

# 第 4 章 航法

4.1	航法とは	.....	4-1
4.2	航法の基礎知識	.....	4-1
4.3	フライトプランと航法	.....	4-10

## 第4章 航法

### 4.1 航法とは

熱気球が目的地まで安全に飛行するには、常に自機の現在位置、進行方向、速度を把握し、目的地までの距離、方向、時間を知らなければならない。これらの測定を行い、結果に基づき目的地まで安全に導く技術を航法(navigation)という。

熱気球の飛行を成功させるためには、地文航法(地上の海岸線、河川、街、道路、鉄道線路、橋などの固定した目標を見ながら、自機の位置を確かめる)と推測航法(得られている速度、方位から推定される進行方向を予測する)の両方を用いて、ルートを検証しながら飛行しなければならない。

ここで、航法を成功させるために必要な基礎知識を以下に説明する。

### 4.2 航法の基礎知識

- 速度：

気球における速度は、一般的に対地速度(地面に対する速度)のことであり、単位としてkt(ノット)、km/h、m/secなどが使用される。他の航空機では、対気速度(大気に対する速度)も用いられるが、気球の場合は、対気速度は基本的にゼロなので、速度といえば対地速度のことを言う。

1kt(ノット)は1時間に1NM(Nautical Mile、ノーティカルマイル、海里)進む速さのこと。1NM=1852m。NMは航空や航海で一般的に使用される単位で、緯度1分の平均距離のことであり、航海における航法計算の利便性から使用されてきたものである。

したがって、

$$1\text{kt} = 1\text{NM}/\text{h} = 1.852\text{km}/\text{h}$$

秒速で表すと、

$$1\text{kt} = 0.514\text{m}/\text{sec} \approx \text{約 } 0.5\text{m}/\text{sec}$$

$$1\text{m}/\text{sec} = 1.94\text{kt} \approx \text{約 } 2\text{kt}$$

(ちなみに、1つの覚え方として、カレンダーの1日の列を縦に見ると、1日、8日、15日、22日となっているので、1の位だけ並べると1852となり、1NMと同じになる)

また、アメリカなどで陸上での距離を表すのに使われているマイルはSM(Statute Mile、法定マイル)のことでありNMとは異なる。1SMは1760ヤード、約1609.3mである。

- 高度：

高度の単位としては、ft(feet、フィート)もしくは、m(メートル)が使用される。ftはヤードポンド単位系の長さであり、12inch(インチ) = 1ftである。

$$1\text{ft} = 30.48\text{cm} = 0.30\text{m}$$

- 絶対高度と気圧高度

- 絶対高度：

地上もしくは水面からの垂直距離、すなわち、実際の距離のことである。飛行中の航空機は、自らの絶対高度は電波高度計等を用いないと測定できない。

- 気圧高度：

標準大気、気圧と高度の関係を基に、その位置の大気圧を換算して得られる高度のことである。気球で一般的に使用されている気圧高度計が示す高度は気圧高度である。すなわち、気圧高度計は気圧高度を測る計器ということである。

- MSL と AGL :

高度は、基準の取り方により、一般的に 2 通りの表し方がある。

AGL : above ground level : 対地高度(地上からの高度)

MSL : mean sea level : 海拔高度(平均海面からの高度)

気球においては、他の航空機とのやり取りや、飛行通報などには MSL を利用し、地上の障害物からの距離などを表す場合は一般的に AGL が使用される。また、日本の場合、MSL の基準としては、東京湾の平均海面を使用する。ただし、航空法において、飛行通報が求められている高さ 250m(航空路下においては 150m)については、対地高度で表現されている。

- 高度計規正 (QNE、QNH、QFE) :

気球では一般的に気圧高度計が利用される。前述のように、気圧高度は、その位置の大気圧を高度に換算して算出するものであるが、必ずしも、常に大気が標準大気であるわけではないので、大気と高度の関係を補正する必要がある。

気圧高度計の規正(指示高度がゼロになるときの外気圧の設定)は一般的に 3 通りあり、目的に応じて使い分けている。

- QNE :

気圧高度計のゼロ点を 1013.2hPa に合わせる方法。すなわち、標準大気であることを前提として、気圧高度を指示するように設定する方法である。航空機同士の高度の認識を一致させるのに適した方法であり、航空法では、14000ft 以上では QNE で規正するように定められている。

