      |
| 岩屑なだれ       |       | 融雪    |      | 秋雨前線  |      |
| 土石流         |       | 河道閉塞  |      | 台風    |      |
| 液状化         |       |       |      | 集中豪雨  |      |
|             |       |       |      | 短時間豪雨 |      |
|             |       |       |      | 融雪    |      |
|             |       |       |      | 地震    |      |
|             |       |       |      | 火山活動  |      |
|             |       |       |      |       |      |

図3 キーワード一覧

#### 4. さいごに

本調査は、間もなく応用地質学会HPにも掲載され、全国的にスタートすることになる。調査表は初期には自由にHPからダウンロードするのではなく、調査希望者がメールにて通知し、これに対して、調査表ファイルを返送することになる。これは、調査がどれくらいの期間で、どのように実施されるかを確認できるように、調査希望者と連絡ができるように考えた方法である。調査表は必要に応じて、提出後、一部修正や追記のお願いをする場合もあるが、出来上がった調査表には、調査者の名前も明記されることになる。一人最低1つの災害碑を調査することから始めれば、やがて1000を超える情報として、地図にプロットすることが可能となる。また、地域ごとの防災に対する情報の提供など地域貢献、社会貢献も可能であり、学会員の活躍が期待される。

テフラの差別風化とハロイサイト高含有層の形成に関する水文化学的研究  
Hydrochemical study on the differential weathering of tephra and the formation of  
halloysite-rich layer

○福井宏和・松四雄騎・渡邊哲弘・北尾真司・小林康浩・篠田圭司  
○Hirokazu FUKUI, Yuki MATSUSHI, Tetsuhiro WATANABE, Shinji KITAO,  
Yasuhiro KOBAYASHI, Keiji SHINODA

近年、テフラに覆われた斜面が地震によって崩壊する事例が相次いで報告されており、斜面の傾斜角が 20° 以下という緩斜面においても発生し、流下距離が長いという特徴をもっている。こうした斜面崩壊の素因として、地中のハロイサイトが地盤強度の低下を引き起こしていると考えられている。そこで本研究は、北海道厚真町を例に、ハロイサイトの地中分布と、それに影響を与える要因を調べ、地中のハロイサイト高含有層の形成機構について考察を行った。その結果、高い珪酸活動度、低い pH の他に、二価鉄の供給がハロイサイト生成の重要な因子であることが強く示唆された。さらに、軽石のように多孔質で、かつ母材が二価鉄に富み、水が滞留するような条件では、自己組織的風化によって、加速度的にハロイサイト凝集層が形成されやすいこともわかった。

## 1. はじめに

1826 年に初めて記載されたハロイサイト (Berthier, 1826) は、熱水変質作用や一次鉱物の風化によって生成する粘土鉱物である (Joussein et al. 2005)。これまでに、土壌学や地質学、鉱物学の分野で多くの研究が行われてきた (Churchman et al., 2016a)。近年は、地震による斜面崩壊の発生に関して、地中のハロイサイトが地盤強度の低下を引き起こす素因になるとして、地盤工学の分野においても重要視されるようになってきている (e.g. Moon, 2016, Churchman et al., 2016b)。

特に火砕堆積物に覆われる斜面において、地震が誘因となり崩壊することによる土砂災害が多発しており、人命やインフラの損害は後を絶たない。崩壊ポテンシャルの高い場所を推定し、斜面災害を軽減するには、ハロイサイトがどこに、どれだけあるか、その地中分布と形成メカニズムの解明が喫緊の課題である。

ハロイサイトの理想化学式は、 $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  であり、1 対 1 型構造を有する層状珪酸塩鉱物で、その層間に水分子を含む。したがって、その生成には水の存在を必要とするとともに、カオリナイトよりも高いケイ酸活動度 (Singleton et al., 1990) や、pH3~6 の酸性条件を必要とする (Abdullayev and Lvov, 2013, 2015) ことがわかっている。ハロイサイトが風化によって生成する場合、その産状には、長石や火砕物を起源とするものが多い。

特に、火砕物は火山ガラスからなるため、水-

岩石反応による溶解によって、土壤水中に珪酸を溶出させるため珪酸塩鉱物が沈殿生成しやすい。Quantin et al. (1988) は、軽石が原位置風化によってその微細構造を維持したまま、ハロイサイトが生成することを顕微観察によって明らかにした。また、Aomine and Wada (1962) は、熊本阿蘇の火砕堆積物中に、差別的にハロイサイトが生成していることを報告した。また Yoshinaga et al. (1972) では、北上山地の火砕物の風化断面において、軽石層と基盤岩の境界付近における、ギブサイトとハロイサイトの集積について記載を行った。このように、火砕物の風化とハロイサイトの生成には、密接な関係がある一方で、必ずしもハロイサイトが見つかるわけではないこともわかっている。

Churchman and Lowe (2014) は、オーストラリア南部の火山、Mt. Gambier and Schank 周辺のテフラに覆われた地域で、ハロイサイトが存在しないことを報告し、その理由として、この地域の基盤には石灰質の母材が分布し、これがテフラのマトリックス中にも取り込まれているため、土壤浸透水の pH が高くなり、二価の鉄イオンが液相に存在できなくなるからだとし、二価鉄がハロイサイト生成の "essential impurity (不可欠な不純物)" であると考えた。

さらに、Shaller et al. (2016) は、2006 年にハワイの Ka Loko Dam で起こったダムの決壊直後に現地踏査と試料の分析を行った結果、決壊したダムの基底部から、ハロイサイトが密集して存在

しているのが見つかり、これが地盤強度の低下を引き起こし、ダムが決壊したと考えた。ダムの完成当初には、ほとんど存在しなかったと考えられるハロイサイトが、およそ 100 年間で、急速に火砕物から変質してできた要因として、ダムの底部に保存状態のよい樹木が多数発見されたことを証拠として、ダム湖の底部が還元状態であったため、二価鉄が供給されたためであると結論付けた。このように自然状態におけるハロイサイトの生成には、二価の鉄が関与している可能性がある。

