

CO₂濃度計を用いた呼吸・光合成速度の定量化とバイオチャーによる環境改善の模索

学校法人浅野学園 浅野中学・高等学校

小山悠太

1. 研究の背景

1-1 現状の理科教育(生物)に対する課題感と改善策

現在の中学校・高等学校における生物の単元において、植物の代謝(呼吸や光合成)や世界や日本における植生とバイオーム、生態系の多様性などを学習する時間は大きな割合を占める。また、環境汚染や地球温暖化の進行に伴い、国連では持続可能な開発目標としてSDGsに取り組む意向が採択されるなど、環境問題に対する関心も高くなってきている。日本では探求学習の重要性が示される一方で、授業時数は限られ、野外実験の実施は生物が少ない季節や雨が多い時期もあり、困難なこともある。また、生態系の多様性や保全に関する単元では教科書に掲載されている実験も少なく、映像や写真を用いて授業を行う場面が多い。よって、室内実験において生態系内の仕組みを定量化し、環境問題について議論できる授業を発案することが必要だと考えた。

生態系の物質収支(以下、「物質収支」)を学習するにあたり、生産者である植物の呼吸と光合成の関係を捉えることは重要である。一方で、呼吸や光合成に関する実験は、視覚的な判断に基づく定性的な実験(BTB溶液の色の変化など)が多い。また、中学校・高等学校において光合成におけるCO₂濃度の変化を捉えた事例はあるものの、実験授業の確立や物質収支の比較には至っていない^[1]。高校生物基礎の光合成曲線を学習する際も、CO₂吸収速度は相対値で示されており、実際のCO₂吸収量や放出量を生徒に伝えることが難しいのが現状である。

地球温暖化などの環境問題が深刻化する中、現象を伝えるだけでなく、実体験を通して学ぶことで環境問題への関心も向上すると考えている。また、学校における情報教育が求められる中で、理科実験にも積極的にICT教育を取り入れることは重要である。ICT教育を用いて環境教育を身近に学べる実験を開発し、生徒の研究活動に活用することは、理科教育の発展や生徒の探求心の向上につながる非常に意義深い取り組みであると考えている。

1-2 校内の山林を活かした取り組み

本校は神奈川県横浜市にあり、創立105年という歴史がある。58750m²の敷地の中には銅像山と呼ばれる山林を有しており、神奈川県の鳥獣保護区にも指定されている。銅像山は複数種の陽樹や陰樹によって構成され、様々な動物や植物が生育する貴重な森林生態系としても機能している。本校の豊かな自然を活かし、銅像山に生育する植物を用いた実験や森林生態系における物質収支の測定を行うことで、生徒の探求心の向上や環境問題に対する意識改革につなげたいと考えていた。



図1 校内の山林(銅像山)の空撮

2. 研究の目的

①実体験を通じた知識の定着と研究活動への応用

呼吸や光合成の理解を深める新規実験の開発・実施により、生徒自身の研究課題の発案を促す

②探求心の活性化と視野の広がり

研究活動へ応用し、学会発表などに参加することで、様々な方と議論を深める機会を提供する

③環境問題の議論から持続可能な政策への発展

身近な環境問題を定量化し、地球温暖化対策に有効な研究を考案し、社会実装につなげる

3. 小型 CO₂ 濃度計を用いた呼吸速度・光合成速度の定量化による実験授業の実践

3-1 小型 CO₂ 濃度計の測定精度の検証

(1) 赤外線ガス分析器と小型 CO₂ 濃度計

植物や土壌からの CO₂ 放出量の測定に用いられる赤外線ガス分析器 (VAISALA GMP343 CO₂ プローブおよび MI70 指示計) は高価な機器であり、中学校・高等学校で行う実験に使用することは困難である。一方、小型 CO₂ 濃度計 ((株) RUI BR-CO2AQM-002) はコロナ禍での普及により、1 台 3000 円程度と比較的安価に購入することが可能になった (図 2)。

(2) 密閉法の原理とその応用

呼吸量の測定にはチャンバー法が用いられる。その中でも土壌や植物の呼吸量の測定には密閉法が適している (図 3)。密閉法とは、容器等で密閉した後に一定時間毎に少量のガスを採取し、その CO₂ 濃度の増加速度を調べる方法である^[2]。CO₂ 濃度の増加速度より近似直線の傾き α (ppm/分) を求め、1 m² あたり、1 時間当たり放出される CO₂ 量 (mgCO₂ m⁻² h⁻¹) に換算し、呼吸量を推定することができる。この密閉法の原理を応用し、密閉容器内に小型 CO₂ 濃度計を入れることで植物などの呼吸量を定量化できると考え、赤外線ガス分析器の測定精度との比較を行った。



図 2 赤外線ガス分析器 (左) と小型 CO₂ 濃度計 (右)

