

阿蘇火山高野尾羽根溶岩ドームの降下火砕物斜面で発見された古期地すべりとその発生年代

Dating a past landslide event found on tephra-mantled slope of Takanoobane lava dome, Aso volcano, Japan

*木村 誇¹、酒井 直樹¹、田中 義朗²、長倉 賢²、松谷 和彦³

*Takashi Kimura¹, Naoki Sakai¹, Yoshiro Tanaka², Ken Nagakura², Kazuhiko Matsuya³

1. 国立研究開発法人防災科学技術研究所、2. 日本工営株式会社、3. 有限会社ジオ・プランナー

1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 2. Nippon Koei Co., Ltd., 3. GEOPLANNER Co., Ltd.

2016年4月16日に熊本県を襲った強い地震（Mw7.0の本震とその後の余震；以下、2016年熊本地震と表記）により、阿蘇火山高野尾羽根溶岩ドームの降下火砕物斜面で地すべり（以下、高野台地すべりと表記）が発生し、長距離移動した土塊が甚大な被害をもたらした。降下火砕物斜面における地すべりが今後も起こる危険性を評価するためにも、高野尾羽根溶岩ドームにおける地すべり発生履歴を明らかにすることの意義は大きい。筆者らは高野台地すべりが発生した箇所の隣接斜面で過去の地すべりによるものとみられる幅約100mの窪地を発見した。そこでの堆積層序と古土壌層の放射性炭素年代測定により7,200～7,000年前頃に地すべりが発生した可能性があることがわかったので報告する。

高野尾羽根溶岩ドームは、51,000年前頃（51ka）の溶岩流噴出によって形成された独立丘であり、5～15°程度の緩斜面をもつ。地表は溶岩ドーム形成以降に降下した未固結の火砕物（おもにシルト質火山灰および土壌）に覆われる。この降下火砕物層中には、阿蘇カルデラ形成以降（90ka～）で最大級の噴火堆積物である草千里ヶ浜軽石（Kpfa；30ka）のほか、広域テフラの始良Tn火山灰（AT；29ka）と鬼界アカホヤ火山灰（K-Ah；7.3ka）が鍵層として挟まる。層全体としての厚さは最大で13m程度である。高野台地すべりはKpfaやその下位の古土壌層にすべり面を形成し、最近約3万年間に降下した火砕物層を削剥した。

2013年1月に計測された航空レーザ測量データをもとに作成した高解像度地形図を判読したところ、溶岩ドーム斜面上に降下火砕物層の削剥によって形成されたとみられる窪地が複数あることがわかった。高野台地すべりは窪地が形成されていなかった南西向き斜面で発生していた。隣接する南向き斜面には馬蹄形の遷急線に囲まれた幅約100mの窪地が認められた。この遷急線を挟んだ斜面の落差は3～6m程度あったが、全体に円みを帯びた不明瞭な地形になっており、古期地すべりの頭部滑落崖が地すべり発生後に降下した火砕物層に覆われたものと推察された。

窪地の中央で掘削したボーリングコアを観察したところ、高野尾羽根溶岩を覆う降下火砕物の層厚は4.80mしかなく、鍵層となるKpfa、AT、K-Ahが欠けていた。深度0.00～2.30mまではクロボク-ローム互層で構成されていたが、その下位の深度2.30～3.15mには炭質物やKpfaとみられる橙色の軽石粒が混入する乱れた土層が挟在していた。一方で、深度3.15～3.30mにある黄色の砂質火山灰層は上下の境界が明瞭で乱れが少なかった。その下位にある暗褐色の古土壌は深度3.60m付近で褐色の火山灰土に漸移し、高野尾羽根溶岩（深度4.80m～）を覆っていた。

これらの特徴を溶岩ドーム頂部で掘削したボーリングコアや高野台地すべりの滑落崖露頭で観察された層序と比較すると、深度2.30～3.15mの乱れた土層内に不整合面があり、それより上位にあるクロボク-ローム互層は、K-Ahが侵食された後に発達したものと考えられる。また、不整合面の下位にある黄色の砂質火山灰層は、層相や鉱物組成の特徴から、Kpfaの基底をなすフォールユニットか、その下位の水ノ元第1軽石（MzP1；31ka）のいずれかに対比される。

窪地内のボーリングコアから採取した古土壌の放射性炭素年代をAMS法で測定したところ、深度2.20mのクロボクの補正¹⁴C年代として6,170±30yrBPが、深度3.35mの暗褐色古土壌の補正¹⁴C年代として27,410±110yrBPが得られた。これらの年代を暦年代較正（2σ）すると、それぞれ7,164～6,976calBPと31,445～31,064calBPになった。筆者らは不整合面より上位のクロボク-ローム互層はK-Ahが侵食された後

に発達したもので、下位の砂質火山灰層はKpfaかMzP1のいずれかに対比されると考えたが、2つの古土壌からはそれと矛盾しない年代値が得られた。

以上より、高野尾羽根溶岩ドームの南向き斜面にある窪地内では、KpfaからK-Ahまでの過去約2万3千年間に堆積したテフラ層が削剥されており、その不整合面をK-Ah降下以降の最近約7千年間に発達したクロボク層が覆っていたことが明らかになった。この窪地のある斜面が降雨では地すべりが起こらないような緩傾斜であることと合わせて考えると、K-Ah降下後の7,200～7,000年前頃（7,164～6,976calBP）に阿蘇山周辺を強い地震が襲い、2016年熊本地震時の高野台地すべりと類似の土砂移動現象が発生した可能性がある。

キーワード：阿蘇火山、高野尾羽根溶岩ドーム、降下火砕物層序、草千里ヶ浜軽石、古土壌、14C年代

Keywords: Aso volcano, Takanoobane lava dome, Tephrostratigraphy, Kusasenrigahama pumice, paleosol, 14C age

平成28年熊本地震により発生した軽石層および火山灰土層をすべり面としたテフラ斜面の崩壊

Landslides on the tephra slope with the sliding surface formed in pumice and volcanic soil beds triggered by the 2016 Kumamoto Earthquake, western part of Aso caldera, Kyushu, southern Japan

*佐藤 達樹¹、千木良 雅弘²、松四 雄騎²

*Tatsuki Sato¹, Masahiro Chigira², Yuki Matsushi²

1. 京都大学大学院理学研究科、2. 京都大学防災研所

1. Kyoto University, Graduate School of Science, 2. Disaster Prevention Research Institute

2016年4月16日に熊本県熊本地方を震源とする地震(Mw 7.0)が発生し、最大震度7を観測した。震度6強の強い揺れに見舞われた阿蘇カルデラ西部地域では、多くの斜面崩壊が発生した。テフラからなる斜面で発生した斜面崩壊は、緩傾斜斜面で発生し、また、長距離流動した。さらに、これらの崩壊のすべり面の形成された層準にはいくつかの種類があり、調査を行った崩壊地においては、風化した軽石層にすべり面を形成したもの（軽石の崩壊）が最も多く確認され、黒味を帯びた火山灰土層にすべり面を形成したもの（火山灰土の崩壊）が次いで多く、風化した火山灰層やスコリア層にすべり面を形成したものも確認された。そこで、本研究では軽石層および火山灰土層にそれぞれすべり面を形成した崩壊に着目し、これらの崩壊メカニズムを明らかにするために崩壊地の地形・地質的特徴、各層の鉱物組成および物性を検討した。

