

とやまと自然

第33巻 秋の号

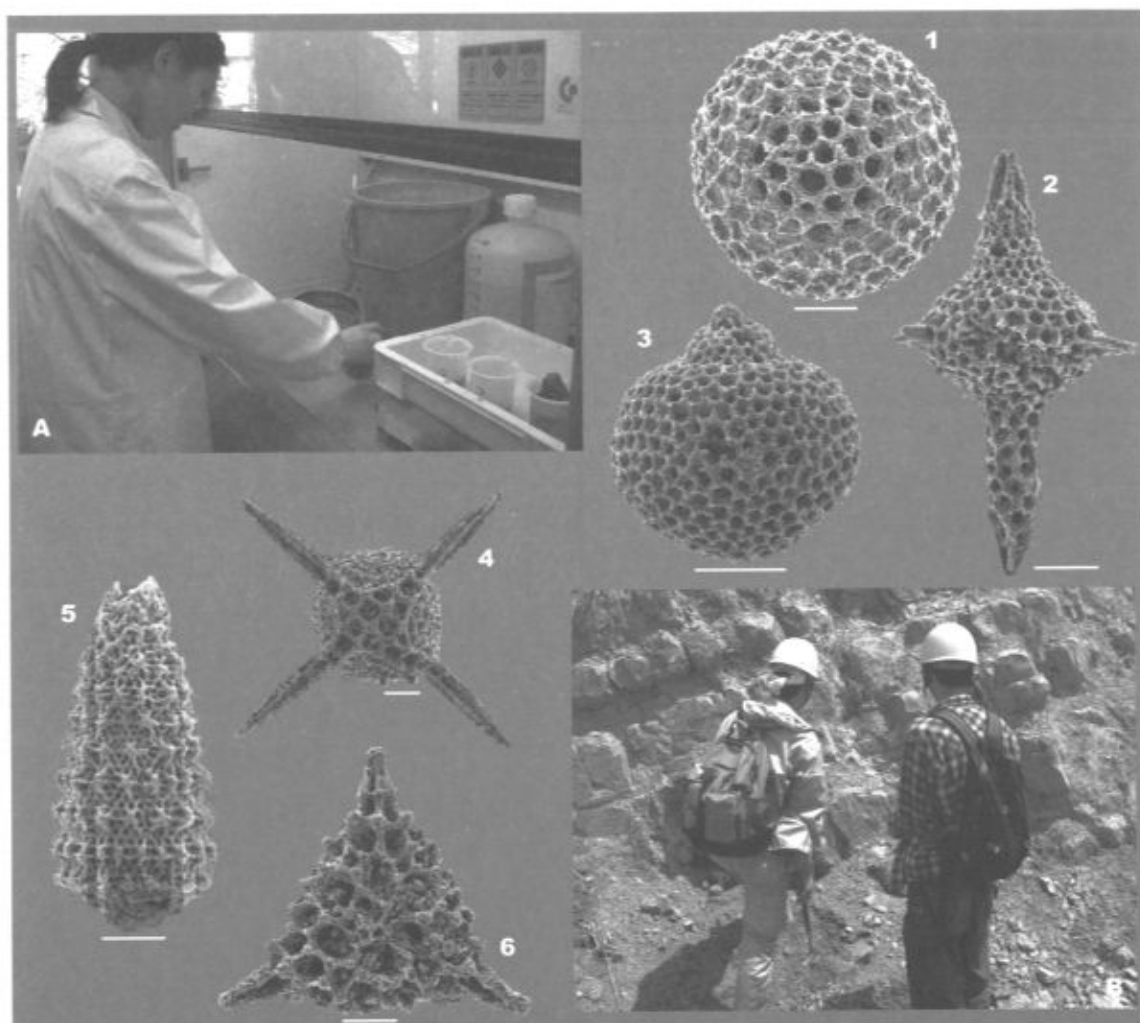
No.131 2010

手取層群と放散虫化石

柏木 健司

富山の海塩輸送

朴木 英治



■手取層群から産出する放散虫化石と調査風景

1～6：放散虫化石（白横線の長さは0.05 mm）。1: アークテセノスファエラ, 2: ポドバーサ, 3: ザモイデラム, 4: エミルピア, 5: ザイタス, 6: ペリスピリディウム, A: 実験室に設置されているドラフトでの放散虫化石処理, B: 地層が露出する崖（露頭）を前にした野外調査風景。

