

# 介護における音響 HAR と連合学習を用いた異常検知

---

竹本志恩

June 29, 2025

INIAD

# 背景と研究目的

- 高齢化社会における介護現場の負担増大
- HAR に着目: 介護者の負担軽減
- センサデータのプライバシー懸念に FL で対処
- 目的: FL で異常イベントをリアルタイム検知+通知

# 本研究の独自性

- 複数の異常イベントを同時／複合的に検知
- マルチラベル分類で音響イベントを解釈
  - 画像中のりんごとバナナを識別
  - 咳と苦痛の音が同時に聞こえる > 重篤な状態
  - 転倒に似た音を、他のイベントを基に判断
- マルチラベルイベント検知 + 異常検知
  - どの時間帯に、何のイベントが、どういう組で起こったか識別
  - 深い状況把握と迅速対応を実現

- 利点: 非接触モニタリング＋視覚プライバシー保護
- 課題
  - 環境騒音によるマスキング
  - 高静音性活動の検知が困難
  - 音の多様性／同時発生の問題
- 頑健なモデルが必要

# 連合学習 (FL) の基礎と HAR への適用

- 分散学習：生データ非共有でモデル協調学習
- プライバシー保護、パーソナル化、通信効率
- 介護現場に適した技術

## FL-HARの主要課題

---

## 主要課題①：データ関連

- 極端なデータ不均衡（稀イベント、多ラベル共起）
  - 複数異常の組み合わせはほぼない
- Non-IID 分布
  - 各利用者の音響特性や行動の差
- ラベルの関係を捉えたモデリング
- マルチラベルデータセットの不足

## 主要課題②：モデル・通信・プライバシー

- モデル複雑化 ↔ 通信オーバーヘッド
- リアルタイム通知の遅延リスク
  - イベント検知 → 異常検知の手順を検討中
  - 段階的な処理は推論速度が低下しそう
- マルチラベルによるプライバシーリスクの上昇
  - マルチクラスより情報が増加



## 主要課題③：パーソナライズ化・継続学習

- 個人差対応のパーソナライズド FL
- コールドスタート：未知の音響組み合わせ
- 音響環境変化への適応

# 課題解決の戦略

---

## 対策①：データ不均衡・Non-IID 対策

- 合成データ生成 (GAN, SMOTE)
- 少数クラスを強調: Time-Balanced Focal Loss[4] など特殊損失
- 集約法の工夫: FedProx[3] など
- モデル統合の効率化: クラスタリング FL / ドメイン適応

## 対策③：モデル・リソース効率化




- モデル軽量化: モデル圧縮/量子化/枝刈り
- 計算の分割: Federated Split Learning (FSL)[1]
- 通信量削減: 勾配圧縮・選択的更新

- マルチラベル FL フレームワークが存在
- 例: FMLL[5], FedMLP[6], FedLGT[7]
- 参考になりそう




- 標準化データセットの整備
- FL 対応マルチラベル損失/新アーキテクチャ開発  
|ー マルチラベル FL など参考


## これから: マルチラベル分類

- 日常生活動作について、マルチラベル音響分類を検証
- 使用中の行動認識モデルはスペクトログラムを使うため、画像分類を参考にできそう
- 単純な分類を実装
  - ESC-50 データセットをマルチラベル用に加工、損失関数を変更
  - cf. <https://qiita.com/koshian2/items/ab5e0c68a257585d7c6f>
- より良い分類を実装
  - 実装を探す: <https://paperswithcode.com/task/multi-label-classification> など
  - Transformer でマルチラベル画像分類:  
<https://github.com/SlongLiu/query2labels> など参照
  - 並行して異常イベント系のデータ収集/分析、モデル構築/検証が必要

-  J. Ndeko, S. Shaon, A. Beal, A. Sahoo, and D. C. Nguyen, "Federated Split Learning for Human Activity Recognition with Differential Privacy," arXiv:2411.06263, 2024.
-  V. Mothukuri *et al.*, "A survey on security and privacy of federated learning," *Future Generation Computer Systems*, vol. 115, pp. 619 – 640, 2021. doi:10.1016/j.future.2020.10.007.
-  T. Li *et al.*, "Federated Optimization in Heterogeneous Networks," arXiv:1812.06127 [cs.LG, stat.ML], 2020.



-  S. Park and M. Elhilali, "Time-Balanced Focal Loss for Audio Event Detection," ICASSP 2022, pp. 311 – 315.
-  B. Ghasemkhani *et al.*, "Federated Multi-Label Learning (FMML): Innovative Method for Classification Tasks in Animal Science," *Animals*, vol. 14, no. 14, p. 2021, 2024. doi:10.3390/ani14142021.
-  Z. Sun *et al.*, "FedMLP: Federated Multi-label Medical Image Classification Under Task Heterogeneity," *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 15010, pp. 394 – 404, 2024. doi:10.1007/978-3-031-72117-5\_37.

-  I-Jieh Liu *et al.*, "Language-Guided Transformer for Federated Multi-Label Classification," arXiv:2312.07165, 2023.  
<https://arxiv.org/abs/2312.07165>