

視線方向データを用いたドップラーライダーの風ベクトル算出

星野 俊介*・岩渕 真海*

Calculation of Wind Vectors using Radial Doppler Velocities of Doppler LIDAR

Shunsuke HOSHINO and Masami IWABUCHI

要旨

高層気象台では、2009 年 12 月にドップラーライダーが整備され、下層大気の風の観測を行っている。機器に付属する処理プログラムにより得られる水平風データの精度については高層気象台(2011)や岩渕(2012)において既に報告されているが、後者では視線方向のドップラー速度データを用いて独自に算出することによる精度の向上が期待されるとの言及がなされている。本研究ではこの提案を受け、視線方向データを用いて独自に VAD 法による算出を行い、その結果に対して(1)平均 S/N 比、(2)VAD 法による算出に使用したデータの個数および(3)VAD 曲線へのフィッティングにおける自由度調整済み決定係数を用いた品質評価を行って風ベクトルを算出し、その精度を検証した。その結果、全体として精度が向上し、特に高高度層における風向精度に大きな改善がみられた。

1. はじめに

高層気象台では、1 日 2 回(00UTC および 12UTC)、天気予報や気候変動の監視のために必要なデータとして、GPS ゾンデ(ヴァイサラ製 RS92-SGPJ、以下「ゾンデ」と呼ぶ)による高層気象観測を行っている。このゾンデ観測では 2 秒値データで約 12m と高い鉛直分解能によるデータが取得可能である一方で、時間分解能が 12 時間であることから、短い時間スケールの現象は捉えられないという問題があった。近年、気象要素の鉛直プロファイルデータの取得にあたっては、従来のゾンデによる直接観測に加え、リモートセンシング観測データの利用が進んでいる。気象庁の展開しているウインドプロファイラ網(WINDAS)(観測部観測課高層気象観測室:2003)はその一例である。高層気象台においても、2009 年 9 月に GCOS 基準高層観測網(GRUAN)に登録されたことを機に、異種観測機器間の相互比較による品質管理のために可搬型ドップラーライダー(三菱電機製 LR-09FIHS、以下「ライダー」と呼ぶ)が整備され、下層大気の風について連続観測を行うことが可能となった。

ライダーは発射したレーザー光の大気中のエアロゾル

による散乱光を受信し、その信号周波数成分をスペクトル解析することにより、エアロゾルの視線方向のドップラー速度成分を抽出する。エアロゾルとの距離は、レーザー光の発射から散乱光の受信までの往復時間から測定できる。そして、レーザー光を繰り返しパルス送信しな

表 1 ライダー(LR-09FIHS)の主な仕様

レーザー光波長	1.5~1.6 μm		
距離分解能	30 m	75 m	150 m
レンジビン数	20		
最大観測範囲	600 m	1500 m	3000 m
送信パルス幅	200 ns	500 ns	1000 ns
変復調方式	パルス変調方式		
観測モード	コニカルスキャン (仰角 79.84 deg)		
走査角速度	1~20 deg/s		
送信繰り返し周波数	4 kHz		
パルス積分回数	1000~16000 回		
出力データ	スペクトルデータ 視線方向データ(ドップラー速度、ドップラー速度幅、S/N 比) 3 次元風データ		

*高層気象台 観測第二課

がらスキャンすることにより、走査面の各視線方向(方位角)におけるドップラー速度を連続して取得し、そのデータに対して VAD(Velocity Azimuth Display)法(Browning and Wexler : 1968)を適用することにより風向・風速を計算する。VAD 法の詳細については 2.1 にて述べる。

ライダーの主な仕様は表 1 の通りである。

ライダー処理部により出力される 3 次元風データの水平風ベクトルの精度については、高層気象台(2011)における検証結果によると、最大観測範囲 1500m、走査角速度 5deg/s、パルス積分回数 4000 回のモードの場合、全体としてはゾンデに対する風速バイアスが 0.4m/s、風速の差の標準偏差が 1.1m/s、風向のバイアスが 1.9°、風向の標準偏差が 29.1° とされている。層(レンジビン)ごとの精度についてはばらつきがあるが、第 0 層(高度 95.5m～169.3m)の場合は風速のバイアスが 0.8m/s、標準偏差が 1.1m/s となっている。これに対して、岩渕(2012)は、観測データの品質管理の手法として、VAD 法による風ベクトル算出の際に使用されるデータの個数に閾値をもうけること、平均風算出の際は 1m/s 単位の風速ヒストグラムから求めた風速の最頻値を用いた外れ値の除去を行うことを提案した。この手法による第 0 層での風速バイアスは -0.75m/s(紐の長さを考慮したゾンデ風データの高度補正を行った場合 -0.22m/s)とされている。

一方で、岩渕 (2012)は、さらなる精度の向上のために視線方向のドップラー速度データ(以下、単に「視線方向データ」とする)までさかのぼって風ベクトルの算出を行うべきだと提案している。処理部における 3 次元風データの算出手法の詳細と品質管理手法はユーザーには公開されていないことから、独自の算出手法や品質管理手法を用いたい場合は視線方向データを用いる必要がある。また、ドップラー速度幅を用いた乱流検出や、S/N 比を用いた境界層高度の判定などの応用的な利用を目的とした場合も、視線方向データを用いる必要がある。

本研究ではこれを受け、視線方向データから独自に VAD 法を用いて風ベクトルを算出し、品質評価を行って 3 次元風を得る手法を開発し、その精度評価を行った。

2. ではデータの処理の内容と手順について解説し、3. でゾンデデータを用いた検証手法について、4. で検証結果について述べ、5. でまとめる。

2. データの処理

2.1 VAD 法による風ベクトルの算出

VAD 法(Browning and Wexler : 1968)は、単一のドップラーレーダーのドップラー速度から風ベクトルデータを得るための手法として開発されたものであるが、この手

