Vol.2018-HCI-177 No.10
2018/3/16

船舶運航への介入効果を表現する可視化手法

深谷 颯佑[1,a)]　三末 和男[2,b)]

概要：本研究では，海上を運行する船舶群が他船に対して衝突してしまうかもしれないと感じる衝突危険感を時空間変量として取り扱う．衝突危険感を低減するために船舶群の航路に介入した時，介入前後で各時刻における船舶航路と衝突危険感にどのような差が生じたのかを，直感的に把握できる表現手法を開発した．この手法では，テーパードライン，分割図形，アニメーションを組み合わせて動的に表現し，時間経過と共に色と大きさが変わる図形を移動させる．テーパードラインで 2 つの分割図形を連結したものを残像と併せて連続的に描画して動画を生成することにより，各時刻における船舶の分布とリスク値を分析者に把握させる．設計した表現手法によって，介入前後における船舶航路と衝突危険感の差を観察しやすくなり，船舶運航への介入の様態をより直感的に把握できるようになったことを，制作したツールのユースケースを通して確認した．

1. はじめに

海上を運航する船舶が，他船舶に急接近すると乗組員は衝突の危険を感じる．もしも船舶の航路に介入して，船舶同士が急接近しないように航路を変更できれば，各船舶の衝突危険感を低減させることができる．介入のシミュレーションを行うと，船舶群の軌跡データは介入前と介入後で一対のデータセットとして存在することになる．介入の効果や影響を分析するためには，介入前データと介入後データの間で，軌跡と衝突危険感がどのように変化したのかを把握する必要がある．しかしながら，船舶が辿った軌跡を海図上に点でプロットするような素朴な表現手法では，データの差を読み取りにくく，分析の補助として不十分である．

以上を踏まえて，我々は介入の効果や影響を分析する補助となるような視覚的表現を設計する．

2. 関連研究

2.1 静的な表現

移動体の軌跡データを可視化する手法は今日までに多く提案されているが，その多くは 1 枚の静止画に全期間分の移動体の軌跡を描画した上で，データ全体の傾向を把握しようと試みるものである．

Willems らは，船舶が辿った軌跡を可視化する時，陰影付きの線で立体的に軌跡を描画して，海域内の軌跡の密度に応じた色相で周辺を着色する表現を設計した [1]．この表現は，船舶が辿った軌跡同士が重なって起こる視覚的混雑を抑えながら，船舶の往来が激しい箇所が隆起しているかのように見せて強調する．Scheepens らは，Williems らが設計した手法を発展させた．陰影付きの線で立体的に軌跡を描画して，その海域で最も多い割合を占めた船舶カテゴリに応じた色相で着色する表現を設計した [2][3]．この表現は，船舶が辿った軌跡同士が重なって起こる視覚的混雑を抑えながら，カテゴリ毎の船舶の動きの傾向を読み取りやすくする．濱田らは，船舶が辿った軌跡をプロットする時，データの開始時刻に緑色，データの終了時刻に赤色を配色して，時刻の経過とともに緑，黄，赤の順に色相を変えながら航路を点で描く表現を採用した [4]．この表現は，船舶が辿った軌跡の内のある点同士で色相を比べることで，時間的にどのくらい差があったのかを把握させる．Xavier らは，アホウドリが辿った軌跡を可視化する時，線分の太さに移動体の速度を，線分の色相に進行方向に対する風向きを，線分の彩度に風速を割り当てる表現を採用した [5]．この表現は，アホウドリの速度が高まっていた領域と，その領域をアホウドリが飛翔していた時の風向きと風速の関連性を把握させる．Stein らは，サッカー選手が試

1 筑波大学情報学群情報メディア創成学類
College of Media Arts, Science and Technology, School of Informatics, University of Tsukuba
2 筑波大学システム情報系
Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba
a) fukaya@vislab.cs.tsukuba.ac.jp
b) misue@cs.tsukuba.ac.jp

© 2018 Information Processing Society of Japan

合中に辿った軌跡を可視化する時，図形の色相に所属チームを，扇形の半径にボールを保持している時間を，扇形の内角に移動速度を割り当てる表現を採用した [6]．この表現は，サッカーの試合中にボールを保持した時間と移動速度の関連性を把握させる．

2.2 動的な表現

これまでに提案されてきた手法の中には，アニメーションを用いて各時刻におけるデータの傾向を把握しようと試みるものもある．

Lundblad らは，船舶が辿った軌跡を可視化する時，海図上に無色の線分で全時間帯分の軌跡をプロットした上から，船舶型の図形で特定の時刻における船舶の位置をプロットした．また，各時刻における波の高さ，風の強さ，気温などを海域毎の色相で表現した [7]．この表現において，スライダーを操作することで描画するデータの対象時間帯を変更することができる．スライダーを操作すると，それに伴って船舶の位置を表す図形が移動し，海域毎の色相が更新される．これにより，各時刻ごとの船舶の位置と気象状況の関連性を把握できる．

本研究の目的を達成するためには，ある時刻における各移動体の分布と衝突危険感を直感的に把握できること，データの改変前後における差を直感的に把握できることが求められるが，先行研究で提案された可視化手法ではこの要件を満足できない．

