

～中性子星の観測と理論～ 研究活性化ワークショップ2019

機械学習によるパルサー候補の選出

熊本大学 米丸直之

共同研究者：高橋慶太郎、隈本宗輝、代実(CSIOR)、
吉浦伸太郎、出口真輔(Radboud大学)

(arXiv:1811.11478)

目次

- ・ ニューラルネットワーク
- ・ 結果
 - ニューラルネットワークの精度
 - ネットワーク内部の理解・解釈
 - パルサー候補の選出
- ・ まとめ & 今後の展望

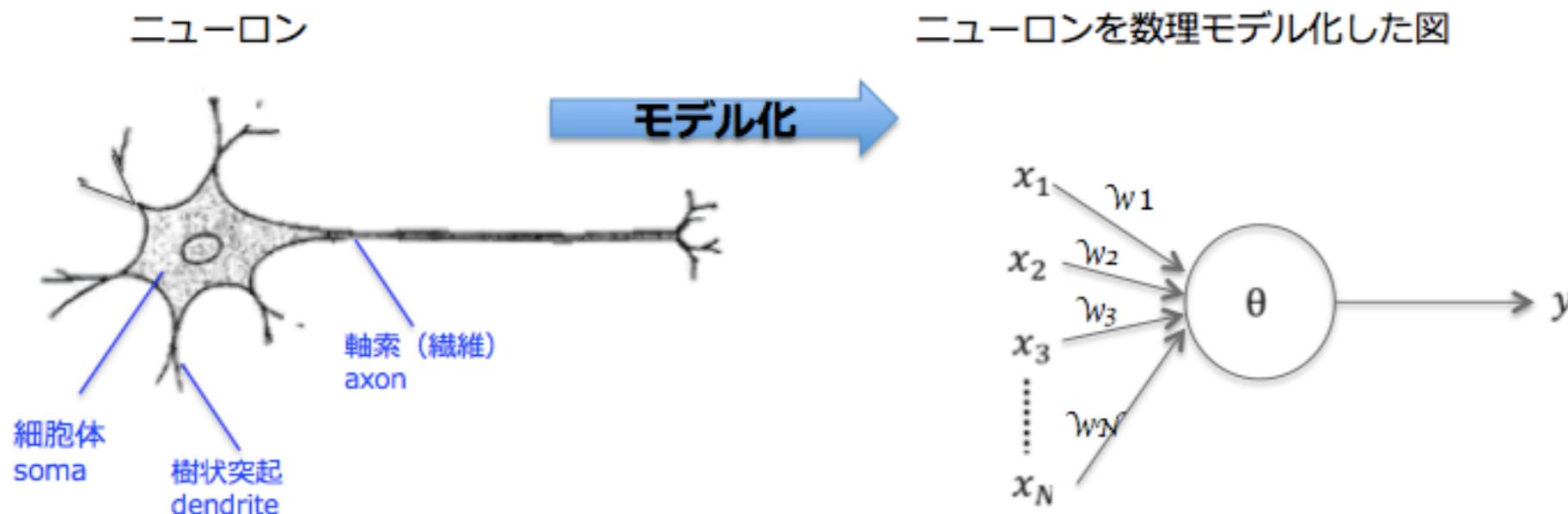
ニューラルネットワーク

機械学習

- ・ そもそも機械学習とは、
 - 人間が行うような学習や知的作業を機械に行わせる手法
 - アルゴリズムやモデルは与えず、データのみから学習し、予測を行ったり、データから特徴を抽出したりする。
- ・ 機械学習の分類
 - 教師あり … 正解のデータ(教師データ)から学習し、新たな入力に対し出力を予測
 - 分類 … データをいくつかのカテゴリに分類 → **本研究**
 - 回帰 … 入力から出力の値を予測
 - 教師なし … データからパターンや特徴、知識などを抽出

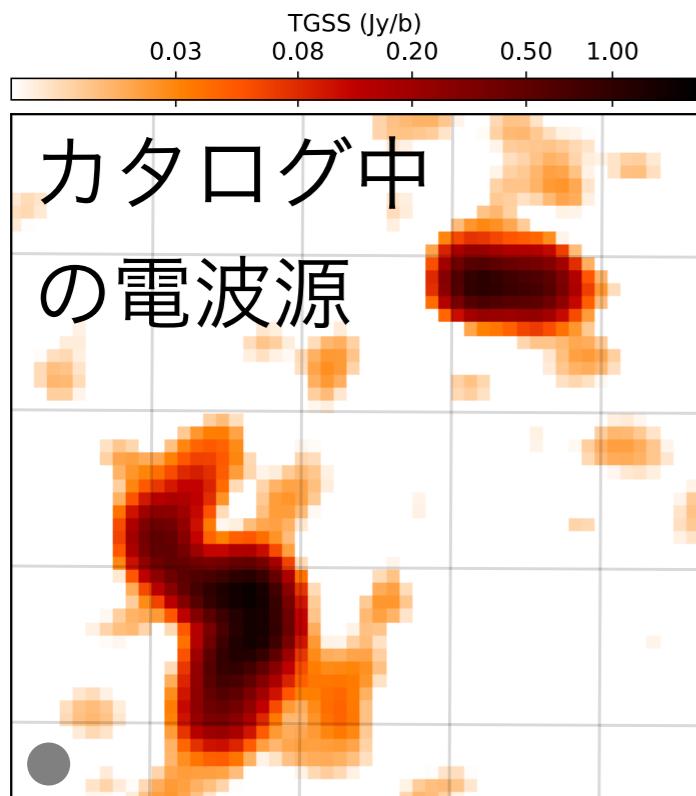
ニューラルネットワーク

- ・ ニューラルネットワーク (Artificial Neural Network: ANN)
 - … 機械学習の一つ、脳の神経回路をもとにした数学的モデル
- ・ 脳では、多数のニューロンが結びつきネットワークを作ることで、高度な知的機能を実現
→ ANNでは、ニューロンを数理モデル化し計算機上で再現
 - 脳：神経伝達物質、ANN：数値

