

高層大気の風速解析と予測

田中秀俊

三菱電機 情報総研

風速分布を単純な混合モデルである対角共分散混合ガウシアンモデルで分類し、その分類の変遷を隠れマルコフモデルで解析して風速の区間推定を試みた。気象庁の提供している高層気象観測データから、1993年～1997年の鹿児島上空を選んで実験したところ、地表から高度20kmまでにわたっておよそ70%の確率で風速が20m/s以下であるような2週間が予想可能という結果を得た。

Analysis and Prediction of Wind between Stratosphere and Ground

Hidetoshi TANAKA

Information R&D Center, Mitsubishi Electric Corp.

Wind profiles are classified by mixture Gaussian model and the transition of the classes are analyzed by hidden Markov model so that wind speed could be predicted. Wind profile data from 1993 to 1997 at Kagoshima which are provided by Japan Meteorological Agency indicate that we can estimate consecutive 2 weeks when every wind speed checkpoint from the ground through 20km height are less than 20m/s in about 70% probability.

1. はじめに

高度20km付近の比較的風速の弱い成層圏に飛行船を浮かべ、そこを無人基地として局所的な観測や情報通信中継に役立てようという計画がある【1】。このような飛行船の運航、停留、回収には、風速の予測が不可欠である。この予測に用いることのできるデータには、地表付近に関してはアメダス、気象レーダ、GPV【2】などがあり、高層については高層気象観測ゾンデ【3】と、信楽にあるMUレーダ【4】とがある。そこでまず、入手の容易な高層気象観測ゾンデによる風速予測を第一の問題として設定した。データ解析には混合ガウシアンモデルと、確率過程の一種である隠れマルコフモデル【5】を用いた。本稿では以上の問題とモデルとを選択したときの風速予測精度の見通しについて報告する。

2. 高層気象観測データ

気象庁が気象業務支援センターを通じて公開している観測資料CDROMには、気象ロケット観測で得られた高度20km～約60kmにおける気温・風向・風速等の資料や、日本国内の高層気象観測官署におけるレーウィンゾンデ観測とレーウィン観測で得られた観測資料などが収録されている。この中からレーウィンゾンデ観測による上空約30kmまでの指定気圧面における風速観測結果を解析に用いた。観測地点は、稚内、札幌、根室、秋田、仙台、輪島、館野、八丈島（大群）、米子、潮岬、福岡、鹿児島、名瀬（本茶峠）、石垣島、那覇、南大東島、父島、南鳥島の18ヶ所で、レーウィンゾンデ観測は毎日午前9時および午後9時に行われている。本稿ではこのうち1993年から1997年までの5年間の、鹿児島のデータを用いて報告する。

3. 混合ガウシアンを用いた隠れマルコフモデル

3.1. 混合ガウシアンによる多次元データの分類

統計手法には均質な母集団を前提としたものが多いが、母集団の均質性に基づかないデータモデルを用いた解析手法もよく用いられる。例えば複数の性質のデータが混合した母集団を想定するものがあり、音声認識の分野などでよく使われている。このような混合母集団モデルの中で、均質とみなせるデータ集団ひとつひとつを、本稿では要素母集団と呼ぶことにする。混合母集団モデルにおいて推定すべきパラメータは、均質とみなせる各要素母集団の平均や標準偏差と、それら要素母集団の混合比になる。このような要素母集団の性質とこの混合比とを同時に求める方法として、EM法 (Expectation Maximization Algorithm, 期待値最大化法) が知られている【6】。

本稿では混合母集団モデルとして対角共分散混合ガウシアンモデルを選択した。これは各要素母集団が共分散成分のない多次元正規分布をとるという、混合母集団モデルの中では非常に単純なモデルである。例として、高層気象観測データを混合数 20 で分類した結果を図 1 に示す。これは指定気圧面 22 ヶ所の風速、計 3652 回分のデータを 20 種類に分類したものである。図 1 において、横軸は指定気圧面、縦軸には風速をとっている。凡例の部分の数字は何回分がその分類に帰属するかを表している。