調査地域の基盤は玄武岩から流紋岩までさまざまな組成をもつ溶岩流や火砕岩から構成され（小野・渡辺, 1985）、テフラに厚く覆われている。渡辺, 高田（1990）によると火山灰土（Volcanic soil）は色調によって分類可能であり、本研究では黒色を呈する黒ボク（Bl）、黄褐色を呈する赤ボク（Br）、そして、両火山灰土の中間の色調を示す暗褐色火山灰土（Blackish Brown Volcanic soil, BBr）の3つに分類した。また、調査地域で最も広く分布する軽石は草千里ヶ浜軽石（Kpfa）と呼ばれ、約30000年前に草千里ヶ浜火口から噴出した（宮縁ほか, 2003）。

軽石層または火山灰土層にすべり面をもつテフラ斜面の崩壊には、共通してすべり面付近にハロイサイトが存在した。軽石の崩壊において最も多くすべり面が形成された軽石層は、草千里ヶ浜軽石（Kpfa）層であり、そのすべり面は風化により粘土化した層に形成された。火山灰土の崩壊においてはBBr層に最も多くすべり面が形成され、崩壊地内にすべり面の露出する箇所には乾燥亀裂が発達しており、高含水の粘土層がすべり面となったことが分かる。さらに、火山灰土にすべり面を持つ崩壊地にはKpfaをはじめとする明瞭な軽石層が存在しなかったことから現段階では、Kpfa層がテフラ斜面の崩壊において最もすべり面形成層となりやすく、Kpfa層がない場合にBBr層にすべり面が形成された可能性が考えられる。Kpfa層がない理由の可能性としては、もともと堆積しなかったか、堆積の後に地すべりによって取り去られたことが考えられる。堆積しなかったとすると、その理由としては斜面が急すぎたこと、あるいは軽石の給源からの供給が少なかったことが考えられる。

キーワード：草千里ヶ浜軽石（Kpfa）、火山灰土、ハロイサイト

Keywords: Kusasenrigahama pumice (Kpfa), Volcanic soil, Halloysite

Evaluation of slope stability for the earthquake-induced sediment due to intense rainfall

趙 渤君¹、岡島 裕樹¹、三谷 泰浩¹、中西 隆之介¹、*池見 洋明¹

Bojun Zhao¹, Yuki Okajima¹, Yasuhiro Mitani¹, Ryunosuke Nakanishi¹, *Hiro Ikemi¹

1. 九州大学大学院工学研究院

1. Faculty of Engineering, Kyushu University

On April 16, 2016, the Kumamoto earthquake, the second of the two significant earthquakes has occurred in Japan, and associated aftershocks, appears to have triggered numerous landslides. Though the position of Kumamoto earthquake-induced landslides are published as point data by Geospatial Information Authority of Japan (GSI), in general, it is a big problem to extract the distribution of landslides in a wide area. In addition, high-intensity rainfall caused many shallow landslides, leading to significant damage, and it is possible that the instable sediment which is triggered by earthquake is going to collapse in the future. In a previous study of GIS-based 3D slope stability analysis¹⁾, it requires not only the geological parameters but also distribution of the collapse sediment.

Therefore, the purpose of this study is to monitor landslides activities for emergency disaster control, and evaluate slope stability of earthquake-induced sediment in a high intense rainfall condition to minimize damage of landslides in the future. The study involves three part: extracting earthquake-induced landslides information, simulating sediment which was triggered by intense rainfall to get soil parameter, and evaluation of slope stability of Kumamoto earthquake-induced sediment.

As a result, SAR is able to provide landslides interpretation using color composition in Aso-Kumamoto and as a real-time system it is a very good way to minimize earthquake damage. It is clear that non-compacted sediment type has the best result as Kuroboku soil. There is high possibility that collapse type is similar with non-compacted sediment collapse if the soil structure of landslides is Kuroboku soil.

キーワード：熊本地震、斜面崩壊、斜面安定評価

Keywords: Kumamoto earthquake, landslide, slope stability

阿蘇山における豪雨による崩壊危険斜面の検討

Study on landslide-susceptible slopes by heavy rain in the Aso Caldera, Southwest Japan

*檜垣 大助¹、李 学強²、林 郁真¹

*Daisuke Higaki¹, Xueqiang Li², Ikuima Hayashi¹

1. 国立大学法人弘前大学農学生命科学部、2. 国土防災技術㈱

1. Faculty of Agriculture and Life Science, Hirosaki University, 2. Japan Conservation Engineers Co. Ltd.

The Aso Caldera located in Kyushu, Southwest Japan has been affected by concentrated occurrences of surficial landslides in the tephra layers in the recent decade. This study aims to propose the detection of slopes with landside susceptibility by heavy rain based on interpretation of LiDAR-based high-resolution topographical maps. Remnants of past landslides are widely distributed on the tephra-covered slopes. Analysis on the locations of recent landslide occurrence indicates that surrounding slopes of remnants of surficial landslides and steep valley side slopes are prone to landslides by heavy rain. Inside of past landslide slopes partially covered with collapsed materials also may become susceptible after time of tephra deposition.

キーワード：斜面崩壊、火山灰、阿蘇山

Keywords: landslide, tephra, Aso Mountains

南海トラフおよび相模トラフの大地震による深層崩壊 Deep-seated catastrophic landslides induced by large earthquakes along the Nankai and Sagami troughs

*千木良 雅弘¹

*Masahiro Chigira¹

1. 京都大学防災研究所

1. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

We examined 32 landslides induced by large earthquakes along the Nankai and Sagami troughs and we made field investigations for 11 landslides and found their geological causes. They were induced by the 684 Hakuho, 1707 Hoei, 1854 Ansei Tokai, 1854 Ansei Nankai, or 1923 Kanto earthquake. One of the most outstanding landslide types was of pyroclastic fall deposits induced by the 1923 Kanto earthquake: those landslides occurred rather gentle slopes and had high mobility. We confirmed 3 landslides (Shinseiko, Nebukawa, and Nebukawa station) of this type and probably other 7 landslides could be of this type. One landslide horizon accommodating a sliding surface was the Tokyo Pumice about 65 ka, which covers wide area in Kanagawa and Tokyo area, suggesting future potential landslides. We have recognized many older landslides of this type on LiDAR images.

Another type of landslides was toppling failure of slate, Neogene sedimentary rocks, and Mesozoic accretionary complexes. We confirmed 6 such landslides of this type (Kanagi, Oya, Shirotoriyama, Shichimenzan, Ikeyama, and Nakagochi). Ikeyama landslide may be a complex of toppling and sliding. Oya and Shirotoriyama landslides made landslide dams, which breached later and severe damage downstream. Kanagi and Ikeyama landslides could have occurred in combination with large earthquakes and following rainstorms.

Another typical example of earthquake-induced landslides was buckling failure of stratified rocks: alternating beds of sandstone and mudstone and mixed rocks at Ishigami and conglomerate at Shimobe. Buckling type landslide was found only two locations, but it has been induced by many other earthquakes. Shimobe landslide probably made a landslide dam because the deposits have a mound on the opposite side.

There occurred many rain-induced landslides in the outer belt of southwest Japan, and we have found many of them can be attributable to thrust faults with large brittle crushed zones, which may be a different setting from those of earthquake-induced landslides.

