



京都大学 防災研究所
Disaster Prevention Research Institute
Kyoto University

水中災害遺構の研究を先導する自然科学者と歴史学者
の共同研究集会，および現地検討会の実施
Collaborative Research and Meeting of Natural
Hazard Science and Archaeology for Submerged Ruins

令和3年12月
December, 2021

研究代表者 谷川 亘
Coordinator Wataru TANIKAWA

京都大学防災研究所 一般研究集会 2021K-07

水中災害遺構の研究を先導する自然科学者と歴史学者の共同研究集会,
および現地検討会の実施

報告書 目次

1. 報告書 概要 3
2. 研究集会（2021年7月28日実施）プログラム 6
3. 講演概要 7
4. 共同調査実施箇所地図 19
5. 共同調査実施時の写真 20
6. 研究集会実施時の写真 25
7. 共同調査で取得した研究データ例 26

一般研究集会（課題番号：2021K-07）

京都大学防災研究所長 殿

[申請者（研究代表者）]

氏 名：谷川 亘

職 名：主任研究員

所属機関名：国立研究開発法人海洋研究開発機構

下記のとおり、研究集会の実施結果について報告します。

記

集会名：水中災害遺構の研究を先導する自然科学者と歴史学者の共同研究集会、および現地検討会の実施

主催者名：国立研究開発法人海洋研究開発機構 ※共催の場合

研究代表者：谷川亘

所属機関名：国立研究開発法人海洋研究開発機構

所内担当者名：山崎 新太郎

開催日：令和 3 年 7 月 2 6 日～7 月 2 8 日

開催場所：北塩原村役場自然環境活用センター

参加者数：11 名（所外 10 名、所内 1 名）

- ・大学院生の参加状況：0 名（修士 名、博士 名）（内数）
- ・大学院生の参加形態 []

研究及び教育への波及効果について

本研究集会で得られた知見は、将来、水中遺跡から過去に発生した自然災害の痕跡、被害状況、発生過程を評価するという新たな「水中考古学」を創成することにつながる。

また、これまで陸上の遺跡を中心に調査研究が行われてきた考古学分野に対して、新たな水中調査手法の提案や教育プログラムを提案することにより、水中を対象とした考古学研究の発展が期待される。

研究集会報告

(1) 目的

今日、水中の災害遺構が次々と発見されつつあり、今後未知の災害史が解明される可能性がある。一方で、水中は調査困難であるが故にあまり研究が進んでいない。また、歴史災害メカニズムの解明には歴史考古と自然災害分野の研究者の共同研究が必要であるが、その連携もうまくとれているとは言えない。そこで、本研究集会では水中考古学と自然科学の分野の専門を交えて、水中遺構を対象とした災害研究の将来について議論する。また、「桧原湖底遺跡」を対象としたフィールドワークと水中調査のデモンストレーションを同時に実施する。

(2) 成果のまとめ

福島県北塩原村の「桧原湖湖底遺跡」を対象として自然災害研究の将来について議論した結果、歴史考古分野と自然災害地質分野の研究者による協力体制のもと研究を進めることで、水中遺跡から過去の災害の履歴や発生メカニズムを議論する「水中

災害考古学」分野の新たな創設が期待できることがわかった。桧原湖湖底遺跡は、1888年の磐梯山噴火により発生したせき止め湖の形成に伴い水没した旧宿場町（桧原宿）であることが分かっている。つまり、この水中遺跡は、国内の他の水中遺跡と異なり、形成過程と遺跡の歴史背景が明確であることから、研究模式地として多種多様な調査手法の試行と開発が期待でき、かつ水中考古研究者を教育・育成する場所としても活用が期待できる。特に、水中考古研究者が水中ドローン、サイドスキャンソナーなどの工学機器を活用することにより、これまで潜水調査が主体であった調査方法の大きな変革につながる。その結果、水中考古学分野の裾野を広げ、これまで未知であった水中災害遺跡の発見にもつなげられることが提言としてまとめられた。

(3) プログラム

開催日：2021年7月28日（水）

時間	発表者	発表タイトル
9:00-9:15	谷川 亘	桧原湖湖底遺跡研究の立案
9:15-9:45	山崎 新太郎	サイドスキャンソナーの特徴とその可能性
9:45-10:15	中川 永	桧原湖調査に期待される遺構・遺物と他の水中遺構との違い
10:15-10:30	島田 章広	桧原湖湖底遺跡から出土した遺物の特徴と分析方法について
10:30-10:45	佐々木 蘭貞	水中遺跡を対象とした探査機器の紹介、および水中遺跡の保存と活用に関する一考
10:45-11:00	休 憩	
11:00-11:10	山本 裕二	遺構が水没した年代を評価する手法の紹介
11:10-11:20	井尻 暁	堆積物コアによる桧原湖形成過程復元の可能性
11:20-11:30	廣瀬 丈洋	高速すべり実験から磐梯山の山体崩壊―岩屑なだれの実像に迫るか！？
11:30-11:50	全 員	ディスカッション・意見交換
11:50-12:00	谷川 亘	まとめと今後の方針

(4) 研究成果の公表

なし

別紙様式

研究集会参加者名簿(報告用)

[研究代表者]

氏 名 谷川 亘

氏 名	所 属	職 名 (学生の場合該当する項目に○印)		備 考
谷川 亘	国立研究開発法人海洋研究開発機構	主任研究員	学部・修士・博士	※
井尻 暁	神戸大学	准教授	学部・修士・博士	
廣瀬 丈洋	国立研究開発法人海洋研究開発機構	主任研究員	学部・修士・博士	
山本 裕二	国立大学法人高知大学	教授	学部・修士・博士	
山崎 新太郎	京都大学防災研究所	准教授	学部・修士・博士	
中川 永	豊橋市役所	学芸員	学部・修士・博士	
島田 章広	伊豆の国市教育委員会	学芸員	学部・修士・博士	
佐々木 蘭貞	九州大学	学芸員	学部・修士・博士	
金 裕香	磐梯山ジオパーク協議会事務局		学部・修士・博士	
須藤 裕三	磐梯山ジオパーク協議会事務局		学部・修士・博士	
John Bedford	国立研究開発法人海洋研究開発機構	JSPS 研究員	学部・修士・博士	外国人研究者
			学部・修士・博士	
			学部・修士・博士	
			学部・修士・博士	
			学部・修士・博士	
			学部・修士・博士	
			学部・修士・博士	
			学部・修士・博士	

※外国人研究者・留学生の場合は、備考欄に特記のこと。

水中災害遺構の研究を先導する自然科学者と歴史学者の共同研究集会

日時：2021年7月28日（水）9：00～12：00

場所：北塩原村役場自然環境活用センター

概要：今日、歴史自然災害の記録を保存時している水中の災害遺構が発見されつつあり、今後未知の災害史が解明される可能性がある。一方で、水中は調査困難であるが故に研究が進んでいない。また歴史災害メカニズムの解明には歴史考証と自然災害分野の研究者の共同研究が必要である。そこで、本研究集会では水中遺構を対象とした災害研究の将来について議論する。

