

1.1 位置の決定

1.1.1 Navigation の原則と位置の線

航法 (Navigation) には二つの視点がある。

一つは、現在の位置から目的地への『方位 (針路) と距離』を知ることである。この視点は、目的地がはっきりしていて、そこへ向かうためには、現在の位置から、どの針路でどれだけの距離を進めばよいかを求めるものである。

もう一つは、現在の位置からある方位 (針路) にある距離を進んだときの『到着地』を知ることである。この視点は、針路と距離が先に分かっている、その結果としてどこに着くのかを求めるものである。

後者の典型例として推測位置 (Dead Reckoning Position) をあげることができる。推測位置は、直近で確定している位置 (前測位置) と、そこから航走した距離と針路をもとに、平面航法、平均中分緯度航法、漸長緯度航法のいずれかの計算で求められた「緯度 (Latitude)」と「経度 (Longitude)」となっている。

さまざまな航法の計算に取り組む際、どちらの視点で臨むのかを意識すると混乱しにくい。

現在の位置と目的地 → この間の方位 (針路) と距離を求める、なのか、
現在の位置と針路と距離 → 到着地を求める、であるのか。

いずれの視点であっても現在の位置が不明であると、航法は成り立たない。現在の位置を知る、ということは航法の根幹である。位置を求める行為を「測位」と呼ぶ。測位をする者を「測者」と呼ぶ。なお、他者を対象として測位する場合もあり得るが、本書では、測者は自分自身を対象として測位するものとする。

測位における重要な概念に「位置の線 (Line Of Position : LOP)」がある。「位置の線」とは、ある条件を満たす点の軌跡である。

図 1.1 に示すように、ある灯台の方位が同じであるという条件を満たす点の軌跡は、この灯台を一端におく半直線となる。つまり、この線上のどの点であっても灯台を望む方位は同じである。これは方位による「位置の線」である。また、ある島の岬からの距離が一定となる点の軌跡は、この岬を中心とする円となる。

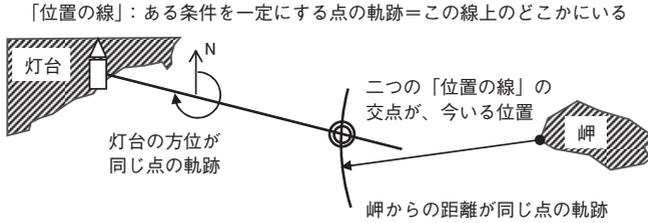


図 1.1 「位置の線」の例

この円上のどの点であっても岬からの距離は同じである。これは距離による「位置の線」である。

ここで、異なる二つ以上の「位置の線」を同時に得ることができたとする。海図上にそれぞれの位置の線を描くと交点ができる。この交点は異なる条件を同時に満足する点ということになる。測者がこの交点にいるからこそ、それぞれの「位置の線」の条件を同時に満足できており、したがって、測者はここにいるはずである、となる。これが測位の原則である。

「位置の線」は、物標の方位、物標からの距離に限らない。この他にも、二つの物標の水平夾角、島頭頂などの高さ、電波の到着時間差や位相差（電波航法）などがある。測定できる物理量が一定となる位置を点として連ねることができれば、「位置の線」として利用できるかと理解してもらいたい。

GNSS の測位では、複数の衛星それぞれからの距離を同時に満たす位置を解として求めている。この場合、一つ一つの衛星からの距離が「位置の線」となっている（ただし、3次元空間にある衛星からの距離が一定となる条件、これを満たす点の軌跡は「球」になるので、厳密には、「位置の面」というべきであろう）。

1.1.2 天文航法における位置の線

天測においても複数の「位置の線」から交点を求める原則は変わらない。天測における「位置の線」は、天体の「高度 (Altitude)」が一定となる点の軌跡である。

天体の高度とは、図 1.2 に示すように、測者にとっての水平（厳密には、「真水平」となる）から天体まで垂直に見上げた角度である。

(1) 天頂と真水平

天測では二つの球を適宜使い分けて利用することになるので、この点を理解しておくことが重要となる。一つ目の球は、我々がいる地球であり、当然のこととして実在している。二つ目の球は、「天球 (Celestial Sphere)」であり、天体がこ

