



2022年度日本財団助成研究

子どもの水難事故調査研究
報告書
(2020年5月屋久島町中間川事故)

2023年3月

一般社団法人 水難学会 助成：日本財団

令和 2 年（2020 年）5 月 31 日に屋久島町
中間川で発生した女兒水難事故の要因把握
について

令和 5 年 3 月

水難学会 事故調査委員会

1. 目的

1.1 目的

本業務では、事故の発生要因を把握することを目的とした。

1.2 本業務の流れ

(1) 事故に関する情報の事前収集

新聞記事などの報道記事の収集や、事故発生日および直前の気象や海象を把握した。

(2) 現地調査

所轄消防へ出動時の時間経過や現地・搬送時の状況の聞き取り調査をおこなった。また、事故発生場所の地区長および救助活動をおこなった漁業組合の方にも現地へお越しいただき、事故状況や発見・救助時の状況の聞き取り調査をおこなった。現地では、河川や河口部を含めた海域の流況や地形を把握するとともに、川へ降りる道の確認の他、推定事故発生現場での底質を含めた地形状況を把握するとともに、人体の背浮きによる漂流実験をおこなった。

(3) 解析

漂流実験から両粒径路を把握するとともに、測定時間ごとの測定区間ごとにおける平均流速を把握した。また、採取した底質や記録動画により、推定事故現場での人体の落水時の挙動を把握した。

(4) 考察

事故発生場所での事故発生要因などを考察した。

2. 事故時の情報収集

2.1 事故現場位置

当該事故は、図-2.1 および図-2.2 に示すように、屋久島南西部における中間川の河口付近で発生した。



図-2.1 事故発生場所



図-2.2 事故発生場所の衛星写真

2.2 事故に関する新聞記事抜粋

ここでは、事故状況を説明する報道記事を幾つか列挙する。

(1) 南日本放送 2020/05/31 20:36

屋久島の海岸で6歳女児が死亡 川に流されたか

鹿児島県の屋久島で31日夕方、6歳の女の子が海に浮いているのが見付き、その後、死亡が確認されました。

警察は、女の子が川に流された可能性もあるとみて調べています。

死亡したのは、屋久島町中間の小学1年生・濱崎心那さん（6）です。

屋久島警察署によりますと、心那さんは31日午後、弟と友人の3人で近所に遊びに出かけ、その後、行方が分からなくなっていました。

地元の住民らが捜していたところ、午後5時すぎ、近くの海岸からおよそ20メートル離れた海上で、心那さんがうつぶせの状態で見付き、その後、病院で死亡が確認されました。

死因は水死とみられています。

心那さんらが近くの川で遊んでいたとの目撃情報があり、警察は、心那さんが川に流された可能性もあるとみて、当時の状況などを調べています。。

(2) ヤフトピ bot 午後 9:31 ・ 2020 年 5 月 31

屋久島で水難事故 6歳死亡

鹿児島県の屋久島で31日、6歳女児が海に浮いているのが見付き、その後、死亡が確認された。女児は、弟と友人の3人で近所に遊びに出かけ、その後、行方が分からなくなっていた。

2.3 事故時の物理条件の把握

(1) 気象

事故日およびその前日などの天気図¹⁾を示す。

図より、事故日および前日には低気圧が屋久島西方を東進するとともに、それから延伸する停滞前線(梅雨前線)が屋久島南方に位置していたことから、海上風の風向は南東から東からの風向であり、現地付近では屋久島の影部となり、天候は比較的安定していたと考えられる。

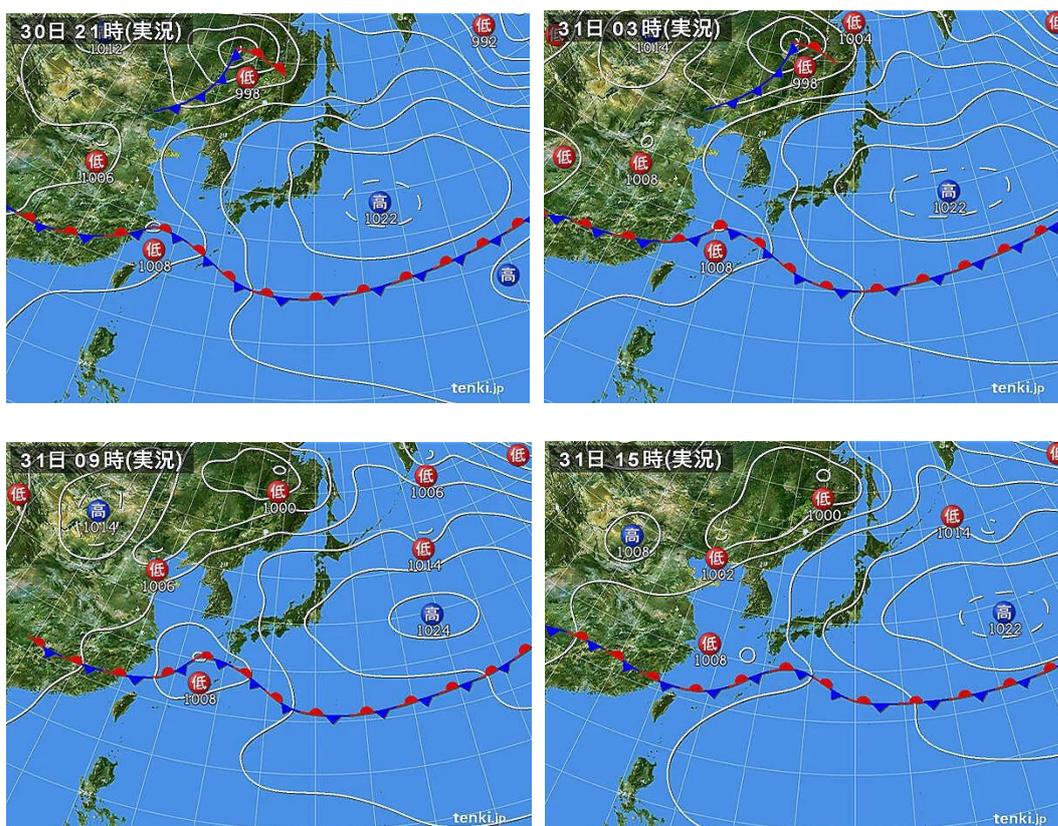


図-2.3 事故日および事故前の天気図

(2) 現場周辺の降雨状況

現場周辺の AMeDAS (Automated Meteorological Data Acquisition System, 自動気象データ収集システム)²⁾観測地点における降雨の有無を把握した。

ここでは現場から東方約 12km に位置する AMeDAS 尾野間のデータを示す。

事故現場付近では、事故前日の午後から事故日午前 9 時頃まで降雨であり、その後は降雨はなく、気温は事故日の午後には 22°C 程度であった。

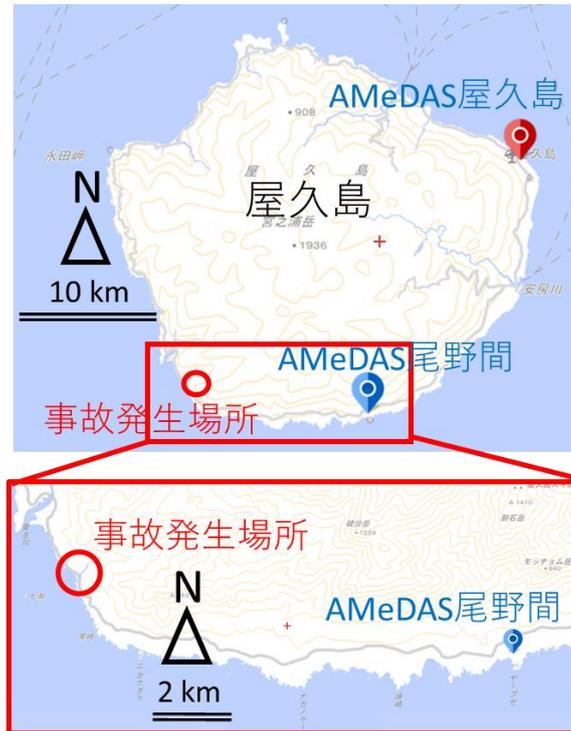


図-2.4 事故現場現場および AMeDAS 観測所の位置

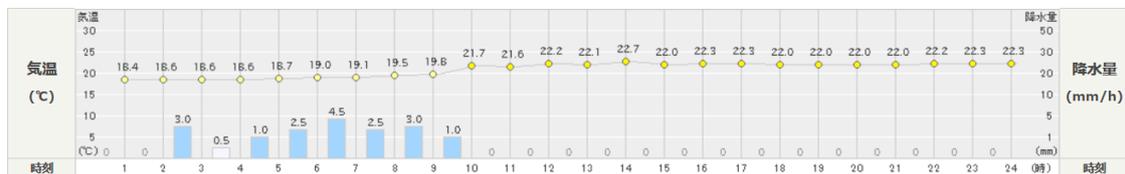


図-2.5 AMeDAS 尾野間の観測データ (2020年5月31日、事故当日)

(3) 事故発生時の河川水位および流量の把握

事故発生場所は中間川河口付近であるが、この河川では水位などの計測はおこなっていないことから、現地調査時の聞き取り調査時に事故時の水位をお聞きした。それによると、事故前日の午後から事故日午前までの降雨で、河川水位は多少上昇していたが、ほぼいつも通りの河川水位であったということであり、事故時の河川の水位や流速などはいつもより特別に増大していたということではないということを確認した。

(4) 事故発生日の沿岸波浪状況

2020年5月31日9時の沿岸波浪図³⁾を示す。図より、屋久島付近では約1.5m程度の波高分布であり、海水浴をするには若干高めの波高であった。

この波高時では、離岸流などが発生する場合には少し規模や流速が大きくなると考えられる。

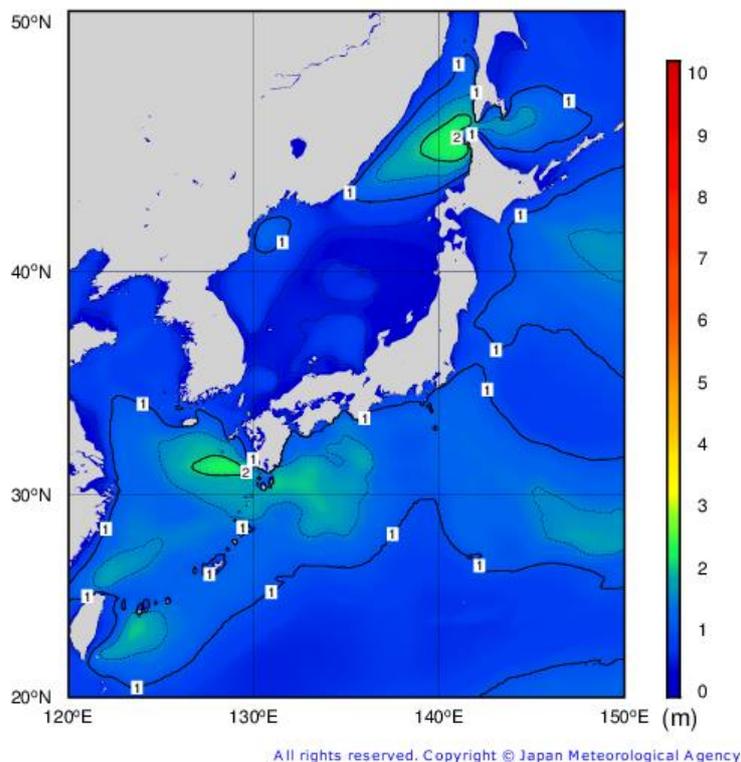


図-2.6 事故日の沿岸波浪状況（2020年5月31日9時）

(5) 事故発生日の潮位状況

事故時の潮汐による水位がどのような状況であったのかを把握するために潮位推算をおこなった⁴⁾。屋久島では潮位観測所がないために、最寄りの観測場所である種子島西之表検潮所での観測情報⁵⁾が事故現場付近とどの程度違うかをまず把握した。そのために、現場付近の潮位を潮位推算するとともに、種子島西之表検潮所での観測結果と比較をした。

