

日本海沿岸における波浪の経年変化特性に関する研究

Long-term Variability of Annual Large Waves along Coasts of the Sea of Japan

間瀬 肇¹・田中 遼²・森 信人³・安田誠宏⁴

Hajime MASE, Ryo TANAKA, Nobuhito MORI and Tomohiro YASUDA

Wave climate influenced by global warming is investigated for impact assessment and adaptation strategy for coastal hazard area. Related studies show regional dependence; in some regions wave heights increase these 30 years and in some areas decrease. This study examined a long-term variability of annual large waves, such as maximum, top three averaged and top five averaged waves, along coasts of the Sea of Japan using observed wave data. When waves generated by winter monsoon pattern were considered, the wave heights increased in northern area of Japan. The relation between the variations of maximum wave heights and three meteorological indices was examined; however, there was no clear correspondence between them.

1. はじめに

地球温暖化との関連において、波候特性の研究が世界中で盛んである(例えば, Komar et al., 2009). 磯崎・鈴木(1999)は, 約20年間(～1994年)で波高が増加している傾向を示していること, 一般に冬季の平均有義波高変動は, 夏季のそれより大きい傾向があること, 冬季の平均有義波高は, 気温と逆相関であること, また, 日本海沿岸では, シベリア高気圧の強弱によって, 季節風の強風帯が南北に偏ることによって, 高波浪が生じる地域が異なることを示している. 畑田ら(2002)はNCEP/NCARの10m高度表面風再解析データを入力とした長期波浪推算資料の解析に基づいて, わが国沿岸では過去41年間(1958～1998年)で波高統計量(例えば, 年平均有義波高や上位1/3平均有義波高)に有意な増加や減少傾向がない事を示した. 清水ら(2006)はナウファス観測データ(～2004年)に基づく長期波候変動特性の解析を行っているが, その中で太平洋側と日本海側での長期のデータがある代表地点での年平均有義波高の変動を調べた結果, 顕著なトレンドが見られないことを報告している. 一方, 宇都宮ら(1997)は, 実測値(運輸省港湾局ナウファス44地点と気象庁沿岸波浪観測所11地点の1977～1995年)による波候の変動特性を解析し, 月平均有義波高は, 太平洋側で1年間で約0.6cmの増加, 日本海沿岸で約0.1cmの減少傾向を示すことを示した. ただし, 4季に分けて各季の平均有義波高の年変化は異なった傾向を示す. 米国西海岸においては, 波高の経年変化に明らかな増加傾向が現われているが, カナダ西岸では減少傾向が見られ

るといったように地域に依存する(Komar et al., 2009; Menendez et al., 2008).

気象研究所の超高解像度大気モデルAGCMの出力を用いて全球波浪推算を行って求めた, 現在波候および将来波候における極端化指標(期間最大上位10位平均値と全期間平均値との比)はカナダ西岸に比べてアメリカ西岸で大きく, また, 日本においては, 太平洋側では南ほど, 日本海では北ほど大きいことが示されている(森ら, 2009).

海の波を発達させる風は大気の循環, 台風, 低気圧, 季節風等によって生じる. 波浪は, 気象現象が非線形のフィルターを通して現れた結果である. そのため, 地球規模のエルニーニョ・ラニーニャ現象といった大気海洋相互作用の影響や地球温暖化の影響が波候にも現れると考えられる.

現在, 地球温暖化に伴って生じる極端化気象(集中豪雨, 台風, 旱魃, 豪雪, 熱波等)による災害が懸念されているが, 本研究では, 極端化事象としての規模の大きな波を対象として, 日本海沿岸における波浪の長期増加・減少傾向について調べ, さらに年々変動特性について解析する. なお, 日本海沿岸を対象とするのは, 台風のように確率が低く局的な気象要因による高波浪を除外した高波浪に限定することにより, 長期的な気候変動の影響が表れているかを検討するためである.

