

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 17 日現在

機関番号：12614

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500811

研究課題名(和文)息こらえ潜水者の行動と生理学的側面から見た安全システムの提案

研究課題名(英文) Proposal of safety system for breath-hold divers according to behavior and physiological aspects

研究代表者

千足 耕一 (CHIASHI, KOICHI)

東京海洋大学・海洋科学技術研究科・准教授

研究者番号：70289817

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では国内においても減少傾向にある息こらえ潜水にて漁業を営む海女・海士および一流の競技者を含む息こらえ競技ダイバーの潜水時における行動と生理学的なデータを収集・分析することにより、息こらえ潜水が身体に及ぼす影響を検討した。データの取得には小型データロガー(EPI社製)を海士・海女に装着し、操業中の潜水深度、潜水時間および海面休憩時間などを1秒間隔で計測した。さらに、ウェアラブルカメラ(GoPro社製)を海士・海女に装着し、操業の様子を記録した。加えて、質問紙法による健康状態の調査を行った。本調査の対象者における神経系DCI発症リスクは、高いレベルにはないことが推察された。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to propose safety system for breath-hold divers according to behavior and physiological aspects. We developed the data log system to measure depth, speed, information on a position, acceleration during their daily diving work. Furthermore we tried to clarify the health conditions and to mitigate the health problems of the elderly Ama divers in Japan. A questionnaire about their health conditions was administered to the divers. To survey the working conditions of the Ama divers, diving depth, diving time, and surface interval time during work were measured. Video recording was conducted during work. The major health problems of the Ama divers in this study were knee pain (40.0%) and low back pain (64.4%). These results suggest that boulder shores should be flattened and elderly Ama divers should carry lighter weights to mitigate knee and low back pain. And we guess the possibility of neural decompression sickness is low.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：息こらえ潜水 潜水漁業 安全 健康

## 1. 研究開始当初の背景

海女による潜水労働においては、近年の水産資源の減少から、従来の海女の潜水域が水深 5 - 15mと見られていたのに対して、現在では水深 10 - 20mでの採貝が行なわれるようになってきた。その結果、高齢の海女においては膝など関節の痛みを訴えることが多く、潜水病が懸念されるようになってきている。このような状況から、海女の息こらえ潜水に関する実態を精査して追求する必要がある。

一方、潜水競技者に目を向けると、1970 年前後、当時の息こらえ潜水競技者 (R Croft, J Mayol) を対象とした実験において、息こらえ潜水中に心臓や肺の血液量が増加する現象が確認された。これは、ヒトの水棲能力向上の可能性を示唆するものであり、この現象はブラッドシフトと呼ばれている。1970 年前後の実験では、水中においてエックス線 (Data PG et al:1979) や間接インピーダンス法 (Flynn ET et al:1981) を用いて胸部の血液量変化を観察したものであった。これらの測定方法では頭部の血流動態について信頼性の高いデータを得ることが困難であった。申請者は近赤外線分光法 (NIRS) を用いることにより、潜水中の脳の血液量変化を安定して観察できる可能性を見出した。NIRS は、装置が比較的小型であるため本体の防水処理を行えば、ダイバーの身体に装着して測定を行うことができることや、赤外線の発光部と受光部が耐水性であることから、ダイバーの身体に装着して、潜行から浮上に至るすべての潜水局面の血液動態を測定することが可能となる。

## 2. 研究の目的

息こらえ潜水にまつわる課題や問題について明らかにするために、水中の移動や水深、水温、体内の生理情報を記録できるバイオロガーを使用することにより、海女や競技潜水者の活動様式 (潜水時間、潜水頻度など) の実態を把握することにより、潜水病に罹病することなく潜水を行なう "安全システム" を提案し、安心して潜水漁業や競技が継続できるように支援することにある。

## 3. 研究の方法

### 1) 計測協力者

潜水操業実態の計測には、千葉県南房総市白浜町のフナド海士 1 名 (60 歳代; 1 操業)、カチド海女 1 名 (30 歳代; 3 操業)、三重県鳥羽市国崎 (くざき) 町のフナド海女 1 名 (50 歳代; 1 操業)、カチド海女 3 名 (50 歳~60 歳代; 3 操業) の協力を得た。また、分析中であり、本報告書には反映されていない、神奈川県葉山町のフナド海女・海士 3 名の協力も得た。なお、フナドとは、潜行時には 10kg 前後の錘を携え、その錘の沈降する力で潜行を行い、浮上時にはウインチまたは人力で引き上げるロープに掴まって浮上する潜水方法を行う者である。これに対してカチドとは、

