

【第2出版物】 (Ikeda T: Individual escape. In: Humans in Submarines; 2004)

## 潜水艦からの個人脱出

池田 知純

東京慈恵会医科大学 環境保健医学講座

### 第2出版物としての掲載に当たって

本稿は2004年にスウェーデン海軍における潜水艦活動100周年記念行事として出版された”Humans in Submarines”に収録された潜水艦からの個人脱出に関するキーノートスピーチ<sup>1)</sup>の邦訳である。この主題に関する邦文文献が殆ど認められないこと及びソースへのアクセスが容易ではないことから、第二出版物として、以下記すものである。

### 【要約】

一世紀半の歴史を有する海中で行動不能となった潜水艦からの個人脱出は、最近の潜水艦救難システムの発展にも拘わらず、依然として潜水艦乗員救出の重要な地位を占めている。本稿では欧米でよく知られている個人脱出事例に帝国海軍における個人脱出例を付け加えた。潜水艦脱出に於て考慮しなければならない生理学的諸問題のうち、脱出深度が増すにつれて減圧の問題が浮上してきている。また、救出時の艦内圧力の増加も救出可能深度を減ずることから重要な問題となっている。英国海軍で開発された一人脱出は、訓練要員にかかる特に加減圧の負荷が極めて大きくなっているにも拘わらず、実際の脱出環境をよく反映しリアリティに富んだ方法であることから、今後追求していく価値がある。もっとも、脱出訓練の許容リスクに関しては更なる検討が必要である。

### 【緒言】

技術の発展により海中で行動不能となった潜水艦からの乗員の脱出に際してはより安全で信頼性のある方法が出現してきている。それらの例としては、深海潜水救難艇 (deep submergence rescue vehicle: DSRV)、脱出球、Remoraとして知られる潜水艦ハッチへの遠隔操縦接合装置等が挙げられる<sup>2, 3)</sup>。然しながら、技術の発展にも拘わらず、それらの最新の救難システムが必要とされる場合に常にタイムリーに展開されるとは限らないことから、個人脱出は最終的な脱出方法として維持されていなくてはならない。また、脱出深度が浅い場合には却ってそれらのシステムが使用できない可能性があることも個人脱出を維持していく理由になる。

個人脱出の技術と可能性については、すでに用いられていない方法も含め、ほとんどが欧州と米国にお

いて追求開発されてきたため、関連する多くの文献あるいは情報は英語によるものが大半で有り、しかも、流通が限られる政府刊行物であることが多い。そのようなところから、極東で活動している筆者にとっては、欧米の情報に付け加える新しい情報は日本での資料のほかはほぼ皆無である。従って、本稿に於ては、満足のいくものとは言えなかった帝国海軍の潜水艦活動における脱出事例についても触れる。

### 【歴史】

#### First case

最初の個人脱出は1851年にドイツ海軍によって実施されている<sup>4, 5)</sup>。即ち、Wilhelm Bauerによって指揮された小さな可潜艇「Brandtaucher」は2月1日制御を失い、61mの海底に2名の乗員とともに着底した。Bauerは状況を冷静沈着に熟慮し、潜水艇の内部に

海水を入れることを決意したのである。2名の乗員を納得させることに苦労したものの、最終的に海水を入れ、艇の内外の圧力を均圧させることに成功した。そして艇の内部に生じた僅かな空気槽で空気を呼吸し、均圧によって開放されたハッチから水面に上昇していったのである。

残念ながら、Bauerによる成功事例のニュースは拡散することが極めて遅く、他の救難事例と同じく、潜水艦救難に於ても、その後の深刻な事例によって初めて改善されていったのである。個人脱出に関しては次の2例が挙げられる。

### HMS Thetis

就役したばかりの英海軍の潜水艦「HMS Thetis」は1939年潜降試験の際に160フィート(49m)の深さに沈んだ。艦内には乗り合わせた者も含め103名が乗艦していたが、翌朝艦尾を水面に出した状態で発見された。2名は沈没前に脱出し居合わせた駆逐艦に救助されたが、101名はその時点でなお生存しており、救助はすぐに来ると思われていた。しかし、2名が脱出したのみで残りの99名が炭酸ガス中毒のため、多くの人が見守る中、生存できなかったのである。このことが、英海軍に於ける潜水艦救難の改善を加速させることになった<sup>4,6)</sup>。

