

AISブイを利用した漁場推定方法の提案

松本 浩文^{1†}, 秦 一浩¹

A proposal of method for estimating fishing grounds using AIS buoy

Hirofumi Matsumoto¹ and Kazuhiro Hata¹

Abstract : In order to research the actual operation status of fishing vessels by AIS, an effective extraction method is needed even when vessel name, MMSI, and type of ship information are insufficient. In this study, we analysis on the illegal use of AIS for fishing pole to indicate the location of operations and proposes a method for estimating fishing grounds using AIS buoys. Extracted by Vendor ID and vessel name notation and visualized using the kernel density estimation to show the major fishing grounds. The use of AIS buoys is illegal, but if the reception rate of satellite AIS improves, it may be easier to determine the location of operations and prevent damage to fishing gear.

Key words : AIS, AIS buoy, Vendor ID, Kernel density, EEZ

緒言

漁業を違法、無報告、無規制に行うIUU (Illegal Unreported and Unregulated) 漁業は、持続可能な漁業資源に対する深刻な脅威である¹⁾。我が国EEZおよび周辺海域においても外国漁船による操業が相次いでいる。水産庁が公表した資料によると、2021年1~12月の間、日本海大和堆周辺において582隻の外国漁船が水産庁の漁業取締船によって退去警告を受けている²⁾。

ところで、漁船活動を可視化するために船舶自動識別装置 (AIS : Automatic Identification System) や夜間可視画像といった衛星リモートセンシング情報が利用されている^{3,4)}。AISとはAIS搭載船の船名、位置 (緯度・経度)、対地針路、対地速力等の情報を他の船舶や陸上局と自動的に交信する装置である。AIS信号を衛星から受信 (以後、「衛星AIS」という) することで、地球規模で漁業活動を可視化することが期待できる。しかし、AISはすべての漁船に搭載が義務化されておらず、また、漁船を識別する際に必要な9桁の海上移動業務識別コード (MMSI : Maritime

Mobile Service Identity) や船名、船の種類を表す船種情報が意図的に改ざんされると、AIS情報を正しく識別することが不可能になる。一方、VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) センサのような工学観測は雲や霧などの影響を受け、月明かりの反射により漁船の検出が難しくなる。合成開口レーダー (SAR : Synthetic Aperture Radar) を用いると、昼夜や天候を問わず漁船のモニタリングが可能になるが⁵⁾、漁船の操業実態を全球的かつ早期に把握するには、漁船の位置情報が含まれるAISがより効率的である。

そこで、本研究は漁具位置を示す旗竿にAIS (以後、「AISブイ」という) が違法利用されていることに着目し、AISブイを利用した漁場推定方法を提案する。これまで1隻の外国漁船が複数のAIS信号を送信している実態や、AISブイの不正利用が報告されているが⁶⁾、違法であるがゆえに抽出困難なAISブイを新たな手法で抽出できれば、操業位置を地球規模で予測することが可能になる。なお、本研究は電波法第59条 (秘密の保護) を遵守し、AISの情報源を特定できる内容は開示しない。

2022年11月30日受付, 2023年2月2日受理

1. 国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産大学校海洋生産管理学科 (Department of Fishery Science and Technology, National Fisheries University, Japan Fisheries and Education Agency)

† 別刷り請求先 (corresponding author): hmatsumoto@fish-u.ac.jp

材料と方法

AISブイの抽出

解析に使用するAISデータは、2019年12月から2022年6月にかけてJAXA（宇宙航空研究開発機構）所有の人工衛星が収集した衛星AISデータを使用した。衛星AISは信号輻輳やデータの転送遅延により捕捉率の問題が指摘されているが、受信エリアは約5,000kmであるため、より広域にAIS信号を受信することが可能である⁹⁾。

