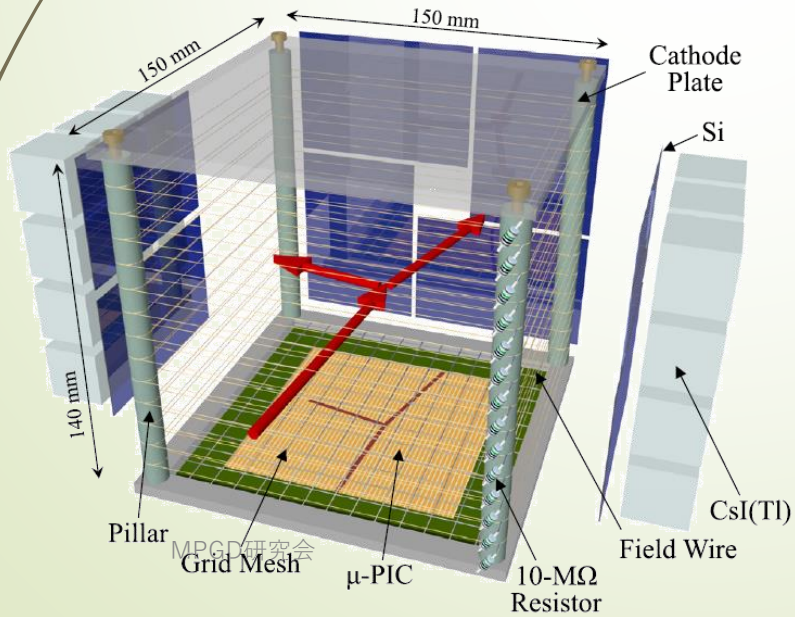
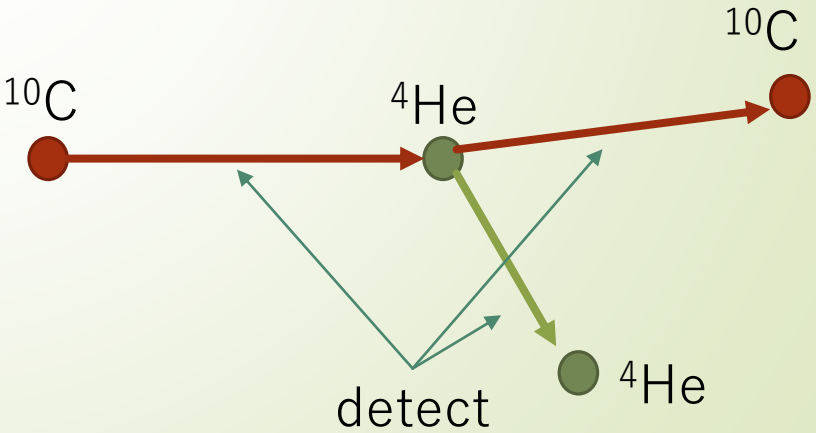
ニューラルネットワークを用いたTPCの飛跡検出法の開発