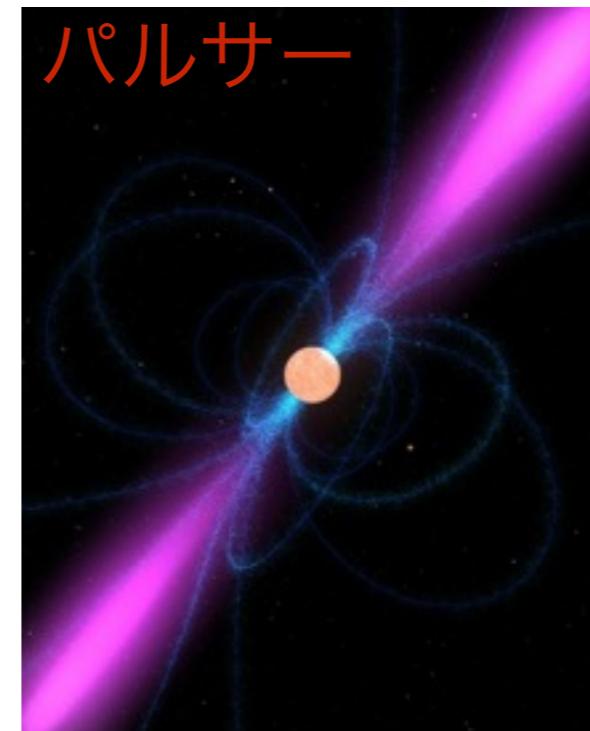


本研究の概要

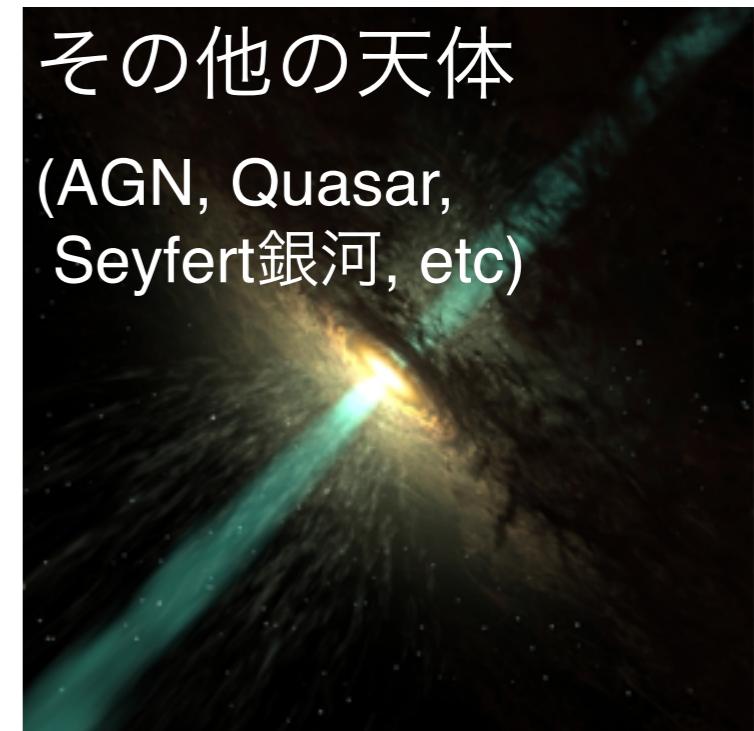
- ・ 概要 … TGSS (GMRT@150 MHz) & NVSS (VLA@1.4GHz) から タイミング計測無しの効率的なパルサー候補の選出
 - ANNを用いてパルサーか”その他の天体”に分類
- ・ ANNを用いるメリット
 - 選出のクライテリオンの最適化
 - パラメーター間の相関の発見



分類
→



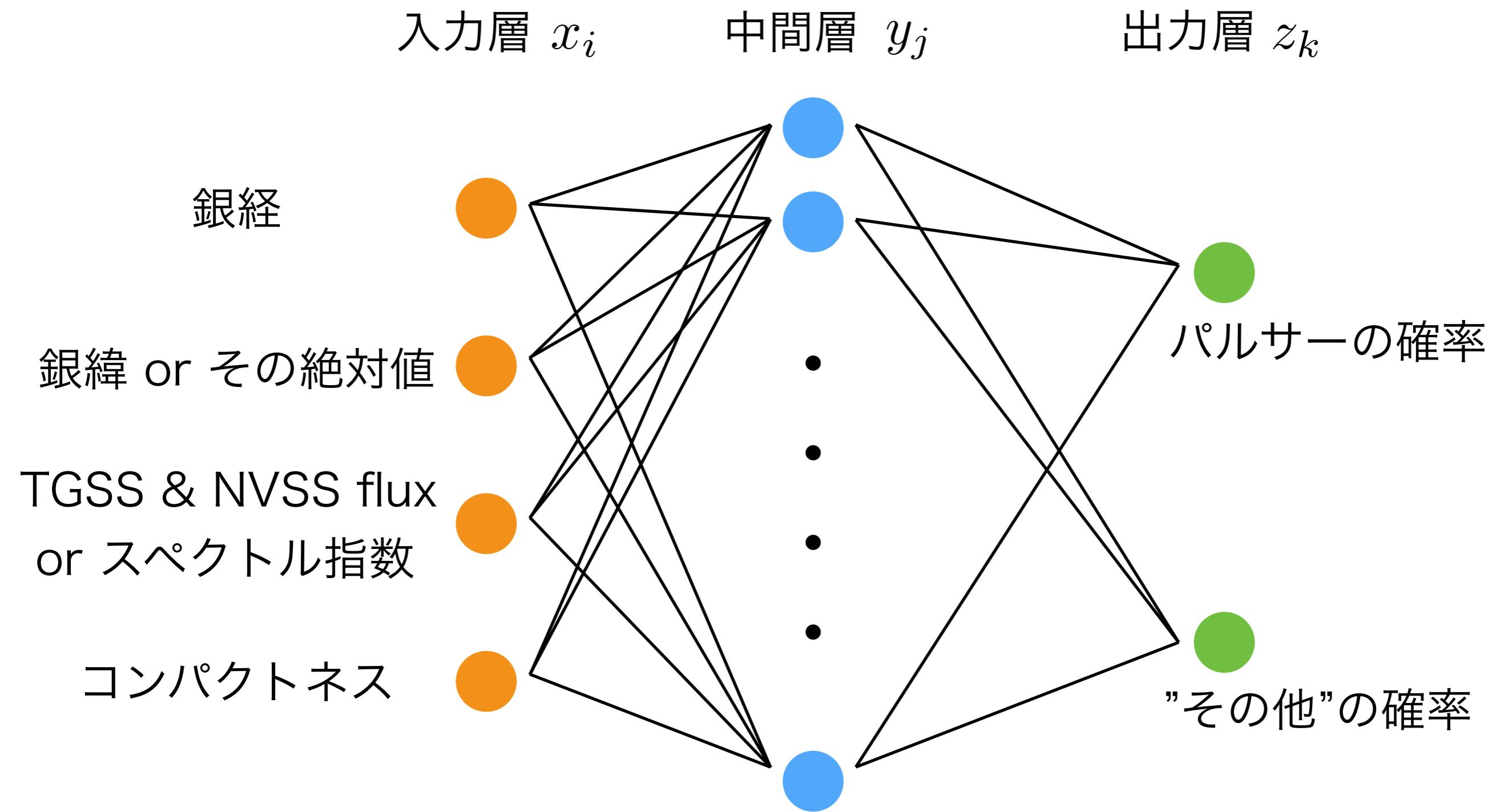
or



教師データ

- Gasperin catalog … TGSSとNVSS中で共通の位置にある(cross matchする)天体
→ 本研究のベースとなるカタログ
- 既知のパルサー … 127個
Gasperin catalogとATNF pulsar catalogueでcross match
- 既知のその他の天体 … 13,166個
Gasperin catalogとMillion Quasar catalogでcross match
- Million Quasars catalog
 - 基本的にSDSSで観測されたクエーサー
 - 様々な種類の活動銀河核(AGN、クエーサー等)、セイファート(電波)銀河を含む

ネットワークの模型図



入力層

- ・ 入力 … 4パターン
 - 1, 銀経、銀緯、TGSS flux、NVSS flux、コンパクトネス
 - 2, 銀経、銀緯、スペクトルのべき指数、コンパクトネス
 - 3, 銀経、銀緯の絶対値、TGSS flux、NVSS flux、コンパクトネス
 - 4, 銀経、銀緯の絶対値、スペクトルのべき指数、コンパクトネス
- ・ 銀緯の絶対値 … 高低のみに意味があるのであるのでは？
- ・ スペクトルのべき指数 … 2つのフラックスより物理的には意味が明確？