- QNH :

平均海面から 3m(10ft)で気圧高度計がゼロを指示するように設定する方法。すなわち、平均海面からの気圧高度を指示するよう設定する方法である。もしくは、出発時に出発地点の標高を指示するように高度計をセットする。基本的には、比較的低空を飛行する際に、航空機同士あるいは航空機と地面との衝突を避けるために適した方法である。航空法では、14000ft 以下では、QNH で規正するように定められている。

- QFE :

出発時に高度計がゼロを指示するように設定する方法である。気球で最も一般的に使用されている方法であるが、高低差がある地域でフライトする場合や、離陸地と着陸地の高度が異なる場合には注意が必要である。また、飛行通報で用いられている高度は MSL であるため、高度計の指示値に離陸地の高度を加算しなければならないためこの点でも注意が必要である。気球では一般的に使用されているが、日本の航空法では認められていない方法である。

- 上昇下降速度 :

上昇・下降速度は高度の時間変化率で、単位としては kt(ノット)、100ft/min、m/min、m/sec などが使用される。

1kt ≒ 約 100ft/min

1kt ≒ 約 0.5m/sec ≒ 約 30m/min

- 地形図：

気球では、一般的に国土地理院発行の地形図が使用される。フライトエリアや、目的に応じて、2万5千分1地形図、5万分1地形図、20万分1地勢図のどれかを使用することが一般的である。

国土地理院発行の地形図では、道路や土地利用状況がわかるだけでなく、送電線も記載されているので、気球の飛行にとっては非常に有用な地図である。ただし、以下の点に注意が必要である。

- 送電線については、目標として価値のあるものという基準で選別されていると共に、以下のものは省略されている。
  - 鉄道・道路に平行し、相互の間隔が図上で約1.5mm未満のもの。
  - 2つの送電線が平行して存在し、その間隔が図上で約1.5mm未満の場合は、規模の小さい方。
- 道路の幅は縮尺どおりではなく、記号として描かれている。  
例えば、幅員2.5m～5.5mの道路は同じ幅で描かれる。

- 2万5千分1地形図：

- 1kmが地図上では4cmとなる。
- 経度7分30秒、緯度5分の範囲が1枚の地図に表示される。  
これは、東京近辺では南北約9km、東西約11kmに相当する。
- 比較的狭い範囲のフライトに適している地図である。

- 5万分1地形図：

- 1kmが地図上では2cmとなる。
- 2万5千分1地形図4枚を1枚に縮小した大きさの地図となっている。
- 経度15分、緯度10分の範囲が1枚の地図に表示される。  
これは、東京近辺では、南北約18km、東西約22kmに相当する。
- 日常のフライトでは最も使いやすい地図であり、エリアが大きい場合は何枚かの地図を貼り合わせて使用することが多い。

- 20万分1地勢図：

- 1kmが地図上では5mmとなる。
- 5万分1地形図16枚を1枚に縮小した大きさの地図となっている。
- 経度1度、緯度40分の範囲が1枚の地図に表示される。
- 1枚の地図で、広範囲が表示されているので長距離の飛行に適した地図である。

- 区分航空図：

区分航空図は50万の1の地図に、管制空域、航空路、空港情報等の情報が記載された航空用の地図である。フライトエリアの設定の際には、区分航空図を元に、基本的な空域情報を把握する必要がある。

社団法人日本航空機操縦士協会発行で、北海道、東北、関東・甲信越、中部・近畿、中国・四国、九州、奄美・沖縄の7区域ごとに作成されている。

- UTM とは：

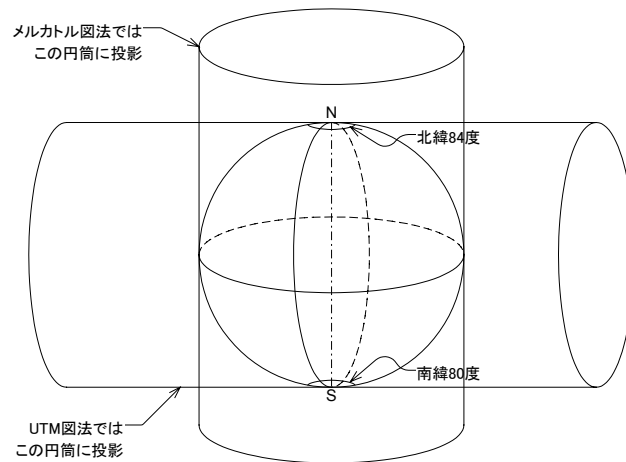
気球において一般的に UTM という言葉として使われているのは UTM 座標系のことである。UTM 座標系(Universal Transverse Mercator System)とはユニバーサル横メルカトル図法(UTM 図法、Universal Transverse Mercator Projection)に基づく座標系のことであり、以下に UTM 図法、UTM 座標系について簡単に説明する。