土井隆暢 (Doi Takanobu)
京都大学
古野達也、川畑貴裕
大阪大学

MAIKo TPCとは

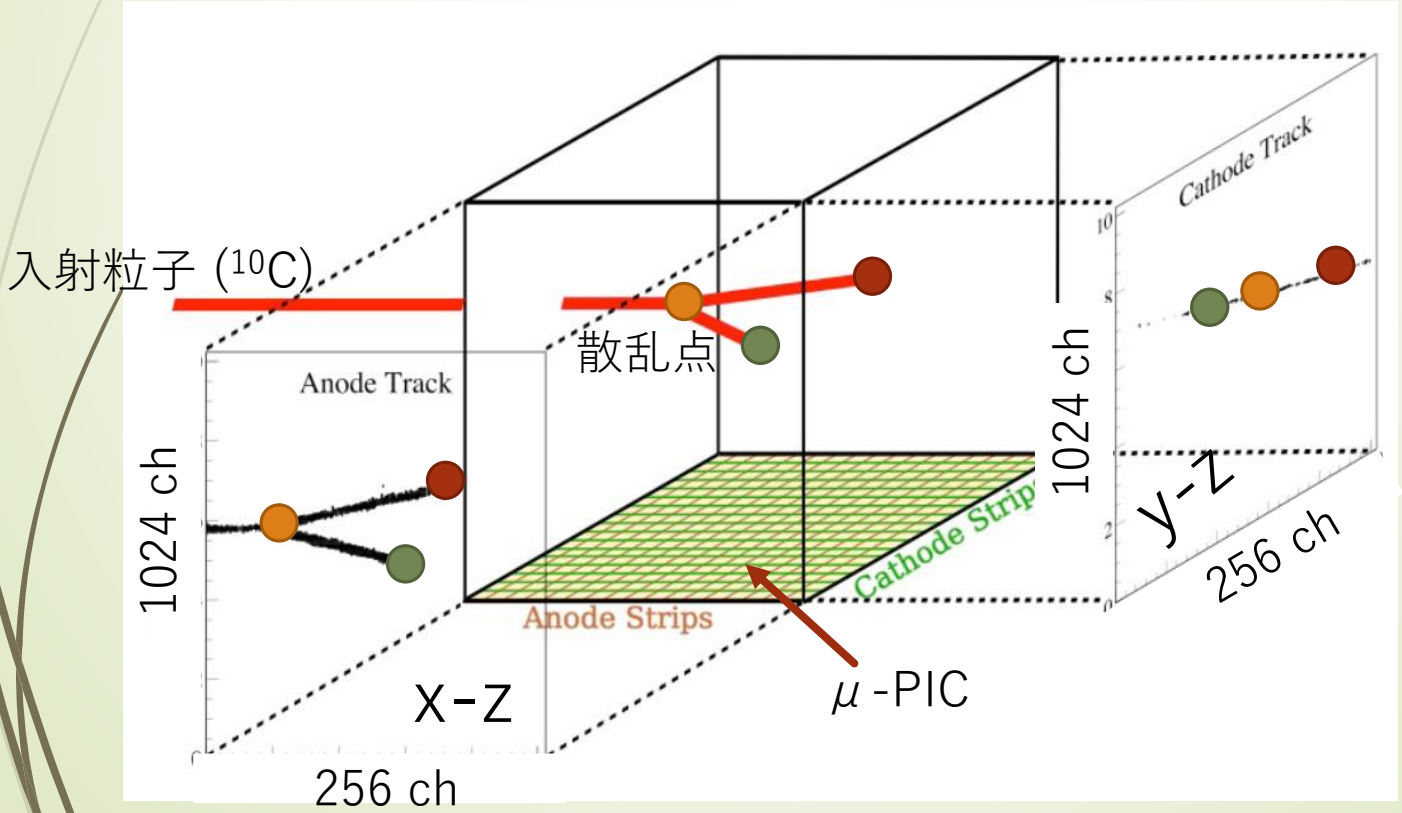
- MAIKo
  = Mupic-based Active-target Inverse Kinematics .
  - 前方角度でのRIビームを用いたmissing mass spectroscopy
  - TPC: ^{4}He (96%) + CO_2 (4%) @ 500/1000hPa.
    - μ-PICを用いてガス増幅&検出
  - ^{10}Cビームを用いた最初の実験は2017に実施
    ($^{10}C + ^{4}He \rightarrow ^{10}C + ^{4}He$)





MAIKo TPCからの出力

- MAIKoによって荷電粒子の飛跡を検出
- 3次元の飛跡を2次元平面に射影
  - 2つの2次元 (256-1024) 画像 (x-z and y-z)

