

図 26

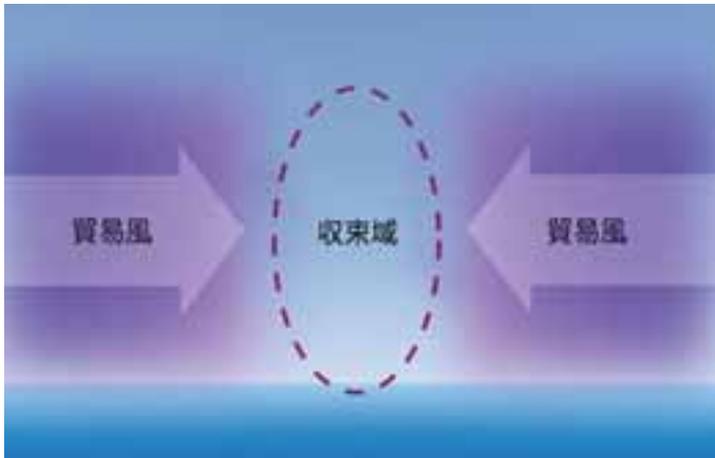


図 27 (一社)日本船長協会 DVD

この低圧帯は「赤道低圧帯」または「熱帯収束帯 = ITCZ : Intertropical Convergence Zone」と呼ばれています。この ITCZ は、通常南北に波動しながら西進し、この波動が不安定化して大きくなると渦を形成して熱帯低気圧を発生させます。(図 28)



図 28 (一社)日本船長協会 DVD

温帯低気圧のエネルギー源は、空気の温度差によって生じる「位置エネルギー」ですが、熱帯低気圧のエネルギー源は、発生には持続的に供給された水蒸気が、上昇して冷却されて水滴として凝結する際に放出される潜熱（せんねつ）です（P.7 註1ご参照）。

即ち、湿った海上付近にあった空気が、わずかなきっかけで上昇を開始し（図 29）、特に ITCZ では気流が収束しているので上昇気流が発生しやすく、水蒸気が凝結をし始めると積雲や積乱雲が発生します（図 30）。



図 29 (一社)日本船長協会 DVD



図 30 (一社)日本船長協会 DVD

この放出された潜熱により、雲のないところと比べると温度が高くなります。すると、暖められた空気は密度が小さくなって軽くなるので、さらに上昇を続け、中心気圧が下がって熱帯低気圧として発達を続けます。このような条件付不安定となった大気中では、水平規模が 10km 程度の積乱雲がいくつも発達し（図 31）、それらが集まった効果として水平規模が 100km を超える熱帯低気圧が発生します（図 32）。

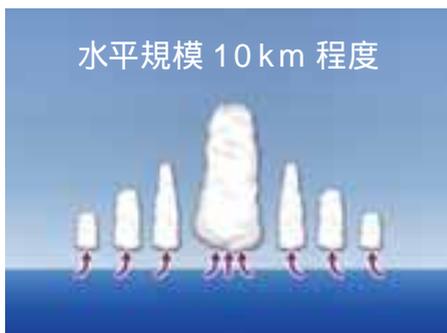


図 31 （一社）日本船長協会 DVD

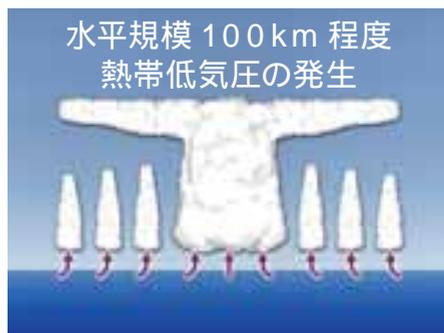


図 32 （一社）日本船長協会 DVD

熱帯海域に発生した熱帯低気圧は、表 24 に示すとおり、日本の分類では域内の最大風速が 34 ノット（17.2m/sec）以上を超えるまで成長すると台風という呼称になります。どのような雲の塊りが台風にまで発達するかについて、まだ解明されていません。しかし、台風のエネルギー源は海面から蒸発する水蒸気であることはわかっているため、海面温度が高いところで発生した台風ほど、強い台風になります。また、強い台風にまで発達するには、海水温度が 28 以上の海域を通過することが必要とされています。

逆に、28 以下（或いは、26 以下）の海域に台風が達したり、陸地上陸すると台風が持つエネルギーは排出されて衰弱を開始し、その後、温帯低気圧に変貌して、やがて消滅します。



写真 33 イメージ写真(台風発生ではない)

4 - 2 - 3 熱帯低気圧の構造

台風は、直径数百～千 km にもおよぶ巨大な大気の渦です。渦の内部では強い上昇流が発生して積乱雲が形成されています。積乱雲の中心には、発生する下降気流によって「台風之眼」が形成されますが、「目の壁雲（アイウォール）」の下では最も強い風が吹き、雨も激しく降っています。一方、目の上部の圏界面付近では、地表付近とは反対にコリオリの力によって時計回りで外側に吹き出す「巻雲」の渦ができています。（図 34 , 35）