て とり そう ぐん ほう さん ちゅう 手取層群と放散虫化石

柏木 健司 (富山大学理工学研究科・准教授)

放散虫と言われて、その正体を正確に頭に思い描ける人は、あまりいないと思います。“虫”とついていますが、放散虫は近所の空き地にいる“昆虫”ではありません。放散虫は、海中をただようプランクトンで、原生生物と呼ばれるグループに含まれます。その大きさは1 mmにも満たず、肉眼では見ることはできません。古くは、約5億4000万年前のカンブリア紀から化石として記録が残され、現在まで海洋で繁栄と衰退をくり返しつつ、生き延びてきました。

化石となった放散虫

放散虫は、顕微鏡を使ってやっと見ることができる程度の大きさしかなく、微小な化石ということで微化石と呼ばれています。よく知られるアンモナイトや三葉虫、恐竜化石のような大型化石と同じように、泥や砂、礫などが積もった堆積岩の中に含まれますが、放散虫はとくに粒の細かい泥岩の中にたくさん含まれます。ところで、大型化石の場合は、野外の崖（露頭）でハンマーを使ってその場で採取しますが、微化石はどうやって採取するのでしょうか？

放散虫化石を岩石から取り出す

野外で、露頭から粒の細かい堆積岩をこぼし大くらい採取し（表紙写真B）、1～2 cm程度の大きさで5～10個程度のカケラに割ります。その後、研究室に持ち帰ってから、ポリピーカーの中に採取してきた岩のカケラを入れて流水で洗い、5%に薄めたフッ化水素酸（フッ酸）溶液につけて、一昼夜（24時間）ほどドラフトの中に置いて岩石を溶かします。なお、フッ酸はとても危険な薬品で、その蒸気を吸い込み、溶液を素手につけてしまうと、時には骨まで溶けてしまうこともあります。そのため、危険な薬品を安全に扱うためのスペースで、体に悪い蒸気を外に安全にはき出すことのできる、ドラフトで作業を行います（表紙写真A）。

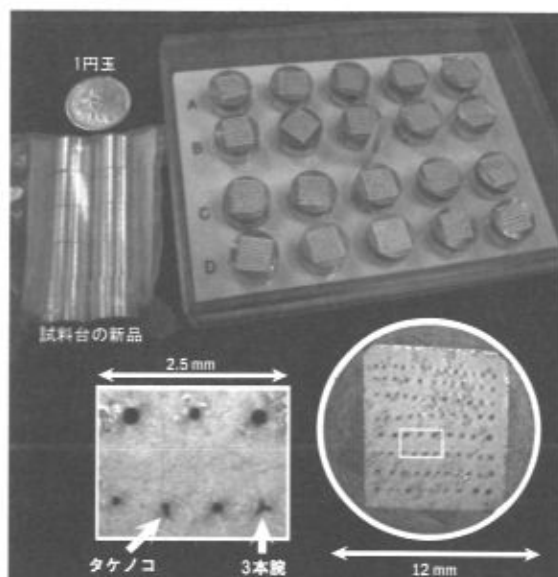


写真1 放散虫化石をのせる試料台

フッ酸溶液につけて溶けるのは、岩のごく表面だけです。でも、大きさが1 mmにも満たない放散虫なので、それで十分です。目の開き $425\mu\text{m}$ (0.425 mm) と $63\mu\text{m}$ (0.063 mm) のふるいを上下に重ね、 $63\sim 425\mu\text{m}$ の大きさの溶けだした粒子だけを回収します。この粒子の中に、肉眼では見えない大きさだけど、顕微鏡で見るととても素敵な形や模様をもつ放散虫化石がたくさん含まれています。

さて、回収した粒子の中には、放散虫化石とともに岩石や鉱物の破片も多く混ざっています。実体顕微鏡下で粒子の中から放散虫化石を拾いだし、両面テープを張った直径およそ12 mm（1円玉より小さいのだ）の真鍮の円柱状の台の上に、放散虫化石を順に並べていきます（写真1）。一つの試料台に100個体くらいを並べます。ところで、実体顕微鏡では放散虫化石の大きな外形と表面の模様は見取れますが（写真1の中で、3本の腕が繋がったような形やタケノコのような形が見えますね）、さらに細かい模様（表紙の1～6）は全く分かりません。そこで、さらに細かく観察をするために、走査型電子顕微鏡を用います。

走査型電子顕微鏡は、簡単にはSEMと呼ばれ、真空にした空間中でサンプルに電子線を当てて、そのときにサンプルからはね返ってくる情報（信号）を読み取り、画面上にサンプル表面の拡大した像を表示する装置です。1 mmに



