

水産資源保護に向けた密漁防止策に関する実証検証事業  
委託業務（令和6年度）  
－ 最終報告書 －

2025年2月21日



# 目次

## 第1章 序章（はじめに）

---

## 第2章 地域における課題・問題点について

---

## 第3章 調査研究の取組概要

---

- 第1節 調査研究の内容
- 第2節 調査研究の調査方法
- 第3節 調査研究の調査事項

## 第4章 調査研究の結果

---

- 第1節 検証結果確認（6月実施）
- 第2節 検証結果確認（8月実施）
- 第3節 検証結果確認（12月実施）

## 第5章 全体を通じての考察

---

- 第1節 研究結果のまとめ
- 第2節 今後の課題と展望

# 第1章 序章（はじめに）

## 第1章 序章（はじめに）

# 北海道市町村振興協会が拠出する「先駆的調査・実証プロジェクト推進事業」の助成金をもとに、ひやま漁協、北海道大学のご指導、ご協力を以って水産資源保護事業を実施する。

- 近年、乙部町では、主力産業である水産業について、これまでの獲る漁業だけでなく、育てる漁業にも注力している。そのような取組下において、阻害要因となる密漁被害が目に見えて余るものとなってきた。水産資源保護及び産業振興の観点から対策実施は急務の課題である。なお、対策にはコストや手間をできるだけかけないことも要件として求められる。これらの条件のもと対策実現方法の構築を目指す
- 「水産資源保護に向けた密漁防止策に関する実証検証事業委託業務（令和5年度）」（以下、「本事業」という。）は、公益財団法人北海道市町村振興協会が拠出する令和5、6年度「先駆的調査・実証プロジェクト推進事業」の助成金をもとに、乙部町が水産資源保護及び産業振興に向け実施する。
- 本書では、地域における課題・問題点、調査研究の取組概要、全体を通じた考察を記す。
- 本事業は、乙部町から、株式会社野村総合研究所（以下、「NRI」という。）が受託、一部業務を北海道大学へ再委託して実施する。乙部町は産業課水産係が、NRIはシステムコンサルティング事業本部が担当する。
- 本事業は、令和2年7月1日に締結した「北海道大学・野村総合研究所 スマートシティ推進に関する連携協定」をもとに、同年7月9日に乙部町、北海道大学、鹿島建設、NRIが参加して設立した「乙部町スマート化推進協議会」（以下、「協議会」という。）をベースに実施体制を構築する。
- 本事業は、ひやま漁業協同組合及び、北海道大学（大学院理学研究院地球惑星科学部門宇宙惑星科学分野）高橋幸弘教授及び同研究室、山田澤明教授のご指導、ご協力のもと、上記協議会にて、これまで、乙部海域で実施されてきたナマコの密漁防止策の検討結果を踏まえ、実施するもの。同方面の方々には、引き続き、ご指導、ご協力をいただきながら実施する。
- 本事業は、乙部町沿岸部、乙部海域をフィールドとして、北海道大学大学院理学研究院、野村総合研究所にて実証検証を実施する。

## 第2章 地域における課題・問題点について

乙部地域で、漁業の新たな収益源となりつつあるナマコの密漁が増加し、多大な被害を受けていることから、密漁を即時発見し、防止することが課題となっている。

### 【背景と課題（現状）】

乙部地域において、主力産業である漁業について、これまでスケトウダラなどの獲る漁業が事業の中心であった。しかしながら、ここ数年、気候温暖化等など自然環境の変化により、漁獲量が安定しないこと、さらに、同産業のさらなる発展なども踏まえ、獲る漁業に加えて、育てる漁業にも注力がされ、ナマコの増殖が、新たな事業として行われなわれてきた。

昨今、その品質が高く評価され、市場でも高価での取引が行われるようになり、新たな収益源となってきている。

一方で、ナマコの密漁が増加し、多大な被害を受けている。今では漁獲量の半分程度の被害を受けているのではないかとの懸念も持たれている。

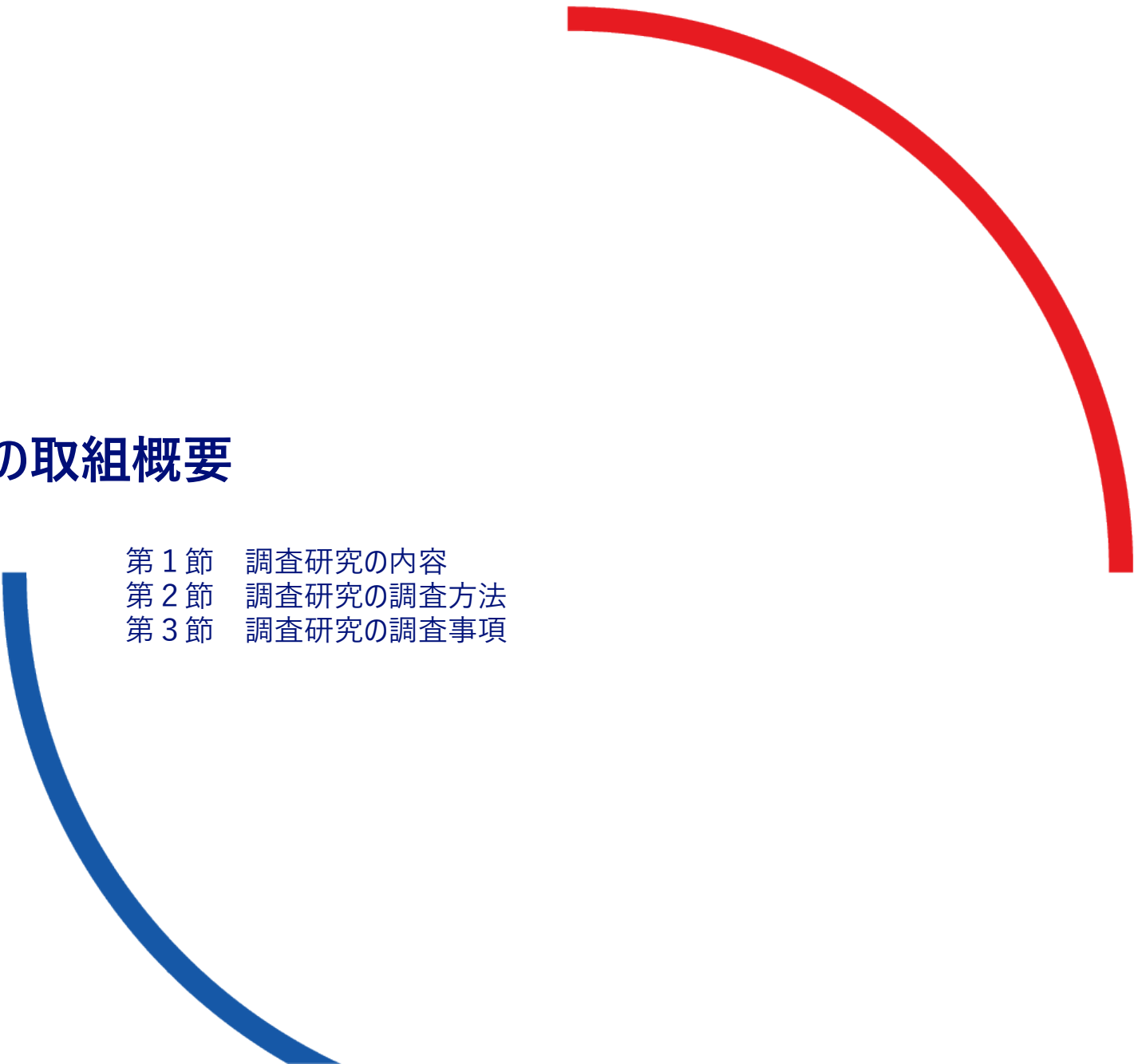
密漁は、漁業関係者が発見しがたい深夜に視界のとどかないところで、ボートをだして行われることが対応策の実施を困難にしている一因と考えられる。

よって、密漁を即時発見し、密漁を防止することが課題である。

### 【目的と効果（取組後）】

本事業の目的は以下のとおり。

- ① 密漁の監視：密漁者を監視し、摘発が可能になれば、漁獲量の増加、育てる事業の期待収量の確実な確保につながる。
- ② 密漁の抑止：密漁者の摘発により、密漁行為の抑止につながる。



## 第3章 調査研究の取組概要

- 第1節 調査研究の内容
- 第2節 調査研究の調査方法
- 第3節 調査研究の調査事項

## 第3章 調査研究の取組概要

---

- 第1節 調査研究の内容
- 第2節 調査研究の調査方法
- 第3節 調査研究の調査事項

乙部地域で密漁船のエンジン音から出る振動について、デジタル技術を活用し、低コストかつ効率的に検知することで、漁場の状況分析、監視を行うための実証事業。

**【取組内容（令和5，6年度）】**

乙部沖のナマコの増殖海域(沿岸から沖合最大2 KM程度までの範囲) で密漁船のエンジンの音を陸地から計測し、特徴的な周波数を、スペクトル解析などを行うことで、風波など他の音と区別し、音源である船舶の位置を推定するとともに、陸上にいる監視者に即時に通知する手法を確立する。

※R5年度は密漁船の方向、R6年度は位置の特定の方策検討・フィジビリティ検証を実施する予定。

**【取組後の展開（期待）】**

本事業の効果を検証できれば以下の展開が可能。

- ① 事業の先駆性：密漁検知システムを、従来の手法と比べて、24時間365日陸地で稼働する仕組みを低コストかつ効率的に構築が可能。
- ② 他の地域への適用：本取組が適する類似地域は、道内沿岸部に多数存在し、それらの地域へ横展開が可能。
- ③ 他の測定案件への適用：周波数データのスペクトル収取、解析は、他の測定案件への適用も可能。

### 第3章 第1節 調査研究の内容＞取組イメージ

昨今横行している、なまこなど高級魚種の密漁を防止するため、高度なセンサー技術、通信技術を活用し、沿岸漁場で航行する密漁船を陸地に設置する集音装置から検知する。

国内各所へ展開

道内各所へ展開

乙部町

沿岸から沖合  
2 KM程度までを監視



密漁

密漁船のエンジン音  
周波数分析

野村総研・北大の主な役割

- 密漁検知システムの構築・効果検証
- 他地域への横展開の可能性の模索

海洋気象ブイの画像の出典：

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E6%B5%B7%E6%B4%8B%E6%B0%97%E8%B1%A1%E3%83%96%E3%82%A4>

