

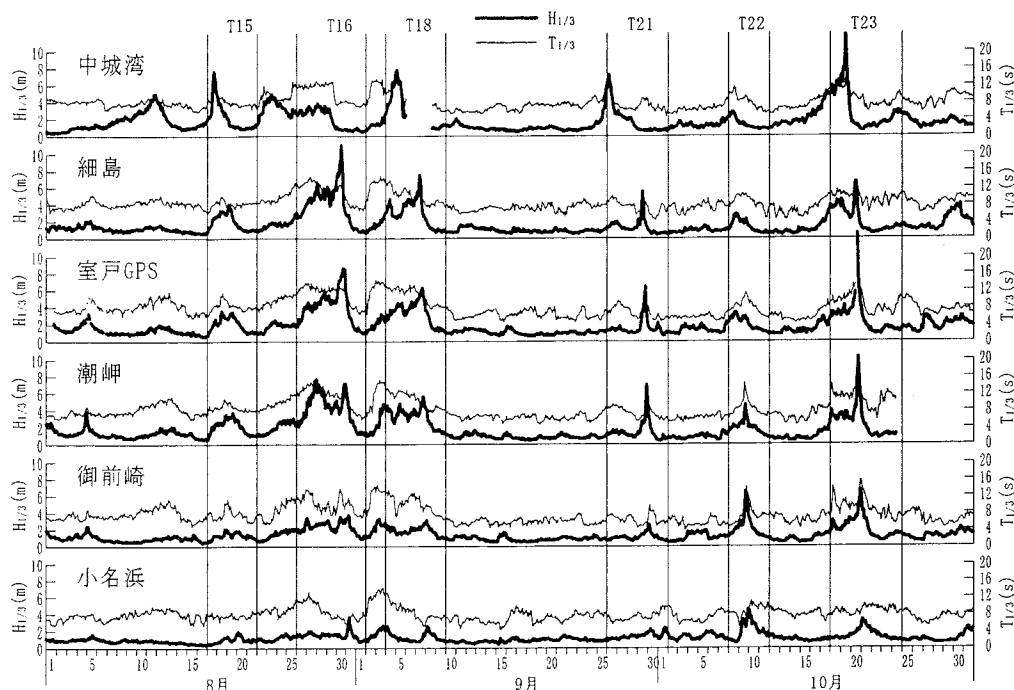


図-2 太平洋側の有義波経時変化 (中城湾・細島・室戸沖 GPS・潮岬・御前崎・小名浜)

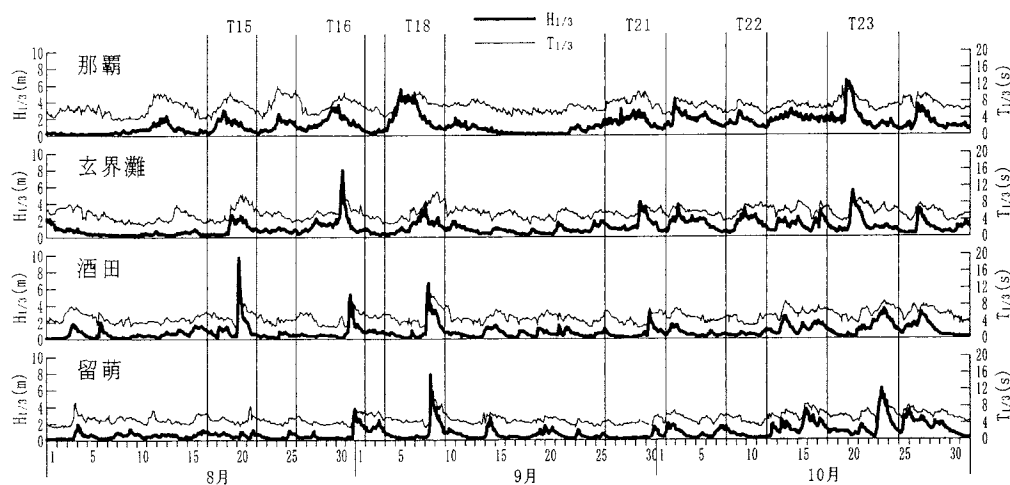


図-3 日本海側の有義波経時変化 (那覇・玄界灘・酒田・留萌)