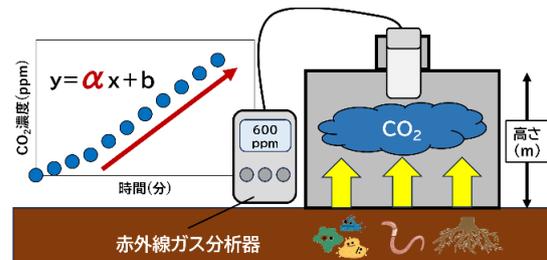


図 3 密閉法による土壌呼吸量の測定

(3) 測定精度の検証方法と結果

密閉容器の中に土壌 200 g (市販の土壌) を用意し、小型 CO₂ 濃度計または赤外線ガス分析器を入れ密閉した。容器内の CO₂ 濃度 (ppm) を 10 分間測定し、30 秒ごとに記録した。この測定を異なる小型 CO₂ 濃度計を用いて 3 回行った。

図 4 は小型 CO₂ 濃度計で測定した CO₂ 放出量 (mgCO₂ m⁻² h⁻¹) の平均値を赤外線ガス分析器の平均値と比較したものである。小型 CO₂ 濃度計の測定値は、赤外線ガス分析器の測定値に近い値を示すことが分かり、実験授業に使用できる測定精度であることが確認できた。また、小型 CO₂ 濃度計の機器自体による誤差範囲も許容できる範囲内であった。

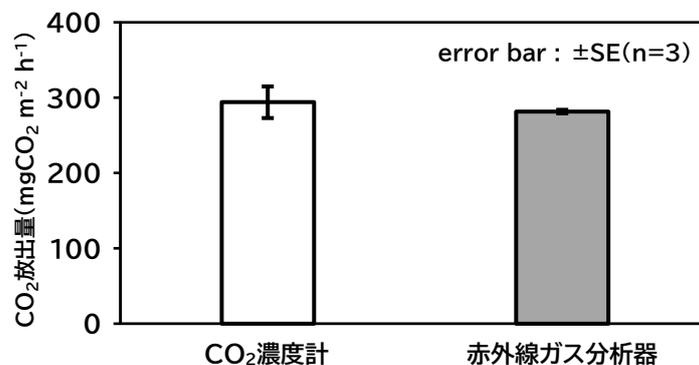


図 4 小型 CO₂ 濃度計と赤外線ガス分析器における CO₂ 放出量の比較

3-2 模擬生態系を用いた呼吸速度の測定

(1) 対象学年と実施時期

中学2年生(1クラス48人×6クラス、1班4人(12班)を基本とする)を対象に実験を行った。授業進度としては、光合成のしくみを学習し、BTB溶液を用いた光合成の定性的実験を行った後の授業で「植物からCO₂はどれくらい出ているのか検証しよう」という目的で実施した。

(2) 実験道具

小型CO₂濃度計、密閉容器(175 mm×251 mm×93 mm)、ストップウォッチ、測定する土壌や植物、PC(本校ではChromebookを使用)、記録用紙

* 小型CO₂濃度計の確認：1人、時間の計測：1人、PCまたは記録用紙への記入：2人

No.	試料		No.	試料	
A	自然土壌(校内の山林) 200 g		D5	市販土壌 200 g	エン麦の種子 5 ml
B	市販土壌 200 g		D10		エン麦の種子 10 ml
C5	市販土壌 200 g	カイワレ大根の種子 5 ml	D20		エン麦の種子 20 ml
C10		カイワレ大根の種子 10 ml	E	無菌状態のバーミキュライト	
C20		カイワレ大根の種子 20 ml			

表1 測定に用いた模擬生態系の種類

* カイワレ大根とエン麦の種子(ml)は実験の1週間前に撒き、発芽させたものである

(3) 実験方法

- ① 密閉容器内に各模擬生態系を用意する(各2セット)。小型CO₂濃度計を容器に入れ、密閉した時間を0分(初期値)とし、30秒ごとにCO₂濃度(ppm)、温度(°C)、湿度(%)を記録する。測定時間は10分間とし、共有されたGoogleスプレッドシートと記録用紙に記録する。
- ② 測定が終わった班からCO₂濃度(ppm)と時間(分)を用いて散布図を作成し、CO₂濃度の増加が始まる前の値(最小値(ppm))とグラフ内での最大値(ppm)を確認する。この最小値と最大値を用いて近似直線(または手計算)を作成し、CO₂濃度の増加割合(グラフの傾き α)から呼吸速度を求める。
- ③ 各班で算出した呼吸速度を全体で共有したGoogleスプレッドシートに記入する。模擬生態系の種類によって呼吸速度が異なる理由を各班で考察し、発表する。最後にクラス全体で結果・考察をまとめる時間をつくる。 ※実験終了後にGoogleフォームで考察・感想を提出
- ④ 全クラス終了後、すべての班の結果を用いて考察し、議論を深める授業を行った



図5 模擬生態系の作製(エン麦)



図6 呼吸速度の測定(密閉前)



図7 呼吸速度の測定の様子

(4) 実験結果と考察

A, B, E より、土壌の種類によって呼吸速度が異なることが確認できた(図 8)。山林の土壌(A)は樹木の落葉・落枝に加え、根などの残存有機物が存在するため、分解者や土壌動物が多く存在し、呼吸速度が大きくなると考えられる。一方、無菌状態のパーミキュライト(E)では土壌微生物がほとんど存在しないため、呼吸速度が小さくなると考えられる。

