



気象・地震等の情報を扱う 事業者等を対象とした講習会

沿岸防災情報の紹介

気象庁地球環境・海洋部
海洋気象情報室

内容

1. はじめに
2. 波浪
3. 高潮
4. 波浪 & 高潮に関する情報
5. おわりに

波浪・高潮・津波の比較

	波浪	高潮	津波
原因	気象擾乱 (強風)	気象擾乱 (気圧低下・ 強風)	地殻変動 (地震・ 海底火山)
波の性質	短い波 (深水波)	長い波 (浅水波)	長い波 (浅水波)
水平スケール (m)	10^2	10^5	$10^5 \sim 6$
時間スケール (s)	10^1	$10^2 \sim 3$	10^2

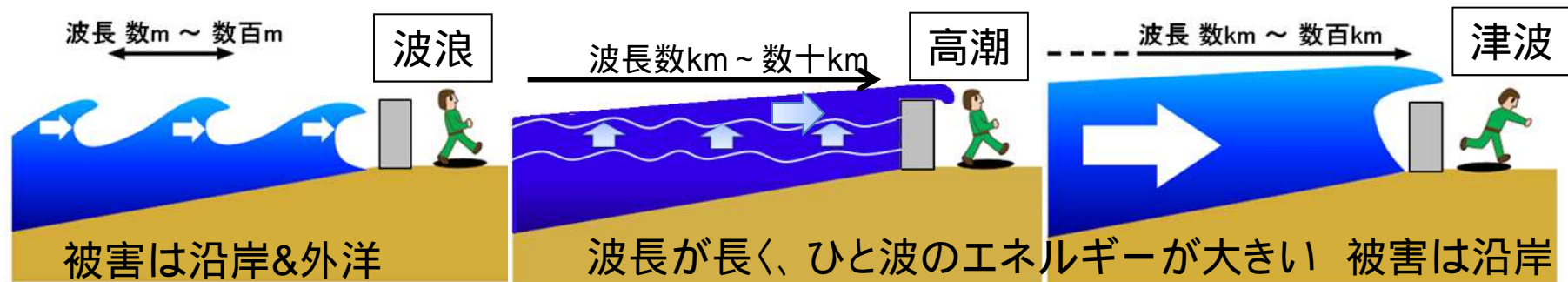


図: 気象庁HPの図を改変

内容

1. はじめに

2. 波浪

- 波浪の基礎知識
- 気象庁波浪モデルの概要
- 波浪の推算
- 波浪による災害事例

3. 高潮

4. 波浪 & 高潮に関する情報

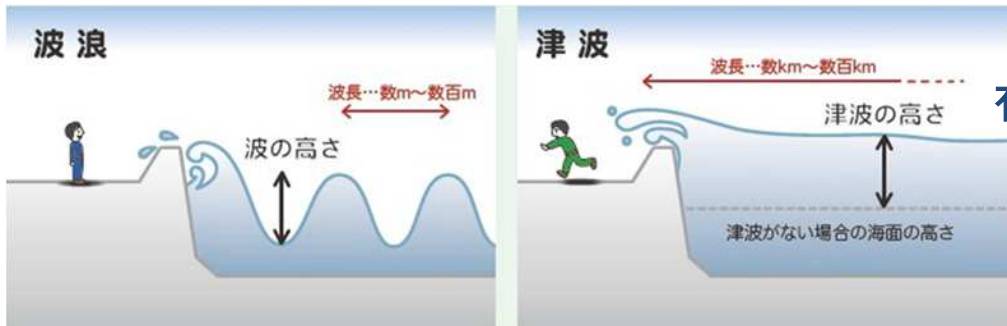
5. おわりに

波浪の定義

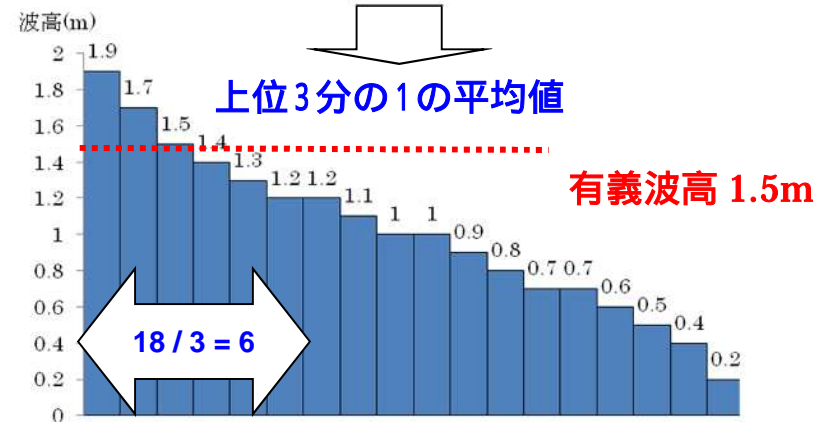
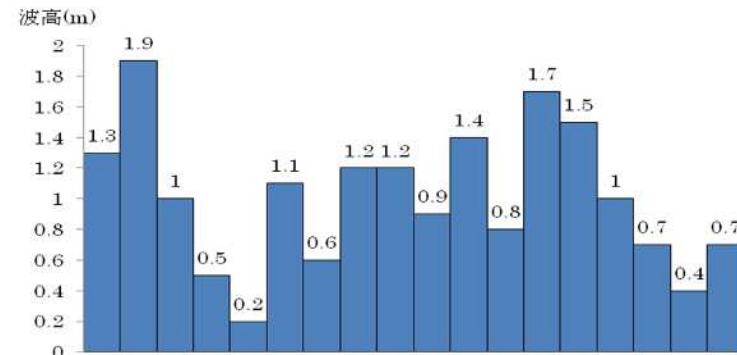
波浪は、海洋表面の波動のうち、**風によって発生した周期が1～30秒程度のもの** (周期:波の山から山までの時間)



写真:職員撮影



有義波高:例えば18個の観測値があった場合



波浪の大きさを表す指標

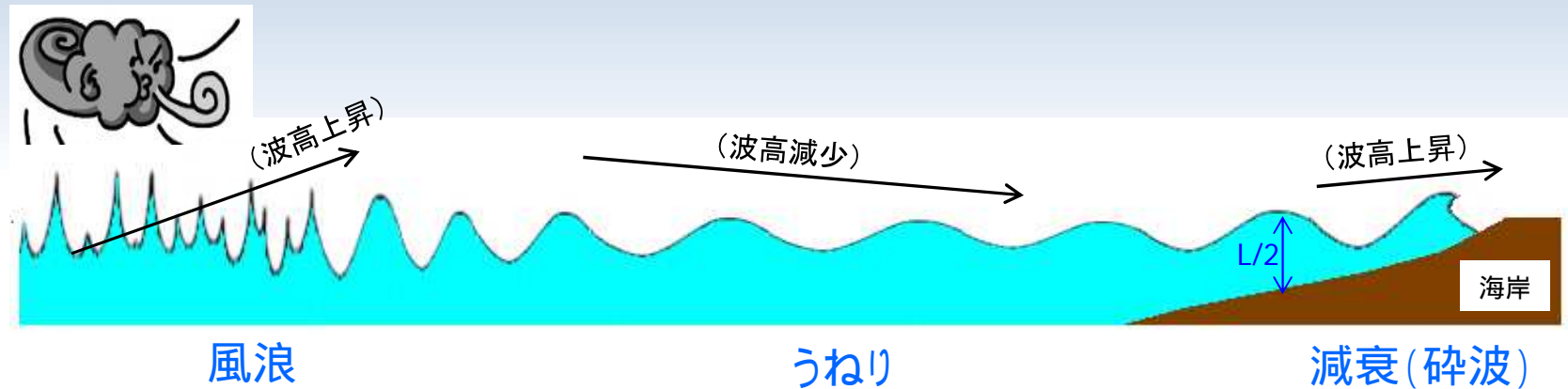
有義波

1点においてある時間に観測したN個の波のうち、波高の高い方からN/3個までの波について波高・周期を平均したもの。1/3最大波ともいう。

有義波高1.0に対する主な換算係数

頻繁に見られる波高	0.50
平均波高	0.63
1/10最大波の波高	1.27
1/1000最大波の波高	1.93

波浪の一生



1. 風による波(風浪)の発生・発達

- 風(風速、吹送距離、吹続時間)により発達

2. 風浪からうねりへの変化(減衰)

