

船舶の衝突頻度定量化のための交通量調査と解析

工藤 潤一*、伊藤 博子*、石村恵以子*、西崎ちひろ**、森 有司*

Marine Traffic Observation and Analysis for Quantification of Ship Collision Frequency

by

Junichi KUDOU, Hiroko ITOH, Eiko ISHIMURA, Chihiro NISHIZAKI
and Yuji MORI

Abstract

There has been an emerging use of ocean space due to growing demand of renewable energy. For example, Fukushima Offshore Wind Consortium has been performed an experimental offshore floating wind farm project since 2012. Tidal, ocean wave, and thermal energy are also actively surveyed. To avoid conflict with conventional use of the ocean, such as transportation and fishery ships, is an important issue in these new projects. In particular, maintaining traffic safety around installing facilities is critical for both ships and facilities. Understanding traffic features and estimating collision risks is required.

In this study, we have conducted observation and analysis of ship trails to understand the traffic characteristics and estimate collision risks at coastal waters off Fukushima and Miyagi prefectures. Since the trails show that most of the ships are north- or south-bound in the area, we focused on head-on encounters. In order to investigate the lateral distribution of ship traffic, we used AIS data as ship trail data and counted the number of trails that crossed virtual gate lines defined at the area. A survey to observe ships with RADAR is also conducted to capture ships without AIS. From the RADAR survey, we have estimated that the number of the total ships as approximately 2.2 to 2.6 times of ships equipped with AIS in the area. Estimating method of hourly encounter frequency is demonstrated with a sample of Nojimazaki Area in Japan.

*海洋リスク評価系 ** 運航・物流系

原稿受付 平成26年2月7日

審査日 平成26年3月18日

目 次

1. まえがき	40
2. 衝突頻度の考え方	40
2.1 遭遇型と衝突頻度	40
2.2 観測の方法	41
3 AISによる交通量の調査・集計	42
3.1 集計手法	42
3.2 比較対象のデータ	43
3.3 交通量の分布調査結果	43
4. レーダーによる交通量の調査・集計	46
4.1 過去の調査結果	46
4.2 データ収集方法	46
4.3 集計方法	46
4.4 集計結果	47
5. 時間帯別の遭遇頻度	48
5.1 分析の対象海域	48
5.2 交通量の時間的変動	49
5.3 遭遇頻度の時間による変化	49
6. まとめ	50
謝辞	50
参考文献	50

1. まえがき

昨今の自然再生エネルギー需要の高まりから、発電施設等による海洋利用が進んでいる。送電の都合上、発電施設の設置場所は陸岸から近距離の位置が選定されることが多く、海上交通への影響が懸念される。安全な海上交通を維持するため、海上利用に際しては、あらかじめその影響を評価する必要がある。

海上交通への影響として最も懸念すべきは、施設と航行船舶における衝突等の事故を増加させてしまうことである。施設に対する船舶の衝突事故の新たな発生と、施設の避航に伴う航過船舶同士の衝突事故の増加が考えられるが、前者に対しては既に施設側から航行船舶のための離隔距離の設定と周知といった対策が講じられている。後者に対しては、著者らが、施設の設置後の状況を予測し対策を立案すべく、通航量の調査と航行制限による影響の推定、衝突頻度の算出を進めている。

日本海難防止協会による調査から、船舶の通航量と海難事故が時間帯によって変化すると報告があるように^{1)、2)}、船舶の集中す

る場所と時間を把握することが重要と考えられる。そこで著者らは、これらを把握し、最も集中する際の集中の程度と必要な対策案、その効果を推定するための技術開発を進めている。

本稿では、福島沖に設置の進む洋上風力発電施設周辺における海上交通流を対象とした船舶の衝突頻度の定量的推定を行うための著者らの取り組みについて説明する。

まず、対象海域において船舶の衝突事故発生に関して特に注意の必要な場所について検討した。現場海域の船舶交通の特徴を考慮し、この海域に用いた衝突頻度の定量的推定の基本的な考え方と必要となる船舶交通のデータについてまとめた。

次に、今後の施設の大規模展開化により現在航路となっている海域に航行制限が発生した場合の船舶の集中について述べる。ここでは、そのような状況における船舶の挙動を予測するため、当該海域近くにて、過去に一時的に航行が制限された区域に着目して、その期間前後における周辺船舶の交通の変化を調査した。

ここまでの観察は AIS 航跡データにより実施したが、実際には AIS では観測できない船舶が数多く航行している。AIS 観測に相当する範囲、期間での観測は困難であるが、少なくとも AIS 観測では捉えられない船舶（以下、これを「AIS 非搭載船舶」とする）がどの程度存在しているかを把握しておくことが重要である。そこで、現場海域におけるレーダー観測を通して、AIS 非搭載船舶の割合を推定する試みを行ったので、これについて述べる。

船舶の集中についての重要な要素である時間変動に関しては、福島沖海域では、場所に関する検討に引き続き実施する予定である。使用する分析手法は、当所の重点研究「事故原因分析とヒューマンファクター分析に基づく合理的な安全と運航規制体系の構築に関する研究」において開発している方法を用いるため、対象海域は異なるが、同重点研究における、これまでの成果を用いて説明する。

2. 衝突頻度の考え方

2.1 遭遇型と衝突頻度

Fujii らは、1970 年代前後に同航、反航、横切りなどの見合い関係において、衝突事故の発生頻

度は、二船が衝突コースに入る頻度を遭遇頻度とし、遭遇頻度と、そこから回避できない確率との積を衝突モデルとして提示した^{3)、4)}。また、各見合い関係における遭遇頻度は、船舶の通航量の分布から算出できるとし、その方法を示した。遭遇から回避できない確率についても、国内の輻輳海域各所において、その船舶通航量と衝突事故件数との関係を調査して算出している。この考え方に従えば、見合い関係の種類と通航量の分布が分かれば遭遇頻度を算出することができ、衝突頻度が推定できるということになる。

伊藤らは、国内の沿海区域で発生した船舶の衝突事故を表-2.1に示す3つの遭遇型に分類している⁵⁾。

表-2.1 衝突の遭遇型の3分類

		傾向
Aタイプ	反航	狭視界時、商船同士が多い 両船の速度のなす角が約180度
Bタイプ	横切り	好視界時に多く、商船と漁船等のローカル船 両船の速度のなす角が約90度
Cタイプ	合流等	輻輳海域への出入り関連が多い 相手船の意図を読み切れずに衝突



図-2.1 対象海域の1日分の航跡図 (2012年9月10日)

