

気体濃度測定を伴う実験における測定機器及び使用
植物に関する基礎研究：
小学校理科における「燃焼」・「光合成」の実験を
通して

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 武蔵野大学教育学研究所 公開日: 2024-01-12 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 樋口, 昇 メールアドレス: 所属:
URL	https://mu.repo.nii.ac.jp/records/2000135

気体濃度測定を伴う実験における測定機器及び 使用植物に関する基礎研究

—小学校理科における「燃焼」・「光合成」の実験を通して—

Fundamental Research on Measuring Instruments and Plants used in
Experiments Involving Gas Concentration Measurements:
An examination of experiments on "combustion" and "photosynthesis" in
elementary school science

樋口 昇*

HIGUCHI Noboru

1 問題の所在

現行の小学校学習指導要領では、理科第6学年B(3)「生物と環境」に、「(7) 生物は、水及び空気を通して周囲の環境と関わって生きていること。」の内容が位置付けられており、小学校学習指導要領解説：理科編には、この内容に関する具体的な学習活動として「生物は酸素を吸って二酸化炭素をはき出しているが、植物は光が当たると二酸化炭素を取り入れて酸素を出すなど、生物が空気を通して周囲の環境と関わって生きていることを捉えるようにする。」、「ここで扱う対象としては、例えば、植物が酸素を出しているかを調べるために、気体検知管や気体センサなどを活用して、酸素や二酸化炭素の検出を行うことが考えられる。」ことが例示されている。この記述を受け、教科書においても植物をビニル袋等に封入し、人の呼気を吹き込んだ上で、日光に当て、その前後の酸素・二酸化炭素濃度について気体検知管などを用いて測定する学習活動が位置付けられている。

一方、日光の照射により光合成を行う実験は、天候に左右される点や、植物を封入したビニル袋等の内部が高温になり、植物にダメージを与えることから、光合成により植物がしおれたり弱ってしまったりするとの誤った捉え方につながる恐れもある。これらの課題を解決するため、日光に代え植物にLEDライトを照射し光合成を行う実験は、樋口(2018)、樋口(2021)により報告されているが、対象とした植物が限定的である。

また、現行学習指導要領から、測定機器として、従来から活用されている気体検知管に加え、新たに気体センサが初めて例示され、教科書にも掲載されるとともに、様々な製品開発も進んでいる現状がある。変化の過程をデジタル表示で時系列に沿って測定できる気体センサの有効性について、平山ら(2014)及び樋口(2020)の報告がある。さらに、酸素センサの優れた教材性(実験の安全性、実験操作の容易性、実験結果の明瞭性、実験の即時応答性等)については、後

* 武蔵野大学教育学部

藤ら（2017）が報告している。一方、酸素・二酸化炭素濃度を測定し、その測定値をパソコン等に転送しグラフ化できる機能を持った「Go Direct シリーズワイヤレスセンサ」も発売されている。樋口（2021）がその報告の中で使用している「デジタル気体測定器 GOCD-1」の機能に加え、測定値の絶対値にとらわれることなく、刻々と変化する傾向を目視により確認できる特徴は、児童の科学的概念形成に大きな影響を及ぼす可能性がある。

本稿では、「デジタル気体測定器 GOCD-1」と「Go Direct シリーズワイヤレスセンサ」を使用し、両者の特性を明らかにした上で、学習活動での活用方法を考察する。また、LEDライトを照射し光合成を行う実験における植物の種類や光量による気体濃度変化を測定し、小学校において実現可能な測定機器及び使用植物を考察するものである。なお、筆者は現在、基礎研究（C）「気体センサー活用による科学的な概念形成とSDGs目標達成の関係に関する研究」において、科学研究費助成事業基金の受給を受けており、本稿での成果を、科学研究費助成事業、基礎研究（C）に活用する考えである。

2 研究の目的

- （1）学校現場でも入手可能となった2種類の酸素・二酸化炭素センサの特性を比較し、小学校第6学年「A（1）燃焼の仕組み」、「B（3）生物と環境」の単元における効果的な活用方法について考察する。
- （2）日光に代え植物にLEDライトを照射し光合成を行った場合の気体濃度変化について、使用植物やLEDライトの光量等による変化及び日光を照射した場合との比較などを通し、小学校第6学年「B（3）生物と環境」の単元における光合成に関する効果的な実験条件について考察する。