中間層 & 出力層

- 中間層 — ニューロン数: 10 or 8

$$y_j = f(u_j) \quad u_j = \sum W_{ij} x_i$$

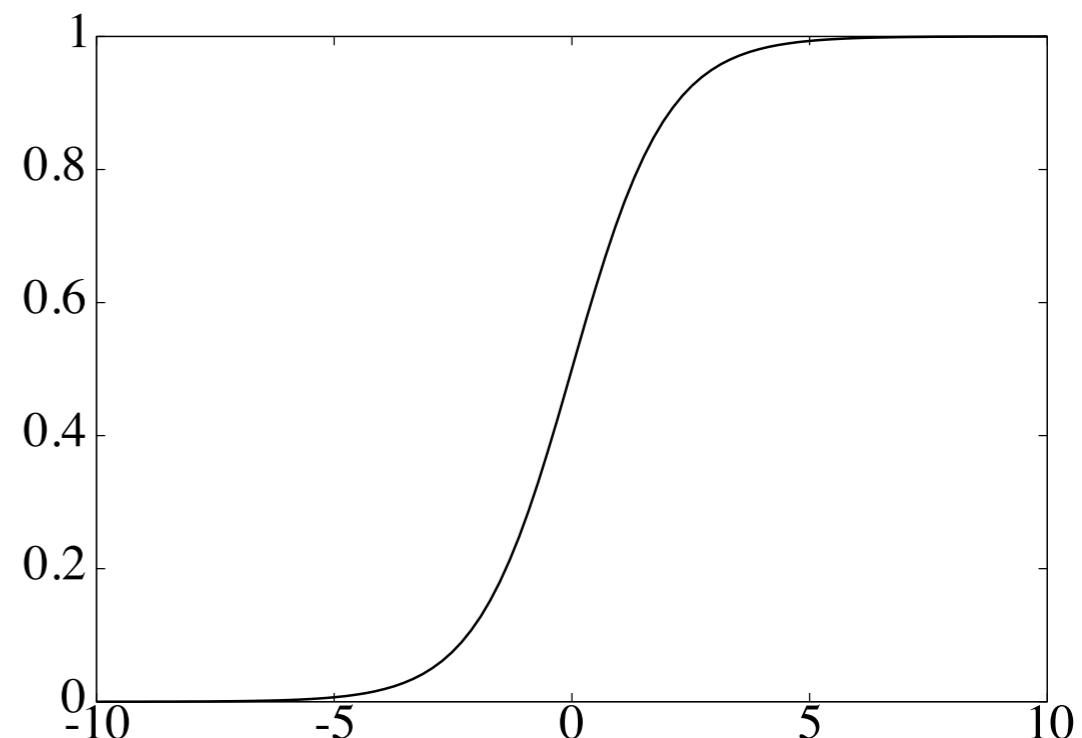
$$f(x) = \frac{1}{1 + \exp(-x)} : \text{シグモイド関数} \searrow$$

- 出力層 — $k = 1$: パルサー、 $k = 2$: "その他の天体"

$$z_k = g(v_k) \quad v_k = \sum W_{jk} y_j$$

$$g(x_i) = \frac{\exp(x_i)}{\sum_j \exp(x_j)}$$