3. 対象データと研究課題

本研究の可視化対象は船舶の軌跡を表すデータである．我々の研究課題は，船舶群の軌跡が介入前後で一対のデータセットとして与えられたときに，その差の把握を助ける可視化手法を開発することである．

3.1 対象データ

対象データの各レコードは以下の属性から構成される．

- Timestamp： 時刻
- MMSI：船舶の識別番号
- Longitude(Lon)：経度
- Latitude(Lat)：緯度
- COG：針路
- Risk：リスク値

ひとつの船舶は識別番号（MMSI）で表され，各船舶の軌跡は，各時点における位置（緯度と経度）および針路から構成される．また，各船舶は各時点においてリスク値を持つものとする．表 1 にデータの一部を示す．

船舶の軌跡を記録したデータは Automatic Identification System（AIS）を通じて取得することができる．AIS は海上保安を目的として International Maritime Organization が導入を義務付けているシステムであり，各船舶は，船舶名，MMSI，現在時刻，位置，針路，速力をはじめとする船舶の基本情報を自動で送信し，船舶間，あるいは船舶と管制部間で情報交換を行う [8]．AIS によりリアルタイムの軌跡データを取得することができるが，本研究では過去に記録された一定期間のデータを対象とする．

表 1 軌跡を表すデータの一部

Timestamp	MMSI	Lon	Lat	COG	Risk
10:27:00	1	104.55	1.45	327.50	0
10:27:00	2	103.87	1.26	297.33	0
10:27:00	3	104.33	1.25	107.34	0.66
10:27:10	1	104.56	1.45	327.67	0.14
10:27:10	2	103.86	1.27	297.50	0
10:27:10	3	104.34	1.26	107.33	0.64
10:27:20	1	104.56	1.26	327.54	0.23
...	...	...	...	...	...

リスク値は船舶が衝突するリスクの程度を数値で表したものである．リスク値の計算方法としては，いくつかの手法が提案されている．たとえば，井上らは 2 船舶の相対距離，相対速度，船舶の全長，位置関係から衝突危険感を定量化するモデル SJS を提唱した [9]．本論文では，リスク値は何らかの手法で計算されたものとして，その計算方法については議論しない．

3.2 船舶運行への介入

船舶のリスク値を低減することで衝突事故を減らすことができる．リスク値を変える方法のひとつは船舶の速度や航路を変えることであり，そのためには船舶の運行に介入する必要がある．ある船舶への介入は，その船舶の近辺で運行していた船舶群の動きに少なからず影響する．適切な介入は影響を受ける船舶群のリスク値を低減するが，不適切な介入は逆に増加させる．

介入前後で一対のデータセットとして与えられた軌跡データの差を観察することが，介入の効果や影響の把握に有効であると考える．そのため，本研究では介入前後で一対の軌跡データを可視化対象とする．運行中の船舶への実際の介入は計画していた速度や航路を変更させることであり，介入前後の組の軌跡データは現実には存在しない．しかしながら，AIS データを利用して介入のシミュレーションを行うことで，介入後のデータを作成することはできる．本論文では介入前後の組の軌跡データは与えられたものとして，シミュレーションの方法については議論しない．

3.3 可視化における課題

介入の効果や影響を観察するにあたり，観察すべき視点を以下のように設定した．本論文では，これら 7 つの観察すべき視点を総合して「介入の様態」と呼ぶ．本研究の目標は，介入の様態を把握するための視覚的表現を設計することである．

- 介入対象: どの船舶に介入したか
- 介入時刻: いつからいつまで介入したか
- 介入位置: どこで介入したか
- 介入方向: どの向きに航路を変更したか
- 介入距離: どの程度の距離航路を移動したか
- 介入意図: どの船舶との衝突を避けようとしたか
- 介入効果: リスク値をどの程度増減させたか

これらの視点で読み取れるためには，視覚的混雑が回避されることも視覚的表現の要件である．

4. 表現手法の設計

介入の様態を把握するための視覚的表現を設計するにあたって，いくつかの表現手法を試みた．各表現を導入していく過程で，介入の様態の 7 つの視点から直感的に読み取れるようになったか否かを重視した．ここで述べた「直感的に」という言葉は，「観察と考察を繰り返さなくても」と同義とし，本論文ではこれ以降，同じ意味でこの言葉を扱う．

この節では，以下の 5 つの表現手法について述べる．

(A)(4.1) 基本的な表現手法
(B)(4.2) テーパードラインによる表現手法
(C)(4.3) 分割図形による表現手法
(D)(4.4) アニメーションによる表現手法
(E)(4.5) リスク値チャートによる表現手法

表現手法 A，B，C，D を導入した時，直感的に読み取れる介入の様態の視点は，表 2 の通りである．表現手法 E は，介入の様態を直感的に読み取れるようにすることを直接の目的にはしていないため，表 2 から除外した．表 2 中の各記号の意味を表 2 の下部に纏める．

4.1 基本的な表現手法による可視化

船舶の軌跡の素朴な表現として，海図上に各時刻における船舶の位置を点でプロットすることが考えられる．ただしそれだけでは，時刻やリスク値が表現できないため，船舶の識別番号（MMSI）を点の色相で，時刻を点の彩度で，リスク値を点の大きさで表現することにした．時刻には，早いものほど淡い色（低彩度）を，遅いものほど鮮やかな色（高彩度）を割り当てた．これにより，同じ色相の点の連なりからひとつの船舶の軌跡を読み取ることができ，点の彩度から進行方向（低彩度から高彩度へ）を読み取ることができる．

