

立山カルデラ砂防博物館で採取された冬季降水試料の化学成分について

長田 和雄¹⁾、木戸 瑞佳¹⁾、飯田 肇²⁾

はじめに

冬季の日本海側には大量の雪が降る。一般的に、沿岸部から山岳部に向けて降雪量が増加すると言われており、標高2450mの立山・室堂平では、春になると10m前後の積雪となる(飯田ら、1999)。一方、降雪中の化学成分も沿岸部から山岳部に向けて変化する場合があります。例え、1993年12月から1994年2月にかけて常願寺川沿いに立山山麓までの新積雪を解析した報告(木戸、1995)によると、海水飛沫を起源とするナトリウムイオン濃度は、海岸から離れるにつれて減少する。立山山麓の試料には、典型的な冬型気圧配置下ではなく、低気圧が日本海や日本の南岸を通過したときにナトリウムイオンが観測されていた。このように、富山平野から立山山麓を経て、室堂平、立山に至る地域は、約50km程度の範囲内に降雪量の著しい地域変動があり、降水とともに降下する化学物質濃度も気象条件やおそらくは降雪の形成条件の違いにより大きな変化を示す地域であると考えられる。したがって、降水中化学成分の濃度変化をもたらす要因について研究するにはたいへん興味深い地域である。

著者らはこれまでに、室堂平における積雪調査や大気エアロゾル粒子の観測などを行ってきた(木戸ら、1997; 長田ら、2000; 長田、2000; Kidoら、2001)。これらの研究のなかで、酸性雨問題のような「大気を介した物質循環」を考えるために、種々の化学物質が大気から降水に取り込まれて降下する過程を研究する必要性を痛感してきた。そのような研究には、室堂平との標高差を生かした大気研究が有用であろうと考えられる。本報告では、立山山麓の標高約500mに位置する千寿ヶ原で採取された冬季の降雪試料の化学解析から、(1)千寿ヶ原での傾向、(2)時間変化、(3)標高の違いを利用した研究例を述べ、最後に降水の酸性化過程を研究する上で期待される千寿ヶ原での降水試料解析についてふれたい。

試料と化学分析

雪(新しく積もった積雪)試料は、立山カルデラ砂防博物館の屋上で採取した。採取期間は1998年12月7日から1999年2月23日と1999年12月15日から2000年3月25日までの2冬季間である。降雪の観測された日はできる限り試料を回収したが、すべての降雪において雪試料が得られたわけではない。基本的には1日1回、朝9時の回収だが、大量の降雪が観測されたときには数時間毎の試料を採取した場合もある。降雪はビニール袋に密閉され、時刻や総積雪深、新積雪深を記録した。ただし、いくつかの雪試料については記録が不十分な場合があった。雪試料は博物館の冷凍庫で保存した。ビニール袋の損傷をチェックした後に融解し、ポリプロピレン製の15mlバイアルに移し替え、名古屋大学太陽地球環境研究所で化学分析した。

試料中の主要イオン(塩化物イオン: Cl^- 、硝酸イオン: NO_3^- 、硫酸イオン: SO_4^{2-} 、ナトリウムイオン: Na^+ 、アンモニウムイオン: NH_4^+ 、カリウムイオン: K^+ 、マグネシウムイオン: Mg^{2+} 、カルシウムイオン: Ca^{2+})は、予め超純水で洗浄した0.45 μm のメンブランフィルター(GLサイエンス、13AI)で粒子を除いた後に、イオンクロマトグラフ(島津製作所LC-10A)で分析した(木戸ら、1997)。また、試料水のpHはガラス電極法により測定(ベックマン: $\Phi 34$)した。

結果と考察

(1) 千寿ヶ原での傾向

1998年12月7日から1999年2月23日(以後、98-99の試料)と1999年12月15日から2000年3月25日(以後、99-00の試料と略す)にかけて得られた試料中の主要イオン濃度を表-1と表-2に挙げる。分析結果の妥当性を検討するために、当量濃度に換算した陰イオン濃度の総和と陽イオン濃度の総和を散布図にしたのが

¹⁾名古屋大学太陽地球環境研究所、²⁾立山カルデラ砂防博物館

表-1 1998年12月7日から1999年2月23日にかけて立山カルデラ砂防博物館の屋上で採取した雪試料の主要イオン濃度(ng/g)とpH.

