

デジタル粉塵計による大気粉塵の時間・空間分布の観測

宮原 裕一

信州大学 山岳科学研究所

Measurement of Suspended Particulate Matters by Digital Dust Indicator

Yuichi MIYABARA

Institute of Mountain Science, Shinshu University

キーワード: 乗鞍岳, 大気浮遊粉塵 (SPM), デジタル粉塵計

Keywords: Mt. Norikura, Suspended Particulate Matters (SPM), Digital Dust Indicator

1. はじめに

我が国では、移動性高気圧とともに大陸から大気が輸送され、春や秋には各地で黄砂が観測される。同時に、大陸起源の大気汚染物質を含む微細な粉塵も輸送され、その健康影響が懸念されている¹⁾。

大気粉塵や微小粒子 (PM_{2.5}) のヒト健康影響は、多くの疫学調査や動物実験から示され、2009年には、環境基準値も設定されている。2013年春には、中国のPM_{2.5}に関する報道が連日のようになされたが、大気粉塵は国内にも起源があり、人為汚染の少ない山岳域でのバックグラウンドレベル (量・組成) を明らかにし、大陸起源と国内起源、あるいは自然起源と人為起源とを定量的に扱う必要がある²⁾。しかし、我が国の大気汚染物質の常時観測は主に都市域で行われ、山岳域における観測は数少なく、その情報も限られているのが実態である³⁾。

大気粉塵の起源を明らかにするには、その構成成分の化学分析が必須である⁴⁾。しかし、山岳域では霧や雲などにより湿度が高く、捕集された大気粉塵中から結露等による水分によって主要な構成成分が溶出してしまう可能性がある。現在市販されているエアサンプラ

一の多くは、結露対策が施されていない。従って、我が国の大気の監視塔である山岳域において、大気粉塵の構成成分からその起源を推定する前に、高湿度環境下での粉塵試料の変質について評価する必要がある。

その前段階として、本研究では、デジタル粉塵計に高湿度対策を施し、大気中粉塵濃度の連続観測を試み、高湿度対策の評価を試みた。さらに、山岳域では必ずしも商業電源の供給がなされているとは限らず、また自家発電ともなう粉塵発生も考えられるため、乗鞍岳では蓄電池のみで一週間の観測に挑んだ。

また、同デジタル粉塵計を車載し、乗鞍岳山頂—松本—諏訪間で、大気粉塵濃度の移動観測も試みた。

2. 方法

2-1 調査地点

大学共同利用機関法人自然科学研究機構乗鞍観測所 (旧国立天文台太陽観測所乗鞍コロナ観測所) は、長野県と岐阜県の県境である乗鞍岳の摩利支天岳山頂 (標高 2,873m) に位置し、2011年より夏期に共同利用されている。本研究では、2015年8月26日から9月2日と9月29日から10月6日の2回、現場



Fig. 1 観測地点（摩利支天岳・富士見岳）

の大气粉塵濃度の観測を行った。

また、信州大学理学部鈴木研究室では、同山域の富士見岳（標高 2,798m）において、気象観測を通年で行っており、観測期間の現地の気象情報（風向・風速・降水量）はこちらを参照した（Fig. 1）。

移動観測は、2015年10月6日にデジタル粉塵計を車載し、摩利支天岳から、信州大学松本キャンパス経由で、信州大学山地水環境教育研究センター（諏訪市）まで移動の間（11時から15時）行った。その経路は Fig. 2 に示した。

