

## 第14回 気孔の観察

今回の目標	気孔の形がイネ科と双子葉植物では異なることをスケッチによって把握する。 気孔の数が葉の表裏で異なること、その程度が葉の傾きで異なることを気孔の数を測定することによって確かめる。
今回の提出物	気孔の配列や形を簡単に記したスケッチ（1枚）

### 気孔の観察

#### 目的

植物の水分の流れは主に気孔によって制御される。根の伸長など他の水分代謝制御に比べ、気孔はもっとも速やかに環境の変化に対応できる。今回は葉の表裏性の異なるコムギやエンドウなどの気孔の形や並び方、分布の違いを調査する。

#### 材料

イネ *Oryza sativa* L.

コムギ *Triticum aestivum* L.

ダイズ *Glycine max* (L.) Merr.

エンドウ *Pisum sativum* L.

トウモロコシ *Zea mays* L.

ジャガイモ *Solanum tuberosum* L.

ツバキ *Camellia japonica* L.

サツマイモ *Ipomoea batatas* L.

ソラマメ *Vicia faba* L.

オオムギ *Hordeum vulgare* L.

#### 方法

上記の材料について、気孔を型どり法で事前に採取したサンプルを調査する。ただしイネについては自分の実験ポットを使って気孔を型どりする。気孔の型どり観察は硬化促進剤付きの瞬間接着剤(ボンドアロンアルファ・スーパーセット)を用い、図1のように行う。さらに1種については表皮を剥ぎ(図2)、型どり法で観察したものと表皮を剥いで観察した表皮とを比較し、型どり法でどのくらい正確に表皮を観察できるかを観察する。

カバーガラスに硬化促進剤(アロンアルファ・スーパー液)を塗布し、約20分間乾燥させる。

この上に瞬間接着剤(主剤)を1滴のせ、直ちに葉面に密着させる。このときなるべく葉の中央部で、しかし、中肋(一番真ん中の太い葉脈)を避けたところの型を取るようにする。なるべく同じ種では型どりは同じところの表裏を取るようにする。

硬化後(約20秒後)カバーガラス上に得られた形をカバーガラスの裏側から検鏡する。

倍率100倍で気孔の数を数える。1つのサンプルにつき、視野全体を3カ所以上数え、平均する。倍率400倍で気孔の形・並び方を観察する。

スケッチには気孔の並び方を簡単にかく。このとき気孔を記号でかいてよい。気孔の形のスケッチは視野内でもっとも形の明瞭なものを1つ選び、1つの気孔とその周辺の細胞をスケッチする。

表に気孔の数、形、並び方などの特徴を記入する。

表皮を剥いだ観察では、瞬間接着剤による型どり法との相違を簡潔に記述せよ。

図1 瞬間接着剤による気孔の型どりの手順

図2 葉の表皮の剥ぎ方

## 観察のポイント

以下の3点について今回実際に調べた標本をもとに考察せよ。

イネ科とふつうの双子葉植物の気孔の形，配列の違いを述べよ。

葉が斜上する植物と水平な植物の気孔の表裏間での数の違いを述べよ。

作物の生育する季節や原産地の違いによって気孔の数や大きさに特徴的な傾向があるだろうか？

## 解説

### 作物と水環境 根から気孔まで

#### 1. 作物の水分代謝

##### 植物と水，土のつながり

植物はその一生に膨大な量の水を消費し，その大半を地中から吸収し，空気中に放出する．土中から植物体内を通過し，気孔を通過して空気中に出るまでの水は物理的にも連続しており，このような水の通り道を1つの系とみて，土壌 植物 大気連続体 (soil-plant-atmosphere continuum, SPAC) と呼ぶ．SPACには土，根，導管，気孔，大気などさまざまなものが含まれ，関与しあっている．しかし，このような系の構成物ひとつひとつだけに着目するだけでは植物の水分代謝の理解は十分にできない．今回は気孔だけを観察するけれども，土壌に始まり大気につながる水の連絡の一部を調べているということをお忘れはならない．

