

自動霧水捕集装置の製作とその性能評価*

田子 博¹⁾ · 安村 説夫¹⁾ · 大谷 仁己¹⁾
 大月 邦夫¹⁾ · 田向 順光²⁾ · 赤杉 政則²⁾

キーワード ①酸性霧②自動霧水捕集装置③モニタリング④長期調査

要 旨

霧の長期モニタリングに必要な自動霧水捕集装置を新しく製作し、その性能の評価を山岳部で行った。約2年間の連続運転(冬期は休止)で、装置はほぼ休みなく正常に稼働し、稼働率は90%以上であった。霧の感知および捕集された霧水成分は、従来の装置と比較してほぼ一致した。現地で得られた観測データをテキスト形式で記録することで一般の表計算ソフトで集計可能になり、データ整理の時間を大幅に短縮することができた。

以上のことから、この装置は人手をかけずに良質なモニタリングデータを得るという開発のねらいをほぼ満たしており、霧の長期モニタリングに有用であることが確認できた。

1. はじめに

霧は地表近くで発生し、粒子が細かく滞留時間も長いため、雨と比較して多くの汚染物質を取り込みやすい^{1,2)}。このため霧水の塩濃度と酸性度は、同じ場所に降る雨と比較しておよそ10倍程度高い場合がある。このような酸性霧は直接樹木の葉に影響を及ぼすばかりでなく、とくに霧が頻繁に発生する山岳部においては樹雨による土壌への影響も懸念される³⁾。

このように、酸性霧は酸性雨と並んで生態系に及ぼす影響は大きいと考えられる。したがって雨と同様、長期モニタリングが必要であるが、全国的にはその体制は整っていないのが現状である。この理由は、霧水が採取できるような濃霧が頻発する地域が限られていることもあるが、霧水採取

そのものが雨と比較して難しいためである。

現在、各地方環境研究所においても酸性霧の調査は行われているが^{4~13)}、その多くは短期調査で、長期にわたって霧の実態を調査した例は少ない。長期間のモニタリングには霧水捕集装置の自動化が必要であり、そこから得られる霧の発生、消滅および霧水採取時刻のデータ整理に多くの労力を要する。このような理由から、その必要性は十分理解されているにもかかわらず、手間のかかる長期間の霧のモニタリングが行われていないと思われる。

群馬県では平成3年度から自動霧水捕集装置を用いて長期のモニタリングを行っているが、調査をさらに推進させるためには上述の問題を解決しなければならない。そこで、現場での作業ができ

*Development and Evaluation of an Automatic Fog Sampler

1) Hiroshi TAGO, 1) Setsuo YASUMURA, 1) Yoshimi OHTANI, 1) Kunio OTSUKI (群馬県衛生環境研究所) Gunma Prefectural Institute of Public Health and Environmental Sciences, 2) Yoshimitsu TAMUKAI, 2) Masanori AKASUGI (大昌エンジニアリング株) Daisho Engineering Co, Ltd.

るだけ簡便に行えること、得られたデータを迅速に処理できることを主眼に自動霧水捕集装置を作成した。完成した装置を赤城山に設置し、およそ2年間の長期運転（冬期は降雪のため運転を停止した）を行い性能を評価したので、本稿でその結果について報告する。

2. 調査方法

2.1 霧水捕集装置

2.1.1 装置開発のねらい

霧の捕集装置は1980～90年にかけて多くの種類が開発され、利用されてきている¹⁴⁾。一般に発生した霧をそのままの状態で捕集することは、大気中のエアロゾルの影響が避けられないため¹⁵⁾困難を伴う。しかし、たとえ霧をそのままの状態で捕集できなくとも、捕集方法に差がなく長期間確実に装置が稼働し、分析に必要な霧水量が確保できれば、発生した霧の実態をおおまかに把握することができる。そこで、いかに維持管理のための費用と人手をかけずに長期間確実に霧のモニタリングができるかということをこの装置開発のねらいとした。

群馬県で使用している従来の装置は、①ボトルの移動機構が複雑で故障が多い、②霧発生等のデータはコンピューターのプリンター出力のみで、紙詰まりによりデータが取れない場合がある、③装置の防湿対策が不十分でコンピューターの誤動作が多いといった問題点があり、これらが原因で装置の稼働率が60%程度になってしまった年もあった。また上記②で述べたとおり、霧に関するデータがすぐにコンピューター上で利用できないため、データ整理に多くの時間が必要であった。さらに従来の装置は構成が複雑で現場におけるメンテナンスに手間がかかるばかりでなく、故障の際、部品交換が簡単にはできず修理に多くの時間を費やし、装置の稼働率低下の一因になった。

