

### 3 高層天気図の作成

#### 3.1 大気の力学

##### (1) コリオリの力と地衡風

水平面内に気圧の差があると風が吹く原因となる。気圧の差によって空気塊にはたらく力を**気圧傾度力<sup>高</sup>**という。気圧傾度力は等圧線と直角に、高圧側から低圧側に向かってはたらく。しかし、天気図で見られる風向と、等圧線とのなす角は直角ではないことが多い。これは、地球の自転の影響によって、地球上を運動する空気塊に**転向力<sup>高</sup>**（**コリオリの力<sup>高</sup>**）がはたらくためである。コリオリの力は、北半球では風の吹いていく方向に直角右向きにはたらく。南半球では直角左向きにはたらく、赤道上でははたらかない。

コリオリの力の原理を考えてみよう。回転している台の上で、Aは反対側のBに向かってボールを投げる。台は回転しているので、台に乗っていない観測者から見ると、ボールは右にそれて飛んでいく。しかも、BはAから見て左の方向に移動している。このようすを表したのが図3-1の左の図である。同じ実験を回転している台に乗っている観測者から見ると右の図のようになる。ボールは台に乗っていない観測者から見ればまっすぐに飛んでいるにもかかわらず、台に乗っている観測者から見ると、右の方向に曲げられ、まっすぐに飛んでいない。つまり、みかけ上、右方向に力を受けている。このみかけの力がコリオリの力である。

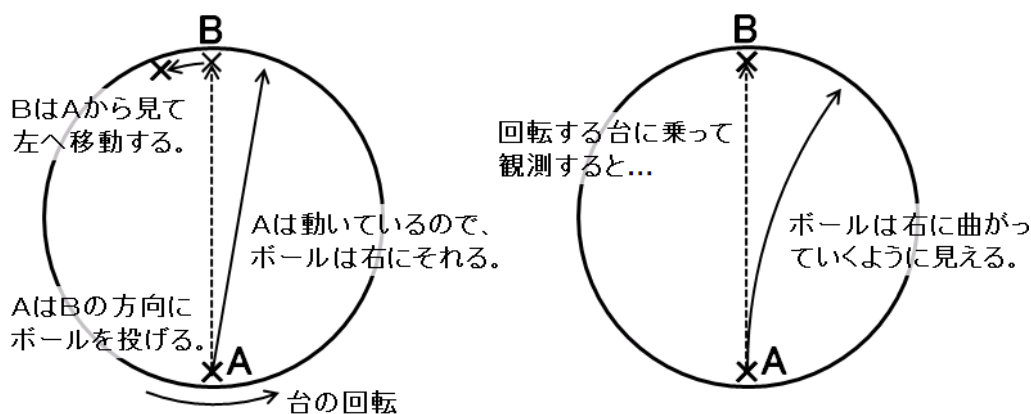


図 3-1: コリオリの力の原理

**地衡風**<sup>高</sup>とは、気圧傾度力とコリオリの力がつりあっている風のことである。また、このつりあいを**地衡風平衡**という。図 3-2-1 に示したように、地衡風は等圧線に平行に吹く。また、地衡風の強さは気圧勾配の大きさに比例する。地面との摩擦がきかない上空では、実際に地衡風に近い風が吹いていることが多い。

