

【資料：他誌掲載論文】

日本の職業性素潜りダイバー(アマ)における神経系の減圧障害の調査報告

玉木 英樹^{1, 2)} 合志 清隆^{1, 3)} 石竹 達也¹⁾ Robert M Wong⁴⁾

久留米大学 医学部 環境医学講座¹⁾

玉木病院 救急・総合診療科²⁾

Clinical Research Team, The Baromedical Research Foundation, USA³⁾

Department of Diving and Hyperbaric Medicine, Fremantle Hospital, Western Australia⁴⁾

日本の山口県北部地方で職業性の素潜りダイバー(アマ)における神経障害とその危険因子との関連性について調べた。アンケート調査は漁業組合に所属する381名のアマを対象としたものである。潜水の状況(1回の潜水の深さと時間, 息継ぎ時間, 連続した潜水作業の期間, 休息の期間)と高血圧, 不整脈, 糖尿病やその他の疾患の有無について聞き取り調査を行なった。381名のアマのなかで173名(45%)から回答が得られ, 29名が“フナド”(錘を用いて潜るアマ)であり, 残り144名が“カチド”(自力で潜るアマ)であった。このなかで12名が素潜りを繰り返している最中やその直後に脳卒中様の症状を経験しており, “フナド”が11名で“カチド”が1名であった。神経障害を経験していた12名のアマのなかで筋・骨格の症状があったのは2名だけであった。神経障害は潜水の深さや時間さらに息継ぎ時間に関連していたが, 病歴には関係がなかった。神経障害は“カチド”に比べて“フナド”に起こりやすい傾向にあった。繰り返す素潜りでは, 1回の時間が長くて深度が深くなり, さらに息継ぎの時間が短くなると, 減圧障害が起こりやすくなり, その特徴は脳卒中である。

キーワード 素潜り, アマ, 減圧障害, 脳卒中

【Information】

A survey of neurological decompression illness in commercial breath-hold divers (Ama) of Japan

Hideki Tamaki^{1, 2)}, Kiyotaka Kohshi^{1, 3)}, Tatsuya Ishitake¹⁾, Robert M Wong⁴⁾

1) Department of Environmental Medicine, Kurume University School of Medicine, Kurume

2) Division of Emergency and General Medicine, Tamaki Hospital, Hagi

3) Clinical Research Team, The Baromedical Research Foundation, USA

4) Department of Diving and Hyperbaric Medicine, Fremantle Hospital, Western Australia

keywords breath-hold diving, Ama, decompression illness, stroke

はじめに

日本と韓国の沿岸で主に貝類の採集を職業とした素潜りダイバーはアマと呼ばれている^{1, 2)}。この素潜りには2つの方法があるが, 1つは錘を用いない“カチド”として知られるアマである。他の1つが潜る際に錘を用いる“フナド”であり, これは浮上に補助を要するか自

ら泳ぐかに分かれている。

韓国のアマは女性であるが, 日本では主に男性である。日本のアマの人口は1977年の13,000名(男性65%)から1986年の16,500名(男性80%)に増えている。これには体温低下を防ぐウェットスーツの導入が影響している。最近のアマの人口動態の調査報告はない

が、アマの人数、なかでも女性の数は20年間で減少しているものと考えられる。日本でアマが男性の仕事として普及したのは、男性の収益性が高いこととアワビやナマコなどが高価格であるからである。

減圧障害(DCI)が圧縮空気を使うダイバーやケーソン作業者に起こることは周知のことであるが、これが素潜りダイバーに生ずるかどうかは医学研究者で議論されてきた。1960年代にCrossが、フランス領であるTuamotu地区のポリネシア群島で真珠貝を採取する素潜りダイバーにみられる障害を“Taravana”症候群として報告したことから^{5, 6)}、繰り返す素潜り後の重篤な神経障害がDCIであるかどうかの議論になった。1990年代からは日本のアマで神経系の障害の症例が報告されてきた^{7, 8)}。山口県の1つの漁村での調査報告によれば、半数以上の“フナド”に潜水による神経障害が生じている⁹⁾。さらに、より深く潜ることが可能な水中スクーターを使用した際には、職業性ないしアマチュアの素潜りダイバーでDCIの症例も報告されてきたことから¹⁰⁻¹²⁾、素潜りによるDCIは臨床的な概念として認識されてきている¹³⁾。しかし、どれくらい日本のアマに潜水による神経障害が生じているのか、どのような因子が発生に関係しているのか明らかではない。

