

6: 低体温になる傾向があっても、頭部の血流はかなり保たれるため、頭皮からは多くの熱が奪われる。一方、ダイビングで使用されるボンベの空気は、水温でかなり冷やされても、呼吸による熱消失は比較的少ない（ただしヘリウムガスを吸入する場合は熱が奪われやすい）。一般に、水温が27℃程度以上なければ、保護スーツなしには快適なダイビングができない。水温25℃では保護スーツを使用しなければ、1～2時間で体温が低下する。20℃以下になるとフルウェットスーツが必要で、15℃以下ではドライスーツを着用することが望ましい。水温5℃以下では、保護スーツなしの場合、30分～1時間で約50%以上が意識消失する。

7: 著しい低体温症がない限り、寒さによって筋肉が震えることは、熱産生に優位に働くが、水中で運動をすると、体表面を流れる水の量が増え、熱は奪われやすくなる。また、運動によって体が温まり始めると、皮膚の血管収縮が解除され、血流が増え、熱が奪われやすくなる。ダイビング中のウェットスーツ内への排尿については、いくつかの意見があるが、排尿された尿は暖かいため、皮膚の血管収縮が解除され、熱が奪われやすくなるともいわれている。

Q74 ヒトは冷水にどのくらい耐えることができる？

ヒトには恒常性という機能があるため、体温を36.0～36.8℃に保つことができます。しかし、周囲の温度が著しく低下すると、機能不全に陥り徐々に低下し始めます。水は空気より熱を約25倍伝えやすく、体の熱を2～4倍早く奪うため、頭部まで浸水するダイビングは、スポーツの中でもとくに体温を喪失しやすいといわれています⁶。

(1) 低体温でみられる症状

直腸温（体の中の深部体温）が35℃以下になった状態を低体温症といます。たとえば、34℃になると筋肉が硬直し、震えが止まらなくなり、協調運動障害が現れます⁷。さらに33℃になると止まらなかった震えが止まり、血管収縮が解除され始め、病状としては深刻な状態になります。深部体温が低下すると、精神機能も低下し、記憶障害や眠気などの症状も現れ、30℃まで低下すると死亡する例がみられるようになります（図25-2）。体温は下がっている時間が長ければ長いほど重症度が増す（治療による回復が困難になる）傾向があります。