Greicher らは比較のための可視化手法を，並列配置（Juxtaposition），重ね合わせ配置（Superposition），差の明示的表現（Explicit Encodings）の三つに分類している [10]．我々は介入前後の 2 組の軌跡データを比較するために重ね合わせ配置を試みた．

図 1 に重ね合わせ配置による表現例を示す．この例では介入前データをプロットした上から，右方向と下方向に少しずつずらして介入後データをプロットしている．

表 2 各表現手法から読み取れる介入の様態の要素

表現手法	対象	時刻	位置	方向	距離	意図	効果
A	△	△	△	−	△	−	−
A+B	◎	△	◎	◎	◎	△	○
A+B+C	◎	△	◎	◎	◎	△	◎
B+C+D	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎

- ◎: 直感的に読み取れる
- ○: 制約条件付きで直感的に読み取れる
- △: 直感的ではないが読み取れる
- −: 読み取れない

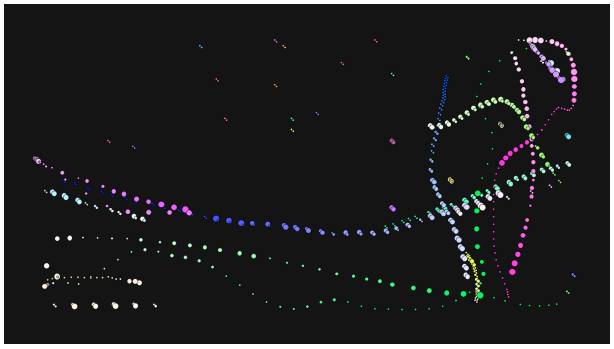

図 1 重ね合わせ配置による船舶の軌跡とリスク値の可視化例

このような素朴な表現手法では，分析者が介入の様態を直感的に把握するのにいくつかの問題点がある．図 1 から介入を受けた船舶を探すためには，同じ色相の軌跡が二手に分かれている船舶を探す必要があり，どの船舶に介入したのかを直感的に読み取れない．介入した船舶を見つけても，ある時刻の船舶がどの位置からどの位置に移動したのかを読むためには，軌跡の色の彩度の変化を目で追う必要があり，いつ，どのくらいの距離介入したのかは直感的に読み取れない．同色相かつ同彩度の 2 点を見つけても，リスク値の変化を読み取るためには，2 点の大きさを比較しなければならず，介入がリスク値をどのくらい変化させたかを直感的には読み取れない．この時，2 点の内のどちらが介入前データ，介入後データなのかを見分けることはできないため，どの方角に介入したのかは読み取れない．また，リスク値は介入によって増加したのか，減少したのかも読み取れない．したがって，介入の意図も推測できない．

図 1 から直感的に読み取れる介入の様態の要素を表 2 中の A の行に纏めた．このような素朴な表現手法では介入対象，介入時刻，介入位置，介入距離を直感的には読み取れない．また，介入方向，介入意図，介入効果を図 1 中の情報から読み取るのは不可能である．

4.2 テーパードラインの導入

介入前後で同時刻における同船舶を表す点同士の対応を直感的に把握できるようにするために，テーパードライン

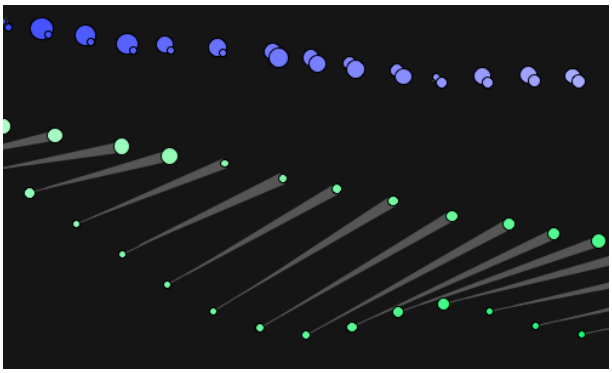

図 2　テーパードラインによる介入の可視化

で 2 点を接続した．ただし，介入前後で位置が変わっていない船舶 (=介入を受けていない船舶) は，テーパードラインで接続しない．テーパードラインの太い側を介入前データ，細い側を介入後データに接続する．図 2 では，テーパードラインで接続されていない点の連なりと，テーパードラインで接続されている点の連なりが存在する．ここから，前者の軌跡を辿った船舶は介入を受けていないこと，後者の軌跡を辿った船舶は介入を受けて，介入前の航路よりも南西の海域を進んだことなどを読み取れる．

続いて，介入によってリスク値がどのように変化したのかを表現するために，テーパードラインに着色した．介入前後の同時刻における同船舶のリスク値が，介入によってどの程度増減したのかを，テーパードラインの色相と彩度に反映する．リスク値を増加させた介入を赤色，減少させた介入を青色のテーパードラインで表現し，介入前後におけるリスク値の差の絶対値をテーパードラインの彩度で表現する．この表現において，鮮やかな青色のテーパードラインが多い海域ではリスク値が大きく減少し，鮮やかな赤色のテーパードラインが多い海域ではリスク値が大きく増加したと判断できる．図 1 に着色したテーパードラインを追加すると，図 3 を得られる．