方法

1. 対象

今回の調査の対象は、山口県北部地域(北緯34度29分47秒, 東経131度7分24秒)の阿武・萩地区の潜水漁業協同組合(漁協)に所属する381名のアマである。このアマの漁協は2つの島と沿岸にある14地域を統括している。このアマで346名が男性であり女性は35名であるが(男性91%), 彼らの年齢は10代から80代までにわたっている。“フナド”は39名で全例が男性であったが、すべての女性アマは“カチド”であった。

アマの漁期(12月21日から10月20日まで)は月曜から木曜までであり、彼らは連日の漁を行なっている。所属する漁協の規則で漁は午前9時から15時までとされている。すべてのアマがウェットスーツと足ひれを使用しており、それぞれの浮力に合わせた重りをベルト

に着用していた。仕事の時間は午前と午後に分かれており、その間にアマは昼食をとっていた。

すべての“フナド”が錘を持って潜行して、自力で泳いで水面に浮上していた。以前は潜る深さは錘のひもが目安であったが、最近では魚群探知機で測定されている。

2. 実施法

2009年4月に381名の全員のアマに依頼文書を配布してもらった。その内容は調査の目的を説明したものと回答が任意であることであった。秘密厳守の意味でアンケート調査は無記名で行なわれた。さらに、今回の調査の目的を漁協の組合長に説明して、アンケート調査は匿名による配布と回答をしてもらった。この研究は久留米大学の倫理委員会です承されたものである。

統計的情報には、潜水法と平均的な潜水プロフィールのなかで、潜水の深さと時間、息継ぎの時間、午前と午後の潜水の期間、さらに昼食時間が含まれている。さらに、ダイバーの最近の病歴(高血圧、不整脈、糖尿病など)と既往歴(虚血性心疾患、脳血管障害など)も検討された。

さらに、潜水に関連した身体ないし神経障害(皮膚の発赤、関節痛、フラフラ感、めまい、吐き気、気分高揚、運動障害、感覚障害、視機能障害、発語障害、けいれん、意識障害)の発症時期も含まれていた。神経障害は明らかな“脳卒中様”の障害としている。潜水に関連した全ての障害は、最終の潜水から24時間以内に起こった障害とした¹⁴⁾。

3. 統計

潜水の深さと1回の時間、休憩期間と病歴で統計的な検討(Student's TテストとWelchテスト)を行なった。神経障害と危険因子の検討は多重ロジスティック回帰分析(step-wise法)で行なった。統計の解析には市販の統計ソフトのJMP7.0IJを使用し、有意差は $P < 0.05$ とした。

結果

アマの185名から回答があったが、そのなかで女性

アマの12名は不完全な回答で2m以内の浅い水深であったことから、今回の検討から除外した。それ以外の男性アマ173名を今回の対象としており、29名が“フナド”であり144名が“カチド”であった。その対象者の統計的な特徴はTable 1に示されている。彼らの多くは20-30才でアマ漁を始めて、10-40年間は生業として続けている。

通常、アマは浅い水深で“カチド”として始めて、その後に“フナド”になっていた。すべてが浮力を調整

するために6-10kgの重りを付けたベルトを使用しており、“フナド”は10-20kgの錘を用いて潜り、自ら泳いで水面まで上がっていた。アマは昼食時間を含めて5、6時間の漁をしていた。潜水期間は午前中が3-4時間で、午後は1-3時間であった。

