

環境研究総合推進費

**地上・リモートセンシングによる
尾瀬ヶ原湿原における
シカ個体数推定手法の開発
(FY2017-FY2019)**

研究代表者：東京大学 沖 一雄

背景

尾瀬ヶ原・尾瀬沼は日本最大の山岳湿原として知られており、尾瀬には**貴重な植物群落**が生育し平成17年には**ラムサール条約**登録湿地になっている。また、5～7月の湿原植物の開花時期をピークに**年間30～40万人の観光客**が訪れるなど、人々に幅広くその自然環境・植生の価値が認められている。

- ・1990年代半ばからシカが確認されるようになり、自然植生へのシカによる影響が顕在化し、**生態系への不可逆的な影響が懸念**

このような状況をふまえ平成20年に策定された「尾瀬国立公園シカ管理方針」の下でシカの捕獲事業の実施、継続的な植生被害等のモニタリング、防護手法の検討

これまでは

- ・尾瀬のシカ管理は**被害管理**で行われてきており、被害の程度で目標設定を行ってきた
- ・尾瀬の湿原内外において、シカの捕獲が実施されているが、尾瀬の植生被害を低減させるために必要な**捕獲数は設定されずに捕獲が行われている**

背景

今後は

- ・捕獲を進めるためには被害管理と合わせて
密度管理の考え方も必要

密度管理を進めるためには、
密度を把握し、必要捕獲数を設定して捕獲を実行する必要
さらに、その効果を検証するためにまた密度を把握する
というプロセスが必要となる

以上から

尾瀬のような人のアプローチが難しい場所で行える
密度調査手法が求められている。

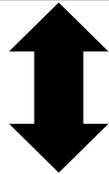
研究目的及び スケジュール

1年目:各手法による観測環境の整備

2&3年目:各手法による観測及びシカの個体数の推定

推定手法の開発

サブテーマ (1)
マイクロフォンによる
シカ個体数推定手法の
開発



- ・ 精度の相互確認
- ・ 融合による高精度化の検討

サブテーマ (2)
リモートセンシング画
像によるシカ個体数推
定手法の開発

従来手法による検討

サブテーマ (3)
従来手法による
個体数推定と
オス個体の行動に
含まれるシカ個体
数の推定

比較・検証
データの提供

3年目:

湿原域における新たなシカ個体数推定手法の提案

サブテーマ(1):
マイクロフォンによるシカ個体数推定
手法の開発について
(FY2017-FY2019)

東京大学 沖 一雄

【 H29年度の目標】

片品自然保護事務所の保護官の協力を得て、尾瀬湿原域における尾瀬ヶ原の北側、東電小屋の西側（東電小屋西側やヨッピ橋北側）あたりを実験場所の候補地と考え、複数のマイクロフォンを設置し、シカの鳴き声の音声データを取得できるよう整備する。

【 H30年度の目標】

1年目に設置したマイクロフォンによるシカの鳴き声（繁殖期のオスシカの“フィーヨフィーヨ”と威嚇するときの“ピャッ”という鳴き声）データを継続して観測し、同時にその音声データからシカの個体数を推定する手法を数理的手法により提案する。

【 H31年度の目標】

2年目までに得られた成果をもとに、複数マイクロフォンによるシカ個体の抽出法を確立する。さらに、サブテーマ（2）で検討している手法との融合による高精度化についてもサブグループ（2）、（3）と共同で検討する。

● 実証試験地 ●

尾瀬ヶ原

Pt1



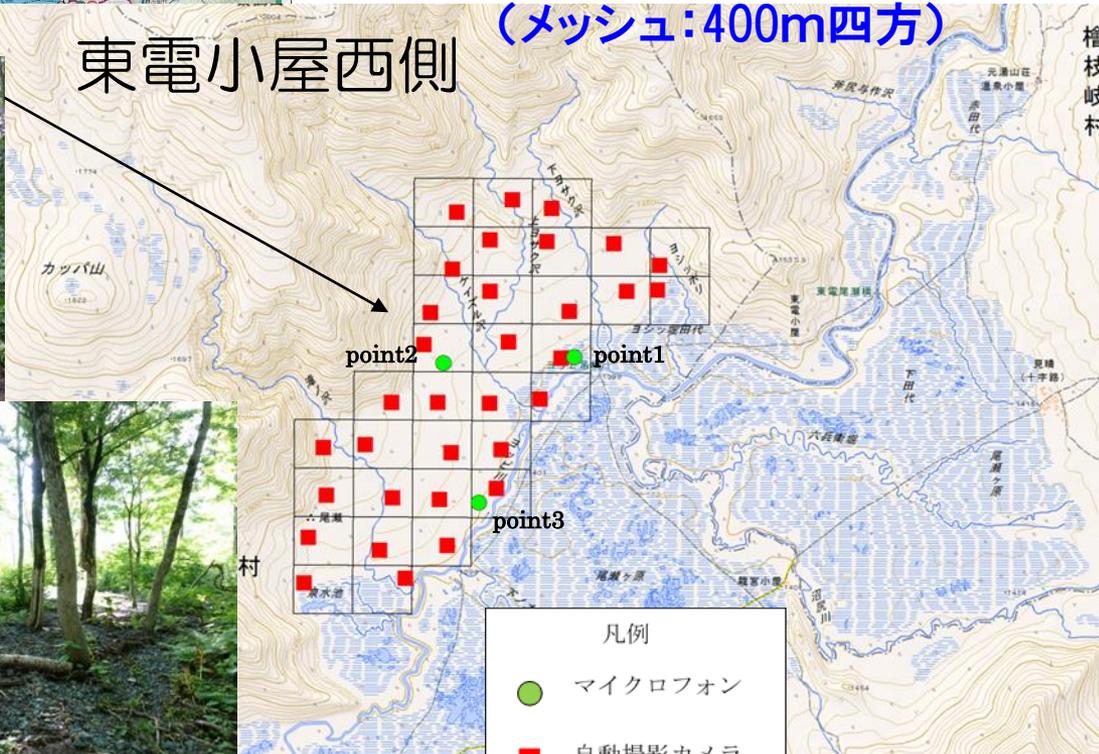
マイクロフォン及び
自動撮影カメラ設置予定個所
(メッシュ:400m四方)



Pt2



東電小屋西側



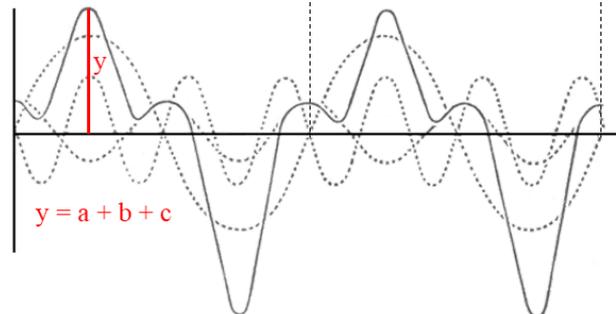
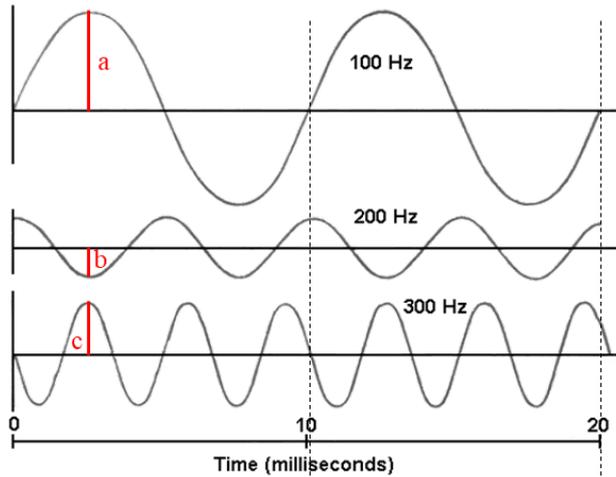
Pt3



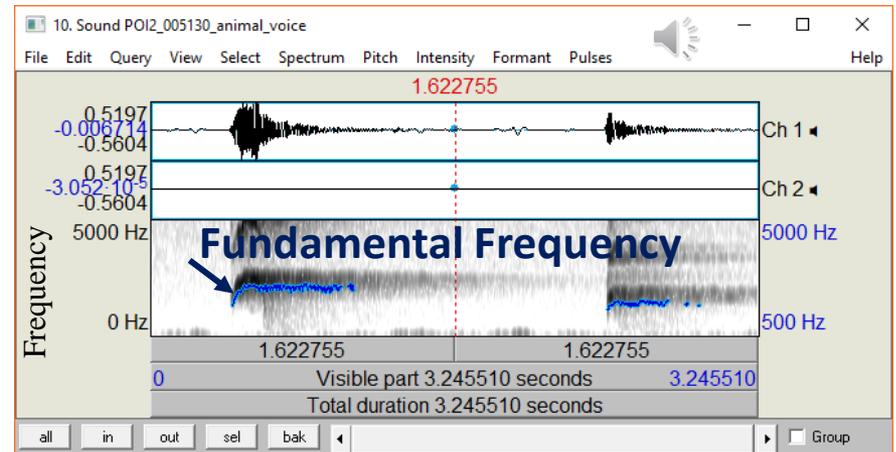
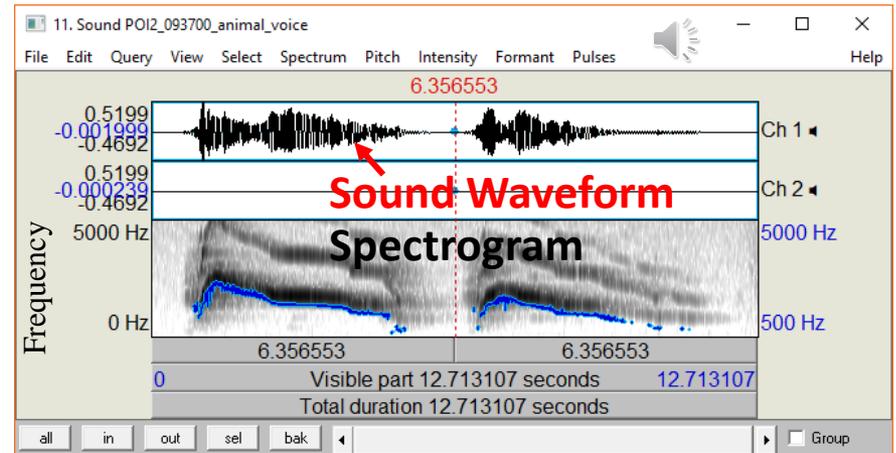
- 凡例
- マイクロフォン
 - 自動撮影カメラ



Recorder
□ (TASCAM DR-40)