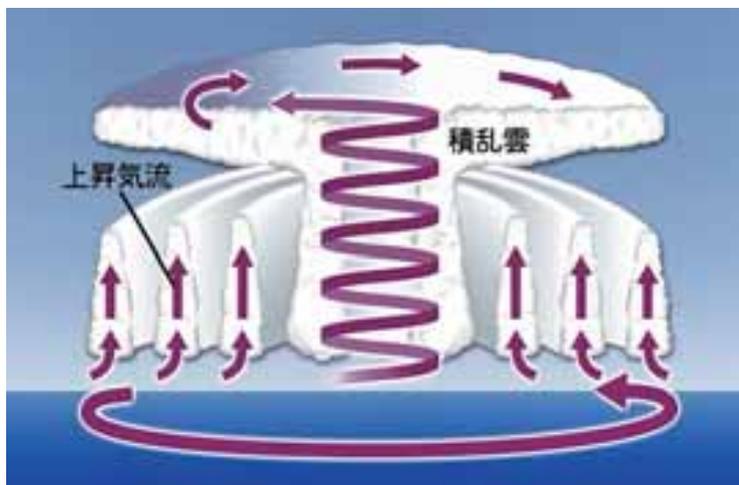


図 34 (一社)日本船長協会 DVD

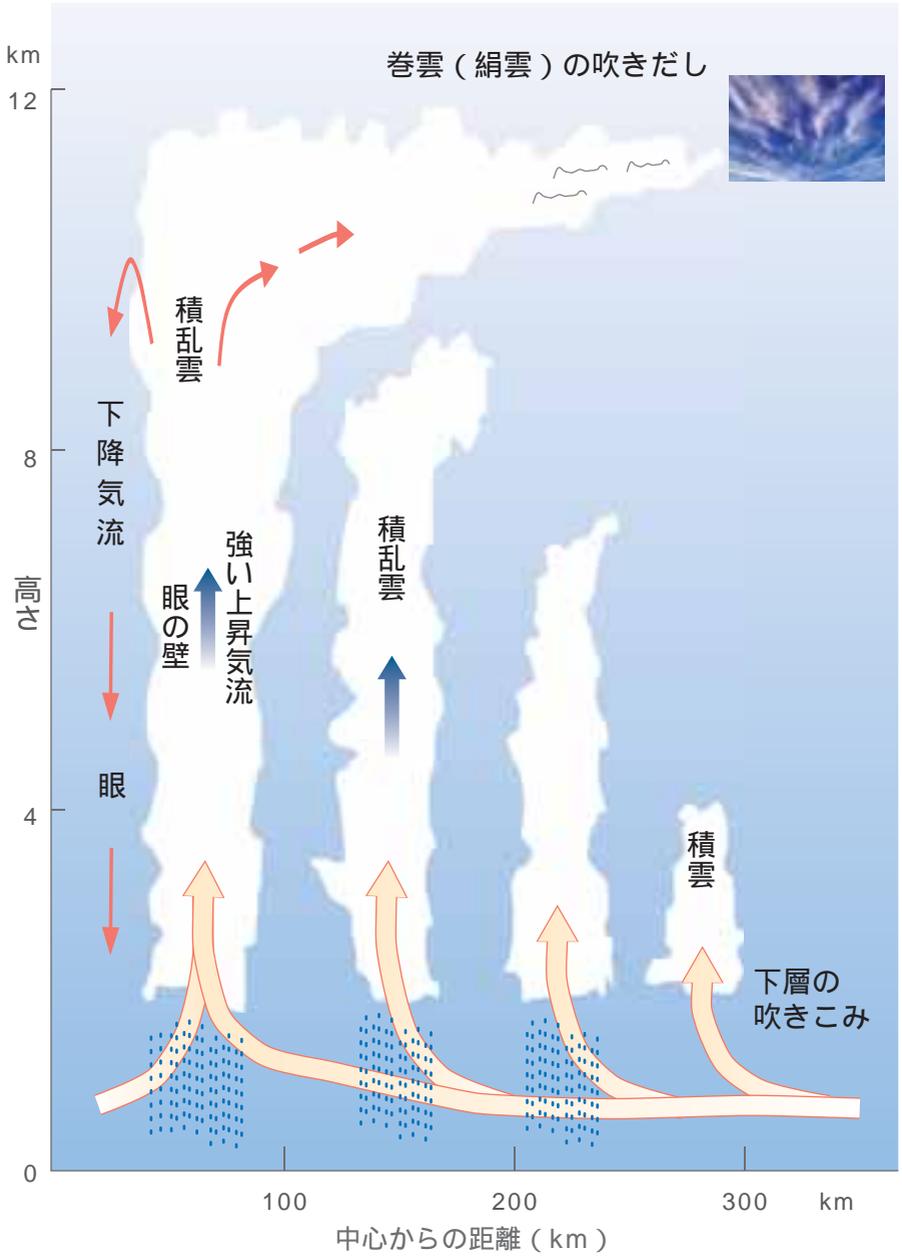


図 35 台風の鉛直断面

台風を取り巻く「らせん状の積乱雲の帯」はスパイラルバンドと呼ばれています。スパイラルバンド内では台風の本心に向って巻き込むような広域的な強風と、積乱雲に起因する局地的な突風と驟雨しゅううが発生し荒天状態と視界不良になっているので注意が必要です。(図36, 図37)

