

植物の蒸散の実験におけるデータロガーの活用

平山 大輔¹⁾・尾上 修一²⁾・後藤太一郎¹⁾

現在の小・中学校理科の蒸散実験授業では、葉の袋かけによる水滴の生成の確認、葉へのワセリン塗布による吸水量の変化の確認などが一般的であるが、これらの実験では明瞭な結果が得られるまでに時間がかかり、1時限の授業に収めるのは困難である。また、蒸散にともなう湿度変化の過程をリアルタイムに知ることができない。本研究では、小・中学校の蒸散の実験に理科教育用データロガー（Pasco社）を活用することを考案し、その効果的な方法を検討することを目的として実験を行った。茎から切除した直後のセロリの葉1枚を入れた容器（860 ml）の湿度変化を測定したところ、数分で極めて明瞭に蒸散が確認できることが分かった。また、従来は教師が前日から実験を始め、当日の授業では結果の確認だけに終わることの多かったワセリン塗布による葉の表裏の蒸散量を比較する実験も、15分ほどで実施できることが分かった。以上のことから、データロガーを活用することで蒸散の授業はより効果的なものになると考えられた。

キーワード：理科教育、データロガー、蒸散、ICT

1. はじめに

近年、学習指導におけるICT活用を目的のひとつとする「教育の情報化」が国家戦略として推進されている¹⁾。文部科学省は平成23年4月に公表した「教育の情報化ビジョン～21世紀にふさわしい学びと学校の創造を目指して～」のなかで、情報活用能力の育成と学びの場におけるICTの活用を大きな目標に掲げている²⁾。このような流れの中で、小・中学校の理科においても、ICTを活用した授業実践やその有効性の検証が重要な課題となっている。

現在の日本の学校現場における一般的なICT活用の形態は、書画カメラ（実物投影機）やパソコンを用いて、教材もしくは学習内容を電子黒板や大型ディスプレイなどに投影するといった教材提示型のものや、パソコンを用いて調べ学習を行うといった児童・生徒実習型のものが主であり³⁾、理科実験における活用はほとんどなされていない。

一方、欧米の先進的な理科教育では、データロガーの活用が進んでいる。データロガーとは、目に見えない科学情報をリアルタイムに計測・記録する情報収集機器であり、近年、児童・生徒にとって扱いやすい理科教育用の機器が次々と開発されている。多種多様なセンサを用いることで、目に見えない科学情報が自動計測され、リアルタイムにグラフ化されるため、実験結果を正確に捉えることができる。その教育効果の高さから、たとえばアメリカでは、1990年代から高校や大学の授業で活用され、データロガーを用いた実験などが教科書にも掲載されている⁴⁾。しかし、日本国内では、SSH指定高校や

一部の理工系学部における実験授業で活用されているものの、導入例は極めて少ない⁵⁾。

このような背景のもとで、著者らは小・中学校の理科におけるデータロガーの活用に関する検討を行い、これまでに、光合成実験における活用を考案して学校現場で実践し、その有効性を明らかにしている⁶⁾。従来の光合成実験の授業で用いられる方法では、気体濃度の変化過程を直接的にみることができない上、1時限で授業を完結することが困難であったが、データロガーを活用することでこれらを克服でき、児童・生徒の興味関心を高め、理解を促進することができることを示した。同様の観点からデータロガーの活用が効果的だと思われる学習項目のひとつとして、植物の蒸散がある。現在の小学校の授業では、植物の葉に透明なビニル袋をかぶせ、その中にたまる水滴により蒸散を確認することが多い^{7) 8) 9) 10) 11)}。この方法では、効果的な結果を得るために約1時間を要する。また、中学校では、葉の表面や裏面にワセリンを塗り、蒸散量の違いを対照実験によって調べることで、気孔が葉の裏に多く存在することを確認する方法が一般的であるが^{12) 13) 14) 15) 16)}、この場合、条件による蒸散量の違いが明瞭に現れるまで、少なくとも3時間程度を要する。

