

# センシング技術を用いた生物モニタリングの試み -水鳥, 魚類, 湿原植生を対象として-

山田 浩之

北海道大学大学院農学研究院

※公開用として引用した図表等にぼかしを入れています。  
※動画も除いています。

## 自己紹介

1



researchmap 日本語 | English 新規登録 ログイン

山田 浩之  
ヤマダ ヒロユキ (Hiroyuki Yamada) 更新日: 01/22

研究キーワード 研究分野 経歴 学歴 委員歴 受賞 論文 MISC 書籍等出版物 講演・口頭発表等 担当経験のある科目(授業) 所属学協会  
共同研究・競争的資金等の研究課題

メニュー  
マイポータル  
研究ブログ  
資料公開

基本情報

所属 北海道大学 大学院農学研究院基礎研究部門生物環境工学分野 講師  
学位 Ph.D.(Hokkaido University)  
M.Eng.(Okayama University)

J-GLOBAL ID 200901011708717142

所属：北海道大学大学院 農学研究院 生態環境物理学研究室

専門：エコインフォマティクス・水文学を軸に湿地生態系モニタリングや自然再生に関する研究

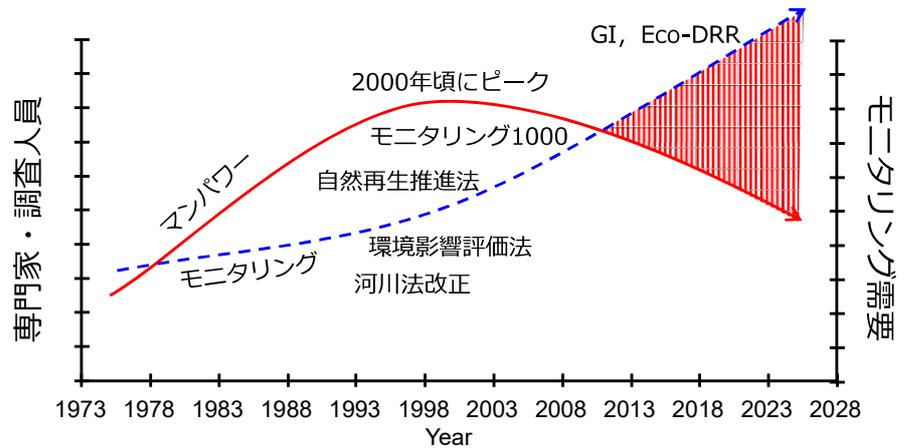
学会活動：湿地学会理事, 応用生態工学会編集委員

社会貢献：釧路湿原自然再生, 阿寒湖マリモ保護, 伊豆沼や宮島沼のモニタリングなどラムサール条約登録湿地での活動

# モチベーション

2

10年程前までフィールド調査を中心に研究を進めていましたが…



人口減少・高齢化にともなう専門家・調査人員不足  
年々増加するモニタリング対象

モニタリングが行われないうまま生態系が劣化・消失  
**ギャップを埋める方法が必要！**

# 生物・環境モニタリングのDX 従来法のリモート・自動化

3

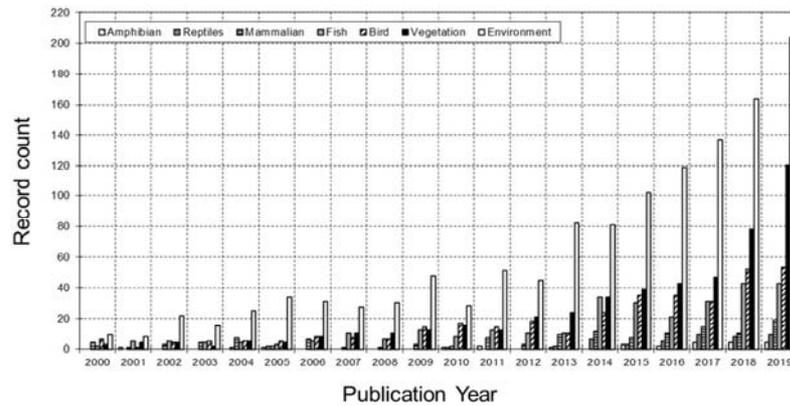
センシング技術を用いたモニタリング法開発  
モニタリングの自動化やリモートによるDX(デジタル変革)に注力