3 研究の方法

3.1 実験内容

- （1）密閉された容器中でろうそくを燃焼させ、酸素・二酸化炭素の濃度変化を2種類の酸素・二酸化炭素センサを併用し測定する。
- （2）アクリルボックス内に植物を入れ、人の呼気を封入の上、光源、植物の葉色、LEDライトの光量、植物の種類を変化させ、光合成を行った場合の気体濃度変化について比較する。
 - A 光源として、日光及びLEDライトを用い、光合成を行った場合の気体濃度変化について比較する。
 - B 植物の葉色として、緑葉、褐色葉、銀葉の植物を用い、LEDライトを照射し光合成を行った場合の気体濃度変化について比較する。
 - C LEDライトの数（光量）を変化させ、光合成を行った場合の、気体濃度変化について比較する。
 - D ヒューケラ・パンジー・イチゴを用い、LEDライトを照射し光合成を行った場合の気体濃度変化について比較する。

3.2 使用機器等

(1) デジタル気体測定器 GOCD-1

- ① 測定原理……酸素：ガルバニ電池式 ・ 二酸化炭素：NDIR 式
- ② 形 態……酸素・二酸化炭素一体型、測定値を液晶画面にデジタル表示

(2) Go Direct シリーズワイヤレスセンサ（酸素センサ（Air）GDX-O2、二酸化炭素センサ GDX-CO2）

- ① 測定原理……酸素：ガルバニ電池式 ・ 二酸化炭素：NDIR 式
- ② 形 態……酸素・二酸化炭素独立型、測定値を P C 等にワイヤレス転送の上、P C 等画面上に測定値を表示、リアルタイムでグラフ化

(3) Go Direct シリーズワイヤレスセンサ（温度センサ GDX-TMP）

光合成実験において、アクリルボックス内の温度を測定のため使用

(4) 燃焼実験の使用機器・実験方法

- ① ガラス水槽（外寸 420mm × 180mm × 240mm）内の底面から約 50mm の高さでろうそくを燃焼させ、底面に設置した 2 種類の酸素・二酸化炭素センサで気体濃度を測定する。

(5) 光合成実験の使用機器・実験方法

- ① アクリルボックス（外寸 200mm × 200mm × 200mm）内にポット苗を入れ、人の呼気を封入する。二酸化炭素濃度が約 2 % に安定したところで、日光または L E D ライトを照射し、底面に設置した「Go Direct シリーズワイヤレスセンサ」で気体濃度を測定する。
- ② L E D ライトはイチゴ育成用の L E D ライト（アスター株式会社：BT-9D-RWFR）を使用

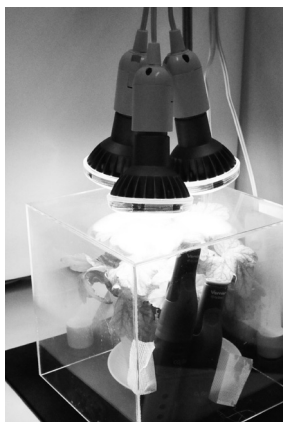


図 3-2-1 左：燃焼実験、中央：L E D ライト照射実験、右：太陽光照射実験

3.3 使用植物

(1) 使用植物

- ① ヒューケラ ドルチェ
 - ・ 園芸名：フローズンマスカット（緑葉）
 - ・ 園芸名：ブラックジェイド（褐色葉）
 - ・ 園芸名：シルバーガムドロップ（銀葉）
- ② パンジー
- ③ イチゴ

(2) 条件の統一

同容量のビニルポットに植えられた苗を使用した。葉の大きさや枚数、樹勢等の条件を統一するのは困難であるが、植物苗の葉の広がり、真上から見て直径170mmになるようにした。



