



Title	生物の凍結過程の分析 IV : 植物凍結曲線分析の一方法
Author(s)	青木, 廉; AOKI, Kiyoshi
Citation	低温科学, 4, 79-83
Issue Date	1948-10-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/17462
Type	departmental bulletin paper
File Information	4_p79-83.pdf



生物の凍結過程の分析. IV. 植物凍結曲線分析の一方法*

青 木 廉

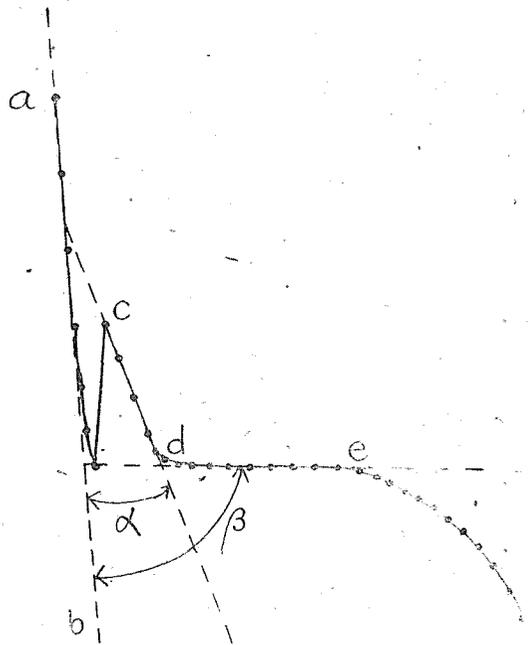
(低温科學研究所 生物學部門)

I

同一條件の下に於いて種々の植物で得られた2つの氷點が分離している凍結曲線を比較してみると、第1氷點以後の温度の下り方及び第2氷點部の温度降下度には種々の段階が認められる。²⁾ 此等の温度降下の割合は其の時期に於ける氷の生成速度、いかえると凍結の進行速度によつて決まるものであり、³⁾ 従つてこの部分の傾斜度から組織小片内の凍結の様子を或る程度窺い知ることが出来るであろう。以下實例について組織の凍結様式から此等傾斜度の意味を吟味し、此等が凍結様式を推定する一つの目安となり得るか否かを考えてみた。

II

以下比較に用いる凍結曲線は皆 $5 \times 5 \times 14$ mmの角柱状の組織片を用い、冷却速度 $2.2 \sim 2.8^\circ\text{C}/\text{分}$ の下に於いて熱電對で測定された温度變化から畫かれたものである。^{1) 2) 3) **} 第1氷點以後及び第2氷點部の傾斜度を便宜上次のように示した(第1圖)。冷却曲線の直線部の延長 ab と第1氷點以後の直線部 cd とのなす角を α 、同様に第2氷點部の直線部 de とのなす角を β とする。故に角 α は第1氷點以後の直線部の、又 β 角は第2氷點部の冷却曲線に對する傾斜度を示すことになる。此等の α 角



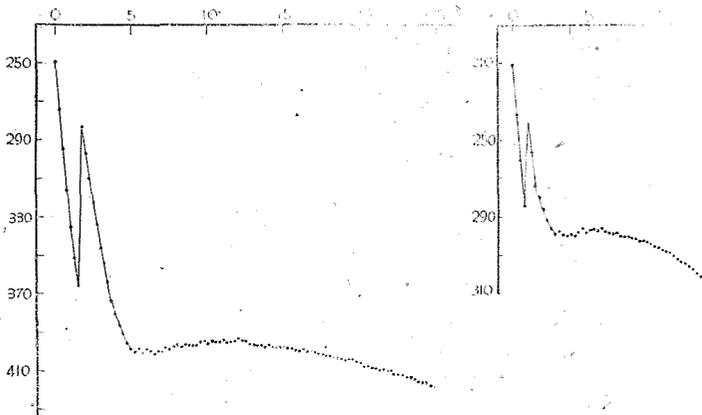
第 1 圖

* 北海道大學低温科學研究所業績1第67號。本研究の費用は服部奉公會及び文部省科學研究費の援助による。
** α 角 β 角の比較は等しい條件(組織片の大きさ、型、冷却速度等)の下に測定された温度變化を時間に対して等しい方眼紙にplotして得られた凍結曲線についてのみ可能であることはいうまでもない。例え同一種類のもので組織小片自身の條件は等しくとも冷却速度が異なれば此等兩角の大きさは非常に異なってくる。

β 角はいつも容易に決定されるとは限らない。2つの氷點の分離の不完全な場合即ち cd , de 間にそれぞれ直線部の殆んどないような場合にははつきりと決め難いので、このような時には近似線をひいて大體の角を決めた。