AISブイの抽出には、2つの手法を用いた。まず、AIS情報に含まれる製造者番号（Vendor ID）による抽出方法である。AIS非搭載船向けAIS（クラスB）には、情報を改ざんすることができないVendor ID情報が含まれている。そこで、水産大学校漁業練習船「天鷹丸」が2016年5月17日～5月23日（7日間）に東シナ海で実施したAISブイのレーダー映像および目視調査により、レーダーに船影が確認されずAIS情報のみ送信する目標物（AISブイ）を視認し、AISブイのVendor IDを特定する。そのうえで、AISブイのVendor IDが含まれるAISデータを抽出し、9桁の識別コード（MMSI）を対象に重複を削除した。次に東シナ海に漂流していたAISブイを入手し、直流定電圧装置を用いて電源を供給する。AISブイが送信する信号を解析し、AISブイ抽出に必要な情報特性を調査する。

カーネル密度推定法

膨大なデータからAISブイが利用されている主要漁場を可視化するため、カーネル密度推定法を用いる。カーネル密度推定法とは、密度を計算する地点を中心として、任意に指定した半径内の点密度を計算地点からの距離減衰効果による重みを伴って計算する手法である。先行研究では、

海難の発生状況を把握しやすくするため、船舶の衝突事故の発生点からカーネル密度推定法を用いて可視化する手法が行われている⁸⁻¹¹⁾。本研究では、AISブイが示す点分布を確率密度で示し、さらに連続分布へと変換することで、AISブイが利用されている漁場を可視化する方法を提案する。カーネル密度推定量は、(1)式のように定義される。

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (1)$$

$\hat{f}(x)$ は任意の位置における確率密度推定値であり、 h はバンド幅と呼ばれる平滑化パラメータ、 K はカーネル関数、 n はAISブイの数を示す。カーネル密度推定法ではバンド幅が重要なパラメータとされ¹²⁾、観測地点からの検索半径（バンド幅）が短いと局所的な傾向となり、検索半径が長いと広域的な傾向を表す¹³⁾。本研究では、観測地点となるAIS受信局が周回衛星であり、かつAISブイの利用範囲が気象・海象、漁業種類等により変化することから、バンド幅の微調整は行わず統計解析ソフト「R」（Ver.4.4.2）のデフォルト設定（Silvermanの方法）を使用した。

結果

AISブイのVendor ID

東シナ海で実施したAISブイの目視調査では、外国漁船もしくはAISブイを発見した日時、船名、MMSI、位置（緯度・経度）、AISブイの有無を野帳に記録した。同時にAISブイが送信するAIS信号とレーダー映像も収集した。目視調査の結果、27隻の外国漁船と旗竿に設置された4個のAISブイを確認した（Fig.1）。Fig.2は天鷹丸から約278m付近にあるAISブイ（Fig.1）のレーダー映像である。AISブ



Fig.1 AIS buoy in the East China Sea



Fig.2 Radar image of AIS buoy

イの存在を示す三角のシンボルマーク「AIS2」がFig.1に示すAISブイからのAIS信号である。通常、対象物標が旗竿であるため、「天鷹丸」が接近しても旗竿をレーダーで探知できないが、AISブイがあれば簡単に旗竿を探索することができる。

Vendor IDとは、AIS非搭載義務船が利用できるAIS（クラスB）に含まれる製造者番号である。そのため、Vendor IDは固定された情報であり、船名やMMSI番号、船種のように情報を改ざんすることはできない。目視調査によって得られたAISブイの船名、MMSI、位置情報をもとにAISデータからAISブイのVendor IDを抽出した。Vendor IDは符号化されたAIS信号を解読すると、3桁のアルファベットで抽出できる。東シナ海で確認したAISブイ4個のVendor IDは、AISデータを解読した結果、すべて「HSD」から始まるIDが使用されていた。なお、AISブイが示すHSDは、米国海洋電子機器協会（NMEA；National Marine Electronics Association）が公表しているVendor IDリスト7)に該当しないIDである。

