

15. 地上天気図を元にした 前線グリッドデータの作成

内海 信幸^{1*}・瀬戸 心太²・鼎 信次郎³・沖 大幹¹

¹東京大学生産技術研究所（〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1）

²長崎大学工学部工学科（〒852-8521 長崎県長崎市文教町1-14）

³東京工業大学大学院理工学研究科土木工学専攻（〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1）

* E-mail: utsumi@rainbow.iis.u-tokyo.ac.jp

気象庁地上天気図（ASAS）に示された前線の種類と位置情報を元に、2001年～2010年の日本を中心とした東アジア域の6時間ごとの1度グリッド前線データを作成した。前線グリッドデータは天気図に描かれた前線の位置を十分な精度で1度グリッドデータに投射することに成功していた。さらに、1.0度グリッドデータは前線客観検出手法の機械的パラメータ決定や、より高解像度の前線グリッドデータの簡便な作成手法への応用において有用であることが示された。

Key Words : front, gridded data, weather chart, objective detection

1. はじめに

降水現象の原因となる降水システムは熱帯低気圧、温帯低気圧、前線、モンスーンなど様々である。水資源管理や水災害対策といった観点からどのような降水システムが重要になるかは、対象とする時間スケールや空間スケール、そして地域によって当然異なる。また、気候変動によって各降水システムの貢献度や重要性が変化することも考えられる。それぞれの地域で将来どのような降水システムが大きなインパクトを持つようになるかを把握することは、降水パターンの変化に対する理解を深め、水資源管理や水災害対策の検討に役立つものである。

将来の降水システムの変化を分析するためには、気候モデル出力などから各降水システムを検出する必要がある。これまで、熱帯低気圧、温帯低気圧、前線を数値モデル出力から客観的に検出する手法が開発されてきた（例えば熱帯低気圧の検出はBengtsson et al., 1996¹⁾；温帯低気圧の検出はGeng and Sugi, 2003²⁾；前線の検出はHewson 1997³⁾など）。しかしベストトラックデータが存在する熱帯低気圧を除けば客観検出手法を統計的に検証、または手法のパラメータを決定するための整備された観測データは存在しない。そのため、整備されたデータが存在しない降水システムの客観検出手法の検証やパラメータ

決定には各気象予報機関が作成する天気図が用いられる。しかし一般的に天気図は画像形式・PDF形式や紙媒体で作成・公開されているため、そこに含まれる情報を機械的に用いることは容易でなく、これまでは逐次天気図と突き合わせることによる比較が行われてきた。こうした作業は多くの時間と労力を必要とするものである。

本研究ではこうした問題意識から、客観検出手法の検証やパラメータ決定に利用可能な前線の1.0度グリッドデータ（格子点データ）を天気図から作成する。また、作成した1.0度グリッドデータを用いて実際に前線客観検出手法のパラメータ決定を行う。さらに、1.0度グリッドデータを利用してより高解像度のデータを簡便に作成する手法を提案する。

本研究における前線の分類は気象庁が作成する天気図（ASAS）における前線分類に従う。即ち温暖前線、寒冷前線、閉塞前線、停滞前線である。したがって、例えば梅雨前線はその他の季節の停滞前線と同様に停滞前線として分類される。

2. データと手法

(1) データ

前線グリッドデータは気象庁が作成する2001年～2010

年のアジア地上解析図（ASAS）を元にして作成した。アジア地上解析図はPortable Document Format（PDF）形式のデータで気象業務支援センターが販売しており、2001年以降のアジア地上解析図では前線が色付き記号で示されている（図-1）。

