

# 機械学習による重力波の到来方向推定

---

2022年3月16日

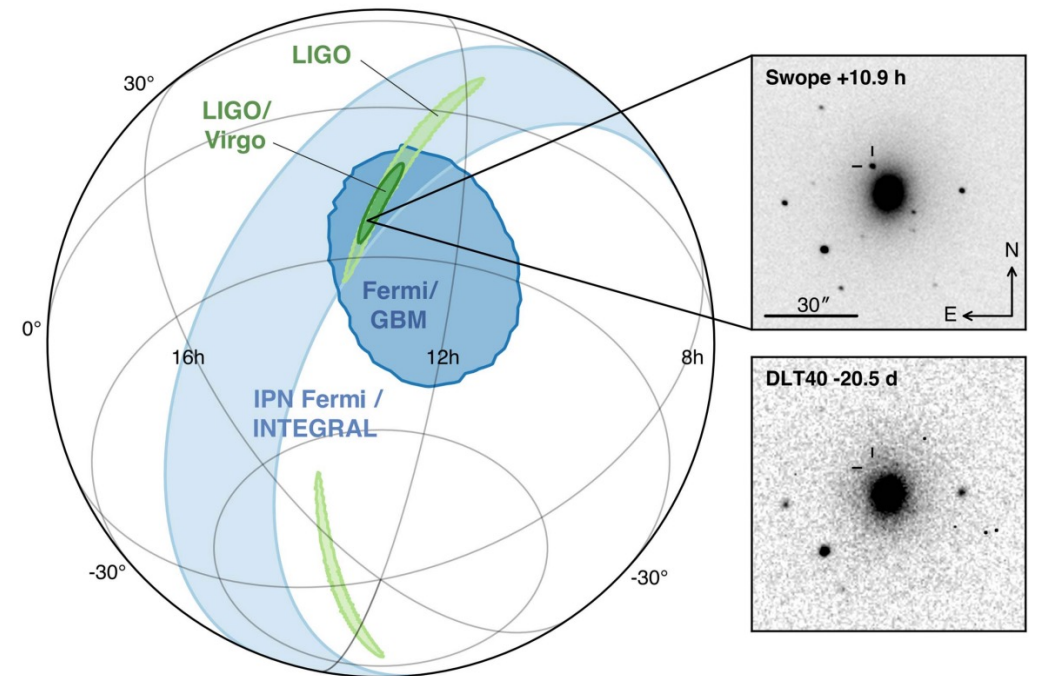
日本物理学会 第77回年次大会

笹岡聖也, Hou Yilun, 宗宮健太郎, 高橋弘毅<sup>A</sup>

東工大理, 東京都市大<sup>A</sup>

# 研究背景

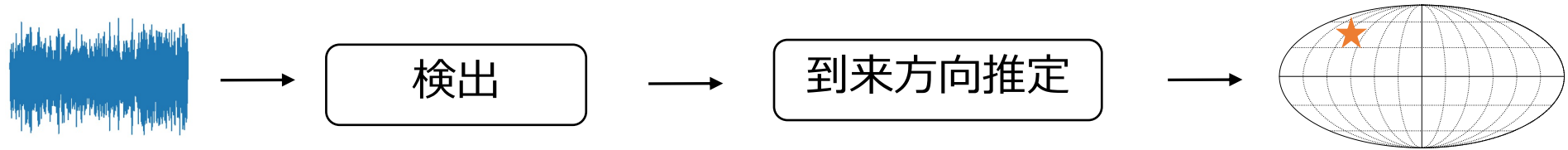
- マルチメッセンジャー天文学：重力波や電磁波など複数の観測手段で天体を調べる学問
  - GW170817では様々な波長の電磁波で対応天体を観測
- 電磁波による追観測のために重力波の検出と到来方向推定を高速で行う必要がある



B. P. Abbott *et al.*, *The Astrophysical Journal* 848, L12 (2017)

# 現在の手法

- コンパクト連星合体からの重力波の検出、到来方向推定はマッチドフィルタに基づいており、計算コストが高い



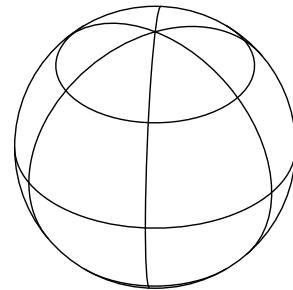
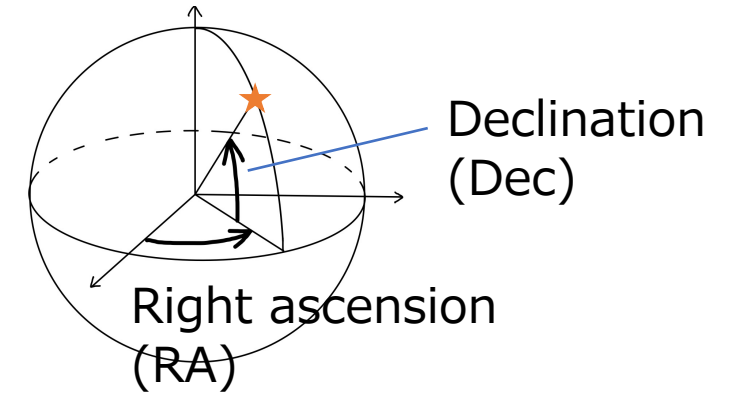
現在: マッチドフィルタ → BAYESTAR  
(数十秒～数分) (数十秒～1分)