図 3-3-1 使用植物（ヒューケラ）

4 実験の結果及び考察

4.1.1 燃焼実験での2種類のセンサの測定値に関する実験結果

ガラス水槽内でろうそくを燃焼させ、水槽の底面に設置した2種類の酸素・二酸化炭素センサで気体濃度を測定した結果である。使用したセンサは「Go Direct シリーズワイヤレスセンサ（グラフ上はAと表記）」及び、「デジタル気体測定器 GOCD-1（グラフ上はBと表記）」である。同一容器内の気体濃度を測定しているため、両センサの示した変化の傾向は同じである。しかし、開始から100秒までの気体濃度変化を詳細にとらえると、酸素・二酸化炭素

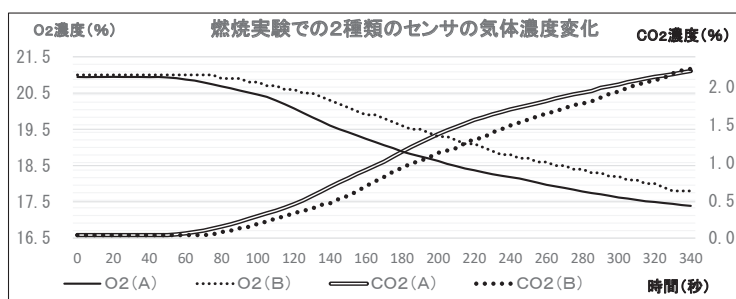


図 4-1-1 2種類のセンサによる気体濃度変化

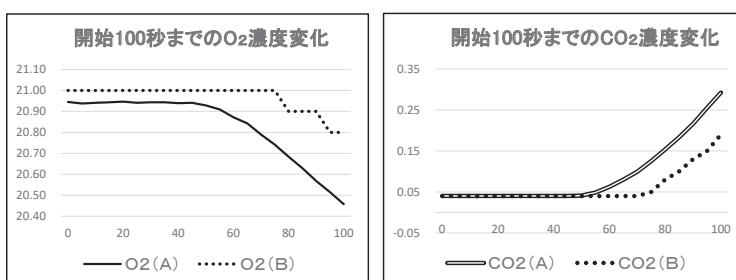


図 4-1-2 気体濃度変化の詳細

ともに「Go Direct シリーズワイヤレスセンサ」が捉えた変化に約 30 秒遅れて、「デジタル気体測定器 GOCD-1」の変化が現れる傾向がある。なお、「デジタル気体測定器 GOCD-1」の酸素測定値の表示は、少数第 1 位までとなっているため、グラフは階段状となっている。

4.1.2 燃焼実験での 2 種類のセンサの測定値についての考察

酸素・二酸化炭素ともに「Go Direct シリーズワイヤレスセンサ」が捉えた変化に約 30 秒遅れて、「デジタル気体測定器 GOCD-1」の変化が現れる傾向があり、今回の実験のように約 340 秒程度で気体濃度が変化する「燃焼実験」では、「デジタル気体測定器 GOCD-1」の示す測定値が、連続吸引測定の場合、実際の濃度に対し、測定器の表示まで一定のタイムラグがあることに留意することが必要となる。しかしながら、後述するように 60 分を超えて気体濃度が変化する「光合成実験」では、「デジタル気体測定器 GOCD-1」の測定値のタイムラグは、無視できると考える。

一方、「Go Direct シリーズワイヤレスセンサ」は、測定値を P C 等にワイヤレス転送の上、P C 等画面上に測定値を表示し、リアルタイムでグラフ化できる機能を有している。第 6 学年児童にとって、酸素・二酸化炭素濃度の数値そのものよりも、刻々と変化するグラフから変化の傾向を読み取ることが重要であると仮定した場合、「Go Direct シリーズワイヤレスセンサ」のグラフ化機能は極めて有効と考える。

4.2.A 光合成実験での光源による気体濃度変化に関する実験結果

アクリルボックス内に「ヒューケラドルチェ、フロズンマスカット（緑葉）」のポット苗を入れ、人の呼気を封入の上、二酸化炭素濃度が約 2 % に安定したところで、日光または LED ライト 3 灯を照射し、底面に設置した「Go Direct シリーズワイヤレスセンサ」で気体濃度を測定した結果及びアクリルボックス内の温度変化である。

