

第110回アブダクション研究会開催のご案内

アブダクション研究会
代表・世話人 福永 征夫
TEL & FAX 0774-65-5382
E-mail: jrfd117@ybb.ne.jp

事務局 岩下 幸功
TEL & FAX 042-35-3810
E-mail: chaino@cf6.so-net.ne.jp

■ホームページ■
<http://abductionri.jimdo.com/>

第110回アブダクション研究会の開催について、下記の通りご案内を申し上げます。

(1) 第109回アブダクション研究会のご報告をします。

■2016・7・30(土)に開催しました、前回の第109回アブダクション研究会では、

『「学んでみると生態学はおもしろい」=伊勢武史著・2013ベレ出版=を輪読研究して生態学のシステムを考える』というテーマで、

次の全10章のうち、第1章～第3章を北村晃男氏、第4章～第10章を世話人の福永征夫がそれぞれ担当して、解説発表をいたしました。

- 第1章 生態学への招待
- 第2章 世界中の生物はどのように生まれた?-----生物進化と生態学
- 第3章 地球の気候と歴史が決定づける生物の分布
- 第4章 生物の「数」をサイエンスする-----個体群生態学
- 第5章 食う・食われるの関係-----群集生態学Ⅰ
- 第6章 ライバル関係-----群集生態学Ⅱ
- 第7章 なぜ世界にはいろいろな生物がいるの?-----生物多様性
- 第8章 動物の不思議な習性をサイエンスする-----行動生物学
- 第9章 微生物が取り持つ地球環境-----物質循環
- 第10章 無理せずエコしよう-----生態系サービス

■当日は、八尾徹氏、大河原敏男氏、北村晃男氏、福永征夫の4名が出席し、「持続可能性を確保するための条件を探ること」をメインテーマにして、予想通り、今後の活動につながりそうな、大変に有意義な研鑽と議論をすることができました。

■先ずは、北村晃男氏を始め、ご出席の皆様のご尽力に心から感謝しお礼を申し上げます。

【1】われわれは、生態学の知見を研鑽して、（1）個々の生物（2）個体群（3）生物群落（4）生態系（5）生物圏（6）地球環境体 のエネルギー経済と持続可能性を、有機的に考えて行かなければならない

■個々の生物は、ホメオスタシスを維持し、代謝・成長・活動・防御・繁殖に燃料を補給するために、物質とエネルギーを獲得しなければならない。

■物質、エネルギーとこれらを獲得するための時間が資源を構成している。

■配分の原理は、ある生物が一定量の資源を一度獲得すると、ある時間にはただ一つの目的のためにしかそれを使うことができない、ということ述べている。

■この原理は、生物は獲得することができる資源を、たがいに競争する目的、すなわち維持・索餌・成長・防御・繁殖などのあいだで分割しなければならないということの意味する。

■一般的に、生物の第一選択肢は体の統合性（完全性）----ホメオスタシス----を維持することである。

ホメオスタシスの維持は、ストレスの多い状態ではより困難であるので、ストレスの多い環境では、より多くの資源をホメオスタシス維持に消費しなければならず、他の目的には少ししか利用できない。

■生物が個体維持に必要な量よりも豊富な資源を獲得した場合には、余剰分を他の目的に配分することができる。

一般的に、ある個体群の平均的な個体がより多くの資源を獲得するにつれて、平均妊性・平均生存率・一個体あたりの成長率は増加する。

【2】われわれは、生態学の知見を研鑽して、人間の活動が生態系と地球環境体に与えたエネルギー経済と持続可能性の影響について、考えなければならない。

■人間の生態系に対する改変と干渉

■人間の活動による地球の熱放射のバランスの変化

■技術の発達に起因する、人間に対する地球の環境収容力の増大

【3】われわれは、「自然の循環の論理」に立ち、エネルギー経済と持続可能性に向き合う「生態倫理学」の構築をめざして、歩を進めなければならない。

【以上の取りまとめに当たっては、その重要な部分を、D・サダヴァ他＝石崎訳「大学生物学の教科書・第5巻」（2014・講談社）の記述の中から、抜粋・引用させていただきました】

■当日の発表の詳細は、この案内状の最後部に、「学んでみると生態学はおもしろい」＝伊勢武史著・2013ベレ出版＝を輪読研究して生態学のシステムを考える」

というタイトルで、同書の全章から抜粋し、ていねいに要約を試みた説明文を掲載しましたので、皆様には、繰り返し粘り強くお読み取りくださることを期待しています。

■ところで、話題が変わりますが、わたくしは最近、著しい高齢化と少子化の中で、高齢者と若年者が抱える、ある面の課題について、身じかに痛感する機会を経験いたしました。

■2015年7月の中旬に、会員の皆様に配信しました世話人のエッセイを、下記に再録しますので、ご高覧ください。

環境が人間の能力を発展させたり、錆びつかせたりする

◇わたくしには、現在の高齢化と環境問題の趨勢がピークアウトするとされている、2050年に向かって進んでいるこの時期に、どうしても方向づけておかなければいけないコンセプトがあるように思われます。

◇それは、①人との会話を不得手にし好まない若年者が増えていることに歯止めをすることと、②高齢者の概念を熟達者の概念に転換して、人は生活習慣を刷新すればいつまでも伸び続けるのだという社会の通念と確信を築くことです。

◇ある都内の公共施設の会議室をお借りして、アブダクション研究会を開催したのですが、講演者の説明資料を投射するプロジェクターが機能しないという失敗をしました。

◇以前のNEC会館では専門の人にやってもらっていましたし、学会の発表でもスタッフがやってくれますので、わたくし自身がプロジェクターの扱いを知らなくてもよかったです。

◇新しい会場ではその条件がなくなっていたのです。ピンチに遭遇して、わたくしは現場で方法の限りをつくしたのですが、かなわなかったのです。

◇その翌日から、調査を始めました。

映らなかった機械A(品番を記録しておきました)、機械B(品番を記録しておきました)、ともにエプソン製でしたのでメーカーサイドに確かめました。

福永：プロジェクターのコネクターは、マイナスピンの(メスピン)。

PCのコネクターもマイナスピンの(メスピン)。

両方をつなぐには、プラスピン(オスピン)とプラスピン(オスピン)を両端にもつケーブルが必要なのですが、機械Aにも機械Bにもついていないのは、どういうわけなのか。

会場の担当の方に重ねて聞いても、そのようなケーブルはありませんという返事だったので。

メーカーサイド：機械Aには付属品としてついていたはずですが。

機械Bではユーザーが用意する必要があります。

福永：機械Bには、PCのUSBから、プロジェクターのUSB端子に接続するコードがあったものですから、それに接続の機能があるものと推定して、いろいろやってみたのです。ところが、全く結果がでなかったのです。

メーカーサイド：機械BのUSB経路を利用するには、PC側にソフトのインストールが必要です。

◇われわれは、以上のようなボトルネックによって、失敗すべくして失敗したのだということが判明したのでした。

会場の施設側にも配慮の不足があったのですが、いまさら言っても、覆水は盆には返りません。

わたしくに事前の知識なり取り扱いの経験さえあれば、近所の電気屋さんから、プラスピン(オスピン)とプラスピン(オスピン)を両端にもつケーブルを緊急調達することもできたし、USB経路を利用することもできたのです。

◇ところで、都内にある、次のアブダクション研究会の会場を事前にチェックしたところ、プロジェクターの借用料がかなり高額なのです。

より低額品の借用の交渉をしましたが、自己防衛も必要と考えて、携帯用の自前のプロジェクターをネットで購入しました。

そして、くだんのプラスピン(オスピン)とプラスピン(オスピン)を両端にもつ5mケーブルを手に入れるため、辺鄙な立地のA電気という量販店に雨の中をタクシーで往復しました。

◇この量販店のA電気に関連して、わたしくが見聞きしたことは、またもや驚きの経験でした。

スタッフの人は、物品の場所まで案内してくれるのですが、ほとんど会話の機会を与えようとしないかのような無口な接客様式なのです。

帰りのタクシーの運転者が物知りの人でしたので、聞きましたら、最近の若い人には、初めての人と丁寧な言葉でやりとりするのを好まない、もっと言えば、嫌がり、忌避する傾向が増えているので、

量販店のA電気は、それに合わせた接客様式をベースにしているようだという話をしてくれました。

◇わたしがネットで取得した携帯用プロジェクターを試して見たのですが、やはりパワーが不足していて、大きな会議室での利用には向かないことも、経験をして見て、やっと分かったことなのでした。

◇いかにして、熟達者が新しいことを経験しながら社会生活をするように、自分を仕向けていくことができるのか。

◇若年者が、他者とのコミュニケーションの習慣を充実させるように、いかにして、自分を仕向けていくことができるか。

◇必要は発明の母とはよく言ったもので、環境が人間の能力を固定化したり、発展もさせるのです。

わたくしには、2050年に向かって進んでいるこの時期に、熟達者と若年者の社会的な活性化策は、どうしても方向づけておかなければいけないことだと思われま

以 上

(2) アブダクション研究会は、次なる30周年に向けて、新たに有意義なスタートを切ってまいります。

今年は歩んできた道を踏みしめ、次なる30周年に向けて、新たなステージの夢と展望を描いて共有し、気持ちも新たに有意義なスタートを切ってまいりたいと存じています。

次なる30周年に向けた、新たなステージの夢と展望は、「どのような方向に広域学の確立をめざすのか」という点に求めて行きたいものと世話人は思案をしています。

すなわち、それは、次の二点に集約されます。

①「精神」のプロセス、「物質」のプロセス、および「生命」のプロセスを、共通的に認識し理解できるように、広域的な知識を発見し発明して高次の包括的な知識を創造する道への入り口をどのように切り拓くのかを探究し、発信できるようにすること。