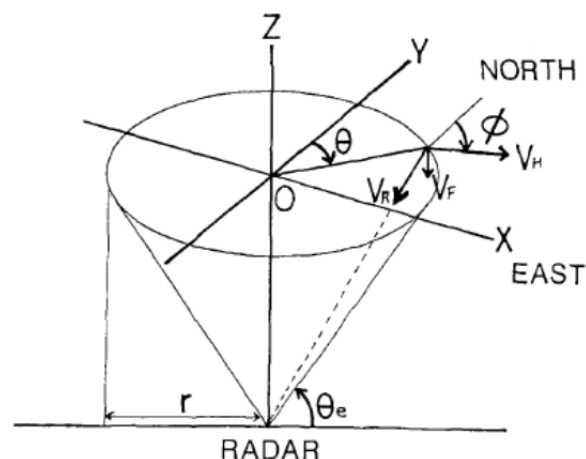


図 1 VAD 法の概念図(坪木・若浜 : 1989)。

法はライダーについても適用可能である。図 1(坪木・若浜 : 1989)に示すように、ライダーの仰角を一定としてレーザー光が走査する円周を走査円と呼ぶ。この走査円内の風が一様であると仮定すると、ドップラー速度はアンテナの方位角の関数として余弦関数曲線(以下、VAD 曲線とする)分布として与えられる。一般に、水平風速を V_H 、風向を ϕ 、アンテナの方位角を θ 、仰角を θ_e 、走査円内のエーロゾルの平均落下速度(下向きが正)を V_F とすると、ドップラー速度 $V_R(\theta)$ は式 1 から求められる。

$$V_R(\theta) = -V_H \cos \theta_e \cos(\phi - \theta) + V_F \sin \theta_e \quad (\text{式 1})$$

ただし、 $V_R(\theta)$ はライダーに向かう向きを正とする。ここで、式 1 を θ について 2 次の項までフーリエ級数展開した式 2 により近似することを考える。

$$V_R(\theta) = A_0 + A_1 \sin \theta + A_2 \cos \theta + A_3 \sin 2\theta + A_4 \cos 2\theta \quad (\text{式 2})$$

観測されたドップラー速度と方位角のデータから、最小二乗法により $A_0 \sim A_4$ の係数を決定できたとすると、走査円内の水平風は以下の式 3 および式 4 から求められる。

$$V_H = \frac{\sqrt{A_1^2 + A_2^2}}{\cos \theta_e} \quad (\text{式 3})$$

$$\phi = \tan^{-1}(A_1/A_2) \quad (\text{式 4})$$

また、式 2 における A_0 は鉛直速度と水平発散を含む項となるが、水平発散は鉛直速度と比べて十分に小さいと仮定して、次式により鉛直風速 w を求めた。

$$w = V_F = A_0 / \sin \theta_e \quad (\text{式 5})$$

2.2 品質管理の手法

2.1 で述べた VAD 法による風の算出において、その精度に影響を与えると考えられる理由には以下のものが

ある。

- (1) ノイズデータの混入
- (2) VAD 法に用いたデータの数の不足に起因する、式 2 の係数決定のあいまいさ
- (3) 外れ値(VAD 曲線からの誤差が近傍と比較して極端に大きいと考えられるデータの存在による式 2 の係数決定の誤差
- (4) (2)および(3)以外の理由による、式 2 による近似で求めた VAD 曲線分布と実際の方位角ードップラー速度の分布との乖離

(1)については、ノイズである可能性の高い S/N 比の値の小さいデータを除外して算出を行うことによりその混入を抑えることができると考えられる。

(2)については、算出に用いるデータ数が閾値以下の場合はその算出結果を利用しないという形で品質管理が可能である。

(3)は図 2 のような場合を想定している。図中の黒丸は式 2 の $A_0 \sim A_4$ にある値を代入して算出した理想的な VAD 曲線(灰色実線)に標準偏差 σ で誤差を与えたデータに対して、1 点だけ外れ値として 2.5σ の誤差を与えた(図中「Outliner」)ものである。破線はこの外れ値を含む状態で式 2 を当てはめた場合、黒実線は外れ値を除いて当てはめた場合の VAD 曲線である。破線と比較して黒実線のほうが理想曲線(灰色実線)に近づいている。また、VAD 曲線から算出される風ベクトルについても、理想曲線で

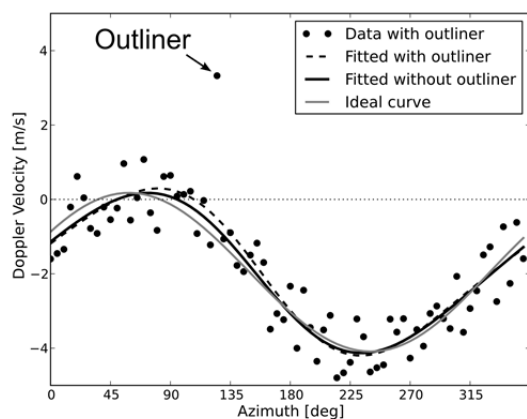


図 2 外れ値を含む VAD 法の算出例。

(黒丸)理想的な VAD 曲線に標準偏差 σ の誤差を与えたもの。ただし、図中にて Outliner としている点のみ、外れ値として誤差を 2.5σ で与えている。(灰色実線)黒丸で示したデータの分布のもととなる理想的な VAD 曲線、(黒点線)外れ値を含む状態で算出された VAD 曲線、(黒実線)外れ値を除いて算出された VAD 曲線。