LED ライトを照射した場合、単位時間当たりの酸素の増加割合及び二

酸化炭素の減少割合はほぼ一定で、グラフは直線状になる。アクリルボックス内の温度は実験開始時が 22.4℃、90 分後が 26.1℃で、3.7℃上昇した。植物には外見上の変化はなかった。

日光を照射した場合、実験開始直後から酸素濃度が急上昇するものの、開始後約 10 分を過ぎ

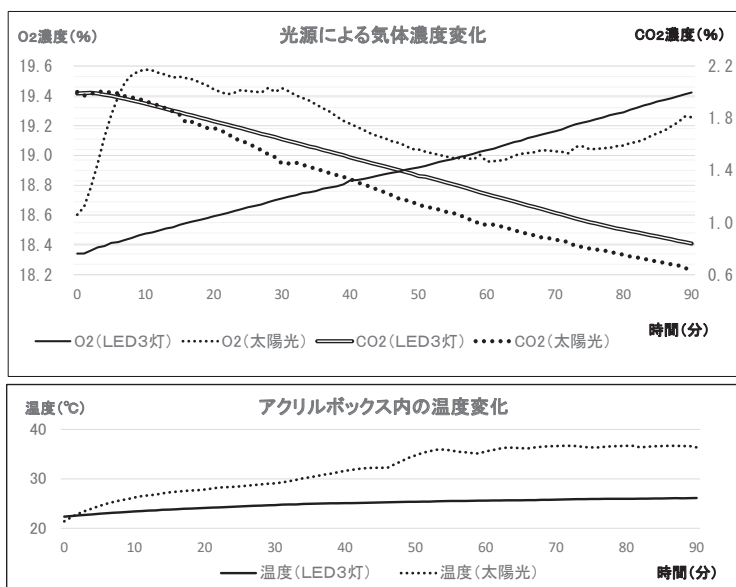


図 4-2-A 光源による気体濃度と温度変化

ると緩やかな減少に転じ、開始後約 60 分から緩やかな増加に転じている。二酸化炭素の減少割合はほぼ一定で、LED ライトを照射した場合と同様でグラフはほぼ直線状になっている。

アクリルボックス内の温度は実験開始時が 21.4℃、90 分後が 36.7℃で、15.3℃上昇した。実験終了時に、植物の葉が萎れている状況が確認できた。

酸素濃度の変化が予測と異なっていたため、別日にはほぼ同条件で実験を実施したが、酸素濃度の測定値は、ほぼ同様の傾向を示した。なお、実験は、2022 年 11 月 25 日、午前 9 時 53 分から開始した。天候は快晴で雲に覆われることはなかった。

4.2.A.2 光合成実験での光源による気体濃度変化についての考察

樋口(2021)が、2021 年 12 月に、アクリルボックスにパンジーを入れ、日光を照射し光合成を行った場合の酸素・二酸化炭素濃度の変化を測定（「デジタル気体測定器 GOCD-1」使用）している。それによると、酸素濃度は実験を行った 90 分間のすべての時間帯において増加を続け、減少に転じることはなかった。今回の実験で、日光を照射した場合、実験開始直後から酸素濃度が急上昇するものの、開始後約 10 分を過ぎると緩やかな減少に転じ、開始後約 60 分から緩やかな増加に転じている原因について考えられることは、以下の通りであるが原因は特定できない。考えられる原因として、植物が萎れたことから水の一時的な供給不足により光合成速度が低下した。あるいは、アクリルボックス内の湿度が高くなり、植物と空気に水蒸気圧差がなくなり、気孔は開いているにもかかわらず蒸散が起らず、二酸化炭素の吸収量が大きく減少した。また、アクリルボックス内の気体の循環が不十分で、局所的な酸素濃度が測定値として示されたことなどである。また、これらの要因が複合的に影響していることも考えられ、原因の特定には至っていない。

しかしながら、今回の条件下で、日光を照射し光合成を行った場合の酸素濃度が上昇→下降→上昇と変化することは事実である。この研究は小学校第 6 学年「B（3）生物と環境」での学習を前提としており、得られたデータを解釈するのが小学校第 6 学年児童であることを考えると、酸素濃度が上昇→下降→上昇と変化することは、光合成により二酸化炭素が使われ酸素が発生することの理解に混乱を招きかねないと考える。