ハロイサイトは、その理想化学式にもかかわらず、構造内に鉄を含むことはよく知られており (e.g. Nagasawa, 1979)、このとき鉄は、液相に存在した状態で、その生成に関与すると考えられる。鉄は、還元状態では液相に存在することができるが、酸化状態では、種々の酸化物や、水酸化物を形成し、水に難溶性であるため沈殿析出しやすく (Bierman and Montgomery, 2013)、他の鉱物の生成には関与できなくなる。Churchman et al. (2016b) は、鉄酸化物、すなわち固相の鉄が存在すると、ハロイサイトの結晶成長が阻害されることを確認した。このように、ハロイサイトの生成や結晶成長に対しては、鉄が正または負の関与をしていることがわかってきており、ハロイサイトの空間分布を規定する要因を明らかにするには、鉄の挙動との関係を明らかにする必要がある。

こうした背景のもとに、本研究は、ハロイサイトの地中の三次元的空間分布を調べ、その分布をコントロールする機構を解明することを目的とした。特に、土壌中の鉄の酸化還元状態に着目し、これを支配する地中の水文過程について、土壌の水理特性から検討を行った。

## 2. 研究方法

### 2-1. 研究対象地

本研究の対象地とした北海道勇払郡厚真町は、2018 年の胆振東部地震によって 6000 以上の斜面崩壊が発生した (Kasai and Yamada, 2019)。Chigira et al. (2019) は多くの崩壊地で、すべり面に、ハロイサイトの存在を確認している。さらに特筆すべき点として、そのすべり面の上下には、テフラの風化によるハロイサイト高含有層が多数残存しているうえ、火砕物、主に軽石、がハロイサイト化した強風化部と、鉄酸化物が沈着した赤褐色部、及び軽石が新鮮な状態で残っている未風化部のコントラストが明瞭であり、風化の局所的

進行や、鉄が関与するハロイサイト結晶形成の律速要因を研究するうえで、最適な場所と考えた。

### 2-2. 分析方法

地震によって崩壊した斜面の側方崖に観察断面を設置した。地表からの深さ 3m、斜面方向の長さ 2.5m の断面において、風化が進んだ強風化部 (WVP: White weathered pumice)、酸化が進んだ赤褐色部 (RP: Reddish pumice)、そして、ほとんど風化を受けていない新鮮な軽石が残っている未風化部 (FP: Fresh pumice) のスケッチを行い、鉛直方向に 5 つの側線を設け、5~10 cm 毎に攪乱、不攪乱土壌のサンプリングを行った。

試料を乾燥させないように実験室に持ち帰り、X 線回折分析を行った、水和ハロイサイトの回折ピーク 10Å を基準に同定を行い、その回折強度からバックグランドの値を差し引くことにより、準定量的にハロイサイトの含有量を求めた。また、風化による母材からの元素溶脱量、及び二次鉱物の化学組成を調べるため、蛍光 X 線分析によって、ハロイサイトの生成に関わる Si、Al、Fe の重量% 濃度を測定した。また、土壌水の化学組成を調べるために、100cc コアサンプルを、10000rpm (pF=4.3) で遠心分離し、採取した土壌水について ICP-AES で、Si、Al、Fe の濃度を測定した。

鉄の酸化還元状態を調べるため、ジチオナイト抽出による遊離鉄酸化物 Fe(d) の定量を行い、二価成分と三価成分の割合をメスバウアー分光分析によって決定した。Fe(d) は、風化によって二次的に生成する鉄酸化物、水酸化物であり、還元剤であるジチオナイト  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$  によって溶出してきた鉄をクエン酸と錯体をつくることによって、結晶度の高い鉄酸化物の定量を行うことができる。メスバウアー分析は、試料中の  $^{57}\text{Fe}$  の  $\gamma$  線吸収率から、鉄の酸化状態や周りの原子との結合状態を決定することができる。

## 3. 結果と考察

ハロイサイトの含有量を準定量的に測定した結果から、RP では、ハロイサイトが全く見つからず、WVP で多く見つかった。また、Ta-d 層位の下位に当たる En-a を含むローム (En-a loam) 層位内では、全深度で見つかり、その量は増減を示し、En-a 軽石が高密度で残留しているところで、最もハロイサイトの含有量が多かった。

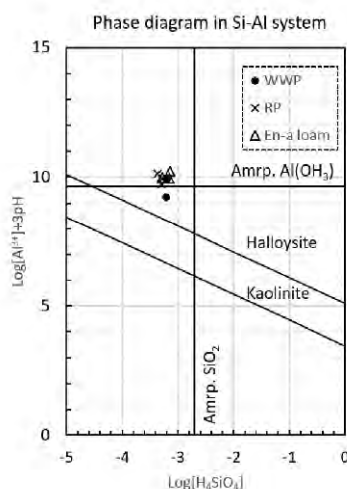
元素の溶脱量を求めるため、XRF の測定結果を、

側線間で比べたとき、Al と Fe は、どの側線においても、元素の増減はほとんど認められなかった。一方で、Si の割合は、未風化の軽石と比べて、明らかに減少している傾向があり、風化によって溶脱したと考えられる。RP では、地表に近いほど、Si の溶脱の程度が大きく、これは浅層部で溶脱した Si が土壤水に溶解し、Si 濃度の高い水が深層部に流れ下ったためと考えられる。また、同じ RP でも、側線 S3、S4、S5 の間で比較したとき、異なる Si の溶脱の傾向を示している。これは、土壤浸透水が不均一性に流れていたため、水-岩石反応にも側線間で違いが生じたものと考えられる。一方、WWP では、興味深いことに、基準面からの深度 55~85cm まで、Si がほぼ同じ値 22.5wt% の値を示した。これは、後述する WWP における自己組織的風化(Self-organized weathering)が関係していると考えられる。

