

とやま科学オリンピック 2018

生 物

(高校部門)

2018年8月9日 (木)

時間：9時45分～12時15分(150分)

注意事項

1. 指示があるまで、問題冊子を開かないで、以下の注意事項をよく読むこと。
2. 問題は1と2の、10 ページにわたって印刷してあります。
3. 机の上には、筆記用具、定規、時計(時間計測のみのもの)とし、電子辞書およびインターネットに接続できる端末の使用は認めない。
4. 解答はすべて解答用紙に記入し、解答用紙だけを提出すること。
5. 参加番号を解答用紙の決められた欄に記入すること。
6. 途中で気分が悪くなった場合や、トイレに行きたくなった場合は、すぐに申し出ること。
7. 実験はチームで協力して行うこと。他のチームの実験操作を参考にしてはいけない。
8. 実験にあたっては、周囲の人の安全に十分に注意すること。
9. 実験中に器具が故障・破損したり、けがをしたりした場合には速やかに申し出ること。

みなさんの健闘を期待しています。

はじめに

富山県は、標高3,000 m級の立山連峰から水深1,000 mの富山湾まで、高低差4,000 mのダイナミックで変化に富んだ地形を有している。また、典型的な日本海側気候で、冬季は降雪が続くため極端に日照時間が少なく、東京の1/3程度である。そのため、年間日照時間は1,716時間で全国第43位(2015年)となっている。しかし、日照時間の季節変化が大きく、5月～10月までの日照時間(1981年～2010年の平均)は、東京を上回っている。これらの特徴的な地形や気候により、富山県は全国第3位(1998年)の植生自然度を誇り、ライチョウ等の貴重な鳥獣や高山植物、海浜植物など、多様な生物が生息する、豊かな自然に恵まれているといえる。

植物は光合成により、自身に有用な有機物をつくる。動物は動植物を食べ、微生物は動植物の遺体などを分解する。つまり、ほとんどの生物は、直接的であれ間接的であれ、太陽の光を利用していることとなる。ここでは、さまざまな視点から光と生物の関係について考えてみよう。

1

1 生物は、光や音などのからだを取り巻く外部の環境(体外環境)から様々な影響を受け、それに応じた反応や行動を起こす。眼は光に対する受容器であり、多くの動物がもっている器官である。図1はヒトの眼を上から見たときの水平断面の模式図である。

ヒトの眼は、直径約25 mmでピンポン球くらいの大きさで、カメラに似た構造をしている。カメラのレンズに相当するのが水晶体で、眼に入った光は角膜と水晶体で屈折し、網膜上に像を結ぶ。

網膜上には^{すいたい}錐体細胞と^{かんたい}桿体細胞という視細胞が数多くあり、これらの細胞が光を受容する。その情報は視神経を通り、^{たい}脳へ伝えられ、「^し覚」が生じる。

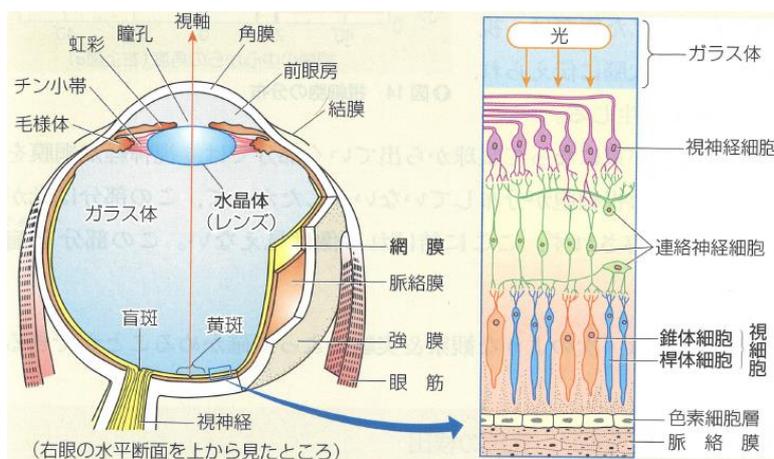


図1 ヒトの眼を上から見たときの水平断面図

出典：高等学校 生物(数研出版)

