

沿岸流に着目した波向き持続の評価手法

信岡尚道*・加藤 始**・前川直子***
永井紀彦****・荒田昌潔*****

1. 序 論

我が国は充実した波浪観測網を有しており、その観測結果を海浜保全をはじめとする環境対策のために、積極的に活用していくことが望まれる。これまで、波浪の来襲頻度分布や波高の持続性は、様々な港湾・海岸事業の設計や施工計画のために利用されてきたが、波向きの持続性については利用された例が見られない。

波向きが周期的に変化すると防波堤遮蔽域の土砂堆積が増加することが指摘されている(宇多ら, 1992)。また、波向きが持続すると、漂砂移動距離が増加し、航路のような窪地、岬背後などの砂の循環を遮蔽する場が存在するところで問題が生じると考えられる。航路を例にあげると、波向きが持続すると図-1(a)に示すように、漂砂が一方に長い距離を移動し、遠くで移動を始めた砂も航路に入り込む。一度入り込んだ砂は、波向きが逆になっても、動くことは難しい。波向きが頻繁に変わる場合には図-1(b)に示すように、航路に向かって移動する砂も向きが変わることにより元の位置に戻ることが可能となる。これらのことから、各地固有の波向きの持続を推定

し、その特性を知ることは、土砂移動過程を把握するために大いに役立つと考えられる。

本研究では、この課題に対する検討の第一段階として、沿岸流や沿岸漂砂に着目した波向きの持続特性を把握する手法を提示することが目的である。具体的には、まず、波向き持続の評価手法の考え方を示す。次に、その手法の有効性を検証するため、「波向き持続の大局的な特性が把握できるか？」に焦点を当て、実際に現地観測データを用いて解析した結果を示す。

2. 波向き持続の定義と解析手法

本節では、本手法での波向き持続の定義と解析手法について説明する。なお、解析では、対象にするデータを一般に公表されているものとするを前提にしている。したがって、ここで記す波向きは、代表波向き(合田, 1981)である。

2.1 波向き系と持続の定義

波向きと沿岸流の発生との関係を考え、波向きを3つの系に分ける。図-2に示す様に、海岸線(等水深線)から沖側に垂線を引き、その垂線から α 度だけ左右に幅を持たせたF系(front)、それより左側の範囲をL系(left)、右側の範囲をR系(right)とする。F系は波が海岸に向かって直角に進行してくる範囲であり、岸沖エネルギーフラックスが発達し、沿岸流が生じにくい系と言える。一方、L、R系はそれぞれ沿岸エネルギーフラックスが顕著になり、沿岸流の発達しやすい系と考えること

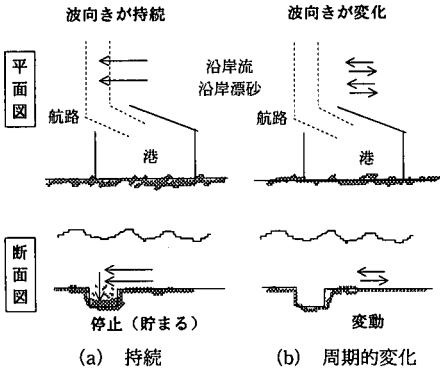


図-1 波向き持続と航路埋没関係の概念図

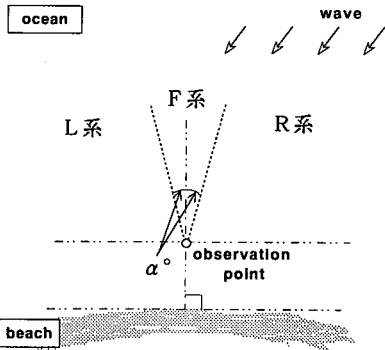


図-2 波向き系の定義

* 正会員 工修 茨城大学助手 工学部都市システム工学科
** 正会員 工博 茨城大学教授 工学部都市システム工学科
*** 茨城県土木部都市局
**** 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所水工部海象調査研究室長
***** 運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所調査課長