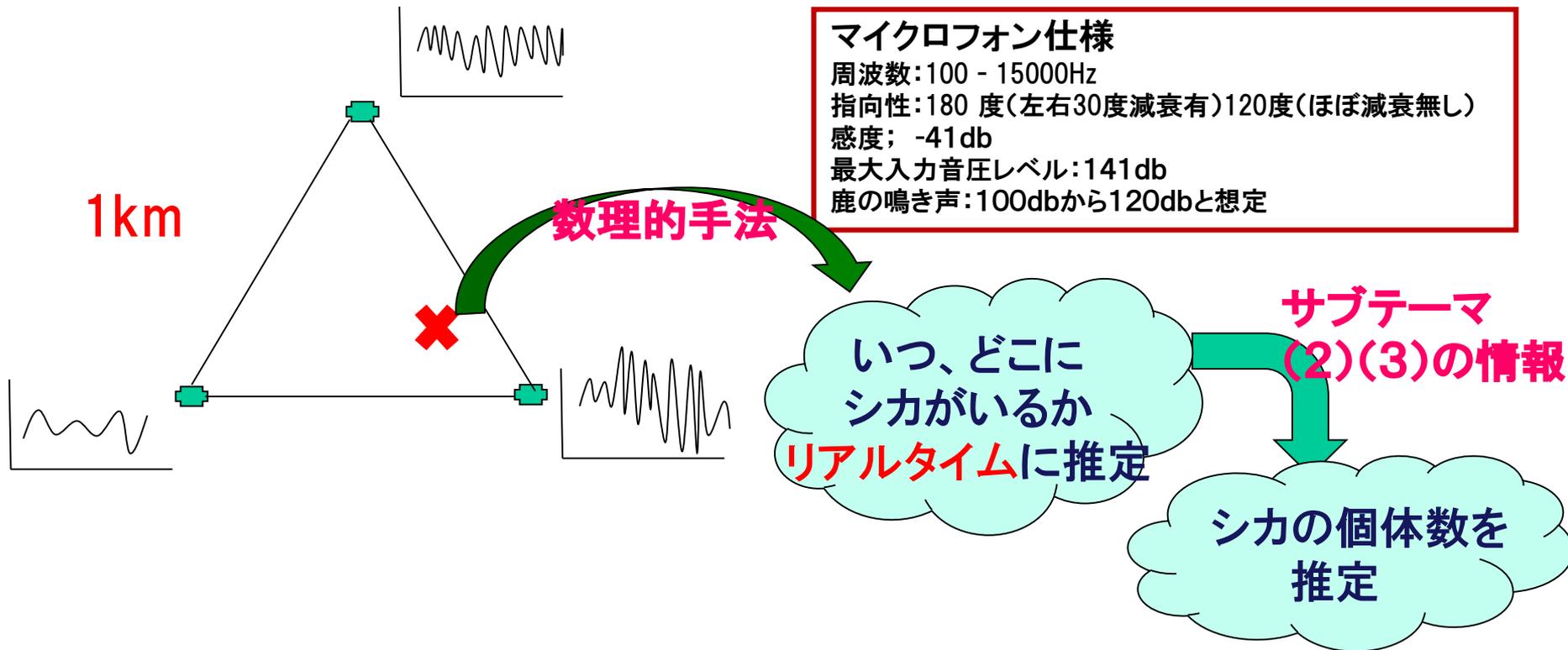
Fundamental Frequency



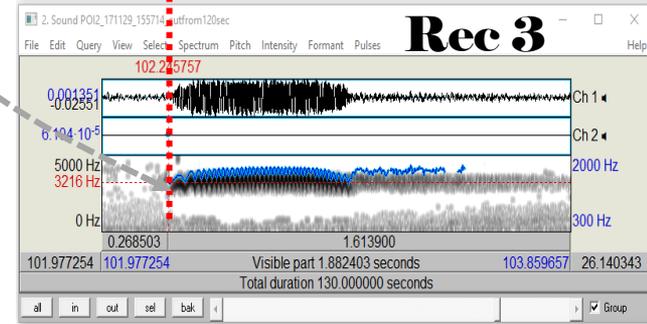
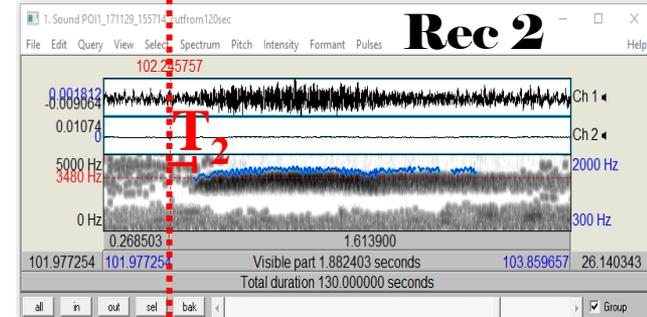
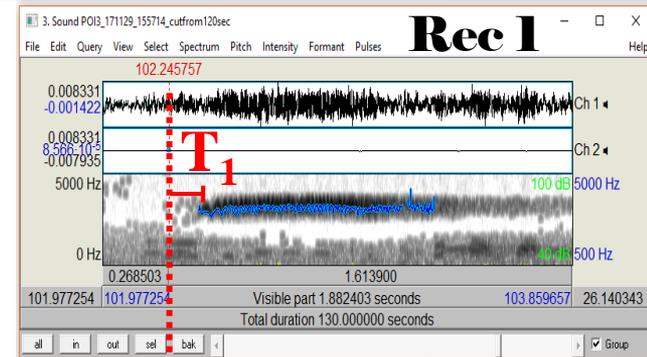
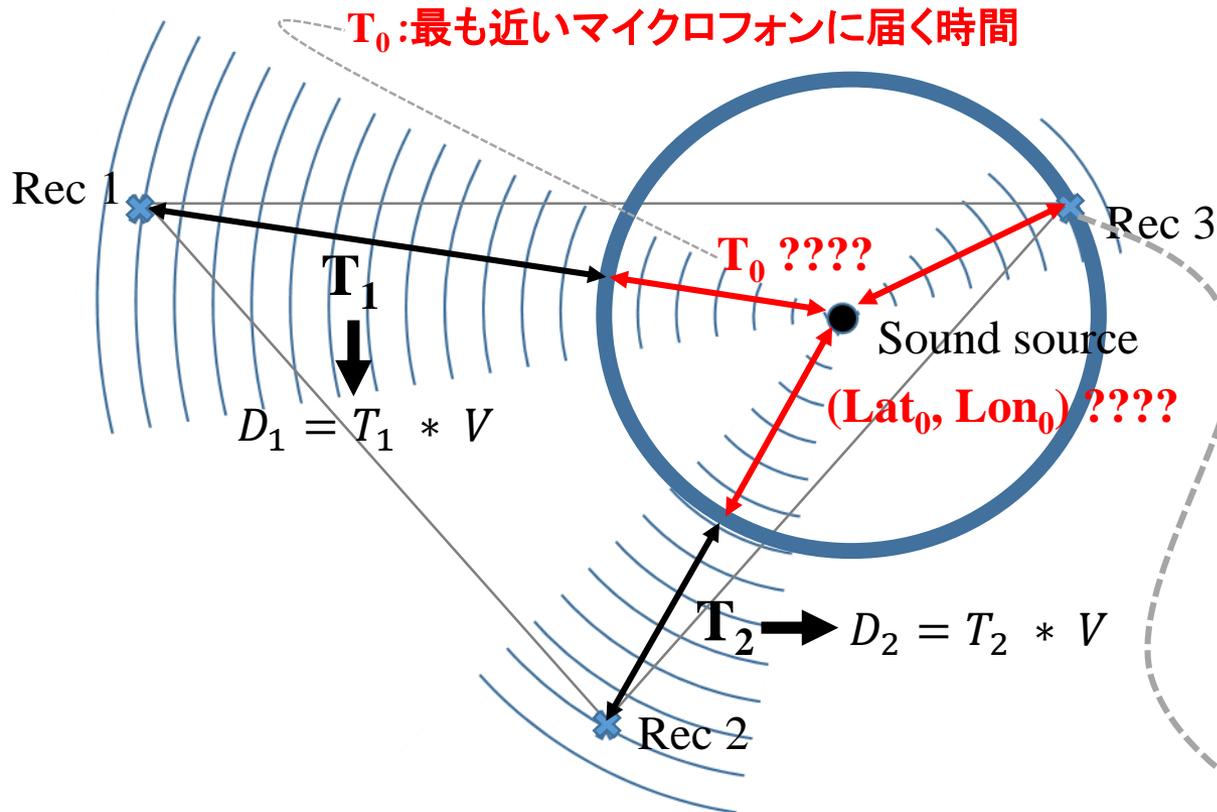
[サブテーマ1]マイクロフォンによるシカ個体数推定手法の開発

分担: 東京大学

湿原に設置された複数のマイクロフォンで同時に観測されたシカの鳴き声(繁殖期のオスジカの“フィーヨフィーヨ”と威嚇するときの“ピャッ”という鳴き声)からどこにシカが何頭いるかを評価する技術を逆フィルタ設計、学習理論、独立成分分析 (Independent component analysis)などの**数理的手法**を用いていて確立



サブテーマ(2)(3)から、オスジカとメスジカの個体数比を評価し、**全体の個体数を推定** (また、ドローンによる威嚇にも挑戦?!)



Speed of sound (V)

Indry air,

at 0° C, \longrightarrow 331 m/sec

at 20° C, \longrightarrow 343 m/sec

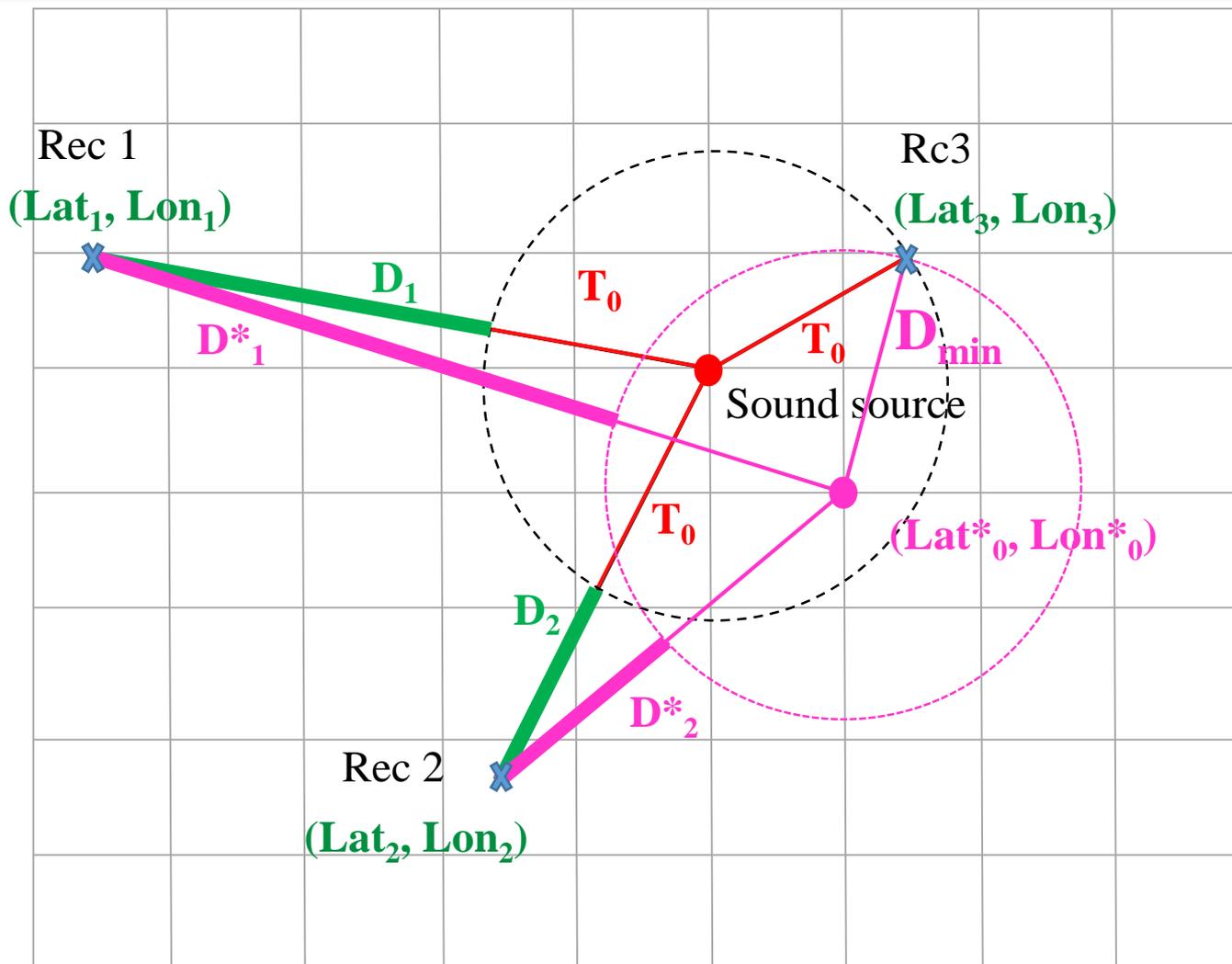
\longrightarrow **$Distance (D) = Speed\ of\ sound * Time (T)$**

Results

❖ Detect the location of animal using recorded sound.



11



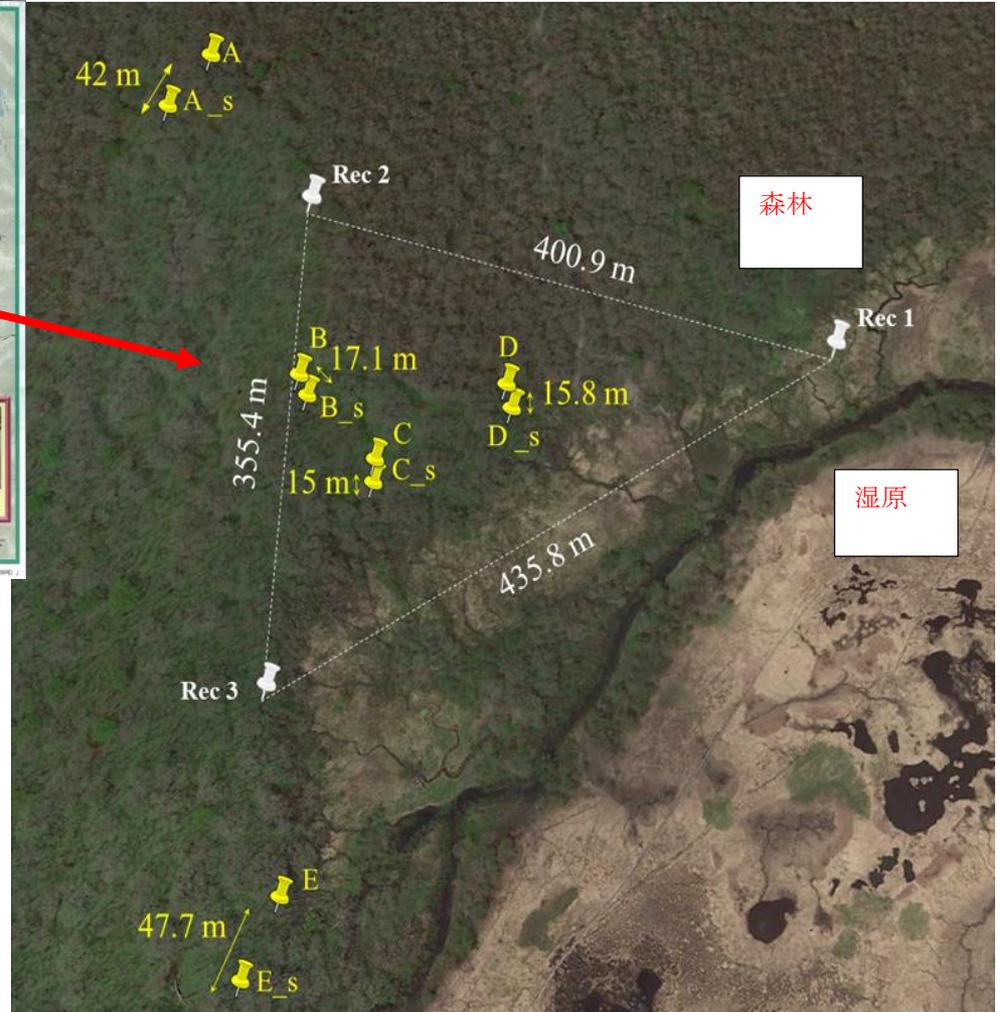
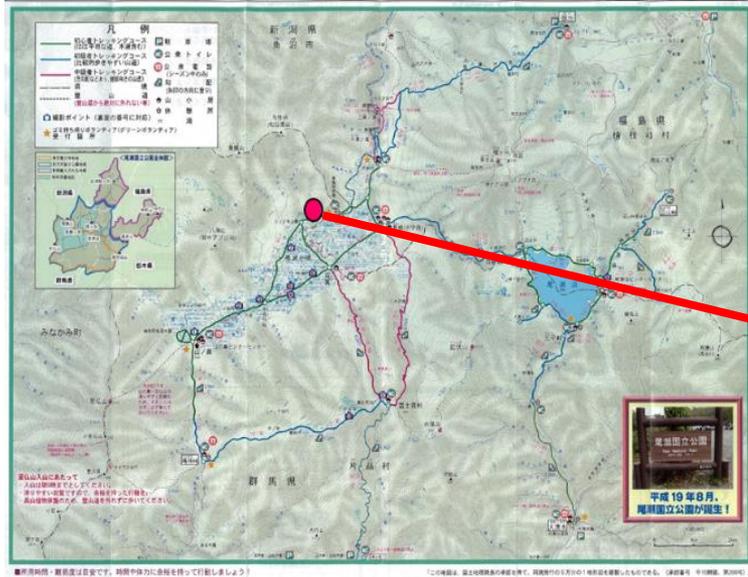
The grid tolerance

↑
≈ 0.1 m

$$RMSE = \sqrt{\frac{(D_1^* - D_1)^2 + (D_2^* - D_2)^2}{2}} \quad \approx 0.1 \text{ m}$$



❖ Detect the location of animal using recorded sound.

