



休廃止鉱山から流出を続ける坑内水処理のチャレンジ 1
 千葉セクションが GSSP 認定へ 1 歩前進…………… 3
 最近のジオパークの動向について…………… 4

解説：改訂された千島海溝沿いの地震活動の長期評価 5
 第 56 回試錐研究会を開催しました…………… 6
 地質研究所からのお知らせ（今後の予定）…………… 6

休廃止鉱山から流出を続ける坑内水処理のチャレンジ

道南に位置し、昭和新山や洞爺湖などの観光地を抱える壮瞥町では、かつて、硫黄や硫化鉄鉱を採掘する幌別硫黄鉱山が稼働していました。この鉱山は、今から 50 年近く前に操業を終えましたが、鉱山跡に残された坑道からは、表 1 に示すような、酸性で高濃度の鉄と砒素を含む水（坑内水）の流出が続き、坑内水の中和作業だけが現在も行われています。

坑内水の中和には年間に 3 億円あまりの経費を要します。しかし、その流出を止めることは困難なため、今後も長期間にわたって、高額な費用をかけて中和を続けていかなければなりません。

以下では、ここで行われている坑内水中和の仕組みと、地質研究所が 2 年ほど前からとりくんでいる経費削減に向けた研究の取組みを紹介します。

■坑内水浄化のしくみ

坑内水の鉄は溶存しているため、そのままでは容易に除去できません。しかし、酸性の坑内水は炭酸カルシウムや消石灰を混ぜて中和すると、鉄の溶解度が下がります。すると、水に溶けていられなくなった鉄が析出して沈殿物となり、除去が容易となります。また、同じく坑内水に溶存していた砒素も、鉄の沈殿物が形成される際、その中に取込まれていきます。このような鉄と砒素の性質を利用して、坑内水の中和が行われています。