写真2 走査型電子顕微鏡 (福井県立恐竜博物館)

も満たない放散虫化石を含む微化石の研究には、SEMは欠かせない装置です(写真2)。

手取層群と放散虫化石：発見までの道のり

手取層群は、富山、石川、福井を中心とする北陸地域に広く分布する、ジュラ紀中期～白亜紀前期の後半(およそ1億6500万年前～1億1000万年前)に堆積した地層です(図1)。白亜紀には、主に陸上の河川や湖沼とその周りで地層がたまりました(陸成層)。富山県の亀谷や大山では、しばしば恐竜の足跡化石が産出しています。とくに、大山地区の足跡化石の崖は、博物館の夏休みイベントの人気スポットなので、御存じなのではないでしょうか。一方、ジュラ紀中期～後期には、海にたまった地層(海成層)がみられます。海成層から、アンモナイトや二枚貝などの大型化石が出ることは、100年以上も前から知られていましたが、放散虫化石はごく最近まで全く報告されていませんでした。放散虫化石は、露頭から泥岩を採取して、ドラフトのある実験室で薬品を使って溶かしてみないと、入っているかどうかさえ分かりません。これまでに、多くの古生物学者が海成層中の泥岩を採取して、実験室に持ち帰りフッ酸で溶かしてきましたが、放散虫化石は見つからずにいました。

私は、共同研究者の平澤 聡さん(京都大学大学院生)と2006年以来、手取層群各地の海成層の調査と泥岩のフッ酸処理を行ってきましたが、初めの頃は放散虫化石のカケラさえ見つかりませんでした。そして、出ないな～とあきらめかけた頃、平澤さんから「有峰地域の手取層群の泥岩中には、生物の巣穴の化石(生痕化石)

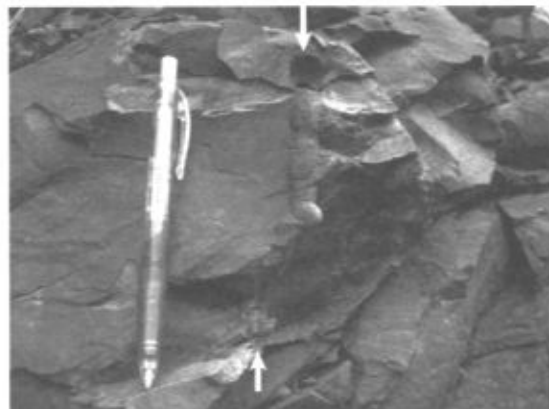


写真3 有峰地域の生痕化石



図1 手取層群の分布

石)がたくさんあります。試してみませんか?(図1;写真3の矢印間)」と提案され、ダメもとでやってみよう!ということになりました。平澤さんは、雪の残る有峰林道をゲートから徒歩で片道数時間歩いて、ある谷で生痕化石のサンプルを採取してきました。生痕化石をフッ酸で溶かして出てきた粒子から放散虫化石を見つけた時は、うれしさと安心感でこれまでの苦労がむくわれた気分でした。その後、有峰地域で多くの生痕化石を採取してはフッ酸で溶かしました。でも、研究に使うことのできる保存の良い放散虫化石が入っているサンプルは、数十個に1個くらいしかありませんでした。

その後、富山市桐谷地区(図1)の手取層群の生痕化石からも放散虫化石を取りだすことができ、そこでは放散虫化石に加えて、たくさん(かいめんこっしん)の海綿骨針、(しゃじくも)わずかの車軸藻(淡水～汽水生の藻類)の生卵器(卵子)や浮遊性の有孔虫化石(動物プランクトン)など、いろいろな微化石