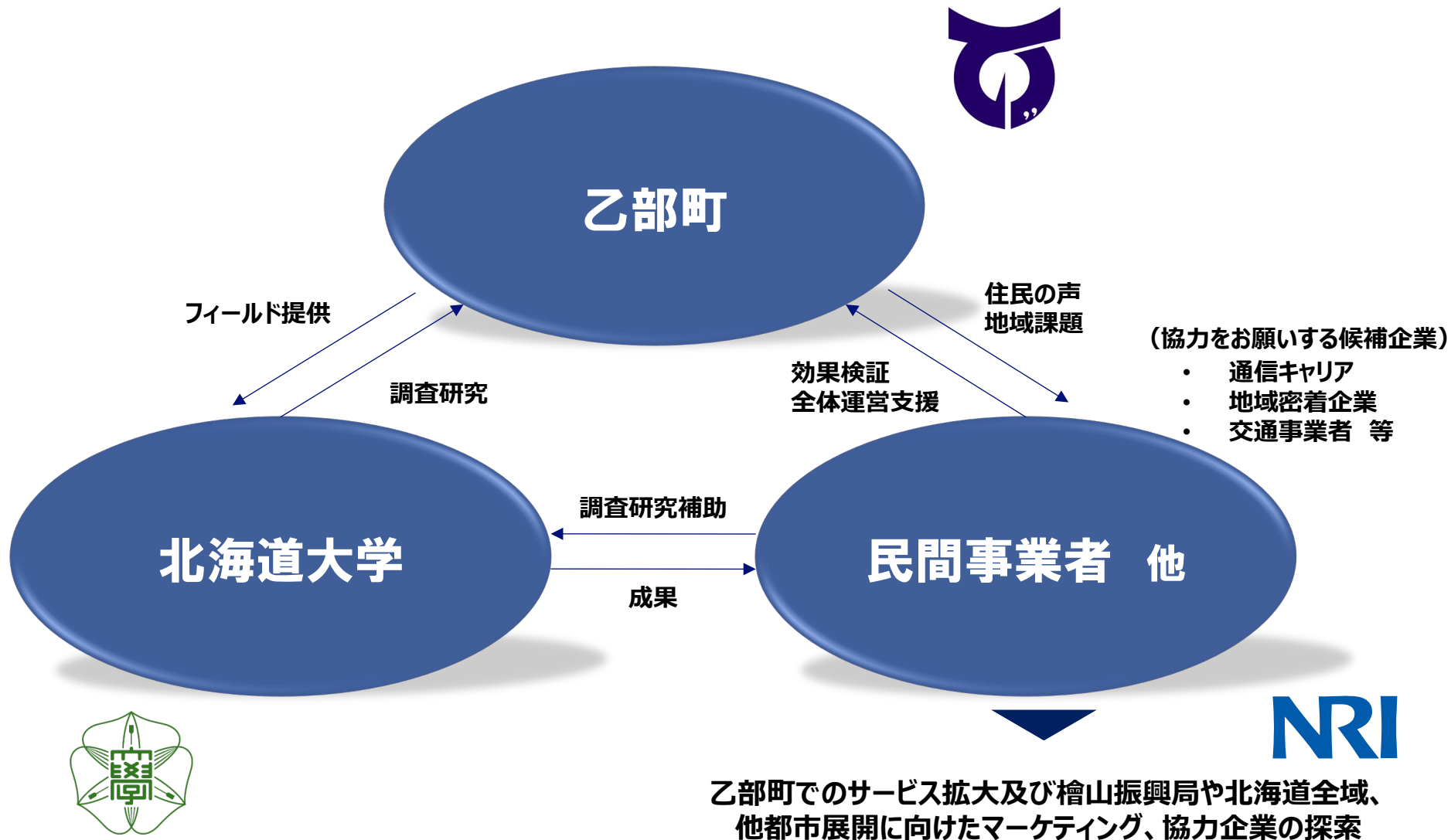
※ 地図及び写真は、乙部町HPより

## 第3章 調査研究の取組概要

---

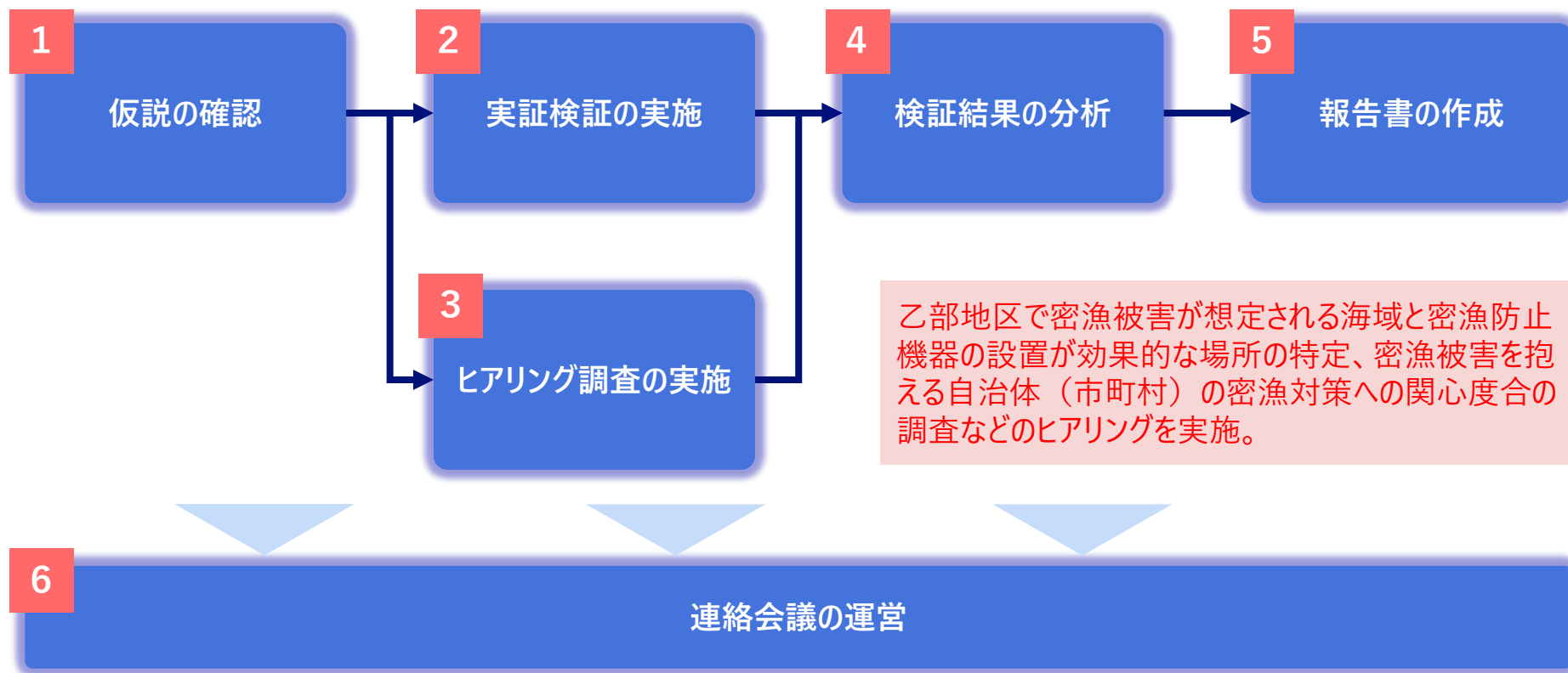
- 第1節 調査研究の内容
- 第2節 調査研究の調査方法
- 第3節 調査研究の調査事項

実証検証をすすめる上で、NRI、乙部町、北海道大学の産官学が一体となり、NRIが課題抽出、乙部町がフィールド提供、北海道大学が調査研究を主に担当する。



密漁船検知に資する技術（仮説）に関する実証検証を実施する。並行して被害海域の特定などに向けた現地関係者へのヒアリング調査を行い。総合的に検証結果の分析をする。

本事業を下記 1 2 3 4 5 6 の6つの活動にて実施する。



※各活動の結果は連絡会議および中間・最終報告にて、その内容を確認する。

第3章 第2節 調査研究の調査方法＞スケジュール（令和5年度）

令和5年度は、現地での実証検証を8月、10月に行い、分析結果のとりまとめを12月までに行う。中間報告を7月、12月、最終報告を2月に行う。

| タスク           |  | 2023年 |    |    |                                |              |               |              |     |                 | 2024年       |                    |    |
|---------------|--|-------|----|----|--------------------------------|--------------|---------------|--------------|-----|-----------------|-------------|--------------------|----|
|               |  | 4月    | 5月 | 6月 | 7月                             | 8月           | 9月            | 10月          | 11月 | 12月             | 1月          | 2月                 | 3月 |
| マイルストーン       |  |       |    |    | ▼事業開始<br>計画確認<br>○             | 検証（1回目）<br>○ |               | 検証（2回目）<br>○ |     | 中間報告<br>○       |             | 事業終了▼<br>最終報告<br>○ |    |
| 6. 連絡会議の運営    |  |       |    |    | 原則月1回開催                        |              |               |              |     |                 |             |                    |    |
| 1. 仮説の確認      |  |       |    |    | 振り返り<br>↔<br>検証方法・検証事項の確認<br>↔ |              |               |              |     |                 |             |                    |    |
| 2. 実証検証の実施    |  |       |    |    |                                | 準備実施<br>↔    |               | 準備実施<br>↔    |     | 結果整理<br>↔       |             |                    |    |
| 3. ヒアリング調査の実施 |  |       |    |    | 調査項目の設計<br>↔                   |              | 調査の実施<br>↔    |              |     |                 |             |                    |    |
| 4. 抽出した課題の分析  |  |       |    |    |                                |              | 課題の抽出・分析<br>↔ |              |     | 分析結果のとりまとめ<br>↔ |             |                    |    |
| 5. 報告書の作成     |  |       |    |    |                                |              |               |              |     |                 | ドラフト作成<br>↔ | 正本作成<br>↔          |    |

### 第3章 第2節 調査研究の調査方法＞連絡会議の運営（令和5年度）

**連絡会議を毎月実施し活動の実施状況を確認する。うち3回は作業部会と併せて行う。これら会議体は乙部町スマート化協議会メンバーを中心に構成する。**

#### ■ 検討内容

| 開催月       | 主な検討内容（案）         |                                                                                                                            | 備考                   |
|-----------|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| 令和5年7月※1  | ・ 実施計画の確認         | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 全体スケジュールの確認・検討</li> <li>✓ 調査仮説・調査項目の確認・検討</li> <li>✓ 実証検証の進め方・準備の確認・検討</li> </ul> | オンライン（7/10）          |
| 令和5年8月    | ・ 検証・調査事項・実施方法の確認 | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 実証検証（1回目）の実施事項・方法の確認、実施</li> <li>✓ ヒアリング調査事項の確認</li> </ul>                        | ✓ 対面（8/24、25に乙部で実施）  |
| 令和5年9月    | ・ 検証・調査の実施結果の確認   | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 実証検証（1回目）の分析状況・結果の確認</li> <li>✓ ヒアリング調査の実施状況の確認</li> <li>✓ 課題の抽出・分析</li> </ul>    | ✓ オンライン（9/13）        |
| 令和5年10月   | ・ 検証・調査の実施結果の確認   | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 実証検証（2回目）の実施事項・方法との確認、実施</li> </ul>                                               | ✓ 対面（10/3、4に乙部で実施）   |
| 令和5年11月※1 | ・ 検証・調査の実施結果の確認   | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 実証検証（2回目）の分析状況・結果の確認</li> <li>✓ 課題の抽出・分析</li> </ul>                               | ✓ オンライン（11/13）       |
| 令和5年12月   | ・ 分析結果（ドラフト）の確認   | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 実証検証（3回目）の実施事項・方法との確認、実施</li> <li>✓ 分析結果（ドラフト）の確認</li> </ul>                      | ✓ 対面（12/18、19に乙部で実施） |
| 令和6年1月    | ・ 最終報告書（ドラフト）の確認  | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 実証検証（3回目）の分析状況・結果の確認</li> <li>✓ 最終報告書（ドラフト）の修正箇所の抽出</li> </ul>                    | ✓ オンライン（1/30）        |
| 令和6年2月※1  | ・ 最終報告書（正本）の確認    | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 最終報告書の修正ポイントの確認</li> <li>✓ 今後の展開に向けた課題の確認</li> </ul>                              | ✓ 対面（2/8に札幌で実施）      |

※1 7、11、2月は、作業部会と併せて連絡会議を行う。

第3章 第2節 調査研究の調査方法＞スケジュール（令和6年度）

令和6年度は、現地での実証検証を6月、8月に、室内検証を12月に行い、分析結果のとりまとめを1月までに行う。中間報告を12月、最終報告を2月に行う。

| タスク           |  | 2024年                          |           |              |              |              |    |               |     |                        | 2025年       |                    |    |
|---------------|--|--------------------------------|-----------|--------------|--------------|--------------|----|---------------|-----|------------------------|-------------|--------------------|----|
|               |  | 4月                             | 5月        | 6月           | 7月           | 8月           | 9月 | 10月           | 11月 | 12月                    | 1月          | 2月                 | 3月 |
| マイルストーン       |  | ▼事業開始<br>計画確認<br>○             |           | 検証（1回目）<br>○ |              | 検証（2回目）<br>○ |    |               |     | 中間報告<br>○<br>室内検証<br>○ |             | 事業終了▼<br>最終報告<br>○ |    |
| 6. 連絡会議の運営    |  | ←隔月で開催→                        |           |              |              |              |    |               |     |                        |             |                    |    |
| 1. 仮説の確認      |  | 振り返り<br>↔<br>検証方法・検証事項の確認<br>↔ |           |              |              |              |    |               |     |                        |             |                    |    |
| 2. 実証検証の実施    |  |                                | 準備実施<br>↔ |              |              | 準備実施<br>↔    |    |               |     |                        |             |                    |    |
|               |  |                                |           | 結果整理<br>↔    |              | 結果整理<br>↔    |    |               |     |                        |             |                    |    |
| 3. ヒアリング調査の実施 |  |                                |           |              | 調査項目の設計<br>↔ |              |    | 調査の実施<br>↔    |     |                        |             |                    |    |
| 4. 抽出した課題の分析  |  |                                |           |              |              |              |    | 課題の抽出・分析<br>↔ |     |                        |             | 分析結果のとりまとめ<br>↔    |    |
| 5. 報告書の作成     |  |                                |           |              |              |              |    |               |     |                        | ドラフト作成<br>↔ | 正本作成<br>↔          |    |

