

課題番号：4G-2102

環境アセスメントへの活用を目指した 鳥類およびコウモリ類の飛翔を識別する レーダ画像解析システムの開発

研究代表者 新潟大学 関島 恒夫

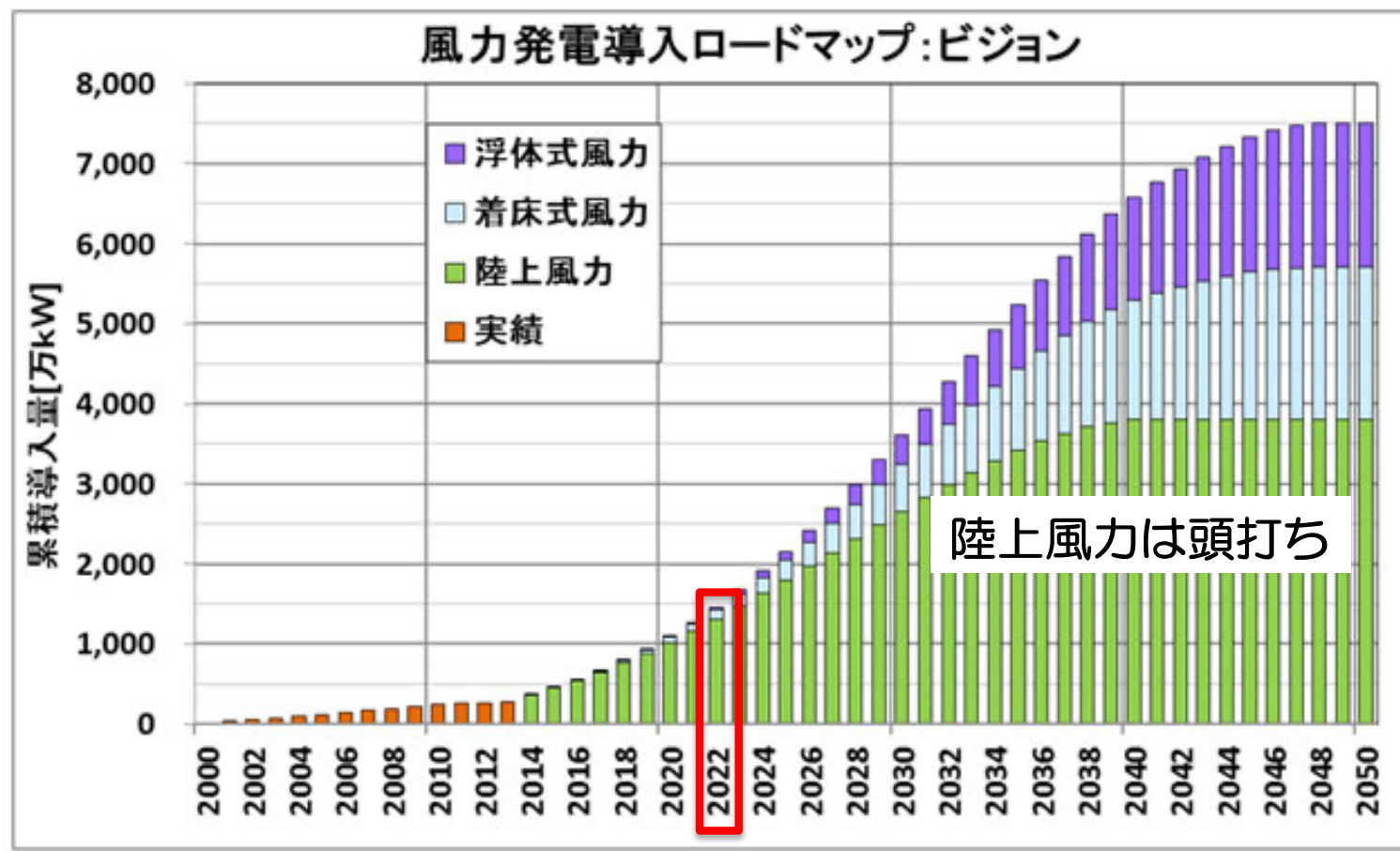
サブテーマⅠ 新潟大学 関島 恒夫
北海道大学 綿貫 豊

サブテーマⅡ 徳島大学 河口 洋一

サブテーマⅢ 日本気象協会 島田 泰夫
黒田 幸夫
前川 知士
夏目 安由美



陸上風力から洋上風力の時代へ



引用：日本風力発電協会 <http://jwpa.jp/jwpa/vision.html>

洋上風力発電の導入促進に向けた国の取り組み

2019年4月 再エネ海域利用法の施行

2020年7月 促進区域指定に向けた一定の準備段階に進んでいる区域が整理

⇒ 北海道・青森・秋田・新潟・千葉・長崎など11区域



洋上アセス手法はまだ確立していない？

平成28年度「洋上風力発電所等に係わる環境影響評価の基本的な考え方に関する検討会」報告書

- 環境影響評価の**技術手法等の検討**
- 海域環境における基礎的な知見の蓄積

大気質
騒音
振動

水質

底質

流向
流速

水中音

重要な
地形

風車の影

動物
海藻草類
サンゴ群集

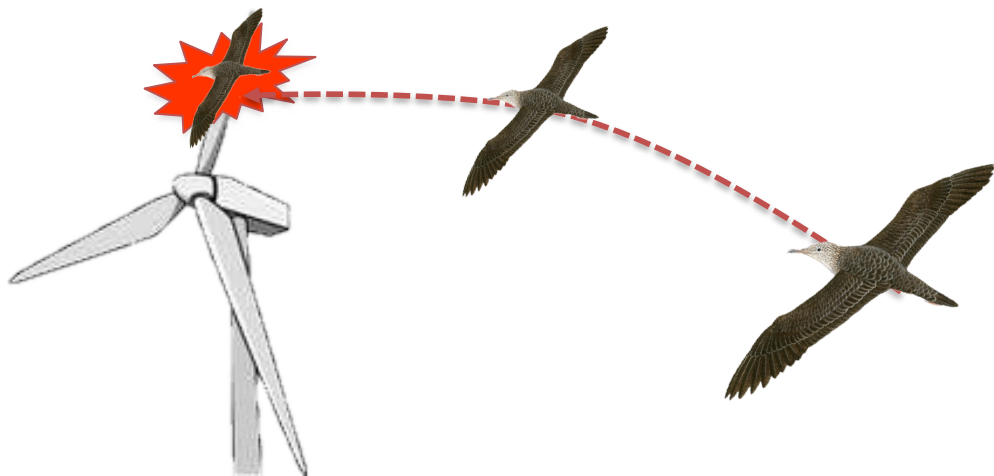
景観

人と自然
との触れ
あいの活
動の場

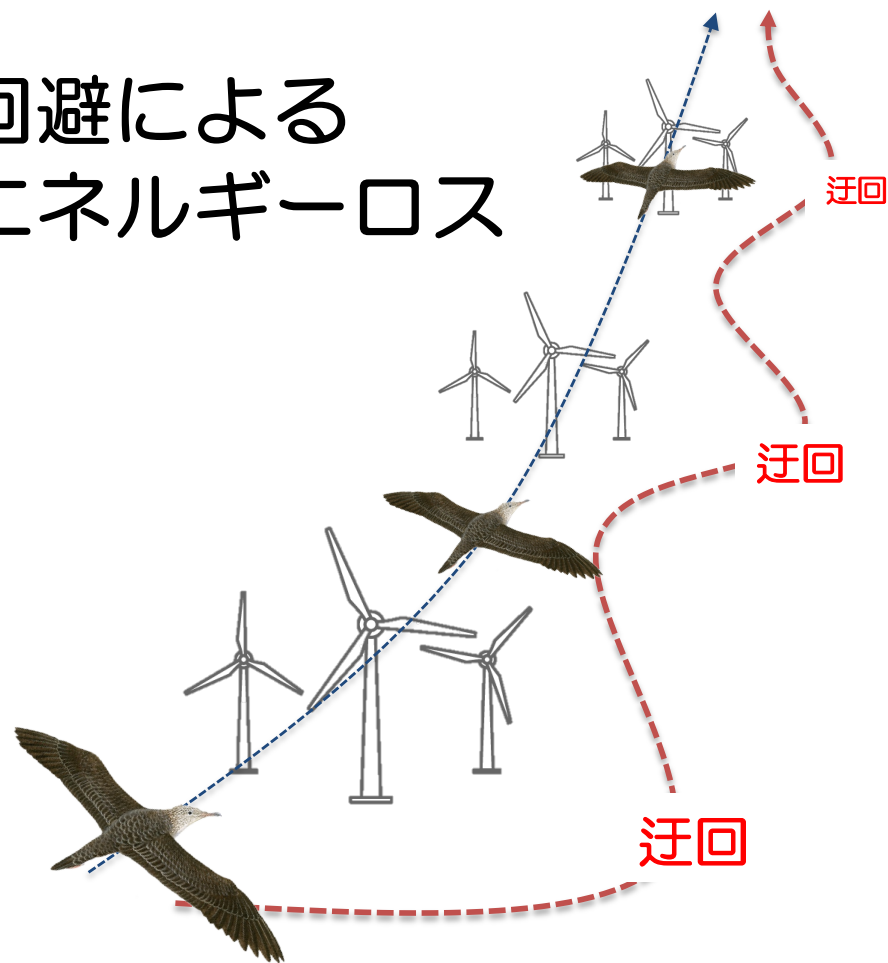


飛翔動物の衝突は洋上風力でも大きな懸念

鳥衝突



回避による
エネルギーロス



将来的に生息地放棄に繋がる可能性あり

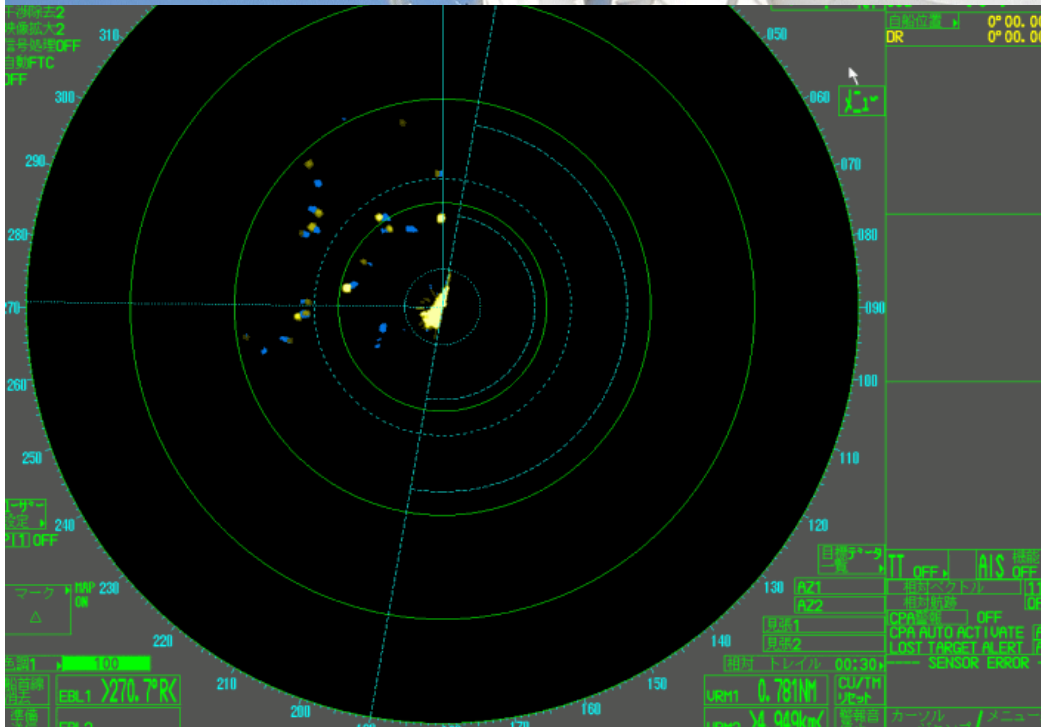
レーダシステムの活用

レーダ

(Radio Detecting and Ranging)

自ら電波を発射し、その**反射波を捉える**ことにより、海上の船や鳥などの物標を捉える方法。

波長の短いマイクロ波を使用するため、キャッチした**物標までの距離と方位を正確に測定**できる。



課題

動体軌跡の抽出方法に問題あり

現行の追跡プログラム
BirdStrike.exe
(トラッキング法) により抽出



レーダ観測動画

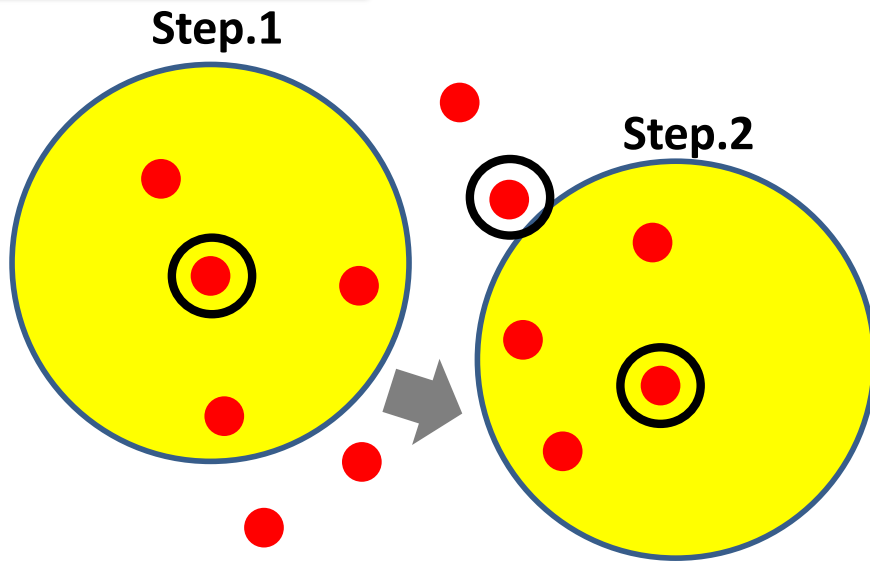
Sバンドレーダ観測試験
(2020.5.25-26、新潟県村上市)



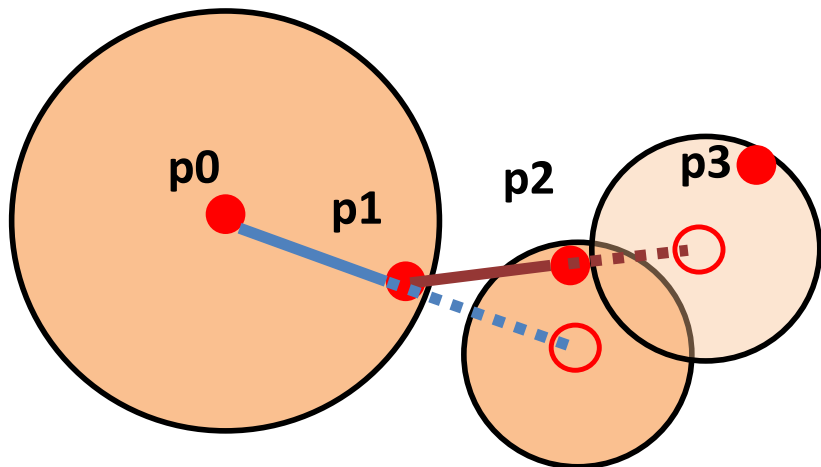
抽出された軌跡群

課題

現追跡プログラム” BirdStrike.exe” の課題



物体の検査数を減らすため、一定数以上の物体(O)を削除



