長期間の高圧環境曝露が認知能力に及ぼす効果^{1), 2)}

景山 望 (九州大学大学院人間環境学府)

箱田 裕司 (九州大学大学院人間環境学研究院)

小沢 浩二 (海上自衛隊潜水医学実験隊)

The effect of long-term exposure to a hyperbaric environment on cognitive performance

Nozomu KAGEYAMA (*Department of Psychology, Graduate School of Human-Environment Studies, Kyushu University*)

Yuji HAKODA (*Faculty of Human-Environment Studies, Kyushu University*)

Koji OZAWA (*Undersea Medical Center, Japan Maritime Self Defense Force*)

When people work at deep sea locations, they are always exposed to hyperbaric environments. For example, an environmental pressure of 440 MSW (meters of sea water) is equivalent to 45 times the atmospheric pressure (45 ATA: atm absolute). In this study, we examine the effects of long-term exposure to hyperbaric environments on cognitive performance using the Stroop and the reverse-Stroop Color-Word interference tests (group version) and two psychological stress questionnaires. These tests were administrated during a simulated 440 MSW saturation dive. Twenty-four professional male divers (age: 36 ± 2.82) served as the participants. The level of Stroop interference during the dive period was highest at the maximum environmental pressure. In contrast, psychological stress was not detected throughout the dive. These results indicate that the magnitude of environmental pressure rather than psychological stress caused the increase in Stroop interference. We argue that cognitive impairment under hyperbaric environments is caused by the magnitude of the environmental pressure, rather than psychological stress.

Key words: deep saturation diving, hyperbaric exposure, Stroop interference, isolation, confinement

本研究において、長期間の高圧環境滞在時に付随する心理的要因（社会的隔離）と物理的要因（高圧環境曝露）と認知能力との関係について、水深 440 m 飽和潜水訓練時のストループ干渉と 2 種類の心理的ストレス質問紙の変動によって検討した。ストループ干渉は環境圧が最大時に最も高くなった。しかし、環境圧が減少するにつれて、ストループ干渉も減少し、訓練終了時には訓練開始前の値に戻った。一方で、訓練期間中の心理的ストレスについては、高圧曝露による顕著な悪化や変動はなく、長期間の閉鎖隔離による影響もなかった。本研究を通じて、高圧環境下における認知能力を規定する要因は、高圧曝露や長期間隔離による不安や抑うつなどの心理的要因ではなく、環境圧の大きさといった物理的要因であることが示された。

キーワード：飽和潜水，高圧曝露，ストループ干渉，社会的隔離，物理的隔離

深海に座礁した艦艇の引き上げや乗員救助では、いまだに人間による貢献度が大きい。深海での潜水作業は、地上とは異なる環境条件下で行われる。海中の環境圧は水深 10 m ごとに 1 気圧上昇する。現在、人間は水深

686 m までの潜水が可能であることが実証されている (Logue, Schmitt, Rogers, & Strong, 1986)。例えば、水深 686 m への潜水を実施する際、潜水員は地上 68.5 倍相当の高圧環境に曝露されることになる。

一般的に人間による潜水は、目的の海中の深度までの潜行する加圧期、目的の深度での滞停する保圧期、そして地上に復帰する減圧期の行程を踏む。潜行する深度の大きさと滞停する時間に応じて、減圧に要する時間は変わる。一般的に海中からの急浮上は、代表的な潜水病である減圧症による危険を回避するために行わず、潜行する深度が大きいほど、減圧時間は長くなる。例えば、上記で挙げた水深 686 m へ潜水した際の地上に復帰するま

- 1) 本稿は、筆者が海上自衛隊潜水医学実験隊在籍時にに行った実験である。
- 2) 本稿の作成にあたり、多くの貴重なコメントを賜りました九州大学的光藤宏行先生、福岡医療福祉大学（現所属：福岡大学）の松本亜紀先生には、深く感謝申し上げます。また研究の実施にあたりご協力いただいた海上自衛隊潜水医学実験隊の飽和潜水員をはじめとする職員の方々に、重ねて心より感謝申し上げます。

Figure 1. 艦上減圧室 (Deck Decompression Chamber, 以下 DDC とする) の内部。飽和潜水を実施する際、潜水作業員は、この DDC 内で作業する海中の深度と同等の環境圧まで加圧される。作業終了まで、潜水作業員は約 16 m² の DDC 内で最大 6 人の集団生活を行う。

での時間を、米国海軍で使用されている潜水マニュアル (以下、U.S. Navy Diving Manual とする) の 2008 年度版に定められた減圧速度によって計算すると、作業の有無にかかわらず地上復帰まで約 27 日間を要する (Naval Sea Systems Command [NAVSEA], 2008)。

地上を拠点にして、深海で潜水作業する場合、最初の作業から次の作業を実施するまでの減圧時間を考慮すると、非常に作業の効率性は悪い。このため、深海で潜水作業には、飽和潜水という特殊な潜水法を用いる。この潜水法は、艦上減圧室 (Deck Decompression Chamber, 以下 DDC とする³⁾) を拠点とし、潜水作業員を DDC 内で、作業する海中の環境圧まで加圧し、生体を順応させた後で、潜水作業を行う方法である。この潜水法を用いれば、潜水作業員は、潜水作業終了のたびに地上に復帰することなく、作業を実施する深海と同じ環境圧での長期間の滞在が可能になる (Figure 1)。