### 第3章 第2節 調査研究の調査方法＞連絡会議の運営（令和6年度）

**連絡会議を隔月で実施し活動の実施状況を確認する。これら会議体は原則乙部町現地にて、スマート化協議会メンバーを中心に実施する。**

#### ■ 検討内容

| 開催月     | 主な検討内容（案）         |                                                                                                                                  | 備考                                                                                              |
|---------|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 令和6年4月  | ・ 実施計画の確認         | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 全体スケジュールの確認・検討</li> <li>✓ 調査仮説・調査項目の確認・検討</li> <li>✓ 実証検証の進め方・準備の確認・検討</li> </ul>       | ✓ 対面（4/17に乙部で実施）                                                                                |
| 令和6年6月  | ・ 検証・調査事項・実施方法の確認 | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 実証検証（1回目）の実施事項・方法の確認、実施</li> <li>✓ ヒアリング調査事項の確認</li> </ul>                              | ✓ 対面（6/6、7に乙部で実施）                                                                               |
| 令和6年8月  | ・ 検証・調査の実施結果の確認   | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 実証検証（1回目）の分析状況・結果の確認</li> <li>✓ 課題の抽出・分析</li> <li>✓ 実証検証（2回目）の実施事項・方法との確認、実施</li> </ul> | ✓ 対面（8/6、7に乙部で実施）                                                                               |
| 令和6年9月  | ・ 検証・調査の実施結果の確認   | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 実証検証（2回目）の分析状況・結果の確認</li> <li>✓ 課題の抽出・分析</li> <li>✓ 中間報告書の作成</li> </ul>                 | ✓ オンライン（9/24に実施）                                                                                |
| 令和6年12月 | ・ 分析結果（ドラフト）の確認   | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 実証検証（2回目）、室内検証※1の分析状況・結果の確認</li> <li>✓ 課題の抽出・分析</li> <li>✓ 分析結果（ドラフト）の確認</li> </ul>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 室内検証（12/5、24に実施）</li> <li>✓ 対面（12/27に乙部で実施）</li> </ul> |
| 令和7年1月  | ・ 最終報告書（ドラフト）の確認  | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 室内検証の実施事項・方法との確認、実施</li> <li>✓ 分析結果（ドラフト）の確認</li> <li>✓ 最終報告書（ドラフト）の修正箇所の抽出</li> </ul>  | ✓ オンライン（1/30に実施）                                                                                |
| 令和7年2月  | ・ 最終報告書（ドラフト）の確認  | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 最終報告書の修正ポイントの確認</li> <li>✓ 今後の展開に向けた課題の確認</li> </ul>                                    | ✓ 対面（2/6に札幌で実施）                                                                                 |

※1 実証検証（2回目）の結果を踏まえて、室内で検証を実施。

乙部町スマート化推進協議会を構成する。ひやま漁業協同組合の協力の下、乙部町役場、北海道大学、野村総合研究所のメンバーで実施する。

■ 活動要員（敬称略）

- 乙部町役場
  - 寺島努町長、阿部栄二産業課参事、増川伸吾産業課課長補佐（令和5年度）、坪田真斗主事（令和6年度）
- 北海道大学大学院理学研究院
  - 高橋幸弘教授、久保田尚之特任准教授、  
宮島秀明（令和5年度大学院修士2年）、由井祥（令和5年度大学院修士2年）  
中島瑞穂（令和6年度大学院修士1年）、杉山玄己（令和6年度大学院博士3年）、  
山田澤明客員教授
- 野村総合研究所
  - 中島伸彦（制度戦略研究室）、早川梨穂（社会システムコンサルティング部）、  
吉村淳（社会ITコンサルティング部）

■ 協力

- ひやま漁業協同組合

**令和6年度6月、8月に乙部町現地にて、12月に北海道大学の研究室内にて、仮説検証を実施。**

■ 6月の検証（密漁想定海域を走航中の漁船のエンジン音の計測）

- ・ 日時：6月6、7日
- ・ 場所：乙部漁港及び館浦海域
- ・ 参加者：乙部町役場（阿部、坪田）、北海道大学（高橋、久保田、山田、中島、杉山）、NRI（中島、吉村）

■ 8月の検証（密漁想定海域を走航中の漁船のエンジン音の計測）

- ・ 日時：8月6、7日（漁船を利用）
- ・ 場所：乙部漁港及び館浦海域、元和台
- ・ 参加者：乙部町役場（阿部、坪田）、北海道大学（高橋、久保田、山田、中島、杉山）、NRI（中島、吉村）

■ 12月の検証（大学研究室内での音の計測）

- ・ 日時：12月5、24日
- ・ 場所：北海道大学高橋研究室
- ・ 参加者：北海道大学（高橋、久保田、中島、杉山）

## 第3章 調査研究の取組概要

---

- 第1節 調査研究の内容
- 第2節 調査研究の調査方法
- 第3節 調査研究の調査事項

令和4年度までに、乙部海域において漁協の協力のもとで、船のエンジン音の遠隔検知について、測定実験を行い、スペクトル解析によって基礎的な成果を上げてきている。

【これまでの取組成果】

令和4年度、乙部沖のナマコの養殖海域で船舶のエンジンの音を計測し、スペクトル解析などを行うことで、風波など他の音と区別し、さらに音源である船舶の位置を推定する手法を確立する目的に、測定実験で、沖合1KM程度までの範囲を航行している密漁船と同程度の大きさの漁船が出すエンジン音の特徴的な周波数帯域（約20Hz）を用いることで、陸上から検知できることを確認済。

【検証仮説】

- ・ 本事業での「方策検討」では、密漁船が航行していることを検知し、関係者に通知する仕組みを検討する。「フィジビリティ検証」では、上記の仕組みが実現可能か、実際に検証する。
- ・ 「スペクトル解析」とは、密漁船の航行中のエンジン音のうち、開発した計測システムで捉えられる、特徴的な周波数（約20Hzの周波数）を推定すること。
- ・ 本事業では、さらに沖合1.5～2KM程度までの範囲を航行する密漁船と同規模の船舶が出すエンジン音を陸上で検知し、関係者に通知する仕組みを構築する。船舶のエンジン音を集音等するための設備機器材料の購入とその改良を予定。
- ・ 検証方法として、北海道大学にて自前で作成する集音設備と市販の周波数測定器と市販のインフラサウンド検出器、さらにPCによるスペクトル解析を組み合わせる予定。

※集音は音を拾うことを指すので、ここでは、インフラサウンド検出器を意味するものとして、共鳴管を集音設備と呼ぶ。

- ・ 上記の設備・装置の効果を検証できた際には、ある程度の運用に耐えうる設備・装置の構築を行う。
- ・ しゅみ全般の知的財産権については、乙部町に帰属するものとするが、本施策を実施するための北海道大学など有する既存の基本的固有のものについては、その変更は予定していない。その他、詳細は、当事者間にて逐次、協議の上、決定する予定。
- ・ なお、エンジン音の検出のための特徴的な計測周波数、音波波形データ及び集音器の形状については、公表を控えさせていただく。
- ・ 横展開については、他地域でも密漁被害がみられることから、測定システムの提供をさせていただく想定。

### 第3章 第3節 調査研究の調査事項＞検証調査事項（令和5年度）

**まず、より先（1 KMから1.5～2 KM程度）、より広角（30度程度）の範囲にある音を捉え、さらに、風切り音と密漁船エンジン音の区別できるようにすることが必要。**

#### ■ 検証に向けた課題

密漁船の検知では、これまでの取組で、現在1KMまでのまっすぐ先（直線上）の音まで捉えることを確認できている。この結果を踏まえ、以下の課題を解決することが必要と考えられている。まずは①から③の解決を図る。

- ① より先（1 KMから1.5～2 KM程度）の音を捉える
- ② より広角（30度程度）に音を捉える
- ③ 風切り音によるノイズと密漁船のエンジン音との区別
- ④ 音源場所の特定
- ⑤ 検知機器設置場所の特定（海面から40M程度の高さ）

#### ■ 検証事項（対応案）

上記の課題に対して、塩化ビニールのパイプをつなげてつくる集音装置（長さ3 M程度）を改良、設置を工夫することに対応を図る。

- ① 集音装置の長さを3 Mから4 Mぐらいまでにする。
- ② 集音装置の先端の口の形状をラッパ型にしてパイプを5 M間隔で3本並べる。
- ③ 集音装置の先端の口の形状をラッパ型にして、そのふちの型を工夫する。
- ④ 集音装置（パイプ3本ひとかたまり）を1 KMぐらいの距離をおいて2か所に設置して検知をする。
- ⑤ 町有地の活用、高台については、集音装置のパイプの片端を高くして傾斜をつけて設置する。

#### ■ 検証事項（その他）

音源の検知について、複数個所から同時測定による実現可能性を調べる。

令和5年度、乙部海域にて、沿岸から2KM程度先を航行する船のエンジン音を捉えられた。  
令和6年度、沿岸の2地点から船のエンジン音の方向を捉え、その交点から位置を特定する。

【これまでの取組成果】

令和5年度には、低周波振動に共鳴する長さの検出措置（共鳴管）を作成し、沿岸部に3本を等間隔で並べて設置し、共鳴管の延長線上を直線的に約2,000Mの海域まで走航するボートのエンジン音を捉えた。また3本の共鳴管で捉える振動の位相のずれから計測地点からボートが走航する方向を把握できる。さらに、共鳴管の開口部にファーとざるで作った効果的な風防機構を取り付けることで風の音を小さく抑えられることがわかった。

【検証仮説】

※R5年度は試行的に密漁船検知の方策検討・フィジビリティ検証を実施。R6年度はR5年度の検証結果を踏まえ、効果的な実装を見据えたフィジビリティ検証を実施する予定。

- ・ 本事業での「方策検討」では、令和5年度に、密漁船が航行していること、航行している方向を検知する仕組みを把握した。令和6年度に、異なる2地点から、航行している密漁船の方向を捉え、密漁船の位置を特定する。
- ・ 令和6年度には、令和5年度に構築した検出装置（3本の共鳴管と風防機構）を沿岸部に距離を置いて2セット配置し、それぞれのセットが捉える低周波振動の位相のずれから、それぞれの計測地点からの密漁船の方向と交点をもって位置を特定することを検証する。
- ・ 集音装置の先端の口の形状をラッパ型にして、そのふちの型を工夫する。
- ・ 集音装置（パイプ3本ひとかたまり）を1KMぐらいの距離をおいて2か所に設置して検知をする。
- ・ 町有地の活用、高台については、集音装置のパイプの片端を高くして傾斜をつけて設置する。
- ・ なお、エンジン音の検出のための特徴的な計測周波数、及び集音器の形状については、公表を控えさせていただく。
- ・ また、検出装置を設置する場所、特徴についても、運用開始後の装置の破壊行為などを防ぐため、公表を控えさせていただく。

検証では、2地点から、2 KM程度までにある特定の周波数の音源の方向を捉え、交点をもって位置を把握する。複数の周波数の音源、音源方向が広角で捉えられることに対応する。

■ 検証に向けた課題

密漁船の検知では、令和5年度の実証で、ある地点から2KM程度先までの音源方向を捉えることを確認できている。その上で、以下の課題を解決することが必要と考えられている。よって、令和6年度は①、②への対応を考える。

- ① 計測地点からの音源方向は、直線ではなく広角に捉えられ、結果として、2地点からの測定した結果で交わる箇所は、点でなく面となる。
- ② 計測時に、複数の周波数の音源が捉えられる

