

長期波浪観測値と気象データに基づく波候の変動解析

清水勝義¹・永井紀彦²・里見 茂³・李 在炯⁴
富田雄一郎⁵・久高将信⁶・額田恭史⁷

本研究は、我国沿岸の長期波浪観測結果をとりまとめると共に、近年約半世紀間の我が国周辺海域における台風記録を再整理したものである。沿岸波浪観測点中、同一点で比較的長期間の観測が実施されてきた観測点の中から、太平洋沿岸および日本海・東シナ海沿岸で各 5 点を抽出し、長期間の有義波の出現特性を整理した。また、1951 年から 2004 年までの 54 年間に我が国沿岸海域を通過したすべての台風経路情報をデータベース化し、台風経路の変動特性の検討を行った。我が国沿岸の波浪は、平均的には顕著な増加傾向は見られないものの、台風を要因とする顕著な高波の発生は、増加の傾向が見られる。

1. はじめに

2004 年における我国沿岸への頻繁な台風の上陸来襲(永井ら, 2005)や 2005 年における米国でのハリケーンカトリナ災害等を受け、地球規模の温暖化による気候変動と、台風や波浪の長期変動との関連の有無に、社会的関心が集まっている。こうした問題に取り組むためには、長期間にわたる気象・波浪観測データの解析に基づく実証的な研究が必要であるが、沿岸波浪観測は、風や気圧等の気象観測に比べその歴史は浅いため、実測沿岸波浪データに基づく長期間の沿岸波浪特性の変動に関する検討は困難であった。しかし、運輸省(現国土交通省)港湾局関係機関によって 1970 年に始められた我国沿岸におけるネットワーク波浪観測網であるナウファス(全国港湾海洋波浪情報網)によって、観測点によっては 35 年間に及ぶ長期波浪観測データのとりまとめがなされるに至り、実証的な波候統計解析の精度と信頼性は、向上されつつある(永井, 2002; 永井ら, 2006)。

本研究は、10 年以上前に著者らのグループがとりまとめた、ナウファスデータに基づく長期波候変動特性解析結果(永井ら, 1993; 永井, 1994; 永井, 1997)を、その後蓄積された観測データを付加して再検討したものである。あわせて、近年約半世紀間の台風記録を再整理し、台風出現特性とこれによる高波の発生記録との関連を考察し、今後の沿岸防災に関する基礎資料の整備をめざした。

2. 検討対象とした波浪観測情報

全国港湾海洋波浪情報網における観測点中、同一点で比較的長期間の波浪観測が実施されてきた観測点を、太平洋沿岸および日本海・東シナ海沿岸でそれぞれ 5 点ずつ抽出し、長期間の有義波の出現特性をとりまとめた。

図-1 は、抽出された波浪観測点の位置を日本地図上に表記したものであり、太平洋側では苫小牧、むつ小川原、波浮、潮岬、中城湾を、日本海・東シナ海側では、留萌、酒田、金沢、浜田、那覇が示されている。

3. 観測期間および既往最大観測波

表-1 に、抽出された観測点の水深、観測期間(菅原ら, 1999)、および既往最大観測波の諸元とその気象要因を示す。表-1 からわかるように、既往最大有義波は、1970 年代に 1 観測点、1990 年代に 3 観測点、2000 年以降に 6 観測点で発生しており、近年になって、これまでに観測されたことのない高波が多く観測されていること

