

エントロピーを用いた風速変動の非定常性評価の可能性

○名古屋大学工学研究科 正会員 北川徹哉

1. はじめに

筆者は離散ウェーブレットを用いて非定常な模擬風速変動波形を作成し、この波形を用いて風速の非定常性がガスト応答に及ぼす影響について検討してきた^{1),2)}。非定常性が強くなるとガスト応答のピークファクターも増大する傾向が示されたが、風速変動の時刻歴に含まれる非定常性の評価が課題として残されていた。そこで本研究においては、ウェーブレット係数のエントロピーを用いて風速変動の非定常性を評価し、エントロピーとピークファクターとの関係の導出を試みる。

2. ウェーブレット係数のエントロピー

風速変動データの離散ウェーブレット係数を $\alpha_{j,k}$ とおき(j :スケールパラメータ, k :シフトパラメータ, $j,k \in \mathbb{Z}$, $k=0 \sim 2^j-1$)、 $\alpha_{j,k}$ を次式のように正規化する。

$$p_{j,k} = \left| \alpha_{j,k} \right| \left/ \sum_{k=0}^{2^j-1} \left| \alpha_{j,k} \right| \right. \quad \left(\text{ここで, } \sum_{k=0}^{2^j-1} p_{j,k} = 1 \right) \quad (1)$$

$p_{j,k}$ はある j における各ウェーブレット係数の大きさが占める割合であり、これを情報理論における生起確率とみなして次式からウェーブレット係数の(1次情報)エントロピー(例えば文献3))を計算する。

$$H_j = \left(- \sum_{k=0}^{2^j-1} p_{j,k} \log_2 p_{j,k} \right) / \log_2 2^j \quad (2)$$

本来のエントロピーの定義は上式右辺の分子のみであるが、上式においてはエントロピーの最大値($\log_2 2^j=j$)で除すことにより正規化している。エントロピーは各生起確率が一樣である場合に増大し、その非一樣性が強い場合に減少する。ウェーブレット係数はあるスケールの各渦による速度変動が時刻歴上にどの程度の強さで現れているかを示すものと解釈されるので、ウェーブレット係数の非一樣性を式(2)を用いて調べることにより、風速変動時刻歴の非定常性の検討が可能と思われる。

3. エントロピーとピークファクター

図1は文献1)の手法に平均風速 $U=33.2\text{m/s}$ 、乱れの強さ $I_u=7\%$ 、乱れのスケール $L_u=193\text{m}$ のカルマン・スペクトルをターゲットとして与えて作成した模擬風速変動の時刻歴である。このパワースペクトルが図2であり、ターゲットと良く整合している。また、図3は図1と同様のターゲットを与えて作成した模擬風速変動であるが、図1と比較すると定常な変動を示している。なお、図3のパワースペクトルは図2とほぼ同様であった。図1と図3の模擬風速データを用いて、明石海峡大橋スパン中央断面の水平方向1次モードを対象にガスト応答の時刻歴応答解析(準定常理論)を行った結果、ピークファクターは各々6.5, 3.8と得られた。やはり、非定常性が強いと思われる図1のケースの方がピークファクターは大きくなる。一方、図1と図3の時刻歴データの $j=8$ における $p_{j,k}$ (Meyerのウェーブレットを基底とする)を示したものが、それぞれ図4および図5である。ただし横軸は本来 k であるが、理解を容易にするために時刻(s)として表している。図4においては25秒付近に局所的な強い変動がみられ、図5は比較的一様な分布を示している。図4, 5の $p_{j,k}$ 列について、エントロピー $H_{j=8}$ を計算した結果、それぞれ0.88および0.94と得られた。図4の $H_{j=8}$ の方が図5の $H_{j=8}$ よりも小さく、これは図4の $p_{j,k}$ 列の方が図5よりも非一樣であることを意味する。