C5～C20(カイワレ大根)と D5～D20(エン麦)より、撒いた種子の量が多い生態系ほど呼吸速度が高くなる傾向が確認できた(図 8)。植物体が増えることで葉からの呼吸量が増えることに加え、土壌中に存在する根からの呼吸量も影響していることに気付かせる。また、呼吸速度においてはカイワレ大根とエン麦は非常に似た傾向を示したが、光合成速度や同化器官量、葉緑素量の違いなどを比較することで、より発展的な議論につなげることが可能である(本校では理系生物選択の高校生と生物部の中学生が追加実験を行い、学会発表を行った)。

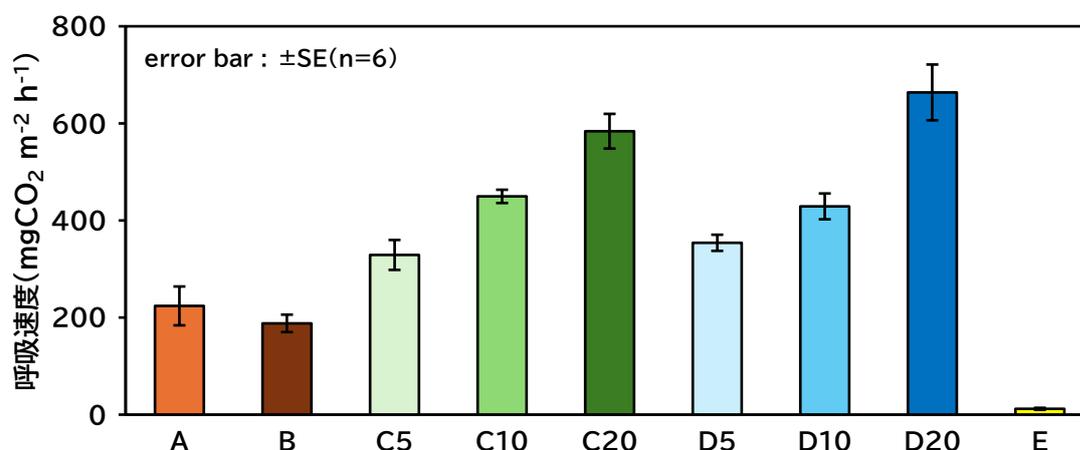


図 8 それぞれの模擬生態系における呼吸速度の比較

3-3 校内に生育する植物の葉を用いた光合成速度の比較

(1) 対象学年と実施時期

高校 1 年生または 2 年生を対象に実験を行った。授業進度としては、高校生物基礎の植生と成り立ちを学習し、光合成曲線について学んだあとに「①植物の種類によって本当に光合成速度は異なるかの検証、②光合成曲線を自分たちで測定し、作成する」という目的で実施した。

(2) 実験道具

小型 CO₂ 濃度計、密閉容器 (175 mm×251 mm×93 mm)、ストップウォッチ、測定に用いる植物(校内で採集)、水槽用の照明、PC(本校では Chromebook を使用)、記録用紙

No.	試料	No.	試料
a	ツバキ (陽樹・広葉樹・常緑樹)	d	イヌワラビ (陰生植物・シダ植物)
b	イチヨウ (陽樹・広葉樹・落葉樹)	e	スダジイ (陰樹・広葉樹・常緑樹)
c	クロマツ (陽樹・針葉樹・常緑樹)	f	ヤマゴケ (コケ植物) ※半日陰で生育
		g	ハイゴケ (コケ植物) ※日陰で生育

表 2 測定に用いた植物の種類

(3) 実験方法

- ① 密閉容器に校内で採集した植物の葉(約 100 cm²)と CO₂ 濃度計を入れ密閉し、5 分放置する。
- ② 容器の上に照明をおき、指定された光の強さに設定する。光の強さは 3 段階(弱 : 3×10³ lux、中 : 9×10³ lux、強 : 18×10³ lux)と照射なし(0 lux)の 4 パターンが存在する。呼吸速度の測定と同様に、30 秒ごとに CO₂ 濃度(ppm)、温度(°C)、湿度(%)の測定を 15 分間行う。
- ③ 呼吸速度の実験と同様に、散布図を作成する。光合成速度では CO₂ 濃度の減少が安定して開始する最大値(ppm)と CO₂ 濃度の減少が始まったグラフの最小値(ppm)を確認する。各値から CO₂ 濃度が減少するグラフの傾き(-α)を算出し、光合成速度を求める。
- ④ 他の班や他クラスの結果を組み合わせることで、光合成曲線の作成を行う。横軸を光量(lux)、縦軸を光合成速度(mgCO₂ m⁻² h⁻¹)とし、散布図(平滑線とマーカー)で作成する。異なる種類の植物の光合成速度や光合成曲線を比較し、各班やクラス全体での考察を行う。

