



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
(2022 年 4 月知床半島遊覧船事故)

2023 年 3 月

一般社団法人 水難学会 助成：日本財団

令和4年（2022年）4月に知床半島沖で
発生した遊覧船海難事故時の海象把握と
冷水中の生命維持のための着衣条件の考察

令和5年3月

水難学会 事故調査委員会

Abstract

In the shipwreck accident that occurred in the Shiretoko Peninsula in April 2022, all the crew members went missing. Subsequent search efforts were conducted, but they were unable to locate anyone. Despite the crew members wearing life jackets, their discovery proved difficult. This may be attributed to the rapid changes in sea winds and sea conditions caused by the passage of a cold front on the day of the accident, as well as significant fluctuations in sea winds after the accident. One of the reasons for the absence of survivors could be the fact that the water temperature at the time of falling overboard was cold and unable to sustain life for an extended period. In order to understand the drifting conditions of the crew members after the accident, numerical experiments on drift based on tidal and wind-driven currents were conducted. Additionally, experiments were conducted in an outdoor pool during winter to understand the maintenance of body temperature under different clothing conditions in cold water and determine the minimum conditions for sustaining life until rescue arrives.

1 はじめに

2022年4月23日に図-1¹⁾内の知床半島で遊覧船が沈没する事故が発生し乗員全員が行方不明となった。運輸安全委員会²⁾によると、翌日から本格的な捜索が行われ、その結果知床半島の先端部付近の海域で計14名が発見され、後日に国後島やサハリンでも発見されたが、現在でも全員の発見には至っていない。このように捜索が難航し乗員が広範囲に漂流した理由としては、気象の変化および地形の影響を受けた当該海域での複雑な流況が考えられる。また、発見時に生存者がいなかった理由としては、図-2に示すように、事故時の海域の表面水温が約3°Cであり、入水後に短時間で体温が低下したことが考えられる。国土交通省³⁾によると、小型船舶には救命胴衣の着用は義務付けられているが、冷水中での体温維持のための防水スーツ等の規定はなく、流水が到達する北海道東方海域でも通常は装備されていない。海技振興センター⁴⁾によると、水中では空気中よりも25倍速く体温が低下するとされるが、もし入水時に防水スーツを着用することができれば、現状よりも長時間の体温維持が可能となると考えられる。近年ではSUP (Stand Up Paddleboard)など様々なマリレジャーが発展しており、それに応じて通常の着衣時でも容易に着用が可能な簡易型の防水スーツ等様が開発されている。これらの防水スーツは防寒機能を有していないが、防水スーツ内で保温性の高い衣類を着衣することで体温の維持状況は大きく向上すると考えられることから、簡易型の防水スーツを着用することで、救助が到着するまでの時間を生命維持できる可能性がある。

本調査では、事故発生前後の海域の海象を把握するとともに、入水後の漂流状況を把握することで発見が困難となった要因を考察した。また、事故時と同様な水温条件となる外気に晒された冷水プールで、防水スーツを着用して入水し水中での体温の維持状況を把握した。

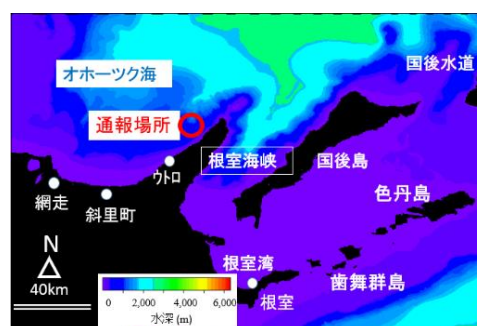


図-1 事故発生周辺海の地形および水深注¹⁾

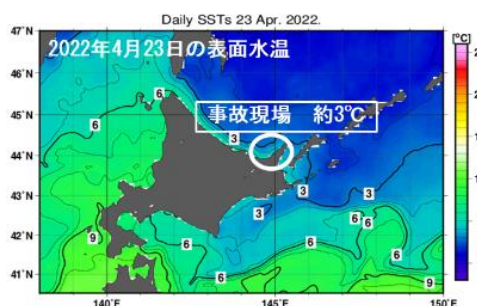


図-2 表面水温分布 (2022年4月23日)

