

令和2年11月18日

ニューラルネットワーク手法を 用いた1週間先の波浪予測

令和2年度中国地方建設技術開発交流会

金 洙列 (キム スーヨル)

熊本大学くまもと水循環・減災研究教育センター

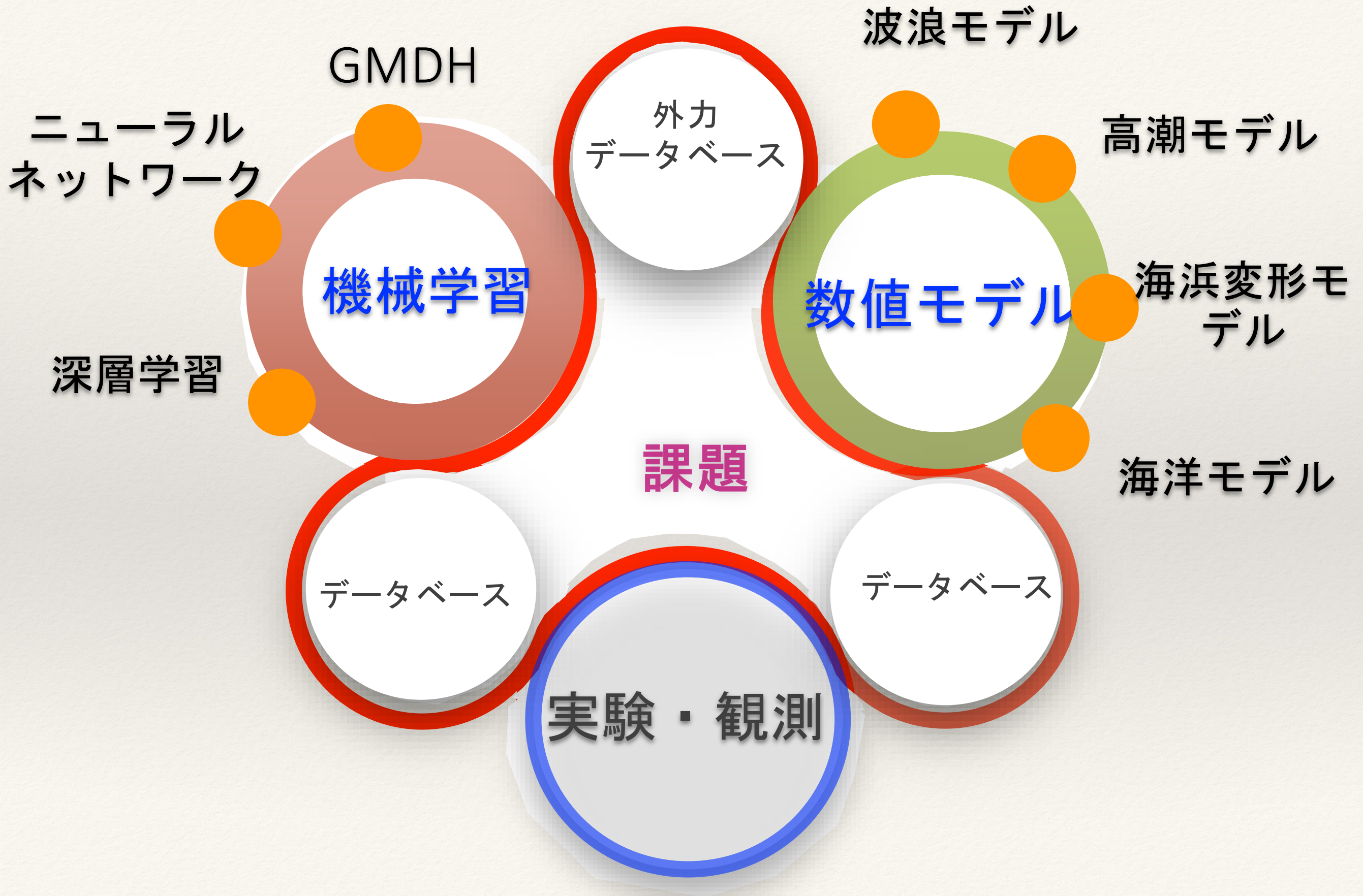
1週間先波浪予測の必要性？

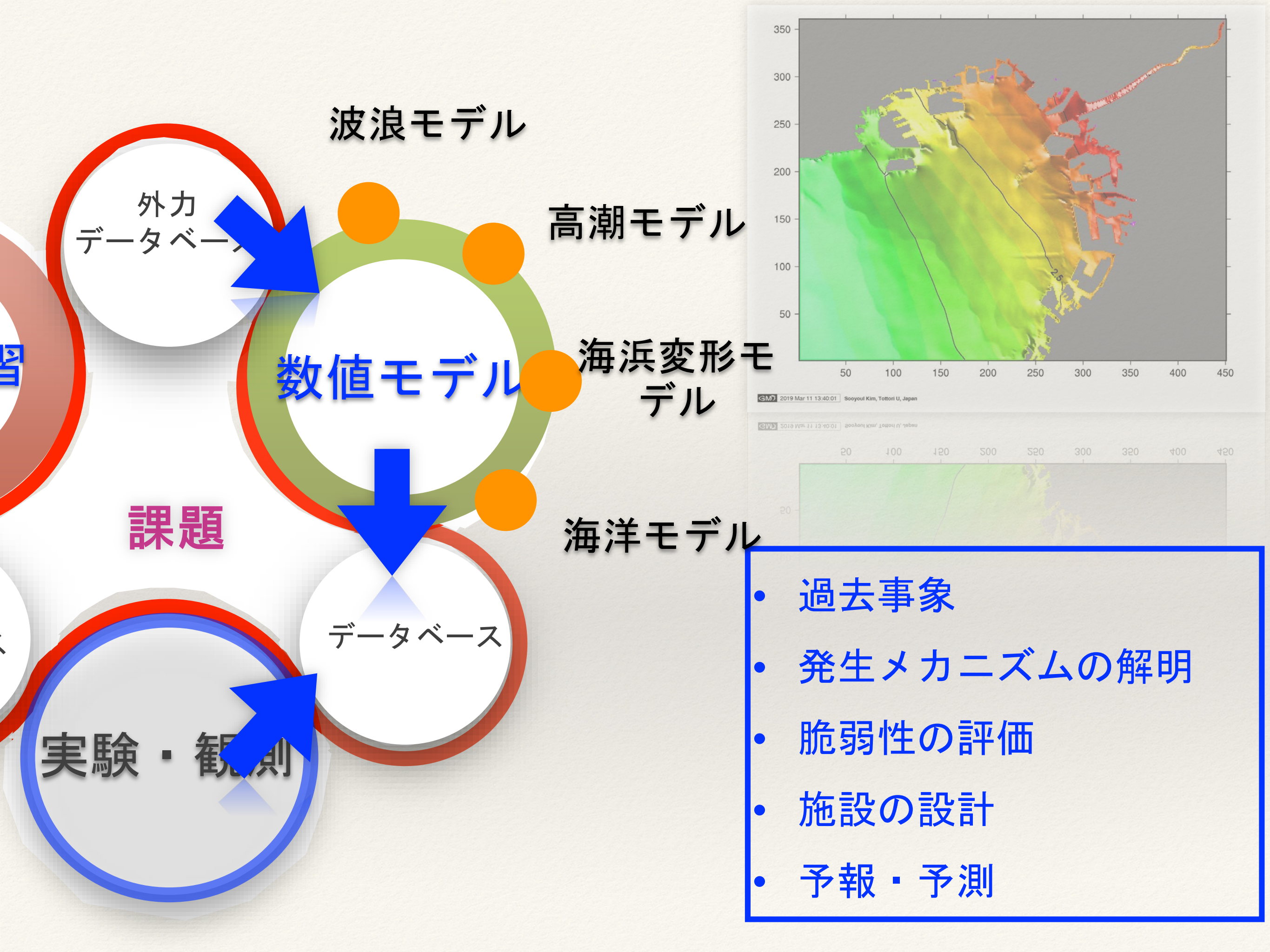
- ❖ 波浪予測は、港湾・海洋工事の作業実施および海水浴・サーフィン・ヨット等の海域利用などの判断などに用いられる。
- ❖ これらは、数時間から1日程度先の予測がよく用いられ、長くてもおおむね3日先までの短期予測があればよい。
- ❖ この短期予測に関する研究は、従来より多く実施されている。

1週間波浪予測の必要性？

- ❖ ケーソン据え付けなどの大規模海上工事，作業船やケーソン等の回航，洋上風力発電施設，沖合漁礁の設置など，工種によっては数時間から1週間先までの工程を考慮する必要がある．
- ❖ できるだけリードタイムの長い高精度の海象予測情報が求められる．
- ❖ 海上施工の可否は，現場海域の静穏度（0.5～1.0m以下の有義波高，8～10 s以下の有義波周期）から判断される．

海岸工学分野における課題の解決







ニューラル
ネットワーク

深層学習

GMDH

機械学習

外力
データベース

課題

データベース

実験・観測

- データベースを使用
- 時系列・最大値などの予測
- 過去事象の再現
- 将来の予測
- 予報

なにが違う？

機会学習

- ❖ 軽い
- ❖ 簡単
- ❖ ユーザ
 - ❖ 操作経験不要
 - ❖ 基礎知識不要

数値モデル

- ❖ 重たい
- ❖ 複雑
- ❖ ユーザ
 - ❖ 操作経験必要
 - ❖ 基礎知識必要

現状の1週間先波浪予測

- ❖ 1週間先までの波浪中期予測
 - ❖ 全球波浪数値モデルによって実施
 - ❖ 日本気象庁 (JMA GWM)
 - ❖ アメリカ海洋大気庁 (NOAA WW3)
 - ❖ ユーロッパ中期予報センター (ECMWF ERA5)