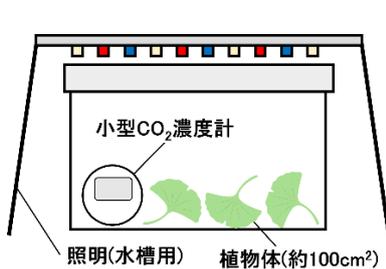


図 9 光合成速度の測定の模式図と測定の様子

図 10 測定した植物の葉(約 100 cm²)

(4) 実験結果と考察

光合成速度は陽生植物や陽樹に分類される植物で高い値を示す傾向を確認することができた(図 11)。また、コケ植物であるヤマゴケとハイゴケを比較した場合では、明るい環境での生育を好むヤマゴケの方が高い光合成速度を示すことが明らかになった。一方、陰樹に分類されるスダジイも陽樹と同様に高い光合成速度を示した。これは成木になると光合成活性が高くなる陰樹の特徴を表しており、本結果は「植生と遷移」の單元にも応用できる意義のある結果となった。

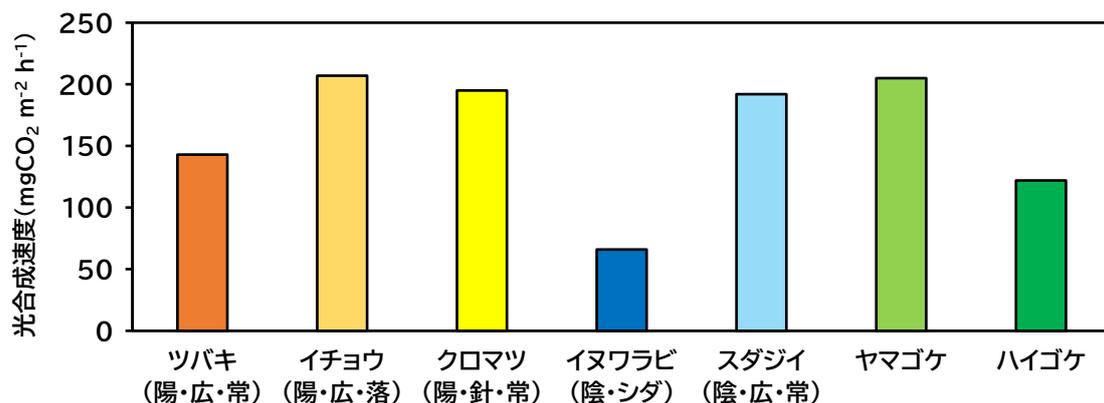


図 11 各植物における光合成速度の比較 (光の強さ : 18×10³ lux の場合)

図 12 はイチョウ(陽生植物)とイヌワラビ(陰生植物)の光合成曲線を生徒が作成したものである。陰生植物であるイヌワラビは陽生植物であるイチョウよりも呼吸速度が小さく、光補償点が小さくなる理想的な結果を得ることができた。また、光の強さが強い環境下では光合成速度が一定の値を示す傾向も確認することができ、光の強さと光合成速度の関係を表すことに成功した。

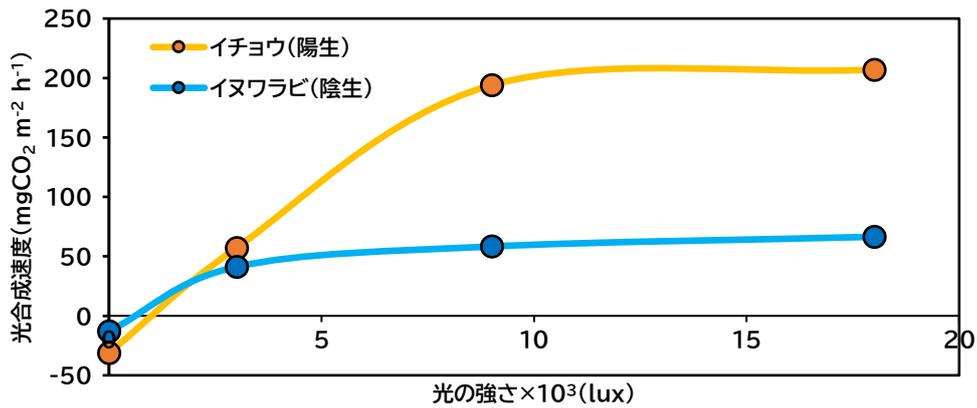


図 12 イチヨウ(陽生植物)とイヌワラビ(陰生植物)の光合成曲線

3-4 模擬生態系における物質収支の比較

(1) 対象学年と実施時期

高校2年生(理系生物選択者)と生物部からの希望者を対象に実験を行った。授業進度としては、「高校生物」における光合成の学習に加え、「高校生物基礎」の生産構造図や物質収支を復習した後に「物質収支を定量化し、今までに習った実験を考察に用いる」という目的で実施した。

(2) 実験道具

カイワレ大根とエン麦の模擬生態系(3-2のC5~D20)、光合成速度の実験で使用した実験道具

(3) 実験方法

- ① 呼吸速度の実験と同様に、各模擬生態系に小型CO₂濃度計を入れ、各生態系における呼吸量を測定する。
- ② 各生態系の植物体を根も含んだ状態で1本ずつ取り出し、本数、全体の総重量を測定する。その後、採集した植物体を密閉容器に入れ、植物の呼吸速度を測定する。
- ③ ②の測定後、光合成速度の実験で用いた照明を使って、5分間照射(光の強さ：強)し放置する。その後の15分間はCO₂濃度計の値を記録し、光合成速度から総生産量を推定した。
- ④ 測定した植物体を同化器官(葉)・非同化器官(茎・根)に分類し、重量を測定した。