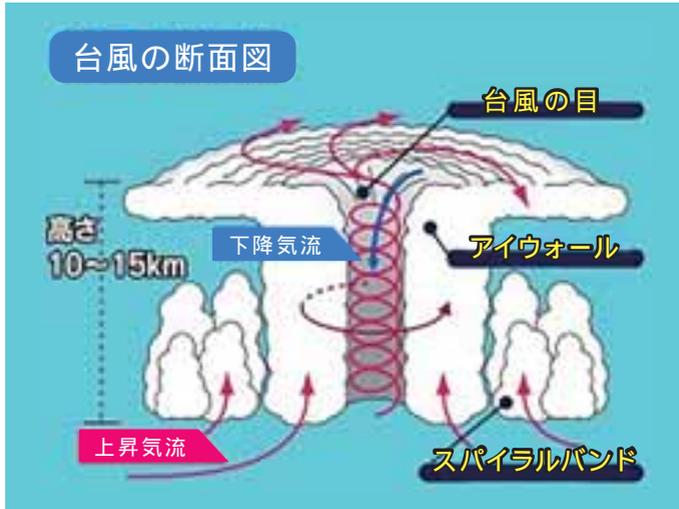


図36 気象庁ホームページ

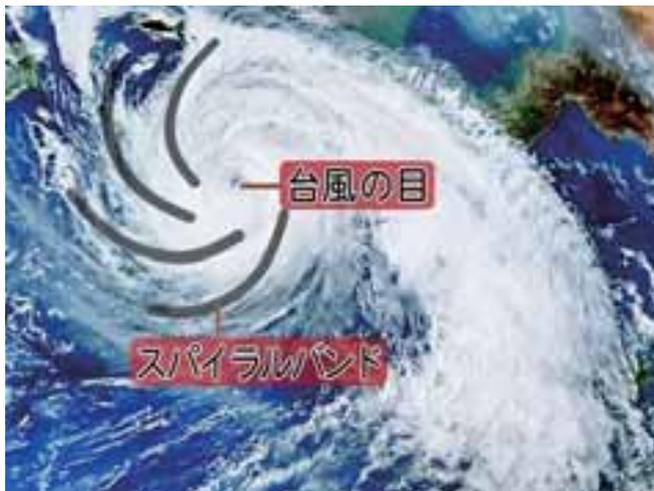


図37 (一社)日本船長協会 DVD

4 - 2 - 4 熱帯低気圧の進路

ロスプリガイド第 43 号(2018 年 7 月発行)の中で日本近海の台風の進路についても紹介していますのでご参照ください。



低緯度地域で発生した台風は、当初、偏東貿易風に流され、時速 10km から 20km で西方向に進みます。(図 38)

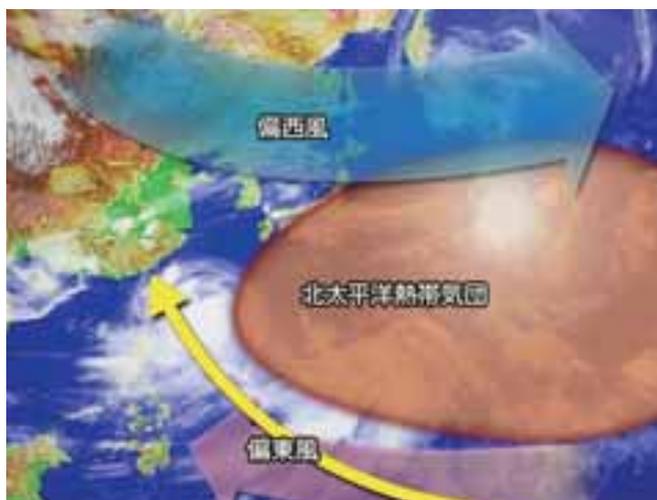


図 38 (一社)日本船長協会 DVD

その後、上空の気流と北太平洋高気圧の影響で北よりに進路を変更して北上します。北上するにつれて、上空の偏西風の影響を受けて東方向に進路を変えますが、この進行方向を大きく変える地点を「転向点」といい、台風の勢力が最も強い状態となります。

転向後、北東進に移ると速度が上がります。北緯 30 度付近では時速 30 ~ 40km、北緯 40 度付近では時速 50km 程度となって、一般的には台風は北上に伴って低下する海水温度や気温の関係で勢力が衰え、オホーツク海または北海道沖の太平洋上に抜け

て温帯低気圧に変わります。(図 39)

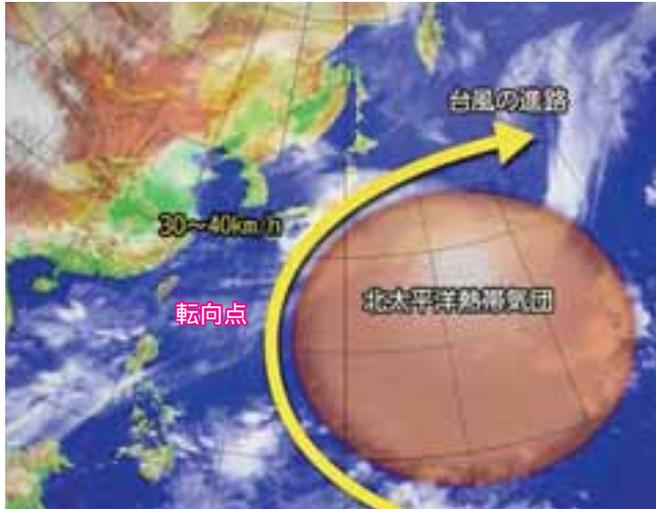


図 39 (一社)日本船長協会 DVD

この転向点の緯度は、筆者が学生時代の気象学の講義において台湾の東の北緯 25 度付近と習いましたが、近年の台風の進路を見ているとかなり北上し、奄美大島や鹿児島島の南(北緯 30 度付近)で転向する台風が増えているように思います。即ち、台風の勢力が最も強い状態で日本本土に上陸することが多くなったようで、これも地球の温暖化の影響かも知れません。

500 hPa 高層天気図上において北太平洋高気圧の西への張り出しが強く、中国大陸付近まで達していれば、西進している台風の転向の可能性は低く、一方、高気圧が東に退き、大陸付近が気圧の谷になっていると、台風は高層の西寄りの風に流されて北太平洋高気圧の西の端で東に転向して北東に進む可能性が高いといわれています。

また、台風は、500 hPa 天気図上で、北太平洋高気圧を右に見て、その周囲を回るように進む場合が多く、このことをステアリングといいます。統計的には、台風が北緯 20 度、東経 130 度の東を通過した場合は、東に進路を変えて日本南岸方面に向い、西または南を通過した場合は、西向きを進路のまま台湾方面へ向う場合が多いことが判っています。(図 40)

