

積もる雪の脅威

脇 本 正 則

降る雪は積もる

大野市の 2026 年の冬、初めはほとんど積雪がなかったのに 1 月下旬になって一気に積もり、その雪の重みで屋根の軒が損壊し、積雪害予防で骨組み状態にしてあった農業用ハウスが損壊するなど、例年にならぬ被害が多発したことに驚かされました。雪国に住む人ならばこんな積雪の被害を防ぐ術を経験から知っているはずですが、今年のような雪の積もり方を久しく経験していなかったから、その対応に戸惑ってしまったのではないかと思います。



雪庇状の積雪で軒が損壊した状況



骨組みだけの農業用ハウスが損壊した状況

雪が降っているとき、その降っている雪それ自体や積もって間もない雪は、ふわふわとしていて、なかなか風情あるものです。でも、その雪は積もっていく、刻々と状態が変わり、そして、積雪の怖さを見せつけてくるのです。しかし、その積雪の真相については意外と理解されていないように思われます。

積雪の中の現象

降ってくる雪は、上空で微細な氷晶が発達して雪の結晶になり、重くなって落ちてきたものです。雪の結晶としては六角形の樹枝状のものが一般的ですが、この形状の雪は、結晶が成長する空域の気温が -15°C くらいの時に形成されることが多いのです。それより気温が低くても高くても、柱状や針状の結晶になります。初めは何 $10\ \mu\text{m}$ というような小さな氷晶に空中の水蒸気や雲粒が付着して大きく成長し、あるいは、小さい雪の結晶自体が結合して mm サイズの大きさになって地上にまで落ちてくるのです。付着する雲粒とは、過冷却状態でまだ氷になっていない μm サイズの微水滴です。

降ってきた雪の積雪表面付近は、全くふわふわ状態ですから、雪の結晶の形がまだ確認できます。結晶がいくつも固まって形が崩れていても、結晶構造がいくらか残っていますから、隙間だらけという状態です。ですから、その部分の密度は $0.1\ \text{g}/\text{cm}^3$ にもなっていません。また、雪が積もる地表付近は上空より気温が高いので、積もっていく雪の結晶構造が融けてきます。結晶構造の外側から融け始めて表面に水膜を作り、丸みを帯びた $2\ \text{mm}$ ほどの雪粒になってきます。この雪粒には降ってくる時に付着した微水滴が $0.1\ \text{mm}$ くらいの大きさになって凍結した状態で付着しています。こんな状態で積もっているのが「新雪」と呼ばれる状態です。新雪の密度は $0.03\sim 0.15\ \text{g}/\text{cm}^3$ です。

さて、新雪といっても、積もり始めてしばらくすると上部の重さが加わりその圧力で雪粒の隙間がつぶされて徐々に密状態になってきます。この蜜状態が強まると密度に応じて雪の性質が変わっていきます。密になる様子を締まると言いますが、締まり具合が徐々に強まっていく様子から「こしまり雪」、「しまり雪」と呼んでいきます。こしまり雪の密度は $0.15\sim 0.25\ \text{g}/\text{cm}^3$ 前後、しまり雪の密度は $0.2\sim 0.5\ \text{g}/\text{cm}^3$ 程度です。 2m 以上もの積雪になるとその重みでスコップが刺さらないくらい強烈に締まってきます。密度が $0.5\ \text{g}/\text{cm}^3$ になることもあります。

新雪として積もり始めるときの雪粒の表面は氷の凸凹状態です。氷の表面では、凸状態の表面の水蒸気圧が高く、凹状態の表面は低いので、表面で氷が昇華して水蒸気になって高い方から低い方へ移り、凹部に凝結して凹を埋めるように雪粒が丸みを帯びてきます。また、この凝結の際に接する雪粒同士が繋がって固く結びつきます。この現象を「焼結」と言います。物質は融点以上の温

度で融けますが、融点の手前でも、融けて液状にならずに固体状態のまま分子が連結して固く結びつきます。粘土を形作って焼くと固い陶磁器ができるというのが典型的な焼結の例です。氷も融点の 0°C にならなくても -5°C でも -10°C でも物理現象として融点に極めて近い状態なので、接する雪粒同士が硬く結びつく焼結の現象が起こります。雪粒が接触していれば焼結によってしまり雪になっていくのです。

