11. 温帯低気圧と海洋の影響の議論

見延　庄士郎（海洋気候物理学研究室）

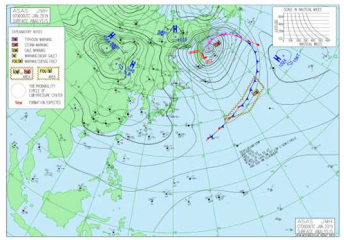
本日の目標

- 日本の気象に重要な影響を与える，温帯低気圧について以下の内容を学ぶ．
  - 温帯低気圧の基本的なメカニズムは，傾圧不安定と呼ばれる力学的な不安定である．
  - ただし，水蒸気の寄与が低気圧の発展に重要となる場合も，特に爆弾低気圧について議論されており，そこでは低気圧に付随する気流系による水蒸気輸送が重要となる．
  - また関東に降雪をもたらす南岸低気圧には，黒潮の大蛇行が影響を与えることが知られている．
- また時間があれば，わが国の天気図が1920年代に提案された低気圧モデルに縛られているかを説明しよう．

基本的なメカニズム：傾圧不安定

低気圧の定義

- 低気圧とは，高さの同じ面で、周囲よりも気圧が［　　］く、閉じた等圧線で［　　］ところ．
  - または気圧の同じ面で周囲よりも高度が［　　］く，閉じた等高線で囲まれたところ．
- 地上天気図が基準とするのは，どっち？
  - 地面
  - 海面

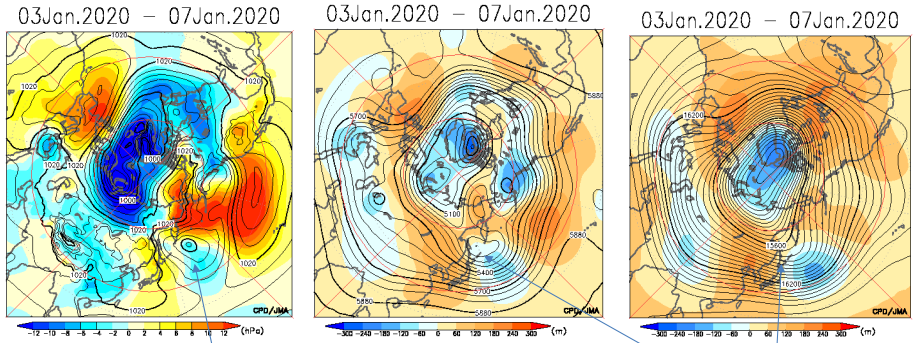


地上の低気圧と上空の等圧面高度

等値線：気圧
カラー：気圧偏差

等圧面高度
等圧面高度偏差

海面　　対流圏中層500 hPa　　成層圏中層100



https://ds.data.jma.go.jp/gmd/tcc/tcc/products/clisys/anim/anim_nh.html

- 地上の低気圧は，通常上空に気圧の［　　］を伴う．

低気圧の原因

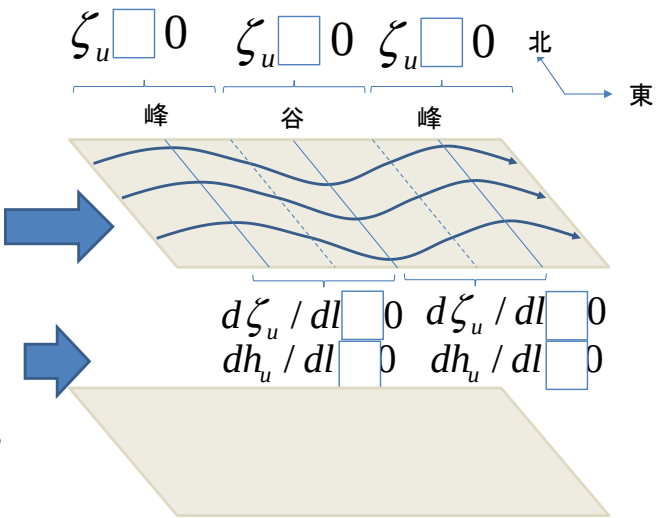
- ジェット気流の速度が速くなると不安定になる
  - 一般に，流れの不安定では，流れが蛇行して波を作り，やがて波が砕けて，乱れ・渦を作る．［　　］
  - ［　　］不安定：上下に速度が一様な流れの不安定
  - ［　　］不安定：上下の速度差が引き起こす不安定．地衡流の上下の速度差は，南北の［　　］差に比例する．
    - 傾圧不安定は，南北の［　　］を混ぜる働きがあり，北から南への［　　］気放出，南から北への［　　］気の取り込みを伴う．したがって，傾圧不安定は地球の南北［　　］輸送に重要な役割を果たす．
    - 傾圧不安定のエネルギー源は，東西平均場の［　　］エネルギーである．［　　］