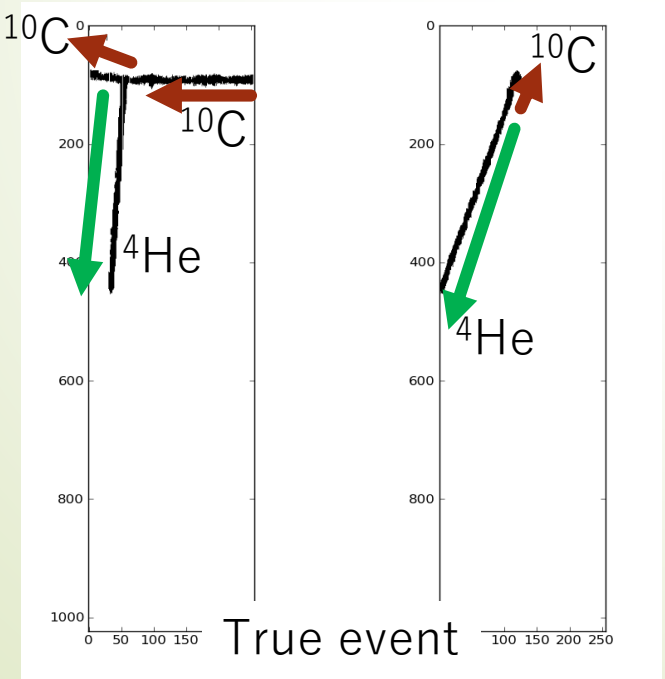


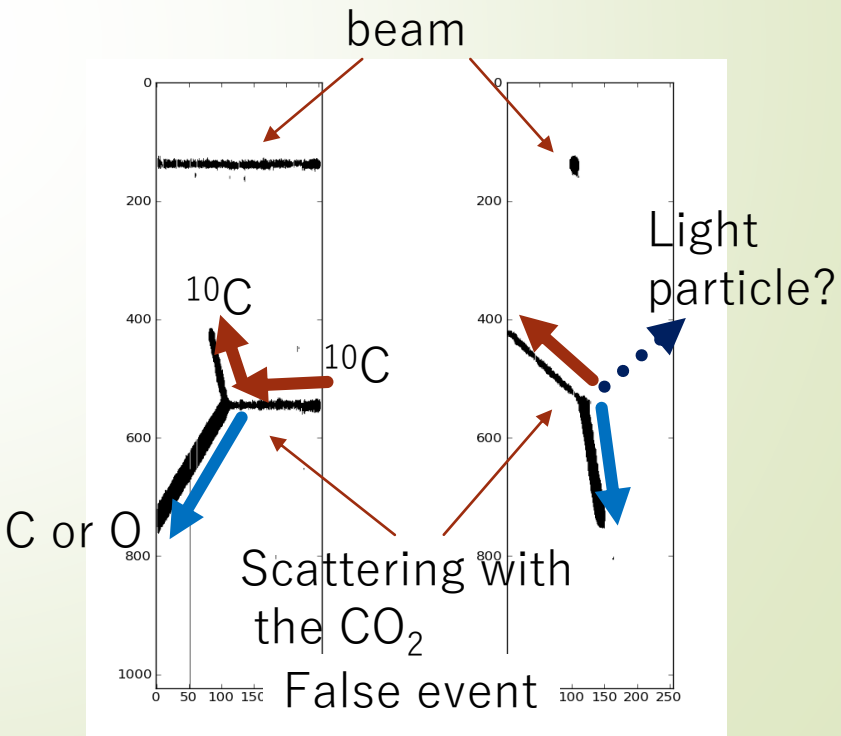
True eventとFalse eventの選別

^{4}He反応とそれ以外（CO_2との散乱、放電等）を選別

- True: ^{10}Cと^{4}Heの弾性/非弾性散乱
- False: その他

人間によってラベル付けしたデータを作成

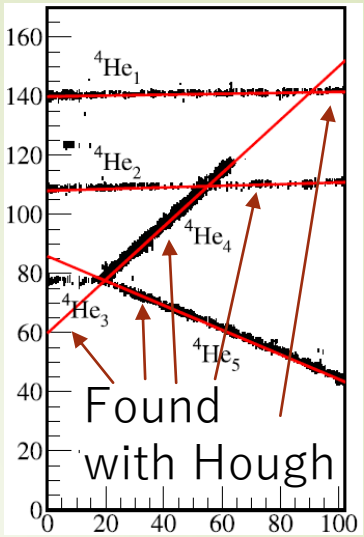


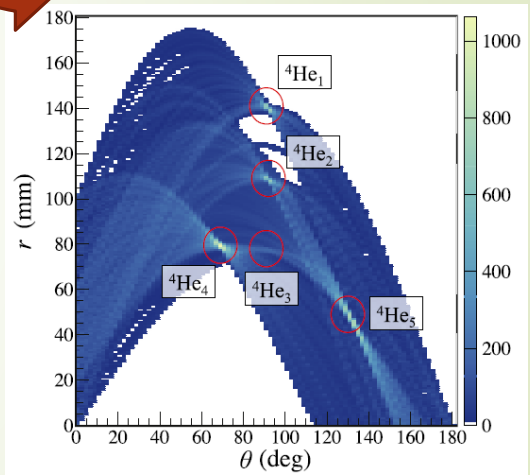


従来型の解析

- Hough変換による解析
  - 画像中の直線を抽出
  - 直線の本数、角度等により
    イベントを選別
  - パラメータの最適化: 24h (with 100CPUs)
  - 人間によって選別されたデータでテスト
- イベント選別能の評価
  - Accuracy ~ 89%　(TT+FF)/(TT+TF+FT+FF)
  - Efficiency ~ 94%　TT/(TT+TF)
  - Purity ~ 84%　TT/(TT+FT)
  - Jaccard ~ 80%　TT/(TT+TF+FT)