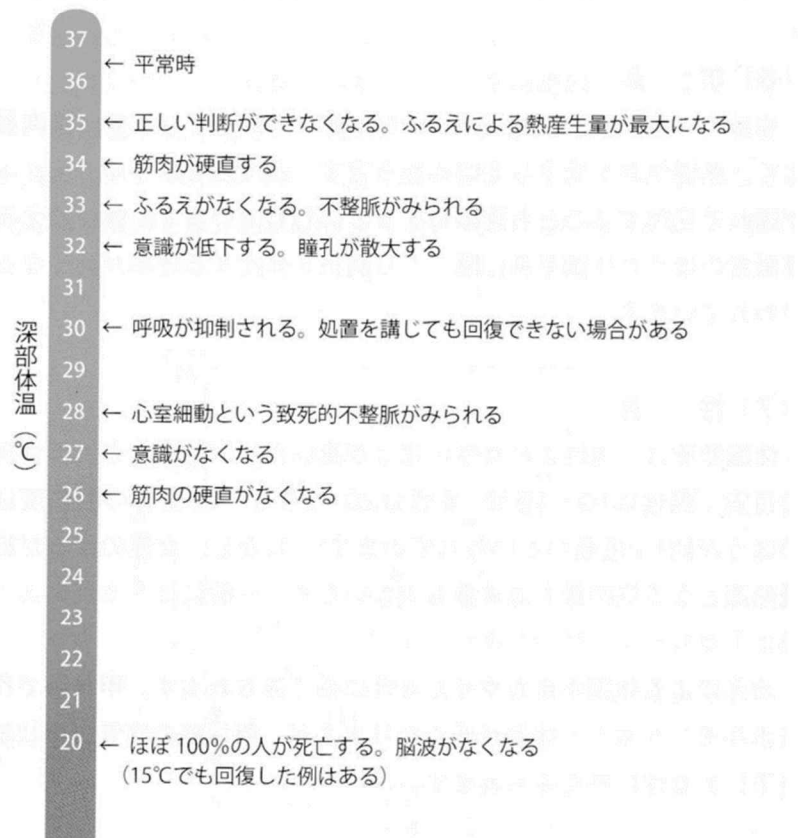


図25-2 低体温でみられる症状

(2) 低水温滞在時の限界時間

図25-3は、防護服なしで低水温に滞在したときに生存できる推定時間です。

水温20℃では6時間までに約50%の方が意識を失い溺死します。

水温10℃では1時間で約50%、3時間で100%近くの方が死亡します。

水温0℃では20分で約50%、1時間で100%近くの方が死亡します。

海の漂流事故の連絡が入ったら救助者は要救助者が生存できる推定時間を計算します。一般に直腸温が30℃を下回る時点を限界とし、軽装でライフジャケットを着て漂流したときの生存時間は、

$$S=15+7.2(0.0785-0.0034\times W)$$

S：水温（℃）

W：生存時間（分）

の式から算出します²⁵⁻³⁾。ダイバーが漂流したときは、ウェットスーツの厚さや装備品によって算出時間を修正します。

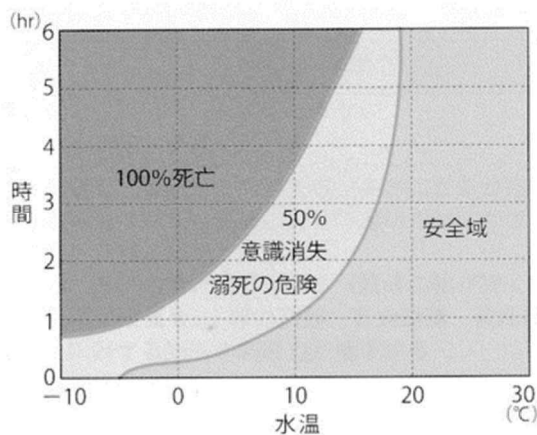


図25-3 保護スーツなしで水中滞在したときに生存できる推定時間^{25-1), 25-4)}

流れがある冷水状態では生存時間がさらに短くなる。ウェットスーツなどの防護服を着ていると生存時間が長くなる。

(3) 低体温症にかかったダイバーの救護

意識があれば、濡れたダイビングスーツを脱がし、身近にある衣類や乾燥したバスタオルをかけるなどして保温します（表面加温）。温かい飲み物（利尿作用のある飲料水は厳禁）が飲めるようであれば補給し（中心部加温）、シャワーやお風呂に入れるようであれば、少しぬるめにして入ります。急に意識障害が起きることがあるので、周囲の者は目を離

8：熱けいれんの直接的な誘因は熱ではなく、脱水やナトリウムおよびカリウムなどの電解質の異常。熱失神の誘因は、血管拡張による起立性低血圧であることが多い。日射病という言葉もよく使われるが、日射病は、炎天下で長時間、日光を受けることによって発生する熱中症の俗称なので、日本救急医学会が示す臨床症状分類にはない。

さないよう、見守りながらゆっくり体温を回復させる必要があります。

意識がないときは、処置を急がなければいけません。すぐに脱がすことができないダイビングスーツはハサミで切り、必要に応じて心肺蘇生をしながら病院へ搬送します。

column 4 熱中症

ダイビングでは、熱中症など高温環境による障害もときどきみられます。熱中症は、気温の高い環境で生じる暑さによる障害の総称で、臨床的には、熱けいれん、熱失神、熱疲労、熱射病があります⁸。原因は、激しい運動と高気温ですが、ダイバーはとくに保護スーツと、ダイビング中に乾燥したボンベのエアを呼吸することが、それらの病態を悪化させます。熱疲労にかかったダイバーは、深部体温が上がり（37～40℃）、大量の発汗と脱水がみられ、脱力状態になります。気分が悪くなり、口渇、頭痛、吐き気、めまいなどの症状がみられます。熱疲労の兆候がみられたときは、ただちに保護スーツを脱ぎ、気温の低い場所に移動し、水分を十分補給する必要があります。もし、熱疲労を放置し、適切な対応を取らなければ、容態はさらに悪化し、熱射病とよばれる状態に陥ります。熱射病は、脳の体温調節機能が働かなくなった状態で、発汗が停止し、体が火照り、深部体温が高くなります（40℃以上）。昏迷、けいれん、昏睡などの中枢神経症状が現れ、救急的な対応を取らなければ、生命に危険が及ぶ可能性があります。おもな治療は、熱疲労同様、脱水の補正と体温低下に主眼が置かれます。