■ 検証事項（対応案）

上記の課題に対して、以下の対応を図る。

- ① 周波数を計測する時間の間隔が広いほど、音源方向が広角になるため、2地点の方向から交わる箇所は広い面となる。よって、周波数を計測する時間の間隔を短くして、交わる面を絞り、位置をより厳密に特定できるようにする。（例 周波数14Hzの音について、100Hzでサンプリングした場合、 $100\text{Hz}/14\text{Hz} = 7$ から、サンプルごとの位相差が、 $360\text{度}/7$ になる。これは、方位角で $\pm 25\text{度}$ に相当し、1KM先で $\pm 430\text{M}$ の誤差になる。）
- ② 集音装置で周波数の音源を複数回測定し、航行する密漁船のエンジン音に相当する周波数を特定する。（現場海域での計測を要するため、今後の取組課題とする。）

## 第4章 調査研究の結果

- 第1節 検証結果確認（6月実施）
- 第2節 検証結果確認（8月実施）
- 第3節 検証結果確認（12月実施）

## 第4章 調査研究の結果

---

- 第1節 検証結果確認（6月実施）
- 第2節 検証結果確認（8月実施）
- 第3節 検証結果確認（12月実施）

## 第4章 第1節 検証結果確認（6月実施）

# 長さ6Mの共鳴管3本で組んだ計測器で2地点から、沿岸から2KMまでの範囲で航行させたボートのエンジン音を測定した。

### ■ 検証条件（6月6日）

- 乙部海域で測定したボートのエンジン音の周波数を14Hzと想定
- ボートは沿岸から2KMぐらい離れたあたりまでを航行
- 長さ6 Mの長さの塩ビ管を3本、5メートル間隔で平行に並べて組んだ計測器を2セット用意して、1KMの間隔をとった2地点（元和台、栄浜）に設置して、双方からボートのエンジン音の周波数を測定した。

### ■ 検証結果（6月6日）

- ほぼ無風の状況で、2地点、それぞれの計測器で、同じ周波数の音が検知された。しかし、予定していた周波数が14Hz程度の音ではなく、それより高い周波数が30Hz、42Hzあたりの音が強く検知された。

### ■ 考察

- スペクトラムから42 Hzあたりに強い音が見られた。42 Hzは共鳴管の共鳴周波数のため、大きな振幅として記録された。
- 周波数が14Hzのボートのエンジン音を計測している時、数KM先沖合を大型船が航行しており、その大型船のエンジン音、また、測定地点近くで工事等からでる音があり、計測器がそれらを捉えていたものと想定する。ただし、沖合を航行する大型船、あるいは、測定地点近くでの工事等についての詳細は未確認。

### ■ 今後の対応

- 次回、同じく計測器2セットで、再度、ボートのエンジン音の測定を行う。その際、測定地周辺の音がない状態、あるいは、ボートのエンジン音を他の周波数の音と区別することを考える。
- 令和5年度の検証結果で得た周波数が14Hzのボートのエンジン音を切りだすため、フーリエ解析により14 Hzの音の大きさを解析したが、風によるノイズのために、ボートのエンジン音を、ノイズに比べ、十分な強度でとらえることができなかった。
- また6月6日はGPSによる位置情報が取得できなかったため、14 Hzの音の大きさと船との距離について相関関係を調べることができなかった。6月7日以降のデータで14 Hzの音の大きさと距離の相関関係を確認する。

## 第4章 第1節 検証結果確認（6月実施）

6月6日はGPSデータが取得できず14 Hzの音の大きさと船との距離について相関関係を調べられなかったため、6月7日以降のデータで14 Hzの音の大きさと距離の相関関係を検討した。

### ■ 検証条件（6月7日）

- 乙部海域で測定したボートのエンジン音の周波数を14Hzと想定
- ボートは沿岸から2KMぐらい離れたあたりまでを航行
- 長さ6 Mの長さの塩ビ管を3本、5メートル間隔で平行に並べて組んだ計測器を2セット用意して、1KMの間隔をとった2地点（元和台、栄浜）に設置して、双方からボートのエンジン音の周波数を測定した。
- 6月6日はGPSデータが取得できなかったため、14 Hzの音の大きさと船との距離について相関関係を調べることはできなかったため、6月7日以降のデータで14 Hzの音の大きさと距離の相関関係を検討している。

### ■ 検証結果（6月7日）

- 6月6日と同様に30 Hz, 42 Hzあたりの音が見られたが、これらは対象とするボートのエンジン音ではないと考える。
- GPSの航行記録と音の強さと相関関係を検証したところ、エンジン音が大きいと考えられる船の移動中において、14 Hzの音が増加する傾向が見られた。一方で船が停止中では14 Hzの音が低下した。

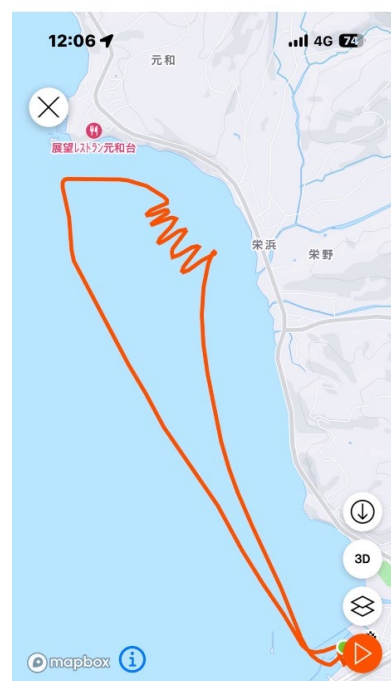
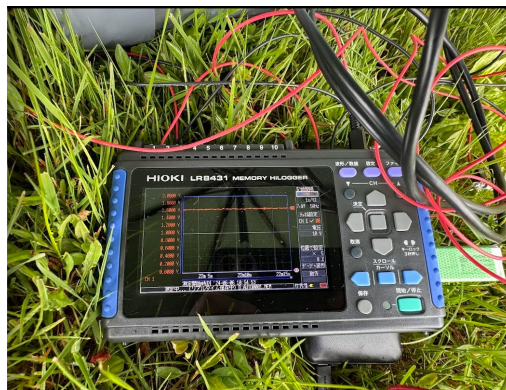
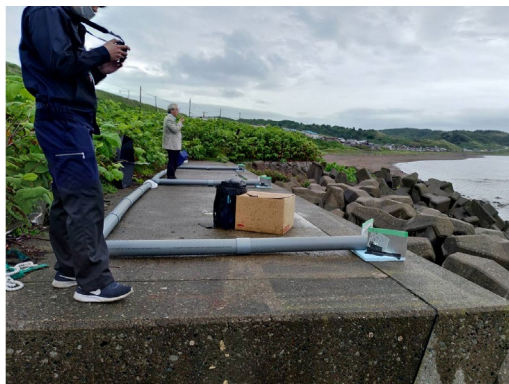
### ■ 考察

- 期待される結果としては、船との距離が近いときに14Hzの振幅が大きくなる。
- 考慮する必要がある環境条件として、船が止まってから動き出すときにエンジンをふかすので、14Hzの振幅が大きくなる（14Hzの振幅がスパイク状に大きくなっているとき）。船の位置にかかわらず、エンジンを止めているときは、14Hzの振幅が小さい。

## 第4章 第1節 検証結果確認（6月実施）

3本の共鳴管で組んだ計測器を栄浜・元和台の2地点に設置して、沿岸から2KM程以内の海域を航行する漁船のエンジン音を測定した。2つの計測器で同じ周波数の音を捉えた。

### ■ 検証風景（元和台、栄浜）



## 第4章 調査研究の結果

---

- 第1節 検証結果確認（6月実施）
- 第2節 **検証結果確認（8月実施）**
- 第3節 検証結果確認（12月実施）

## 第4章 第2節 検証結果確認（8月実施）

**長さ6Mの共鳴管3本で組んだ計測器で2地点から、沿岸から2KMまでの範囲で航行させたボートのエンジン音を測定した。複数の音のうち周波数14Hzの音も捉えていたことを確認した。**

### ■ 検証条件（8月6日）

検証は、前回6月時と同じセットで行った。

- 乙部海域で測定したボートのエンジン音の周波数を14Hzと想定
- ボートは沿岸から2KMぐらい離れたあたりまでを航行
- 長さ6 Mの長さの塩ビ管を3本、5メートル間隔で平行に並べて組んだ計測器を2セット用意して、1KMの間隔をとった2地点（元和台、栄浜）に設置して、双方からボートのエンジン音の周波数を測定した。

### ■ 検証結果

- 前回6月時と同じ検証検証結果を得た。ほぼ無風の状況で、2地点、それぞれの計測器で、同じ周波数の音が検知された。周波数14 Hz, 22 Hz, 30 Hz, 42 Hzあたりの音が強く検知された。
- なお、今回は、前回6月時のように、数KM先沖合を航行する大型船のエンジン音は確認されなかった。ただし、測定地点近くの道路を自動車が走行しており、計測器がそれらを捉えていたものと想定する。
- 後日、測定データを解析したところ、周波数14Hzあたりの音がとれていることがわかった。
- 6月7日と同様にGPSの航行記録と音の強さの相関関係を検証し、船が移動する時間に14 Hzの音の増加が見られた。

### ■ 考察

- ボートのエンジン音を計測している時、測定地点周辺にある様々な周波数の音を、計測器が捉えていたものと想定する。
- 測定結果からターゲットとするボートのエンジン音の周波数を改めて特定することと、それを切り出し解析を行った。フーリエ解析により周波数ごとに振幅の強さを解析しプロットした。また14 Hzの音の大きさと船との距離の相関関係も調べた。

**8月の測定で複数の周波数が検出されたため、ボートのエンジンの音源位置の特定に向け、計測周波数を当初予定より高い周波数まで広げて選ぶことが、精度向上のため必須と判断した。**

■ 今後の対応

- 製作した計測器で、特定の周波数の音を2地点から測定して、音源方向を解析し、位置の特定ができることを確認する。
- 複数の周波数の音が混在しないよう、室内で、特定の周波数の音を、2か所においた計測器からの音源方向を求め、交点を音源位置として特定できることを確認する。
- 6月と8月の現地検証で、乙部沿岸の約1km離れた2地点に測定装置を設置し、乙部沖でボートを航行して、当該2地点それぞれから、特定の周波数を用いてボートのエンジンの音を検出し、音源の方向を確認することができた。
- 今後、6月と8月の測定結果の検証をさらにすすめ、2地点それぞれからの音源方向の交点を明らかにして音源位置を特定する。さらに、測定結果の時間をずらして、複数時点での交点、音源位置を特定して、ボートの航跡を解析するアルゴリズムを検討する。
- 12月までに検証結果の取りまとめ、分析を行う。2月までにより広角での收音、風音や波音とエンジン音の区別を行えるようにして、より現実に則した状況での検知策の構築をすすめる。なお、音源検知後の即時通知する仕組みについては、装置作成までせず、手法検討までとする予定。
- なお、8月の測定結果で、複数の周波数が検出されたことから、その後、9月の検討において、ボートのエンジン音の音源位置の特定に向けて、計測周波数を当初予定より高い周波数まで広げて選ぶことが、精度向上のために必須であると判断した。
- そのため、陸上にて仮想のボートエンジン音を発生させ、検出及び方位決定に適した周波数の選択と、そのための記録系ハード及び解析手法の改良を進めると共に、計測地点間の位相差が理論通りになっているかの検証を行なった。
- 今後は気候条件などから洋上でのボートを活用した検証が困難で、即時通知のためのシステム全体を通した実験ができないが、陸上（屋内）での仮想のエンジン音の大きさをこれまでの洋上実験で計測されたボート音程度とすることで、その条件下で位相差を正しく推定することでできれば、実装にめどが立つと考え、今年度の目標を手法検討までとした。