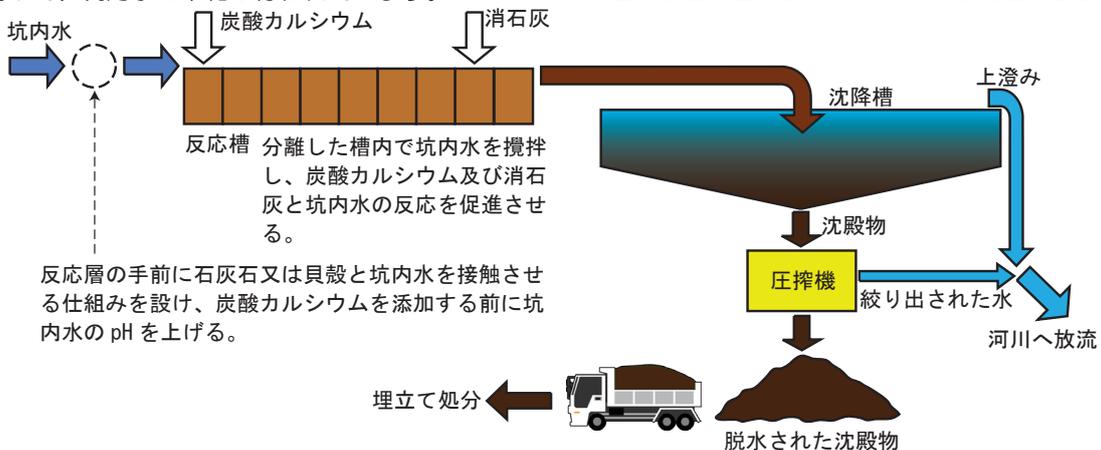


図 1 坑内水の浄化の工程

表 1 坑内水の pH と鉄・砒素濃度

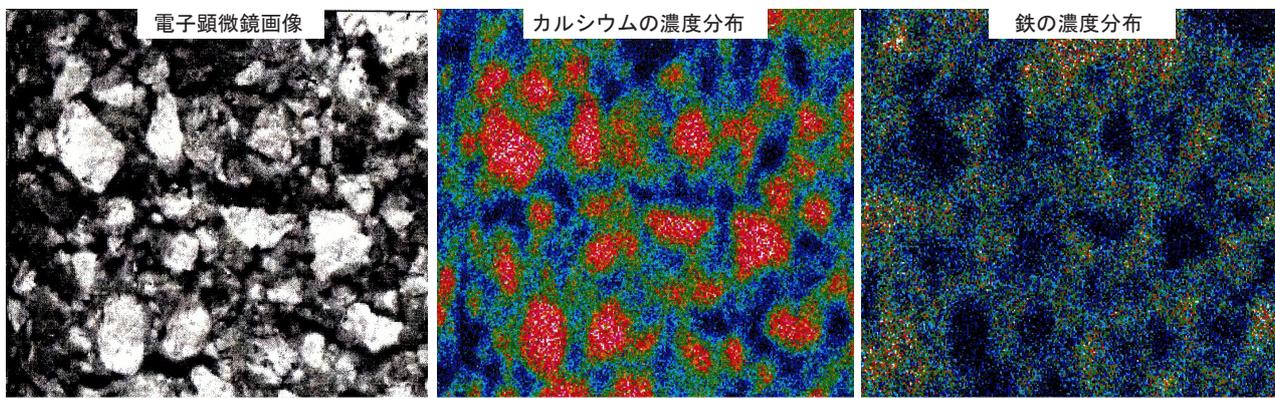
	pH	鉄濃度	砒素濃度
坑内水	1.9	336	7.88
排水基準	5.8 ~ 8.6	0.1	0.1

坑内水の水質に関する値は『坑内水処理事業の概要』（北海道、壮瞥町：2011）より引用。濃度の単位は mg/L

図 1 は、実際の坑内水浄化の工程を示したものです。坑道から流出した坑内水に、まず反応槽の中で微粉末状の炭酸カルシウムを混合させ、その pH を 6 まで上昇させます。次いで、同じく微粉末状の消石灰を混合し pH を 7.5 まで上昇させます。この過程で、坑内水に溶存していた鉄の大部分が析出し沈殿物となり、砒素もこれに取込まれていきます。

これを沈降槽と呼ばれる直径 30m の円形の水槽に導きます。坑内水が沈降槽に滞留する間、鉄を主成分とする沈殿物は沈降していきます。この結果、鉄や砒素をほとんど含まなくなった坑内水の上澄みだけが、沈降槽の縁から溢れ出ることとなり、坑内水の中和が完結します。

また、沈降槽内に取り残された沈殿物は、その底部から抜き取られ、圧搾機にかけられます。なお、ここで絞り出された水は、鉄や砒素をほとんど含んでおらず、沈降槽から溢れ出た水と共に河川に放流されます。



電子顕微鏡画像で白く写っている部分は、カルシウム濃度が高いことから炭酸カルシウムの微粉末であることがわかります。その周囲の黒い部分は鉄の濃度が高いことから、鉄を主体とした沈殿物であることがわかります。

※濃度分布の画像では、濃度が高い部分は赤く、低い部分は青く表示しています

図2 沈殿物の電子顕微鏡画像とカルシウム及び鉄の濃度分布

以上が坑内水浄化の仕組みで、後に残った鉄や砒素を含む沈殿物は埋立処分されます。この沈殿物を電子顕微鏡で拡大し、成分を詳しく調べると、反応しきれずに残った数 μ m径の炭酸カルシウム微粒子を、鉄を主体とする沈殿物が取囲んでいる様子が観察できます(図2)。

■浄化費用の削減に向けたとりくみ

上述した坑内水の浄化工程では、坑内水の中和のために多量の炭酸カルシウムの微粉末が使用されています。これは、石灰石鉱山で採掘された石灰石を砕いた上で、細かく磨り潰して製品化されたものです。

磨り潰す前の礫状の石灰石、あるいは廃棄されることもあるホタテなどの貝殻(貝殻もその主成分は炭酸カルシウムです)を用いることにより、高価な炭酸カルシウム微粉末の使用量が減り、浄化費用の削減が可能になるのではという発想で、研究を開始しました。

具体的には、図1の破線の丸で示すように、反応槽の前段に礫状の石灰石あるいは貝殻と坑内水を触れさせる工程を設けるという方法です。この方法で炭酸カルシウム微粉末の使用量を減らすことが出来ると、沈殿物に含まれる未反応の炭酸カルシウム微粉末も減り、沈殿物

全体の量が減る可能性も考えられます。

最初は、石灰石を詰めた容器に坑内水を通すことから研究を開始しました。しかし、坑内水を通し始めた初期には顕著なpHの上昇効果が見られたものの、石灰石の表面を鉄の沈殿物が覆うなどの障害が発生し、その効果は長続きしませんでした。その後、試行錯誤を繰り返し、水路に石灰石や貝殻を敷き並べた上に坑内水を流すことにより、石灰石や貝殻が溶けて無くなるまでpHの上昇効果を継続させることが出来るようになりました。

