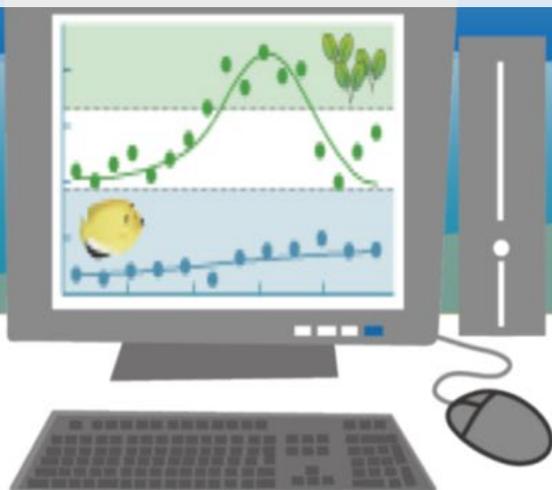




1-1602 フィールド調査とロボット・センサ・通信技術をシームレスに連結する水域生態系モニタリングシステムの開発

研究代表者 国立大学法人東京大学 海津裕
研究実施期間平成28年度～30年度
累積予算額 99,276千円



研究体制

	サブテーマ	研究機関名	研究分担者名
①	ロボットボートによる生態系モニタリング およびマネジメント	東京大学	海津裕
②	ドローンによる空中からの広域生物相モニタリング	酪農学園大学	小川健太 鈴木透
③	センサネットワークによる地上・水面からの生物相モニタリング	北海道大学	山田浩之
④	モニタリング技術の適正運用に向けたマニュアル・ガイドライン作成	宮城県伊豆沼・内沼環境保全財団	嶋田哲郎

研究開発目的とサブテーマ間の連携

- 宮城県伊豆沼・内沼をベースに最新技術を用いて、全国の湿地に普及可能な、総合的生物相モニタリングシステムと管理、監視用ロボットを開発すること
- 開発した技術を実際に運用した場合の生物への影響評価を行うこと
- 技術の普及のためのマニュアル・ガイドラインの作成を行うこと
 - 現場作業の省力化や低コスト化、データ化が可能となる

①ロボットボートによる生態系モニタリングおよびマネジメント
(東京大学)

②ドローンによる空中からの広域生物相モニタリング
(酪農学園大学)

③センサネットワークによる地上・水面からの生物相モニタリング
(北海道大学)

ハス成長管理・
植生タイプ分類・面積計測

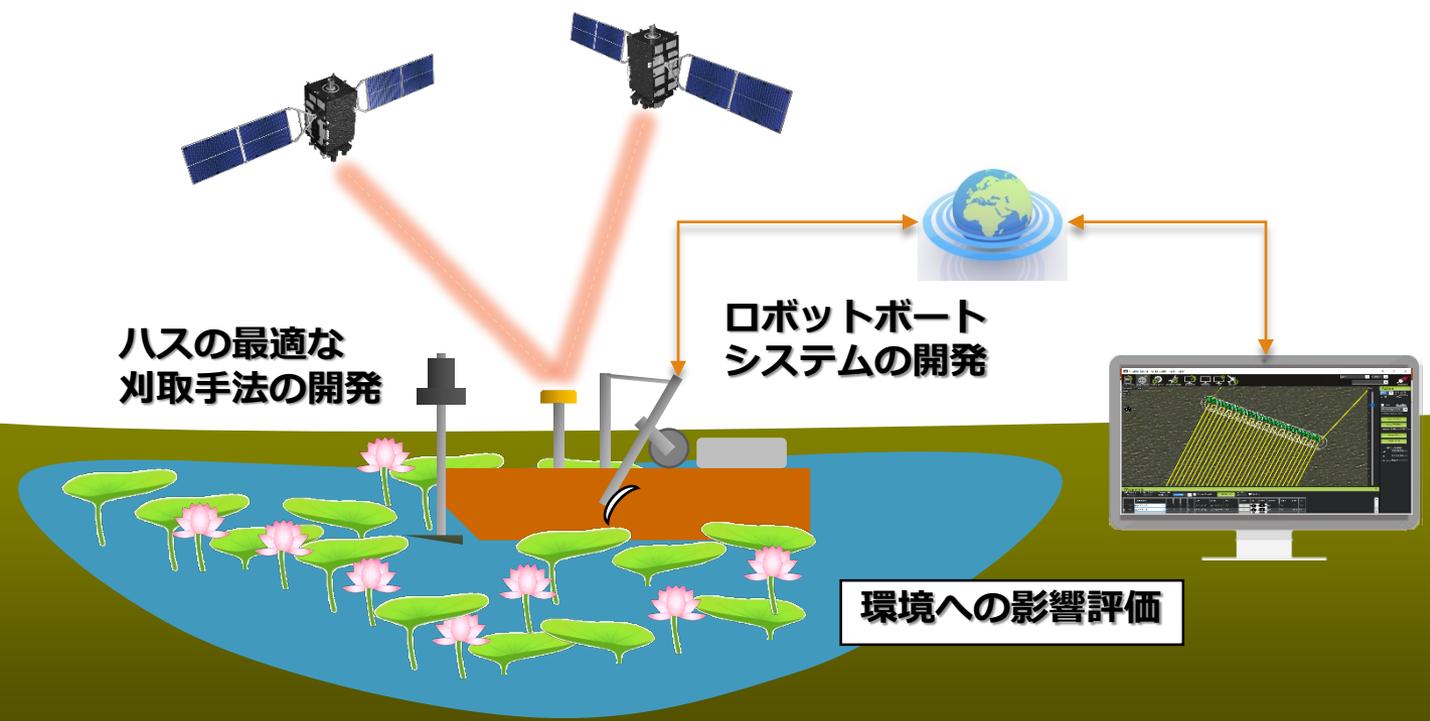
鳥類
個体数計測・種判別
調査の影響評価

昆虫・魚類
個体数計測・種判別

従来法による計測・開発した技術に対するフィードバック

④モニタリング技術の適正運用に向けたマニュアル・ガイドライン作成 (宮島沼と連携)
(伊豆沼・内沼環境保全財団)

