

富山市での降水による海塩成分降下の特徴, および,
冬期降水中のナトリウムイオン濃度に対する冬型強さの関係*

朴木 英治
富山市科学文化センター

Characteristic of Sea-salt Ion fall in Toyama City, and Relation between
Concentration of Sodium Ion in Precipitation and the Cold

Hideharu Hounoki
Toyama Science Museum

Sodium ion and chloride ion in precipitation are considered to be originated from sea-salt in Toyama. I observed that these ion fall in winter period octuple to decuple than in summer. I recognized that there is a relation between concentration of sodium ion in winter precipitation and temperature difference between sea surface and the cold of the sky.

はじめに

降水中のナトリウムイオンや塩化物イオンの濃度は、富山市を含めた日本海側の各地で、西高東低の冬型気圧配置が支配的となる10月から翌年の3月までの冬期（以下、この期間を冬期とする）に高くなり、4月から9月までの夏期（以下この期間を夏期とする）に低下する現象が見られる。

同様に、両者の降水量も、冬期の降水中濃度の高さと、降水量が夏期に比べて冬期にやや多いという理由から、冬期は夏期に比べると著しく多くなる。

このため、夏期の台風によって大量の海塩が陸上に輸送されなければ、ナトリウムイオン、塩化物イオンの冬期の降水量は、年間降水量の8～9割にも達する(朴木, 1990 a)。

ここでは、富山市内で1989年6月から1991年3月にかけて行なった降下物・酸性雨の分布観測で得られたデータをもとに、市内での降水中のナトリウムイオン濃度と、その降下

量の市内分布について報告する。

さらに、科学文化センター屋上における冬期降水中のナトリウムイオン濃度が、日本海ブイロボットによる海水表面温度と輪島上空の気温との差に依存する現象についても報告する。

観測地点と利用したデータ

観測地点は、富山湾の海岸線から8.9km離れた科学文化センター屋上（以下、科文と略す）の他、比較観測として、富山湾の海岸線まで15.8km離れた月岡地区センター屋上（以下、月岡と略す）、同じく富山湾の海岸線から1.9km離れた萩浦地区センター屋上（以下、萩浦と略す）、さらに、わずか0.2kmしか離れていない浜黒崎地区センター屋上（以下、浜黒崎と略す）でも同時に観測した。(図1)