試料回収日	時間など	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	pH
		ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	
98/12/07	12/6-7	2401	1778	1329	1668	289	90	219	483	4.87
98/12/10		2290	448	707	1523	426	718	100	128	5.70
98/12/20	12/19-20	7405	2161	5611	4915	1587	480	615	1296	5.33
98/12/25	12/24-25朝	5674	813	2286	3395	856	136	370	230	4.87
99/01/03	3-5h	575	188	397	387	120	18	47	83	5.28
99/01/03		4955	1060	2545	3113	435	146	363	201	4.48
99/01/08	1/7-8	154	199	192	80	51	9	4	0	5.11
99/01/09		10394	796	2463	6979	373	222	785	326	4.88
99/01/14	1/13夜-14朝	3407	459	1572	2198	238	123	244	194	4.99
99/01/17	1/16-17	53786	3499	10394	35070	208	1211	3985	1718	4.60
99/01/20	18-24h	423	140	714	307	120	22	35	55	5.05
99/01/26	9-15:15	11663	3048	6503	8649	1010	1954	891	3734	5.65
99/01/27	1/26-27 15-9h	14487	1198	7957	11589	785	1156	1086	2482	6.21
99/01/29	9-12h	371	323	720	227	211	12	29	181	5.36
99/01/29	13-17h	449	398	564	264	62	33	30	171	5.08
99/01/29	17-21h	362	250	586	269	134	136	19	151	5.37
99/01/30	1/29夜-30朝	2487	318	1362	1612	201	67	188	123	4.90
99/01/31	1/30夕-31 9h	904	513	721	564	116	20	66	97	4.96
99/02/02	9-15h	373	550	811	216	221	90	29	102	4.96
99/02/02	17-24h	1375	435	1083	962	209	172	107	134	5.02
99/02/03	2/2-3 18-9h	392	161	371	260	108	40	36	68	5.26
99/02/03	2-3h	305	113	362	182	101	18	22	115	5.28
99/02/03	5-7h	587	182	543	405	126	31	49	125	5.36
99/02/03	8-10h	168	215	486	89	127	4	10	64	5.16
99/02/03	10-11h	449	289	885	228	313	99	21	95	5.14
99/02/03	13-15h	1603	295	692	1048	139	69	120	138	5.11
99/02/03	16-20h	1134	307	554	660	226	37	79	110	5.16
99/02/03	8-20h	771	313	1035	408	477	31	49	58	5.21
99/02/04	2/3-4 22-7h	10991	364	2553	6405	436	221	852	334	5.12
99/02/04		9840	408	2232	6654	165	241	818	335	5.03
99/02/05	2/4-5 21-7h	20522	511	3978	14209	120	562	1689	579	5.04
99/02/06	2/5-6 21-7h	1649	687	1803	1027	587	46	123	88	4.80
99/02/06	2/5-6 16:30-9h	1056	428	774	668	176	35	81	74	4.94
99/02/10	2/9夜-10朝	838	1270	1479	502	430	69	73	270	4.80
99/02/12	朝-24h	1569	356	1085	983	256	50	112	193	5.16
99/02/19	2/18-19	492	420	627	328	193	41	61	242	5.31
99/02/20	2/19夜-20朝	784	721	1348	473	300	37	77	236	4.93
99/02/20	7-21h	228	412	509	135	154	10	17	77	5.04
99/02/20	19-20h	912	231	568	707	78	200	63	146	5.44
99/02/21	2/20-21 21-10h	171	179	722	102	148	7	15	29	4.97
99/02/21	9-21h	381	909	1508	183	447	22	26	53	4.65
99/02/22	1/21夜-22 7h	257	302	819	157	164	14	18	99	5.02
99/02/22	20-24h	2700	2393	2707	1662	1536	195	215	482	5.43
99/02/23	0-9h	3582	1349	1973	2394	984	167	282	286	5.60

表-2 1999年12月15日から2000年3月25日にかけて立山カルデラ砂防博物館の屋上で採取した雪試料の主要イオン濃度(ng/g)とpH.

試料回収日	時間など	Cl ⁻ ng/g	NO ₃ ⁻ ng/g	SO ₄ ²⁻ ng/g	Na ⁺ ng/g	NH ₄ ⁺ ng/g	K ⁺ ng/g	Mg ²⁺ ng/g	Ca ²⁺ ng/g	pH
99/12/15	9h	464	733	979	284	201	42	73	236	4.95
99/12/17		1037	1503	2930	583	721	115	114	444	4.65
99/12/21		430	628	1015	204	215	9	28	65	4.73
99/12/22	12/21-22 9h	905	283	382	564	63	12	69	66	5.04
00/01/15	朝まで	1493	968	1182	831	244	45	113	234	4.72
00/01/17	1/16夜-17朝	4469	561	1119	2721	130	92	311	141	4.74
00/01/20		580	1582	1594	242	409	29	37	123	4.46
00/01/23		5021	590	1769	3266	301	118	452	168	4.66
00/01/25		353	1085	2240	191	307	41	49	232	4.42
00/01/25	夕方まで	237	376	1221	113	196	10	25	122	4.72
00/01/27		153	771	539	74	131	4	9	39	4.76
00/02/06		4234	399	1700	2658	295	104	306	152	4.71
00/02/10		2280	341	1046	1407	124	53	167	93	4.81
00/02/15	10-12h	1721	404	938	1046	161	33	127	127	4.94
00/02/16	2/15夜-16 9h	583	225	339	381	73	9	49	38	5.17
00/02/16	9-12h	331	305	322	195	109	8	25	36	5.15
00/02/16	12-14h	634	282	432	363	149	15	45	40	5.08
00/02/16	14-17h	4105	425	1244	2582	196	97	296	130	4.84
00/02/17	9-17h	1635	808	518	843	145	32	102	156	4.73
00/02/18	9h	1344	329	635	838	107	24	102	60	4.92
00/02/18	9-17h	2009	863	1397	1129	488	61	135	223	4.80
00/02/22	2/21-22 7h	7989	1088	2468	5194	392	202	694	304	4.56
00/02/22	9-17h	882	637	868	438	225	30	55	48	4.67
00/02/23		4288	1021	1545	2573	289	98	298	167	4.58
00/02/24	2/23夜-24 9h	448	1838	846	161	284	49	28	166	4.55
00/02/24	9-17h	1638	523	2299	1161	373	142	233	569	5.27
00/02/25	2/24-25 17-9h	3558	563	1022	2171	139	86	261	229	4.80
00/02/27	7-12h	6832	2127	3541	4418	961	229	557	451	4.54
00/02/27	12-24h	4668	709	2872	3056	503	136	429	178	4.51
00/02/28	12-20h	830	387	1381	541	278	48	94	148	4.83
00/02/29	2/28-29 20-9h	10243	650	2725	6671	475	238	870	345	4.70
00/03/07	朝-24h	989	374	1022	684	196	60	103	926	6.01
00/03/08	0-9h	618	531	556	442	111	108	65	656	6.11
00/03/08	9-17h	503	394	855	730	124	242	373	1269	6.79
00/03/17	9h	3313	880	3280	2114	893	130	254	183	4.63
00/03/20	9h	8814	1323	6164	5909	1381	321	719	555	4.41
00/03/25	3/24夜-25 9h	3398	587	2217	2227	689	127	277	526	5.22