- UTM 図法：

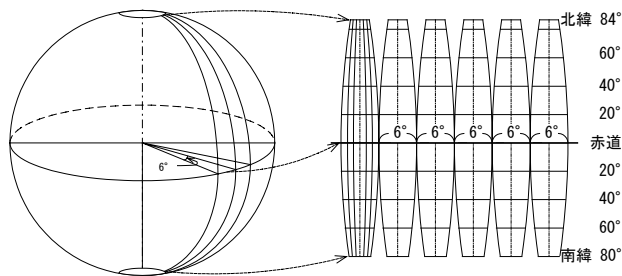
UTM 図法(ユニバーサル横メルカトル図法)とは、メルカトル図法が赤道に接する円筒に投影する投影法であるのに対して、この円筒を、南北の経度線に接するように横に置いて投影する図法のことである。

メルカトル図法では、緯度の高い場所でのひずみが大きくなるが、UTM についても、地球全体をひとつの円筒に投影すると、同様に、ひずみが大きくなってしまふ。そこで、UTM 座標系では、経度 6 度ずつの範囲に対して UTM 図法を適用するようにしている。このような方法で投影し、地図を平面に展開すると、ちょうど、気球のゴアのようなになる。また、極近傍ではひずみが大きくなるので、北緯 84 度～赤道～南緯 80 度までに適用される。ここで、北緯のみ 84 度となっているのは、カナダが、ちょうど入るようになるためである。

また、前述の国土地理院発行の 2 万 5 千分 1 地形図、5 万分 1 地形図は、UTM 図法が使用されている。2 0 万分 1 地勢図も基本的には UTM 図法が使用されているが、北海道地域では、多面体図法が使用されている。



UTM図法の模式図(メルカトル図法との比較)



UTM図法の模式図(地図への展開)

• UTM 座標系 :

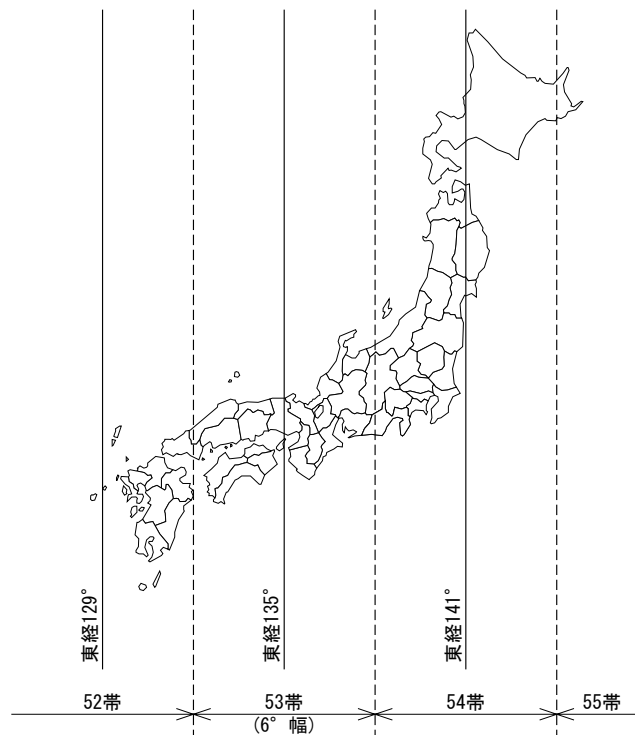
UTM 座標系では以下の基準に基づいて座標が決められている。

- 北緯 84 度から南緯 80 度の範囲で適用される。
- 経度 180 度から、東回りに 6 度幅のゾーン(帯)に分割される。  
したがって、日本付近では離島を除くと 52 帯～55 帯となる。
- 座標系の原点は各ゾーンの中央子午線と赤道の交点である。また、個々のゾーンごとの座標系となる。したがって、日本付近の基準となる子午線は東経 129 度、135 度、141 度となる。
- 座標値については、横軸は東に行くほど数値が大きくなり、縦軸は北に行くほど数値が大きくなる。
- 北半球では原点を(500,000m、0m)とし、南半球は(500,000m、10,000,000m)とする。したがって、日本付近の例でいえば、東経 129 度、135 度、141 度線上での座標は(500,000、\*\*\*\*\*)となる。