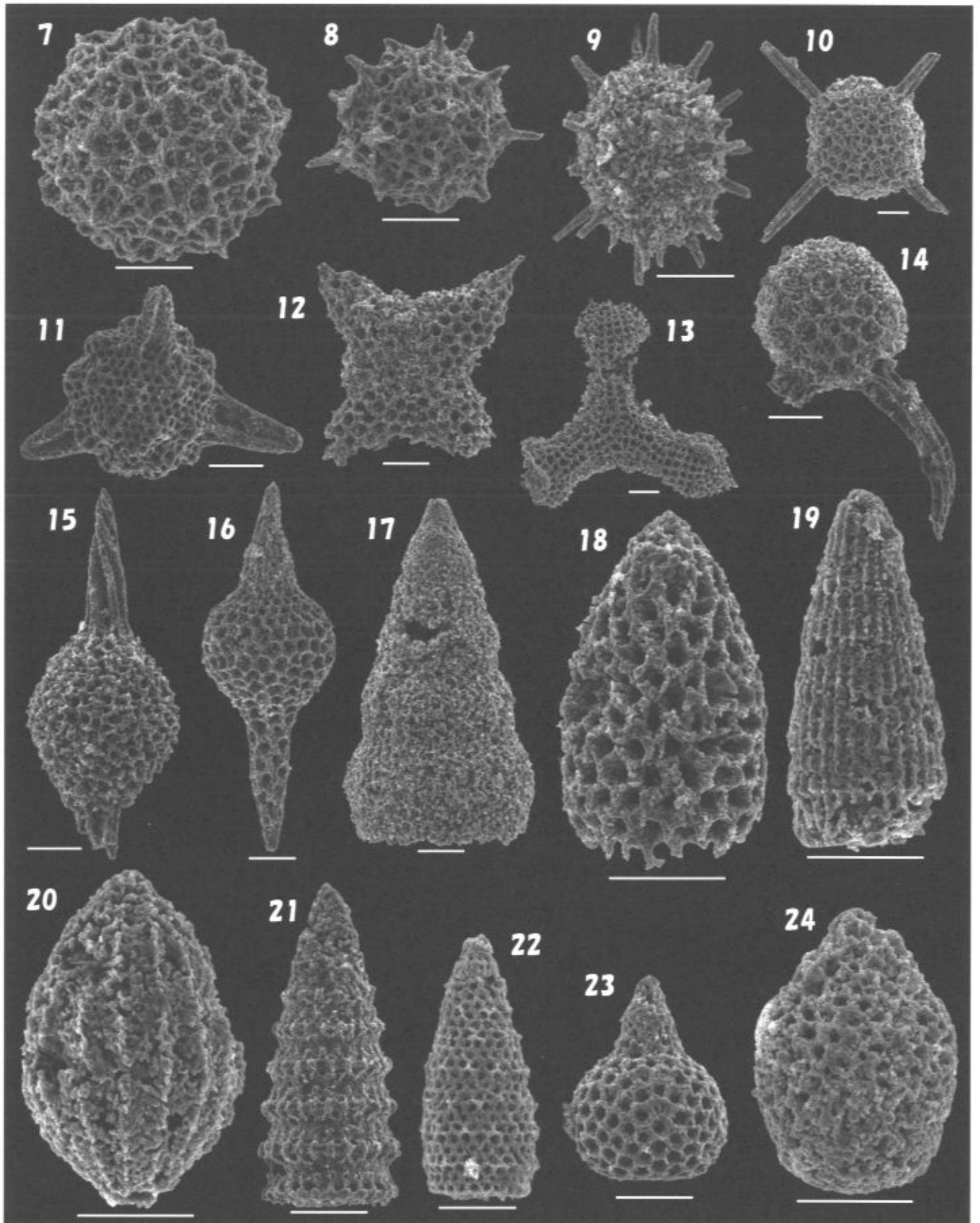


写真4 手取層群の海成層から産する放散虫化石。白い横線は0.05 mmの長さです。

7: プラエコノカリヨンマ、8-9: アクチノンマ、10: エミルビア、11: アカステア、12: ヒグマストラ、13: パロナエラ、14: パルビバッカ、15: アーケラスポンゴブルナム、16: シリンゴカブサ、17: スポンゴカブシューラ、18: スチコカブサ、19: アーケヲディクチヲミトラ、20: プロトウヌマ、21: シビニイトディウム、22: パルビシングュラ、23: セソカブサ、24: アイタウム

が得られました。まさに、生痕化石は微化石の宝箱でした。現在は、福井県の手取層群の海成層からも、生痕化石中から微化石を発見して詳しく調べています。

さて、ここまでは手取層群の海成層からの“放散虫化石発見物語”でしたが、では、微化石が発見されると、どういったことが分かるのでしょうか。代表的な二つについて紹介しましょう。

手取層群と放散虫化石：時代と環境の語り部

放散虫化石は、いろいろな外形と表面の模様を持っています。手取層群から産する放散虫化石を例にとると、単純な球形で棘が生えたもの、平板形やタケノコ形、ラグビーボール形、鐘形などいろいろで、見る人によっても感じ方が異なり、文章だけではとても表現できません（表紙の1～6と写真4を見てね）。また、球形の中にさらに小さな球形があったり、タケノコ形の中に仕切りがあったり（本物のタケノコと同じだね～）と、中身もいろいろです。

