

# チーム操船トレーニングのシナリオ難易度評価に関する研究

## A Study on Difficulty Evaluation of Training Scenario for Team Navigation

角田 領<sup>1</sup> 安藤英幸<sup>2</sup> 大和裕幸<sup>1</sup>

Ryo Kakuta<sup>1</sup>, Hideyuki Ando<sup>2</sup> and Hiroyuki Yamato<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学新領域創成科学研究科

<sup>1</sup> Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo

<sup>2</sup> 株式会社 MTI

<sup>2</sup> Monohakobi Technology Institute

**概要:** 本稿では BRM(Bridge Resource Management)シミュレータトレーニングのシナリオ難易度を評価する手法を提案する。はじめに、過去のシミュレータトレーニングのログを利用してタスクネットワークモデルを構築する。このモデルにより、他船の出現や外部からの通信といった状況に対するチームの行動を表現する。モデルに基づくシミュレーションにより、シナリオ内で発生する危険なイベントをチームが発見するまでの時間を評価し、これをシナリオ難易度の基準とする。

複数のシナリオを本手法によって評価した結果、シミュレーション結果が示す難易度は、熟練者らによる主観的評価と一致した。また、シミュレーション結果の可視化分析によりシナリオ間の差異も明らかとなった。

キーワード: シミュレータトレーニング, トレーニングシナリオ, ヒューマンファクター, チームパフォーマンス, タスクネットワークシミュレーション

## 1. はじめに

航空機、大型船舶、医療手術など高度な安全性が要求される作業現場では、チームパフォーマンスをいかに高めていくかが重要な課題である。船舶運航分野においては、近年、船員のチームワークの向上を目的として BRM (Bridge Resource Management) トレーニングが導入され、シミュレータを利用したトレーニングが実施されるようになってきている。

このようなシミュレータトレーニングで利用されるシナリオは、船長経験者らの過去の経験や知識に基づいて作られており、難易度の評価も主観的に行われている。そのため、トレーニングシナリオの合理性やアカウンタビリティを向上させることが1つの重要な課題となっている。

そこで本稿では、シナリオの難易度を定量的に評価する手法と、シナリオの分析手法を提案し、実例を元に提案手法の有効性を検証する。

## 2. BRM シミュレータトレーニング

### 2.1 ブリッジチーム

表1にチーム構成の一例を示す。ブリッジチーム

は操船権保持者（ここでは船長）を中心とした組織構造を採用しており、他の船員は周囲状況の報告や舵・エンジンの制御を担当する。チームの人数や役割分担は航行する海域、船舶の種類によって異なる。

Table.1 Role allocation in bridge

役割	主なタスク
船長 (Capt.)	意思決定、見張り、チャート確認
二等航海士 (2/O)	見張り、外部との通信
三等航海士 (3/O)	見張り、チャートプロット、エンジン制御、船内通信
操舵手 (Q/M)	操舵

### 2.2 BRM シミュレータトレーニング

BRM トレーニングは、操船におけるチームワークの向上を目的として行われるトレーニングである。IMO (International Maritime Organization) の発行した STCW95 (Standards for Training and Watchkeeping) 条約に基づき、2002年より全ての航海士に受講が義務付けられるようになった。

シミュレータを利用したトレーニングでは、交通量が多く、忙しい状況を想定して行われる。トレーナーは訓練生に、船長への積極的な進言や、活発な

コミュニケーションによる情報共有等メンバー間の協調を促し、チームワークの重要性を認識させる。

一般的な BRM シミュレータトレーニングの流れを図 1 に示す。トレーニングシナリオは、熟練者の過去の経験に基づいて設計される。設計されたシナリオを利用してシミュレータトレーニングを実施し、トレーナーはチェックシートやメモ帳などを利用して、トレーニングの様子を見ながら主観的評価を行う。評価やチェックの結果は、訓練生へのフィードバック時に利用される。また、トレーニングが繰り返されるにつれて、シナリオに少しずつ変更が加えられていく。