センシング技術を活用して生態系保全・管理，自然再生へ

Source: 環境省自然環境局(2019)モニタリングサイト1000第三期とりまとめ概要版

## カメラを用いたモニタリング

4



各生物群のカメラモニタリングに関する研究論文のWeb of scienceにおける検索ヒット件数の推移（2020年7月調べ）

Source: 山田・上野（2021）

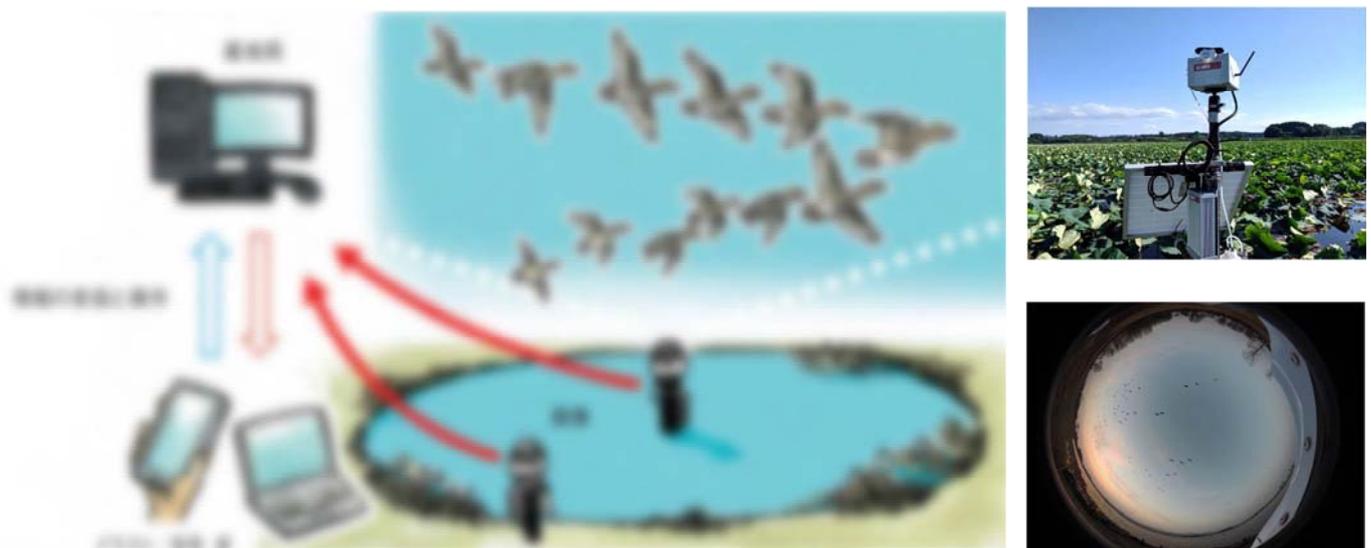
- 調査の低コスト化・省力化
- 環境の状態を直感的に，簡便に，空間的に把握
- 画像データを半永久的に保存
- 非破壊（非侵襲）的
- 観察者のバイアスを防ぐことができる
- 種の同定などについて事後に専門家の確認を受けることができる
- 時間分解能の高い（調査頻度の高い）データ
- 撮影時に時刻，位置座標も記録 など

HOKKAIDO UNIVERSITY

## ネットワーク定点カメラ水鳥モニタリング（D×マガン）

5

自動で撮影して画像処理でマガンをカウントするシステムの開発  
解像度・耐久性の高い遠隔監視カメラとカウントアルゴリズム



宮城県伊豆沼と北海道宮島沼で運用

Source: 山田（2019）野鳥6月号

12Mピクセルで高画質の画像，220度全周魚眼レンズ，ワイパー  
カメラ・基地局間約2kmの無線通信と遠隔操作，自動撮影転送

HOKKAIDO UNIVERSITY

# 身の周りにあるデバイス・サービスでシステム構築

6



シェード・ワイパー



マイコン・通信モジュール類

アクションカメラ

Wi-Fiリピータ

- 民生品を組み合わせ制御用マイコンにプログラムを書込み
- 材料費は基地局PCを除いて約15万円

応答メッセージ・画像



電源オン・シャッター・画像を送信しなさい

- 「写真を撮って送信せよ」等を基地局から自動的に命令
- 基地局PCの遠隔操作や画像アップロードはGoogleのサービスを活用

# 試験運用と改良

7

過酷な環境下で試験，省電力化，ハード・ソフトの改良の繰り返し



鳥の糞

浸水

冠水

積雪

強風



1号機

2号機

3号機



設計ミスや開発時に壊してしまったカメラなど

## マガンモニタリングの様子

8

撮影設定プログラムをダブルクリック

名前	更新日時	種類	サイズ
2017-08-29_3	2017/09/01 13:09	ファイル フォルダー	
2017-08-29_4	2017/09/01 13:19	ファイル フォルダー	
2017-09-12	2017/09/12 12:52	ファイル フォルダー	
170829伊豆沼デモ	2017/09/01 13:16	ファイル フォルダー	
COMMAND	2017/09/01 13:08	ファイル フォルダー	
demo	2017/09/01 13:16	ファイル フォルダー	
LOG	2017/09/01 13:08	ファイル フォルダー	
mask	2017/09/01 13:16	ファイル フォルダー	
BIMO_WF01			
COMMAND			
demo			
BIMO_LIVESTREAM	2017/04/30 9:26	Ruby File	2 KB
BIMO_POWEROFF	2017/04/29 10:16	Ruby File	1 KB
BIMO_READY	2017/08/29 11:30	Ruby File	1 KB
BIMO_START	2017/08/23 14:16	Ruby File	1 KB
BIMO_TESTSHADE	2017/04/29 10:19	Ruby File	1 KB
BIMO_WF4	2017/06/30 11:23	Ruby File	15 KB
BIMO_WF5	2017/06/30 13:30	Ruby File	16 KB
BIMO_WF6	2017/06/30 14:32	Ruby File	16 KB
BIMO_WF7	2017/08/20 16:14	Ruby File	16 KB
BIMO_WF7demo	2017/08/29 11:05	Ruby File	10 KB
#mpeg	2017/03/19 10:36	アプリケーション	39,740 KB
#play	2017/03/19 12:04	アプリケーション	39,630 KB
#probe	2017/03/19 12:04	アプリケーション	39,650 KB
LEMMSデモ説明資料(山田 2017)v2	2017/08/29 13:28	Microsoft PowerL...	177,961 KB
log wf	2017/06/30 19:21	テキストドキュメント	54 KB
撮影予定-記録			



