

「窓ガラスの汚れの不思議」

～風下側に多く汚れがつく理由～

柏崎市立松浜中学校 科学探究グループA班
金泉 杏奈 柴野友里加
吉田 綾香 山田久美子



1 はじめに

私たちの松浜中学校では、窓ガラスの汚れがひどい。清掃等でガラス拭きをしても、場合によっては数日で汚れが目立つようになる。そして、その汚れを見ていると海側の窓と反対側の窓とで明らかに汚れの程度に差がある。普段、松浜中学校で生活していると、年間を通して海風が強い。これは、冬の北西の季節風の時最もはっきりしているが、それ以外の季節でも、春から秋にかけて晴れた日には、必ずといっていいほど昼間海から強い風が吹き込む。また、雨天時でも風が強いのは、寒冷前線の通過に伴うものであることが多く、やはりこのときも北よりの風である。それらの風向きから考えると、海側の窓の方が汚れていると考えられるが、汚れの実態は逆である。そこで、その汚れの正体と風下側に多く付着するメカニズムを解明しようと考え、観察を開始した。

2 目的

松浜中学校の海側と反対側の窓の汚れの正体を明らかにし、中学校周辺の風のようにすと建物の実態から、海とは反対側の窓が汚れるメカニズムを解明する。

3 予想

観察開始に先立って、次のような2つの対立する予想を立てた。

海方向からの風が多いと思っているのは錯覚であり、実は、窓の汚れは泥などによるもので南の内陸方向からの風による。

窓の汚れは海側からの潮風によるもので、風下側に汚れがつくような、建物の構造とからんだ空気運動のしくみがある。

4 研究の方法と結果

方法1 汚れの正体を探る

汚れがひどいと言っても見た目の話であり、それが何なのか解明する必要がある。そこで、まず汚れに何が含まれているか調べる事にした。そのためにガーゼで窓の汚れをきれいに拭き取った後、その汚れに以下のような方法を試みた。

- 塩分が含まれているかどうか調べるため、蒸留水に溶かし、硝酸銀水溶液を加える。
- 含まれるものを顕微鏡で観て特定する。このとき、水を加えたものと水を加えないものとを比較して顕微鏡で

観察する。

- 汚れを蒸留水に溶かし、それを煮詰めて濃くした後、炎色反応を見る。

結果1 汚れの正体を探る

- 汚れを蒸留水に溶かした後、硝酸銀水溶液を加えてみると、どの部分の窓の汚れもはっきりと白くにごり塩分が含まれていることが分かった。
- 汚れを顕微鏡で観察すると、細かい茶色の粒子（細かい泥）にまじって、大きな花粉がついている（図1-a）。これは特に4～5月に見付き、その特徴的な形から松浜中学校の周りに多くあるクロマツの花粉である。また、水を加えない場合（図1-b）、汚れた雪のように白色～透明で立方体に近い形のものや不ぞろいのものも多く見える。これはろ過後の汚れでは見られなくなることや、顕微鏡で見るときも水滴を加えると減ることから塩化ナトリウムの結晶であると考えた。一方、ろ過後でも透明で不ぞろいの結晶らしきものが見える。（図1-c）これは、はっきりしていないが岩石が風化して細くなった石英や長石の結晶ではないかと予想した。
- 炎色反応はあざやかなオレンジ色で、ナトリウムの存在が考えられる。

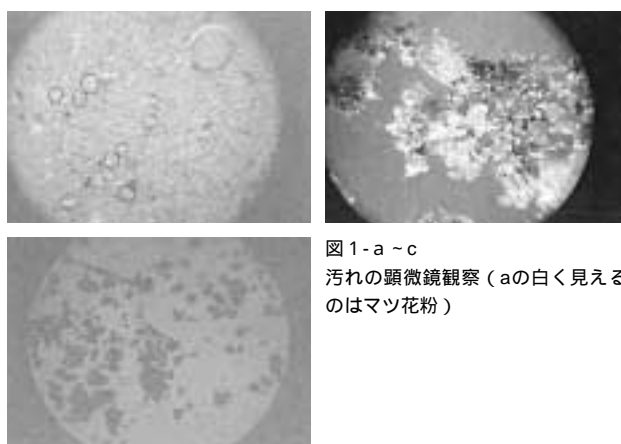


図1-a～c
汚れの顕微鏡観察（aの白く見えるのはマツ花粉）

方法2 汚れの量を比較する

次に、汚れが海側より反対側のほうがひどいといっても、具体的な数値ではなく何となくの感じであるため、それを数値的にはっきり比較することにした。そこで、下の校舎図内に示した場所で汚れを採取し、その量を測定することにした。

