

# 海岸海洋工学におけるニューラル ネットワーク応用研究の変遷

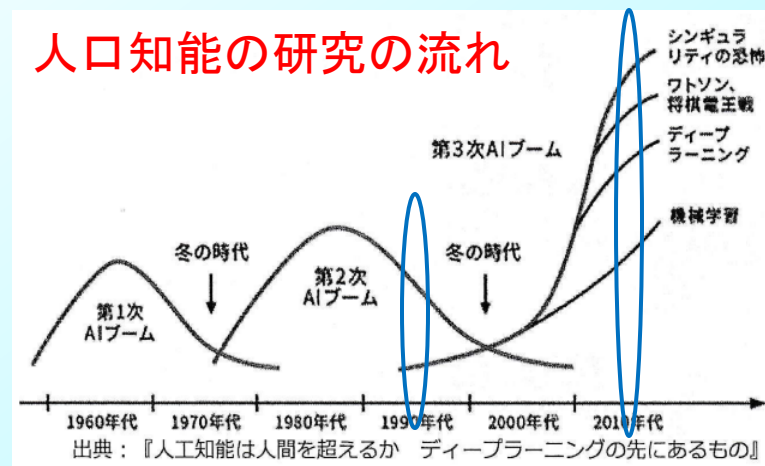
京都大学名誉教授  
(株) ハイドロ総合技術研究所  
東亜建設工業(株)

間瀬 肇

# 発表内容<sub>1</sub>

発表者の研究時期

- ◆ 1960年代以降，人工知能の研究が始まり，2度の「冬の時代」を経て，近年では関連研究が急速に活発化している.



- ◆ 本発表では，NNを用いた海岸海洋工学における研究の発展過程を概観するとともに，機械学習の基本的な特徴について整理・解説する.
- ◆ まず，人工知能・機械学習・NN・DLの相互関係を示し，代表的な機械学習手法を紹介する.

# 発表内容<sub>2</sub>

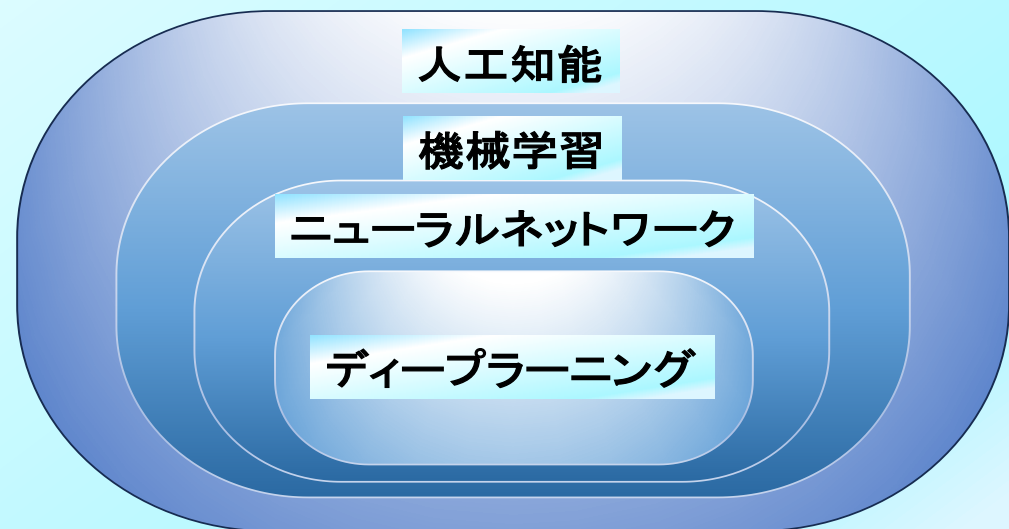
- ◆ 次に、海外における海岸海洋工学分野での機械学習の研究動向を概観し、日本国内で実施された具体的な研究題目をリストアップすることで、応用事例を示す.
- ◆ さらに、いままで発表者が取り組んだ研究事例を通じて、機械学習の具体的な活用方法を紹介する.
- ◆ 最後に、研究目的に応じた適切な機械学習手法の選択が重要であることを述べる.

# 人工知能 AI > 機械学習

- ◆ 人工知能：人間が行っている知的作業をコンピュータで模倣したソフトウェアやシステム
  - ◆ 汎用AI：人間の感性や判断能力を持たせる技術
  - ◆ 特化型AI：ある特定の作業において人間と同等かそれ以上の処理能力を持たせる技術，人間が経験をして学習することをコンピュータで実現しようとする技術
- ◆ 機械学習：
  - ◆ 特化型AIが処理能力を向上させるための手法
  - ◆ データから反復的に学習を行い，パターンや特徴を見つけ出して未知のデータに対して予測を行う

# 機械学習, ニューラルネットワーク

- ◆ ニューラルネットワーク NN は, 機械学習の一つであり, また, 人工知能を支えるデータ分析手法の一つである.
- ◆ 入力されたデータをもとに, コンピュータが自動で学習し, データの背景にあるルールやパターンを見つける.
- ◆ ディープラーニング(深層学習, DL)は, 深い中間層を有する NN である. 生成 AI は何億ものパラメータを持つ DL である.



