

令和元年6月5日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K16352

研究課題名(和文) 過去1,000年間における洪水履歴とそれに応じた微高地の地形発達過程

研究課題名(英文) Last millennium flooding history and geomorphological development of crevasse splay along Kinu River

研究代表者

佐藤 善輝 (Sato, Yoshiki)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質調査総合センター・研究員

研究者番号：60751071

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：鬼怒川中流域における微高地(クレバースプレー)の地形発達過程および洪水氾濫履歴を明らかにするため、現成の河川氾濫堆積物の堆積学的特徴の把握、微地形分類、および微高地構成層のボーリング調査を行った。平成27年関東・東北豪雨の河川氾濫堆積物は、氾濫状況の変化に対応した3ユニットに区分される。対象地域周辺には計7条のローブ状の高まりが認められ、複数の洪水氾濫イベントによって微高地が形成されたことが示唆された。ボーリング調査の結果、微高地が少なくとも3層の洪水氾濫堆積物から構成され、800 cal BP以降に形成され始めたことが分かった。また、上位2層の洪水氾濫堆積物は破堤を伴っていた可能性が高い。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、鬼怒川中流域に分布するクレバースプレーが800年前以降の短期間に集中的に形成されたこと、900～4,400 cal BP頃に河川氾濫の少ない時期があったことを示した。これらの知見は、完新世の環境変化に対する河川応答の一事例として、より普遍的なモデル構築にも活用できると考える。また、本研究では、現成の河川氾濫堆積物の特徴を把握し、それを過去に活用することによって、微高地を構成する堆積物から破堤イベントを検出することに成功した。本研究の手法は他地域の堆積物にも応用でき、沖積低地の地形発達史研究に貢献できると考える。

研究成果の概要(英文)：We conducted sedimentological investigation on a present flood deposits, microlandform classification, and coring survey in a crevasse splay distributed in central reach of Kinu River for clarifying geomorphological development and flooding history. It was found that the crevasse splay deposits of the 2015 Kanto-Tohoku Torrential Rain Disaster was divided into three units, which were corresponding to changes in flow conditions during the flooding. Total of seven lobes forms crevasse splay in the study area, suggesting that a number of huge flooding events occurred. Results of coring survey suggest that crevasse splay sediment was composed by more than three layers of flooding deposits which had deposited after ca. 800 cal. BP. In addition, detail analysis of grain size composition indicates that flooding events of the upper two layers included breaching of levee.

研究分野：地理学

キーワード：クレバースプレー 微地形 完新世 地形発達史 平成27年関東・東北豪雨 鬼怒川 河川氾濫 洪水

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

沖積平野の氾濫原には、自然堤防やクレバススプレーなどの「微高地」が分布する。これらの微高地は、河川から洪水氾濫堆積物や破堤堆積物（クレバススプレーを構成する堆積物）が繰り返し供給され、上方や側方へと付加・複合することによって形成されたと考えられている。しかしながら、その実証的研究はなされておらず、詳しい地形発達過程は不明である。

微高地の地形発達過程は、これまで主に考古遺跡発掘調査に関連して調査が実施されてきた。その結果から、微高地の形成が顕著に進んだ時期や停滞した時期があったことが示されている。形成時期に偏りが生じたことは、洪水氾濫の頻度や規模が変化した可能性を示す。しかしながら、従来研究では個々の洪水氾濫堆積物の識別には至っておらず、過去の洪水頻度や規模の変化と微高地形成過程との関係性については明らかになっていない。このため、相対的海水準や降水量、土砂供給量の変動などの環境要因がどのようなプロセスを経て微地形の形成に影響を与えたのかは不明である。

