富山市科学博物館
TOYAMA SCIENCE MUSEUM

立山における酸性雨観測および降水と雲粒との化学成分濃度の違いに関する調査

著者	朴木 英治, 渡辺 幸一
雑誌名	富山市科学文化センター研究報告
号	27
ページ	81-85
発行年	2004-03-25
URL	http://repo.tsm.toyama.toyama.jp/?action=repository_uri&item_id=804

富山市科学文化センター研究報告第27号，pp.81-85；(2004)

短　報

立山における酸性雨観測および降水と雲粒との化学成分濃度の違いに関する調査*

朴木　英治
富山市科学文化センター

渡辺　幸一
富山県立大学短期大学部環境システム工学科

Report on water chemistry of precipitation and tag at Mt. Tateyama

Hideharu Honoki
Toyama Science Museum

Koichi Watanabe
Toyama Prefectural University

1. はじめに

立山室堂平（標高2,450 m）は，北西季節風に対して富山市のちょうど風下に位置している。ここで採取した積雪試料から求めた非海塩性硫酸イオンの沈着量は，同一期間の富山市市街地での沈着量のおよそ2倍であった。また，硝酸イオンの沈着量は1.7倍であった（朴木他 2001）。これに対し，ナトリウムイオンの沈着量は0.7倍しかなかった（朴木他 2001）。しかし，この期間の立山室堂平における降水量は平野部の５倍程度あるため，平均濃度で比較すると，各成分濃度は富山市市街地の1/3程度以下となる。立山室堂平の冬期の降水では，海塩成分濃度が著しく低下するいわゆる高度効果が見られるのに対し，非海塩性硫酸イオンではナトリウムイオンと比べて高度効果は小さいものと考えられた。一方，硝酸イオンでは非海塩性硫酸イオンよりも大きな高度効果を示していた。このように，立山山岳域に輸送される物質の沈着挙動，特に高度効果の現れ方が物質によって異なる事の原因を探るため，立山で標高別に降水と霧水を採取し，両者の化学成分濃度を比較した。本報告では降水試料関係の調査結果を中心に報告する。

2. 調査地点と調査期間

調査地点として，標高2,450m の室堂平（富山県立山自然保護センター敷地内）の他，比較観測点として標高1,850m の弥陀ヶ原（弥陀ヶ原駐車場），標高970 m の美女平（立山ケーブル美女平駅駅舎屋上）で観測を行った。標高別の比較観測は2003年9月26日～10月24日まで行ったが，立山ケーブル美女平駅駅舎屋上では，さらに，10月24日～11月27まで継続して観測を行った。

降水の採取には断面積224.2㎠の自作のバルクサンプラーを使用した。また，降水観測機材の設置場所に霧水採取器も設置した。降水採取用の機材は朴木が，霧水採取用機材は渡辺がそれぞれ管理し，試料の回収は両者またはどちらか一方が現地に行き，降水と霧水の試料を同時に採取した。

試料の回収は，9月26日（霧試料のみ），10月1日，3日，7日，15日，17日，21日，24日（以降は美女平のみ），30日，11月8日，13日，20日～21日（室堂平で一泊観測），27日（美女平の機材撤収）に行った。

弥陀ヶ原，室堂平の観測機材を撤収した10月24日には，前日までに降った新雪と生成直後のエビのしっぽを採取することができた。室堂では，通常であれば11月にはかなりの降雪も見られるが，2003年秋期は残念ながら気温が高く，積雪がほとんどなかった。10月24日以降では，11月13日に室堂平で新雪とやや解けかかったエビのしっぽを採取することができた。さらに，一泊で観測を行った11月20日～21には，この時期には珍しく雨となってしまった。

3. 分析方法

降雨試料は分析を行うまで冷蔵保存し，降雪・積雪試料は冷凍保存した。分析時に降雨試料は常温に戻し，降雪・積雪試料も常温で融解させた後，常温にし，pH と電気伝導度を測定した。イオン成分の分析の際には0.45ミクロンのメンブランフィルターでろ過し，陽イオン成分，陰イオン成分ともイオンクロマトグラフを使用して分析した。立山の降水試料の成分濃度は一般に低いため，通常使用する標準試料を10倍に希釈した標準試料でキャリブレーションを行った。霧水関係の試料の成分濃度は降水と比べると高い場合が多いため，通常の標準液を使ってキャリブレーションを行った。