- 発達した風浪が、粘性等により波高が減少し周期が長めにシフトする

3. 変形(碎波)

- 逆風や、地形による変形・屈折による碎波

風浪とうねり

波浪は、風浪とうねりの総称

風浪



うねり



風浪

風からエネルギーを受け発生・発達している波

- ✓ 個々の波形は不規則で先端は尖っている
- ✓ 周期は短く、変化が激しい

うねり

風浪が減衰しながら伝播する波

- ✓ 周期的で丸みを帯び、正弦波に近い
- ✓ 波高はほぼ一定
- ✓ 短周期の波に比べ、同じ波高でも1波のもつエネルギーが大きい
- ✓ 波長が長く、水深が浅くなると波高が大きくなりやすい
- ✓ 静穏な天候でも、遠方での荒天を要因とするうねりが伝播

現実の波浪は・・・

波浪による不規則な海面変動： 様々な波が重ね合わさったもの



数値波浪モデル： 物理法則に従って各々の波をモデル化



写真：職員撮影

内容

1. はじめに

2. 波浪

- 波浪の基礎知識
- 気象庁波浪モデルの概要
- 波浪の推算
- 波浪による災害事例

3. 高潮

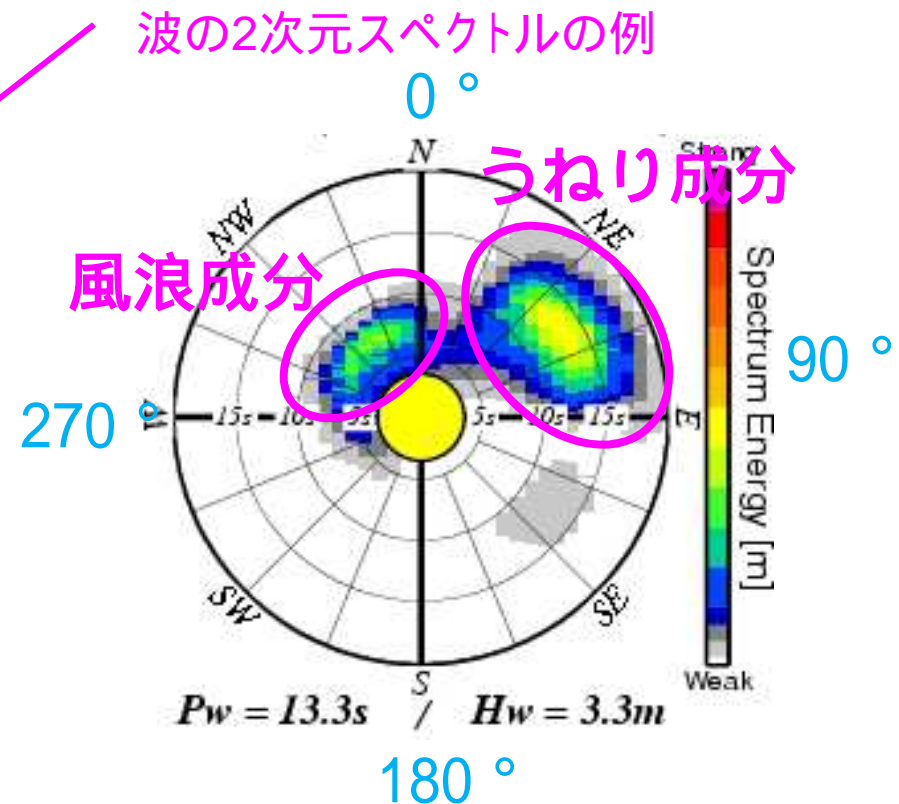
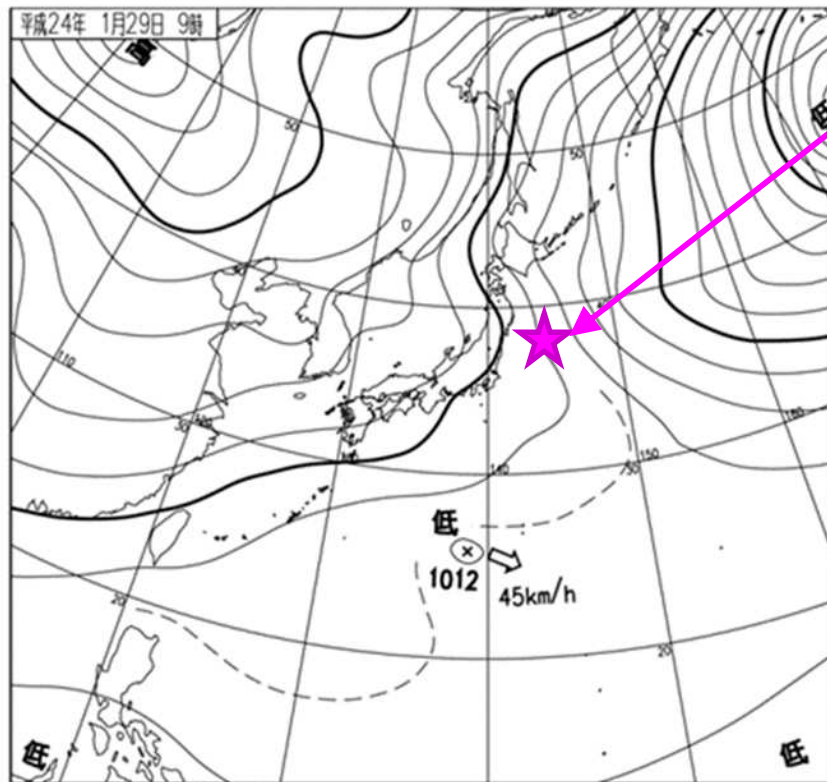
4. 波浪 & 高潮に関する情報

5. おわりに

数値波浪モデル

波浪による不規則な海面変動

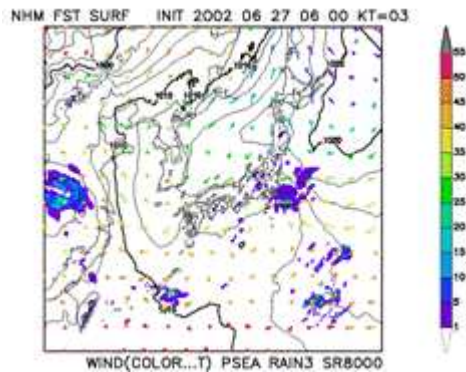
様々な周波数・方向の波が重ね合わさったもの
個々の海面の上下動を直接計算するのではなく、**方位と周波数ごとのエネルギー (波浪の2次元スペクトル)** 変化を計算



波浪情報ができるまで

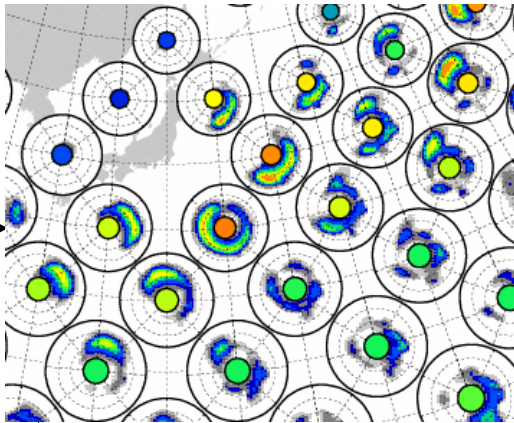
入力データ
(風：摩擦速度)

