

# 「人工知能」を用いた研究の紹介

東京大学 素粒子物理国際研究センター

田中 純一

ICEPP大学院進学ガイダンス 2024年5月25日

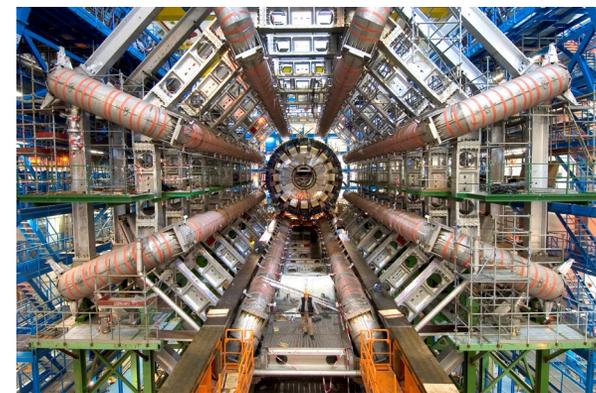
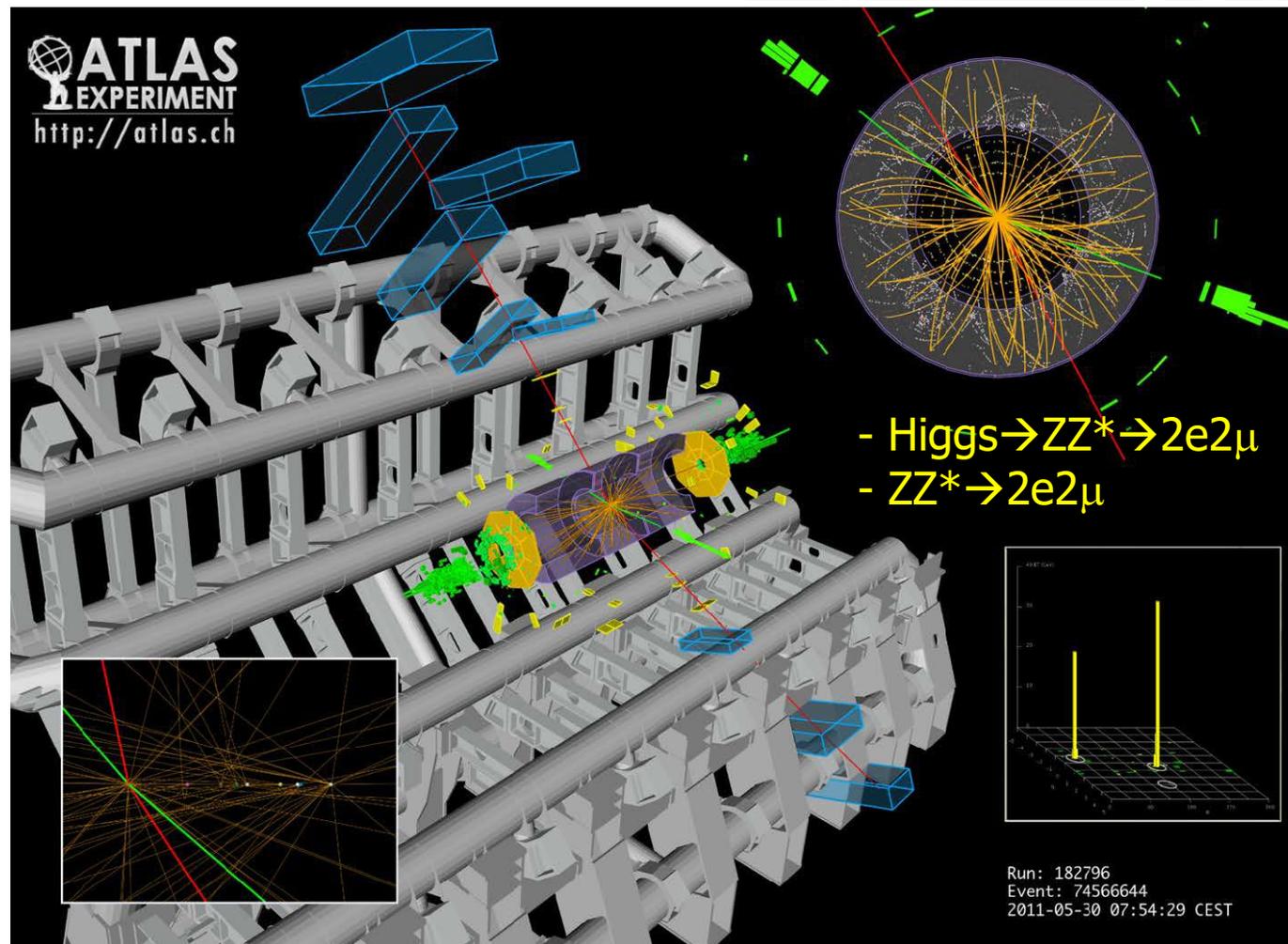
# 素粒子実験と人工知能