前線の客観検出には水平解像度1.25度から1.0度に内挿した長期再解析データJRA25³⁾の6時間ごとの850hPa気温および比湿の解析値を用いた。

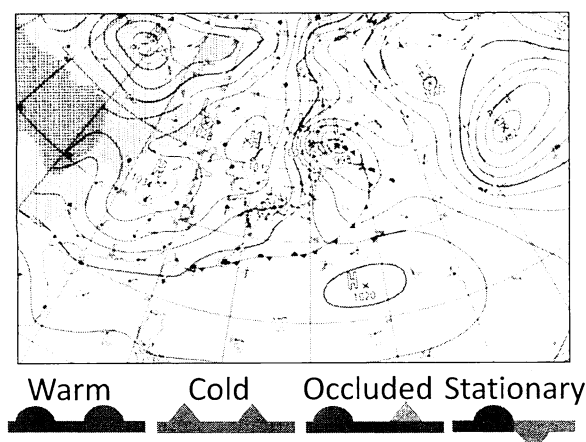


図-1 地上天気図の例 気象庁アジア地上解析図より（2004年1月11日0時UTC）

(2)1.0度前線グリッドデータ作成手法

2001年以降のアジア地上解析図（以下、地上天気図）では前線が色付きの記号で示されている。本研究では、地上天気図に示された前線記号の色情報に着目して地上天気図から前線の位置及び種類の情報を抽出し、グリッドデータを作成した。

地上天気図では寒冷前線、温暖前線、閉塞前線はそれぞれ青線と青い三角形、赤線と赤い半円、紫色の線と青い三角形と赤い半円で表現されている（図-1）。また停滞前線は互いに逆向きの寒冷前線記号と温暖前線記号が交互に並んだ記号で表現されている（図-1）。

まずPDF形式の地上天気図を画像データに変換したうえで、RGBデータに分解する。RGBデータは画像データをRGBカラーモデルに基づいて赤色（R）、緑色（G）、青色（B）の各レイヤーに分解したものであり、元の画像データの様々な色はR、G、B三色のレイヤーの重ね合わせで表現される。地上天気図上では青色、赤色、紫色で表現されるものは前線記号のみであるため、RGB分解したデータから青色、赤色、紫色を表すピクセルを取り出すことで、前線ピクセルのみを取り出すことができる。

次に取り出した前線ピクセルを1.0度格子平面上に投影する。このままでは、例えば赤色をもつ1.0度格子平面上のピクセルが温暖前線ピクセルであるのか、停滞前

線や閉塞前線の一部を成すピクセルであるのかをそのピクセルの情報のみから判断することはできない。そこで、あらかじめ各種の前線について1.0度格子平面上に投影した場合の色の配置のパターンを調べ、色の配置から前線種類を特定する経験的なアルゴリズムを作成した。これは対象とするピクセルの色情報に加え、周囲のピクセルの色の配置パターンを元に、対象ピクセルの前線種類を判定するものである。このアルゴリズムを用いて、1.0度格子平面に投影した各前線ピクセルについて前線種類を判定した。

(3)前線客観検出手法パラメータの機械的決定

前線の客観検出手法は気象モデル出力や再解析データのような格子点データから前線位置を客観的に検出するアルゴリズムである。前線の客観検出手法ではいくつかのパラメータの決定が必要となる。これまでは検出される前線と地上天気図と逐一比較することでパラメータの調整が行われてきた^{3),6)}が、これは時間も労力もかかる作業である。本研究では1.0度グリッドデータの応用例として前線客観検出手法のパラメータを機械的に決定する手法を提案する。

前線の客観検出手法にはHewson 1997³⁾の手法を用いた。この手法では熱力学的変数（湿球温位や相当温位）の水平傾度帯の暖気側の縁または湿潤域側の縁を前線として検出する。水平傾度帯の縁は、その線をまたいだ熱力学変数水平傾度の変化率（二階微分）が極大となる線として定義される。熱力学的変数としてはJRA25の6時間ごとの気温および比湿の解析値から計算した850hPa面相当温位を用いた。