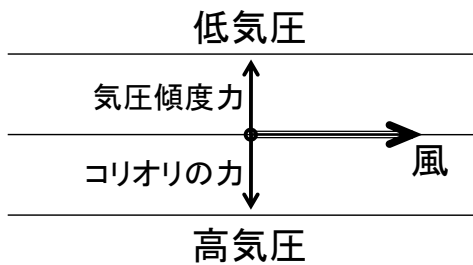


図 3-2-1: 地衡風の模式図

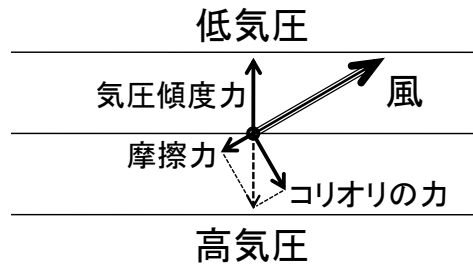


図 3-2-2: 摩擦がある場合の風の模式図

地面付近では、地面との摩擦の影響により、図 3-2-2 のように、高気圧から低気圧に向かって風が吹き込むようになる。この場合、気圧傾度力とコリオリの力に摩擦力を加えた 3 つの力がつりあっている。図 2-1 に示したように、北半球では低気圧に向かって反時計回りに風が吹き込み、高気圧から時計回りに風が吹き出す。これは、気圧傾度力に加えて、コリオリの力や摩擦力がはたらくからである。

- 地衡風や、摩擦が加わった場合の風は、高等学校の地学で取り扱う。地上における低気圧や高気圧のまわりの風は中学校の理科第 2 分野で学ぶ。
- 低気圧のまわりでは反時計回り、高気圧のまわりでは時計回りの渦ができることは中学校の理科第 2 分野で学習するが、その仕組みについては「地球の自転の効果によって」といった程度の説明にとどまっている。高等学校の地学では、コリオリの力を用いて、高低気圧のまわりで渦ができる仕組みを説明する。

### 参考：角運動量保存則と高低気圧のまわりの渦

低気圧のまわりで反時計回りに風が吹く仕組みは、角運動量保存則を用いて説明することもできる。**角運動量**とは、中心からの距離と、回転方向の速度との積である。外部から回転する方向に力を加えない限り、角運動量は保存する。これが**角運動量保存則**である。物体が回転の中心に近付くと距離の値が小さくなるので、回転方向の速度の値は大きくなる。ところで、北半球の大気は、地球の自転の効果がはたらくので、

仮に地表からみて風速がゼロであったとしても、全体的には反時計回りに回転しているとみなせる。この状況で、空気が中心に向かって移動した場合、中心からの距離が小さくなった分だけ、反時計回りに回転する速度が増すことになる。この速度の増分が、地表からみた反時計回りの渦として観測される。

## (2) 大規模な大気の流れ

地球全体でみると、赤道付近の空気は加熱され、極付近の空気は冷却されている。しかし、現実の地球大気では、自転の効果があるため、単純に赤道で空気が上昇し極で下降するような循環にはなっていない。経度方向に平均した、緯度-高度断面での循環のことを**子午面循環**という。対流圏における子午面循環は、**ハドレー循環<sup>高</sup>**、**フェレル循環**、**極循環**の3つの循環から成っている。ハドレー循環は赤道での加熱によって生じる循環で、赤道で上昇し亜熱帯で下降する構造をとる。赤道から亜熱帯にかけては、ハドレー循環によって赤道から極側へ熱が輸送されている。一方、中緯度域では、低緯度側で下降、極側で上昇する循環が生じている。これをフェレル循環という。中緯度では偏西風波動によって赤道から極に熱が輸送されているが、フェレル循環は、この偏西風波動を経度方向に平均することによって現れる、見かけの循環である。さらに高緯度側には、極で下降し中緯度側で上昇する循環がみられるが、これを極循環という。フェレル循環と極循環をあわせて**ロスビー循環<sup>高</sup>**とよぶことがある（あまり一般的ではない）。