プログラム

時間	発表者	発表タイトル
9:00-9:15	谷川 亘	桧原湖湖底遺跡研究の立案
9:15-9:45	山崎 新太郎	サイドスキャンソナーの特徴とその可能性
9:45-10:15	中川 永	桧原湖調査に期待される遺構・遺物と他の水中遺構との違い
10:15-10:30	島田 章広	檜原湖湖底遺跡から出土した遺物の特徴と分析方法について
10:30-10:45	佐々木 蘭貞	水中遺跡を対象とした探査機器の紹介、および水中遺跡の保存と活用に関する一考
10:45-11:00	休憩	
11:00-11:10	山本 裕二	遺構が水没した年代を評価する手法の紹介
11:10-11:20	井尻 暁	堆積物コアによる桧原湖形成過程復元の可能性
11:20-11:30	廣瀬 丈洋	高速すべり実験から磐梯山の山体崩壊－岩屑なだれの実像に迫れるか！？
11:30-11:50	全員	ディスカッション・意見交換
11:50-12:00	谷川 亘	まとめと今後の方針

桧原湖湖底遺跡研究の立案

谷川 亘 (海洋研究開発機構)

1888 年の磐梯山噴火に伴う岩屑なだれにより、磐梯山周辺では 500 名近くの犠牲者が出た (内閣府、2005)。この岩屑なだれにより主要河川がせき止められた結果、桧原湖が形成された。この桧原湖形成に伴う死傷者は出なかったものの、現桧原湖の北岸近くにあった桧原村が水没するという被害が発生した。この桧原村は江戸時代に会津米沢街道の主要な宿場町の一つとして、人々や物資の移動・流通の要を担った。2002 年の法政大学探検部により実施された調査によると、この桧原村の集落址は現在も水底で確認出来ることが分かっている。

実は桧原湖の湖底遺跡のように水没したプロセスが明確に分かっている遺跡は世界を見ても非常にめずらしい。また、日本固有の水中遺跡研究の特徴として、集落址・散布地の遺跡形成過程に注目した研究が行われてきている (長野県曽根遺跡、滋賀県葛籠尾崎湖底遺跡など)。

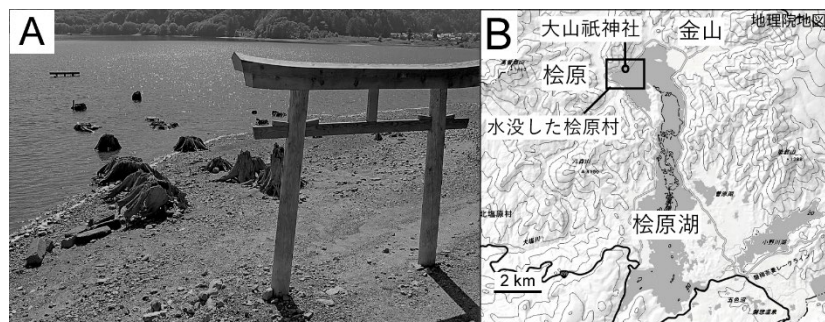
以上を踏まえると、桧原湖湖底遺跡を対象として研究するメリットとして、以下が挙げられる。

1. 水中遺跡の形成過程が分かっているため、その形成過程に係る水没した年代や水位変動の記録が水底の遺跡や堆積物にどのような形で保存されているか評価出来る。
2. 桧原湖湖底遺跡の研究で得られたノウハウをもとに、自然災害を起源とした水中遺跡の発見や、既存の水中遺跡から歴史自然災害の履歴を評価出来る。
3. 水中遺構と関連性のある陸上遺構が確認でき、陸上と水中の調査を総合的に評価することにより、近世近代の文化・経済の考古歴史学的情報を評価することができる。
4. 日本は世界と比較して水中遺跡研究が進んでいるとはいいがたことから、桧原湖湖底遺跡を水中遺跡研究の模式地とした研究者・技術者を育成する場の提供が期待できる。

そこで、当時の歴史文化背景を評価すること、自然災害を起点とした水中遺跡の形成過程を理解することを対象に桧原湖湖底遺跡の研究を立案する。水中遺跡を対象とした研究は、これまで人文系の考古学者が中心として進められてきたが、水中遺跡形成のプロセスの理解には、自然災害履歴評価をはじめとした自然環境変動の理解が不可欠である。そのため、桧原湖湖底遺跡の研究は、人文系と理工系の研究者が連携した体制作りが重要であると考えている。また、桧原湖湖底遺跡に限らず、多くの遺跡調査はその土地の歴史風景と人々の営みを掘り起こすことが目的にある。そのため、研究成果を地元の行政や住民に還元することは重要な使命である。桧原湖周辺は磐梯山ジオパークの活動やエコツーリズム施設が整備されていることから、行政と協力することで、湖底遺跡が

桧原村の歴史再発見ツールとまることが期待できる。

図(A)水没した大山祇神社境内へ延びる道(B)桧原湖と水没した桧原村



サイドスキャンソナーの特徴とその可能性

山崎新太郎(京都大学防災研究所)

サイドスキャンソナー(サイド・ルッキング・ソナー, サイドスキャンソナーとも呼ばれる。またサイドスキャンソナーシステムの略称としてSSSと呼ばれることもある)は音響を使った水底の画像探査装置であり、沈船や落下物などの捜索、水底地形・地質分布調査に使われている。例えば、飛行機が墜落で水中に沈んだ場合、その位置を正確に特定するため、墜落現場でサイドスキャンソナーが使われることが多い。

サイドスキャンソナーの元となった実験は、一説では1963年に米国EG&G社のエジャートンが最初に行ったものとされており、古い難破船の発見に成功したことが最初との記述が海洋音響学会(2004)に紹介されている。以下、海洋音響学会(2004)からサイドスキャンソナーについてその特徴を述べる。

サイドスキャンソナーは扇形の音響ビーム(fan beam)を横方向に送出し、海中をできるだけ一定方向で一定の水深で曳航する。曳航体(トーフッシュ)はできる限り安定して曳航しなければソナー記録に様々なゆがみを生じる。曳航中、送受波器から規則正しい間隔で音響パルスを発信し、海底の凹凸にぶつかってくる反射・散乱波を受信し、同時に信号の強さを記録する。この記録は次のパルスが送信されるまで続けられ、次のパルスが送信されるとまたこのサイクルが始まる。1回のパルスによって海底から戻ってくる反射信号は1本の線として表示され、この線の暗い部分と明るい部分が時間に対応した反射の強弱を表している。複数の線の集合は面となって音響画像(ソノグラム)を形成する。サイドスキャンソナーシステムは速度を計って作図上の縦・横の長さが等しくなるように「紙送り」速度を変える「速度補正」機能を備えている。また送受波器の遠近で、距離がゆがんでしまう「斜距離ゆがみ」もあり、これを補正する必要もある。分解能はパルス幅に依存し、パルス幅が短いほど高い距離分解能を持っている。