＊富山市科学文化センター研究業績第307号

4.　結果および考察

4.1　降水量

9月26日～10月24日の期間で比較すると，美女平の降水量は165.2mm，弥陀ヶ原202.9mm，室堂平236.5mmで，標高が高くなるにつれて降水量は多くなった（表１）。また，美女平では10月24日～11月27日の期間の降水量は203.7mmあり，9月26日～10月24日までの期間に観測された降水量の1.2倍程度となった（表１）。

4.2　pH

9月26日～10月２４日の期間で比較すると，美女平の降水の平均pHは4.64で他の観測点と比べて最も低かった。また，弥陀ヶ原の降水の平均pHは4.85，室堂平の降水の平均pHは4.90で，標高が高くなるほど降水の平均pHは高くなる傾向が見られた（表１）。また，美女平で10月24日～11月27日の期間に観測された降水の平均pHの値は4.54で，9月26日～10月24日までの期間に観測された値より若干低かった（表１）。

4.3　ナトリウムイオン

9月26日～10月24日までの美女平における降水中のナトリウムイオンの平均濃度は0.67mg/lであった。これに対して，弥陀ヶ原では美女平のおよそ半分の濃度の0.36mg/l，室堂平ではさらに低下し，美女平のおよそ1/3の濃度の0.20mg/lに低下した。海塩を起源とするナトリウムイオンの濃度が標高の上昇と共に減少する現象は高度効果によるものと考えられた（表１）。

また，美女平で10月24日～11月27日の期間に観測された降水中のナトリウムイオンの平均濃度は0.99mg/lで，9月26日～10月24日までの期間に観測された値よりも高くなった（表１）。

4.4　非海塩性硫酸イオンと硝酸イオン

9月26日～10月24日までの期間で比較すると，美女平における降水中の非海塩性硫酸イオンの平均濃度は1.29mg/lで，弥陀ヶ原では0.86mg/lと美女平の2/3程度に低下したが，室堂平では弥陀ヶ原とほぼ同程度の0.88mg/lであった。これに対して，同期間の降水中の硝酸イオンの平均濃度は，美女平，弥陀ヶ原，室堂平で，それぞれ，0.62mg/l，0.30mg/l，0.22mg/lであった（表１）。室堂平での降水中の硝酸イオン濃度は美女平のそれの1/3程度の濃度となり，ナトリウムイオンと同様の高度効果が起きていた可能性が考えられた。

また，美女平で10月24日～11月27日の期間に観測された降水中の非海塩性硫酸イオンと硝酸イオンの平均濃度は，それぞれ，1.74mg/l，0.64mg/l で（表１），非海塩性硫酸イオンの平均濃度は9月26日～10月24日までの期間よりも高くなり，硝酸イオン濃度は同程度であった。

4.5　アンモニウムイオンと非海塩性カルシウムイオン

両者は酸性雨の中和物質と考えられている成分である。9月26日～10月24日までの期間で比較すると，美女平における降水中のアンモニウムイオンの平均濃度は0.16mg/lで，弥陀ヶ原では0.09mg/l，室堂平では0.07mg/lとなり，標高が高くなるにつれてアンモニウムイオン濃度は低下した（表１）。これに対して，同期間の降水中の非海塩性カルシウムイオンの平均濃度は，美女平，弥陀ヶ原，室堂平で，それぞれ，0.11mg/l，0.18mg/l，0.10mg/lで，弥陀ヶ原の観測値が最も高かった（表１）。

また，美女平で10月24日～11月27日の期間に観測された降水中のアンモニウムイオン濃度と非海塩性カルシウムイオン濃度は，それぞれ，0.22mg/l，0.20mg/lで，両者の濃度は9月26日～10月24日までの期間と比べて増加した（表１）。

