

令和 6 年 6 月 27 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04605

研究課題名(和文) 崩落予備物質としての風化生成物質の生成と気候条件に関する研究

研究課題名(英文) Climatic influence on the formation of weathering substances as possible slope failure materials

研究代表者

小口 千明(Oguchi, Chiaki)

埼玉大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：20312803

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：基盤岩石 - 風化 - 崩壊という一連の物質変化と気候条件との関係の体系化を目指すことを目的として、複数の花こう岩地帯の基盤岩と風化物質の物性を調査した。求めた物性値より風化指標を算出し、脆弱化した土層の特徴を風化程度で示すとともに、各地域の年平均気温との関係も調べた。その結果、同じ花こう岩であっても温暖な地域で風化がより進行して粘土などの細粒物質が多く生産され、透水係数が低下することが示された。崩壊発生率と斜面勾配などの地形的特徴については、広島(2014年災害)では斜面勾配が30～35度、石垣島(2010年災害)では45～50度で最も崩壊発生率が高くなることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、複数の気候下に置かれた花こう岩類を対象として、風化変質の状況とその生産物質である粘土や砂などの土層すなわち崩壊予備物質の物性の双方を比較考察した。このような崩壊予備物質の生成過程にまで言及した崩壊現象の研究例は僅少である。実際問題として、崩壊が発生した現地から土砂を採取して、毎回、綿密な化学分析を行うことは困難を極める。よって、崩壊予備物質の風化程度や透水係数の地域性に関する知見を得ておくことは、今後の温暖化に伴う崩壊予備物質の物性変化の推察に役立ち、その地域で発生し得る崩壊の特徴の変化を予測するための材料の一つになると考える。

研究成果の概要(英文)：The rock properties of basement rocks and weathered materials in several granitic zones were studied with the aim of systematising the relationship between the sequence of material changes - basement rock - weathering - collapse - and climatic conditions. Weathering indices were calculated from the physical properties obtained, and the characteristics of the weakened soil layers were shown in terms of the degree of weathering, as well as the relationship with the average annual temperature in each region. The results showed that the same granite weathered more in warmer regions, producing more fine-grained materials such as clay and reducing hydraulic conductivity. In terms of collapse rates and topographical characteristics such as slope gradient, the study showed that the highest collapse rates occurred at slope gradients of 30-35 degrees in Hiroshima (2014 disaster) and 45-50 degrees in Ishigaki-jima Island (2010 disaster).

研究分野：岩石風化論、地形材料学

キーワード：崩壊予備物質 花こう岩 斜面災害 風化指標 GIS

1. 研究開始当初の背景

花こう岩質岩の分布地域では、豪雨による土砂災害が頻発している。これは、国内のみならず、アジアの諸地域においても豪雨災害の甚大化が懸念されており、その対策は急務である。花こう岩質岩を基盤岩とする地域では、風化により岩石組織がゆるんで生成された「マサ土」が、崩壊予備物質として生産されている。ひとたび豪雨がくれば斜面崩壊や土石流など斜面変動を誘発し多くの人命や財産が犠牲となる。

花こう岩類は、一般的には厚い風化層（マサ土）をつくとされているが、マサと一口に言っても分布地域により物性も異なる。また、マサを含む土層が斜面上にとどまっていられるか否かは、風化と侵食のバランス、すなわち、風化制約地形（weathering-limited landforms）であるのか、侵食制約地形（erosion-limited landforms）であるのかに依存する。

崩壊に関する研究の多くは侵食については極めて多く研究されているものの、基盤岩の風化による侵食予備物質（土層）の発達をも含めて考察された事例はほとんどない。そこで本課題では、複数の地域における花こう岩質岩石とその風化土層がもつ多様な物性を、風化の進行程度を示す指標としても整理して地域別に比較し、崩壊予備物質のパラメータの地域的な違いを明らかにすることとした。

2. 研究の目的

上述の研究背景より、数多くの研究事例がある花こう岩地域の崩壊においても「風化-土層-崩壊」を一貫して扱い「気候の異なる複数の地域を比較」して一般化を目指すことは、これまでの災害研究ではあまり注目されてこなかった。また、風化研究においても、気候が風化や地形変化に及ぼす影響に関する古典的な研究は数多くあるが、それらは基礎研究に限定されており、応用への貢献は少なかった。そこで、

