

## 高圧曝露時の認知機能：ストループ干渉による検討

景山, 望

<https://doi.org/10.15017/1500479>

---

出版情報：九州大学, 2014, 博士 (心理学), 課程博士  
バージョン：  
権利関係：全文ファイル公表済

高圧曝露時の認知機能  
—ストロープ干渉による検討—

九州大学大学院人間環境学府  
行動システム専攻心理学コース

景山 望

## 目 次

序	1-7
第1章 高圧曝露時における認知機能とその測定法	8-24
1-1 長期間の潜水作業を可能にする技術：飽和潜水	9-11
1-1-1 人工の呼吸ガスによる潜水技術の開発	9-10
1-1-2 飽和潜水の開発	10-11
1-2 飽和潜水における生理変化と認知機能の変化	12-20
1-2-1 飽和潜水における生理的变化	12-14
1-2-2 飽和潜水における認知機能の変化	14-14
1-2-3 作業を行う環境圧の影響	14-17
1-2-4 飽和潜水期間中の心理状態の変化	17-18
1-2-5 飽和潜水を実施する環境	18-20
1-3 高圧環境での新たな認知機能検査法の提案	20-24
1-3-1 高圧曝露による影響を受けやすい認知機能	20-21
1-3-2 現行の認知機能検査法について問題点	21-21
1-3-3 高圧環境での新たな認知機能検査法の提案	21-24
第2章 高圧曝露時の認知機能検査としてのストループ干渉	25-53
2-1 はじめに	26
2-2 認知機能検査としてのストループ干渉	26-38
2-2-1 ストループ干渉の概要	26-27
2-2-2 ストループ干渉によって測定可能な認知機能	27-29
2-2-3 ストループ干渉の神経基盤	29-30
2-2-4 ストループ干渉と逆ストループ干渉との生起機序	30-31
2-2-5 2種類のストループ干渉の神経基盤による差異	31-32
2-2-6 ストレス曝露とストループ干渉との関係	32-34
2-2-7 ストレス曝露がストループ干渉に及ぼす影響	34-35
2-2-8 ストレス曝露が認知機能に与える影響と個人差	35-36
2-2-9 ストループ干渉の学習効果	36-37
2-2-10 認知機能検査としてのストループ干渉の実用性	35-36
2-2-11 本実験で用いるストループ検査	37-38

2-3	実験1：新ストループ検査2の信頼性の検証	39-53
2-3-1	目的	39-41
2-3-2	方法	43
2-3-3	結果と考察	44-53
第3章	模擬環境における検討：目標深度ごとの比較	54-87
3-1	はじめに	54
3-2	実験2-1：水深440m（45気圧）飽和潜水での検討	55-69
3-2-1	目的	55-58
3-2-2	方法	58-62
3-2-3	結果	62-67
3-2-4	考察	67-69
3-3	実験2-2：地上（1気圧）での検討	70-76
3-3-1	目的	70
3-3-2	方法	70-71
3-3-3	結果と考察	71-74
3-4	まとめ：実験2	74-76
3-5	実験3：水深100m（11気圧）飽和潜水での検討	77-85
3-5-1	目的	77-78
3-5-2	方法	78-80
3-5-3	結果	81-84
3-5-4	考察	85-87
3-6	まとめ	87
第4章	実施環境の影響：実海面による検討	88-102
4-1	目的	89-90
4-2	方法	90-93
4-3	結果と考察	94-102
第5章	総合考察	103-128
5-1	はじめに	104
5-2	高圧曝露時の認知機能を変化させる要因	104-106
5-3	ストループ干渉の種類と高圧曝露との関係	106-107
5-4	今後の展望	107-110

5-4-1	高圧曝露の影響の個人差-----	107-108
5-4-2	タブレット端末による検証-----	108-109
5-4-3	パソコンを用いた厳密な実験条件の統制による検証-----	109-110
引用文献	-----	111-126
謝辞	-----	127-128

## 序

海中での潜水作業は、1960年の北海油田に代表される海底油田開発、飛行機などの墜落の際における人命救助・脱落物体の回収や沈没船の回収・油類の処理、潜水艦救難において多大な貢献をしてきた（関，1988；小澤，2012）。特に、1999年の潜水艦クルスク号座礁時の救難は、潜水員による深海での潜水作業の有用性が確認された事例の一つである（小澤，2012）。この事例では、水深108mで座礁した潜水艦内の乗員を救助する際、先に到着した無人操作艇や小型潜水艇では不可能であった損傷したハッチの開封を潜水員の手によって成功させた。また2011年に発生した東日本大震災では、津波で流された被災者の捜索に多くの潜水員が導入され、多大なる成果を得ている。

一般的に潜水作業を行う際、人間は作業開始から終了後にかけて環境圧の変化（目標の海中への潜行：加圧，目標深度での作業：保圧，地上への復帰：減圧）を必ず体験する。海中では、水深10mにつき1気圧相当水圧が全身にかかる。例えば、日本の大陸棚付近（水深200m）で潜水作業を行う場合、海中の環境圧は21気圧となる。地上の環境圧が1気圧であることから、一般的に潜水作業は高圧曝露を伴う作業の一つとされている。

この高圧曝露を伴う作業は潜水作業だけではなく、潜水技術を応用した圧気土木がある（石井，2005）。この作業は「潜函作業」と呼ばれ、労働安全衛生法の中の高気圧作業安全衛生規則（以下、高圧則とする）で規定されている（合志・玉置・石竹・山見・眞野，2008）。この作業は、地下の駐車場やトンネル工事あるいは大規模な橋梁基礎工事などに

用いられる（合志ら，2008）．身近な例としては，お台場のレインボーブリッジのアンカレッジ基礎や主塔建設や，横浜のベイブリッジの橋脚工事，東京湾アクアラインのトンネル工事にこの技術が用いられている（柴山，2009；石井，2005）．

現在，人間の潜水作業による潜水艦救難や遺品の回収に関しては，その安全性から小型潜水艇や無人作業艇といった機械による方法に移行しつつある（小澤，2013）．潜函作業においても，トンネルの掘削などの実作業は機械による方法へと移行しつつある（石井，2005）．

しかし，潜水作業においては，クルスク号の事案のように，小型潜水艇や無人探索機では人間による細かな作業を行うことは未だに困難である．さらに，津波によって流出した瓦礫等が多数存在する海中での探索作業に，これら小型潜水艇や無人探索機を導入することは難しい．一方で，潜函作業を行う掘削機器の保守・整備には，人間による作業が必須となる．同時に，現在では都市部での大深度地下空間開発のニーズが増している（今田，2011）．実際，海外では，呼吸ガスにヘリウム酸素を用いることが必須な環境圧15気圧（ヘリウム酸素を呼吸ガスとして使用することについては第1章で述べる）での潜函作業による工事が行われており（Le Pechon & Gourdon, 2010），我が国でもヘリウム酸素を呼吸ガスに用いた潜函作業による工事件数は毎年増加している（日本圧気土木協会，2014）．したがって，人間による高圧環境での作業の需要は今後もなくなることはないと考えられる．

ただし，人間は大気圧（1気圧）での生存に適応してしまったために，高圧環境で作業を行う場合，物理的な環境圧の影響を無視することはで

きない。環境圧の影響は以下の物理法則による気体の変化に起因する。

1) ボイルの法則：一定の気体の圧力は、温度が一定であればその体積に反比例する ( $P \cdot V = K$  , P: 圧力, V: 体積, K: 定数)。これより気体は環境圧に反比例して圧縮される。

2) ダルトンの法則：混合気体では、その成分の一つが示す圧力は、そのもののみが同一体積を占めるときに示す圧力と同じである。

3) ヘンリーの法則：温度一定の条件では、液体に接して溶解する気体の量は、その気体の分圧に比例する。

上記の物理法則に従う気体の変化は、人間の生理機能、特に呼吸機能に多大なる影響を与える(関, 1988)。人間が普段呼吸に用いている“空気”も例外ではない。水深50m(6気圧)以上の高圧環境において、空気は深刻な神経障害や呼吸機能障害を引き起こすガスへと変化する(関, 1989)。このため、各国の潜水作業技術に関する法令では、空気による潜水の限界深度を50m(4気圧)以下とし、その安全基準を策定している(海洋科学技術センター, 1985)。また、呼吸に用いる気体の密度は、1)と2)の法則から環境圧の増加に伴って増加する。環境圧の増加に伴う気体の密度の増加は、人間の呼吸抵抗の増加を引き起こす。よって、作業を行う環境圧が大きい(深い水中)ほど、身体的負担は大きくなる。以上から、高圧環境では、人間の生理機能は曝露される環境圧に依存するといえる。

一方で、高圧環境で作業を行う際の認知機能についても、生理機能と同様に環境圧の影響を受けるとされている。ただ高圧曝露による認知機能への影響は、生理機能のように気体の物理法則に従った規則的なもの



ではないことが報告されている (Logie & Baddeley, 1985) . これを示す知見として、水深300m以上 (31気圧) 以上の深海潜水実施時の認知機能を扱った複数の研究では、全く認知機能の低下が観察されなかった報告が多々ある (Biersner & Cameron, 1979b; Hamilton, 1976) . また、認知機能の低下が、作業を行う環境圧ではなく、高圧環境への隔離や深海潜水への不安や恐怖によって引き起こされたという報告もある (O'Reilly, 1974) . 以上から、高圧環境において認知機能を変化させる要因については、大きくは環境圧と作業時の心理状態と考えられている .

前述してきたように、生理機能が制限される高圧環境での作業は、非常に生理的・心理的ストレスがかかった状態で行われる高いものであると考えられる . このような各種ストレスに対して、潜水中に人間は“パニック”と言われる応答を示すことがある (Bachrach & Egstroom, 1987) . 潜水中のパニックは、死亡する事例も多く報告されていることから、主要な潜水事故の原因と考えられている . このようなパニックを回避する方法の一つとして、Bachrach & Egstroom (1987)は自己認知を挙げている . ただ、高圧環境においてパニックの回避するために自己認知を用いるには、認知機能の十分な発揮が前提にあると考えられる . ただし、高圧環境で認知機能が十分に発揮されるかについては未だに明らかになっていない .

本格的な飽和潜水研究が行われた1970年代、O'Reilly (1974)は潜水技術研究の主眼は、生理的变化や潜水技術の向上に主眼が置かれており、心理的側面からの検討は重用視されてこなかったと述べている . 実際、高圧曝露時に生じる認知機能の低下は、基本的には加圧停止とともに見

られなくなる (Bennett & Rostain, 2003). そして, 高圧曝露によって低下した認知機能は, 減圧終了後の大気圧への復帰と同時に高圧曝露前の水準に戻り, 後遺症はないことが明らかにされている(小沢, 印刷中). また, 実際の作業に直結する知覚運動供応などは, 高圧曝露の影響が小さい (O'Reilly, 1977).

以上のように, 高圧環境での認知機能の低下と実際の作業の完遂に与える影響との関連が小さく, 高圧環境で認知機能を変化させる要因については未だに明確にされていない. そこで, 本研究では高圧環境で作業中の認知機能を変化させる要因を明らかにすることを目的とした. 高圧環境で作業中の認知機能を変化させる要因を明らかにすることは, 潜水作業や潜函作業計画を行う上で非常に有益であると考えられる. 例えば, もし一定の環境圧以上で認知機能が低下するのであれば, その環境圧より高い場面では潜水作業は行わない方がよいだろう. これは, 作業中の人為的な事故を未然に防ぐと同時に作業員の生命の保証にもつながる. また環境圧ではなく, 作業中の心理状態が影響するのであれば, 事前に作業予定員の性格特性などを把握することによって, 作業中に心理状態の悪化が予測される者を作業から外すことができる. これも結果として, 事故防止や作業員の生命の保証につながる. 本研究では, 以下に示す各章によって高圧環境で作業中の認知機能を変化させる要因について検討を行った.

第 1 章では, 高圧環境での認知機能とその測定法について文献研究を行った. 高圧曝露による認知機能への影響を検討する上で, 作業を行う期間と環境圧は重要な要因となる. 第 1 章ではまず, 長期間の高圧環境

での作業を可能にした飽和潜水技術について概説する。次に、飽和潜水時の生理変化と認知機能の変化について文献研究を行い、高圧曝露によって影響を受けやすい認知機能を検討した。最後に、過去の認知機能の測定法の問題点を指摘し、本研究で用いる認知機能の検査法を提案した。本研究ではストループ干渉を用いることとした。

第2章では、高圧環境での認知機能を測定する指標としてストループ干渉は適切であるのかについて、文献研究ならびに実験による検証を行った。ストループ干渉には、ストループ干渉と逆ストループ干渉の2種類があり、これらの干渉はそれぞれ異なる特徴（例．反応様式によって干渉の強さが異なる）を有している。また、ストループ干渉は、選択的注意能力の簡便な指標として多くの研究で用いられている。さらに、その他の認知機能との密接な関係があることから、前頭葉機能検査などの臨床場面で頻繁に用いられている（鹿島，1995）。一方で、逆ストループ干渉は上記の特徴に加えて、うつ病などの情動に関する精神疾患のスクリーニング指標として近年用いられている（渡辺・箱田・松本，2013）。以上から、本実験で用いる指標としてストループ干渉・逆ストループ干渉が妥当であるとした。次に、本実験で用いるストループ検査として、新ストループ検査2が適切であるのかについて、検査間隔の異なる（1時間・4週間）再テスト法によって検証した。本研究では、1回目と2回目の課題成績の相関係数を用いて新ストループ検査2の信頼性を評価した。また本研究では、反復検査時の課題成績の変化によって練習効果を評価した。

第3章では、物理的な環境圧が認知機能に及ぼす影響について、目標

深度が異なる模擬環境での飽和潜水訓練によって検討した。これまでの研究から、環境圧が 16 気圧以上になると中枢神経系の低下を示す自覚症状や身体症状が起こり、31 気圧以上になると様々な認知課題の成績が低下するとされている。一方で、飽和潜水を用いた高圧環境での作業には、必ず長期間の閉鎖隔離が伴う。閉鎖環境への隔離は不安や抑うつ症状を喚起しやすいとされている。そして、こうした心理状態の変化は認知機能を低下させることが報告されている。本実験では、高圧曝露時の認知機能の評価に新ストループ検査 2 を用いた。また、高圧曝露時の心理状態の評価には 2 種類の質問紙法を用いた。

第 4 章では、深海潜水作業時の実施環境が認知機能に及ぼす影響について、実海面飽和潜水訓練中の干渉率と 2 種類の質問紙法によって検討した。第 3 章の実験環境である模擬環境は、生活環境や潜水環境の安全や快適性が担保されているため、飽和潜水期間中の心理状態の悪化は生じにくいとされている。一方で、実際の海中（実海面）での飽和潜水では、不安、抑うつ、睡眠障害を発症しやすいことが報告されている。したがって、第 3 章で検討した模擬環境とは異なり、潜水中の認知機能に測定時の心理状態が影響する可能性が考えられる。本実験では、第 3 章と同じ新ストループ検査 3 と 2 種類の質問紙法を用いて検討を行った。

第 5 章では、本研究の総合考察として、高圧環境での作業時の認知機能を変化させる要因を、第 3 章の模擬環境での実験結果と第 4 章の実海面での実験結果との比較によって検討した。最後に今後の展望として、実験機器の進歩から高圧環境で実施可能な実験が増えたことを紹介する。

## 第1章 高圧曝露時における認知機能とその測定法

## 1-1 長期間の潜水作業を可能にする技術：飽和潜水

1-1-1 人工の呼吸ガスによる潜水技術の開発 深海潜水技術の発展は、第二次世界大戦直後の1945年に発表された大陸棚宣言、いわゆるトルーマン宣言に端を発するとされている（永嶋，2002）。トルーマン宣言では、公海の海底であっても、アメリカ沿岸に接続する大陸棚の天然資源に対して、同国が管轄権を有することが明記されている。この宣言を契機に、空気潜水の限界深度を超える大陸棚付近（水深約200m）の海底油田開発や潜水艦や艦船の沈没事故による救難作業の需要が増えた。大陸棚付近での作業で用いる呼吸用混合ガスは、環境圧と同等の高圧ガスとなる。深度100m（11気圧）では、 $10\text{kg/cm}^3$ 、すなわち11気圧、水深300mでは $30\text{kg/cm}^3$ 、すなわち31気圧の高圧ガスを呼吸することになる。高圧ガスは圧力に比例して密度が増加する。このことは地上に比べて環境圧が大きい海中において、人間は高密度ガスで呼吸を行うことを示している。このような高密度ガスによる呼吸は、呼吸抵抗の増加を伴うことから人間への負担が大きい（スタンリーマイルス，1962；町田訳，1971）。上記の問題点を受け、海中での長時間潜水を可能にするために、人工の呼吸用混合ガスによる潜水技術が開発された（中山，1988）。

この潜水技術で使用する混合ガスには、麻酔作用が少ないヘリウム酸素が採用され、現在でも深海潜水を行う際の標準的な呼吸ガスとして用いられている（Rostain & Bennett, 2003）。このような人工の呼吸用混合ガスを用いることによって、現在では水深700m（71気圧）相当の海中での人間による潜水作業が可能となった（Rostain, Gardette, & Gardette, 1994）。

1-1-2 飽和潜水の開発 現在，潜水技術マニュアルの世界標準となっているUSNAVY Diving Manualによると，減圧に要する時間は加圧よりも長く取る必要があるとしている (Naval Sea Systems Command [NAVSEA], 2008). また，減圧に要する時間は，目標とする深度（環境圧）に比例して増加する．さらに作業を行った時間（滞停または保圧）が長い場合は，同じ深度でも減圧時間や大きい場合はより長い時間を減圧に費やさなければならない．例えば，地上を拠点にして水深180m（19気圧）で5分間作業する場合，減圧には8時間を要する (Naval Sea Systems Command [NAVSEA], 2008). さらに，体温管理が困難である水中で8時間も減圧を行うことは潜水作業員の安全確保という点でも問題がある．このような背景から，飽和潜水は空気呼吸の限界を超える海中（高圧環境）での作業（海洋開発，潜水艦救難）の需要が高まると同時に開発された．

飽和潜水は，作業を行う海中の環境圧に潜水員を生理的に順応させることによって長期間の作業を可能にする技術である．生体が高圧環境に曝露された場合，ヘンリーの法則によって呼吸ガス（不活性ガス）は体内に溶解する．ヘンリーの法則によって体内に解けた不活性ガスは，一定量溶解した場合はそれ以上増えることなく飽和状態となる．体内の不活性ガスが飽和した状態では，高圧環境で長時間作業を行っても減圧時間は変わらない．飽和潜水はこうした飽和の原理を使った潜水技術であり，アメリカ海軍のBondによって1960年に提唱された（中山，1988）．具体的な作業プロトコルとしては，作業深度に応じた環境圧に保圧した居住区（例，艦上減圧室：Deck Decompression Chamber, 以下DDC）

を設け，そこに滞在しながら作業を遂行した後，ゆっくりとDDC内で減圧を行い地上に復帰する（Figure 1）。

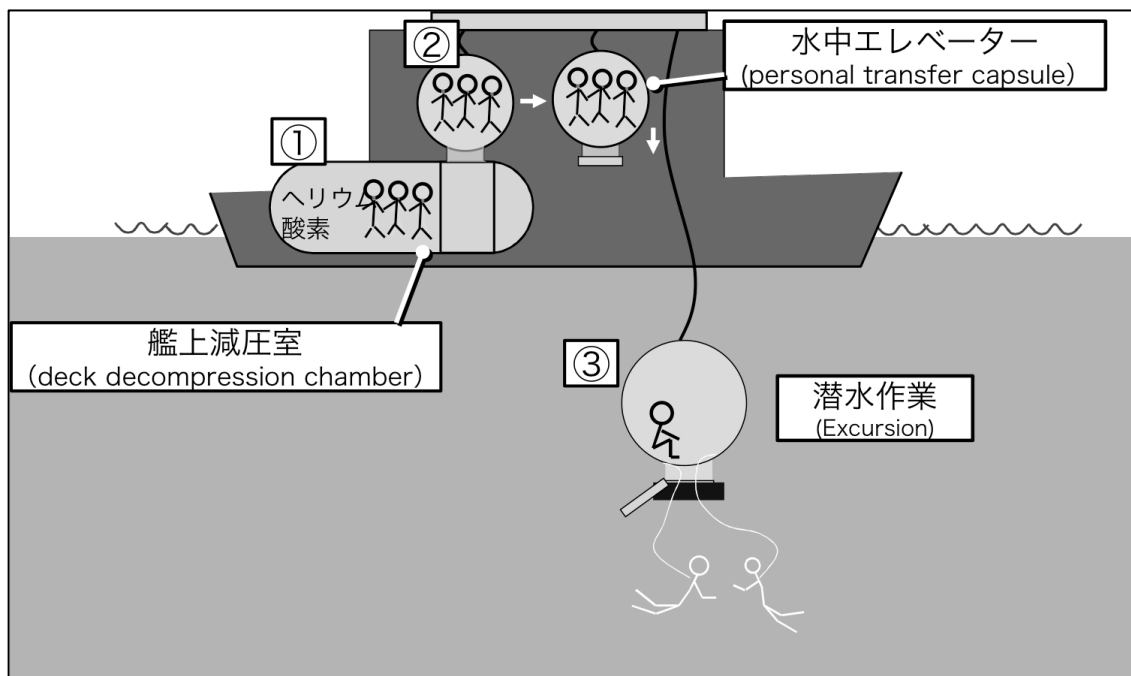


Figure 1. 飽和潜水の作業工程の概要． 1) 潜水作業員は艦上減圧室に入り，ヘリウム酸素を使って作業を行う海中の環境圧まで加圧する． 2) 作業を行う海中に進出するため水中エレベーターに移乗する．この際，艦上減圧室と水中エレベーターの環境圧は同じである． 3) 水中エレベーターを作業海域まで降ろして，作業を行う海域に到達した時点でハッチが開き，潜水員は作業を行う． 4) 作業が終了すると水中エレベーターに戻り，圧力を維持したまま艦上減圧室に帰り，そこで食事と睡眠を取る．以上の行程を作業終了まで繰り返す．



## 1-2 飽和潜水における生理変化と認知機能の変化

1-2-1 飽和潜水における生理変化 前項でも述べたが、水深50mを超える潜水作業においては、ガス自体の麻酔作用が小さいヘリウム酸素が用いられるようになった（中山，1988）。このヘリウム酸素は、水深350m（36気圧）から水深610m（62気圧）までの飽和潜水に用いることができる。しかしながら、高圧環境でヘリウムを用いる際、1) 高圧神経症候群（High pressure nervous syndrome, 以下HPNS）、2) 高圧徐脈、そして3) 体温調節（坂本，1988）といった生理機能の変化が生じることが明らかになっている。

1) 高圧神経症候群：水深が150m（16気圧）を超えると、高圧神経症候群（HPNS）と言われる中枢神経系の機能が低下する（Bennett, 1975a; Fructus, Atarate, Naquet, & Rostain, 1976）。この症候群の主な症状は、四肢の振戦や震え、筋肉の痙攣、疲労感、脳機能の低下、睡眠障害である。HPNSの発生原因は、急激な環境圧の上昇（Bennett & Towse, 1981）と曝露時の環境圧（Carter, 1979, Logie & Baddeley, 1983）とされている。HPNSは加圧速度を遅くすることによって影響が小さくなることが明らかになっている（Bennett, Coggin, & MacLeod, 1982）。また加圧停止後12時間以内にHPNSの一連の症状は消失するとされている（Bennett & Rostain, 2003）。

2) 高圧徐脈：高圧環境でヘリウム酸素を用いた呼吸を行うと、環境圧が7気圧を超えたあたりから心拍数の低下が見られる。この高圧環境での徐脈は運動中であっても起こる（藤家・関・中山・佐藤，1979）。藤家ら（1979）は31気圧のヘリウム環境で最大酸素摂取量の30%から70%に

相当する自転車運動を行い，運動強度に関わらず心拍数の低下が起こったことを報告した．

3) 体温調節：ヘリウム酸素を使用することの問題点には，ガス自体の高い熱伝導性（空気の約6倍の熱伝導率）と，気圧の増加に伴う生体の水蒸気の拡散能力が減少することによる蒸汗放熱の制限がある．ヘリウム混合ガスで呼吸する際，呼気性放熱量が増加するため，ダイバーの体温調節とは独立した呼吸ガスの温度制御が必要となる．これらの物理的特性は人間の発汗による調節域を狭くする．また快適域からの室温のずれは，ダイバーに多大な熱ストレスを与えることになる．この傾向は環境圧の増加に伴って著しくなり，DDCなどの作業員の居住区内の温度管理は非常に注意深く行う必要がある．

上記に挙げた飽和潜水時の生理変化の中でも，1)のHPNSについては，高圧曝露による認知機能を検討する上で非常に重要な現象となる．数多くの飽和潜水の実用化研究に携わってきたBennettは，HPNSは高次の認知機能（例．記憶，遂行機能）に作用しないと述べている（Bennett & Rostain, 2003）．一方で，同じく数多くのHPNS研究に携わってきた小沢は，HPNSは認知機能に作用していないのではなく，現行の認知機能検査では測定できていないだけであると主張している（小澤，2014）．小澤はHPNSのメカニズムを脳波測定によって検討している．小澤によれば，脳機能の低下を示す $\theta$ 波は，加圧開始直後から発生しているにも関わらず，認知課題（選択反応時間）の成績は変化しない（Ozawa & Tatsuno, 1989; 小沢・西野，1990）．このような加圧に伴う $\theta$ 波の増強現象は，Bennettらの研究グループでも確認がなされており，高圧曝露時でみられ

る典型的な生理変化として知られている。前述の小澤（2014）の主張は、高圧曝露時の認知機能の評価時に用いる指標について示唆に富んでいる。高圧曝露時の認知機能とその測定法についての詳細は第1章の1-3で述べる。