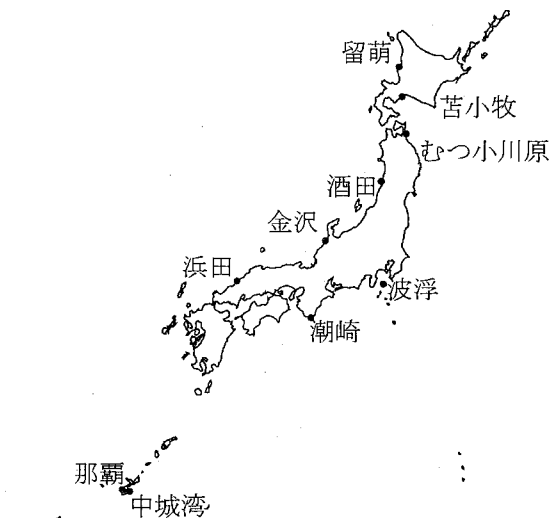


図-1 波浪観測点の位置

- | | |
|-----------|----------------------------------|
| 1 正会員 | (独法)港湾空港技術研究所
海洋・水工部 海象情報研究室長 |
| 2 フェロー 工博 | (独法)港湾空港技術研究所 海洋・水工部長 |
| 3 | 東北地方整備局 釜石港湾事務所 |
| 4 正会員 工博 | (財)沿岸技術研究センター
波浪情報部 主任研究員 |
| 5 | (財)日本気象協会 調査部応用気象課技師 |
| 6 正会員 | (株)エコー 海象解析部長 |
| 7 | (株)エコー 海象解析課長 |

表-1 代表的な長期波浪観測点

地 点 名		現計測機種	設置水深(m)	観測期間	既往観測最大有義波		起 時	発 生 要 因
					$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (s)		
太平洋側	苫 小 牧	海象計	50.7	70.01～現在	6.10	15.5	72 年 2 月 28 日 10 時	二つ玉低気圧
	むつ小川原	USW	43.8	74.04～現在	9.56	12.5	91 年 2 月 17 日 0 時	二つ玉低気圧及び冬型気圧配置
	波 浮	USW	48.3	73.04～現在	8.48	12.3	00 年 7 月 8 日 4 時	台風 0003 号
	潮 岬	海象計	54.7	70.08～現在	10.22	15.7	04 年 10 月 20 日 18 時	台風 0423 号
	中 城 湾	海象計	39.6	73.11～現在	11.93	13.6	04 年 10 月 19 日 12 時	台風 0423 号
日本海側	留 萌	海象計	49.8	70.01～現在	7.8	10.6	04 年 9 月 8 日 14 時	台風 0418 号
	酒 田	USW、傾斜計	45.9	70.01～現在	10.65	13.8	04 年 11 月 27 日 6 時	冬型気圧配置
	金 沢	海象計	21.1	70.01～現在	8.14	10.3	01 年 12 月 15 日 6 時	冬型気圧配置
	浜 田	海象計	50.1	74.03～現在	7.93	11.2	90 年 12 月 11 日 18 時	日本海低気圧及び冬型気圧配置
	那 覇	USW	52.9	73.07～現在	9.24	14.1	90 年 10 月 6 日 20 時	台風 9021 号

が示された。ただし、気泡等の混入の結果水面変動が正しく測定できなかった場合、従来欠測とされていた観測値に対して、1991年以降の観測データに対しては、海底水圧変動から捕捉計算されるようになり（橋本ら、1993）、高波浪状況における波浪の測得状況が大きく改善されたことには、注意が必要である。

4. 年平均有義波高の長期変動

これらのナウファス観測点における長期波候統計のとりまとめ結果の一例を図-2に示す。ここでは、該当年のすべての月におけるデータ測得率が50%を超える場合にのみ年平均有義波高を表示することとし、両海域における年平均有義波高の変動を示した。これは、波浪観測では海底ケーブル切断事故等によって欠測が長期間継続することがあるため、波候統計のとりまとめにあたっては、欠測期間を十分に配慮したためである。縦軸には、当該観測点における通年平均有義波高で無次元化した年平均有義波高を対数軸で表示した（永井、1993）。

