

基礎知識、関連知識－総観場の解析・解釈

アジア太平洋地上天気図における 前線解析

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

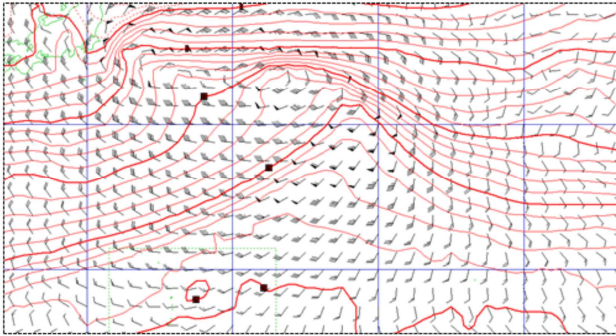
内容

- (1) 前線解析の条件
- (2) アジア太平洋地上天気図前線解析の手順
- (3) 前線解析の運用ルール
- (4) 客観前線

(1) 前線解析の条件

<アジア太平洋地上天気図> 前線を解析する条件

- ① 地表面における密度の集中帯が解析できること。
- ② フロントジェネシス（前線形成）、等温線の集中を強めるような風の場であること。
- ③ 時間・空間スケールが総観規模であること。



2017年3月15日09時の日本の東海上における925hPaの温度（1℃毎）及び風。

① 地表面における密度の集中帯が解析できること (1)

◆ 地表面における密度 ρ の集中帯の暖気側の縁に前線を解析することが基本。

◆ 等圧面上における密度 ρ は温度と水蒸気で決まる。

密度 ρ は湿潤空気の状態方程式から下のように表される。

$$\rho = \frac{p}{R_d(1 + 0.61w)T}$$

ここで、Tは温度、 R_d は気体定数、pは気圧、wは混合比。

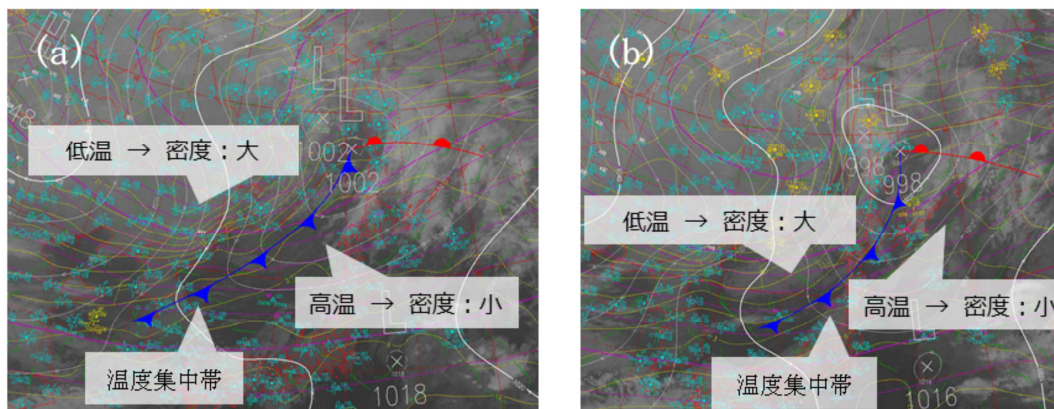
※ wは水蒸気密度と乾燥空気の密度の比で、0.03を越すことはあまりない。

- 水蒸気量を表わす混合比は、大気の密度を計算する際には寄与が小さい
- 気温の寄与の方が大きくなり、前線解析では気温が最も大きなウェイトを占めることになる

5

地表面における密度の集中帯の暖気側の縁に前線を解析することが基本である。気象分野で必要な精度では、等圧面上における密度 ρ は気温Tと水蒸気で決まる。混合比（水蒸気密度と乾燥空気の密度の比）は0.03を越すことはあまりない。すなわち、大気の密度を計算する際には気温の寄与のほうがずっと大きいため、前線解析では気温の解析が最も大きなウェイトを占める。

① 地表面における密度の集中帯が解析できること (2) - 寒候期の事例 -



(a) 2017年11月29日03時、(b) 09時の日本海付近における地上天気図及び赤外面像（図中の黄色線は850hPa面の温度、紫色線は500hPa面の高度）。黄色で表示されたSYNOPIは速報天気図発表後に入電した遅延データを示す。

- 前線の北側は低温で密度が大きい
- 前線の南側は高温で密度が小さい
- 前線付近は温度線の集中帯となる

① 地表面における密度の集中帯が解析できること (3)