HOKKAIDO UNIVERSITY

## 画像例（伊豆沼・内沼）

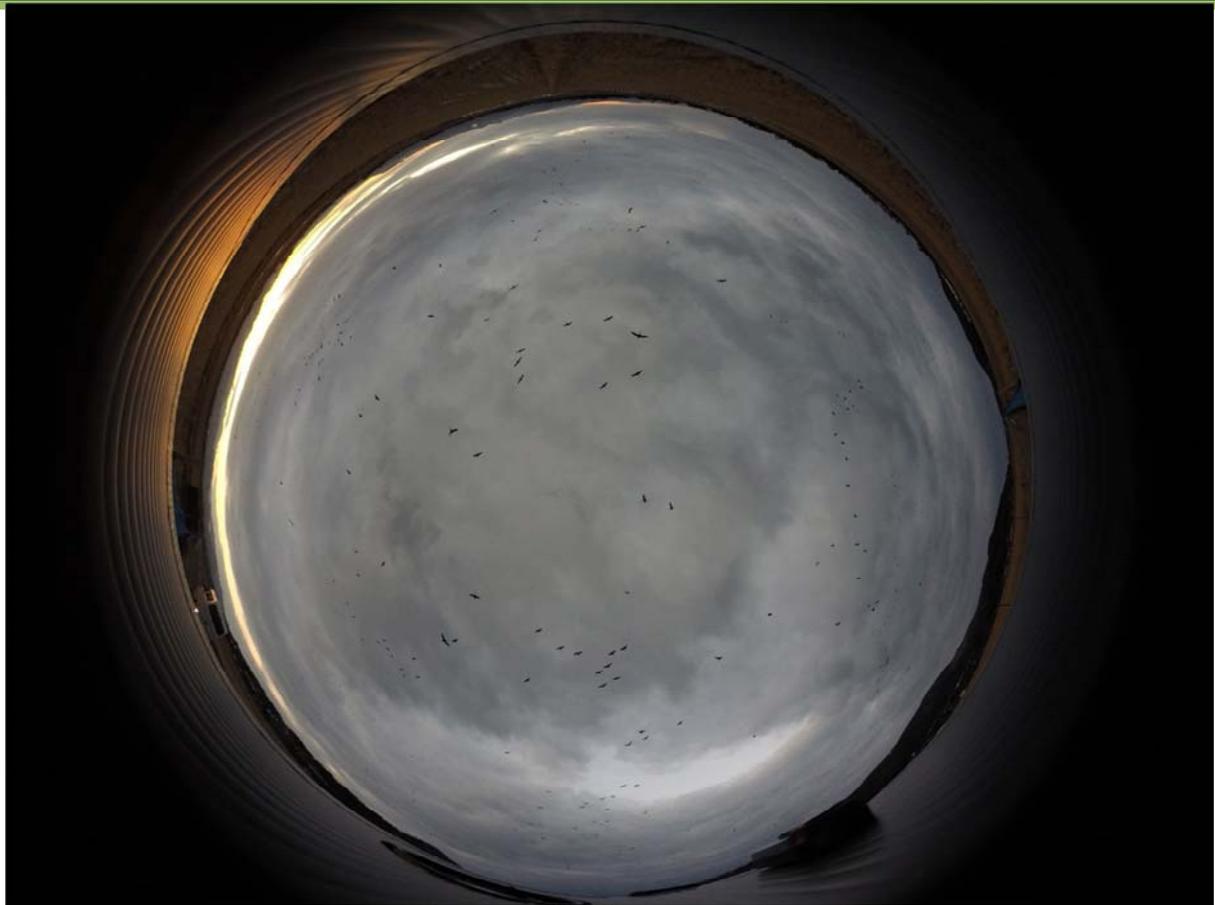
9



HOKKAIDO UNIVERSITY

画像例（鹿児島県出水）

10



 HOKKAIDO UNIVERSITY

画像例（伊豆沼・内沼）

11



 HOKKAIDO UNIVERSITY

画像例（宮島沼）

12



飛行する鳥類の検出・カウント

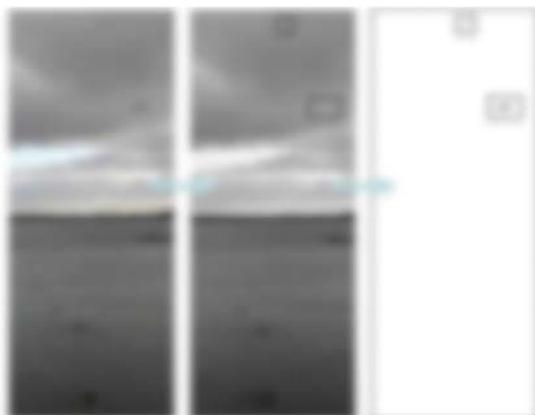
13

二値化



Source: Poon et. al. (2011)

背景差分とテクスチャ



Source: T'Jampens et. al. (2017)

深層学習



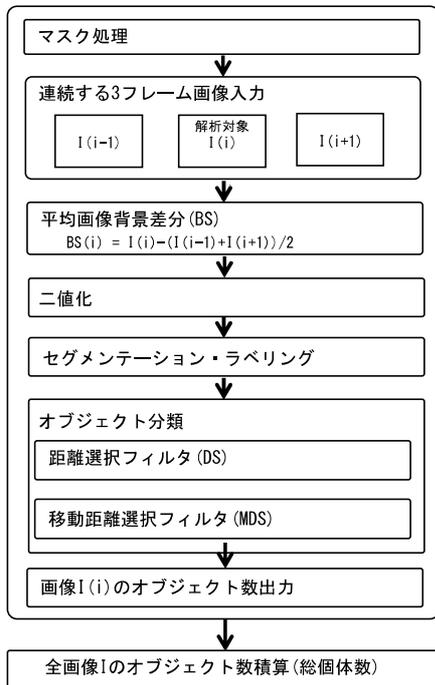
Source: Yoshihashi et. al. (2017)