傾圧不安定が強い状況

- 導出は大学院レベルなので省くが，傾圧不安定が生じるための必要条件の一つは，表面（地表・海表）での西風の鉛直微分が正 $\frac{\partial \bar{u}}{\partial z} > 0$ であること．ここで z は鉛直座標．
- また，傾圧不安定の成長率の指標として Eady成長率＝$0.31\,\frac{f}{N}\frac{\partial \bar{u}}{\partial z}$ がある．
  - ここでNは，安定成層状態で空気塊を上下に動かした場合に生じる振動数（角周波数）で，ブラント・バイサラ振動数と呼ばれる．
- Eady成長率が$\frac{\partial \bar{u}}{\partial z}$が大きいために大きいのであれば，温度風の関係から，地表・海表面での南北［　　］勾配が強いほど，不安定が速く成長すると予想される．
- 日本の東方海上は海面水温の南北勾配が強く，これは熱帯からの暖流である［　　］潮と寒帯からの寒流である［　　］潮が合流するためである．
- これが日本付近で低気圧が発達する理由の一つで，他の一つは以前見たように日本付近では上空の［　　］気流が強いためである．

傾圧不安定の運動学的理解１：上層

- 上層での渦位保存が
  $$\frac{d}{dl}\frac{f+\zeta_u}{h_u} \sim \frac{d}{dl}\frac{\zeta_u}{h_u}$$
- と近似できるとする．ここでlは気流れに沿う距離（座標）
- h_uは上層の厚さ
- ζ_uは上層の相対渦度，反時計回りで正

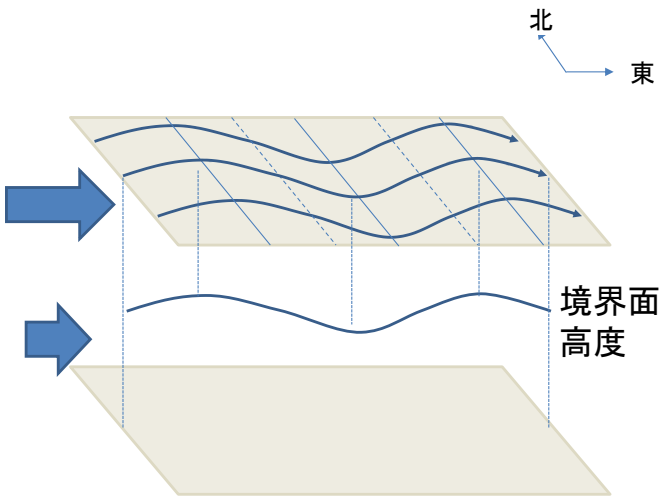


傾圧不安定の運動学的理解２：下層

- 上下層とも境界面に沿って流れるので，上層が薄くなるところ（図の右側）で，鉛直上向き成分を持つ．
- 下層では渦位保存

$$\frac{d}{dl}\frac{f+\zeta_l}{h_l} \sim \frac{d}{dl}\frac{\zeta_l}{h_l}$$

- から鉛直上向き流があるところでh_lが［　　］くなり，ζも［　　］くなるので，［　］気圧性の回転が生じる．

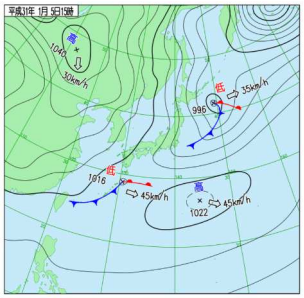


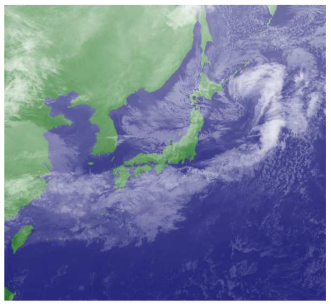
位置関係

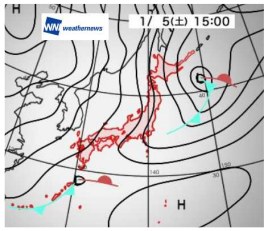
- 前のスライドの上層と下層の位置関係から，低気圧が発達する時点では，上空の気圧の谷が下層の低気圧の［　　］側に位置する．
- 上空の気圧の谷も，地上の低気圧も一般に東進するが，速度が速いのは［　　］者である．
- したがって，発達に適した位置関係が生じた後に上空の気圧の谷が下層の低気圧においついて，谷と低気圧が直立関係になるとそれ以上低気圧が発達しない．