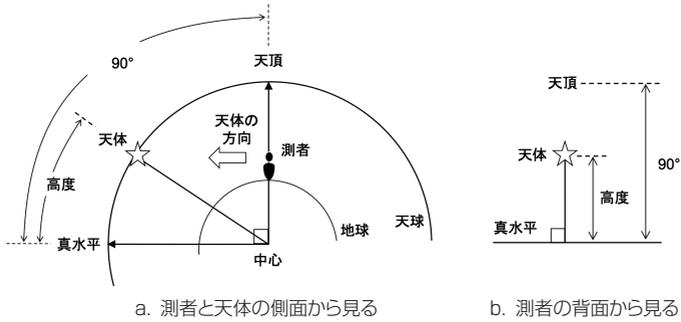


図 1.2 天測における高度

の内側に張り付いていると想定する仮定の球体である。仮定の存在なので、地球から天球までの距離を論じることは意味がなく、着目すべきは天体の配置（各天体間の開き具合）である。ちなみに、天体の配置に意味を与えたものが星座である。

地球に立つ測者の足元の深く先に地球の中心がある。この中心が天球の中心でもある。二つの球の中心は共通していることに留意する。地球・天球の中心から測者を通して頭上彼方に伸びる直線が天球と交わる。この交点を測者の「天頂 (Zenith)」という。天球上の天頂と地球上の測者とは一対一の関係にある。したがって、天頂は地球上にいる測者の位置を、天球上において測者の代わりに示している。

地球・天球の中心からみて、測者を貫いて天頂に向かう方向から 90° 開いた方向を「真水平」という。図 1.3 に示すように、真水平は測者（の足下の中心）の

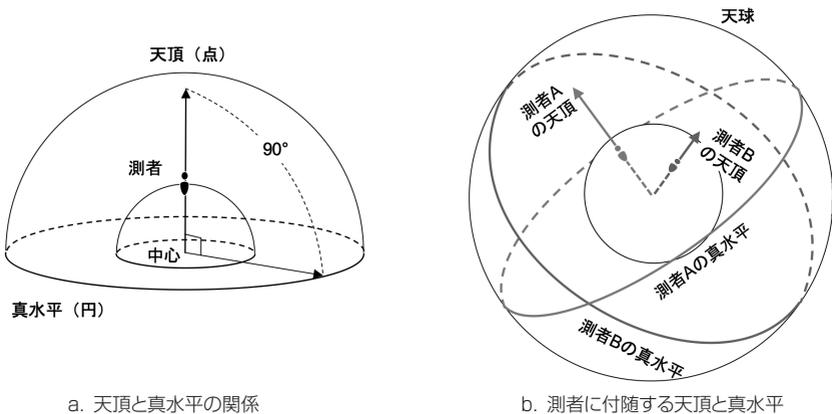


図 1.3 測者と天頂と真水平

周囲 360°をぐるりと取り囲む円として存在している。真水平と天頂は一对一の関係なので、測者と真水平の関係も一意に定まることになる。つまり、地球上の異なる位置に別々の測者がいて、それぞれの天頂と真水平が存在する。また、測者が移動すれば天頂と真水平も移動する。

(2) 天体の地位と頂距

次に、天体から地球・天球の中心に向かう直線に着目する（図 1.4）。直線は地球の表面を貫いている。この地点を天体の「地位」という。地位は天球上にある天体と一对一の関係にある。天頂が天球上にあつて測者の代わりを果たしているのに対して、地位は地球上にあつて天体の代わりを果たしている。

天頂から真水平に向かう 90°の円弧は天頂を中心に無数に存在している。この中で、ある天体を通る円弧はただ一つである。この天体を通る円弧を一部とする大圏¹を「高度の圏」という。「高度の圏」において、真水平から天体まで垂直に上げた角度が高度であり、天体から天頂までの残りの角度は「頂距（Zenith Distance）」と呼ばれている。次の関係は極めて重要である。

$$\text{高度} + \text{頂距} = 90^\circ \quad (\text{頂距} = 90^\circ - \text{高度})$$

(3) 修正差

では、どのようにして、天体の高度を「位置の線」として使うのか。

ここでは「修正差（Intercept）」による方法を解説する。修正差は、

$$\text{修正差} = \text{真高度} - \text{計算高度}$$

として与えられる。

この方法は、天測をする時機を定め、そのタイミングにおける本船（測者）の推測位置を求めるところから始まる。

求めた推測位置と対象とする天体の天球上の位置より、推測位置からその天体が見えるはずの高度と方向（方位）を計算で求める。この計算では、推測位置（測者の天頂）と天体の位置（地球上の地位）に、極（天の極）を加えた球面三角形の関係を用いる。この関係から求める高度を「計算高度（Calculated Altitude）」という。

