

複数の気象要素と画像解析を用いた前線の抽出方法

A detection method for the atmospheric fronts with multiple meteorological elements and image analysis

北海道大学工学部環境社会工学科 ○学生員 宮本真希 (Maki Miyamoto)
北海道大学大学院工学研究科 正員 山田朋人 (Tomohito Yamada)

1. はじめに

日本では梅雨前線による豪雨災害がしばしば発生しており、近年のものでは平成 30 年 7 月豪雨（以下、西日本豪雨）や平成 29 年 7 月九州北部豪雨がその代表例である。このような豪雨イベントでは、土砂崩れや河川の氾濫といった大きな人的・物的被害を引き起こす。

1995 年から 2009 年の 4 月から 11 月に日本で発生した集中豪雨のうち、21%は停滞前線が原因である¹⁾。また、北海道においても、1990 年から 2010 年の 6 月から 8 月に発生した線状降水帯のうち、17%が梅雨前線によるものであり²⁾、豪雨災害対策に取り組むにあたって、梅雨前線による降雨を十分に検討する必要がある。

現在、気象庁では、予報官が数値予報や観測データを総合的に解析して前線の位置を決定している³⁾。前線であると判定する条件には、時間スケールが 1 日程度（最小でも 12 時間）以上かつ空間スケールがメソ α スケール（200km から 2000km）以上であることが含まれる。この他、中北ら⁴⁾は降水量から豪雨を抽出した後、気象要素に関する基準に基づいて、目視により台風など梅雨前線以外の気象現象による豪雨を除外した。どちらの方法にも共通して、気象要素から梅雨前線の特徴を捉えて前線を抽出する際に人的操作を必要とするという問題点がある。

そこで、本研究では、将来気候における梅雨前線の予測を行うための、物理的根拠に基づいて数値的に処理する前線の抽出方法を確立することを目的とする。まず、複数の気象要素を用いた変数から数値的に前線の抽出を行い、そこで抽出された前線を降水量から抽出した前線と比較する。さらに、その位置の信頼性を、観測データを用いて検証する。

2. データと解析方法

対象事例を西日本豪雨として梅雨前線を抽出する。解析時刻は 2018 年 7 月 6 日 15 時 (JST) とする。

ここで、西日本豪雨の気象場を簡単に説明する。6 月 29 日から 7 月 4 日にかけて、梅雨前線は北海道付近に停滞していたが、北上してきた台風 7 号の影響で、7 月 5 日から 7 月 8 日の間、梅雨前線は西日本・東日本まで南下し、停滞し続けた。

2.1 気象要素を用いた前線抽出

Parfitt⁵⁾によると、気象要素を用いた変数から物理的根拠に基づいて前線を抽出する方法には、気温などの熱力学的変数を用いた熱力学的前線変数（以下、TFP）が主に採用されてきた。Hewson⁶⁾は TFP を用いて完全に数値的に前線を抽出する方法を提案したが、その計算は

極めて複雑で膨大な量であった。そこで、Parfitt⁵⁾は計算を簡単にするために、熱力学的変数（水平温度勾配）に加えて非熱力学的変数（渦度）を用いた前線判定変数 F による前線抽出方法（以下、F 判定）を提案した。前線判定変数 F は次のように定義される。

$$F = \zeta_p \left| \nabla(T_p) \right| / (f |\nabla T|_0) \quad (1)$$

ここで、 ζ_p は p [hPa]の等圧面における相対渦度 [1/s]、 $|\nabla(T_p)|$ は p [hPa]の等圧面における水平温度[K/100km]、 f は惑星渦度[1/s]、 $|\nabla T|_0$ は0.45[K/100km]の水平温度勾配である。

前線判定変数 F の計算は、気象庁により作成されているメソ数値予報モデル（以下、MSM）のデータを用いて行った。解析対象とする圧力面は 900 hPa とした。

MSM は気象庁により運用されており、3 時間毎（1 日 8 回）に計算を行っている。水平格子間隔 5 km の空間分解能を有しているため、台風や前線、低気圧などの総観規模の気象現象を捉えることに適している。