素粒子実験: 新粒子・新現象の発見や物理検証

2つの電子 2つのミュオン粒子

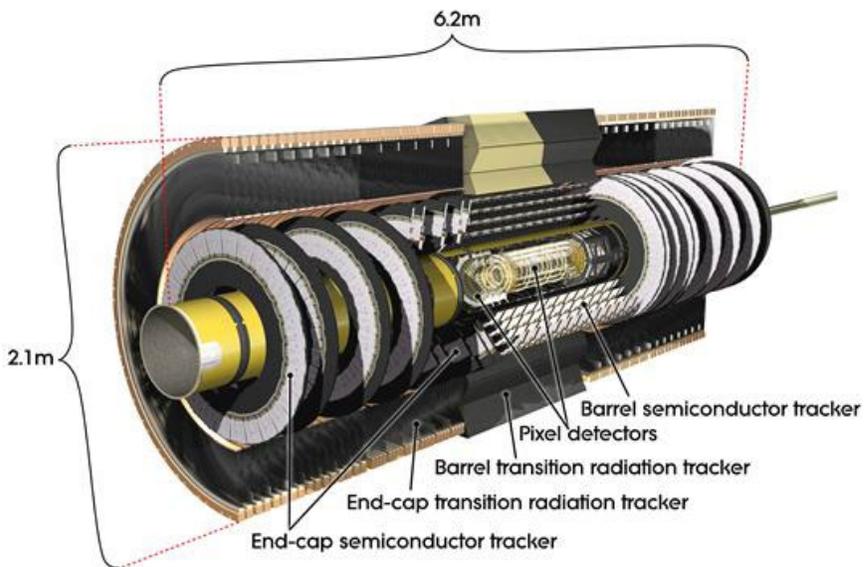
- 何をしているのか？
  - 「事象」(イベント) → これは何？
  - 「オブジェクト」 → これは何？
  - 「オブジェクト」 → より正しく再構成しよう！