テーパードラインの有無から，介入があった海域を即座に見つけることができ，介入によって船舶が辿った軌跡がどの位置からどの位置に変化したのかを把握できる．さらに，テーパードラインの色から，介入によってリスク値がどの程度増減したのかを把握できる．

テーパードラインを追加する利点は多いが，分析者に介入の様態を把握させるには不足点が残る．図 3 中に存在する青色のテーパードラインから，介入によってリスク値が減少したという結果は読み取れるが，介入によってどの船舶との衝突を避けることができたのかということ，すなわちリスク値が減少した理由を読み取るには船舶の軌跡の色の彩度の変化を目で追う必要があり，介入の意図を推測しにくい．また，介入を受けなかった船舶においても，周辺船舶が介入を受けて位置関係が変わればリスク値は変化する．介入を受けなかった船舶の軌跡ではテーパードライン

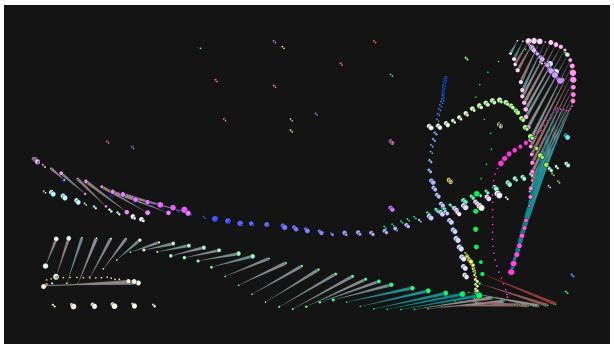

図 3　図 1 にテーパードラインを追加したもの

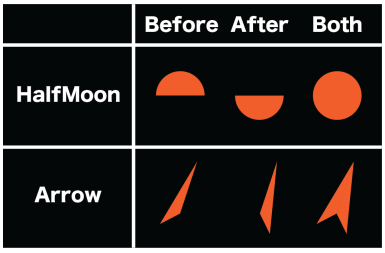

図 4　HalfMoon と Arrow のイメージ

が描かれないため，リスク値がどの程度変化したのかを直感的に把握する手がかりが無い．したがって，重なった 2 点の大きさを比較しなければならず，介入がリスク値をどのくらい変化させたかを直感的に読み取れない．

図 1 にテーパードラインを導入することで読み取れるようになる介入の様態の要素を表 2 中の表現 A+B の行に纏めた．テーパードラインを追加することで，介入対象，介入位置，介入方向，介入距離を直感的に把握できるようになった．介入を受けた船舶では，テーパードラインの色から介入効果を直感的に読み取れるようになった．一方で介入を受けなかった船舶では，テーパードラインが描画されないため，依然として介入効果を直感的に読み取ることはできない．テーパードラインを追加しても，介入時刻，介入意図は直感的に読み取れない．

4.3　分割図形の導入

介入前後で座標が変わっていない船舶の軌跡を 1 枚の図にプロットする時に生じる点同士の重なりを回避するために，船舶の軌跡を分割図形でプロットした．分割する向きを固定する図形 (HalfMoon) と，固定しない図形 (Arrow) の 2 種類の分割図形について述べる．各図形のイメージは図 4 の通りである．

HalfMoon は，円を上下に分割してふたつの半円にしたもので，介入前データを円の上半分，介入後データを円の下半分の形でプロットする．リスク値の大きさは分割図形の大きさで表現する．HalfMoon で船舶の軌跡とリスク値をプロットすると図 5 のようになる．

Arrow は矢印状の多角形を正面から向かって左右に分割したもので，介入前データを正面から向かって右半分，介

© 2018 Information Processing Society of Japan

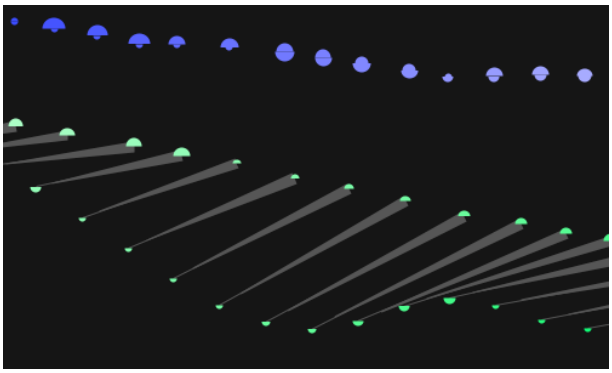

図 5 HalfMoon による船舶の軌跡とリスク値の可視化

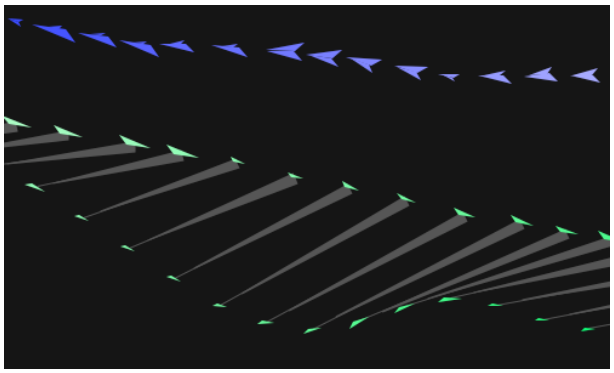

図 6 Arrow による船舶の軌跡とリスク値の可視化

入後データを正面から向かって左半分の形でプロットする．このとき，船舶の針路と矢印の向きが一致するようにプロットする．リスク値の大きさは分割図形の大きさで表現する．Arrow で船舶の軌跡とリスク値をプロットすると図 6 のようになる．