- 事例は極めて少なく，試験運用の段階
- 数秒間隔の静止画像群の解析，何百の小さい物体の処理には不向き
- 小さく写る大量のマガンに適した方法が必要！
- 誰もが解析・改良できるように

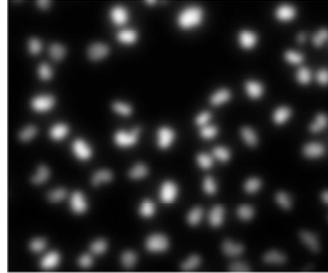
# 画像処理によるカウント

14

- 背景差分+オブジェクト分類+ラベリングによる計数法を採用
- 数秒間隔の画像上マガンを計数・加算し、その日のねぐら入り総数求める
- 同個体の重複計数（マルチカウント）や雲の誤計数の問題を改善



## 細胞数を計測する方法



Source:画像情報教育振興協会 (2015)

```

R> library(EBImage)
R> library(OpenCV)
R> # Example code for cell counting using EBImage and OpenCV
R> img <- readImage("cell.jpg")
R> img <- threshold(img)
R> # Further processing steps...
  
```

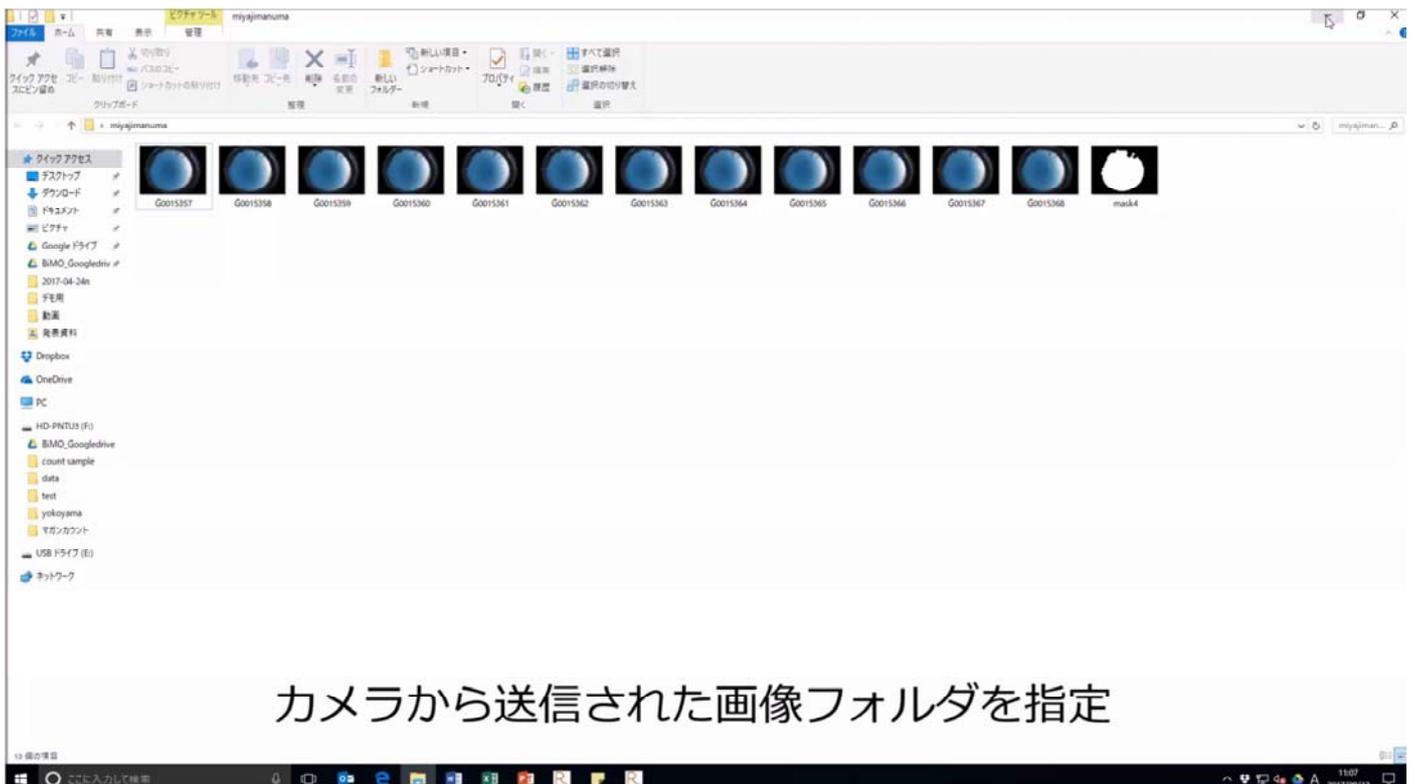
R + EBImage, C + OpenCV スクリプト



# 画像処理操作画面（動画）

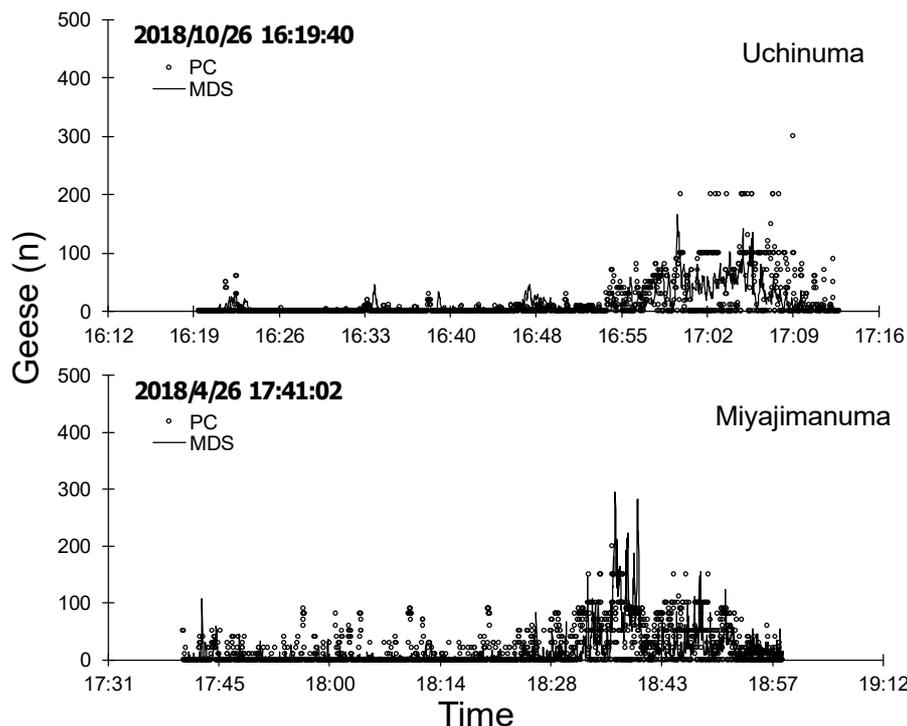
