



夜間フライトコール(NFC) 録音に適したマイク指向性 の検証と試作



大坂英樹（トリルラボ）
櫻井佳明（加賀市鴨池観察館）
田米希久代（加賀市鴨池観察館）



概要と目的

- ・動機：夜に鳴き声(NFC: Nocturnal Flight Call)を発しながら渡っていく。これを録音し渡り生態に迫る
- ・目的：マイク・録音方法でNFCの検知数に大きな違いがあり，その差を明らかにし，野外長期録音に適した方式を提案する。
- ・調査概要：
 - ・調査期間 2024年から3年間，春季4月1日～6月30日、秋季9月1日～11月30日
 - ・実施方法 全国の調査者(18名)が夜間にICレコーダで録音し、音声データを提供
 - ・サイト数 北海道から沖縄まで15ヶ所
 - ・録音方法 庭やベランダなど身近な場所にICレコーダを設置し、タイマー録音
 - ・録音頻度は週1回から毎日まで、1晩に3回 (21:00-22:00, 0:00-1:00, 3:00-4:00)
 - ・録音フォーマットはWAV (44.1kHz)
 - ・自動検知の結果は加藤氏が発表
- ・録音調査のプロセス：



ジップロックにICレコーダを入れて防水加工

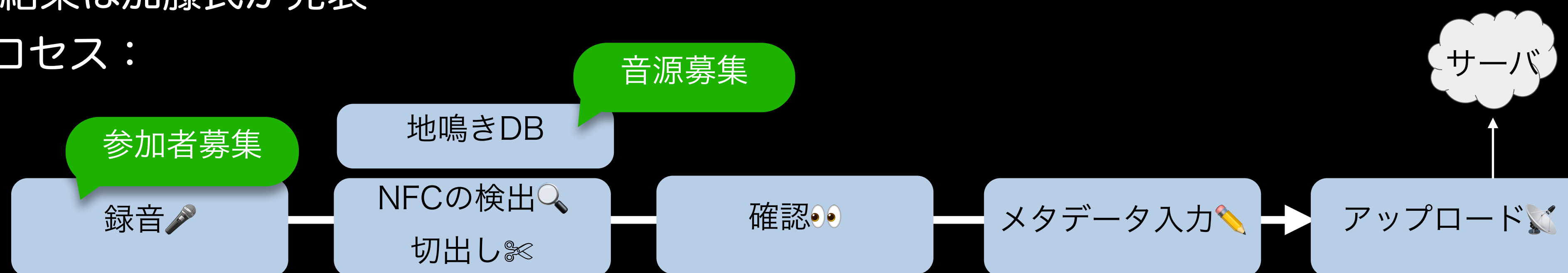


図1 NFC録音調査の流れ

NFCの先行研究

- ・北米では1998年からNFC監視促進団体old birdが設立されレーダ検知の補完利用
- ・欧州ではNFCの登録サイト(Trektellen)が運用
- ・オーストラリアでは音響天文台が90サイト設置
- ・北京では2021年からNFC調査開始
- ・日本ではヤイロチョウの夜間の渡り調査で実績



(A) song meter (SM4)



(B) old bird 21c



21cの集音は逆四角錐

- ・ SM4の特徴：
 - ・ 無指向性マイクx2
 - ・ ストレージ：～2TB
 - ・ 価格：699USD
- ・ old bird 21cの特徴：
 - ・ 指向性が強い
 - ・ 屋外設置、特に木がない住宅屋上での使用に適する
 - ・ 1ガロンのバケツに収納
 - ・ マイク、プリアンプ、AC電源コネクタ、オーディオケーブルを含む
 - ・ 価格：335USD

図2 NFCに用いられるマイクの例

NFCを最大化する録音方法は？

- ・疑問：

- ・NFC録音調査用マイクは無指向性か，指向性か？
- ・ICレコーダの防水用の袋(ジップロック)はどの程度影響を与えるのか？
- ・秋は虫の音が大きく（背景ノイズ）これを避けるには？

- ・方針：

- ・マイクセッティングで検知数に差が出るか？
- ・マイクの指向性の実験
- ・レーダ分析による夜間の飛行高度分布を文献調査
- ・長期野外録音を想定しマイクを試作

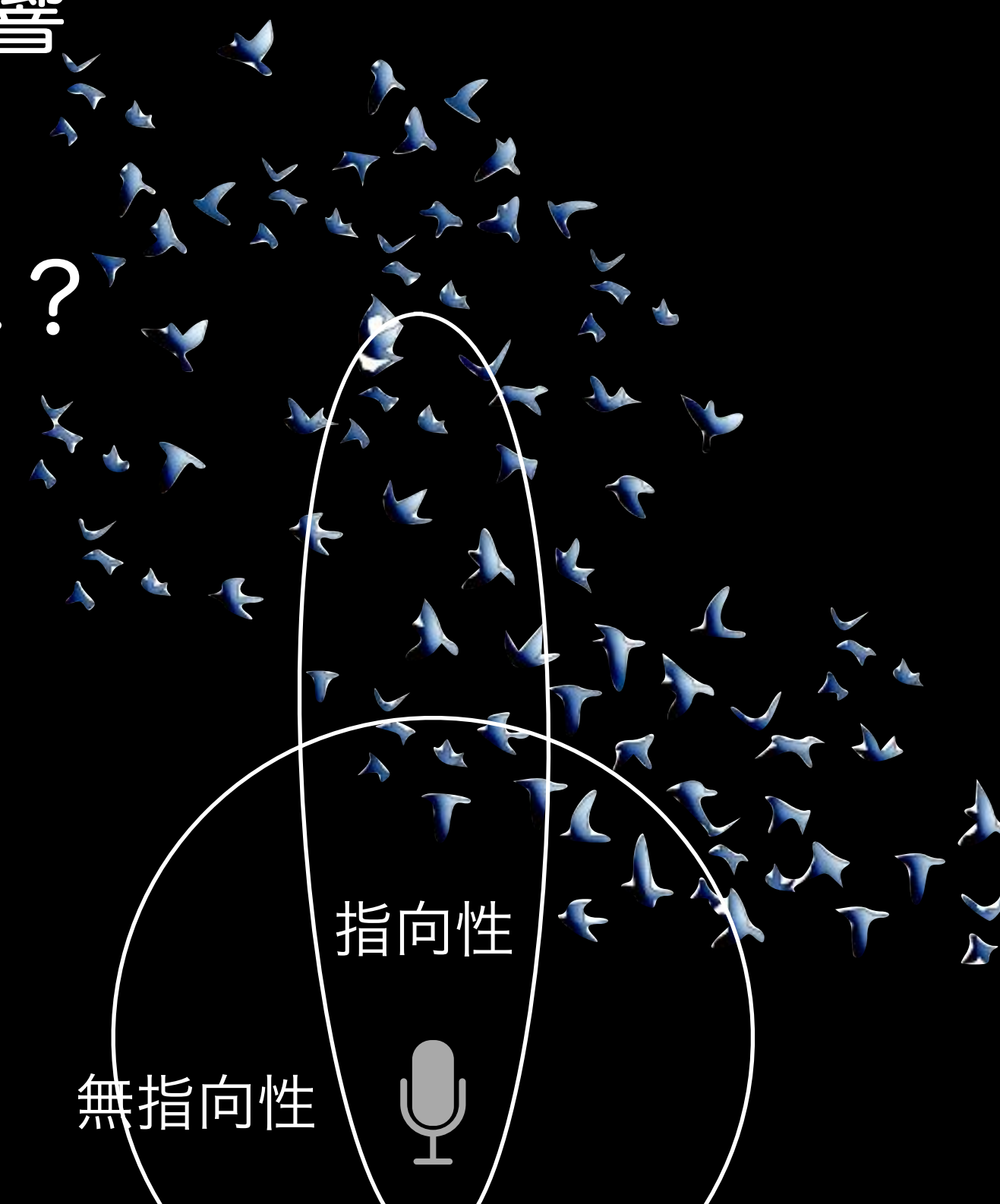


図3 NFCに用いられるマイク指向性

実験①：傘リフレクタ，指向性，無指向性

・同じ場所で同時に録音



- ・測定場所：加賀市鴨池観察館
- ・録音日時：2024-11-03 18:00~翌日6:00
- ・日の入：16:56, 日の出：6:20
- ・気温*：12.4°C(18時)~8.7°C(5時)
- ・最大風速*：1.9m (11-04 2時)
- ・ICレコーダ：DR05X, DR40/TASCAM, 自作傘リフレクタ（内面に反射用シートを貼っている**）
- ・録音フォーマット：

	傘+PC	DR05X	DR40
channels	1ch	2ch	2ch
fomat	WAV	WAV	WAV
depth	16bit	16bit	24bit
sampling	44.1KHz	44.1KHz	44.1KHz
mic	指向性	無指向性	指向性

(A) 傘を用いたリフレクタ

(B) DR05X
(無指向性)

(C) DR40
(指向性)

