

地理情報システムを用いた海賊活動の 地理的特性分析

渡部 大輔

本論文では、安全・安心な国際海運のためのインフラストラクチャーの数理地政学的研究の観点から、海事分野における地理情報システムの活用をまとめたうえで、海賊事案発生に関する統計分析や地図上での可視化などを通じて、地理的特性分析を行った。その結果、海賊事案の発生個所が年代によって東南アジアとアフリカを中心にして、大きく変化していることが明らかになった。特に、ソマリア周辺海域においては、国際的な協力体制を構築した対策の結果、発生多発地帯の推移を確認することができた。

キーワード：地理情報システム、海賊、カーネル密度推定法

1. 研究の背景と目的

海に囲まれたわが国において、海上輸送は貿易量の99.7%（重量ベース）を担っており、わが国に必要不可欠な交通インフラストラクチャーとなっている。持続可能社会のためのインフラストラクチャー戦略として、わが国の安定的な貿易を確保するために、国際海運の安全性を高める必要がある。現に、わが国はソマリア周辺海域において海上自衛隊の護衛艦などを派遣するとともに、マラッカ・シンガポール海峡を始めとする東南アジア海域においても海賊対処活動の支援を積極的に進めている。しかし、国際的な協力体制を構築した対策が行われているにもかかわらず、海賊活動は世界的に近年増加傾向が見られており、特に東南アジアやアフリカにおいて発生が多く見られる。

そこで本研究では、国際海運というインフラストラクチャーの安全・安心を確保するために数理地政学的研究の観点から、海賊事案発生に関する地理的特性分析を行う。まず、海事分野における地理情報システムの活用の現状をまとめたうえで、国際機関により公表されている海賊事案発生の統計データを用いて、海賊事案発生データベースの構築を行う。そして、位置情報を含むデータについては地理情報システムを用いることで、沿岸からの距離などを用いた分析を行うと同時に、地図上に海賊多発地帯を可視化するなどして、海賊活動の地理的特性を分析する。

2. 海事分野における地理情報システムの活用の現状

地理情報システム (GIS: Geographic Information System) とは、位置に関する情報をもったデータ (地理空間データ) を総合的に管理・加工し、視覚的に表示し、高度な分析や迅速な判断を可能にする技術である。海事分野での GIS の活用については、船舶運航に関するリアルタイムな情報管理を中心として、関連する海事・物流との情報共有を通じてさまざまな応用事例が見られる [1, 2]。近年、航海用電子海図 (ENC: Electronic Navigational Chart) が整備され、多くの船舶においてこれを利用するための電子海図表示システム (ECDIS: Electric Chart Display and Information System) の導入が進んでいる。そして、船舶の運航情報を自動的に船舶間あるいは船舶と陸上局の間で送受信する船舶自動識別装置 (AIS: Automatic Identification System) の搭載が一定条件を満たすような船舶に対して義務づけられている。そのような船舶運航における電子機器のさらなる利用の高度化を達成するために、国際海事機関 (IMO: International Maritime Organization) より、e-Navigation というコンセプトが2008年に発表されている。また、船陸間的高速大容量通信を用いた船舶の運航支援を行う先端ナビゲートシステムにおいて、海洋 GIS 機能が実装されており、船舶運航に必要な空間データや画像データの表示や解析を行うことが可能となっている [3]。

AIS データは、船舶に関する静的データ (船名など) と動的データ (位置や船速など) で構成されていることから、GPS など取得した船舶の位置情報のリアルタイムな把握が可能であり、さらに衛星 AIS を用いるこ