ができる。

波向き持続の定義は、一つの系に波が連続して出現する間とする。その間の時間を持続時間として、1つの連続を持続度数が一回とする。

2.2 系ごとの持続時間別度数分布の作成

波向きデータから、定義に従って持続を求め、それから各系ごとに持続時間別の度数分布を求める。ここで扱う時間間隔は、着目する波向き持続の長さによって適宜決めるものである。

2.3 持続累積超過確率の適用

持続時間別度数分布から、総数を各系の全持続回数として、累積超過確率を求める。これは、ある時間以上持続する回数の割合を表現するものであり、言い換えれば、ある系に出現した波が、何時間続く可能性があるかを示したものである。単なる確率でなく、累積超過確率を用いる利点は2つある。1つは、扱うデータの期間が多少短く度数分布に時間ごとのばらつきが生じて、累積超過確率にすれば、時間が長くなるにつれ確率が減少する自然界本来の変化を表現でき、後で述べる確率密度関数を用いることが容易になるためである。もう1つは、ある持続時間以上続く確率が算出できるので、基準の時間を1つ決めるだけで、異なる地点や年での相対的な持続の比較が容易になるためである。例えば、48時間を基準に取った場合、その時間に該当する持続度数が無いと単なる確率では零になる。しかし、累積超過確率だと48時間以上波向きが連続する度数の割合が考慮されるので、度数のばらつきの影響を受けなくて済む。

累積超過確率を表現する確率関数には、式(1)に示すワイブル分布確率密度関数を用いた。

$$F(y) = \exp(-(y/\lambda)^a) \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 y は持続時間、 $F(y)$ は累積超過確率、 λ は尺度パラメータ、 a は形状パラメータである。

この関数は、機械の寿命などに良く用いられており、波に関しても波高の持続(Kuwashimaら、1986)に用いられてきたものである。

2.4 統一した評価

2.3節までは各系ごとに算出してきたものであるが、波が出現する割合はそれぞれの系で異なる。系による持続の違いを比較するには、各系に重みを設定して評価する必要がある。本手法では、対象期間内の各系に生じる波の出現率をこの重みとして用い、それを累積超過確率に乗ずる方法を取る。評価した値のことは「持続指数」と呼ぶことにする。この出現率を施すことにより、波が0時間以上持続する確率を3つの系で合計すると「1」にできる。各系の重みとして他に考えられるものに、各系で持続する総回数がある。しかし、これでは、持続時間が非常に長い場合、占める時間が長いにも拘わらず、

持続回数が少ないので評価値が非常に低くなり、系による比較のための指標としては不適切となる。

なお、指標でなく確率で表現する方法も考えられる。累積超過確率を求める際、それぞれの持続度数に該当する時間に乗じたものを用いれば、時間割合として持続を確率表現できる。出現率も各系の時間占有率を示すので、それに乗じれば、対象期間全体に対する各系の持続の時間確率を示すことができる。平均時間を推定する場合などに有効な手法と言える。ただし、今回は、持続発生頻度の比較を目的としたので、この時間確率は用いない。

3. 解析手法の有効性の検証

ここでは、前節で定めた手法を実際の数地点の観測データに適用し、有効性を検証する。

3.1 検証のねらいと対象

今回のねらいは、本手法が大局的な波向き持続頻度の傾向を示すことが可能かどうかを検討することにした。想定する持続時間は1日スケールの長さであり、対象とする傾向は、各地点での比較から太平洋沿岸と日本海沿岸での差、1年を4つの期間に分けての期間ごとの差とする。

観測データには全国港湾海洋波浪観測網(NOW-PHAS)より公表されている、2時間ごと、1日12回の代表波向(合田、1981)を用いた。対象地点には、太平洋側は北から、むつ小川原、相馬、いわき沖、常陸那珂、鹿島、波浮、宮崎の7地点、日本海側は同じく北から、瀬棚、秋田、酒田、新潟、輪島、福井の6地点である(運輸省港湾局、1996;永井ら、1997など)。