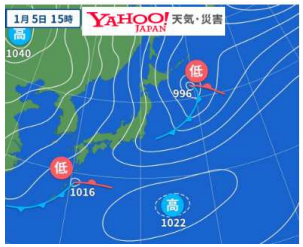
天気図と２つの低気圧モデル

日本の天気図の特徴

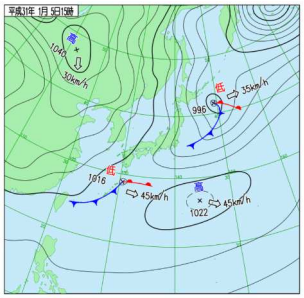


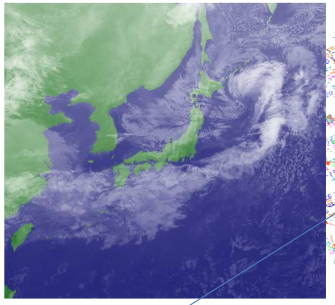


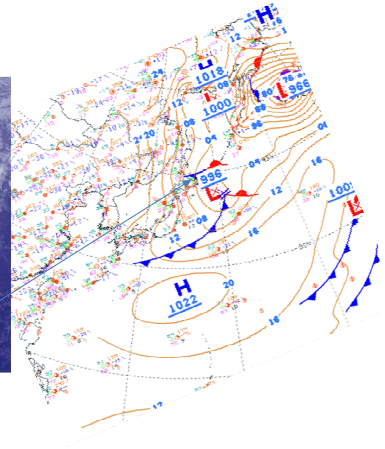




- 低気圧の［　　］から前線が延びる
- ［　　］前線と［　　］前線がセットで描かれる
- 一つの低気圧に寒冷前線または温暖前線が２本描かれることはない
- 寒冷前線が温暖前線に追いついて，［　　］前線が形成される



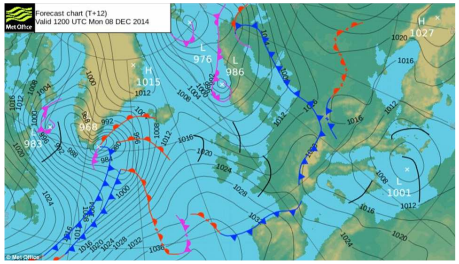




- 低気圧の北に閉塞前線が描かれており，雲分布ともよく対応する

米国政府の https://ocean.weather.gov/
2019/1/5アクセス

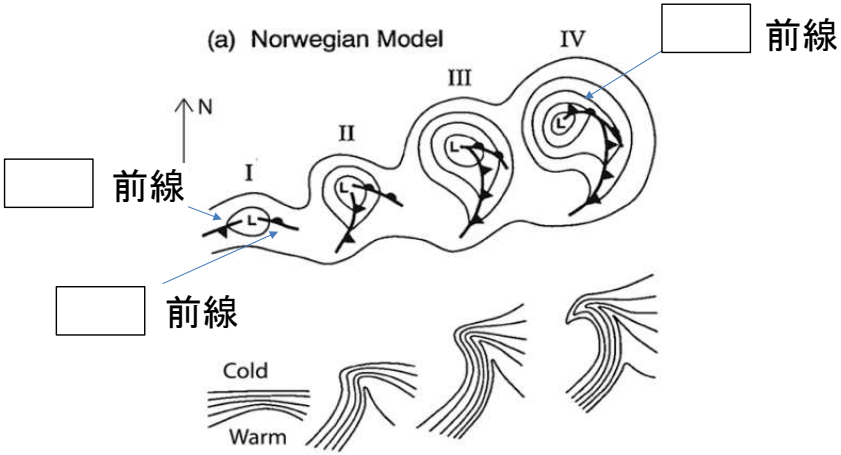
一つの低気圧に複数の前線



イギリス気象局の天気図の例
https://www.metoffice.gov.uk/learning/storms/weather-bomb
2019/1/6アクセス