- (1) ヒトの眼は、水晶体の厚さを変えることで像を網膜上に結ぶ。近くのものを見るときは水晶体を厚くするか、それとも薄くするか。理由と共に答えなさい。
- (2) 物体と眼との距離が8～10 cmくらいまでならはっきり見えるが、それよりも近すぎるとぼやける。その理由を述べなさい。
- (3) 魚やイカは水中で生活をしているので、眼にも水圧がかかる。それで、水晶体は常に球状でなければならない。ヒトと同じようなやり方で遠近調節ができない。では、どのような方法であれば調節することができるか。考えを述べなさい。

- (4) 図2は、片方の眼の視細胞の分布のグラフである。ヒトの眼は、明るい所では対象物を注視したときに最もよく見える。しかし、夜に星空を見るとときに、暗い星は目線をずらしたときの方が見えることがある。その理由を、図2を参考に述べなさい。

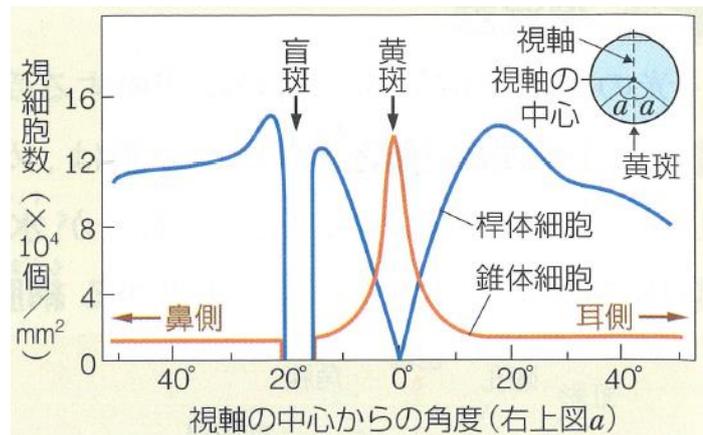


図2 視細胞の分布

出典：高等学校 生物 (数研出版)

- (5) 眼は外部の様子を視覚として受容する大事な器官ではあるが、時には外部の情報通りには、見えないことがある。例えば、図3の左側のおばけと右側のおばけは同じ濃さなのに、右側の方が濃く見える。このように、本来は同じ濃さで受容したはずの光情報が、脳で知覚したときには錯覚としてとらえてしまうことがある。その理由として考えられることを述べなさい。

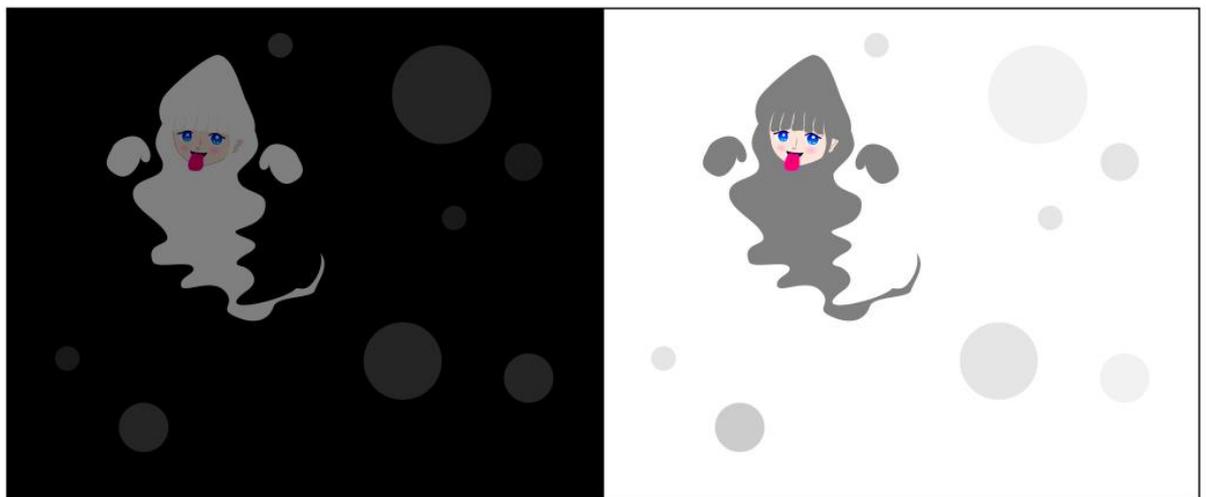


図3 眼の錯覚の例

出典：<http://www.psy.ritsumei.ac.jp/~akitaoka/light4.html> (立命館大学 北岡明佳教授)