人がやっていることは  
多くの場合人工知能に置き換えられる

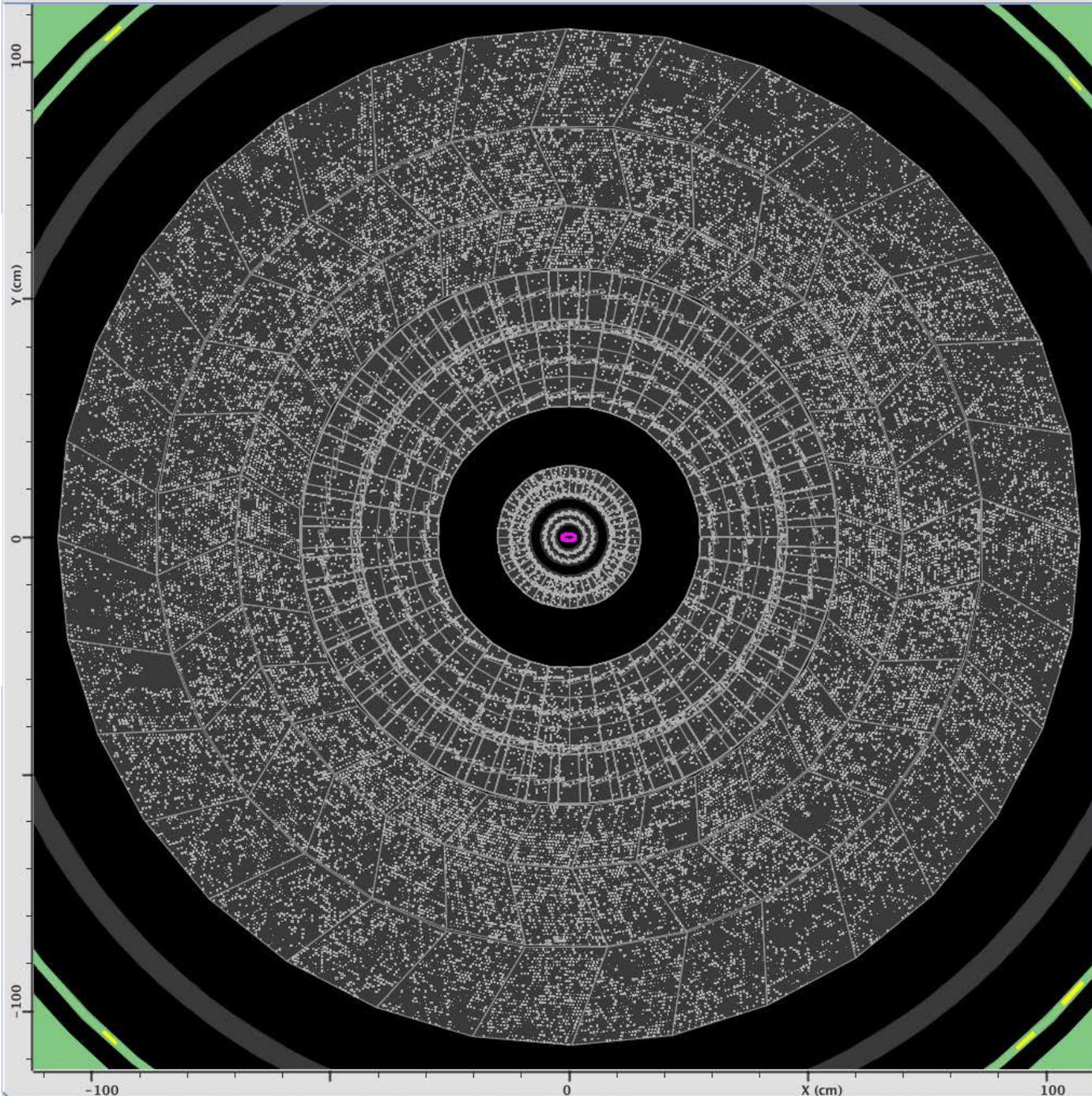


# 荷電粒子の再構成