Hough変換





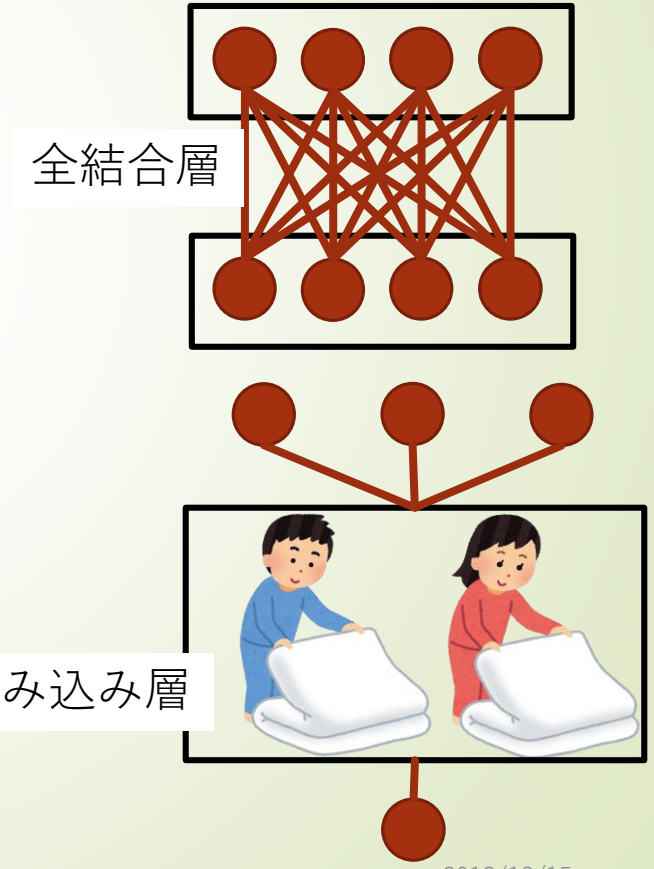
		Judge by analysis	
		True	False
Eye-scan	True	TT	TF
	False	FT	FF

どうしてニューラルネットワークを使用するのか

- Hough変換を用いた従来型の解析ではイベント選別に多くの複雑な条件が必要
- ニューラルネットワークには複雑な条件設定が必要ない
  - 気軽にニューラルネットワークを実行する環境を提供するサービスが増えてきた
  - ニューラルネットワークの構築が容易なライブラリ
  - 人間よりも賢くなるかも？
- TPCのデータの解析にニューラルネットワークを

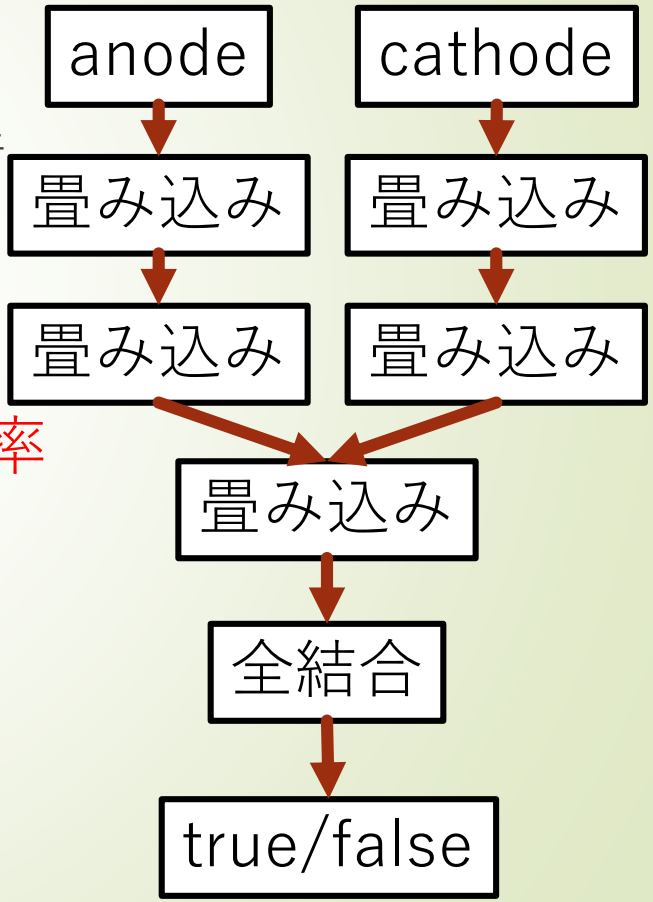
ニューラルネットワークの構造

- ニューラルネットワークはニューロン の集まりである層で構成され、次の層に信号を送ることで情報を伝える→脳を疑似再現
- 全結合層
  - ニューロンが次の層の
    すべてのニューロンと結合
- 畳み込み層
  - 主に画像認識に用いられる
  - あるまとまりごとに
    次の層の1つニューロンと結合