173名のアマのなかで12名(6.9%)が繰り返す素潜りの最中か直後に脳卒中様の神経障害を経験しており、そのうちの11名がフナドでありカチドは1名のみであった(Table 2)。最も多くみられる症状が感覚障害(7例)と片側の運動障害(6例)であった。その他には、フラフラ感、めまい、吐き気(これらは耳の圧気障害にもよるが)、さらに四肢の痛みであり、これらに神経障害を伴うことがあった。特に、めまいは“フナド”で息こらえ時間が長く連続すると頻回に起こっていた。神経障害のあった12名のなかの2名は肘や四肢の激痛を経験していたが、皮膚の発赤はなかった。特徴的なことでは、これらの神経障害の多くが一過性で10名のアマでは完全に回復していたことである。しかし、今回の調査の時点で2名は神経症状を残しており、1人は部分的な視野障害であり他の1人が上肢の感覚障害であった。

Table 1. Demographic characteristics of subjects (n=173)

Age	No.	assisted/unassisted*
~20	1	0/1
~30	8	0/8
~40	4	0/4
~50	31	4/27
~60	58	14/44
~70	42	8/34
~80	27	3/24
~90	2	0/2
Total	173	29/144

*: types of diving techniques

Table 2. Diving patterns and neurological disturbances in 12 Ama divers

Case No.	Age (yr)	Diving techniques A/U	Dive depth (msw)	Dive time (sec)	Surface interval (sec)	Length of diving shifts (hr)	Neurological symptoms of diving accidents
1	66	A	15	50	40	6 (4, 2)*	hemiparesis
2	71	A	13	60	15	5 (4, 1)	hemiparesis, dizziness, nausea, joint pain
3	52	A	12	50	50	5 (3, 2)	speech disturbance, sensory numbness, dizziness
4	53	A	10	30	30	6 (4, 2)	sensory numbness, dizziness
5	57	A	15	40	15	5 (3, 2)	hemiparesis, sensory numbness, dizziness
6	59	A	13	40	□	6 (-, -)	sensory numbness, dizziness
7	62	A	10	60	20	4 (4, 0)	visual disturbance, dizziness
8	45	A	20	90	20	6 (3, 3)	speech disturbance, sensory numbness, vertigo, dizziness
9	53	A	15	90	30	5 (3, 2)	sensory numbness
10	71	A	15	60	25	6 (3, 3)	speech disturbance, hemiparesis, sensory numbness, limb pain
11	46	A	20	70	50	5.5 (3.5, 2)	hemiparesis
12	59	U	12	60	120	6.5 (4, 2.5)	hemiparesis, sensory numbness, dizziness, vertigo, nausea

A/U: assisted/unassisted Ama divers msw: meters of sea water

*: parenthesis means dive shifts in the morning and the afternoon

Table 3は調査の変数と神経系のDCIとの相関をみた解析結果である。潜水による脳卒中様の障害は潜水歴、潜水法とそのプロフィールに有意に関連していた。潜水に関連した3つの因子のなかで、息継ぎ時間に比べて潜水の深度と時間がより関係しており、高い統計学的な有意差があった。神経系のDCIは高血圧、糖尿病や不整脈の有病歴に関係していなかった。すべてのアマの既往歴では、虚血性心疾患が2名、脳血管障害が1名であり、2名ががんであったが、これらは神経障害との関連はなかった。

考察

今回の研究の目的は“フナド”と“カチド”で潜水障害の状況を調査することであり、さらに日本の素潜りのアマで神経障害の危険要因を検討することであった。ほとんどの脳卒中様の障害は“フナド”に生じており、潜水の深さや1回の息こらえ時間、息継ぎ時間が関与していた。この結果は素潜りの時間と深度による不活性ガスの蓄積を示唆している。

理論的にはDCIは素潜りダイバーでも生じるが、このことは1990年代初めごろまでは懐疑的ないし極めて稀とされていた。その後、潜水障害が職業性ないしアマチュアの素潜りダイバーに生じていることが報告され、特にスペイン沿岸に近い地中海では水深が深くなる水中スクーターを使用し

た際に生じている¹⁰⁻¹²⁾。
ある漁村の16名の“フナド”の調査によれば、9名が繰り返す素潜りの最中か直後に脳卒中様の障害を経験していた⁹⁾。潜水障害が生じた素潜りダイバーの報告によって、繰り返す素潜りによるDCIは明らかな1つの臨床的概念として認識されてきている¹³⁾。さらに、素潜りではDCIの可能性は非常に低いとされてきたが、今回の研究は日本の“フナド”に神経障害が多発していることを示した最初の報