キーワード : 地すべり、南海トラフ地震、発生場予測

Keywords: Landslide, Nankai Trough earthquakes, Prediction of potential sites

新潟県南部の地すべり密集地帯における高塩濃度地下水の分布

Distribution of highly saline groundwater in the areas with many landslides in the southern Niigata Prefecture

*西山 成哲¹、千木良 雅弘²、鈴木 浩一³、渡部 直喜⁴

*Nariaki Nishiyama¹, Masahiro Chigira², Koichi Suzuki³, Naoki Watanabe⁴

1. 京都大学大学院理学研究科、2. 京都大学防災研究所、3. 電力中央研究所、4. 新潟大学災害・復興科学研究所

1. Graduate School of Science, Kyoto University, 2. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 3. Central Research Institute of Electric Power Industry, 4. Research Institute for Natural Hazards and Disaster Recovery, Niigata University

新潟県南部の丘陵地は、主に新第三紀層が分布し、全国でも有数の地すべり多発地帯である。それら地すべりの原因は、岩石が軟質で風化しやすいためと考えられてきたが、近年では、高塩濃度地下水の存在する地すべりが本地域に点在することが分かり、高塩濃度地下水が地すべりに影響をおよぼしている可能性が高いことが指摘されている（渡部ほか、2009）。しかし、高塩濃度地下水が本地域において普遍的に存在するかどうかについては確認されておらず、また、それと地すべりとの関係も実証されていない。本研究では、多数の地すべり地形を含む一つの背斜構造を調査対象とし、その地下における高塩濃度地下水の空間分布を明らかにすることを目的とする。

調査地域は、新潟県上越市安塚区の長倉山背斜周辺である。その背斜軸は地形的な尾根にほぼ沿っており、斜面には多数の地すべり地形が存在する。尾根沿いには線状凹地が分布し、その一部は池となっている。調査地域の地質は、新第三系の泥岩と凝灰岩である。長倉山背斜は、NNE-SSW方向の軸を有し、その周辺にはほぼ並行する背斜・向斜が配列している（竹内・加藤、1994）。

地表踏査により、地質構造を明らかにした上で、地下約1,000 mまでの比抵抗分布が得られる電磁探査法（CSAMT法）を用い、調査地域の地下の比抵抗分布を求めた。測線は背斜軸を横断する2測線であり、A測線では19測点、B測線では13測点で地下に誘導された電磁場を測定した。測定したデータから、Uchida and Ogawa（1993）の二次元逆解析ソフトを使用し、比抵抗断面を作成した。

調査地域に点在する地すべり対策用の集水井および水抜き横孔の水を採水し、高塩濃度地下水の混入の有無を確認する目的で分析を行った。また地すべり調査用に掘削されたボーリングの地下水検層データから深度方向の比抵抗分布を検討した。

地表踏査の結果、長倉山背斜の地質構造は、複雑な複背斜構造を形成していることが明らかになり、また、背斜構造にほぼ平行な断層が存在することが推定された。

A測線およびB測線の比抵抗断面図には、凝灰岩の分布する位置が高比抵抗領域となる共通の特徴が認められた。また、10 Ωm以下の低比抵抗の分布域が両断面に広く存在することが分かった。この比抵抗値は、調査地域の岩石の比抵抗特性から、高塩濃度地下水に起因すると想定される。また、凝灰岩の分布域を除いて、比抵抗値がほぼ深度100 mよりも深い部分で小さく、浅い部分では大きいことも明らかになった。

採水した地下水の中には、96.2~408 mS/mの高塩濃度地下水があることが認められた。しかし、現時点においては化学分析が進んでいないため、渡部ほか（2009）の化石水由来の地下水の混入が認められるかについては分かっていない。今後、分析を進め、高塩濃度地下水の水質特性について明らかにする予定である。

本調査の結果、調査地域には高塩濃度地下水が広域に分布することが明らかとなり、これまでの研究で地すべり地内において認められた高塩濃度地下水が、調査地域の地下100 m以深に普遍的に存在する可能性がある。

今後は、このような地下水の水質特性を明らかにした上で、地すべり等との関連性について検討していく必要がある。

キーワード：深層地下水、比抵抗、地すべり

Keywords: Deep-seated groundwater, Resistivity, Landslides

上高地東方の稜線上に発達する山上凹地埋積過程：長堀尾根と徳本峠周辺の対比

Development history of ridge-top depressions east of Kamikochi, central Japan: Correlation between Nagakabe Ridge and Tokugo Pass

*小嶋 智¹、永田 秀尚²

*Satoru Kojima¹, Hidehisa Nagata²

1. 岐阜大学工学部社会基盤工学科、2. 有限会社風水土

1. Department of Civil Engineering, Gifu University, 2. Fu-Sui-Do Co. Ltd.

北アルプス、上高地東方の標高2,500m程度の蝶ヶ岳～大滝山～徳本峠の主稜線やその支稜は、下方斜面が急峻であるにもかかわらず丸みを帯びた広い頂部を持っている。特に、稜線がNE-SW方向に延びる部分は広い尾根となり、多重山稜、山上凹地などの山体重力変形地形が発達している。これは、本地域の基盤岩が美濃帯のジュラ紀付加体からなり、その一般走向がNE-SWであるためである。長堀尾根の標高2,000m付近（A地点）と徳本峠の北東約2kmの標高2,150m（B地点）に位置する山上凹地を埋積する堆積物をハンドオーガーボーリングにより採取し、岩相記載、火山ガラス屈折率の測定を行った。その結果、前者は泥質堆積物を主体とするのに対し、後者は火山性の粗粒砂からシルトからなることが明らかとなった。A地点の2本のボーリング試料の深度67cm, 90cm付近には火山ガラスの産出ピークが認められ、両方とも鬼界アカホヤ火山灰（7,300 cal BP）起源であると思われる。一方、B地点のボーリングコアには火山ガラスの産出ピークは認められず、最下部（深度190cm）の試料も鬼界アカホヤ火山灰起源の火山ガラスを含んでいる。しかし、火山屑碎物の主体は粗粒な火砕物であり、その粒度や鉱物組成から、2,000-5,000年前に活発に活動した西南西約9.5kmに位置する焼岳からもたらされたものと推定される。また、A, B両地点の凹地埋積速度は、Aが約0.1mm/y, Bが0.26mm/y以上と大きく異なる。これは焼岳からの距離や方位の差に起因するものと考えられる。

キーワード：山体重力変形地形、二重山稜、地すべり

Keywords: deep-seated gravitational slope deformation, double ridge, landslide

巨摩山地・甘利山南面の御庵沢における完新世前期の大規模地すべり Early Holocene large landslide in the Goansawa River Basin on the southern slope of Mount Amari in Yamanashi Prefecture, central Japan