しかし、潜水員が実際の海中での作業可能時間は、U.S. Navy Diving Manual によると、4 時間が限界とされている (Naval Sea Systems Command [NAVSEA], 2008)。このため、海底に座礁した船舶や乗員の捜索のように作業終了の予測が立たない場合、潜水員は長期間、高圧の DDC への隔離生活を余儀なくされる。さらに、

潜水員には、高圧環境下での座礁した船舶や乗員の発見、回収といった認知能力を伴う潜水作業が課せられる。これまで深海での潜水作業の安全性や効率性の向上のために、高圧環境曝露時の認知能力について検討が行われてきた。

これまで高圧環境曝露時の認知能力は、環境圧が水深 300 m (31 気圧) 以下のとき、認知能力は低下することが報告されている (e.g., Carter, 1979)。特に四則演算や数列類似判断課題 (e.g., “724767” と “724776” を比較し、同じ数列か異なるかを判断する) といった知覚的処理の速度を必要とする認知課題の低下が顕著であった (Carter, 1979)。潜水作業場面では、常に呼吸ガスの残量や環境圧計によって、潜水可能時間を計算しながら作業を実施する。このため、潜水員は作業中、常に呼吸ガスの残量や環境圧計に注意を向ける必要がある。制限された時間内で効率性の高い潜水作業を行うには、必要な情報を選択し、的確に処理するには認知能力が求められる。すなわち、認知能力の中でも注意能力が重要と考えられる。

景山・小沢・木村 (2005) は、30 日間の水深 440 m (45 気圧) 飽和潜水作業訓練中の認知能力を選択的注意の指標であるストループ干渉 (e.g., Lemars & Roelofs, 2007) によって検討した。景山ら (2005) において、ストループ干渉が環境圧の最大 (45 気圧) 時に最も高くなるだけでなく、訓練終盤である 29 日目 (環境圧は 2.5 気圧) にも高くなった。景山ら (2005) で見られた大気圧付近での認知課題成績の悪化は、これまでの研究

3) 飽和潜水を実施する際の開始 (作業する海中と同等の環境圧までの加圧) から終了 (大気圧と同等の環境圧までの減圧) は、すべて艦上減圧室 (Deck Decompression Chamber) 内で行われる。

では報告されていない。

景山ら(2005)で用いられたストループ干渉は、不安や抑うつといった心理的ストレスに影響を受けることが報告されている(e.g., Kofman, Merian, Greenberg, Balas, & Cohen, 2006; 渡辺・箱田・松本, 2006)。環境圧変化を伴わない長期間隔離研究において、隔離環境への滞在期間が、4分の3を消化した時点で、抑うつや不安傾向が増加することが報告されている(4分の3半期現象: Sandal, Vaernes, Bergan, Warncke, & Ursin, 1996)。また、31気圧以上の高圧環境下では、不安や抑うつ傾向が高くなることが報告されている(e.g., Abraini, Martines, Lemaire, Bisson, Mendoza, & Therme, 1997)。よって、景山ら(2005)における大気圧付近でのストループ干渉の増加は、高圧環境への長期間の滞在による心理的ストレスを考慮する必要を示唆するものであった。

これまでの高圧環境下における認知能力への影響を扱った先行研究では、複数の認知課題から構成されるテストバッテリーを採用しているため、実施時間が45分から60分となり、被験者への負担が大きい。一方で、景山ら(2005)が用いた新ストループ検査II(箱田・渡辺, 2005)は検査時間が約10分と短く、被験者の疲労等の負担は少ない。

以上から、本研究では、長期間の高圧曝露が認知能力の一つである選択的注意に与える影響について、景山ら(2005)と同じ新ストループ検査II(箱田・渡辺, 2005)によって検討した。また、深海での飽和潜水を実施する際、最大環境圧到達から減圧終了までの間、潜水作業員には環境圧の大きさという物理的負担と社会との隔離の長期化といった心理的負担が同時にかかることが予想される。これより、飽和潜水期間中の心理的変化の測定は、高圧環境下の認知機能に及ぼす心理的要因と物理的要因を分離して検討する一助となると考えられる。よって、長期間の高圧曝露中の心理的ストレスを、POMS質問紙(The Profile of Mood States; McNair, Lorr, & Droppleman, 1971)の日本語版POMS質問紙(横山, 1994)と、GVA尺度(Global Vigor and Affect; Monk, 1989)の2種類の心理ストレス質問紙によって検討した。

本研究で用いたPOMS質問紙およびGVA尺度は、宇宙空間への長期間隔離を想定した研究において、心理的ストレス指標として用いられている(e.g., Palinkas, Gunderson, Jeffrey, & Holland, 2000; Monk, Kennedy, Rose, & Linenger, 2001)。なお、GVA尺度を英語以外の言語に翻訳して使用する際、使用者が尺度を構成する質問項目を英語以外の他言語に翻訳しても信頼性や妥当性は変わらないとしている(Monk, 1989)。このため、本研究では、GVA尺度を日本語に翻訳したものをを用いて検討した。