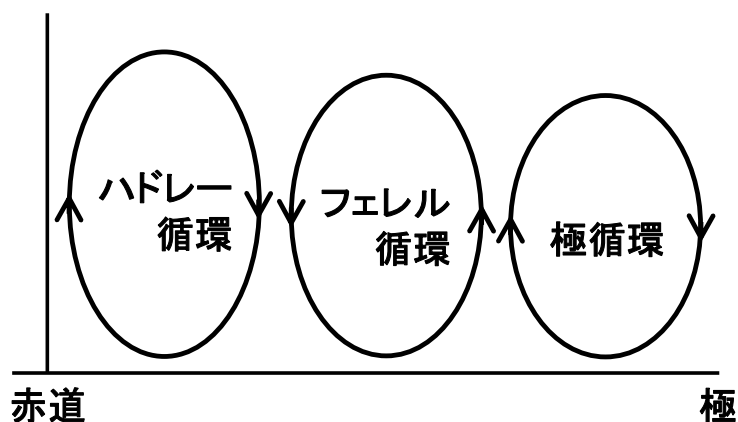
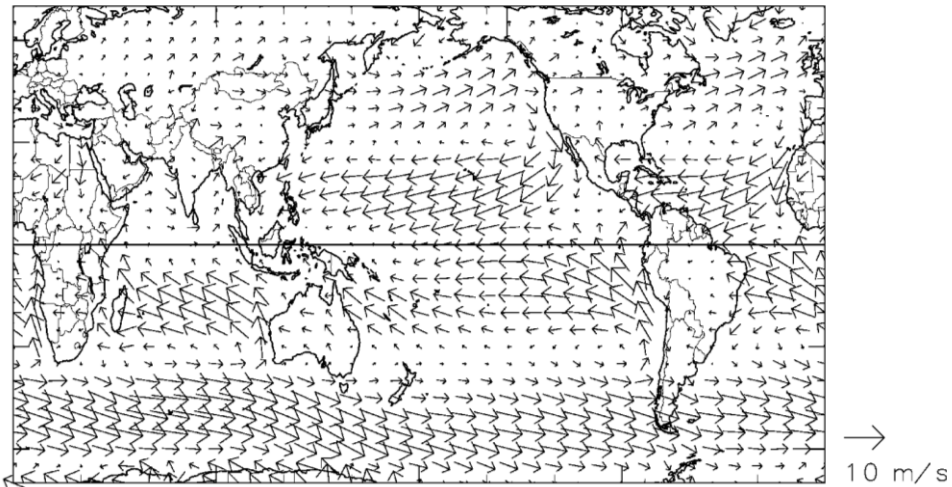
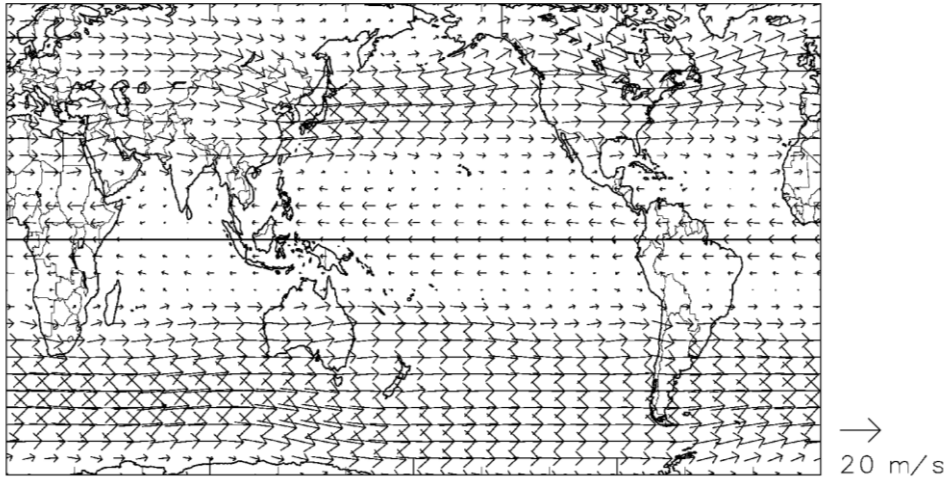


図 3-3: 子午面循環の模式図

ハドレー循環の上昇気流域に相当する赤道付近では、地表付近では南北から風が収束し、活発な降水が生じている。これを**熱帯収束帯<sup>高</sup>**という。一方、ハドレー循環の下

降気流域に相当する亜熱帯域では下降気流が生じ乾燥している。これを**亜熱帯高圧帯**<sup>高</sup>という。

熱帯、亜熱帯の下層では、熱帯収束帯に向かって風が吹いている。熱帯収束帯に向かう空気はコリオリの力によって西向きに運動するようになる。このため、熱帯収束帯には、北半球側からは北東風、南半球側からは南東風が吹きこんでいる。このような北東または南東風を**貿易風**<sup>高</sup>とよぶ。一方、上空では赤道から亜熱帯に向かって風が吹き出す。亜熱帯に向かう空気はコリオリの力によって東向きに運動するようになる。このため、亜熱帯や中緯度の上空では西風が卓越する。これを偏西風という。偏西風のうち、特に強い上空の西風を**ジェット気流**<sup>高</sup>という。



