



# 操船における情報表示が衝突回避行動へ及ぼす影響- 船舶の遠隔操縦・監視システムを指向した, 一人称視 点と三人称視点の認知的特性に関する実証的研究 -

加藤, 由季

---

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2021-03-25

(Date of Publication)

2023-03-25

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第8089号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1008089>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



# 博士論文

操船における情報表示が衝突回避行動へ及ぼす影響

ー 船舶の遠隔操縦・監視システムを指向した,

一人称視点と三人称視点の認知的特性に関する実証的研究 ー

令和 3 年 1 月

神戸大学大学院海事科学研究科

加藤 由季



# Effect of Information Presentation Method on Collision Avoidance Behaviour in Ship-maneuvering:

An empirical study on the cognitive characteristics of first-person and third-person perspectives  
for designing remote control and monitoring system of vessels

Yuki Kato

## 目次

第1章	序論	1
1.1	研究の背景	1
1.2	海上交通における衝突回避の特徴	3
1.3	研究の目的と概要	4
第2章	「景観情報」と「レーダ情報」の違いが衝突回避判断に与える影響	7
2.1	2章のはじめに	7
2.2	「景観情報」と「レーダ情報」の情報源としての性質の違い	8
2.3	同一の交通状況を提示するための措置	11
2.4	【研究実績1：傾向】それぞれの情報源における実航未海経験者の傾向は？	13
2.4.1	目的	13
2.4.2	被験者	13
2.4.3	実験方法	14
2.4.4	分析方法	24
2.4.5	結果	25
2.4.6	考察	29
2.5	【研究実績2：傾向】それぞれの情報源における実航海経験者の傾向は？	33
2.5.1	目的	33
2.5.2	被験者	33
2.5.3	実験方法と分析方法	34
2.5.4	結果	34
2.5.5	考察	39
2.5.6	まとめ	39
2.6	【研究実績3：特徴】なぜ搭乗操船では景観情報が優先されるのか？	42
2.6.1	目的	42
2.6.2	被験者	42
2.6.3	実験方法と分析方法	43
2.6.4	結果	44
2.6.5	考察	47
2.6.6	まとめ	48

2.7	【研究実績 4：方略】異なる情報源による影響の差はどのようにしたら補えるか？.....	50
2.7.1	目的.....	50
2.7.2	被験者.....	50
2.7.3	実験方法と分析方法.....	51
2.7.4	結果.....	53
2.7.5	考察.....	62
2.7.6	まとめ.....	65
2.8	2章のまとめ.....	68
<b>第3章</b>	<b>「一人称視点」と「三人称視点」の違いが操船に与える影響.....</b>	<b>69</b>
3.1	3章のはじめに.....	69
3.2	「一人称視点」と「三人称視点」の認知的特性の違い.....	71
3.3	視点以外の要因をできる限り統制するための措置：SHITENSIM.....	83
3.4	【研究 5：特性】一人称視点/三人称視点と安全性/効率性との関係は？.....	88
3.4.1	仮説と目的.....	88
3.4.2	被験者.....	91
3.4.3	実験方法.....	91
3.4.4	分析方法.....	94
3.4.5	結果.....	96
3.4.7	考察.....	103
3.4.8	まとめ.....	105
3.5	3章のまとめ.....	107
<b>第4章</b>	<b>結論.....</b>	<b>110</b>
<b>謝辞</b>	<b>114</b>	
<b>研究実績</b>	<b>117</b>	



# 第1章 序論

## 1.1 研究の背景

近年、センシング技術、Artificial Intelligence(AI)、Internet of Things (IoT)等を活用する自動運転システムの開発、実用化が盛んに進められている。EU が中心となり 2012 年から 3 年計画で実施された Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks(MUNIN)プロジェクトは、無人・遠隔操船の概念を構築し、世界中にインパクトを与えた。このプロジェクトでは、費用対効果の解析、適用する法規や使用責任についての事前検討が行われ、さらに、主要技術として、小さな物体や気象海象を検出するセンシングシステムによる電子見張り機能、自動での衝突回避操船を実現する自律航海システム、航海や船舶の監視と問題を解決する陸上制御センター等が検討された。調査の結果から、この概念が実現すれば大幅に燃費が向上し、ヒューマンエラーに起因する衝突・沈没のリスクが搭乗操縦船より一桁低くなると評価した(MacKinnon, S. N., Man, Y., & Baldauf, M., 2015)。我が国においても、国土交通省が主体となり自動運航船プロジェクトが進められている。2017年に閣議決定されたロードマップでは2025年の実用化を目指すことが盛り込まれ(国土交通省, 2017)、2020年現在、自動運航船は実証実験の段階まで進んだ(MEGURI2040, 2020)。このような技術は経済性の向上だけでなく、深刻な人手不足の解消、および、ヒューマンエラーに起因する事故の防止に役立つと期待される。

しかしながら、海上交通で運航する様々な船種、船籍の船に同じシステムを一斉に導入することは現実的ではなく、しばらくの間は、従来のように搭乗者が操縦する船舶(以降、搭乗操縦船と呼ぶ)、遠隔操縦システムを通して遠隔地から操縦する船舶(以降、遠隔操縦船と呼ぶ)、機械による操縦を遠隔地から監視する船(以降、遠隔監視船と呼ぶ)等の混在が見込まれる(国土交通省, 2017)。臨機応変な対応が求められることが多い海上交通において、そのような新旧様々な操縦形態の船舶が混在する状況でも、安全を担保するには、各船における状況認識や判断に共通性がなければならず、さもなければその乖離を補償する方法が必要である。そのためには、遠隔監視システム、および、遠隔操縦システムから提供される多様な情報を人間がどのように認知するかに関する考慮が不可欠となる。しかし、現時点では操縦形態が異なることで状況認識や判断にどのような違いが生じるか、その原因は何かということは明らかでない。

搭乗操縦船であっても、遠隔操縦船であっても、全ての情報を満遍なく併用し、連携・融合することが理想である。しかし、搭乗操縦船の操縦者は船上の船橋(操縦席)から周囲

の他船を直接視認できるが、遠隔操縦船の操縦者はモニタ画面を通しての間接的な視認に留まり、遠隔操縦においては搭乗操縦に比べてある種の視覚情報の欠落(例えば、両眼視差の差が生じさせる奥行き情報の欠損等)が生じる。そのモニタ画面には、現在の技術を用いれば、操縦席から見た景観映像(一人称視点)を表示することや、自船の上空から見下ろした俯瞰映像(三人称視点)を表示することが可能である。さらに、それらの映像を適宜シンボル化することや(例えば上空から見た船影を図形と矢印で表す)、数値情報(距離や速度など)を重ね合わせることもできる。すなわち、遠隔操縦船のオペレーション、および、完全自律航行船の遠隔監視において様々な情報を活用するとしても、運行形態の違いから、搭乗操縦船と全く同じ情報を重視するとは考えにくい。搭乗操縦では船橋から直接視認した景観によって得られる情報(景観情報)を重視した操縦が行われているが(井上, 2011)、遠隔操縦船においては、遠隔地であるがために、センシングシステムにより収集した情報、つまり、レーダのような加工された情報(レーダ情報)が中心的な役割を果たすと考えられる。

景観情報とレーダ情報を比較すると、一人称視点である景観情報は人間の両眼による視野の特性上(橋本, 1996)、後方を確認するには振り向くという動作が必要である上、衝突の可能性を把握するには、一定時間の継続的な観察が必要になる。しかもそれは目測に基づくため、目測で見積もった接近船までの距離や、衝突するまでの時間は、定量的な精密さに欠ける。一方、三人称視点であるレーダ情報では、全周囲等しく定量的に衝突するまでの時間と距離の情報を容易に収集することができる。ただし、一人称視点は日常空間での移動において通常用いられるものであるのに対して、三人称視点は日常的な移動で用いられることはまれであるという違いがある。

以上のことから、情報源の違いは、認知プロセスに何らかの影響を及ぼすと考えられ、「レーダ情報」のようなセンシングシステムにより収集した情報を主として活用する船と、従来どおりの乗員が主に「景観情報」によって操縦する船とが、互いに衝突回避する状況においても安全を担保するには、これらの情報の性質の違いが及ぼす影響、および、それぞれの情報源に係る認知的特性を明らかにしておく必要がある。これは、遠隔操縦システムの導入にあたり、早急に解決すべき問題であるが、搭乗操縦船同士の衝突回避が常であったこれまでの研究においてその詳細は明らかでない。

## 1.2 海上交通における衝突回避の特徴

海上交通のルールを示す国際条約である Convention On the International Regulations for Preventing Collisions at Sea 1972 (COLREGs)には、2 隻の動力船が互いに針路を横切る場合において衝突するリスク<sup>1</sup>があるときは、他船を右側に見る船(避航船と呼ばれる)が相手(保持船と呼ばれる)の針路を避けなければならないこと、このとき原則として避航船は保持船の船首方向を横切ってはならないことが規定されている(COLREGs-Rule15)。しかし、同条約には、衝突リスクの具体的定義や、多数隻が関係する際の回避方法は明記されていない。これは、海上交通は、道路や信号を前提とする陸上交通に比べて状況判断が複雑であるため一律の規定になじまないこと、船員コミュニティにおける伝統的な行動規範が確立していることによる(海上交通法令研究会, 2017)。

操船者は、多数隻が接近する状況の衝突回避判断において、現行の針路の直接的に衝突するリスクがある船だけを考慮するわけではない。広い海域で針路変更を行う場合、新たに他の船舶に著しく接近してはならない(COLREGs-Rule8(c))。ドーバー海峡を航行するフェリーの航海士による衝突回避操船を調査した研究によれば、広い範囲にある他船との相互関係を考慮して衝突回避操船が行われていることが報告されている (Chauvin & Lardjane, 2008)。また 操船者の認知に関する実験を行った研究によれば、衝突回避判断は広い範囲にある他船の行動に影響を受けていることが指摘されている (Hockey, Healey, Crawshaw, Wastell, & Sauer, 2003)。著者らの先行研究においても、そのような状況において、景観情報のみの場合もレーダ情報のみの場合も、操船者は衝突するリスクがある船以外の船も気になる傾向があることが確認された (研究実績 1, 2017; 研究実績 2, 2017)。すなわち、海上交通において衝突回避する際、操船者は、現行の針路だけでなく変更後の針路において関係する可能性がある船をも考慮する。

航路外で多数隻が関係する状況において、具体的な回避方法は各船に任されており、従ってその「正解」も存在せず、一度の変針で複数隻を大きく避ける/縫うように一隻ずつ避ける、早い時期から回避する/近づいてから回避する、少しの変針で回避する/大きく避けるなど、様々な場合がある。一般的には、針路の変更で回避する際、避航船は、右側にみる保持船の船首を横切らないために、右転することが多い。すなわち、海上交通には一定のルールはあるものの、臨機応変に対応する必要がある。

---

<sup>1</sup> 「衝突するリスク」とは、航海用語でいう「衝突のおそれ」を指す。しかし、本論は特定の分野だけでなく広く一般の読者にイメージできるような「衝突するリスク」と表現する

### 1.3 研究の目的と概要

既に述べたように、自動運航船を段階的に現行の海上交通に導入するには、遠隔監視・操縦システムにおいて提供される多様な情報を人間がどのように認知するかに関する考慮が不可欠となる。自動運航船の導入は、経済性の向上だけでなく、深刻な人手不足の解消、および、ヒューマンエラーに起因する事故の防止に役立つことが期待される一方で、その段階的な導入は、臨機応変な対応が必要な海上交通において新旧様々な操縦形態の船舶の混在を招く。搭乗操縦船、遠隔操縦船、および遠隔監視船等が混在する状況においても、安全性を担保するには、各船における状況認識や判断に共通性がなければならず、さもなければその乖離を補償する方法が必要である。しかしながら、搭乗操縦船同士の衝突回避が常である現時点において、操縦形態が異なることで状況認識や判断にどのような違いが生じるか、また、その原因は何かということは明らかでない。

そこで、本研究では、船舶の遠隔操縦・監視システムにおける認知的問題にアプローチするため、操船における情報表示が衝突回避行動へ及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。

本論文は、全4章から構成されている。

この第1章 序論では、今後、自動運航船が普及するにあたり解決すべき問題点を述べ、本研究の目的を示す。遠隔操縦・監視システムを利用する自動運航船において、安全性を担保するには、「景観情報(一人称視点)」と「レーダ情報(三人称視点)」の認知的特性が及ぼす操船への影響を解明することが必要であること(有用性)、また、それは確立されていない技術であるがために今後取り組んでいかなければならない分野であること(新規性)を、遠隔操縦・監視システムを利用する自動運航船の現状、および、その段階的な導入により予想される問題から論じる。

第2章では、現実的かつ実用性の高い知見を得ることを目指し、元来のシステムで使用されている情報源の違いが衝突回避判断に与える影響を検討する。ここでは比較対象を実際の海上交通で使用されている「景観情報」と「レーダ情報」とし、かつ、検討する交通状況を事故発生の蓋然性が高い主要港沿岸付近の輻輳海域における一般的な関係パターンを網羅的に含むよう設定した。はじめに、実際の操船において用いられているこれら2つの情報源としての性質の違いを議論し、本研究で採用した同一状況を提示するための措置を述べる。その上で、情報源および経験が衝突回避の課題遂行時に与える影響を、状況認識や方略の観点から検討した4つの研究を報告する。2.4節の研究(研究実績1)は、基礎的研究として、専門的な海事知識を有するが(大型船舶の筆記試験には合格済み)、

海技免許<sup>2</sup>を有しない実航海の経験がない者を対象に(実航海未経験者), どのような交通状況において, 情報源間でどのような傾向の違いが生じるのかということを明らかにすることに取り組んだ. 続く 2.5 節(研究実績 2)では, 海技免許を有し実航海にて経験を積んだ者(実航海経験者)を対象とすることで, 前節にて判断に情報源間の差が認められた交通状況における経験者の情報源間の傾向を報告する. これら 2 つの研究は, すでに著者の修士論文にて報告済みであるが, 本論文においても基礎となる重要な知見をもたらすものであるため, ここに再録する. 2.6 節の研究(研究実績 3)と 2.7 節の研究(研究実績 4)では, 経験の多寡が情報源間の傾向の違いに対してどのような影響を持つか検討する. 2.6 節(研究実績 3)では衝突回避判断そのものに着目し, 2.7 節(研究実績 4)ではその詳細を状況認識や方略の観点から述べる.

第 3 章では, 近未来を見据え遠隔操縦・監視システムの構築に発展できる知見を得ることを目指し, 情報の加工に関わる要因の一つである視点に着目する. 比較対象を「一人称視点」と「三人称視点」とし, かつ, 衝突回避の対象船が限定される交通状況とすることにより, 視点の違いによる認知的特性の違いが無意識レベルで生じさせる操船への影響を探求する. はじめに, 前章で扱った情報源の特徴の一つである視点の違いに着目する理由を示し, 視覚情報処理に関わる研究に基づき, 「一人称視点」と「三人称視点」の認知的特性を議論し, 著者らが視点以外の要因をできる限り統制するために開発した簡易操船シミュレータ(SHITENsim)について述べる. その上で, 3.4 節(研究 5)では, 衝突回避判断において, 一人称および三人称視点の認知的特性の違いが操船に与える影響を明らかにすることを目的に, 認知的特性の違いをナビゲーションにおける安全性と効率性にあてはめることで設けた 2 つの仮説, 1)「一人称視点の方が三人称視点より個々の船舶に対し安全な操船を行う」(対応する仮説は「三人称視点の方が一人称視点より効率的な操縦を行う」)こと, および, 2)「他船の行動予測が容易な方が(静的状況), 視点の認知的特性が顕著化する」こと, の検証を行う.

第 4 章では, 一連の研究により得られた知見を総合的に用いて, 搭乗操縦船と遠隔操縦船が混在する状況において安全性を確保するための方策を考察し, 本論を総括する.

---

<sup>2</sup> 大型船舶(20 トン以上の船舶)に船舶職員(船長, 航海士等)として乗り組むには「海技士」という国家資格が必要であり, その資格を証明するものは「海技免状」と呼ばれている. ただし, これには有効期間の定めがあり, 失効中は免状とならない(所定の手続きで再交付可能). 本論では, 失効の有無にかかわらず「海技士」の国家資格という意味で「海技免許」という.

## 参考文献

Chauvin S. & Lardjane S.(2008). Decision making and strategies in an interaction situation Collision avoidance at sea, Transportation Research Part F, 11, pp 259-269

南風原朝和・下山晴彦・市川伸一 (2001). コラム 4-2 生態学的妥当性 心理学研究法入門一調査・実験から実践まで, p. 98, 東京大学出版

橋本進 (1996). 眼の構造と機能 視覚情報とヒューマンエラー, pp. 40-41, 海文堂出版

Hockey G R J, Healey A, Crawshaw M., Wastell D. & Sauer J.(2003). Cognitive demands of collision avoidance in simulated ship control, Human Factors, 45, pp252-265

井上欣三(2011). 操船の理論と実際, 操船の実際と操船者に要求される能力, pp6-12, 成山堂書店

海上交通法令研究会(編) (2017). 海上衝突予防法の基本 原則 海上保安庁 (監修) 海上衝突予防法の解説, pp 9-13, 海文堂出版

国土交通省(2017). 課題の整理と検討の方向性(自動運航船), <https://www.mlit.go.jp/common/001215809.pdf>(last accessed:Aug. 20, 2020)

MacKinnon, S. N., Man, Y., & Baldauf, M. (2015). D8.8: Final report: Shore control centre. Report No. Dissemination level: Public, Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks. Retrieved from <http://www.unmanned-ship.org/munin/wp-content/uploads/2015/09/MUNIN-D8-8-Final-Report-Shore-Control-Centre-CTH-final.pdf> (last accessed:May. 20, 2019)

MEGURI2040(2020). 世界初,無人運航船の実証実験を開始, 日本財団, <https://www.nippon-foundation.or.jp/who/news/pr/2020/20200612-45056.html> (last accessed:Aug. 20, 2020)

(研究実績 1 から 4, および, 研究 5 については, 本論 117 ページに記載)

## 第2章 「景観情報」と「レーダ情報」の違いが衝突回避判断に与える影響

### 2.1 2章のはじめに

現在、実際の操船では景観情報とレーダ情報は併用され、これらを組み合わせた情報処理が行われている。しかし、1.1 節に述べたとおり、今後遠隔操船が普及するに伴って、レーダ情報のようなセンシングシステムにより収集した情報を主として活用する船と、従来どおりの乗員が主に景観情報によって操縦する船との混在が予想される。その場合、二つの情報源の性質の違いから状況認識や判断に乖離が生じると、大きな危険につながると考えられる。よって、これらの性質の違いを、まず各々において明らかにしておくことは、どちらかの情報源のみを主として用いる操船者の陥りやすい状況認識における見落としを発見・指摘できること等につながると期待され、また、各情報源の活用法に関する船員教育にも資することが見込まれる。

そこで、本章では、搭乗操縦船が重視している情報である「景観情報」と、遠隔操縦・監視システムでの活用が容易なセンシングシステムにより収集した情報から構成されている「レーダ情報」とを比較対象とし、景観情報、レーダ情報の情報源としての性質の違い、およびそれらを用いた課題遂行時に経験が与える影響を、状況認識や方略の観点から検討する。

## 2.2 「景観情報」と「レーダ情報」の情報源としての性質の違い

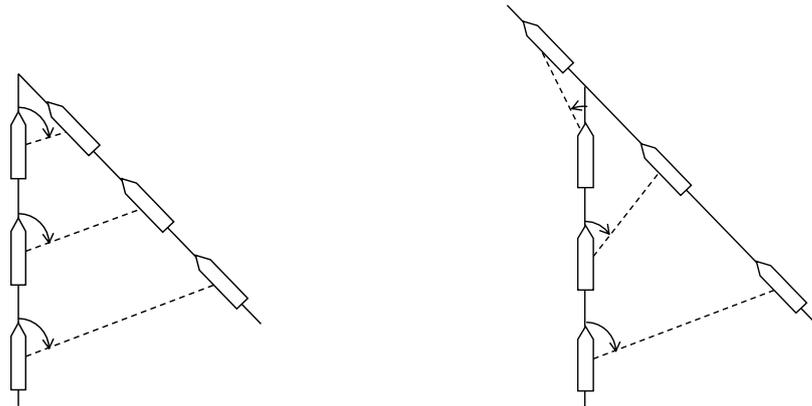
**景観情報**は、図 1 に示すとおり、水平方向から見る視点(一人称視点)で周辺他船を観察する情報であり、肉眼または双眼鏡によって周辺他船の外形や位置を追跡することで、それらの動向(速力や針路、自船との距離や接近状況など)を把握する。この追跡では、羅針盤(コンパス)を使用した方位測定が行われる。例えば、図 2 の(a)のような、自船から計測した他船の方位<sup>3</sup>に明確な変化がなく、接近し続ける場合は、衝突するリスク<sup>1</sup>があると判断するが、逆に図 2 の(b)のようにそれが大きくかわる場合は、衝突しないと判断する。すなわち、景観情報のみにより衝突のリスクを把握するには、一定時間の継続的な観察が必要であり、しかもそれは目測に基づくため、見積もった接近船までの距離や、衝突するまでの所要時間は、定量的な精密さに欠ける。一人称視点である景観情報の利用では、人間の両眼による視野の特性上(橋本, 1996)、後方を確認するには振り向くという動作が必要である。



図 1 景観情報の例

---

<sup>3</sup>ここでいう自船から羅針盤(コンパス)を使用して計測した他船の方位とは、航海用語でいう「コンパス方位」を指す。しかし、本論は特定の分野だけでない広く一般の読者にイメージできるように、これを「コンパス方位」という専門用語ではなく、単に「方位」と表現する。



(a)他船の方位が変化しない (b)他船の方位が大きく変化する

図 2 他船の方位の変化

レーダ情報は、図 3 に示すとおり、自船および周辺他船を真上から俯瞰する視点(三人称視点)のレーダ映像部と、他船の定量情報を表示できる数値情報部とから成る<sup>4</sup>。レーダ映像部において、自船は同心円の中心として、他船はシンボルマーク(円や三角形)によって表示される。他船の動向は、シンボルマークの位置やそれに付された運動ベクトル(速力および針路を表す矢印)の長さや向きを用いて把握される。また、指定した他船の速力、針路などの定量値、自船と他船が最接近する点(CPA: Closest Point of Approach)までの時間(TCPA: Time to CPA)やその時の距離(DCPA: Distance of CPA)<sup>5</sup>などを数値情報部に表示することもできる。例えば、運動ベクトルが自船と重なる他船や、DCPA の値が 0 に近い他船は、衝突の可能性があるとして理解される。すなわち、三人称視点であるレーダ情報の利用では、人は全周囲等しく定量的に衝突するまでの時間と距離の情報を容易に収集することができる。ただし、景観情報が日常空間での移動において通常用いられる一人称視点に基づくものであるのに対して、レーダ情報は日常的な移動で用いられることはまれな三人称視点に基づく。

<sup>4</sup> 他船の詳細情報は、ターゲット追尾(TT: Target Tracking)および船舶自動識別装置(AIS: Automatic Identification System)によって取得される。

<sup>5</sup> DCPA の値が 0 であることは、両船が現針路のまま進み続けると TCPA の時間後に衝突することを意味する。

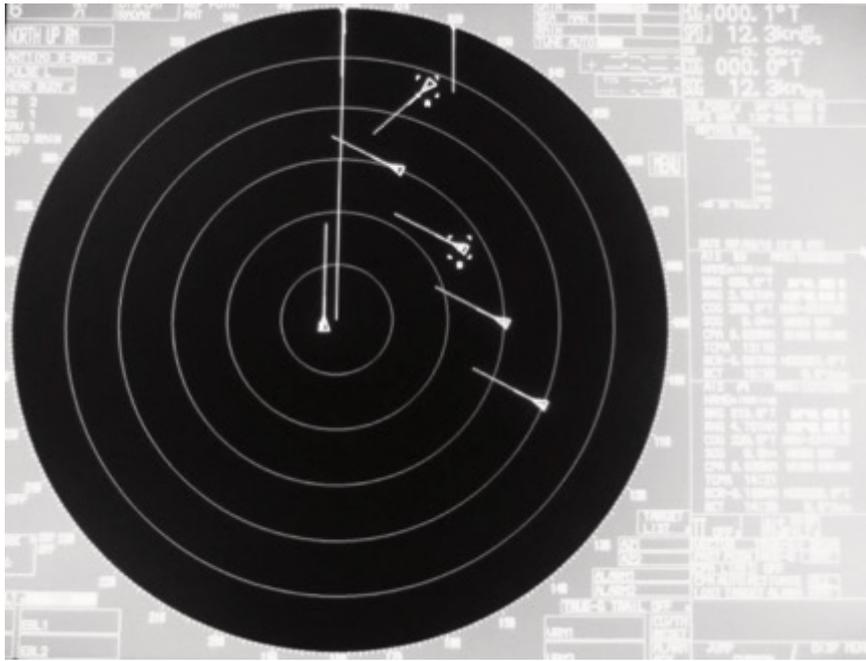


図 3 レーダ情報の例

## 2.3 同一の交通状況を提示するための措置

操船者は、時々刻々と変化する状況において衝突のリスクの判断と意思決定を繰り返した後、最終的な衝突回避行動を決定・実行する。一般的に、海上交通に複数の船舶が存在する場合、操船者は、全船舶に同程度の関心を持っているのではなく、近距離にある船や、自船にとって衝突するような危険な状況となり得る当該他船、および、変針の際に妨げとなる当該他船が気になる。将来自船に接近する可能性を大まかに把握した上で、衝突のリスクがあると判断した際は、できる限り余裕のある時期にその危険を回避する行動をとる。

久保田(2010)は、瀬戸内海(狭水道)を航行するフェリーにおける操船者の行動観測から、操船者の行動を図 4 のようにモデル化し、操船者は時間的に一連の移行で意思決定を完了するのではなく、意思決定に至るまで情報入手を何度も繰り返し、その確認を行い、潜在的な衝突のリスク、および、衝突のリスクの判断を絶えず繰り返し行うことを報告した。ここでいう「潜在的な衝突のリスク」とは、航海情報を確認した地点の衝突のリスクだけでなく、自船および他船の変針により生じるかもしれないと予想される衝突のリスクをも含む。

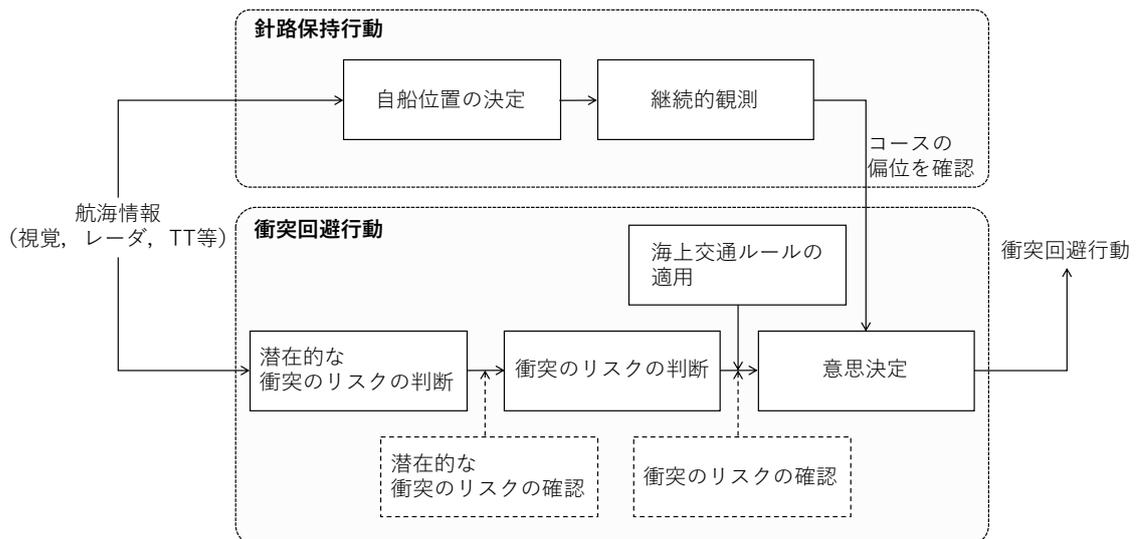


図 4 操船者の行動モデル(久保田, 2010; 図 3-7)

このモデルにおける入力値(航海情報)と出力値(衝突回避行動)は、それぞれ本研究における「景観情報／レーダ情報」と「衝突回避判断」を指す。すなわち、情報源の違いが衝突回避判断へ与える影響は、操船者の行動モデルにおける入力値を景観情報、または、レーダ情報として、それぞれの出力値の衝突回避判断を比較することにより検討できると考えられる。ただし、比較可能な出力値を得るには、提示する交通状況が全く同一にする必要がある(衝突のリスクの判断は、自船と他船の相対的な関係に基づくので、提示する交通状況のわずかな違い(外力等による意図しない変針)はこの検討に大きく影響を与える)。このことを踏まえ、第2章の研究全てでは、被験者には実際に操船は行わず、操船シミュレータの再生機能を用いて共通のリプレイ映像を提示し、被験者が衝突回避行動を起こす直前の衝突回避意思を決定した時点で実験終了とし、その時点における衝突回避判断を調査することで、全く同一の交通状況における衝突回避判断であると見なした。調査した時点を図5に示す。

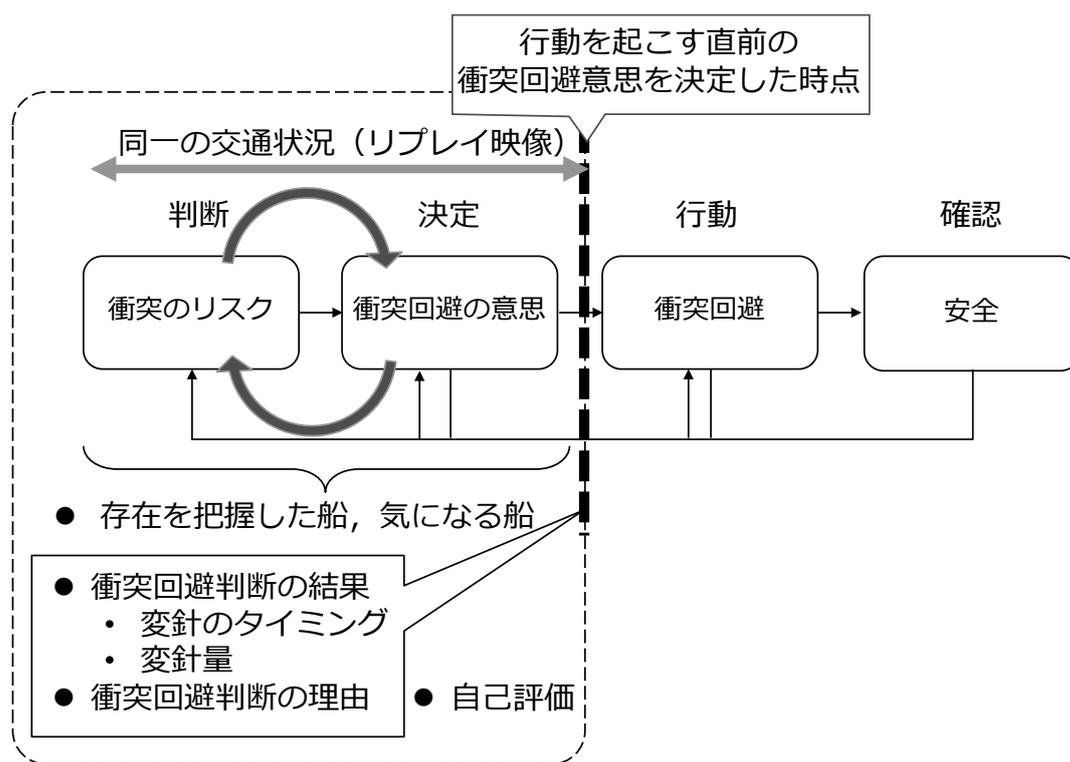


図5 衝突回避行動図式と調査項目

#### 参考文献

久保田崇(2010). 航海者の避航行動に関する研究, 博士学位論文, [http://www.lib.kobe-u.ac.jp/handle\\_kernel/D1005100](http://www.lib.kobe-u.ac.jp/handle_kernel/D1005100)

## 2.4 【研究実績 1：傾向】それぞれの情報源における実航未海経験者の傾向は？

### 2.4.1 目的

既に述べたとおり、本章の目的は、搭乗操縦船が重視している情報である「景観情報」と、遠隔操縦・監視システムで活用可能なセンシングシステムにより収集した情報から構成されている「レーダ情報」とを比較対象とし、景観情報、レーダ情報の情報源としての性質の違い、およびそれらを用いた衝突回避の課題遂行時に経験が与える影響を、状況認識や方略の観点から検討することである(2.1 節)。

この目的を達成するには、まずは交通状況を選定しなければならない。本研究では、情報源の違いによる影響が少ないと見込まれるある一隻が自船に接近する単純な交通状況(以降、単純状況と呼ぶ)、および、影響が現れると見込まれる複数隻が接近する複雑な交通状況(以降、複雑状況と呼ぶ)として、出現する隻数が異なる 2 種類の交通状況を選定した。複雑状況では、現実的かつ実用性の高い知見を得ることを目指し、事故発生の蓋然性が高い主要港沿岸付近の輻輳海域における、一般的な関係パターンを網羅的に含むよう設定した。ただし、その際、被験者の経験値にばらつきが生じると、得られた結果が交通状況の影響であるのか、経験値の影響であるのか判別することは難しい。

以上のことから、本研究では、画面上に表示された情報による遠隔操船を考えるための基礎的研究とするため、実験参加者は海上交通法規等の操船に必要な知識を有するが、実航海の経験がない操船者(以降、実航海未経験者と呼ぶ)を対象に、操船シミュレータを用い出現する隻数の異なる 2 種類の交通状況を提示し、景観情報のみを使用し衝突回避判断を行う実験(景観情報実験)と、レーダ情報のみを使用し衝突回避判断を行う実験(レーダ情報実験)を実施し、情報源の違いが衝突回避判断に及ぼす影響を検討することを目的とする。

### 2.4.2 被験者

被験者は、船員養成機関に在籍する学生 14 人であった(平均 24 歳(22~26 歳),  $SD=1.1$ )。全員、同一の授業を受講し、2 級海技士(航海)の海技免許の筆記試験に合格した者であり、かつ、実際に海上での運航経験はなく、知識、および、経験に大きな差はなかった。また、今回使用した操船シミュレータおよびレーダの取り扱いには授業等を通して慣れており、本実験で使用した船種の性能も熟知していた。被験者は、景観情報実験に参加したのち、

2週間隔てて、レーダ情報実験に参加した。それぞれの実験は、相談を禁じた上で全員同時に実施した。景観情報実験の結果を“Ln: Landscape – novice”，レーダ情報実験の結果を“Rn: Radar – novice”と呼ぶ。

### 2.4.3 実験方法

操船シミュレータとその操船シミュレータに備え付けられている実機レーダ（実際の海上交通で使用できる機種）を用い、景観情報実験とレーダ情報実験を実施した。両実験では、操船シミュレータの再生機能を用い全く同一の交通状況(提示したシナリオの詳細は各節の「シナリオ」を参照)を提示した(2.3節)。被験者のタスクは、針路変更のみで衝突回避を行い目的地へ向かうこととした。実験は個別に行ない、1度目の変針判断を決定した時点でシナリオは終了とし、「衝突回避判断」と「気になる船」、および「操船意図」を調査した。すなわち、本実験では同一の交通状況における衝突回避判断、および、それに関わる事項を情報源別に収集した。所要時間は1人につき約1時間を要した。