②以上の探究と平行に、「持続可能性を確保する知識と行動」を探究し実践に移すことのできる条件を確保できるようにすること。

皆様はいかがお考えでしょうか。

わたくし宛にご意見とご感想をお寄せくださることを希望し期待しています。

(3) 次なる30周年に向けた、新たなステージのアブダクション研究会は、「過去を想起し、未来を想像し予期して、今ここに対処する」という、人間の認知、思考と行動、評価・感情のパターンに則って、テーマや活動の時間・空間の深さと拡がりを追求してまいります。

これは、世界や社会の歴史と未来への展望のはざまに、現前に対して、避けず、逃げず、ぶれずに、本質的で、現実的な、対処をして行かなければならないという、アブダクション研究会がめざす、取り組みの基本的な姿勢と態度でもあります。

また、狭義には、過去とは、アブダクション研究会の今までの記録でもあり、未来とは、次回研究会から来年度までの予定と計画でもあります。

常に、そうした活動の時間・空間の深さと拡がりの幅・厚みと奥行きを意識し合い、認識し合い、確認し合いながら、現前の活動を連綿として引き継いで、躍動するように、活動を積み上げてまいります。

(4) 各界、各分野の皆様の積極的なご参加をお願いします。

既存の領域的な知識をベースにして、新たな領域的な知識を探索し、それらを広域的な知識に組み換えて、より高次の領域的な知識を仮説形成的に創造することを目標に、アブダクション研究の飛躍を期してまいりますので、各界、各分野、各層の皆様のご積極的なご参加をお願いします。

(5) アブダクション研究会は、現在、新規の会員を募集しています。

新規の会員として、年齢・性別を問わず、①環境の変化に対応して個人や集団の能力をどのように発展させるのか。②人・もの・生命の情報のネットワークはどのように組織化されるのか。③持続可能性を確保するための知識と行動とはどのようなものなのか。などのテーマの研鑽と探究に興味と関心を共有でき、隔月のアブダクション研究会に継続して出席できる方を募集しています。

皆様のご友人や知人、関係先の方で、われわれと志を共有できる方がおられましたら、世話人または事務局に積極的にご連絡くださいますようお願いいたします。

(6) アブダクション研究会は、知識の広域化と高次化を目指し進化を続けてまいります。

1996年に設立されたアブダクション研究会は、地球規模の難題に真正面から対処するために、知識の広域化と高次化を目指し、いつまでも、真摯に、勇気を持って、粘り強く、積極的に、可能性を追求し、多様な探究を積み重ねて、一步一步進化を続けてまいります。

(7) 発表をしてみたいテーマのご希望があれば、世話人宛に、積極的にお申し出下さい。

皆様には、今後、ぜひとも発表をしてみたいテーマのご希望があれば、世話人宛に積極的にお申し出をいただきたく、お願いを申し上げます。お申し出は、通年的にいつでも、お受け入れをいたします。上記の方向に沿うものなら、いかなる領域に属するいかなるテーマであっても、将来の可能性として、誠意を持って相談をさせていただき、実現に向けて調整を果たす所存であります。

記

◇ 日時： 2016年9月24日(土) 13:00~17:00(本会)
17:15~19:15(懇親会)

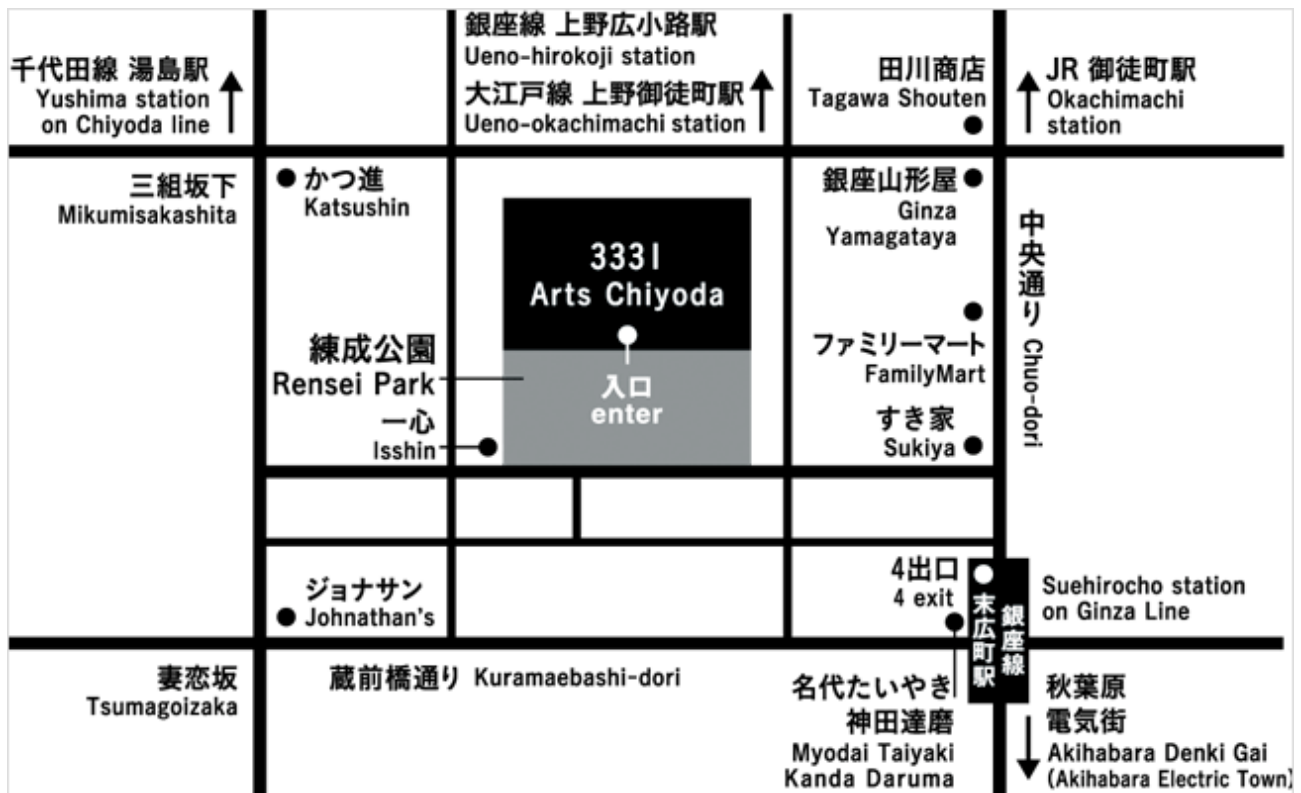
◇ 場所： 3331 Arts Chiyoda 2階・会議室

〒101-0021 東京都千代田区外神田6丁目11-14(旧・練成中学校内)

TEL 03-6803-2441(代表)

東京メトロ・銀座線 末広町下車④出口 徒歩10分 練成公園隣の旧・練成中学校内です。

*当日の連絡先(福永征夫・携帯電話)080-3515-9184



◇ テーマ： 研究発表

『 視覚による身体の自己組織化を考える 』(仮題)

伊藤 万利子 氏（早稲田大学）

発表の概略

今回の発表は、視知覚と身体をテーマとするものです。身体は多自由度をもっていますが、私たちはその身体を巧みに協調させ、行動を達成しています。これまでのスポーツや技などに関する研究では、巧みさにおける視覚の重要性が指摘され、スキルによってどこに目を向けるかといった、スキルによる視線行動の違いが検討されてきました。あるいは、運動中の脳による視覚情報処理が問題とされてきました。しかしながら、視知覚は、視線行動や眼球運動のような目の活動、脳機能などの生理的な側面だけが問題になるものではないと考えられます。というのも、私たちが環境を見るとき、どこに視線を向けるのかは頭部の転回に影響を受けます。さらに膝の屈曲や歩行などによって頭部の位置は変化し、視野内に見えているものが変化します。つまり、視覚とは、全身で行う活動と言えます。そのように視覚を考えた場合、巧みな運動における視覚の役割を検討する際には、視線を定位づける頭部や、頭部を支える体幹・下肢をどのように制御するのか、つまり全身をいかに協調させるのかということも重要になるのではないのでしょうか。今回の発表では、そのようなアイデアのもとでこれまでにやってきたけん玉動作における視知覚の研究や、研究の理論的なベースとなっている Ecological Psychology の視覚論を紹介するつもりです。

参考文献

- ギブソン, J. J. 佐々木正人・古山宣洋・三嶋博之(翻訳) (2011). 生態学的知覚システム—感性をとらえなおす 東京大学出版会.
ギブソン, J. J. 古崎敬・古崎愛子・辻敬一郎・村瀬旻(共訳) (1986). 生態学的視覚論—ヒトの知覚世界を探る サイエンス社
-

■■会員の皆様には、知人や友人もお誘いいただいて、積極的なご参加をお願いします■■

◇プログラム：

- | | |
|------------------------------|--------------------|
| (1) 解説発表[PART-1] | <u>13:00~14:20</u> |
| <小休止> | 14:20~14:30 |
| (2) 解説発表[PART-2] | <u>14:30~15:50</u> |
| <小休止> | 15:50~16:00 |
| (3) 総合的な質疑応答： | <u>16:00~16:30</u> |
| (4) 諸連絡： | <u>16:30~17:00</u> |
| (5) 懇親会：<皆様の積極的なご参加を期待しています> | <u>17:15~19:15</u> |

【第110回 アブダクション研究会の出欠連絡について】

- 9/19（月）までに、下欄の要領で、必ず、ご返信ください。
- なお、研究会会場では、飲み物のサービスがありませんので、皆様が各自で、ペット・ボトルや水筒をご持参ください。

第110回 アブダクション研究会（9/24）の出欠連絡

- 9/19（月）までに、**必ず、ご返信ください。**
- 研究会、懇親会とも、必ず、下記により、ご連絡ください。
新会場のため、研究会、懇親会とも、より綿密な準備が必要なことを、何卒、ご理解ください。