Hewson 1997³⁾の手法ではK1、K2と呼ばれる2つのパラメータの決定が必要になる。これらは不明瞭な前線や水平傾度の弱い前線を除くためのパラメータである。詳しくはHewson 1997³⁾を参照されたい。まず1.0度前線グリッドデータを用いて各グリッドの2001～2004年の前線の平均存在率を計算した。同様に客観検出手法を用いて検出した前線の平均存在率を様々なK1、K2について計算し、客観検出手法による前線平均存在率分布と地上天気図にもとづく1.0度前線グリッドデータの前線平均存在率分布の平均二乗誤差（RMSE）が最小になるK1、K2を求め、これを客観検出手法の最適パラメータとして採用した。こうした作業は自動化することが可能である。

(4)高解像度（0.1度）前線グリッドデータの作成手法

1.0度前線グリッドデータ作成に用いた経験的アルゴリズムは解像度依存があり、他の解像度のデータを作成するためにはアルゴリズムの再検討が必要になる。ここではアルゴリズムの再検討はせず、作成した1.0度前線

グリッドデータを用いて簡便に高解像度前線グリッドデータを作成する試みについて述べる。高解像度データとして、水平解像度0.1度のデータの作成を試みた。

1.0度グリッドデータ作成時と同様に地上天気図をRGB分解し、地上天気図に示された前線記号の色を手掛かりに前線ピクセルを取り出す。

次に取り出した前線ピクセルを0.1度格子平面上に投影する。1.0度前線グリッド作成時には投影した前線ピクセルの色の配置から前線の種類を判定したが、ここでは0.1度の各ピクセルの位置に対応する1.0度前線グリッドデータを参照し、1.0度前線グリッドデータで示された前線種類を0.1度グリッドデータの前線種類とする。

3. 結果と考察

(1) 1.0度前線グリッドデータ

1.0度前線グリッドデータの例を図-2に示す。図-1の地上天気図と同日同時刻のものである。地上天気図から色情報に基づいて抜き出した前線ピクセルを1.0度格子平面に投影したものが図-2(a)である。地上天気図と比較して前線位置は正しく表現されているが、本来停滞前線があるべき位置に温暖前線(赤色)と寒冷前線(青色)が混ざり合っ

て配置されていた部分が、停滞前線として正しく判別されている。また閉塞前線の北西端に混ざっていた温暖前線ピクセルも閉塞前線として正しく判別されている。作成した1.0度前線グリッドデータを2004年の一年間の日々の地上天気図と比較した結果、夏季に停滞前線の末端に温暖前線または寒冷前線のピクセルが残る場合が確認されたものの、全体として地上天気図に解析された前線の位置および種類が1.0度格子平面上で正しく表現されていた。

次に作成した1.0度前線グリッドデータで表現されている前線の気候値的特徴を確認する。グリッドデータの元になる地上天気図は描画領域の端と比べ日本周辺の前線が重点的に解析される傾向があった。したがってここでは対象領域を日本周辺域に絞る。

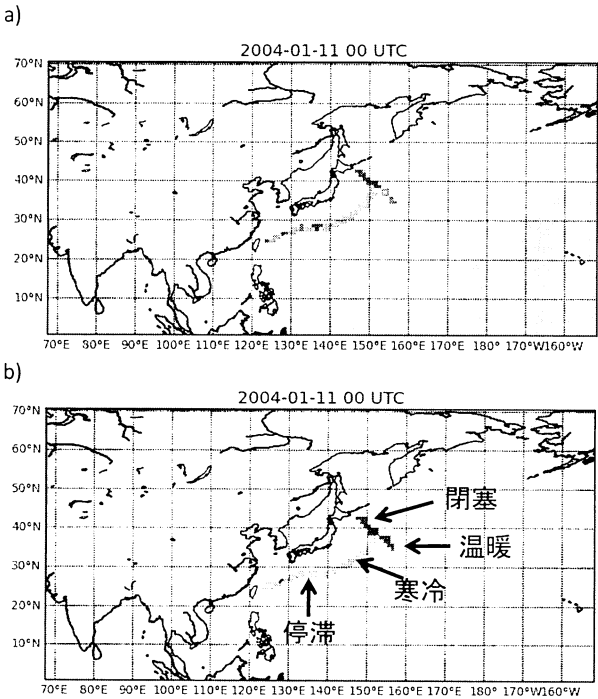


図-2 1.0度前線グリッドデータの例 (a)前線種類判別アルゴリズム適用前と (b) 適用後。赤色、青色、紫色、橙色はそれぞれ温暖前線、寒冷前線、閉塞前線、停滞前線を示す。