4.2.B 光合成実験での植物の葉色による気体濃度変化に関する実験結果

アクリルボックス内に「ヒューケラドルチェ」の緑葉、褐色葉、銀葉のポット苗を入れ、人の呼気を封入の上、二酸化炭素濃度が約 2 % に安定したところで、LED ライト 3 灯を照射し、底面に設置した「Go Direct シリーズワイヤレスセンサ」で気体濃度を測定した結果で

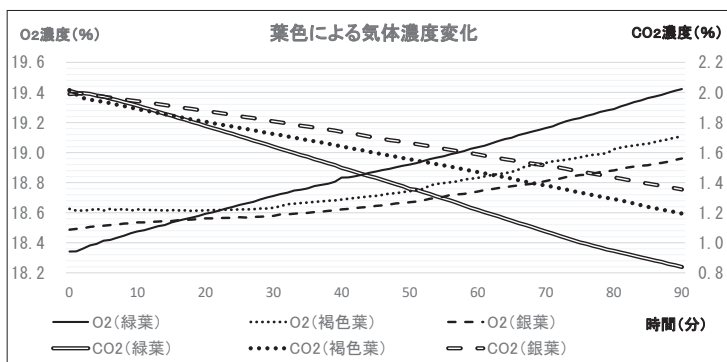


図 4-2-B 葉色による気体濃度変化

ある。

単位時間当たりの酸素の増加割合及び二酸化炭素の減少割合は、それぞれの品種においてほぼ一定で、グラフは直線状になる。酸素の増加割合及び二酸化炭素の減少割合の大きさは、緑葉、褐色葉、銀葉の順である。

4.2.C 光合成実験でのLEDライトの光量による気体濃度変化に関する実験結果

アクリルボックス内に「ヒューケラドルチェ、フロズンマスカット（緑葉）」のポット苗を入れ、人の呼気を封入の上、二酸化炭素濃度が約2%に安定したところで、LEDライト3灯及び1灯を照射し、底面に設置した「Go Direct シリーズワイヤレスセンサ」で気体濃度を測定した結果である。

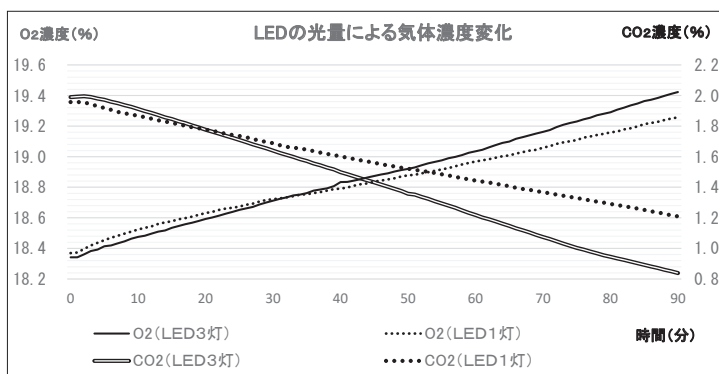


図 4-2-C LEDライトの光量による気体濃度変化

LEDライト3灯及び1灯を照射した場合、単位時間当たりの酸素の増加割合及び二酸化炭素の減少割合は、LEDライト3灯及び1灯においてそれぞれほぼ一定で、グラフは直線状になる。酸素の増加割合及び二酸化炭素の減少割合の大きさは、3灯、1灯の順である。

4.2.D 光合成実験での植物の種類による気体濃度変化に関する実験結果

アクリルボックス内にヒューケラ（緑葉）・パンジー・イチゴのポット苗を入れ、人の呼気を封入の上、二酸化炭素濃度が約2%に安定したところで、LEDライト3灯を照射し、底面に設置した「Go Direct シリーズワイヤレスセンサ」で気体濃度を測定した結果である。

