

平成22年度中学生・高校生の科学・技術研究論文
中学校個人研究の部 最優秀賞



トクサ類は水中にどうして生えることができるのか
～ 中央空気孔と周囲空気孔の役割を解明 ～

いわき市立久之浜中学校
第2学年 佐川睦実

1 動機

私は、3年前に公民館活動で、福島市土湯にある男沼女沼の散策に参加した。この時、講師の方から、水面から出ているトクサは、4億年も前から生えていたロボクの子孫だと教わった。帰宅してトクサの載っている本を見たところ、トクサには空気孔があり、水中でも生きられるよう地下茎に空気を送っていると書かれていた。そして昨年、3年前にトクサについて習った講師の方から、「種子をつくらない植物」の単元で、シダ植物について教わった。

私は、なぜ水中にある地下茎には水が浸透していると思われるのに、末端まで空気を送ることができるのか。そして、2種類の空気孔の役割はどのようになっているか、疑問が湧いてきた。ここに、何か秘密があると思ってきた。



左の写真は2008. 10. 25 右が2010. 8. 1 同じ場所からの写真
2年間で「ミズトクサ」がピッシリだ。

2 仮説

大気圧と水圧が地下茎に加わるために、茎内の中央空気孔には上昇方向の気流が生じると考えられる。また、この気流によって気圧が下がる分、気孔から取り入れられた空気は、周囲空気孔に下降方向へ移動が起こり地下茎の末端まで行き渡ると考えられる。

3 研究計画

- (1) トクサ類が生えている環境の調査
- (2) ミズトクサの地上茎内の酸素と二酸化炭素の濃度測定
- (3) トクサ類の中央空気孔と周囲空気孔のつくり
「中央空気孔」と「周囲空気孔」という名前は私が付けた。文中では、前者を「A」後者を「B」という。
- (4) トクサ類の節(膜)周辺について検鏡
- (5) ミズトクサの地上茎に上下から気圧を掛け、その大きさを測定
- (6) 乾湿に対する膜周辺の細胞がどう変化するかを検鏡

4 検証

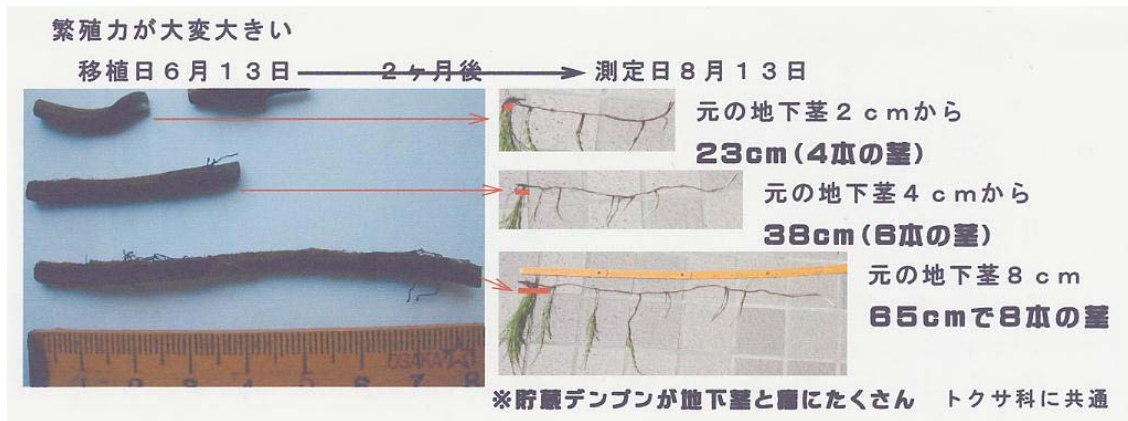
検鏡は10×5で行い、スケールは対物マイクروسコープ0.01m/mを使用した。