#### 2.4.3.1 実験環境

本実験では、できる限り実航海に近い環境における衝突回避判断データを収集するため、下方画面、後方モニタ付きフルスクリーン大型操船シミュレータ(株式会社日本海洋科学製)、および、実機のレーダ(日本無線株式会社製 JMA-9800/JMA-9100)を用いた（詳細は16ページと17ページを参照）。提示したシナリオにおける自船の船首方向に対する景観スクリーン、および、レーダ装置の配置関係を図6に示す。本実験におけるレーダ画面は、水平面に対して50度の角度をなしており、自船の船首と同じ方向を向くよう設置されていた。また、レーダ上部(真上)が常に真北(絶対方位0度)となるように設定し、かつ、自船の初期針路を0度(絶対方位)とした。つまり、1度目の変針判断を行う(実験終了)まで、レーダ上での自船の進行方向は、左右方向に関しては常に景観上での船首方向と一致していた<sup>6</sup>。

---

<sup>6</sup> レーダには、船首方向を常に真上としない表示モードがある。例えば、90度方向に自船が航行する際に、北を常に真上に表示するモード(North UPモード)を選択すると、レーダ上の自船の船首方向は右向きに表示される。人はこのような表示を理解する際は、心的回転を行うとされている。本実験では、両実験の片方でのみにおいて心的回転による負荷が生じないようにするための措置として、実験参加者が表示モードを変更しても、レーダ上での自船の進行方向が、常に景観上での船首方向と一致するようにした。

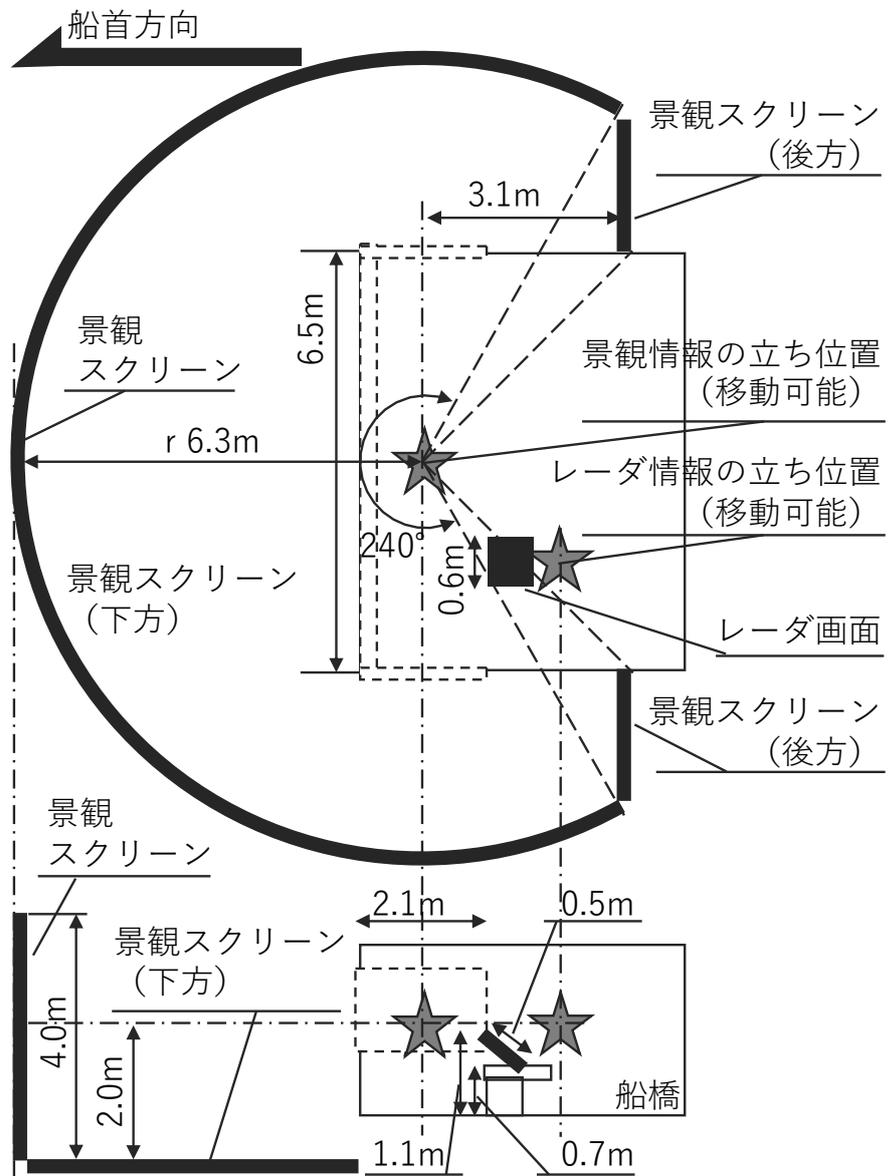


図 6 船首方向に対する景観スクリーン，および，レーダ装置の配置関係

**景観情報実験：**景観情報の視認には、360度の可視範囲を有する景観スクリーン(図7)と特定の範囲を拡大する電子双眼鏡を使用させた。景観情報では、提示したシナリオ(2.4.3.2項)におけるすべての他船を視認することができ、目測などの手段によって他船の針路や速力を見積もることが可能であった。景観情報実験では、図7の景観スクリーン上にシナリオの状況における(船橋から見た)他船が表示し、かつ、レーダは画面を紙で覆うことで(図7の下写真の右下参照)レーダ情報を視認できないようにした。

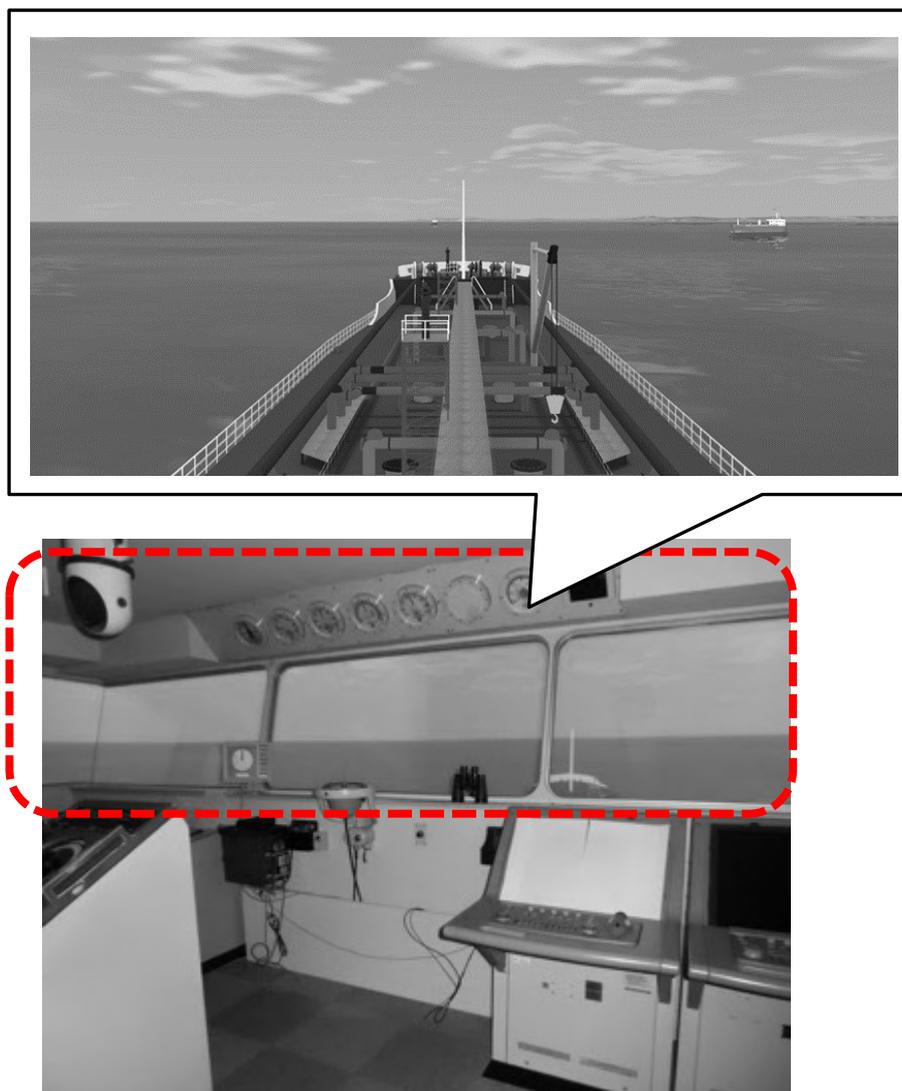


図7 景観情報を用いた実験の様子

**レーダ情報実験：**レーダ情報の視認には、実際の海上交通で使用されるものと同等の機能を有するレーダ(図 8)を使用させた。同レーダは、自船および周辺他船の俯瞰映像を表示するレーダ映像部(1 分間に 24 回更新される)に加え、それらの針路や速力、DCPA や TCPA などを必要に応じて表示することができる数値情報部からなる。実験の初期設定は、数値情報部のデータ表示はなしとした。実験開始後は、現場での使用と同様にレーダを自由に操作することを許可した。レーダ情報実験では図 8 のレーダ画面上にシナリオの状況における(レーダ映像としての)他船が表示され、かつ、景観スクリーンには何も映らないようにした。

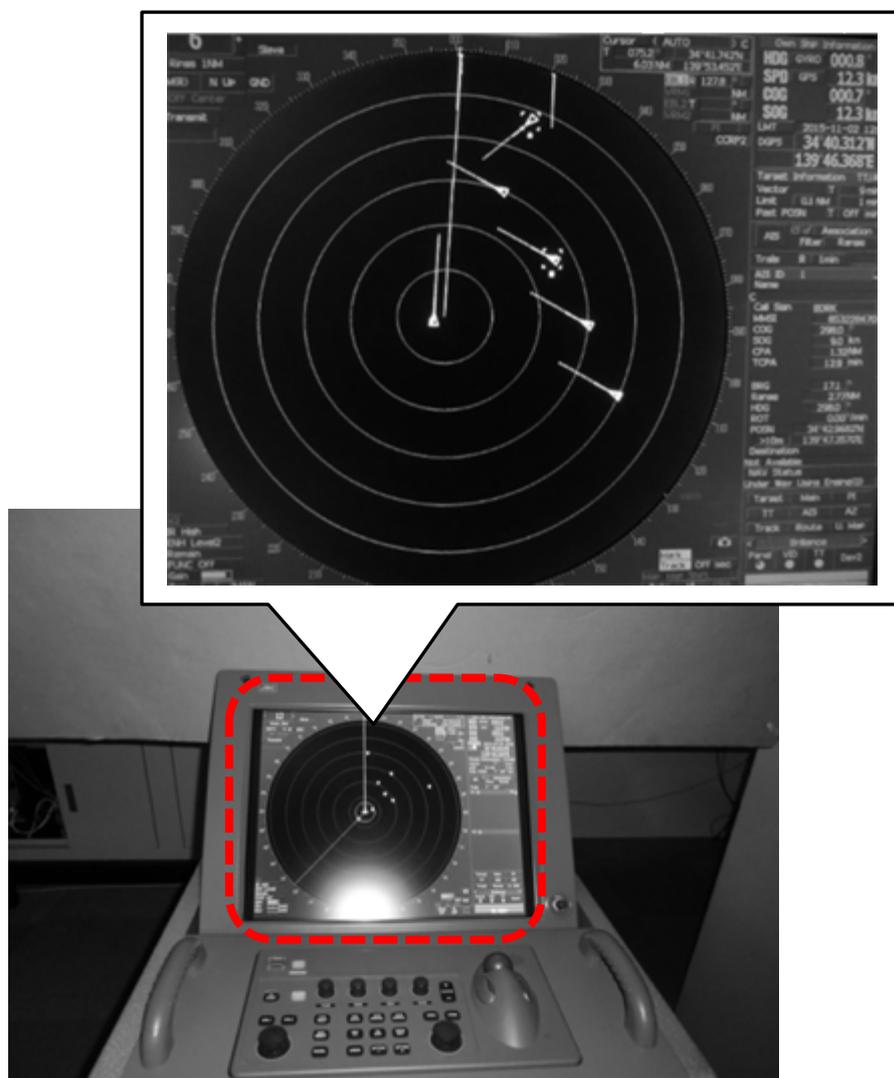


図 8 レーダ情報を用いた実験の様子

### 2.4.3.2 シナリオ

実験で提示した単純な状況のシナリオを図 9 に、複雑な状況のシナリオを図 10 に示す。上部の図中の点線は各船の 1 分毎の航跡を表す(矢印で指示されている点が初期位置)。下部の表は、シナリオスタート時における、針路(Course), 速さ(Speed), 最接近距離(DCPA), 最接近時間(TCPA), および、自船と他船との開始時距離を表す。

単純な状況のシナリオ(図 9)は、K 船一隻のみが存在する。シナリオは、自船が初期針路 0 度で真北にある目的地を目指し 12.3 ノットで航行している場面から開始する。自船が初期針路のまま航行を続けると、針路交差角 90 度で右 6 海里(1 海里は 1,852m)から自船と同じ速さ 12.3 ノットで接近する K 船と衝突するように設定した。海上交通のルール<sup>7</sup>では、操船者が衝突のリスク<sup>1</sup>があると判断した場合、自船は K 船の船首方向を横切ってはならない船舶であり、K 船は針路や速さを保持すべき船舶である。

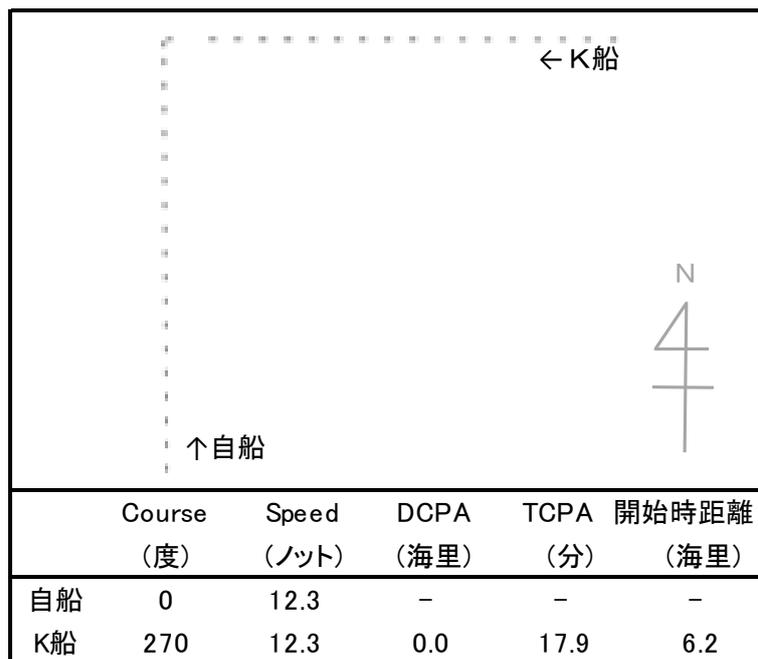


図 9 単純な状況のシナリオ

<sup>7</sup> ここでいう「海上交通のルール」とは、1.2 節で説明した COLREGs を指す。本論の内容は、海事科学系だけでなく認知科学系や人間工学系を対象に含むため、広く一般の読者にもイメージできるように、これを「COLREGs」という専門用語ではなく「海上交通のルール」と表現する。

複雑な状況のシナリオ(図 10)は、自船が初期針路 0 度で真北にある目的地を目指し 12.3 ノットで航行している場面から開始する。自船が初期針路のまま航行を続けると、相対的な方位変化<sup>8</sup>が、C 船は左に、D, E, F, G 船は右に生じるが、A, B, J 船は生じず、まず、14.3 分後に B 船が衝突し、続いて A 船が 16.8 分後に衝突するよう設定した(両船の DCPA が 0 であることに注意、DCPA が 0 であることは衝突を意味する)。B 船は、右前方から接近し自船の針路を横切るが、一般に、右から横切る船を針路変更で回避する場合は、右転することが多い(1.2 節)。加えて、左舷の近距離に同一針路の J 船を配置し、左転しにくい設定とした。この状況で、(B 船を回避するための)右転後に目的地へ向かうためには、C 船と D 船、D 船と E 船、または E 船と F 船の間を通過するか、F 船の後を通過する必要がある。これらの右にある船を通過した後、場合によっては、南下する G 船と出会う可能性を与えた。つまり、複雑な状況のシナリオは、同航する船(J 船)、行会う船(A 船)、横切る船(B・C・D・E・F 船)、現針路では関係しない船(G 船)を含み、事故発生の蓋然性が高い主要港沿岸付近の輻輳海域における、一般的な関係パターンを網羅的に含むよう設定した。これらの船は、衝突する、衝突しない、および現針路では関係しない状況にあり、画一的な判断状況に偏らないよう配慮した。このような状況下における実際の操船では、景観情報とレーダ情報がしばしば併用される。このように複雑な交通状況を設定することで、景観情報、レーダ情報の性質について、より現実的で生態学的妥当性<sup>9</sup>の高いデータが得られることが期待できる。

---

<sup>8</sup> 「相対的な方位」とは、自船から見た他船の方位(自船の船首方向を 0 度、時計回りを正とする(-180 < 方位 ≤ 180)であり、「方位変化」はその増減を表す。ある他船の相対的方位が増加(減少)しているとき、それは自船から見て右(左)へ動いているように見えるため、方位変化は「右(左)」となる。

<sup>9</sup> 「生態学的妥当性」とは、実験に用いる刺激や実験状況が、通常生活する環境に照らし合わせたときに意味のあるものであるかどうかということを目指す(南風原・下山・市川,2001)。

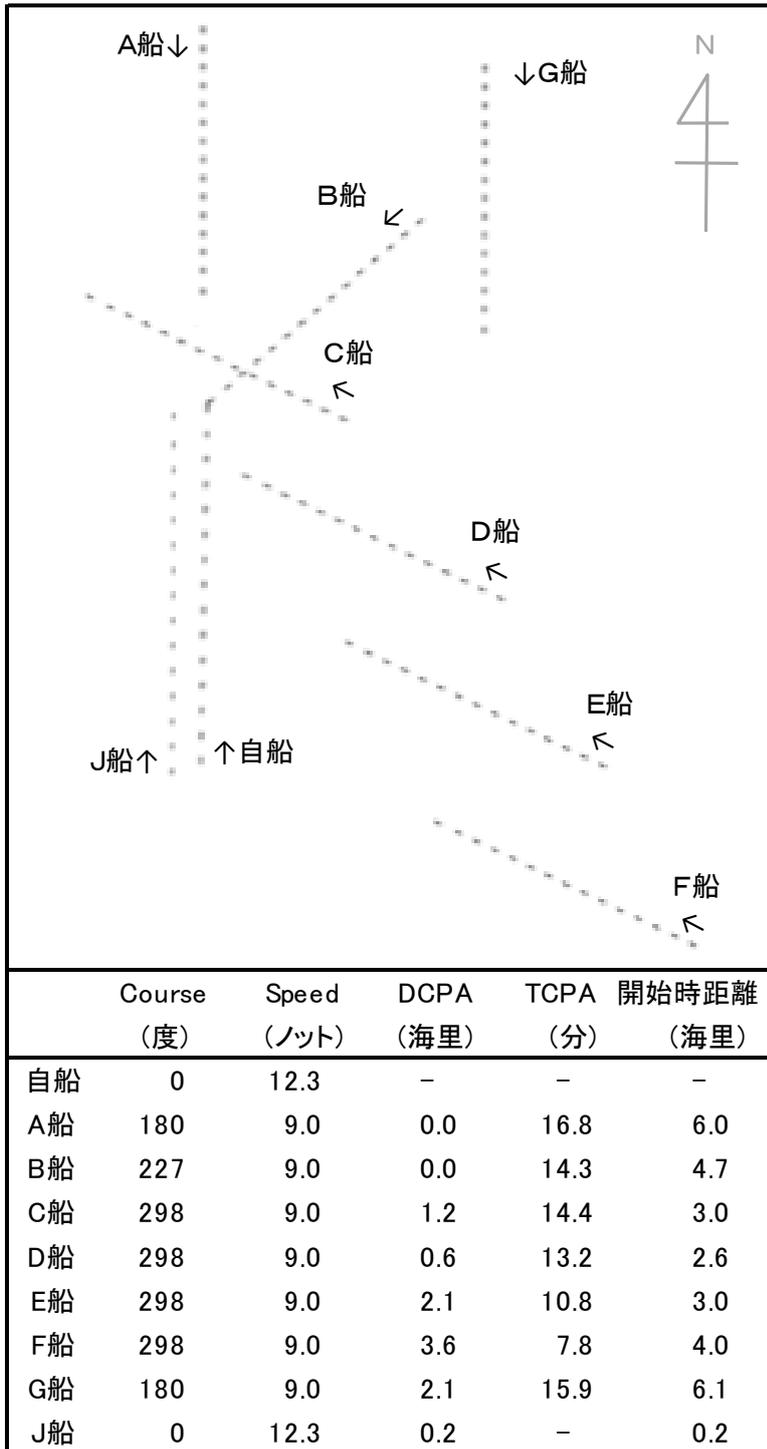


図 10 複雑な状況のシナリオ

### 2.4.3.3 調査項目

本実験では、「衝突回避判断」，「気になる船<sup>10</sup>」，「操船意図」の3項目を調査した（「気になる船」の調査は、複雑な状況のシナリオのみ）。（1）「衝突回避判断」は、変針を開始する時刻、および新しい針路を、シナリオ終了後直ちに被験者自身に回答用紙に記入させた。（2）「気になる船」は、白紙の用紙に任意隻の船をスケッチさせ、気になる<sup>10</sup>順位を評価させることで、調査した。その際、複数の船に同じ順位を付けることを許した。（3）「操船意図」は、あらかじめ用意した11項目の質問からの選択と自由記述式のアンケートを用い調査した。

#### 「衝突回避判断」

実験では、被験者に「変針を開始する時刻」と「決定した変針後の針路」を記入させた。設定開始時刻と記入した時刻との差から変針のタイミング〔分〕を、初期針路と記入した針路との差から変針量〔度〕を算出した。変針のタイミングと変針量から、情報源の違いによる衝突回避判断を検討した。図11に、算出した変針のタイミングと変針量を図示する。

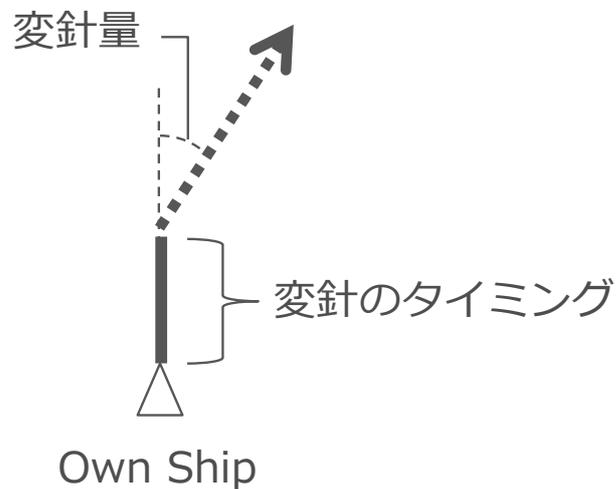


図 11 変針のタイミングと変針量

<sup>10</sup> 著者らの研究では、実験参加者は、周囲の他船8隻から任意隻の「気になる」船を挙げた上でその順位をつけた。「気になる」の解釈は各自の判断に任せた。

## 「気になる船」

複雑な交通状況においては、周辺にある他船に対する気になる度合いを評価させた。具体的には、被験者に周囲の状況を真上から観測した他船を白紙の用紙にスケッチさせた上で、スケッチした船に気になる順位を記入させた(以降、スケッチ図と呼ぶ)。ここでいう「気になる」の解釈は各自に任せたものであり、これは、「衝突のおそれがあるから気になる」や、「自身の変針することで新たに接近する可能性があるから気になる」、「近距離にあるから気になる」等の様々な意味を含む。スケッチ図の記入例を図 12 に示す。シナリオ開始から変針を決定するまでの間に、自由に記入することが可能であった。

分析にあたり、被験者が記入したスケッチ図における他船の位置と自船の関係から、該当する他船を特定した。他船ごとに記入の有無を調べ、被験者の有効データ(N)のうち、何人が記入したかの割合を算出し記入率を求めた。さらに、被験者の記入した順位に表 1 に示す点数表の点数<sup>11</sup>を与え単純加算し、情報源別に他船ごとに順位得点を算出した。記入率が高い船ほど存在を把握していた船、順位得点が高い船ほど気になる度合いが高い船であると扱った。

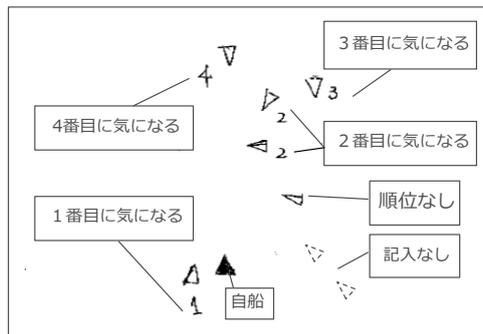


図 12 スケッチ図の記入例

表 1 点数表

	1位	2位	3位	4位	5位	6位	7位	8位	記入有 順位無	記入無
点数	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

<sup>11</sup> スケッチ図には、「スケッチをしたが順位を記入しない」場合と、シナリオに登場する船舶を「スケッチをしない」場合とがある。本研究では、「スケッチをしたが順位を記入していない」場合よりも「スケッチをしない」場合の方が、他船を気にしていないと考え、点数は低く設定した。並列順位が記入された場合の点数処理については、実験参加者が記入した順位のまま得点を付ける方法や、次の順位を繰り下げる方法が考えられるが、本研究では各実験参加者の記入した「気になる船」の順位を尊重した。

## 「操船意図」

衝突回避判断の理由と自己評価は、操船者ごとに数限りなくあり、ヒアリング調査をすることが望ましいが、実験時間を考慮してあらかじめ用意した「11項目の質問」および「自由記述式のアンケート」を用いて調査し、これらから、衝突回避判断の背景を検討した。

「11項目の質問」は、著者の操船シミュレータを用いた教育訓練経験を基に、実操船経験者らと協議した上で海上交通ルール、安全性と効率性、判断の自信に関する項目等を設定した。表2に11項目の質問を示す。表2におけるQ8とQ9は逆の関係とした<sup>12</sup>。実験では、作成した項目を順不同に提示し、“1-全く当てはまらない”から“7-非常に当てはまる”の7件法で回答させた。「自由記述式のアンケート」は、「操船意図を教えてください」との質問に自由に回答させた。

表2 11項目の質問

		非常に当てはまる	当てはまる	やや当てはまる	どちらともいえない	やや当てはまらない	当てはまらない	全く当てはまらない
1	決断した避航判断は、効率的である	7	6	5	4	3	2	1
2	決断した避航判断は、他船と十分なDCPAを確保することを目的に変針を行ったものである	7	6	5	4	3	2	1
3	シナリオ開始時に直ちに針路を変更する必要があった	7	6	5	4	3	2	1
4	決断した避航判断に自信がある	7	6	5	4	3	2	1
5	決断した避航判断には、他船も変針することを考慮している	7	6	5	4	3	2	1
6	決断した避航判断は、他船に本船の意図を明確に伝えることを目的に変針を行ったものである	7	6	5	4	3	2	1
7	決断した避航判断は、経験を基にしている	7	6	5	4	3	2	1
8	決断した避航判断のタイミングは、危険なタイミングである	7	6	5	4	3	2	1
9	決断した避航判断は、安全である	7	6	5	4	3	2	1
10	他船も予防法通りの避航を行う	7	6	5	4	3	2	1
11	積極的に避航した	7	6	5	4	3	2	1

<sup>12</sup> リッカート法による心理尺度を構成する質問群の中で、他の質問項目とは測定の向きが逆になっている逆転項目を作成することは、尺度の信頼性を評価に役立つことが知られている。

#### 2.4.3.4 実験手順

実験にあたり、事前に目的・方法を口頭と文章により説明した。データは研究者以外の目に触れないこと、匿名性の保証、得られたデータは研究目的以外で使用しないこと、参加の拒否およびデータの破棄を行えること等を説明後、同意書に署名を得た。

実験前に、自船の船種(載貨重量トン数<sup>13</sup>5,000トン, 全長105mのタンカー)と操縦性能, および, 他船の船種(載貨重量トン数5,000トン, 全長103mの貨物船)を被験者に伝え, 試運転の機会を与えて運動性能を確認させた。そして, 実験直前に, 自船の初期針路と速さ(具体的な値は図10参照), 目的地(真北), 開始時刻(正午), 風潮流(効果なし), 視界の視程(良好:全ての他船が視認可能), および回避手段(針路変更のみで, 速力の増減, および, 他船との交信の禁止)を教示した。なお, この教示には, 他船の初期針路や速力, 動向変化の有無は含めていない。その後, 操船シミュレータ室内で, 上述のシナリオをそれぞれの情報源で視認させ, 2.4.3.3項の調査項目を回答させた。

#### 2.4.4 分析方法

各調査項目について景観情報とレーダ情報の結果を比較する分析を行った。被験者が調査用紙に記入しなかった項目は, 欠損値として取り扱った。統計検定にあたって正規性を確認したところ, 正規分布に従わないデータが多く認められたため, ノンパラメトリック検定により対応のある統計検定を行なった。

「気になる船」の記入率の検定には, “記入あり”, “記入なし”の2値型の回答に情報源間の差があるか否かということを検討するため, マクネマーの検定を用いた。それ以外の調査項目(「衝突回避判断」の変針のタイミングと変針量, 「気になる船」の順位得点, および, 「操船意図」の11項目の質問)の検定には, それぞれの値が情報源間において差があるか否かを検討するためにウィルコクソンの符号つき順位検定を用いた。

---

<sup>13</sup> 載貨重量トン数=夏季満載喫水に対応する満載排水量からその船の軽貨排水量を控除した数値。

## 2.4.5 結果

### 「衝突回避判断」

単純状況における衝突回避判断の結果を表 3 に、複雑状況における結果を表 4 に示す。被験者 14 人中有効データ(N)は 11 人であった。

単純状況における変針のタイミングの平均値は景観情報 6.3 分、レーダ情報 3.8 分であったが、検定の結果は情報源間で有意な差はなかった(*n.s.*)。変針量の平均値は景観情報 33.4 度、レーダ情報 33.5 度であり、統計検定の結果は情報源間で有意な差はなかった(*n.s.*)。

複雑状況における変針のタイミングの平均値は景観情報 5.8 分、レーダ情報 1.7 分であり、検定の結果は情報源間で有意な差があった( $p < .01$ )。変針量の平均値は景観情報 17.3 度、レーダ情報 31.9 度と差は大きいですが、検定の結果は有意ではなかった(有意傾向は認められた。  $p < .10$ )。

つまり、単純状況では、情報源間で衝突回避判断に差がなかったが、複雑状況では景観情報よりレーダ情報の方が早く(遅く)変針することが示された。

表 3 単純状況における衝突回避判断

Wilcoxon符号付き順位検定				
Judge	Group	mean	Z	p-value
Timing	Ln	6.3	-1.433	0.152
	Rn	3.8		
Course	Ln	33.4	-1.187	0.235
	Rn	33.6		

表 4 複雑状況における衝突回避判断

Wilcoxon符号付き順位検定				
Judge	Group	mean	Z	p-value
Timing	Ln	5.8	-2.705	0.007 **
	Rn	1.7		
Course	Ln	17.3	-1.783	0.075
	Rn	31.9		

## 「気になる船<sup>10)</sup>

複雑な交通状況における気になる船の順位得点と記入率の結果を表 5 に示す。表 5 は順位得点が高い順にそれぞれの結果を並べている。A 船(1 位), B 船(2 位), J 船(4 位), C 船(5 位), E 船(7 位), F 船(8 位)は、順位得点の順が景観情報とレーダ情報で同じであった。しかし、D 船・G 船は順位が異なり、D 船は景観情報では 2 位に対しレーダ情報では 5 位、G 船は景観情報では 6 位に対しレーダ情報では 3 位であった。

気になる船の記入率の検定結果を表 6 に示す。被験者 14 人中、記入率の有効データ(N)は 11 人であった。マクネマーの検定の結果、E 船および F 船の記入率に差があり(ともに  $p < .05$ )、E 船は景観情報では 36%に対しレーダ情報では 91%、F 船は景観情報では 9%に対しレーダ情報では 73%で、レーダ情報の方が高かった。E 船・F 船は両情報源において「気になる船」の順位は 7 位以下と低かった。

気になる船の順位得点の検定結果を表 7 に示す。被験者 14 人中、順位得点の有効データ(N)は 8 人であった。ウィルコクソンの符号つき順位検定の結果、情報源間で有意な差はなかった。(D 船, F 船, G 船には有意傾向( $p < .10$ )があった)

表 5 気になる船の順位得点と記入率(順位得点順)

順位	景観情報			レーダ情報		
	他船	順位得点	記入率(%)	他船	順位得点	記入率(%)
1位	A船	68	100	A船	65	100
2位	B船・D船	65	100	B船	58	100
3位				G船	54	91
4位	J船	53	100	J船	46	91
5位	C船	49	91	C船・D船	41	100
6位	G船	25	45			
7位	E船	24	36	E船	36	91
8位	F船	11	9	F船	29	73
平均		45	73		46	93
SD		22	37		12	9

表 6 気になる船の記入率

McNemar検定						
他船	情報源	N	N記入無し	N記入有り	$p$	
A船	Ln	11	0	11	-	
	Rn	11	0	11		
B船	Ln	11	0	11	-	
	Rn	11	0	11		
C船	Ln	11	1	10	<i>n.s.</i>	
	Rn	11	0	11		
D船	Ln	11	0	11	-	
	Rn	11	0	11		
E船	Ln	11	7	4	$p < .05$	
	Rn	11	1	10		
F船	Ln	11	10	1	$p < .05$	
	Rn	11	3	8		
G船	Ln	11	6	5	<i>n.s.</i>	
	Rn	11	1	10		
J船	Ln	11	0	11	<i>n.s.</i>	
	Rn	11	1	10		

表 7 気になる船の順位得点

Wilcoxonの符号つき順位検定							
他船	情報源	N	平均順位得点	SD	中央値	Z	$p$
A船	Ln	8	8.5	1.6	8.5	0.447	<i>n.s.</i>
	Rn	8	8.1	2.5	9.0		
B船	Ln	8	8.1	2.6	9.0	0.813	<i>n.s.</i>
	Rn	8	7.3	2.8	8.0		
C船	Ln	8	6.1	3.1	7.0	0.681	<i>n.s.</i>
	Rn	8	5.1	2.4	5.5		
D船	Ln	8	8.1	1.1	8.0	1.689	$p < .10$
	Rn	8	5.1	2.9	5.5		
E船	Ln	8	3.0	2.9	1.0	0.938	<i>n.s.</i>
	Rn	8	4.5	2.8	4.0		
F船	Ln	8	1.4	1.1	1.0	1.807	$p < .10$
	Rn	8	3.6	2.4	3.0		
G船	Ln	8	3.1	2.3	3.0	1.755	$p < .10$
	Rn	8	6.8	3.1	8.0		
J船	Ln	8	6.6	2.7	7.0	0.954	<i>n.s.</i>
	Rn	8	5.8	3.6	6.0		

## 「操船意図」

11 項目の質問の結果を表 8 に示す。被験者 14 人中、有効データ(N)は 11 人であった。11 項目の質問はその内容から「回避判断の理由」と「回避判断の自己評価」に分けて検討した。ウィルコクソンの符号つき順位検定の結果は次のとおりであった。