FA X : 042-356-3810
E-mail : chaino@cf6.so-net.ne.jp 岩下 幸功 行

- | | |
|----------------------------|--------------------|
| 出席 | 出席 |
| ●9/24（土）の研究会に、未定ですが調整 します。 | ●懇親会に、未定ですが調整 します。 |
| 欠 席 | 欠 席 |

ご署名 _____

■次々回 2016年11月度の第111回アブダクション研究会は、
●2016年11月26日（土）に、3331 Arts Chiyoda 2階・会議室で開催いたしますので、皆様には今からご予約いただき、積極的にご参加ください。

■第111回アブダクション研究会は、「自然のシステム学」に第三弾の挑戦を試みます。

●輪読研究の発表者を募集します。

下の文献の全6章を、1章ずつ分担して、解説発表をしていただく6人の方を募集します。

9/30(水)5時必着で、早急に、メールにて世話人宛、もっと積極果敢に、お申し込みください。

●テーマ： 輪読研究『「学んでみると気候学は面白い」＝日下博幸著・2013ベレ出版＝を輪読研究して気候学のシステムを考える』

●「学んでみると気候学は面白い」＝日下博幸著・2013ベレ出版＝の章立ては、

以下の通りです。

第1章 気候学と気象学

第2章 日本の気候

第3章 身近な気候

第4章 世界の気候

第5章 地球温暖化と都市の温暖化

第6章 もっと気候を知りたい方へ

■皆様には、どうぞ、ご期待ください■

<定例アンケート調査>

もしご協力がいただければ、という趣旨であり、必須ではありません。

皆様のメッセージ集として他の会員にも伝達しますので、情報の交流に積極的に参画下さい。

- (1) 今、アブダクションの研究・実践と関連のある事項で特に興味をもって取り組んでおられること。
- (2) 研究会の議論の場を通して INTERSECTIONAL なアイデアや知見の INCUBATION が進んでおり、例会で発表したいと思っておられること。
- (3) これまで(第1回～第109回)の研究発表やなされた議論(「議事録」を参照下さい)に関して、さらに改めて質疑や意見を表明したいと考えておられること
- (4) アブダクションの観点から、注目すべき人・研究グループ・著書(古今東西不問)。
- (5) 細分化された「知」の再構築を図るという視点から、注目すべき人・研究グループ・著書(古今東西不問)。
- (6) 貴方ご自身がお考えになられている「知」の定義とは?
- (7) その他のご意見、ご要望、連絡事項など。

特に他学会・研究会での発表内容や発表論文等についても是非お知らせ下さい。

.....
.....

【3】自然や環境を客観的に理解する力が育つ

◇学んでみると、生態学は私たちの身のまわりの自然や環境を理解するための重要な考え方の集大成で、「エコ」を上手に推進するヒントにあふれていることに気づきます。基礎知識としての生態学を学ぶと、自然や環境を客観的に理解する力が育ちます。この章では、科学・学問としての生態学、生物の行動をつかさどる「経済感覚」などの基本コンセプトから調べていくことにしましょう。

【4】生物と環境の相互作用を学ぶ学問

◇生態学とは、生物が環境から影響を受けたり、逆に生物が環境に影響を与えたりするという相互作用を学ぶ学問です。ここでいう「環境」とは、生物の生息地の気候や地質などの「非生物的な環境」と、エサとなる生物や競争相手の生物などの「生物的な環境」の両方を含みます。そして、ここでいう「影響」とは、生物が生まれたり・成長したり・死んだり・進化したたり・絶滅したりというさまざまな変化を含んでいます。

【5】生物の生きざまをコントロールしているメカニズムにまで踏み込む

◇生態学で学ぶことには、生物同士の関係（競争したり協力したり、食べたり食べられたり）も含まれますし、「この生物はここに暮らすことでどういう得をしている？」「ライオンがシマウマを捕まえて食べる利益とコストは？」といった経済学のニュアンスもあります。生態学はこのように、生物の生きざまをコントロールしているメカニズムにまで踏み込んで、生物と環境の相互の影響を考える学問です。

【6】生物が生きていることは、環境に影響を与えていること

◇生物は、生きている場所の環境からさまざまな影響を受けるだけでなく、まわりの環境にも影響を与えています。ビーバーは、敵に襲われにくい安全な巣を作るために、しばしばダムを作って川をせき止めます。ビーバーのダムによって、川の流れという非生物的な環境が大きく変わりますし、それにともなって、そこに暮らす魚や水生昆虫にも影響があります。典型的な大型草食動物のシマウマは、サバンナの草を食べます。この行為自体、草という生物に影響を与えていると言えます。そしてシマウマは当然、食べたら排泄しますので、その周囲の土壌の養分という環境に影響を与えているといえます。野山をハイキングしているとき、草地から森林に入ると環境が大きく変化するのを感じた人は多いのではないのでしょうか。森林に入るとひんやりしますし、吹きっさらしの草地より風がおだやかになります。生息している昆虫などの動物の種類も大きく違います。

このような特徴をもつ森林を形作っているのは樹木という生物ですから、これも生物が環境を大きく変えている例です。

スケールの大きな例としては、海で成長したサケが川を遡上し、産卵してやがて死ぬことによって、海の豊富な栄養分が川の上流やその周辺の森に届けられているという興味深い研究もあります。

このように、生物が活着しているということは、大なり小なり何らかの方法で、まわりの環境に影響を与えているということができます。

【7】生態学は個体より大きなものを扱う生物学の一分野

◇学問の分類上は、生態学は生物学の一分野です。

大まかにいうと、分子生物学・細胞生物学・生化学などは個体（動物の一頭や植物の一株など）より小さなものを扱うのに対し、生態学は、個体が環境のなかでどのように生きるか、個体同士の関係（食う・食われるの関係の食物連鎖や、チーターとハイエナがエサを取り合う競争関係など）はどのように発生しているかなど、マクロな視点で考える生物学といえるでしょう。

【8】自由に見える動物も、自然界の厳しい法則に縛られている

◇動物は自然のなかで自由気ままに活着していると思いますか？

動物はそれなりに自由に行動することができますが、その行動の良し悪しが彼らの生存や繁殖にダイレクトにはねかえってくるという意味では、自由に活着しているように見える動物も、自然界の厳しい法則に縛られているともいえます。

【9】捕まえるためにエネルギーを「投資」して、より大きなエネルギーを「回収」する

◇動物の行動に複数の選択肢がある場合、そのなかのどれをチョイスするかは、その生物の繁栄にとってプラスになることもマイナスになることもあります。

ライオンは獲物を捕らえることで生きていくために必要なエネルギーを得ますが、獲物を捕まえるためには全力で走ったりしなくてはならないので、そのためにエネルギーを消費します。

この行動を経済学の視点で考えると、捕まえるためにエネルギーを「投資」して、より大きなエネルギーを「回収」することを目指しているのです。

投資額と回収額を差し引きしてプラスにならないと、ライオンはやがてやせ細って死んでしまいます。

だからライオンには、獲物を捕まえられる見込みが小さいときは、あえておいかけずじっとしているというチョイスもあります。

たしかに、状況がよくないときはじっと我慢して、捕まえやすい獲物が来るまで待っているのが合理的です。

【10】費用対効果分析を上手にできる者が、生き残る

◇これは人間の経済活動とよく似ています。

会社の売り上げから必要経費を差し引いて、赤字続きの会社はやがてつぶれてしまいます。会社をつくっても赤字になることがわかっているときはじっと我慢して、チャンスが到来したら起業するというのがよいチョイスです。こういう考え方を、費用対効果分析といいます。人間でも動物でも、費用対効果分析を上手にできる者が、生き残るのです。

【11】植物はエネルギーバランスが悪化すると死んでしまう

◇植物の場合は、光合成をして生きているので、光合成で得られるエネルギーと、はっぱや根、茎などを維持するのに必要なエネルギーを比較して、前者の方が大きくなければ死んでしまいます。こういうのをエネルギーバランスといいます。日陰で植物がうまく育たないのは、光合成が十分にできずに、エネルギーバランスが悪化するからです。

【12】「生存」と「繁殖」の条件を満たしてきた生物が、現代まで生存している

◇もちろん、エネルギーバランスが満たされていても、植物は水が足りなかったり台風で倒れたりしても死んでしまいます。動物は敵に襲われたり不慮の事故にあったりしても死んでしまいます。このような死因をすべて避けなければ、生物は生き続けることができません。エネルギーバランス以外にも生きるために満たさなければならない条件はたくさんあるので、生物の個体が生きているというのは、実はすごいことなのです。さらにいうと、生物種が絶滅せずに存在しているのもすごいことです。それは、個体が生きていることに加えて、その種が長い期間にわたって安定して繁殖し、世代交代してきたということです。「生存」と「繁殖」の両方の条件を満たしてきた生物だけが、現代まで生存しているのです。

【13】生態学は自然のなかの経済学

◇自然のなかでの経済学という生態学のコンセプトをよく表している例として、optimal foraging theory という理論があります。「ベストなエサの選び方」というニュアンスです。この理論を使って、動物がエサをとるためのベストな行動を単純化して考えてみましょう。

【14】得られるエネルギーの曲線A

◇木の実を食べるサルを例に考えてみます。このサルが住む森には、大きくて食べやすく栄養満点の実もあれば、小さくてかたく栄養価の乏しい実もあります。このサルは餌場にやってくると、まずは大きくて食べやすい実からどんどん食べていきます。

大きくて食べやすいので、効率よくエネルギーを摂取できます。
単位時間あたりで得られるエネルギーが大きいということです。
大きい実を食べ尽くしてしまうと、次に中くらいの実を食べます。
この場合、エネルギー摂取の効率は先ほどよりは下がります。
中くらいの実を食べつくすと、小さい実を食べます。
エネルギー摂取の効率はさらに下がります。
これを表したのが、図のA（得られるエネルギー）の曲線です。