**1-2-2 飽和潜水における認知機能の変化** 飽和潜水中の認知機能を評価する方法として、これまでの研究では複数の認知課題のテストバッテリー（e.g., French, Ekstrom, & Price, 1963; Ekstrom, French, and Harman, 1976）が用いられてきた。これらの知見から、飽和潜水時の認知機能には以下の要因によって変化することが示されている：1）作業を行う海中の物理的な環境圧（e.g., Baddeley, 1972; Biersner & Cameron, 1979b; Carter, 1979; Logie & Baddeley, 1985; Spijkers, 1994）、2）飽和潜水期間中の作業員の心理状態（O'Reilly, 1974, 1977）、3）飽和潜水を実施する環境：模擬環境・実海面（Townsend & Hall, 1979; Abraini et al., 1997）、4）前項で述べた高圧神経症候群（HPNS）。

ただ、これまでの研究では、飽和潜水中の認知課題の成績は課題の種類によって異なっていた。このため、高圧曝露が認知機能に与える影響は一律ではなく、機能の種類によって異なるという指摘もある（Carter, 1979; Logie & Baddeley, 1985）。以下の項では、上述した1）から3）を中心に飽和潜水時の認知機能に影響を与える要因についてレビューを行う。これより、高圧曝露による影響を受けやすい認知機能について提案する。次に、現在まで用いられてきた方法の問題点を挙げる。そして最後に、本研究で用いる認知機能の検査法を選ぶ際の基準を示す。

**1-2-3 作業を行う環境圧の影響** 深海での飽和潜水中、目標とする最大

深度（環境圧）で認知機能は最も低下する。ただし、認知機能の低下は一律ではなく、機能の種類によって異なり、また飽和潜水の計画（加圧速度、期間など）によっても異なる（e.g., Baddeley, 1972; Lemarie & Murphy, 1976; Biersner & Cameron, 1979b; Carter, 1979; Logie & Baddeley, 1983; Logie & Baddeley, 1985; Logue, Schmitt, Rogers, & Strong, 1986; Spijkers, 1994）。

Biersner and Cameron(1979b)は、水深 163m（17 気圧）では連合学習が困難になることを報告した。Baddeley (1972)は水深 305m(31 気圧)において知覚的処理速度、視覚探索能力、ストループ課題、足し算課題が低下することを報告した。Lemarie & Murphy (1976)は、視覚的反応時間と数字順序課題の成績が水深 610m（62 気圧）で悪化することを報告した。一方で、Biersner and Cameron(1979a)では、水深 300m（31 気圧）でも短期記憶課題と連合学習能力は高圧曝露を伴わない統制群と変わらなかった。また Hamilton (1976)は、計算能力、反応時間、巧緻性作業、知覚運動協応課題、時間評価、フリッカー課題によって検討を行った。その結果、水深 366m（37 気圧）であっても成績は大気圧と変わらなかった。

Carter (1979) は、いくつかの課題を取り上げ、最大深度で最も課題成績が低下する場合としない場合に着目して検討を行った。Carter らは文献研究の結果から、計算課題、連合学習課題、視覚的処理速度課題、視覚探索課題、足し算課題、短期記憶課題、空間方位課題を選定し実験を行った。なお、これら選定した課題は、French et al.(1963) が作成した認知課題で測定される認知機能に対応している。Carter らは、最大深度

450m (46 気圧) の模擬環境による飽和潜水中に上記の課題を実施した。その結果、足し算課題、計算課題、視覚探索課題の成績は、大気圧で実施した事前検査に比べて悪化した。ただ課題成績が悪化した課題のうち、視覚探索課題については潜水訓練終了時に訓練前の水準と同等になった。Carter (1979) は、これらの結果を環境圧の影響であるとした。また Carter らは各種認知課題を水中環境と潜水期間中の DDC 内で実施し、実験環境の違いによる課題成績の比較を行った。その結果、DDC に比べて水中環境の方が課題成績は悪かった。この結果について、Carter は環境圧との交互作用もなかったことや実験参加者の内観報告から、潜水用のヘルメットが曇ったことが原因であり、実施環境が影響したのではないと結論づけている。

Logie & Baddeley (1985) は、最大深度 0m (1 気圧)、60m (7 気圧)、300m (31 気圧) および 540m (55 気圧) の模擬環境の飽和潜水で検討を行った。Logie & Baddeley (1985) では、高圧曝露による認知機能への影響を、短期記憶課題、知覚処理速度課題、計算課題、空間認知能力課題、意味処理能力課題、連合学習能力や文法理解能力によって検討した。その結果、上記の認知課題の成績は最大深度 300m (31 気圧) 以上に設定した訓練中においてのみ訓練前よりも悪くなった。そして、認知課題成績の悪化は、課題の種類によって異なり、特に視空間能力課題の悪化が著しかった。一方で、こうした認知課題成績の悪化は、最大深度 0m (1 気圧) と 60m (7 気圧) の飽和潜水中では生じなかった。以上の結果から、Logie & Baddeley (1985) は、環境圧が 30 気圧以下では認知機能の低下は生じないことを主張した。また、Logie らは、高圧曝露の認知機

能への影響は一律ではないことを示唆した (Logie & Baddeley, 1985). さらに, Logie らは, 視知覚メカニズムは高圧曝露による影響を受けないが, ワーキングメモリの容量が影響を受けることを主張した.

Spijkers (1994) では, 認知機能の変化を最大深度 180m (19 気圧) 飽和潜水中の視空間ワーキングメモリ課題, 選択反応時間課題, トレイルメイキング課題によって検討した. Spijkers らはこれら 3 つの課題を 4 日間の保圧期と 7 日間の減圧期間に実施した. 参加した潜水員は 4 名の職業潜水員であった. 全ての課題成績は保圧期の 19 気圧で低下した. 視空間ワーキングメモリ課題は, トラッキング課題や反応時間課題と同じように低下した. また選択反応時間は遅くなったものの, 誤反応は増加しなかった. この結果から, 高圧環境では視覚情報処理を全体的に低下させることが示唆された.

1-2-4 飽和潜水期間中の心理状態の変化 O'Reiley (1974) は, 次の 5 つの情報処理段階 (感覚処理段階, 覚醒状態, 運動能力, 記憶, 判断) に着目し, これらの情報処理段階を反映した課題 (聴覚検査, 反応時間, ミネソタマニピュレーションテスト (MRMT), 短期記憶検査 (聴覚呈示による数字記憶課題), 長期記憶検査) によって検討した. 各種課題は最大環境圧 18 気圧 (水深 170m) の模擬環境による飽和潜水訓練中に実施した. 実験参加者は 6 名でそのうち飽和潜水経験者は 1 名であった. 結果は課題の種類によって環境圧の影響は異なった. 特に, 聴覚提示による数字記憶課題といったワーキングメモリが関与する課題は地上に戻ってくるまで回復しなかった. 一方で, MRMT のような知覚運動協応が必要な課題は環境圧の影響はみられなかった. ただ実験を通じて, 測定

時の環境圧に関係なく課題の誤反応が多く検出された。また、減圧期で減圧症罹患への不安と思われる情動の変化が観察された。これらの結果から、O'Reiley (1974) は心理状態の変化（悪化）が認知機能成績を低下させる可能性があることを主張した。

O'Reilly (1977) では、環境圧と長期間の隔離環境が認知機能に及ぼす影響を各種認知課題の成績によって検討した。この研究では31日間の実験期間を設けて、17日間の最大環境圧18.6気圧（水深190m）の飽和潜水と14日間の大気圧復帰後の飽和潜水時の居住区内での隔離生活で検討した。なお、この研究では低温環境が認知機能を低下させることを確認するために、14日間の隔離生活において最後の3日間の居住区内の室温を下げた。この研究では、1) 空間認知能力、2) 連合学習能力、3) 一般的知能、4) 計算能力、5) 選択反応時間、6) 心理状態の主観的評価によって検討した。その結果、全ての課題成績は悪化し、特に一般知能検査の成績の悪化が顕著であった。反応時間や計算能力は訓練初期に最も悪化した。後半の3日間の低温環境では、計算能力は低下したが、その他についてはあまり変化がなかった。長期間の高圧曝露の影響というよりは、それに付随するストレス（隔離、不安）が影響することが示唆された。

**1-2-5 飽和潜水を実施する環境** 上述したCarter (1979) は、高圧環境における認知機能を変化させる要因として、環境圧や環境圧の上昇速度（加圧速度）に加えて、作業を行う環境（模擬環境もしくは実際の海中：以下、実海面）の影響を提案した。

この作業環境が認知機能に影響を及ぼすことについては、実施環境や

作業の目的によって潜水限界深度が異なることから伺える。現在、人間は模擬環境であれば水深約 700m (71 気圧) までは潜水可能ということが実証されている (Rostain et al., 1994)。一方で、実海面では水深 540m (55 気圧) が限界深度であることが実証されている (Mulcahy, 1976)。ただし、上記の実海面での限界深度はあくまで研究目的の潜水(潜水技術の開発)で得られたものである。実際の油田開発や沈没船の引き上げといった商用飽和潜水の適用深度は、水深 150m から 200m (16 気圧から 21 気圧) とされている (Mulcahy, 1976)。

こうした商用飽和潜水では限界深度が浅いことについて、Mulcahy (1976) は潜水員の安全にかかるコストが研究目的の場合に比べて少ないことが原因であるという見解を述べている。また、商用飽和潜水では定期的に潜水作業が行われるため、研究目的の飽和潜水よりも身体的負担が大きいとされている。しかし、これまでの研究は安全が担保されている模擬環境での飽和潜水での行われることが多く、飽和潜水期間中の疲労や不安、情動の変化は重要視されていなかった。そこで、Townsend & Hall (1978) や Abbraini, Martines, Lemaire, Bisson, Mendoza, & Therme (1997) は、商用潜水時の作業環境や実海面での潜水作業による身体的・心理的疲労が認知機能に及ぼす影響に着目して検討を行った。

Townsend & Hall (1978) は、14 日間の水深 250m (26 気圧) の実海面飽和潜水時の脳波測定、質問紙調査、4 つの選択反応時間課題によって検討した。実験は上記の 2 回の飽和潜水訓練で実施し、各訓練につき 7 名の潜水員の合計 14 名が参加した。結果、2 回の訓練ともに、飽和潜水期間中では大気圧に比べて選択反応時間は低下し、脳機能の低下を示



す脳波も観察された。また質問紙による心理状態も飽和潜水訓練中は大気圧に比べて悪化した。この結果から、Townsendらは実海面飽和潜水では情動が大気圧に比べて高まり、認知機能は模擬環境に比べて低下しやすいことを主張した。

Abbraini et al. (1997) は、作業深度 300m (31 気圧) の商用飽和潜水に参加した 6 名の潜水員の心理状態の測定、感覚運動系の評価によって検討した。この結果、潜水期間中に不安が高まった。この結果について、Abbrainiらは、環境圧といった物理的な要因よりもプライバシーの欠如、環境が変化しないことによる退屈、閉鎖環境への隔離といった社会的な要因に起因すること考察している (Abbraini et al., 1997)。

### 1-3 高圧環境での新たな認知機能検査法の提案

1-3-1 高圧環境による影響を受けやすい認知機能 これまでのレビューから、高圧曝露による認知機能への影響は一律ではなく、機能の種類によって異なることが示唆された。そして、O'Reiley (1974) の知見などから、知覚といった感覚刺激 (視覚, 触覚, 聴覚) の処理や、動作 (運動) 反応は高圧曝露の影響を受けにくいと考えられる。一方で、Logie & Baddeley (1985) や Spijkers (1994) の知見から、ワーキングメモリの容量は高圧曝露の影響を受けやすいことが示唆された。また計算課題や選択反応時間課題は、レビューした多くの研究において大気圧に比べて高圧環境では課題成績が悪化した。

空気を呼吸ガスに用いた際の情報処理過程をモデル化した Fowler, Ackles, & Porier (1985) は、水深 50m (6 気圧) 以上で生じる窒素麻酔

や酸素中毒による影響は、情報処理段階の問題解決、判断そして行動の選択に最も現れるとした。Egstrom & Bachrach (2004) は、以上のような高圧曝露の影響を受ける認知機能（ワーキングメモリ、問題解決など）は、安全かつ効率的な潜水作業を行う上で必須の機能であると主張している。このような目的のある一連の行動を有効に行うために必要な計画・実行・監視能力などを含む複雑な認知機能は、遂行機能として定義されている（田淵・加藤, 2010）。よって、高圧曝露による影響を受けやすい認知機能は、遂行機能であると考えられる。

**1-3-2 現行の認知機能検査法の問題点** 現行の検査法の問題点として、まず第 1 に飽和潜水を用いた実験および検証は、非常に高額な費用がかかるため、多角的な実験や大きいサンプルサイズで実施することが非常に困難なことが挙げられる。次に第 2 の問題点として、複数の認知課題によって検討することが挙げられる。複数の認知課題の飽和潜水中の実施は、実験参加者となる潜水作業員の心理的負担となりうることが報告されている（O'Reiley, 1974）。O'Reiley (1974) は認知課題を行うことへの心理的負担は、それ自体によって認知課題の成績が低下する可能性があるという警告している。最後に第 3 の問題点として挙げられるのは、使用する認知課題が研究者間で異なっていることである。この点に関して、Logie & Baddeley (1985) では、彼らの結果で環境圧の影響が小さかった課題について、使用した認知課題が測定したい認知機能を反映していなかった可能性を示唆している。

**1-3-3 高圧環境での新たな認知機能検査法の提案** 以下ではまず現行の検査法の問題点を指摘し、本研究で用いる認知機能検査を示す。前項

1-3-2 で述べたサンプルサイズの問題については、安全かつ効率性が確立された潜水計画に基づいた飽和潜水訓練で実施することで解決すると考えられる。多くの飽和潜水研究が行われた 1970 年代から 1990 年初頭と異なり、2014 年現在では水深 450m までであれば安全かつ効率性の高い飽和潜水を実施することができる。また海上自衛隊潜水医学実験隊では、飽和潜水に関する調査研究だけでなく、飽和潜水員の技術向上や要員養成も行っている。このため、潜水医学実験隊では定期的に同一の最大深度による飽和潜水訓練が実施されている。これにより、十分なサンプルサイズによる検討が実施可能になると考えられる。

次に、前項 1-3-2 で述べた第 2 と第 3 の問題点については、渡辺・箱田・松本（2013）の臨床場面における注意機能検査を選定する際の基準を参考にすることで解決できると考えられる。渡辺ら（2013）は、認知機能には、知覚、記憶、判断、注意、知能、学習などの幅広い機能が含まれるために、臨床場面で診断を行う者は評価したい内容を明らかにし、適切な検査を選ぶ必要があるとした。特に注意は単一の機能ではなく、学習、記憶、遂行機能や作業記憶の活動を密接に支えており、様々な認知障害と関連している（篠崎・辻富，2009）。このため、注意機能の検査法の選定にはより慎重になる必要があるとした（渡辺ら，2013）。本研究では、渡辺ら（2013）の基準を基にした以下の 4 点から、高圧環境で実施する認知機能検査を選定した。

1. 検査で測定される認知機能の認知プロセスが明らかになっており、神経基盤との対応があること。

2. 手続きが簡便で短時間で実施可能で、かつ実施場所の制約が小さい

こと

3. 幅広い年齢層の健常者によって標準化されており，特殊環境で得られたデータとの比較が容易なこと

4. 多くの応用研究が行われ，データの蓄積がされており，また今後もそれが可能であること

これら4つの基準は，様々な要因が複雑に混在している高圧環境での認知機能の評価指標を選ぶ際にも重要な視点となる．さらに本研究では，上記の4つの基準に次の2点を加えることで，より効率性や精度の高い検証が行うことを目指す．

5. 反復検査を行った場合の練習効果が小さく，かつ信頼性が担保されていること

6. 上記の5に関連して，複数回同一検査を行った場合でも検査得点に天井効果が起こらず，安定して認知機能を測定できる．

追加した2点について，飽和潜水では，各ステージの影響（加圧，保圧，減圧）を評価するときには，時間的間隔が短い中で複数回同一検査を実施することが必要となるためである．

上記の6点から，本研究では認知機能の指標として，渡辺ら（2013）でもその有用性が確立されているストループ干渉を用いる．本研究で用いるストループ干渉は，認知機能の中の選択的注意機能検査として定着している（MacLeod, 1991）．またストループ干渉は遂行機能やワーキングメモリといった様々な認知機能と神経基盤を共有していること（MacDonald & MacLeod, 2000）から，遂行的注意機能を示す指標として考えられており，前頭葉機能検査としても広く利用されている（鹿島，

1995) . 次の章では，高圧曝露時の認知機能検査として，ストループ干渉課題は適切であるのかを検証する．

## 第2章 認知機能検査としてのストループ干渉

## 2-1 はじめに

本章では、まずストロープ干渉についての文献研究から、ストロープ干渉が高圧曝露時の認知機能検査として適切であるのかを検証する。次に、本実験のストロープ干渉を測定する検査として、新ストロープ検査2（箱田・渡辺，2005）が適切であるのかを再テスト法によって検証する。

## 2-2 認知機能検査としてのストロープ干渉（景山望・箱田裕司（2011））

ストレス曝露時の認知能力測定指標としてのストロープ干渉および逆ストロープ干渉の応用可能性 九州大学心理学研究，12，33-40.)

**2-2-1 ストロープ干渉の概要** 赤インクで書かれた“あお”の文字のように、色名を表す文字とインクの実際の色が一致しない語（以後、色・色名不一致語とする）のインクの色を命名する場合、単純な色命名（color naming）よりも反応が遅くなる。この現象はストロープ干渉（Stroop, 1935）と呼ばれ、古典的な実験心理学の研究テーマであると同時に非常に頑健な現象である。一方、色・色名不一致語において、ストロープ干渉のようにインクの色に対して反応するのではなく、色名を表す文字を答える場合（e.g., 赤インクで書かれた“あお”の文字について、「あお」に反応する）場合にも、反応が遅くなることがある。この現象を逆ストロープ干渉と言う（e.g., Durgin, 2000, 2003）。

これら2種類のストロープ干渉は、実験手続きの簡便性といった理由により、実験室環境の基礎的研究から実験環境の統制が困難な特殊環境下の人間の認知メカニズムの解明といった応用研究まで、これまで幅広く研究が行われてきた。近年、fMRI（functional magnetic resonance

imaging) を用いた脳機能イメージング研究や, 事象関連電位 (event-related potential: 以下 ERP とする) の測定による電気生理学的研究から, ストループ干渉の生起メカニズムの神経基盤についても明らかにされつつある(これについての詳細は, 次項の 2-2-3 項で述べる). こうした生理学的知見から, ストループ干渉課題は, アルツハイマー患者や, 統合失調症患者, そして注意欠陥・多動性障害(attention deficit hyperactivity disorder)の患者といった複雑な実験手続きによる測定が困難な実験参加者の選択的注意能力の測定指標として, 多く研究で用いられている (Amieva, Lafont, Rouch-Leroy, Rainville, Dartigues, Orgogozo, & Fabrigoule, 2004; 佐々木・箱田・山上, 1993; Song & Hakoda, 2011). 本章の以下の項では, まず色・色名不一致語に対する反応時に生じるストループ干渉が, いかなる認知能力を測定できるのかについて, 基礎的研究と脳機能イメージング研究の知見からレビューを行う. 続いて, 2種類のストループ干渉(ストループ干渉・逆ストループ干渉)の生起メカニズムの違いについて, 反応様式と2種類の干渉との関係に関する基礎的研究と, 脳機能イメージング研究の知見からレビューを行う. さらに, 心理的ストレスや物理的ストレス曝露による認知能力への影響について, ストループ干渉課題を用いて検討した研究のレビューを行う.

**2-2-2 ストループ干渉によって測定可能な認知機能** ストループ干渉課題で刺激として用いられる色・色名不一致語は, 色名を表す言葉の意味的情報と言葉を印字しているインクの色という知覚的情報が同時に存在している. こうした色・色名不一致語において, いずれかの情報(文



字を印字している色，もしくは色名）に反応する場合，反応しなかった情報への注意を抑制する必要がある，次に反応しなかった情報から生じる認知的葛藤を処理することから，ストループ干渉は選択的注意と認知的葛藤の解消過程を測定する指標としても考えられている（e.g., Kahneman & Treisman, 1984; Dyer, 1973）.

さらに近年では，ワーキングメモリの容量には個人差があり，容量が大きいほどストループ干渉は小さくなることが報告されているが報告されている（Kane & Engel, 2003）. Kane and Engel (2003) は，ストループ干渉を引き起こす不一致刺激（色・色名不一致語）と一致刺激（色・色名一致語）の呈示頻度を操作することで（例．一致刺激の呈示頻度が全体の 20 パーセントの場合，不一致刺激の呈示頻度は 80 パーセント），ワーキングメモリの容量の違いによってストループ干渉は異なるのかについて検討した．なおこの研究では，ワーキングメモリ測定指標の一つである Ospan テスト（operation span test; La Pointe & Engle, 1990）によって，実験参加者をワーキングメモリ高群と低群に分けた．この結果，ワーキングメモリ高群の不一致刺激に対する反応時間は，刺激の呈示頻度に関わらず，ワーキングメモリ低群よりも速かった．また，一致刺激の呈示頻度が高い試行において，ワーキングメモリ低群の不一致刺激の反応時間は，ワーキングメモリ高群に比べて遅かった．さらに，ワーキングメモリ高群は，一致刺激が全く出現しない試行において，一致刺激が出現する試行に比べて，反応時間が速かった．これらの結果から，Kane らは，ストループ干渉はワーキングメモリの容量の個人差も測定できることを主張した．また，同じ課題を反復する場合，ワーキングメモ

りの容量が大きいほど，刺激の種類に関係なく課題遂行にかかる認知コストを最小限に抑えることができると主張した (Kane & Engel, 2003) .

**2-2-3 ストループ干渉の神経基盤** 色・色名不一致語に代表されるストループ干渉を引き起こす刺激の処理には，前頭前野背外側部 (dorsolateral prefrontal cortex) と前部帯状回 (anterior cingulate cortex) を含む帯状回の働きが重要であることが報告されている (Badzakova-Trajkov, Barnett, Waldie, & Kirk, 2009; MacLeod & MacDonald, 2000; Swick & Jovanovic, 2002). MacLeod & MacDonald (2000) は，ストループ干渉課題遂行時，色・色名不一致語のいずれかの情報に対する注意の持続を前頭前野背外側部で行われ，注意を向けなかった情報による認知的葛藤の解消は前部帯状回で行われることを提案した.