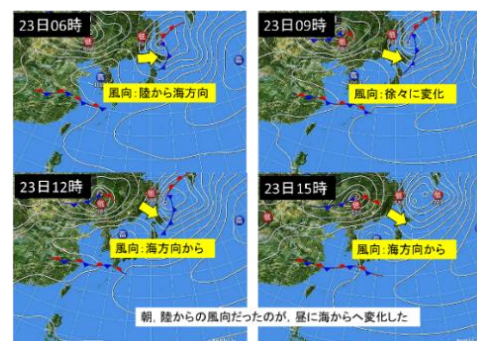


図-3 事故日の天気および海上風の変化 (2022年4月23日)

2 事故時の気象および波浪状況の把握

事故当日の天気図⁵⁾および知床付近での海上風の風向を図-3に示す。図より、事故日の午前9時前後に北海道で寒冷前線が通過した影響で、現場海域の知床半島付近ではWSWからの陸からの風向から、海上風が流入するWNWの風向に変化している。網走気象台⁶⁾によると、23日10時には波浪注意報も発表された。この海上風の影響で周辺海域の波高は徐々に増大し、NOWPHAS紋別⁷⁾によると(図-4)、事故日の海域の有義波高は、昼過ぎにかけて1m以下から2m程度まで増大した。また北海道⁸⁾によると、ウトロでは朝の有義波高は0.3m程度であったのが昼頃には1m程度となり、13時過ぎには2m程度まで増大した。

3 事故日以降の海象の把握

運輸安全委員会²⁾によると、乗員は救命胴衣を着用しており、後日国後島やサハリンで発見された乗員も救命胴衣を着用していたことから、乗員の多くは海表面を漂流したと考えられる。海表面での漂流時の主要な流れの成分では吹送流が考えられるが、現場海域では図-1に示すように複雑な地形であり、その影響で海流や潮汐流成分も増大する可能性がある。そこでここでは吹送流の他に、潮汐および潮流、海流の流れ成分がこの海域での海表面付近での漂流へ及ぼす影響の大きさを確認した。

3.1 海流

図-5に、気象庁⁹⁾による事故日の知床半島付近の海流の流向および流速分布を示す。図によると海流は知床半島西部を北上し半島先端部を東進する流況となっている。流速は半島西側で最大で約0.5 m/s程度であるが、半島先端部や東側や根室海峡では流速はゼロとなっている。乗員は半島北東側で多く発見されたことより、ここでは海流の影響は考慮しないこととした。

3.2 潮汐および潮流

(1) 潮位推算

事故現場付近では網走や羅臼以外の潮位変動は把握することができないことから、潮位推算モデル¹⁰⁾で潮位変動量を把握した。まず、網走付近での潮位変動を把握し、気象庁¹¹⁾による観測データと比較した。

図-6に網走における2022年4月23日から5月9日までの潮位時間変化を示す。図より、推算結果は気象庁の結果とよく一致しており、本研究での推算手法でも任意の潮位変動量を把握することが可能であることを確認した。次に、知床半島西部での潮位変動状況の違いを把握するために、2022年4月23



図-4 事故日の波高変化 (NOWPHAS 紋別, 2022年4月23日)



図-5 事故発生日の知床半島付近の海流の流向・流速分布注6) (2022年4月24日)

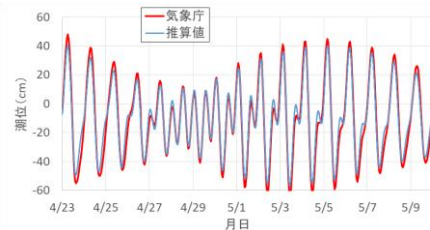


図-6 潮位推算値と観測値との比較 (網走港, 2022年4月23日～5月9日)

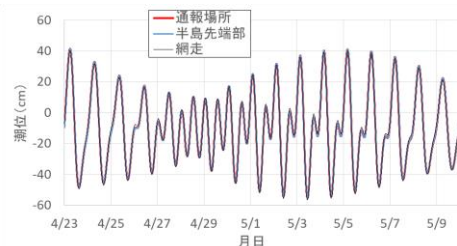


図-7 通報場所と半島先端部、網走港での潮位の時間変化の比較 (推算値, 2022年4月23日～5月9日)

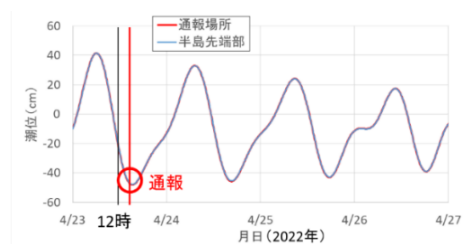


図-8 通報場所と半島先端部での潮位の時間変化の比較 (推算値, 2022年4月23日～4月27日)