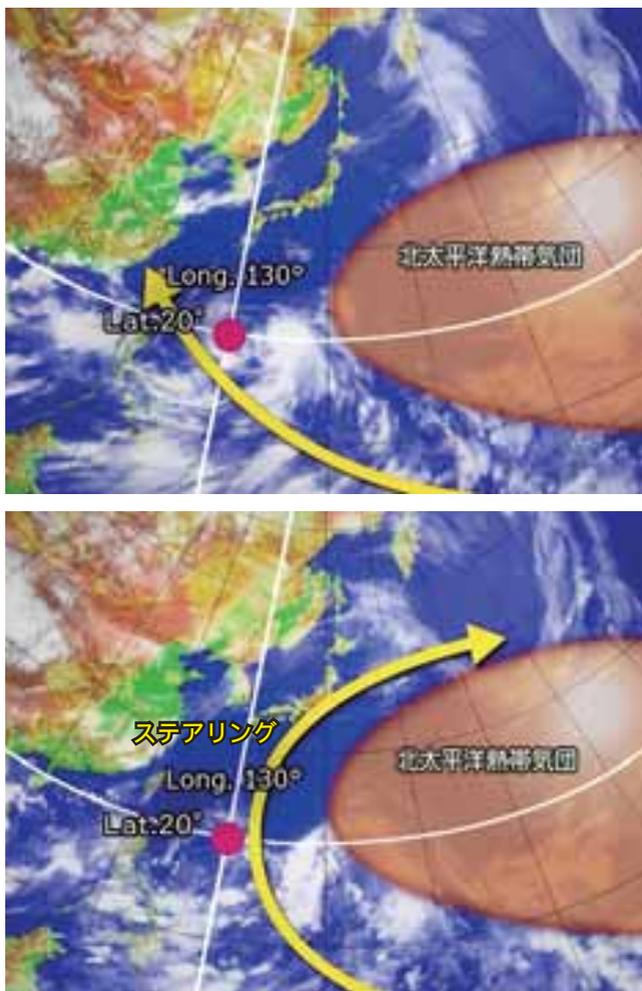


図 40 (一社)日本船長協会 DVD

4 - 2 - 5 熱帯低気圧の進路図の見方

テレビの天気予報や新聞・インターネットで台風や熱帯低気圧の予想進路を目にすることが多いと思います。(図 41) 台風の進路をより正確に予想するためには、この予想進路図に記載されている内容を正しく理解しておく必要があります。

進路図の解説

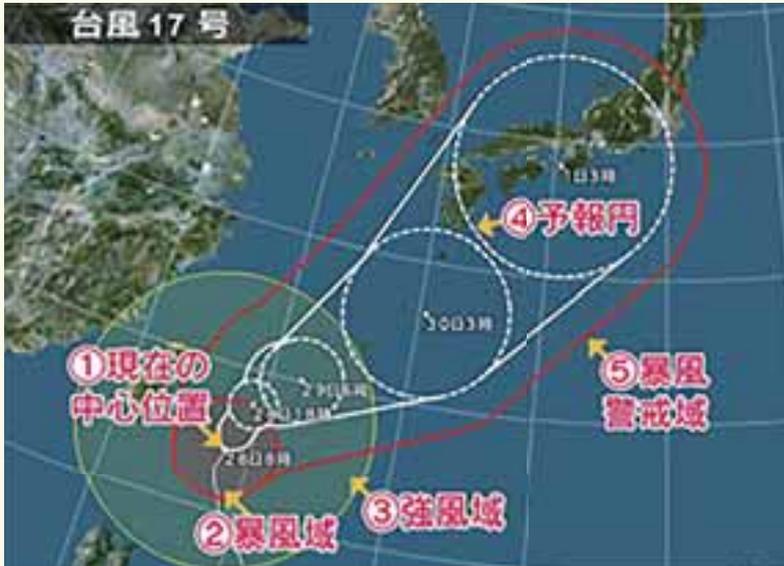


図 41 気象庁ホームページ

現在の中心位置

発表時における台風の中心位置を示しています。

暴風域

平均風速が毎秒 25 m以上の風が吹いていると考えられる範囲を赤線で示しています。現在の中心位置をとした暴風域は、その時点におけるものです。

強風域

発表時における平均風速が毎秒 15m 以上の風が吹いていると考えられる範囲を黄色で示しています。

予報円

予想時刻に台風の中心位置が 70%の確率で予報円内に進むことを表しています。

暴風警戒域

中心位置の予報円の外側に赤線で示していますが、これは、台風の中心が予報円内に入った場合、暴風域に入る範囲を表しています。

台風避航計画を立てる場合、本船の現在位置、台風予想進路図のそれぞれの時間において、仮に本船が原針路で航走した場合の本船の予定位置を確認し、暴風警戒域内に入るようであれば避航することを計画し、その後に発表される天気図を都度確認しながら避航計画を修正することが求められます。

4 - 2 - 6 危険半円と可航半円

台風の風は、反時計回りに中心に向かって吹き込むため、進路の右側では、吹き込む風と進む速さが加わり、左側に比べて強風が吹く傾向があります。台風の右半円は、左半円に比べて波も高く、また風も強いので「危険半円」と呼ばれています。一方、台風の進路の左半円は台風の進む速さと吹き込む風が逆になるので、右半円と比べると風は弱くなるので「可航半円」と呼ばれています。(図 42)