一方で Badzakova-Trajkov et al.(2009) は，選択的注意と認知的葛藤の解消は，帯状回の異なる部位によって処理されることを提案した. Badzakova-Trajkov et al. (2009) は，中部帯状皮質において，まず入力された刺激が統制刺激であるか，それとも色・色名刺激であるかの弁別が行われることを提案した. そして，統制刺激との弁別の後，色・色名一致刺激と色・色名不一致刺激との弁別が前部帯状回で行われることを報告した. さらに選択的注意と認知的葛藤の解消が，帯状回の異なる部位によって処理されることも示唆されている (Swick & Jovanovic, 2002). Swick & Jovanovic (2002) は，前部帯状回の損傷部位が異なる 2 名のストループ干渉課題成績と，健常者のストループ干渉課題とを比較した. その結果，右部損傷の患者においては，一致試行以外は健常者とほぼ同

様の結果であった。一方で、左部損傷の患者においては、全ての条件において健常者より成績が低かった。この結果から、Swickらは、前部帯状回の左側がストループ干渉の処理に重要であることを主張した (Swick & Jovanovic, 2002)。

以上で示したストループ干渉の神経基盤として考えられている前頭前野背外側部や前部帯状回は、ワーキングメモリ研究の中央実行系の神経基盤としても考えられている (MacDonald, Cohen, Stenger, & Carter, 2000)。MacDonald et al. (2000) は、前頭前野背外側部が生体にとって必要な情報に対する注意を持続させることに関与し、前部帯状回は競合する情報や不適切な情報の抑制に関与することを主張している (MacDonald et al., 2000)。このように、選択的注意や認知的葛藤の解消過程、さらにはワーキングメモリの個人差を測定する上で、ストループ干渉は生理学的根拠のある信頼性の高い指標として考えることができる。

**2-2-4 ストループ干渉と逆ストループ干渉の生起機序** ストループ干渉と逆ストループ干渉は、反応様式の違いによって干渉の強さが異なるという特徴を持っている (Durgin, 2000, 2003; 箱田・佐々木, 1990a, 1990b)。一般的に、ストループ干渉は、口頭反応で強い干渉が生じ、逆ストループ干渉は、色・色不一致語の言葉に該当する色パッチを色パッチ群から選択するマッチング反応を用いた場合に強い干渉が生じるとされている (Durgin, 2000, 2003; 箱田・佐々木, 1990b)。箱田・佐々木 (1990b) は、反応様式にマッチング法を採用した集団式ストループ検査によって、マッチング反応であってもストループ干渉を測定できることを示した。しかし、マッチング反応で検査を実施した場合、逆ストルー

プ干渉がストループ干渉よりも干渉が強く検出され、口頭反応で検査を実施した場合は、ストループ干渉は観察されたものの、逆ストループ干渉は観察されなかった（箱田・佐々木，1990b）。一連の結果について、箱田・佐々木（1990b）は、色・色名不一致語が刺激として呈示された時点で、色についての知覚的コード化と色名についての言語的コード化の二重コード化（Paivio, 1971）が行われると主張した。そして、課題遂行の目的に関係のない属性（色に反応するストループ干渉課題であれば色名の言語的コード、色名に反応する逆ストループ干渉課題であれば色の知覚的コード）による干渉の強さが、反応様式によって決定される。以上のことから、箱田らはストループ干渉と逆ストループ干渉の生起メカニズムは異なることを主張した（箱田・佐々木，1990b）。

**2-2-5 2 種類のストループ干渉の神経基盤による差異** 箱田らは、2種類のストループ干渉を測定できるストループ検査と、反応様式の実験的操作によって、ストループ干渉と逆ストループ干渉は異なる生起メカニズムを持つことを主張した。こうしたストループ干渉と逆ストループ干渉が異なる生起メカニズムを持つことについては、ストループ課題遂行時のfMRIによる脳機能イメージングや、ERPの測定によっても検討がなされている（Atkinson, Drysdale, & Fulham, 2003; Ruff, Woodward, Laurens, & Liddel, 2001）。Ruff et al. (2001) は、色・色名不一致語を用いて、色に対して反応する場合（ストループ干渉課題）と色名に対して反応する場合（逆ストループ干渉課題）における前部帯状回の活動をfMRIで測定することによって検討を行った。その結果、色名に対する反応時間は、色に対する反応時間に比べて遅くなったが、

前部帯状回の活動は逆ストループ干渉課題遂行時の方が，ストループ干渉課題遂行時に比べ活発であることを見いだした．一方で，Atkinson et al. (2003) は，色・色名不一致語を用いて，色に対して反応する場合（ストループ干渉課題）と色名に対して反応する場合（逆ストループ干渉課題）の脳活動について，ERPの比較によって検討したところ，逆ストループ干渉課題遂行時において，色名单語とその単語を着色している色との間の初期知覚段階の物理的ミスマッチ時に生じる事象関連電位のN100成分（刺激呈示から100ms前後に発生する負の事象関連電位）が側頭部に観察された．一方で，色に対して反応する場合（ストループ干渉課題）では，N100成分は観察されなかった．この結果は，課題に関係のない属性（ストループ干渉課題であれば色名の言語的コード，逆ストループ干渉課題であれば色の知覚的コード）の処理が異なる脳部位で行われることを示し，箱田・佐々木（1990b）における2種類のストループ干渉の生起メカニズムの妥当性を支持するものであった．このように，ストループ干渉と逆ストループ干渉は，単一の部位で処理されるのではなく，複数の機構で並列処理され，異なる生起メカニズムを持っていることが，生理学的根拠からも明らかになってきている．

**2-2-6 ストレス曝露とストループ干渉との関係** 今まで述べてきたように，ストループ干渉課題は，選択的注意と認知的葛藤の解消の2種類の認知能力を測定できる指標である．ストループ干渉課題遂行に関与する前頭前野背外側部を含む前頭前野や前部帯状回を含む帯状回の働きは，慢性的もしくは急性的ストレスと関連があり，様々な検討がなされている（Lanius, Williamson, Hopper, Densmore, Boksman, Gupta,

Neufeld, & Menon, 2003; Liston, McEwenb, & Casey, 2009) . Liston et al. (2009) は、学期末試験を一ヶ月前に控え、慢性的に心理的ストレスが高い状態にある 20 名の実験参加者について、前頭前野 (prefrontal cortex) の活性と相関がある注意反応切り替え課題を試験前と試験後に実施し、その際の前頭前野の活動を fMRI で測定した。試験前は、統制群 (慢性的な心理的ストレスが低い群) に比べ、課題成績は悪く、前頭前野の活動は低かった。しかし試験後、すなわち心理的ストレス解放後の課題成績および前頭前野の活動は、統制群と同等の水準まで上昇した。これらの結果から、慢性的な心理的ストレスは選択的注意の制御に必要な前頭前野の機能を低下させることを報告した。Lanius et al. (2003) は、心的外傷後ストレス障害 (posttraumatic stress disorder: 以下 PTSD とする) 患者と、PTSD は発症していないが心的外傷を受けたことがある実験参加者との前部帯状回の活動について比較を行った。Lanius らは、心的外傷を受けたことがあるが PTSD を発症していない実験参加者に比べて、PTSD 患者は前部帯状回の活動が低いことを報告した。このように現在、前頭前野背外側部を含む前頭前野や前部帯状回を含む帯状回は、慢性的かつ急性のストレスによって機能が低下することが明らかになってきている (Lanius et al., 2003) .

さらに、前部帯状回を含む帯状回は、心拍変動を制御する自律神経系の活動に関与していることが報告されている (Critchley, Mathias, Josephs, O'Doherty, Zanini, Dewar, Cipolotti, Shallice, & Dolan, 2003; Matthews, Paulus, Simmons, Nelesen, & Dimsdale, 2004) . これまでの研究において、交感神経系の活動に背側前部帯状回が関与し

(Critchley et al., 2003), 副交感神経系の活動には腹側前部帯状回の関与がすること (Matthews et al., 2004) が報告されている。さらに Critchley et al. (2003)は, 前部帯状回を含む脳部位を損傷している患者では, 心理的ストレスによる自律神経系由来の心拍数の増大が, 健常者に比べて緩やかであることを報告している。以上から, 前部帯状回の機能は, 心理的ストレスによる自律神経系の活動に関与していると考えられる。

**2-2-7 ストレス曝露がストループ干渉に及ぼす影響** ストループ干渉課題は, 心理的ストレスが選択的注意や認知的葛藤の解消に及ぼす影響についての研究に用いられている (Axelrod & Milner, 1997; Kofman, Meiran, Greenberg, Balas & Cohen, 2006; 松本・野口・赤間・箱田, 2011)。Axelrod & Milner (1997) は, 湾岸戦争時における「砂漠の嵐」作戦に参加した退役軍人の選択的注意能力ならびに問題解決能力の低下について, ペグボードを用いた指の精緻性テストやストループ干渉課題を用いて検討した。退役軍人の指の精緻性テストやストループ課題成績は, 健常者の標準値を大きく下回る結果となった。さらに, 実験参加者の心理的ストレス尺度であるミネソタ多面人格目録 (Minnesota Multiphasic Personality Inventory; Hathaway & McKinley, 1943) の結果は, 専門家の治療が必要とされる得点であった。これより, Axelrod & Milner (1997) は, 慢性的な心理的ストレスによって, 選択的注意を含む認知能力が低下することを主張している。一方で, Kofman et al. (2006) は, 日常生活が慢性的なストレスに曝露されている場合, 様々な認知能力は向上しうることを報告した。この研究では, 定期試験による心理的スト

レスが学生に与える影響について、ストループ干渉課題とタスクスイッチング課題の 2 種類の認知課題と、状態—特性不安検査 (State-Trait Anxiety Inventory; Spielberger, 1975) と心拍変動を用いて検討した。測定は、学期開始時、試験開始 2 週間前、試験終了後の 3 点で実施した。試験期間中、タスクスイッチング課題遂行に必要な認知資源は少なく、ストループ干渉は、学期開始時や試験終了後よりも小さかった。一方で、不安得点は、学期開始に比べ試験期間開始 2 週間前から増加し、試験終了後には減少した。また心拍変動から、試験期間中は交感神経系が優位であったが、試験終了後には副交感神経系が優位になった。この結果から、Kofman et al. (2006) は、選択的注意等の認知機能は、心理的なストレス曝露によって向上すると主張した。松本ら (2011) は、長時間の運動が注意機能に及ぼす効果について、身体的負荷が高いラグビーの試合前後のストループ干渉課題を用いて検討した。この研究では、注意機能をストループ干渉と逆ストループ干渉の 2 種類を測定できる新ストループ検査 2 (箱田・渡辺, 2005) を用いて検討した。この結果、ラグビーの試合後にはストループ干渉は試合前に比べて小さくなったが、逆ストループ干渉の変化はなかった。これより、ラグビーのような身体的負荷が高い活動による注意機能への影響は選択的であることが報告された。

**2-2-8 ストレス曝露が認知機能に与える影響と個人差** これまで述べてきたように、心理的ストレスとストループ干渉との関連の研究は、特殊環境への長期間滞在や当事者の将来に関わる定期試験に対する不安といった状況や環境に由来するストレスの直接的な影響が中心で、ストレスの影響と個人の特性についての研究はあまり行われてこなかった。



Booth and Sharma (2009) は、心理的ストレスが選択的注意に及ぼす影響の個人差について、ストループ干渉課題を用いて検討した。この研究では、実験参加者をワーキングメモリの容量によって、高群と低群に群分けして検討を行った。この群分けには、ワーキングメモリ測定指標の一つである **Ospan** テストを用いられた。また、この研究では実験参加者に与える心理的ストレス条件として、ホワイトノイズの聴取を用いた。ホワイトノイズの音量は実験条件によって異なり、**65db** を低ストレス条件、**85db** を高ストレス条件とした。結果、ワーキングメモリ高群において、高ストレス条件のストループ干渉量が低ストレス条件のストループ干渉量に比べて低かった。一方で、ワーキングメモリ低群においては、高ストレス条件のストループ干渉量は低ストレス条件よりも大きく、ワーキングメモリ高群に比べても大きくなった。加えて、高ストレス条件においては、**Ospan** テストの成績とストループ干渉量との間に負の相関があった。しかし、低ストレス条件においては **Ospan** テストとストループ干渉量との間に有意な相関関係はなかった。これより、Booth らは、ワーキングメモリの容量が小さい実験参加者は、ストレス曝露時には注意資源がストレッサーとなる刺激内の中心情報に集中し、非関連情報の処理を抑制することが困難になることと述べている (Booth & Sharma, 2009)。

**2-2-9 ストループ干渉の学習効果** ストループ干渉課題は、課題実施の繰り返しによる学習効果が小さく、複数回の反復によっても消滅しないことが報告されている (MacLeod, 1998)。MacLeod (1998) は、ストループ干渉課題の反復実施による学習効果について、実施回数に伴う干渉

量の変動によって検討した。この研究では、色・色名不一致語に対する反応時間と色名とは関係ない統制語（e.g., “LION”, “RABBIT”, などの動物名）の反応時間の差分をストループ干渉量として定義した。1日1セッションとして5日間から10日間、ストループ干渉課題を実施した。ストループ干渉条件において、1回目の課題から2回目の課題実施にかけて反応時間の減少が見られたが、2回目以降の反応時間の減少は見られなかった。ただし、全ての実験を通じて、ストループ干渉条件の反応時間は統制課題に比べて、常に長かった。この結果は、反復による学習効果によって、ストループ干渉は消滅しないことを示唆している。

**2-2-10 認知機能検査としてのストループ干渉の実用性** Kofman et al. (2006) の結果から、ストレッサーが除去されることによって、2種類のストループ干渉がストレス負荷前の水準に復帰することが確認された。これより、ストループ干渉および逆ストループ干渉は、ストレスの発生から消失までの認知能力の変化を鋭敏に測定できることが示された。以上から、2種類のストループ干渉課題は、特殊環境や慢性的ストレス曝露事態における認知機能の変化を時系列で評価する場合に有効であると考えられる。

**2-2-11 本実験で用いるストループ検査** これまでのレビューから、高圧環境といった特殊環境での認知機能を評価する際、ストループ干渉と逆ストループ干渉は有効であることが示唆された。これより本実験では、これら2種類のストループ干渉を測定する方法として、新ストループ検査2（箱田・渡辺，2005）を用いることとする。この検査はストループ干渉と逆ストループ干渉を簡便かつ短時間で測定できる。上述の2-

2-9 で紹介した松本ら（2011）では，ストループ干渉の測定に新ストループ検査 2 を用いている．さらに，新ストループ検査 2 は不安障害やうつ病患者と健常者との選択的注意能力の比較研究にも用いられている（渡辺・箱田・松本，2006）．ただ，この新ストループ検査 2 は，反復検査を行った場合の課題成績の変化について検討がなされていない．よって，次の項では，新ストループ検査 2 を反復して実施し，課題成績の変化によって，高圧環境での認知機能検査として適切であるかを検討する．

## 2-3 実験 1：新ストループ検査 2 の信頼性の検証

### 2-3-1 目的

本実験では飽和潜水中の認知能力を測定する指標として、前項で示した新ストループ検査 2 (箱田・渡辺, 2005) は妥当であるかを検証した。この検査は、以下の 4 種類の課題 (逆ストループ統制課題：課題 1, 逆ストループ課題：課題 2, ストループ統制課題：課題 3, ストループ課題：課題 4) から構成される構成されるマッチング方式の用紙型検査である (Figure 2-1)。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 では、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 では、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 では、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 秒である。この検査におけるストループ干渉・逆ストループ干渉の評価は、各課題の正答数 (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) を以下の方法で求められるストループ干渉率および逆ストループ干渉率を用いる：  
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<sup>1)</sup>

この検査は実施順序を変更しても結果には影響しないが(松本・箱田・渡辺, 2005), 複数回実施した場合には学習効果があることが報告されている(宋・箱田, 2011). ただ宋・箱田(2011)が用いたのは新ストループ検査のパソコン版であり, 本実験で用いる用紙版では検討を行っていない. 試行時間のみ異なる新ストループ検査 1 (検査 2 では 60 秒に対し, 検査 1 の各課題の実施時間は 40 秒)では, 反復検査を行った場合, 干渉率および課題正答数は増加することが報告されている(箱田・佐々木, 1990).

長期間に及ぶ飽和潜水中の認知能力の変化を検討するためには, 同一の認知課題を複数回実施することが必要になる. よって, 飽和潜水中の認知能力検査として新ストループ検査 2 を用いるにあたって, 反復した際の練習効果を検討することは重要である. MaCaffrey, Ortega, Orsillo, Nelles, & Haase (1992) は, ある疾患の治療効果を認知検査によって評価する際, 反復検査による信頼性だけでなく練習効果も考慮しなければならないと主張した. MaCaffrey et al. (1992) では, ウェクスラー式記憶検査 (Wechsler, 1945, 1981) の論理的記憶課題と図形記憶課題を反復検査した際, 信頼性は担保されていたが, 練習効果による課題成績の向上が見られた. この結果を受け, MaCaffrey et al. (1992) は課題成績の向上を安易に治療効果によるものと解釈することは危険であると提唱した. したがって, 飽和潜水中に認知能力を測定するには, 再テスト法に

---

<sup>1)</sup> この算出法によって求められる干渉率は, 過去のストループ研究の算出方法によって求められる干渉率と相関関係があることが確認されている(箱田・佐々木, 1990). これより, 箱田らは新ストループ検査 2 の干渉率の算出方法は妥当であるとしている.

よる信頼性が高く，かつ反復検査による練習効果がなるべく小さい指標を用いる必要がある．

以上から，本実験では，反復検査時の干渉率と課題正答数の変化と，1回目の2回目の課題正答数の相関関係に着目して検討を行った．1回目と2回目の課題正答数の相関関係について，箱田ら(1990b)は，検査の反復効果の実験参加者間で大きい場合，1回目と2回目の課題正答数の相関係数は低くなると主張した．実際，新ストループ検査を反復検査した場合，課題正答数は増加するが，1回目と2回目の課題正答数では高い相関係数が得られている（箱田・佐々木，1990b）．

実験1の結果の予測として，新ストループ検査2，新ストループ検査1さらにパソコン版の新ストループ検査は，同じ理論モデルで作成されていることから，先行研究と同様に課題正答数については，1回目と2回目の検査間で高い相関係数が得られると考えられる．

## 新ストループ検査 2

◆一定時間内(60 秒間)の間に、できるだけ早く正確に課題を遂行する

- 1 (逆ストループ統制条件:課題1)  
左の言葉が表すインクの色の下空欄にチェックしてください

あお					
			▽		

- 3 (ストループ統制条件:課題3)  
左のインクの色に当たる言葉を選んでその上にチェックしてください

	きいろ	あお	みどり	くろ	あか
▽					

- 2 (逆ストループ条件:課題2)  
言葉とインクの色組み合わせがちぐはぐですが、インクの色に惑わされないようにして、言葉が表すインクの色の下空欄にチェックしてください

くろ					
			▽		

- 4 (ストループ条件:課題4)  
言葉とインクの色組み合わせがちぐはぐですが、言葉に惑わされないようにして、インクの色に当たる言葉を選んでその上にチェックしてください

	あか	みどり	くろ	あか	あお	きいろ
▽						

Figure 2-1. 新ストループ検査 2 (箱田・渡辺, 2005)

### 2-3-2 方 法

**実験計画** 実験は、新ストループ検査 2 の実施回数 (2: 1 回目・2 回目) を実験参加者内要因とし、検査の実施間隔 (2: 1 時間・4 週間) を実験参加者間要因とする混合計画で行った。

**ストループ課題** ストループ干渉、逆ストループ干渉の 2 つの指標を集団測定できる新ストループ検査 2 (箱田・渡辺, 2005) を用いた。

**実験参加者** 検査間隔が 1 時間条件では、大学生 77 名 (平均年齢: 18.04 歳) であった。一方で、4 週間条件においては、大学生 157 名 (平均年齢: 18.54 歳) であった。

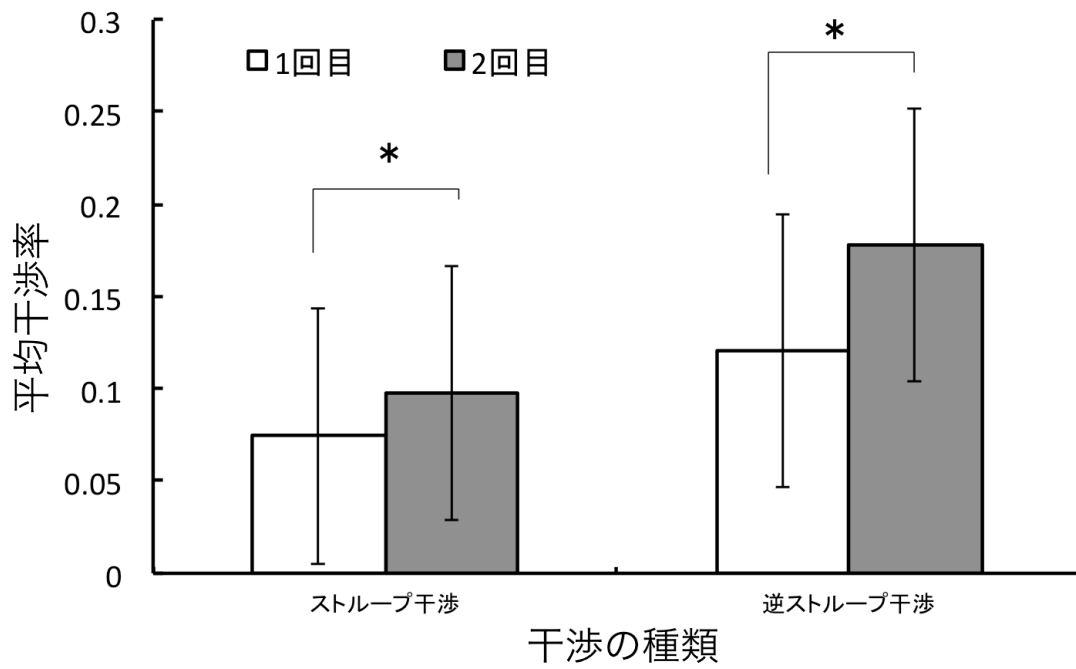
**手続き** 検査は講義中に実施し、受講生全員による集団実験を行った。実験参加者は、新ストループ検査 2 における標準的な検査順序 (課題 1, 課題 2, 課題 3, 課題 4) で 2 回実施した。1 時間条件においては、1 回目の検査終了後、1 時間後に 2 回目の検査を実施した。なおこの間、検査に全く関係のないビデオを視聴した。4 週間条件では、2 回目の検査を 1 回目の検査から 4 週間後の同じ講義中に実施した。なお検査は、2 回の検査とも同時刻に実施した。

**結果の評価** 結果の評価は、新ストループ検査 2 の各課題正答数と、この検査で定められた算出方法で得られるストループ干渉率および逆ストループ干渉率を用いた。また 1 回目と 2 回目の課題正答数について、ピアソンの相関係数を算出し、これによって信頼性を評価した。

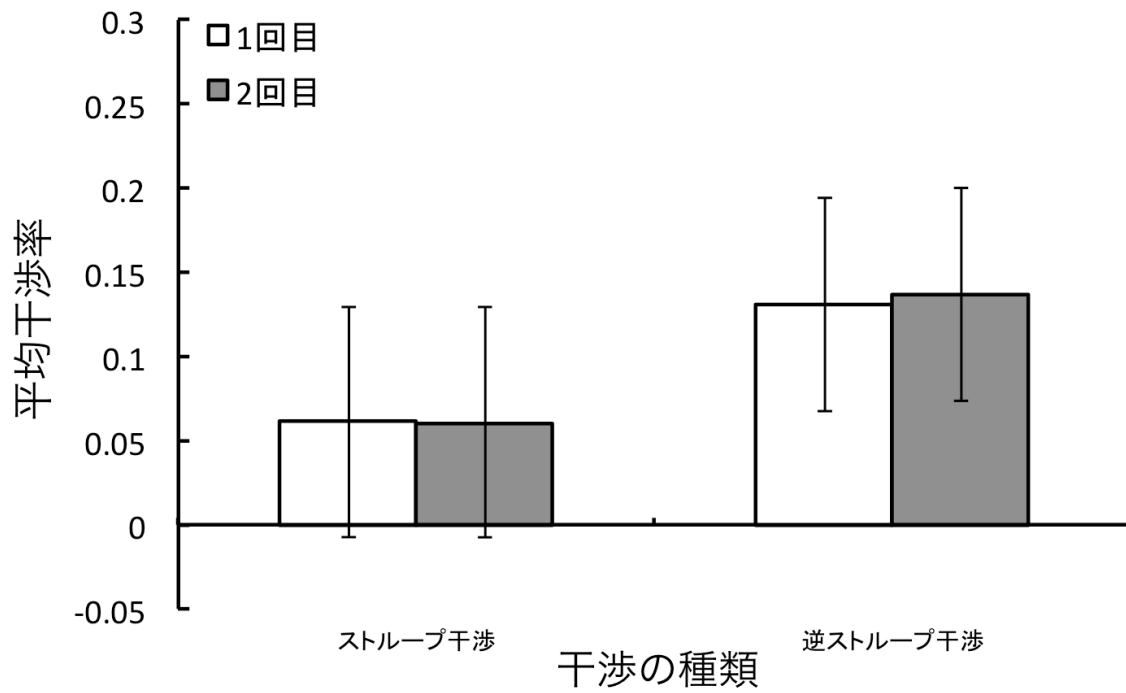


### 2-3-3 結果と考察

**干渉率** 新ストループ検査 2 で定められた算出方法によって得られた干渉率について、実施回数（1回目・2回目）、干渉の種類（ストループ・逆ストループ）の 2 要因分散分析を検査間隔（2:1 時間・4 週間）で行った。まず実施間隔が 1 時間条件では、検査回数（2）と干渉の種類との間に有意な交互作用があった [ $F(1, 76) = 5.797, p < .05$ ]. 有意となった検査回数と干渉の種類について、単純主効果検定を行った結果、ストループおよび逆ストループは、1 回目から 2 回目にかけて有意に増加した [ストループ, 逆ストループの順に,  $F(1,76)=10.405, p < .01$ ;  $F(1,76)=53.252, p < .001$ ](Figure 2-2). また、2 回の検査時において、常に逆ストループ干渉率がストループ干渉率に比べて、高かった [検査 1 回目, 検査 2 回目の順に,  $F(1,76) = 6.359, p < .05$ ;  $F(1,76) = 29.027, p < .001$ ](Figure 2-3). つぎに 4 週間条件では、干渉の種類の主効果のみ有意であり [ $F(1, 156) = 124.181, p < .001$ ], 実施回数の有意な主効果はなかった [実施回数,  $F(1, 156) = 0.538, ns$ ]. また干渉の種類と実施回数との間に有意な交互作用はなかった [実施回数,  $F(1, 156) = 0.642, ns$ ] (Figure 1-3).