2. 解析に用いた資料

(1) 波浪資料

用いた波浪資料は, 全国港湾海洋波浪情報網(ナウファス)の観測資料であり, 日本海沿岸のみを対象とした. 対象地点は, 20年前後の長期にわたる観測が行われている地点で, 水深が大きく碎波の影響が少ない地点である留萌, 瀬棚, 深浦, 酒田, 輪島, 金沢, 福井, 鳥取, 浜

1 正会員 工博 京都大学教授 防災研究所
2 学生会員 京都大学大学院 工学研究科
3 正会員 博(工) 京都大学准教授 防災研究所
4 正会員 博(工) 京都大学助教 防災研究所

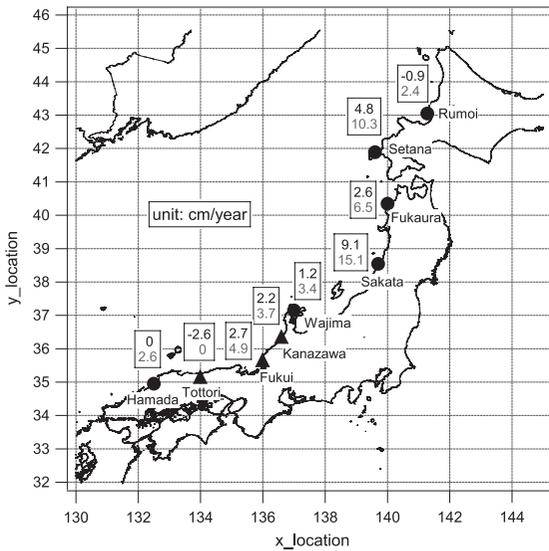


図-1 解析に用いた波浪観測地点 (図中の数値は波高の年増加率を表している; 上段は気象要因の区別なし, 下段は冬型気圧配置による波浪)

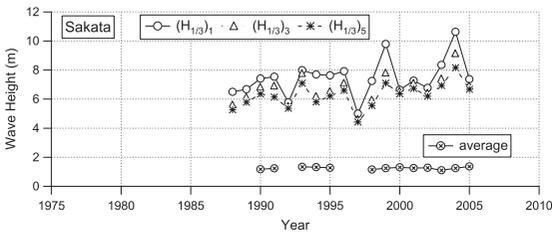


図-2 酒田における年最大有義波高, 上位3個平均有義波高, 上位5個平均有義波高および平均有義波高の変化

田を選んだ (図-1 参照). このうち金沢, 福井, 鳥取は水深が20~30mと少し浅いが, 観測期間が長いので採用した. 波は各年の上位5個を取り出し, 最大値のみ, 上位3個の平均値, 上位5個の平均値を求めた. 解析にあたっては, 高波が発生した気象要因を冬型気圧配置とそれ以外に区別した解析も行った.

図-2は, 酒田における有義波高の代表値の年変化を示したものである. ただし, 気象要因を分けない場合の結果である. 河合 (2008) は10地点の年平均有義波高の経年変化を調べ, どの地点においても顕著な増加・減少傾向はみられないことを示しているが, 図-2においても, 確かに年平均有義波高にはほとんど変化がないことがわかる. しかし, 高有義波高に対しては, 年々変動とともに, 一定の増加傾向があることがみられる. また, この図は, 3種類の有義波高の極値についての代表値はほとんど同じ変化を示すこと, 最大有義波高が最も大きな年増加傾向を示していることもわかる. Komar et al. (2009) も東太平洋の上位の有義波高ほど年増加率が大きいことを報告している.

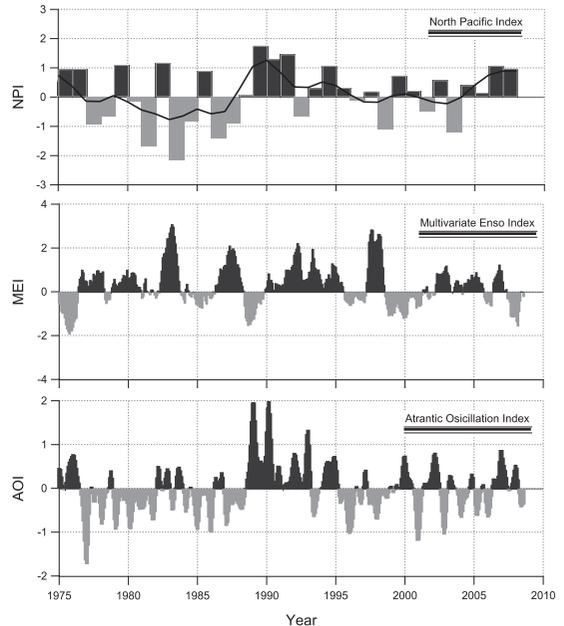


図-3 3種類の気象指数の経年変化

(2) 気象指数

日本は北半球の中緯度に位置し, 海に囲まれており, 気象現象の影響によって高波災害が多発する地域である. ここでは, 日本海域に影響を与えるであろう気象現象のうち, アリューシャン低気圧, エルニーニョ・南方振動, 北極振動を取り上げ, それぞれの気象現象を表す指数の変動と波高変動の関連を調べた.