録音方法：マイクを柄にテープ止め，増幅後PC録音

DR-05XとDR-40を車のルーフレールを取り付けるところにクリップ三脚で設置

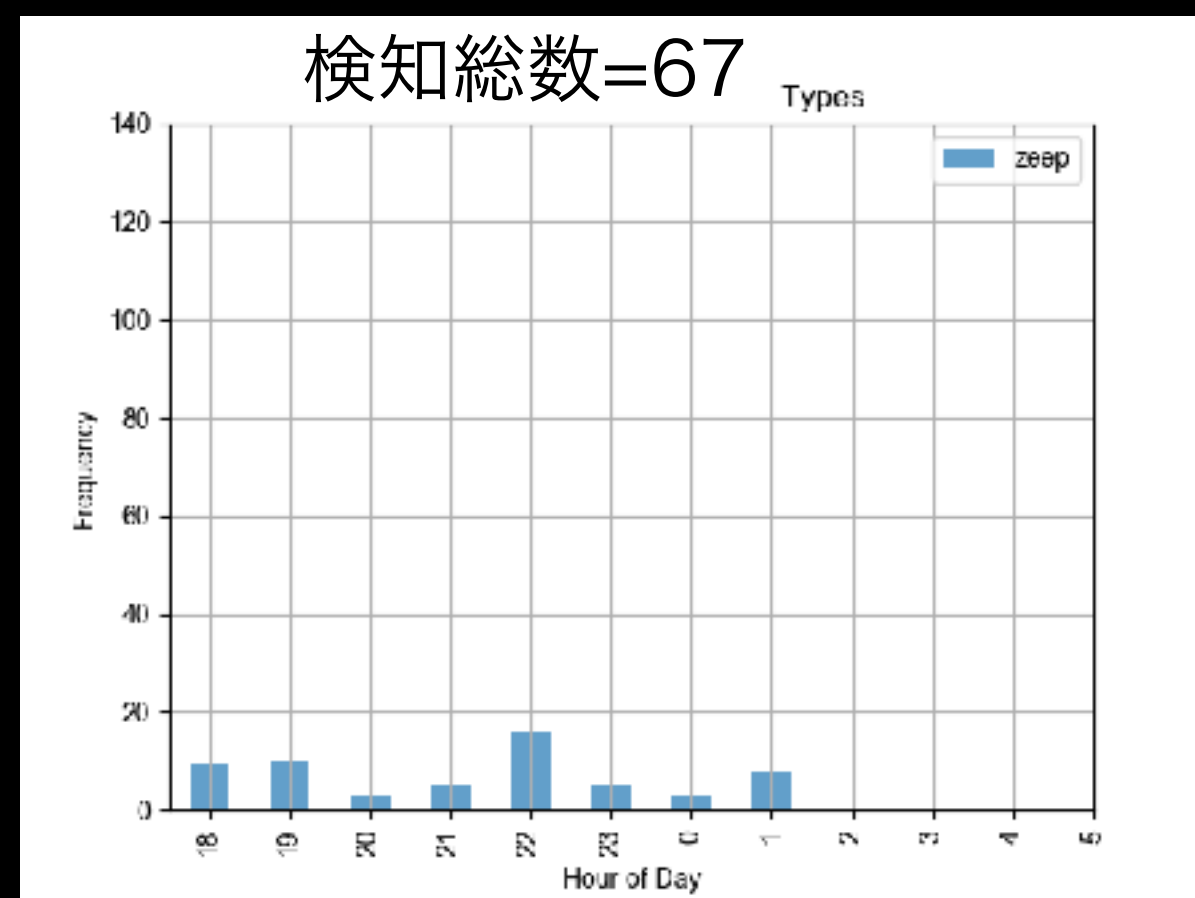
図4 3つの録音機材

* 天気関連は加賀中津原の気象庁データ
** 自作傘の参考サイト<https://site.ngk.co.jp/lab/no275/>
*** テーブルマイク(サンワサプライMM-MC23)から取り出したマイクカプセル

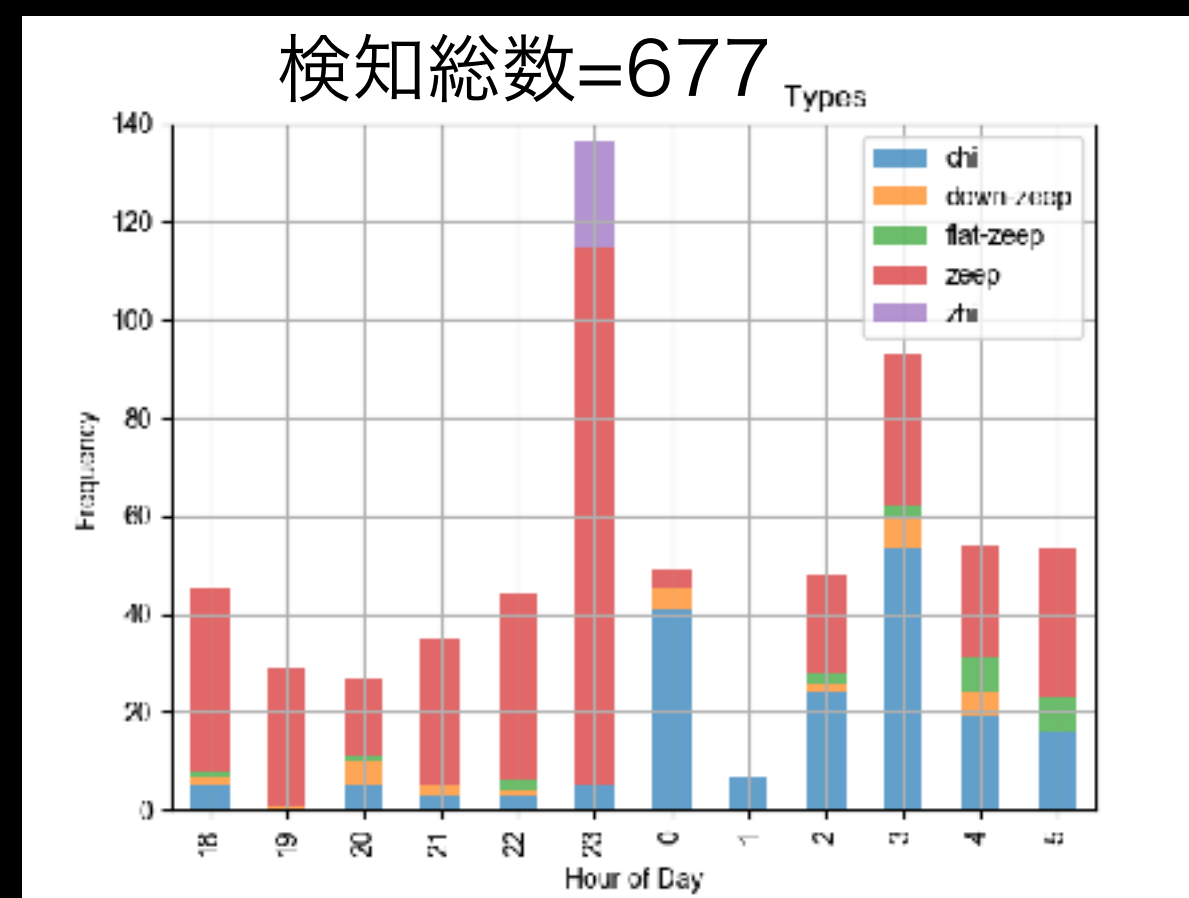
実験①の結果

- 解析方法：

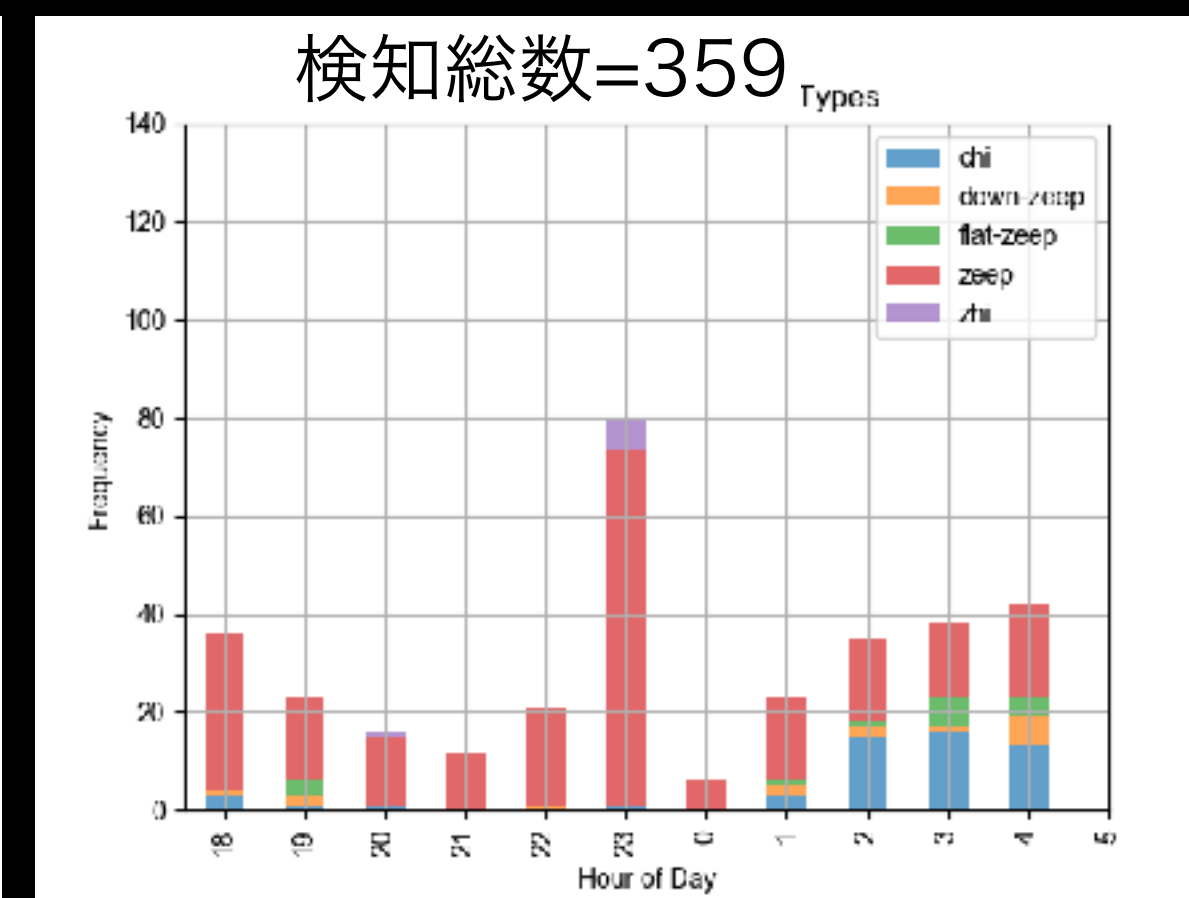
- 解析ソフト（RavenPro 1.6）でスペクトログラム上でNFCを目視抽出し、音を確認
- データに時刻（Begin Clock Time）, annotation typeを追加



(A) 傘リフレクタ



(B) 指向性マイク



(C) 無指向性マイク

図5 3つの録音機材による時間毎の検知数

- 結果：

- 同所同時刻録音でマイク方法，設置状態で検出数が大きく変わった
- (B)指向性は(C)無指向性より検知総数が1.8倍多かった
- (B)と(C)のNFCの時刻で5秒内のずれを"一致"とすると一致は97件で，不一致が860件であった。
→（ファイル分割時にタイムギャップが発生したある可能性はあるが）異なるNFCを検知していた。