- ANNでやる事を一言で表すと



トレーニング

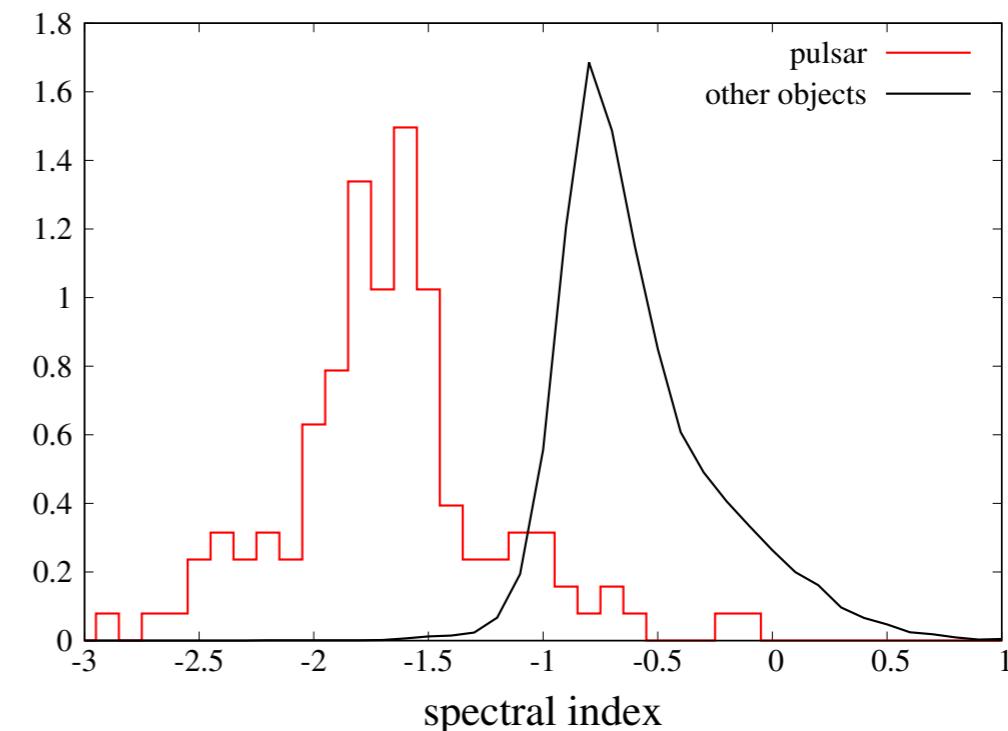
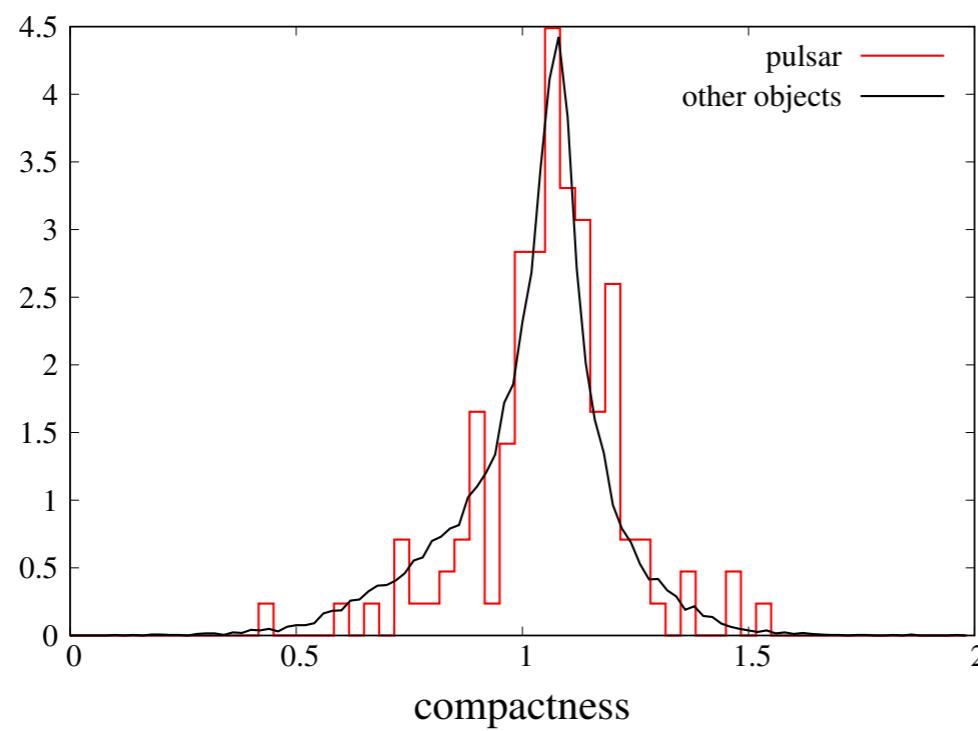
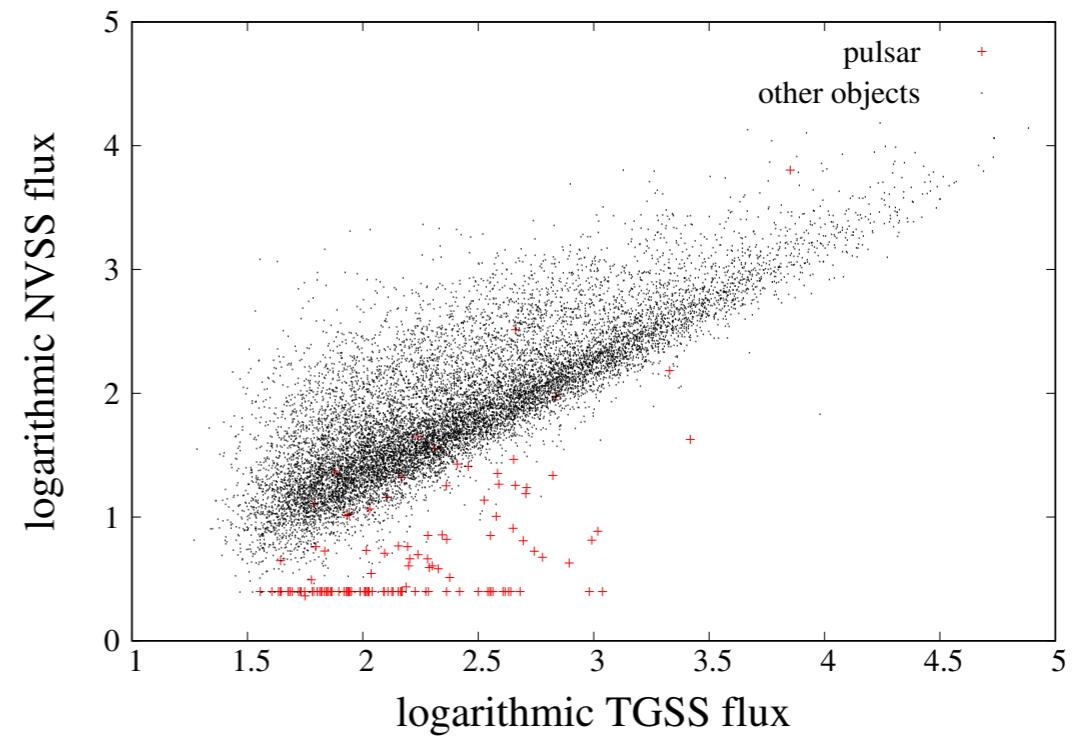
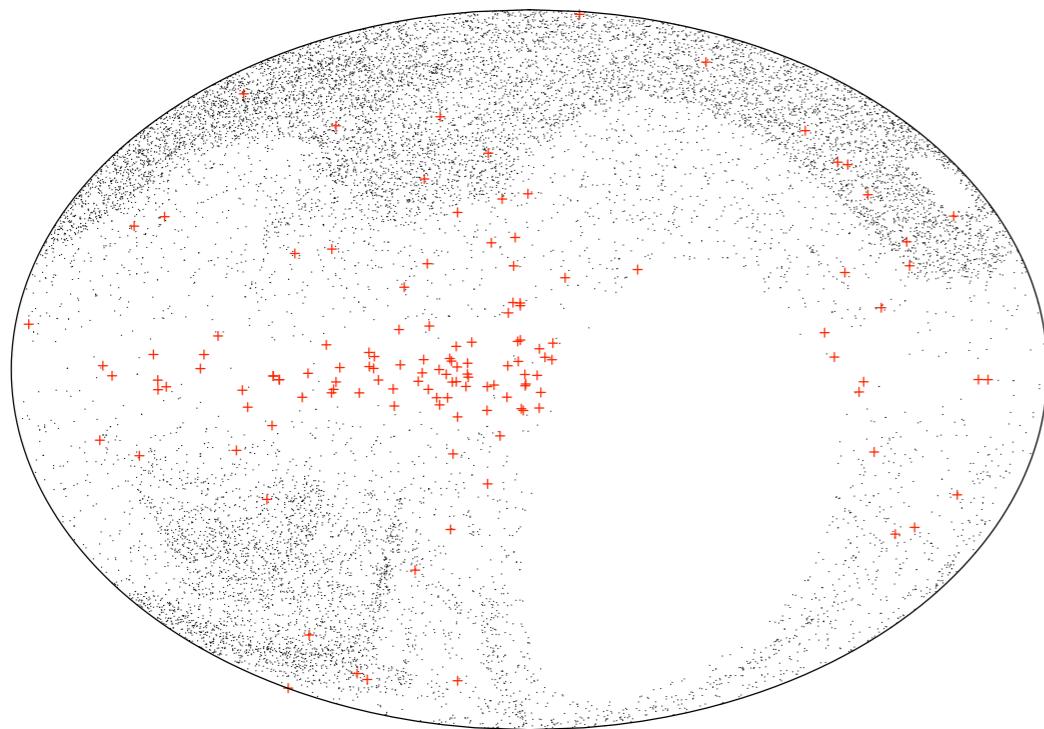
- ・ トレーニング … 最適な重みを探す作業
→ 損失関数を小さくする
- ・ 損失関数 … ネットワークからの出力と”教師データ”的差を特徴づける
 - 交差エントロピー誤差 + 重みのL2ノルム

