

「継続的に取り組む課題研究の実践」～その1～

筑波大学附属駒場中・高等学校 理科

梶山 正明・石川 秀樹・大谷 悅久
大道 明・高橋 宏和・仲里 友一
濱本 悟志

「継続的に取り組む課題研究の実践」～その1～

筑波大学附属駒場中・高等学校 理科

梶山 正明・石川 秀樹・大谷 悅久

大道 明・高橋 宏和・仲里 友一

濱本 悟志

1. はじめに

中等教育における理科教育では、「自然現象の観察・観測・実験→現象の規則性の発見→抽象的概念への発展→関連現象の体系化→個々の自然現象の再評価」という展開のなかで、自然現象への興味・関心、理解過程における創意工夫、未知の現象への探求姿勢などの涵養を目指している。新教育課程においても、「観察・実験、調査・研究、実習、課題学習、ボランティア活動や就業体験など体験的な学習や問題解決的な学習」の積極的導入を掲げている。しかしながら、教科や科目で取り扱う項目の多さ、時間面・設備面・財政面の制約のため、深層に入り込めない網羅的な授業形態に陥りやすく、多くの理科教員が歯がゆい思いをしている。この理想と現実の狭間を少しでも埋めるため、「継続的に取り組む課題研究の実践」と題し、理科各分野での具体的な展開例を明らかにしていきたい。そこで、各学年の各分野で一ヶ月から一学期間の範囲内でひとつの課題を設け、冒頭の理念の実践を目指していきたい。4年計画の1年次にあたる本年は、高校2~3年を対象に計画している2つの課題研究の展開例を示すこととする。

2. 課題研究その1 「音の魅力とその秘密を探る」

2-1 物理分野における「波動」の展開例と「課題研究その1」の位置付け

(1) 波とは何か

(2) 波のグラフ表現

①横波のグラフ表現：媒質の変位と速度分布

②縦波のグラフ表現：グラフの表現方法と読み取り方

(3) 波の干渉現象（重ね合わせの原理）

①1次元の波の干渉：弦の定常波、入射波と反射波の干渉

②2次元の波の干渉：水波の干渉、音波の干渉（2台のスピーカー）

(4) 波の回折現象

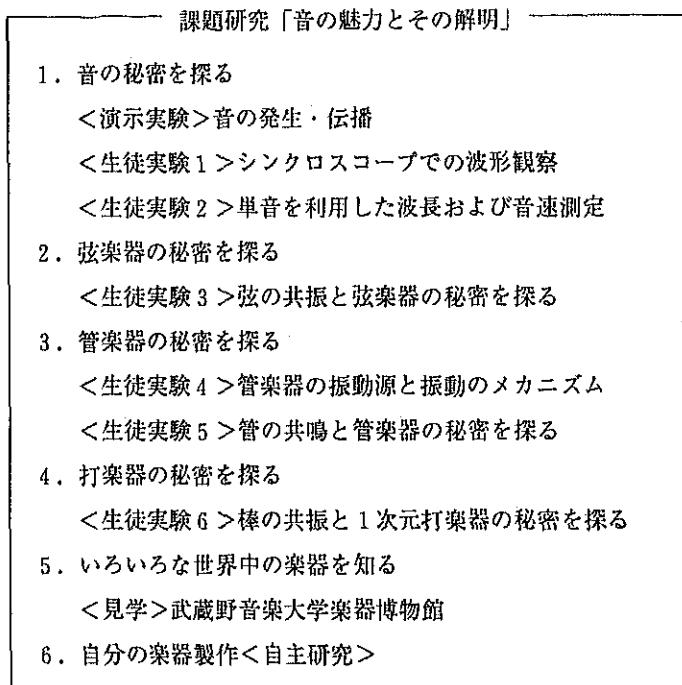
- ①回折とは：隙間や障害物を通過する水波
- ②回折現象の説明（ホイヘンスの原理と作図法）
- ③回折と干渉の例：光の干渉（ダブルスリット）

(5) 波の数学的表現

- ①1次元の進行波：進行波の基本式
- ②1次元の定常波：2つの波の式の重ね合わせ

(6) 音波の分析

- ①音波とは何か：発生から受信まで
- ②音の干渉：2つの音源（同振動数・同（逆）位相），うなり
- ③ドップラー効果：音源が移動する場合，観測者が移動する場合



主体性・探求心を
重視

生徒実験1～6は、
後の資料を参照

(7) 光波の分析

- ①光速の測定：天体観測による測定，幾何光学による測定，電磁波としての測定
- ②光の経路：フェルマの原理とホイヘンスの原理，反射・屈折の法則
- ③光の波としての性質：ダブルスリット，シングルスリット，回折格子，ニュートンリング，薄膜（シャボン玉）の虹模様，宝石（オパール）の輝き

2-2 具体的な展開例（生徒実験マニュアルを中心に）は、3-2 生物領域の「具体的な展

開」の後に資料として示した。

3. 課題研究その2 「生態系における生産者の構造と機能を探る」

3-1 生物分野における「生態系」の展開例と「課題研究：生態系における生産者の構造と機能を探る」の位置づけ

- (1) 生態系とは何か
- (2) 生態系の成り立ち（構成要素、生態的地位など）
- (3) 植物群落の生態分布

①種構成の特徴：課題研究

- ア. 枠法による種構成の調査
- イ. 方法の検討と種構成の特徴の評価

②生態分布

- (4) 植物群落の遷移
- (5) 生態系の機能

①生産者の生産量：課題研究

- ア. 地の生産力の測定
 - ・ ウィンクラー法、クロロフィル法による生産力の測定
 - ・ 2つの方法の長所、問題点の検討、実験結果の評価
 - ・ “地球に定員はあるか”の論文に対する評価

②生産者の生産構造：課題研究

- ・ 生産構造図の作成（稲科及び双子葉の植物）
- ・ (5) ①を参考にして、陸上植物の生産力を予想する

③エネルギーの流れ

- (6) まとめ

3-2 具体的な展開例

生物ⅠBでは、時間配分や実験器具の準備等、困難な点が多く、残念ながら生態系の領域では、おおがかりな実験はできないのが現状である。そこで、生物Ⅱで、生産者の構造と機能という観点にしぼって、課題研究を実施している。意欲の高い生徒も多く、実施時間は、実験により、早朝から、昼休み、放課後にわたっている。また、一連の実験を結果の考察のみにとどまらせないために、各実験には、課題を設定し、その探求の過程及び考察を大切にしている。

1-1に示したように、課題探求は、【生産者の種構成の特徴】、【生産者の生産力】及び【生産者の生産構造】の3つの実験により成り立っている。99年度は、そのなかの【生産者の種構成の特徴】と【生産者の生産力】を重点的に扱ったので、その2つを中心に解説する。