---

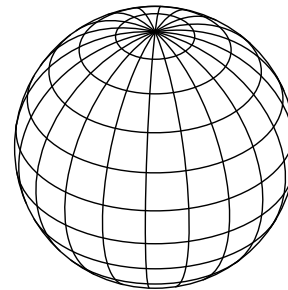
目標: 機械学習 (1秒未満) → 機械学習 (1秒未満)  
本研究

# 先行研究

- C. Chatterjee *et al.* (2019)
  - Dec 方向とRA方向をそれぞれ同じ角度で分割
  - 分類問題としてニューラルネットワークを学習  
cf. 回帰: 2つの角度の値を求める



18分割



200分割

角度一定で分割すると各セクタの面積が異なる

# 本研究で行ったこと

- 面積一定の分割方法を用いる
- 1次元の畳み込みによるモデルを用いて精度を上げる
- 3台(HLV)と4台(HLVK)の精度の比較

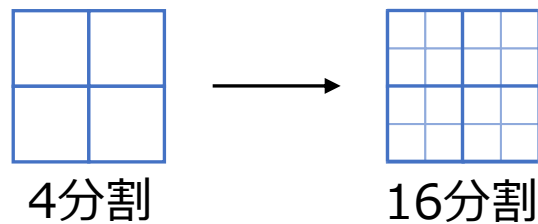
# 分割方法：HEALPix

HEALPix (Hierarchical Equal Area isoLatitude Pixelation)

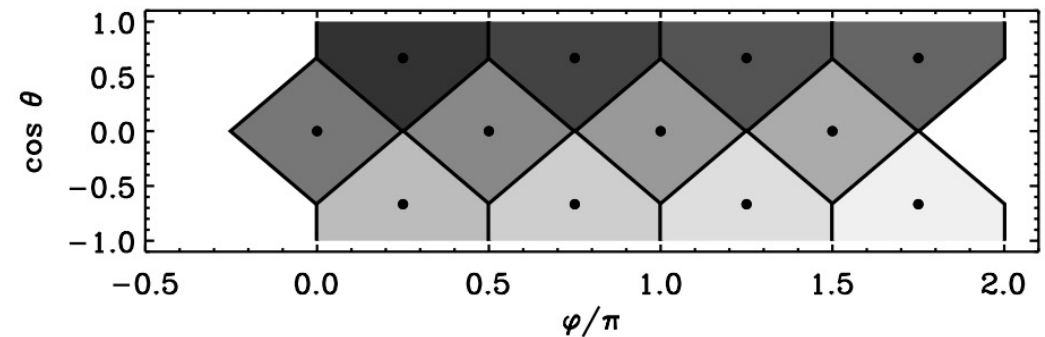
- 天文データの解析に用いられる
- healpyというPythonパッケージで利用できる