2.2 降水量を用いた前線抽出

全国合成レーダー-GPV データから前 3 時間積算降水量を作成する。これは気象庁保有の全国 20 台の気象レーダーで観測された換算降水強度を提供している。10 分間隔で配信されており、水平方向の空間分解能は 1 km メッシュ相当である。

本研究では災害の原因となる、集中豪雨をもたらす梅雨前線の抽出を行うため、津口ら¹⁾を参考にして、130 mm/3hr 以上の降雨域を対象に画像解析を行う。停滞前線による降水の形状は約 4 分の 3 が線状（長軸と短軸の比が 3 : 1 以上）である¹⁾ことから、その条件を満たすものを梅雨前線による降雨域であると判定する。なお、梅雨前線により発生する雨雲は通常、前線の南側に発生する³⁾ことに注意する必要がある。

2.3 観測データと抽出した前線との比較

気象庁により運用されているウィンドプロファイラはある定点の観測地における最大高度約 12 km（対流圏界面）までの上空の風向風速を 10 分間隔で観測しており、全国 33 か所の観測網から成り立つ。

ここで、停滞前線付近の一般的な風場を説明する。停滞前線は主に暖かい気団と冷たい気団の境界として解析される。温度差のある空気が存在するとき、大気は不安定になるため、暖かい空気が冷たい空気の上に存在する、成層状態になろうとする（図-1 (a)）。このとき、それぞれの空気の鉛直方向の動きは、暖かい空気が上昇流、冷たい空気が下降流となっている。水平方向の動きは互いにぶつかり合い、暖かい空気は南から北に向かう

流れ、冷たい空気は北から南に向かう流れである。ところが、気団のような大規模な移動ではコリオリ力の作用により、進行方向に対して右向きに転向力がはたらく。鉛直スケールはせいぜい対流圏界面までの約 12 km だが、水平スケールは 200 km から 2000 km (メソ α スケール) であるため、水平方向の動きだけに対してコリオリ力が作用する (図-1 (b))。そのため、水平方向において暖かい空気は南から北東に向かう流れ、冷たい空気は北から南西に向かう流れをもつ。すなわち前線付近では水平方向に渦度のある流れが存在する⁷⁾。このことから、前線の北側では上昇する北東風、南側では下降する南西風が卓越しているといえる。

ウィンドプロファイラは風の鉛直断面を時々刻々と観測しており、前線が通過した時刻や、通過後の前線面の高度を確認することができるため、前線の位置の推定に適している。これを用いて F 判定や降水量により抽出した前線の位置との比較をする。

3. 結果

3.1 梅雨前線の抽出

図-2 では、F 判定により 900 hPa (高度 1000 m 程度)

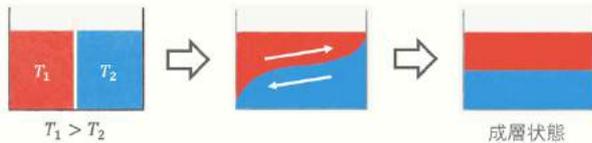


図-1 (a)



図-1 (b)

- (a) 成層状態へむかう大気の運動
- (b) コリオリ力が作用する水平方向の運動

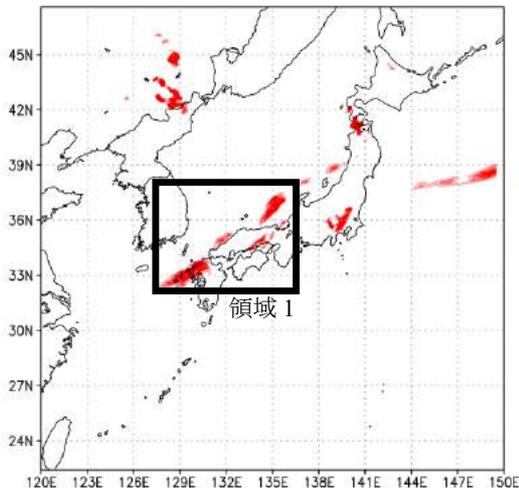


図-2 前線判定変数 F により抽出された 900hPa における前線 (2018 年 7 月 6 日 15 時 (JST)) において前線と解析された領域を示す。北九州や中国地