「回避判断の理由」について、単純状況では全ての項目で有意な差がなかった(*n.s.*)。一方、複雑状況では、Q2( $p < .05$ )、Q5( $p < .05$ )、Q6( $p < .01$ )および Q11( $p < .05$ )に有意な差があり、レーダ情報の方が Q2、Q6 および Q11 の値が大きく、景観情報の方が Q5 の値が大きかった。ここから、複雑状況における回避判断の理由は、レーダ情報の方が景観情報より十分な DCPA を確保し、他船に自船の意図を伝え、積極的に衝突回避するためであり、景観情報の方がレーダ情報より他船の変針を考慮するためであったことがわかった。

「回避判断の自己評価」について、単純状況では Q4 のみに有意な差があり( $p < .05$ )、レーダ情報の方が景観情報よりも値が大きかった。複雑状況では、Q9 のみに有意な差があり( $p < .05$ )、レーダ情報の方が景観情報よりも値が大きかった。ここから、回避判断の自己評価は、単純状況ではレーダ情報の方が景観情報よりも自信があると自己評価したこと、複雑状況ではレーダ情報の方が景観情報よりも安全であると自己評価したことが示された。

表 8 衝突回避判断の理由と自己評価

分類	質問項目	情報源	単純状況			複雑状況		
			平均	SD	$p$	平均	SD	$p$
回避判断の理由	Q2 決断した避航判断は、他船と十分なCPAを確保することを目的に変針を行ったものである	Ln	5.5	1.3	$n.s.$	4.3	1.6	$p<.05$
		Rn	6.0	0.9		5.7	1.1	
	Q3 シナリオ開始時に直ちに針路を変更する必要があった	Ln	3.4	2.0	$n.s.$	4.4	1.6	$p<.10$
		Rn	3.8	2.2		5.7	1.5	
	Q5 決断した避航判断には、他船も変針することを考慮している	Ln	2.8	1.7	$n.s.$	4.6	1.7	$p<.05$
		Rn	2.5	1.8		3.1	2.0	
	Q6 決断した避航判断は、他船に本船の意図を明確に伝えることを目的に変針を行ったものである	Ln	5.9	1.2	$n.s.$	4.1	1.5	$p<.01$
Rn		6.5	0.5	5.8		0.7		
Q10 他船も予防法通りの避航を行う	Ln	4.3	1.0	$n.s.$	3.6	1.2	$n.s.$	
	Rn	4.5	1.6		4.3	1.3		
Q11 積極的に避航した	Ln	6.3	1.0	$n.s.$	5.0	1.7	$p<.05$	
	Rn	6.5	0.5		6.3	0.6		
回避判断の自己評価	Q1 決断した避航判断は、効率的である	Ln	5.6	1.1	$n.s.$	4.9	1.3	$p<.10$
		Rn	6.0	0.9		5.5	0.8	
	Q4 決断した避航判断に自信がある	Ln	5.3	1.0	$p<.05$	4.3	1.5	$n.s.$
		Rn	5.9	0.8		4.8	1.3	
	Q7 決断した避航判断は、経験を基にしている	Ln	2.5	1.4	$n.s.$	2.7	1.9	$n.s.$
Rn		2.6	1.6	2.5		2.1		
Q8 決断した避航判断のタイミングは、危険なタイミングである	Ln	1.7	0.6	$n.s.$	4.2	1.5	$n.s.$	
	Rn	2.6	1.7		3.3	1.0		
Q9 決断した避航判断は、安全である	Ln	5.9	0.8	$n.s.$	4.4	1.1	$p<.05$	
	Rn	5.9	1.0		5.0	0.7		

#### 2.4.6 考察

本研究の目的は、情報源の違いが衝突回避判断および衝突回避判断に関わる事項に及ぼす影響を検討することであった。景観情報実験とレーダ情報実験の両実験において提示した交通状況は、操船シミュレータの再生機能を用いることで全く同一とした。検討した交通状況は、登場する隻数が異なる2種類（単純状況、複雑状況）であった。

はじめに、衝突回避判断の結果について考察する。衝突回避判断の結果は、両情報源共に自船が右転するという衝突回避判断であったことはいずれも同じであったが、単純状況では、情報源間で衝突回避判断に差が無かった。一方、複雑状況では景観情報よりレーダ情報の方が早く変針することが示された( $p<.01$ )。また、変針量について統計的な有意差までは認められなかったが、有意傾向は認められ( $p<.10$ )、レーダ情報の方がより変針量が大きいことが示唆された。

続いて、「気になる船」の結果を考察する。複雑状況では「気になる船」の順位が情報源間で異なることが示された。提示した複雑状況を詳述すると、実験開始時の針路のまま

では衝突する船(A船, B船)を右転して衝突を回避すると, 右から接近し針路を横切る船(C船・D船・E船・F船:各船舶間の距離は1海里)のいずれかの間を通過することとなり, 衝突回避方法によっては, 右から横切る船群を通過した後に, 南下する船(G船)と接近する可能性がある設定である. このような交通状況において「気になる船」の順位を調査した結果, 上位三隻中二隻は両情報源共に実験開始時の針路のままでは衝突する船(A船, B船)であったが, 残りの一隻は情報源間で異なっていた. 具体的には, 景観情報では右転後に右から横切ることとなる船の中で最も DCPA が小さい船(D船)であったが, レーダ情報では右転後に右から横切る船群を通過した後に接近する可能性がある南下する船(G船)であった. D船およびG船については, 記入率に差がないことから(表 6), 同程度に存在を把握していたことが分かる. 一方, この両船の「気になる船」の順位得点には, 有意な差までは認められなかったが, 有意傾向は認められ( $p < .10$ ), D船は景観情報の方が, G船はレーダ情報の方が「気になる船」の順位得点が高いことが示唆された(表 7). すなわち, 両情報源において等しく知覚でき互いの情報源における上位船に含まれていた他船であっても, その気になる度合いは情報源間で異なっていた. これらのことから, 複雑状況では, 衝突回避判断において情報源間で異なる状況認識がなされ, そのことが衝突回避判断に影響した可能性があると考えられる.

次に, 回避判断の理由, および, その自己評価の結果について考察する. 回避判断の理由において, 複雑状況ではレーダ情報の方が景観情報より十分な DCPA を確保し, 他船に自船の意図を伝え, 積極的に衝突回避するためであり, 景観情報の方がレーダ情報より他船の変針を考慮するためであったことが示された. また, 回避判断の自己評価としては, 複雑状況ではレーダ情報の方が景観情報よりも安全であると自己評価したことが示された. 景観情報では他船の色や大きさ, 外形などを視認することができたが, シンボルマークと数値で表示されるレーダ情報では, 他船の具体的な形像を視認することはできなかった. ゆえに, 景観情報では衝突回避を行なっている相手船が, 性能が良い船であるか, 旧式の船であるか, 自船と同等であるか, ということを直接的に視認できたが, レーダ情報ではできなかった(他船の大きさや船種は教示していたが, 伝達と直接視認とでは, その情報の具体性が異なる). 海上交通において, 相手船の運動性能を加味した衝突回避は一般的に行われている<sup>14</sup>. すなわち, 複雑状況においてレーダ情報の方が早めに衝突を回避することが示された理由は, (相手船の運動性能を把握できないために, 協力動作を

---

<sup>14</sup> 日常生活においても, 避ける際の行動は, 回避対象の他者の属性(例えば, 性別や身長等)だけで決定するのではなく, 視認による印象(例えば, 風貌等)も決定要因とする行動はしばしばみられるものであり, 得体の知れない相手を警戒し, 近づかないようにすることは十分あり得る.

期待せず)自船のみの動作で衝突を回避しようと試み、(自船が行う衝突回避の行動を妨げるような他船の行動が発生することを防止するために)より明確に自船の意図を伝えようとしたためであったと推察できる。そしてその結果、レーダ情報の方が景観情報よりも(大きく避けることになったため)安全であると自己評価したと推察される。

以上のことから、複雑状況のような、直近の衝突を回避した後に、次に接近する船が存在する状況では、情報源の違いによって右転するという衝突回避判断は同じであっても衝突回避を開始する変針のタイミングが異なり、衝突回避判断に関わる事項(「気になる船」、「衝突回避判断の背景」)において、情報源間で差異が生じることが明らかとなった。

ただし、本研究で得られた知見は、あくまで本実験の条件下においてのみ明らかにされたものであり、他の交通状況や現実の状況下でも上述した結果が得られるとは言い切れない。そこで、今後の課題として、異なるシナリオでの確認や、両情報源を同時に用いた場合との比較、経験の有無の影響等の検証を行い、情報源の違いが衝突回避判断および衝突回避判断に関わる事項に与える影響についてより具体的に示していく必要があるものと考えられる。

## 参考文献

Burmeister, H.C(2014). Autonomous Unmanned Merchant Vessel and its Contribution towards the e-Navigation Implementation: The MUNIN Perspective, *International Journal of e-Navigation and Maritime Economy*, 1, pp1-13

Chauvin S. & Lardjane S.(2008). Decision making and strategies in an interaction situation Collision avoidance at sea, *Transportation Research Part F*, 11, pp 259-269

淵真輝・白井伸之介・藤本昌志・広野康平・持田高德(2010). 船舶の大きさによる許容船間距離の差異, *日本人間工学会大会講演集*, 日本人間工学会, 46, pp144-145, <https://ci.nii.ac.jp/naid/130005046470/10.14874/jergo.46sp.0.144.0>

藤原紗衣子・藤本昌志・淵真輝・古荘雅生(2009). 「船員の常務」に関する考察：アンケート調査に基づく比較と検証, *日本航海学会論文集*, 日本航海学会, 120, pp 189-198, <https://ci.nii.ac.jp/naid/110007162520/>, doi : 10.9749/jin.120.189

福戸淳司(2009). 航行支援機器によるリスク低減の研究動向, *海上技術安全研究所報告* 8(4), pp427-433, <http://ci.nii.ac.jp/naid/110007661656>

南風原朝和・下山晴彦・市川伸一 (2001). コラム 4-2 生態学的妥当性 心理学研究法入門—調査・実験から実践まで, p 98, 東京大学出版

Hockey G R J, Healey A, Crawshaw M., Wastell D. & Sauer J.(2003). Cognitive demands of collision avoidance in simulated ship control, *Human Factors*, 45, pp252-265

Jokioinen, E.(2016). Redefining shipping: Remote and Autonomous Ship—The next steps, AAWA whitepaper, *Ship Intelligence Marine*, pp 4-5

新保雅俊・平澤雅人・大島正毅(2005). 航海環境時系列画像からの航行船舶の抽出と追跡, *日本航海学会論文集*, 113, pp115-126, doi : 10.9749/jin.113.115

The maritime executive HP(2016). <http://www.maritime-executive.com/editorials/fully-autonomous-vessels-unrealistic>(last accessed: 11 September 2016)

## 2.5 【研究実績 2: 傾向】それぞれの情報源における実航海経験者の傾向は？

### 2.5.1 目的

前節の実航海未経験者を対象とした研究実績 1 において、他船が一隻の交通状況では衝突回避判断において情報源間の差がないが、他船が複数隻存在する交通状況では衝突回避判断に差が認められることが示された。ここから、直近の衝突を回避した後に次に接近する船が存在する先行研究において提示したような複雑な交通状況においては、景観情報とレーダ情報の違いは衝突回避判断に影響を及ぼすことが示唆された。

一般に初心者は「メディア（情報の表現法）の影響を受けてパフォーマンスが変わる」ことがよく知られており、これは表現の異なる情報から統一的な表象を形成できないこと、さらに言えばそれらを統合できないことに起因すると考えられる。経験の浅い航海士は、経験豊富な航海士に比べ、レーダ情報と景観情報の 2 つの情報を統合できないことが報告されており(伊藤ら, 2012)、海上交通において衝突回避する際にも、経験の有無はそのパフォーマンスに影響を与えると考えられる。つまり、実航海における経験が長い者においては研究実績 1 で報告した傾向ではない可能性がある。したがって、近い将来の海上交通システムを検討するには、これを確認する必要があるが、研究実績 1 で提示したような複雑な交通状況における情報源間の影響に関する研究は、ほとんどなされていない。

そこで、本節では実航海にて経験を積んだ操船者(以降、実航海経験者と呼ぶ。)を対象とし、衝突回避の課題遂行時に情報源が与える影響を、状況認識や操船意図から検討する。具体的には、前節にて衝突回避判断に差があった複数隻が接近する複雑な交通状況のシナリオを用い、景観情報のみによる衝突回避判断とレーダ情報のみによる衝突回避判断を行う実験を実施し、その結果を情報間で比較する。

### 2.5.2 被験者

海技免許を有し 1 年以上の経験を有することを条件に参加者を募集し、実験には 22 人が参加した。被験者は、景観情報実験・レーダ情報実験のどちらか一方のみに参加した。景観情報実験の被験者 11 人(船長 6 人, 航海士 5 人, Lh: Landscape / high-experience)の当直経験年数は 1 年から 35 年で、平均当直経験年数は 15.7 年( $SD=11.0$ )であった。レーダ情報実験の被験者 11 人(船長 4 人, 航海士 7 人, Rh: Radar / high-experience)の当直経験年

数は3年から22年で、平均当直経験年数は10.3年( $SD=7.2$ )であった。実験は個別に行った。各者には、実験前に機器の取り扱い、および、操縦性能を説明し、十分に練習させた。

### 2.5.3 実験方法と分析方法

本実験では、2.4節の研究において衝突回避判断に差が認められた複雑な状況のシナリオ(図10)を用い、2.4.3項で述べた「実験方法」と同様の設定で、景観情報実験およびレーダ情報実験を実施した。すなわち、提示したシナリオ以外の「実験方法」は、2.4.3項と同じであった。ただし、2.5.2項に示したとおり、本節の被験者の設定は前節とは異なる(前節(研究実績1)の被験者は、景観情報実験とレーダ情報実験の両方に参加したが、本節(研究実績2)の被験者は、どちらか片方のみの実験に参加した)ため、本節の統計分析には、対応のないものを採用した。「気になる船」の記入率の検定には、“記入あり”、“記入なし”の2値型の回答に情報源間の差があるか否かということを検討するため、フィッシャーの直接確率検定を用いた。それ以外の調査項目(「衝突回避判断」の変針のタイミングと変針量、「気になる船」の順位得点、および、「操船意図」の11項目の質問)については、それぞれの値が情報源間において差があるか否かを検討するためにマンホイットニーのU検定を用いた。

### 2.5.4 結果

#### 「衝突回避判断」

変針のタイミングと変針量の検定結果を表9に示す。変針のタイミングは、景観情報が平均2.9分、レーダ情報が平均4.7分で、情報間に有意な差は認められなかった(*n.s.*)。変針量は、景観情報が平均19.5度、レーダ情報が平均33.3度で、有意な差は認められなかった(*n.s.*)。すなわち、衝突回避判断に情報間で差は認められなかった。

表9 変針のタイミングと変針量：実航海経験者

Mann-Whitney U検定					
Judge	Group	mean	SD	U	p-value
Timing	Lh	2.9	2.74	39.00	<i>n.s.</i>
	Rh	4.7	2.94		
Course	Lh	19.5	17.3	38.00	<i>n.s.</i>
	Rh	33.3	18.97		

## 「気になる船」

気になる船の順位得点及び記入率の結果を表 10 に示す。この表は順位得点が高い順にそれぞれの結果を並べており、景観情報では、1 位・J 船、2 位・C 船、3 位・A 船であったが、レーダ情報では、1 位・D 船、2 位・B 船、3 位・J 船であり、気になる船の順位の並びが情報源間で異なった。

気になる船の順位得点の検定結果を表 11 に示す。C 船は順位得点がレーダ情報より景観情報の方が高く、景観情報の方が気になっていた( $p < .05$ )。D 船・E 船は順位得点が景観情報よりレーダ情報の方が高く、レーダ情報の方が気になっていた(D 船： $p < .05$ ，E 船： $p < .01$ )。

気になる船の記入率の検定結果を表 12 に示す。E 船・F 船の記入率は、景観情報よりレーダ情報の方が高く、広い範囲の船を記入していた(E 船： $p < .01$ ，F 船： $p < .05$ )。

表 10 気になる船の順位得点及び記入率

順位	景観情報			レーダ情報		
	他船	順位得点	記入率(%)	他船	順位得点	記入率(%)
1位	J船	91	100	D船	91	100
2位	C船	89	100	B船	81	91
3位	A船	85	100	J船	62	91
4位	D船	69	82	C船	57	91
5位	B船	55	55	A船	55	73
6位	G船	33	36	E船	52	82
7位	E船	16	9	G船	46	82
8位	F船	11	0	F船	26	46

表 11 気になる船の順位得点

Mann-Whitney U検定

他船		N	平均値	SD	U	$p$
A船	Lh	11	7.7	2.33	31.50	$p < .10$
	Rh	11	5.0	3.35		
B船	Lh	11	5.0	3.87	34.50	$p < .10$
	Rh	11	7.4	3.23		
C船	Lh	11	8.1	2.21	25.50	$p < .05$
	Rh	11	5.2	3.34		
D船	Lh	11	6.3	2.87	25.00	$p < .05$
	Rh	11	8.3	2.37		
E船	Lh	11	1.5	1.51	16.50	$p < .01$
	Rh	11	4.7	3.38		
F船	Lh	11	1.0	0.00	33.00	$p < .10$
	Rh	11	2.4	2.25		
G船	Lh	11	3.0	3.32	38.50	<i>n.s.</i>
	Rh	11	4.2	2.86		
J船	Lh	11	8.3	1.95	34.00	$p < .10$
	Rh	11	5.6	3.32		

表 12 気になる船の記入率

Fisher's 直接確率検定

他船		N	記入率(%)	$p$
A船	Lh	11	100	<i>n.s.</i>
	Rh	11	73	
B船	Lh	11	55	<i>n.s.</i>
	Rh	11	91	
C船	Lh	11	100	<i>n.s.</i>
	Rh	11	91	
D船	Lh	11	82	<i>n.s.</i>
	Rh	11	100	
E船	Lh	11	9	$p < .01$
	Rh	11	82	
F船	Lh	11	0	$p < .05$
	Rh	11	46	
G船	Lh	11	36	$p < .10$
	Rh	11	82	
J船	Lh	11	100	<i>n.s.</i>
	Rh	11	91	

## 「操船意図」

11 項目の質問で調査した結果を表 13 に示す。前節と同様に 11 項目の質問はその内容から「回避判断の理由」と「回避判断の自己評価」に分けて検討した。

「回避判断の理由」における全質問項目の検定結果に有意な差がなく、それぞれの情報による衝突回避判断は同様な理由に基づいた判断であった。「回避判断の自己評価」における検定の結果では、Q8“決断した衝突回避判断のタイミングは、危険なタイミングである”は、レーダ情報より景観情報の方が値が小さく、景観情報の方が危険なタイミングに当てはまらないと自己評価していた( $p < .01$ )。しかし、逆質問項目であった Q9“安全である”の項目に有意な差がなく( $n.s.$ )、今回の結果からは、安全についての自己評価は明確にならなかった。Q4“自信がある”の項目についてはレーダ情報より景観情報の方が値が大きく、景観情報の方が“自信がある”と自己評価する傾向があった( $p < .10$ )。また、Q7“経験を基にしている”は、平均値がいずれも 6 以上と高く、かつ、両情報間に有意な差がなく( $n.s.$ )、両情報とも経験に基づくと同程度に自己評価していた。

すなわち、それぞれの情報による衝突回避判断は、同様な理由に基づいた判断であり(表 13「衝突回避判断の理由」)、かつ、経験に基づくと同程度に自己評価していた(表 13 の「Q7」)

表 13 衝突回避判断の理由と自己評価

分類	質問項目		平均値	SD	p
回避判断の理由	Q3 シナリオ開始時に直ちに針路を変更する必要があった	Lh	4.5	2.21	<i>n.s.</i>
		Rh	4.0	1.84	
	Q5 決断した避航判断には、他船も変針することを考慮している	Lh	4.9	1.92	<i>n.s.</i>
		Rh	5.1	1.76	
	Q10 他船も予防法通りの避航を行う	Lh	3.8	1.25	<i>n.s.</i>
		Rh	4.1	1.76	
	Q6 決断した避航判断は、他船に本船の意図を明確に伝えることを目的に変針を行ったものである	Lh	6.0	0.89	<i>n.s.</i>
		Rh	5.4	1.36	
	Q11 積極的に避航した	Lh	5.4	1.12	<i>n.s.</i>
		Rh	5.1	1.58	
	Q2 決断した避航判断は、他船と十分なCPAを確保することを目的に変針を行ったものである	Lh	5.9	0.94	<i>n.s.</i>
Rh		5.1	1.51		
回避判断の自己評価	Q9 決断した避航判断は、安全である	Lh	5.4	1.12	<i>n.s.</i>
		Rh	4.7	1.68	
	Q8 決断した避航判断のタイミングは、危険なタイミングである	Lh	2.2	1.17	$p < .01$
		Rh	4.2	1.78	
	Q1 決断した避航判断は、効率的である	Lh	5.2	1.54	<i>n.s.</i>
		Rh	5.3	1.10	
	Q4 決断した避航判断に自信がある	Lh	5.9	0.83	$p < .10$
		Rh	5.1	1.14	
	Q7 決断した避航判断は、経験を基にしている	Lh	6.4	0.81	<i>n.s.</i>
		Rh	6.0	1.18	

### 2.5.5 考察

今回提示した交通状況において、前節の実航海未経験者を対象とした研究実績 1 の研究では衝突回避判断に差が認められたが、実航海経験者を対象とした本節の研究実績 2 の研究では、それに情報間の差は認められなかった(表 9)。それぞれの情報による衝突回避判断は、同様な理由に基づいた判断であり(表 13 の「衝突回避判断の理由」)、かつ、経験に基づくと同程度に自己評価していた(表 13 の「Q7」)ことが示された。このことから、実航海経験者は、衝突回避判断における情報源の影響を、経験に基づくことで補填することができたと考えられる。

ところで、ある交通状況において、衝突回避判断が同じであれば、気になる船も同様であると一般に推測されるが、本実験結果では異なった。具体的には、気になる船の順位が異なり、順位得点・記入率に相違があったことが示された。まず、記入率に有意な差があった E 船・F 船(ほぼ正横および正横後にある船)に着目する(表 12)。両船ともレーダ情報の方が記入率が高く、レーダ情報の方が比較的広範囲の船を把握していたと考えられる。次に、順位得点に有意な差があった C 船・D 船・E 船(いずれも、右からの横切り船)に着目する(表 11)。記入率がレーダ情報の方が高かった E 船は、順位得点もレーダ情報の方が高く、レーダ情報の方が E 船を把握していたため、比較的気になったと考えられる。一方、記入率に有意な差がない C 船・D 船は、景観情報では比較的 C 船が気になったが、逆に、レーダ情報では比較的 D 船が気になった。すなわち、操船者が他船の存在を同程度に把握している場合でも、用いる情報によって気になる船が異なった。

以上のことから、実航海経験者は、衝突回避判断に差がなかったが、気になる船が異なったことが示された。これらのことから、衝突回避判断に差がない場合でも、用いる情報により操船者が気になる船は異なるとが示唆される。

### 2.5.6 まとめ

海技免許を有し 1 年以上の実航海経験を有する者を対象に、景観情報のみとレーダ情報のみで衝突回避判断する実験を実施した結果、次に示す 2 つの知見が得られた。

- ✓ 今回提示した交通状況では、それぞれの情報のみによる衝突回避判断に差がなかった。その背景として、実航海で経験を積んだことが影響を与えたと考えられた。

- ✓ 衝突回避判断に差がない場合でも、用いる情報により気になる船に相違があることが示唆された。

今回掲示した交通状況では、衝突回避判断の結果が同じでも、用いる情報の違いは気になる船に影響していた。気になる船が異なることは、近い将来、運航形態の異なる船が混在した際に潜在的な危険の因子となり得る可能性は否定できない。そのため、運航形態の異なる船が混在した海域でも安全な船舶運航を実現するには、用いる情報に影響される人の特性を考慮した遠隔操船システムを構築する必要がある。今回の実験では、気になる船が異なる原因の解明までは至らなかったが、観察視点の違いが船間の位置関係の捉え方に影響する可能性が考えられ、今後の課題とする。

## 参考文献

Esa Jokioinen(2016). Redefining shipping: Remote and Autonomous Ship—The next steps, AAWA whitepaper, Ship Intelligence Marine, pp4-5

瀧真輝・白井伸之介・藤本昌志・広野康平・持田高德(2010). 船舶の大きさによる許容船間距離の差異, 日本人間工学会大会講演集, Vol.46sp, pp144-145

藤原紗衣子・藤本昌志・瀧真輝・古荘雅生(2009). 「船員の常務」に関する考察 - アンケート調査に基づく比較と検証-, 日本航海学会論文集 120 号, pp189-198

福戸淳司(2009). 航行支援機器によるリスク低減の研究動向, 海上技術安全研究所報告 第 8 巻, 第 4 号, pp 427-433

伊藤耕二・小林弘明(2012). 単独操船における経験の浅い航海士の行動特性の分析, 日本航海学会論文集 126 号, pp1-9

加藤由季・瀧真輝・久保野雅敬・藤井迪生・小西宗・藤本昌志・廣野康平(2016). 海上交通における情報源の違いによる衝突回避判断に関する検討, 日本人間工学会第 57 回大会講演集, Vol.52, pp410-411

久保田崇(2010). 航海者の避航行動に関する研究, 博士学位論文, [http://www.lib.kobe-u.ac.jp/handle\\_kernel/D1005100](http://www.lib.kobe-u.ac.jp/handle_kernel/D1005100)

新保雅俊・平澤雅人・大島正毅(2005). 航海環境時系列画像からの航行船舶の抽出と追跡, 日本航海学会論文集 113 号, pp115-126

The MARITIME EXECUTIVE HP(2016). <http://www.maritime-executive.com/editorials/fully-autonomous-vessels-unrealistic>(last accessed: 11 September 2016)

## 2.6 【研究実績 3：特徴】 なぜ搭乗操船では景観情報が優先されるのか？

### 2.6.1 目的

先行の 2 つの研究(2.4 節, 2.5 節)から, 情報源の違いが衝突回避判断および衝突回避判断に関わる事項に与える影響において, 操船の未経験者と経験者の間に差があることが示唆された. ここから, 実航海の経験は, 情報源が異なることが起因する衝突回避判断の差を補う効果があると考えられる. しかしながら, 2.4 節は対応ありの実験設定, 2.5 節は対応なしの実験設定としたため, これら 2 つの研究を直接比較することはできず, 経験の多寡が及ぼす判断への影響に関する詳細までは明らかにできなかった.

1.1 節で述べたとおり, 搭乗操縦船においては依然として景観情報が優先されており, 景観情報には何らかの有用性があると予想される. 景観情報の有用性については, 周囲の他船や障害物の見落とし防止に役立つことが報告されているが(伊藤・小林, 2012), 情報源の性質の観点からの報告はほとんどなされておらず, 上述した 2 つの研究においても, このことは明らかでない.

そこで, 本研究では, 衝突回避判断において経験の多寡が情報源間の傾向の違いに対してどのような影響を持つかを検討することで, 海上経験の長短によらない情報源の特徴を明らかにすることを目的とする. 具体的には, 海技免許を有する者を経験の幅を広く募集し, 情報源および経験の長短の組合せが異なる 4 つのグループが比較的複雑な交通状況で行った衝突回避判断を調査し, 経験と情報源の関係を多重比較する統計分析を行うことで, その傾向の概要を検討する.

### 2.6.2 被験者

海技免許を有する 38 人が実験に参加した. 被験者 38 人のうち, 20 人を景観情報実験に, 18 人をレーダ情報実験に割り当てた(情報源条件). その際, 経験の長短による分析を後で行うことを考慮して, 実航海経験年数 1 年未満の者と 1 年以上の者とがほぼ同数になるよう配慮した(経験条件). 具体的には, 経験 1 年未満の者 9 人を“景観情報から衝突回避判断する経験が短い操船者群(Ll: Landscape / less-experience)”, 経験 1 年未満の者 7 人を“レーダ情報から衝突回避判断する経験が短い操船者群(Rl: Radar / less-experience)”, 経験 1 年以上の者 11 人を“景観情報から衝突回避判断する経験が長い操船者群(Lh: Landscape / high-experience)”, 経験 1 年以上の者 11 人を“レーダ情報から衝突回避判断す

る経験が長い操船者群(Rh: Radar / high-experience)”とした。詳細を表 14 に示す。実験は個別に行った。各者には、実験前に機器の取り扱い、および、操縦性能を説明し、十分に練習させた。

表 14 被験者グループの詳細

Group	Information source	Mean Years of Experience (min, max, SD)	Mean Age (SD)	n
Ll	Landscape	0.2 (min=0, max=1, SD=0.3)	30.9 (9.8)	9
Rl	Radar	0.1 (min=0, max=1, SD=0.4)	29.9 (10.7)	7
Lh	Landscape	15.7 (min=1, max=35, SD=11.0)	53.4 (16.9)	11
Rh	Radar	10.3 (min=1, max=22, SD=7.2)	40.9 (12.7)	11

### 2.6.3 実験方法と分析方法

本実験では、2.4 節の研究において衝突回避判断に差が認められた複雑な状況のシナリオ(図 10)を用い、2.4.3 項で述べた「実験方法」と同様の設定で、景観情報実験およびレーダ情報実験を実施した。ただし、分析方法、および、分析の対象とした調査項目は異なった(本節では調査項目のうち「衝突回避判断」に着目する、「気になる船」および「操船意図」については 2.7 節の研究で述べる)。「衝突回避判断」に対する分析方法を次に詳述する。

「変針のタイミング」と「変針量」は、経験と情報源の関係を多重比較するために Steel-Dwass Test を用い、統計分析を行なった。各データの詳細の検討は、作成した箱ひげ図を見比べることで行なった。箱ひげ図において検討した値の名称を図 13 に示す。

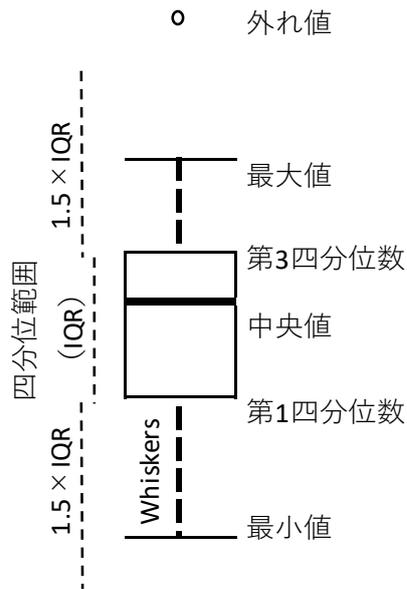


図 13 箱ひげ図の各名称

#### 2.6.4 結果

##### 「変針のタイミング」

表 15 に、変針のタイミングに対して危険率を 5%として Steel-Dwass Test を用い多重比較した結果を示す。Rl と Rh の間に有意な差が認められ( $p=0.047$ )、Rh より Rl の方が変針のタイミングが早かった。

図 14 に変針のタイミングの箱ひげ図を示す。中央値は、Rl と Lh は 2.0 分、Ll は 3.0 分、Rh は 4.0 分であった。Rh の中央値が最も大きく、第 1 四分位数は 2.5 であった。Ll の中央値は 2 番目に大きく第 3 四分位数は 5.0 であった。Lh の中央値は 3 番目に大きく第 3 四分位数は 4.5 であった。つまり、Ll と Lh の第 3 四分位数は Rh の第 1 四分位数よりも大きく、3 群の IQR は重複していた。これは、3 群(Ll, Rh, Lh)間の変針のタイミングは、有意な差がなかったことを示唆する。

一方、Rl の IQR 値は 1.0 で最も小さく、その外れ値の 4.0 は他群の IQR に含まれた。これらの事実から、Rl の変針のタイミングのデータ分布傾向は、それ以外の群(Ll, Rh, Lh)と異なっていたと考えられる。

表 15 変針のタイミングに対する Steel-Dwass Test の結果

	t	p	
Rl- Ll	1.511	0.431	
Rl- Rh	2.591	0.047	*
Rl- Lh	0.929	0.789	
Ll- Rh	0.728	0.886	
Ll- Lh	0.766	0.870	
Rh- Lh	1.433	0.479	

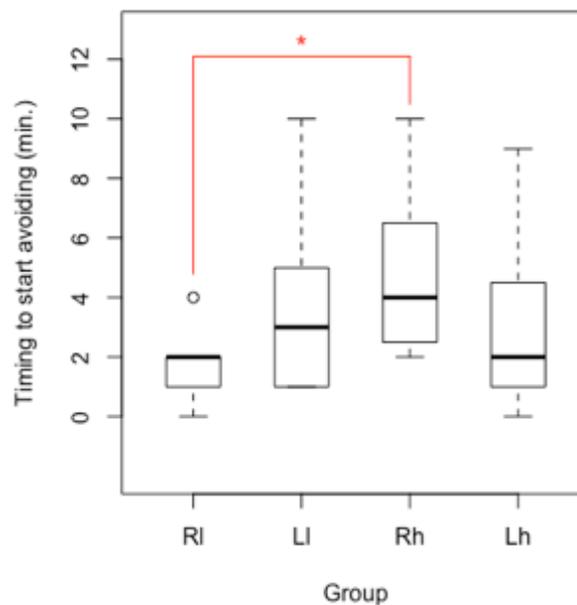


図 14 変針のタイミング

### 「変針量」

表 16 に、変針量に対して危険率を 5%として Steel-Dwass Test を用い多重比較した結果を示す。全てのグループ間に有意差は認められなかった。

図 15 に、変針量の箱ひげ図を示す。中央値は、Ll が 17 度、Lh は 20.0 度、Rh は 30.0 度、Rl は 40.0 度であり、レーダ情報グループ(Rl と Rh)の中央値の方が、景観情報グループ(Ll と Lh)よりも大きかった。Rl の中央値は最も大きく、IQR は 25.0 であった。中央値が 2 番目に大きかった Rh の IQR は 23.5、3 番目に大きかった Lh の IQR は 2.5 であり、

中央値が最も小さかった L1 の IQR は 10.0 であった。景観情報グループ(L1 と Lh)では 60 度を外れ値としたが、レーダ情報グループ(R1 と Rh)では 60 度を超えて伸びるひげを示した。すなわち、後者では、前者の外れ値をまれな値とはみなさなかった。言い換えると、レーダ情報グループに比べ景観情報グループのデータは、比較的狭い範囲にデータが集まって分布した。したがって、景観情報グループ(L1 と Lh)の変針量のデータ分布の傾向は、レーダ情報グループ(R1 と Rh)のそれとは異なっていたと考えられる。

表 16 変針量に対する Steel-Dwass Test の結果

	t	p
R1- L1	1.967	0.201
R1- Rh	0.818	0.846
R1- Lh	1.965	0.201
L1- Rh	1.600	0.378
L1- Lh	0.351	0.985
Rh- Lh	1.504	0.435