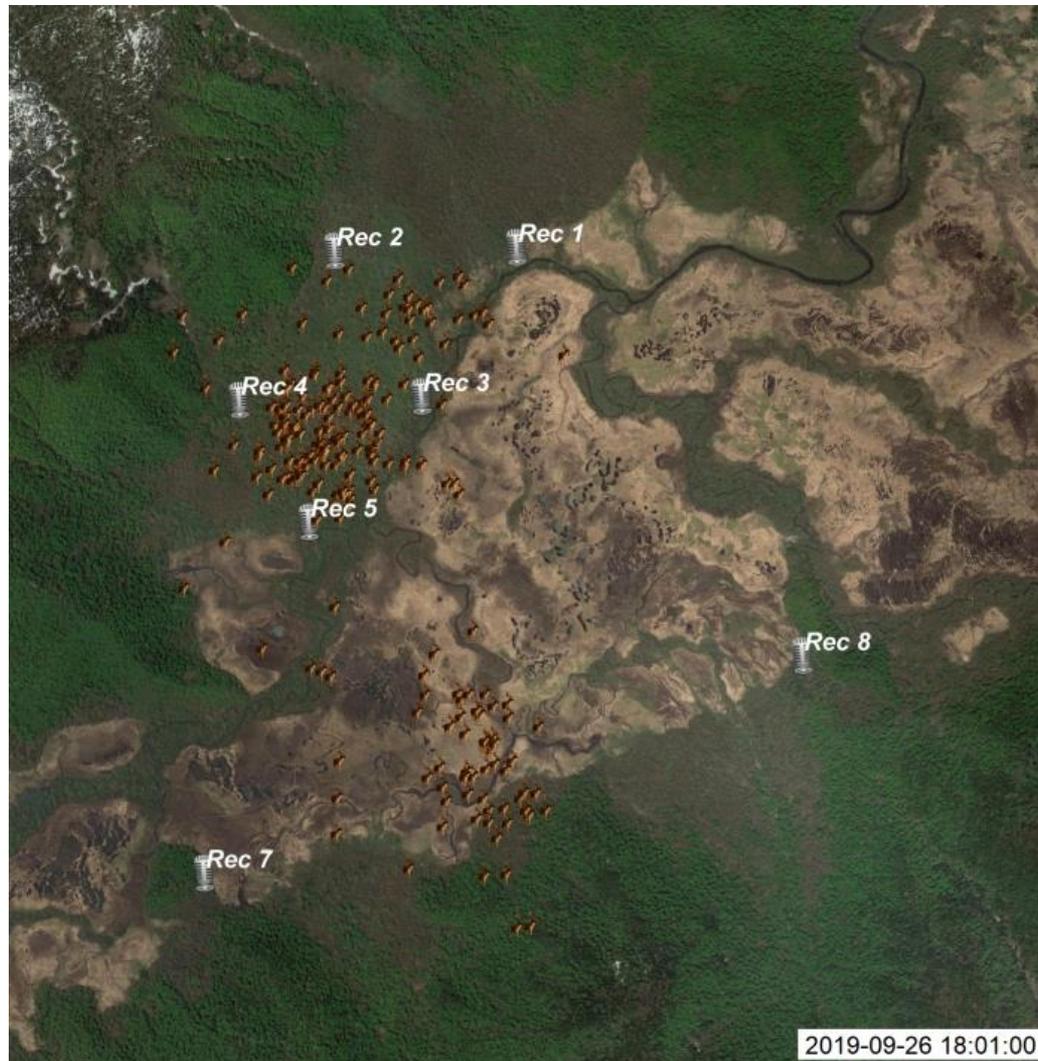


Carlton's Deer Whistle



Automatic detection of deer cry at Oze (尾瀬) *26th ~ 28th Sep. 2019*

Amination @ **1 hour interval**



Automatic detection of deer cry at Oze (尾瀬) 4th ~ 14th Oct. 2019

Amination @ **I hour interval**





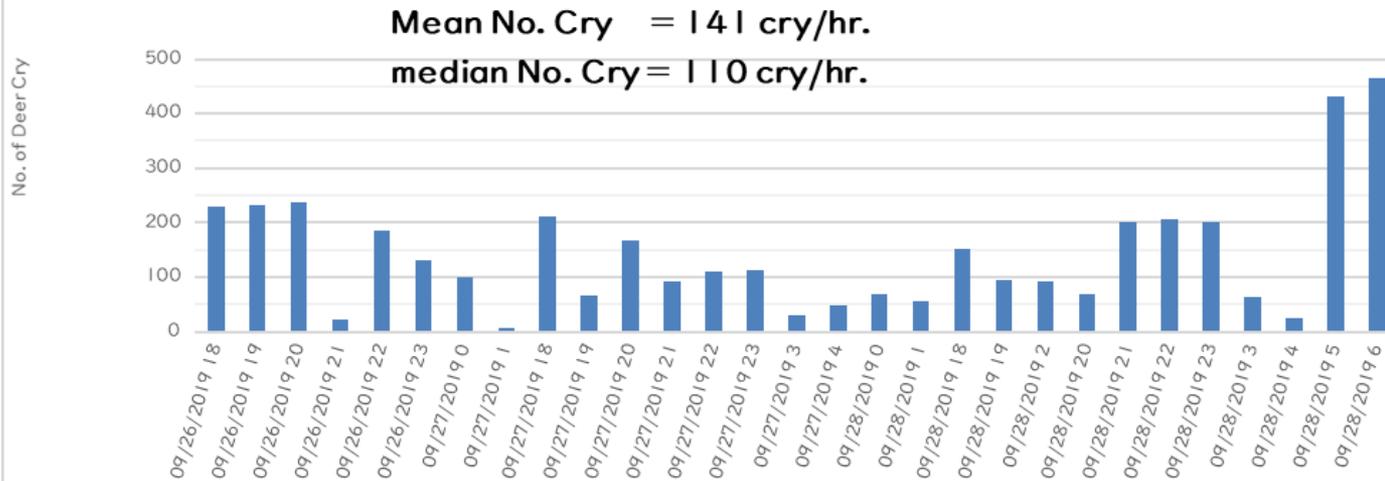
❖ Detect the location of animal using recorded sound.

2019/09/26

2019/09/27

2019/09/28

2019/09/26~28





❖ Detect the location of animal using recorded sound.

2019/09/26~28



2019/10/4~14



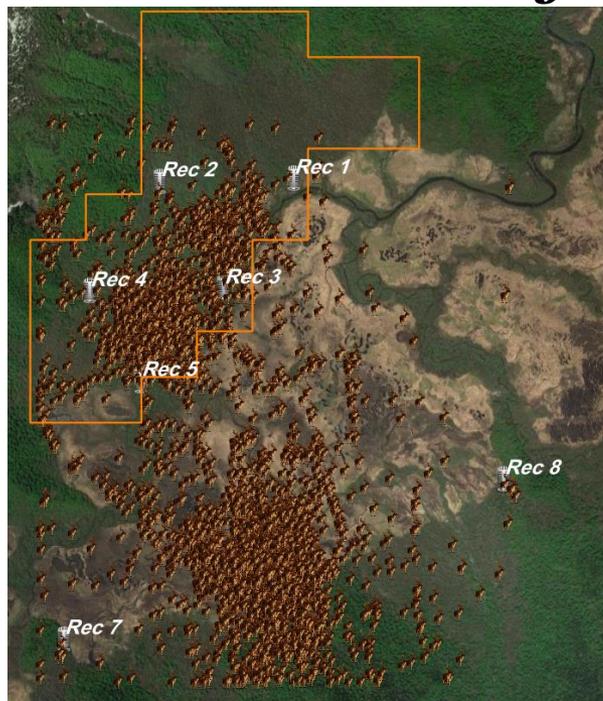
この一週間の間大きく南へ分布が偏っている

複数のマイクロフォンからノイズや音量の変化にロバストな時間差を元に最適化計算によりリアルタイムに雄ジカの鳴いた位置を推定できる手法を開発した。

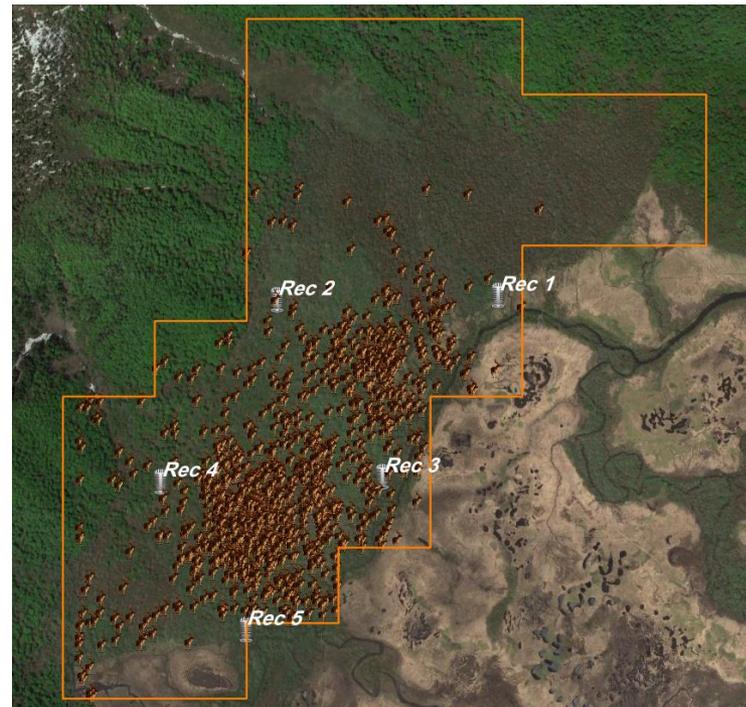
オスシカの鳴声による湿原域のシカの生息数評価

Deer cry 2019/09/26~28

All detected deer Cry



deer Cry within Camera Area Coverage

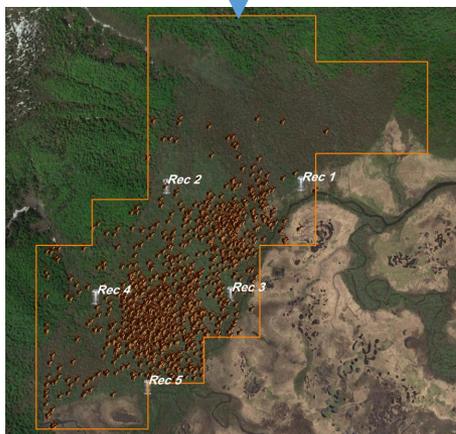


オスシカの鳴声による湿原域のシカの生息数評価

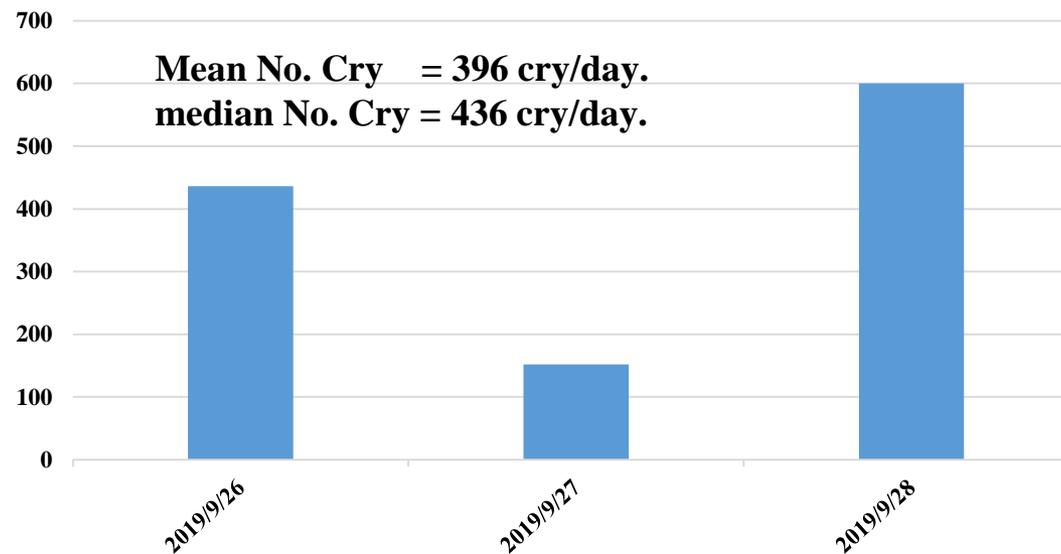
26th ~ 28th Sep. 2019

deer Cry within Camera Area Coverage

自動撮影カメラで観測された範囲
(サブテーマ (3))