北太平洋指数 (NPI) は, アリューシャン低気圧の勢力を表す. 北緯30度~65度, 東経160度~西経140度の領域における海面気圧を領域平均し, 標準偏差で規格化したものであり, NPIが正の時 (暖冬) はアリューシャン低気圧が平年の状態より弱いことを意味し, 負の時 (厳冬) はその逆の状態となる. 多変数エルニーニョ・南方振動指数 (MEI) は, 気圧の状態だけでなく, 海水温, 海上の気温のほかにも天候などの様々な条件から計算された指数である. エルニーニョ現象が起きた時はMEIの値は正になり, その年の日本は長梅雨, 冷夏, 暖冬になる傾向がある. 北極振動指数 (AOI) は, 北半球における月平均海面気圧の平年からの偏差を主成分分析し, 第1成分として取り出されたものである. この指数が正の値を取る場合には, 北極域の気圧が低く, 中緯度付近の気圧が高くなっていて, その気圧の差は大きくなっている. これらの気象指数の経年変化を図-3に示した.

また, 日本海周辺の気候変化については, NCEP/NCARの再解析値の1日平均海面更正気圧を用い, 日本海及びシベリア東部上空気圧の経年変化について評価を行った.

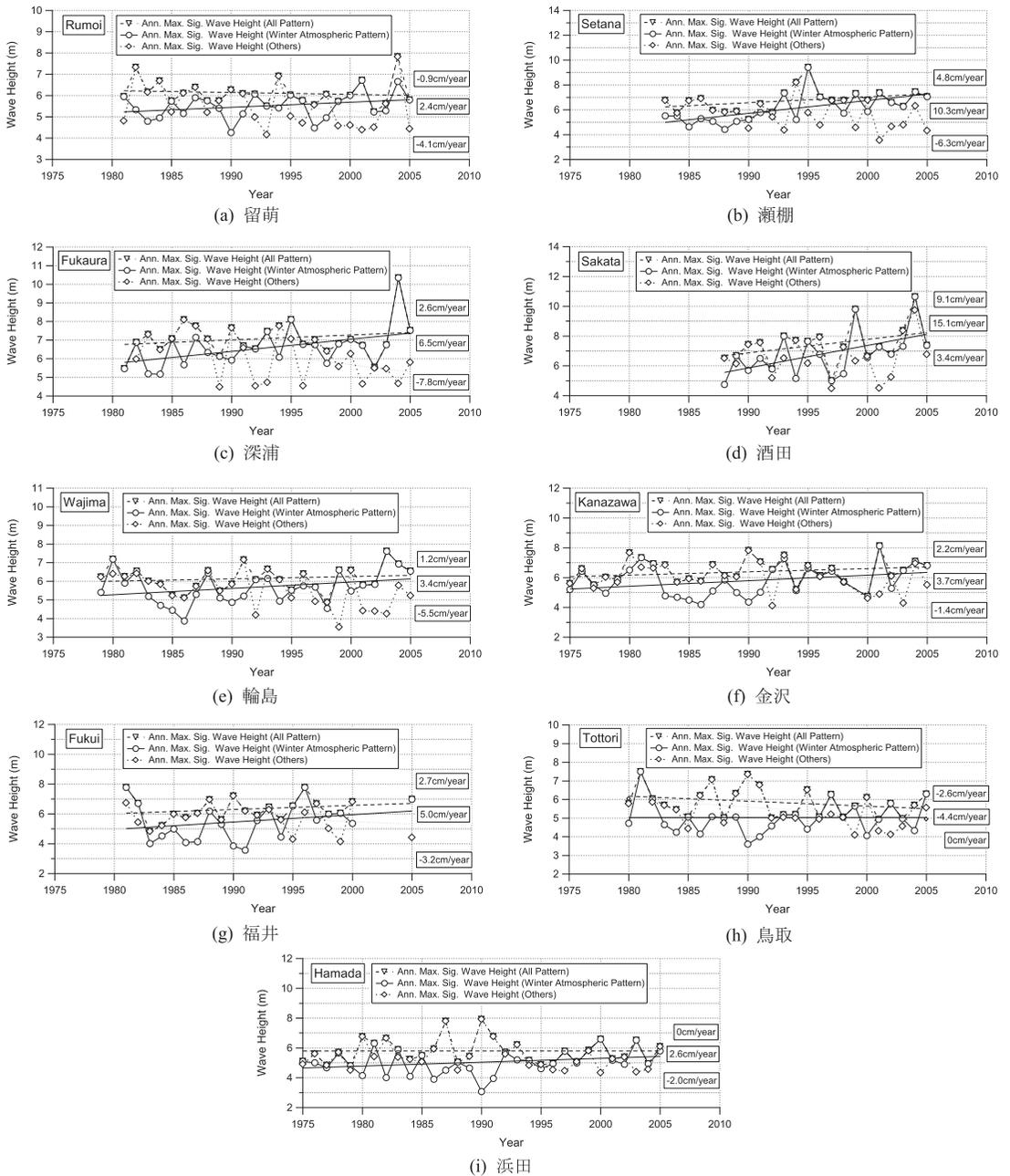


図-4 年最大有義波高の経年変化

3. 日本海沿岸波浪の経年変動

(1) 波高の経年変動

図-2より、年上位3位および上位5位平均有義波高の経年変化は、年最大有義波高のそれとほとんど同じであることから、以下では年最大有義波高についての結果を示すこととする。

図-4は、9地点における年最大有義波高の経年変化を

示したものである。気象要因を区別せず年最大有義波高を整理したものを▽印で示し、その平均的長期変化を線形近似して破線で示してある。冬型気圧配置によって生じる高波を○印で示し、その長期変化を実線で示した。その他の気象要因である移動性低気圧による高波は、◇印で示し、長期変化を破線で示してある。なお、長期変化傾向である年変化率は、図中に数値で示してある。また、気象要因を区別せずに求めた年最大有義波高の変化

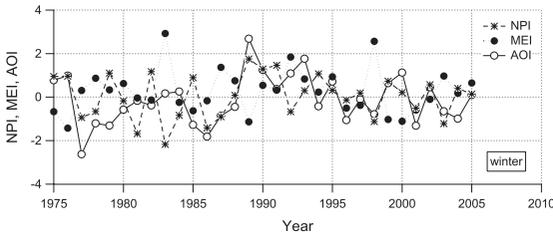


図-5 冬季に限った気象指数の経年変化