上記の問題点を解決するために、具体的には①山岳部のような厳しい環境条件下での使用に耐えうる堅牢性、②長期間安定した動作を維持できる信頼性、③多量のデータを効率よく処理できるためのデータのデジタル化、④現場での作業を効率よくするため部品交換の容易性の4点を重要視して装置の製作に臨んだ。

2.1.2 装置の概略

前節で述べた観点から製作した装置（DFC-1100）を写真に示す。装置は大きく分けて感霧部、霧捕集部、制御管理部、霧水保存部の4つの部分から構成されている。

霧水の採取には、Hoffmann ら¹⁶⁾によって提案された細線式（あるいはインパクション式）と呼ばれるテフロン線を張ったスクリーンに霧を含んだ空気を衝突させる方が多く用いられている。日本でもこれ以外の方式で霧を採取している例はほとんど見受けられないため、本装置も細線式を採用した。

集霧ファンは $18\text{m}^3/\text{min}$ （風速 3.9m/s ）、 $23\text{m}^3/\text{min}$ （風速 5.0m/s ）、 $26\text{m}^3/\text{min}$ （風速 5.6m/s ）の三段階に調節可能である。集霧スクリーンはテフロン製の外径 0.8mm のチューブを134回巻きつけてあり、隣り合う糸の間隔は 1.2mm である。チューブ糸は撚糸と比較して、捕集面の汚れを簡単に落とすことができ、捕集された霧粒が速やかに滴下され、物理的にも強いというメリットがある。細線式霧水捕集装置の捕集効率については瀬戸ら¹⁷⁾が詳細に述べており、本装置についての捕集効率は後述する。

霧のセンサーは空気中の水分を電極で感知する方式を採用した。霧捕集部と基本的に同じ構造をした小型の装置を常時運転し、集められた水滴を電極に導く方式である。電極に水滴が導かれると集霧ファンが回転し、霧水を捕集するしくみに

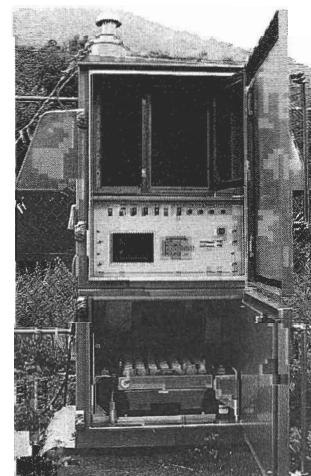


写真 自動霧水捕集装置 DFC-1100

なっている。

装置全体はアルミの箱に収納されており、耐候性に配慮した。しかし重量は300kg程度になり、設置後の移動は困難であった。

霧の発生、消失時刻等の情報はすべてコンピュータを介して3.5インチフロッピーディスクおよび内蔵のハードディスクにテキスト形式で記録される。このことによって得られたデータを直接一般の表計算ソフトで読み込み、編集が可能となった。

採取された霧水は125mlのポリエチレン製のボトルに貯えられる。霧水量の検出には重量センサーを用い、霧水量が100gに達すると次のボトルに霧水は導入される。ボトルは全部で56本セットされており、測定地点である赤城山の場合、本仕様でおよそ2週間に1度の割合でボトルを交換すれば、ほとんどの霧水が採取可能であった。すべてのボトルに霧水が捕集されると、霧水捕集は停止されるが、霧の発生状況は引続き記録される。

ボトルは電子クーラーによって10°C以下に保たれた環境で保存される。電子クーラーを使用したのは、これまでの市販の冷蔵庫を利用した霧水の保存法とは違い、霧水保存部の形状および大きさを自由に設定でき、より確実にボトルへ霧水を貯留できる利点があるからである。しかし電子クーラーで冷却したところ、ボトルに捕集された霧水の一部が蒸発によって失われるという現象がみられた。そこでボトルにプラスチック製のロートをかぶせたところ、蒸発を抑えることができた。