*苅谷 愛彦¹

*Yoshihiko Kariya¹

1. 専修大学文学部環境地理学科

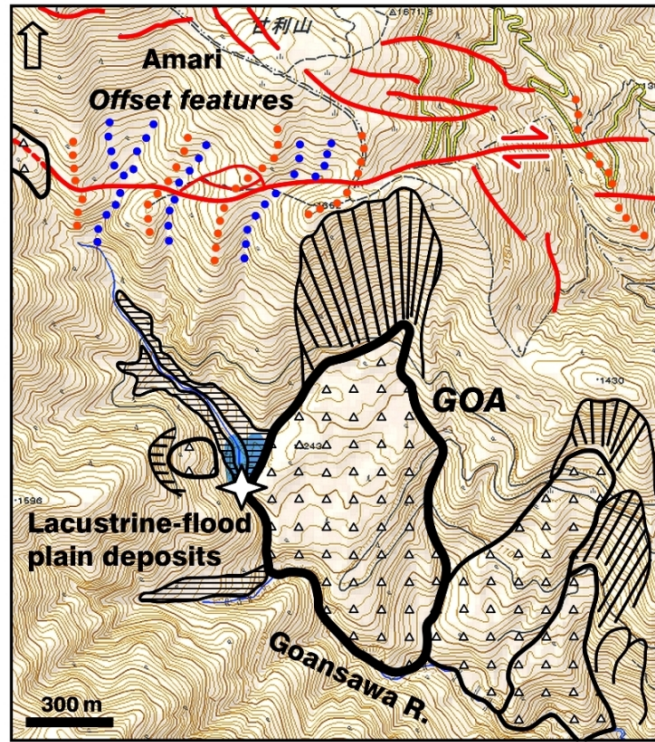
1. Department of Environmental Geography, Senshu University

甲府盆地西方・甘利山（標高1740 m）とその周辺の山地には地すべりが発達する。本発表は、甘利山南面を集水域とする富士川水系御勅使川左支・御庵沢に発達する地すべりのうち最大規模の移動体をもつ事例（GOA）について、その地形・地質学的特性や堰き止め湖沼・氾濫原堆積物から推定される発生年代を中心に報告するものである。GOAの滑落崖は最大幅約600 mで、その頂部は標高1630 m付近にある。移動体（ $A = 5.9 \times 10^5 \text{ m}^2$ ）は基盤をなす西八代層群由来の角礫を主とし、標高960~1320 mに及ぶ。層厚は20 m以上である。GOAの移動体体積は $V = 1.2 \times 10^7 \text{ m}^3$ 以上と推算され、大規模地すべりに区分される。GOAの移動体は御庵沢を堰き止め、小湖沼・氾濫原を出現させた。湖沼・氾濫原堆積物の層厚は10 m以上で、南北走向・東17~42度傾斜を示す。湖沼・氾濫原堆積物はGOAの移動体を覆う一方、本流性の河成礫層に覆われる。湖沼・氾濫原堆積物の下限・上限層準から得た木片は7741~7615 cal BPと5261~4873 cal BPを示した。また同下限よりやや上位に、鬼界アカホヤ（約7200 cal BP）の薄層も認定された。これより、GOAの初生地すべりは8000~7700 cal BPころ生じ、堰き止め湖沼・氾濫原は約3000年後の5000 cal BPころ本流の礫層で埋積されたと推定される。地すべりの規模が大きいことから、誘因として糸魚川-静岡構造線活断層帯または海溝型プレート境界断層の活動による強震動が想定される。前者の南部区間は8400~7200 cal BPころ活動したとされる。

GOAの滑落崖の背後（北側）には東西性のリニアメントが発達し、これに交わる尾根・水路が系統的右ずれ変位を起こしているように見える。リニアメントに並行・雁行する弧状地形も認識できる。甘利山では活断層または重力性断層とされる千頭星山断層が知られているが、これらの地形はそれと異なる。甘利山山頂一帯を載せる岩盤ブロックが重力変形により東~東北東へ変位し、これによりリニアメントや右ずれ変位が生じた可能性がある。そうであれば、GOAは極度の山体重力変形域側方で生じた大規模地すべりとみなせ、両者の地質的關係や変位発生期の同調性の解明が今後求められる。なお、付図はGOA周辺の地形学図である。堰き止め性湖沼・氾濫原堆積物は星印の地点より上流側に露出するが、上面は礫層に覆われ段丘地形（横縞）をなす。

キーワード：岩盤重力変形、鬼界アカホヤ、糸魚川-静岡構造線活断層帯、14C年代、第四紀地形・地質学

Keywords: Deep-seated gravitational slope deformation, Kikai-Akahoya tephra, Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line Active Fault Zone, 14C ages, Quaternary geology and geomorphology



知床半島羅臼町海岸町で発生した2016年8月の斜面崩壊

A slope failure at Shiretoko-Rausu, Hokkaido, in August 2016

*石丸 聡¹、田近 淳²、伊藤 陽司³、奥水 健一¹

*Satoshi Ishimaru¹, Jun Tajika², Yoji Ito³, Ken'ichi Koshimizu¹

1. 北海道立総合研究機構 地質研究所、2. (株)ドーコン、3. 北見工業大学

1. Geological Survey of Hokkaido, 2. Docon Co., Ltd., 3. Kitami Institute of Technology

北海道の2016年の夏は観測史上例のない、度重なる台風襲来に見舞われた。8月17日から23日にかけて台風7号、11号、9号が次々と上陸し、北海道東部では断続的に強い雨が降り続いた。その結果、年降水量1600mm程度の知床半島の羅臼において、8月15日～23日の9日間で554mmの降水を記録した。羅臼町海岸町では、最も強い雨となった8月21日11時の36mm/hourの降水ピーク前後を中心に、海岸沿いの段丘崖で表層崩壊が多発した。23日未明には断続的な雨は降りやんだが、それから29時間が経過した24日夕刻に大規模な崩壊が発生した。崩壊の主たる発生源は段丘にのる厚い緩斜面堆積物で、16時頃から16時半過ぎにかけて数十回の崩壊を断続的に繰り返し、斜面背後へ崩壊範囲を拡大させていった。崩壊源の規模は、奥行き60m、幅40m、深さ8～10mで、概ね19,000m³と見積もられる。この崩壊は大量の水を含んだ土砂が段丘崖を流下し、さらに100m以上離れた海岸を越えて海中へと流入した（等価摩擦係数：H/L = 0.3）。その断続的に生じた崩壊の状況は動画撮影され、流動性の高い土砂移動の様子がテレビニュースでも放映された。この崩壊により海岸沿いを通る道道が塞がれ、その結果、知床半島先端側の集落は6日間にわたり孤立した。

海岸町周辺は、海岸沿いに狭長な低地が続く、その背後に比高約50mの斜面（約45°）が面する。その斜面の上には緩斜面地形（15～30°）が広がる。崩壊により露出した斜面には、サシルイ川層の一部と見られる安山岩質の凝灰角礫岩を基底として（基底面はほぼ水平）、その上に礫と泥の互層が覆っているのが確認できた。この礫・泥互層の下部8mは上方細粒化する砂礫層が繰り返し重なる段丘堆積物(TI)で、基底付近には径20cm程度の扁平した円礫が水平に並ぶ。この段丘堆積物の標高は約40～50mで、海成段丘アトラス（小池・町田2001）の標高データによれば、酸素同位体ステージ(MIS)5eに相当するものとみられる。この段丘は全国的に広く分布する約12万年前の高海水準期に形成された段丘にあたる。礫・泥互層の中部にあたる段丘堆積物上位の7mには、砂や軽石混じりのシルトが卓越した層（Tu:段丘離水後の洪水等の堆積物？）がのる。さらにその上位、礫・泥互層上部の10mは、径2cmほどの垂角礫混じりのシルト層(Ac)からなる。この垂角礫混じりのシルト層は土石流～土砂流堆積物とみられ、シルト主体の部分は透水性が低く、またすべりやすい特徴を持つ。