Fe(d)について、WWP 優勢の側線 S1、RP 優勢の側線 S3 で求めた結果、RP で明らかに Fe(d)、すなわち、三価の鉄を主体とする鉄酸化物が多く、深度が浅いほど、Fe(d)の値が大きくなることがわかった。一方 WWP では、Fe(d)は RP の 1/3~1/2 の値を示し、上述した Si 含有量と同様、深度 55~85cm までほとんど同じ値 1.5g/kg を示すことが分かった。

水理特性と風化状態の関係を考察するために、飽和透水試験と pF 試験を行った結果、RP における  $K_{sat}$  は、WWP のそれより、 $10^3$  オーダー程度大きく、透水性が全く異なること、水分特性曲線からも、RP より WWP の方が、はるかに保水性が高いことがわかった。

もともと同じ Ta-d2 層位内にあった母材が、RP と WWP という全く異なる風化状態を示したその理由を明らかにするため、それぞれの部位で採取した土壤水の元素濃度と pH から、Visual MINTEQ 3.0 software (KTH) を用いて、ケイ酸イオン  $H_4SiO_4$  とアルミニウムイオン  $Al^{3+}$  の活動度を



計算し、Si-Al 成分系において、各土壤水の値をプロットした(Fig.1)。その結果、WWP、RP どちらにおいても、ハロイサイトが生成するのに十分な条件であることがわかった。WWP では、ハロイサイトが見つかったにもかかわらず、RP では見つかっていない。これは、ハロイサイトを生成する要因が、これ以外にあることを示唆している。

そこで、メスバウアー分光分析の結果から、鉄イオン種の割合とハロイサイト生成の関係に関する考察を行った。分析結果から、FP、すなわち母材である Ta-d には、55%以上の二価成分が含まれていることがわかった。さらに、RP(22%)の方が WWP(13%)よりも二価鉄の割合が多いこともわかった。このことから、ただ二価鉄の多い少ないだけでは、RP と WWP の違いを説明することはできない。そこで、1つの軽石が風化してハロイサイト化する過程を調べるために、RP-WWP の境界にある風化途中の軽石の断面を観察した。この軽石は、中心部に新鮮部を有し、その周りに風化フロントと思われる赤褐色のバンド、その外側に、風化がさらに進んだ白色部を有していた。この軽石の鉄の酸化還元状態を決定するために、軽石をエポキシ樹脂で固定し、100  $\mu$  の厚さの薄片を作成し、0.5mm 径のピンホールを用いて、鉄の酸化還元状態の分析を原位置で行った。その結果、軽石中心部は、FP 粉末試料と同様、およそ 55%以上、赤褐色バンドには、およそ 36%の二価成分が含まれることがわかった。また最も外側の白色部には二価鉄が全く含まれなかった。

これらの結果から、軽石が水-岩石反応によって、RP のように鉄酸化物を多く含む風化様式と、WWP のように、ハロイサイト化する風化について、次のように結論づけられた。すなわち、軽石は二価鉄を含むため、 $Fe^{2+} + 3H_2O = Fe(OH)_3 + 3H^+ + e^{-}(1)$ にしたがって、表面に鉄酸化物、水酸化物の被膜を生成する。ここで土壤水が空間的に不均一に流れると、部分的に軽石の表面で水が滞留し、還元状態になることがあり、これによって鉄酸化物が溶解して、二価鉄が遊離し、ハロサイトの結晶核生成に関与すると考えられる。そして、いったん、粘土ができると、水が滞留しやすくなり、さらに粘土化が進むという positive feedback が起こる。このようにして、鉄に富む軽石の Self-organized weathering (自己組織的風化) による、ハロイサイト凝集層が形成されたと考えられる。

# 土壌によるアルカリ中和能力試験および土粒子吸着試験

万木純一郎、畠中与一、大栗究、改田行司、原大輔（株式会社建設技術研究所）

鍵本 司、秋田 憲（株式会社 KGS）

## 1. はじめに

橋梁下部工工事や地盤改良工事の際には、地下水位の低下に加え、濁水発生やアルカリ化等の水質悪化にも留意する必要がある。

建設工事で用いられるセメント系固化材は、水和反応で水酸化カルシウム（ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ）を生成するため、施工箇所近傍では雨水、地下水と接触することで  $\text{pH}=11\sim12$  程度の高アルカリ性を示す。一方で、高アルカリ水が土壌中を通過することで土に中和され、 $\text{pH}$  上昇等の影響が低減される現象が知られている。

本報告では、現地土質材料を用いて実施したバッチ式のアルカリ中和能力試験、カラム式の土粒子吸着試験結果により、水質悪化の影響範囲を考察した事例を紹介する。

### ■アルカリ化

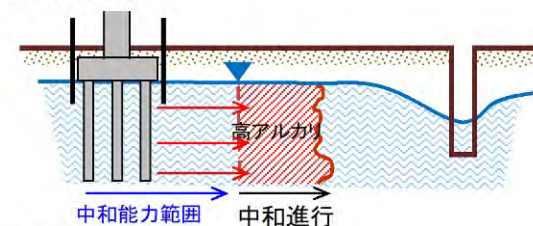


図-1 道路工事による水質影響の模式図

### ■濁度



## 2. 既往研究

### 2.1 土のアルカリ中和能力

三木ら<sup>1)</sup>によると、土のアルカリ中和能力は、土の単位乾燥重量あたりに水酸化物イオン( $\text{OH}^-$ )の減少量を土のアルカリ中和能力  $C(\text{mol/g})$  と定義され、アルカリ浸透深さは次式で与えられる。

$$H=10^{(-14.17+\text{pH})} \cdot V / (C \cdot \gamma d \cdot A)$$

ただし、 $H$ ：浸透深さ(cm)

$\text{pH}$ ：注入液  $\text{pH}(\text{mol/L})$

$V$ ：注入量(L)

$C$ ：アルカリ中和能力( $\text{mol/g}$ )

