

令和元年6月7日現在

機関番号：32663

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K14163

研究課題名(和文)植物における水・物質輸送機構の機械的刺激に対する応答特性の解明

研究課題名(英文) Study on response characteristics to mechanical stimulation of water uptake and mass transportation mechanism in plants

研究代表者

望月 修 (Mochizuki, Osamu)

東洋大学・理工学部・教授

研究者番号：50157830

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：植物における水・物質輸送機構の機械的刺激に対する応答特性を調べるために、葉っぱに穿孔し、給水流路を遮断することにより葉の応答を可視化染料を使って可視化した。その結果、葉柄近くの葉脈が1本でも残っていれば、給水可能であることがわかった。また、給水のメインは葉の細胞間のネットワークであり、気孔による蒸散で根がなくても水を持ち上げることができることがわかった。これを確認するために、微小孔のポラス材をチューブに取り付けたモデルを作成し、蒸散による吸水の可能性を確認する実験を行った。その結果、根がなくとも蒸散によって吸水できることを実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

例えば送電ネットワーク、情報ネットワーク、送水ネットワークなどにおいて、ロバストなインフラネットワークの構築に寄与できる。また、ポンプがなくても蒸散によるマイクロ吸水システムを構築できる可能性がある。電気が使えなくなってきた状況において、給水システムの構築に寄与できる。

研究成果の概要(英文)：In order to investigate the response characteristics of the water and substance transport mechanism in plants to mechanical stimuli, the leaves were perforated and the leaf response was visualized using a visualization dye by blocking the water supply channel. As a result, it was found that water could be supplied if at least one vein near the stalk remained. In addition, it was found that the main component of water supply is a network of leaf cells, and transpiration by stomata can lift water even without roots. In order to confirm this, the model which attached the porous material of the micropore to the tube was made, and the experiment which made the possibility of water absorption by transpiration carried out was conducted. As a result, it was confirmed that water could be absorbed by transpiration even without roots.

研究分野：生物流体工学

キーワード：サップフロー 流量計測 機械的刺激 応答特性 流れの可視化 蒸散

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

J. V. de Meent ら (2010) ⁽¹⁾ は MRV (磁気共鳴速度計) を用いて、植物細胞における液胞内の流動の速度計測を行った。流動様式は明らかになってきたが、依然として、この流動が何のために、何によって流れ (移動) しているのかは解明されていない。植物の水の吸い上げに関して、いまだに諸説あるのは、植物内の水の流れを計測できていないからである。日野 (2005) は光合成による炭水化物の濃度上昇によって浸透圧が根から吸い上げるための負圧を生じさせ、400m 程度の高さまで水をあげられる ⁽²⁾ と結論づけている。しかし、細川 ⁽³⁾ の考察では、導管内を水が流れることを説明するには不十分であるとしている。

(1) J. V. de Meent, A. J. Sederman, L. F. Gladden and R. E. Goldstein, Measurement of cytoplasmic streaming in single plant cells by magnetic resonance velocimetry, *J. Fluid Mech.*, vol 642, pp.5-14, 2010.

(2) 日野幹雄, 植物の気孔蒸散の流体力学, *ながれ* 24, pp.473-481, 2005.

(3) 細川巖, 植物の吸水作用の物理, *ながれ* 24, pp.491-496, 2005.

2. 研究の目的

植物における給水に関わる輸送メカニズムを知るために、マイクロ PIV 可視化計測 (既存設備) により維管束内流動を調べ、何が、なぜ移動しているのかを明らかにする。給水に関わるのは根による吸水と葉による蒸散が関わると一般的には考えられる。本研究では特に、蒸散による葉の給水メカニズムに着目する。

植物の健康状態と水の吸い上げ量の関連を、サップフローメータと本研究で開発する非侵襲流量計を用いた計測により明らかにする。外部から機械的刺激を与えたときにその流れがどのように変化するのかを明らかにする。葉っぱの蒸散機能を模した模型を用いて蒸散がコントロールされた蒸散による吸い上げ実験を行い蒸散の役割について明らかにする。

3. 研究の方法

葉っぱによる水の吸い上げ量と葉からの蒸散量とのバランス計測を行う。

既存サップフローメータ (維管束内流れの熱式流量計測装置) では発熱体と熱を検出するプローブの 2 本を茎に挿さねばならないこと、またそれらは太いために、被計測植物をだめにする可能性がある。植物の健康状態を把握するのが目的であるので、非侵襲の流量計測装置を開発する。このため基礎実験として、維管束内流れの流量の計測方法の違いによる比較を行うため、吸い上げ量と蒸散量の関係を把握する。具体的には蛍光染色剤で着色された水の動きを可視化することによって吸い上げ速度計測する。それとサップフローメータで計測したものと比較する。

4. 研究成果

葉脈のネットワークはこのメッシュ型のようなネットワーク形態 (図書①) であるため、損傷しても損傷部を迂回して水を供給することができると考えられる。これを確認するために、葉脈に対する機械的刺激 (穿孔および切込) と葉内における流れの関係について可視化実験により調べ、実験試料のダメージの程度を評価した。蛍光染料で可視化された葉脈において機能している環状部の数によって、通常時と比較することでネットワークの稼働率とした。主脈の根元付近に穿孔し、さらに左右から交互に水平に葉の縁から主脈までの切り込みを入れた場合、根元付近の環状部多くの細胞が損傷した。しかし、図 1 に見られるように、支脈を切断しても葉脈に細胞が接していれば、葉全体に水が供給されることがわかった。葉の中央にけられた穴の周りの細胞は損傷するが、その部分を回避して葉全体のネットワークは維持されることがわかった。ただし、損傷した部分を回避して給水するために、最短経路ではなくするために、葉全体に水が行き渡るには時間がかかる。損傷部分にもよるが、ほぼ倍の時間がかかることがわかった。これらの実験から葉脈が給水のネットワークではなく、細胞間のネットワークが給水に重要な役割を持っていることがわかった。このため、葉脈を切っても細胞同士が繋がっていれば、給水可能であることがわかった。いわば葉全体はスポンジのような構造であり、葉脈は機械的強度を保つのに重要である。これらの結果をまとめた論文が日本機械学会論文集に掲載されている (雑誌論文①)。なおこの論文は 2017 年度年間最多読まれた論文に選ばれている。