方、北陸沖、関東地方、太平洋上、中国東部に断片的な前線が解析されている。図-3 にて示されている同時刻の地上天気図⁸⁾に描かれた前線と比較すると、北九州、中国地方、関東地方、太平洋上に描かれた前線は概ね一致している。大きな違いが見られるのは、F 判定では北陸沖に解析された前線が、地上天気図では東海に描かれている点である。なお、F 判定において中国東北部 (吉林省付近) に解析された前線は、白頭山 (標高 2744 m) の地形による影響で誤検出されたと考えられる。図-4 に示された風向風速からも、山地を避けるように風が迂回している様子が確認される。

図-5 (a)、(b) はそれぞれ全国合成レーダー-GPV から作成した前 3 時間積算降水量とその画像解析の結果である。九州地方から北陸沖にかけて広い範囲で 130 mm/3hr 以上の降水量が観測されている。このオブジェクトは長軸と短軸の比が約 8.2 : 1 であり、楕円と判定された。沖縄西方や四国、静岡付近でも観測されているが、100km 程度の小さい空間スケールのものなので、梅雨前線による降水ではないと判定する。

図-2 と図-5 (a) を比較すると、F 判定により抽出した前線のうち領域 I のものと、前線による降水と判定したものを比較すると、前線の南側に降水域が位置して

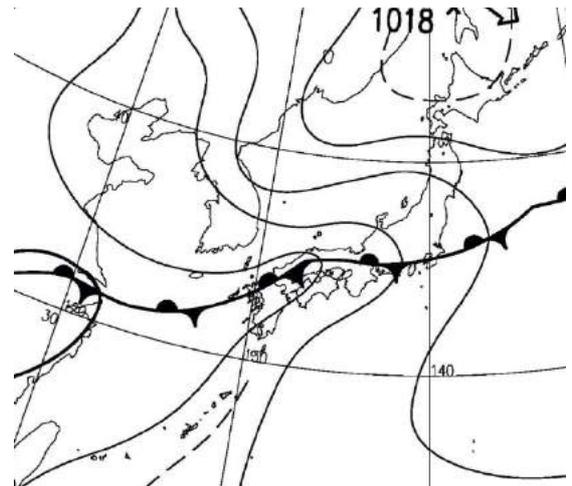


図-3 2018 年 7 月 6 日 15 時 (JST) の地上天気図⁸⁾

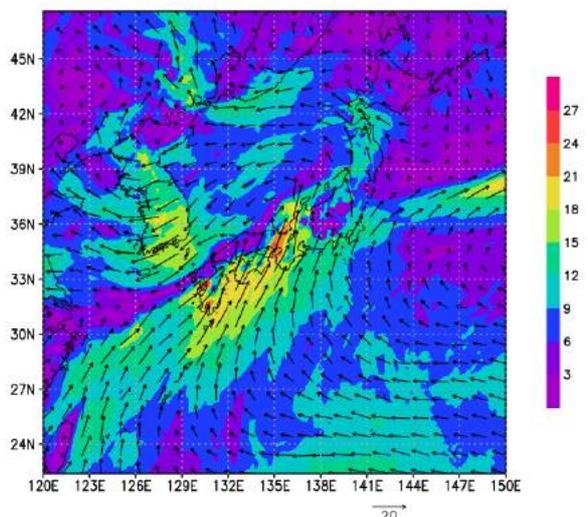


図-4 2018 年 7 月 6 日 15 時 (JST) における風の向き (矢印) と風速 (コンター) [m/s]

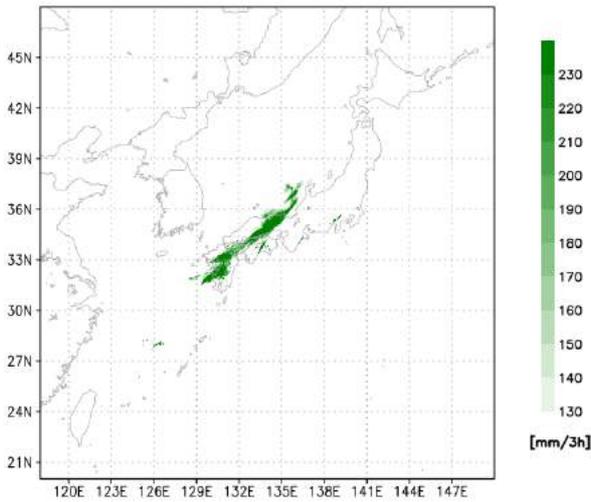


図-5 (a)