そこで本研究では、蒸散の実験にデータロガーを活用することを考案し、その効果的な方法を検討することを目的とした。

2. 材料と方法

(1) 植物

実験材料にはセロリを用いた。セロリは、小学校で蒸散の実験と関連させて学習する「道管のはたらき」にお

1) 三重大学教育学部理科教育講座

2) 三重大学大学院教育学研究科

いてよく用いられる植物のひとつである。また、セロリは吸水力が比較的強く、短時間で蒸散の測定を行うのに有用だと考えられる。さらに、スーパーマーケット等で日常的に入手できる点も教材として適している。

(2) 実験装置

用いたデータロガーは、SPARK の名称で Pasco 社（アメリカ）が販売し、日本国内では株式会社島津理化が代理店として販売しているものである（図 1）。専用ソフト（DATA Studio, Pasco 社）をインストールしたパソコンとデータロガーのインターフェイス（PS-2009, Pasco 社）を接続し、これに気象センサ（PS-2154 A, Pasco 社）を取り付けることで湿度の測定ができる。

蒸散量の変化を測定するにあたり、セロリの葉と気象センサを入れ、蓋をすることのできるプラスチック容器（容積 860 ml）を用意した（図 2）。この容器内の湿度変化により蒸散量を測定することとした。なお、実験は室温（20°C）のもとで行い、湿度は絶対湿度（ g/m^3 ）で表した。



図 1. SPARK データロガー、インターフェイスとパソコンを接続し、植物の葉を入れた容器に気象センサを取り付けた様子。



図 2. 気象センサとセロリの葉を入れた測定容器。セロリの葉柄には文具のクリップを取り付け容器内に立たせている。

(3) 湿度の測定

① 蒸散量の変化

まず、時間経過にともなう湿度の変化を測定した。茎から切除した直後のセロリの葉 1 枚を入れた容器内の湿度変化を 180 秒間測定した。測定の繰り返しが蒸散量に及ぼす影響を明らかにするため、測定後、容器から葉を取り出し、容器内の空気を入れ換えた後に再び容器内に戻して同じ測定を行った。さらにもう一度同じ手順を繰り返し、同一の葉につき計 3 回の測定を行った。これを 50 枚の葉について行った。ただし、測定開始直後は測定値が不安定で、ばらつきが大きくなることがあるために、データ分析には測定開始 60 秒後からの 120 秒間の湿度変化を用いることとした。

次に、湿度測定に用いた葉のサイズを測定した。スキャナにより葉の画像データを作成し、葉面積測定用のフリーソフト（LIA for Win 32）を用いることで、それぞれの葉の面積を測定した。

得られたデータをもとに、蒸散量の変化が測定回数によって影響を受けるかどうかを、葉面積を共変量とする共分散分析により調べた。

② 葉の表裏の蒸散量

中学校の授業でよく行われているようにセロリの葉の表裏の蒸散量を比較するために、葉の裏面および両面にワセリンを塗布し、塗布した面からの蒸散を防いだ上で湿度測定を行った。

まず、表裏どちらの面にもワセリンを塗布しない葉 1 枚を入れた容器の湿度変化を 180 秒間測定した。次に、容器から葉を取り出し、容器内の空気を入れ換えた後に、葉の裏面にワセリンを塗布して容器内に戻し、湿度変化を 180 秒間測定した。さらに、葉の表面にもワセリンを塗布して、同様に測定を行った。

3. 結果

(1) 時間経過にともなうセロリの葉の蒸散量の変化

SPARK データロガーにより、セロリの葉を入れた容器内の湿度が時間経過にともない上昇することが明瞭に示された（図 3）。図 3 に示す葉の場合、開始 60 秒後から 180 秒後までの 120 秒間の湿度変化は $1.80 \text{ g}/\text{m}^3$ であった。