海底の突起物にパルスが当たるとその後方には音波が到達しないため、音響の影ができる。この影の長さから突起物の高さや大きさを推測できる。なお、この計算方法は曳航体の高度(水底からの高さ):HF、影の末端までの距離:R、影の長さ:LS、目標物の高さ:HT とすると相似三角形の関係から、

$$LS: HT = R: HF$$

なので

$$HT = LS \times HF / R$$

で求めることができる。なお、画像の中心付近は送信パルスが真上付近から当たるため、受信信号は強いが音波の影がでにくい。

音響の反射率から底質の解釈が可能である。しかし、これは経験によるところが大きい。岩石や砂利は砂や泥よりも反射率が高い。送受波器に向かって、斜面の登り勾配の時は反射率が大きく、下り勾配の時は小さい。

サイドスキャンソナーによる調査の成果物としては複数のソノグラムを結合して、広域の音響画像を得たモザイクが作成される。このモザイクを作成するために、オーバーラップ率を調整して、あらかじめコースを計画する。オーバーラップ率は25~50%の範囲で調整するのが望ましいとされている。

サイドスキャンソナーは、特に1990年代以降比較的安価な製品が販売されるようになり、トレジャーハンターが個人所有する場合もあったようであるが、2009年頃さらに低価格なレジャー用魚群探知機にも搭載されるようになり、同時にこれを用いた科学研究も多数行われるようになった。筆者もこれを利用して複数の研究を行っている(Yamasaki and Kamai, 2015; Yamasaki et al., 2017; Yamasaki et al., 2021)。それは、GNSSが近年の魚群探知機に搭載されていることもあり、正確な位置データを持つソノグラムの取得が可能となったことも大きい。そして、モザイク作成および、水中物体の位置特定を行うことができる安価な解析ソフトも販売されており、その参入障壁は格段に小さくなりつつある。そして、安価であるこ

とと低出力ではあるが軽量であることを利用して、ラジコンボートなどに載せて接近危険な活火山の火口湖を調査する試みも行われている(Yamasaki et al., 2017: 山崎ほか, 2018)。

サイドスキャンソナーは以上の特性から、水中考古学のフィールドでもその可能性が期待されるが一方で、安価な製品での性能検証が十分ではなく、少なくとも普及している魚群探知機の単独測位のGNSは、陸上の測量で要求されるものに比べれば大きな誤差を持っている可能性があるので注意が必要である。

文献

海洋音響学会、2004、海洋音響の基礎と応用、成山堂書店。

S. Yamasaki, T. Kamai, 2015, A novel method of surveying submerged landslide ruins: Case study of the Nebukawa landslide in Japan. *Engineering Geology*, 186,28–33. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2014.11.010>.

S. Yamasaki, T. Tabusa, S. Iwasaki, M. Hiramatsu, 2017, Acoustic water bottom investigation with a remotely operated watercraft survey system. *Progress in Earth Planet Science*, 4, 25, <https://doi.org/10.1186/s40645-017-0140-y>.

山崎新太郎, 八木 浩司, 田房 友典, 岩崎 俊佑, 平松 雅宏, 2018, 無人調査船と高分解能ソナーによる蔵王山御釜火口湖の調査、東北地域自然災害研究集会2018年度大会

S. Yamasaki, T. Kamai, T. Watanabe, 2021, Geological and seafloor investigations of the cause of partial submergence of Yokoshima Island, Nagasaki, Japan. *Engineering Geology*, 287. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106108>.

桧原湖調査に期待される遺構・遺物と他の水中遺構との違い

中川 永（豊橋市美術博物館学芸員）

（１）日本における災害痕跡の水中遺跡研究の現状

日本における水中遺跡研究は未だ発展途上であり、特に災害に係る事例については滋賀県や高知県での僅かな事例を除き、調査そのものがほとんど行われていない。この結果、把握されている災害痕跡を示す水中遺跡（文化財保護法上の『周知の埋蔵文化財包蔵地』）の数も、非常に低調であると言わざるを得ない。しかしながら、世界第６位の海岸線を有し、さらに大小の河川や湖を有する日本においては、本来、非常に多くの災害によって成立した水中遺跡が存在することは、想像に難くない。図１は、中川が集成を進めている日本の水没集落・水没集落伝承地の位置図だが、ここからも非常に多くの『未周知』の遺跡が存在していることは明らかであるし、またその成因も、大地震による軟弱地盤の地滑りや水位上昇、あるいは津波など、様々な背景が存在することが分かる。

（２）桧原湖における湖底遺跡の特質について

こうした中、桧原湖に水没している湖底遺跡は、その特性から、日本の災害遺跡の調査・研究のモデルケースとなり得るものと考えられる。その要因は大きく、下記の２点に集約されよう。

- ① 遺跡の成立年代・原因・水没過程の記録が細かく把握されている。
- ② 遺構が旧状を留めたまま明瞭に遺存している

このうち①については、例えば滋賀県長浜市の事例では『室町時代の寛正年間（1460～1466）に生じた大地震のため、西浜村という集落が湖底に沈んだ』という伝承が語り継がれている。しかし調査の結果、水没年代は寛正年間ではなく天正13年（1586）であり、伝承成立以前のある段階で、歴史記録が変容してしまったことが分かる。また水没過程については、地盤が沈降したことは確かであるが、具体的なメカニズムについては不明である（中川編、2016）。一方で桧原湖の事例では、遺跡の成立は明治21年に磐梯山の噴火に伴い成立した堰止湖による集落の水没であり、被害や避難の経過についても細かく記録されている。これにより、水中考古学的手法による水没集落の実態解明のみならず、記録された災害痕跡を現在の地質学や防災学分野の知見から検証し、遺跡の成立過程を詳細に検討することも可能だろう。

また②については、遺跡の成立要因が水位上昇に伴うものであって、生活面の標高そのものに変化が生じていないことが重要である。これと対比し得る事例として、例えば琵琶湖における集落遺跡の水没原因の一つが、大地震による局所的な地沁り（側方流動）と考えられている。この場合、生活面である地表面そのものが原位置を失うことで、遺跡が水中に至った段階で、既に建物や井戸などの生活施設の大半が破壊されてしまう。このため、実際に湖底で確認される遺構も、散発的に確認される柱跡や、広範囲に散らばった石垣石材など、旧

状を留めていないことがほとんどである。

一方で桧原湖の場合は、水位上昇によって遺跡が水没したため、石垣や石造物、あるいは参道の樹木や土塁などが原位置を保ったまま遺存している。殊に淡水という環境は、陸上や海水の遺跡では腐食・風化してしまう木材などの有機物が最も良好に遺存し得るものである。実際に令和3年7月に行った事前調査では、湖底で枯死しているかつての参道並木や石垣などの遺構、また石塔や陶器類などの遺物が確認された。

