

植物の耐凍性と寒冷適応

酒井 昭 (北大・低温科学研究所)

植物は氷点下の温度を凍結を回避したり、あるいは凍結した状態で耐えている。多くの植物細胞や組織は細胞外凍結で、すなわち細胞壁に接してその外側に氷を析出し、細胞自身は凍結脱水された状態で耐えている。この場合、その細胞からかなり離れたところに氷を析出する場合もある。現在のところ、細胞内が凍っても生きていられる細胞はまだ知られていない。いずれにしても、細胞外凍結状態では、ある温度までは、細胞内の水は温度低下につれ凍結脱水が進むが、氷が細胞内に侵入できないようなバリアーが存在している。しかし、細胞外凍結で、ある植物は -5°C の凍結にしか耐えられないのに、なぜ他の植物が -70°C 以下までも耐えられるのか、また細胞外凍結で、ある限界温度以下に冷されたときに、なぜ凍死するのかについては、まだ充分な説明が与えられていない。

落葉広葉樹の枝の木部の中心部から、外に向って数列の細胞群が放射状にならんでいる。これを放射組織とよんでいる。冬の落葉樹の枝の木部放射組織は -30°C 以下までも過冷却できるし、また、野外では過冷却で越冬していることが、いろいろな方法で確かめられている。木部のほかの細胞は $-8\sim-10^{\circ}\text{C}$ で凍っているので、まだ凍っていない放射組織細胞の水が、なぜまわりの凍った組織に向って脱水されないのか、また、なぜまわりの組織からの植氷がおこらないのか不思議である。おそらく放射組織を構成する細胞の細胞壁か、あるいは細胞膜が水を透過しないためと考えられる。また、両者が癒着している可能性も考えられる。いずれにしても過冷却であるから、木部放射組織の最低生存温度は $-40\sim-45^{\circ}\text{C}$ までである。事実、多くの温帯性落葉樹は気温が -45°C 以下に下がる地域には、ヤナギ属、ポプラ属、シラカンバ属を除いて、ほとんど分布していない。 -45°C 以下に冷え込むところにまで分布している上記の3属の植物は、示差熱分析で調べたところ、木部放射組織は過冷却ではなく、細胞外凍結する能力をもっていることが判明した。それでは、ヤナギなどの特別に耐寒性の高い落葉樹と、ほかの落葉樹の木部放射組織の細胞とでは、構造と機能がどのように違っているのだろうか。興味深い問題である。

北海道で自生しているトドマツやエゾマツなどの針葉樹の冬芽を切ってみると、その中心部にミミリていどの大きさの緑色の枝条原基がある。春になって芽がほころびると、これが伸長して新梢となる。この枝条原基のまわりには20~30層からなるリン片がとりまいて枝条原基を冬の乾燥から守っている。枝条原基を芽から切取って水につけて凍結すると -5°C の凍結にも耐えない。しかし、冬芽のなかにある状態では、枝条原基は -30°C まで冷やされても生きています。冬芽をその基部で切って示差熱分析すると、枝条原基以外の芽の組織は $-8\sim-10^{\circ}\text{C}$ で細胞外凍結するが、枝条原基のみは $-12\sim-13^{\circ}\text{C}$ まで過冷却する。そのため枝条原基中の水は、おもにその下部に、ちょうど霜柱のように、氷を析出する。そしてゆっくり冷却される時には、芽の中の枝条原基は -45°C 近くまでも生きられるが、速く冷却する時には、冷却中に枝条原基内に凍結がおこって死ぬ。したがって、枝条原基の生存最低温度は、過冷却のばあいと違って

冷却速度によって著しく異なる。北海道の針葉樹の芽は、ゆっくり冷却しても、 $-40 \sim -45^{\circ}\text{C}$ までしか耐えられない。示差熱分析で調べたところ、過冷却の場合と違って枝条原基が凍死する温度付近で潜熱の放出は認められなかった。このことから、強度の脱水によって枝条原基が凍死したものと考えられる。こうした凍結様式を、われわれはあらたに器官外凍結とよぶことにした。すなわち枝条原基を構成している細胞は、細胞外凍結に耐える能力をもたないが、器官ぐるみで外部からの植氷凍結を防ぎながら、凍結脱水に耐えている。アラスカ内陸部で越冬している針葉樹の枝を札幌に空輸してもらい調べたところ、これらの芽も器官外凍結で耐えているが、北海道の針葉樹とちがい、 -70°C まで冷却しても生きていた。すなわち、アラスカやシベリアの亜寒帯針葉樹の芽の枝条原基は強度の脱水に耐える能力を獲得することによって -50°C 以下に冷え込む厳寒の地でも生きている。器官外凍結では、冷却中の脱水が細胞外凍結よりも非常に小さいのが特徴である。その意味で器官外凍結は細胞外凍結と過冷却との中間的性格をもっている。すなわち、ゆっくり冷却される時には細胞外凍結的性格を、速く冷却する時には過冷却的性格を示すものと考えられる。