15

自動でカウントして飛来数日報・グラフをPDFで出力



## 従来法との比較（時間単位）

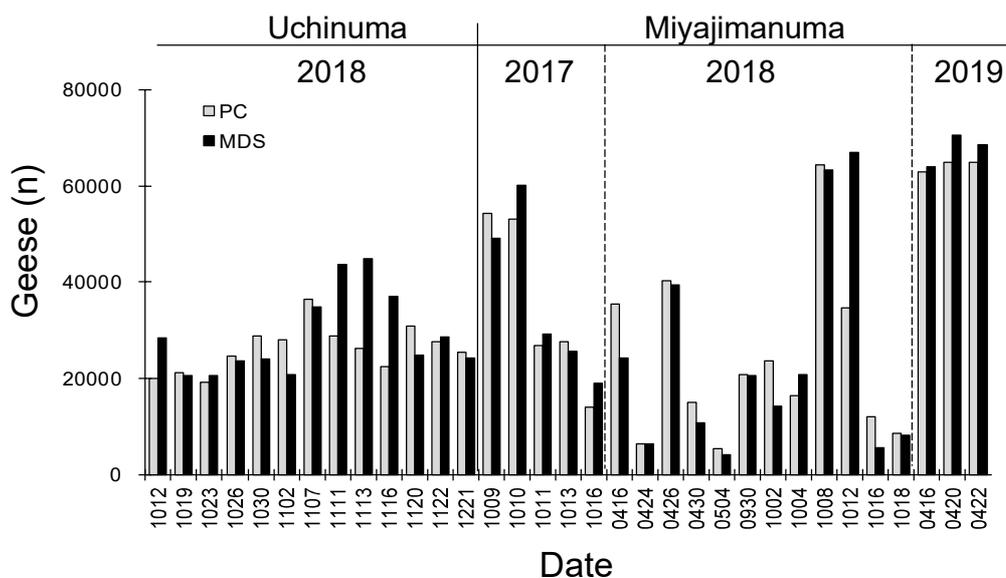
16



- アルゴリズムの改良により従来法と近い値が得られるようになった

## 従来法との比較（日単位）

17



- 従来法と概ね一致する日が多い
- 暗い時間帯の埭入りや埭入り後に再度飛び立った場合は，従来法との差が大きい

## トンボ類の検出とカウント (D×トンボ)

18

赤色と黒色トンボ別に検出, 個体数計測

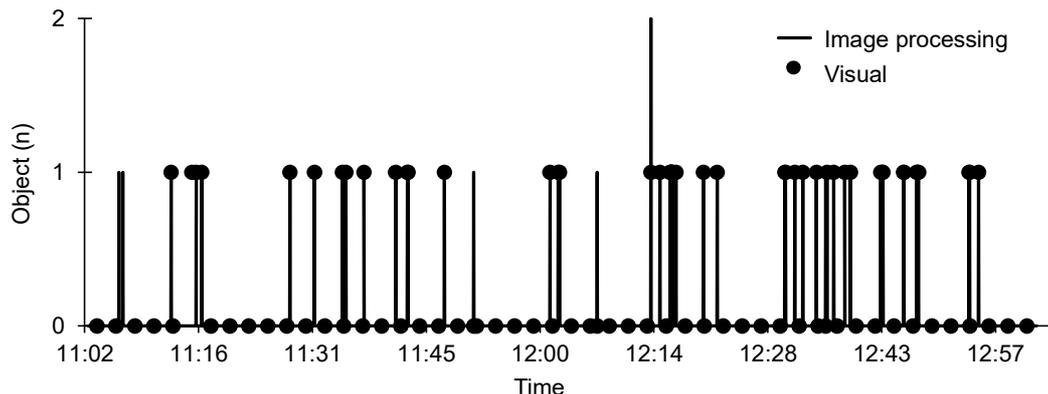
赤色トンボ (アキアカネ, ショウジョウトンボ等)



黒色トンボ (チョウトンボ)



赤色トンボ計数例



- トンボの動きが速いためタイムラプスモニタリングでは難しい



HOKKAIDO UNIVERSITY

## ネットワーク定点カメラ魚類モニタリング (D×魚類)

19

自動で撮影して画像処理で魚類を検出カウントするシステムの開発

要求仕様

- プログラミング撮影 (間隔・バースト・フラッシュ)
- 防水・耐久性, 水中からの無線通信
- ワイパー機能
- 省電力, 太陽光発電で運用できるように
- 遠隔操作機能
- クラウド・サーバへの自動アップロード