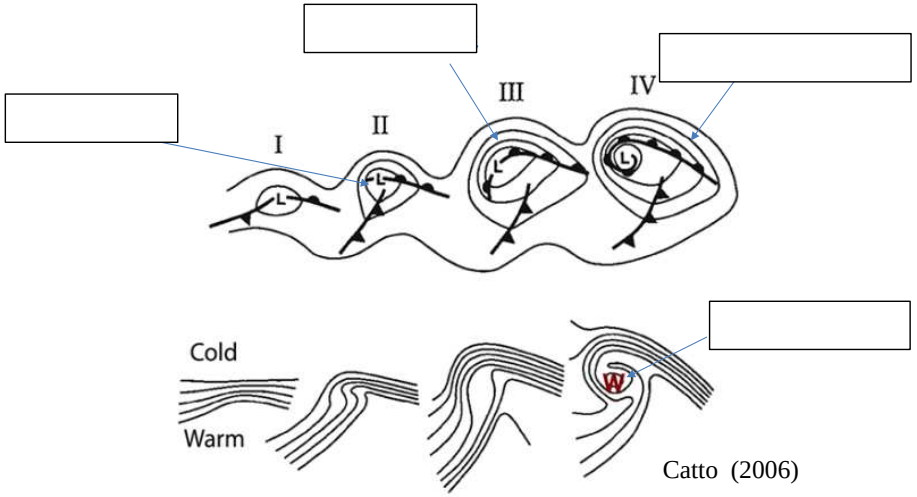
- 日本の天気図が，唯一絶対ではない．
- 日本の天気図は，なぜこのように描かれるのだろう？

ノルウェー学派の前線波動モデル 1920年代に提案



Catto (2006)

シャピロ・カイザー低気圧モデル 1990年に提案



Catto (2006)