III

前報³⁾で第1氷點は組織小片の表層負傷部の凍結によるものであることを述べた。此の表層部は非常に凍り易い状態になつており、且第1氷點は一過性で、頂點に達すると直ちに温度が降下することからみて、過冷却が破れてから温度が頂點に達するまでの間に表層部の凍結は大體完了していると考えられる。この第1氷點以後の温度降下の急激のことは表層部凍結完了後組織は冷却される一方で、しばらくの間氷生成は殆んど起こらないか、又起こつたとしてもそれは極めて僅かに過ぎないことを示すものである。表層部の凍結終了後も完全に凍結が起こらなければ、第1氷點以後の部分は直線となり、冷却曲線の其の温度範囲に相當する部分と大體平行になる筈である。* 事實リンゴ(紅玉)又はジャガイモ塊莖では両者が一見平行に見える場



第2圖 リンゴ(紅玉)(1)及びバレイショ(2)の凍結曲線
横軸…時間(分). 縦軸…検流計の読み, 150が0°C. 数字の大きくなる程温度は低くなる.

合が屢々めつた。然し表層負傷部と内部生細胞部との境界は決して明瞭のものではなく死細胞と生細胞はかなり入りまぢつているし、又表層部で流出した細胞液もかなり内部の細胞間隙にまで入り込んでいると思われる。

このような場合には表層部の凍結につづいて、氷

に圍まれた生細胞や、流れ込んできた細胞液が凍るであろう。そうなれば或割合で潜熱の遊離があるので、第1氷點につづく直線部の傾斜度は緩かとなる筈である。又生細胞が非常に凍り易い場合、あるいは水に対して非常に高い透過性を有する場合には温度が下るにつれて内部生細胞部の凍結は時間と共に活潑となる。即ち氷生成速度が次第に大きくなるので傾斜はそれにつれて緩かになるので曲線となつてしまう。従つて第1氷點以後の直線部の長短に意義があることになる。即ち内部生細胞が凍り難い程この直線部は長くなる譯でそれだけ生細胞は過冷却

* 第1氷點の現われた後は表層部が氷の戸となつているため熱拡散率は未凍結組織とは異なつてくるので完全には平行にならない。

されていることになる。此の條件はフラツシュ型凍結に最も好都合である。⁴⁾ このように考えると内部の生細胞が凍り易い場合即ち過冷却されにくいような時には、たとえ α 角が小さくとも此の直線部は短かいが又は不明瞭となる筈である。以上のことから角 α が小さい場合には cd 間の直線部の長短から内部生細胞の過冷却の度を大體判定することが出来るであろう。

表層部の凍結が完了し内部生細胞の過冷却度が或る大きまで達すると生細胞が凍り始める。この時過冷却度が高い程、どこかに凍結が始まるとそれは急速に傳播するため單位時間内に生成される氷の量も多いので急に潜熱が遊離される結果、曲線の傾斜度はかなり急激に變り其の後水平か、場合によつては凸型(老ムラサキカブ)²⁾⁴⁾さえ呈するようになる。このような時には β 角は非常に大きくなり凸型のものでは 90° を起す。 β 角の大きく現われてくる場合は筆者の實驗條件の下では、フラツシュ型凍結が連続的に起こっている時に限られている。割合過冷却度が小さい時から起り始める不活潑な非フラツシュ型凍結¹⁾が主體となつている場合には第1氷點以後の直線部は短かく、且第2氷點部への移行は不明瞭となるであろう。事實非フラツシュ型凍結を主としている種類では²⁾第2氷點部は水平ではなく緩かな傾斜をなしている(表1)。このような時には β 角は小さく、且正確に測れない場合が多い。それであるから β 角

第 1 表

種 類	凍結曲線 [*] の型	主 な 凍 結 型 *	α 角	β 角	第1氷點以後の ^{**} 直線部の長さ
シロウリ(老)	I	連続フラツシュ型	24°	87°	23 mm
ムラサキカブ(老)	I	〃	29°	93°	11 〃
リンゴ(紅玉) 1/16	I	〃	6°	93°	43 〃
リンゴ(雪ノ下) I/16	I	〃	12°	90°	22 〃
キウリ(若)	II	フラツシュ型+ 非フラツシュ型	76°	判定 出來ず	判定出來ず
シロウリ(若)	II	〃	75°	〃	〃
グイコン	III	非フラツシュ型	22°	76°	5 mm
ピート	III	非フラツシュ型+ 散發的フラツシュ型	11°	80°	8 〃
ナス	III	〃	30°	72°	7 〃
ムラサキカブ(若)	III	非フラツシュ型	27°	70°	8 〃
ニンジン	III	〃	19°	71°	3 〃
キヤベツ	III	〃	22°	74°	4 〃
キクイモ	III	非フラツシュ型+ 散發的フラツシュ型	65°	80°	6 〃
トマト	III	〃	43°	64°	6 〃