日から5月9日の期間での網走港付近、通報場所、半島先端部の3か所における潮位変動量を推算した(図-7)。図より、この海域ではほぼ同様な潮位変動をしており、網走の潮位変動から通報場所や半島先端部の潮位変動状況を推測することが可能であると考えられる。また、事故日の通報場所での潮位時間変化を推算した(図-8)。図より、事故日の潮位差は1m程度であり、通報時には低潮位であったことがわかる。更に、この低潮位の状況が通年でどれくらいの低下状況だったのかを把握するために、2021年の1年間の潮位時間変化を推算した(図-9)。図より、事故時の潮位は通年でも比較的低潮位時であった。

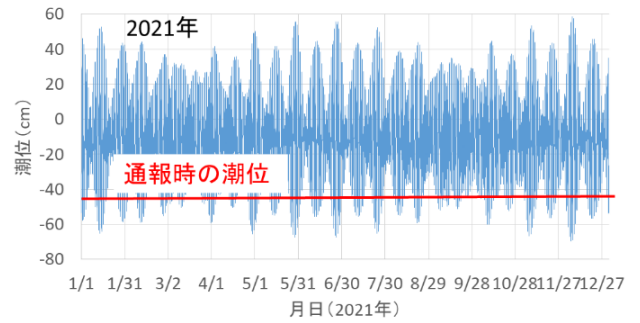


図-9 通報場所における潮位の時間変化(推算値, 2021年1月1日~12月31日)

(2) 潮汐流シミュレーション

図-8より、知床半島付近では潮位変動量が1m程度であったことから、潮汐流の数値実験をおこない流況を把握した。ここでは、犬飼らの手法¹²⁾を参考に、静水圧近似した運動方程式および連続式を陽的に差分した多層モデルを用いて現場海域付近の吹送流および潮汐流の数値実験をおこなった。使用した地形情報は500mメッシュ水深データ¹⁾であり、表層から1m, 5m, 10m, それ以深の4層とした。潮汐は図-1の四隅において潮汐推算で得た主要8分潮を入力し、その間では線形補間した。また、本数値モデルでは、流れの計算と同時に仮想的な海面着色剤を散布し、その拡散状況から漂流状況を把握可能な拡散計算がおこなえるようになっている。

図-10に通報直後の海域の潮位および流速分布を示す。図より、流速は通報場所付近ではほぼゼロであるが、根室海峡内では潮汐流が0.5 m/s程度であることから、潮汐流の影響があると考え、ここでは流れの計算に潮汐流も考慮することとした。

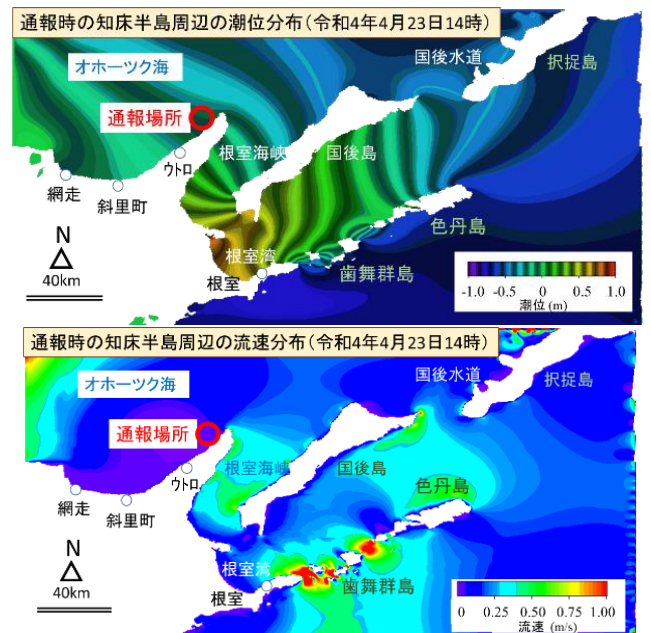


図-10 事故時頃の海域の潮汐の状況(上:潮位分布, 下:流速分布)

3.3 事故時の海上風情報および吹送流

気象庁のメソ数値モデル情報¹³⁾を用いて事故現場付近の海上風の時間変化を把握した。図-11に通報前後の現場付近の海上風の流線の時間変化を示す。図より、午前中は知床半島先端部付近だけで陸向の風向であったが13時には半島全域で陸向の風向となり風速も10 m/s超へ増大した。