図に示すように、屋久島の中間地区と種子島の西之表地区とでは約 75km 離れている。図- に中間地区の潮位推算結果と西之表での潮位観測値の時間変化を示す。どちらも同様に潮位変動をしていることから、中間地区の潮位は西之表地区の潮位観測情報から把握することが可能であることがわかる。

また、図より、事故発生時には下げ潮時であったことから、潮位が時間経過とともに低下しつつ、海岸線は沖側へ移動していたと考えられる。

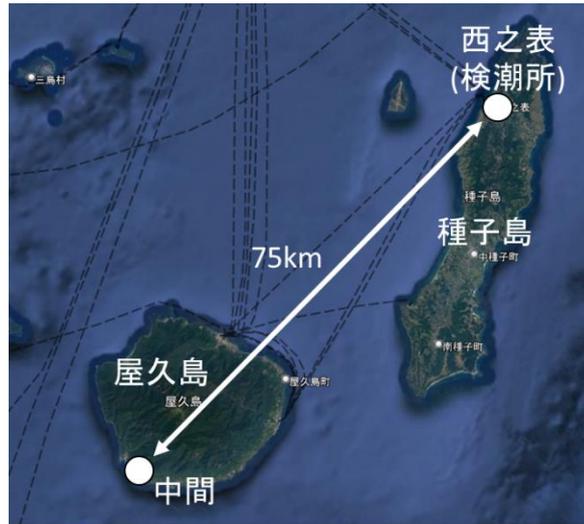


図-2.7 中間地区と検潮所の位置および距離

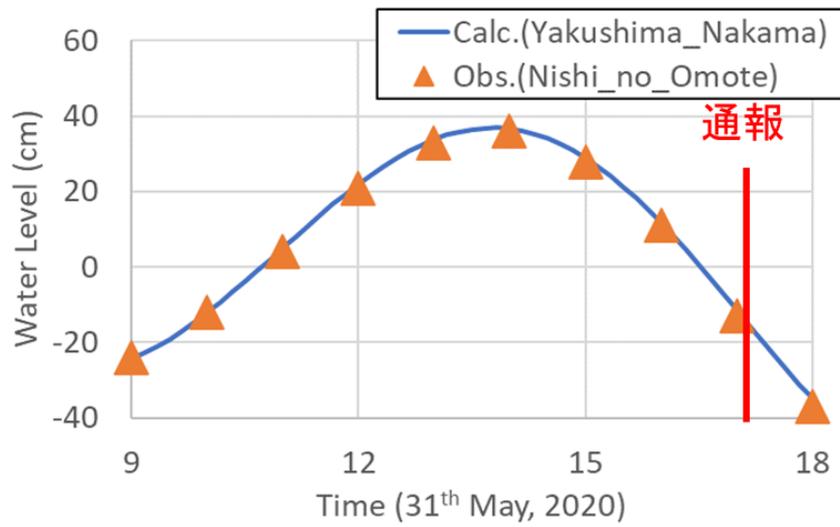


図-2.8 事故日における中間地区（事故現場）と西之表地区（検潮所）の潮位変化（中間地区は潮位推算、検潮所は観測値）

3. 現地調査

水難学会事故調査委員会では、令和4年7月28日および29日に現地調査を実施した。事故調査時には鹿児島県屋久島事務所および屋久島町から作業許可をいただくと共に、現場では流況および地形把握のために、国土交通省ドローン情報基盤システム⁶⁾へ登録し且つ住宅密集地上空でも飛行可能な許可を受けた UAV (Unmanned Aerial Vehicle: 無人航空機) を使用した。また、事故時に実際に救助活動をおこなった所轄の消防署へお伺いするとともに、現地調査時には、中間町の区長および捜索・救助活動をおこなった漁業組合の方から状況などをお伺いした。

3.1 調査日の天候

調査日の2022年7月28日および29日の9時の天気図を図-3.1に示す。また、両日の現場近くの AMeDAS 尾野間における最大気温などを図-3.2に、時間変化を図-3.3に示す。調査時には屋久島南方を台風が接近中であり、尾野間では風速は増大していたが、現場の中間地区では強風の陰部となっており、風はあまり増大していなかった。また図より、調査日の最高気温は30.9℃と高温であり、調査時に現場および周辺地域では降雨はなかった。

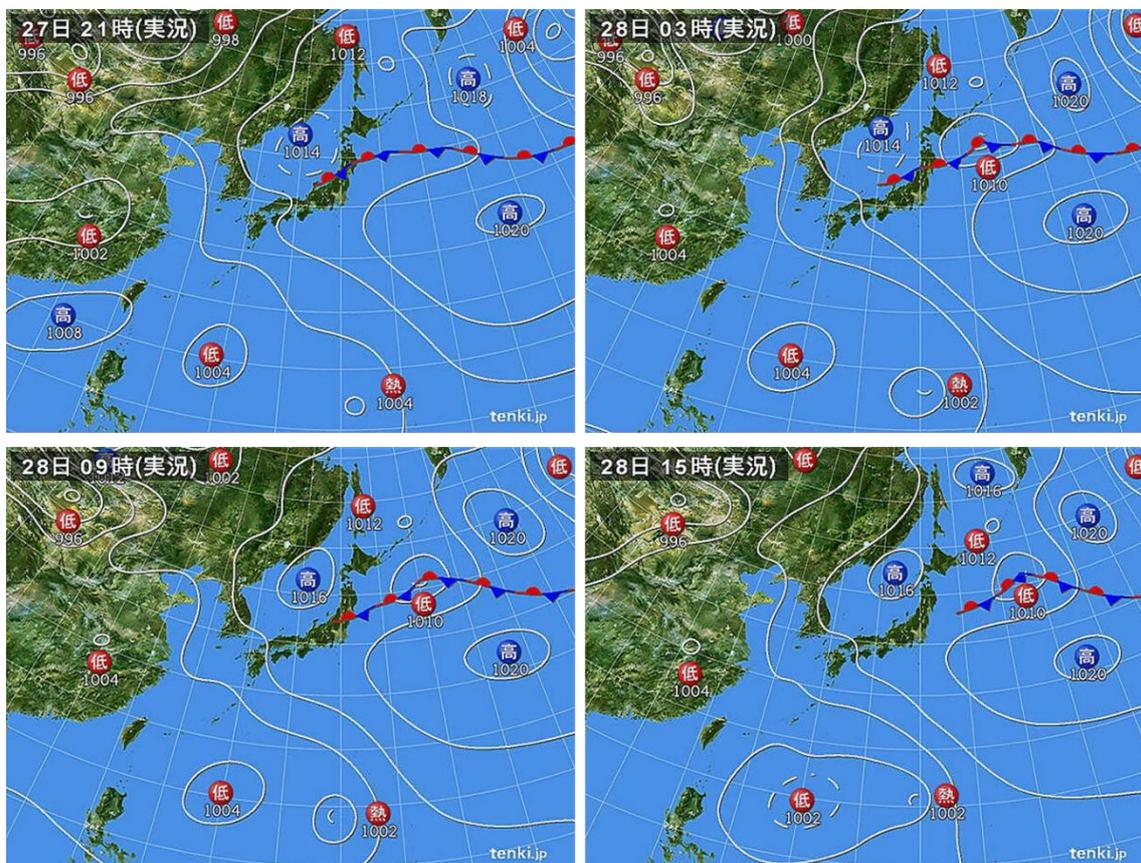
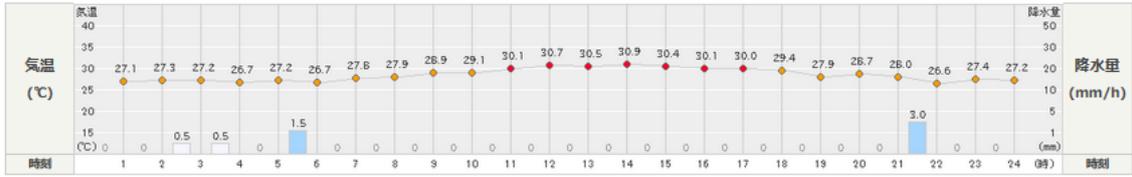


図-3.1 調査日の天気図 (左：2022年7月27日～15時 28日 15時)



記録 (2022年07月28日)

2022年07月28日

日最高 気温(°C)	日最低 気温(°C)	日積算 降水量(mm)	日最大 風速(m/s)	日積算 日照時間(時)
30.9 (11:30)	26.0 (21:40)	5.5	8.9 (17:10)	7.7

※日最高気温・日最低気温・日最大風速は、アメダス10分値です

図-3.2 調査日の最高気温など (AMeDAS 尾野間、2022年7月28日、上：時間変化、下：最高気温等)

60分観測値 (2022年07月28日)

2022年07月28日

日時	気温(°C)	降水量(mm)	風向(16方位)	風速(m/s)	日照時間(分)	積雪深(cm)
24:00	27.2	0.0	東北東	6.5	0	---
23:00	27.4	0.0	東北東	6.6	0	---
22:00	26.6	3.0	東北東	6.7	0	---
21:00	28.0	0.0	東北東	7.4	0	---
20:00	28.7	0.0	東北東	6.1	0	---
19:00	27.9	0.0	東北東	7.2	2	---
18:00	29.4	0.0	東北東	7.3	55	---
17:00	30.0	0.0	東北東	7.3	60	---
16:00	30.1	0.0	東北東	8.3	60	---
15:00	30.4	0.0	東北東	7.1	60	---
14:00	30.9	0.0	東北東	6.5	47	---
13:00	30.5	0.0	東	7.5	39	---
12:00	30.7	0.0	東	8.2	54	---
11:00	30.1	0.0	東	7.8	24	---
10:00	29.1	0.0	東北東	6.7	29	---
09:00	28.9	0.0	東北東	7.1	9	---
08:00	27.9	0.0	東北東	6.0	5	---
07:00	27.8	0.0	東	8.0	17	---
06:00	26.7	1.5	東北東	6.0	0	---
05:00	27.2	0.0	東北東	5.3	0	---
04:00	26.7	0.5	東北東	5.4	0	---
03:00	27.2	0.5	北東	4.6	0	---
02:00	27.3	0.0	北東	3.7	0	---
01:00	27.1	0.0	北東	3.8	0	---
日時	気温(°C)	降水量(mm)	風向(16方位)	風速(m/s)	日照時間(分)	積雪深(cm)

図-3.3 調査日の気象時間変化 (AMeDAS 尾野間、2022年7月28日)