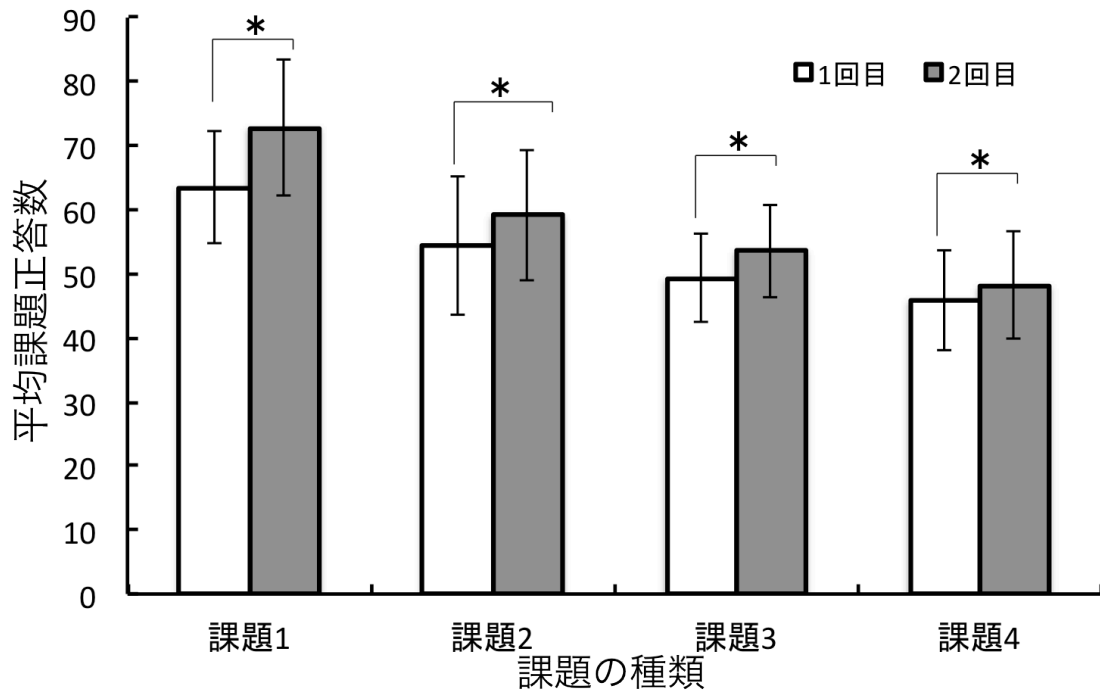
**Figure 2-2.** 1 時間条件における干渉率の比較 ( $N = 77$ ). エラーバーは標準偏差を表す. \* :  $p < .001$



**Figure 2-3.** 4週間条件における干渉率の比較 ( $N = 157$ ). エラーバーは標準偏差を表す.

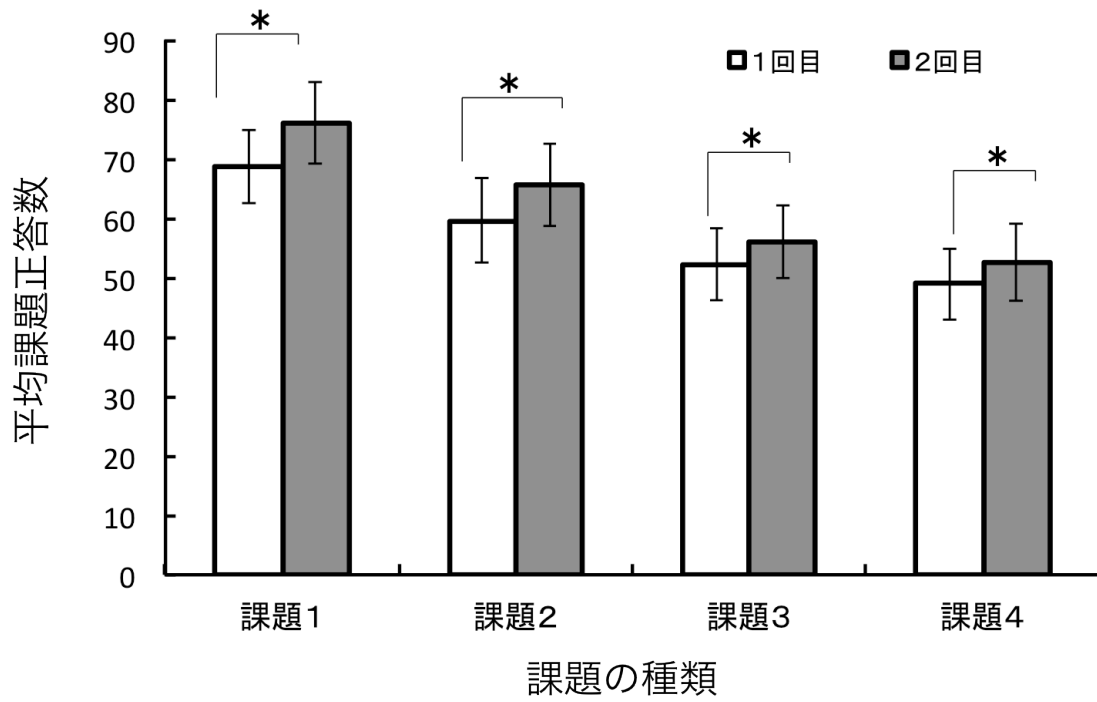
**課題正答数** 新ストループ検査 2 における課題正答数について、繰り返しのある 1 要因分散分析[検査回数(2)]を、全ての課題(課題 1・課題 2・課題 3・課題 4)で行った。検査間隔が 1 時間条件では、4 つ全ての課題においても、1 回目の検査に比べて 2 回目の正答数が有意に増加した[課題 1, 課題 2, 課題 3, 課題 4 の順に,  $F(1, 76) = 328.404$ ,  $p < .001$ ;  $F(1, 76) = 62.717$ ,  $p < .001$ ;  $F(1, 76) = 98.712$ ,  $p < .001$ ;  $F(1, 76) = 56.291$ ,  $p < .001$ ](Figure 2-4).

次に 4 週間条件について、繰り返しのある 1 要因分散分析[検査回数(2)]を各検査間隔群で全ての課題(課題 1・課題 2・課題 3・課題 4)で行った。結果、1 時間条件と同様に全ての課題において、実施回数に比例して課題正答数が有意に増加した[課題 1, 課題 2, 課題 3, 課題 4 の順に,  $F(1, 156) = 476.446$ ,  $p < .001$ ;  $F(1, 156) = 333.934$ ,  $p < .001$ ;  $F(1, 156) = 168.581$ ,  $p < .001$ ;  $F(1, 156) = 169.915$ ,  $p < .001$ ](Figure 2-5).



**Figure 2-4.** 1時間条件における各課題正答数の1回目と2回目の比較

(N=77). エラーバーは標準偏差を示す. \* :  $p < .05$ .



**Figure 2-5.** 4週間条件における各課題正答数の比較 ( $N = 157$ ). エラーバーは標準偏差を表す. \* :  $p < .05$ .

**相関係数** 1回目と2回目の各課題正答数について、ピアソンの相関係数を計算した結果、1時間条件、4週間条件ともに有意な正の相関があった( $p < .05$ )。ただし、1時間条件に比べ、4時間条件では相関係数は小さくなった (Table 1)。

Table1. 1回目と2回目の課題正答数における相関係数

検査間隔	課題1	課題2	課題3	課題4
1時間 (N=77)	0.796 **	0.837 **	0.811 **	0.842 **
4週間 (N=157)	0.859 **	0.836 **	0.859 **	0.910 **

\*\* :  $p < .001$

実験 1 において、干渉率は検査間隔が短い場合には増加し、検査間隔が長い場合には変わらなかった。また、逆ストループ干渉率がストループ干渉率よりも高く、さらに検査間隔との交互作用がなかった。一方で、新ストループ検査 2 の全ての課題正答数は検査の反復によって増加した。1回目と2回目との間の課題正答数については、検査間隔に関係なく高い正の相関係数が算出された。また、実験 1 の結果は、宋ら (2011) の結果とは一致せず、箱田ら (1990) の結果とほぼ一致した。さらに箱田ら (1990) では検査間隔に関係なく、課題正答数だけでなく干渉率の増加も見られたが、実験 1 の 4週間条件では干渉率の増加は見られなかった。

以上の結果から、新ストループ検査 2 は信頼性の高い検査であることが示唆された。また新ストループ検査 2 は、反復検査による練習効果が

生じるが、実施間隔を空けることによって、反復による影響を軽減することが示唆された。さらに、新ストループ検査2では、逆ストループ干渉率がストループ干渉率よりも高くなる傾向があることが示唆された。

新ストループ検査以外のストループ課題を一定期間内で複数回実施研究においては、ストループ干渉は検査回数に比例して、減少することが報告されている (MacLeod, 1998)。また、パソコン版の新ストループ検査を用いた宋ら (2011) では、反復検査によって全ての課題正答数が増加し、干渉率は減少した。これより本実験の反復検査による干渉率の増加が、ストループ干渉の増加を表しているかを詳細に分析する必要が示唆された。以下では、本実験で見られた干渉率の増加について、詳細に考察する。

本実験で得られた全ての課題正答数について、各実験参加者の1回目と2回目の差分をとり、課題の種類 (干渉課題・統制課題) で繰り返しのある1要因分散分析を行った。その結果、ストループ干渉課題と逆ストループ干渉課題の正答数の差分は、統制課題の正答数の差分と比べて小さかった (ストループ干渉, 逆ストループ干渉の順に,  $F(1, 76) = 56.770$ ,  $p < .0001$ ;  $F(1, 76) = 11.123$ ,  $p < .001$ ) (Figure 2-6)。本実験で用いた新ストループ検査2における干渉率は、統制課題の正答数から干渉課題の正答数を引き、統制課題の正答数で割ったものである。これより、本実験で見られた干渉率の上昇は、課題の反復による学習効果量が干渉課題と統制課題で異なったために生じたと考えられる。本実験の反復検査による干渉率の増加は、MaCaffrey et al. (1992)の指摘から、高圧環境での認知機能を評価するにあたって干渉率だけでは高圧曝露の影響を見



落とす可能性があることを示唆している。

本実験の結果から，新ストループ検査 2 は高圧曝露時の認知機能検査として適切であることが示された。ただ，この検査は反復検査時を行うと，干渉率が増加する傾向があることが示された。この結果を受けて，次項の実験では，干渉率と課題正答数の両方を用いて高圧環境での認知機能を評価する。

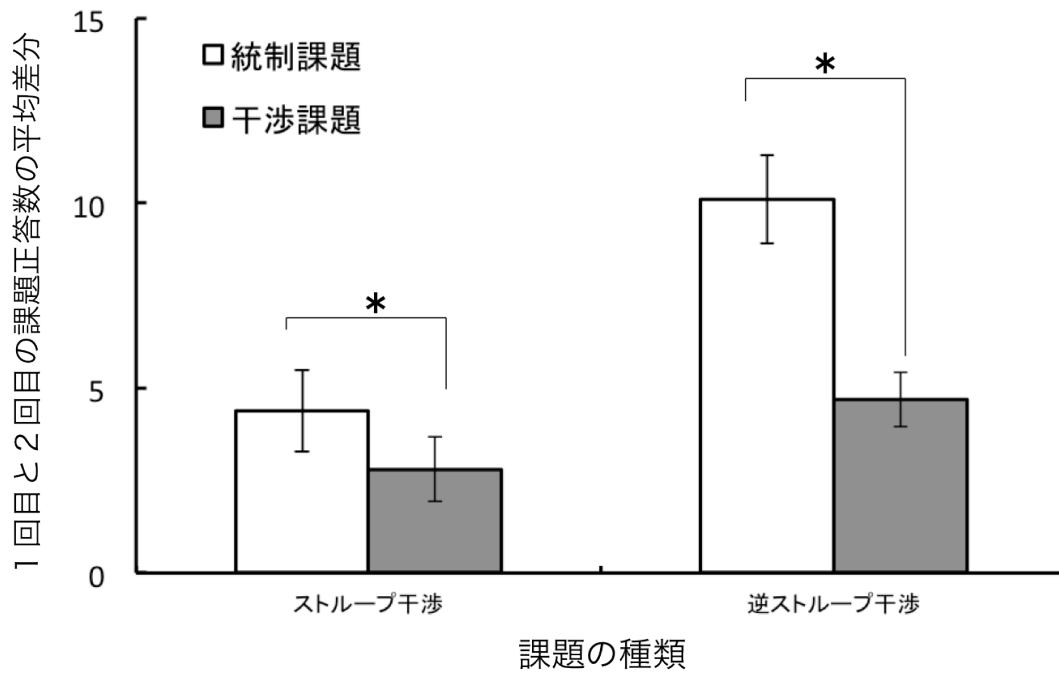


Figure 2-6. 検査反復実施時における1回目と2回目の課題正答数の平均差分 ( $N = 77$ ). エラーバーは標準偏差を示す. \*:  $p < .05$

### 第 3 章 模擬環境における検討：目標深度ごとの比較

### 3-1 はじめに

本実験を行う飽和潜水訓練の実施環境には2種類(実海面・模擬環境)がある。本実験では、物理的な環境圧が認知機能に及ぼす影響について、目標深度が異なる模擬環境(45気圧・11気圧)での飽和潜水訓練によって検討した。これまでの研究から、環境圧が16気圧以上になると中枢神経系の低下を示す自覚症状や身体症状が起こり、31気圧以上になると様々な認知課題の成績が低下するとされている。一方で、飽和潜水を用いた高圧環境での作業には、必ず長期間の閉鎖隔離が伴う。閉鎖環境への隔離は不安や抑うつ症状を喚起し、こうした心理状態の悪化が認知機能を低下させる可能性がある。本実験では認知機能の評価に新ストループ検査2を用いて検討した。また、心理状態を2種類の質問紙法を用いて検討した。

3-2 実験 2-1: 水深 440m(45 気圧)飽和潜水での検討(景山望・箱田裕司・小澤浩二 (2010). 長期間の高圧環境曝露が認知能力に及ぼす効果 認知心理学研究, 8, 63-72)

#### 3-2-1 目的

これまでの研究から、作業を行う海中の環境圧によって認知機能は低下するとされており、特に31気圧以上になると認知機能の低下が著しいとされている。一方で、飽和潜水期間中の心理状態の悪化は認知機能を低下させることも報告されている。この心理状態による認知機能の悪化は、滞在している環境圧に関連しないとされている。ただ、これまでの研究では、多角的な実験や大きいサンプルサイズで実施おらず、研究間

で使用する認知課題が大きく異なっていた。このため、飽和潜水を実施する際の目標深度が同じであっても、高圧曝露が認知機能に影響を及ぼす場合と及ぼさない場合がそれぞれ報告されている。例えば、Baddeleyらのグループは (Lewis & Baddeley, 1981; Logie & Baddeley, 1983; Logie & Baddeley, 1985), 最大深度 300m (31 気圧) 以上で複数の認知課題 (例. 短期記憶課題, 計算課題, 空間認知能力課題, 連合学習課題) の成績が地上 (1 気圧) に比べて悪化した結果から, 31 気圧以上の環境圧下では認知機能の低下が生じると主張した。一方で, 目標深度が水深 300m (31 気圧) 以上の飽和潜水中であっても, 認知課題 (計算能力, 反応時間, 巧緻性作業, 知覚運動協応課題, 時間評価, フリッカー課題) の成績は地上に比べて悪化しなかった報告もある (Hamilton, 1976)。このため, 高圧環境で生じる認知機能の低下は, 物理的な環境圧の影響ではなく心理状態の変化であるという主張もある (O'Reilly, 1977)。このような結果の不一致については検討がなされておらず, 物理的な環境圧が認知機能を低下させる要因となることは, 未だに明らかになっていない。本実験では, 目標水深 440m (45 気圧) の模擬環境による飽和潜水訓練によって, 物理的な環境圧が認知機能に及ぼす影響を検討した。なお本実験では, 認知機能の変化をストループ干渉と逆ストループ干渉によって検討した。

一般的に模擬環境での飽和潜水では, 心理状態の悪化はほとんど生じないとされている (Mulcahy, 1976; Logie & Baddeley, 1983, 1985)。しかし, Logie らの研究では, 実験参加者が 2 名であり, 第 1 章で述べたサンプルサイズの問題をクリアしているとはいえない。また, 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). こうした不安や抑うつ傾向の増加は、これまで心理状態の変化によって認知機能が低下した研究でも報告されている。また、閉鎖環境への長期間の隔離は、環境内の情報の変化が乏しいことに起因する主観的な覚醒度の低下を引き起こすこととされている (Sandal., 2000). こうした主観的な覚醒度の低下は、認知機能の低下を引き起こすことが報告されている (Monk, et al., 1997).

本実験では飽和潜水期間中の認知機能を新ストループ検査 2 の干渉率および課題正答数によって評価した。また飽和潜水期間中の心理状態については、POMS 質問紙(The Profile of Mood States; McNair, Lorr, & Droppleman, 1992)の日本語版 POMS 質問紙(横山,1994)と、GVA 尺度(Global Vigor and Affect; Monk, 1989)の2種類の質問紙法によって評価した。POMS 質問紙は、年齢別の標準値があり検査時点での心理状態を測定できることから、多くの臨床場面や研究で用いられている(横山, 1994)。飽和潜水研究でも、Carter (1979)などで用いられている。またGVA 尺度は主観的な覚醒水準の指標として、サーカディアンリズム研究で用いられており、コルチゾールといった内分泌的サーカディアンリズムの指標や体温といった生理的指標との相関があり (Monk, Kennedy, Rose, & Linenger, 2001), 各種認知課題との相関も認められている (Monk et al., 1997)。

本実験を行った飽和潜水訓練は全て実際の海中ではなく、模擬環境で

実施された。これより訓練期間中の心理状態の変化，特に抑うつや不安などは生じにくいことが予測される。よって，本実験の結果の予測として，干渉率は最大深度 440m（45 気圧）時に最も高くなることが考えられる。そして，上昇した干渉率は保圧期から減圧期にかけて減少し，訓練後には訓練前の水準になると考えられる。そして，POMS の各因子得点は訓練を通して変化がないことが考えられる。ただし，模擬環境であっても情報の変化が乏しく狭い艦上減圧室（DDC）に長期間滞在することは避けられないため，閉鎖環境への長期間隔離による心理状態の変化が認知機能の低下を引き起こす可能性がある。この場合，GVA の各尺度は低下する反面，干渉率は増加することが考えられる。

### 3-2-2 方法

**測定時期および環境** 測定は，潜水訓練期間中海上自衛隊潜水医学実験隊の高圧環境実験棟内に設置されている艦上減圧室（DDC）（Figure 3-1）で行い，訓練前と訓練後では，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。本実験では，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 日間の水深 440m（45 気圧）深深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。ただし，潜水医学実験隊では，水深 440m 深深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。本実験は、実験参加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、水深 440m 飽和潜水訓練の実施項目の一つとして実施した。



Figure 3-1. 艦上減圧室(DDC)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 m<sup>2</sup>の DDC 内で最大 6 名の集団生活を行う。



**測定時点** 本実験では、新ストループ検査 2 と 2 種類の質問紙を測定時の DDC の環境圧に従って、440m 保圧初期(訓練開始から 4 日目, 以下 T2), 440m 保圧後期(訓練開始から 9 日目, 以下 T3), 350m-300m 減圧期(訓練開始から 14 日目, 以下 T4), 250-200m 減圧期(訓練開始から 19 日目, 以下 T5), 150m-100m 減圧期(訓練開始から 24 日目, 以下 T6), 50-0m 減圧期(訓練開始から 29 日目, 以下 T7) で実施した. また, 新ストループ検査 2 と 2 種類の質問紙を訓練開始前(訓練開始 1 日前, 以下, T1)に 1 回, 訓練終了後(訓練終了 4 日後, 以下 T8)に 1 回実施した.

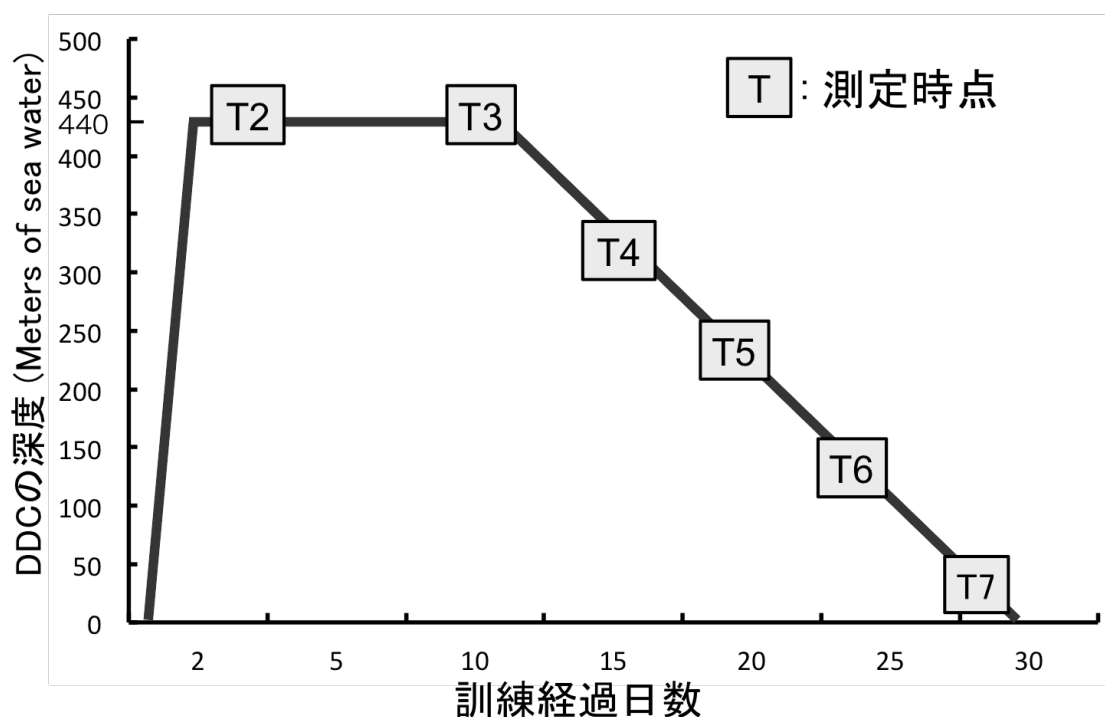


Figure 3-2. 本実験の測定時点. 横軸は飽和潜水訓練開始からの経過日数を示し, 縦軸は測定時点のシミュレータの深度(Meters of sea water: MSW)を示す. なお本実験の T1 は訓練開始 1 日前, T8 は訓練終了 4 日後に実施した.

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

**実験参加者** 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:  $36 \pm 2.82$  歳)であった。

**ストロープ課題** 実験 1 で信頼性および妥当性が認められた新ストロープ検査 2 (箱田・渡辺, 2005) を用いた。

**心理的ストレス評価課題** 水深 440m 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 6 つの因子からなる質問紙である。実験参加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  $50 \pm 10$  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 8 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)くたびれている感じ、(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、被検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 100mm 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 2 を実施した。ストループ検査を開始する前に，実験参加者に“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。全実験参加者が課題を理解したことを確認した上で，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。

### 3-2-3 結 果

**干渉率** 本実験では，実験 1 と同様の方法で算出された干渉率によって訓練期間中のストループ干渉および逆ストループ干渉を評価した (Figure 3-3)。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 [ $F(7,161)=1.125, ns$ ]. 有意となった測定点の主効果に対して，Ryan 法による多重比較を行った結果（以降，全て両側検定），訓練前(T1)から 440m 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 350m-300m 減圧期(T4)まで事前より有意に干渉率は高かった ( $p < .05$ ). 440m 保圧初期に増加した干渉率は，シミュレータの深度が，250m-200m 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 ( $p < .05$ ).

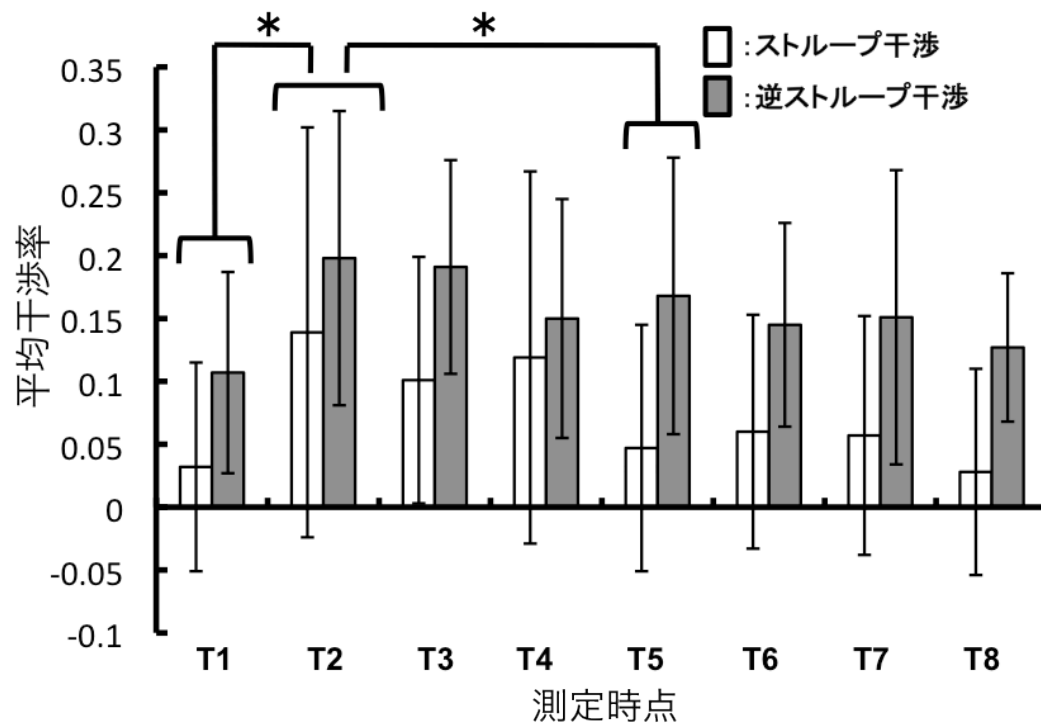


Figure 3-3. 水深 440m (45 気圧) 飽和潜水訓練中のストループ干渉率と逆ストループ干渉率の比較(N=24). エラーバーは標準偏差を示す. \*:  $p < .05$ .