## 第4章 第2節 検証結果確認（8月実施）

風のノイズやターゲットとする船以外のノイズが小さい瞬間に推定した船の方位は、GPSデータにより得られた方位と概ね一致することを確認した。

### ■ 検証条件（8月7日）

検証は、前回6月時と同じセットで行った。

- 乙部海域で測定したボートのエンジン音の周波数を14Hzと想定
- ボートは沿岸から2KMぐらい離れたあたりまでを航行
- 長さ6 Mの長さの塩ビ管を3本、5メートル間隔で平行に並べて組んだ計測器を2セット用意して、1KMの間隔をとった2地点（元和台、栄浜）に設置して、双方からボートのエンジン音の周波数を測定した。

### ■ 検証結果（8月7日）

- 8月7日は、4日間で最も風のノイズが小さく、風速が小さかったと考えられる。
- 2地点、それぞれの計測器で22 Hzの音が検知されたが、計測器と船との距離と音の振幅に相関関係が見られず、船以外による音を捉えていたものとする。
- 14 Hzの音と計測器と船との距離には相関関係が見られた。
- 2つの計測器のデータから、14 Hzの音の位相差を解析し船の方位を推定した。

### ■ 考察

- 風ノイズが小さい瞬間、その他の高周波数のノイズが小さい瞬間に、2つの計測装置のデータから船の方位を推定した。
- 推定位置の幅が大きい2つの時間(10:16, 10:19)があり、風以外のノイズを取り除く手法が必要と考えられる。
- 10:16, 10:19など短い間隔に広い方位が推定される場合は、船以外の音源が考えられるため、ノイズとして取り除く手法を開発する必要がある。
- 2つの時間(10:16, 10:19)を除くと船方位の推定は、GPSデータにより得られた方位と概ね一致した。

## 第4章 第2節 検証結果確認（8月実施）

3本の共鳴管で組んだ計測器を栄浜・元和台の2地点に設置して、沿岸から2KM程以内の海域を航行する漁船のエンジン音を測定した。周波数14Hzの音も捉えていたことを確認した。

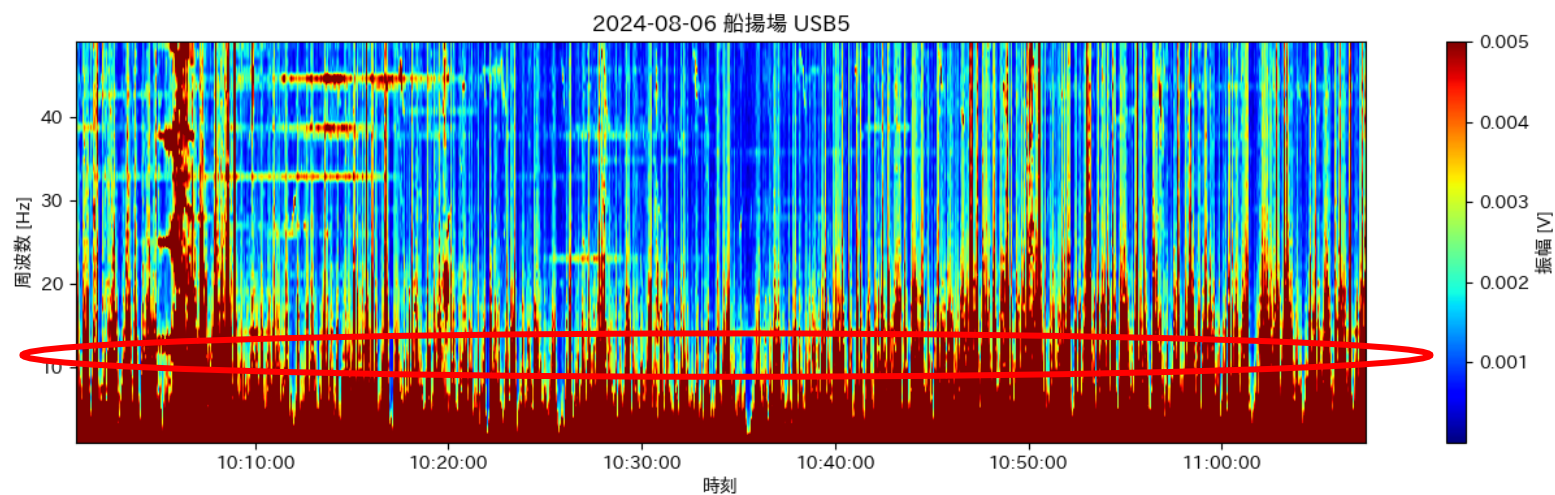
### ■ 検証風景（元和台、栄浜）



## 第4章 第2節 検証結果確認（8月実施）

周波数14 Hz, 22 Hz, 30 Hz, 42 Hzあたりの音が強く検知された。

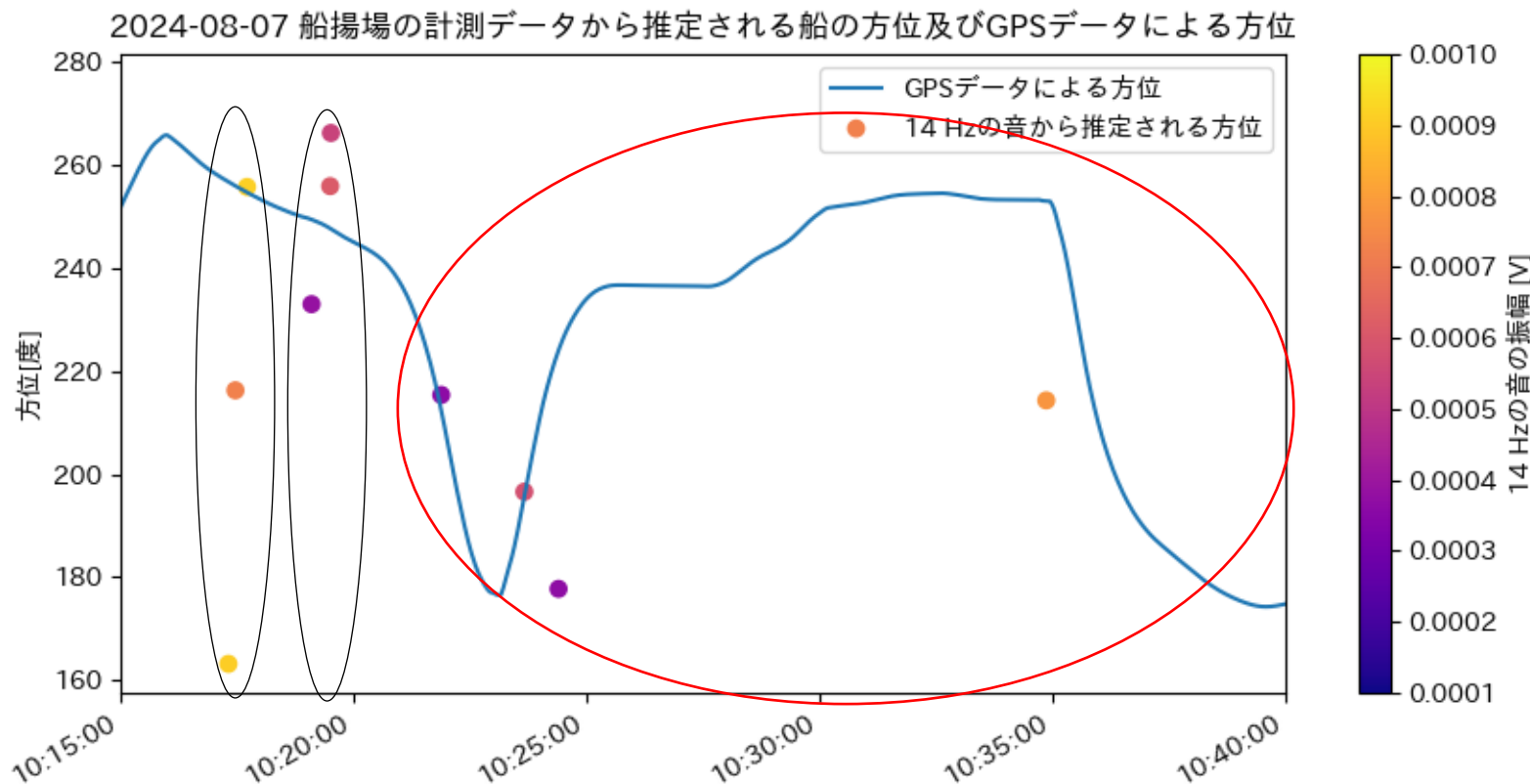
### ■ 8月6日の検証データ



## 第4章 第2節 検証結果確認（8月実施）

2つの時間(10:16, 10:19)を除くと船方位の推定は、14Hzに対するサンプリング（100Hz）の誤差（ $\pm 25$ 度）、風の誤差がみられるものの、GPSデータにより得られた方位と概ね一致した。

### ■ 8月7日の検証データ



- 推定位置の幅が大きい2つの時間(10:16, 10:19)があり、風以外のノイズを取り除く手法が必要と考えられる。
- 10:16, 10:19など短い間隔に広い方位が推定される場合は、船以外の音源が考えられるため、ノイズとして取り除く手法を開発する必要がある。
- 風ノイズが小さい瞬間、その他の高周波数のノイズが小さい瞬間に、2つの計測装置のデータから船の方位を推定した。

## 第4章 調査研究の結果

---

- 第1節 検証結果確認（6月実施）
- 第2節 検証結果確認（8月実施）
- 第3節 検証結果確認（12月実施）

#### 第4章 第3節 検証結果確認（12月実施）

**共鳴管2本とスピーカー1台で屋内実験を実施。双方の共鳴管で捉える音の波形の位相差は、それぞれの共鳴管とスピーカーの距離の差及び音を測定するタイミングの違いからなると考える。**

##### ■ 検証条件

- 屋内で、オシロスコープをつけた共鳴管を2本設置し、それぞれの共鳴管から一定の距離の位置にスピーカーを設置して実験した。
- 実験1では、それぞれの共鳴管から等距離の位置にスピーカを置いて発出される音の周波数を測定した。
- 実験2では、それぞれの共鳴管から異なる距離の位置にスピーカーを置いて発出される音の周波数を測定した。

##### ■ 検証結果

- 実験1では、それぞれの共鳴管でとらえた音の波形の位相差が、わずかな値であるが生じた。
- 実験2では、それぞれの共鳴管でとらえた音の波形の位相差は、それぞれの共鳴管とスピーカの距離の差から算出される値に近く、実験1で測定した値より大きな値となった。

##### ■ 考察

- 実験1では、それぞれの共鳴管でとらえた音の波形の位相差は、「それぞれの共鳴管で音を測定するタイミングのずれによるもの」でないかと考える。
- 実験2では、それぞれの共鳴管でとらえた音の波形の位相差は、「それぞれの共鳴管とスピーカの距離の差から算出されるもの」、さらに、「それぞれの共鳴管で音を測定するタイミングのずれによるもの」が加味されたものとする。
- よって、それぞれの共鳴管で捉える音の位相差は、「それぞれの共鳴管とスピーカーの距離の差」、及び「それぞれの共鳴管で音を測定するタイミングの差」に分解される。

複数の共鳴管で構成する計測器から捉える音源の方向の誤差を小さくするために、「双方の共鳴管で音をそれぞれ測定するタイミングの差」を小さくすることが必要と考える。

■ 考察（続き）

- さらに、「それぞれの共鳴管で音を測定するタイミングの差」が大きいほど、複数の共鳴管で構成する計測器から音源の方向を広角に捉え誤差が生じるため、「計測器を構成するそれぞれの共鳴管で音を測定するタイミングの差」をできるだけ小さくすることが必要と考える。
- 2地点からの計測器で捉えた音源の方向の交点が音源位置として判断されることから、交わる領域をできるだけ絞り込むこめるとよいと考える。

■ その他

- 100Hzロガー、1000Hzロガーのオシロスコープとは、乙部での計測に用いたロガーはサンプリング周波数が100 Hzであり、一方、屋内実験に使用したオシロスコープのサンプリング周波数は11000 Hzである。ただし屋内実験のデータは移動平均を解析したため、サンプリング周波数は1000 Hz程度に相当する。

実験1で、2本の共鳴管から等距離にスピーカーを置いて、周波数100Hzの音を測定した。

■ 屋内実験1 (構成)