認知能力の低下が、高圧環境といった物理的要因や高圧曝露による心理的ストレスが影響するのであれば、先行研究の知見から、少なくともDDC内の環境圧が31気圧(水深300m)以下になるに従って、ストループ干渉は減少することが予想される。一方で、長期間の隔離生活による心理的ストレスが影響するのであれば、ストループ干渉はまず最大環境圧時に増加し、訓練経過に比例してさらに増加することが予想される。

実験 1

景山ら(2005)では、高圧環境滞在中の心理的ストレスについて検討しておらず、最大環境圧時に高くなったストループ干渉が、高圧曝露自体の物理的要因なのか、社会的隔離や高圧環境に対する不安などの心理的要因なのか不明瞭であった。実験1では、景山ら(2005)と同様の水深440m飽和潜水訓練時の認知能力に与える高圧環境曝露と長期間隔離の影響について、景山ら(2005)が用いた新ストループ検査II(箱田・渡辺, 2005)と2種類の心理的ストレス質問紙によって検討した。

方法

測定時期および環境 測定は、潜水訓練期間中は深海訓練シミュレータ内で行い、訓練前と訓練後では、海上自衛隊潜水医学実験隊高圧環境実験棟内のオペレーション室で行った。深海潜水訓練を実施する際、呼吸ガスとしてヘリウム混合ガスを用いた。この混合ガスは、水深100m以深の海中で潜水作業を実施する際、最も安全性が確立されたものである(Bennett & Rostain, 2003)。本研究では、測定を海上自衛隊潜水医学実験隊において実施された4回の30日間の440m深々度飽和潜水訓練期間中に行った。

なお、海上自衛隊潜水医学実験隊では、「ヒトの実験に関する倫理委員会」は設置されていない。しかし、潜水医学実験隊では、440m深々度飽和潜水訓練での実験研究実施にあたって、全体の訓練スケジュール作成段階で、研究項目および実施要領を訓練の指揮官ならびに訓練参加の潜水員に提出する必要がある。もし提出した研究項目および実施要領に対する訓練の指揮官の同意が得られない場合は、研究を実施することができない。本研究は、被験者となる職業潜水員および訓練の指揮官の実施する実験内容への同意の上に作成された訓練スケジュールにおいて、440m飽和潜水訓練の実施項目の一つとして実施した。

測定点 本研究では、新ストループ検査IIを訓練スケジュールに従い、深海訓練シミュレータ内で6回実施し、対照測定として訓練開始前で1回、訓練終了後に1回の計8回実施した(Figure 2)。また、2種類の質問紙を新ストループ検査IIと同じ測定点で実施し、深

Figure 2. 海上自衛隊潜水医学実験隊における水深 440 m 潜水訓練スケジュールおよび本研究の測定点。横軸は飽和潜水訓練開始からの経過日数を示し、縦軸は測定時点のシミュレータの深度 (Meters of sea water: MSW) を示す。景山ら (2005) および本研究は、この 30 日間の深海訓練中に実施された。本研究では、シミュレータ内の測定は、5 日間隔で、440 m 保圧初期 (訓練開始から 4 日目)、440 m 保圧後期 (訓練開始から 9 日目)、350~300 m 減圧期 (訓練開始から 14 日目)、250~200 m 減圧期 (訓練開始から 19 日目)、150~100 m 減圧期 (訓練開始から 24 日目)、50~0 m 減圧期 (訓練開始から 29 日目) の 6 点で実施した。

海訓練シミュレータ内で 6 回、訓練開始前で 1 回、訓練終了後に 1 回の計 8 回実施した。なお、検査の実施間隔は、景山ら (2005) と同じ 5 日間隔とした。本研究における測定点は、以下のとおりであった：訓練前 (訓練開始 1 日前、以下、T1)、440 m 保圧初期 (訓練開始から 4 日目、以下 T2 とする)、440 m 保圧後期 (訓練開始から 9 日目、以下、T3)、350~300 m 減圧期 (訓練開始から 14 日目、以下 T4 とする)、250~200 m 減圧期 (訓練開始から 19 日目、以下 T5 とする)、150~100 m 減圧期 (訓練開始から 24 日目、以下 T6 とする)、50~0 m 減圧期 (訓練開始から 29 日目、以下 T7 とする)、訓練後 (訓練終了 4 日後、以下 T8 とする)。

実験計画 ストループ干渉の種類 (2: ストループ干渉・逆ストループ干渉) × 測定時の DDC の深度 (8: T1・T2・T3・T4・T5・T6・T7・T8) の、被験者内 2 要因計画であった。

被験者 海上自衛隊潜水医学実験隊に所属する職業潜水員 24 名 (年齢: 36 ± 2.82 歳) であった。

認知課題 景山ら (2005) と同じストループ干渉、逆ストループ干渉の二つの指標を集団測定できる新ストループ検査 II を用いた。この検査は、以下の 4 種類の課題から構成されるマッチング方式の検査である。課題