は風速が 10.6m/s、風向が 239.6° だったのに対して、外れ値を含んだ状態ではそれぞれ 10.8m/s および 245.6° 、外れ値を除外して計算した場合は 10.5m/s および 242.9° となり、外れ値を除去することによる精度向上が認められる。このことから、式 2 を当てはめた場合のドップラー速度から実際に観測されたドップラー速度を差し引いた残差を標準誤差で割った値(標準残差)が、隣り合う方位角のデータにおける標準残差の値から大きく外れていた場合に外れ値と判定し、外れ値と判定されたデータを除去して再度 VAD 法による計算を行うこととする。

(4)は図 3 のような場合である。この図においては S/N 比は 4dB 以上のもののみをプロットしており、算出に使用したデータ数も 1 回転分のデータ 72 個中 57 個であることから(1)および(2)の品質管理は満たすと考えられるが、実際の方角ードップラー速度分布(黒丸)と、最小二乗法から求めた VAD 曲線(実線)は乖離している。説明変数(式 2 の右辺第二項以降)がどれだけ従属変数(同左辺)をどれだけ説明できるか、その当てはまりの度合いの指標となる自由度調整済み決定係数(R^2 二乗値、以下 R^2 。0 から 1 までの値をとり、1 に近いほど当てはまりが良い)に注目すると、この例では 0.095 と非常に小さく、この点からも算出された VAD 曲線ではドップラー速度の分布を説明できていないといえる。この例のような場合を想定し、 R^2 を用いた品質管理も行う。なお、 R^2 は式 6 により求められる。

$$R^2 = \frac{\sum_i (v_i - \bar{v})^2 / (N - p - 1)}{\sum_i (v_i - \bar{v})^2 / (N - 1)} \quad (\text{式 6})$$

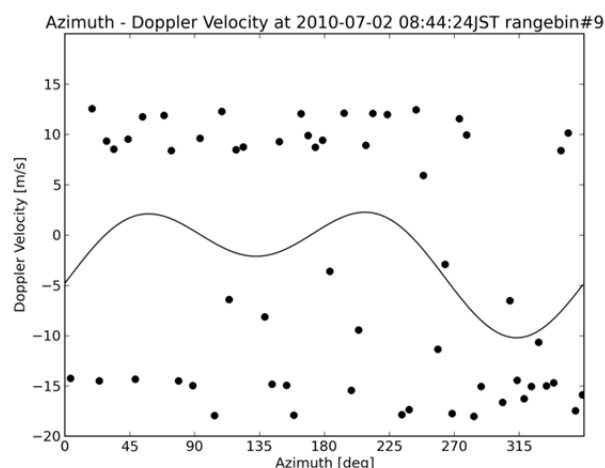


図 3 方位角ードップラー速度の分布と、VAD 曲線が乖離している例。

(黒丸)2010 年 7 月 2 日 08 時 44 分 24 秒までの第 9 層の 1 周分のドップラー速度、(実線)黒丸のデータに基づく VAD 曲線。

ここで v_i は観測されたドップラー速度、 f_i は VAD 曲線を当てはめた場合のドップラー速度、 N はデータ数、 p は定数項以外の項の数(式 2 の場合は $p=4$)である。

2.3 平均手法

視線方向データからの風算出は十分な数のデータがあれば任意の時刻について行うことが可能であるが、運用上は 1 分値、あるいは 10 分値を用いることから、実際に算出された風を平均する処理が必要となる。この平均処理においては、一部の外れ値により平均結果が影響を受けることを避けるため、本研究では WINDAS において採用されている、コンセンサス平均(観測部観測課高層気象観測室：2003)の手法を採用した。

コンセンサス平均においては、まず、平均をとるデータのセットにおいて、各データから見て風速の差が閾値以内に収まる自身を含んだデータの数(「コンセンサス数」と呼ぶ)を求める。コンセンサス数が最大となる値をとったデータのうち、最も新しいものから見て閾値を満たすデータについて平均処理を行う。ただし、最大コンセンサス数が閾値以下の場合はセット全体の平均値は計算不可と判定する。以下、コンセンサス平均で求めた 1 分値および 10 分値を単に 1 分値、10 分値と記す。

2.4 処理の流れ

前節までに述べた算出方法や品質管理手法を用いて、以下のような流れで処理を行う。なお、便宜上それぞれの段階の処理には「Process」で始まる名称を、処理結果のデータには段階に応じて「Level」で始まる名称をつけておく。

Process 1: 視線方向データから、VAD 法により風ベクトルを算出する。この時、S/N 比が閾値以下のデータについては除外しておく。また、算出の結果外れ値が存在していた場合には、外れ値を除去したデータセットから再度風ベクトルを算出しなおす。算出された風ベクトルデータに加え、平均ドップラー速度幅、平均 S/N 比、算出に用いたデータ数、 $R2$ を加え Level1 データとして保存する。

Process 2: Level1 データについて、平均 S/N 比、算出に用いたデータ数および $R2$ による品質管理(閾値以下のデータの除去)を行い、1 分値を算出する。これを Level2 データとする。

Process 3: Level2 データから 10 分値を求め、Level3 データとする。

なお、岩渕(2012)をこの処理の流れに当てはめると、ライダー処理部が出力する 3 次元風データは平均ドップ

表 2 本稿で精度評価を行った運用モード

距離分解能	75 m
観測範囲	75～1500 m
走査角速度	5 deg/s
パルス積分回数	4000

表 3 算出パラメータおよび品質管理の閾値

処理段階	要素	値
Process 1	算出間隔	6 s
	S/N 比閾値	4 dB
	標準残差	2.0
Process 2	平均間隔	1 min
	平均 S/N 比閾値	4 dB
	データ数閾値	$0.6 \times (1 \text{ 周の走査に必要なデータ数}) = 43 \text{ 個}$
	$R2$	0.4
	コンセンサス閾値(風速)	5 m/s
	コンセンサス数閾値	4
Process 3	平均間隔	10 min
	コンセンサス閾値(風速)	5 m/s
	コンセンサス数閾値	4