- 1) 複数の花こう岩地域において、基盤岩およびレゴリス（風化土）に至る風化過程を明らかにし、崩壊予備物質（風化土層）の物性を明らかにする
- 2) 崩壊予備物質（風化土層）は長期にわたり風化環境下に存在していたことを踏まえ、1) で得られた物性値を気候帯の違いによる風化の進行程度を示す指標として整理し、気候帯ごとに比較する

ことを目的として、研究を行った。

3. 研究の方法

花こう岩類の風化生成物としてのマサ土を、母岩の種類と構成鉱物、および風化でできた粘土鉱物種に注目して分析するために、大規模な花こう岩体の分布地域で、過去に土石流災害が発生した地域、すなわち、長野県南木曾町（冷涼温帯地域）、広島県広島市および山口県岩国市（温帯地域）、宮崎県紫尾山（温帯地域）、沖縄県石垣市（亜熱帯地域）、を調査対象として選定した。各地域で土石流の発生源である崩壊の跡地から採取された岩石土壌試料について、以下に掲げる各種試験を行い、その分析結果を踏まえて風化生成物の特徴を整理した。

1) 地形計測

各調査地域の地形の特徴として、斜面勾配、流域面積、谷密度などを、GISなどを利用して抽出した。

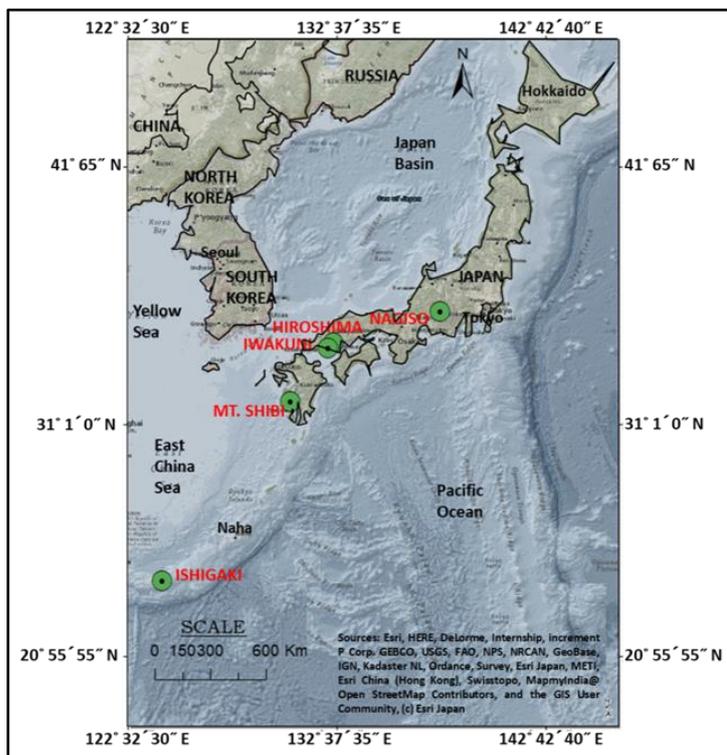


Fig. 1 調査対象地

2) 基盤岩および土層(崩壊予備物質)の岩石物性評価

岩石土壌試料について、化学組成分析と鉱物同定を行った。また、すべての試料ではないものの、かさ密度や間隙率、粒度分析とせん断試験などを行った。

3) 気候条件と風化程度および崩壊地の形状との関係評価

気候条件の違いは豪雨による土砂災害の発生のみならず、風化にも影響する。また、「高温多湿な地域ほど溶脱と酸化が速く進み、粘土化の進行も速い」と一般的に考えられている。その妥当性を評価するため、得られた結果から各種の化学的風化指標値を求め、気温と降水量の違いとの関係を明らかにした。また、風化程度と崩壊地の形状の特徴を比較考察した。

4. 研究成果

1) 地形計測

まず、斜面崩壊地点の斜面勾配データを表にまとめた。そして、傾斜角ごとに崩壊発生の地点数を地域全体の地点数で除すことにより、傾斜角ごとの崩壊の発生率を示した。この作業を広島地域と石垣島地域で行い、比較した。なお、使用した DEM データの精度に関しては、10 m メッシュでは明らかに粗い結果になるが、1 m メッシュと 5 m メッシュではほとんど差が認められない (Kumari, 2020) ことから、本研究では、5 m×5 m の DEM データを用いた。