- 特徴

- 階層的



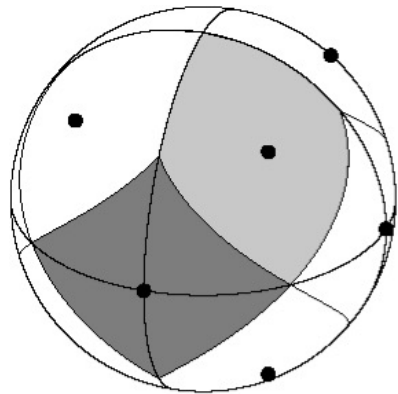
- 面積一定



K. M. Górski *et al.*, The Astrophysical Journal 622, 759 (2005)

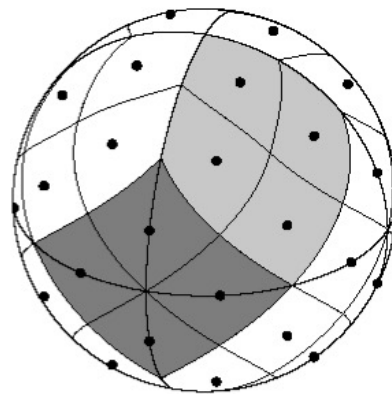
# HEALPix

- 最小は12分割。次は12個の各セクタが4分割される
- 本研究では12, 48, 192分割を試した



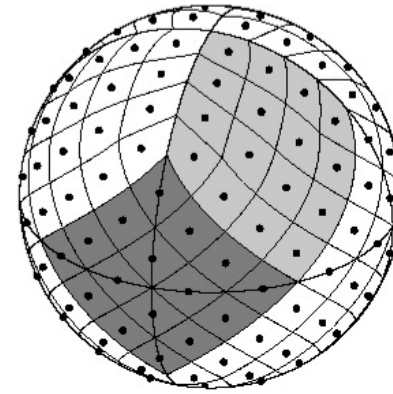
12分割

1セクタの立体角:  $3438 \text{ deg}^2$



48分割

$859.4 \text{ deg}^2$




192分割

$219.4 \text{ deg}^2$

K. M. Górski *et al.*, The Astrophysical Journal 622, 759 (2005)

# データ生成

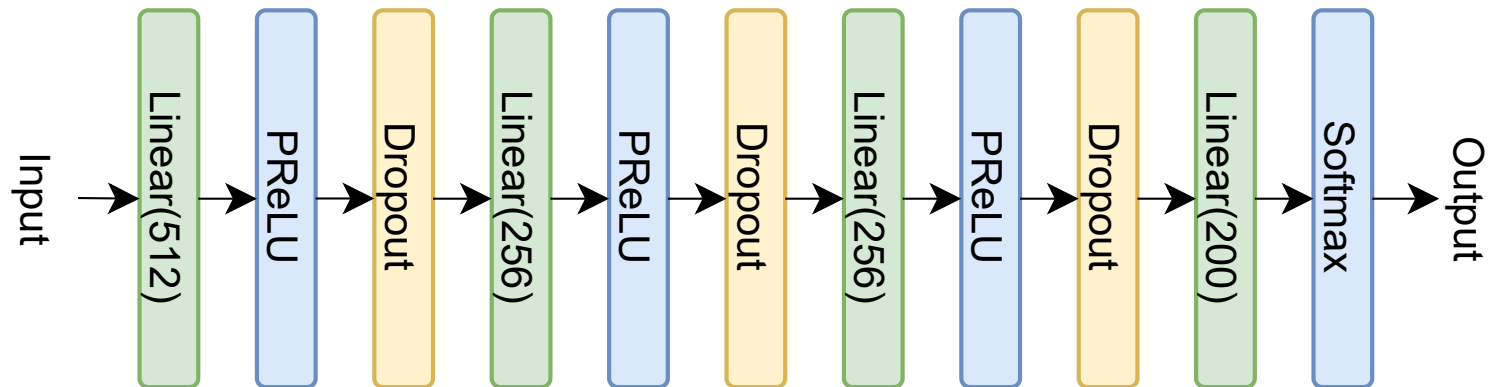
-  **PyCBC** を用いて波形を生成
  - 連星ブラックホール合体
  - 各質量は  $30M_{\odot}$  から  $80M_{\odot}$
- 各検出器の設計感度を用いて生成したガウシアンノイズを加え、合体前後0.25秒に切り取り、ホワイトニング
- $\text{SNR} \in [10, 50]$
- 訓練データ: 20万個、バリデーションデータ: 4万個  
テストデータ: 4万個



# 分類手法 I

## 手法 I: 先行研究の方法

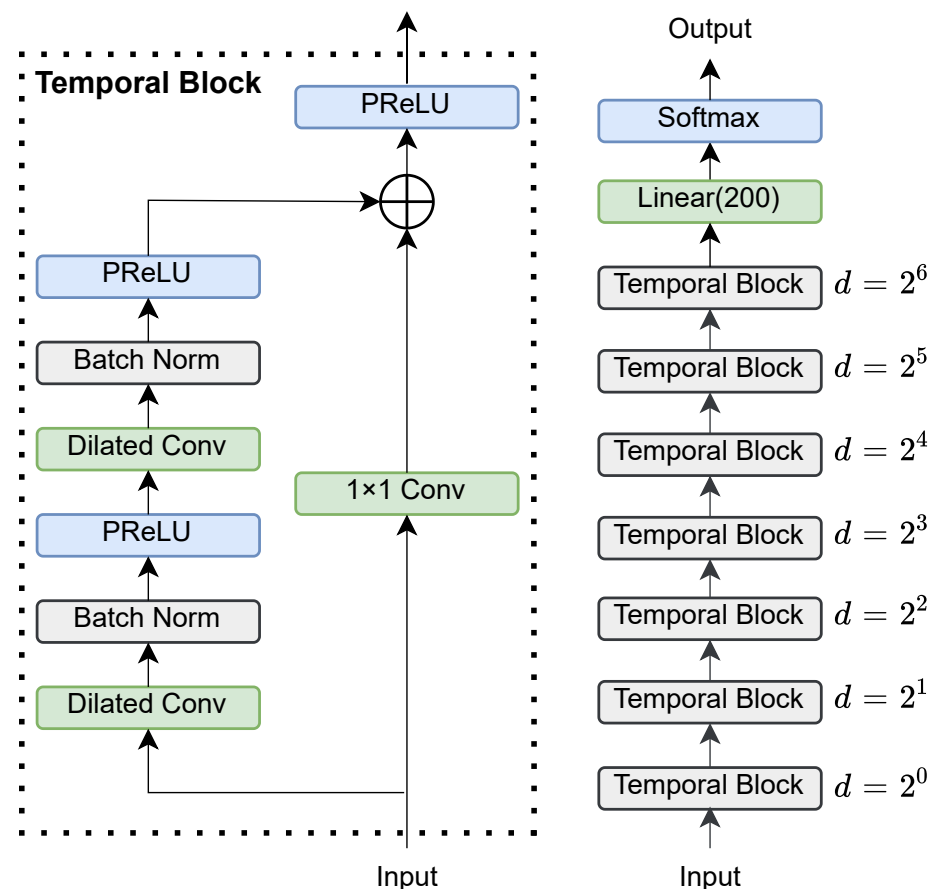
- データから遅延時間などの7種類の特徴量を抽出し多層パーセプトロン(MLP)に入力
- 特徴量は2つの検出器のデータの組み合わせで計算  
3台なら(H1, L1), (H1, V1), (L1, V1)の3通り →  $7 * 3 = 21$ 個