等距離を延伸して、仮想点(O)から探査円を描き、物体を発見…の繰り返し

1. 追跡精度が良くない

→ 開発時期..10年以上前

→ アルゴリズムの課題

① 密集データの削除

② 時刻追跡 (探査円)




2. 追跡結果の真偽判定が不明

→ 教師データの欠如



本申請課題の目的

船舶用レーダのSバンドおよびXバンドレーダを用い広範囲のエコー画像を取得した上で...

-  オプティカルフロー等に基づく新たな飛翔抽出方法を開発することにより**動体軌跡を抽出**する。
-  GPSロガー等により飛翔軌跡を取得することで教師データを作成し、**AI学習による飛翔軌跡の種判別**を行う。
-  生物情報とリンクした動体軌跡をもとにした**衝突リスク評価の手法を開発**する。



研究目標

第1目標

取得されたレーダデータから、オプティカルフロー等を用いて新たな**動体軌跡抽出の手法を開発**する。

第2目標

第1目標で作成した動体軌跡に対し、GPSロガー・測距機等により得られた飛翔軌跡の教師データによるAI学習を行い、**鳥類もしくはコウモリ類を識別する手法を開発**する。

第3目標

教師データに基づくAI学習をさらに発展させ、**種レベルもしくは目レベルで飛翔軌跡を分別する手法を開発**する。



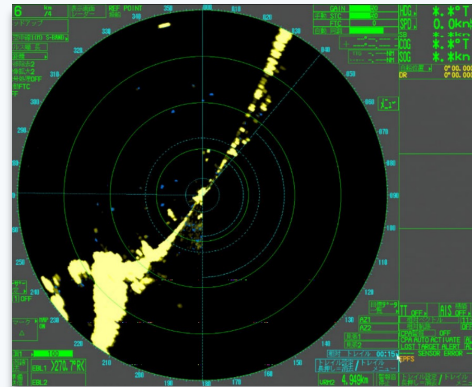
研究計画 & 体制

風力発電アセスの課題

洋上での広域環境調査は困難



レーダ実用化に向けた
技術開発の強い要望



夜間の観察は困難



サブテーマⅠ 新潟大学
北海道大学

Sバンドレーダを用いた
鳥類に対する
環境アセスメント手法の検討

- ・GPSロガー等を用いた鳥類の飛翔軌跡の取得および種ごとの教師データ作成
- ・レーダデータを用いた鳥類の衝突確率の算出

サブテーマⅢ 日本気象協会

レーダ画像から
飛翔軌跡をAI識別する
画像解析手法の確立

- ・取得されたレーダ画像に対する画像処理と、新たな動体軌跡を抽出する手法の開発
- ・教師データに基づくAI学習により鳥類およびコウモリ類の飛翔を分別する手法の開発

サブテーマⅡ 徳島大学

Xバンドレーダを用いた
コウモリ類に対する
環境アセスメント手法の検討

- ・衝突リスクの高いハイリスク種を指標とし、画像解析用の教師データ作成
- ・レーダデータを用いたコウモリ類の衝突確率の算出



解析の流れ<研究開発内容>

Step1

レーダデータの取得と動体軌跡の抽出

(日本気象協会、新潟大G、徳島大)

- 北海道、宮城県、静岡県、愛媛県の全国5カ所でSバンドおよびXバンドレーダデータを取得.
- オプティカルフロー等を用いて、飛翔動物の動体軌跡を抽出

Step2

飛翔動物の教師データ作成 (新潟大G、徳島大、日本気象協会)