図 5 と図 6 において，濃い青色の図形の連なりは分割図形がふたつ組み合わさってひとつの図形を成している．したがって，介入前データと介入後データで座標が同じだと分かるため，この船舶は介入を受けなかったと判断することができる．このとき，同じ座標に描画された分割図形同士で大きさを比較すれば，介入前後におけるリスク値の増減を読み取ることができる．例えば，各図中に描画されている濃い青色の図形の連なりでは，組み合わさったふたつの分割図形の内，介入後データを表現する図形よりも介入前データを表現する図形の方が大きいものが存在する．これはすなわち，介入によってリスク値が減少したことを表している．

一方で各図中の薄い青色の図形の連なりでは，介入前データを表現する図形と介入後データを表現する図形が離れた座標に並んで 2 つの連なりを成しており，この船舶が介入を受けていたことを読み取れる．

HalfMoon では介入前データが上，介入後データが下という位置関係を常に保てるという長所と，船舶の針路を表現できないという短所がある．一方で，Arrow では船舶の針路を表現できるという長所と，針路によって介入前データと介入後データの位置関係が変わるという短所がある．

図 1 に分割図形を導入することで読み取れるようになる介入の様態の要素を表 2 中の表現 A+B+C の行に纏めた．介入を受けなかった船舶における介入効果を直感的に読み取れるようになった．

4.4 アニメーションの導入

ある時刻に船舶がどのように分布していたのかを直感的に把握できるようにするために，アニメーションを導入した．可視化手法にアニメーションを取り入れると，描画する図形の位置，大きさ，色を連続的に更新し続けることができる．これにより，時間の経過と共に変化する船舶の位置とリスク値を動的に表現することができる．また，全データの中からある特定の時刻に絞って船舶の軌跡を描画するため，ある時刻に船舶がどのように分布していたのかを直感的に理解できる．さらに，残像を併せて描画することにより，船舶がどのような軌跡を辿ったのかを一定時間分遡って分析することもできる．

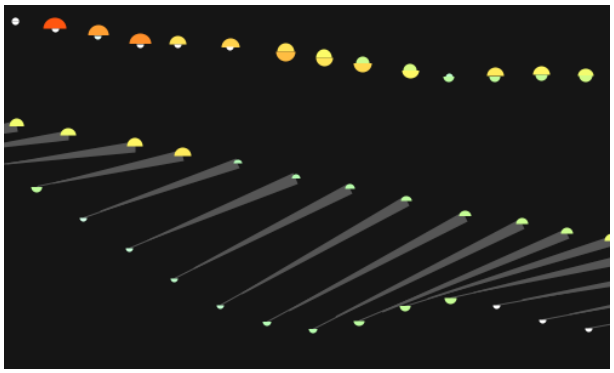

図 7 図 8 と同じ海域をアニメーションを使わずに可視化したもの

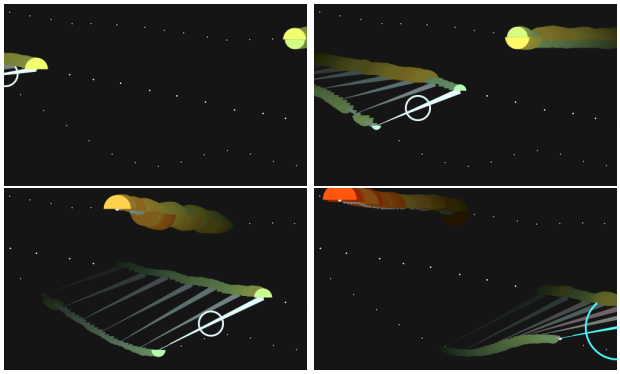

図 8 アニメーションによる船舶の軌跡とリスク値の可視化

図 7 はアニメーションを使わずに，船舶が辿った軌跡を 1 枚の静止画にプロットしたものである．また，図 8 は同じ海域の様子をアニメーションで表現した結果を時系列順に並べた静止画で再現したものである．