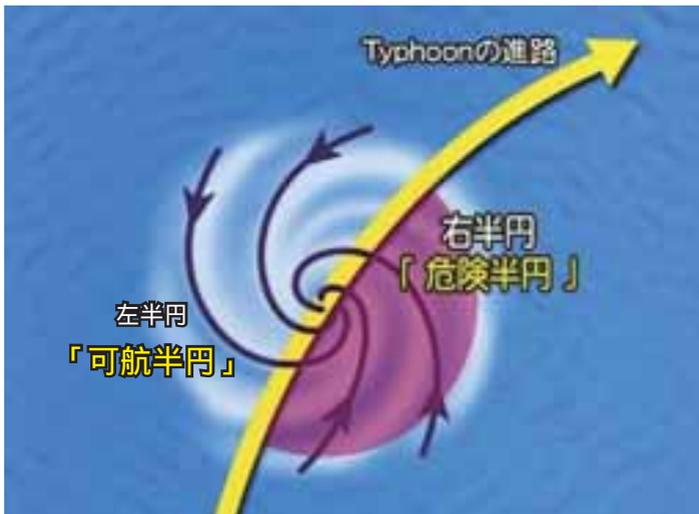


図 42 (一社)日本船長協会 DVD

船が「危険半円」に追いつかれて暴風域に入り、風・波を右舷後方から受けて航行すると、台風と同じ方向に進むことになり(図 43)、暴風域から抜け出しにくくなります。また、風・波を左舷後方から受けて航行すると、台風の中心に向かって進むこととなり、より強い暴風域に突入することになってしまいます。(図 44)

台風の右半円に入りかけた時には、風を右舷船首に受けて、大きく右転するように暴風域から遠ざかるように避航することが求められます。(図 45)



図 43 (一社)日本船長協会 DVD

船が「可航半円」の前方から暴風域に入った場合、風・波を右舷後方から受けて航行すると、台風の外方向に進み暴風域から抜け出すことができます。従って、左半円に入りかけた時には、風を右舷船尾に受けて大きく左転するように暴風域を避けて避航します。(図 46)



図 44 (一社)日本船長協会 DVD

ただし、可航半円とは言え暴風域には変わりはなく危険性が高いので、暴風域に進入しないように細心の注意が必要です。「可航半円」は「航行可能な半円」ではなく、「**避航が可能な半円**」と理解すべきです。



図 45 (一社)日本船長協会 DVD

航海中に台風遭遇する場合は、その進路と大きさ、及び、遭遇する場所が「右半円



図 46 (一社)日本船長協会 DVD

か左半円か」など自船との位置関係、さらに自船の性能などを勘案しながら、可能な限りその暴風域から遠ざかるべきです。

また、停泊中や、荷役中に台風が接近する恐れがある場合は、港長の指示に従うとともに、十分前広に情報を収集し、時間的に余裕をもって避難することが基本です。

第五章 気象情報の入手

航海において、台風や急速に発達する低気圧（爆弾低気圧）などによる荒天を避けるためには、最新の気象情報の入手とその理解が重要です。筆者が学生のときの気象学の最終試験は、ラジオからの気象データを聞き取り、白地図に地上天気図を書くものでした。しかし、現在、利用できる気象情報は、気象庁が発行する「各種天気図」や、インターネットを介して無料で得られる「台風進路予報」、各気象情報会社が「有料で提供する気象情報」などがあります。中には、台風の進路を1週間程度先まで予測しているものもあり、避航計画立案に有用です。

従って、本船の船長・航海士には、こうして入手した気象情報を読み取ることができる知識が求められます。気象関係の解説本は多数出版されているので、本船に配布して日々勉強することも必要です。ここでは、気象庁から発行される各種天気図と、その利用法を紹介します。

5 - 1 地上天気図

通常、天気図というと「地上天気図」を指し、地上付近の気象状況を表わしているものです。

地上天気図は、1,000 hPa を基準にして4 hPa 毎の等圧線が描かれ、6時間毎に新しい天気図が作成されて気象庁から放送されます。

地上天気図には、気圧分布だけでなく、気温、風、天気なども記入されていて、これらから等圧線や前線などの天気現象を解析しています。（図 47）

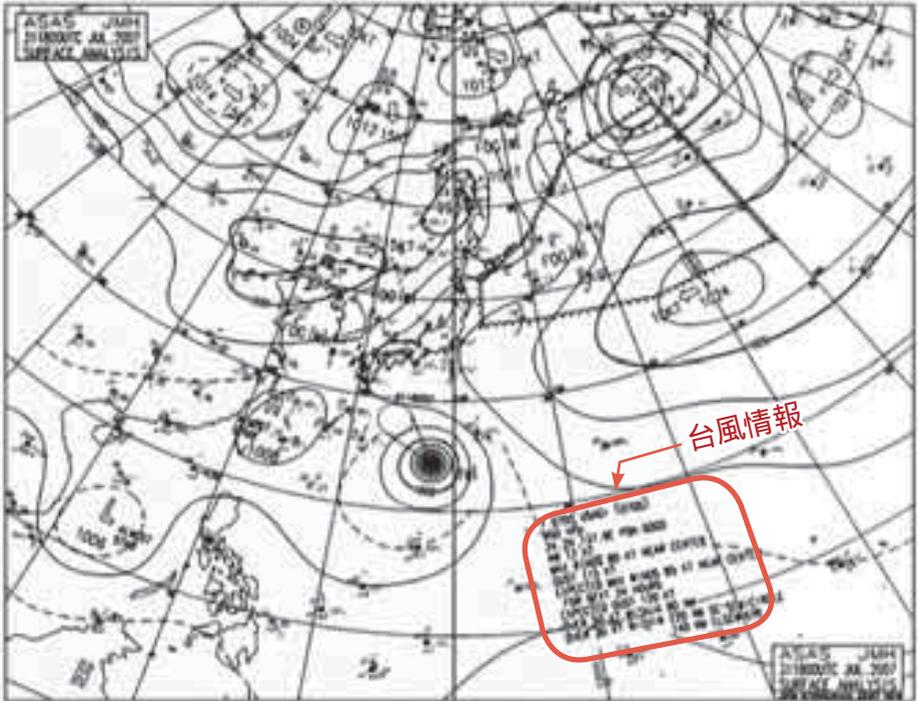


図 47 気象庁ホームページ 地上天気図

また、地上天気図には台風情報なども記載されています。例えば、台風の中心位置の精度に関する情報は以下のように表示されており、この意味を理解しておくことも必要です。

信頼度の「Good」は中心位置の誤差が 30 マイル以下、「Fair」は、中心位置の誤差が 30 マイル超 60 マイル以下、「Poor」は、中心位置の誤差が 60 マイルを超える場合を指しています。