2.2 フィールドにおける霧の観測と採取

自動霧水捕集装置を国設赤城測定所（群馬県勢多郡富士見村赤城山1-2、以下、赤城山とする）に設置し、1998年7月～99年12月まで酸性霧の観測および捕集を行った。ただし98年12月～99年4月の期間は積雪のため調査は行わなかった。この間、装置はセンサーを取り外し、ビニールシートをかけた状態で現地に放置した。

採取された霧水の回収および装置の点検はおよそ2週間に1度の割合で行った。現地では霧水ボトルトレイ、霧捕集スクリーンおよび霧観測データ書き込み用フロッピーディスクの交換を行った。これらはすべてユニットごと交換可能としたため、現地での作業時間を非常に短くできた。

その他、感霧センサーの点検および風洞内の清掃を必要に応じて行った。感霧センサーについても汚れやすい霧滴捕集スクリーン部は簡単に交換可能である。

この装置を評価するに当たって、日本では多くの実績がある臼井工業研究所製 FWG-800型自動霧水捕集装置を比較に用いた。これら2台の装置を並べて赤城山に設置、運転し、霧の発生および消滅時刻、得られた霧水成分の比較を行った。評価をする際、DFC-1100の集霧ファンは最大風量の26m³/min(風速5.6m/s)で運転した。

2.3 霧水の捕集効率

装置の霧水捕集効率はおおまかには吸引空気量に対する細線の有効面積比率と霧粒の細線への衝突効率から決定される。実際のフィールドにおける装置の捕集効率を求めるには、さまざまな誤差要因の検討が必要になるが、ここでは簡素化し、以下に述べる仮定の下に捕集効率を求めた。

- ・霧粒の細線への衝突を理想流体中にある球の円柱への衝突と考える。
- ・上記衝突はストークス法則に従う範囲で起こる。
- ・細線に衝突した霧粒は粉碎されることなく速やかに細線から除かれ全量ボトルに移動する。

外枠の面積に対する細線全体の面積比率Rは細線の半径をC、外枠の幅をw、巻き付け回数をnとすると、

$$R = 2C \frac{n}{w} \quad (1)$$

で求められる。実際の捕集スクリーンは枠の両側に細線が巻いてあるので、捕集スクリーン1枚当たりの有効面積比率Rsは

$$Rs = R + R(1 - R) \quad (2)$$

となる¹⁷⁾。スクリーンの枚数が増えた場合、(2)式の計算を繰り返す。

次に霧粒の細線への衝突効率を求める。先に述べた仮定の下では、空気の流れ方向と捕集スクリーンのなす角をθとすると衝突効率EMは

$$K = \frac{2\rho_s a^2 U \sin \theta}{9\eta C} \quad (3)$$

で表わされるKの関数となる¹⁸⁾。ここで、ρ_sは霧粒の密度(g/cm³)、aは霧粒の半径(cm)、Uはダクト内の空気の流速(cm/sec)、ηは空気の

粘性係数 ($\text{g}/(\text{cm} \cdot \text{sec})$) , C は細線の半径 (cm) を示す。 θ が小さくなると、厳密には細線の断面を橢円として考える必要が出てくるが、ここでは考慮しないこととする。(3)式から求めた K を用いて、衝突効率 E_M は以下の式で与えられる¹⁸⁾。

$0.125 < K \leq 1.1$ のとき

$$E_M = 0.466 (\log_{10} 8 K)^2 \quad (4)$$

$$1.1 < K \text{ のとき } E_M = \frac{K}{K + \frac{\pi}{2}} \quad (5)$$

したがって、最終的な装置の捕集効率 E は

$$E = R_s \cdot E_M \quad (6)$$

で求められる。これらの式を用いて気温15°C、気圧850hPaの条件下で計算した各装置に対する霧粒の衝突効率曲線を図2に示した。また(6)式から求めた半径2.5および5μmの霧粒に対する装置の捕集効率を表1に示した。(4)式からわかるように K が0.125以下では霧粒の細線への衝突は起こらないので、(3)式の K に0.125を代入して得られた a が理論上、捕集可能な最小の霧粒半径となる。その計算結果も表1にあわせて示した。

スクリーン1枚当たりの霧水捕集効率は両装置で大きな違いはない。しかし実際には FWG-800 が霧捕集スクリーンを2枚装着していたのに対し、DFC-1100では1枚であったため、装置の捕集効率は FWG-800が1.6~1.8倍程度よくなっている。スクリーンで捕集された霧水は一定量ごとにボトルに貯留されるが、ボトル容量 (FWG-800