$$L = -\frac{1}{N} \sum_n \sum_k t_{n,k} \log z_{n,k} + \frac{1}{2} \lambda \left(\sum W_{ij}^2 + \sum W_{jk}^2 \right)$$

t_k : 正解の出力

- ・ 重みの更新: $\Delta \mathbf{W} \propto -\frac{\partial L}{\partial \mathbf{W}}$
⇒ “正解”と出力の差を小さくしていく

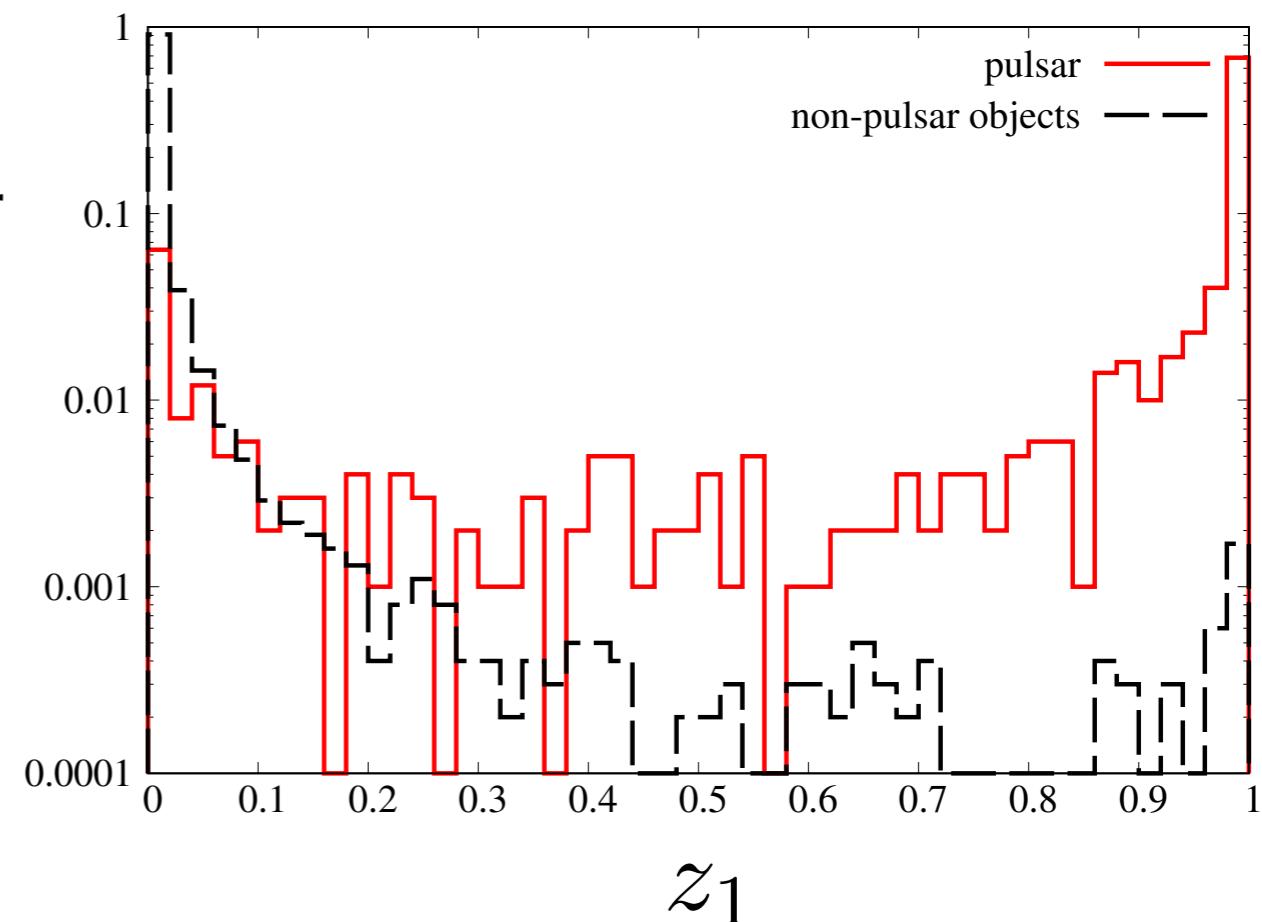
教師データの分布



結果

精度のテスト

- ・ 訓練データとは独立なテストデータを用いてANNの精度をテスト
→ z_1 の値はほぼ0か1
⇒ $z_1 \geq 0.9$ となる天体をパルサーとみなす