年平均有義波高の変動は、概ね対数軸上で ± 0.1 （波高値で約 $\pm 10\%$ ）の範囲に収まっており、日本海側・太平洋側に共通して年平均有義波高には、顕著なトレンドは見られなかった。すなわち、年間を通じた平均有義波高は、概ね $\pm 10\%$ の範囲で年毎に変動を示すものの、近年の35年間を通じて見る限り、顕著な増加傾向も減少傾向も見られなかった。

5. 台風経路の変遷

観測波浪データの整理に並行して、1951年から2004年までの54年間に我が国沿岸海域を通過したすべての台風経路をデータベース化し、最近半世紀における台風経路の変動特性の検討を行った。結果の一例として、緯度経度各2度間隔の領域内の10年間あたりの台風通過回数を求め、その結果をコンター表示した結果を図-3に示す。

1951~2004年の全期間平均値として10回以上の台風通過回数が現れている日本国内の範囲は、沖縄・九州・

四国・近畿南部であった。しかし、10年毎に見るとその範囲は異なったものとなっている。

すなわち、1955~1964年の10年間についてみると、その範囲は上記に加えて中国地方の一部および近畿全域と中部地方の一部にまで及んでおり、この10年間は54年間を通じた平均よりも我国内の台風通過数が多かったことがわかる。しかし、次の1965~1974年の10年間についてみると、図中に太線で示す10回の等頻度線は総じて南下しており、台風通過の回数が減っている。ただし、東海から関東西部地方に限っては、若干ではあるが10回の等頻度線は北上しており台風の通過回数が多かったようである。