開発改良過程



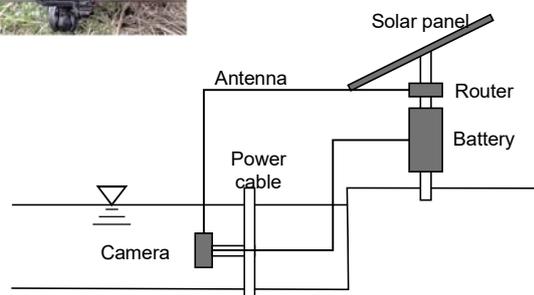
- 最強のIoT機器であるスマホを活用
- プログラマブルカメラアプリ開発
- スマホの遠隔操作は既存のサービスを利用



HOKKAIDO UNIVERSITY

## 試験運用（宮城県伊豆沼）

20



- 主にゼニタナゴを対象としてモニタリング
- 背景差分での検出が可能となるよう0.5秒間隔の連射を繰り返す
- 2018～2020年まで実施し、積雪時を除いて連続的に稼働することを確認



HOKKAIDO UNIVERSITY

## 映像例（ゼニタナゴ）

21



伊豆沼では一度絶滅したゼニタナゴの繁殖が20年ぶりに確認

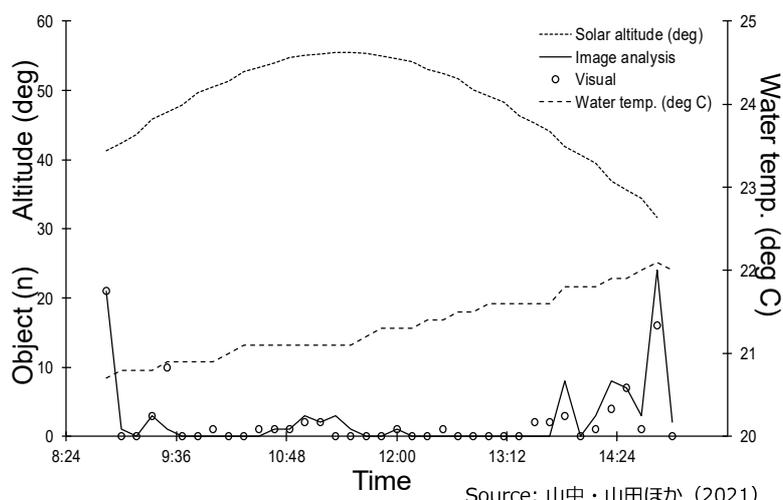


HOKKAIDO UNIVERSITY

## 画像処理での魚類検出・カウント例（ゼニタナゴ）

22

マガンと同様に背景差分による検出（2018年9月12日伊豆沼）



- 画像処理での魚類画像の全体分類精度は84%
- 魚以外でも動いている場合に誤検出
- 目視計数と概ね一致
- 今後のデータ蓄積でゼニタナゴの生態を解明できるかもしれない