【15】得られるエネルギーの曲線Aと消費するエネルギーの直線Bは途中の一点で交わる

◇図のタテ軸はエネルギー、ヨコ軸は餌場での滞在時間。
Aは、原点から漸増して次第にフラットになる曲線。
Bは、原点からまっすぐに伸びる直線、Aとは図の途中の一点で交わる。

【16】Aの曲線の傾きがエネルギー摂取の効率を表している

◇Aの曲線の傾きが、エネルギー摂取の効率を表しています。
餌場に来た直後は大きい実を食べるので効率が高いのですが、大きい方から順番に食べ尽くしていくと、エネルギー摂取の効率が下がっていくことがわかります。

【17】消費するエネルギーの直線Bは餌場での滞在時間に比例する

◇野生の木の实を食べるのは楽ではありません。
木に登ってもぎとったり、皮をはいたりするのにエネルギーを使います。
ここでは、エサを食べるのに使うエネルギーは、餌場での滞在時間に比例するとします。
これを表したのが、図のB（消費するエネルギー）の直線です。

【18】餌場で過ごす時間が長くなるとAとBの差が縮まって交わり、ついには逆転する

◇AとBの線は図の途中で交わることになります。
このサルが餌場に到着してすぐの時点では、大きい実がたくさん食べられるので、Aの線のほうがBより上にあり、この差がサルの利益となります。
しかし、この餌場で過ごす時間が長くなると、AとBの差が縮まってきて、ついには逆転します。
こうなると、餌場でがんばればがんばるほど損をすることになります。

【19】サルは環境条件に応じて費用対効果分析を行ないベストな行動をチョイスする

◇そこで、このサルは、たとえ小さい実が残っていても、途中で見極めて、次の餌場に移動するのがベストということになります。

この森にエサが豊富にあるときは、いちばん大きい実だけを食べて、次の餌場に行きます。この森のエサが少なくなると、効率は悪くても仕方なく、中くらいの実や小さい実を食べなくてはなりません。こうして、このサルは環境条件に応じて費用対効果分析を行ない、ベストな行動をチョイスすることになります。

【20】人間が用いる考え方を「生態学的生活戦略」として説明できる

◇この生態学のコンセプトを使うと、意外にも、私たち人間がふつうに用いている考え方を「生態学的生活戦略」として説明できるのです。

【21】生物はシビアな「経済感覚」をもって行動の判断をしている

◇このように、optimal foraging theory について考えてみると、生物はシビアな「経済感覚」をもって行動の判断をしていることに驚かされます。

たとえば、植物は春先に芽吹いて葉っぱをつけますが、どのタイミングがよいのでしょうか。

あまり早く葉っぱを出すと、遅めの霜が降りたりして、せっかく出した葉っぱが枯れてしまうかもしれません。

葉っぱを出す時期を遅くすると、光合成に適した春の時期を無駄に過ごしてしまい損をするかもしれません。

そこで、霜の降りる危険性が小さくなったらすぐに葉っぱを出すという「経済感覚」を持っている種類が、うまく生き残って繁栄するために有利になるのです。

【22】頭脳をもたない生物が最適な行動をとれるのはなぜなのか

◇特に優秀な頭脳をもたない生物でも最適な行動をとれるのはなぜでしょう？この疑問に答えるためには、進化のメカニズムを知ることが必要になります。

■ 第2章 世界中の生物はどのように生まれた？—

生物進化と生態学 ■

【23】ダーウィンが訪れたガラパゴス諸島にはいろいろなタイプのフィンチが生息していた

◇ダーウィンが訪れたガラパゴス諸島は、南米エクアドルの沿岸から西へ約900km離れた、太平洋に浮かぶ島々です。

ダーウィンが観察したところ、ここに生息する小鳥には、大きなクチバシを持ったもの、小さなクチバシのもの、細長いクチバシのものなど、いろいろなタイプがあった。

そしてこれらの小鳥はすべてフィンチというなかまに属する近縁の種だとわかりました。

【24】大陸からやってきたフィンチの祖先が、島で得られるエサに合わせていろいろなタイプになった

◇その後の研究で、数百万年前に南米大陸から偶然やってきたフィンチの祖先が、ガラパゴス諸島で得られるエサに合わせて、あるものは大きくかたい実を食べるため大きなクチバシをもつようになり、あるものは小さい実を器用に食べられる小さなクチバシをもつようになり、また別のものは木の皮のすきまなどに住む虫を捕らえるため、キツツキのような細長いクチバシをもつようになったことがわかりました。

【25】環境やエサに応じて生き抜くために、有利な特徴をもつように進化してきた

◇このようにフィンチは、生息する環境や得られるエサに応じて、生き抜くために有利な特徴をもつように進化してきました。

【26】進化の原動力は生息地で得られるエサの種類などの環境

◇この例からわかるように、進化の原動力は生息地で得られるエサの種類などの環境です。環境のなかでの生物の暮らしぶりを研究するのが生態学ですから、生態学と生物進化には密接な関連があることがわかります。

【27】細長いクチバシに生まれついた鳥は、木の皮の虫を食べるのに適したので、そのエリアでは多くの産卵ができ、クチバシの特徴が次の世代へ受け継がれていく

◇ガラパゴス諸島のフィンチの場合で考えてみましょう。
南米大陸からやってきた祖先が、何羽かの子をもうけたとします。
同じ親から生まれた子でも、厳密にぴったり同じ形のクチバシをもつことはありませんから、そのなかには、他の兄弟と比べてクチバシの少々大きな子もいれば、少しだけ細長い子もいたことでしょう。
そして、たまたまクチバシが細長く生まれついた鳥は、木の皮のすきまの虫を食べるのがほかの兄弟より少し上手だったので、このようなエサが豊富なエリアではたくさんの卵を産むことができ、そのクチバシの特徴は次の世代へ受け継がれていきます。
逆に、このエリアでは、クチバシの大きな鳥は、うまく木のすきまの虫を食べることができないので、栄えることができません。
これが自然淘汰のメカニズムです。

【28】環境に応じて有利なバリエーションが自然淘汰のメカニズムで生き残り、進化していく

◇同じ両親から生まれた兄弟でも、一卵性双生児でない限り、見た目とか性格とか、けっこう違いがあります。

生物にはそのようなバリエーションがあり、そのなかから環境に応じて有利なバリエーションが生き残り、生き残った者同士が子孫を残すので、進化していくのです。

【29】無性生殖する生物は、親と子が遺伝的に同一で、兄弟も一卵性双生児なので、遺伝的なバリエーションが基本的に存在しない

◇環境は変化に富んでいるため、知能の限られた生物にとって将来の環境を予測するのは難しいのですが、子孫にバリエーションがあれば、「自分の子孫のうち誰かは生き残る」という確率が上がります。

ちなみに、クローンで繁殖（無性生殖）する生物は、親と子が遺伝的に同一で、兄弟も一卵性双生児ですから、遺伝的なバリエーションが基本的に存在しません。

だから、環境がその生物にとって好ましい状態で安定していれば、クローンの子孫は全員が繁栄し、効率よく数を増やしていくことができます。

しかし、ひとたび環境が悪化すれば、特徴が同じ親兄弟すべてまとめて死んでしまう、ということが起こりやすいのです。

【30】有性生殖では、オスとメスがおのおのの遺伝子（正確には染色体）をランダムに組み合わせることで子どもを作るので、バリエーションをもった子孫を残すのに非常に有効である

◇一方、有性生殖では、オスとメスがおのおのの遺伝子（正確には染色体）をランダムに組み合わせることで子どもを作りますから、バリエーションをもった子孫を残すのに非常に有効です。

将来に環境が変わっても、自分の子孫のうち誰かは生き残ってくれるであろう、という期待を持つことができるのです。

【31】生息する環境に適応した特徴をもったものは、生き残って子孫を残す可能性が高く、適応していない特徴をもったものは子孫を残しにくい

◇バリエーションをもった子孫のなかで、

生息する環境に適応した特徴をもったものは、生き残って子孫を残す可能性が高く、適応していない特徴をもったものは子孫を残しにくい。

だから、新たな環境に投げ込まれたフィンチの祖先は、世代交代を繰り返していくうちに徐々に特徴が変化していったのです。

このような自然淘汰が、進化の原動力なのです。

【32】このように考えてくると、生物のもっている経済感覚がなぜ生じたのか、がわかる

◇このように考えてくると、生物のもっている経済感覚がなぜ生じたのか、がわかります。

自分の置かれた状況で、ある行動を取るような遺伝子をもったものは有利になり、別の行動を取る遺伝子をもったものは不利になる。

その生物が脳を使って将来を予測できなくてもよいのです。

たまたまその行動を取るように生まれついた（遺伝子をもった）ものが有利になり、次の世代にその遺伝子を残していくというわけです。

【33】フィンチが、南米大陸で食べていた実よりも少し大きくてかたい実がたくさんなっているエリアにやってきたとする

◇ガラパゴス諸島のフィンチの祖先について、もういちど想像してみましょう。

こんどは、それまで南米大陸で食べていた実よりも少し大きくてかたい実がたくさんなっているエリアにやってきたとします。

【34】それに適応した大きなクチバシをもったものが生き残って子孫を残し、このエリアに生きるフィンチのクチバシの大きさは、時間がたつにつれてだんだん大きくなっていく