# 機械学習

- ◆ 機械学習は、教師あり学習、教師なし学習、強化学習という3つの学習方法に分けられる。教師あり学習と教師なし学習を組み合わせた半教師あり学習もある。
- ◆ 教師あり学習は、正解があらかじめ与えられている学習データに合うように、モデルを構築していく学習方法のことである。教師あり学習は、精度の高い結果を出せるように学習させることができる。
- ◆ 教師なし学習は、AI にデータのみを与え、それをもとに AI が自己で反復学習し、モデルを構築していく。

# 教師あり学習

## a) ニューラルネットワーク

NNとは、人間の脳にあるニューロンという神経細胞のつながりをコンピュータ上で設計し、入力と出力がセットになった学習ができるプログラムのことで、図-2に示すように、入力層、中間層、出力層の3層からなる。NNを多層(深層)構造にしたものが、ディープニューラルネットワークといい、それを活用した機械学習モデルの構築を行うプロセス全体をDLという。

## b) ロジスティック回帰

ロジスティック回帰は、いくつかの要因(説明変数)をもとに、ある事象が発生する確率を判別する分析のことで多変量解析の手法の1つである。

## c) 決定木

決定木は、教師データをもとに木の枝のようなツリー構造を用いてデータを分類する手法のことである。分類結果が可視化されるため、要因と結果の影響度合いを視覚的に判断できる。

## d) 線形回帰

線形回帰は、1つ以上の説明変数を使用して目的変数を予測する際に用いられる手法である。

## e) サポートベクターマシン

サポートベクターマシンは、二項分類や回帰分析に使用されるアルゴリズムの一種で、2つのデータを分離する境界と各データとの距離を意味する分離マージンに着目し、2つのクラス間の分離マージンを最大化する超平面により分類タスクを実行する。

## f) 判別分析

判別分析は、既存データの分布からデータ分類の基準となる判別関数を導き出す手法のことである。特徴量のデータ特性をもとに、特定の対象とそうでない対象にグループ分けする。判別分析により判別関数が明確になるため、分析以後に得た未知のデータについても、どちらのグループに分類されるのかを判別することが可能である。



# 教師なし学習

## a) 混合ガウスモデル

混合ガウスモデルは、正規分布の線形重ね合わせを用いたモデルのことで、データポイントがどのように分布しているかというパラメータを推定し、データセットをクラスターごとに分ける、データセットの確率密度分布を得るといったことが可能である。

## b) 隠れマルコフモデル

隠れマルコフモデルは、ある事象が観測されない(隠れた)状態をもつマルコフ過程にあると仮定し、限られたデータ・情報から、直接観測できない元の事象の状態を予測する。自然言語処理、パターン認識、音声認識などの分野でよく用いられる。

## c) 自己組織化マップ

自己組織化マップとは、クラスタリング手法の一つで、NNに基づき、入力データの類似度をマップ上での距離として表現し、自動的に分類を行う。自己組織化マップを用いれば、人間では識別が困難な高次元データの中に存在する特徴を予備知識なしにクラスタリングすることが可能である。

# 半教師あり学習

教師あり学習と教師なし学習を組み合わせた手法のことで、教師なし学習を行った上で教師あり学習で復習する、教師あり学習→教師なし学習→教師あり学習という順に学習するといった組み合わせ方法がある。



# 教師なし学習

## a) 混合ガウスモデル

混合ガウスモデルは、正規分布の線形重ね合わせを用いたモデルのことで、データポイントがどのように分布しているかというパラメータを推定し、データセットをクラスターごとに分ける、データセットの確率密度分布を得るといったことが可能である。

## b) 隠れマルコフモデル

隠れマルコフモデルは、ある事象が観測されない(隠れた)状態を、観測されたデータ・情報から、直接観測できない元の事象の状態を推定し、音声認識、パターン認識、音声認識などの分野でよく用いられる。

## c) 自己組織化マップ

自己組織化マップは、ニューラルネットワークの一つで、NNに基づき、入力データの類似度をマップ上の距離で表現し、分類を行う。自己組織化マップを用いれば、人間では識別が困難な特徴を予備知識なしにクラスタリングすることが可能である。

海岸海洋工学においては教師あり学習が多い

## 半教師あり学習

教師あり学習と教師なし学習を組み合わせた手法のことで、教師なし学習を行った上で教師あり学習で復習する、教師あり学習→教師なし学習→教師あり学習という順に学習するといった組み合わせ方法がある。