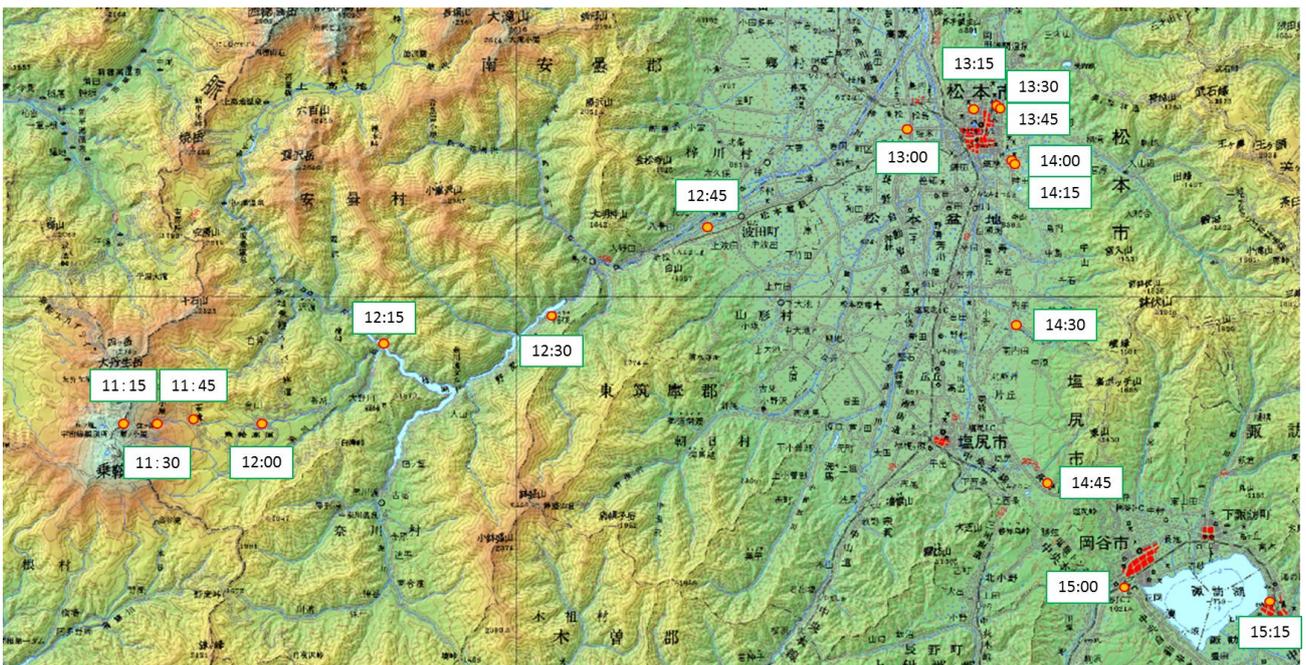


Fig. 2 移動観測の経路と通過時刻

2-2 デジタル粉塵計

本研究では、柴田科学株式会社製のデジタル粉塵計 LD-5 を用いた。連続観測では、5分間隔で粉塵濃度（Count 数）を測定し、移動観測では、15秒間隔で測定を行った。本装置は、1.7L/min で吸引した大気に、レーザー光を照射し、その光散乱の強度から粉塵濃度の変動を観測するものである。装置の消費電力を予め見積り、現場に 12V50Ah の蓄電池（LONG 社：WP50-12NE）3個を持ち込み、並列につなぎ粉塵計の電源とした。

また、内径 10mm 長さ 3m のトアロン®チューブを粉塵計吸入口に接続し、屋外から観測所内に大気を吸入し観測を行った。この際、トアロンチューブの先端には、多段型分級装置（柴田科学株式会社：C-30）を取り付けた。移動観測の際は、トアロンチューブの先端には何もつけず、自動車後部座席側方の窓より採気した。

一方、粉塵濃度測定時には、内径 44mm 外径 60mm 長さ 300mm の二重構造の通風管内に温度・湿度ロガー（LASCAR electronics：EL-USB-2）を納め、現場の気象観測を行った。

2-3 高湿度対策

粉塵濃度観測時の高湿度対策は、2015年9月29日から10月6日の観測時に試みた。ここでは、ミニポンプ（柴田科学株式会社：MP-Σ300N）を用い、採気部である多段分級装置後方に乾燥空気を0.5L/minで供給し、外気の湿度低減を試みた。上述の通り、デジタル粉塵計の吸引速度は1.7L/minで変わらないため、分級装置から吸引された大気はこの分希積される。そこで、乾燥空気のCount数を0として観測値の補正を行った。このミニポンプ使用時は、蓄電池（WP50-12NE）5個を並列につなぎ、ポンプおよび粉塵計の電源とした。乾燥空気は、除湿用の塩化カルシウム入りの容器（オカモト株式会社：水とりぞうさん550mLパック）とシリカゲル500gの入った洗気ビンチューブをつなぎ観測所室内の大気を吸引し作成した。この乾燥空気は内径3mmのトアロンチューブで採気部にT字管を介し供給した。なお、シリカゲル入りの洗気ビン内には、温度・湿度ロガー（EL-USB-2）を入れ、大気の乾燥状態も把握した。