潜行・浮上ともに足ひれなどを用いて自力で行う者である。

2) 潜水深度、潜水時間、海面休憩時間の計測  
新たに開発した小型データロガー (EPI 社製) を海士・海女に装着し、操業中の潜水深度、潜水時間および海面休憩時間を 1 秒間隔で計測した。潜水深度は圧力センサーによって計測し、計測誤差は 15cm 以内であった。小型データロガーの装着には、ウエイトベルトを用いて腰に装着する方法、あるいはデータロガーを背部に取り付けられるよう加工したベストを装着する方法のいずれかを用いた。なお、小型データロガーは円柱 (縦 104mm、径 68mm) の形状であり、重量は約 500g であった。

### 3) 潜水操業実態の映像記録

ウェアラブルカメラ (GoPro 社製) を海士・海女に装着するとともに、調査員もウェアラブルカメラを装着して海士・海女と一緒に潜水し、操業状況の主観および客観的映像を記録した。海士・海女におけるウェアラブルカメラの装着部位は、岩棚に入るような操業を行っている場合は胸部または肩部とし、岩棚に入らない操業を行っている場合は頭部とした。調査員による客観的映像の記録の際には、海士・海女の操業を阻害することのないよう、十分に距離を保ちながら行った。

### 4) 質問紙調査

三重県鳥羽市に在所する鳥羽磯部漁業協同組合国崎支所に協力を仰ぎ、同支所に所属する海女 45 名 (年齢,  $66.2 \pm 6.1$  歳; 海女歴,  $46.3 \pm 12.7$  年) より回答を得た。年齢等の基本属性の他、潜水中および潜水後に経験したことのある各種症状に関する質問 7 項目、健康状態に関する質問 10 項目より構成される質問紙は、国崎支所で海女に配布した日の翌日に、同支所において回収した。

## 4. 研究成果

### 1) 潜水操業実態の計測から

潜水深度、潜水時間および海面休憩時間のデータから、海女漁の安全性を考えるとすれば、観点としては酸素欠乏による失神、加圧と減圧の繰り返しによる肺水腫、さらに血液に取り込まれた窒素ガスによる神経系 DCI (decompression illness; 減圧障害) などが挙げられる。海女漁のような繰り返しの息こらえ潜水において、片麻痺、発語および視覚異常等の神経系 DCI が発症することが報告されており、このような症状は、繰り返しの息こらえ潜水によって体内に取り込まれた窒素ガスが気泡化し、脳動脈を塞栓する事によって惹起されるものと考えられている。1960 年代においては、息こらえ潜水において神経系 DCI が発症する潜水深度は、20~40m と考えられていたものの、近年では、20m 以浅においても発症することが報告されている。Gempp and Blatteau は、10~18m という、これまでの報告よりも浅い深度での神経系 DCI を報告しており、この症例におい