大気モデルGPV



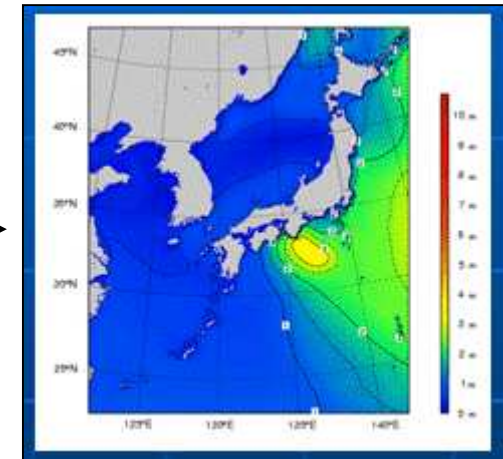
波浪モデル

2次元スペクトル(周期,波向)
合成波高

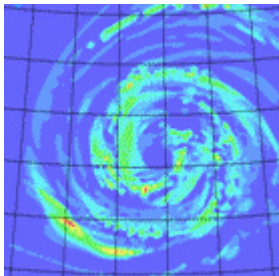


プロダクト

波高図など



(熱帯低気圧情報)



観測データの同化

波高の観測値をモデルに反映

- ブイ、船舶、衛星



写真：気象庁HP, AVISO HPより

内容

1. はじめに

2. 波浪

- 波浪の基礎知識
- 気象庁波浪モデルの概要
- 波浪の推算
- 波浪による災害事例

3. 高潮

4. 波浪 & 高潮に関する情報

5. おわりに

有義波法による波高の推定

- 波浪モデルの信頼性は近年向上しているものの、海上風の予測誤差や波浪モデル自体の特性により、誤差が生じる。
- 波浪実況(沿岸波浪計やブイ)や、海上風実況の誤差を踏まえて利用すべき。
- モデル予測値の誤差を適切に修正する、特定地点の波浪を推算するためには**有義波法**が有効。

有義波法:

海上風の状況から、有義波高や周期を推算するもの。通常図表を用いて簡単に推算することができる。

風浪の発達

風浪発達の3要素

1. 風速 (Wind speed)

風速が大きいほど発達は大きい。大まかに言えば、波高は風速の2乗に比例する。

2. 吹送距離 (Fetch)

(= ほぼ一様な風が吹いている風上側の距離)

吹送距離が大きいほど発達は大きい。

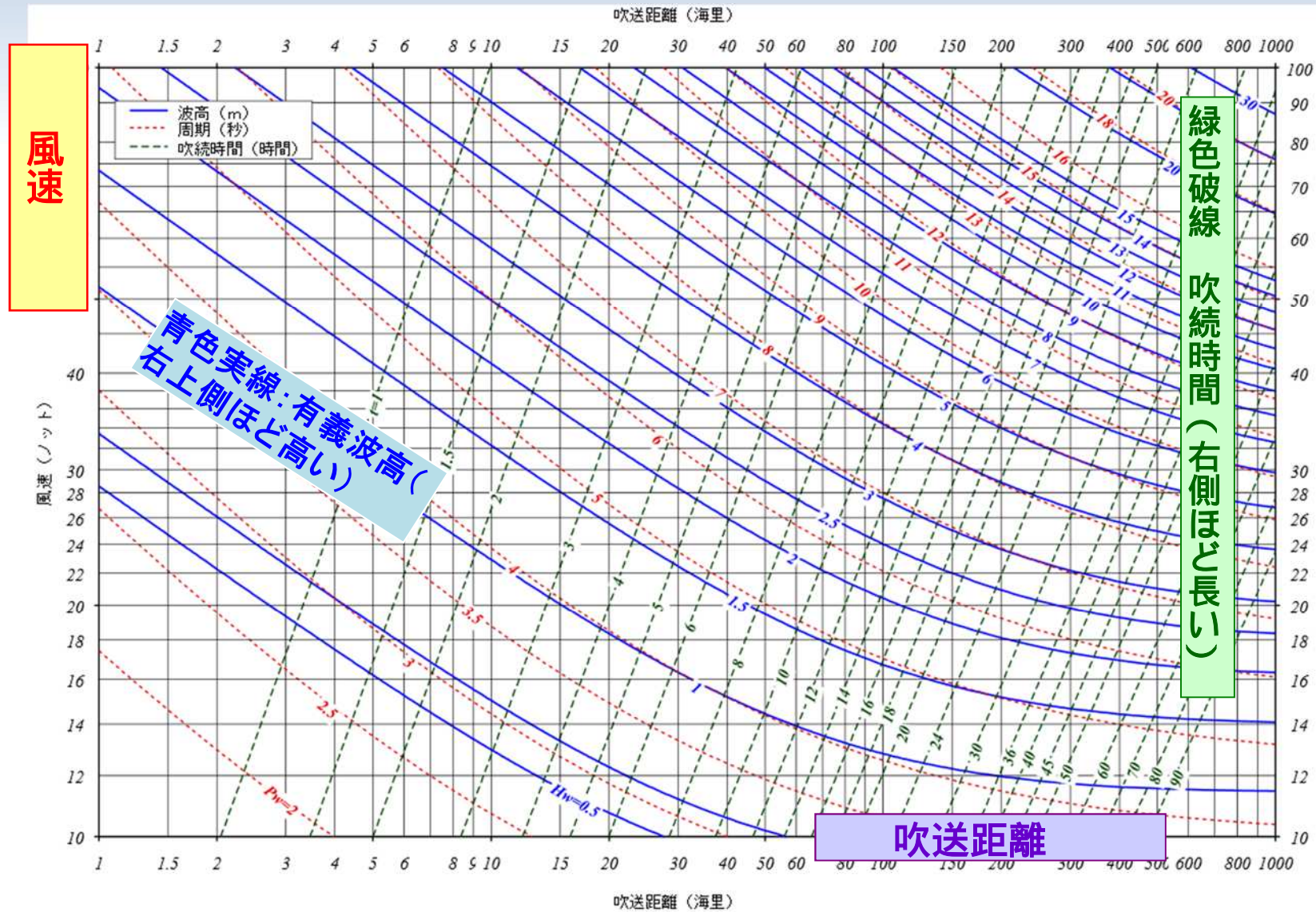
3. 吹続時間 (Duration)

(= ほぼ一様な風が吹きつづける時間)

吹続時間が長いほど発達は大きい。

この3要素で決定される波高の中で最小の波が、
波の発達できる最大値
(波の発達の制限条件)

風浪の推算表



風浪の推定(早見表)

風速	3h	6h	12h	18h	24h	36h	48h	60h	72h
70kt	6.1m 33M	8.9m 82M	12.6m 201M	15.4m 338M					
60kt	4.9m 30M	7.1m 74M	10.0m 180M	12.1m 302M	13.8m 433M				
50kt	3.7m 26M	5.4m 65M	7.6m 158M	9.2m 264M	10.4m 378M	12.1m 625M			
45kt	3.2m 24M	4.6m 60M	6.5m 146M	7.8m 244M	8.8m 349M	10.2m 576M	11.2m 817M		
40kt	2.7m 22M	3.9m 55M	5.4m 134M	6.5m 223M	7.3m 319M	8.4m 525M	9.2m 745M	9.7m 973M	
35kt	2.2m 21M	3.2m 50M	4.4m 121M	5.2m 202M	5.8m 288M	6.7m 473M	7.3m 669M	7.7m 873M	
30kt	1.8m 18M	2.5m 45M	3.5m 108M	4.1m 180M	4.5m 256M	5.2m 419M	5.6m 591M	5.8m 769M	6.1m 952M
25kt	1.3m 16M	1.9m 39M	2.6m 95M	3.0m 156M	3.3m 222M	3.8m 362M	4.0m 509M	4.2m 661M	4.3m 817M
20kt	1.0m 14M	1.3m 34M	1.8m 80M	2.1m 131M	2.3m 186M	2.5m 302M	2.7m 423M	2.8m 548M	2.8m 676M
15kt	0.6m 11M	0.9m 27M	1.1m 64M	1.3m 105M	1.4m 148M	1.5m 238M	1.6m 332M	1.6m 429M	1.6m 527M
風速	3h	6h	12h	18h	24h	36h	48h	60h	72h