告である。

臨床的特徴

日本のアマでみられる神経系のDCIで最も顕著な特徴は、圧縮ガスのダイバーによくみられる脊髄障害ではなく、脳障害に限定されることである^{9, 15)}。最も起こりやすい症状は片側の感覚障害と運動障害であった。この調査でみられた神経障害はポリネシアの真珠貝ダイバーのTaravana症候群に類似していた⁶⁾。めまい、吐き気、意識障害や急死などを含めても、運動麻痺が最も一般的なものであった。さらに、職業性ないしアマチュアのダイバーが水中スクーターを用いると深く潜ることができるが、このような素潜りを数時間にわたり繰り返すと重篤な神経障害が生じる傾向にある¹⁰⁻¹²⁾。

その他のアマにみられるDCIの特徴は、ほとんどの神経障害が数時間は持続しても治療なしに改善していたことである。このような日本のアマでの神経障害の臨床経過は、他の地域の素潜りダイバーのそれと類似している^{6, 9-12)}。多くの神経症状が自然に回復することは、一部には治療が行なわれているとしても素潜りダイバーのDCIに典型的なことである。Batleが素潜りによる神経系のDCIのダイバー28例を報告しているが、そのうちの4例は大気圧下の酸素吸入のみが行

Table 3. Characteristics of Ama divers with or without neurological DCI

	DCI (n = 12)	non-DCI (n = 161)	P value
Age (yr)	57.8 ± 8.6	57.7 ± 12.7	0.971
Diving history (yr)	33.7 ± 9.9	25.4 ± 13.6	0.041
Diving techniques (assisted/unassisted)	11/1	18/143	< 0.0001
Diving profiles			
Dive depth (msw)	15.0 ± 3.3	9.6 ± 4.5	0.0006
Dive time (sec)	63.0 ± 16.4	43.2 ± 18.9	0.0016
Surface interval (sec)	26.0 ± 13.7	42.5 ± 54.4	0.034*
Length of diving shifts (hr)	5.5 ± 0.7	5.2 ± 1.1	0.347
Rest time between shifts (min)	36.3 ± 15.5	28.6 ± 17.6	0.152
Medical history			
Hypertension	9	27	0.468
Diabetes mellitus	2	14	0.359
Cardiac arrhythmia	0	7	0.461

DCI: decompression illness msw: meters in sea water values are expressed as mean ± SD *: Welch-t test.

なわれ、その他はComex12や米海軍治療表5, 6の再圧治療が実施されており、全例に完全な回復がえられている¹⁰⁾。しかし、われわれの最近の事例は第2病日に再圧治療を受けているが、1年以上も手にシビレ感を残していた¹⁶⁾。以上の臨床的な特徴は脳の特種領域の障害を示唆したものである。

この地域で神経系のDCIを伴う男性アマの潜水パターンは別の島の女性アマのそれと類似していたが、その地域のアマを対象としたDCIの調査は行なわれておらず、医学的な報告も噂もなかった¹⁷⁾。しかし、その同じ島で精神障害を患った9例のアマの報告をみると、1例は潜水後に左の片麻痺と構語障害を一過性に経験していることが紹介されている¹⁸⁾。そのアマはDCIと診断されて早急に治療を受けているが、神経系の後遺障害の記載はなかった。

アマのDCIは日本の医師や科学者によく理解されてこなかった。その1つの理由は稀に報告される障害が一過性であり、次いで医療機関を訪れるアマは稀であることがあげられる。3番目には日本の潜水漁業組合の生来の秘密主義もある⁹⁾。

今回の研究の新たな1つの発見は、素潜りによって筋・骨格の障害が引き起こされることである。四肢の疼痛は圧縮空気のダイバーや土木作業員での最も典型的な症状であるが、これは素潜りダイバーで確認されなかっただけでなく、重篤な神経障害のために認識されなかった⁵⁻¹²⁾。しかし、6-8mの深度で3-4時間以上も繰り返す素潜りの後に関節痛を伴った神経障害を訴えたダイバーがいる¹⁹⁾。四肢の疼痛はな