3.2 調査日の河川状況

調査当日は、降雨はほとんどないことから河川水位の増大などは発生していなかった。

3.3 調査日の波浪状況

屋久島南方を台風が接近しており、現場海域では波高 1m 強の波浪状態であり、事故時の波浪状況よりも若干低い状況であった。

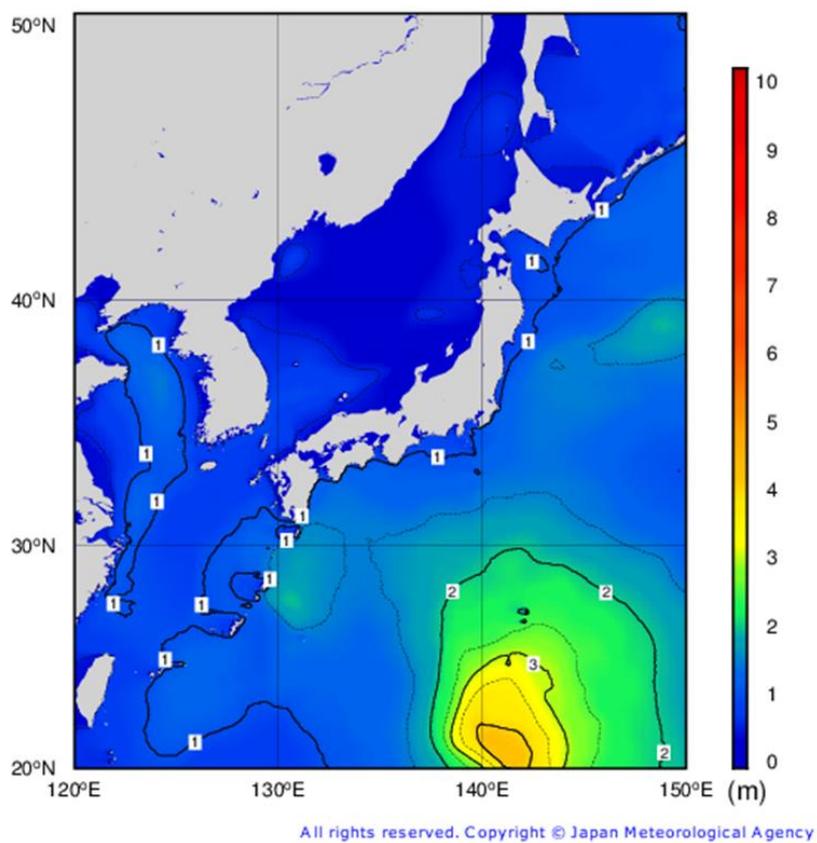


図-3.4 波浪状況 (2022年7月28日9時)

3.4 調査領域の位置

調査実施場所を図 3-5 に示す。領域は、屋久島南西部の中間地区における中間川河口を中心とした、中間浜海岸および中間漁港を含む東西方向に約 120m、南北方向に約 250m の区間である。



図-3.5 調査実施位置

3.5 現場河川で調査を実施するための監督省庁への河川敷の一時使用届

現場で作業を実施するにあたり、中間川での調査については鹿児島県屋久島出張所へ電話で作業内容を説明するとともに、表-3.2 に示す河川一時使用届を提出した。また海岸や漁港での作業も想定し、屋久島町および屋久島漁業組合へも同様に電話説明および書類を提出した。

一時使用届は現地に携帯するとともに現地の参加者全員に内容を説明し、事故発生防止に努めた。

表-3.1 海岸の一時使用届（鹿児島県屋久島事務所への書類例）

海岸敷地の一時使用届

令和 4年 7月 26日

鹿児島県屋久島事務所
所長 ■■ ■■ 殿

開催団体代表：一般社団法人 水難学会 会長 斎藤 秀俊

所在地：〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1

長岡技術科学大学 物質生物系 斎藤秀俊研究室

TEL: ■■■■

開催責任者：一般社団法人 水難学会 事故調査委員会

委員長 犬飼 直之

長岡技術科学大学 社会基盤系 水圏防災研究室

TEL: ■■■■4

下記のとおり海岸敷地における一時使用を届出ます。

記

1. 使用日時 令和 4年 7月 28日から令和 4年 7月 29日
(主使用は7月28日午後～7月29日午前)
2. 海岸の名称 中間浜海水浴場および中間川河口
3. 使用場所 鹿児島県熊毛郡屋久島町中間 地先
4. 作業目的
水難事故の環境要因調査のため、海岸および河口付近における流れの平面構造を把握するとともに、人間の泳力との関係を考察することで、事故の発生原因を考察する。
また、既往調査結果とあわせて考察することで、同様な条件で発生する水難事故の発生防止のための知見を深めることを目的とする。
5. 作業内容

表-3.1 海岸の一時使用届（鹿児島県屋久島事務所への書類例）

作業内容は以下の通りとする。

（犬飼の研究調査だけでなく、海上保安庁への調査協力時の実施方法と同じです）

1) 水深の簡易計測

巻き尺を用いて、海岸付近における数本の岸沖方向測線に沿って水深を計測する。

2) 流況計測

人体および環境へ無害な水面着色剤（添付図に示す海面着色剤 KW1）を用いて、河海岸における離岸流や河口流出流などの流線を可視化し、UAV（添付図に示す DJI Phantom 2）で空撮をおこなうことにより、流線および流況を記録する。水面着色剤は領域内で消散するように極少量を散布し、下流に影響が出ない様に注意する。

また、直読式流速計を用いて、調査領域内の複数個所で流速を計測する。

3) 可視化した流れの上空からの把握および陸上地形把握

UAV（添付図に示す DJI AIR 2S）で作業領域を空撮する。

6. 使用面積及び使用人員

作業員数は 5 名程度。

添付図のとおり、中間川河口を中心に、海岸から 78 号線中間川橋梁までの南北方向に約 250m、東西方向に約 120m の領域の約 30,000 m²。



7. 施工（実施）者

水難学会 事故調査委員会 委員長 犬飼直之
 （長岡技術科学大学環境社会基盤系 准教授）

表-3.1 海岸の一時使用届（鹿児島県屋久島事務所への書類例）

8. その他

1) 連絡先

水難学会 事故調査委員会 委員長 犬飼直之

（長岡技術科学大学環境社会基盤系 准教授）（携帯電話：■■■■）

2) 調査は主に陸上および水面上でおこない、潜水器材（エアタンク）を使用した潜水は行わない。

3) 調査場所付近に「調査中」の掲示をおこない、第三者への周知を図る。

4) 調査中は、見張り員を配置し、第三者に注意喚起し、接近船舶などに留意する。

5) 実施上の留意点

- ・作業（調査）を実施する者は、水難救助技術を有している者に限定する。
- ・水辺に近づく者は、必ずライフジャケットを着用する。
- ・通信手段として、各自所有の携帯電話を利用する他、無線機を必要数準備する。
- ・調査場所は地元住民の生活の場であることを意識して行動する。
- ・調査区域接近者（第三者）に対して、「調査中」の掲示をおこなうと共に、警戒する要因を指名し、専任配置する。水面上においては、万が一接近する船舶等があれば警戒要員から無線機にて連絡し、必要に応じて作業員を退避させる。
- ・提出した「使用届」一式を現場に携行し、本書記載の安全対策をあらかじめ全作業員に周知徹底する。
- ・作業にあたっては「国土交通省航空局の無人航空機の安全な飛行のためのガイドライン」を遵守する。

○操縦者は「無人航空機の飛行に係る許可・承認者」に記載のものとする。

○飛行範囲は目視内とする。

○道路などへは定められた距離までしか接近しない。

○飛行中、UAV が落水した場合には、責任をもって回収する。

○第三者の上空では飛行させない。

○雨天時は飛行させない。

○バッテリーの関係上、1回の飛行時間は30分程度とする。

6) 中止基準

作業の中止基準を以下のように定め、これを遵守する。

○作業区域内において事故等の不足の事態が発生した場合。

○気象・河川水位・ダム放流情報に関する注意報などの発令に留意し、次の状況時には作業を中止する。また、これ以外でも状況に応じて中止する。

風速：10 m/s 以上、ダムなどの放流情報発表時、視界：1,000 m 以下

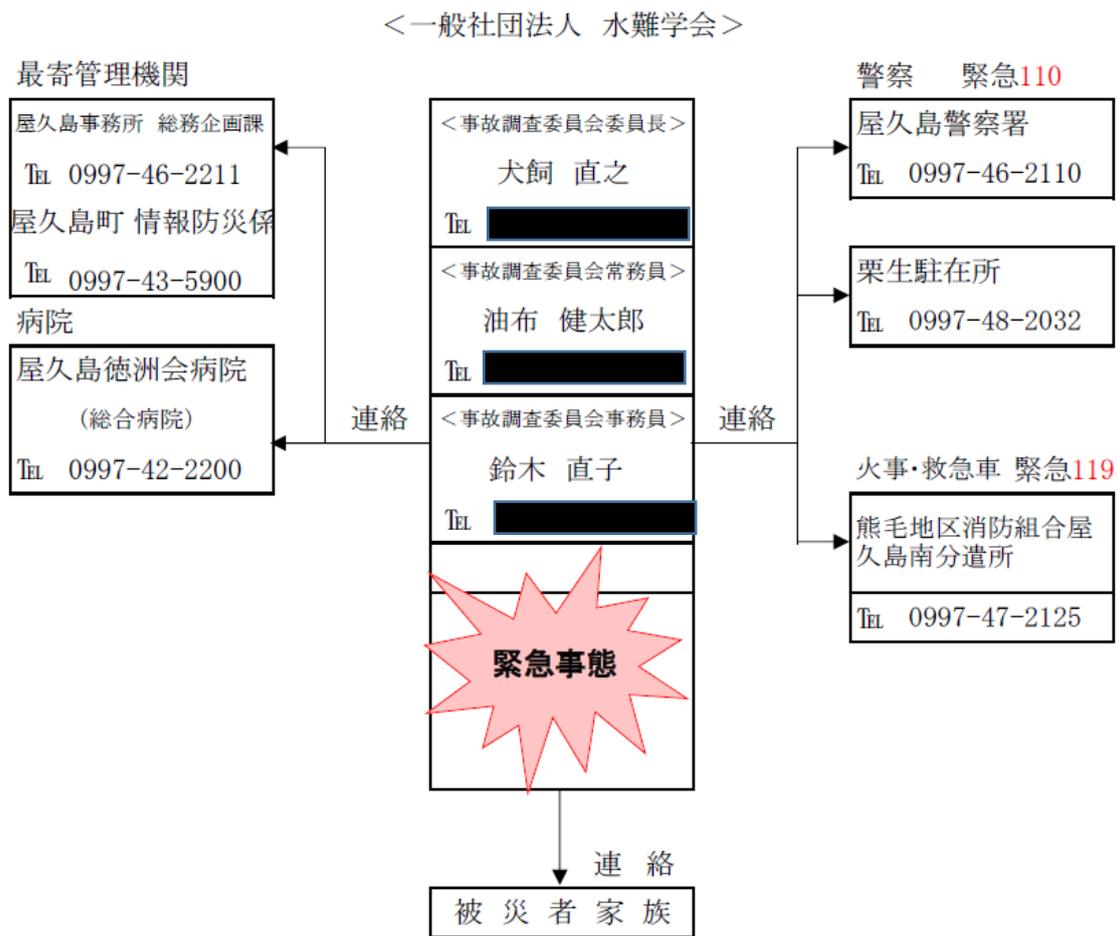
○現場責任者（犬飼直之）が危険と判断したとき。

○所轄事務所（鹿児島県屋久島事務所および屋久島町）から指示があった場合。

表-3.1 海岸の一時使用届（鹿児島県屋久島事務所への書類例）

7) 緊急時連絡系統図

調査中に緊急事態（人身事故・物的事故）が発生した場合は、人命尊重を第一とし、二次災害の発生を防止するよう努めるとともに、下記の緊急時連絡系統図に基づいて、緊密な連絡を取り現場保全に努める。