以上の様に、桧原湖に水没する湖底遺跡の調査は、残された文献記録や予想される水中遺跡の状況から、水没集落そのものの実態解明と、加えて水没・埋没過程の復元による遺跡の成立過程の検証といった、多様な側面から大きな成果が期待できるものと言えよう。

（３）本研究で期待される成果

以上の観点から、本研究によって期待される成果について大きく以下の３点を提示したい。これは桧原湖だけでなく、他地域の事例に応用が期待されるもので、かつ実現可能性の高いものである。

①音響波探査と潜水調査の融合による効率的な調査方法の確立

従来の水中遺跡調査では、あらかじめ水域にガイドラインを設置し、その範囲をダイバーが悉皆的に潜水・目視確認することで遺構・遺物を確認していたが、特に内水面は濁度が高く、調査効率は劣悪であった。そうした中、近年、音響波探査の技術が飛躍的に進み、小型機械において精密な測量図の作成が可能となっている。よって本研究においては、音響波探査で確認された、遺構が遺存する可能性が高い水域を中心に潜水調査範囲を設定する。これにより、調査の効率化や、潜水病など安全管理上のリスク低減が期待される。

② 集落の水没に至るまでの、住民の心の動きと対応の復元

当遺跡では、磐梯山の噴火からせき止め湖の成立による集落の水没まで、地点にもよるが1か月～数か月程度の猶予があったことが記録から明らかである。人々はその間に家屋や家財の移転を行っているが、その際に現地に残された遺物も多数存在している。現段階で把握している重要遺物として、神社に奉納されただろう石灯籠や、寺社に祀られたらう墓石などがある。また神社参道の並木などは、管見の限り根本から切断されており、恐らく水没前に伐採し、木材として移動させた可能性が高い。このように、本来は移動・移設可能な信仰対象が留め置かれた背景や、逆に長年守ってきた神域に手を加える人々の心情について、水中遺跡の状態を『面』として把握することで、集落移転を余儀なくされた人々がおかれた現実的な対応を考古遺物から検討できるものと考えている。

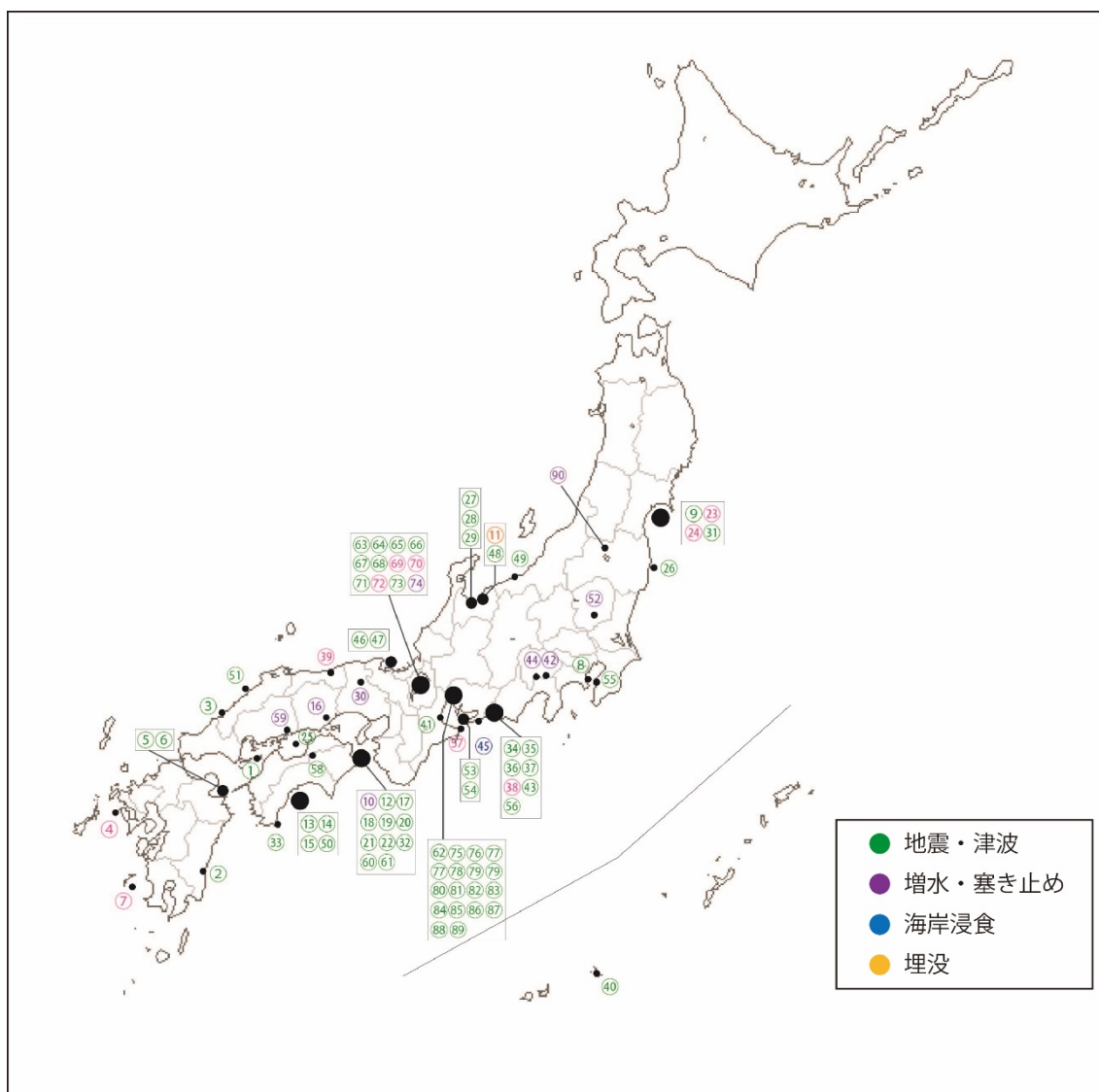
③ 現地調査成果と古絵図の対象による宿場町の実像の復元。

桧原湖湖底には、石垣や土塁など、区画に伴う構造物が原位置を留めて遺存していると推

定される。これらについて定点となる座標を複数習得し、GISソフトを用いて古絵図や湖沼図との重ね合わせ図を作成することで、水没遺跡の範囲や規模、土地利用について具体的に明らかにできるだろう。

■参考文献

1. 中川永編 2016『西浜千軒遺跡－琵琶湖湖底遺跡の調査・研究－』サンライズ出版



資料 1. 日本の水没集落・水没集落伝承地の位置図

檜原湖底遺跡から出土した遺物の特徴と分析方法について

島田章広（伊豆の国市教育委員会）

はじめに

檜原湖底遺跡は、明治 22 年(1888)の磐梯山の噴火によって水没した檜原村の集落跡である。集落は米沢街道の宿場町となる「檜原宿」を中心に構成され、近世の絵図や地籍図では町場の地割や、寺社等が立ち並ぶ様子が確認できる。