◆ 水蒸気を考慮した前線解析では、相当温位 (θ_e) が有効である

$$\theta_e = \theta \exp\left(\frac{Lw_s}{C_p T}\right)$$

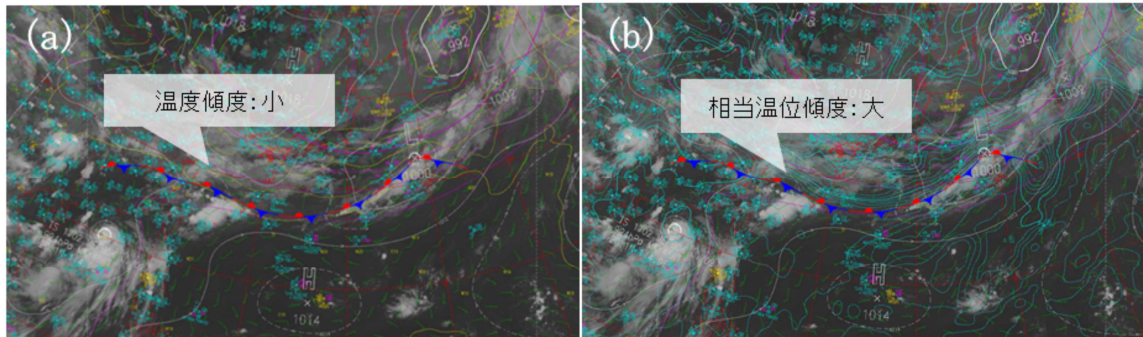
ここで、 θ は温位、 L は凝結の潜熱で $L = 2.5 \times 10^6 \text{ J/kg}$ 、 w_s は飽和空気の混合比、 C_p は定圧比熱で $C_p = 1004 \text{ JK}^{-1}\text{kg}^{-1}$ である。

- 相当温位 (θ_e) は、気温と水蒸気量から決まる量であるが、飽和空気の混合比 w_s が指数関数的に影響する
- 温度傾度がない場合、相当温位の分布を調べることで、水蒸気量の差異により前線を解析することができる

7

水蒸気による前線解析では、相当温位 (θ_e) が有効である。
相当温位は、気温と水蒸気量から決まる量であるが、飽和空気の混合比 w_0 が指数関数的に影響する。
そのため、相当温位の解析を行うことで、温度傾度がない場合、水蒸気量の差異により前線を解析することができる。

① 地表面における密度の集中帯が解析できること (4) － 暖候期の事例 －

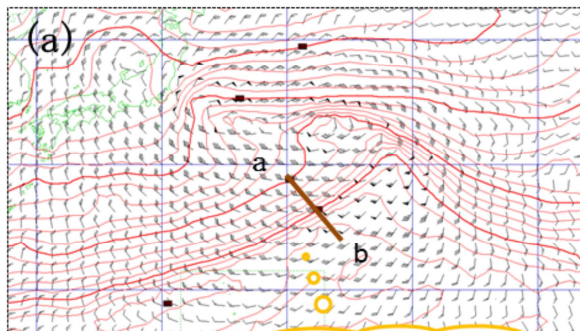


2017年6月12日09時の日本付近における地上天気図、赤外面像及び850hPa面の(a)温度(黄色線)、(b)相当温位(水色線)。黄色で表示されたSYNOPは速報天気図発表後に入電した遅延データを示す。

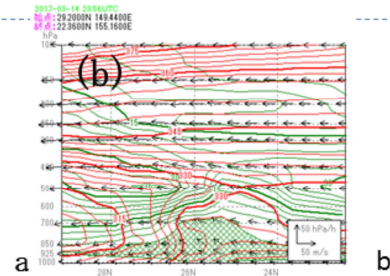
温度よりは**相当温位線**の集中帯が顕著である

② フロントジェネシス、等温線の集中を強めるような風の間であること

- ◆ フロントジェネシス（前線形成）の間であるかどうかは、**3次元的な温度と風の分布**パターンで決まる。
- ◆ フロントジェネシス（前線形成）の間では、前線付近で**水平温度傾度**が強まり、上昇流が励起される。特に各等圧面（地表面）の**等温線や等 θ_e 線を集中させるような風のシア**が存在していることが重要である。



等相当温位線をさらに集中させるような風の分布となっている



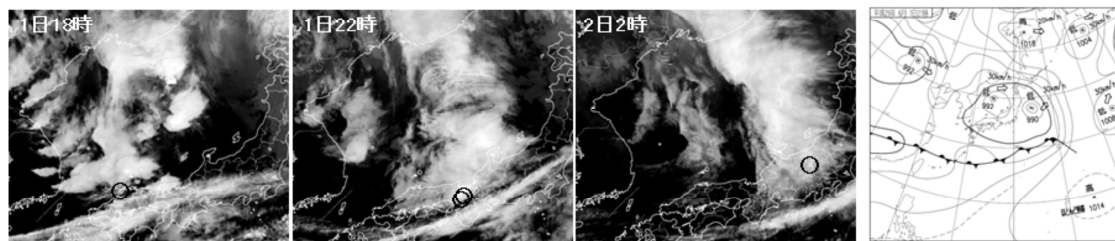
2017年3月15日09時の日本の東海上における(a)925hPaの相当温位（3K毎）及び風、(b) (a)図のa,b点を通る断面図。

9

フロントジェネシス（前線形成）は等温線の集中を強めるような風の間であること。フロントジェネシス（前線形成）の間であるかどうかは、3次元的な温度と風の分布パターンで決まる。フロントジェネシス（前線形成）の間では前線付近で水平温度傾度が強まり、暖気の上昇流が励起される。特に各等圧面（地表面）の等温線や等 θ_e 線を集中させるような風のシアが存在していることが最も重要である。

③ 時間・空間スケールが総観規模であること

- ◆ アジア太平洋地上天気図における前線解析ではメソ α 以上のスケールを描画対象とする。
- ◆ おおむね12時間に満たないような短時間で終わる現象はアジア太平洋地上天気図には表現しない。



2017年6月1日18時～2日2時（日本時間）の4時間毎の本州付近における赤外画像（図中の○印については、突風災害が発生した地点を示す）及び1日21時の地上天気図。