◇そうすると、それに適応した大きなクチバシをもったものが生き残って子孫を残していきます。

クチバシが大きいほど有利という環境では、クチバシの大きいもの同士がカップルになり、その子どももまた大きいクチバシをもつ可能性が高くなります。

これを繰り返していくと、このエリアに生きるフィンチのクチバシの大きさは、時間がたつにつれてだんだん大きくなっていきます。

【35】方向性選択（directional selection）という自然淘汰

◇ヨコ軸に特徴、タテ軸に頻度をとって、模式的に表わすと次のようになります。

（淘汰の起きる前）と（淘汰の起こった後）では、「特徴（この場合はクチバシの大きさ）」が、「クチバシが大きい」というひとつの方向（右方向）にシフトしていきます。

こういう自然淘汰を、■方向性選択（directional selection）■といいます。

（淘汰の起きる前）のグループにも（淘汰の起こった後）のグループにも個体差があることを、釣鐘型の分布曲線で表現します。

釣鐘の頂点が最も頻度の高い、典型的なサイズを表していて、サイズが頂点から離れるにしたがって、そういう個性的な個体の数はだんだん減っていきます。

（淘汰の起きる前）のグループのなかにも例外的にクチバシの大きなものがあり、（淘汰の起こった後）のグループのなかにも例外的にクチバシの小さいものがあります。

それでも、グループ全体をよく見て平均を考えると、確実に大きくなっています。

【36】安定化選択（stabilizing selection）という自然淘汰

◇次に、■安定化選択（stabilizing selection）■という自然淘汰があります。

ここでは、（淘汰の起きる前）のグループと（淘汰の起こった後）のグループの平均値は変化していませんが、釣鐘型の曲線の幅がせまくなっています。

（淘汰の起きる前）のグループには、極端に大きいものや小さいものが比較的多く存在し

ましたが、(淘汰の起こった後)のグループでは、大きさが均一化してきて例外的なサイズの個体が少なくなった、といえます。

このようなことが起こる古典的な例として挙げられるのは、人間の新生児の出生体重です。新生児の生存率と出生体重の関係を考えると、未熟児など小さすぎる新生児は生存率が低くなります。

大きければ大きいほどいいかということ、帝王切開などの近代的な医療が普及していなかった時代では、あまり大きすぎると母子ともに危険が増してしまうのです。

というわけで、極端に大きな胎児・小さな胎児を作る遺伝子は淘汰されていき、しだいにサイズのバリエーションが少なくなっていくのです。

このような自然淘汰を安定化選択といいます。

【37】分断選択 (disruptive selection) という自然淘汰

◇三つめの自然淘汰のパターンは、■分断選択 (disruptive selection) ■です。

「帯に短しタスキに長し」という慣用句は、中途半端なサイズのものは役に立たないという意味で用いられますが、ときに生物のもつ特徴にも当てはまる場合があります。

たとえば、ある島で鳥が食べられる木の実には2種類しかなくて、ひとつは大きな木の実、もうひとつは小さな木の実だとします。

大きなクチバシの鳥は大きな木の実を食べるのに向いていて、小さいクチバシの鳥は小さい木の実が得意です。

こう仮定すると、中くらいの大きさのクチバシをもった個体は、どちらの実を食べるのにも中途半端なためあまり子孫を残せず、中くらいのサイズのクチバシを作る遺伝子はしだいに減少していくのです。

(淘汰の起きる前)のグループは、釣鐘型の分布曲線で表現されますが、

(淘汰の起こった後)のグループでは、左の方向にクチバシの小さい個体の頻度の山ができて、右の方向にクチバシの大きい個体の頻度の山ができて、その間が中くらいの大きさのクチバシをもった個体の頻度の谷間になるという、二つのコブをもった分布曲線で表されます。

このような淘汰を分断選択といいます。

【38】マンモスでも、巨体のメリットとデメリットの相対的なバランスは環境によって変化するので、住む場所によって体のサイズが劇的に変わる

◇生息する環境によって生物の特徴が変化することが進化の原動力になっていることがわかりました。

「島嶼(とうしょ)化」という現象があります。

大陸から島にやってきたある種の生物の体のサイズが、時間が経って世代交代が進むにしたがって、だんだん変化していく現象です。

ときに、むかしはゾウのなかまの生息範囲はいまよりずっと広く、たとえばナウマンゾウやマンモスなど、温帯や亜寒帯に広く分布していた種がありました。

近年の化石の調査によって、地中海のクレタ島にもマンモスが分布していたことがわかったのですが、そのマンモスは、おとなでも体高(肩までの高さ)が120cmしかなかったのです。

巨大なはずのマンモスが、特殊な環境では、進化によってこんなに小さくなってしまっ

です。

考えられる原因は2つあります。

島には大型の肉食獣がいなかったため、体が大きいメリットが少なくなったこと。そして体が大きいとエサを大量に食べなくてはいけないのですが、面積の限られた島では、干ばつなどが発生したときにエサが得られず死んでしまうという巨体のデメリットが出ることです。

島は、少しのエサでも生き残れる小さな体のほうが有利になる環境だといえます。

このように、巨体のメリットとデメリットの相対的なバランスは環境によって変化しますので、住む場所によって体のサイズが劇的に変わります。

これは方向性選択の一例です。

【39】ニッチ (niche) という言葉は、その生物が自らに適した「すきま」を見つけられるかどうかで、その生物が生きていけるかどうかが決まる環境のことを表す

◇ニッチ (niche) という用語は、生態学では避けては通れない言葉です。

ニッチは本来「すきま」という意味ですから、その生物に適した「すきま」を見つけられるかどうかで、その生物が生きていけるかどうかが決まる環境のことを表します。

たとえば、虫を食べる鳥はたくさんいますが、かたい木の幹の中に住む虫を食べるのは難しいので、この資源が手付かずで放置されていたとしましょう。

つまり、空いたニッチがあったのです。

そこにキツツキという新種が登場します。

キツツキは、いままで他の生き物に利用されていなかったニッチを利用できたので、繁栄するようになったのです。

【40】アフリカのサバンナには、大型肉食獣の生きていけるニッチもあれば、比較的小型の肉食獣のニッチもある

◇アフリカのサバンナには、大型肉食獣の生きていけるニッチもあれば、比較的小型の肉食獣のニッチもあります。

こうしてタイプの違うニッチがあるから、タイプの違う生物が生息しているのです。

【41】フィンチの祖先がガラパゴス諸島にたどりついた当時、ライバルになるような鳥が少なかったため、エサとなりえるいろいろな資源が手付かずの状態が存在していた

◇たまたまフィンチの祖先がガラパゴス諸島にたどりついた当時は、ライバルになるような鳥が少なかったため、エサとなりえるいろいろな資源が手付かずの状態が存在していました。

さまざまなニッチが、そこを埋める生物のいないまま空いていたのです。

そこで、雑食性のフィンチの子孫のうちのあるものは、虫などをおもに食べるように変化していき、別のものは、木の実などをおもに食べるように変化していきました。

【42】ライバルのいない場所にたまたまやってきた幸運な種は、存在する複数のニッチを埋めるように、たくさんの種に分化（進化して別の種になること）していく-----適応拡散(adaptive radiation)

◇このように、ライバルのいない場所にたまたまやってきた幸運な種は、存在する複数のニッチを埋めるように、たくさんの種に分化（進化して別の種になること）していきます。これを適応拡散（adaptive radiation）といいます。
最近の研究によって、ガラパゴスとその周辺に生息するフィンチの祖先は約230万年前に南アメリカ大陸からやってきて、現在までに15種に分化してきたことがわかりました。分化のスピードは種や状況によってさまざまですが、ガラパゴスのフィンチは目安となる一例です。

■第3章 地球の気候と歴史が決定づける生物の分布■

【43】気候などの環境要因によってそこに生きる動植物のタイプが異なることを研究する学問を、生物地理学（biogeography）という

◇熱帯雨林には巨木のジャングルが広がり、サバンナでは大型草食動物が巨大な群れをなし、温帯に位置する日本の落葉広葉樹林にはいどり豊かな四季があり、ツンドラではトナカイが厳しい寒さを生き抜き短い夏を謳歌する-----このような気候などの環境要因によってそこに生きる動植物のタイプが異なることを研究する学問を、生物地理学（biogeography）といいます。

【44】地球の気温は、太陽から受ける熱によってほどよく保たれているため、生物が存在できる

◇絶対零度の宇宙に浮かぶ地球ですが、地球の気温は、太陽から受ける熱のおかげでほどよく保たれているため、生物が存在できるのです。
特に、生命の維持に欠かせない水が液体で存在できる、摂氏0度から100度までの温度範囲の環境が、地球上に広く存在していることが奇跡ともいえることなのです。

【45】地球にはいろいろな気候帯があり、それに適応したさまざまな生物が見られる

◇地球の気温は、大局的に見れば、ほぼ一定に保たれているといえます。
なぜ一定かというと、太陽から入ってくるエネルギーと、地球から宇宙空間へ出ていくエネルギーが釣り合っているからです。
夜になると気温が下がるのは、地球から宇宙空間に熱が放出されているからです。
地球の表面がどのくらいの熱を宇宙に放出するかは、その場所の温度によって決まっています。

太陽のエネルギーは均等に宇宙空間を進んで地球まで届いているのですが、地球が丸いために、地球の表面が受けているエネルギーの強さは、緯度によって違ってきます。そのため、地球にはいろいろな気候帯があり、それに適応したさまざまな生物が見られるのです。

【46】地球のエネルギーの出入りを緯度ごとに分けて考えると、赤道付近では入ってくるエネルギーのほうが多く、極付近では、出ていくエネルギーのほうが多くなっている

◇地球全体で平均すると、太陽からの熱エネルギーと宇宙空間へ出ていく熱エネルギーはほぼ同じ大きさなのですが、緯度ごとに分けて考えると、赤道付近では入ってくるエネルギーのほうが多く、極付近では、出ていくエネルギーのほうが多くなっています。

【47】地球の温度のバランスがくずれないのは、地球上のエネルギーは気流や海流に乗って、エネルギーの多いほうから少ないほうへ移動しているからである

◇それでも地球の温度のバランスがくずれないのは、地球上のエネルギーは気流や海流に乗って、エネルギーの多いほうから少ないほうへ移動しているからなのです。

【48】大気圏の断面図を見ると、北半球・南半球でそれぞれ3つずつの気流の渦（セル）に分かれていて、ぐるぐる回りながら、赤道から極へエネルギーを運んでいる

◇気流はどのようにエネルギーを運ぶのでしょうか。
地球の大気圏の断面図を見ると、北半球・南半球でそれぞれ3つずつの気流の渦（セル）に分かれていて、ぐるぐる回りながら、赤道から極へエネルギーを運んでいるのです。赤道付近は太陽からの熱エネルギーが強く、暖められた空気は膨張し上空へ上がっていきます。これが上昇気流です。上空に達した空気は極の方向に動きながらだんだん冷やされていきます。空気は冷えるとしぼんでしまい密度が上がるので、やがて下に下りてくることになります。この下降気流が生じるのが、北緯・南緯それぞれ30度付近です。

