

基礎知識、関連知識—総観場の解析・解釈

## 前線の定義と解析(梅雨前線以外)

元資料 : 平成29年(2017年)研修テキスト第4章

作成日 : 令和2年(2020年)3月24日

## 前線の定義

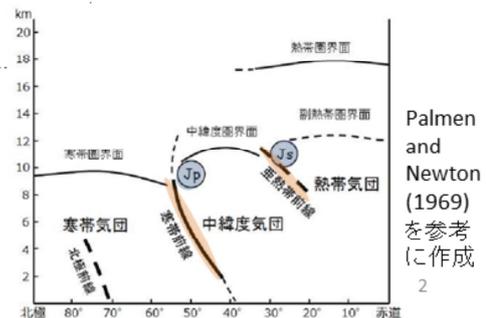
- ◆ 前線は**密度**の異なる気団の境界として定義される
- ◆ 3次元的にみると、この境界は面（前線面）をなし、前線面と地表面の交わる線が地表面の前線である
- ◆ Palman and Newton(1969)は、子午面断面における前線とジェット軸・気団の位置関係を下図のように模式化した。
  - 熱帯気団と中緯度気団の境に**亜熱帯前線**が、中緯度気団と寒帯気団の境に**寒帯前線**が存在する。
  - この境界には遷移層があり、一般的には100km程度の幅（前線帯）を持つ。
  - **ジェット軸**は上層の前線と温度風の関係により結び付いている。

密度とは主として温度に依存する

気団とは広い範囲にわたり気温や水蒸気量がほぼ一樣な空気の塊で、広い地域に滞留することで形成される

大気大循環の観点から、熱帯気団・中緯度気団・寒帯気団に分けられる

密度が水平方向、鉛直方向に不連続な遷移層がある時、地表面と接する最も南側（暖気側）の位置に地上前線を引く。



前線は密度の異なる気団の境界として定義される。

3次元的にみるとこの境界は面（前線面）をなし、前線面と地表面の交わる線が地表面の前線である。

気団とは広い範囲にわたり気温や水蒸気量がほぼ一樣な空気の塊であり、空気塊が気温等の物理特性のほぼ一樣な広い地域に滞留することで形成される。

気団は存在地域の特性により、海洋性・大陸性、寒帯性・熱帯性に大別できる。

また、大気大循環の観点から熱帯気団・中緯度気団・寒帯気団に分けることもできる。

Palmen and Newton(1969)は、子午面断面における前線とジェット軸・気団の位置関係を模式化した。

熱帯気団と中緯度気団の境に亜熱帯前線が、中緯度気団と寒帯気団の境に寒帯前線が存在する。

ジェット軸は上層の前線と温度風の関係により結び付いている。密度とは主として温度に依存するものである。

気団の境界には遷移層があり、一般的には100km程度の幅（前線帯）を持つ。遷移層を考慮すると、前線は温度傾度の不連続線である、ということが出来る。

なお、天気図では前線帯の南端を前線として解析することが慣例である。

前線は水平スケール（前線の長さ方向）が1,000から数千km程度、時間スケールは1日から数日の現象であり、総観スケールの現象といえる。

また、前線は水蒸気量（例えば相当温位）の不連続や低気圧性曲率の風向・風速変化を伴うことが多い。

### 参考文献

Palmen, E., and C. W. Newton, 1969: Atmospheric Circulation Systems, Academic Press, 603pp.

## 前線解析

- ◆ 温度傾度の不連続線の南端に前線を解析することが慣例
- ◆ 前線は総観スケールの現象（水平スケール（前線の長さ方向）が1,000から数千km程度、時間スケールは1日から数日）
- ◆ まず、上空のデータから前線の位置の候補を抽出（高層観測・衛星画像・ウィンドプロファイラなど）
  - 前線面の解析は地上よりも摩擦の少ない上空の方が容易
- ◆ 続いて、地上・海上の実況観測データを用いて前線を解析
  - 地上天気図解析であるため、地上・海上の実況観測データは最重要
- ◆ 中緯度帯は低気圧の発生・発達や前線が多く存在
  - 春や秋を中心に寒帯ジェットが存在することが多い
- ◆ 温暖前線・寒冷前線・停滞前線・閉塞前線の4種類

3

一般的に、前線面の解析は地上よりも摩擦の少ない上空の方が容易なため、前線解析に際しては高層観測や衛星画像・ウィンドプロファイラ（WPR）といった上空の観測データから解析を行う。

始めに、上空の観測データから前線の有無や構造を把握し、前線の位置の候補を抽出する。

続いて、得られた候補を参考に、地上・海上の実況観測データを用いて解析を行う。アジア太平洋地上天気図における前線解析は地上における前線面の解析のため、地上・海上の実況観測データを最重要視して解析する。