10

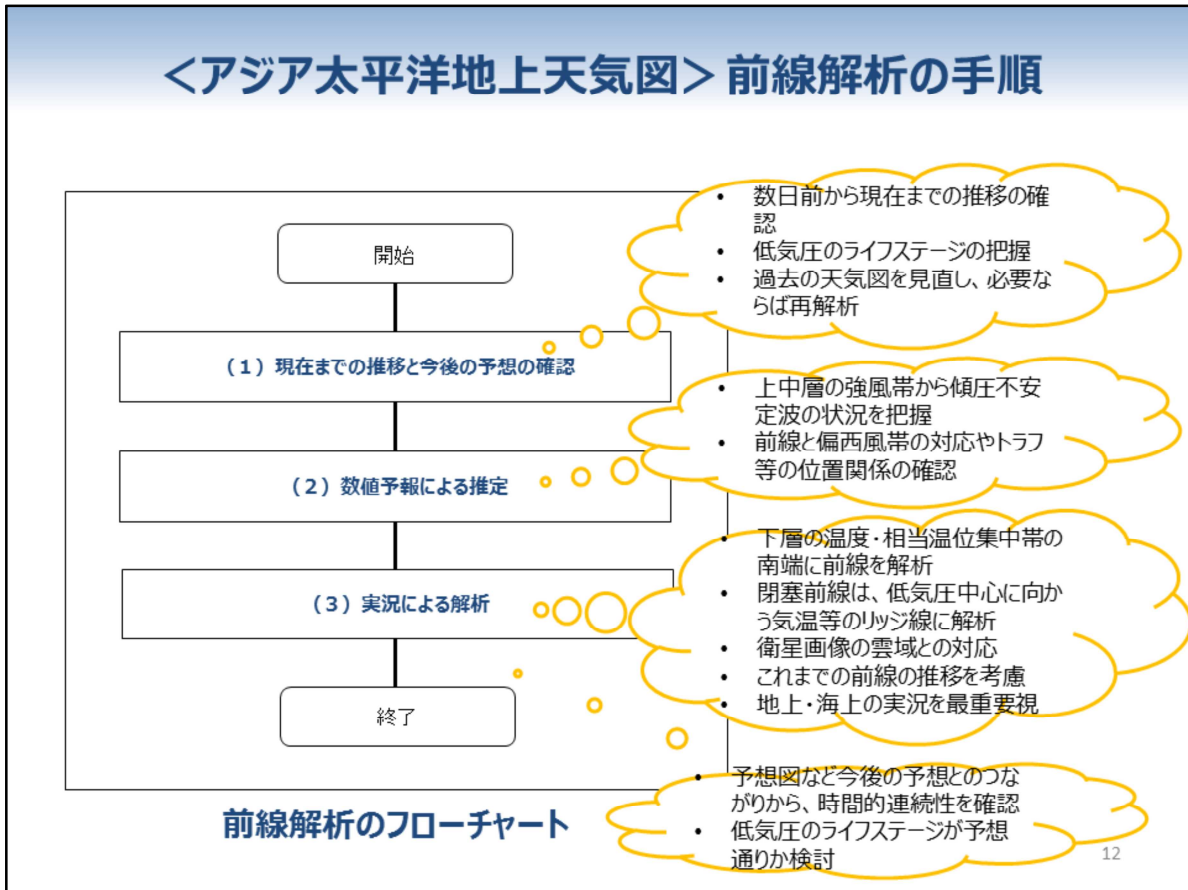
時間・空間スケールが総観規模であること。

アジア太平洋地上天気図における前線解析ではメソ α 以上のスケールを描画対象とする。

また、おおむね12時間に満たないような短時間で消滅する現象はアジア太平洋地上天気図には表現しない。

(2) アジア太平洋地上天気図 前線解析の手順

<アジア太平洋地上天気図> 前線解析の手順



(1) 現在までの推移と今後の予想の確認

実際の天気図解析では、はじめに数日前から現在までの推移の確認を行う。低気圧系全体のライフステージが発生期、発達期、衰弱期のいずれに当たるのかを把握するとともに、遅延して入電するデータを用いて過去の天気図を見直し、必要ならば再解析を行う。

(2) 数値予報による推定

次に数値予報結果を利用した推定を行う。解析の際に得られる地上や高層の実況観測は空間的に限られたものであるため、前線の解析には数値予報結果の利用が欠かせない。まず前線に対応する300hPaや500hPaの強風帯から傾圧不安定波の状況を把握する。これによって、解析しようとする前線が偏西風帯と対応していることを確認する。強風軸とそれぞれの前線との位置関係にも着目する。例えば閉塞前線は強風軸から低圧側に向かってのび、寒冷前線はトラフ前面で強風軸にほぼ平行となる。

また、停滞前線は緩やかなトラフの前面から南側に位置し、強風軸とほぼ平行である。

(3) 実況による解析

850hPaなどの気温や相当温位から、前線に対応する集中帯を解析する。閉塞前線以外は、気温や相当温位の水平傾度が大きなゾーンの暖気側の端を解析する。閉塞前線では、閉塞点から低気圧中心の方に向かう気温と相当温位のリッジ線を解析する。解析では衛星画像の雲域との対応のほか、これまでの解析の推移から予想される前線の位置も重要な手がかりになる。