1 では、黒インクで書かれた文字が意味する色をその右側の 5 種類の色パッチの中から選び、印をつけることが求められる (逆ストループ干渉統制課題)。課題 2 は、色と色名が不一致な語が意味する色をその右側の色パッチの中から選び、印をつけることが求められる (逆ストループ干渉課題)。課題 3 は、色パッチのインクの色に対応する色名語に印をつけることが求められる (ストループ干渉統制課題)。課題 4 は、色と色名が不一致な語の印字しているインクの色に対応する色名語に、印をつけることが求められる (ストループ干渉課題)。各課題は、練習試行 10 試行、本試行 100 試行から構成され、課題の遂行時間は、練習試行では 10 秒、本試行では 60 秒であった。

心理的ストレス評価課題 水深 440 m 飽和潜水訓練中の心理的ストレスについて、日本語版 POMS 質問紙と GVA 尺度を用いた。日本語版 POMS 質問紙は、緊張-不安 (以下 T-A とする)、抑うつ-落ち込み (以下 D とする)、怒り-敵意 (以下 A-H とする)、活気 (以下 V とする)、疲労 (以下 F とする)、混乱 (以下 C とする) の六つの因子からなる質問紙である。被験者は検査実施一週間の気分や感情について、65 項目の質問について “全くなし: 0 点” から “非常に多くあった: 4 点” までの 5 段階で評定する。POMS では標準得点が設定されており、各質問項目の評定値を換算した得点が 50 ± 10 点以内であれば “健常” と定められている。GVA 尺度は、General Vigor (以下、GV とする) と General Affection (以下、GA とする) の 2 因子から構成される。気分や体調を表す八つの短文 [(1) はっきり目覚めていて、きびきびしている、(2) 気が滅入っていてふさぎこんでいる感じ、(3) 緊張していて、じっとしてられない感じ、(4) 元気でない感じ、(5) くだびれている感じ、(6) リラックスしている感じ、(7) 横になって眠りたい感じ、(8) 何かをしようとする時、努力する (ふんばる) 必要があるか否か] について、被験者は測定時点での直感で、各質問項目内の “全くない” と “極めて多大” の間にある 100 mm の線分に印をつけて回答した。なお “全くない” 側に印をつけた場合は 0 点、“極めて多大” 側に印をつけた場合は 100 点とした。GVA の各尺度得点は、以下の方法で算出した、 $GV = [(1) + 300 - ((7) + (8) + (5))] / 4$, $GA = [(4) + (6) + 200 - ((2) + (3))] / 4$ 。

手続き 測定は、8:00 am から 10:00 am の時間帯で、訓練参加潜水員全員に対して集団で実施した。まず POMS 質問紙および GVA 尺度に記入し、その後にストループ検査 II を実施した。ストループ検査を開始する前に、被験者に “この検査は、皆さんの高圧環境曝露中の注意能力を測定するテストです。皆さんの注意能力を正確に把握するために、これから実施する課題はでき

るだけ速くかつ正確に行ってください。”と教示し、課題の方法について説明を行った。全被験者が課題を理解したことを確認したうえで、練習試行 10 秒、本試行 60 秒を実施した。検査は、課題 1、課題 2、課題 3、課題 4 の順序で実施した。

結果

干渉率 本研究では、ストループ干渉および逆ストループ干渉の指標として、以下の方法で算出した、ストループ干渉率：(課題 3 の正答数－課題 4 の正答数)/課題 3 の正答数、逆ストループ干渉率：(課題 1 の正答数－課題 2 の正答数)/課題 1 の正答数。上記の方法によって、算出された訓練期間中のストループ干渉率および逆ストループ干渉率を Figure 3 に示した。

訓練期間中の 2 種類の干渉率の変動について、繰り返しのある 2 要因分散分析 [測定時のシミュレータの深度 (8) × ストループ干渉の種類 (2)] を行った。その結果、測定時のシミュレータの深度の主効果が有意であった [$F(7, 161) = 5.873, p < .001$]。訓練期間中の逆ストループ干渉率はストループ干渉率に比べ大きかった、 $[F(1, 23) = 28.868, p < .001]$ 。しかし、ストループ干渉率の種類と測定時のシミュレータの深度間に交互作用はなかった [$F(7, 161) = 1.125, n.s.$]。有意となった測定点の

Figure 3. 水深 440 m 深海潜水訓練中のストループ干渉率と逆ストループ干渉率の比較 ($N=24$). Error bar: SD. *: $p < .05$. 測定点は、以下のとおりである：訓練前 (訓練開始 1 日前、以下、T1 とする)、440 m 保圧初期 (訓練開始から 4 日目、以下、T2 とする)、440 m 保圧後期 (訓練開始から 9 日目、以下、T3 とする)、350～300 m 減圧期 (訓練開始から 14 日目、以下、T4 とする)、250～200 m 減圧期 (訓練開始から 19 日目、以下、T5)、150～100 m 減圧期 (訓練開始から 24 日目、以下、T6 とする)、50～0 m 減圧期 (訓練開始から 29 日目、以下、T7 とする)、訓練後 (訓練終了 4 日後、以下、T8)。