崩壊源はこれらの礫・泥互層（TI, Tu, Ac）の上位の淘汰の悪い角礫混じりのシルト堆積物(Sd:厚さ5m以上)で、段丘上の緩斜面地形を形成する。この堆積物は北海道内によく見られる周水河性斜面堆積物の特徴を有しており、酸素同位体ステージ(MIS)5eの段丘堆積物より上位に位置することから、主として寒冷期の酸素同位体ステージ(MIS)2～4に厚く堆積したものとみられる。この堆積物はルーズで水を含みやすく、下位の垂角礫混じりのシルト層（土石流～土砂流堆積物）より透水性が高いため、大雨後には地中水を保持しやすく、特に基底付近は地中水が集中したとみられ、両層の境界付近にはパイピングホール（パイピング）の痕跡がみられた。崩壊発生後には、崩壊源の中央付近の底面に径3mの垂直の陥没孔が形成された。この陥没は斜面堆積物の基底付近に形成されたパイピングホール上の土砂が落ち込んでできたものとみられる。

テレビ報道の動画を見ると、雨が降りやんでから29時間が経過していたにもかかわらず、崩壊土砂は大量の水を含んでいたことがわかる。このことは、崩壊発生時に斜面堆積物(Sd)中の地下水位が高かったことを示しており、地下水の供給源が崩壊源付近の地表からの浸透によるものだけではなく、背後からの水の供給を考える必要がある。北海道水産林務部のボーリング調査によると、崩壊頭部の約20m背後で斜面堆積物(Sd)は急激に薄くなり、亀裂質の安山岩が分布することが確認されている。この安山岩はSdより浸透能が低いため、降水後、時間を経て地下水位が上昇する。そこで安山岩の水位が相対的に高くなった場合、その水位差により斜面堆積物内(Sd)に地下水が供給される。すなわち、斜面堆積物(Sd)の背後側で地下水位が遅れて上昇することにより、斜面堆積物に遅れて地下水が供給され、降水後時間を経てから高含水の斜面堆積物の崩壊に至ったと考

えることができる。さらに、大量の水を含んだ斜面堆積物(Sd)の前面が崩壊、消失することにより、背後の地下水位との差が大きくなり、その結果、透水性の高い斜面堆積物(Sd)の底面に水流が集中し、浸食力が増大したためにパイピングホールが一気に成長し、その上の土砂が陥没した可能性がある。

キーワード：斜面堆積物、周氷河性堆積物、パイピングホール、地下水位、斜面崩壊、豪雨

Keywords: slope deposits, periglacial deposits, piping hole, groundwater level, slope failure, heavy rain

オープンソースハードウェアと加速度センサーによる斜面防災システムの開発

The disaster prevention system by open source hardware and the acceleration sensor

*幡野 雅春¹、杉山 太宏²

*Masaharu Hatano¹, Motohiro Sugiyama²

1. オリエンタルコンサルタンツ、2. 東海大学

1. Oriental Consultants, 2. Tokai Univ.

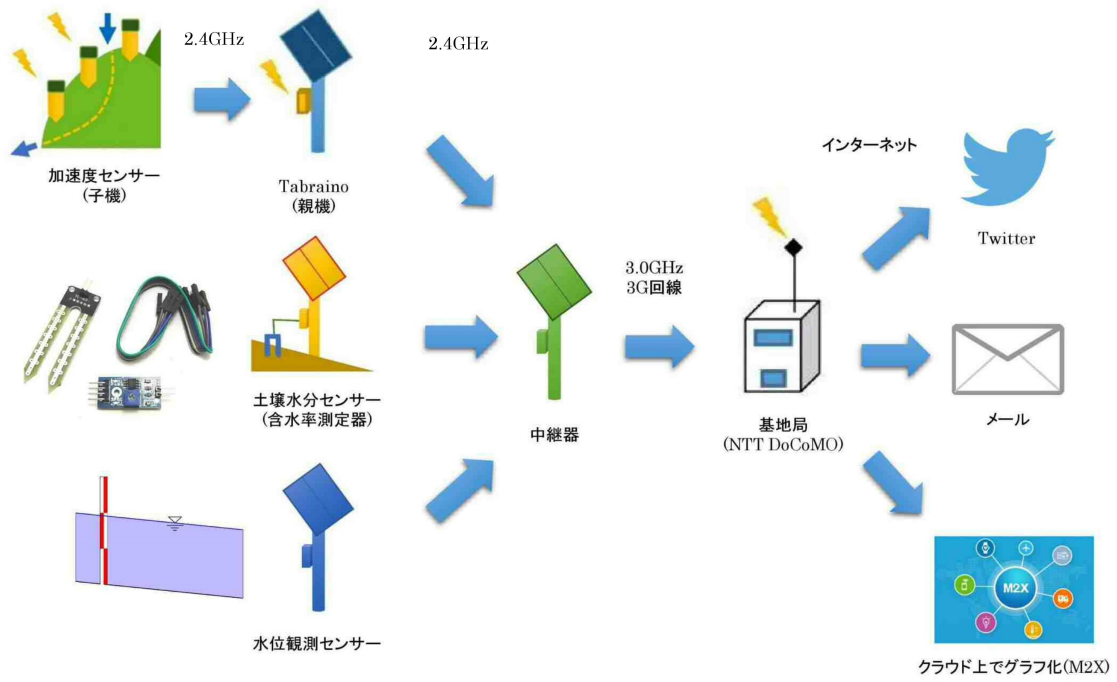
我が国は2014年8月、広島市の集中豪雨による大規模な土砂災害を受けた。このような災害は毎年繰り返し発生し、その数は増加傾向にある。要因として、日本の群島が火成岩でできていること、湿気が多い気候、急な地形などがある。また、今後、ゲリラ大豪雨や地震による災害の発生が予想される。そこで、過去の災害の歴史から土砂災害の発生が予想される場所の地形・地形調査を行った。また、加速度センサを用いた安価な斜面崩壊予知システムを開発した。このシステムは、斜面の崩壊を予知し、伝達を行う。

本論文では、神奈川県伊勢原市大山を調査対象とし、その調査結果と加速度センサーによる防災システムの開発について述べる。

キーワード：土砂崩れ、土砂災害、加速度センサー、オープンソースハードウェア、防災システム

Keywords: landslide, Sediment disaster, acceleration sensor, open source hardware, disaster prevention system

開発した斜面防災システムの流れ



S-DEMデータを活用した斜面動態モニタリング手法

Application of analysis method using S-DEM data for landslide measurement

*菊地 輝行¹、秦野 輝儀³、千田 良道⁴、西山 哲²

*Kikuchi Teruyuki¹, Teruyoshi Hatano³, Yoshimichi Senda⁴, Satoshi Nishiyama²

1. 株式会社開発設計コンサルタント、2. 岡山大学大学院、3. 電源開発株式会社、4. 中日本航空株式会社

1. JP-design,Co.,Ltd., 2. Okayama Univ., Graduate School of Environmental and Life Science, 3. Electric Power Development Co., Ltd., 4. Nakanihon Air Service Co., Ltd