①【生産者の種構成の特徴】は、オダムの生態学をテキストにして、そのなかで記述されている内容を探求する。

探求の課題の例：オダムは著書の中で、「種構成の特徴は、少ない種類の個体数が多い種（優占種）と、多くの種類の個体数の少ない種（付随種）に分けられる」と述べているが、実際にそのようになるであろうか。実際に調査し、その結果をもとに、オダムの見解に対して、自分の考えをまとめてみよう。

〈実験のねらい〉

- (1) 種構成の特徴を調査できるか。このとき、適切な調査項目を設定し、適切に枠を設置できるか。
- (2) 調査結果を的確に纏めることができるか。異なる調査項目を優占度指数として、表現できるか。
- (3) 種構成の特徴を捉え、オダムの理論を肯定または否定できる。

②【生産者の生産力】は、吉良龍夫氏の著書から“地球に定員はあるか”という論文を例に挙げて、生産者の生産力を測定し、吉良氏の論文に対して、自分で測定した値から、その論文の内容を科学的に評価する。というものである。

探求の課題の例：筆者は、稲の生産高から、生産者のエネルギー転換効率を0.数%と求め、それを根拠に地球にすむことの出来る人口を概算している。実際に、池（藻類）の生産力を測定し、生産者のエネルギー転換効率を求め、この論文の内容の適否を探してみよう。

〈実験のねらい〉

- (1) ウィンクラー法・クロロフィル法により、藻類の生産力を測定できるか。
また、2つの測定法の本質的な違いが理解できるか。
- (2) 測定した結果をもとに、エネルギー転換効率を求められるか。
- (3) 吉良氏の主張の根拠、論理展開は、自分の測定結果から考えて、適切であるかどうかを考察できるか。

高2における、課題探求学習は、上記のように課題を設定し、それに対して実験によるアプローチを行い、自分の見解を明らかにしていくという方法で実施している。「自然現象の観察・観測・実験→現象の規則性の発見→抽象的概念への発展→関連現象の体系化→個々の自然現象の再評価」という、課題研究の目的を達成するために、この一連の実験を実践している。

以下に、物理領域、生物領域の順に、生徒に配布するプリントや生徒の実験結果を資料として掲載する。

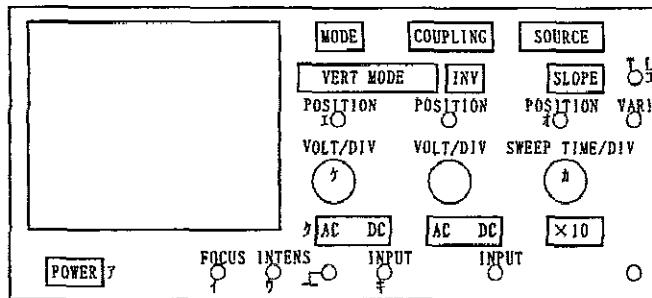
生徒実験 1：シンクロスコープでの波形観察

〈実験のねらい〉

- (1) 単音・楽音・複音の波形の違い、母音・子音の違いが理解できるか。
- (2) 音の音量・高低(音階)・音色の違いは何かを理解できるか。
- (3) 楽音を単音の重ね合わせとしてとらえることができるか。

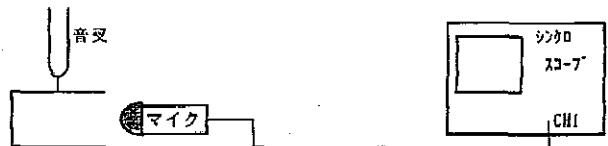
〈実験準備〉

- シンクロスコープを以下のように操作し、実験を準備する
- ① POWER (ア) をONにし、15~20秒じっと待つ。
 - ② FOCUS (イ) と INTENSITY (ウ) を使って、明瞭な線を描かせる。
 - ③ POSITION (エ) を使って、輝線を上下に動かし、中央に移動させる。
 - ④ POSITION (オ) を使って、輝線を左右に動かし、中央に移動させる。
 - ⑤ SWEEP TIME/DIV (カ) を1 [ms] 程度にする。
 - ⑥ VOLT/DIV (ケ) を5 [mV] 程度にする。



〈実験方法〉

- (1) 音叉の音を観察する
- ①マイクとシンクロスコープを図のようにセットする。



- ②共鳴箱の前にマイクを置き、音叉を鳴らしてシンクロスコープに波形を描かせる。
- ③SWEEP TIME/DIV (カ) と VOLT/DIV (ケ) を調整して、観察しやすい波形が2

~3個現れるようにする。

- ④TRIGGER LEVEL (コ) を回しながら波形を安定させる。
- ⑤音叉の音の波形を記録する。(オシロ用記録プリンター使用) また、周期と振動数を求める。
- (2) 人の声を観察する。
 - ①マイクの前で、「あ」「い」「う」の音を綺張って出し(波形が安定するよう)、それぞれの波形を記録する。
 - ②3つの母音それぞれの波形の特徴を調べ、その違いを確認する。
 - ③楽器の音を観察する。
 - ①好きな楽器をひとつ選び(フルート、リコーダー、クラリネットなど)、低い音の波形を記録する。ただし、SWEEP TIME/DIV (カ) と VOLT/DIV (ケ) を調整して、観察しやすい波形が2~3個現れるようにする。
 - ②①で調べた音で大きな音や小さな音を出し、音量と波形の関係を観察する。
 - ③①で調べた音より高い音を出し、音の高低と波形の関係を観察する。
 - ④①で調べた音の1オクターブ高い音の波形を観察し、周期と振動数の違いを調べる。
 - ④シンクロスコープで分析した音について、パソコンを使って周波数分析をする。(音をいくつかの単音の束まりとしてとらえる)

〈実験結果〉

- (1) 音叉の音の分析

$$\text{周期} = \boxed{} \quad [\text{秒}] \quad \text{振動数} = \boxed{} \quad [\text{Hz}]$$

- (2) 母音「あ」「い」「う」の波形の特徴は？(実験方法(2)+パソコンでの分析)

- (3) 調べた楽器の音の波形の特徴は？(実験方法(3)の①+パソコンでの分析)

- (4) 音量と波形の関係(実験方法(3)の②+パソコンでの分析)

- (5) 音の高低と波形の関係(実験方法(3)の③+パソコンでの分析)

- (6) 1オクターブ高い音(実験方法(3)の④+パソコンでの分析)

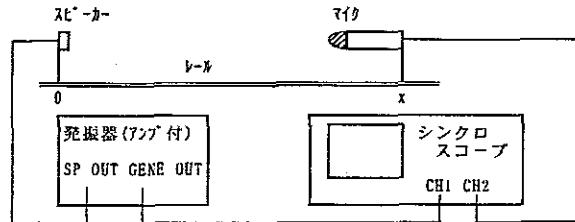
生徒実験 2：単音を利用した波長および音速測定

<実験のねらい>

- (1) 空気の振動(あるいは疎密)が進行としていくようすを、位相のずれとして空間的にイメージできるか。
- (2) 目では確認できない音の波長や音速を測定できるか。