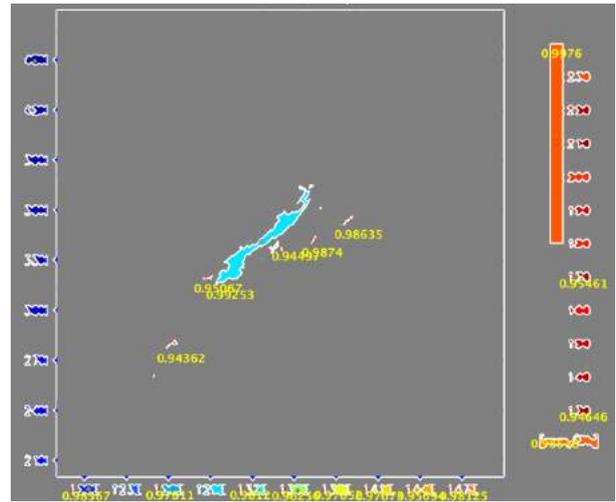


図-5 (b)

(a) : 2018年7月6日15時(JST)における前3時間積算降水量

(b) : (a)の降水分布の形状が楕円の形状であるものを抽出した解析結果

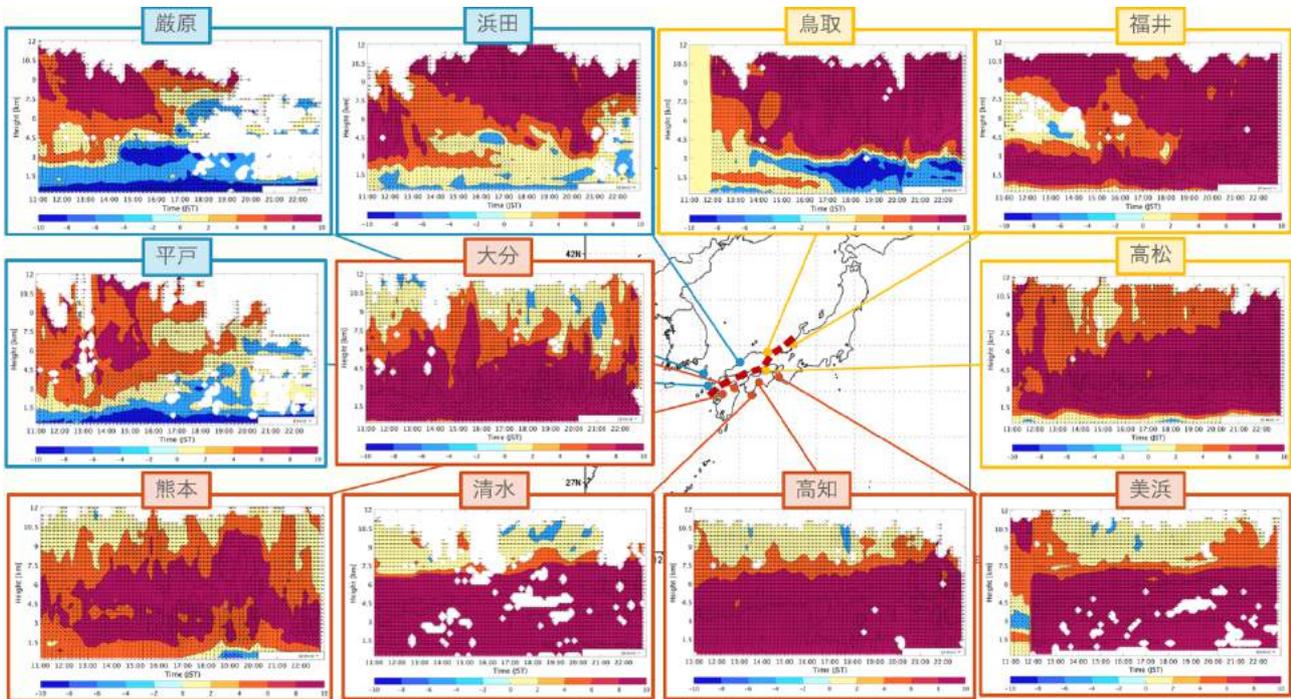


図-6 ウィンドプロファイラの観測データとそこから推定した前線(赤波線)