# 海外の海岸海洋工学における ニューラルネットワーク応用研究<sup>1</sup>

Juan adnd Valdecantos (2022) にニューラルネットワークの海岸海洋工学における応用研究がまとめられている

## ◆ 波高予測

ニューラルネットワークの最も代表的な応用分野のひとつである。近年、LSTM(長短期記憶)ネットワークが波高予測において高い精度を有する。

## ◆ 水位・潮汐・極値・波力の予測

水位や潮汐、波力の予測にも広く応用。NN が伝統的な調和解析と同等の精度を持ち、必要なデータ量が少ないことが示された。また、長期予測やデータ欠損の補完において高い性能を発揮している。

## ◆ 防波堤・港湾・パイプラインへの応用

構造物の安定性評価に应用されている。1995年のMaseらの人工被覆材の安定性評価が海洋海岸工学での最初の論文と書かれている。

# 海外の海岸海洋工学における ニューラルネットワーク応用研究<sup>2</sup>

- ◆ 2005年以降, NNとファジィ論理, 遺伝的アルゴリズムとの組み合わせによるハイブリッドモデルが登場した.
- ◆ 港湾内の波の静穏度やエネルギー分布の予測にも NN が活用され、従来の数値モデルよりも高速かつ高精度な結果が得られている.
- ◆ 2022年には, パイプ内の熱応答や溶接プールの特性予測にも NN が応用され, 設計最適化に貢献している.

# 日本における ニューラルネットワーク応用研究

海岸工学論文集データベースから、2020年までのNN関連研究をリストアップ

1. ニューラルネットワークを用いた捨石防波堤の安定性評価 (1994)
2. ニューラルネットワークによる生態系環境評価システムの開発 (1994)
3. ニューラルネットワークを用いた消波ブロック被覆工の変形量評価 (1995)
4. ニューラルネットワークを利用した環境評価モデルに関する研究 (1995)
5. ニューラルネットワークによる捨石防波堤の安定性に及ぼす支配要因の影響度評価 (1996)

- 
38. アンサンブル学習ニューラルネットワークを用いた富山湾沿岸波浪推算モデルの開発 (2020)
  39. フナフチ環礁フォンガファレ島を対象としたディープラーニングによる海岸堆積物分類モデルの構築 (2020)
  40. 深層学習手法を用いた時系列波圧および加速度の推定に関する一検討 (2020)
  41. Group Method of Data Handlingによる1週間先波浪予測法の適用 (2020)
  42. 畳み込みニューラルネットワークによる台風気象場を用いた高潮の時系列予測と長期評価 (2020)