$\gamma d$ ：土の乾燥重量( $\text{g/cm}^3$ )

$A$ ：アルカリの浸透断面積( $\text{cm}^2$ )

様々な土質材で実験した結果、粘土分が増加するとアルカリ中和能力も大きくなる傾向が示された（表-1、図-2～図-4）。

表-1 土のアルカリ中和能力の概略値<sup>1)</sup>

| 土の種類  | アルカリ中和能力 ( $\text{mol/g}$ ) |
|-------|-----------------------------|
| 関東ローム | $1\sim3\times10^{-3}$       |
| 鹿沼土   | $2\times10^{-3}$            |
| 腐植土   | $1\times10^{-3}$            |
| ビート   | $0.8\sim1\times10^{-3}$     |
| 粘土    | $6\sim9\times10^{-4}$       |
| 山砂    | $1\sim4\times10^{-4}$       |
| シルト   | $2\sim4\times10^{-4}$       |
| 川砂    | $0.5\sim4\times10^{-4}$     |
| まさ土   | $9\times10^{-5}$            |
| シラス   | $2\sim4\times10^{-5}$       |

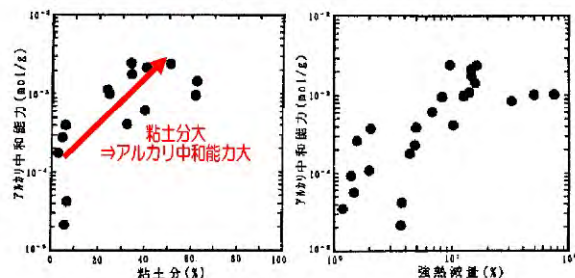


図-2 粘土分および強熱減量とアルカリ中和能力との関係<sup>1)</sup>に加筆

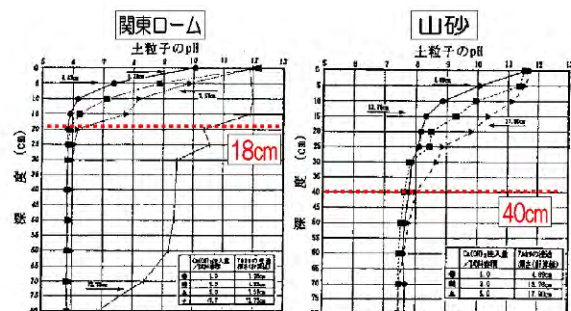


図-3 消石灰注入量の別による土粒子の  $\text{pH}$  (平均値)と深度との関係<sup>1)</sup>に加筆

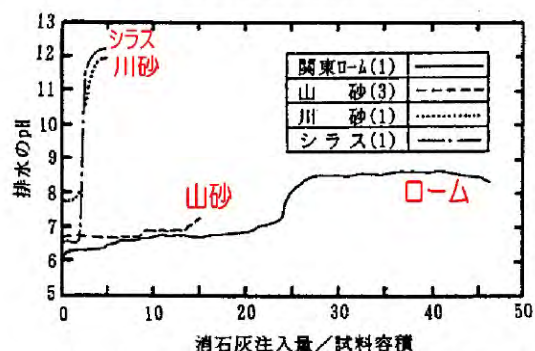


図-4 土質別にみる排水の  $\text{pH}$  の変化<sup>1)</sup>に加筆

## 2.2 土粒子吸着試験

濁りの原因である土粒子は、地下水中で沈着と拡散を生じながら移動する。八木ら<sup>2)</sup>によると、沈着する土粒子の量は、距離に対して一定であり導水勾配の大小で変化する。導水勾配：小、間隙比：小、濁水濃度：大の条件において沈着量は大きくなる結果が得られた（図-5、図-6）。

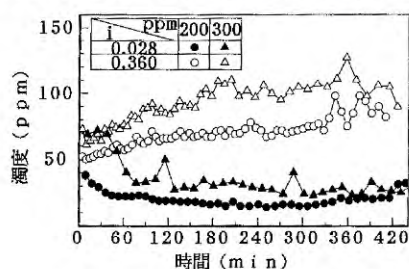


図-5 時間と濁度の関係図<sup>2)</sup>

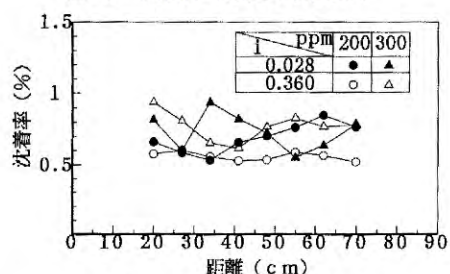


図-6 距離と沈着率の関係図<sup>2)</sup>

## 2.3 施工事例

京都縦貫道の施工事例<sup>3)</sup>では、飲料メーカーの生産戸に配慮し、多地点に地下水モニタリング孔が配置され、水質の常時観測が行われた。濁水発生源からの距離と濁度の相関式より、10m離れた地点では濁度はゼロと評価され（図-7）、地下水管理基準と管理体制に基づいて施工がすすめられた。

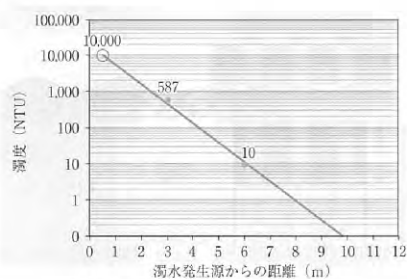


図-7 濁度減水グラフ<sup>3)</sup>

## 3. アルカリ中和能力試験

### 3.1 試験方法

水酸化物イオン濃度を調整した溶出液に試験土壌を混合し、激しく攪拌を行い、攪拌後の pH を測定した。試験の手順は以下の通りである。

- ①容量 100ml ポリ瓶に試験土壌 20g を入れる。
- ②所定の水酸化物イオン濃度の溶出液 50ml を入れる。
- ③5 分間激しく攪拌する。
- ④5 分間静置後、上澄み液の pH を測定する。