1. はじめに

近年多発する異常気象を誘因とした地すべり・崩壊に対する取り組みは重要な社会的問題である。一般に地すべり・崩壊の監視は、傾斜計や伸縮計を用いて計測監視する。しかし地すべり・崩壊は、平常時の変位量が不明で豪雨などの事象発生時に滑動するため、疑わしい箇所すべてに一般的な監視機材を設置することは費用対効果に課題がある。つまり斜面崩壊の被害を未然に防ぐために簡易的にモニタリングする計測技術の確立は不可欠である。航空レーザ測量によって得られる三次元点群データを用いて初生的な斜面変動を検出することが可能となれば、ダム貯水池・調整池の安全管理や地域のハザードマップの高精度化にも役立つと考えられる。本研究は、変動の見られる斜面を対象として多時期に取得したレーザ計測結果に基づいて変動ベクトル解析を行い、斜面の変動や変状をモニタリングするのに適した計測法を構築することを試みたものである。

2. 航空レーザ計測による斜面動態モニタリング手法

一般的なレーザ計測においてオリジナルデータからフィルタリングされたグラウンドデータは、植生の影響を除去した比較的単調な数値標高データ (DEM: Digital Elevation Model) となる。DEMデータによる地すべりやマスムーブメントの解析の活用は2008年の岩手・宮城内陸地震において数値地形画像マッチングにより3次元ベクトル変位量を算出している (Mukoyama, 2011)。DEMでは転石やオーバーハング地形など詳細な地表面の状態を表現できない。そこで図-1に示すような計測データ本来の情報量を活かした細密な下層モデル (S-DEM: Substratum Digital Elevation Model) を作成した。S-DEMとは、グラウンドデータから任意の距離に位置する点群だけを抜きだし、その最下層面のみから補間陰影処理を行うことでオリジナルデータ本来の情報量を生かした詳細な地形形状である。これによりオーバーハング地や岩屑を含む斜面の地形を数10cmレベルで再現可能となった。本解析は中日本航空 (株) 製の解析ソフトMierreを用いて実施した。本手法は地すべりの活動性の評価に活用されており、菊地ほか (2017) により約20cmの閾値での変動ベクトル解析例が報告されている。

3. 解析結果

本研究で解析の対象とした箇所は、山地内にある貯水池近傍の斜面変動を示す2地点であり、2または3時期の計測を行った。この成果をもとに変動ベクトル解析を実施した。その解析図を図-2に示す。データの品質検証は、1m²グリッド中のレーザ照射点を示す計測点密度および、変動ベクトル解析時の10m×10mの不動点の変動量で評価を行った。

①A地点

A地点は、貯水池に面する崩壊地である。微地形判読と現地調査の結果から、表層崩壊の進行する斜面であると推定した。変動ベクトル解析の結果、貯水池標高から表層崩壊上端部までの標高差約100mの不安定斜面で最大変位量4.6mを確認した。この表層崩壊の範囲は、斜面の傾斜角度と類似したベクトルを示しており、変位量もほぼ一定であった。この結果は、表層にある岩屑堆積物の平行移動と推定することができる。なお、表層崩壊の上位に位置する露岩部では貯水池方向に約0.5mの変状が認められているため、今後の観測を継続的に行う事が提案された。

②B地点

B地点は、2012年9月に発生した台風12号の豪雨による地すべりである。当該地点は防災科学研究所による地すべり地形分布図にも掲載されておらず、初生地すべりと考えられる。初回の計測は2013年に実施して微地形判読を行い明瞭な滑落崖や崩壊地が複数確認された。また現地踏査とボーリング調査が実施され地すべり面の確認と孔内傾斜量の計測が実施された。しかし標高差約300mの広大な斜面であるため地すべり全体の面的な変動の把握が必要であり、2015年に二時期目の航空レーザ計測を実施した。その結果、変動ベクトル量は、地すべりブロックの内外でほぼ誤差の範囲である $\pm 0.3\text{m}$ 程度の検出量であり、ベクトルの方向についても、まとまった傾向がない事から、誤差以上の有意な変動は認められないと判断され、今後も定期的に計測を続けることとなった。

4. まとめ

本研究では、斜面のグラウンドデータの到達率を的確に管理し航空レーザ計測を高密度かつ高精度で行うことにより、10cmオーダーの精度を持つ変動ベクトル解析の斜面への適用が可能となり、これまで不可能であった1m以下の地表面の変動や変状を容易かつ広範囲に把握することができた。この手法を繰り返し適用していくことで航空レーザ測量が、定期的な斜面のモニタリング手法として実務へ適用が普及すると考える。

参考文献

Mukoyama, S. :Estimation of ground deformation caused by the Earthquake (M7.2) in Japan,2008,from the Geomorphic Image Analysis of high resolution LiDAR DEMs, Journal of Mountain Science, Vol.8, No.2,pp.239-245,2011.

菊地輝行, 秦野輝儀, 千田良道, 西山哲 : S-DEMデータを利用した地すべり地における変動ベクトル解析技術の開発, 応用地質, 57巻第6号, pp.277-288,2017.

キーワード : 地すべり、数値標高モデル、点群データ、斜面動態モニタリング

Keywords: Landslide, Digital Elevation Model, Point cloud data, Monitoring of slope movement

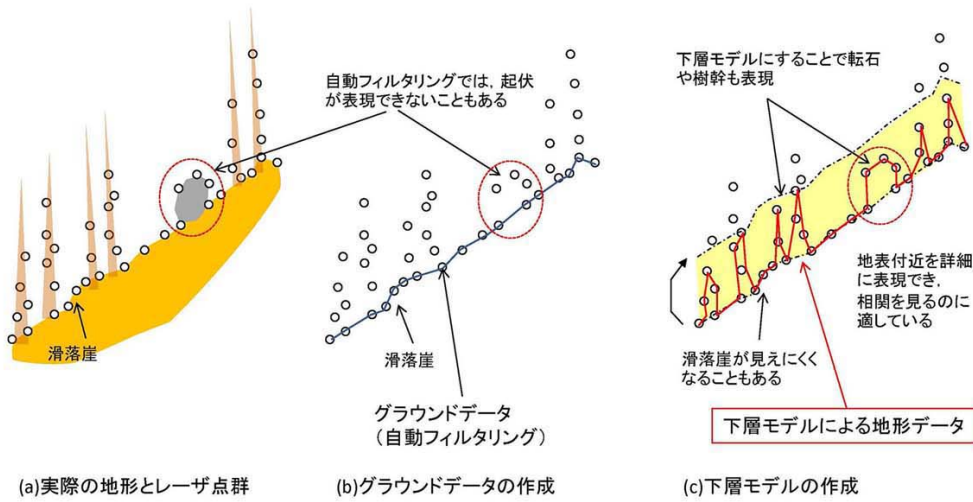


図-1 グラウンドデータと下層モデルを使用することによる得られる点群の違い

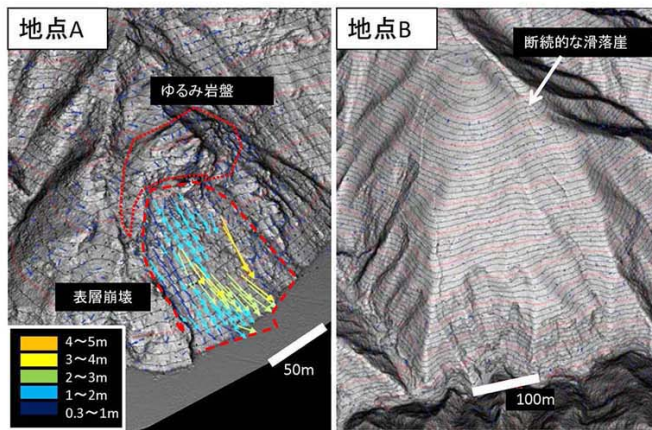


図-2 各地点の変動ベクトル解析結果

SAR干渉画像を用いたPixel Offset法で検出した2016年熊本地震の3次元地表変動と地すべり性地表変動の関係

Relation between 2016 Kumamoto Earthquake-induced landslide surface deformation and 3-D surface deformation detected by Pixel Offset method using InSAR image