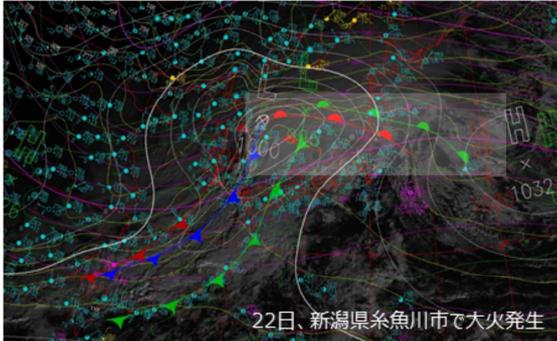
アジア太平洋域の中緯度帯は、春や秋を中心に寒帯ジェットが存在することが多いため、低気圧の発生・発達や前線が存在することの多い地域である。

アジア太平洋地上天気図では、基本的に移動方向や速度に応じて、温暖前線・寒冷前線・停滞前線・閉塞前線の4種類の前線を用いている。

## 温暖前線 (1 : 基本)

- ◆ 暖気側から寒気側に移動する前線
- ◆ 暖気団が寒気団に向かって進み、寒気団の上を滑昇するため、前線面の傾斜 (=高度/水平距離) は1/300程度と比較的傾斜が緩やか。
- ◆ 前線の長さは寒冷前線よりも短いことが多い
- ◆ 地上・海上の実況観測データでは、温度傾度の不連続、風向・風速の変化から解析できるが、風向・風速の変化は寒冷前線と比較して小さいことが多い

温暖前線近傍では層状の雲が発達しやすい



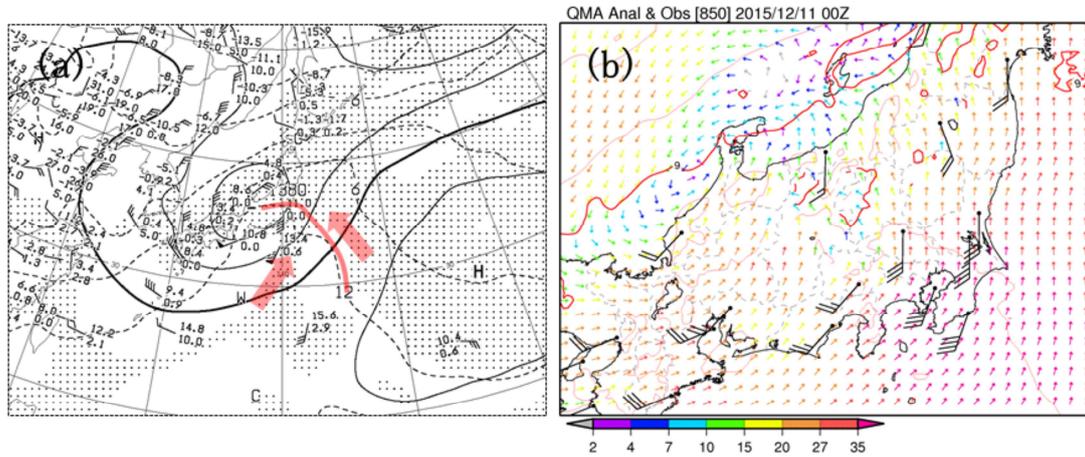
2016年12月22日09時の日本付近における地上天気図(等圧線:白色)、衛星可視画像、300hPaのISOTAC(緑色)、500hPaの高度場(赤色)、925hPaの温度(黄色)、地上プロット(水色)及び前後6時間の前線の位置

4

温暖前線は暖気側から寒気側に移動する前線である。  
暖気団が寒気団に向かって進み寒気団の上を滑昇するため、前線面の傾斜 (=高度/水平距離) は1/300程度と比較的傾斜の緩やかな前線である。  
前線近傍では層状の雲が発達しやすい。  
前線の長さは一般的に数百kmから1,000km程度で、寒冷前線よりも短いことが多い。  
地上・海上の実況観測データでは温度傾度の不連続、風向・風速の変化から解析できるが、風向・風速の変化は寒冷前線と比較して小さいことが多い。

