

令和元年6月18日現在

機関番号：33918

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2018

課題番号：15K13164

研究課題名(和文)水中環境における空間認識：知覚・認知・行動実験によるマルチレベルアプローチ

研究課題名(英文) Recognition of space in an underwater environment: multilevel investigation employing perception, cognition and behavioral experiments

研究代表者

中村 信次 (NAKAMURA, Shinji)

日本福祉大学・全学教育センター・教授

研究者番号：30351084

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：水中環境における空間認識の様相を知覚、認知、行動実験により検討した。水中での視覚心理実験を可能とする刺激提示装置を新規に開発し、水中での視覚誘導性自己運動知覚実験により、空間定位における視覚・平衡感覚間情報統合の陸上・水中間での差異を検討した。実験の結果、加速度運動を含む視覚刺激に対する応答が水中では陸上とは有意に異なるなど、水中環境での感覚統合の特異性が示唆された。また、ダイバーのナビゲーション行動の分析により、水中経験の少ない状況においては陸上での空間探索スキルに依存して水中移動を行うが、水中環境での活動経験の増大に従い水中活動独自の空間探索スキルが段階的に形成されることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

水中での視覚刺激提示を可能とする装置を新たに開発し、それまで実現が不可能であった水中での視覚心理実験を実施した。実験の結果、我々の空間認識の基礎となる視覚情報と平衡感覚情報の統合の様相が、陸上と水中では大きく異なることを見出した。また、空間探索行動に用いられるスキルが、水中環境での活動経験の増大に伴い、一般的なものから、水中環境に特化したものに変化することを見出した。これらの成果は、これまで未着手であった水中での空間認識の実験心理学的検討を体系的に実施するための研究枠組みを提供するものである。これを活用し、新規環境への行動的適応の過程を、詳細に分析することが可能になることが期待される。

研究成果の概要(英文)：Spatial recognition in an underwater environment was investigated employing perceptual, cognitive and behavioral experiments. Differences of visuo-vestibular information integration was examined by psychophysical experiments concerning visually induced self-motion perception. The results of the experiments indicate that perceptual responses against the visual stimulus which contains sustained visual acceleration significantly differed between the underwater and normal environments, suggesting that perceptual process responsible for sensory integration, which would be a foundation of human spatial recognition, should be quite unique in the underwater. Furthermore, behavioral analysis of underwater navigation of divers demonstrated that novice divers locomote based on spatial skills which they usually utilized in an onshore environment, whereas skilled divers gradually developed spatial skills specialized for an underwater environment with increased underwater experiences.

研究分野：知覚心理学

キーワード：水中環境 空間認識 自己運動知覚 方向感覚

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

我々の行動の基礎となる空間認識は、日常活動場面である標準重力(1G)環境に最適化されたものであり、我々は視覚、平衡感覚をはじめとする多様な感覚情報を1G環境下で適切に統合することにより、正しく自己の身体の定位を行うことができる。我々は日常環境においてはほぼ正確に自己の置かれた空間を正しく認識することができるため、1G環境下での分析のみでは、空間認識を十分に検討することは不可能である。日常環境と異なる感覚経験を与える、いわば「異環境(新奇環境)」における空間認識の様相、さらにはそれに対する適応の過程を分析することにより、初めて我々の優れた空間認識プロセスの詳細を十分に理解することが可能となる。すなわち、日常環境において十全に機能している空間認識の検討を行う際に、新奇環境を用いてその一部を機能不全にさせるといふ、いわば「機能的破壊実験」を行うことが必要となる。この様な認識に鑑み、これまで、宇宙空間における無重力環境、もしくは放物線飛行中の微小重力環境における空間認識機能を分析する実験がなされてきた。しかしながら、宇宙空間における実験には莫大な費用が掛かるとともに、実施できる実験に制約が多い。また、放物線飛行による微小重力環境は数分間程度に持続時間が限定され、新奇環境への順応過程を分析することは難しい。そこで、日常場面とは異なる多感覚経験を与えながら、より容易に新奇環境での検討を可能とする「水中環境」を用いて、知覚、認知、行動の3つのレベルから空間認識機能を体系的に検討することとした。

2. 研究の目的

上記の課題を解決するため、本研究計画においては、水中での空間認識に関し、知覚、認知、行動の3つの異なるレベルからの一貫検討を体系的に行うことを可能とする実験的検討のフレームワークを構築することを目的とした。具体的には、1)水中での視覚心理実験を可能とする刺激提示装置の開発、2)水中視覚刺激提示装置を用いた水中での視覚誘導性自己運動知覚の分析、3)水中での空間認知・方向感覚(ナビゲーション感覚)を測定することを可能とする心理尺度の構築、4)ダイビング中の空間探索行動の分析方法の検討、を実施することとした。