全観測地点の試料の回収は、なるべく降水のない、同一の日の午前中に行なった。

なお、観測の期間は、科学文化センターが

* 富山市科学文化センター研究業績第138号

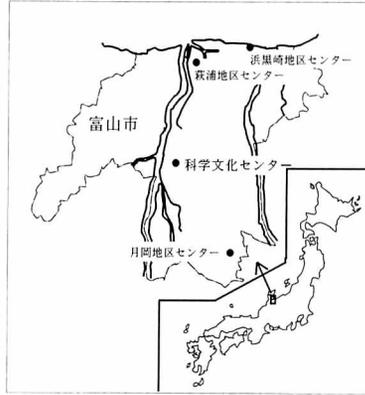


図1 観測地点

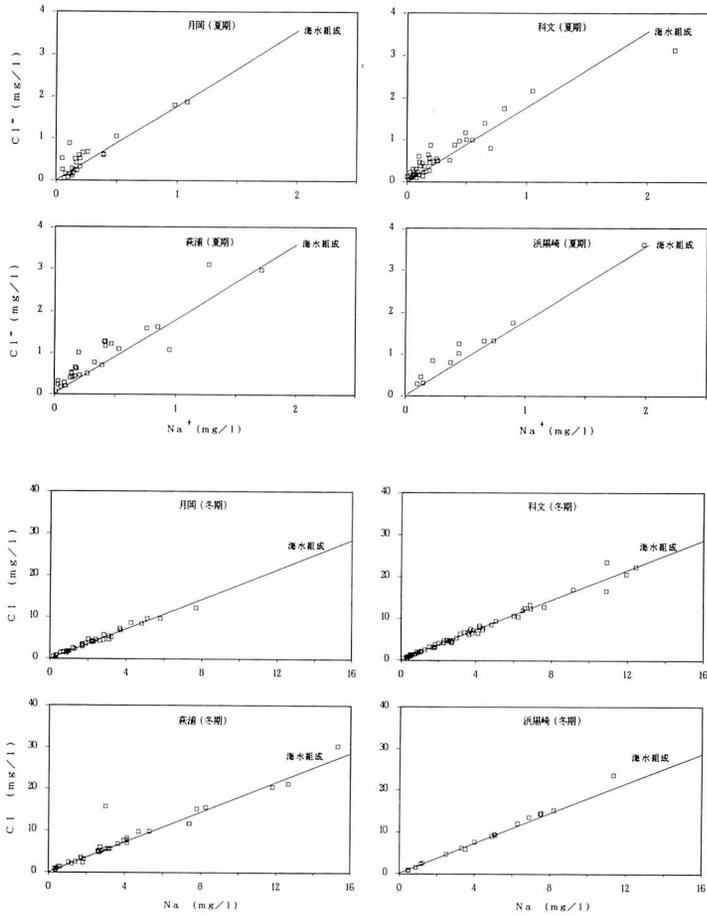


図2 降水中のナトリウムイオンに対する塩化物イオンの関係
 上段は夏期, 下段は冬期, データは, 月岡 (1989-1990), 科文 (1988-1990),
 萩浦 (1989-1990), 浜黒崎 (1990)

1988年6月から1991年3月（1989年4月～6月を除く）、月岡地区センターが1989年7月～1991年3月、萩浦地区センターが1989年6月～1991年3月、浜黒崎地区センターが1990年5月～1991年3月である。

降水中のナトリウムイオン濃度と塩化物イオン濃度、および相互の関係

図2は降水中のナトリウムイオン濃度に対する塩化物イオン濃度の関係を、夏期と冬期について、観測地点別にグラフにしたものである。

夏期の降水では、どの観測地点でも両者のイオンの降水中濃度が低く、ナトリウムイオンで1 mg/l以下、塩化物イオンで2 mg/l以下の降水がほとんどである（1990年9月の台風19号時のデータは省いてある）。

もう少し詳細に見ると、海岸から離れた月岡、科文では、海岸近くの観測点に比べてやや低濃度の所に点が集まっている。

また、1990年の5月分からのデータしかないが、海岸のすぐ近くにある浜黒崎では、夏期の降水中のナトリウムイオンや塩化物イオン濃度は他の観測点に比べてやや高めで、同一期間に採集した試料で比べた場合、濃度の順位は1番か2番であった。