わたなべ だいすけ
東京海洋大学
〒135-8533 東京都江東区越中島 2-1-6
daisuke@kaiyodai.ac.jp

とで遠洋海上を航行している船舶の情報を受信することも可能である [4]。現在の商用 AIS サービスの、船舶運航の意思決定支援の分野での利用例としては、主に (1) 位置や船速などの異常検知, (2) 航行進路の推定, (3) 航海計画の立案の 3 点が挙げられる [5]。 (1) に関連した研究として、衛星 AIS データを用いた港湾周辺での船舶の滞船状況の分析が行われている [6]。また、AIS から取得された船舶運航のポイントデータをもとに、メッシュ状の船舶通航量データベースの構築方法が提案されている [7]。日本では海洋台帳 [8]、米国では MarineCadastre.gov [9] において、AIS をもとにした各国の沿岸における船舶通航量のデータを入手することが可能である。しかし、AIS のみでは、すべての船舶運航のデータを入手することは困難である。そのため、船舶動静データから時空間ネットワークを用いることで、各船舶が通航した航路の推計が行われている [10]。

船舶運航に関するデータを蓄積することで、海難事故や海賊事案発生などの航行安全を評価することが可能となる。地理情報を用いた海難事故の分析について、海難データベースの構築とともにそれを用いたデータ分析が行われている。日本では、運輸安全委員会により船舶事故ハザードマップ [11] が公表されており、海難事故の地図上での表示や AIS データの解析に関するツールの開発 [12]、船舶事故ハザードマップを用いたカーネル密度推定法による海難事故の発生密度に関する分析 [13–15] が行われている。米国では、米国沿岸警備隊 (United States Coast Guard) が、The Marine Information for Safety and Law Enforcement (MISLE) という、全世界の海難や海洋汚染事故のデータベースを構築しており、海難事故防止のためのシステムが開発されている [16]。また、IMO により公表されている全世界における海運データベースである Global Integrated Shipping Information System (GISIS) を用いて、海難事故の分布、ホットスポット分析や海岸線からのバッファー解析 [17] が行われている [18]。さらに、海難事故の防止に向けた意思決定支援システムとして、海難事故に対応する巡視艇の最適配置が研究されている。日本の海上保安庁では集合被覆問題による定式化 [19]、カナダ沿岸警備隊 (Canadian Coast Guard) では最大被覆問題による定式化 [20] などの研究が進められている。一方、地理情報を用いた海賊活動の分析については非常に少ないものの、東南アジア海域 [21]、ソマリア周辺海域 [22, 23]、全世界 [24] を対象とした分析がなされている。 [25] ではソマリア周辺海域における

カーネル密度推定法による海難事故の発生密度に関する分析が行われている。海賊対策に向けた意思決定支援システムとして、海賊監視システムの最適配置について、最大被覆問題による定式化 [26] の研究が進められている。

今後、船舶における IoT (Internet of Things) の導入により、運航中の膨大なデータを取得できるようになった場合を想定し、衝突防止や予防保全に向けたビッグデータ解析が進められている [27]。さらに、自律航行の研究開発も進められていることから [28]、海事分野における地理情報の活用が益々進められることが期待されている。

3. 海賊活動の地理的特性分析

3.1 近年の海賊発生の傾向

国連海洋法条約における海賊活動は、公海上での私有船舶が犯した犯罪行為となっており、各国の領海内で行われた犯罪は「海上武装強盗」として区別されている。しかし一般的には、公海以外の水域において発生した事件も海賊行為として捉えられている。近年、世界中で商船を狙った海賊被害が多発しているなか、各国政府を始めとして、国際連合、IMO、国際海事局 (IMB, International Maritime Bureau) などのさまざまな機関が連携して海賊対策を行っている。IMB は、国際商業会議所 (ICC, International Chamber of Commerce) の下部組織であり、国際貿易などに関する取引慣習の統一化などを行う民間団体である。特に、海賊など海事関係の犯罪に対する防止対策などについて、独自に情報を収集し、その分析などを通じて、広く海事関係者に助言を行っている。

IMB によるレポート “Piracy and Armed Robbery against Ships” [29] には海賊事案発生に関する発生件数や地域、犯行分類、船種、季節などのデータが公開されている。本レポートによれば、1994~2016 年までの海賊事案の発生件数は、図 1 のようになる。1990 年代後半から増加傾向が見られ、2000 年をピークに一度減少傾向が見られた後、また増加と減少が見られる。そして、2006 年から再び急増傾向が見られた後、2012 年以降急減した。地域別発生件数を見ると、2000 年前後では東南アジアが 40% 近くを占めていたが、2007 年以降はアフリカが 50% 以上を占めるようになった。そして、2012 年以降は、アフリカが急減し東南アジアが増加するなど、海賊事案の発生地域には大きな変化が見られる。