UTM 座標系の特徴から、以下の注意が必要である。

- UTM 座標系に基づいて作られた地図(国土地理院発行の 5 万分 1 地形図など)は、ゾーン内のものであれば、平面として貼り合せることができるが、隣のゾーンのものとは平面として貼り合せることはできない。
- UTM 座標系の座標値を用いることで距離や角度の計算は容易であるが、ゾーンをまたいでの距離、角度等の算出は原理的にできない。

ただし、UTM 座標系では精度が不十分なことが多いので、日本では、UTM 図法を用いているが、座標系としては、より高精度の平面直角座標系を設定している。ここでは、日本全体を 19 のゾーンに分けて表現している。



日本付近のUTM座標系

### 真北、磁北、方眼北：

磁気コンパスの指す方向(磁北)は必ずしも北極点の方向(真北)ではなく、多少ずれている。そこで、コンパスを使用する場合は、この点に注意しなければならない。

また、UTM 座標系などの平面座標系では、座標原点からの方眼になっているので、この方眼線の上の方向を方眼北という。中央子午線上での方眼北は 真北と一致するが、中央子午線から離れるほど、真北からのずれが大きくなるので、注意が必要である。したがって、競技地図などに記載されているデジットの北方向は必ずしも、真北を指してはいないことに注意しなければならない。基本的に、方眼北は、中央子午線の東側では真北に対して東に、西側では西に傾く。

以下に、真北、磁北、方眼北について簡単にまとめる。

真北：その地点を通る子午線(経度線)の北極方向。北極星の方向から知ることができる。

磁北：その地点で磁気コンパス(方位磁針)が指す方向。

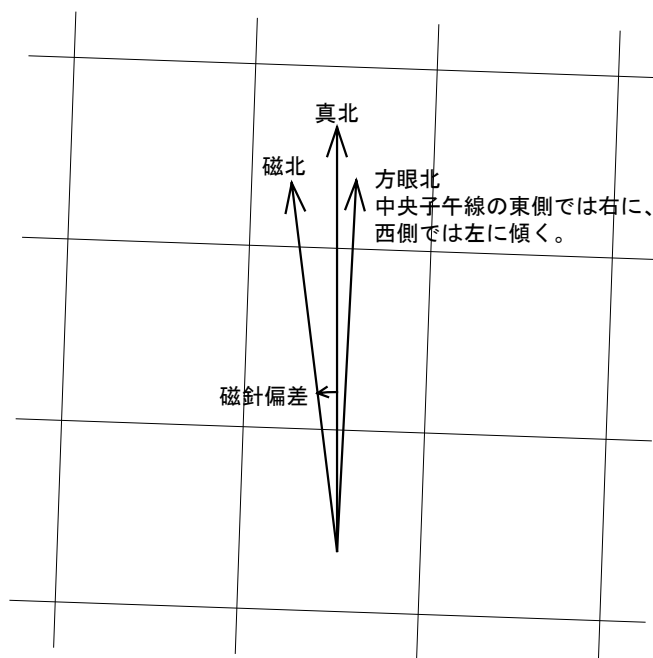
方眼北：その地点での平面座標系の南北軸の向き。すなわち、方眼線の北の方向。

### ● 磁針偏差：

前述のように磁北は真北と少しずれているが、この真北と磁針のずれを磁針偏差という。場所によって磁針偏差の大きさは異なり、日本では北海道(稚内)で約 10 度、関東(東京)で約 7°、九州(福岡)で約 6° 真北から西偏している。磁針偏差は、国土地理院発行の地図の右側に「磁針方位は西偏約 6°」というように表示されているので、その地域の磁針偏差を知ることができる。