- ・ 精度の指標
 - 真陽性 … パルサーをパルサーとみなす確率
 - 偽陽性 … その他の天体をパルサーとみなす確率



テスト結果

- 1, 銀経、銀緯、TGSS flux、NVSS flux、コンパクトネス
- 2, TGSS flux、NVSS flux → スペクトルのべき指数
- 3, 銀緯 → 銀緯の絶対値
- 4, 銀緯の絶対値、スペクトルのべき指数

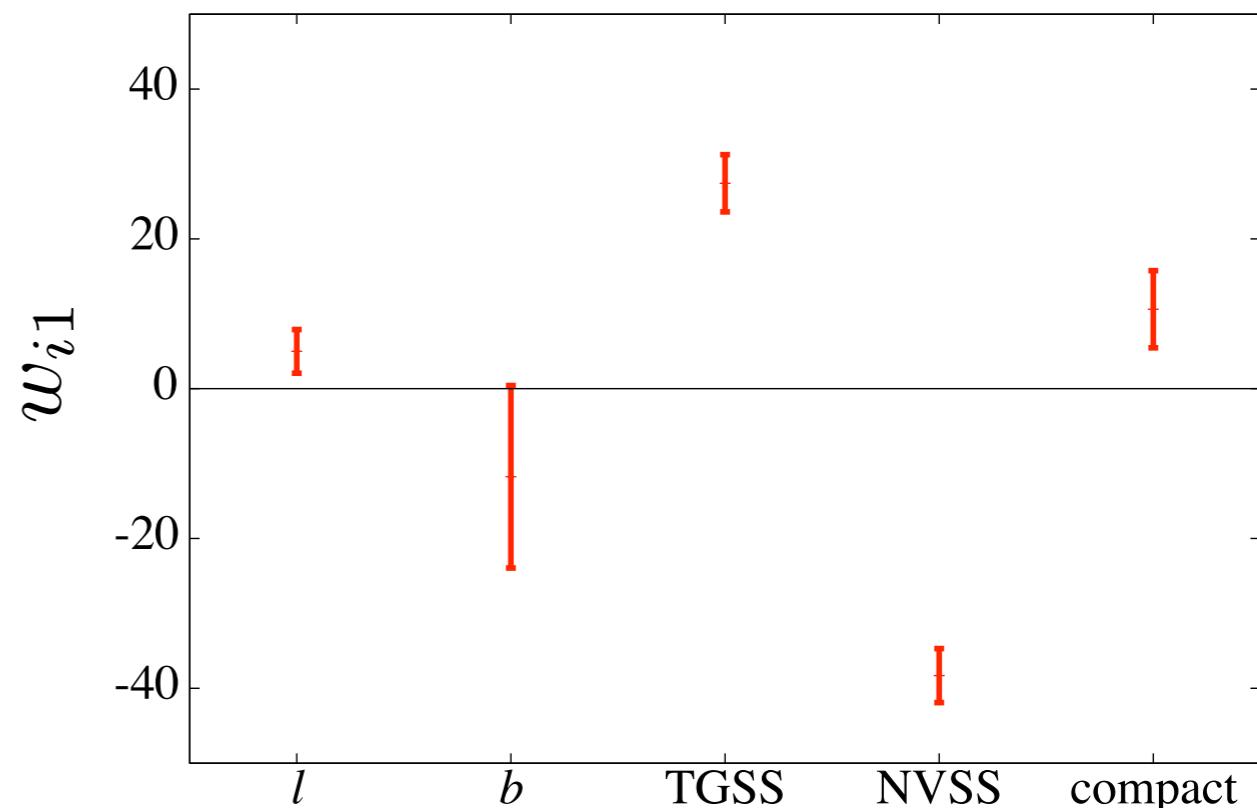
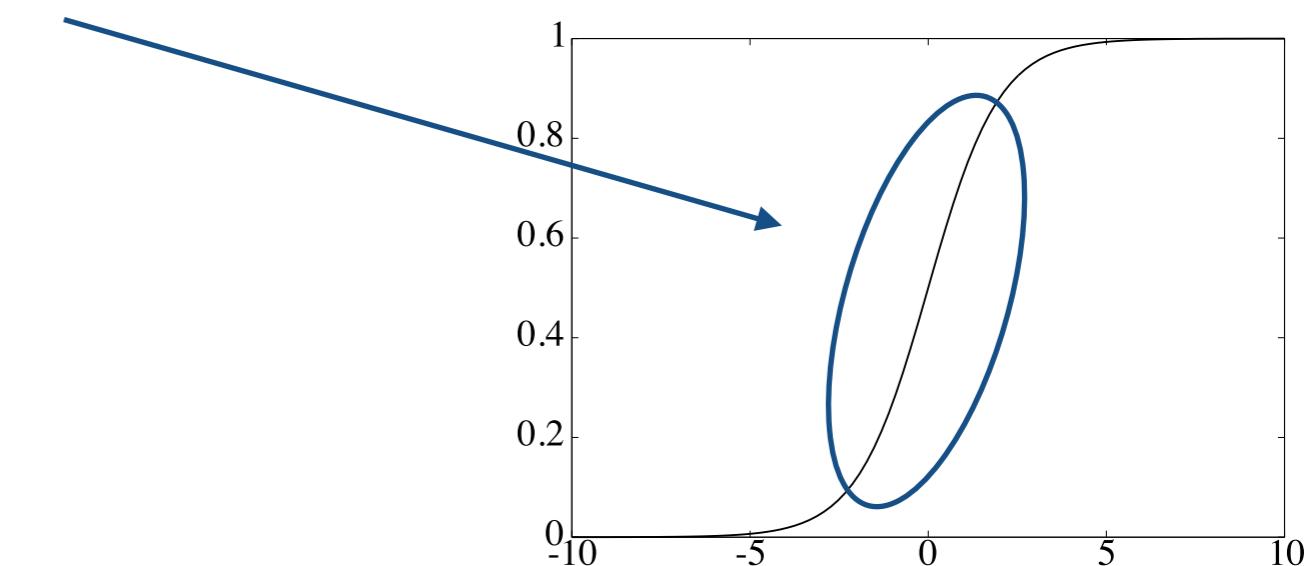
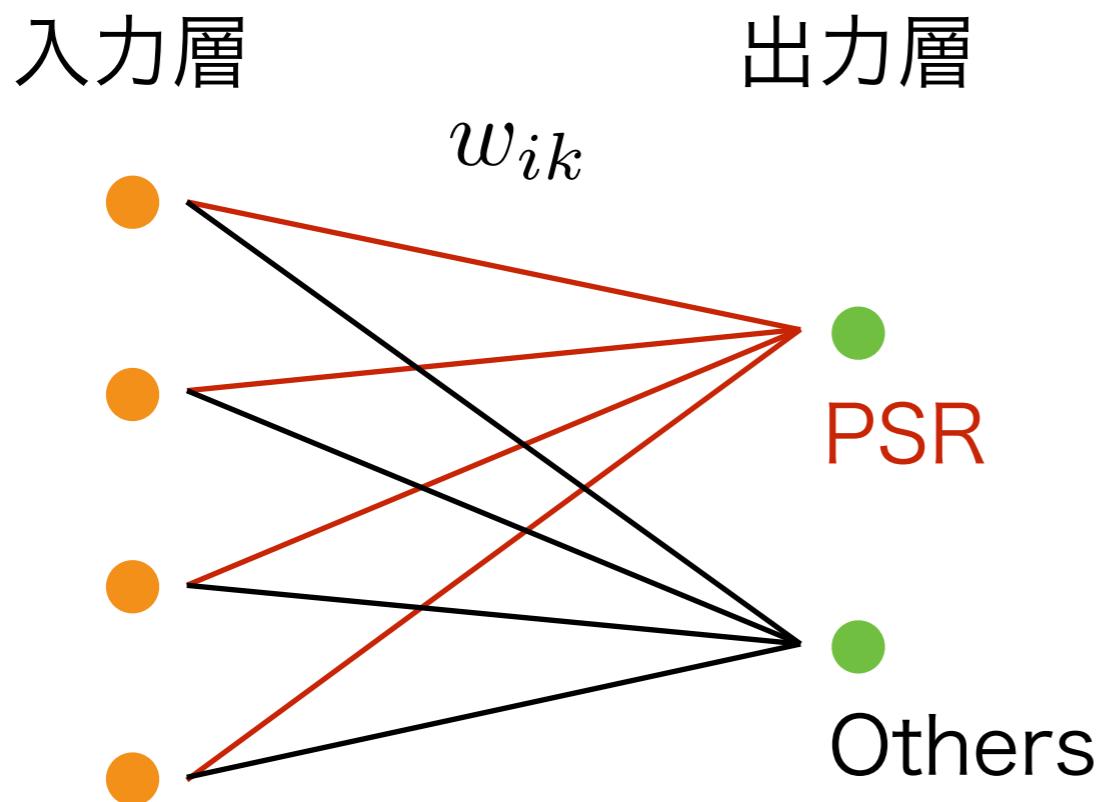
	1	2	3	4
真陽性	68%	52%	75%	65%
偽陽性	0.0% (精度0.1%)	0.03%	0.01%	0.02%