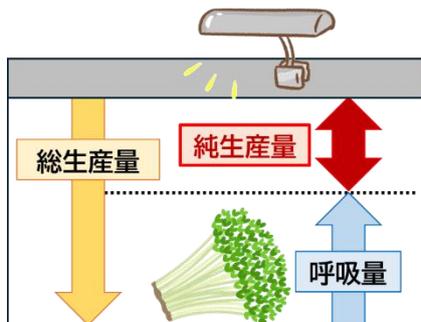


図 13 植物における物質収支



図 14 刈取りを行った植物(左：カイワレ大根、右：エン麦)

(4) 実験結果と考察

カイワレ大根及びエン麦の純生産量は、蒔いた種子の量によって異なる傾向を示した(図 15)。カイワレ大根では 5 ml、エン麦では 10 ml 蒔いた生態系が最も高い純生産量を示し、両植物とも 20 ml 蒔いた生態系では負の値となった。純生産量の算出に用いた総生産量と呼吸量を比較すると、植物量が増えることで総生産量が増加する一方で、20 ml 蒔いた場合では呼吸による CO₂ 放出量が著しく高くなってしまふことが明らかになった(図 16)。また、両植物ともに 20 ml 蒔いた生態系の総生産量は 10 ml 蒔いた生態系と変わらない値となった(図 16)。実際に発芽している本数を比較したところ、蒔いた量に比例していた。これは、20 ml 蒔いた生態系内での植物の密度が高すぎて、光を受け取ることが出来ない個体が多く存在することを示唆する。

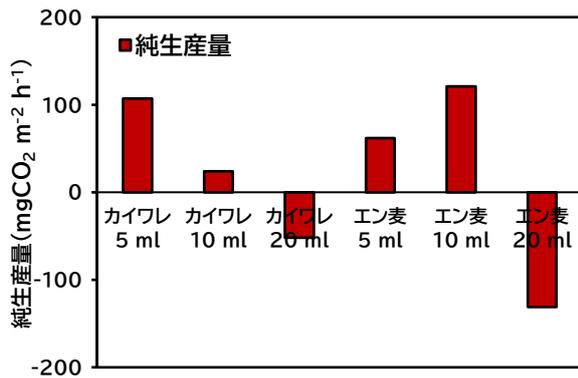


図 15 純生産量の比較

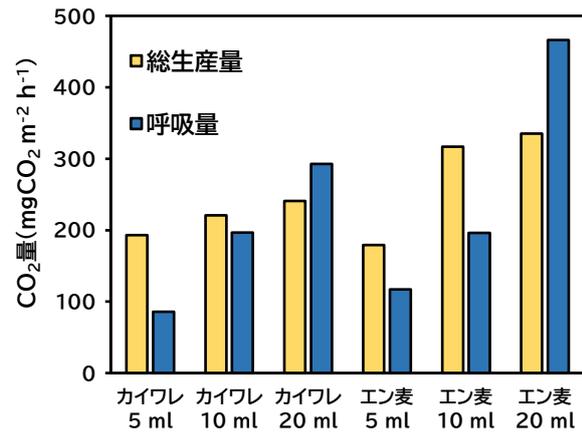


図 16 総生産量と呼吸量の比較

図 16 より、光合成による総生産量はエン麦の方が高い傾向にあることが分かった。測定に用いた各植物を同化器官、非同化器官に分けると、同化器官の重量はエン麦のほうが重い傾向にあり、同化器官が占める割合も高いことが明らかになった(図 17, 18)。また、葉緑素計(KONICA MINOLTA SPAD-502Plus)を用いて両植物の SPAD 値(葉緑素含量を示す値)を測定すると、カイワレ大根で 28.8(n=10)、エン麦で 32.6(n=10)とエン麦の方が高い傾向を示したことも 1 つの要因であると考えている。

一方で、蒔いた種子が 20 ml の場合は、両植物ともに非同化器官の占める割合が高くなっていった(図 18)。これも、呼吸量の増加と図 15 にみられる純生産量の減少につながる一因であると考えられる。