サブテーマ1:ロボットボートを用いた生態系モニタリングおよび マネジメント手法の開発 - 到達目標・年次計画 -



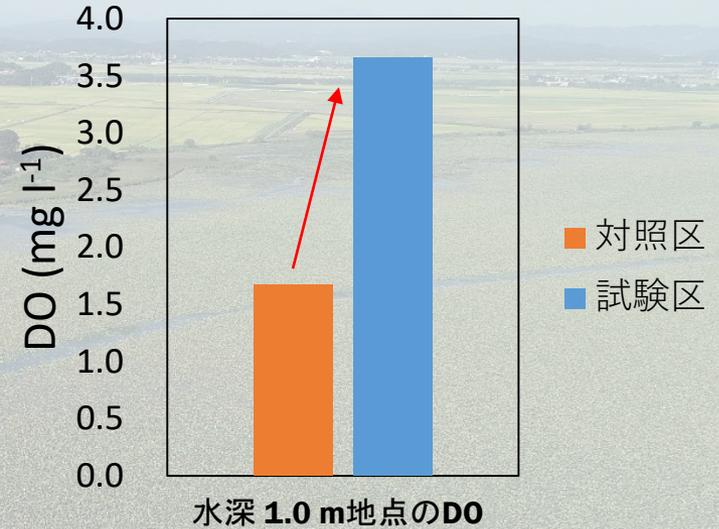
2016 (H28)	2017 (H29)	2018 (H30)
<ul style="list-style-type: none"> ● ロボットボートシステムの開発 ● 各コンポーネントの性能確認 ● 自律航行試験 	<ul style="list-style-type: none"> ● 作業能力, 耐久性の調査改良 ● 刈取時期による成長の違いを調査 	<ul style="list-style-type: none"> ● 最適な刈取手法の検証 ● 刈取が水質や水鳥の生態に与える影響の評価
<ul style="list-style-type: none"> ● 伊豆沼での試験航行, 試験刈取 	<ul style="list-style-type: none"> ● 伊豆沼での実証実験 	<ul style="list-style-type: none"> ● 伊豆沼での実運用

開発したロボットボート



刈払試験

刈払い面積率	> 90 %
作業能率	6 ~ 14 a h ⁻¹
作業中の走行速度	0.4 ~ 0.8 m s ⁻¹
消費電力	330 ~ 400 W



20m

50m

ロボットボートによる植生管理の実用可能性

● 利用可能性・ユーザビリティ・機器の汎用性から評価

作業	実用可能性	利用可能性	ユーザビリティ	機器の汎用性
ロボットボートによる水草の刈取		◎ システムの 性能評価	○ 機器準備 充電・ルート設定 トラブル時対応	○ 一般的な機器 (カッター・PC) で対応可

サブテーマ1：主な成果及び活用

主な研究成果（学術的意義）

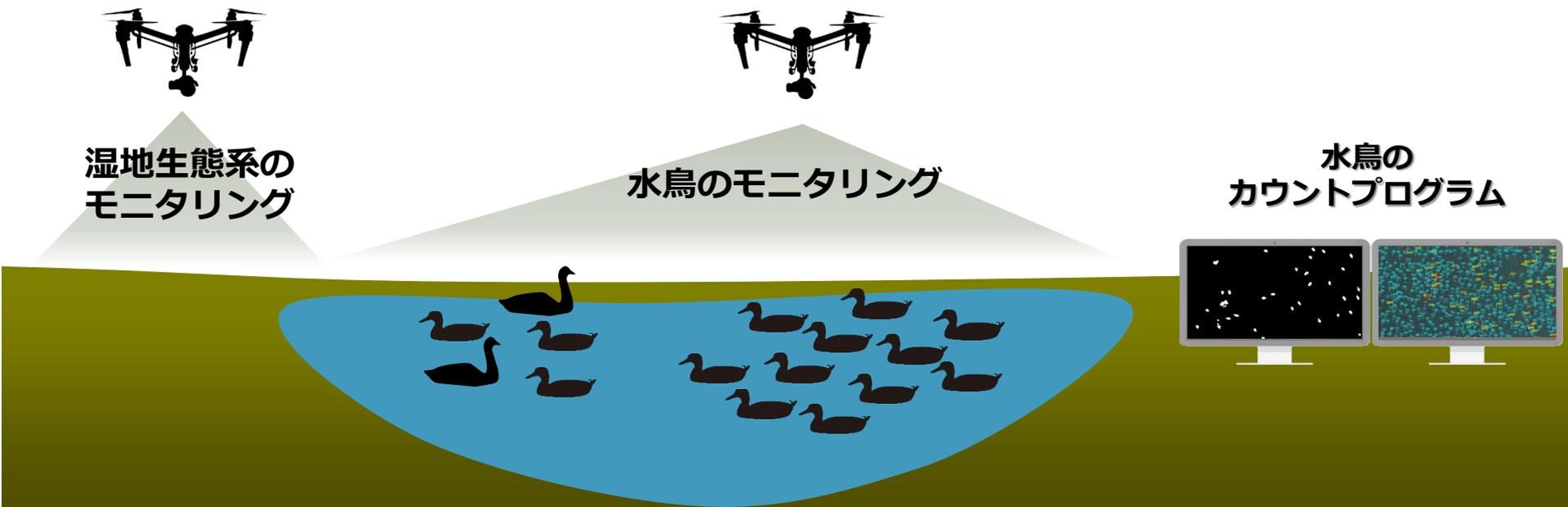
- これまで存在しなかった、軽量、低コストな水草の刈払ロボットボートシステムを開発し、その性能評価を行った
- ドローンによる調査により、その効果を定量的に評価することが可能となった