50 枚の葉について繰り返し 3 回ずつ測定した結果、葉 1 cm^2 あたりに換算した 1 回目、2 回目、3 回目の湿度変化の平均（±標準偏差）は、それぞれ、 $0.070 (\pm 0.037)$ 、 $0.067 (\pm 0.033)$ 、 $0.063 (\pm 0.030) \text{ g}/\text{m}^3$ であった。

葉面積と湿度変化の関係を図 4 に示す。葉面積を共変量とする共分散分析の結果、1 回目、2 回目、3 回目の実験間で湿度変化に有意差はみられなかった（ANCOVA, $P > 0.05$ ）。

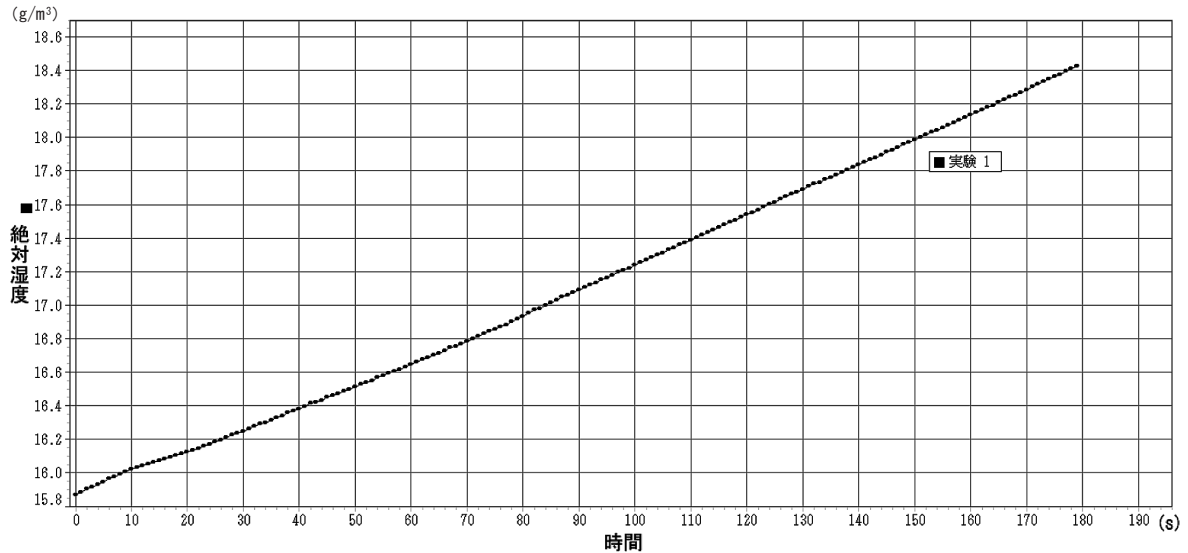


図 3. データロガーによるセロリの葉を入れた容器内の湿度変化. 蒸散によって測定開始 60 秒後から 180 秒後までの 120 秒間に 1.80 g/m^3 の湿度変化がもたらされたことを示す.