*佐藤 浩¹、宇根 寛²

*Hiroshi, P. Sato¹, Hiroshi Une²

1. 日本大学文理学部、2. 国土地理院

1. College of Humanities and Sciences, Nihon University, 2. Geospatial Information Authority of Japan

2016年熊本地震では多数の斜面崩壊が発生した。筆者らは、地震前後（2016年4月15日と4月29日）に観測されたALOS-2/PALSAR-2データから合成開口レーダ（SAR）干渉画像を生成し、この画像を用いた2.5次元解析により本地震で生じた東西成分と上下成分の変動の向きと斜面崩壊の斜面方位の関係を調べ、両者がよく一致することを見出した。ところが、2.5次元解析では本地震による南北変動を面的に知ることはできなかった。本研究では、この画像にPixel Offset法を適用して本地震の3次元地表変動を明らかにし、本地震による斜面崩壊の斜面方位との関係を調べようとした。ポスターでは後半にその結果を示すとともに、前半ではPixel Offset法を適用するにあたって、適用するSAR干渉画像のルック数、そしてPixel Offsetの計算で設定される窓領域のサイズの検討を行う。

キーワード：地震、斜面崩壊、地すべり、SAR、Pixel Offset

Keywords: earthquake, slope failure, landslide, SAR, Pixel Offset

SAR干渉解析による斜面変動検出－四国山地、朝日山地の事例

Detection of slope deformation by using InSAR analysis - A case of Shikoku Mountains and Asahi Mountains

*中埜 貴元¹、山中 雅之¹、小林 知勝¹、森下 遊¹、藤原 智¹、仲井 博之¹

*Takayuki Nakano¹, Masayuki Yamanaka¹, Tomokazu Kobayashi¹, Yu Morishita¹, Satoshi Fujiwara¹, Hiroyuki Nakai¹

1. 国土交通省国土地理院

1. GSI of Japan

はじめに：国土地理院がJAXAの陸域観測技術衛星2号「だいち2号」(ALOS-2)のSARデータを用いて全国を対象に実施しているSAR干渉解析の画像においては、山地斜面で数cm程度の斜面変動を示すと考えられる位相変化が多数確認できる。このような位相変化が地すべりブロック等の斜面のクリープ現象を捉えているという報告はこれまでも多数あるが(Squarzoni et al., 2003; 宇根ほか, 2008; Delacourt et al., 2009; 佐藤ほか, 2012など)、衛星の観測性能上、すべての斜面変動が捉えられるわけではない。そのため、どのような観測条件、地形・地質条件、土地被覆条件で、どの程度の位相変化が現れている際に、どのような地表変位が現地に現れているのかの情報を蓄積していくことが、SAR干渉解析を用いた今後の斜面変動監視の方法を確立するうえで重要である。

そこで、我々はこれまでも斜面変動性の位相変化地点の現地調査や現地観測データとの比較を行ってきたが(Nakano et al., 2016; 山中ほか, 2016)、本発表では四国山地(高知県)と朝日山地(山形県)で確認された位相変化の特徴と現地調査結果で明らかになった地表変位の特徴について報告する。

現地調査結果：現地調査は、四国山地は2016年3月9～11日、朝日山地は2016年11月14～16日に実施した。

(1) 四国山地：現地調査した4地点のうち、2地点(SK-1：本山町奥白髪谷地点、SK-2：いの町手箱谷地点)で明瞭な地表変位を確認した。SK-1地点では、SAR干渉画像(2014年10月～2015年10月)において衛星から8cm程度遠ざかる変動が検出されていたが、位相変化領域に接する林道脇のコンクリート擁壁に比較的新しい複数の開口亀裂がみられ、位相変化と調和的な斜面ブロックの変動が生じていることが伺えた。また、SK-2地点は地すべり地で、古くから地すべり対策工事が実施されていたが、SAR干渉画像(2014年9月～2015年6月)では7cm程度の衛星から遠ざかる変動が検出されており、現地の樹木の傾倒などからも地すべりが継続していることが伺えた。

(2) 朝日山地：現地調査した5地点のうち、2地点(AS-1：大江町月布地点、AS-2：西川町上小沼地点)において明瞭な地表変位を確認した。AS-1地点では、2014年9月～2015年6月の期間などを含め、複数時期のSAR干渉画像において継続して広範な位相変化が検出されており、位相変化を横切る林道のコンクリート舗装部において、位相変化が示す変位の向きと調和的な段差・開口亀裂が確認された。AS-2地点は地すべり対策工事の対象地すべりで、2016年1月～4月の期間などを含め、複数時期のSAR干渉画像において位相変化が確認されていた。現地では、地すべり土塊の側方崖に位置する位相変化領域縁を横切るアスファルト道路とその脇の用水路において、位相変化の向きと調和的で明瞭な構造物の上下・右横ずれ変位が確認できた(図)。ここでは、少なくとも3回の道路補修痕があり、最新の補修は2016年内に行われた可能性が高く、SAR干渉画像で検出した変動により生じた変位である可能性が高い。

まとめと課題：位相変化が生じていながら現地で地表変位が確認できなかった地点は、いずれも位相変化縁辺部に人工構造物がなかった地点であり、逆に位相変化が示す変動が確かであれば、SAR干渉解析により人間が地上では認識できないような変動を検出・監視できることを示している。ただ、今回のような事後調査では、現地で確認された地表変位がSAR干渉画像で捉えた変動そのものによって生じたかどうか判断できない