研究成果の主な活用（環境政策への貢献）

- 汎用性の高いシステムの構築により、ランニングコストを抑えた継続的な植生管理を実現する手段が確立され、全国的に自然再生を一層推し進めることができると考えられる。
- ハスだけではなく、ヒシやヨシなどその他の水生植物の管理にも用いることが可能である。
- 刈り払った植物を回収し堆肥化することで地域の資源循環を図ることができる

サブテーマ2: ドローンによる空中からの広域生物相モニタリング ー到達目標・年次計画ー

- ドローンによる**水鳥・湿地生態系のモニタリングシステム**の構築
- 効率的な水鳥のカウントプログラムの開発



2016 (H28)

- ドローンセンサーシステムの検討
- フライトプラン・取得する画像の精度の検証
- 屋外・宮島沼での実証実験

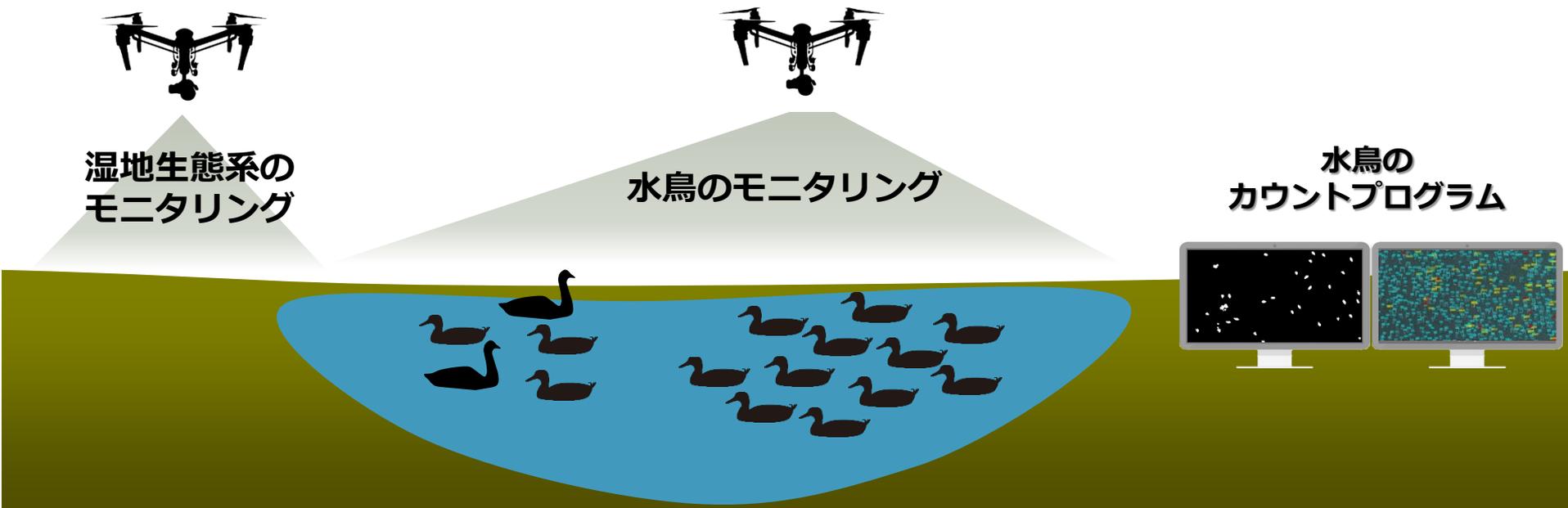
2017 (H29)

- ドローンシステムの実用可能性の検討
- カウントプログラムの開発・精度検証
- 宮島沼・伊豆沼での実証実験

2018 (H30)

- システムの改良
- 地域差の検討
- ユーザビリティの向上と評価
- 伊豆沼での実運用

検討したモニタリングシステム



宮島沼周辺の湿地群

開放水面
外来植物
土地被覆の変化

伊豆沼・内沼

ハスの分布・動態

データの蓄積

マガン

薄暗い環境での撮影方法
(カメラ設定・時間帯など)

水鳥インベントリ

撮影方法

特定種の調査

撮影方法

(ハクチョウ・チュウサギ)

マニュアル化

マガンのカウント

汎用的な手法の開発

水鳥インベントリ

手法の検討開発

マニュアル化

埤（ねぐら）入り中のマガンのドローンからの撮影と自動カウント

水鳥カウントの課題

- ①熟練者不足：数万羽以上飛来するマガンを目視で正確に把握には熟練が必要
- ②時間が限定：水面にマガンが集まるのは日没後～日の出前、暗い環境でカウントが必要

成果③機械学習により撮影した画像のマガンを自動カウント

- ・誤差は5 %程度
- ・従来法とも整合



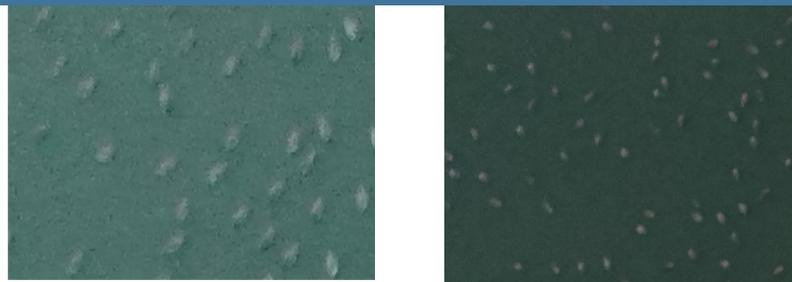
水色：正解

黄：不正解（誤検出）

赤：不正解（漏れ）

成果①暗い場所に適した撮影手法

- ・ホバリング+超スロー・シャッター
- ・日没後20-35分での撮影



成果②ドローンで短時間に撮影手法

- ・1機1フライトあたり50 ha程度まで



GPSによる
自動撮影



Image Courtesy of DigitalGlobe (background of UAV image)