HOKKAIDO UNIVERSITY

## UAV・VR植生調査（D×湿原植物）

23

釧路湿原のような広大な湿原の植生調査はアクセスが困難  
調査時の踏圧により数百～数千年間に形成された植生・環境を破壊

UAVを用いた調査でこの問題がクリア

植生調査は、被度のほか植生を掻き分けて下層の植物も記録  
一般の空撮では、植生表面しか把握できない

植生に接近したVRカメラ撮影で、仮想空間の中でより現実に近い事後調査が行えるのでは？



UAV・VRを使用した植生調査は有効か？

180m

Google Earth

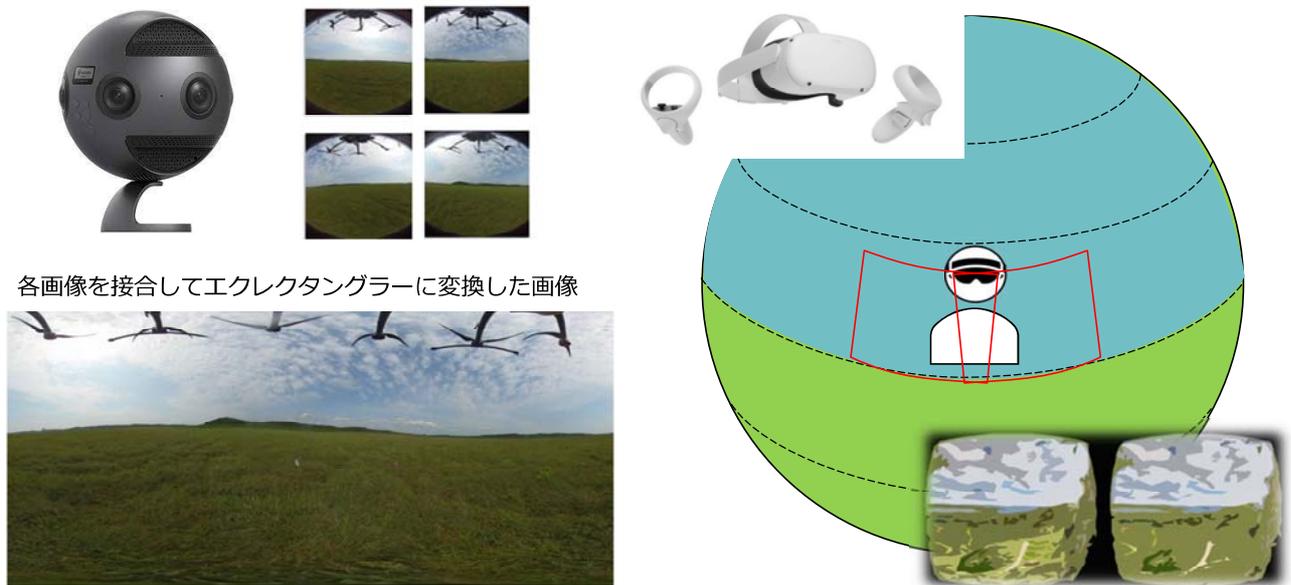


HOKKAIDO UNIVERSITY

## VRカメラとVR (Virtual Realty)

24

360度方向に配置した複数のカメラで撮影された2D画像をモザイクで結合  
鉛直と水平が直交する平面に展開したエクイレクタングラー形式画像に変換



各画像を接合してエクイレクタングラーに変換した画像

VRゴーグル内ではこの画像を全天球状に展開，その一部を切り出して左右の目で視差が生じるように左右の映像を生成して立体視する



HOKKAIDO UNIVERSITY

## UAVとVRカメラ・ゴーグルを用いた植生調査

25

UAVにVRカメラを装着し，別寒辺牛湿原で試験



Fig. 2. UAV system equipped with omnidirectional movie camera.

**Table 1.** Mean and standard deviation of species detection rate (%) and relative coverage error in UAV surveys (Omnidirectional movie, still image at 2 m above and still image at 5 m above). Species detection rate was calculated by comparing the number of species detected in the field survey and the UAV survey of each plot. Relative coverage error was expressed as score of the difference (error) in coverage between UAV survey and field survey relative to the field survey coverage in each data.

	Omnidirectional movie	Still image at 2 m above	Still image at 5 m above
Species detection rate in each plot (%)	37.2 ± 12.9 ab (n = 27)	39.9 ± 13.1 a (n = 27)	32.1 ± 10.6 b (n = 27)
Relative coverage error	1.05 ± 1.56 a (n = 145)	1.07 ± 1.76 a (n = 154)	0.95 ± 1.63 a (n = 124)

Different letters indicate significant differences among UAV surveys in each parameter (Wilcoxon signed rank test for species detection rate, Wilcoxon rank sum test for relative coverage error,  $p < 0.05$ )

Source: 大木・中村・山田 (2021)