ラー速度幅・平均 S/N 比・ $R2$ が不明な Level1 データに相当し、Process2 においてデータ数のみを対象とした品質管理を行い、10 分平均で Level3 データを作成するという手順に相当する。

算出例として、2010 年 7 月 18 日 08JST から 13JST にかけての高度-時間断面図を図 4 の上段に示す。比較のため、同じ時間帯のライダー処理部の算出した風ベクトルに対して、岩渕(2012)で提案されている VAD 法による算出に用いたデータ数による品質管理を行い、コンセンサス平均により 10 分値とした場合の水平風ベクトルの高度-時間断面図を下段に示す。0830JST の放球のゾンデデータ(図省略)によれば、第 9 層から第 19 層にかけてはどの層においても風速 7.5m/s 前後、風向 230° 前後の風が観測されており、下段の図の 1000m 以上の層にみられる矢羽根とは整合性がとれておらず、したがって誤算出の結果であると考えられる。一方、上段の図においてはこの層は計算不可と判断されており、品質管理が機能していることを示している。

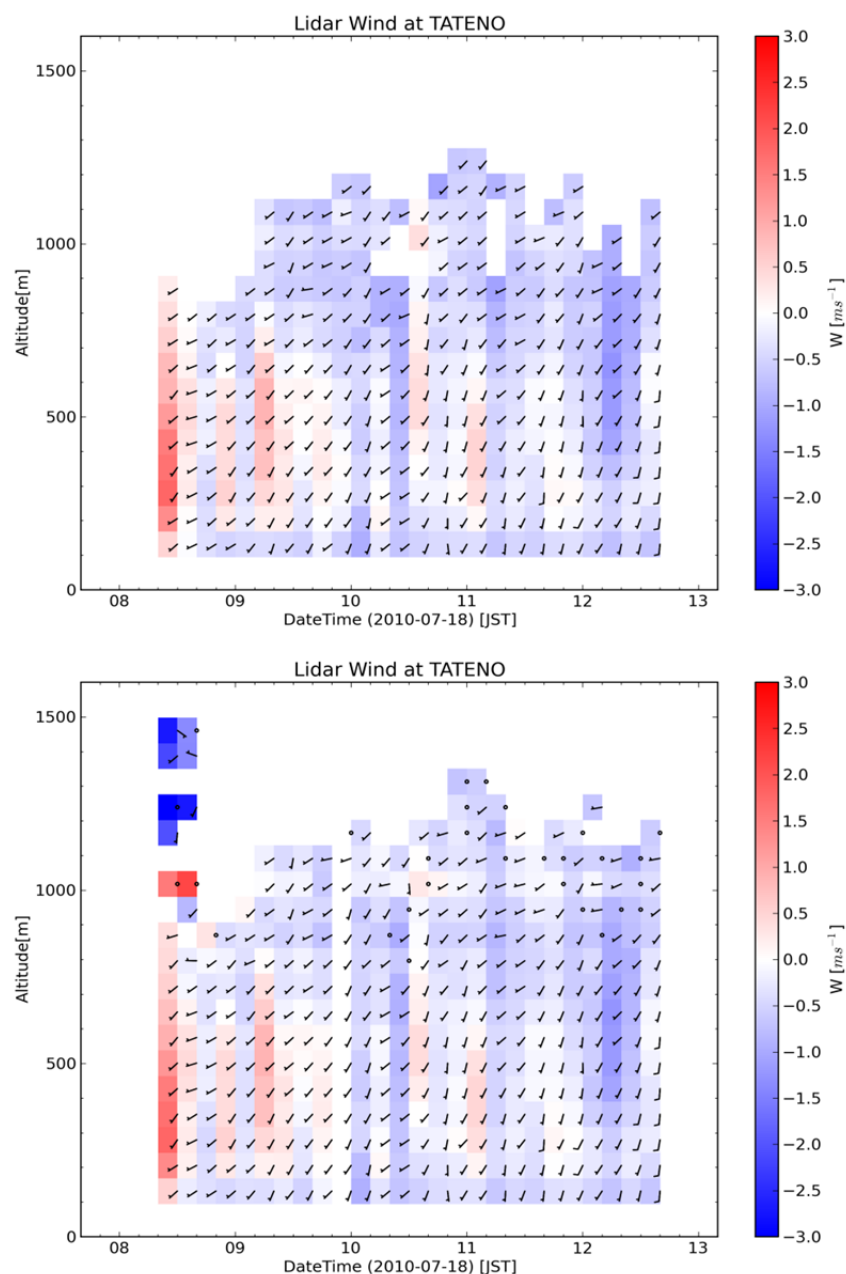


図 4 ライダーデータから算出された風の高度-鉛直断面図の例.

(上段)視線方向データから表 3 の設定に基づいて算出した水平風ベクトル (下段)ライダー処理部のデータを VAD 法における算出に用いたデータ数による品質管理を行い、コンセンサス平均により 10 分値データとしたもの. (矢羽根)水平風, (カラー)鉛直風速(赤は上昇, 青は下降)

3. 検証手法

2010年1月～2011年12月(ただし2011年2月～5月を除く)の期間における, 表 2に掲げた運用モードでの観測時の視線方向データから表 3に示した算出および品質管理設定に基づいて算出したLevel3データのライダーの水平風ベクトルについて, ゾンデデータを用いた精度の検証を行った. ゾンデデータについては, 同期間のVaisala社

RS92-SGPゾンデによる館野の2秒値データを用いた. なお, ライダーから求めた風ベクトルは「各層の平均的な風ベクトル」であると考えられることから, 比較するゾンデの風については, 対応する層内において東西成分・南北成分をそれぞれ単純に算術平均して求めた水平風を用いた. 比較した観測数は952例である.