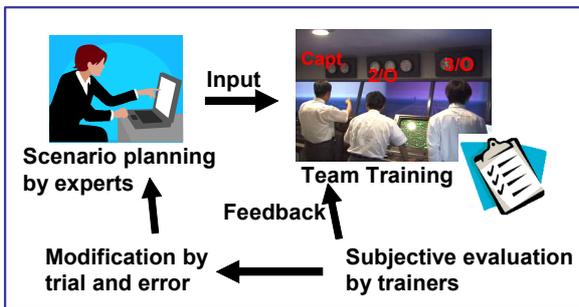


Fig.1 An overview of BRM simulator training

### 3. 難易度評価とシナリオ分析手法

#### 3. 1 難易度評価手法の概要

本研究の手法の概要を図 2 に示す。シミュレータトレーニングの各シナリオで発生する危険なイベントに対して、船員チームが状況認識するまでの時間 (Time to SA: Situation Awareness) を、タスクネットワークシミュレーション[1]によって評価し、難易度の順位付けを行う。

状況認識のモデルとして、知覚、理解、予測の 3 レベルからなる Endsley のモデル[2]が知られており、特に航空分野ではヒューマンエラーの大部分がレベル 1 (知覚) で起きていることが報告されている[3]。また、船舶の衝突海難においても、見落としや衝突直前といったエラーが大部分を占めている[4]。このような状況を踏まえ本研究でも状況認識のレベル 1 に注目し、シナリオが作り出す様々な状況にチームが対応することによって、危険状況の知覚が遅れることをシミュレーションモデルで表現し、その遅れによってシナリオの難易度を評価することとする。

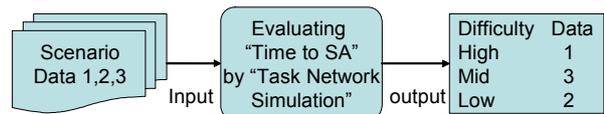


Fig.2 Difficulty evaluation method

#### 3. 2 シナリオデータ

シミュレータトレーニングの中で、チームの見張り作業に影響を与えるデータをシナリオとして利用する(表 2 参照)。本船、通信に関するデータは、同じシナリオであってもトレーニング毎に異なる値となるため、数回分のトレーニング記録から求めた平均値を利用する。

Table.2 Scenario data

カテゴリ	データ
他船	初期位置、変針点、変針点間の船速
本船	変針点、変針点間の船速
その他	通信の発生時間

#### 3. 3 難易度とイベントの定義

シナリオの難易度は、Time to SA に基づいて評価する。本研究では、シナリオで発生する危険なイベントとして危険船舶の出現、船舶の動向変化という 2 種類を定義し、これらに対してチームが状況認識を行うまでの時間を評価する。他船が見張り範囲内に入った時点が船舶出現時とし、他船が針路、速度等を変更した時点が動向変化時とする。見張りの範囲は、過去のシミュレータトレーニングの記録を分析して求める。

#### 3. 4 シミュレーションモデル

3. 4. 1 タスクネットワークシミュレーション  
本研究では Time to SA の評価のため、タスクネットワークシミュレーション[1]を利用する。タスクネットワークシミュレーションでは、人間の行動をタスクの系列で表現し、それぞれのタスクについて実行時間の平均や分布、条件分岐のルールや確率を記述することによって、全体的なパフォーマンスを予測することができる。