アジア太平洋地上天気図に表現するのは地上の前線であるので、最終的には地上・海上の実況を用いて前線の位置を解析する。

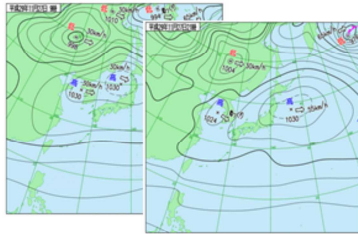
地上・海上の実況観測データでは、気圧の解析に加えて、風向・風速、前3時間気圧変化傾向、露点温度を重視しており、前線通過によるこれらの数値の変化の確認は重要である。また、衛星画像の監視においては、赤外画像からだけでは前線に対応する下層雲の存在を見極めることは難しいため、可視画像（日中）や差分画像も活用する。

その他、水蒸気画像などによって中上層のトラフやリッジの動向を把握し、数値予報の結果と整合していることを確認する。

最後に解析した前線とFSAS24や数値予報モデル予想図など今後の予想とのつながりから、時間的連続性が保たれているかを確認する。

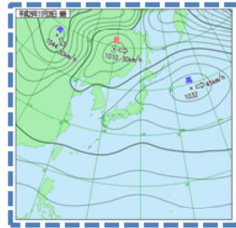
また、低気圧のライフステージが予想通り進んでいるかどうかの検討も行う。

現在までの推移と今後の予想の確認 － 具体例 －



過去の推移

- 遅延データによる再解析
- 解析は妥当だったか？
- 数値予報とのズレ
- 個々の観測地点の妥当性

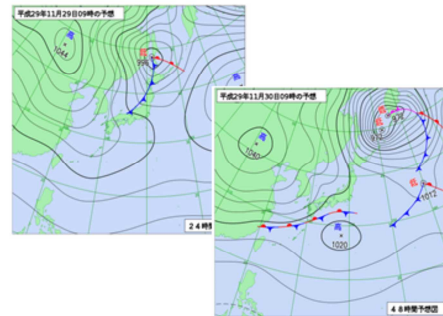


解析時刻

(2017年11月27日09時)

今後の予想 (FSAS)

- 解析時刻の沿海州にある系は次のどのライフステージにあたるかを把握
発達期
最盛期
衰弱期
- 今後、西日本に顕在化する前線の兆候を確認



(3) 前線解析の運用ルール

＜アジア太平洋地上天気図＞ 前線解析の運用ルール

◆本庁予報課では、解析を標準化する観点から、次の各項目について、運用ルールを設けている。

- ① 低気圧に伴う前線
- ② 低気圧に伴わない前線
- ③ 複数の前線候補からの選択
- ④ 二次前線
- ⑤ コンマ雲型の低気圧
- ⑥ 下層で明瞭だが地上で不明瞭な前線
- ⑦ 閉塞前線の解消

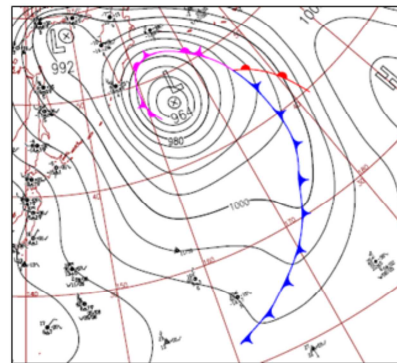
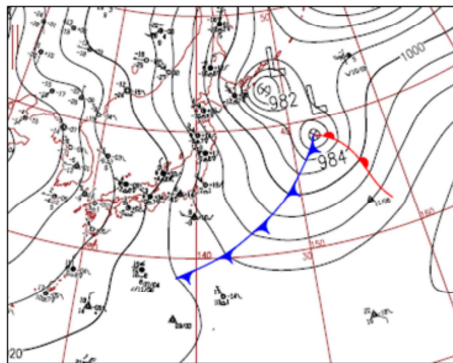
15

基本的な前線の要件、種類に基づきアジア太平洋地上天気図の解析を標準化する観点から、次の運用ルールを設けている。

- ① 低気圧に伴う前線
- ② 低気圧に伴わない前線
- ③ 複数の前線候補からの選択
- ④ 二次前線
- ⑤ コンマ雲型の低気圧
- ⑥ 下層で明瞭だが地上で不明瞭な前線
- ⑦ 閉塞前線を安易に解消しない

① 低気圧に伴う前線

- ◆ 温暖前線と寒冷前線は、低気圧中心から**1本ずつ**解析
低気圧**前方**の前線は**温暖前線**、**後方**は**寒冷前線**
- ◆ 低気圧がほとんど発達していない場合は、**停滞前線**としてもよい
ただし、暖気や寒気の流入に注意して、安易に停滞前線とはしない
- ◆ 閉塞低気圧の場合は、**閉塞点**から温暖前線、寒冷前線、閉塞前線を**1本ずつ**解析
閉塞前線は低気圧中心に達していても達しなくても良い。