出典：『ドクター山見のダイビング医学』 山見信夫著 PP. 194-196

成山堂出版 ISBN978-4-425-95631-9

全身が冷水に浸水した場合の生存時間 Survival time during cold water immersion

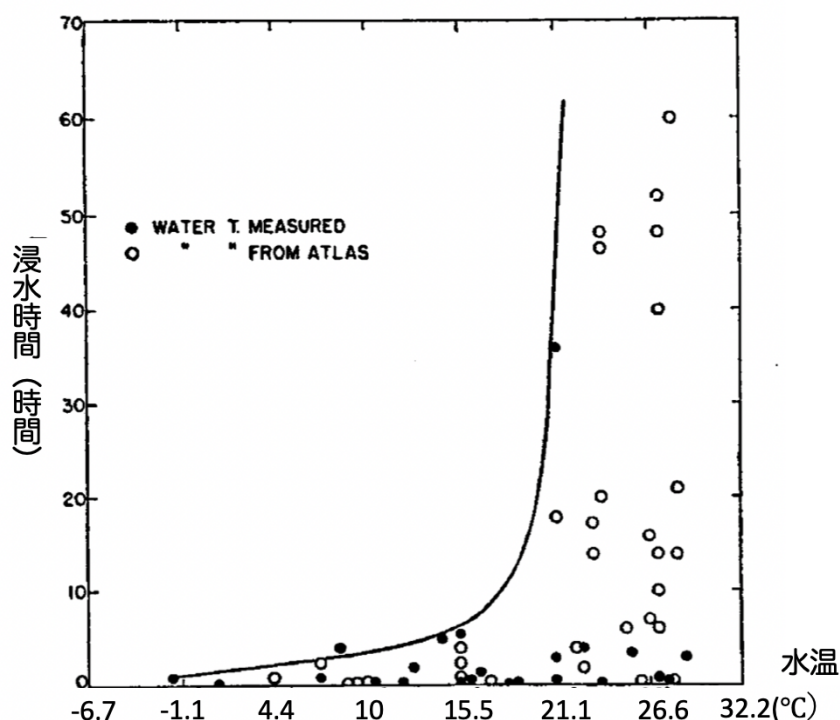
山岳医療救助機構 代表
北海道大野記念病院循環器内科・山岳外来
日本大学医学部 兼任講師
大城和恵

全身が浸水して濡れ続けた状態での生存は、個体差（体のサイズ、脂肪、震えの反応、耐寒性など）、行動応答（心理、行動、姿勢）、技術的要因（衣類、防護具）[1,2]、年齢、事故時の衣服、個人用浮遊装置（PFD / ライフジャケット）の着用有無、水温、水域（内陸、沿岸、内陸および沖合）[3]に依存します。これまでに、実験モデル Cold Exposure Survival Model (CESM) による予測生存時間の検討[4,5]、搜索の継続を判断する一助として the Probability of Survival Decision Aid (PSDA) による生存時間予測[6]など、個々の生存時間をより正確に決定するツールが発展してきました。

実際に報告されている冷水での生存可能時間は、救助された時点までの生存時間を反映しているため、生体の生存限界を示した時間ではありません。一方、冷水で死亡後に救助された場合は、目撃者がいれば生存限界時間（死亡までの時間）が記録されます。

ここでは、体温低下の速度に関わる科学的事実、実際の事例で確認された死亡までの生存時間、要因によらず生存救助までに観測された生存時間からの予測生存時間を提示します。生存限界時間は個々の要因が異なることから幅がありますが、生存限界に至る最短時間を知ることは、教育や自助に活用し得るものです。