実験② 録音機材と検出数

・ 実験内容：マイク特性の違いによる検出数の違い

表 録音フォーマット

	H6	DR-05	DM750
channel	2ch	2ch	2ch
format	PCM	PCM	MP3
sampling	48k	44.1k	44.1k
depth	24bit	16bit	16bit
mic	NT6(Rode) +PBR400	内蔵+袋入り	内蔵（風防） +袋入り

- ・ 測定場所：福井県越前市（広めの舗装駐車場）
- ・ 録音日時：2024-10-14 04:30~05:19
- ・ 日の入：17:21, 日の出：6:01
- ・ 気温*：17.9℃（ただし越廼村）
- ・ 最大風速*：0.9m
- ・ ICレコーダ：PBR-400+NT6+H6(Zoom), DM-750(Olympus), DR05/TASCAM,

*：天気関連は加賀中津原の気象庁データ
**：自作傘の参考サイト

<https://site.ngk.co.jp/lab/no275/>



(A) 400mmパラボラ
NT4(Rode), H6(Zoom)

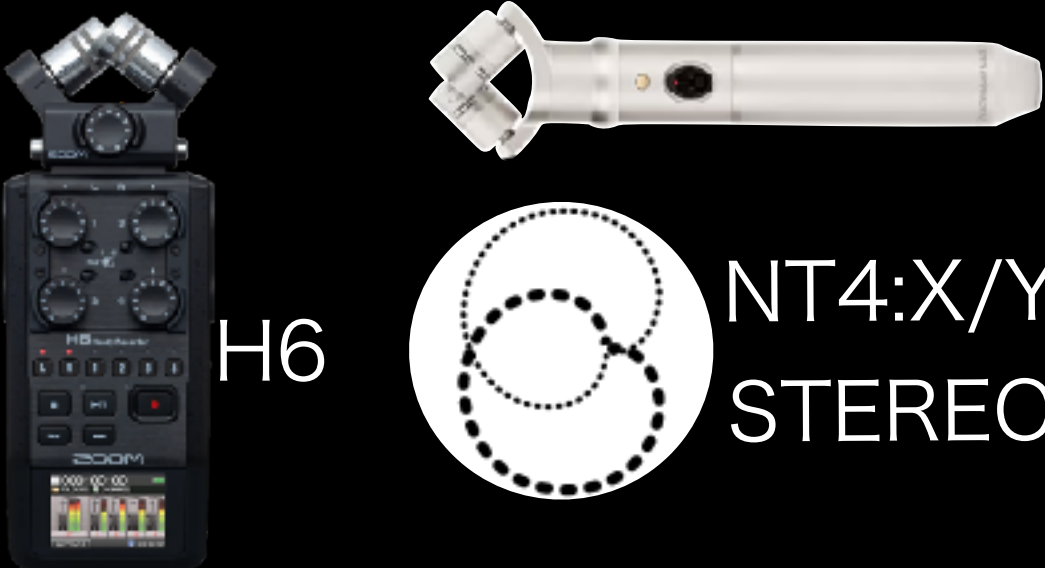


(B) 袋入りDR05
（無指向性）



(C) 袋入りDM750
（無指向性）

図6 録音機材の設置状況
（A～Cは同じ三脚に配置）

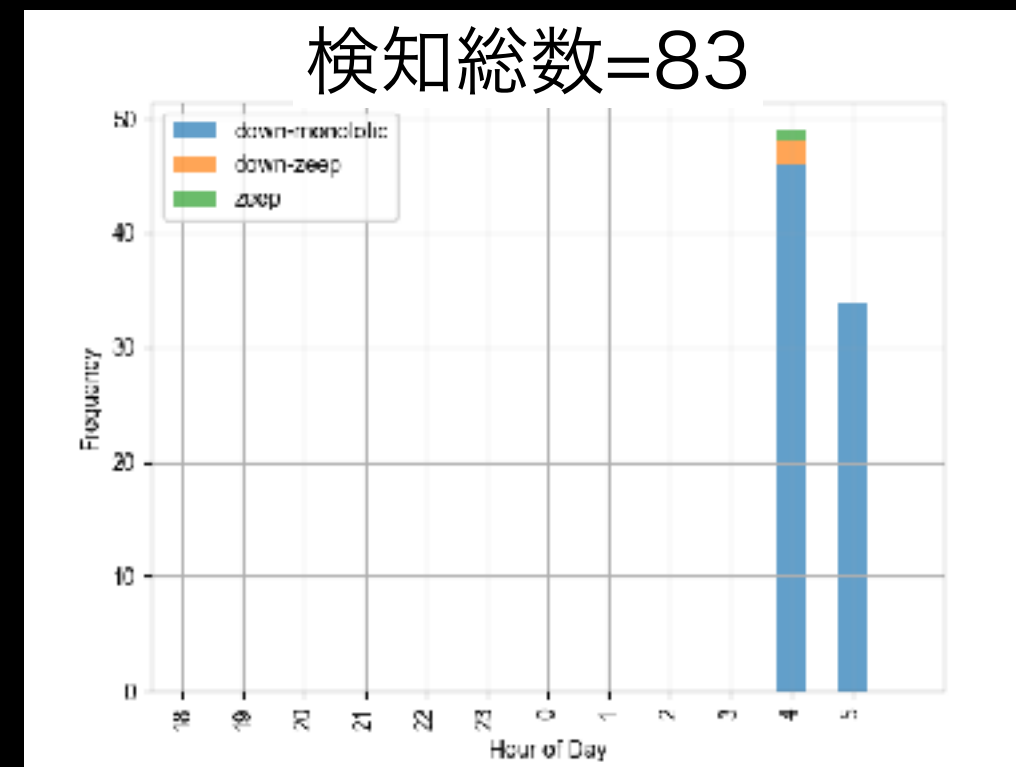


H6

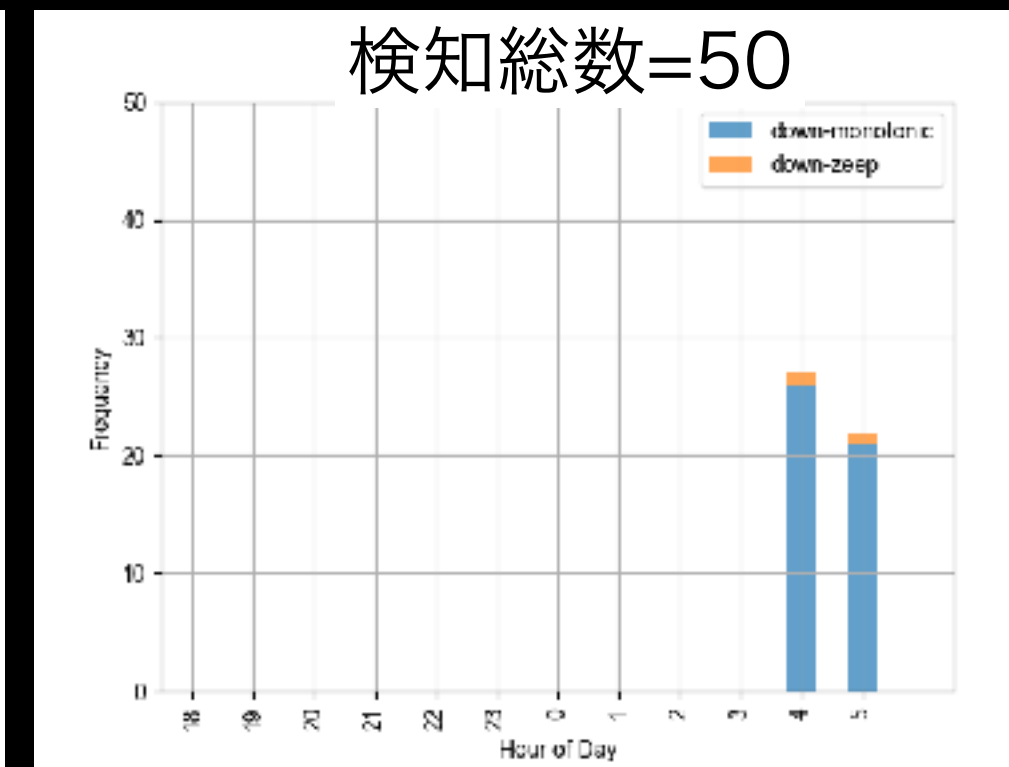
NT4:X/Y
STEREO

実験結果②

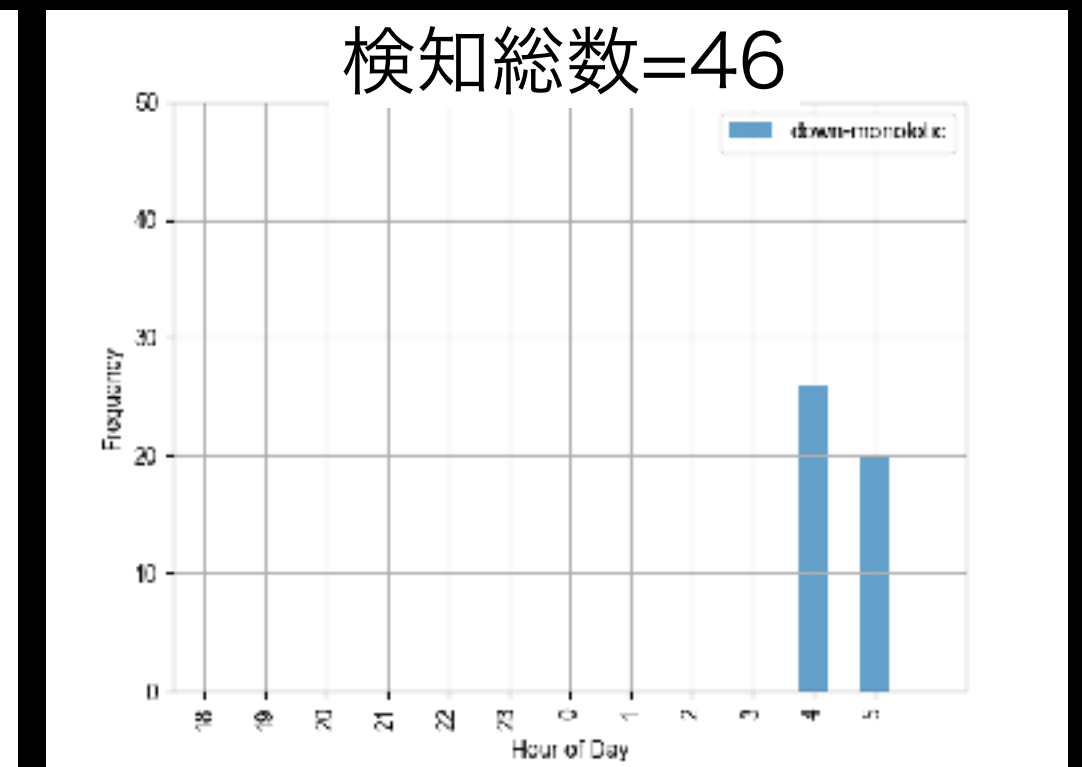
- ・検知数は2つの無指向性マイクで差がなかった。
- ・指向性マイクの検知数は無指向性より約1.5倍が多かった
- ・マイク設置位置・向きの小さな差でNFC検知に差があった
- ・(B),(C)で5秒内を一致とすると、一致数: 7, 不一致数: 80