4.6　雲粒と降水との成分濃度の違い

室堂平では，10月24日と11月13日に，過冷却した雲粒が物体に衝突して直接凍結してできたエビのしっぽと新雪とを同時に採取できたので，両者の成分濃度を比較した。

エビのしっぽのナトリウムイオン濃度は，10月24日採取分，11月13日採取分が，それぞれ，1.98～2.07mg/l，0.35mg/lであった。これに対して，新雪中のナトリウムイオン濃度は0.27mg/l，0.31mg/lであった（表2，表1）。10月24日に採取したエビのしっぽのナトリウムイオン濃度は新雪の7倍程度高かった。11月13日に採取したエビのしっぽのナトリウムイオン濃度は積雪と同程度であった。しかし，このエビのしっぽのカリウムイオン濃度は異常に高く，その起源については不明であった。

非海塩性硫酸イオンでは，10月24日採取のエビのしっぽと新雪とで，それぞれ，1.32～1.52mg/l，0.65mg/lでエビのしっぽの方が２倍程度濃度が高かった（表2，表1）。また，11月13日採取のエビのしっぽと積雪では，それぞれ，14.13mg/l，0.71mg/lで，エビのしっぽの方は20倍程度濃度が高かった（表2，表1）。

硝酸イオンでは，10月24日採取のエビのしっぽと新雪とで，それぞれ，0.56～0.57mg/l，0.00mg/lで新雪では硝酸イオンが検出されなかった。また，11月13日採取のエビのしっぽと積雪とでは，それぞれ，5.66

mg/l，0.40mg/l で，エビのしっぽの方は14倍程度濃度が高かった（表2，表1）。

アンモニウムイオンでは，10月24日採取のエビのしっぽと新雪とで，それぞれ，0.17～0.31mg/l，0.07mg/l で，エビのしっぽの方が新雪の2.4～4.4倍濃度が高かった。また，11月13日採取のエビのしっぽと積雪とでは，それぞれ，0.26mg/l，0.05mg/l で，エビのしっぽの方が5倍程度濃度が高かった（表2，表1）。

非海塩性カルシウムイオンでは，10月24日のエビのしっぽと新雪とで，それぞれ，0.37～1.08mg/l，0.24 mg/l で，エビのしっぽの方が新雪の1.5～4.5倍濃度が高かった。また，11月13日採取のエビのしっぽと積雪とでは，それぞれ，14.13mg/l，0.65mg/l で，エビのしっぽの方が21.7倍程度濃度が高かった（表2，表1）。

5. まとめ

立山における降水中の化学成分濃度を，美女平（標高970m），弥陀ヶ原（標高1,850m），室堂平（標高2,450m）の３カ所で比較したところ，ナトリウムイオンは標高が高くなるにつれて減少した。また，アンモニウムイオン，硝酸イオンも同様に標高が高くなるにつれて濃度が減少した。これに対して，非海塩性硫酸イオンは，美女平と比べて弥陀ヶ原，室堂平で濃度が低下したが，弥陀ヶ原と室堂平での濃度は同程度であった。これに対して，非海塩性カルシウムイオンでは，弥陀ヶ原での濃度が最も高く，美女平と室堂平は同程度であった。

降水の平均 pH の比較では，美女平，弥陀ヶ原，室堂平の値が，それぞれ，4.64，4.85，4.96で，標高が高くなるほど pH は高くなった。

また，雲粒と降水との比較では，各成分とも，雲粒の方が数倍から10倍以上濃度が高い場合が多かった。

6. 参考文献

朴木英治・飯田肇・川田邦夫・早川和一，2000. 立山室堂（標高2,450m）における積雪ボーリング試料中の酸性物質量．エコテクノロジー研究6(2): 148-149.