高層気象台(2011)および岩渕(2012)においては精度の検証パラメータとして風速および風向のバイアスならび

に標準偏差を用いていたが、本研究では衛星データからの大気追跡風(衛星風)データの検証に用いられている精度の指標である風速バイアス(BIAS)、ベクトル差の平均二乗値(RMSVD; CGMS: 2003)および風向差の平均($\overline{\Delta\text{DIR}}$; Szantai et al.: 2007)を検証用パラメータとして用いた。これらはそれぞれ以下の式 7, 式 11, 式 12により定義される。

$$\text{BIAS} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (V_i - V_{\text{ref},i}) \quad (\text{式 7})$$

$$VD_i = |\vec{V}_i - \vec{V}_{\text{ref},i}| \quad (\text{式 8})$$

$$\text{MVD} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N VD_i \quad (\text{式 9})$$

$$\text{SD} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (VD_i - \text{MVD})^2} \quad (\text{式 10})$$

$$\text{RMSVD} = \sqrt{\text{MVD}^2 + \text{SD}^2} \quad (\text{式 11})$$

$$\overline{\Delta\text{DIR}} = \frac{180}{N\pi} \sum_{i=1}^N \cos^{-1} \left(\frac{\vec{V}_i \cdot \vec{V}_{\text{ref},i}}{V_i V_{\text{ref},i}} \right) \quad (\text{式 12})$$

ここで、 $\vec{V}_i$ は水平風ベクトル、 $\vec{V}_{\text{ref},i}$ は $\vec{V}_i$ に対応する比較対象の水平風ベクトル、 V_i および $V_{\text{ref},i}$ はそれぞれの水平風速を表す。

これら水平風ベクトルの精度に加え、各層のデータの取得率(ライダーの有効データ数の全ゾンデデータ数に対する比率)についても調査した。

なお、岩渕(2012)では精度比較時にゾンデ風データの高度について紐の長さを考慮した補正を行っているが、ライダーで観測されるのは厚さ約 74m の層内の平均風であることから、紐の長さ分の差の影響は大きくないと考え、本稿ではこの補正は行っていない。

4. 検証結果

算出された風の BIAS, RMSVD, $\overline{\Delta\text{DIR}}$ を各層ごとにプロットしたものがそれぞれ図 5, 図 6, 図 7である。表 3 の設定に沿って算出した風データ(以下、R2 の閾値を 0.4 とした設定に基づき R04 とする)の精度を実線で、ライダー処理部の出力した風データについて岩渕(2012)で提案された VAD 算出に用いたデータ数に基づく品質管理を行い、平均手法をコンセンサス平均に変更した場合の風データ(以下、I12 とする)の精度を破線で示している。また、全層・第 1 層(高度 169.3m~243.1m)・第 7 層(高度 612.2m~686.0m)・第 13 層(高度 1055.1m~1129.0m)の