❖ 空間解像度：0.5度 (約50km)

❖ 最大 1 週間先

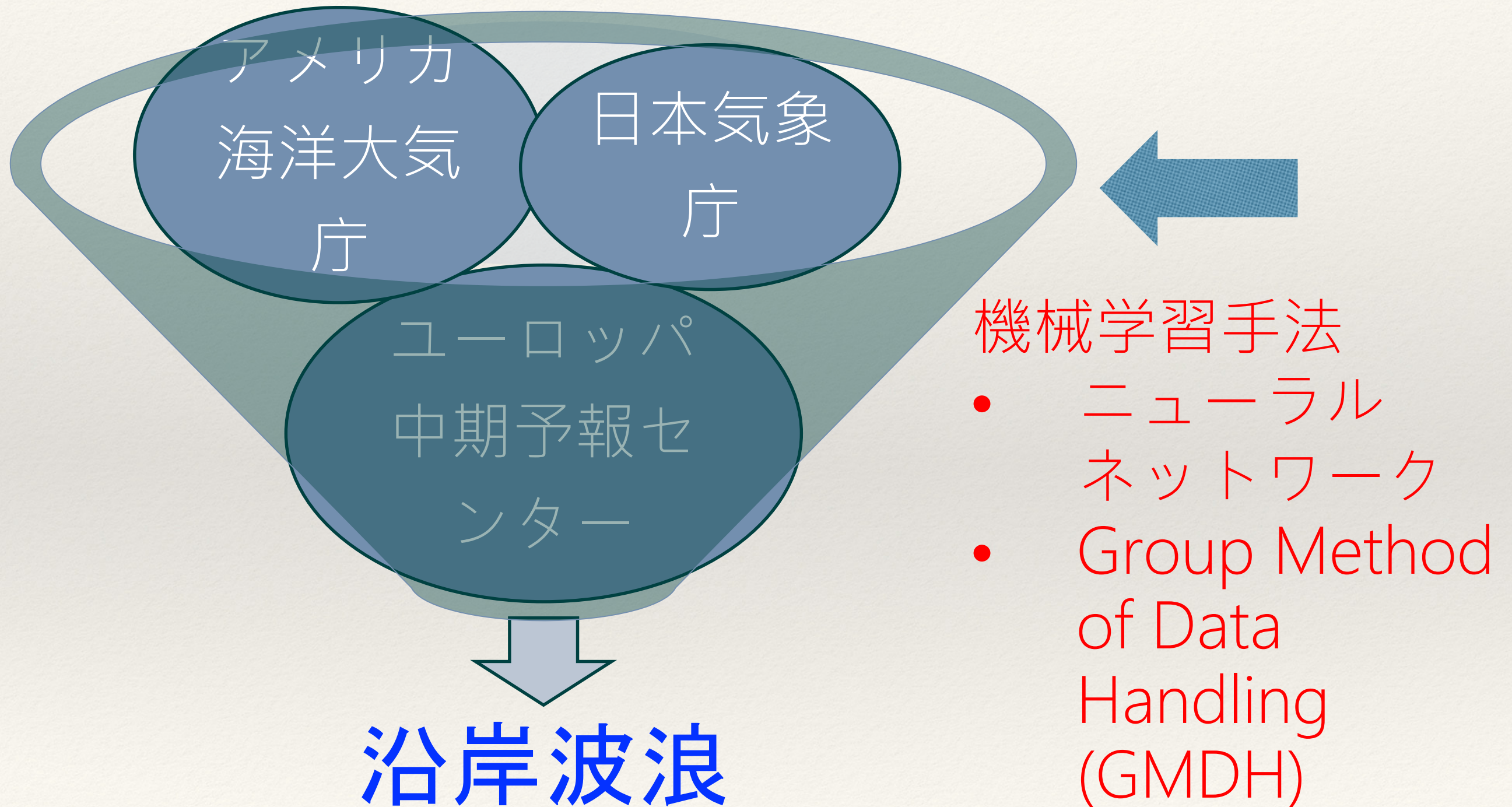
❖ 全球大気モデルの風場

名称	JMA GWM	NOAA WW3	ECMWF HRES-WAM
格子間隔 計算領域	0.5° X 0.5° 全球 75° N - 75° S	0.5° X 0.5° 全球 77.5° N - 77.5° S	0.125° X 0.125° 全球 (計算: 90° N - 78° S) (出力: 90° N - 90° S)
スペクトル諸元 予報のサイクル 予報時間の長さ 予報時間の間隔	25 周波数, 36 方向 1日 4 回 264 時 (12 UTC), 132 時 (他) 毎 3 時	50 周波数, 36 方向 1日 4 回 0 時から 180 時 毎時 (0 時間から 120 時間まで) 毎 3 時 (123 時間から 180 時間まで)	36 周波数, 36 方向 1日 2 回 0 時から 240 時 毎 3 時 (0 時間から 144 時間まで) 毎 6 時 (150 時間から 240 時間まで)
出力波高 出力周期	有義波高 (H_s) 卓越波向きのエネルギー・スペクトルが最も大きくなる周期 (T_p)	有義波高 (H_s) スペクトルの 0 次および 2 次モーメントから得られる平均周期 (T_{n02})	有義波高 (H_s) スペクトルの 0 次および 1 次モーメントから得られる平均周期 (T_{n01})