謝辞

今回の調査費用の一部に学術振興会研究費補助金（奨励研究：課題番号15915017）を使用した。また，観測機器の設置に関しては，富山森林管理署，富山県自然保護課，富山県立山センターおよび(株)立山開発鉄道にお世話になりました。さらに，室堂での宿泊観測では立山室堂山荘にお世話になりました。ここに厚くお礼申し上げます。

表1　立山における標高別の降水観測結果

場所	観測開始日時間	観測終了日時間	採取量 (g)	降水量 (mm)	電気伝導度 (μs/cm)	pH	Na^+ (mg/l)	NH_4^+ (mg/l)	K^+ (mg/l)	Mg^{2+} (mg/l)	Ca^{2+} (mg/l)	Cl^- (mg/l)	NO_2^- (mg/l)	NO_3^- (mg/l)	SO_4^{2-} (mg/l)	$nssCa^{2+}$ (mg/l)	$nssSO_4^{2-}$ (mg/l)	備考
（バルクサンプラーによる観測結果）																		
美女平	9月26日	10月1日 11:10	630	28.1	20.2	4.74	1.47	0.20	0.08	0.23	0.32	2.50	0.00	0.80	1.69	0.26	1.32	
美女平	10月1日 11:10	10月3日 11:13	420	18.7	24.6	4.36	1.00	0.20	0.13	0.14	0.21	1.68	0.00	1.38	2.09	0.18	1.83	
美女平	10月3日 11:13	10月7日	31	1.4	38.9	4.33	2.51	0.28	0.21	0.33	0.45	3.98	0.00	2.17	3.42	0.35	2.78	
美女平	10月7日	10月15日	1350	60.2	—	5.10	0.10	0.05	0.00	0.03	0.08	0.28	0.00	0.24	63	0.08	0.60	
美女平	10月15日	10月17日 16:02	40	1.8	29.7	4.51	1.88	0.22	0.17	0.24	0.40	2.78	0.00	0.96	2.71	0.33	2.24	
美女平	10月17日 16:02	10月21日 16:00	183	8.2	32.4	4.21	1.01	0.41	0.24	0.13	0.35	1.39	0.00	1.72	3.11	0.31	2.85	
美女平	10月21日 16:00	10月24日	1049	46.8	14.9	4.55	0.65	0.21	0.13	0.08	0.03	1.11	0.00	0.45	1.76	0.00	1.60	
美女平	10月24日	10月30日	194	8.7	24	4.56	0.76	0.59	0.26	0.14	0.63	1.37	0.00	1.25	3.52	0.60	3.33	
美女平	10月30日	11月8日 13:10	179	8.0	15.03	4.90	1.07	0.10	0.07	1.93	0.36	1.76	0.00	0.71	1.54	0.32	1.27	
美女平	11月8日 13:10	11月13日	1664	74.2	10.91	4.47	0.10	0.12	0.05	0.00	0.12	0.12	0.00	0.48	1.40	0.12	1.37	
美女平	11月13日	11月20日 12:20	340	15.2	84.5	4.49	7.33	1.14	0.66	1.04	1.12	14.83	0.00	3.09	6.77	0.84	4.93	
美女平	11月20日 12:20	11月21日 13:20	588	26.2	7.59	4.85	0.21	0.06	0.00	0.00	0.00	0.31	0.00	0.40	0.83	(0.01)	0.78	
美女平	11月21日 13:20	11月27日	1601	71.4	18.6	4.52	0.87	0.15	0.13	0.16	0.21	1.73	0.00	0.42	1.87	0.18	1.66	
平均濃度	9月26日	10月24日		165.2	—	4.64	0.67	0.16	0.08	0.10	0.14	1.16	0.00	0.62	1.46	0.11	1.29	
平均濃度	10月24日	11月27日		203.7	19.4	4.54	0.99	0.22	0.13	0.22	0.24	1.92	0.00	0.68	1.99	0.20	1.74	