表-1 波高変動と気象指数変動との相関係数

	留萌	瀬棚	深浦	酒田	輪島	金沢	福井	鳥取	浜田
AOI	-0.41	-0.3	-0.25	-0.28	-0.13	-0.29	-0.38	-0.26	-0.21
NPI	-0.03	0.02	0.28	0.05	0.01	-0.24	-0.05	-0.1	-0.32
MEI	-0.33	0	0.03	-0.28	-0.01	0.07	-0.28	0.04	-0.11

率が図-1の上段の数値, および, 冬型気圧配置によって生じた年最大有義波高が図-1の下段の数値である. なお, 気象要因の区別は, 全国港湾海洋波浪観測年報に記載されている発生要因に基づいた.

留萌においては, 気象要因を区別しない年最大有義波高はわずかな長期的減少傾向, 冬型気圧による波は年2.4cmの割合で増加, 移動性低気圧による波は長期減少傾向にある. 瀬棚では, 気象要因を区別しない波も冬型気圧による波も増加しているが, 移動性低気圧による波には減少傾向がみられる. この傾向は, 深浦においても同様である. 酒田においては, 気象要因を区別しない場合, 冬型気圧および移動性低気圧による年最大有義波高のいずれも長期的に増加している. 輪島, 金沢および福井においては, 瀬棚と深浦と同様に, 移動性低気圧による年最大有義波高のみが減少している. 鳥取においては, 気象要因を区別しない場合には長期的な減少傾向, 冬型気圧による波浪は長期的な増減がなく, 移動性低気圧による年最大有義波高は減少傾向にある. 浜田における長期変化は, 気象要因を区別しなければ, ほぼ一定, 移動性低気圧による波は減少傾向にある.

極東域では「西高東低」の冬型気圧配置が持続するとき, 日本付近では移動性の温帯低気圧が発達しがたいことが報告されており(中村・三瓶, 2004), 図-4において, 冬型気圧による波高の増加傾向とその他の気象要因による波高の減少傾向といった逆の傾向になることが, その結果と一致する.

以上, 最大有義波高の長期的な変化傾向について図-1を概観すると, 北の地域ほど増加率が大きいと言える. この傾向は, 森ら(2009)の現在波候および将来波候における極端化指標の空間分布と一致している.