2.1で述べた α の値については、本来、各地固有の地形条件を考慮して定めるべきものであるが、今回は16方位との関係から1方位22.5度の半分、11.25度とした。海岸線の方角については、観測施設台帳(菅原ら、1994)による地形図から平均的なものを選び、表-1のように設定した。この値は、基準の真北から、沖を見て左手にあたる海岸線の方角を、時計周り計った角度である。例えば南北に海岸線が伸び、その沖側垂線が真東となる場合は0度となる。

対象年は、観測データの波向き測得率の高い年、1995年を基本とする。但し、観測データの適正や測得率を考

表-1 各地点での海岸線の方角 (deg.)

太平洋側		日本海側	
むつ小川原	-5	瀬棚	-180
相馬	-20	秋田	-190
いわき沖	10	酒田	-165
常陸那珂	0	新潟	-115
鹿島	-25	輪島	-90
波浮	40	福井	-160
宮崎	5		

慮して、相馬、常陸那珂、輪島については1991年、鹿島については1992年のデータを用いた。解析手法の適用性を示すためには、1991年の新潟のデータも用いている。

3.2 解析手法の補正

対象とするデータは、できるだけ連続していることが望ましい。今回は1日スケールの持続を想定しているため、半日以内の短い欠測に対して、線形補間を施した。

また、系境界付近での短時間における変動は、著しく持続を遮断する。その影響を除くため、L系とR系に関しては境界を超えた場合でも、境界から11.25度以内、つまり海岸線に対する垂線にあたる位置を超えず、6時間以内に元の系に戻る場合には波向きが持続しているものとした。F系については、波向きが系を超えた場合でも5度($\approx 22.5/4$)以上超えず、6時間以内に元に戻る場合はF系で波向きが持続しているものとした。

3.3 解析手法の適用性

1991年の常陸那珂と新潟のデータを用いて、解析手法の適用性を示していく。ここでの結果は、年間における持続である。

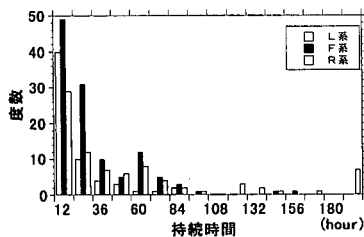
図-3は、両地点の持続時間別度数分布を示したものである。横軸が持続時間の階級、縦軸が持続回数を表している。常陸那珂では、R系で長い持続がある程度存在するがL系では見られないこと、新潟では、どの系も短い持続が多い特徴が分かる。

これら持続時間別度数分布を用いて、それぞれの累積超過確率を求めたものが図-4であり、ある系に波が出現した後、その系内に連続して出現する頻度の割合を示したものである。図中のプロットが観測値から算出した

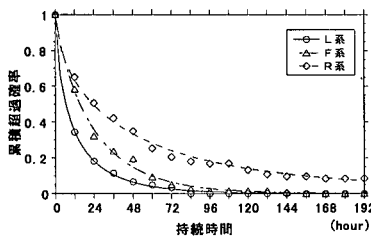
ものであり、常陸那珂では、R系で持続が長くなる確率が高く、F系、L系の順に低くなっている。新潟では、F系とR系の持続する時間に対する割合がほぼ同じで、L系は割合が小さい結果となっている。

図中に示した線は、ワイブル分布確率密度関数を最小二乗法を用いて回帰計算したものである。どの結果も、観測結果と大きな差がないことが分かり、この確率密度関数で表現できることを示している。他の地点で適用した結果でも、1年間では、出現数が少ないために持続回数が極端に少ない場合を除いて、この関数で十分に表現できていた。一方、3ヶ月ごとの期間で解析したところでは、1年間の結果に比べて、やや観測値との差が大きくなり、不十分な適用結果となった。3ヶ月ごとの期間を3～4年間かけて解析すれば、1年間を通した結果とほぼ同じ精度となった。したがって、最低365日程度のデータを用いて解析することが望ましいと思われる。