8) 従事者名簿

氏名	学会役職	電話	住所	所属
犬飼 直之	事故調査委員会委員長	[Redacted]	[Redacted]	長岡技術科学大学 准教授
安倍 淳	事故調査委員会理事			(株)朝日海洋開発
油布健太郎	事故調査委員会常務委員			由布市消防本部 湯布院出張所
鈴木 直子	統括指導員			横浜市立みなと赤十字病院

ほか 数名

表-3.1 海岸の一時使用届（鹿児島県屋久島事務所への書類例）

添付資料

1. 事故調査場所

中間川河口および中間浜海岸



2. 使用水面着色剤（興亜化工株式会社 海面着色剤 KW1）

海面着色剤 KW1

国土交通省型式承認番号 No.3798

寸法及び重量：90mm×110mm×35mm 150g(収納時)

《性能》

水面着色時間：2時間以上

色：黄緑

視認可能距離：上空約1,500m 距離7km

距離：7 km

着色面積：500㎡

本体保証期間：5年6ヶ月

船舶救命設備規則適合品



表-3.1 海岸の一時使用届（鹿児島県屋久島事務所への書類例）

3. UAV ドローン (DJI AIR 2S)



4. 無人航空機の飛行に係る所有者・機体・使用者情報

所有者、機体、使用者の各種登録情報の確認を行います。

所有者情報	機体情報
法人番号	機体ステータス
企業・団体名	登録済
代表者氏名	登録記号
本店又は主たる事務所の所在地	製造区分
担当者氏名	メーカーの機体・改造した機体
担当者フリガナ	製造者名
担当者住所	DJI
担当者部署名	型式名
担当者電話番号	DJI AIR 2S
担当者メールアドレス	機体の種類
	回転翼航空機（マルチローター）
	製造番号
	リモートID有無
	あり（内蔵型）

表-3.1 海岸の一時使用届（鹿児島県屋久島事務所への書類例）

使用者情報	
使用者種別	法人の方
法人番号	[REDACTED]
企業・団体名	国立大学法人長岡技術科学大学
代表者氏名	[REDACTED]
本店又は主たる事務所の所在地	日本 新潟県 新潟県長岡市上富岡町1603-1
担当者氏名	[REDACTED]
担当者フリガナ	[REDACTED]
担当者住所	日本 新潟県 新潟県長岡市上富岡町1603-1
担当者部署名	環境社会基盤系
担当者電話番号	[REDACTED]
担当者メールアドレス	[REDACTED]

5. 離岸流調査イメージ

(赤色スーツの着色剤散布者から左奥方向への線状の緑色の海水が可視化した離岸流)
散布後 20 分程度で消滅.



3.6 無人航空機の飛行に係る許可書

本調査では UAV（無人航空機）を使用した、全国で飛行の禁止空域でも飛行できるように国土交通省から許可を得ている⁶⁾。調査時には許可書を携帯し、必要であれば直ちに掲示できるように準備した。表-3.3 に許可書を示す。

表-3.2 UAV（無人航空機）の飛行に係る許可書

東空運第14144号

無人航空機の飛行に係る許可書

長岡技術科学大学
環境社会基盤工学専攻・准教授 犬飼直之 殿

令和2年10月5日付をもって申請のあった無人航空機を飛行の禁止空域で飛行させることについては、航空法第132条第2項第2号の規定により、下記の無人航空機を飛行させる者が下記のとおり飛行させることについて、申請書のとおり許可する。

記

許可事項： 航空法第132条第1項第2号

許可の期間： 令和2年10月9日から令和3年10月7日

飛行の経路： 日本全国（飛行マニュアルに基づき地上及び水上の人及び物件の安全が確保された場所に限る）

無人航空機： DJI製PHANTOM 2 VISION+

無人航空機を飛行させる者： 犬飼直之、山本浩

条件：

- ・申請書に記載のあった飛行の方法、条件等及び申請書に添付された飛行マニュアルを遵守して飛行させること。また、飛行の際の周囲の状況、天候等に応じて、必要な安全対策を講じ、飛行の安全に万全を期すこと。
- ・航空機の航行の安全並びに地上及び水上の人及び物件の安全に影響を及ぼすような重要な事情の変化があった場合は、許可等を取り消し、又は新たに条件を付すことがある。
- ・許可の期間において3ヶ月ごと及び許可の期間終了後に、飛行実績を報告すること。

令和2年10月9日

東京航空局長 吉田 耕一郎

表-3.2 ここまで

3.7 所轄消防への聞き取り調査（救助活動中の様子の把握）

溺水者の救助時の状況をお伺いするために、管轄である熊毛地区消防組合屋久島南分遣所へお伺いした。これにより、118番通報などの時間などを確認した。

公開されている記録によると救急入電は17時14分であり、現場への到着は17時32分、搬送先病院への到着は18時13分であった。

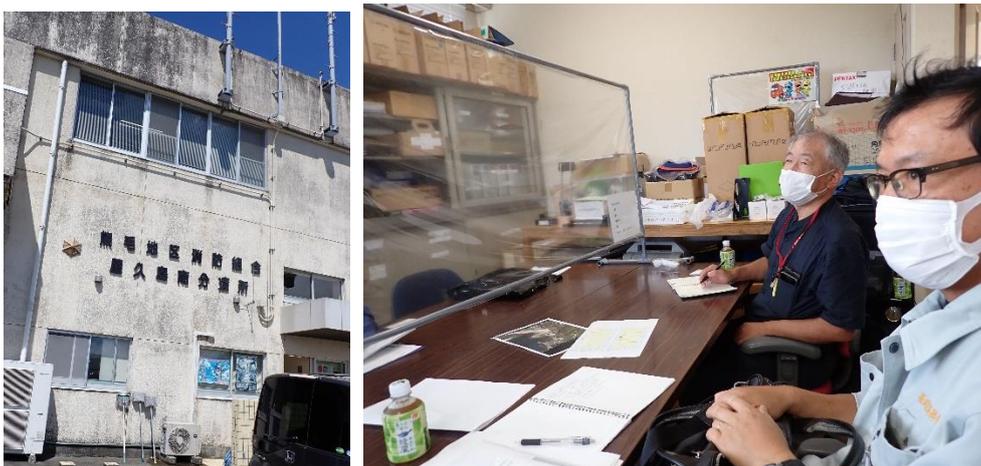


写真-3.1 消防への訪問時の状況

3.8 調査場所の様子

調査日は台風接近中であるにもかかわらず、天候と波浪・河川状況に恵まれ、気温は若干高めであったが、調査実施には良好な状況であった。県道上から撮影した調査場所を示す。写真に示すように、事故現場付近は中間川河口であり、河口を背に右手方向が砂浜海岸である中間浜海水浴場、左手方向が岩礁を利用した中間漁港となっている。

本調査では、事故発生から2年が経過してはいるが小さい集落であることや女兒が溺水した痛ましい事故であることから、住民の心象を配慮して活動をおこなった。



写真-3.2 中間川河口左岸から河口および右岸の海岸方面



写真-3.3 県道 76 号線中間川橋梁から中間川河口および海岸方面



写真-3.4 県道 76 号線中間川橋梁の中間川左岸から中間川上流方向（右岸側石階段が河川敷に降りた推定場所）

3.9 主な使用機材

調査で使用した主な調査機材を示す。

図-3.6 は航空写真の撮影に使用した UAV 無人航空機である。図-3.7 は流れを可視化するために使用した着色剤である。水中で濃い緑色に変色するが、生物には無害な成分を使用している。



図-3.6 無人航空機 (DJI AIR 2S)



海面着色剤 KW1

国土交通省型式承認番号 No.3798

寸法及び重量：90mm×110mm×35mm 150g(収納時)

《性能》

水面着色時間：2時間以上

色：黄緑

視認可能距離：上空約1,500m 距離7km

距離：7 km

着色面積：500㎡

本体保証期間：5年6ヶ月

船舶救命設備規則適合品

図-3.7 水面着色剤 (興亜化工株式会社 KW1)

3.10 調査内容および作業状況

調査時には、下に示す項目について実施した。

- ・現場の状況記録のための写真および動画の撮影。
- ・事故時救助に携わった所轄消防からの事故発生時および発見時などの状況聞き取り。
- ・現場領域へ流入する河川の幅および代表流速の計測。
- ・事故発生現場付近に生成する砂州の地形および水深変化状況把握。
- ・砂州の水底状況撮影および底質採取。
- ・砂州で発生した事故の再現および動画記録
- ・UAV 無人航空機を用いた航空写真撮影による地形や流況把握。

など



図-3.8 調査例

(1) 捜索及び救助活動をおこなった漁業組合関係者および区長への聞き取り調査

現地調査にあわせ、事故時に捜索活動および救助活動をおこなった漁業組合の関係者と、中間地区の区長にお越しいただき、事故当時の状況をお聞きした。

それによると、児童は当初複数で中間地区の集落内で遊んでいたが、そのうちに河川へ降りる階段を下り河川横までいき、入水して溺水したとこのことである。入水した理由に

については他の児童も年少であることなどから詳細を説明することができないことから、状況判断をすると、サンダルなどが流されたためにそれを回収するために入水した可能性が高いと考えられる。その後、溺水した児童をみて他の児童が集落の大人に助けを求めに行き、それを受け集落の人間やたまたま居合わせた漁業組合の関係者が捜索をおこなったとのことである。そののち、漁業組合の関係者が中間漁港の突堤先までいき河口を含めた海域を目視で捜索したところ、突堤のすぐ横の河口から約 50m の位置に児童がうつ伏せで漂流しているのを発見し、中間漁港に停泊させていた船外機付きの小型船舶で児童を救助、中間漁港の船着き場へ輸送・回収したとのことである。

通報を受けた消防はここで児童を引き取り病院へ搬送したとのことである。

図-3.10 に、聞き取り調査から把握した事故発生場所および発見場所を示す。



写真-3.5 溺水者を捜索・救助した漁業組合員への聞き取り調査状況および現場の状況（中間漁港防波堤上。写真背後の橋梁下が中間川河口。児童は写真左側の河口から沖合約 50m 地点で発見された）



写真-3.6 中間地区長への聞き取り調査状況（中間漁港防波堤上）



図-3.10 聞き取りから判明した推定落水場所および発見場所

(2) 調査活動状況

現場では、まず関係すると思われる領域の状況を写真撮影して記録をした。その際には、地上からの写真撮影だけでなく、無人航空機（UAV）を使用して上空からも撮影をお

こなつた。上空から撮影した写真は、解析時に領域全体の地形情報であるオルソデータを作成した。

次に関係者への聞き取り調査で把握することができた集落から河口先の発見場所までの領域を踏査しつつ、場所ごとの地形状況や、水深・流況などを把握した。

地形状況の把握では、被験者が入水したことで足元の堆積砂が崩壊しバランスを崩す状況を水面上や水中から撮影記録した他、堆積砂を採取した。採取した砂は解析時に中央粒径などを把握し、堆積砂の崩壊しやすさなどを把握した。

最後に河口付近で水難事故に対応する訓練を受けた水難学会会員が入水し、背浮きの状態で漂流する実験をおこなつた。実験時には無人航空機（UAV）で上空から被験者が漂流する状況を記録した。解析時に漂流経路や規定時間間隔ごとの移動距離を算出し、各場所での平均流速や流向などを把握した。

この海域では潮位差が比較的大きいことが考えられることから、事故時と調査時の潮位を把握した。潮位は種子島の西之表の潮位変化が屋久島でも同様に把握できることを確認しているので、事故日と調査日の西之表の潮位変化を示す。図より、事故発生時には下げ潮時であり、児童発見時の夕方にはほぼ干潮時であったと考えられる。これにより中間川の河口付近でも海水面が低下し、海岸地形が沖側へ前進していたと考えられる。