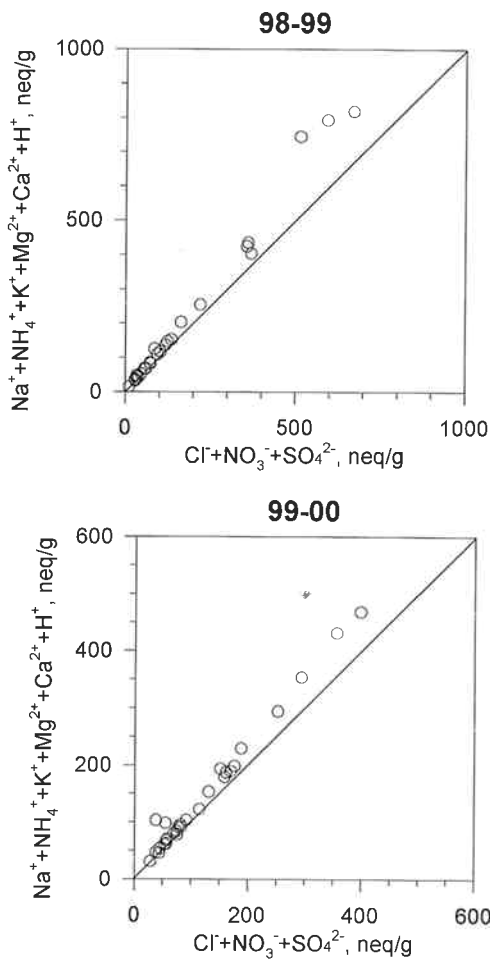


図-1 陰イオン濃度の総和と陽イオン濃度の総和の散布図。濃度は当量濃度。98-99：1998年12月から1999年2月の雪試料、99-00：1999年12月から2000年3月の雪試料

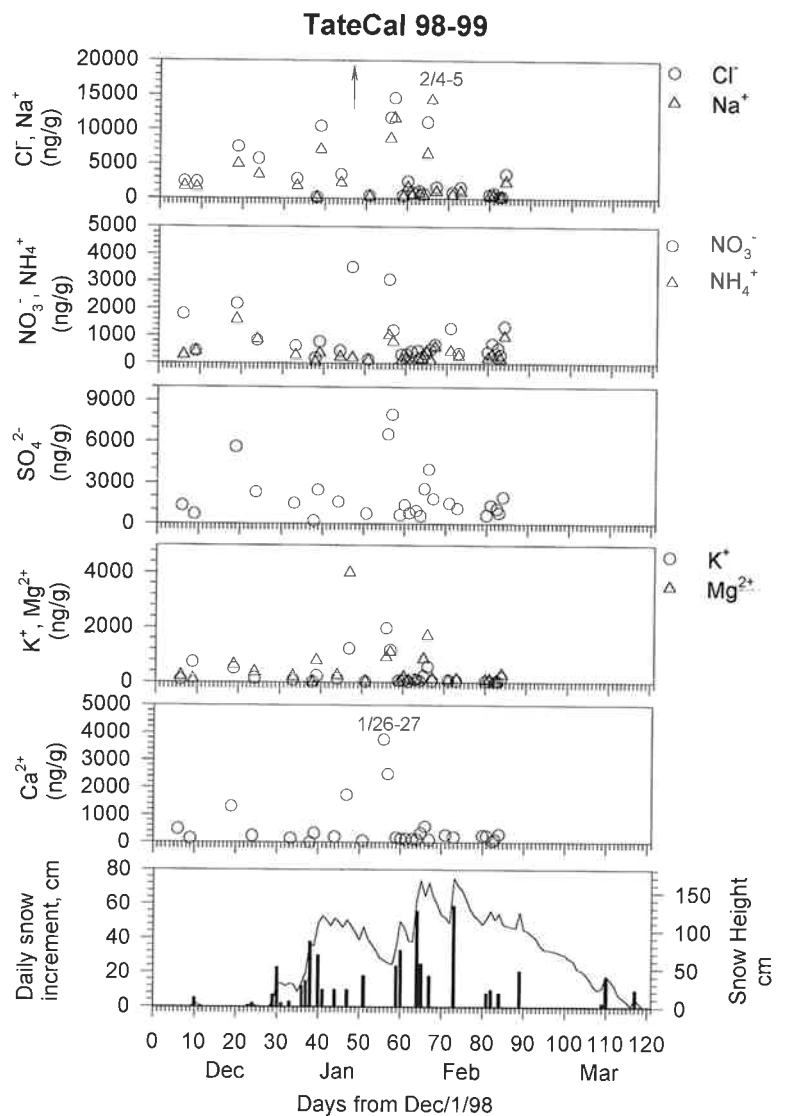


図-2 1998年12月から1999年2月の雪試料分析結果と積雪深、日積雪深差

図-1である。電気的中性の原理に基づき、測定された成分以外の濃度が無視できる場合には、この図上の1対1の線に沿った分布を示すと期待される。ほとんどの試料で陽イオンの総和濃度と陰イオンの総和濃度の比は1に極めて近いが、濃度の高い試料などでは陰イオン濃度に不足が見受けられる。一つの原因としては、黄砂のような炭酸塩(CaCO₃など)を含む粒子の影響が考えられる。本研究では炭酸イオンを分析していないので、炭酸塩粒子の影響を受けた試料では陰イオンの総和に不足が生じる。また、海塩成分(Na⁺やCl⁻)濃度が著しく高いときにイオンバランスが悪化するケースやK⁺濃度が他と比べて高いケースもあったので、今後は試料採取時の取り扱いや保存容器の検討などに注意が必要であろう。

図-2に98-99年を、図-3に99-00年の結果を時

系列にまとめた。1日に複数個の試料がある時には日界を朝9時として単純に濃度を平均した値を用いている。図の最下部には立山カルデラ砂防博物館で観測した積雪深と日積雪深差も示している。日積雪深差がプラスの時には降雪により積雪深が増加していることになる。ただし、積雪の圧密のため、積雪高の沈降量以下の弱い降雪の場合には、たとえ降雪が観測されてもこの図では図示されない。化学分析のデータが示されていても日積雪深差が示されていないときはこのようなケースと考えられる。また逆に、日積雪深差が示されていても化学成分のデータがないときは、雪試料を得ていないときである。