古生物学者は、形や模様を基に放散虫化石を種の単位（生物を分類する際の最小の単位）で分けていき、それぞれの種が生きていた時代を調べてきました。そして、放散虫化石は地層の時代が分かる化石（示準化石）として利用されるようになりました。手取層群の海成層の堆積した時代は、産出した放散虫化石からジュラ紀後期の中ごろと分かりました。

一方、手取層群の堆積した時代は、既にアンモナイトを用いてかなり詳しく分かっていた。残念ながら、放散虫化石で決めた時代の範囲は、アンモナイトを用いて分かっている時代よりも広いものでした。でも、がっかりすることはありません。放散虫化石は、数cm大のひとカケラの石から、時には数千個体と出てくるので、ごく希にしか産しないアンモナイトとは、その点で利用価値が大きく異なります。

もう一つの点としては、手取層群の海成層が堆積していたころの海洋の生物相が、より詳しく分かってきたということです。これまでは、アンモナイトや二枚貝、三角貝や魚竜等の大型化石が知られていましたが、もちろん、その頃



写真5 放散虫ネックレス

の海洋にはより微小な生物もたくさん生息していたはず。手取層群から新たに産出したさまざまな微化石の存在は、手取の海にはプランクトンから二枚貝、アンモナイト、そして魚竜と、さまざまな大きさと種類の生物がたくさん生息していたことを、具体的に示す結果となりました。手取層群のジュラ紀当時の海洋の生物相を正確に復元する上で、微化石の研究は欠かせないのです。

手取層群の海成層中から産する放散虫化石の研究は、わずか4年の歴史しかなく、100年以上の歴史をもつアンモナイトには、現状ではとてもかないません。でも、見方を変えてみると、始まってたった4年しかたっていないのです。放散虫化石は、手取層群の地史やその頃の生物相や堆積環境を考える上で、大きな可能性を秘めているといえます。大型化石と比べると目立たない微化石ですが、小さい体に無限大の可能性を秘める放散虫化石を、ぜひ、応援してくださいね。

終わりに

放散虫化石は、芸術の世界でもとても有名です。ヘッケルが1870年代の航海で描いた放散虫化石のイラストは、画集として出版されています。最近、日本古生物学会に出席した際に購入した放散虫化石のネックレスは、放散虫化石の形の特徴や立体感が良く出ていて、おみやげに購入しました（写真5）。放散虫化石は意外と日常生活に潜んでいます。「放散虫」という言葉が、親子や恋人同士の会話で日常的に交わされる日が来るまで、平澤 聡さんと一緒に手取層群と放散虫化石の研究を続けていきたいと思っています。

とやま かいえん ゆ そう 富山の海塩輸送

朴木 英治 (富山市科学博物館 化学担当 主幹学芸員)

はじめに

酸性雨の研究をはじめてから22年もたちました。研究の内容を聞かれると、簡単に、酸性雨の研究と言っていますが、上空で雪や雨がどのようなメカニズムで酸性雨の原因成分や海塩成分をその中に溶かし込むのかを知りたいと考えています。このため、雨や雪を違う場所や違う標高で集め、それらの水質を比べることから解明の手がかりがつかめないと考えています。また、富山に降る雨や雪の水質が、おいしい水の宝庫である富山の河川や地下水の水質に与える影響についても考えています。

ここでは、酸性雨研究のサブテーマの一つとして考えている富山の海塩輸送から見てくる富山の水の水質の不思議さやおもしろさを紹介します。

酸性雨研究の背景としての海塩輸送

実は、酸性雨の研究を始める前から、雨や雪による海塩輸送を調べてみたいと考えていました。雨や雪の中に少量含まれる塩分は海で波が砕けた時にできる微小な水滴が上空に昇ったもので、水分が蒸発した後に残る海塩粒子は上空で雲を作る凝結核として働き、雲の中にとりこまれます。上空の雲の中では雪が作られ、寒い時はそのまま、暖かい時はとけて雨となって地上に降ってきます。この間に海塩が雪や雨にとりこまれて地上に落ちてきます。大気の中での海塩の動きを知ることは、その他の成分の動きを知るための手がかりにもなるのです。