く重篤な神経障害を示す素潜りダイバーのすべてが完全に補助的で受動的であることを明記すべきである^{6, 10-12)}。これに対して、山口県の北部地域のアマは補助的に潜るが、水面には自力で泳いで浮上する。素潜りでの筋・骨格の障害には潜水中の生理的な動きによる四肢の運動が関係しているようで、これは組織の窒素(N₂)の取り込みと気泡形成を増加させるからである¹⁴⁾。

DCIのリスクファクター

素潜りダイバーがDCIに罹患する原因として多因子が関与しているが、この多様性は互いの因子の影響を薄める傾向にある。これまで、潜水深度、息こらえ時間、息継ぎ時間や潜水時間の間で個々の相関が検討されてきた^{13, 20)}。

深い素潜りを1回だけ行なう際のDCIの研究から、潜水深度が1つの因子であることは明らかである²⁰⁾。われわれの結果でもアマの神経障害の因子は同じものであった(**Table 4**)。しかし、この研究は多少の限界があり、危険因子の間で因果関係を明らかにすることはできなかった。今回の研究がアンケート調査であり、アマの潜水プロフィールを測定したものではないからである。さらに、対象者に“カチド”を含めると神経系のDCIの頻度は高くはなかったことがある。それに加えて、神経障害のあったアマの多くが今回のアンケート調査に回答した可能性も否定できないことである。

以上のような制約のある今回の研究ではあるが、素潜りを繰り返すことでDCIが生ずるといった重要な事

Table 4. Multiple logistic regression analysis of risk factors for neurological DCI

Variables	Parameter estimate	Standard error	P value	Odds ratio (95% CI)
Age (yr) (increase of 10 yr)	0.045	0.054	0.398	1.57 (0.55-4.51)
Diving techniques (assisted/unassisted)	1.922	0.570	0.0007	6.84 (2.24-20.83)
Dive time (sec) (increase of 20 sec)	0.049	0.023	0.033	2.66 (1.08-6.56)
History of diabetes mellitus (+/-)	0.308	0.531	0.562	1.36 (0.48-3.85)

Multiple logistic regression analysis was performed by step-wise method (forward selection) for 11 variables (age, diving history, diving techniques, dive depth, single dive time, length of dive shifts, surface interval, rest time, history of hypertension, diabetes mellitus, and cardiac arrhythmia).

実が明らかになった。4mまでの繰り返す素潜りを4時間にわたって行なったとしても、血管内の気泡形成とDCIを起こすには十分な窒素ガス分圧に達しなかったとされている²¹⁾。数時間にわたる素潜りを繰り返すとDCIを起こすが、それに十分な水深は15m以上であることを今回の研究は示唆している。最近の報告例に60-90分間以上で10-18mの素潜りを自力で行

なった21才の男性があるが、彼の1回の潜水時間は1-2分間で、それに5-6分間の息継ぎを行なっている²²⁾。この症例では素潜りを始めて2時間以内に、めまい、視覚障害、胸部圧迫感、呼吸困難、顔面紅潮、四肢と右顔面を含んだ感覚障害が生じている。さらに動脈管開存(PFO)が確認されている。しかし、この症例がPFOを有していたとしても、以上の潜水プロフィールは素潜りダイバーで窒素の蓄積からDCIの原因になる“気泡”の発生に十分であることを示したものである。