今回対象とした福島沖海域のAISで観測した船舶航跡図を図-2.1に示す。Bタイプの遭遇型は、漁船等のローカル船に係るものであるが、ローカル船は震災の影響で現在でも通航が非常に少なくなっている上、多くはAISを用いないため、図から様子を観察することができない。従って、別の方法で情報収集していく必要がある。Cタイプの遭遇型は、東の金華山側を南下する船舶と西の仙台港を出港する船舶による合流が図の下方に観察される。しかし、この場所の通航量は輻輳海域への出入口付近と比較すると極めて少ない。この付近における過去の衝突事故について海難審判庁裁決録20年分のデータを調査した所、Cタイプの遭遇による衝突事故は見当たらず、この遭遇がこの付近における主たる危険要因になりうるとは考えにくい。従って、ここではCタイプの遭遇型については考えないものとする。

一方、同データにおいてこの付近で発生した衝突事故約10例の衝突に至る航跡を調べたところ、いずれもAタイプの遭遇型であることが分かった。Aタイプの遭遇型は主として沿海区域内を反航してくる船舶同士の衝突事故における主たる遭遇型という調査結果もあり⁶⁾、遭遇頻度を考える際の基本的な型である。従って、本稿では、これらのうちAタイプの遭遇型における遭遇頻度を推定する。

2.2 観測の方法

交通量を計数するためには、各船舶の動きを知る必要がある。船舶の挙動の取得方法には、AISやレーダー、目視などの方法がある。

AISは船舶の挙動に関する各種データを自

船からの報告から得ることができ、通常の観測方法でおよそ 20 海里程度の範囲を観測することができるが、該当装置を動作させている船舶からしか情報を得ることができない。レーダーは、全ての周辺船舶を観測することができるものの、船舶の挙動に関する情報は観測からの推定値となる他、天候等による影響を受けてしまうことがある。目視は時刻、天候等による影響が大きく、船舶の挙動に関する情報も観測者に頼ることになり、長期的観測には向かない。

そこで、AIS とレーダーを相補的に用いて観測し、対象海域の現状を把握していく。これら装置の特徴を表－2.2 にまとめた。

表－2.2 交通流の取得方法の特徴

	AIS	レーダー
得られる情報	緯度経度、対地船速、進路、針路、船名等	相対距離・方位、相対船速、進路
捕捉対象	AIS 搭載船	全船舶
欠点	AIS 搭載船のみ	雲、波などにも反応

3. AIS による交通量の調査・集計

施設設置等による海上交通への影響を考える場合、現在通航している船舶が航行制限後にどのような挙動をとるかを推定する必要がある。航行制限に関する研究としては、狭水道における航行容量に関する研究⁷⁾などがみられるものの、外洋における航行制限による船舶の挙動を予測する適当な手法が見当たらない。そこで、当該海域近くに、東日本大震災に伴う事故の影響から、多くの船舶が通航する海域において一時的に航行が制限されていた区域があるので、これに着目して、その期間前後における周辺船舶の交通の変化を調査し、参考にすることとした。

海上交通量の把握に当たり、まずは、海域の交通の概要を把握するために対象船舶が限られるが、日本沿岸の広い箇所のデータが得られる AIS を用いた交通量の集計を行う。

AIS は、専用の装置により、自船の情報を周囲に発信しつつ、他船の情報を受信する装置である。情報の精度は発信する船舶に依存するものの、詳細な情報を広い範囲にわたって得ることが可能である。AIS は、全ての船舶が搭載している訳ではなく、日本籍船につ

いては、船舶設備規程第 146 条の 29 により、下記の船舶に搭載義務がある。

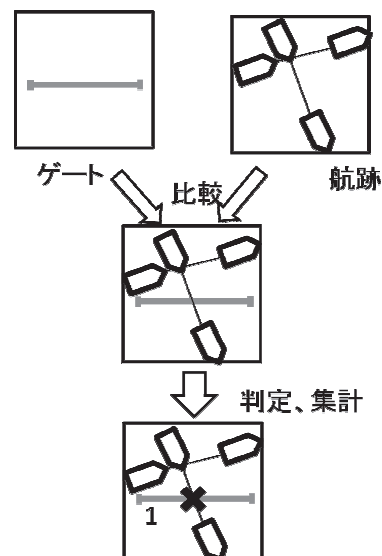
- ・国際航海に従事する 300 総トン未満の旅客船
- ・国際航海に従事する 300 総トン以上の船舶
- ・国際航海に従事しない 500 総トン以上の船舶

なお、上記のいずれにも該当しない船舶においても、自主的に搭載している場合がある。また、全世界の沿岸の状況がウェブサイトで公開されていることや、日本沿岸の情報が販売されていることから、広範囲の AIS 情報が容易に得られる。

本章では AIS 搭載船の航跡情報を当所で開発した AIS Analyzer にて計数し、海域の全体像、航行禁止の影響を調査した。

3.1 集計手法

本稿では交通量を表す指標として、ゲート通過隻数を用いた。ゲート通過隻数の算出には、図－3.1 に示すように、まず、ゲートと呼ばれる集計の基線を 2 つの点を結ぶ線分で定義する。次に、ゲートと船舶の航跡を比較し、船舶がゲートを通じたかを判定し、ゲートごとに通過した回数を集計する。複数のゲートを設定することで、広い範囲の交通量が把握可能である。



図－3.1 ゲート通過隻数の集計の概略

ゲートの通過隻数の集計には当所で開発した AIS Analyzer を用いた。この AIS Analyzer は指

定された領域に図-3.2 に示すように、仮想的なゲートを一定間隔で多数設置し、ゲート通過隻数の集計が可能である。このツールを用いて、交通量を集計した。

本稿では、AIS の航跡は日本国内の陸上局で収集し、販売されているデータセットを用いた。⁸⁾

なお、AIS の航跡は時刻と緯度経度の組であるので、時間的に連続する同一船舶の情報について、直線補間した。AIS データのうち、針路、船首方位、船速などが欠損している場合等においては、前後の値から推定するなどの可能な処理を施し、推定不可能なものは統計処理から除外した。

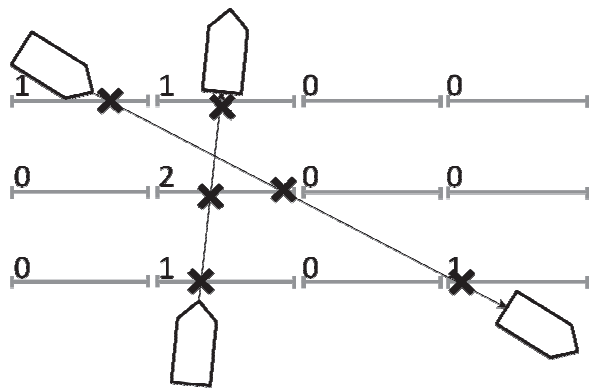


図-3.2 仮想ゲートによる集計の概略

3.2 比較対象のデータ

対象とした領域は、図-3.3 の太線で示す、北緯 37 度から北緯 38 度 30 分、東経 141 度から 142 度の領域とした。

この領域は福島県から宮城県の東方沖の海域であり、図-2.1 の AIS の航跡図に示すように、主な交通流は南北方向である。この交通流を検出できるように、仮想ゲートを東西方向の 2 点で指定した。仮想ゲートは、南北方向は緯度 1 分間隔で 91 行、東西方向は経度 1 分刻みで 60 列、合計 5460 個設定した。