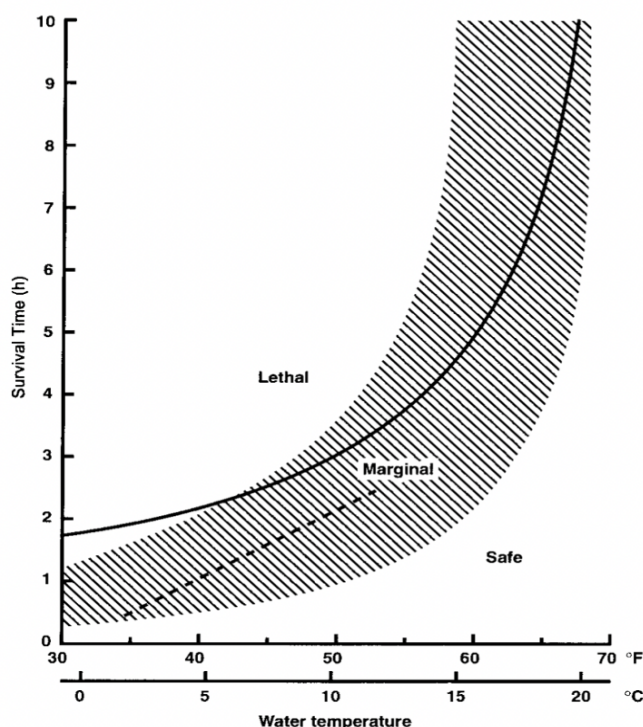
図1 難破した生存者がさまざまな温度の海水に浸っている時間 [7]



冷水での生存に関する最初のデータは、Molnar らが第二次世界大戦の米海軍の医療報告に基づき、海難事故からの生存者の海水温度と浸水時間の正確なデータのみを使用し水温と生存時間のグラフを示しました（図1）[7]。水温 7°C 以下でのデータが少なく、

10℃以下ではナチスの浸水実験データを採用しました。この報告では、水温 15℃以下に生体が浸水すると、急速に生存率が低下することが初めて示されました。その後、Hayward らは浸水例から分析した冷却速度により導き出した計算式を用い（図 2）[8]、Golden らは実験データと船と航空機事故の生存者データとを使用して生存時間を示す曲線を作成[9]、Tikuissis らは水温に対する深部体温の冷却速度から予測式を作成[4]し、予測生存時間を示しています（表 1、2）。これらは報告によりバラ付きがあり、あくまで目安としての活用が好ましいとされています[10]。

図 2 冷水での人の生存時間または許容時間の予測の比較 [8]
(50%生存時間、致死的時間、安全時間)



（表 1）過去生存救助事例に基づく 50% 予測生存可能時間 No protection

50%survival time (hours) , lightly clad males					
℃	Molnar [7]	Hayward [8]	Golden [9]	Tikuissis[4]	Mike[13]
5	1	2.2	1	2.2	1
10	2.2	2.9	2	3.6	2
15	5.5	4.8	6	7.7	6

（表 2）予測生存限界時間（過去事例や実験モデルから）

lethal time(hours)								
℃	Minnesota seagrant[1]	Molnar[7]	Keatinge [14]	Nunnely& Wisseler[15]	Allan[16]	Lee&Lee [17]	Peter Tikuisis[5]	
							Male	Female
5	1~1.5	2.3	0.9	1.1	1.5	1	2.5	2.1
10	1~3	4		2.6	2.5	3		
15			4.5	3	9	7		

次に、防護服着用時の予測生存時間として Wisller による報告を示します (図3) [11]。これは、8°Cと11°Cの冷水で3時間浸水した実験からの予測生存時間であり、事故時に防護服が着用できていない事例を含んだ結果に比べ、明らかに生存時間は長く、海面が穏やかな方がさらに生存時間は長いことがわかります。この結果は、個人単位の生存確率を予測する場合に活用することができます。図4に、The UK National Immersion Incident Survey (UKNIIS) の1991年から蓄積された1593例を分析し、予測生存時間(PSDA)の予測式によるグラフを示します[6]。0°C、5°C、10°C、15°Cの水にシミュレーションモデル100人が浸水した場合の予測生存時間を算出しています。これは、人口ベースの生存確率として、多数の犠牲者が関係する事故や災害の際に生存者の数を予測する手段を提供可能とし、Wisllerの個人ベースの予測生存時間とも合致します。水温が低いほど、曲線は下方に直線化しており、わずかな時間経過で犠牲者が急増することがわかります。実際の事事故事例での生存