(NCEP/NCAR の客観解析データより作成)

図 3-4: 500hPa 面 (上) と地上 (下) における年平均風速場

### (3) 温度風の関係

中緯度において、上空に行くほど偏西風が強くなっている原因を考えてみる。まず地上気圧は赤道と極で等しいとする。赤道でも極でも上空に行くほど気圧は低くなるが、気温の高い赤道のほうが空気の密度が低いので、静水圧平衡の関係より、気圧が低下する割合は小さい。このため、上空の気圧は、赤道と極とでは赤道のほうが高くなる。ここで地衡風の関係を用いると、低緯度側で気圧が高い場所では西風が吹くことがわかる。赤道と極の気圧差は上空に行くほど大きくなるので、偏西風も上空に行くほど強くなる。このような南北温度勾配と東西風の鉛直方向の変化との関係を**温度**

風の関係という。

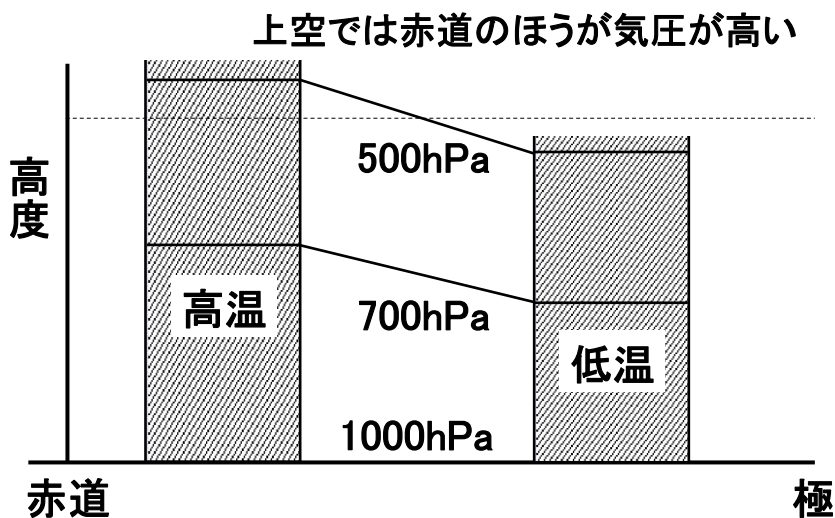


図 3-5: 温度勾配と気圧傾度の関係

- 温度風の関係は、高等学校の地学においても扱われない。しかし、中緯度域の上空では偏西風が吹いていることや、天気は西から東に変わることを、原因を含めて理解するためには必要な概念である。

#### (4) 偏西風波動と温帯低気圧

偏西風はしばしば南北に蛇行する。温帯低気圧は、このような偏西風の蛇行、すなわち**偏西風波動**<sup>高</sup>（**傾圧不安定波**）に伴って発生、発達する。一般に、北半球の上空においては北に行くほど等圧面高度は低くなっている。このため、偏西風が南に蛇行している場所、つまり、等高度線が南にはり出している場所では、周囲と比べて等圧面高度が低くなっている。これを**気圧の谷**<sup>高</sup>という。逆に、等高度線が北にはり出している場所では等圧面高度が高くなっていて、これを**気圧の尾根**<sup>高</sup>という。気圧の谷と尾根が西から東に移動するのに伴って、温帯低気圧も移動していく。