アフリカにおける海賊対策について、特にソマリア

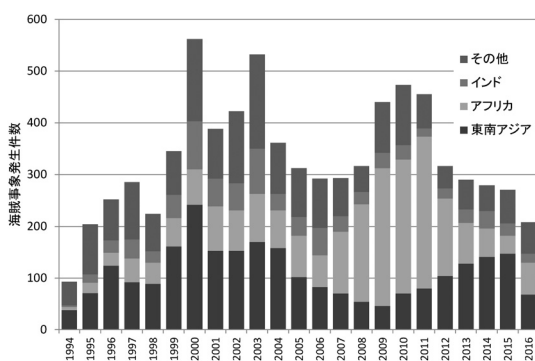


図1 地域別海賊事案発生件数

周辺海域では2008年6月に採択された国連安保理決議1816号などの一連の決議に基づき、各国および国際機関は軍艦・哨戒機を派遣し、航行する船舶の護衛活動を行っている。ソマリア沖・アデン湾を航行する船舶は、UKMTO (United Kingdom Maritime Trade Operations) が作成した海賊被害を防止、最小化するための手引書BMP (Best Management Practices) に従うことが推奨されており、2011年8月には最新版であるBMP4が発表されている。この海域に出没する海賊の特徴としては、遠方への航行能力を有する母船と攻撃用の高速航行が可能である小型ボートを使用した攻撃が多く行われており、特に2009年以降よりインド洋上のはるか沖合にまで海賊被害が広がった。そのため、BMPでは、海賊被害に遭う可能性が高いインド洋、アデン湾、紅海、ペルシャ湾を含む海域を「ハイリスクエリア」と定め、同エリア航行時にはMSCHOA (Maritime Security Center Horn of Africa) から最新の情報を取得するとともに、UKMTOへ船位を報告することを推奨している。また、アデン湾には2008年より「推奨航行回廊」としてIRTC (Internationally Recommended Transit Corridor) が設定されており、商船の効率的な保護ができるように、UKMTOはアデン湾航行船に対して船速に応じた船団を組んでIRTCを航行することを推奨している。

3.2 海賊事案発生位置データベースの構築

地理的な分布を確認するために、IMBがインターネット上に公開している海賊事案発生地図のデータを用いて、地理情報システム (GIS) 上にデータベースを構築した。

- ・データ元：IMB Live Piracy Map (2005～2016年の11年間)
- ・データ：位置情報の取得できた事象
- ・発生場所の位置情報：緯度経度データ