ては、心臓に卵円孔開存を認めている。卵円孔開存とは、胎児期において心房中隔に存在する微小な孔が成人になっても開存している状態であり、成人における卵円孔開存の有病率は26%という報告もある。卵円孔開存は心臓の右心系（静脈系）において気泡化した窒素ガスが左心系（動脈系）へ移動することを促進するため、神経系 DCI の高いリスクファクターとなり得る。潜水深度は Gempp and Blatteau の報告を参考として 10m 以深、なおかつ海面休憩時間（surface time）/潜水時間（dive time）以下、st/dt 比）は Lanphier の報告を参考として 0.8 以下と想定し、本調査において計測した潜水深度、潜水時間および海面休憩時間の結果との照合ならびに検証を試みた。本調査でデータを収集した海女漁 1 操業における操業時間、潜水回数および 10 分当たりの潜水回数では、最も長い操業時間でも、白浜カチド海女 1 の 102 分であり、先行研究で報告されている長崎県対馬の海士（135～150 分）、石川県舳倉島の海女（100～120 分）および山口県北部の海士（120～240 分）よりも、本調査協力者の操業時間は短い傾向にあった。また、国崎の海女については、10 分当たりの潜水回数が白浜の海士・海女と比較して高い傾向にあり、合志らが報告している山口県北部の海士の値（3.3～6.6 回/10 分）と比較しても、高い傾向にあった。このことから、国崎の海女は他の地域の海士・海女と比較して、潜水頻度が高いことが特徴と言える。本調査で対象とした海士・海女の平均潜水深度は 3.6～11.9m であった。先行研究の傾向より神経系 DCI の発症リスクが高まると想定した、水深 10m 以上の潜水深度を記録したのは白浜フナド海士の操業（11.9m）であった。各海士・海女の平均潜水時間と平均海面休憩時間、ならびに st/dt 比では、国崎カチド海女 1 の操業においては、10 分当たりの潜水回数が 23 と最も多かったため、st/dt 比も低いことが予測されたものの、平均潜水時間が 19.6 秒、平均海面休憩時間が 20.7 秒であったことから、st/dt 比は 1.05 となった。ちなみに、国崎カチド海女 1 の操業における平均潜水深度は 3.6m であり、浅海を高い頻度で潜水する操業であったことが窺える。また、各海士・海女における st/dt 比は 0.73～2.28 であり、本調査で神経系 DCI の発症リスクが高まると想定した、0.8 以下を記録したのは国崎フナド海女の操業（0.73）であった。しかし、国崎フナド海女の平均潜水深度は 7.8m であり、水深 10m を越えるものではなかったことから、このケースにおいては st/dt 比が低値を示したものの、神経系 DCI の発症リスクが高い操業ではなかったと考えられる。また、平均潜水深度が 11.9m を記録した白浜町フナド海士の st/dt 比は 2.06 であり、平均潜水時間が 76.9 秒であったのに対し、平均海面休憩時間は 158.5 秒であったことから、潜水時間に相応する十分な海面休憩時間が取

られていた。以上の結果から、本調査の対象者における神経系 DCI 発症リスクは、高いレベルではないことが推察された。したがって、本調査で対象とした海士・海女については、神経系 DCI の発症防止のために現在の操業形態を変更するような提案を行う必要性は、極めて低いと判断された。

しかしながら、海士・海女が高齢化していることなどを鑑みれば、神経系 DCI 発症予防のためのいくつかの注意点は、本調査で対象とした海士・海女に提案する必要があると考えられる。まず 1 点目は、潜水操業中の脱水である。潜水を行うと利尿作用が高まることが知られており、脱水は窒素ガスの気泡化を促進させる。このことから、操業中の排尿を嫌い、水分をあまり摂取しない海士・海女も存在するが、潜水操業前や操業中においても十分な水分摂取を促す必要があると考えられる。また、高齢者は若齢者よりも体水分量が少ないとする報告もあることから、特に高齢の海士・海女には、水分摂取を積極的に勧める必要があると考えられる。2 点目は、高齢になると罹患率が上昇する生活習慣病のコントロールである。息こらえ中は収縮期血圧が 200mmHg 以上となることが報告されていることから、操業中には陸上生活では経験しないような血圧変動が繰り返し生じていることが予測される。本件は、窒素ガスの気泡化に由来するものではないものの、潜水中に高血圧性脳内出血が発症するケースも十分に考えられ得ることから、操業中の血圧変動に血管系が耐えうるような状態を保持すべく、日常生活において高血圧をコントロールすることは、重要な点であると考えられる。さらに 3 点目として、卵円孔開存に関する心エコー・スクリーニングを一度は行っておくことも、海士・海女には必要であると考えられる。仮に、卵円孔開存が存在したとしても、潜水深度が 4m 未満であれば、気泡形成に十分な窒素ガスの取り込みは行われなことが確認されていることから、この範囲での操業は安全面から考えて問題ないものと思われる。また、10m 以浅であれば、十分な海面休憩時間を取ることや、操業時間を短縮することによって、安全に海女漁を行うことができる可能性も考えられる。

## 2) 質問紙調査の結果から

平成 22 年国民生活基礎調査によれば、60～69 歳女性の腰痛有訴者率は 15.5%である。本調査において、腰痛の有訴者率が 64%であったことは、一般的な同年代の女性と比較して、国崎町の海女は腰痛の有訴者率が約 4 倍であることが明らかとなった。また、膝痛の有訴者率が 40%であったことも顕著な傾向であると考えられる。腰痛に関しては、海女は鉛玉を連ねた総重量 6～8kg のベルトを腰部に巻き付けて操業を行っており、特に着底期においては、ほぼうつ伏せの状態であることから、鉛玉による腰部への過負荷が腰痛の原因と推察された。本件を改善する策として