このような情報以外でも、記載されている情報が何を意味するのかを理解しておくことが必要です。

5 - 2 波浪図

気象庁が発表している波浪図には以下があります。

1	外洋波浪実況図
2	外洋波浪 24 時間予想図
3	沿岸波浪実況図
4	沿岸波浪 24 時間予想図

実況図・予想図共に、波浪図には 1 m 毎に波浪及びうねりの有義波高を合成した「等波高線」「卓越波向」「高気圧、低気圧の中心位置」や「前線」等が記載されています。(図 48)

地上天気図や後述する上層天気図(高層天気図)と同様、記載されている内容を読み取ることが必要です。

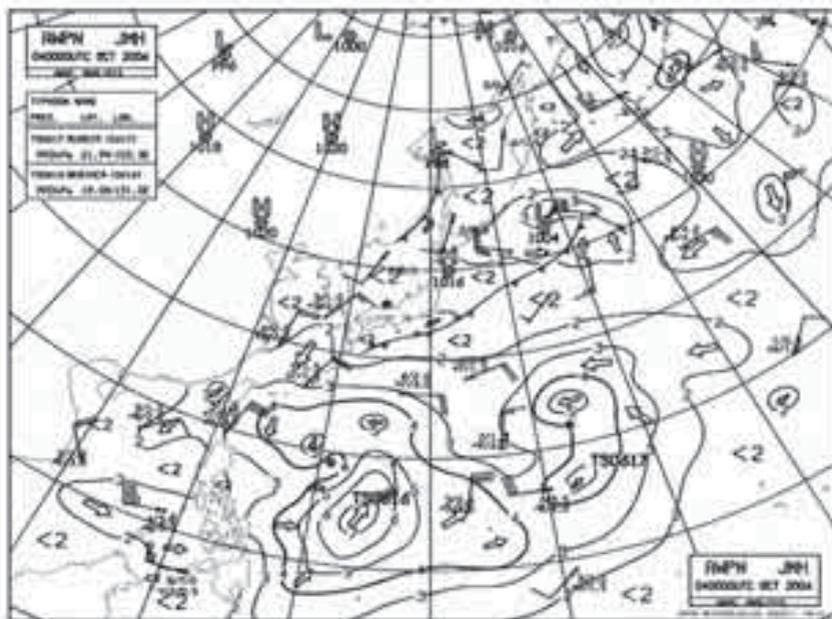


図 48 気象庁ホームページ 外洋波浪図

特に、荒天操船時には実際の波の周期や波高、波長を把握することが重要です。こうした情報も波浪図から読み取って、実際の波と比べることが求められます。

例えば、図 49 に示す白抜きの矢印は、その海域で最も卓越していると思われる波の伝播方向を表しています。矢印が示す方向に波は進み、この例では、北西から南東に向けて卓越した波が進んでいることが分かります。

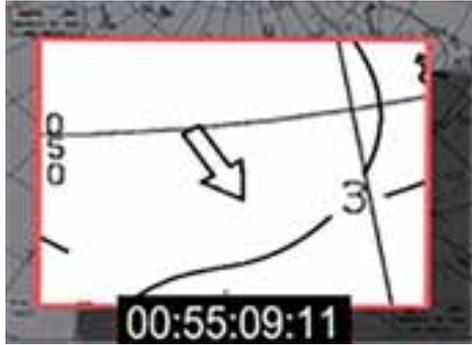


図 49 (一社)日本船長協会 DVD

また、図 50 に示す「白丸付きの白ぬき矢印」が予想図に記載されていれば、予想される波の向きを示しており、図に示されている 1 単位の数字は波の周期を秒単位で、0.1 単位の数字は有義波高(註 3)をメートル単位で、それぞれの予想値を表しています。

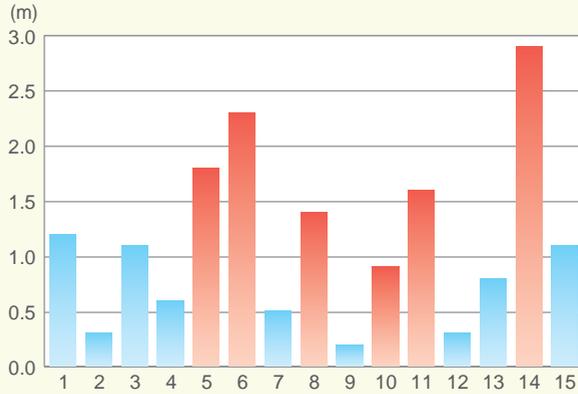


図 50 (一社)日本船長協会 DVD

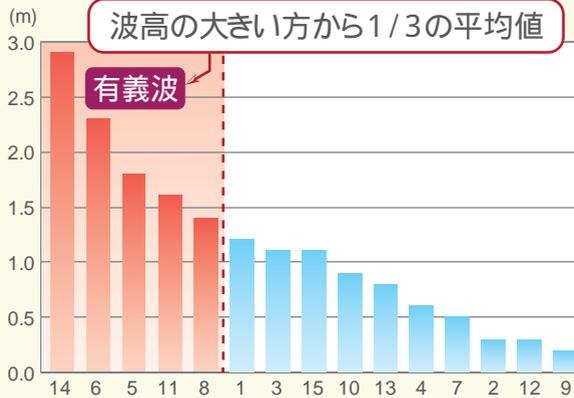
この例では、北からの波、周期 11 秒、波高 2.3 メートルと予想されています。