図3 the Cold Exposure Survival Model (CESM) によるスーツ着用時の予測生存時間 [11]

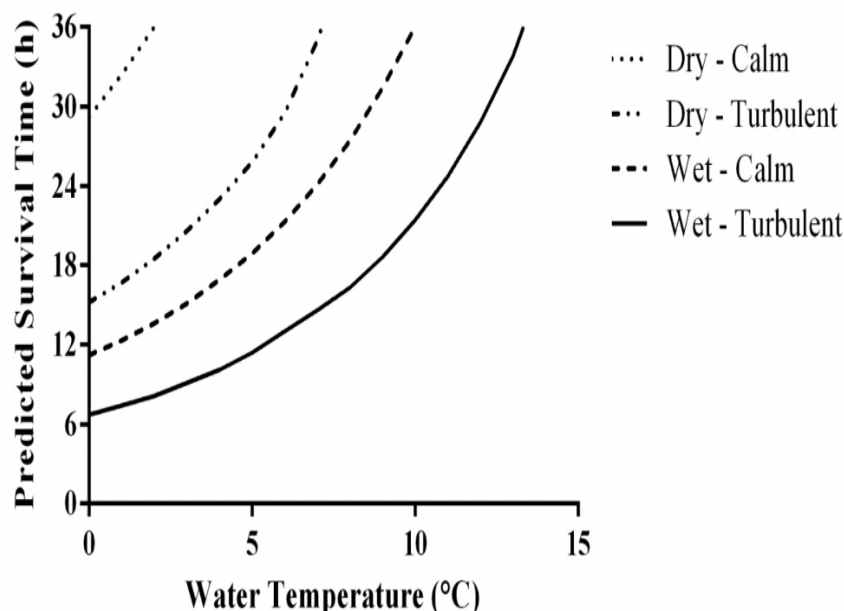
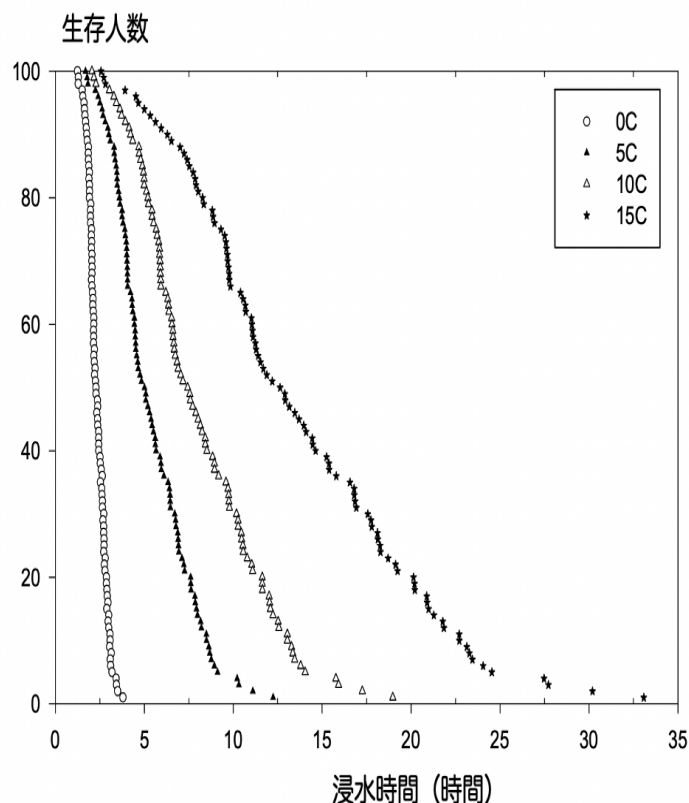


図4 0、5、10、15°Cに浸水した100人の予測生存時間シュミレーション[6]