主効果に対して、Ryan 法による多重比較を行った結果 (以降、すべて両側検定)、訓練前 (T1) から 440 m 保圧初期 (T2) にかけて、干渉率は有意に増加し ($p < .05$)、減圧期に入ってもシミュレータの深度が 350～300 m 減圧期 (T4) まで事前より有意に干渉率は高かった ($p < .05$)。440 m 保圧初期に増加した干渉率は、シミュレータの深度が、250～200 m 減圧期 (T5) 以降で減少し ($p < .05$)、事後 (T8) の大気圧下では訓練前の値に戻った ($p < .05$)。

課題正答数 訓練期間中のストループ検査 II の各課題における正答数 (60 秒間の課題の達成数からエラー数を引いた値、以下、課題正答数とする) を、Figure 4 に示した。飽和潜水期間中における新ストループ検査 II の課題正答数について、繰り返しのある 1 要因分散分析 [測定時のシミュレータの深度 (8)] を行った。どの課題においても、測定時のシミュレータの深度の主効果は有意であった [課題 1、課題 2、課題 3、課題 4 の順に、 $F(7, 23) = 27.252, p < .001$; $F(7, 23) = 18.109, p < .001$;

Figure 4. 水深 440 m 潜水訓練中の新ストループ検査 II における各課題正答数の変動 ($N=24$). Error bar: SD. *: $p < .05$. (a) は、逆ストループ干渉課題 (課題 2) と統制課題 (課題 1) との比較を表す。(b) は、ストループ干渉課題 (課題 4) と統制課題 (課題 3) との比較を表す。

$F(7, 23)=13.886, p<.001; F(7, 23)=20.714, p<.001]$. 有意となった主効果に対して、Ryan 法による多重比較を行った結果、統制課題である課題1と課題3については、訓練前(T1)からシミュレータの最大深度にあたる440 m 保圧期(T2, T3)にかけて正答数に変化はなく(それぞれ、 $p>.10, n.s.$)、減圧期に入ると有意に上昇した(それぞれ、 $p<.05$)。一方で、ストループ干渉課題である課題2と課題4においては、いずれも最大深度の440 m 保圧時に最も正答数は少なくなるが、課題の種類によって最も少なくなる時期は異なった。課題2(逆ストループ干渉課題)においては440 m 保圧後期(T3)で最も正答数が少なくなり($p<.05$)、課題4(ストループ干渉課題)においては440 m 保圧初期(T2)に最も正答数が少なくなった($p<.05$)。さらに、いずれのストループ干渉課題においても、350~300 m 減圧期(T4)まで、訓練前からの正答数の増加はなかった(それぞれ、 $p>.10, n.s.$)。

心理的ストレス評価 飽和潜水訓練中のPOMSの各因子について、繰り返しのある1要因[測定時のシミュレータの深度(8)]分散分析を行った結果、有意な変動はなかった[T-A, D, A-H, V, F, Cの順に、 $F(7, 23)=0.224, n.s.; F(7, 23)=0.244, n.s.; F(7, 23)=0.172, n.s.; F(7, 23)=1.261, n.s.; F(7, 23)=0.182, n.s.; F(7, 23)=0.121, n.s.]$ 。GVAの各因子においても、シミュレータの深度による有意な変動はなかった[GV, GAの順に、 $F(1, 23)=1.378, n.s.; F(1, 23)=4.428, n.s.]$ 。

考察

本研究において、最大環境圧にあたる440 m 保圧期にストループ干渉の種類に関係なく干渉率は大きくなり、減圧開始後の350~300 m 減圧期まで有意な変化はなかった。250~200 m 減圧期以降、干渉率は減少し、訓練終了時には訓練開始前の値に戻った。各課題の正答数は、440 m 保圧期に最も少なくなり、減圧が開始されるまで、正答数は増加しなかった。

一方で、本研究において、最大環境圧曝露時における不安や抑うつ傾向は見られず、活動性の低下も見られなかった。また、潜水訓練の経過に伴う顕著な心理的ストレスの変化はなかった。

これまで長期間の社会的隔離による心理的ストレスは、隔離環境の外部とのコミュニケーションによって緩和することが報告されている(Suedfeld & Steel, 2000)。今回、測定対象とした4回の深海潜水訓練において、期間中、潜水員が滞在するシミュレータ内にはテレビが設置され、外界の情報が受信でき、家族や友人との交信可能な環境であった。また本研究の実験環境である艦上減圧室のような高圧チャンバーは、湿度や温度といった室内環境は一定に保たれ、生命の安全が保証されていることから、滞在環境に対する心理的ストレスは小さいこと

が実験的に示されている(Sandal et al., 1996)。

以上から、本研究では、高圧環境に長期間隔離されることや高圧環境に対する心理的ストレスは少なかったと考えられる。したがって、本研究で得られた2種類の干渉率や課題正答数の変化は、長期間隔離や高圧曝露によって生じる心理的ストレスの影響よりも、高圧曝露や環境圧の大きさといった物理的要因によって生じたものと考えられる。すなわち、本研究の結果は、高圧環境下での認知能力には、長期間隔離や高圧曝露によって生じる不安や抑うつなどの心理的要因は介在せず、高圧曝露や環境圧の大きさといった物理的要因のみが介在することを示唆するものであった。