<実験方法>

- ①下図のように、発振器(アンプ付)、スピーカー、マイク、シンクロスコープを接続する。
- ②シンクロスコープのVERT MODEをALTにし、CH1の線が上に、CH2の線が下に表れるようにセットする。
- ③スピーカーをx = 0 の位置に、マイクをx = 15 [cm] の位置に置き、スピーカーから4000 [Hz] の音を発生させる。
- ④アンプの増幅、CH1とCH2のVOLTS/DIV、SWEEP TIME/DIVを適当に調整し、上下に同程度の振幅の波形が横に2~3周期並ぶようにする。このときTRIGGER LEVELを調整して波形を静止させる。
- ⑤マイクの位置を左(xの負の向き)や右(xの正の向き)に移動させて、CH2の波形の変化から位相の変化を読み取る。
- ⑥CH2の波形がCH1と同位相になる位置xを調べる。さらに、逆位相になる位置xも調べ、その結果から波長を予測する。
- ⑦MODEをX-Yに切り替え、シンクロスコープの画面にリサージュ图形を描かせる。
- ⑧マイクをレール上でゆっくりと移動させ、リサージュ图形が直線となるxの値を読み取り、その結果から波長と音速を算出する。(CH1とCH2の波形が同位相なら右上がりの直線、逆位相なら右下がりの直線)



<実験結果>

- (1) マイクの位置と波形の変化、および位相の進みと遅れは？(実験方法⑤)
 - ・マイクを左(xの負の向き)に移動させたとき
 - ・マイ克を右(xの正の向き)に移動させたとき

(2) CH2の波形がCH1の同(逆)位相となる位置(実験方法⑥)

・同位相: x =

・逆位相: x =

・波長の概算値は？

(3) リサージュ图形を利用した波長と音速の測定(実験方法⑦)

リサージュ图形	/	\	/	\	/
xの位置 [cm]					

・波長λと音速Vは？

<理論>

(1) リサージュ图形について

シンクロスコープの縦軸(CH1)に入力する振動が $A \sin(\omega t + \alpha)$ 、横軸(CH2)に入力する振動が $B \sin(\omega t + \beta)$ である場合、

- ・ $\beta = \alpha + 2n\pi$ ならば … 傾きが $A/B (>0)$ の直線
- ・ $\beta = \alpha + (2n+1)\pi$ ならば … 傾きが $-A/B (<0)$ の直線
- ・ $\beta = \alpha + (2n+1)\pi/2$ ならば … 軸が水平かつ鉛直な梢円
- ・ その他 … 軸が斜めな梢円

(2) 空気を伝わる音速について

ラプラスは、気体では音は断熱的に伝わるとして理論的に音速Vを求めた。

$$V = \sqrt{\gamma \cdot (R T / M)} \quad (\gamma = C_p / C_v, R = 8.31 [J/K], M: 1 ものの質量)$$

空気は分子量28.8の2原子分子と考えられるので、 $\gamma = 1.4$ 、T = 現在の温度、M = 28.8×10^{-3} を代入して、音速Vの理論値を算出しなさい。

<考察>

音速Vの実験値と理論値を比較し、その違いを検討しなさい。

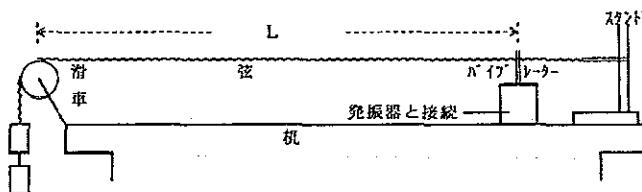
生徒実験3：弦の共振と弦楽器の秘密を探る

<実験のねらい>

- (1) 実験を通して、弦楽器の弦の共振する振動数(固有振動数)の規則性を見つけるか。
- (2) 弦の固有振動を、両端が固定端の場合の定常波として理解できるか。
- (3) 弦の固有振動で弦楽器の発する音色の特徴を説明できるか。

<実験方法>

- 共振器、バイブレーター、滑車、ギターの弦(太細2本)、おもり(1個が50[g])を使って、下のような装置を組み立てる。
- ①電子天秤を使って、細い弦と太い弦の線密度を測定する。
 - ②細い弦を使って $L = 80[\text{cm}]$ とし、左端におもりを2個吊るす。共振器の振動数を徐々に増加させ、弦全体が激しく振動(共振)する振動数を見つける。また、それぞれの共鳴の様子をスケッチし、そのときの波長を算出する。
 - ③弦の長さを変えずに、おもりを4、6、8個と増やし、基本振動を起こす振動数を見つける。また、それぞれのときの波の伝播速度を算出する。
 - ④おもりの数を2個に戻し、 $L = 60, 40, 20[\text{cm}]$ での基本振動を起こす振動数を求める。
 - ⑤太い弦に取り替え④の実験を行い、基本振動を起こす振動数を見つける。また、そのときの波の伝播速度を算出する。
 - ⑥ある弦楽器(ギターなど)の発する音をパソコンで周波数分析し、その音色の特徴を見つける。



<実験結果>

- (1) 弦の線密度

・細い弦

[g/cm]

・太い弦

[g/cm]

- (2) 実験方法②(細い糸で、 $L = 80[\text{cm}]$ 、おもり2個)

	基本振動	2倍振動	3倍振動	4倍振動
振動数	[Hz]	[Hz]	[Hz]	[Hz]
共振のようす				
波長	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]

- (3) 実験方法③(細い糸で、 $L = 80[\text{cm}]$)

おもりの数	2個	4個	6個	8個
基本振動数	[Hz]	[Hz]	[Hz]	[Hz]
波長	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
伝播速度	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]

- (4) 実験方法④(細い糸で、おもり2個)

弦の長さ L	80 [cm]	60 [cm]	40 [cm]	20 [cm]
基本振動数	[Hz]	[Hz]	[Hz]	[Hz]

- (5) 実験方法⑤(太い糸で、 $L = 80[\text{cm}]$ 、おもり2個)

基本振動数	波長	伝播速度
[Hz]	[cm]	[m/s]

- (6) 弦楽器の発する音の振動数の特徴は？(実験方法⑥)