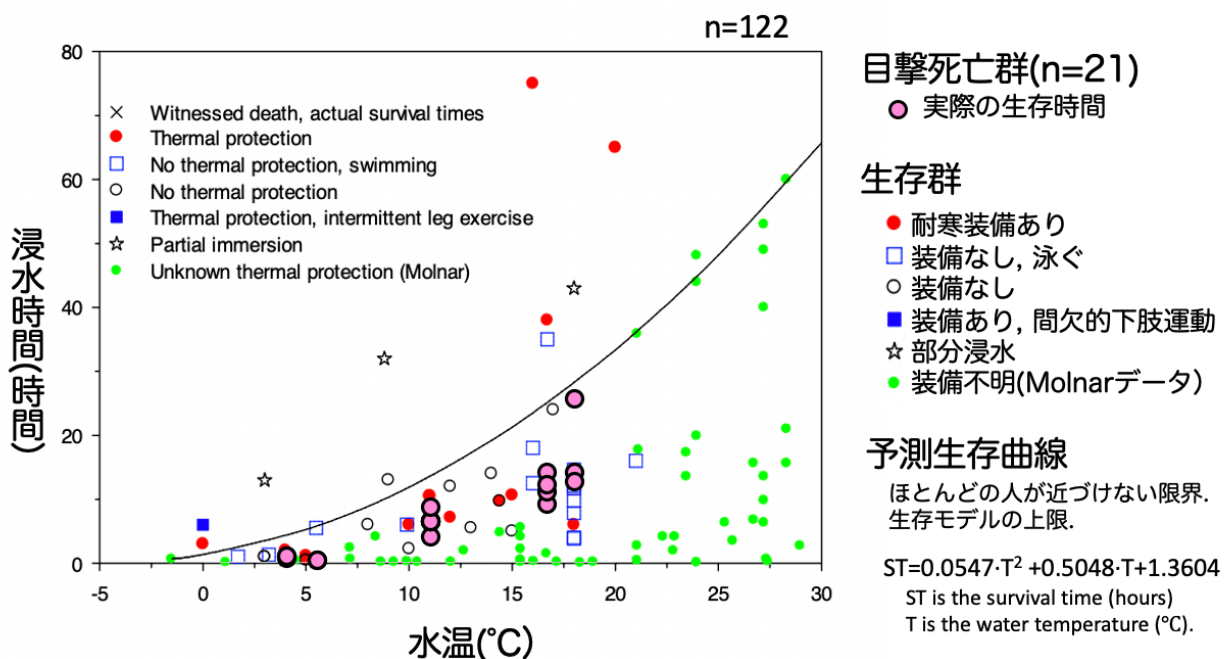
時間と PSDA で算出した予測時間を比較すると、近似する例もある一方で、予想外の行動（パニックなど）でより速く死亡している例や、より長く生存し生還している例があります[12]。これは、PSDA の計算式が、個体特徴、着衣など多くの情報を必要とすることで、その精度を高めていることによります[6]。

次に、Molnar の既存のデータ（図 1）に、目撃された死亡事例 21 例（表 3）を集めデータを追加した予測最大生存時間曲線を示します（図 5）。このグラフの予測最大生存時間曲線は、人が近づくことができない限界として使用が可能です[2]。この曲線を超えて生存できる場合は、防護服による保護、高体重、部分的な浸水などの保護的な要因が関与すると考えられます。

（表 3）実際に目撃された生存限界時間 [2]

水温(°C)	死亡までの時間	n
4	30～50 分	3
5.5	12 分	2
11	4～8 時間半	9
16.7	9～14 時間	4
18	12 時間半～25 時間半	3

図 5 浸水後の最大生存時間曲線と浸水から目撃された死亡までの時間[2]



捜索救助活動時間は、50%の生存率が可能な時間の6倍の時間を上限（5℃,50%生存可能性が1時間なら捜索時間上限は6時間、10℃,50%生存可能性が2時間なら捜索時間上限は12時間）として活動する目安を推奨しています[13]。

ミネソタ Seagrant [1]

水温(℃)	意識消失まで	予想生存時間
0.3	15分未満	45分
0.3～4.4	15～30分	30～90分
4.4～10	30～60分	1～3時間
10～15.6	1～2時間	1～6時間
15.6～21.1	2～7時間	2～40時間
21.1～26.7	3～12時間	3～

参考文献

[1] Hypothermia Prevention: Survival in Cold Water | Minnesota Sea Grant n.d.
http://www.seagrant.umn.edu/coastal_communities/hypothermia (accessed September 14, 2020).