(1) トクサ類が生えている環境の調査

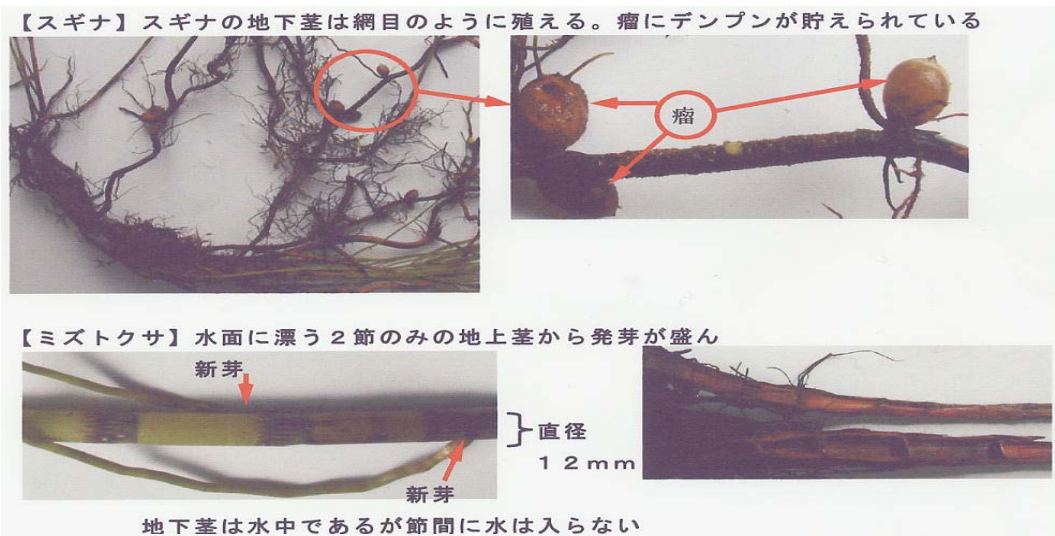
スギナは畑や土手の乾燥地を、トクサは土手や湿り気の土地を好むことが分かった。また、ミズトクサは水中に地下茎を伸ばすことが分かった。

① スギナの地下茎は、どのくらいの速さでふえるか調査した。

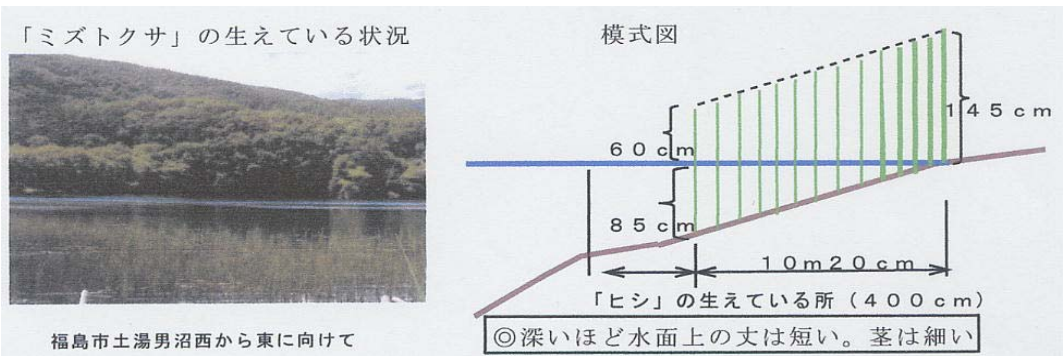
- ・ 地下茎を2cm、4cm、8cmに切り、移植してから2ヶ月後の変化を調べた。
- ・ 地下茎と瘤を切り開き、ヨウ素液を付けたところ、大変濃い青紫色に変化した。



