

ロケットの安全飛行に向けた気象情報の評価(1) ～ゾンデ観測と毎時大気解析 GPV の比較～

安藤滋人(気象工学研究所) 対馬雄一(気象工学研究所) 高田望(気象工学研究所)

1. はじめに

ロケットは大気中を風圧を受けながら飛行するため、ロケットの安全飛行には、ロケット飛行中の風圧を正確に把握・予測することが重要である。

上空の風データの把握はゾンデ観測によるのが一般的であるが、ゾンデ観測には一定のコストを要する。また、ロケット事業の観点からは、ゾンデ観測による風データと同程度の精度の風データを低コストで入手出来ることが望ましい。

今回、気象庁から提供される毎時大気解析GPVの風データ(時間解像度:1時間 水平空間解像度:5km 鉛直空間解像度:地上及び1000hPa～100hPaまで16層)をゾンデ観測値と比較し、毎時大気解析GPVの風データの精度を検証した結果について報告する。

2. 毎時大気解析の精度評価GPVの比較

気象庁毎時大気解析GPVとゾンデ観測データ(観測地点:和歌山県串本町:北緯33.545度 東経135.890度)を用いて、風の推定精度評価を行った。検証期間はゾンデ観測データを行った2019年10月～2021年6月迄(月10日、日4回)とした。図1に風の鉛直分布における風速の最大値をそれぞれ抽出し、最大風速の相関を分析した。

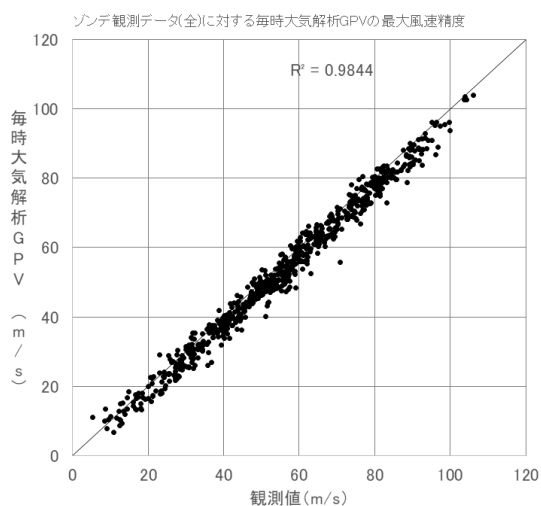


図1 鉛直分布における最大風速の散布図

同図からゾンデ観測データと毎時大気解析GPVの相関は高い(相関係数 $R=0.992$)ことが確認できた。

なお、毎時大気解析GPVへの入力データには気象

庁の高層気象観測は00UTC (09JST)、12UTC (21JST) が用いられているため、9時、21時及びその直後のデータは精度が高い可能性があるため、時間毎の検証も行った(表1)。

表1 時刻ごとのゾンデ観測データと毎時大気解析GPVの最大風速の相関係数

全データ	4時	6時	8時	10時
0.992	0.992	0.993	0.992	0.991

同表に示すとおり、相関係数は0.991～0.993であり、時刻による精度の大きな差はなく、毎時大気解析GPVは全時刻を通じ高い精度であることを確認できた。

3. ロケットの飛行環境を考慮した風の推定精度評価

ロケットを打ち上げに際しては、大気密度が大きいほど、風圧がロケット機体へ与える影響は大きい。以下に平均風圧エネルギー誤差(AWE: Averaged Wind pressure energy Error)をロケット飛行環境を考慮した風の精度評価指標として定義した。

$$AWE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{1}{2} \rho(i) \left| V_o(i) - V_e(i) \right|^2$$

ρ : 大気密度 (kg/m^3) V_o : 観測風ベクトル
 V_e : 推定風ベクトル N : 鉛直観測総数

※密度については、気温、気圧から、乾燥大気(湿度=0)として計算した。

全観測データを対象に、毎時大気解析GPVのAWEを算出した。その結果、平均値:5.945、最大値:49.717、最小値:1.305であった。平均的には誤差が小さいと言えるが、事例によっては大きな値が見られた。

4. 今後の展開

毎時大気解析GPVは風データの推定値として十分な精度があることが解った。一方、AWEにて誤差の大きい事例も見られ、この要因や気象特性を特定する必要がある。また、今後、ロケット打ち上げ判断の際には1～2日先の予測が必要となるため、風データの予測値も同様に精度検証を行い、ロケットの打ち上げに特化した気象データの活用を検討する。

ロケットの安全飛行に向けた気象情報の評価(2)

～気象庁数値予報モデル出力値の精度評価～

対馬雄一(気象工学研究所) 安藤滋人(気象工学研究所) 高田望(気象工学研究所)