地面の温度は通常 0°C 以上ですが、積雪の中は常に 0°C 以下です。積雪の地面と接する底面付近は、その上部よりは温度が高く、 0°C 以下とはいえ 0°C に近い温度です。そのため、積雪の底面部では融雪が起きています。積雪が減っていくときの雪解けはほとんどこの底面部の融雪です。雪粒の表面が融けて丸くなるとともに、雪粒の表面に水幕ができ、水の表面張力によって小さな雪粒を集めて $1\sim 2\text{ mm}$ の雪粒になります。この状態が「ザラメ雪」です。ザラメ雪は濡れているという状態ですが、温度が氷点下になると、接している雪粒が再凍結して固く連結します。でも、地面付近ではしょせん 0°C ほどの温度ですから、底面部のザラメ雪が全体的に凍結するというようなことはありません。温度が上がれば濡れた状態に戻ります。また、積雪の地面に近い所から上方に向けて温度が低くなる温度勾配があります。温度が高いと水蒸気圧が高く、温度が低い上方は水蒸気圧が低いので、水蒸気圧が高い方から低い上方に向けて水蒸気が移動するという現象が起きます。地面付近のザラメ雪の雪粒表面の水幕から水蒸気が上方に移り、上方のしまり雪の雪粒に凝結して霜が付着したような状態になります。これを「しもザラメ雪」と言います。このようなザラメ雪の密度は、しもザラメで 0.3 g/cm^3 前後、ザラメ雪では $0.3\sim 0.5\text{ g/cm}^3$ になります。ザラメ雪は水幕が再氷結していない水幕をまとった状態のときは雪粒同士の結びつきが非常に弱く、しもザラメ状態でもしまり雪に比べると結びつきは弱く、積雪の途中にこれらの層が混入していると、層と層の間の摩擦が小さくなっていることから雪崩の現象が起こります。

積雪の表面では、気温が低いと雪粒が昇華して直接水蒸気となり積雪が減少していきませんが、積雪が目に見えて減るほどの現象ではありません。気温が 0°C 以上になると表面の雪粒が融けて雪粒表面に水幕を形成し、完全に雪粒を融かせば水となって下部に浸みこみ、融雪が進むことになります。雨が降れば融雪が進んでザラメ雪が形成されます。こうして積雪の表面部にもザラメ雪が形成されます。夜間晴れ渡って放射冷却が進むと、積雪表面部の雪粒の水幕が凍結して雪粒同士を強く結びつける現象が起きることがあります。大野ではこれを「おそら」と言って雪の上を容易に歩き回ることができるという現象です。

なお、積雪の層順が上から新雪、こしまり雪、しまり雪と徐々に密になっている状態では、後に説明する屋根雪が軒先の方へせり出してくる状態のように、

全体として一定程度のまとまった雪層の性質を保ちます。しかし、積雪表面部のザラメ雪の上に新雪が積もると、新雪の下部ではしまり雪が形成されたとしても、その下にあるザラメ雪の層との摩擦が小さいことから、表層雪崩の危険が高まります。

積雪層の特異な状態

さて、今年の雪、特に屋根に積もった雪が軒先を損壊したのはいったいどんなことが起こっていたのでしょうか。普通、屋根に積もった雪が何日もの時間をかけて徐々に軒先を越えてせり出してきたとしても、一定程度せり出した段階で、雪層が折れて落下するものです。ところが、今年は、せり出した雪が、1mほども軒先からせり出しているという現象が多く見られました。それだけでなく、下の方に1m、あるいは2mも垂れ下がっているという現象も数多く見られました。そのせり出している部分の重量を軒部分で支えきれなくなり、軒先を損壊したという現象が多発したのです。

屋根に積もる雪は、地面の上に積もると同様の状態変化をしていきます。なお、暖房がない建物では屋根の温度が0℃以下になることがあり、その状況下では、底面部のザラメ雪が完全に凍結して、氷床を形成することもあるので、この点は地面に積もる積雪と異なります。

屋根雪が軒先からせり出してくる現象は、雪の非圧縮性粘性流体としての性質による現象です。新雪からしまり雪へと順序よく積み重なっている積雪層は、圧力や温度が変化しても層内各部の密度がほぼ一定で体積が変化せず、全体として一様に流れる性質のことを言います。

積雪に関しては、山の斜面で起きる雪崩や氷河の流動に関する研究として、北海道大学などでこの種の研究がなされてきています。でも、流動する屋根雪がどのような作用で屋根を損壊するのかというような研究結果や解説を見つけられませんでした。以下に私なりの解説を試みますが、私見であることをお断りしておきます。

いわゆる56豪雪(1980~81年(昭55~56年))のとき、大野市や福井市の多くの杉林で樹冠部の積雪の重みによって幹が折損するという現象が多発し、壊滅状態になった杉林もありました。このときの積雪状態を分析したところ、気温が相当低い状態が継続しているときに、湿った重い雪が急激に降り続いて積雪が多くなり、しまり雪状態になって更に積もり、樹冠に積もった雪の塊の形状が崩れることなく積もって、幹がその重さに耐え切れなくなり折損したものと結論付けられました。大野市の平均気温が-1℃前後、最高気温でも1℃台、福井市での平均気温が0℃台、最高気温でも2℃台、積雪状況は、大野市で日降雪量が連日50~60cmに達しており、福井市でも日降雪量が最高60cmに達してい

ました。56 豪雪の時は今冬のように軒先の破損が多発したというほどではありませんでした。大雪が長く降り続いたことから、屋根の雪下ろしをして屋根への負荷を蓄積しなかったものと言えるでしょう。