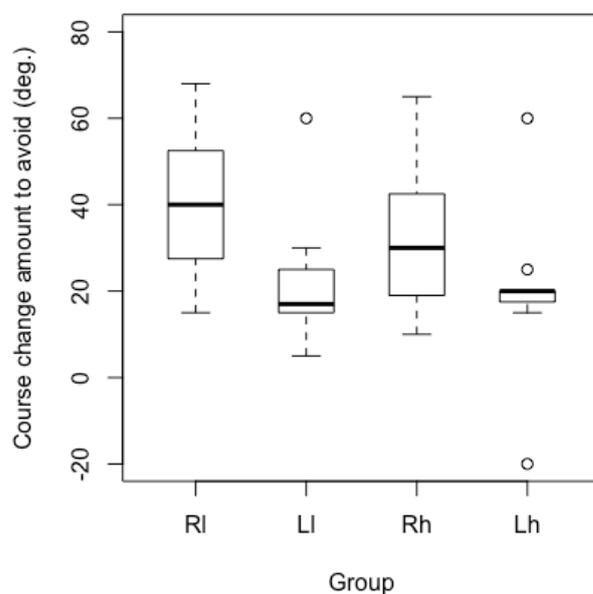


図 15 変針量

### 2.6.5 考察

まず、レーダ群(R1 と Rh)について述べる。Rh と R1 は、すべての被験者が海技免許を有し、全く同じ情報源を使用して、全く同じ交通状況を監視した(2.3 節)にも拘わらず、変針のタイミングにおいて両群間に有意な差が認められた( $p < 0.05$ , 表 15)。R1 の変針のタイミングの分布の傾向は、他群(L1, Rh, Lh)とは異なり、小さな値に集中した(図 14, 2.6.4 項)。これは、レーダ情報の使用に関してのみ、実航海における経験の違いが衝突回避判断の変針のタイミングに影響したことを表す。

図 14 変針のタイミングにおいて、R1 のタイミングの IQR は 1.0 分で、R1 以外の 3 群の IQR よりも大幅に狭かったが、R1 と中央値(2.0 分)が同じであった Lh の IQR は 3.5 分と比較的広かった。しかしながら、逆に、図 15 においては R1 の IQR は 25.0 度で最も広かったが、Lh の IQR は 2.5 度で最も狭かった。つまり、両群間における分布の傾向は、逆であった。これは、R1 は、とにかく現状の危険から早期に逃れるということを共通認識として衝突回避を行う傾向があったが(だからこそ、その船首を向ける方位角は個人で異なった)、一方 Lh ではある方位に針路を向けても安全であるというタイミングを見計らうということを共通認識として衝突回避を行う傾向があった(だからこそ、その変針を開始するタイミングは個人で異なっていた)ことを示唆する。なお、景観群(L1 と Lh)の変針量の分布の傾向は、レーダ群(R1 と Rh)のそれとは異なり(2.6.4 項「変針量」)、どちらも比較的小さな値と小さな IQR であった(図 15)。したがって、景観情報のみに基づく衝突回避には、交通状況に対してある程度の共通認識があったと考えられ、この共通認識に対する経験の影響は小さかったと考えられる。

すなわち、レーダ情報の使用に制限されている場合は、変針のタイミングが経験の長短で異なり(経験の短い操船者の方が、経験豊富な操船者よりも早かった)、かつ、変針量の個人差が経験の長短に関わらず大きかったが、一方、景観情報の使用に制限されている場合は、経験の長短に関係なく船首を向ける方位、すなわち変針量の個人差が小さく一貫していた。ここから、景観情報の使用は、人々が衝突回避のために多様な判断を下すことを防ぐと示唆され、景観情報の使用は互いに衝突回避する際に安全を維持する上で重要と考えられる。

### 2.6.6 まとめ

この研究では、情報源および経験の長短の組合せが異なる 4 つのグループが比較的複雑な交通状況で行った衝突回避判断を調査および比較することから、次に示す 2 つの知見が得られた。

- ✓ 経験の違いは、レーダの使用に関してのみ、衝突回避を開始するタイミングに影響を与える可能性がある。
- ✓ 景観情報の使用には、人々が衝突回避のために個々人が異なる判断を下すことを防ぐ効果があると示唆される。

したがって、これらの結果から、衝突回避の判断は、経験と情報源の両方の影響を受けると考えられる。しかしながら、本実験は限定的な設定のもと特定の交通状況に対する結果から導出したものである。他の交通状況や実航海に一般化するには、両方の情報源が同時に利用できる実験設定、および、他のシナリオを使用してこれらの結果を確認する必要があるといえ、今後の課題とする。また、この研究では、経験のブレイクポイントは 1 年に設定したが、3 年および 5 年の経験をブレイクポイントとし検証することは、その課程を明らかにできることが期待でき、これについても今後取り組む所存である。

## 参考文献

伊藤耕二・小林弘明(2012). 単独操船における経験の浅い航海士の行動特性の分析, 日本航海学会論文集, 126, pp1-9

加藤由季・瀧真輝・久保野雅敬・藤井迪生・小西宗・藤本昌志・廣野康平(2017a). 海上交通における情報源の違いによる衝突回避判断に関する検討, 人間工学, 53 巻, 6 号, pp205-213, 公開日 2019/03/06, Online ISSN 1884-2844, Print ISSN 0549-4974, <https://doi.org/10.5100/jje.53.205>

加藤由季・瀧真輝・藤井迪生・久保野雅敬(2017b). 目視と計器による情報が避航判断に及ぼす影響について, 日本航海学会論文集, 136 巻, pp50-56, 公開日 2017/07/01, Online ISSN 2187-3275, Print ISSN 0388-7405, <https://doi.org/10.9749/jin.136.50>

杉崎昭生(2010). 新シーマンシップ考, 海事交通研究, 59 巻, 山縣記念財団(編), pp15-21, <https://www.ymf.or.jp/wp-content/uploads/59-3.pdf>

Yixiong He・Yi Jin・Liwen Huang・Yong Xiong(2017). Pengfei Chen and Junmin Mou, “Quantitative analysis of COLREG rules and seamanship for autonomous collision avoidance at open sea”, *Ocean Engineering*, vol.140, pp281–191

Yuki Kato・Masaki Fuchi(2017). “Impact of Experience on Collision Avoidance Judgments Due to Differences of the Information Employed”, *Journal of Maritime Researches*, vol.7, pp13–24

## 2.7 【研究実績 4：方略】異なる情報源による影響の差はどのようにしたら補えるか？

### 2.7.1 目的

前節までの研究から、(1)未経験または経験の短い者がレーダ情報のみを用いると景観情報とは異なる衝突回避判断を行うが、経験の長い者は同等であること、(2)経験の長短に関わらず、レーダ情報のみを用いると、景観情報のみを用いるときと比べ、個人差がより大きいこと、が明らかになった。

しかしながら、(1)については、経験によって情報源(主として視点)の違いの影響が軽減されたのか(例えば、目測による他船の動向把握の正確さの向上や、必要であれば両情報源を対応づけることへの熟達)、あるいは状況認識や方略に変化が起きたのかについては不明である。また、(2)についても、衝突回避判断における個人差の大小が、主として(経験よりも)情報源の違いの影響を受けることを示しているものの、その影響が状況認識や方略にまで及んでいるかどうかは不明である。

そこで、本研究では、景観情報、レーダ情報の情報源としての性質の違い、およびそれらを用いた課題遂行時に経験が与える影響を、状況認識や方略の観点から明らかにすることを目的とする。具体的には、前節(2.6 節)では調査項目のうちの「衝突回避判断」に着目することで、その傾向を大きく捉える分析を行なったが、本節では、「気になる船」と「操船意図」をそれに加え、情報源の種類および経験の長短の観点からさらに詳細に分析することで、(a)経験の長い者の衝突回避判断が情報源の違いの影響を受けにくいことは状況認識や方略と関係しているか否か、また、このとき(b)異なる情報源を用いたときの個人差の大小は、状況認識や方略とどのように関係しているか(あるいはいないか)、について検証する。

### 2.7.2 被験者

研究実績 4 は、2.6 節の表 14 に示す研究実績 3 の被験者と同じであった。

### 2.7.3 実験方法と分析方法

本節の「被験者」と「実験方法」は2.6.3項と同じだが、「分析方法」、および、分析の対象とした調査項目は異なる。前節では「衝突回避判断」を対象とし経験と情報源を多重比較する統計分析を行ったが、本節ではその詳細を検討するため、「衝突回避判断」と「気になる船」は経験ごとに情報源を比較する分析を、「操船意図」は自由記述式アンケートを対象に多変量解析を行なった。

「衝突回避判断」の変針のタイミングと変針量、「気になる船」の順位得点には、ブルナー=ムンツェル検定(Brunner & Munzele, 2000)を用い中央値の同一性を確認する分析と、ブラウン=フォーサイス検定を用い分散の均質性を確認する分析を行った。ブルナー=ムンツェル検定においては、効果量(水本・竹内, 2008)とその信頼区間を求めた。両分析には、箱ひげ図により確認した外れ値を除外したデータを用いた。

「操船意図」は「自由記述式アンケート」に対し、コレスポネンス分析を行った。分析の準備として、すべての回答から「どの船に対して(他船)、どう捉えどんなことを意図したか(意図)」という形式の記述を同定し、「他船を表す語」と「意図を表す語」を抽出した。類似の意味を持つ語は一つにまとめ、代表的な語をカテゴリ名とする「他船」のカテゴリおよび「意図」の予備カテゴリを作成した。この際、出現数が4回未満の語は除外した。このカテゴリは、心理学系の研究者1人、操船のライセンスを有する者2人、および学習科学系の研究者1人の計4人で協議し、全員の合意を得ることで作成した。

「他船を表す語」はA船、B船、C船、D船、E船、F船、G船、J船の8つのカテゴリ(以降、他船カテゴリと呼ぶ)に分類された。「意図を表す語」については、抽出した18の予備カテゴリに対して、それらのジャカード距離に基づくワード法によるクラスタリングを行った結果、6つのクラスタ(以降、意図クラスタと呼ぶ)に分類された。意図クラスタとその形成に関する記述例を表17に示す。次に、他船カテゴリ・意図クラスタの各々につき、分類される語の出現数を被験者グループ(Rl, Ll, Rh, Lh)毎に集計し、クロス集計表を作成した(表18)。この表における他船カテゴリ・意図クラスタの各々につき $\chi^2$ 検定を用い、行変数と列変数の関連性を確認した後、コレスポネンス分析を行い、2変数間の関連を可視化した。

表 17 意図クラスタとその形成に関する記述

意図クラスタ	予備カテゴリ	定義	記述例
衝突回避	避航対象	対象を避航の対象とみなす記述	B船を避航した／B船を避航するため
	衝突を回避する	対象との方位変化を生じさせる、つまり衝突のおそれを解消するために変針することを示す記述	右舷横切り船との見合い角を大きくする／避航した。／衝突のおそれは無くなる／右転する／避航するために右変針する
伝達と通過状況	間を通過する	対象船と対象船の間を通過することを示す記述	CD船の間に入りたかった／BG船間を航過すべく
	操船意図を伝達する	操船意図を伝達するために変針したことを示す記述	意図をハッキリと伝えたいので／
	大幅に変針する	変針量に関する記述	まとめてかわす意図で大きく転針した／又大幅に取るため、
同航船との距離確保	同航する船	自船に対して対象を同航船とみなす記述	(A船) 同航船
	船間距離を確保する	対象との距離をとることを示す記述	J船とは船間距離をとり
衝突船へ向首	行会う船	自船に対して対象を反航船、または行会い船とみなす記述	右からの反航船
	早期に変針する	変針するタイミングに関する記述	できる限り早期に避航動作を行うため、
	船首を向ける	船首を向けることを示す記述	向首する／C船のともを追うように／追従する／針路を向ける
	方位変化がない	対象に方位変化がないことを観察していたことを示す記述	ベアリングは変わらず／B船は方位変化はなかった
	横切る船	自船に対して対象を横切り船とみなす記述	(C船) 横切り船
接近船の船尾へ向首	接近の解消	接近を解消することを示す記述	かわす／CPAが近くなることがない
	船尾を通過する	対象船の後方を通過することを示す記述	D船の船尾を通るため
非衝突船への接近状況	方位変化がある	対象に方位変化があることを観察していたことを示す記述	DC船は方位変化がみられた／本船のとも側に下がっていく／ベアリングは左に変わっていた／ベアリングがともに変わるのを確認／ベアリングが変わりつつある
	様子を見る	観察することを示す記述	D船の様子を見る／タイミングを待つ
	船首方向を横切る	対象船の前方を通過することを示す記述	D船の船首方向を横切りながら
	すれ違う	対象を左舷（右舷）にみても航過することを示す記述	A船とは左舷対左舷として／A船とは左対左で／BC船を左舷に見て航行する／G船を右舷に、

表 18 被験者グループに対する他船カテゴリと意図クラスタのクロス集計結果

グループ	他船カテゴリ								意図クラスタ					
	A 船	B 船	C 船	D 船	E 船	F 船	G 船	J 船	衝突回避	同航船との距離確保 伝達と通過状況	衝突船へ向首	接近船の船尾へ向首	非衝突船への接近状況	
Lh	13	13	15	15	0	0	3	9	15	4	8	21	6	14
Rh	5	20	9	24	8	3	2	3	24	3	5	8	9	25
LI	15	14	10	5	3	0	4	3	12	8	3	9	13	9
RI	4	9	10	14	9	7	5	3	18	18	1	9	8	7
合計	37	56	44	58	20	10	14	18	69	33	17	47	36	55
	257								257					

## 2.7.4 結果

### 2.7.4.1 衝突回避判断

情報源・経験別にまとめた変針のタイミングを図 16 の(a)(b)に、変針量を図 16 の(c)(d)に示す。図 16 の(a)(b)の縦軸は変針のタイミングであり、上方ほど変針を開始する時刻が遅かったことを意味する。四分位範囲は、LI が 4.0、RI が 1.0、Lh が 3.5、Rh が 4.0 であった。図 16 の(c)(d)の縦軸は変針量であり、0 から離れるほど角度が大きかったことを意味する。四分位範囲は、LI が 10.0、RI が 25.0、Lh が 2.5、Rh が 23.5 であった。この図における外れ値を除外したデータに対して、ブルナー=ムンツェル検定(Brunner et al., 2000)を行った結果を表 19 の(a)に、ブラウン=フォーサイス検定を行った結果を表 19 の(b)に示す<sup>15</sup>。

図 16 と表 19 の(a)から、変針のタイミングについては、経験が短いグループ(LI と RI)において情報源間で有意な差があり( $p = .046$ )、レーダ情報の方が早かったが、経験が長いグループ(Lh と Rh)においては有意な差が認められなかった( $p = .146$ )。一方、変針量については、経験が短いグループ(LI と RI)において情報源間で有意な差があり( $p = .007$ )、レーダ情報の方が大きかったが、経験が長いグループ(Lh と Rh)においては有意な差が認められなかった。

<sup>15</sup> 本実験では、データの等分散性が必ずしも担保されなかったことから(表 19(b), 表 20(b)), ブルナー=ムンツェル検定を採用した。一般にノンパラメトリック検定は外れ値に対して頑健であるとされているが、外れ値の存在は特に第二種の過誤を引き起こしやすいとの指摘もある(Zimmerman, 1995)。よって本研究では、検定力を確保するため外れ値を除外することとした。

められなかった(ただし  $p = .098$  であり, 有意傾向(本研究では  $.05 \leq p < .10$  を有意傾向として扱う)は見られた).

また, 図 16 と表 19 の(b)から, 変針のタイミングに関するデータ分布の分散については, 経験が短いグループ(LI と RI), 経験が長いグループ(Lh と Rh)のいずれにおいても有意な差が認められなかった(それぞれ  $p = .122$ ,  $p = .833$ ). 一方, 変針量については, 経験が短いグループ(LI と RI)においては有意な差が認められなかったが(ただし  $p = .063$ ), 経験が長いグループ(Lh と Rh)においては情報源間で有意な差があり( $p = .004$ ), レーダ情報の方が分散が大きかった.

すなわち, 衝突回避判断(変針タイミングと変針量)において, 経験が短いグループ(LI と RI)では情報源間で明確な差が認められたのに対し, 経験が長いグループ(Lh と Rh)では明確な差が認められなかった(本研究では  $p < .05$  の有意差を「明確な差」と呼ぶ). これは, 著者らの先行研究の結果を確認するものとなっている, 一方, 衝突回避判断の個人差については, 経験が長いグループ(Lh と Rh)の変針量においてのみ, レーダ情報の方が景観情報よりも個人差が明確に大きかったが, その他の場合では明確な個人差の違いは認められなかった(ただし経験が短いグループ(LI と RI)の変針量においても, レーダ情報の方が景観情報よりも個人差が大きい傾向が見られた). これらの結果を, 2.7.5 項において, 状況認識や方略の観点から考察することとする.

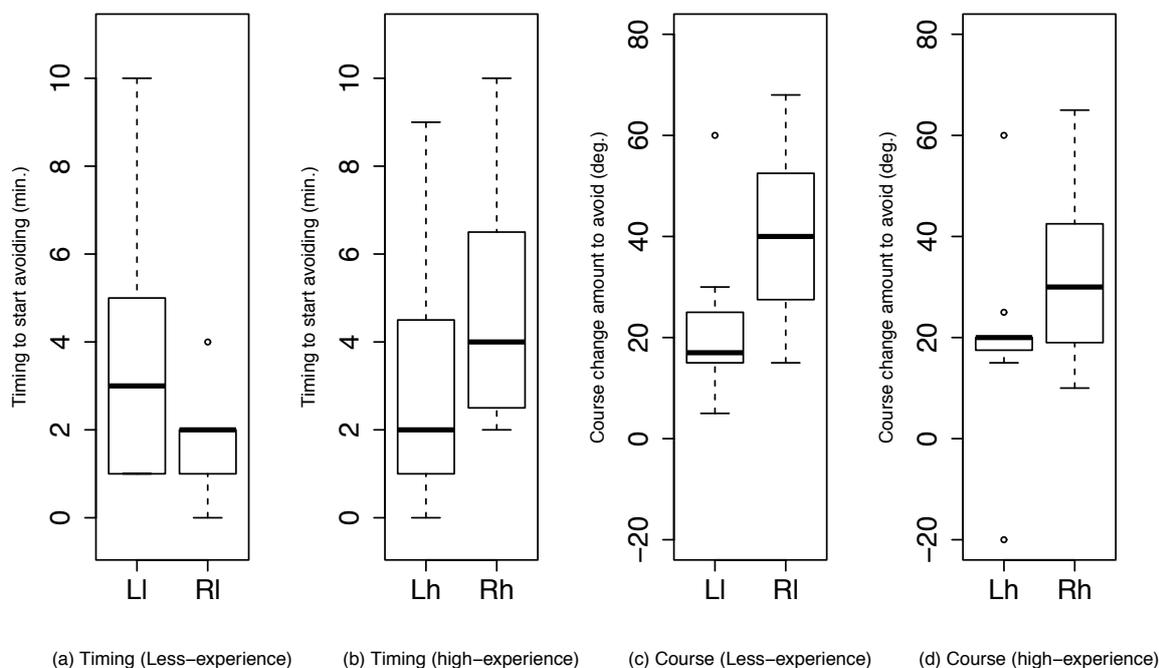


図 16 衝突回避判断の結果：経験ごとに情報源間で比較

表 19 衝突回避判断に対する検定結果：経験ごとに情報源間で比較

(a) ブルンナー=ムンツェル検定の結果

Group	Judge	df	Brunner-Munzel Test Statistic	p-value	r	r : 95% CI	
						Lower	Upper
LI - RI	Timing	11.364	-2.236	0.046 *	-0.47	-0.76	0.02
	Course	8.344	3.597	0.007 **	0.62	0.19	0.83
Lh - Rh	Timing	17.767	1.520	0.146	0.31	-0.11	0.62
	Course	11.160	1.803	0.098	0.39	-0.05	0.69

Signif. codes: '\*\*\*\*' p<.001, '\*\*\*' p<.01, '\*\*' p<.05

(b) ブラウン=フォーサイス検定の結果(center=median)

Group	Judge	Df1	Df2	F	p-value
LI - RI	Timing	1	13	2.733	0.122
	Course	1	13	4.120	0.063
Lh - Rh	Timing	1	20	0.046	0.833
	Course	1	17	11.210	0.004 **

Signif. codes: '\*\*\*\*' p<.001, '\*\*\*' p<.01, '\*\*' p<.05

#### 2.7.4.2 気になる船

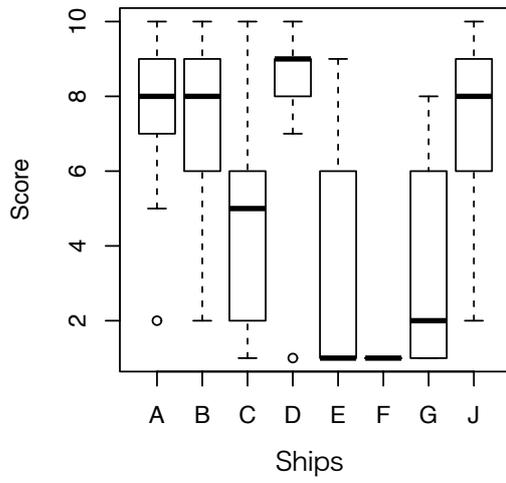
情報源・経験別にまとめた気になる船の結果を図 17 に示す。図 17 の縦軸は気になる船のスコアであり、上方ほど気になる船としての評価が高いことを意味する。それぞれの四分位範囲は、同図(a)(LI)については、A が 2.0, B が 3.0, C が 4.0, D が 1.0, E が 5.0, F が 0.0, G が 5.0, J が 3.0 であった。同図(b)(RI)については、A が 4.5, B が 1.0, C が 3.5, D が 1.0, E が 4.5, F が 1.5, G が 1.0, J が 4.5 であった。また、同図(c)(Lh)については、A が 2.5, B が 7.5, C が 1.0, D が 2.5, E が 0.0, F が 0.0, G が 3.5, J が 3.5 であった。同図(d)(Rh)については、A が 6.5, B が 3.5, C が 6.0, D が 1.0, E が 5.5, F が 1.5, G が 4.0, J が 5.5 であった。ただし、いずれも被験者全体としての傾向であり、各人における(各船への)スコアの分布はこれらの図には表れない。この図における外れ値を除外したデータに対して、ブルンナー=ムンツェル検定(Brunner et al., 2000)を行った結果を表 20 の(a)に、ブラウン=フォーサイス検定を行った結果を表 20 の(b)に示す。

図 17 と表 20 の(a)から、各船に対する気になる船としてのスコアは、経験が短いグループ(LI と RI)では大部分の船について情報源間で有意な差が認められなかった(E, F 船の

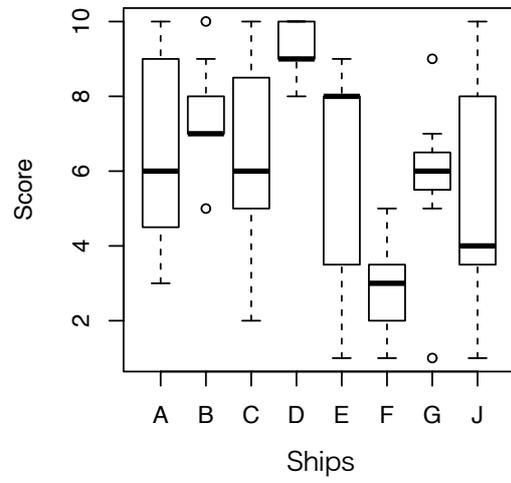
み、レーダ情報の方が景観情報よりも有意に高かった(それぞれ  $p=.002$ ,  $p=.001$ )。これに対して、経験が長いグループ(Lh と Rh)ではほぼすべての船について情報源間で有意な差、および有意傾向が認められ(G 船は例外( $p=.155$ )), A, C, J 船については景観情報の方が(それぞれ  $p=.013$ ,  $p=.010$ ,  $p=.063$ (ただし J 船は有意傾向)), B, D, E, F 船についてはレーダ情報の方が(それぞれ  $p=.010$ ,  $p<.001$ ,  $p<.001$ ,  $p=.037$ )スコアが高かった。

また、図 17 と表 20 の(b)から、各船に対するスコア分布の分散については、経験が短いグループ(LI と RI)では F 船にのみ有意な差があり( $p=.002$ )、レーダ情報の方が大きかったのに対し、経験が長いグループ(Lh と Rh)では A, B, E 船について有意な差があり(それぞれ  $p=.002$ ,  $p=.022$ ,  $p<.001$ )、A, E 船ではレーダ情報の方が、B 船では景観情報の方が分散が大きかった(また、C, F 船について有意傾向が見られ( $p=.098$ ,  $p=.058$ ), レーダ情報の方が分散が大きかった)。

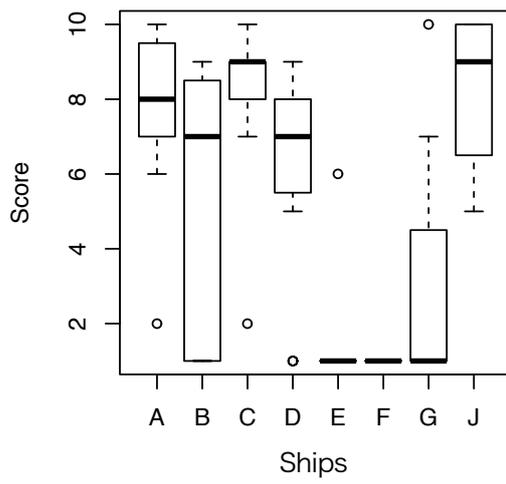
すなわち、気になる船としての評価において、経験が短いグループ(LI と RI)では殆どの船について情報源間で有意な差が認められず、似通った状況認識を行っていたと考えられるのに対し、経験が長いグループ(Lh と Rh)ではほぼすべての船について情報源間で有意な差が認められ、明確に異なった状況認識を行っていたものと考えられる。一方、気になる船としての評価の個人差については、経験が短いグループ(LI と RI)では殆どの船について情報源間で有意な差が認められなかった。経験が長いグループ(Lh と Rh)では、幾つかの船についてはレーダ情報の方が景観情報より個人差が大きかったが、反対の傾向を示す船も存在した。これらの結果についても、2.7.5 項において、状況認識や方略の観点から考察する。



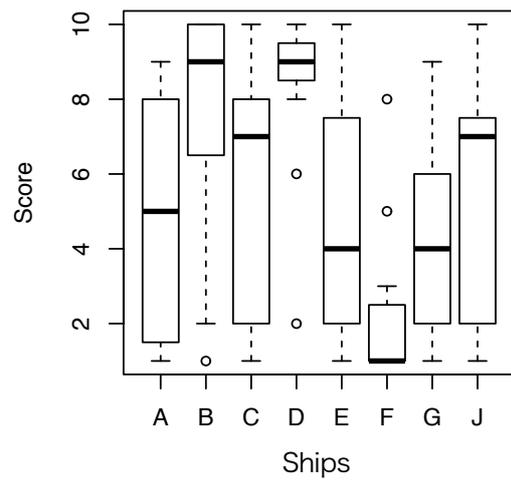
(a) LI



(b) RI



(c) Lh



(d) Rh

図 17 気になる船の評価の結果:グループ別

表 20 気になる船の評価に対する検定結果:経験ごとに情報源間で比較

(a) ブルナー=ムンツェル検定の結果

Group	Ships	df	Brunner-Munzel Test Statistic	p-value	r	r : 95% CI	
						Lower	Upper
LI - RI	A	7.764	-0.941	0.375	-0.25	-0.64	0.25
	B	13.120	-0.154	0.880	-0.03	-0.48	0.43
	C	13.772	0.961	0.353	0.23	-0.25	0.62
	D	12.831	1.081	0.300	0.26	-0.24	0.64
	E	8.105	4.358	0.002 **	0.70	0.26	0.88
	F	6.000	6.000	0.001 **	0.83	0.56	0.92
	G	13.966	1.323	0.207	0.32	-0.17	0.67
	J	10.737	-0.995	0.342	-0.25	-0.63	0.24
Lh - Rh	A	17.379	-2.782	0.013 *	-0.49	-0.74	-0.09
	B	15.749	2.941	0.010 *	0.52	0.11	0.76
	C	19.076	-2.859	0.010 *	-0.50	-0.74	-0.12
	D	14.658	5.867	<.001 ***	0.70	0.35	0.86
	E	10.000	6.708	<.001 ***	0.78	0.51	0.89
	F	9.000	2.450	0.037 *	0.49	0.10	0.74
	G	15.756	1.493	0.155	0.32	-0.09	0.63
	J	19.060	-1.971	0.063	-0.38	-0.67	0.03

Signif. codes: '\*\*\*\*' p<.001, '\*\*\*' p<.01, '\*\*' p<.05

(b) ブラウン=フォーサイズ検定の結果(center=median)

Group	Ships	Df1	Df2	F	p-value
LI - RI	A	1	13	2.488	0.139
	B	1	14	1.845	0.196
	C	1	14	0.091	0.767
	D	1	13	0.297	0.595
	E	1	11	2.735	0.126
	F	1	14	13.781	0.002 **
	G	1	14	0.567	0.464
	J	1	14	0.283	0.603
Lh - Rh	A	1	19	12.620	0.002 **
	B	1	18	6.318	0.022 *
	C	1	20	3.098	0.094
	D	1	16	2.174	0.160
	E	1	19	31.300	<.001 ***
	F	1	19	4.083	0.058
	G	1	20	0.111	0.742
	J	1	20	1.592	0.222

Signif. codes: '\*\*\*\*' p<.001, '\*\*\*' p<.01, '\*\*' p<.05

### 2.7.4.3 操船意図

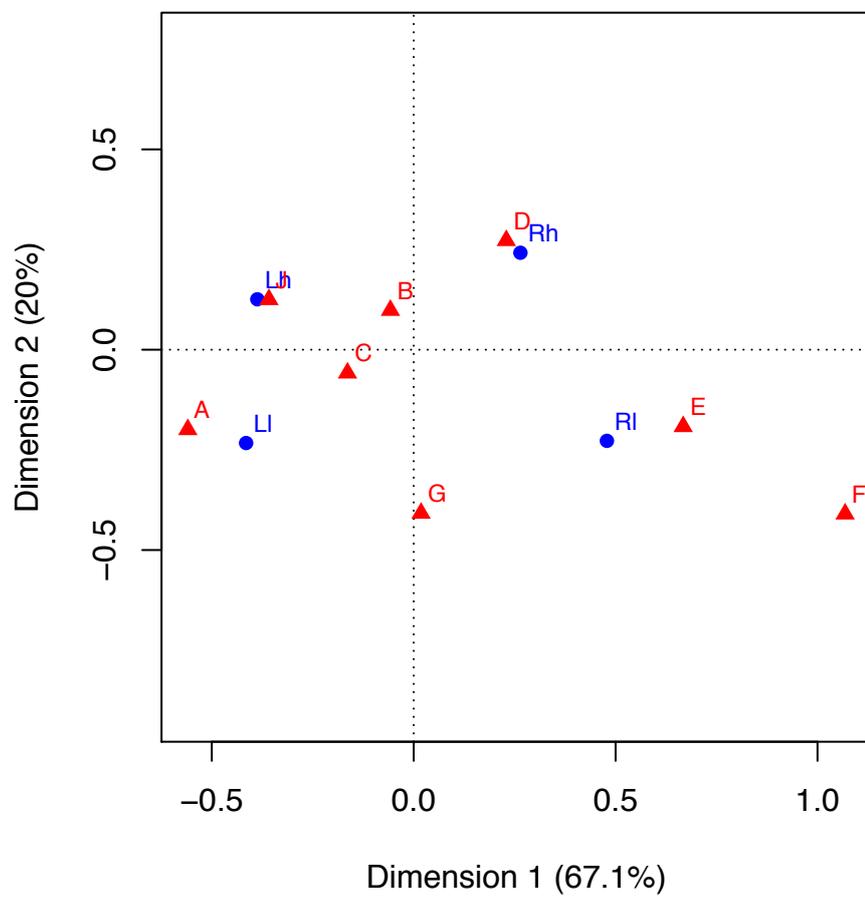
#### 「被験者グループと他船カテゴリのコレスポネンス分析」

被験者グループと他船カテゴリのクロス集計表(表 18)に対し、「被験者グループと他船カテゴリは独立である」という帰無仮説を立てた上で $\chi^2$ 検定を行ったところ、帰無仮説は $p < .001$ で棄却され、2変数間に関連があることが示された。具体的な関連を確認するため、コレスポネンス分析を用いてこの関連を可視化した結果を図 18 に示す。この図は、累積寄与率が 87.1%で(第一次元 67.1%, 第二次元 20.0%), 全体の関連の約 9 割を説明した。

まず、青字の行変数(被験者グループ)を横軸に従って見ると、左側に Lh と Ll が、右側にはこれらとは大きく離れて Rh と Rl が布置した。ここから、横軸は情報源を対比すると解釈でき、A, J, C 船、つまり前方および近距離にある船は景観情報を、D, E, F 船、つまり右横・右斜め後方にある船はレーダ情報を説明していた。これは、3.2 節における、(経験の長い者は)景観情報では A, C 船が、レーダ情報では B, D, E, F 船がより気になったという事実とほぼ一致する。

次に、これらを縦軸に従って見ると、上方に Lh と Rh が、下方に Ll と Rl が布置した。ここから、縦軸は経験の長短を対比すると解釈でき、D, B, J 船は経験の長いものを、G 船は経験の短いものを説明していた。

以上から、衝突回避する際の操船において考慮する船は、経験と情報源という要因に影響され、かつ情報源はより強く影響を与えたことが示唆された。



● : 被験者グループ, ▲:他船カテゴリ

図 18 被験者グループと他船カテゴリのコレスポンデンス分析結果

## 「被験者グループと意図クラスタのコレスポネンス分析」

被験者グループと意図クラスタのクロス集計表(表 18)に対し、「被験者グループと意図クラスタは独立である」という帰無仮説を立てた上で $\chi^2$ 検定を行ったところ、帰無仮説は $p < .001$ で棄却され、2変数間に関連があることが示された。コレスポネンス分析を用いてこの2変数間の関連を可視化した結果を図 19 に示す。この図は、累積寄与率が89.4%で(第一次元 61.9%, 第二次元 27.5%), 全体の関連の約9割を説明した。

まず、青字の行変数(被験者グループ)を横軸に従って見ると、右側に Rh および Lh が、左側にはこれらとは大きく離れて RI が、原点近くに LI が布置した。ここから、横軸は経験の長短を対比すると解釈でき、「伝達と通過状況」は RI を最もよく説明していた。

次に、これらを縦軸に従って見ると、Rh は上方に Lh は下方に離れて布置し、RI と LI は軸上に布置した。ここから、経験が長いグループについては、縦軸は情報源を対比すると解釈でき、「非衝突船への接近状況」は Rh を、「衝突船へ向首」と「同行船との距離確保」は Lh を最もよく説明していた。

以上から、衝突回避する際の操船意図は、経験と情報源という要因に影響されることが示唆された。経験については次のように考察される。すなわち、経験が短いグループ(RI)は、レーダ情報のみを用いると、経験が長いグループ(Rh と Lh)の意図と大きく異なる操船意図を持つ傾向が強いと考えられる。一方、経験が長いグループ(Rh と Lh)の方が、情報源が異なると、異なる意図を持つ傾向が強いと考えられる(これは、経験が長いグループでは気になる船に情報源間で有意な差があった(2.7.4.1 項)ことと対応していると考えられる)。

また、情報源については次のように考察される。すなわち、図 19 より、「接近船の船尾へ向首」は LI に、「衝突船へ向首」と「同航船との距離確保」は Lh に、「伝達と通過状況」は RI に、そして「非衝突船への接近状況」は Rh に、それぞれ特徴的な回答であることが読み取れる。LI と Lh に特徴的な回答には、特定の目標に向かう意図(船尾を通過する、船首を向ける)が、RI と Rh に特徴的な回答には、状況を広く見て船間の空間を目指す意図(間を通過する、様子を見る、船首方向を横切る<sup>16</sup>)が含まれている。これらの

---

<sup>16</sup> (他船の) 船首方向を横切る際は、そのすぐ前方を通過すると危険につながりやすいため、相手からある程度離れた前方を横切るのが一般的であることから、「船首を横切る」という語は、船首という点ではなく「空間」を表すと解釈できる。

ことから、景観情報グループは目標を指向し、レーダ情報グループは空間を指向する意図とする傾向があったと考えられる。

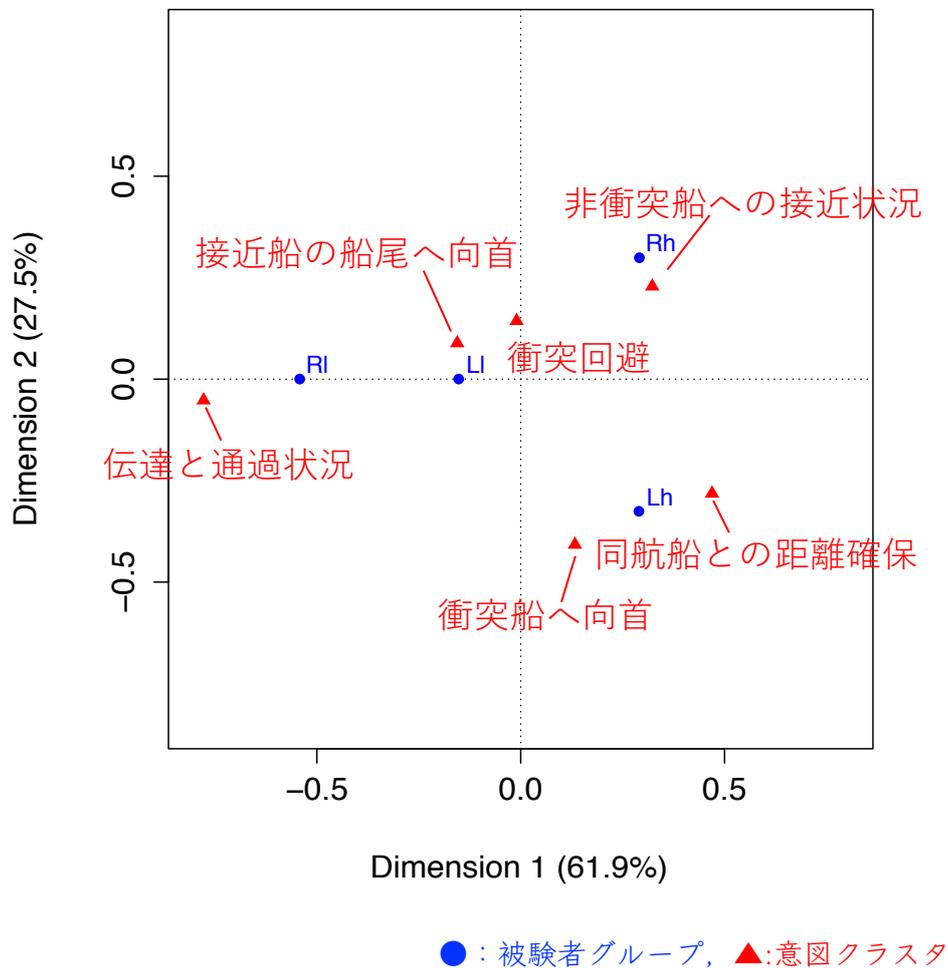


図 19 被験者グループと意図クラスターのコレスポネンス分析結果

### 2.7.5 考察

上述の結果から、衝突回避判断において、経験が短いグループは景観情報とレーダ情報とで異なる判断を行うのに対し、経験が長いグループは情報源にかかわらず比較的一定の判断を行う傾向があることが示された(2.7.4.1 項)。これは、著者らの先行研究の結果を確認するものとなっている、しかしながら、気になる船については、経験が短いグループは景観情報とレーダ情報とで明確な差がなく似通った状況認識を行っていたのに対し、経験が長いグループは情報源によって明確な差があり異なる状況認識を行っていたこと

が示唆された(2.7.4.2 項). 具体的には, 経験が短いグループにおいては, 情報源間で有意な差が認められなかった船でも, 経験が長いグループにおいては認められた. 経験が長いグループは, 景観情報では前方および近距離にある他船(A, C 船)がより気になるが, レーダ情報では危険度の高いもしくは横・斜め後方より近づく他船(B, D, E, F 船)がより気になっていた(E, F 船については経験が短いグループも同じ傾向を示したため, 斜め後方の他船が気になるのは(経験に関わらない)レーダ情報特有の性質と考えることができる). これらの結果は, 経験が長いグループが視点の異なる二つの情報源間で一定した判断を行うことができたのは, 一定の状況認識に基づいていたからではなく, むしろ状況認識が異なっていたからであることを示唆している. すなわち, 衝突回避判断において, 経験が長いグループが情報源の違いの影響を軽減できることは, 状況認識と強く関係していることが示された. さらに, 異なる状況認識に基づきながら同等の判断を行っていたことから, 経験が長いグループは景観情報とレーダ情報とで異なるモデル, もしくは方略を用いて衝突回避判断を行っていた可能性がある. 以下, このことについて考察する.