### HMS Truculent

英海軍は1946年にRack Keene大佐をヘッドとして潜水艦救難委員会を設置することになった。Rack Keene委員会は、冷たい水に曝露される危険性に対応するimmersion suits(スーツ)の開発を含む潜水艦救難及び脱出の方法を改善することを勧告したが、その時点でスーツが提供されている潜水艦は限られており、悲劇はすぐ先にあったのである。

潜水艦「HMS Truculent」は1950年1月12日スウェーデンのタンカー「SS Divina」と衝突しテムズ川河口で68フィート(21.7m)の深さに沈没した。シビリアン18名を含む79名の乗員のうち、5名が川に投げ出され救助された。残りの74名の内、10名は艦内(司令塔か)に拘束されて溺死し、64名が脱出を試みたが、10名が生存したのみで、残りは流され、主に低体温症

のため死亡している。この悲劇によって、脱出用具が広く供給されるようになった。

### 帝国海軍

帝国海軍は第二次大戦の終了に伴い、殆どの価値ある書類を焼却し武装解除され、さらに潜水艦のような一種特別な活動の公式記録は廃棄されているために、潜水艦脱出の展開を辿ることは容易ではない。以下は戦後の私的な刊行物によるものである。

帝国海軍は潜水艦救難及び脱出について殆ど関心を示していなかったような印象を残している。たしかに、当時の欧米先進諸国の海軍と同様の注意を乗員の生命に払っていたとは言えないかもしれないが、実情は少し異なっていたようである。図1は旧海軍関係者の所有になる海軍潜水学校における脱出訓練のシーンであり、それなりの留意はしていたようである。この訓練装置は1933年ごろに建造されている<sup>7)</sup>。然しながら、戦況が厳しくなると、艦内のスペースを確保する目的で脱出関連の機材は撤去されていったという噂がある。

ところで、戦後刊行された英文文献<sup>4)</sup>では否定されているが、日本に於ても沈没潜水艦からの生存例はあったのである<sup>5,8)</sup>。