① 2014 年広島豪雨災害による崩壊地

広島地域は、気温の年較差が 20℃以上と比較的大きいことに加え、崩壊発生時の降水量は総雨量は 250 mm 程度であったが、1 時間雨量は最大約 100 mm に及んだ。崩壊総数は 326 にのぼり、崩壊地点の斜面の傾斜角が 30~35° で最も多く 114 地点であった。次点は 35~40° の 78 地点であり、50° 以上の斜面ではほとんど崩壊が起らなかった。傾斜角ごとの崩壊発生率 (Fig. 2) は山型の特徴を示し、30~35° で発生率が最も高い。

② 2010 年石垣島豪雨災害による崩壊地

石垣島での気温の年較差は約 10℃であった。1 時間雨量は最大 70 mm 程度であるが、総雨量は 700 mm 以上に達した。崩壊地の総数は 203 地点であり、斜面勾配区分ごとの崩壊数は、45~50° で最多で 58 地点、次点は 35~40° で 44 地点、50° 以上では 0 地点であった。この結果、斜面勾配区分ごとの崩壊発生率 (Fig. 2) は、45~50° が最も多くなった。

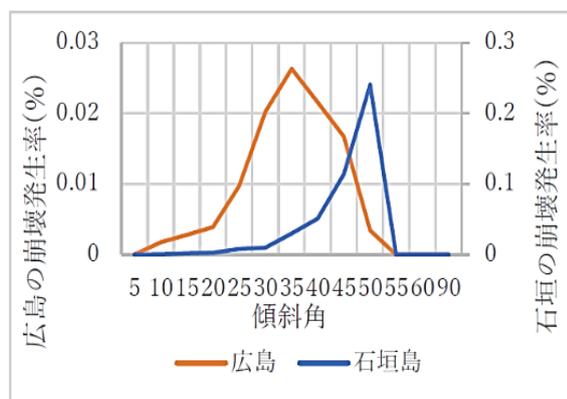


Fig. 2 崩壊発生率と斜面勾配の測定結果
(広島および石垣島)

2) 基盤岩および土層(崩壊予備物質)の岩石物性評価

鉱物種については、花こう岩および花崗閃緑岩の母岩 (未風化岩) の一次鉱物については、対象とした地域を通じてほぼ同じであった。しかし、風化生成物中の二次生成鉱物 (粘土鉱物) は、雲母粘土、カオリン、パーミキュライト、14Å 中間鉱物などが同定された。しかも、長野県の花こう岩試料では、パーミキュライトや 14Å 中間鉱物が支配的であるが、亜熱帯気候地域の石垣花崗岩と花崗閃緑岩の試料ではカオリン鉱物が支配的であることが示されている。元素分析結果では、易動度の高いアルカリ・アルカリ土類金属が土層の上方にしたがい溶脱している一方で、易動度の低いアルミニウムや鉄が相対的に多く存在していることが明らかとなった (Table 1)。粒度分析の結果からは、土層の上方すなわち風化の進行にしたがい、粒径は徐々に小さくなり、それを反映してかさ密度が低下し、間隙率が高くなっていることが示された。

