

# 日本海西部沿岸における発達初期の 季節風による異常波浪の予知

駒 口 友 章\*・土 屋 義 人\*\*

## 1. 緒 言

わが国の沿岸では、台風のみならず冬期季節風時にも低気圧の発達、停滞による吹送時間の増加、発生海域の地形的な制約等を受けてしばしば異常波浪が発生する。このような異常波浪の発生・発達の機構を調べ、長期の再現期間に対してその発生を予測することは、波浪災害の防止や港湾計画において非常に重要な課題である。この問題に対して、著者ら（1991, 1992）は、低気圧を進行経路で分類し、単独の低気圧が日本海を通過する場合、その停滞時間を考慮することにより、日本海沿岸に異常波浪が発生することを示し、さらに太平洋岸北東部においても、低気圧が南岸に沿って発達しながらゆっくりと北東進した後、三陸沖に抜けて急速に発達する場合の風域場の変化にともない、異なる方向から伝播してくるうねりと風波が重畳することによって台風と同程度以上の異常波浪が発生することを明らかにした。しかしながら、日本海沿岸では日本海低気圧のみならず南岸低気圧や二ツ玉低気圧にともなう異常波浪も多く観測されていることから、このような場合の異常波浪についても十分に検討しておく必要がある。

磯崎ら（1991）によると、日本海沿岸では西に行くにしたがって高波浪の発生回数が少なくなる傾向があるが、低気圧が日本海西南部を東進する場合には、北ないし北東の季節風によって日本海西部沿岸でも有義波高7.0 mを越える高波浪が観測される場合がある。冬期季節風時に日本海西部沿岸で高波が発生した擾乱について波浪追算を実施した結果（例えば、川鍋（1973）、山口ら（1990））によれば、日本海中央部では北東からの強風、日本海西部沿岸では北からの強風によって有義波高7.0 mを越える高波浪域が出現するが、これらの擾乱は初めに小低気圧が日本海西南部の海上を通過した後、太平洋側を低気圧が北東に進み、その後冬型気圧配置が形成されることによって季節風が吹き出す場合に対応するものであり、日本海西部沿岸では南岸低気圧や二ツ玉低気圧にともなう発達初期の季節風によって異常波浪が発生す

る可能性があることを示している。

そこで本研究では、①日本海沿岸の波浪資料を用いて高波浪の発生時の低気圧の型と沿岸波浪の関係を調べ、季節風による風域場の特性と異常波浪の地域性の関係を考察し、日本海沿岸に異常波浪を発生させる季節風のパターンを調べる。②さらに、先行する低気圧の停滞時間を考慮した仮想季節風による波浪推算を行い、日本海西部沿岸における発達初期の季節風による異常波浪の実態を究明する。

## 2. 季節風による風域場の特性と異常波浪の関係

一般に季節風による波浪は、低気圧の発達、その移動にともなう吹送時間の増加等によって発達するが、日本海は地形的に大陸や半島等によってほぼ閉鎖されていることから、沿岸各地に來襲する波浪はその発生海域の地形的な制約の影響を大きく受けている。表-1は、1980年から1989年までの気象庁で観測された日本海沿岸の波浪資料から冬期季節風による4.0 m以上の高波浪を抽出し、季節風の成因となる先行する低気圧の型と沿岸波浪の関係を調べた結果である。この表に示すように、低気圧の種類によって高波浪の発生する地点が異なるが、このような波浪の地域性は各地点に対する季節風の風向が少しずつ異なることや吹送時間の違いによって生じる

表-1 低気圧の種類と沿岸波浪との関係

| 先行する<br>低気圧の<br>種類 | 地点名 | 有義波高<br>(m) | 4.0<br>～<br>4.5 | 4.5<br>～<br>5.0 | 5.0<br>～<br>5.5 | 5.5<br>～<br>6.0 | 6.0<br>～<br>6.5 | 6.5<br>以上 |
|--------------------|-----|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------|
|                    |     |             |                 |                 |                 |                 |                 |           |
| 日本海低気圧             | 松 前 | 8           | 6               | 4               | 2               |                 |                 |           |
|                    | 温 海 | 13          | 10              | 10              | 4               | 3               | 2               |           |
|                    | 経ヶ岬 | 8           | 14              | 5               | 1               | 1               | 1               |           |
|                    | 鹿 島 | 4           | 6               | 3               | 1               | 2               |                 |           |
| 南岸低気圧              | 松 前 | 1           |                 | 1               |                 |                 |                 |           |
|                    | 温 海 | 2           | 2               |                 |                 | 1               |                 |           |
|                    | 経ヶ岬 |             | 2               | 3               | 1               |                 | 1               |           |
|                    | 鹿 島 |             |                 | 1               |                 |                 |                 |           |
| 二ツ玉低気圧             | 松 前 | 1           | 3               | 1               |                 |                 |                 | 1         |
|                    | 温 海 | 6           | 5               | 3               | 1               | 2               | 2               |           |
|                    | 経ヶ岬 | 2           | 7               | 3               |                 | 1               | 1               |           |
|                    | 鹿 島 | 5           | 4               | 1               | 2               |                 |                 |           |

