

生 物

第 1 問

問 1 光合成に関する次の文章を読み、下の (1) ~ (3) に答えよ。

葉緑体は植物などの光合成生物の細胞質に存在する細胞小器官である。葉緑体は光合成の反応、つまり、光化学反応と炭酸同化を担っている。光化学反応はチラコイド膜上で行われる反応であり、光化学系 II は光のエネルギーを利用して、水を (ア) と (イ) および酸素に分解する。光化学系 I は (ア) を伝達することで強い還元力を生み出し、最終的に NADPH として蓄積させる。ATP 合成酵素はチラコイド内腔に蓄積された (イ) の濃度勾配を利用して、ATP を産出する。

炭酸同化はストロマで行われる反応である。a ストロマには様々な酵素が存在し、二酸化炭素の固定を触媒する酵素は (ウ) と呼ばれる。最初の反応では二酸化炭素とリブローズビスリン酸 (RuBP) から (エ) がつくられる。次に、生成した NADPH と ATP を用いて (エ) はグリセルアルデヒド 3-リン酸 (GAP) に変換される。最後に、GAP は再生の段階に入り RuBP へと再生され、次の反応に使われる。この反応経路は報告者の名前から、(オ) と命名された。

- (1) 文章中の (ア) ~ (オ) に最も適切な語句を入れよ。
- (2) 光化学系 II による水分解の反応式、および光合成全体の反応式を示せ。
- (3) 下線部 a に関して、光照射下でこれらの酵素は高い活性を示す。その理由を以下の用語をすべて用いて 120 字以内で説明せよ。ただし、アルファベットや句読点も字数に含める。

用語：チラコイド膜、ストロマ、弱アルカリ性、最適 pH

問2 光合成色素に関する次の文章を読み、下の(1)～(4)に答えよ。

褐藻類のコンブ、紅藻類のスサビノリ、緑藻類のヒトエグサを細かく刻み、乳鉢で破碎した後、ジエチルエーテルを加えて更に破碎した。それぞれの試料から得られた抽出液を薄層クロマトグラフィーで展開した。色素の移動率 (Rf 値)、吸収ピークおよび保有する生物を表1に示した。また、色素の吸収スペクトルは図1の通りである。

表1 各種色素の性質

| 色素 | Rf 値 | 吸収ピーク (nm) | 色素を保有する生物 |
|----------|------|------------|-------------------|
| クロロフィル a | 0.5 | 429, 661 | コンブ, スサビノリ, ヒトエグサ |
| クロロフィル b | 0.45 | 452, 642 | ヒトエグサ |
| クロロフィル c | 0.4 | 446, 629 | コンブ |
| フコキサンチン | 0.47 | 450 | コンブ, スサビノリ |
| カロテン | 0.9 | 450, 475 | コンブ, スサビノリ, ヒトエグサ |