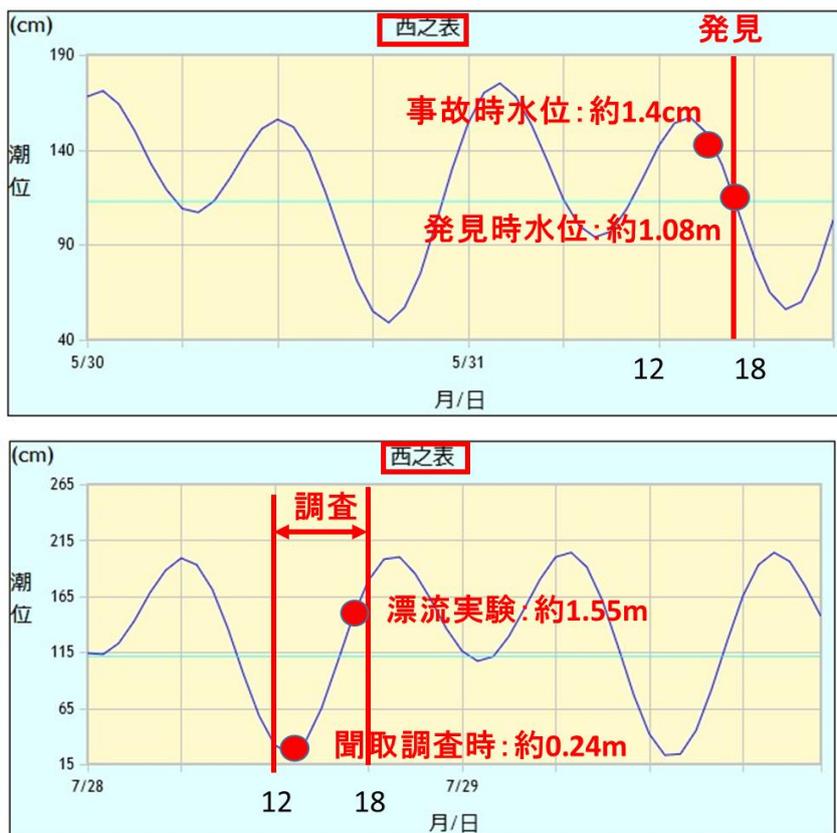


図-3.11 事故時および調査時の潮位時間変化（上：2020年5月31日事故日、下：2022年7月28日調査日）

図-3.12 に UAV で撮影した河口沖側から中間川河口方向の画像を示す。図中左側が、児童が居住していた集落である。

図-3.10 より集落から中間川へ階段を降りて川辺に行き、何らかの理由で落水したと考えられる。写真-3.7 に、集落から中間川へ降りる階段を示す。図中、写真左上が児童が居住していた集落である。写真-3.8 に階段下の川辺を示す。写真撮影時は上げ潮時で、事故時よりも約 0.4m 程度水位が上昇しているが、川沿いの岩場および砂場を經由して県道橋梁下をくぐり河口へ移動することが可能な状況であった。

図-3.13 に階段前の水中の地形変化状況を示す。図より、階段下の河川内は岩場であり、数歩先までは大人の膝下の水深であるが、1歩先では水深 1m 以上となり急激に水深が変動する。この辺りは河川内ではあるが河口に近いことで潮汐の水位変動の影響を受ける感潮帯であり、事故発生時にはこれよりも約 0.1m 程度水位が低かったと考えられるが、それでも急激に水深が変化する場所では 0.9m 程度の水深であり、児童では足を水底に着底させて呼吸を確保できる水深ではないと考えられる。この場所でも河川水は流下しており、もしこの場所で落水して浮遊した場合にはそのまま漂流し下流方向へ流下する可能性がある。よってこの場所で事故が発生した可能性がある。

また、写真-3.9 および写真-3.10 に階段から約 35m 下流にある河口砂州の状況を示す。写真よりこの場所では砂州が急勾配で堆積しており、人が足を踏み入ると自重で簡単に崩壊する状況であった。この場所では図-3.14～図-3.16 に示すように、陸上から1歩川中方向へ足を踏み出すだけで砂州は自重で崩壊し（図-3.14）、それによりバランスを崩して落水した（図-3.15）。またそのときの水中の様子を図-3.16 に示す。

更にこの堆積砂が限界まで形成することができる勾配である安息角を把握するために砂を採取した。写真-3.11 に砂の採取状況を示す。



図-3.12 中間川河口付近の海岸状況



写真-3.7 聞き取りから判明した推定落水場所および発見場所（2022年7月28日16時45分）



写真-3.8 中間川へ降りる階段下（2022年7月28日16時50分）



図-3.13 階段下の河川内の水深変化状況 (2022年7月28日16時49分)



写真-3.9 河口砂州の形成状況 (2022年7月28日16時52分)



写真-3.10 砂州における実験状況



図-3.14 砂州で陸上から水中方向へ1歩足を踏み出した状況



図-3.15 砂州の斜面が崩壊してバランスを崩し、水中へ落水した状況

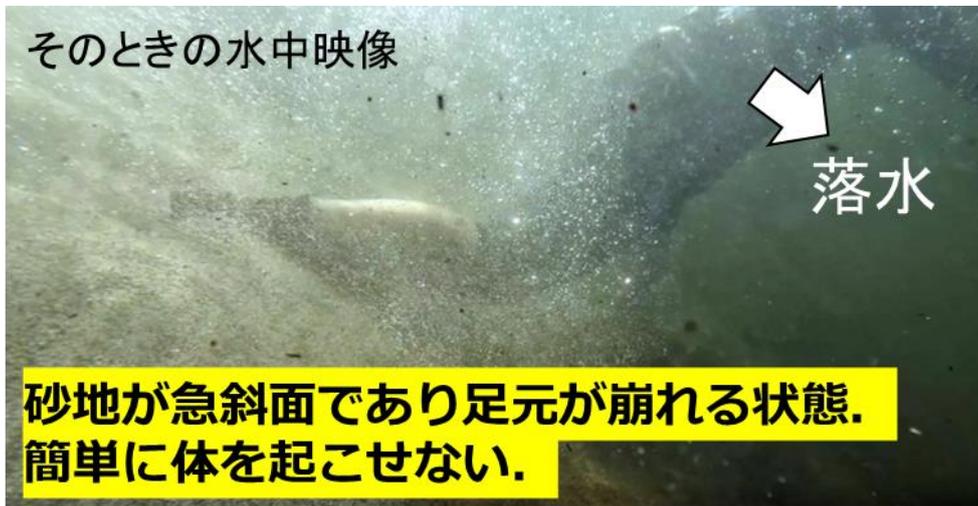


図-3.16 斜面が崩壊しバランスを崩して落水中を水中から撮影



写真-3.11 砂州の採取状況

(3) 落水後の漂流実験

児童は事故後の捜索で、河口から沖合 50m の場所で発見されたことから、落水後に漂流しつつ発見場所まで移動したと考えられる。そこで、ここでは落水後に発見場所まで漂流する可能性の有無や、漂流した場合の所要時間や漂流経路を把握するために、人体による漂流実験をおこなった。ここでは水難事故に対応する専門の訓練を受けた水難学会指導員が被験者となり、砂州の河口側から背浮きで漂流し、それを無人航空機 (UAV) で空撮することにより経過時間ごとの位置を記録して、各場所での平均移動速度などを把握した。

図-3.17～図-3.19 に、連続映像記録から、漂流開始場所からの経過時間と被験者の場所を示す。図より、20 秒ごとに約 4～5m 漂流し、3 分程度で約 40m 以上漂流した。