##### 植物における水の役割とその量的割合

水は植物のさまざまな生理活動に不可欠なものであり，近年，水の特異な物理性に基いて生物になぜ水が必要かということが明らかにされつつある．しかし同時に水は地中のさまざまな養分を運ぶ役割や太陽放射によって熱せられる葉や茎を蒸散によって冷却する役目も果たす．このような水の運搬や冷却の役割にこそ植物がその一生に利用する水の消費の大半があてられる．植物の水分代謝を量的にとらえようとする場合，運搬や冷却に要する水の量ならびにそれに関与する要因を無視できない．

##### 水分代謝における気孔の役割

気孔は植物体内と空気を結ぶ連絡口であり，植物体内から水分が排出され，一方空気中から二酸化炭素が取り入れられる．吸収された水分は気孔からその大半が放出される．この際に気化熱の分だけ葉や茎の熱が失われる．気孔から水が失われると水の表面張力（凝集力）によって根の水が地上部に運ばれ，その水にとまって土壌中の養分も運ばれる．植物の水分代謝において根や導管に加え，気孔も非常に大きな役割を担っている．

気孔はただ単なる水の出口ではなく，さまざまな環境の変化に敏感に反応して開閉し水の排出を制御している組織である．土壌の水分の少ないとき植物は気孔を閉じることによって水分の損失を防ぐ．つねに湛水条件下にあるイネでさえ，真夏の晴天時の日中には根の水分吸収速度が蒸散速度に追いつかずに気孔が閉じて，水分の損失を防ぐ．植物を取り囲む水分環境に根やその他の器官の形態や生理的機能を植物は適応させる．しかし，気孔はもっとも敏感に環境に反応でき，時間をかけて適応する根では適応できないような1日のうちの変化，すなわち昼と夜の水分環境の違いに適応できる．

水分損失を少なくするために気孔を閉じることは光合成の原料である  $\text{CO}_2$  を空気中から獲得できなくなるため，植物は水分の損失と  $\text{CO}_2$  獲得の間で何らかの妥協点を見いださなければならない．気孔は長い進化の上で総合的に見てもっとも効率的に水を利用し，かつ光合成を行いうるよう気孔の開閉を行うように適応していると考えられる．

## 2. 気孔の形態 (図 3,4)

気孔は孔辺細胞と副細胞からなる。双子葉植物、シダ類や多くの単子葉植物の孔辺細胞の形は腎臓型 (図 4,5) であるが、イネ科やカヤツリグサ科などの一部の単子葉植物の孔辺細胞の形は垂鈴型 (図 3,4) である。イネ科植物の気孔は一般に双子葉植物のそれと比較してかなり小さく、気孔の開閉を顕微鏡で見るのも困難である。副細胞は垂鈴型の気孔では明瞭である。しかし、腎臓型の気孔では副細胞は表皮細胞と同じ形をしている場合も多く、副細胞を認めない考え方もある (図 7)。気孔は環境条件によっては葉の表面から埋もれて存在することもあり、乾燥条件下で生育する植物 (乾生植物) でよくみられる (図 8)。

気孔は葉の両面または片面だけに存在する。平均的な植物では葉の両面に気孔が存在するが、特に裏面に多い。裏面にのみ気孔が存在する植物 (例: チャ) もある (図 9)。葉の直立する植物では気孔の数は表裏でほとんど変わらない。水に葉の浮かぶ水生植物 (ウキクサ) などでは葉の表側だけに気孔が存在する。イネ科で詳しく調べた結果では、ムギ類では表の方に気孔が多く、イネやトウモロコシでは裏の方がやや多くなる傾向にあった。気孔の配列は単子葉植物では規則的に並ぶのに対し、双子葉植物では不規則に葉全体に散らばる。