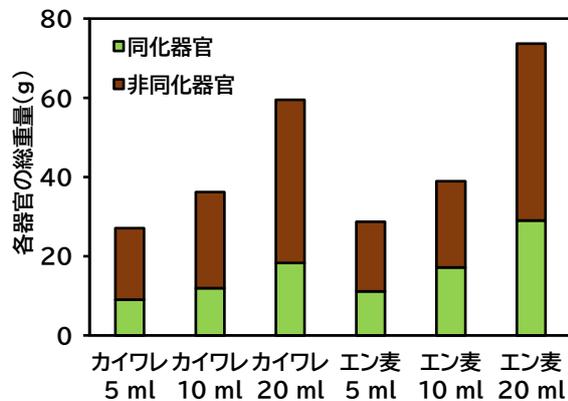


図 17 各器官の重量の比較

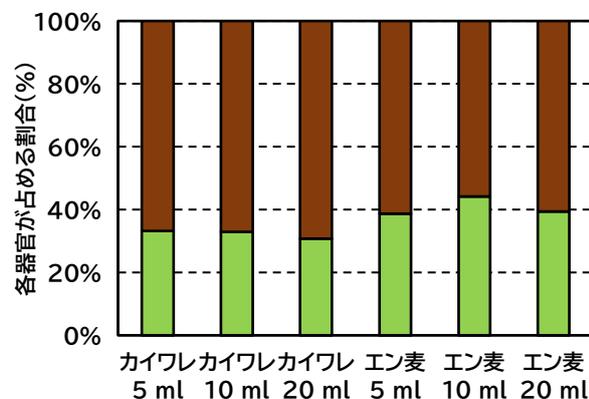


図 18 各器官が占める割合の比較

4. 新規実験を活用した研究活動への応用

4-1 バイオチャーを用いた研究活動の実践

近年では土地利用の転換や違法伐採による森林面積の減少によって、森林生態系の二酸化炭素の固定量が減少し、地球温暖化促進の一因になっているのが現状である^[3]。地球温暖化による気候変動の緩和策として注目されているのがバイオチャーである^[4]。バイオチャーとは、植物や動物の死骸を嫌氣的条件下で加熱し炭化させたもので、土壌改良効果や炭素隔離効果が期待されている。また、バイオチャーは散布を行った環境の炭素動態に大きな影響を与えると考えられている^[5]。本校ではバイオチャーを用いて生徒考案による新規研究や校内の山林を活用した環境教育への取り組みにつなげている。

4-2 バイオチャー散布がカイワレ大根の成長速度と生理活性に与える影響(室内実験)

(1) 実験方法

バーミキュライト(200 g)にバイオチャーをそれぞれ0g、15g(5 t ha⁻¹)、30g(10 t ha⁻¹)散布した容器を各3個用意した。各区画にカイワレダイコンの種子を16粒撒き、発芽率、成長後に葉の長径、根の長さ、草丈を定期的に計測した。十分に成長した後に植物体を刈取り、重量を測定した。重量の測定後、カイワレ大根における呼吸速度と光合成速度の測定を行った。



図 19 栽培中の様子



図 20 測定中の様子



図 21 学会発表の様子

(2) 実験結果と考察

図 22～24 は、葉の長径、根の長さ、草丈を比較したものである。葉の長径と根はバイオチャーの散布量が多いほど長くなる傾向を示した(図 22, 23)。これは、葉や根の成長に必要な窒素、リン酸、カリウムなどがバイオチャーから溶け出し、それらが吸収されることで成長が促進されたことを示唆する。一方、草丈は散布した区画で長い傾向がみられたが、最も長い区画は15 g 区であった(図 24)。30 g 区の方が短くなった要因として、溶脱した養分が多いため、根を伸ばさせた方が生存に有利であり、茎ではなく根や葉への優先的な養分の分配が考えられる。

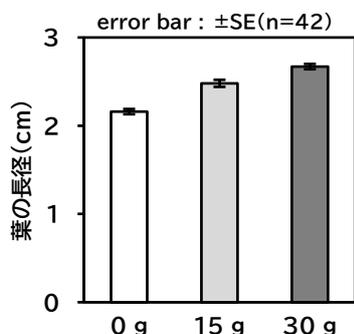


図 22 葉の長径の比較

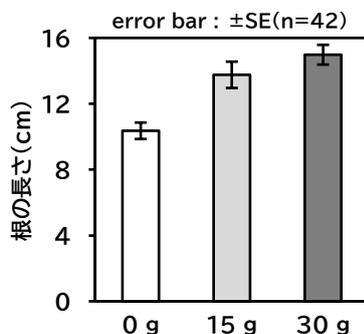


図 23 根の長さの比較

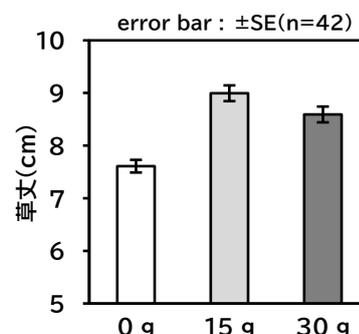


図 24 草丈の比較

呼吸速度はバイオチャー散布量が多い区画ほど高い値を示した(図 25)。30 g 区は葉と根の成長が大きく、呼吸活性も高い器官であるため、呼吸速度が最も高くなったと考えられる(図 22, 23)。光合成速度では 30 g 区が最も高く、15 g 区が最も低い結果となった(図 26)。これは 30 g 区では光合成を行う同化器官である葉の割合が高かったのに対して、15 g 区は光合成を行わない非同化器官である茎の割合が高かったことが要因であると考えられた。