3. 研究の方法

1) 水中視覚刺激提示装置の開発

自己空間定位に関わる多感覚統合の様相を新たな角度から検討するために、水中での視覚心理実験を可能とする複数の方式の水中視覚刺激提示装置の検討と試作を行い、それぞれの長所、制約を確認した。

2) 水中での視覚誘導性自己運動知覚の分析

1)で開発した水中視覚刺激提示装置を用い、観察者に水中で様々な特徴を持つ広域視覚刺激運動を観察させた場合に生じる自己運動感覚の強度を分析することにより、自己空間定位における感覚間相互作用(特に視覚-平衡感覚間情報統合)の様相の陸上-水中間での差異を検討した。観察者は、水中マスクを装着した状態で、ディスプレイに提示される視覚刺激を30秒間観察し、刺激提示期間中に感じた自己の身体の運動の強さを刺激提示終了後に量推定法を用いて報告した。実験参加者は、成人男性5名(筆者を含む)であった。筆者以外の実験参加者は、いずれも競泳選手もしくは水泳指導者であり、水中での課題遂行に熟練していた(年齢27歳~51歳)。

3) 水中ナビゲーション感覚尺度の構築

職業ダイバー、レクリエーションダイバーに対するグループインタビューを複数回実施し、水中での移動、ナビゲーション感覚に関するエピソードとして多くの対象者に共通して経験される、もしくは共通して理解可能な項目を選出し、尺度項目素案とした。96名のダイビング経験のある成人回答者に項目素案に対する評定を求め、信頼性分析、因子分析等を行い、水中ナビゲーション感覚尺度(Sense of Underwater Navigation; SUN尺度)を策定した。通常の方角感覚に関する心理尺度として一般的に用いられる方角感覚質問紙簡易版(Sense of Direction Questionnaire-Short version: SDQ-S)との対比により、陸上での方角感覚と水中でのナビゲーション感覚との特徴の差異を検討した。

4) 水中移動時の空間探索行動の分析

ダイビング中のダイバー(“ガイド”と呼ばれるグループを先導するダイバー)の経路判断や方位認識などに関する空間探索行動を、それをビデオ画像に撮影することによって分析した。ダイバーの行う空間探索行動を複数の行動カテゴリに分類し、その生起頻度を種々の条件下(ダイビング環境やダイバーのダイビング経験など)で比較した。

4. 研究成果

1) 水中視覚刺激提示装置の開発

水中視覚刺激提示装置の可能な方式として、防水ハウジングを備えた大型視覚ディスプレイの水中設置(図1) 防水機能を有したスマートフォンを利用した頭部搭載型ディスプレイ

(Head Mounted Display ; HMD、図 2) プールに設置された観察窓を介した視覚刺激、の 3 種の様式を検討し、その利点と欠点とを検討した。試用実験の結果、防水ハウジングを装備した大型視覚ディスプレイを利用した場合には、高精細な視覚刺激を高リフレッシュレート、高解像度で提示することを可能となるものの、実験環境の制約が大きく、また、観察者の身体位置の固定に課題を有することが確認された。防水スマホを用いた HMD では、実験制御用 PC との通信が課題となり、複雑な手順の実験実施に制限があるものの、簡便な準備で環境の制限なく水中視覚実験が実施になることなどの利点を有することを明らかにした。これらから、実験計画の要請に従い、刺激提示装置を選択することが重要であるということが結論付けられた。

