

## 日本海沿岸域でのうねり性波浪のニューラルネットワーク解析における 入力因子の感度分析に関する一考察

金沢大学 学生会員 ○増田和輝

金沢大学 正会員 斎藤武久 京都大学 フェロー 間瀬肇

### 1. はじめに

富山湾沿岸域で観測されるうねり性高波浪の寄り回り波は、天候が回復した頃に来襲することや、藍瓶と呼ばれる富山湾特有の入り組んだ海底地形の影響を受けて、局地的な高波になることが特徴的であり、予測の難しい波浪である<sup>1)2)</sup>。この寄り回り波による被災件数は、1926年から1987年までの間に141件に上り、年平均で2~3回の被災が確認されている<sup>1)</sup>。また、2008年2月23日に発生したケースでは、人的住家被害ともに類のない被害となった<sup>2)</sup>。

一般的に、2011年の東北地方太平洋沖地震津波を契機に、将来的に高い発生率がある南海トラフ地震などの大規模地震に伴う津波への災害対策など津波災害が注目される傾向がある。しかしながら、日本海側において、これまでの主要な津波の件数が太平洋側の175件に比べ20件と少ない<sup>3)</sup>ことから鑑みた場合、うねり性波浪が及ぼす災害への対策は必要不可欠といえる。

### 2. 従来の研究および本研究の目的

2008年2月23日に富山湾で発生した寄り回り波に関して、間瀬ら<sup>4)</sup>はGFS-WRF-SWANを組み合わせた波浪推算モデルを用いて、寄り回り波の追算シミュレーションを行い、観測結果を満足できる精度での再現計算を可能としている。毎時大気解析GPVを用いた波浪の予測計算に関してはさらなる改善が求められるものの、寄り回り波の発生のリアルタイム予測の可能性を示唆している。しかしながら、この手法は計算の負荷が大きいうねり性波浪の発生に関する気象および海象などの因子を評価することは困難といえる。

一方で、直接数値シミュレーションとは別に、より計算負荷の少ない予測手法としてニューラルネットワークが挙げられる。間瀬ら<sup>5)</sup>はニューラルネットワークを用いて大阪湾内への来襲津波のリアルタイム予測を可能としている。この手法は、データ間の因果関係が不明確で入出力関係のプログラム化が困難な場合など

に、入出力関係を具現化することが可能となるツールとして活用されている。また、斎藤ら<sup>6)</sup>は間瀬ら<sup>5)</sup>に倣い日本海沿岸域におけるうねり性波浪の予測を試みている。その結果、気象・海象データから一日程度先の大規模なうねり性波浪を精度良く予測することに成功している。しかし、ニューラルネットワークの学習データに用いている入力因子がうねり性波浪予測精度に及ぼす作用については議論されていない、これに関して、Hajelaら<sup>7)</sup>はニューラルネットワークの解析結果に与えている影響評価について結合荷重を用いた感度解析を行っている。また、斎藤ら<sup>8)</sup>はHajelaら<sup>7)</sup>の感度解析に基づき入出力関係が数式で表現される解析的例題によって有効性を表し、土木分野の適用の可能性を示している。

本研究では、以上の研究経緯を踏まえて感度解析を行い、入力因子の影響評価から学習データの最適な組み合わせを明らかにし、新規のうねり性波浪でも予測を可能とする汎化性を持つニューラルネットワークの構築を試みる。

### 3. 研究手法

本研究では、斎藤ら<sup>8)</sup>の手法を発展させて研究を進める。日本海沿岸域での波浪は、代表地点間の気圧差の経時変化等から波高予測可能とした土屋らの研究<sup>9)</sup>に倣い、入力データを気象・海象データとし、出力データを対象地点での波高、周期とするニューラルネットワークの構築を試みている。気象データは日本海を囲む沿岸域地点間での気象庁のメソ数値予報モデルGPV(MSM)データを海象データはNOWPHAS観測点<sup>10)</sup>での波高データを使用している。また、入力層、中間層および出力層からなる階層型ニューラルネットワークを採用し、中間層にはtangent型シグモイド関数、出力ユニットには線形関数を用いている。ニューラルネットワークの学習法には、誤差逆伝播法の1つであるLM法(Levenberg-Marquardt法)を採用している。富山において、中間層ユニット数10個、予測時

間 21 時間のもとで大規模うねり性波浪が起きた 2008 年 2 月の波高予測をした結果を図-1 に示す。

ニューラルネットワークの感度解析に Hajela ら<sup>7)</sup>に倣い、結合荷重の評価を組織的に行い、入力出力に対する影響を比率によって把握する結合荷重法を用いる。各層のユニット数を  $N, M, L$ 、添え字を  $i, k, j$  と示し、結合荷重を  $w$  と表し、下付き文字は入力ユニットと出力ユニットを、上付き文字は各層の変数ということを示す。入力層  $k = 1, 2, \dots, N$  について以下の(1)および(2)式による計算を実行する。

$$S_k = \left| w_{ik}^{(1)} \right| / \sum_{r=1}^N \left| w_{ir}^{(1)} \right|, \quad k = 1, 2, \dots, M \quad (1)$$