では60ml, DFC-1100では100ml) および捕集効率の違いから、ボトル1本分採取する時間は計算上、DFC-1100が2.8倍程度長くかかる。表1からわかるように、DFC-1100の霧水捕集時間分解能を上昇させるには、スクリーンを追加することにより可能である。なお3枚以上のスクリーンを使用しても有効面積比率の改善はわずかであるので、製作コストの面からも考えてスクリーンは2枚以内が妥当である。

有効面積比率が一定であれば、装置の捕集効率は霧粒の細線への衝突効率で決定される。図1および(3)式に示されているように、衝突効率にもっとも影響を与えるのは霧粒の粒径である。したがって、本来ならば装置を設置する地点に発生する霧粒の粒度分布を知って、霧水の捕集に関する装置の評価が可能になる。しかしながら長期にわたる霧の粒径調査はほとんど行われてはおらず、赤城山においても例外ではない。

短期間では尾崎ら¹⁹⁾が調査を行っており、赤城山では半径2.5~5μmをピークとする対数正規分布に近い粒径分布を持つ霧が観測されている。Minami ら²⁰⁾も、乗鞍岳において捕集された霧水は霧粒半径2.5~5.5μmのものがもっとも多いことを報告している。またドイツにおける放射霧の観測²¹⁾では霧粒半径5~10μmあるいはそれ以上の大きさの霧粒が報告されている。

これらデータを元に考えれば、いずれの装置についても捕集可能な最小霧粒半径は1μm以下であり、捕集効率は2.5μmで約25%, 5μmで約40%となり、差は見られなかった。

表1 それぞれの装置の捕集効率と
捕集可能な最小霧粒の半径

霧粒半径 (μm)	2.5	5	a_{\min}
A ₁	0.25	0.43	0.76
A ₂	0.44	0.74	
B ₁	0.25	0.47	0.91
B ₂	0.39	0.71	
A ₂ /B ₁	1.8	1.6	

気圧850hPa、気温15°C

A₁: FWG-800 (スクリーン1枚)

B₁: DFC-1100 (スクリーン1枚)

A₂: FWG-800 (スクリーン2枚)

B₂: DFC-1100 (スクリーン2枚)

太字は実際の装置に装着されている状態

a_{\min} : 捕集可能な最小霧粒半径 (μm)

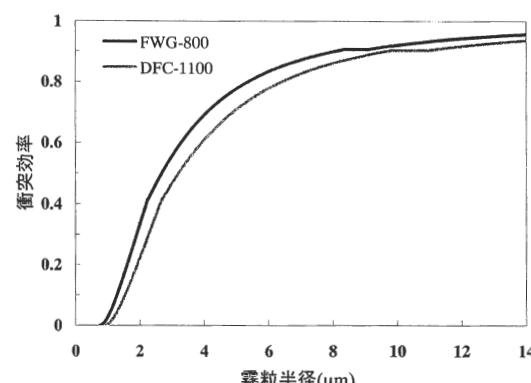


図1 それぞれの装置における霧粒の衝突効率曲線

2.4 霧水の分析

採取された霧水は研究室に持ち帰り、霧水量を測定し、直ちに分析を行った。分析項目は pH, EC のほか、主要イオンとした²²⁾。

3. 観測

3.1 装置の稼働状況

霧の発生状況や霧水成分は、季節的な傾向が見られるものの、個々の霧水の性状は大きく異なることが多い。また同じ時期の霧であっても観測年度によって成分が大きく異なる場合もある。したがって、ある地域に発生する霧の全体像を捉えるためには長期間の測定が必要である。装置の稼働率の高低はモニタリングデータの質に直結するため、高い稼働率を維持することが重要になる。

装置の稼働率は1998, 99年とも90%以上を確保できた。この稼働率は、従来の装置と比較しても十分に満足のいくものであった。装置が停止したのは、夏期の落雷に伴う停電によるものがほとんどであった。本体回路には雷害防止処理が施しており、落雷による装置の破損はなかった。また霧

水の捕集に関しても、装置的なトラブルは認められなかった。

装置全体がアルミの箱に収納されているため、2年間の運転では装置内部が劣化することはなかった。しかし装置をとくに湿度の高い場所で10年程度使用し続けるためには、今後何らかの防湿、防露対策が必要になる可能性がある。