被子植物の多くの花芽や吸水種子も器官外凍結で越冬している。吸水した種子では、胚自身が凍れば死ぬが、最初に種皮が凍結する。ついで胚乳や胚中の水が種皮と胚乳膜のあいだに水を析出する。そして胚や胚乳は器官外凍結で強度の凍結脱水に耐えている。たとえばレタスの種子では -70°C 以下の凍結にも耐えることが知られている。

一般に葉や枝の韌皮組織は細胞外凍結、木部の放射組織は過冷却、針葉樹の冬芽の枝条原基や被子植物の花芽、吸水種子は器官外凍結をする。このように植物の組織や器官によって氷点下の温度に耐える適応戦略が異なっている。

熱帯植物は $15 \sim 10^{\circ}\text{C}$ の温度にある時間さらされると冷温傷害をうける。この傷害温度が熱帯植物の生存下限温度に相当する。この冷温傷害は、生体膜を構成する脂質の液晶から固相への相転移がその一次的原因と考えられている。温帯植物や亜寒帯植物は夏は約 20°C 、冬は $0 \sim -30^{\circ}\text{C}$ の非常に低い温度下で生きている。そのため、これらの植物は、 0°C 以下の温度でも生理機能を保持できるよう、夏から冬にかけて、夏型から冬型に物質代謝を転換して体制の転換をはかる。すなわち植物は夏の状態のままでじっと冬も耐忍しているのではなく、 0°C 近い温度で細胞の構造や成分を変えて、厳しい寒さに耐えられるよう細胞をつくり変える。こうした秋から冬にかけておこる一連の体制変換の現象を低温馴化とよんでいる。熱帯植物とちがい、温帯や亜寒帯植物は低温馴化能力を獲得することによって年温度較差の著しい温帯や亜寒帯でも生活できる。また、温帯や亜寒帯植物は自己の生活環の中に低温が組込まれており、ある程度の冬の寒さにさらされないと生存できないしくみになっている。

現在のグローバルな植生は温度と降水量から説明されている。しかし、こうした解釈論では、植物は受身的な立場におかれている。植物の側からすれば、植物は異なった地域の、異なった環境に適応的に分化、発散して現在の植生をつくりあげたものと考えられる。気候変動による森林の植生の変遷も同じであって、気候変化によって植物が受身に移動するだけでなく、変化した気候に適応した種を分化させ、これに積極的に対応した面をも併せ考えることが必要である。地球上の異なる気候に生育する植物の耐凍性は、生育地の冬の寒さに対応して高まっている。これは寒さの厳しいと

ころほど、寒さによる自然選択が強く進むため耐凍性の高いものばかりの集団となっているからである。現在、地球上で寒さの最も厳しいところまで分布を拡げている耐寒性の高い樹種はマツ科のマツ属、トウヒ属、モミ属、カラマツ属の4属に限られる。その他の科、属の植物は北方の亜寒帯にまで分布できる樹種を分化していない。第三紀始めに高緯度地域にまで分布を拡げたスギ科植物は、第三紀新世以降の気温の低下、季節性の激化に対応できず、絶滅するか、または暖地に遺存的に分布しているにすぎない。一般に異なる気候帯に広く分布し、しかも種数の多い属は遺伝的変異性に富み、環境適応能力が高い、そして、こうした植物のみが耐凍性の高い種を分化している。北アメリカ、ユーラシア大陸の広大な亜寒帯地域は、わずか10種ほどの木によって占められ、北方針葉樹林帯が成立している。

以上

雪と氷の観察会

「雪と氷の観察会」が、昭和58年1月14日、15日および30日に、札幌市青少年科学館主催、日本雪氷学会北海道支部後援により開催された。氷の薄片製作実習は同科学館の低温実験室内にて、雪の結晶のレプリカ作成は同館玄関、積雪断面の観察は前庭にてそれぞれ行なわれた。参加者は8-9名のグループにわかれ、午前または午後に3コーナを順番に回って実習を受けた。参加総数は129名、内わけは小学5・6年生88名、中学生9名、高校生5名、教員9名、父母10名、その他一般8名であった。講習指導は、科学館・高橋庸哉、北大低温研・大伴武都美、外塚 信、橋本雅之、入川真理、水野悠紀子、成瀬廉二が担当した。

なお、講習会後、科学館によせられた感想文の中から一文を以下に掲載いたします。

「雪氷の世界」に参加して

常盤小6年 花井文恵

私が一番心に残った実験は、氷の薄片づくりです。キラキラと光るのがとても印象的でした。今までは、ただの透明な固体だと思っていたのですが、こんなに美しいものだとは思いませんでした。同じ氷でも種類や切り方によって光り方が異なることに驚きました。

雪の結晶では、いろいろ複雑な形がありました。立体的なものもすてきでしたが、どちらかと言えば平面でいり組んだ形の方が好きです。驚いたことと言えば、粉のように小さなもののまです、大変複雑な形をしていることと、結晶の一つ一つは、透明な色をしているということです。雪は白い色ときめつけていた私にとって、新しい発見でした。そして、「結晶の一つ一つは透明なのに、どうして白い色になるのだろう」という疑問が一つでてきました。

最後に積雪断面ですが、地層にとってもよく似ていました。今までは、雪の断面に興味なかったのですが、今度から注意して見てみたいと思います。

今日は楽しい一日でした。またこのような会に参加したいと思います。