期間 1 は、警戒区域が福島第一原子力発電所（以下、発電所という）の付近 20km 圏内の海域（ただし 4 月 10 日以降は、北緯 37 度 30 分 49.6 秒より北を除く）⁹⁾ であった期間のうち、2012 年 4 月 1 日から 6 月 30 日までの 91 日間とした。期間 1 は警戒区域が広く、周囲の航行へ与えていた影響も大きく、航行制限の影響が大きかった期間の代表として選定した。

期間 2 は警戒区域が陸岸から概ね 5km 圏内（北緯 37 度 18 分 59 秒から北緯 37 度 30 分 49.6 秒の間かつ、東経 141 度 5 分 20 秒より西）の海域¹⁰⁾ であった期間のうち、2012 年 8 月 15 日から 10 月 31 日までの 78 日間とした。期間 2 は警戒区域

が大幅に縮小され、航行への影響が小さくなったと想定でき、従来の交通に近い期間として選定した。ただし、発電所の事故の影響で漁船の活動については、発電所の事故以前とは異なるものと考えられる。

以上の前提を基に、発電所付近の警戒区域による交通量への影響を調べるために、警戒区域の変化前後の 2 つの期間の交通量について比較を行った。

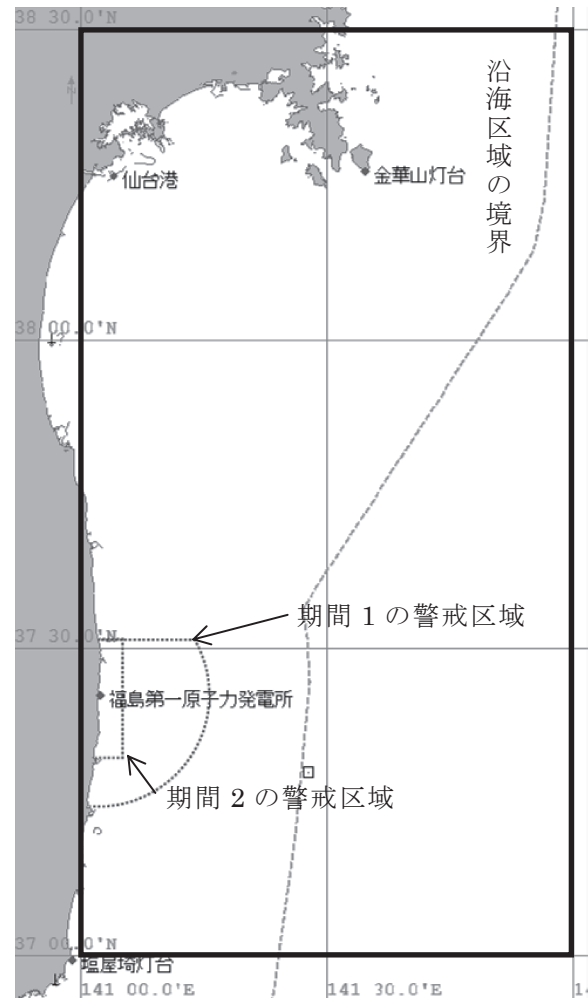


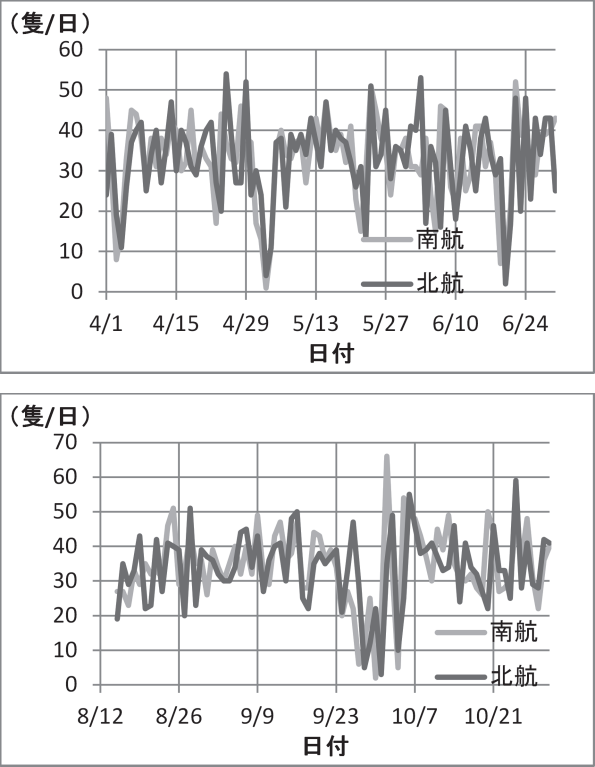
図-3.3 対象海域

3.3 交通量の分布調査結果

AIS Analyzer を用いて、期間 1 と期間 2 それぞれの各仮想ゲートについて、南航・北航を区別して集計を行った。期間 1 と期間 2 の日数が異なることから、比較する際には 1 日あたりの通過隻数に換算した。

ここで、交通量の日変動について確認を行う。図-3.4 に、北緯 38 度の緯線を通航した日別隻数を表-3.1 に各期間の南航北航別の平均をそれぞれ示す。各期間において、南航

もしくは北航の交通量が期間全体の平均値の半分を下回っている日は、期間 1 では 11 日、期間 2 では 6 日該当している。これらの日は、すべて低気圧（台風を含む）の接近前後である¹¹⁾。これらの日の波高は、気象庁の公開している沿岸波浪図より、本州の東側の沿岸の波高は 3m 以上となっていることから、荒天を理由として通航を控えた結果と考えられる。また交通量の最大値は、期間別・方向別の平均に対して約 1.9 倍に増加している日が存在している。