2 ヒトの眼が感じることのできる光は可視光と呼ばれ、約 400 nm^{※1} (ナノメートル) から約 750 nm の波長範囲^{※2}に相当する。

可視光よりも長波長 (波の間隔が長い) 側には赤外線などがあり、可視光よりも短波長側には、紫外線などがある。

可視光の範囲は生物の種によってそれぞれ異なり、同じ空間で生活をしていても、見える世界は異なる。例えば、昆虫の多くは赤色の光を受容できないが、ヒトが受容できない紫外線を受容できる。そのため、モンシロチョウの羽は、ヒトには雌雄同じに見えるが、モンシロチョウは紫外線を受容できるため、モンシロチョウ同士では雌雄の違いが一目でわかる (図5)。

また、軟体動物では、国指定特別天然記念物「ホタルイカ群遊海面」で有名なホタルイカが、緑色～青色の光を受容することがわかっている。

※1 1 m = 1,000 mm = 1,000,000,000 nm

※2 光は電磁波の一種であり、光の色の違いは波の幅の長さ (波長) の違いで表される。

(6) ヒトには1色にしか見えない花でも、昆虫には2色に見えることがある。図6は、昆虫の目で実際に受容されていると考えられる像をイメージしたものである。図6のように見えることは、ヒトの眼で見たときと比較し、昆虫にとってどのような利点があると考えられるか示しなさい。

(7) 屋内の水槽中のホタルイカは、部屋の照明を消して暗くしておくとき水面付近に上がってきて自由に泳ぎ、部屋の照明をつけて明るくすると水槽の底面へ移動して動かなくなる。ヒトの眼で、ホタルイカが泳いでいる様子をはっきりと観察するにはどのようにすればよいか述べなさい。

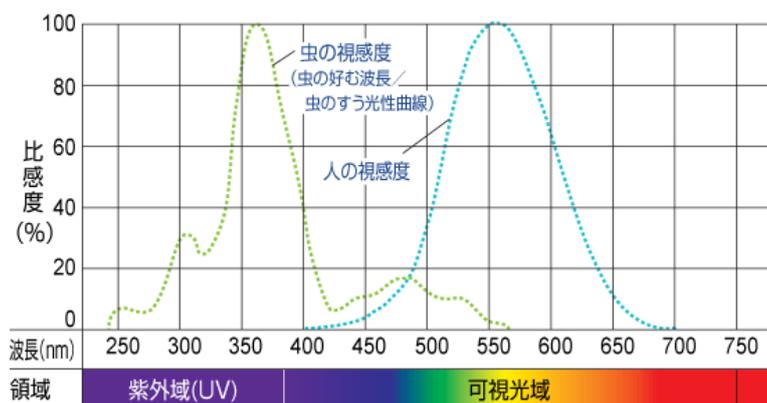


図4 昆虫とヒトの可視光の範囲

出典: https://www.iwasaki.co.jp/product/lighting_field/factory/02.html

(株式会社 岩崎工業)