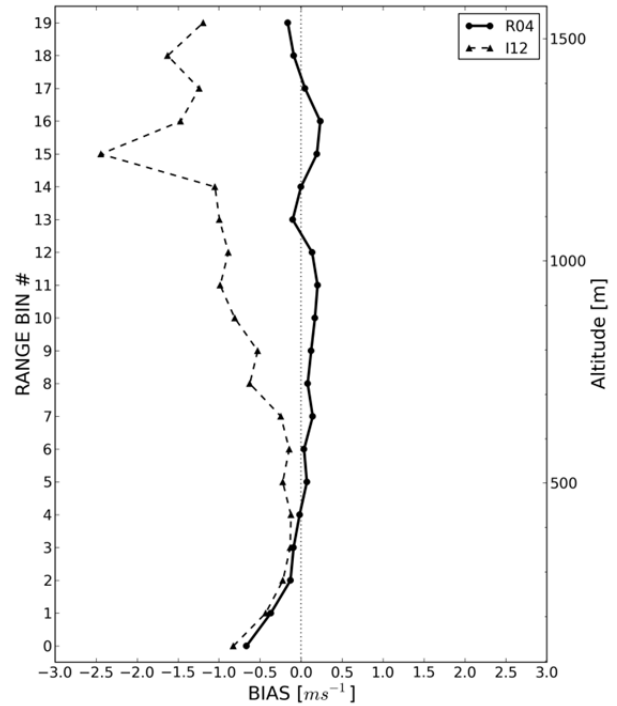


図 5 ライダーデータから算出された水平風の BIAS の高度分布。

(実線)本研究の手法(破線)処理部の出力する風データに対して岩渕(2012)のデータ数による品質管理法を適用し、コンセンサス平均により算出した 10 分値。

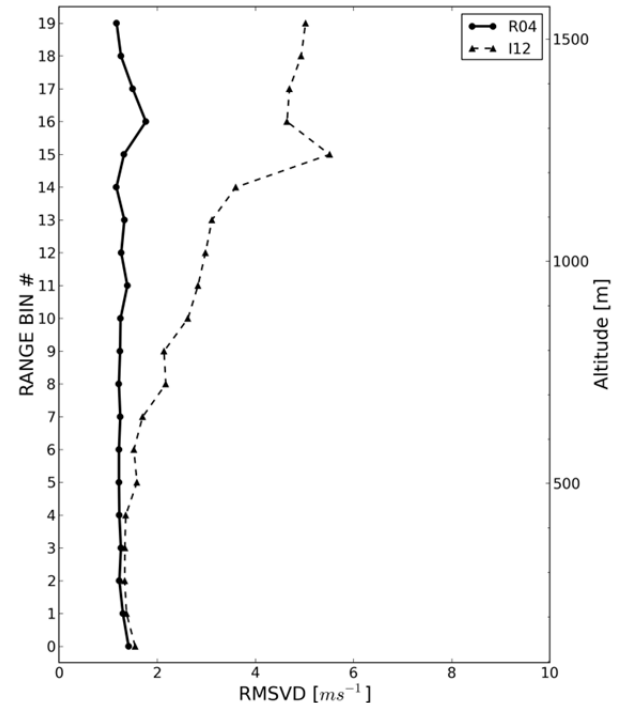


図 6 ライダーデータから算出された水平風の RMSVD の高度分布。

凡例は図 5 に同じ。

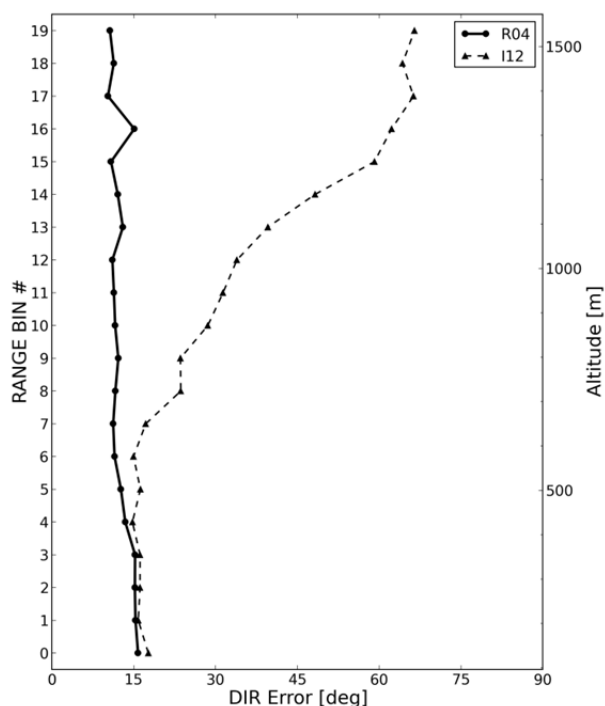


図 7 ライダーデータから算出された水平風の ΔDIR の高度分布.

凡例は図 5 に同じ.

パラメータの値を表 4 に示す. なお, I12 の BIAS および取得率は岩淵(2012)の図 11 ならびに図 5 との不整合が見られるが, これは同論文において「風の東西成分もしくは南北成分のいずれかにおいて」外れ値とみなされるデータが除外されるのに対して, 本研究で用いたデータは風のコンセンサスの基準を水平風速のみにしていること, また, 「[(風速の最頻値)/5]+2 m/s」($[]$ はガウス記号であり, その値を超えない最大の整数を示す)とされていた閾値を本研究では一律に 5m/s に設定したため, 特に弱風時や層内の一様性が弱い場合に除外されるデータが減少したことに起因しているのではないかと考えられる.

いずれのパラメータにおいても, 第 4 層以下(高度約 500m 以下)については, R04 と I12 の間に大きな精度の差は見られない. しかし, それ以上の層においては, 高度の上昇とともに I12 では徐々に精度が低下していくのに比べ, R04 では大きな精度の低下は見られない. 特に図 7 に示す $\overline{\Delta\text{DIR}}$ については I12 が第 14 層以上では 40° を超える大きな風向の誤差があるのに対して, R04 では全層にわたり 20° 以下と高高度層における精度の著しい改善がみられる. このことは RMSVD でみられる精度の改善にも大きく貢献したものと考えられる.

一方で, 各層のデータの取得率(図 8)に関しては, 特に高高度層において R04 は I12 より低下しており, 上記

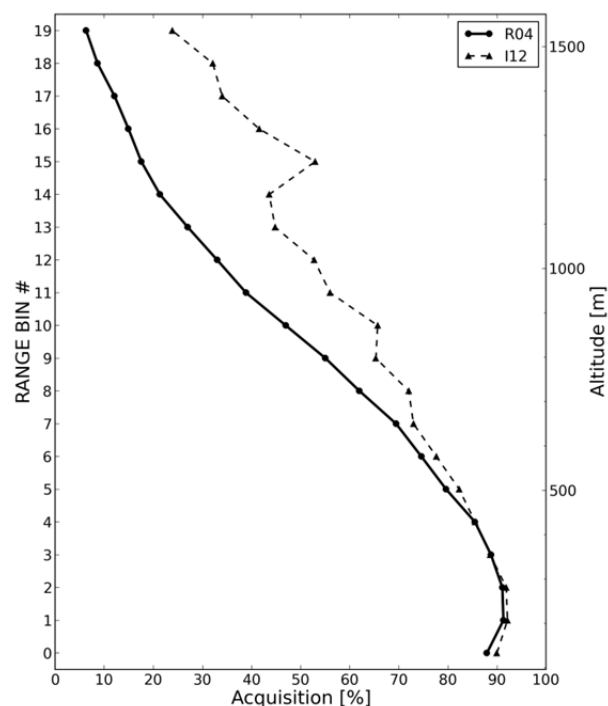


図 8 各層におけるデータの取得率.

凡例は図 5 に同じ.

の精度の向上は, 精度の低いデータを除去することができるようになった結果と考えることができる.

R04 について, 季節別の精度パラメータおよび取得率の比較を行ったのが図 9 (BIAS), 図 10 (RMSVD), 図 11 ($\overline{\Delta\text{DIR}}$)および図 12 (取得率)である. それぞれ黒破線が全季節におけるパラメータ, 青が冬季(12~2月), 緑が春季(3~5月), 赤が夏季(6~8月), 茶色が秋季(9~11月)を示す. これらによると, BIAS は第 9 層までは季節間に大きな差は見られないが, それ以上の層においては夏季と冬季において春季・秋季よりも誤差が大きくなっている. 風向に関しては第 3 層から第 9 層にかけての層において夏季の誤差が他の季節と比較してやや大きいという結果になった. RMSVD では冬季の第 11 層以上の誤差が大きくなっている. 夏季については, 水平風が弱いために誤差が大きく出やすくなったためと推測される. そのため, ベクトル差のパラメータである RMSVD では大きな誤差として現れていない.