スピーカーと共鳴管の距離は 3.8 m

計測機器

オシロスコープ

サンプリング周波数  $1.1 \times 10^5$  Hz

→移動平均

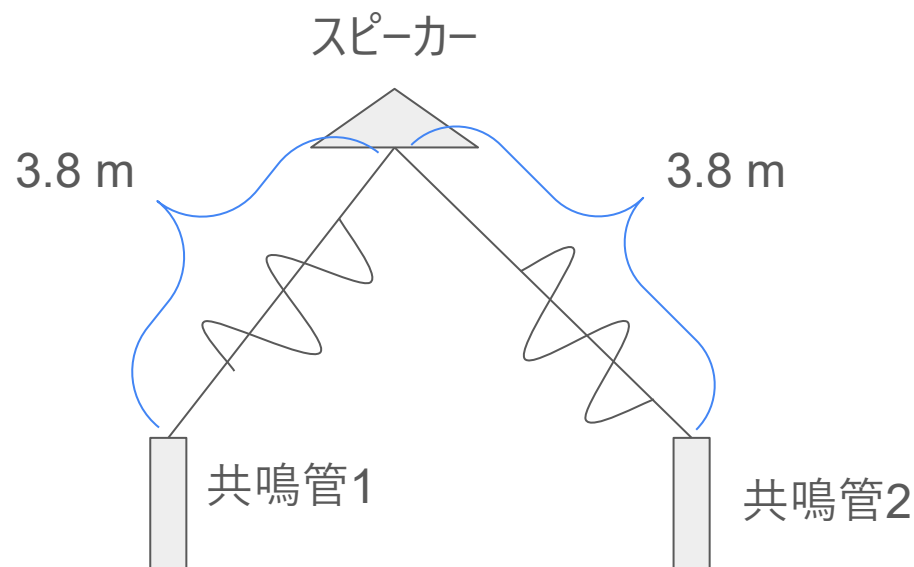
これまでのロガー

サンプリング周波数  $10^2$  Hz

音源

・スピーカー

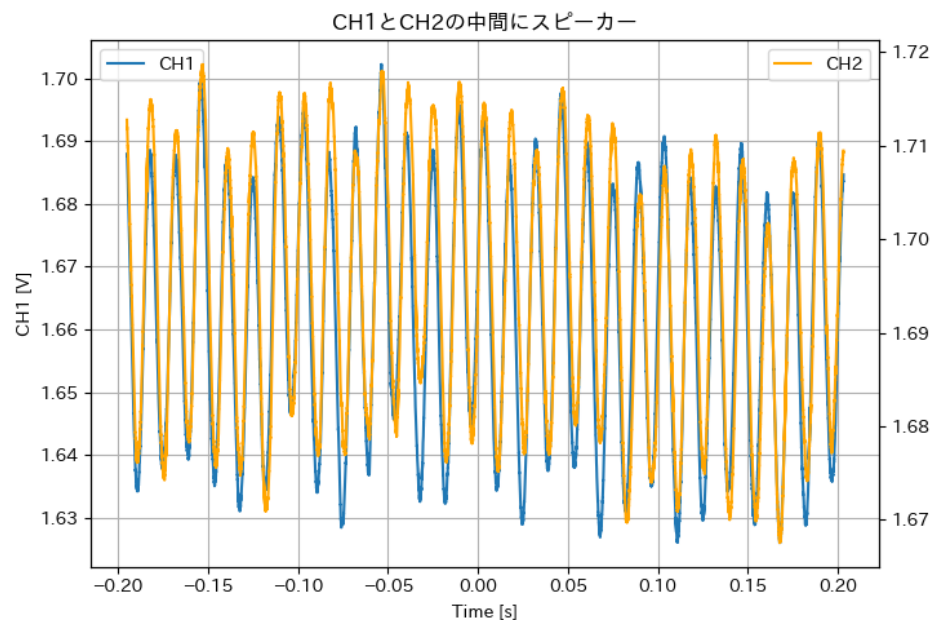
・ウェーブジェネレーター



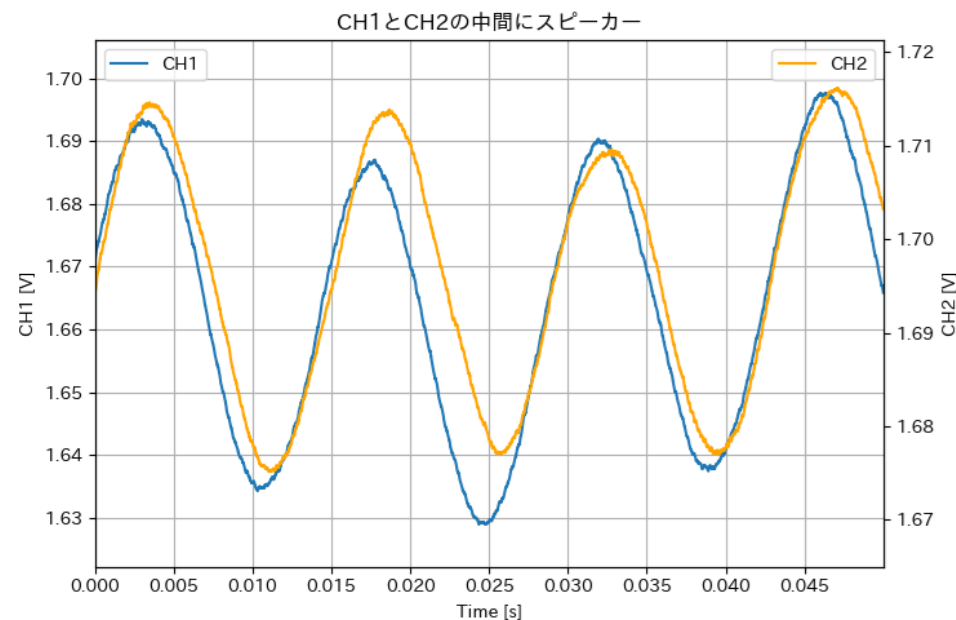
#### 第4章 第3節 検証結果確認 (12月実施)

**実験1 (マイクが同距離)** では、2本の共鳴管で捉えた周波数70Hzの音について、位相差は0.001秒で、ほぼ一致した。

##### ■ 屋内実験1 (測定結果)



音源  
振動数: 70 Hz



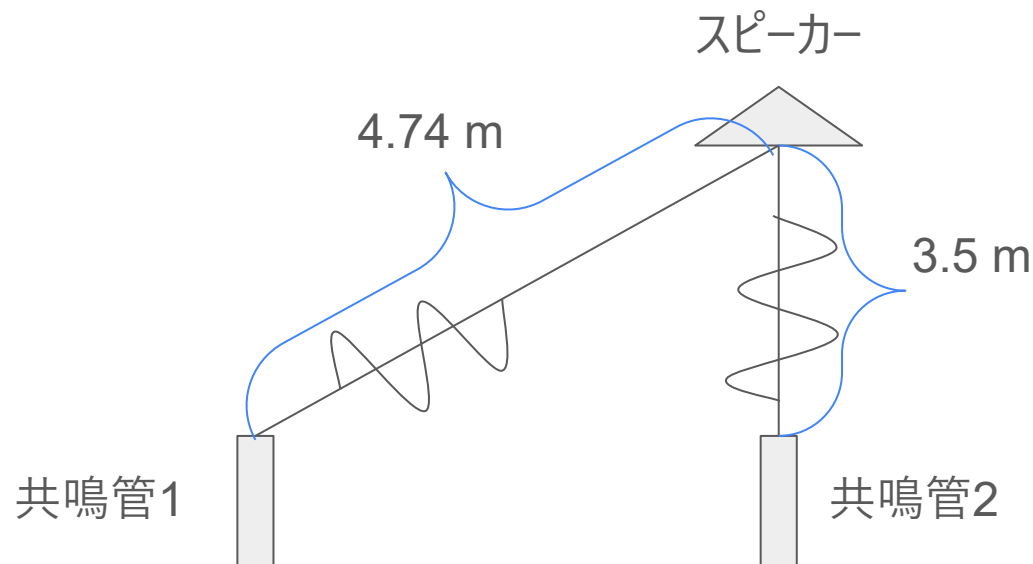
音源  
振動数: 70 Hz  
→ 共鳴管2のセンサーは0.001秒反応が遅い

実験2で、2本の共鳴管からことなる距離にスピーカーを置いて、音を測定した。

■ 屋内実験2 (構成)

スピーカーとの距離の差は 1.24 m

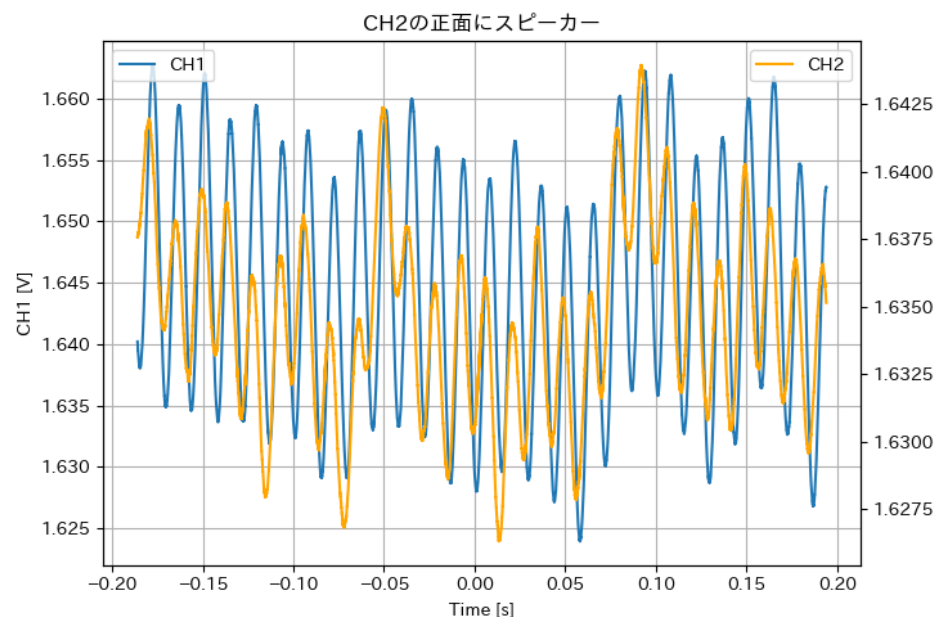
$1.24 \text{ m} / 340 \text{ m/s} = 0.00364 \text{ s}$   
→ 音の到達は約0.0036秒異なる



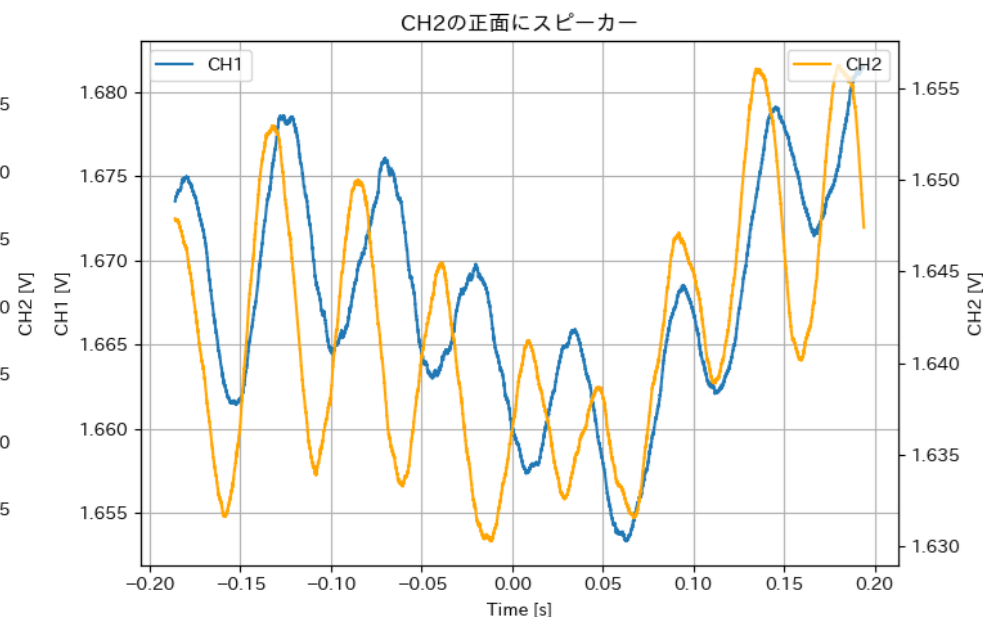
#### 第4章 第3節 検証結果確認 (12月実施)