本研究において、景山ら(2005)と同一の実験プロトコルで検討を行ったにもかかわらず、景山ら(2005)と結果が一致しなかった。この原因について、以下のことが考えられる。本研究の結果と先行研究の知見を総合すると、景山ら(2005)で見られた訓練終盤での干渉率の増加は、高圧暴露の影響ではなく、長期間隔離による影響であったと推測される。Palinkas(2001)は、長期間の隔離を伴う宇宙開発ミッション時に生じる心理学的問題についてのレビューの中で、共に閉鎖空間に隔離されるメンバー間の対人関係ストレスの影響を挙げている。南極基地への長期間滞在時の心理的ストレスについて検討したSandal(2000)は、4分の3半期現象に起因する抑うつや攻撃性といった心理的ストレスの上昇を報告し、その発生要因が、疲労感といった個人的要因ではなく、他の構成員からの疎外感等の対人関係に起因する要因であったことを報告した。

本研究の調査対象とした440 m 飽和潜水訓練は、潜水員6名1組で実施し、期間中、この6名は常に顔を見合わす環境下に隔離される。本研究では、長期間隔離による心理的ストレスは観察されなかったが、本研究の4回の440 m 飽和潜水訓練のうち、ある1回の訓練の終盤にかけて、1名の潜水員が他の5名を避ける行動が頻発するケースが観察された。景山ら(2005)と同様のストループ検査をうつ病患者に実施した際、健常者に比べ、干渉率は高くなったことが報告されている(渡辺ら, 2006)。推測の域を出ないが、景山ら(2005)で扱った訓練に参加した6名の潜水員間の対人関係が訓練期間中、円滑ではなかった可能性があり、そのことが4分の3半期現象に起因する不安や抑うつといった心理的ストレス発生し、それがストループ干渉率の増加につながった可能性が考えられる。

しかし、本研究で用いたストループ検査は、日常環境で2回反復時検査を行った場合、1回目 비해2回目の種類に関係なく干渉率が増加することが報告されている(箱田・佐々木, 1990)。このため、本研究における440 m 時の干渉率の増加が、検査自体が持つ特性であ

る可能性を残すものであった。加えて、本研究や景山ら(2005)で用いた新ストループ検査IIは、日常環境下において3回以上の反復による検討はなされていない。よって、本研究で得られた結果に検査自体の反復効果が混在している可能性があった。

実験 2

本研究で用いたストループ検査IIは、日常環境下での複数回反復による検討はなされていないため、実験1の結果に検査自体の反復効果が混在している可能性があった。

実験2では、高圧下で行われた実験1の結果を検討するために、日常環境下において新ストループ検査IIを定期的に多数回反復実施した際の、干渉率および課題正答数の推移について検討した。

ストループ検査IIの検査回数について、実験1において、干渉率の減少と課題正答数の増加の両方が観察されたのは、DDC内の環境圧が30気圧以下になる250～200 m減圧時(T5)であった。

DDC内の深度250～200 m減圧時(T5)は、事前から第5回目の実験であったため、実験2では、250～200 m減圧時(T5)までのストループ検査IIの実施回数を5回とした。

方法

刺激材料 実験1と同様の新ストループ検査II(箱田・渡辺, 2005)を用いた。

実験参加者 大学生6名(男性:2名, 女性:4名, 年齢: 21.67 ± 1.37 歳)であった。

手続き 実験は九州大学認知心理学研究室内の実験室で行った。実験1の検査実施スケジュールを参考に、同一被験者に対し、新ストループ検査IIにおける標準的な検査順序(課題1, 課題2, 課題3, 課題4)で、検査を5日間隔で繰り返し5回実施した。検査は、1日に1回のみ実施し、すべて10:00 amから10:30 amの間に行った。実験2における、検査回数と経過日数は以下の通りであった: 1日目(1回目の検査, 以下T1とする), 5日目(2回目の検査, 以下T2とする), 10日目(3回目の検査, 以下T3とする), 15日目(4回目の検査, 以下T4とする), 20日目(5回目の検査, 以下T5とする)。なお本研究において、実験参加者は、検査期間中、検査の実施日および実施時間以外は、通常の日常生活を行った。

結果と考察

訓練期間中のストループ検査IIの2種類の干渉率をFigure 5に示し、各課題正答数は、Figure 6に示した。2種類の干渉率について、検査経過日数(5: T1・T2・T3・T4・T5)を被験者内要因とする繰り返しのある1要因分散分析を行った結果、検査経過日数による主効果は有意

Figure 5. 日常環境下におけるストループ干渉率と逆ストループ干渉率の比較 ($N=6$). Error bar: SD. 実験2の測定点は、以下のとおりである: 1日目(1回目の検査, 以下T1とする), 5日目(2回目の検査, 以下T2とする), 10日目(3回目の検査, 以下T3とする), 15日目(4回目の検査, 以下T4とする), 20日目(5回目の検査, 以下T5とする)。なお、検査は、1日に1回のみ実施し、すべて10:00 amから10:30 amの間に行った。また、実験参加者は、検査期間中、検査の実施日および実施時間以外は、通常の日常生活を行った。

ではなかった[ストループ干渉率, 逆ストループ干渉の順に, $F(4, 20)=1.920, n.s.$; $F(4, 20)=2.496, n.s.$].