ブロッキング

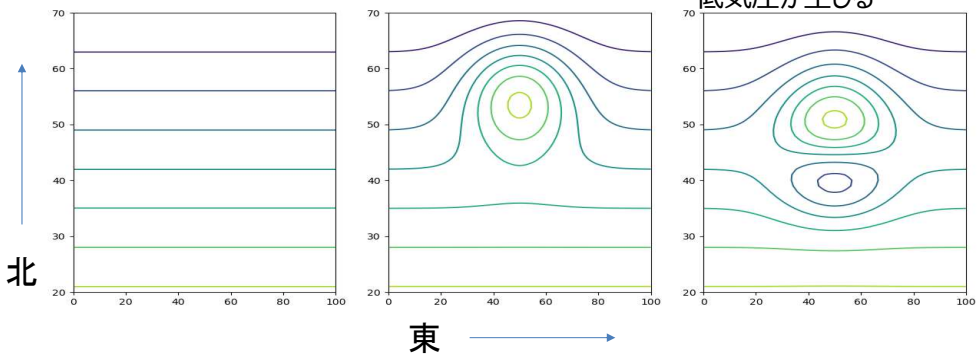
ブロッキング

- 通常西から東へ動く移動性の高低気圧の進行を，大規模に妨害することが，[　　]である．
- ブロッキング時の上空の気圧（等圧面高度）パターン：

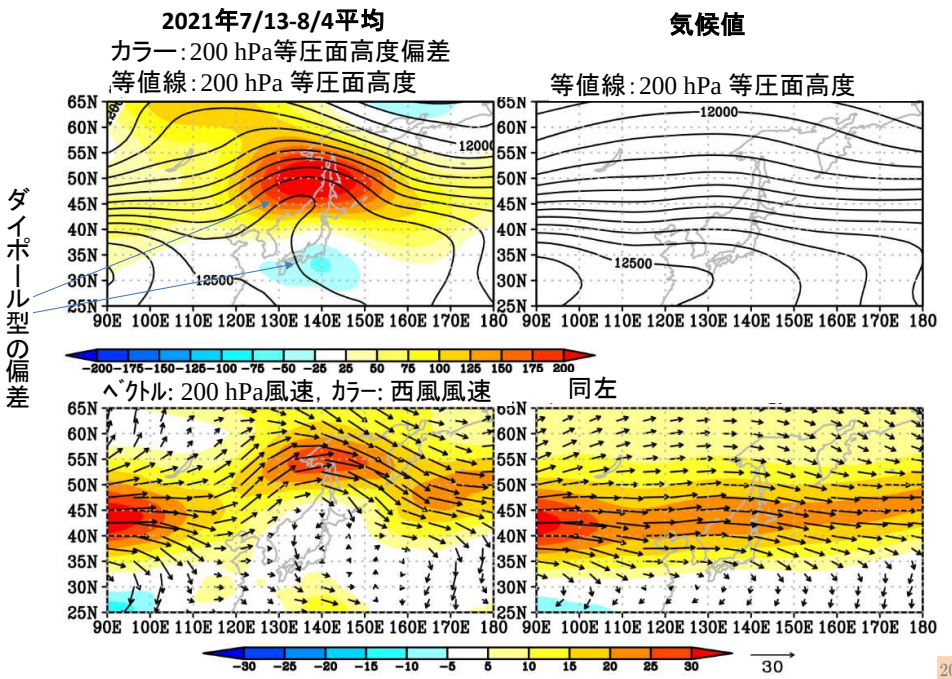
ブロッキング無し

[　　]
低緯度側の空気が高緯度側に張り出して形成

[　　]
高気圧の低緯度側に低気圧が生じる



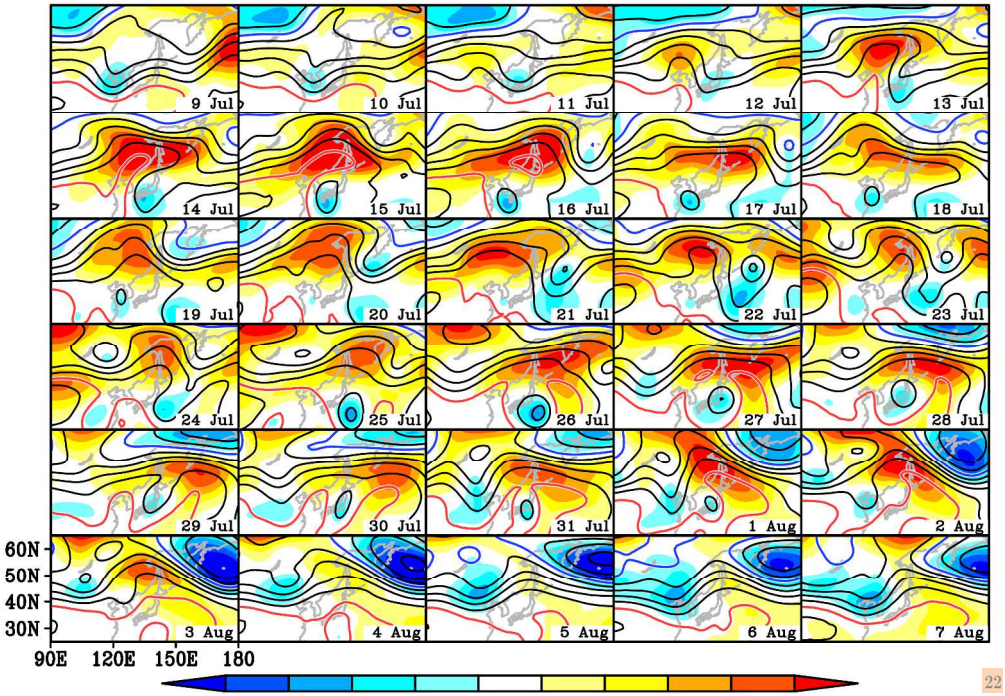
ブロッキングの例



ブロッキング

- ブロッキングは[　　]程度継続し，長期継続するブロッキングほど数が少ない．
- ブロッキングは，[　　]を引き起こすため，社会に大きな影響を与え得る．
- しばしば，（[　　]）[　　]がブロッキングを引き起こす．

2021年7/13-8/4, カラー:200 hPa等圧面高度偏差，等値線:200 hPa 等圧面高度



Animation of z200 (contour) & z200′ (color)