3. 結果および考察

3-1 粉塵濃度の時間変動

8月26日から9月2日の間のデジタル粉塵計によるCount数の変動をFig. 3に示した。ここでは、高湿度対策のための乾燥空気の供給は期間を通じ行っていない。8月27日と8月28日の昼前後にCount数は上昇し、特に8月28日はCount数が30近くまで上昇していた。この値は、後述するが、国道158号線のトンネル内の値に近い。

一方、9月29日から10月6日のCount数の変動をFig. 4に示した。こちらでは観測期間を通じ、目立ったCount数の変動は見られなかった。

まず、観測時に行った高湿度対策について、その有効性を考察する。9月29日から10月6日に供給した乾燥空気および外気の気温と湿度をFig. 5、Fig. 6にそれぞれ示した。こ

こで、乾燥空気の気温は、観測所内の気温とみなすことができる。観測所内の気温は、外気と比べ変動が小さく、ほとんどの時間帯で、外気温を上回っていた。一方、供給した乾燥空気の湿度は、5から12%と極めて低く、これらが吸気量の約30%を占めていることから、乾燥された外気が粉塵計へ供給されていたと考えることができる。この観測期間のうち、10月1日から2日にかけて低気圧の通過にともなう激しい降雨があり、また、10月4日、5日にも高い湿度が観測されたが、この際、吸気口から微細な水滴を取り込んだとしても、乾燥空気によって除湿され、Count数の変動には至らなかったものと考えられた。

次に、8月26日から9月2日の気温と湿度をFig. 7、Fig. 8にそれぞれ示した。この期間は、湿度がほぼ90%を超えていた。しかし、粉塵計のCount数が上昇したのは、どちらかと言えば、外気温が上昇し、湿度が低下した8月27日と8月28日の日中であった。この期間は、観測所内の気温や湿度を測定していないが、観測所は厚い鉄筋コンクリートで建造されており、外気よりも室温が低く感じられ、床や壁に結露が生じていた。そこで、8月27日と8月28日に観測されたCount数の増加は、配管内での結露（微細な水滴の形成）が原因と考えた。この2日間は、他の観測日と異なり、十分な日射があり、昼間に気温が上昇し、相対湿度は低下していた。しかし、外気に比べ観測所内の温度変化は乏しく、外気温に比べ室温が低かったため、屋外から採気された大気が室内で冷やされ、配管内で微細な水滴が生じ、Count数を増大させたと考えた。

一方、9月29日から10月6日は、10月1日を除き、ほぼ晴天に恵まれ、上述の通り、室温が外気温よりも高かったため、温度変化による結露が生じにくかったと考えられた。

本調査を通じ、大気観測時には、霧などの細かい水滴を含んだ外気だけでなく、屋外との温度差により配管内で生じる水滴についても何らかの対策を施す必要があることが確認

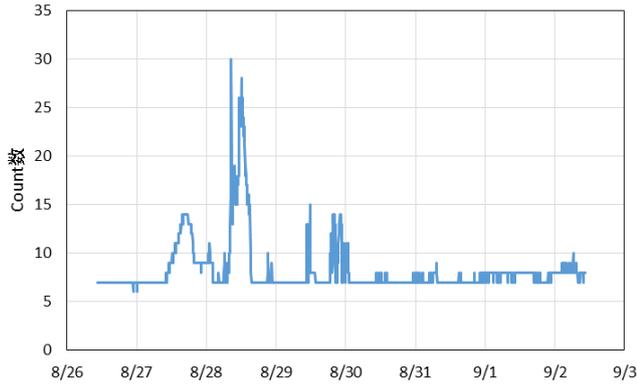


Fig. 3 乗鞍観測所におけるデジタル粉塵計の Count 数の変動 (8/26-9/2)

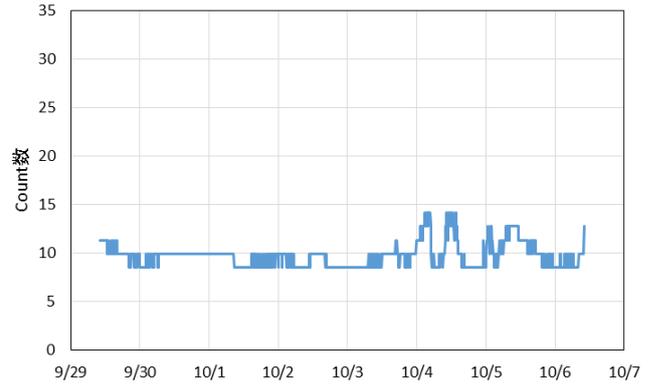


Fig. 4 乗鞍観測所におけるデジタル粉塵計の Count 数の変動 (9/29-10/6)