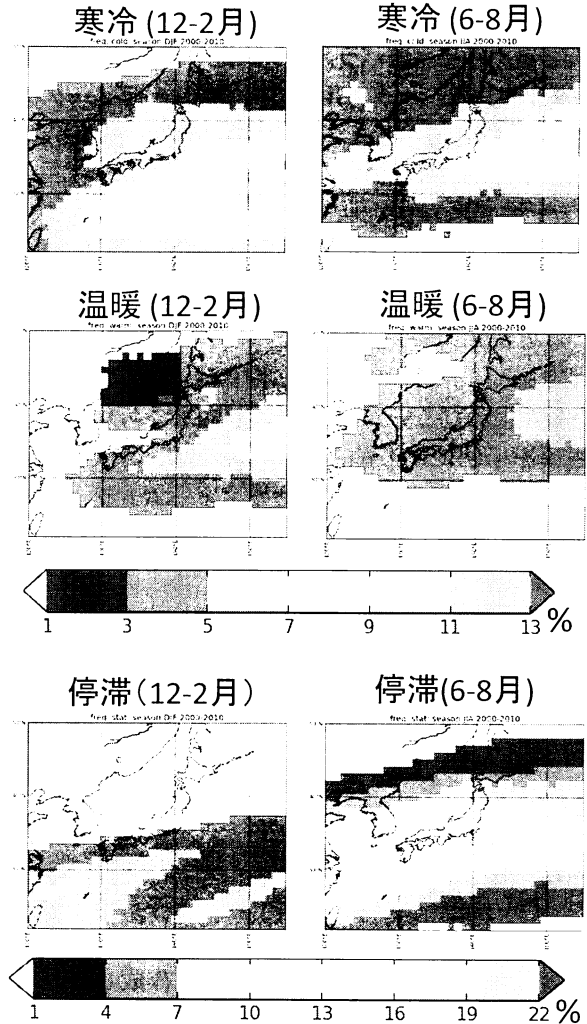


図-3 1.0グリッドデータにおける2000-2010年の前線の平均存在率。各グリッド中心から半径200km以内に前線が存在する場合をカウントしている。

図-3は前線の種類別存在頻度の空間分布である。各地点から200km以内に前線が存在する場合の頻度を示している。寒冷前線と温暖前線は夏季（6-8月）と比較して冬季（12-2月）に高い存在頻度を示している。存在頻度の極大域は冬季、夏季共に日本の東海上にあるが、冬季の方が夏季よりも低緯度側に位置している。これは両季節におけるストームトラックの位置の差を反映していると考えられる。

寒冷前線と温暖前線を比較すると、存在頻度は寒冷前線の方が高い。一般に寒冷前線と温暖前線は温帯低気圧に伴って同時に存在する場合が多いが、その空間的な長さは温暖前線よりも寒冷前線が長い傾向がある。図-2における寒冷前線と温暖前線の存在頻度の差は空間的な長さの差を反映したものである。

停滞前線の存在頻度は寒冷前線および温暖前線のそれと異なり、夏季に極大がみられる。北緯22度を中心として中国東岸から東北東に伸びる夏季の停滞前線の極大域は主に梅雨前線に対応するものである。