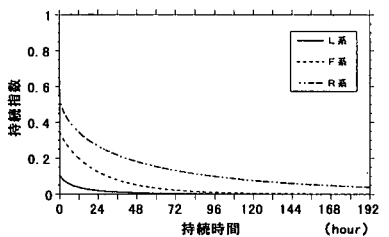
累積超過確率に出現率を乗じた、持続指数の結果を図-5に示す。出現率を考慮することで常陸那珂では、L系とF系の差がさらに明確になっており、L系では持続の回数が少なく時間が短いと言える。新潟では、出現率を考慮する前に比べ、考慮した後はF系とR系の違いが明瞭になっている。これはR系に比べ、F系に出現する波の頻度が低いためである。この様に出現率を考慮することで、対象期間内に波向きが持続する可能性について、系による比較が可能になる。また、出現数が少ないため確率関数による推定に誤差を含む場合に、出現率を乗じると、その率の値が小さいため、相対的に誤差も小さくなる。誤差が小さくなれば、他との比較も可能となる。



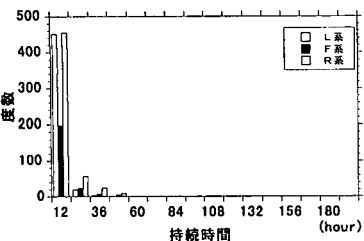
(a) 常陸那珂



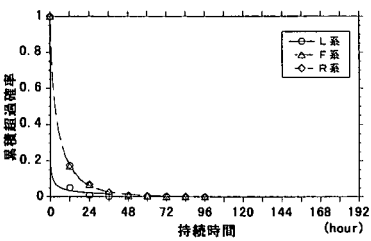
(a) 常陸那珂



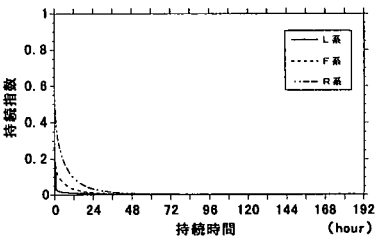
(a) 常陸那珂



(b) 新潟



(b) 新潟



(b) 新潟

図-3 持続時間別発生度数分布

図-4 波向き持続の累積超過確率

図-5 出現率を考慮した持続指数

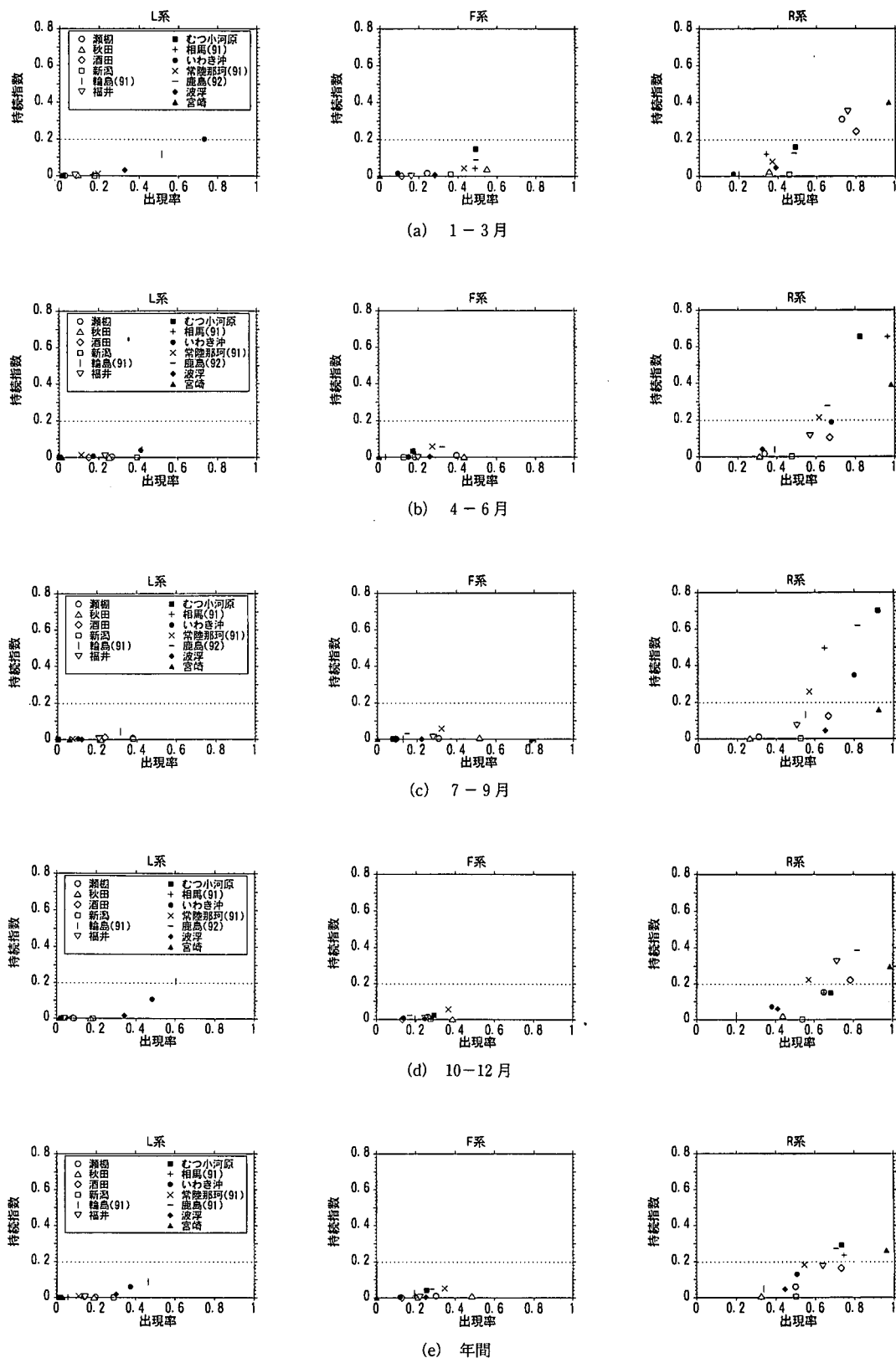