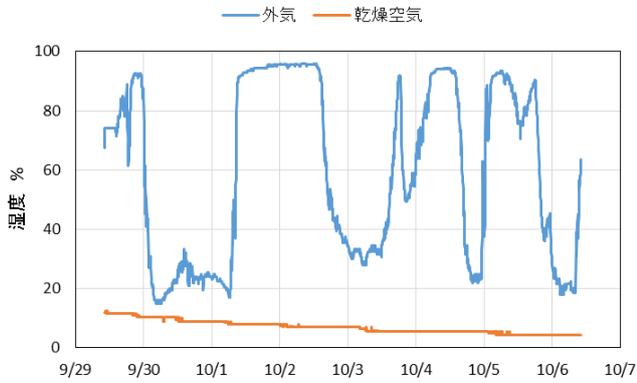


Fig. 5 観測期間中の外気温および乾燥空気の温度の変動 (9/29-10/6)

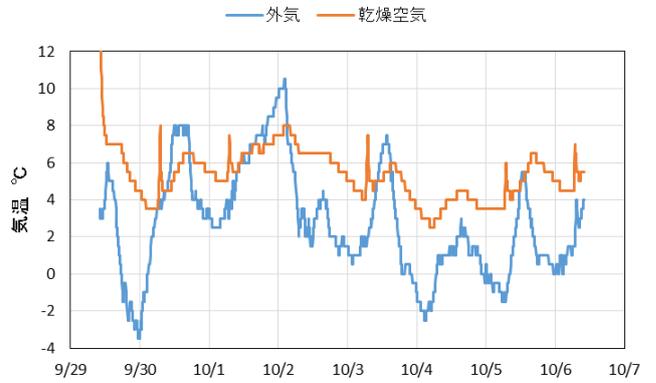


Fig. 6 観測期間中の外気および乾燥空気の湿度の変動 (9/29-10/6)



Fig. 7 観測期間中の外気温の変動 (8/26-9/2)

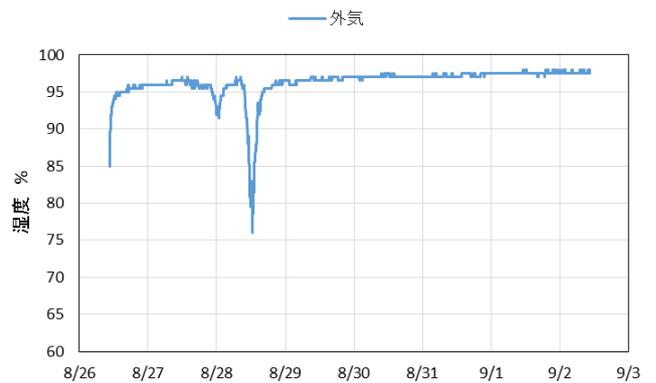


Fig. 8 観測期間中の外気の湿度の変動 (8/26-9/2)