各値は5回測定値の平均。

* 青木前報²⁾参照。

** IIIに屬するものでは完全な直線部は殆んどなく判定が出來ない場合もある。

の大きさは組織小片中部生細胞部に於ける凍結の傳播速度如何にかゝつてゐるので、いかえれば β 角は生細胞部に於ける氷の生成速度を示すものである。即ち凍結の進行が活潑な程、 β 角は大きくなる。然し β 角の大小のみからでは中部生細胞部の凍結様式を推定することは出來な

い。というのは β 角の大きさにはそれ程著しい差はみられず、其の上、大きさが等しくても凍結型は必しも同じではないからである。このことは第1表に明瞭に示されている。然し第1氷點以後の直線部 cd が長く且第2氷點部への移り行きが急激の場合、即ち β 角が大きい時には此の實驗條件の下ではフラツシュ型凍結が主體をなしていると見て差支えない。一般に β 角が小さくなるにつれて第2氷點部への移行は緩かとなり、これは丁度 cd 間の直線部が短い場合又不明瞭の場合であつて、中部生細胞部に凍結は侵入し易いが、其の後の氷生成が左程活潑に行われなためである。筆者の今迄調べた例では β 角が小さく、 cd 間の短い種類は非フラツシュ型凍結を主としているが、非フラツシュ型の凍結様式から考えて當然のことであろう。²⁾⁵⁾

一般に α 角が小さく直線部 cd の長い時には β 角が大きい、 α 角が大きくなるにつれて β 角は反對に小さく、遂には兩角の區別はつかなくなつて了。即ち $\alpha = \beta$ となる。これは極端の場合であつて表層部の凍結に引續いて内部生細胞部に凍結が進行していく、即ち潜熱が連続的に遊離されるため、表層部が凍つた後、氷生成が中斷されないことを示すものである。生細胞が最も凍り易い場合に α β 角の區別がなくなると考えられる。若いキウリ、シロウリ等はこの例である。

以上のことから α 角は組織小片表層部の凍結に引續いて内部細胞間隙中への氷の侵入し易さを示すものであり、それは α 角の大きさと比例する。 β 角は内部生細胞に於ける氷の生成速度、いかえれば凍結の進行速度を現わし、この速度の増大と共に β 角も大きくなる。又第1氷點に續く直線部 (cd) の長短からは生細胞の過冷却度、即ち凍結に對する抵抗性の大小が判定され、長い程細胞は過冷却されることを示す。従つて組織自身の凍結に對して重要な意義を有するのは第1氷點以後の直線部の長さ、 β 角の大きさであり、此の兩者の組合わせから生細胞部に於ける凍結様式を或る程度推定する事が出来る。

摘 要

凍結曲線において第1氷點につゞく直線部及び第2氷點部の傾斜度 (α 角及び β 角) とこの直線部の意味を組織の凍結様式から考察した。

α 角は組織小片内部細胞間隙中に於ける、 β 角は内部の生細胞部に於ける氷生成速度を示すものであり、又直線部の長さは内部生細胞の過冷却の程度を現わしている。従つて生物學的に意義を有するのは第1氷點に續く直線部の長短と β 角の大きさであつて、此の兩者から生細胞部の凍結様式を或る程度推定することが可能である。

文 献

- 1) 青 木 廉 馬鈴薯塊莖の再凍結曲線の型について. 低温科學, 3. (印刷中).
- 2) _____ 生物の凍結過程の分析. I. 植物組織の凍結曲線の型と凍結様式との關係. 同誌,

3. (印刷中).

3) _____ 1948 生物の凍結過程の分析. III. 植物組織の凍結曲線上の2つの氷点. 同誌, 4.

4) 朝比奈英三 生物の凍結過程の分析. II. 植物柔組織の凍結過程の顯微鏡的觀察. 同誌, 3.

(印刷中).

- 5) 島善隣, 青木廉, 朝比奈英三 りんごの凍結曲線について. (未発表)

Résumé

The significance of angle α (inclination grade of the straight part following on the first freezing point to the extension line of the straight part of the cooling curve) and of angle β (that of the straight part of the second freezing point) on the freezing curves of the plant tissues was considered from the point of view of the freezing mode of tissues (fig. 1). The angle α has an intimate correlation with the freezing of the cell sap flowed out in the intercellular space of the inner living part of the tissue piece. The magnitude of the angle β is wholly determined by the velocity of ice formation in the inner living cells of the tissue piece.

In addition to these angles, the length of the straight part following on the first freezing point ($c-d$ in fig. 1) has also an important meaning for the freezing process analysis. This steady and rapid temperature lowering is due to temporal interruption of the ice formation after the completion of the surface freezing, or due to a delayed slight ice formation. Consequently, the length of the straight part indicates the supercooling grade of the inner living cells, because, during this period, the cells are being continuously supercooled. As the highly supercooled condition is very favourable to active occurring of the flash type freezing of cells, it can be readily understood that the angle β is generally great in the case in which the straight part is long enough. From these facts mentioned above it may be possible that the mode of freezing in the inner living part of the tissue may be presumed by the length of the straight part and the magnitude of the angle β .