操業を終えた鉱山で坑内水の浄化だけが行われている箇所は、幌別硫黄鉱山跡地のほか、道内には12ヶ所、国内には90ヶ所ほどあります。いずれも、今後、長期間に渡って中和を続けていかなければならず、費用は莫大なものとなります。これを軽減していくためには、息の長い多方面からの検討が必要です。

ここで紹介した事例は一つの取組みに過ぎません。これも、石灰石あるいは貝殻と坑内水の反応を持続させる条件の一つを見出した、入口の段階です。当所では、この事例に留まらず、永続的に流出を続ける坑内水に対し、今後も様々なチャレンジを続けて行きます。



水路に敷き詰めたホタテ貝殻には鉄の沈殿物が付着することは無く、坑内水との反応が続き、実験開始から2週間程度で、そのほぼ全量が溶けて無くなってしまいました。坑内水の流れの向きは、手前から奥の方向です。

図3 ホタテ貝殻を用いた実験の状況

千葉セクションが GSSP 認定へ 1 歩前進

昨年 11 月、千葉県市原市の地層（千葉セクション：図 1、写真 1）が国際地質科学連合（IUGS）の下部組

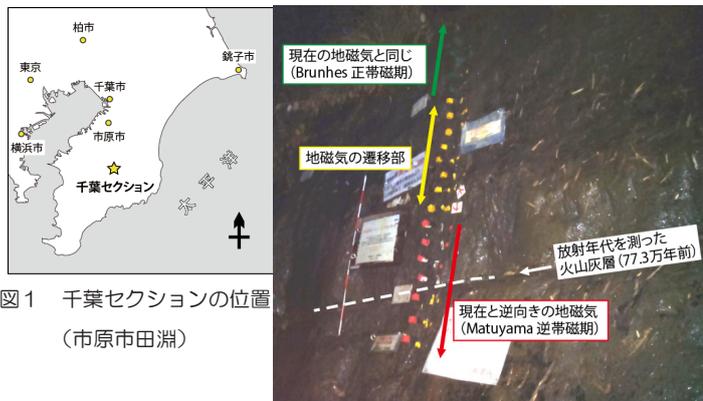


図 1 千葉セクションの位置
(市原市田淵)

写真 1 千葉セクションにおける GSSP 候補の露頭と記録されている地磁気の変化

織である前期 - 中期更新統境界作業部会における投票で、競合するイタリアのセクションに勝ち、中期更新世の GSSP として上申されました。今後、より上位の委員会である第四紀層序小委員会および国際層序委員会による投票・承認を経て、層序学に関する世界最大の学会である IUGS 総会での承認を得ることで正式に GSSP に指定される見通しです。

千葉セクションが GSSP となることで区切られる時代（中期更新世，77.3 ~ 12.6 万年前：図 2）は、現在、時代名が決まっていないので、今回、千葉セクションを申請した研究チームが時代名を決めることとなります。研究チームは、時代名を地層のある千葉県にちなんで「チバニアン（千葉期）」とすることを公表しています。

■そもそも GSSP ってなに？

GSSP は Global boundary Stratotype Section

地球史の時代区分

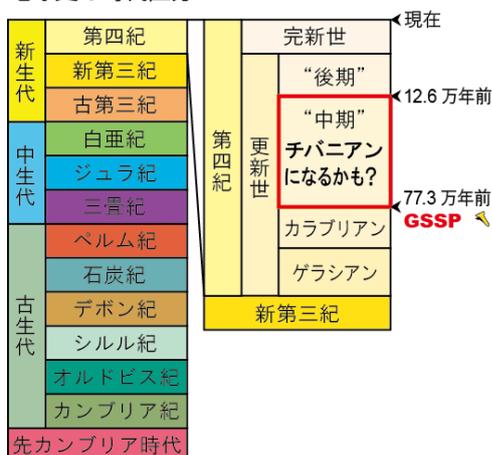


図 2 地球史の中の「チバニアン」

and Point の略称で、「国際標準模式層断面及び地点」と訳されます。GSSP は、地球の歴史（地球史）を時代に分ける際に必要な“目印”が模式的に露出している時代境界の基準となる地層です。

日本史で、政変などのイベントごとに時代を区切るように、地球史も生物（化石）の出現や絶滅、環境激変、地層の化学的性質の変化、地磁気の反転などのイベントが時代を区切る“目印”にされます。このような“目印”（= 定義）となる要素が適切に揃っており、時代境界の基準になると認定された地層・地点が GSSP です。