16

温暖前線と寒冷前線の場合は、低気圧中心から1本ずつ解析する。

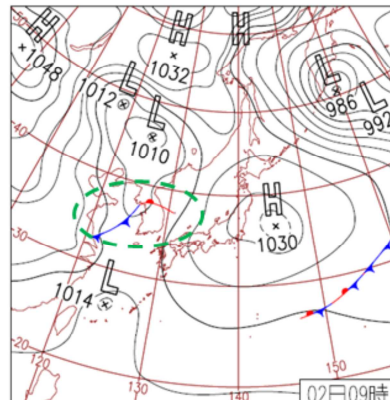
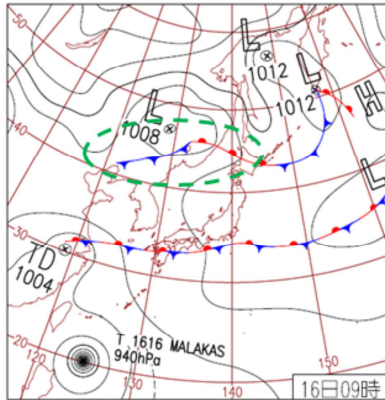
低気圧前方の前線は温暖前線、後方は寒冷前線とする。

低気圧がほとんど発達していない場合は、停滞前線としてもよいが、暖気や寒気の流入に注意して、安易に停滞前線とはしない。

閉塞低気圧の場合は、閉塞点から温暖前線、寒冷前線、閉塞前線を1本ずつ解析し、閉塞前線は低気圧中心に達していても達しなくても良い。

② 低気圧に伴わない前線

- ◆ 移動方向・速度に応じて、温暖前線、寒冷前線、停滞前線とする
- ◆ 温暖前線＋寒冷前線で構成される前線系の場合、どちらか一方の速度が速ければ片方が停滞しているも、停滞前線ではなく**温暖前線＋寒冷前線**として解析する

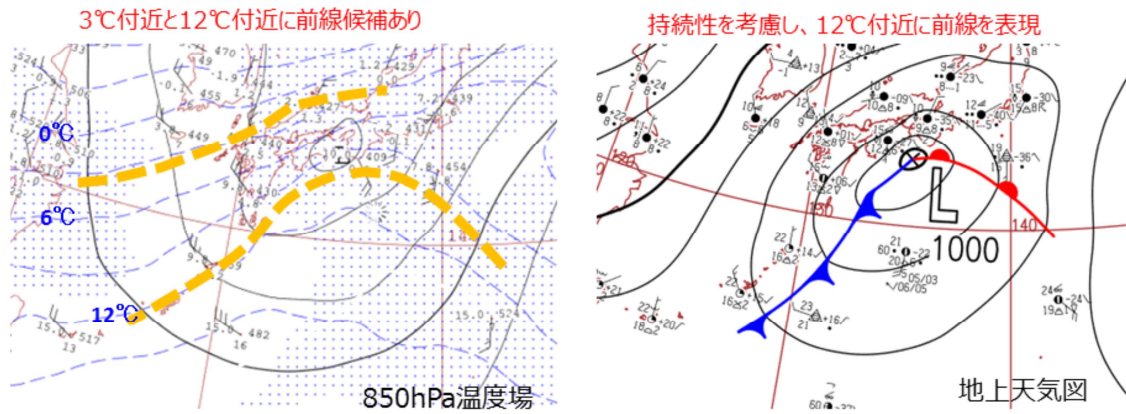


17

移動方向、速度に応じて、温暖前線、寒冷前線、停滞前線とする。
温暖前線＋寒冷前線で構成される前線系の場合、どちらか一方の速度が速ければ片方が停滞しているも、停滞前線ではなく温暖前線＋寒冷前線として解析する。

③ 複数の前線候補からの選択

◆ 数百kmの幅の中に複数の前線候補が並んでいる場合は、最も顕著で、1日程度以上の持続性が見込まれるものを採用する。



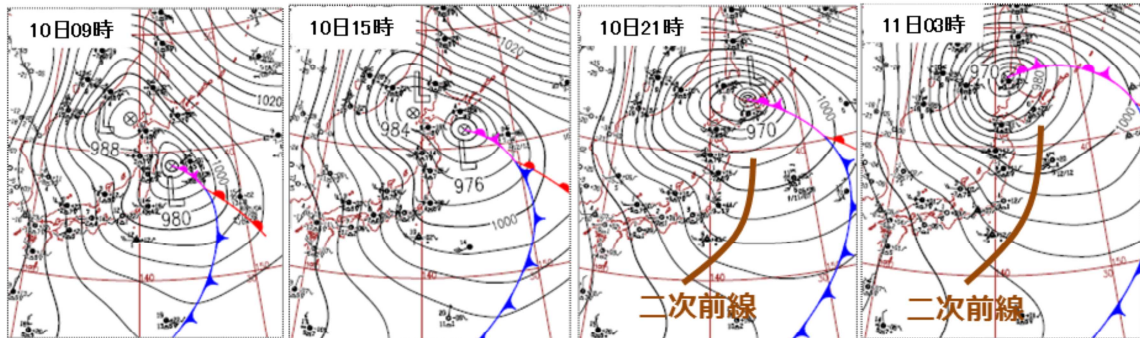
2016年12月13日21時

18

数百kmの幅の中に複数の前線候補が並んでいるときは、最も顕著で、1日程度以上の持続性が見込まれるものを採用する。

④ 二次前線

- ◆ 一つの低気圧における寒気場内の寒気に伴う二次前線は解析しない。
- ◆ 二次前線が明瞭となり、元の寒冷前線が相対的に不明瞭になった場合は、元の寒冷前線を消滅させ、明瞭化した前線を新たな寒冷前線として解析する。ただし、新たな前線の時間スケールが1日程度以上という原則に従う。