② ミズトクサの地下茎が2節で浮いている所に新芽の成長が見られる。地下茎は水中にあるにも関わらず各節に水は入っていない。

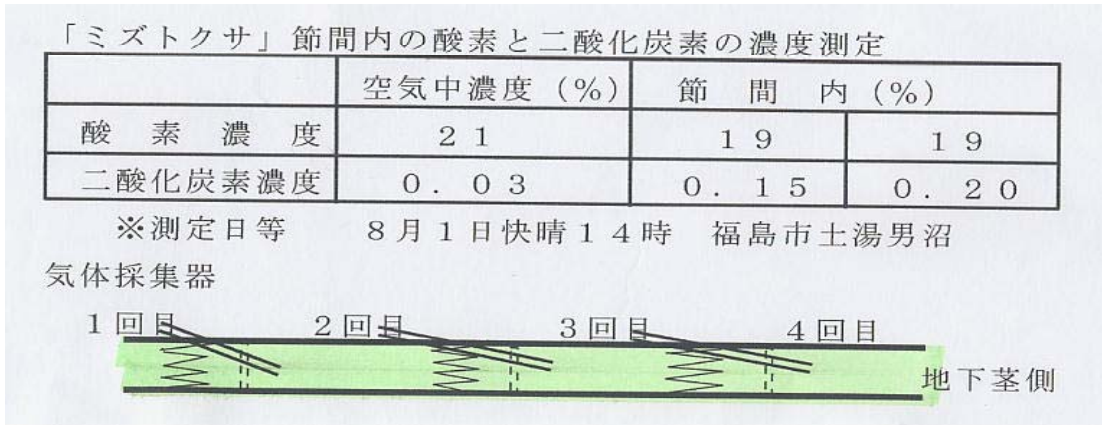


③ 茎は、水際に近いほど太く、深いほど細いことが分かった。また、生える水深は90cmが限界であることが分かった。



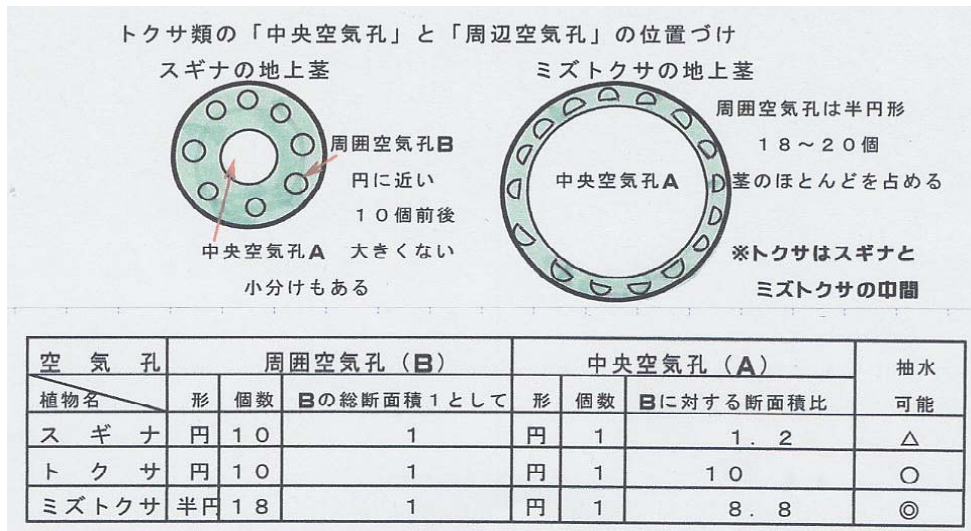
(2) ミズトクサの地上茎内の酸素と二酸化炭素の濃度測定

トクサの仲間は、繊維が縦に走っているため縦に裂けやすい。そこで気体検知管の先を太さ2mmに改良して袴の所に差し、膜を突き刺す方法を使った。4節間の気体を収集したところ、CO₂濃度が空気より多く、O₂が空気より少ないことが分かった。