Table 1 対象とした花こう岩類の基盤岩および風化土層の化学組成

Study area and rock type	Sample type	dominant element		immobile element		mobile element		other element		P ₂ O ₅	MnO	Total	
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO+Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Na ₂ O	CaO	K ₂ O	MgO				
Nagiso - Gr	Upper surface soil	61.6	18.1	8.0	0.9	3.0	3.5	2.8	1.8	0.2	0.1	100	
	Slip surface soil	73.4	14.8	2.1	0.1	3.2	0.9	5.0	0.2	0.2	0.1	100	
	Bedrock	72.1	15.0	2.5	0.2	2.7	1.3	5.6	0.4	0.0	0.2	100	
Hiroshima - Gr	Coarse	Upper surface soil	64.9	21.0	6.9	0.6	0.8	0.2	4.0	1.4	0.1	0.1	100
		Slip surface soil	64.6	21.2	6.6	0.7	1.3	0.1	4.0	1.3	0.2	0.1	100
		Bedrock	74.5	14.6	1.3	0.1	3.3	0.7	4.9	0.3	0.2	0.1	100
	Fine	Upper surface soil	66.7	20.3	4.9	0.3	1.0	0.2	5.4	0.9	0.1	0.2	100
		Slip surface soil	68.9	19.4	2.9	0.4	1.5	0.3	5.4	0.8	0.3	0.1	100
		Bedrock	73.3	14.3	2.0	0.2	3.0	0.8	5.7	0.4	0.1	0.0	100
Iwakuni - Gr	Upper surface soil	61.6	20.9	5.1	0.4	2.0	0.2	5.8	1.6	2.4	0.1	100	
	Slip Surface soil	69.8	18.7	2.8	0.3	2.4	0.0	5.4	0.4	0.3	0.0	100	
	Bedrock	73.3	15.0	0.7	0.1	3.3	0.4	6.6	0.2	0.3	0.1	100	
Ishigaki - Gr	Omoto type	Upper surface soil	55.8	32.9	5.5	0.2	0.0	0.2	3.7	1.0	0.7	0.0	100
		Slip surface soil	59.3	29.7	4.5	0.3	0.0	0.0	4.5	1.1	0.6	0.0	100
		Bedrock	69.0	15.6	3.4	0.2	3.8	1.0	5.4	0.9	0.6	0.1	100
		Bedrock	69.8	15.2	3.5	0.3	4.0	1.2	5.1	0.6	0.2	0.1	100
Ishigaki - Gd	Chayama type	Slip surface soil (Upper surface soil)	46.8	34.0	14.4	0.7	0.1	0.2	1.7	1.4	0.4	0.3	100
		Slip surface soil	47.7	32.2	14.9	0.7	0.2	0.1	2.5	1.5	0.4	0.0	100
		Corestone (outer)	56.7	18.6	11.8	0.9	3.1	2.7	3.3	2.0	0.5	0.3	100
		Bedrock (corestone, inner)	56.8	17.0	10.5	0.8	3.0	5.3	2.7	3.2	0.5	0.2	100
Mt Shibi - Gd	Upper surface soil	54.1	24.8	10.7	1.4	1.4	1.0	3.8	2.0	0.6	0.2	100	
	Slip surface soil	62.0	17.8	7.1	0.9	2.7	2.5	5.0	1.7	0.2	0.1	100	
	Bedrock	62.3	16.1	8.1	1.0	2.8	2.6	5.0	1.7	0.3	0.0	100	

3) 気候条件と風化程度および崩壊地の形状との関係評価

化学組成の結果から風化指標を求め、土層発達の程度を定量的に示した。算出された指標値を各地域の年平均気温との関係を調べた (Fig. 3)。その結果、明らかに年平均気温が高くなるほど風化の程度が増大していることが明らかになった。平均降水量についても同様の比較を行ったが、ほとんど関係がないことが示された。また、粒度分析の結果から透水係数を求めた値についても同様の検討を行い、風化指標と同様、平均気温の高低と風化程度が関係することを明らかにした。