2015年3月10日09時～11時03時の6時間毎の地上天気図

19

一つの低気圧の寒気場内の寒気に伴う二次前線は解析しない。

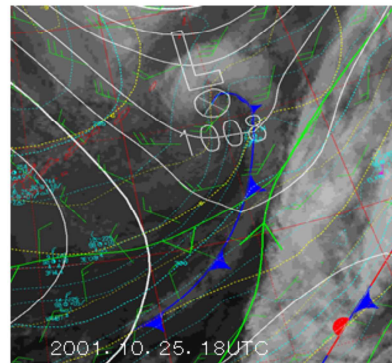
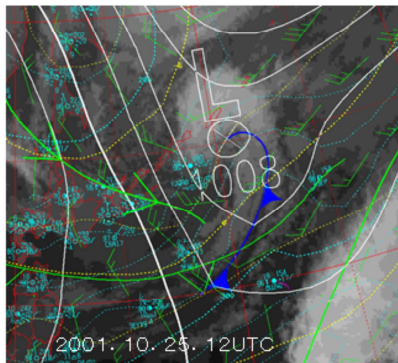
ただし、一度、前線が消滅した低気圧が、再度、顕在化した傾圧帯に対応した場合は前線を解析しても良い。

二次前線が明瞭となり、元の寒冷前線が相対的に不明瞭になったときは、元の寒冷前線を消滅させ、明瞭化した前線を新たな寒冷前線として解析する。

ただし、新たな前線の時間スケールが1日程度以上という原則に従う。

⑤ コンマ雲型の低気圧

- ◆ 衛星画像で認識されるコンマ雲の形状を持ち、寒気場内で発生・発達する低気圧については、前線を解析してもよい。
- ◆ 温暖前線が不明瞭な場合は、温暖前線を省略し、寒冷前線のみとしてもよい。また、寒冷前線は低気圧中心から離してもよい。



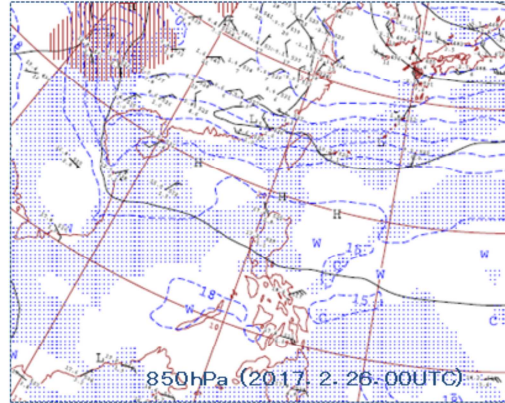
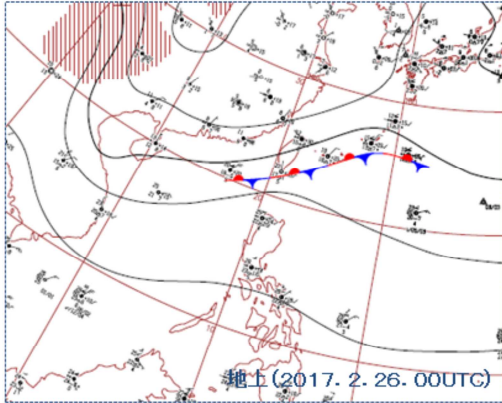
20

衛星画像で認識されるコンマ雲の形状を持ち、寒気場内で発生・発達する低気圧においては、前線を解析してもよい。
その際、温暖前線が不明瞭な場合は、温暖前線を省略し寒冷前線のみとしても良い。
また寒冷前線は低気圧中心から離れていても良い。

⑥ 下層で明瞭だが、地上で不明瞭な前線

◆ 850hPaなど下層で、前線の要件を満たしかつ悪天を伴う場合は、地上でのシアーや温度差等が不明瞭でも、持続性があると判断すれば前線を解析する。

(冬から春にかけての華中・華南から東シナ海にかけての悪天を伴う傾圧帯)

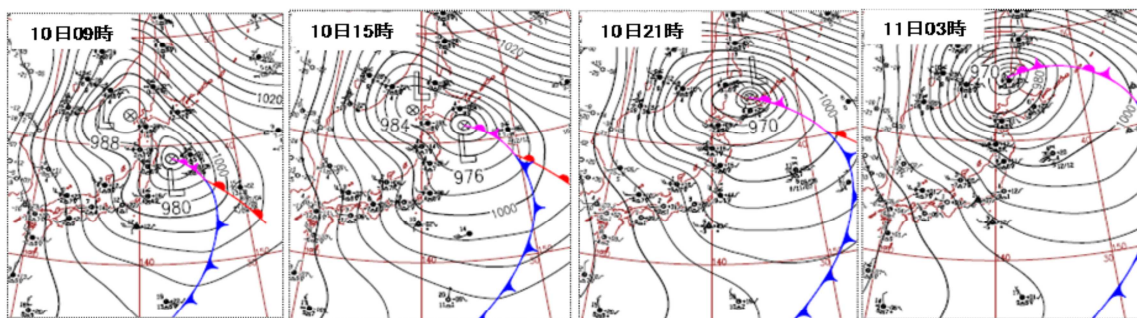


21

850hPaなど下層で、前線の要件を満たしかつ悪天を伴う場合は、地上でのシアーや温度差等が不明瞭でも、持続性があると判断すれば前線を解析する。

⑦ 閉塞前線の解消

- ◆ ベルゲンモデルでは閉塞前線は低気圧が最盛期にあることを意味する。中心気圧が深まっている場合や最低気圧が継続している時は、原則として閉塞前線を解析する。
- ◆ 中心気圧が浅くなり始めても、前線構造が明瞭な場合は、前線を解析する。