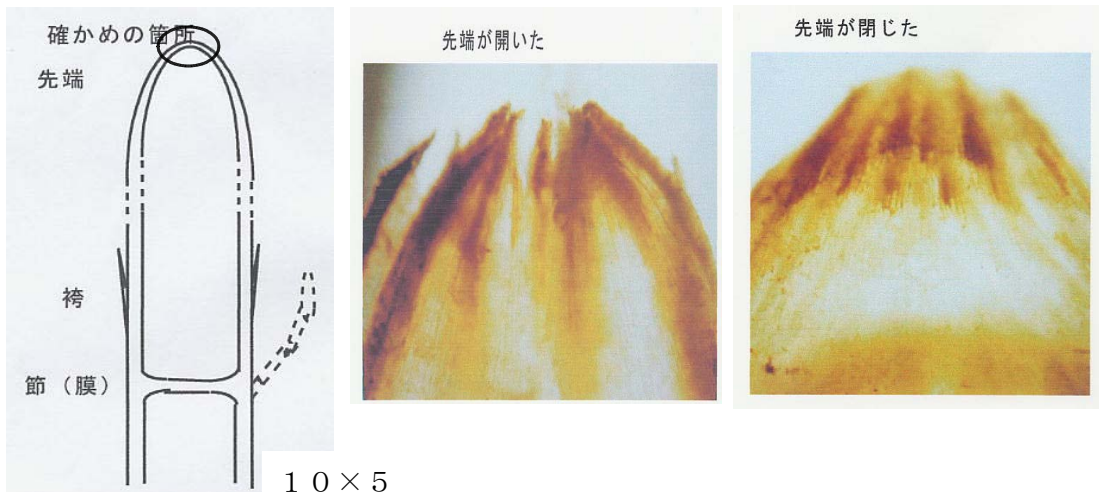
(3) トクサ類の中央空気孔と周囲空気孔のつくり

トクサ類の生育環境が異なるため、AとBの断面積比率は同種内のみ比較した。



(4) トクサ類の節(膜)周辺について検鏡

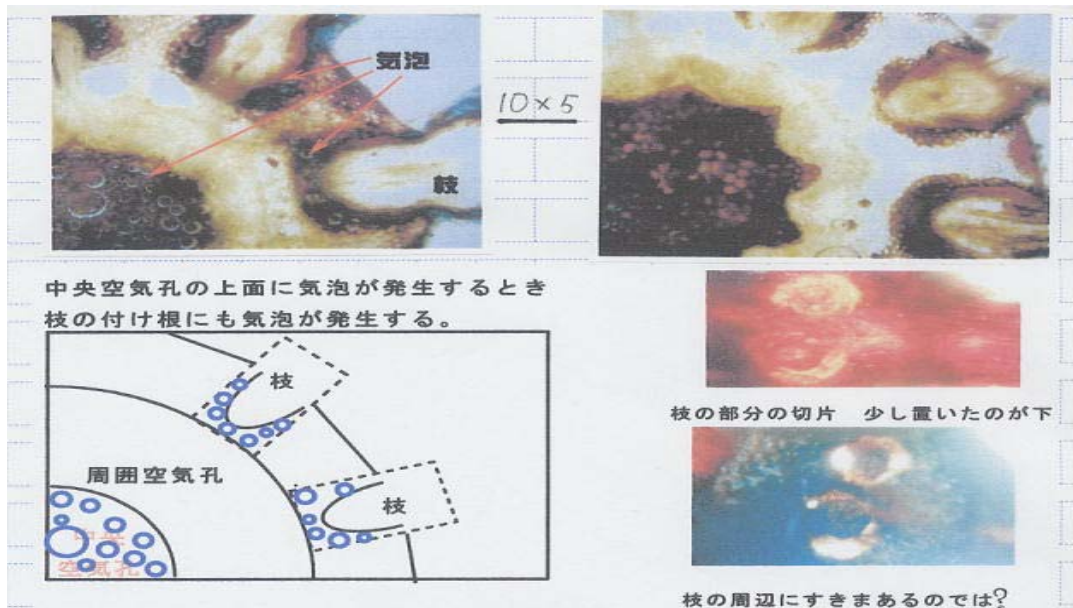
① スギナとミズトクサの先端は柔らかいことが分かった。また、切片を作る時間で先端の開閉を確認することができた。



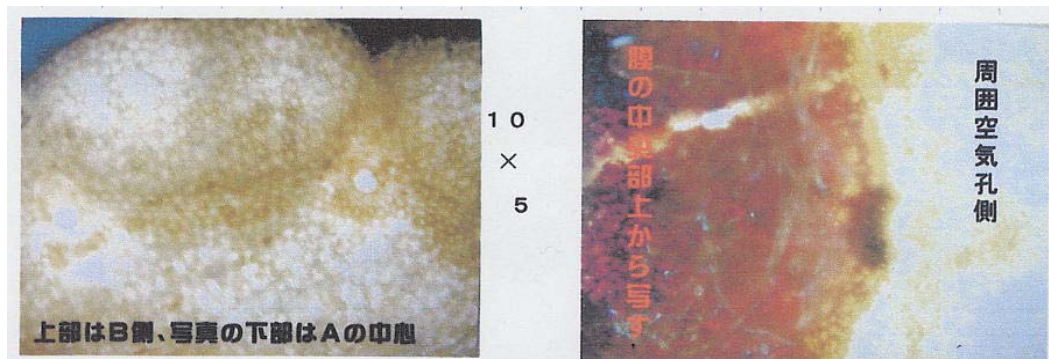
- ② 気孔と仮道管、そしてBの位置関係について
 気孔の直ぐ内側にBが位置している。細胞は
 柵状組織に配列され、葉緑体を含むどの細胞に
 も太陽が当たるようになっている。