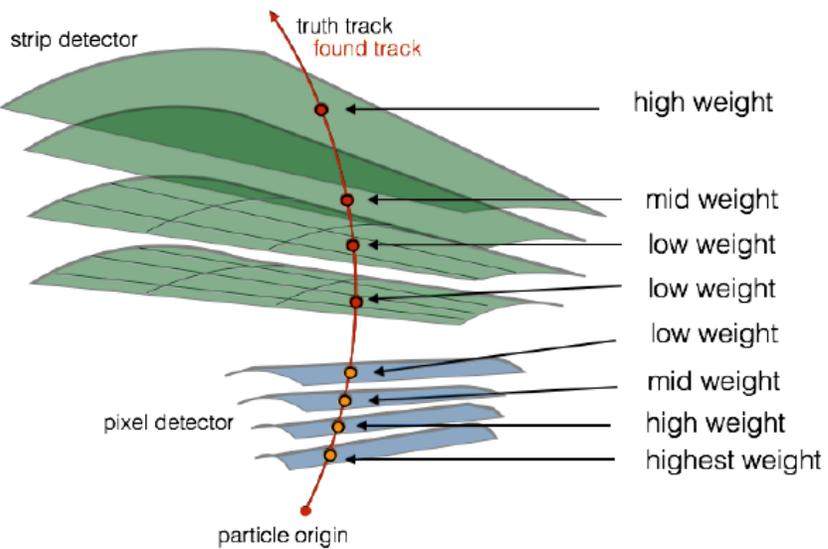
ATLAS内部飛跡検出器



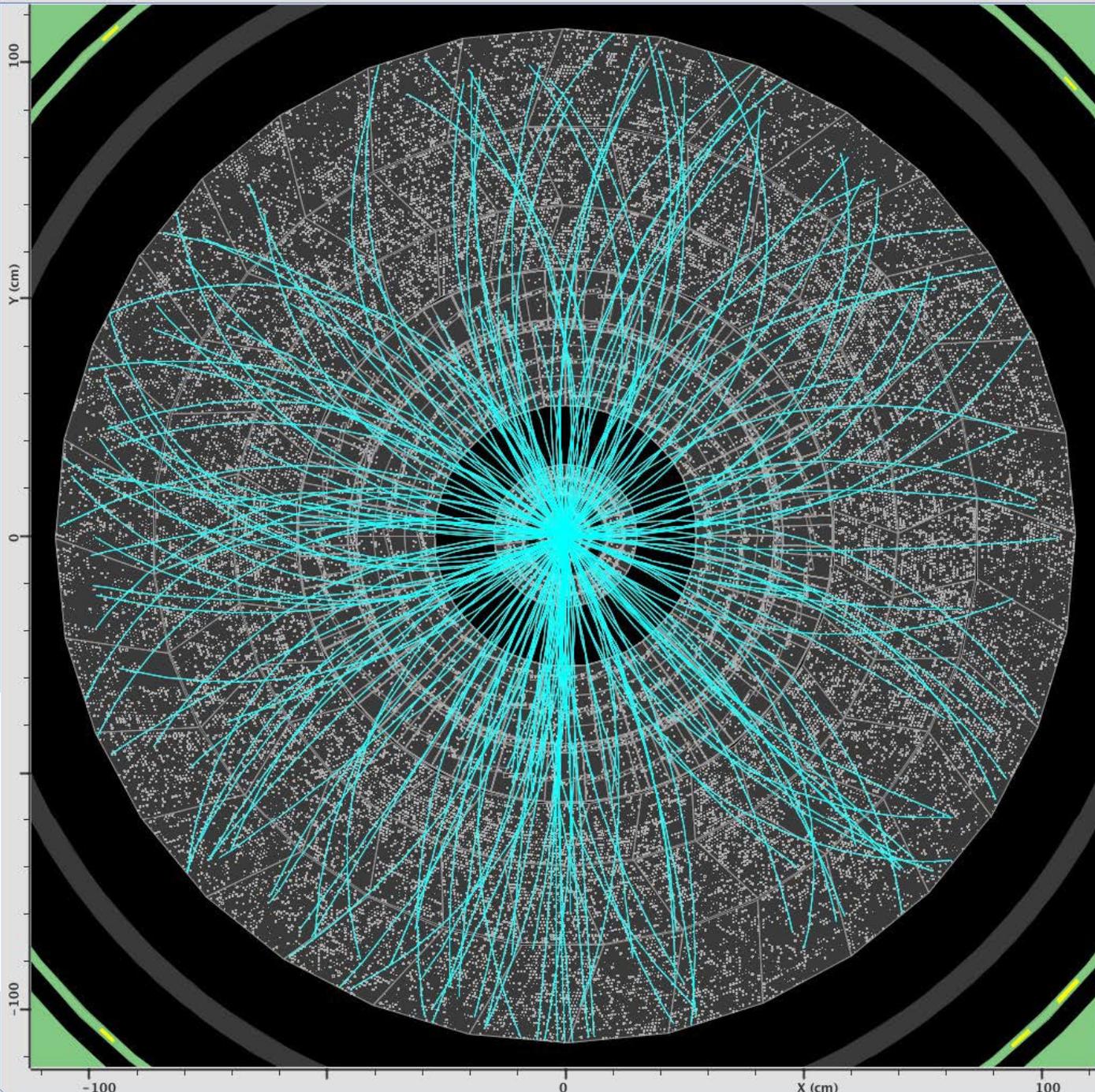