2015年3月10日09時～11日03時の6時間毎の地上天気図。

22

ベルゲンモデルでは閉塞前線は低気圧が最盛期にあることを意味する。中心気圧が深まっている場合や最低気圧が継続している時は、原則として、閉塞前線を解析する。
中心気圧が浅くなり始めても、前線活動が活発と見られる場合は前線を解析する。

(4) 客觀前線

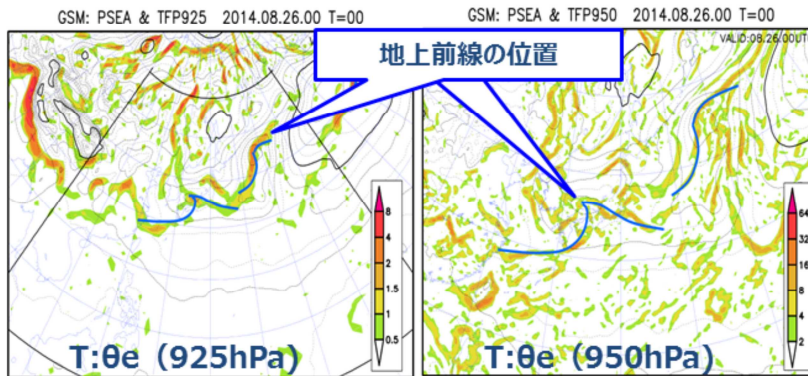
前線の客観解析 (1)

密度傾度不連続
を指数化

- ◆ 本庁予報課の前線解析では、Thermal front parameter(TFP)も参考にしている。TFPはRenard and Clarke(1965)が提案し、次式で定義される。

$$TFP = -\nabla|\nabla\tau| \cdot \frac{\nabla\tau}{|\nabla\tau|}$$

τ は熱力学変数 (本庁予報課では**相当温位**を作成・利用)



黒線はGSMの地上天気図における等圧線 (4hPa毎)

(補足) 950hPaの相当温位を利用したTFPでは、ある程度規模の大きい地形の効果が反映されており、局地解析の前線解析にも参考利用できる。

<利用上の注意>

- ・TFPの極大域は多様で複雑な分布
⇒ 閾値を設けての前線解析は困難。

- ・様々な観測資料・低気圧モデルやその持続性、前線の立体構造やfrontogenesisの場を考慮して、前線を解析。

24

前線の解析においては、前節で述べた様々な観測データに加えて、数値予報結果から客観的に前線と考えられる場所を計算した「客観前線」プロダクトも参考資料として利用している。

TFP Thermal front parameter (TFP)はRenard and Clarke(1965)が提案したパラメータで、次の式で定義される。

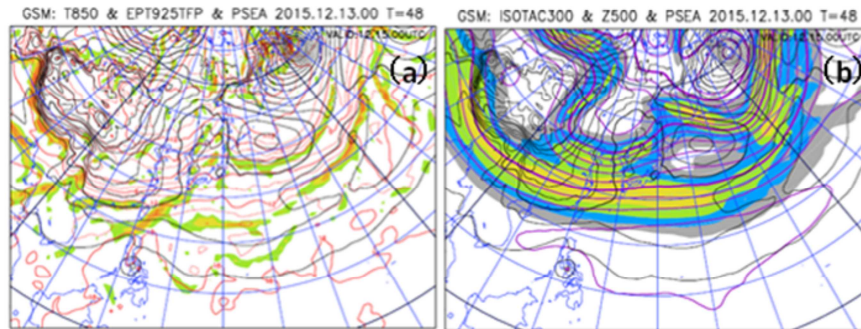
ここで、 τ は気温などの熱力学変数である。

参考文献

Renard, R. J. and L. C. Clarke, 1965: Experiments in numerical objective frontal analysis. Mon. Wea. Rev., 53, 547-556.

前線の客観解析 (2)

- ◆ 本庁予報課の前線解析では、GSMによる925hPa及び950hPaの**相当温位**を利用したTFPの分布図を参照しているほか、850hPaの気温分布図なども重ね合わせてチェック（下図a）、温度場と整合した前線解析となるよう留意している。
- ◆ ジェット軸と前線帯との対応を確認するため、300hPaのIsotac（等風速）分布図と500hPaの高度場を重ね合わせた図も前線解析に利用している（下図b）。



本庁予報課で利用しているGSMによる

- (a) 925hPaのTFP分布図、850hPaの気温（赤線）及び地上天気図における等圧線（黒線、4hPa毎）、
(b) 300hPaのIsotac分布図、500hPaの高度場（紫線）及び同等圧線の重ね合わせ図。

25

GSMの925hPa及び950hPaの相当温位を利用したTFPの分布図を作成して参照しているほか、850hPaの気温分布図などもチェックして温度場と整合した前線解析となるようにしている。