鳥類

- オオミズナギドリ、カモメ類、ウツウ、ウミスズメ
- ガン、ハクチョウ類
- サシバ、オジロワシ

コウモリ類

- ヤマコウモリの絶滅危惧種
- ヒナコウモリなどのハイリスク種

Step3

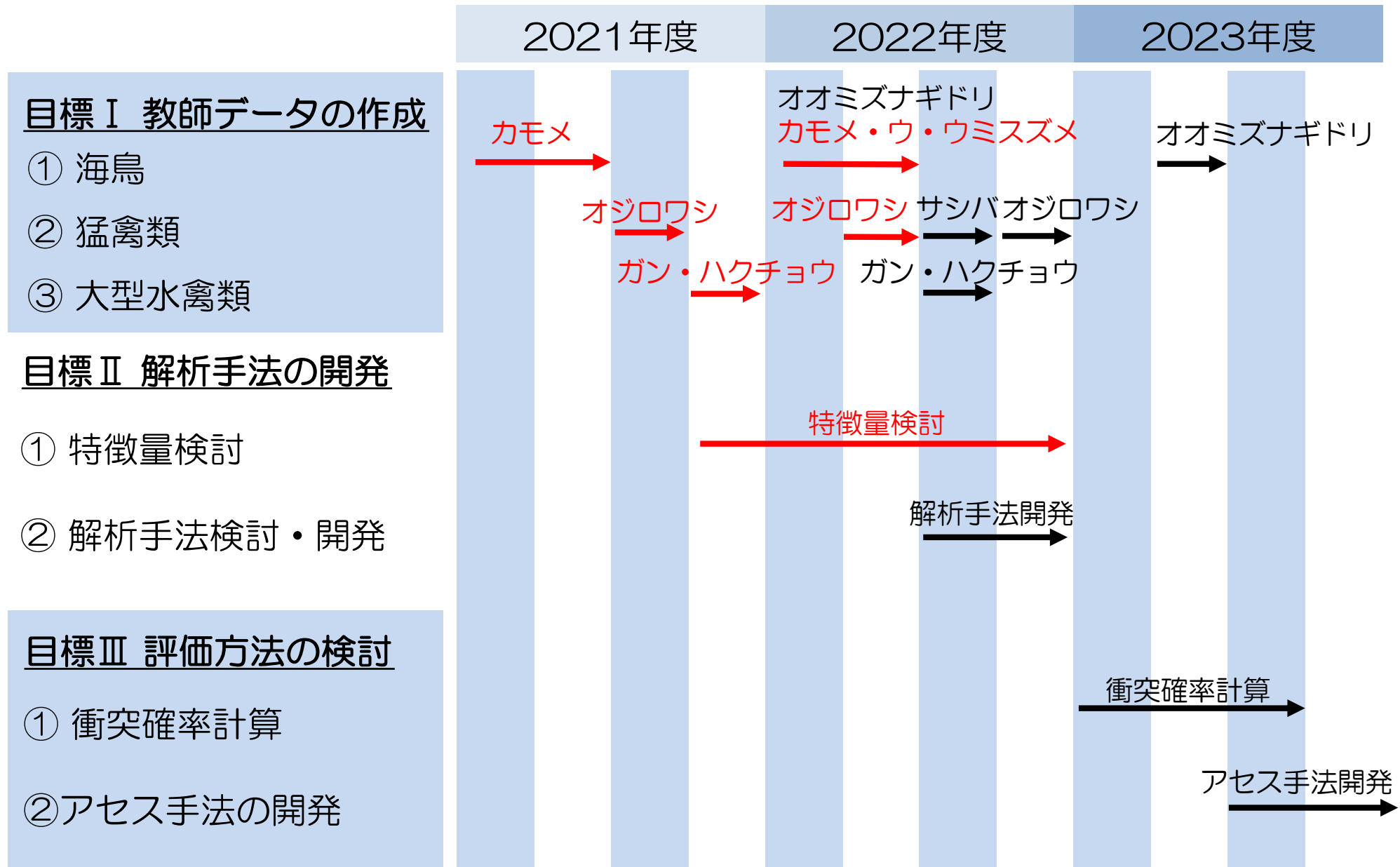
レーダ画像から飛翔軌跡をAI識別する

(日本気象協会)

- Step2で作成された教師データに基づくAI学習を行い、鳥類およびコウモリ類の飛翔を分別する.



サブテーマ I の研究計画 & 進捗状況





GPSと測距器による教師データ取得

ウミネコ・ウトウ
・ウミウ



北海道
天売島
羽幌港



GPSマーカー
&
測距器

オオミズナギドリ



伊豆諸島
利島



GPSマーカー

オジロワシ



北海道
宗谷
サロベツ
根室



測距器

サシバ



愛媛県 佐田岬



測距器

ガン・ハクチョウ



宮城県 伊豆沼
新潟県 福島潟



測距器

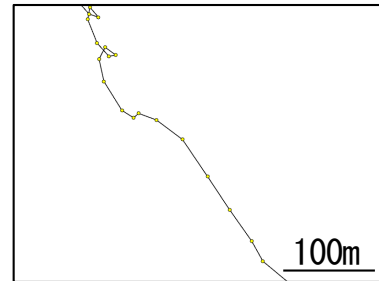


鳥類の主要な飛翔パターン

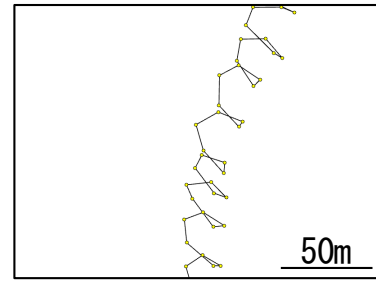
ねぐら湖沼上空、繁殖コロニー周辺といった風車建設が想定されない環境での飛翔を除く



猛禽類



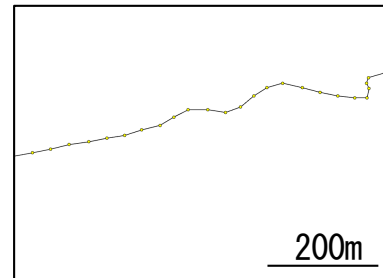
直線的な移動



旋回



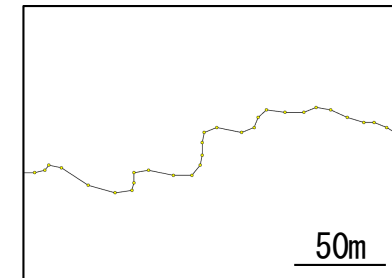
海鳥類



直線的な移動



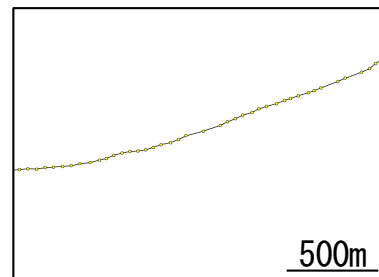
ミズナギドリ



ダイナミックソアリング



大型水禽類



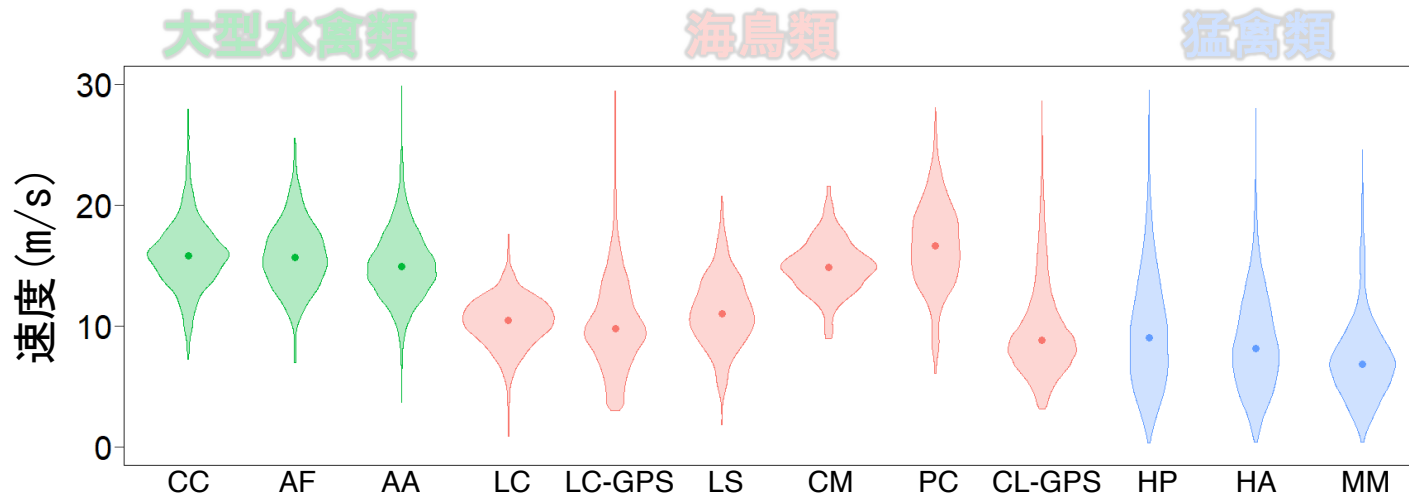
直線的な移動

いずれも
特徴的な飛翔特性
を持つ！



種共通的な特徴量の種間比較

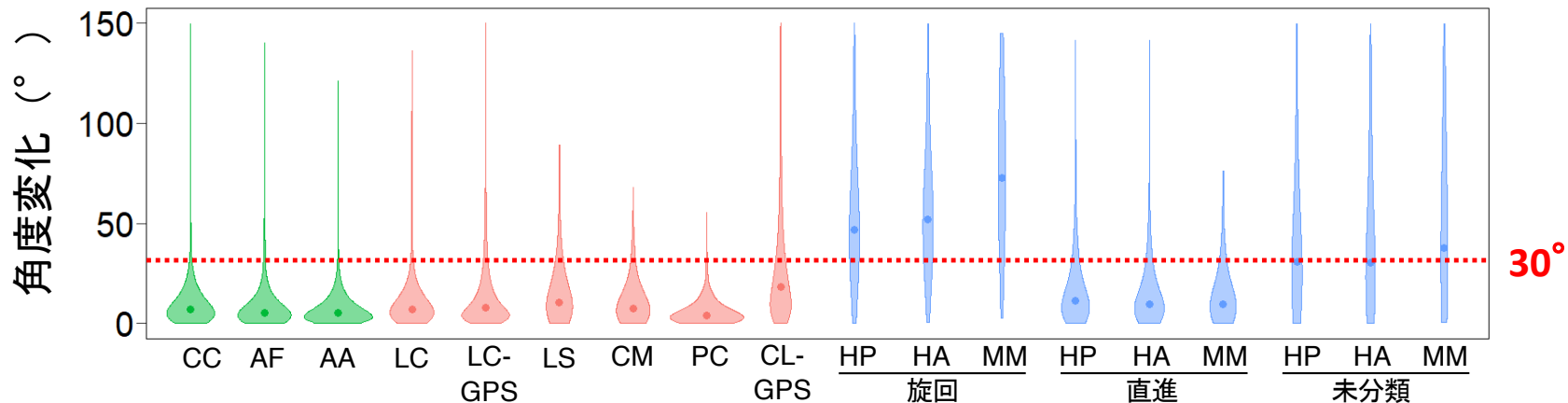
◆飛行速度:断片長に依存せず2点の位置データがあれば利用可能



- CC オオハクチョウ
- AF ヒシクイ
- AA マガン
- LC ウミネコ
- LS オオセグロカモメ
- CM ウトウ
- PC ウミウ
- CL オオミズナギドリ
- HP オジロワシ
- HA オオワシ
- MM トビ