個々の洪水氾濫堆積物を識別するためには、その層相を詳しく把握しておくことが必要不可欠である。微高地を構成する堆積物に関する堆積学的研究の多くは、複数の氾濫イベントで堆積した堆積物の集合体としてクレバススプレーを捉えており、個別の洪水氾濫堆積物の識別に応用することは難しい。また、現世の河川氾濫堆積物の観察結果に基づいて、洪水氾濫堆積物の模式的な層序・層相が提示されているが、その多くは小規模で破堤を伴わない氾濫を扱っており、破堤を伴う洪水氾濫堆積物（破堤堆積物）については十分な知見が得られていなかった。

2. 研究の目的

本研究では鬼怒川中流域を対象とする。当該地域では、鬼怒川の河道に沿って微高地が断続的に分布する。これらの微高地は左岸側に扇状に張り出しており、鬼怒川の洪水氾濫によって地形が形成された可能性を示す。しかしながら、これらの微高地の地形発達過程は明らかになっていなかった。さらに、当該地域では平成 27 年 9 月関東・東北豪雨によって鬼怒川の堤防が破堤し、大きな被害が発生した。この洪水氾濫・破堤に伴い、クレバススプレーが形成された。

本研究課題では、上述した背景と対象地域の地形特性などを考慮し、以下の 3 点を明らかにすることを目的とする。まず、平成 27 年 9 月関東・東北豪雨の洪水氾濫堆積物（＝現在の洪水氾濫堆積物）の堆積学的特徴を明らかにする。次に、対象地域周辺の微地形分類図を作成し、微高地やそれに関連する微地形の分布を明らかにする。最後に、鬼怒川左岸でボーリングコア試料を採取し、堆積物の解析から微高地の地形発達過程や洪水氾濫履歴を明らかにする。

3. 研究の方法

平成 27 年 9 月関東・東北豪雨の洪水氾濫堆積物について、堆積物の粒度組成やその分布形態について調査を行った。洪水氾濫堆積物がローブ状に厚く堆積する箇所において、計 9 地点で幅約 1 m×1 m、深さ 30～90 cm 程度のトレンチを掘削し、堆積物の粒度や堆積構造などを観察した。また、トレンチ壁面から採取した破堤堆積物試料について、新潟大学所有のレーザー一回折式粒度分布測定装置（Malvern 社製 Mastersizer 3000；測定粒子径 0.01～2100 μm）を使用して、粒度分析を実施した。これらの調査結果に基づき、洪水氾濫堆積物の分布形態およびユニット区分を行い、洪水氾濫の時系列変化を踏まえ堆積プロセスを復元した。

次に、対象地域の微地形分布図を作成するため、米軍撮影の空中写真の判読と現地踏査を行った。また、人工改変前の標高分布を明らかにするため、米軍撮影空中写真を用いた空中写真測量を行い、数値表層モデル（DSM）を作成した。空中写真で確認でき、かつ現在まで位置の変化がないと判断される地物の座標を GNSS で測量し、基準点（Ground Control Point）として利用した。基準点は空中写真 1 枚につき 9 地点で、できるだけ面的に均等になるように設定した。DSM の作成には Metashape Professional Edition を使用した。Metashape 上で対話的に GCP の位置を指定し、座標を入力することによって DSM を作成した。

常総市石下地区・東野原地区に分布するクレバススプレーの主軸部とこれを開析して伸びるより新しいクレバススプレー上の計 4 地点（GS-JIS-5～8）を選定し、それぞれ掘削深度 5 m のボーリング調査を実施した。得られたコア試料について目視での層相記載を行うとともに、土色測定、含水率測定、¹⁴C 年代測定、珪藻化石分析を実施した。また、堆積物の粒度組成について 1cm 間隔で Mastersizer 3000 を用いて分析を行った。さらに、完新世中期以降における最近 1,000 年前以降の微地形発達的位置付けを明らかにすることを目的として、常総市石下地区において深度 25 m のボーリングコア（GS-JIS-9）を掘削し、岩相記載、軟 X 線写真撮影、粒度組成、含水率、帯磁率の測定、珪藻化石分析および ¹⁴C 年代測定を行った。