写真-1 アルカリ中和能力試験の状況

### 3.2 試験結果

アルカリ中和能力試験結果を表-2、図-8 に示す。溶出液 pH11 以下の結果は、水酸化物イオンが土壌に中和され、攪拌後 pH が低下している。溶出液 pH12 以上では、中和されずに溶液中に水酸化物イオンが残存する。なお、水道水の pH が 8.1 であったことから、溶出液の水酸化物イオン濃度は水道水の pH で補正した。

表-2 アルカリ中和能力一覧

|   | 水酸化物イオン濃度 (mol/L) | 溶出液 pH | 水道水 pH | 攪拌後 pH | アルカリ中和能力 C (mol/g) | 評価     |
|---|-------------------|--------|--------|--------|--------------------|--------|
| 1 | 1.000001349       | 14.0   | 8.1    | 13.8   | 7.7.E-04           | 最大値    |
| 2 | 0.100001349       | 13.0   | 8.1    | 12.8   | 9.2.E-05           |        |
| 3 | 0.010001349       | 12.0   | 8.1    | 11.5   | 1.8.E-05           | 最小値    |
| 4 | 0.001001349       | 11.0   | 8.1    | 8.8    | 2.5.E-06           | (pH低下) |
| 5 | 0.000101349       | 10.0   | 8.1    | 8.6    | 2.4.E-07           | (pH低下) |
| 6 | 0.000011349       | 9.1    | 8.1    | 8.4    | 2.2.E-08           | (pH低下) |
| 7 | 0.000002349       | 8.4    | 8.1    | 8.2    | 1.7.E-09           | (pH低下) |
| 8 | 0.000001449       | 8.2    | 8.1    | 8.2    | 8.2.E-11           | (pH低下) |

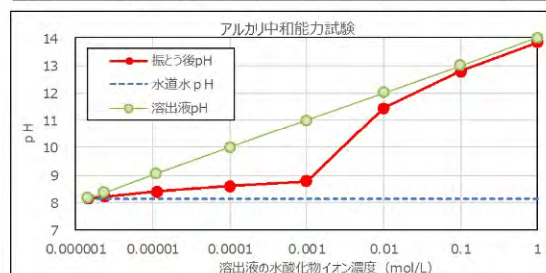


図-8 アルカリ中和能力試験結果

### 3.3 アルカリ浸透深さの算出

既往文献の算出式<sup>1)</sup>を用いて、橋梁下部工事に伴う影響範囲を算出する。はじめに、杭基礎の打設直後から地下水と接触して生成される OH<sup>-</sup> の総量を求める。地下水移動量は以下の条件で求め、図-9 に示すように経過日数とともに pH が低下するまでの期間の OH<sup>-</sup> の総量を求めた結果、

57,801 mol となった。

#### ■地下水流速

| 流速      |          | 透水係数     | 動水勾配 |
|---------|----------|----------|------|
| V(cm/日) | V(cm/s)  | k(cm/s)  | i    |
| 1,814   | 2.1.E-02 | 3.5.E-01 | 0.06 |

#### ■透過面積

| 透過面積                | 杭長    | 杭径    | 杭本数   |
|---------------------|-------|-------|-------|
| A(cm <sup>2</sup> ) | L(cm) | φ(cm) | n (本) |
| 2,592,000           | 1,800 | 120   | 12    |

#### ■地下水透過量

| 透過量       |                        | 流速      | 透過面積                |
|-----------|------------------------|---------|---------------------|
| V (L/日)   | V (cm <sup>3</sup> /日) | V(cm/日) | A(cm <sup>2</sup> ) |
| 4,702,925 | 4,702,924,800          | 1,814   | 2,592,000           |

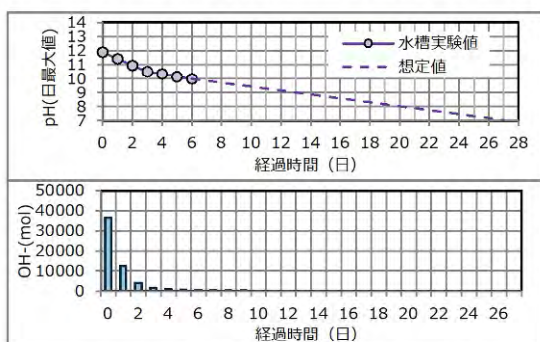


図-9 アルカリ中和能力試験結果

次に、仮設条件を幅 20m、深さ 18m と設定し、算出式<sup>1)</sup>を用いるとアルカリ浸透距離は4.86m となった。同様の条件で土の種類ごとの浸透距離を求めると図-10 のようになる。今回の現地土質材は粘土分が少ないこともあり、最も浸透距離が大きい結果となった。

#### ■浸透距離算定

| 浸透距離 | OH-総量  | 浸透断面面積              | 単位体積重量(Ag)             | Alカリ中和能力 |
|------|--------|---------------------|------------------------|----------|
| H(m) | (mol)  | A(cm <sup>2</sup> ) | γd(g/cm <sup>3</sup> ) | C(mol/g) |
| 4.86 | 57,801 | 3,600,000           | 1.84                   | 1.8.E-05 |