from 9 July to 7 Auguest

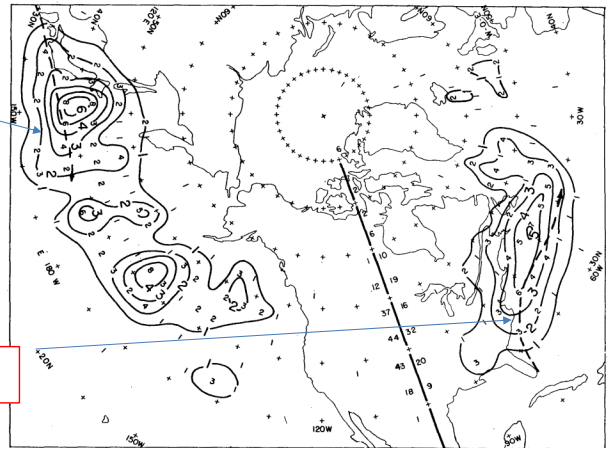
副次的なメカニズム：水蒸気の凝結加熱．特に爆弾低気圧について

爆弾低気圧とは

- 爆発的に発達する低気圧であり，最も代表的な定義は，中心気圧について
- となる低気圧である．
  - sin緯度を使っているのは，低緯度ほどコリオリパラメータの絶対値が　　く，一般に気圧変動が　　いという事実で重みをつけている．
  - なお，60度はノルウェー学派の本拠ベルゲンの緯度であり，それほどしっかりした根拠はない．
    - 緯度は大体東京で36度，札幌で43度
    - 24時間の気圧低下の閾値は，緯度36度で16 hPa, 43度で19 hPa
- 爆弾低気圧はしばしば大きな被害を引き起こす．
  - ウェザーニュース社は，1970年の爆弾低気圧による貨物船の沈没事故をきっかけとして創業された．

北半球の爆弾低気圧の分布

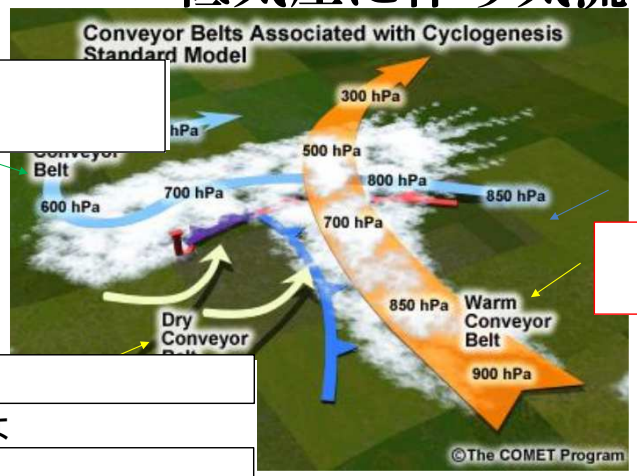
- 海流と明確な対応が見られる



これらの領域では前述の通り成長率も大きいが，それに加えて水蒸気の に伴う 加熱も重要な役割を果たす

12-2月における，緯度経度5度×5度あたりの爆弾低気圧の頻度
(Sanders and Gyakum 1980)

低気圧に伴う気流



または

- 暖気側からの湿った空気を低気圧に運び込み，降水と潜熱加熱の源となるのが，コンベアーベルト．
- コンベアーベルトが効果的に低気圧中心に水蒸気を運び込むこともある．

第11回まとめ，その１

- 温帯低気圧発生の基本的なメカニズムは，不安定である．
- この場合，東西風速に の速度差があり，また 温度風の関係から，南北に 差が生じている．
- 傾圧不安定は，この南北の温度差を小さくする働きがあり，すなわち地球の南北 輸送に重要な役割を担っている．
- 傾圧不安定のエネルギー源は，南北温度差に伴う エネルギーである．
- 低気圧が発達する時点では，上空の気圧の谷が地表の低気圧の 側に位置する．

第11回まとめ，その２

- 日本の天気図は1920年代に提案されたノルウェー学派の低気圧モデルが基礎となっており，低気圧の発達期には低気圧中心から二つの前線が伸びる．その二つは西側に 前線，東側に 前線である．後者に前者が追いつくと， 前線が形成される．
- 海外の天気図では，一つの低気圧に複数の寒冷前線，温暖前線が付随する例が頻繁にみられる．
- 1990年代に提案されたシャピロ・カイザー低気圧モデルでは，発達期に寒冷前線と温暖前線が離れる， が生じ，その後温暖前線が寒冷前線の後方で折れ曲がる の形を，また二つの前線の組み合わせがTの字状となる， 構造をとる．

第11回まとめ，その３

- 高低気圧の西から東への移動を，さまたげるの現象が，[　　]である．
- ブロッキングでは一般に，ブロッキング[　　]が発生する．さらに高気圧の低緯度側に低気圧を伴う，[　　]型のブロッキングも生じることがある．
- 水蒸気の凝結加熱も，気圧低下に寄与することがあり，特に[　　]低気圧について研究がなされている．
- その水蒸気を低気圧に供給する気流として，暖気側からの気流である[　　]，温暖前線の東側の寒気側からの気流である[　　]が重要であると考えられている．