2.2 節で述べたとおり, レーダ情報は他船の動向を認識するための手続きが景観情報とは大きく異なる. ここから, 認識しやすい/しにくい船の違いがあったと考えられる. したがって, レーダ情報において景観情報と同じ方略をとろうとすれば, 気にすべき他船の認識のしにくさから困難が生じ得る. 一般に, 熟達者は情報源から直接得られない事実を推論する能力を持つことから(若林,2008), 経験が長いグループはそのような認識のしにくさを補うことができる可能性はあるものの, その場合, 衝突回避の方略が同じならば, 気にする他船は似通ったものになるはずである. しかし, 実験結果はそれとは反対に, 気になる船は, 経験が長いグループの方が情報源間で異なり, むしろ経験の短いグループの方が似通った船を気にしていた. このことは, 経験が長いグループは, それぞれの情報源において視認しやすい他船を活用できるよう, 情報源ごとに異なる方略を用いていたのに対し, 経験が短いグループは衝突回避の方略を使い分けるような柔軟性を持たなかったことを示唆していると考えられる.

操船意図の他船カテゴリにおいて, 景観情報では前方および近距離にある他船, レーダ情報では横・斜め後方より近づく他船への言及を特徴としていた(2.7.4.3 項)こと, それは経験が長いグループの各情報源においてより気になる船(2.7.4.2 項)とほぼ一致していたことは, 経験の長いグループが情報源ごとに異なる方略を用いていたことを支持しているといえる. さらに, 意図クラスタの結果から, 経験の長いグループの方が, 情報源が異なると異なる意図を持つ傾向が強く, 景観情報では目標への指向を, レーダ情報では空間

への指向を表す語を特徴とする傾向が示唆された(2.7.4.3 項)ことも、これを支持するものと考えられる。

一方、経験が短いグループについては、意図クラスタの結果から情報源間で異なる意図を持っていた傾向は示されたものの(2.7.4.3 項)、気になる船すなわち状況認識に違いは見られなかった(2.7.4.2 項)。このことから、経験が短いグループは、それぞれの情報源に適した状況認識や方略が十分分化するには至っていなかったと考えられる。

次に、衝突回避判断および状況認識の個人差の観点から、上記の方略の違いについて考察する。3 章の結果から、経験が長いグループはレーダ情報の方が景観情報よりも衝突回避判断(変針量)の個人差が明確に大きいことが示されたのに対し、経験が短いグループについては明確な個人差の違いはほぼ見られなかった(2.7.4.1 項)。また、経験が長いグループは両情報源間で気になる船にある程度の個人差の違いが見られたのに対し、経験が短いグループについては個人差の違いはほぼ見られなかった(2.7.4.2 項)。具体的には、経験が長いグループにおいて、レーダ情報では A, C, E, F 船の個人差がより大きい(C, F 船は有意傾向)、景観情報では B 船の個人差がより大きかった。また、経験が短いグループにおいて、レーダ情報では F 船の個人差がより大きかった。これらの結果は、衝突回避判断および状況認識における個人差の大小は、情報源の性質だけでなく経験の影響をも受けることを示している。さらに、経験が長いグループがレーダ情報を用いたときの衝突回避判断および気になる船の個人差が大きかった<sup>17</sup> (2.7.4.1 項, 2.7.4.2 項)ことから、彼らがレーダ情報で用いた方略は、景観情報のそれに比して判断や状況認識により個人差が生じやすいものであったと推察される。このことは、景観情報における方略として推定された、特定の船を目指して針路をとる「目標への指向」に対して、レーダ情報における方略として推定された「空間への指向」は、船間に広がる空間の何処を目指すのかについて選択の幅が比較的大きいため個人差が出やすいと考えられることも、この推察を支持するものと考えられる。さらに、経験が長いグループのレーダ情報で個人差が大きかった 4 隻の船の中でも、E 船はブラウン=フォーサイズ検定の F 値が他に比べて大きく(表 20 (b) :  $F=31.300$ ,  $p<.001$ )、景観情報に比べて個人差が顕著に大きかったことも、情報源間

---

<sup>17</sup> B 船のみ、景観情報の方がレーダ情報より個人差が大きいが、これはシナリオにおける同船の特別な役割を反映したものと考えられる。すなわち、B 船は現進路で進み続けると必ず衝突する危険な船であり、それを DCPA 値から確認できるレーダ情報を用いた場合はほぼ共通して気になるが、景観情報では各人が同船の動向をどのように把握したかに依存する。このように、情報源の性質および経験に拘わらず、ときにシナリオ固有の影響を受けた認識を行うことはあり得ることである。

の方略の違いを示唆している。E船は、時間経過に伴い右正横から右後方へ相対的に方位変化<sup>8</sup>する船であることから「目標への指向」方略における目標とはなり難く(もし同船を目標にすると、自船は初期針路から大きく逸脱せざるを得ない)、景観情報においては共通して気にならなかったと考えられる(図 17(c)のLhにおいてE船の四分位範囲は0である)。一方、「空間への指向」方略では、E船のように後方へ方位変化する船も空間を構成する船の一つとなり得る上に、通過可能な空間には複数の選択肢(C・D船間、D・E船間、E・F船間、F船後方)があったため、E船が気になるか否かに個人差が生じたと考えられる。

### 2.7.6 まとめ

以上のことから、次の4つの知見が得られた。

- ✓ 衝突回避判断において、経験が長いグループが情報源の違いの影響を軽減できたことは、状況認識と強く関係していた。
- ✓ 経験が長いグループは、景観情報とレーダ情報とで異なる方略を用いて衝突回避判断を行っていた可能性が高い。
- ✓ 衝突回避判断および状況認識における個人差の大小は、情報源の性質だけでなく経験の影響をも受けた。
- ✓ 経験が長いグループがレーダ情報で用いた方略は、景観情報のそれに比して判断や状況認識により個人差が生じやすいものであった可能性がある。

ただし、今回の実験では、実際に海上交通で用いられている二つの情報源を被験者間条件とし、同一の交通状況のある一点における衝突回避判断を比較することにより検討した。このため、両情報源において用いられる方略の違いに関する分析は十分とはいえない。今後、情報源間における被験者の意図を追跡可能な実験を実施し、両情報源における方略の詳細、および状況認識や衝突回避判断(の個人差)との関係をさらに調査する必要があると考えられ、今後の課題とする。

## 参考文献

Brown, M. B., & Forsythe, A. B. (1974). Robust tests for the equality of variances. *Journal of the American Statistical Association*, 69, pp364–367. doi: 10.2307/2285659

Brunner, E., & Munzel, U. (2000). The nonparametric Behrens-Fisher problem: Asymptotic theory and a small- sample approximation. *Biometrical Journal*, 42, pp17–25. doi: 10.1002/(SICI)1521-4036(200001)42:1<17::AID-BIMJ17>3.0.CO;2-U

Chauvin, C., & Lardjane, S. (2008). Decision making and strategies in an interaction situation: Collision avoidance at sea. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 11, pp259–269. doi: 10.1016/j.trf.2008.01.001

福戸淳司 (2017). 自律船研究の動向 日本航海学会誌 NAVIGATION, 200, pp4–11. doi: 10.18949/jinnavi.200.04

南風原朝和・下山晴彦・市川伸一 (2001). コラム 4-2 生態学的妥当性, 心理学研究法入門—調査・実験から実践まで, p98, 東京大学出版

橋本進 (1996). 眼の構造と機能:視覚情報とヒューマンエラー, pp40–41, 海文堂出版

Hockey, G. R., Healey, A., Crawshaw, M., Wastell, D. G., & Sauer, J. (2003). Cognitive demands of collision avoidance in simulated ship control. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 45, pp252–265. doi: 10.1518/hfes.45.2.252.27240

海上交通法令研究会(編) (2017). 海上衝突予防法の基本原則 海上保安庁 (監修) 海上衝突予防法の解説, pp 9–13, 海文堂出版

加藤由季・瀧真輝・久保野雅敬・藤井迪生・小西宗・藤本昌志・廣野康平 (2017a). 海上交通における情報源の違いによる衝突回避判断に関する検討 人間工学,53, pp205–213. doi: 10.5100/jje.53.205

加藤由季・瀧真輝・藤井迪生・久保野雅敬 (2017b). 目視と計器による情報が避航判断に及ぼす影響について, 日本航海学会論文集, 136, pp50–56. doi: 10.9749/jin.136.50

国土交通省海事局(2017). 自動運航船に関する現状等 第4回海事イノベーション部会  
配付資料3 国土交通省 Retrieved from <https://www.mlit.go.jp/common/001215815.pdf> (last  
accessed: May 20, 2018)

MacKinnon, S. N., Man, Y., & Baldauf, M. (2015). D8.8: Final report: Shore control centre. Re-  
port No. Dissemination level: Public, Maritime Un- manned Navigation through Intelligence in  
Networks. Retrieved from [http://www.unmanned-ship.org/munin/wp-content/uploads/2015/  
09/MUNIN-D8-8-Final-Report-Shore-Control-Centre-CTH- final.pdf](http://www.unmanned-ship.org/munin/wp-content/uploads/2015/09/MUNIN-D8-8-Final-Report-Shore-Control-Centre-CTH-final.pdf) (last accessed: May 20,  
2019)

水本篤・竹内理 (2008). 研究論文における効果量の報告のために—基本的概念と注意  
点 英語教育研究 関西英語教育学会紀要, 31, pp57–66.

若林芳樹・鈴木晃志郎 (2007). 地図と空間認知をめぐる理論的・応用的諸問題 地図, 41  
(4), pp3–16. doi: 10.11212/jjca1963.41.4.3

若林芳樹 (2008). 地理空間の認知における地図の役割 認知科学, 15, pp38–50. doi:  
10.11225/jcss.15.38

Y., KATO, K., MURAI, T., HORIGUCHI, N., MORISHITA, M., FUCHI(2020). Collision  
Avoidance Judgment at Different Experience Levels Using Different Information Sources :  
Landscape Information vs. Radar Information, Transactions of Navigation, 5(2), pp47-53, Online  
ISSN 2189-5511, [https://doi.org/10.18949/jintransnavi.5.2\\_47](https://doi.org/10.18949/jintransnavi.5.2_47)

Zimmerman, D. W. (1995). Increasing the power of nonpara- metric tests by detecting and  
downweighting outliers. The Journal of Experimental Education, 64, pp71–78. doi:  
10.1080/00220973.1995.9943796

## 2.8 2章のまとめ

2章では、船舶の衝突回避を対象として、景観情報、レーダ情報の情報源としての性質の違い、およびそれらを用いた課題遂行時に経験が与える影響を、状況認識や方略の観点から検討した。この結果から、(1)未経験または経験の短い者がレーダ情報のみを用いると景観情報とは異なる衝突回避判断を行うが、経験の長い者は同等であること、(2)経験の長短に関わらず、レーダ情報のみを用いると、景観情報のみを用いるときと比べ、個人差がより大きいことが示唆された(2.4節, 2.5節, 2.6節)。また、この経験が長い者が情報源の違いの影響を軽減できたことは、両情報源において状況認識が異なっていたことと強く関係していたと考えられ、景観情報とレーダ情報とで異なる方略を用いていたこと、また、経験が長いグループがレーダ情報で用いた方略は、景観情報のそれに比して判断や状況認識により個人差が生じやすいものであった可能性が示唆された(2.6節)。

本研究では、敢えて複雑な交通状況を設定した。その理由は、まさにそのような状況においてこそ、景観情報、レーダ情報の性質の違いを知ることには意義があると考えたからである。人工的な課題にはないオープン性(解が一つに定まらない)を持たせることで、より現実的かつ生態学的妥当性<sup>9</sup>の高いデータを取得でき、両情報源の性質についてより有用性の高い知見を得ることができた。1.1節に述べたとおり、今後遠隔操船が普及するに伴って、レーダ情報のようなセンシングシステムにより収集した情報を主として活用することで操縦される船と、従来どおりの乗員が主に景観情報によって操縦する船とが混在する状況において、二つの情報源の性質の違いから状況認識や判断に乖離が生じると、大きな危険につながると考えられる。よって、これらの性質の違いを、まず各々において明らかにした知見は、どちらかの情報源のみを主として用いる操船者の陥りやすい状況認識における見落としの発見・指摘につながることを期待され、また、各情報源の活用法に関する船員教育にも資すると見込まれる。本研究から得られた知見は、一人称視点、三人称視点を主とする情報源の持つ性質の一端を示すものであるとともに、それらを用いたより現実的な認知活動のモデルのための有用な手がかりを提供するものとする。

しかしながら、比較対象としたレーダ情報における情報表示はセンシングシステムから収集した様々な情報が組み合わせられたものであるがために、上述の知見が、直接的に一人称視点、三人称視点の認知的特性を説明するとは言い難い。船舶の遠隔操縦・監視システムにおける認知的問題を解決するには、抜本的な対策を講じる必要があり、そのためには、人間へ提供する情報表示を構成する要素ごとにその影響や特徴を明らかにすることが望まれ、今後の課題とする。

## 第3章 「一人称視点」と「三人称視点」の違いが操船に与える影響

### 3.1 3章のはじめに

前章で紹介した一連の研究から、視認する情報源が異なることは、人間の行う判断や状況認識に影響を与えることが明らかになった。ここから、直接視認を中心とする景観情報(一人称視点)に対して、各種センサによる情報を加工(視点の変更(三人称視点)、シンボリ化、数値情報の付加など)して表示するレーダ情報は、認知に与える影響が異なることが示唆される。これは、遠隔操縦船において加工された情報を提供しようとする際には、状況の直接視認を中心とする搭乗操縦船における認知や判断とかけ離れないための対策をとる必要があることを喚起する。しかし、前章の研究では、実際の海上交通で使用されている情報源(景観及びレーダ)を用いたため、現実的かつ生態学的妥当性<sup>9</sup>の高い知見が得られたものの、換言すれば、この「レーダ情報」は様々な情報の加工方法の一つの組み合わせに過ぎない。様々な可能性の中から遠隔操縦船に適した情報の提示方法を検討するためには、情報の加工に関わる要因(視点、シンボルのタイプ、定量化の方法など)の特性、およびその違いが認知や判断に及ぼす影響が要因毎に明らかになっていることが望ましい。

情報の加工に関わる要因の中で、「視点」は比較的大きな影響を持つと考えられる。視点の変化は網膜に投影される対象物の像や配置を大きく変えるだけでなく、対象物を指示するシンボルや近傍および遠方に表示される定量情報は、視点によって規定される基準軸に従って布置されるからである。

しかしながら、搭乗操縦船においては景観情報とレーダ情報とを併用するのが通例であり、かつレーダ情報では機器の性質上、視点、シンボル、定量化の方法などの要因が混在する。従って、実際の海上交通における衝突回避を対象とした諸研究から、視点の影響のみに関する知見を抽出することは難しい。著者らの先行研究においても、使用する情報源をどちらか一方としてはいるものの、画面サイズの違いなども含めて上記の諸要因を十分に統制できているとはいえない。

そこで、本章では、衝突回避判断において、一人称および三人称視点の認知的特性の違いが操船に与える影響を明らかにすることを目的とする。具体的には、まず、視覚情報処理システムに関わる諸研究から「一人称視点」と「三人称視点」の認知的特性の違いを議論する(3.2節)。その上で、これらの認知的特性の違いをナビゲーションにおける安全

性と効率性にあてはめることで仮説を設定し（3.4.1 項），これらの仮説を，著者らが開発した視点以外の要因を統制することが可能な簡易操船シミュレータ（SHITENsim, 3.4.3.1 項に詳述)を用いて検証する．この章では，前章とは逆に，できる限り人工的に統制した環境において，認知的特性に基づき設定した仮説を検証することで，視点の違いが無意識レベルで生じさせる操船への影響を探求する．

## 3.2 「一人称視点」と「三人称視点」の認知的特性の違い

既に述べた通り「一人称視点」と「三人称視点」の違いは、網膜に投影される対象物の像や配置を大きく変える原因となる。私たちの身の回りには、様々な物体が様々な環境下で存在しており、視覚情報から知覚した物体形状から、その物体の全体像を認知することは簡単な課題ではない。例えば、船舶の形状を認知する際、前方から視認する像と、横から視認する像では、その物体の像は全く異なる。また、その像は、他の船舶に遮蔽されて一部分の情報が欠けてしまったり、太陽と物体（船舶）との相対的な位置による視環境より物体の陰影が変化したりする。これらのことは、視点の向きが異なるとさらに複雑化するといえよう。すなわち、「一人称視点」と「三人称視点」の認知的特性の違いを同定するには、視覚処理のメカニズムを理解することが必要である。この原理については未だ解明されていない部分も多く全てを述べることは難しいが、本節では、**形状認知と網膜上の像から知覚できる情報**に焦点をあてることで、それらに関わる代表的な研究から、視点の違いと認知的特性に違いの関係を議論する。

### 形状認知について

人は、先に挙げたような網膜上の像が様々な異なる場合においても、その物体の形状認知を達成することができることが知られている。S.M. Kosslyn (1994)は、形状認知は 1)物体像の網膜上の位置や大きさに依存しない、2)視点の変化や物体の回転、部分の変形、付加、削除、および、部分間関係の変化<sup>18</sup>による網膜上の形状の変化によらず、同一の物体であることを認知できる、3)感覚入力が他の物体による遮蔽や雑音などで劣化しても、形状認知が可能である、4)形状から特定の物体の同定が可能である、5)複数の物体を同時に自動的に認知できる、という少なくとも5つの特性を持つことを報告した。

このことから、周囲の対象物(他船や物標)を船舶は船舶と、物標は物標として同定することは、航海の経験者だけでなく、船というものを様々な角度から見慣れていない航海の未経験者であっても（経験者であっても三人称視点からの視認は見慣れていない）、人間の持つ高次の視覚情報処理の機能から可能であり、「一人称視点」でも「三人称視点」で

---

<sup>18</sup> ここでいう「部分間関係の変化」とは、物体の位置や物体の左右の方位が変化することを指す。

も、この形状認知は一般的な生活からの経験や知識の積み重ねにより自動的に処理できる<sup>19</sup>と考えられる。

### 網膜上の像から知覚できる情報について

しかしながら、物体を異なる視点から観察するとその物体の網膜上の像は大きく変化する。例えば、像の大きさ、形状、陰影などは、一人称視点では他船の位置関係により変化するが、三人称視点では起点が十分高い位置にあるとき、それらは変化しない（位置および回転角は変化する）。人は、像の大小から距離（遠近感）を、像の形状からその向き、および、速さ等を概算することができることが知られており、一人称視点と三人称視点の違いは、この網膜上の像から知覚する情報の質および量に影響すると考えられる。ここではその原理の概略を、①網膜上の像から知覚する奥行きに関する情報と②網膜上の像から知覚する距離に関する情報に分けて述べ、そこから一人称視点、および、三人称視点の認知的特性を検討する。

①網膜上の像から知覚する奥行きに関する情報について：網膜上の像から知覚する奥行きに関する情報は、奥行き手がかりと呼ばれており、表 21 に示すように分類されている。表中の「静的」および「動的」とは、運動情報処理を含むか否かによる。

表 21 奥行き手がかりの分類（視覚情報処理ハンドブック p284 の表 7.1 を抜粋）

	ベクトル手がかり (奥行き量・方向)	スカラー手がかり (奥行き量)	オーダー手がかり (奥行き方向)
静的	両眼網膜像差（絶対距離情報）		線遠近法 テクスチャ密度 陰影 重なり（遮蔽） コントラスト 視野内の高さ 相対的大きさ
動的	観察者運動視差（絶対距離情報）	対象運動視差（絶対距離情報）	

<sup>19</sup> 形状認知の同定には、知覚表像を記憶中の既知の形状の表像と比較することにより行なっているという説 (G. W. Humphreys and V. Bruce, 1989), 並びに、その物体を見慣れているか否かに関わらず、ごく限られた種類の共通部品を表現要素とする構造記述に基づき同定しているという説(I.Biedermam, 1995)等がある。

この表 21 中にある「両眼網膜像差」を図 20 の左図に、「観測者運動視差」を図 20 の右図に示す。ここでいう、両眼網膜像差(Binocular disparity)とは、右眼と左眼の網膜上での像(二次元)の差異を角度で表したものである。これは、三次元の知覚に強く関与することが知られており、両眼視差の差と同意である<sup>20</sup>(図 21)。(両眼視差については 119 ページ付録 1 を参照)。一方、観測者運動視差とは、異なった距離にある静止した対象(固視点が移動しない)に対する観察者の運動によって引き起こされる、対象の網膜像の相対的な運動のことを指す(視覚情報処理ハンドブック pp.321)。両眼網膜像差および観察者運動視差は、何らかの距離手がかりに基づく絶対距離情報(D)が与えられた時、物体の奥行き量(d)と方向の情報を提供する。両図を見比べてもわかるように、「両眼網膜像差」と「観察者運動視差」の原理は非常に似通っている。ただし、両眼生の「両眼網膜像差」では眼球の間隔の I は常に固定されるが、単眼性の「観察者運動視差」では I の距離は固定されないため奥行きの知覚 (d) に曖昧さが生じる。

---

<sup>20</sup> 本稿では、両眼視差と両眼網膜像差を区別したが、一般ではこれらは同意として扱われることが多い。厳密には、両眼視差(Binocular parallax)は付録 1 の説明のとおり右眼と左眼の視方向の差を指し、両眼網膜像差(Binocular disparity)は図 21 に示すとおり右眼と左眼の網膜上での両眼像の差異を角度で表したものである。

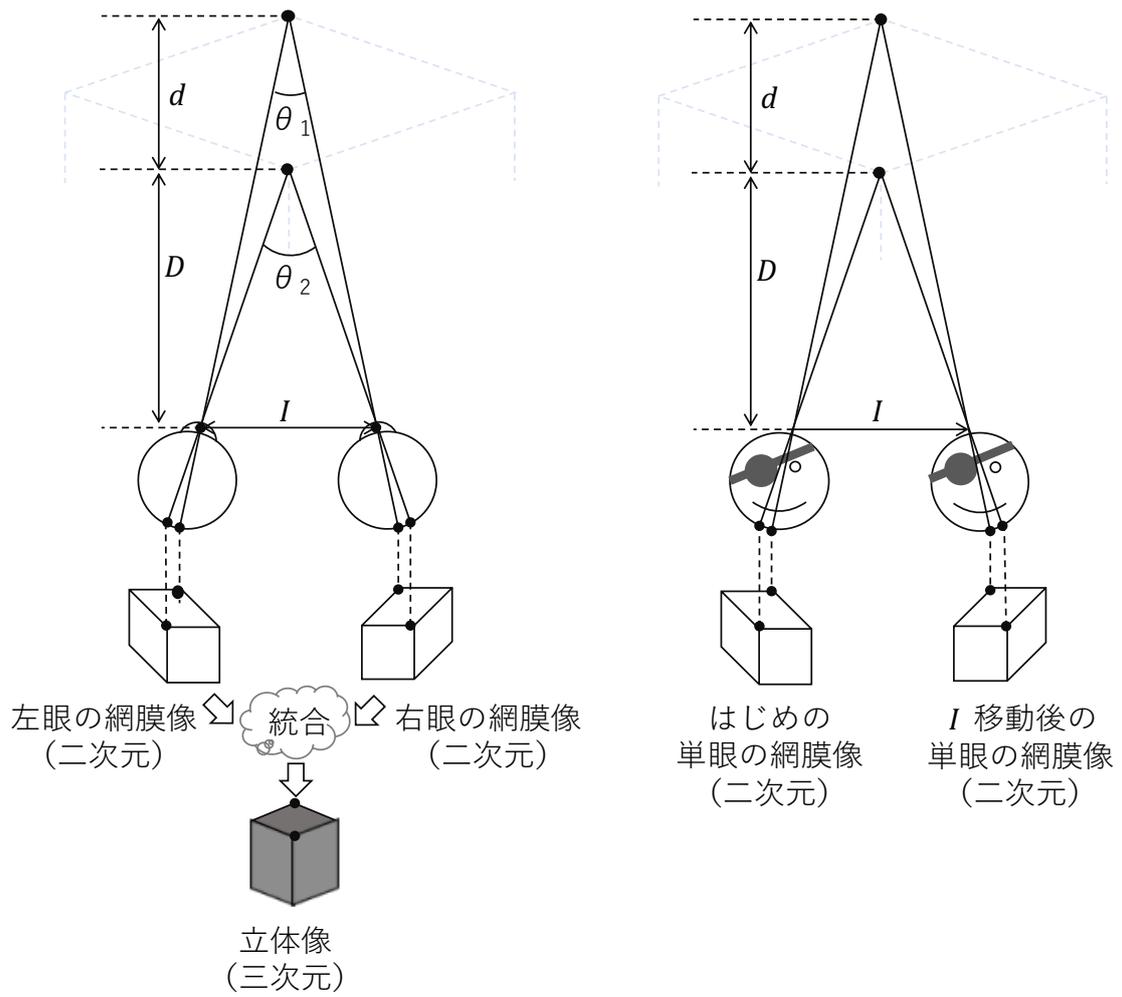


図 20 両眼網膜像差の例と観測者運動視差の例

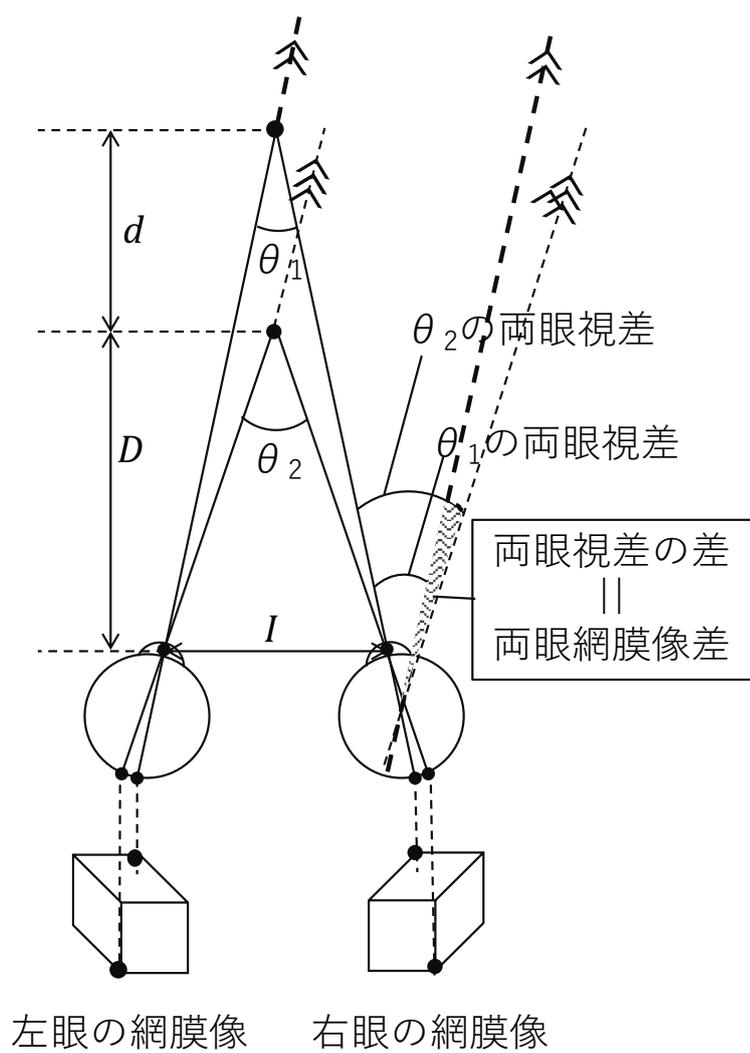


図 21 両眼網膜像差と両眼視差の関係

運動視差には、上述した観測者運動視差だけでなく、静止した観察者に対する対象の運動によって生成される「対象物運動視差」もあることが知られている。例を図 22 に示す。対象運動視差の運動は対象物に依存するため、対象物が移動した距離や方向を、観察者が知覚することは難しい。特に、運動方向の情報が欠如することは、網膜像の変化の法則を不明確にする(網膜像の変化だけに着目し、周囲の風景に対する位置の変化やオーダ一手がかり等は無視)。この対象運動視差は、奥行き情報のスカラー手がかりと呼ばれており、絶対距離情報が利用できる時、奥行き量の手がかりになるが、その方向の手がかりにはならないとされている(視覚情報処理ハンドブック p.325)。

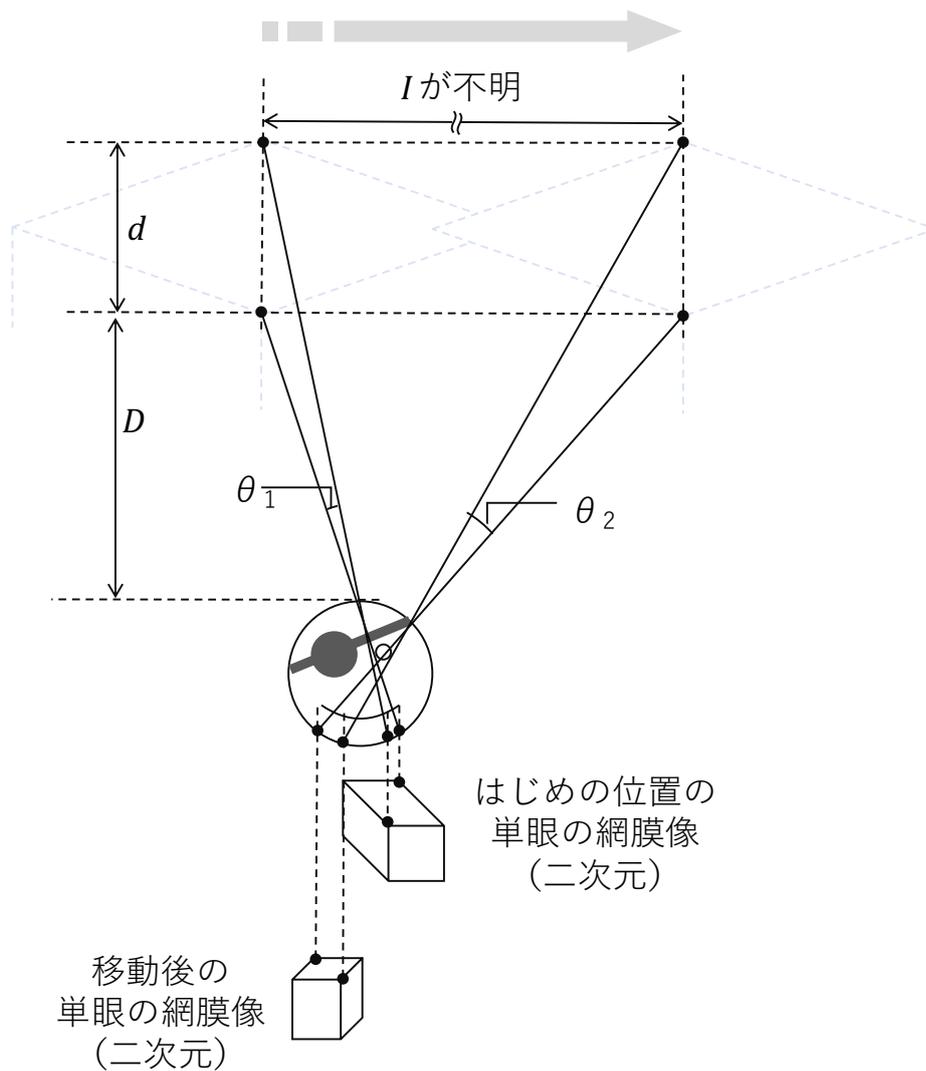


図 22 対象運動視差の例

上述の他にも、図 23 に示す線遠近法やテクスチャ密度、陰影、重なり等は、奥行き  
 方向(順序)の情報をもたらす。これらは単眼性・画像的な手がかりであり、相対的な奥行  
 き関係の情報を説明するが、奥行きの量は付与しないことが知られている。

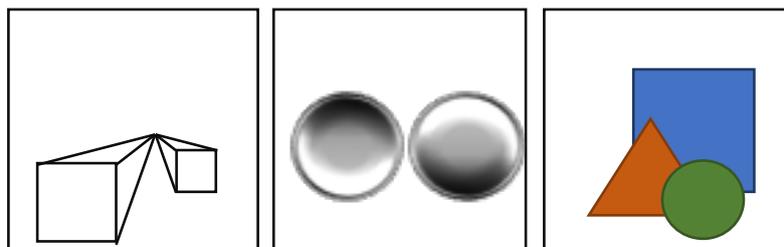


図 23 線遠近法、陰影、重なり の例

②網膜上の像から知覚する距離に関する情報について：次に、網膜上の像から知覚する距離情報について述べる。これは距離手がかりと呼ばれており、主に次の4つに分類されている(視覚情報処理ハンドブック p.452)

- (1) **眼球運動性手がかり**は、眼球内外の筋運動の調整に基づく距離手がかりであり、「輻輳」と「調整」の2種類がある。「輻輳」は左右の眼球の位置を調整する外眼筋の活動に伴う筋運動手がかりである。「調整」は、水晶体の曲率を調整する毛様体筋の活動に伴う筋運動手がかりである。
- (2) **熟知している大きさの手がかり**は、網膜上に形成される網膜像の大きさに基づく手がかりである。事物の大きさが十分に熟知され、しかもそれが経験的に不変であることが仮定される場合に利用可能な、単眼性の網膜像手がかりである。剛体でできた船舶は、経験的にその大きさは不変であることは周知の事実である。すなわち、この手がかりは、船舶間の距離を導出する際に有効と考えられる。
- (3) **垂直網膜像差手がかり**は、左右眼の網膜像の垂直方向の“ずれ”に基づく距離手がかりである。垂直網膜像手がかりは、両眼性である。
- (4) **絶対運動視差手がかり**は、頭部運動に伴う視方向の変化に基づく距離手がかりである。頭部が運動すると、静止物体の視方向が変わることを利用する。

距離知覚の文脈で取り扱われてきた距離手がかりの有効性に関しては、次のような研究が行われている。**近距離(手が届く範囲の距離)の知覚**は、上述した距離手がかりの豊富な日常環境では確度が高いが、手がかりが少ない環境では測定結果は一定しておらず、比較的大きな恒常誤差を示す結果も得られている(J.M.Foley, 1977; J.M.Foley and R. Held, 1972)一方、比較的の高い確度を示す結果も報告されている(H.A.Swenson, 1932)。**中間距離(手が届く範囲の距離を超えて数十 m までの範囲の距離)の知覚**について、J. A. Da Silva(1985)は、距離手がかりの十分にある条件下<sup>21</sup>では、知覚した距離が絶対距離に対応してほぼ正しく知覚されることを報告した。**遠距離(数十 m からおよそ十数 km の範囲の距離)の知覚**について、A. Higashiyama and K.Shimono (1994)は、非常に遠い距離でも距離知覚の確度は高いことを実験から示すとともに、従来、距離知覚の文脈で取り扱われて

---

<sup>21</sup> 視覚情報処理に関する研究において、「距離手がかりの十分にある条件下」は、「還元状況下」と区別される。還元状況は、特定の大きさの情報を持たない単純な幾何学的図形ペア(例えば、円-円、四角形-四角形)を刺激として、相対的大きさの効果を調べる実験で設定されるものであり、奥行きのあるオーダ-手がかり以外の距離手がかりを取り除いた状況を指す。

きた距離手がかりが有効性を失う遠距離空間においては、熟知した距離<sup>22</sup>の概念によって距離知覚が説明できるだろうと提案した(視覚情報処理ハンドブック pp.450-452).

