

0 でも凍らない水



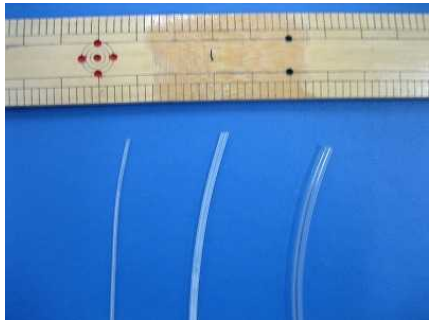
信州大学大学院 工学系研究科
機械システム工学専攻
代表者氏名：竹内 克也



実験目的

水が 0 になると氷に変化することは誰でも知っている事実です。しかし様々な条件により 0 以下に冷やされても水が凍らず、液体の状態のままである場合があります。

植物は地中から水分を吸収しており、当然植物内にも水分が存在します。しかし冬場、氷点下を迎えた朝でも植物がカチカチに凍結していることはほとんどありません。それは植物の中を流れる水の通る管が、とても細いためであると言われています。細い管の中の水は、管の表面と水素結合で結びつき、束縛された液体となるため、氷に相変化しにくいと言われています。つまり細い管の中の水は、0 以下に冷やしても凍らないということになります。そこで一般に手に入るチューブを用いて、その中の水が本当に 0 でも凍らないのか、実験してみました。

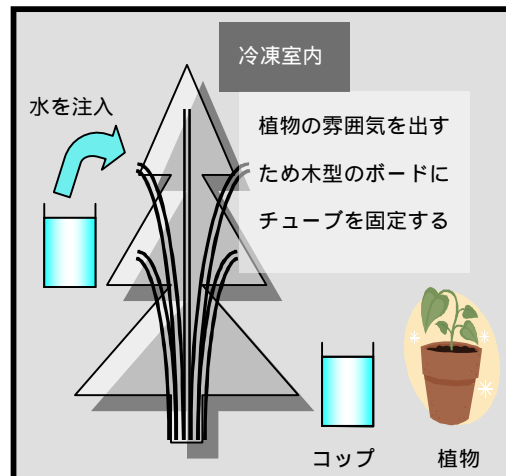
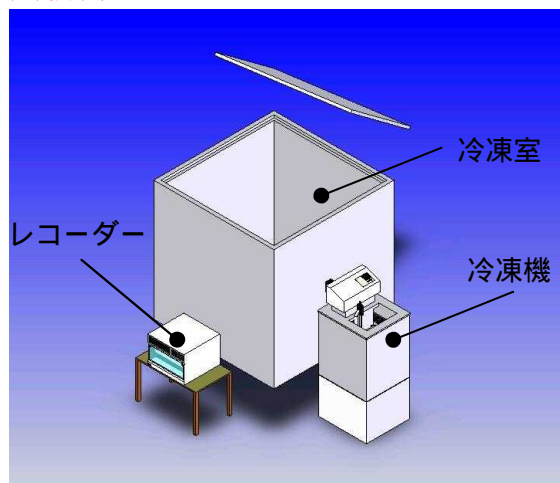
実験材料

植物	市販のコップ	チューブ
		
<p>コニファーのシルバースターという植物です。この植物を選定した特別な理由は特に無く、ホームセンターで購入しやすく安価だったからです。比較的耐寒性は強いらしいです。</p>	<p>この中に水道水を入れ、チューブとともに冷却します。このコップ内の水の凍結現象を普段日常で目にするものに近い状態にするため、あえて研究用など特殊な物ではなく、市販のどこでも手に入る物を選定しました。入れる水の量は 100g です。</p>	<p>実験に用いたチューブです。右から 2.5×3mm, 1×2mm, 0.5×1mm です。材質は は塩化ビニル, はシリコンです。これらのチューブを長さ 200mm に切断しその中に水を含ませます。</p>

鉢	木型のボード
	
<p>自然の植物は地中に根を張っているため、土の中の部分は外気の影響はほとんど受けないと考えられます。そこで植物の鉢は断熱材で作りました。</p>	<p>木型のボードに貼り付けることによって、植物の雰囲気を出しました。</p>