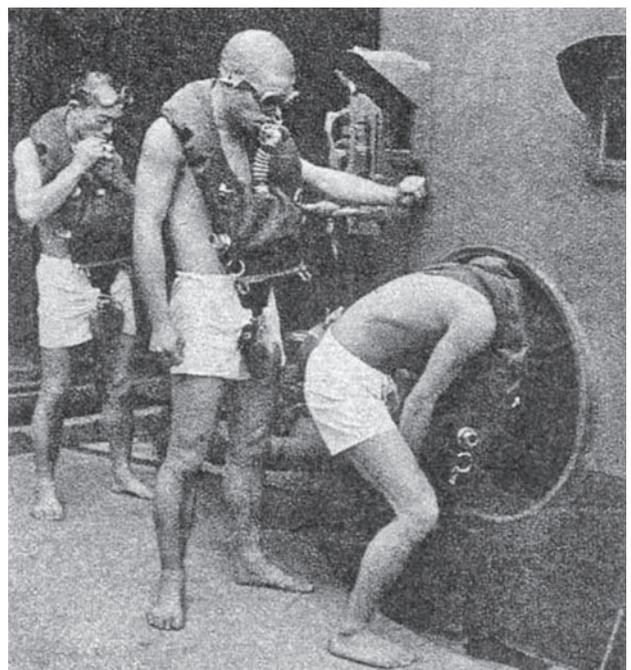


図1 海軍における脱出訓練の一齣<sup>7)</sup>

潜水艦「イ33」は1942年南太平洋に於て母船に横付け中、人為的エラーによって沈没し、その際1名の乗員が前部魚雷発射管から脱出している。「イ33」は引き揚げられ、1944年5月に再就役したが、6月13日、再び訓練中の人為的エラーによって瀬戸内海のキール深度61 mの深さに沈没し、およそ63名が艦内に生存していた。潜水艦のセイルにいた16名が脱出筒を利用して脱出した。8名が生きて浮上し、3名が漁船に救助されたが、うち1名は漁船上で死亡した。推定される脱出筒内の圧力は深度50 m相当前後であったろうと思われるが、圧力に曝露された時間は記録されていない。生存者の証言では、脱出の時に呼吸装置を装着した記憶はない、とのことから、脱出は自由上昇（フリーアセント）で行われたらしい。生存者によれば、浮上後に減圧に伴う悪影響は認められなかった、とのことである。ちなみに、「イ33」は悪運につきまわっており、戦後のサルベージ作業で潜水員3名が死亡している。

もう一つの生存例は「イ34」に関するもので、1942年潜水艦「HMS Taurus」の雷撃により深度31 mに沈んでしまった<sup>5)</sup>。おそらく雷撃による爆発の衝撃で自動的に開いた前部脱出筒からおよそ10名が脱出したとのことであるが、詳細は不明である。

### 最近の事例

1988年8月22日、ペルー海軍の潜水艦「Pacocha (SS-48)」が日本のトロール漁船「第8共和丸」と衝突して深度140フィート(42.7m)の深さに沈没したのである<sup>9)</sup>。49名の乗組員のうち、23名が潜水艦が沈む前に離艦し、20名が生き延びた。艦長はセイルに取り込まれて死亡し、3名は後部区画で浸水のために死亡した。残りの前部区画の22名は後述のスタンキフードを装着して個人脱出を行い、1名が浮上後死亡し、1名が重症となったが、20名のうち若干は後遺症を遺したが全員生存した。艦内の圧力は水深54フィート(16.3m)相当圧力であったと推測される<sup>10)</sup>。

### 【方法】

フリーアセント(自由浮上)はもっとも単純な脱出方法であるので、最後の手段としてこれからも残るであ

う。フリーアセント以外では、浮上中の呼吸を確保するために、いくつかの方法が考案されている。

第二次世界大戦前までに、英、独及び米国で脱出員のための呼吸装置が開発されている<sup>5, 11)</sup>。それらは英国のDavis Submerged Escape Apparatus, ドイツのTauchretter, 英語でDiver Saverと呼ばれる装置、米国のMomsen lung等であるが、それらはいずれもマウスピース付き再呼吸装置である。これらによって確かに多数の脱出成功例が報告されているが、人によっては浮上時に息を正しく吐くことが困難な場合もあったのである。

そこで、浮上時の呼吸を容易にし不安を和らげる方法としてフード付きの脱出装置が大戦後に米英両国で考案されたのである。アメリカでは開発者の中佐の名前をとってスタンキ(Steinke)フードを開発し、アメリカ及び関係国の全ての潜水艦に乗員分が搭載されることとなった。このフードは有用で、実際に潜水艦乗員を救命したこともあるが、次の二つの欠点を有していた。その一つは減圧に関するもので、脱出筒の加圧速度がゆっくりしたものであることから、陸上のチェンバーを用いた模擬試験で水深450フィート(137m)、実海面で水深318フィート(97m)からの脱出記録があるものの<sup>12)</sup>、脱出可能深度と脱出筒内での経過時間に大きな制約があるのである。もう一つの問題は冷たい海中への曝露で、低体温症を防ぐ手だては考慮されていなかったのである。

英海軍は脱出の実際の状況により敏感で<sup>4)</sup>、これまでの惨事に後押しされて、低体温症を防ぐsubmarine escape immersion suits (SEIS)と呼ばれるスーツを開発することとなった。SEISは全身をカバーし、より大きな断熱効果をもたらしていたが、現在では浮上後の脱出員をドライな環境に保つために小さなボート(ラフト)をつけたsubmarine escape immersion equipment (SEIE)を提供するようになっている。また、これらに加え、英海軍は小さな一人用脱出筒を考案して、脱出筒を急速に加圧し、その結果減圧症に罹患しない脱出深度を深めることに成功している。すなわち、実海面で600フィート(183m)、チェンバーでのシミュレーションで625フィート(190m)からの脱出を無事に実施している。ただ、脱出員のリスクを軽減