イベント選別のニューラルネットワーク

- ニューラルネットワークでイベント選別
  - Kerasを使用
  - pythonのライブラリ
    ニューラルネットワークの構築・実行



- 入力: anode・cathode
- 出力: true/falseそれぞれである確率
- 2700 train data, 300 test data

学習結果

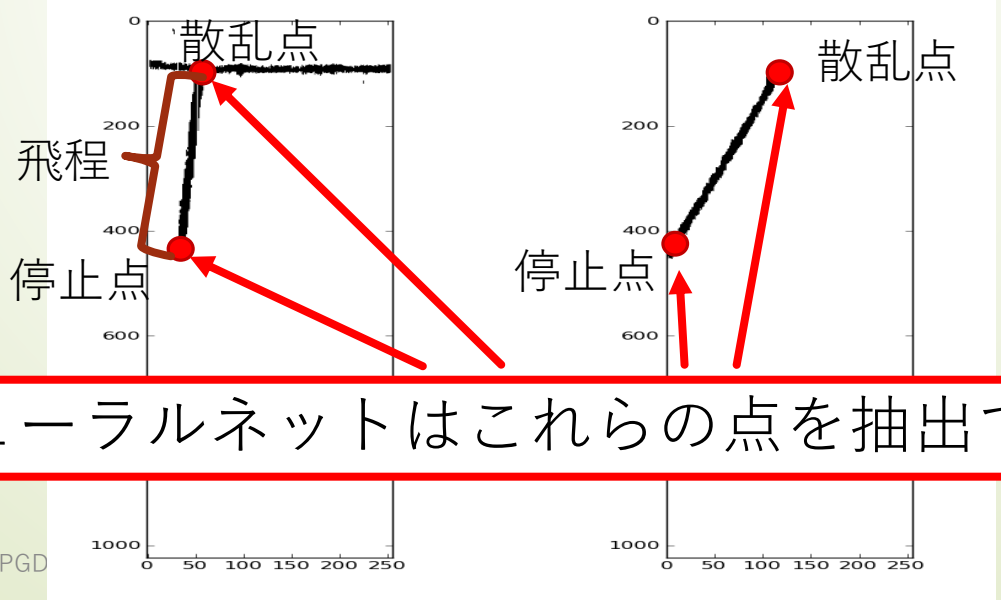
- 150 epochs (約1時間, Nvidia Tesla K80を使用)
- 学習後の選別は1秒以下 (300 events)
- ニューラルネットワークの選別能は従来のHough変換によるものよりも高精度

	Hough変換	ニューラルネット
Accuracy	89%	94%
Efficiency	94%	96%
Purity	84%	94%
Jaccard	80%	90%

散乱点と停止点の検出

もっと賢い子になってほしい

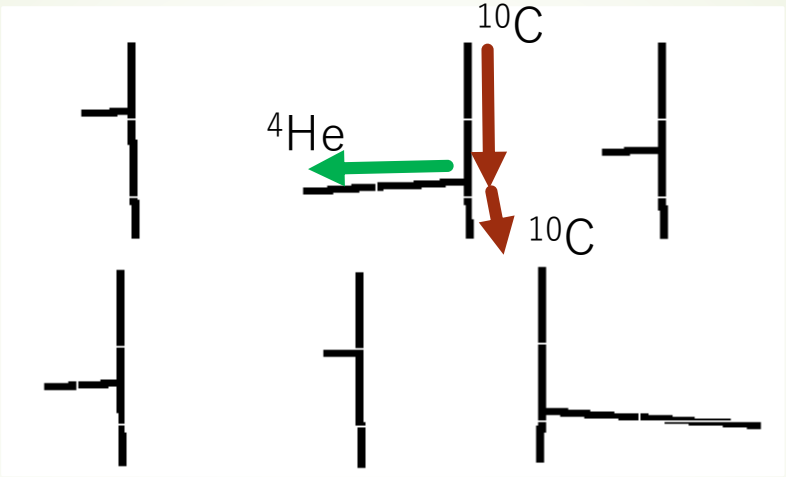
- ニューラルネットワークによるイベント選別に成功
  → 次に物理量 (Ex, 散乱角度) の抽出に挑戦！
- 散乱粒子の飛程・放出角度を決定させられないか？
  →散乱点と停止点の特定が必要



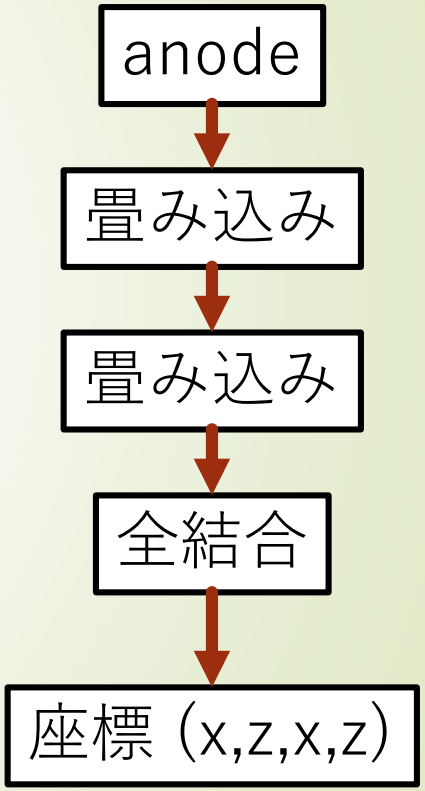
ニューラルネットはこれらの点を抽出できるか?