<考察>

- (1) 1つの弦に対して、共振する振動数の特徴は？

- (2) 基本振動数は何で決まるか？弦の長さ、弦を伝わる波の速さ(伝播速度)との関係は？

- (3) 弦を伝わる波の速さ(伝播速度)は何で決まるか？弦の太さ(線密度)、弦の張り方(張力)との関係は？

- (4) 弦楽器の発する音色の特徴は？

生徒実験 4：管楽器の振動源と振動のメカニズム

<実験のねらい>

- (1) いろいろな管楽器の振動源が何かを見つけるか。
- (2) 振動源がなぜ振動するのか、そのメカニズムを理解できるか。

<予備調査>いろいろな管楽器の観察

クラリネット、オーボエ、トランペット（トロンボーン）、フルート、リコーダーなどの音の発生源を見つける。低音や高音を出すときの吹き方や唇の感じ方を調べる。

	発生源（振動源）は何か	吹き方・感じ方
クラリネット		
オーボエ		
トランペット		
フルート		
リコーダー		

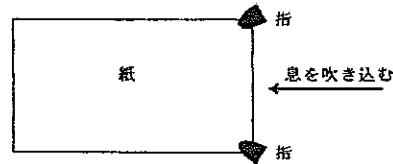
<実験方法およびその結果>

- ①紙を手で持ち、下図のように紙の上面に沿って息を吹きかける。紙はどのようになるか観察する。

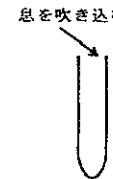
息を吹く →



- ②紙を机の上に置き、両端を指で固定しながら、紙と机面の間に息を吹き込む。どのような変化が現れるか観察する。



- ③試験管を手で持ち、下図のように息を吹き込む。息の吹き込み方と音の出方を調べる。



<考察と理論>

- (1) 実験①の結果からわかることは？

- (2) リード（クラリネットやオーボエの場合）や唇（トランペットやトロンボーンの場合）がなぜ振動するのか？（実験②の結果から）

- (3) フルートやリコーダーでなぜ音が発生するのか？（実験③の結果から）

生徒実験 5：管の共鳴と管楽器の秘密を探る

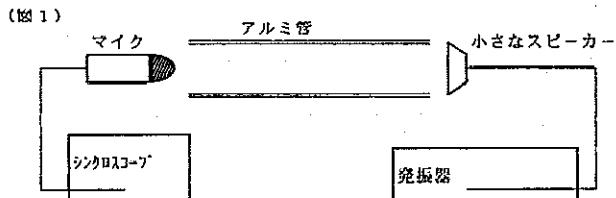
<実験のねらい>

- (1) 実験を通して、直線的な構造をしている管楽器の共鳴する振動数(固有振動数)の規則性を見つけられるか。
- (2) 管の固有振動を、自由端-自由端(開管楽器)での定常波や、固定端-自由端(閉管楽器)での定常波として理解できるか。
- (3) 管の固有振動で各管楽器の発する音色の特徴を説明できるか。

実験 1：開管の生み出す音

<実験方法>

- ①発振器(增幅器付き)、小さなスピーカー、アルミ管(短:約20cm)、シンクロスコープ、マイクを使って、図1のように装置を組み立てる。ただし、アルミ管の両端は大気に開放し、フルートのような開管の状態にする。
- ②発振器の振動数を徐々に増加させ(BおよびCレンジを使用)、耳とシンクロスコープの両方を利用して、共鳴する振動数を調べる。また、管内の空気のようすを横波表現で表す。
- ③アルミ管(長:約40cm)についても同様の実験を行う。



<実験結果>

開管の共鳴する振動数

	基本振動	倍振動	倍振動	倍振動
アルミ管(短)	[Hz]	[Hz]	[Hz]	[Hz]
アルミ管(長)	[Hz]	[Hz]	[Hz]	[Hz]
管内の空気の ようす	_____	_____	_____	_____
	_____	_____	_____	_____

<考察>

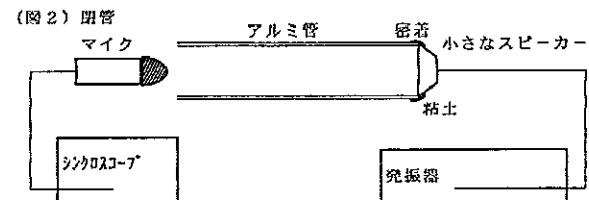
- (1) 1つの管に対して、共鳴する振動数の特徴は？

- (2) 基本振動数は何で決まるか？

実験 2：閉管の生み出す音

<実験方法>

- ①発振器(增幅器付き)、小さなスピーカー、アルミ管(短:約20cm)、シンクロスコープ、マイクを使って、図2のように装置を組み立てる。ただし、小さなスピーカーはアルミ管の一端に粘土を使って密着させ、クラリネットのような閉管の状態にする。
- ②発振器の振動数を徐々に増加させ(BおよびCレンジを使用)、耳とシンクロスコープの両方を利用して、共鳴する振動数を調べる。また、管内の空気のようすを横波表現で表す。
- ③アルミ管(長:約30cm)についても同様の実験を行う。



<実験結果>

閉管の共鳴する振動数

	基本振動	倍振動	倍振動	倍振動
アルミ管(短)	[Hz]	[Hz]	[Hz]	[Hz]
アルミ管(長)	[Hz]	[Hz]	[Hz]	[Hz]
管内の空気の ようす	_____	_____	_____	_____
	_____	_____	_____	_____

<考察>

- (1) 1つの管に対して、共鳴する振動数の特徴は？

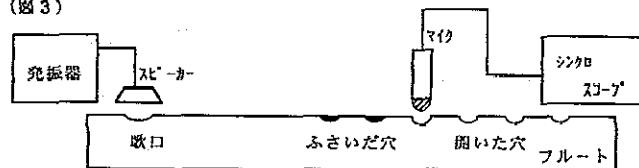
- (2) 基本振動数は何で決まるか？

実験3：フルートの生み出す音（自主研究用）

＜実験方法＞

- ①発振器（増幅器付き）、小さなスピーカー、フルート、シンクロスコープ、マイクを使って、図3のように装置を組み立てる。
- ②出したい音を1つ選び、その音を出すときの指使いを考え、穴をテープでふさぐ。
- ③小さなスピーカーは吹口部（息を吹き込む口）に垂直に近づけて、マイクは最初の開放されている穴に垂直に近づけてセットする。
- ④発振器の振動数を徐々に増加させ（BおよびCレンジを使用）、耳とシンクロスコープの両方を利用して、共鳴する振動数を調べる。
- ⑤ふさぐ穴を変え、異なる音を出す場合についても同様の実験を行う。
- ⑥パソコンを使ってフルートの発する音を周波数分析し、その音色の特徴を見つける。

（図3）



＜実験結果＞

管の長さ	音程	基本振動数	音程	倍振動数	音程	倍振動数
長い		[Hz]		[Hz]		[Hz]
中程度		[Hz]		[Hz]		[Hz]
短い		[Hz]		[Hz]		[Hz]