（バルクサンプラーによる観測結果）																		
弥陀ヶ原	9月26日	10月1日 12:15	418	18.6	19.9	4.75	1.73	0.18	0.19	0.23	0.26	2.87	0.00	0.53	1.51	0.20	1.08	
弥陀ヶ原	10月1日 12:15	10月3日 15:30	620	27.7	13.28	4.6	0.42	0.11	0.11	0.06	0.25	0.68	0.00	0.65	1.26	0.24	1.15	
弥陀ヶ原	10月3日 15:30	10月7日 11:39	57	2.5	12.71	4.62	0.98	0.15	0.16	0.00	0.12	1.52	0.00	0.86	1.63	0.08	1.39	
弥陀ヶ原	10月7日	10月15日	1750	78.1		5.40	0.08	0.01	0.01	0.01	0.11	0.08	0.00	0.16	0.52	0.11	0.50	
弥陀ヶ原	10月15日	10月17日 14:05	135	6.0	11.73	4.67	0.49	0.17	0.11	0.89	0.22	0.82	0.00	0.44	1.44	0.20	1.31	
弥陀ヶ原	10月17日 14:05	10月21日 13:15	179	8.0	20.3	4.33	0.29	0.11	0.10	0.03	0.19	0.41	0.00	0.58	2.07	0.18	2.00	
弥陀ヶ原	10月21日 13:15	10月24日	737	32.9	10.23	4.73	0.29	0.16	0.16	0.05	0.33	0.48	0.00	0.31	1.37	0.32	1.30	ポリタンク内
弥陀ヶ原	ロート上の雪	10月24日	652	29.1	5.44	4.93	0.22	0.09	0.04	0.04	0.15	0.42	0.00	0.00	0.54	0.15	0.48	
平均濃度	9月26日	10月24日		202.9		4.85	0.36	0.09	0.07	0.07	0.19	0.59	0.00	0.30	0.95	0.18	0.86	
（バルクサンプラーによる観測結果）																		
室堂平	9月26日	10月1日 13:40	410	18.3	18.46	4.73	1.28	0.21	0.11	0.20	0.27	2.21	0.00	0.44	1.69	0.22	1.37	
室堂平	10月1日 13:40	10月3日 13:00	620	27.7	9.14	4.66	0.18	0.09	0.04	0.04	0.10	0.27	0.00	0.45	0.96	0.09	0.92	
室堂平	10月3日 13:00	10月7日 13:36	108	4.8	18.25	4.72	0.36	0.14	0.08	0.08	0.23	0.58	0.00	0.42	1.31	0.21	1.22	
室堂平	10月7日	10月15日	1950	87.0		6.10	0.01	0.02	0.00	0.01	0.05	0.03	0.00	0.13	0.66	0.05	0.66	
室堂平	10月15日	10月17日 11:43	240	10.7	10.27	4.7	0.30	0.14	0.05	0.05	0.19	0.56	0.00	0.37	1.11	0.18	1.03	
室堂平	10月17日 11:43	10月21日 14:16	236	10.5	17.17	4.41	0.21	0.10	0.07	0.00	0.11	0.32	0.00	0.42	1.77	0.10	1.72	
室堂平	10月21日 14:16	10月24日	1260	56.2	7.49	4.72	0.10	0.07	0.00	0.00	0.07	0.14	0.00	0.17	0.94	0.07	0.92	ポリタンク内
室堂平	ロート上の雪	10月24日	478	21.3	4.24	5.08	0.27	0.07	0.08	0.03	0.25	0.50	0.00	0.00	0.72	0.24	0.65	
平均濃度	9月26日	10月24日		236.5		4.90	0.20	0.07	0.03	0.03	0.11	0.34	0.00	0.22	0.93	0.10	0.88	