本実験から気孔が細胞に接している状況はスポンジの内部と表面の穴との関係に酷似している。つまり、スポンジの表面の穴が気孔に相当する。したがって、葉っぱの葉柄から入ってくる水は細胞のネットワークを介して表面にあいた穴である気孔に到達し、そこから蒸

発することにより気孔の穴周辺に接した水の表面張力で水を引っ張り上げる。したがって、根がない切り花のような場合、気孔からの蒸散が給水のドライビングフォースであると考えられる。このことを実証するために、気孔と同じくらいの直径の小孔をもつ葉模型を使って、吸水実験を行った。葉の気孔全体の面積を計測し、それと同じ面積を持つように種々の直径の穴を開けた模型を作って実験を行った結果、図 2 に示すように蒸散によって吸水できることを確認した。ただし、穴の面積が同じでも一つ一つの穴の直径が気孔と同じくらいでないと垂直上向きに水（水柱）を持ち上げられないことがわかった。葉の気孔の大きさと同じ程度の穴（10 ミクロン）をもつ多孔質材を使って実験を行ったところ、6m の高さまで水を持ち上げられることがわかった。穴の数が多ければ多いほど高く持ち上げられることもわかった。これらの結果をまとめて雑誌論文への投稿を予定している。

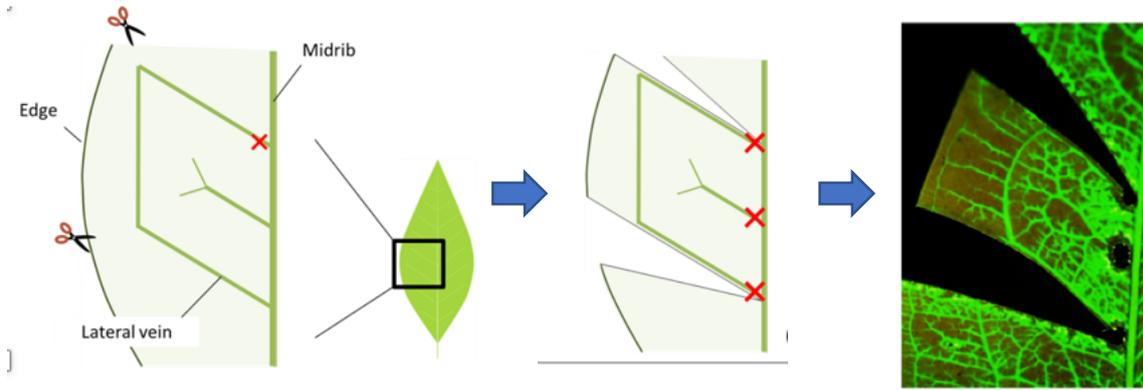


図 1 葉脈が切断された葉の給水状況の可視化

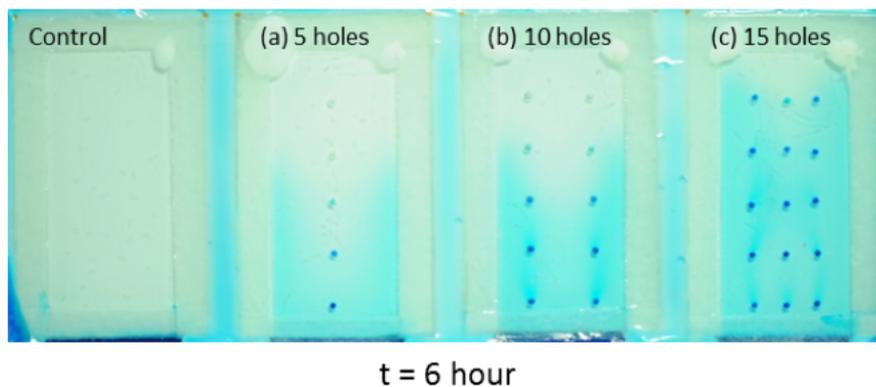


図 2 模擬気孔を開けたプレート間に吸水される様子の可視化
(穴の数（開口面積）の違いの比較)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1件)

①佐藤慧択、窪田佳寛、望月 修、葉脈のネットワーク構造、日本機械学会論文集、vol. 82(2016), No. 833, DOI:10.1299/transjsme.15-00386, (2016), pp. 1-10. (査読あり)

〔学会発表〕(計 2件)

①佐藤慧択、窪田佳寛、望月 修、葉脈のネットワークにおける流れ、日本機械学会流体工学部門講演会、2016. 11. 12-13.、山口

②佐藤慧拓、窪田佳寛、望月 修、葉脈流れ、第44回可視化情報シンポジウム、2016. 7. 19~20, 東京

〔図書〕(計 1件)

①窪田佳寛、吉野 隆、望月 修、:きづく!つながる!機械工学、朝倉書店、pp. 74-8, 4 総頁 164、2018-2.

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年:

国内外の別:

○取得状況 (計 0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名:

ローマ字氏名:

所属研究機関名:

部局名:

職名:

研究者番号 (8桁):

(2) 研究協力者

研究協力者氏名:

ローマ字氏名:

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。