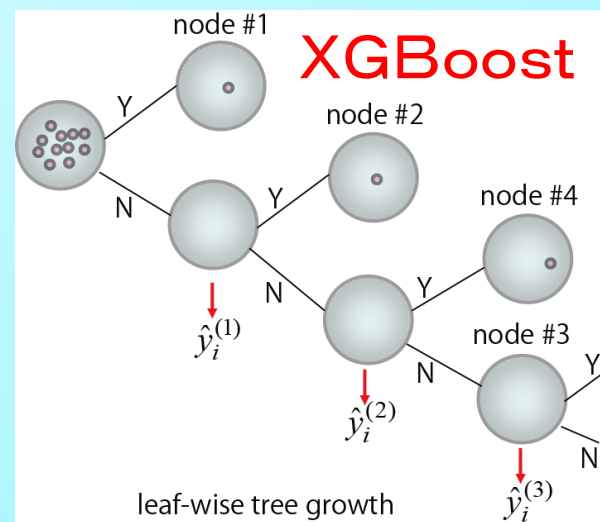
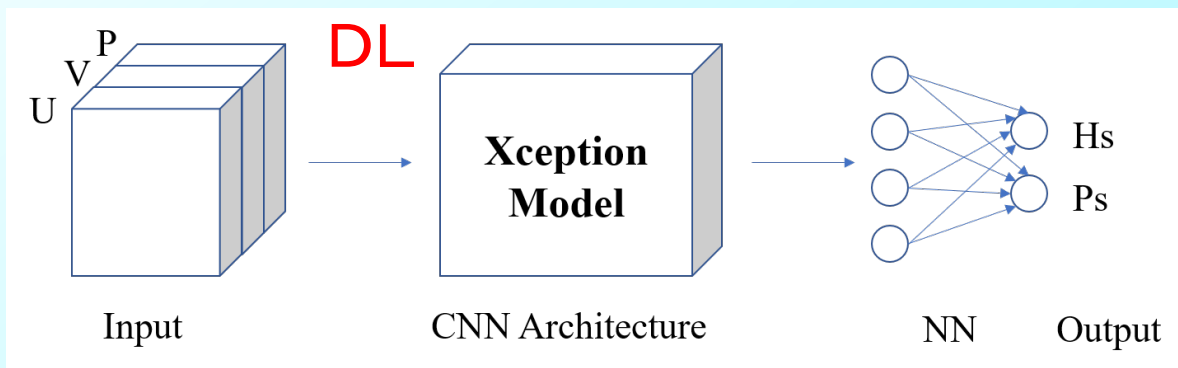
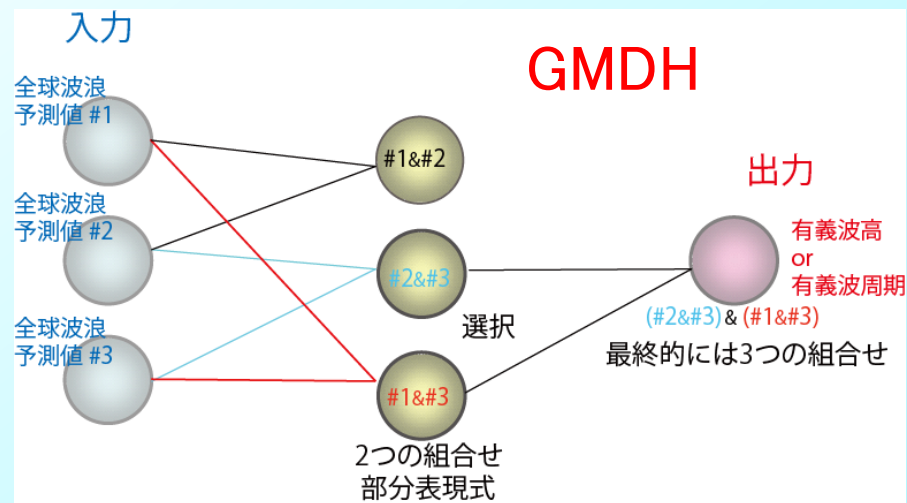
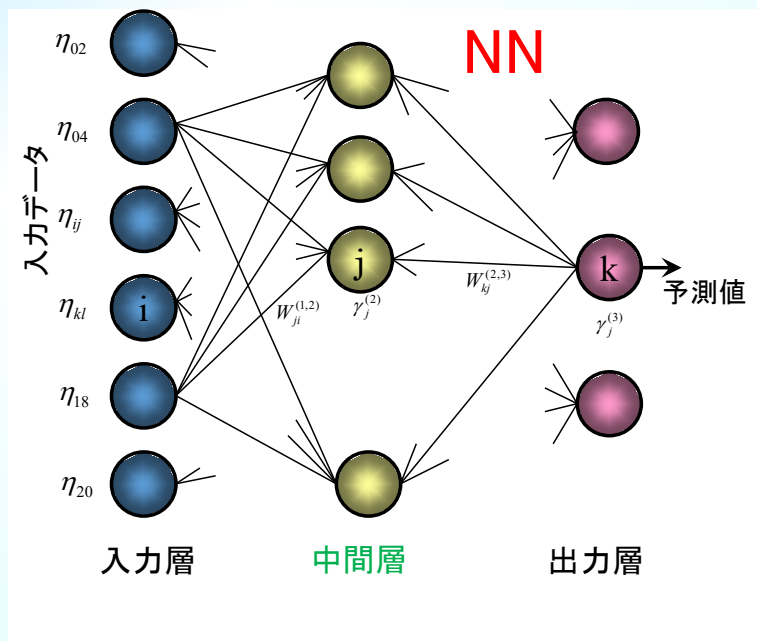
◆ 波高の予測, 水位・潮汐・極値・波力の予測, 防波堤・港湾・パイプラインへの応用に加えて, 底質判別, 台風経路, 浮遊ゴミ, 植物プランクトンに関連した研究

# 発表者の ニューラルネットワーク応用研究<sup>1</sup>

1. ニューラルネットワークを用いた捨石防波堤の安定性評価 (1994)
3. ニューラルネットワークを用いた消波ブロック被覆工の変形量評価 (1995)
5. ニューラルネットワークによる捨石防波堤の安定性に及ぼす支配要因の影響度評価 (1996)
13. ニューラルネットワークを用いた大阪湾内への来襲津波のリアルタイム予測に関する研究 (2007)
17. ニューラルネットワーク法による伊勢湾内浮遊ゴミ集積場所の予測可能性の検討 (2011)
20. 確率台風モデルとニューラルネットワークを用いた台風の将来変化を考慮した高潮予測 (2014)
25. 日本海上の気象データを用いたニューラル ネットワークによる日本海沿岸の波浪予測 (2018)
30. Wave Prediction in the Sea of Japan by Deep Learning Using Meteorological Data (2019)
33. 全球波浪予報値とGMDHを用いる日本沿岸1週間先波浪予測法の適用性 (2019)
35. 全球波浪予報値のニューラルネットワーク変換による高精度1週間波浪予測の試み (2019)
40. 深層学習手法を用いた時系列波圧および加速度の推定に関する一検討 (2020)
41. Group Method of Data Handlingによる1週間先波浪予測法の適用 (2020)