4. 研究成果

(1) 現在の洪水氾濫堆積物の特徴

平成 27 年 9 月関東・東北豪雨の際に堆積した洪水氾濫堆積物は、破堤箇所付近に形成された侵食地形（落堀）の西～南側を中心に堆積しており、南東～南へローブ状に伸びる高まりが計 3 条認められた。このうち最も東側に分布するローブを構成する堆積物について調査を実施した。その結果、洪水氾濫堆積物は全体的に細粒砂～中粒砂を主体とし、下位から順に、上方粗粒化を示す細粒砂層（ユニット A）、上方細粒化を示す細粒砂～中粒砂層（ユニット B）、平

行葉理の発達する細粒～中粒砂層（ユニット C）に細分されることが明らかになった（図 1）. 各堆積ユニットは、鬼怒川の越水、破堤、さらに河川水が氾濫原に流入した後、氾濫が収束するという一連の堆積プロセスを反映していると推定される. 対象とした破堤堆積物に見られる上方細粒化する地層は、逆級化構造を特徴とする従来の氾濫堆積物の模式層序と異なる. ユニット B は破堤に伴って発生した段波によって堆積した可能性があり、従来の模式層序との差異は破堤の有無に起因すると考えられる. この特徴は、ボーリングコアの解析にも有用であり、個々の洪水イベント堆積物の識別に活用できると期待される.

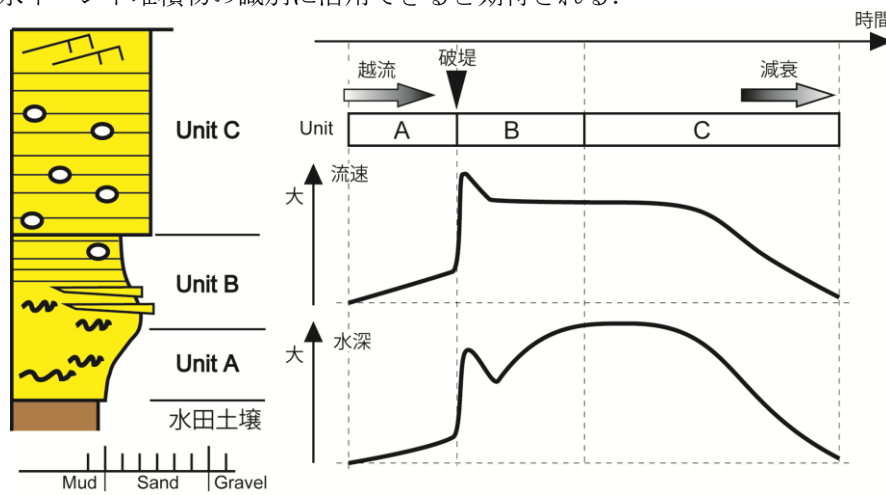


図 1 破堤を伴う洪水氾濫堆積物の模式柱状図（佐藤ほか 2017 を改変）

(2) 微地形分類および数値標高モデルの作成

米軍撮影の空中写真判読と現地踏査に加えて、空中写真測量による DSM 作成を行い、対象地域周辺の微地形分類を行った（図 2）. クレバススプレーと後背湿地は、一部人工改変地を除き明瞭に識別された. 鬼怒川沿いの一部には河畔砂丘と推定される高まりが分布する. クレバススプレーには、東～南南東に傾斜する計 7 条（L1 ～ 7）のローブ状の高まりが認められた. この分布形状は、微高地が複数の洪水氾濫イベントによって形成されたことを示す. また、ローブの傾斜方向と概ね同方向に伸びるクレバスチャネルも認められた. 2015 年 9 月関東・東北豪雨災害によるものを除き、明瞭な過去の落堀（押堀）地形は認められなかった.