(A) 指向性



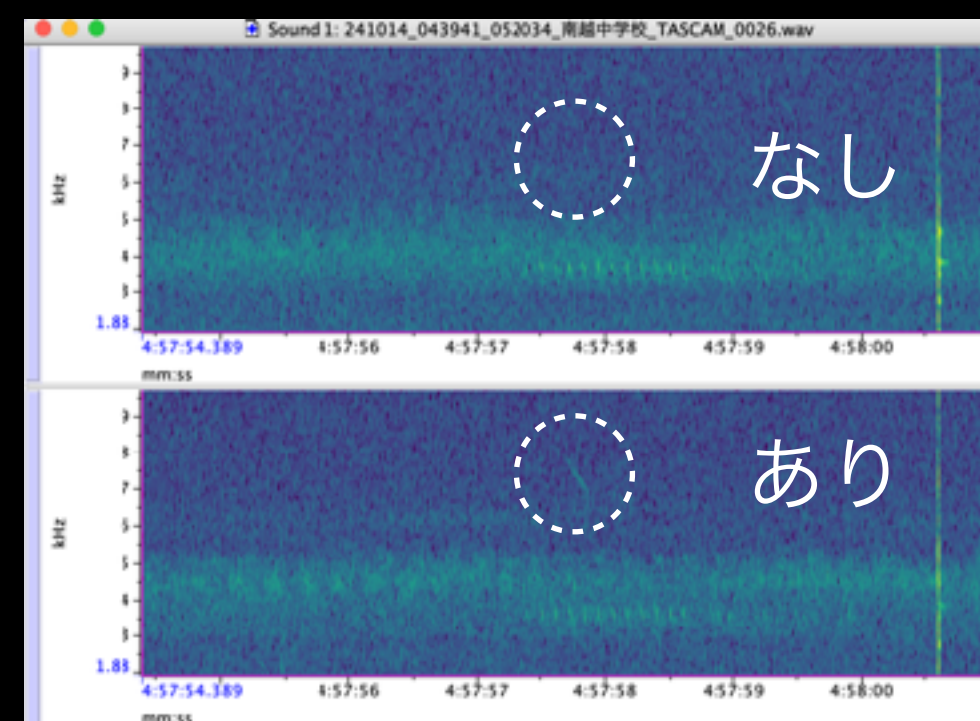
(B) 無指向性



(C) 無指向性

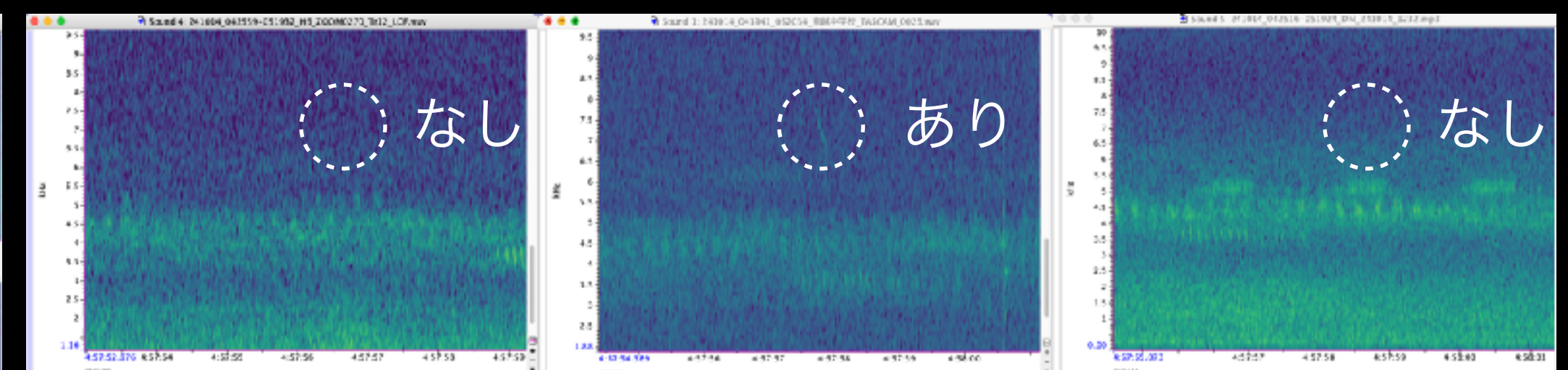
図7 マイクの指向性による検知数の比較

→NFCは録音可能領域の境界付近(高所)に多かったと解釈できる。
→NFCの分析は低SNR信号の検出が本質となる。



(指向性録音でchに検知差がある例)

図8 左右chの検知差



(A) 指向性

(B) 無指向性

(C) 無指向性

(片方の無指向性ICRだけ検出された例)

図9 位置・向きの検知差

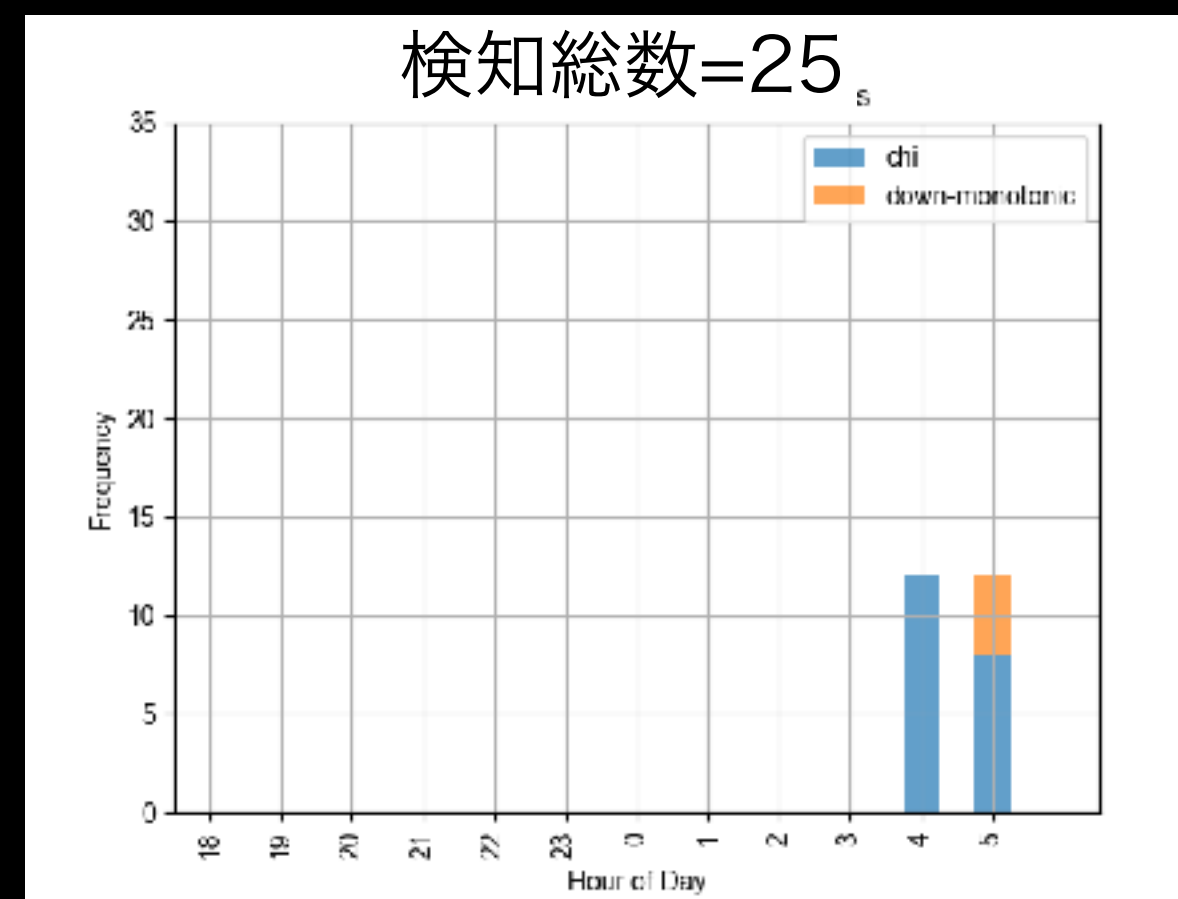
実験③と結果：袋有無の検出数

- ・無指向性ICレコーダ(DR05X/DR05)に袋ありと袋なしで録音し, RavenPro(1.6)を使って目視で検出数の差を計測
- ・録音日：2024-10-31 04:36~06:01
- ・録音場所：越前市