これに対して冬期の降水では、各地区とも夏期に比べるとナトリウムイオンや塩化物イオンの濃度が8～10倍にも高まっている。

また、濃度の比較では、夏期と同じく、海岸に近い萩浦や浜黒崎が高かった。

ただ、珍しい現象として、1990年3月の月岡のナトリウムイオン濃度や降下量は萩浦と同程度あった。この原因については良くわからない。

さて、図2のグラフ中の直線は、海水中のナトリウムイオン濃度に対する塩化物イオン濃度の比を示したものである。

夏期の降水については、バラツキがやや大

きく、海水組成比よりも塩化物イオンの比率がやや高くなるものの、海水組成比とそう大きく離れてはいない。

また、降下量が非常に多い冬期降水では、海水組成比から離れる点も若干見られるが、ほぼ海水組成と言える。

この点で、富山に降る降水中のナトリウムイオンと塩化物イオンの起源については、海塩と考えてさしつかえない。

海岸線からの距離とナトリウムイオン降下量

図3は、富山湾の海岸線からの距離を横軸に、ナトリウムイオン降下量を縦軸にして、夏期、冬期別に降下量の分布をプロットしたものである。

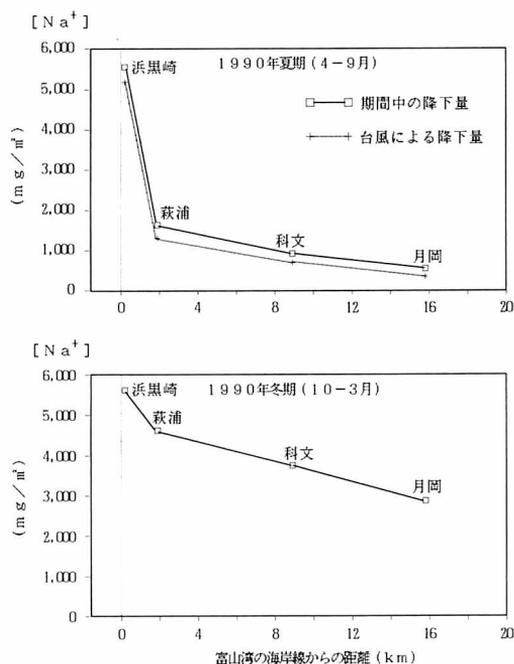


図3 各観測点のナトリウムイオン降下量
上段 夏期 下段 冬期

1990年の夏期のナトリウムイオン降下量が、特に浜黒崎で非常に多く、他の観測点でも多いのは、後述するように、9月に襲来した台風19号の影響が出たもので、台風によって輸

送された塩分を差し引くと、夏期の降水量は1989年夏期（4，5月分のデータがないので少なめである）と同程度となる。

また、海岸部でナトリウムイオン濃度が高くなるのは富山湾より若干の塩分の供給があるものと考えられる。

しかし、年間の降水量に比べた場合、その供給量は非常に少ない。

一方、冬期には、各地区とも夏期に比べてナトリウムイオンの降水量が非常に多くなり、同時に、海岸から内陸に向かっての減少量も多くなっている。

1990年の台風19号による海塩の内陸輸送について

1990年の台風19号は9月20日午前3時頃に岐阜・長野県境を通過し、県内に暴風雨をもたらした。富山市では北北東の風20.9mを観測している。（富山地方気象台，1990）

北よりの風では、富山湾から陸上に向けて風が入るため、当然、海塩の降下が大きくなると考えられる。

台風19号の場合には降下物観測データに影響が出るほど大量の塩分の輸送があった。

表1は台風による降水の入った試料の観測期間中の一日ごとの降水量，表2は各観測点でのナトリウムイオンの濃度，降下量である。

残念ながら、試料には台風時以外の降水も含まれているが、この季節の降水によるナトリウムイオンの降下量は少ないので、この試料中のナトリウムイオンの降下量は、ほとんどが台風によるものと考えることができる。

月岡，科学文化センター，萩浦では通常の冬期間の1ヶ月分程度のナトリウムイオンが一回の台風で降下していた（表2，表3）。

また、浜黒崎では、冬期の半年分と同程度の降下量があったが（図3），この場所は海岸線に非常に近いため、波しぶきの飛沫が直接飛来したのと考えられる。

表1 台風19号による降水の入った試料の

観測期間中の降水量 (mm)・風向								
日	18	19	20	21	22	23	24	合計
降水量	5	11	58	-	-	-	16.5	90.5
風向	SSW	NNE	NNE	NE	NE	NNE	S	

表2 台風19号による降水の入った各地点の

	試料中のナトリウムイオン濃度，降下量			
	Na ⁺ 濃度 [mg/l]	採水量 [mm]	降下量 [mg/m ²]	9月降下量 [mg/m ²]
月岡	3.45	99.8	344	379
科文	8.45	81.5	689	722
萩浦	18.10	72.3	1309	1367
浜黒崎	58.60	88.4	5180	5303

科学文化センターでの冬期降水によるナトリウムイオンの降下量，濃度

科学文化センターでの各年度の冬期間のナトリウムイオン降下量の比較では、1988年が3729mg/m²，1990年は同程度の3752mg/m²であり、1989年は2361mg/m²と、前後の年の60パーセント程度しかない（表3）。

降下量に関係ある要素として、降水量を比較してみると、1988年は1290mm，1990年は1301.5mmとほぼ同程度であり、1989年は1107mmで、前後の年に比べて80%程度しかなかった。