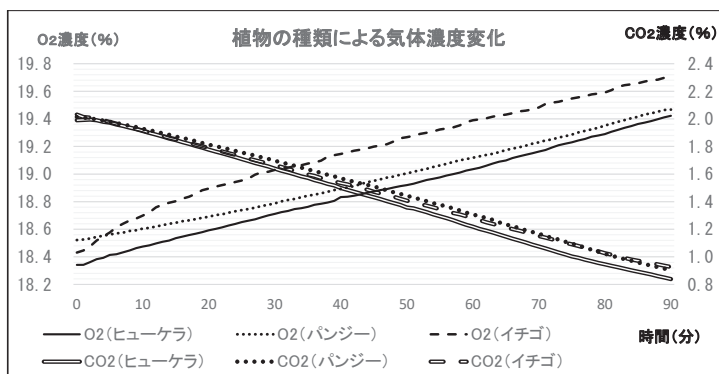


図 4-2-D 植物の種類による気体濃度変化

LEDライト3灯を照射した場合、単位時間当たりの酸素の増加割合及び二酸化炭素の減少割合は、それぞれの植物においてほぼ一定で、グラフは直線状になる。酸素の増加割合及び二酸化炭素の減少割合の大きさは、今回実験した範囲において植物種が異なっても際立った特徴はない。

4.2.BCD.2 植物の葉色・種類、LEDライトの光量を変化させた実験についての考察

用いる植物の葉色が異なっても、光合成により二酸化炭素が減少し酸素が増加する現象をとらえることができる。また、LEDライトを3灯から1灯に減じても、光合成により二酸化炭素が減少し酸素が増加する現象をとらえることができる。第6学年児童の学習に活用するためには、緑葉の植物を用い、十分な光量のLEDライトを照射することが、光合成により二酸化炭素が減少し酸素が増加する現象をより顕著にとらえることにつながると考える。

今回実験した範囲において植物の種類を変えても、光合成により二酸化炭素が減少し酸素が増加する現象をとらえることができる。また、酸素・二酸化炭素の増減量には大きな差がなかったことから、秋から冬に実験をする場合は、園芸店などで容易に入手できるパンジーやイチゴを用いると効果的であると考ええる。

5 結論

5.1 各センサの特性及び学習活動への活用に関して

今回の実験において活用した「Go Direct シリーズワイヤレスセンサ」及び「デジタル気体測定器 GOCD-1」は、とも優れた教材性を有しており小学校第6学年「A (1) 燃焼の仕組み」、「B (1) 人の体のつくりと働き」、「B (3) 生物と環境」の単位における学習活動で効果を発揮する測定器である。「デジタル気体測定器 GOCD-1」はその吸引方法から、連続吸引測定の場合、実際の濃度に対し、測定器の表示まで一定のタイムラグがあることに留意することが必要となる。そのタイムラグは今回の実験では30秒程度であり、光合成実験での使用には全く問題がない。

「Go Direct シリーズワイヤレスセンサ（酸素センサ (Air) GDX-O2、二酸化炭素センサ GDX-CO2)」は、測定値をPC等にワイヤレス転送の上、PC等画面上に測定値を表示し、リアルタイムでグラフ化できる機能を有している。小学校第6学年児童にとって、酸素や二酸化炭素の測定値そのものを問題にするよりも、変化の傾向をとらえることが重要であると考えた場合、実際の学習場面では、時系列に沿って変化する酸素・二酸化炭素濃度をグラフ化した場面をプロジェクター等を用いて共有することで、光合成により二酸化炭素が減少し酸素が増加する変化を顕著にとらえることができ、人が空気を通して植物とかかわっているといった概念形成をより強化する可能性がある。

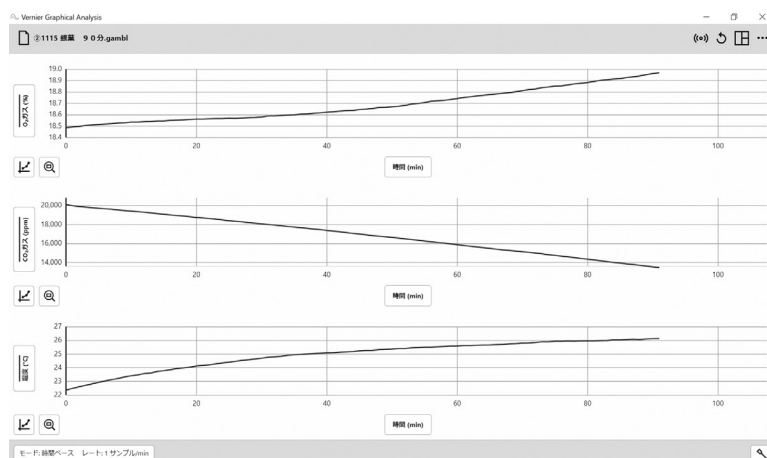


図 5-1-1 ワイヤレス転送された測定値のグラフ (PC画面)

