

気象と流れの相関解析に基づいた沖合流れの発生に関する検討

Study on the generation of the Offshore Strong Currents Based on a Cross Correlation Analysis

横田雅紀¹・安部雄太郎²・山城 賢³・橋本典明⁴・永井紀彦⁵

Masaki YOKOTA, Yutaro ABE, Masaru YAMASHIRO, Noriaki HASHIMOTO and Toshihiko NAGAI

The current measurements have been carried out by NOWPHAS at several stations in the coastal area around Japan since 1996. In the data, temporal but simultaneous changes in residual currents were recognized at several stations in the Japan Sea side. In this study, the cross correlation analysis between current velocity and atmospheric pressure was made, and the migratory characteristic of low pressure distribution was investigated by tracing the negative maximum correlation area. As a result, it was found that the each station has an original migratory characteristic. For example, it was found that the generation of the strong current in the Sea of Japan side has close correlation with the low pressure migratory in northern area.

1. はじめに

砕波帯の沖合で発生する強い残差流（沖合流れ）は、沿岸域の流況に強く影響することが指摘されており、長期的な土砂収支や水質環境の予測精度を向上させる観点から、沖合流れの発生メカニズム及び、浅海域に対する影響の解明が強く望まれている（佐藤, 1995）。一方、全国港湾海洋波浪情報網（ナウファス）では、波浪の観測を主な目的として全国沿岸に設置された海象計（橋本ら, 1995）により、波浪のデータに加え、流れのデータが観測、蓄積されており、観測期間は長い地点で10年以上にわたっている。観測には多大な費用が必要となるため、観測データが長期間にわたり観測された事例は非常に少なく、特に台風来襲時などの暴浪時のデータは貴重である。このうち波浪のデータについては、（橋本ら, 2002）により、波浪の出現特性と気象との関連が定量的に解析されている。著者らは、流れのデータをもとに沿岸域の流況特性について、長期変動も含め網羅的に検討を行っており、これまでに沖合流れには季節変化があり、秋季の日本海側では複数の地点で一時的に大きな沖合流れが発生することを確認した（横田ら, 2007）。本論文では日本全国沿岸域における沖合流れの発生特性を海域別、季節別に把握することを目的とし、沖合流れの発生に大きく寄与していると考えられる海上の気圧・風データを用いて、気象と流れの相互相関解析を行った結果を述べる。

2. 検討方法

1 正 会 員	工 修	九州大学大学院助教 工学研究院環境都市部門
2 学生会員		九州大学大学院工学府海洋システム工学専攻
3 正 会 員	工 博	九州大学大学院助教 工学研究院環境都市部門
4 フェロー	工 博	九州大学大学院教授 工学研究院環境都市部門
5 フェロー	工 博	(独法)港湾空港技術研究所 統括研究官

検討の対象期間は2001年3月から2003年12月までとし、気象と流れの相互相関解析を行った。気象データについては、6時間間隔、10km 格子で提供されている気象庁のメソ解析値のうち海上気圧・風データを使用し、60km 格子のデータを抽出した。流れのデータについては図-1に示す11地点の上層（水面下5～15m）における流向・流速データ（毎偶正時前後10分の20分間平均値）を気象データの提供時刻前後12時間の範囲で日平均処理し、得られた6時間間隔のデータを使用した。また、相互相関解析を行うにあたり、気象、流れともに元データから前後84時間の範囲による7日間の単純移動平均値を差し引くことにより長期変動成分を除去し、数日先の変動を予測する上で有用な情報を抽出した。

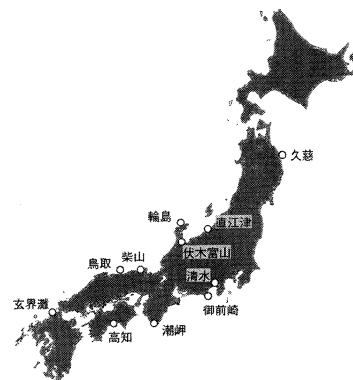


図-1 流れの観測地点

3. 相互相関解析

図-2は鳥取における流速絶対値と鳥取の観測地点近傍における気圧及び、風速絶対値との相互相関解析結果を最大6日間のタイムラグの範囲で例示したものである。同時刻～6時間前の風と正の相関が高く、6時間前～12時間前の気圧と負の相関が高くなる様子がみられた。図-3は鳥取同様に各観測地点で行った相互相関解析結果から、