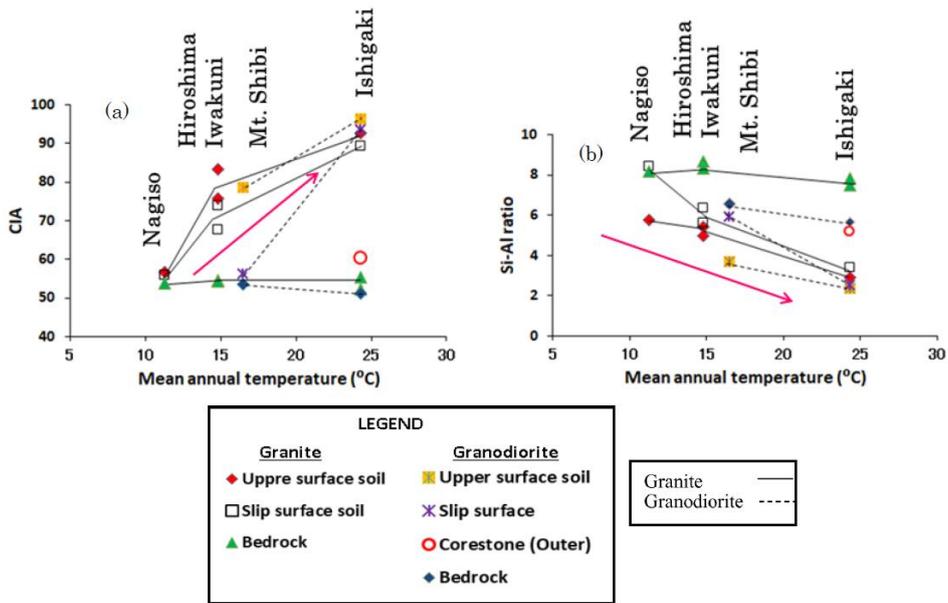


Fig. 3 各対象地域の年平均気温と花こう岩類の風化指標値との関係

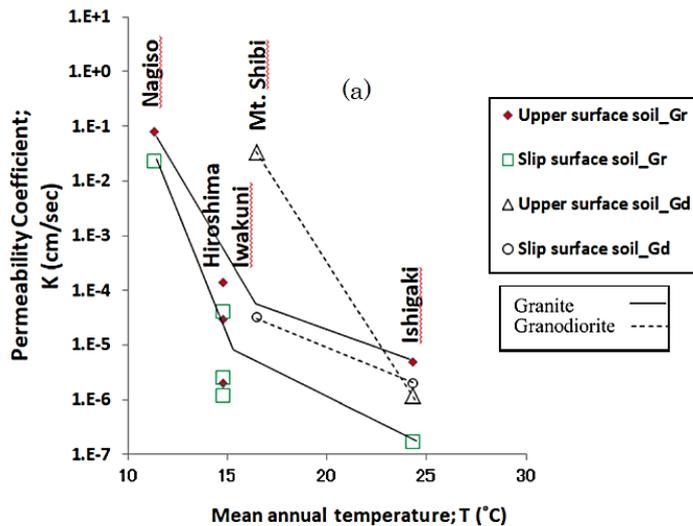


Fig. 4 各対象地域の年平均気温と粒度分析結果から算出した透水係数との関係

以上の結果および考察より、同じ岩型の地域で発生した崩壊であっても、年平均気温が高い地域ほど風化が進行して粘土化が進み、細粒の土層が生成されて透水係数が低くなることが明らかになった。これは、これまで定性的に言われてきたことではあるが、綿密な分析・試験により実際の値を求めて比較検討した他に類をみない。

実際問題として、崩壊が発生した現地から土砂を採取して、毎回、綿密な化学分析を行うことは困難を極めるが、崩壊予備物質の風化程度や透水係数の地域性に関する知見を得ておくことは、今後の温暖化に伴う崩壊予備物質の物性変化の推察に役立ち、その地域で発生し得る崩壊の特徴の変化を予測するための材料の一つになると考える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 若月 強	4. 巻 60(3)
2. 論文標題 広島県の花崗岩地域における土石流到達閾値・土石流到達率と流域地形量・雨量との関係 - 1999年・2014年・2018年災害の解析 -	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本地すべり学会誌	6. 最初と最後の頁 95-103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3313/jls.60.95	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 若月 強 秋田 寛己 島田 真紀子 山本 信良 佐藤 昌人	4. 巻 60
2. 論文標題 令和2年 (2020年) 7月豪雨による岐阜県高山市・下呂市のいくつかの斜面崩壊地の岩石・土層物性と斜面変動分布との関係	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 主要災害調査	6. 最初と最後の頁 1-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24732/NIED.00003496	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 菅原駿輔, 劉 小熙, 河村 圭, 若月 強	4. 巻 79(22)
2. 論文標題 UNet およびUNet++を用いた空中写真からの 土砂移動領域抽出の比較	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 土木情報学シンポジウム講演集	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscej.22-22026	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Oguchi, C. T., Ikeda, Y.	4. 巻 1
2. 論文標題 Effectiveness of water repellent coating on salt weathering of Japanese tuffs with various rock properties.	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 SWBSS ASIA 2023 First International Conference in Asia on Salt Weathering of Buildings and Stone Sculptures	6. 最初と最後の頁 267-274
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Chiaki Oguchi, Tsuyoshi Wakatsuki, Imam Hasan	4. 巻 1
2. 論文標題 Research on the formation of weathering substances as reserve materials for collapse and climatic conditions	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Impact	6. 最初と最後の頁 28-30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 河村 圭, 菅原 駿輔, 劉 小熙, 若月 強	4. 巻 79(2)
2. 論文標題 UNetおよびUNet++を用いた空中写真からの土砂移動領域抽出の比較	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 土木学会論文集	6. 最初と最後の頁 22-22026
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscej.22-22026	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 秋田寛巳, 若月 強	4. 巻 75(5)
2. 論文標題 崩壊生産土砂量推定式のパラメータ 値・値に及ぼす崩壊深や地質の影響 : 2014年8月豪雨で発生した丹波地域と広島地域の土砂災害の事例	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 新砂防	6. 最初と最後の頁 3-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11475/sabo.75.5_3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Germinario, L., Oguchi, C.T.	4. 巻 81:242
2. 論文標題 Gypsum, mirabilite, and thenardite efflorescences of tuff stone in the underground environment	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Environmental Earth Sciences	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12665-022-10344-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Oguchi C. T.	4. 巻 3
2. 論文標題 Weathering Rinds:Formation Processes and Weathering Rates	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Treatise on Geomorphology, second edition, 3,	6. 最初と最後の頁 pp. 189-203.
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/B978-0-12-818234-5.00212-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計12件(うち招待講演 0件/うち国際学会 1件)