$U=33.2\text{m/s}$ 、 $L_u=193\text{m}$ 、 $I_u=3 \sim 15\%$ の多くの模擬風速データを用いた時刻歴応答解析より得たピークファクターと H_j との関係を j ごとに調べた。得られた結果の内、 $j=4,6,8,10,12$ における結果を図6(a)~(e)にまとめる。なお、実測された風速変動データによる結果についても数は少ないが図中に黒点で示してある。 $j=4$ の場合(図6(a))、 H_j とピークファクターとに一对一の関係はみられない。これは j が小さく、ガスト応答に影響を及ぼしにくい大スケールの変動が H_j に反映されているためと思われる。図6(b)から図6(d)へと j が増加するにつれて H_j とピークファクターとの相関は高くなり、 H_j が得られればピークファクターが推定できるようになる。同時に、全ての H_j は高い値に推移してゆく傾向にある。 $j=12$ (図6(e))においては H_j が0.92~0.96に集中し、

ウェーブレット、エントロピー、ガスト応答、非定常性、ピークファクター

〒464-8603 名古屋市千種区不老町 Tel 052-789-5918 Fax 052-789-3734

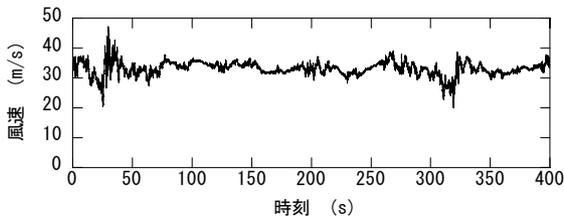


図1 非定常な模擬風速変動

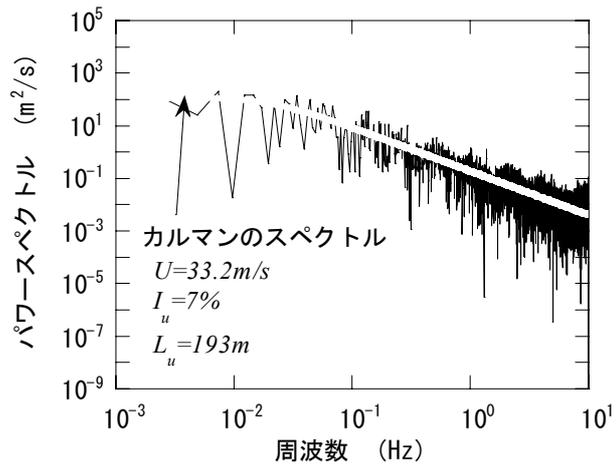


図2 図1の時刻歴のパワースペクトル

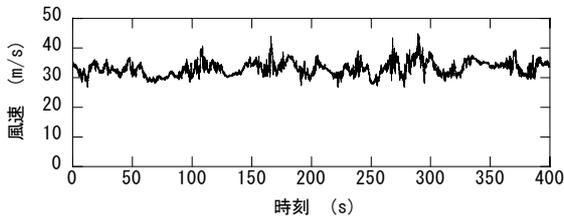


図3 やや定常な模擬風速変動
(パワースペクトルは図2とほぼ同様.)

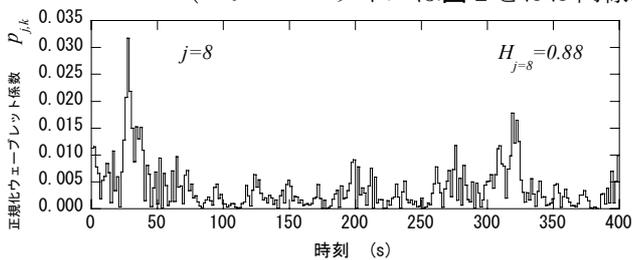


図4 図1に対する正規化ウェーブレット係数 (j=8)

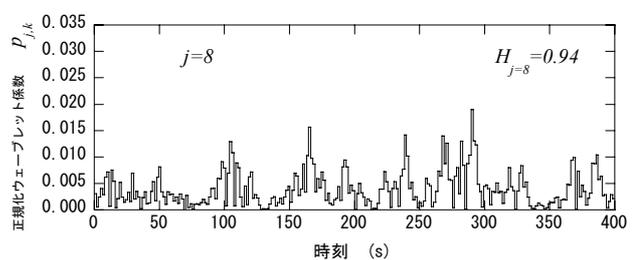


図5 図3に対する正規化ウェーブレット係数 (j=8)