湿地生態系のモニタリングシステム

ハスの分布・動態【伊豆沼】



2018年7月

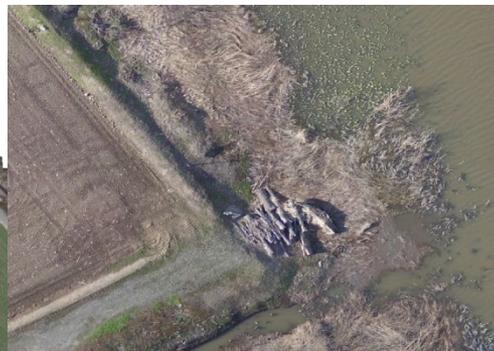


2018年11月

外来植物の分布【宮島沼】



開放水面の減少【石狩湖沼群】



北海道蓴菜沼
水面の減少した個所には水生植物が繁茂

湿地生態系に関連する
環境についてモニタリング

- 手法の確立
- データの蓄積・活用

ドローンによるモニタリングシステムの実用可能性

● 利用可能性・ユーザビリティ・機器の汎用性から評価

モニタリング	実用可能性	利用可能性	ユーザビリティ	機器の汎用性	
水鳥のモニタリング	マガンのカウント		◎ 撮影方法の確立 カウントの自動化	◎ 撮影方法 カウント方法の マニュアル化	○ 一般的な機器 (ドローン・PC) で対応可 大面積への対応
	水鳥の インベントリー		○ 撮影方法の確立 分類方法の検討	× 特別な 知識・経験必要	△ 性能が高い ドローン・PC必要
	特定種の調査		◎ 撮影方法の検討 チュウサギ・ハクチョウ	○ 労力・分析技術必要	◎ 一般的な機器 (ドローン・PC) で対応可
湿地生態系の モニタリング		◎ 撮影方法の検討 開放水面・土地被覆 外来種・ハス	○ 労力・分析技術必要	◎ 一般的な機器 (ドローン・PC) で対応可	

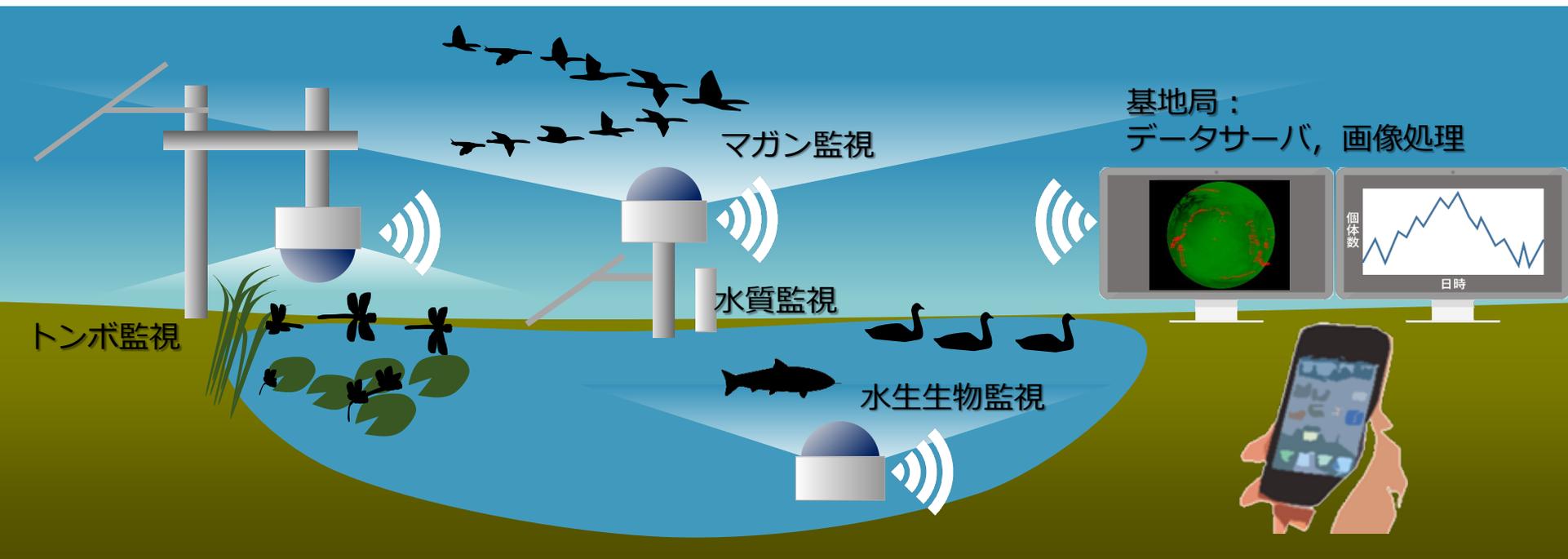
サブテーマ2：環境政策への貢献

研究成果の主な活用（環境政策への貢献）

- 現地の専門家とドローンの調査を担う担当者あるいは民間企業などが協力する体制を構築したうえで、今回開発・確立した撮影手法および画像解析手法等の技術を応用することにより、モニタリングの省力化、効率化を図り、湿地生態系に関する調査を継続的、広域に実施できると考えられる。