実際に天測をする時機において、計算で求めた方位に対象とする天体がみえる

¹ 大圏（大円）：球の中心を通る平面と球の表面との交点のつらなり（交線）。

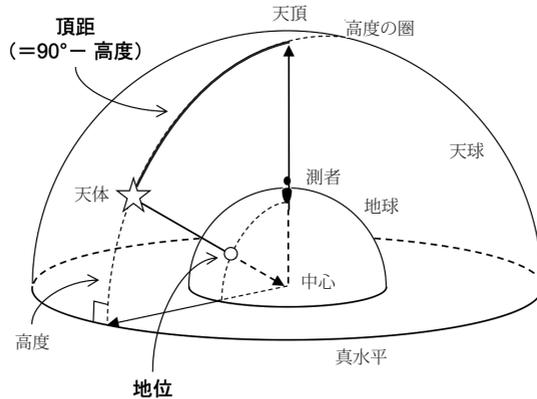


図 1.4 天体の地位と頂距

Column 1-1 角度と距離

図 C1.1 に示すように、大圏に沿って測る球面上の距離（円弧の長さ）は球の中心における角度を意味している。

実はこれこそが、航海において1海里が緯度1'（分）と定義されているゆえんである。船舶は地球の表面に沿って移動するしかない。近視眼的には平面上を直進して、距離を移動しているように思えても、地球規模でみた場合、円弧をなぞっている、すなわち、角度を「旅している」のである。

同一経度を南北に航海する場合、経線（子午線）は大圏であるので、60 海里の航行は、緯度1°の移動となっている。緯度・経度の座標系において海里を用いることにより、航行距離と角度を統一的に利用できるようになっている。

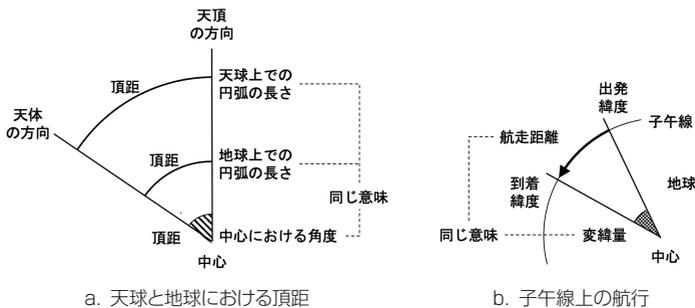


図 C1.1 大圏上の円弧の長さと同じ中心における角度の例

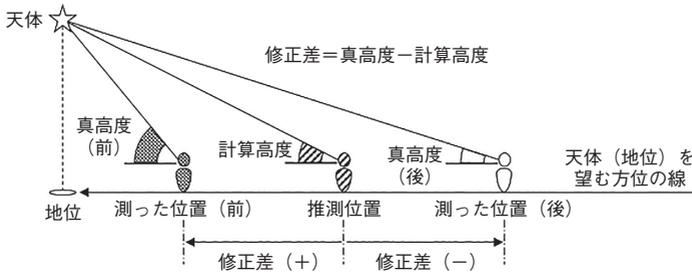


図 1.5 修正差

ので、その天体の高度を六分儀で測定する。このとき、六分儀自体の誤差や、大気由来する偏向などを修正して、地球・天球の中心からみた高度に換算する。これが実際に測った、そのときの高度なので「真高度 (True Altitude)」という。