註3：有義波高

20分程度の時間内に観測された波を、高いものから順にその1/3を選んで、それらの波の平均波高と平均周期の波を有義波と呼ぶ。この定義から1/3最大波と呼ぶこともある。(気象庁ホームページより)



ある地点で観測された波高
(不規則に変化している)



波高の大きい順に並べ替え

図 51

5 - 3 上層天気図（高層天気図）

上層の大気の状態は、一般の方法としては気球を用いて気圧・風・温度・湿度を観測しています。上層天気図は高層天気図ともいい、気圧が一定な面の上に世界各地で測定した上層の気象要素の値を記入したものです。気圧が一定な面を等圧面といいます。上層天気図に示される曲線は、等圧面の高さであり、地図と同じく等高度線です。表 52 に示す 4 つの上層天気図（高層天気図）が気象庁から発表されています。

等圧面（hPa）	850	700	500	300
高度（m）	1,500	3,000	5,500	9,500

表 52

気象現象は地上から圏界面までの対流圏における大気の運動現象なので、3次元で見る必要があります。この点、地表の気象状態を表した地上天気図だけでは気象の一面しか見ていないため、不十分です。地形・日射・放射などの影響を大きく受ける地上天気図では、温位解析（気団の解析）や相当温位解析（前線の解析）が行えず、規模の大きい高気圧や低気圧、台風などの発生や移動を的確に把握・予報するのが困難です。

一方、上層では空気の乱れがなく均一で、気圧系の動きを長期にわたって追い、予報することが可能です。そして、上層の大気の状態と下層とは密接な関係があることがわかっています。したがって、上層天気図（高層天気図）と併せて解析することが重要といえます。

船でよく利用している天気図は地上天気図の他、850 hPa（AUAS85）と 500 hPa（AUAS50）の上層天気図（高層天気図）です。

5 - 3 - 1 500 hPa（AUAS50）上層天気図（高層天気図）

図 53 に 500 hPa（AUAS50）の上層天気図（高層天気図）の例を示します。

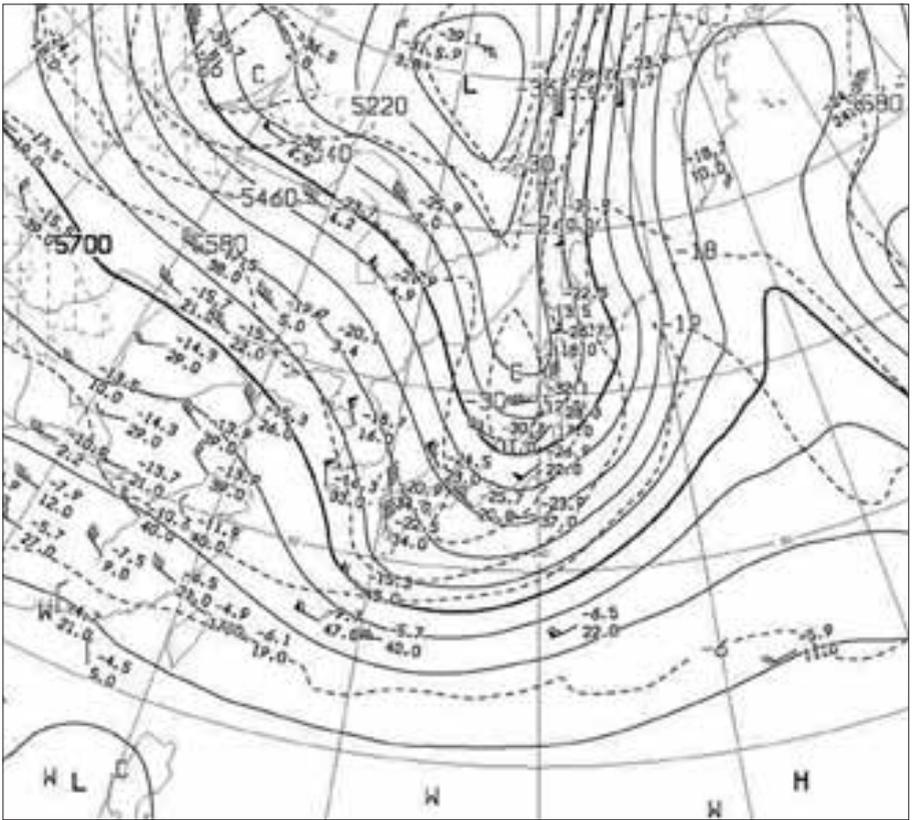


図 53 気象庁ホームページ 500 hPa 上層天気図

図の中で実線は等高度線を示し、破線は等温線を示しています。等高度線は 60 m ごとに引いてあり、等温線は 6 (必要に応じて 3) ごとに引いてあります。記号の W は温暖域、C は寒冷域を示しています。地点円の左上には気温が、左下には湿数 (気温から露点温度を引いた数値が などの温度を表す単位で値が示されています。したがって、相対湿度が 100% の場合、湿数は 0 となる。) が、どちらも 0.1 単位で示されています。

500 hPa 天気図の等高度線分布から、偏西風の波動やジェット気流の位置・強さを推定することができます。また、気温分布からは寒気や暖気の領域がわかり、寒気の程度によって降水の強さや雨雪の判別が確定できます。