各図では船舶のリスク値を図形の大きさと色相で表現しており，緑，黄，赤の順にリスク値が大きくなる．図 7 では，左上の海域に赤色の図形があることから船舶のリスク

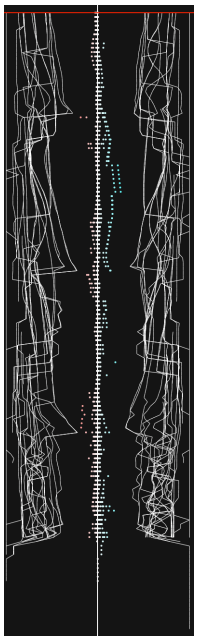

図 9　全時間帯のリスク値チャート

値が高まっていたことを読み取ることができるが，この時刻に周辺船舶がどのように分布していたのかを読み取ることはできない．したがって，この高まったリスク値が，図 7 中の下部を運航する船舶に由来するものなのか，その他の船舶に由来するものなのかを図 7 から判断することはできない．一方で，図 8 では，各時刻における船舶の分布とリスク値が個別に描画されるため，左上の海域で船舶のリスク値が高まっていた時刻における周辺船舶の分布とリスク値を読み取ることができる．左上の海域で，船舶を表す図形が赤く表示されている時刻において，図 8 中の下部を運航する船舶は遠ざかっていることから，このリスク値はその他の船舶に由来するものであると推測することができる．このように，アニメーションを導入することで，いつ介入したのか，どの船舶との衝突を避けようとしたのか，ある時刻においてリスク値をどの程度増減させたかを読み取れるようになった．

図 8 から読み取れる介入の様態の要素を表 2 中の表現 B+C+D の行に纏めた．テーパードラインと分割図形を併せた船舶の軌跡をアニメーションで動的に表現することで，介入時刻，介入意図，介入効果を直感的に読み取れるようになった．

4.5　リスク値チャートの導入

分析者が注目すべき時間帯を見つけることを効率的にするために，副次的な静的表現を設計した．図 9 は，全時間帯分の各船舶のリスク値を折れ線グラフで表現し，介入前後における各時刻のリスク値の差を散布図で表現したものである．左右に配置された折れ線グラフは，x 軸でリスク値の大きさ，y 軸で時間の経過を表現している．x 軸については，左端と右端がリスク値 0，中央の直線がリスク値最大を表していて，左側が介入前データ，右側が介入後データである．y 軸については，上端が対象データの開始時刻，下端が終了時刻を表している．散布図は，ひとつひとつの点が介入前後におけるリスク値の差を表現している．この点群は，同時刻，同船舶のリスク値の値に差があった場合に描画され，その座標は，折れ線グラフ中の対応する 2 値の中点である．点群の配色は，先に述べたテーパードラインと同様である．

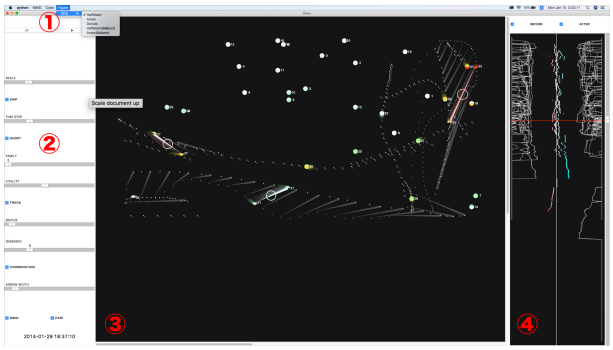

図 10　ツールの全体像

図 9 では，青色の点が連なったのち，下方向に少し離れて赤色の点が連なっている．これは青色の点が連なっている時間帯にリスク値が大きく減少した船舶が存在した後，赤色の点が連なっている時間帯にリスク値が大きく増加した船舶が存在したことを意味している．すなわち，ある時間帯においては有意義な介入を行えたものの，少し後の時間帯では介入によってリスク値を増加させてしまったことを読み取ることができる．

このリスク値チャートによって，アニメーションを全編再生しなくても全時間帯，全船舶のリスク値を総覧できるようになった．加えて，リスク値が特に大きく変化していた時間帯を直感的に把握できるようになり，優先して分析すべき時間帯を効率的に絞りこめるようになった．

5.　ユースケース

5.1　ツールの開発

コンピュータが出力した介入シミュレーションの結果を分析する役の人間が，効率的にシミュレーション結果を把握できるツールを開発した．

ツールを起動すると，図 10 のような画面が表示される．図中の赤い数字は以下の要素に対応している．

(1) メニューバー
(2) コントロールパネル
(3) マップウィンドウとスクロールバー
(4) グラフウィンドウとシークバー

メニューバーでは，マップウィンドウに表示する船舶をフィルタリングできる他，船舶を描画する時の形状を HalfMoon，Arrow のいずれかから選択できる．また，マップウィンドウに描画する船舶を MMSI で指定してフィル