## 温暖前線（2：下層における解析）

◆ 850hPa天気図やWPRでは、例えば前線の北側で南東風、南側で南西風といった風向シアーから温暖前線の候補を解析できることが多い



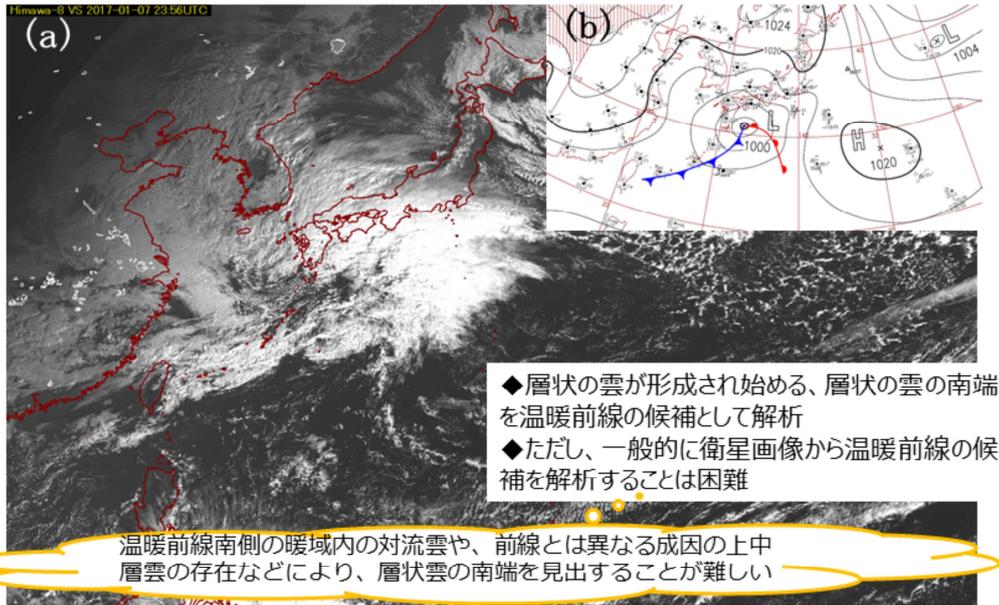
2015年12月11日09時の日本付近における850hPaの(a)高層天気図、(b)毎時大気解析。

5

850hPa天気図やWPRでは、例えば前線の北側で南東風、南側で南西風といった風向シアーから温暖前線の候補を解析できる事がある。

一般的にWPR解析においても温暖前線に伴う風向変化は寒冷前線に伴うものよりも小さい。

### 温暖前線 (3 : 衛星画像における解析)



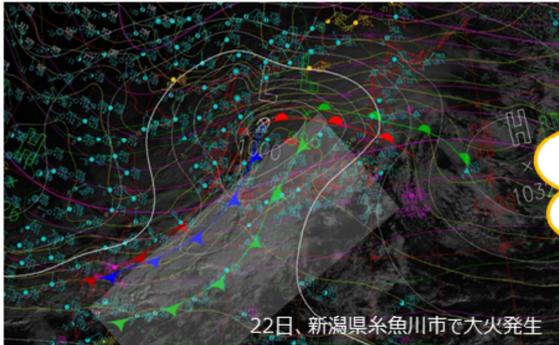
2017年1月8日の日本の南海上における(a)09~12時の10分毎の可視画像、(b)同日09時の地上天気図。

6

衛星画像を用いた解析では、層状の雲が形成され始める部分、すなわち層状の雲の南端を温暖前線の候補として解析するが、一般的に衛星画像から温暖前線の候補を解析することは難しい。  
温暖前線南側の暖域内の対流雲や、前線とは異なる成因の上中層雲の存在によって、層状雲の南端を見出すことが難しいためである。

## 寒冷前線（1. 基本）

- ◆ **寒気側から暖気側**に移動する前線
- ◆ 前線面の傾斜は1/100程度で、温暖前線と比較すると**傾斜が急**である
- ◆ 前線の長さは1,000km程度以上であることが多い



- 寒冷前線は、**アナ型フロント**と**カタ型フロント**に分けられる
- **温かいコンベヤーベルト (WCB)**との位置関係で分けられる

2016年12月22日09時の日本付近における地上天気図(等圧線:白色)、衛星可視画像、300hPaのISOTAC(緑色)、500hPaの高度場(赤色)、925hPaの温度(黄色)、地上プロット(水色)及び前後6時間の前線の位置

7

寒冷前線は寒気側から暖気側に移動する前線である。  
前線面の傾斜は1/100程度で、温暖前線と比較すると傾斜が急である。  
前線の長さは1,000km程度以上であることが多い。