一方で、各課題の正答数について、検査経過日数(5)を被験者内要因とする繰り返しのある分散分析を行った結果、すべての課題に対して有意な主効果があった[課題1, 課題2, $<.001$; $F(4, 20)=17.322, p<.001$; $F(4, 20)=7.667, p<.001$; $F(4, 20)=12.490, p<.001$]. Ryan法による多重比較を行った結果、すべての課題において、反復回数を重ねるごとに、正答数は上昇した($p<.05$).

本研究で用いた新ストループ検査IIにおけるストループ干渉率は、課題遂行時に含まれる被験者個人の運動成分を排除したストループ干渉を評価するために設定されている(佐々木・箱田・山上, 1993)。これより、課題正答数が検査に比例して増加したにもかかわらず、二つのストループ干渉率は一定であった結果は、反復による練習効果がマッチング課題遂行能力のみに作用し、ストループ干渉には作用しなかったために生じたと考えられる。

実験2の結果から、日常環境下において、新ストループ検査IIを複数回実施した場合、各課題正答数は、検査実施回数に応じて上昇するが、2種類のストループ干渉率は検査実施回数に関係なく一定であることが示された。実験1で見られた事前(T1)から440 m保圧期(T2, T3)にかけて見られた課題正答数の減少は、日常環境

Figure 6. 日常環境下における新ストロープ検査IIにおける各課題正答数の変動 ($N=6$). Error bar: SD. *: $p < .05$. (a) は、逆ストロープ干渉課題 (課題2) と統制課題 (課題1) との比較を表す. (b) は、ストロープ干渉課題 (課題4) と統制課題 (課題3) との比較を表す.

下では生じないことが示された.

総合的考察

本研究の実験1において、高圧環境下における選択的注意能力には、長期間隔離や高圧曝露によって生じる不安や抑うつなどの心理的ストレスは介在しないことが示された. 実験2では、新ストロープ検査IIを日常環境下で複数回実施した場合、検査回数に比例して課題正答数は上昇するが、2種類のストロープ干渉率は変化しないことが示された.

実験1の調査対象である飽和潜水員といった特殊訓練を受けた人間は、任務に対する使命感が高く、特殊環境下において課せられる任務 (課題) 遂行時のモチベーションの低下は小さいことが報告されている (Suedfeld & Steel, 2000). 一方で、実験2の被験者は、全く特殊環境を受けていない一般的な大学生であり、課題に対する使命感は薄い. また、実験実施日以外は居住区等の一切の制限は設けなかった. 以上から、実験1の結果が、

高圧曝露といった物理的要因によって生じたということが考えられる.

これを踏まえ、実験1における2種類のストロープ干渉と課題正答数について再考察する. 本研究のような水深440 m (45気圧) といった高圧環境下で潜水作業を実施する際、加圧期から保圧初期にかけて高圧神経症候群 (Hyperbaric neurologic syndrome, 以下 HPNS とする) という中枢神経系の低下が生じる (Bennett & Rostain, 2003). Bennett & Rostain (2003) のレビューによると、高圧神経症候群は、環境圧の急激な上昇と環境圧の大きさといった物理的要因が主な発生要因とされている. この現象は、加圧停止後12時間で消失し、大気圧復帰以降の後遺症はないことから、高圧曝露時特有の現象であるとされている. ただ、水深300 m (31気圧) 以上の高圧下では、加圧停止後以降の中枢神経系の更なる低下はないが、減圧開始から水深300 m以下まで減少しない限り、回復しないことが報告されている (Bennett & Rostain, 2003).

こうした高圧神経症候群が、先行研究で報告された知覚的处理と短期的記憶を同時に必要とする認知能力の低下に、直接的に関与することについては、いまだに明確な見解はない (Bennett & Rostain, 2003). しかし、本研究において、440 m 保圧初期に干渉率は最大となるが、250~200 m 減圧期以降で減少し、訓練終了時には訓練前の水準まで回復した. また、景山ら (2005) で見られた訓練終盤で環境圧が大気圧付近での2種類の干渉率の増加は見られなかった結果は、上記の高圧神経症候群の発症から消失までのプロセスとほぼ一致している.

本研究において、景山ら (2005) で見られた大気圧付近での干渉率の増加は生じず、訓練期間中、不安や抑うつといった心理的ストレスは生じなかった. この結果から、本研究における2種類の干渉率の変動は、高圧曝露といった物理的要因の影響によって生じたと考えられる. よって、本研究の結果から、高圧環境下では選択的注意能力は地上に比べて低下し、低下の程度は環境圧の大きさに依存することが示された.

さらに、2種類のストロープ干渉課題の正答数は、440 m 保圧期に最も少なくなり、逆ストロープ干渉課題では正答数が、440 m 保圧後期に最も少なくなったことから、高圧環境下では選択的注意能力は、最大深度に滞在する期間の長さによっても低下することが示唆された.