図-6 出現率と持続指数 (48時間以上)

3.4 地点と期間による波向き持続の傾向

各地点での年間および3ヶ月ごとの期間における波向き持続の計算結果から、2日にあたる48時間以上持続する指数を比較したものが図-6である。横軸が出現率、縦軸が48時間以上の持続に対応する指数である。結果を見ると、出現率が同じでも指数に差が生じている。このことは、度数分布では表せない各地点での波向き持続の特徴を、本手法が表せることを示唆している。

太平洋沿岸北部のむつ小川原から鹿島にかけてのR系は南よりから出現する波、日本海沿岸の瀬棚から福井にかけてのR系は北もしくは東よりから出現する波に対応する系である。L系で波向きが持続する割合がやや高いのは、いわき沖と輪島の1~3月と10~12月である。F系ではむつ小川原の1~3月がやや高いが、全体的に持続が短く、海岸線に対して垂直方向では波向が変化しやすいと言える。R系について、太平洋北部沿岸では4~6月、7~9月に持続する割合が高く、日本海沿岸では1~3月、10~12月に高い、対象的な結果となっている。太平洋沿岸南部の波浮では、どの期間どの系も持続が比較的短く、宮崎ではどの期間ともR系で持続が長い。

4. 各地の波向き持続に関する考察

各地の沿岸流に影響を及ぼす波向き持続の特徴は、波浪の発生源と海岸との間に存在する半島や岬など陸の遮蔽、海岸線の向きと波浪の主たる発生源への方向との関係が、大きく影響していると考えられる。