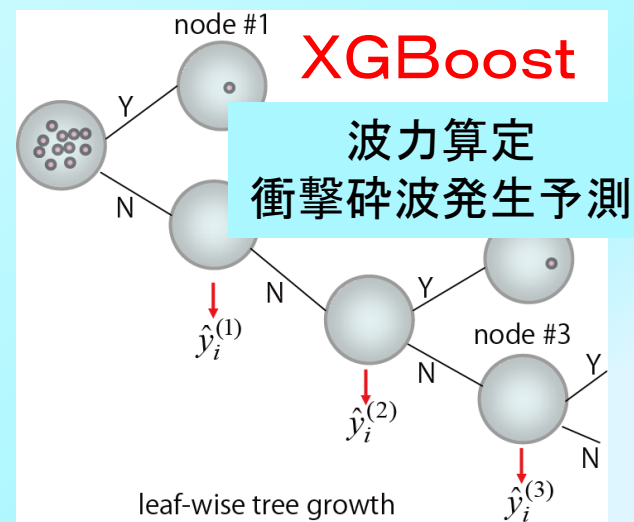
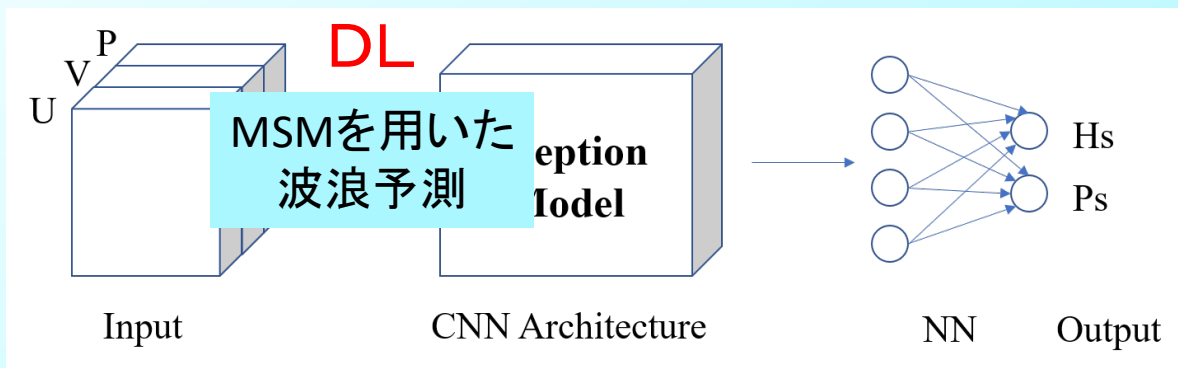
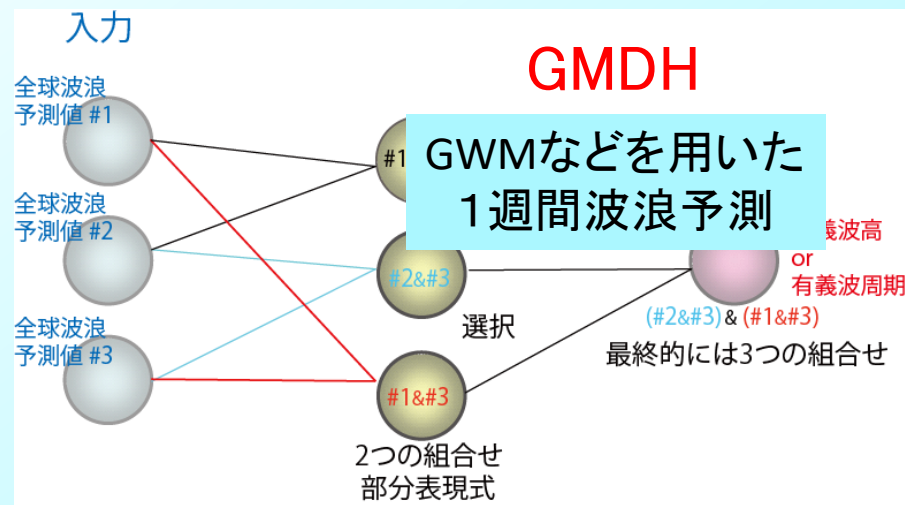
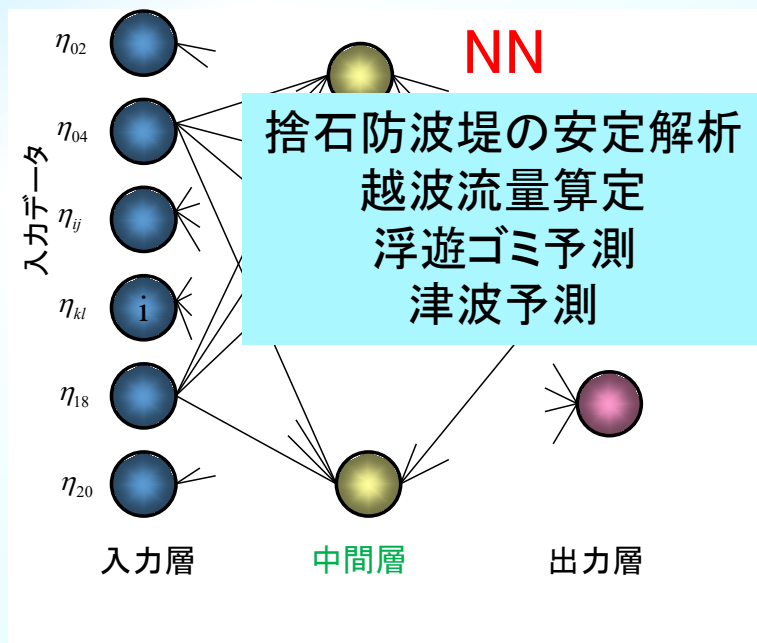
- ◆ **NN関連の研究論文は、2017年以降15編**
- ◆ **使用したのは、オリジナルのNN, DL(Xception), GMDH, XGBoost**
- ◆ **捨石防波堤安定性, 津波, 波浪, 高潮, 浮遊ゴミ集積場所, 衝撃波力発生等の予測**
- ◆ **最初のジャーナル論文は、1995年ASCEの捨石防波堤安定性**