$S_k$  はユニット  $j$  につながる結合荷重の相対的な強さを示す。この相対的強さ  $S_k$  を使い、入力層のユニット  $i$  の出力層のユニット  $j$  に対する影響度を次式の  $\tilde{t}_{ij}$  と示す。

$$\tilde{t}_{ij} = \sum_{k=1}^M S_k \times \left| w_{kj}^{(2)} \right|, \quad j = 1, 2, \dots, L \quad (2)$$

$\tilde{t}_{ij}$  を入力層ごとに正規化し、マトリックス表示したものを結合荷重マトリックスと呼び、各行の要素はそれぞれ入力因子の出力に対する影響度の比率となっている。うねり性波浪発生に重要な因子や、またはそうではない因子を確認し、入力層の最適化・汎化性されたニューラルネットワークを構築する。

#### 4. 解析および考察

大規模なうねり性波浪発生を精度よく予測できている図-1 の解析結果を用いて結合荷重法を行った結果を図-2 に示す。影響比率より風速が重要な因子、また気圧が入出力にあまり関わっていないと考えられる。また、図-2 の風速の影響度を風速データの位置状況に直したものを図-3 に示す。これにより特に日本海沿岸における風速データが重要になっていることがわかる。

#### 5. まとめ

本研究では、うねり性波浪発生予測に際して、感度解析を用いることにより、特性発現のメカニズムの理解を行い、解析結果を基に入力因子の最適化を進めていき、汎化されたニューラルネットワークを構築する。更なる入力値の検討等、詳細なニューラルネットワークによる解析結果については発表会当日の説明で行う。

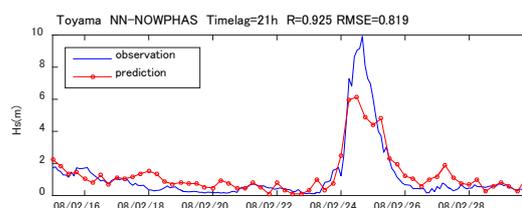


図-1 予測波高と観測波高との比較(富山/予測時間 21 時間)

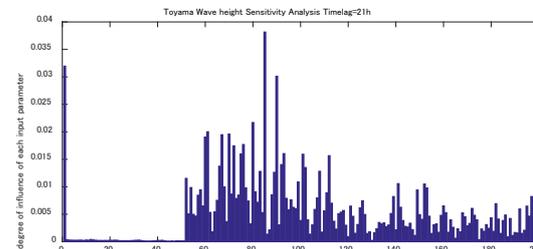


図-2 入力因子の影響比率 (左から順に自己回帰波高  $H_s$ 、気圧  $P$  風速  $V$ 、南北気圧差  $dPy$ 、東西気圧差  $dPx$ ) 気象データはそれぞれ 50 地点のデータを持つ

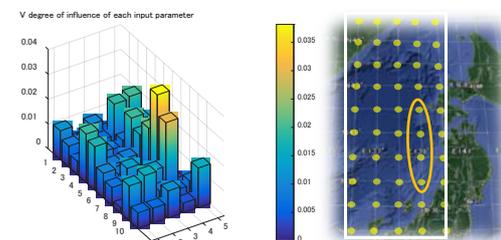


図-3 風速の影響度分布

#### 参考文献

- 1) 畑田佳男・山口正隆 (1998) : 富山湾における特異波浪「寄り回り波」の予測法に関する予備的検討, 愛媛大学工学部紀要, 第 17 巻, pp.261-271.
- 2) 川崎浩司ら (2008) : 富山県東部海岸における 2008 年 2 月高波による被害調査, 海岸工学論文集, 第 55 巻, pp.151-155.
- 3) 地震予知総合研究振興会 松浦律子: 日本海沿岸での過去の津波災害 [http://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou90/12\\_14.pdf](http://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou90/12_14.pdf)
- 4) 間瀬肇・安田誠宏・Tracey H. TOM, ・辻尾大樹 (2008) : 富山湾沿岸に災害をもたらした 2008 年 2 月冬季風浪の予測と追算シミュレーション, 海岸工学論文集, 第 55 巻 pp.156-160.
- 5) 間瀬肇・安田誠宏・高山知司 (2007) : 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, 海岸工学論文集, 第 54 巻, pp.201-205.
- 6) 斎藤武久・小久保元貴・間瀬肇 (2016) : ニューラルネットワークを用いた日本海沿岸域でのうねり性波浪の予測に関する研究, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.72, pp.175-180.
- 7) P. Hajela; Z.P. Szweczyk (1994) : Neurocomputing strategies in structural design on analysing weights of feedforward neural networks, Structural Optimization 8, pp.236-241
- 8) 齊藤進・加藤雅啓・坂本知子(2002) : 学習済みニューラルネットワークによる感度解析について, 八戸工業高等専門学校紀要第 37 号, pp.49-57.
- 9) 土屋義人ら (1985) : 日本海中部沿岸における波浪の相関予測法, 第 31 回海岸工学講演会論文集, pp.149-153
- 10) 国土交通省港湾局: 全国港湾海洋波浪情報網(ナウファス) 波浪データ, <http://www.mlit.go.jp/kowan/nowphas/>