また、ジェット軸と前線の対応を確認するため、「300hPaのIsotac（等風速）＋500hPaの高度場」図も利用している。

理解度をチェックするための問題

前線解析の条件の説明について、誤っている選択肢を選びなさい。

- ① 地表面における密度の傾度帯が解析できること。
- ② フロントジェネシス(前線形成)、等温線の集中を強めるような風の場合であること。
- ③ 時間・空間スケールがメソβ以上であること。

26

答え③

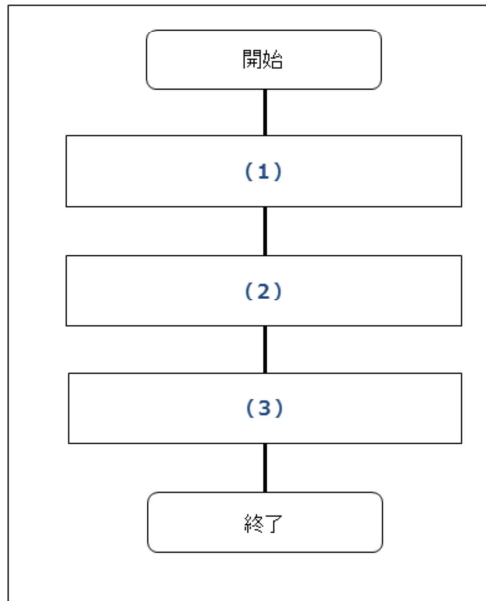
解説

地表面における密度の傾度帯の暖気側の縁に前線を解析することが基本である。フロントジェネシス(前線形成)は等温線の集中を強めるような風の場合であり、そこでは前線付近で水平温度傾度が強まり、暖気の上昇流が励起される。特に各等圧面(地表面)の等温線や等 θ_e 線を集中させるような風のシアが存在していることが最も重要である。

アジア太平洋地上天気図における前線解析ではメソ α 以上のスケールを描画対象とする。また、おおむね12時間に満たないような短時間で消滅する現象はアジア太平洋地上天気図には表現しない。

理解度をチェックするための問題

アジア太平洋地上天気図の前線解析の手順の説明について、正しい選択肢を選びなさい。



前線解析のフローチャート

- ① (1)→(a), (2)→(b), (3)→(c)
- ② (1)→(a), (2)→(c), (3)→(b)
- ③ (1)→(b), (2)→(a), (3)→(c)
- ④ (1)→(b), (2)→(c), (3)→(a)
- ⑤ (1)→(c), (2)→(a), (3)→(b)
- ⑥ (1)→(c), (2)→(b), (3)→(a)

(a)数値予報による推定

(b)実況による解析

(c)現在までの推移と今後の予想の確認

27

答え⑤

解説

(1) 現在までの推移と今後の予想の確認

実際の天気図解析では、はじめに数日前から現在までの推移の確認を行う。

(2) 数値予報による推定

次に数値予報結果を利用した推定を行う。

(3) 実況による解析

高層データや地上・海上の実況観測データ・衛星画像などから実況を確認し、解析する。

最後に解析した前線とFSAS24や数値予報モデル予想図など今後の予想とのつながりから、時間的連続性が保たれているかを確認する。

また、低気圧のライフステージが予想通り進んでいるかどうかの検討も行う。

理解度をチェックするための問題

前線解析の運用ルールの説明について、正しい選択肢を選びなさい。

- ①温暖前線と寒冷前線は、低気圧中心から1本ずつ解析し、低気圧前方の前線は温暖前線、後方は寒冷前線とする。ただし、どちらか一方が停滞している場合は、温暖前線+停滞前線などとしてもよい。
- ②数百kmの幅の中に複数の前線候補が並んでいる場合は、可能な限り全ての前線を解析する。
- ③コンマ雲の形状を持ち寒気場内の低気圧は前線を解析してはいけない。また、寒冷前線のみ解析や、低気圧中心から離すようなことはしてはいけない。
- ④850hPaなど下層で前線の条件を満たしている場合でも、地上で不明瞭であれば前線は解析しない。
- ⑤低気圧が最盛期の状況では、原則として閉塞前線を解析する。

28

答え⑤

解説

- ①移動方向、速度に応じて、温暖前線、寒冷前線、停滞前線とする。
温暖前線+寒冷前線で構成される前線系の場合、どちらか一方の速度が速ければ片方が停滞していても、停滞前線ではなく温暖前線+寒冷前線として解析する。
- ②衛星画像で認識されるコンマ雲の形状を持ち、寒気場内で発生・発達する低気圧においては、前線を解析してもよい。
その際、温暖前線が不明瞭な場合は、温暖前線を省略し寒冷前線のみとしても良い。
また寒冷前線は低気圧中心から離れていても良い。
- ③数百kmの幅の中に複数の前線候補が並んでいるときは、最も顕著で、1日程度以上の持続性が見込まれるものを採用する。
- ④850hPaなど下層で、前線の要件を満たしかつ悪天を伴う場合は、地上でのシアーや温度差等が不明瞭でも、持続性があると判断すれば前線を解析する。
- ⑤ベルゲンモデルでは閉塞前線は低気圧が最盛期にあることを意味する。
中心気圧が深まっている場合や最低気圧が継続している時は、原則として、閉塞前線を解析する。
中心気圧が浅くなり始めても、前線活動が活発と見られる場合は前線を解析する。