(2) 前線客観検出手法パラメータ決定への応用

前線グリッドデータを用いて機械的にパラメータを決定した客観検出手法による前線の存在頻度の全球分布を図4に示す。

ここでは前線の種類判別は行っていない。

主なストームトラックに対応する前線存在頻度の極大域（北半球では北太平洋および北大西洋のそれぞれ南西部から東北東にのびる極大域とヨーロッパからユーラシア大陸北部にかけての極大域、南半球では各大陸の南部から南東にのびる3つの極大域）が顕著であり、前線の客観検出手法により前線の分布を解析したCatto et al. (2011)⁹⁾の結果とも整合する。またストームトラックに対応する極大域のほかに北半球のメキシコ西岸沖や南太平洋中部にも極大域がみられる。ストームトラックには対応しないこうした極大域は前線の客観検出手法を用いることで初めて検出できる極大域としてCatto et al. (2011)⁹⁾でも指摘されている。全体として十分なパラメータ調整を行い前線客観検出手法を用いたCatto et al. (2011)⁹⁾の結果と同様の特徴をとらえており、前線グリッドデータを用いた機械的なパラメータ決定が前線客観検出手法の利用時に有効な方法であることを示している。

(2) 高解像度（0.1度）の前線グリッドデータの作成

1.0度前線グリッドデータを利用して作成したより高解像度（0.1度）の前線グリッドデータの例を図5に示す。

解像度1.0度のデータ（図-5(a)）と比べると解像度0.1度にすることで前線の幅が狭まり、より「線」に近い表現になっている。このため、例えばある地点を前線が通過

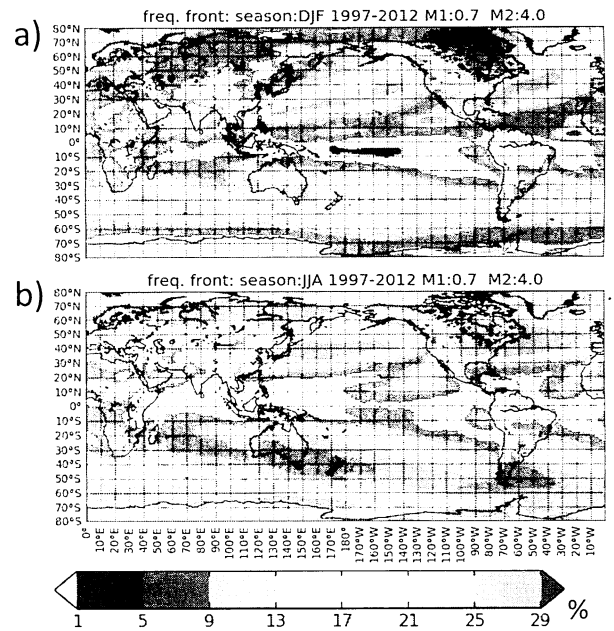


図4 客観検出手法によってJRA25から検出された前線の1997-2012年の前線の平均存在率。a)12-2月、b)6-8月。各グリッド中心から半径200km以内に前線が存在する場合をカウントしている。