その他の因子では潜水時間と息継ぎ時間との相関が明らかになった。短い息継ぎ時間、例えば潜水時間の半分ほどであれば、20m以上の素潜りが2時間以上も繰り返されるとDCIの危険性は増すことになる²³⁾。OlszowkaとRahnは日本のフナドで20mの水深で30回の素潜りの潜水パターンのシミュレーションを行ない、窒素ガスの分圧は脳では急速に平衡状態に達するが、脂肪では素潜りを繰り返す間は窒素の蓄積が続くことを示した²⁴⁾。例えば、5時間で20mの繰り返す素潜りでDCIの予防には、潜水深度と息継ぎの時間の比が0.8以上である必要があるようである²⁵⁾。今回の研究では、その比は神経障害のなかったアマに比べて、その障害があったアマで低値を示した(0.40 ± 0.23 vs. 1.29 ± 2.25, p = 0.008)。Crossが行なったTaravana症候群の調査報告に示されているのは、Mongareva礁池のダイバーは少なくとも10分の息継ぎ時間を取れば障害はみられず、それ以外の礁池のダイバーで3-5分の短い息継ぎ時間ではTaravana症候群に罹患していたことである⁶⁾。素潜りを繰り返す時間が長くなると、短い息継ぎ時間が重要な危険因子になると考えられる。

素潜りにおけるDCIの他の原因か誘発因子として、長い連続した時間、PFOと肺胞破裂に伴う動脈ガス塞栓症(AGE)がある。組織の窒素ガス動態からみると、潜水深度が深くなれば連続した時間を短縮すべきである。不活性ガスが吸収され蓄積される時間は明らかではないが、ガスの蓄積を避けるためには深度x時間の値を低くすべきである。米海軍では圧縮空気潜水で問題が生じないためには12時間は必要であるとしているが、DCIEMでは18時間としている。

さらに、1回の素潜りでもAGEや縦隔気腫は起こるので¹⁵⁾、肺胞破裂が繰り返す素潜りのDCIで考えられる原因として残されている。潜水中に空気が停滞すると、浮上の際に肺の局所の拡張による肺胞破裂から空気塞栓症を引き起こすことがある²⁶⁾。錘を用いる“フナド”での肺胞内の空気容量の変化は“カチド”に比べ急速であり、このことは“フナド”で肺胞破裂を起こす可能性を示したものである。

発生機序

素潜りに伴う脳障害の機序は未だ明らかではない。再圧治療に顕著に反応することから脳に気泡が存在すること以外に説明することは困難である²³⁾。しかし、窒素ガス動態と血流の多い脳循環からすると、脳に生じた気泡が原因とする説明は難しいであろう。繰り返す素潜り後には窒素ガスの気泡が全身の諸臓器の血管内外に形成されると考えられる。潜水中には肺内の空気が圧縮されて肺胞内の窒素ガス分圧の上昇に伴い、そのガスの血流による取り込みが行なわれる。浮上では血液と組織との窒素ガスの分圧差は小さくなるが、潜行に際しては血液と組織に取り込まれるほどに窒素ガスが肺胞内に排出されることはない。静脈内に窒素ガスが蓄積されることは“カチド”で示されていることから²¹⁾、息継ぎが短く深い素潜りを繰り返すことは理論的にはDCIを起こしうる。

神経放射線学的には神経系のDCIを起こしたアマでは、その症状に一致する部位の脳梗塞が示されている。その梗塞部位は基底核、内包、脳幹部、深部と表層の白質である^{7-9, 16)}。アマの脳障害の病型は圧縮空気潜水によるものと同じである。基底核部の虚性病変は動脈の終末領域に位置し、深部ないし表層の白質病変は境界領域に相当していた。これらは“血流低下”による脳梗塞であり、終末領域における還流圧の低下による脳のAGEと考えられる。

圧縮空気潜水では静脈性の気泡の量とDCIの発生に強い相関がある²⁷⁾。圧縮空気潜水で静脈性気泡が多数みられても、哺乳類の肺は21 μm以上の気泡には完全なフィルター作用を示すことから^{28, 29)}、脳障害の頻度は高くはない。しかし、この圧縮空気潜水に比べて素潜りでは静脈性気泡の確認がより困難であ