速:大型水禽類・ウミウ・ウトウ、遅:猛禽類・カモメ・ミズナギドリ → 翼面荷重と関連・特徴量として有用

◆角度変化:断片長に依存せず3点の連続位置データがあれば利用可能



30° 以下の角度変化が多い → **軌跡抽出の探索範囲を絞り込む**ことで、誤判定を減らせる



Sバンドレーダに鳥は写るか？

漁船（約20m）



ボート（約5m）



ウミネコ（物標あり）1例のみ



ウミネコ（物標なし）

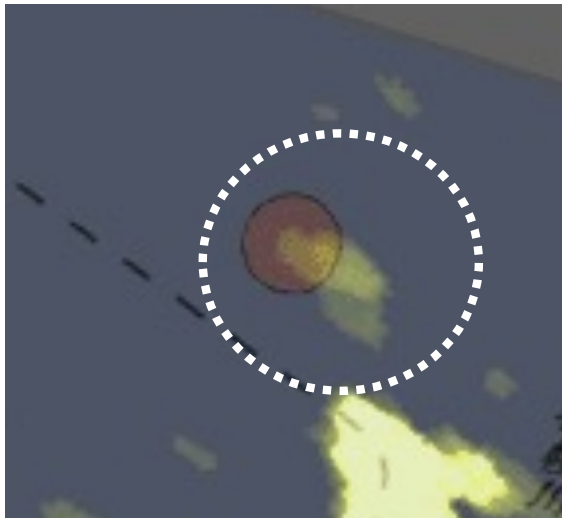


鳥の物標は **ない** or 断続的 → 高精度追跡は**困難**

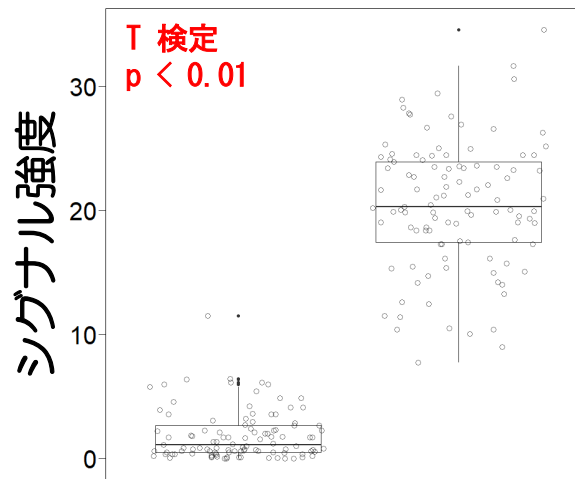


鳥山のレーダ像とシグナル強度

鳥山を高確率で検出

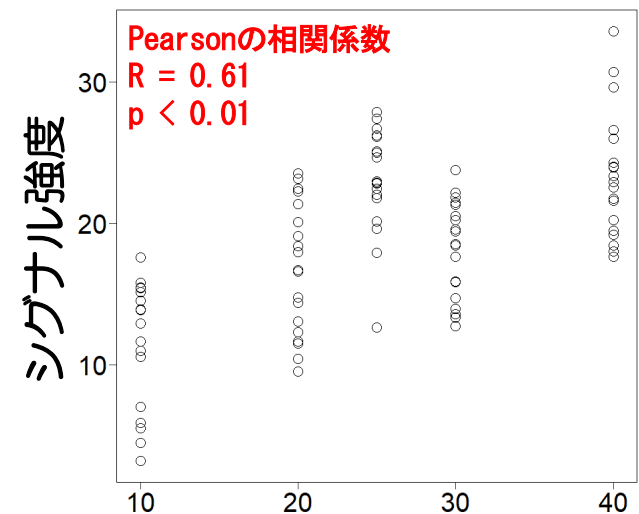


鳥山の有無とシグナル強度



鳥山なし 鳥山あり

鳥山の規模とシグナル強度



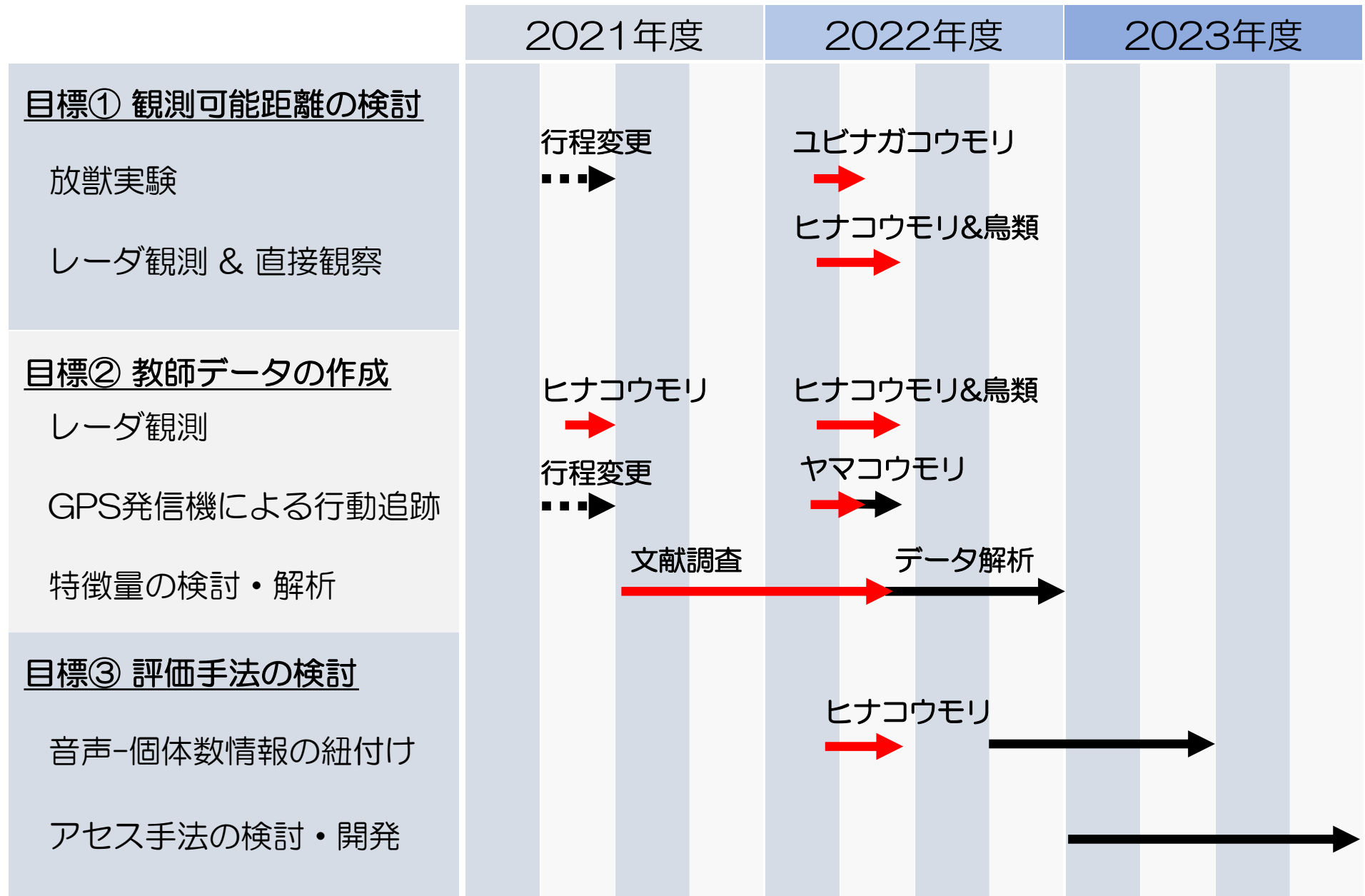
鳥山の規模 (個体数)