4 漂流シミュレーション

4.1 使用した数値モデル

潮汐流の数値モデルで海上風の駆動力を入力させることで、吹送流を考慮した漂流シミュレーションをおこなった。漂流シミュレーションでは、表層での漂流を想定し、流れの計算と同時に点源で無次元1の濃度の仮想着色剤を与え拡散計算をおこない、事故現場からの仮想着色剤の漂流状況を把握した。なお、ここでは漂流対象の質量は考慮していないこと

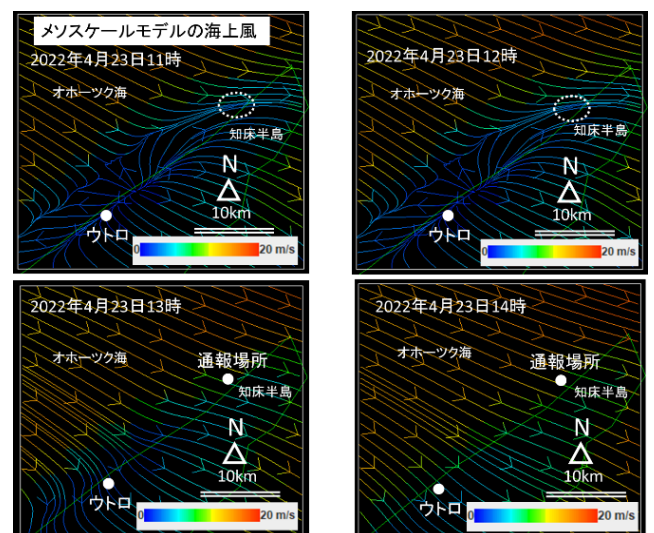


図-11 事故日の半島西側の海上風流線の時間変化(2022年4月23日11時~14時)

から海表面水の移動状況を把握していることとなる。また通報時間から6時間は連続点源拡散計算をおこなない、その後は点源拡散ではない拡散計算をおこなった。

4.2 海上風情報および潮汐情報

海上風は、メソ数値モデル情報の2022年4月23日から5月14日まで1時間ごとに図-1の領域に入力させた。潮汐は、潮汐流計算と同様に図-1の領域の4隅で8分を入力させた。乗員の漂流を想定した通報地点からの拡散計算を5月14日程度まで実施した。ここでは乗員の入水時間が不明であったことから、入水に最大で6時間の時間差が生じたと仮定し、4月23日13時から18時までは点源拡散を実施した。

4.3 計算結果および確からしさの確認

図-12に事故発生後の15時の海域の流況分布を示す。図より、この時は知床半島先端部で東向き、根室海峡で南向の流況となっており、通報場所から乗員が入水して漂流した場合には、知床半島先端部を東進して根室海峡を南下する流向であったと考えられる。

図-13に、4月24日21時頃および4月28日12時頃の拡散状況および乗員の発見場所を示す。図より、4月24日には11名が発見されたが、発見場所は拡散領域内に位置している。更に28日12時にも根室海峡内で3名が発見されたが、これも拡散領域内に位置している。よって計算は現地の流況および拡散状況を再現していると考えられる。

また図-12より、事故時の流況は根室海峡を南下する方向の流向であったが、その後風向が変化するために北東方向へ拡散する流向へ変化した。そのために根室海峡へ漂流した後に北東へ流出したために図-13左図の様な拡散状況となり、24日夜に半島沖合で発見されたと考えられる。また、その後も風向が変化し、根室海峡を南下する流況となり、図-14右図の様な拡散状況となり、28日は根室海峡内で発見されたと考えられる。

4.4 5月6日に国後島で発見された漂着時期の考察

報道によると、5月6日に国後島の西岸で乗員が漂着しているのが発見された。この時の天候は図-14に示す通り、現場海域の東側に高気圧が位置しており、国後島から離れる方向のSからの風向であったため、6日に漂着したとは考えにくい。天気図では5月4日21時は南下して国後島へ接近する風向であったが、その時の12時間ごとの海上風の変化を図-15に示す。図より、5月4日21時から5月5日9時まで国後島へ接近する風向であった。

