

# 自動化航行に向けた洋上での落雷観測の試み

山谷 尚弘\*, 池野 一成\*\*,  
山吹 巧一\*\*\*, 池田 陽紀\*\*\*\*,  
高橋 淳\*\*\*\*\*, 中西 優太\*\*\*\*\*

## Attempt to observe lightning strikes on the ocean for automated navigation

YAMATANI Naohiro\*,  
IKENO Kazunari\*\*,  
YAMABUKI Koichi\*\*\*,  
IKEDA Yoki\*\*\*\*,  
TAKAHASHI Jun\*\*\*\*\*,  
NAKANISHI Yuta\*\*\*\*\*

Autonomous navigation of ships has reached a practical level. Collisions caused by human error are at a level that AI technology can sufficiently handle based on past accident examples. However, it has not reached the level of judgment of experienced workers with knowledge and experience in ensuring safety due to weather and sea conditions. The background to this is that little research has been conducted on how weather and sea conditions affect autonomous navigation of ships. Many people perceive it to be safe on ships, especially since there have been no reports of damage from lightning strikes. Research was conducted on safety during lightning strikes to ensure safety for automated navigation.

キーワード: 自動化航行, 落雷, 冬季雷, フェリー観測, 洋上風力発電, 船体アース

### 1. 緒言

船舶の無人化運航は、主に衝突回避や働き方改革として船員労働の環境改善を目的に進められている。現在、無人化航行試験が積極的におこなわれ、夜間の無人出港から着岸まで成功するなど実験段階を終え、営業航海へ移行できる状態にまでなっている。しかしながら、気象や海象の変化には対応することは難

しく、未だ乗組員の経験による判断が重要とされている部分も多くこの感覚をどのように安全に反映するかが課題となっている。ヒューマンエラーに対する安全技術の開発が進められているもの、事故に至らない故障などの解析はほとんどおこなわれていないのが現状である。自動化に向けた法的な整備の中で議論される安全性については、操船が主な内容となっており、出港条件等は、風、波、視界で判断されその気象条件に雨、雪、雷を考慮することはない。

しかし、今後の洋上風力発電容量の急速拡大に先駆けその落雷対策<sup>(1)</sup>が積極的におこなわれている。その背景には、わが国における多くの陸上風車の翼先端に着雷が生じ、甚大な被害が報告されていることに起因する<sup>(2)</sup>。特に冬季雷発生地域での対策は急務であり、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「着床式洋上ウィンドファーム開発支援事業(洋上風力発電設備にかかる落雷リスク)」を始めと

\* 練習船若潮丸

e-mail: yamatani@nc-toyama.ac.jp

\*\* 練習船若潮丸

e-mail: ikeno5176@nc-toyama.ac.jp

\*\*\* 和歌山工業高等専門学校

e-mail: yamab@wakayama.kosen.ac.jp

\*\*\*\* 奈良工業高等専門学校

e-mail: yiked@nara.kosen.ac.jp

\*\*\*\*\* 練習船若潮丸

e-mail: jtakahashi@nc-toyama.ac.jp

\*\*\*\*\* 海事システム専攻

e-mail: ms2230002@toyama.kosen.ac.jp

して、各関係機関が研究をおこなっている。

洋上を航行する船舶には、避雷針を設けることは少なく、造船所側も船舶に落雷しても大きな影響がないものと経験上判断していることが調査においてわかった。日本近海を航行する船舶会社 10 社に調査をおこなったところ、落雷があったと回答した船社が 4 社あり、航行エリアは違うものの気象条件が類似していることもわかった。調査結果より、洋上においては船舶にも同様の対策が必要であるものと考えられる。

本研究では、定期航路での洋上落雷観測をおこない船体着雷時の雷撃について、観測方法の構築をおこなったので報告する。

## 2. 研究背景

船体、マスト共に木製の帆船が主流であった時代には、船体の高さから洋上における落雷被害が多く報告されていた。木製のため、高インピーダンスの船体に着雷した場合、被害が大きくなる。1799-1815 年の 16 年間<sup>3)</sup>において、150 隻の船舶が落雷被害を受けた。そのうち 10 隻は、完全破壊、1 隻が火災を起こし死者 70 人の悲惨な事故があったことを英国海軍が報告している。鋼船の場合は低インピーダンスのため、木造船に比べて被害は小さいが、近年、制御系はネットワーク化され、着雷時、船体に流れる誘導電流により通信系統に異常をきたす恐れがある。高さ 20 メートルを超える陸上構造物では建築基準法に基づき避雷針等の雷保護システムの設置を義務化しているが、避雷針を経由した電流がビル内の鉄骨や鉄筋に誘導電流を発生させ通信障害を起こす事例も報告されている。船舶においては、小型船舶(ヨット)に避雷針を設ける基準がある。船舶における落雷被害が 1900 年頃を境に減少している背景には、船体が木造から鋼鉄へ変わったことが大きいものと考えられる。導通の良い鋼鉄では着雷と同時に海中に接地することが被害を軽減しているものと考えられる。しかしながら、最近あるテレビ番組で船舶に着雷し、火災が発生し沈没した再現ドラマが放送された。経験による認識を疑う番組であった。近年、タンカーは沈まないという噂も日本海側で沈没事故が発生するなど過去の経験による憶測は危険で