【49】赤道付近は①太陽からに熱エネルギーが強い、②だから上昇気流が強い、③だから雨が多い、というメカニズムによって雨がたくさん降りやすくなり、熱帯雨林などの湿った気候帯が現れる

◇上昇気流が生じる場所では、地表面付近の空気に含まれる水蒸気もいっしょに持ち上げられるため、上空に雲が発生し、やがて雨になって降り注ぎます。というわけで、赤道付近は①太陽からに熱エネルギーが強い、②だから上昇気流が強い、

③だから雨が深い、というメカニズムによって雨がたくさん降りやすくなり、熱帯雨林などのとても湿った気候帯が現れるのです。

その反対に、緯度30度付近では下降気流が強いため、雲ができにくく、雨も降りにくくなります。

というわけで砂漠は、北半球でも南半球でも緯度30度付近に多くみられるのです。

【50】地球上の気候を分類したものが気候帯で、熱帯・乾燥帯・温帯・亜寒帯・寒帯があり、それぞれの気候帯で見られる生物（おもに植物のタイプ）を分類したものが生物群系（biome）である

◇このように、地球の気候の大きな部分は緯度によって決まっています、それぞれの場所の気候に合った生物が生息しています。

地球上の気候を分類したものが気候帯で、熱帯・乾燥帯・温帯・亜寒帯・寒帯があります。それぞれの気候帯で見られる生物（おもに植物のタイプ）を分類したものが生物群系（biome）で、熱帯には熱帯雨林やサバンナがあり、乾燥帯にはステップや砂漠が、温帯には常緑樹林や落葉樹林が、亜寒帯には北方林（タイガ）が、寒帯にはツンドラがあります。

【51】地球上に生息する生物のタイプは、気候によって決められた生物群系から概略をつかむことができる

◇地球上に生息する生物のタイプは、気候によって決められた生物群系から概略をつかむことができます。

たとえば、アラスカのツンドラを見たことのある人は、シベリアのツンドラに行ったことがなくても、どんなタイプの環境にどのような生物が暮らしているか、大体のところはイメージすることができるのです。

しかし、生息する生物をよく調べていくと、生物群系が同じでも、生息する生物の種はかなり違って、一方にいる生物が他方にいない場合などが多々あります。

【52】南アメリカ大陸やオーストラリア大陸をながめると、ライオンの生息に適しているように見える大草原が広がっているにもかかわらず、ライオンが分布していない。生物分布のかたよりが生じる理由は、環境（気候帯）の違いだけでは説明できない

◇たとえば、サバンナやステップの大草原には大型の草食動物と、それを捕食するライオンなどの大型の肉食動物がいる-----こういうイメージがあります。

実際、人間の影響が強くなる前は、ライオンはアフリカだけでなく、南ヨーロッパからインドまで続く大草原地帯に広く生息していました。

このイメージを持って南アメリカ大陸やオーストラリア大陸をながめると、違和感があるかもしれません。

ライオンの生息に適しているように見える大草原が広がっているにもかかわらず、ライオンが分布していないのです。

このような生物分布のかたよりが生じる理由は、環境（気候帯）の違いだけでは説明でき

ません。

【53】19世紀の博物学者ウォレスは、インドネシアの島々の生物を調べていくうちに、ある海峡を境界線に、東と西では生息している生物のタイプが大きく違っていることに気づいた

◇19世紀の博物学者ウォレスも、同様の疑問を強く抱くようになりました。インドネシアは、大小の島々がたくさん連なって形成されていますが、彼は、その島々の生物を調べていくうちに、ある海峡を境界線に、東と西では生息している生物のタイプが大きく違っていることに気づいたのです。この境界線は、のちに「ウォレス線」と呼ばれるようになったのですが、このウォレス線が通過しているのは、かなりせまい海峡です。たとえば、ウォレス線をはさむバリ島とロンボク島の距離は、わずか35kmしかなく、このふたつの島の気候が、それほど決定的に違うとは思えません。それなのに、生息している鳥類や哺乳類などのうち多くの種が、この線の西と東で決定的に違っていたのです。

【54】その原因を解明する光明となったのは、それから半世紀以上もたってから発表された、ウェグナーの大陸移動説だった

◇ウォレス線が生まれた原因を解明する光明となったのは、彼がこの現象を発見してから半世紀以上もたってから発表された、ウェグナーの大陸移動説でした。

【55】インドネシアの島々のうち、バリ島から西側はローラシア大陸に起源をもち、ロンボク島から東側は Gondwana 大陸に起源をもっていた

◇その後、大陸移動の研究が進むにつれて、むかし世界中の大陸はパンゲアというひとつの超大陸にかたまっていたこと、その後パンゲアはローラシア大陸と Gondwana 大陸とに分裂したことがわかりました。そして、インドネシアの島々のうち、バリ島から西側はローラシア大陸に起源をもち、ロンボク島から東側は Gondwana 大陸に起源をもっていたのです。パンゲアが2大陸に分裂した後、そこに住んでいた生物は、それぞれの大陸で独自の進化を遂げました。

【56】地球の歴史と進化の歴史までを考慮してなされた生物分布の分類が、生物地理区 (biogeographic region)

◇このような、地球の歴史と進化の歴史までを考慮してなされた生物分布の分類が、生物地理区 (biogeographic region) です。インドネシア西部までは東洋区で、インドネシア東部はニューギニアと共にオーストラリア区になっています。

ローラシア起源の大陸とゴンドワナ起源の大陸が接している地域はほかにも、北アメリカと南アメリカや、ユーラシアとアフリカがありますが、それぞれ別の生物地理区に分類されています。

【57】生物の分布というのは、地球の歴史・生物進化の歴史・気候などの環境の三つの要因が複雑にからみあって成立している

◇生物地理区からは、北アメリカと南アメリカ、ユーラシアとアフリカが陸続きになったために生物の移動が活発化し、生物地理区の境界線が、大陸の境界線からは移動していることもわかります。

たとえば、南アメリカ起源の生物がパナマ地峡を経て北アメリカ大陸の南端部に進出し、ユーラシア大陸の生物がアフリカ北部に進出しています。

このような進出が可能になったのは、その地域の環境がとなりの大陸の環境と似ているからです。

生物の分布というのは、地球の歴史・生物進化の歴史・気候などの環境の三つの要因が複雑にからみあって成立していることがわかります。

【58】オーストラリアでは、大陸規模の適応拡散が起こった

◇第2章ではガラパゴス諸島のフィンチの適応拡散について学びました。

適応拡散は、ガラパゴス諸島に限った話ではなく、世界中のいろいろな場所で、ときには大規模なものが発生しています。

オーストラリアでは、大陸規模の適応拡散が起こりました。

オーストラリア大陸はゴンドワナ大陸に起源をもち、長い期間ほかの大陸から切り離されていたので、有袋類の独自の進化がみられます。

有袋類は哺乳類の一種ですが、ヒト・ウマ・ゾウなどの有胎盤類とは体のつくりが決定的に違うので、オーストラリアのとなりのアジアに暮らす哺乳類から見ると、とても縁の遠いなかまです。

【59】オーストラリア大陸の環境を見ると、そこには大草原が広がっていて、大草原に生きる哺乳類のためのニッチが存在するといえる

◇オーストラリア大陸の環境を見ると、そこにはユーラシアや北アメリカ大陸のような大草原が広がっています。

だから、オーストラリアにも、大草原に生きる哺乳類のためのニッチが存在するといえます。

ニッチがあれば、それを埋める生物種が適応拡散によって現れるのです。

【60】オーストラリアとユーラシアの両大陸に存在するニッチがよく似ていたため、進化の結果もよく似ている

◇たとえば、ユーラシアの草原には小型の雑食動物としてネズミがいますが、オーストラリアでは、このニッチを埋めるように、フクロネズミというネズミにそっくりの有袋類が、有袋類の祖先から進化してきました。