図－3.4 北緯 38 度を通航した日別隻数

表－3.1 北緯 38 度を通航した日別通航隻数の
平均値

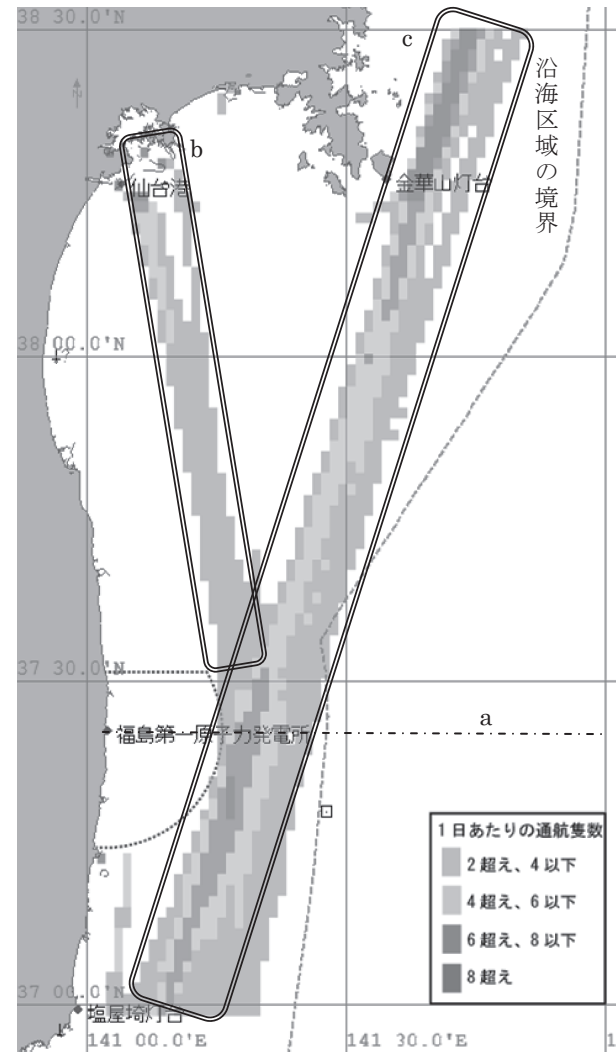
	北航隻数	南航隻数
期間 1	32.9 (隻/日)	32.6 (隻/日)
期間 2	34.3 (隻/日)	33.8 (隻/日)

対象海域の交通量の概要を把握するために、それぞれのゲートについて 1 日当たりに換算した南航と北航の合計の分布を図－3.5 及び 3.6 に示す。なお、警戒区域については、点線で、沿海区域の境界については破線でそれぞれ示している。

図－3.5 より、期間 1 の主要な航路として二重線 b で囲んで示す仙台港から南南東の方

角へ伸び、警戒区域の境界に接する航路（以下、航路 b という）と、二重線 c で囲んで示す金華山から塩屋崎を結ぶ航路（以下、航路 c という）の 2 つが存在することが分かる。これらの航路は発電所の沖付近で合流している。

図－3.6 より、期間 2 の主要な航路として二重線 b' で囲んで示す仙台港から南の方角へ伸びる航路（以下、航路 b' という）、二重線 c' で囲んで示す金華山から塩屋崎を結ぶ航路（以下、航路 c' という）の 2 つが存在することが分かる。これらの航路は塩屋崎付近で合流している。



図－3.5 期間 1 の交通量の分布

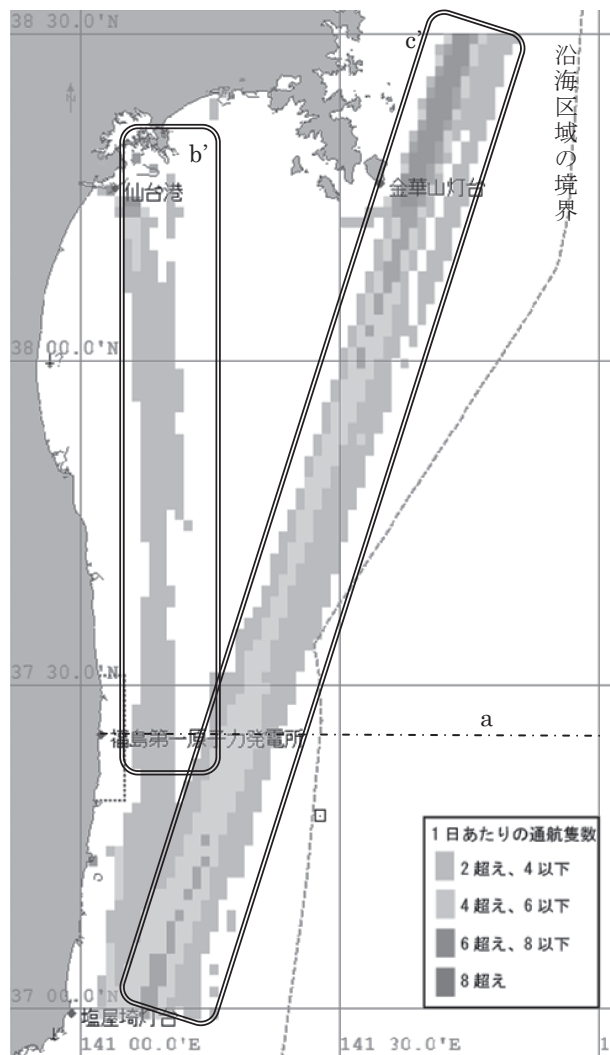


図-3.6 期間2の交通量の分布

図-3.5、3.6を比較すると、仙台港から伸びる航路bおよびb'は、航行制限の変化に伴い、最短経路となるように変化している。その一方で金華山から図の左下の塩屋埼へ伸びる航路cおよびc'は、航行制限の影響があまり見られない。よって、航路によって影響を受ける度合いが異なることがわかる。また、交通の集中は、期間1の一点鎖線a(北緯37度25分)付近でみられる。

次に、航行制限の影響を確認するため、期間1の警戒区域が最も沖まで伸びていた、図-3.5及び図-3.6の一点鎖線a上における交通量の分布を図-3.7、3.8に、それぞれの期間の南航船、北航船の隻数を表-3.2に示す。

まず、同一の期間の中で比較を行う。図-3.7及び3.8から、同一期間では、南航船と北航船の分布は、ほぼ同じと分かる。表-3.2より、いずれの期間においても、数%ほど南