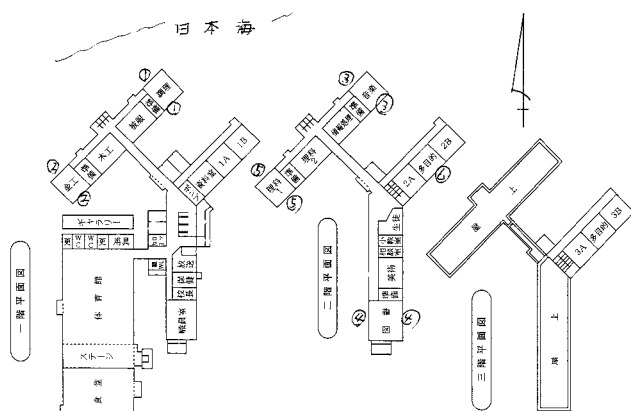


図2 校舎見取り図と観察場所

方法 北校舎（海側）の1階から海側・反対側それぞれ2箇所。北校舎の2階から海側・反対側それぞれ2箇所。南校舎の海側、反対側からそれぞれ1箇所。合計10箇所について、それぞれ窓ガラス3枚の汚れを一定量のガーゼでていねいに拭き取り、その汚れの量を測定した。

方法 で得た汚れの中の塩分量を比較するため、汚れを拭き取ったガーゼを40ccの水の中でよくもみ洗する。その後、残った水の塩分濃度をデジタル濃度計を用いて測定し、比較した。

また、これについては季節によって付着する物質に違いがある可能性があることと、ガラス拭きでガラスをきれいにしてから、実験のために拭き取るまでの期間が長かったことを考え、次のように改善した。台風などの通過で強風が予想される前に一度汚れをよく拭き取ってきれいにする。その後2週間程度で、実験用の汚れを拭き取り、と同じ測定を行った。これを理科室の両側の窓で、毎回3枚ずつ、3回（7、9、10月）行い平均を出した。

結果2

校舎の各部分の汚れの量とそれを定量の水に溶かしたときの塩分濃度（%）を下の表1に表す。また、7月と9月、10月における理科室の海側と反対側の窓の汚れと塩分濃度の測定結果を図3に表す。図表から、見た目と同様に海側より反対側のほうが汚れも塩分濃度も大きい傾向が明らかである。

表1 汚れの質量と塩分濃度

No	場所	校舎	向き	汚れの質量 g	塩分濃度 %
1	1階調理室	北	海	2.63	0.47
			逆	2.46	0.83
1	1階金工室	北	海	2.19	0.23
			逆	2.76	0.8
1	1階音楽室	北	海	1.75	0.17
			逆	2.42	0.87
2	2階図書室	南	海	2.38	1.0
			逆	2.68	1.0
2	2階理科室	北	海	1.36	0.23
			逆	2.33	0.87
2	2階多目的室	南	逆	2.64	1.2

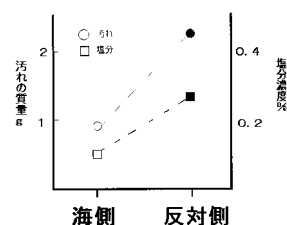


図3 汚れの質量と塩分濃度

汚れの質量は北校舎・南校舎とも海とは反対側のほうが多いといえる。

塩分濃度は南校舎の海側・反対側、北校舎の反対側が大きく、海に近い北校舎の海側は最も小さい。

これらのことから潮風が海側から吹くにもかかわらず、海側よりも反対側に塩分が多く付着するといえる。また、汚れの量と塩分濃度は相関しないことから、汚れが付着することには複数の風の要素があると想像できる。

方法3 風向きの全体の傾向

この地域では、1年を通して、およそ北西の季節風と春夏秋の昼間の海風が強い印象があるが、それについて具体的な数値がほしい。しかし、本校には自記録式の風向風力計がない。そこで、新潟気象台高田測候所より指導していただき、柏崎市内のアメダスのデータをいただくことにした。年間の風向は、東西南北の各要素にわけて集計した。集計の方法は、各1日の風向を4ポイント制とし、「北」「西」などの時はその方向に4ポイント。「北西」の時は北に2ポイント、西に2ポイント。「北北西」の時は北に3ポイント、西に1ポイントというような方法で集計した。