風速差に注目

25ktが24h → 3m前半

30ktが24h → 4m中盤

35ktが24h → 5m後半

5ktの違いが0.5～1mの波高差に

吹続時間差に注目

30ktが 6h → 2m中盤

30ktが12h → 3m中盤

30ktが18h → 4m前半

6時間のずれが数mの波高差に

強風時の発達に注目

40ktが12h → 5m中盤

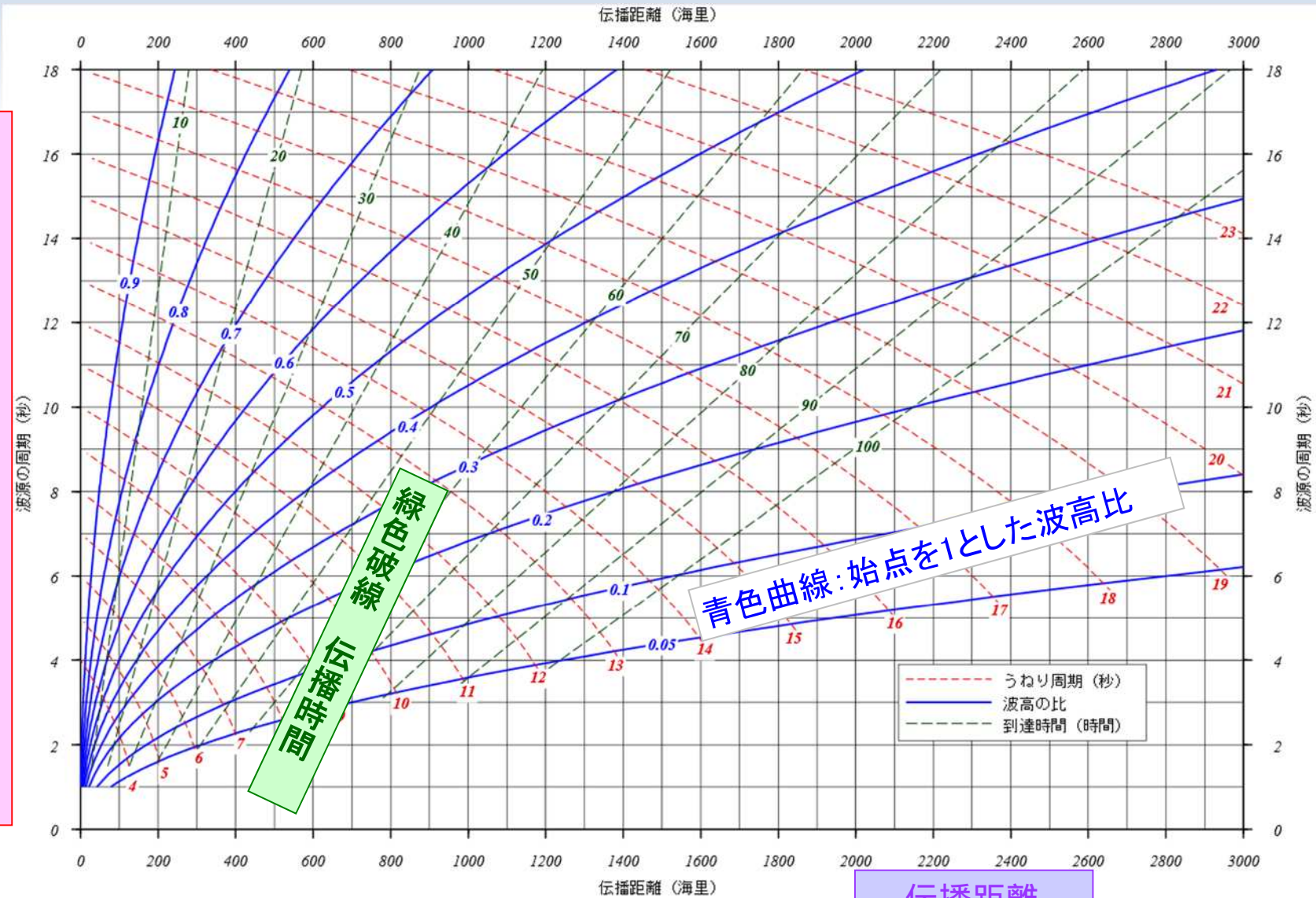
45ktが12h → 6m中盤

50ktが12h → 7m中盤

強風時はすぐ警報級

うねりの推算表

(長) 周期 (短)
右下がりになる等周期線にも留意



うねりの推定(早見表)

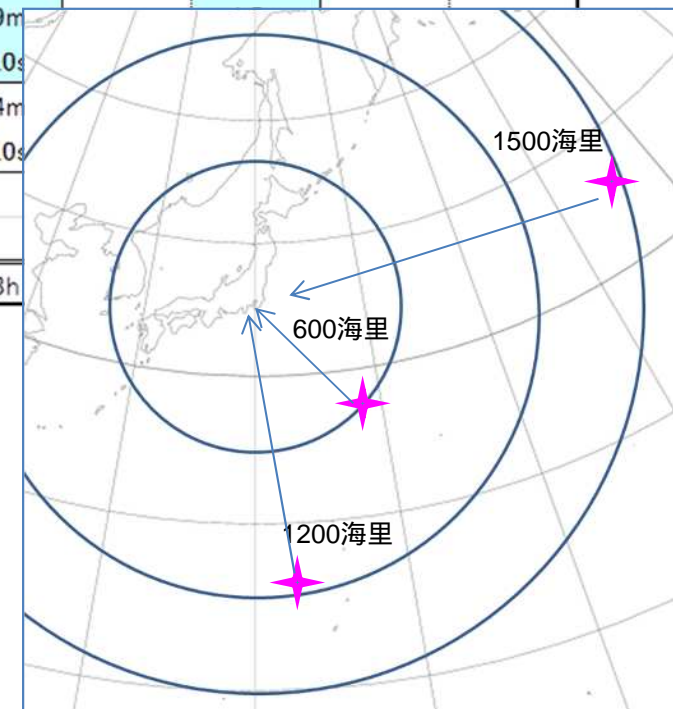
0h		12h		24h		36h		48h		60h		72h
14.0m		11.8m		10.0m		8.6m		7.5m		6.5m		5.7m
15.0s	282M	16.0s	582M	17.0s	900M	18.0s	1237M	19.0s	1592M	20.0s	1965M	21.0s
12.0m		10.0m		8.4m		7.2m		6.2m		5.3m		4.7m
14.0s	264M	15.0s	546M	16.0s	846M	17.0s	1164M	18.0s	1501M	19.0s	1855M	20.0s
10.0m		8.2m		6.7m		5.7m		4.8m		4.1m		3.5m
12.5s	236M	13.5s	491M	14.5s	764M	15.5s	1055M	16.5s	1364M	17.5s	1692M	18.5s
8.0m		6.4m		5.1m		4.2m		3.5m		3.0m		2.5m
11.0s	209M	12.0s	437M	13.0s	682M	14.0s	946M	15.0s	1228M	16.0s	1528M	17.0s
6.0m		4.7m		3.7m		3.0m		2.5m		2.1m		1.7m
10.0s	191M	11.0s	400M	12.0s	628M	13.0s	873M	14.0s	1137M	15s	1419M	16.0s
5.0m		3.8m		2.9m		2.3m		1.9m		1.6m		1.3m
9.0s	173M	10.0s	364M	11.0s	573M	12.0s	800M	13.0s	1055M	14.0s	1364M	15.0s
4.0m		2.9m		2.2m		1.7m		1.4m		1.1m		0.9m
8.0s	155M	9.0s	327M	10.0s	518M	11.0s	728M	12.0s	946M	13.0s	1228M	14.0s
3.0m		2.1m		1.5m		1.2m		1.0m		0.8m		0.7m
7.0s	136M	8.0s	291M	9.0s	464M	10.0s	628M	11.0s	846M	12.0s	1114M	13.0s
0h		12h		24h		36h		48h		60h		72h