[2] Xu X, Giesbrecht GG. A new look at survival times during cold water immersion. J Therm Biol 2018;78:100–5. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.08.022>.

[3] McCormack E, Turner CA, Tipton MJ. THE PREDICTION OF SURVIVAL TIME IN WATER, The 13th International Conference on Environmental Ergonomics,Boston (USA): 2009, p. 5.

[4] Tikuisis P. Prediction of survival time at sea based on observed body cooling rates. Aviat Space Environ Med 1997;68:441–8.

[5] Tikuisis P. Predicting survival time for cold exposure. Int J Biometeorol 1995;39:94–102. <https://doi.org/10.1007/BF01212587>.

[6] Xu X, Amin M, Santee WR. Probability of Survival Decision Aid (PSDA): Fort Belvoir, VA: Defense Technical Information Center; 2008.
<https://doi.org/10.21236/ADA478331>.

[7] Molnar GW. Survival of hypothermia by men immersed in the ocean. Journal of the American Medical Association 1946;131:1046–1050.

[8] Hayward JS, Eckerson JD, Collis ML. Thermal balance and survival time prediction of man in cold water. Canadian Journal of Physiology and Pharmacology 1975;53:21–32.

[9] Golden SCFSC. Hypothermia: a Problem for North Sea Industries. Occup Med (Lond) 1976;26:85–8. <https://doi.org/10.1093/occmed/26.3.85>.

- [10] Mike Tipton, Adam Wooler. Cold Water Immersion. vol. Chapter: 6. 1st ed. CRC PressEditors; 2016.
- [11] Wissler EH. Probability of survival during accidental immersion in cold water. Aviat Space Environ Med 2003;74:47-55.
- [12] AM Steinman, GG Giesbrecht. Survival Modeling, Cold water survival, Immersion into cold water. Auerbach's Wilderness Medicine 7th edn. Elsevier Health Sciences; 2016.
- [13] Tipton M, Frank Golden. Chapter 7 SURVIVAL TIME IN COLD WATER.pdf. 1st Edition. Human Kinetics; 2002.
- [14] Keatinge WR. Survival in Cold Water. Illustrated Edition. Oxford, Edinburgh: Blackwell Science Ltd; 1978.
- [15] Nunnely, SA, Wissler, WH. Prediction of immersion hypothermia in men wearing anti-exposure suits and/or using liferafts. AGARD-CP-286, A1-1-A1-8.; n.d.
- [16] Allan, J.R. Survival After Helicopter Ditching - A Technical Guide for Policy. Makers. International Joint Aviation Safety 1983;1:291-296.
- [17] E. C. B. Lee, Kenneth Lee. Safety and survival at sea. Norton; Revised Edition; 1980.

 著者情報

大城和恵 Kazue Oshiro

(資格・専門)

医学博士, 山岳医療修士
Fellow of Academy of Wilderness Medicine (北米 Wilderness Medical Society)
Diploma in Mountain Medicine
日本循環器学会認定循環器専門医
日本内科学会認定内科専門医
日本スポーツ協会公認スポーツドクター
日本プライマリ・ケア連合学会指導医・認定医
日本医師会認定産業医

(役職)

文部科学省南極地域観測統合推進本部委員
総務省消防庁消防大学講師
北海道警察山岳遭難救助アドバイザー医師
富山県警察山岳遭難救助アドバイザー医師
長野県山岳遭難対策特別アドバイザー医師
公益財団法人日本山岳・スポーツクライミング協会医科学委員常任委員
公益財団法人北海道体育協会スポーツ科学委員
一般社団法人日本登山医学会第2副会長

(勤務先)

山岳医療救助機構 (東京、札幌)
社会医療法人 孝仁会 北海道大野記念病院 (札幌)
日本大学医学部 兼任講師 (東京)