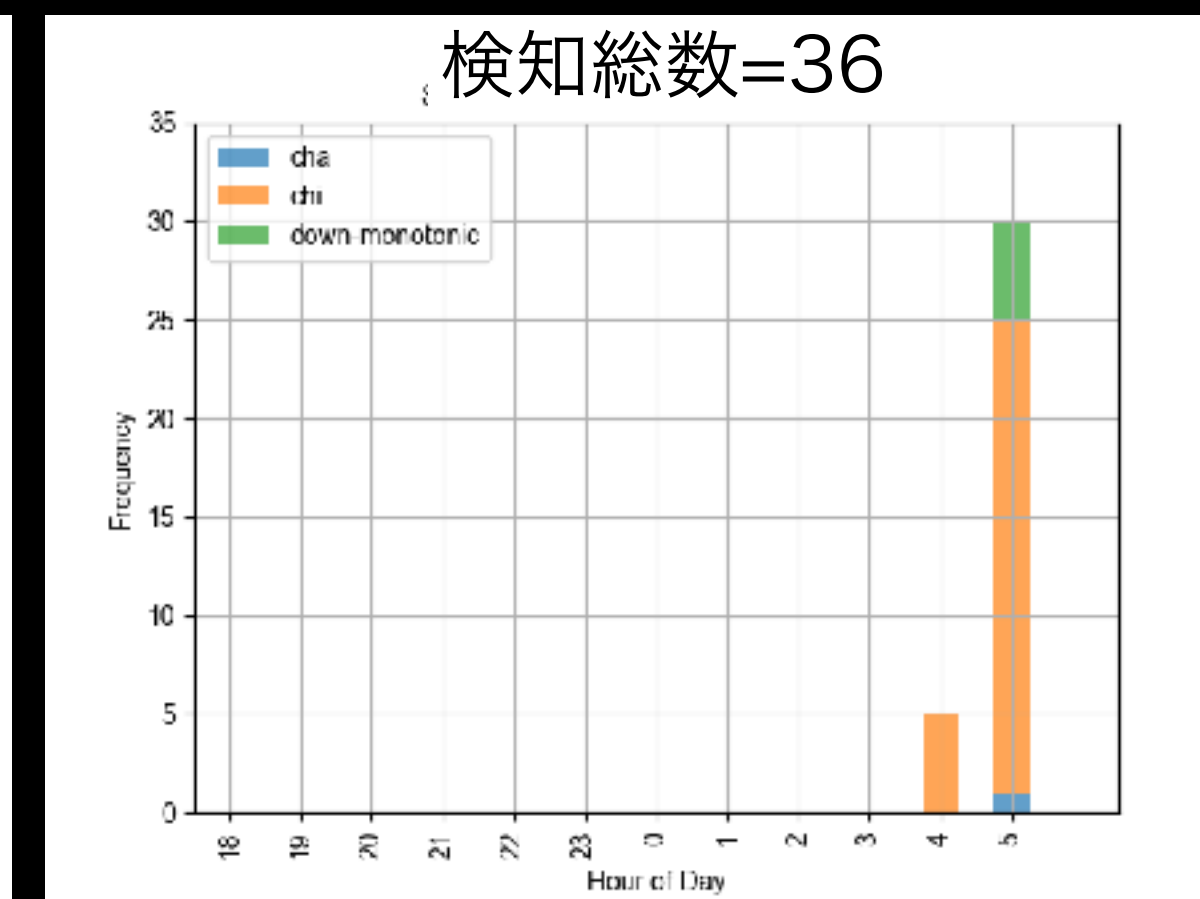
袋：ジップロック
イーザーパック
Mサイズ(0.06mm)



(A) 録音状態



(B) 袋あり



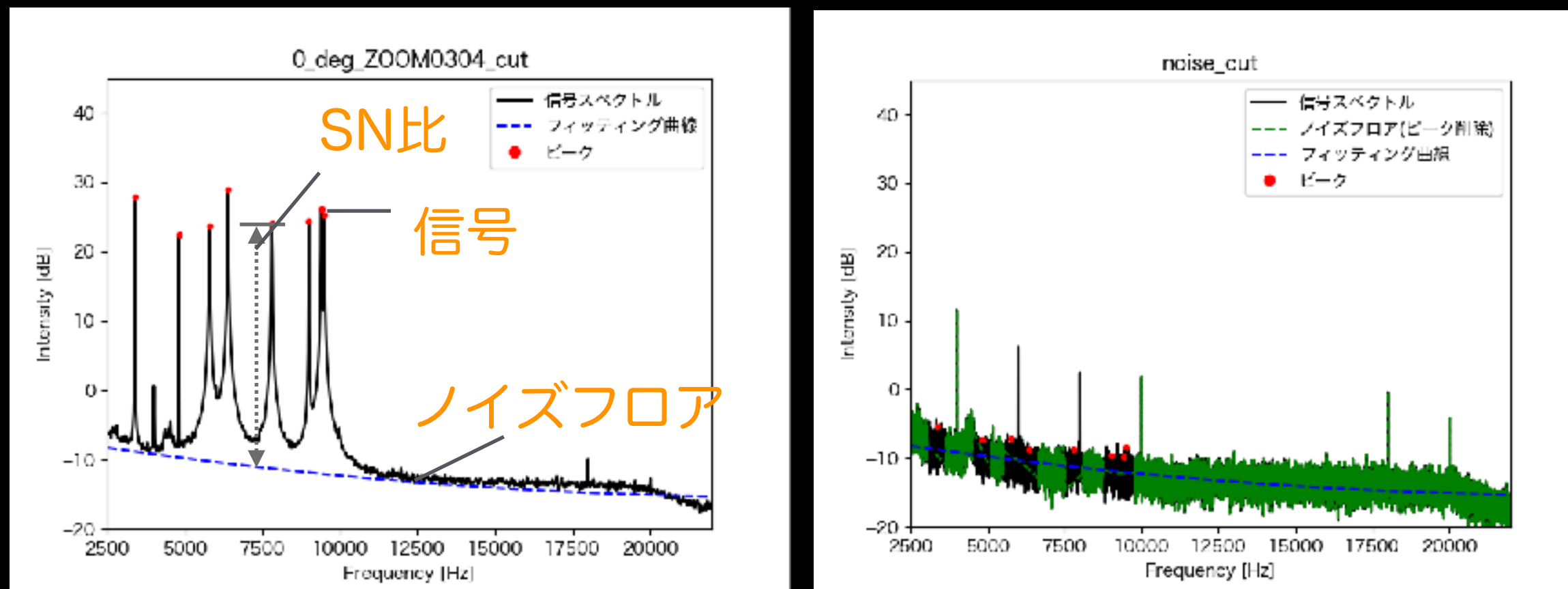
(C) 袋なし

図10 袋の有無による検知差

- ・結果：
 - ・4時台に袋なしが多かった（自動車などの背景雑音を低減した効果）
 - ・5時台は袋なしの録音は袋ありの場合と比べて、2.5倍検出数が多かった
→袋で検知数は少なくなった（環境ノイズを抑制する効果もある）。

実験④：マイクの指向性テスト（参考）

- 実験方法：
 - 複数の純音を同時再生し録音
 - ICレコーダを三脚に固定し回転
 - 録音条件：録音時間：8秒，44.1KHz, wav, FFT size=8196
- SN比：
 - ノイズフロアは同じ録音の無音部より抽出
 - SN比はノイズフロアからの信号の値[dB]



(A) 純音再生時のスペクトル (B) 無音再生時のノイズフロア

図11 SN比の求め方

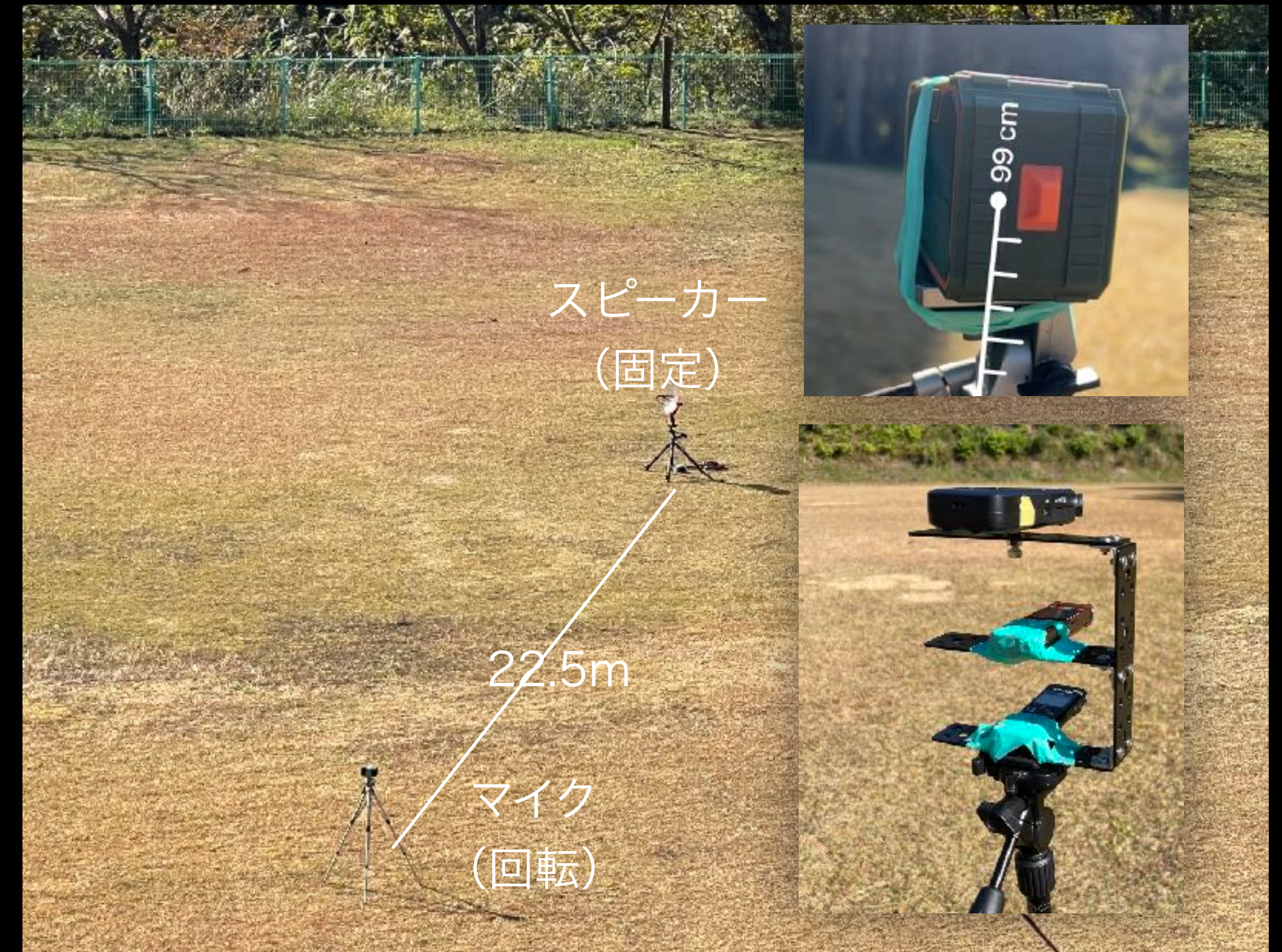


図12 指向性実験

実験④：無指向ICレコーダの結果

- ・結果：左右のチャンネルとも5 dB程度のばらつきで等方的（無指向性）であった
- ・注意：背景ノイズが実験毎に異なるので結果がICレコーダの性能を示すわけではない