3.2 霧の発生状況

霧は気象学的には空気中に浮遊する微細な水滴により視程が1km未満となった場合とされているが、実際の自動霧水捕集装置は通常それよりも遙かに濃い霧で霧水の捕集動作を始める。本県で使用しているFWG-800では視界距離およそ30mで作動した。あまり薄い霧で作動しても、霧水はほとんど採取されないか、採取されたとしても捕集面での濃縮等の問題が発生する^{23), 24)}。こうしたことから、どの程度の濃さの霧で霧水を捕集するのが適当であるかを判断するのは難しいが、各地のデータとの比較をする必要があるため、これまで装置の普及台数の多いFWG-800と同等の霧感知能力があることが適当とした。

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
07/29	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	+++	+++++	++++	++								
07/30								+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++											
07/31	+++++	+++						+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++		++	+	+++	+++++	+++++	+++++	+++++	+			
08/01	+	++++						+++++	+++++	+++															
08/02	+++++	+++++						+++	+++																
08/03																									
08/04																									
08/05																									
08/06																									
08/07	+++++	+++++	+++																						
08/08																									
08/09	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++																			
08/10																									
08/11																									
08/12	+++++	++++													++	++		+++++							
08/13																									
08/14																									
08/15	-++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+		++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	
08/16	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++				++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
08/17																									
08/18	+++																								
08/19	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++				+++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	
08/20																									
08/21																									
08/22																									
08/23	+++++	+++																							
08/24																									
08/25																									
08/26																									
08/27	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++				+	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	
08/28	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++				+++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	
08/29	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++				++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	
08/30																									
08/31	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++	+++++	+++++	+++++	+++	+++												
09/01																									
09/02	++++	+++	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----					----	----	----	----	----	----	

++ FWG-800のみ霧を感知 // DFC-1100のみ霧を感知 ** 両方の装置で霧を感知 -- 欠測

図2 2台の装置による霧感知状況の比較（その1）

図2は1998年における各装置が霧を感知した日時を示している。明らかにDFC-1100の方が霧の感度が悪いことがわかる。この原因はセンサーにおける霧水の捕集能力不足およびセンサーの取り付け位置不良のためであった。DFC-1100は電極に直接霧水を捕集するのに対し、FWG-800は小型の霧水捕集スクリーンを備えており、スクリーンに捕集された霧水を検出するしくみになっている。非常に濃い霧の場合センサーの霧水捕集能力の差は小さいが、薄い霧の場合その差は顕著であった。

またDFC-1100では本体側面にセンサーの開口部があるために霧の感知に指向性が見られた。現場で観察したところ、センサー開口部側から霧が発生した場合は両装置の作動状況はほぼ一致したが、反対側から霧が発生すると濃い霧の場合でもDFC-1100は霧の感知が困難であった。赤城山で発生する霧はある方向から流れてくるケースが多く、センサーに指向性があると測定に支障をきたす。

このようなことから、センサーに霧捕集スクリーンを取り付けるとともに、センサーの位置を上部に移動させる改良をしたところ、図3に示すようにDFC-1100のセンサー感度が大幅に改善された。図3から判断するとDFC-1100の方がやや薄い霧にも反応するようであるが、ほぼ両装置のセンサー感度が一致したとみなし、この仕様のまま1999年の測定を行った。

1999年における全体の霧発生率は、FWG-800が9.2%、DFC-1100が14.0%となり、DFC-1100の方が高かった。これまでの赤城山における霧発生

率は10~20%程度^{22,25)}であることを考えれば、今回得られた霧発生率は妥当な範囲に収まっていると思われる。

しかし細部を検討すると、とくにセンサー感度ぎりぎりの薄い霧が発生した場合に、2台のセンサーの動作に不一致が見られた。どちらのセンサーも、霧捕集スクリーンで捕集した空気中の水滴を電極で感知する機械的な方式である。しかしセンサー部のファンの風量やスクリーンの捕集効率等が異なるため、とくに薄い霧の場合動作が一致しなかったと思われる。センサーのファンは測定期間中は常時空気を吸引しており、センサー部に取り付けられた霧捕集スクリーンは非常に汚れやすい。このスクリーンはボトル交換時に清掃(あるいは交換)したが、この汚れもセンサーの感度に影響を与えたと考えられる。このように機械的なセンサーは誤差を与える要因が多く、個々のセンサーの感度を完全に一致させるのは困難であった。