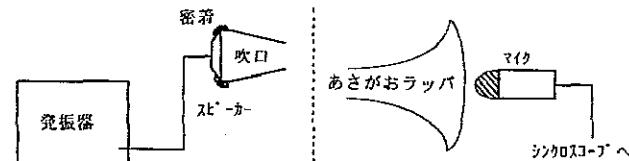
＜考察＞

- (1) 1つの指使い(決まった管の長さ)に対して、共鳴する振動数は？
- (2) 基本振動数は何で決まるか？
- (3) フルートの音色の特徴は？

実験4：トロンボーンの生み出す音（自主研究用）

＜実験方法＞

- ①発振器（増幅器付き）、小さなスピーカー、トロンボーン、シンクロスコープ、マイクを使って、図4のように装置を組み立てる。
- ②出したい音を1つ選び、その音を出すときの技さにスライド管を調整する。
- ③小さなスピーカーは、吹口部（息を吹き込む口）にテープと粘土を使って密着させる。マイクは、あさがおラッパに対して垂直に近づけてセットする。
- ④発振器の振動数を徐々に増加させ（BおよびCレンジを使用）、耳とシンクロスコープの両方を利用して、共鳴する振動数を調べる。
- ⑤スライド管を動かし、異なる音を出す場合についても同様の実験を行う。
- ⑥パソコンを使ってフルートの発する音を周波数分析し、その音の特徴を見つける。（図4）



＜実験結果＞

管の長さ	音程	音程	音程	音程	音程
長い	[Hz]	[Hz]	[Hz]	[Hz]	[Hz]
中程度	[Hz]	[Hz]	[Hz]	[Hz]	[Hz]
短い	[Hz]	[Hz]	[Hz]	[Hz]	[Hz]

＜考察＞

- (1) 1つの指使い(決まった管の長さ)に対して、共鳴する振動数は？
- (2) 基本振動数は何で決まるか？
- (3) トロンボーンの音色の特徴は？

生徒実験 6：棒の共振と1次元打楽器の秘密を探る

<実験のねらい>

- (1) 実験を通して、1次元打楽器の共振する振動数(固有振動数)の規則性を見つけられるか。
- (2) 棒の固有振動を、両端が自由端の場合の定常波として理解できるか。
- (3) 棒の固有振動で1次元打楽器の発する音色の特徴を説明できるか。

<実験方法>

- ①長さが1[m]のアルミ棒を用意し、その中央を手で持ち、一端をハンマーで叩く。そのときの音のようすを耳で観測する。
- ②つぎに、端からの長さが棒の長さの $1/2$ 、 $1/3$ 、 $1/4$ 、 $1/5$ 、 $1/6$ の位置を手で持ち、①と同様の実験を行う。
- ③①～②の実験で大きな音が鳴り続けた場合について、その音の波形をシンクロスコープで観察し、音の振動数を測定する。また、共鳴したときの振動の様子(横波表現で)を図で表し、継波の波長および伝播速度を算出する。
- ④パソコンを使って棒の発する音を周波数分析し、その音色の特徴を見つける。



<実験結果>

- (1) 持つ位置と発する音の関係
- (2) アルミ棒に現れた定常波の振動数・波長と伝播速度の算出

持つ位置	棒の端から $1/2$	棒の端から $1/3$	棒の端から $1/4$
定常波のようす	_____	_____	_____
波長	[cm]	[cm]	[cm]
振動数	[Hz]	[Hz]	[Hz]
伝播速度	[m/s]	[m/s]	[m/s]

<考察>

- (1) 1つの棒に対して、共振する振動数の特徴は？
- (2) 棒の発する音色の特徴は？

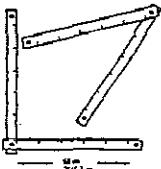
生態系実習その1 植物群落の構造を探る

実習のねらい：オダムは、その著書の中で、動物や植物の種構成は、ある特徴をもつ。それは、少ない種類の非常に個体数の多い優占種と、多くの種類の非常に個体数の少ない付隨種というべきものに分けられる。というものである。このことを1つの基本として、自分達で生態系の種構成の特徴を調査し、オダムの見解にせまる。

方 法：50cm×50cmの正方形の枠を群落内におき、枠内の植物を様々な尺度を用いて測定し、結果をもとにして、優占度を求め、種構成の特徴を調べる。

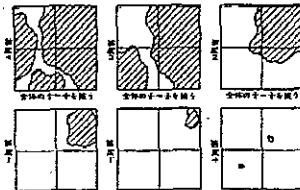
測定の尺度（測度）

植被率V：全部の植物の葉や茎が地上を被う割合。枠面積に対する植物の被う割合を%で表して、算出する。



被度C：ある種類の被っている割合、枠面積に対する%で表したり。10%単位で表したりする。しかし、%は、判断しにくいこともあり、図のような被度階級で表した方が実用的である。

頻度F：その種類が群落内にどれくらい広がっているかを知る尺度。設けた枠数で、その植物の出現した枠数を割り、100を乗じた値である。



密度D：枠内における個体数、地下部がつながっていても地上部が分かれていれば複数として数える。

高さH：その植物の自然高（たれている葉をのばしたりせずに、）を測定する。

重量W：刈り取って重量を測定する。勿論重量の測定は同じ所では一度だけしかできない。

測定結果の処理：優占度指数を求め、その値から考察する。

ワタ植物名	I			II			III			頻度 平均 度	平均 被度 高さ	密度 平均 度	比 率	積 算 SDR	優占度 SDR
	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH						
オヒシバ	114	128	N36	80	1.4	18.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100
メヒシバ				60	0.92	10.2	75	64	56	65					
イヌビニ			I 24	40	0.6	6.0	50	42	33	42					
オオバコ	J/11			70	0.12	4.6	75	9	26	41					
シロツメクサ				30	0.14	1.2	37	10	6	18					
カゼクナ		III 34		10	0.3	3.4	12	21	18	17					
コモギ				20	0.04	1.1	25	3	6	11					
ブタクナ				10	0.1	2.0	12	7	11	10					
ヒメジ・オン	+5		I 20	20	0.02	0.7	25	1.7	4	10					

平均値を求める：それぞれの尺度を用いて、平均値を求める。記入用紙を用いる。まず、合計値を求める。被度階級を用いたときは、注意を要する。平均するときの分母はすべて設けた枠数とする。この平均値を求めることにより、どの植物が勢力を占めるか見て当をつけられる。種類により、被度が高かったり、頻度が高かったりする。用いた尺度をどのように関連づけるかが、重要である。そこで、優占度（指數）を考える。

優占度の計算：群落内の種類の間の量的な関係をもっとよく表す一方法として、測定値を計算しながらおして相対値とすることがある。各測度ごとに、最高の値を示したものと100として、それに対する相対値を種類ごとに求める。さらに、それらの平均値を優占度を示す指數とする。