実験2で、2本の共鳴管で周波数70Hz、14Hzの音を測定した。それぞれの共鳴管で捉える波（黄色の波と青の波）のずれが、共鳴管からスピーカーの距離の差になると考えられる。

##### ■ 屋内実験2 (測定結果)



音源  
振動数: 70 Hz

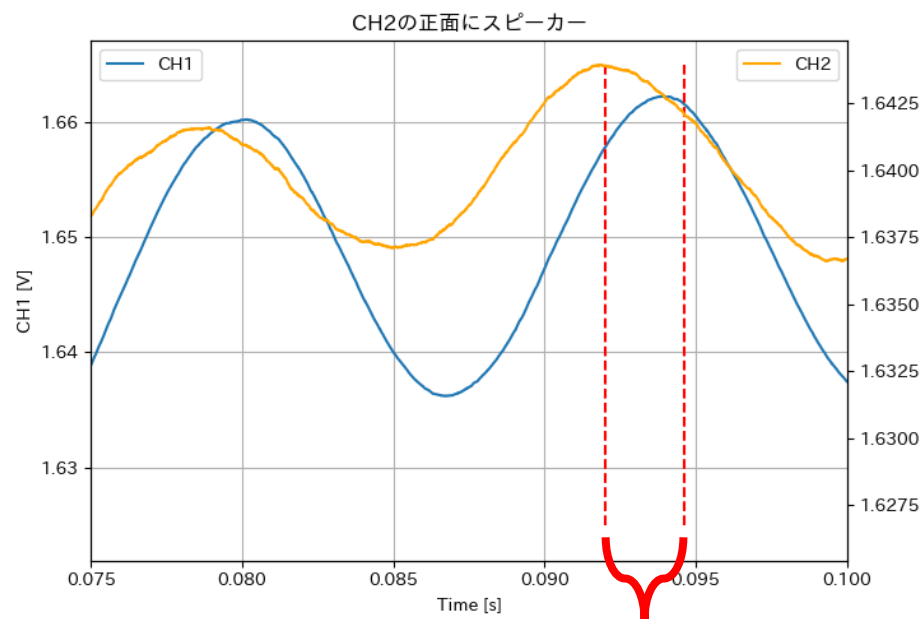


音源  
振動数: 14 Hz

#### 第4章 第3節 検証結果確認 (12月実施)

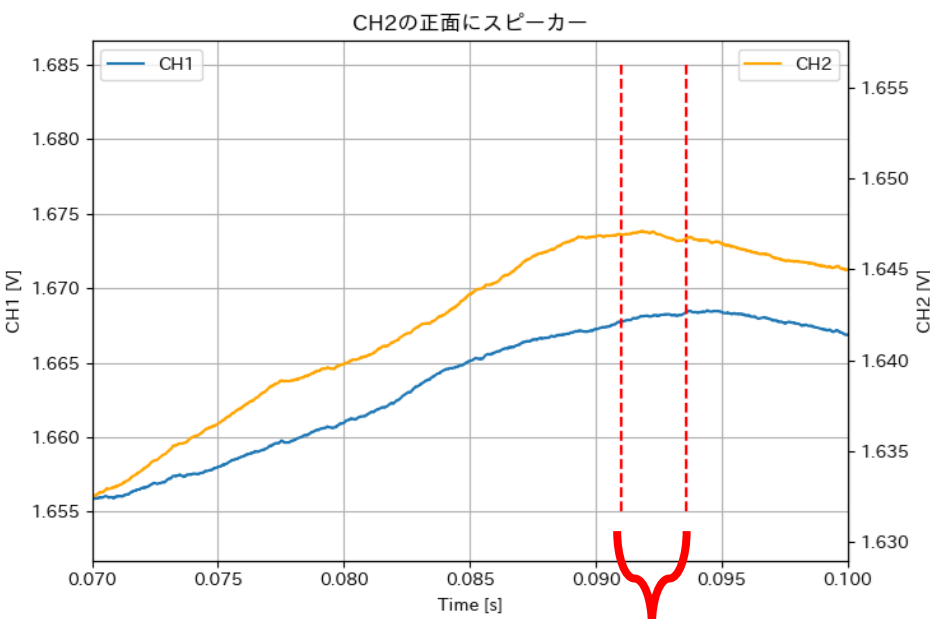
実験2で、2本の共鳴管で周波数70Hz、14Hzの音を測定した。位相差が0.0026秒だった。  
実験1で、判明した位相差0.001秒を考慮し0.0036秒となる。スピーカーとの距離の差を示す。

##### ■ 屋内実験2 (測定結果)



時間差: 0.0026 秒

音源  
振動数: 70 Hz



時間差: 0.0026 秒

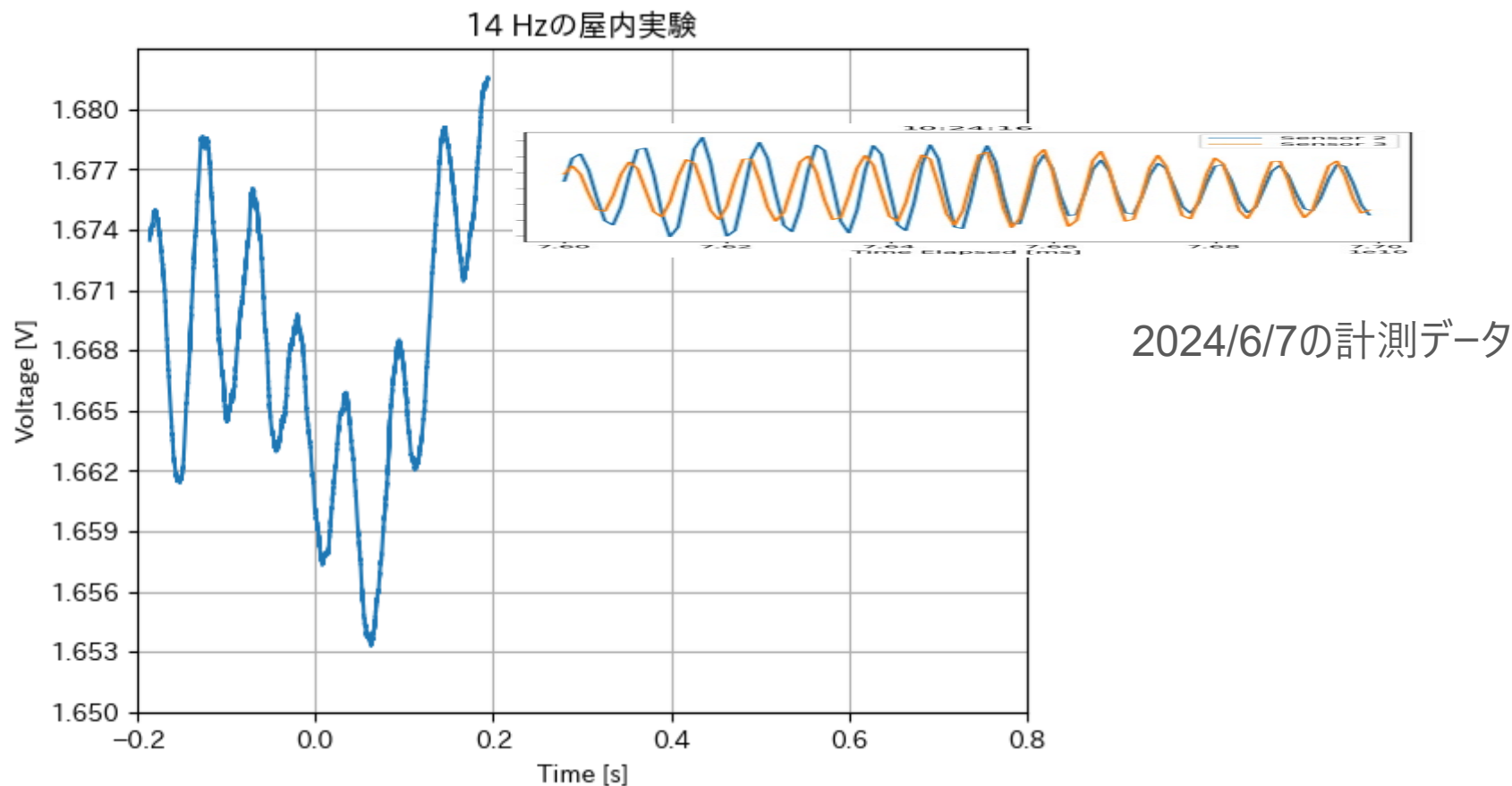
音源  
振動数: 14 Hz

共鳴管-スピーカーの距離の差と整合的

## 第4章 第3節 検証結果確認 (12月実施)

周波数14Hzの音の波形について、屋内実験で捉えたものと6月7日の屋外で捉えた計測データの特徴を確認し、波の幅、大きさほぼ同じと見えるから、屋内実験の結果も有意と考える。。

### ■ 屋内実験と屋外実験の比較



複数の共鳴管で構成する計測器からの音源方向の誤差が少なくなると、音源位置（交点）特定の確度が高くなる。

■ 音源方向の誤差による音源位置（交点）への影響

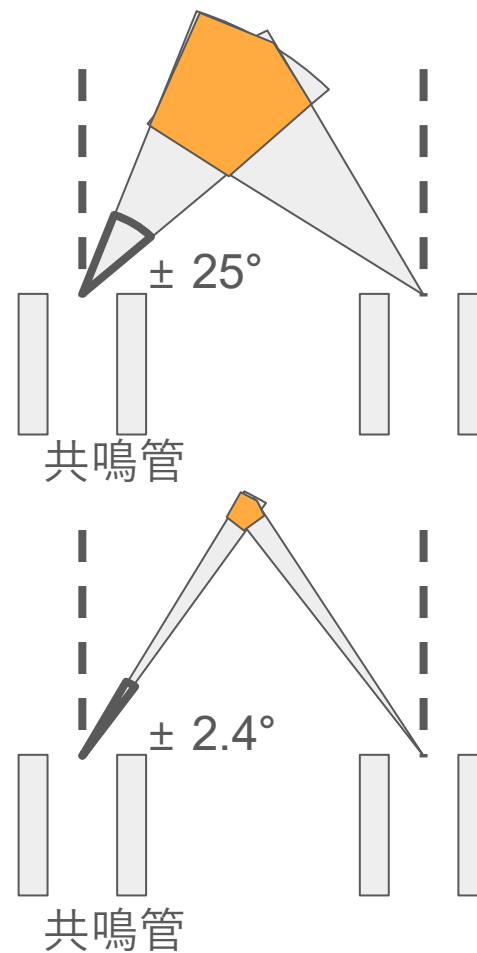
## サンプリングレートと船の方向の誤差

- 100 Hz（現状）

1ポイントずれると0.01秒ずれる -> 3.4 m  
-> 共鳴管間隔: 8 m のとき、  
 $\arcsin(3.4/8) \doteq \pm 25^\circ$

- 1000 Hz（新ロガー）

1ポイントずれると0.001秒ずれる -> 0.34 m  
-> 共鳴管間隔: 8 m のとき、  
 $\arcsin(0.34/8) \doteq \pm 2.4^\circ$