### 奥行き方向の運動の知覚に関する先行研究について

奥行き方向の運動の方向を検知するための手がかりは、「左右眼の像の相對運動」と「両眼視差の変化」が提唱されている。K. I. Beverley and D. Regan(1975)は、観察者が固視点を固視しているときに、対象が近づいてくれば、「左右眼の像の相對運動」は対象が近づいてくる方向によって変化することを図 24 を用いて次のように説明した。図 24 (e)に示すように対象が真っ直ぐ両眼の中央に近づいてくる場合、左右の眼の像は外側に對象的に動く、すなわち速度の比が1で逆位相となる。一方、図 24 (a)に代表されるような対象が片側(図では左側)になす角 90 度で向かう場合は、速度比が1の同位相となる。すなわち、図 24 (d)(e)(f)のように対象の近づいてくる方向が、両眼の間にあるときは、左右の眼の像は逆位相だが、図 24 (a)(b)(h)のように両眼の間から逸れると同位相になる。この境目である左右の眼どちらか一方に真っ直ぐ向かう場合(図 24 (c)(g))は、片側の眼の像は動かないが、他方の眼の像は動く。すなわち、人は、左右眼の像の相對運動から奥行き方向の運動の方向を検知ことができると考えられる。

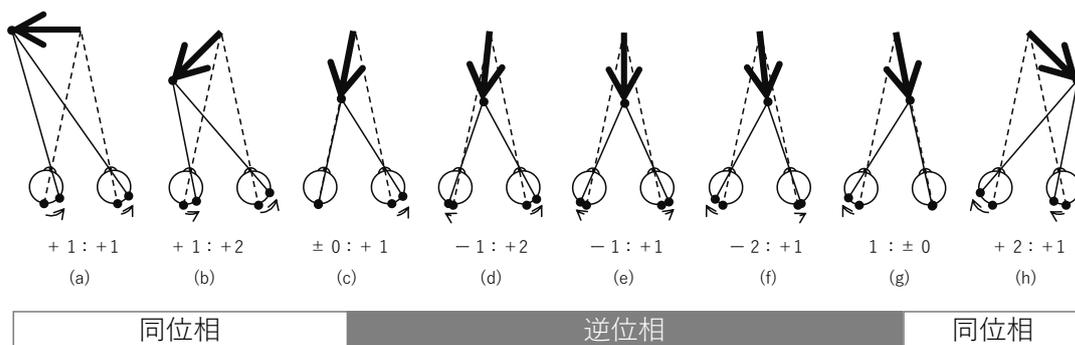


図 24 対象が近づいてくる方向と左右の眼での像の相對速度(K. I. Beverley and D. Regan, 1975)

<sup>22</sup> 熟知した距離とは、視覚あるいは歩行経験を通して獲得された特定の視角に伴う記憶された距離のことを意味する。

D. Regan(1993)は、近づいてくる対象物の衝突の方向は、対象の像の並進方向<sup>23</sup>の速度と対象の「両眼視差が変化」する速度の比によっても表せることを報告した(両眼視差の詳細は、付録1の図35を参照)。「左右眼の像の相對運動」と「両眼視差の変化」の生理学的メカニズムは異なるが、この2つを表す式は数学的に等価である(視覚情報処理ハンドブック p.367)。現実の世界においても、対象の運動によって左右眼での相對運動が生じるとともに、両眼視差も変化する。ただし、「左右眼の像の相對運動」と「両眼視差の変化」を利用して、奥行き方向の運動の方向を知覚するには、何らかの距離手がかり(同節の②距離に関する情報についてを参照)に基づく絶対距離情報が必要になるとされている。また、これらは、網膜上の像の変化を利用するものであるため、遠方に比べ、近傍の対象物については詳細に把握することができると考えられる。

### 衝突するまでの時間の知覚に関する先行研究について

私たちの行動において、例えば、自動車で交差点を左折する際など、接近する対象、または、接近してくる対象にタイミングを合わせて動作することがよくある。この行動を実行するためには、対象が近づいてきて衝突するまでの時間を知る必要がある。この時間は、対象の奥行き方向の運動速度と、対象までの距離という三次元的情報から求めることができる。

しかしながら、例えば、野球でホームランを打つ場面を思い浮かべてほしい。私たちは、ピッチャーが投球してからバッターボックスにそのボールが到着するまでのほんのわずかな時間にバットとボールが衝突するまでの時間を見積もり、バットを振ることができる(もちろん、見積もりが外れて空振りする場合は大いにある)。ご存知のとおり、野球で使用するボールは白い球体であり、右側から視覚する像と左側から視覚する像に特徴的な差はほとんどない。つまり、私たちは、両眼性の情報を使用できない場合でも、衝突するまでの時間を知覚できる。D.N. Lee(1974; 1976; 1980)は、衝突するまでの時間の知覚には、三次元情報が必ずしも必要ではなく、対象の像の大きさとその変化率という二次元的な情報のみでも数式として解くことができることを報告した。これは、visual tau(視覚的タウ)と名付けられた。この視覚的タウの考えは、多くの科学者により実験的に正しいことが実証された(W. Schiff and M. L. Detwiler, 1977; J.T. Todd, 1981)。

---

<sup>23</sup> 並進運動とは、剛体などにおいて、それを構成する各点が同一方向に平行移動する運動を指し、並進方向は、並進運動で動く物体の方向のことである。

2つの運動刺激を継続的に提示した場合、人間は、約5%の速度の違いを見分けることができ(S.P.McKee,1981)、それは刺激の種類にほとんど依存しない(S. P. McKee and S. N. J. Watamaniuk,1994)(視覚情報処理ハンドブック pp345-346)と報告されている。しかしこの能力を発揮するには、上述の知見から鑑みると、「左右眼の像の相対運動」、「両眼視差の変化」、および、「対象の像の大きさとその変化率」が必要であると考えられる。換言すれば、視認する対象物の大きさや奥行きの変化しない場合、速度の違いを見分ける能力や衝突するまでの時間を知覚する能力等を発揮することは難しい。したがって、網膜上の像の変化から様々な情報を知覚することに関しては、対象物の接近および変針に伴い網膜上での大きさや形状が変化する「一人称視点」の方が、「三人称視点」に比べ有利であると考えられる。

## まとめ

上述のことから、人間は、視点の変化や物体の回転、部分の変形、付加、削除、および部分間関係の変化による網膜上の形状の変化にも拘わらず、同一の物体であることを認知でき、複数の物体を同時に自動的に認知できることがわかった(S.M.Kosslyn, 1994)。すなわち、一人称視点でも三人称視点でも、周囲の対象物(他船や物標)を船舶は船舶と、物標は物標として同定することは人間の持つ視覚情報処理の機能から可能であり、この形状認知は自動的に処理される(同節「形状認知について」を参照)。

しかしながら、同じ対象物であっても、一人称視点と三人称視点とでは網膜上に投影される像が異なるため、両者において得られる情報は全く同じではない。

一人称視点は、自船の操縦席を中心として周囲の対象物を視認するため、対象物の像は透視投影図となり、接近および変針に伴い網膜上での大きさや形状が変化する。網膜上の像には対象物の様々な情報(距離、向きや速さ等)が集約されており、例えば、像の大小から距離(遠近感)を(同節 網膜上の像から知覚する距離に関する情報を参照)、像の形状からその向きを(同節 網膜上の像から知覚する奥行きに関する情報を参照)、概算できる。また、この視点においては遠近による大きさの変化を利用して対象物と衝突するまでの時間を「視覚的タウ」により知覚できることが知られている(D. N. Lee, 1974・1976・1980)。これらの情報は、特に近傍の対象物については像が大きく見えるため詳細に把握でき、小さな変化も察知することが可能である。一方、遠方の対象物については像自体が小さくなるため、像に集約される情報を読み取ることが困難になる(視覚的タウにおいても、衝突するまでの時間の知覚は遠方になるほど不正確になることが報告されている(W.Schiff,

1977)). また、人間の両眼による視野の特性上(橋本, 1996), 後方を確認するには振り向くという動作が必要である。つまり、一人称視点では、全周囲均一に把握することは難しい。さらに、取得する情報は常に自船に対する相対量となる。主観的・局所的な参照枠を持つ一人称視点は、客観的・大域的な参照枠を持つ三人称視点に比べて安定性に欠け、認知地図により歪みが生じやすいとの報告もある(橋本, 1996; 若林・鈴木, 2003)。すなわち、一人称視点は、自船近傍の局所的情報(各々の近傍他船と自船との関係)は迅速かつ詳細に把握できるが、大域的な情報の取得には不向きであると考えられる。

一方、三人称視点は、自船の上空を起点として見下ろすように周囲の対象物を視認する。起点が十分高い位置にあるとき、対象物の像は平行投影図となり、距離や向き、速さ等に関わらず一様な大きさ、形状をとる。従って、対象物の情報は、自船との遠近や方角(前方、後方)に関係なく(自船を中心とした)平面座標系に基づいて取得することができ、自船と各対象物の関係だけでなく、複数の対象物間の、必ずしも自船を中心としない関係を把握することができる。この関係は、上述した認知地図の特徴(橋本, 1996; 若林・鈴木, 2003)として、一人称視点に比べ三人称視点の方が客観的・大域的に把握できることいわれていることから確認できる。ただし、接近および変針に伴う(回転を除く)変化がない像は、広い範囲に渡って均一な情報取得を可能とする一方、一人称における(近傍の)像のような集約された情報を持つことができない。すなわち、三人称視点は、大域的情報(対象海域全体の交通状況)の取得、および複数の対象物間(自船を含む)の関係の把握に長けるが、近傍における各々の他船に関する詳細な情報の取得には不向きであると考えられる。(図 25)

	一人称視点	三人称視点
<b>形状認知</b> <small>S.M.Kosslyn(1994)</small>	<b>視点の変化や物体の回転等による網膜上の形状の変化に拘わらず、同一の物体であることを認知</b> できる	
<b>網膜上の像</b> <small>観察者運動視差 線遠近法 重なり 陰影</small>	 <p>           接近 → 大きさ<b>変化する</b>            変針 → 形状<b>変化する</b>            距離、向きや速さ等を概算できる            近傍は詳細         </p>	 <p>           接近 → 大きさ<b>変化しない</b>            変針 → 形状<b>変化しない</b>            像からの情報が少ない            遠近にかかわらず一定            広範囲に一律な情報         </p>
<b>周囲確認</b> <small>人間の視野の範囲</small>	 <p>           後方確認に振り向く動作が必要            自船に対する相対量            常に         </p>	 <p>           全周囲均一            自船に対する相対量 &amp; 複数の対象物間の関係            (必ずしも自船を中心としない)         </p>
<b>認知地図</b> <small>橋本 (1996) 若林ら (2003)</small>	主観的・局所的な参照枠を持つ 認知地図に <b>歪みが生じやすい</b>	客観的・大域的な参照枠を持つ 認知地図に <b>歪みが生じにくい</b> <small>客観的な参照枠における位置の把握</small>
<b>視点の認知的特性</b>	自船近傍の局所的情報を迅速かつ詳細に把握できる 大域的な情報の取得には不向き	大域的情報の取得、複数の対象物間の関係の把握に長ける 近傍における各々の他船に関する詳細な情報の取得には不向き

図 25 一人称視点と三人称視点の認知的特性

### 3.3 視点以外の要因をできる限り統制するための措置：SHITENsim

本研究では、操船における視点以外の要因をできる限り統制し、かつ視点による影響を明確化することを指向して、情報源における視点以外の要因を統制するためにパソコン上で動作する簡易操船シミュレータ「SHITENsim」を著者らが新たに開発した。SHITENsim は、標準的な性能を持つパソコン(画面サイズは 21.5 インチを想定)上で動作する。

SHITENsim には、(1)周囲の状況を一人称視点または三人称視点で表示する機能、(2)被験者が入力した針路に従い変針し、かつ、実際の船舶の動特性を模擬するように自船が運動する機能、(3)被験者が変針する際に注視した船を入力する機能(以降、注視船符号と呼ぶ)、(4)無操作時間がしばらく続いた場合に起こる左回頭を再現する機能<sup>24</sup>。(5)死角の確認ができる機能(自船の針路はそのまま、周囲を 360deg 見渡せる機能。以降、見回し機能と呼ぶ)、(6)キーボード入力、各船の座標や衝突の有無などのログデータを 20msec ごとに記録する機能、を実装した。

(1)の機能に関しては、一人称視点の視点位置は船体中央、三人称視点は自船の 14L 前方の 27L 上空であった(視認範囲は図 28、図 29 を参照)。(2)の機能に関しては、一軸右回りプロペラの 5,000DWT タンカー船をできる限り模擬した。具体的には、自船の全長を 1L(1L=100m)、幅を 0.2L、前進の速さ 22.2km/h(12 ノット)とした。前進の速さは一定に維持し、針路の制御のみで操縦するように設定した。針路の制御は、自動操舵装置<sup>25</sup>を想定し「舵角を指定する方式」ではなく「目標とする針路(目標針路)を指定する方式」を採用した。目標針路は絶対方位(真北を 0deg、右回りを正とする)で指定し、この絶対方位は、船体の周囲に配置した羅針盤(コンパス)により確認させた(図 28・図 29 を参照)。変針時の回頭運動は、次の差分方程式(1)から算出した。

$$\theta(k) = \theta(k-1) + \text{div}(k) (\theta - \theta(k-1)) \quad \dots (1)$$

$$-180 < \theta \leq 180, k = 1, 2, 3, \dots$$

---

<sup>24</sup> 船舶は、プロペラスクリューが水から受ける揚力を利用して推進する。一軸右回り船(右回転するプロペラスクリューを一つ備えた船の場合)の揚力に対する抗力は、右方向に発生する。すなわち、この船が舵中央のまま前進を続けると、船尾が右へ、船首が左へ回頭する(左回頭)

<sup>25</sup> 自動操舵装置とは、操舵システムと方位センサとの連動により指定された方位への航走を維持するための装置であり、外航船および内航船において広く一般に普及している

$\theta$  は入力された目標針路(deg),  $k$  は 20(msec)ごとに 1 ずつ増えるログデータの記録フレーム数,  $\theta(k)$ は変針開始時から 20k(msec)経過後の針路 (deg)を表しており,  $|\theta - \theta(n)| < \varepsilon (k = n, \varepsilon = 1(\text{deg}))$ となった時点で差分計算を打ち切って  $\theta(n) = \theta$  とする.  $\text{div}(k)$ は  $\theta(k-1)$ と  $\theta$  の差を分割する数の逆数であり, 図 26 のとおりに設定される(図中,  $(m1,d1)=(250, 0.0001)$ ,  $(m2,d2)=(500, 0.001)$ ).

式(1)は, 船舶が目標針路へ変針する際に生じる応答の遅れ要素<sup>26</sup>を再現することができる. 目標針路が 60deg の場合と 20deg の場合の回頭運動を図 27 に示す.

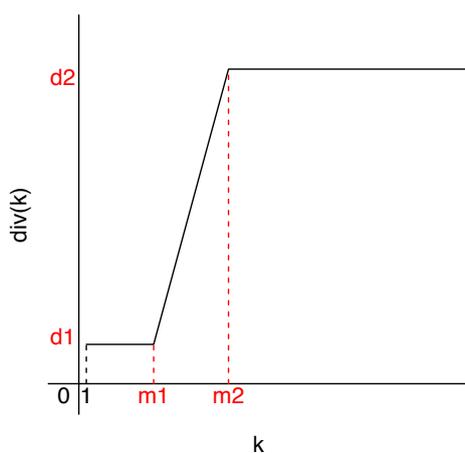


図 26  $\text{div}(n)$ 曲線

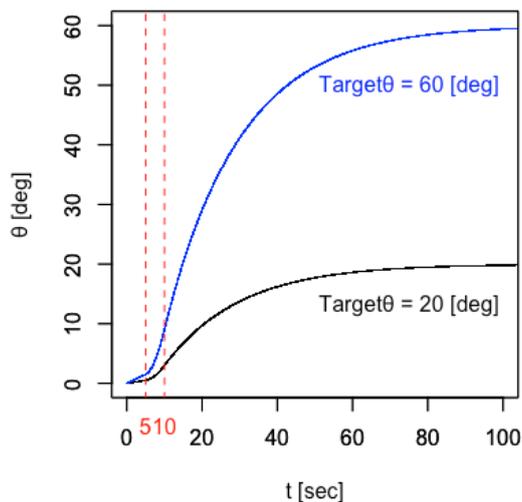


図 27 回頭運動の例(60deg と 20deg)

<sup>26</sup> 一般に, 船舶では角速度の変化を伴いつつ長い時間をかけて船首が目標針路に漸近する

自船と他船の3Dモデルは同一のものを扱い、どちらの視点で視認しても進行方向がわかる形状とした。図28に「一人称視点」、図29に「三人称視点」の画面例を示す。

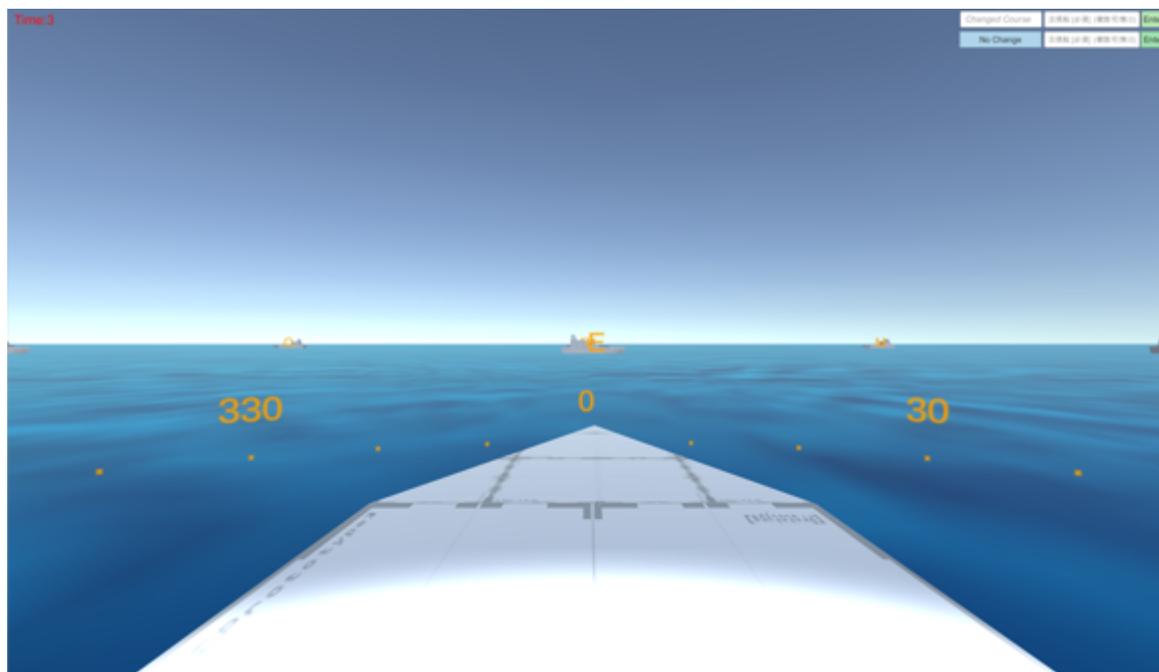


図 28 SHITENsim の一人称視点の画面

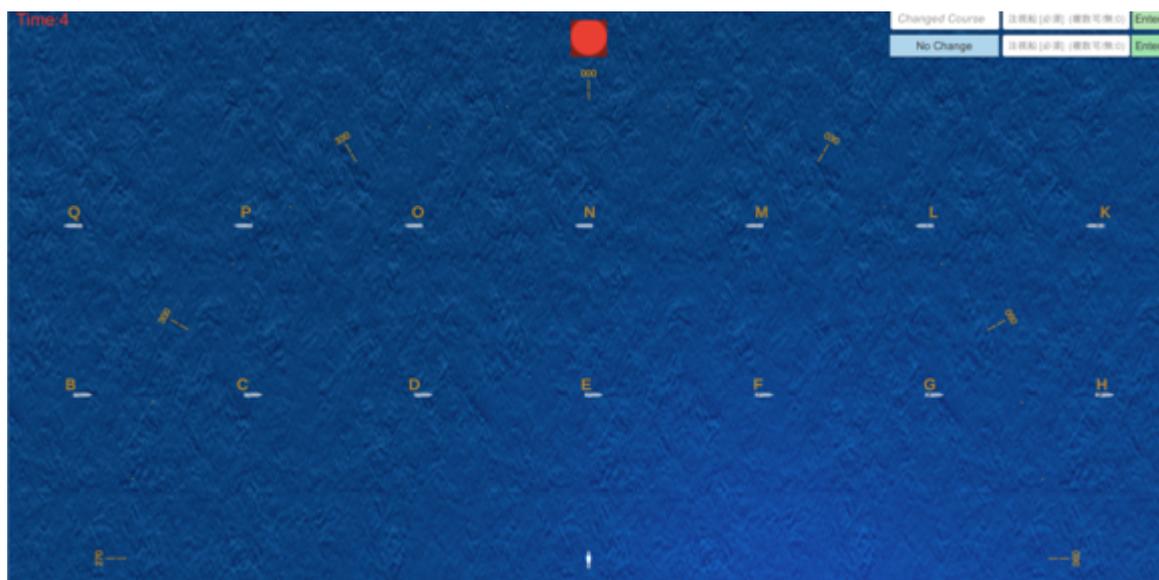


図 29 SHITENsim の三人称視点の画面

## 参考文献

- A. Higashiyama and K. Shimono (1994), How accurate is size and distance perception for very far terrestrial objects? *Function and causality, Perception & Psychophysics* volume 55, pp429-442
- D. Regan(1993), Binocular correlates of the direction of motion in depth, *Vision Research*, 33, pp2359-2360
- D. N. Lee(1974), Visual information during locomotion. In *Preception, Essays in honor of James J. Gibson*(Eds. R. B. MacLeod & H. L. Pick), Cornell University Press. Essays, Ithaca, pp250-267
- D. N. Lee(1976), A Theory of Visual Control of Breking based on Information about Time-to-Collision, *Preception*, 5, pp437-459
- D. N. Lee(1980), Visuo-motor coordination in space-time, In *Tutorials in Motor Behavior*(Eds. G. E. Stelmach and J. Reguin), North-Holland, Amsterdam, pp281-293
- G. W. Humphreys and V. Bruce(1989), *Visual Cognition: Computational Experimental and Neuropsychological Perspectives*, Lawrence Erlbaum Associates, Hove, UK.
- H.A. Swenson(1932), The relative influence of accommodation and convergence in the judgment of distance, *Journal of General Psychology*, 7, pp360-380
- 橋本進 (1996). 眼の構造と機能 視覚情報とヒューマンエラー, pp. 40-41, 海文堂出版
- I. Biedermam(1995), Visual object recognition, In *Visual Cognition*, Chap.4, The MIT Press, Cambridge, 1995
- J. A. Da Silva(1985), Scales for Perceived Egocentric Distance in a Large Open Field: Comparison of Three Psychophysical Methods, *American Journal of Psychology*, 98, pp119-144
- J.M. Foley (1977), Effect of distance information and range two indices of visually perceived distance, *Perception*, 6, pp449-460
- J.M.Foley and R. Held(1972), Visually directed pointing as a function of target distance, direction, and available cues, *Perception and Psychophysics*, 12, pp263-268
- J.T.Todd(1981), Visual Information about Moving Objects, *Journal of Experimental Psychology, Human Perception and Performance*, 7, pp795-810

K. I. Beverley and D. Regan(1975), The relation between discrimination and sensitivity in the perception of motion in depth, *journal of physiology*, 249, pp378-398

視覚情報処理ハンドブック (2000), 日本視覚学会編, 形の知覚・奥行き (立体) 視・運動の知覚, pp247-374, 朝倉書店, ISBN: 9784254101577

S. M. Kosslyn(1994), *Image and Mind, The Resolution of the Imagery Debate*, MIT Press, Cambridge, MA, pp336-516

S. P. McKee(1981), A local mechanism for differential velocity detection, *Vision Research*, 21, pp491-500

S. P. McKee and S. N. J. Watamaniuk(1994), The psychophysics of motion perception, In *visual Detection of Motion* (eds. A.T. Smith and R.J. Snowden), Academic Press, London, pp85-114

若林芳樹・鈴木晃志郎 (2007). 地図と空間認知をめぐる理論的・応用的諸問題 *地図*, 41 (4), pp3-16. doi: 10.11212/jjca1963.41.4 3

W. Schiff and M. L. Detwiler(1977), Information Used in Judging Impending Collision, *Perception*, 8, pp647-658, <https://doi.org/10.1068/p080647>

### 3.4 【研究 5<sup>27</sup>: 特性】 一人称視点/三人称視点と安全性/効率性との関係は？

#### 3.4.1 仮説と目的

ナビゲーションにおける二つの重要な目的は「安全性」と「効率性」である。安全性を最大限に担保するには、衝突の危険を回避するにあたり、不測の事態に備え他船との距離をできる限り大きく離すことが望まれる。一方、可能な限り効率的に運航するには、早く短い経路で目的地に到達することが望ましい。しかし、安全性を優先しすぎると経路が長くなって効率性が低下し、また効率性を優先しすぎると他船に接近しすぎて安全性が損なわれるという事態がしばしば起こる。すなわち、安全性と効率性とはトレードオフの関係にあり、ナビゲーションにおいては両者のバランスをとることが重要となる。

3.2 節の議論からそれぞれの視点の認知的特性は、一人称視点は自船近傍の局所的情報(各々の近傍他船と自船との関係)は迅速かつ詳細に把握できるが、大域的な情報の取得には不向きであること、三人称視点は大域的情報(対象海域全体の交通状況)の取得、および複数の対象物間(自船を含む)の関係の把握に長けるが、近傍における各々の他船に関する詳細な情報の取得には不向きであること、が考えられた。これを上述したナビゲーションにおける「安全性/効率性」の観点にあてはめると次のような傾向が生じると推察される。

(a) 各々の近傍他船への対応(衝突回避をするか否かについての対応)に関しては、局所的情報(近傍にある各他船と自船との関係)の取得に長け、かつ、細かな変化の収集に強い一人称視点の方が有利である(安全性に影響)

(b) 目的地到達への最適な経路は、大域的情報の取得に長ける三人称視点の方が算出しやすい(効率性に影響)

このことから、次の仮説 1 を設ける。

仮説 1) 一人称視点の方が三人称視点より個々の船舶に対し安全な操船を行う。(対応する仮説は「三人称視点の方が一人称視点より効率的な操縦を行う」)

しかしながら、この仮説 1 はいかなる時でも成立するとはいえない。景観情報とレーダ情報はそれぞれ一人称視点と三人称視点を特徴とするにも拘わらず、上述の一連の研

---

<sup>27</sup> 本研究は未発表ではあるが、学術誌に投稿すべく準備中である。

究においてこの仮説どおりの傾向を見出すことはできなかった。2.4 節(研究実績 1)において、一人称視点である景観情報の方が変針のタイミングが遅く、変針量が小さい傾向が見られ、これは安全性よりも効率性を重視する傾向を表すものだった。この原因としては、情報源における視点以外の要因による影響だけでなく、提示したシナリオの設定が強く影響した可能性がある。

第 2 章で対象とした複数隻が接近するシナリオ(図 10)において前方から接近し衝突するように設定した船 A や船 B を避け、かつ、目的地に向かうために北上するには、「早く大きい」変針、または、「遅く小さい」変針をする必要があった。「早く」変針する場合、前方から接近し衝突する船(船 A や船 B)に対しては、距離を大きく離すことができ安全性が高くなったが、現針路では衝突しない右側にある遅い船(船 D や船 E や船 F)に対しては、著しく接近する可能性が生じた。一方、「遅く」変針する場合は、右側にある遅い船は自船の後方を通過することになるが、その間、前方から接近する船に接近することとなった。すなわち、景観情報の方が「遅く小さい」変針の原因は、例えば、景観情報の方が船 A を、レーダ情報の方が船 D を優先<sup>28</sup>というように、優先的に安全性を意識していた対象船が情報源間で異なっていたからと推測される。しかし、ここでは実験参加者の操船行動における意図を一意に同定することは難しい設定であった。例えば、船 D の後 0.3 海里の地点を通過するという操船行動から、安全性を意識した対象が、船 D なのか、船 B なのか、船 J なのか、これらの船全てなのかということ判別できず、どの船に対して何海里距離を離すための操船であったのか明確にならない。操船行動において、安全性を意識した対象船が不明確であることは、効率性を意識した対象船(最短ルートを保持するために接近を許容する対象船)も不明確になる。すなわち、行動の対象がどの船であるのか明確でない交通状況では、ある操船行動における「安全性／効率性」を議論することは難しい。つまり、このような交通状況では仮説 1 を検証することは難しいと考えられる。

これに対し、図 30 のような十分広い間隔をもって一方向へ直進する船列を横断(船列横断)するシナリオでは、船列を構成する船以外に接近する船は存在せず、どこを通過しても操船行動に関係する船は一隻に絞られる(列間隔が一定である限り衝突設定船の付近に他船が到着することはない)。また、このシナリオには、例えば近距離にある同航船の

---

<sup>28</sup> ここでいう安全性を優先する対象船は、必ずしも先行研究の「気になる船」とは一致しない。敢えてその船に接近するという選択をしたからこそ「気になった」というのは十分あり得ることである。

ような(例えば, 図 10 における船 J), 自船の変針を制約する要因はない(図 30 の 2 列目は十分遠方であるため除外).

すなわち, 先行研究のシナリオは「安全性」に関して曖昧性が高かったため, 「安全性／効率性」に関わる意図が不明確であったが, 船列横断のシナリオでは, 関係船が明確になるため, 安全性を重視する場合は距離を大きく離す操船行動が生じ, 効率を重視する場合は最短経路で目標のゴールに到達する操船行動が生じると予想される. この船列横断は遍在的な交通状況の一つであり, 自動車の研究として無信号交差点の横断における出会い頭事故防止に関する研究(毛利ら, 2017; 谷口ら, 2016)が行われているように, 海上交通においてもその重要性からしばしば題材とされてきた(長畑, 1976; 小瀬・小林, 1973; 原ら, 1972).

ただし, 船列横断において二つの目的(遠方(船列の向こう)の目標へ効率的に到達すること, および近傍の他船を安全に回避すること)を達成するには, ①動いている他船の行動を予測しつつ, ②衝突を回避し, ③目標へ向かう, という3つの処理が必要になる. ②衝突回避は安全性, ③目標到達は効率性を表す. 一方, ①の処理については, 3.2 節で述べたとおり, 一人称視点と三人称視点とでは, 衝突までの時間の算出方法が異なるため(目的(安全性/効率性)に関わらず)視点の影響を強く受ける可能性がある. また, この処理コストは, 停止している対象の行動を予測する方が速力が, ある場合よりも簡単であり低い<sup>29</sup>. したがって, 上述の視点の特性は, 他船が速力を有しない静的状況(処理①が不要)の方が, 速力を有する動的状況(処理①が必要)に比べて明確に現れ, 仮説1の傾向が顕著化すると予想される. このことから, 次の仮説2を設ける.