実験方法

実験装置



断熱材で作られた冷凍室にクーラーを設置し、冷凍機（低温恒温水槽）とつないだホースにブラインを流すことにより冷凍室内を冷却します。また PID 制御機と接続された投げ込み式ヒータ（八光電機製）を冷凍機の水槽に入れてあります。PID 制御機は冷凍室内の温度を出力するように設置してあるので、冷凍室温度を任意の温度に設定できます。

冷凍室内には熱電対を設置しており、外部のレコーダーにその温度を出力させます。

実験手順

1. 冷凍機の温度を設定する



ブラインがホースやクーラーを流れることによる熱損失が生じることを考慮し、希望の冷凍室温度より若干低めに設定します。

2. チューブに水を含ませる



実験で用いるチューブは内径が細く、水を含ませるのが困難です。そこでチューブの先を水に浸け直接吸い上げることで、チューブ内に水を含ませます。極力チューブの端から端まで水が含まれるようにします。

3. チューブの固定



左の写真のようにボードにチューブを貼り付け、固定します。チューブの下端は水漏れがないよう、圧着しておきます。簡易的にチューブの所々をテープで固定しました。

4. 実験開始



冷凍室内に植物、コップの水、チューブを入れたのち冷凍室の蓋をし、冷凍機のブラインを流します。レコーダーに表示される冷凍室内温度に注意しつつ、そのまま3時間放置します。

実験結果



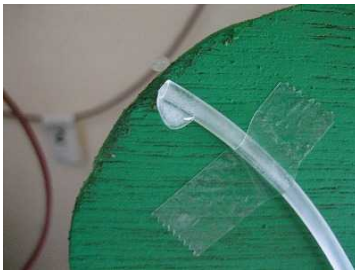
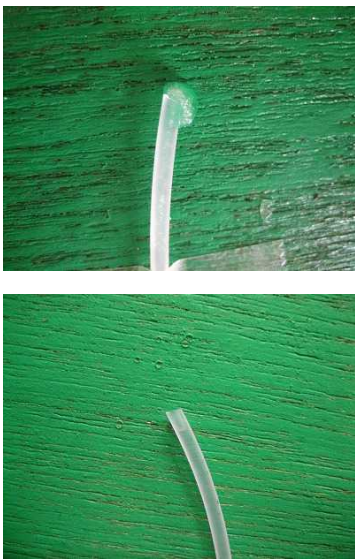

● 冷凍室を -5 に冷却

まず冷凍室温度を -5 まで冷やしました。3 時間後、それぞれの実験材料を取り出し観察しました。

植物		<p>右が実験後の植物で、左が実験前の植物です。色、葉の様子など特に変化はみられません。触った感じも、冷たくはなりますが凍っている様子はありませんでした。</p>
コップ内の水		<p>コップに入れた水は大部分が水のままでありますが水面と、コップ内面に触れていた部分が凍結していました。</p>
チューブ		<p>2.5mm のチューブです。チューブ全体が白くなり、凍結しているのが分かります。またチューブの先には、膨張時に水があふれ出て、それが凍結したことによって氷滴ができていました。チューブに触れるとパキパキという氷が割れる感触がしました。他の 2 本のチューブも同様に凍っていました。</p>
チューブ		<p>1mm のチューブです。チューブ全体が透明で、特に変化無い様子です。触った感じも実験前と同様であり、中の水は凍結していませんでした。</p>
チューブ		<p>0.5mm のチューブです。1mm のチューブと同様に中の水は凍っていませんでした。</p>

● 冷凍室を - 10 に冷却

次に冷凍室を - 10 まで冷やしてみました .