サブテーマ3：センサネットワークによる地上・水面からの生物相 モニタリング —到達目標・年次計画—

- センサと通信デバイスを用いた、小型で安価な現地設置型センサネットワーク端末の開発
- 湿地の生物（水鳥・トンボ類・魚類）と水質の監視システムの開発・構築



2016 (H28)

- 小型で安価な現地設置型センサネットワーク端末の開発

2017 (H29)

- システム改良による耐久性・操作性向上
- カウントプログラムの開発・精度検証

2018 (H30)

- 操作性（使い易さ）の向上
- ユーザマニュアル作成
- 普及に向けたコストダウン

- 室内実験・宮島沼での野外実験

- 宮島沼・伊豆沼での試験運用

- 宮島沼・伊豆沼での実運用

各種システムの開発・運用状況と課題

マガン監視



マガン

トンボ監視



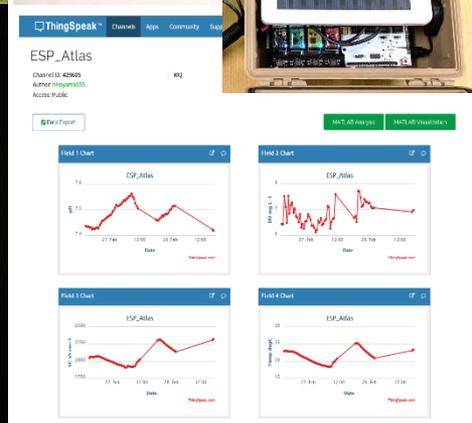
アキアカネ

水生生物監視



ゼニタナゴ

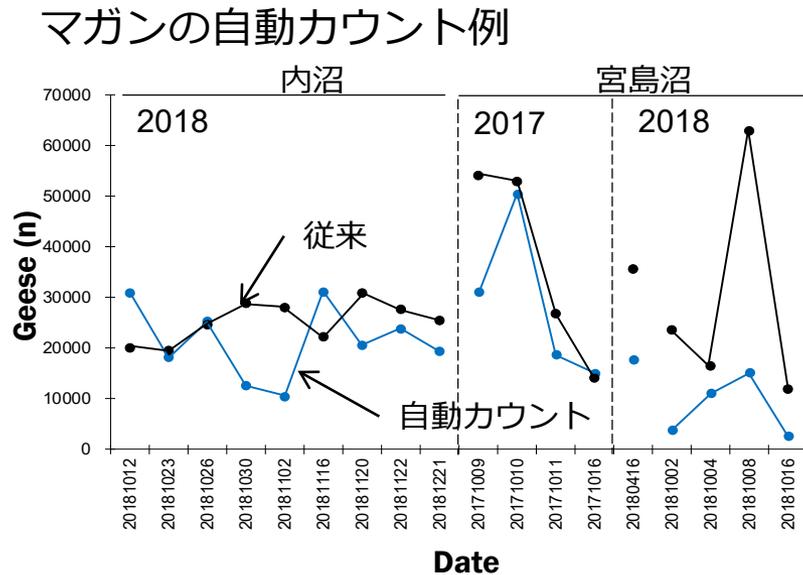
水質監視



- 無線通信・遠隔操作，画像やデータの自動アップロードが可能
- 2017年より伊豆沼・内沼（宮城），宮島沼（北海道）で運用開始
- 過酷な環境下で半年間連続稼働確認済，100万枚以上の画像を取得
- 2年に1回程度の電池交換，メンテナンスは殆ど必要なし
- 水生生物監視システムのトラブルシューティング中

画像処理による生物の自動検出とカウントの進捗状況と課題

- 映像取得から個体の検出や定量化までを可能とする監視システムを目標



トンボ検出例



チョウトンボ

水生生物検出例

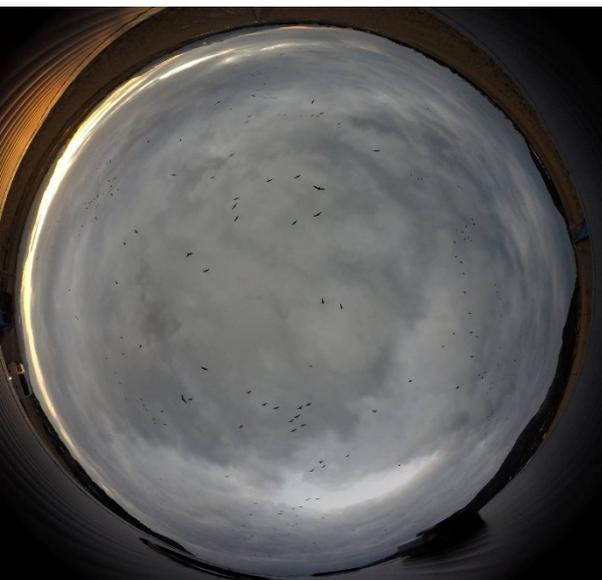


ゼニタナゴ群の検出

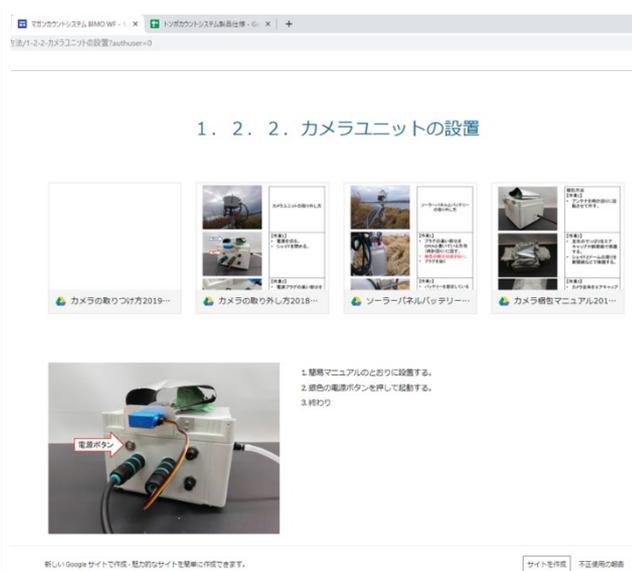
- マガン：従来法に近い値を得ることに成功。大きく異なる結果もあり。
→ 画像処理パラメータを調整中
- トンボ：画像処理・ディープラーニングで大型トンボの検出・計数が可能。
- 水生生物：魚類の検出や計数が可能。
- 照度が0ルクス程度と暗い環境下でのマガン検出は困難
- 種の同定は、対象が小さい、特徴が明確ではないため困難