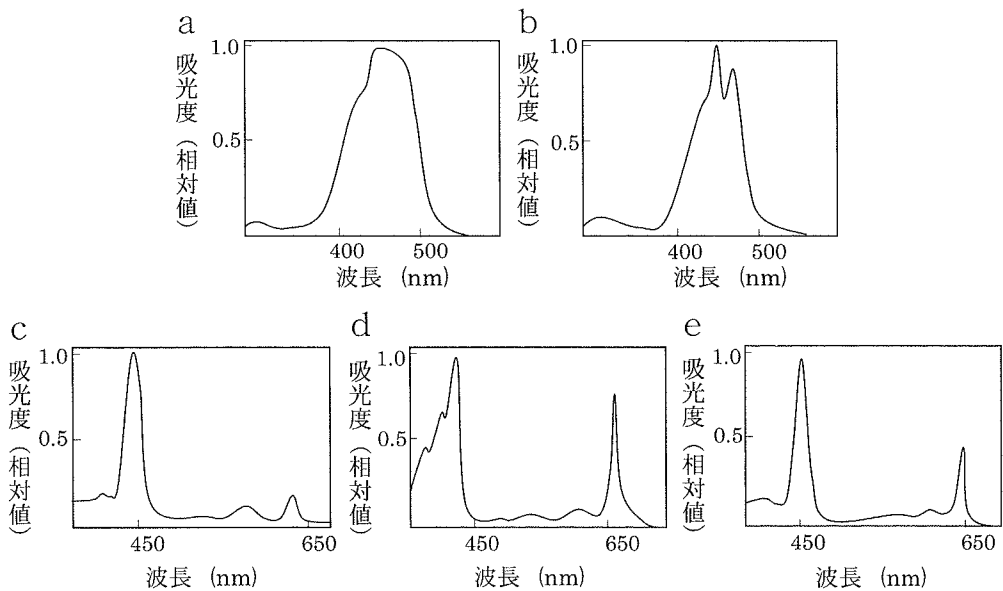


図1 各種色素の吸収スペクトル

(1) 図1のa～eに該当する色素を答えよ。

(2) 図2に3つの試料の薄層クロマトグラフィーによる分離結果の模式図を示した。表1を参考に、図2の(カ)～(ク)に該当する色素の組み合わせとして正しいものを次の①～⑥から選び、番号で答えよ。

| | カ | キ | ク |
|---|----------|----------|----------|
| ① | クロロフィル b | クロロフィル c | フコキサンチン |
| ② | クロロフィル c | フコキサンチン | クロロフィル b |
| ③ | フコキサンチン | クロロフィル b | クロロフィル c |
| ④ | クロロフィル b | フコキサンチン | クロロフィル c |
| ⑤ | クロロフィル c | クロロフィル b | フコキサンチン |
| ⑥ | フコキサンチン | クロロフィル c | クロロフィル b |

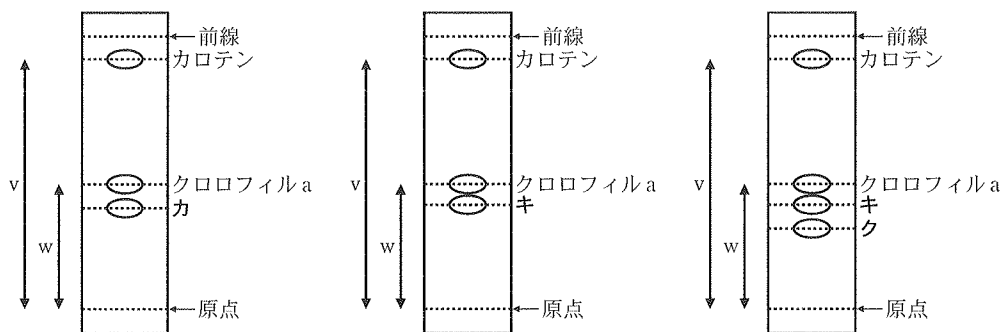


図2 薄層クロマトグラフィーによる分離結果の模式図

(3) 図2のカロテンとクロロフィル a の移動距離 v と w を答えよ。ただし、原点から前線までの距離を 20 cm とする。

- (4) 陸上植物であるホウレンソウで同様の実験を行った時に、どのような分離結果が得られるか。同じ結果になるのは、コンブ、スサビノリ、ヒトエグサのうちのどれか答えよ。また、予想される結果とその理由について 80 字以内で説明せよ。ただし、アルファベットや句読点も字数に含める。

第2問

ヒトゲノムに関する次の文章を読み、下の問1～問5に答えよ。

ヒトゲノムの全塩基配列が解読された結果、約30億塩基対の中に、約22,000個のタンパク質をコードする遺伝子が存在することが明らかにされた。しかし、その全領域のうち、タンパク質をコードする領域は2%程度に過ぎず、残りの領域には、遺伝子の転写調節を担う領域やスプライシングによって除去される(ア)、a タンパク質に翻訳されずに機能するノンコーディング RNAとして転写される領域、反復配列などが含まれている。

DNAは遺伝情報を担うのに適した化学的に安定な物質であるが、b 生命活動の要因によって稀にDNAの塩基配列が変化したり、染色体の構造や数に変化したりして遺伝情報が変わってしまうことがある。ゲノム内に多様性を生じさせる原因となるこの現象を突然変異といい、遺伝子の配列上で起きた場合、タンパク質の立体構造が変化して本来持つべき機能が失われ、形質に影響を与えることがある。突然変異の中でも、その生物種の中で1%以上の頻度で現れるものを遺伝的多型(単に多型ともいう)という。(イ)は、SNPとも呼ばれ、ヒトゲノム中に最も多く存在する多型であり、約1,000塩基に1個の割合で存在すると推定されている。