同じように、草原をはねるウサギに対応する有袋類として、rabbit-eared bandicoot という動物もいます。

さらに、地面に穴を掘って暮らすモグラそっくりの有袋類や、体の皮を使って空を滑空するモモンガそっくりのフクロモモンガという有袋類までいるのです。

これらはオーストラリアとユーラシアが切り離されたときには存在していなかった種ですので、オーストラリアで独自に進化したものです。

両大陸に存在するニッチがよく似ていたので、進化の結果もよく似ているのです。

自然による淘汰のパワーが感じられる話ではありませんか。

【61】 遺伝的に似ていないのに機能的には似ている種が独自に進化して現れる現象を、収れん進化 (convergent evolution) という

◇このように、遺伝的に似ていないのに機能的には似ている種が独自に進化して現れる現象を、収れん進化 (convergent evolution) といいます。

ちなみに、オーストラリアの有袋類のように、世界でも限られた地域にしか生息していない種を、その場所の固有種といいます。

【62】 いま世界では、いろいろな生物が、人間の活動によって自然ではありえないような長距離の移動をし、適した環境があれば、そこで繁栄するようになった

◇生物の分布を決めるのには、環境要因に加えて、大陸移動や生物進化などの歴史的要因も重要であることを学びました。

逆にいうと、ほかの大陸で生きている生物でも、環境さえ似ていれば別の大陸でも生息可能であることになります。

実際、いま世界では、いろいろな生物が、人間の活動によって自然ではありえないような長距離の移動をし、適した環境があれば、そこで繁栄するようになりました。

外来種と呼ばれる生物です。

そのなかには、新しい環境にうまく適応し、もともといた生物を圧迫するまでになっているものも多くいます。

■第4章 生物の「数」をサイエンスする——個体群生態学■

【63】 個体群生態学では、生物の数の変化の法則を見つけて模式化 (モデル化) する

◇生態学は環境のなかで生きる生物についての学問です。

生物の暮らしは環境条件に応じて、成長したり、繁殖したり、死んだり、といういろいろな数の変化をとまっています。

個体群生態学では、このような変化の法則を見つけて模式化 (モデル化) します。

【64】 個体群生態学は、1種類だけの生物に焦点を絞っている

◇生物の「数」の変化を明快に扱う個体群生態学は、1種類だけの生物に焦点を絞っています。

【65】複雑なものごとを単純化して、根底にある大事な法則を抜き出し、数式などで表現することを「モデル化する」という

◇生物の「数」といっても、いろいろな種によって、繁殖の方法やスピードは千差万別です。

複雑なものごとを単純化して、根底にある大事な法則を抜き出し、数式などで表現することを「モデル化する」といいます。

【66】生物の数の変化には、いろいろな原因がある

◇生物の数の変化には、いろいろな原因があります。

親が子を産むこと・子が孫を産むことで数は増加します。

逆に、個体が年老いて死んだり、病弱な個体が敵に襲われると数は減少します。

食べ物が豊富にあると、生物はどんどん子孫を増やしますし、食べ物が減ってくると飢え死にする個体が増えます。

また、肉食動物が増えると、エサとして草食動物は数を減らします。

さらに、同じ食べ物を奪い合うライバルがいると、競争によって生物の数が変わったりします。

【67】バクテリアは一定の時間がくると、1個体から2個体に分裂し、さらに時間がたてば2個体が4個体に、そして4個体から8個体というように、一定時間ごとに倍になっていく

◇バクテリアは単細胞生物で、性別がなく分裂で増える生き物です。

一定の時間がくると、1個体から2個体に分裂し、さらに時間がたてば2個体が4個体に、そして4個体から8個体というように、一定時間ごとに倍になっていきます。

数式で表わすと、次のようになります。

$x_t = x_0 (1 + R)^t$ x_t は「実験が始まって t 時間後のバクテリアの個体数 x_t 」

x_0 は「実験が始まって0時間後のバクテリアの個体数 x_0 」、 R は1時間ごとの増加率です。たとえば、1時間ごとに2倍になる場合は、「1時間ごとに新しい個体がひとつ増える（もともと存在している個体は1、新たにできた個体は1、合わせて個体は2）」と考えればよいので、 R は1となります。もしも1時間ごとに3倍になるバクテリアを扱う場合は、1時間ごとに新しい個体がふたつ増えるので、 R は2となります。

【68】バクテリアの増加を計算する

◇「1時間で個体数が2倍になるバクテリアがいます。このバクテリア100個体をシャーレに入れて3時間培養すると、個体数はいくつになりますか？」

という問題は、次のように計算できます。

$$x_3 = 100 \times (1 + 1)^3 = 100 \times 2^3 = 100 \times 8 = 800$$

【69】バクテリアの個体数が時間とともにどんどん増えていくような増加のパターンを、指数関数的な増加 (exponential growth) という

◇1時間後、2時間後、3時間後、4時間後、5時間後、6時間後のデータをグラフに表してみると、時間が経つにつれてバクテリアの個体数がどんどん増えていくのがわかります。

このような増加のパターンを、指数関数的な増加 (exponential growth) といいます。ピーカーやシャーレでの微生物の培養実験など、この法則がうまくあてはまるケースは数多くあります。

生物の増殖を考えるとときのもっとも単純で基本的なモデルが、この指数関数的な増加です。

【70】ダーウィンは19世紀の時点ですでに、野生動物のゾウという興味深い例を使って、指数関数的な増加の限界を指摘した

◇しかし、この考え方は、すべての生物・すべての状況に当てはまるというわけではありません。

ダーウィンは19世紀の時点ですでに、野生動物のゾウという興味深い例を使って、指数関数的な増加の限界を指摘していました。

ダーウィンが訴えたかったのは、「指数関数的な増加にしたがえば、野生動物のなかで最も繁殖のスピードの遅いゾウですら、1000年も経たないうちに地球を埋め尽くしてしまう」、だから、「指数関数的な増加には限界がある」ということです。

【71】ゾウが地球を埋め尽くすまで増え続けられないのは、地球の面積は有限なので、ゾウを養うエサの生産量も有限であるからだ

◇ゾウが地球を埋め尽くすまで増え続けられないのは、地球の面積は有限なので、ゾウを養うエサの生産量も有限だからです。

ゾウという生物自体は、生息環境さえ整っていれば指数関数的な増加にしたがって無限に数を増やすポテンシャルをもっているのですが、地球の面積は有限なので、実際にはそのポテンシャルを発揮することはありません。

【72】環境容量 (carrying capacity) の考え方を数式に取り入れたのが、ロジスティックな増加 (logistic growth) のモデルである

◇ここで、生物が決められた環境のなかで最大何頭まで生きていけるか、という値を、環境容量 (carrying capacity) と定義することにします。

この環境容量の考え方を数式に取り入れたのが、ロジスティックな増加 (logistic growth) というモデルです。

このモデルによると、ウサギが島に連れてこられた当初は、ウサギの数が少なく、島のエサの量には十分余裕があるので、ロジスティックモデルは、指数関数モデルとよく似たペースで数を増やしていきます。

ところが、だんだんウサギの数が増えてくるとエサが不足するようになり、ロジスティックモデルでは増加が鈍ってきます。

そしてついに、ウサギの数が環境容量ぎりぎりまで増えてしまうと、エサが足りなくてそれ以上に増えることができないので、いくら時間が経っても個体数は横ばいになります。つまり、個体数は環境容量付近で落ち着き、増えも減りもしないという状態に達します。

【73】微分方程式という表現方法を使って、指数関数的な増加とロジスティックな増加のふたつのモデルを比較する

◇ここでは、微分方程式という表現方法を使って、ふたつのモデルを比較します。

先に、指数関数モデルを $x_t = x_0 (1 + R)^t$ という数式に表しましたが、この式のコンセプトを微分方程式で表すと、 $dx/dt = rx$ となります。

【74】指数関数モデル $x_t = x_0 (1 + R)^t$ を微分方程式で表すと、 $dx/dt = rx$ となる

◇この微分方程式の右辺の x は、あるタイミングでの個体数を表しています。

r は微分方程式での増加率で、先ほどの数式の R から簡単な計算で算出できます [$r = \ln(1+R)$ という計算です。]

左辺の dx/dt は、「一定時間 t あたりの個体数 x の変化量」という意味です。

【75】バクテリアの増殖の例で考えると、左辺は「1時間あたりのバクテリアの増加量」という意味である

◇じつは日常的にこういう微分方程式の考え方を使っています。

たとえば、自動車のスピードを「時速60km」と表現することがありますが、これは、「1時間あたりの走行距離の変化量」なのです。

1時間ドライブすることによって、走行距離が60kmずつ増えていくということです。

バクテリアの増殖の例で考えると、左辺は「1時間あたりのバクテリアの増加量」という意味です。

【76】個体数 x が増えれば増えるほど、一定時間に増える量が大きくなるという関係が、この微分方程式から浮かび上がってくる

◇左辺とイコールで結ばれた右辺には、 rx と書いてあります。

左辺と右辺を合わせて理解すると、「1時間あたりのバクテリアの増加量は、 r と x を掛け算したものになる」といえます。

r は一定ですが、 x は時間が経つにつれて増加しますから、右辺は時間が経つにつれて増加します。

だから、これとイコールで結ばれた左辺の dx/dt も時間が経つにつれて増加するこ

とになります。

個体数 x が増えれば増えるほど、一定時間に増える量が大きくなるという関係が、この微分方程式から浮かび上がってくるわけです。

【77】 $dx/dt = rx(1 - x/K)$ がロジスティックモデルの微分方程式である

◇ロジスティックモデルを微分方程式で表すと次のようになります。

$dx/dt = rx(1 - x/K)$ 指数関数モデルと違うところは、 $(1 - x/K)$ の部分だけです。

記号 K は、環境容量です。たとえば、ある瀬戸内海の無人島には1万頭までのウサギを養うだけのエサがあるとすると、 $K=10000$ となります。

x がとても小さいとき、たとえば、 x が10頭のカッコの中身は、 $(1 - 10/10000) = 0.999$ となり、ほとんど1です。

この場合は、カッコがない指数関数モデルも、カッコがくっついているロジスティックモデルも、答えはほとんど変わらないということになります。

次に、ウサギの数が増えてきて、環境容量の半分の5000頭になった場合には、カッコの中身が $(1 - 5000/10000) = 0.5$ となります。

この場合では、ロジスティックモデルのウサギの増加量は、指数関数モデルの半分になるわけです。

【78】増加量というのは、グラフでは線の傾きとして現れ、ふたつの線を比べて、傾きが半分なら増加量は半分になる

◇増加量というのは、グラフでは線の傾きとして現れます。

線の傾きが右上りなら増加、右下がりなら減少です。

ふたつの線を比べて、傾きが半分なら増加量は半分になります。

【79】ウサギの数が環境容量に近づいてくると、ほとんど増えもしないが減りもしないという安定した状態になる

◇最後に、ウサギの数が、環境容量の1万頭とほとんど同じ、9990頭になったらどうでしょう？

カッコの中身が $(1 - 9990/10000) = 0.001$ となり、きわめて小さくなってしまいます。

ほとんどゼロに近いので、グラフの傾きもほとんどゼロ（ほぼ水平）になります。

このように、ウサギの数が環境容量に近づいてくると、ほとんど増えもしないが減りもしないという安定した状態になるのです。

【80】ロジスティックモデルでは、生物の個体数の増加は環境容量によって制限され、やがて環境容量に釣り合った数で安定することになる

◇指数関数モデルでは、時間が経つにつれて生物の個体数がどんどん増えていき、たとえば地球はゾウで埋め尽くされてしまうというおそろしい結果になります。その欠点を改良したロジスティックモデルでは、生物の個体数の増加は環境容量によって制限され、やがて環境容量に釣り合った数で安定することになります。