月ごとに降下量を見ると、1988年は11月に最も多く降下しており、1989年は1月に多く降下している。1990年は12月に多く降下している。

また、降水中のナトリウムイオン濃度の平均濃度が最大となった月は、1988年と1990年は12月，1989年は3月であった。

3年間の月ごとの平均でみると、ナトリウムイオンの平均降下量が最大の月は12月，降水中の平均濃度が最大となった月も12月であった。

表3 科学文化センターにおける冬期のナトリウムイオン降下量，降水量，降雪量の比較

		10	11	12	1	2	3	計
降下量	88年	548	1400	933	434	232	182	3729
	89年	239	430	486	612	141	453	2361
	90年	129	784	1261	902	584	92	3752
	平均	305.3	871.3	893.3	649.3	319	242.3	3280
平均濃度	88年	3.1	3.9	5.1	2.0	1.1	1.2	2.9
	89年	2.2	1.7	2.3	3.0	0.8	3.2	2.1
	90年	0.8	3.4	4.5	3.8	2.9	0.5	2.9
	平均	2.0	3.0	3.9	3.0	1.6	1.6	2.6
採水量	88年	177.5	361.5	184.5	212.5	213	149	1290
	89年	110.5	254.5	211	201.5	186.5	143	1107
	90年	161.5	228.5	281.5	236.5	202.5	191	1301.5
	降水量	平年値	165.9	203.7	243.7	266.2	176.8	144.1
降雪量	88年	0	3	43	29	23	1	99
	89年	0	0	1	145	11	4	161
	90年	0	0	4	123	194	1	322
	平年値	0	2	69	196	131	35	433

**冬期降水中のナトリウムイオン濃度と
気象要素との関係**

日本海側での冬期降水中の海塩成分濃度については季節風に依存するといわれている(角階, 1991, 1975)。

富山では地形の影響を大きく受けて、上空に北西の季節風が吹いていても、多くの場合、地上風は南寄りの風となり(図4)、陸上から富山湾に向けて風が吹く形となり、降水中の海塩成分は、雪雲を含めた上空の大気によって輸送されるものと考えられる。

ところで、強い寒気が輪島上空にさしかかった時には、降水中のナトリウムイオンの濃度は上昇し、寒気の強さと降水中のナトリウムイオンの濃度には関連性が予想される。

そこで、気象庁が設置している日本海ブイロボット(37°55'N, 134°32'E)で測定された海水表面温度と、石川県の輪島上空850mb(高度は1400~1500メートル)の気温との温度差を冬型の強さを示す尺度として、科学文化センター屋上における冬期の降水中のナトリウムイオン濃度との関係を調べてみた(朴木,