また、各データがどの要素母集団に属する確率が最も高いかによって分類帰属を決め、データを分類の変遷の形に直して図 2 に示す。図 2 では横軸に 5 年分の時系列をとり、縦軸に 20 種類の分類を平均風速の順に並べている。

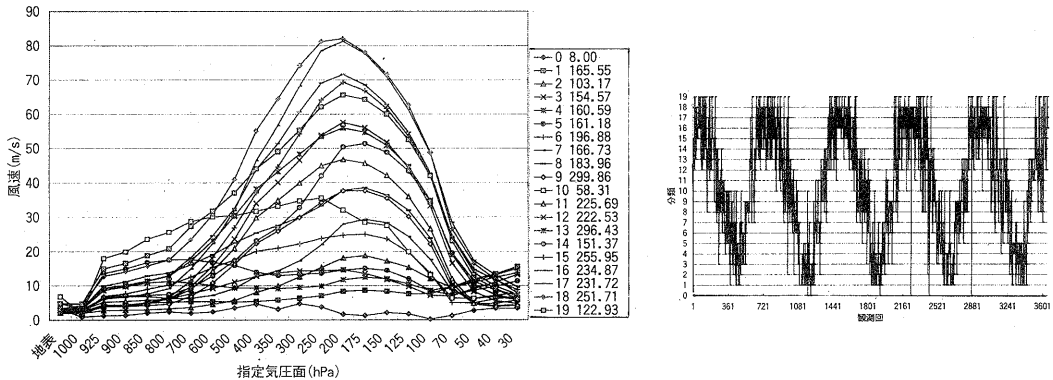


図 1 鹿児島上空 1993～1997 年の風速分布の 20 分類結果 (左)

図 2 鹿児島上空 1993～1997 年の風速分布の 20 分類の変遷 (右)

3.2. 隠れマルコフモデルによる多次元時系列データの解析

図 2 で示した分類変遷は各分類が確率的な出力分布を持つので、この上でマルコフ性を仮定した解析、例えば「ある分類の x 回後の分類」の分布を調べることは、隠れマルコフモデルを想定して解析していることになる。この分布から、ある分類に属するデータの x 回後のデータについて区間推定ができる。図 3 はその例として、図 1 や図 2 の 20 分類に基づき、各分類から 1 回後～28 回後にどの分類になるかをそれぞれ集計して、その比率を用いて 1 回後～28 回後に風速が地表から高度 20km までにわたって 20m/s 以下である確率を示した。図 3 によれば、1 回後には分類 1,3,4 が 80～95%、一方 28 回後には分類 1,2,4 が 60～65% の高い確率を示している。最も平均風速の低い分類 0 に属する 8 回は、実際に風の弱い時と、観測不能で 0 が記録されている時が混在していることが図 2 から伺える。

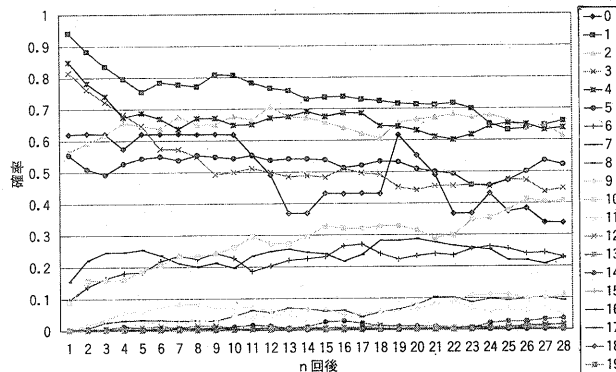


図 3 20 の分類のそれぞれについて n 回後の観測で全観測値が 20m/s 以下である確率

4. 予測精度向上の試み

図2の結果から、風速の値だけでなく風速の差分が有効であることが容易に推測できる。差を考慮するには、適当な間隔を指定して風速の差を計算しデータにとり入れる方法と、風速の分類はこのままとし、隠れマルコフモデルにおいて2次のマルコフモデルを採用する方法がある。また、分類数および分類に用いる指定気圧面によって確率は影響を受ける。対角共分散正規分布を用いているため、風速が一定以下になる確率が測定点毎に独立であるという仮定が入っているため、特に指定気圧面の数は結果に影響が大きいと考えられる。そこで、風速の差を取り入れ、指定気圧面の数を3ヶ所に減らして実験を行った。