\* 正会員 日本テトラポッド(株)応用水理研究所

\*\* 正会員 工博 京都大学教授 防災研究所

ものと考えられる。冬期季節風は概ね北西方向からの強風として認識されているが、その風向は日本海沿岸全域を対象とする場合には多少の地域差があり、日本海の北部に行くほど西寄りとなり、南部では北寄りとなる。また、特に二ツ玉低気圧にともなう季節風の場合にはその継続時間が非常に長くなる傾向がある。磯崎 (1990) によれば、日本海沿岸で高波浪となる場合の気圧配置は大きく2つの型に分類される。第1の型は深い気圧の谷が通過した後、あるいは低気圧が三陸沖で急速に発達した後で冬期季節風が吹き出す場合であり、主として日本海沿岸の中部から北部で高波浪となる。また、第2の型は低気圧が発達しながら日本海を通過し、あるいは寒冷渦型の小低気圧が沿岸を横切った後に季節風が吹き出す場

合であり、日本海沿岸の中部から西部で高波浪となる。この分類によれば、表-1において松前、温海では主に第1の型、経ヶ岬、鹿島では第2の型によって高波浪が発生していることがわかる。

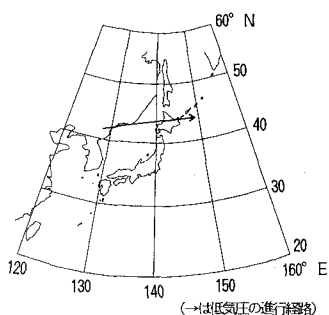
このように、日本海沿岸では季節風の発達する型によって高波浪の来襲する地域が異なる。そこで、過去に日本海沿岸に異常な高波をもたらした事例天気図を参考にして、季節風のパターン分類を行った結果を図-1に示す。図-1では、(a) 日本海低気圧 I、(b) 日本海低気圧 II、および (c) 日本海低気圧 + 南岸低気圧は、それぞれ日本海北部～中部沿岸、日本海中部～西部沿岸および日本海西部沿岸～北九州沿岸に異常波浪を発生させる季節風のパターンである。この結果から、季節風によって日本海西部沿岸に高波を発生させる天気図のパターンは (b) および (c) に対応しており、南岸低気圧や二ツ玉低気圧の場合が多くなっていることがわかる。いずれの場合にも先行する低気圧が日本海上を通過した後で冬型気圧配置となるが、低気圧が日本海上に停滞し、大陸からの高気圧の張り出しを抑えている間に気圧傾度が大きくなるため、低気圧の通過後は強風が海上を連吹する。その結果、日本海西部沿岸では、初めに低気圧自身の西寄りの強風の連吹によって波浪が発生し、その後、次第に冬型気圧配置が強まるに従って北方寄りの季節風にともなう風波が新たに発達してくるものと考えられる。したがって、二ツ玉低気圧の日本海側の低気圧が海上で長時間にわたり停滞する場合には、低気圧自身の強風によって十分に発達した波浪がその後の風域場の変化きともなう波浪が重畳する場合には、日本海西部沿岸に非常に発達したうねり性の異常波浪が出現する可能性が高くなることがわかる。

### 3. 発達初期の季節風による異常波浪の予知

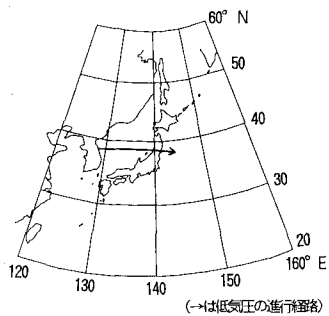
次に、日本海西部沿岸に異常な高波をもたらした1971年1月上旬(ケース1)および1987年2月上旬(ケース2)の擾乱をモデルケースとして波浪推算を実施した。これらのケースはいずれも、小低気圧が初めに日本海を横切った後で冬型気圧配置に変わり、発達初期の季節風によって日本海西部沿岸に高波が発生するパターンに対応している。ここでは、まず、実際に発生した擾乱について日本海西部沿岸における波浪特性の平面分布や波浪の方向スペクトルの時間変化を調べることから異常波浪の発生条件を考察し、次いで低気圧の日本海上の停滞時間を考慮した仮想低気圧による異常波浪の予知を行う。