その次の1975~1984年の10年間についてみると、10回の等頻度線は、総じて、大きく南下しており、沖縄と九州南部だけが、10回以上の台風通過頻度領域となっ

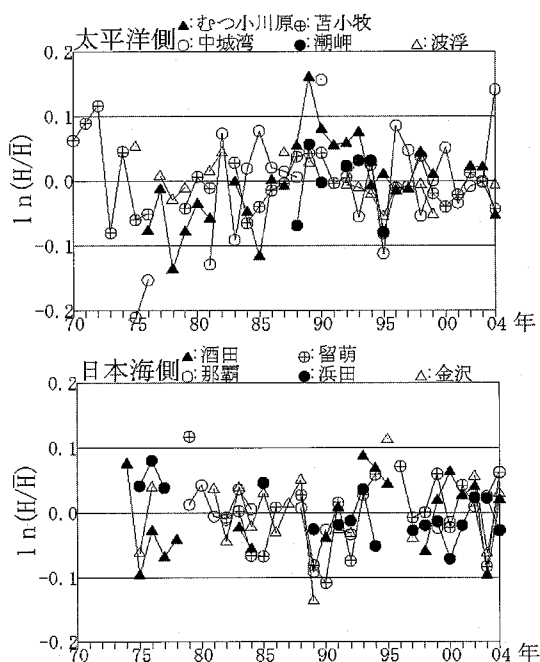


図-2 年平均有義波高の経年変動

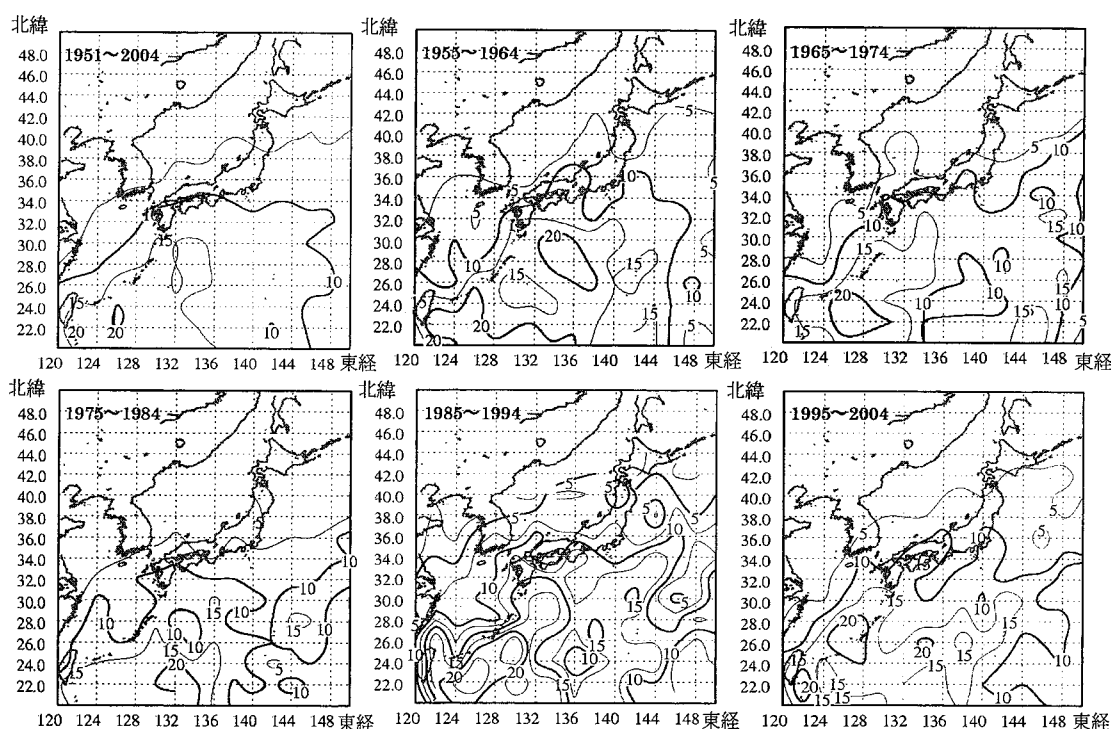


図-3 10年間あたりの台風通過回数

ている。すなわち、1975~1984年の10年間は、我国を通過した台風数が比較的少なかった10年間であったということになる。

しかし、次の1985~1994年の10年間についてみると、10回の等頻度線は再び北上しており、沖縄・九州・近畿のほぼ全域が、10回以上の台風通過頻度領域となった。さらに、最近の1995~2004年の10年間についてみると、特に西日本全域と関東東部で10回の等頻度線はさらに北上している。特に、沖縄本島付近は、この10年間に限って、20回以上の台風通過頻度領域となっている。すなわち、総じて見ると、過去の半世紀を10年毎に区切った各地域の台風通過回数を見ると、最近の1995~2004年の10年間は、もっとも多くなっているようである。

以上まとめると、台風の通過回数を10年毎に区切って整理すると、1975~1984年の10年間は最も台風の通過回数が少なかった10年間であったことが確認されると同時に、最近の1995~2004年の10年間は、比較的台風の通過回数が多かった1955~1964年の10年間よりもさらに、台風の通過回数が多かったことが示された。このことは、我国で甚大な高潮災害を発生させた台風は、1959年の伊勢湾台風以降は長期間にわたってとだえていたものの、最近になって1991年の台風9119号および1999年の9918号（永井ら、2000）、2004年の0416号、

0418号、0423号（永井ら、2005）などの被害が見られるようになったことと、よく対応しているようにも思われる。台風通過回数が増えれば、大災害を引き起こす台風の出現もまた多くなったということであろう。

6. 高波発生状況の変遷

波浪観測点毎の長期波候統計整理にあたっては、図-2で紹介した年平均有義波高の長期変動解析に加えて、顕著な高波の出現記録についても、気象要因とともにとりまとめを試みた。

図-4は結果の一例であり、図-1および表-1に示す各波浪観測点の5年毎の高波出現状況の変遷を表記したものである。ここで、左縦軸と対応する棒グラフは、全期間を通じて観測された上位30位までの高波観測数を5年毎に気象要因とともにカウントしたものであり、右縦軸に対応する折れ線グラフは有義波高5m以上を記録した気象擾乱数を、やはり5年毎にカウントしたものである。以下に、各観測点毎の高波出現状況の変遷を述べる。