仮説 2)他船の行動予測が容易な方が(静的状況), 視点の認知的特性が顕著化する.

以上のことから, 本節では, 衝突回避判断において, 一人称および三人称視点の認知的特性の違いが操船に与える影響を明らかにすることを目的に, 船列横断において二つの目的((1)遠方の目標への効率的な到達, (2)近傍他船の安全な回避)を与え, 一人称視点による操船と三人称視点による操船を, 他船が速力を持つ動的状況および停止している静的状況のそれぞれにおいて比較することを通して, 上述の2つの仮説の検証を行う.

---

<sup>29</sup> 一般のナビゲーションにおいても, 動く対象物よりも静止する対象物の方が容易に回避できる.

### 3.4.2 被験者

被験者は、専門的な海事知識(海上交通ルール等)および船舶の操縦経験を全く持たない理工系大学生および大学院生 32 人(19 才から 25 才)であった。被験者は、“静的状況において一人称視点で操船を行う課題(SSN: Static-Subjective-Novice)”, “静的状況において三人称視点で操船を行う課題(SON: Static-Objective-Novice)”, “動的状況において一人称視点で操船を行う課題(DSN: Dynamic-Subjective-Novice)”, “動的状況において三人称視点で操船を行う課題(DON: Dynamic-Objective-Novice)”の 4 つの課題に取り組んだ。これらの課題は順不同で提示した(順序効果の相殺)。実験は、各自 1 台のパソコンで行った。

### 3.4.3 実験方法

実験は、著者らが開発した簡易操船シミュレータ「SHITENsim」(3.3 節)において、船列横断シナリオを提示し(3.4.3.2 項)、二つの目的((1)遠方の目標への効率的な到達、(2)近傍他船の安全な回避)を与え、一人称視点による操船、または、三人称視点による操船を、他船が速力を持つ動的状況および停止している静的状況のそれぞれにおいて実施することで行なった。被験者のタスクは、針路変更のみで、できるかぎり安全に衝突回避し、できる限り早く目標に到達することであった。本実験では、SHITENsim にて記録したログデータからその操船行動を、自身の操船を主観的に評価させるアンケートからその行動の背景を調査した。所要時間は一人につき約 1 時間を要した。

#### 3.4.3.1 実験環境

本実験では、3.3 節に詳述した、操船における視点以外の要因をできる限り統制し、かつ視点による影響を明確化することを指向して、著者らが新たに開発した情報源における視点以外の要因を統制するためにパソコン上で動作する簡易操船シミュレータ「SHITENsim」を用い実施した。

#### 3.4.3.2 シナリオ

実験で提示した船列横断のシナリオを図 30 に示す。同図の 1 マスは 9L×9L(自船の長さ(100m)を 1L とする)、下中央の四角形は自船の出発点、上中央の四角形は目標点、灰色の二等辺三角形は自船、白色の二等辺三角形は他船(頂角が船首、A から R のアルファベットは識別符号)である。方位は、真北(図の上方)を 0deg、右回りを正とする絶対方位で

表す。他船の間隔は、長畑(1976)の研究を参照して、通過可能かつ回避行動が必要となるように  $9L(900m)$  に設定した。自船に近い船列を一系列目、遠い船列を二列目と呼ぶ。

自船は、初期針路を維持し 138 秒間経過すると、静的状況では E 船、動的状況では D 船に衝突する(以降、これらを衝突設定船と呼ぶ)。他船の速さは、静的状況は全て  $0km/h$ 、動的状況は全て自船と同じ  $22.2km/h$  とし、いずれの状況においても、被験者に他船の速さを伝えなかった。その理由は、他船が動いていることを前提とする場合と停止していることを前提とする場合とでは、操船に用いる方略が質的に異なることが考えられ、それが視点の違いによる効果を上回る影響を与える可能性があるかと判断したからである。

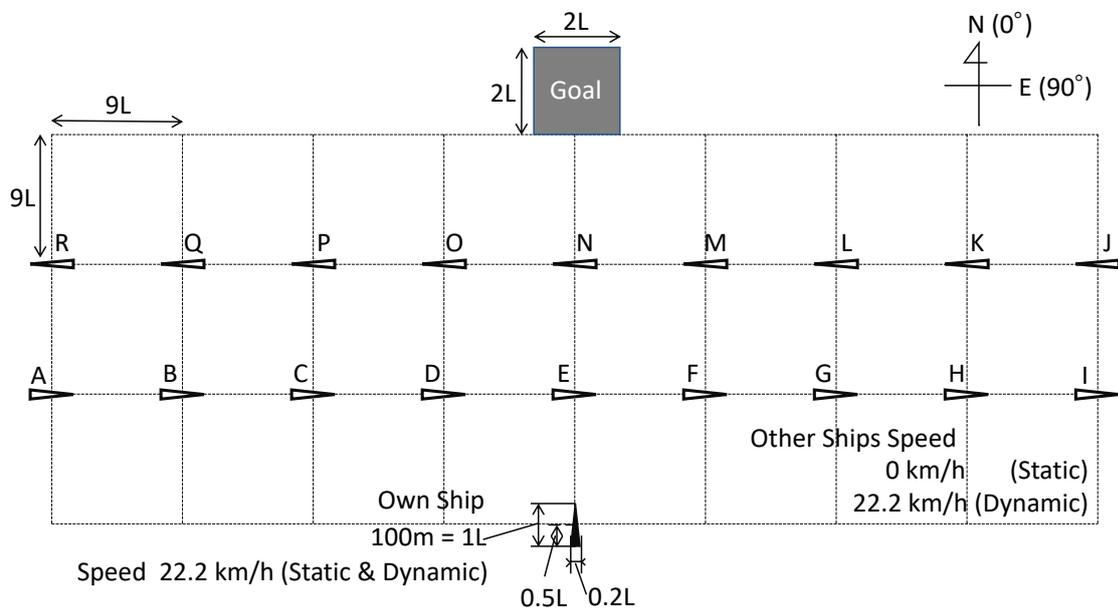


図 30 船列横断のシナリオ

### 3.4.3.3 調査項目

本実験では、SHITENsim にて記録したログデータからその操船行動を、自身の操船を主観的に評価させるアンケートからその行動の背景を調査した。

ログデータからは、「衝突の有無」、「総航走距離」、「変針時における注視船、および、その距離」、「選択ルート」、「衝突設定船までの距離の推移」を分析した。

アンケートは、アンケート1のフェイスシート(年齢, 知識, および経験等), アンケート2の4つのシナリオ毎の主観評価, アンケート3の全般にわたる主観評価, の3部にて構成した。アンケート2の項目は「課題の難易度」と「2つの目的(目標到達/衝突回避)への意識の強さ」とし, 前者は「1. 簡単」～「4. どちらでもない」～「7. 難しい」, 後者は「1. 目的地への到達」～「4. どちらでもない」～「7. 衝突回避」の7件法で評価させた。アンケート3の項目は「距離の理解しやすさ」と「接近時の怖さ」とし, 前者は「一人称視点」, 「三人称視点」, 「どちらも同じくらい」の3件法, 後者は「一人称視点」, 「三人称視点」, 「どちらも同じくらい」, 「比較できるような状況にならなかった」の4件法で評価させた。

#### 3.4.3.4 実験手順

実験にあたり, 事前に, 得られたデータは研究当事者以外の目に触れないこと, 研究目的以外で使用しないこと, 匿名性が保証されること, 被験者は参加を拒否できるとともに随時データの破棄を要求できること, 結果は学術的な場において公表されることなどを書面および口頭で十分に説明し, 同意を得た。本実験は, 著者らの所属する神戸大学大学院海事科学研究科の倫理審査の承認を受け, 倫理的配慮のもとに実施した。手順は次のとおりである。

はじめに, アンケート1に回答させた。続いて, 課題における目的(目標に到達すること, 他船と衝突しないこと)および諸条件(自船の速さが22.2km/h(12ノット)であること, 船舶の動特性が考慮されていること, 外力(風・潮流・波・霧)は影響しないこと, すべての他船は自船と同じ大きさ・性能であること, 他船とコミュニケーションは取れないこと)を説明し, 操作方法を書面および口頭で説明した上で, 練習用シナリオ(一人称用と三人称用の両方)を用いてSHITENsimの操作に習熟させた。練習は, 時間制限を設けず, 質問には適宜答え, 十分習熟したと被験者が同意するまで行わせた。その後, 被験者毎に課題の順序が異なるように指定し(順序効果の相殺), 4つの課題に取り組ませた(3.4.2項参照)。それぞれの課題を開始する際に必ず表示する図31のスタート画面において, 課題における目的, 自船の大きさ, SHITENsimの操作方法を提示することで, 本実験に関わる重要な内容を確認することを促した。課題遂行中, 変針する際は必ず注視船符号を入力させ, また, 見回し機能は自由に使用させた。目標に到達するか, 他船に衝突した時点で課題終了とした。各課題を終了する都度, アンケート2に回答させた。全シナリオ終了後, アンケート3に回答させた(文中のアンケート1, アンケート2およびアンケート3は3.4.3項を参照)。

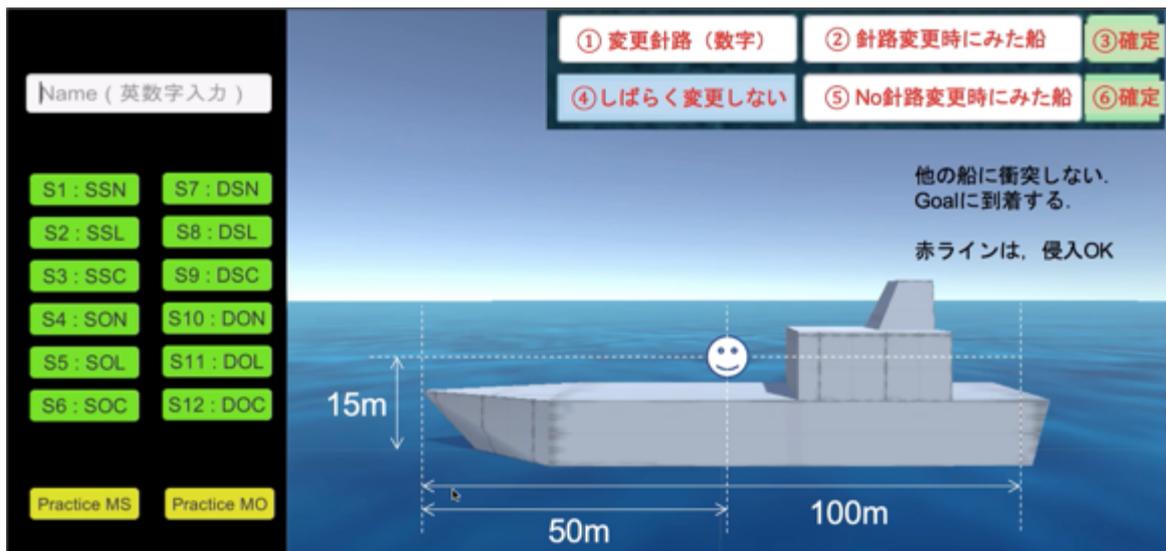


図 31 SHITENsim のスタート画面（一人称視点／三人称視点共通）

### 3.4.4 分析方法

安全性の評価は「衝突の有無」から、効率性の評価は「総航走距離」から行なった。安全性の詳細については「変針時における注視した船までの距離」と「衝突設定船までの距離の推移」により検討した。また、これらの操船行動と認知的特性との関連性は、アンケートの結果から検討した。各項の分析方法を次に詳述する。すべての検定において有意水準は5%未満とした。

**衝突の有無**：他船と衝突した被験者数を課題毎に集計し、視点間(三人称視点/一人称視点)で比較した。分析にはマクネマー検定を用いた。

**総航走距離**：目標へ到達できた場合の総航走距離をログデータから求め、課題毎に被験者の平均総航走距離(衝突した被験者を除外)を算出して、視点間で対応のないt検定を行なった。対応のないt検定では等分散性の確認を行い、2群間に等分散性が仮定できる際はスチューデントのt検定を、仮定できない場合はウェルチのt検定を用いた。

**変針時における注視船**：実験開始から1列目までの間に被験者が入力した注視船符号から、入力された注視船の構成比率を課題ごとに算出した。

**変針時における注視船までの距離**：被験者が入力した注視船符号とログデータから変針時の自船と各注視船との距離を求め、課題毎にその平均距離を算出して、視点間で対応のないt検定を行なった。対応のないt検定では、等分散性の確認を行い、2群間に等分

散性が仮定できる際はスチューデントの t 検定を，仮定できない場合はウェルチの t 検定を用いた。

**選択ルート：**一列目の船列を通過した際の自船および衝突設定船の座標から，選択したルートを①衝突設定船の後方を通過するルート(Aft-Pass と呼ぶ)と②前方を通過するルート(Head-Pass と呼ぶ)の二つに分け，それぞれのルートをとった被験者数を課題毎に集計した。選択ルートの偏りを，マクネマー検定を用いて視点間で比較した。

**衝突設定船までの距離の推移：**まず，全航程における自船と衝突設定船との距離をログデータから算出し，その推移を課題毎，選択ルート毎(Aft-Pas, Head-Pass)にプロットした。横軸は衝突設定船( $y = 0$ )に対する自船の  $y$  座標であり， $-4L < y < 3L$  とした。縦軸は自船と衝突設定船との平均距離であり， $y$  の定義域内で  $1L$  の区間毎に集計した。また，これらの平均値に対して非線形最小二乗法による回帰分析を行い，衝突設定船までの距離の推移を視点毎に推定した。次に，この集計データを視点間で比較するため，区間毎に対応のない t 検定を行い，併せて効果量  $d$  も求めた。

**課題の難易度および 2 つの目的への意識の強さ(主観評価)：**アンケート 2 の回答について対応のある t 検定を行なった。

**距離の理解しやすさおよび接近時の怖さ(主観評価)：**アンケート 3 において「一人称視点」または「三人称視点」以外を選択した場合を除外した上で，カイ二乗検定を用いて分析した。

ただし，本シナリオ(図 30)の 2 列目に対する操船行動には，1 列目に対する操船行動の結果が大きく影響していた。このため，2 列目については，視点と衝突船までの距離の推移の関係を正しく分析することができないと判断し，分析対象外とした。また，DSN の 1 人分のログデータが，システムの不具合により記録できなかった。動的状況の分析はペアワイズ処理を行い 31 人分のデータを用いた(静的状況では 32 人のデータを用いた)。

### 3.4.5 結果

#### 3.4.5.1 衝突の有無

動的状況において衝突した人数は、31人中、三人称視点で7人、一人称視点で9人であった。マクネマー検定の結果、McNemar's chi-squared (1)=0.4( $p=0.527$ )となり、有意差は認められなかった。

静的状況において衝突した人数は、32人中、三人称視点で11人、一人称視点で1人であった。マクネマー検定の結果、McNemar's chi-squared (1)=8.3( $p<0.001$ )となって有意差が認められ、三人称視点の方が衝突した者が多かった。

#### 3.4.5.2 総航走距離

動的状況における平均総航走距離は、三人称視点で28.9L(24人)、一人称視点で29.7L(22人)であった。ウェルチのt検定の結果、 $t(24.3)=-0.837(p=0.411)$ となり、有意差は認められなかった。

静的状況における平均総航走距離は、三人称視点で平均28.1L(21人)、一人称視点で平均27.8L(31人)であった。ウェルチのt検定の結果、 $t(49.7)=0.554(p=0.582)$ となり、有意差は認められなかった。

#### 3.4.5.3 変針時における注視船までの距離

図 32 に注視船の結果を示す。図中のアルファベットは注視船符号を、0 は注視船なしを指す。動的状況では、三人称視点、一人称視点ともに、衝突設定船(船 D)を注視船とした回答は60%以上であった。静的状況では、三人称視点で75%以上、一人称視点で50%以上であった。すなわち、ほとんどの者が注視船として衝突設定船を挙げた。

図 33 に変針時における注視船までの平均距離の結果を示す。図の縦軸は、変針時における注視船までの距離(100m=1L)、n は一列目を通るまでの変針の述べ回数を指す。動的状況では視点間で有意差は認められなかった( $t(105.5)=-1.334(p=0.185)$ )。一方、静的状況では視点間で有意差が認められ( $t(152)=-4.597(p<0.001)$ )、一人称視点の方が注視船までの距離が大きい傾向が見られた。

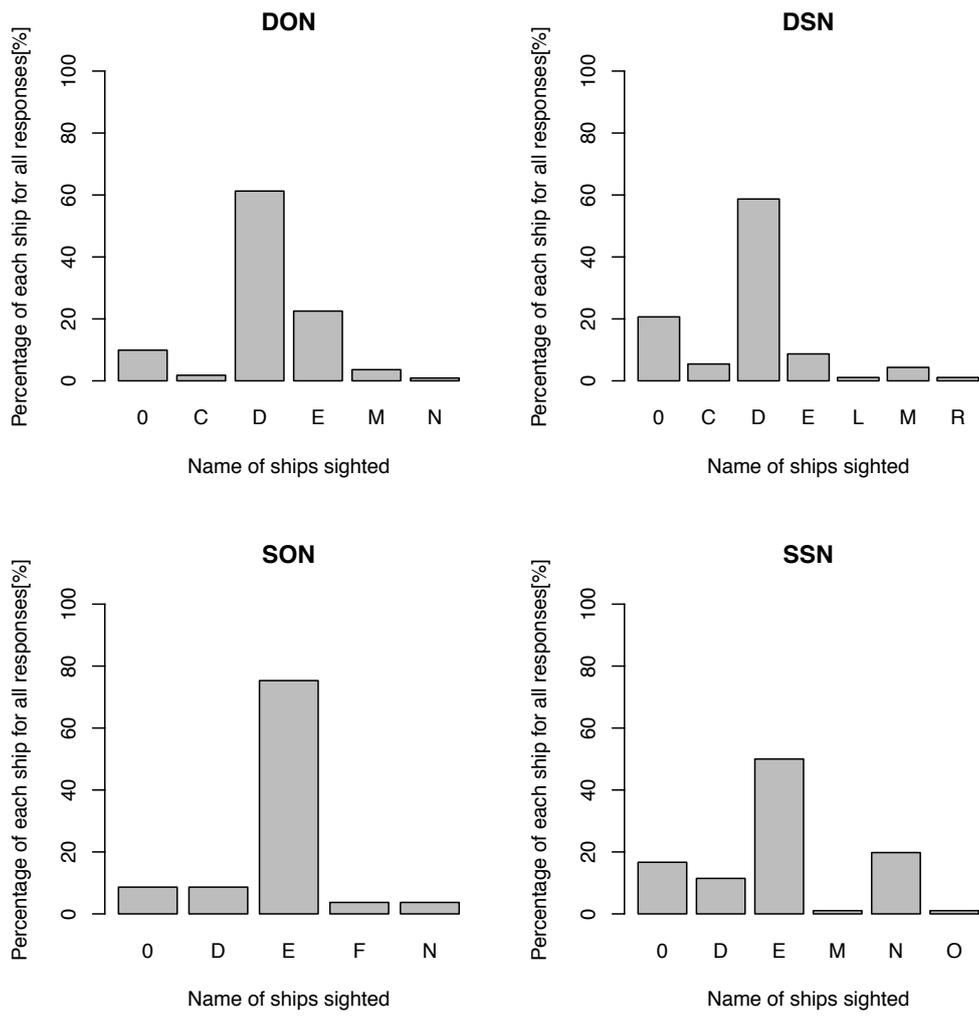


图 32 注視船

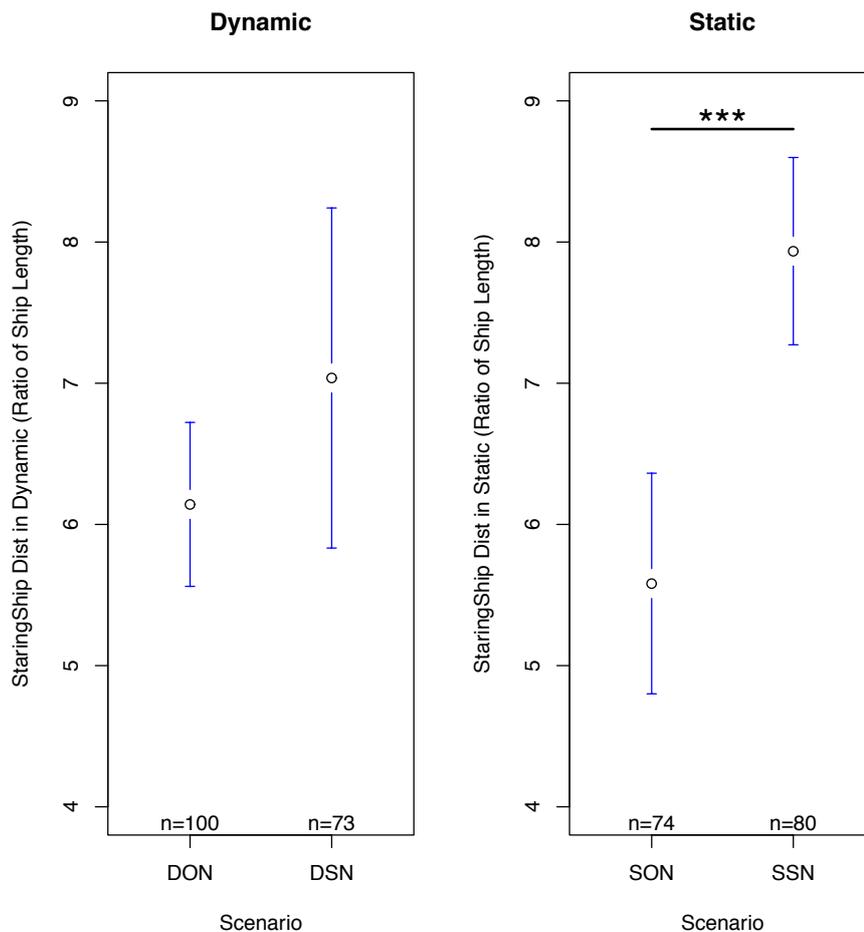


図 33 変針時における注視船までの距離

#### 3.4.5.4 選択ルート

表 22 に選択ルートの結果を示す. この表の結果に対しマクネマー検定を用いて選択ルート(衝突設定船の後方または前方)の偏りを視点間で比較する検定を行なった.

動的状況では McNemar's chi-squared (1)= 0.222 ( $p=0.637$ )で有意差は認められなかった(視点に関わらず選択ルートはほぼ半数ずつに分かれ, 三人称視点では後方通過ルートが 52%, 一人称視点では後方通過ルートが 45%であった).

静的状況でも McNemar's chi-squared (1)= 1.8 ( $p=0.180$ )で有意差は, やはり認められなかった. ただしこの場合は, 視点に関わらずほとんどの被験者が後方を通過するルートであった(三人称視点では 84%, 一人称視点では 94%). (これらの現象の理由は不明であり, 本実験ではその理由は解明できなかった)

表 22 選択ルート

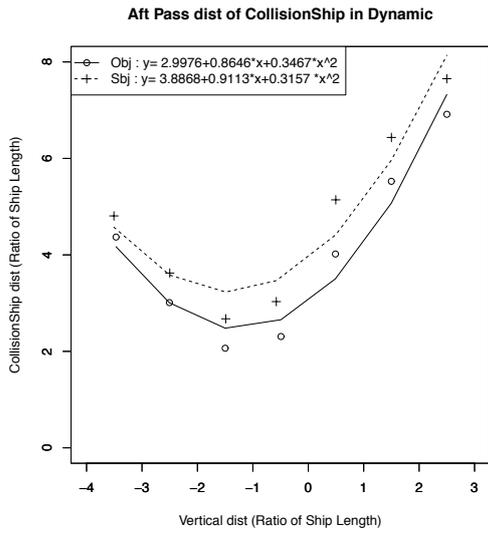
Selected route	Objective [persons]	Subjective [persons]
(a) Selected Aft Pass route in Dynamic	16	14
(b) Selected Head Pass route in Dynamic	15	17
(c) Selected Aft Pass route in Static	27	30
(d) Selected Head Pass route in Static	5	2

### 3.4.5.5 衝突設定船までの距離の推移

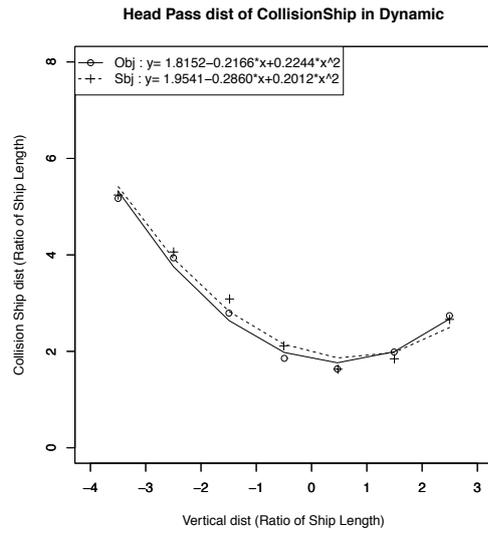
衝突設定船までの距離の推移を図 34 に示す(図の(a)~(d)は表 22 参照). 図中の実線は三人称視点を, 破線は一人称視点を表している. 曲線は, プロットした平均値に対して非線形最小二乗法を用いた回帰分析から推定した非線形モデルである. それぞれのモデル式を各図の左上に記す. 推定した非線形モデルは下に凸の放物線を描いた. 放物線の頂点は, 1.6L から 3.5L であった. この結果は, 前方 6.4L, 左右, および後方の 1.6L は他船を入れたくない領域であるとした井上(2011)の報告を支持するものであった.

次に, 衝突設定船までの距離を視点間で比較した結果を表 23 に示す(表の(a)~(d)は表 22 参照). ウェルチの t 検定は, ほとんどの区間においてに有意差が認められた(ただし, サンプルサイズが膨大であることに注意). 効果量  $d$  は, 動的状況における Aft-Pass では中, 動的状況における Head-Pass では小から中, 静的状況における Aft-Pass では中から大, 静的状況における Head-Pass では大から最大であった. 詳細を次に挙げる.

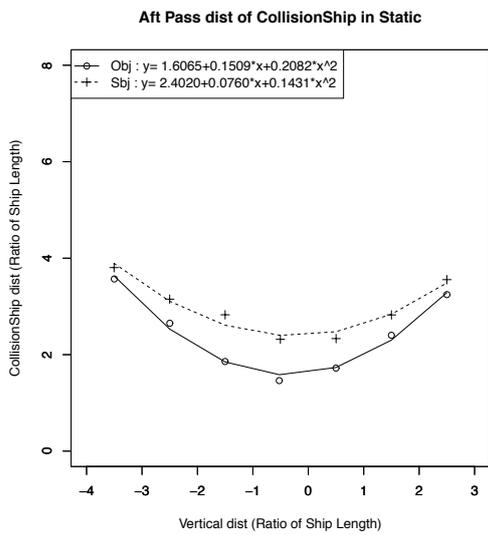
動的状況における後方通過, 静的状況における後方通過と前方通過(図 34(a)(c)(d))の非線形モデルは, 全ての区間において一人称視点の方が上方に位置し, 全ての区間において視点間の有意差が認められ, かつ, 中から大の効果量が認められた. 一方, 動的状況における前方通過(図 34・表 23(b))の非線形モデルは, ほぼ重なり, 衝突設定船に最も接近した区間( $0L < y \leq 1L$ )の値において視点間に有意差がなく( $t(28658.1) = 0.645$  ( $p=0.519$ )), 小の効果量であった( $d(\text{Cohen's } d) = 0.01$  (Small)). すなわち, 動的状況における前方通過以外は, 三人称視点より一人称視点の方が衝突設定船との距離を大きく離す操船であったが, 動的状況における前方通過では視点間の差はほとんどなかった.



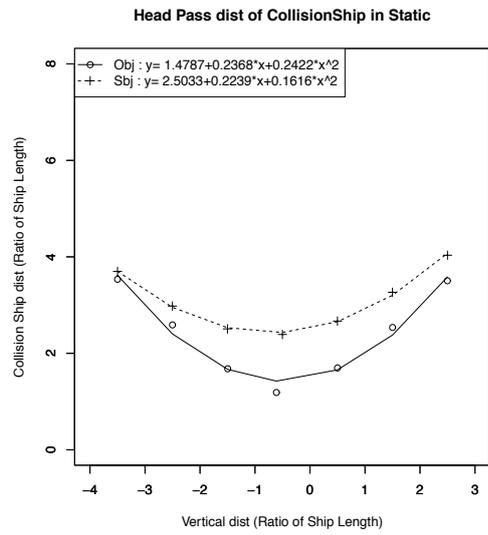
(a) Selected Aft Pass route in Dynamic



(b) Selected Head Pass route in Dynamic



(c) Selected Aft Pass route in Static



(d) Selected Head Pass route in Static

図 34 衝突設定船(y=0)に対する自船の y 座標と衝突設定船までの距離の関係

表 23 衝突設定船までの距離に対する一人称視点と三人称視点の差の検定結果

(a) Selected Aft Pass route in Dynamic

Dynamic y-coordinate interval	Specimen mean difference DS.dist_mean-DO.dist_mean	t.test			Effect size (Cohen's d)	
		t	df	p.value	d	
-4L < y ≤ -3L	0.4	-25.525	18102.1	<.001	0.29	Medium
-3L < y ≤ -2L	0.6	-32.947	18011.2	<.001	0.37	Medium
-2L < y ≤ -1L	0.6	-28.767	19994.1	<.001	0.31	Medium
-1L < y ≤ 0L	0.7	-26.500	18878.6	<.001	0.31	Medium
0L < y ≤ 1L	1.1	-32.994	11735.5	<.001	0.49	Medium
1L < y ≤ 2L	0.9	-27.680	11476.0	<.001	0.42	Medium
2L < y ≤ 3L	0.7	-23.556	11628.6	<.001	0.35	Medium

(b) Selected Head Pass route in Dynamic

Dynamic y-coordinate interval	Specimen mean difference DS.dist_mean-DO.dist_mean	t.test			Effect size (Cohen's d)	
		t	df	p.value	d	
-4L < y ≤ -3L	0.1	-12.151	24228.6	<.001	0.15	Small
-3L < y ≤ -2L	0.1	-18.835	22295.9	<.001	0.23	Medium
-2L < y ≤ -1L	0.3	-40.982	22816.5	<.001	0.48	Medium
-1L < y ≤ 0L	0.3	-32.920	28669.7	<.001	0.36	Medium
0L < y ≤ 1L	0.0	0.645	28658.1	0.519	0.01	Small
1L < y ≤ 2L	-0.1	25.650	25369.8	<.001	0.32	Medium
2L < y ≤ 3L	-0.1	15.646	21557.5	<.001	0.2	Small

(c) Selected Aft Pass route in Static

Static y-coordinate interval	Specimen mean difference SS.dist_mean-SO.dist_mean	t.test			Effect size (Cohen's d)	
		t	df	p.value	d	
-4L < y ≤ -3L	0.2	-75.184	55918.5	<.001	0.59	Large
-3L < y ≤ -2L	0.5	-84.610	37230.9	<.001	0.65	Large
-2L < y ≤ -1L	1.0	-90.821	33591.4	<.001	0.70	Large
-1L < y ≤ 0L	0.9	-76.871	33013.5	<.001	0.60	Large
0L < y ≤ 1L	0.6	-57.629	33995.2	<.001	0.45	Medium
1L < y ≤ 2L	0.4	-40.931	34177.9	<.001	0.32	Medium
2L < y ≤ 3L	0.3	-31.414	34588.2	<.001	0.25	Medium

(d) Selected Head Pass route in Static

Static y-coordinate interval	Specimen mean difference SS.dist_mean-SO.dist_mean	t.test			Effect size (Cohen's d)	
		t	df	p.value	d	
-4L < y ≤ -3L	0.2	-24.228	4667.8	<.001	0.61	Large
-3L < y ≤ -2L	0.4	-55.118	4290.0	<.001	1.43	Over large
-2L < y ≤ -1L	0.8	-80.989	3190.9	<.001	2.38	Over large
-1L < y ≤ 0L	1.2	-71.442	3544.0	<.001	2.14	Over large
0L < y ≤ 1L	1.0	-40.498	3996.7	<.001	1.27	Over large
1L < y ≤ 2L	0.7	-29.330	3979.8	<.001	0.92	Over large
2L < y ≤ 3L	0.5	-21.056	3972.3	<.001	0.67	Large

### 3.4.6 主観評価

#### 3.4.6.1 課題の難易度(アンケート 2)

課題の難易度の評価は DON の平均は 4.5, SON の平均は 3.2 であった. 対応のある t 検定を行った結果,  $t(30)=3.798(p<0.001)$  で有意差が認められ, 三人称視点においては動的状況より静的状況の方が「簡単である」と評価することが示された. また, DSN の平均は 4.5, SSN の平均は 2.5 であり, 対応のある t 検定を行った結果,  $t(30)=5.1793(p<0.001)$  で有意差が認められ, 一人称視点においても 動的状況より静的状況の方が「簡単である」と評価することが示された. すなわち, 課題の難易度は, 視点に関わらず, 静的状況の方が動的状況より「簡単である」との評価だった.

#### 3.4.6.2 2つの目的への意識の強さ(アンケート 2)

2つの目的(目標への到達と衝突回避)への意識の強さの評価は, DON の平均は 4.9, DSN の平均は 5.1 であり, 視点間に有意差は認められなかった( $t(30)=-0.468(p=0.643)$ ). また, SON の平均は 3.5, SSN の平均は 4.1 であり, 視点間に有意差は認められなかった( $t(30)=-1.656(p=0.108)$ ).

#### 3.4.6.3 距離の理解しやすさ(アンケート 3)

被験者 32 人のうち, 無回答 5 人および「どちらも同じくらい」と回答した 3 人を除く 24 人を対象として分析を行った. そのうち 17 人は「三人称視点」, 7 人は「一人称視点」と回答した. カイ二乗検定を行った結果,  $\chi^2(1)=4.167(p=0.041)$  で有意な差が認められた. すなわち, 三人称視点の方が「距離がわかりやすい」との評価だった.

#### 3.4.6.4 接近時の怖さ(アンケート 3)

被験者 32 人のうち, 無回答 5 人, 「どちらも同じくらい」と回答した 2 人, および「比較できる状況にならなかった」と回答した 1 人を除く 24 人を対象として分析を行った. そのうち 2 人は「三人称視点」, 22 人は「一人称視点」と回答した. カイ二乗検定を行った結果,  $\chi^2(1)=16.667(p<0.001)$  で有意な差が認められた. すなわち, 一人称視点の方が, 接近した際に「怖いと感じる」との評価だった.