植物		<p>やはり - 10 だと冷たくはなりますが , 葉や茎が凍った様子はありません .</p>
コップの水		<p>表面は完全に氷になっています。 - 5 に比べ厚い氷ができました .</p>
チューブ		<p>2.5mm のチューブですが , - 5 の時と同様に凍結しました</p>
チューブ		<p>1mm のチューブは凍結したチューブと凍結していないチューブがありました . 上の写真が凍結しているチューブで , 下の写真が凍結していないチューブです . 同じチューブでもこのような差が生じました . この日の実験では 3 本中 1 本が凍結し , 2 本が未凍結でした . 後日再び同じ実験を行ったところ , 全てのチューブが未凍結という結果となりました .</p>
チューブ		<p>- 10 でも内径 0.5mm のチューブは凍結しませんでした .</p>

● 冷凍室を - 18 に冷却

最後に - 18 まで冷やしてみました。本実験装置ではクーラーの性能上、冷凍室内温度を - 18 くらいまでしか冷やせないためこの温度に設定しました。ちなみに家庭用冷蔵庫の冷凍室は - 18 以下に設定されているのでそれと同じくらいの温度と言えます。

植物		<p>あまり変化無いように見えますが、若干緑に白みがかかったように感じます。ですが触った感じは実験前と同様で、茎などが凍っている様子はありません。</p>
コップ内の水		<p>かなりの部分が氷となりました。また、温度の低い氷であるため、融けにくい氷ができました。</p>
チューブ		<p>- 5 , - 10 の時と同様に凍結しています。また温度が低いせいか、水滴の形もしっかりしているように見えます。</p>
チューブ		<p>- 10 では凍ったチューブと凍らないチューブの両方が観察されましたが、- 18 では全て凍結しました。</p>
チューブ		<p>- 5 , - 10 では凍結しなかった 0.5mm のチューブですが、室温を - 18 まで冷却した結果凍結しました。、 のチューブと同じように体積膨張による水滴が確認できます。触った感触からも氷が割れる感触を確認出来ました。</p>

まとめ

これまでの実験から、まとめとして以下のような表をつくりました。

冷凍室 温度	植物	コップ内の 水	チューブ 2.5×3mm	チューブ 1×2mm	チューブ 0.5×1mm
- 5	×		×	×	×
- 10	×				×
- 18	×				

・・・凍結

・・・凍結と未凍結

×・・・未凍結



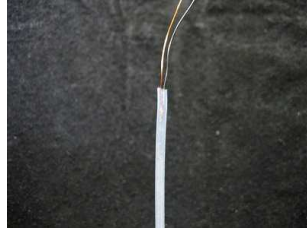
以上の結果から、チューブの中の水はコップの水に比べて明らかに凍りづらく、また細ければ細かいほど凍りにくいことが分かりました。このことから、チューブのような細い管の中に入れられた水は過冷却しやすいと言えます。また植物は - 18 まで冷やされても凍結した様子は見られませんでした。

上の表の の部分を解明するためにも、次の実験としてチューブ内の水が何度まで液体のままなのか、実際に測定することにしました。

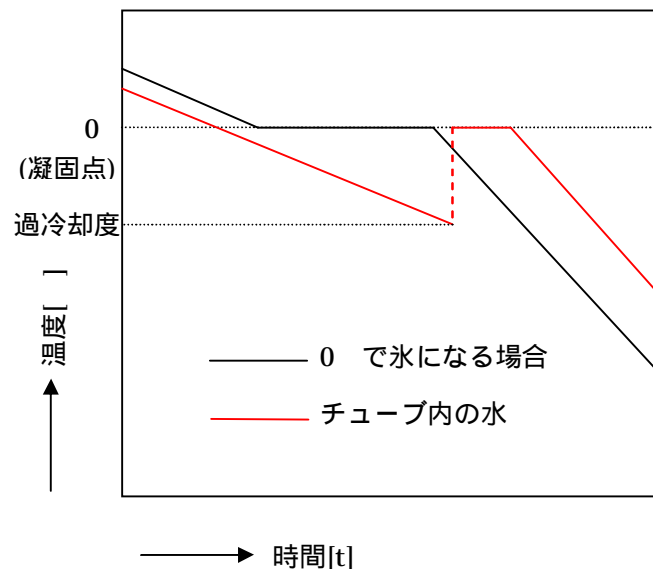
実験その2

・温度測定方法

冷凍機のブライン設定温度を 0 から -25 まで徐々に下げることにより、冷凍室を -18 まで少しずつ冷却し、その際のチューブ内の水の温度変化を測定しました。その際の温度変化は熱電対を用い、それをレコーダーから読み取ることで測定しました。なお、この実験には2種類の熱電対を用いました。