図4は、連続する1日分(2回)の風速の、指定気圧面毎の和および差をその日のデータとし、同じく1993年~1997年の鹿児島上空の1826日分、指定気圧面は900hPa, 200hPa, 40hPaの3点を選んで計6次元のデータとし、これを20分類し、初日の帰属分類別に14日の期間について20m/s以下になる確率の変遷を示した。分類は200hPaの値で整列させて昇順に付番した。

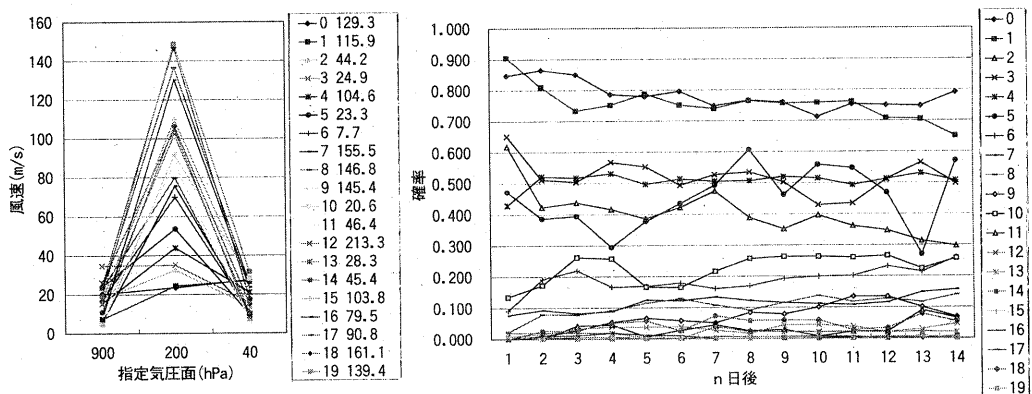


図4 日毎の和と差の20分類(左)がn日後に全観測値20m/s以下である確率(右)

図5は、連続する2日分(4回)の風速観測値を s_1, s_2, s_3, s_4 とすると、 $(s_1+s_2), (s_1+s_2-s_3-s_4), (s_1-s_2+s_3-s_4)$ の3種類の計算値について、1日分ずつずらしながら同じく1993年~1997年の鹿児島上空の1826日分、指定気圧面は900hPa, 200hPa, 40hPaの3点を選んで計9次元のデータとし、これを20分類し、初日の帰属分類別に14日の期間について20m/s以下になる確率の変遷を示した。

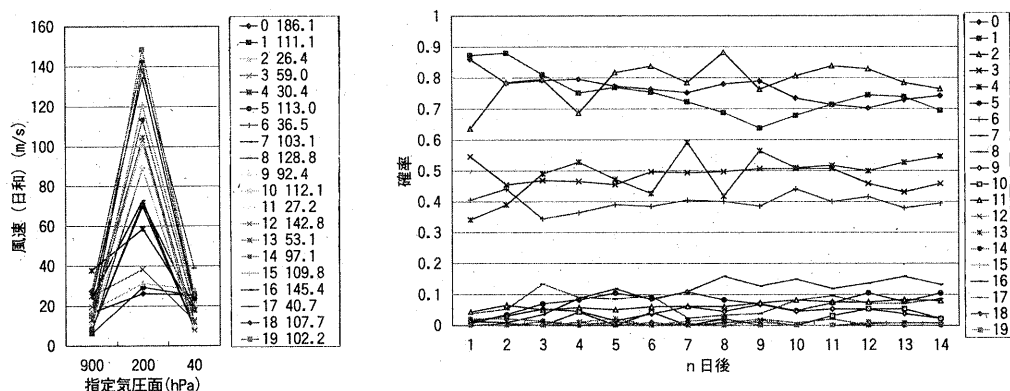


図5 日毎の変動値の20分類(左)がn日後に全観測値20m/s以下である確率(右)