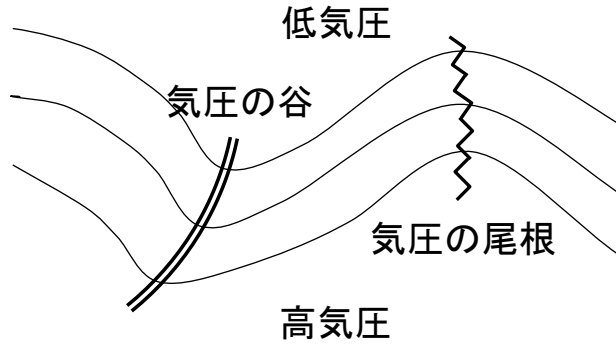


図 3-6: 偏西風波動と気圧の谷・尾根

- 気圧の谷という言葉は天気予報でもしばしば耳にするが、気圧の谷、尾根という言葉や、偏西風波動は、高等学校の地学で扱う内容である。学術的には偏西風波動というよりは傾圧不安定波という言葉のほうがよく使われる。傾圧不安定というのは、温帯低気圧が発生、発達する仕組みである。簡単にいえば、南北方向の温度勾配という形で存在している位置エネルギーを運動エネルギーに変える仕組みのことである。

### 3. 2 高層天気図の読み方と書き方

#### (1) 高層天気図とは

地上天気図が地上の気圧や気温などの分布を示しているように、高層天気図は上空の気圧や気温の様子を表している。上空の気圧の谷や寒気の動向は低気圧の発達に関係するので、地上天気図に加えて高層天気図を併せて用いることによって、より正確に天気を予想することができる。高層天気図はさまざまな高度で作成されるが、厳密にいうと決められた高度で作成するのではなく、決められた気圧面で作成される。たとえば、冬季の天気予報で「上空 5500m 付近に $-40^{\circ}\text{C}$ の寒気が流れ込み…」というような表現を耳にすることがあるが、これは 500hPa 面のことである。よく使われる高層天気図としては以下のようなものがある。

- 850hPa (約 1500m) : 気温の分布から前線の位置を決めたり、暖気移流や寒気移流の様子を把握したりするために用いる。
- 700hPa (約 3000m) : 鉛直流から上昇流場や下降流場の様子をとらえたり、湿度から対流圏中下層の湿り具合を把握したりするために用いる。

- 500hPa (約 5500m) : 気圧場や偏西風の様子から上空の気圧の谷や尾根の位置を調べたりするために用いる。
- 300hPa (約 9000m) : 対流圏上層のジェット気流の様子を把握したりするために用いる。

地上天気図では、地上での気圧配置を地上気圧の分布によって示した。高層天気図では、その代わりに、指定された気圧面の高度の分布を用いて気圧配置を表す。したがって、高層天気図では等圧線の代わりに等高度線（等高線）を描く。指定気圧面の高度が高い場所が高気圧、低い場所が低気圧である。

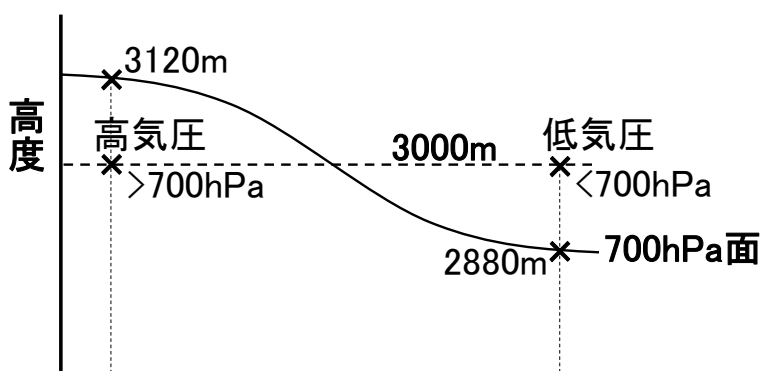


図 3-7: 等圧面高度と気圧勾配

この講習では、温帯低気圧の発達に密接に関係する、気圧の谷の様子や温度移流の状態をまとめて把握するために、700hPa 面天気図を作成する。

- 高校の地学では、上空の偏西風や気圧の谷を把握するために、500hPa や 700hPa 面の高層天気図が用いられる。等高度線によって気圧配置を表している点についても学習する。中学校の理科第 2 分野では地上天気図のみを取り扱う。