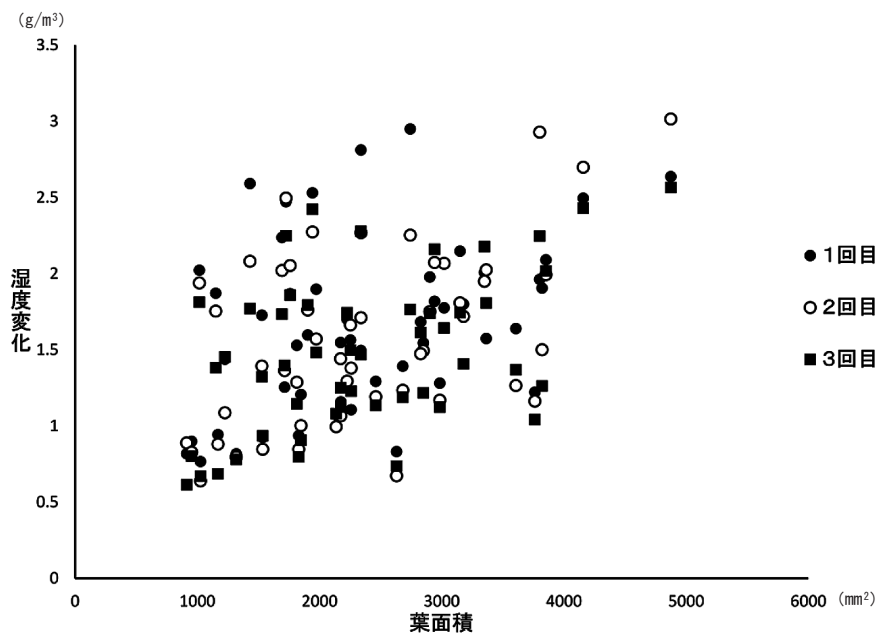


図 4. 葉面積と湿度変化の関係. 葉面積を共変量とする共分散分析の結果、1 回目、2 回目、3 回目の実験間で湿度変化に有意差はみられなかった (ANCOVA, $P > 0.05$).

(2) 葉の表裏による蒸散量の違い

葉の表または裏へのワセリン塗布により、明瞭に異なる湿度変化が得られた (図 5)。測定開始 180 秒後の容器内の湿度は、表裏どちらにもワセリンを塗布しなかった場合 5.85 g/m^3 上昇したが、裏面に塗布した場合は、その 48% に相当する 2.85 g/m^3 の上昇を示した。

一方、葉の両面にワセリンを塗布した場合には、容器内の湿度はあまり変化せず、ワセリンを塗布しなかった場合の 10% に相当する 0.60 g/m^3 の上昇にとどまった。

4. 考察

データロガーを用いることで、数分間の微弱な湿度変化を捉え、グラフとして視覚化することができた。用いた気象センサは絶対湿度の測定においては 0.1 g/m^3 の分解能 (精度は読み値の 10%) をもつため、この数分間の蒸散の実験に十分活用できると言える。

同一のセロリの葉で 3 回の計測を行ったところ湿度変化に有意差が認められなかったことから (ANCOVA, $P > 0.05$)、葉にワセリンを塗布する実験などのように同じ葉を続けて 3 回使用したとしても、葉の蒸散力そのも