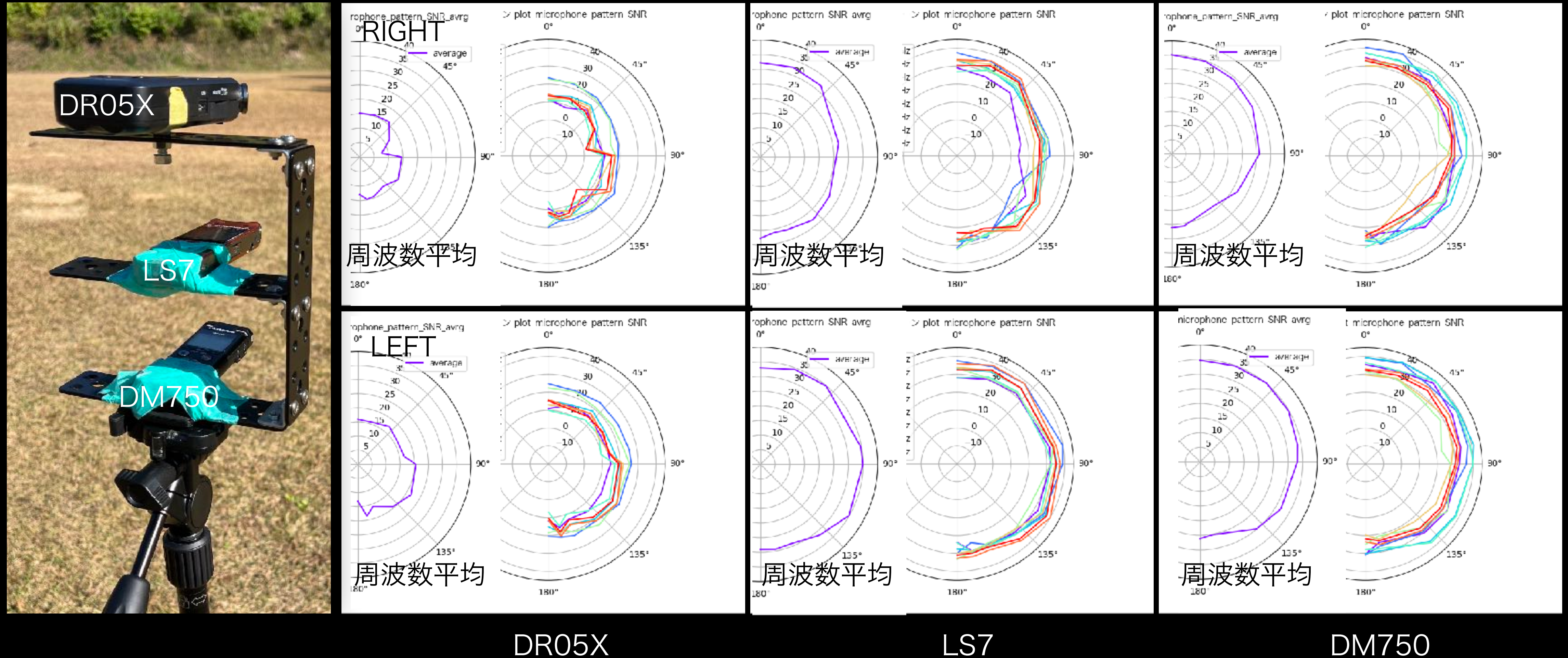
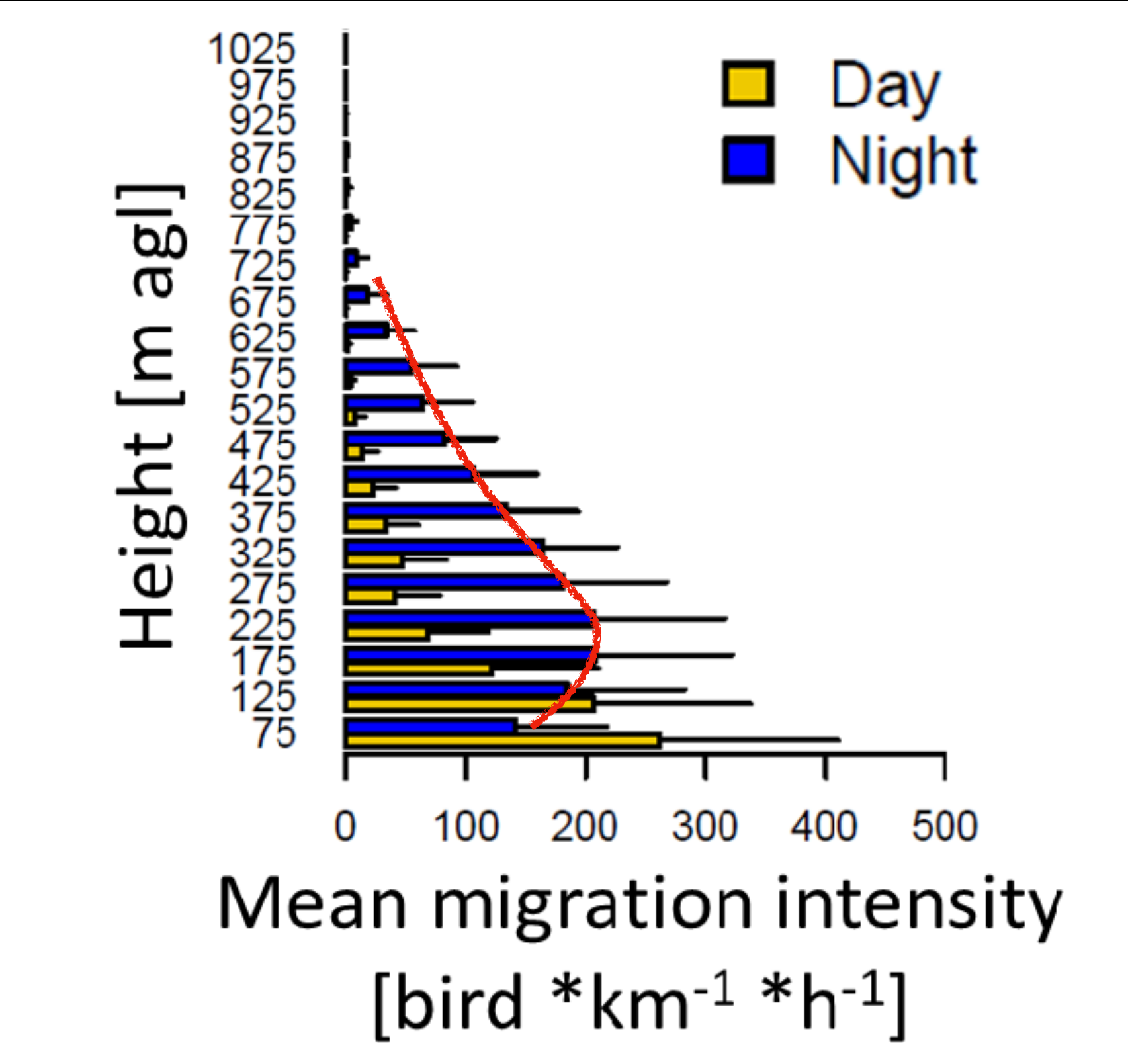
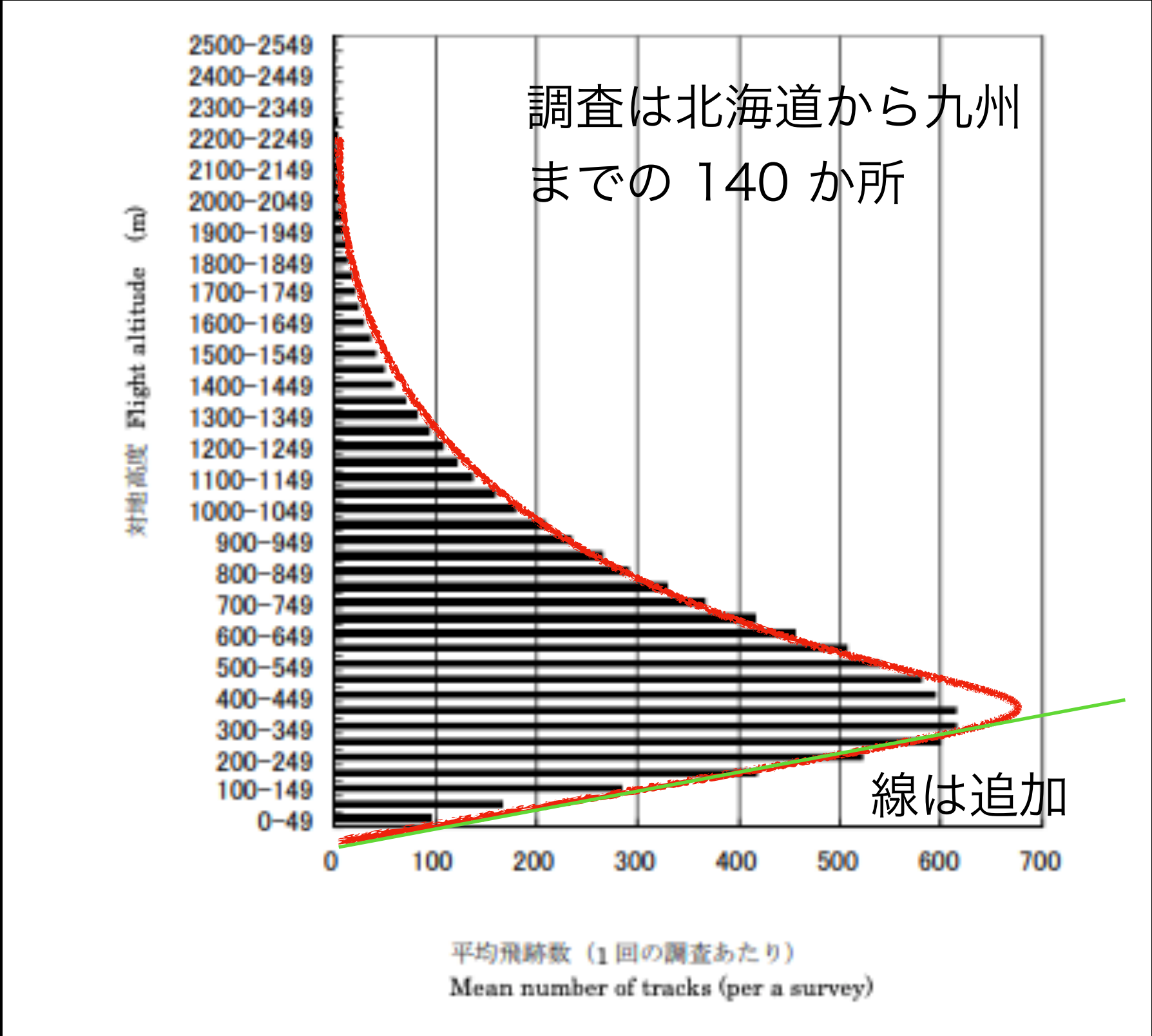