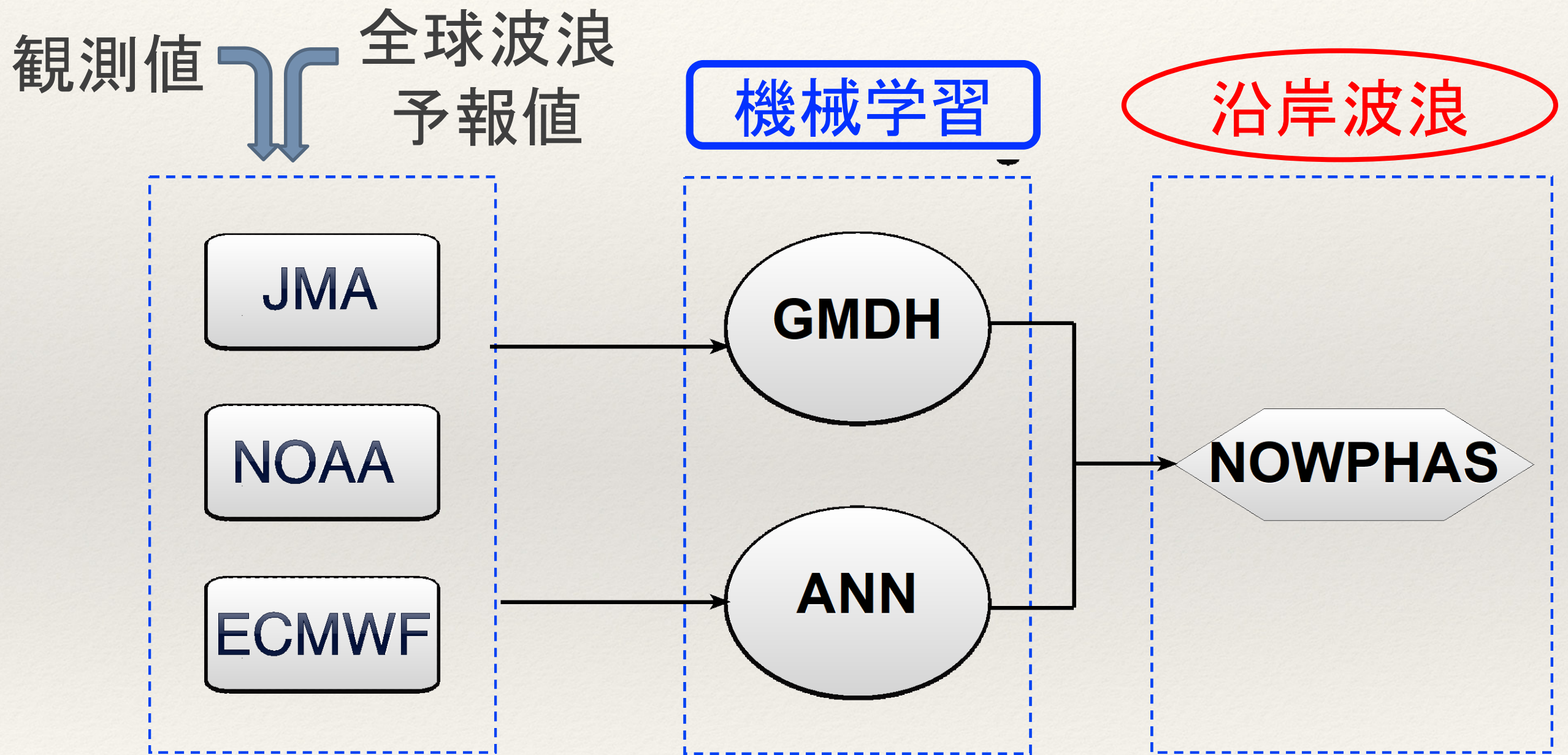
現状の1週間先波浪予測の課題

- ❖ 空間解像度：0.5度（約50km）
- ❖ 沿岸における波浪予測値としては十分な精度を期待することはできない

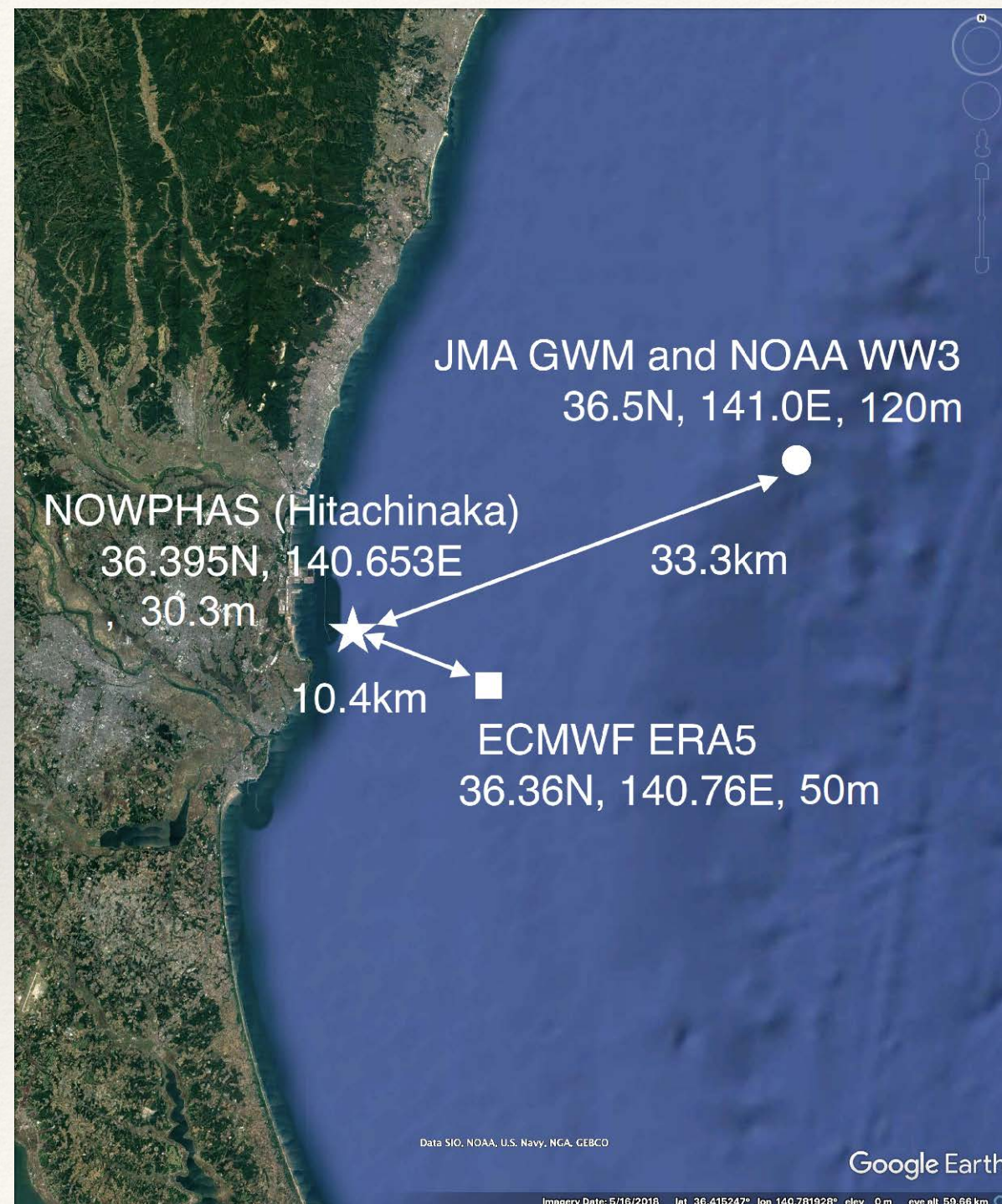
現状の解決案



現状の解決案



対象域



なにが違う？

GMDH

- ❖ ホワイトボックス
- ❖ 式で表す
- ❖ 操作が簡単
- ❖ 電卓でも計算可

ニューラルネットワーク

- ❖ ブラックボックス
- ❖ 式で表せない
- ❖ 操作が簡単
- ❖ パソコンが必要

ニューラルネットワーク

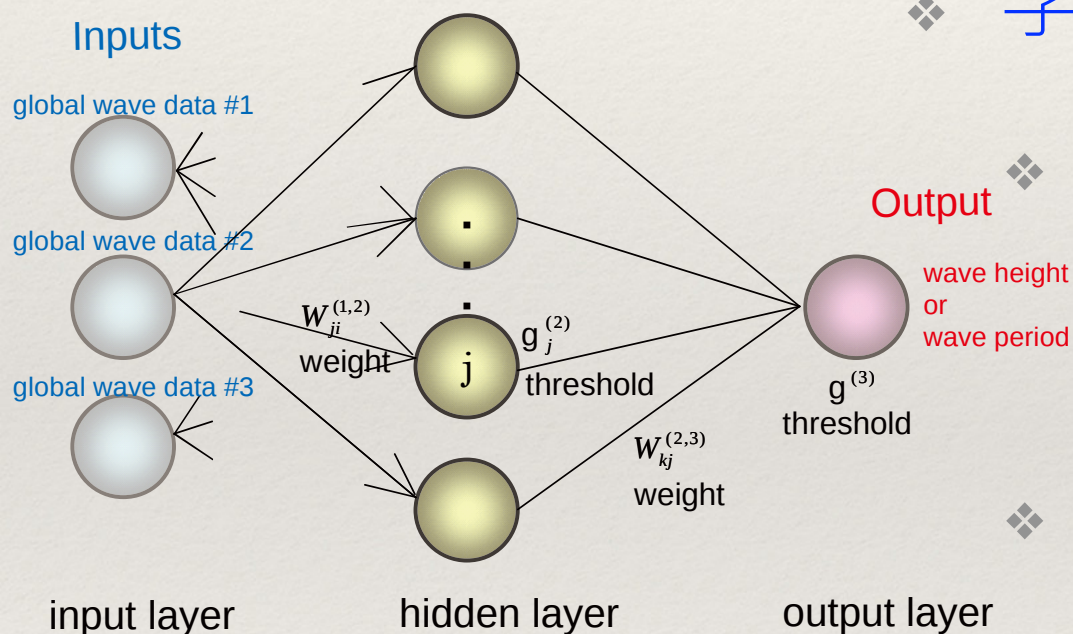
❖ 階層型モデル：入力層，中間層，出力層の3層

❖ 学習アルゴリズム：

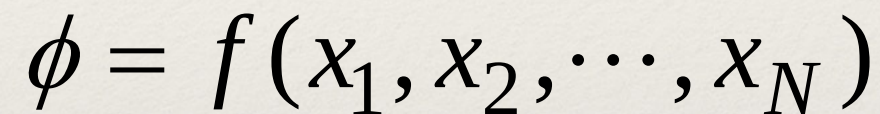
❖ Levenberg-Marquardt 方法：非線形モデルの2乗誤差を最小にする変数を求め最適化する方法

❖ 学習回数：学習繰返 10,000 回を1セットとして500セット実行：ベストセットを選択

❖ 成果物：実行ファイル形式(exeファイル)

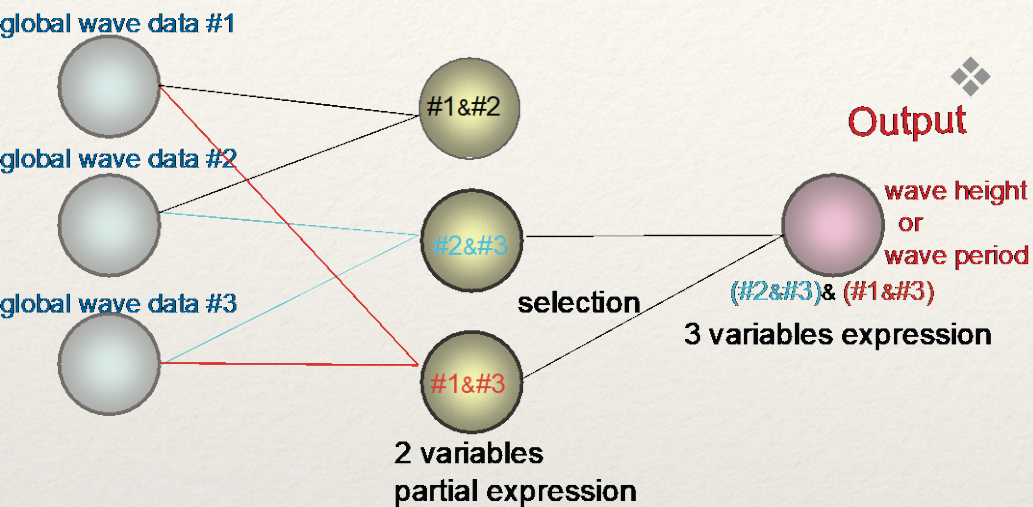


❖ システムの入力変数と出力変数との間に以下の関係：システムの完全表現式


$$\phi = a_0 + \sum_{i=1}^N a_i x_i + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N a_{ijk} x_i x_j x_k + \dots$$

Group Method of Data Handling (GMDH)