Deer Cry @ 1 Day interval
26th ~ 28th Sep. 2019



$$396/12.7=29.1$$

(カメラ設置内で)

396:1日あたりシカが鳴いた回数

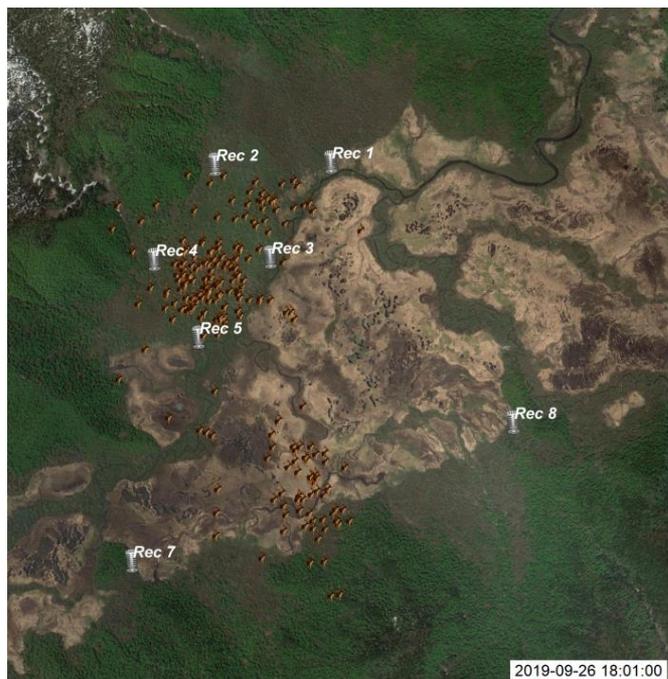
12.7:サブテーマ(3)が計算した雄シカの頭数

29.1:1頭のオスシカが1日に鳴く回数

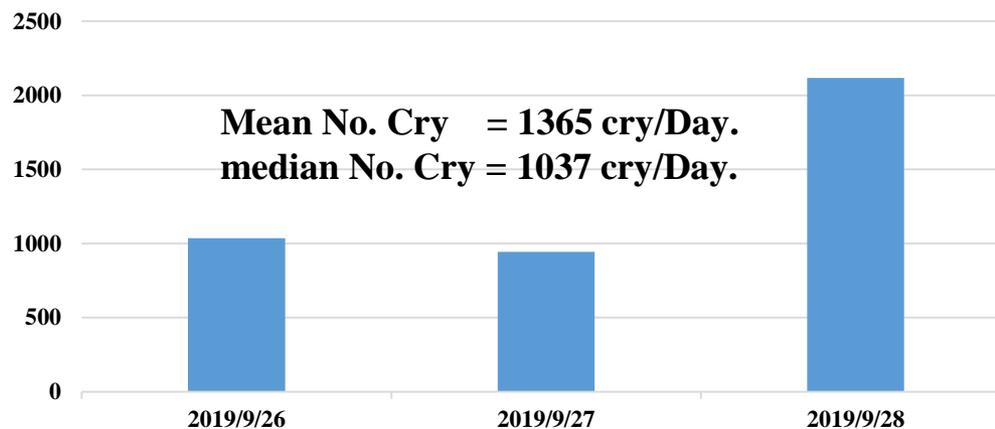
オスシカの鳴声による湿原域のシカの生息数評価

26th ~ 28th Sep. 2019

Amination @ 1 hour interval



Deer Cry @ 1 Day interval
26th ~ 28th Sep. 2019



$$1365/29.1=46.9$$

1365:尾瀬全体で1日あたりシカが鳴いた回数

29.1:1頭のオスシカが1日に鳴く回数

46.9:尾瀬湿原域でのオスシカの頭数

$$46.9 \times 4.0 = 188 \text{ 頭 (湿原域でシカの頭数)}$$

(湿原域のシカの頭数は最小177.6～最大305.1頭と推定された。)

尾瀬全域(湿原域+森林域)におけるシカの 個体数



マイクロフォンが設置された湿原域のシカの頭数：
最小177.6～最大305.1頭

森林域シカの頭数：
362.3頭

- 森林域に生息している個体数はサブテーマ3より**362.3頭**と推定されたため、
- 尾瀬全域（湿原域+森林域）におけるシカの個体数（マイクロフォンによる推定結果と合算）：**539.9～667.4頭**と推定された。

【サブテーマ2】
リモートセンシング画像による
シカ個体数推定手法の開発

福島大学
牧 雅康

【H29年度の目標】

尾瀬湿原における各種リモートセンシング画像の取得方法の検討

UAVを用いた夜間のシカ個体のモニタリング、さらに解析補助データとしての利用を考えている昼間の植生被害域推定用の画像の取得方法について、機体（回転翼・固定翼）の選定も含めて検討する。

【H30年度の目標】

可視・近赤外画像中の植生被害域および熱赤外画像中のシカ個体の抽出法の検討

1年目に検討した各種リモートセンシング画像の取得方法で得られた画像から、シカ個体の抽出法および植生被害の推定手法を検討する。さらに、衛星データを用いた広域の植生被害域の推定法についても、UAV画像を用いた推定法の検討と合わせて実施する。

【H31年度の目標】

リモートセンシング画像を用いた植生被害域およびシカ個体抽出手法の確立と他手法との融合による高精度化の検討

リモートセンシング画像を用いたシカ個体の抽出法を確立する。さらに、サブテーマ（1）で検討している手法との融合による高精度化についても各サブグループと共同で検討する。

それぞれの特長を活かした空撮



回転翼タイプ (ホバリング)

&
(同時観測)



固定翼タイプ
(約10km²観測可能)

or



人工衛星

個体識別用熱画像
の取得 (夜間)

植生被害推定用画像
の取得 (昼間)

*夜間森林から
湿原に出没



温度勾配・温度差分・
形状などから

補助
観測場所の
絞り込み

植生被害域画像

マルチスペクトル情報から

比較・統合の検討

個体識別画像

比較・検証

サブテーマ1

サブテーマ3

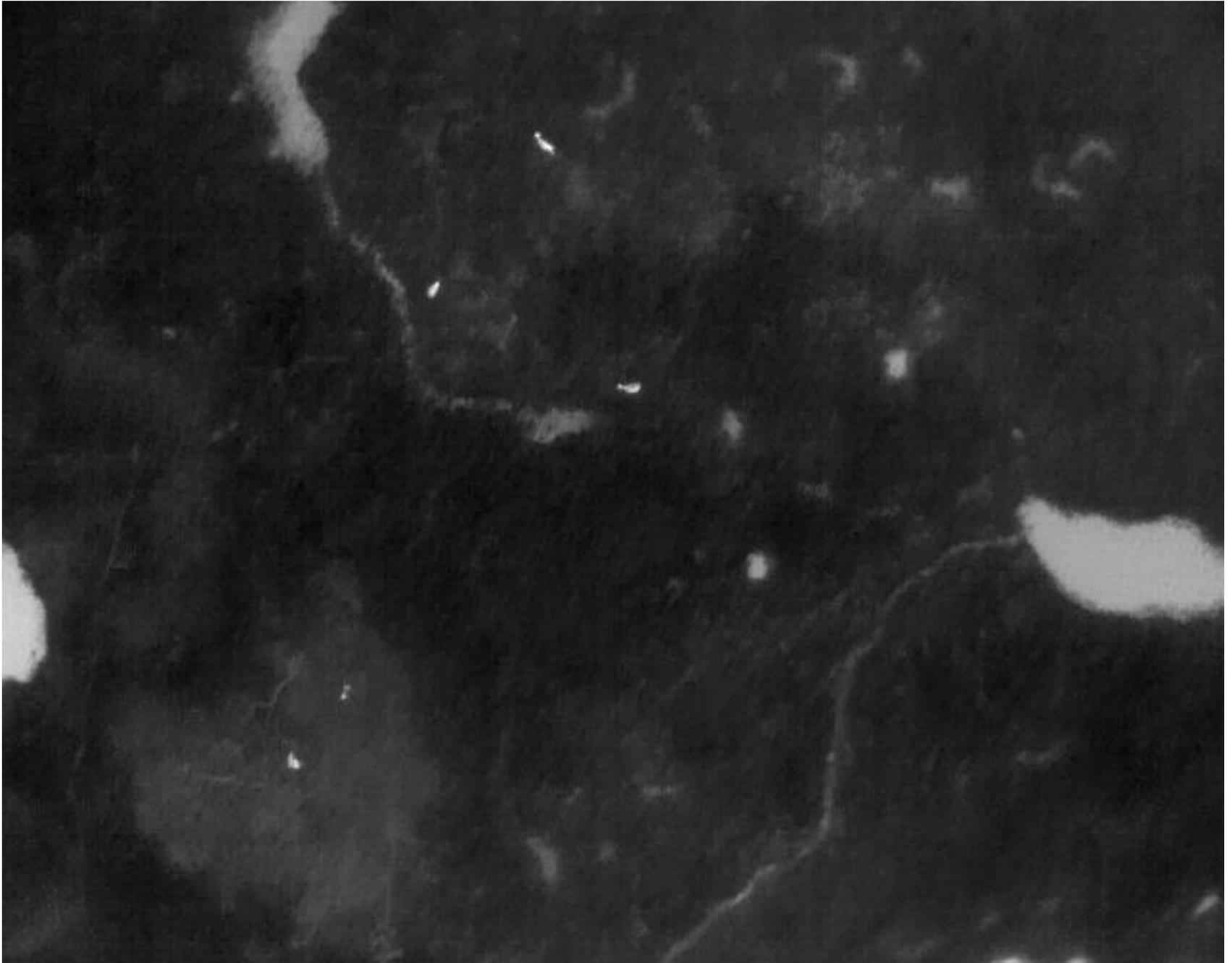
空撮条件（過去2年間の経験から）

- 解像度が10cm程度になるように撮影高度を設定
- 短時間で撮影するためにサイドラップ率を低くする（10%）



対象範囲

ドローン空撮画像の例



ライトセンサス調査（従来法）との比較

空撮日時：2019年8月6日21時10分～7日2時10分

（ライトセンサス調査）19時45分～21時35分

空間解像度：約10cm（高度約50m）

撮影時の天候：晴天、風速1m以下、霧の発生なし



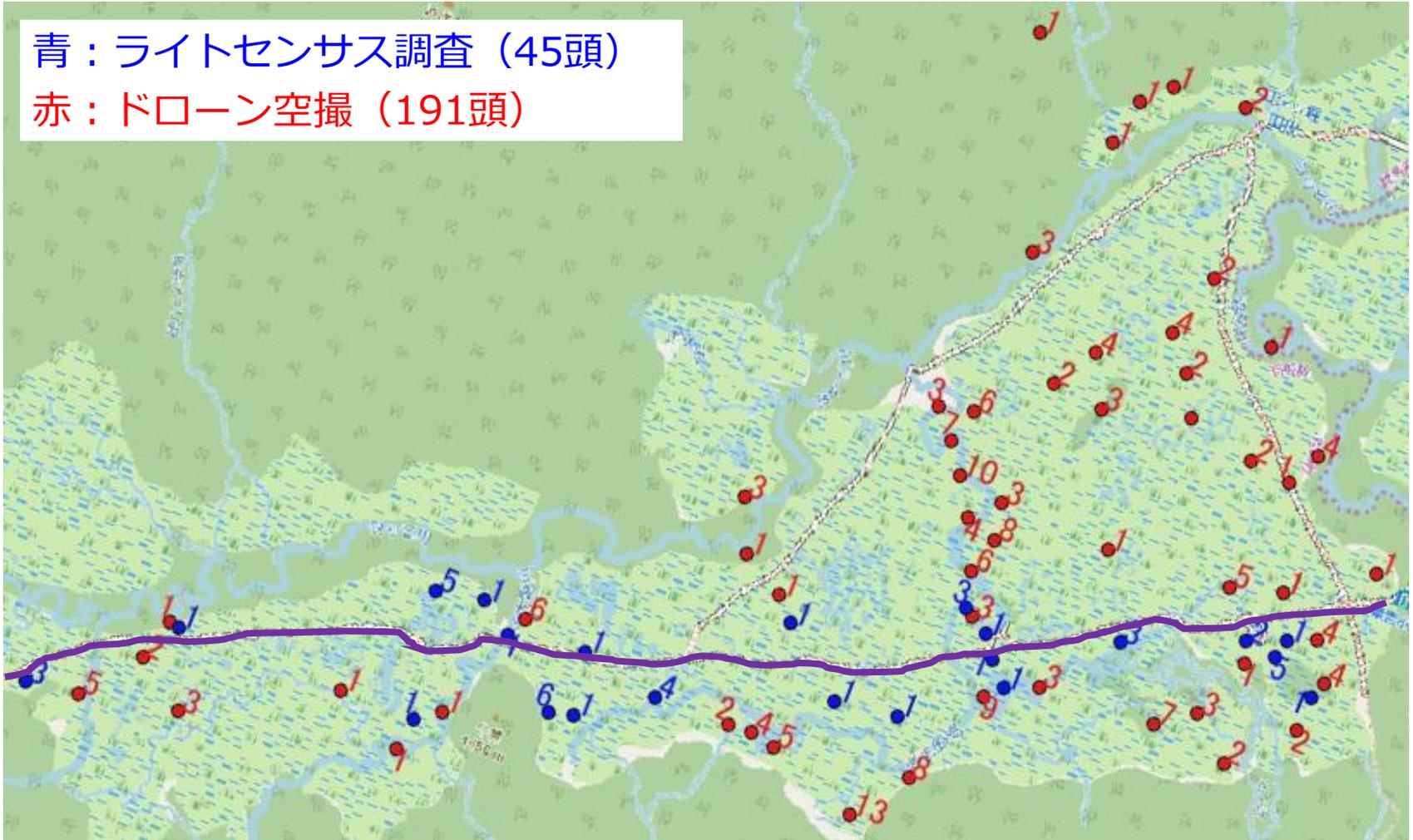
調査ルート

- ライトセンサス調査
①⇒②⇒③
- ドローン空撮
①⇒②
④⇒②
③⇒②

シカの空間分布 (2019年8月6日)