るにもかかわらず³⁰⁻³²⁾、素潜りダイバーには重篤な神経障害がよく経験されている。

素潜りダイバーに脳障害が起こりやすいことは解決されていないジレンマである。いくつかの機序が素潜りダイバーのDCIから推察されている。Lanphierは静脈の“確認できない”気泡が潜水障害を引き起こすと考えている²⁵⁾。深くて繰り返す潜水後に静脈側に気泡が形成され、これが心臓から肺に達する。通常は肺の毛細血管を通過するような微細な気泡は諸臓器に無害である。これまでの基礎研究結果に基づいて³³⁾、当初われわれはアマのDCIの機序を微細な気泡が血液脳関門を傷害すると考えていた。しかし、この仮説は神経系のDCIを伴うアマの脳のMRIと一致しにくい。深い素潜りを繰り返していると、大小の静脈性気泡が肺の小動脈に集められ留まる。アマが潜行する際には、この留まった気泡は圧縮され肺毛細血管を通過しやすくなる³⁴⁾。そして動脈化した気泡は浮上毎に拡張し脳の終末血管である境界領域に集まる。これがアマで神経系のDCIの仮説であるが、この障害の正確な機序は未だに議論がある。

結論

潜水による脳障害は日本の男性アマの“フナド”でよく経験されている。息継ぎの時間が短くて長期間に繰り返す深い素潜りは神経系のDCIを起こしやすく、脳卒中症状を示すことが特徴的である。脳障害として最も考えられる機序は窒素ガスの気泡であり、肺動脈に残って留まった気泡が素潜りの際に肺を通過しやすくなるが、これが浮上の際に拡張すると推測される。

謝辞

今回のアマの調査においては山口県の阿武・萩地区の漁業協同組合長である末武氏のご協力に感謝いたします。

文 献

- 1) Teruoka G: Die Ama und ihre Arbeit. Arbeitsphysiologie 1932; 5: 239-251.
- 2) Hong SK, Rahn H: The diving women of Korea and Japan. Sci Am 1967; 216: 34-43.
- 3) Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of the Japanese Government. A survey study of the ama. Tokyo, 1977.
- 4) 竹内久美, 毛利元彦: 全国の潜水漁業者の実態調査—分布, 年齢層および潜水法など—. 日本高気圧環境潜水医学会雑誌 1987; 22: 227-234.
- 5) Cross ER: Taravana. Skin Diver Magazine 1962; 11: 42-45.
- 6) Cross ER: Taravana diving syndrome in the Tuamotu diver. In: Rahn E, Yokoyama T, eds. Physiology of breath-hold diving and the Ama of Japan. Washington, DC: National Academy of Sciences, National Research Council, 1965; pp.205-219.
- 7) Kohshi K, Kinoshita Y, Abe H, Okudera T: Multiple cerebral infarction in Japanese breath-hold divers: two case reports. Mt Sinai J Med 1998; 65: 280-283.
- 8) Kohshi K, Katoh T, Abe H, Okudera T: Neurological accidents caused by repetitive breath-hold dives: two case reports. J Neurol Sci 2000; 178: 66-69.
- 9) Kohshi K, Katoh T, Abe H, Okudera T: Neurological diving accidents in Japanese breath-hold divers: a preliminary report. J Occup Health 2001; 43: 56-60.
- 10) Batle JM: Decompression sickness and breath-hold diving hunting: a study of about 30 cases. In Cramer FS, ed. Proceedings of 13th international congress on hyperbaric medicine. Flagstaff, AZ: Best Publishing Company, 2004; pp.139-146.
- 11) Mango L, Lundgren CEG, Ferringo M: Neurological problems after breath-hold dives. Undersea Hyperb Med 1999; 26 (suppl): 28-29.
- 12) Wong R: Taravana revisited decompression illness after breath-hold diving. SPUMS J 1999; 29: 126-131.
- 13) Wong R: Decompression sickness in breath-hold diving. In: Lindholm P, Pollock NW, Lundgren CEG, eds. Breath-hold diving. Proceedings of the Undersea and Hyperbaric Medical Society/Divers Alert Network 2006 June 20-21 Workshop. Durham, NC: Divers Alert Network, 2006; pp.119-129.
- 14) Francis TJR, Mitchell SJ: Manifestations of decompression disorders. In: Brubakk AO, Neuman TS, eds. Bennett and Elliott's physiology and