Inputs



部分表現式： N 種類の変数から2つの x_i, x_j を用いた 2 次多項式で表される中間変数 y_k を新たな入力変数とする。

$$y_k = b_{k0} + b_{k1}x_i + b_{k2}x_j + b_{k3}x_ix_j + b_{k4}x_i^2 + b_{k5}x_j^2$$

$$k = 1, 2, \dots, N(N-1)/2$$

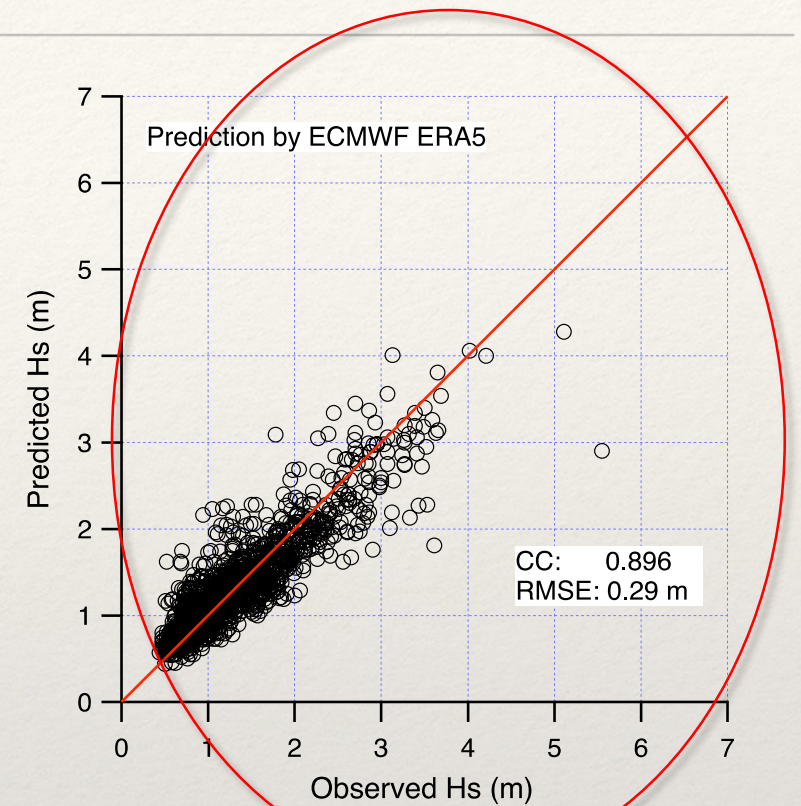
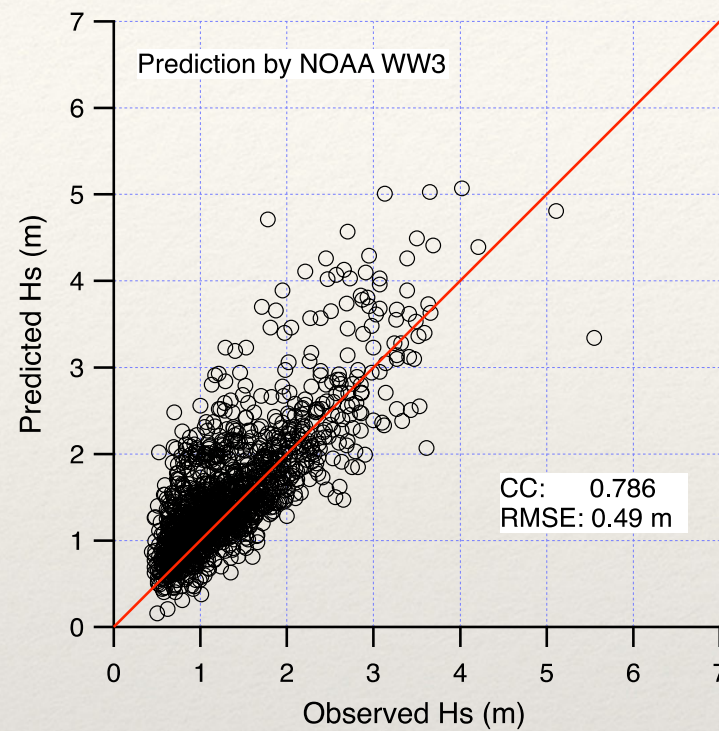
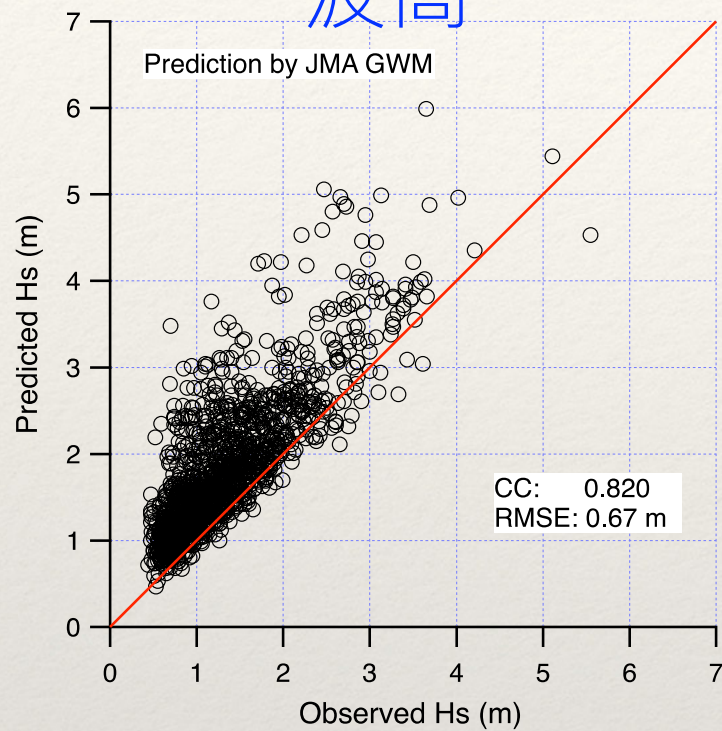
$$H_{S(WW3+WAM)} = -0.123 - 0.137H_{S(WW3)} + 1.285H_{S(WAM)} - 0.154H_{S(WW3)}H_{S(WAM)} - 0.276H_{S(WW3)}^2 + 0.401H_{S(WAM)}^2$$

❖ 次のステップでは、選択された y_k を入力変数として、新たな $y_{k'}$ を作る。これを繰り返して完全表現式に近づける。

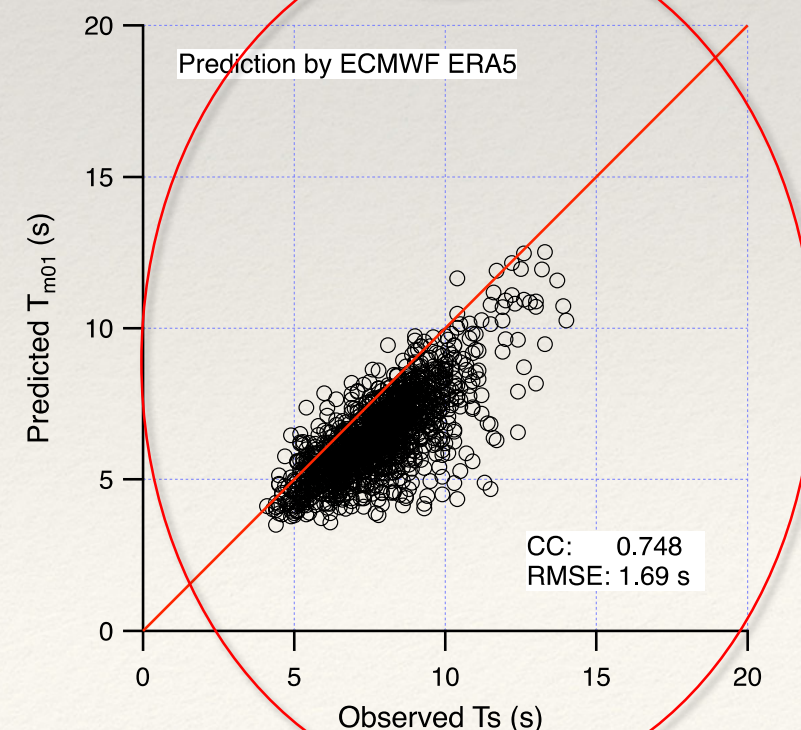
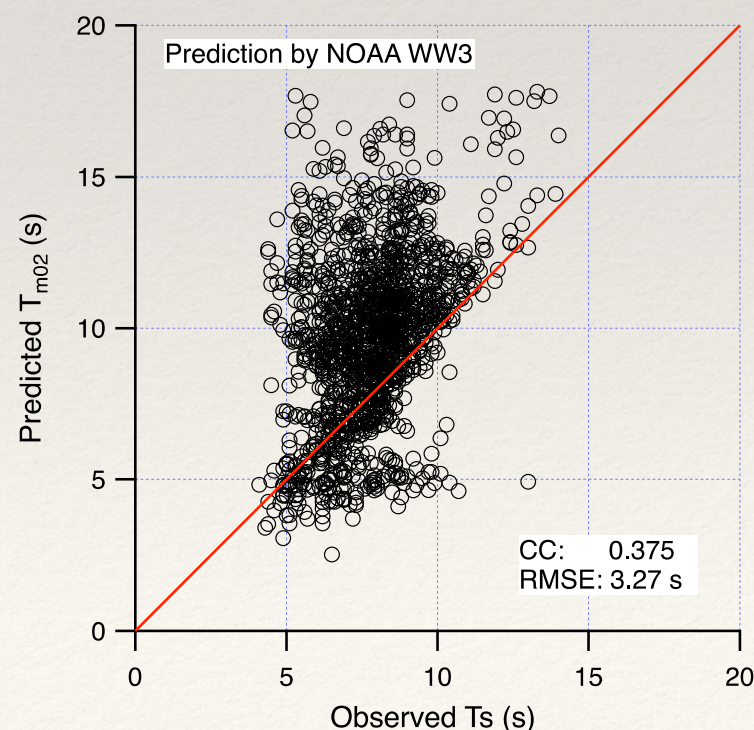
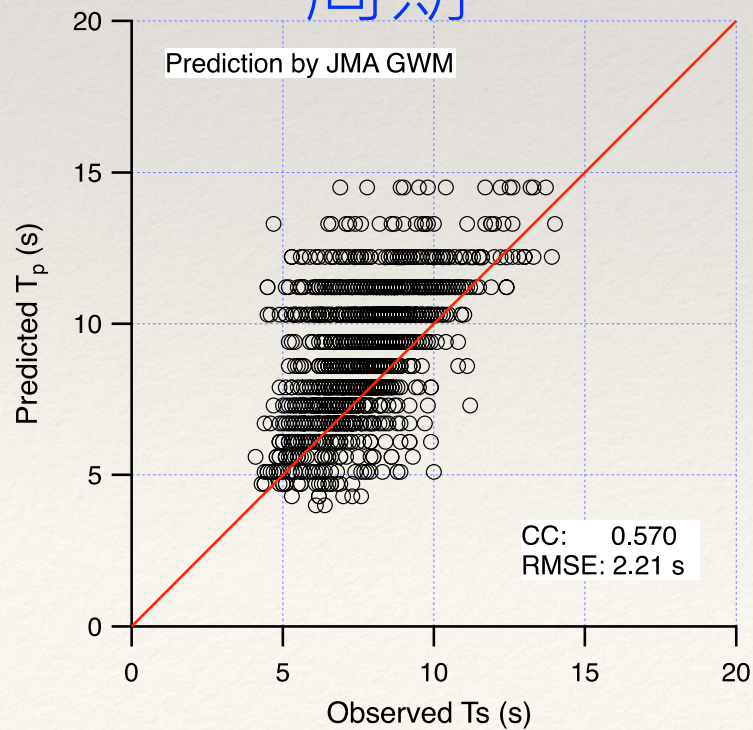
$$T_{S(GWM+WAM)} = 4.523 - 0.496T_{p(GWM)} + 0.660T_{m01(WAM)} - 0.037T_{m02(GWM)}T_{m01(WAM)} - 0.021T_{m02(GWM)}^2 + 0.008T_{m01(WAM)}^2$$