する見地から実際の脱出可能深度を300フィート(90m)に留めておこうとする意見もある<sup>13, 14)</sup>。

### 【生理的限界】

脱出員が直面しなければならない様々な問題の内、主要なものは減圧と冷たい海水への曝露であるが、冷水曝露は基本的に断熱の問題であるので、本稿では減圧についてのみ記す。

脱出深度を深くする上でパイオニアの役を果たしたのは英国である<sup>4, 6, 13, 14)</sup>。4秒ごとに加圧速度を倍にして加圧することによって、滞底時間を短くし、上にあげた脱出深度をヒトで立証している。また、スウェーデンの研究者と共同して、高酸素分圧を呼吸媒体としてヤギを深度290mから減圧している<sup>15)</sup>。

この一連の極めて短い滞底時間と極めて深い脱出深度という特殊な圧曝露実験に於て、興味深い考えが提唱されている<sup>13)</sup>。その一つは不活性ガスの取り込みの過半が加圧過程よりも減圧過程になされている可能性があることである。もう一つは、酸素が気泡の形成に一役かっているのではないかということである。短時間の酸素負荷の増大が、酸素が体内で消費されるよりも大きいので、圧較差の増加によって気泡の消失促進に関与している可能性がある<sup>16)</sup>。

また、より現実的な状況として潜水艦内の圧力が増加している可能性が大いに考えられる。飽和状態では1.8気圧からの直接浮上によって減圧症に罹患するので<sup>17)</sup>、上に示した脱出可能深度は艦内圧力の増加に伴って浅くなる。例として、統計学的に有意ではないが、90mからの脱出を艦内圧力が1.55気圧と1.6気圧の場合を比較した報告では、1.55気圧では14例中減圧症に罹患したものはいなかったが、1.6気圧では10例中2名が減圧症に罹患している<sup>14)</sup>。図2は脱出可能カーブで、これに従って、脱出員は脱出するか、救難を待って艦内に留まるかを決定することになる<sup>10, 18)</sup>。

これに伴って、重要な事は、艦内圧力の増大を可能な限り防ぐことだが、容易ではない。Warkanderらは膜分離テクニックを用いて、艦内の炭酸ガスを海水中へ放出出来ることを示した<sup>19)</sup>。炭酸ガス以外のガスを放出することも可能であり、艦内圧力の増加を避けることができる。

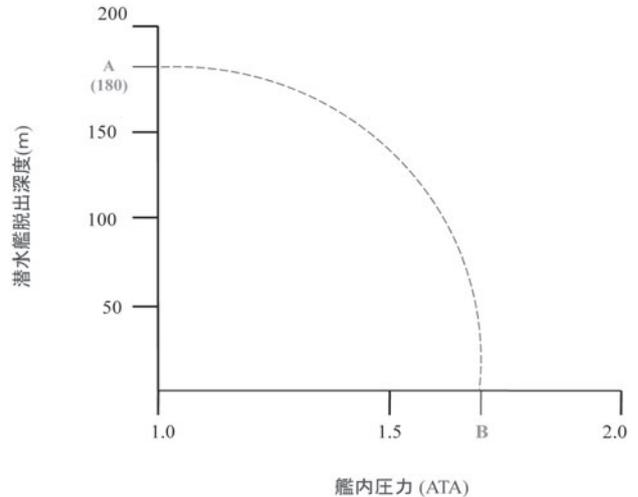


図2 脱出可能カーブ  
(NATO International Submarine Escape and Rescue Liaison Office による)

### 【訓練】

脱出を実際に信頼できる方法として確立するためには、脱出訓練を避けて通るわけにはいかないが、訓練は常に何らかのリスクを伴う<sup>20, 21)</sup>。実際に脱出訓練の初期の段階では何例かの致死例を生じているが、現在では1例の致死例も許容出来るものではない。さらに、致死に到らないにせよ、後遺症が残ることも避けなければならない。