1989, 1992)。

実際には観測期間中の9時と21時の温度差の平均を、その日の降水量で重みつけて、平均温度差を求め、降水中のナトリウムイオン濃度との関係を調べた。

その結果が図5である。グラフの点はいくつかのグループに分けられるが、各グループとも、平均温度差と降水中のナトリウムイオン濃度との間に関係が見られる。

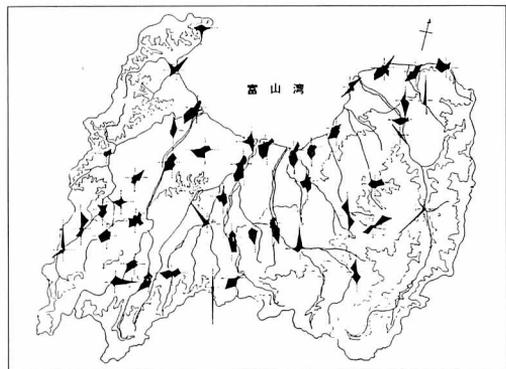


図4 富山のウインドローズ
富山の風に関する調査報告
(富山地方気象台編)を改編

この図中の点を、図6のように午前9時の天気図に表われた低気圧の位置によってグループ分けを行なってみた（点の位置が午前9時の低気圧の中心の位置である）。

Aのグループは、富山に降水をもたらしたと考えられる低気圧の中心が、北緯37°以南に

現われているグループである。

同一の天気図に2個以上の低気圧がある場合は点線で結んであるが、気圧の谷を形成している場合が多い。なお、前線は実線で結んである。

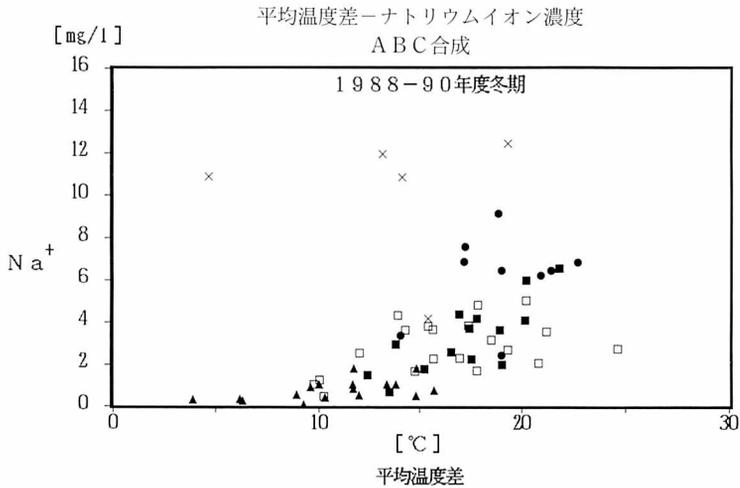


図5 平均温度差と降水中のナトリウムイオン濃度

- ▲ Aグループ
- Bグループ
- Cグループ
- 各グループ混合
- × 不明

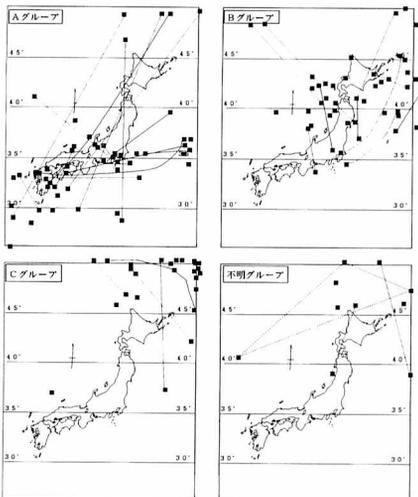


図6 午前9時の低気圧の位置によるグループ分け

このグループは、全般に降水中のナトリウムイオン濃度が低く、平均温度差が大きくなっても濃度は大きく上昇しない点の特徴である。

また、組成的には硫酸イオンが濃度の第一成分となっている点などから、夏期の降水に近い降水と考えることができる。

Bのグループは、低気圧の中心が北緯37°～45°にかけて集まり、観測期間中に明確な冬型の気圧配置が見られる。

また、平均温度差に対する濃度の上昇も大きい。

Cのグループは低気圧が北緯45°以上にある場合で、これまでの観測試料では点のパラッキが大きく、Bのグループとの違いは、よ

くわからない。

その他、白抜きの点は、サンプルの採集の都合上、2種類以上のグループの降水が混合しているものである。

また、×のグループは平均温度差に対して降水中のナトリウムイオン濃度が、ABCのグループに比べて異常に高濃度になるグループである。

この原因については、もう少し調査が必要であるが、一部の試料については、降雨のあった日の最大風速の風向が北寄りとなっている。

一つある可能性として、富山での冬型気圧配置での地上風は南寄りが主であるが、稀に北よりの風が入ることがあり、この場合に相当しているのではないかと考えられる。

この場合は、富山湾から海塩がまともに輸送されることにより、降水中濃度も高くなることが想像される。

ところで、Bのグループの回帰式を求めると、

$$C_{Na^+} = 0.433 \times t - 4.073 \quad (r = 0.73)$$

C_{Na^+} : 冬期降水中ナトリウムイオン濃度

t : 平均温度差

となり、ナトリウムイオン濃度が0になる点の平均温度差は9.4°Cとなる。

高度1500メートルの気温が海面温度より9°C低い場合、気温の低減率を0.6°C/100mとすると、海水面温度と海水直上の気温がほぼ同じとなる。

海水の蒸発量は海水温度と気温の差に依存すると言われているが、これと同様に、海面で形成された海塩エアロゾルを上空に運ぶ力の存在も考えられるのではないだろうか。

この件については別の機会に詳しく検討したい。

結 論

富山での夏期の降水は、溶存するナトリウムイオンや塩化物イオンの濃度は低く、その結果降下量も少ない。