Sバンドレーダは**鳥山 (採餌群) の検出・定量**が可能

鳥山は移動性が小さいため、これまでの点の追跡ではなく面的なシグナルパターンを検出するプログラムが必要



サブテーマⅡの研究計画 & 進捗状況

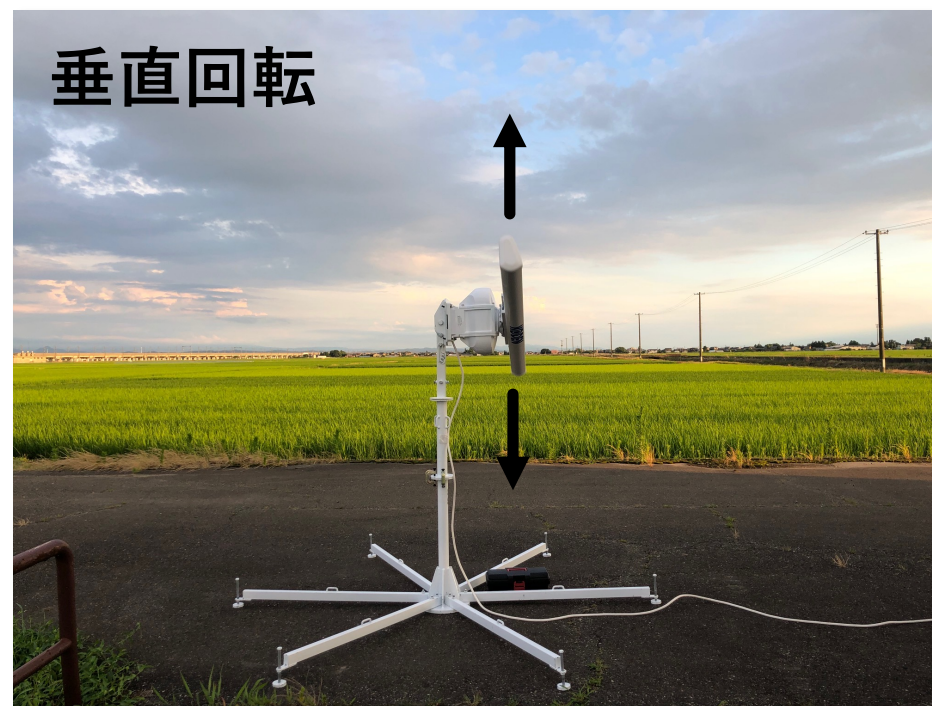




Xバンドレーダ

KODEN社製（マグネトロン方式）

周波数：9410 MHz，出力：12 kW，パルス幅：0.08 μ s



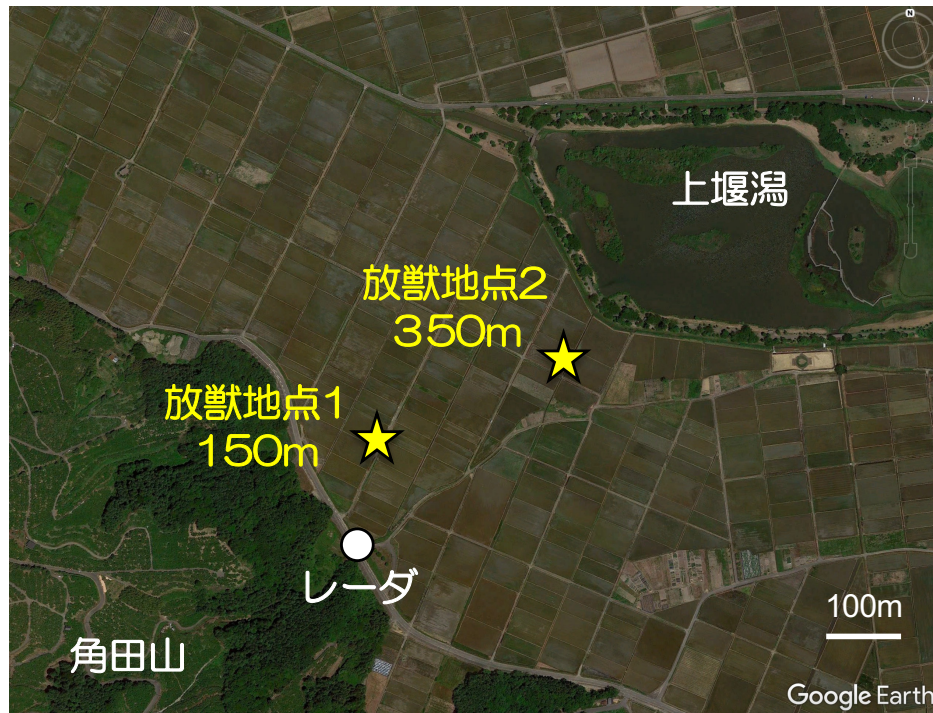
レーダ画像はアンテナ回転頻度に合わせて1.2秒間隔で記録



観測可能距離の検討

放獣実験による検証

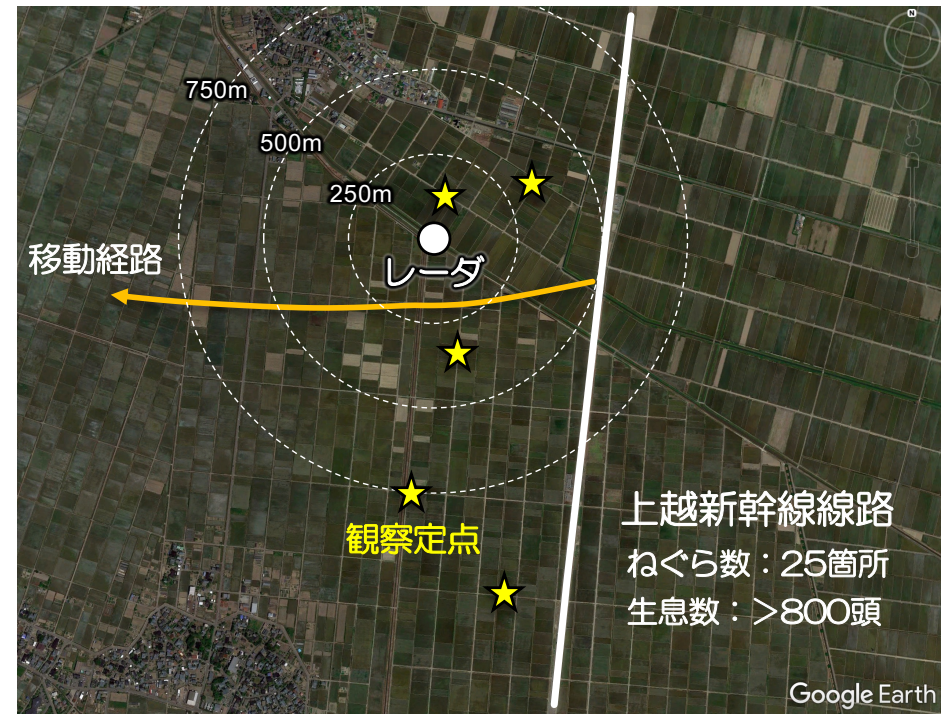
対象種：ユビナガコウモリ
調査時期：2022年6月中旬



放獣数に占める検出物標数を算出

直接観察による検証

対象種：ヒナコウモリ
調査時期：2022年6-7月



- 定点上空を通過したコウモリを直接観察
- 同時間帯に観測されたレーダ画像を確認
- レーダとの距離を変えて複数地点で実施



飛翔動物を捕捉可能な距離

調査地に出現した飛翔動物の観測可能範囲
 観察対象が物標としてエコー画像に映ったか否かで判定

観察対象	垂直回転			水平回転		
	~ 400m	400 ~ 800m	800 ~ 1200m	~ 500m	500 ~ 750m	750 ~ 1100m
コウモリ類						
ヒナコウモリ	○	×	×	×	×	△
ユビナガコウモリ	-	-	-	×	-	-
鳥類						
トビ	-	-	-	×	○	○
ダイサギ	○	-	-	×	×	○
アオサギ	○	-	-	×	×	○
ゴイサギ	-	-	-	×	×	
カラス類	-	-	-	×	×	○
ムクドリ (群れ)	○	○	-	×	×	○
飛翔動物以外						
ヒト	-	-	-	○	○	○
車 (軽トラック)	-	-	-	○	○	○

ユビナガ：放獣実験の結果，鳥類：測距機で位置情報を確認したデータを含む

ヒナコウモリを対象としたレーダ調査では、
アンテナ垂直回転，観測範囲400m以内が有効



レーダデータの取得

対象種：ヒナコウモリ

実施時期 & 時間帯：2021年8月・2022年6～7月，日没の5分後～30分間

レーダ観測

(アンテナは垂直回転)



目視観察

(上空を通過した個体を計数)



バットディテクター

(地上から50mは検出可)