従来法で発見できる種の約40%をVRでも発見可能  
下層植生（群落の中の植物）が発見できない

植生にカメラを挿入，レンズを接近できるようにする必要性



HOKKAIDO UNIVERSITY

# UAVとVRカメラ・ゴーグルを用いた植生調査

26

VRカメラを植生に挿入し映像取得する2つのモニタリングシステムを開発

小型UAVVR

大型UAVVR



5.7KVRカメラ



11KVRカメラ



モニタリングユニット



仮想コドラート表示

VR映像のほか仮想コドラート表示, 気温・湿度, 対象や障害物までの距離の情報を記録

# UAVVR植生調査結果 従来法との比較

27

各種システムを用いて釧路湿原で植生調査を実施



小型システムでの定点一致率

大型システムでの定点一致率



Source: 中村・磯野・山田・鈴木 (2021) 生態学会岡山大会

植物に接近し易い小型システムのほうが成績が良い  
 TWINSpanクラスタの第3階層までは実用的な精度で分類可能

## VRカメラで得られた膨大な映像の活用法

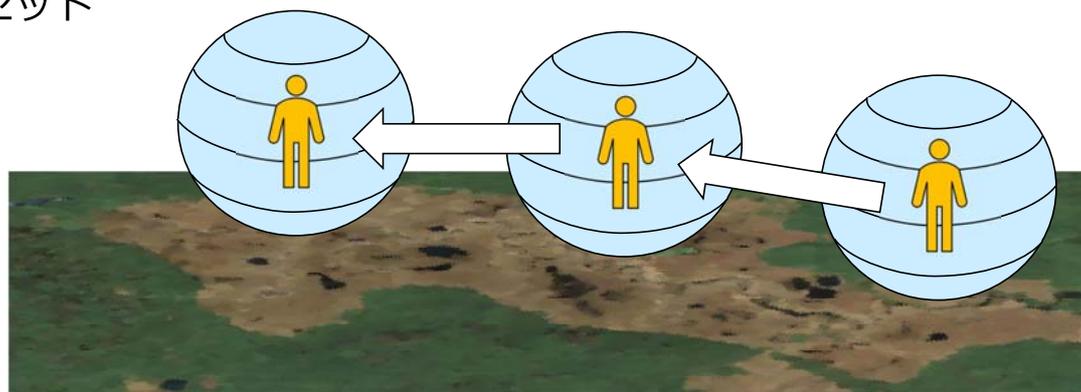
28

UAVVRカメラ撮影で膨大な映像が記録される  
この活用法はないだろうか？

バーチャルツアーの記録でアーカイブを分かり易くできる？

バーチャルツアーの仕組み

- 複数のエクイレクタングラー画像を空間上に配置
- 複数画像を位置で関連付け
- 移動に応じて画像を切り替え恰もツアーしているように見せている静止画セット



HOKKAIDO UNIVERSITY

## バーチャルツアー・景観アーカイブ（D×自然景観）

29

別寒辺牛湿原バーチャルツアーを制作してVR映像をアーカイブ



2021年3月に別寒辺牛湿原を含む周辺は国定公園に指定



HOKKAIDO UNIVERSITY

## バーチャルツアー・景観アーカイブ（D×自然景観）

30

篠路福移湿原



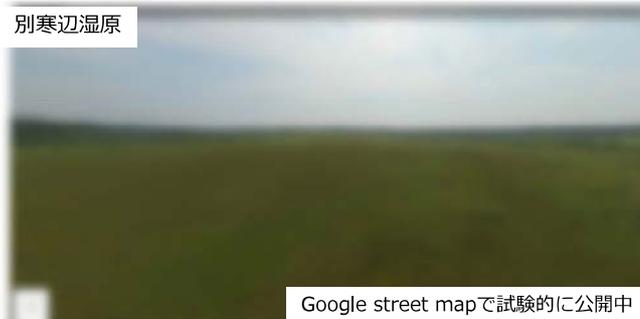
雨竜沼湿原



釧路湿原



別寒辺湿原



Google street mapで試験的に公開中

- 長期間映像アーカイブで異変の察知や事前事後評価も可能になるのでは？
- 自然再生の目標像としても利用可能
- 撮影・バーチャルツアー制作方法，アーカイブの簡便な方法，環境教育への展開を検討中



HOKKAIDO UNIVERSITY

## まとめ（生物環境モニタリングDXに向けて）

31

- モニタリングDXの取り組みは始まったばかり
- ゼロから始めなくても身の回りのデバイスやサービスを利用，ちょっとしたアイデアや工夫でDXが推進する可能性

## フィールドモニタリングDXの当面の課題は？

- **モニタリング精度向上**：カメラの場合は対象がクリアに写らないと
- **考案者・ユーザーの増加**：事例蓄積による限界を把握  
誰かがやってくれるではなくどうすれば可能か考えることが大切
- **発注方法**：発注段階で仕様に記載されることも必要なのでは？
- **現地での技術的問題**：電波などのネットワーク，省電力化
- **デバイス・ツールの法的制約**：航空法，電波法などが厳しい

リアルなフィールド調査，伝統的調査法も大切ですが，DXでゆとりができ再生手法などを考える時間が増えればと

モニタリングDXをご一緒に始めませんか？



HOKKAIDO UNIVERSITY

## 最近のチャレンジ

32

## 院生・学生さんとともに様々なモニタリング法やツールを開発中

声紋解析による昆虫類のモニタリング



水中VRモニタリングUAV



VRカメラ

定点VRカメラ生物環境モニタリングシステム開発



湖底生物環境モニタリングロボットボート開発



自動カラス追払い機



共同研究やご支援大歓迎です！



HOKKAIDO UNIVERSITY

## 謝辞

33

ここで紹介した研究を進めるにあたり、環境研究総合推進費（1-1602）、科研費（18H03409）の委託・助成を受けました。また、多くの方のご協力、ご助言、激励のおことばをいただきました。心より感謝いたします。

共同研究者・関係者：海津裕氏、中村隆俊氏、鈴木透氏、小川健太氏、嶋田徹郎氏、牛山克巳氏、尾山洋一氏、伊豆沼・内沼環境保全財団、宮島沼水鳥・湿地センター、阿寒湖マリモ研、日本野鳥の会の皆様

研究スタッフ：横山諒氏、土井裕美子氏、小野有衣子氏、小西哲也氏、九間啓士朗氏、生態環境物理学研究室の院生・学生諸君



HOKKAIDO UNIVERSITY

- 山田浩之 (2019) 特集「野鳥保護に活かせ！新テクノロジー」全周魚眼カメラを用いたマガン個体数自動カウントへの挑戦, 2019年6月号 (No.835)
- 山田浩之, 上野裕介 (2021) カメラおよび画像処理技術を活用した生態系モニタリング, 応用生態工学 23(2) 383-394.
- 山中登生, 山田浩之, 藤本泰文, 嶋田哲郎 (2021) 全周魚眼スマートフォンカメラと画像処理を用いた魚類の遠隔モニタリング, 応用生態工学 23(2) 409-413.
- 中村隆俊, 大木慎也, 山田浩之 (2021) UAV空撮による全方位動画を用いた湿原植生調査法の開発と評価, 応用生態工学 23(2) 365-368.
- 中村隆俊, 磯野隆弘, 山田浩之, 鈴木透 (2022) UAV・VRカメラを用いた湿原植生調査の有効性, 生態学会岡山大会ポスター発表資料.
- 藤本泰文, 山田浩之, 倉谷忠禎, 嶋田哲郎 (2019) 全周魚眼スマートフォンカメラを用いた水生生物の遠隔モニタリング, 応用生態工学 21(2) 171-179.
- 湿原のGoogleストリートビュー<  
<https://www.google.co.jp/maps/@43.105656,144.35878,3a,75y,187.04h,90t/data=!3m8!1e1!3m6!1sAF1QipM75wT1ddxVZwLAKZaF1UI2okbQWeZ2LATu8WP3!2e10!3e11!6shttps:%2F%2Fh5.googleusercontent.com%2Fp%2FAF1QipM75wT1ddxVZwLAKZaF1UI2okbQWeZ2LATu8WP3%3Dw203-h100-k-no-pi0-ya245.5253-ro-0-fo100!7i7680!8i3840>>
- Poon et al. (2011) DOI:<https://doi.org/10.1109/CGIV.2011.16>
- T'Jampens et al. (2017) Automatic detection, tracking and counting of birds in marine video content, 2016 6th International Conference on Image Processing Theory, Tools and Applications(IPTA),
- Yoshihashi et al. (2017) Bird Detection and Species Classification with Time-Lapse Images around a Wind Farm: Dataset Construction and Evaluation, Wind Energy, 20(12), 1983-1995
- 画像情報教育振興協会 (2015) デジタル画像処理,画像情報教育振興協会
- 環境省自然環境局(2019)モニタリングサイト1000第三期とりまとめ概要版<  
<https://www.env.go.jp/press/files/jp/112775.pdf>>