上層の偏西風の波動は、地上の高気圧や低気圧と密接に関係しており、500 hPa の上層天気図 (高層天気図) の等高度線によって、地上の気圧分布に現れるいろいろな気象現象のうち、基本的な空気の流れを読み取ることができます。このため、500

hPa 上層天気図で気圧の谷や峰の移動を捕捉すると、地上天気図の情報で高気圧や低気圧の移動を捕捉するよりも確実な動きが予測できます。

5 - 3 - 2 850hPa(AUAS85) 上層天気図(高層天気図)(図 54)

図 54 に 850 h Pa (AUAS85) の上層天気図 (高層天気図) の例を示します。

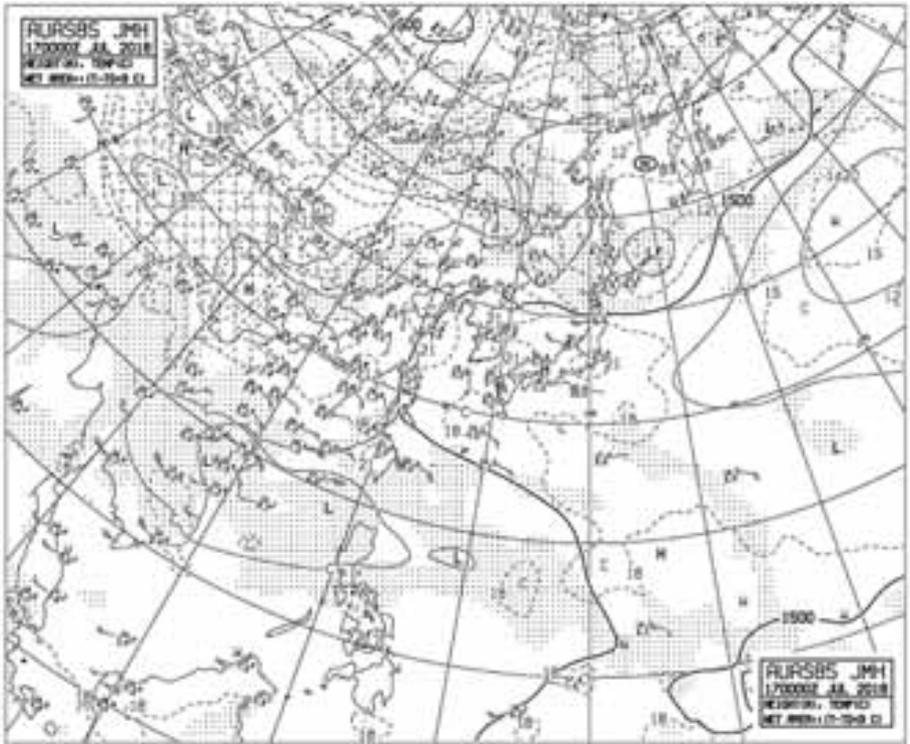


図 54 気象庁ホームページ 850 hPa 上層天気図

地上天気図は、地表の摩擦の影響があるので、観測された風向と気圧傾度による風向が一致していない場合もあります。

850 hPa の上層天気図 (高層天気図) では、地表摩擦の影響がなくなる高さなので、大気下層の収束や発散は 850 hPa の天気図に現れやすいとされています。また、温度分布の情報から前線や気団を見つけやすくなっています。すなわち、850 hPa 面

と前線面が交わる場所は等温線が混み、風向や風速の変化が大きいところです。また、温度分布と風分布から温度移流が把握できます。

850 hPa と 700 hPa の天気図では、湿数が 3 以下の領域に影がつけられています。この領域は、850 hPa では下層雲の広がりにはほぼ一致しています。

第六章 風浪とうねり

荒天操船時には、風による風浪と複数方向のうねりを同時に受け、船は複雑な動揺を繰り返しています。その中で、風浪やうねりの波長・周期・波高を正確に把握することは安全運航のためにも重要です。ここでは、風浪とうねりについて解説します。

6 - 1 波の基本形

単体の波は図 55 に示すようにサインカーブの動きをしており、波長・波の速度と周期の関係は次に示す式の通りです。

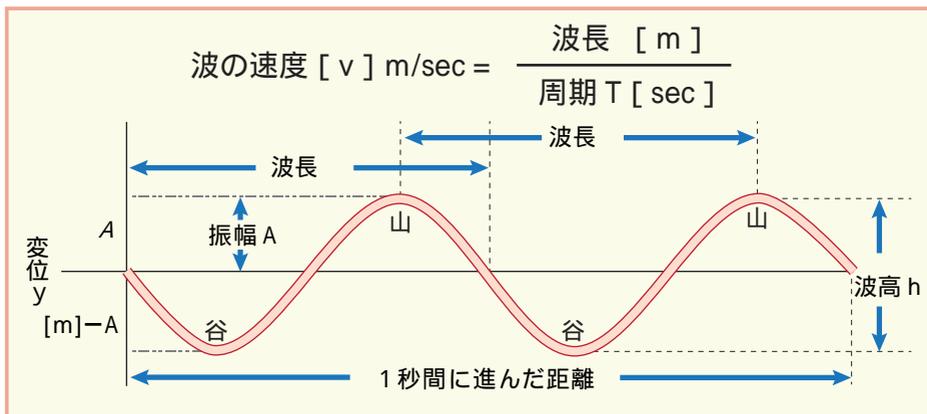


図 55

実際には、ひとつの風浪またはうねりを受けることは殆どなく、船は波長・速度・周期・方向の異なる複数の風浪とうねりを受けています。これらの合成波の例を図 56 に示します。