内陸効果と高度効果

雨や雪の中の海塩成分の濃度はどこで測っても同じかというところではなく、海から内陸に向かうにつれて濃度が低くなります。これを内陸効果といいます。また、海からの距離が同じであっても、降っている場所の標高が高くなると、海塩成分の濃度は低くなります。これを高

度効果といいます。内陸効果も高度効果も、雪や雨が大気中のいろいろな成分を集めて落ちてくるメカニズムの一つの場面を見ているものと考えられるので、これらが起きる仕組みの解明も含めて、富山で海塩輸送について調べてみたいと考えていたのです。

酸性雨の観測から分かった富山の海塩輸送の特徴

1988年から酸性雨の研究をはじめ、1年間継続して雨や雪に溶けている成分の濃度を調べてみると、冬の期間の雨や雪の海塩成分濃度は夏の雨の濃度と比べて10倍程度も高く(図1)、雨や雪によって運ばれてくる海塩成分の90%ぐらひは冬の期間に運ばれてくることが分かりました。さらに、海塩成分の濃度は寒気が強まるほど高くなる現象も見えてきました(図2)。

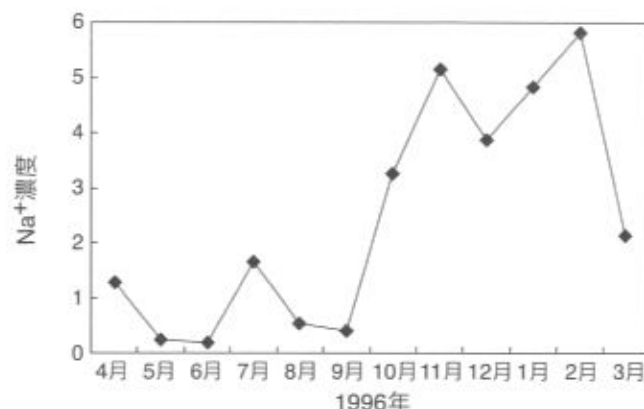


図1 降水中のナトリウムイオンの月平均濃度の季節変化

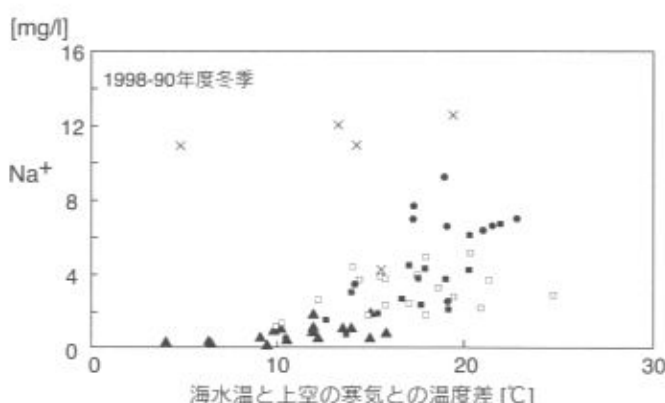


図2 日本海の水温と輪島上空850hPaの気温との温度差と降水中のナトリウムイオン濃度の関係(朴木, 1990)

富山の海塩輸送に関係する海岸線はどこか

酸性雨研究が進んできて最初に調べたのが、冬の雪や雨による内陸効果でした。アジア大陸起源の酸性雨成分の影響調査も、海塩の内陸効

果の調査も冬の北西季節風が同時に関わっている、同じ試料を使って、両方の問題を考えることができます。調べ方は、海岸線から内陸に向かって雨や雪を採取し、海岸線からの距離に対する濃度変化を調べるものです。では、富山市にある科学博物館から見て海岸線とはどこ海岸線だと思いますか。この研究をはじめる時にまず考えたのがこのことでした。富山市の海塩輸送に関する海岸線は富山市内の岩瀬浜や八重津浜などの富山湾の海岸線ではなく、冬の北西季節風の風上側にあたる石川県羽咋市周辺の海岸線だろうと考えました。冬型気圧配置になると大陸から日本海に乾燥した寒気が吹き出し、この風に日本海から大量の水蒸気が供給されて雪雲を作りますが、富山市から見ると、雪雲は石川県の羽咋市周辺から上陸し、石川県との県境を越え、氷見市や高岡市、射水市を通過して富山市上空にやってきます。