# 発表者の ニューラルネットワーク応用研究<sup>2</sup>



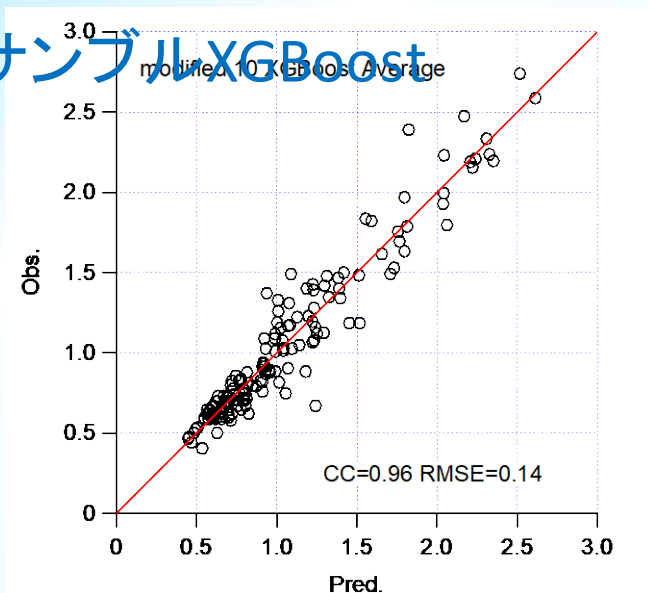


# 発表者の ニューラルネットワーク応用研究<sup>2</sup>

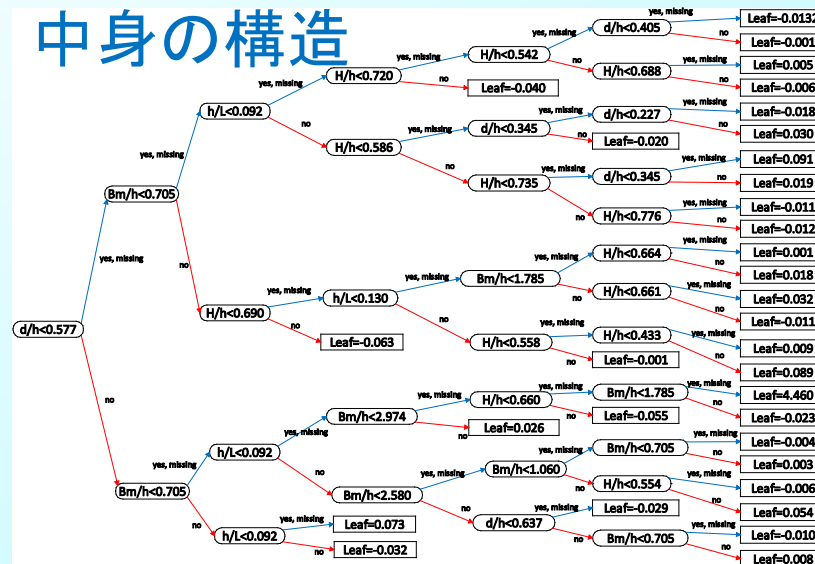




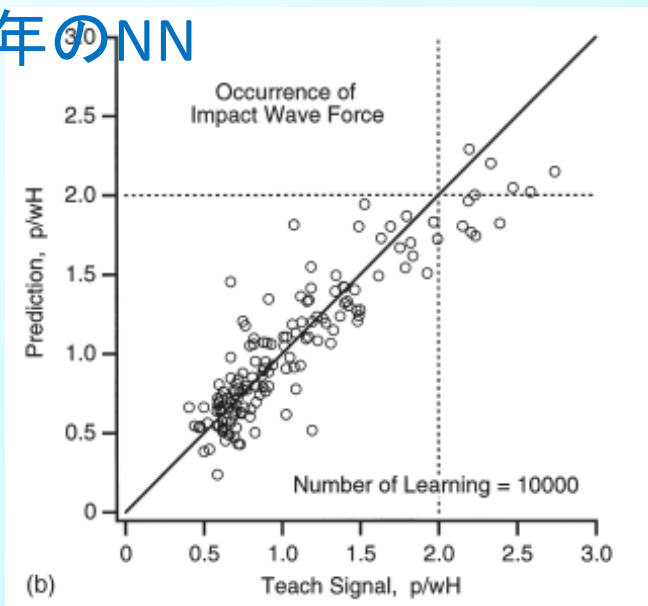
# アンサンブルXGBoost



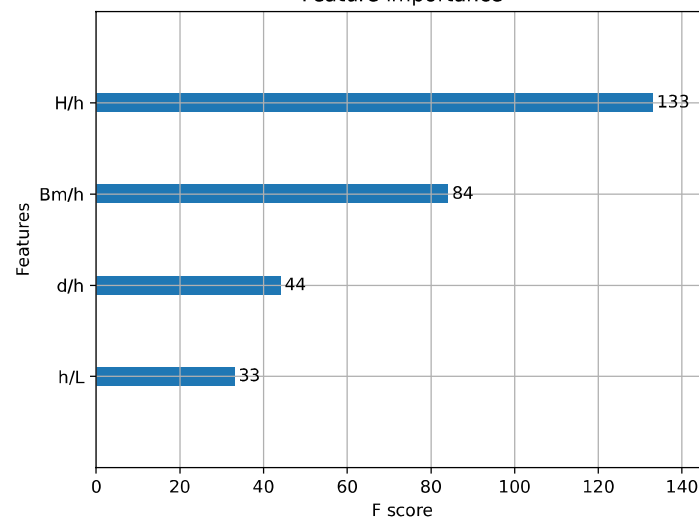
## 中身の構造



## 1995年のNN

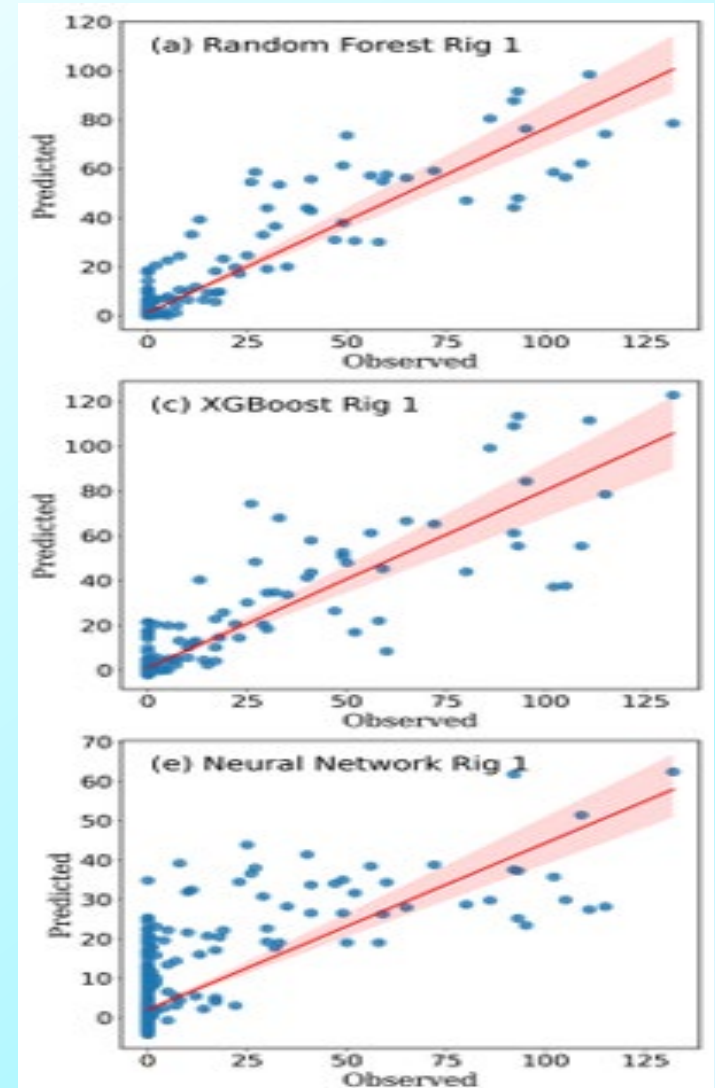


## 入力パラメータの重要度



# 目的に応じた機械学習の選択

- ◆ McGladeら(2025)は、**現地海岸護岸の越波の発生判定に3つの機械学習(ランダムフォレスト, XGBoost, ニューラルネットワーク)**を用いてその精度を調べた.
- ◆ 図は、3つの手法による越波発生回数の観測値と予測値を比較したものである. こうした比較より、**ランダムフォレストが最も精度が良いこと**を報告している.
- ◆ **利用可能なプログラムが複数存在する場合には、特定の実装に依存することなく、複数の手法を試行・比較することで、より客観的かつ妥当性の高い評価が可能となる.**