気圧の負相関最大値及び風速の正相関最大値を棒グラフで、相関最大値が発生したタイムラグをマーカーで示したものである。地点により相関の大きさには差がみられるが、気圧、風速ともに日本海側でやや相関が高く、特に鳥取と直江津で高い傾向がみられた。太平洋側では相関が低い傾向にあり、潮岬では明瞭な相関のピークが確認されなかった。また、風速は概ね6時間前ごろに最大値が現れる傾向がみられたが、気圧については地点によるばらつきが大きくなっていた。

図-4は相関解析結果をもとに各格子点の気象データと鳥取における流れデータとの相関係数分布をタイムラグ別に地図上に等値線で例示したものであり、左から順にタイムラグが-24、-12、及び0時を示している。等値線は、気圧との相関では負相関、風速との相関では正相関を実線で示しており、0.05刻みで描画した。気圧の相関は、極値が鳥取北部の日本海上にあり、時間とともに相関の極値が西から東に移動していく様子が見られる。この極値の移動は、擾乱の移動そのものを示すものではないが、観測地点における流速の変動と関係が深い位置を

示しており、沖合流れの発生予測を行う上で、着目すべき海域を明らかにすることが可能である。風速の相関においても、同様に極値が西から東に移動する様子が見られるものの、風向の変化や陸地の影響を強く受けるため、相関は観測地周辺で高く、極値は不明瞭となる傾向がみられた。そこで、風速分布は気圧分布の移動に伴って変化すると考え、以下では気圧との相関について極値の移動特性に着目し、検討を行った。

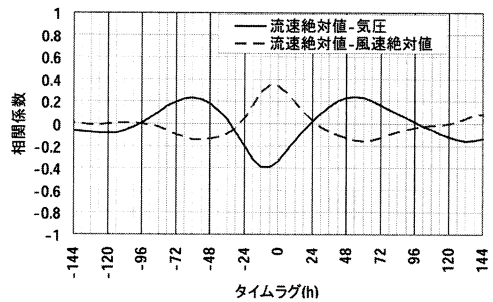


図-2 相互相関関数の一例 (鳥取)

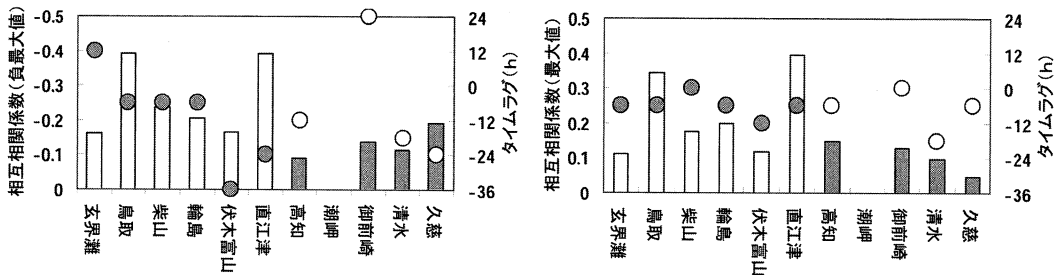


図-3 相互相関関数の最大値 (左: 気圧と流速絶対値の相関, 右: 風速と流速絶対値の相関)