青：ライトセンサス調査 (45頭)

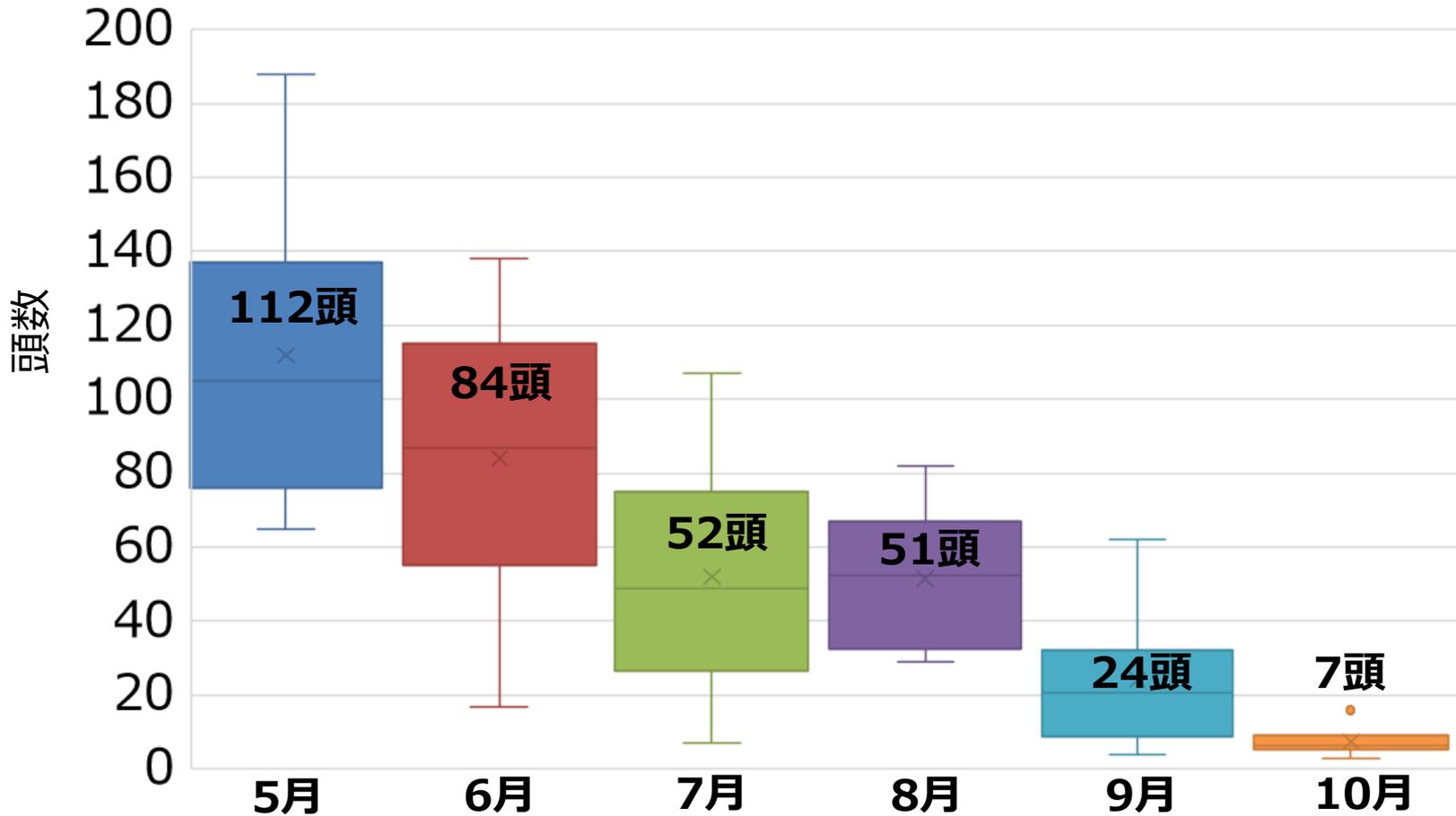
赤：ドローン空撮 (191頭)



(ライトセンサス調査：環境省関東地方環境事務所)

ドローン空撮は、ライトセンサス調査では見えない場所のシカを把握が可能。

H22～R1年8月までのライトセンサス調査



湿原に現れる頭数は5月が最高

ドローン空撮

2018年7月11日：**131頭**

2019年8月6日：**191頭**

2019年9月26日：**63頭**

ライトセンサス調査

7月の平均頭数：**52頭**

8月の平均頭数：**51頭**

9月の平均頭数：**24頭**



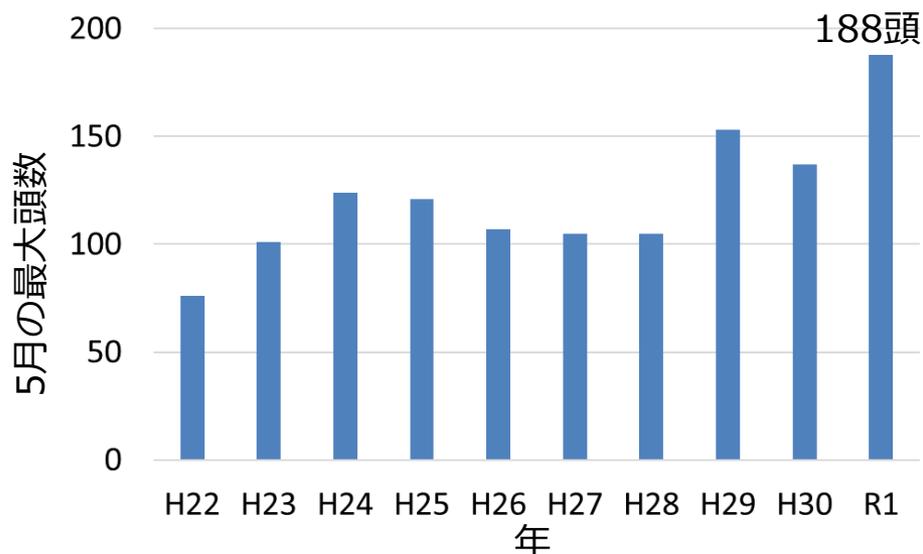
経験的にライトセンサス調査の
2.5~3.7倍（平均2.9倍）の頭数が湿原内に存在



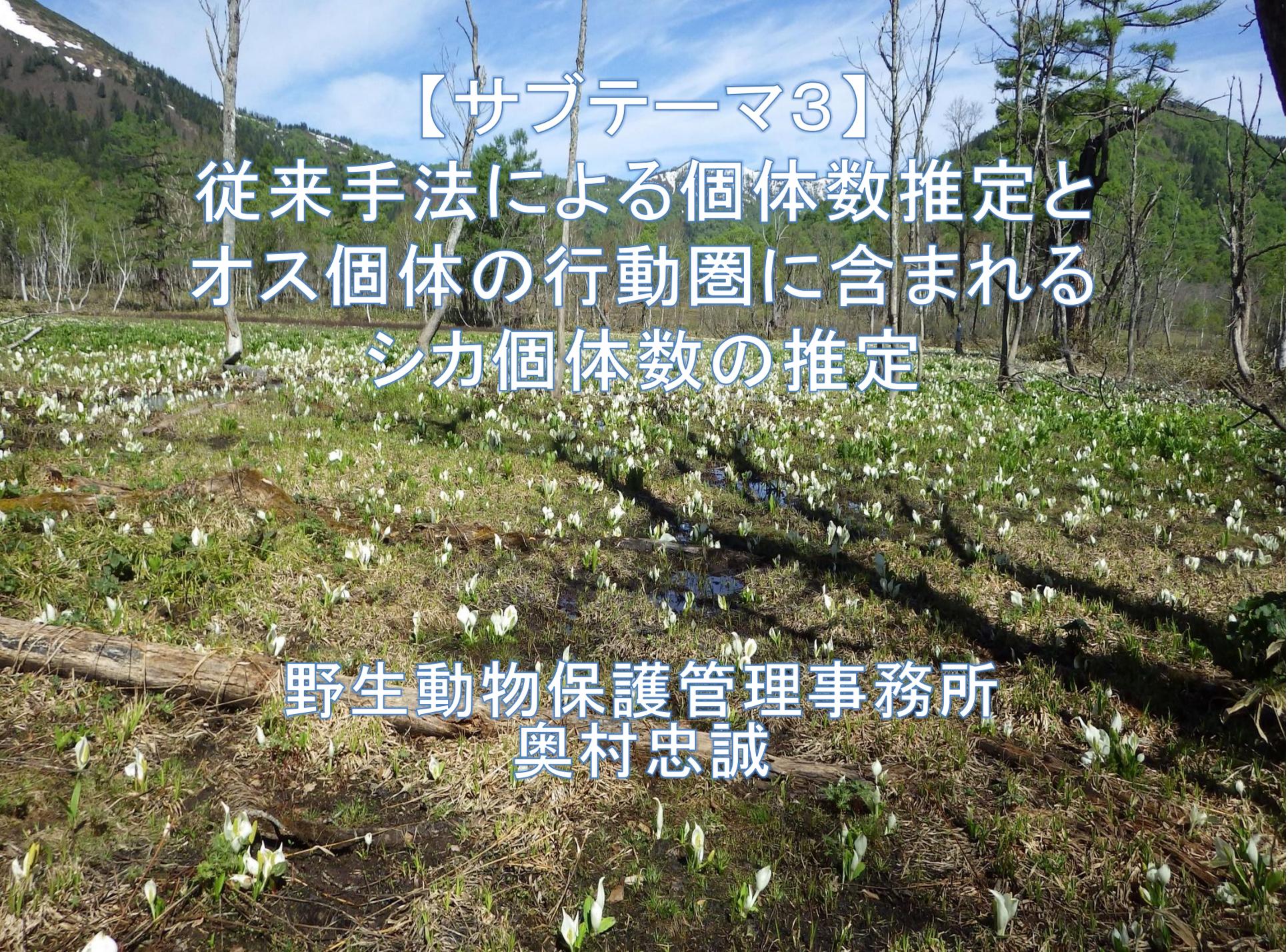
ライトセンサス調査で頭数が最高となる2019年5月では？

$188\text{頭} \times 2.5 = 470\text{頭}$

$188\text{頭} \times 3.7 = 696\text{頭}$



2019年は尾瀬ヶ原に**470~696（平均626）頭程度**
生息する？

A photograph of a natural landscape. In the foreground, a field of numerous small white flowers, possibly wild garlic, is in bloom. The ground is covered with green grass and some fallen logs. In the background, there are several tall, thin trees, some of which are bare, and a mountain range under a blue sky with light clouds. The overall scene is bright and natural.

【サブテーマ3】
従来手法による個体数推定と
オス個体の行動圏に含まれる
シカ個体数の推定

野生動物保護管理事務所
奥村忠誠

【H29・H30年度の目標】

従来手法による個体数の推定とオスの行動圏把握、及び行動圏内の社会行動の把握

オスシカにGPS首輪を装着し、繁殖期の行動圏サイズを把握する。また、オスシカ同士の行動圏の重複やビデオにより社会構造を把握する。

自動撮影カメラの撮影頻度とGPS首輪から得られた移動速度を元にガス分子モデルを用いてシカの生息数の推定を行ない、他の手法の検証データとして用いる。

また、1頭のオスシカの行動圏内に生息するシカの頭数の推定を行ない、サブテーマ(1)のマイクロフォンによる推定を補完するデータとして用いる。

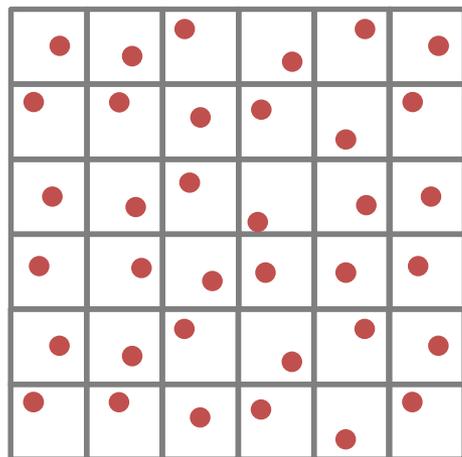
【H31年度の目標】

音声やリモートセンシングを用いたシカの生息数推定手法の検証

2年目までに得られた成果をもとに、音声やリモートセンシングでの結果の精度について検証を行う。

従来手法による生息密度推定 (自動撮影カメラによる推定)

400m



- Rowcliff (2008) の方法により推定
- カメラの探知範囲で撮影される確率と撮影された平均群れサイズと群れの移動速度から密度を推定
- 約400mに一台の自動撮影カメラにより、シカの群れサイズと撮影頻度を調べ、群れの移動速度はシカにGPS首輪を装着して計算

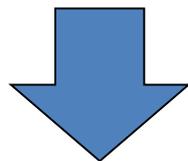


* マイクロフォンとUAVで推定された個体数の比較・検証用データとして使用



オス個体の行動圏に含まれるシカ個体数の推定

- サブテーマ（1）ではオスの行動圏の中にいるメスや幼獣については検出できない
- オスの行動圏サイズと群れの構成を把握（GPS首輪の装着）
- マイクロフォンの実施範囲の中に自動撮影カメラを設置し、オス対メス・幼獣比を算出