GSSP は、一度指定されると、時代境界に関する全ての基準が、その地層・地点のデータに基づくため、適切に管理・活用されるべき重要な地層となるのです。

■時代境界の定義 Matuyama 逆帯磁期

千葉セクションが GSSP 候補となった決め手は、地磁気の逆転が明瞭に示されたことと、年代が正確な数値（約 77.3 万年前）で示されたことです（写真 1）。前期 - 中期更新世境界の定義は、以前から「Matuyama 逆帯磁期と Brunhes 正帯磁期の境界（正確には Brunhes 正帯磁期のはじまり）」が望ましいと勧告されており、今回の決定でもこの勧告が重視されました。

この Matuyama 逆帯磁期は、地磁気の逆転が汎世界的に起こったことを世界で初めて証明した日本の地球物理学者・松山基範に因んで名付けられた時代名です。前期 - 中期更新世境界に日本由来の時代区分名が並ぶのは地球史を語るうえで世界に誇れる事跡です。

■北海道にもある「チバニアン」の地層

今回、GSSP が設定された中期更新世はどういう時代だったのでしょうか？この時代は約 10 万年の周期で寒冷な氷期と比較的温暖な間氷期を繰り返していた時代です（現在の気候は間氷期に相当します）。この時期の代表的な生き物は、北海道でも幕別町忠類などから化石が発掘されているナウマンゾウです。また、私たち人類（ホモ・サピエンス）が初めて現れた時代でもあります。

もちろん、北海道にも「チバニアン」の地層が分布しています。更新世の地層は、主に平野部の地下や平野の縁辺の丘陵地帯に分布しており、例えば、札幌市～北広島市にかけての野幌丘陵にも、「チバニアン」に形成された地層が分布しています。

最近のジオパークの動向について

日本国内で初めてジオパークが誕生したのは2008年のことでした。世界ジオパーク3地域、日本ジオパーク4地域で始まった国内のジオパークはその後急速に増加しつつあり、2018年3月現在でユネスコ世界ジオパークは8地域、日本ジオパークは43地域となっています。一方で、活動開始から10年が経過し、ジオパーク活動には多くの課題も現れ始めています。

■条件付き再認定地域の増加

ジオパークは新規に認定された後も、4年ごとに再認定審査を受けなければいけません。活動が順調ならば再認定され、次の再審査まで4年間ジオパークを名乗ることができます。一方、大きな課題があるとされた場合、条件付き認定となり2年後に改めて再認定審査を受けることとなります。課題が解決されたと判断されれば再認定され引き続き4年間活動できますが、解決が不十分（条件付き再認定）とされた場合は認定取り消しとなり、ジオパークを名乗れなくなります。2013年以降、再認定審査を受けた日本ジオパークのべ33地域のうち10地域が条件付き再認定となっています。2017年には茨城県北ジオパークが2度目の条件付きとなり、日本では初めての認定取り消しとなりました。条件付き再認定となった地域の多くでは、ジオパーク運営組織（協議会事務局）体制の弱さ、それに伴う地域住民や関係機関・団体との連携不足が課題としてあげられています。

ユネスコ世界ジオパークでも、2017年に洞爺湖有珠山ジオパークが条件付き再認定となりました。現地雇用の学術専門スタッフ不在や、ジオパーク管理運営計画や活動戦略の再構築が課題とされました。日本の地方部では過疎化や高齢化、地場産業の衰退といった多くの課題を抱えています。地域の維持・発展においてジオパークが果たして最適解なのかどうか、改めて見つめ直す時期が来ているのかもしれません。

■ユネスコ正式事業化の影響

2015年11月、世界ジオパークネットワークはユネスコ正式事業となりました。国際知名度やステータス向上の一方で、ユネスコ活動の一環で、世界各地、特に発展途上国で貧困解消や地域の持続的発展等に貢献する責任を負いました。ユネスコ世界ジオパークでは外国語対応可能スタッフをはじめ、質・量ともにさらに充実し

た活動資金や運営体制整備、世界各地のジオパークとの具体的な連携活動実績を問われるようになってきました。各ジオパーク地域の持続的発展を図りつつ、国際貢献も果たさなければいけないユネスコ世界ジオパーク運営は、今後も難しい局面に立たされ続けることとなります。