(2) 波高変動と気象指数変動との相関

図-4には長期変動とともに年々変動もみられる. この波高変動と気象変動との関係を調べるが, ここで整理し

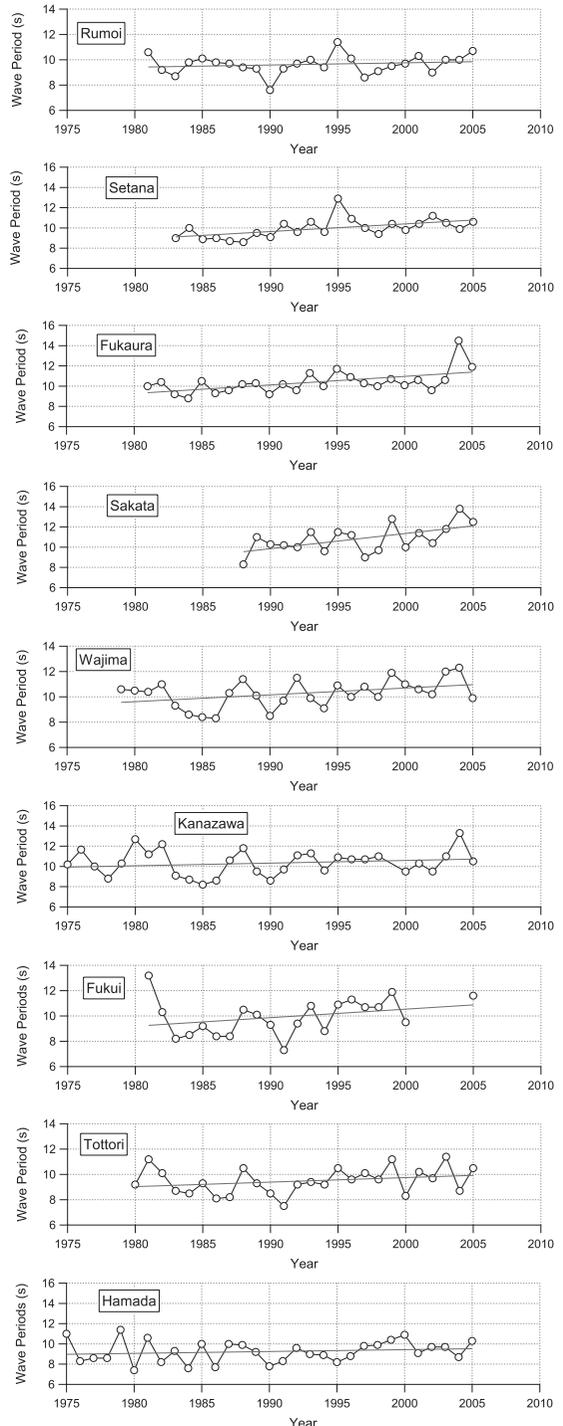


図-6 冬型気圧によって生じる有義波周期の経年変化

た年最大有義波高はほとんど冬期のものである. そこで, 気象指数を冬季の平均値にまとめ直し(図-5に示す), 波高変動と気象指数変動との関連を調べた.

波高変動を用いるに当たって, 冬型気圧配置による高

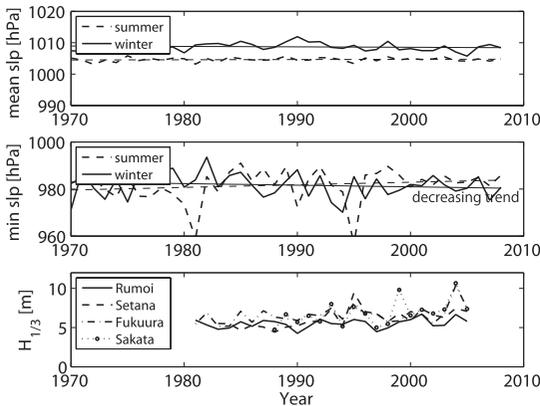


図-7 日本海域での冬季の日平均気圧の年平均値、日平均気圧の年最低値および年最大有義波高の時系列変化

波を用いた場合の方が、気象要因による区別をしない波を用いた場合に比べて、相関係数が大きくなった。その結果を表-1に示す。相関係数は最大で-0.4程度である。また、相関の高い気象指数は地点によって異なる。表-1より、3つの気象指数のうち、すべての地点において相関係数の値が大きいのは、北極振動指数(AOI)である。