近年のゲノム解析技術の発達により、大量の遺伝情報と発現した形質データとの間の関連を調べる研究が進展した結果、遺伝子上に存在する多型の中には、特定の疾病へのかかりやすさ、c 特定の薬の効きやすさや副作用の出やすさ、などの体質と関係するものがあることが分かってきた。そこで、SNPなどの遺伝情報を調べ、個人の体質に合った最適な治療法や薬を選択して施す(ウ)医療の発展に期待が寄せられている。

問1 文章中の(ア)～(ウ)に最も適切な語句を入れよ。

問2 下線部aに関して、ノンコーディングRNAの1つであるtRNAの働きを20字以内で説明せよ。ただし、アルファベットや句読点も字数に含める。

問 3 下線部 b に関して、DNA の塩基配列に突然変異を生じさせる要因を 1 つ挙げよ。

問 4 有性生殖を営む生物における突然変異の遺伝について、その特徴を以下の用語をすべて用いて 70 字以内で説明せよ。ただし、句読点も字数に含める。

用語：生殖細胞，体細胞，遺伝，蓄積

問 5 下線部 c に関して、次の文章を読み、下の (1) と (2) に答えよ。

肝臓に発現する酵素 X は、薬 A を代謝する主たる酵素として、その不活性化に重要な働きをする。酵素 X が遺伝的に欠損しているヒトでは、薬 A は、正常に不活性化されず、通常量を服用した場合でも血液中で高い濃度が維持されて、めまいなどの副作用を起こすことが知られている。

酵素 X は、491 個のアミノ酸で構成され、アミノ末端から数えて 50 番目以降の領域が触媒作用に関与する。この酵素をコードする遺伝子 X は、10 番染色体に位置しており、3 種類の突然変異①～③がその遺伝子上で見つかっている。図 3 は、遺伝子 X の野生型 mRNA 塩基配列のうち、突然変異①～③を含む部分を示す。野生型に対して、mRNA の開始コドンのアデニンから、突然変異①では 56 番目のウラシルが欠失し、突然変異②では 71 番目のウラシルがグアニンに、突然変異③では 96 番目のグアニンがアデニンに、それぞれ置換されている。ただし、これらの突然変異は、遺伝子 X 上に同時に存在しないものとする。

51

100

5' -ACCGAUCAGU UUUGAAAGCA UCCCCGAUGG UAUACAAAAC GGGUGGAUCC-3'

図 3 遺伝子 X の野生型 mRNA の部分塩基配列

塩基配列の両端の上に示した数字は、mRNA の塩基番号を示す。ただし、開始コドンのアデニンを 1 とする。

- (1) 図3の情報と表2の遺伝暗号表にもとづいて、遺伝子 *X* の突然変異①を含む mRNA と突然変異②を含む mRNA の情報をもとに合成されるポリペプチドの21番目から25番目までのアミノ酸配列をそれぞれ「解答例」にならい記せ。

解答例) Met - Ala - Ala - Ala - Leu

表2 遺伝暗号表

| | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-----|-------|
| UUU | Phe | UCU | Ser | UAU | Tyr | UGU | Cys |
| UUC | | UCC | | UAC | | UGC | |
| UUA | Leu | UCA | | UAA | 終止コドン | UGA | 終止コドン |
| UUG | | UCG | | UAG | | UGG | Trp |
| CUU | Leu | CCU | Pro | CAU | His | CGU | Arg |
| CUC | | CCC | | CAC | | CGC | |
| CUA | | CCA | | CAA | Gln | CGA | |
| CUG | | CCG | | CAG | | CGG | |
| AUU | Ile | ACU | Thr | AAU | Asn | AGU | Ser |
| AUC | | ACC | | AAC | | AGC | |
| AUA | ACA | AAA | | Lys | AGA | Arg | |
| AUG | Met | ACG | | | AAG | | AGG |
| GUU | Val | GCU | Ala | GAU | Asp | GGU | Gly |
| GUC | | GCC | | GAC | | GGC | |
| GUA | | GCA | | GAA | Glu | GGA | |
| GUG | | GCG | | GAG | | GGG | |

- (2) 突然変異③を含む遺伝子 *X* をホモ接合体で持つヒトに現れる体質的な特徴、およびその特徴が現れる理由を以下の用語をすべて用いて160字以内で説明せよ。ただし、アルファベットや数字、句読点も字数に含む。