Carter (1979) において認知課題として用いられた数列類似判断課題を正しく遂行するには、刺激に対し十分に注意が向けられる必要がある. よって、高圧環境下における知覚的处理の速度と短期記憶を必要とする認知課題の顕著な低下は、本研究の結果から刺激の処理時に十分に注意が向けられなかったために生じたことが考えら

れる。

本研究において、減圧期以降、滞在期間に比例した選択的注意能力の悪化は生じなかったが、保圧期において滞在期間に比例した認知能力の悪化が見られた。よって、今後、選択的注意能力と最大環境圧への滞在期間の長さとの関連について、より長期間の隔離期間を置いた検討が必要である。

引用文献

- Abraini, J. H., Martines, E., Lemaire, C., Bisson, T., Mendoza, J. L., & Therme, P. (1997). Anxiety, sensorimotor and cognitive performance during a hydrogen-oxygen dive and long-term confinement in a pressure chamber. *Journal of Environmental Psychology*, **17**, 157-164.
- Bennett, P. B., & Rostain, J. C. (2003). The high pressure nervous syndrome. In Brubakk, A. & Neuman, T. (Eds.), *Bennett and Elliott's Physiology and Medicine of Diving*. 5th ed. London: Saunders. pp. 323-357.
- Carter, R. C. (1979). Mental abilities during a simulated dive to 427 meters underwater. *Journal of Applied Psychology*, **64**, 449-454.
- 箱田裕司・佐々木めぐみ (1990). 集団ストループ・逆ストループ検査—反応様式, 順序, 練習の効果— 教育心理学研究, **38**, 389-394.
- (Hakoda, Y., & Sasaki, M. (1990). Group version of the stroop and reverse-stroop test: The effect of reaction mode, order and practice. *Japanese Journal of Educational Psychology*, **38**, 389-394.)
- 箱田裕司・渡辺めぐみ (2005). 新ストループ検査 II トーヨーフィジカル (Hakoda, Y., & Watanabe, M.)
- 景山 望・小沢浩二・木村民蔵 (2005). 長期間深度潜水が潜水員の認知・注意機能に及ぼす影響について 日本認知心理学会第3回発表論文集, 140.
- (Kageyama, N., Ozawa, K., & Kimura, T.)
- Kofman, O., Meiran, N., Greenberg, E., Balas, M., & Cohen, H. (2006). Enhanced performance on executive functions associated with examination stress: Evidence from task-switching and Stroop paradigms. *Cognition & Emotion*, **20**, 577-595.
- Lamers, M. J. M., & Roelofs, A. (2007). Role of Gestalt grouping in selective attention: Evidence from the Stroop task. *Perception & Psychophysics*, **69**, 1305-1314.
- Logue, E., Schmitt, F., Rogers, E., & Strong, B. (1986). Cognitive and emotional changes during a simulated 686 m deep dive. *Undersea Biomedical Research*, **13**, 225-235.
- McNair, D. M., Lorr, M., & Droppleman, L. F. (1971). *Profile of Mood States*. San Diego, CA: Educational and Industrial Testing Service.
- Monk, T. H. (1989). A visual analog scale technique to measure global vigor and affect. *Psychiatry Research*, **27**, 89-99.
- Monk, T. H., Kennedy, K. S., Rose, L. R., & Linenger, J. M. (2001). Decreased human circadian pacemaker influence after 100 days in space: A case study. *Psychosomatic Medicine*, **63**, 881-885.
- Naval Sea Systems Command (2008). U.S. Navy Diving Manual. The Office of the Director of Ocean Engineering, Supervisor of Salvage and Diving Web Site <http://www.supsalv.org/00c3_publications.asp?destPage=00c3&pageId=3.9> (November 12, 2009)
- Palinkas, L. A., Gunderson, E. K., Johnson, J. C., & Holland, A. W. (2000). Behavior and performance on long-duration spaceflights: Evidence from analogue environments. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, **71**, A29-A36.
- Palinkas, L. A. (2001). Psychosocial issues in long-term space flight: Overview. *Gravitational and Space Biology Bulletin*, **14**, 25-33.
- Sandal, G. M., Vaernes, R., Bergan, T., Warncke, M., & Ursin, H. (1996). Psychological reactions during polar expeditions and isolation in hyperbaric chambers. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, **67**, 227-234.
- Sandal, G. M. (2000). Coping in Antarctica: Is it possible to generalize results across settings? *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, **71**, A37-A43.
- 佐々木めぐみ・箱田裕司・山上龍太郎 (1993). 逆ストループ干渉と精神分裂病—集団用ストループ・逆ストループテストを用いた考察— 心理学研究, **64**, 43-50.

- (Sasaki, M., Hakoda, Y., & Yamagami, R. (1993). Schizophrenia and reverse-Stroop interference in the group version of the Stroop and reverse-Stroop test. *The Japanese Journal of Psychology*, **64**, 43-50.)
- Suedfeld, P., & Steel, G. (2000). The environmental psychology capsule habitats. *Annual Review of Psychology*, **51**, 227-253.
- 渡辺めぐみ・箱田裕司・松本亜紀 (2006). うつ病患者・不安障害患者の注意特性の比較—新ストロープ検査 I を用いて— 日本心理学会第 70 回発表論文集, 301.
- (Watanabe, M., Hakoda, Y., & Matsumoto, A.)
- 横山和仁 (1994). 日本語版 POMS の手引き 金子書房
- (Yokoyama, K.)
- (2009 年 11 月 16 日受稿, 2010 年 5 月 5 日受理)