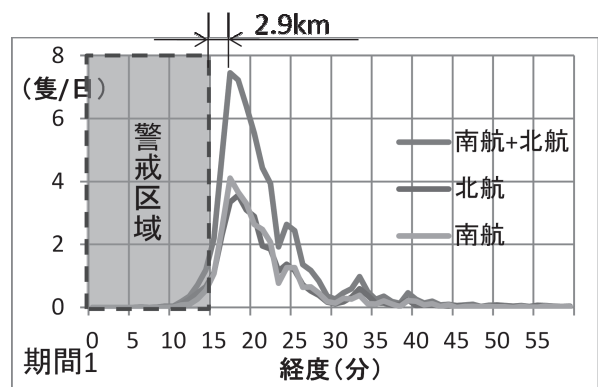


図-3.7 期間1の一点鎖線a上の通過隻数の分布

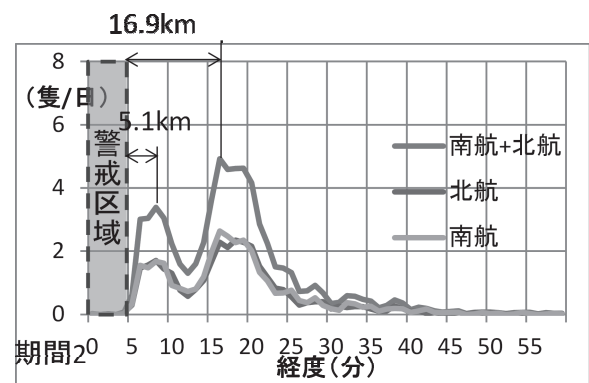


図-3.8 期間2の一点鎖線a上の通過隻数の分布

表-3.2 方向別の通過隻数の合計

	北航隻数	南航隻数
期間1	30.3 (隻/日)	30.8 (隻/日)
期間2	32.9 (隻/日)	34.0 (隻/日)

航船が多い。

次に2つの期間の類似点について述べる。図-3.7及び3.8から、通過隻数の分布は、いずれの期間も極大値を中心に対称な分布ではなく、陸に偏った分布になっている。これは最短経路を航行しようとした結果と思われる。

極大の位置と警戒区域との距離についてみると期間1は約2.9km、期間2の警戒区域に近い極大は約5.1km、警戒区域から遠い極大が約16.9kmとなっており、警戒区域からある程度離れているものの、期間1では、より多くの船舶が警戒区域に近い箇所を航行している。

最大値と、通過隻数の合計を比較する。表-3.2、図-3.7及び3.8より、期間2に比べ、期間1は、南航・北航の通過隻数の合計は約12%少ないが、通過隻数の最大値は約20%多

く、交通が集中していることが分かる。

この結果は AIS 搭載船のみの結果であり、実際の交通量とは異なることが考えられ、AIS 非搭載船舶についても交通量分布について調査が必要である。

4. レーダーによる交通量の調査・集計

レーダーは、自船から特定の方向に電波を発し、他船に反射して帰ってくるまでの時間を計測することで距離を算出し、電波を発する方向を変えながら繰り返すことで、全周の反射情報を得る装置である。相手船の大きさ、気象・海象などの条件次第で、探知可能な距離が変化するが、相手船の設備の有無に関係なく探知が可能である。

船舶の航行用レーダーに付属する機能に ARPA (Automatic RADAR Plotting Aid) があり、一度物標を指定 (捕捉) すると、同一と思われるレーダー上の物標を追尾し続ける機能があり、自船からの相対的な位置情報等を算出することが可能である。レーダー及び ARPA は相手船の設備の有無に関係なく使用可能であるが、その捕捉範囲は AIS に比べ狭い。

このような特徴を持つレーダーを用いて、AIS では取得できない AIS 非搭載船の情報を取得し、AIS 搭載船の交通量に関する情報を補完することとした。具体的には、福島県付近を実際に航行する調査船 (以下、本船という) に、レーダー画像と ARPA のデータを記録する装置を設置し、そのデータを解析することで、AIS 搭載船に対する AIS 非搭載船の比率を算出し、その比率を用いることで、AIS 非搭載船を含んだ通航隻数を使い遭遇頻度の算出が可能になる。ARPA データの収集は、2012 年 11 月 13 日から同年同月 24 日までの 12 日間行った。

4.1 過去の調査結果

日本海難防止協会の研究報告書¹²⁾に日本海難防止協会や日本船長協会の行った交通量調査について、船種、総トン数別の通航隻数の記載がある。この調査を基に、500 総トン未満もしくは総トン数不明の船舶は AIS 非搭載船と仮定し、漁船を除いた船舶について AIS 搭載率を求めた結果を表 4.1 に示す。

ここで漁船を除いたのは、福島沖では漁船の通

航が非常に少なくなっており、他の海域について漁船を除くことにより、比較可能なように条件をそろえるためである。

表 4.1 漁船を除いた船舶に対する AIS 搭載船の比率

	AIS 搭載船	AIS 非搭載 船	AIS 搭載率 (%)
釧路・洲崎沖 (1991 年)	645	683	49
神子元島沖 (1994 年)	336	571	37
大王崎沖 (2000 年)	214	475	31
潮岬沖 (1999 年)	305	543	35
日ノ御崎沖 (1995 年)	141	325	30

4.2 データ収集方法

AIS 非搭載船舶の航行状況を把握するために、図 4.1 に示すようなレーダーの信号処理部で処理されたレーダー画像、ARPA のテキストデータと GPS のテキストデータを記録する機能を持つ装置を作成し、実海域においてデータの収録及び解析を行った。

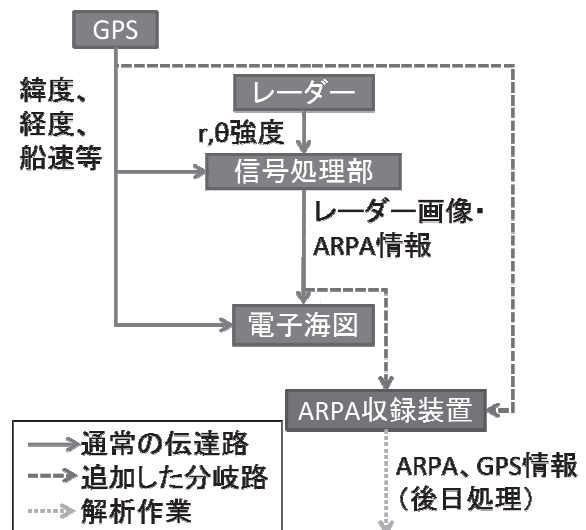


図 4.1 ARPA データ収集のためのデータの流れ

4.3 集計方法

AIS 搭載船と AIS 非搭載船の集計は、特定の瞬間のレーダー画像を用いて、レーダーの

レンジ内に表示されている船舶について、AISの有無、進行方向を集計した。

まず、集計を行う領域の選定について述べる。図-4.2に、3時間ごとの本船位置を×印で示す。これらの本船位置のうち、

- ・図-4.2の破線で示される沿海区域の付近

- ・周辺に他の本船位置がある程度存在するという条件を満たす領域を選定した。このような条件を設定した理由として、港内はAIS非搭載船の把握が困難であり、AIS搭載船の識別が容易であり、現実とは異なる集計値となる一方で、沿海区域を離れると、航行する船舶が少なくなり、レーダー画像の枚数があっても、船舶数が少なく偶然による異常値との識別が困難である。このため、港から離れ、陸岸からは離れすぎない距離として沿海区域の境界付近とした。また、集計する隻数を確保するために、周辺に日時の異なる本船位置があることを条件に課している。