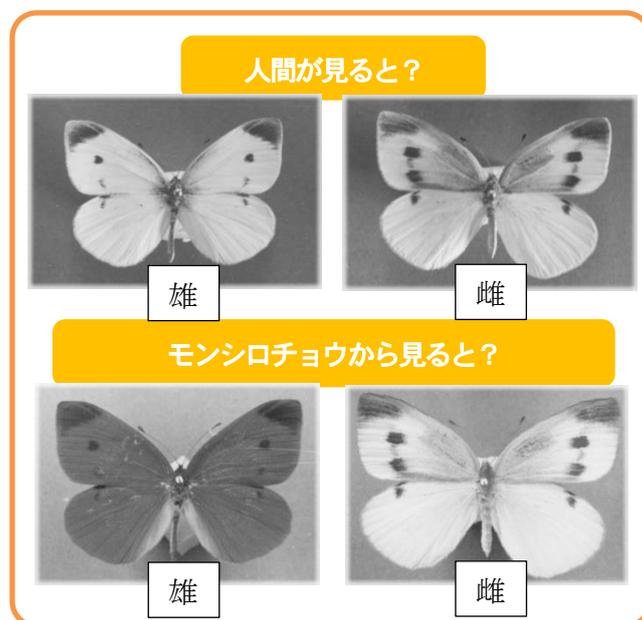


図5 モンシロチョウの見え方

提供: 静岡県総合教育センター

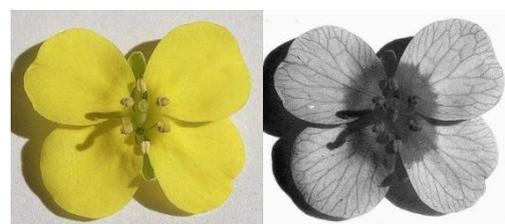


図6 セイヨウカラシナの通常写真 (左) と簡易紫外線写真 (右)

出典: <https://ww1.fukuoka-edu.ac.jp/~fukuhara/index.html>

(福岡教育大学 福原達人教授)

3 盲斑は、視神経が束になって眼球から出ていく部分で、視神経が網膜を貫いているので視細胞が分布していない。それで、この部分に光が当たっても受容されず、ここに結ばれた像は見えない。

(8) 次の実験1, 2を行い、自分の眼について調べなさい。

実験1. 盲斑の確認をする。

【準備】長さ25cmの厚紙

【実験方法】

① 下の図7の●を左眼の正面から約25cm離し、右眼を隠し、頭を動かさずに左眼でゆっくり右へ数字を読んでいく。あるところまで読んでいくと●が消えて見えなくなる。そのときの数字を記録する。

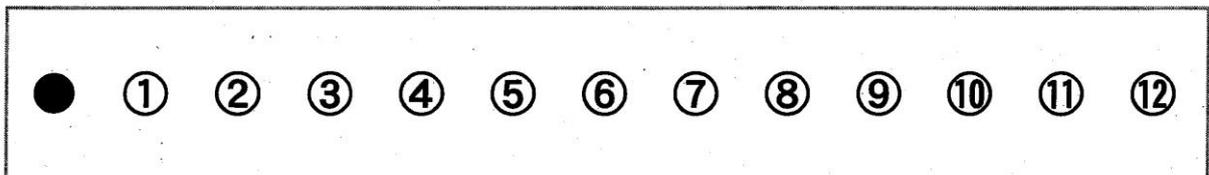


図7 数字の確認

② そのまま視線を右に移し、再び●が見える数字を確認する。同様にそのときの数字を確認し記録する。

③ ①と同じことを、左眼を隠し、右眼で試し、結果を記録する。

④ この用紙を逆さまにして、再び左眼を隠して右眼で右から左に向かって逆さ向きに数字を読んでいく。同様のことを、右眼を隠して、左眼で試し、結果を記録する。

i. 結果を解答欄に記録し、眼球の盲斑は水平断面上のどの位置にあると考えられるか。解答欄の図におよその位置を×で示しなさい。

ii. 日常生活では、盲斑の存在を意識することはほとんどない。その理由を述べなさい。

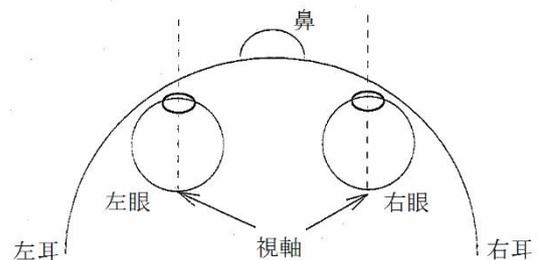


図8 上から見た両眼の水平断面と位置関係

実験2. 盲斑は、ほぼ円形だと考えられる。この仮説をもとに、盲斑の形、大きさ、眼球上の位置を調べる実験をする。なお、実験は右眼についてのみを行い、記録用紙に盲斑の形を写しとること。ただし、眼球の直径は25mmとする。