# 分類手法 II

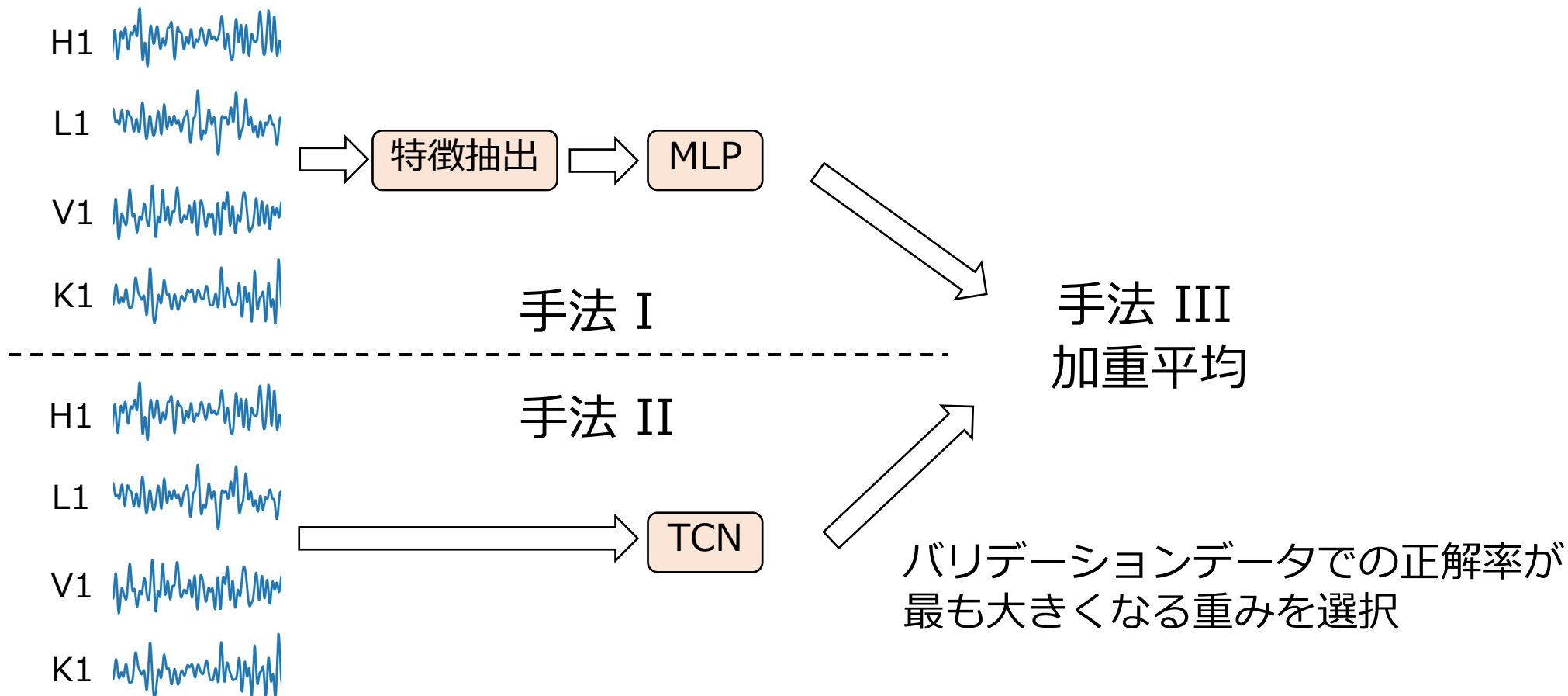
## 手法 II: Temporal Convolutional Network (TCN)