上記の条件を満たす領域として図-4.2において丸で囲んだ領域aとbの2つの領域を選定した。表-4.2に、これらの領域内にプロットされた日時を示す。この日時のレーダー画像からレーダーの表示レンジ内の船舶と思われる輝点についてAISの有無及び進行方向の集計を行った。

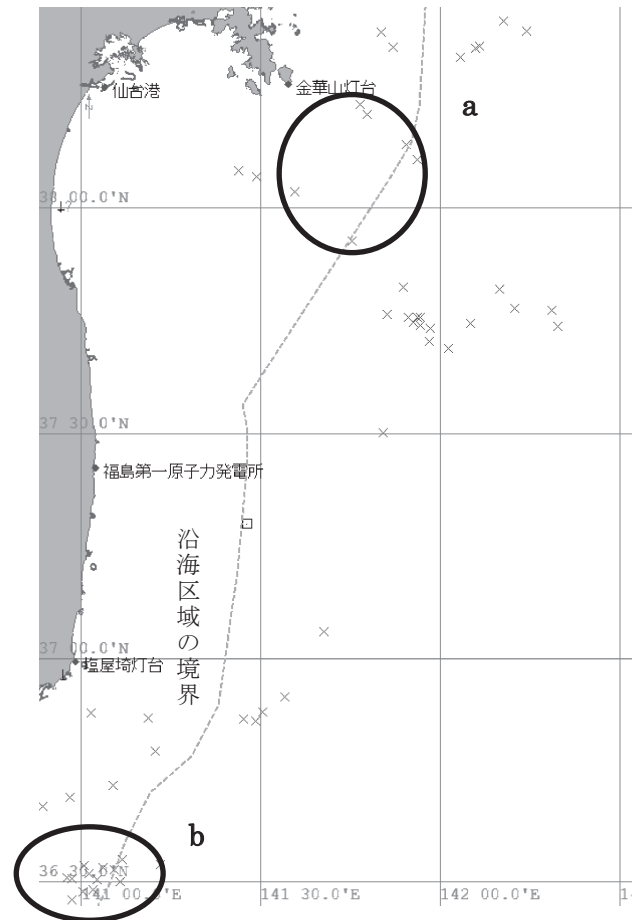


図-4.2 3時間ごとの本船位置

表-4.2 集計に用いた日時

	日付	時刻	レンジ (NM)
領域 a (6 点)	11 月 20 日	12 時	12
	11 月 21 日	3 時	12
		21 時	16
	11 月 22 日	21 時	12
領域 b (13 点)	11 月 23 日	0 時	12
		3 時	12
		6 時	6
		9 時	8
	11 月 14 日	12 時	12
		15 時	12
		6 時	6
		9 時	12
	11 月 15 日	12 時	12
		15 時	12
		18 時	12
	11 月 16 日	6 時	8
		9 時	12
		12 時	12
		15 時	12

4.4 集計結果

表-4.2 に示す日時のレーダー画像の情報を基に、全船舶に対する AIS の搭載率を求めた。本稿では、南北方向の交通量のみを比較対象とした集計結果を表-4.3 に示す。

表-4.3 南北方向に航行する船舶の総数

	AIS 搭載船	AIS 非搭載船	AIS 搭載 率 (%)
領域 a	10	12	45
領域 b	43	68	39

表-4.3 より、領域 a と領域 b について AIS 搭載率はそれぞれ、約 45% と約 39% であった。

レーダーのレンジ内に入った船舶の数自体が多くはないため、AIS 搭載率が同じであるという仮説を有意水準 0.05 で z 検定を行った。

その結果、 $p=0.557$ となり、仮説は棄却されず、両者に有意差なしとなった。従って、両者の AIS 搭載率は同じ範囲にあると判断する。

次に、4.1 節で挙げた交通量調査と本集計結果について、先ほどと同様に z 検定を行った結果を

表 4-4 に示す。

表 4-4 交通量調査と本集計結果の p

	領域 a	領域 b
釧路・洲崎沖	0.772	0.046
神子元島沖	0.420	0.728
大王崎沖	0.152	0.108
潮岬沖	0.361	0.568
日ノ御崎沖	0.132	0.085

表 4-4 より領域 b と釧路・洲崎沖の結果についてのみ、有意水準 0.05 で有意差ありとなった。これについては釧路・洲崎沖の AIS 搭載率が他と大きく異なっていたためと考えられる。

また、単純に AIS 搭載率を比較すると、通航船舶実態調査では、約 31 から約 49%の間である。領域 a と b の結果が範囲内に含まれるが、差が存在する理由として、以下の理由が考えられる。

- ・500 総トン未満の船舶であっても AIS を搭載している船舶の存在。

500 総トン未満の船舶の中には、自主的に AIS を搭載している船舶が存在する。

- ・場所による AIS 搭載船と AIS 非搭載船の割合の差異。

今回比較対象とした通航船舶実態調査は本州の南側の交通であり、本集計を行った東北地方の東側と AIS 搭載率が異なることが考えられる。

領域 a と b について、今回のデータからは、AIS 搭載船舶の約 2.2 倍から約 2.6 倍の船舶が存在する結果となった。

AIS 非搭載船舶は AIS 搭載船舶と航行する領域や分布が異なることも考えられるが、今回の試行では、付近を航行する船舶に協力を得て、対象海域付近を航過する際にデータ取得を行うという方法であったため、使用可能な観測数に限りがあった。そのため、AIS 非搭載船の割合については他の海域と比較して妥当と考えられる結果が得られたものの、これらの船舶の航路の特徴等を把握するには至らなかった。施設付近の航行安全対策を検討するにあたっては、このような船舶を含めた通航位置分布等の把握が望ましく、定点観測等による十分な観測数の確保が必要と考えている。

野島崎周辺の AIS データを用いた遭遇頻度の推定結果⁹⁾によると、野島崎灯台から南へ 25NM ほどの範囲では、陸岸からの距離が離れるに従い、通航する船舶の長さが長くなっていることが示されている。AIS 非搭載船舶については、AIS 搭載船舶に比べ長さが短くなる傾向にあることから、陸岸付近を航行している可能性があり、この点か