## (2) はじめに

ラジオ NIKKEI (旧ラジオたんぱ) 第 1 放送 (3925kHz、6055kHz、9595kHz) では、冬季 (年末年始) と夏季に、1 日 1 回、高層天気図を作成するための気象通報を放送している (注: 2000 年代半ば以降は放送されていない)。放送時間は、

5 : 20 ~ 5 : 30 (前日 21 : 00 の実況)

である。実際の放送では、各地の高層気象、概況の順に放送され、放送終了後に自分



で等高度線と等温線を引く。この講習では、放送内容があらかじめメモ欄に記入されている高層天気図を用い、地図に放送内容を書き込み、等高度線や等圧線を引いて、高層天気図を完成させる。

### (3) 各地の高層気象

高層天気図には、各観測地点の 700hPa 面における風向 (16 方位)、風速 (ノット、1 ノット=約 0.5m/s)、高度、気温を記入する。記入方法については、天気図用紙 No. 3 の左下に一覧が示されているので参考にする。これらの記号は、あとで等高度線や等温線を修正する場合に消えてしまわないように、ボールペンで記入するとよい。

放送例：低気圧は北緯 58 度、東経 153 度に 2610m のものがあります。…気圧の谷は、北緯 41 度、東経 125 度から北緯 37 度、東経 122 度、北緯 33 度、東経 112 度に達しています。2880 メートルの等高度線は、北緯 46 度、東経 158 度、48 度、148 度、39 度、132 度、…60 度、102 度にあります。次に気温の状態を申し上げます。北緯 40 度、東経 121 度には氷点下 25 度の寒気があります。…-18 度の等温線は、北緯 50 度、東経 144 度、50 度、130 度、38 度、125 度、…46 度、97 度にあります。…

- ✓ 風向、風速は矢羽根で表す。矢の伸びている方向が風向である。北の風であれば北の方向に矢を伸ばす。ここで風向とは、風が「吹いてくる方向」であって「吹いてゆく方向」ではないことに注意する。風速は羽根の数で表す。短い羽根は 5 ノット、長い羽根は 10 ノット、旗は 50 ノットを意味する。二捨三入により 5 の倍数に変換して示す。地上天気図とは書き方が異なるので、天気図用紙 No. 3 の記入例を参考にする。「風弱く」の場合は、未記入と区別するために、印刷されている点を円で囲む。なお、北の方向は図の上ではなく、経度線の方角である。とくに図の左右の端に近い場所では注意する。
- ✓ 高度は点の右上、気温は点の左上に数字で記入する。

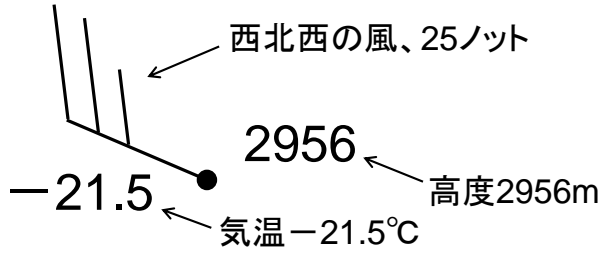


図 3-8: 各地の高層気象の記入例

表 3-1: 風速の記号

風速 [ノット]	記号	風速 [ノット]	記号	風速 [ノット]	記号
2~7		23~ 27		42~ 47	
8~ 12		28~ 32		48~ 52	
13~ 17		33~ 37		53~ 57	
18~ 22		38~ 42		58~ 62	

#### (4) 概況

低気圧、高気圧、気圧の谷、尾根、日本付近を通る代表的な等高度線、寒気、暖気、代表的な等温線が放送される。天気図用紙N o. 3の左側のメモ欄に放送内容を記入し、あとで地図に書き入れる。

放送例：アンガルスクでは入電なく推定で、西の風 16 ノット、高度 3010 メートル、気温氷点下 22.3 度。チタでは、北西の風 27 ノット、2954 メートル、氷点下 20.3 度。…