用語：薬 A, トリプレット, ホモ接合体, 酵素活性

第3問

動物の行動に関する次の文章を読み、下の問1～問5に答えよ。

動物の行動には、遺伝的プログラムによって生まれながらにできる a 生得的行動と、経験や学習を積むことによりできるようになる学習行動とがある。学習行動は、体長1 mm程度の線虫のような単純な構造の動物から霊長類のような複雑な構造の動物に至るまで、あらゆる動物で見ることができる。

動物は、生存や種の保存に適した環境を見つけるため、化学物質、光、温度、磁場など、様々な外界の刺激を手掛かりに移動する性質を持つ。これを走性という。線虫は NaCl を好み、NaCl に対し正の走性を示す。そのため、NaCl の濃度勾配培地の上に線虫を置くと、NaCl 濃度の高い方へと移動する。b しかし、高濃度 NaCl 存在下で一定期間絶食させた線虫を NaCl 濃度勾配培地に置くと、逆に NaCl 濃度の低い方へと移動する。また、NaCl 非存在下で十分な餌を与えて育てた線虫を NaCl 濃度勾配培地に置いても、NaCl 濃度の低い方へと移動する。

線虫には302個の神経細胞が存在するが、その中で、ニューロンSが外界のNaClを検知する。ニューロンSにより検知された情報はシナプスを介してニューロンBに伝えられ、移動方向の転換が起こる。このニューロン間の情報伝達に及ぼす学習の効果を調べるため、神経活動を蛍光強度の変化として捉えられるようにタンパク質（GCaMP）を神経細胞に発現させた線虫を用い、ニューロンSとニューロンBの活動を記録した。c 高濃度 NaCl を含む環境で飼育した線虫に高濃度から低濃度、または低濃度から高濃度となるような NaCl 濃度変化の刺激を与え、ニューロンSとニューロンBの活動を同時に記録したところ、図4のような結果が得られた。d また、図4の実験で使用した線虫を NaCl 非存在下で一定期間飼育してから、同様の刺激を与えたところ、図5のような結果が得られた。