**課題正答数** 訓練期間中のストループ検査2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 3-4に示した．飽和潜水期間中における新ストループ検査2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， $F(7,23)=27.252, p <.001$ ;  $F(7,23)=18.109, p <.001$ ;  $F(7,23)=13.886, p <.001$ ;  $F(7,23)=20.714, p <.001$ ]．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440m保圧期(T2, T3)にかけて正答数に変化はなく(それぞれ， $p >.10, ns$ )，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440m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440m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440m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，350m-300m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， $p >.10, ns$ )．

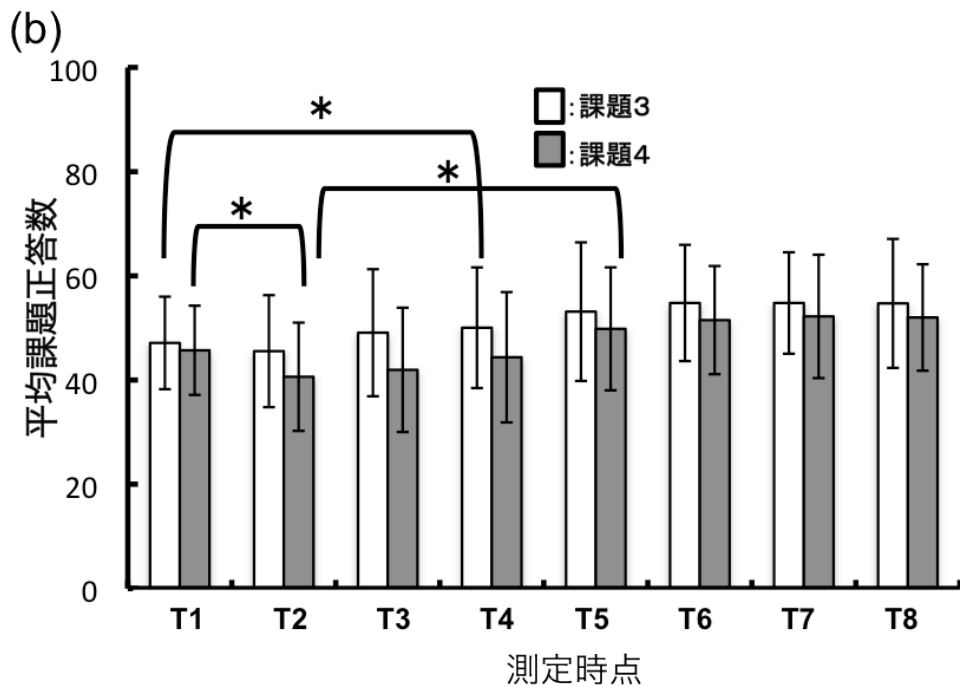
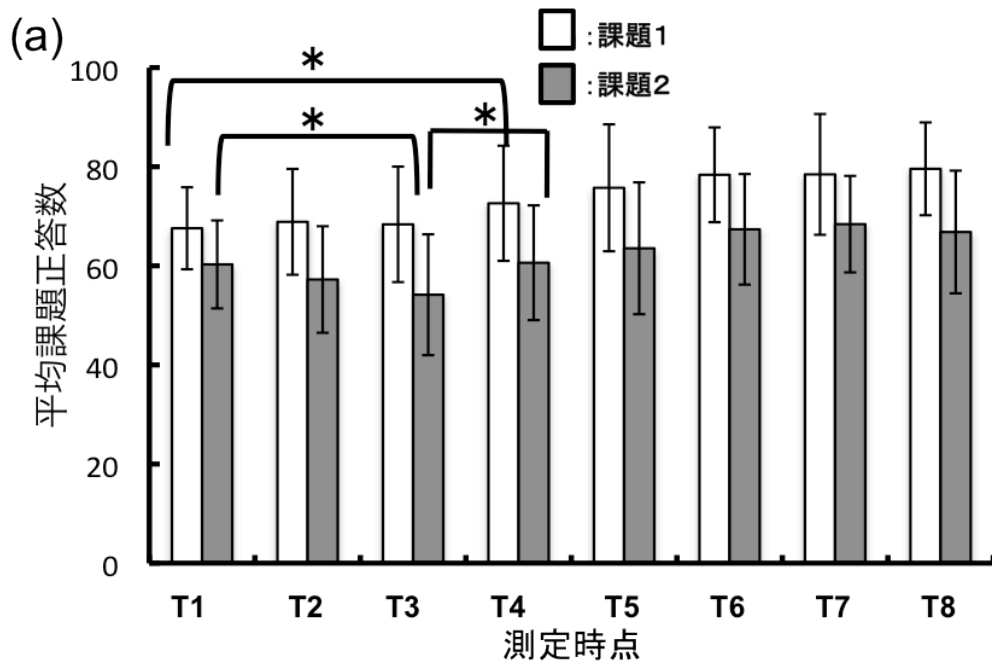


Figure 3-4. 水深 440m(45 気圧)飽和潜水訓練中の各課題正答数の変動 (N=24). エラーバーは標準偏差を示す. \*:  $p < .05$ . (a) は, 課題 1 と課題 2 との比較を表す. (b) は, 課題 3 と課題 4 との比較を表す.

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,  $F(7,23)=0.224, ns$ ;  $F(7,23)=0.244, ns$ ;  $F(7,23)=0.172, ns$ ;  $F(7,23)=1.261, ns$ ;  $F(7,23)=0.182, ns$ ;  $F(7,23)=0.121, ns$ ]. GVA の各因子においても、シミュレータの深度よる有意な変動はなかった[GV, GA の順に,  $F(1,23)=1.378, ns$ ;  $F(1,23)=4.428, ns$ ].

#### 3-2-4 考 察

本実験において、最大環境圧にあたる 440m (45 気圧) 保圧期にストロ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 350m (36 気圧) -300m (31 気圧) 減圧期まで有意な変化はなかった。250m (26 気圧) -200m (21 気圧) 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、440m 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。また逆ストロープ干渉率は、ストロープ干渉率よりも訓練期間を通して高かったが、測定時の DDC の環境圧との間に交互作用はなかった。一方で、本実験では飽和潜水訓練中、不安や抑うつ傾向は見られず、覚醒水準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。

以上から、本実験では、長期間の高圧曝露や閉鎖環境への隔離による心理的ストレスは少なかったと考えられる。また、本実験における DDC



への長期滞在による主観的な覚醒度の低下も生じなかったと考えられる。また実験 1 で見られた反復による干渉率の増加と全ての課題正答数の増加も見られなかった。したがって、本実験で得られた 2 種類の干渉率や課題正答数の変化は、高圧曝露による心理状態の変化よりも、物理的な環境圧によって生じたものと考えられる。以上から、高圧環境において認知機能を変化させる要因は、長期間の閉鎖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状態の変化ではなく、物理的な環境圧であることが示唆された。

本実験で訓練期間中に心理状態の変化や覚醒水準の変化が見られなかった結果は、Logie & Baddeley (1985)や Mulcahy(1976)の主張と一致し、本実験の予測と合致するものであった。長期間の閉鎖隔離の心理状態への影響について、南極観測基地と本実験の実験環境である DDC で比較した Sandal et al. (1996)で実験的に示されている。この研究では、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 DDC では、南極観測基地で見られた 4 分の 3 半期のような心理状態の悪化が見られなかった。また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。こうした外部とのコミュニケーションが頻繁にとれる環境では、生活環境の変化が乏しいことに起因する覚醒水準の低下は生じにくいことも報告されている(Suedfeld & Steel, 2000)。以上から、本実験の模擬

環境では心理状態の変化は起こらないことが示された。

しかし、本実験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回目に比べ2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、本実験における440m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、本実験で用いた新ストループ検査2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、本実験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。

3-3 実験2-2: 地上(1気圧)での検討(景山望・箱田裕司・小澤浩二 (2010).  
長期間の高圧環境曝露が認知能力に及ぼす効果 認知心理学研究, 8, 63-72)

### 3-3-1 目的

本実験で用いたストループ検査2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2-1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2-2では、高圧下で行われた実験2-1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2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2の検査回数について、実験2-1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250m-200m減圧時(T5)であった。

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

### 3-3-2 方法

**ストループ課題** 実験2-1と同様の新ストループ検査2(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±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2-1の検査実施スケジュールを参考に、同一実験参加者に対し、新スト

ループ検査 2 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, 全て 10:00 am から 10:30 am の間に行った. 実験 2-2 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), 5 日目(2 回目の検査, 以下, T2), 10 日目(3 回目の検査, 以下 T3), 15 日目(4 回目の検査, 以下 T4), 20 日目 (5 回目の検査, 以下 T5). なお本実験において, 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.

### 3-3-3 結果と考察

訓練期間中のストループ検査 2 の 2 種類の干渉率を Figure 3-5 に示し, 各課題正答数は, Figure 3-6 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)を実験参加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,  $F(4,20)=1.920$ ,  $ns$ ;  $F(4,20)=2.496$ ,  $ns$ ].

一方で, 各課題の正答数について, 検査経過日数(5)を実験参加者内要因とする繰り返しのある分散分析を行った結果, 全ての課題に対して有意な主効果があった[課題 1, 課題 2, 課題 3, 課題 4 の順に,  $F(4,20)=25.296$ ,  $p < .001$ ;  $F(4,20)=17.322$ ,  $p < .001$ ;  $F(4,20)=7.667$ ,  $p < .001$ ;  $F(4,20)=12.490$ ,  $p < .001$ ]. Ryan 法による多重比較を行った結果, 全ての課題において, 反復回数を重ねるごとに, 正答数は上昇した( $p < .05$ ).

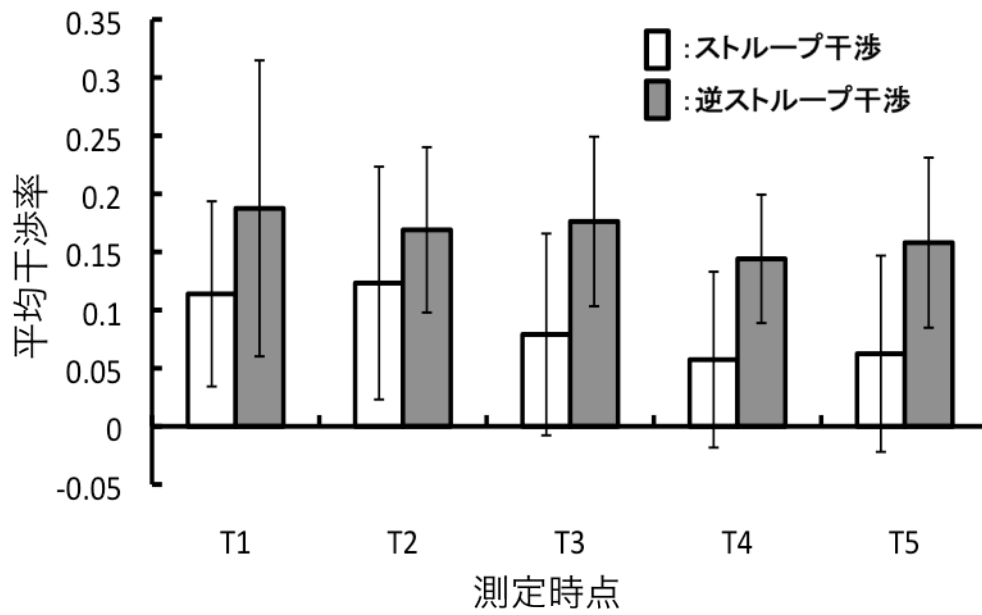


Figure 3-5. 日常環境下におけるストループ干渉率と逆ストループ干渉率の比較 ( $N=6$ ). エラーバーは標準偏差を表す.

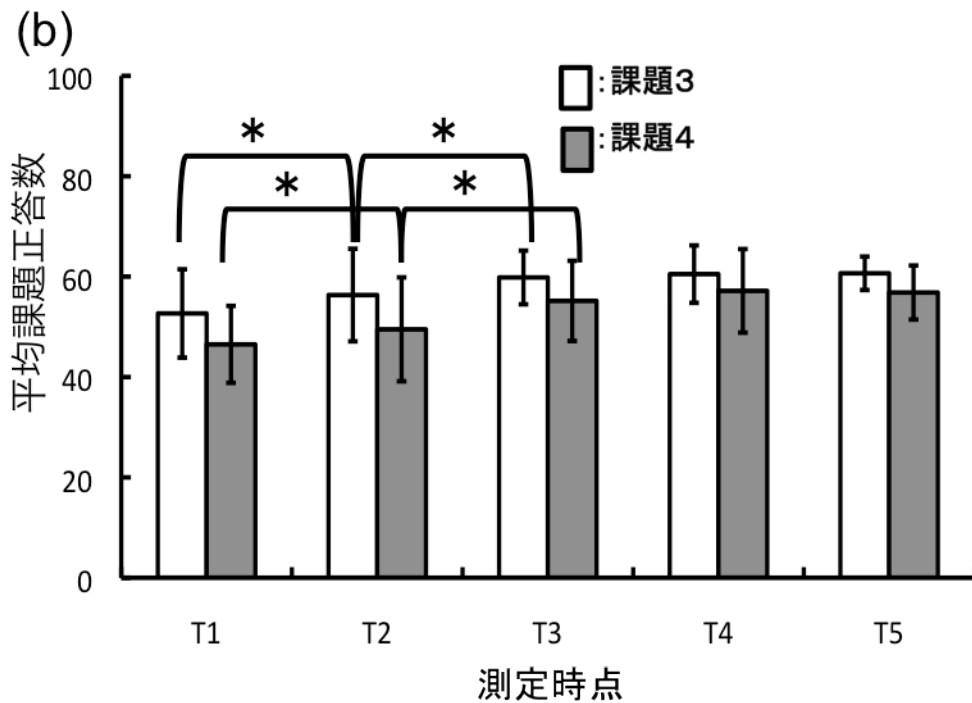
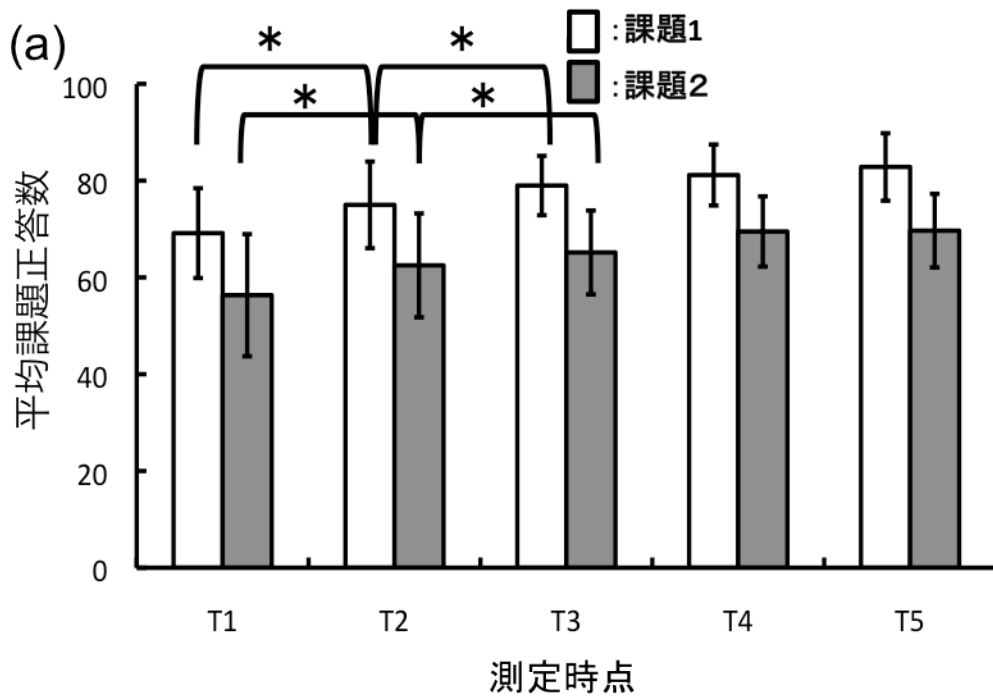


Figure 3-6. 日常環境下における新ストループ検査2における各課題正答数の変動( $N=6$ ). エラーバーは標準偏差を示す \*:  $p < .05$ . (a) は, 課題1と課題2との比較を表す. (b) は, 課題3と課題4との比較を表す.

本実験で用いた新ストループ検査 2 におけるストループ干渉率は、課題遂行時に含まれる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(箱田・佐々木, 1990b). 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、2 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 2-2 の結果から、日常環境下において、新ストループ検査 2 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 2-1 で見られた事前 (T1) から 440m 保圧期 (T2, T3) かけて見られた課題正答数の減少は、日常環境下では生じないことが示された.

### 3-4 まとめ：実験 2

本実験の実験 2-1 において、高圧環境における認知機能には、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 2-2 では、新ストループ検査 2 を日常環境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 種類のストループ干渉率は変化しないことが示された.

実験 2-1 の実験環境は考察でも述べたが、本実験が行われた DDC は 24 時間体制の厳密な管理がなされている. このため、訓練に参加する潜水員にとって環境圧以外のストレス、特に心理的ストレスは小さい. また本実験の飽和潜水訓練を実施した潜水スケジュールは安全かつ効率性

が確立されており，飽和潜水員の養成にも用いられている信頼性の高いものである．さらに，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 2-2 の実験参加者は，全く特殊訓練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 2-1 の結果は，本実験の認知課題に対するモチベーションの低さによるものではないことが考えられる．

また，飽和潜水員のような特殊訓練を受けた人間は，身体的・心理的疲労が高い状態であっても，認知機能を一定に保つことができることが報告されている (Lieberman et al., 2005) . Lieberman et al. (2005) では，数日間の断眠を伴う訓練中の心理状態と認知課題（選択反応時間）について，アメリカ陸軍の特殊救難部隊の隊員と一般隊員で比較した．この結果，特殊部隊の隊員も一般隊員も心理的疲労が観察されたが，認知課題の成績は特殊部隊の隊員では一定であった．これより，高圧環境では訓練を重ねても環境圧の認知機能へ及ぼす影響を避けることができないことが示唆された．

以上から，高圧環境において認知機能を変化させる要因は，高圧曝露による心理状態の悪化ではなく，物理的な環境圧であることが確認された．ただ，本実験では 440m 保圧初期に干渉率は最大となり，DDC の深度が 300m（31 気圧）以下となる 250m-200m 減圧期まで減少しなかった．一方で，実験 2-1 では，新ストループ検査 2 の課題正答数は全ての



課題で 440m 保圧期に最も少なくなり，減圧期に入るまで地上（1 気圧）で見られる正答数の増加は見られなかった．この結果は，Logie & Baddeley (1985)が主張した認知機能の低下は 31 気圧以上で生じることに一致している．すなわち，本実験の結果は高圧環境での認知機能の低下が一定の環境圧以上で生じることを示唆している．また，高圧環境での認知機能の低下が生じる要因として，環境圧の上昇が必要であることも示唆している．ただ，環境圧の上昇が認知機能に及ぼす影響については，単独の影響なのか，それとも最大環境圧の大きさとの混合効果による影響なのかは，本実験で考察することは難しい．よって，次項の実験で環境圧の上昇が認知機能に及ぼす影響を最大環境圧が 31 気圧以下で検討する．

一方で，本実験では，逆ストループ干渉率はストループ干渉率に比べて訓練中，有意に高かったが，干渉の種類と DDC の深度との間の相互作用はなかった．この結果は，実験 1 や実験 2-1 と同様の反応様式にマッチング法を用いたことにより得られたものであり，環境圧の影響ではないことを示唆している．

### 3-5 実験 3：水深 100m（11 気圧）飽和潜水での検討

#### 3-5-1 目的

本実験では実験 2 の結果から、環境圧の上昇が高圧環境での認知機能を変化させる要因となりうるかについて検討した。実験 2 では最大環境圧を 45 気圧に設定して、環境圧と認知機能との関係を検討した。その結果、環境圧が 45 気圧に到達した時点で、干渉率は最も高くなった。そして、増加した干渉率は、環境圧が 31 気圧以下になると減少した。しかし訓練終了時には干渉率は事前の値まで回復した。質問紙法による心理的ストレスも測定の結果、心理的ストレスは訓練中に検出されなかった。以上から、測定時点の潜水員の心理状態は、必ずしも認知機能を変化させる要因とはならないことが示唆された。これより環境圧が認知機能を変化させる要因であることが確認できた。

実験 2 の結果から、認知機能が低下する基準となる環境圧は 31 気圧であると示唆された。一方で、干渉率の増加や課題正答数の減少が加圧期から保圧期に集中したことから、環境圧の影響は環境圧の上昇を伴わないと現れないことが示唆された。

Kageyama, Hakoda, & Ozawa (2009) は、模擬環境での最大環境圧 45 気圧の飽和潜水訓練中の艦上減圧室 (DDC) において、加圧中の新ストループ検査 2 の干渉率と課題正答数を測定した。Kageyama らでは、加圧中の DDC の環境圧 (1 気圧から 15 気圧, 16 気圧から 31 気圧, 45 気圧到達直後) で新ストループ検査 2 を実施した。なお Kageyama らでは訓練前に 1 気圧で検査を 2 回実施した。結果、干渉率は 15 気圧までは地上 (1 気圧) と差はなかったが、DDC の環境圧が 16 気圧 (水深 150m) 以上になると増

加した。一方で、課題正答数は全ての課題で事前の1回目から2回目にかけて増加した。訓練前の2回目から15気圧まで、課題正答数の増加は見られなかったが、それ以降、DDCの環境圧の増加に比例して減少した（Kageyama et al., 2009）。Kageyamaらの結果は、加圧開始から16気圧（水深150m）以上で生じる高圧神経症候群（HPNS）と一致することから、環境圧が16気圧以上になるとストループ干渉は変化することを示唆している。一方で、課題正答数が1気圧での訓練前の検査（2回目）から15気圧での検査（3回目）にかけて増加しなかった結果は、本実験の2-2の結果と一致せず、環境圧の上昇によって認知機能が変化することを示唆している。

実験2では最大環境圧を45気圧に設定した場合しか検討していない。上で述べたように、最大の環境圧を16気圧以上に設定した潜水作業では、加圧によるHPNSの影響を避けることができない（Bennett & Rostain, 2003）。よって、環境圧の上昇が認知機能に与える影響を検討するためには、最大環境圧が16気圧未満の飽和潜水訓練で実験を行う必要があった。

以上から、本実験では、環境圧の上昇が認知機能に及ぼす影響について、最大環境圧が11気圧（水深100m）飽和潜水訓練中のストループ干渉によって検討した。なお本実験では実験2と同様にストループ干渉を新ストループ検査2（箱田・渡辺, 2005）を用いて測定した。本実験の結果の予測として、最大環境圧が11気圧であれば、HPNSの影響も起こらないことが予想され、結果として環境圧の上昇による干渉率の増加や課題正答数の減少は生じないと考えられる。

### 3-5-2 方 法

**測定環境** 測定は、飽和潜水訓練期間中では海上自衛隊潜水医学実験隊が保有する深海訓練シミュレータ内の DDC 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内のオペレーション室で行った。飽和潜水訓練を実施する際、実験 2-1 と同様のヘリウム・酸素混合ガスを呼吸ガスとして用いた。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)。本実験は、海上自衛隊潜水医学実験隊研究等審議委員会のヒトの実験に関するガイドラインに基づいて実施し、実験参加者となる職業潜水員および訓練の指揮官の同意の上で実施した。

**実験参加者** 水深 100m 飽和潜水訓練に参加した海上自衛隊所属の職業潜水員 17 名 (年齢: 34 ± 2.45 歳) であった。なお 1 回の訓練に参加できる潜水員は 6 名であった。

**ストループ課題** 実験 2 と同じ新ストループ検査 2 (箱田・渡辺, 2005) を用いた。

**測定時点<sup>2)</sup> および手続き** 本実験は海上自衛隊において実施された 3 回の 7 日間の水深 100m (11 気圧) 飽和潜水訓練期間中に行った。本実験は新ストループ検査 2 を訓練スケジュールに従い、DDC の各深度 (100m 保圧 -1: T2, 100m 保圧 -2: T3, 50m 減圧: T4) で 3 回、訓練期間の前後 1 回 (事前: T1, 事後: T5) の計 5 回、DDC 内で行った (Figure 3-7)。なお、T2 は水深 100m (11 気圧) 到達直後に実施、T3 は水深 100m (11 気圧) 到達 3 日後に実施した。測定は参加者全員に対し同時に実施した。

---

<sup>2)</sup> 本実験で用いた新ストループ検査 2 は様々な測定時間帯で複数回実施した研究が報告されている (e.g. Kageyama et al., 2009; 景山・小澤・中林, 2013)。環境圧の変化が伴わない場合は、測定時間帯に関係なく干渉率は一定であることが報告されている。

**実験計画** ストループ干渉の種類 (2: ストループ・逆ストループ) × 測定時の DDC の深度 (5: T1・T2・T3・T4・T5) の参加者内 2 要因計画であった。

**結果の分析** 本実験では、これまでの実験 1 や実験 2 と同様の方法で 2 種類の干渉率と各課題正答数を求め、参加者の認知機能を評価した。

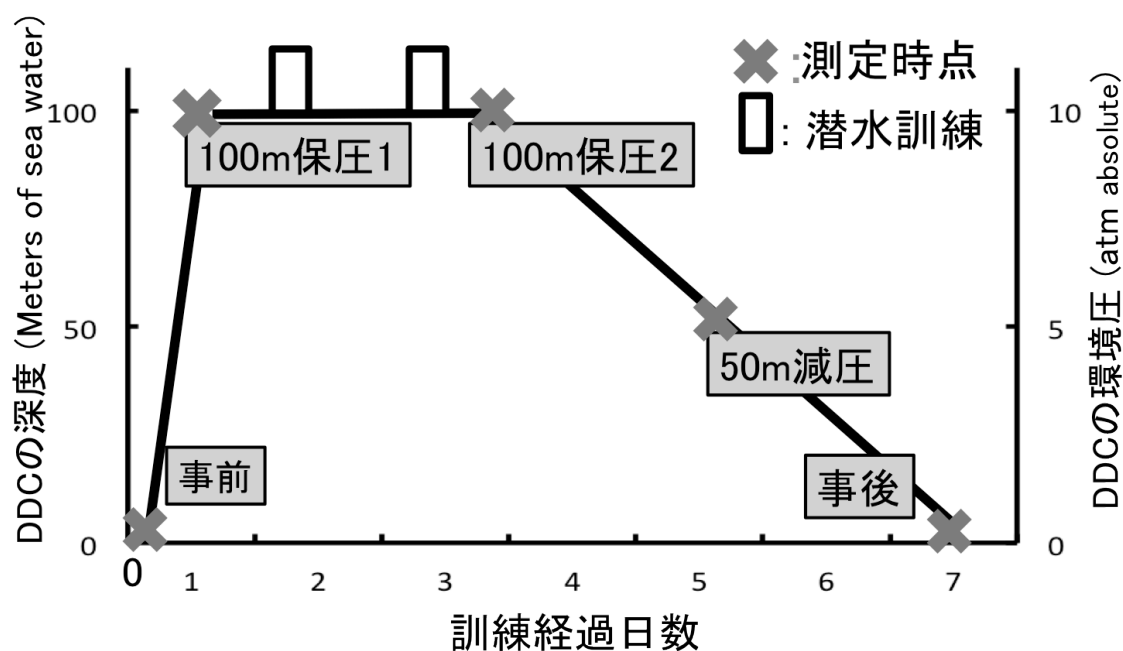


Figure 3-7. 本実験の測定時点。横軸は訓練の経過日数を示し、縦軸の左側は測定時点の DDC の深度 (Meters of sea water) を示す。また縦軸の右側は DDC の環境圧 (atm absolute) を示す。

### 3-5-4 結 果

本実験では、まず訓練期間中の 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 [DDC の深度 (5) ×干渉の種類 (2)] を行った。その結果、干渉の種類の主効果のみ有意であり、訓練期間中の逆ストロープ干渉率はストロープ干渉率に比べ大きかった [ $F(4, 16) = 40.703, p < .001$ ] (Figure 3-8)。一方で、DDC の深度の主効果は有意ではなかった [ $F(4, 16) = 1.696, ns$ ]。また干渉の種類と DDC の深度間にも交互作用はなかった [ $F(7, 64) = 1.332, ns$ ]。これらの結果は、最大環境圧を 45 気圧に設定して行った実験 2-1 とは一致しなかった。

次に、訓練期間中の新ストロープ検査 2 の各課題正答数について、繰り返しのある 1 要因分散分析を行った。どの課題においても、測定時の DDS 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,  $F(4, 64) = 38.434, p < .001$ ;  $F(4, 64) = 27.273, p < .001$ ;  $F(4, 64) = 16.116, p < .001$ ;  $F(4, 64) = 18.173, p < .001$ ]。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 (Figure 3-9, 3-10)。その結果、全ての課題正答数に関して、訓練前 (T1) から最大環境圧に設定した 11 気圧到達直後 (T2) にかけて有意な増加はなかった。しかし 100m 保圧期以降 (T3 以降) で全ての課題正答数は有意に上昇した (それぞれ,  $p < .05$ )。

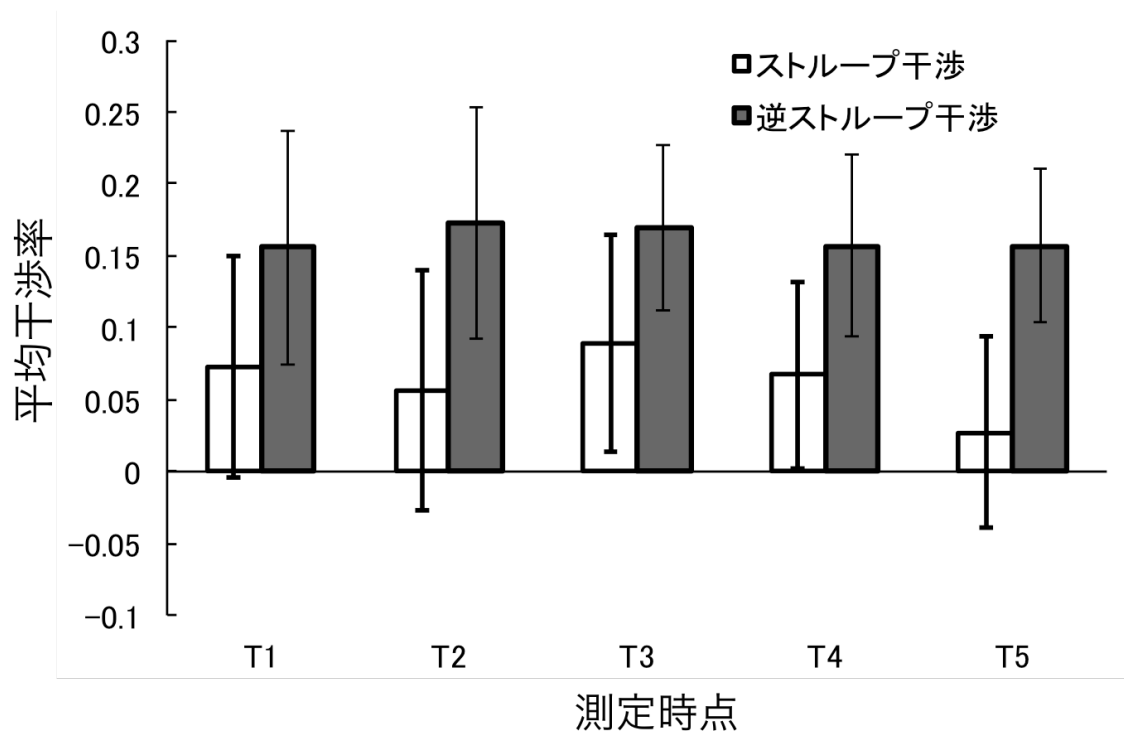


Figure 3-8. 水深 100m (11 気圧) 飽和潜水訓練中の干渉率の比較 (N = 17). エラーバーは標準偏差を示す.