季節間の差が最も顕著に現れたのは取得率であり, 冬季は全層にわたって他の季節より取得率が低く, 第 10 層(833.7m)以上に関しては 20%以下となっていた. 一方, 春季は取得率が高くなっている. つくばにおける 2009 年 1 年間のエアロゾルの光学的厚さの変化(上里: 2011)を参考にとすると, この季節間の取得率の差は, 観測対象となるエアロゾルが冬季には少なく, 春季には多いこと

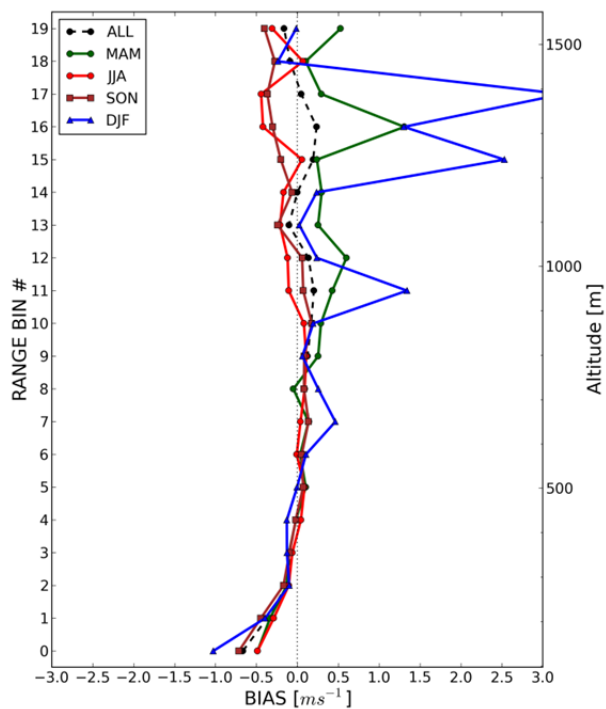
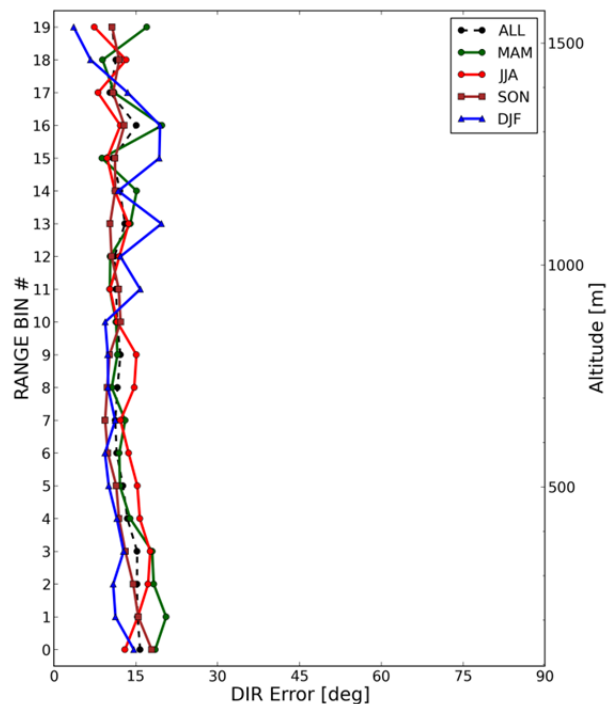


図 9 BIAS の季節間比較.

(黒)全季節(緑)春季(赤)夏季(茶)秋季(青)冬季.

図 11 Δ DIR の季節間比較.

凡例は図 9 に同じ.

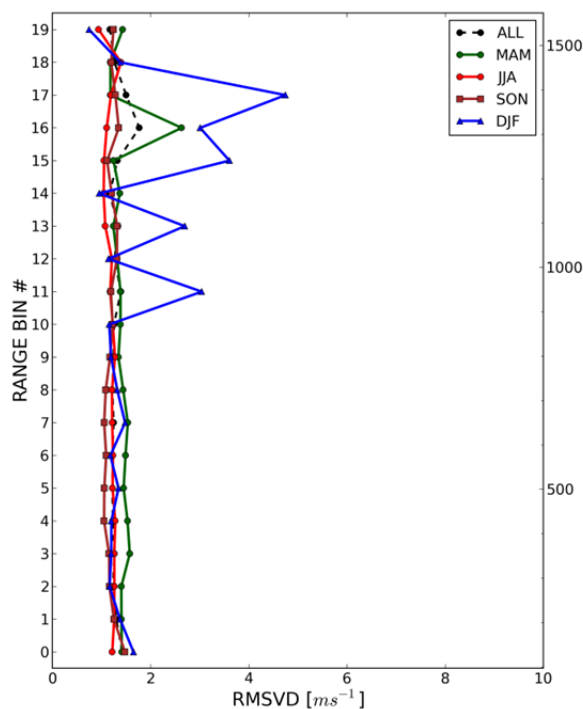


図 10 RMSVD の季節間比較.

凡例は図 9 に同じ.