点検出のニューラルネット

- 学習データはシミュレーションで作成



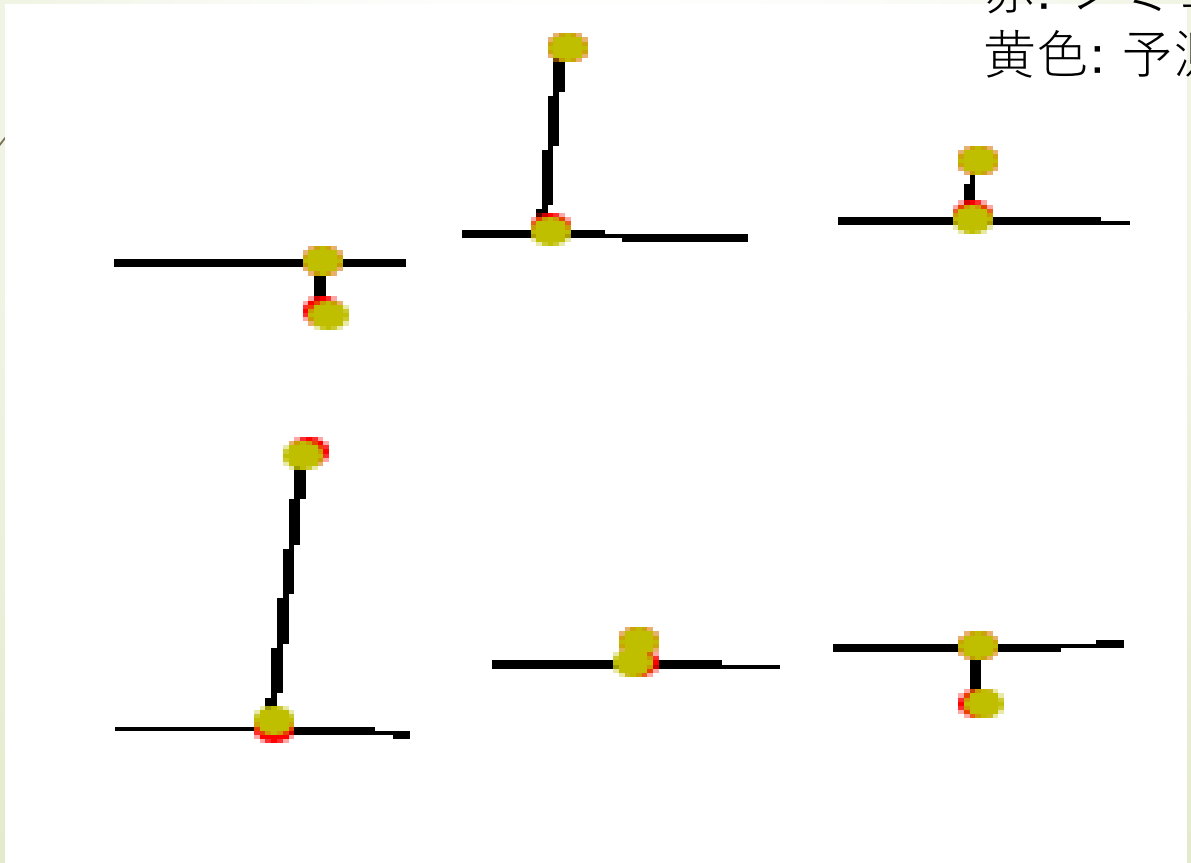
- 散乱点、停止点の検出を行う (x-z)
- 構成
  - 入力: anode
  - 出力: 散乱点・停止点の座標 (x,z)
  - 2700 train data, 300 test data



学習結果 (点検出ニューラルネット)