【準備 (全て使う必要はない)】記録用紙、1mものさし、筆記用具 (鉛筆、細マジック)、

まち針を刺した割り箸、セロハンテープ、はさみ、ダンボール

iii. 実験の手順・方法 (注意点も含めて) を書きなさい (実験計画を立てなさい)。

iv. 結果を記録用紙に記録し、盲斑の形を図示しなさい。

v. 図示した盲斑の長径と短径を測定し、記録用紙内に記入しなさい。

vi. 眼球の直径を25mmとして、実際の盲斑の直径は何mmか。小数第1位まで求めなさい。その際、測定した距離や計算過程も書きなさい。

vii. 盲斑の中心と黄斑の中心との距離は何mmか。小数第1位まで求めなさい。計算過程も書きなさい。

2

1 地域や季節によって、降水量や気温、日射量などの生物を取り巻く環境には違いがある。それぞれの場所には環境に適した植物が生育している。また、同じような生育環境の中でも状況により、植物の茎の太さや長さ、葉の付き方や形状に違いが生じる。

(1) 次の観察を行い、モチノキの葉について光環境と葉の形態について観察・考察しなさい。

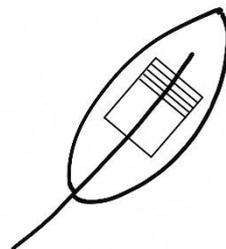
【実験器具】顕微鏡1、接眼マイクロメーター（接眼レンズに装着済み）1、スライドガラス4、カバーガラス4、ピンセット2、つまようじ2、ろ紙、ガーゼ、カミソリ2（両刃、片面はビニールテープで保護）、付せん、シャーレ2、スポイト1、プラスチックピーカー1、水

【観察材料】モチノキの葉A・葉B それぞれ1

- i. 葉Aと葉Bは、同じ1本の樹木の異なる場所から採取したものである。外観を観察し、違いを述べよ。
- ii. 葉Aと葉Bの内部の構造を手順に従い顕微鏡で観察し、それぞれの葉の断面の一部をスケッチしなさい。ただし、葉の表側が上に、裏側が下になるよう示しなさい。

【観察手順】

- ①右図のように葉を適当な大きさに切る。断面が観察できるように、中心の葉脈に垂直な方向にカミソリでスライスするように切り、切片を必要な分作成する。
- ②切片は乾燥しないように水を入れたシャーレにつけておく。
- ③それぞれの葉の断面切片1片を水で封入しプレパラートを作成し検鏡する。



- iii. マイクロメーターは顕微鏡で細胞などの大きさを測定するために使用する。接眼マイクロメーター1目盛りの大きさが右記の場合、葉A・葉Bそれぞれの葉の厚みを求めなさい。ただし、使用した対物レンズの倍率および計算過程も示しなさい。

対物レンズの倍率	接眼マイクロメーター1目盛りの長さ
4倍	25 μm
10倍	10 μm
40倍	2.5 μm

$$1 \text{ mm} = 1,000 \mu\text{m}$$

- iv. 葉A・葉Bの断面の相違点を述べなさい。
- v. 葉の断面の表側組織と裏側組織それぞれの形態の特徴を述べなさい。

(2) 光環境の違いにより、森林における相対光量は樹冠上部と下部で大きく異なる(図1)。その結果、同じ1本の木の中でも、個々の葉は、葉面積や単位面積あたりの重さなどに違いが生じ、光環境の変化に応じて変化する。図1は山地帯でみられるブナ林における5月～9月の樹冠上部の光量を100%とした樹冠下部と林床での相対光量の変化である。

- i. 5月～9月のうち、5月前半の林床の相対光量が多い。その理由を考察しなさい。
- ii. ブナ林の林床にみられるカタクリは球根や種子によって増殖する。森林の林床でも育つことができる理由について考察しなさい。