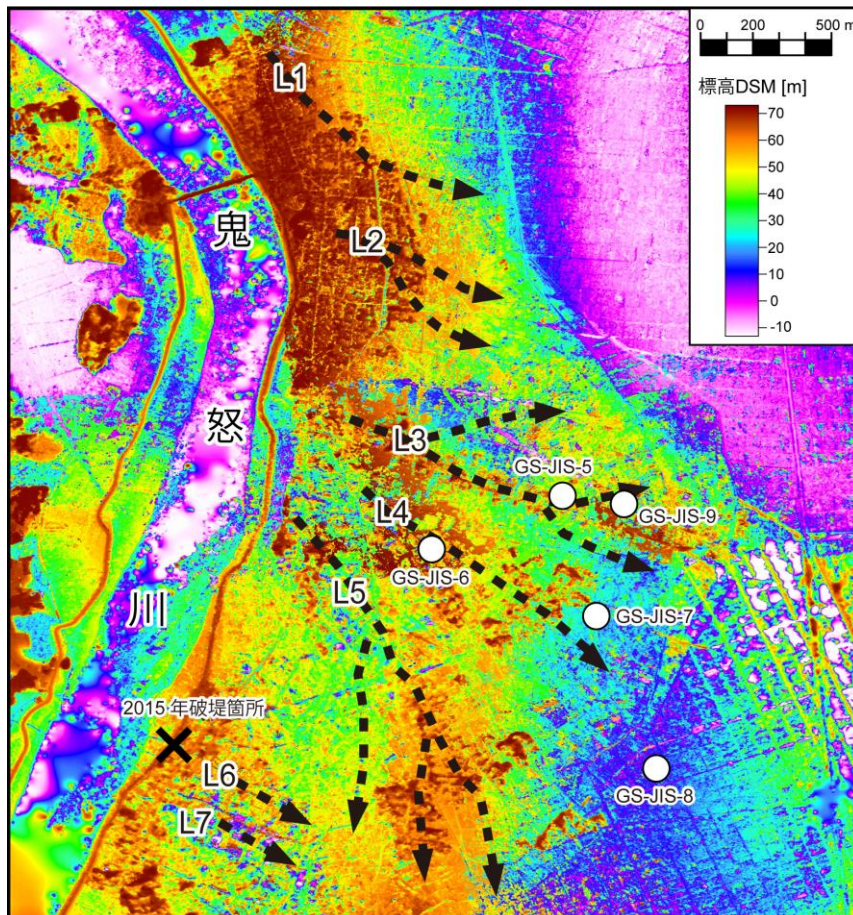


図 2 空中写真測量に基づく対象地域周辺の DSM モデル

(3) 微高地の形成プロセス

掘削調査の結果、破堤堆積物、後背湿地堆積物、およびチャネル堆積物に区別されることが明らかになった。破堤堆積物は細粒～中粒砂から成るクレバスプレーを構成する堆積物で、微高地基部（GS-JIS-6）のほうが中粒砂を主体とし粗粒である。破堤堆積物の基底は標高 12.2～13.8 m に位置し、層厚は約 1.5～2.5 m である。微高地末端部（GS-JIS-5 および 7）では層厚約 50 cm の泥質堆積物が挟在する。破堤堆積物は、明瞭な地層境界によって 3 層の洪水氾濫堆積物に細分される（図 3；F1～3 層）。洪水氾濫堆積物のうち F1 層は細粒砂を主体とし、層厚 2～3 cm の薄層である。F2 および F3 層はさらに 3 つのサブユニットに細分され、細粒砂を主体とし上方粗粒化する下部（A）、上方細粒化する中部（B）、粒度変化が少なく最上部で上方細粒化、リップル葉理を示す上部（C）から成る。これらは上述した現在の洪水破堤堆積物の構造と類似することから、微高地が破堤を伴う河川氾濫によって形成されたことが示唆される。洪水氾濫堆積物の粒度組成は、GS-JIS-6 コアで平均粒径 150～300 μm 前後、中粒砂以上の含有率が 50～60% 前後、含泥率（粘土～シルトの含有率）が 10～50% 前後であった。他方、GS-JIS-7 コアでは平均粒径 80～150 μm 前後、中粒砂以上の含有量が 20～40% 前後、含泥率が 10～80% であった。これらの結果は、平成 27 年 9 月関東・東北豪雨の洪水破堤堆積物と比較すると、微高地基部では越流堆積物および破堤時の堆積物が粗粒で淘汰が悪く、破堤後の堆積物がやや泥分に富み細粒であることが明らかになった。また、微高地末端部では全体として中粒砂に乏しく細粒である。洪水氾濫堆積物の粒度組成の違いは、破堤直後あるいは破堤後の堆積物で顕著であることから、破堤箇所周辺における堆積物や氾濫時の河床を流下する堆積物の粒度組成の差異を反映している可能性が高い。今後、河川氾濫堆積物ごとの粒度組成について解析を行うことによって、河川の土砂供給パターンの変遷の解明に繋げられると期待される。