大有義波を発生させた台風番号を示している。

表-1 からわかるように多くの観測点で既往最大有義波高が更新され、2004年の台風は、35年に及ぶナウファス（全国港湾海洋波浪情報網）の歴史の中でも特筆されるものであったことが理解される。ただし、観測地点毎に、集中処理期間が異なっていることには注意が必要である。台風0423号によって室戸沖 GPS ブイおよび室津港ナウファス波浪計が観測した有義波高14.21 m および 13.55 m という値は、ナウファス全観測地点を通じても

既往最大有義波であったことは、特筆すべきである。また、鹿児島港では、台風0416号、0418号と、相次いで既往最大観測有義波高を更新していった。ナウファスの最北に位置する日本海沿岸の留萌でも、1970年に集中処理を開始して以来の既往最大有義波高が観測された。ナウファス30年統計（永井，2002）では、留萌における既往最大有義波の上位30位中、台風によるものは1ケースだけ（1981年台風8124号による有義波高5.95 m）であったことから考えて、きわめて異常な高波であった。こ

表-1 主要観測点の最大有義波

地 点	波 高 (m)	周 期 (s)	要 因
留萌	* 7.83(7.33)	10.6 (10.5)	0418号
酒田	9.75(9.81)	12.3 (12.8)	0415号
富山	* 6.75(4.61)	8.3 (11.4)	0423号
伏木富山	* 6.53(3.10)	8.4 (7.2)	0423号
柴山	6.35(6.71)	9.1 (11.5)	0423号
浜田	4.31(7.93)	9.2 (11.2)	0418号
玄界灘	* 8.03(7.72)	9.7 (12.3)	0416号
名瀬	* 8.44(7.75)	11.6 (11.9)	0416号
小名浜	4.51(7.56)	9.3 (12.4)	0422号
御前崎	6.61(8.81)	15.5 (11.9)	0423号
伊勢湾	* 3.13(2.22)	6.8 (5.8)	0416号
潮岬	* 10.22(9.89)	15.7 (12.5)	0423号
神戸	3.55(3.77)	7.0 (7.3)	0416号
小松島	* 3.98(3.71)	7.8 (8.4)	0423号
室戸沖 GPS	* 14.21(—)	16.3 (—)	0423号
室津	* 13.55(9.45)	15.8 (10.9)	0423号
高知	* 12.49(9.95)	16.4 (13.0)	0423号
刈田	3.36(3.46)	7.9 (8.1)	0418号
細島	* 11.05(7.81)	12.3 (12.0)	0416号
志布志	* 9.03(8.30)	12.8 (12.8)	0416号
鹿児島	* 4.09(3.83)	7.0 (6.8)	0418号
中城湾	* 11.93(10.63)	13.6 (10.3)	0423号

のように、きわめて広範な沿岸域で、これらの一連の台風は、記録的な高波をもたらした。

3. 台風0416号による高波特性

台風0416号は、8月29日昼頃、奄美大島に再接近した後、進行方向を北東に変え鹿児島に上陸した後、西日本を縦断し、日本海を通過して、北海道に再上陸し、紋別付近からオホーツク海に抜けた。

名瀬・鹿児島・志布志湾・細島・玄界灘・上川口・伊勢湾のナウファス観測点において、それまで観測された既往最大有義波高を更新する高波をもたらした。

台風が太平洋を北西に進むのが比較的ゆっくりであり、うねりが発達したため、高波期間が比較的長かったのが、この台風による波浪の特徴であった。この台風による波浪被災は、細島港で灯台が波力で破壊されたことに象徴されるように、九州南西岸で特に顕著であった。志布志・細島などでは、4日間以上かけて波浪が発達していた。

図-4は、名瀬におけるスペクトル解析結果を、周期帯波高経時変化図として示したものである。図中のHLは、周期30s以上の長周期成分波高であり、周期帯波高に対応する折れ線は、有義波高表示図と同じスケールである。

有義波高が5mを超える8月29日4時頃から30日4時頃にかけて、周期10～15sの範囲の成分波高が最も高く、この部分の周期帯エネルギーが主たる波浪エネルギーであったことがわかる。これに加えて、有義波高が極

大となる29日12時には、周期15～30sのより長周期成分波高も極大値を示している。有義波高は、この後少し下がってから、30日0時に再び極大値を示したが、この時も周期10～15sの範囲の成分波高が最も高かった。これは、奄美大島付近で台風が変曲したことによる。すなわち、前者の時点では、台風が近づいてくる際に発達した東からの波浪が主であったのに対して、後者の時点では、台風が遠ざかる際の吹き返しとしての北からの波浪が主であったのではないかと想像される。