AISブイの船名情報

次に東シナ海で漂流していたAISブイ（Fig.3）に電源を供給し、AISブイの信号をAIS受信機を用いて解析した。その結果、AISブイはAIS非搭載義務船が利用できるクラスB AISのメッセージ種類を利用し、船名表記が数値に続き、「V」もしくは「%」で示すことが確認された（例えば「×××-7.5V」）。次に、直流定電圧装置を用いて供給電力を7.5Vから7.4Vに変化させたところ、船名が供給電力の変化に応じて「×××-7.5V」から「×××-7.4V」に変更することがわかった。通常、船名は固定された静的情報であり、その都度修正されることはない。しかし、AISブイは船名表示に、蓄電池残量をリアルタイムに表示し、レーダーやGPSプロッタに示す船名情報により、充電のタイミングを計る機能を実装していた。

以上の結果から、AISブイを特定するための条件として、次の4条件が得られた。

(1) AISブイのVendor ID（製造者番

号）は、HSDから始まるIDが使用されている。

(2) 船名には、バッテリー残量が「%」もしくは「V」で表記される。例えば、「***100%」という船名のAISブイが、蓄電池残量が2%減ると「***98%」に自動変更される。

(3) 船名の%表示は、「船名等の表記+%」もしくは「BAT=***%」の2パターンに分類される。

(4) AISブイは、AIS非搭載義務船が利用できるクラスB AISを利用している。発信されるメッセージ種類はNo.18 (Standard class B equipment position report)、No.19 (Extended class B equipment position report)、No.24 (Static data report) である。

AISブイの抽出結果

AISブイのVendorおよび船名表記条件をもとにAISブイを抽出した結果、24,433個のAISブイが抽出された。詳細をTable.1に示す。その後、抽出されたMMSIをもとにAISブイの位置、速力等を含む動的情報を抽出した。

Table.1 Number of AIS buoy

Extraction	Number of AIS buoy
Ship's name Display	22,451
Vendor ID	1,982



Fig.3 AIS buoy

AISブイから操業位置を可視化するため、AISブイの動的情報（緯度・経度、速力等）から、対地速力（SOG；Speed Over Ground）1ノット未満を抽出した。対地速力1ノット未満に条件抽出した理由は、AISブイが操業開始後に投下された状態（SOG < 1 knot）を抽出するためである。Fig.4はAISブイの位置情報をプロットした図である。速力1ノット未満のAISブイが、太平洋、インド洋、大西洋などで広く利用されていることがわかる。船舶が沿岸から離れた外洋で、速力1ノット未満で航行することは機関故障や調査以外に想定できない。AISブイが漁業等に利用されていることが推察できる。

カーネル密度推定法による漁場の可視化

カーネル密度推定法を用いてAISブイの利用密度を可視化した結果をFig.5に示す。AISブイは、北西太平洋、フィリピン海、南太平洋、インド洋など沿岸から離れた外洋で密度が高いことがわかる。また、オーストラリアとインド

ネシアとの間にあるアラフラ海沿岸では、AISブイの利用密度が高いことが示された。この海域では、中国漁船が多いことが衛星AISにより確認できている。従って、アラフラ海ではインドネシア以外の外国漁船が操業している可能性が示唆された。

考 察

現在、AISの利用は船舶以外に可航水域や航路の位置を示す灯浮標などにも利用されているが、簡易的に作られたAIS (Fig.3) を漁業に利用することは、電気通信分野における国際連合の専門機関である国際電気通信連合 (ITU; International Telecommunication Union) の無線通信規則にも規定されておらず、現時点で違法である。一方、AISの利点はレーダーに映りにくい小型漁船が、自船の船名、位置 (緯度・経度)、速力、針路等をAISで送受信することで、衝突を回避できることが挙げられる。そのため、AISブイを旗竿に取り付けることで、付近を航行する船舶がAISブイの付いた旗竿をレーダーに映らない小型船だと