全球波浪（再解析値）と観測値の比較

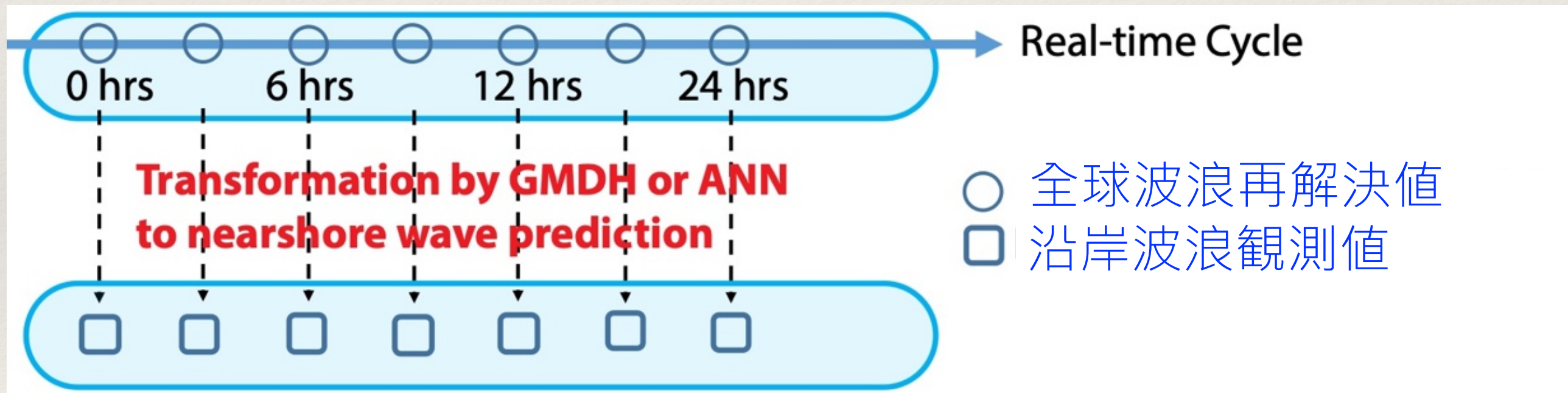
波高



周期



実験 1 : 再現実験



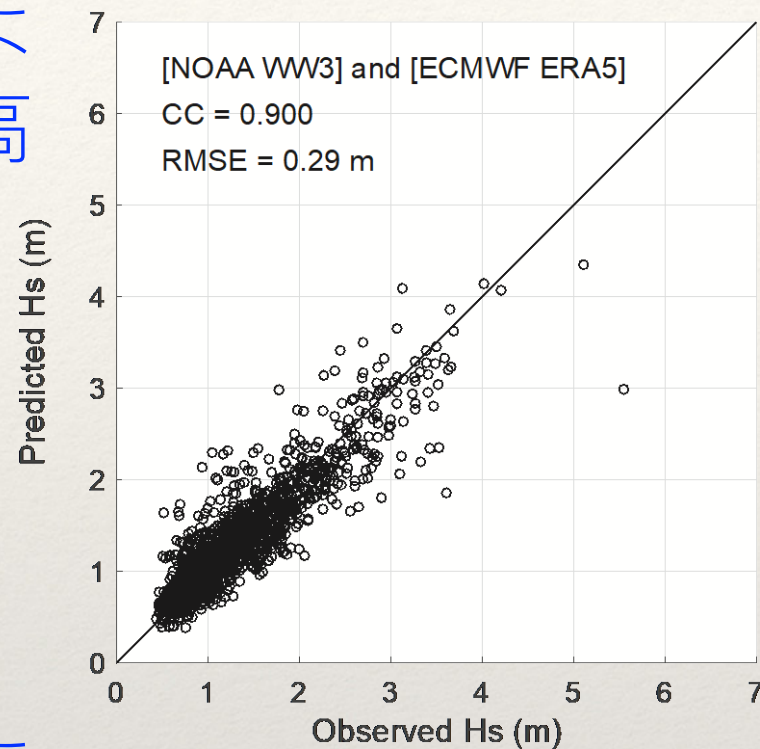
実験 1 : 再現実験

No	Input	Output
1	JMA GWM + NOAA WW3	NOWPHAS (波高・周期)
2	JMA GWM + ECMWF ERA5	
3	NOAA WW3 + ECMWF ERA5	
4	JMA GWM + NOAA WW3 + ECMWF ERA5	