- ✓ 低気圧は赤で、高気圧は青で、それぞれ、中心を×印で示し、「L」、「H」と書く。示度は数字で記入する。
- ✓ 気圧の谷は二重線、気圧の尾根は波線で示す。

- ✓ 寒気は青で、暖気は赤で、それぞれ、中心を×印で示し、「C」、「W」と書く。示度は数字で記入する。

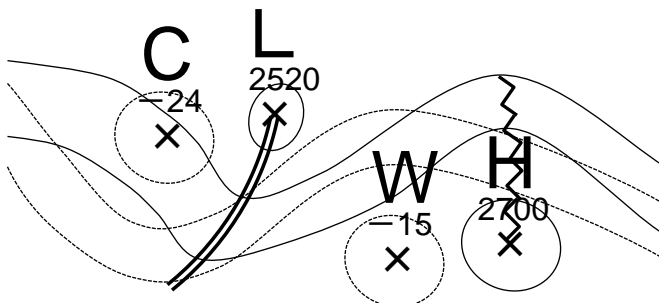


図 3-9: 低気圧、高気圧、気圧の谷、気圧の尾根、寒気、暖気の記入例

### (5) 等高度線の引き方

等高度線は修正できるよう鉛筆で引く。原則として 60m ごとに引き、300m ごとに太くし、2700、3000 のように値を示す。

はじめに、概況で報じられた等高度線を描く。等高度線が折れ曲がったり不自然な凹凸が生じたりしないように注意しながら、放送された地点をなめらかに結んでいく。放送された地点以外に、高度の観測値や、低気圧、高気圧、気圧の谷、尾根の位置などを参考にする。また、高層気象では地衡風平衡がよい精度で成り立つので、風向、風速の観測値も考慮する。一般に、地上天気図と比べ、高層気象では風向、風速の値の誤差は小さい。概況で報じられた等高度線以外の等高度線を引くときには観測点の多いところから、また、概況で報じられた等高度線に隣り合うものから引いていく。低気圧や高気圧のまわりでは閉じた等高度線を引く。

- ✓ 隣り合った等高度線は比較的平行であり、等高度線の間隔は急に広がったり、狭まったりしない。交わったり、分岐したりすることもない。
- ✓ 資料のないところは観測点間の内挿や外挿を用いて高度の値を推測する。
- ✓ 等高度線の向きは風向と同じであり、等高度線の間隔は風速に反比例する。

- ✓ 気圧の谷を横切るときには気圧の低いほうに、尾根を横切るときは気圧の高いほうに折れ曲がる。

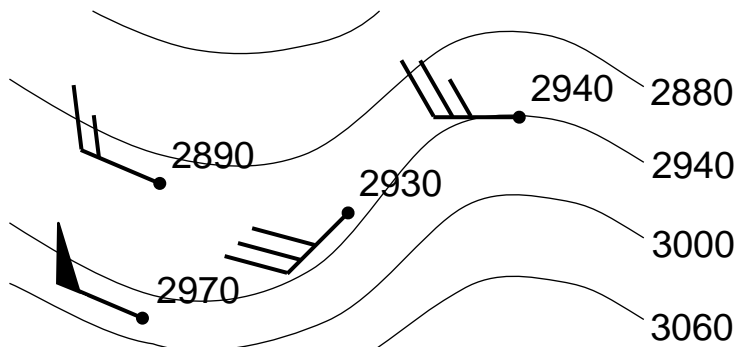


図 3-10: 等高度線の引き方の例

### (6) 等温線の引き方

等温線は赤鉛筆で、原則として 3°Cごとに引く。

等高度線の場合と同様に、はじめに、概況で報じられた等温線を描く。等温線が折れ曲がったり不自然な凹凸が生じたりしないように注意しながら、放送された地点をなめらかに結んでいく。放送された地点以外に、気温の観測値や、寒気、暖気の位置も参考にする。概況で報じられた等温線以外の等温線を引くときには観測点の多いところから、また、概況で報じられた等温線に隣り合うものから引いていく。寒気や暖気のまわりでは閉じた等温線を引く。

気圧配置や温度分布は 24 時間程度の時間ではあまり変化しないので、前日の高層天気図を入手できるときは参考にしてよい。