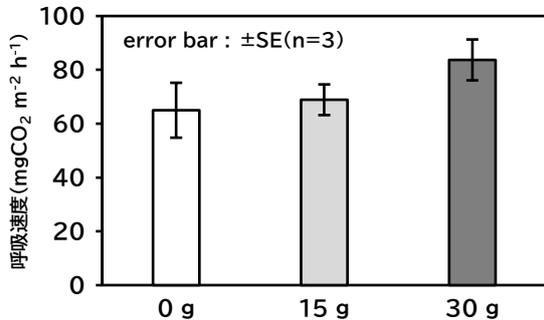


図 25 呼吸速度の比較

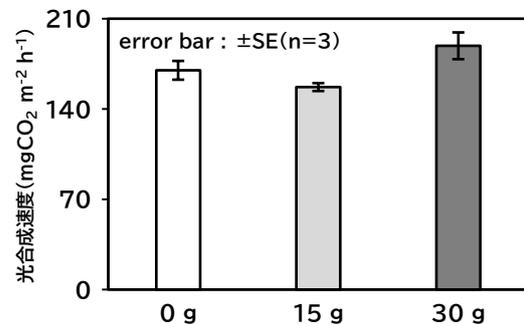


図 26 光合成速度の比較

4-3 バイオチャー散布が森林生態系の炭素収支に与える影響(野外実験)

(1) 実験方法

本研究では生態学的手法を用いて森林生態系における炭素収支の推定を行った^[1]。銅像山における炭素固定量(樹木成長量、枯死脱落量)および炭素放出量(土壌呼吸量)をそれぞれ測定することで、炭素収支の指標となる生態系純生産量(tC ha⁻¹)の算出を行った(図 27)。また、本研究ではバイオチャーを森林に散布することで、バイオチャー散布が森林生態系の炭素収支に与える影響とバイオチャーの炭素隔離効果の検証も行った。バイオチャーを森林に散布した研究は世界的にも少なく、その効果を経年的に比較することは非常に意義のある取り組みであると考えられる。

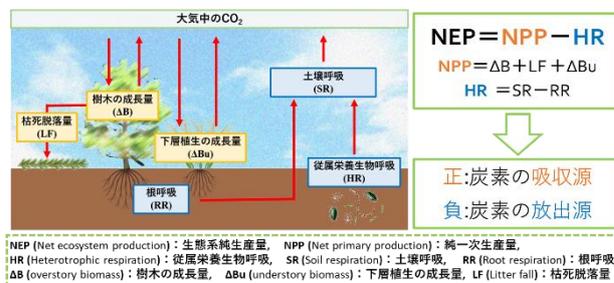


図 27 森林生態系における炭素収支の模式図



図 28 森林へのバイオチャー散布の様子

(2) 実験結果と考察

非散布区における炭素固定量は経年的に減少したのに対し、散布区では維持される傾向がみられた(図 29)。非散布区においては、地球温暖化の一環である夏季平均気温の上昇による早期落葉や降水量の著しい減少による樹木の光合成活性低下の影響が顕著に表れたと考えられる。一方、散布区では土壌の保水性の向上に加え、バイオチャーから溶け出した養分の吸収によって炭素固定機能が維持されたことにより、枯死脱落量(特に葉や実)が増加する傾向がみられた。このように、炭素固定機能が改善された散布区では、結果として、生態系純生産量が増加傾向に転じたと考えられる(図 30)。また、散布区における懸念点であった土壌呼吸量の増加は、3年間分の総量を比較しても非散布区との差はほとんどなく、長期的に見れば炭素放出量への影響は少ないことが示唆された。このように、森林においても、バイオチャー散布による炭素固定機能と炭素隔離効果の促進が明らかになった。

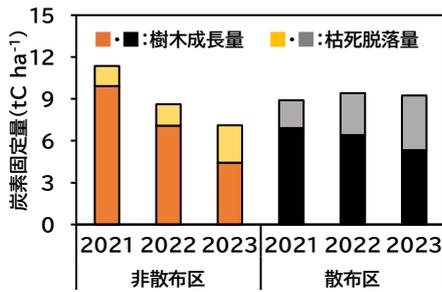


図 29 炭素固定量の経年変化

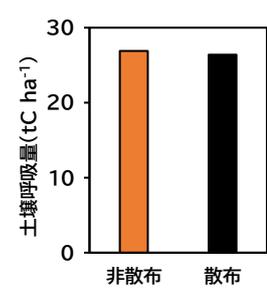
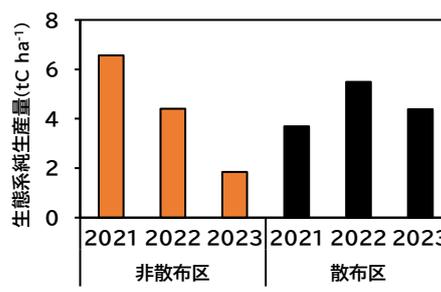