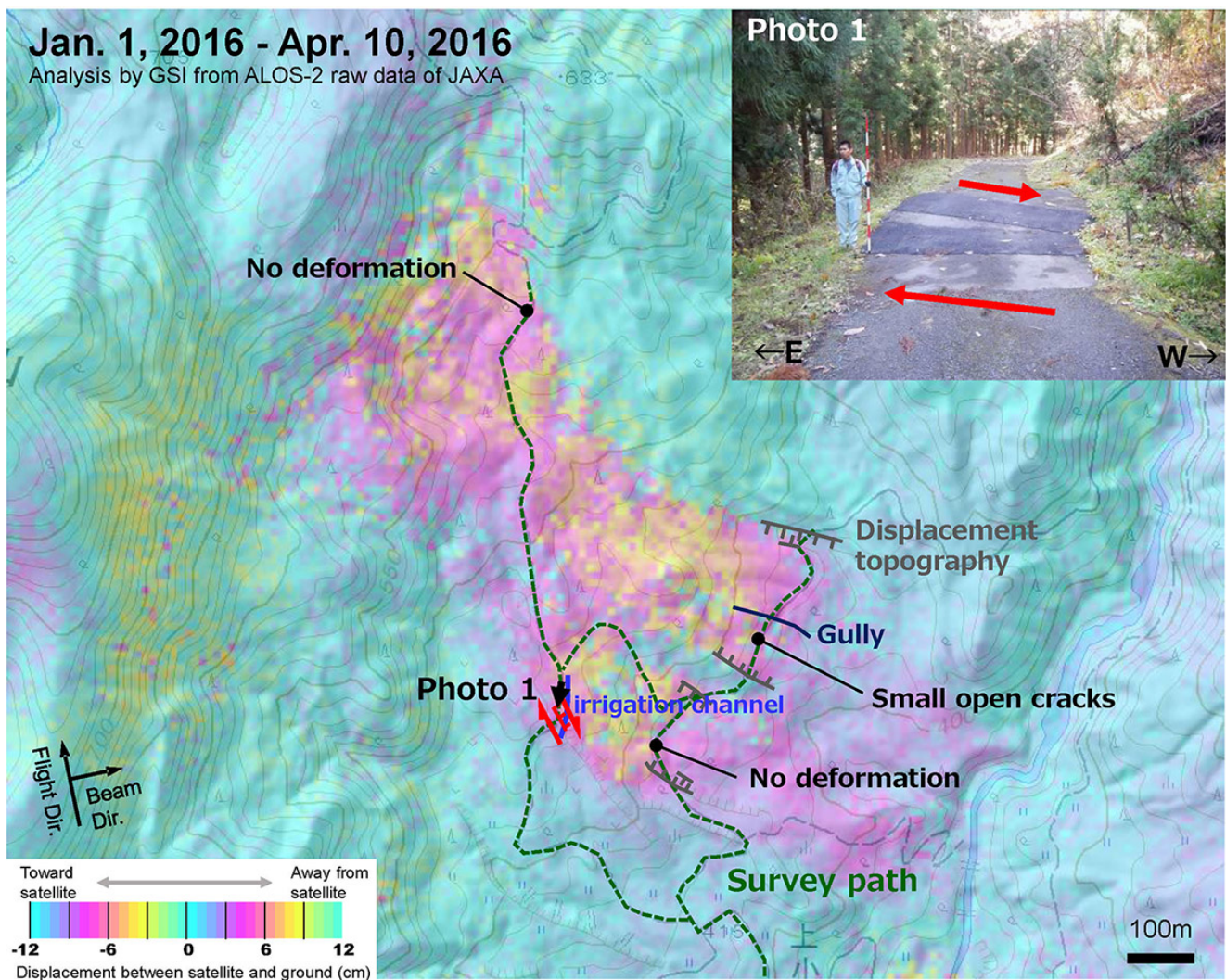
ため、今後は現地での常時変動観測を併用した検証を検討したい。

謝辞：本研究で使用したALOS-2データの所有権は、JAXAにあります。これらのデータは、国土地理院とJAXAの間の協定に基づいて、JAXAから提供されたものです。

引用文献：Delacourt et al. (2009): Sensors, 9, 616-630 ; Nakano et al. (2016): The International Archives of the ISPRS, XLI-B1, 1201-1205 ; 佐藤ほか (2012) : 日本地すべり学会誌, 49 (2) , 61-67 ; Squarzoni et al. (2003): Eng Geol., 68(1-2), 53-66 ; 宇根ほか (2008) : 日本地すべり学会誌, 45 (2) , 125-131 ; 山中ほか (2016) : 第8回土砂災害に関するシンポジウム論文集, 55-60.

キーワード：SAR干渉解析、斜面変動、地すべり、地表変位

Keywords: InSAR analysis, slope deformation, landslide, surface displacement



内陸型地震により発生した斜面崩壊の分布と震源断層の関係—初報

The relationship between source faults and distribution of landslide induced by inland earthquakes in Japan - a preliminary report

*山田 隆二¹、飯田 智之¹、松田 昌之²、ハス バートル²、高山 陶子²、猪狩 祥平²

*Ryuji Yamada¹, Tomoyuki Iida¹, Masayuki Matsuda², Baator Has², Toko Takayama², Shohei Igari²

1. 国立研究開発法人 防災科学技術研究所、2. アジア航測株式会社

1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 2. Asia Air Survey Co., Ltd

近年、日本の内陸において強い地震が相次いで発生し、それに伴う数多くの斜面崩壊が震源域とその周辺に甚大な被害をもたらしている。地震により発生する斜面崩壊の分布や規模などを明らかにすることは、今後活断層周辺における地震時の斜面崩壊分布範囲を把握するための基礎情報となりうる。本研究では、ずれ方が異なる活断層が起こす内陸地震が誘因となる斜面崩壊の分布と規模を、震源断層との距離関係について整理・分析した。

1995年の兵庫県南部地震以来、日本の内陸において発生した主な地震（M6.5以上、震度5強以上）のうち、既存研究等から斜面崩壊が抽出できるものを対象とした。斜面崩壊の分布と震源断層との関係を明らかにするため、震源断層上端の地表面投影（以降、震源断層という）から斜面崩壊発生域の中心までの距離を求め、震源断層からの距離と斜面崩壊の発生状況、規模について分析した。その際、断層タイプ（正断層、逆断層、横ずれ型断層）および正断層・逆断層については上盤側か下盤側かに着目して整理を行った。

分析の結果、逆断層型地震については、下盤側に比べて上盤側で多く発生する傾向が認められた。また、斜面崩壊の規模については、上盤側で概ね大規模なものが発生する傾向があった。横ずれ型地震については、震源断層の両側で発生する斜面崩壊の分布と規模に大きな差が認められなかった。

以上のように、ずれ方が異なる活断層による地震が誘因となる斜面崩壊の分布範囲、規模に異なる傾向が認められた。今後は、これらの傾向を考慮して、強い内陸地震に伴う斜面崩壊の発生範囲・様式について評価を行い、活断層周辺における大規模崩壊の危険度評価について検討したい。

キーワード：内陸地震、斜面崩壊、震源断層

Keywords: Inland earthquake, Landslide, Earthquake source fault

有限要素法を用いた岩盤不連続面の走向と線状凹地の形成位置の関係の解析

Analysis of relationships between strike of rock discontinuities and formation position of linear depressions using finite element method

*遠藤 涼¹、須貝 俊彦¹

*Ryo Endo¹, Toshihiko Sugai¹

1. 東京大学

1. The University of Tokyo

線状凹地は、地形や地質構造、応力場によって規定され、山地の地形発達を理解する上で重要な地形である。本発表では、線状凹地の形成位置を推定するため、山地の簡易モデルを作成し、三次元有限要素解析を行った。解析に使用したソフトウェアはAbaqus student edition 2016 (Simula) である。

モデルとして、圧縮による逆断層によって形成された、節理が発達する山地を想定し、主稜線とその両側が谷に挟まれる理想化した山体を設定した。岩盤不連続面を、稜線方向に対して垂直な方向、平行な方向にそれぞれ設定した。さらに、稜線方向に対して垂直な方向、平行な方向にそれぞれ圧縮を加えて山体を変形させた。山体の物性は等方線形弾性体とした。

その結果、不連続面が稜線に対して平行なとき、圧縮方向により線状凹地の形成位置が異なった。圧縮方向が稜線と平行であるとき、稜線付近において不連続面で開口変形が生じた。その一方で、圧縮方向が稜線と垂直であるとき、斜面下方において不連続面に沿って縦ずれ変形が生じた。また、不連続面が稜線と垂直なときは、圧縮方向に関わらず、不連続面では顕著な変形は見られなかった。

これらの結果は、線状凹地の走向が稜線や節理方向と一致する傾向があること、また線状凹地が山地の斜面全域で形成されることと調和的である。

キーワード：有限要素法、線状凹地、不連続面、山体重力変形地形

Keywords: FEA, Linear depressions, Rock discontinuity, Mountain gravitational deformation