平成 12 年(2000)には法政大学探検部によって潜水調査(分布調査)が実施されており、11 点の遺物が出土している。遺物は『北塩原村史』に写真図版と所見が掲載されており、器種・産地・年代については一定の把握が可能な状態にある。

出土遺物について

湖底遺跡から見つかっている 11 点の遺物のうち、碗や小皿は、瀬戸美濃産と肥前系であり、摺鉢や甕は在地産である。時期は、幕末から明治期(19 世紀第3四半期から第4四半期)にかけてのものが中心となり、器種別による産地の差は近世末の特徴に当てはまる。

分析方法と方針

遺跡の性格を把握するための陶磁器の研究方法の一例として、下記の方法が挙げられる。

- ① 図化作業：実測、写真撮影等を行い縮尺の統一した図面を作成する。
- ② 産地・器種の同定：胎土や釉薬等の外的な特徴を把握し、産地・器種を特定する。
- ③ 産地別・器種別による傾向分析：出土遺物の全体的な産地・器種の割合をグラフ化、類似遺跡や周辺の遺跡と比較分析を行う。

現時点で檜原湖底遺跡の資料を用いて行うことができる方法は1、2までとなり、3を実施するには出土している遺物量が少数である。正確に遺跡の情報を把握するためには、今後の調査によって遺物を採取すること必要がある。また、考古学的な研究成果は広域流通品の研究が中心となるため、現時点の檜原湖底遺跡出土資料は年代にふり幅が生じている。年代をより限定的にするためには、在地産の陶磁器の分析が鍵となる。

おわりに

陶磁器の特徴と分析方法について一例を示したが、遺物について問題となるのは正確な出土位置である。令和3年7月 26 日の調査では寺域・神域と想定されている場所から神酒徳利や徳利が確認されている。遺物によって空間の把握等ができるように、出土位置、層位等を正確に記録していく作業が求められる。また、在地産の陶磁器の分析を進めることで、地方の生活の実態が明らかになることが期待される。

水中遺跡を対象としたグリーンレーザー測量の可能性と水中遺跡の保存と活用

佐々木蘭貞（九州大学）

河川や沿岸部の海底の地形データを取得する方法として、近年小形ドローンにグリーンレーザーを搭載した測量方法が注目されている。特に沿岸部の浅部海底には多くの水中遺跡が存在しているため、水中考古学調査での活用が期待される。そこで、文化庁と九州国立博物館は北海道上ノ国町昇平丸・上ノ国周辺海事文化遺産調査の一環として、上ノ国漁港遺跡沖と昇平丸推定沈没地点を中心にドローン搭載のグリーンレーザー、サイドスキャンソナー、およびマルチビームソナーを用いて、沿岸部から海底までの陸上から海底を統合した地形図の作成を行った。その結果、グリーンレーザー調査は以下の問題があることがわかった。

- ・ 黒色の石は光を吸収する可能性があり、黒色の石が分布した地点のデータ取得が困難。
- ・ 粗い砂地は乱反射の影響で計測誤差が大きくなる。
- ・ 計測結果は波、透明度、プランクトンなどに大きく影響する。
- ・ オペレーション～バッテリーの交換、充電、輸送が課題。
- ・ 委託費用が高い。

レーザースキャナーは、マルチビームとデータを統合することで陸から海までの連続した地形データの構築が期待出来る。本研究で取得したデータは、残念ながら2つのデータがオーバーラップする範囲に限られ、データの欠損部分が多く認められた。レーザー測量は物理的に取得できる水深に限界があり、一方、マルチビームは、船がどこまで陸に近づけるかで測定限界が決まってくる。ただし、喫水の浅いゴムボートなどに機材を設置することも可能である。以上をふまえ、今回のようなデータ欠損が発生させないために、以下の検討が必要であることが分かった。

- ① 水位が一番下がっている時期にレーザー測量を実施
- ② マルチビーム測深はレーザーのデータをもとに使用する機材・船、調査計画を立案
- ③ 水位が高い時期にマルチビーム調査を実施

そもそも、グリーンレーザーの事例がまだまだ不足している部分もあるため、調査事例の蓄積によって上記問題点を改善したいと考えている。

一方、水中遺構の探索と一般への公開を踏まえると、水底堆積物の堆積状況の把握は必須である。広域的な調査においては、サブボトムプロファイラによる調査が有効である。そこで本海事文化遺産調査では、調査地域においてサブボトムプロファイラによる堆積層の確認も行った。その結果、堆積層が厚い場所と薄い場所があることが分かった。

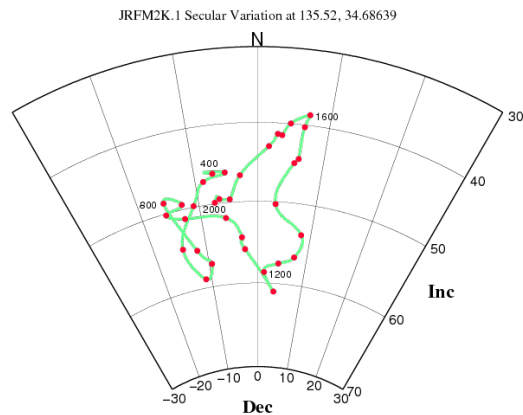
堆積が厚い場所は、遺物・遺構の保存状況が良好である可能性が高い。その一方で、遺物の直接潜水による確認が困難で（発掘が必要）、かつ一般公開は困難という欠点がある。一方、堆積層が薄い場所は、保存状況は良好ではないが遺構が発見しやすい。条件によっては公開しやすい（遺跡公園として活用可能）という特徴がある。

遺構が水没した年代を評価する手法の紹介

山本 裕二（高知大学）

過去の自然災害の記録を留める遺跡の形成年代を推定することは、自然災害履歴の解明のために重要である。遺跡年代の推定に利用できる理学的手法としては、(1) 地磁気年代法、(2) 放射性炭素年代測定法、(3) 年輪年代法、(4) 光ルミネッセンス年代法などがある。

(1) は、時代・地域ごとに地磁気の方向（偏角・伏角）が特徴をもって変化するという性質を利用する。日本周辺では西暦 400 年頃以降の遺跡についてマスターカーブ（右図、<http://mag.ist.ous.ac.jp/>）が提案されており、遺跡の形成時に被熱を受けていること、現地での遺物の姿勢を正確に記載・保存した上で分析試料を採取する必要があること、などの制約があるが、数十年単位の精度で年代推定が可能である。



(2) は、遺跡に残された植物片などの有機物を対象とし、過去 50000 年間程度について適用可能である。商業測定も盛んであり、たとえば、パレオ・ラボ社では約 2000 年前までの遺物については約 20 年程度の精度での年代推定が可能であると公表している (<https://paleolabo.jp/ams.html>)。