5月6日の朝までの拡散計算結果のうち、国後島へ

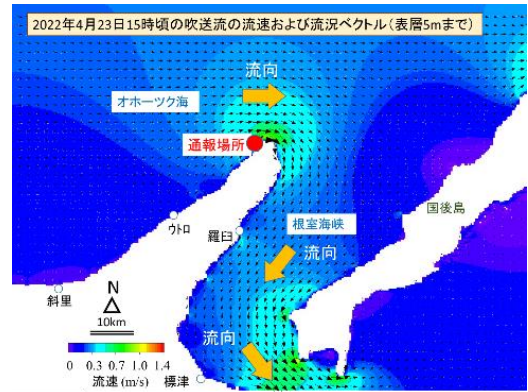


図-12 事故日 15 時頃の通報場所周辺海域の流速と流速ベクトル（吹送流および潮汐流，2022 年 4 月 23 日 15 時）

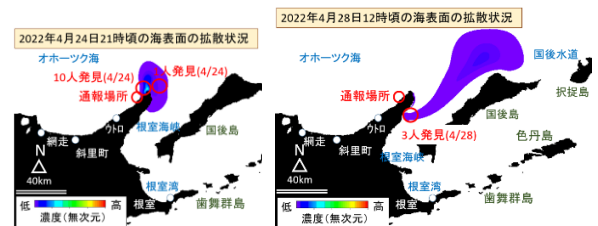


図-13 仮想着色剤の拡散状況と発見場所および人数（左：2022 年 4 月 24 日 21 時頃，右：4 月 28 日 12 時頃）

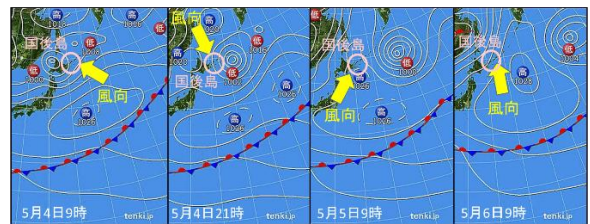


図-14 国後島へ漂着前の天気の変化（2022 年 5 月 4 日～5 月 6 日）

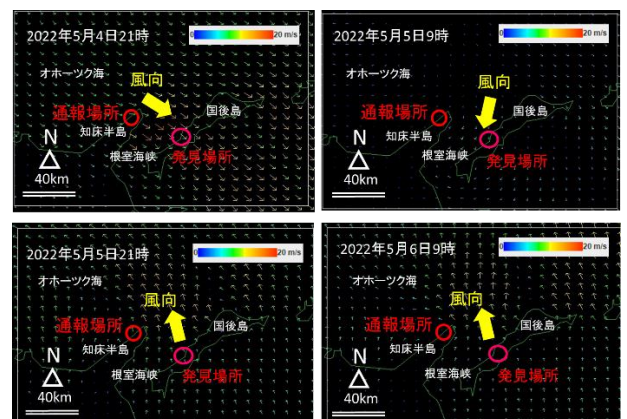


図-15 国後島へ漂着前の海上風の変化（2022 年 5 月 4 日～5 月 6 日）

接近した時の拡散状況を図-16に示す。図より、5月1日0時と5月5日5時頃のどちらかのタイミングで国後島へ漂着したと考えられる。また、図より両日とも仮想着色剤の拡散の中心は国後島北部に位置していることから、そこへも漂流物などが漂着している可能性があると考えられる。

4.5 事故後の漂流拡散方向の把握

本研究では事故後の漂流先の傾向を把握するために、5月14日までの拡散計算をおこなった。図-17に5月14日までの最大拡散分布を示す。図より、知床半島から国後島北側海域にかけて拡散しつつNW方向へ拡散している。この理由として、海上風の影響で北西方向への流向となったと考えられる。