- ③ スギナの枝分かれ箇所の切片を作成、検鏡すると、膜の上面には気泡が発生して
 いたが、地下茎(裏)側には認められなかった。



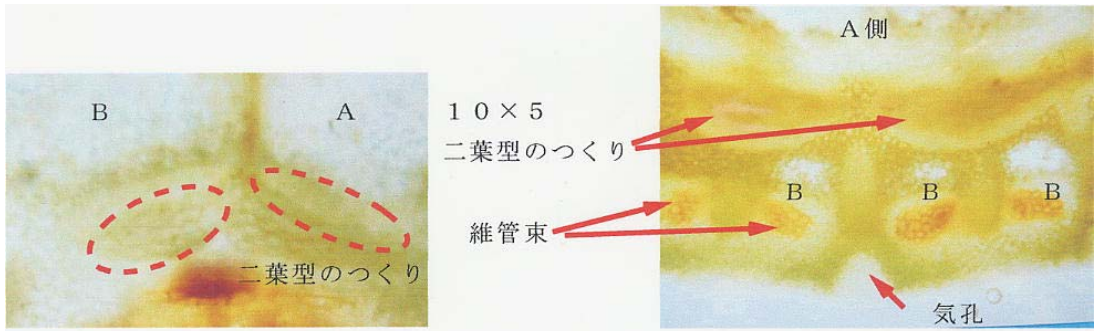
また、Bの位置にも気泡は発生していなかった。



Aの切片を作成して検鏡すると透明な帯が貼り付いていた。



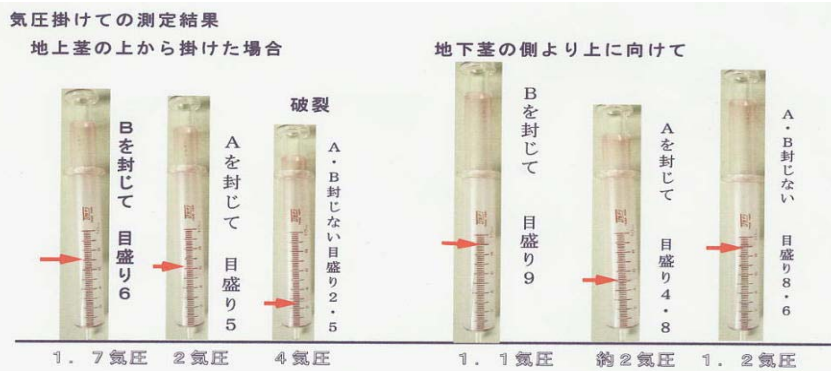
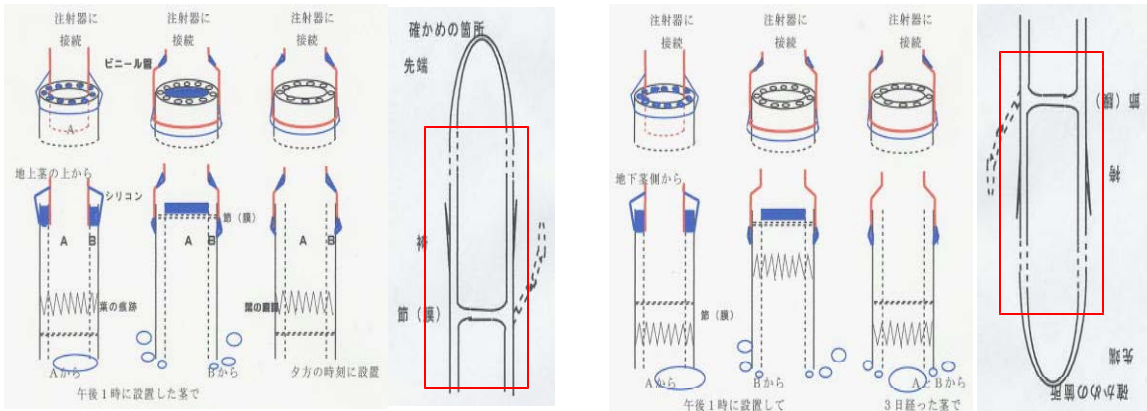
ミズトクサの節の付け根部分を切片にして検鏡すると、二葉型のつくりが膨れて曲線になる場合と、直線になりほっそりとする場合があることが分かった。