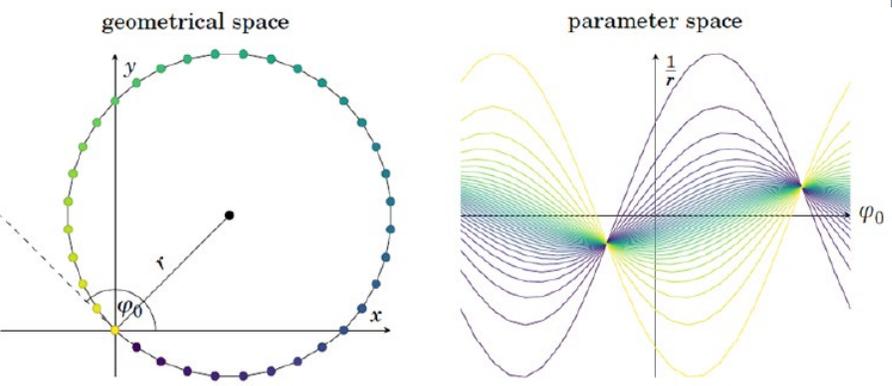
- 電荷を持った粒子が「点」を残していく.
- 磁場のため、粒子は曲がる.
- 物理法則を知っているので  
その知識を使って再構成できる。