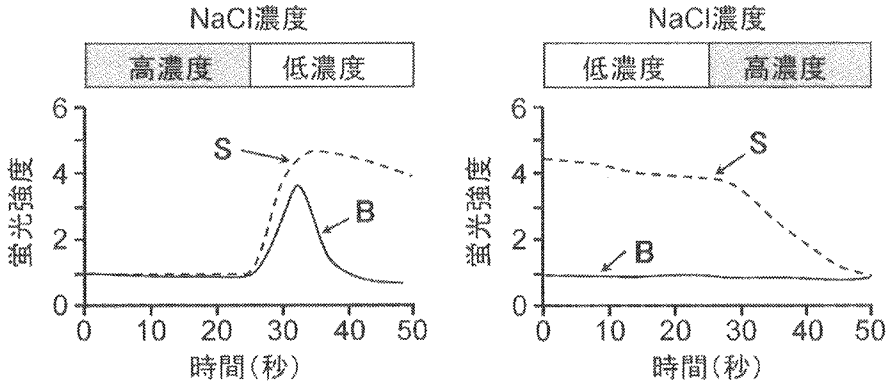


図4 高濃度 NaCl 存在下で飼育した線虫のニューロン S とニューロン B の NaCl 濃度変化刺激に対する応答

蛍光強度の増加は神経活動の増加を示す。

破線はニューロン S の応答を、実線はニューロン B の応答を示す。

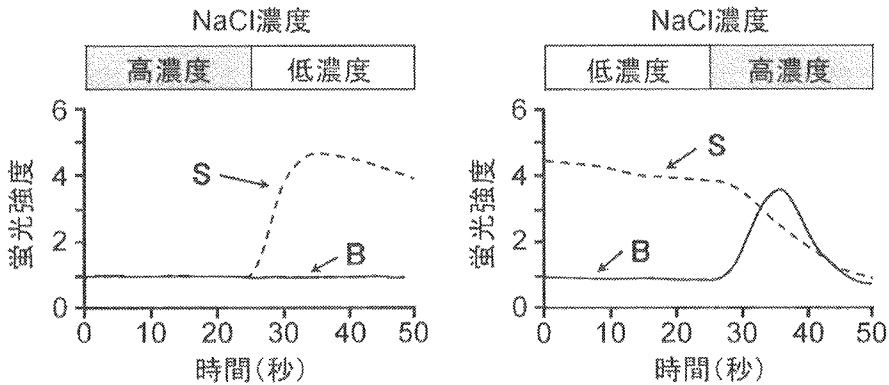


図5 NaCl 非存在下で飼育した線虫のニューロン S とニューロン B の NaCl 濃度変化刺激に対する応答

蛍光強度の増加は神経活動の増加を示す。

破線はニューロン S の応答を、実線はニューロン B の応答を示す。

問 1 下線部 a に関して、次の①～④のうち、生得的行動には○を、生得的行動ではないものには×を記せ。

- ① 繁殖期のイトヨの雄は、縄張りに入る雄を攻撃して追い払う。
- ② ホシムクドリは、渡りの時期になると太陽が見える時には北西に頭を向ける。
- ③ アメフラシの水管に同じ刺激を繰り返し与えると、エラを引っ込めなくなる。
- ④ キンカチョウの雄は、成長すると、上手なさえずりによって雌に求愛する。

問 2 下線部 b に示す線虫の行動の変容について、「条件づけ」という言葉を用いて 50 字以内で説明せよ。ただし、アルファベットや句読点も 1 字とする。

問 3 下線部 c について、高濃度 NaCl を含む環境で飼育した線虫は、NaCl 濃度勾配培地でどのように移動するか。その理由について、図 4 の結果を用いて 100 字以内で説明せよ。ただし、アルファベットや句読点も 1 字とする。

問 4 下線部 d について、高濃度 NaCl を含む環境で飼育した線虫を NaCl 非存在下で一定期間飼育すると、NaCl 濃度勾配培地中での行動が変容した。その要因は何か。図 4 と図 5 の結果から推察し、125 字以内で説明せよ。ただし、アルファベットや句読点も 1 字とする。

問 5 チャネルロドプシンというタンパク質を神経細胞に発現させると、青色光を当てることによって、その神経細胞を強制的に興奮させることができる。ニューロン S だけがチャネルロドプシンを発現するよう遺伝子改変した線虫を、①高濃度 NaCl 存在下、または②NaCl 非存在下でしばらく飼育した。これら線虫を図 6 に示す NaCl 濃度勾配培地の中心に置いた時、どのように移動すると考えられるか。それぞれ、予想される線虫の移動軌跡を矢印で解答欄の図中に記せ。

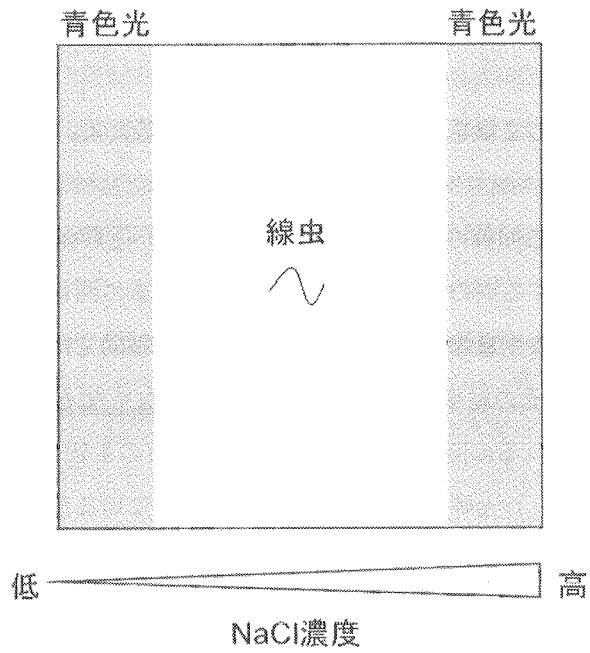


図6 線虫を置いた NaCl 濃度勾配培地
図中の培地の色付けされた部分には青色光が照射されている。

第4問

生態系に関する次の文章を読み、下の問1～問4に答えよ。

ある地域で生活する同種の生物の集団は、(ア)と呼ばれる。生物の(ア)は、同じ地域に生息する別の種の(ア)とさまざまに関係合いながら生活をしている。生存に必要な生息場所や食物などが似ている種間では、その要求をめぐって(イ)が起き、その結果、a 同所的に共存できなくなることがある。また、異種の生物が食う食われるの関係にある場合、食べる方の生物を(ウ)、食べられる方の生物を(エ)と呼ぶ。多数の種で構成されている生態系では、それぞれの種は、生息場所や食物などが異なる生態的地位を占めることによって共存している。