図13 指向性実験結果

考察：飛行高度での飛行数の推定



- ほとんどの鳥は地上から最初の1キロメートルの範囲内を飛行(Col de Bretolet, October 2016)
- 200mあたりがピーク

図14 田悟2020,"レーダーを用いた夜間の渡り鳥の飛跡数, 飛翔高度, 渡り経路の追跡"

図15 スイスのレーダーによる鳥の飛行高度 (Swiss Ornithological Institute)

- 300~400mにピーク
- 国内調査結果の0~300mまでを直線近似すると高さ(h)の飛行数n(h):

$$n(h) \propto h; (h < 300m) \quad (1)$$

考察：飛行高度分布による有利な指向性

前提と仮説：

- ・ 地域内の渡り鳥は一様分布
- ・ NFCを発する頻度は一様分布
- ・ 録音領域は円筒形近似でき体積は一定（半径： r_1 ，高さ： h_1 ）

記号の説明：

- ・ n :NFC検出数
- ・ V_{ICR} : 録音検知領域(例：SNR>10dB)
- ・ $\alpha(h)$: 渡り鳥の高さでの飛行数分布関数

$$V_{ICR} = \pi r_1^2 h_1$$

$$n \propto r^2 \int_0^h \alpha(h) dh = (rh)^2 \quad (1)$$

推定：

- ・ マイクは無指向性と指向性とどちらが有利かの比較は，高度300mまで $\alpha(h) = 1.6h$ と近似すると $n \propto r_1 h_1^2$ なので，指向性と無指向性の添え字をdとoとし録音可能領域が同一とするとそのNFC検出数の比(β)は(2)となる.