写真 織金洞の洞窟内部。コンクリート製歩道、手すり、解説看板が整備され、ライトアップされた洞窟は、多数の国内外の観光客で賑わっています。

■ユネスコ世界ジオパークの1例～織金洞ユネスコ世界ジオパーク

2017年9月、アジア太平洋地域のジオパークが一同に会する国際会議が中国の織金洞ユネスコ世界ジオパーク（貴州省）（写真）で開催され、当所職員も参加しました。世界有数の規模を誇る鍾乳洞で知られる織金洞は2015年にユネスコ世界ジオパークとなったばかりですが、中国中央政府の強力なリーダーシップと資金投入のもと、フットパスや高速道路、高級ホテル、1000人以上を収容できる国際会議場などのインフラ整備、ガイドや公園スタッフとしての地域住民雇用、ミャオ族をはじめ少数民族の教育環境整備が急速に進んでいます。入場料（2～3千円程度）や比較的高額なガイド料金（料金数千円～1万円以上）にも関わらず多くの観光客が訪れており、中国で最も貧しい地域とされていた貴州省の経済発展に大きく寄与しています。このスタイルが本当に持続的かどうかは議論の分かれるところですが、都市部と地方で経済格差が著しい中国において、どのようにジオパークを活用し地域発展をもたらすか、国と地域が出した答えなのかもしれません。

中国をはじめ世界各地のジオパーク活動の事例を踏まえつつ、日本の実態に即したジオパークの姿をこれからも模索していくことが必要です。

解説) 改訂された千島海溝沿いの地震活動の長期評価

2017年(平成29年)12月19日、国の地震調査研究推進本部地震調査委員会(以下、地震調査委)から「千島海溝沿いの地震活動の長期評価(第三版)」が公表されました。その中で、千島海溝沿い(十勝沖から色丹島沖及び択捉島沖にかけての海域)ではマグニチュード9クラスの超巨大地震が、今後30年以内に7~40%の高い確率で発生すると想定され、マスコミ等で大きく報じられました。この評価を、北海道に住む私たちはどのように理解し受け止めればよいのか、公表された長期評価の内容に沿って解説したいと思います。なお、評価の項目は多岐にわたっていることから、ここでは超巨大地震に関する部分に焦点をあてて紹介します。

■評価の前提となる知見

北海道は歴史の記録に乏しく、超巨大地震が千島海溝沿いで発生したという観測記録は、残されてはいません。一方、地層中に残された津波堆積物は、北海道東部の太平洋岸に過去に繰り返し巨大な津波が襲来したことを教えてくれています(過去6500年間に最大18回)。そのうち最も新しいものは17世紀の初めであり、2011年東北地方太平洋沖地震と同じような地震が十勝沖から根室沖までを震源域として発生し、巨大な津波を起こしたと考えられています。より古い津波が、17世紀と同様の震源域・規模の地震により起きたものとは限りませんが、それを推定するデータは十分に得られていないのが現状です。津波堆積物の年代間隔、すなわち地震(津波)の発生間隔は100年程度から800年程度までばらつき、平均で見た場合の発生間隔も約330~590年と調査地域によって幅があります。今回、地震調査委は千島海溝沿いの地震の平均発生間隔について、厚岸郡の調査から得られている約340~380年を採用したとしています。

■将来の地震発生確率

北海道の17世紀の地震(津波)は、歴史記録に残る1611年慶長三陸地震そのものであるか、あるいは津波堆積物をはさんでいる地層から求められた1635~1637年に発生した地震と考えられています。いずれの年代にしても、現在までに約340~380年の平均発生間隔を超える年月が経とうとしていますので、次の超巨大地震の発生が切迫していることがわかります。た

だし上述したように、津波堆積物が示す地震(津波)の発生間隔は100年~800年程度までばらつき、また年代値そのものの不確実性もあるため、発生確率も今後30年以内に7~40%と幅が大きくなっています。長期評価とは別の資料になりますが、地震調査委は地震発生確率の数値を受け止める上での参考情報として、事故等にあつた確率を示しています。それによれば火災で罹災する確率が1.9%、交通事故で負傷する確率が24%となっていますが、いかがでしょうか。

なお余談になりますが、地震調査委は地震時の揺れに着目した全国地震動予測地図という確率分布図も公表していますので、混同しないよう注意が必要です。ここでは紙数の都合から、地震動予測地図の説明は省略します。

■今回の長期評価改訂の位置づけ

津波堆積物の知見から、北海道東部に巨大な津波がおおよそ300~500年間隔で繰り返し襲来しているとの考えは、2000年代初頭には地質や地震の専門家にとって周知の事実となりつつありました。2003年には内閣府の中央防災会議で取り上げられ、2004年以降は“500年間隔地震”の名称で呼ばれるようになりました。また2006年の中央防災会議による「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震の被害想定」では、津波被害の想定に500年間隔地震が含まれています。