#### (1) 波浪推算の方法

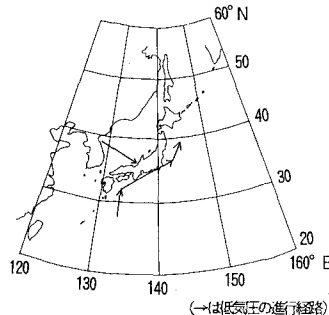
波浪推算モデルは、山口・土屋モデル (1978) を用いた。また、波浪推算の外力となる風域場は大気境界層モ



(a) 日本海低気圧 I



(b) 日本海低気圧 II



(c) 日本海低気圧 + 南岸低気圧

図-1 日本海沿岸に異常波浪を発生させる季節風のパターン

デル(Cardone, 1969)を解く方法によって設定し、低気圧の停滞時間は著者ら(1991)の手法にしたがって考慮した。図-2に、波浪の推算領域および日本海沿岸における気象庁の波浪観測地点を示す。なお、波浪推算の実施において、方向成分は全方向を20個に等分割し、周波数成分は0.05~0.80 Hzの範囲を17個に不等分割した。また、計算格子間隔は50 km、計算時間間隔は20分とし、陸地境界では波のケネルギーは完全に吸収されるものと仮定した。

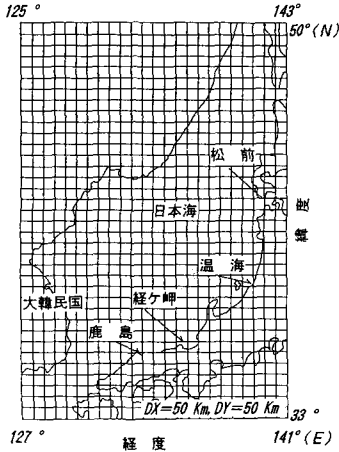


図-2 波浪の推算領域と主要な波浪観測地点

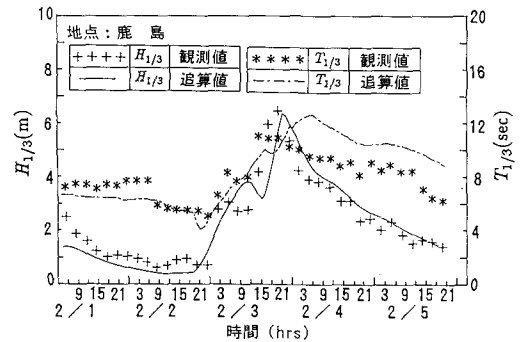
### (2) 各ケースの気象概況

ケース1の擾乱は、1971年1月4日~5日にかけて山陰地方に強風をもたらした、この沿岸一帯に異常波浪を発生させた季節風である。気象庁技術報告第83号(1973)によれば、1月3日に関東沖の前線にあった低気圧が発達しながら北東に進み、5日には北海道東海上で982 mb(982 hpa)まで発達した。これにともなう、強い寒気団が南下し、冬型気圧配置となっているが、4日~5日にかけて日本海の長軸方向に平行して等圧線が密集したことから、日本海南西部では北西~北北西の強風となった。なお、この時期に松江では最大瞬間風速34 m/s(NNW)が記録されている。この低気圧は、5日早朝に若狭沖で消滅したが、日本海海上には24時間以上も停滞していた。一方、ケース2は1987年2月上旬に日本海西部~北九州沿岸の広い範囲に異常波浪をもたらした季節風である。気象要覧(気象庁, 1987)によれば、1987年2月2日9時には、日本列島は4つの低気圧(朝鮮半島東部、北朝鮮沖、関東沖、九州東方)に囲まれた形となったが、その後2日~3日午後にかけて朝鮮半島東部にあった低気圧が東進した後、若狭湾付近で消滅し、さらに北朝鮮沖にあった低気圧が東南東方向に進み、やや勢力を弱めて能登半島沖で停滞した後、佐渡付近で消滅し