1. 発表者名 Takahashi, K. Oguchi, C. T.
2. 発表標題 Study on the effect of pore diameter distribution on elastic wave velocities of various stone materials
3. 学会等名 Japan Geosciense Union 2023 meeting
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小口千明・中村 好・若月 強
2. 発表標題 長期風化に伴う花こう岩風化土層の粘土 シルト比と化学的指標値の気候依存性
3. 学会等名 第65回粘土科学討論会, 島根大学.(発表日 2022. 9. 7-8.)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 栗田桂吾, 斎藤健志, 小口千明, 川辺能成
2. 発表標題 土壌・堆積物に対する重金属類の吸着挙動における温度依存性評価
3. 学会等名 第65回粘土科学討論会, 島根大学.(発表日 2022. 9. 7-8.)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Oguchi, C. T., Noshiro, S. and Tamura Y.
2. 発表標題 A study on the applicability of non-destructive survey in Taya cave
3. 学会等名 Japan Geosciences Union Meeting 2022 (Makuhari Messe and Online), MIS04 P03
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Oguchi, C. T., Nakamura, K., Wakatsuki, T.
2. 発表標題 Study on the relationship between chemical weathering indices and clay-silt rates of the slope soil layers in granitic bedrock areas
3. 学会等名 Japan Geosciences Union Meeting 2022 (Makuhari Messe and Online), HGM02-05.
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kurita, K., Saito T., Oguchi, C. T., Kawabe, Y.
2. 発表標題 Evaluation of temperature dependance for adsorption of heavy metals onto soils and sediments
3. 学会等名 Japan Geosciences Union Meeting 2022 (Makuhari Messe and Online), AHW27-P08
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hachinohe, S., Sushmita, H., Ishiyama, T., Hamamoto, H., Oguchi, C. T.
2. 発表標題 Arsenic in pore waters contained in natural sediment at the northern part of the Kanto Plain
3. 学会等名 Japan, Japan Geosciences Union Meeting 2022 (Makuhari Messe and Online), HGM02-P01
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Germinario, L, Oguchi, C. T.
2. 発表標題 Salt weathering in the archaeological site of Yoshimi Hyaku Ana (Saitama, Japan): the petrographic and environmental background
3. 学会等名 Japan Geosciences Union Meeting 2022 (Makuhari Messe and Online), MIS04-02
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kamoshida, T., Oguchi, C. T.
2. 発表標題 An attempt to identify minerals by a simple in situ field survey of secondary products of weathering
3. 学会等名 Japan Geosciences Union Meeting 2022 (Makuhari Messe and Online), MIS04-06
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kudo, Y., Ikeda, Y., Oguchi, C. T.
2. 発表標題 Experimental study countermeasure against slaking of silane-based repellents by five types of tuff specimens
3. 学会等名 Japan Geosciences Union Meeting 2022 (Makuhari Messe and Online), MIS04-P05
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Oguchi, C. T., Ikeda, Y.
2. 発表標題 Influence of rock pore structure on the protective coating against weathering, Influence of rock pore structure on the protective coating against weathering
3. 学会等名 European Geosciences Union 2018. Vienna, Austria, 8-13 April 2022. (発表日, 2022. 4. 11. (国際学会))
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Chiaki T. OGUCHI, Konomi NAKAMURA and Tsuyoshi WAKATSUKI
2. 発表標題 Study on the relationship between chemical weathering indices and clay-silt rates of the slope soil layers in granitic bedrock areas
3. 学会等名 JpGU2022 (Japan Geosciences Union 2022 Meeting)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	若月 強 (Oguchi Chiaki) (80510784)	国立研究開発法人防災科学技術研究所・水・土砂防災研究部門・主任研究員 (82102)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------