すべてのデータを地図上に図示すると紙面が不足す

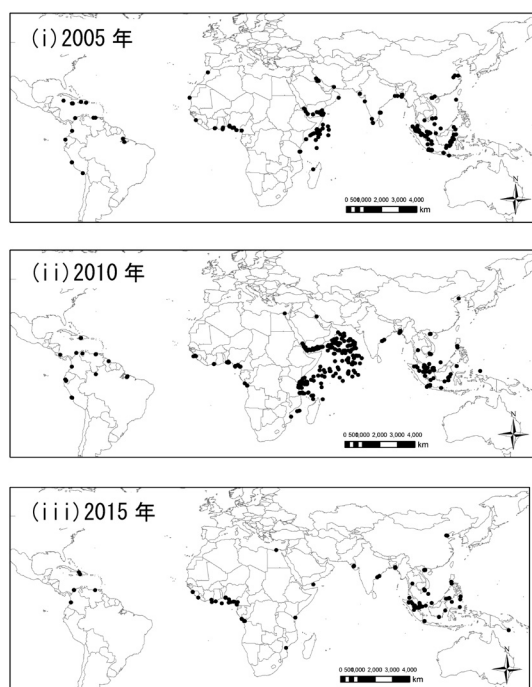


図2 海賊事案発生の地理的分布

るので、2005年から5年おきに図示すると、図2のようになる。インドネシアを中心とした東南アジアでは、2005年において多発していたものの、2010年には若干、減少傾向が見られたが、2015年にはさらに増加している。アフリカ東岸のソマリア周辺海域では、2005年においてアデン湾や沿岸部に多く見られるが、2010年においてソマリア沖合まで事案発生が多く見られるようになった。その後、2015年には当該海域ではほとんど見られないことから、先述した国際的な協力体制による海賊対策が功を奏していることが明確となっている。その他、インド・バングラデシュ、アフリカ西岸、南アメリカでは、沿岸部で多く事案が発生しており、特にギニア湾を中心としたアフリカ西岸において増加していることがわかる。

沿岸からの距離に着目して、海域の区分別について集計すると図3のようになる。なお、位置情報の取得できた事象のみを対象としているため、図2の結果に比べて若干件数が少なくなっている。沿岸国の主権が及ぶ領海 (12海里=約22km)、排他的経済水域 (200海里=約370km)、公海の順に、沿岸より遠くなる。領海内で発生した海上武装強盗の件数は、年間50件程度で推移している。一方、排他的経済水域や公海といった沖合で発生した事案が2010年前後に多く見られる。これらの多くは、図2からもわかるようにアフリカ東部のソマリア周辺海域で発生している。

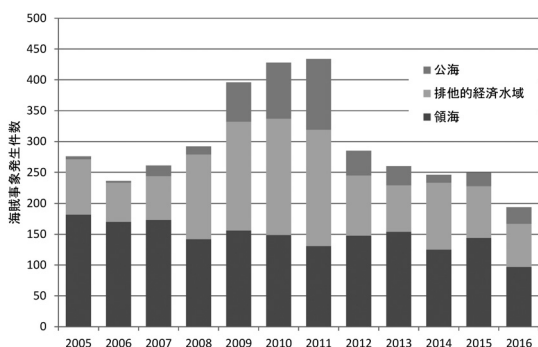


図3 海域区分別海賊事案発生件数

3.3 ソマリア周辺海域における海賊多発地帯の可視化

図2のような地図上での出没点のプロットでは、推奨航行回廊のように被害が集中している海域における海賊多発地帯である「ホットスポット」を判別することが難しい。そこで本節では、カーネル密度推定法による空間平滑化を行うことで、ホットスポットの抽出を行う[25]。カーネル密度推定法とは、単変量または多変量確率密度関数を推定する手法の一つであり、観測されたデータを内挿し、平滑化された推定値を得ることができる。点データの分布における強度を推定することは2変量の確率密度関数の推定とはほぼ同じであるため、2変量のカーネル密度推定法を準用できる。具体的には、観測点に対しカーネルと呼ばれる関数を置き、すべてのカーネル関数の和を地域内における確率密度として定義することによって点データを平滑化する。

対象地域における観測点の数が n の場合、任意の点 (x, y) における確率密度推定値は、

$$\hat{f}(x, y) = \frac{1}{nd^2} \sum_{i=1}^n K \left[\frac{x - x_i}{h}, \frac{y - y_i}{h} \right] \quad (1)$$

のように定義されている。なお、 K はカーネル関数、 h はバンド幅である。本研究では、カーネル関数を正規分布関数、バンド幅を15海里に設定した。ハイリスクエリアに含まれる海賊事案に対して、多発した2009年から2011年にかけて、空間平滑化を行った結果を図4に示す。この図は各地点におけるカーネル密度推定量を表した三次元の地図となっており、色が濃くかつ高くなっている地点をホットスポットとしてみなすことができる。また、分析の対象となる海域は、図5のようになる。