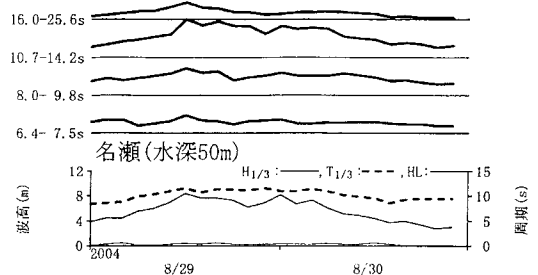


図-4 周期帯波高経時変化（名瀬，台風0416号）

4. 台風0418号による高波特性

台風0418号は、台風0416号の約2週間後に来襲した。経路は台風0416号とほぼ平行であり300kmほど西側、200kmほど北側の進路を進んで我が国を縦断した。すなわち、沖縄本島付近を通過した後、奄美大島の西方約300kmの海上でその進路をNW方向からNE方向に変え、九州北部をかすめた後、日本海を東北に進み、北海道西岸に平行して進み、オホーツク海に去っていった。

この台風は、南北に離れた鹿児島・留萌のナウファス両観測点において、既往最大有義波高を更新した。日本海を北東に進む間も、台風は衰えなかったためである。

図-5に、留萌におけるスペクトル解析結果を、周期帯波高・波向の経時変化図として示す。矢印長は、有義波高の表示と同じスケールである。有義波高が最大となった9月8日14時の4時間前の8日10時には、有義波高が1m以下であったことを考えると、きわめて急速に

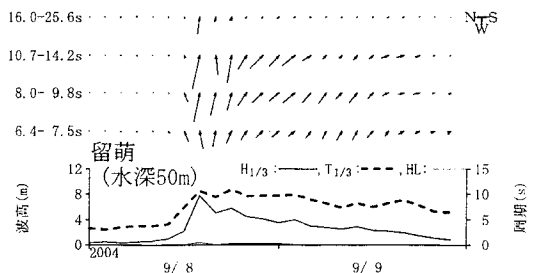


図-5 周期帯波高経時変化（留萌，台風0418号）

波が発達したことが理解できる。周期帯毎に見ても、12時の段階でまず周期10 s以下の短周期成分から発達が始まり、14時には周期10 s以上の長周期成分も急発達した模様である。この後、波浪は減衰を始めるが、発達に比べて減衰は緩やかであった。

図-6は、鹿児島・荊田・神戸・伊勢湾・アシカ島の各内湾観測点における、台風0418号来襲時の有義波高の経時変化を示したものである。太平洋沿岸では、遮蔽されている内湾の観測点でも、高波が、台風の移動に伴って、西から東へ伝播していった状況が理解できる。荊田では、ピーク時近傍の9月7日8時と10時の観測が欠測であったため、9月7日12時の観測で得られた有義波高3.36 mが最大値であった。このため、台風9918号に伴う有義波高3.46 mを更新することはなく、既往2位の観測記録として記録された。神戸でも、7日18時の有義波高3.46 mは、既往最大の台風9313号による有義波高3.77 mに近い値であった。

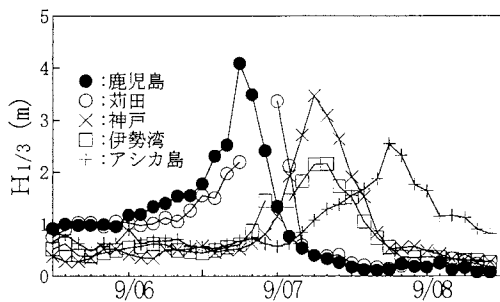


図-6 内湾観測点の有義波高 (台風0418号)

内湾の観測点では、外洋に面した観測点とは異なり、波浪の発達・減衰が一般に急速であり、高波浪状態の継続時間は比較的短いのが、特徴である。これは、内湾の港湾は、波浪の来襲方向と吹送距離が限られているので、時間の経過とともに風向が変化する台風の来襲にあたっては、波浪の発達が長時間継続しにくいためである。このため、2時間毎の観測を標準とする現行の波浪観測システムでは、極大値を十分に把握できない懸念が高い。現在、20分ごとに連続的に波浪観測を行うシステムの改良に取り組んでいる (永井ら, 2004)。