波源6mに注目

36時間後、600海里離れた場所に、3m
60時間後、1200海里離れた場所に、2m

波源8mに注目

48時間後、900海里離れた場所に、3m中盤
72時間後、1500海里離れた場所に、2m中盤



内容

1. はじめに

2. 波浪

- 波浪の基礎知識
- 気象庁波浪モデルの概要
- 波浪の推算
- 波浪による災害事例

3. 高潮

4. 波浪 & 高潮に関する情報

5. おわりに

近年の主な波浪災害例 (2004 ~ 2010)

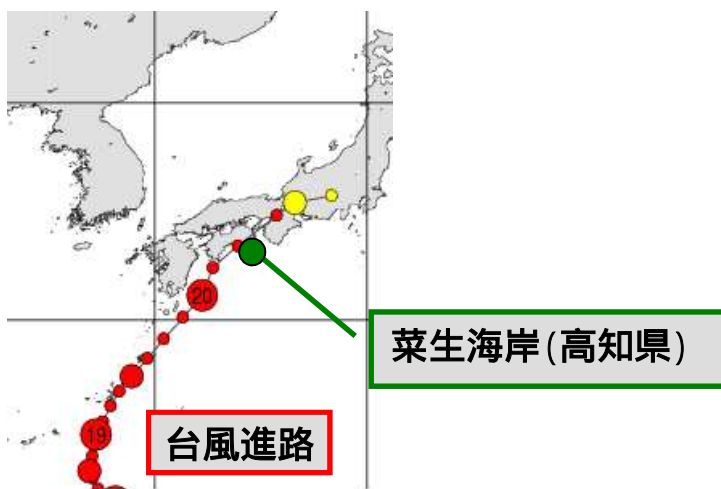
年月日	発生場所	原因	概要
2004年10月20日	高知県室戸市	台風第23号	防波堤の倒壊と家屋の破損 死者3名
2006年10月6日 - 7日	宮城県女川町沖	低気圧	漁船座礁
	茨城県神栖市沖		貨物船座礁
	静岡県下田市沖		釣り船転覆
			死者 計34名
2007年9月7日	神奈川県小田原市	台風第9号	西湘南バイパス崩落
2008年2月24日	富山県黒部市	低気圧・冬型	護岸被害、浸水災害 死者2名
	新潟県佐渡市		漁港施設等多数破損
2008年6月23日	千葉県犬吠埼沖	低気圧	漁船転覆 死者・行方不明17名
2008年10月25日	新潟県柏崎市	低気圧	防波堤 釣客16人が波にさらわれる
	山形県鶴岡市		防波堤 釣客1名が波にさらわれ 10名が取り残される
2009年4月14日	長崎県平子島沖	低気圧	漁船転覆 行方不明12名
2009年6月13日	新潟県胎内市沖 新潟市沖	低気圧	プレジャーボート2隻転覆 死者6名
2009年10月8日	神奈川県三浦半島	台風第18号	波浪起因含む高潮により、家屋浸水・護岸破壊
2009年10月24日	八丈島沖	低気圧(前線)	漁船転覆 行方不明12名
2009年11月13日	三重県御浜町沖	高波	フェリー横転・座礁
2010年 11月19 - 21日	千葉県南房総市、鴨川市	低気圧	岩場から2名転落
	茨城県鹿島港		防波堤から転落死者1名

近年の波浪災害例(2011～2014)

年月日	発生場所	原因	概要
2011年 7月16 - 18日	茨城県神栖、銚田市、 ひたちなか市	台風第6号	サーフィン、ジェットスキー、遊泳各1 死者2名
	千葉県南房総市、勝 浦市		遊泳3、サーフィン・ボディボード3、 沖に流された2名、怪我2名
	神奈川県三浦市		磯から転落2名
2011年 8月27 - 29日	茨城県銚田市	台風第12号	遊泳中流され死者1名
	千葉県南房総市、勝 浦市、館山市		遊泳5、サーフボード1、磯から転落1 沖に流された2名、死者2名
	神奈川県小田原市		遊泳中流され2名
2011年11月24日	北海道苫小牧市沖	強風・高波	貨物船(1万8千トン)座礁
2012年1月30日	宮崎県日南市	低気圧	釣り客3名が波にさらわれる 死者2名
2012年4月3-4日	日本海(秋田沖)	低気圧	新潟で灯台破損 秋田ほか各地で高潮含む浸水災害発生
2012年10月5日	北海道豊頃町	台風第19号 (温低化)	釣り人4名防波堤転落死者1名
2014年5月4日	新潟県上越市	低気圧・前 線	海岸から流され死者5名
2014年8月4日	鹿児島県奄美市	台風第11号	海岸から2名流される

原因のオレンジ背景は遠方からのうねりによる被害

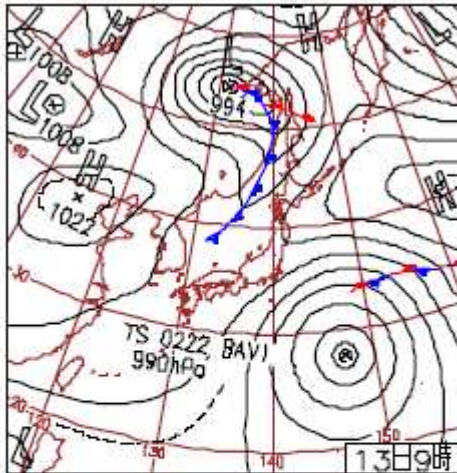
高波・高潮による災害 (2004年台風第23号)



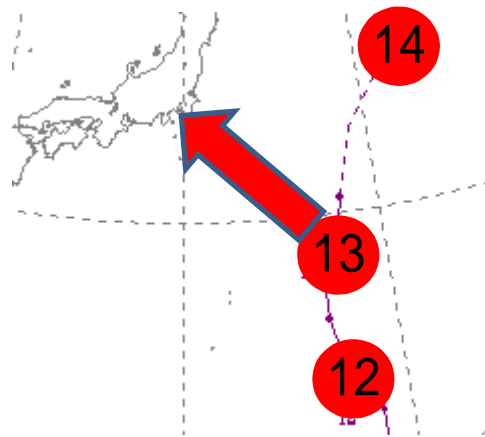
最大有義波高(観測) > 13m
死者 3
全壊家屋 5

2002年10月13日の高波

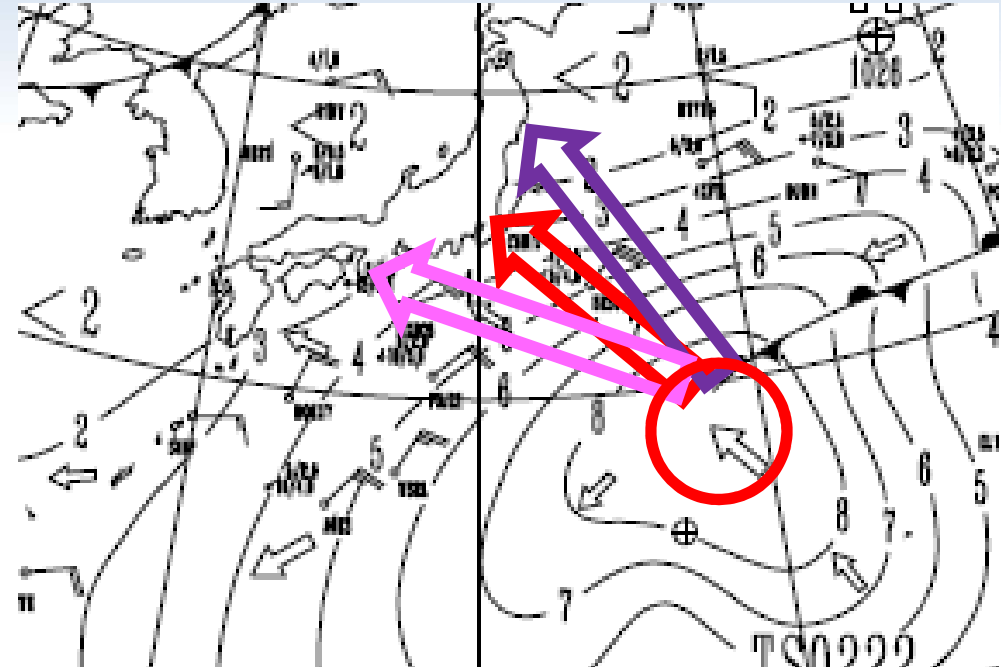
～ 台風からのうねり～



13日(日) 海難事故相次ぐ
全国的に晴れたが、太平洋側沿岸は台風第22号の影響で高波、海難事故相次ぐ。三重県志摩町沖で船が転覆、2名死亡1名行方不明。静岡県伊東市、熱海市などでも人的被害。