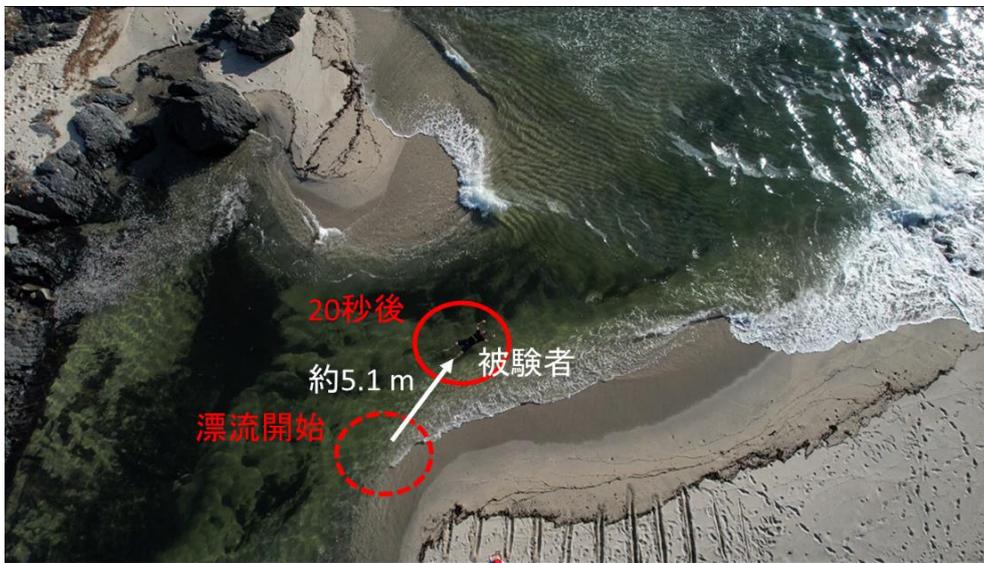


図-3.17 事故水域の河川流の概況

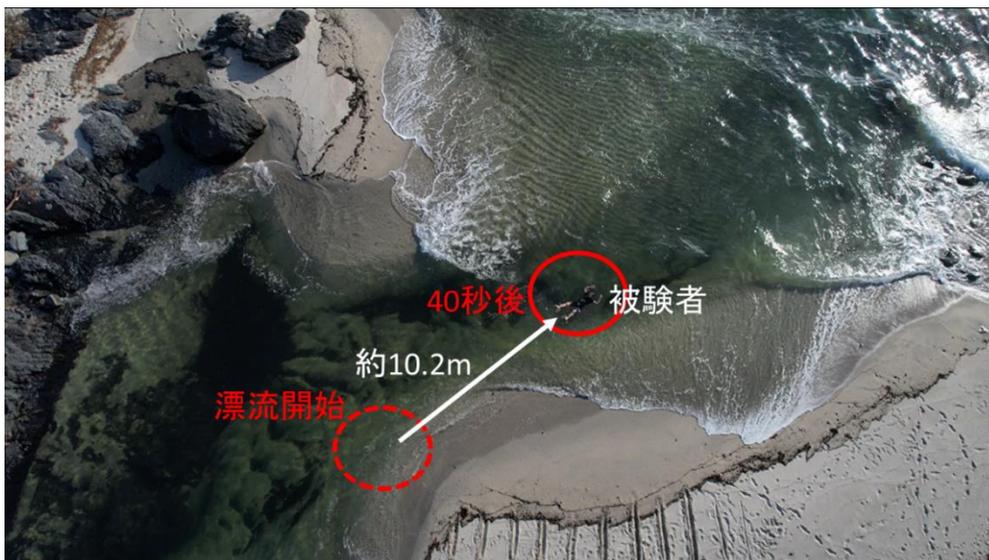


図-3.18 事故水域の河川流の概況

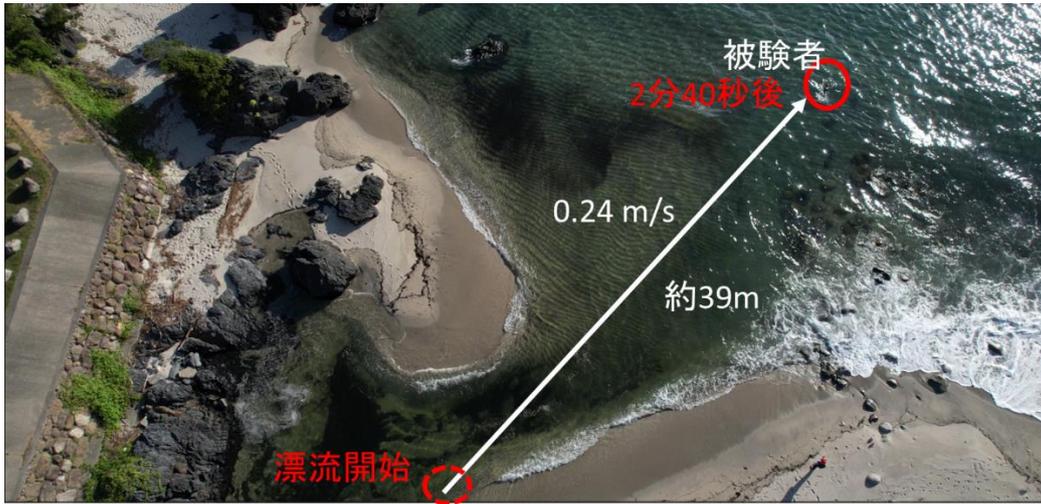


図-3.19 事故水域の河川流の概況

3.11 調査まとめ

調査で得た結果を下に示す。

事故は中間川の河口近くで発生し、児童は河口から海方向へ約 50m の沖合で発見された。事故発生場所は中間集落の近くであり、集落から川へは階段があり児童でも川へ降りることができる状況であった。

現場の河口は感潮帯であり、潮汐の満干により水位が上下し、干出面積が変化する。事故時の水位は下げ潮時であり、水位低下により、川横が干出しており、階段下から県道の橋梁をくぐり河口方向へ徒歩移動が可能な状況であった。

階段下の地形は岩礁であり、35m 下流では河口砂州が発達する。階段下の岩礁では 1 歩踏み出ただけで約 1m 水深が増大する地形であった。また、河口砂州でも崩壊しやすい砂の斜面であり、1 歩踏み出すと斜面が崩壊しバランスを崩してそのまま落水しやすい地形であった。

漂流実験により、河口付近で漂流を開始した被験者は、河川流出流により河川域から海域へ流出し、3 分程度でも約 40m を漂流移動した。

4. 地形情報の作成および地形特徴・流況の把握

4.1 取得した地形情報

現地調査では、UAV の上空からの撮影により陸上地形画像を取得し、それらの情報から地形の数値情報を作成した。

4.2 陸上地形情報の作成

無人航空機 UAV で取得した複数の航空写真を使用してオルソ画像を作成した。ここでは Agisoft 社の Photoscan を作成した⁷⁾。なお、オルソ画像とは、写真上の像の位置ズレをなくし、空中写真を地図と同様に真上から見た様に、傾きのない正しい大きさと位置に表示される画像に正射変換したものである⁸⁾。また、オルソ画像は、写された像の位置および形状が正しいため、地理情報システム (GIS) や地図データなどと重ね合わせて利用することが可能な地理空間情報である⁹⁾。

図-4.1 に、無人航空機の撮影により取得した航空写真を示す。また、図-4.2 に作成した領域のオルソ画像を示す。

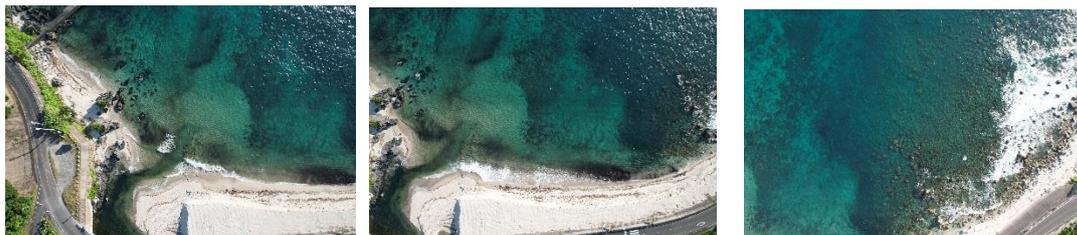


図-4.1 無人航空機で取得した画像例

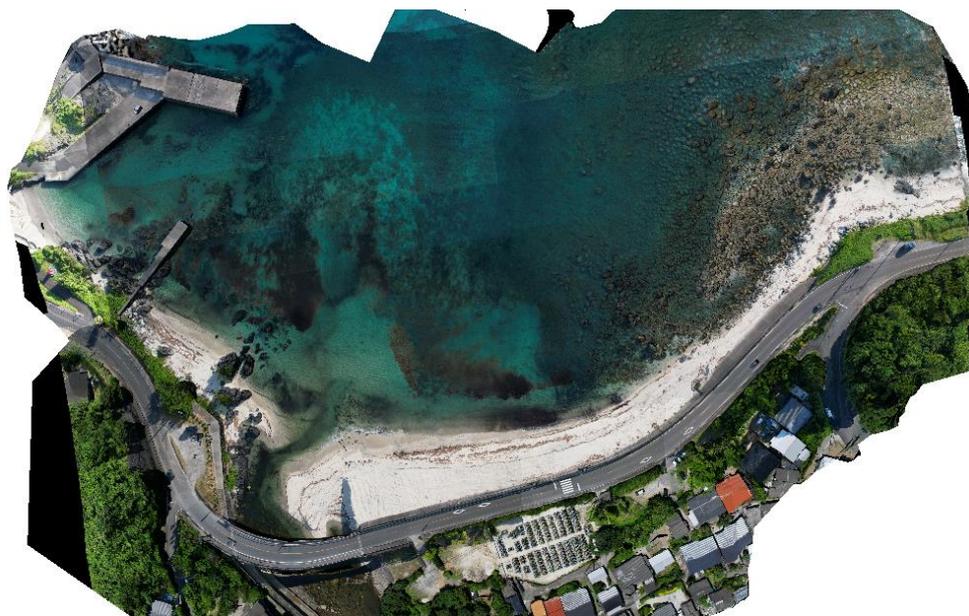


図-4.2 作成した調査領域のオルソ画像

4.3 作成した地形情報を用いた地形特徴の把握

作成したオルソ画像および他時間に撮影した画像から、時間ごとの汀線の変化状況を把握した他、漂流実験時の一定時間経過後の場所を追記し、漂流経路や各場所の流速などを求めた。

(1) 調査日の干潮および満潮・漂流実験時の汀線位置の把握

図-4.3 に調査日の干潮時および上げ潮時の汀線位置を示す。図より、この海域では調査日でも潮位の変化が生じており、正午頃の干潮時の汀線は、夕方撮影した上げ潮時の汀線よりも約 40m 程度海側へ移動している。また、満潮時における汀線位置からは約 60m 程度移動している。このように、この海岸では潮汐による水位の変動が大きいことがわかる。



図-4.3 現場海岸での干潮時および上げ潮時の汀線位置 (2022年7月28日、干潮時：11時43分、上げ潮時：17時35分)

(2) 調査時の汀線位置および事故時の汀線位置の把握

図-4.4 に事故時の汀線位置と、漂流実験時の汀線位置を示す。事故時の位置は、漂流実験時と実験日干潮時の汀線位置と潮位の関係から推定した。図より、事故時の汀線位置は実験時の汀線位置よりも約 20m 程度沖側であったと考えられる。

この場合でも干出場所における河川の地形および流況は同一な開水路の様になっていることから流出流の流況に大きな差異は生じないと考えられる。



図-4.4 現場海岸での満潮時干潮時の汀線位置と、事故時および実験時の汀線位置の関係

(3) 河口砂州付近の流速把握

調査時の漂流物の移動状況から各場所における流速を把握した。図-4.5 に砂州横での漂流物の状況を示す。図では、水面の水泡が6秒間で約0.5mした。これより、この場所での大よその流速は0.08m/sであることがわかる。

同様に橋脚下での流速を漂流物の移動時間から測定した。その結果、ここでは約0.2m/sであることが分かった。



図-4.5 砂州前面にでの流速の把握（6秒間で約0.5m移動した）

(4) 河口から沖合への流況把握

水難学会会員が入水して漂流する状況を無人航空機で上空から記録した情報から、漂流経路や規定時間間隔ごとの移動距離を算出し、各場所での平均流速や流向などを把握した。ここでは、20秒ごとの被験者の位置を把握した。

図-4.6に、漂流実験による流下経路と区間ごとの平均流速を示す。図より、被験者は河口から流出した後は、海岸から鉛直方向にまっすぐ沖合に向けて漂流した。

20秒ごとの移動距離はおおよそ4~7mであり、砕波帯付近では2m程度の移動距離となった。また、区間ごとの平均流速は0.23~0.26m/s程度、最大で0.4m/s、最小で0.1m/s程度であった。漂流実験では、河口の実験開始場所から3分間で40m以上を移動しており、漂流者が河口付近に到達した場合には、この時間で40m以上を移動することを確認した。

漂流実験ではここまでの移動しか確認していないが、河口流出流は通常は沖へ出ると減衰することから流速は減少すると考えられる。

また、事故発生現場が階段下であった場合には、河口から更に約 40m 上流側から流下する必要がある。この場合、河川内の流速を 0.1m/s と仮定すると、40m 移動するのに 6 分 40 秒程度の時間が必要である。よって、もし階段下で事故が発生した場合には、河口までの 40m を流下し、更に河口から沖へ 40m 流出する時間は、合計で約 10 分程度であると考えられる。

事故日は前日午後から当日午前中までの降雨の影響で多少水位および河川流速が若干増大していたと考えられることから、流速が実験時よりも若干大きかったと考えられ、事故発生場所から沖合 50m の発見場所までもう少し早い時間で移動したと考えられる。

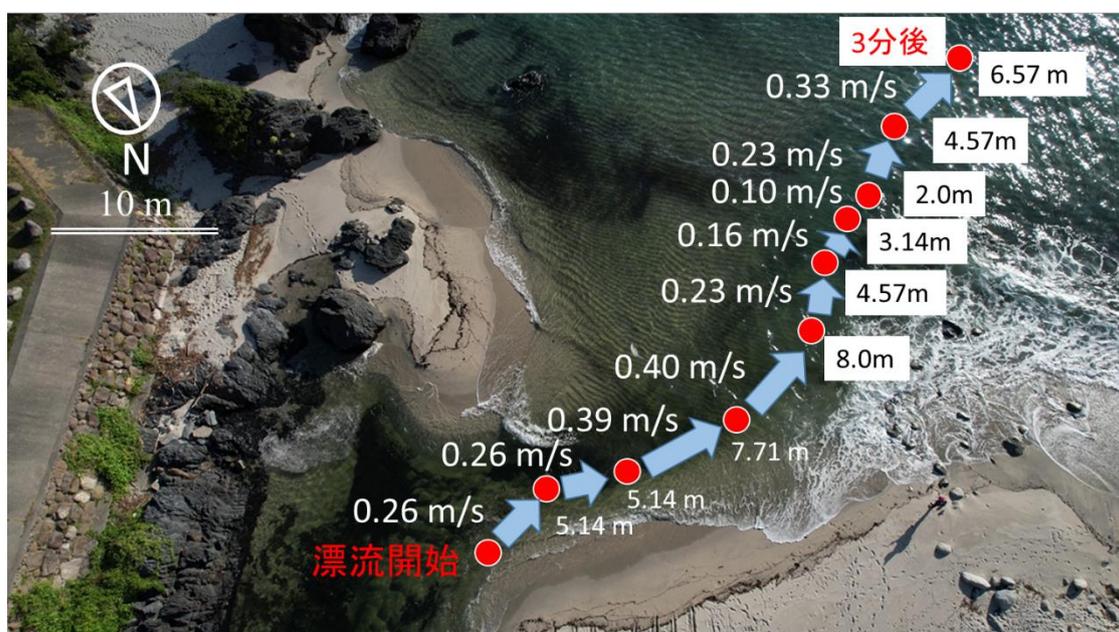


図-4.6 漂流実験による流下経路と区間ごとの平均流速

4.4 事故発生場所の砂州の斜面形成角度の把握

現地調査時には、事故発生場所と考えられる砂州の地形状況を把握している。その結果では、写真-4.1 に示すように川岸から見た砂州は水底が見えるほど透明度が高く、水底地形を遠くまで目視で把握することができる。しかし、写真-4.2 も含めて、汀線付近では水際から急勾配の砂の斜面となっていることがわかる。図-4.7 によると、勾配は 34 度であった。