(1) 留 萌

折れ線グラフに示す有義波高5m以上の高波を観測した気象擾乱数、および棒グラフで示す上位30位までの高波観測数は、ともに1980年代に極大となっており、その前後は1980年代よりは顕著な高波を発生させた気象擾乱数は少なかったようである。全期間を通じた高波

発生気象擾乱数の増加や減少のトレンドは示されなかった。しかし、上位 30 位までの高波発生要因に注目すると、2004 年の台風 18 号が、上位 30 位までの高波記録の中で唯一の台風を要因とするものであったにもかかわらず、これが既往最大観測有義波高であったことは、注目に値する。

(2) 酒 田

折れ線グラフに示す有義波高 5 m 以上の高波を観測した気象擾乱数に注目すると、2000 年から 2004 年までの 5 年間で、最も高波発生回数の多い 5 年間であった。棒グラフを見ると、高波を発生させた気象擾乱のほとんどは冬型あるいは低気圧の通過によるものであり、台風によるものは総じて少ない。しかし、台風による顕著な高波が 4 回観測される中、そのうち 2 回が 2000 年から 2004 年までの 5 年間に発生したことは、ごく最近になって台風による高波が日本海北部沿岸にまで及ぶようになっているという、留萌で見られた事象とも合致している。

(3) 金 沢

折れ線グラフに示す有義波高 5 m 以上の高波を観測した気象擾乱数に注目すると、1975 年から 1979 年までの 5 年間で、最も高波発生回数の多い 5 年間であった。棒グラフを見ると、高波を発生させた気象擾乱は、すべて冬型あるいは低気圧の通過によるものであり、台風によるものは見られなかった。

(4) 浜 田

折れ線グラフに示す有義波高 5 m 以上の高波を観測した気象擾乱数に注目すると、1975 年から 1979 年まで、1980 年から 1984 年まで、および 1990 年から 1994 年までの各 5 年間で、比較的、高波発生回数の多い 5 年間であった。棒グラフを見ても、同じ 3 回の 5 年間で、やはり相対的に大きな値を示している。高波を発生させた気象擾乱のほとんどは冬型あるいは低気圧の通過によるものであり、台風によるものは総じて少ない。

(5) 那 覇

折れ線グラフに示す有義波高 5 m 以上の高波を観測した気象擾乱数に注目すると、1990 年代の前半と後半の各 5 回が最も多く、1980 年代後半の 2 回が最も少なく、このため、わずかながら折れ線グラフは右上がりの増加傾向を示している。棒グラフから、台風に伴う顕著な高波回数に注目すると、1980 年代後半が極端に少なかったのを除けば、毎 5 年間を通じて、4~5 回程度であり、比較的一定に近い状況が読み取られる。

(6) 苫 小 牧

折れ線グラフに示す有義波高 5 m 以上の高波を観測した回数は、他のナウファス長期観測点に比べると比較的少ない。棒グラフを見ると、1970 年代後半と 1990 年代後半が極端に低い値となっていることを除けば、35