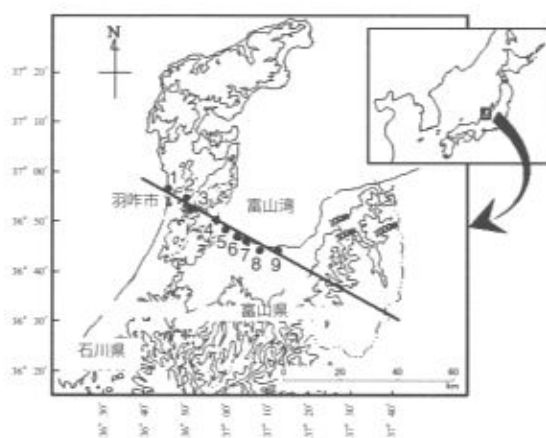


図3 新雪の採取地点

そこで、1995年の冬より、羽咋市の海岸線から富山市まで、北西季節風の風の流れに合わせ、積った直後の新雪層だけを集めてまわりました（図3）。富山県や石川県の平野では、冬型気圧配置になる前に前線や低気圧による降水があり、このときは気温が高くて雨になることが多く、その後冬型気圧配置になって寒気が入ってくると雪に変わります。そのような際に、いろいろな場所で同じ時に降ったと考えられる新雪層だけを集めれば、冬型気圧配置の時に降った試料だけが得られ、場所による違いも比較できます。

富山の冬に吹く南よりの風が富山湾からの海塩輸送を防いでいる

海塩成分として酸性雨のデータ解析に利用されるナトリウムイオンについて、海岸線からの距離に対する濃度の変化をグラフにしたものが図4です。横軸は試料の採取地点から北西方向の石川県の海岸線までの距離、縦軸はナトリウムイオンの濃度（7試料の平均濃度）です。ナトリウムイオンの濃度は羽咋市の海岸線では非常に高くなっていますが（図4中の1）、これは観測器の置き場所が海岸線近くにあり、海水のしぶきが入るためです。しかし、これ以外の場所では、海岸線からの距離に対して雪の中のナトリウムイオン濃度が徐々に低下する内陸効果が見られました。また図4の、ナトリウムイオンに対する塩化物イオンの濃度比のグラフでは、どの観測点の値もほぼ同じになっています。このグラフの値は海水中的の両イオンの濃度比とほぼ同じで、羽咋市の海岸線から60 km程はなれた富山市の採取地点まで、雪の中の海塩成分の組成は海水の組成と比べて変化していないことを表しています。

この調査では、途中、氷見市から高岡市の海岸線近くでも雪を集めました。場所によっては、富山湾の海岸線まで200 mぐらいの近い場所もありました。しかし、富山県内では冬型気圧配置になって上空に北西季節風が吹いている場合でも地上付近には南よりの風（陸から海に向かって吹く）が吹くため、近くに富山湾があ

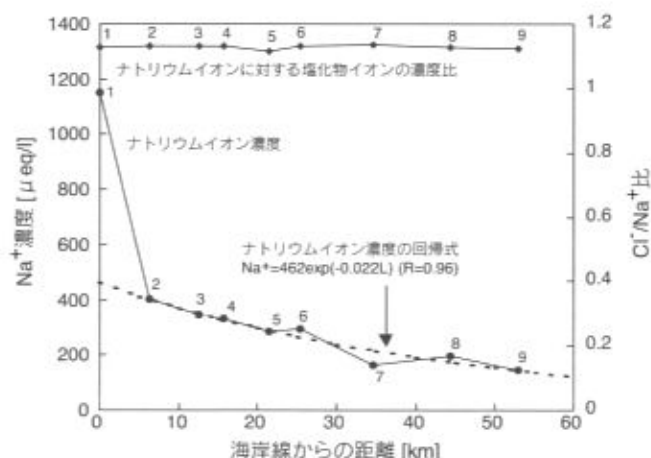


図4 海岸線からの距離に対する新雪中のナトリウムイオン濃度、ナトリウムイオンに対する塩化物イオンの濃度比。図中の番号は、サンプルの採取地点（図3）。

ってもここからは海塩が運ばれてこないで、グラフのナトリウムイオン濃度には大きな乱れがありません(図4の調査地点4、5)。

冬の南よりの風は県内一帯で吹き、この風に対応した工夫として、散居村の屋敷林として家の周りに植えられている杉の木があります。屋敷林の杉の木は家の南側と西側の面に植えられ、冬の風と雪を防いでいます。科学博物館2階のとやま・空間の旅展示室にこの屋敷林の模型がありますので一度見て下さい。