- (5) ミズトクサの地上茎に上下から気圧を掛け、その大きさを測定
 ミズトクサの節にある膜が、空気を通すかを確認するために、空気孔内の空気の流れを確認する装置を作成して確認することにした。



始めに、地下茎側から節間内の空気を急に抜いてみた。気密性を高めるために、ビニール管との接合部分にはシリコンを塗った。

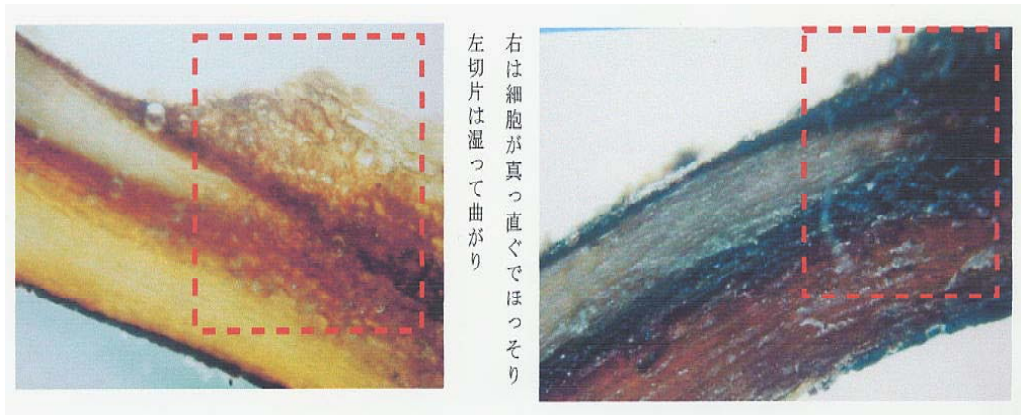


- ① Aについては、1.1気圧のとき地下茎から地上茎に向きの方が通過しやすいことが分かった。
- ② Bについては、どちらの向きも通過しやすさは変わらなかった。
- ③ 地下茎の先端から地下茎の向きに圧力をかけた場合、AとBを封じていないにも関わらず、4気圧までかけたときに膜が裂けた。この時は夕方の時刻に設定(右端)した。
- ④ 地下茎から地下茎の先端に向けて圧力を掛けた場合、1.2気圧のときにAからは大きな、Bからは小さな気泡がそれぞれ生じることがあった。



- (6) 乾湿に対する膜周辺の細胞がどう変化するかを検鏡
 乾湿に対する膜周辺のつくりの変化は、松笠の鱗片が開閉運動を行う細胞と関係はないか。鱗片から切片をつくって検鏡した。





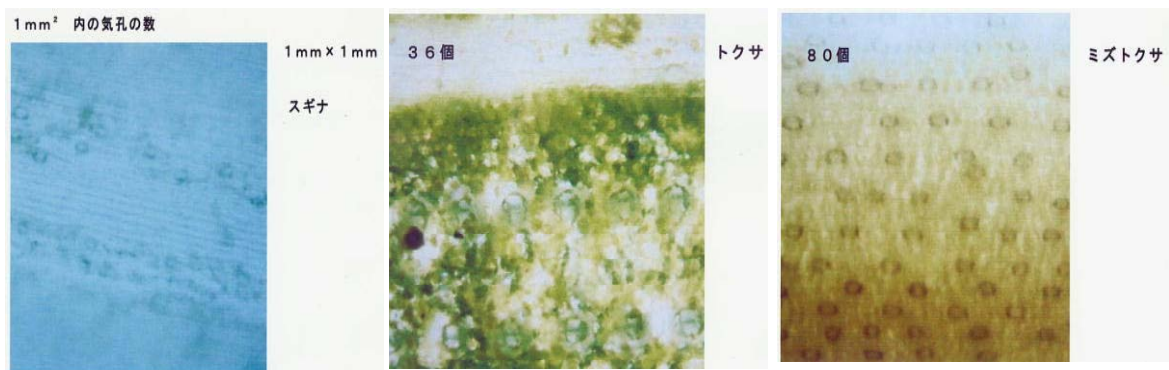
外側の細胞が水分を失ったとき、縮んで直線状の形に変化するため、松笠は開くことが分かった。