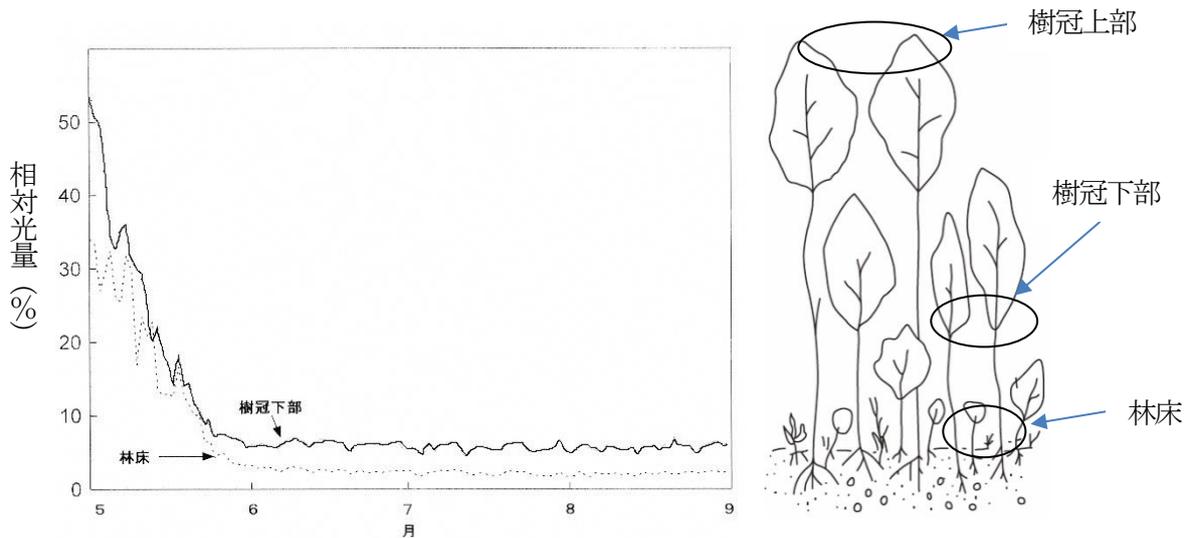


図1 5月～9月のブナ林における相対光量の変化
提供： 森林総合研究所

iii. 図2は、陽当たりのよい所の葉(陽葉)と陽当たりの悪い所の葉(陰葉)の光合成速度を表したグラフである。(a)は単位面積当たりの光合成速度、(b)は単位乾燥重量当たりの光合成速度である。このグラフから推察されることを答えなさい。

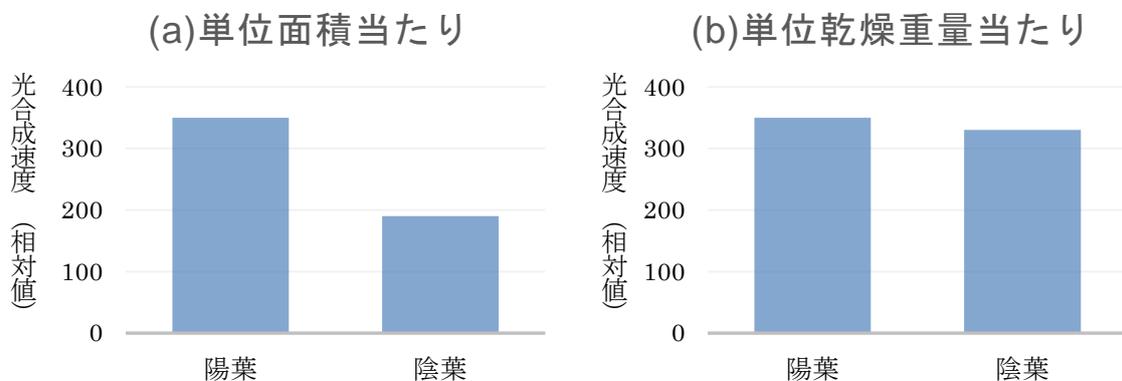


図2 陽葉と陰葉の光合成速度
提供： 森林総合研究所

(3) 光は光量だけでなく、波長の違いも植物に影響を与えている。図3は葉緑体に含まれる光合成色素であるクロロフィルa（青緑色）とクロロフィルb（黄緑色）の光の波長ごとの吸収量を表した吸収スペクトルである。また、光の波長と光合成速度の関係を表した光合成の作用スペクトルも示してある。