内陸効果を数式で表す

さて、話を海塩成分の内陸効果に戻しましょう。図4から分かるように、海岸線からの距離に対する海塩成分の濃度はたいへんきれいに变化するので、この変化の様子を数式で表す回帰式というものを作ることができます(図4の中に書き込んであります)。雨や雪の中に溶けている成分の濃度は気象状況に合わせてさまざまに変化しますが、数試料から十数試料程度の分析値を平均すると、規則性が見えるようになり、高校の数学程度の数式で表すことができるようになることがたいへん不思議です。不規則に見える自然現象の中に隠れているこのような規則性を見つけだす事が研究の楽しみでもあります。

富山は海に面しているが内陸の県

さて、以上のような富山の海塩輸送の特徴が富山の川や地下水の水質にどう影響しているのかという点ですが、羽咋市から氷見市、富山市の丘陵地の小さな谷水を集めて水質を調べてみると、谷水の海塩成分の濃度は羽咋市や氷見市で高く、富山市では低くなることが分かりました。図5がそのグラフで、海塩成分としては酸性雨研究で使うナトリウムイオンではなく、塩化物イオンの濃度で示してあります。地下水や河川水の塩化物イオンは、温泉水が入らなければ、雨や雪に溶けていたものだけが供給源ですが、ナトリウムイオンは土壌や岩石からも溶け出してくるので、この解析には使えません。

グラフの横軸は谷水を採取した地点から北西方向の石川県の海岸線までの距離、縦軸が塩化

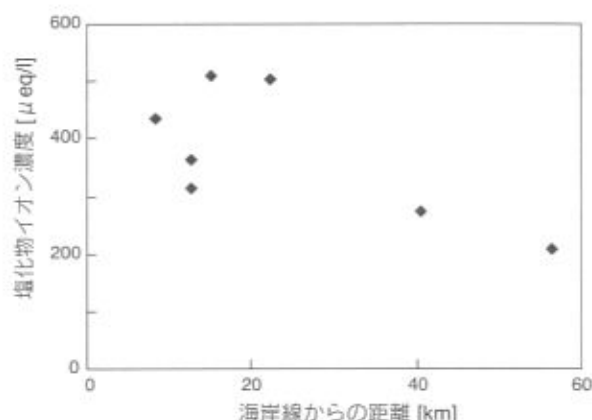


図5 谷の集水域から石川県の海岸線までの距離と谷水中の塩化物イオン濃度との関係

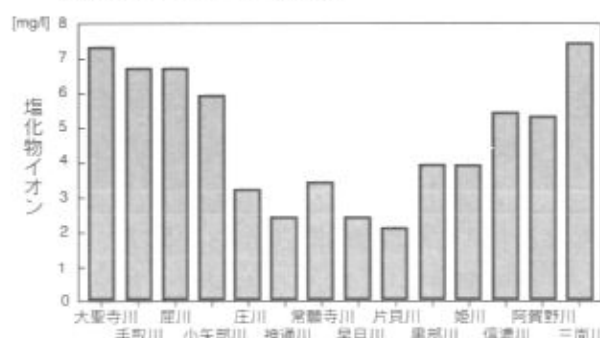


図6 石川県、新潟県の河川と富山県の河川の塩化物イオン濃度の比較

物イオンの濃度です。

また、富山県内の河川の塩化物イオン濃度は、石川県、新潟県の河川の濃度と比べて低く、さらに、小矢部川、庄川、神通川、片貝川の順に、温泉の影響が考えられる常願寺川を除いて、西から東に向かって順に低下しており、海塩輸送の結果とも一致します(図6)。

富山湾に面していても海塩輸送の面では内陸の県、それが富山県なのです。

おわりに おいしい水の水質と富山の海塩輸送

おいしい飲み水の条件の一つに塩化物イオン濃度が低いという項目があります。これは、塩分の濃度が高くなると塩辛さが出るためです。富山県の海塩輸送は、上で書いたように、石川県沖の日本海から運ばれてくるので、雪や雨に溶けている塩分の濃度は内陸効果によって低くなり、おいしい水の条件の一つを満たすのにも好都合です。

とやま自然 第33巻第3号(秋の号)(通算131号) 平成22年9月30日発行
発行所 富山市科学博物館 〒939-8084 富山市西中野町一丁目8-31
TEL 076-491-2125 FAX 076-421-5950 URL <http://www.tsm.toyama.toyama.jp>
発行責任者 根来 尚 印刷所 中央印刷株式会社 TEL 076-432-6572
付属施設 富山市天文台 富山市三熊49番地4 TEL 434-9098