調査時の実験では、この斜面に 1 歩足を踏み込むと斜面が崩壊し、身体のバランスが崩れながらそのまま水中へ落水することが確認された。

ここでは砂州の堆積砂がこれだけ脆い理由を考察するために、現地で採取した堆積砂を用いて粒径加積曲線を求め粒度分布および中央粒径を把握し、それから限界勾配である安息角などを図表や計算などで把握した。図-4.8 および図-4.9 に、採取した堆積砂を示す。図より、本州などの海岸と同様な色彩および粒径をした砂であり、珊瑚の成分は少ないように見える。また粒径も本州などの海岸砂と比較して若干大きいように見えるが、ほぼ同様な大きさの粒径であるように見える。図-4.10 に堆積砂の粒径加積曲線を示す。図より、中央粒径は約 1.35mm であり、海岸砂としては一般的な大きさの粒度分布であった。

この中央粒径の時の砂の水中の安息角を様々な手法で把握した。安息角とは、水底の斜面を崩れることなく維持することができる限界の角度をいう。図-4.11 は水中における安息角を求める曲線であり、中央粒径から安息角を把握することができる¹⁰⁾。図より、中央粒径が 1mm 程度の場合は、安息角は 29° から 34° 程度である。

また、計算で安息角（水中）を求める式も公表されている。Gibson によると、平均粒径と安息角の関係は次式で示される¹¹⁾。

$$\tan\phi = K_1 d_m^{0.125} s^{0.19} \gamma_1^{0.25} \quad (4.1)$$

ここに、

ϕ : 水中安息角（度）、 d_m : 平均粒径(mm)、 s : 砂の水中比重($s=\sigma/\rho-1$)、 σ : 砂の密度、 ρ : 水の密度、 γ_1 : 砂の最長径と最短径との比。 $\sigma=2.688$ (g/cm³) である。

計算では、例えば強い流れなど水を乱す状態を想定して、 $K_1=0.47$ 、 $S=2.688/1-1=1.688$ 、 $\gamma_1=1$ と仮定すると、式 (4.1) によると $\tan\theta$ は次式となる。

$$\tan\phi=0.47\times 1.4^{0.125} \times 1.688^{0.19} \times 1^{0.25} =0.54145 \quad (4.2)$$

したがって $\phi=28.2$ 度となる。

式中、 γ_1 は未定なので、数値を変化させて計算した。例えば、 $\gamma_1=1.5$ の時、 $\tan\phi=0.494267$ 、 $\phi=31.0$ 度であり、 $\gamma_1=0.5$ の時、 $\tan\phi=0.375562$ 、 $\phi=24.5$ 度である。また、水を乱さない状態を想定した $K_1=0.61$ でもそれぞれ計算をおこなった。

計算結果を図 4-12 に示す。図より、安息角は乱れがある状態では 24 度から 32 度の範囲、乱れない場合には 28 度から 38 度程度の角度であった。

以上より、砂州の斜面での安息角は計算上では最大でも約 38 度程度であると考えられる。図-4.6 によると、写真から取得した砂州斜面の角度は 34 度となっていることから、計算は正しい結果を算出していると考えられる。また、34 度という角度は乱れがない状態でのほぼ限界勾配である安息角に近い角度であることから、この場所では砂州の斜面勾配は底質を形成する砂が傾斜を維持するぎりぎりの角度である安息角であると考えられることができる。

最後に、図-4.13 に、底質の中央粒径の大きさに対応した流速と、侵食または堆積の傾向の関係を示す。図より、流速が 0.4m/s 程度以上では侵食傾向となり、流速が 0.07m/s 程度以下になると堆積傾向、その間は砂が輸送されることがわかる。現地では砂州のすぐ横では流速はほぼゼロであったが、1-2m 離れると流速は 0.1m/s であったことからこの場所ではほぼ堆積傾向の流速であることがわかる。これは常に漂流砂が含まれる場合には漂流砂は沈降し継続的に砂が供給され堆積することを示す。

堆積砂は通常は時間経過によって締め固まることから、水面の露出部分は通常はある程度の強度を持つ。もし侵食傾向の流速であった場合には締め固まった表面となるが、砂が継続的に供給される場所では、締め固まる砂の上に更に砂が堆積することで緩い状態で斜面を形成していると考えられる。これにより、足を踏み入れるとすぐに斜面が崩壊すると考えられる。



写真-4.1 河口砂州の形成状況 (2022年7月28日16時52分)

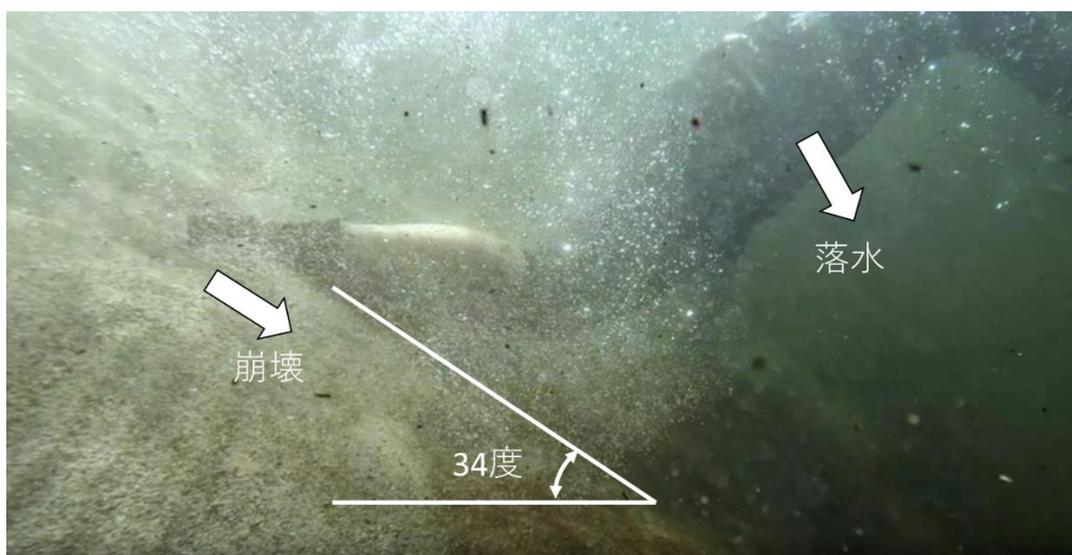


図-4.7 底質採取場所付近の水底の状況



図-4.8 採取した堆積砂の状況（自然乾燥後）

目視の粒径 = 1~1.5mm
(乾燥状態)