(3) は、年輪の幅が生育環境に応答することを利用し、その変動パターンを比較することで年代を決定する（坂本，2014）。木の種類ごと、地域ごとに、伐採年の判明している木や古建築・遺物の年輪幅を計測してグラフ化し、古い年代までさかのぼる「マスタークロノロジー」を作成したうえで、遺跡に残された木の年輪幅の変動パターンと比較（照合年輪数は 100 年以上）することで年代を推定する（坂本，2014）。

(4) は、地中に埋没していた鉱物粒子に光を当てると、埋没中に粒子が浴びた放射線の蓄積量に応じた強さの光（＝光ルミネッセンス）が生じる現象を利用する（田村，2013）。適用可能地層は数十年前～数十万年前、5-10%程度の年代推定が可能とされている（田村，2013）。

桧原湖水中遺跡の諸状況を総合的に勘案すると、水中に遺された当時の自然木の中心と周縁部から保存の良い試片を採取し、(2) による年代推定を行うのが最も有望と思われる。同じく水中に遺されていると思われる多数の墓石の墓碑を解読して考古学的制約と組み合わせることで、年代推定の精度の向上も期待できる。

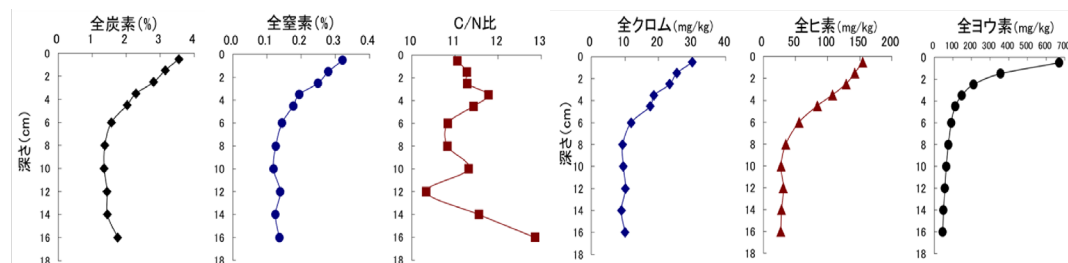
堆積物コアによる桧原湖形成過程復元の可能性

井尻 暁 （神戸大学海事科学）

桧原湖は南北約 18km、東西約 1km の細長い形の湖で、1888 年の磐梯山の水蒸気爆発に伴って発生した岩屑なだれが川をせき止めたことにより形成された天然の堰止め湖である。この湖は、一瞬にしてできあがったものではなく、最初は水たまりが多数発生し、それが徐々に水かさを増していったとされる。最初は北側の桧原湖と南側の雄子沢湖の 2 つが誕生し、噴火の翌々年の春に雪解け水で一つにつながった（磐梯山ジオパーク HP より：https://www.bandaisan-geo.com/geosite/area_b/b-6/）。形成されてから 130 年ほどしか経過していない比較的新しい湖であるが、現在はブラックバスが放流され、春から秋にかけては多くのバス釣り客で賑わっている。また冬期にはワカサギ釣りが盛んに行われている。桧原湖形成初期の桧原宿水没から現在に至る湖の形成過程、および環境の変化を知るためには、柱状堆積物試料（コア）を採取し、堆積物の種類、化学組成の鉛直変化を調べるのが有効であると考えられる。例えば、桧原湖の南西部に位置する猪苗代湖では、掘削深度 37.13 m、コア採取深度 28.13 m の湖底堆積物が掘削され、その岩相層序により、下部（深度 37.13～26.60 m）は猪苗代湖形成前の河川成堆積物、中部（深度 26.60～24.89 m）は猪苗代湖形成初期の湖成堆積物、上部（深度 24.89 m～0 m）は現在と同程度の大水深環境下で形成された湖成堆積物と解釈されている（廣瀬ほか、2014）。深度 1.9 m 付近では 6 世紀頃の榛名ニッ岳から噴出したテフラが同定されている。一方、100 年ほどの短い期間の環境の変化を堆積物試料から調べることは難しいと考えられるが、猪苗代湖の湖心部から採取された深さ 0～17 cm の湖底堆積物（既報の堆積速度から 17cm で約 200 年と推定）中の化学組成を 1～2 cm 間隔で分析した結果により、約 100 年前より、人間活動の増大や湖水の中性化により、全窒素・炭素濃度や鉄・硫黄・カルシウム濃度などが変化していることが報告されている（三浦、2021）。桧原湖では、2014 年と 2016 年に湖内の表層堆積の深さ約 20cm までの放射性セシウム（Cs）濃度の鉛直分布が調べられ、2011 年 3 月に起きた東日本大震災の影響により福島第一原子力発電所から放出された放射性 Cs の動態が調査されている（粕谷ほか、2016）。その結果、湖底堆積物の深さ 10 cm あたりから表層にかけて放射成 Sc の濃度が増加し、2014 年から 2016 年にかけて、表層 0～3 cm で放射性 Cs 濃度が減少している傾向が確認されている。この濃度の減少は流域から流出した土壌などが湖底表層に堆積したことで生じたと解釈されている。

このことから桧原湖では年間 cm 単位で堆積物が堆積していると考えられ、数 10 cm ほどの短いコアでも猪苗代湖同様に桧原湖形成過程と環境変遷の復元が可能であると期待される。最初の予備的な調査として、長さ 50 cm のコアが採取可能なグラビティーコアラを用いて、桧原宿跡周辺の底泥堆積場周辺や、桧原湖北部の最深部（水深 30 m）でコアの採取を行いたいと考えている。

なお発表後の質疑応答では、桧原湖の南部は磐梯山の岩屑なだれの影響を受けており、北部はその影響がないことから、北部と南部、中部でもコアを採取した方が良いとの意見をいただいた。



2021)

高速すべり実験から磐梯山の山体崩壊—岩屑なだれの実像に迫れるか！？

廣瀬丈洋（海洋研究開発機構）

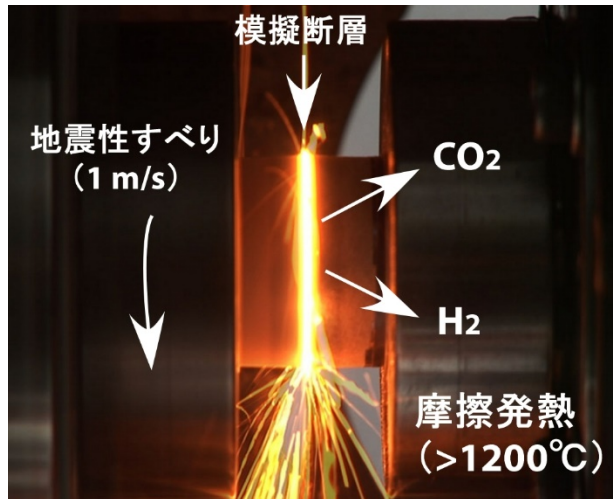
桧原湖は、1888年の磐梯山噴火（水蒸気爆発）にともなう岩屑なだれによって吾妻川や長瀬川などの複数の河川がせき止められて形成された、日本で最も大きい火山性の堰止湖である。この湖の形成によって、15世紀末頃から旧米沢街道の宿場町として栄えていた「桧原宿」が湖底に沈んだ。本講演では、講演者がこれまでおこなってきた高速すべり実験によって、この桧原湖そして湖底遺跡をうみだした根源である岩屑なだれの物理化学メカニズムを調べ、そして桧原湖湖底遺跡調査と陸上地質調査を繋ぐ研究の糸口を探る試みを紹介したい。