在来型のスタンキフードを用いた海上自衛隊の1972年から2004年5月の間の脱出訓練では18,915名の脱出訓練員が異常なく訓練を実施している(レポート<sup>22)</sup>では14,700名としているが、この数字はレポート以降の数も加えたため多くなっている)。彼らのほとんどは一回の訓練で2回脱出しているので、このことは、35,000回以上の安全な脱出浮上と言うことになる(最初の脱出で水面に浮上したものは、そのままベルに移乗して水槽の中を通って脱出筒に移動し2回目の脱出訓練を実施しているので、脱出回数はおおよそ訓練員の2倍になるが、2回目を中止している場合もあるので、正確な脱出訓練回数は把握していない。また、レポートでは14,700回以上の脱出としているが、正確には14,700名以上の訓練要員である)。またトルコ海軍に於ても41,183回以上の脱出訓練を大きな異常なく実施したと報告して<sup>23)</sup>。このように多数の脱出訓練が支

障なく実施されていることは、注意深く実施すれば安全な脱出訓練が可能であることを示唆している。

現今の状況でより重要な情報は、実状に即した脱出方法である前記SEIS/SEIEを用いた訓練に関するものであろう。脱出訓練における合併症については英国における報告があるが、ほとんどは減圧症ないし塞栓症に関するもので、いずれも後遺症なく治癒しているとされている<sup>13, 14)</sup>。しかしながら、加減圧に伴う傷害については、我々は常に最新の注意を払っていただなければならない。なぜならば、例えば内耳圧外傷が生じた場合、減圧症に対する再圧治療のように特異的に有効な治療法を有しておらず、恒久的な障害を残しかねないからである。内耳のみならず、中耳の圧外傷も永続的な障害を残す可能性がある。

これらの圧力による外傷を防ぐためには、加圧速度を遅くすることが一つの方法であるが、このことは滞底時間が長く、脱出訓練深度が浅くなる可能性がある。前に記したように、脱出訓練深度の限界を300フィート(90 m)に設定する英国の考えは適切なのであろうか。それは深すぎないか、あるいは逆に、例えば、新しい呼吸媒体を使用するように抜本的に新規の脱出方法を採用するとした場合には浅すぎないであろうか。いずれにせよ、ヒトを対象とした実証実験の深度制限はどうあるべきか、あるいは動物を用いた実験の役割等について、議論を深めておくことが望ましい。

#### 【追記】

これまで述べてきたこと以外にもたくさんの因子が個人脱出の成否に影響を与えることが知られている。NATOの潜水艦脱出及び救難に関する国際連絡事務所(International Submarine Escape and Rescue Liaison Office: ISMERLO)のウェブサイトに記載されている情報は有用である。