平成14年台風第22号の経路図
(赤丸は各日の09時(JST)の位置)



8 mの風浪が残したうねりが、
： 関東に、24時間後、5mで到達。
： 東北に、30時間後、4.5mで到達。
： 東海に、30時間後、4.5mで到達。

10月12日09時(JST)の外洋波浪図

内容

1. はじめに

2. 波浪

3. **高潮**

➤ 高潮の定義と要因

➤ 高潮災害事例

4. 波浪 & 高潮に関する情報

5. おわりに

高潮の定義

高潮は、台風など強い気象じょう乱に伴う気圧低下による吸い上げと風による海水の吹き寄せのため、海面が異常に上昇する現象

高潮の大きさを表す指標

最高潮位

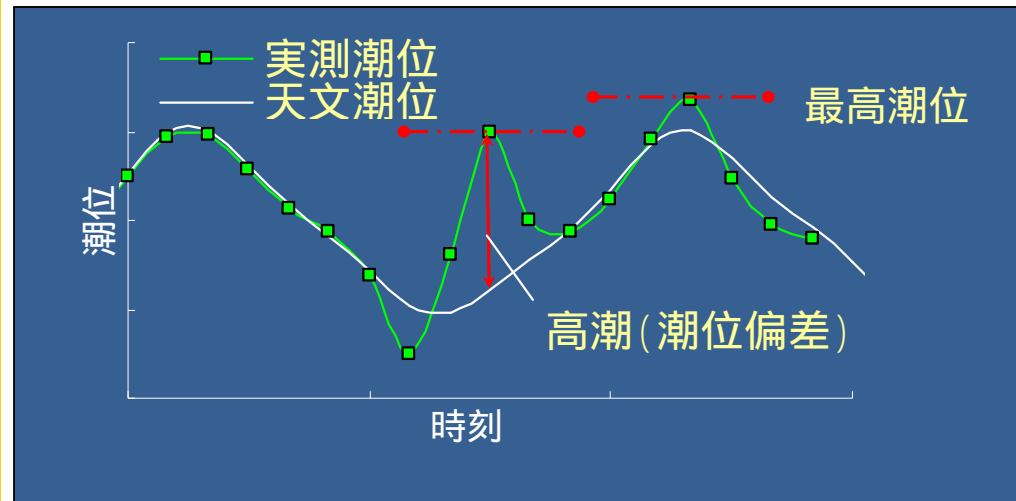
潮汐を含む実際の潮位。災害の指標として用いる。

最大偏差

天文潮位(推算潮位)からの偏差の最大値。現象の規模を表すのに適す。

一般に「3mの高潮」と表現する場合、最大偏差が3mであることを意味する。

(高潮 = 最大偏差 = 実測潮位 - 天文潮位)



天文潮位とは

月や太陽の引力等の影響により生じる海面の昇降現象で、天体の運行に関する知識から予測可能

高潮の要因

吸い上げ効果

台風や低気圧の中心では気圧が周辺より低いため、気圧の高い周辺の空気は海水を押し下げ、中心付近の空気が海水を吸い上げるように作用する結果、海面が上昇します。

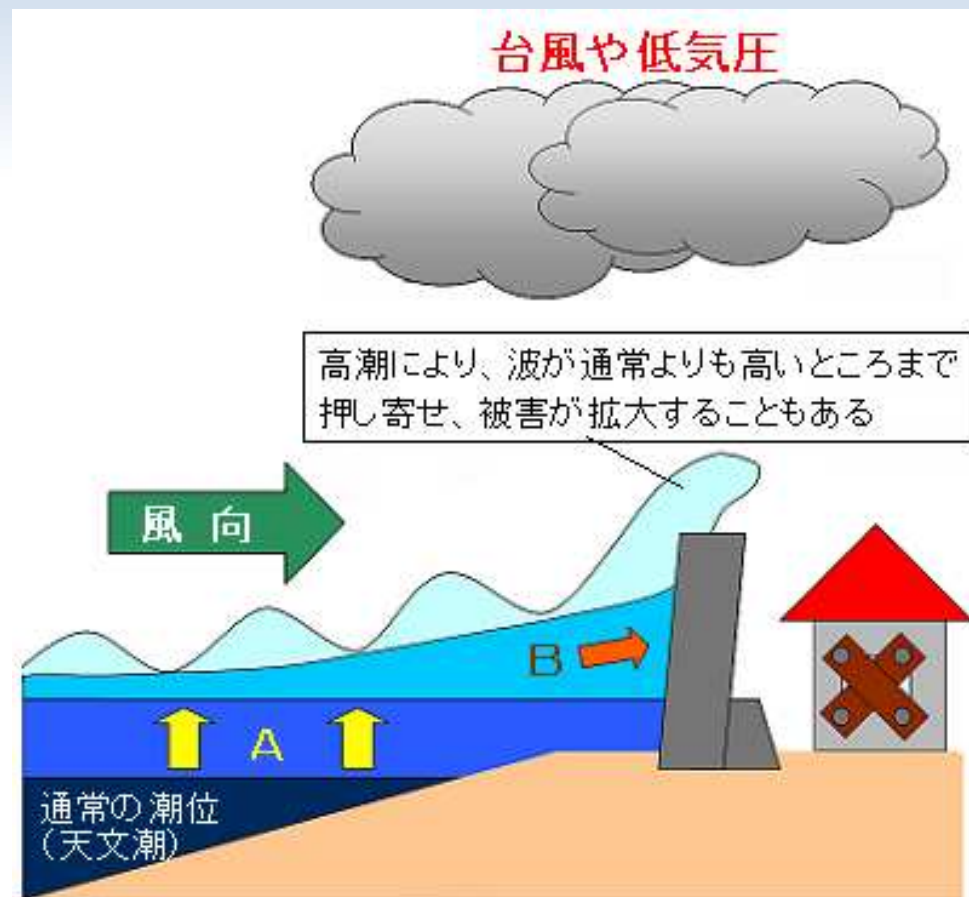
(右図の A の部分)

吹き寄せ効果

台風や低気圧に伴う強い風が沖から海岸に向かって吹くと、海水は海岸に吹き寄せられ、海岸付近の海面が上昇します。

また遠浅の海や、風が吹いてくる方向に開いた湾の場合、地形が海面上昇を助長させるように働き、特に潮位が高くなります。

(右図の B の部分)