講演者らはこれまで、地震時に断層が秒速数メートルで高速すべり運動する現象を再現する試験機を開発してきた。実験研究の結果、地震断層運動時には高速すべり面で必然的に発生する摩擦熱によって様々な熱活性物理化学プロセスが励起され（図）、断層のすべり抵抗（摩擦係数）が60～80%低下することがわかってきた。このような高速すべり運動は、地震時の断層運動のみならず、火山火道を上昇するマグマと火道壁の境界面、カルデラ崩壊時に形成されるリング断層や地すべり面でも発生しており、それらに着目した研究もおこなわれてきた。例えば、Hornbyほか（2015）では雲仙の溶岩ドームを構成する岩石を使った高速すべり実験から、火道壁でのレオロジーを決定し火山岩尖の成長過程を考察した。またHanほか（2019）では、韓半島のジャンサン・カルデラ崩壊時のリング断層からシュードタキライトと呼ばれる摩擦熔融によって形成された断層岩を見出し、この断層岩を高速すべり実験で再現して断層運動時の動摩擦係数を決定することでカルデラ崩壊時のエネルギーを見積もることに成功している。

講演者らは、このような火山に関連した高速すべり研究を磐梯山の岩屑なだれに適用できないかと考えている。1888年の岩屑なだれでは、小磐梯山が大規模に崩壊し斜面を剛体的に大きな塊として時速数十キロメートル流走したことが知られている（酒井ほか、1995）。よって剛体として振る舞う岩石なだれ本体とそれが流走する基盤との境界面での高速すべり挙動が、岩屑なだれの物理化学を解き明かす上で鍵になる可能性がある。特に岩屑なだれのメカニズムの解明を目指したこれまでのアナログ実験や崩壊シミュレーションでは、摩擦発熱については考慮されていない可能性があるため、岩屑なだれすべり面での熱活性物理化学プロセスという視点から実験研究開発をおこなえないかと考えている。

この実験研究で重要なのは、実際に大きなすべりを起こしたと考えられる岩屑なだれ底面の変形構造である。岩屑なだれ底面近傍での構造を高速すべり実験によって再現することで、岩屑なだれ時のすべり面で力学特性とそれを支配する物理化学プロセスを明らかにしたい。その結果から1888年の岩屑なだれのエネルギー規模や箱型掘削谷の形成過程の解明、岩屑なだれの地形分布を説明できるモデル構築に取り組んでいきたい。

本研究の現地フィジビリティ調査によって、岩屑なだれ堆積物の特徴的な構造を上川温泉の砂防工事現場で観察することができた。しかし残念ながら、実験で再現を目指す岩屑なだれ底面の露頭を観察することはできなかった。そのような露頭を観察できる場所がほとんどないのかもしれないが、幸い岩屑なだれ堆積物を掘削したコアが保管されているという情報を得たので、今後このコアに関する情報を収集していきたい。そして掘削によって岩屑なだれ底面が掘削されているようであれば、非破壊分析機器（X線CT等）を使って掘削コアの観察・分析をおこなえるよう調整を行っていきたい。



図：地震性の高速断層すべり運動を再現する回転式剪断実験。実験条件によっては摩擦発熱によってすべり面は1000℃を超える高温になり、すべり面周辺で動的・非平衡化学反応が進行する。発熱温度はすべり面の構成物質や実験条件によって変わる。このような実験を様々な温度・圧力・含水条件下でできるように試験機は研究開発されている。