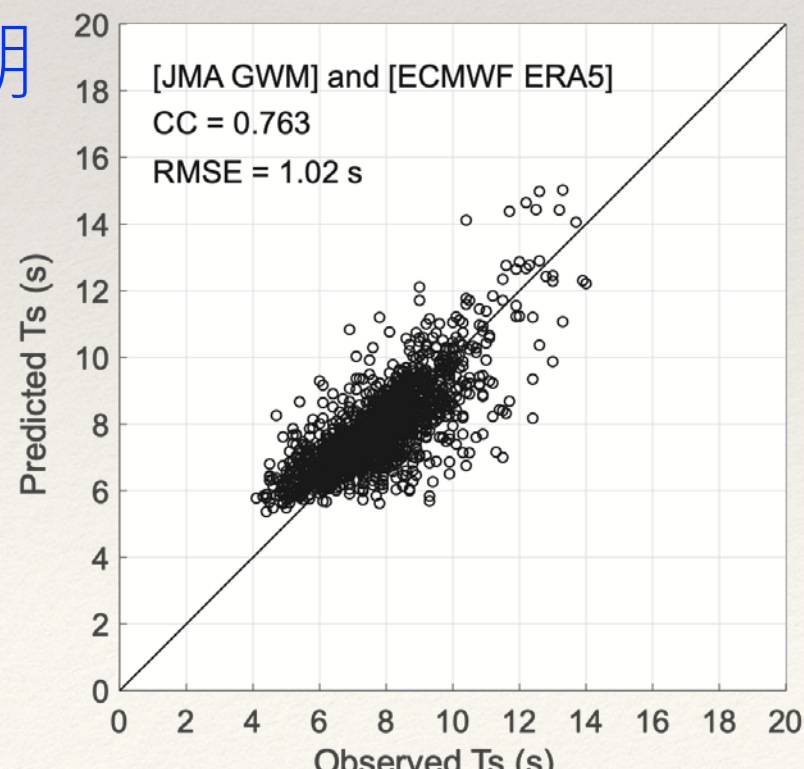
4つの組み合わせの
うち、ベストは？

GMDHと 全球波浪（再解析値）の比較

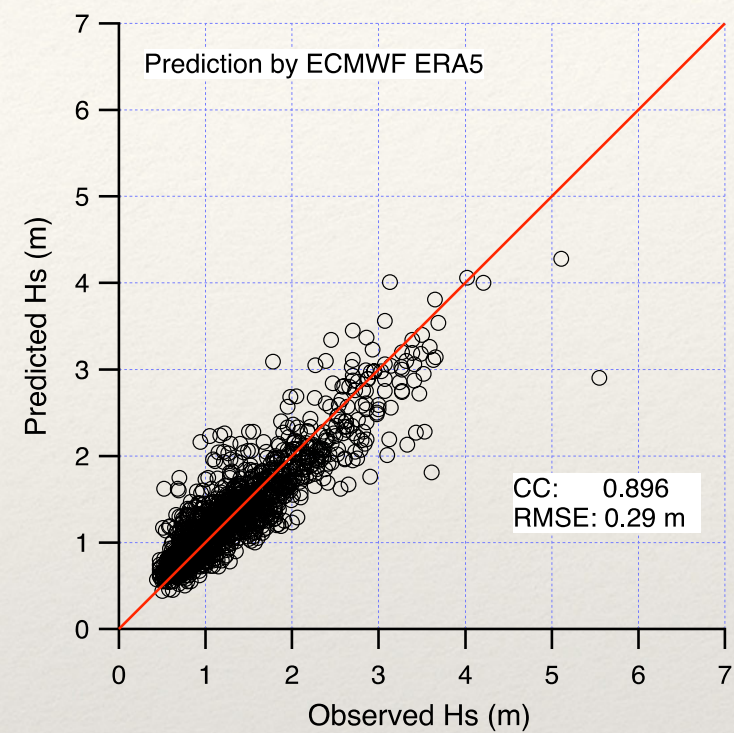
GMDHによる
沿岸波高



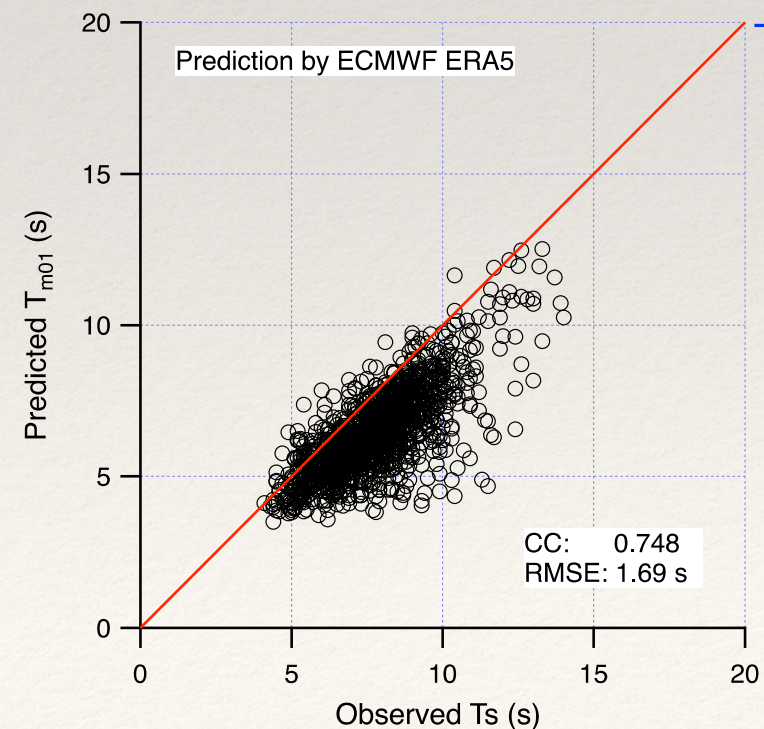
GMDHによる
沿岸周期



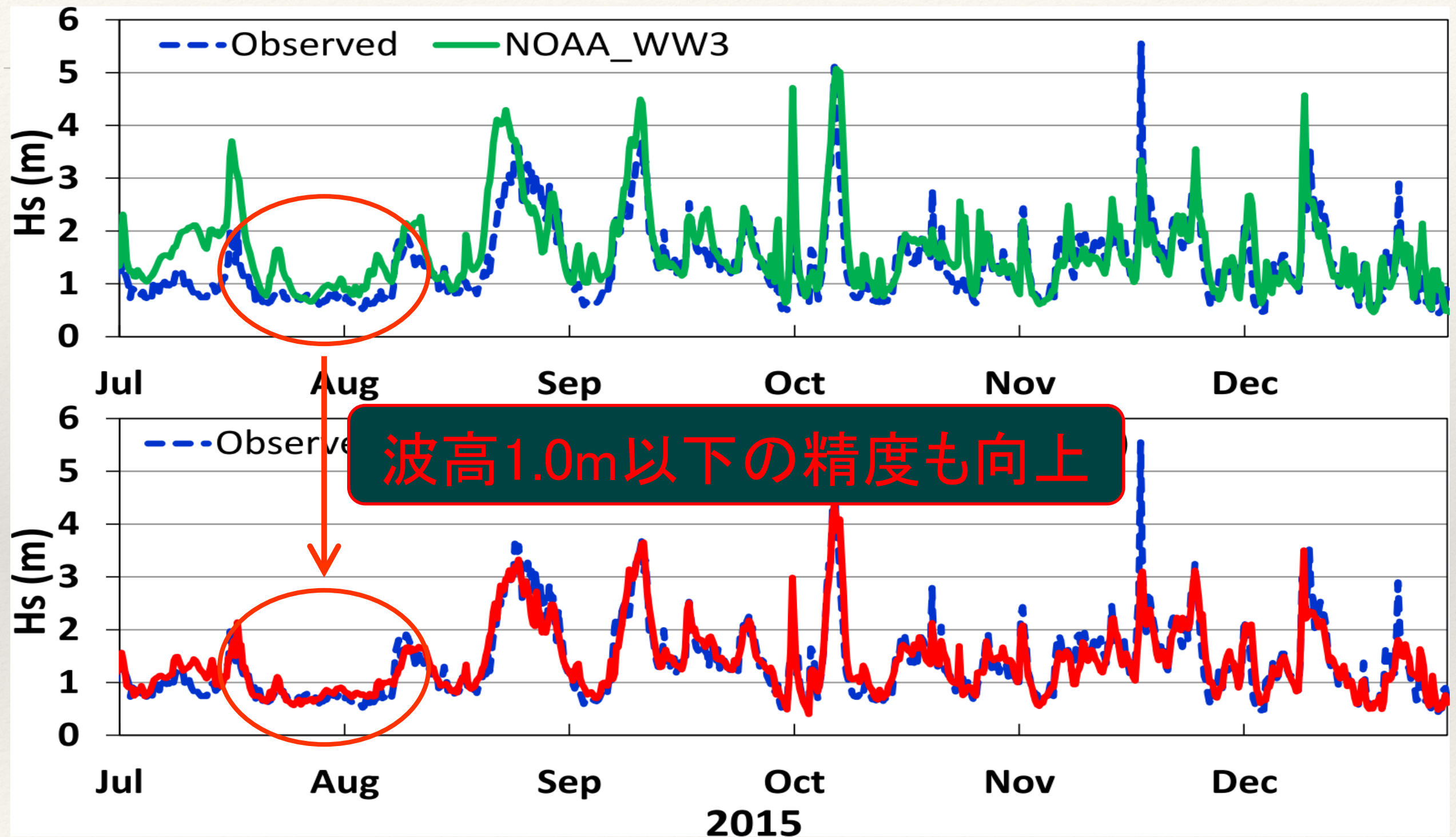
全球波高



全球周期

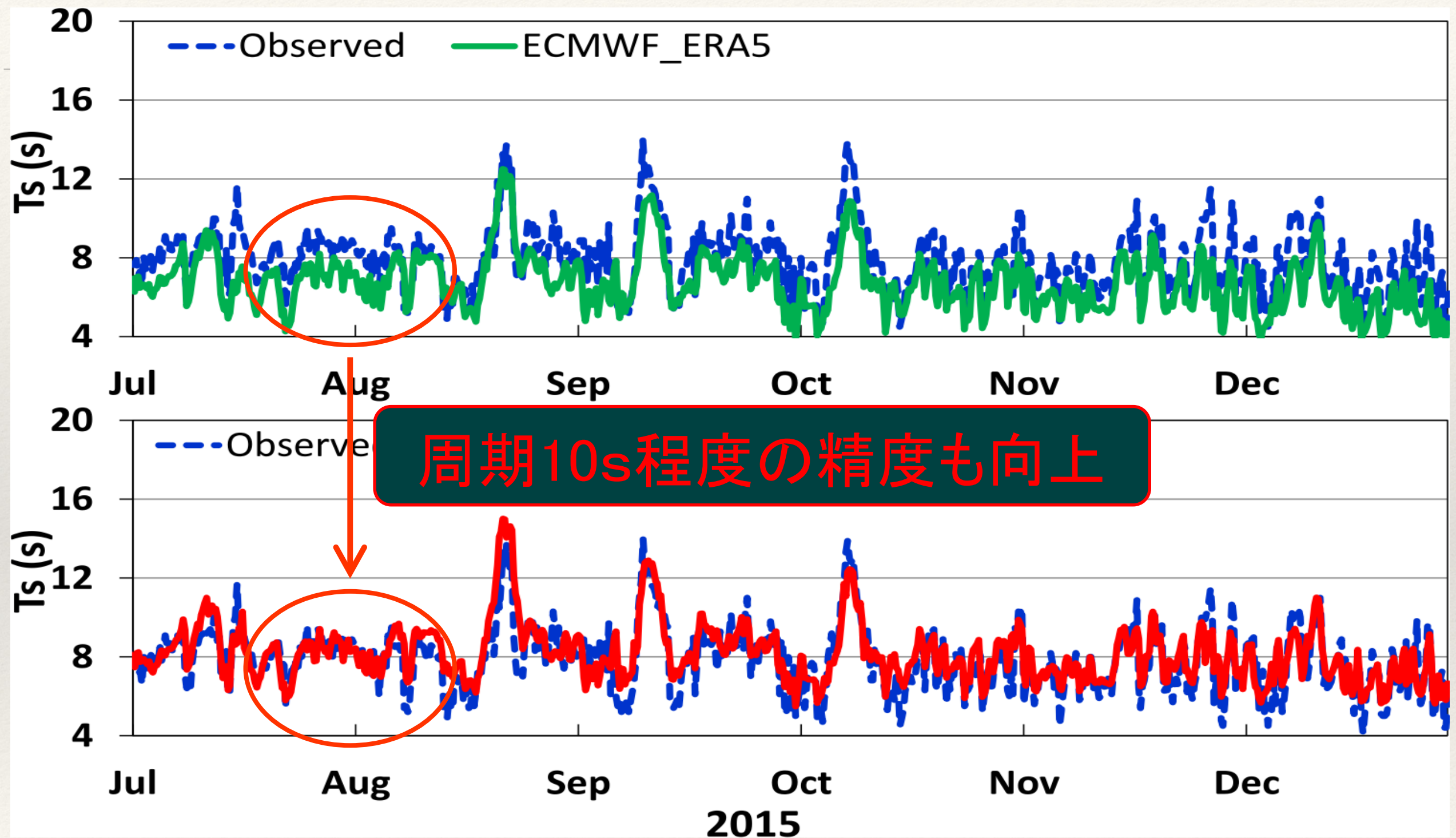


算定結果と観測結果の比較



常陸那珂