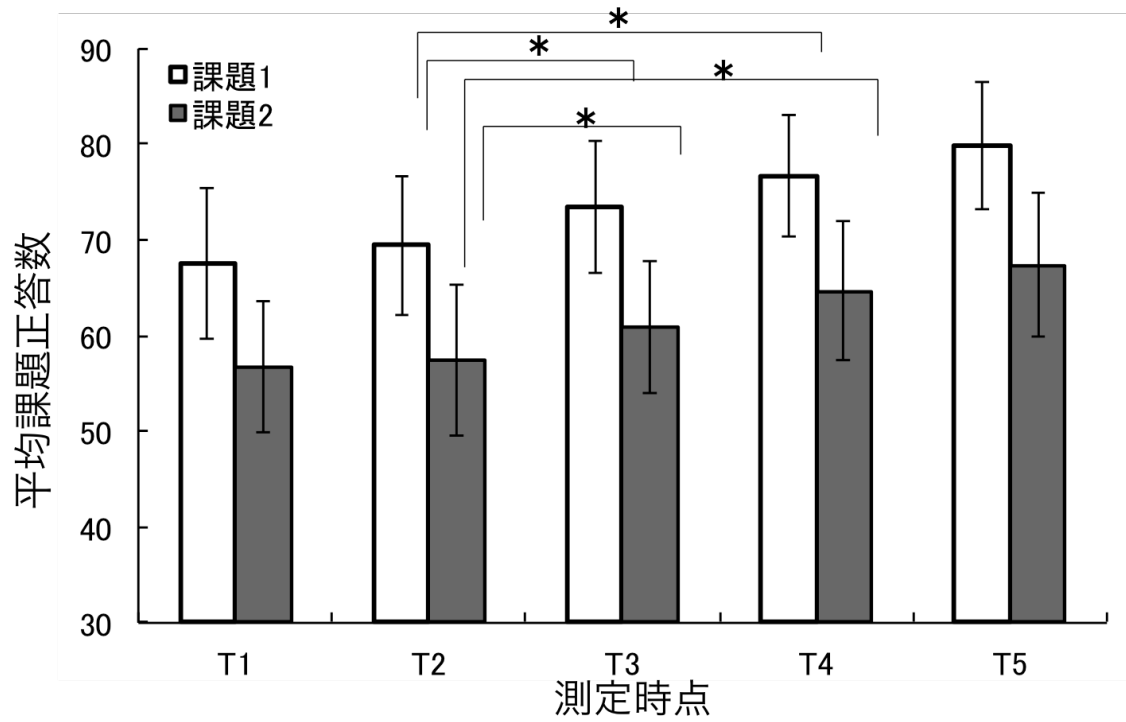


Figure 3-9. 水深 100m (11 気圧) 飽和潜水訓練中の新ストループ検査 2 における課題 1 (統制課題) と課題 2 (逆ストループ課題) の正答数の変動 ( $N = 17$ ). エラーバーは標準偏差を示す.  $*p < .05$ .



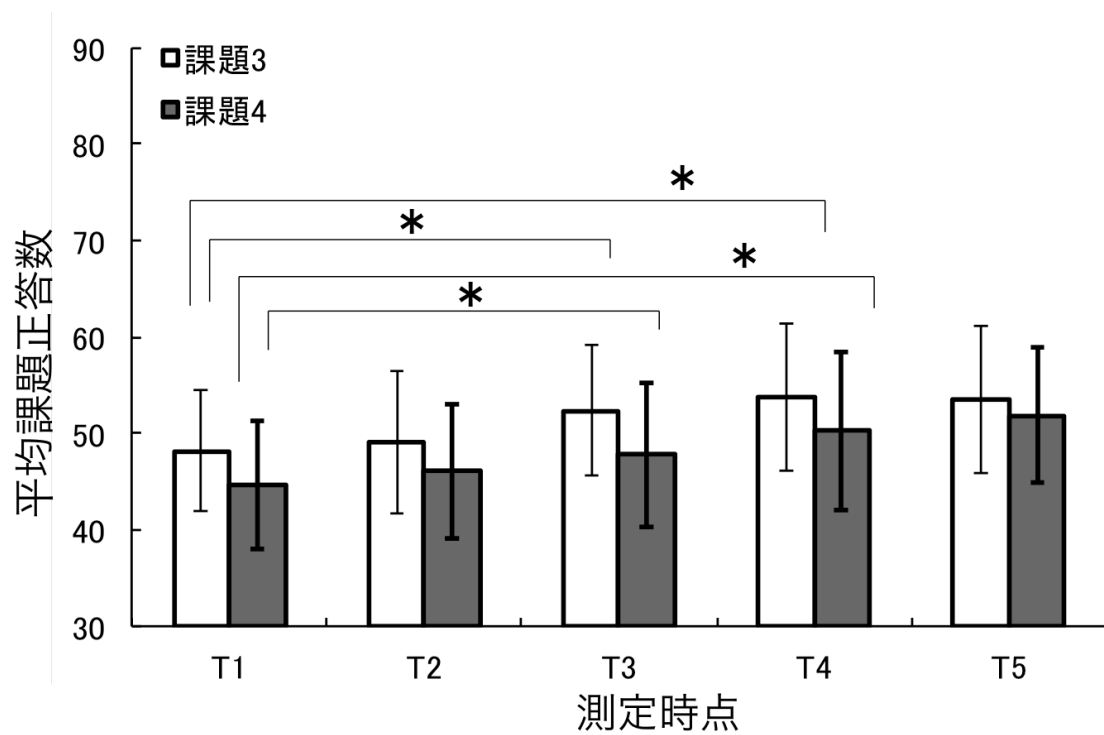


Figure 3-10. 水深 100m (11 気圧) 飽和潜水訓練中の新ストループ検査 2 における課題 3 (統制課題) と課題 4 (ストループ課題) の正答数の変動 ( $N = 17$ ). エラーバーは標準偏差を示す.  $*p < .05$ .

### 3-5-5 考 察

本実験では環境圧の上昇が、高圧環境での認知機能を変化させるかについて、水深 100m (11 気圧) 飽和潜水訓練時の新ストループ検査 2 の干渉率と課題正答数を用いて検討した。本節では新ストループ検査 2 の干渉率と課題正答数の性質から、環境圧と認知機能との関連について考察する。

訓練期間中、逆ストループ干渉がストループ干渉よりも干渉率が高かった。反応様式にマッチング法を用いた場合、逆ストループ干渉はストループ干渉に比べて干渉が大きくなると言われている (Durgin, 2000, 2003; 箱田・佐々木, 1990)。新ストループ検査 2 は反応様式にマッチング法を採用している。したがって、新ストループ検査 2 を使う限り、逆ストループ干渉率は測定環境に関係なくストループ干渉率に比べて大きくなることが考えられる。これに DDC の深度との間に交互作用はなかった結果を含めると、逆ストループ干渉がストループ干渉よりも高くなる結果は環境圧の影響ではないといえる。以上の結果はこれまでの実験の結果と一致するものであった。

本実験では訓練期間中の干渉率は一定であった。一方で、課題正答数は、全ての課題で 1 気圧 (T1) から 11 気圧到達直後 (T2) にかけて有意な正答数の増加は見られなかった。しかし保圧期後期 (T3) 以降で全ての課題正答数は有意に増加した。本実験の干渉率は地上 (1 気圧) で実施した実験 2-1 の結果と一致するものであった。しかし、本実験の課題正答数は、検査回数に比例して課題正答数が増加した実験 2-1 の結果とは明らかに異なり、Kageyama ら(2009)の事前の 2 回目 (1 気圧) から 3

回目（15気圧）の結果と一致するものであった。

以上から、最大環境圧が15気圧以下の場合、2種類の干渉率は環境圧の上昇によって変化しないことが示唆された。一方で、全ての課題正答数は最大環境圧が15気圧以下であっても、環境圧の上昇によって、地上に比べて変化することが示唆された。また、本実験では全ての測定点および課題において、エラーは観測されなかった。これより、本実験におけるT1からT2にかけての課題正答数の変化は、速さと正確性のトレードオフではないことが示唆された。

本実験の実験環境である11気圧下では、HPNSに起因する中枢神経系の機能低下は起こらないとされている。よって、本実験の課題正答数の変化は、HPNSによる影響ではないと考えられる。では本実験の課題正答数の変化は何を反映しているのだろうか。

第1章でも述べたが、飽和潜水研究において、環境圧の上昇が生体に影響を及ぼすことが、脳波を用いた脳機能研究から明らかにされている(Ozawa & Tatsuno, 1989; 小沢・西野, 1990)。Ozawa & Tatsuno (1989)は飽和潜水時における加圧期の脳波を測定し、加圧開始から覚醒水準の低下を示す $\theta$ 波が発生することを報告した。また、15気圧以下で加圧中に発現する $\theta$ 波はHPNSとは関係ないと主張している(小沢・西野, 1990)。高圧環境で発症する覚醒水準の低下は、認知機能全般を低下させるとされている(Baddeley, 1972)。しかし、加圧開始から起こる覚醒水準の低下による認知課題成績の悪化はこれまで報告されていない。このため、15気圧以下で生じる覚醒水準の低下が認知課題の成績に及ぼす影響については明らかになっていない。本実験の課題正答数の変化は、これまで

検出できなかった加圧開始から起こる覚醒水準の低下の影響を反映していると考えられる。本実験では測定時の環境圧が同じ（11気圧）であるT2からT3にかけて全ての課題正答数が増加した。また、本実験2-1では45気圧時には課題正答数が地上に比べて減少したことから、覚醒水準の低下による認知課題成績への影響は15気圧以下では小さいことが示唆される。

本実験から、環境圧の上昇によって認知機能は変化することが示された。そして、環境圧の上昇による影響は最大環境圧の大きさによって異なることが示唆された。

### 3-6 まとめ

本章では、長期間の高圧曝露が認知機能に及ぼす影響について、職業潜水員を対象とした目標深度が異なる模擬環境での飽和潜水訓練（水深450m・水深100m）と大学生を対象とした地上（1気圧）での新ストループ検査2によって検討した。本実験の結果から、高圧環境において認知機能を変化させる要因は、検査時点での心理状態の変化ではなく、測定時点の物理的な環境圧と環境圧の上昇であることが明らかになった。また、環境圧の上昇による影響は最大環境圧の大きさによって異なることが示唆された。さらに、高圧環境での特殊訓練を受けた職業潜水員であっても、環境圧の認知機能へ及ぼす影響を避けることができないことが示唆された。

## 第 4 章 : 実施環境の影響 : 実海面による検討

#### 4-1 目 的

本実験では実海面での飽和潜水中の心理変化が認知機能に及ぼす影響について検討した。実験2や実験3で用いてきた模擬環境は、隔離される人間が快適に生活できるように24時間体制で厳密に管理されている。また、水中へのエクスカージョン（潜水による調査）訓練を実施する場合にも、水温等の環境が厳密に管理された10m四方の狭い水槽内で行われる。こうした厳密に管理され、安全性が確保されている環境では、長期間隔離されたとしても心理的ストレスは小さいことが報告されている（e.g. Sandal et al., 1996; Palinkas et al., 2000）。これまでの研究において、実海面で飽和潜水を実施する場合、自然環境の変化といった統制不可能な要因が付加されるため、潜水員に対して心理的ストレスがかかることが報告されている（Mulcahy, 1976）。このため、一般的に模擬環境に比べて実海面の潜水可能深度は浅いとされている。これまで、実海面で飽和潜水を行う場合、睡眠障害、身体的・心理的疲労の増加、単純反応時間の遅延、巧緻性作業能力の低下が報告されている（e.g., O'Reilly, 1977; Townsend & Hall, 1978; Abraini et al., 1997）。また、飽和潜水が潜水技術の発展などの研究目的で実施されるのか、それとも沈没船の引き上げや潜水艦救難といった特定のミッションの遂行なのかによっても心理状態への影響が異なり、後者の方がより心理状態の悪化が著しいとされている。したがって、実海面での飽和潜水では環境圧だけでなく、心理的ストレスや疲労も認知機能に影響を与える可能性がある。

以上から、本実験は、飽和潜水中の心理変化が認知機能に及ぼす影響について、実際の潜水作業による任務作業を想定した実海面での水深

200m（21気圧）飽和潜水訓練中のストループ干渉によって検討した。

本実験の結果の予測として、これまでの実験とは異なり、今回実験を行った飽和潜水訓練は実海面で実施され、その目的が飽和潜水中の生理・心理メカニズムの解明ではないことから、訓練期間中の心理状態の変化が見られ、それに伴う干渉率の増加が見られることが予想される。

## 4-2 方 法

**測定環境** 本実験は太平洋上で実施された水深 200m（21 気圧）実海面飽和潜水訓練期間中に実施した。測定は、海上自衛隊所属の潜水艦救難艦内の DDC で行った (Figure 4-1)。潜水訓練期間中は DDC 内で行い、訓練前と訓練後では、潜水艦救難艦内の潜水員待機室で行った。本実験は、海上自衛隊潜水医学実験隊研究等審議委員会のヒトの実験に関するガイドラインに基づいて実施し、実験参加者となる職業潜水員および訓練の指揮官の同意の上で実施した。



Figure 4-1. 右は実験を行った潜水艦救難艦を示し、左は作業する海中まで潜行する水中エレベーターを示す。

**実験参加者** 海上自衛隊に所属する職業潜水員 6 名(年齢:  $34 \pm 6.45$  歳)であった。

**ストループ課題** これまで同様に新ストループ検査 2 (箱田・渡辺, 2005) を用いた。

**心理的ストレス評価課題** これまでと同様に日本語版 POMS 質問紙と GVA 尺度を用いた。

**測定時点** 本実験では, 新ストループ検査 2 を訓練計画に従い, DDC 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 4-2)。また, 2 種類の質問紙を新ストループ検査 2 と同じ測定点で実施し, 深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。本実験における測定点は, 以下の通りであった: 訓練前(T1), 150m 加圧 (T2), 200m-1(T3), 200m-2(T4), 200m-3(T5), 150m 減圧期 (T6), 100m 減圧期 (T7), 訓練後(T8 とする)。



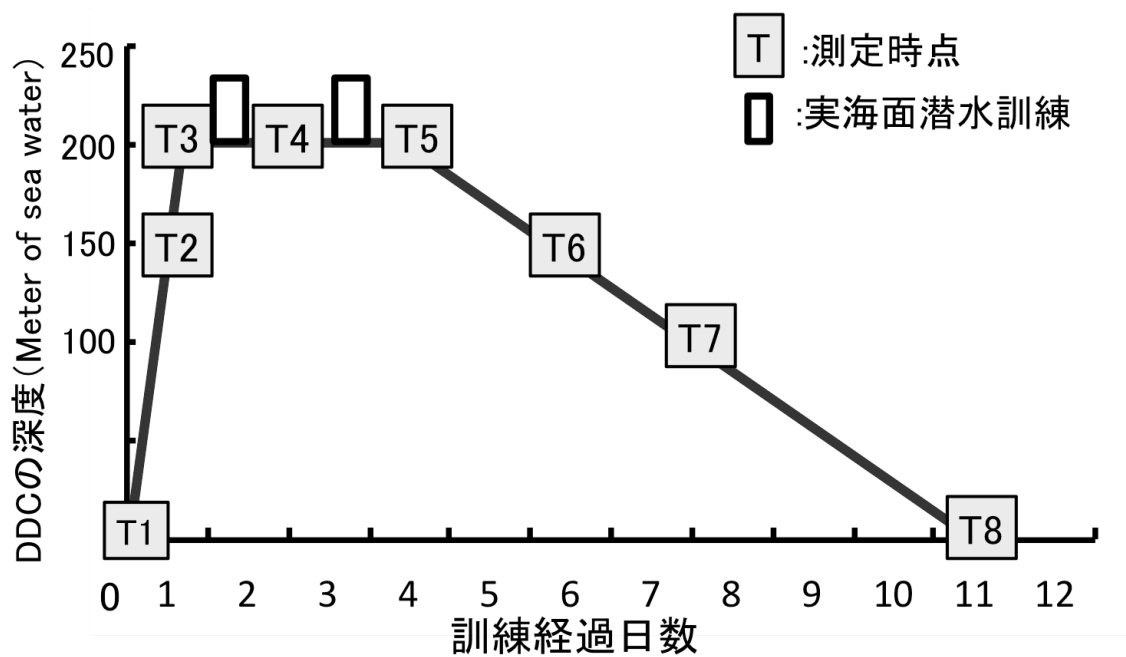


Figure 4-2. 本実験の測定時点. 横軸は訓練の経過日数を示し, 縦軸は測定時点の DDC の深度 (Meters of sea water) を示す.

**実験計画** 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、実験参加者内 2 要因計画であった。

**手続き** 測定は、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、その後に新ストループ検査 2 を実施した。ストループ検査を開始する前に、実験参加者に“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。全実験参加者が課題を理解したことを確認した上で、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。

**結果の評価** 本実験では実験 2-1 と同様に飽和潜水中の新ストループ検査 2 の干渉率，課題正答数に加え，2 種類の質問紙の変動によって検討した。

#### 4-3 結果と考察

**干渉率** 本実験においても、これまでの実験と同様の方法で求める2種類の干渉率によって、ストール干渉と逆ストール干渉を評価した (Figure 4-3). 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DDCの深度(8)×干渉の種類(2)]を行った. その結果、干渉の種類の主効果のみ有意であった [ $F(1, 5) = 12.560, p < .01$ ]. それ以外については要因の主効果や交互作用は見られなかった [DDCの深度, 干渉の種類×DDCの深度の順に,  $F(7, 35) = 1.216, ns$ ,  $F(7, 35) = 0.973, ns$ ].

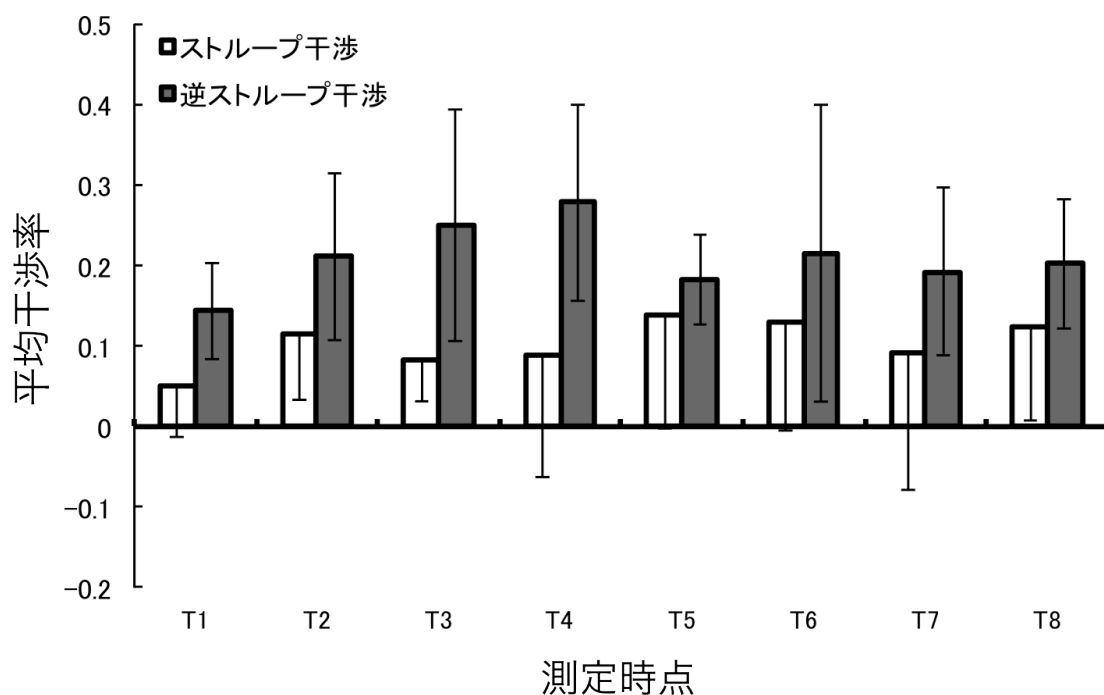


Figure 4-3. 水深 200m 実海面飽和潜水訓練中の干渉率の比較 ( $N = 6$ ). エラーバーは標準偏差を示す.

**課題正答数** 訓練期間中のストループ検査 2 の各課題正答数を、Figure 4-4 に示した。訓練期間中における新ストループ検査 2 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 DDC の深度(8)]を行った。どの課題においても、測定時の DDC 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,  $F(8, 40) = 7.862, p < .001$ ;  $F(8, 40) = 11.487, p < .001$ ;  $F(8, 40) = 7.752, p < .001$ ;  $F(8, 40) = 6.675, p < .001$ ]。有意となった主効果に対して、Bonferroni 法による多重比較を行った結果、全ての課題で最大深度 200m 時(T3 もしくは T4)に最も正答数は少なくなり、減圧期に入ると有意に上昇した(それぞれ,  $p < .05$ )。また本実験においても、全ての課題においてエラーは見られなかった。

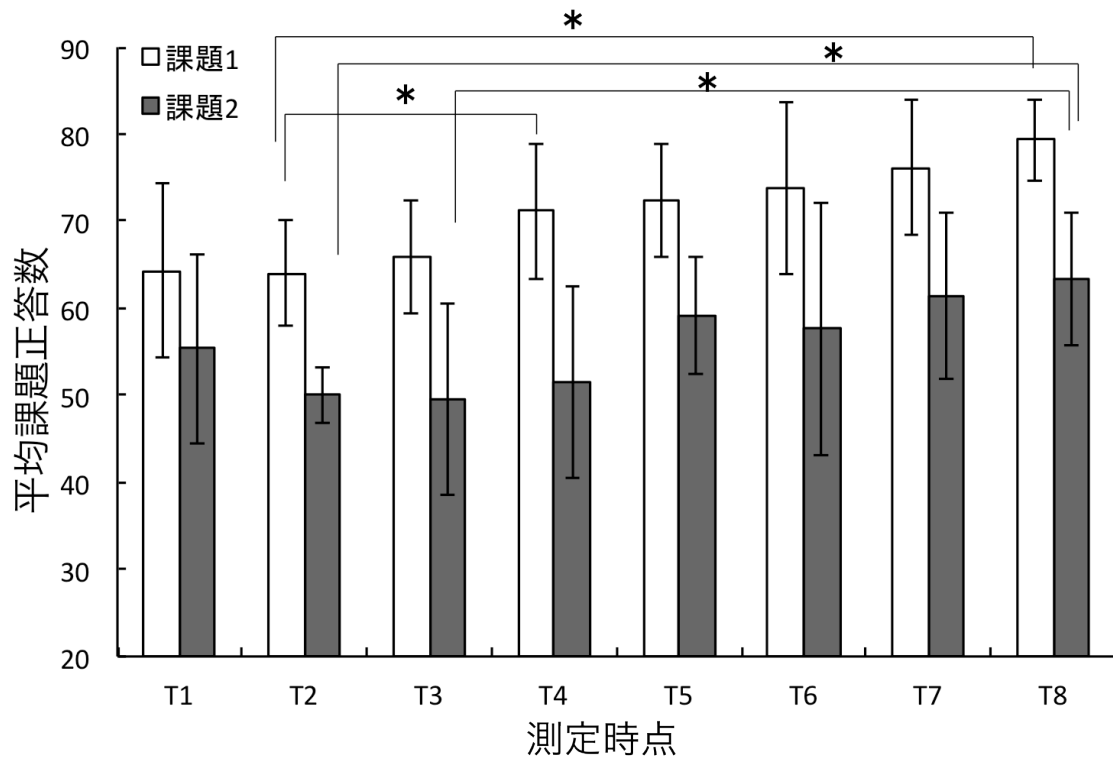


Figure 4-4. 水深 200m 実海面飽和潜水訓練中の課題 1 と課題 2 の正答数の変動 (N = 6). エラーバーは標準偏差を示す. \* $p < .05$ .