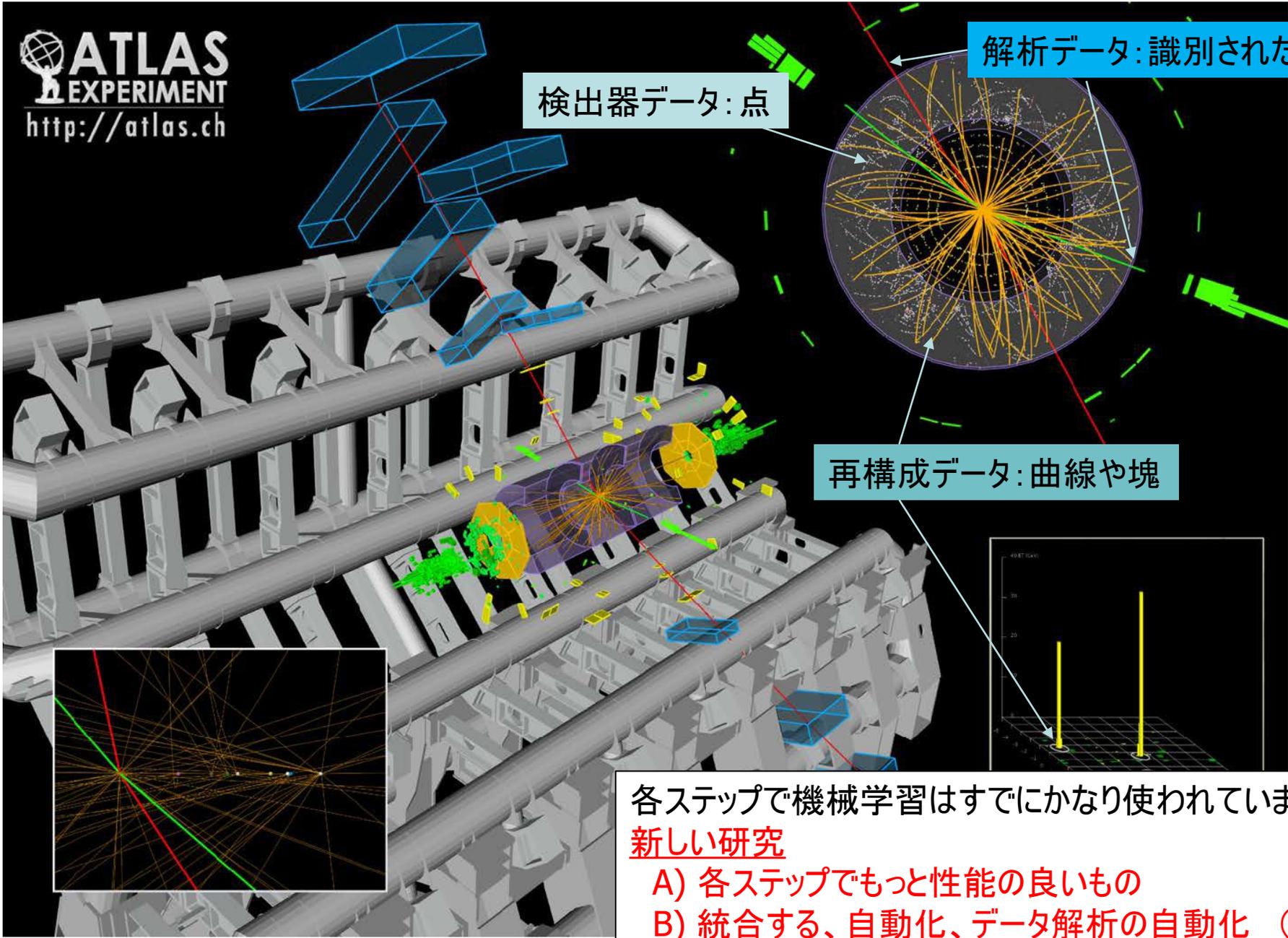


# 荷電粒子の再構成

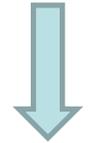


## Hough変換



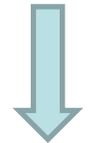


検出器データ



再構成

再構成データ



粒子識別

解析データ



解析・検定

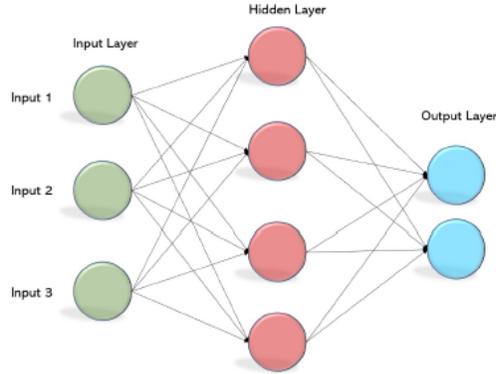
論文+学術データ



将来?

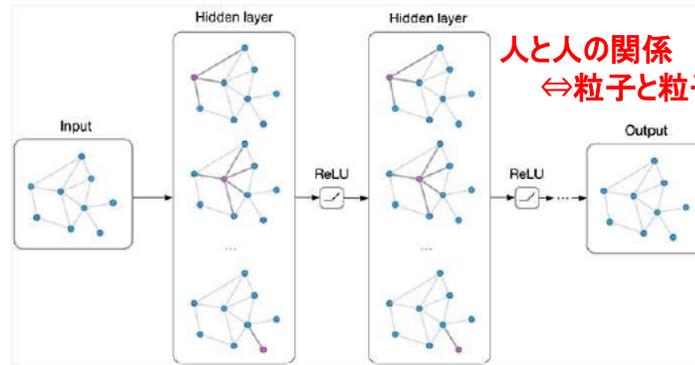
各ステップで機械学習はすでにかなり使われています  
新しい研究  
 A) 各ステップでもっと性能の良いもの  
 B) 統合する、自動化、データ解析の自動化 (夢?)