| 土の種類  | Alカリ中和能力<br>C(mol/g) | 単位体積重量(Ag)<br>γd(g/cm <sup>3</sup> ) | 浸透断面面積<br>A(cm <sup>2</sup> ) | OH-総量<br>(mol) | 浸透距離<br>H(m) |
|-------|----------------------|--------------------------------------|-------------------------------|----------------|--------------|
| 関東ローム | 3.0.E-03             | 1.84                                 | 3,600,000                     | 5.8.E+04       | 0.03         |
| 鹿沼土   | 2.0.E-03             | 1.84                                 | 3,600,000                     | 5.8.E+04       | 0.04         |
| 腐植土   | 1.0.E-03             | 1.84                                 | 3,600,000                     | 5.8.E+04       | 0.09         |
| ビート   | 1.0.E-03             | 1.84                                 | 3,600,000                     | 5.8.E+04       | 0.09         |
| 粘土    | 9.0.E-04             | 1.84                                 | 3,600,000                     | 5.8.E+04       | 0.10         |
| 山砂    | 4.0.E-04             | 1.84                                 | 3,600,000                     | 5.8.E+04       | 0.22         |
| シルト   | 4.0.E-04             | 1.84                                 | 3,600,000                     | 5.8.E+04       | 0.22         |
| 川砂    | 4.0.E-04             | 1.84                                 | 3,600,000                     | 5.8.E+04       | 0.22         |
| まさ土   | 9.0.E-05             | 1.84                                 | 3,600,000                     | 5.8.E+04       | 0.97         |
| シラス   | 4.0.E-05             | 1.84                                 | 3,600,000                     | 5.8.E+04       | 2.18         |
| 現地土質  | 1.8.E-05             | 1.84                                 | 3,600,000                     | 5.8.E+04       | 4.86         |

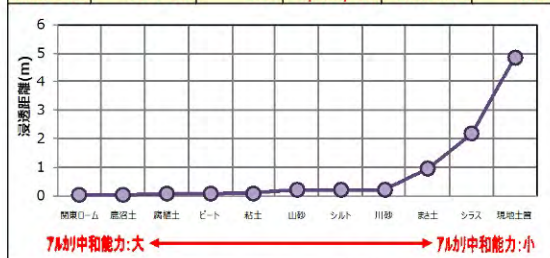


図-10 土のアルカリ中和能力による浸透距離の算出結果

## 4. 土粒子吸着試験

### 4.1 試験方法

図-11 に示す試験装置を用いて、上向流カラム通水試験を実施した。試験土壌の長さは 0.5m、1.0m、1.5m の 3 条件である。

試験の手順は以下の通りである。

- ①試験土壌を透明塩化ビニルパイプ VP50 (内径φ51 mm) に充填する。
- ②水道水 15L に現地試料の細粒分 20g を添加、攪拌して濁水を作成する。調整した濁水は、濁度 20 である。
- ③水道水を通水し流速および濁度が一定になったことを確認した後、濁水通水に切り替える。
- ④濁水通水に切り替えた時間を基準(0 分)に、土壌試料上端からオーバーフローした検液を 1 時間毎に測定する。

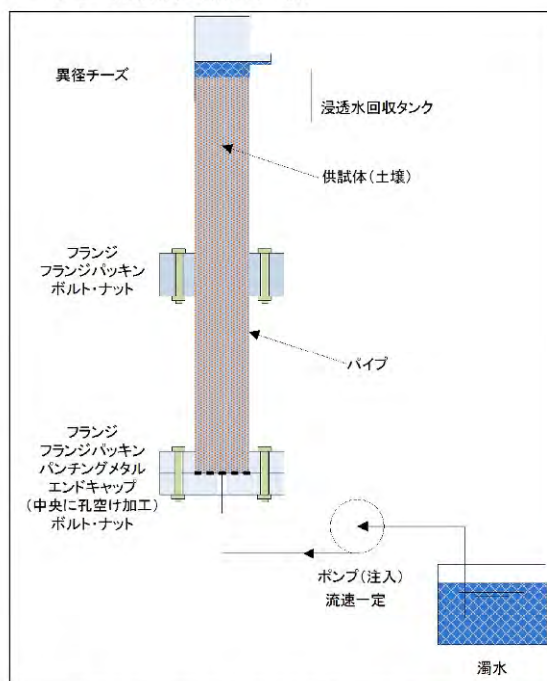


図-11 土粒子吸着試験装置の模式図

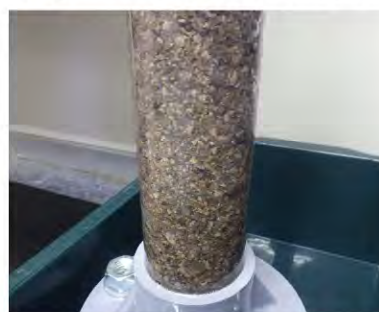


写真-2 カラム長 1.0m の測定状況

## 4.2 試験結果

土粒子吸着試験結果を図-12に示す。横軸は経過時間を、縦軸はカラムを通過した後の濁度を示す。濁度は通水開始後に徐々に増加傾向を示し、カラム長 0.5m、1.0m、1.5m のいずれも 4 時間後以降に安定した値となった。

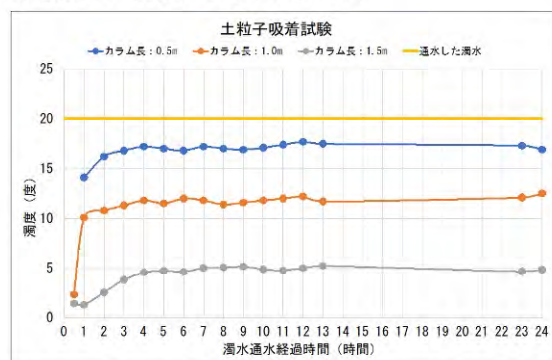


図-12 土粒子吸着試験結果

カラム長 0.5m の 24 時間後の濁度は 16.9 度 (最大 17.7 度)、カラム長 1.0m の 24 時間後の濁度は 12.5 度 (最大 12.5 度)、カラム長 1.5m の 24 時間後の濁度は 4.8 度 (最大 5.2 度) であった。土粒子吸着試験の結果、カラム長が長くなると濁度が小さくなる傾向が確認された。近似直線で外挿すると、濁度 0.1 以下となる地点は 6.25m となる。