図 6 は、図 5 の 20 分類を用いて 1992 年のデータを分類し、その変遷と、初日の帰属分類別に 14 日の期間について 20m/s 以下になる確率の変遷を示した。

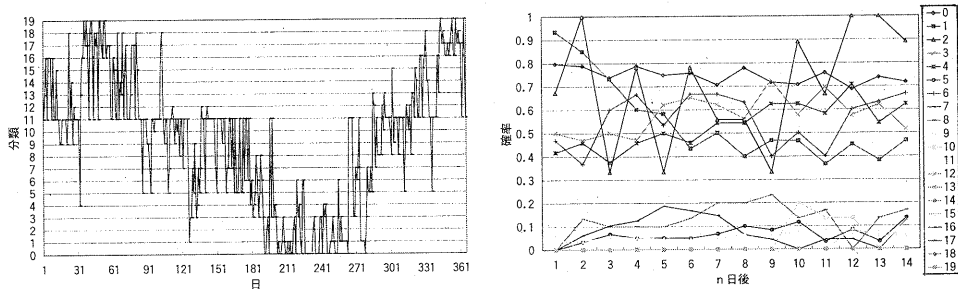


図 6 1992 年の日毎変動値の 20 分類変遷 (左) と n 日後に全観測値 20m/s 以下である確率 (右)

図 4 によれば、分類 0 の日からは 2 週間にわたって 20m/s 以下になる確率が 75% を越す日が続く。分類 1 の場合も同様で、ただし 14 日後には 65% に低下する。分類 0 に属する観測回数は年に約 26 回、分類 1 は約 23 回あることが図 4 左の凡例内の混合数から分かる。図 5 によれば、分類 0, 1, 2 の日からは 2 週間にわたって 20m/s 以下になる確率が 70% を越す日が続く。これらに属する観測回数は年に約 65 回である。以上の結果から、観測値のみ (図 3) よりは日内の差 (図 4) を考慮した方が、また日内の差だけでなく連続する日の差も考慮した方が、より精度の高い予測に結びつくと言える。ただし、今回のようなデータ選択では、年毎の差については平均化しているだけなので、図 6 のように別の年のデータでテストすると、大きく傾向を違えるわけではないが、あまり安定した予測ではないことが示される。分類 0 は 70% を保持しているが、分類 1 は 50% を割り込んでおり、分類 2 は変動が激しい。

5. まとめと課題

風速分布を単純な混合モデルである対角共分散混合ガウシアンモデルで分類し、その分類の変遷を一定日間隔で集計し、両結果を総合して隠れマルコフモデル的解析を行い、風速の区間推定を試みた。気象庁の提供している高層気象観測データから、1993 年～1997 年の鹿児島上空を選んで実験したところ、およそ 70% の確率で地表から高度 20km までにわたって風速が 20m/s 以下であるような 2 週間が予想可能という結果を得た。このとき、分類するデータは観測値だけでなく、観測値の変化を加えたものが有効であることが示された。

今回の実験には比較検討抜きの暫定部分が多数ある。例えば分類数を 20 とした点、日毎の和や差の取り方、対角共分散ガウシアンモデルを生データについて用いており、これに主成分分析を施すとどうなるか、などである。これらについての比較実験が今後の急務である。

【参考文献】

- [1] 第 1 回成層圏プラットフォームワークショップ予稿集(1999)
- [2] <http://www.jmbse.or.jp/> (気象業務支援センター)
- [3] 高層気象観測データ (気象業務支援センター CDROM マニュアル)
- [4] 廣田. 気象解析学. 東京大学出版会. (1999).
- [5] 中川. 確率モデルによる音声認識. 電子情報通信学会. (1988).
- [6] McLachlan, G.J. and Krishnan, T. The EM Algorithm and Extensions. John Wiley & Sons, Inc. (1997).