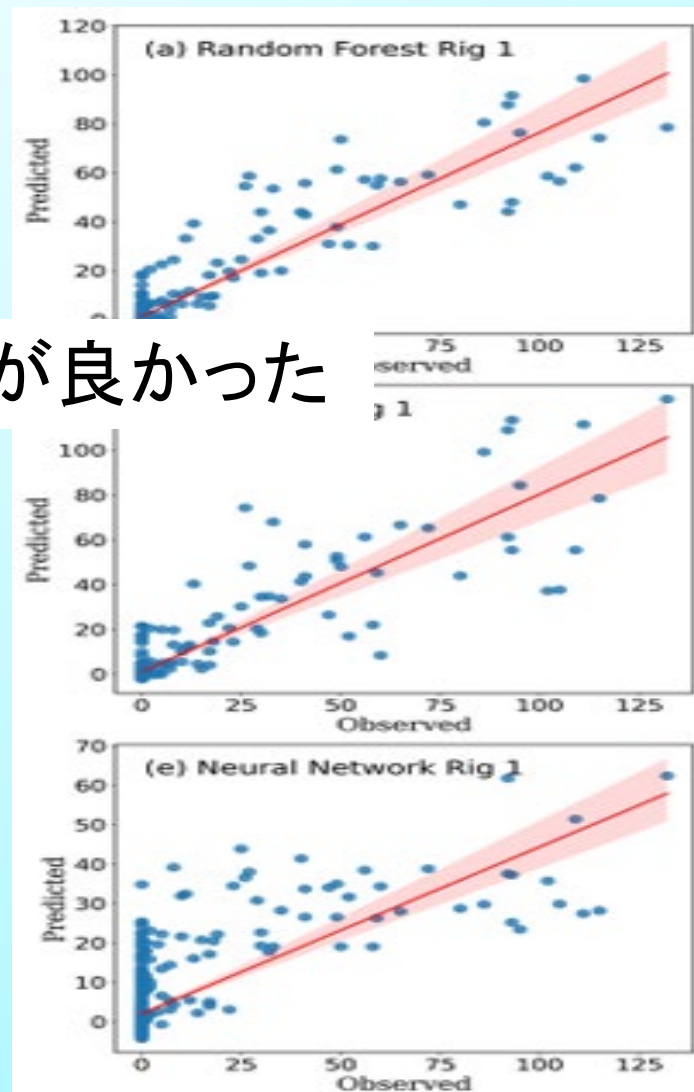
# 目的に応じた機械学習の選択

- ◆ McGladeら(2025)は、**現地海岸護岸の越波の発生判定**に3つの機械学習(ランダムフォレスト, XGBoost, ニューラルネットワーク)を用いてその精度を調べた。

サポートベクターマシーンも使うのが良かった

数の観測値と予測値を比較したものである。こうした比較より、**ランダムフォレストが最も精度が良い**ことを報告している。

- ◆ 利用可能なプログラムが複数存在する場合には、特定の実装に依存することなく、複数の手法を試行・比較することで、より客観的かつ妥当性の高い評価が可能となる。



# 実際に運用されているAI応用研究

限られた検索によるもので、もっとあると思われる

- ◆ JAMSTECと鹿児島大学による海岸漂着ごみの自動定量化(人工ごみ:瓶・缶・プラ; 自然ごみ:流木・海藻)
- ◆ 国土技術政策総合研究所による衛星画像を用いた海岸線モニタリング(侵食・堆積の長期変化把握),
- ◆ 北海道大学と寒地港湾空港技術研究センターブルーカーボン藻場のAI解析(高精度藻場判別)
- ◆ ハイドロ総研はスマホのカメラの撮影し, DLにより流速・流量計測 STIV
- ◆ その他, SWAN, Xbeach, Boussinesqモデルなどの計算結果を学習し, 高速近似モデルとして利用するサロゲートモデルがある.

# NN・AI の応用研究についての所感

- ◆ 機械学習手法Aを新規に開発し、それを用いて対象領域Bへの応用可能性を示すことを目的とした研究は少なく、
- ◆ 既存の機械学習手法Aを活用し、問題Bへの適用を試みた研究、その適用過程においてBに影響を与える要因の解明の研究が多い。
- ◆ 海外ジャーナル誌に毎月何十篇と論文が出てくる。
- ◆ 後に残る、引用される、使われる論文でないと、その他たくさんある中の一つで終わる。

# おわりに

- ◆ 機械学習手法は多岐にわたるが、**研究目的に適合した手法を適切に選定**することは、モデルの精度および汎化性能を確保する上で極めて重要.
- ◆ モデル選択やハイパーパラメータの設定は、一般に多くの**試行錯誤**を伴う探索的過程.
- ◆ 本分野において学術的・社会的に持続的価値を有する研究成果を創出するためには、**革新的かつ独創的なAI手法の提案**に加え、得られた成果が**広範な応用領域において有用**であることが求められる.