らも、観測データの拡充が必要であると考えている。

5. 時間帯別の遭遇頻度

前章までで、これまでに取り組んできた福島沖海域における交通における集中箇所の把握に関連する研究を報告してきた。次に注意を要することは、同じ場所であっても日時により通航の多寡が見られることである。同海域は平均的には交通が極めて多い場所ではないが、一時的な集中の度合い、すなわち、どの程度の通航量がどの程度の頻度で発生しているかを把握しておく必要がある。このようにして、各地点、各時刻の通航量が分かれば、その地点、時刻の遭遇頻度を推定することができる。

来年度以降、福島沖を対象としてこの分析を実施する予定である。その際に使用する分析手法は、既に別の所内重点研究にて開発しており、当該研究の対象海域である千葉県野島崎沖に関する調査に適用した結果がある。

そこで、野島崎沖を例に、AIS データから算出した時間帯別の遭遇頻度の推定について説明する。また、算出した遭遇頻度と同海域における衝突海難の時間帯別発生状況を比較したのでその結果を述べる。

5.1 分析の対象海域

分析対象の海域は、房総半島南端の野島崎灯台周辺となる北緯 34.5 度から 35.0 度、東経 139.5 度から 140.5 度とした。この海域では、房総半島の南側を東西に通航する船舶が多く見られることから、東西方向の交通を検出が出来るよう、仮想ゲートは南北 2 点で定義し、東西方向に 61、南北方向に 30 の仮想ゲートを設置した。各仮想ゲートの長さ（南北方向）は約 1849 メートル、東西方向に隣り合う仮想ゲートの間隔は約 1521 から 1530 メートルとなった。海域と設置した仮想ゲートを図-5.1 に示す。収集した AIS データから仮想ゲートを通過した船舶に対し、通過時刻、船速、通航方向の集計と分析を行った。また、対象期間は 2012 年 8 月 1 日から 10 月 31 日の 92 日間とした。

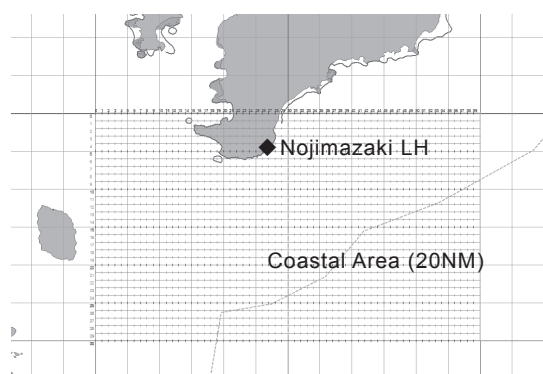


図-5.1 対象海域のゲート配置

5.2 交通量の時間的変動

ゲート全体における一時間毎の西航、東航、合計を図-5.2に示す。船舶がゲートを通過する度に1隻とカウントするため、結果は延べ隻数となる。西航は2時台に、東航と合計のピークは2時台と20時台にあることがわかった。

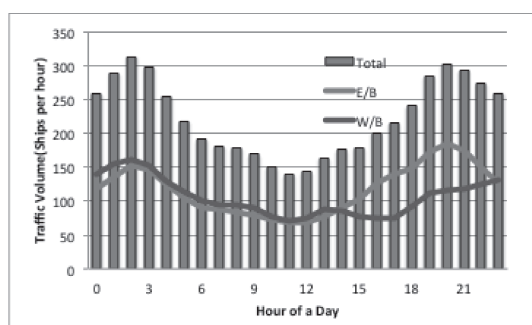


図-5.2 野島埼周辺の時間帯別の通航量

本調査対象の海域は東京湾に隣接しており、全てではないが、その多くは東京湾に出入湾すると考え、既存の調査結果との比較を行った。東京湾口における2008年7月のAIS搭載船の通航量調査によると、入湾船舶は4時台に、出湾船舶は18時台にピークが見られるとの報告がある¹⁾。本調査海域から東京湾に入湾する船舶は西航、東京湾から出湾する船舶は東航と考えられるため、東京湾に入湾ピークが見られる4時台の2時間前の2時台に西航のピークが見られ、出湾ピークが見られる18時の2時間後の20時台に東航ピークが見られるため、本調査結果は既存調査結果との整合性がとられているものと考えられる。

5.3 遭遇頻度の時間による変化

ゲート毎に反航船の遭遇頻度を算出することにする^{3)、4)}。今回は時間毎の遭遇頻度を式(5.1)、(5.2)から求める。

$$Ngh(t) = \rho_{1(t)} \rho_{2(t)} \cdot 1/2(L_{1(t)} + L_{2(t)}) \cdot (V_{1(t)} + V_{2(t)}) \cdot A \cdot B \quad (5.1)$$

$$\rho(t) = Q(t) / (V(t) \cdot B) \quad (5.2)$$

Ngh : 遭遇頻度、 ρ : 方向別の船舶の密度、 L : 方向別の船の平均長さ、 V : 方向別の平均速力、 A : 海域の長さ、 B : 海域の幅、 Q : 方向別通航数、添字1、2は東航、西航それぞれの方向、添字 t は t 時台

図-5.3に時間毎の各ゲートの遭遇頻度の総和、通航総船舶数に加え、解析対象海域における衝突事故発生件数を示す。衝突事故は海難審判裁決録より平成元年から20年にかけて商船同士で発生した主要なものをを用いた。遭遇頻度は通航量と概ね比例関係になっているが、通航量のピークを示す2時台と20時台では大きな違いがみられた。そこで、2時台と20時台における各ゲートにおける遭遇頻度について、図-5.4に示す。20時台の遭遇頻度は2時台に比べて高い部分が多い事がわかるが、これは、2時台はある程度幅をもって通航しているが、20時台はより狭い幅に通航が集中していると考えられる。

一方、衝突事故の発生傾向であるが、約20年の間に調査対象海域内で生じた商船同士の衝突事故は17件と少ないが、夜間、特に交通量や遭遇頻度が高いところで発生している傾向がみられた。特に遭遇頻度が一番高い20時台では4件の衝突事故が発生している。

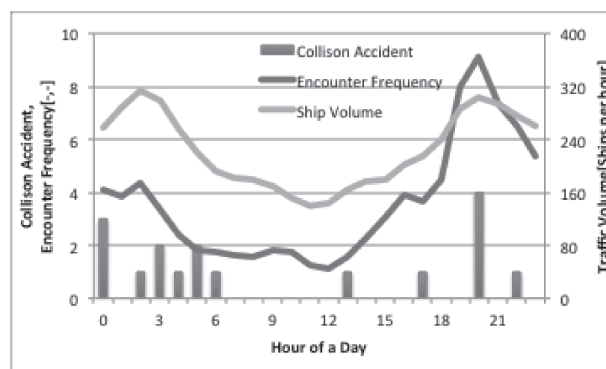


図-5.3 時間帯別の交通量、遭遇頻度、衝突事故の件数

なお、本稿ではAIS非搭載船等の通航は考慮されていないため、実際の交通流との相違も考えられる。また、衝突事故に比べて発生件数が多いと思われる、衝突の危機を感じる異常接近事例の発生と遭遇頻度の関係も今後は調べる事としたい¹⁾。