## 寒冷前線（2. 暖かいコンベヤーベルト（WCB））

### 暖かいコンベヤーベルト(WCB)の特徴

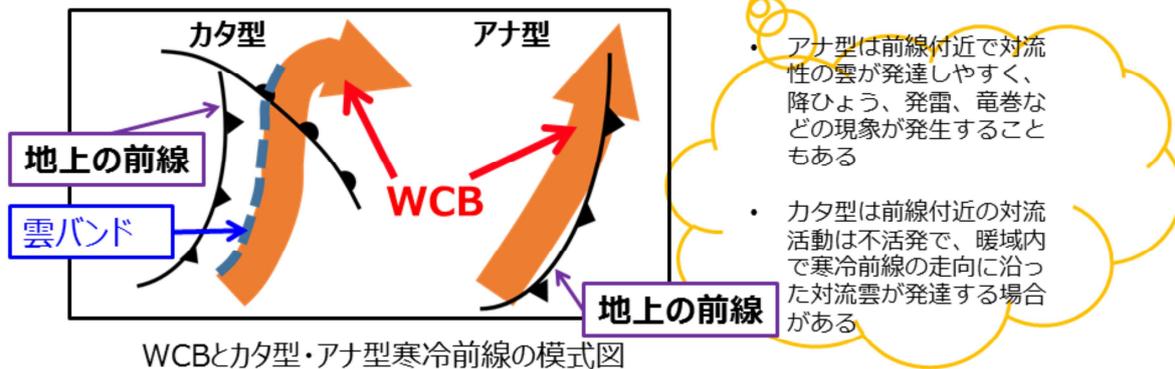
- ①暖かく湿った比較的幅の狭い気流で、多量の熱と水蒸気を極方向及び上空に運ぶ
- ②下部対流圏から始まり、温暖前線を横切って極方向へ上昇し、  
ジェット気流付近の高度で高気圧性の流れに反転する

### アナ型フロントとカタ型フロントとの関連

WCBと寒冷前線との位置関係によって、「アナ型」か「カタ型」が分類できる

アナ型：顕著な上昇流域が、寒冷前線付近

カタ型：顕著な上昇流域が、寒冷前線の暖域側



WCBとカタ型・アナ型寒冷前線の模式図

8

寒冷前線は、暖かいコンベヤーベルト（WCB）との位置関係によって、アナ型寒冷前線とカタ型寒冷前線に分類される。

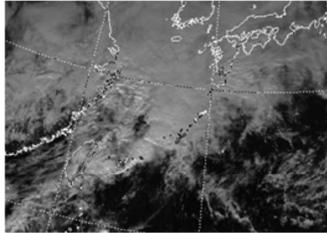
WCBとは暖かく湿った比較的幅の狭い気流で、おおよそ南西から北東に向かう流れによって大量の熱と水蒸気を極方向及び上空に運ぶ。

WCBが寒冷前線の上空に存在するアナ型寒冷前線では、前線付近で対流性の雲が発達しやすく、降ひょうや発雷、竜巻などの現象が発生することもある。一方、WCBが寒冷前線から離れて東側に位置するカタ型寒冷前線では、前線付近の対流活動は不活発であり、寒冷前線東側の暖域内で寒冷前線の走向に沿った対流雲が発達する場合がある。

## 寒冷前線（3. アナ型寒冷前線）

- ◆ 地上や下層に風向・風速・気温・露点温度・気圧の明瞭な変化を伴うことが多いため、地上・海上の実況観測データやWPRを用いた解析は比較的容易である
- ◆ 衛星画像を用いた解析では、雲バンドのうち活発な対流雲列を寒冷前線の候補として解析する