調査範囲

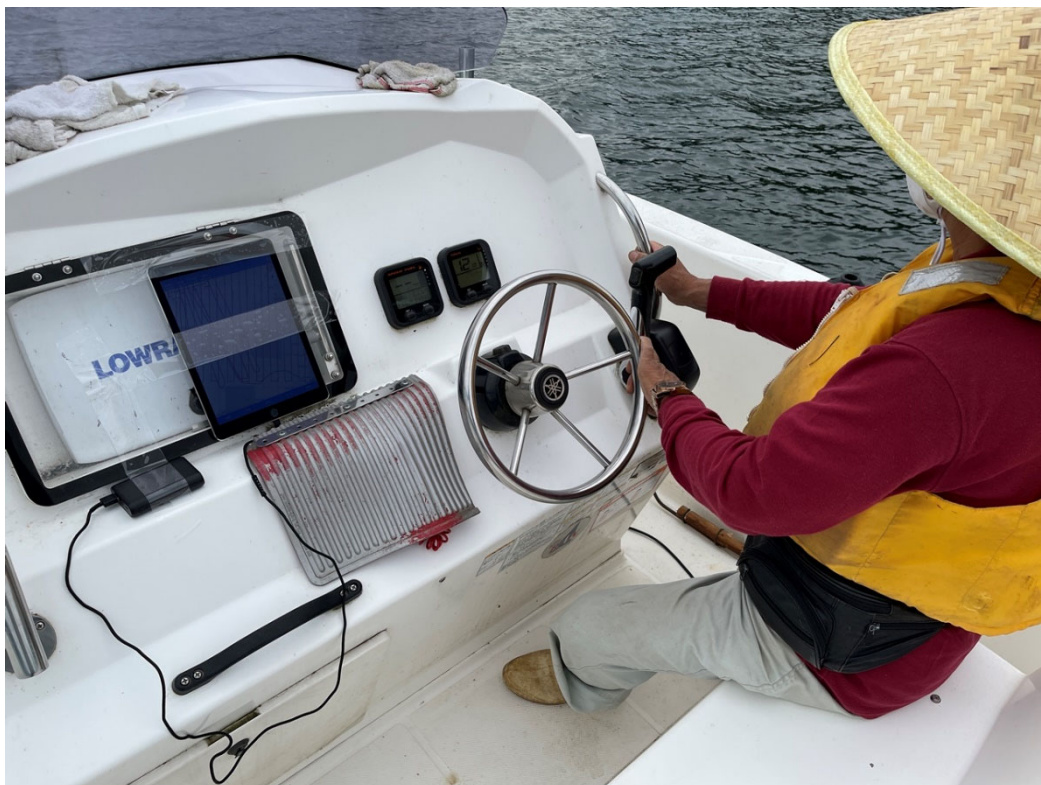


図一 1 調査地の地図と調査範囲（福島県北塩原村桧原湖北部水域）

調査の実施状況



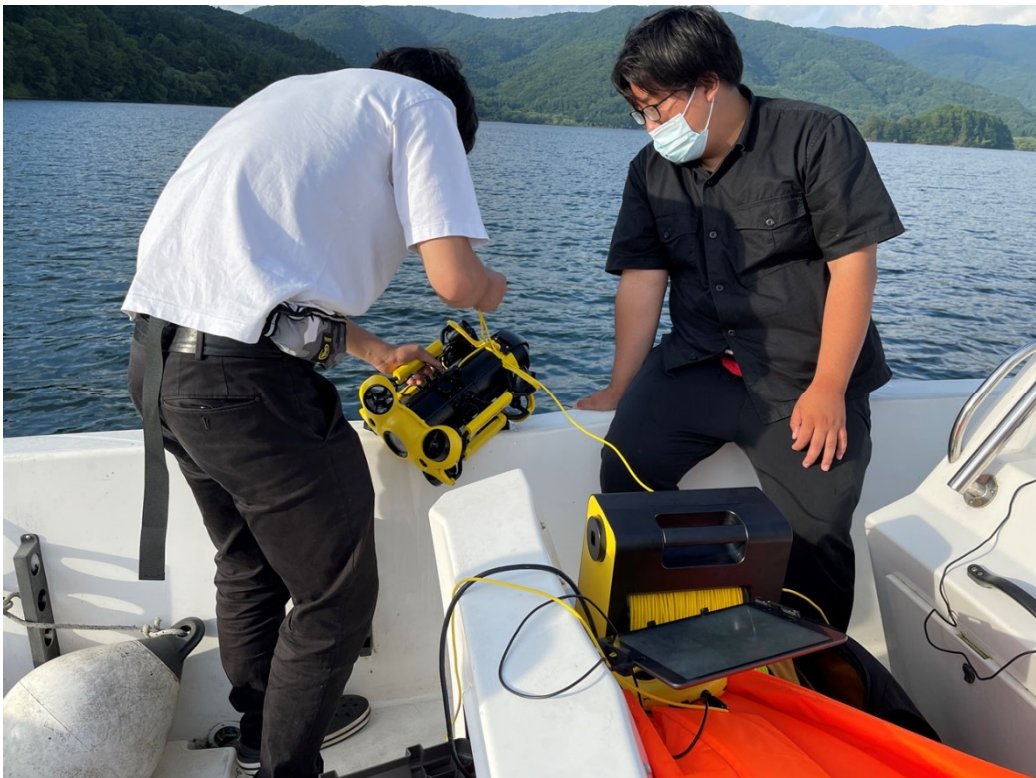
<写真1> 水上調査の説明



<写真2> 操船作業の様子



<写真3> ソナー画面に注目しながらの探索作業の様子



<写真4> 水中ドローン (ROV) による作業の様子



<写真 5> 桧原湖上の調査船



<写真 6> 桧原湖畔の山神社周辺における潜水調査の様子（遠景）



<写真7> 潜水調査の様子



<写真8> 調査基地となる宿泊地での検討作業

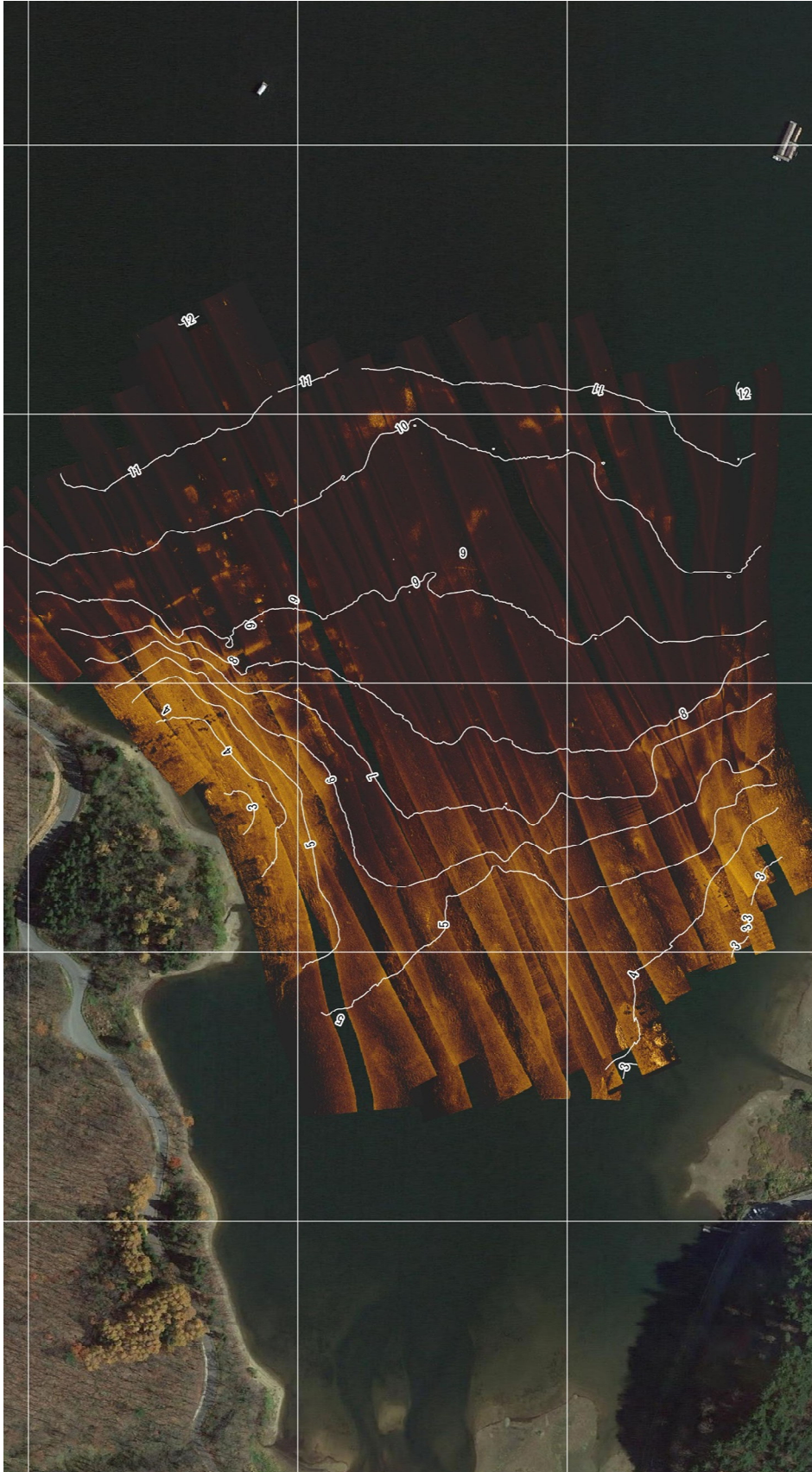


<写真 9> 陸上部での遺跡調査



<写真10> 北塩原村自然環境活用センターでの研究集会の様子

取得したデータのサンプル



図ー2 サイドスキャンソナーで得た水中のイメージと等深線図（単位はm）．グリッド間隔は100 m．上が北である．



図一 3 水中ドローンで発見した水中の遺物の例