結果処理時の注意

- 被度階級4→1はそのままよいが、1'は0.2、+は0.04として計算する。
- 平均値を求めるとき、その植物が現れた枠数を分母とせず、全枠数を分母とする。

考察のヒント

- 広い場所をくまなく測定することは不可能に近いし、それほどの必要もない。そこで、群落内のある程度の面積を選び、それについて詳しく調査する方法がとられている。これが標本抽出法（サンプリング法）である。標本をどのように選び出すか、これは群落の性質や調べる目的によっていろいろな方法が考えられている。必ずこうするということはないので、調査する人の創意工夫を加える余地がある。
- 雜草群落を調査するとき普通に用いられるのは、方形枠による方法である。理論的に研究されているが、校庭内では50cm×50cmでよい。植物のまばらな広い群落は1m×1mでよい。
- 枠を置く数は、群落の性質によって異なる。それほど広い場所でなければ10力所くらいでよい。
- 枠を置く場所は、一定間隔をとる場合と、全くでたらめに（ランダムに）置く場合があるが、多くの人が行うときは、一定間隔をとるほうが仕事が早い。勝手ではなく、群落によって置き方を考える必要があるということである。
- 測定の尺度は、すでにあげたように様々であるが、どれを用いるかは、群落の様子から判断しなくてはならない。原則的には、能率を上げるために、一部の尺度を用いればよい。

課題

- 枠の置き方は適切か、群落を代表しているか。
- 測定に用いた尺度は、適切か。測定する前に考え、測定後にも考えよう。
- 優占度指數から、植物群落の構造には、規則性があるといえるか。
- オダムの見解と、自分の結果からいえることを比較し、考察してみよう。広い視点で考えてみること。
- その他、気づいた事を自由に記述する。

参考文献

- オダム 生態学 案地書館
沼田真編 植物生態野外観察の方法 案地書館

ワインクーラー法 (Winkler's Method)

古くから行われていた方法で、代謝の主要な過程である、光合成、呼吸の測定に用いられる。植物プランクトンの物質代謝により、生ずる酸素の量を溶存酸素量として測定して、この量の変化を追うことにより、植物プランクトンの光合成速度、エネルギー固定率を求める。

(原理)

試水に次に示す①②の試薬を加えると、 $Mn(OH)_2$ が沈殿する。これに塩酸を加えると、溶存酸素量に相当するヨードが遊離されるので、このヨードをチオ硫酸ナトリウム溶液で滴定し、酸素量を算出するのである。

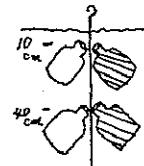
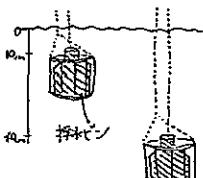
(試薬)

- ①塩化マンガン容積
- ②ヨードカリ・水酸化ナトリウム溶液
- ③20%塩酸
- ④デンブン容積
- ⑤チオ硫酸ナトリウム溶液

(実験)

I 採水

- ①一度池の水でゆすいた採水ビンで、深さ10cm, 40cmのところからそれぞれ採水する。
- ②①で採水した水で軽くすすいた酸素ビンにサイフォンで泡をたないように水を移してふたをする。これを水深で3本ずつ計6本用意する。
- ③②で用意した3本のビンのうち1本は対照ビンとするために、直ちに実験室に持ち帰り固定する。
- ④残りの2本は、明ビンと暗ビンとする。
- ⑤明ビン・暗ビンは右図のように針金につるし、池の中に沈めておく。(晴れなら2時間、曇りなら4時間間)

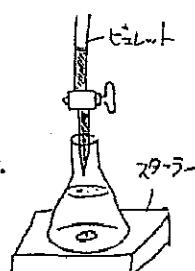


II 固定

- 時間がたつたら、各ビンを実験室に持ち帰り固定する。
試薬①②を各各0.5mlずつ刺込ヒベットにて酸素ビンの底に注入する。
気泡が入らないようにして、再びふたをする。
以上ができるたら、よく振り混合する。
一褐色の沈殿物()が生成する
このようにしたビンを暗所に2時間放置。

III 滴定

- ①酸素ビンの上澄みを三角フラスコに移す。
- ②その酸素ビン内に試薬③2mlを加え沈殿を溶解し、三角フラスコに移す。
→沈殿が溶け、ヨードが遊離する。
- ③酸素ビンや三角フラスコの壁面についた溶液は、少量の水で洗い流す。
- ④チオ硫酸ナトリウム(試薬⑤)で滴定する。右図。



- ⑤三角フラスコ内の色が褐色からうすくなってきたら、試薬④を指示薬として数滴加える。(試料が青紫色になるまで)

⑥再び滴定を始め、無色になるまで滴定する。このときのピュレットの値を読む。

(注意点)

1. ピュレットは、少量のチオ硫酸ナトリウムを流してから使う。
2. 滴定するまえに目盛りを読んでおく。
3. 滴定後数10秒たって青色に変化しても気にしなくてよい。

(データ処理)

①溶存酸素量 ($O_2 \text{ mg/l}$) を求める。

チオ硫酸ナトリウムの消費量 (mL) から求められる。

$$8 \times N \times n \times 103$$

$$O_2 \text{ 量 (mg/l)} = \frac{V - 1.0}{V + 1.0}$$

N : チオ硫酸ナトリウムの規定度 (0.01N)

n : チオ硫酸ナトリウムの消費量 (mL)

V : 酸素ビンの容積 (mL)

1.0 : 加えて試薬の量 (mL)

8 : チオ硫酸ナトリウム1分子は1/4分子のO₂に相当する。

②単位時間あたりの生産量を求める

Pn, R, PgをO₂ (mg/l/h) で表す。

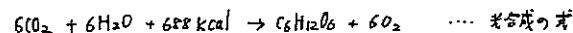
$$P_n = \frac{(明ビン O_2 \text{ 量}) - (対照ビン O_2 \text{ 量})}{実験時間}$$

$$R = \frac{(対照ビン O_2 \text{ 量}) - (暗ビン O_2 \text{ 量})}{実験時間}$$

$$P_g = \frac{(明ビン O_2 \text{ 量}) - (暗ビン O_2 \text{ 量})}{実験時間}$$

③換算への換算

④求めた Pn, R, PgはO₂mg/l/h) であらわされている。これをプロトント量へと換算する。



これを用いて、

$$O_2 \text{ 量} \rightarrow O_2 \text{ 量 (mg/l/h)}$$

$$(O_2 \text{ 量}) = O_2 \text{ 量} \times \frac{688}{36}$$

$$O_2 \text{ 量} \rightarrow C_6H_{12}O_6 \text{ 量 (mg/l/h)}$$

$$(C_6H_{12}O_6 \text{ 量}) = O_2 \text{ 量} \times \frac{180}{688} \times \frac{1}{6}$$

$$(C_6H_{12}O_6 \text{ 量}) \rightarrow 酸量 (kcal/m^3/h)$$

$$酸量 = (C_6H_{12}O_6 \text{ 量}) \times \frac{688}{180}$$

$$44 = O_2 \text{ 量 (mg/l/h)}$$

$$32 = O_2 \text{ 量 (mg/l/h)}$$

$$180 = (C_6H_{12}O_6 \text{ 量})$$

$$mg/l/h = 3/a^2/k$$

④1日あたりの池全体の純生産量を求める

⑤で層別の P_n ($\text{kcal}/\text{m}^2/\text{h}$) と各層の容積から求める。

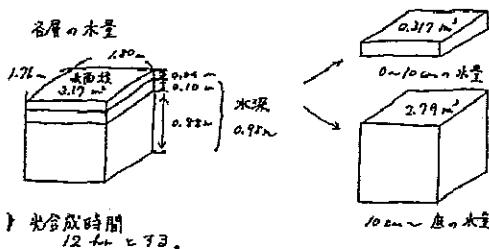
1日の光合成時間は12時間とする。

$$A: [10\text{cm} \text{における } P_n (\text{kcal}/\text{m}^2/\text{h})] * [0\text{~}10\text{cmの水量 (m)}] * [\text{光合成時間 (h)}]$$

$$B: [40\text{cm} \text{における } P_n (\text{kcal}/\text{m}^2/\text{h})] * [10\text{~底の水量 (m)}] * [\text{光合成時間 (h)}]$$