図-18に海上風の日変化を示す。図より、この時期はNE方向への風向となっており、知床半島や国後島から離れサハリン方向へ拡散した可能性が高いと考えられる。

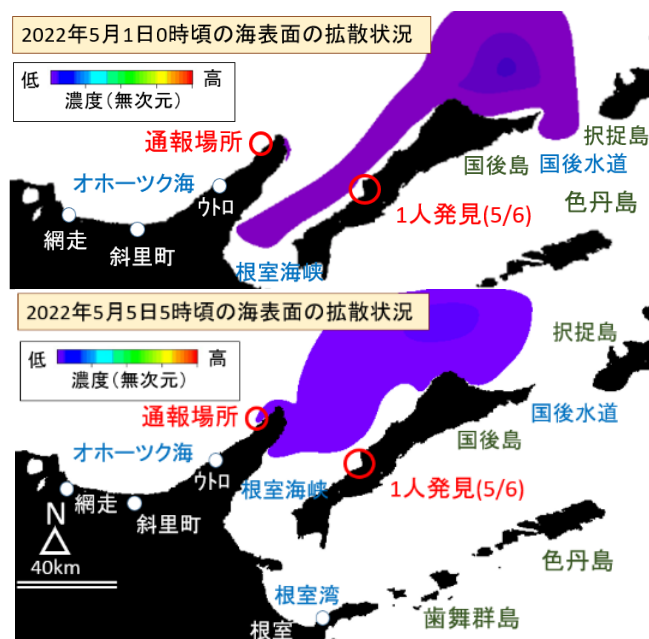


図-16 5月6日9時までに国後島へ最接近した拡散状況（上：5月1日0時，下：5月5日5時）

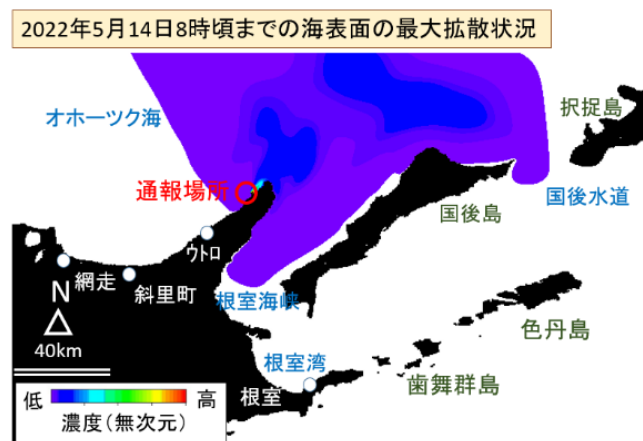


図-17 最大拡散分布（2022年4月23日～5月14日での拡散領域）

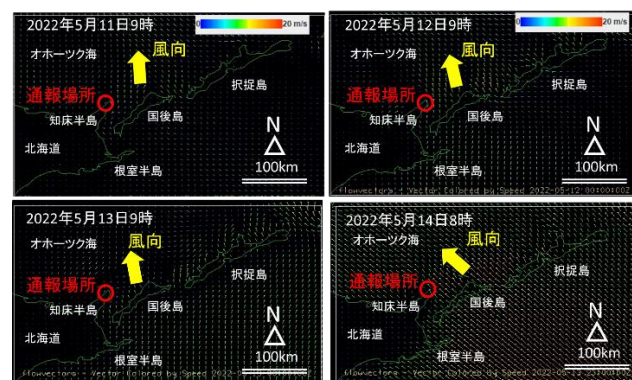


図-18 海上風の日変化(2022年5月11日～5月14日)

5 冷水中の生命維持のための着衣条件の把握

5.1 冷水中における生命維持のために必要な時間

事故日の海域の表面水温は図-2によると約3℃であった。この水温時には、表-1に示す水温と意識不明までの時間や生存時間との関係⁴⁾によると、意識喪失まで早くて15分程度であり、生存可能時間は最大でも約90分程度であることがわかる。また小野¹⁵⁾によると、事案発生から救助完了までの所要時間は事案発生～3時間、3～6時間の時間帯が多いことから、冷水中においても3～6時間程度は生命を維持できることが望ましいと考えられる。

更に、冷水中における着衣無し、通常衣類着用時、ネオプレン（ゴム製のウェットスーツ）着用時における有効意識保持時間の関係（図-19）⁴⁾より、水温5℃以下の場合、通常衣類着用時の意識保持時間は1時間強であるが、ネオプレン着用時には2時間以上の意識保持が可能となることが示されている。しかし、図には近年の簡易型の防水スーツ着用時の状況は示されていないことから、本研究では防水スーツ着用時の状況の把握を試みた。

5.2 実験概要および実験状況

知床半島での水温条件を再現するために、東北地域における外気に晒された某施設のプールを借用し、2023年2月下旬に入水実験をおこなった（図-20）。実験時の外気温は3℃であり水温は0.5℃であった。実験時に入水した被験者は、30歳から50歳の男性4名および女性1名であった。実験では着衣条件を3種類変更させ、その上に防寒機能がない防水スーツを着用して入水することで体温の維持状況を把握した。図-21に、実験で使用した3種類の着衣を示す。図中、左図は一番生地が薄いスウェットシャツであり、図中央はフリース、右図は一番厚手となるダウンジャケットである。変更した着衣以外ではジーンズや靴下、肌着等の条件は統一した。