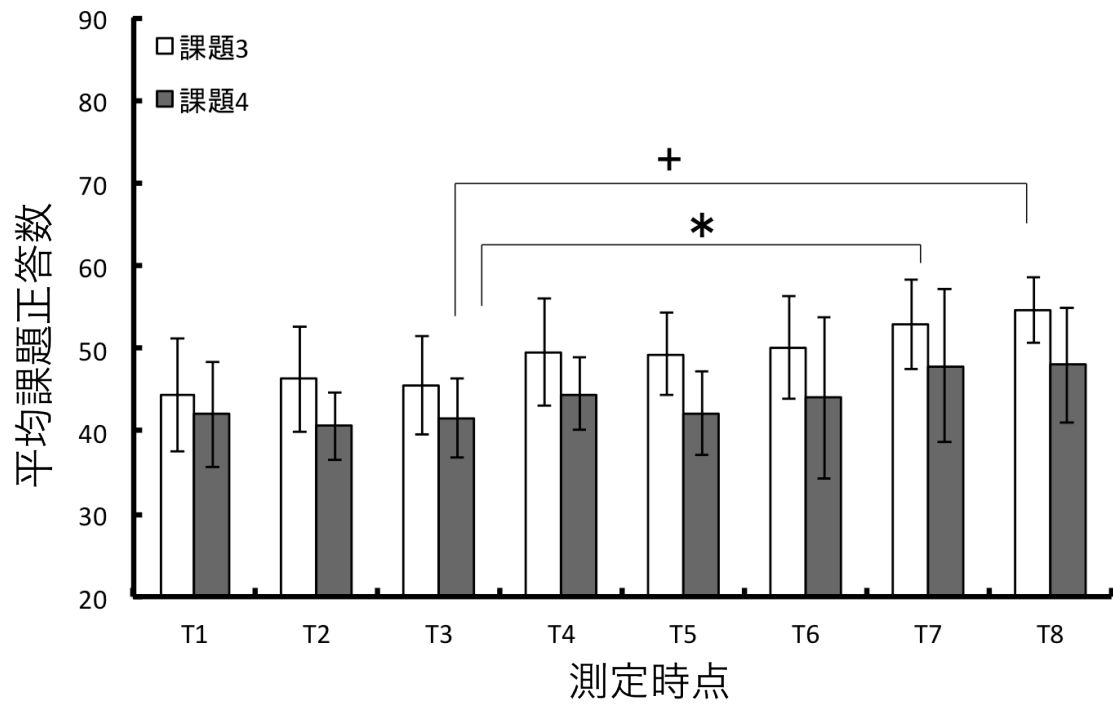


Figure 4-5. 水深 200m 飽和潜水訓練中の課題 3 と課題 4 の正答数の変動 ( $N = 6$ ). エラーバーは標準偏差を示す.  $*p < .05$ .  $+p < .10$

心理的ストレス 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 [DDC 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,  $F(8, 40)= 0.606, ns$ ;  $F(8, 40)=1.561, ns$ ;  $F(8, 40)= 1.504, ns$ ;  $F(8, 40)=1.261, ns$ ;  $F(8, 40)=0.950, ns$ ;  $F(8, 40) =0.121, ns$ ].

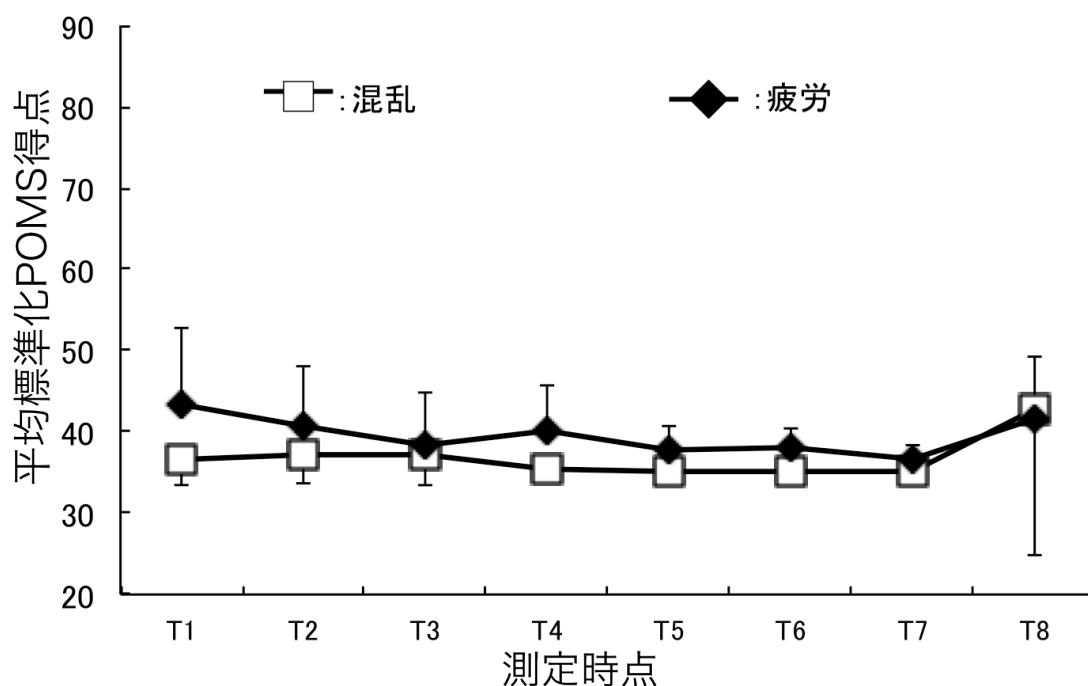


Figure 4-6. 訓練経過に伴う POMS 質問紙における混乱得点および疲労得点の変化 ( $N=6$ )。エラーバーは標準偏差を示す。なお一般人の変動範囲は標準化得点  $50 \pm 10$  点である。

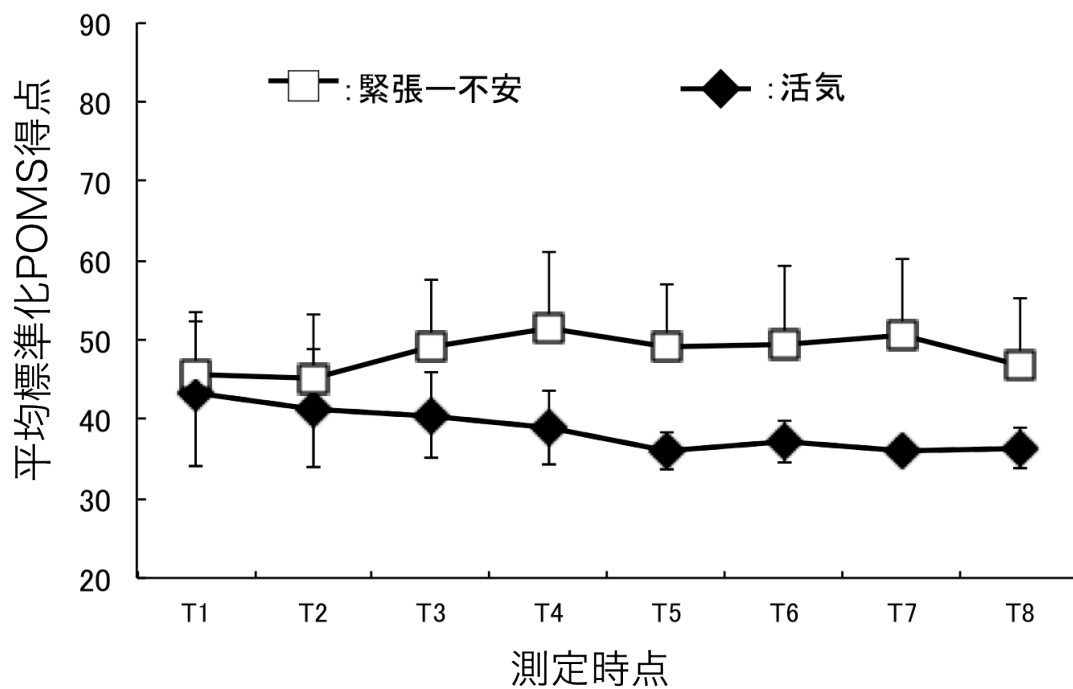


Figure 4-7. 訓練経過に伴う POMS 質問紙における緊張-不安得点および活気得点の変化 ( $N = 6$ )。エラーバーは標準偏差を示す。なお一般人の変動範囲は標準化得点  $50 \pm 10$  点である。



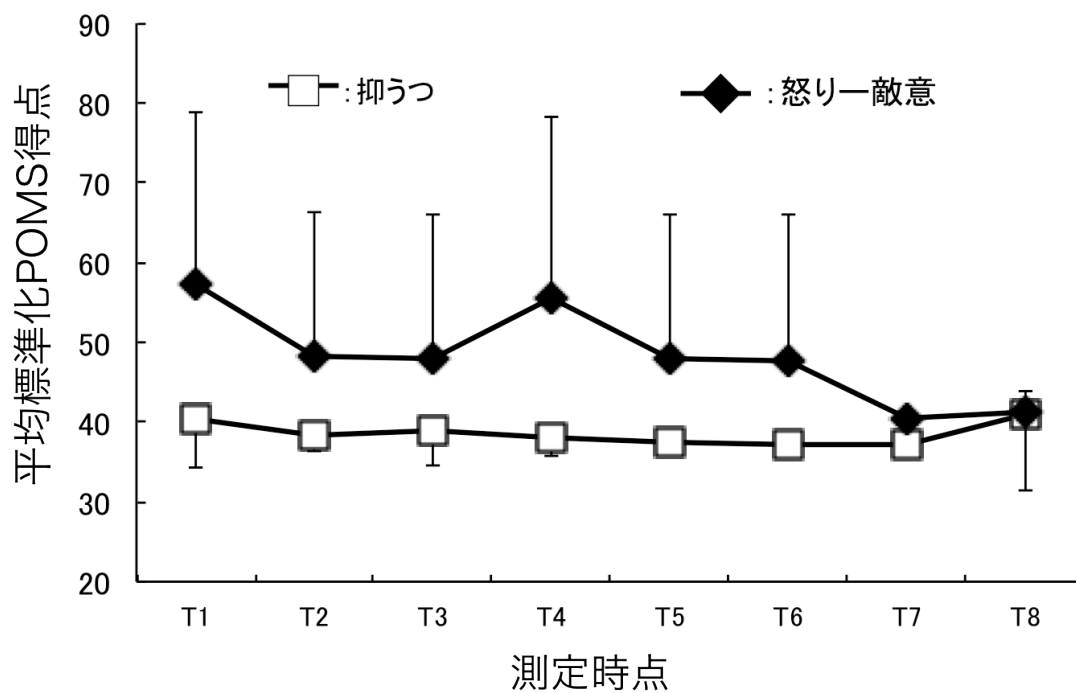


Figure 4-8. 訓練経過に伴う POMS 質問紙における抑うつ得点および怒り-敵意得点の変化 (N = 6) . エラーバーは標準偏差を示す. なお一般人の変動範囲は標準化得点  $50 \pm 10$  点である

GVA の各因子については、訓練経過に伴い上昇する傾向が見られ、GA は有意に訓練経過に伴い上昇した [GV, GA の順に,  $F(8, 40)=1.504, ns$ ;  $F(8, 40)=3.064, p < .05$ ] (Figure 4-9) .

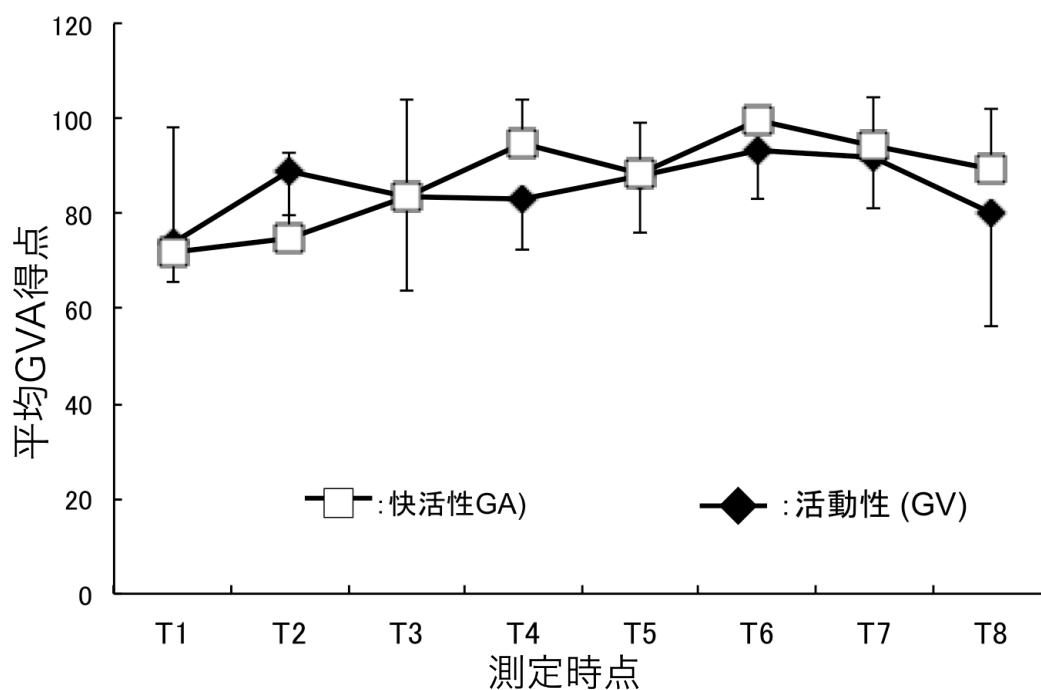


Figure 4-9. 訓練経過に伴う GVA 尺度の変化 ( $N = 6$ ) .エラーバーは標準偏差を示す.

本実験では、干渉率は一定であり、DDCの深度と干渉の種類との間に相互作用は見られなかった。ただ、課題正答数は、全ての課題で訓練開始から加圧終了までの間、1気圧で見られる正答数の増加は見られず、水深200m（21気圧）時（T3, T4）で最も少なくなった。本実験では、訓練期間中の心理状態の変化は見られなかった。以上から、本実験の課題正答数の変化は環境圧の上昇によって生じたことが示唆される。すなわち、実海面であっても飽和潜水中の認知機能は心理状態の変化ではなく、環境圧の影響を受けることを示唆している。

## 第5章 総合考察

## 5-1 はじめに

本研究の実験結果から、まず高圧環境での作業中の認知機能を変化させる要因について考察を行った。次に、本実験で認知機能の指標として用いたストループ干渉と逆ストループ干渉との違いから考察を行う。最後に、今後の展望として、本実験で用いたストループ干渉とワーキングメモリとの関連性から、高圧曝露の影響の個人差の検証の必要性を述べる。また、実験機器の進歩から高圧環境で実施可能な実験が増えたことを紹介し、高圧環境（DDC）内でも検討可能な認知機能の知見についてストループ干渉を中心に紹介する。

## 5-2 高圧曝露時の認知機能を変化させる要因

本研究では、1) 作業を行う海中の環境圧の大きさ、2) 飽和潜水期間中の作業員の心理状態の変化、3) 飽和潜水を実施する環境：模擬環境・実海面、そして4) 高圧神経症候群に連なる環境圧の上昇に着目して、高圧環境での認知機能を変化させる要因について検討した。本研究では認知機能の評価に新ストループ検査2（箱田・渡辺、2005）を用いた。さらに本研究では、これまでの研究で用いられてきた測定法の問題点を解消するために、十分なサンプルサイズで、安全かつ効率性が確立された飽和潜水訓練によって検討を行った。

本実験では、地上に比べての干渉率の増加は最大環境圧が45気圧飽和潜水時のみに見られた。こうした干渉率の増加は10気圧では見られず、実海面で実施した21気圧でも統計的に有意な変化は見られなかった（Table 2）。そして、本実験では心理状態の変化は飽和潜水の実施環境

(模擬環境・実海面)に関係なく見られなかった。以上から、高圧曝露時の認知能力を規定する最も重要な要因は、作業を行う海中の環境圧の大きさと環境圧の上昇であることが明らかになった。

Table 2. 本実験の干渉率と課題正答数

実験 最大環境圧	実施環境	回数	干渉率	課題正答数
実験2-2 1気圧	大学内の 実験室	5	変化なし 逆ストール干渉率> ストール干渉率	検査回数に比例して全ての課題で増加する
実験3 11気圧	模擬環境の DDC	5	変化なし 逆ストール干渉率> ストール干渉率 干渉の種類と環境圧との 交互作用なし	事前から加圧終了直後にかけては、全ての課題で増加せず それ以降は全ての課題で増加
実験4 21気圧	航海中の 艦艇内の DDC	8	変化なし 逆ストール干渉率> ストール干渉率 干渉の種類と環境圧との 交互作用なし	21気圧で課題2と課題4の正答数が最小となる それ以外の課題では事前から加圧終了直後にかけては、全ての課題で増加しない
実験2-1 45気圧	模擬環境の DDC	8	45気圧時に増加、31気圧以下まで減少せず 逆ストール干渉率> ストール干渉率 干渉の種類と環境圧との 交互作用なし	45気圧時に全ての課題で最小となる 環境圧が31気圧以下まで減圧すると増加する

本実験で干渉率の増加が見られた水深 440m (45 気圧) 飽和潜水訓練の実施環境は模擬環境であった。そして訓練参加の潜水員は、特殊訓練を受けた飽和潜水員であった。こうした模擬環境や特殊訓練を受けてきた経験は、高圧環境といった特殊環境での認知機能の低下を抑制することができると言われている (Suedfeld et al., 2000)。しかし、このよう

な個人差による認知機能の補正が働く可能性がある状況であっても干渉率は増加した。したがって、高圧環境では生理機能と同様に認知機能も環境圧という物理的要因による影響を受けることが示唆された。

### 5-3 スト룹干渉の種類と高圧曝露との関係

本研究では発生メカニズムや神経基盤が異なるスト룹干渉と逆スト룹干渉を用いて、高圧曝露による認知機能への影響について検討した。本研究では、実施した全ての環境に関係なく、逆スト룹干渉率がスト룹干渉率に比べて高かった (Table 2)。

スト룹干渉と逆スト룹干渉は、健常者では用いる反応様式によって干渉の大きさは変わるとされている (MacLeod, 1991)。一般的にスト룹干渉は口頭反応で干渉が大きくなり (Stroop, 1935)、逆スト룹はマッチング法で干渉が大きくなるとされている (Flowers, 1975; Durgin, 2000, 2003)。本研究で用いた新スト룹検査2は、反応様式がマッチング法によるものである。ただ、逆スト룹干渉は統合失調症や不安障害といった情動の抑制が関与する疾病患者で高くなるとされている (渡辺ら, 2013)。しかし、測定時のDDCの環境圧との間に交互作用は見られなかった。また期間中、不安や抑うつは喚起されなかった。従って、本研究に見られた逆スト룹干渉がスト룹干渉に比べて高くなった結果は、スト룹干渉と逆スト룹干渉の違いが想定しているようなメカニズムに高圧曝露の影響が局所的に作用しないことを示唆している。この結果は新スト룹検査2を健常者に実施した際に見られる反応様式の優位性がそのまま反映したものであると考え

られる。ただし、今回の結果のような干渉の種類によって干渉率の変化が非対称性となることについては、口頭反応で新ストループ検査を実施することで確認する必要がある。もし、高圧環境で新ストループ検査2を口頭反応で実施する際、ストループ干渉率が逆ストループ干渉率よりも高くなり交互作用がない場合は、上記の示唆を支持するものと考えられる。一方で、口頭反応で実施しても本研究と同様の結果が得られた場合は、環境圧の影響は認知機能の種類や脳の部位によって異なることを明らかにするものと考えられる。ただし、本研究では最大環境圧が45気圧時には2種類の干渉率は増加したことから、環境圧によって2種類のストループ干渉で測定できる選択的注意能力や認知機能全般は低下すると考えられる。

#### 5-4 今後の展望

**5-4-1 高圧曝露の影響の個人差** 本研究で用いた認知機能の指標として用いたストループ干渉は、本稿の冒頭でも述べた通りワーキングメモリと密接な関係があることが報告されている (MacDonald et al., 2000; Kane & Angle, 2003)。本研究の実験 2-1, 実験 3 ならびに実験 4 において、干渉率の個人差は大きかった。Kane and Angle (2003) はワーキングメモリの容量が大きい場合、ストループ干渉は小さくなることを明らかにした。この知見は、選択的注意能力に及ぼす環境圧の影響には個人差があることを示唆している。一方で高圧曝露とワーキングメモリとの関係について、Logie and Baddeley (1985) は、高圧曝露はワーキングメモリの働きを悪化させることを主張している。また潜水経験の個人差



によって、高圧曝露による認知能力への影響が異なることも報告されている (O'Reilly, 1974). よって、今後はワーキングメモリの容量や潜水経験の個人差に着目して、高圧曝露が認知機能に与える影響を検討する必要がある.

**5-4-2 タブレット端末による検証** Apple 社製の iPhone や iPad に代表される iOS 端末や、Google 社に代表される android 端末といったタブレット端末の急速な発展と普及は、心理学実験の新たな研究手法として注目されつつある (Dufau, Dunabeitia, Moret-Tatay et al., 2011; Turpin, Lawson, & McKendrick, 2014; Bajaj, Thacker, Heuman, et al., 2013). Dufau, Dunabeitia, Moret-Tatay et al. (2011) は、記憶の系列位置効果実験を実験室で実施した場合と iPhone 上で実施した場合で比較した結果、両者の測定精度は変わらなかったことを報告している. また、Turpin et al. (2014) は、iPad 上で階段法や恒常法による心理物理実験が実施できるアプリを開発し、世界中の研究者に向けて配布している. さらに、Bajaj, Thacker, Heuman, et al. (2013) は潜在性肝性脳症のスクリーニング用検査として、iOS 用のストループ検査アプリを開発し、その妥当性を確認している. この結果はストループ干渉がタブレット端末でも検出可能であることを示唆している. ただし、この研究で開発されたストループ検査アプリでは逆ストループを測定することはできず、現在配布されているアプリで 2 種類のストループ干渉を測定できるものはない. 今後、逆ストループ干渉を測定できるアプリを開発することによって、逆ストループ干渉と関連性が高い抑うつ (渡辺・箱田・松本, 2006) や注意欠陥・多動性障害 (Song & Hakoda, 2011) などの

精神疾患の簡易スクリーニング検査への応用が期待される。

このようなタブレット端末を実験に用いる利点として、まず世界各地から大量のデータを短時間に収集できることがある。上記の Dufau, Dunabeitia, Moret-Tatay et al. (2011)では、世界中から 4157 名のデータを収集した。次に挙げる利点としては、実験を行う場所に制限がないことである。これまで著者は、飽和潜水訓練を対象とした研究だけでなく、船舶の乗員の航海中の心理的ストレスと認知機能との関係についても研究を行っている（景山・小澤・中林，2013）。本研究を実施した DDC 内部とは異なり、景山ら（2013）が調査を実施した船舶には研究器材を設置するスペースもほとんどなく、個別実験を行えるような場所は当然ない。このような船舶であっても、大きさが 10 インチ程度のタブレット端末を用いることで容易に認知機能検査が実施できると考えられる。現在、著者は iPad と iPod touch が 100 気圧（1000m）まで使用可能であることを確認している。今後、飽和潜水による作業が行われる深海や南極観測、そして宇宙空間といった十分な訓練を積んだ人間しか行くことができない環境での認知機能検査に応用できると考えられる。

**5-4-3 パソコンを用いた厳密な実験条件の統制による検証** パソコンを用いた心理実験が標準的な実験方法として定着して久しい現代においても、高圧環境での心理実験は本研究で用いたような検査用紙が標準的な方法である。なぜなら、パソコンの電源バッテリーは高圧環境では発火する可能性があり、液晶ディスプレイは圧力変化によって故障する可能性があるからである（藤井・田地・大岡他，2013）。それに対し、近年の有機 EL ディスプレイは圧力変化に強く、飽和潜水中の DDC での

パソコンによる心理実験を可能にした(小沢・景山・只野・佐藤, 2014)。  
小沢ら(2014)は, DDCの外部に設置したパソコンと DDCの内部に設置した有機 EL ディスプレイを特殊な貫通部を通じて接続することによって実験を行った。この研究では, 約2週間の飽和潜水中, 一切の不具合もなく DDC内での記憶検査を実施することができた。この結果は, 検査用紙による方法では統制ができなかった刺激の提示時間や頻度, ならびに提示順序などの要因を変化させた実験が高圧環境であっても可能であることを示唆している。

ストループ干渉研究では近年, 色・色名一致語と色・色名不一致語の呈示頻度や呈示間隔, さらには前の試行との類似性の影響がストループ干渉に影響することが明らかになっている(Bryck & Mayr, 2008; Egner & Hirsch, 2004; West & Alain, 2000)。その一例として, Bryck and Mayr (2008)は, 色・色名不一致語の呈示頻度が低い場合, ストループ干渉は不一致語の呈示頻度が高い場合に比べて大きくなることを報告した。Bryck らの知見は, 潜水作業中に不測の事態が発生した際の選択的注意能力に対して有益な示唆を与えている。この知見の DDC内での追試は, より安全かつ効率的な潜水作業の遂行に大いに役立つと考えられる。潜水器材の操作が複雑化した現在において, 不測の事態が発生した際, 必要な情報のみに向け注意を向ける選択的注意能力の重要性が今まで以上に高まっている(Egstrom and Bachrach, 2004)。今後, パソコンやタブレット端末を用いて, より高圧環境での認知機能についてより実用性の高い知見が得られることが期待される。

## 引用文献

- Abbraini, 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.
- Amieva, H., Lafont, S., Rouch-Leroyer, I., Rainville, C., Dartigues, J. F., Orgogozo, J. M., & Fabrigoule, C. (2004). Evidencing inhibitory deficits in Alzheimer's disease through interference effects and shifting disabilities in the Stroop test. *Archives of Clinical Neuropsychology*, **19**, 791-803.
- Axelrod, B. N, & Milner, I. B. (1997). Neuropsychological findings in a sample of operation desert storm veterans. *The Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*, **9**, 23-28.
- Atkinson, C. M., Drysdale, K. A., & Fulham, W. R. (2003). Event-related potentials to Stroop and reverse Stroop stimuli. *International Journal of Psychophysiology*, **47**, 1-21.
- Bachrach, A. J., & Egstroom, G. H. (1987). *STRESS and Performance in Diving*. California: Best Publishing.
- (Bachrach, A. J., & Egstroom, G. H. 関邦宏・眞野喜洋 (監訳)  
(1988). *ダイバーとパニック* 井上書院)
- Baddeley, A. D. (1972). Selective attention and performance in dangerous environments. *British Journal of Psychology*, **63**,

537-546.