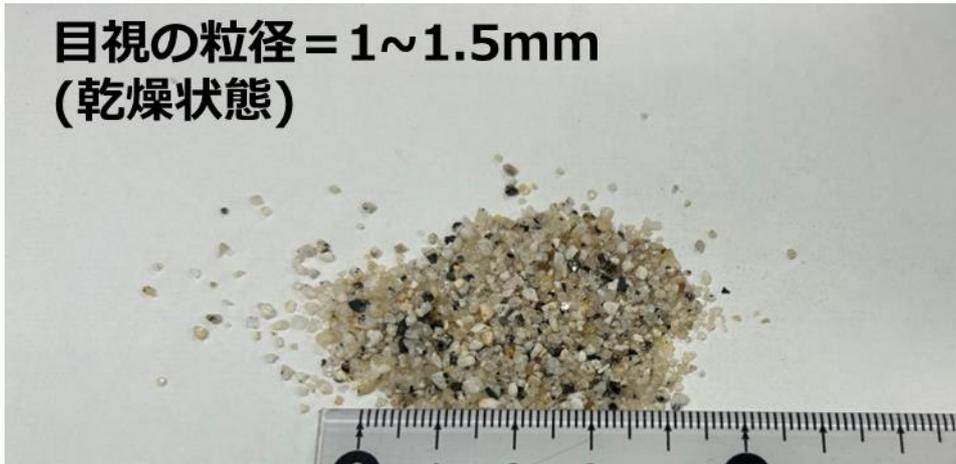


図-4.9 採取した堆積砂

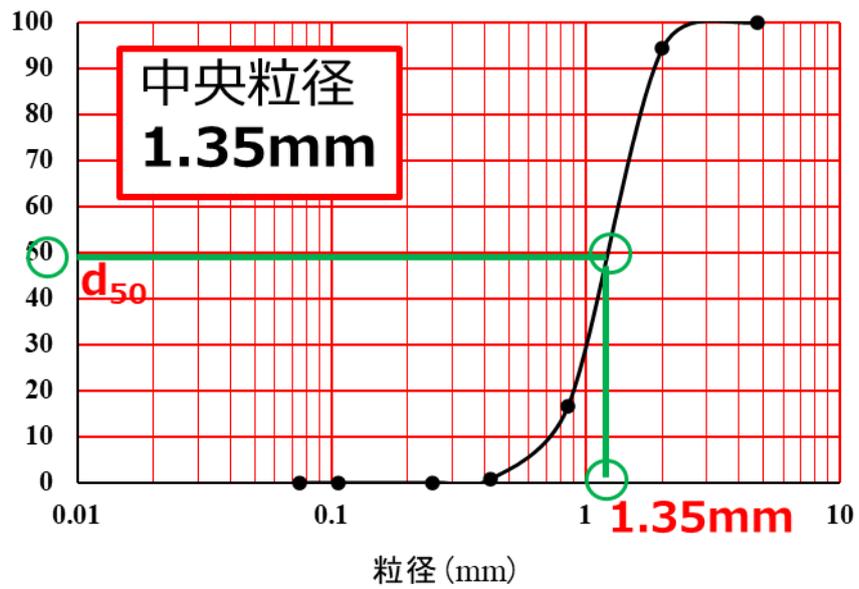


図-4.10 堆積砂の粒径加積曲線

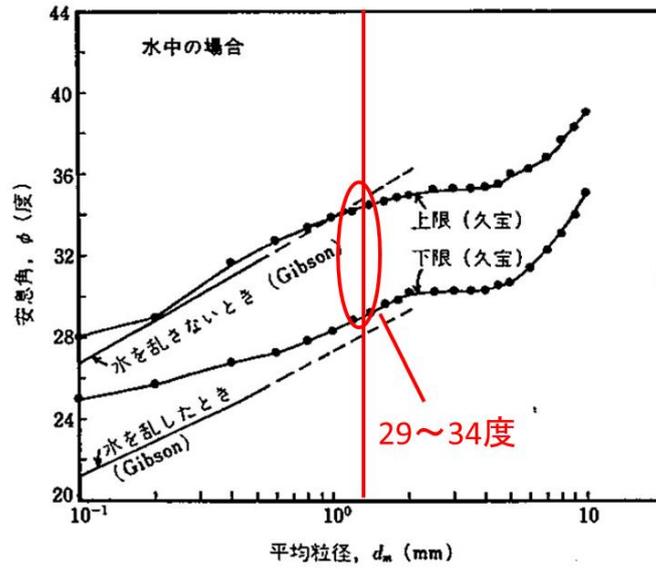


図-4.11 安息角（水中）と平均粒径の関係（一般的には 30～40°）

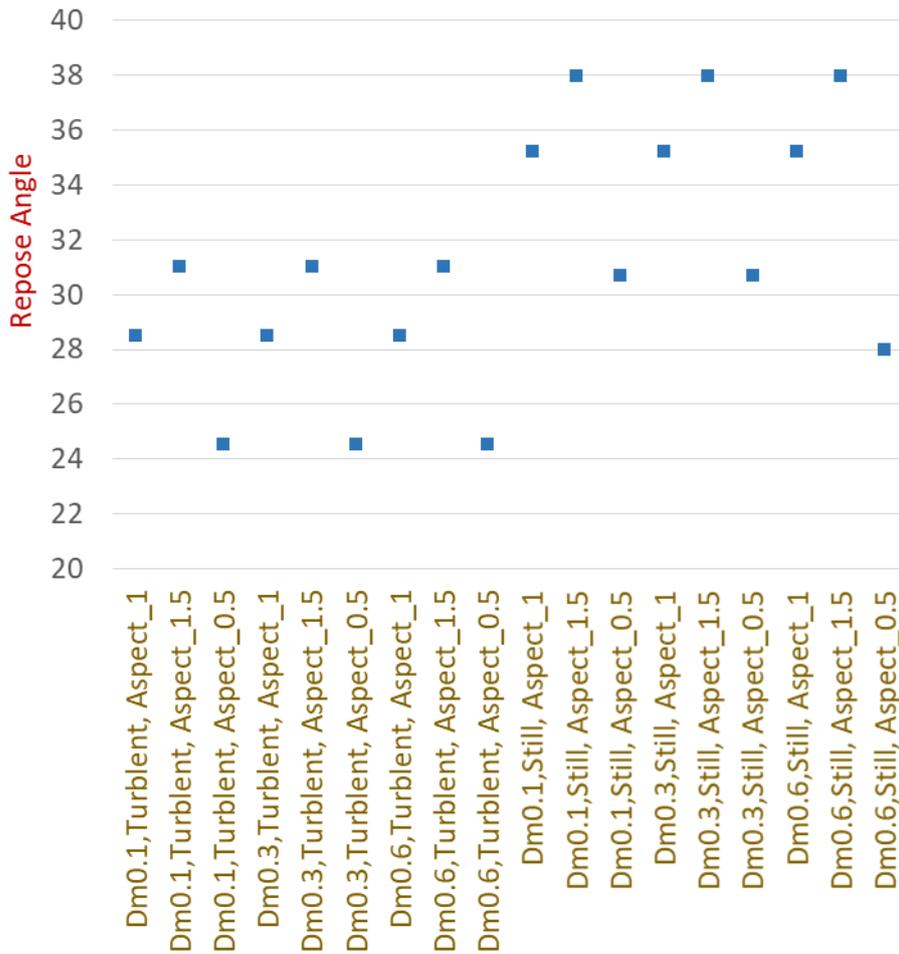


図-4.12 中央粒径および扁平率、乱流・層流の違いによる安息角の関係

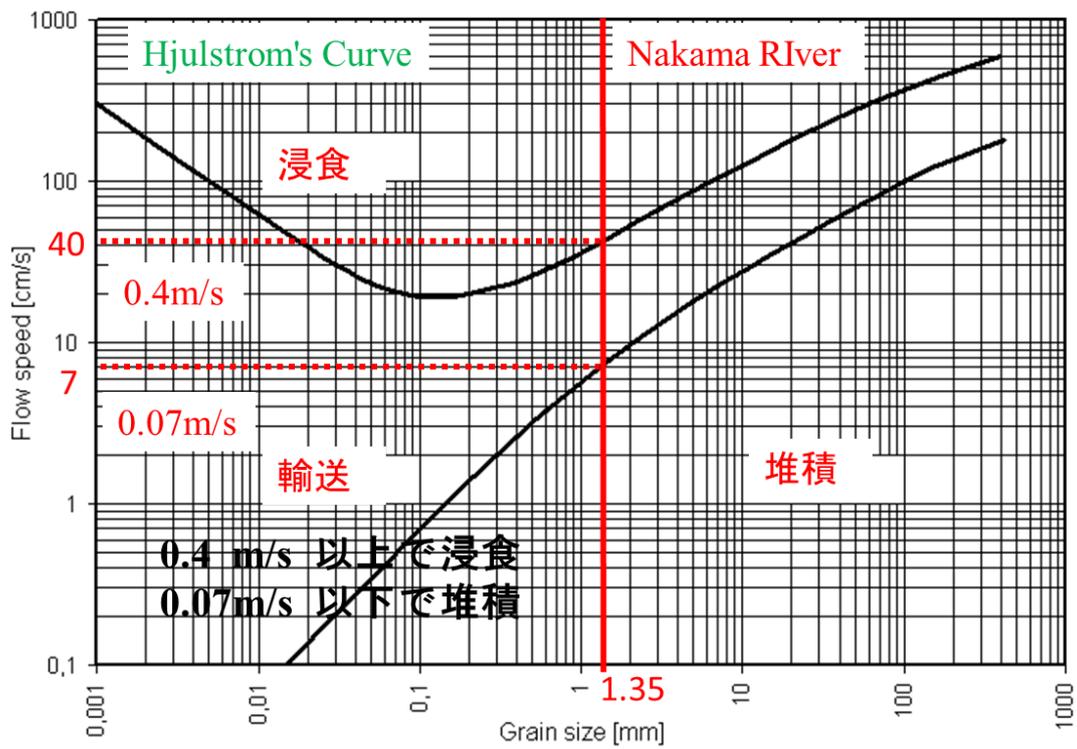


図-4.13 河川流速と砂の粒径から求めた浸食・堆積の関係 (Hjulstrom's Curve)

4.5 地形情報の作成および地形の特徴把握まとめ

また事故発生場所や発見場所などをまとめて確認できる、当該地域の地形情報を、調査時に取得した航空写真から作成した。更に干潮時や上げ潮時に汀線を撮影し、潮汐の水位変化による汀線変化の状況を確認した。

調査時と事故発生時の汀線の位置の違いを把握し、調査時は事故時よりも水位は約0.4m高く、事故時の汀線の位置は調査よりも約20m沖側であったことを確認した。

砂州の堆積砂の斜面角度を計測したところ34度であった。採取した堆積砂の中央粒径を計測した。その結果、中央粒径は1.35mm程度であり、海岸としては一般的な大きさであった。これより、この粒径に対応した安息角を図表や計算で把握した。その結果、安息角は28度～38度の範囲であり、現場はほぼ安息角の傾斜であることを確認した。

また、砂州から1・2m離れた場所での流速は0.2m/s程度であるが、砂州付近はほぼ停滞しており、砂州付近では漂流砂は堆積傾向であることを確認した。

これより、砂州の堆積砂は堆積傾向の安息角の斜面を形成していることとなり、この場合には砂は締固めの状態ではなく脆く崩れやすい状況であると考えられる。

5. 事故が発生する要因の考察

当該事故では、発生原因は溺水者は何かの理由で水辺に近づいたのが第一の原因であると考えられ、その後、落水し溺水したと考えられる。

事故現場と想定される場所の 1 か所は河口砂州であり、川岸から川の中央に向って延伸する遠浅の砂状の地形である。砂州先端部では水底勾配は比較的小さいが流速が大きく、砂州横では流れが停滞しているが水底勾配は大きい。この水底勾配は砂の粒径から限界勾配であると考えられ、更に堆積傾向の斜面であることから脆く崩壊しやすい状況である。そこへ 1 歩でも足を踏み入れると斜面は簡単に崩落し、身体は水中へ落水する。もし落水者が泳げなかったり呼吸するタイミングを間違えるとそのまま沈水してしまい、溺水に至る。

また、事故現場と想定される場所の 1 か所は河原へ降りる階段下であり、そこでは岩礁となっている。河岸から数メートルまでは遠浅であるが、そこから先は大きな段差状態となっており、1 歩進んだだけで約 1m の水深差となっている。ここでも児童であれば足が届かない水深であり、落水後は沈水する。この場合、もし泳げなかったり、呼吸のタイミングを間違えるとそのまま溺水に至る。

事故現場は河口部であり、河川部では河川流が、河口部から先は河口流出流が生成されている。もし落水者がそのまま漂流した場合、流れの影響でそのまま下流方向へ流下し、河口から海域へ流出する。もし階段下の場所で溺水・漂流したとした場合、発見場所の沖合 50m 地点付近までは最短で約 10 分程度で漂流すると考えられる。

これらの要因により、砂嘴先端部付近では事故が発生しやすいと考えられる。

6. 事故発生の防災策

以上までの内容により、事故発生を防止するためには、次の内容に注意する必要があると考えられる。

- (1) 水辺に児童だけでは近づかない。
- (2) 水辺に児童だけでは遊ばない。
- (2) 川沿い、および砂洲に沿って歩かない。
- (3) 急に深く見える場所では水に立ち入らない

また、もし流された場合にはそれに対処できるための背浮きなどのスキルを取得しておく必要があると考えられる。

参考文献

- 1) tenki.jp, ”実況天気図”, <https://tenki.jp>, 日本気象協会, 参照 2020-5-30 及び 2020-5-31、2022-7-28.
- 2) 気象庁 : AMeDAS, <http://www.jma.go.jp/jp/amedas/>.
- 3) 気象庁 : 沿岸波浪実況図、<https://www.data.jma.go.jp/gmd/waveinf/chart/awjp.html>.
- 4) Matsumoto, K., T. Takanezawa, and M. Ooe: Ocean Tide Models Developed by Assimilating TOPEX/POSEIDON Altimeter Data into Hydrodynamical Model: A Global Model and a Regional Model Around Japan, *Journal of Oceanography*, 56, 567-581, 2000.
- 5) 気象庁 : 潮位表, <https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/db/tide/suisan/>, 2022.
- 6) 国土交通省 : ドローン情報基盤システム 2.0、<https://www.ossportal.dips.mlit.go.jp/portal/top/>.
- 7) Adobe 社、”Adobe Photoshop とは？こだわりが伝えられる画像編集ツール “、<https://www.adobe.com/jp/products/photoshop/beginner.html>
- 8) Agisoft 社、”Photoscan”、<http://www.kobeseiko.co.jp/soft/PhotoScan.html> .
- 9) 国土交通省国土地理院、”オルソ画像とは”、<https://www.gsi.go.jp/gazochosa/gazochosa40002.html> .
- 10) 久宝保, “土砂の水中傾斜角について”, 土木技術, 第6巻, 第5号, 1951, pp.2-4.
- 11) Allen, J., “Scale Models in Hydraulic Engineering”, Longmas, Green and Co., 1947, p.212.