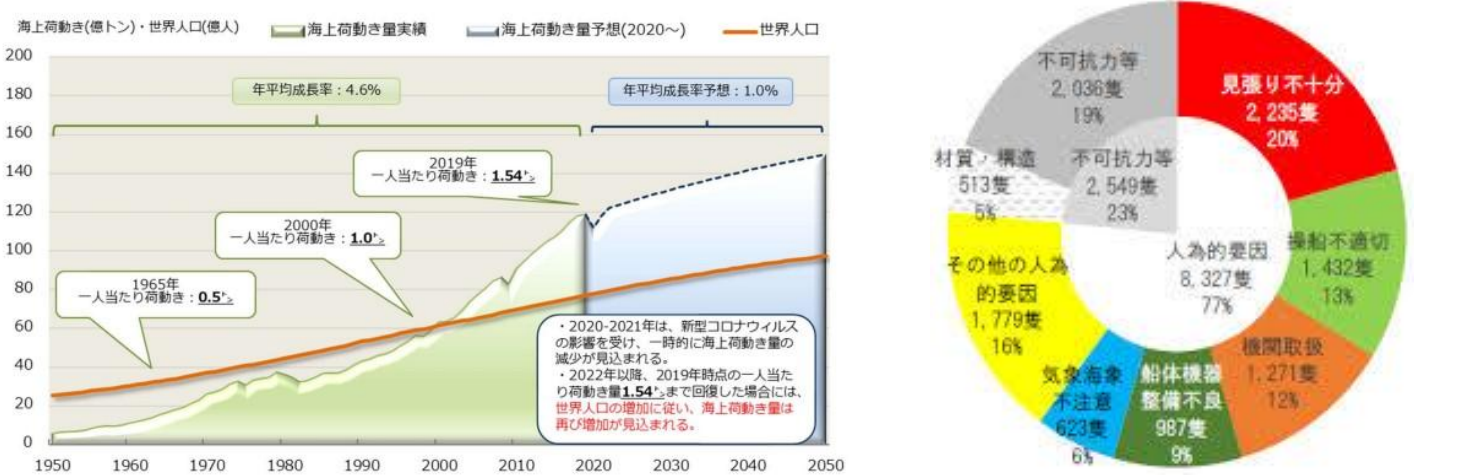


説明可能な避航操船AIの開発ー判断根拠と行動意図の可視化ー

大阪公立大学 工学研究科 航空宇宙海洋系専攻 吉岡 舜

背景・目的

- 海難事故の約8割が人的要因により発生
- 船員の減少・高齢化の課題が深刻化



これらの課題のために自律運航船の実現が期待

→他船との衝突を避ける「避航操船」の自律化は自律運航船の実現に重要なタスクの1つ

自律避航操船に関する研究開発

ルールベースの手法

Velocity Obstacle, ファジー理論, 人工ポテンシャル法などに基づくアルゴリズム

- ◎ 制御出力に対する理解が容易
- ✕ 複雑な状況への適用に課題

学習(AI)ベースの手法

強化学習・逆強化学習に基づくアルゴリズム

- ◎ 制御の適用範囲が広い
- ✕ 中身がブラックボックス

自律避航操船システムの運用にはシステムの評価する必要がある, **AIの高度な意思決定とルールベースのような説明可能性**の両方を備えた避航アルゴリズムが必要

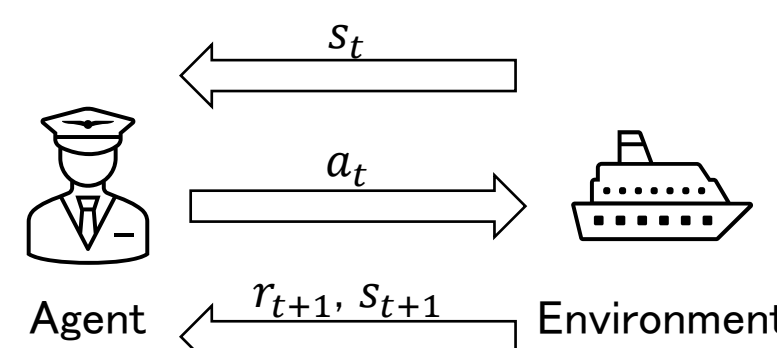
研究目的

判断根拠と行動意図が説明可能な避航操船AIを開発し, シミュレーションにおいて有益性を確認

- AIが予測した他船ごとの衝突危険度を出力可能な学習モデルを構築
- AIの行動意図の解釈手法の構築

深層強化学習

Agentが試行錯誤を繰り返し, 得られる報酬の累積和(Q値)を最大とする行動を学習する



本研究では連続値の制御を実現可能なDDPGを用いる

提案手法

観測・報酬

観測情報

他船に関する観測

$$s_t^{othi} = [dx^{othi}, dy^{othi}, dir^{othi}, relv_x^{othi}, relv_y^{othi}, D^{othi}, dx_{CPA}^{othi}, dy_{CPA}^{othi}, DCPA^{othi}, TCPA^{othi}]$$

目的地(waypoint)に関する観測

$$s_t^{wp} = [dx_{wp}, dy_{wp}, dir_{wp}]$$

報酬

衝突危険に関する報酬

$$CR_t^{othi} = \max\left(1 - \sqrt{(dx^{othi}/Ax_x)^2 + (dy^{othi}/Ax_y)^2}, 0\right)$$

$$r_{cr}^{othi} = \begin{cases} -0.5 * CR_t^{othi}, & CR_t^{othi} \geq CR_{t-1}^{othi} \\ -0.5 - 0.5 * CR_t^{othi}, & CR_t^{othi} < CR_{t-1}^{othi} \end{cases}$$

Waypoint方向との偏差が小さいほど大きな正の報酬

$$r_{wp} = 0.20 * \left(0.9 \exp\left(-(\theta_t^{wp}/60)^2/2\right) + 0.1(1 - |\theta_t^{wp}|/180)\right)$$