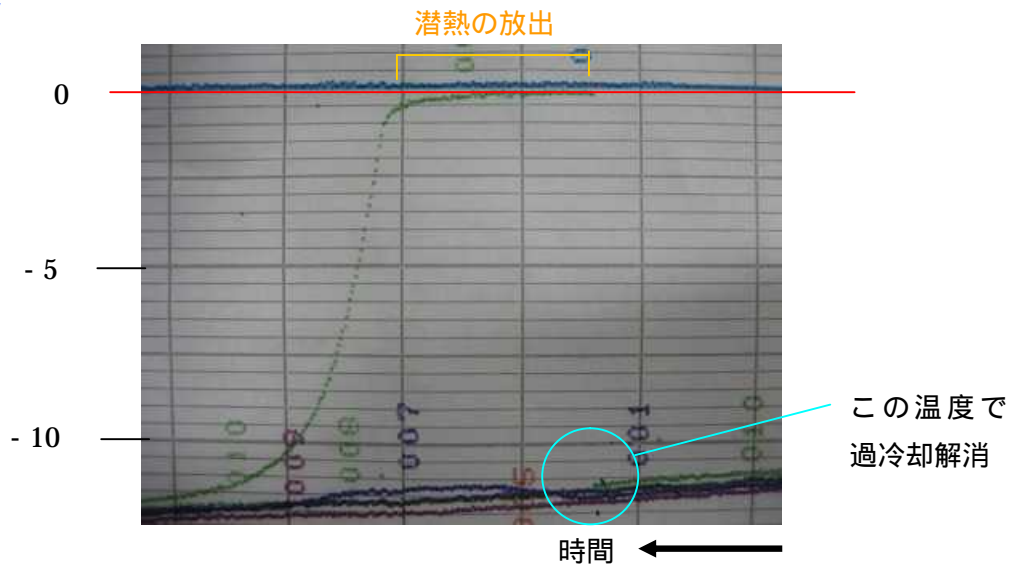
熱電対	熱電対	
		
<p>こちらが恒温室の温度測定に用いている被覆熱電対です。</p>	<p>こちらがチューブ内の水の温度を測定するために用いた熱電対です。同じ銅 - コンスタントンの被覆熱電対ですが、被覆がとても薄いので細いチューブ内の温度も測定することができます。なるべく影響が無いように熱電対は浅く差し込みました。</p>	