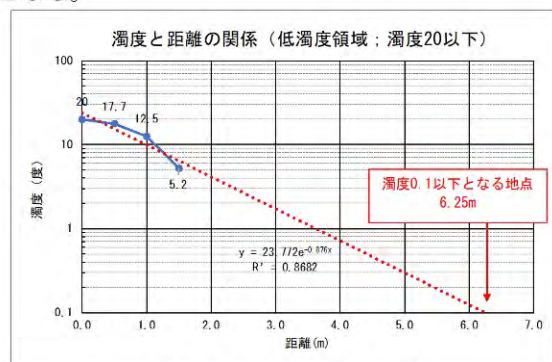


図-13 カラム長と濁度の関係

## 5. まとめ

現地土質材料を用いた実験結果より、土壌によるアルカリ中和能力、土粒子吸着能力が確認された。今回の実験結果からは、地下水のアルカリ化の影響範囲は 4.86m、濁りの影響範囲は 6.25m と算出された。現地土質材や施工条件によるところは大きいですが、橋梁下部工工事等による地下水のアルカリ化、濁りの影響は 10m 以内であると想定される。既往研究と比べて、今回の実験では濁度 20 以下の低濁度領域においても距

離に応じて減衰する結果が得られた。今後は様々な現地土質材を用いて実験データを収集する予定である。

## 引用文献

- 1) 三木博史, 森 範行, 古性 隆: 土のアルカリ中和能力及び土中でのアルカリ浸透深さに関する試験, 土木学会第 49 回年次学術講演会講演概要集
- 2) 八木則男, 矢田部龍一, 平山光信, 高宮晃一, 杉浦世一: 地下水における浮遊土粒子の沈着, 土木学会第 50 回年次学術講演会講演概要集
- 3) 稗田政和, 仲田晴一: 橋梁基礎杭施工における地下水対策—京都縦貫自動車道—, 基礎工, 2013.10

# アンコールトムバイヨン寺院主塔の砂盛土基壇

## 直接基礎上で700年間なぜ安全か？

岩崎好規 一財）地域地盤環境研究所

### まえがき

カンボディア王国のアンコール遺跡は、9世紀初頭に帝国が設立され、15世紀に隣国のシャムの攻撃に都落ちしたが、クメール民族の誇る石造寺院である。メコン川の支流となるトンレサップ川の源流となるトンレサップ湖の北側に広がる約50kmを四方のアンコール平野に50を超える寺院がある。

**アンコール遺跡：**日本国政府アンコール救済チーム(JSA)は、カンボディア内戦の終了に合わせて結成され、地質地盤学も含めた multi-disciplinary team による調査が実施された。有名なアンコールワットから約30km北方にある Banteay Srei 寺院は、アンコール遺跡では珍しい赤色砂岩で作られているが、一般的には灰色 - 黄褐色を呈している。Jurassic-Cretaceous period の地質年代に堆積した砂岩を切り出して使われている。



Figure-1 Cambodia

アンコール遺跡の中でも、アンコールワットは、もっともよく知られているが、すぐ、北側にアンコールトムが存在し、その中心寺院がバイヨン寺院である。

JSA は、バイヨン寺院の修復をその活動の中心において活動しているが、アンコールトム内でバイヨンの近くにバプーオン寺院がある。



Figure-2 Angkor Area

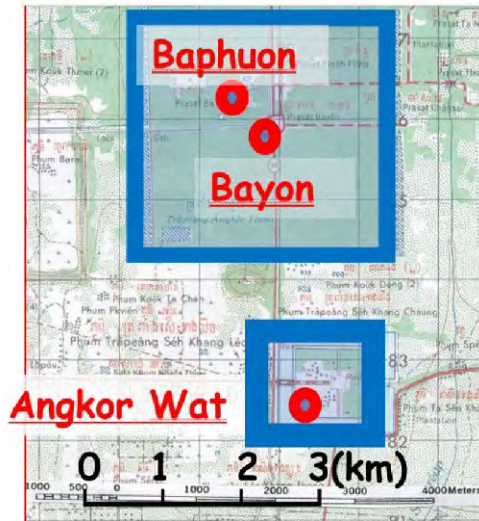


Figure 3 Angkor Wat and Angkor Thom



Figure 4 Baphuon temple

### バプーオン寺院の崩壊

バプーオン寺院は、高さが40mに達し、斜面傾斜角も45度という大きな角度で構成された砂盛土基壇である。

1943年6月の豪雨時に、東北隅部が崩壊した。

1960年代にフランスが修復にあたったが、砂を締め固めて5mほど積み上げたときに、崩壊し、3回試みたが失敗の連続であったという記録が残されている。

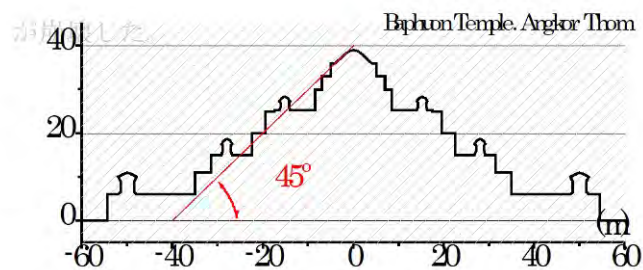


Figure 5 Section of Baphuon

Figure 6 Failure of Baphuon Temple  
June 1943



アンコール域は、東南アジアのモンスーン域にあり、雨季にはインド洋から吸い上げられた降雨で、スコールが発生する。

Figure 7 Monsson zone in South East Asia

Figure 8 Bayon temple,  
Angkor Thom



**バイヨン寺院**：バイヨン寺院のボーリングからは、基壇は N 値 100-200 という非常に大きな砂盛土で構成され、基壇中央の立坑の埋戻し地盤は  $N \leq 4$  の非常に緩い状態にある。この硬質砂質土は、水浸すると、Figure10 に示したように 10 分で崩壊する。降雨が半年間連続するモンスーン域にあってバプーオン寺院のように崩壊する事例もあるが、多くの寺院基壇は 600 年以上たち続けているのはなぜか？