東北から北関東に至る太平洋沿岸北部では、春先から秋にかけて、南よりにあたるR系で波向きが長く持続する割合が高かった。この理由として、2つのことが関係していると推測される。1つは春から初夏までは、太平洋南岸を通過する低気圧や梅雨前線、夏は南方の台風などが影響し、日本の南側が波浪の主たる発生源となる。もう一つは、この地域の沿岸は海岸線が南北に伸びるので、発生源が南岸を西から東に移動しても、波の来襲が可能な範囲は南から東にかけてのR系に限られる。その中でも鹿島と相馬は、海岸線が北北西から南南東に伸びており、来襲波の主たる発生源の方向がほとんどR系に含まれるため、持続がさらに顕著になる。波浮は、波の発生源の方向が3つの系にまたがり、発生源が西から東に移動することに対応して、波の来襲する向き(系)も変化するため、他に比べ持続が短くなると推測できる。宮崎では、波の発生源の方向がR系に限られるため持続が長くなると考えられる。

日本海沿岸では、冬にR系の持続が顕著であった。このR系は瀬棚、酒田や福井では、北よりの向きとなる。冬は西高東低の気圧配置により、数日間強い北風が吹く

ことにより持続が長くなると考えられる。新潟や輪島はR系が東となり上記3つの地点とは発生源の方向が異なり、また新潟では佐渡島、秋田は男鹿半島の影響を受けるため、他の地点と異なる持続特性になると考えられる。

5. 結 論

現地観測データの環境問題への有効利用の観点から、漂砂移動と関係する沿岸流に着目した波向き持続特性の評価手法を提示した。そして、実際に解析した結果から、次のことが得られた。

(1) 持続度数がある程度あれば、ワイブル分布関数で持続時間に対する累積超過確率を表現できること。累積超過確率に出現率を考慮することで、波向き系による比較ができること。

(2) 持続度数が極端に低いため確率関数による推定値に相当な誤差を含む場合でも、出現率を考慮することで、相対的にその誤差が小さくなり、他の地点や系などと比較できる形にできること。

(3) ある方向(系)における波浪の出現率が同じでも、持続する時間(確率)が異なる場合を明瞭に示せること。

(4) 太平洋沿岸北東部では、4~9月にかけて南よりの波が持続すること。日本海側では10~3月にかけて北よりの波が持続すること。

以上より、沿岸漂砂の連続性を把握する基礎資料と成り得る、波向きの持続性を示す、本解析手法を提案する。

今後の課題として、解析手法を見直ししながら、多くの観測データを用いて手法の一般性を検証していくこと、気象要因との因果関係を明確にしていくこと、波向きだけでなく波高や周期の効果も取り入れて、漂砂移動と関係づけていくことがあげられる。

参 考 文 献

- 宇多高明・山本幸次(1992): 波向が周期的に変化する場における防波堤周辺の海浜地形, 海岸工学論文集, 第39巻, pp. 436-440.
- 運輸省港湾局監修/(財)沿岸開発技術研究センター(1996): 全国港湾海洋波浪観測資料 (NOWPHAS 1995), 912 p.
- 合田良実(1981): 共分散法を用いた波向推定法式の数値的検討, 港湾技術研究所報告, 第20巻第3号, pp. 53-92.
- 菅原一晃・永井紀彦・橋本典明・清水勝義(1994): 全国港湾海洋波浪施設台帳(ナウファス施設台帳), 港湾技術研究所資料 No. 782, 326 p.
- 永井紀彦・菅原一晃・渡辺弘・川口浩二(1997): 全国港湾波浪観測年報 (NOWPHAS 1995), 港湾技研資料 No. 859, 318 p.
- Kuwashima, S. and Hogben, N. (1986): The estimation of wave height and wind speed persistence statistics from cumulative probability distribution, Coastal Engineering, Vol. 9, pp. 563-590.