また、クレバスプレーは次のようなプロセスを経て形成されたことが明らかになった。洪水氾濫堆積物が 3 層認められることから、微高地は少なくとも 3 回の洪水氾濫によって形成されたと考えられる。洪水氾濫堆積物のうち、最も下位に位置する F1 層の直上と直下から得られた年代測定値から、おおむね 800 cal BP 以降にクレバスプレーが形成され始めたと推定される。地表面に近い洪水氾濫堆積物ほど層厚が大きくかつ粗粒化する傾向が認められることから、調査地点周辺では徐々に河川氾濫が激しくなり、極大となったタイミングでクレバスプレーの形成が完了したことが示唆される。最も上位に位置する F3 層に対応する洪水氾濫によって地表面に認められるローブ状高まりが形成された可能性が高い。

GS-JIS-6

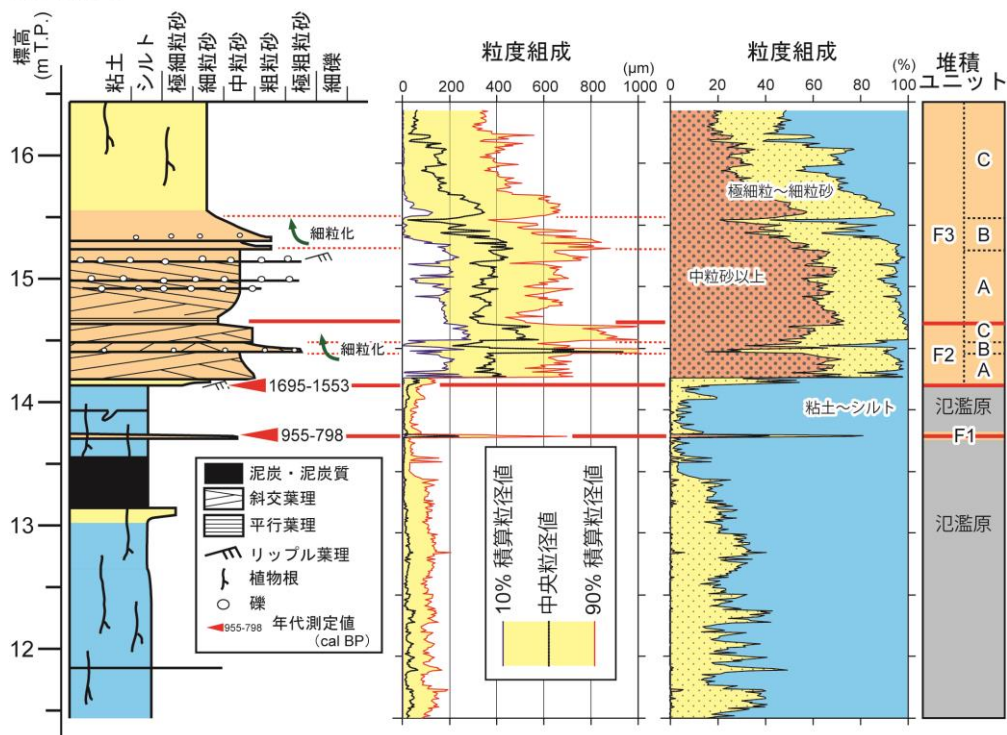


図 3 微高地基部（GS-JIS-6 コア）の地質柱状図

微高地の形成以前についても堆積環境変遷が明らかになりつつある。破堤堆積物の下位および後背湿地（GS-JIS-8 コア）では後背湿地堆積物およびチャネル堆積物が認められた。後背湿地堆積物は有機質なシルトから成り、チャネル堆積物の挟在や色調の変化から上下 2 層に細分される。チャネル堆積物は植物片や木片を多く含む中粒砂を主体とし、破堤堆積物に比べて極細粒砂～細粒砂が極めて少ない。下位の後背湿地堆積物はおおむね 3,000～4,000 cal BP 頃に堆積したと推定され、チャネルは 1,300 cal BP 頃前後にこれを下刻して形成されたと考えられる。このチャネルは微高地形成開始前に放棄され、後背湿地の環境が拡大したと推定され