このように、磁気コンパスを用いて方位を測る場合は、偏差を考慮しなければならない。すなわち、測定値に対して下記のように補正をする必要がある。

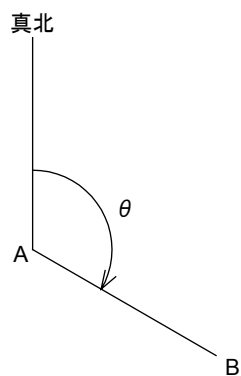
$$\text{真の方位} = \text{磁針方位} - \text{磁針偏差 (西偏の場合)}$$



真北、磁北、方眼北の関係

方位角：

方位角とは、真北を基準として時計回りに測った角度のことで、2点間の角度を測定する場合に利用される。平面上で2点間の位置関係を表現する場合、方位角と距離がわかればよい。



A点からみたB点の方位角は $\theta$ となる。



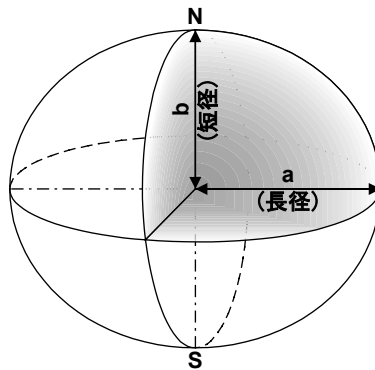
- GPS と測地系 :

最近の GPS の普及にともない、測地系についても正しく理解する必要がある。GPS の設定にある Map Datum のことで、「TOKYO」や「WGS84」などと設定しているものであるが、せっかく GPS を搭載していても、この設定を誤ると、実際とまったく違う場所として表示されることになるからである。以下に測地系について簡単に説明する。

- 測地系 :

測地系とは、緯度経度を表す際に、地球をどのような楕円体として近似するか、そして、その楕円体を地球に対してどのように配置するかを定義したものである。どのように配置するかというのは、X 軸、Y 軸、Z 軸を地球に対してどのように決めるかということである。

日本では、従来、日本測地系が用いられていたが、世界基準に合わせるため、2002 年 4 月 1 日より、測量法が改正され世界測地系が用いられるようになった。



地球楕円体

- 日本測地系 :

日本測地系は地球楕円体として、ベッセルが 1841 年に定めた地球楕円体を採用し、このベッセル楕円体と地球とが、東京麻布にある経緯度原点で法線方向が合うような位置関係として定められている。そのため、日本測地系では地球楕円体の中心と地球の重心はずれている。

GPS の Map Datum の「TOKYO」は、この測地系のことである。

各測地系で採用されている地球楕円体の比較

	ベッセル	GRS80	WGS84
長径(a)	6,377,397.15 m	6,378,137 m	6,378,137 m
短径(b)	6,356,078.96 m	6,356,752.31415 m	6,356,752.31425 m
扁平率((a-b)/a)	1/299.152813	1/298.257222101	1/298.257223563

- 世界測地系と WGS84 :

世界測地系は、人工衛星などを用いた観測によって得られた地球の正確な形状と大きさに基づき、世界的な整合性を持たせて構築された測地系である。ただし、世界測地系にも何種類かが存在し、代表的なものに、ITRF 系、WGS 系、PZ 系の 3 種類ある。ITRF 系は現在日本で採用されているものであるが、日本以外でも多くの国が陸域で採用している。WGS 系は主として船舶で採用されている。PZ 系はロシアが採用している。

WGS84 は米国が構築した世界測地系であり、GPS はもともと軍事用で開発されたため WGS 系で運用されている。WGS 測地系は、数回の改定を経て、現在では ITRF 系と、ほとんど同一のものとなっている。

日本が現在採用している測地系は、地球楕円体として GRS80(Geodetic Reference System)楕円体を採用し、座標系としては ITRF94 座標系を採用している。この座標系は、地球の重心を原点とし、X 軸をグリニッジ子午線と赤道との交点方向に、Y 軸を東経 90 度の方向に、Z 軸を北極の方向にすることが定められている。この測地系は日本測地系 2000 または世界測地系と呼ばれる。

日本測地系 2000 と WGS84 はほぼ同じであるため、GPS の Map Datum を「WGS84」とすることで、日本測地系 2000 で作成されている地図と対応させることが可能になる。また、従来の日本測地系が「Tokyo Datum」と呼ばれるのに対して、新しい測地系は「JGD2000(Japanese Geodetic Datum 2000)」と呼ばれる。