前線付近で強い上昇流が発生する



2017年12月10日12時の東シナ海付近における可視画像

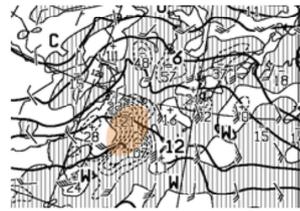


アナフロントの概念図（断面）

寒候期の海上では、寒冷前線後面に寒気移流に伴うセル状対流雲が発生するので、その東端を候補とすることもできる



10日09時の地上天気図



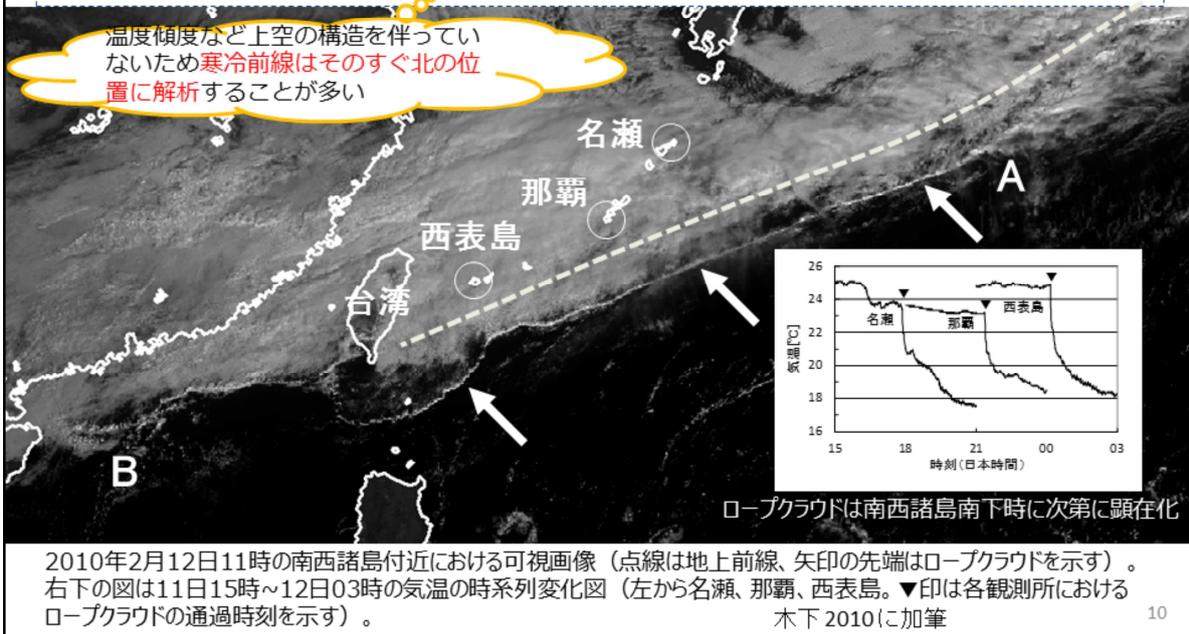
10日09時の700hPa面の鉛直p速度及び850hPaの温度(3℃等)、風

700hPa面の鉛直p速度分布図をみると、寒冷前線付近には、顕著な上昇流域が計算されている。

衛星画像を用いた解析では、アナ型寒冷前線は前線付近で強い上昇流が発生するため、雲バンドのうち活発な対流雲列を寒冷前線の候補として解析する。また、寒候期の海上では、寒冷前線後面に寒気移流に伴うセル状対流雲が発生するので、その東端を候補とすることもできる。

## 寒冷前線（４．ロープクラウド）

- ◆ アナ型寒冷前線の雲バンド近傍にロープクラウドが形成される場合がある。
- ◆ ロープクラウドは前線に対応した対流雲からの冷気外出流が一般場の下層風と収束して発生するもので、比較的背の低い寒気によって作られる。
- ◆ 通過前後の気温変化は寒冷前線的な振る舞いをする。



寒冷前線の候補となる雲バンドの近傍では、ロープクラウドが形成される場合がある。

ロープクラウドは前線に対応した対流雲からの冷気外出流が暖域側の湿潤空気に接して発生するもので、比較的背の低い寒気によって作られる。

雲の通過前後の気温変化は寒冷前線的な振る舞いをするが、温度傾度など上空の構造を伴っていないため寒冷前線はそのすぐ北の位置に解析することが多い。

### 参考文献

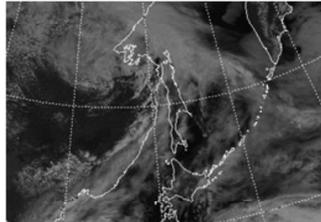
木下 仁, 2010 : 長さ3,000kmを超えるロープクラウド. 天気, 57, 240.

## 寒冷前線（5. カタ型寒冷前線）

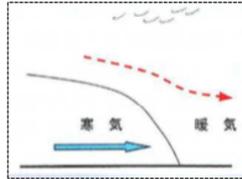
- ◆ 地上・海上実況に明瞭な風向・風速変化、気温や露点温度・気圧の変化を伴わないことが多く、前線付近の対流活動は不活発なことが多い
- ◆ 一般的に、衛星画像から寒冷前線の位置を定めることは難しい

高層の風・温度や地上・海上の気温・露点温度、風を参考に、注意深い解析が必要

前線付近に悪天域が少なく、前線の存在を認めにくい

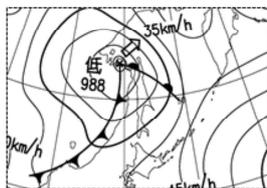


2017年5月30日12時の沿海州付近における可視画像

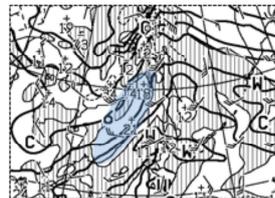


カタフロントの概念図（断面）

700hPa面の鉛直p速度分布図からカタ型かどうかを確認することが可能



30日09時の地上天気図



30日09時の700hPa面の鉛直p速度及び850hPaの温度(3°C毎)、風

700hPa面の鉛直p速度分布図をみると、寒冷前線後面の下降流域は、850hPa面での寒冷前線位置を越えている。

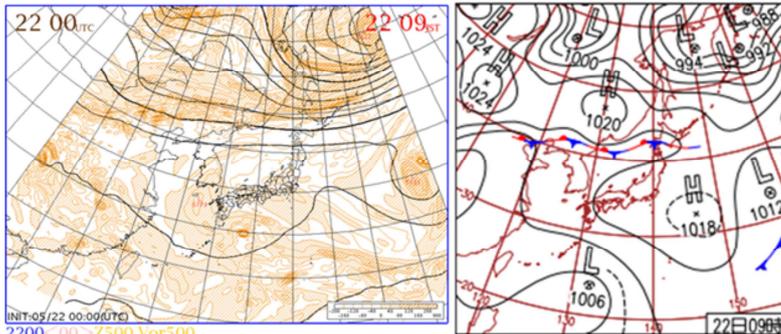
※カタ型もアナ型も、暖域内の収束により、寒冷前線に伴う雲バンドに似た線状の対流雲列が暖域内に発生することがあり、注意が必要である。この対流雲列は高気圧性曲率を有することが多く、また構成する雲は高気圧性の軌跡を辿ることが多いので、判断を誤らないようにする。 11