あることが明らかとなった。

近年、環境負荷低減対策として、洋上風力発電施設に注目が集められている。日本海側に多くの発電施設が検討されており、昨年末、秋田県が商用運転を開始したことは記憶に新しい。しかし、洋上風力の先進であるヨーロッパでは、発電翼に着雷する問題が浮上している。翼に着雷し火災まで発生している。洋上構造物である風力発電施設と船舶は同じ海上エリアに存在していることから、同様の被害も想定される。洋上風力発電施設も安全とする認識から運営開始に漕ぎつけているが、運営後に問題点も多く、対策が急務となっている。3章以降では、船舶における落雷調査および洋上での雷撃観測に向けた試みについて考察した。

## 3. 船舶における落雷調査

まず、落雷被害を把握するため、船舶運航会社、造船所へ聞き取り調査をおこなった。聞き取り内容については以下の通りである。

大型商船を運航する 10 社(外航 内航)の甲板部職員を対象に、「航海中、停泊中に落雷を経験したことがあるか」聞き取り調査をおこない以下の回答結果を得た。

- ・LNG 輸送タンカーのタンクレベルセンサー破損
- ・帆船のマストに着雷(損傷なし)
- ・着雷したが場所の特定ができなかった。

つぎに、造船所 3 社設計担当者に「避雷針の設置はどのようにおこなっているのか」聞き取り調査をおこない以下の回答を得た。

- ・避雷針を装備したことがない。
- ・船体を通過するため、船主側からオーダーがない限り設置しない。

聞き取り調査から船舶に着雷することは確認できたが大きな被害に遭遇した者はいなかった。また、造船関係者の認識も低い状況にあった。この調査結果から、海事関係者の一般的な認識は、「落雷」について検討する必要がないものと考えていることがわかった。しかしながら、実際に被害がないのかを船舶電装系統の修理をおこなう企業を対象に聞き取りした結

果は前述の回答とは異なったものであった。富山県、石川県エリアにおいて、船体着雷により年間数件の修理がおこなわれていることがわかった。修理業者からは、同一地域での依頼が多いと回答があった。令和4年度卒業研究において、落雷について調査した結果、この地域では冬季雷を雷として認識する者が多く、被害と冬季雷の関係性については興味深い結果となった。特に多い修理としては、無線設備の破損であった。このケースでは、雷電流はアンテナを経由<sup>(4)(5)</sup>し破損に至り、電源系統まで損傷していることがほとんどであった。着雷による影響は、船体の高い部分を経由することが多いことから、船橋付近に設置される無線設備の破損が多いことがわかった。船舶にとっては、緊急時の通信手段を失う大きな損害となる。

日本近海にて運航する船社 10 社を対象に落雷についてアンケート調査をおこなった。4 社から船体に着雷した経験があるとの報告を受けた。そのほかの船社からは、海面に落雷する光景は見かけるものの船舶への着雷はなかったと報告を受けた。着雷があった航路は、日本海側および太平洋側を航行する船社のものであった。図 1 に航路を示す。

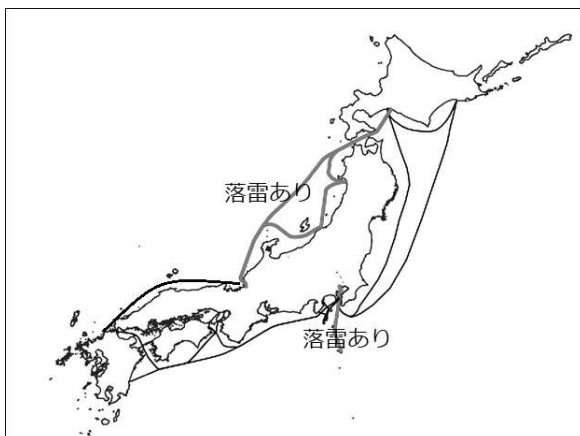


図 1 日本近海における落雷調査結果

同一航路ではなかったものの、過去の気象データから二つの航路には共通するものがあることがわかった。日本海側は、冬季雷エリアでも有名であるので容易に理解できたが、該当の太平洋側の一部の航路付近も、冬季雷に近い上向き雷が発生しやすいエリアであることがわかった。この冬季雷エリアでは、比較的低