5. 台風0423による高波特性

台風0423号は、沖縄本島の南西約300 kmの海上で変曲した後北東に直進し、沖縄本島付近を通過した後、高知県室戸岬付近、大阪湾を通過し本土上陸した。非常に規模が大きい台風であり、かつ数多くの太平洋沿岸の港湾近くを通過したため、中城湾・高知・室津・小松島・潮岬・柴山港内・伏木富山・富山の各ナウファス観測点において、それまで観測された既往最大有義波高を更新

する高波をもたらした。特に10月20日14時に室津港水深27 mで記録した、有義波高13.55 m、有義波周期15.8 sという値は、ナウファスの全地点を通じて既往最大の海底設置式波浪計による観測有義波であった。なお、室戸岬水深100 mに設置されたGPSブイも、14:20に最大有義波高14.21 m、有義波周期16.3 sを記録しているため、この観測値は信頼性が高いと考えられる。

図-7は、富山湾内外の有義波高の経時変化を示したものである。本台風では、日本海側でも、台風の最接近時に降急速に波浪が発達した。特に顕著であったのが富山湾であり、伏木沖の海象計で20日22:00に有義波高6.53 m、富山沖の海象計でやはり20日22:00に有義波高6.75 mという既往最大値を観測している。

これらの値は、富山湾外のナウファス観測点である輪島 (21日2:00:有義波高4.63 m) や直江津 (21日2:00:有義波高4.66 m) よりも早い時間に高い波浪となっていることが注目される。これは、台風最接近後に風向が急変した際、富山湾の開口方向である北東方向からの波浪が急速に発達したためであろう。輪島・直江津の両観測点では、北東からの波は、地形による遮蔽を受け、発達しにくくなっていると考えられる。

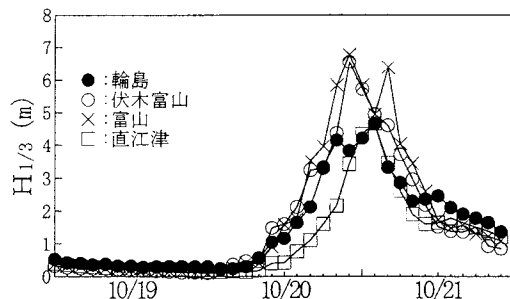


図-7 富山湾内外の有義波高 (台風0423号)

図-8は、室戸沖GPSブイによって観測された、台風通過前後の周期帯波高経時変化を示したものである。図から明らかなように、室戸沖では、周期15 s以上の極めて長周期成分のエネルギーが支配的であった状況が理解できる。なお、室戸沖GPSブイは、ナウファスの他の観測点とは異なり、海面変動記録のサンプリング間隔は1 sとなっているが、切れ目のない連続観測を行っていたため、20分毎に連続した波浪解析が可能であった。

このような高知県沿岸の記録的な高波は、台風が南方に位置したときに伝わってきたうねりの到達と、台風最接近とが時間的に重なったことが原因であったと推定される。すなわち、九州南岸で見られた2回のピークが同じ時間に重なり極端な高波浪状態となったのであろう。

図-9は、小松島における20日14時、16時および18時

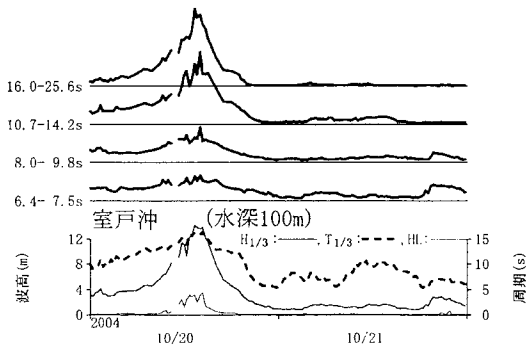


図-8 周期帯波高経時変化(室戸沖 GPS, 台風0423号)

の周波数スペクトルを示したものである。小松島港沖合でも既往最大有義波の観測記録を更新し、14時の観測で、有義波高3.98 m、有義波周期7.8 sを記録した。

14時のスペクトルを見ると、ほぼ単峰型の形状でありピーク周波数は0.11 Hz (周期約9 s) 付近にあった。しかし、16時の観測では、これより長周期波成分が急速に発達し、周波数0.11 Hz (周期約9 s) と0.06 Hz (周期約16 s) の二つのピークが同程度の高さとなっていることがわかる。すなわち、この2時間の間に、周期の短い方の波浪成分は減衰したもの、より周期の長いうねり成分が大きく発達し、波浪のスペクトル構造が大きく変化したことがわかる。こうした双峰型のスペクトルは、18時の観測でも継続していた。