・過冷却度

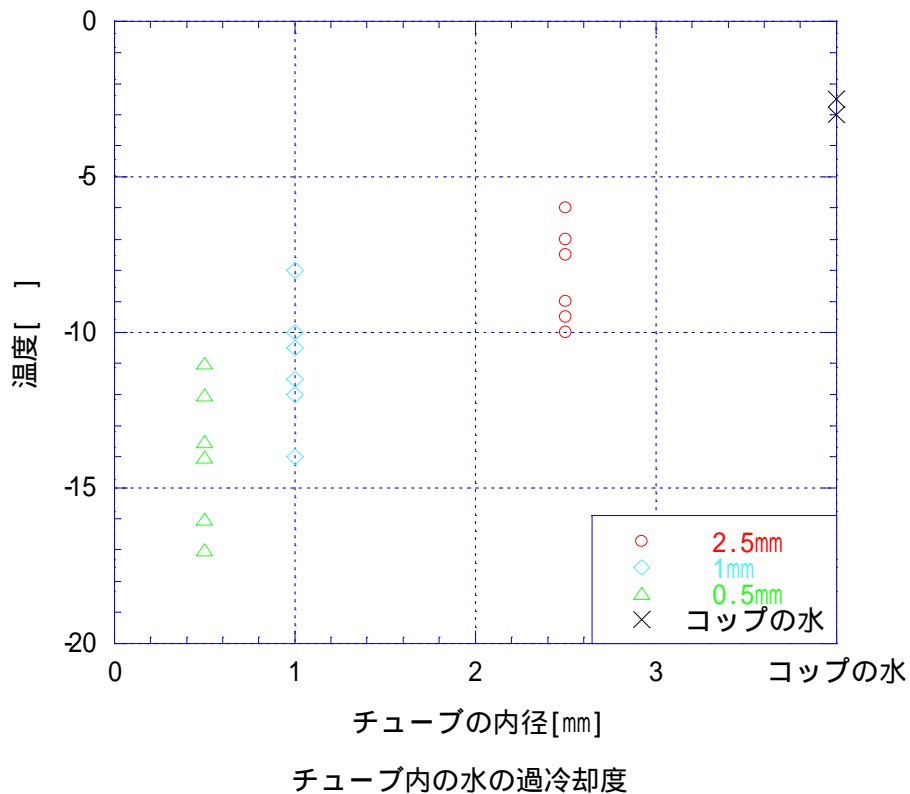


上の図のように理論的には水は液体のまま 0 まで温度が下がるとその温度のまま潜熱を放出し、その後氷に変化します。一方チューブ内の水は液体のまま 0 以下まで温度は下がり、ある温度から突然 0 まで上昇し潜熱を放出し、その後氷となって再び温度降下していくと考えられます。レコーダーから表示される温度変化グラフも赤線のような形状になるはずですが、そこでレコーダーから読み取れる温度変化から、急激に温度が上昇する直前の温度、過冷却度を測定します。

結果その2



上の写真は実際にレコーダーで記録した温度変化のデータです。緑のラインに着目すると -11 近辺で突然 0 まで温度上昇しています。このことから、この温度で過冷却が解消したと判断できます。その温度を過冷却度としてそれぞれのチューブごとに測定しました。



上のグラフが 2.5, 1, 0.5mm のチューブ内の水の過冷却度をプロットしたものです。比較のため、コップ内の水の過冷却度もプロットしました。

それぞれのチューブで過冷却度にはかなりの幅があることが分かります。そのため -10 まで冷却した場合、1mm のチューブに凍結したものと凍結していないものが現れたと言えます。しかし全体の

傾向としてはチューブの内径が細くなるほど過冷却度は低くなるといえます。またチューブだけでなくコップの水も - 2.5 くらいまで過冷却することが分かりました。

考察

水が氷に相変化する際、氷核の発生が必要不可欠です。氷核は水の表面、つまり空気に直接触れている水面や水を入れてある容器の表面に発生しやすいと言われています。よってこの実験ではチューブの表面から核が発生する可能性が最も高いと考えられます。しかしそのチューブ表面と表面に接している水が水素結合していると、その分子は束縛されているため氷核を発生しにくくなり、その結果過冷却しやすくなると考えられます。種類によって差はあると思いますが、実際の植物の導管はこの実験で用いたチューブよりはるかに細いと考えられるのでより低い温度でも凍りにくいと考えられます。また導管の中の水分は植物の体液や養分と混ざることによって凝固点降下することも植物が凍りづらい理由の一つでしょう。

もう一つ考えられるのは体積が小さくなることによる過冷却解消のしにくさです。この実験ではチューブの長さは全て同じですが、内径が異なるため内部に含まれる水の体積は内径が細いほど小さくなります。過冷却が解消するには振動や刺激などの外部からのエネルギーが必要です。体積が小さいということは、外からの何らかの要因を受ける確率が低いということになり、その結果細いチューブの方が過冷却度は低くなったと考えられます。

チューブがあまりに細いと水を含ませるのも困難であり、温度測定も難しくなります。より細く長いチューブと太く短いチューブの比較ができれば新たな結果が現れるかもしれません。