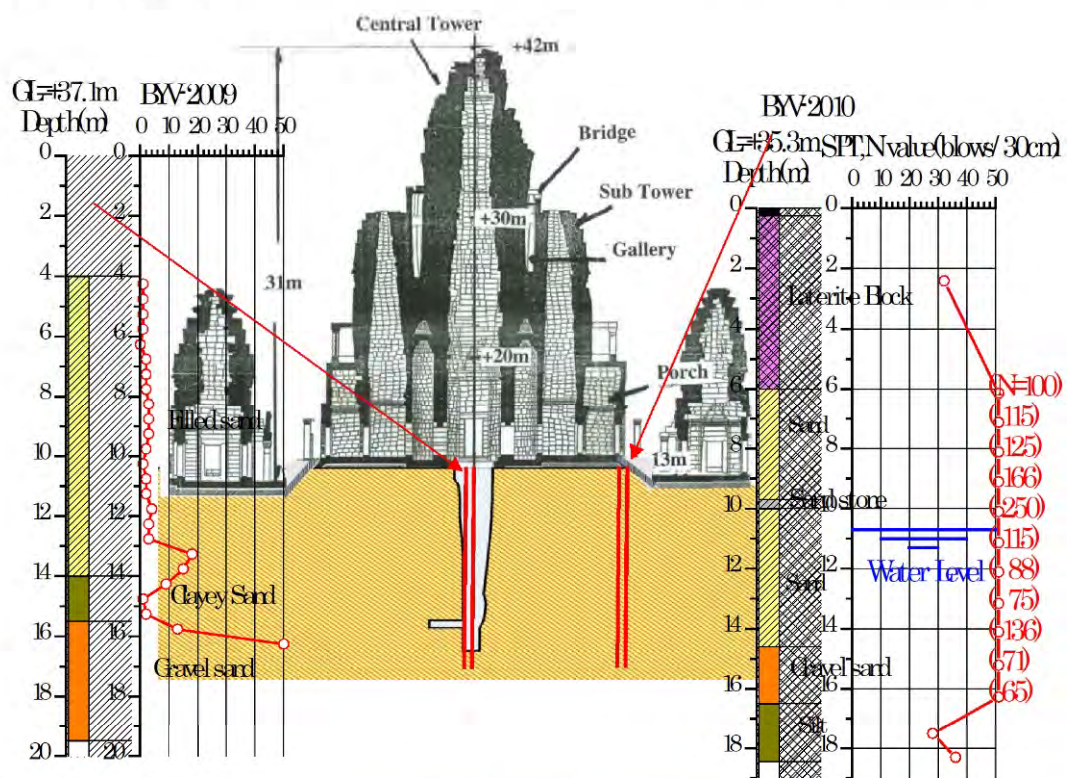


Figure 9 Boring Results

Figure 10 Failure in Water



水分センサーを基壇表面から 2.0m  
Figure 11 に示した。

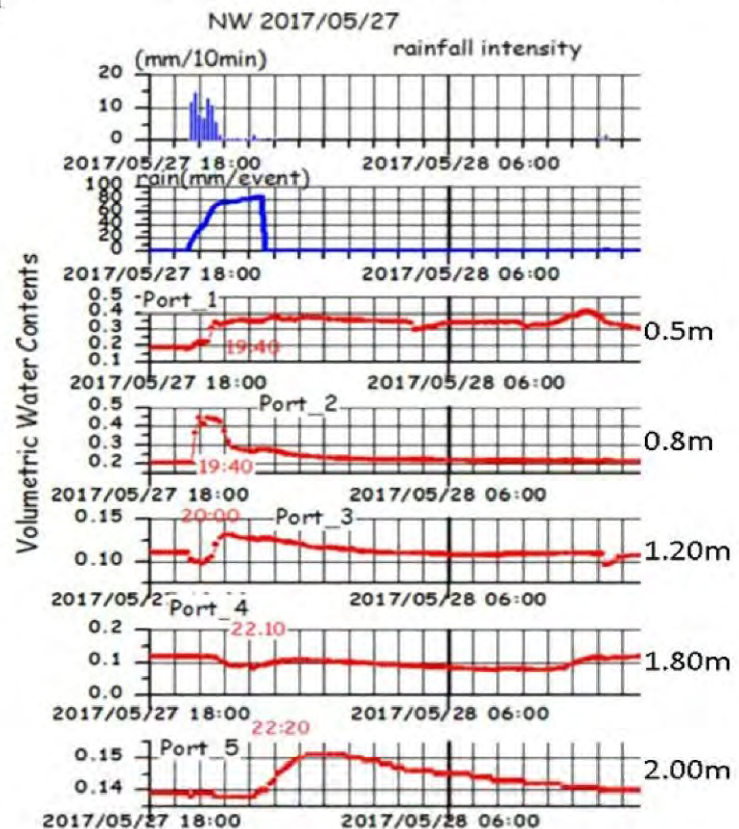
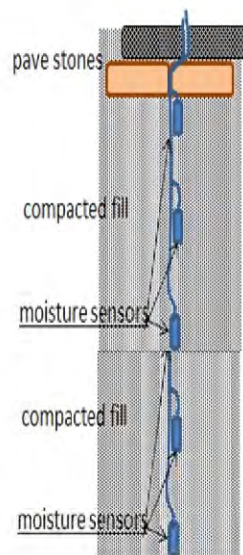


Figure 11 Moisture response to a squall rain

#### 降雨による基壇盛土の浸透

2017/5/27 の事例では、2-3 時間のうちに、約 80mm の降雨が記録されている。GL-2m の深度においては約 2 時間後に含水比の上昇が見られているが、降雨が停止するとともに、含水比の減少が記録されている。スコールは、非常に激しい降雨であるが、数時間で終了するため、浸透深度も深くまでに達することなく安定を保持しているものである。

#### 結論

スコールの短期降雨から、温暖化に伴う豪雨は、連続的に数時間を超えて数日にわたるようになると予想されており、盛土の基壇深部まで達することが予想される。

アンコールワットにおいても同様な状況が予想され、浸水からの崩壊を予防するための方策の立案、対策工の実施が急務となっている。



Figure 12 Angkor Wat