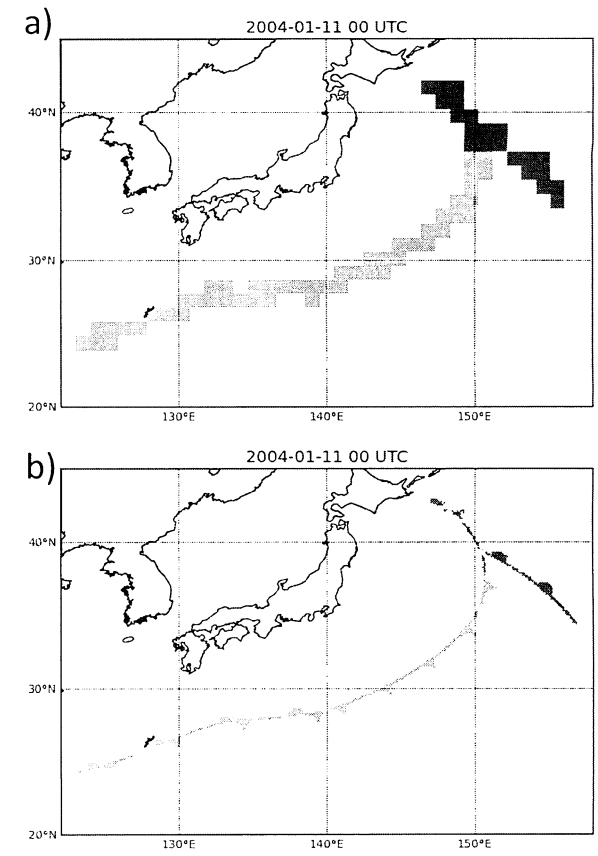


図-5 a)1.0度前線グリッドデータとb)0.1度前線グリッドデータの比較。赤色、青色、紫色、橙色はそれぞれ温暖前線、寒冷前線、閉塞前線、停滞前線を示す。

する前後の気象状況の変化などを解析する場合に、前線の位置や通過のタイミングをより正確に把握することができる。

一方で0.1度グリッドデータの実際の利用にあたっては以下のような注意点も考えれる。まず、前線種類の判別に関しては1.0度前線グリッドデータの情報を利用しているため、前線種類の分類の空間解像度は1.0度グリッドデータ同等であると考えべきである。実際、図-5(b)では閉塞前線と接する温暖前線および寒冷前線の一部が閉塞前線として表現されている。また0.1度グリッドデータは地上天気図の前線記号のシンボル（半円や三角形）がそのまま0.1度格子平面上に投影されている。本稿では手法の簡便さを重視したため前線記号のシンボルの除去は行っていない。定義上は前線は前線面が地表と接する「線」であるので、こうしたシンボルはノイズと言えるが、シンボルの存在を考慮しても、0.1度グリッドデータの高い空間分解能は上記に述べたような解析においては有用なものである。

4. まとめ

地上天気図の情報を元に前線の1.0度グリッドデータを作成した。作成したデータでは地上天気図上で解析されている前線の位置と種類が良く表現されていた。また作成した1.0度データの応用例として、前線客観検出手法のパラメータの機械的な決定と、0.1度前線グリッドデータの簡便な作成手法を提案した。

1.0度グリッドデータを利用して機械的にパラメータを決定した前線の客観検出手法は、人の手で十分にチューニングされたパラメータを用いた場合と同程度に全球の前線存在頻度の分布の特徴をとらえており、機械的なパラメータ決定が有用であることが示された。

1.0度グリッドを利用して簡便な手法で作成した0.1度前線グリッドデータは、地上天気図の前線記号のシンボ

ルの形がグリッドデータに投影されてしまうという問題はあるものの、空間的に高い解像度で前線位置を表現することができた。この手法は前線の詳細な位置の把握が必要な解析に有用なデータが簡便に作成できる手法である。

前線グリッドデータは、前線構造のコンポジット解析など本稿で示した例の他にも様々な応用例が考えれ、広く利用されることが期待される。

謝辞：本研究は環境省環境研究総合推進費「温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究」（課題番号S-8）、文部科学省「気候変動リスク情報創生プログラム」、および宇宙航空研究開発機構第7回降水観測ミッション（PMM）の成果の一部である。

参考文献

- 1) Bengtsson, L., Botzet, M. & Esch, M. Will greenhouse gas-induced warming over the next 50 years lead to higher frequency and greater intensity of hurricanes? *Tellus A* 48, 57–73 (1996).
- 2) Geng, Q. & Sugi, M. Possible Change of Extratropical Cyclone Activity due to Enhanced Greenhouse Gases and Sulfate Aerosols—Study with a High-Resolution AGCM. *Journal of Climate* 16, 2262–2274 (2003).
- 3) Hewson, T. D. Objective fronts. *Meteorological Applications* 5, 37–65 (1998).
- 4) Onogi, K. et al. The JRA-25 reanalysis. *Journal of the Meteorological Society of Japan* 85, 369–432 (2007).
- 5) Berry, G., Reeder, M. J. & Jakob, C. A global climatology of atmospheric fronts. *Geophys. Res. Lett.* 38, L04809 (2011).
- 6) Catto, J. L., Jakob, C., Berry, G. & Nicholls, N. Relating global precipitation to atmospheric fronts. *Geophys. Res. Lett.* 39, L10805 (2012).