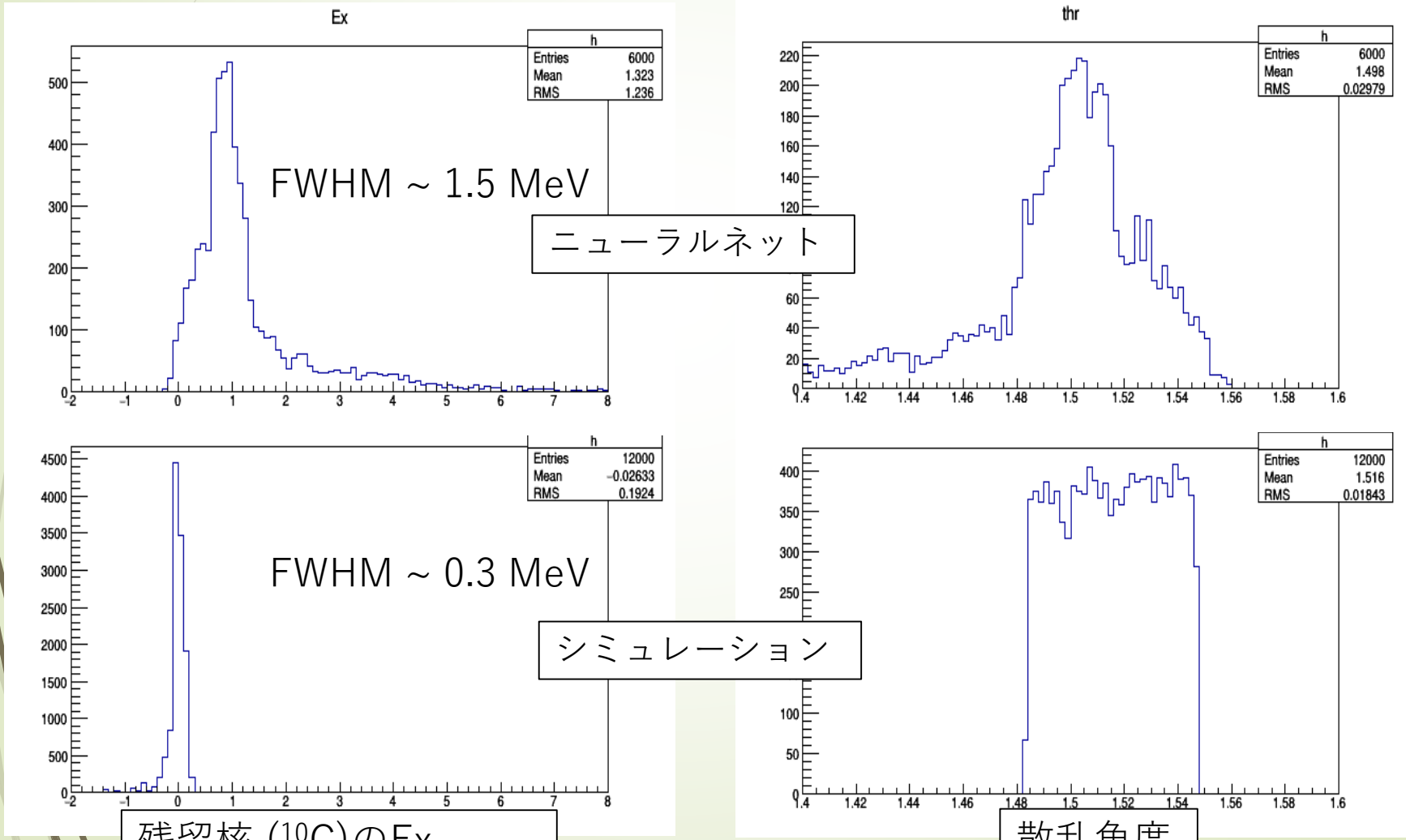
- 500 epochs (約35分)
- mse ~ 0.28 (~ 5 pixels)
  - 点の検出自体はそれなりに可能

赤: シミュレーション
黄色: 予測



学習結果 (続)