気孔の数は  $1\text{cm}^2$  あたり数百から数万と植物によって大きく異なる。気孔の大きさも長さ  $10\text{-}40\ \mu\text{m}$  と植物によってかなり異なる (表 1)。一般に気孔の数の多いものほどその大きさは小さくなる傾向にある。単位葉面積あたりの気孔の数は植物種や環境条件によって大きく変わる。環境によってトウモロコシでは  $6000\text{-}8000/\text{cm}^2$ 、ソルガムでは  $8000\text{-}15000/\text{cm}^2$  と気孔の数が大きく変動する。しか

図 3 イネの気孔

a: 表面から見た図, b: a の点線の断面図  
c: a の縦断面図, d: c の点線の横断面図

図 4 双子葉植物の気孔 (左: 腎臓型) とイネ科・カヤツリグサ科 (単子葉植物) の気孔 (右: 垂鈴型)

図 5 双子葉植物の気孔の模式図

図 6 気孔の写真  
左: 腎臓型の気孔  
右: 垂鈴型の気孔 (イネ)

し、種による気孔の大きさや数の違いにその植物の原産地の生育環境の影響があるかどうかははっきりした結論は出ていない。

表1 植物の気孔の数と大きさの比較

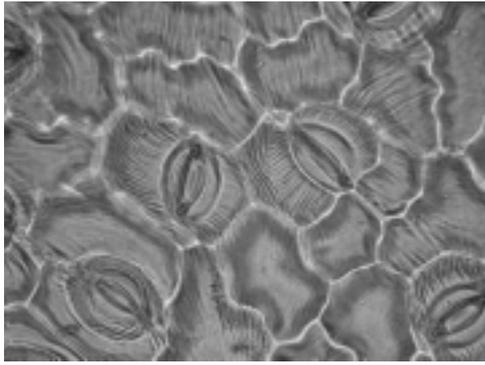
図7 向軸側の葉の表面の気孔の種々のタイプ  
A: フランスギク, 副細胞型の表皮細胞と区別できない, B: *Fusticia cydonifolia*, 孔辺細胞の両極に1個ずつ副細胞を持つ. C: *Plumbago zeylanicum*, 3つの異なる大きさの副細胞で気孔が囲まれる. D: *Convolvulus arvensis*, 孔辺細胞に平行に隣接した1対の副細胞を持った気孔. E: アカシア, 孔辺細胞に平行に隣接した1対の副細胞を持った気孔

図8 乾生植物の気孔. A: アロエ属,  
B: *Haworthia greenii*

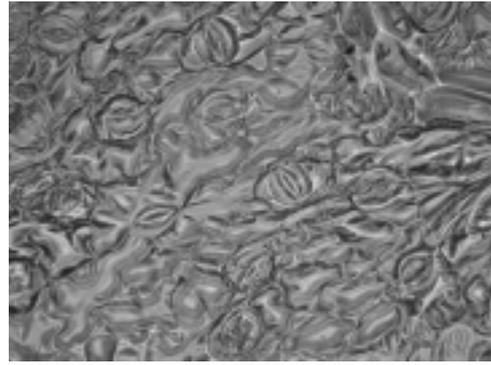
図9 チャの気孔 左: 表側には気孔がない.  
右: 裏側にはたくさんの気孔がある.