### 3.4.7 考察

#### 「静的状況」

はじめに、静的状況について考察する。安全性の評価指標とした「衝突の有無」において、三人称視点より一人称視点の方が衝突しなかったことが示された(3.4.5.1 項)。さらに「変針時における注視船までの距離」においても、「衝突設定船までの距離の推移」においても、三人称視点より一人称視点の方が距離を大きく離す傾向があった(3.4.5.3 項, 3.4.5.5 項)。つまり、三人称視点より一人称視点の方が他船との距離を大きく離す操船を行い、衝突することが少なかったといえ、ここから、一人称視点の方が安全な操船であったことが確認できた。これは仮説1を検証した。

しかしながら、効率性の評価指標としていた「総航走距離」においては、視点間の有意差は認められず(3.4.5.2 項)、三人称視点が一人称視点よりも他船に接近する操船の傾向を示したことは、必ずしも効率性の向上に結びついていなかった。

衝突設定船に対する「選択ルート」の結果は、ほとんどの被験者が他船の後方を通過するルートであり、視点間に有意な差は認められなかった(3.4.5.4 項)。つまり、一人称視点の方が距離を大きく離す傾向は、通過箇所の違いから生じた可能性は低いと考えられる(前進方向を通過する方が衝突のリスクが高く、前後の通過箇所の違いは安全距離に影響する)。一方、衝突設定船に対する視点間の距離の平均値差は、手前では小さく(Aft-Pass 0.2L(効果量 0.59)/Head-Pass 0.2L(効果量 0.61))、付近では大きく(Aft-Pass 1.0L(効果量 0.7)/Head-Pass 1.2L(効果量 2.14))、通過後は小さくなっており(Aft-Pass 0.3(効果量 0.25)/Head-Pass 0.5(効果量 0.67))(図 34・表 23 の(c)と(d))、衝突設定船への接近に伴い一旦大きくなったが、2列目へ侵入する際には減少していた。これは、全ての他船が停止していたにも関わらず三人称視点の方が最短経路を継続的に航行していたのではないこと、および、一人称視点の方が距離を大きく離す傾向は、衝突設定船の付近を通過する際のみであったことを表す。

「2つの目的への意識の強さ」の結果は、視点間で有意差が認められず、評定の平均値は「どちらでもない」付近であった(3.4.6.2 項)。すなわち、一人称視点の方が距離を大きく離す傾向は、衝突リスクを緩和するという意識の違いにより生じたものでも、最短経路で目的地を目指すという意識の違いにより生じたものでもなかったと考えられる。一方、「距離の理解しやすさ」、および、「接近時の怖さ」の主観評価の結果においては、情報源間で有意な差が認められ、三人称視点の方が距離がわかりやすいと感じ、一人称視点の方が接近した際に怖いと感じたことが示された(3.4.6.3 項, 3.4.6.4 項)。この三人称視点の

方が距離がわかりやすいと感じたことは、三人称視点の方が大域的情報の取得、複数の対象物間の関係の把握に長けるという認知的特性に、一人称視点の方が接近した際に怖いと感じたことは、一人称視点の方が自船近傍の局所的情報(各々の近傍他船と自船との関係)を迅速かつ詳細に把握できるという認知的特性に由来するものであったと考えられる(3.2節).

すなわち、一人称視点の方が距離を大きく離す傾向は、意識的でない視点間の認知的特性の違いにより生じたと考えられ、だからこそ、衝突設定船の付近を通過する際に最も顕著に「一人称視点の方が三人称視点より個々の船舶に対し安全な操船を行う」傾向が生じたと示唆される。最短ルートで目的地を目指すという意識的な行動によるものでなく、視点間の認知的特性の違いにより生じたからこそ、「三人称視点の方が一人称視点より効率的な操縦を行う」という仮説が検証できなかつたと考えられる。これらのことから、視点間の認知的特性の違いは、意識的でない操船行動(状況認識や判断)の違いを誘引し、一人称視点の認知的特性は三人称視点と比べ安全性の高い操船行動を導く効果があると示唆される。

### 「動的状況」

次に動的状況について考察する。「衝突の有無」および「変針時における注視船までの距離」の結果は、静的状況と異なり、動的状況では有意な差が認められなかつた(3.4.5.1項, 3.4.5.3項)。「選択ルート」および「総航走距離」は、静的状況と同様に、視点間に有意な差が認められなかつた(3.4.5.4項, 3.4.5.2項)。すなわち、効率性の評価は静的／動的の状況の違いによる差は認められなかつたが、安全性の評価においては、動的状況よりも静的状況の方が視点間の差が顕著であったことが示された。また、「課題の難易度」の主観評価は、視点にかかわらず静的状況の方が動的状況よりも簡単であるとの評価が示された(3.4.6.1項)。これらの結果は、仮説2「他船の行動予測が容易な方が(静的状況)、視点の認知的特性が顕著化する」を検証した。

しかしながら一方で、「安全性の評価」において有意差が確認できなかつたことは、視点間の認知的特性の違いが生じさせる行動への影響は、静的状況特有のものか?という疑問が生じさせる。これは図 34・表 23 の(a)と(b)に示す「衝突設定船までの距離の推移」の結果から説明できる。後方通過の非線形モデルは、全ての区間において一人称視点の方が上方に位置し、全ての区間において視点間の有意差が認められ、かつ、全ての区間において中の効果量が認められたが、一方、前方通過の非線形モデルは、ほぼ重なり、衝突設定

船に最も接近した区間( $0L < y \leq 1L$ )においては、視点間に有意差がなく( $t(28658.1) = 0.645$  ( $p=0.519$ )), 小の効果量であった( $d(\text{Cohen's } d) = 0.01$  (Small))(3.4.5.5 項). 衝突しないための行動予測は、前方通過ではその精度は非常に重要になるが、後方通過においては、他船は自船から遠ざかる方向に進むため、精度の良し悪しはあまり重要ではない。すなわち、他船が動いている状況であっても、衝突回避が容易な場合には一人称視点の方が距離を大きく離す傾向は顕著化していたといえる。したがって、視点の認知的特性の違いが及ぼす操船傾向の違いは、他船が停止しているという特殊な交通状況のみで生じるものではないと考えられる。

以上のことから、一人称視点の認知的特性は、安全性の高い操船行動を導く効果があると考えられる。換言すれば、三人称視点の認知的特性は一人称視点より安全性が劣る操船行動を誘引する可能性があると示唆される。ただし、これらの認知的特性の違いは、衝突回避が容易な場合に顕著化し、課題の難易度がある程度増すと不明瞭になると考えられる。

### 3.4.8 まとめ

本研究では、様々な情報源の構成に関わる要因のうちの視点に着目し、船列横断を題材として、一人称視点と三人称視点の認知的特性の違いを、操船行動と主観評価から検討した。著者らが開発した操船シミュレータ SHITENsim を用いて実験を行なった結果、次の知見が得られた。

- ✓ 一人称視点の認知的特性は、三人称視点と比べ安全性の高い操船行動を導く効果がある一方、三人称視点の認知的特性は一人称視点に比べ安全性が劣る操船行動を誘引する可能性がある。
- ✓ 視点の認知的特性の違いが及ぼす操船傾向の違いは、衝突回避が容易な場合に顕著化し、難易度がある程度増すと不明瞭になる。

本実験では、図 30 のシナリオにおける 2 列目については、起点のバラツキが大きかったため分析できなかった。そのため、連続的な回避行動が必要な、換言すればより複雑な交通状況(他船の速力の有無による難易度の違いでないことに注意)において、上記の傾向が同様に見られるか否かについては明らかにできなかった。また、実験中に速力が体感しにくいことに関する発話が確認された。これは、実際に搭乗しない遠隔操船において解決しなければならない重要な課題と考えられる。これらについては、今後の課題としたい。

今後、搭乗操縦船と遠隔操縦船が混在する状況でも安全性を確保するためには、本実験で認められたような、三人称視点の方が一人称視点よりも衝突設定船に接近する傾向（視点間の最も大きな差は、1.2Lであった）を生じさせないようにする、もしくは、縮小させるような遠隔操縦船に適した情報の提示方法を、様々な可能性の中から検討していく必要がある。本論文で得られた一人称視点と三人称視点の認知的特性と操船行動の関係は、遠隔操縦システムの開発、および安全確保において重要な知見となると期待できる。

### 3.5 3章のまとめ

本章は、生態的妥当性の高い環境を実現することで行なった2章とは逆に、できる限り人工的に統制した環境で仮説を検証することで、視点(一人称視点/三人称視点)の違いが操船行動に与える影響を探求した。この結果、1) 一人称視点の認知的特性は、三人称視点と比べ安全性の高い操船行動を導く効果がある一方、三人称視点の認知的特性は一人称視点に比べ安全性が劣る操船行動を誘引する可能性があること、2) 視点の認知的特性の違いが及ぼす操船傾向の違いは、衝突回避が容易な場合に顕著化し、難易度がある程度増すと不明瞭になることが考えられた。

近づいてくる対象の方向や速さを知覚し避けることは、動物の生存にとって必須の本能的な行動から生じるものといえる。このときの知覚は、ほとんどの場合、日常空間での移動において通常用いられる一人称視点に基づく。そもそも、日常的な移動を三人称視点に基づいて行動することはまれである。すなわち、上述の知見1) 三人称視点の方が安全性が劣る操船行動が示された原因は、動物の持つ本能と結びついた「避ける」という行動が三人称視点では生起しにくかったからと推察される。遠隔操縦・監視システムを導入するにあたり、衝突回避を搭乗操縦船と遜色なく行うことができるようにすることは、海上交通の安全を確保するために非常に重要である。しかしながら、本研究では、どのようにしたら、三人称視点でも「避ける」ということを一人称視点の場合と遜色なく行うことができるのかということまでは明らかにすることができなかった。これについては今後の課題とし、取り組みたい。

## 参考文献

D. N. Lee(1974), Visual information during locomotion. In *Preception, Essays in honor of James J. Gibson*(Eds. R. B. MacLeod & H. L. Pick), Cornell University Press. Essays, Ithaca, pp250-267

D. N. Lee(1976), A Theory of Visual Control of Breking based on Information about Time-to-Collision, *Preception*, 5, pp437-459

D. N. Lee(1980), Visuo-motor coordination in space-time, In *Tutorials in Motor Behavior*(Eds. G. E. Stelmach and J. Reguin), North-Holland, Amsterdam, pp281-293

原潔・本田啓之輔・松木哲・橋本武(1972). 複線交差航路の解析とその応用, 日本航海学会論文集 No.47, 1972, pp93-102, <https://ci.nii.ac.jp/naid/110006548225/>

橋本 進 (1996). 眼の構造と機能 視覚情報とヒューマンエラー, pp. 40–41, 海文堂出版

井上欣三(2011). 操船の理論と実際, 操船の実際と操船者に要求される能力, pp6-12, 成山堂書店

J.T.Todd(1981), Visual Information about Moving Objects, *Journal of Experimental Psychology, Human Perception and Preformance*, 7, pp795-810

加藤由季・瀧真輝・久保野雅敬・藤井迪生・小西宗・藤本昌志・廣野康平(2017a). 海上交通における情報源の違いによる衝突回避判断に関する検討, *人間工学*, 53 (6), pp205–213.

加藤由季・瀧真輝・藤井迪生・久保野雅敬(2017b). 目視と計器による情報か避航判断に及ぼす影響 について, *日本航海学会論文集*, 136, pp50–56.

小瀬邦治・小林弘明(1973). 船舶避航操縦シミュレータの開発とその応用例, *日本航海学会論文集 No.50*, pp75-84

MacKinnon, S. N., Man, Y., & Baldauf, M.(2015). D8.8: Final Report: Shore Control Centre, Dissemination level: Public, Maritime Un- manned Navigation through Intelligence in Networks(last accessed:May. 20, 2019).

毛利裕馬・小竹元基・久保登・押川克彦(2017). 無信号交差点内の衝突形態の予測に基づく超小型電気自動車の出会い頭衝突防止方策, *自動車技術会論文集*, 48 巻, 4 号, pp867-872, [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsaeronbun/48/4/48\\_20174551/\\_article/-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsaeronbun/48/4/48_20174551/_article/-char/ja/)

長畑司(1976). 船舶の航路横断における待合せ問題について, 日本航海学会論文集, 日本航海学会, 55, pp133-142, <https://ci.nii.ac.jp/naid/110006548368/>, doi:10.9749/jin.55.133

日本海事協会(2020). 自動運航, 自律運航に関するガイドライン ~自動化システム/遠隔制御システムの設計開発, 船舶搭載並びに運用について~

S. M. Kosslyn(1994), Image and Mind, The Resolution of the Imagery Debate, MIT Press, Cambridge, MA, pp336-516

谷口綾子・田辺太一・井料美帆・宮川愛由・小嶋文(2016). ドライバーの協調行動促進に歩行者コミュニケーションが及ぼす影響, 土木学会論文集 D3(土木計画学), 公益社団法人 土木学会, 2016, 72, 5, I\_1241-I\_1247, <https://ci.nii.ac.jp/naid/130005435596/>

若林芳樹・鈴木晃志郎 (2007). 地図と空間認知をめぐる理論的・応用的諸問題 地図, 41 (4), pp3-16. doi: 10.11212/jjca1963.41.4 3

若林芳樹 (2008). 地理空間の認知における地図の役割 認知科学, 15, pp38-50. doi: 10.11225/jcss.15.38

W. Schiff and M. L. Detwiler(1977), Information Used in Judging Impending Collision, Perception, 8, pp647-658, <https://doi.org/10.1068/p080647>

## 第4章 結論

著者は、船舶の遠隔操縦・監視システムにおける認知的問題を解決するため、操船における情報表示が衝突回避行動へ及ぼす影響を明らかにする一連の研究に取り組んだ。自動運航船の導入は、経済性の向上だけでなく、深刻な人手不足の解消、および、ヒューマンエラーに起因する事故の防止に役立つことが期待される一方で、その段階的な導入は、臨機応変な対応が必要な海上交通において新旧様々な操縦形態の船舶の混在を招く。搭乗操縦船、遠隔操縦船、および遠隔監視船等が混在する状況においても、安全性を担保するには、各船における状況認識や判断に共通性がなければならず、さもなければその乖離を補償する方法が必要である。すなわち、遠隔操縦・監視システムを利用する自動運航船において安全性を担保するには、システムから提供される多様な情報を人間がどのように認知するかに関する考慮が不可欠となる（有用性）。しかしながら、搭乗操縦船同士の衝突回避が常である現時点において、操縦形態が異なることで状況認識や判断にどのような違いが生じるか、また、その原因は何かということは明らかでなかった（新規性）。

そこで、まず第2章では、現実的かつ実用性の高い知見を得ることを目指し、比較対象を実際の海上交通で使用されている「景観情報」と「レーダ情報」とし、かつ、検討する交通状況を事故発生の蓋然性が高い主要港沿岸付近の輻輳海域における一般的な関係パターンを網羅的に含むよう設定することにより、元来のシステムにおける情報源の違いが衝突回避判断に与える影響を検討した。続く第3章では、近未来を見据え遠隔操縦・監視システムの構築に発展できる知見を得ることを目指し、比較対象を「一人称視点」と「三人称視点」として、かつ、衝突回避の対象船が限定される交通状況とすることにより、視点の違いが無意識レベルで生じさせる操船への影響を探求した。

第2章では、情報源および経験が衝突回避の課題遂行時に与える影響を、状況認識や方略の観点から検討する4つの研究を報告した。これらは、大型操船シミュレータおよび実機レーダを用い、複雑な交通状況において「景観情報」のみ、または、「レーダ情報」のみで衝突回避判断を行わせる実験を、経験が異なる様々な被験者に対し実施し、得られた結果から情報源の違いが操船判断へ与える影響を検討したものである。

2.4節は海事に関する専門的な知識はあるが海技免許を有しない実航海未経験者における情報源間の傾向の違いについて(研究実績1)、続く2.5節は海技免許を有し1年以上の実航海履歴がある実航海経験者における情報源間の傾向の違いについて(研究実績2)、検討した。それぞれの実験結果から、実航海未経験者は、複雑な交通状況において景観情報

のみ、または、レーダ情報のみで衝突回避判断を行うと判断、状況認識および理由が情報源間で異なること(2.4 節)、実航海経験者はこの同じ交通状況における状況認識は未経験者と同じく情報源間で異なる傾向があったものの、理由や判断に明確な違いがないこと(2.5 節)が示唆された。これら 2 つの研究をとおし、情報源の違いは状況認識や判断に影響を与えることが考えられ、さらに、経験の多寡は、それぞれの情報源間の傾向を異なるものに導く要因となることが示唆された。しかしながら、2.4 節は対応ありの実験設定、2.5 節は対応なしの実験設定としたため、これら 2 つの研究を直接比較することはできず、経験の多寡が及ぼす判断への影響に関する詳細までは明らかにできなかった。

これを踏まえ、2.6 節(研究実績 3)と 2.7 節(研究実績 4)では、経験の多寡が情報源間の傾向の違いに対してどのような影響を与えるのかということを検討した。2.6 節(研究実績 3)は衝突回避判断そのものに着目し、2.7 節(研究実績 4)はその詳細を状況認識や方略の観点から検討した。その結果、海技免許を有する者であっても、操船実歴が長い者(平均実歴約 10 年)と短い者(実歴 1 年未満)では、景観情報では明確な差はないが、レーダ情報では差があり、かつ個人差が大きいこと(2.6 節)、および、経験が短い者は、レーダ情報よりも景観情報を用いる方が、長い者と同じような衝突回避判断ができること(2.6 節)、経験が長い者は、景観情報とレーダ情報とで異なる方略を用いて衝突回避判断を行っていた可能性が高いこと(2.7 節)、が示唆された。

以上のことから、1)未経験または経験が短い者は、レーダ情報のみを用いると、景観情報とは異なる衝突回避判断を行うが、経験が長い者はこれを軽減でき、それは情報源ごとに異なる方略を用いたためであったこと、2) 経験の長短に関わらず、レーダ情報のみを用いると、景観情報のみを用いるときと比べ、個人差がより大きいこと、が考えられた。これらから、情報源の違いは衝突回避判断に影響すること、および、その判断に経験が影響することを確認することができた。ただし、(a)今回提示した複雑状況と異なる交通状況においても同様の結果が得られるのかどうかについて(2.4 節・2.6 節)、(b)両情報源を同時に用いた場合との比較について(2.4 節・2.6 節)、(c)観察視点の違いが船間の位置関係の捉え方に影響を与える可能性について(2.5 節)、(d)衝突回避判断において差が生じる経験のブレイクポイントについて(2.6 節)、(e)継続的な操船行動における方略の詳細、および、状況認識や衝突回避行動について(2.7 節)、は明らかにすることができず今後の課題となった。また、第 2 章では、比較対象を実際の海上交通で使用されている情報源としたため、現実的かつ生態学的妥当性の高い知見が得られたものの、換言すれば、レーダ情報は様々な情報の加工方法の一つの組み合わせに過ぎない。様々な可能性の中から遠隔操縦船に適した情報の提示方法を検討するためには、情報の加工に関わる要因(視点、シンボ

ルのタイプ、定量化の方法など)の特性、およびその違いが認知や判断に及ぼす影響を要因毎に明らかにしなければならない。

そこで続く第3章では、上述の研究で扱った情報源の特徴の一つである「視点」の違いに着目し、第2章で扱ったシナリオとは異なる船列を横断するシナリオにおいて、「一人称視点」と「三人称視点」の認知的特性の違いが、操船行動に与える影響を明らかにすることを目的とした。ここでは、視覚情報処理に関わる研究に基づき導いた「一人称視点」と「三人称視点」の認知的特性の違いをナビゲーションにおける安全性と効率性にあてはめることで設けた2つの仮説、1)「一人称視点の方が三人称視点より個々の船舶に対し安全な操船を行う」(対応する仮説は「三人称視点の方が一人称視点より効率的な操縦を行う」)こと、および、2)「他船の行動予測が容易な方が(静的状況)、視点の認知的特性が顕著化する」ことを、著者らが開発した「視点」以外の要因を統制することができる簡易操船シミュレータ(SHITENsim)を用い、できる限り人工的に統制した環境においてそれらの認知的特性の違いから設けた仮説を検証する実験を実施した。その結果、1)一人称視点の認知的特性は、三人称視点と比べ安全性の高い操船行動を導く効果がある一方、三人称視点の認知的特性は一人称視点に比べ安全性が劣る操船行動を誘引する可能性があること、2)視点の認知的特性の違いが及ぼす操船傾向の違いは、衝突回避が容易な場合に顕著化し、難易度がある程度増すと不明瞭になること、が考えられた(3.4節)。

「視点」に焦点を当てた研究 5(3.4節)にて、静的状況では一人称視点よりも三人称視点の方が衝突する傾向が顕著に認められたこと、および、動的状況においても一人称視点の方が通過距離を大きくとる傾向が認められたことは、動物の持つ本能と結びついた「避ける」という行動が、三人称視点では生起しにくいことを示唆した(3.5節)。この第3章の実験では、衝突設定船を限定する設定としたゆえ(図 30)、状況認識の違いに関する詳細は明らかではないが、この視点間で「避ける」という行動が無意識レベルで異なることは、第2章で認められた1) 未経験または経験が短い者は、レーダ情報のみを用いると、景観情報とは異なる衝突回避判断を行うこと、2) 経験の長短に関わらず、レーダ情報のみを用いると、景観情報のみを用いるときと比べ、個人差がより大きいこと、の原因の一つであったと推測することもできる。

しかしながら、遠隔操縦・監視システムは、遠隔地であるがために直接視認することは叶わず、センシングシステムから収集した情報の活用が中心的な役割を果たす。モニタへの情報表示の際に生じる視覚情報の欠如を補填するには、三人称視点での表示を欠くことはできない。

第2章で対象としたレーダ情報には、三人称視点の映像表示に加え、数値情報やベクトルが付加されていたが、この設定においても、未経験または経験が短い者は、レーダ情報のみを用いると、景観情報とは異なる衝突回避判断を行うと考えられた(2.4節・2.6節・2.7節)。しかし一方で、経験が長い者はこれを軽減でき、それは情報源ごとに異なる方略を用いたためであったと考えられた(2.5節・2.7節)。したがって、視点が異なることが生じさせる認知的特性の影響は、実航海の経験、および、情報表示の加工を工夫することにより減少できる可能性が十分ある。ただし、ここでいう経験の長短は、実航海経験が1年未満か以上かで設定したものであり、経験が短い者も海技免許を有した(海技免許を取得するための試験の受験には、一定の乗船履歴(3級であれば1年間)が必要)。衝突回避判断において差が生じる経験のブレイクポイントについて明らかにすることはできなかった(課題(d))。少なくとも、これらの結果から、海技免許の取得に足る知識や経験を習得しても、情報の性質の違いが生じさせる判断の差を補うことは難しいと考えられる。本実験の情報源間の差を軽減できた経験が長い者の群の平均経験年数は約10年であった。この経験を一般の遠隔操縦者に求めることは現実的とはいえない。今後、搭乗操縦船と遠隔操縦船が混在する状況でも安全性を確保するには、3.4節において認められたような三人称視点の方が一人称視点よりも衝突設定船に接近する傾向を生じさせないようにする、もしくは、縮小させるような遠隔操縦船に適した情報の提示方法を、様々な可能性の中から検討していく必要があり、次なる課題として取り組む所存である。

## 謝辞

本論文は、著者が神戸大学大学院 海事科学研究科 海事科学専攻 博士課程後期課程において行った研究成果をまとめたものです。この間、同専攻教授 堀口知也先生には指導教員として、仮説の設定の仕方から実験の実施、執筆にわたって丁寧に暖かくご指導・ご助言をいただいただけでなく、真理を探求する研究者としての在り方を学ばせていただきました。誠意を表すとともに厚く深謝申し上げます。

学部生の頃から永年にわたり親身にご指導いただいた同専攻教授 古莊雅生先生、並びに、平山勝敏先生、内田誠先生には副査として貴重なご意見を賜りました。博士前期課程の指導教員である同専攻准教授 瀧真輝先生には自由な発想を研究という形にする面白さを、東京海洋大学学術研究院 海事システム工学部門教授 村井康二先生には形にした研究を社会に発表する大切さを教えていただきました。また、研究遂行にあたり知識処理システム研究室の葦原陸氏、山田匠馬氏、小橋明生氏においては、データの収集および解析に惜しみないご協力と有益なご討論をいただきました。皆様に心より深謝いたします。

職場である海技大学校航海科教授 杉田和巳先生、市川義文先生、浅木健司先生、並びに、同科准教授 久保野雅敬先生には大学院在学中に多大なるご配慮をいただきました。同科名誉教授 岩瀬潔先生と元神戸大学大学院研究員 森田紗衣子氏には法規についてご助言を頂戴しました。元海技大学校航海科准教授・現日本ナブトール株式会社 テクニカルアドバイザー 藤井迪生氏は研究の世界に飛び込むきっかけを与えてくださり、随所で相談に乗っていただきました。そして、操船シミュレータのオペレータである道下裕子氏のご協力なしには、社会人学生である私が本論文を完成することはできませんでした。皆様に深くお礼申し上げます。

末尾になりましたが、本研究の趣旨を理解し貴重な時間をさいて快く実験に参加いただいた皆様に謝意を表します。たくさんの方にご協力いただいたおかげで、この論文を執筆することができました。そして、今日に至るまでの研究生活を様々な面から支えてくださった、夫と娘、息子に、心から感謝します。ありがとうございました。

## 図表一覧

表 1	点数表 .....	22
表 2	11 項目の質問 .....	23
表 3	単純状況における衝突回避判断 .....	25
表 4	複雑状況における衝突回避判断 .....	25
表 5	気になる船の順位得点と記入率(順位得点順).....	26
表 6	気になる船の記入率.....	27
表 7	気になる船の順位得点 .....	27
表 8	衝突回避判断の理由と自己評価 .....	29
表 9	変針のタイミングと変針量：実航海経験者.....	34
表 10	気になる船の順位得点及び記入率 .....	35
表 11	気になる船の順位得点 .....	36
表 12	気になる船の記入率.....	36
表 13	衝突回避判断の理由と自己評価.....	38
表 14	被験者グループの詳細 .....	43
表 15	変針のタイミングに対する Steel-Dwass Test の結果 .....	45
表 16	変針量に対する Steel-Dwass Test の結果 .....	46
表 17	意図クラスタとその形成に関する記述 .....	52
表 18	被験者グループに対する他船カテゴリと意図クラスタのクロス集計結果 .....	53
表 19	衝突回避判断に対する検定結果：経験ごとに情報源間で比較 .....	55
表 20	気になる船の評価に対する検定結果:経験ごとに情報源間で比較.....	58
表 21	奥行き手がかりの分類（視覚情報処理ハンドブック p284 の表 7.1 を抜粋） ...	72
表 22	選択ルート .....	99
表 23	衝突設定船までの距離に対する一人称視点と三人称視点の差の検定結果 .....	101
図 1	景観情報の例 .....	8
図 2	他船の方位の変化 .....	9
図 3	レーダ情報の例.....	10
図 4	操船者の行動モデル(久保田, 2010;図 3-7).....	11
図 5	衝突回避行動図式と調査項目 .....	12
図 6	船首方向に対する景観スクリーン, および, レーダ装置の配置関係.....	15
図 7	景観情報を用いた実験の様子.....	16
図 8	レーダ情報を用いた実験の様子 .....	17
図 9	単純な状況のシナリオ .....	18

図 10	複雑な状況のシナリオ.....	20
図 11	変針のタイミングと変針量.....	21
図 12	スケッチ図の記入例.....	22
図 13	箱ひげ図の各名称.....	44
図 14	変針のタイミング.....	45
図 15	変針量.....	46
図 16	衝突回避判断の結果：経験ごとに情報源間で比較.....	54
図 17	気になる船の評価の結果:グループ別.....	57
図 18	被験者グループと他船カテゴリのコレスポネンス分析結果.....	60
図 19	被験者グループと意図クラスタのコレスポネンス分析結果.....	62
図 20	両眼網膜像差の例と観測者運動視差の例.....	74
図 21	両眼網膜像差と両眼視差の関係.....	75
図 22	対象運動視差の例.....	76
図 23	線遠近法, 陰影, 重なるの例.....	76
図 24	対象が近づいてくる方向と左右の眼での像の相対速度(K. I. Beverley and D. Regan, 1975).....	78
図 25	一人称視点と三人称視点の認知的特性.....	82
図 26	div(n)曲線.....	84
図 27	回頭運動の例(60deg と 20deg).....	84
図 28	SHITENsim の一人称視点の画面.....	85
図 29	SHITENsim の三人称視点の画面.....	85
図 30	船列横断のシナリオ.....	92
図 31	SHITENsim のスタート画面 (一人称視点/三人称視点共通).....	94
図 32	注視船.....	97
図 33	変針時における注視船までの距離.....	98
図 34	衝突設定船(y=0)に対する自船の y 座標と衝突設定船までの距離の関係.....	100
図 35	両眼視差と輻輳角.....	119

## 研究実績

### 1. 学術論文(有審査論文：ジャーナル)

研究実績1. ○加藤由季・瀧真輝・久保野雅敬・藤井迪生・小西宗・藤本昌志・廣野康平, 海上交通における情報源の違いによる衝突回避判断に関する検討, 人間工学, 53 巻, 6 号, pp.205-213, 2017 年 10 月, Online ISSN 1884-2844, Print ISSN 0549-4974, <https://doi.org/10.5100/jje.53.205>

研究実績2. ○加藤由季・瀧真輝・藤井迪生・久保野雅敬, 目視と計器による情報が避航判断に及ぼす影響について, 日本航海学会論文集, 136 巻, pp.50-56, 2017 年 7 月, Online ISSN 2187-3275, Print ISSN 0388-7405, <https://doi.org/10.9749/jin.136.50>

研究実績3. ○Yuki KATO, Koji MURAI, Tomoya HORIGUCHI, Namiko MORISHITA, Masaki FUCHI, Collision Avoidance Judgment at Different Experience Levels Using Different Information Sources : Landscape Information vs. Radar Information, Transactions of Navigation, 2020, 5 (2), pp47-53, Online ISSN 2189-5511, [https://doi.org/10.18949/jintransnavi.5.2\\_47](https://doi.org/10.18949/jintransnavi.5.2_47)

研究実績4. ○加藤由季・堀口知也・村井康二・瀧真輝, 船舶の衝突回避判断における操船方略： 景観情報を用いた場合とレーダ情報を用いた場合の違い, 認知科学, 論文 ID 2020.027, [早期公開] 2020 年 8 月, Online ISSN 1881-5995, Print ISSN 1341-7924, <https://doi.org/10.11225/cs.2020.027>

研究 5<sup>27</sup>. ○Yuki KATO, Tomoya HORIGUCHI, not yet fixed...

### 2. 国際会議(査読あり)

(1) ○Yuki KATO, Koji MURAI, Tomoya HORIGUCHI, Namiko MORISHITA, Masaki FUCHI, "Characteristics of Collision Avoidance Judgment Using Landscape and Radar Information in Simulator-based Experiments," The 16th World Congress of the International Association of Institutes of Navigation 2018, C2-1, pp.102-107

### 3. 紀要論文(査読あり)

(1) ○Yuki KATO, Masaki FUCHI, " IMPACT OF EXPERIENCE ON COLLISION AVOIDANCE JUDGMENTS DUE TO DIFFERENCES OF THE INFORMATION EMPLOYED : IN ANTICIPATION OF REMOTE NAVIGATION, " Journal of maritime

researches, 2017/08, vol.7, pp12-23, <https://ci.nii.ac.jp/naid/120006352312/>, info:doi/10.24546/81009948, [http://www.lib.kobe-u.ac.jp/handle\\_kernel/81009948](http://www.lib.kobe-u.ac.jp/handle_kernel/81009948)

#### 4. 招待講演

- (1) ○加藤由季, 船舶の遠隔操縦・監視システムを指向した, 目視情報とレーダ情報の認知的特性に関する実証的研究, 日本航海学会第143回講演会(秋季)シーマンシップ研究会(第11回)講演会, 2020.11.14

#### 5. その他の研究発表(口頭発表一般)

- (1) ○加藤由季・瀧真輝・久保野雅敬・藤井迪生・小西宗・藤本昌志・廣野康平, 2F3-2 海上交通における情報源の違いによる衝突回避判断に関する検討, 人間工学, 2016, 52 巻, Supplement 号, p. S410-S411, 公開日 2016/10/15, Online ISSN 1884-2844, Print ISSN 0549-4974, <https://doi.org/10.5100/jje.52.S410>, [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jje/52/Supplement/52\\_S410/\\_article/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jje/52/Supplement/52_S410/_article/-char/ja)
- (2) ○加藤由季・瀧真輝・藤井迪生・久保野雅敬, 目視情報と計器情報の違いによる避航判断に関する検討, 日本航海学会講演予稿集, vol4, No.2, K135-16, 2016, <https://j-nav.org/presentation-paper/presentation-paper-2016-2/>
- (3) ○加藤由季・堀口知也・村井康二・守下奈美子・瀧真輝, 船舶の衝突回避判断において情報源の視点が方略に与える影響, 先進的学習科学と工学研究会・人工知能学会, 2018年, pp.110 - 115, <http://id.nii.ac.jp/1004/00009657/>

#### 6. その他(技術資料などの専門分野に関わる報告書等)

- (1) 藤井迪生・浅木健司・○加藤由季・山本一誠・久保野雅敬・岸和宏, 教育・訓練プログラム改善のための船員技能抽出に関する一考察 内航タンカーにおける着舷操船時の着眼点の調査, 海技教育機構研究報告, 2017年3月, 60巻, pp1-9, <https://ci.nii.ac.jp/naid/40021255420/>
- (2) 村井康二・竹本孝弘・○加藤由季・川崎潤二・瀧澤由佳子・有馬正和, 海洋人間工学の現状と将来(特集 多様なモビリティにおける安全マネジメント), 自動車技術・自動車技術会, 2018年, 72巻, 3号, pp.19-25, <https://ci.nii.ac.jp/naid/40021494817/>

両眼視差

人の両眼は水平方向に離れているので、ある物標を注視する際、対象への右眼および左眼の視軸<sup>30</sup>方向には差が生じる。この差が両眼視差(binocular parallax)と呼ばれるものである。図 35 に両眼視差と輻輳角の関係を示す。両眼視差は、両眼視軸の平行位からの偏位角で定義される。節点と眼球の回旋点との位置の差を無視すれば、両眼視差はその物標に対する輻輳角に一致するため、両眼視差の変化は輻輳角の変化と同意に扱われる(視覚情報処理ハンドブック p.285)。固視点までの絶対距離が  $D$ 、輻輳角が  $\theta$ 、眼球間の間隔が  $I$  であるとき、輻輳角と固視点までの距離は次の式の関係となる。

$$\tan \frac{\theta}{2} = \frac{I}{2D}$$

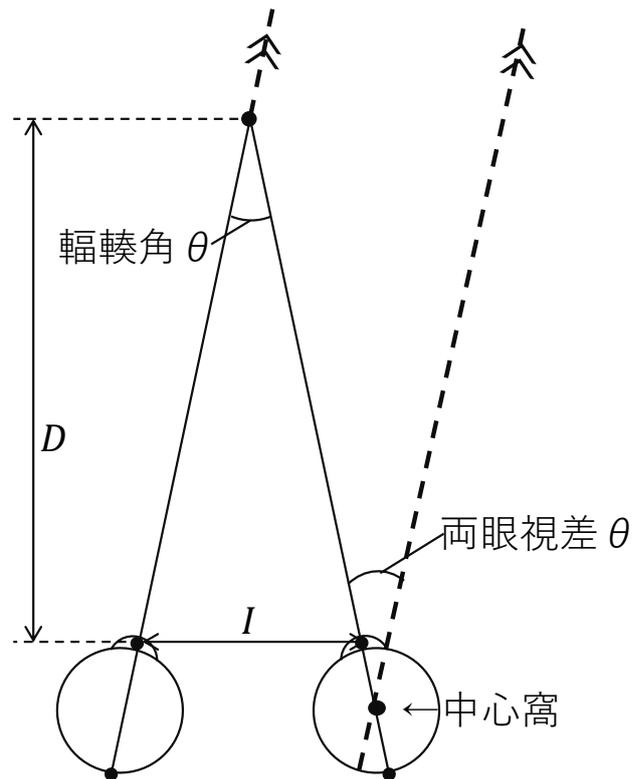


図 35 両眼視差と輻輳角

<sup>30</sup> ここでの視軸(visual axis)とは、網膜の中心窩と眼光学系の像節点(nodal point)とを結ぶ線分のことをいう。