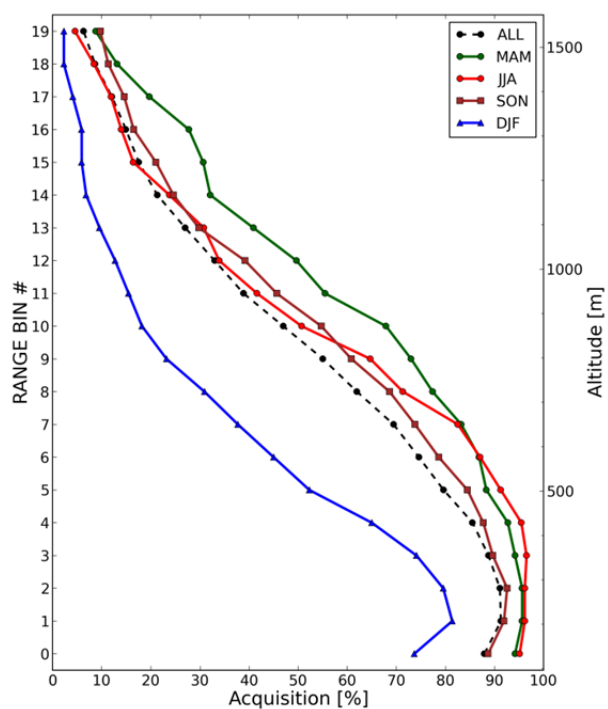


図 12 データ取得率の季節間比較.

凡例は図 9 に同じ.

が影響しているものと推測される。前述した冬季の高高度層での精度の低下は、観測対象となるエーロゾルの減少が影響している可能性も考えられる。また、冬季の雲

底高度が他の季節と比較して低いことも、冬季の高高度層における取得率の低下要因として考えられる。

表 4 全層および各層の精度パラメータ

	BIAS [m/s]	RMSVD [m/s]	$\overline{\Delta DIR}$ [deg]	取得率 [%]
全層				
R04	-0.062	1.276	13.214	50.588
I12	-0.667	2.368	27.734	63.286
第 1 層 (高度 169.3m～243.1m)				
R04	-0.371	1.301	15.314	91.282
I12	-0.434	1.374	15.817	92.105
第 7 層 (高度 612.2m～686.0m)				
R04	0.141	1.246	11.228	69.433
I12	-0.247	1.701	17.197	72.967
第 13 層 (高度 1055.1m～1129.0m)				
R04	-0.104	1.330	12.998	26.996
I12	-0.997	3.113	39.582	44.790

5. まとめ

ドップラーライダーの視線方向データから、VAD 法による風の算出を行い、平均 S/N 比、VAD 法の計算に用いたデータ数、R2 を用いた品質管理を行って求めた水平風データについて精度の検証を行った。本研究で用いた手法は、岩渕(2012)において導入された VAD 法による算出に用いたデータ数による品質管理法を適用した場合と比較して、全層での BIAS が -0.667m/s から -0.062m/s 、RMSVD が 2.368m/s から 1.276m/s 、 $\overline{\Delta DIR}$ が 27.734° から 13.214° と精度の改善がみられた。特に高高度層における $\overline{\Delta DIR}$ の改善が顕著であり、それに伴い RMSVD も改善した。一方で高高度層における取得率は低下していることから、R2 に閾値を設定することにより VAD 曲線に合わないデータを除去するようになった結果、精度が向上したと考えられる。

本研究では、2012 年 5 月まで運用していた距離分解能 75m の設定の場合について検証を行ったが、高層気象台ではその後、距離分解能 150m(最大観測範囲 3000 m)での運用を行っており、これについての精度検証を始めている。また、表 2 に示したような設定は変更可能であることから、観測対象に応じた運用モードの検討も今後の利用のために必要であると考えている。

謝 辞

高層気象台観測第一課・第二課の方々には日々の観測データの取得にご協力いただきました。また、気象庁観測部観測課の梶原佑介技術開発係長、同課観測システム運用室の吉井博之技術専門官、地球環境・海洋部環境気象管理官付オゾン層情報センターの中野辰美オゾン層観

測係長にはデータの処理プログラムの開発にあたって貴重な助言をいただきました。ここに感謝の意を表します。

引用文献

- Browning, K. A., and R. Wexler (1968): The Determination of Kinematic Properties of a Wind Field Using Doppler Radar. *J. Appl. Meteor.*, **7**, 105–113,
doi:10.1175/1520-0450(1968)007<0105:TDOKPO>2.0.CO;2.
- CGMS (2003): *Consolidated Report of CGMS Activities*. 10th ed. 127 pp.
[http://www.cgms-info.org/docs/general-publications/consolidated-report-of-cgms-activities-\(2003\).pdf](http://www.cgms-info.org/docs/general-publications/consolidated-report-of-cgms-activities-(2003).pdf).
- 岩渕真海 (2012): ドップラーライダー観測データ品質管理手法の開発と性能評価. 高層気象台彙報, **70**, 23–30.
- 観測部観測課高層気象観測室 (2003): 局地的気象監視システム(WINDAS)による高層風観測業務の開始. 測候時報, **70**, 63–118.
- 高層気象台 (2011): 明星電気 RS2-91 型レーウィンゾンデとヴァイサラ RS92-SGP 型 GPS ゾンデの相互比較試験観測と検証結果. 測候時報, **78**, 221–257.
- Szantai, A. and Coauthors (2007): Comparison of MSG dense atmospheric motion vector fields produced by different methods. *Proc. 2007 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference / 15th AMS Satellite Meteorology & Oceanography Conference*, Proc. 2007 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference / 15th AMS Satellite Meteorology & Oceanography Conference, Amsterdam.
- 坪木和久・若浜五郎 (1989): 1 台のドップラーレーダーを用いた風速場の測定法: 最小二乗法を用いた VAD

解析. 低温科学. 物理篇, **47**, 73–88.

上里至 (2011) : PFR(Precision Filter Radiometer)と

MS110(フィルター型サンフォトメータ)のエーロゾル
の光学的厚さの比較観測. 高層気象台彙報, **69**, 59–62.