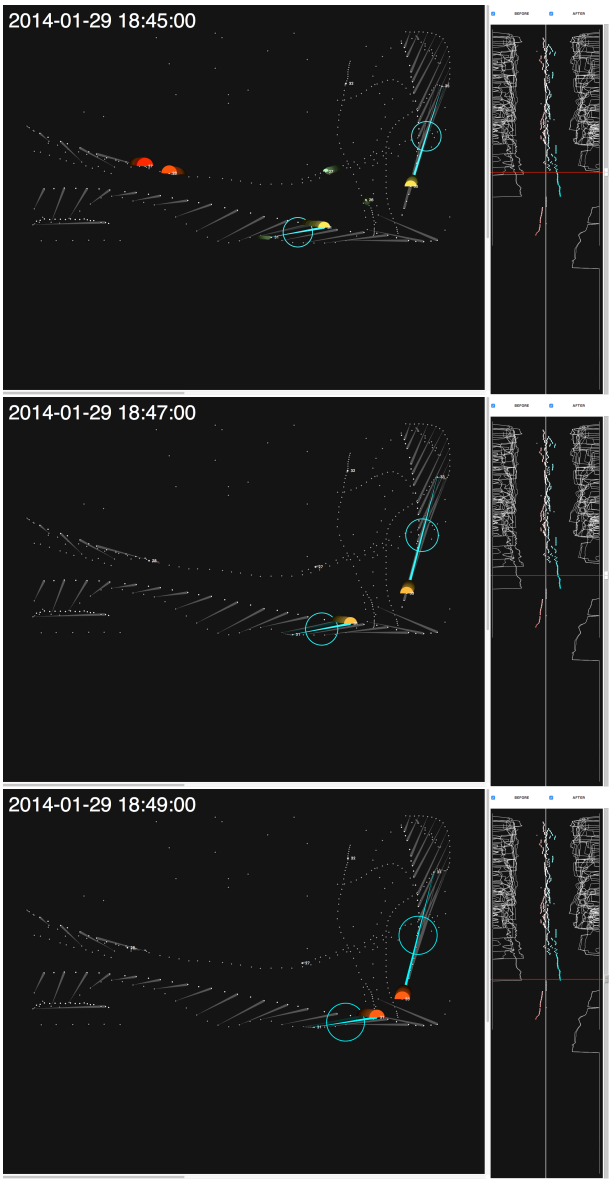

図 11　18:45:00 から 18:49:00 時点のマップウィンドウとグラフウィンドウ

タリングすることができる．

コントロールパネルでは，マップウィンドウやグラフウィンドウに描画する内容に関する各種パラメータを調整できる．パラメータには，マップの縮尺，船舶を表す図形のサイズ，アニメーションのフレームレート，アニメーションにおける残像の数などが含まれる．

マップウィンドウには各船舶の軌跡をプロットする．ウィンドウ端に縦横 1 本ずつ設置されたスクロールバーを操作すると，マップウィンドウの描画内容をそれぞれ y 軸方向，x 軸方向にシフトできる．この機能を使うと，任意の海域に範囲を絞って点群やテーパードラインを描画することができる．

グラフウィンドウには，全時間帯分のリスク値チャートを描画する．ウィンドウ右端のシークバーを操作すると，アニメーションを任意の時間帯までスキップできる．

5.2　想定される操作手順

(1) グラフウィンドウから，危険感が高まった船舶，または影響が大きい介入が存在した時間帯を見つける．
(2) シークバーを操作して，任意の時間帯まで，時間を進める．
(3) 介入があった周辺に船舶が多く，視覚的混雑が生じている場合には，MMSI でフィルタリングしたり，スクロールバーで描画する領域を変えたりして，目的の船舶に注目できるように調整する．
(4) マップウィンドウに表示された内容を見て，状況を分析する．

5.3　分析例

ある海域で運航していた船舶のデータを入力として，ツールを起動した．

このとき表示された全時間帯分のリスク値チャートは図 10 中の通りである．散布図から，青色の点が連なっている時間帯の後に赤色の点が連なっている時間帯が存在したことを読み取れた．そこで，この時間帯に焦点をあわせて介入の様態を分析するために，シークバーを使って青色の点が連なっている時間帯である 18:45:00 までスキップした．

18:45:00 からアニメーションを再生して，船舶群の動きを観察した．アニメーションの動作イメージは図 11 の通りである．

18:45:00 から 18:49:00 にかけて，青色のテーパードラインが 2 本生じている．18:49:00 では，各テーパードラインの幅が広い側の端点に赤色の半円が，幅が狭い側の端点に白色の半円が紐付けられている．2 船舶が介入を受けて，テーパードラインの矢印が指す向きに航路が変更され，介入前に船舶が感じていた大きな衝突危険感が低減されたことを読み取ることができる．

ここで，引き続きアニメーションを再生すると，引き続き介入を受けた 2 船舶が辿った軌跡を追うことができる．アニメーションの動作イメージは図 12 の通りである．

18:59:00 から 19:01:00 にかけて，オレンジ色の半円が 2 つ生じている．この半円は円の下半分であるから，介入後データが可視化されたものであると読み取れる．図 11 と図 12 を総合すると，介入によって 18:45:00 から 18:49:00 とその前後の時間帯にかけてリスク値を低減することができたが，少し時間を置いた 18:59:00 から 19:01:00 にかけて介入前には存在しなかった衝突危険感が新たに発生していることがわかる．すなわち，この介入は不適切であるとまでは言えないが，衝突危険感が発生する時間帯を先送りにしたに過ぎないという意味では，介入方法を再検討する余地があると推測できる．

