

来襲高波の確率波高に対する推定誤差の経年的な変化

名古屋工業大学 社会工学専攻 北野 利一

1. まえがき 海浜地形の変動を考える上で、沿岸に来襲する高波外力の規模を推定することは重要である。沿岸構造物の設計に係る高波外力は、50～100年に平均的に1度来襲する確率波高が対象となるのに対して、海浜地形の変化に対しては、数年前後に1度の相対的に中規模の波高が対象となる。高波の極値解析に対して、北野ら(2008, 2009, 2010) および北野(2011) は、経験度という新たな指標を導入し、推定誤差の取扱いについて、従来法では検討できなかったことを明らかにしつつある。経験度を用いて、海浜地形の変化に係る中規模の波高の統計解析で、特に注意すべき点を明らかにすることが、本稿の目的である。

2. リンク関数 Coles (2001) では、自然外力の極値に対して、経年的なトレンド変化や気象指数に伴う変化を極値解析に取り込むため、年次や気象指数を説明変数 x_i (その係数 β_i) が、極値分布の母数 (μ, σ, ξ) にリンクするように、例えば、次式のように与えて検討している。

$$\mu = \eta, \quad \sigma = e^\eta, \quad \xi = \eta; \quad \eta = \mathbf{x}'\boldsymbol{\beta} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots \quad (1)$$

一般に、分布関数のパラメータ θ に対し、説明変数の線形和 η との関係を表す関数 $g: \eta = g(\theta)$ をリンク関数と呼び、上式で表される極値分布の3つの母数は、 η の逆リンク関数で与えられているといえる。北野(2011)では、これを一般化して、次の第1式の最左辺で表される確率波高 y_R を母数の1つと置換えて、 y_R が η の逆リンク関数 g^- で与えられると考える。さらに、次の第2式で表される発生率を陰リンク関数として、確率波高と説明変数の回帰係数 $\boldsymbol{\beta}$ を陰的に結びつける関数とみなす。したがって、次の第3式に示すように、回帰係数が推定されることにより、波高の発生率が推定される。これらを利用することにより、北野(2011)は、経験度の統計理論における意義を再構築し、クックの距離のように感度分析に用いることができることを示した。

$$y_R = \mu + \frac{\sigma}{\xi} \left(\frac{1}{\lambda^\xi} - 1 \right) = g^-(\eta); \quad \lambda = \lambda(y_R, \boldsymbol{\beta}); \quad \hat{\lambda} = \lambda(y_R, \hat{\boldsymbol{\beta}}) \quad (2)$$

ガンベルタイプ ($\xi = 0$) で、説明変数による変化が位置母数にのみ限定される場合には、発生率の推定に伴う変動係数 C を用いて定義される経験度 K が、次の第3式のように、説明変数を伴わない経験度 K_0 と梃子比 h_{ii} (説明変数のみで表される項) の2つの項に分解されることが解析的に導出される。

$$K = \frac{1}{C^2}; \quad C = \sqrt{V(\hat{\lambda}) / E(\hat{\lambda})}; \quad \frac{1}{K} + \frac{1}{N} = \frac{1}{K_0} + h_{ii} \quad (3)$$

正規分布による誤差を伴う統計モデルを用いた、いわゆる回帰分析で扱うデータは、そのバラツキが、主として、説明変数のバラツキに起因するものであることを想定し、結果として得られる誤差変動は、回帰モデルで説明できる変動に比べて十分に小さくなるのが一般的である。これに対して、極値分布による変動を伴うモデルを想定するような場合、たとえ、説明変数に伴う変化が有意である場合でも、統計モデルで説明できる変動はわずかで、バラツキの大半は、確率変動に起因する場合が多い。すなわち、経年的なトレンドがあっても、そのトレンドの大きさは十分に有意と言えないような場合も多いのである。その場合には、トレンドの大きさそのものは考慮できなくても、経年的に累積する統計誤差を評価する必要があると考える。その際、経年トレンド無しの統計モデルで算出される経験度に、年次による梃子比 h_{ii} を加えて、式(3)により評価することで、観測期間から外れた将来の極値に対する経験度として算定できる点が画期的であると言える。

3. 主要な結論 100年確率波高と1年確率波高(この場合、年最大波高の最頻値)について、20年間の観測データ(年間の上位5つ)を用いて、従来法により、その信頼区間を求めたものを図1左に示す。経年変化は一切無い。図1右は、北野(2011)による方法では、まず、信頼区間の上下が歪み、さらに、経年的に信頼区間がどんどん増大する。途中から灰色線に変わるのは、経験度が2を下まわるため、信頼区間を算出することを保留しているからである。特に、再現期間が短い(海浜変形に重要となる年数回程度の中規模な)高波に対して、信頼区間の歪みと変化率の急増の傾向が著しいことがわかった。その結果、定常なモデルとはいえ、推定される確率波高を時間軸上で延長させるにも限界があることが示された。

謝辞: 本研究の一部は平成20・21年度土木学会中部支部リサーチグループ活動の一環として行われた。

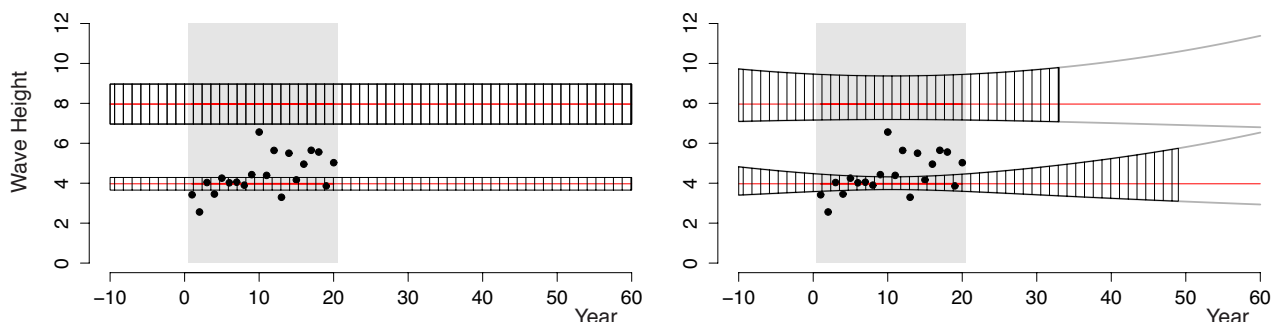


図1 観測期間(灰色で塗った期間で観測された年最大値を黒丸)の外に延長させた確率波高の信頼区間(左:従来法, 右:提案法)