結論：検知数 n は h_d が大きいほど（指向性が高いほど）多い

$$\beta = \frac{n_d}{n_o} \propto \frac{h_d}{h_o} \quad (2)$$

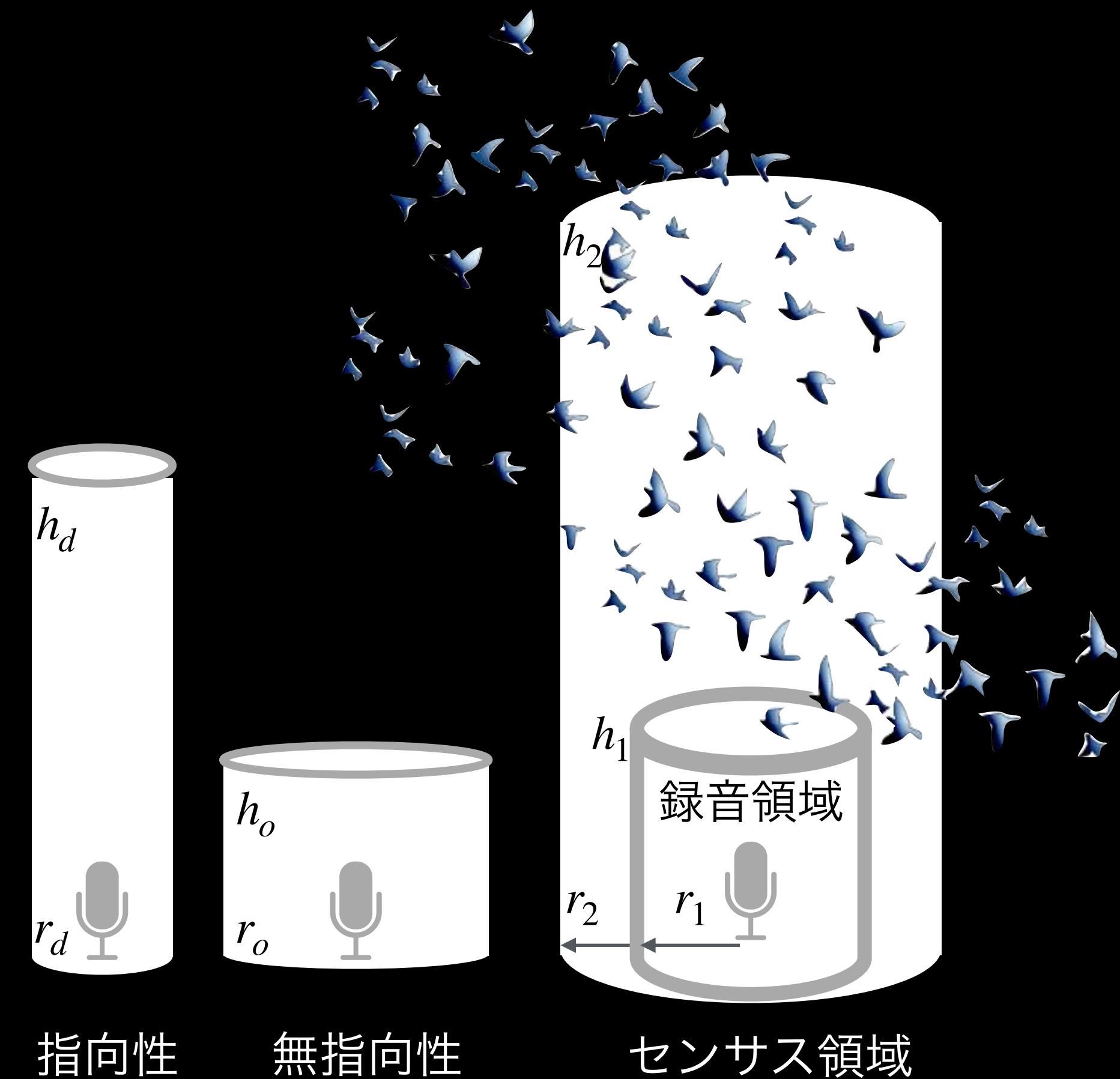


図16 飛行数分布を考慮した指向性と無指向性マイクの検知数

試作：長期間野外録音向けNFCマイク（パラ箱）

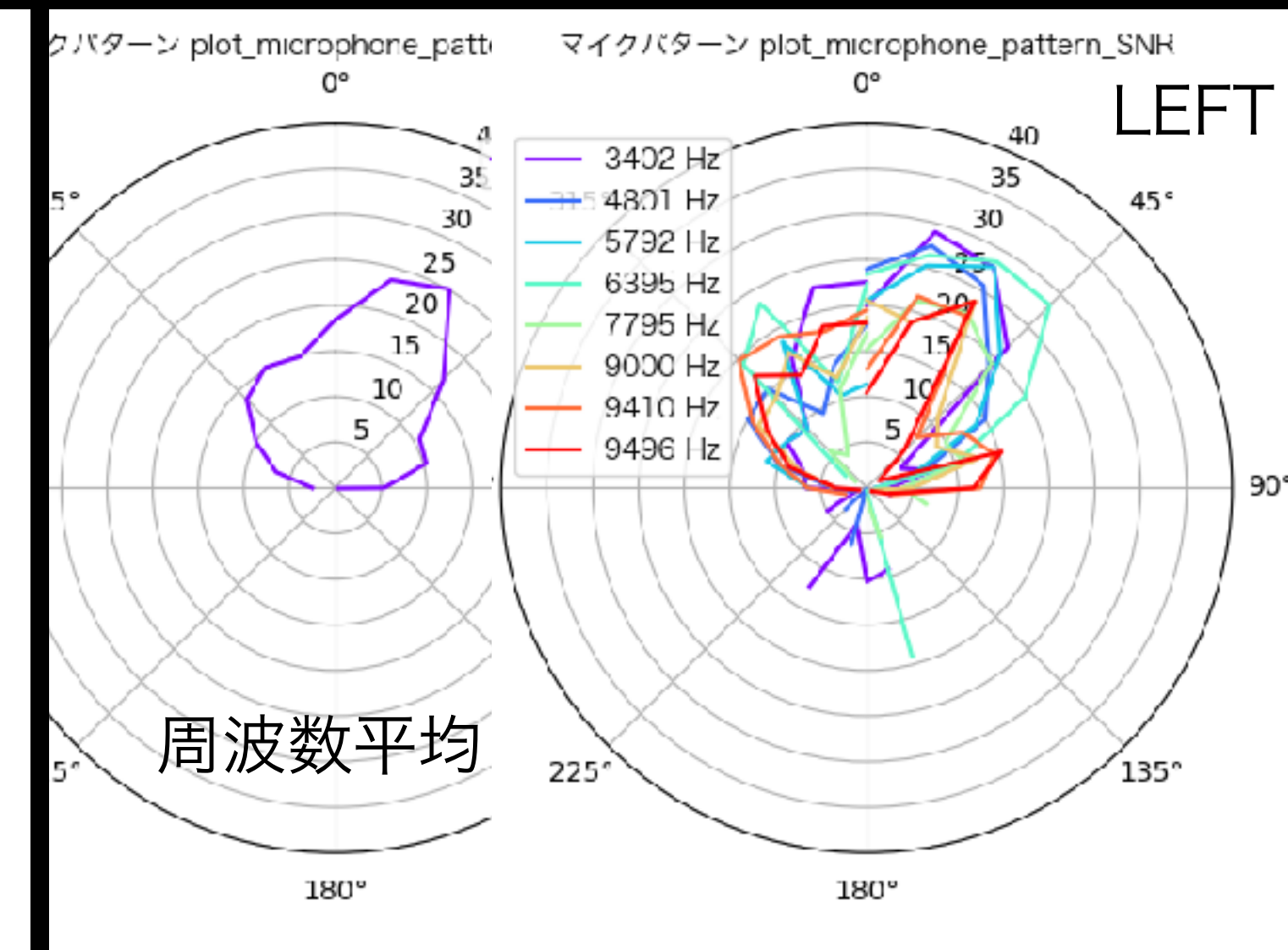
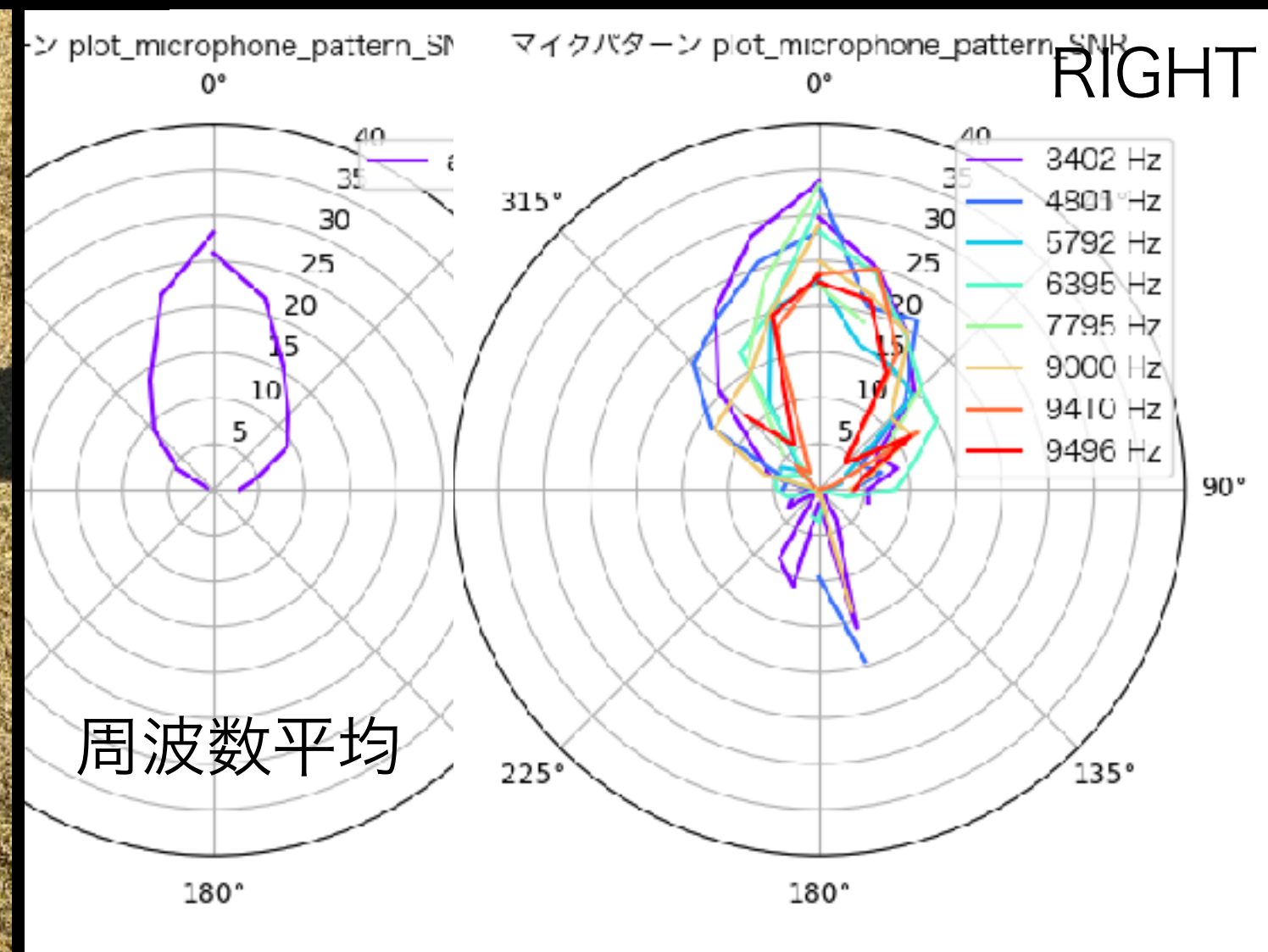
- ・要求仕様（基本的には21cコンセプトに同じだが、パラボラにより高所NFC検知可能）：
 - ・長期間 → バッテリ：長、録音容量：大、交換頻度：少を可能にする内部空間
 - ・野外 → 防水シートと密閉箱で耐候性（温度、雨、風、霧）
 - ・高所検出 → 理想的なパラボラで高所のNFCを検出し、プリアンプによりSNR改善
 - ・環境ノイズ音(虫) の低減 → パラボラで開口方向以外の環境音を抑制



図18 プリアンプ付き耐候性パラボラマイクボックス（パラ箱）の試作

パラボラマイクの指向性

パラ箱



PB400
(リファレンス)

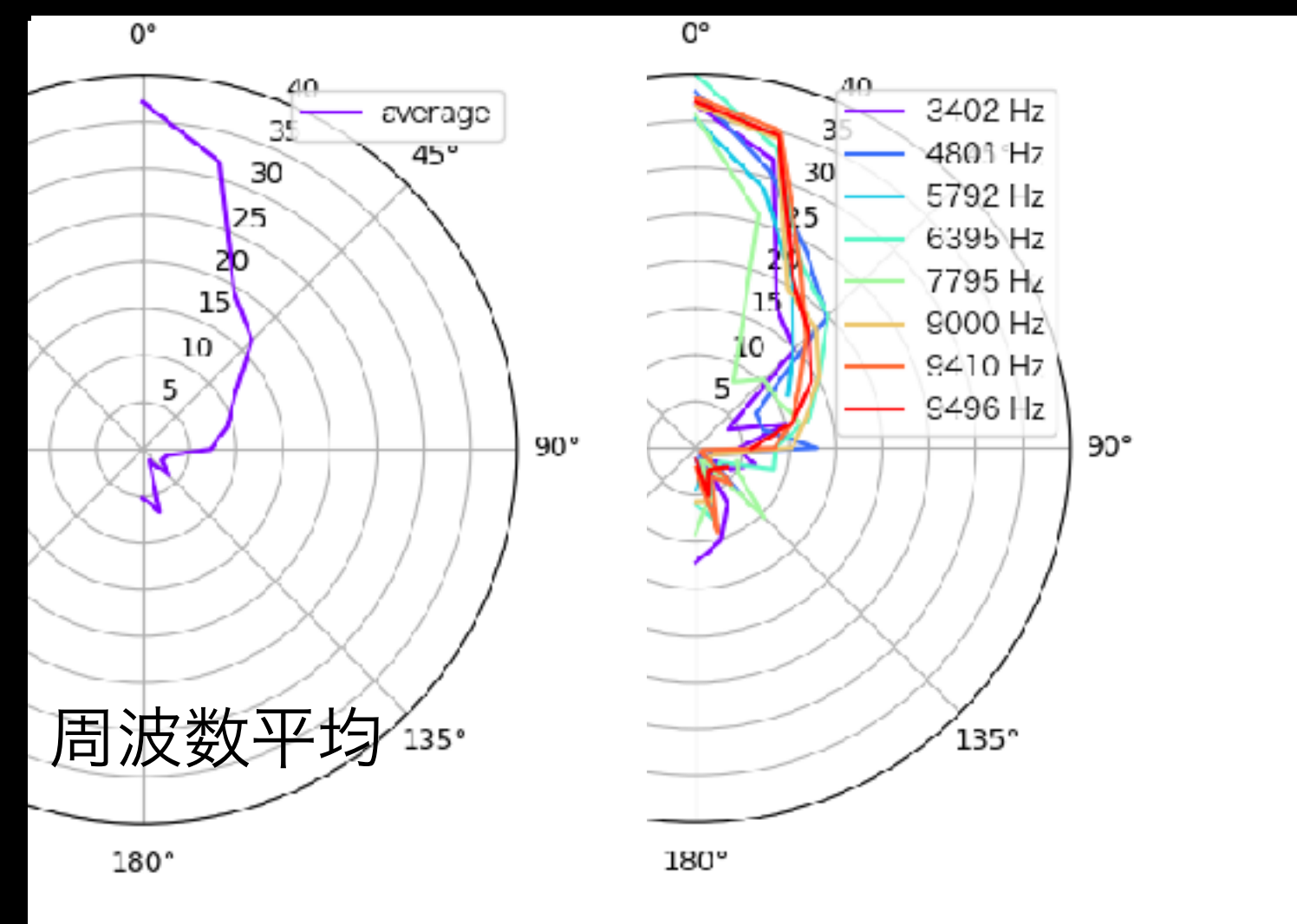


図19 試作マイクの指向性

結果：

- ・リファレンス機としてパラボラはサイドローブの少ない楕円の指向性
- ・試作（パラ箱）も2chとも周波数平均でピーク感度が25dBの楕円の指向性を示した。

まとめ

・結論

- ・夜のフライトコール（NFC：Nocturnal Flight Call）録音調査で録音機材・配置場所で検知数が大きく異なることを示した。検知可能な領域の境界付近（高高度）で多くのNFCがあった。
- ・同所同時刻録音で指向性マイク録音の方が、無指向録音より検知数が1.5倍以上多かった。
- ・袋(60 μ m厚)をかけることで検知数は半減した。
- ・レーダーによる夜間飛行数の先行研究より、飛行数は300m以下の高さで直線的に増加し、指向性の高い録音方法が検知数を増やせた。
- ・長期野外録音を想定した指向性マイク（パラ箱）を試作し、SNR>25dBの優れた指向性を確認した。

・今後の目標

- ・全国で春・秋のNFC録音継続（参加者募集中）
- ・地鳴きデータベース（音源募集中）
- ・ネットに音源を集め自動検知と手動判定のハイブリッド認識システムの構築
- ・実用的NFC録音器の開発（高い検知率のマイク、大きな電池容量、十分なメモリ容量、連続稼働、組み込み識別器）