マイクロフォンの手法を補完



GPS首輪の装着



Vectronic Aerospace社の
VERTEX PLUS

- イリジウム通信機能付き
- 1時間に1回の測位
- カメラ付きGPS首輪
- 動画は2時間に一度
- 15秒撮影



麻醉銃はエア一式麻醉銃(吹矢)のDan-inject JM SP

GPS首輪の装着

個体番号	捕獲日	性別	推定体重	推定年齢
1801	2018年7月2日	メス	55kg	7歳
1802	2018年7月5日	オス	65kg	2歳
1803	2018年10月8日	オス	85kg	5歳
1804	2018年10月21日	オス	85kg	5歳
1901	2019年10月23日	オス	90kg	10歳

7月2日捕獲
東電小屋西側
成獣メス
推定体重55kg



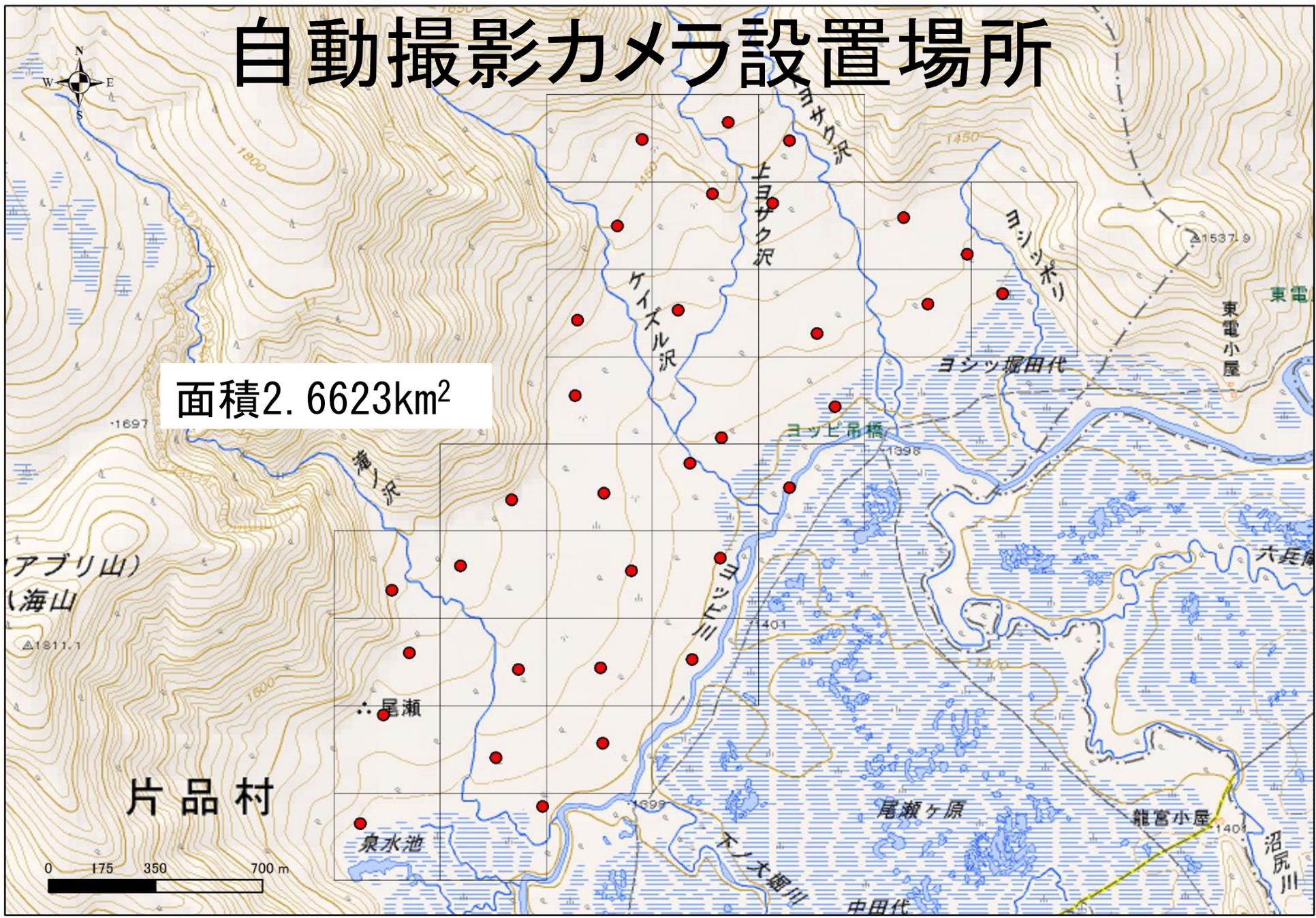
1日当たりの移動距離(m)

年	月	個体1801	個体1802	個体1803	個体1804
2018	7	1864.6	614.1	0.0	0.0
	8	1686.4	663.0	0.0	0.0
	9	1783.7	760.5	0.0	0.0
	10	1674.1	1953.0	3276.6	959.9
2019	7	1798.1	656.0	756.4	658.0
	8	0.0	177.8	378.5	664.4
	9			1151.7	1397.6
	10			1232.3	2475.2

月	平均移動距離
7	793.4
8	497.1
9	955.3
10	1909.8

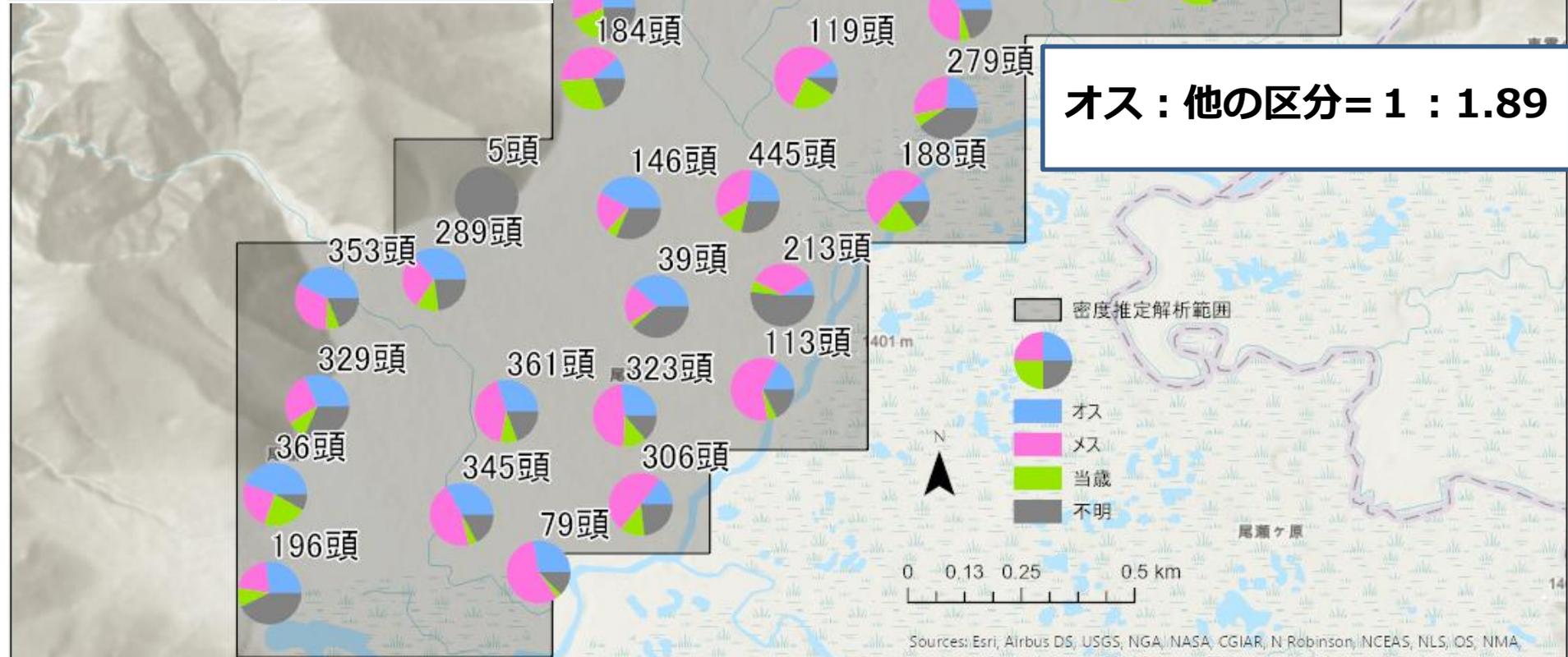
自動撮影カメラ設置場所

面積2.6623km²

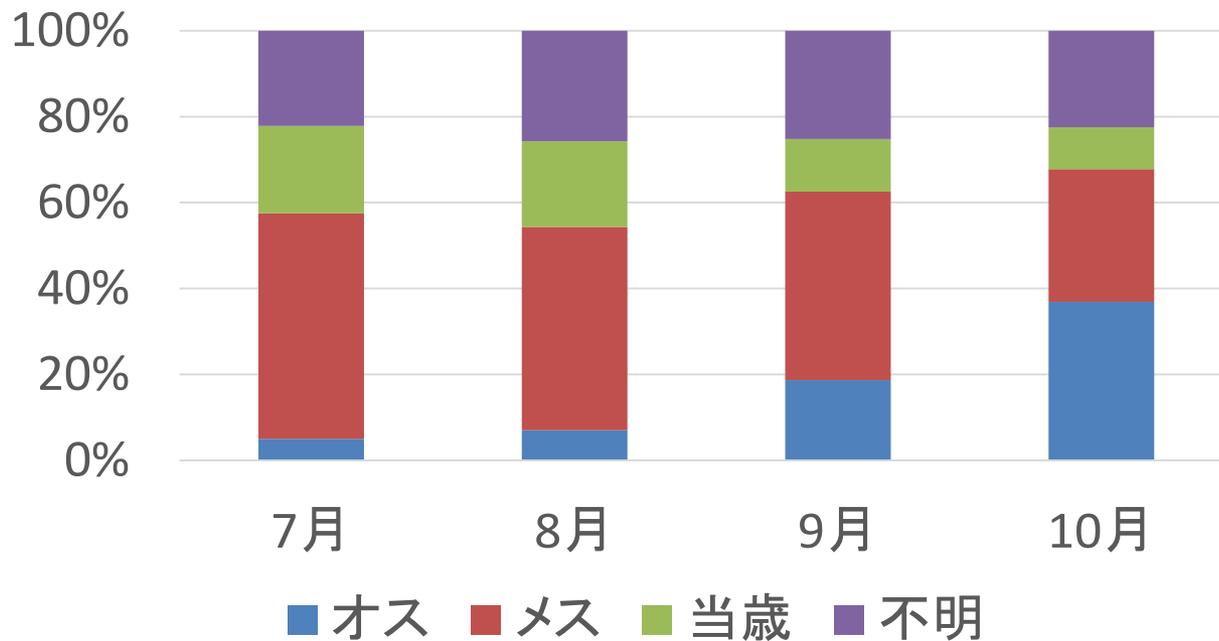


撮影頭数

性年齢区分	延べ撮影頭数
オス	1523頭
メス	2161頭
当歳	713頭
性年齢不明	1366頭



オス:その他の性年齢区分比



月	その他/オス
7月	19.00
8月	13.25
9月	4.35
10月	1.71

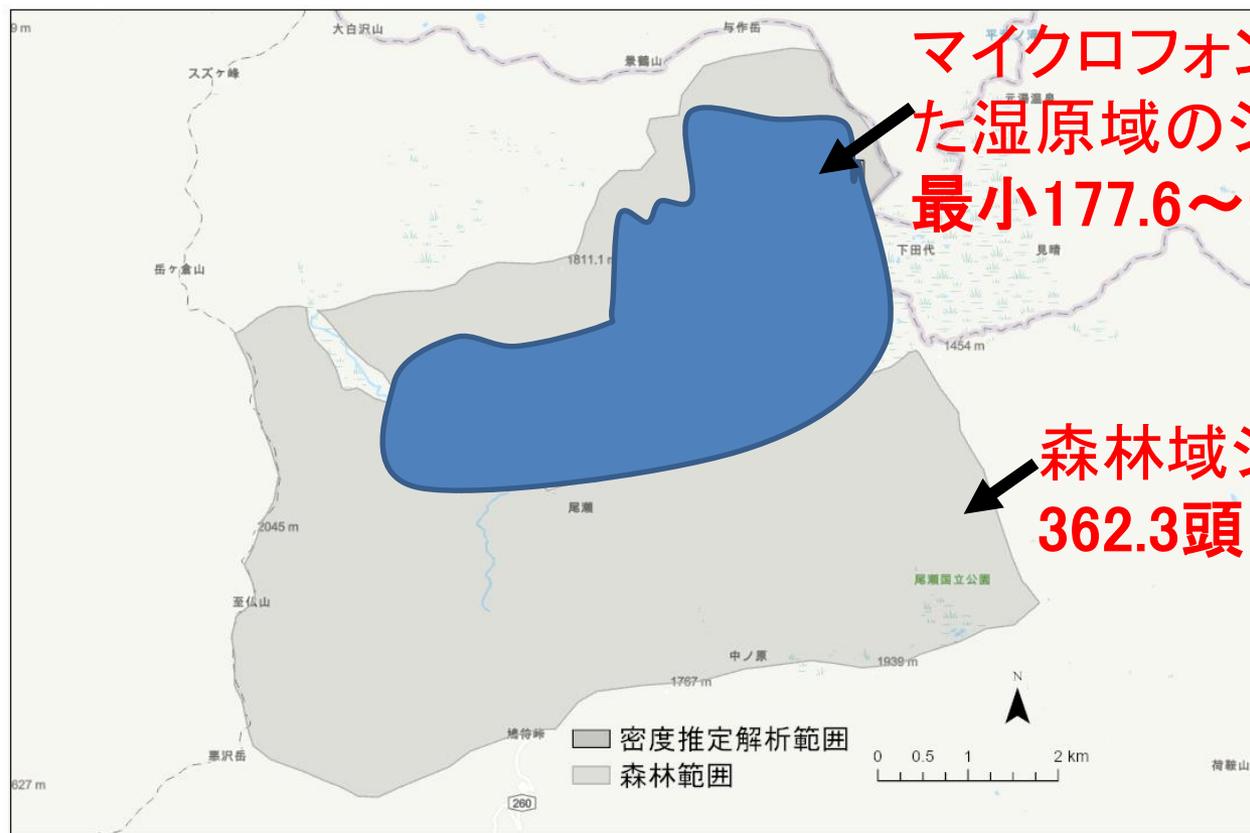
推定生息数

	7月	8月	9月	10月
群れサイズ (g)	1.29	1.29	1.31	1.36
移動速度 (v)	793.40	497.12	955.33	1909.82
探知角度 (θ)	1.745	1.745	1.745	1.745
探知距離 (r)	10	10	10	10
撮影率 (y/t)	0.07	0.15	0.33	0.40
推定密度	4.75	16.56	19.08	12.02
推定生息数	12.64	44.09	50.80	32.01