1. はじめに

ロケットは大気中を風圧を受けながら飛行するため、ロケットの安全飛行には、ロケット飛行中の風圧を正確に把握・予測することが重要である。ロケット飛行計画は、2日程度先までの気象状況等に基づいて策定される。

本研究では、気象庁から提供されるMSM(更新頻度:3時間毎 水平空間解像度:10km 鉛直空間解像度:地上から100hPaまで14層 予測リードタイム:39時間先)及びGSM(更新頻度:6時間毎 水平空間解像度:20km 鉛直空間解像度:地上から100hPaまで14層 予測リードタイム:84時間先)の風の予測データを毎時大気解析GPVの推定値と比較し、ロケット飛行中に想定される上空風の予測データの精度を検証した。

2. データと解析手法

検証対象地点は和歌山県串本町:北緯33.545度 東経135.890度)、予測に用いるデータはGSM(グリッド:北緯33.6度 東経136.0度)、MSM(グリッド:北緯33.5度 東経135.9度)とした。また、検証期間は2019年10月～2021年6月とした。

ロケット打上げの本格的な準備は、打上げの約2週間前から実施される。打上げ2日前までの予測についてはGSMを用いるが、打上げ1日前の予測はGSMとMSMの2パターンあり、その両方についての精度を検証した。

検証方法については、ロケット飛行中に機体の受ける風圧が想定と異なるとロケット運行上問題があると考え、以下に示す風圧エネルギー誤差(AWE: Averaged Wind pressure energy Error)を、ロケット飛行環境を考慮した風の精度評価指標として定義した。

以下の定義では、風速ベクトルの誤差が同じであっても大気密度が高い層における誤差が平均風圧エネルギー誤差(AWE)に対する寄与率が高い。大気密度の鉛直分布は下層程大きくなっているため、AWEは大気下層における風ベクトルの誤差に対して大きなペナルティを与える定義となっている。

3. 結果と考察

毎時大気解析GPV、GSM、MSMのそれぞれのAWEを表1に整理する。表1より、1日前の予測について、平均メッシュの細かいMSMの方が精度が高いと予想したが、GSMの方が誤差が小さく、毎時大気解析GPVに近

い結果となった。これについては、GSMのMSMに対する予測精度上の優位性を示していると推測され、メッシュの粗さが奏功していると考えられる。

1日前、2日前の予測について、2019年10月～2021年6月までの全ての日のAWEを計算した(表)。その中でも比較的誤差の大きかった事例について、気象条件を分析し、補正方法の検討を行うことで予測情報の信頼性を向上させる方法を考案したい。

さらに、毎時大気解析GPVの推定データ及び気象庁GSMの予測データを時系列で並べ、地図上に3次元グラフィック表示させるシステムを開発した(図1)。これにより、過去から未来、下層から上層の風向、風速が一目瞭然であり、ロケットの安全飛行のための支援に役立てたい。

今後も、気象工学的な観点からの有益なデータ分析、システム開発等に注力する。

表1. AWE結果

	平均(J/m ³)	最大(J/m ³)	最小(J/m ³)
毎時大気解析GPV (5kmメッシュ)	5.945	49.717	1.305
MSM 1日先 (10kmメッシュ)	10.074	58.810	1.678
GSM 1日先 (20kmメッシュ)	5.958	56.669	1.087
GSM 2日先 (20kmメッシュ)	9.202	52.865	1.543

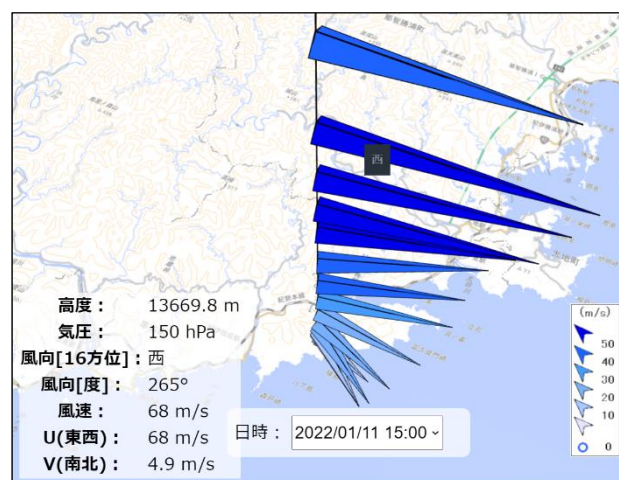


図1. 鉛直風の3次元グラフィック表示(串本町)
(過去データ:毎時大気解析GPV 予測データ:GSM)