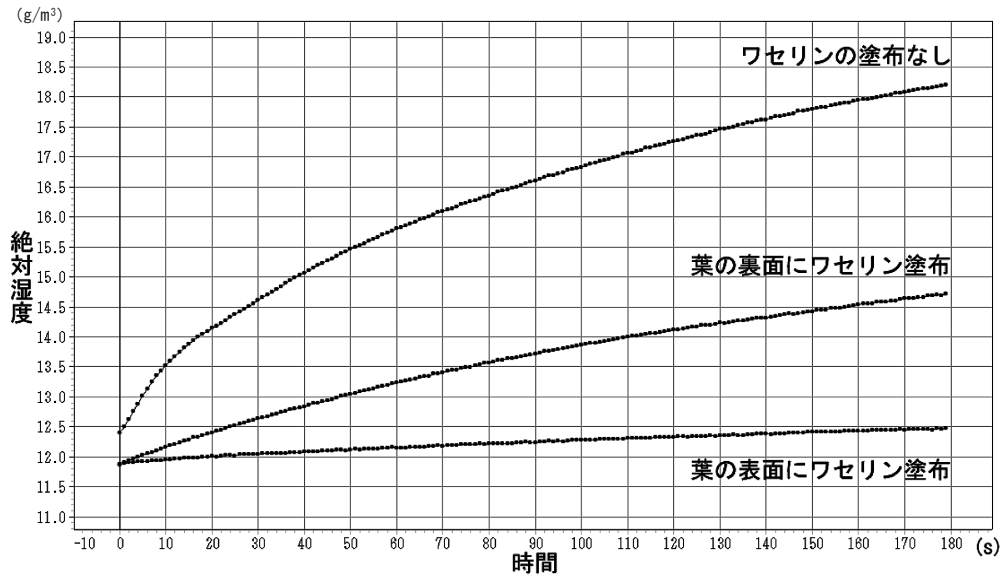


図5. 葉の表裏へのワセリンの塗布による蒸散の違い、葉の表裏どちらにもワセリンを塗布しなかった場合に得られた湿度と、裏面に塗布した場合の湿度の差は、葉の裏面からの蒸散量に相当する。葉の裏面に塗布した場合と両面に塗布した場合に得られた湿度の差は、葉の表面からの蒸散量に相当する。

のは低下しないと考えられる。つまり、葉の表裏どちらにもワセリンを塗布しなかった場合に得られた湿度と、裏面に塗布した場合の湿度の差は、ワセリンを塗布したことで蒸散が抑制されたことによるものであり、葉の裏面からの蒸散量に相当するとみなせる。また、葉の裏面に塗布した場合と両面に塗布した場合に得られた湿度の差は、葉の表面からの蒸散量に相当するとみなせるため、図5の結果は、葉の裏面からの蒸散量の方が表面からの蒸散量よりも多いことを示している。したがって、これらの結果は、セロリの葉の表面よりも裏面の方に気孔が多く存在していることを示している。

従来の中学校の授業では、同程度の量の葉がついた枝（アジサイなど）を少なくとも3本用意し、葉にワセリンを塗布しない枝、葉の表面に塗布する枝、葉の裏面に塗布する枝に分けて水を入れた試験管などにさし、一定時間経過後の水の減少量を比較することで、それぞれの葉からの蒸散量の違いを検討し、葉の裏面に気孔が多いことなどを考察する。これにはたいてい3時間以上を要するため、1時限の授業内に終えることは不可能であり、前日から準備をしておき当日の授業では結果だけを確認するといった場合も多いようである。また、3本の枝についている葉の面積が正確には同じではないため、実験結果として得られた蒸散量の違いがワセリン塗布の条件の違いによるものか厳密には判断できないことも問題となる¹⁷⁾。一方、本研究の方法では、同じ内容の実験を15分程度の時間で完結できる上、3回とも同一のセロリの葉を使用するため、実験結果のより適切な比較が可能となる。

葉で蒸散が行われ、また葉の表裏のどちらからより多

くの水分が出ているのかを極めて簡単に調べる方法として、塩化コバルト紙の利用がある¹⁸⁾。塩化コバルト紙は乾燥状態では青色だが、水分を吸収すると赤く変色する。この性質を利用し、適当な大きさに切り取った塩化コバルト紙を葉の表面と裏面に貼り付け、裏面の方がより濃い赤色を示すことから葉の裏に気孔が多いことを確認する実験である。これは簡単ではあるが、定量的な情報を求める場合には使えない。

短時間で正確に蒸散量の測定実験ができる教材の開発例として、遠藤ら（2007）の研究がある。彼らは、内径の異なるシリコンチューブをつなぎ合わせて水を入れ、それに植物の茎をつなぐことで蒸散を測定する方法を考案した¹⁹⁾。蒸散にともなってシリコンチューブ内を水が移動するが、観察部分のチューブの内径が1mmと小さいため、水の移動が短時間（1分～3分程度）で確認できる。1本の枝を使用して蒸散を測定でき、リアルタイムに蒸散を観察できるという点で、本研究と共通している。ただし、蒸散量の測定は、シリコンチューブ内の水の移動を定規で測ることによるものであり、上述の中学校の事例と同様に、蒸散にともなって植物の茎が水を吸い上げる現象を見ていることになる。

一方、本研究の方法では、気象センサを装着したデータロガーを活用することで、蒸散によって実際に葉の気孔から放出されている水を測定することができる。また、刻々と変化する湿度をグラフの変化としてリアルタイムに見ることができるという点で、これまでの教材とは大きく異なる。微弱な変化であっても捉え、視覚的に分かりやすく表示することができるデータロガーの特性が、従来の手法にはない利点をもたらしたと言える。限られ