普及に向けた取り組み・工夫と課題

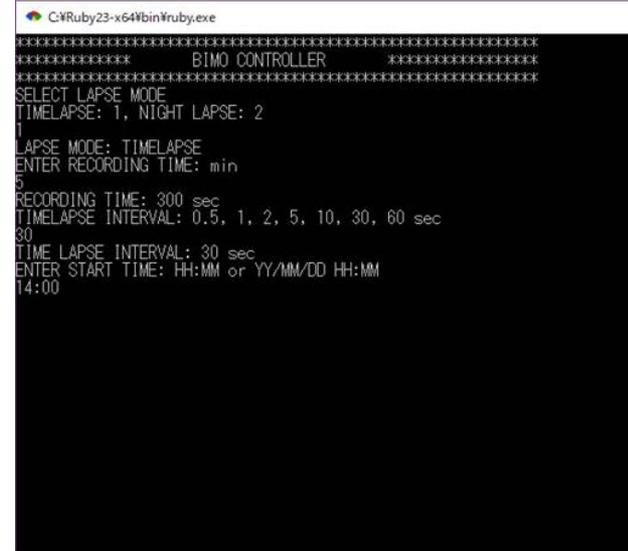
鹿児島出水ツルへの適用



ウェブマニュアル作成



操作性の課題



- 普及：ツル類の監視への適用を実施 → 現地に合わせた通信システムや耐久性を構築する必要性有
- マニュアル：設置や操作方法を簡便に確認できるウェブマニュアルを作成
- 操作性：コンソール上ではなくGUIで実施するなど操作の簡便化が課題
- コスト：3Dプリンタ等のパーツ供給を検討したが、パーツコストが10～30万円とまだ高め、維持コストも2年に1回の電池交換が必要（1万円程）

サブテーマ3：主な成果および活用

モニタリング	実用可能性	利用可能性	ユーザビリティ	機器の汎用性
生物監視システム (ハードウェア)	○	◎ 無線通信で自動で 遠隔地の監視が可能	○ プログラムライク で直観的に操作で きない	○ 現場に応じた通信 システムを構築す る必要有
生物の検出・カウント (ソフトウェア)	○	◎ 処理過程は様々な 生物にも対応可能	◎ 自動で解析を実施 し結果を出力	△ 生物や環境に応じ た設定が必要

- 通信技術やセンサでモニタリングするという到達目標は概ね達成
- 野生生物の自動監視や自動カウントの事例，実運用により適用範囲を把握した例はなく，科学・技術的な意義は大きい
- 実用化の面では，様々な環境への適用性や画像処理に関する課題有．
- 現時点の理論や技術の限界も明確になり，今後の発展の見込み有．

サブテーマ3：環境政策への貢献

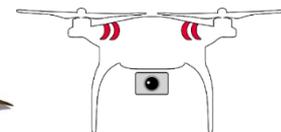
研究成果の主な活用（環境政策への貢献）

- アクションカメラやスマートフォンなどの民生品を組み合わせ、安価な現地設置型モニタリングシステムを構築することに成功し、さらに、その運用例を示した。
- これにより、モニタリング機器の多点設置の際にネックとなっていた設置コスト（初期投資）を抑えることができた
- ここで対象とした生物の個体群モニタリングのほか、外来性生物などの生物モニタリング、再生事業事後の生態系モニタリング、国立公園パトロール、環境DNAの検証用モニタリングなどにも普及・応用できるものと考えている

- 監視者、管理者の視点で適切な監視方法の選択と、安全で安定的な運用を可能とするマニュアルやガイドラインの作成
- 従来法による検証データ取得と各サブテーマへのフィードバック

野生生物への影響評価実験

- ガンカモ類を対象に水平接近、垂直接近、騒音などドローンの影響を評価



新監視技術の活用へ向けたガイドラインの作成

- これまでの知見を集積してコンテンツなどの検討及びその作成



現地調査による検証用データの取得及びシステムの監視と活用の検討

- 新監視技術と従来法の比較のためのデータ取得（目視による鳥類、トンボ類などの計測）
- システムの監視と活用の検討（ハスの刈り取り区の監視）

2016 (H28)

- 生物情報の収集
- ドローンの生物への影響評価試験

2017 (H29)

- サブシステムの監視
- 現地調査による検証用データの取得

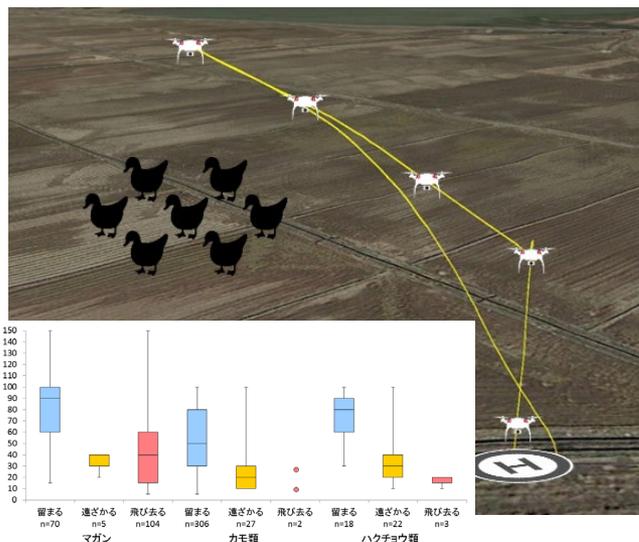
2018 (H30)