## 第5章 全体を通じての考察

- 第1節 研究結果のまとめ
- 第2節 今後の課題と展望

## 第5章 全体を通じたの考察

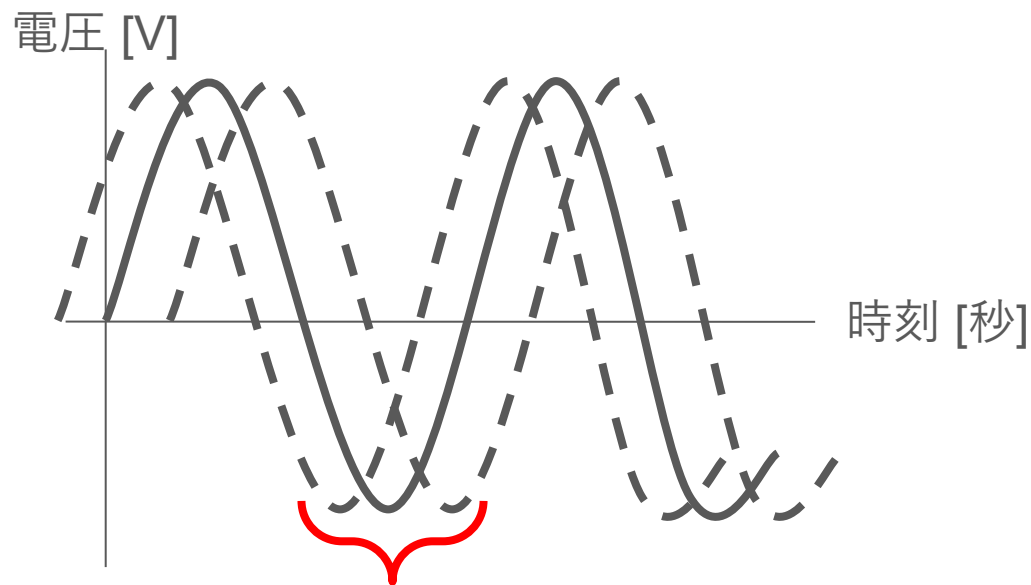
---

- 第1節 研究結果のまとめ
- 第2節 今後の課題と展望

## 第5章 第1節 研究結果のまとめ> サンプル周波数による誤差

サンプリング周波数とは、ロガーが電圧を記録する間隔であり、令和6年度に使用したロガーは、100 Hz（1秒間に100回）電圧を測定した。つまり、観測時刻が0.01秒間不明となる。

### ■ サンプリング周波数により生じる誤差



サンプリング周波数の上限により、観測時刻が0.01秒間不明

サンプルング周波数が100Hzの場合、観測時刻が0.01秒間不明となり、方位の誤差が25度の範囲で生じることになる。

■ サンプルング周波数により生じる誤差（100Hzの場合）

サンプルング周波数の上限により、観測時刻が0.01秒間不明

→実際の時刻より観測が0.01秒遅れた場合

- 0.01秒は14 Hzの波の周期0.07秒の1/7にあたる
- 0.01秒の到達遅れで計算されてしまう方位 $\theta$ は

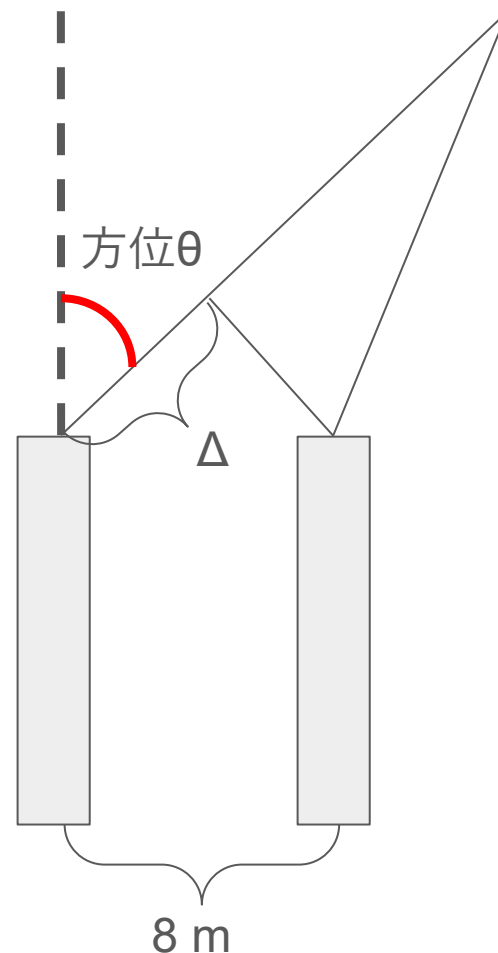
距離の差 $\Delta = 8\sin\theta$ : 共鳴管の間隔8 m,  
到達時刻差 $\Delta T = \Delta/340$  より

$$0.01 = 8\sin\theta/340$$

$$\sin\theta = 0.425$$

$$\theta = \arcsin(0.425) \div 25\text{度}$$

→**25度**の範囲で方位を決定できない



サンプリング周波数が1000Hzの場合、観測時刻が0.001秒間不明となり、方位の誤差が2.4度の範囲で生じることになる。

■ サンプリング周波数により生じる誤差（1000Hzの場合）

サンプリング周波数が**1000 Hz**の場合，観測時刻が0.001秒間不明

→実際の時刻より観測が**0.001秒**遅れた場合

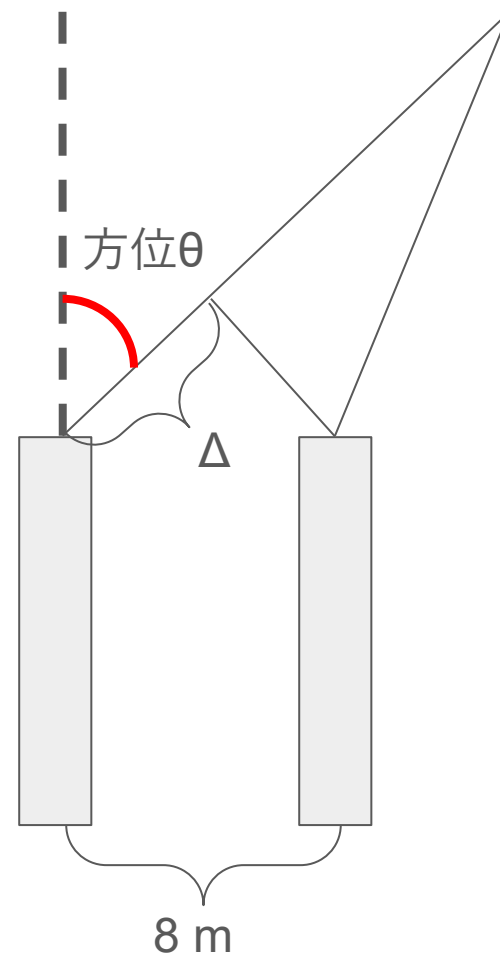
- 0.001秒の到達遅れで計算されてしまう方位 $\theta$ は  
距離の差 $\Delta = 8\sin\theta$ : 共鳴管の間隔8 m,  
到達時刻差 $\Delta T = \Delta/340$  より

$$0.001 = 8\sin\theta/340$$

$$\sin\theta = 0.0425$$

$$\theta = \arcsin(0.0425) \div 2.4\text{度}$$

→**2.4度**の範囲で方位を決定できない



1KM程度離れた海域において、夜間に走行するボートの位置を40M程度の範囲で特定する技術を開発することが可能であると判断できる。

■ 結論

- 位置と方向の検証で、100Hzサンプルのエラーの範囲（音の振幅を1秒間に100回の測定すること）で、現場でボートの方位が $\pm 25$ 度のエリアでボートをとらえることができた。
- サンプリングを1000Hzにあげることで $\pm 2.4$ 度の誤差で、ボートの方位を特定できることが室内実験で確認できると考えられる。この場合、1KM先で $\pm 40$ M程度の範囲でボートの特定ができることに相当する。
- つまり、1KM程度離れた海域において、夜間に走行するボートの位置を80M程度の範囲で特定する技術を開発することが可能であると判断できる。

## 第5章 全体を通じての考察

---

- 第1節 研究結果のまとめ
- 第2節 今後の課題と展望

計測ではボートのエンジン音のほか、風や、その他の音が捉えられてしまうので、音の強弱・大きさがボートの動きと合う周波数を特定し、ボートのエンジン音の周波数を探り出すことが必要。

■ 今後の対応

- 2つの共鳴管につけるセンサーからの信号を記録する測定器を一つにまとめることで、記録時間の誤差を取り除くことが必要
- 1つの記録機に2つ以上のセンサーを接続した計測器を開発し、船の発する音を小さいタイムラグで計測し方位推定の精度を向上させる。
- 現在のロガーは1つの共鳴管・センサーと接続したものであるため、ロガー間の時刻合わせが難しく、方位推定の誤差が大きくなっている。今後は1つのロガーに2つ以上のセンサーを接続することで、方位推定の精度向上を図る。
- 乙部で計測された14 Hzの音の振幅と比較して、屋内実験で計測された14 Hzの音の振幅は同程度(図2など)のため、屋外の計測で位相差から方位を推定することはできると考える。

**音源の方向の誤差を小さくするために、「双方の共鳴管で音をそれぞれ測定するタイミングの差」を小さくすることが必要。**

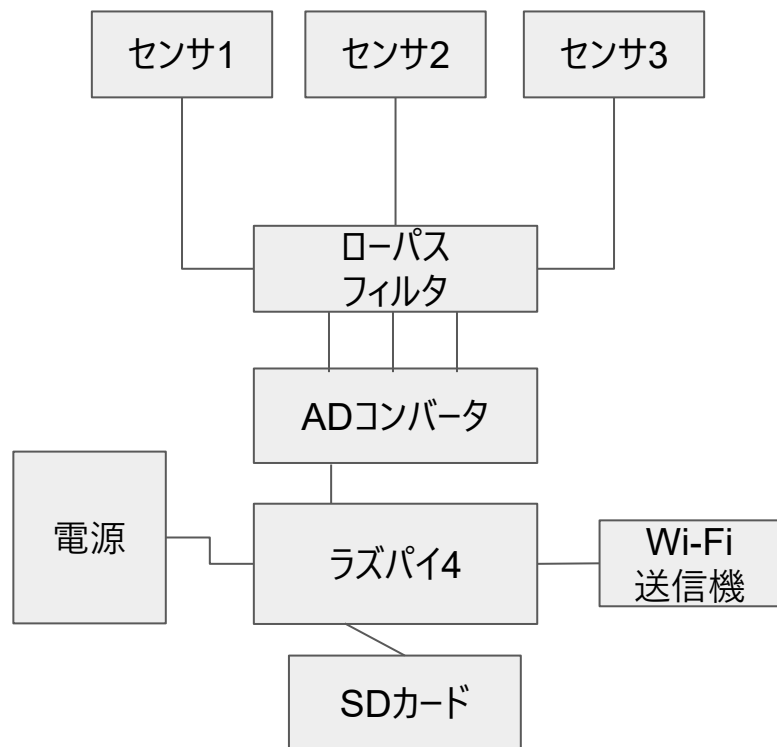
■ 今後の対応

- 2つの共鳴管につけるセンサーからの信号を記録する測定器を一つにまとめることで、記録時間の誤差を取り除くことが必要
- 1つの記録機に2つ以上のセンサーを接続した計測器を開発し、船の発する音を小さいタイムラグで計測し方位推定の精度を向上させる。
- 現在のロガーは1つの共鳴管・センサーと接続したものであるため、ロガー間の時刻合わせが難しく、方位推定の誤差が大きくなっている。今後は1つのロガーに2つ以上のセンサーを接続することで、方位推定の精度向上を図る。
- 乙部で計測された14 Hzの音の振幅と比較して、屋内実験で計測された14 Hzの音の振幅は同程度(図2など)のため、屋外の計測で位相差から方位を推定することはできると考える。

ボート音の検知、音源位置の特定後の通知について、ラズパイをつかったロガーの検討が有効である考える。

■ 音源位置特定後の通知の仕様検討

## ラズパイロガー（仮称）仕様



サンプリング周波数目標：～1kHz

～3kHzくらいのローパスフィルターを入れてノイズ低減を図る

記録チャンネル数：3 ch

ストレージ容量：64 GB microSDカード

電源：PD(5 or 12 V)対応のモバイルバッテリー

費用：

- 記録・制御部  
( Raspberry Pi 4, ADボード, ケーブル等 )  
：5万円（1式）
- インフラサウンドセンサー  
：7万円 / 個
- パイプ（6 m）  
： / セット

記録部 + インフラサウンドセンサー x 3 ≒ 30万円程度

この事業はサマージャンボ宝くじの収益金を活用して実施しています。