- 散乱点と停止点より物理量 (Ex&散乱角度)を計算
- まだあまり賢くない．．．



点検出のまとめ

- ニューラルネットによる点検出は可能
- 点の位置のずれにより散乱角が大きく変化してしまうため現在の精度では物理の解析には不十分

- 点検出の精度の向上
- 放出角度の直接予測などの工夫による精度向上

- より現実に即したシミュレータの開発

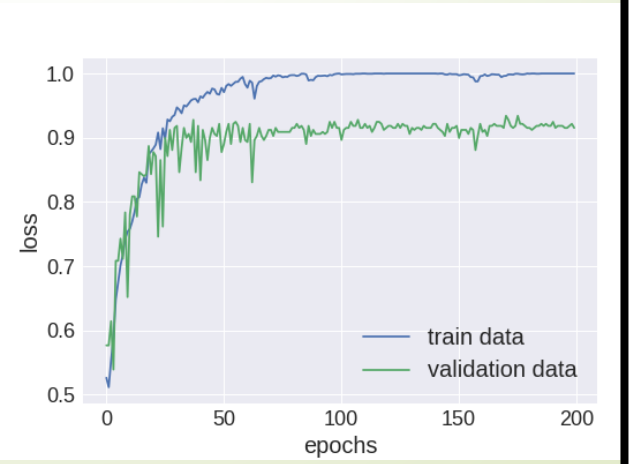
Summary

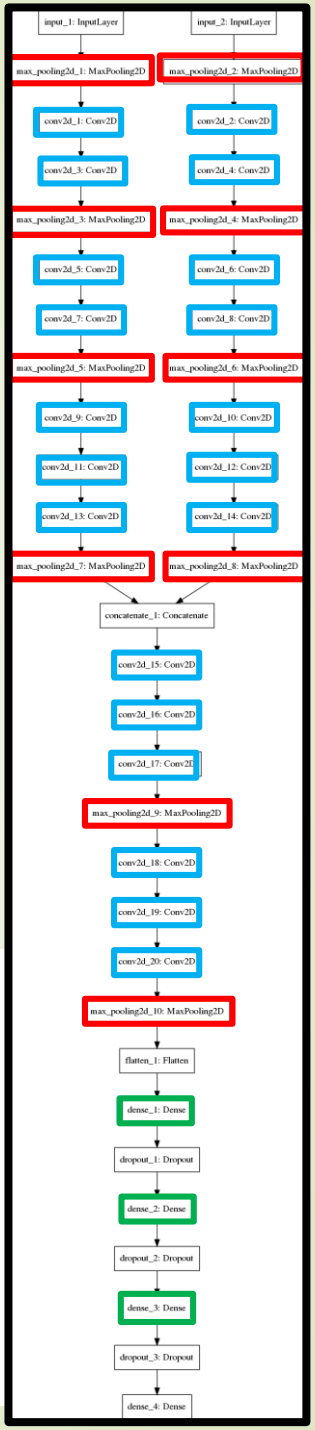
- ニューラルネットワークでの高精度なイベント選別に成功した
- ニューラルネットワークで点検出も可能(ただし更なる改良が必要)
- TPCの解析にニューラルネットワークは有用

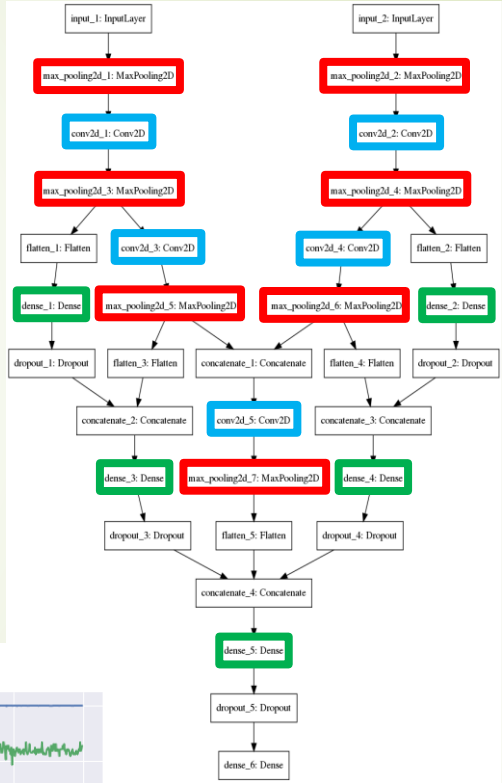
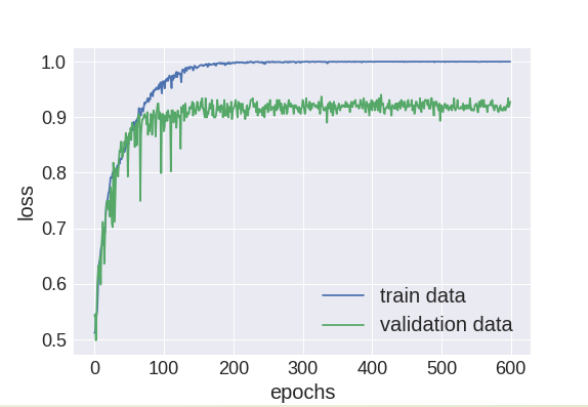
バックアップ

VGG16-like network

- VGG16は画像認識に強力なネットワーク
- 構成
  - 縦長なネットワーク
  - 入力: anode・cathode
  - 出力: trueとfalseそれぞれの確率
- 結果
  - Accuracy ~ 92%
    cf) Hough: 89%
    Simple net.: 95%





ResNet-like network

- ResNetも画像認識に強力なネットワーク
- 構成
  - 横長なネットワーク
  - 入力: anode・cathode
  - 出力: trueとfalseの確率
- 結果
  - accuracy ~ 92%
    cf) Hough: 89%
    Simple net: 95%
    VGG16-like: 92%