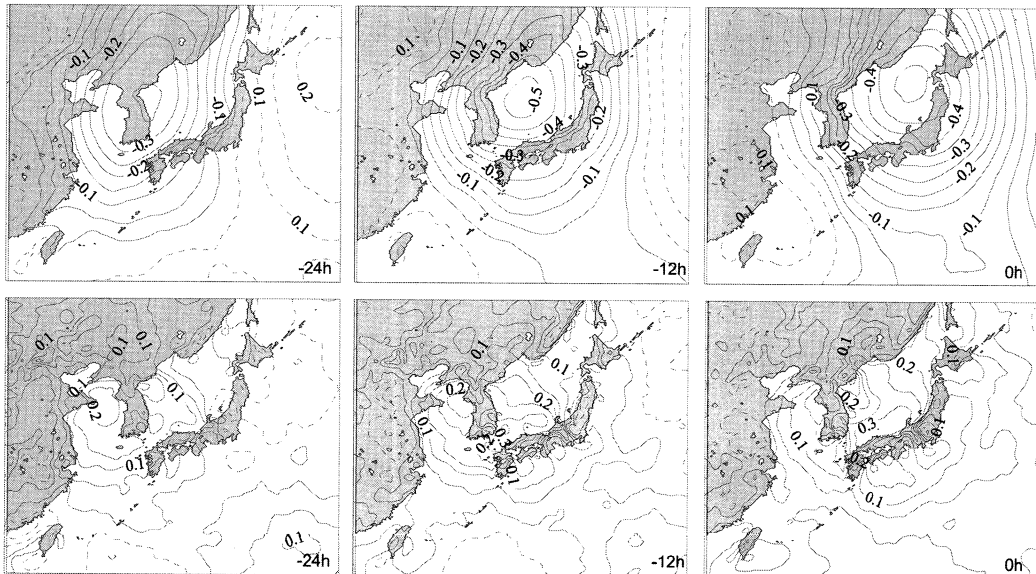


図-4 鳥取における相関係数分布の例 (上段: 気圧と流速の相関, 下段: 風速と流速の相関)

4. 極値の移動特性

図-5は図-4の相関係数分布をもとに、海域別に極値(負相関最大値)の軌跡を示したものであり、タイムラグ48時間前から同時刻までを6時間毎のマーカーで示している。相関が低く、極値が特定できないタイムラグについてはマーカーを示さないものとしており、潮岬については相関が低かったため、図示していない。

日本海側の観測地点である直江津、伏木富山、輪島、鳥取、柴山では観測地点の北方向である日本海やオホーツク海に、太平洋側の観測地点である高知、御前崎、清水では観測地点の南方向である太平洋に、玄界灘では西方向である東シナ海に極値があり、いずれの観測地点においても時間とともに極値が西から東へと移動する様子がみられた。久慈では観測地点が太平洋側に位置しているにも関わらず、移動特性は日本海側の直江津や伏木富山と類似している。日本海で発生した沖合流れが津軽海峡を通じて久慈まで海流として伝播していることが考えられるが、極値の移動をみると、日本海上を移動した低気圧が久慈の北側を通過することが多いためではないかと推察される。輪島、柴山、鳥取では同様の移動特性がみられるが、このうち柴山、鳥取では、極値が48~36時間前に大きく移動する様子がみられた。ここでは示していないが、柴山、鳥取の相関係数分布を確認するとタイムラグ30時間前以前では極値が二つに分かれる様子がみられており、台風由来の相関極値と冬季風浪由来の相関極値が混在していることが要因と考えられる。

ここで、相互相関解析に用いた6時間間隔の日平均流速データについて、観測地点毎に平均値 μ 、標準偏差 σ を求め、 $\mu+3\sigma$ を基準値とし、これを超えたデータを沖合流れの発生と仮定して、沖合流れ発生データ数を整理した。図-6は沖合流れの発生数(全地点計)を月別に整理し、日本列島に接近した台風の数と比較したものである。沖合流れは、秋季と冬季に多く発生しており、冬季の発生については主に1月に多く、秋季の発生については台風の接近数との相関が高い様子がみられた。

そこで以下では沖合流れの発生頻度が高く、相関分布への寄与が高いと考えられる台風接近時及び、冬季風浪時における移動特性について季節別に検討を行うこととした。台風接近時については、本検討の対象期間である2001年3月~2003年12月までの間に日本列島に接近した全18個の台風について、気象庁のホームページ

(http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/route_map/index.html)で提供されている台風経路図を確認し、東経120~160度、北緯20~50度の範囲を台風が通過している期間を抽出し、相互相関解析を行った。冬季風浪時については、2002年1月及び2003年1月を対象期間として抽

出し、相関解析を行った。冬季及び台風接近時の地点別沖合流れ発生数を表-1に、冬季風浪時および台風接近時それぞれについての代表的な沖合流れ発生の状況を図-7に示す。コンターは気圧を、ベクトルは風向・風速を表しており、流れについてはマーカーの大きさに流速の大