表2　立山室堂における降水・雲粒観測結果

場所	観測開始日時間	観測終了日時間	採取量	降水量	電気伝導度	pH	Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Cl^-	NO_2^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	$nssCa^{2+}$	$nssSO_4^{2-}$	備考
			(g)	(mm)	(μs/cm)		(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	
(ダストジャーによる観測結果)																		
室堂平雨	11月20日 14:30	11月20日 17:00	28	−	−	_	0.44	0.28	0.47	0.22	1.10	0.68	0.00	0.33	0.78	1.09	0.67	
室堂平雨	11月20日 17:00	11月20日 22:30	16	−	−	_	0.34	0.32	0.36	0.10	0.99	0.53	0.00	0.24	0.64	0.98	0.55	
室堂平雨	11月20日 22:30	11月21日 8:30	864	−	−	_	0.08	0.07	0.00	0.00	0.24	0.07	0.00	0.10	0.52	0.23	0.50	
室堂平雨	11月21日 8:30	11月21日 11:30	556	−	−	_	0.09	0.11	0.06	0.00	0.18	0.11	0.00	0.00	0.57	0.18	0.54	
(直接採取)																		
室堂平エビのしっぽ		10月24日	60	−	−	_	1.98	0.31	0.24	0.30	0.44	3.91	0.00	0.56	2.01	0.37	1.51	室堂ターミナル横
室堂平エビのしっぽ		10月24日	86	−	22.9	5.48	2.07	0.17	0.16	0.32	1.16	4.23	0.00	0.57	1.84	1.08	1.32	みくりが池横
室堂平エビのしっぽ		11月13日	8	−	−	_	0.35	0.26	32.26	0.13	0.36	3.33	0.11	5.66	14.22	0.34	14.13	
(雪ヘラによる採取)																		
室堂平新雪		10月17日 12:00	146		10.46	4.65	0.35	0.14	0.19	0.07	0.20	0.67	0.00	0.38	1.12	0.19	1.03	
室堂平新雪みくりが池横		10月24日	264	16.9	2.74	5.58	0.14	0.05	0.09	0.03	0.54	0.19	0.00	0.00	0.43	0.53	0.40	12×13×(0-8)cm
室堂平新雪みくりが池横		10月24日	272	17.4	2.37	5.68	0.14	0.04	0.03	0.00	0.44	0.22	0.00	0.00	0.49	0.43	0.45	12×13×(8-16)cm
室堂平新雪みくりが池横		10月24日	516	33.1	5.83	5.57	0.42	0.07	0.09	0.11	0.47	0.76	0.00	0.09	0.77	0.46	0.67	12×13×(16-33)cm
室堂平新雪自然保護センター横		10月24日	376	28.5	2.83	5.47	0.15	0.04	0.04	0.04	0.25	0.23	0.00	0.00	0.51	0.25	0.47	11×12×(0-13)cm
室堂平新雪自然保護センター横		10月24日	292	22.1	2.58	5.46	0.05	0.05	0.04	0.00	0.20	0.06	0.00	0.00	0.61	0.20	0.60	11×12×(13-22)cm
室堂平表層雪		10月30日	200	13.9	4.65	5.17	0.21	0.06	0.12	0.06	0.21	0.37	0.00	0.12	0.58	0.20	0.53	12×12×5cm
室堂平しまり雪		10月30日	488	33.9	3.82	5.33	0.21	0.04	0.07	0.04	0.17	0.37	0.00	0.04	0.47	0.16	0.42	12×12×14cm
室堂平新雪		11月13日	66	0.1	10.74	4.76	0.33	0.18	0.57	0.08	0.66	0.58	0.00	0.93	1.39	0.64	1.30	小さな霰80×60×0.2cm
室堂平しまり雪		11月13日	114	7.9	5.78	4.87	0.31	0.05	0.32	0.02	0.05	0.49	0.00	0.40	0.79	0.04	0.71	12×12×3cm
室堂平降雪		11月13日 12:50	122	2.3	5.9	4.83	0.12	0.07	0.13	0.02	0.34	0.23	0.00	0.29	0.70	0.33	0.67	23×23×3cm
室堂平降雪	11月13日 12:50	11月13日 13:40	46	0.1	6.5	5.38	0.31	0.08	0.07	0.05	1.03	0.36	0.00	1.01	1.02	1.02	0.94	67×59×0.3cm
室堂平積雪		11月20日 15:00	376	28.5	23	4.99	1.90	0.23	0.17	0.31	0.51	3.91	0.00	0.38	1.71	0.44	1.23	12×11×(0-10)cm
室堂平積雪		11月20日 15:00	260	19.7	18.68	5.57	1.29	0.23	0.35	0.20	0.32	2.61	0.00	0.55	1.78	0.27	1.45	12×11×(10-15.5)cm