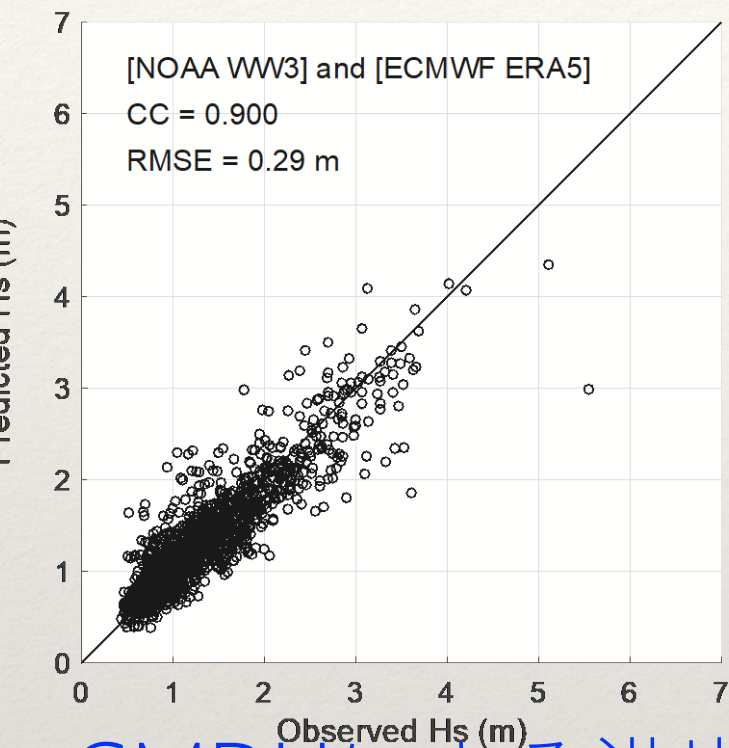
算定結果と観測結果の比較



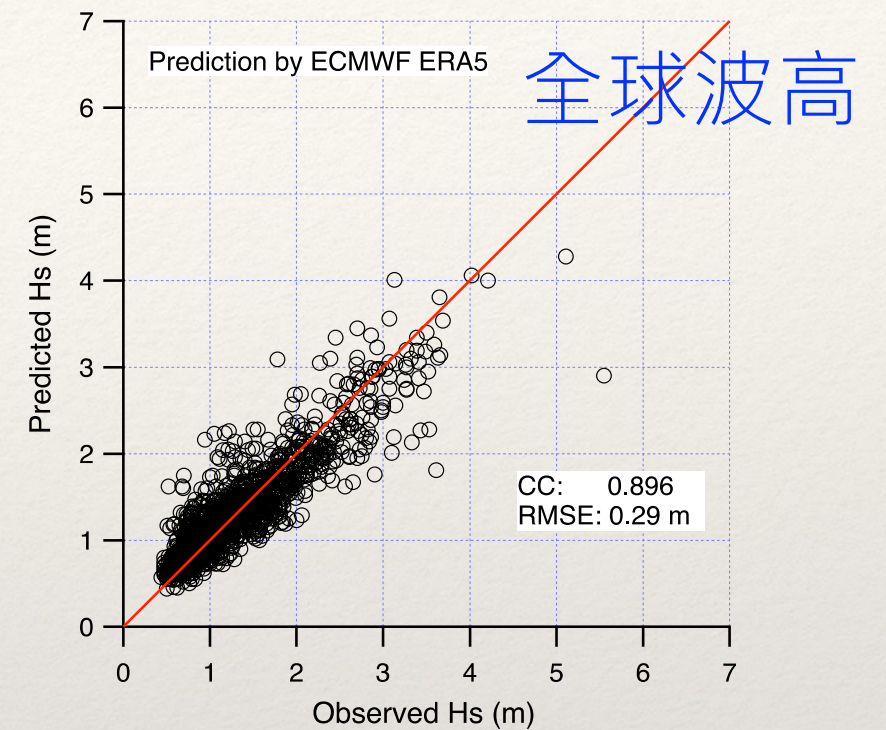
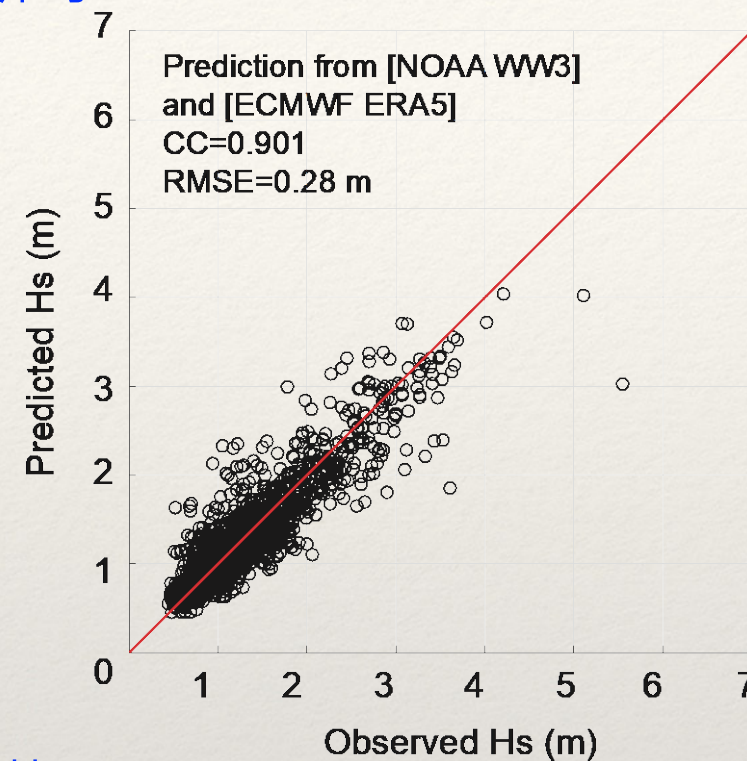
常陸那珂

ベストのGMDHとANN、観測値の比較

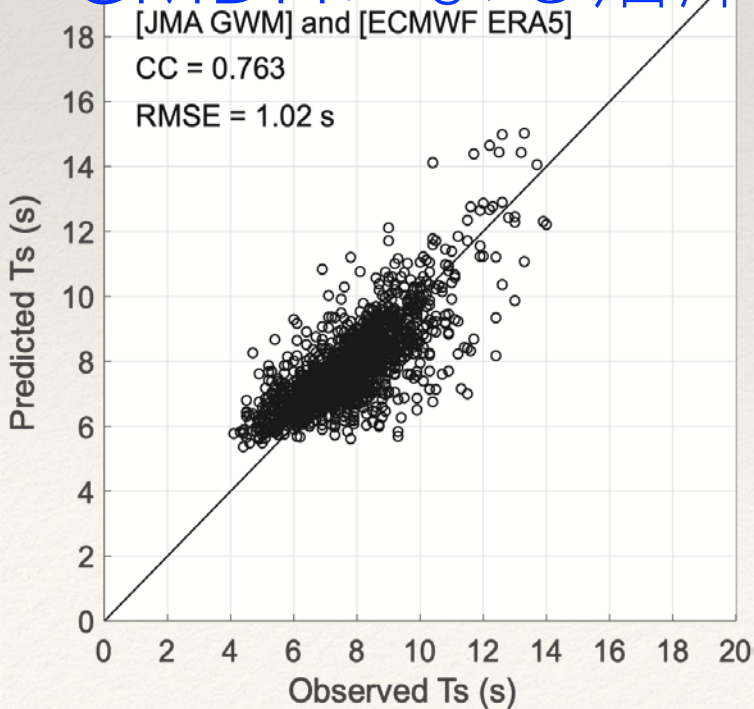
GMDHによる沿岸波高



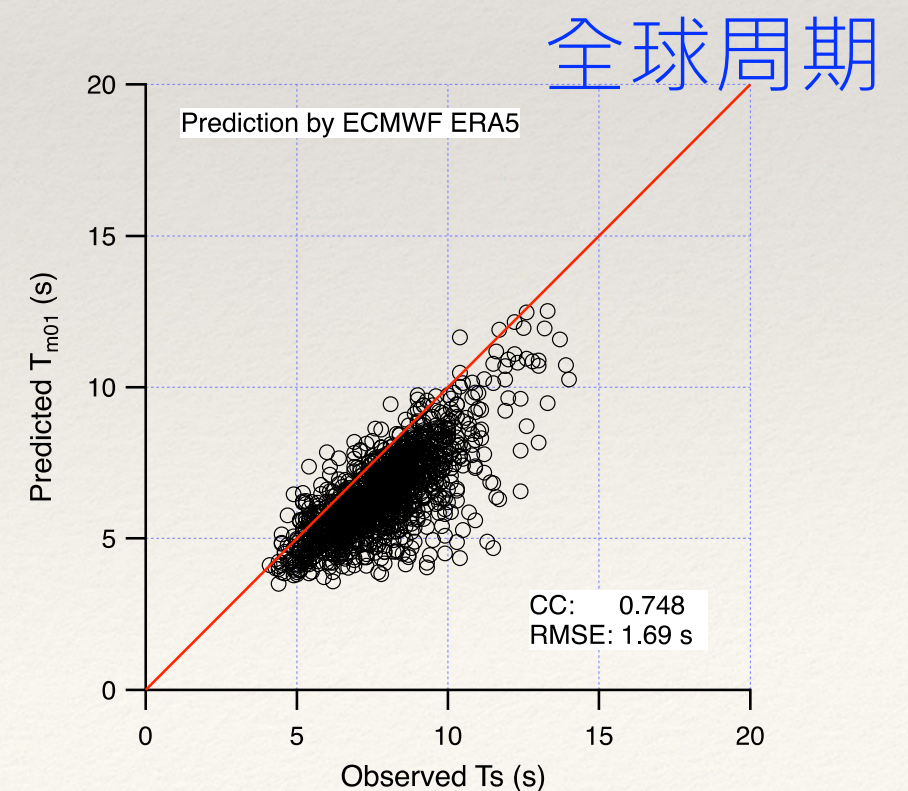
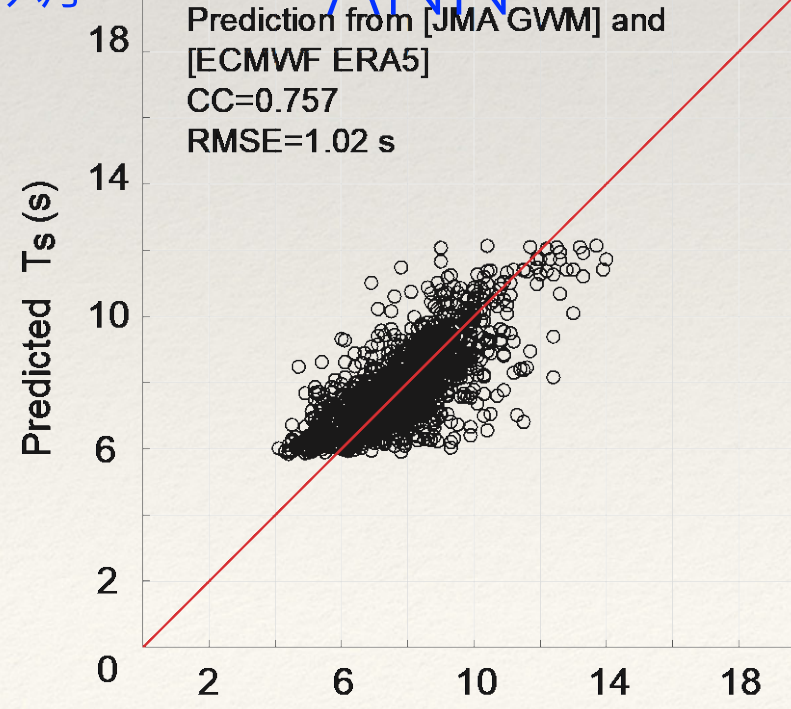
ANN