よって、池全体の1日の純生産量 $P_n (\text{kcal}/\text{m}^2/\text{h}) = A+B$

池の大きさ



光合成時間
12 h とす。

⑥エネルギー固定率を求める。

④で求めた池全体の純生産量を池の面積で割り、単位面積あたりの純光合量をだし、単位面積あたりに降り注ぐ太陽エネルギーの百分率を求める。

$$\text{太陽エネルギー固定率} = \frac{\text{池全体のエネルギー固定率 } P_n (\text{kcal}/\text{day})}{\text{太陽放射エネルギー } (1\text{cal}/\text{m}^2/\text{day}) \times 3.17(\text{m}^2)}$$

*東京地方の太陽放射エネルギー

晴天: 3200 ($\text{kcal}/\text{m}^2/\text{day}$)

曇天: 1200

雨天: 360

クロロフィル方

(原理)

緑色植物の生産量を調べ方法としては、光合量を調べる方法と、光合成能のある、物質の量を調べる方法がある。クロロフィル方はこの、後者にあるが、光合成能のある物質として植物プランクトンの現存量を直接測定することは非常に困難である。なぜなら、池の水に含まれる植物プランクトン以外の生物や固体物を選別することはそれ自体が大変手間がかかるからである。従って、クロロフィル方は、光合成に直接関わるクロロフィルを植物プランクトンから抽出し、この量から生産力を間接的に測定する。

(材料と方法)

試薬

90%アセトン 採水瓶 ガラスファイバーフィルター メスリンドー フィルター ロート 吸引ロート
乳鉢 乳棒 試験管 納込ビペット セル 分光度計 蒸留水

(実験)

1 採水

① ウィンクラー法と同様に、10cm、40cmの水深の水を採水する。

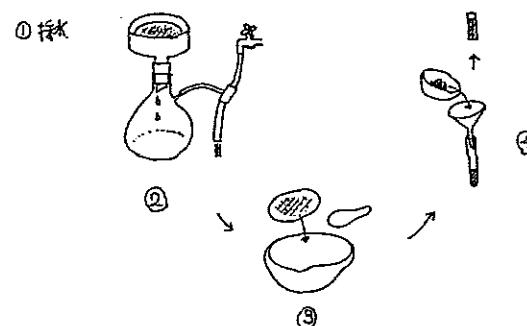
② ①で採水した水を1ℓ計量し、吸引ロートを用いてろ過する。この際、ガラスファイバーフィルターを使用する。

③ ろ紙に吸着した植物プランクトンをろ紙ごと乳鉢にいれ、90%アセトン10mlを加えながらすりつぶす。この操作により、クロロフィルが抽出される。

④これを濾紙でろ過したあと、ろ液をセルに移し、分光度計にて、吸光度を測定する。なお、すりつぶした濾紙が乳鉢の中に残っている場合は、さらに90%アセトンを5ml加えてロートに流し込む。(使用したアセトンの量は記録しておく)

吸光度の測定は、630、645、663、750 の4種類の波長で行う。このとき、コントロールとして90%アセトン溶液を用いる。

実験の概要



データの処理

①クロロフィル現存量を求める

$$(1) \text{クロロフィル} a (\mu\text{g}/\text{ml}) \\ = 11.64E_{43} - 2.16E_{45} + 0.10E_{630}$$

$$(2) \text{クロロフィル} b (\mu\text{g}/\text{ml}) \\ = -3.94E_{43} + 20.97E_{45} - 3.66E_{630}$$

$$(3) \text{クロロフィル} c (\mu\text{g}/\text{ml}) \\ = -5.53E_{43} - 14.81E_{45} + 54.22E_{630}$$

*ここで用いる E_{43} , E_{45} , E_{630} には、抽出溶液中に残った濁りを補正するため、それぞれの波長における吸光度から、750 nm の波長における吸光度を差し引いたものを真の吸光度として当てはめる。

$$\text{例: } E_{630} = (630 \text{ nm} \text{ における吸光度}) - (750 \text{ nm} \text{ における吸光度})$$

また、植えの (1) ~ (3) を足して得られるクロロフィル量は、90%アセトン1ml中における値であるので、抽出に用いたアセトンの量をかけて、補正する必要がある。したがって、

$$S (\text{mg}/\text{m}^2) = [\text{抽出に用いたアセトン量}] * [(1) \sim (3) \text{ の和}] \\ (\text{mg}/\text{ml} \times \text{ml}) \quad (\mu\text{g}/\text{ml})$$

②純生産量 P_N を求める～1日あたりの純生産量を二酸化炭素固定量として求める。～

$$P_n (\text{tDz mg/day}) = \text{クロロフィル現存量} (\text{chl. mg}/\text{m}^2) \\ * \text{光合成速度} (2 \text{mg}/\text{chl. mg}/\text{hr}) \\ * \text{相対照度}/44/12 \\ * \text{各層の水量} (\text{m}) * \text{光合成時間} (12 \text{時間})$$

これを、10, 40cmの深さの層の水について求め、合計すると池全体の純生産量がわかる。

$$P_n = [10 \text{cm} \text{ の層における} P_n] + [40 \text{cm} \text{ における} P_n]$$

*合計する前に、各層について、③を行う。

◆クロロフィル現存量

①で求めた $S (\text{mg}/\text{m}^2)$ を用いる。

◆単位クロロフィル量あたりの光合成速度

光飽和条件での光合成速度は、中性細菌で $1 \sim 3 (\text{mg}/\text{chl. mg}/\text{hr})$ であるから、その中間の $2 (\text{mg}/\text{chl. mg}/\text{hr})$ を適用する。
1時間に 1mg の chl. あたり、 2mg の C が固定される。

◆相対照度

水面での照度を100%としたとき、その層では、何%になるか、ヨードカリ法により求める。

参考

ヨードカリ法

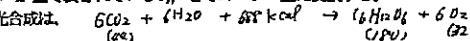
① 0.1N KI 溶液 40ml と 0.5N HCl 溶液 40ml を混合し、酸素ビンに入れる。