- サブシステムのマニュアル・ガイドラインの作成
- ドローン活用のガイドラインの作成

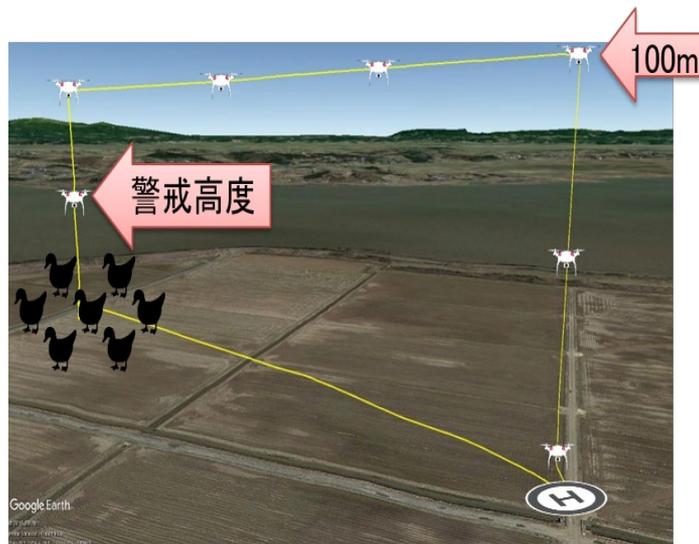


(1) ドローンによる野生生物への影響に関する情報収集 (水平接近、垂直接近、離陸時の群れとの距離)

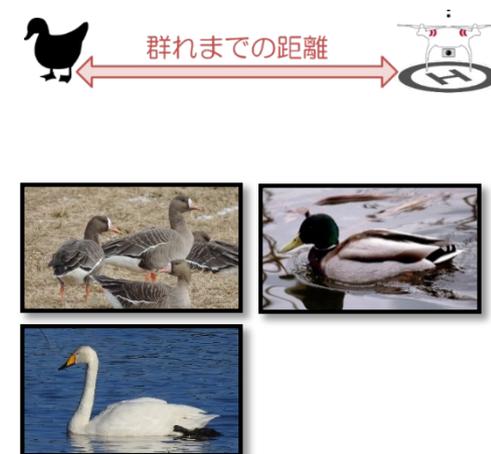
①水平接近試験 (N=557)



②垂直接近試験 (N=92)



③離陸地接近試験 (N=186)



鳥に影響を与えない高度

鳥に影響を与えない高度
(水面)