判断根拠の可視化

Critic Network構成

他船との衝突危険・ waypointへの到達に関するの成分を個別に出力可能なCritic Networkの構築

学習済みのcriticを用いてWPおよび全ての他船のQ値を計算することが可能
→**他船のQ値はAIの学習した衝突危険**と考えられる

Actor Network構成

他船・WPの情報をエンコードしAttention機構を用いて加重平均

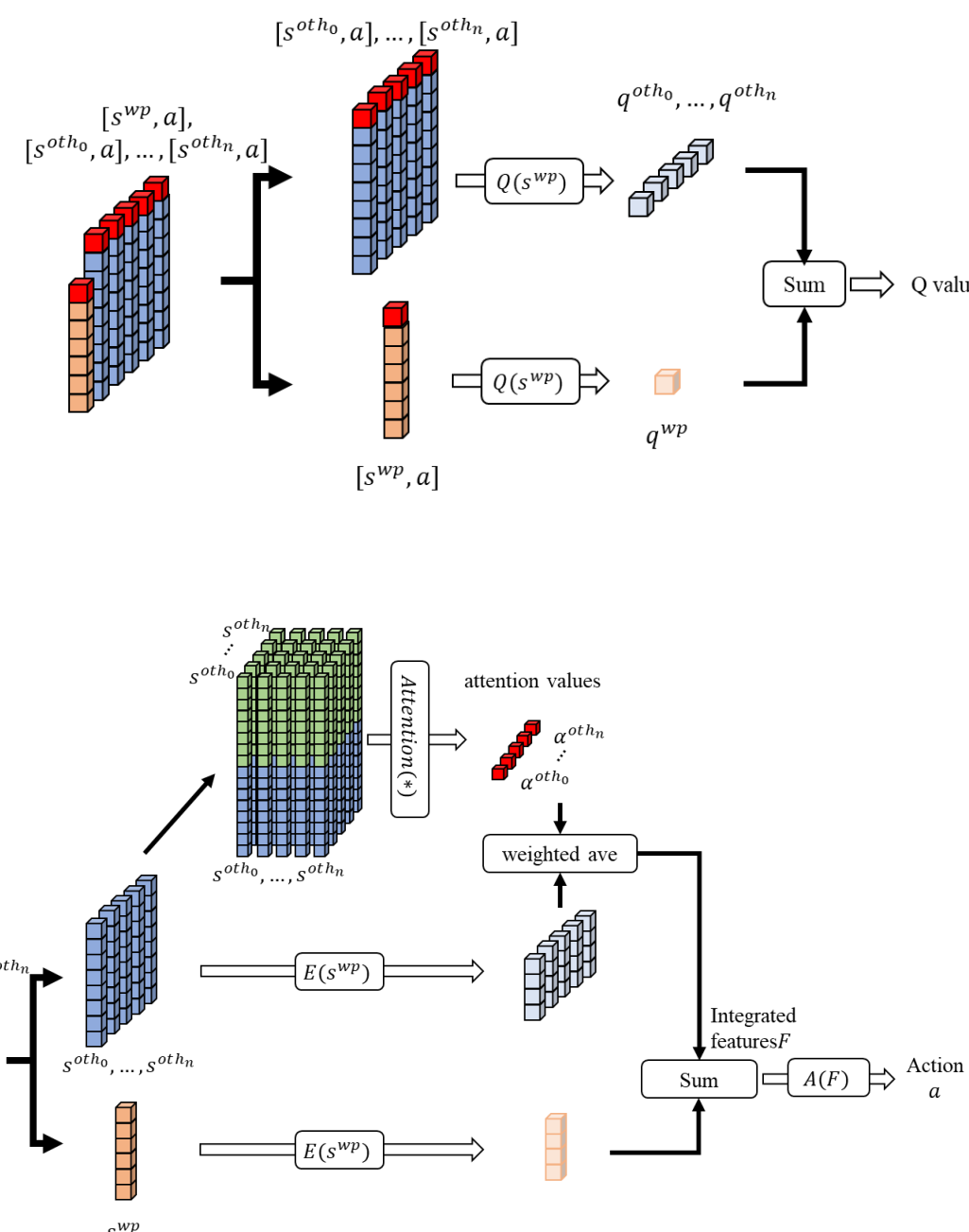
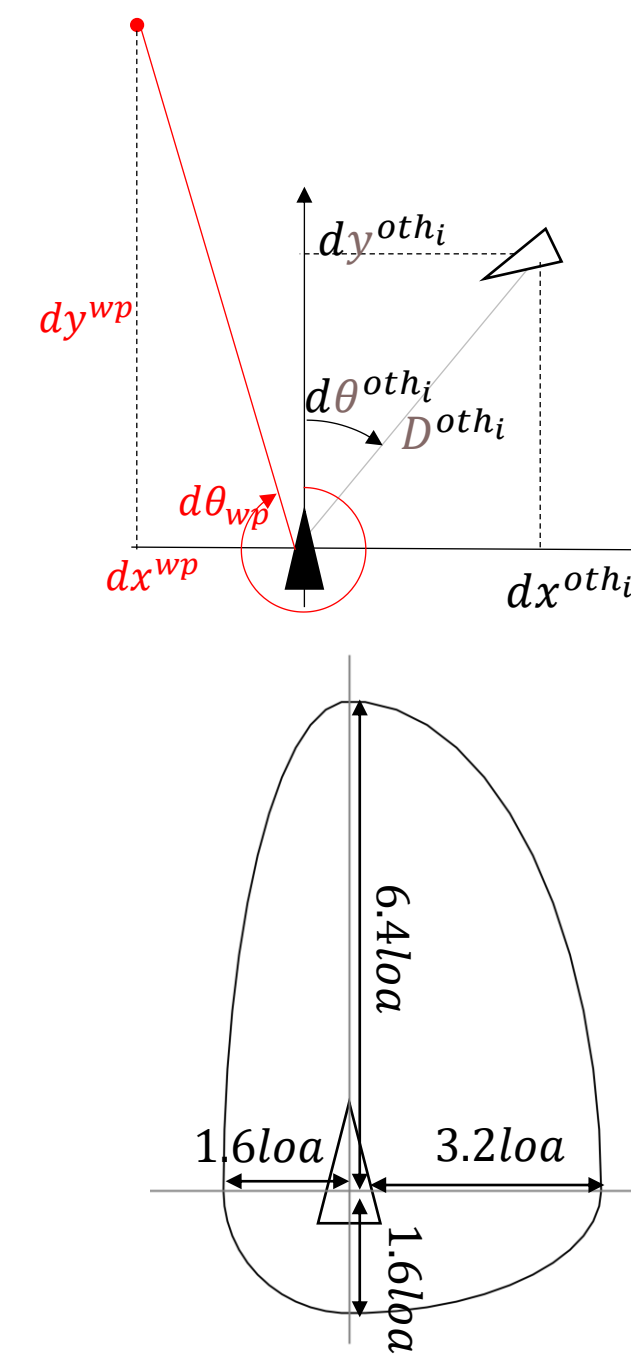
抽出された特徴量から行動を予測