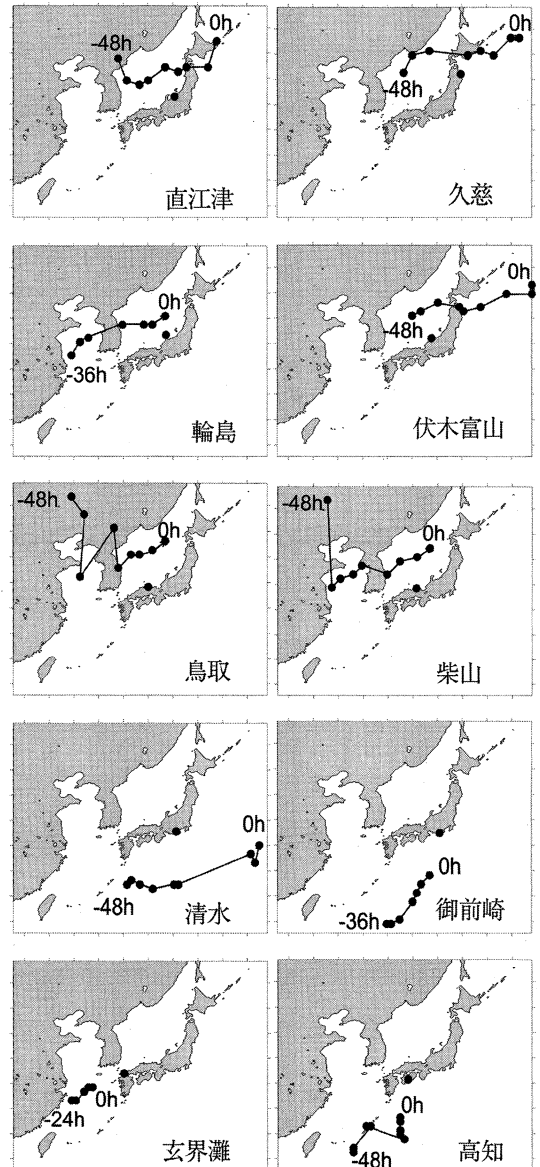


図-5 極値の軌跡 (通年)

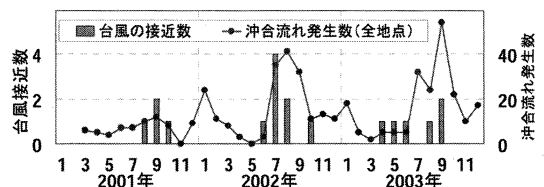


図-6 沖合流れの月別発生数

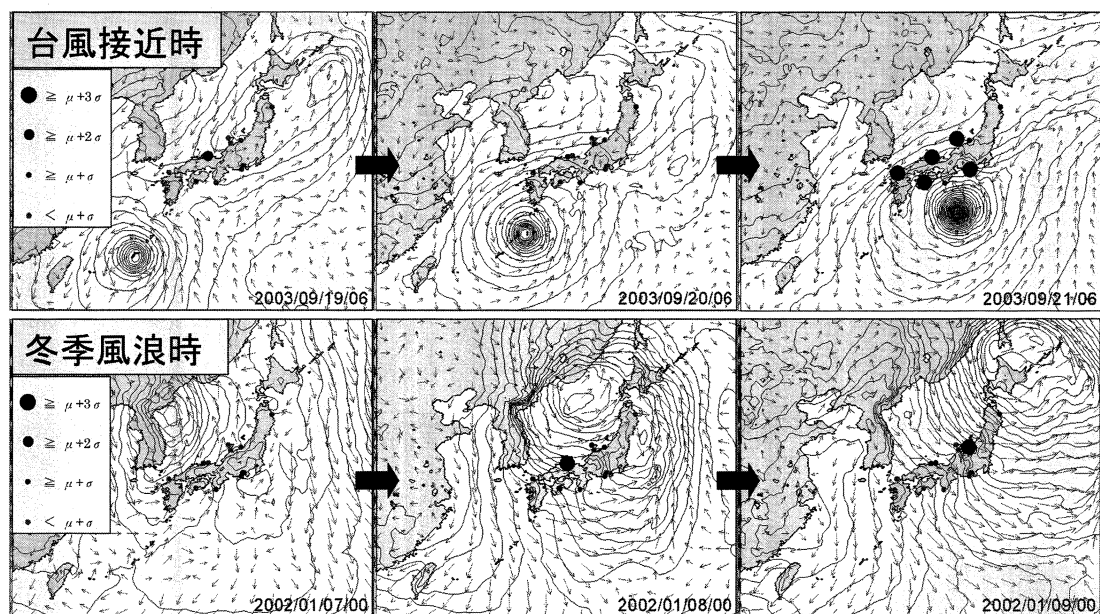


図-7 沖合流れ発生状況の例

きを区別している。

沖合流れの発生状況の例をみると、いずれの時期においても、低気圧の移動に伴い、等圧線が込み合う海域で沖合流れが発生する様子がみられた。また、全データ数に対する沖合流れの発生数の割合は、各地点とも通年に比べて台風接近時に高い傾向がみられた。冬季における沖合流れの発生数は直江津、鳥取、清水で多く、直江津では台風接近時よりも冬季に多く発生していた。なお、潮岬では平均流速が大きいため、沖合流れが発生していなかった。