2009年は、アデン湾に大規模なホットスポットが分布している様子が見て取れる。これより、2008年に設定された推奨航行回廊が2009年2月に見直しが行わ

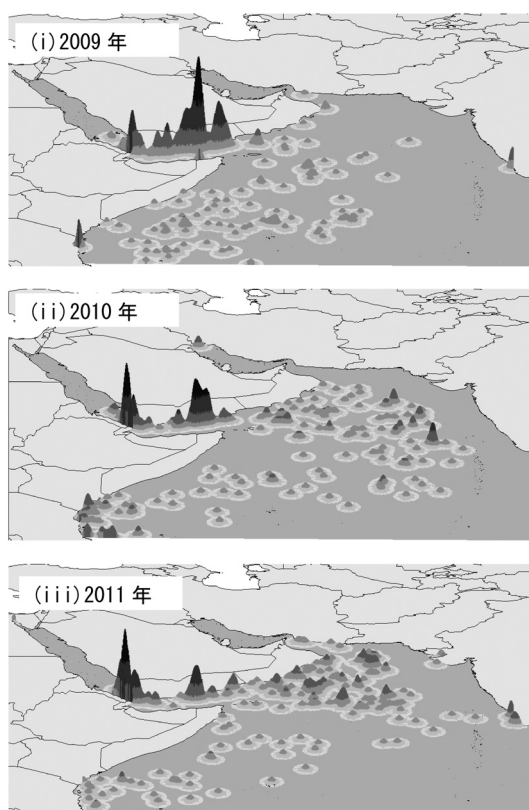


図4 ソマリア周辺海域における海賊多発地帯



図5 ソマリア周辺海域のハイリスクエリア

れたにもかかわらず、すぐには効果が表れていないことがわかる。2010年になると、アデン湾におけるホットスポットは縮小したものの、隣接した海域であるバブ・エル・マンデブ海峡とソマリア沖にホットスポットが拡大している。さらに2011年になると、アデン湾におけるホットスポットは大幅に縮小している。つまり、2008年からのアデン湾での推奨航行回廊における船舶の護衛活動とともに、2011年8月の安全ガイド

ライン (BMP) の改定など, 継続的な国際協調による海賊対策と航行船舶による防護対策の有効性が明らかとなった。

4. まとめと今後の展望

本研究では, 安全・安心な国際海運のためのインフラストラクチャーの数理地政学的研究の観点から, 海事分野における地理情報システムの活用の現状をまとめたうえで, 海賊事案発生に関する地理的特性分析を行った。

その結果, 海賊活動は, 時代によって発生個所が大きく変化しており, 国際的な協力体制を構築した対策の結果, 発生件数が著しく減少していることを確認することができた。しかし, 東南アジアや西アフリカでの海賊活動が再び活発になっていることから, 継続的かつ広域的な海賊対策が必要となっている。

今後の課題として, 欧州・中東・アジアを中心とした主要物流ルートにおいて, シベリア鉄道の活用, 北極海航路の開発, クラ地峡などの運河・パイプラインなどのインフラ整備による物流リスクの低減効果について考察する必要がある。