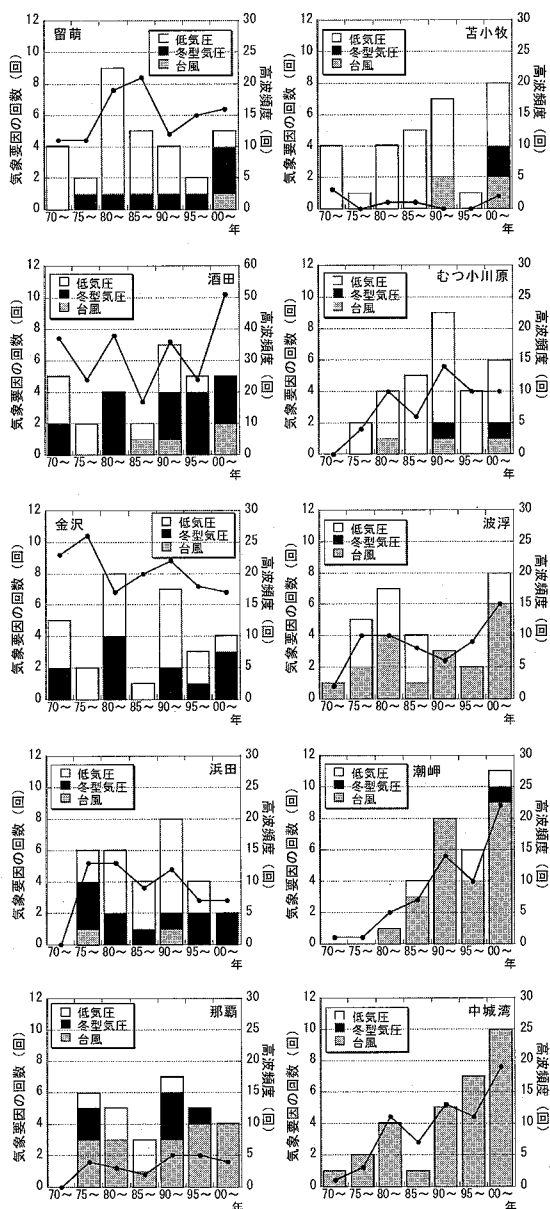


図-4 5 年毎の高波発生状況

年間を通じて顕著な右上がりの増加傾向が見られる。顕著な高波要因のほとんどが低気圧の通過によるものであり、台風によるものは少ない。台風による顕著な高波は、1990 年代前半と 2000 年以降に見られただけであり、日本海側の留萌と同様に、最近になってから台風に伴う高波が見られるようになったことがわかる。

(7) むつ小川原

折れ線グラフに示す有義波高 5 m 以上の高波を観測した回数は、1990 年代前半がピークであったが、1990 年代後半および 2000 年以降も高い一定の値となってい

るため、35年間を通じて顕著な右上がりの増加傾向が見られる。棒グラフを見ると、顕著な高波要因のほとんどは、苦小牧と同様に、低気圧の通過によるものであり、台風によるものは少ない。台風による顕著な高波は、1980年代前半、1990年代前半および2000年以降に見られた。

(8) 波 浮

折れ線グラフに示す有義波高5m以上の高波を観測した回数は、2000年以降が最も多くなっており、35年間を通じては、右上がりの増加傾向が見られる。棒グラフを見ると、1975年から1989年までの15年間については、顕著な高波要因としては台風によるものと低気圧の通過によるものとが同数程度であったが、1990年以降は、低気圧の通過による高波数は、台風によるものよりずっと少なくなっている。波浮では、台風による高波が2000年以後は、以前より多く見られるようになっていく。

(9) 潮 岬

波浮で見られた長期変動特性が、より一層明確に示されている。すなわち、折れ線グラフに示す有義波高5m以上の高波を観測した回数は、2000年以降が最も多くなっており、35年間を通じては、極めて明確な右上がりの増加傾向が見られる。棒グラフを見ても、同様に、2000年以降が最も多くなっており、やはり顕著な右上がりの増加傾向が見られる。顕著な高波要因としては台風によるものが最も多い。逆に言えば、台風が高波の主要な要因となる波浪観測点であるため、図-3で見られた台風来襲状況の変化が、顕著に高波観測結果として現れているのであろう。

(10) 中 城 湾

中城湾では、35年間を通じて上位30位の高波を発生させた気象擾乱はすべて台風であった。このため、波浮や潮岬で見られた傾向が、より顕著に現れている。すなわち、折れ線グラフに示す有義波高5m以上の高波を観測した回数は、2000年以降が最も多くなっており、35年間を通じては、極めて明確な右上がりの増加傾向が見られる。同様に、棒グラフを見ても2000年以降が最も多くなっており、やはり顕著な右上がりの増加傾向が見られる。こうした傾向は、図-3ともよく対応しており、台風経路の長期的な変遷によって、中城湾では特に顕著に高波の発生が近年増加する傾向となっていると考えられる。