生態系における異種生物間の相互作用を調べるため、トカゲの移入実験がバハマ諸島で行われた。この実験に用いられたトカゲは、地上と樹上の両方に生息する半地上性のブラウンアノール、地上性のキタゼンマイトカゲ、樹上性のグリーンアノールの3種で、いずれも生息場所の節足動物を主な餌としていた。実験に用いられた島には、もともと半地上性のブラウンアノールのみが定着しており、キタゼンマイトカゲとグリーンアノールは生息していなかった。何も導入しない対照処理、キタゼンマイトカゲのみを導入した処理(+キタ)、グリーンアノールのみを導入した処理(+グリーン)、キタゼンマイトカゲとグリーンアノールの両方を導入した処理(+キタ・グリーン)の4処理を施し、それぞれのトカゲの生息場所と b 生息密度を調査した。その結果、生息場所の要求性は c 異種間の相互作用によってダイナミックに変化し、種間の共存可能性に影響することが観察された。この研究は、孤立した生態系に新たな生物が侵入すると、各種の生態的地位のバランスが崩壊しうることを示した一例である。

問1 文章中の（ア）～（エ）に入る語句として最も適切なものを、次の①～⑫のうちから一つ選び、番号で答えよ。

- | | | |
|---------|--------|-------|
| ① 種内競争 | ② 食物網 | ③ 被食者 |
| ④ 利用者 | ⑤ 消費競争 | ⑥ 生産者 |
| ⑦ 縄張り行動 | ⑧ 種間競争 | ⑨ 捕食者 |
| ⑩ 個体群 | ⑪ 個体集合 | ⑫ 消費者 |

問2 下線部 a について、一方の種が他方の種を競争によって駆逐することを何と呼ぶか答えよ。

問3 下線部 b について、面積が 2,000 m²の島に生息するブラウンアノールの個体群密度を推定するために、スプレーを用いてブラウンアノールに標識を付けた。標識された個体が十分に分散したのちに、島全体で視認調査を行い、発見された非標識個体数と標識の付いた個体数とを記録した。事前の予備実験により、スプレーで標識を付けられた個体は、活動性が一時的に低下し、視認調査による発見率が、標識されていない場合と比べて 10%低下することが分かっていると仮定する。初めに標識を付けた個体数が 100 個体、視認調査で発見された非標識個体が 80 個体、標識が付いた個体が 18 個体であった時、この島に生息するブラウンアノールの面積当たりの生息密度の推定値（個体/m²）を計算過程とあわせて答えよ。

問4 下線部 c について、トカゲの移入処理 5 年後の各種の生息場所・生息密度を調査した結果を表 3 と表 4 に示した。これらの結果をもとに、異種間の相互作用が本実験における 3 種のトカゲの共存可能性に与えた影響の解釈として、誤っているものを次ページの①～⑤のうちからすべて選べ。

表3 各処理におけるそれぞれの種の生息場所

| 処理 | ブラウンアノール | キタゼンマイトカゲ | グリーンアノール |
|----------|----------|-----------|----------|
| 対照 | 地上と樹上 | - | - |
| +キタ | 樹上 | 地上 | - |
| +グリーン | 地上 | - | 樹上 |
| +キタ・グリーン | 樹上 | 地上 | 樹上 |

表4 各処理におけるそれぞれの種の存続・絶滅状況

| 処理 | ブラウンアノール | キタゼンマイトカゲ | グリーンアノール |
|----------|----------|-----------|----------|
| 対照 | 存続 | - | - |
| +キタ | 存続 | 存続 | - |
| +グリーン | 存続 | - | 存続 |
| +キタ・グリーン | 存続 | 存続 | 絶滅危機 |

- ① キタゼンマイトカゲは、ブラウンアノールの樹上性を促進することで、グリーンアノールとの共存を阻害した。
- ② キタゼンマイトカゲは、ブラウンアノールの個体数を減少させることでグリーンアノールの定着を促進した。
- ③ キタゼンマイトカゲが不在の条件下では、ブラウンアノールとグリーンアノールは生息場所を分けることで共存していた。
- ④ ブラウンアノールの生息地選択に与える影響は、キタゼンマイトカゲよりもグリーンアノールの方が相対的に大きかった。
- ⑤ キタゼンマイトカゲは、グリーンアノールと餌をめぐる競争関係にあり、同時に移入された場合にはグリーンアノールを駆逐した。