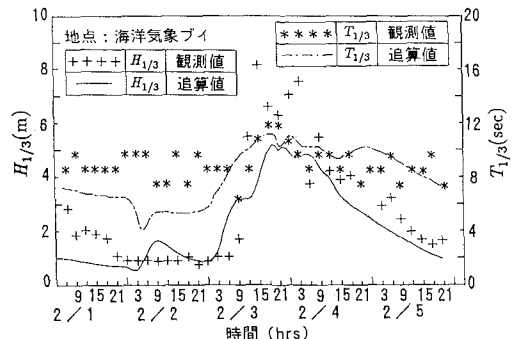
た。一方、太平洋側の低気圧は発達しながら北北東に進んだ後に三陸沖東海上で停滞したが、これらの低気圧の通過後には大陸から高気圧が張り出てきたので、3日夜には西高東低の強い冬型気圧配置となった。このとき、日本海海上は4つの低気圧の移動および停滞にともなう北東~北~北西方向からの季節風が卓越して吹送したため、2月3日から4日にかけて日本海西部~北九州沿岸の広い範囲においてうねり性の発達した高波浪が来襲した。

### (3) 波浪の推算結果

図-3には、波浪推算の精度を確認するため、ケース2について日本海沿岸の気象庁の観測値と近傍の計算点の波浪の追算値の時系列を比較した結果を示す。まず、鹿島地点の波高の変化をみると、2月3日から4日にかけて観測値が急速に発達するのに対して、追算値は発達がやや遅れ気味であるが、ピーク時の追算値と観測値は良く一致しており、全体的に両者の対応は良好である。一方、周期については、波高のピーク時までは両者は良く対応しているが、4日以後は追算値が観測値に比べて全体的に大きめとなる傾向がある。また、日本海上のブイロット近傍の波高は、3日のピーク時付近では観測値の発達量が非常に大きく、追算値よりも観測値が若干大



(a) 鹿島地点



(b) 海洋気象ブイロット地点

図-3 波浪の追算結果と観測結果との比較

きくなっているが、全体的に両者の対応は良好であり、その発達および減衰の時期は非常に良く一致している。また、周期をみると、観測値に比べて追算値の変化が緩やかであるが、全体としては両者の対応は十分である。

以上の結果から、日本海西部沿岸の波浪についてほぼ妥当な波浪推算結果が得られたものと判断する。

#### (4) 異常波浪の発生機構および伝播特性

図-4には、ケース1について6時間ごとの有義波高の平面分布の時間変化を示す。1月4日から5日にかけて小低気圧が非常にゆっくりと日本海を横切ったために、日本海北西部では北東方向からの強風が連吹し、十分な吹送距離および吹送時間を得て、日本海の長軸方向に沿って高波浪域が形成された様子がわかる。一方、低気圧がゆっくりと日本海海上を通過した後の北西～北北西方向からの季節風の連吹によって、4日夜には日本海西南部に新たに高波浪域が形成されている様子がわかる。このため、低気圧の通過後に日本海の長軸方向に沿って発達した高波浪域と日本海西南部の高波浪域が併合されるような形となり、4日から5日にかけての日本海西部沿岸では非常に発達した異常波浪が来襲したものであろう。

次いで、図-5および6には、各ケースについて鹿島の

近傍の格子点での波浪の方向スペクトルの時間変化を示す。まず、図-5によれば、波浪の方向エネルギーは1月4日15時から北西方向を中心にして急速に発達し始めており、21時には十分なエネルギーを蓄えて広範な分布形状とやっている。さらに、5日3時のエネルギー分布をみると、北西方向を中心にしたエネルギー成分に対して北～北東方向からのうねりのエネルギー成分が新たに加わっている様子がわかる。したがって、このような場合の異常波浪は、北西～北方向からの季節風の連吹によって発達した風波のエネルギーに日本海の長軸方向に発