おり、これが梅雨前線であると推定する。

3.2 観測データとの比較

図-6にてウィンドプロファイラの観測データ(7月6日11時から23時)とそれをもとに推定した前線を赤波線で示した。北風が卓越している観測地点は青色、南風が卓越している観測地点は赤色、北風と南風どちらも卓越していない観測地点(以下、中立点)は黄色で示した。3.1節で推定した前線付近に存在する観測地点11地点の観測データを用いている。

北風と南風の北風が卓越している観測地点は浜田、蕨原、平戸の3地点であり、南風が卓越している観測地点は美浜、高知、清水、大分、熊本の5地点である。また、中立点は福井、鳥取、高松の3地点である。2.3節に記した通り、前線の北側では北風が卓越し、南側では南風

が卓越しているため、赤波線で示した位置に前線が存在しているといえる。また、北風が卓越している浜田観測地点と南風が卓越している美浜観測地点の間に中立点である高松観測地点が存在している。このことから、前線が存在する地点は南北風どちらも卓越していない中立点であると考えられるため、同じく中立点である鳥取観測地点、福井観測地点に前線が存在すると判断し、赤波線を引いた。

蕨原観測地点における北風と南風が入れ替わる高度は、11時から14時30分まで2.4km、14時40分から16時50分まで4.2km、その後18時以降は7.5kmである。平戸観測地点においては11時から15時頃まで1.5km付近、

4. まとめ

F 判定により抽出した前線と降水量により抽出した前線とを比較したところ、北九州から北陸沖にかけて前線が存在すると推定した。しかし、中国地方においては F 判定による抽出された前線はひとつながりになっておらず、断片的である。これは、単に F 判定では前線全体を検出できていない可能性もあるが、前線による降水であると判定したものが実際には原因の異なる降水であったことも考えられる。

本研究では 3 時間という非常に短い時間スケールで降水量基準を設定したが、災害を対象とする場合、例えば、河川の氾濫を考える場合、事前降雨も含めて 24 時間から 72 時間程度の時間スケールで降水量を評価することが多い。気象庁の設定する前線の最小時間スケールが 12 時間である³⁾ことを踏まえると、降水量基準は 3 時間積算値に加えて 12 時間以上のものを設定するべきである。また、F 判定により抽出する前線についても同様に、最小 12 時間の継続時間をもつものを対象にすべきである。

謝辞

本研究は SI-CAT/NEXT PJ2519A001 気候変動適応技術社会実装プログラムと基礎研究(b)19H02241 の成果の一部である。

参考文献

- 1) 津口裕茂、加藤輝之：集中豪雨事例の客観的な抽出とその特性・特徴に関する統計解析、*天気*、No.51、pp.455-469、2014
- 2) Tomohito, J. Yamada, Jun Sasaki, Naoki Matsuoka : Climatology of line-shaped rainbands over northern Japan in boreal summer between 1990 and 2010, *ATMOSPHERIC SCIENCE LETTERS*, No.13、pp.133-138、2012
- 3) 気象庁：アジア太平洋地上天気図の標準的な解析手法、量的予報技術資料、No.23、pp.84-103、2018
- 4) 中北英一、小坂田ゆかり：領域気候モデルと d4PDF を用いた梅雨豪雨の将来変化に関するマルチスケール解析、*京都大学防災研究所年報*、No.61、pp.507-532、2018
- 5) Rhys Parfitt, Arnaud Czaja, Hyodae Seo : A simple diagnostic for the detection of atmospheric fronts, *Geophysical Research Letters*, No.44、pp.4351-4358、2017
- 6) T D Hewson : Objective fronts, *Meteorol. Appl.*, No.5、pp.37-65、1998
- 7) Luke Sheldon : The role of deep moist convective processes in western boundary currents – troposphere coupling, PhD thesis, 229pp, 2015
- 8) 気象庁、<https://www.jma.go.jp/jma/index.html>、
閲覧日時：2019年12月5日9時21分