- 1次元の畳み込みによるモデル
- 規格化した時系列データをそのまま入力
- 入力のチャンネル数は検出器の数



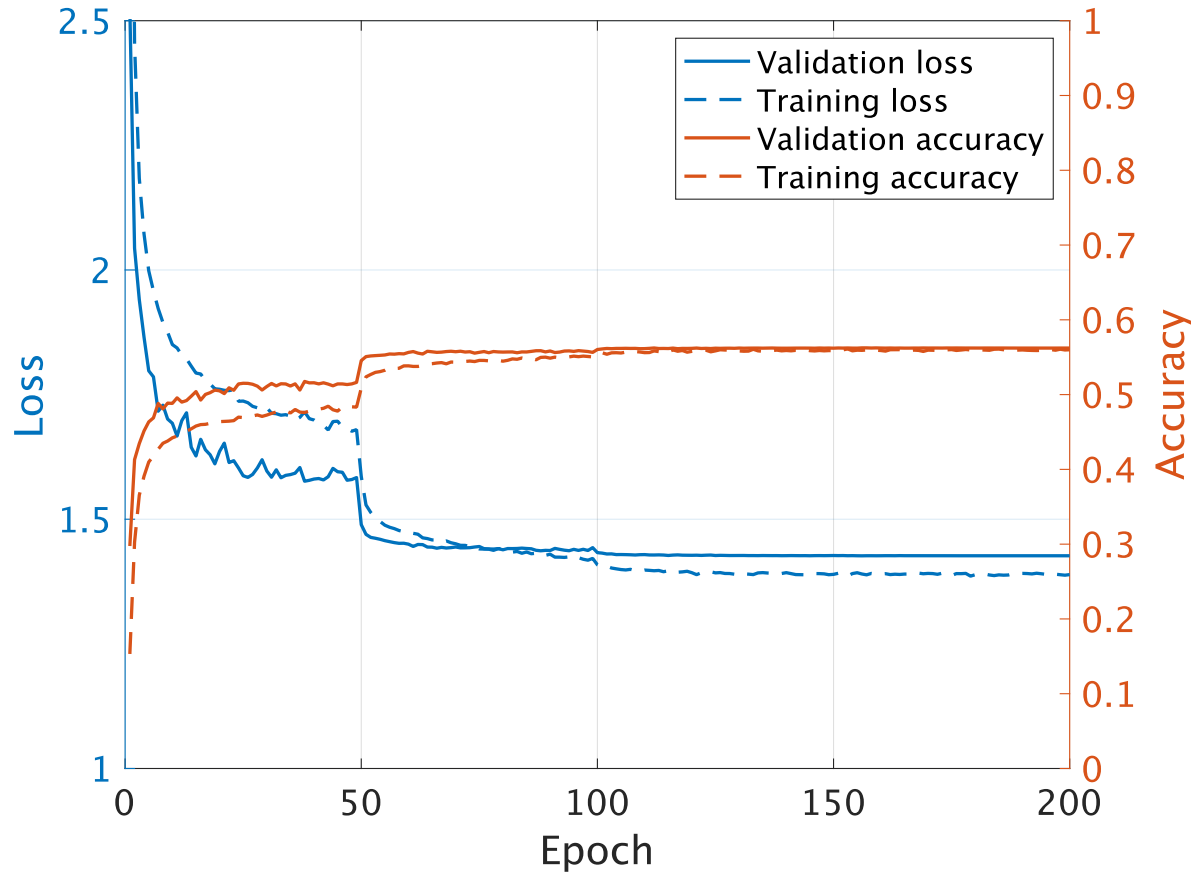
# 分類手法 III

## 手法 III: 手法Iと手法IIの加重平均

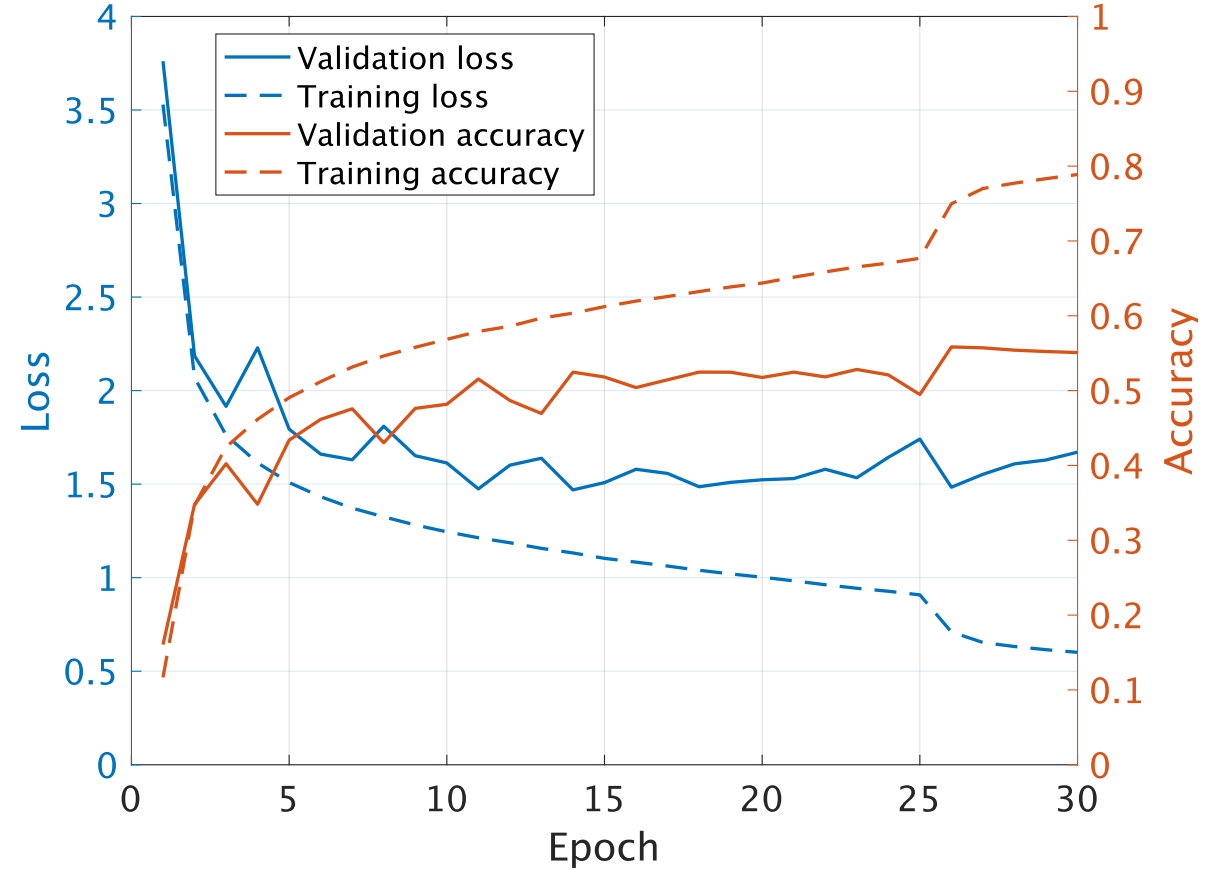