実験時には、医師と看護師を含む7名が安全管理をおこなった（図-20）。実験開始前には被験者全員の血圧や体温を計測するとともに（図-22左）、医師の診断を実施するなど、被験者の体調管理を厳重におこなった。

なお、肌着の上には記録式の温度センサーを、胸、背中、腹、膝、つま先の5か所に装着した（図-23）。温度の記録時間は1秒毎に設定した。更に、図-24に防水スーツの着用状況を示す。図の様に、防水スーツを着用後、頭部にフード、手にグローブを着用した。実験中、被験者は15分間水面で背浮きをおこなった。実験時の水温0.5℃の環境は、着衣なしの場合、15分間で意識を喪失する可能性がある水温である（表-1）ことから、実験中は被験者1人に対し1名の記録係

表-1 水温と意識不明までの時間、生存時間との関係⁴⁾

水温	意識不明までの時間	予想生存時間
0℃以下	15分以内	～45分
0℃～5℃	15分～30分	30分～90分
5℃～10℃	30分～60分	1時間～3時間
10℃～15℃	1時間～2時間	1時間～6時間
15℃～20℃	2時間～7時間	2時間～40時間
20℃～25℃	間	3時間以上

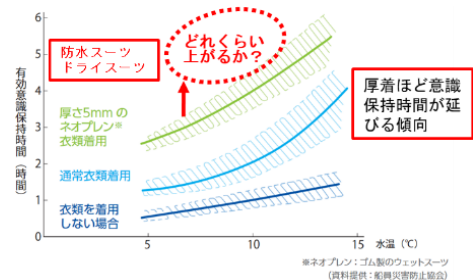


図-19 着衣条件による水温と意識保持時間の関係⁴⁾



図-20 実験状況



図-21 実験で使用した着衣および防水スーツ着用状況

が対応し（図-22 右），医師とともに常に声掛けをおこないながら手先の冷えなどの体感の変化状況を記録しつつ被験者の体調管理を厳重におこなった。

5.3 実験結果

海技振興センター⁴⁾によれば，深部体温が32℃以下で意識障害が発生し，28℃未満で意識不明，22℃で呼吸が停止し，20℃で心臓が停止する。

図-25～図-27に，例として女性被験者の3種類の上着着用時における各部位の温度センサーの時間変化を示す。

図より，全てのつま先や膝の部位で温度は短時間で低下した。また腕部や手先は記録できなかったが，足先部同様に実験開始2分程度で温度低下による手先の痛みや痺れなどの症状が発生した。胴体では腹部や胸部よりも背部で温度低下の割合が高い。これは，実験中は背浮きをしていたことが原因と考えられる。今後背部で若干の保温機能を付記させれば，体温維持機能が更に向上すると考えられる。

図-25での厚手の上着着用時には，胴体の胸部，腹部，背部の温度は15分間で1～2度低下したが，実験時間中では十分に表面温度を維持できている。また，図-26でのフリース着用時には，胴体部では胸部や腹部の温度は15分間で1～2度低下したが，背部の温度は約10度と大きく低下した。

更に図-27のセットシャツ着用時には胸部も腹部の温度低下の割合が大きくなっている。以上より，いずれの上着の着用条件下でも，差異はあったが，防水スーツを着用するだけで通常であれば意識不明となる環境における15分間でも十分に体温を維持することはできた。

枘原ら⁴⁾による15℃の大気中での90分間の人体暴露実験では，深部体温は約0.6度線形的に低下したのに対し，体表面温度は開始直後の数分で急激に低下するが，その後低下率は徐々に低減した。

これより，本実験の環境下でも体表面温度の低減比率は，実験開始直後以上の低減率にはならないと仮定して，実験時間以上の体温低下状況を予測することとした。この手法では，図-24および図-25におけるある程度厚手の上着を着用している条件では，胴体部の部位のいずれかの表面温度が意識を喪失する28℃になるまでの経過時間は約3時間程度であった。深部体温が28℃以下になるには更に経過時間が必要となることから，この条件であれば，3時間以上は意識を保持することが可能であると考えられる。また，図-26のように薄手の着衣の場合には体温の維持が困難である可能性が高いことが分かる。