- i. 吸収スペクトルと作用スペクトルのグラフの変化から、植物の光合成についてどのようなことが考えられるか。
- ii. 植物工場で葉物野菜を育てる取組みが広がりつつある。効率よく野菜を育てるためにはどのような工夫をすればよいか。図3より考察しなさい。

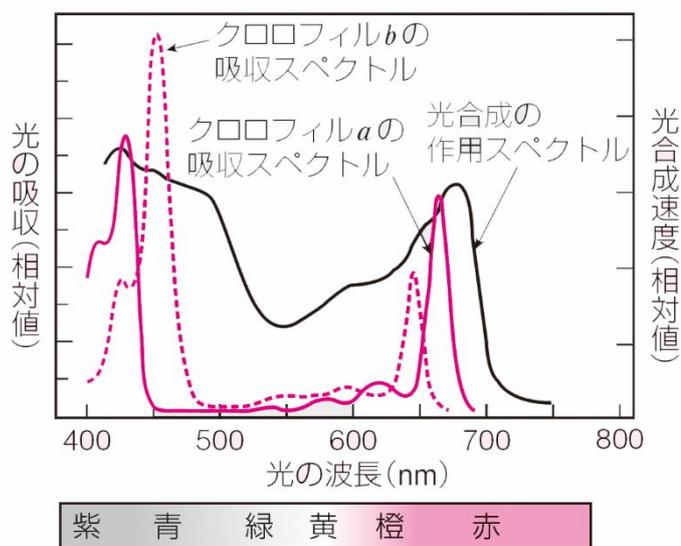


図3 光の波長と光の吸収・光合成速度
出典：リードライトノート生物（数研出版）

2 植物のつくる種子には、発芽するために温度や水分、酸素などの環境条件に加え光条件が必要なものが存在する。そのような植物にレタスやオオバコなどがある。

(4) レタスの種子を使って、次のような実験を行った。

レタスの種子を5つのグループに分け、十分に吸水させた後、それぞれ5分間の赤色光（波長 660 nm）または遠赤色光（波長 730 nm）で表1に示す順序で処理し、25℃に保った暗所で1週間培養し、発芽率を測定した（表1）。また、太陽光及び葉を通した太陽光の波長別エネルギー分布を図4に示した。これらをもとに下の i～iii について答えよ。

表1

グループ	処理	発芽率(%)
1	暗所	2
2	赤色光→暗所	80
3	遠赤色光→暗所	1
4	赤色光→遠赤色光→暗所	3
5	遠赤色光→赤色光→暗所	79

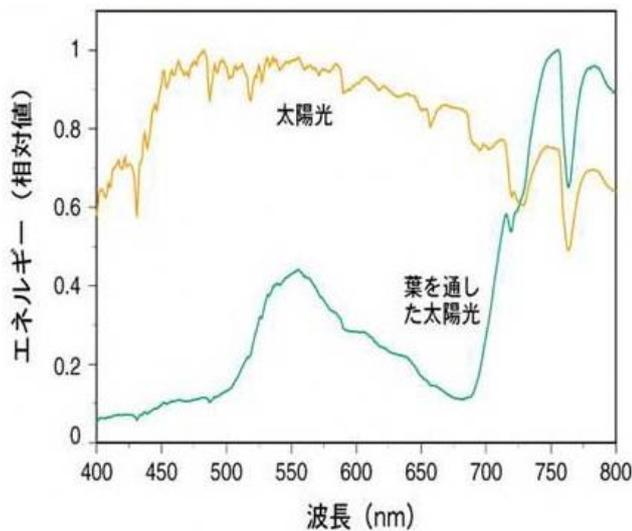


図4 光の波長別エネルギー 出典：<https://jspp.org/hiroba/essay/nagatani.html>

(一般社団法人 日本植物生理学会)