表-1 沖合流れの地点別発生数

地点	水深 (m)	取得層 (m)	平均値 μ (cm/s)	基準値 $\mu+3\sigma$ (cm/s)	全期間 ※4414	台風接近時 ※421	冬季(1月) ※248
直江津	30.8	10.0	13.9	39.4	63	2	11
伏木富山	48.0	10.0	6.2	14.3	46	5	4
輪島	50.0	15.0	10.9	29.6	52	19	0
柴山	41.0	10.0	13.7	33.1	38	11	3
鳥取	30.0	10.0	15.0	37.9	25	11	9
玄界灘	40.5	10.0	27.1	49.0	8	4	0
久慈	48.0	10.0	15.8	38.6	33	13	2
清水	51.0	10.0	14.5	30.4	52	12	7
御前崎	20.0	5.0	17.0	45.7	82	25	3
潮岬	55.0	10.0	50.1	116.6	0	0	0
高知	25.0	10.0	10.7	27.9	60	18	3

※は期間中の全データ数(欠測を含む)

図-8は台風接近時及び冬季における海域別の極値(負相関最大値)の軌跡を示したものである。日本海側についてみると、台風接近時はいずれの観測地点とも48時間前は南西方向に極値があり、時間とともに日本列島に沿って北上する様子がみられ、日本列島近傍を縦断する台風で沖合流れが発生しやすいものと考えられた。このうち鳥取、柴山では極値が日本海側を北上し、玄界灘、輪島、直江津では極値が日本列島上又は太平洋側を移動して

り、影響を強く受けた台風の経路が異なっていたことが考えられた。冬季はいずれの観測地点においても極値が観測地点の北方を時間とともに東へと移動する様子がみられ、極値の軌跡は日本海周辺に集中していた。伏木富山では観測地点から離れたオホーツク海付近に極値があり、能登半島の遮蔽域であるために他の地点より沖合流れの発生が遅れる傾向にある可能性も考えられた。

太平洋側についてみると、台風接近時の高知、清水、御前崎では、いずれの時間帯とも観測地点の南方に極値があり、時間とともに北西方向へと移動する様子がみられ、台風が太平洋沖合から日本列島に近づく際に沖合流れが発生しやすいものと考えられた。このうち高知、清水では極値が大きく移動する時間帯があり、複数の台風の影響が反映された結果であることが伺える。これに対して久慈では、極値が西方から東方へと移動する様子がみられており、日本海側を通過した台風の影響を強く受けているものと考えられた。

両者の移動特性を比較すると、日本海側の観測地点は台風接近時、冬季ともに地点による差が小さい傾向にあり、冬季は比較的観測地点から離れた北部における低気圧の移動と関係が深く、台風接近時は日本列島の近傍を縦断する低気圧との関係が深いことが推察された。これに対して太平洋側では、台風接近時は太平洋沖合を接近してくる低気圧との関係が深く、冬季は地点による差が大きいものの、観測地点の南方を東へと移動する低気圧と関係が深い様子が伺えた。また、久慈は太平洋側に位置するものの、日本海側の観測地点と類似した特性を持