98-99年の場合には、99年1月と2月に多くの降雪が観測されている。海塩成分の濃度はこの時期に高い傾向であったが、その他の成分では特に顕著な傾向は

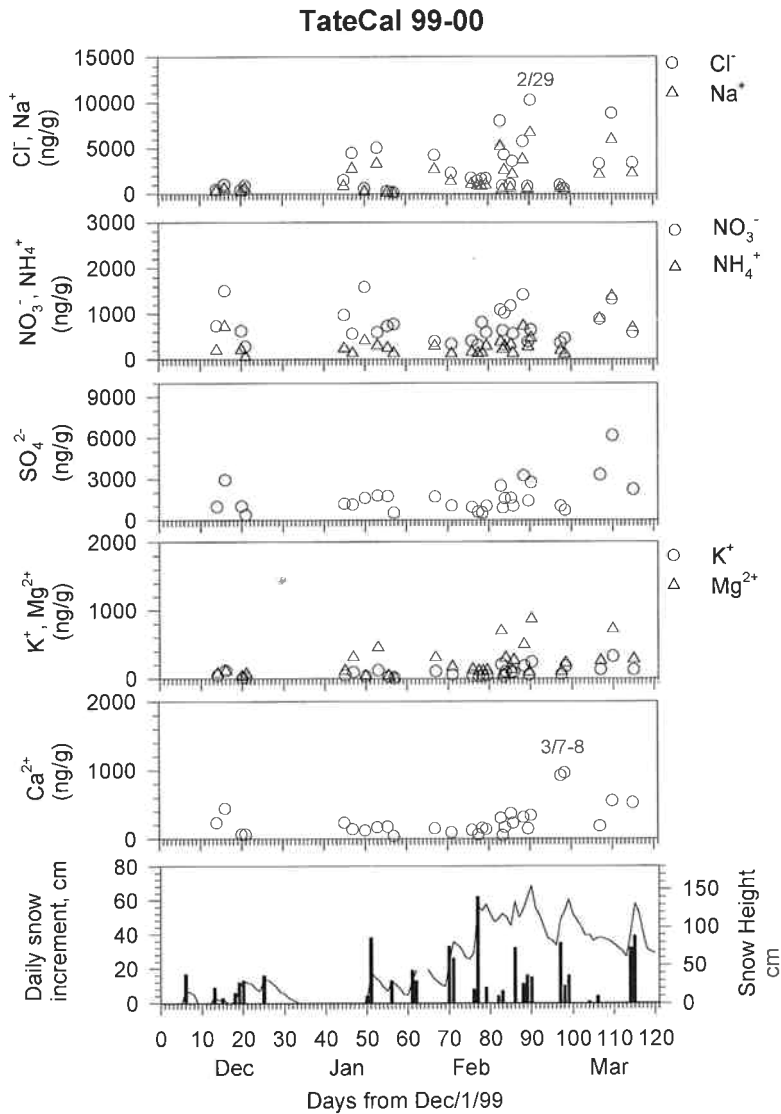


図-3 1999年12月から2000年3月の雪試料分析結果と積雪深、日積雪深差

認められない。Ca²⁺濃度が99年1月26-27日に高いのは、珍しく1月に観測された黄砂の飛来に影響されたためであろう。一方、99-00年の場合には00年2月と3月に多くの降雪が観測されている。前年と同様に、降雪量の多い時期に海塩成分の濃度も高い傾向にある。また、その他の成分に顕著な傾向は認められない。Satake and Yamane (1992)によれば、富山でのNa⁺降水量は冬に高く夏は低下する季節変化が報告されている。冬季には、強い北西季節風下で日本海からの海塩粒子発生量が増加し、日本海沿岸部に大量の海塩粒子が降水と共にあるいは海塩粒子の乾性沈着として降下すると考えられている。千寿ヶ原での冬季降水中のNa⁺濃度が降雪の多い月に高いことは、冬季に富山で降水量が増加することと傾向としては一致する。しかし、沿岸から直線距離にして約25km離れており、標高

も高いので、日本海で発生した海塩粒子そのものの乾性沈着による寄与は富山に比べると少ないと予想され、降雪の形成時や雪片の落下途中に捕捉した海塩粒子を観測していると考えられる。そこで、数時間から1日毎にほぼ連続採取した試料の時系列データと輪島上空の高層気象データとを比較することにより、千寿ヶ原で高Na⁺濃度が観測される事例の特徴を検討した。

(2)時間変化

図-4 から図-8 は、本報告で取り扱った試料の中で時系列に連続性の良いデータを抜き出しており、海塩成分の指標としてNa⁺、人為的汚染物質のNO₃⁻とSO₄²⁻、黄砂のような陸起源物質の指標としてCa²⁺の各濃度の時間変化と、輪島上空925 hPa (高度約800m)と700 hPa (高度約3000m)での風速・風向(気象庁・気象月報)とを図示している。

一概には言えないが、輪島上空925 hPaと700 hPaでの風向が揃い、かつ、700 hPaでの風速が10m/s 以上の場合に千寿ヶ原での雪中Na⁺濃度が高くなる傾向を示している。例えば、99年2月4日(図-5)や23日(図-6)、00年2月16-17日(図-7)などは典型的である。99年2月4日の場合には、

2月2日から続く冬型の気圧配置の後半に相当し、99年2月23日のケースは22日まで続いていた冬型の気圧配置が緩みかかるときに、00年2月16-17日のケースでも15日に日本海側の上空に強い寒気が南下し、その後強い冬型が緩む時期にあたっていた。試料の採取間隔が不揃いであつたり事例そのものが少ないけれども、強い冬型が緩む時に千寿ヶ原での雪中Na⁺濃度が増加する傾向にある。

富山県は南側と東側が山岳地帯でかこまれているため、冬型気圧配置時には北西風が山岳効果で変化し、上層と下層とで雪片や物質の流れが異なると考えられる(舟田,1993)。このような時には、富山平野上空約800m付近から上層の一般風と、地面に近い下層(約400m以下)とでは風向が異なるという(大久保・黒川,2000)。千寿ヶ原は標高が約500mであるため、強い冬型気圧配置時には一般風の影響下と下層の変質した風