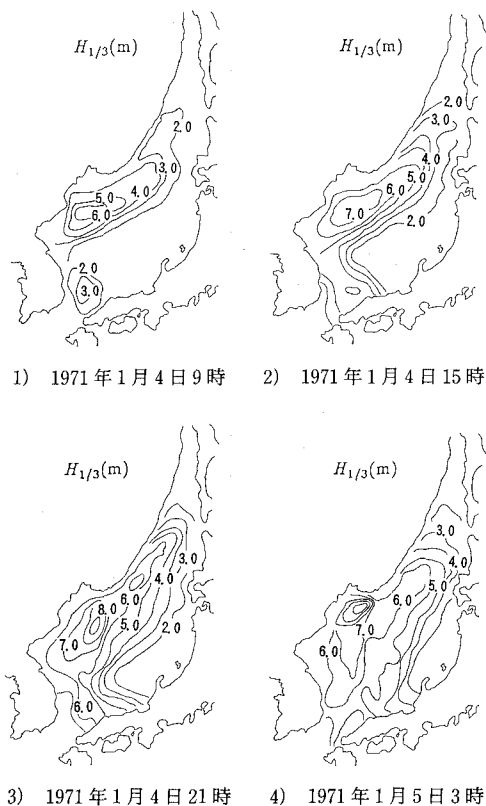


図-4 有義波高の平面分布の時間変化

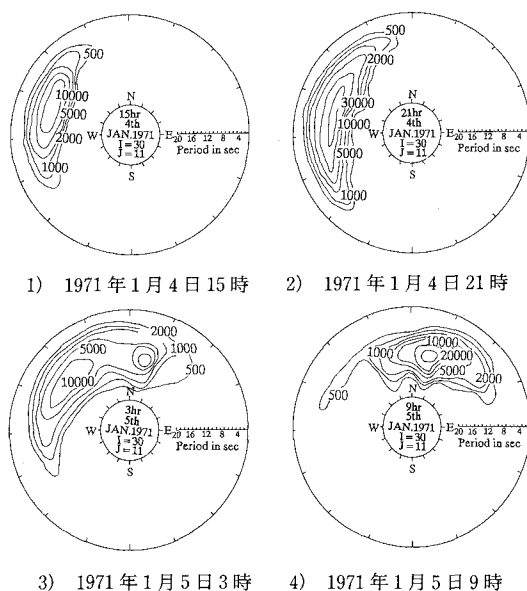


図-5 波浪の方向スペクトルの時間変化 (ケース1)

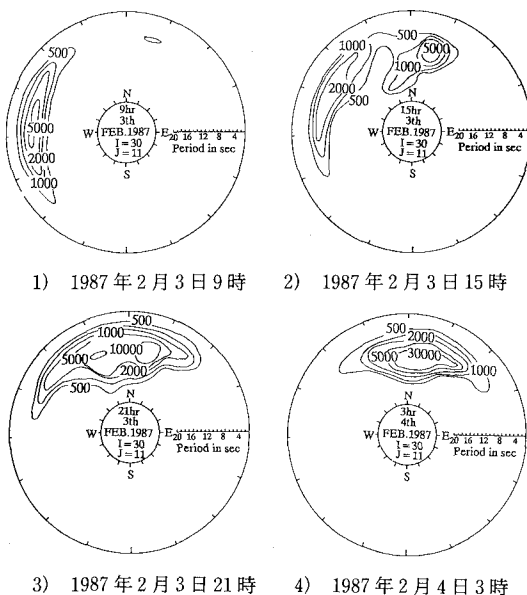
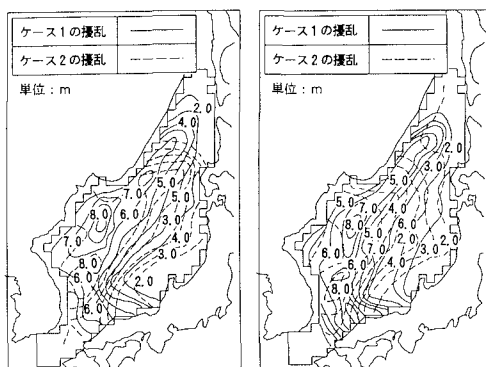


図-6 波浪の方向スペクトルの時間変化 (ケース2)