- Badzakova-Trajkov, G., Barnett, K. J., Waldie, K. E., & Kirk, I. J. (2009). An ERP investigation of the Stroop task: The role of the cingulate in attentional allocation and conflict resolution. *Brain Research*, **1253**, 139-148.
- Bajaj, J. S., Thacker, L. R., Heuman, D. M. et al. (2013). The stroop smartphone application in a short and valid method to screen for minimal hepatic encephalopathy. *Hepatology*, **58**, 122-1132.
- Bennett, P. B., & Towse, E. J. (1971). The high pressure nervous syndrome during a simulated oxygen-helium dive to 1500ft. *EEG Clinical Neurophysiology*, **31**, 383-391.
- Bennett, P. B. (1975). The high pressure nervous syndrome. In Bennett, P. B., & Elliott, D. H. (Eds). *The physiology and medicine of diving and compressed air work*. London: Bailliere Tindall, pp249-263.
- Bennett, P. B., Coggin, R. L, & MacLeod, M. (1982). Effect of compression rate on use of trimix to ameliorate HPNS in man to 686m (2250ft). *Undersea Biomedical Research*, **9**, 335-351.
- 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*. Fifth ed. London: Saunders, pp. 323-357.
- Biresner, R. J., & Cameron, B. J. (1970a). Cognitive performance during a 1000-foot helium dive. *Aero Space Medicine*, **41**, 918-920.

- Biresner, R. J., & Cameron, B. J., (1970b). Memory impairment during a deep helium dive. *Aerospace Medicine*, **41**, 658-660.
- Booth, R., & Sharma, D. (2009). Stress reduces attention to irrelevant information: Evidence from the Stroop task. *Motivation and Emotion*, **33**, 412-418.
- Bryck, R. L., & Mayr, U. (2008). Task selection cost asymmetry without task switching. *Psychonomic Bulletin & Review*, **15**, 128-134.
- Critchley, H. D., Mathias, C. J., Josephs, O., O' Doherty, J., Zanini, S., Dewar, B. K., Cipolotti, L., Shallice, T., & Dolan, R. J. (2003). Human cingulate cortex and autonomic control: converging neuroimaging and clinical evidence. *Brain*, **10**, 2139-2152.
- Carter, R. C. (1979). Mental abilities during a simulated dive to 427 meters underwater. *Journal of Applied Psychology*, **64**, 449-454.
- Dufau, S., Dunabestia, J.A., Moret-Totay, C. et al. (2011). Smart phone, smart science: How the use of smartphones can revolutionize research in cognitive science. *PloS one*, **6**, 1-3.
- Durgin, F. H. (2000). The reverse Stroop effect. *Psychonomic Bulletin & Review*, **7**, 121-125.
- Durgin, F. H. (2003). Translation and competition among internal representation in a reverse Stroop effect. *Perception & Psychophysics*, **65**, 367-378.
- Dyer, F. N. (1973). The Stroop phenomenon and its use in the study of perceptual, cognitive and response processes. *Memory & Cognition*, **1**, 106-120.

- Egner, T., & Hirsch, J. (2004). The neural correlates and functional integration of cognitive control in a Stroop task. *Neuroimage*, **24**, 539-547.
- Egstrom, G. H., & Barhrach, A. J. (2004). Human performance underwater. In Bove, A. A. (Eds). *Bove and Davis's Diving Medicine 4<sup>th</sup> edition*. Philadelphia: Saunders, pp327-341
- Ekstrom, R. B., French, J. W., Harman, H. H., & Derman, D. (1976). Manual for kit of reference test for cognitive factors. Princeton: Educational Testing Service.
- Flowers, J. H. (1975). "Sensory" interference in a word-color matching task. *Perception & Psychophysics*, **18**, 37-43.
- Fowler, B., Ackles, K. N., & Porier, G. (1985). Effects of inert gas narcosis on behavior—a critical review. *Undersea Biomedical Research*, **12**, 369-402.
- French, J. W., Ekstrom, R. B., & Price, L. A. (1963). Manual for kit of reference test for cognitive factors. Princeton: Educational Testing Service.
- Fructus, X. R., Atarate, C., Naquet, R., & Rostain, J. C. (1976). Postponing the high pressure nervous syndrome (HPNS) to 1640 feet and beyond. In Lambertsen, C. J. (Eds). Proceedings of the Vth Symposium on Underwater Physiology. Bethesda: Federation of American Societies for Experimental Biology, pp21-33.
- 合志清隆・玉木秀樹・石竹達也・山見信夫・眞野喜洋 (2008). 高気圧作業安全衛生規則と労働災害 産業衛生会雑誌, **50**, A31-A33.
- (Goshi, K., Tamaki, H., Ishitake, T., Yamami, N., & Mano, Y.)

藤井茂範・田地一欽・大岡綾奈他 (2013). 第2種高気圧治療装置内における各種医療機器の作動状況について 日本高気圧環境・潜水医学会雑誌, **48**, 323.

(Fujii, S., Tachi, K., Ooka, A. et al)

藤家 肇・関 邦宏・中山英明・佐藤方彦 (1979). ヘリウム酸素混合ガス環境下 (31ATA) のヒトの作業能力について 日本人間工学会第20回大会論文集, 284-285.

(Fujiie, H., Seki, K., Nakayama, H., Sato, Y.)

Hamilton, R. W. (1976). Psychomotor performance of men in neon and helium at 37 atmospheres. In C. J. Lambersten. (Ed), *Underwater physiology V Proceedings of the fifth symposium on underwater physiology*. Bethesda, Md: Federation of American Societies for Experimental Biology.

箱田裕司・佐々木めぐみ (1990a). 集団ストロープ・逆ストロープ検査——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・佐々木めぐみ (1990b). 「新ストロープ検査」における二種の干渉と反応様式. カウンセリング学科論集/九州大学教養部カウンセリング学科, **5**, 69-81.

(Hakoda, Y., & Sasaki, M.)

箱田裕司・渡辺めぐみ (2005). 新ストロープ検査 2 トーヨーフィジカ



ル

(Hakoda, Y., & Watanabe, M.)

Hathaway, S. R. & McKinley, J. C. (1943). *The Minnesota multiphasic personality inventory* (2nd ed.). Minneapolis, MN, US: University of Minnesota Press.

今田徹 (2011). 都市トンネル技術の現状と技術開発 *JICE report*, **19**, 67-73.

(Imada, T.)

石井道夫 (2005). 日本の土木工事における高気圧作業と減圧要領 日本高気圧環境・潜水医学会雑誌, **40**, 25-35.

(Ishi, M. (2005). Evolutions of compressed air work and decompression procedures in Japanese civil engineering. *The Japanese Journal of Hyperbaric and Undersea Medicine*, **40**, 25-35.)

Kageyama, N., Ozawa, K., & Hakoda, Y. (2009, June). *The effect of an acute environmental change on cognitive dysfunction in hyperbaric environment*. Poster session presented at the SARMAC Annual Scientific Meeting, Kyoto, Japan.

景山望・小澤浩二・中林和彦 (2013). 潜水艦行動時における労働時間帯と乗員の認知能力との関連 潜水医学実験隊報告, **29**, 45-48.

(Kageyama, N., Ozawa, K., & Nakabayashi, K.)

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.

Kahneman, D., & Treisman, A. (1984). Changing views of attention and automaticity. In R. Parasuraman & D. R. Davis (Eds.), *Varieties of attention*. London: Academic Press.

海洋科学技術センター (1985). 各国の潜水作業安全基準要約集 海洋科学技術センター

Kane, M.J., & Engel, R. W. (2003). Working-Memory Capacity and the control of Attention: The Contributions of Goal Neglect, Response Competition, and Task Set to Stroop Interference. *Journal of Experimental Psychology: General*, **132**, 47-70.

鹿島晴雄 (1995). 前頭葉症状と神経心理学的評価 脳と精神の医学, 6, 145-154.

(Kashima, H. (1995). Frontal lobe symptoms and neuropsychological assessment. *Japanese Journal of Biological Psychiatry*, **6**, 145-154.)

Klimesch, W. (1999). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Research Reviews*, **29**, 169-195.

Lamers, M. J. M., & Roelofs, A. (2007). Role of Gestalt grouping in selective attention: Evidence from the Stroop task. *Perception & Psychophysics*, **69**, 1305-1314.

Lanius, R. A., Williamson, P. C., Hopper, J, Densmore, M., Boksman, K., Gupta, M. A., Neufeld, R. W. J., Gati, J. S., & Menon, R. S. (2003). Recall of emotional states in posttraumatic stress disorder: An fMRI investigation. *Biological Psychiatry*, **53**,

204-210.

- La Pointe, L. B., & Engle, R. W. (1990). Simple and complex word spans as measures of working memory capacity. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **16**, 1118-1133.
- Lemarie, C., & Murphy, E. L. (1976). Longitudinal study of performance after deep compressions with heliox and He N<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>. *Undersea Biomedical Research*, **3**, 205-216.
- Le Pechon, J. CL. & Gourdon, G. (2010). Compressed-air work is entering the field of high pressures. *Undersea Hyperbaric Medicine*, **37**, 193-198.
- Lewis, V. J., & Baddeley, A. D., (1981). Cognitive performance, sleep quality and mood during deep oxyhelium diving. *Ergonomics*, **24**, 773-793.
- Lieberman, H. R., Bathalon, G. P., Falco, C. M., Morgan, C. A., Niro, P. J., & Tharion, W.J. (2005). The fog of war: decrement in cognitive performance and mood associated with combat-like stress. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, **76**, C7-14.
- Liston, C., McEwenb, B. C., & Casey, B. J. (2009). Psychosocial stress reversibly disrupts prefrontal processing and attentional control. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **106**, 912-917.
- 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.

- Logie R. H., & Baddeley A. D. (1983). A trimix saturation dive to 660m: Studies of cognitive performance, mood and sleep quality. *Ergonomics*, **26**, 359-374.
- Logie R. H., & Baddeley A. D. (1985). Cognitive performance during simulated deep-sea diving. *Ergonomics*, **28**, 731-746.
- Matthews, S. C., Paulus, M. P., Simmons, A. N., Nelesen, R. A., & Dimsdale, J. E. (2004). Functional subdivisions within anterior cingulate cortex and their relationship to autonomic nervous system function. *Neuroimage*, **22**, 1151-1156.
- MacDonald, A. W., Cohen, J. D., Stenger, V. A., & Carter, C. S. (2000). Dissociating the role of the dorsolateral prefrontal and anterior cingulate cortex in cognitive control. *Science*, **288**, 1835-1838.
- MacLeod, C. M. (1991). Half a century of research on the Stroop effect: An integrative review. *Psychological Bulletin*, **109**, 163-203.
- MacLeod, C.M (1998). Training on integrated versus separated Stroop tasks: The progression of interference and facilitation. *Memory & Cognition*, **26**, 201-211.
- MaCaffrey, R. J., Ortega, A., Orsillo, S. M. Nelles, W. B., & Hasse. (1992). Practice effects in repeated neuropsychological assessment. *The Clinical Neuropsychologist*, **6**, 32-42.
- MacLeod, C. M., & MacDonald, P. A. (2000). Inter-dimensional interference in the Stroop effect: Uncovering the cognitive and neural anatomy of attention. *Trends in Cognitive Sciences*, **4**, 383-391.

- 松本亜紀・野口副武・赤間秀夫・箱田裕司 (2011). 激しい運動は注意機能に影響を及ぼすのか? スポーツ心理学研究, **38**, 99-108.
- (Matsumoto, A., Noguchi, S., Akama, H., & Hakoda, Y. (2011). Dose strenuous physical exercise influence the attentional function? *Japanese Journal of Sports Psychology*, **38**, 99-108.)
- McNair, D. M., Lorr, M., & Droppleman, L. F. (1971). *Profile of Mood States*. San Diego, CA: Educational and Industrial Testing Service.
- Miles, S. (1962). UNDERWATER MEDICINE 3<sup>rd</sup> edition London: Staples Press.
- (スタンリー・マイルズ 町田喜久雄 (監訳) (1971). 潜水医学入門 東京大学出版会)
- Monk, T. H. (1989). A visual analog scale technique to measure global vigor and affect. *Psychiatry Research*, **27**, 89-99.
- Monk, T. H., Buysse, D., Reynolds, C., Berga, S., Jarrett, D., Begley, A., & Kupper, D. (1997). Circadian rhythms in human performance and mood under constant conditions. *Journal of Sleep Research*, **6**, 9-18.
- 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.
- Moyer, R. S., & Bayer, R. H. (1976). Mental comparison and the symbolic distance effect. *Cognitive Psychology*, **8**, 228-246.
- Mulcahy, M. (1976). Commercial diving: new developments combat lower demands. *Sea Technology*, **1**, 10.

- 中山英明 (1988). 高圧生理学の歴史 高圧生理学 関邦宏・坂本和義・山崎昌廣 (編) 朝倉書店 pp. 1-6.  
(Nakayama, H.)
- 永嶋英俊 (2002). 浅海域飽和潜水環境が睡眠に及ぼす影響 九州大学大学院芸術工学研究院博士論文 (乙第17号)  
(Nagashima, H.)
- 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](http://www.supsalv.org/00c3_publications.asp?destPage=00c3&pageId=3.9)> (May 1, 2014)
- 日本圧気技術協会 (2014). ニューマチックケーソン年度毎実績表 <<http://www.pneumatic.gr.jp/files/jisseki130901.pdf>> (November, 23, 2014)
- O'Reilly, J. P. (1974). Performance decrements under hyperbaric He-O<sub>2</sub>. *Undersea Biomedical Research*, **1**, 353 - 361.
- O'Reilly, J. P. (1977). Hana Kai 2: a 17-day dry saturation dive at 18.6ATA. 4: Cognitive performance, reaction time, and personality changes. *Undersea Biomedical Research*, **4**, 297-305.
- Ozawa, K., & Tatsuno, J. (1989). Continuous changes in electroencephalographic topograms and auditory reaction time during simulated 21 ATA (Atmospheres Absolute) heliox saturation dives. *The Annals of Physiological Anthropology*, **8**, 247-266.

小沢浩二・西野英晴 (1990). 高圧ヘリウム酸素混合ガス環境下で出現する Fm  $\theta$  の特徴 臨床脳波, **32**, 85-90.

(Ozawa, K., & Nishino, H. (1990). Characteristics of frontal midline theta activity under hyperbaric heliox environment. *Clinical electroencephalography*, **8**, 85-90.)

小澤浩二 (2012). 世界の飽和潜水の現状 潜水医学実験隊報告, **28**, 18-40.

(Ozawa, K., (2012). Saturation diving in the world. *The Reports of JMSDF Undersea Medical Center*, **28**, 18-40)

小澤浩二 (2013). 各国海軍の潜水艦救難法-飽和潜水との関係- 潜水医学実験隊報告, **29**, 10-33.

(Ozawa, K., (2013). Submarine rescue methods adopted by navies of major countries. *The Reports of JMSDF Undersea Medical Center*, **29**, 10-33)

小澤浩二 (2014). Personal communication, November 19, 2014.

(Ozawa, K., (2014). Personal communication, November 19, 2014.)

小沢浩二・景山望・只野豊・佐藤道哉 (2014). 200m 飽和潜水が記憶機能に及ぼす影響 防衛衛生, **61**, 129.

(Ozawa, K., Kageyama, N., Tadano, Y., & Sato, M.)

小澤浩二 深深度飽和潜水が記憶機能に及ぼす影響 日本高気圧環境・潜水医学会雑誌. 印刷中.

(Ozawa, K.)

Paivio, A. (1971). *Chronometric explorations of mind*. New York:

Oxford University Press.

- 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**, A29-36.
- Palinkas, L. A. (2001). Psychosocial issues in long-term space flight: overview. *Gravitational and Space Biology Bulletin*, **14**, 25-33.
- Rostain, J. C., Gardette, M. C., & Gardette, B. (1994). HPNS during a deep hydrogen-helium-oxygen dive up to 701 meters. *Undersea Hyperbaric Medicine*, **21**, 40.
- Ruff, C. C., Woodward, T. S., Laurens, K. R., & Liddel, P. F., (2001). The role of anterior cingulate cortex in conflict processing: evidence from reverse Stroop interference. *Neuroimage*, **14**, 1150-1158.
- 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.
- Spijkers, W. A. C. (1994). Cognitive performance changes in a dry hyperbaric environment equipment to 180 meters of seawater. In Brookhuis, K. A., Weikert, C., & Cavonius, C. R. (Eds). *Training and Simulation Proceedings of the HFES Europe Chapter annual*



*meeting*. Dortmund: The Traffic Research Centre, pp31-46.

坂本和義 (1988). 高圧下の呼吸用希釈ガスの生理作用 高圧生理学 関

邦宏・坂本和義・山崎昌廣 (編) 朝倉書店 Pp. 59-67.

(Sakamoto, K)

関 邦宏 (1988). 高圧生理学の基礎 高圧生理学 関邦宏・坂本和義・

山崎昌廣 (編) Pp. 7-24.

(Seki, K.)

篠崎和弘・辻富基美 (2009). 3 注意と認知機能 精神疾患と認知機能研

究会 (編) 精神疾患と認知機能 新興医学出版社 pp55-61.

(Shinozaki, K., & Tsujitomi, M.)

芝山正治 (2009). 圧気土木作業における減圧症の発症率 駒沢女子大学,  
16, 79-86.

(Shibayama, M. (2009). Research on the incidence of  
decompression sickness in compressed air work. *The Faculty  
Journal of Komozawa women's University*, 16, 79-86.)

Sharma, D., & McKenna, F. P. (2001). The role of time pressure on the  
emotional Stroop task. *British Journal of Psychology*, 92,  
471-481.

佐々木めぐみ・箱田裕司・山上龍太郎 (1993). 逆ストロープ干渉と精神  
分裂病—集団用ストロープ・逆ストロ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.)

Song, Y., & Hakoda, Y. (2011). An Asymmetric Stroop/reverse-Stroop interference phenomenon in ADHD. *Journal of Attention Disorders*, **15**, 499-505.

宋 永寧・箱田裕司 (2011). パソコンを用いた新ストロープ・逆ストロープテスト作成および実施効果 認知心理学研究, **9**, 19-26.

(Song, Y., & Hakoda, Y. (2011). Development and practice effect of a new computer-based Stroop/reverse-Stroop test. *The Japanese Journal of Cognitive Psychology*, **9**, 19-26.)

Spielberger, C. D. (1975). Validation of the state-trait distinction in anxiety research. *Multivariate Behavioral Research*, **10**, 331-341.

Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, **18**, 643-662.

Suedfeld, P., & Steel, G. (2000). The environmental psychology capsule habitats. *Annual Review of Psychology*, **51**, 227-253.

Swick, D., & Jovanovic, J. (2002). Anterior cingulate cortex and the Stroop task: neuropsychological evidence for topographic specificity. *Neuropsychologia*, **40**, 1240-1253.

Townsend, R. E., & Hall, D. A. (1978). Sleep, mood, and fatigue during a 14-day He-O<sub>2</sub> open-sea saturation dive to 850 fsw with excursions to 950fsw. *Undersea Biomedical Research*, **5**, 109-117.

Turpin, A., Lawson, D. J., & McKendrick, A. M. (2014). PsyPad: A platform for visual psychophysics on the iPad. *Journal of Vision*, **14**, 1-7.

田淵 肇・加藤元一郎 (2010). 遂行機能と認知機能 精神疾患と認知機

能研究会（編）精神疾患と認知機能 新興医学出版社 pp79-81.

(Tabuchi, H., & Kato, M.)

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.)

渡辺めぐみ・箱田裕司・松本亜紀（2013）. 新ストロープ検査は注意機能の臨床評価ツールとなりうるか？ 九州大学心理学研究 14, 1-8.

(Watanabe, M, Hakoda, Y., & Matsumoto, A. (2013). Advantage of the Stroop and Reverse-Stroop Test in clinical assessments of attentional function. *Kyushu University Psychological Research*, 14, 1-8.)

West, R., & Alain, C. (2000). Effects of task context and fluctuations of attention on neural activity supporting performance of the Stroop task. *Brain Research*, 873, 102-111.

Wechsler, D. (1945). A standard memory scale for clinical use. *Journal of Psychology*, 19, 87-95.

Wechsler, D. (1981). *WAIS-R Manual*. New York: Psychological Corporation.

Williams, J. M. G., Mathews, A., & MacLeod, C. (1996). The emotional Stroop task and psychopathology. *Psychological Bulletin*, 120, 3-24.

横山和仁（1994）. 日本語版 POMS の手引き 金子書房

(Yokoyama, K.)

## 謝 辞

本研究を進めるにあたって、様々な方々のご指導と暖かきご支援を賜り誠にありがとうございました。この場をお借りして、心から厚く御礼申し上げます。

私が修士課程の入学時から暖かく時には厳しくご指導していただきました九州大学准教授 光藤宏行先生には、心から感謝申し上げます。研究に行き詰まり、半ば学位取得を諦めていた私の背中を「論文出そう、見るから。」と押してくださらなかったら、本研究をまとめることはできなかったと思います。

日々の研究業務でお忙しい中、快く本稿の副査を引き受けてくださり、的確なアドバイスをいただきました九州大学教授 三浦佳世先生、同じく九州大学教授 中村知靖先生、同じく九州大学准教授 佐々木玲仁先生には心より御礼申し上げます。

修士課程を中退し、研究職として海上自衛隊潜水医学実験隊に入隊したものの、何をやったらいいのか分からなかった私を、時には指導者としてそして時には共同研究者としてサポートしていただいた海上自衛隊潜水医学実験隊 前任主任研究官 小澤浩二先生ならびに中林和彦先生には心から御礼申し上げます。

九州大学大学院人間環境学研究院 学術共同研究員 松本亜紀様ならびに渡辺めぐみ様には、論理が飛躍しがちな私の研究相談をいつも真摯に聞いてくださり、的確なアドバイスをしていただいたこと、誠に感謝申し上げます。

海上自衛隊舞鶴病院 病院長 只野豊先生ならびに海上自衛隊潜水医

学実験隊衛生科 磯辺洋子様には、ここ数年の原因不明の体調不良で心身ともに疲弊していた私を手厚くフォローしていただいたこと、心から御礼申し上げます。

修士中退で入隊した私に社会人博士課程入学のチャンスを与えてくださいました海上自衛隊海上幕僚監部衛生企画室の皆様には心から厚く御礼申し上げます。

私を社会人博士課程へ快く送り出していただき、潜水医学実験隊に復帰後も様々なサポートをしていただきました海上自衛隊潜水医学実験隊元司令 平田文彦先生(現自衛隊中央病院 副病院長)、佐藤道哉先生(現海上自衛隊海上幕僚監部主席衛生官)ならびに海上自衛隊潜水医学実験隊 現司令 井上公俊先生には厚く心から御礼申し上げます。

厳しい飽和潜水訓練の中、実験に快く協力してくださった海上自衛隊所属の飽和潜水員の皆様には、心から感謝申し上げます。

箱崎での博士課程在籍中、実験プログラムのご相談などでお世話になりました九州大学文学部心理学研究室 技術専門職員 黒木大一郎様には心から感謝申し上げます。

ある日突然博士課程に入学して来た私を、快く受け入れてくださり、楽しくかつ有意義な時間を過ごさせていただいた文心大学院生、学部生には心から感謝申し上げます。

最後に、修士課程を中退して就職することに悩んでいた私を、学位は就職してからでも取れるからと背中を押してくださり、潜水医学実験隊入隊後も、ストループ検査の紹介や研究相談に載っていただいた京都女子大学 教授 箱田裕司先生には心から深く感謝申し上げます。