##### 3. 4. 2 シミュレーションモデル

シミュレーションモデルの詳細に関する説明は、文献[5]に委ねるが、ここではシミュレーションモデルの概要を述べる。例として船長のモデルを図 3 に示す。

各船員は、船舶の探索、監視、その他から 1 つのタスクを選択して行う。ここでの選択は、各船員が

保持するタスクのスケジュールと優先順位に基づいて行われると仮定する。その他のタスクには、チーム内の役割分担によって決まるタスクが含まれる。

探索においては、シナリオのデータに基づいて1秒ごとに位置や船速が更新される船舶群の中で、見張り範囲内に存在する船舶のみが発見される。この船舶について、情報要求や報告が行われると、次の監視までの時間が計算され、見張りを担当する各船員にスケジュールとして記憶される。監視の時間間隔は各トレーニングのデータを元に、チーム作業の分析システムであるCORAS[6]を利用して分析した(図4参照)。シミュレータのログデータから本船の航行状況をレーダー画面上に再現し、これとトレーニング時のビデオを同期させることでチームがどの船舶に注目していたかを容易に判別することができる。また、TCPA(Time to Closest Point of Approach)やDCPA(Distance to Closest Point of Approach)、本船との距離といった詳細なデータの取得も容易に行えるようになっている。このようにして取得したデータを元に、本船との位置関係に応じた監視の時間間隔を求めた(表3参照)。また、各タスクの平均実行時間や分布、時間間隔も同様にトレーニングデータを計測して求めている。

タスク選択においては、常に監視が優先されることとする。これにより、輻輳状況、つまり監視すべき船舶が多い場合に、状況認識が遅れることを表現することができる。また、監視が複数の船舶で重なる場合や、見張り範囲内に複数の船舶が存在する場合は、最も距離の近い船舶が先に選択されることとする。

シミュレーションモデルをより実際の作業に近づけるために、図3のモデルに表4のような作業を加えている。



Fig.4 Interface of CORAS[5]

Table.3 Interval of monitoring

Type	Condition	Average(sec)	SD(sec)
Crossing	TCPA < 300 sec	37.5	12.5
	TCPA ≥ 300 sec	97.9	55.5
	DCPA < 0.3 mile	135.8	47.4
	DCPA > 0.3 mile	42.8	13.6
Same way	Distance < 0.3 mile	42.8	13.6
	Distance ≥ 0.3 mile	111.5	54.1

Table.4 Additional tasks

追加項目	作業内容
外部との通信	外部から通信が入ると、役割を割り当てられた船員は現在の作業を中断し、通信に対応する。通信終了後、元の作業を再開する。
針路変更	変針点が接近すると、操船権保持者(船長)によるチャート確認、周囲状況の確認指示、針路変更指示が行われる。
他船の意図確認	大型船舶(船長100m以上)の船舶と、衝突の恐れがある場合(DCPAが0.1マイル以下の場合)、その船舶に対して針路等の意図確認を

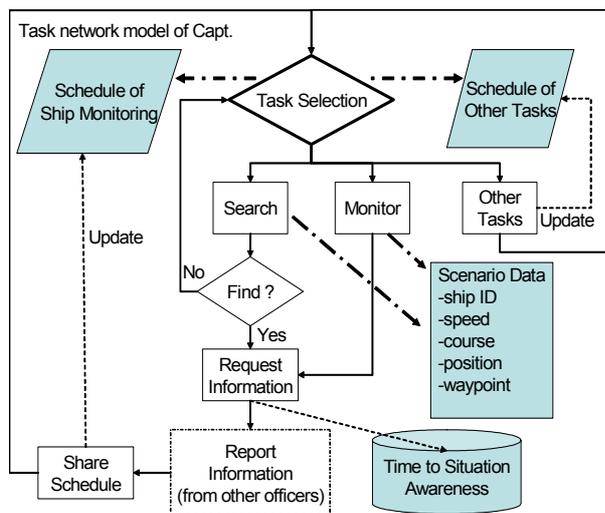


Fig.3 An overview of simulation model

### 3. 5 Time to SA の評価

ある船舶が見張り範囲内に入ってから、チーム内の誰かが探索を行ったとき、また、動向変化が起きてから、その船舶に対する監視が行われたときに、チームによって状況認識がなされたとし、Time to SA を評価する。動向変化の発生時間は、他船が変針点に到着した時間である。

### 3. 6 シナリオ分析手法

シミュレーション中の、各船舶の出現(見張り範囲内に入った時間)や動向変化の時間、監視終了時間、Time to SA、通信等のイベント発生時間を記録しておき、図5のように可視化する。横軸は時間経