参考文献

- [1] C. Claramunt, T. Devogele, S. Fournier, V. Noyon, M. Petit and C. Ray, "Maritime GIS: From monitoring to simulation systems," *Information Fusion and Geographic Information Systems*, V. V. Popovich, M. Schrenk and K. V. Korolenko (eds.), Springer, pp. 34–44, 2007.
- [2] A. Weintrit, "Geoinformatics in shipping and marine transport," *Challenge of Transport Telematics*, J. Mikulski (ed.), Springer, pp. 13–25, 2016.
- [3] 庄司り, "先端ナビゲートシステムと船舶情報の活用について," 日本航海学会誌, **196**, pp. 12–16, 2016.
- [4] 唐木敦, "衛星 AIS について," 日本航海学会誌, **188**, pp. 55–60, 2014.
- [5] E. Tu, G. Zhang, L. Rachmawati, E. Rajabally and G. B. Huang, "Exploiting AIS data for intelligent maritime navigation: A comprehensive survey," arXiv: 1606.00981, 2016.
- [6] 瀬田剛広, 松倉洋史, 川辺有恒, 柴田勝規, "衛星 AIS を用いた船舶の運航状況の分析," 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2012 年春季研究発表会アブストラクト集, pp. 158–159, 2012.
- [7] K. Kim, J. Jeong and G. Park, "Development of a gridded maritime traffic DB for e-Navigation," *International Journal of e-Navigation and Maritime Economy*, **1**, pp. 39–47, 2014.
- [8] 海上保安庁, 海洋台帳, <http://www.kaiyoudaichou.go.jp/> (2017 年 7 月 13 日閲覧)
- [9] National Oceanic and Atmospheric Administration, MarineCadastré.gov, <https://marinecadastré.gov/> (2017 年 7 月 13 日閲覧)
- [10] 鳥海重喜, "海上航路ネットワークを用いたコンテナ船の運航パターン分析," オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学, **55**(6), pp. 359–367, 2010.
- [11] 運輸安全委員会, 船舶事故ハザードマップ, <http://jtsb.mlit.go.jp/hazardmap/> (2017 年 7 月 13 日閲覧)
- [12] 伊藤博子, "海難データベースを用いた事故分析," 海上技術安全研究所報告, **12**, pp. 81–100, 2012.
- [13] 南真紀子, 菊池俊方, 伊藤博子, "海難事故減少に果たす船舶事故ハザードマップの役割," 日本航海学会論文集, **131**, pp. 100–105, 2014.
- [14] 南真紀子, 庄司り, "衝突事故再発防止のための事故発生地点情報の活用について," 日本航海学会論文集, **132**, pp. 136–141, 2015.
- [15] 南真紀子, 庄司り, "東京湾における AIS データを用いた衝突危険性の評価について," 日本航海学会論文集, **133**, pp. 81–87, 2015.
- [16] M. Edwards and M. Kauffman, "Data tools to identify safety and environmental risks to the marine transportation system," *Transportation Research Record*, **2549**, pp. 101–110, 2016.
- [17] D. Huang, H. Hu and Y. Li, "Spatial analysis of maritime accidents using the geographic information system," *Transportation Research Record*, **2326**, pp. 39–44, 2013.
- [18] O. Ugurlu, U. Yildirim and E. Yukseyildiz, "Marine accident analysis with GIS," *Journal of Shipping and Ocean Engineering*, **3**, pp. 21–29, 2013.
- [19] 大山達雄, 『最適化モデル分析』, 日科技連出版社, 1993.
- [20] R. Pelot, A. Akbari and L. Li, "Vessel location modeling for maritime search and rescue," *Applications of Location Analysis*, H. A. Eiselt and V. Marianov (eds.), Springer, pp. 369–402, 2015.
- [21] 渡川真規, 古莊雅生, 若林信和, 小林栄一, "地理情報システムを用いた海賊事件分析," 日本航海学会論文集, **128**, pp. 55–60, 2013.
- [22] UNITAR/UNOSAT, "Pirate attack density in the Gulf of Aden (2008)," <http://www.unitar.org/unosat/map/1298> (2017 年 7 月 13 日閲覧)
- [23] UNITAR/UNOSAT, "Spatial analysis of Somali pirate attacks in 2009," http://unosat-maps.web.cern.ch/unosat-maps/SO/CE20100714SOM/UNOSAT-SOM-CE2010-PiracyAnalysis-Report-HR_v1.pdf (2017 年 7 月 13 日閲覧)
- [24] UNITAR/UNOSAT, "Global report on maritime piracy: A geospatial analysis 1995–2013," <https://www.unitar.org/unosat/piracy> (2017 年 7 月 13 日閲覧)
- [25] 渡部大輔, 永田康宏, 鳥海重喜, "ソマリア周辺海域における海賊活動の地理的分布の変化," 日本航海学会論文集, **132**, pp. 44–50, 2015.
- [26] D. Watanabe and R. Church, "Optimal location model for counter-piracy surveillance system," 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2016 年春季研究発表会アブストラクト集, pp. 295–296, 2016.
- [27] 安藤英幸, "海会社における IoT とビッグデータへの取り組み," 日本船舶海洋工学会誌, **72**, pp. 9–13, 2017.
- [28] 福戸淳司, "自律船研究の動向," 日本航海学会誌, **200**, pp. 4–11, 2017.
- [29] ICC International Maritime Bureau, "Piracy and armed robbery against ships," Annual Report, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016.