達した後で風域を抜けたうねりのエネルギーが合成されることによって発生するものと考えられる。さらに、図一6によれば、波浪の方向スペクトル分布はケース1の場合と同様であるが、ケース2では先行する低気圧がケース1の場合よりも西寄りを通じたために、北西～北方向からのエネルギー成分が合成されて広範なエネルギー分布となる時期がケース1よりも早く、より継続時間の長い異常波浪が来襲したことがわかる。また、このときの波浪観測値によれば、3日21時には有義波高6.42 m、有義波周期10.9 secとなっているが、対応する時期の波浪のエネルギー分布から、風波の成分と同時に北方向寄りの十分に発達したうねりのエネルギー成分が存在しているのが確認できる。以上の結果から、日本海西部沿岸の異常波浪は、低気圧にともなう西方向寄りの強風の継続によって発達してきた波浪のエネルギーが風域場の変化にともなううねりに転化し、これに北西～北方向からの吹き出した季節風が継続することによって急速に発達する風波のエネルギーが合成されることによって発生することがわかった。図一7は、実際の擾乱の場合と低気圧に500年再現期間の停滞時間を与えた場合について、低気圧が日本海を通過した直後の波高の平面分布を比較した結果である。図によれば、いずれのケースでも実際の擾乱で日本海の長軸方向に高波浪域が舌状に広がり、日本海西部沿岸の6 mの高波浪域と併合されるような波高分布となっているが、停滞時間を長時間とした仮想低気圧の場合には、日本海西部沿岸における波浪が著しく発達して波高8 m以上となり、うねり性の発達した異常波浪が来襲する可能性があることがわかる。実際に、先行する低気圧が日本海海上を非常にゆっくりと移動する場合には、低気圧が大陸からの高気圧の張り出しを抑えるために気圧傾度が大きくなり、低気圧の通過直後に強風が連吹することが予想されるので、このような場合には十分な警戒体制が必要であろう。



(a) 実際の擾乱の場合 (b) 仮想低気圧の場合

図一7 停滞時間の違いによる波高の平面分布の変化

## 4. 結 論

本研究では、波浪、風、天気図等の気象資料を用いて季節風にともなう風域場の変化と沿岸波浪の関係を調べ、さらに日本海沿岸に異常波浪を発生させる季節風のパターンを抽出し、異常波浪の発生条件を考察した。また、低気圧の日本海海上での停滞時間を考慮した仮想季節風による波浪推算を行い、日本海西部沿岸における発達初期の季節風にともなう異常波浪を究明した。本研究で得られた主要な結果は次のように要約される。

①日本海沿岸では先行する低気圧の型によって高波浪の発生地域が異なるが、このような波浪の地域性は、各地域に対して季節風の風向が少しずつ異なることや吹送時間の違いから生じている。

②異常波浪が発生する場合の季節風のパターンを調べた結果、低気圧が日本海上で停滞した後に南岸低気圧が通過する場合や二ツ玉低気圧の日本海側の低気圧が停滞する場合に日本海西部沿岸で異常波浪が発生していた。

③日本海西部沿岸の異常波浪は、日本海海上をゆっくりと移動する低気圧にともなう初めに西方向寄りのエネルギーが発達し、これに発達初期の季節風による北方向寄りのエネルギーが合成された結果として発生する。

④低気圧の経路が日本海の西寄りに近くなるほど西部沿岸が高波浪となるが、低気圧の停滞を考慮する場合には沿岸波浪の発達が著しく、より広い範囲で継続時間の長い異常波浪が発生する可能性がある。

## 参 考 文 献

- 磯崎一郎 (1990): 波浪概論, 日本気象協会, 260 p.
- 磯崎一郎・斉藤勝也 (1991): 日本海の波浪特性, 日本気象協会, 115 p.
- 川鍋安次 (1973): 日本海における季節風と波, 気象研究ノート, 第115号, 日本気象学会, pp. 111-146.
- 気象庁 (1980-1989): 気象庁波浪観測資料, 第4号-13号
- 気象庁 (1988): 気象庁海洋気象パイロット資料, 第11号
- 気象庁編 (1987): 気象要覧, No. 1050, 日本気象協会, 53 p.
- 駒口友章・土屋義人 (1992): 太平洋沿岸における冬期低気圧による異常波浪の予知, 第39回海岸工学論文集, pp. 156-160.
- 土屋義人・駒口友章・根本建治 (1991): 日本海沿岸における異常波浪の予知, 第38回海岸工学論文集, pp. 111-115.
- 舞鶴海洋気象台・大阪管区気象台 (1973): 日本海の強風と高波について, 一主として1971年1月4～5日の場合一, 気象庁技術報告第83号, 232 p.
- 山口正隆・土屋義人・小矢田 宏・渡辺 健 (1978): 有限風域場における波浪の数値予知法, 第26回海岸工学講演会論文集, pp. 96-100.
- 山口正隆・畑田佳男・大福 学・池田 章 (1990): 日本海西南部海域における波浪の極値の推定, 自然災害科学, Vol. 9, No. 2, pp. 29-48.
- Cardone V. J. (1969): Specification of the Wind Distribution in the Marine Boundary Layer for Wave forecasting, New York Univ. School of Eng and Sci., Rept. GSL-TR69-1, 131 p.