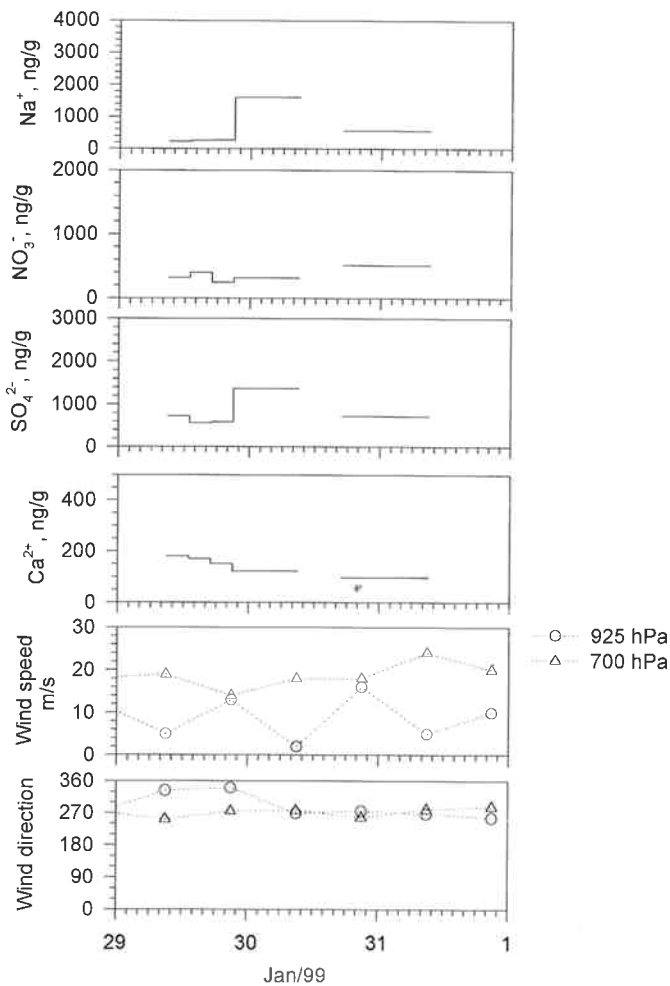


図-4 1999年1月29日から31日にかけての降水中主要イオン濃度と輪島上空での風向・風速

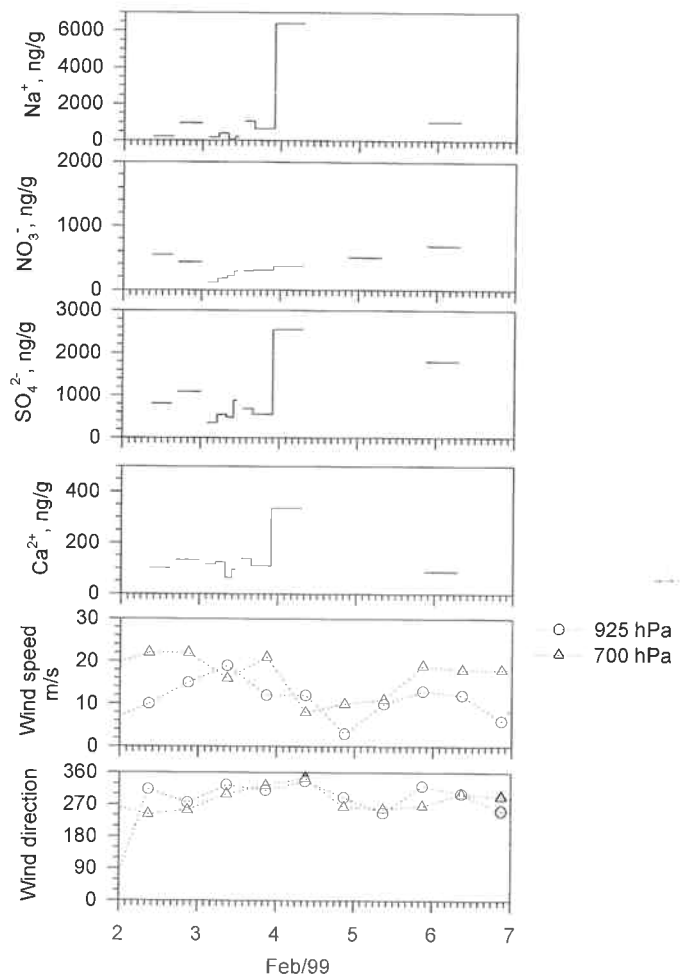


図-5 1999年2月2日から6日にかけての降水中主要イオン濃度と輪島上空での風向・風速

系との境目付近に位置すると考えられる。千寿ヶ原での雪中 Na^+ 濃度はこのような数10から100kmスケールの局地風の変化に関係があるのかもしれない。あるいは、木戸(1995)が述べているように、日本海や日本の南岸を低気圧が通過する際のように、通常天気図には表れないような小擾乱の通過と千寿ヶ原における雪中 Na^+ 濃度と関係があるのかもしれない。

(3) 標高の違いを利用した研究例

図-9は、00年3月7-9日にかけての千寿ヶ原と室堂平での同時観測の結果である。この期間は7日から冬型になり、9日に強まった後に移動性高気圧が10日に張り出してきた。両地点での採取間隔が一致していないので単純には比較できないが、 Na^+ 濃度の時間変化は逆相関の関係にあるようだ。濃度の絶対値は標高の高い室堂平で1/6から1/2である。一方、人為的汚染物質の NO_3^- と SO_4^{2-} の濃度は驚くことにほぼ同程度であった。室堂平では降り始めに濃度が高く、

次第に減少していく。しかし、千寿ヶ原では濃度にはっきりした時間変化の傾向がない。また、 Ca^{2+} の場合にも、 Na^+ 濃度の時間変化と同様に逆相関の関係が見られた。7日には九州南部で黄砂が観測されており、富山でもごく弱い黄砂の影響を受けている可能性が高い。

室堂平と千寿ヶ原とで NO_3^- と SO_4^{2-} の濃度がほぼ同じであることは、非常に興味深い。室堂平は標高が高いため、雪雲の中でサンプリングしているのと同様と考えられる。つまり、雪片の形成直後の濃度と考えて良い。その高さから雪片が下方に落下していく途中で、海塩粒子や黄砂粒子などを捕捉するので、千寿ヶ原での Na^+ 濃度や Ca^{2+} 濃度は室堂平での値より高い。人為的汚染物質である NO_3^- と SO_4^{2-} を含む大気エアロゾル粒子や先駆気体物質は、富山都市部に多いと考えられるので、もし富山平野で同時観測を行っていたら、これらの濃度は格段に高かったであろう。しかし、千寿ヶ原で濃度がほぼ同じであったということは、標