### 3. 気孔の調査法

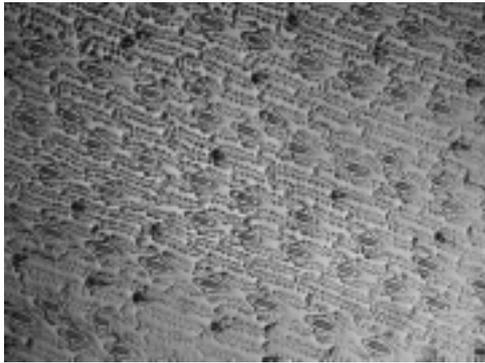
気孔の調査は形態的にはその数と分布の仕方を, 生理・生態的にはその開閉の程度を中心に行う. 気孔の開き具合が大きければさかんに植物は蒸散しており, 空気中の CO<sub>2</sub> を積極的に取り込み, 光合成していることになる. 気孔は非常に小さくまた数が多いので, その開閉の程度を調べるのに様々な方法がある: 直接法・型どり法・浸潤法・ポロメーター法. 今回行う型どり法は保存がきき, 表皮を剥がしたり固定する必要がないのでそのために気孔開度が変化することはない. しかし気孔が小さい場合, 開孔度の小さい場合, 気孔が表皮下にあって型どりが気孔にまで達していない場合などもある.



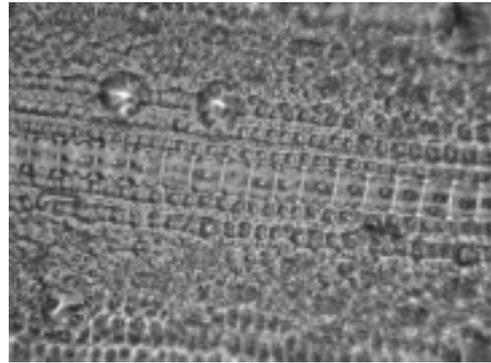
サツマイモ



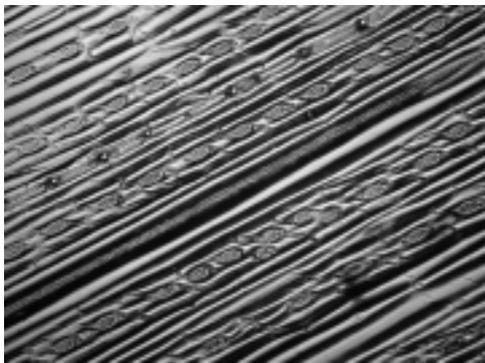
インゲンマメ



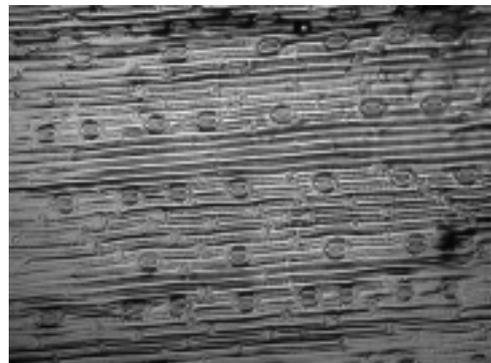
トウモロコシ



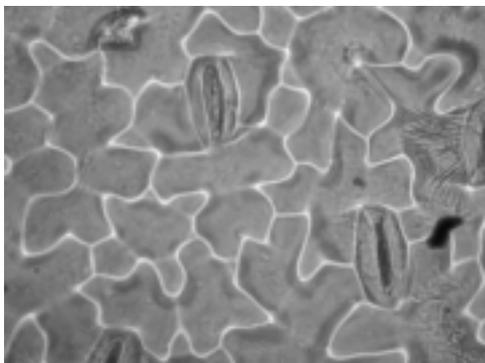
イネ



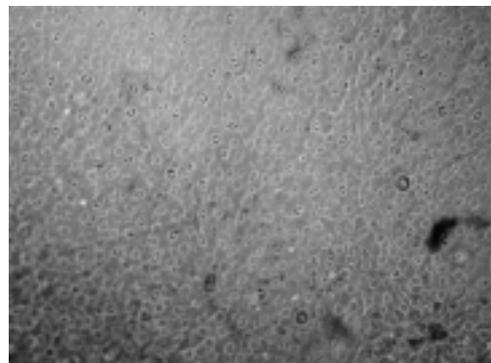
オオムギ



コムギ



ソラマメ



ツバキ

図 10 瞬間接着剤による型どり法でえた気孔のレプリカの顕微鏡写真（倍率は様々）