$$D = g * y/t * n / vr(2 + \theta)$$

解析対象範囲の面積2.6623km²

尾瀬全域(湿原域+森林域)におけるシカの 個体数



マイクロフォンが設置された湿原域のシカの頭数：
最小177.6～最大305.1頭

森林域シカの頭数：
362.3頭

- 尾瀬全域 (湿原域+森林域) おけるシカの個体数 (サブテーマ1のマイクロフォンによる推定結果と合算) : **539.9～667.4頭**と推定された。

【4-1706】地上・リモートセンシングによる尾瀬ヶ原湿原におけるシカ個体数推定手法の開発 まとめ

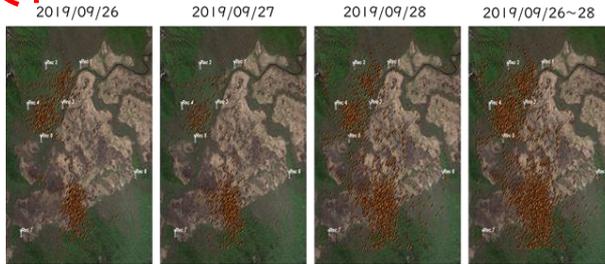
研究の背景: 尾瀬の植生被害を低減させるために必要なシカの捕獲数は設定されずに捕獲が行われていることから、尾瀬のような人のアプローチが難しい場所で行える密度調査手法が求められている。

研究の目的: 湿原域における新たなシカ個体数推定手法の開発

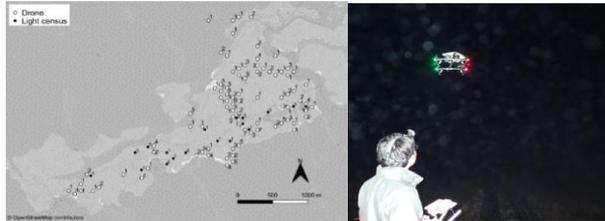
研究の実施概要: サブテーマ(1)から(3)の3つのサブテーマを設置(図参照)

研究の主要な成果:

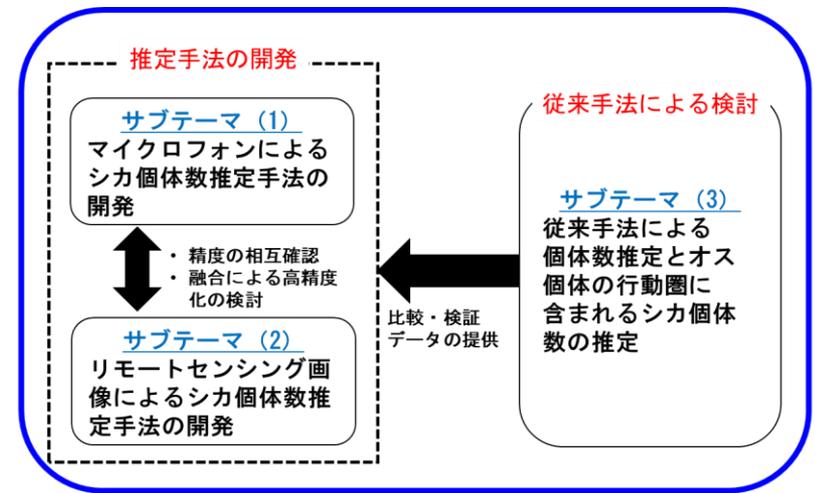
(1) 複数マイクロフォンによりシカの鳴き声の位置をリアルタイムに可視化することに成功



(2) 従来法との比較によりドローン空撮の有効性を確認



(3) GPS首輪を用いた個体数推定とGPS首輪に内蔵された動画撮影データの対策への活用の可能性を確認

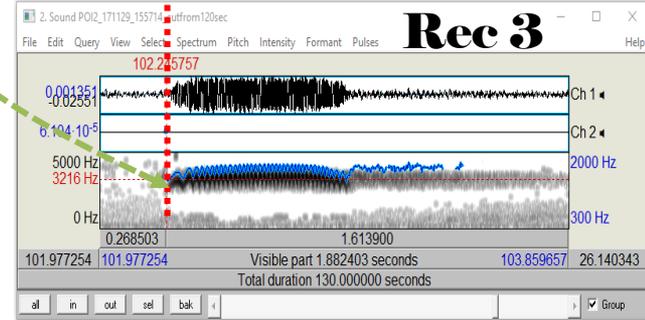
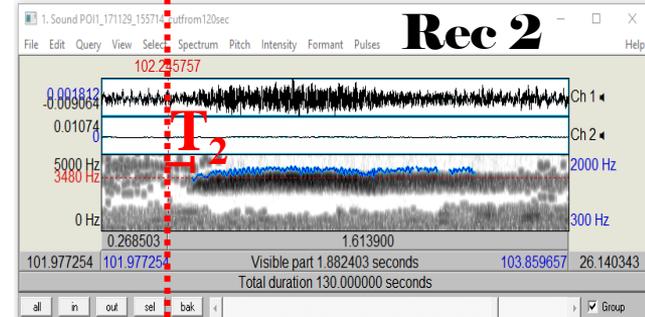
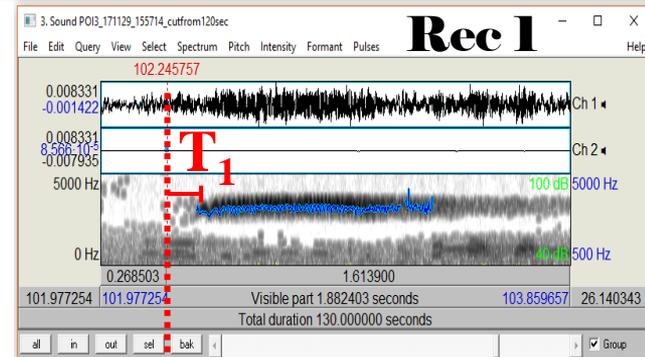
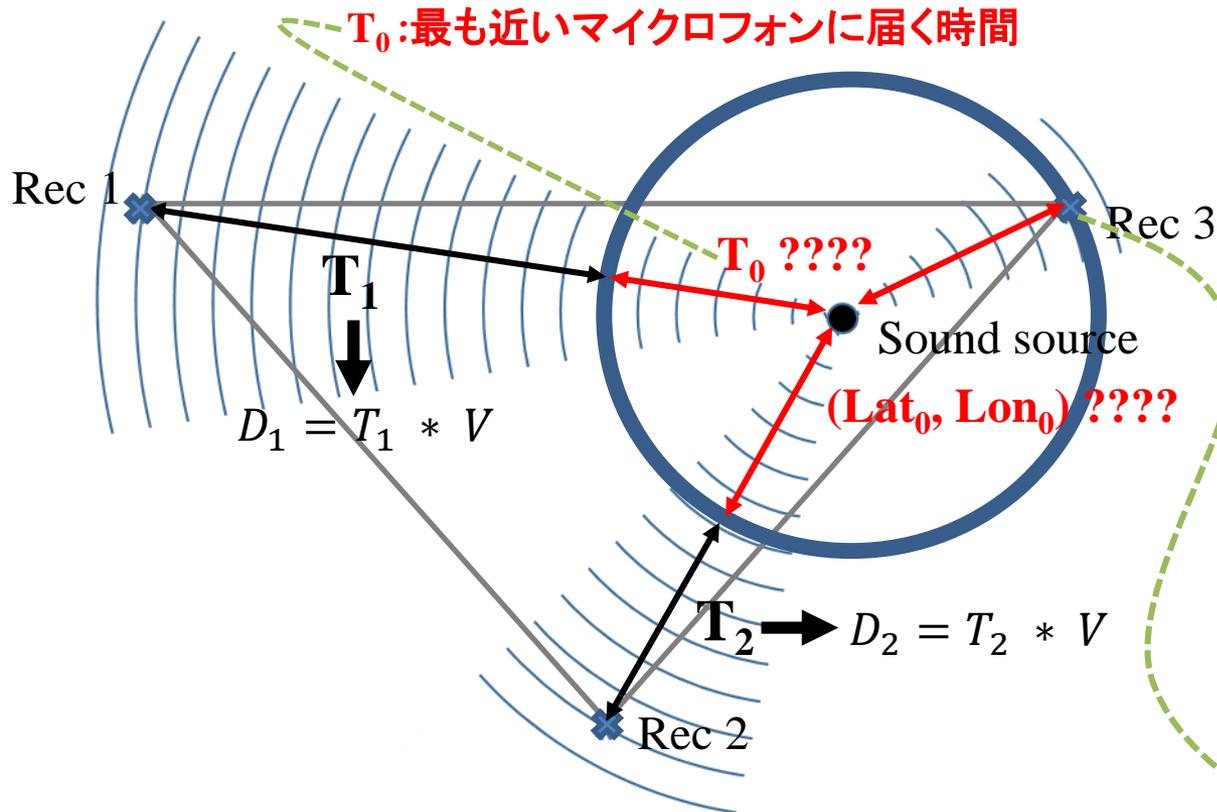


湿原域における新たなシカ個体数推定手法の提案

(4) 尾瀬全域(湿原+森林域)におけるシカの個体数

マイクロフォンによる推定結果: **539.9~667.4頭**
ドローンによる推定結果: **470~696頭**

参考スライド サブテーマ(1)



Speed of sound (V)

Indry air,

at 0° C, → 331 m/sec

at 20° C, → 343 m/sec

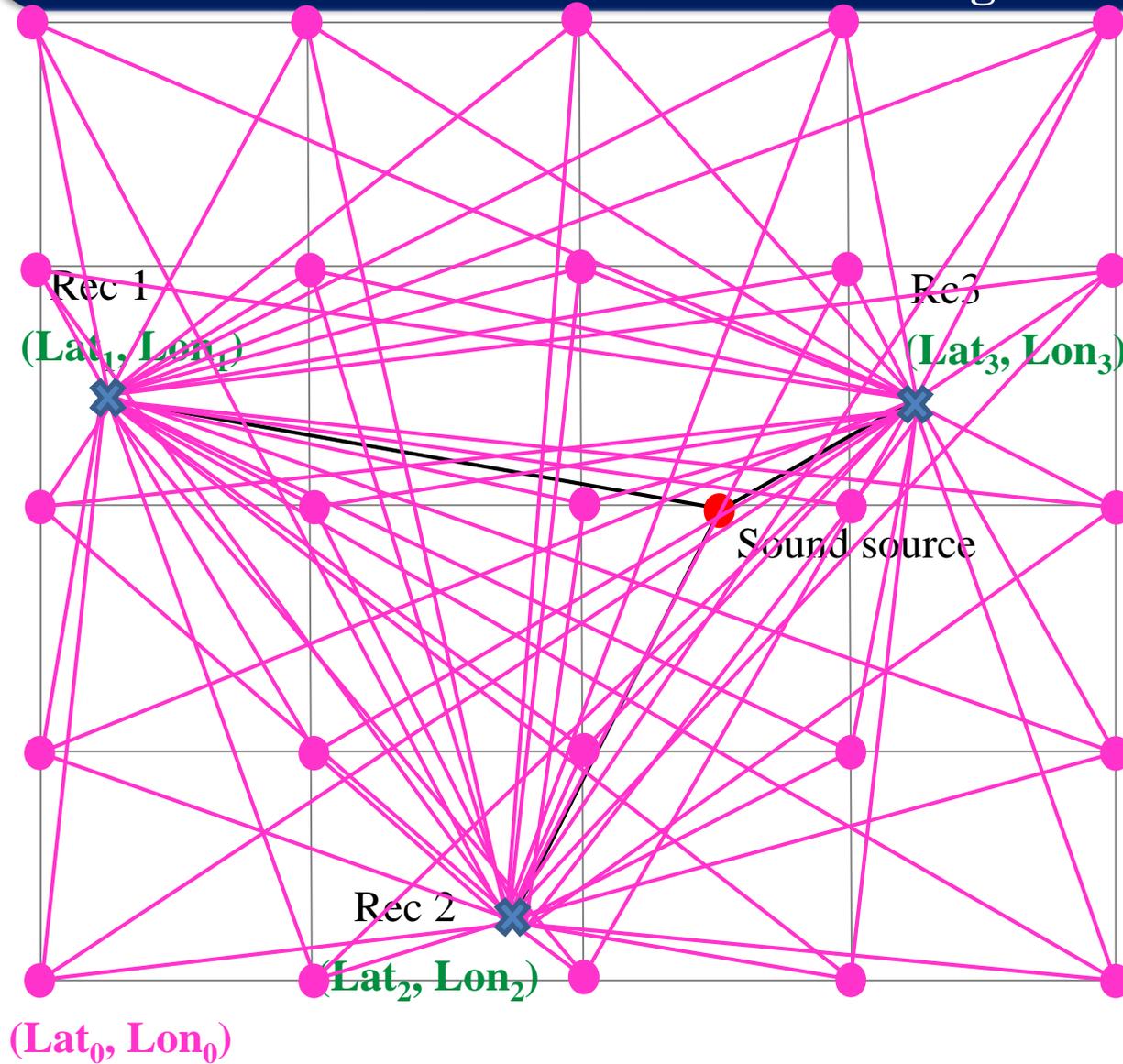
→ **$Distance (D) = Speed\ of\ sound * Time (T)$**

Results

❖ Detect the location of animal using recorded sound.