しかし長期にわたる霧のモニタリングでは、微細な霧の発生状況は問題とならない。その点から判断すれば、本装置の霧センサーは実用上問題なく使用でき、この装置で得られたデータと群馬県の過去のデータ(FWG-800で採取したもの)との比較も可能と考えられる。

3.3 霧水の捕集速度

尾崎ら¹⁹⁾は赤城山での霧の観測結果から霧の濃度が短時間で大きく変化することを報告している。したがって装置の霧水捕集速度を厳密に比較するためには、人によって同時に捕集開始および終了する必要がある。しかし今回はその方法で調

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
09/29	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
09/30	*****	*****	***//	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
10/01	*****	*****	****+	****+	****+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
10/02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
10/03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
10/04	////	////	////	////	////	////	////	////	//	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
10/05	/*+	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	
10/06	*****	*****	////	////	/	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
10/07	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
10/08	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	
10/09	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
10/10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
10/11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
10/12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

++ FWG-800のみ霧を感知 // DFC-1100のみ霧を感知 ** 両方の装置で霧を感知 — 欠測

図3 2台の装置による霧感知状況の比較（その2）

査ができなかつたため、装置を自動運転させた状態で比較した。

図4に両装置の霧水捕集速度の散布図を示す。図から回帰直線の傾きを求めると約1.8となった。両装置の吸引風量はほぼ同じであるので、この傾きは装置の捕集効率の比を表わすと考えられる。この値と表1に示した装置の捕集効率の比がほぼ一致することから、捕集効率を計算することで霧水捕集装置としての性能を確認することができた。

なお前節で述べたようにセンサーの感度が両装置で完全には一致していないため、とくに霧が薄くなり片方の装置のみ捕集動作を停止してしまった場合は、両装置の捕集速度が大きく異なる。このような霧の場合には、図には示していないが図4の直線からのずれが大きくなることがあつた。

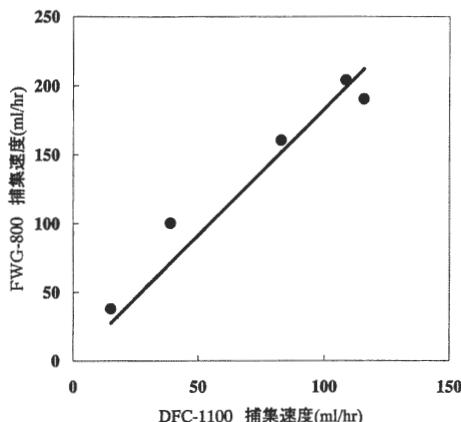


図4 それぞれの装置における霧捕集速度の比較

た。

3.4 長期観測結果

霧水の成分に影響を与える因子はいくつかあるが、霧粒の径にも依存する²⁶⁾といわれている。しかし前述したように、両装置においては霧粒径の違いによる霧の捕集効率に大差はなく、両装置を用いて採取された霧水の成分に霧粒の径が与える影響は小さいと思われる。

表2は1998~99年の観測期間中、霧の捕集時刻が近かった霧水の成分を比較したものである。No. 3の霧で若干の差異を生じた他は、ほぼ一致した分析値が得られ、これら2台の装置では霧粒の捕集効率の差が霧水成分に与える影響が小さいことが確認された。