判断し避航する。その結果、漁具の紛失や切断などの損傷を防ぐ効果が期待される。また、AIS情報を重畳表示することができるレーダーやGPSプロットには、操業位置を示すAISブイの位置が表示されることで、付近を航行する船舶はプロペラなどの推進器に漁具を巻き付けるトラブルを回避することができる。AISブイを衛星AISおよび東シナ海での目視調査で比較的容易に発見できることは、操業安全にも有効なツールである可能性がある。さらに、資源評価や地球規模で漁業活動を可視化することが期待できることから、早期のルール改正が期待される。

次に太平洋におけるAISブイの位置 (SOG < 1 knot) と排他的経済水域 (EEZ) との関係を図6に示す。AISブイは太平洋においても日本のEEZ外、台湾沖合、赤道付近の熱帯海域、インド洋など広い海域で利用されている。また、ハワイ諸島、ハワイ諸島南方のジョンストン島、ウェーク島、北マリアナ諸島のEEZ周辺では、漁業活動を示すAISブイがEEZ外で利用されていることがわかる。一方、マーシャル諸島、キリバス共和国、ソロモン諸島周辺のEEZ内にはAISブイが多く確認できる。今後、水産大学校漁業練

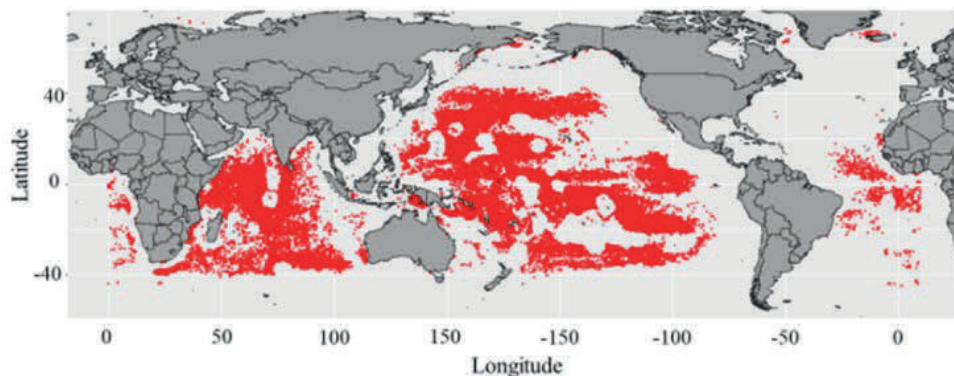


Fig.4 Utilization of AIS buoy (SOG < 1 knot)

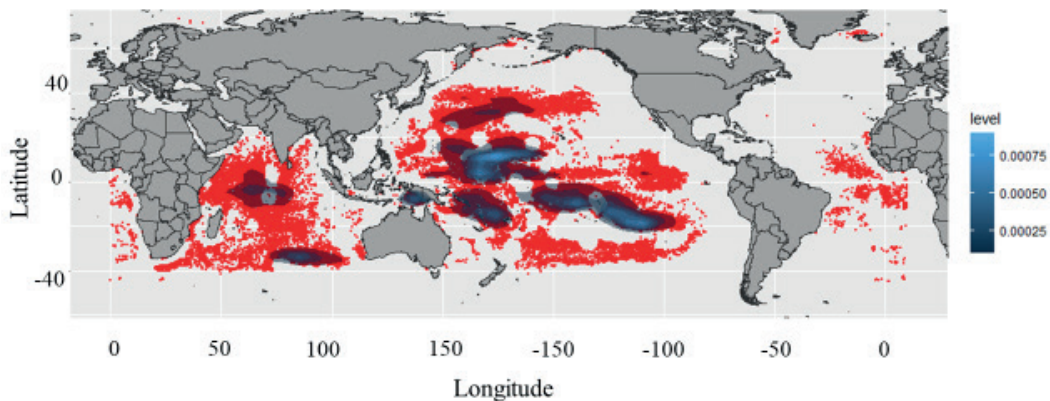


Fig.5 Estimation of fishing grounds using kernel density estimation

習船を利用した遠洋航海において、目視調査を実施したいと考えている。

本研究は漁具位置を示す旗竿に取り付けられたAISブイを衛星AISから抽出し、密度分布で示すことにより、AISブイが集中している主要漁場をわかりやすく可視化できることを示した。今後、AISブイの抽出条件をさらに調査することで、船名、MMSI、船種等のAIS情報に依存することなく漁場をピンポイントで推定できるよう、さらに検討を進めていく予定である。