吹き寄せ効果と吸い上げ効果の比較

風の吹き寄せ効果

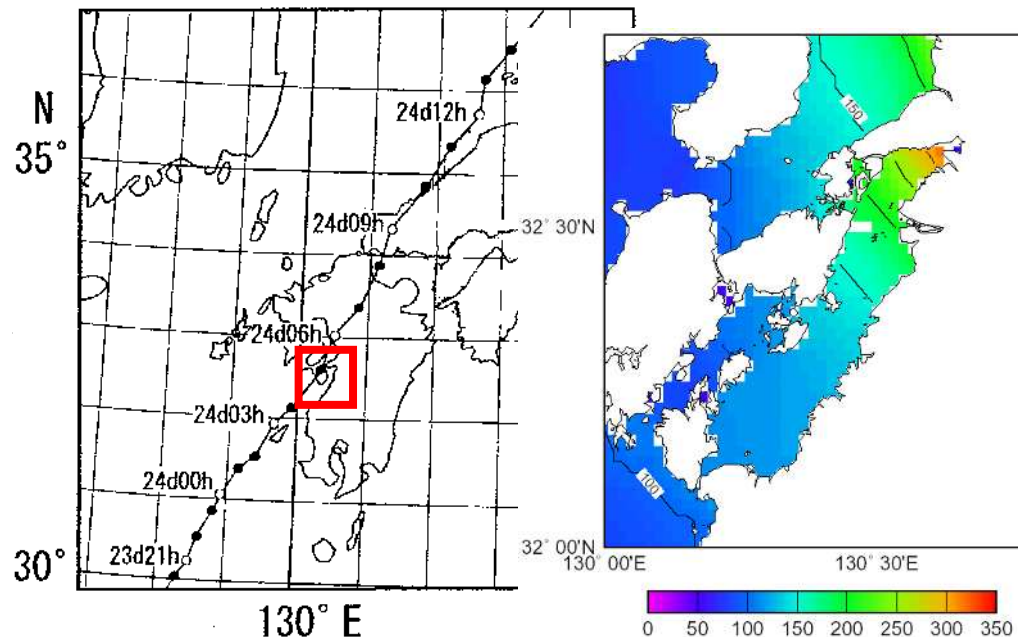
- ・風の応力に比例（= 風速の2乗に比例）
- ・水深に反比例

気圧降下による吸い上げの効果

- ・ 1 hPa気圧降下 1 cm潮位上昇

台風、発達した低気圧の場合、しばしば

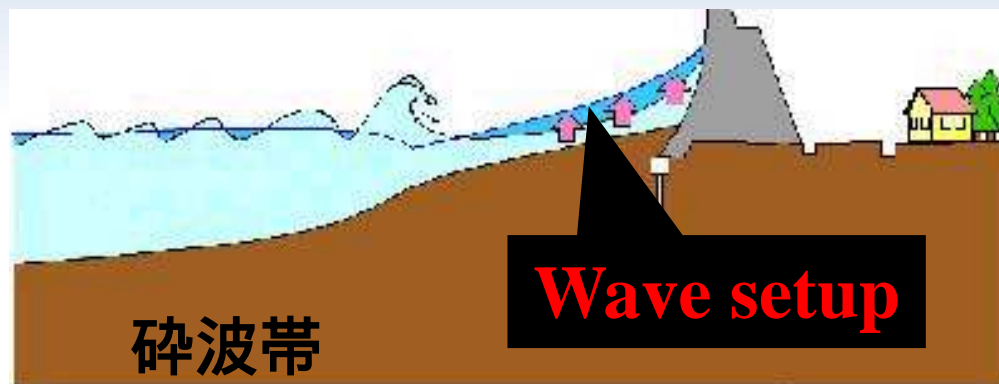
吹き寄せ効果 > 吸い上げ効果



例) 1999年の台風第18号
中心気圧が950hPa
吸い上げ効果：
約60cmの潮位上昇

実際には**3m以上**もの
高潮が発生

高潮予測に重要な他の要素（波浪）



Wave Setup

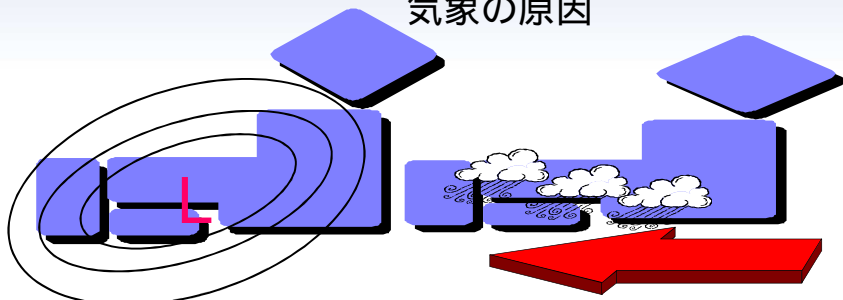
外洋に面した沿岸では、波浪が砕波する際に起きる潮位上昇が高潮の主たる原因となることがある

- Wave setupに注意が必要な場合
- 高波が岸まで到達して直撃
 - 水深が海岸部で急に浅くなる

異常潮位

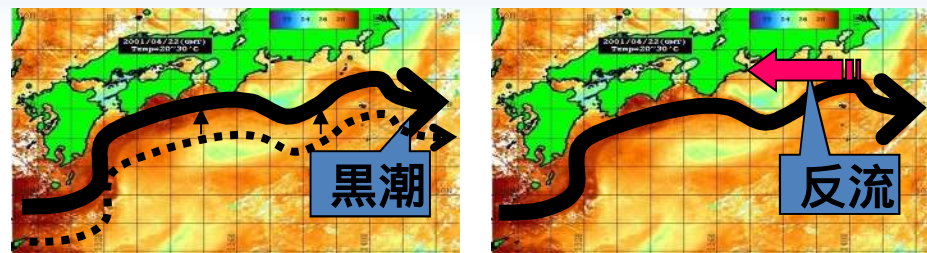
異常潮位は、様々な要因が複合的に関与して発生し、その原因は気象と海洋によるものに大別できます。観測した潮位と平常潮位（天文潮）との差（潮位偏差）が数10cm程度の状態が1週間～3か月程度継続し、特に夏から秋に発生する異常潮位は沿岸の低地等で浸水することがあります。

気象の原因



気圧の低い状態が続く 南岸で東よりの風が続く

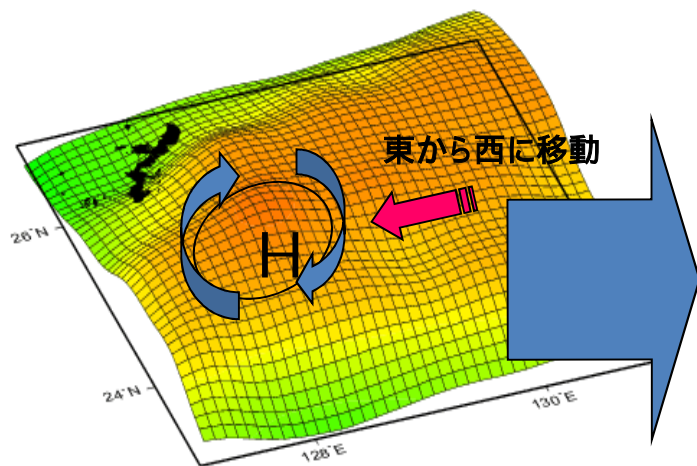
海洋の原因



流路の変動

岸に沿った西向きの流れ

中規模渦(暖水)の接近



周囲よりも水位が高く、高気圧性（時計回り）の流れを伴う水平スケール約400kmの渦の西進



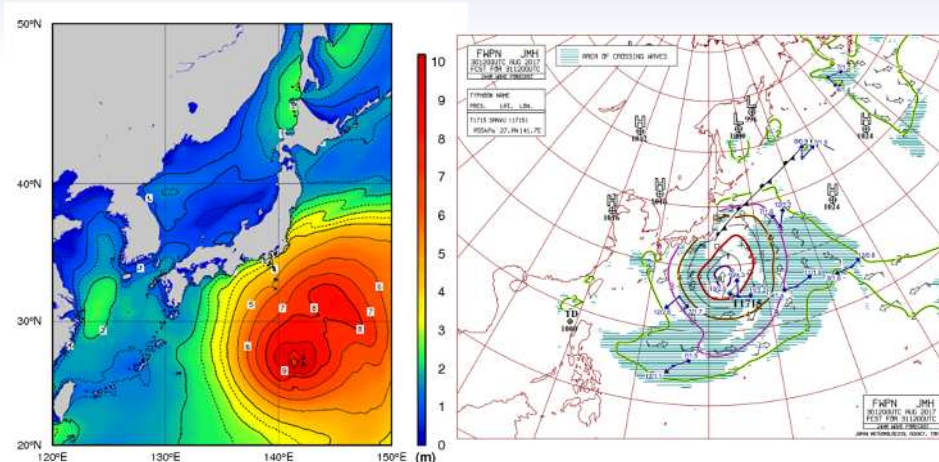
異常潮位による潮位上昇分
青:平常潮位 黄色:観測潮位
那覇 2001/ 8/20 07:40 TP潮位 145 cm
検潮所の潮位観測記録(那覇の例)