図5は1999年度において両装置で得られた霧水pHを時系列にプロットしたものである。霧水

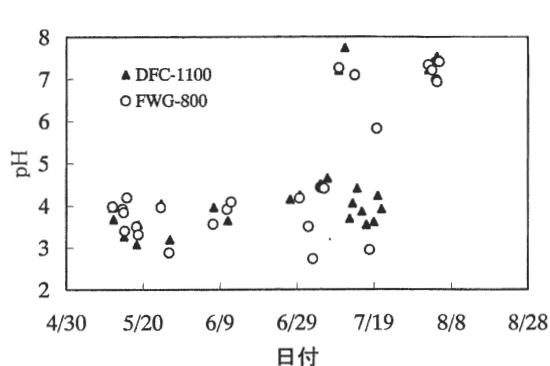


図5 2台の装置によって得られた霧水pHの状況

表2 それぞれの装置で捕集された霧水の成分分析結果

		霧の発生・消滅日時	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	NH_4^+ (mg/l)	SO_4^{2-} (mg/l)	NO_3^- (mg/l)
1	FWG-800	1998/8/15 15:38~08/16 05:54	34.8	4.77	2.90	4.57	4.97
	DFC-1100	1998/8/15 17:47~08/16 05:27	38.7	4.61	2.99	5.01	4.82
2	FWG-800	1998/9/29 14:50~09/30 02:27	24.3	4.59	0.98	2.78	2.66
	DFC-1100	1998/9/29 14:17~09/30 03:17	28.5	4.64	1.35	3.11	2.73
3	FWG-800	1998/10/13 21:41~10/14 05:00	22.4	4.33	0.58	2.75	2.25
	DFC-1100	1998/10/13 22:51~10/14 05:39	31.6	4.42	0.98	3.29	3.46
4	FWG-800	1999/5/12 00:03~05/12 00:39	178.7	3.97	10.65	16.46	28.31
	DFC-1100	1999/5/12 00:14~05/12 00:36	167.9	3.96	11.21	14.19	29.13
5	FWG-800	1999/7/1 18:41~07/02 00:25	234.8	3.50	7.55	12.80	34.94
	DFC-1100	1999/7/1 18:48~07/02 03:56	246.8	3.51	8.33	13.37	37.52
6	FWG-800	1999/7/5 12:31~07/05 14:00	38.3	4.41	2.16	3.50	3.83
	DFC-1100	1999/7/5 12:02~07/06 06:29	39.9	4.50	2.58	4.11	4.50

pHの変化はほぼ同じ傾向を示している。しかし7月中旬に得られたデータは2台の装置でばらつきが大きい。また霧の感知自体もDFC-1100の方が多くなっている。この時期赤城山ではまとまった量の降水が確認されており、DFC-1100のセンサーが雨によって誤動作を起こしていた可能性がある。このため霧が発生していない状態でファンが回転し、空気中のエアロゾル等の影響を強く受けたと考えられた。このためセンサーの雨よけを改良し雨の影響を極力排除することにした。

同じ形式の複数の装置を用いて水の捕集状態や成分の比較をした報告がないため、表2および図5の結果の評価は難しい。しかし酸性霧モニタリングは、微細な霧水成分の差異より長期にわたる霧水成分の変化の傾向をつかむことが重要である。図5からは、5~6月にかけて低いpHの霧水が頻繁に観測され、それ以降はpHの振れ幅が大きいという結果がどちらの装置を使用しても得られる。したがってDFC-1100を使用して得られた霧水の成分をFWG-800で得られた霧水の成分と比較してもマクロ的には問題ないといえる。

4. まとめ

霧の長期モニタリングに必要な自動霧水捕集装置を新しく製作しその性能の評価を行ったところ、以下の結果が得られた。

- ① 約2年間の連続運転(冬期は休止)で装置はほぼ休みなく正常に稼働し、稼働率は90%以上であった。
- ② 観測データをテキスト形式で記録することにより、直接パソコンでのデータ処理が可能になった。このためデータ処理の時間を大幅に短縮できた。
- ③ 部品のユニット化により現場での作業時間を従来の約半分にすることができた。
- ④ 霧の感知および捕集された霧水成分は、従来の装置と細部で若干異なるものの、全体の傾向を把握するには支障がなく、従来のデータとの比較が可能であった。

以上のことから、この装置は開発当初のねらいをほぼ満たしており、霧の長期モニタリングに有用であることが確認できた。

謝 辞

本稿の執筆に当たり、広島県保健環境センターの大原真由美氏からは貴重な資料の提供を受けた。また石川県農業短期大学生物生産学科の皆已幸也氏には貴重な資料と親切な助言をいただいた。両名に感謝の意を表します。