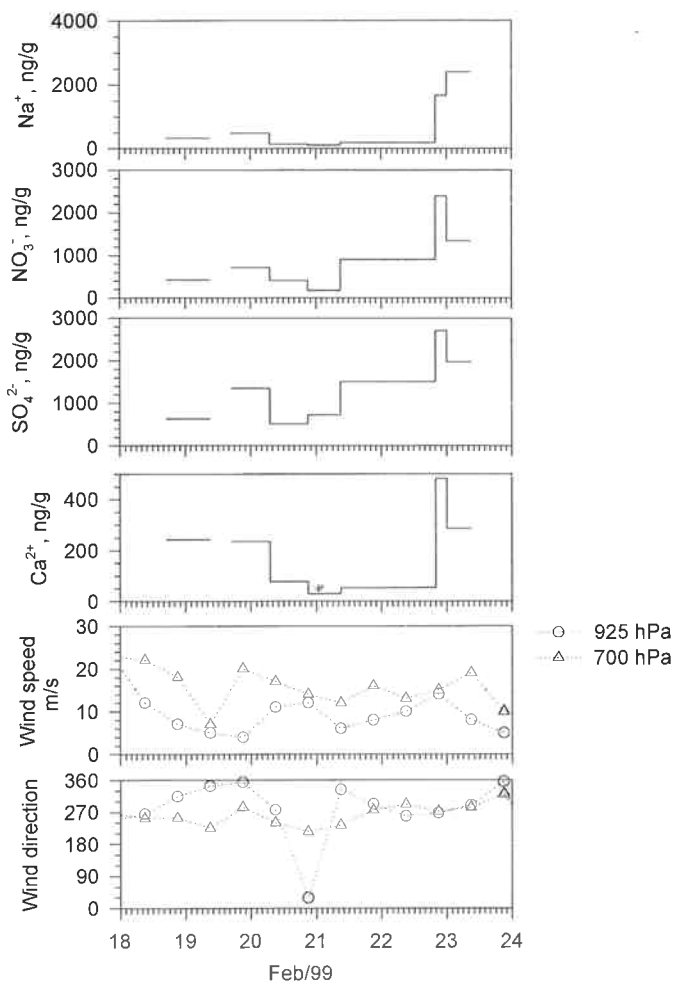


図-6 1999年2月18日から23日にかけての降水中主要イオン濃度と輪島上空での風向・風速

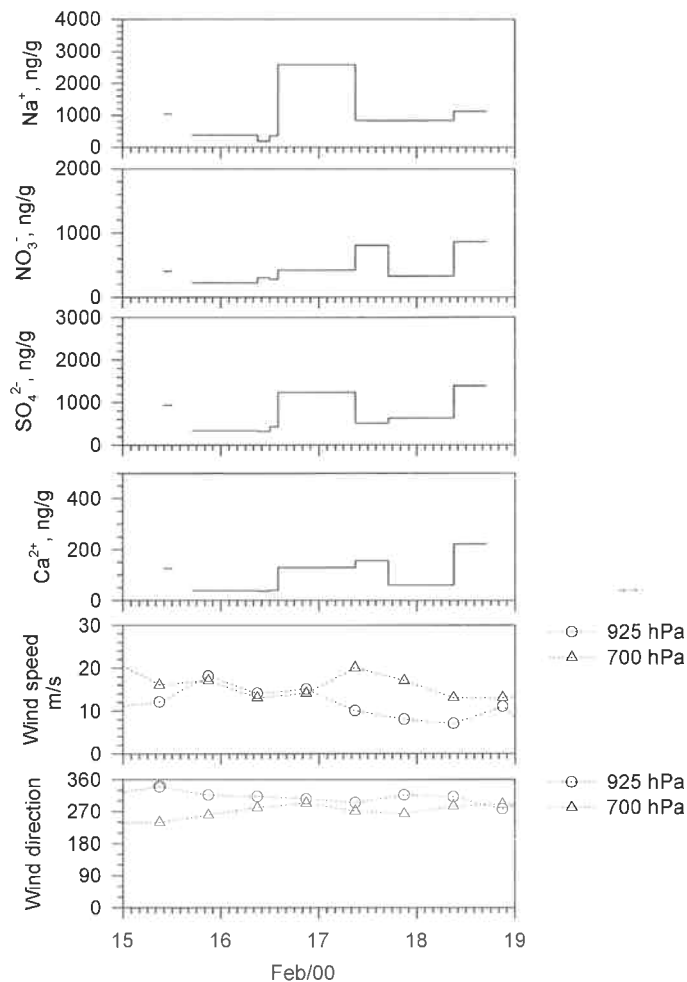


図-7 2000年2月15日から18日にかけての降水中主要イオン濃度と輪島上空での風向・風速

高2450 mから500 mの間で人為的汚染物質の捕捉が少なかったことを意味している。海塩成分が輸送されてきているのだから、北陸地方沿岸域の工業地帯・人口密集地からの人為的汚染物質も輸送されてきて当然だと思われるが、意外にそれらの大気中濃度は低いのかもしれない。

2000年3月11日に室堂平で採取した積雪に含まれる主要イオン濃度の深度分布を図-10に示す。図-2や図-3と比較すると、海塩成分や Ca^{2+} の濃度が室堂平では数分の1から10分の1程度と低いのにに対し、人為的汚染物質とされる NO_3^- や SO_4^{2-} 、 NH_4^+ の濃度は、ほぼ同程度から1/2程度しか変わらない。これは、ローカルな北陸工業地帯の影響よりも韓国やロシア、中国などの工業地帯から長距離輸送された汚染物質が両地点での濃度に大きく寄与しているためかもしれない。日本海側での雪の酸性化メカニズムを解明する上で、今後はこのような解析も念頭に置いたサンプリング戦略が有用だろう。例えば、輪島、富山市、千寿ヶ原、

室堂平と観測点を置き、それぞれで日降雪試料を得るだけでも大きな貢献ができるだろう。あるいは図-4から図-9のように、3から6時間毎に千寿ヶ原と室堂平とで同時に試料を回収し、大気エアロゾル粒子や二酸化硫黄などの先駆物質濃度も同時に観測し、高層気象観測も行えば、酸性化メカニズムを研究する上で非常に有用なデータが得られるだろう。