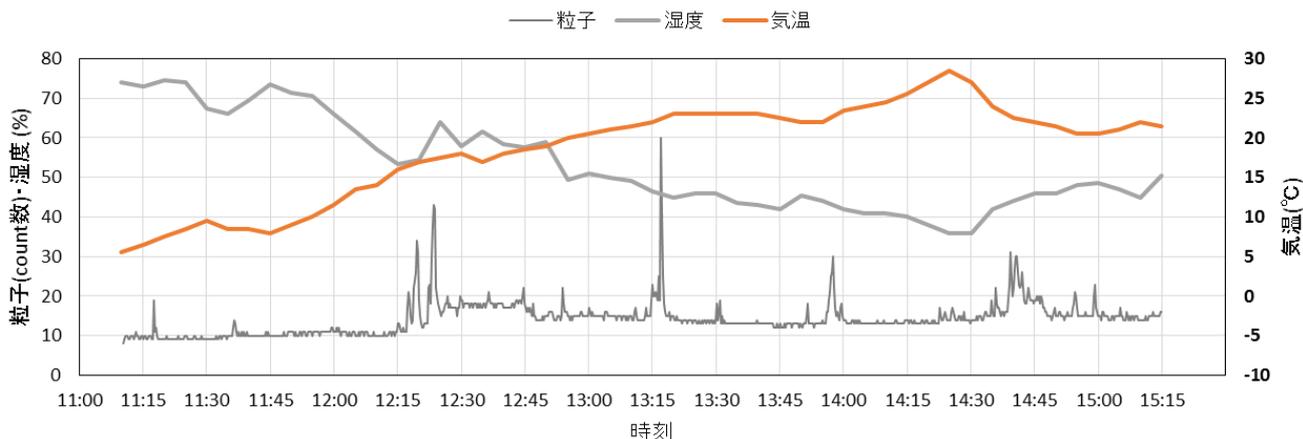


Fig. 9 移動観測時の Count 数および外気の温度と湿度の変動（10月6日）

された。本研究で試行した高湿度対策装置の有効性を評価するため、外気よりも室温が低く配管内で結露しやすい時期に再度検証実験を行う必要がある。

ちなみに、高湿度対策を施した9月29日から10月6日は、ほぼ西から北西の風が吹き続けていたため、輸送される大気に大きな変化がなく Count 数に変化が見られなかったと考えられた。

また、本研究では吸入口に多段型分級装置を取り付けていたため、粒子そのものの取り込みが阻害され、Count 数の変化が見えにくかった可能性もある。この多段型分級装置にはスリットが取り付けられており、大気を吸引する速度に応じ、ある粒径以上の粒子がここで取り除かれるしくみとなっている。30L/min で吸引すると $10\mu\text{m}$ 以上の粒子が取り除かれるが、本研究での吸引速度はそれよりも遅く、より細かな粒子まで除去されていた可能性が否定できない。この分級装置は、雨粒などの混入を防ぐのに役立つ一方、上記のような問題も考えられるため、今後その使用の是非について改めて検討する必要がある。

3-2 粉塵濃度の空間分布

10月6日に、乗鞍観測所で機材を撤収し、信州大学松本キャンパス経由で山地水環境教育研究センターに戻る際、大気粉塵濃度の移

動観測を行った。その結果を Fig. 9 に示した。ここでは、多段型分級装置は取り付けず、大気粉塵の取り込み阻害はない。また、観測経路を通じ湿度は高くなく、結露による観測妨害も考えられない。

乗鞍観測所を11時過ぎに出発し、乗鞍エコーラインを長野県側へと下山した。乗鞍バスターミナル過ぎまでは、山頂とほぼ同程度の Count 数であった。次いで、国道158号線に合流した12時15分以降、Count 数の変動が大きくなった。詳しい位置情報はないが、国道に合流後、いくつも長いトンネルが続いていた。トンネル内は、排気ガスや道路粉塵が充満しており、大気粉塵濃度が高かったと考えられた。また、梓川の谷沿いに道路が続くため、トンネル外であっても、谷の底では大気が拡散しにくく、比較的粉塵濃度が高かったとも考えられた。

また、松本市内では、松本キャンパス近くで60を超える Count 数が観測された。これは信号待ちで、周囲の自動車の排ガスの影響を受けたものと考えられた。その後、山麓線から国道20に合流する際、再び Count 数が増大した。ここでも、信号待ちにより周囲の自動車排ガスの影響を受けたものと考えられた。

この観測は、晴天日の正午近くから行われたため、大気鉛直混合により、松本および

諏訪盆地とも標高による Count 数の差が見られなかったと考えた。逆転層が形成される早朝に同様な観測を行えば、逆転層の上下の大気の様子が明らかになるかもしれない。

いずれにしても、本研究で用いたデジタル粉塵計は高頻度の連続観測が可能で、局所的な大気汚染の実態を把握することができた。

4. まとめ

本研究を通じ、山岳域での大気粉塵観測の課題が明らかになった。大気粉塵の採取において、高湿度環境下だけではなく、屋外から大気を室内に導入した際の気温低下による結露にも対策が必要なることが明らかとなった。

また、乾燥空気を安定的に供給することで、その対策となることが強く示唆された。今後、結露が生じやすい時期に、本研究の乾燥空気供給システムを用い、再度その検証を行う必要がある。