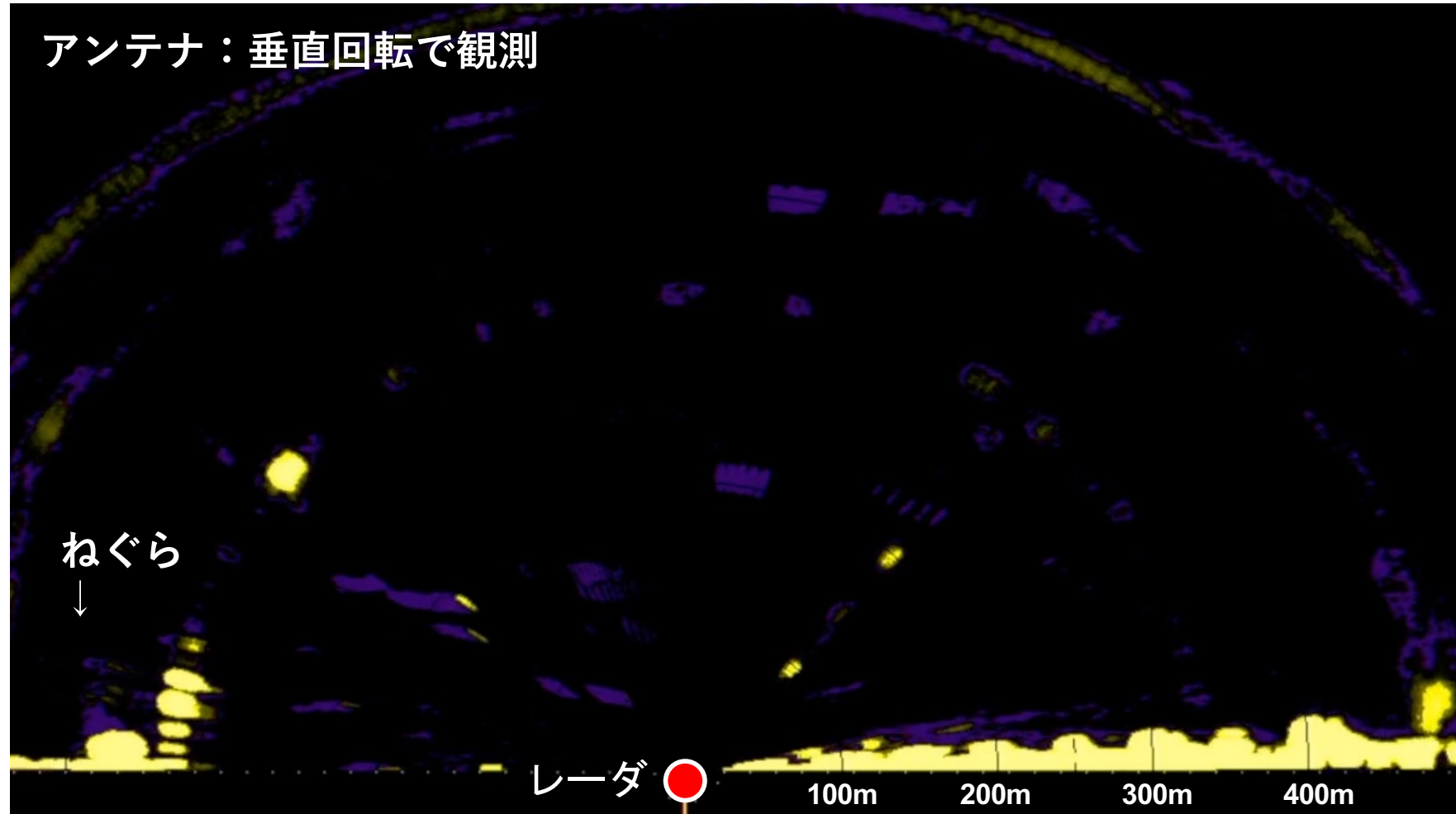


目視 & バットディテクターにより、
レーダ観測範囲内でコウモリの飛翔状況を直接観察

レーダ観測数と直接観察数の相関を確認



ヒナコウモリの飛行軌跡

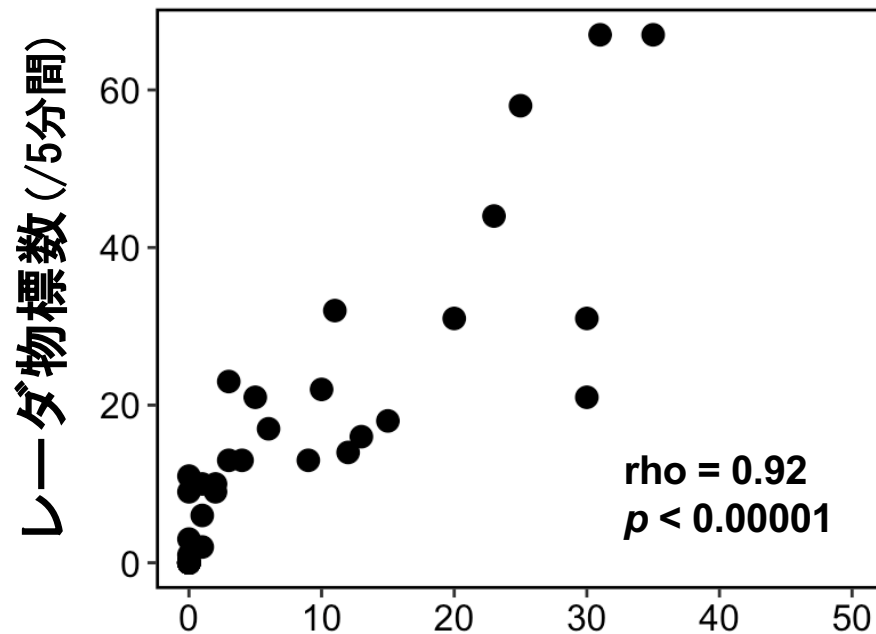


出巢直後から飛行高度が上昇していく傾向
ねぐら周辺の平坦な地形でも、高度100m付近に到達

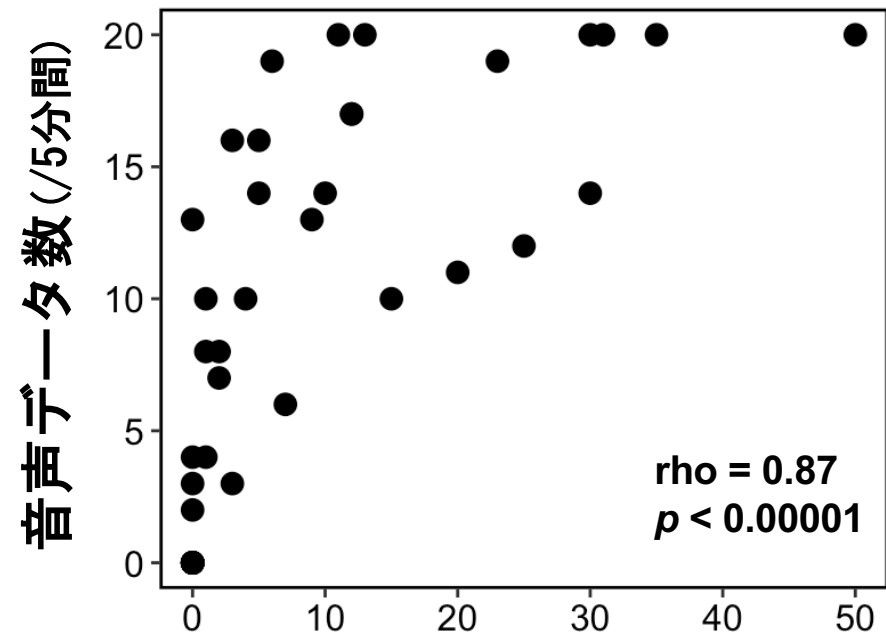


飛翔数・物標数・音声活動量の関係

物標数 - 飛翔数



音声活動量 - 飛翔数



コウモリの移動経路上では、

物標数・音声活動量ともに**飛翔数**と相関あり

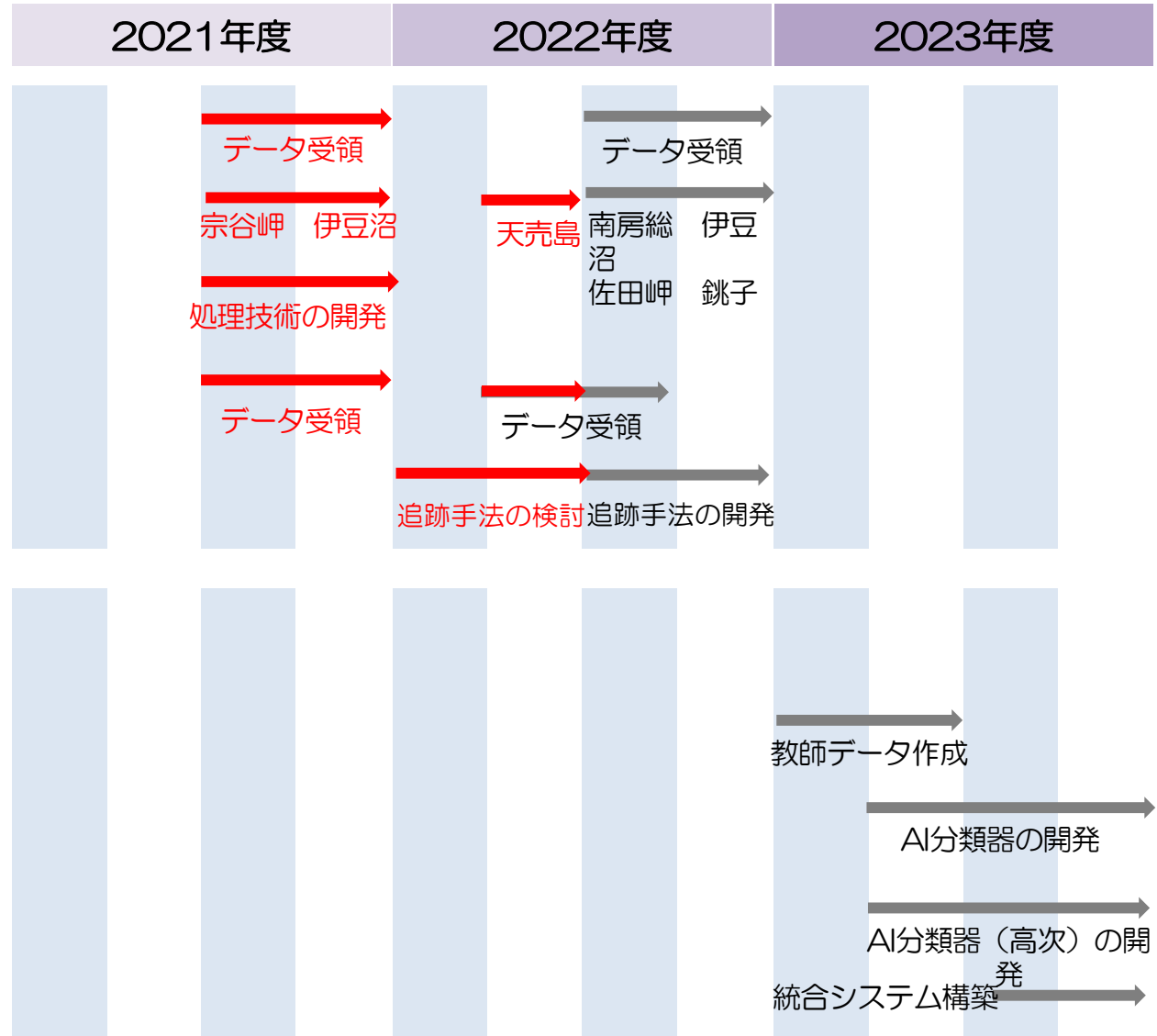


サブテーマⅢの研究計画 & 進捗状況

赤字：実施済み 黒字：実施予定

目標 ① 画像処理および動体抽出

- ① ST1から鳥類追跡データの受領
- ② Sバンドレーダ画像取得
- ③ ノイズ除去する画像処理技術の開発
- ④ ST2からコウモリ追跡データの受領
- ⑤ 動体を抽出・追跡する手法の開発