カタ型寒冷前線では、地上・海上実況に明瞭な風向・風速変化、気温や露点温度・気圧の変化を伴わないことが多く、前線付近の対流活動は不活発なことが多い。このため、注意深く解析を行う必要がある。850hPaや500hPaなど複数の高層観測から鉛直方向の風・温度構造を把握して前線の候補を抽出し、地上・海上実況の気温や露点温度の傾度、風向・風速により解析する。一般的に、衛星画像から寒冷前線の候補を解析することは難しい。アナ型もカタ型においても、暖域内の収束により、寒冷前線に伴う雲バンドに似た線状の対流雲列が暖域内に発生することがあり、注意が必要である。この対流雲列は高気圧性曲率を有し、また構成する雲は高気圧性の軌跡を辿ることがあるので、判断を誤らないようにする。

## 停滞前線 (1)

- ◆ ほぼ同じ位置にとどまっている前線。
- ◆ 数千kmに渡ってのびることがある。
- ◆ 寒帯前線ジェットに対応する停滞前線は、高気圧の南縁に解析できることが多い（下図）。
- ◆ 梅雨前線や秋雨前線は停滞前線の一種である。

梅雨前線や秋雨前線など暖候期の前線は下層暖湿気の流入により活発な対流雲を伴うことが多い。雲バンドの幅は100km程度で寒候期の前線と比較して狭く、対流雲が主体である。



2017年5月22日09時の(a)500hPa高度場と渦度、(b)地上天気図

12

停滞前線はほぼ同じ位置にとどまっている前線である。

春や秋には寒帯前線ジェットが日本付近の緯度で強化されるため、これに伴う前線が発生する。

この前線は数千kmに渡ってのび、上層ほど水蒸気量や温度傾度の不連続が明瞭である。

また、寒冷前線の西側（南側）につながる前線としても存在する。

この場合1,000kmから数千kmに渡って500hPa高度線に沿った走向でのびる。

梅雨前線や秋雨前線は停滞前線の一種である。

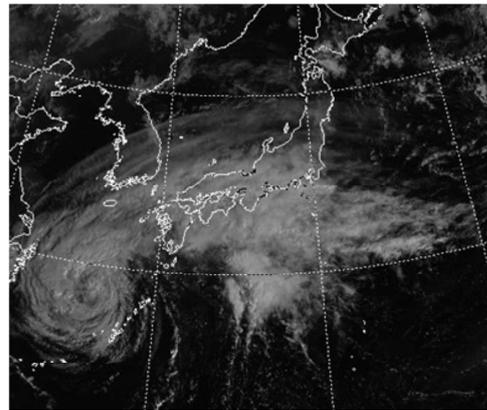
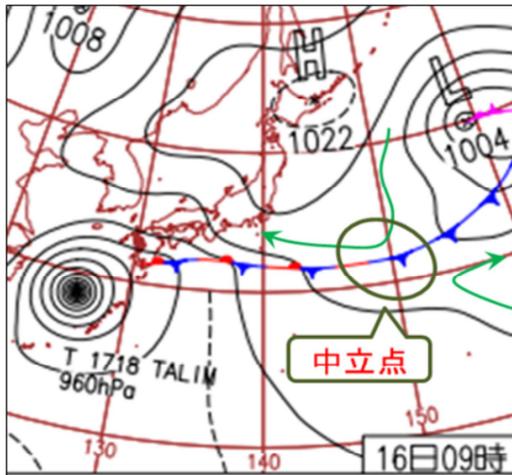
停滞前線は温度傾度の不連続や風向風速の変化が小さいため、温暖前線や寒冷前線と比較すると地上・海上の実況観測データの要素のみから検出するのは難しい。

寒帯前線ジェットに対応する停滞前線は、高気圧の南縁に解析できることが多い。

寒冷前線からつらなる停滞前線は、移動速度の遅い部分を停滞前線として解析する。

## 停滞前線 (2)

- ◆ 寒冷前線から連なる停滞前線は、移動速度の遅い部分を停滞前線として解析する。もしくは、流線解析により中立点（鞍部）を検出し、中立点より高压側を停滞前線とすることが多い（下図）。