る。他方、GS-JIS-9 コアは ^{14}C 年代測定値から少なくとも約 9,000 年間の堆積物を保存していると考えられ、完新世中期以降の堆積環境変化や微地形発達過程に有用であると考えられる(図 4)。コア最下部にみられる砂礫は、沖積層基底礫層に対比されると推定される。汽水～海水生珪藻が卓越することから、深度 18.3～20.3 m 付近に潮汐の影響を受けるエスチュアリー堆積物であると推定され、年代測定値から 7,600～8,000 cal BP 頃に堆積したと考えられる。エスチュアリー堆積物の上位には泥質な氾濫原堆積物が認められ、ところどころ層厚 1～70 cm の極細粒砂～細粒砂を主体とする砂質堆積物の薄層が挟まる。これらの多くは上方粗粒化しリップル葉理などの堆積構造が認められることから、河川氾濫堆積物と推定される。河川氾濫堆積物は 7,000～7,600 cal BP 頃には少なくとも 16 層認められるのに対し、900～4,400 cal BP 頃は 3～4 層と明らかに少ない。この洪水発生頻度の差異は、後氷期の海水準変動に対する河川応答に起因する可能性がある。その後、河川氾濫は静穏化し、氾濫原を下刻してチャネルが形成された可能性が高い。今後、微化石分析や年代資料や粒度分析結果の精査を行うことにより、過去約 9,000 年間における洪水の頻度・規模の変遷を明らかにしていく予定である。