た時間のなかで効果的な授業を行うことが求められる教師の立場からも、蒸散の実験におけるデータロガーの活用は支持されるだろう。

教育の情報化が推進される中、ICTの活用が児童・生徒の学力の向上に有効であるかどうかについては、これまでにいくつもの調査がなされている。これらの調査結果から、児童・生徒の「関心・意欲・態度」、「知識・理解」、「思考・判断」、「表現・処理・技能」などの点からみて、一般的にICTの活用は有効であるとされる²⁰⁾。本研究では、学校現場での蒸散実験におけるデータロガーの活用の有効性についてはまだ実践にはいたっていないため今後の課題となっているが、「目に見えない科学情報を可視化する」という観点から、すでに著者らは光合成実験に関しては、授業におけるデータロガーの活用を考案し、小学校理科の授業で実践して、その有効性を確認している²¹⁾。これまでは直接的にみることができなかった生命現象の過程が可視化される意義は大きく、本研究の提案する蒸散の実験におけるデータロガーの活用も、単なる教材提示による動機付けや理解促進にとどまるものではなく、新しい知見の獲得やさらなる生命現象の探求につながる可能性を有するものと考えられる。

引用文献

- 1) 小泉力一：日本における教育の情報化についての考察 一初等中等教育におけるICT活用の現状と課題一、尚美学園大学芸術情報学部紀要、第10号、33-45、(2006)
- 2) 文部科学省：教育の情報化ビジョン ～21世紀にふさわしい学びと学校の創造を目指して～、Retrieved from http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/23/04/1305484.htm、(2011)
- 3) 財団法人コンピュータ教育開発センター：ICTを活用した授業の効果等の調査 平成19年度文部科学省委託事業報告書、Retrieved from <http://www.cec.or.jp/cecre/monbu/19ict.html>、(2008)
- 4) Greenwood, T., Shepherd, L., Allan, R.: Senior Biology 1 Student Workbook 2008, BIOZONE International, (2007)
- 5) 平山大輔・森川英美・後藤太一郎：光合成の授業におけるICTの活用とその有効性 一小学校理科6年小単元「生物と空気のかかわり」に注目して一、理科教育学研究 (印刷中)
- 6) 前掲書 5)
- 7) 有馬朗人ら：たのしい理科6年-1、大日本図書、(2011 a)
- 8) 日高敏隆ら：みんなと学ぶ 小学校理科6年、学校図書、(2011)
- 9) 毛利衛・黒田玲子ら：新しい理科6、東京書籍、(2011)
- 10) 大隅良典・石浦章一・鎌田正裕ら：わくわく理科6、啓林館、(2011)
- 11) 養老孟司・角屋重樹ら：地球となかよし 小学理科6、教育出版、(2011)
- 12) 有馬朗人ら：理科の世界1年、大日本図書、(2011 b)
- 13) 細矢治夫・養老孟司・下野洋・福岡敏行ら：自然の探究 中学校理科1、教育出版、(2012)
- 14) 岡村定矩・藤嶋昭ら：新しい科学1年、東京書籍、(2012)
- 15) 霜田光一ら：中学校科学1、学校図書、(2012)
- 16) 塚田捷・山極隆・森一夫・大矢慎一ら：未来へひろがるサイエンス1、啓林館、(2012)
- 17) 遠藤寿紀・鈴木隆・加藤良一：蒸散量が正確に測定できる教材の開発、山形大学教職・教育実践研究、2、53-58、(2007)
- 18) 降旗勝信：新しい理科指導100のポイント、国土社、(1991)
- 19) 前掲書 17)
- 20) 清水康敬・山本朋弘・堀田龍也・小泉力一・横山隆光：ICT活用授業による学力向上に関する総合的分析評価、日本教育工学会論文誌、32 (3)、293-303、(2008)
- 21) 前掲書 5)