最も良さそう

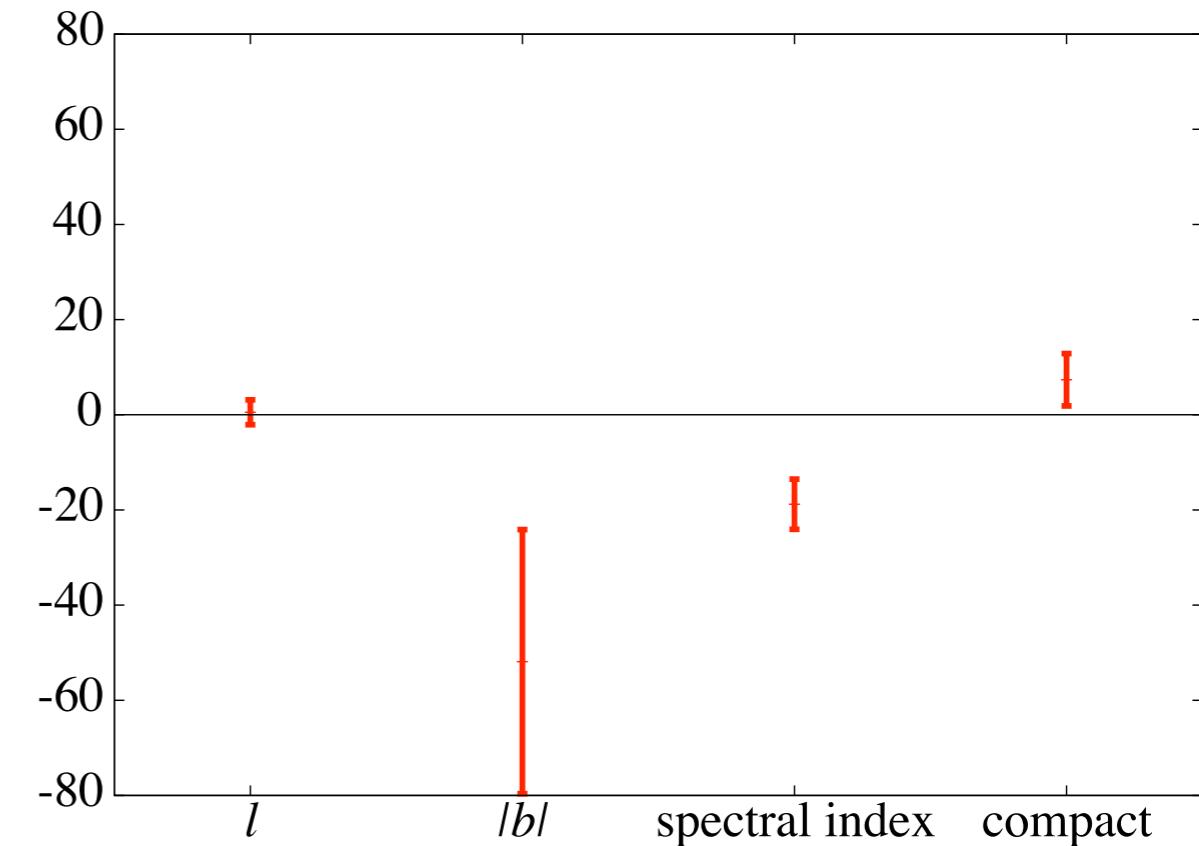
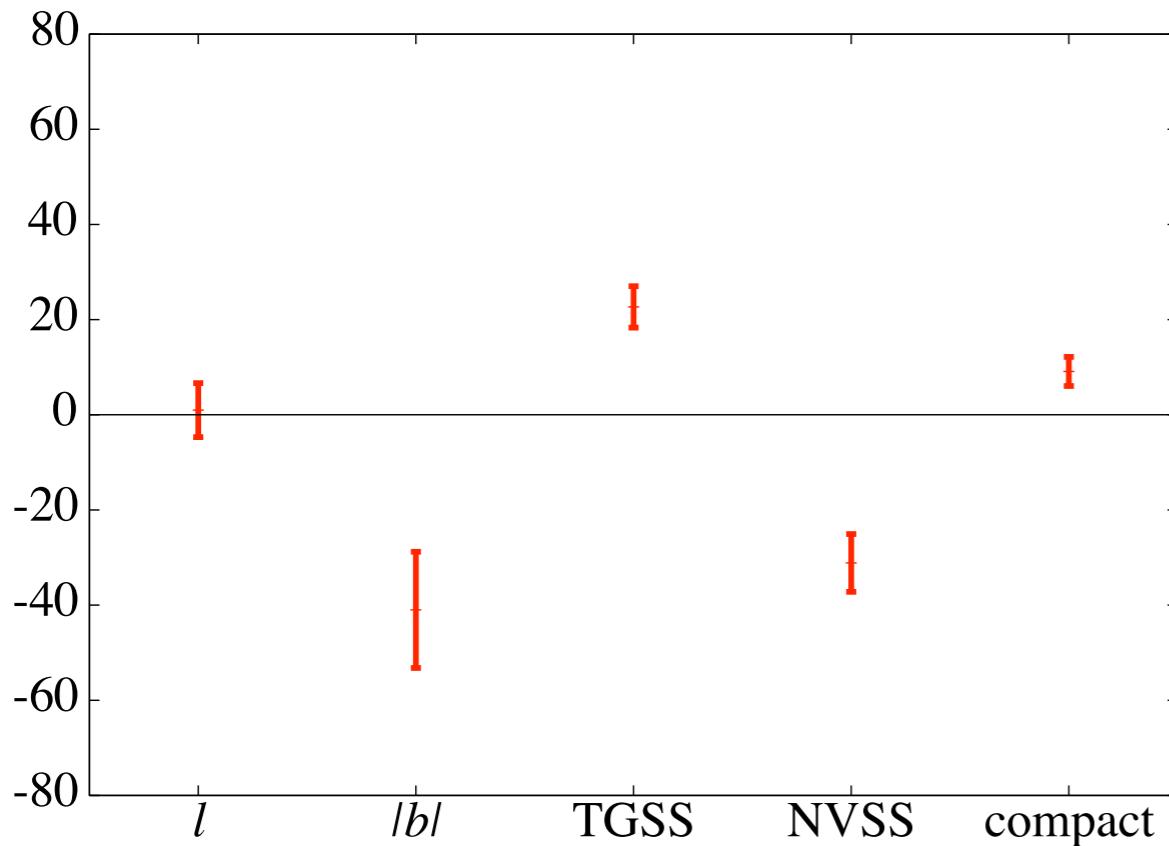
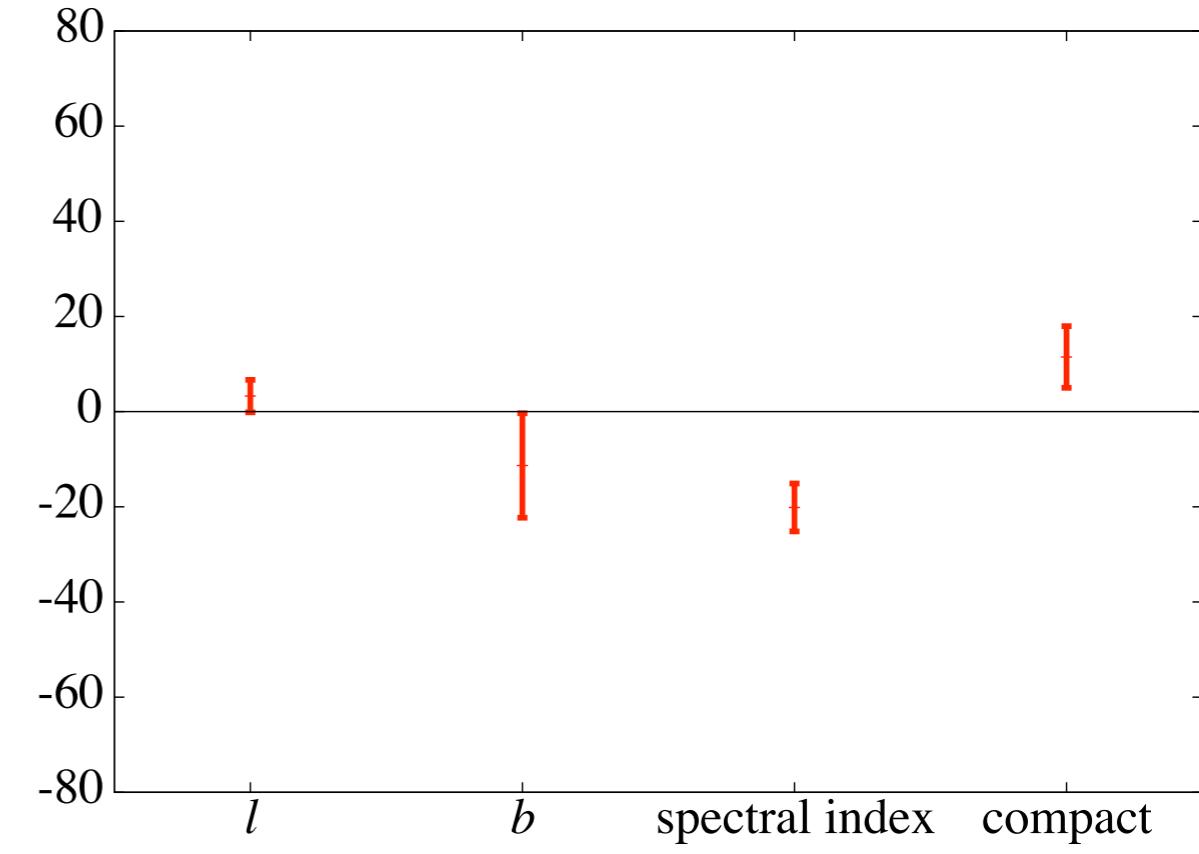
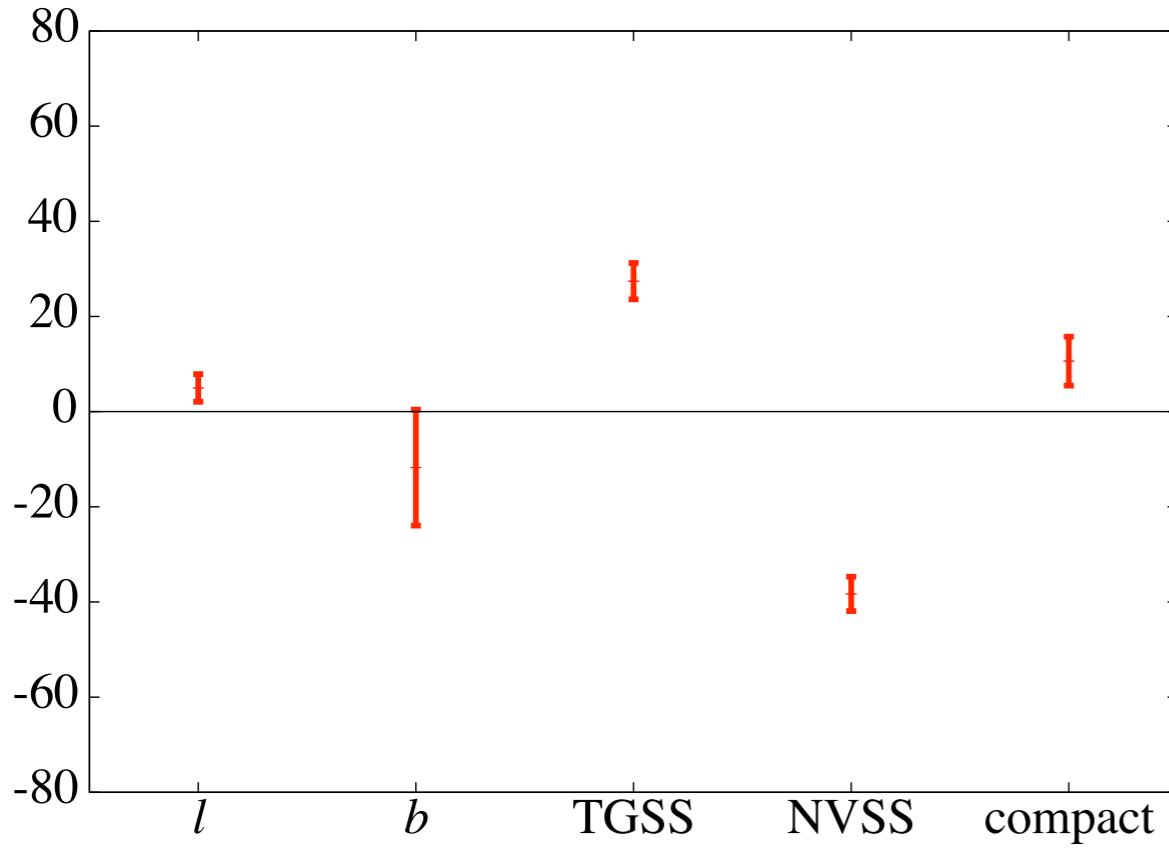
訓練後のネットワーク内部の理解