同様に、地震調査委により2004年12月に公表された「千島海溝沿いの地震活動の長期評価(第二版)」でも、過去の地震として17世紀の津波(地震)が明記されていました。しかし旧版では、将来の超巨大地震の発生確率は示されませんでした。その理由として、津波堆積物の認定や年代に関わる不確実性、さらにその津波を引き起こした地震のタイプ、規模、震源域などの推定に大きな不確実性を伴うことがあげられます。

2004年の第二版公表のわずか6日後、スマトラ島沖地震による甚大な津波災害が発生しました。またその7年後に、東北地方太平洋沖地震が起こりました。今回改訂された長期評価では、東北地方太平洋沖地震の教訓をふまえ「不確実性が大きな情報も、それに伴う誤差やばらつき等を検討した上で評価に活用した」ことが明記されています。北海道東部での最初の津波堆積物発見から20年が経とうとしています、その後の多くの研究

データの蓄積と2度の大地震を経て、将来の超巨大地震の発生確率が示されるところまで到達したと言えます。巨大な津波をハード対策で完全に防ぐという考えは、非現実的であり、高い発生確率が示された今、可能な限りのソフト対策を進めるとともに、中・長期的に災害に強い街づくりを推進することが求められています。

最後になりますが、本記事において誤った情報が発信されることの無いよう、新潟大学の清水康博准教授に校閲をお願いしました。記して感謝申し上げます。

第56回試錐研究会を開催しました

平成30年2月28日に札幌サンプラザにおいて、「第56回試錐研究会」を、一般社団法人北海道地質調査業協会及び一般社会法人全国さく井協会北海道支部の協賛、一般社団法人日本応用地質学会北海道支部、一般社会法人資源・素材学会北海道支部及び北海道地域産業技術連携推進会議の後援で開催しました。

特別講演では、室蘭工業大学大学院工学研究科 板倉賢一教授に「地域創生のための石炭利活用ー石炭地下ガス化(UCG)の話題を中心にー」と題して、道内の石炭の動向も含めてご講演いただきました(写真)。また、一般講演では、「地質技術者の新たな役割ー地質リスク調査検討業務の本格運営に向けてー」、「硫化水素ガスによる温泉用深井戸中ポンプの絶縁破壊メカニズムとその対策」と題したご講演をいただきました。当所からは「沿岸海域や湖沼における高精度音響探査の現状について」

地質研究所からのお知らせ(今後の予定)

【ご案内】「地質の日」記念展「北海道のジオサイトに見る岩石」(地質研究所共催; 入場無料)

北大や道内の博物館で北海道各地のジオサイトの岩石を中心に紹介します。

期間: 平成30年4月27日~6月17日

会場: 北海道大学総合博物館 1階展示室

(札幌市北区北10条西8丁目)

【ご案内】平成30年度環境・地質研究本部成果発表会

これまでの、環境・地質研究本部で行われた、調査・研究開発の成果を紹介いたします。

日程は、5/17が環境科学研究センター、5/18が地質研究所と二日にわたる開催となります。詳細について

■参考

地震調査研究推進本部地震調査委員会(2017) 千島海溝沿いの地震活動の長期評価(第三版), 130頁
地震調査研究推進本部事務局(2017) 千島海溝沿いの地震活動の長期評価(第三版) 概要資料, 12頁
清水康博(2013) 北海道の津波堆積物研究の現状と課題: 17世紀巨大津波による堆積物の研究を中心に, 地質学雑誌, 第119巻, 599-612頁

と題した講演をおこないました。

研究会当日は、民間企業の方々をはじめ国・道・市町村の行政機関等から約180名の参加があり、盛況のうちに終わりました。講師の方々及びご参加いただいた皆様に厚くお礼を申し上げます。



写真 特別講演で講演する板倉教授

は、確定次第、当所のホームページでお知らせいたします。

日時: 平成30年5月17~18日(入場無料)

会場: かでる2・7

(札幌市北区北2条西7丁目)

次の発行は2018年5月を予定しています。

地質研究所ニュース Vol.33 No.4 (通刊129号)

編集者: 地質研究所広報委員会

発行日: 2018年3月23日(季刊)

発行所: 地方独立行政法人 北海道立総合研究機構

環境・地質研究本部 地質研究所

〒060-0819 札幌市北区北19条西12丁目

TEL: 011-747-2420 FAX: 011-737-9071

HRO URL <http://www.hro.or.jp/gsh.html>