結 言

本研究の主な成果は、次のようにまとめられる。

- (1) AISブイはClass B AISの信号を送信する。メッセージ種類はNo.18, 19, 24である。
- (2) AIS信号に含まれるVendor IDによってAISブイを識別することが可能である。
- (3) AISブイの対地速度を1ノット未満で条件抽出すること

で、操業位置を可視化できる。

- (4) 速度1ノット未満のAISブイは、各国EEZ外で利用されていることから、AISブイが漁業活動に利用されていることが明らかになった。
- (5) 衛星AISの受信率が向上すれば、AISブイを使用した操業実態を地球規模でモニタリングできる。
- (6) AIS信号を漁具に使用することは違法であるが、航行船舶がAISブイによって漁具の存在を把握し避航することで、漁具の損傷を防止できる可能性がある。

本研究では、漁具に違法に利用されているAIS信号の実態を把握することで、漁船位置や夜間光に依存しない操業位置の抽出を提案した。一方、衛星AISからは東シナ海の日中暫定措置水域で利用されているAISブイを抽出することができなかった。これは衛星AISのカバー範囲が広いため、中国沿岸域のAIS情報まで受信し、AIS信号が衝突したことも要因である。AISブイの利用は現時点で違法であるが、操業実態を把握でき、漁具の損傷や紛失を防ぐ可能