離陸時の群れとの距離
望ましい機体離陸距離

ガン類 > 150m
ハクチョウ類 > 20m
カモ類 > 30m

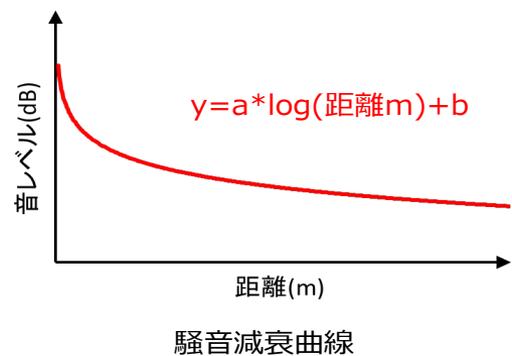
ガン類 > 30m
ハクチョウ類 > 80m
ガン類 > 70m

ガン類 > 100m
ハクチョウ類 > 100m
カモ類 > 100m

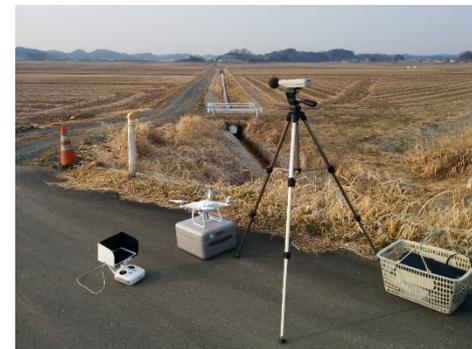
(2) ドローンの騒音に対するガンカモ類の反応調査

考え方

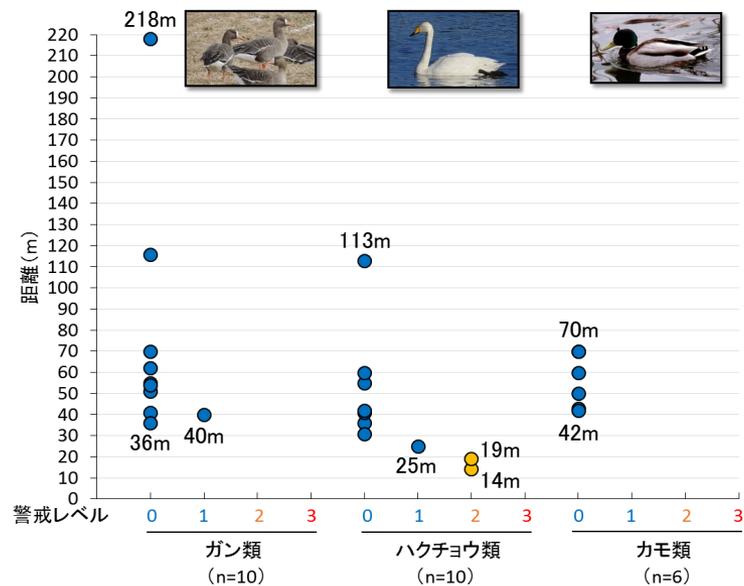
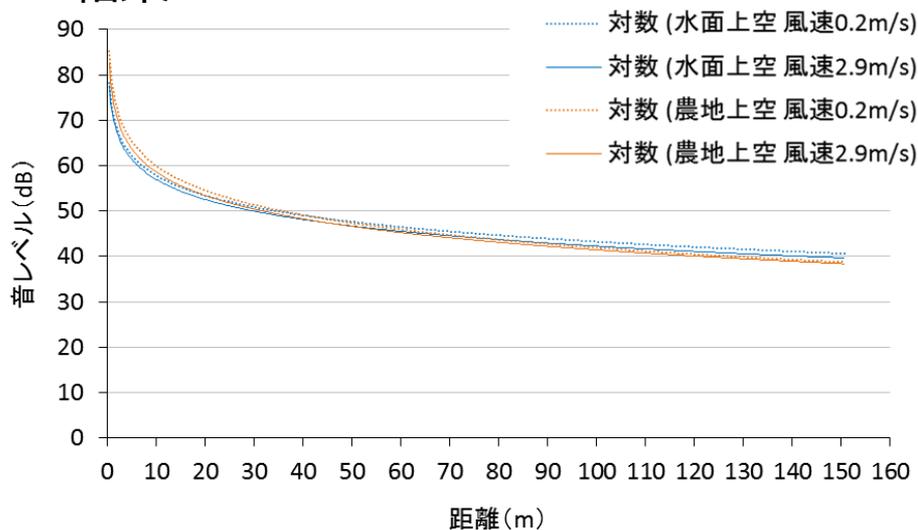
①距離と騒音の関係 モデリング



②ローター音に対する反応調査



結果



(3) 各システムのマニュアル・ガイドラインの作成

コンテンツ

ロボットボート

- システム構成と各部の機能
- セットアップ
- オペレーション
 - 手動航行による刈払い
 - 自動航行による刈払い
- 水草管理モデル
- システム諸元
- 開発者向け情報

ドローン

- フライトプランニング
 - 必要な画像解像度
 - 撮影可能な時間帯と照度

野生生物に与える影響の最小化
飛行高度の設定

- カウントプログラム

ネットワークカメラ

- システム構成と各部の機能
- セットアップ
- オペレーション
 - カメラ制御プログラム
 - カウントプログラム
- システム諸元
- 開発者向け情報

現場実務者からみた新管理・監視技術の実用可能性

● ユーザビリティ・コスト・機器の汎用性から評価

	内容	実用可能性	ユーザビリティ	コスト	機器の汎用性
生態系の管理・監視技術	ハス刈りロボット	◎	○ 操作方法の確立	◎ 低コストで作業効率化を実現	◎ ヒシなど他の植物でも応用可能
	水鳥・湿地生態系モニタリング	◎	◎ 撮影方法 カウント方法の マニュアル化	◎ 低コストで作業効率化を実現	○ 多種多数や 広大な地域での 実現可能性
	ネットワークカメラ	◎	○ 操作方法の確立	◎ 低コストで作業効率化を実現	◎ 他の生物監視へ 応用可能

サブテーマ4：環境政策への貢献

研究成果の主な活用（環境政策への貢献）

- ドローンの飛行に関する基本的なルールは国土交通省のガイドラインで定められているものの、個別分野の飛行方法については測量や映像制作等を除けば技術的な知見は乏しい。
- 今回特にガンカモ類を対象に、動物に影響を与えないドローンの操作方法を提示した。今後野生生物を対象にドローンを活用する際に、行政指導を行っていくための基礎資料となる。
- 国内にはラムサール条約湿地，モニタリング1000のサイト，重要湿地500など多くの重要な湿地があり，植生管理や鳥類モニタリングなどをはじめ，地域に応じた生態系管理・監視上の課題を抱えている。
- 今回開発された技術とガイドラインをパッケージとし，それぞれの地域に応じて展開することで，これまで以上に生態系の管理・監視が効率的に実施できると考えられる。

「国民との科学・技術対話」の実施 成果の普及への取り組み：講演など

2017年 下線は主催

2月18日 第11回伊豆沼・内沼研究集会（全テーマ） 54名参加

6月 伊豆沼・内沼サンクチュアリセンターで機器展示（テーマ3）

6月14日 東北環境アセスメント協会講演（サブテーマ4） 70名参加

7月23日 （株）アマナビ・（株）アマナ、ドローン講習会（サブテーマ4）

8月29日 伊豆沼・内沼自然再生協議会視察（全テーマ） 公開デモ

9月中旬 日本鳥学会つくば大会（全テーマ） 自由集会

9月22日 応用生態工学会名古屋大会（全テーマ） 研究集会

11月1-2日 自然再生協議会全国大会視察（全テーマ） 於伊豆沼



「国民との科学・技術対話」の実施 成果の普及への取り組み：講演など

2018年 下線は主催

2月24日 農業IoTシンポジウム

8月20日 Int. Conf. on Unmanned Aerial Vehicles in Environment 約30名参加

8月26日 宮島沼カントリーフェス2018 約200名参加

10月2日 【市民公開講座】「北海道酪農の歴史と未来」約500名参加

10月15-19日 第17回世界湖沼会議 ロボットボートの展示

10月27日 バードリサーチ設立15周年記念大会

2019年

2月17日 第13回伊豆沼・内沼研究集会（全テーマ）

- その他，学会発表，農業食料工学会，リモセン学会，湿地学会，ISMAB2018等
- マスコミへの報道も多数（河北新報，朝日新聞，毎日新聞，東京新聞，読売新聞，テレビ朝日等）



3年間ありがとうございました！