5 考察

(1) トクサ類は、繁殖力が強いことが分かった。

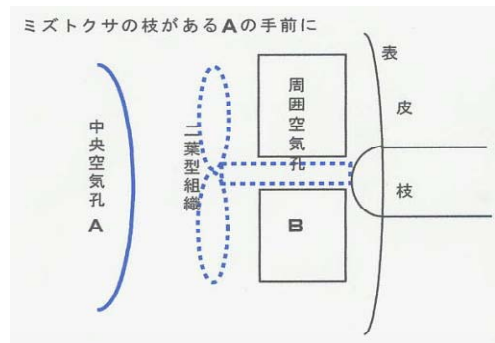
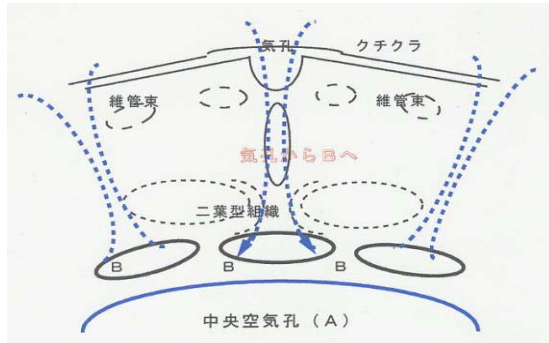
中央空気孔の二酸化炭素濃度は、0.15%であり、空気中に比べて5倍も高いことが分かった。また、スギナでは、8cmの地下茎が60日間で8倍の長さに伸び、8本の新芽を立ち上げることが分かった。このことから、トクサ類では光合成が効率的に行われていると考えられる。

また、ミズトクサの茎の丈は、水深が深くなるほど低くて細くなることが分かった。しかし、1mm²あたりの気孔の数を比べると、トクサの2倍以上と多く、水上に出ている面積が少なくなった分、気孔の数を多くしていることが分かった。



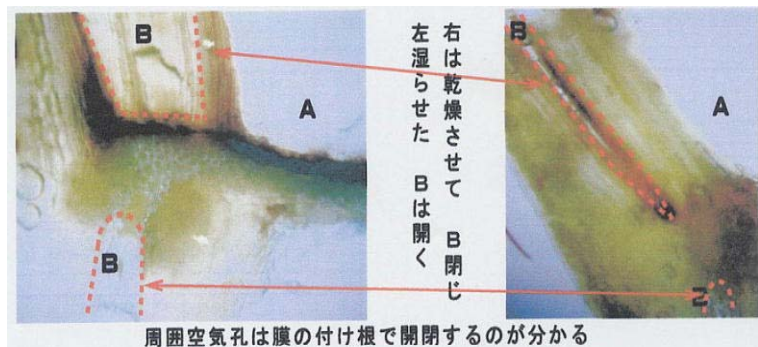
(2) 太陽光線を強く受ける正午過ぎの時間帯に検証した。スギナとトクサの周囲空気孔の数は、仮道管の本数が多いためか、少なくなっている。中央空気孔では、地下から地上に向かって空気が移動しやすくなっていることが考えられる。検証した時間帯は、中央空気孔で下向きの空気の移動が起こりにくいよう、周囲空気孔が1.7気圧、中央空気孔が1.1気圧となっており、気圧差を保つようになっている。また、膜の上面には透明な帯がたくさん付着しているが、膜の下面にはこの帯が無い。また、膜の下面には多くの穴があり、これをふさぐものもない。このことから、地下茎から地上に向かって、空気が移動しやすいことが分かる。よって、中央空気孔では地上向きの空気の流れが起きやすいことが分かる。

気圧差が生じる原因は、気孔と周囲空気孔の間にある二葉型の組織の影響が考えられる。この組織は、ひげ根が出ているや、周囲空気孔が膜とつながっている所にあり、空気が逆流しないようガードしていると考えられる。これらのことから、中央空気孔では、地上への空気の流れが容易になっていると考えられる。