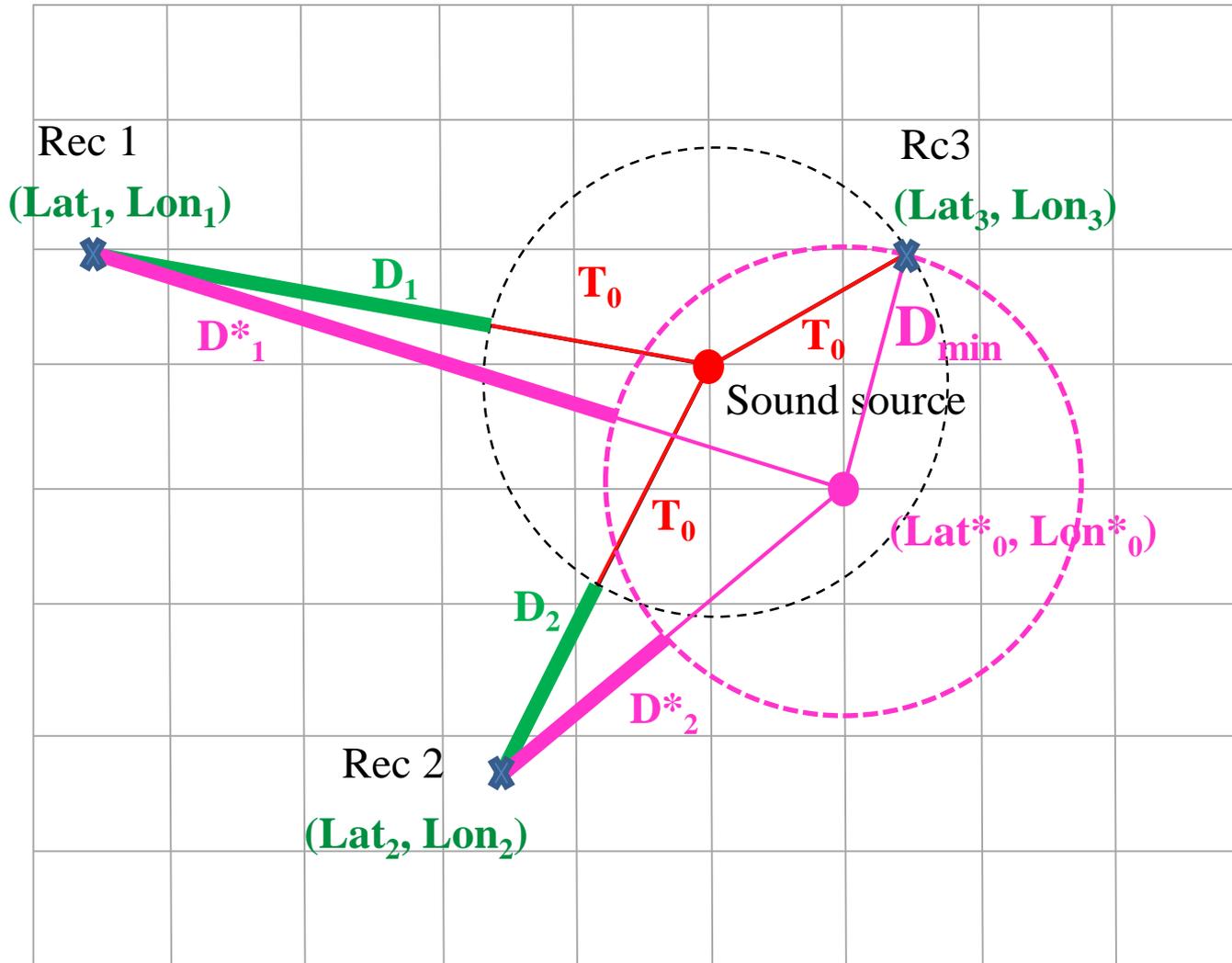
47



Results



❖ Detect the location of animal using recorded sound.



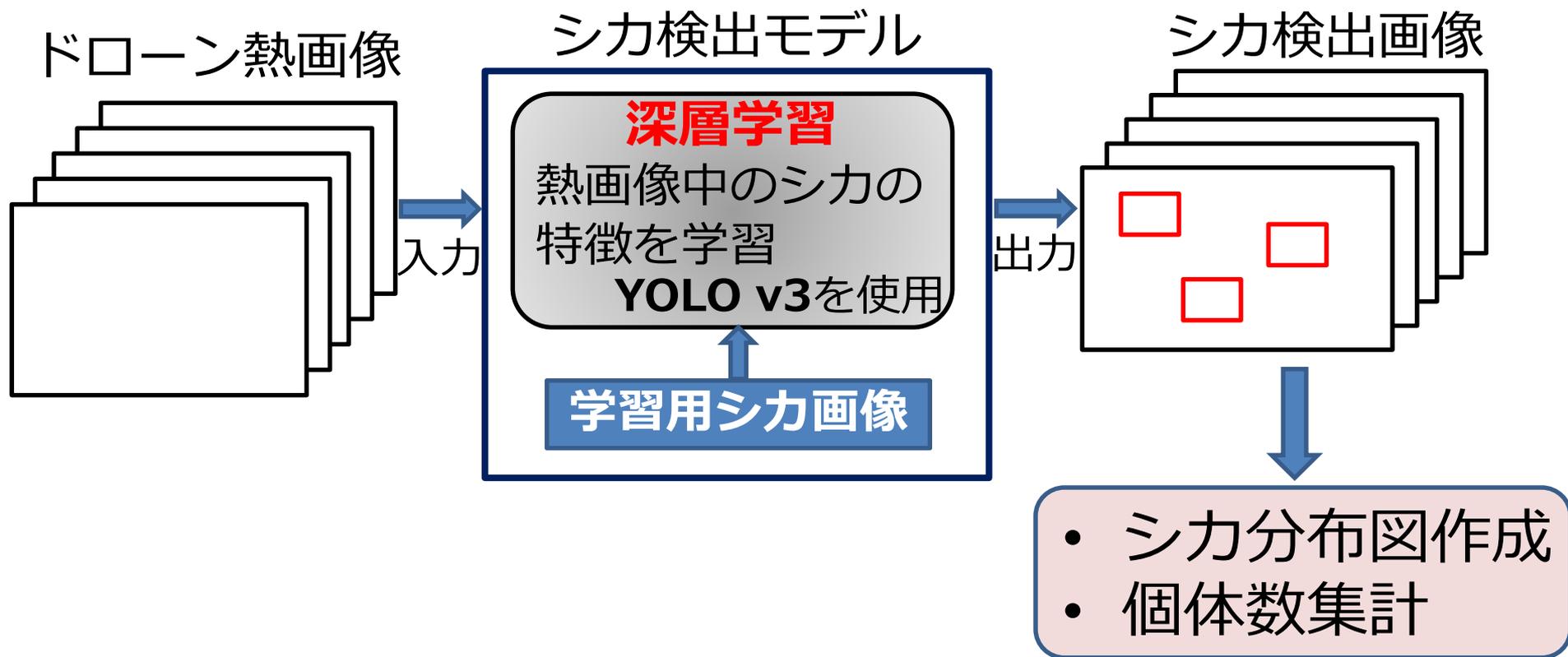
$$RMSE = \sqrt{\frac{(D_1^* - D_1)^2 + (D_2^* - D_2)^2}{2}} \approx 0.1 \text{ m}$$

参考スライド サブテーマ(2)

シカ抽出の省力化に向けた深層学習の導入 の検討

広範囲に多数のシカが存在する場合は、目視抽出に時間と労力が必要 ➡ **自動抽出で効率化・省力化**

自動でシカの位置を特定するためには？



シカ抽出の例



参考スライド
サブテーマ(3)

GPS首輪の動画データ

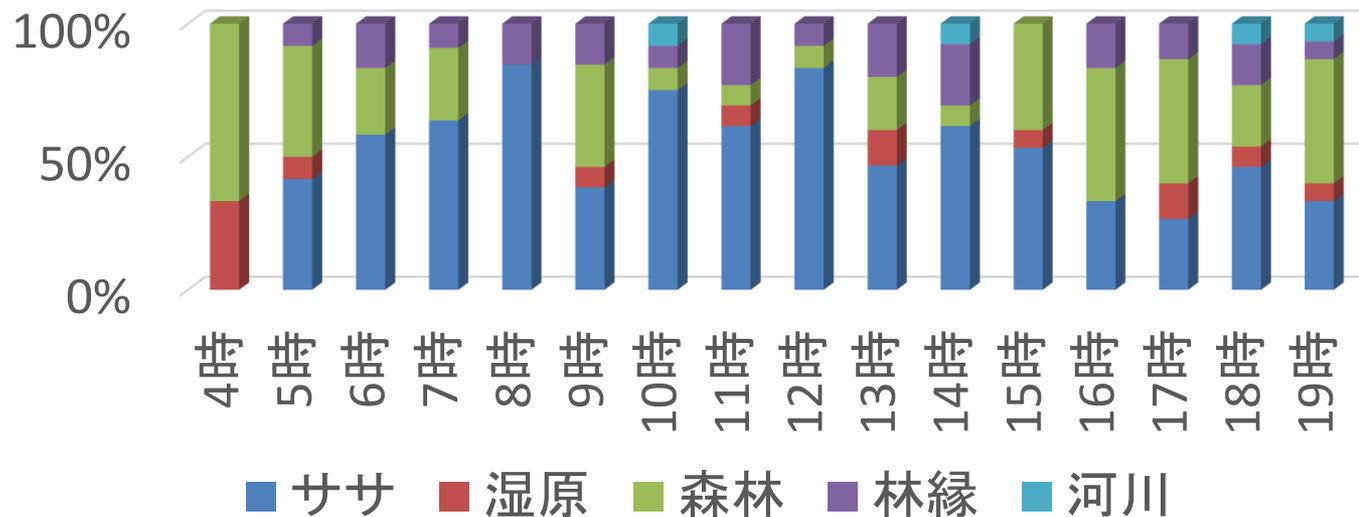


活用方法

- 群れ構成の把握
- 越冬地などの利用環境
- 社会構造
- 採食物

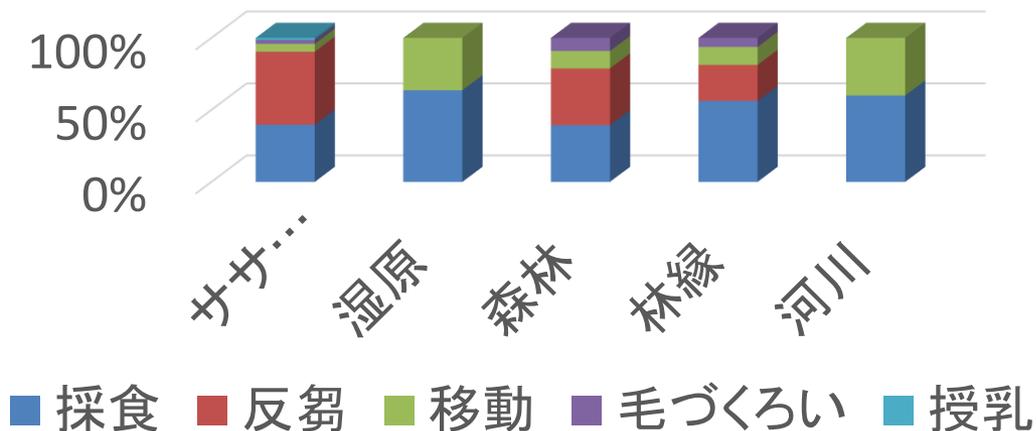
- 動画は2時間に一度
- 15秒撮影

個体1801の動画からわかった日中の利用環境



- 明け方はまだ湿原の利用が多い
- 日中にかけてササ群落を利用する頻度が高まる

個体1801の動画からわかった環境ごとの行動割合



- ◆ 森林やササ群落で忍び猟を行う
- ◆ 湿原や河川沿いで待ち伏せを行う

- 採食 ■ 反芻 ■ 移動 ■ 毛づくろい ■ 授乳
- ササ群落では採食と反芻が多い
- 森林ではそれに加えて毛づくろいなどの社会行動もみられた
- 湿原では採食と移動のみ
- 林縁では採食は多いが、反芻や移動が少ない

個体1801の動画で確認された採食物

- 多くの植物を採食
- ササの採食が飛び抜けて多い
- ミズバショウやギョウジャニンニクなど湿原性植物も採食



◆ これらが自生している場所を探すことで、シカを効率的に捕獲できる

採食物	撮影回数
アオダモ	1
オオカメノキ	1
オオバクロモジ	2
カエデ属	1
ヒトツバカエデ	1
ヤナギ属	1
サクラ属	1
タカネミズキ	2
広葉樹	2
ギョウジャニンニク	1
サワフタギ	1
ジャコウソウ	1
シダ	1
トウダイグサ属	1
ミズバショウ	4
ササ (チシマザサ)	21
グラミノイド	2
枯葉・落葉	3