今年の大野市の積雪状況については、1月22日から一気に積もり始めたのですが、降り続いた数日間の平均気温が -1°C 台で最高気温でも 1°C 台、積雪は日降雪量の最大は52 cm、2日間で一気に積雪深が1mを越えました。

大野市では、前年2025年2月にも、平均気温が -1°C 台で最高気温でも 1°C 前後、日降雪量20~50 cmという日が数日継続し、一気に140cmを超える積雪になりました。気温が低かったことや大雪が継続したという積雪状況は今年と似ていますが、屋根の軒が損壊するという現象が多発するようなことはありませんでした。今年の雪が湿っていて重かったのではないかとの観点で見ても、特に重い雪であったとは認められませんでした。

降った雪が重いか軽いかを比べる指標に「雪水比」というのがあります。積雪量cmを降水量mmで割った数値を言います。ここで言う降水量は、降雪量として記録される雪を融かして雨水の量に換算した数値をいいます。普通の新雪の雪水比は1程度で、1.5以上は乾いた軽い雪、0.5以下だと湿った重い雪と言えます。56 豪雪の大規模な杉折損被害を与えた大雪のときの雪水比は1より小さい0.8前後、去年の大雪が降ったときの雪水比は1以上の1.1~1.2程度、今年大雪のときは1を超えて3になることもあったほどで、決して重い雪だったわけではありませんでした。

では、去年と今年とでは何が違っていたのかと気象データをいろいろ比較しても、屋根の被害などが多発したことの原因と評価できる要素を見出せませんでした。



積雪によって壊滅的折損被害を受けた桜並木の状況

限界を超える重量負荷

しかし、屋根の軒の損壊もさることながら、今冬は、落葉樹の積雪による折損や骨組み状態の農業用ハウスが積雪によって損壊する被害も多発しており、やはり、特徴的な積雪であったものと言わなければなりません。

それでは、軒先から垂れ下がる屋根雪の裏側部分を撮影した写真をもとに考えてみましょう。

垂れ下がる雪庇状態の屋根雪の下端部につららが見えます。そして屋根からせり出してきた積雪の底部分が凍結していることも確認できます。このことから、屋根雪が徐々に軒先へとせり出してくるとき、底部が屋根と接する部分だけが融けているものの、ザラメ雪の層を形成するというほどではなく、底面が氷結した状態の締めり雪の層が形成されつつ積雪が続き、全体として一様な塊の積雪を維持したまま雪庇を形成したものと考えられます。しまり雪状態ですから、雪粒同士が強く連結しているため、軒先から離れても相当重くなった自重を支えられるくらいに連結強度が強かったわけです。



車庫の屋根からせり出した雪庇状の積雪

農業用ハウスの骨組みに積もる雪も、葉を落とした広葉樹の枝に積もる雪も、一定程度の大きさの塊になれば、しまり雪になっていても、通常は、雪粒の結びつきの限界を超え崩れて落下するものです。ところが、今年の積雪は、ハウスの骨組みや樹木が損壊するほどの重量になるまで積もって塊となり、塊が壊れて落下する前に、その自重によってハウスの骨組みや樹木を損壊したのです。でも、今年の雪では、56豪雪のような大規模な杉樹林折損の被害は見られませんでした。

以上の状況から、しまり雪となった積雪がある限界を超える重さの塊になって樹木や屋根などの構造物を損壊することになると言えます。それら損壊の限界状態の積雪になる条件は、状況によって異なり、一概には判断できません。つまり、雪質自体はもとより、気温の状況など諸条件の微妙な違いによって、樹木や構造物それぞれに見合う損壊条件を満たす積雪状態になることがあるということです。

まとめ

屋根の軒について壁から軒先まで水平距離を 70cm (普通 60~90cm と言われている) として、軒にしまり雪が 1m 積もってこれが雪庇状に軒先から 1m せり出し、更に 50cm 垂れ下がった場合を考えてみましょう。積雪全体がしまり雪でその平均密度が 0.3g/cm^3 とします。この軒部分が、壁際の支点から軒先までの間に積もる雪と雪庇を合わせた重量を支えるものとして、この重量を計算すると、軒 1m あたりでは 660 kg になります。軽自動車 1 台ほどの重量です。これほどの重量が軒にかかっていると一概には言えませんが、積雪の状況によってはあり得るわけです。そして、軒がその重量に耐え得る限界を確かめる術がないですから、起こり得る状況を予測して、被害を防ぐためには早め早めの対策を講じていくしかないのです。最近の家屋は、56 豪雪のころよりも暖房が充実しており、屋根の温度が高くなっているはずですが、積雪の底面部のしまり雪が以前より融けやすくなってきており、そのためより密度の高いしまり雪が形成され、結果として軒先からせり出す雪庇が非常により大きく重く成長してしまうことが想定されます。ですから、以前はこれくらいならまだ大丈夫だったと思われるような状況であっても、積雪状況の真相を理解して臨まないと、とんだ災害に見舞われることがあるということを普段から意識していきましょう。