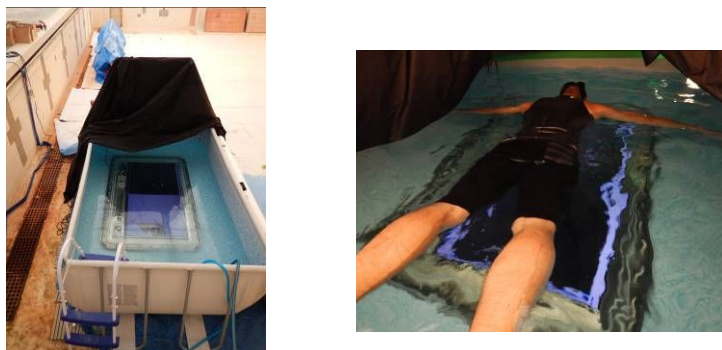


図 1 防水ハウジングを備えた大型水中視覚ディスプレイとその試用実験

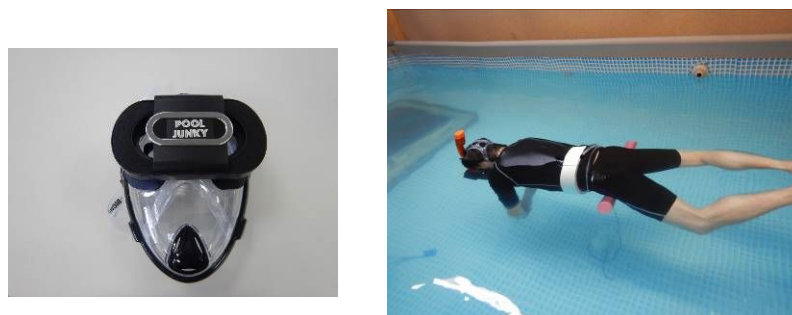


図 2 防水スマートフォンを用いた HMD とその水中での試用実験

2) 水中での視覚誘導性自己運動知覚の分析

各視覚刺激条件において得られた自己運動強度評定値の平均を図 3 に示す (エラーバーは標準誤差)。観察者の身体の直線運動を引き起こす水平 (horizontal)、垂直 (vertical)、拡大 (expand) の各条件においてはほぼ同等の強度を持つ自己運動が誘導されていたことが確認できる。前額平行面上の等速直線運動にそれと直交する正弦波様加速度運動成分を重畳した条件 (horizontal+oscillation、vertical+oscillation) では、等速運動のみの条件と比較して、5 割程度自己運動強度評定値が上昇していた。通常の実験環境下 (陸上) における加速度運動成分付加による自己運動知覚増強は、通例 2~3 割程度であり、水中実験におけるそれは相当程度大きい。視覚刺激に付加された加速度運動が自己身体運動における視覚 平衡感覚統合様式に変化を与えたとする立場をとる研究者が存在することを考え合わせると、水中環境での実験において、自己空間定位に関する多感覚統合過程が何らかの形で日常生活場面から変容していた可能性が示唆される。回転運動を提示した際の自己身体回転運動知覚 (roll) は、身体の平行運動に比べ、5 割程度強く感じられていた。通常、自己身体のロール回転の知覚には、平行運動の場合と比べ、平衡感覚情報の関与がより大きくなり、ベクシオン強度は低下することが知られている。ただし、ロールベクシオン強度は観察者の身体姿勢により大きく変化し、視覚刺激運動が示す自己回転と平衡感覚情報が示す重力方向の変化が矛盾しない伏臥位の場合には、ベクシオン強度の低下はあまり大きなものではないことが示されている。一方、今回の試行においては、平行運動と比して非常に強い自己回転運動が確認されている。拡大運動に回転運動を重畳させた条件 (spiral) においても、単純な拡大運動と比べ強い自己運動知覚が報告されており、前述の加速度負荷の条件と同様、水中実験における視覚 平衡感覚相互作用の特異性が表れたものではないかと推測される。