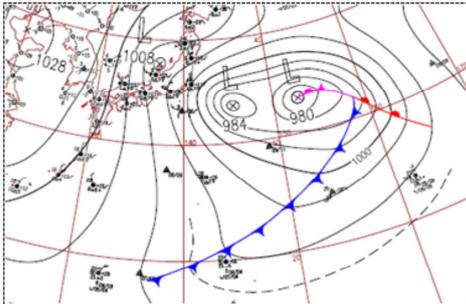
停滞前線の解析例  
(2017年9月16日09時の日本付近における  
地上天気図と可視画像)

13

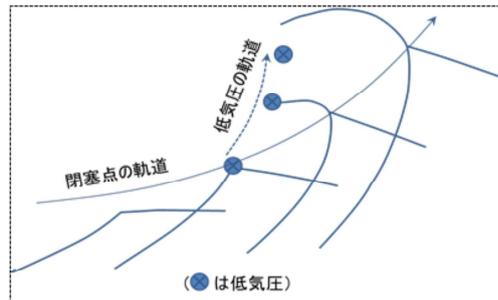
流線解析により中立点（鞍部）を検出し、中立点より先を停滞前線とする。  
梅雨末期の停滞前線では温度傾度の不連続が不明瞭なこともあり、その際は水蒸気量の不連続を利用する。  
水蒸気量の考慮される相当温位の不連続線を確認して解析を行う。  
停滞前線に伴う雲は幅が概ね一定であり、衛星画像では上層のジェット軸に沿った数千kmに渡る雲バンドとして確認できる。  
寒候期の停滞前線は対流活動が不活発なことが多い。  
衛星画像を用いた解析では、500~1,000kmの幅をもつ雲バンドの南端を前線位置の候補とする。  
なお、雲バンドの北縁は上層のジェットに対応しており、前線はジェット軸から緯度にして5~10度南に位置する。  
一方、梅雨前線や秋雨前線など暖候期の前線は下層暖湿気の流入により活発な対流雲を伴うことが多い。  
雲バンドの幅は100km程度で寒候期の前線と比較して狭く、対流雲が主体である。  
衛星画像を用いた解析では、活発な対流雲域の中心付近や北端が前線の候補となる。

## 閉塞前線 (1)

- ◆ 温暖前線と寒冷前線の交点である閉塞点から低気圧に向かったのびる前線。
- ◆ 低気圧は発達初期には500hPa強風軸のやや南側に位置しているが、発達とともに500hPa強風軸の北側に位置する。
- ◆ 一般に、閉塞点はジェット軸に近い南側に位置し、低気圧より移動が速いため、低気圧の発達とともに閉塞点と低気圧は離れ、閉塞前線は長くなる（下図）。



2017年3月15日09時の地上天気図



閉塞点の概念図

14

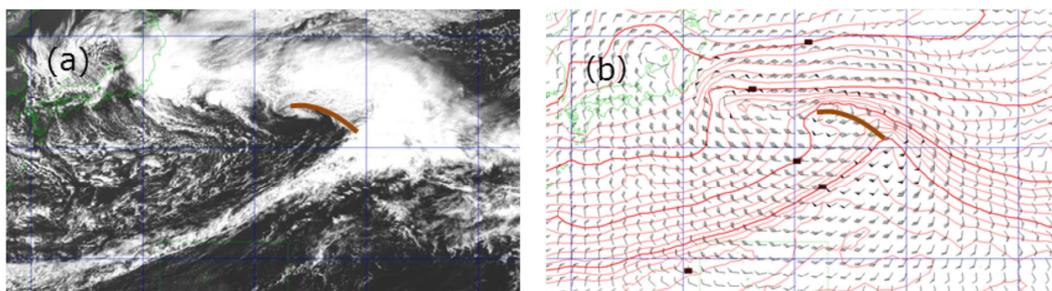
閉塞前線は、温暖前線と寒冷前線の交点である閉塞点から低気圧に向かったのびる前線である。