6.　おわりに

本研究では，分析者に介入の様態を把握させるための視

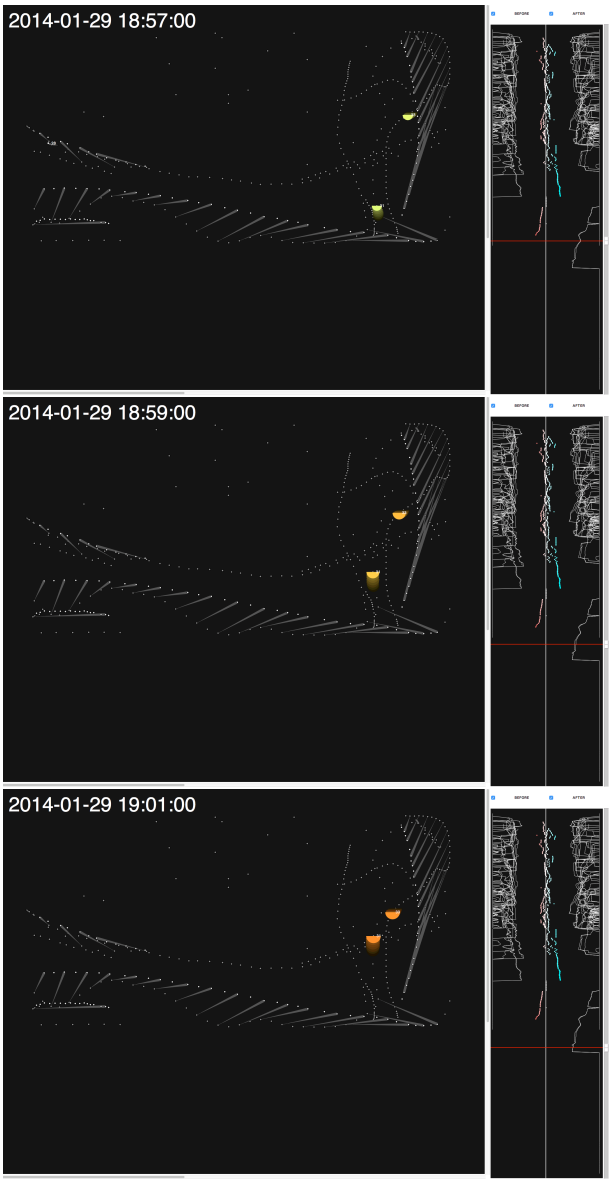

図 12 18:57:00 から 19:01:00 時点のマップウィンドウとグラフウィンドウ

覚的表現手法を設計した．この手法では，テーパードライン，分割図形，アニメーションを組み合わせて動的に表現し，時間経過と共に色と大きさが変わる図形を移動させる．テーパードラインで 2 つの分割図形を連結したものを残像と併せて連続的に描画して動画を生成することにより，各時刻における船舶の分布とリスク値を分析者に把握させ，介入の様態を読み取れるようにした．また，全データの中から描画する対象期間を絞ることができる特性から，視覚的混雑も抑えることができた．

今後は，被験者実験を行うなどして，見る者が介入の様相を理解するのに最も有効な配色，プロットする形態，アニメーションのフレームレート等を探り，この手法とツールをさらに洗練したい．

謝辞

本研究を進めるにあたり，富士通株式会社および株式会社富士通研究所の皆様には貴重な意見をいただきました．深くお礼申し上げます．

参考文献

[1] Niels Willems, Huub van de Wetering, and Jarke J. van Wijk, Visualization of vessel movements, IEEE VGTC Symposium on Visualization(EuroVis), Vol. 28, No 3 pp. 959-966 , 2009

[2] Roeland Scheepens, Niels Willems, Huub van de Wetering, and Jarke J. van Wijk, Interactive Visualization of Multivariate Trajectory Data with Density Maps, IEEE Pacific Visualization Symposium 2011 (PacificVis 2011), pp. 147-154, 2011.

[3] Roeland Scheepens, Niels Willems, Huub van de Wetering, Gennady Andrienko, Natalia Andrienko, and Jarke J. van Wijk, Composite Density Maps for Multivariate Trajectories, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol. 17, No. 12, pp.2518 - 2527, 2011.

[4] 濱田康平, 相対的な位置関係に着目した移動体の異常接近探索ツールの開発, 修士論文, 筑波大学大学院システム情報工学研究科, 2017.

[5] Glenn Xavier and Somayeh Dodge, An Exploratory Visualization Tool for Mapping the Relationships between Animal Movement and the Environment, the 2nd ACM SIGSPATIAL International Workshop on Interacting with Maps, pp. 36-42, 2014.

[6] Manuel Stein, Halldr Janetzko, Thorsten Breitkreutz, Daniel Seebacher, Tobias Schreck, Michael Grossniklaus, Iain D. Couzin, and Daniel A. Keim, Analysis and Annotation of Soccer Matches. IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 36, No. 5, pp. 50 - 60, 2016.

[7] Patrik Lundblad, Oskar Eurenius, Tobias Heldring, Interactive Visualization of Weather and Ship Data, IEEE International Conference on Information Visualisation, pp. 379-386, 2009.

[8] Shangbo Mao, Enmei Tu, Guanghao Zhang, Lily Rachmawati, Eshan Rajabally, and Guang-Bin Huang, An Automatic Identification System (AIS) Database for Maritime Trajectory Prediction and Data Mining, Proceedings of ELM-2016, Vol. 9, pp. 241-257, 2018.

[9] 井上欣三, 久保野雅敬, 宮坂真人, 原大地, 危険の切迫に対して操船者が感じる危険感の定量化モデル, 日本航海学会論文集 (98), pp.235-245, 1998.

[10] Michael Gleicher, Danielle Albers, Rick Walker, Ilir Jusufi, Charles D. Hansen, and Jonathan C. Roberts, Visual comparison for information visualization, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol. 10, No. 4, pp. 289-309, 2011.

© 2018 Information Processing Society of Japan