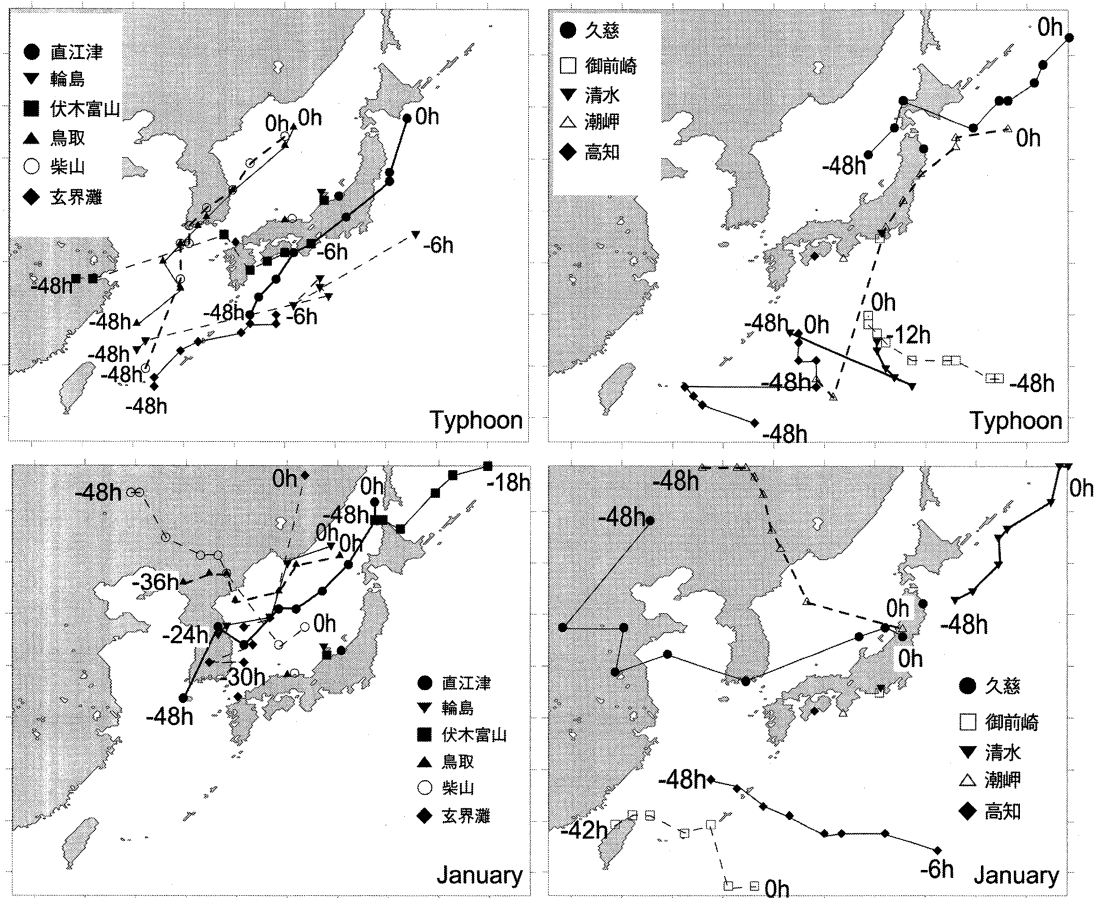


図-8 台風接近時及び冬季における極値の軌跡（左段：日本海側，右段：太平洋側）

つことが伺えた。

5. 結論

沖合流れの発生予測を行う上で、着目すべき海域を明らかにすることを目的とし、気圧と流れの相互相関解析を行い、海域別に相関極値の移動特性を検討した。本検討により得られた結論は以下のとおりである。

- 相関極値の移動特性は季節により変化している。
- 日本海側は、観測地点による差が小さい傾向にある。
- 久慈は日本海側の観測地点と類似した移動特性を持つ。
- 日本海側では、冬季は観測地点の北側における低気圧の移動と関係が深く、台風接近時は日本列島の近傍を縦断する低気圧との関係が深い。
- 太平洋側では、台風接近時は太平洋沖合を接近してくる低気圧との関係が深く、冬季は観測地点の南方を東へと移動する低気圧と関係が深い。

なお、本検討では流速の日平均値を用いて相互相関解析を行い、極値の移動特性についての検討を行ったが、成分流速を用いた相互相関解析により高精度の移動特性

が把握できるものと考えられる。今後は成分流速を用いた沖合流れ発生状況の検討を行い、成分流速や気圧の勾配との比較や数値シミュレーションによる再現により沖合流れの発生メカニズムを明らかにしていく必要がある。

謝辞：本研究においては、相関解析の方法について、株式会社エコーの鈴山勝之氏より有益な情報を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 佐藤慎司(1995)：日本海沿岸で観測された流れの特性，土木学会論文集，No.521/II-32, pp.113-122
- 橋本典明，永井紀彦，高山知司，高橋智晴，三井正雄，磯部憲雄，鈴木敏夫(1995)：水中超音波のドップラー効果を用いた海象計の開発，海岸工学論文集，第42巻，pp.1081-1085
- 橋本典明，川口浩二，永井紀彦，柴木秀之，鈴山勝之(2002)：気象・波浪相関図に基づく我が国沿岸波浪の出現特性解析，海岸工学論文集，第49巻，pp.221-225
- 横田雅紀，山城賢，橋本典明，永井紀彦(2007)：海象計による流況観測結果を用いた恒流の季節変動特性に関する検討，海洋開発論文集，第23巻，pp.615-620