- どのようにネットワーク内部を調べるか?
→ シグモイド関数をただの直線とみなす
⇒ w_{ik} の振る舞いを調べる

$$w_{ik} = \sum_j w_{ij}^{(1)} \cdot w_{jk}^{(2)}$$

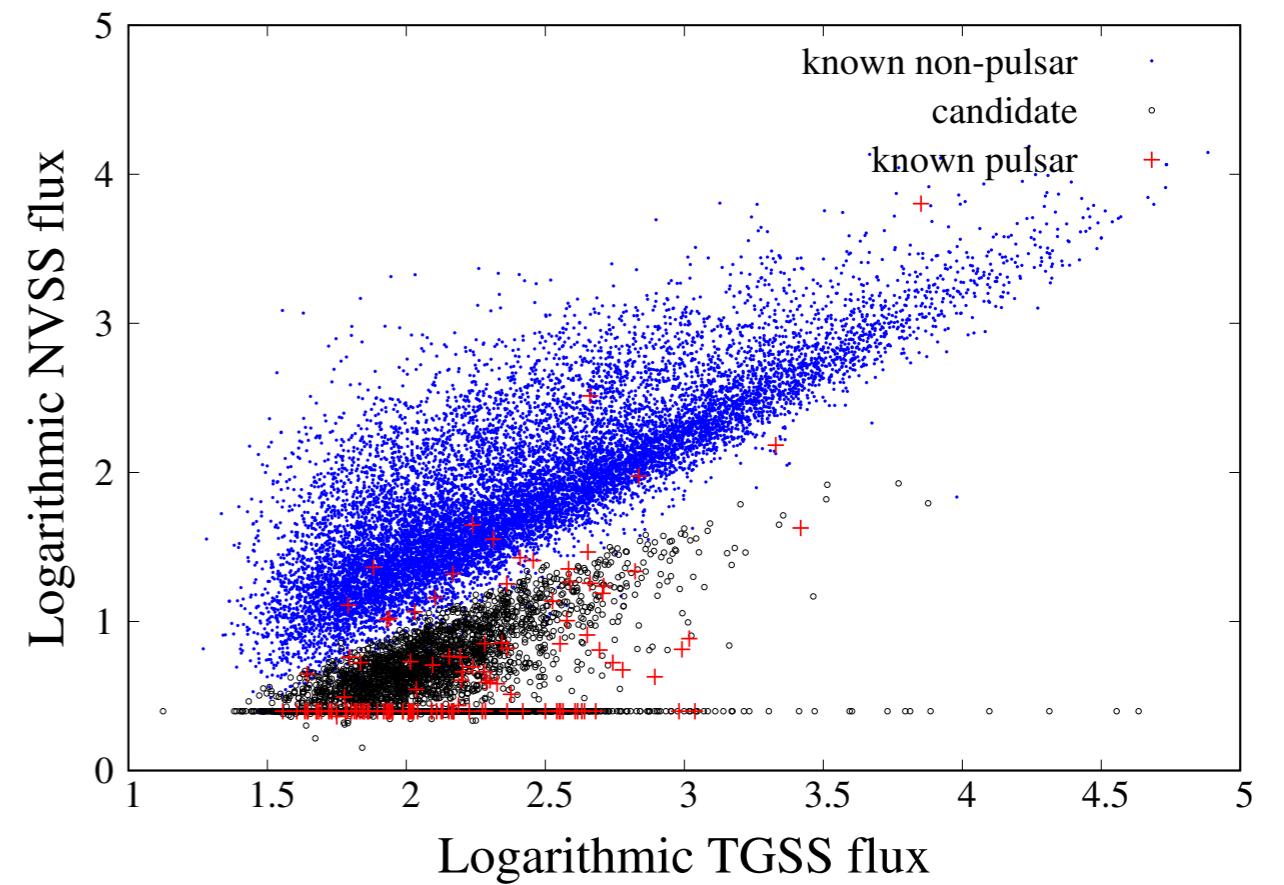
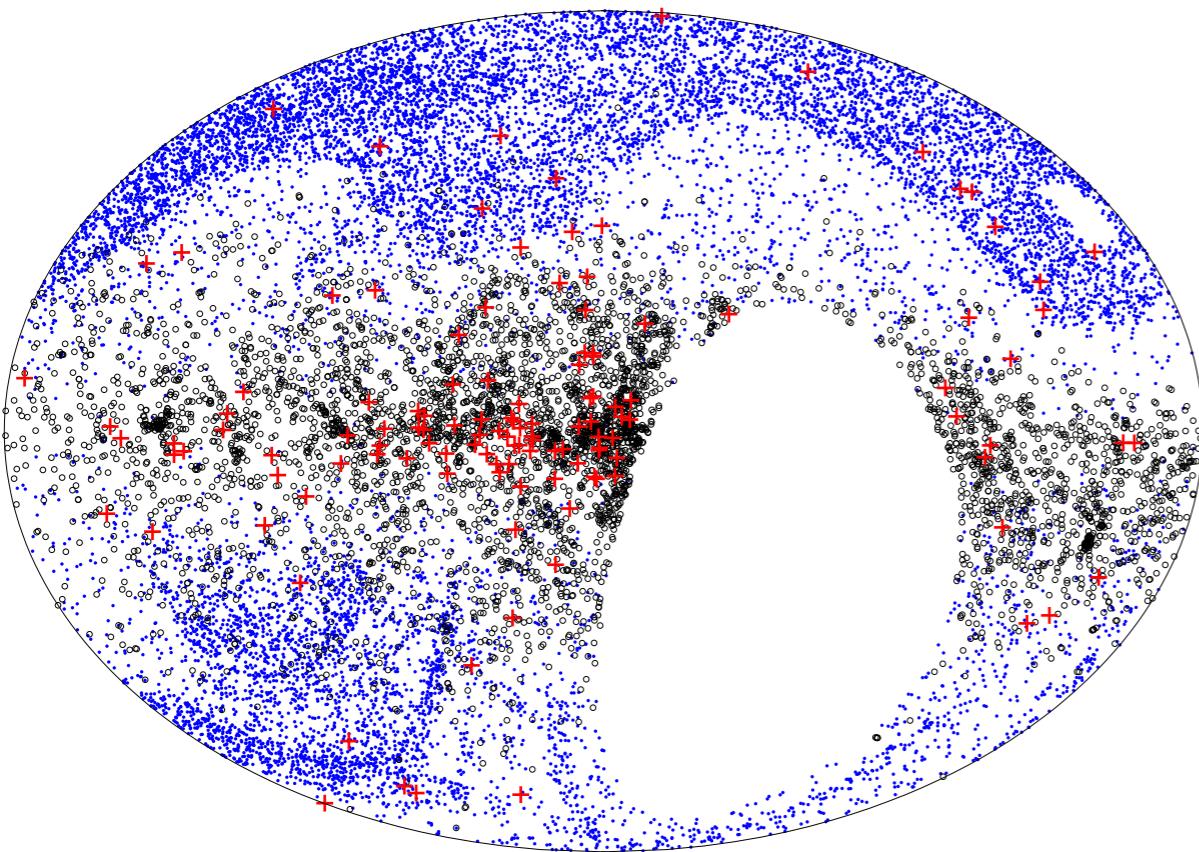


重みの分布



パルサー候補の選出

- ANNをGasperin catalog中の未同定天体に適用
→ 4778個の候補が得られた。
- 黒：候補、赤：既知パルサー、青：既知その他の天体



まとめ & 今後の展望

- ・ ANNを用いて電波イメージ(TGSS, NVSS)からパルサー候補の選出を行った。
 - 銀経、銀緯
 - フラックス(スペクトルのべき指数)
 - コンパクトネス
- ・ 本研究で行ったこと
 - ANNの精度のテスト
 - ネットワーク内部の理解
 - 未同定天体へANNを適用
- ・ 今後の課題
 - 候補の観測
 - 他の観測量の利用: 直線偏光、RMなど