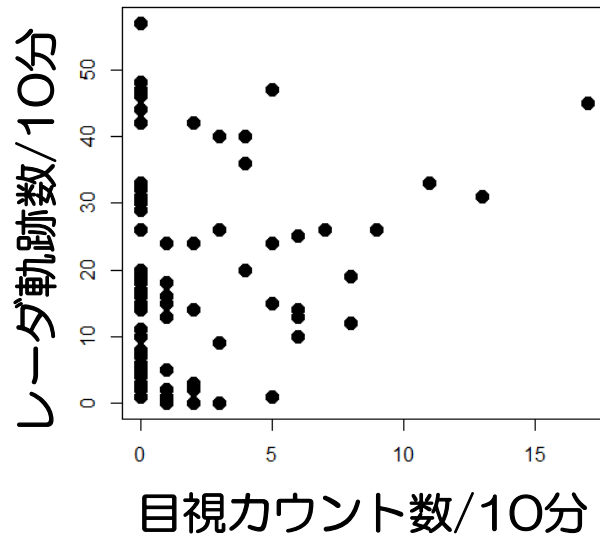




Sバンドレーダのクロスチェック

【宗谷岬：海ワシ類】

エリアB奥 $r = 0.2775$ $n = 96$

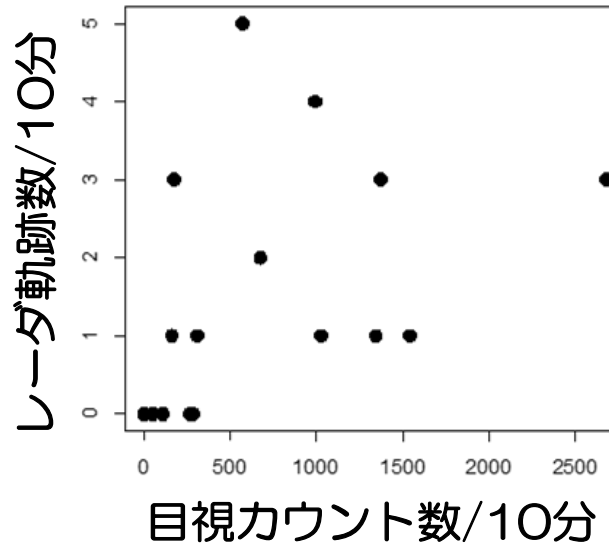


有意な関係なし

正の相関の傾向はある区画はあるものの、5区画いずれも有意性なし

【伊豆沼：ガンカモ類】

伊豆沼, $r = 0.460$, $n = 18$



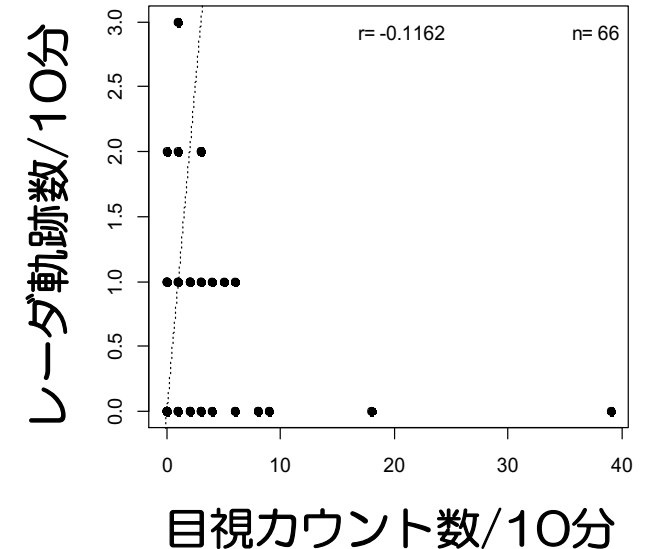
有意な関係なし

正の相関の傾向はあるものの、有意性なし

目視数：MAX2500
レーダ軌跡数：MAX5
群れの取りこぼしが多い

【羽幌港：海鳥類】

羽幌港 目視全カウント数: レーダ軌跡数 高度M



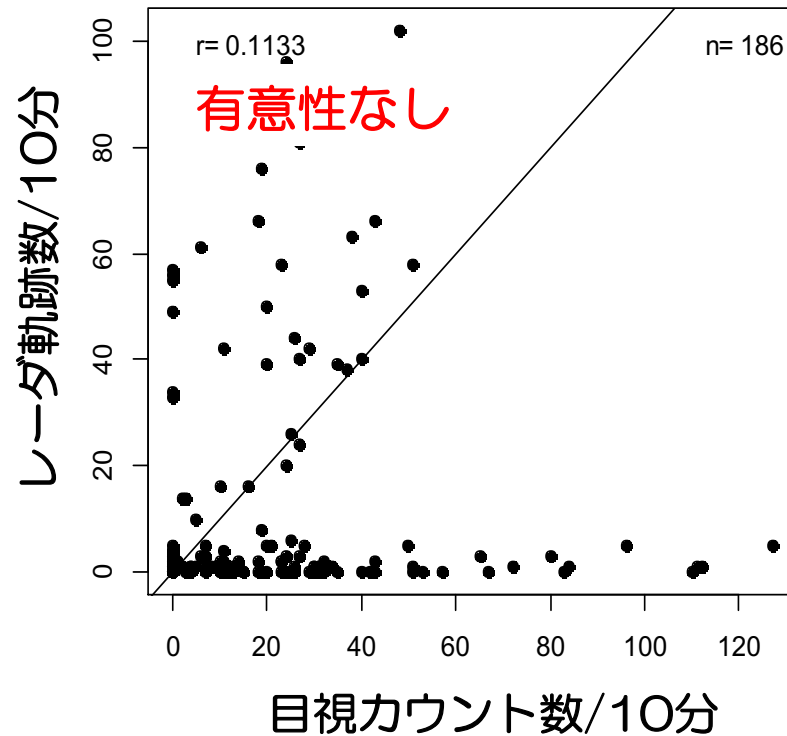
有意な関係なし



Xバンド (バンド) レーダのクロスチェック

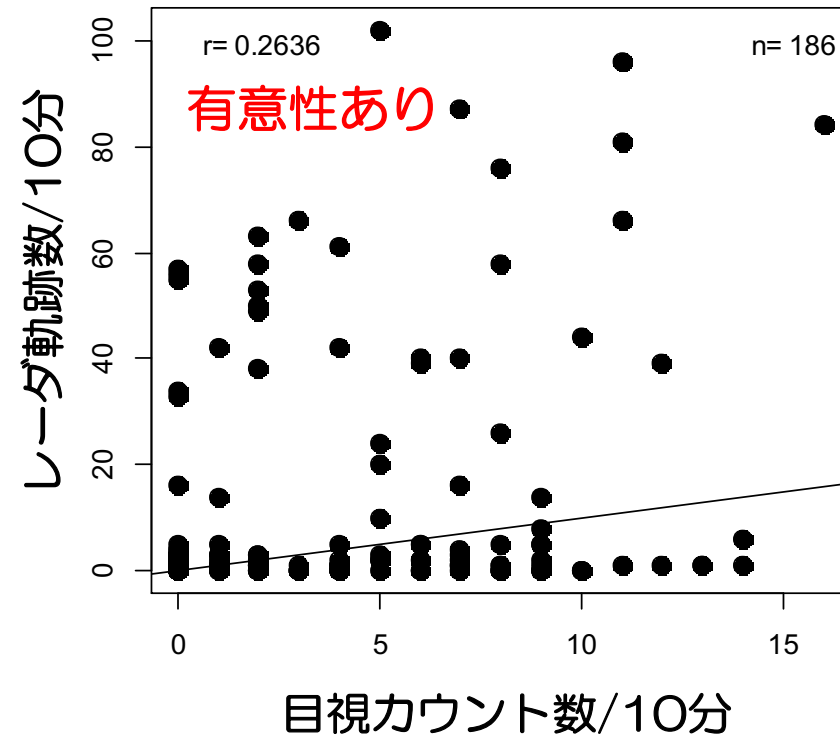
【天売島：海鳥類 高度5-40m】

天売島 目視全カウント数:レーダ軌跡数/10分 高度M



【天売島：海鳥類 高度<5m】

天売島 目視ウミネコ:レーダ軌跡数/10分 高度L

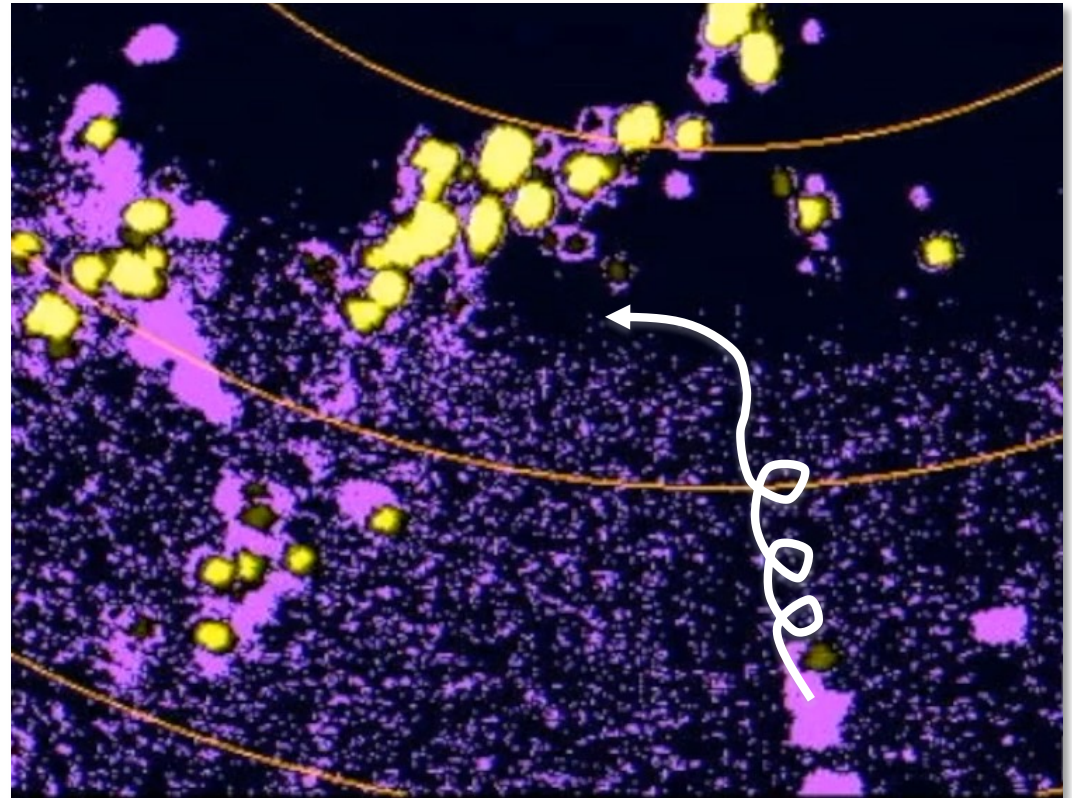
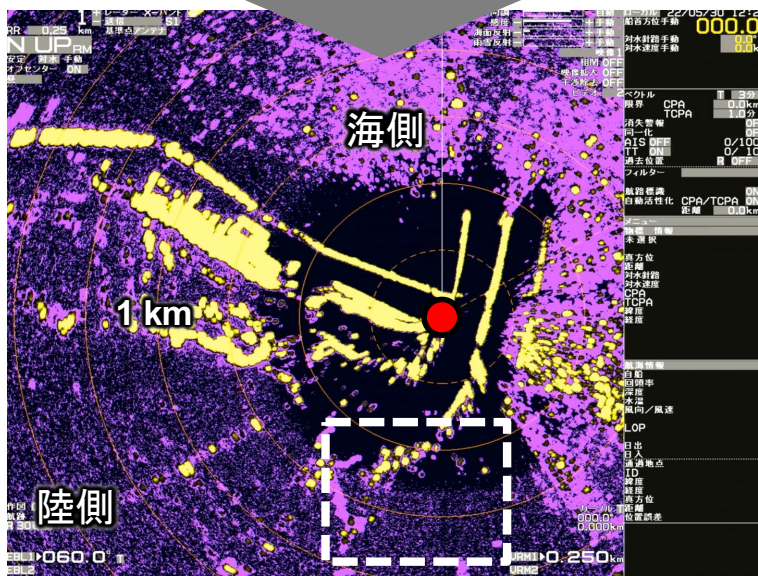


Sバンドよりは多少捕捉率は向上したが、
従来プログラムでは飛翔軌跡を十分に
拾いきれていない



Xバンドによるトビの飛翔軌跡

Xバンドレーダ（水平回転）による観測



トビが旋回する様子を
連続的に捕捉可能



ノイズを除去する画像処理技術の開発



オリジナル



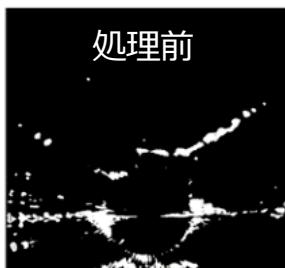
従来の処理



新アルゴリズム

コウモリレーダー画像の処理結果の比較。

従来アルゴリズムでは白く抽出されていた明るい水色のエコーが、新アルゴリズムでは除去。



処理前



処理後

背景画像処理の一例。
地形などの静止エコーおよび、その周辺のエコーが除去され、移動しているエコーのみが残っていることが分かる

ノイズ除去に関する 従来アルゴリズムと新アルゴリズムの比較

プログラム名称	ガンカモ類 (伊豆沼)		コウモリ類 (新潟市)	
	前処理後に残存したエコーの数 / 入力エコー数 (8)	抽出率	前処理後に残存したエコー数 / 入力エコー (13)	抽出率
従来アルゴリズム	3/8	38%	8/13	62%
新アルゴリズム	5/8	63%	13/13	100%

従来プログラム (従来アルゴリズム)

→赤色成分のみを利用し、鳥エコー以外も抽出。

新アルゴリズム

→RGB色の距離を計算し、残すor除外を厳密に判別 (図：上段)。

→背景画像 (動かない物体=地形) の外郭・縁辺の揺らぎも取り除くことに成功 (図：下段)



全体を通してのまとめ

- ① 鳥類に関し、飛行中の速度や角度変化において分類群間で明瞭な差異があることから、適切なエコートレイルが描ければ**種判別できる可能性**あり。
- ② **Sバンド**では鳥を個体レベルで**追跡すること**は**困難**であるが、**Xバンド**では可能性あり。Sバンドによる鳥山の検出は可能。
- ③ 衝突ハイリスク種であるヒナコウモリでは、レーダによる**観測数が実際の飛翔数と相関あり**。



進捗状況

サブテーマⅠ 計画通りに進展している

□具体的な理由

当初目的よりも多くの鳥種・時期を加えており、確度のある教師データを作成している。
Sバンドでは個体追跡が困難なため、Xバンドに切り替えて進行している。

□目標達成の見通し

Sバンドでは高確率で採餌群を検出 → 群レベルのリスク評価が可能
Xバンドでは旋回等の詳細な追跡を確認 → 種特異的な特徴量による種分類器が開発可能

サブテーマⅡ 進捗が一部遅れている

□具体的な理由

観測可能距離の特定と、ヒナコウモリのレーダデータ取得については計画通りに進展しているが、