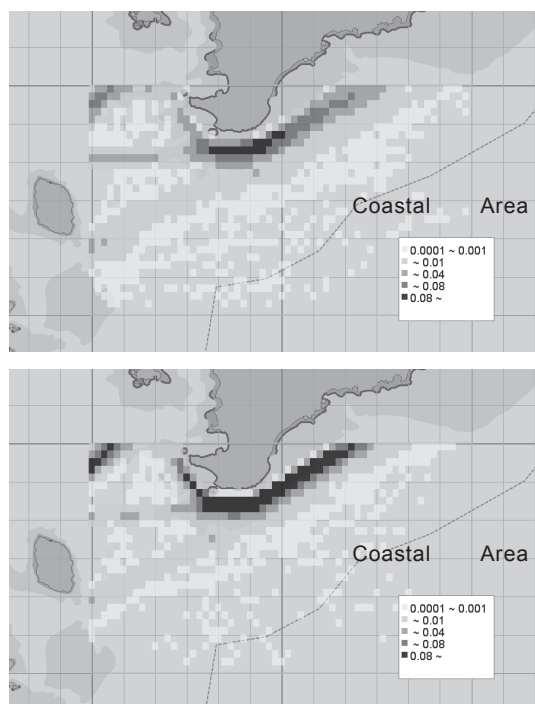


図-5.4 ゲートごとの遭遇頻度
(上：2 時台，下：20 時台)

6. まとめ

本稿では、交通への影響の評価指標として対向する船舶の遭遇頻度を対象に、データ収集と、時間帯別の衝突発生件数との関係の調査を行った。

まず、福島第一原子力発電所付近の警戒区域の変更に伴う、交通量の変化を調査した。AISデータの解析より、対象海域では、最短経路を航行し、分布は陸側に偏ることが分かった。AISでは装置を搭載していない小型の船舶の動向はわからないため、レーダーデータを取得・解析した。今回のデータでは、AIS搭載船舶は全体の約39%から約45%の隻数を占め、AIS搭載船舶の2.2倍から2.6倍程度の船舶が存在すると結果となった。しかし、標本数が少ないため更なる調査が必要である。

次に、時間帯別の衝突発生件数との関係の調査に当たり、AISを用いて、野島崎灯台付近の時間帯別の遭遇頻度の計算を行った。遭遇頻度は概ね通航量と比例して変動していたが、解析対象内全体の通航量が同一でも、船舶の航行がより狭い幅に集中する時間帯もあり、そういった場合には遭遇頻度が高くなる傾向がみられた。過去20年に起きた商

船同士の主要な衝突事故は17件あり、夜間、特に交通量や遭遇頻度が高い時間帯で発生している傾向がみられた。

謝 辞

本研究は、東京大学からの委託業務「浮体式洋上ウィンドファーム実証研究事業に係る航行安全性の評価」の成果の一部を含むものです。

データの収録に関してご協力いただきました東北区水産研究所、若鷹丸ならびに関係者の皆様に感謝いたします。

参考文献

- 1) 日本海難防止協会：準幅輻海域における航行安全確保に関する調査報告書、2011
- 2) 日本海難防止協会：幅輻海域における船舶交通規制緩和に関する調査研究報告書、2004
- 3) Yahei Fujii, Hiroyuki Yamanouchi, Takayuki Matui: Survey on vessel traffic management systems and brief introduction to marine traffic studies, Electronic Navigation Research Institute Papers No.45, 1984.
- 4) 松井孝幸、藤井弥平、山内宏之：海上交通事故の研究－VII.一横切りの衝突確率について－、日本航海学会論文集 69 号、1983、pp.177-180.
- 5) Hiroko Itoh, Eiko Ishimura, Yuichiro Yanagi, and Yuji Mori : Cognitive Model of Maritime Navigation and Its Use for Collision Accident Analysis, 2012 Fifth International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology, pp.93-99
- 6) 伊藤博子、石村恵以子、工藤潤一、森有司：AIS情報を用いた沿海海域における船舶の遭遇頻度の推定、日本船舶海洋工学会講演論文集、第16号、2013、pp.309-312.
- 7) 藤井弥平、渡辺健次、田中健一、山田一成、宮城紘子：制限水路の船舶の基本航行容量について(A-1)：(そのI) 小型船の閉塞領域の調査、船舶技術研究所報告 3(2)、pp.43-58、1966
- 8) 東洋信号通信社：AISについて、http://www.toyoshingo.co.jp/site/portal/service/shipinfo/service/about_ais.html
- 9) 平成24年3月30日付 南相馬市長宛 総理指示
- 10) 平成24年7月31日付 富岡町長、大熊町長、双葉町長、浪江町長宛 総理指示
- 11) 気象庁：日々の天気、

- <http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/index.html>
- 12) 日本海難防止協会：準輻輳海域における航行安全確保に関する調査報告書、2009
- 13) 工藤潤一、伊藤博子、西崎ちひろ、森有司：AIS 及び ARPA を用いた海上交通流の取得手法、日本船舶海洋工学会講演論文集、第 16 号、2013、pp.305-308
- 14) 石村恵以子、伊藤博子、工藤潤一、森有司：AIS 情報を用いた沿海海域における船舶の遭遇頻度の推定 第 2 報 時間による遭遇頻度の変化、日本船舶海洋工学会講演論文集、第 17 号 (2013)、pp.173-174.
- 15) 柳裕一郎、伊藤博子、石村恵以子、森有司：レーダー記録と AIS データを用いた重大衝突事故解析、日本船舶海洋工学会講演論文集、第 13 号、2011、pp.195-198.
- 16) 伊藤博子、吉村健志、瀧本忠教：環境条件による衝突海難の類型化に関する研究、日本船舶海洋工学会講演論文集、第 11 号、2010、pp.197-200.
- 17) 伊藤博子、柳裕一郎、石村恵以子、森有司：認知プロセス分析にもとづく準輻輳海域における衝突海難防止対策の検討、日本船舶海洋工学会講演論文集、第 13 号、2011、pp.189-192.
- 18) 瀬田広明、鈴木治、鈴木秀司、天野宏：AIS と ARPA 情報を併用した海上交通観測手法の開発、日本航海学会論文集、119 号、2008、pp.27-33.