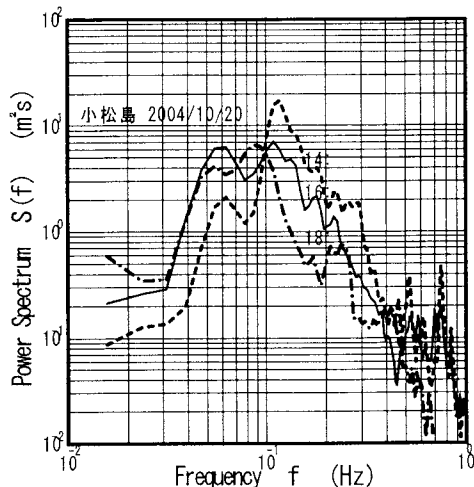


図-9 周波数スペクトル(小松島, 台風0423号)

6. あとがき

本稿では、2004年に我が国沿岸に襲来した一連の台風がもたらした高波に関して詳細な検討を行い、それぞれ

の特性を示した。本稿が、一連の台風による数多くの沿岸災害の原因究明や、今後の復旧対策策定に貢献することを期待し、結語とする。

謝辞: 港湾技術研究所(現港湾空港技術研究所)における全国沿岸の波浪観測データの集中処理解析が開始したのは、1970年のことであり、35年以上の年月が経過した。高波浪状態における確実な波浪データの観測は、かつては極めて困難であるとされていた。しかし、長年にわたる運輸省(現国土交通省)港湾局関係機関の努力によるナウファスの開発・改良を通じて、こうした問題点は徐々に克服され、本稿で紹介したような全国沿岸全体の出現特性を把握することが可能となったものである。

また、室戸岬沖 GPS プイは、東京大学地震研究所、日立造船(株)、(財)人と防災未来センターおよび(独)港湾空港技術研究所が、文部科学省の補助金をいただき、室戸市・室戸測候所および高知港湾空港整備事務所のご支援を受けて、開発・製作・設置したものである。

これら多くの関係者の方々に、改めて謝意を表する。

参考文献

- 加藤照之・寺田幸博・越村俊一・永井紀彦(2005): GPS 津波計による津波観測, 総特集津波予測, 月刊地球2005年3月号(通巻309号), 海洋出版, pp. 179-183.
- 合田良実監修, 海象観測データの解析・活用に関する研究会編集(2001): 波を測る(沿岸波浪観測の手引き), (財)沿岸技術研究センター, 212p.
- 菅原一晃・永井紀彦・橋本典明・鈴木高二朗・清水康男・波間雅晶(1996): 波浪監視計の開発, 港研資料No860, 25p.
- 高山知司・橋本典明・永井紀彦・高橋智晴・佐々木弘(1992): 水中ドップラー式波向計(海底設置式波浪計)の開発について, 海岸工学論文集第39巻, 土木学会, pp. 176-180.
- 永井紀彦(2002): 全国港湾海洋波浪観測30年統計(NOWPHAS 1970-1999), 港研資料No1034, 336p.
- 永井紀彦・橋本典明・川口浩二・佐藤和敏・菅原一晃(1999): ナウファスの連続観測化による我国沿岸の長周期波の観測, 港湾技術研究所報告第38巻第1号, pp. 29-69.
- 永井紀彦・小川英明・寺田幸博・加藤照之・久高将信(2003): GPS プイによる沖合の波浪・津波・潮位観測, 海岸工学論文集第50巻, 土木学会, pp. 1411-1415.
- 永井紀彦・小川英明・額田恭史・久高将信(2004): 波浪計ネットワークによる沖合津波観測システムの構築と運用, 土木学会, 海洋開発論文集第20巻, pp. 173-178.
- 永井紀彦・里見茂(2005): 全国港湾海洋波浪観測年報(NOWPHAS 2003), 港研資料No1094, 83p. (波浪観測年報は港研資料として1970年以降毎年刊行)
- 橋本典明・永井紀彦・浅井正・菅原一晃・朴慶寿(1993): 波浪の多方向性と弱非線形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.
- 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応用した海象計の開発, 海岸工学論文集第42巻, 土木学会, pp. 1081-1085.