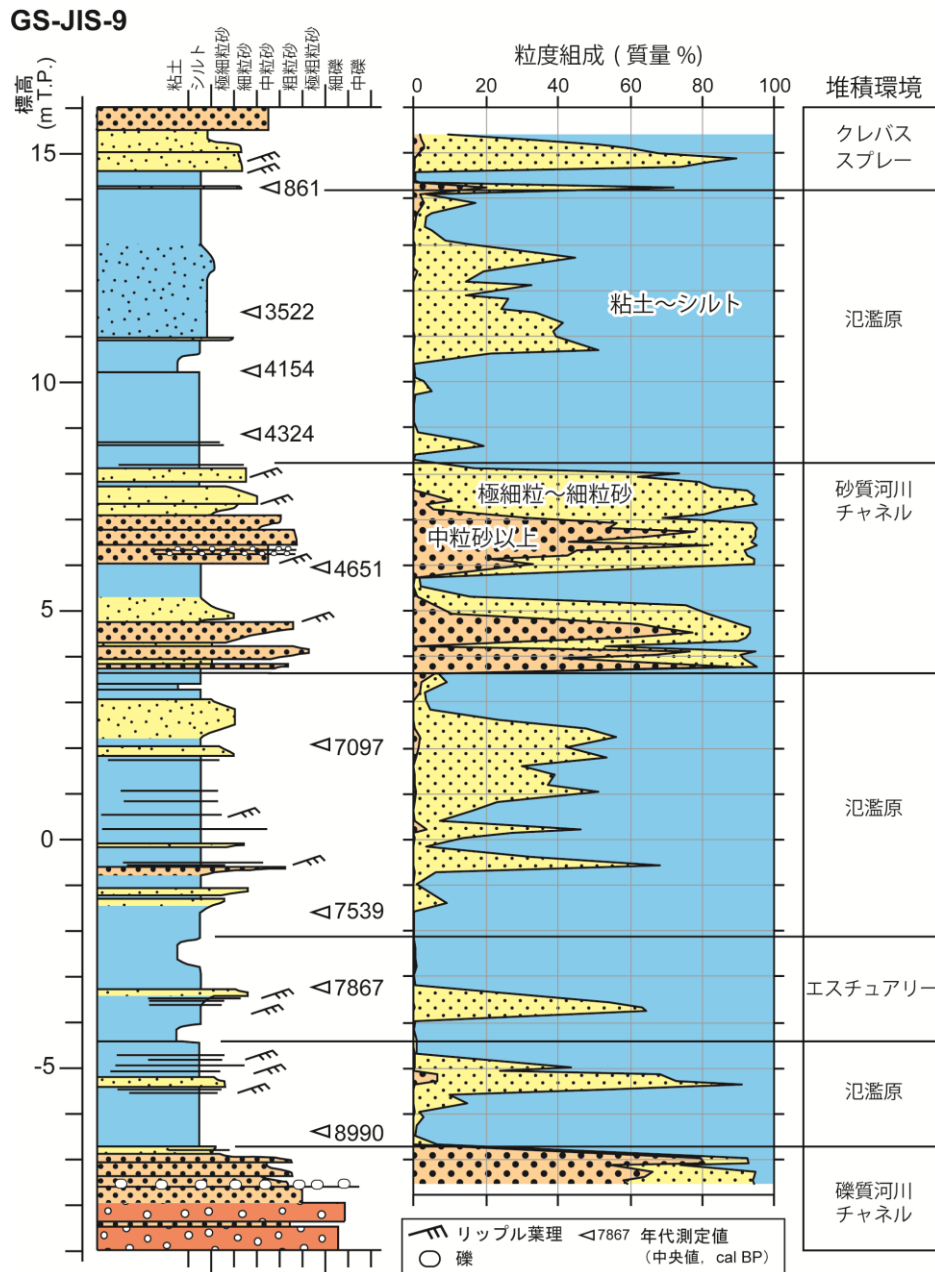


図 4 GS-JIS-9 コアの地質柱状図。

(4) 研究成果のアウトリーチ

上述した研究成果のうち、微高地を形成した過去の洪水履歴に関して 2018 年度地質標本館春の特別展「関東平野と筑波山—関東平野の深い地質のお話—」に資料展示を行い、一般市民へ成果を還元した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

- ①佐藤善輝・宮地良典・ト部厚志・小松原純子・納谷友規. 鬼怒川中流域, 茨城県常総市上三坂地区における平成 27 年 9 月関東・東北豪雨の破堤堆積物. 第四紀研究, 56 巻 2 号, 37-50, 2017 年 1 月.

[学会発表] (計 2 件)

- ①佐藤善輝. 茨城県常総市石下周辺における鬼怒川のクレバススプレー堆積物. 日本地理学会秋季大会, 三重県津市, 2017 年 9 月.
②佐藤善輝・宮地良典・田邊 晋・小松原純子・納谷友規. 常総市上三坂地区における平成 27 年 9 月関東・東北豪雨の破堤堆積物の特徴. 日本地球惑星科学連合大会 2016 年大会, 千葉市, 2016 年 5 月.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

[その他]

シンポジウム開催

- ①地質標本館 2018 年度 春の特別展「関東平野と筑波山—関東平野の深い地質のお話—」. 2018 年 4 月 17~8 月 19 日.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤善輝 (SATO Yoshiki)

産業技術総合研究所・地質情報研究部門・研究員

研究者番号 60751071

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。