低気圧は発達初期には500hPa強風軸のやや南側に位置しているが、発達とともに500hPa強風軸の北側に位置する。

一方、閉塞点は強風軸に近い南側に位置し低気圧より移動が速いため、低気圧の発達とともに閉塞点と低気圧は離れ、閉塞前線は長くなる。

## 閉塞前線 (2)

- ◆ 閉塞前線は温度場の暖気軸に対応している
- ◆ 閉塞前線上には新たな低気圧が発生することもある



2017年3月15日09時の日本の東海上における(a) 可視画像、(b) 925hPaの相当温位 (3K毎) 及び風。茶色線は閉塞前線を示す。

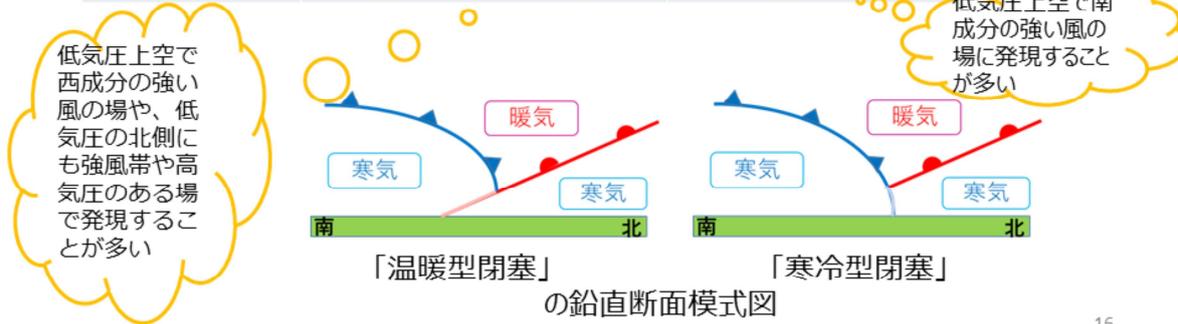
15

閉塞前線は温度場の暖気軸に解析できる。  
閉塞前線上には新たな低気圧が発生することもある。

## 閉塞前線 (3)

◆ 閉塞前線には**温暖型**と**寒冷型**があり、それぞれ以下のような特徴を有する。

	温暖型閉塞	寒冷型閉塞
閉塞前線	温暖前線の性質が強い	寒冷前線の性質が強い
寒冷前線	後面の寒気は比較的弱く、比較的 <b>不明瞭</b>	後面の寒気が比較的強く、比較的 <b>明瞭</b>
温暖前線	比較的 <b>明瞭</b>	比較的 <b>不明瞭</b> 。
衛星画像	<b>「入」型</b> の雲バンドを形成	<b>「人」型</b> の雲バンドを形成



16

閉塞前線には寒冷型と温暖型があり、それぞれ次のような特徴を有する。

寒冷型閉塞前線…寒冷前線後面の寒気が比較的強く、寒冷前線が明瞭。

温暖前線は不明瞭なことが多い。

閉塞前線は寒冷前線の性質が強い。

低気圧上空で南成分の強い風の場合に発現することが多い。

衛星画像では「人」型の雲バンドを形成。

温暖型閉塞前線…寒冷前線後面の寒気は比較的弱く、寒冷前線は活動が弱い。

温暖前線は明瞭なことが多い。

閉塞前線は温暖前線の性質が強い。

低気圧上空で西成分の強い風の場合や、この低気圧の北側にも強風帯・高気圧のある場で発現することが多い。

衛星画像では「入」型の雲バンドを形成。

## 理解度をチェックするための問題

前線の定義の説明ついて、空欄を埋めなさい。

### ○前線の基本

前線は(a)の異なる気団の境界として定義される。温暖前線は、(b)側から(c)側に移動する前線。寒冷前線は、(c)側から(b)側に移動する前線。前線面の傾斜は、寒冷前線の方が(d)。

### ○寒冷前線

寒冷前線は、(e)型フロントと(f)型フロントに分けられる。これらは、多量の熱と水蒸気を極方向及び上空に運ぶ(g)との位置関係で分けられる。寒冷前線付近に位置するのが、(e)で、寒冷前線の暖域側にあるのが(f)。(e)の方が前線付近で対流雲が発達しやすく、降雹、発雷、竜巻など顕著な現象が起こりやすい。

### ○停滞前線

停滞前線は、ほぼおなじ位置にとどまっている前線。(h)ジェットに対応する停滞前線は、(l)の南縁に解析できることが多い。梅雨前線や秋雨前線は停滞前線の一種である。

### ○閉塞前線

閉塞前線は、温暖前線と寒冷前線の交点である(j)から低気圧に向かってのびる前線。一般に、閉塞点は(k)に近い南側に位置し、低気圧より移動が速いため、低気圧の発達とともに閉塞点と低気圧は離れ、閉塞前線は(l)なる。また、閉塞前線は温度場の(m)に対応しており、閉塞前線上には新たな(n)が発生することもある。なお、閉塞前線には、温暖前線の性質が強い(o:入or人)型の(p)型と、寒冷前線の性質が強い(q:入or人)型の(r)型がある。

17

## 答え

- 前線の基本      a)密度    b)暖気    c)寒気    d)急  
○寒冷前線        e)アナ    f)カタ    g)温かいコンベヤーベルト (WCB)  
○停滞前線        h)寒帯前線    i)高気圧  
○閉塞前線        j)閉塞点    k)ジェット軸    l)長く    m)暖気    n)低気圧  
o)入    p)温暖    q)人    r)寒冷

## 解説

アジア太平洋地上天気図では、基本的に移動方向や速度に応じて、温暖前線・寒冷前線・停滞前線・閉塞前線の4種類の前線を用いている。