### Multi-layer perceptron (MLP)



From: <https://becominghuman.ai/multi-layer-perceptron-mlp-models-on-real-world-banking-data-f6dd3d7e998f>

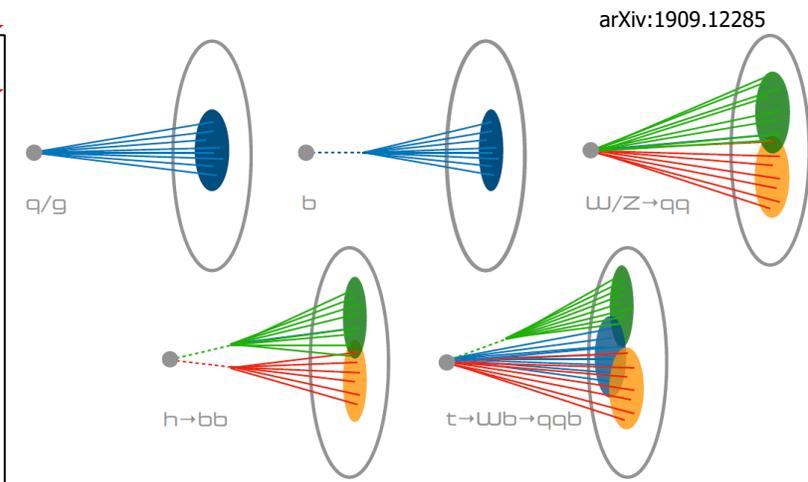
### Graph neural networks (GNNs)



人と人の関係  
⇔ 粒子と粒子の関係

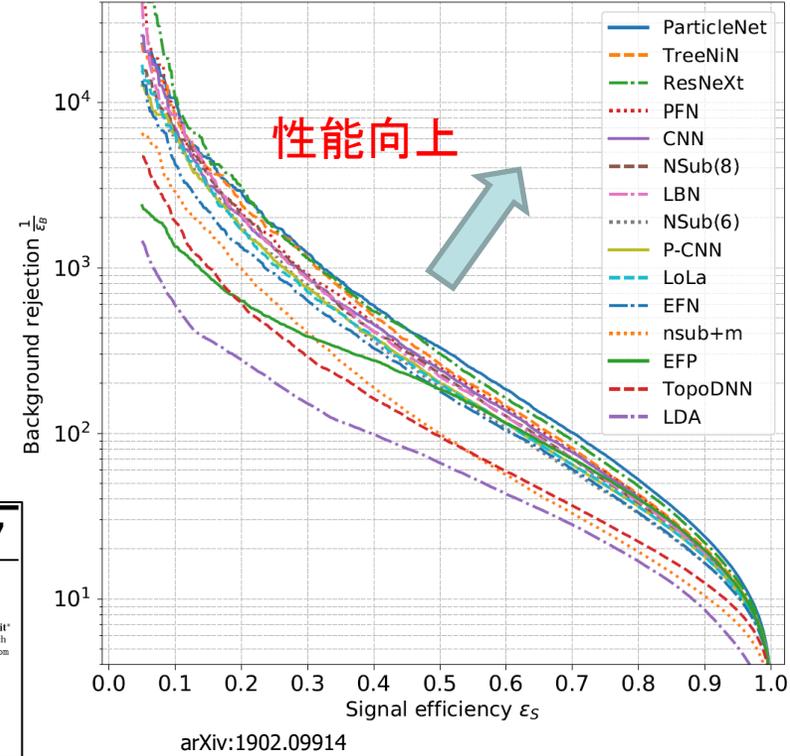
From: [https://theaisummer.com/Graph\\_Neural\\_Networks/](https://theaisummer.com/Graph_Neural_Networks/)

“Scaling law”に従う  
(パラメータ数、データセットサイズ、予算に対してべき乗則)