また、ナトリウムイオンと塩化物イオンの比は、海水の比よりも塩化物イオンがやや多いが、海水組成に近い。

夏期の降水中のこれらのイオン濃度が低い原因は、もととなる水蒸気の多くが南の太平洋側から移動して来るためと考えられる。

このとき水蒸気を含んだ大気は、陸上を長い距離移動するため、含んでいた海塩成分を降り落としてしまい、富山では降水中のナトリウムイオン等の濃度が極端に低下するものと考えられる。

また、富山の地形による特長として、上空の風向が南よりの場合、地上も同じような方向から風が吹くため(石森, 1984)、夏期の降水時には、大気全体が南の方から移動し、陸から海に向けて風が吹くことになる。

このため、海塩の供給に関して、一般的な夏期の降雨状況のもとでは、富山湾はあまり寄与していない。

しかし、台風通過時などに北よりの風が入って降雨があった場合、富山湾からの海塩の供給量は多くなると考えられる。

一方、冬型の気圧配置のもとでは、上空に北西の季節風が吹き、降水中の海塩成分の濃度、降下量は増大する。

特に降下量については、この期間に降下するものが年間の降下量の大半を占める。

また、海塩成分の降下量は富山湾の海岸線から離れるにしたがって減少する傾向がみられた。

しかし、雪雲が北西の季節風に乗って来るとした場合、科文や月岡の位置では、石川県の羽咋市あたりの海岸が雪雲に対する海岸線と考えられる。この件については、酸性雨で問題となっている冬期降水中の硫酸イオンの

長距離輸送の問題も含めて調査したい。

さて、科学文化センターでの降水中のナトリウムイオンの濃度は、典型的な冬型の場合、日本海プロボットによる海水表面温度と輪島上空850mbの気温との差、平均温度差によって表すことが出来、この平均温度差が高いほど降水中のナトリウムイオンの濃度が高くなる。

この関係を一降雨観測データを使ってもう少し詳細に検討すれば、冬期の降水中のナトリウムイオン濃度や降下量の推定の精度が上がると考えられる。

また、ナトリウムイオンの降水中濃度と平均温度差との比を見ることにより、夏型の降水か、典型的な冬型によるものか、高濃度型かが推定できると考えられるので、これらに特徴的な大気の移動経路がわかれば、汚染物質の移動に関する指標にも利用できるかもしれない。

謝 辞

この研究費用の一部には、文部省の平成元年度科学研究費補助金（奨励研究B，課題番号01915011）の一部を使用した。

また、この報告をまとめるにあたり、富山地方気象台の西島幸紀係長には気象データ等の入手にいろいろ便宜をはかっていただいた。

ここに、厚くお礼申し上げます。

文 献

- 石森繁樹，1984. 富山湾の海上気象. 富山商船高等専門学校研究集録，135-148.
- 気象庁編，プロボットデータ. 1988年～1991年.
- ，高層気象データ. 1988年～1991年.
- 角階静男，1975，1977，1991. 大気—海洋系の地球化学的研究. 地球化学 (25)：1-16.
- 富山地方気象台編：気象月報. 1988年6月号～1991年4月号.
- ：気象年報. 1990年.
- 朴木英治，1990 a. 富山市における降下物量と主要溶存成分の月別変化. 富山市科学文化センター研究報告 (13)：157-164.
- ，1990 b. 富山市における降水中の主要イオン相互，および，それらと気象要素との関連性. 富山市科学文化センター研究報告 (13)：151-155.
- ，1991. 富山市における降下物量の分布観測. 富山市科学文化センター研究報告 (14)：155-165.
- ，1992. 富山市における冬期降水の化学組成の形成. 環境科学会1992年会要旨集：139.