### 4.3 フライトプランと航法

安全にフライトをするためには、適切なフライトプラン(飛行予定ルート)を離陸前に作成し、フライト中は必要な情報を収集しながら、航法を成功させる必要がある。以下に、必要な項目を列挙する。

#### 1) 適切な地図の利用

航法を成功させるためには飛行に適切な地図を準備する必要がある。地図中には飛行可能範囲、最高高度、飛行禁止空域(PZ)、センシティブエリア(SA)、パワーライン、鉄道、高速道路などの飛行予定エリアの情報を明瞭に記入していなければならない。また、飛行エリア内の、上空から確認しやすい目標物(橋、学校、工場等)の位置を確認しておく、航法を成功させるために有効である。

##### \*飛行禁止空域 (PZ : Prohibited Zone)

過去に気球の飛行で迷惑をかけた、地域の方との話し合いなどにより、自主規制として飛行禁止とした空域。一般的には、家畜、野鳥等がバーナー音で怯えるのを防止したり、住宅密集地における騒音防止の目的で、一定高度以下の飛行を禁止するもの。

##### \*センシティブエリア (SA : Sensitive Area)

気球の飛行により上記のような問題が発生する可能性の高い空域。飛行禁止とはしていないが、十分に注意して飛行しなければならない空域。

#### 2) 風向、風速の把握

機長は、各々の高度ごとの異なる風の風向、風速を把握しなければならない。また、これらは刻々と変化していく可能性があることを認識し、常に最新の状況を把握できるように努めなければならない。離陸前はパイバルにより適切な情報を得ることができる。飛行中は、他の気球の動きや、地上の煙の流れなども参考にしながら風向、風速を把握する。気象の予想を事前に入手することにより、風がどのように変化していくか予測を立てることも必要である。

#### 3) フライトプランの作成

- パイバル等で得られる風の情報、エリアの状況を考慮して、より安全に着陸できるコースを選ぶ。
  - どこから離陸すればよいか。
  - どの高さまでどれくらいの上昇率で上昇すればよいか。
  - その高さの風をどれだけの時間利用すればよいか。
  - どれくらいの上昇率でいつ降下を始めればよいか。
  - 異なる高さの風を利用する場合には、高度変更時の移動距離を考慮すること。また、降下の際、地上に近づくにつれその風の影響を受ける時間が長くなることも計算に入れる。
  - 低高度では、高圧線や障害物により高度を上げなければならない状況がある。
  - 風は常に変化していく可能性を持つことを認識し、許容範囲を広く持ったフライトプランを立てる。
- 航空法に違反しない飛行ルートであること。離陸から着陸までのフライトが飛行通報書の範囲内で行われるような飛行予定ルートをとる。
- ロードチャートを計算して、搭載燃料、搭乗人員を決める。
- 搭載燃料と気球の安全運用限界から飛行可能な時間を想定し、燃料の余裕を持って着陸できるようなフライトプランをとる。着陸時、1本以上の燃料が残っていることが望ましい。

#### 4) フライトプランの変更

飛行中は、現在地、進行方向を把握し、当初のプラン通りのフライトができているかを検証し続けなければならない。離陸前に組み立てた飛行予定ルート上に、いくつかの目標地点を設けることにより、フライトプランとのずれをすばやく知ることができる。このずれを認識した時点で、フライトプランを変更するかどうかを決断する必要がある。その時点の風の状況により、離陸前に想定したコース上に再度自機を持っていくことが可能か？それが今後の風の変化等を考えた場合に安全な着陸につながるかどうか？答えが否である時には、その地点からのフライトプランを再構築する必要がある。何通りものフライトプランを想定し、固執しすぎることなく、臨機応変に修正、変更することが安全な飛行および着陸につながる。

## 熱気球フライトプランの例

風の状況

0ft～100ft	0°	1m/秒
100ft～500ft	45°	2m/秒
500ft～1500ft	90°	2m/秒
1500ft～2500ft	135°	4m/秒

- A. 離陸し 200ft/min で 1000ft まで上昇
- B. レベルフライト 5 分間
- C. 遊水地上空で 400ft/min で 50ft まで降下し安定させる
- D. 遊水地上空でレベルフライト 10 分間
- E. 市街地を越えるため 400ft/min で 2000ft まで上昇
- F. レベルフライト 3 分間
- G. 500ft/min で 100ft まで降下し安定させる
- H. 100ft から 100ft/min で降下させ着陸