GPS発信機による行動追跡は、R3年度の新型コロナウイルス感染拡大の影響で延期となったため。

□目標達成の見通し

レーダ調査についてはデータをさらに充実させ、AI学習によるコウモリ類の分類に有用な特徴量を検討していく必要がある。今後、GPS追跡による行動データが取得されることで、詳細な特徴量の解析を進めていく予定である。

サブテーマⅢ 計画通り進展している

□具体的な理由

教師データを受領、予定地でレーダ観測を実施、レーダ画像のノイズを除去する画像処理技術を開発した。

□目標達成の見通し

ノイズ処理のための画像処理技術は完成し、動体軌跡を抽出するアルゴリズムを検討中。角度変化量と速度の二つのパラメータで鳥類とそれ以外に識別できる可能性を検討中、種レベルもしくは目レベルで飛翔軌跡を分別する手法の開発は、分類器の作成方法と軌跡データセットについて検討を進めていく。



環境政策への貢献

貢献1 風力発電に係る環境影響評価の技術向上に貢献できる

「洋上風力発電所等に係る環境影響評価の基本的な考え方に関する検討会報告書」（環境省、平成29年3月）には「海域には様々な鳥類の出現が確認されているが、陸域からの距離と飛翔高度に関する知見が乏しく、一般化できるほどの情報は得られていないため、更なる知見の蓄積が必要である」（14頁）との課題が指摘されている。対象海域を船舶レーダで広範囲に探査し、AIで種群を検知することが可能になれば、**広域の洋上風力に対する環境影響評価の技術向上に貢献**できる。。

貢献2 コウモリ類に対する衝突リスク評価手法の確立に貢献できる

本研究で検討するXバンドレーダによるコウモリ調査手法は、従来手法よりも広域を対象に、飛翔数および飛行高度を計測できるため、これまで調査が困難であった、**高空域を飛翔するハイリスク種の飛翔状況を捕捉することが可能**となる。これにより、コウモリ類を対象とした**衝突リスク評価の手法確立に大きく貢献**することができる。

貢献3 有効な解析ツールとして環境アセス市場で汎用される

本研究で開発するレーダ画像解析システムによりレーダに写る動体軌跡の種を識別することができるようになれば、事業計画の環境影響を適切に判断することが可能となり、環境劣化インパクトを最小限に食い止めるための**有効な解析ツールとして、環境アセスメント市場で汎用される**ことが期待される。



研究成果の発表状況

✓ 論文<査読あり>

(1) K. MIKAMI, K. KAZAMA, M. T. KAZAMA and Y. WATANUKI: Journal of Environmental Management, 316, 115220.Epub (2022) (IF 8.6)
Mapping the collision risk between two gull species and offshore wind turbines: Modelling and validation.

1報

✓ 口頭発表

(1) 関島恒夫、第69回日本生態学会（オンライン開催：2022年3月14日）生物多様性および生態系サービスに及ぼす風力発電の影響

(2) 鎌田泰斗（新潟大学）、富田健斗（新潟大学）、早坂圭司（新潟大学）、山本麻希（長岡技術科学大学）、小山 悠歩（名古屋大学）、依田憲（名古屋大学）、関島恒夫（新潟大学）第69回日本生態系学会（オンライン開催：2022年3月14日）洋上風力発電のリスク評価にむけた機械学習によるオオミズナギドリ飛行経路予測

(3) 鎌田泰斗（新潟大学）、Dr. Aonghais Cook wind farm seminar（オンライン開催：2022年7月6日）オオミズナギドリの感度マップについて

(4) 三上かつら（北海道大学）、Dr. Aonghais Cook wind farm seminar（オンライン開催：2022年7月6日）カモメ2種の衝突感度マッピングについて

4報

✓ 「国民との科学・技術対話」の実施

(1) イヌワシフォーラム（2022年7月23日、岩手県石巻地区森林組合研修センター）猛禽類の頂点「イヌワシ」について

(2) 徳島大学理工学部における学生授業「環境生態学」（2022年7月6日、聴講人数59名）のうち1回分にて研究内容を紹介

2回