また、今回のレポートの刊行以後のことであるが、艦内圧力の増加と脱出可能深度については、新しい知見<sup>24)</sup>が最近得られていることも付記する。

#### 参考文献

- 1) Ikeda T: Individual escape. In: Ornhagen H, ed. *Humans in Submarines*. Stockholm; Royal Swedish Navy, 2004; pp.161-167. [ISBN 91-631-5746-2]
- 2) Mole DM. *Submarine Escape and Rescue: An Overview*. San Diego CA: Submarine Development Group One. 1990.
- 3) Walker R. A complete submarine escape and rescue organization. *SPUMS J* 1997;27:95-104.
- 4) Shelford WO. "Subsunk" The Story of Submarine Escape. New York; Doubleday & Company, Inc. 1960.
- 5) 酒井三千生. 脱出! 沈潜からの個人救命法の沿革. *世界の艦船*, Apr 1981;138-141, May 1981;102-108, Jun 1981;134-138, Jul 1981;88-91, Aug 1981;168-175, Sep 1981;138-142, Oct 1981;182-185, Nov 1981;140-143, Dec 1981;106-108, Jan 1982;210-213, Feb 1982;140-143, Mar 1982;138-145, Apr 1982;138-143, May 1982;142-144, Jun 1982;136-142, July 1982;136-142, Aug 1982;142-145, Sep 1982;180-185, Oct 1982;140-143.
- 6) Foster CRM. A historical review of individual escape. In: Ikeda T, ed: *Proceedings of Medical Symposium on Submarine Rescue*. Submarine Rescue Exercise Pacific Reach 2002. Yokosuka Japan; MSDF Undersea Medical Center, 2004; pp.4-10.
- 7) 海軍潜水学校史編纂委員: *海軍潜水学校史*, 呉;海上自衛隊潜水艦教育訓練隊. 1996.
- 8) 岡田賢一: 沈没潜水艦より奇蹟の脱出. 生還ただ二人十年後に引揚げられた運命の艦. *太平洋戦争ドキュメンタリー* 第5巻. 東京; 今日の話題社. 1968; pp.147-189.
- 9) Harvey C, Carson J: *The B.A.P. Pacocha (SS-48) Collision: The Escape and Medical Recompression Treatment of Survivors*. Groton, CT: Naval Submarine Medical Research Laboratory, 1989. Report No SP89-1.
- 10) Parker EC, Ball R, Tibbles PM, Weathersby PK. Escape from a disabled submarine: Decompression sickness risk estimation. *Aviat Space Environ Med* 2000;71:109-14.
- 11) Davis RH. *Deep Diving and Submarine Operations*, 8th ed. Cwmbran Gwent, Siebe Gormans & Company Ltd., 1981.
- 12) Flynn ET, Catron PW, Bayne CG. Lesson 47: Submarine escape and rescue. In: *Diving Medical Officer Student Guide*. Naval Technical Training Command, 1981.

- 13) Donald KW. A review of submarine escape trials from 1945 to 1970 with a particular emphasis on decompression sickness. *J Roy Navy Med Serv* 1991; 77:171-200.
- 14) Benton P. Submarine escape trials 1999-2001, provision of medical support. *J Roy Naval Med Serv* 2002;88:108-115.
- 15) Gennser M, Blogg SL, Seddon FM, et al. Simulated submarine escape from 290m (3MP) while breathing hyperoxic gas. *Undersea Hyperbaric Med* 2004;31:319-320.
- 16) Blogg SL, Gennser M, Loveman GAM, Seddon FM, Thacker JC, White MG. The effect of breathing hyperoxic gas during simulated submarine escape on venous gas emboli and decompression illness. *Undersea Hyperbaric Med* 2003; 30:163-174.
- 17) Ikeda T, Okamoto Y, Hashimoto A. Bubble formation and decompression sickness on direct ascent from shallow air saturation diving. *Aviat Space Environ Med*. 1993; 64:121-125.
- 18) Harvey CA, Stetson DM, Burns AC, et al. *Pressurized Submarine Rescue. A Manual for Undersea Medical Officers*. Groton, CT: Naval Submarine Medical Research Laboratory, 1992. Report No 1178.
- 19) Warkander DE, Senf CJ, Barth AH, et al. Membrane separation techniques used to eliminate CO<sub>2</sub> from a submarine atmosphere to surrounding water. *Undersea Hyperbaric Med* 2004;31:315.
- 20) Turner MS. Submarine escape from a depth of 300 feet: a personal experience. *J Roy Navy Med Serv* 1995;81:210-213.
- 21) Van Wijk C. Submarine escape: The effect of training on anxiety. *Milit Med* 1998;163:68-70.
- 22) Ikeda T, Oiwa H. Safe individual submarine escape training: over 14700 uneventful ascents in the Maritime Self-Defense Force. In: Cimsit M, ed. *Proceedings EUBS 1994. XXth Annual Meeting of the European Underwater and Baromedical Society on Diving and Hyperbaric Medicine*. Istanbul, Turkey: Hyperbaric Medicine and Research Center (HITAM), 1994:505-510.
- 23) Yildiz S, Ay H, Gunay A, Yaygili S, Aktas S. Submarine escape from depths of 30 and 60 feet: 41,183 training ascents without serious injury. *Aviat Space Environ Med* 2004;75:269-71.
- 24) Jurd KM, Seddon FM, Thacker JC, et al. Submarine 'safe to escape' studies in man. *Undersea Hyperbaric Med* 2014;41:307-314.