一参考文献

- 1) 村野健太郎：酸性雨と酸性霧，pp125~126，裳華房，東京，1993
- 2) 井川学，補伽榮一，細野哲也，岩瀬光司，長嶋律：酸性霧の化学組成と洗浄効果. 日本化学会誌, **233**, 698~704, 1991
- 3) 井川学：丹沢・大山における森林衰退と酸性霧. 環境科学誌, **12**, 233~240, 1999
- 4) 安念清，大西勝典，近藤隆之，藤谷亮一：酸性霧実態総合調査(第3報). 富山県環境科学センター年報, 22, 71~77, 1994
- 5) 竹前道夫，江坂忍：京都府における霧水実態調査. 京都府衛公研年報, **38**, 31~38, 1993
- 6) 久保昌幸，倉井宏明，須釜安正，伊藤利秋，土橋洋司：奥日光地域における雨水及び霧水の化学組成について. 栃木県公害研究所年報, 18, 33~36, 1994
- 7) 植木啓次，鈴木行夫，今井佐金吾，菅原道直，山本進：神戸の酸性霧. 神戸市環境保健研究所報, 23, 39~42, 1995
- 8) 佐藤慎二，口田圭吾，情野正道，玉川勝美，加藤丈夫：泉ヶ岳における酸性霧の実態調査. 仙台市衛生研究所報, 24, 195~199, 1994
- 9) 山本里恵，古屋佳宏，深沢均，篠原英二郎，杉山光則：静岡県における酸性霧実態調査について. 静岡県衛生環境センター報告, 38, 97~103, 1995
- 10) 湯川幸郎，高嶋司，児玉仁：秋田県の森林地帯における酸性雨・酸性霧について. 秋田県環境技術センター年報, 23, 36~46, 1995
- 11) 湯川幸郎，高嶋司，児玉仁：秋田県の森林地帯における酸性雨・酸性霧について. 秋田県環境技術センター年報, 24, 56~68, 1996
- 12) 戸澤範行，都築崇之，羽田野良一：愛知県三河山間部における酸性霧調査について(第1報). 愛知県環境調査センター所報, 23, 21~25, 1995
- 13) 松本光弘，阿井俊通，植田直隆，小野泰美：5カ年調査における奈良県の酸性雨・酸性霧の現状. 奈良県衛生研究所年報, 31, 41~49, 1996
- 14) 大原真由美，村野健太郎：酸性霧の測定法. 環境と測定技術, **19** (9), 35~42, 1992
- 15) 玉置元則：森林地域での酸性雨影響調査手法. 環境技術, **25** (10), 6~16, 1996
- 16) D. J. Jacob, J.M. Waldman, M. Hagh, M. R. Hoffmann, R. C. Flagan:Instrument to collect fogwater for chemical analysis. *Rev. Sci. Instrum.*, **56**, 1291~1293, 1985
- 17) 濱戸信也，大原真由美：細線式霧水捕集装置の試作. 広島県保健環境センター研究報告, 4, 5~9, 1996
- 18) Irving Langmuir, K. Blodgett: Mathematical investigation of water droplet trajectories: C. Guy Suits, Harold E. Way ed. The Collected Works of IRVING LANGMUIR, vol. 10, pp. 336~393, Pergamon Press, Oxford, 1961

- 19) 尾崎裕, 福山力, 小島勝彦: 赤城山における霧粒の粒径測定. 重点領域研究「人間一環境系」研究報告集 G068-16B-40, 75-85, 1993
- 20) Yukiya Minami, Yutaka Ishizuka: Evaluation of chemical composition in fog water near the summit of a high mountain in Japan. *Atmospheric Environment*, **30**, 3363-3376, 1996
- 21) T. W. Choularton, G. Fullarton, J. Latham, C. S. Mill, M. H. Smith, I. M. Stromberg: A field study of radiation fog in Meppen, West Germany. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **107**, 381-394, 1981
- 22) 田子博, 鳴田好孝, 安村説夫, 新井孝幸, 樋口洋一郎: 平成7年度群馬県における霧の実態調査. 群馬県衛生環境研究所年報, 28, 92-98, 1996
- 23) 井川学: 酸性霧とその環境影響. 重点領域研究「人間一環境系」研究報告集 G068-16B-40, 11-15, 1993
- 24) 竹中規訓, 前田泰昭, 吉川秀次郎, 田口圭介: 霧の採取法の基礎的検討と生駒山でのフィールド調査. 大気汚染学会講演要旨集, pp528, 1992
- 25) 田子博, 安村説夫, 鳴田好孝: 群馬県における酸性霧調査. 大気環境学会講演要旨集, pp386, 1999
- 26) Gong-Wang Qian, Yutaka Ishizaka, Yukiya Minami, Yoshinobu Kurahashi, Bernadia. I. Tjandradewi: Transformation of individual aerosol particles in acidic fog evolution, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **70**, 711-722, 1992