あとがき

酸性雨は、地球温暖化やオゾン層破壊などと同様に地球環境問題の一つである。立山山域での冬季降水の酸性化は、沈着した酸が土壌・植生・河川水などにどのような影響をもたらすのであろうか？日本では河川が急峻で、春の雪解け時に酸性物質が濃縮されて起きる「アシッド・ショック」は起きにくいと言われているが、これからも大丈夫であろうか？

本報告で述べてきた雪の酸性化メカニズムの研究は、「改善すべき原因を特定する」ことへの第一歩である。

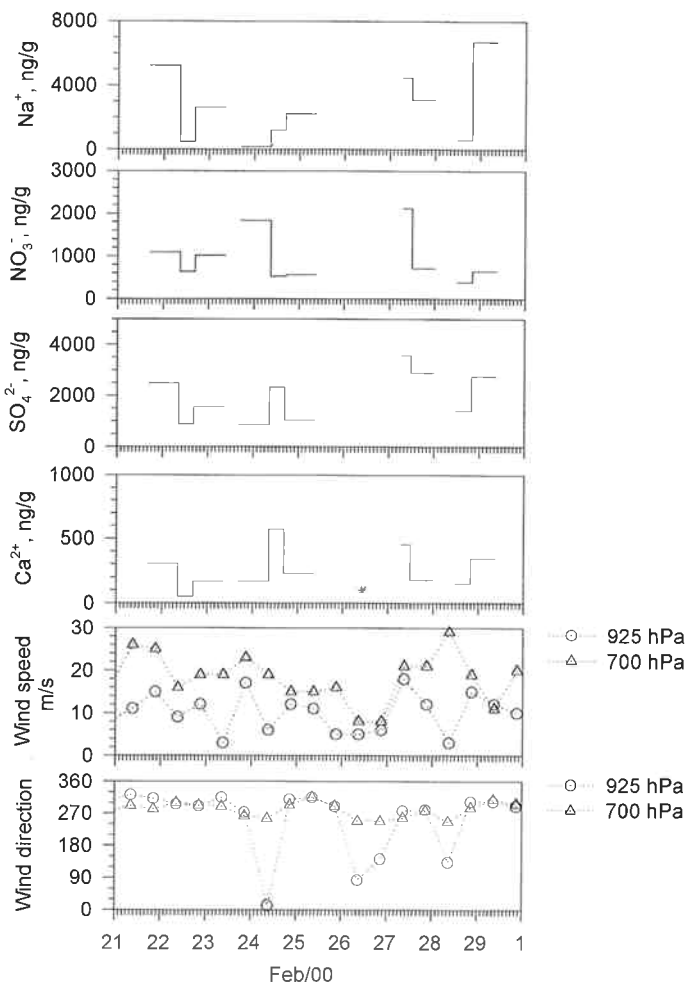


図-8 2000年2月21日から29日にかけての降水中主要イオン濃度と輪島上空での風向・風速

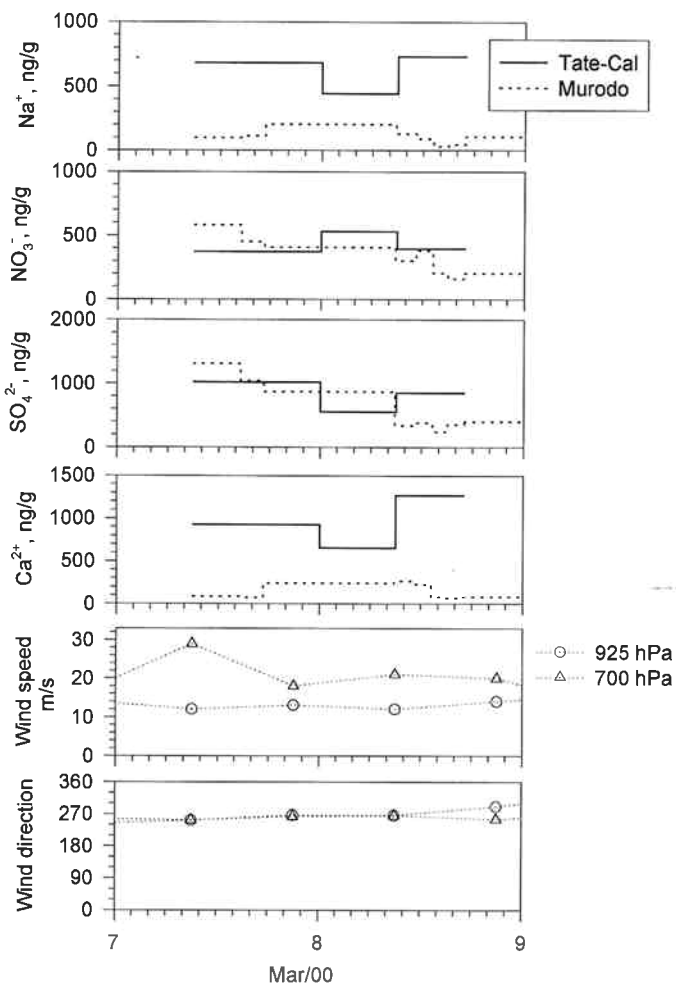


図-9 2000年3月7日から8日にかけての降水中主要イオン濃度と輪島上空での風向・風速。実線が千寿ヶ原での降水、点線が室堂平での降水を示す。

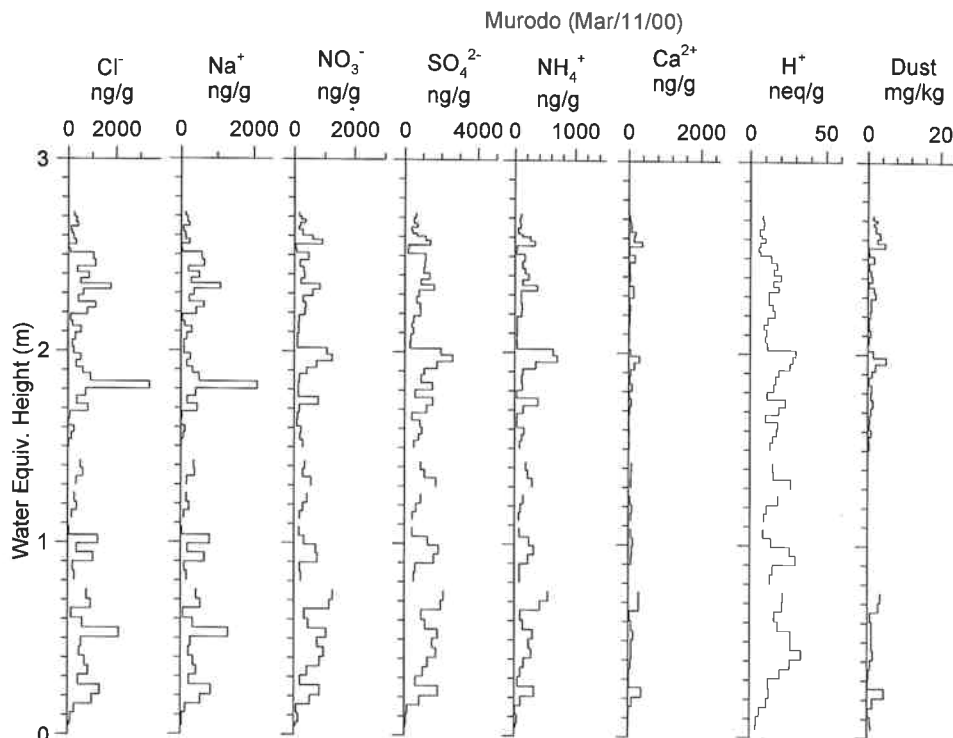


図-10 2000年3月11日に室堂平で得られた積雪試料中の主要イオン濃度

そのためにはまず実体をつかむことである。例えば、日本の山岳地帯における降水の化学成分調査もその一端である(安念ら,1995)。

日本における長期降水モニタリングは、一部の地方環境センターや大学、気象庁の綾理などで行われている。綾理では1976年から連続したデータが得られている。その結果(石川ら,1998)によると、降水のpHは1976年に5.3であったのが、この19年間でpH4.5~4.8の範囲へと低下した。このように、長期モニタリングからは酸性化が進んでいることが明らかになっている。一方、酸性化メカニズムの研究は70年代からそれほど進んでいない。一つの大きな理由は実地観測が難しいためである。しかし、先に述べたように冬季の雪雲での酸性化メカニズムを観測するには山岳斜面を利用して事例を積み重ねていくことが一番の近道ではなかろうか？立山カルデラ砂防博物館はこのような観測の要として非常に重要な位置を占めている。雪の酸性化メカニズムの研究は、植生や土壌、ダムやビルなど人工構造物の劣化と言った観点から見ても、立山全体の治水に関わっている。今後は博物館の展示にも雪の酸性化を含めたり、せめて冬季だけでも、できれば年間を通じての降水モニタリングを戦略的に行うなど、多くのことが期待される。

謝 辞

立山カルデラ砂防博物館の皆さまには雪試料の採取にご協力頂きました。記してお礼に替えさせていただきます。

文 献

安念清・大西勝典・藤谷亮一・早狩進・福崎紀夫・佐々木一敏・清水源治・小山功・久米一成・土器屋由紀子・丸田恵美子・畠山史郎・村野健太郎、1995、

日本の山岳地帯における酸性降下物中のイオン種濃度と降水量、日本化学会誌、1995 No.11, 916-921.