また、砂埃が舞うような最大風速6m以上の日についてだけ、抜き出して風向を集計した。

結果3 柏崎の風向

年間の風向の集計結果（図4-a）と風速6m以上の風向の集計結果（図4-b）を下に示す。最も多いのは西よりの風で、ついで北、また南風の要素もあることが分った。

このことから、やはり海側から校舎に吹き付ける北西の風が多いが（図5の校舎見取り図参照）、他に南西の要素もあることがわかった。

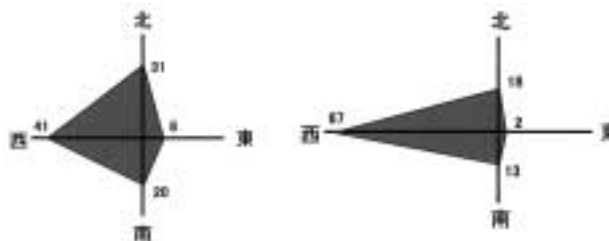


図4-a 柏崎における年間の風向 図4-b 年間の風向(風速6m以上)

方法4 校舎周辺の風の実態

風が強い日（太平洋側を台風が通過した日と海風が強い日）に、実際に校舎周辺ではどんな風が吹いているのか、その向きと強さを調べるために計測を行った。風向についてはビニールヒモの吹流しにより、風速はデジタル式のウインドメッセを用いて測定した。風速は一定しないため、それぞれ3分間の最大風速を2回求めて平均を計算した。また、同様の観測を7月～9月に3回行い、さらに平均を計算した。

結果4 柏崎の風向

校舎周辺各部の風向と風速を校舎図（図2）に入れた（図5）。図中の数字が風の向き、数値が風速（m/秒）である。南校舎の3階海側、南校舎の2階海側（一部）、北校舎海側の順で強く、海と反対側は明らかに風が弱い。また、校舎に沿って風が巻くためか、校舎の壁沿いでは風向が校舎に沿った方向になる。

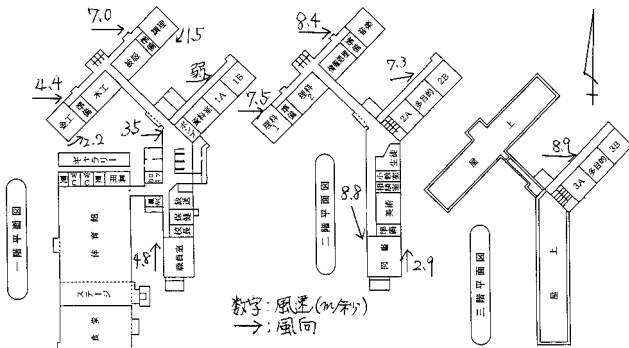


図5 校舎周辺の風向・風速

方法5 模型による風のモデル実験

ダンボールとアクリル製の箱で製作した校舎モデルに数種類の扇風機で強さの違う風を吹き付ける。その風に霧吹きで水滴をのせたり、線香の煙を漂わせたりしながら、実際に細かな水滴や汚れ（煙）が校舎モデルの風上（海側）、風下（反対側）でどんな動きをしているか観察する。この時風の強さによってどう変化するか特徴をつかむことにした。また、途中から防砂林であるマツ林の影響も考え、モデル実験を改良した。（図6）

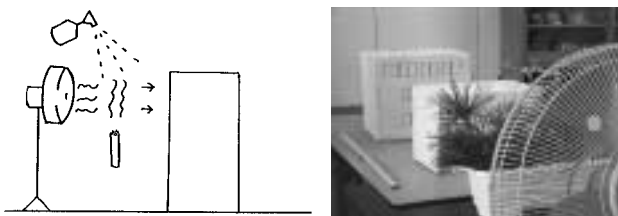


図6 モデル実験の様子（模式図と実際の模型写真）

結果5 風のモデル実験

はじめ、単独の校舎に風を吹き付けてみたが、校舎の風下側にわずかに渦ができる程度で、どうしても、風上側に風や煙があたり、風下側に塩分や汚れが多く付着するメカニズムが分らなかった。