過を示しており、出現する船舶順に出現時間、発見時間、動向変化発生時間等を色分けして表示する。これによって、シナリオ間の比較や分析を行いやすくする。

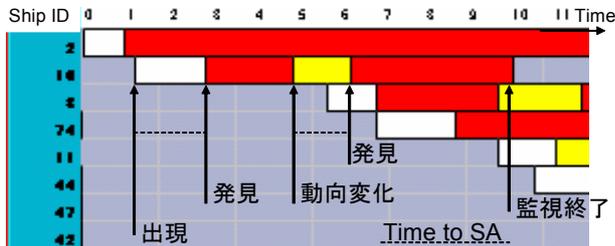


Fig.5 Visualization for scenario analysis

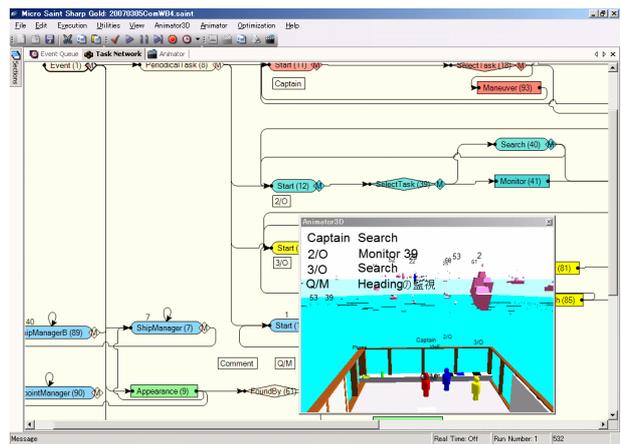


Fig.6 Micro Saint Sharp

## 4. 難易度評価の例

### 4. 1 評価の対象

実際の BRM シミュレータトレーニングで利用されている 3 つのシナリオに対して難易度評価を行う。過去に各シナリオを利用して行われたトレーニングのログから、本船の変針点と船速、通信の回数と時間を抽出した。表 5 にそれぞれのトレーニングの概要を示す。これらのシナリオは、あらかじめ数名の船長経験者によって難易度が評価されており、上から順に難易度が低くなっている。最も難易度が低いと評価されているシンガポール東航シナリオは、他よりも船舶数や外部通信の数が少なくなっているが、シンガポール西航と中ノ瀬については、シナリオの長さの差を考慮すれば、両者の間に大きな差は無いことが分かる。

シミュレーションモデルは Micro Analysis and Design 社の Micro Saint Sharp 上で実装した(図 6 参照)。トレーニングと同じ時間のシミュレーションをそれぞれ 100 回行い、Time to SA を比較した。また、チームの人数は 4 人とし、表 3 に示す役割分担で作業を行うこととした。

Table.5 Scenario description

Scenario Name	Duration (min)	Num. of Ships	Num. of Changes	Num. of Waypoints	Num. of Communications
Singapore East Bound	42	5	4	3	1
Singapore West Bound	45	11	8	4	4
Nakanose	60	19	6	5	4

### 4. 2 評価結果

他船出現、動向変化という 2 つのイベントに対する Time to SA の時間分布を求めた。表 6 は平均値と 95%点を、3 つのシナリオ間で比較したものである。シミュレーションによるシナリオの難易度は、中ノ瀬、シンガポール西航、シンガポール東航の順序となった。また、これらシナリオについて、船長経験者らの主観的評価による順序付けと、シミュレーションによる順序が一致していることを確認した。また、船長経験者から概ね感覚と近いとのコメントを得ることができた。

Table.6 Comparison of scenario difficulty

Scenario Name	Time to SA [sec] (Appearance)		Time to SA [sec] (Change)	
	Average	95 Percentile	Average	95 Percentile
Singapore East Bound	28	54.4	60.4	143.3
Singapore West Bound	45	150.1	70.7	174.2
Nakanose	112	284.7	82.8	237.9

### 4. 3 シナリオの分析

図 7 は、3 つのシナリオにおける他船の出現時間、動向変化時間、監視終了時間、Time to SA および通信の時間を可視化したものである。これにより、シナリオの流れや、作業の忙しい時間帯を把握することができる。