② $0, 10, 40 \text{cm}$ の各層に明暗ビンをひとつずつつるす。

③一定時間後に、照度に応じて遊離した I を $0.1 \text{N Na}_2\text{SO}_3$ で滴定する。滴定量は、光の照射量を表す。

④熱量への換算

(1) (tDz) 量で表されている P_n を (CHL) 量に変換する。



なので、熱量の計算は、

$$[(\text{CHL})] = \left[\text{CO}_2 \frac{1}{4} \right] \times \frac{180}{44} \times \frac{1}{6} \quad (\text{mg}/\text{chl.} = 2/\text{m}^2/\text{hr})$$

(2) (CHL) 量から、熱量に変換する。

$$(1) \text{ と同様に, } [\text{熱量}] = [(\text{CHL})] \times 688/180$$

⑤エネルギーへの固定率を求める。

$$[\text{エネルギー固定率}] = \frac{[\text{池の単位面積あたり} P_n]}{[\text{池の単位面積あたり} (\text{CHL}/\text{m}^2/\text{day})]} \\ * \text{池の単位面積あたりの} P_n \\ = \frac{\text{M} (\text{kcal}/\text{day})}{\text{M} (\text{m}^2)} \quad (3.7 \text{ m}^2)$$

*東京地方の太陽放射エネルギーは、ウインクラー法を参照

生徒の実験結果

* ウィンクラー法実験結果表

(処理時間 4.5 h・晴れ)

水深	10 cm			40 cm		
	対照	64	明	125	暗	129
Na ₂ S ₂ O ₃ 濃度	6.89	10.36		4.30	7.04	8.26
ビン容積	96.3	100.2		101.8	99.8	99.9
O ₂ 量	5.784	8.355		3.413	5.700	6.681
						3.454

水深	10cm			40cm		
	Pn	R	Pg	Pn	R	Pg
O ₂ 量	0.571	0.627	1.098	0.218	0.499	0.717
CO ₂ 量	0.785	0.725	1.510	0.300	0.686	0.986
CaH ₁₂ O ₆ 量	0.535	0.494	1.029	0.204	0.468	0.672
熱量	2.046	1.888	3.935	0.781	1.788	2.569

0~10cm の Pn(kcal/day)	10cm~底の Pn(kcal/day)	池全他の Pn(kcal/day)	単位面積当たりの Pn	太陽エネルギー 固定率(%)
7.783	26.148	33.931	10.704	0.334

* クロロフィル法実験結果表

	630nm 吸光度	645nm 吸光度	663nm 吸光度	750nm 吸光度	E ₆₂₂	E ₆₄₅	E ₆₆₃
10cm	0.096	0.142	0.496	0	0.496	0.142	0.096
40cm	0.118	0.172	0.422	0.013	0.409	0.159	0.105

	ChL a	ChL b	ChL c	ChL 量の和	ChL 現存量
10cm	5.476	0.672	0.359	6.507	0.098
40cm	4.428	1.338	1.077	6.843	0.103

	Pn(000mg/day)	CaH ₁₂ O ₆ (mg/day)	Pn(kcal/day)
10cm	2.269	1.547	5.913
40cm	8.598	5.862	22.406

0~10cm の Pn(kcal/day)	10cm~底の Pn(kcal/day)	Pn(kcal/day)	単位面積当たりの Pn(kcal/m ² /day)	太陽エネルギー 固定率(%)
5.913	22.406	28.319	8.933	0.279

生産力測定の課題

授業の冒頭で述べたように、生産者の生産力（エネルギー転換効率）が、生態系に存在する生物の生存を支えている。吉良龍夫氏の論文「地球に定員はあるか」を読み、生産者（イネ）のエネルギー転換効率が0.1%という値になるという計算を根拠に述べている氏の主張に対して、自分の実験結果をもとに、自由に氏の見解にせまりたい。肯定的でも否定的でもどちらの立場でも、実験方法の分析も含め、広い視野から考えを述べてほしい。

課題：

- 吉良氏の0.1%という値は正しいと言えるだろうか。自分の実験結果をもとに答えなさい。
- ウィンクラー法、クロロフィル法の2つの方法で同じ池の生産力を測定したが、両者の違い、それぞれの長所短所を分析しなさい。
- 植物プランクトンの生産力には、上層があるだろうか。あるとするとその確定要因は何か。光合成の授業を思いだしながら、答えなさい。
- 将来的に、植物の生産力を増加させるためには、どのような策を講じればよいか。その方法を様々な観点から考えなさい。
- 「地球に定員はあるか」に対して、自分の見解を述べなさい。
- この実験の感想や感じたことなどを、自由に記述しなさい。

生態系授業プリント 植物群落の生産構造を調査する

2年 組 姓氏名 _____

I 生産構造

植物を同化器官（葉）と非同化器官（茎・葉柄）が、群落の各階層ごとに垂直方向にどのように分布しているかを重量で示した図を描く。このような構造を群落の生産構造という。生産構造という観点から群落をとらえる時、植物群落の葉の分布と、光条件と光合成との関係が強く意識される。

II 層別刈り取り法

群落の地上部の階層構造を調査する方法のひとつ。一定面積当たりの植物の地上部分を一定の高さごとに上部から水平に刈り取り、同化器官・非同化器官に分けて、乾燥重量を測定する。

III 方法

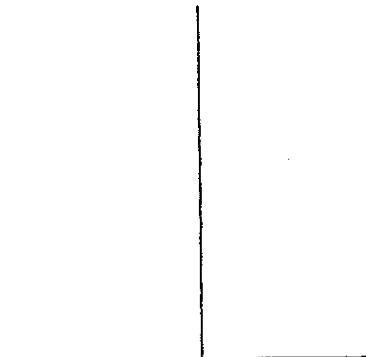
群落内に50cm×50cmの枠を設定し、そこに支柱を立てる。群落内の相対照度を測定する。

枠を設定し、地表から1.5cm間隔にひもを張り、層を決め、上の層から順に刈り取っていく。ビニールのひもを水平に張り、その上までを刈り取る。刈り取った試料は、一定の層ごとに、ビニール袋に入れ、持ち帰り、秤量する。

秤量は、生重（本来は、乾燥した試料を測定するが、簡略化するため）を測定する。試料をまず、穂科とそれ以外に分け、同化器官と非同化器官とに分けて、秤量する。これを図にする。枯死部は、除き秤量しない。

- 18 -

測定した 生産構造図



I 調査結果と考察

結果

高さ (cm)	同化器官		非同化器官		合計		相対照度
	科	その他	科	その他	科	その他	
~							
~							
~							
~							
~							
~							
~							
~							
~							
~							
合計							

課題

- 1.イネ科植物（单子葉）と、生産力という観点で双子葉植物の生産構造図を比較し、どちらが有利であるか、考察しなさい。
- 2.人口問題等を考えるとき、どのような作物を農業に取り入れて行くべきか、様々な観点から考え、その内容を記述しなさい。