行動意図の解釈

Agentの目的: Q値の最大化

→行動意図は「どの程度Q値を最大化できているか」
行動意図 I_{othi} をQ値の増加分とその注目度の積で計算

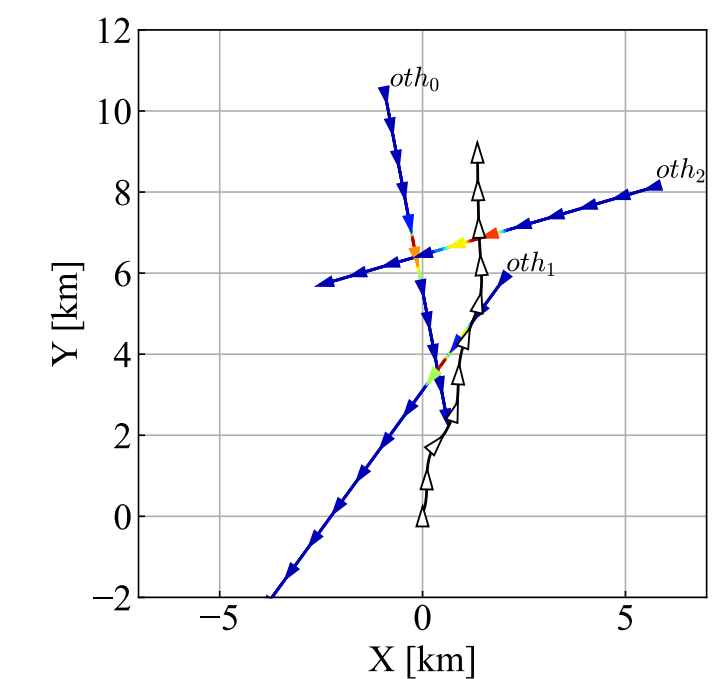
$$I_{othi} = \alpha_{othi} \times (q_{othi}(s_{othi}, a) - \min_{a'} q_{othi}(s_{othi}, a'))$$