- i. 図4において、葉を通した太陽光では、太陽光に比べて波長 400～700 nm のエネルギーが少ないのはなぜか。前ページの図3も参考にして答えなさい。
- ii. 他の植物の陰でレタスの種子をまくと、発芽するか。理由とともに答えなさい。
- iii. レタスの種子はどのようなしくみで光を受容し発芽を促進していると考えられるか、説明しなさい。

(5) 一般的に、小型の種子の方が、大型の種子のものより発芽に光条件を必要とするものが多い。その理由を推測して述べなさい。

3 種子植物は、花を咲かせ、種子をつくることで生命をつないでいる。本葉をつくり、茎を伸ばす、という成長の過程（栄養成長と呼ばれる）を続けていた茎頂分裂組織の細胞が、光や温度などの影響を受けて生殖成長に切り替わることで、花芽となり、花を形成する。

季節に応じて花をつける植物には日長を情報として受容し、それに応じて花芽形成を促進させるものがある。日長が一定以上になると花芽を形成する植物を長日植物、一定以下になると花芽を形成する植物を短日植物という。一方、トマトやタンポポなど、ある程度成長すると日長に関係なく花芽形成をする植物を中性植物という。

長日植物と短日植物をいろいろな明暗周期のもとで育て、明期や暗期の長さや花芽形成との関係を調べた(図5)。

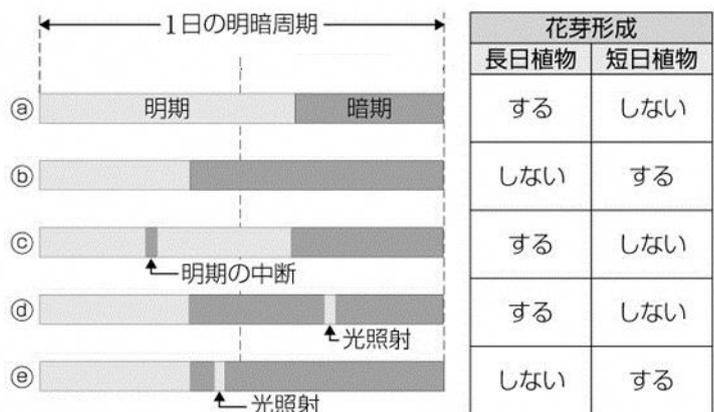


図5 花芽形成と光条件

出典：スクエア最新図説生物 neo (第一学習社)

- (6) 下線部のように、気温ではなく日長を情報として花芽を形成させることは、植物にとってどのような利点があると考えられるか答えなさい。
- (7) 図5の結果から、長日植物と短日植物の花芽形成にはどのような条件が必要と考えられるか、理由とともに答えなさい。
- (8) 短日植物は、日長を植物体のどこで感じているのかを調べるため、「短日植物は茎頂で日長を感じて花芽を形成させている」という仮説を立てた。この仮説を検証するためにどのような実験を行えばよいか。その実験方法を考えて具体的に示しなさい。図を使ってもよい。また、仮説が正しかった場合に予測される実験結果も答えなさい。

(9) ダイズの種子を春から夏にかけて時期をずらしてまき、温度を一定にした野外の温室で育て、開花までの日数を調べた。種子をまいた日を0日目とし、開花までの日数を表2に示す。

- i. 表2の(ア)～(エ)の開花日は、それぞれ何月何日になるか、答えなさい。
- ii. 表2より、ダイズは長日植物、短日植物、中性植物のどれに該当するか。また、このダイズの花芽分化が開花の20～30日前頃から始まり、花芽分化から開花までの日数は概ね一定であると仮定すると、どのような日長条件のときに花芽を形成すると考えられるか。

表2

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
種子をまいた日	4月26日	4月30日	5月3日	5月6日
開花までの日数	132日	127日	125日	120日

(10) 南砺市福野地域や入善町、朝日町で行われているキクの電照栽培を例に、秋に開花する短日植物のキクを正月用に出荷するためにはどのような工夫をすればよいか答えなさい。

(11) 地球上での植物分布を見ると、低緯度地方では短日植物が多く、高緯度地方になると長日植物が多くなる。その理由を、低緯度地方と高緯度地方の日長時間の季節変化の違いや気候の違いと開花・結実に要する時間との関係から考察し説明しなさい。