は、腰部1カ所に集中している鉛玉の負担を分散させるため、背部、前肩部および頸部などにも鉛玉を装着する方法が有効であると考えられる。また背部、前肩部および頸部に鉛玉を装着することは、頭を下にして潜行する、いわゆるヘッドファースト潜行を行う際、身体の安定化にも貢献することから、潜水効率の向上も期待できる。さらに、有訴者率が高い傾向にあった膝痛の原因としては、足場不安定な砂浜や磯において、上述の鉛玉を装着しての移動、操業終了時には10kg前後の漁獲物を運搬、潜水中の着底期において、漁獲物を探すために下腿をさまざまな方向に動かして足ひれを操作している、以上の3点が推察された。この改善については、早急の対応が難しいものの、に関しては、古来より伝承されてきた四肢を使用する潜水泳法の応用「大和潜り」を用いる事により、下肢のみに集中している潜水中の推進力確保の労作を、上肢にも分散させることが可能となると考えられる。また本来大和潜りは素手素足にて行われるものであるが、国崎の海女の場合、全員がウエットスーツを着用して操業を行っており、ウエットスーツ自体の浮力の影響などから、足ひれ等の推進補助具を用いなければ、潜行浮上時および着底期における移動時には、推進力確保のために多大なエネルギーが必要となる。そこで、手には水泳練習用として市販されている水掻きが付いたグローブ、足には通常の足ひれよりも短い、これも水泳練習用として市販されている足ひれを用いる方法が考えられる。通常の足ひれを用いた場合、水掻き付きグローブの使用は、特に着底期における方向変換において効力を発揮するものであるとともに、潜水中において稀に発生する下肢の痙攣時において、足ひれ操作が困難な場合の代替として、有効であることが推察される。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

潜水操業実態および健康状態から推察した海士・海女潜水の安全性および改善策、(査読なし)、藤本浩一、千足耕一、山川 紘、海洋人間学雑誌、3(Suppl):36-44, 2015.

〔学会発表〕(計8件)

Koichi Fujimoto, Koichi Chiashi, Hiroshi Yamakawa and Yuji Sano: High prevalence of knee and low back pain in Japanese elderly Ama divers (commercial breath-hold divers) 13th International symposium on maritime health, Bergen Norway, 2015.6 (発表確定)

安全な海女漁のために(講演), 海女振興協議会/里海の創る海女の会, 藤本浩一, 三重県志摩市, 2015年5月16日

潜水操業実態および健康状態から推察した海士・海女潜水の安全性および改善策, 藤本

浩一, 千足耕一, 山川 紘, 日本海洋人間学会第3回大会(東京), 2014年9月28日,

海女の操業実態から見た健康管理と磯根資源の育て方(基調講演), 山川 紘, 水産海洋地域研究集会第23回 熊野灘の漁業を考える 里海と共生する海女漁業の再興を考える, 2014年2月22日, 報告書 pp1-4

ヒトにおける息こらえ中の血液再配分-一般成人を対象とした case study-, 藤本浩一, 佐野裕司, 千足耕一, 山川 紘, 菊地俊紀, 日本海洋人間学会第2回大会(東京), 2013年9月28日

日本各地の海女・海士の操業実態 - 労働の内容と環境情報 - (アグリフェア・ポスター発表), 千足耕一, 山川 紘, 藤本浩一, 2013年10月24日

日本各地の海女・海士の操業実態 - 労働の内容と海底の環境 -, 日本水産学会秋季大会(三重大学), ミニシンポジウム, 山川 紘, 2013年9月22日

Diving patterns of breath-hold divers, K.Chiashi, K.Fujimoto, T.Toya, 12th International Symposium on Maritime Health, Brest(France), 2013.6.5

〔図書〕(計1件)

岡本美鈴, 千足耕一, 藤本浩一, 須賀次郎, スキングダイビング・セーフティ, 成山堂 2015年7月刊行(印刷中)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.chiashi.jp/chiashilabo/>

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

千足耕一 (Koichi CHIASHI)

東京海洋大学大学院・海洋科学技術研究科・准教授

研究者番号: 70289817

(2) 研究分担者

藤本浩一 (Koichi FUJIMOTO)

日本女子大学・家政学部・助教

研究者番号: 10287815

山川 紘 (Hiroshi YAMAKAWA)

東京海洋大学・産学・地域連携推進機構・客員教授

研究者番号: 80017061