波高変動と気象指数変動の相関があまり高くないのは、波高と気象指数の時間・空間スケールの相違によるものと考えられる。すなわち、気象変化は時間的遅れを伴って日本に影響が現れること、気象指数はメガスケール領域の平均値であるが、波高は局所的な代表値であることによる。気象指数との関連は、日本海で観測された波を何らかの方法で平均化した指標を用いる必要があると思われる。

図-6は、冬型気圧によって生じる有義波周期の経年変化を示したものである。これらの図によると、すべての地点で増加傾向があることがわかる。

図-7は、日本海域の日平均気圧の年平均値(上段図)および日平均気圧の年最低値(中段図)の時系列を示したものである。これらの指標は、気象指数より直接的に日本沿岸の波候に影響する指標である。最低気圧は日本海でのある地点での最低気圧であり、日本海域での最低気圧を代表するものであるため、各地点の波高との空間スケールの相違という問題はある。図-7によると、冬型気圧によって生じる高波がなぜ増加傾向にあるのかを、波浪を生じさせる気象要因の影響としてとらえることができる。すなわち、最低低気圧の長期的な減少傾向が高波の増加傾向に寄与していることが示唆される。

4. まとめ

本研究は、主に年最大有義波を対象として、日本海沿岸における波浪の長期増加・減少傾向と年変動特性につ

いて解析した。主要な結論は以下のとおりである。

- 1) 冬型気圧配置によって生じた高波は、全地点において波高および周期ともに増加傾向を示した。また、波高の増加率は北の地域の方が大きくなる傾向がみられた。
- 2) 波高変動と気象指数の経年変動との相関を調べたところ、総じて北極振動指数との相関係数が大きかった。
- 3) 極東域では「西高東低」の冬型気圧配置が持続するとき、日本付近では移動性の温帯低気圧が発達しがたいことが報告されており、冬型気圧による波高の増加傾向とその他の気象要因による波高の減少傾向といった逆の傾向になることが、その結果と一致する。

本研究は、科研費基盤研究B「地球温暖に伴う極端化気象による高波・高潮災害予測と工学的評価」(代表: 間瀬 肇)、基盤研究B「IPCC温暖化予測数値情報による極端気象現象と災害発現特性の研究」(代表: 石川裕彦)および基盤研究A「国際重要インフラの災害リスクガバナンス戦略」(代表: 多々納裕一)の研究の一部であることを付記し、謝意を表す。また、波浪観測資料解析にあたり、港空研の海象情報研究チームリーダー 河合弘泰氏にはお世話になり、ここに感謝いたします。

参考文献

- 磯崎一郎・鈴木 靖(1999): 波浪の解析と予報, 東海大学出版会, 274p.
- 宇都宮好博・岡田弘三・鈴木 靖(1997): 波候の変動特性に関する研究, 海岸工学論文集, 第44巻, pp.1246-1250.
- 河合弘泰(2008): 地球温暖化と港湾・海岸施設の安全性, 水工学に関する夏期研修会テキスト, 土木学会, pp. B-6-1~B-6-20.
- 清水勝義・永井紀彦・里見 茂・李 在炯・富田雄一郎・久高将信・額田恭史(2006): 長期波浪観測値と気象データに基づく波候の変動解析, 海岸工学論文集, 第53巻, pp.131-135.
- 中村 尚・三瓶岳昭(2005): 寒候期における極東域の低気圧活動の特徴, 日本気象学会機関紙「天気」, Vol.52, No.10, pp.760-763.
- 畑田佳男・山口正隆・大福 学・野中浩一・李 敏杰(2002): わが国沿岸での長期波浪推算資料に基づく波高の傾向変動の解析, 海岸工学論文集, 第49巻, pp.1346-1350.
- 森 信人・岩嶋亮太・安田誠宏・間瀬 肇(2009): 温暖化予測に基づく全球海上風・波浪の変動解析, 海岸工学論文集, 第56巻(印刷中).
- Komar, P.D., C. Allan and P. Ruggiero (2009): Ocean wave climates: Trends and variations due to earth's changing climate, Coastal and Ocean Engineering Handbook, World Scientific, in print.
- Menendez M., F.J. Fernando, I.J. Losada and N.E. Graham (2008): Variability of extreme wave heights in the northeast Pacific Ocean, Geophysical Res. Letters, Vol.35, L22607, doi: 10.1029/2008GL035394.