- medicine of diving. London : WB Saunders, 2003 ; pp.578-599.
- 15) Kohshi K, Wong RM, Abe H, et al : Neurological manifestations in Japanese Ama divers. *Undersea Hyperb Med* 2005 ; 32 : 11-20.
 - 16) Tamaki H, Kohshi K, Sajima S, et al : Repetitive breath-hold diving causes serious brain injury. *Undersea Hyperb Med* 2010 ; 37 : 7-11
 - 17) Mohri M, Torii R, Nagaya K, et al : Diving patterns of ama divers of Hegura Island, Japan. *Undersea Hyperb Med* 1995 ; 22 : 137-143.
 - 18) Tochimoto S, Kitamura T, Kurata K, Nakamura I, Koshino Y : 'Chiyamai', a panic-like disorder in woman divers from Hegura Island. *Psychiatry Clin Neurosc* 1998 ; 52 : 425-427.
 - 19) Wong R : Breath-hold diving can cause decompression illness. *SPUMS J* 2000 ; 20 : 2-6.
 - 20) Fitz-Clarke JR : Risk of decompression sickness in extreme human breath-hold diving. *Undersea Hyperb Med* 2009 ; 36 : 83-91.
 - 21) Radermacher P, Falke KJ, Park YS, et al : Nitrogen tensions in brachial vein blood of Korean ama divers. *J Appl Physiol* 1992 ; 73 : 2592-2595.
 - 22) Gempp E, Blatteau JE : Neurological disorders after repetitive breath-hold diving. *Aviat Space Environ Med* 2006 ; 77 : 971-973.
 - 23) Paulev P : Decompression sickness following repeated breath-hold dives. *J Appl Physiol* 1965 ; 20 : 1028-1031.
 - 24) Olszowka AJ, Rahn H : Gas store changes during repetitive breath-hold diving. In : Shiraki K, Yousef MK, eds. *Man in stressful environments—diving, hyper- and hypobaric physiology*. Illinois : Charles Thomas, 1987 ; pp.41-56.
 - 25) Lanphier EH : Application of decompression tables to repeated breath-hold dives. In : Rahn E, Yokoyama T, eds. *Physiology of breath-hold diving and the Ama of Japan*. Washington, DC : National Academy of Sciences, National Research Council, 1965 ; pp.227-236.
 - 26) Dahlback GO, Lundgren CEG : Pulmonary air trapping induced by immersion. *Aerospace Med* 1972 ; 434 : 768-774.
 - 27) Gardette B : Correlation between decompression sickness and circulating bubbles in 232 divers. *Undersea Biomed Res* 1979 ; 6 : 99-107.
 - 28) Butler BD, Hills BA : The lung as a filter for microbubbles. *J Appl Physiol* 1979 ; 47 : 537-543.
 - 29) Butler BD, Katz J : Vascular pressures and passage of gas emboli through the pulmonary circulation. *Undersea Biomed Res* 1988 ; 15 : 203-209.
 - 30) Spencer MP, Okino H : Venous gas emboli following repeated breathhold dives. *Fed Proc* 1972 ; 31 : 355.
 - 31) 梨本一郎, 後藤與四之 : 素潜り後にみられた血行性気泡. *日衛誌* 1976 ; 31 : 251.
 - 32) Boussuges A, Abdellaoui S, Gardette B, Sainty JM : Circulating bubbles and breath-hold underwater fishing divers : a two-dimensional echocardiography and continuous wave Doppler study. *Undersea Hyperbaric Med* 1997 ; 24 : 309-314.
 - 33) Hills BA, James PB : Microbubble damage to the blood-brain barrier : relevance to decompression sickness. *Undersea Biomed Res* 1991 ; 18 : 111-116.
 - 34) Kohshi K, Mano Y, Wong RM : Manifestations of decompression illness in Japanese Ama divers. In : Lindholm P, Pollock NW, Lundgren CEG, eds. *Breath-hold diving. Proceedings of the Undersea and Hyperbaric Medical Society/Divers Alert Network 2006 June 20-21 Workshop*. Durham, NC : Divers Alert Network, 2006 ; pp.130-134.