# 学習結果

## 手法1のMLP

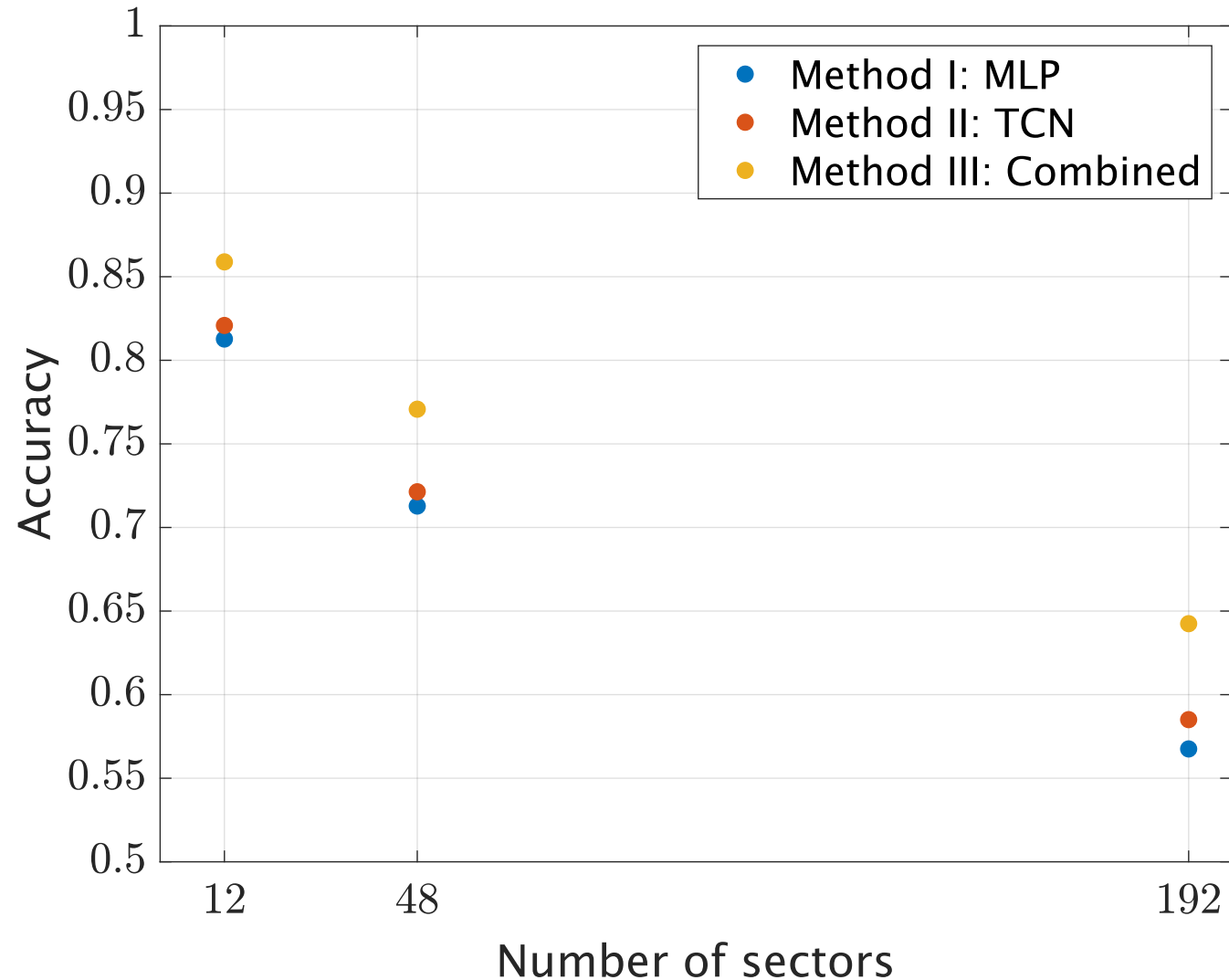


## 手法IIのTCN



192分割の場合

# 3つの手法の比較

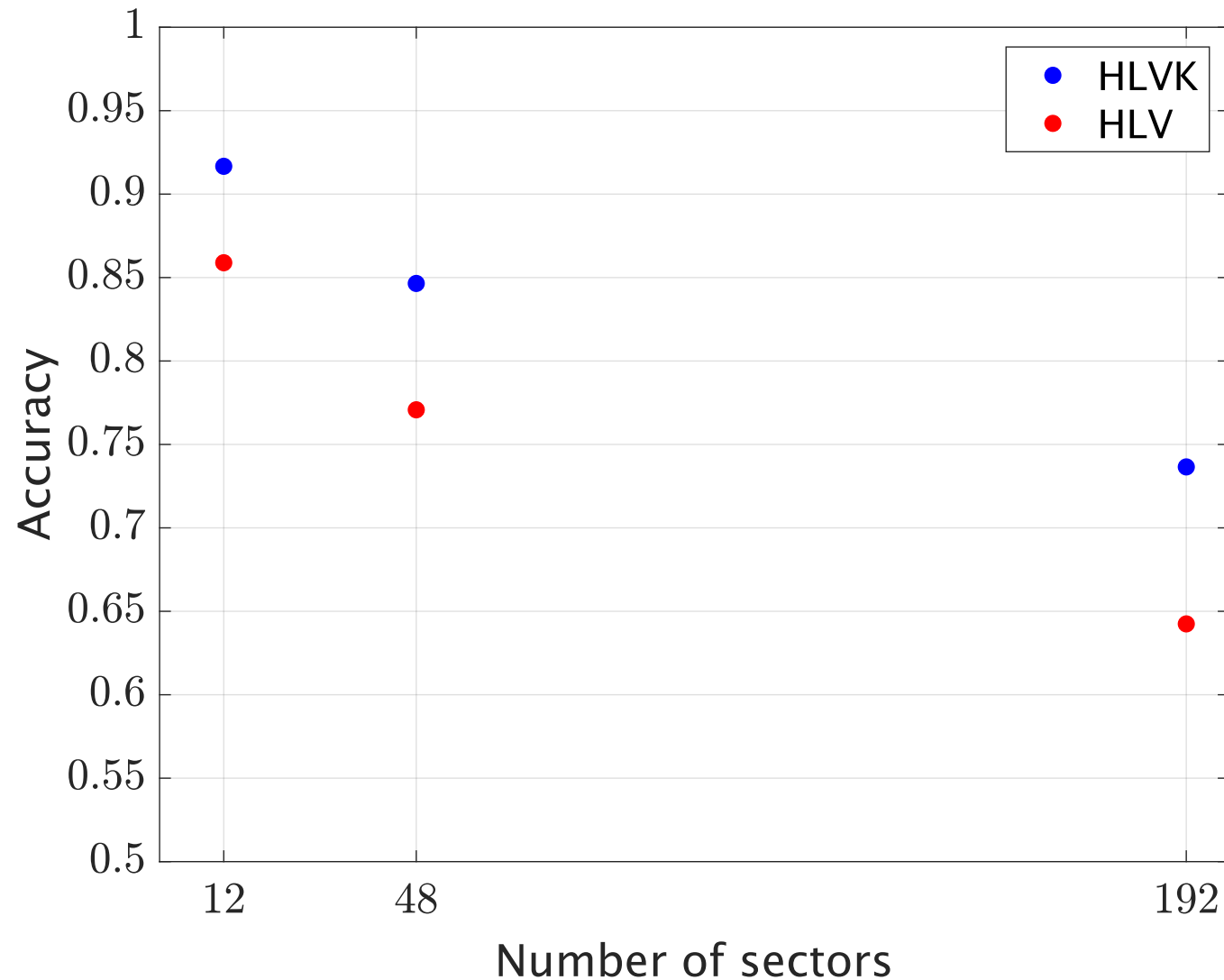


手法Iと手法IIの組み合わせにより精度が5~8%上昇

1つの重力波の分類にかかる時間