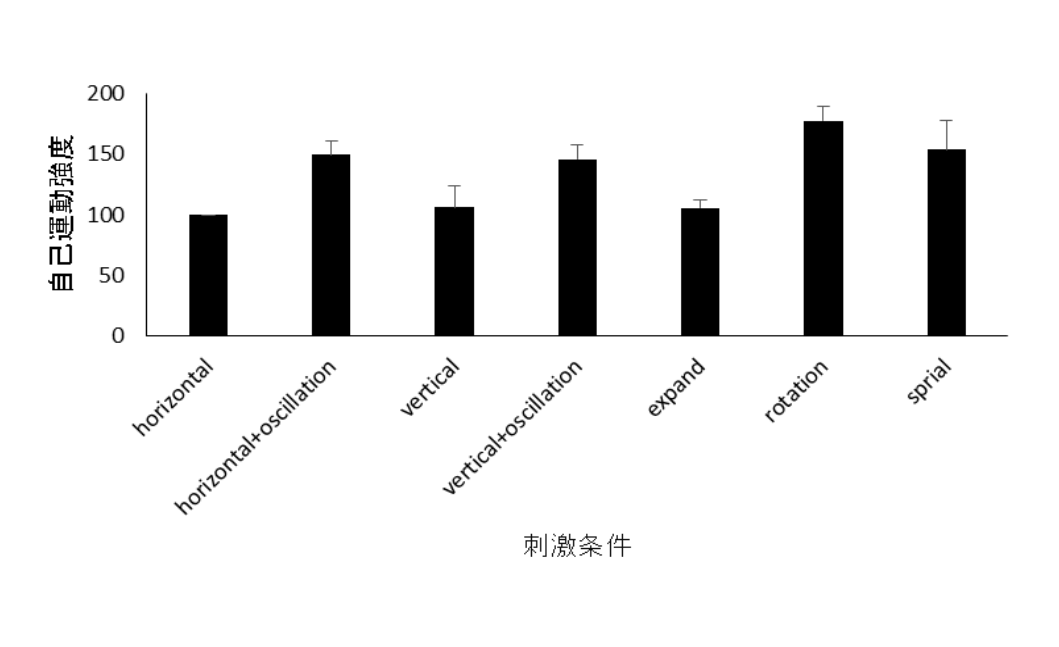


図3 水中における視覚誘導性自己運動知覚実験の結果

3) 水中ナビゲーション感覚尺度の構築

信頼性分析の結果、今回の研究において策定した SUN 尺度は、非常に高い内の一貫性を持つものであり ($r = .94$)、高い信頼性を持つものであることが示された。また、一般的な方向感覚を計測する心理尺度である SDQ-S の得点と SUN 得点とが、.50 程度の中程度の有意な相関を示すことから、今回策定した SUN 尺度が一定程度の妥当性を有するものであることも示された。水中におけるナビゲーション感覚を規定する要因を探索したところ、SUN 尺度得点は、ダイビング経験回数の増加に伴って上昇し、水中での移動経験の蓄積に伴って水中でのナビゲーションスキルが向上し、ナビゲーション感覚が高くなることが明らかとされた。また、ダイビング初心者 (経験回数 100 回以下) と上級者 (経験 300 回以上) においては、SUN 尺度得点と SDQ-S 得点とがよく相関する一方、中級者 (経験 100 ~ 300 回) においてはその相関が低下した (表 1 ; SDQ-S に関しては、その下位尺度である方位得点と空間得点ごとに相関を算出した)。このことは、初心者と上級者においては、ダイバー間にナビゲーションスキルの個人差が少なく、調査参加者の元来の方向感覚の高低が SUN 尺度得点に反映された一方、中級者においては、ナビゲーションスキルの個人差が大きく、参加者の一般的な方向感覚が水中ナビゲーション感覚に及ぼす影響が表れにくくなったことを反映したものであると考えられる。

表1 ダイビング経験毎の SUN 尺度得点 (水中での方向感覚) と SDQ-S 得点 (陸上での方向感覚)

	ダイビング経験		
	初心者	中級者	上級者
SDQ-S (方位)	.719**	0.121	.705**
SDQ-S (空間)	.601**	0.343	.575**

** p<.01

4) 水中移動時の空間探索行動の分析

ダイビング中のガイドダイバーの行動のビデオ分析から、ダイビング中の主要な空間探索手法であるコンパス確認とランドマーク (岩礁などの目標となる物体) 探索との生起頻度が、ダイビング環境の条件により有意に変化することが明らかになった。総体的には、ガイドダイバーの経験が浅く、透視度 (水中での視程) が短いなどダイビング状況が不良の場合にはコンパス確認の頻度が上昇し、ガイド経験の上昇や海況の改善に伴ってナチュラルナビゲーション (自然対象をランドマークとした経路探索) の頻度が増大することが明らかとなった。自然条件に依存する実験計画であったため、採取したケースでは条件の統制が十分なものではなく、空間探索行動の解発因、探索結の統合による認知地図の形成に関して詳細な検討を行うことができず、継続的な検討が必要とされる状況である。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5 件)

NAKAMURA Shinji, Perceived Rigidity Significantly Affects Visually Induced Self-Motion Perception (vection). Perception, 査読あり, vol.48, 2019, 386-401 DOI: 10.1177/0301006619846410

中村信次、水中での視覚心理実験のための刺激提示装置開発およびそれをを用いた水中での自己身体誘導運動知覚実験、日本福祉大学全学教育センター紀要、査読なし、7巻、2019、81-88 <https://nfu.repo.nii.ac.jp/>

NAKAMURA Shinji, Shin'ya Takahashi, An Illusory Contour Can Facilitate Visually Induced Self-Motion Perception. Multisensory Research, 査読あり, vol.31, 2018, 715-727 DOI:10.1163/22134808-2018131

中村信次、水中ナビゲーション感覚尺度作成の試み、日本福祉大学全学教育センター紀要、査読なし、6巻、2017、59-67 <https://nfu.repo.nii.ac.jp/>

NAKAMURA Shinji, Stephen Palmisano, Juno Kim Relative Visual Oscillation Can Facilitate Visually Induced Self-Motion Perception. i-Perception, 査読あり, vol.7, 2016, 1-18 DOI: 10.1177/2041669516661903

〔学会発表〕(計 5 件)

NAKAMURA Shinji, Self-Motion Perception Induced by Visual Motion without Luminance Modulation, Asia Pacific Conference on Vision, 2017

中村信次、Fractal Rotation を用いた自己運動知覚誘導の試み、日本視覚学会、2017

中村信次、錯視的輪郭による視覚誘導性自己運動知覚の増強、日本視覚学会、2016

中村信次、視覚刺激の剛体性知覚が視覚誘導性自己運動知覚に及ぼす影響、VR 心理学研究会、2016

NAKAMURA Shinji, The Effects of Local Rotation on Roll Vection Induced by Globally Rotating Visual Inducer. Asia Pacific Conference on Vision, 2015

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

6 . 研究組織

(1)研究分担者 なし

(2)研究協力者 なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。