二葉型組織を調べるうちに、2年前に行った松笠の鱗片の開閉を思い出した。湿度によって細胞が収縮したり、膨張したりする。この収縮と膨張は、とても素早く起こり、見ている数分の間に変化する。

また、周囲空気孔には、膜のつけ根に閉鎖箇所があることが分かった。次の写真は、夕方の切片であるが、完全に閉じていることが分かる。二葉型組織が膨らみ、周囲空気孔が閉じている状態では4気圧にも耐えられる閉じ方と考えられる。



周囲空気孔は膜の付け根で開閉するのが分かる

(3) ミズトクサの中央空気孔は、茎の断面積のほとんどを占めていることから、地下茎が水面下でも空気の確保ができ、生育できる要因が中央空気孔の存在にあると考えられる。

(4) ミズトクサの地下茎は、スギナに比べて太く12mmもあるものもあったため、とても扱った。

中央空気孔の中の二酸化炭素の濃度は、高いことが分かった。ミズトクサが光合成を行ってでんぷんを作るためには、この二酸化炭素濃度が正常なのだろうと考えた。もし、二酸化炭素濃度が低下した場合、地下茎の地上の先端が開いて、中央空気孔では上昇気流が、周囲空気孔では下降気流が、それぞれ生じる可能性も考えられる。

(5) ミズトクサを、他の植物とも比べたいと思い、い草や葦でも空気孔はあるだろうと考え、その動きを調べようとした。しかし、ビニール管の接合とシリコンが固まる時間までにしおれてしまい、不可能だった。また、中心部に空気孔を確認することはできなかった。茎をサフラニン溶液に差して、切片を観ると、葉柄部分に空気孔があり、中心から同じ距離で維管束と周囲空気孔が交互に位置していた。また、気孔と周囲空気孔は直結していた。



い草の先の方

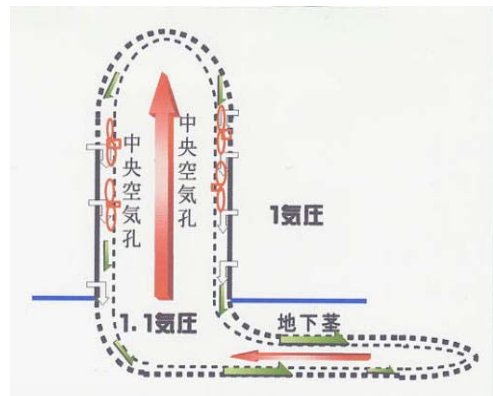
地上茎を縦に

い草地下茎の下部

- (6) 空気孔は、膜の接合部分でどのようなつくりになって、上下の節につながっているかを確かめるため、サフラニン溶液を注射器に入れ圧力を掛けて行った。切片をつくり、検鏡したが仮道管と区別することが困難であった。

6 結論

- (1) 光合成が活発に行われる時間帯、地上茎にある中央空気孔では、1.1気圧の掛かった中で上昇気流を発生させる。上昇した分の気圧を埋め合わせるため、地下茎までの下降気流が周囲空気孔に起こり、気孔から外部の空気を取り入れられ続ける仕組みになっている。
- (2) 上昇と下降の気流が起こるのは周囲空気孔と気孔の間に位置している二葉型組織の収縮運動によるものと考えられる。この運動は、松笠を開閉させる鱗片の収縮運動に似ている。
- (3) 地下茎には、大気圧と水圧が掛かっているが、地下茎の中に水が浸入しないのは、中央空気孔に1.1気圧の空気圧が保たれているためである。



7 研究を終えて

光合成によってできたでんぷんは、地下茎や瘤に貯える他、地下茎でも認められた。中央空気孔と周囲空気孔の空気の流れが、1.1気圧のもとで進められていることを知って驚いた。しかも、調べているうちにどこかにトクサ類の体全体を統一して活動しているだろうと思うようになった。感知するセンサーは植物にもあるのだろうか、さらに疑問を感じた。

8 参考文献

- (1) 「野をいろどる植物」南光重毅・著（誠文堂新光社）
(2) 「科学のアルバム ツクシのかんさつ」鈴木公治・著（あかね書房）