そこで、校舎モデルの前面に防風林のマツ林のモデルを設定したり南校舎を設定した。（図7）しかし、今度はほとんどが校舎を乗り越えるような形になってしまった（モデル）。そこで、さらに現実のサイズ比にモデルを近づけることを考え、校舎の高さや校舎の間隔、風速をしいに变化させた。その結果、改良したモデル実験から図8のような風が校舎周辺で吹いていると推察できた。このモデルでは、海側の校舎（北校舎）へは風があたるものの、ほとんどの煙（汚れ）は校舎上を乗り越える。ところがそれらが、より高い南校舎へぶつかり、南校舎と北校舎の間に渦ができる。そして、これはかなり風速をあげても同じように渦ができることが観察できた。

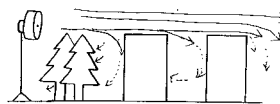


図7 空気の流れモデル

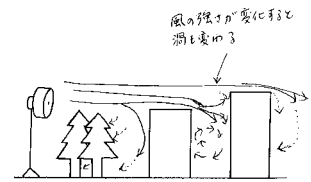


図8 空気の流れモデル

方法6 校舎周辺の渦の確認

10月初め、西風の強い日（屋上で風速7～10m/秒）に校舎周辺で発煙筒を焚き、その煙を観察して、校舎周辺でモデル実験と同じような渦ができるか確かめた。（図9）



図9 観察の様子（発煙筒をサオの先に付け、校舎周辺での風の動きを確認する）

結果6 校舎周辺の渦

実際に、発煙筒を焚いて煙の動きを観察すると、校舎周辺で複雑に風が吹いていることがわかった。モデル実験以上に風速、風向が絶えず変化し、渦を巻いたり、あまり巻かずに校舎を乗り越えるように吹いたりといろいろ変化することがわかった。ただ、特に風が強く吹いている瞬間は、煙が北校舎を乗り越えた後、中庭方向に吸い込まれるように渦を巻いて入る様子が確認できた。

5 考察

校舎の窓の汚れは、塩分、細かい泥、花粉などであった。このうち、花粉は春の一時期、学校全体がマツ花粉に覆われるほどであることから説明ができる。しかし、マツ林が海側に多いことから海側の窓にも多くつくように見えた。最もどこから飛んできたかがハッキリしている塩分については、結果3～6を考え合わせると、海から風の強い日に飛んだ海水のしぶきが、校舎を囲む風の流れの影響で海とは反対側に多く付着すると考えられる。この風は西～北西の風であることが多いが、2つの校舎とマツ林の影響で中庭周辺で渦を巻く。この渦は、風速が小さい時はあまり出来ないが、大きくなるにしたがって激しくできる。風が弱いときは塩分や汚れは飛んでくず、逆に汚れが飛んでくるほどに風の強いときは渦ができる。このことは窓の汚れの実態と合っていると思われる。ところで、ガラスの汚れを拭き取っていると、塩分が多く拭き取れる方向のガラスは汚れが何となく湿った感じで粘性がある。これは、塩分が空気中の水分を吸い取っていること（潮解性）によると考えられる。これによって、空気中の汚れがさらに海とは反対側のガラスに付着しやすくなっているとも考えられる。また、風向の分析から、やや南よりの風の要素もあることが分った。南西の方向にはグラウンドがあり、褐色の土ぼこりが舞っている事も多い。これらが海とは反対側の窓に多く付着しているとも考えることができる。

今回の研究は、松浜中学校を材料にして観察・実験を行ったが、他の建物でも同じようなことが見られるのではないかと考えている。

6 結論

窓の汚れの正体は、塩分、泥、花粉である。

塩分は西～北よりの風によって海から校舎方向に吹き付けるが、校舎による乱気流等によって校舎の間で渦を巻き、結果的に校舎の風下側の窓に多く付着する。窓ガラスに塩分が付着した後、そこに細かい泥などが付着しやすくなっている。

7 今後の課題

計画は冬季からしていたものの、実際に汚れのサンプル採集に入ったのが4月からであったため、窓に汚れを付着させるような強風の日が冬ほど多くなかった。時期を変えて、観察の機会をさらに増やす必要がある。汚れの量、塩分濃度、マツ花粉は確認できたが他の成分が明確でないため、この成分分析を行う必要がある。空気の流れのようすについて、モデル実験でも、屋外実験でも煙の動きをビデオ撮影する工夫がたりず、校舎周辺の風モデルが単純な視覚による観察に頼ってしまった。実験記録の方法を工夫する必要がある。

8 引用データ

気象庁アメダスデータ2001年9月1日～2002年8月31日（柏崎市）の風向：気象庁ホームページ気象資料よりダウンロード

（指導教師 古澤 博之）