い高さから大きなエネルギーが発生することから船舶においても着雷確率が高いものと考えられる。

つぎに、航行する船舶では、気象情報を各関係機関へ発信している。この重要な記録が記載されているものが航海日誌である。気象記録の確認として航海日誌に記載される事項について調査をおこなった。新日本海フェリー株式会社の協力を得て、落雷情報が多くあった日本海側を航行する全船舶を対象に就航からの航海日誌調査を実施した。対象とした船舶は新日本海フェリーが運航する 8 隻である。対象船舶は、以下の通りである。

- ・「らいらつく」2002 年 4 月就航，総トン数 18,229 トン
- ・「ゆうかり」2003 年 3 月就航，総トン数 18,229 トン
- ・「はまなす」2004 年 7 月就航，総トン数 16,810 トン
- ・「あかしあ」2004 年 7 月就航，総トン数 16,810 トン
- ・「すいせん」2012 年 6 月就航，総トン数 17,382 トン
- ・「すずらん」2012 年 7 月就航，総トン数 17,400 トン
- ・「らべんだあ」2017 年 3 月就航，総トン数 14,125 トン
- ・「あざれあ」2017 年 6 月就航，総トン数 14,125 トン

調査方法は、入港中の船舶に訪船し気象、海象が記載されるページを目視により確認した。今回の調査では、「ゆうかり」、「あかしあ」に雷(Thunder)と記載があった。図 2 に航海日誌の記載を示す。

時刻 Hour	当直 Watch	速力 Knot	針 Course			風 (Winds) 方向 Direction 力 Force		天候 Weather	気圧 Barometre	温 Temperature	
			T.Co.	G.Co.	M.Co.					大 Air	海 Sea
1				030	030						
2	3	7.2				SW	3	t	1014	18°	
3	4	7.2	030	030	030						
4		7.2	110	110	110						
5		7.2	110	110	110						

図 2 航海日誌「t(Thunder)の記載」

就航から一番長い年月を運航する「ゆうかり」は、2002 年より就航しており、20 年間でこの 1 件の記載のみであった。航海士より記載について聞き取りをおこなったところ、積極的に雷と記載する必要性の認識はほとんどないとのことであり、気象、海象は当直交代の

15分ほど前に決定することから長時間雷が持続しない限り雷と記載することはないと回答があった。

図3に9月2-3日の天気図を示す。記載記録は、北海道小樽港入港時に発生した雷であった。9月3日の気象は、低気圧が北海道西側付近にあり、積乱雲が発達し雷雨が発生したものと考えられる。雷雨に遭遇することは少なくないようであるが、実際に航海日誌に記録が残ることは少ないものと考えられる。

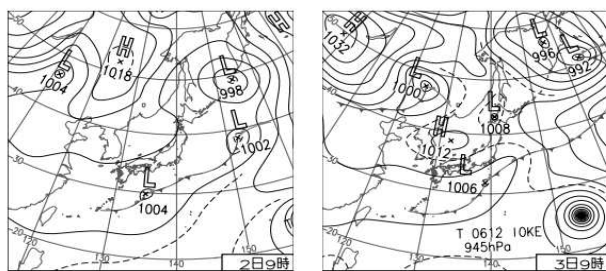


図3 2006年9月2-3日の天気図

#### 4. 洋上での雷撃観測の試み

##### 4.1 船舶搭載試験

船舶を用いた洋上での観測は、他に例がなく本研究では、富山高等専門学校が所有する練習船「若潮丸」を用い洋上観測に適しているのかを検証した。表1に練習船の概要を示す。

観測装置は、着雷時の電流を測定するセンサーとしてログウスキーコイルを用いた。船体の一番高いところに設置し記録装置に記録した。設置概要および状況を図4に示す。

表1 練習船「若潮丸」概要

Length over all	Breadth	Gross tonnage	Speed	Main engine
53.59(m)	10.00(m)	231(ton)	14.13(knot)	956(kw)

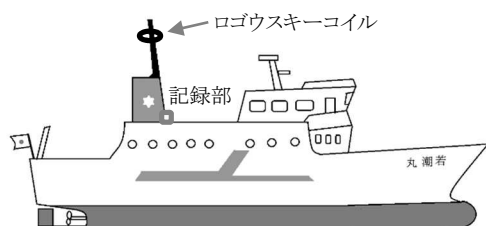


図4 観測装置設置概要

センサーと記録部は同軸ケーブルにて通信されている。センサー部であるログウスキーコイルの固定には耐候性の高いものを使用した。使用温度範囲は、低温時使用も考慮し-40℃～+85℃のものを用いた。また記録部には、耐候性を考慮し、陸上仮設工事配電盤に使用されるポリカーボネート製電源ボックスを使用した。設置期間は3か月とし、2021年8-10月の期間で測定および耐久試験をおこなった。期間内に台風通過など気象条件は厳しい状況であったが設置に問題はなかった。また、レーダーなどの高出力の電波による誤作動も確認できなかった。調査、運用に問題ないことを確認した。