7. おわりに

以上の検討をとりまとめると、以下のとおりである。

①年間を通じた平均有義波高は、概ね $\pm 10\%$ の範囲で年毎に変動を示すものの、近年の35年間を通じて見

る限り、顕著な増加傾向も減少傾向も見られなかった。

②しかし、ナウファス観測点における既往最大有義波は、多くの観測点で2000年以降に発生しており、近年になって、これまでに観測されたことのない高波が多く観測されていることが示された。

③最近の半世紀の台風経路の変遷を10年単位で整理すると、我国を通過する台風数は、最近の1995-2004年の10年間で、もっとも多い。

④このため、高波発生の主要因が台風である太平洋南岸の中城湾・潮岬などの波浪観測点では、特に顕著な高波発生の増加傾向が見られた。

ただし、上記の結論は、主として1970年から2004年までの35年間の波浪観測データに基づくものである。長期的な波候変動という観点から見ると、最長でも35年という波浪観測期間は、決して十分な期間とはいえないので、今後のデータの蓄積を重ねることにより、さらなる精緻な解析を継続的に実施すべきであろう。

最後に、本研究は、35年間にわたるナウファス波浪観測データの蓄積をもととしたものであり、この間、ナウファスを支えつづけてこられた、国土交通省港湾局関係機関の数多くの方々の努力が積み重なった結果に負うものである。改めてここに謝意を表する。

参 考 文 献

- 菅原一晃・永井紀彦・佐藤和敏・川口浩二 (1999) : 全国港湾海洋海象観測施設台帳 (ナウファス施設台帳Ⅲ), 港研資料, No.941, 49p. (付録 339P.)
- 永井紀彦 (1994) : ナウファスによる波浪環境モニタリング, 地球ウインドウズ, 土木学会誌 1994.3号, pp. 30-31.
- 永井紀彦 (1997) : ナウファス (全国港湾海洋波浪情報網) による我国沿岸の波浪特性の解明, 港研資料, No.863, 113p.
- 永井紀彦 (2002) : 全国港湾海洋波浪観測 30 年統計 (NOW-PHAS 1970-1999), 港空研資料, No. 1035, 388p. (3.5, 10, 15, 20 年統計も同資料, No. 208, 234, 401, 554, 744 として既刊)
- 永井紀彦・菅原一晃・橋本典明・浅井正 (1993) : 沿岸波浪の日変動特性と波浪の特異日, 港研報告, 第32巻, 第2号, pp. 115-152.
- 永井紀彦・橋本典明・佐藤和敏 (2000) : 台風9918号による西日本沿岸の波浪と潮位の出現特性, 港研資料, No. 969, 48p.
- 永井紀彦・里見茂 (2005) : 2004年台風による高波の観測結果 (NOWPHAS2004 特別号), 港空研資料, No.1100, 65p.
- 永井紀彦・里見茂 (2006) : 全国港湾海洋波浪観測年報 (NOW-PHAS 2004), 港空研資料, No.1118, 89p. (CD-ROM 添付) (1970年から2003年までの各年の波浪観測資料も, 同資料, No. 137, 158, 178, 209, 233, 258, 282, 311, 332, 373, 417, 445, 480, 517, 545, 574, 612, 642, 666, 712, 721, 745, 770, 796, 821, 859, 894, 926, 951, 988, 1017, 1041, 1069, 1094 として既刊)
- 橋本典明・永井紀彦・菅原一晃・浅井正・朴慶寿 (1993) : 波浪の多方向性と弱非線型性を考慮した水圧波から表面波への換算法について, 港研報告, 第32巻, 第1号, pp. 27-51