内容

1. はじめに
2. 波浪
3. 高潮
4. 波浪 & 高潮に関する情報
5. おわりに

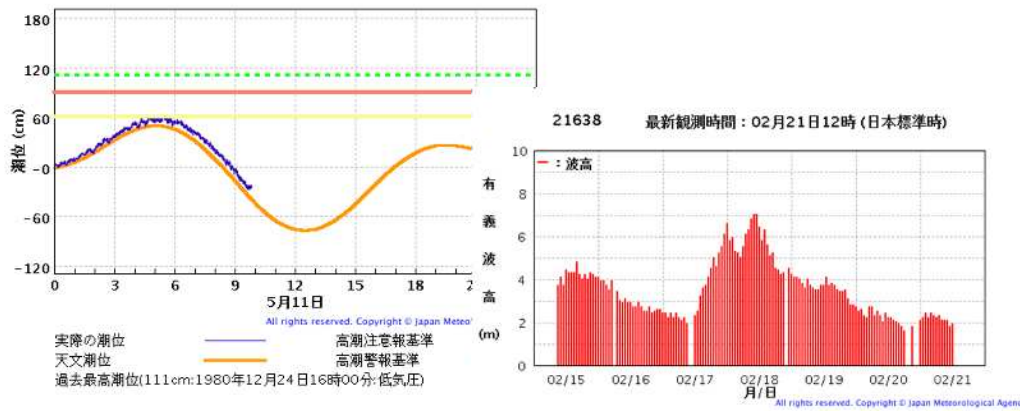
波浪・高潮に関する主な情報

- 波浪実況図・予想図



沿岸波浪実況図 外洋波浪予想図

- 潮位、波浪観測情報



- 府県天気予報、注意報・警報、気象情報等

天気予報：茨城県

31日11時水戸地方気象台発表の天気予報(今日31日から明後日2日まで)

日	天気	風	雨	湿度	気温
今日31日	晴	北東の風 強く後北の風 やや強く海上では北東の風 非常に強く雨波 5メートル 後 6メートル うねりを伴う	00-06 一時 06-12 一時 12-18 70% 18-24 90%	水戸	日中の最高 21度
明日1日	晴	北の風 やや強く後北東の風 やや強く海上では北の風 強く雨 曇りから夜のはじめ	00-05 70% 06-12 80% 12-18 40%	水戸	朝の最低 17度 日中の最高 20度

明後日	下田市		今後の推移(■警報級 ■注意報級)								備考・関連する現象	
	発表中の警報・注意報等の種別	21日	22日	23日	24日	25日	26日	27日	28日	29日		30日
強風		10	10	15	15	15						
波浪		2	2	3	3	3						

- 海上分布予報、海上予報等

東京海上気象 21日09時観測 21日07時00分発表

概況 1012 北緯29度 東経130度 岸

観測状況 21日06時

風速 北北東 20ノット
 吹き 北東 10ノット
 八丈島 西 8ノット

予報 関東海域北部 海上警報無し

今日 風 北 25ノット(10メートル)
 天気 曇一時雨 所により雪を伴う
 浪程 6海里(10キロ) 所により1海里 2.5メートル

明日 風 北 20ノット(10メートル)
 天気 曇時々雨
 浪程 6海里(10キロ) 所により1海里 2.5メートル 22日16時まで

波浪&高潮に関する情報

注意報・警報について

- H29.5に気象庁HPにおいて注・警報を図形式で提供。
 - 高潮や波浪についても、警報・注意報級の現象が予想される時間帯の色分け、予想値の明示等がなされている。
 - 自治体のハザードマップなどで潮位に応じた浸水想定区域等を確認しておくなど、適切に情報の利用を。

岩泉町			今後の推移(■警報級 ■注意報級)								備考・ 関連する現象	
発表中の 警報・注意報等の種別			30日					31日				
			3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24	0-3		3-6
暴風	風向風速 (矢印・メートル)	陸上	3	10	15	20	25	20	13	10	10	以後も注意報級
		海上	10	12	20	25	35	30	15	10	10	
波浪	波高 (メートル)		6	6	8	8	10	10	10	6	6	以後も注意報級 うねり
高潮	潮位 (メートル)		0.4	-0.2	0.1	1.2	1.2	1.2	0.7	0.7		ピークは30日12時頃

警報は、警報級の現象が予想される時間帯の最大6時間前に発表します。
 ■で着色した種別は、今後警報に切り替える可能性が高い注意報を表しています。
 各要素の予測値は、確度が一定に達したものを表示しています。

【参考】 気象庁HP: 高潮に関する防災気象情報の活用
http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/ame_chuui/ame_chuui_p8-3.html

気象庁ホームページ

海洋の健康診断表（海洋の総合情報）

<http://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/shindan/index.html>

国土交通省 気象庁 Japan Meteorological Agency

HOME | 防災情報 | **各種データ・資料** | 知識・解説 | 気象庁について | 案内・申請

ホーム > 各種データ・資料 > 海洋の健康診断表

海洋の健康診断表(海洋の総合情報)

- 最近のトピックス(臨時診断表)
- 平成27年03月25日 2014/2015年海水期のオホーツク海の海水の広がりが過去最小
 - 平成27年02月19日 2014/2015年海水期のオホーツク海の海水域面積
 - 平成27年01月27日 黒潮が四国沖で大きく離岸しています

項目から選択

海域から選択

各項目の詳細な分析
(総合診断表)

最近の状況と今後の見通し
(海水温・海流、波浪、潮汐、海水)

海上警報

- 更新履歴(定期診断表等)
- 平成27年06月28日 定期診断「二酸化炭素濃度の長期変化傾向(北西太平洋)」並びに「表面海水中のpHの長期変化傾向(北西太平洋及び太平洋)」を更新しました。
 - 平成27年06月07日 旬別黒潮流軸図を廃止しました。今後は、黒潮域の旬平均海流図をご覧ください。
 - 平成27年04月22日 海洋気象観測結果の2014年秋季観測分(海洋気象観測船・漂流型海洋気象ブイボート)を掲載しました。
 - 平成27年04月20日 宮古、三宅島及び鳥羽の潮位観測データの一部を更新しました。
 - 平成27年03月16日 宮古検潮所の復旧に伴い、球分体の高さ及び標高を更新しました。また、観測方式を音波式から電波式へと変更しています。

- #### 海洋の健康診断表(海洋の総合情報)
- トップページ
 - 臨時診断表
- #### 項目から選択
- 波浪
 - 潮汐・海面水位
 - 海水
 - 海面水温
 - 表層水温
 - 海流
 - 地球温暖化
 - 気候・数か月から十年規模の変動
 - エルニーニョ・ラニーニャ現象
 - 二酸化炭素と海洋酸性化
 - 海洋汚染
 - 海洋気象観測
- #### 海域から選択
- 日本近海
 - 北海道周辺
 - 東北周辺
 - 関東・東海・北陸周辺
 - 近畿・中国・四国周辺
 - 九州・山口周辺
 - 沖縄周辺
 - 日本海
 - 北西太平洋
 - 地球全体・熱帯域・太平洋
- #### 総合診断表
- 最近の状況と今後の見通し
 - 海上警報
- #### 海洋の健康診断表について
- 知識・解説 / よくある質問
 - 海洋関係のパフレット
 - リンク集
 - サイトマップ

項目から選択

波浪

潮汐・海面水位

海水

海面水温

表層水温

海流

地球温暖化

気候・数か月から十年規模の変動

エルニーニョ・ラニーニャ現象

二酸化炭素と海洋酸性化

海洋汚染

海洋気象観測

おわりに

- 普段内陸で生活している人々には、沿岸防災にはあまりなじみがない。
- 波浪の災害は、そういう人たちが海岸にいるときに被災することが多い。
- 高潮災害は発生数こそ少ないものの、一度浸水が起こると甚大な災害につながる。普段災害が発生していないからという油断は禁物。
- 発生数の少ない災害は、次第に過去の教訓を忘れてたり警戒を怠りがち
- 沿岸の災害を防ぐためには、的確な防災情報の発表が必要。そのためには高潮と波浪の正しい知識が不可欠。普及啓発も重要。