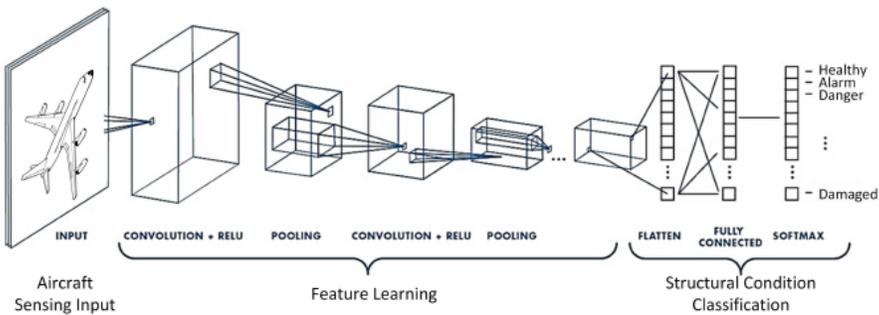


arXiv:1909.12285

### トップワークの識別性能



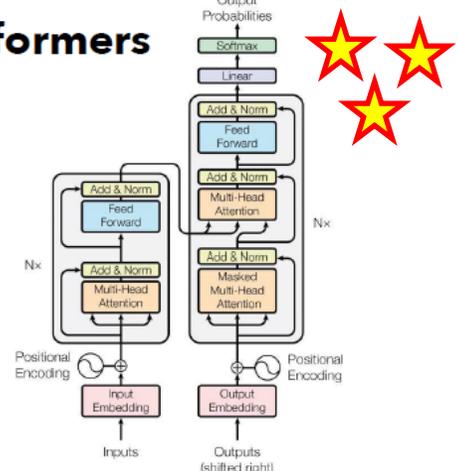
### Convolutional neural networks (CNNs)



From: [Tabian et al., “A Convolutional Neural Network for Impact Detection and Characterization of Complex Composite Structures,” Sensors 19(22), 2019]

AlexNet (2012) by Hinton’s team

### Transformers



From: <https://pytorch.org/tutorials>

### Attention Is All You Need 2017

- Ashish Vaswani\* Google Brain avaswani@google.com
- Noam Shazeer\* Google Brain noam@google.com
- Niki Parmar\* Google Research nikip@google.com
- Jakob Uszkoreit\* Google Research usz@google.com
- Llion Jones\* Google Research llion@google.com
- Aidan N. Gomez\*<sup>1</sup> University of Toronto aidan@ca.toronto.edu
- Lukasz Kaiser\* Google Brain lukaszkaiser@google.com
- Illia Polosukhin\*<sup>1</sup> illia.polosukhin@gmail.com

阪大IDS: 中島悠太先生のスライドから

2012年「ヒッグス発見」と「AIブーム再燃」  
2022年「生成AI元年」

## 粒子識別等の性能改善(識別問題)

- b-tagging, c-tagging, tau-ID, q/g tagger
- W/Z, Top, Higgs tagger
- (Low  $p_T$ ) electron, (low  $p_T$ ) muon etc.
- 信号事象と背景事象の分類
- Particle flow



“ChatGPT 3.5”の出現 (2022年11月)

## シミュレーション

- 検出器シミュレータ (Geant4の代替→高速化)
- 物理現象のシミュレータ: ジェット生成

Foundation model

LLM (Large Language Model)

転移学習は使える？

ATLAS実験のデータ量は膨大

## ビッグデータから新粒子を発見できるのか？

- 異常検知

## 科学するAI・オートメーション化(自動運転) etc.

- 説明責任 (Explainable AI), 解釈可能 (Interpretability)
- 物理法則、対称性などの抽出
- 素粒子実験の一連の流れを(半)自動化するようなシステム: 人と人の連携 → AIとAIの連携  
(→ **微分可能なプログラム**を作る)

どの研究室でも出来ます。

**素粒子物理も人工知能(データサイエンス)も研究したい方、大歓迎！**