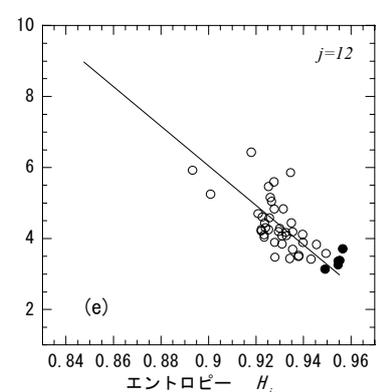
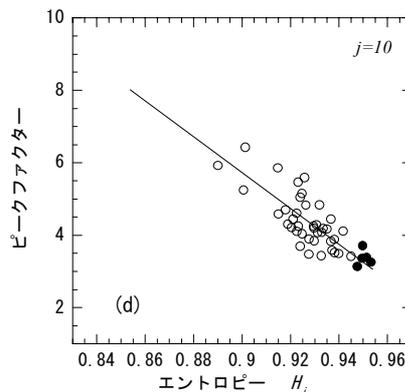
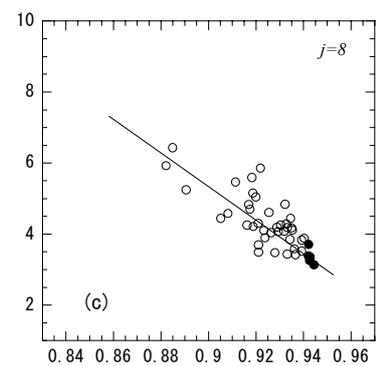
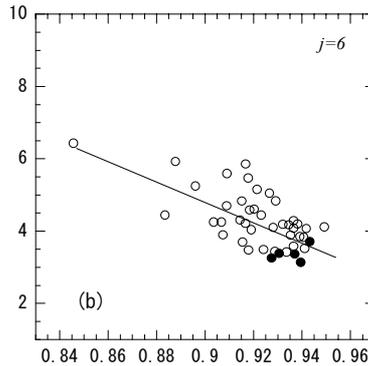
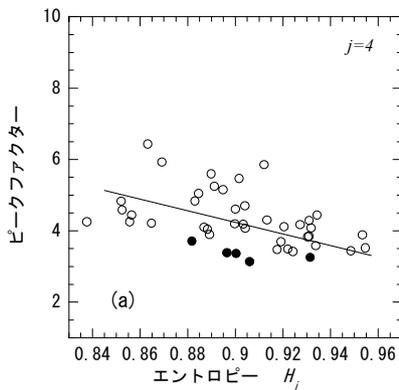


図6 エントロピーとピークファクターの関係 (○：模擬風速変動による結果，●：実測された定常な風速変動による結果)

(a)j=4 (b)j=6 (c)j=8 (d)j=10 (e)j=12

H_j とピークファクターとの相関を得るのが難しくなる。 H_j は情報量の平均値に相当し、 j が大きくなると $p_{j,k}$ の個数が多くなり、 $p_{j,k}$ の非一様性が弱い場合には H_j に反映され難くなるためである。

4. まとめ

離散ウェーブレット係数のエントロピーを用いて風速変動の非定常性を評価した。 j を適切に選定すれば、このエントロピーからピークファクターを予測できる可能性を示した。

参考文献 1) 北川，野村：ウェーブレットを用いた間欠性を含む人工風速変動波形の生成の試み，日本風工学会論文誌，第81号，pp.71-86，1999. 2)北川，野村，橋本：非定常風速変動におけるガスト応答特性に関する解析的検討，第16回風工学シンポジウム論文集，pp.393-398，2000. 3)日野幹雄：スペクトル解析，朝倉書店，1996.