さらに、本研究で用いたデジタル粉塵計は、高頻度の連続観測が可能であり、移動観測に適しており、局所的な大気汚染の実態を把握することができた。今後、気温や湿度だけでなく、GPS による位置情報も合わせて観測すれば、粉塵の分布地図の作製や、逆転層による大気環境の悪化も容易に観測することができる。

謝辞

本研究をまとめるにあたり、理学部鈴木研究室には、富士見岳での気象観測データを快く提供していただきました。また、現場での観測においては、自然科学研究機構の斉藤守也様に、機材の設置・管理など大変お世話になりました。この場を借り、厚く御礼申し上げます。

参考文献

1) 環境省(2008) 微小粒子状物質健康影響評価検討会報告書, 5. 毒性学研究の健康影響に関する知見の整理

http://www.env.go.jp/air/report/h20-01/mat05_1.pdf

http://www.env.go.jp/air/report/h20-01/mat05_2.pdf

2) 環境省(2008) 微小粒子状物質健康影響評価検討会報告書, 2. 大気中粒子状物質の特性

http://www.env.go.jp/air/report/h20-01/mat02_1.pdf

http://www.env.go.jp/air/report/h20-01/mat02_2.pdf

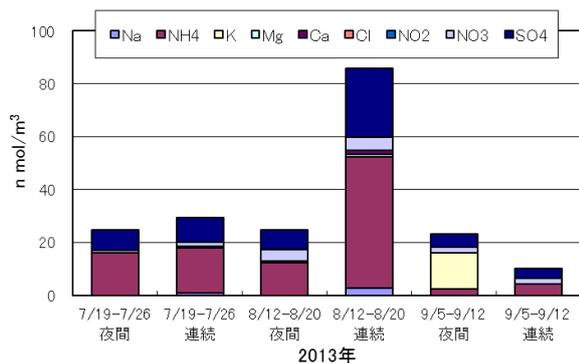
3) 環境省大気汚染物質広域監視システム(そらまめ君)

<http://soramame.taiki.go.jp/>

4) 環境省(2011)微小粒子状物質 (PM2.5) の成分分析ガイドライン

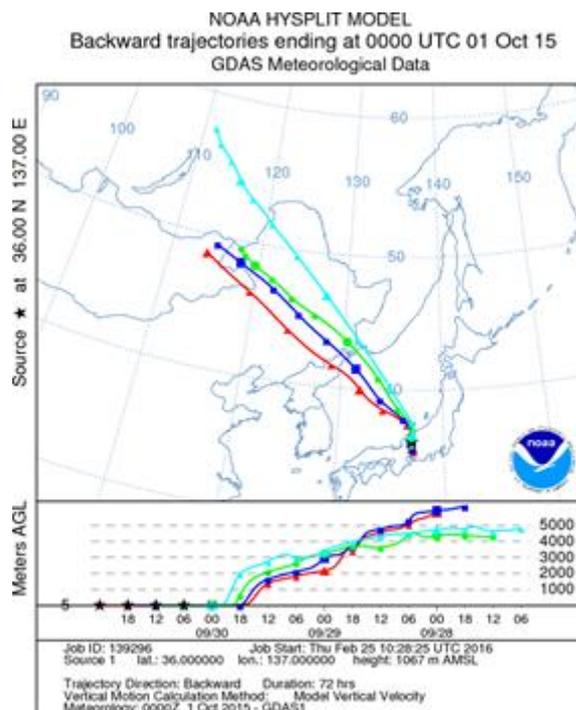
http://www.env.go.jp/osen/pm/ca/110729/no_110729001b.pdf

(原稿受付 2016. 3. 9)



付図1 2013年に乗鞍観測所で捕集された大気的主要イオン濃度

ミニポンプを用いテフロン製フィルター上に1.5L/minで大気粉塵を採取した。24時間連続と20:00から7:00の11時間（夜間）の試料採取を、それぞれ7日間並行して行った。採取した試料はいずれも水抽出し、イオンクロマトグラフで主要イオンの定量を行った。8月と9月は夜間と連続採取試料の濃度や組成に差が見られ、その解釈ができないでいた。



付図2 後方流跡線解析（NOAA）による大気の流れ（2015年10月1日）

9月29日から10月6日にかけて、同様な軌跡が描かれ、北西方向から大気が入り込んでいることが推察される。