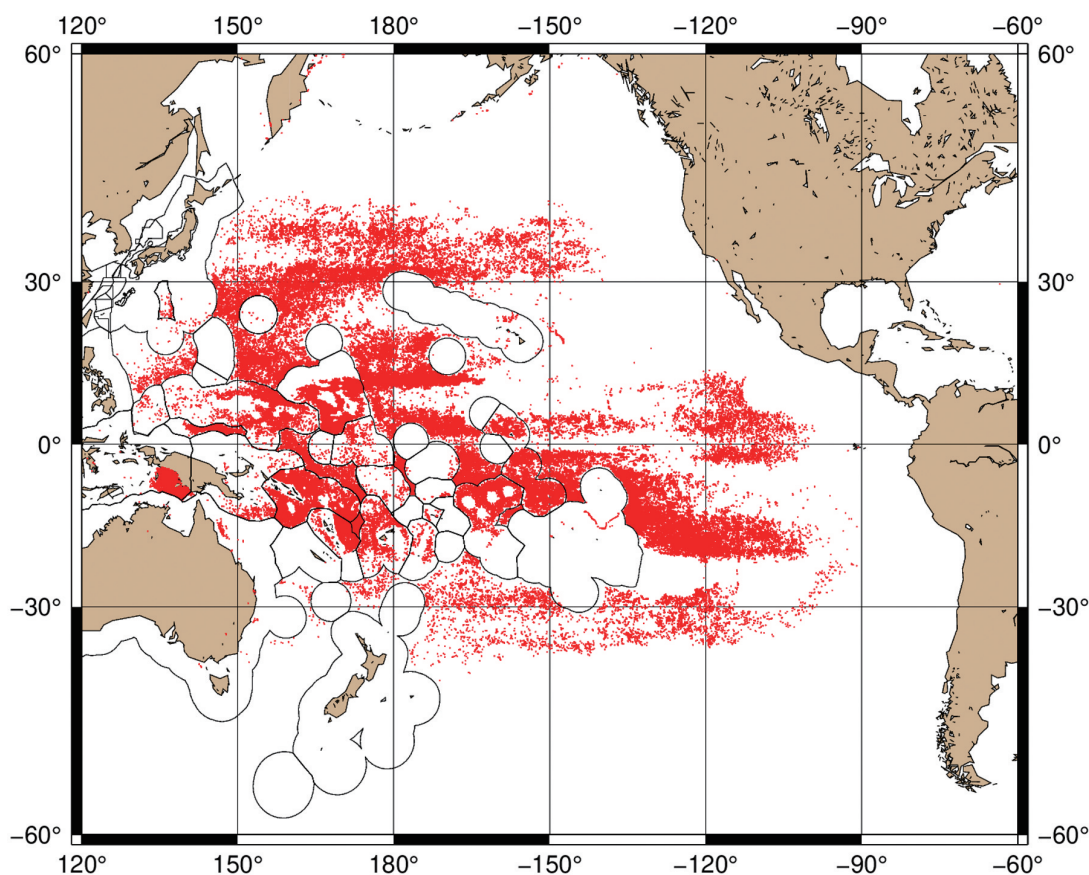


Fig.6 AIS buoy in the Pacific Ocean

性がある。今後AISブイの利用を制度化し、操業位置を地球規模で把握することもIUU漁業撲滅には必要と考える。

謝 辞

本研究を行うにあたり、当時の水産大学校専攻科船舶運航課程の学生諸氏に目視調査を手伝っていただいた。さらに、漁業練習船「天鷹丸」乗組員の皆様にはデータ提供や適切なお助言など、多大なご協力をいただいた。心より感謝の意を表する。

引用文献

- 1) Agnew DJ, Pearce J, Pramod G, Peatman T, Watson R, Beddington JR, Pitcher TJ: Estimating the worldwide extent of illegal fishing. *PLOS One* 2009; **4(2)**: e4570
- 2) 水産庁：日本海大和堆周辺水域における外国漁船への対応状況について（令和3年漁期）。<https://www.jfa.maff.go.jp/j/kanri/torishimari/attach/pdf/20220125.pdf>（2022年11月30日閲覧）
- 3) Yoshiaki Oozeki, Denzou Unagake, et al. : Reliable estimation of IUU fishing catch amounts in the northwestern Pacific adjacent to the Japanese EEZ: Potential for usage of satellite remote sensing images, *Marine Policy*, **88**, 64-74 (2018)
- 4) 高崎健二, 斎藤 勉, 大関芳沖, 稲掛伝三, 久保田洋, 市川忠史, 杉崎宏哉, 清水収司: ALOS-2/PALSAR-2データを用いた2そうびき漁船の検出, *水産海洋研究*, **84** (2), 89-99 (2020)
- 5) 松本浩文, 秦 一浩, 小勝正貴, 古莊雅生: 我が国排他的経済水域における漁業資源管理 - AIS (船舶自動識別装置) 活用の観点から -, *日本海洋政策学会誌*, **6**, 42-58 (2016)
- 6) 唐木敦: 衛星AISについて, *NAVIGATION*, **188**, 55-60 (2014)
- 7) 米国海洋電子機器協会: Approved 0183 Manufacture's Mnemonic Codes, <https://www.nmea.org/Assets/20191023%20NMEA%200183%20Manufacturer%20Mnemonic%20Codes.pdf> (2022年11月30日閲覧)
- 8) 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**, 100-105 (2014)
- 9) 南真紀子, 庄司るり: 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**, 136-141 (2015)
- 10) 南真紀子, 庄司るり: 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**, 81-87 (2015)
- 11) 南真紀子, 庄司るり: 東京湾における衝突事故の時空間分布について, *日本航海学会論文集*, **138**, 54-59 (2019)
- 12) Adam Sliwinski: Spatial Point Pattern Analysis for Targeting Prospective New Customers: Bringing GIS Functionality into Direct Marketing. *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, **6** (1), 31-48 (2002)
- 13) 矢部直人, 有馬貴之, 岡本 祐, 角野貴信: GPSを用いて観光調査の課題と分析方法の検討, *観光科学研究*, **3**, 17-30 (2010)