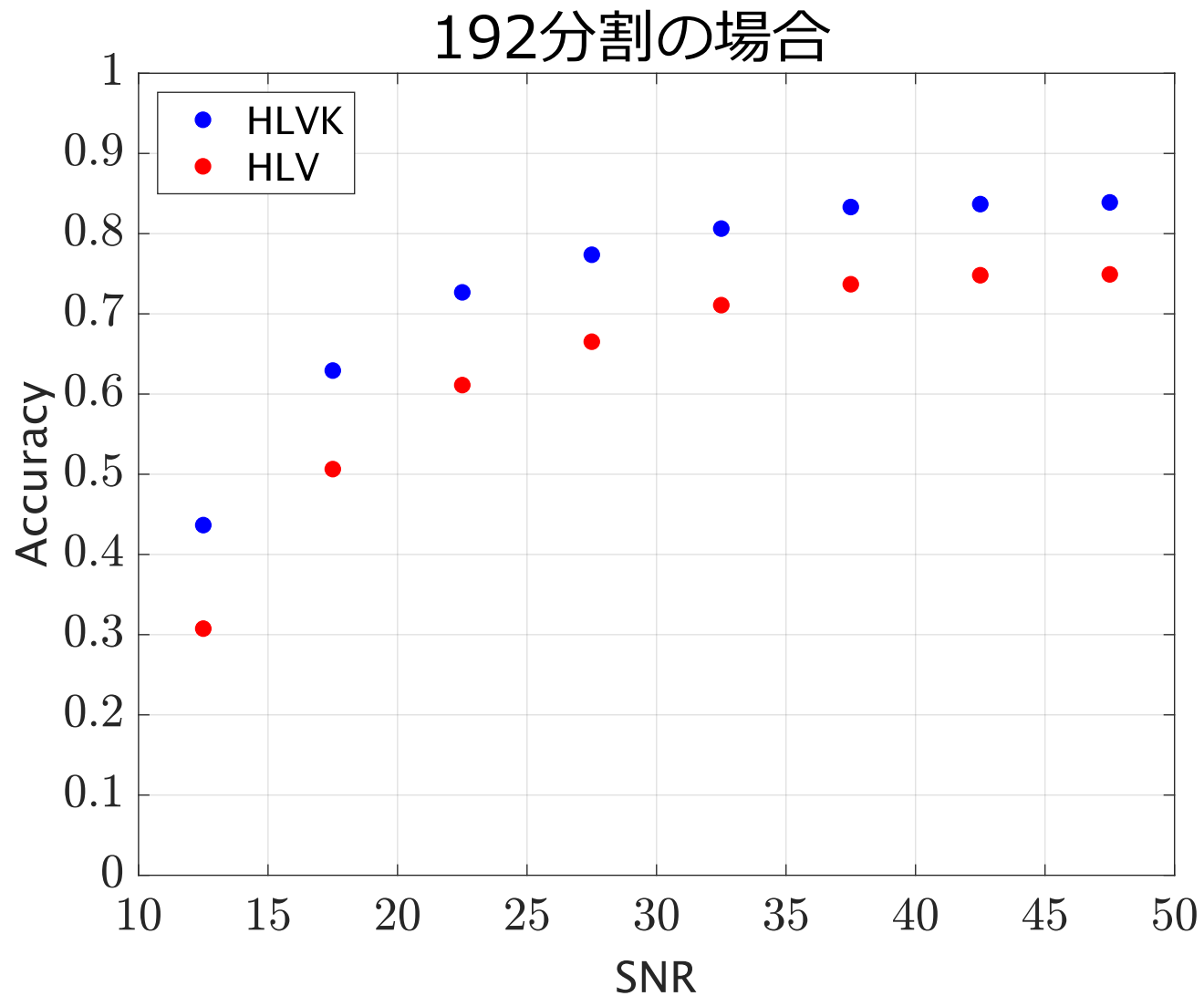
手法I	0.005 秒
手法II	0.265 秒
手法III	0.277 秒

# 3台と4台の比較



- KAGRAを入れると6~10%精度が上昇
- 分割数が大きくなるほどKAGRAによる精度の上昇度が大きい

# 正解率 vs. SNR



SNRが小さい(ノイズが大きい)  
データに対しては有効でない

# まとめ

## まとめ

- HEALPixを用いた分割を試した
- 推定精度の高い手法を開発した
- KAGRAを加えると分割数が多いときの精度が特に上昇

## 今後

- ノイズ除去をしてSNRの小さいデータの精度を向上させる
- さらに細かく分割して90%区間の構成
- 中性子連星合体の重力波を合体前に検出し、到来方向推定をする