図-22 実験前の体調チェックの状況および実験時の記録係による記録実施状況



図-23 実験で使用した着衣および防水スーツ着用状況



図-24 防水スーツ着用状況

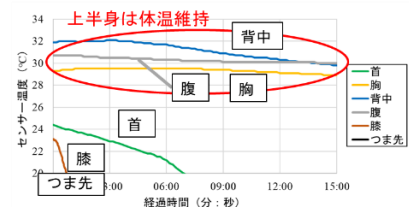


図-25 体表面の温度変化（女性，ダウンジャケット着用）

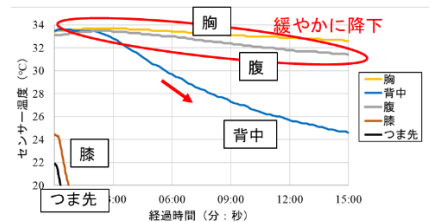


図-26 体表面の温度変化（女性，フリース着用）

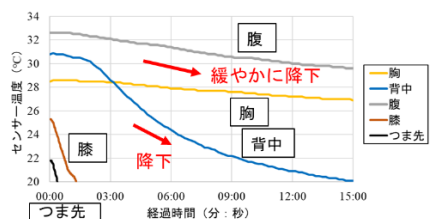


図-27 体表面の温度変化（女性，セットシャツ着用）

6 まとめ

事故発生日は、低気圧が北海道北方を東進したことによる風向の変化で海上風および波高が急激に上昇した。海域では吹送流が卓越しているが根室海峡では潮汐流成分も強いことから、この海域の漂流予測の実施には吹送流と潮汐流を考慮する必要がある。事故日は根室海峡を南下する流況であったが、その後の天候の変化による海上風の変化で、根室海峡を北上する流況へ変化したことが、搜索が困難になった原因の1つかと考えられる。

冷水中で体温を維持するためには、薄生地防水スーツを着用することが有効であり、スーツ下にはフリースなど厚生地の上着を着用すると体温維持効果が向上し、寒冷水温であっても3時間程度は体温を維持可能であると考えられる。

参考文献

- 1) 日本海洋データセンター：500m メッシュ水深（オンライン），http://jdoss1.jodc.go.jp/cgi-bin/1997/depth500_file.jp.
- 2) 運輸安全委員会：船舶事故調査の経過報告について，2022.
- 3) 国土交通省：ライフジャケットの着用義務拡大，https://www.mlit.go.jp/maritime/maritime_fr6_000018.html，2022.
- 4) 一般財団法人海技振興センター：船員の低体温対策ガイドブック，2017.
- 5) 気象庁：AMeDAS，<http://www.jma.go.jp/jp/amedas/>.
- 6) 網走地方气象台：網走・北見・紋別地方の注意警戒事項（令和4年4月23日3時9分，9時42分），気象庁，2022.
- 7) 国土交通省港湾局：NOWPHAS（全国港湾海洋波浪情報網）（オンライン），<http://www.mlit.go.jp/kowan/nowphas/>，2022.
- 8) 北海道開発局：北海道海象情報（オンライン），<https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/ns/suisan/hkop-bousai/genMap?lang=jp>，2022.
- 9) 気象庁：海流実況図，https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaikyoku/kaikyoku/tile/jp/index_subsanl.html#zoom:7/lat:43.628123/lon:145.294189/mapheight:600/colordepth:normal/element:current，2022.
- 10) 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.
- 11) 気象庁：潮位表，<https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/db/tide/suisan/>，2022.
- 12) 犬飼直之，南原充，安倍淳，木村隆彦，鈴木直子，齋藤弘樹，齋藤秀俊：2017年8月に銭函海岸の離岸堤付近で発生した水難事故の発生要因の把握，*土木学会論文集 B2(海岸工学)*，Vol. 76, No.2, I_1183-1188, 2020.
- 13) NetCDF：MSM メソ数値予報モデル GPV（オンライン），<http://database.rish.kyoto-u.ac.jp/arch/jmadata/gpv-netcdf.html>，2022.
- 14) 柄原裕，大中忠勝，山崎信也，田中正敏，吉田敬一：寒冷暴露時及び回復時の心拍数，体温変動の特徴，*人類誌*，Vol. 90, No.4, pp.411-420, 1982.
- 15) 小野泰弘：海上保安庁の救急業務について，*島しょ医療研究会誌*，Vol. 4, No.2, pp.56-65, 2012.