上：酸素濃度、中：二酸化炭素濃度、下：温度

5.2 光合成に関する効果的な実験条件に関して

アクリルボックス内に植物のポット苗を入れ、人の呼気を封入の上、LEDライトを照射した実験では、変化の程度には差があるものの、すべての実験において酸素濃度の上昇、二酸化炭素濃度の減少が確認できた。また、単位時間当たりの酸素の増加割合及び二酸化炭素の減少割合は、それぞれの実験条件においてほぼ一定で、グラフは直線状になった。このことから、天候に左右されないうえ、アクリルボックス内の温度変化が小さいため植物にダメージを与えないLEDライト照による光合成実験は、人が空気を通して植物とかかわっているといった概念形成をより強化する可能性がある。

実験に使用する植物は、園芸店などで容易に入手できるパンジーやイチゴを用いることができ、LEDライトが1灯であっても変化の傾向をとらえることができる。

6 今後の課題・研究の方向

6.1 授業実践での活用

光合成実験において「Go Direct シリーズワイヤレスセンサ」を用いて測定した酸素・二酸化炭素濃度の変化を示すグラフを、PC等を介してプロジェクター等を用いて共有した場合の児童の捉え方を検証する必要がある。

6.2 太陽光照射の場合の酸素濃度変化の要因検証

アクリルボックスに植物を入れ、日光を照射し光合成を行った場合の酸素・二酸化炭素濃度の変化を「Go Direct シリーズワイヤレスセンサ」を用いて測定した際の、酸素濃度が上昇→下降→上昇と変化する要因について検証していく。

なお本稿は、JSPS 科研費 20K02835 の助成を受けたもので、本稿はその研究成果の一部である。

〈引用・参考文献〉

- ・文部科学省『小学校学習指導要領（平成 29 年告示）解説、総則編』東洋館出版社、2018 年
- ・文部科学省『小学校学習指導要領（平成 29 年告示）解説、理科編』東洋館出版社、2018 年
- ・平山大輔・森川英美・後藤太郎「光合成の授業における ICT の活用とその有用性」『理科教育学研究』2014 年 Vol.54 No.3 p419-424
- ・後藤顕一、高橋三男、飯田寛志「小学校理科教具の視点からの学習環境に関する一考察」『理科教育学研究』2017 年 Vol.57 No.4 p325-335
- ・樋口 昇「小学校理科における気体センサーの活用に関する考察 ―気体センサーの活用による問題解決の発展性―」『武蔵野教育学論集』2018 年 No.6 p91-101

- ・樋口 昇「小学校理科における気体濃度測定を伴う実験についての考察」『武蔵野教育学論集』2020年 No.10 p17-27
- ・樋口 昇「小学校理科における気体センサー活用と科学的な概念形成に関する考察」『武蔵野教育学論集』2021年 No.12 p11-22
- ・出野洋嗣,大西有,工藤雄司,竹野英敏「中学校技術科における白色LED補光によるイチゴ栽培の提案
－寡日照下における白色LED補光によるイチゴの生育への影響－」『茨城大学教育学部紀要』2017年 No.3 p217-228
- ・田川 愛,江原愛美,伊藤優佑,荒木卓哉,尾崎行生,穴戸良洋「昼温および夜温がイチゴ‘さがほのか’の¹³C-光合成産物の転流・分配に及ぼす影響」『園芸学研究』2021年 p95-100
- ・稲田 勝美「作物の光合成反応スペクトルに及ぼす葉色ならびに葉の発育期間中に照射した光質の影響」『日本作物学会紀事』1977年 46巻1号 p37-44