シンガポール東航では、船舶の出現がばらついており、監視すべき船舶が複数隻存在する時間帯が短くなっている。一方、シンガポール西航と中ノ瀬では、そのような時間帯が長く、船舶数も多くなっている。また、両シナリオ間では船舶の出現の仕方に差が見られる。前者では、船舶出現の集中する時間帯が時間間隔を置いてシナリオ全体で発生している

のに対し、後者では船舶出現がシナリオの前半部に集中しており、出現の時間間隔も短いことが分かる。その結果、同時時間帯に監視すべき船舶の数も多くなっている。

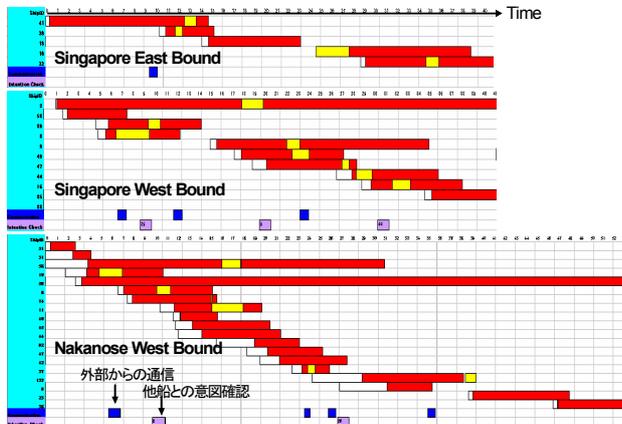


Fig.7 Visualization of simulation result

## 5. 考察

シミュレーションによる難易度評価による順位付けは、船長経験者らの主観的評価による順位と一致しており、シンガポール西航と中ノ瀬のように、同程度の船舶数や動向変化数であっても、シミュレーションによってその差を定量的に評価できることが分かった。難易度が高いとされるシナリオでは船舶の出現間隔が短い時間帯が継続し、その結果として同時に監視すべき船舶数が増えるという特徴がある。本研究のシミュレーションモデルは、こうした忙しい状況において、船舶や動向変化の発見が遅れるという船員チームの特徴に注目して作られており、これによって、適切に難易度が評価できたと考えられる。

## 6. 結論

- ・シミュレーションによる BRM シミュレータトレーニングのシナリオ難易度を評価する手法とシナリオを分析する手法を提案した。

- ・タスクネットワークシミュレーションによってチームの Time to SA を評価する手法が、シナリオ難易度の評価に有効であることを示した。

- ・シミュレーション結果を利用してシナリオの流れを可視化することによって、難易度が高いとされるシナリオの特徴が明らかとなった。

## 謝辞

本研究を進める上では(株)日本海洋科学の小山健夫東京大学名誉教授ならびに中村紳也氏に多くのご助言、ご指導を頂きました。また、本研究で利用したトレーニングシナリオは、(株)日本海洋科学に提供して頂きました。

## 参考文献

- [ 1 ] R. Laughery and et. al. : Discrete Event Simulation As A Tool To Determine Necessary Nuclear Power Plant Operating Crew Size, In Proceedings of the winter simulation conference, San Diego, pp.1272-1279, 1996.
- [ 2 ] M. R. Endsley : Toward a theory of situation awareness in dynamic systems, Human Factors, 37(1), pp.32-64, 1995.
- [ 3 ] M. R. Endsley : Theoretical Underpinnings of Situation Awareness: A Critical Review, SITUATION AWARENESS ANALYSIS AND MEASUREMENT, Lawrence Erlbaum Associations, Inc., pp.3-32, 2000.
- [ 4 ] 山崎祐介 : 見張り不十分に因る船舶間衝突の実態についてー海難構造の分析ー, 日本航海学会論文集, Vol. 90, pp. 321- 330, 1993.
- [ 5 ] 角田領, 安藤英幸, 大和裕幸 : シミュレーションによるブリッジチームのパフォーマンス評価手法, 日本船舶海洋工学会論文集, Vol. 5, 2007(in press)
- [ 6 ] 安藤英幸, 大和裕幸, 角田領 : ブリッジにおける協調作業の対話分析. 日本造船学会論文集, Vol. 195, pp. 63-70, 2004.