天体の高度を測定したときの位置は、必ずしも推測位置であるとは限らない。むしろ、ずれていると考える。この位置のずれが、真高度と計算高度との差、すなわち修正差である。修正差の単位は「角度」の(′)であるが、角度と距離(海里)は同等であるので、そのまま地球上の距離(海里)と捉えてかまわない(Column 1-1 参照)。また、修正差は天体を望んでいる方向に沿って生じていることに留意する。つまり、修正差は、天球にあっては「高度の圏」の上に、地球にあっては、天体の地位を望む方位の線の上に生じる。

修正差は、真高度から計算高度を減じた値とするので、真高度が計算高度よりも大きい場合は正(+)、小さい場合は負(-)となる。図 1.5 に示すように、修正差が正となるのは、推測位置からみて、観測位置が天体(地位)側に近づいて(前に)いるからであり、負となるのは、観測位置が推測位置から天体(地位)と反対側に離れて(後ろに)いるからである。仮の基準とした推測位置でみえるはずの高度が計算高度である。実際に測って得た真高度と計算高度との角度の差が、そのまま仮の基準からの距離のずれであるので、真高度を与える位置は、推測位置から天体側(+)あるいは、反対側(-)に、修正差に相当する距離だけ離れたところになる。

(4) 修正差と位置の線

図 1.6 に、修正差が正(+)の場合を例とした、地球上での推測位置と真高度を測った位置の関係を示す。この例では、測者は、推測位置から天体を望む方向(方位)に、修正差の角度(距離)だけ近づいた位置で天体の真高度を得たことになっている。このときの天体の地位までの距離(角度)は頂距となっている。

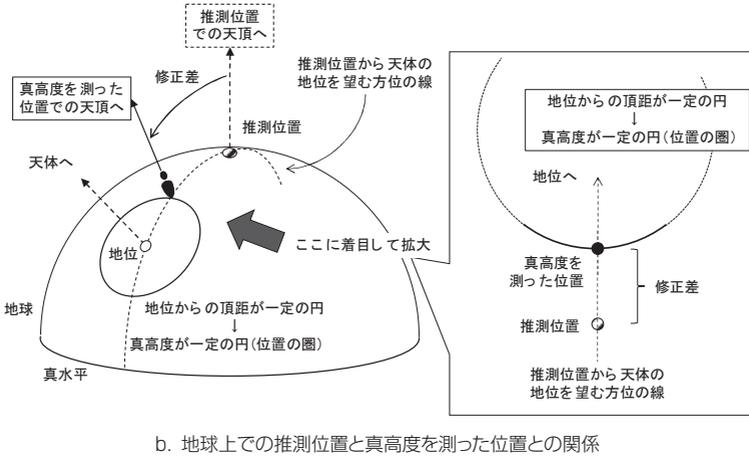
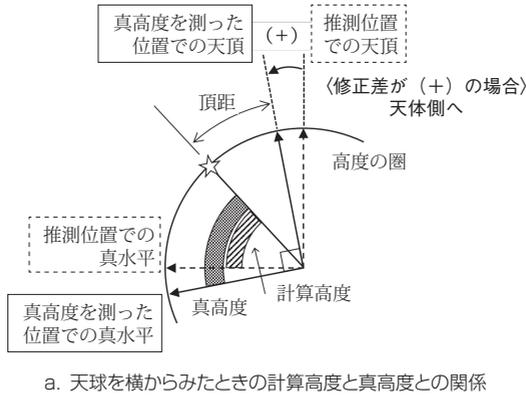


図 1.6 修正差と「位置の線」

頂距は $(90^\circ - \text{真高度})$ なので、地位からの頂距が一定となる点の軌跡は、天体の真高度が一定となる点の軌跡であるともいえる。この点の軌跡は地位を中心とした半径が頂距の円となっている。これを「位置の圏」という。

ある天体の地位を望む方位の線上に修正差をとり、真高度が一定となる円（位置の圏）を特定することができた。しかしながら、天体の高度を測った位置はこの方位の線上だけにいるとは限らず、この方位の線の左右に外れた位置にいる可能性がある。そこで、厳密に言えば円であるはずの、天体を一定の真高度でみる点の軌跡（位置の圏）を、狭い範囲内に限って、曲率が無視できるものとして直線で近似する。この直線は、「位置の圏」と推測位置から地位へ向かう方位線の交点における接線でもある。これが天測における「位置の線」となる。