##### 4.2 日本海側を運航する船舶への搭載

「フェリー観測」と呼ばれる船舶を用いたデータの取得法については、海象・大気観測の分野において複数の報告事例がある。しかしながら、洋上における雷パラメータ(雷電流、雷電荷等)の観測事例は国内外問わず報告されておらず、著者らの取組<sup>(6)</sup>がほぼ唯一のようである。今回の調査では、日本海側を航行し複数の航路を有する新日本海フェリー株式会社の船舶に観測装置の搭載をお願いした。

航路選定にあたり、日本海を航行する場合、日本列島は弓状の形状を有しており、関西圏から北海道を結ぶ場合、沖合を通る航路が利用される。新潟より北海道を結ぶ航路では、陸寄りの航路となり比較的陸に近いものとなる。航路比較をおこなうため、2021年10月には、敦賀-新潟-秋田-苫小牧航路を運航する「ゆうかり」へ設置し観測を開始した。2022年1月には、敦賀-苫小牧航路「すいせん」に設置し観測をおこなった。どちらの航路も北海道苫小牧へ入港することから最低気温-20℃以下での作動保証が必要となった。図5に「すいせん」の設置状況を示す。練習船「若潮丸」ではセンサー部を煙突上部に設置したが、ゆうかりを含め同社の船舶には船橋上部に避雷針が設置されている。造船所へ確認したところ、冬季雷地域への配慮により設置したとのことであった。



図5 「すいせん」設置状況

この避雷針を取り巻くような形でログウスキーコイルを固定し、その横に記録部を設置した。バッテリーは低温での性能低下を防ぐため、保温材を巻き固定した。2021-2022年冬季雷観測は、「ゆうかり」2021年10月28日～2022年6月4日、「すいせん」2022年1月27日～2022年7月20日の期間でおこなった。夏季においては、観測装置のメンテナンスをおこなうために一時的に撤去している。2022-2023年冬季雷観測は、運航スケジュールの関係で船舶を同一航路「ゆうかり」→「らいらっく」へ変更し、2022年11月21日より開始した。また、「すいせん」→「はまなす」へ変更し2022年11月24日より2航路にて観測を継続している。

## 5. 結論および今後の展望

本研究では、船舶の落雷対策として、運航中に生じる落雷被害の調査および船舶を用いた洋上観測により得られた知見より次の結論を得た。

- (1) 落雷による被害は少ないものの発生していることがわかった。認識の低さを改善することで、今後普及が進む自動化航行船の安全確保が担保される。
- (2) 洋上観測には、協力いただける船社が必要である。現在、5商船系高等専門学校で検討している研究ネットワーク形成の構築をしっかりとおこない、教育機関から船舶運航会社へネットワークを広げ、安全

への研究促進をおこない将来の海運業界の発展へ貢献することを目標とする。

- (3) 現在の洋上観測では、データ回収を人力でおこなっているが、情報を通信にて取得する方法を検討し、商船より発信、回収ができるシステム運用を構築し、研究や安全技術向上に貢献したい。

## 6. 謝辞

本研究をまとめるにあたり、洋上での観測にご協力頂いた新日本海フェリー海上職員みなさまに感謝の意を表します。

## 7. 引用文献

- (1) 電力技術研究所, 電力ネットワークG送変電T, 「風力発電設備の耐雷性能向上」技術開発ニュースNo.143, 2011.
- (2) 電気学会技術報告「風力発電設備の耐電健全性維持と稼働率向上のための最新技術の動向」, 2020.
- (3) 船舶での落雷対策, 落雷抑制システムズ <https://www.rakurai-yokusei.jp/shippadd1.pdf>, 2013.
- (4) 山吹巧一, 池田陽紀, 長岡直人, 「小型船舶の雷被害調査およびアンテナから侵入する雷サージの検討」, 電気学会, HV-13-13, 2013.
- (5) 新田和弘, 開川信一郎, 池田陽紀, 山吹巧一, 長岡直人, 「小型船舶における雷電流伝搬様相の光学観測」, 電気関係学会関西連合大会講演論文集, 2013.
- (6) 山吹巧一, 山谷尚弘, 夏野大輔, 西沢良史, 「洋上構造物への電撃頻度推定のための船上雷観測の試み」, 電気学会, FTE22003, PE22086, HV22063, 2022.