 飯田肇・長田和雄・木戸瑞佳・矢吹裕伯・中尾正義・上田豊・幸島司郎・川田邦夫、1999、立山・室堂平の積雪における不溶性粒子分布および降水量の推定、1999年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集、82。
 石川百合子・大野卓也・大山準一・小川完・原宏：1998、綾理における1976~1994年の降水の酸性化、天気、45, 13-22。
 舟田久之、1993、富山県の降雪分布、天気、9-19。
 木戸瑞佳、1995、富山における降水の酸性度調査と酸性雪の作成、1994年度富山大学大学院理学研究科地球科学専攻 修士論文、115p。
 木戸瑞佳・長田和雄・矢吹裕伯・飯田肇・瀬古勝基・幸島司郎・対馬勝年、1997、立山・室堂平における積雪層の堆積時期の推定、雪氷、59, 181-188
 Kido, M., K. Osada, K. Matsunaga, Y. Iwasaka, 2001, Diurnal variation of ionic aerosol species and water-soluble gas concentrations at a high elevation site in the Japanese Alps, J. Geophys. Res., 106, 17335-17345.
 大久保篤・黒川美光、2000、冬型気圧配置時に富山県内に形成される強い降雪や悪視程を伴うシア・ラインの立体構造、天気、47, 23-34。
 長田和雄・木戸瑞佳・飯田肇・矢吹裕伯・幸島司郎・川田邦夫・中尾正義、2000、立山・室堂平の春季積雪に含まれる化学成分の深度分布、雪氷、62, 3-14。
 長田和雄、2000、航空機と山岳大気から見た自由対流圏エアロゾル、エアロゾル研究、15, 335-342。
 Satake, H. and T. Yamane, 1992, Deposition of non-sea salt sulfate observed at Toyama facing the Sea of Japan for the period of 1981-1991, Geochem. J., 26, 299-305.

[要 旨]

富山平野から立山にいたる地域は、約50kmの範囲内で降雪量や降雪中の化学物質濃度に著しい変動がみられる興味深い地域だ。そこで、立山山麓の標高500mの立山カルデラ砂防博物館で降雪試料を採取し、室堂平との化学成分濃度の比較を行った。一般に、降雪量の多い時期に海塩成分濃度が高い傾向や、黄砂飛来時にCa²⁺濃度が高い傾向がみられた。また、博物館と室堂平を比較したとき、海塩成分やCa²⁺濃度が室堂平では数分の1から10分の1程度と低いのに対し、人為的汚染物質とされるNO₃⁻やSO₄²⁻、NH₄⁺の濃度はほぼ同程度から2分の1程度しか変わらないのが特徴的だった。これは、北陸よりもアジア大陸の工業地帯から長距離輸送された汚染物質が、両地域での濃度に大きく寄与しているためとも考えられる。これらの観測は予察的なものであり、今後は、季節風の流入経路、標高等に考慮して降雪試料を比較する等の研究が必要であろう。