図 30 生態系純生産量の経年変化と土壌呼吸量(総量)の比較

5. 本研究の成果と今後の展望

本研究では中学校や高等学校で行える新規実験の開発を行い、対象学年に合った実験授業を展開することができた。また、高学年になってからは、より詳細な要因を探求する実験へ応用させていくことで、知識を深めるだけでなく、考察力や表現力の向上にもつながったと考えている。さらに、中学校から積極的に ICT の活用を取り入れることは、情報教育への貢献だけでなく、文化祭などの学校行事の運営にも波及する結果となった。本研究を活かした生徒主体の研究活動では、地球規模の環境改善につながる大きな結果を得ることができ、環境教育を広めることができた。また、研究活動を通して、学会発表などで同世代の生徒や研究者の方と議論を交わせたことは貴重な経験になったと考えている。本研究は日本の各地域における植生を活かすことで、より深い議論につなげることができる。今後は本校に留まらず、他校との取り組みも増やすことで日本の理科教育の向上に貢献したいと思う。最後に、本研究のバイオチャーを用いた研究活動によって、助成を受けてから以下の賞を受賞することができた。

- ・ 第 14 回高校生バイオサミット 農林水産大臣賞(評価得点：全国 1 位)
- ・ 日本生態学会 第 66 回大会(横浜) 全国高校生ポスター発表大会 審査員特別賞

6. 謝辞

本研究は公益財団法人下中記念財団の助成により実施いたしました。また、大学生との意見交流やデータ解析の指導にあたっては、玉川大学の友常満利先生、早稲田大学の吉竹晋平先生、実験授業や実験指導にあたっては、本校教諭の大塚剛志先生、難波梨衣先生にご協力いただきました。この場をお借りし、心より御礼申し上げます。

7. 参考文献

- [1] 墨野倉伸彦：低価格 CO₂ センサーを活用した光合成を測定する新しい実験 -光合成の基本的な測定から生態系純生産量の推定, 生物の科学 遺伝, 77, 228-235 (2023).
- [2] 大塚俊之：陸上生態系における炭素循環-森林生態系の炭素収支の生態学的な定量化手法に焦点を当てて-, 地球環境, 9, 181-190 (2004).
- [3] 国連食糧農業機関(FAO), Global Forest Resources Assessment (2009)
- [4] 第 49 回気候変動に関する政府間パネル(IPCC), 2019 年方法論報告書
- [5] Lehmann, Johannes: Role of biochar in mitigation of climate change. Handbook of climate change and agroecosystems, 343-363 (2010).



小山 悠太
(こやま ゆうた)

<略歴>

- 1994年 埼玉県生まれ
2017年 早稲田大学教育学部理学科生物学専修 卒業
2019年 早稲田大学大学院先進理工学研究科生命理工学専攻 修了
2017年～2019年 早稲田大学本庄高等学院 非常勤講師
2019年 学校法人浅野学園 浅野中学・高等学校 教諭

現在に至る

<研究歴>

- 1) 『亜熱帯マングローブ林における無人航空機を用いた森林構造と動態の観察』
友常満利, 小山悠太, 関川清広, 吉川朋子, 大塚俊之, 玉川大学農学部研究教育紀要,
第7号: 27—35, 2022.4
- 2) 『Comparison of inter-annual variation in net primary production among three forest types in the same region over 7 years』 Yuki Kato, Mitsutoshi Tomotsune, Fumiya Shiote, Yuta Koyama, Hiroshi Koizumi, Taylor & Francis Online Journal of Forest Research Volume 26, 2021
- 3) 『Comparison of Carbon Dynamics among Three Cool-Temperate Forests (Quercus serrata, Larix kaempferi and Pinus densiflora) under the Same Climate Conditions in Japan』 Mitsutoshi Tomotsune, Yohei Suzuki, Yuki Kato, Rina Masuda, Nobuhiko Suminokura, Yuta Koyama, Yoshiaki Sakamaki, Hiroshi Koizumi, Scientific Research Publishing Journal of Environmental Protection, 2019, 10, 929-941

<受賞歴>

- 2024年 第14回高校生バイオサミット in 鶴岡 優秀研究指導者表彰 受賞
- 2024年 公益財団法人東レ科学振興会 第55回東レ理科教育賞佳作 受賞
『簡易CO₂濃度計を用いた呼吸と光合成速度の測定』
- 2019年 日本生態学会 第66回大会(神戸) 日本生態学会全国大会賞(ポスター優秀賞) 受賞
『Inter-annual variations in carbon cycle and budget between cool-temperate young forest and old-growth forest dominated by Pinus densiflora』

<研究費採択実績>

- 2024年度 公益財団法人下中記念財団 下中科学研究助成
- 2024年度 公益財団法人中谷医工計測技術振興財団 科学教育振興助成
- 2024年度 公益財団法人日本科学協会 笹川科学研究助成
- 2024年度 公益財団法人日産財団 理科教育助成
- 2023年度 公益財団法人中谷医工計測技術振興財団 科学教育振興助成
- 2022年度 株式会社リバネス リバネス20周年記念企画 教育開発フェロー
- 2022年度 公益財団法人中谷医工計測技術振興財団 科学教育振興助成
- 2020年度 公益財団法人武田科学振興財団 高等学校理科教育振興助成

<勤務校>

学校法人浅野学園 浅野中学・高等学校
〒221-0012 神奈川県横浜市神奈川区子安台 1-3-1
電話：045-421-3281