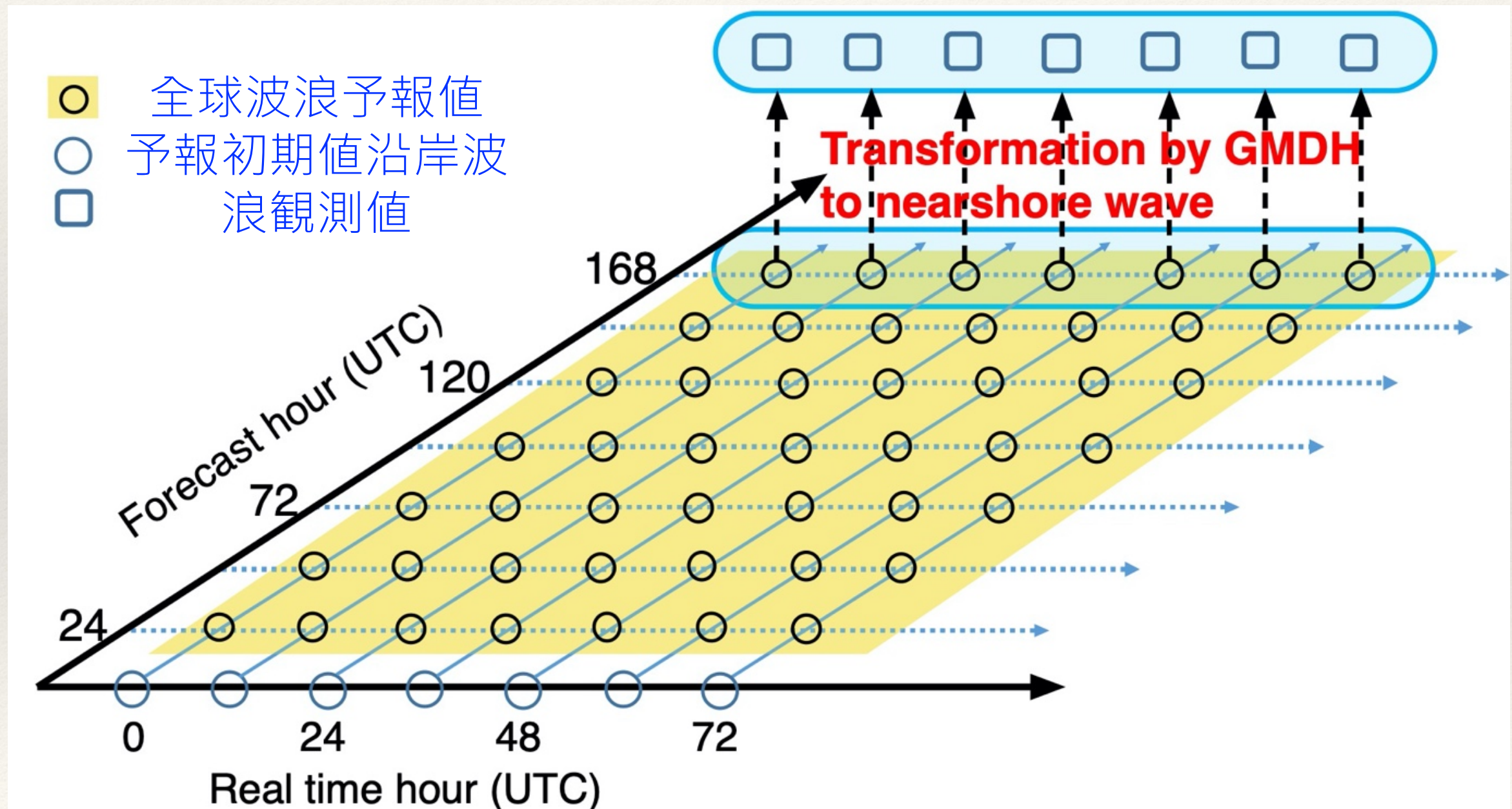
GMDHによる沿岸周期



ANN



実験2：1週間先予測実験

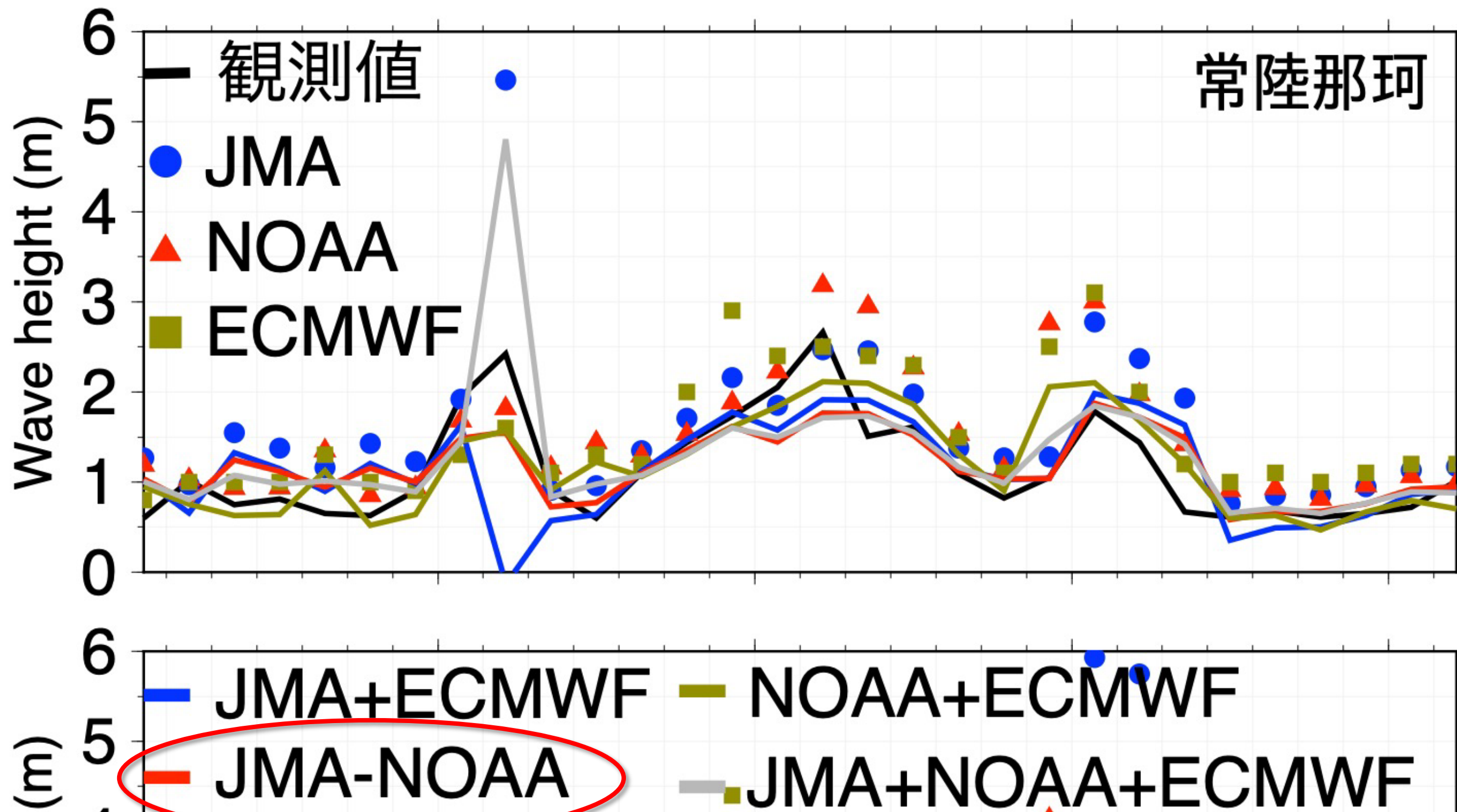


実験2：1週間先予測実験

No	Input	Output
1	JMA GWM + NOAA WW3	NOWPHAS (波高・周期)
2	JMA GWM + ECMWF ERA5	
3	NOAA WW3 + ECMWF ERA5	
4	JMA GWM + NOAA WW3 + ECMWF ERA5	

GMDHを用いて、
4つの組み合わせのうち、
ベストは？

GMDHと観測値の比較（波高）



GMDHと観測値の比較（周期）