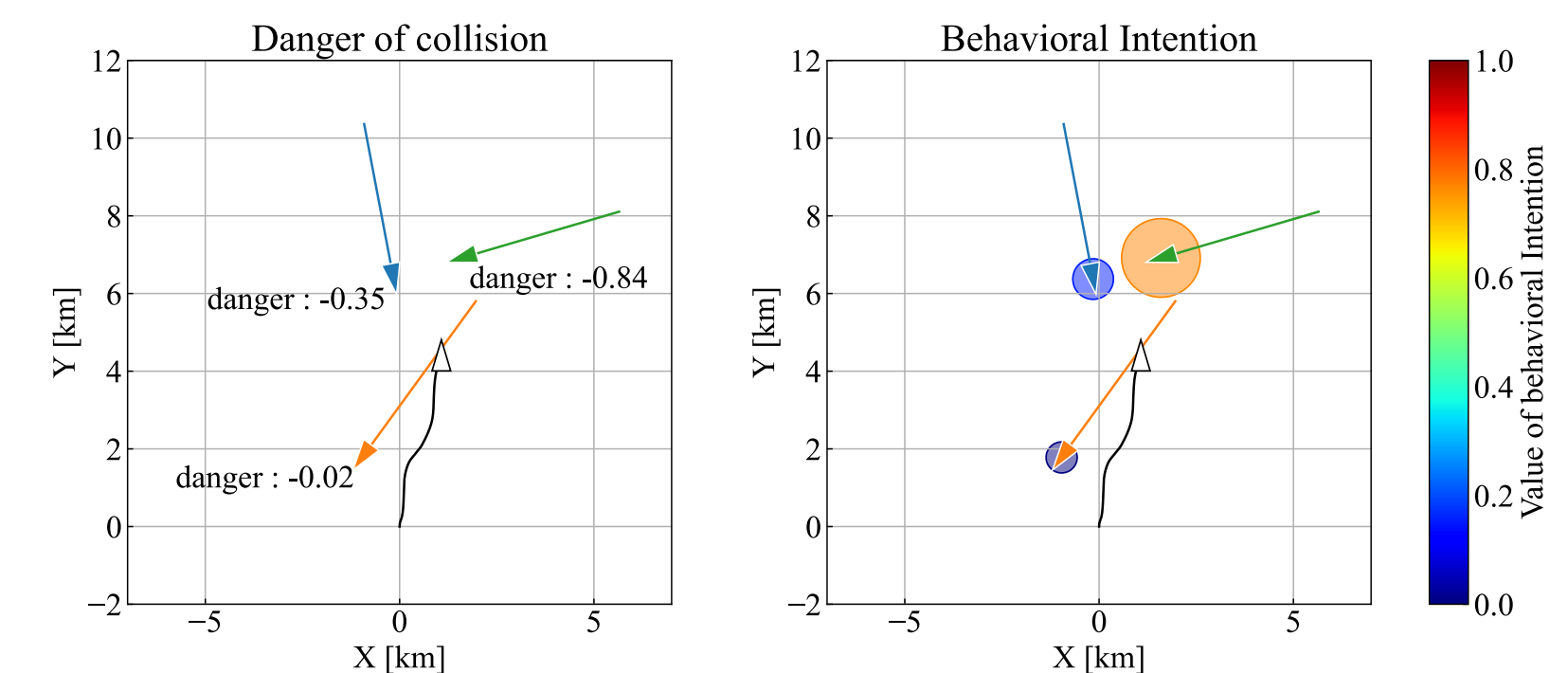
結果

十分に学習したモデルを用いて提案手法の有益性を検証

航跡図から他船を避けたのちにWPへ向かったことが分かる



AIの衝突危険度判断(左)と行動意図(右)



右からの横切り船(緑)と反航船(青)に衝突危険を感じているが, 横切り船を回避するために右変針を行ったと解釈できる

結言

本研究の取り組み

- ✓ 「目的地への到達」と「他船との衝突危険」に関するQ値を個別に学習するCritic Networkモデルを構築
- ✓ Q値の増分とその注目度からAgentの行動意図を解釈する手法を提案
- ✓ 数値シミュレーションにより, その有効性を検証

今後の発展

- ・ 算出した行動意図の妥当性を海技者によって評価
- ・ 評価結果をもとに報酬設計の最適化を行い, 避航操船AIの改良

本内容に関する発表

- Yoshioka, H. and Hashimoto, H. 2025. Explainable AI for ship collision avoidance: Decoding decision-making processes and behavioral intentions. Applied Ocean Research.
- 吉岡舜, 橋本博公. 2024. 説明可能な避航操船 AI の開発ー判断根拠の可視化と行動の解釈ー. 日本船舶海洋工学会講演会論文集 第 38 号.