【81】地球上の人間の数が増えすぎて、やがて資源が枯渇して困るだろうという人口問題は、国連などでも深刻な問題として取り上げられている

◇地球上の人間の数が増えすぎて、やがて資源が枯渇して困るだろうという人口問題は、国連などでも深刻な問題として取り上げられています。人間も生物の一種なのでロジスティックモデルを当てはめると、地球が養っていける人間の数は決まり、その環境容量に落ち着くように自然に人口増加が止まってくれる、というように安心できる気もします。

【82】生物の数が、環境容量でうまく安定しないこともある原因に、「タイムラグ」と、「環境改変」の問題がある

◇問題はそれほど甘くはなく、生物の数は、環境容量でうまく安定しないことも多々あります。その原因に、「タイムラグ」の問題と、「環境改変」の問題があります。

【83】大型の哺乳類にみられる長い妊娠期間などはタイムラグが発生する原因になり、環境容量付近で個体数が行ったり来たりし、一定の数で安定できないことがある

◇タイムラグとは、何かが起こってから、その影響が現れるまでにかかる時間のことです。特に大型の哺乳類にみられる長い妊娠期間などはタイムラグが発生する原因になります。妊娠期間が長いと、妊娠した瞬間にはエサが豊富にあっても、約1年後の出産のときに子どもがいっせいに生まれると環境容量を超え、エサが不足して餓死が起こることがあるわけです。こういうことが環境容量付近で起きて、個体数が行ったり来たりし、一定の数で安定できないのです。

【84】「環境改変」とは、生物の数が異常に増えすぎて環境が大幅に変わってしまい、環境容量自体も変わってしまうという現象で、個体数が安定しないもうひとつの原因になる

◇個体数が安定しないもうひとつの原因に「環境改変」という問題があります。これは何かの拍子で生物の数が異常に増えすぎると、環境が大幅に変わってしまうため、環境容量自体も変わってしまうという現象です。

先ほどのウサギの例では、ウサギの数の変化だけに注目し、エサとなる植物の変化を考えていませんでしたが、ウサギのエサとなる植物も、やはり生物です。ウサギのことだけを考えると、エサとなる植物は毎年一定の量だけ葉っぱを出すと思ってしまうがちですが、ウサギが増えすぎて、この島で持続可能な個体数をオーバーしてしまうと、草の種や根っこまで食べ尽くしてしまいます。そうすると、来年に芽を出す植物がなくなり、来年の環境容量は、これまでの環境容量よりも減ってしまうのです。

【85】ウサギの環境容量を決めている「エサの側」も生物なので、モデルを作るときは、ウサギだけでなく、エサも一緒に考えたほうがいいのかも

◇このように、ウサギの環境容量を決めている「エサの側」も生物なので、モデルを作るときは、ウサギだけでなく、エサも一緒に考えたほうがいいのかもあります。

【86】イースター島に人間がやってきたのは4～5世紀ごろと思われるが、そのころのイースター島は広い範囲が森に覆われていた

◇イースター島は南太平洋の孤島で、巨大なモアイ像で有名なところ。この島に人間がやってきたのは4～5世紀ごろと思われる。そのころのイースター島は広い範囲が森に覆われていました。人々は豊かな森の木を使って家を作り、また船を作って魚を獲ったりして島は栄えました。巨大な石像であるモアイを作るほどの力があつたことから、相当の文明が栄えていたことがわかります。

【87】島の人口が増えてくると、以前にもまして森の木が必要になり、やがて木が不足するようになって、ついには島じゅうの森がなくなってしまう

◇しかし、島の人口が増えてくると、以前にもまして森の木が必要になりました。やがて木が不足するようになり、ついには島じゅうの森はなくなりました。魚を獲ろうにも、船が作れないという状態になりました。そして、資源がなくなると戦争が起こりました。

【88】島の人口は激減し、文明は衰退していったが、これは人間による環境改変の例である

◇島の人口は激減し、文明は衰退していきました。これはまさに、人間による環境改変の例です。

【89】島の人口が少なかったころは、あまり木を切らずにすんでいたため、資源を持続可能な方法で利用していたといえるが、人口が

増えてくると、自然の再生のペースを超えて木を切るようになって、環境容量自体が劇的に低下し、そのような状態の島で養える人間の数は、人間がやってきた当初よりもずっと少なくなってしまう

◇島の人口が少なかったころは、あまり木を切らずにすんでいたため、資源を持続可能な方法で利用していたといえます。

木を切った場所に、やがて自然に新しい木が生えて成長してくれるので、自然のペースを超えないくらいの伐採なら持続可能な利用です。

しかし、人口が増えてくると、自然の再生のペースを超えて木を切るようになり、結果として、島の緑は丸裸になってしまいました。

いちど森林がなくなると、降った雨で土壌がどんどん侵食されるため、その後の森林の再生がとても難しくなります。

結果として、環境容量自体が劇的に低下し、そのような状態の島で養える人間の数は、人間がやってきた当初よりもずっと少なくなってしまうのです。

【90】いま懸念されるのは、イースター島で起こった悲劇が、地球規模で起こる危険性である

◇いま私たちが懸念しているのは、イースター島で起こった悲劇が、地球規模で起こる危険性です。

自然の再生のペースを超えて資源を利用すれば、それは持続可能ではありません。

人口が爆発的に増えることで自然を決定的に破壊してしまうことになれば、地球の環境容量は極度に低下し、大きな悲劇が起こるかもしれません。

いまのところ、なんとか70億人を養っている地球環境ですが、もしも100億人を大きく上回るような人口になり、いま以上に自然が破壊されてしまえば、そのあとでは70億人ですら養っていけない環境になっているかもしれません。

資源が不足すると、それを奪い合って戦争が起こるかもしれません。

【91】生態学の知識を活用して、どの程度の利用が持続可能で、それ以上は持続不可だというポイントを見つけるなど、地球の環境と人間の問題をよく理解することが重要である

◇いま人類は、先のことをよく考えて、セルフコントロールすることを求められています。自然の再生のペースをよく理解して、それを超えない範囲の持続可能な利用が大事なのです。

生態学の知識を活用して、どの程度の利用が持続可能で、それ以上は持続不可だというポイントを見つけるなど、地球の環境と人間の問題をよく理解することが重要です。

■第5章 食う・食われるの関係 ——群集生態学1■

【92】リンクスというオオヤマネコのなかまと、カンジキウサギと

いうウサギのなかまの2種類の動物を取り上げる

◇サバンナのライオンがシマウマを捕食するのは、食う・食われるの關係の典型ですが、ここでは、カナダの亜寒帯に暮らすリンクスというオオヤマネコのなかまと、カンジキウサギというウサギのなかまの2種類の動物を取り上げます。

【93】 亜寒帯のリンクスの場合は、エサになり得る草食動物の種類が少ないため、主食のカンジキウサギがいなくなると、その影響がとても大きいので、生物同士の關係をシンプルに研究できる

◇熱帯のライオンの場合、もし仮にシマウマを絶滅させてしまっても、代わりにほかの種の草食動物を食べることができるので、それなりに食いつなぐことができます。しかし、亜寒帯のリンクスの場合は、エサになり得る草食動物の種類が少ないため、主食のカンジキウサギがいなくなると、その影響がとても大きいので、生物同士の關係をシンプルに研究できるのです。

【94】 100年分に近い記録のグラフを見ると、年によってたくさん捕獲出来るときと、あまり捕獲できないときがあって、なんらかの周期性をもって変動しているようである

◇カナダの毛皮業者による、年ごとのリンクスとカンジキウサギの毛皮の納入量の記録が残っています。

19世紀から20世紀にかけての100年分に近い記録は、この2種の動物の数の変動を表す貴重な資料です。

そのグラフを見ると、年によってたくさん捕獲出来るときと、あまり捕獲できないときがあって、どうも、なんらかの周期性をもって変動しているようです。

この周期性は、リンクスとカンジキウサギのそれぞれにあるようです。

さらに詳しく見ると、カンジキウサギが増えてから1、2年して、リンクスが増えるというパターンが見つけれられるかもしれません。

これをなんとか数式でモデル化できないか、を考えてみましょう。

【95】 カンジキウサギの増加を、指数関数モデルで表すと、 $dH/dt = rH$ となるが、この式にリンクスによる捕食の影響を加えることを考えなければならない

◇カンジキウサギの数を H 、リンクスの数を L とします。

カンジキウサギの増加を、指数関数モデルで表すと、 $dH/dt = rH$ となります。

左辺は一定時間に増えるカンジキウサギの数、右辺の r は、ウサギの増加率です。

この数式にリンクスによる捕食の影響を加えるとどうなるでしょうか。

リンクスの影響を数式に入れるためには、「リンクスが一定時間に捕まえるカンジキウサギの数」をモデル化しなければなりません。

【96】この地域に暮らすカンジキウサギの数が一定だと仮定して考えて、「捕まるカンジキウサギの数は、リンクスの数に比例する」という法則性を考える

◇「リンクスが一定時間に捕まえるカンジキウサギの数」といっても、リンクスの数もカンジキウサギの数も大きく変動するので、いろいろな場合がありすぎて、法則を導くのが難しく感じるかもしれません。

ひと工夫が必要ですが、それは、この地域に暮らすカンジキウサギの数が一定だと仮定して考えてみることです。

そうすると、この地域にリンクスの数が多い時期は、捕まるカンジキウサギの数も多くなり、リンクスの数が少ない時期は、捕まるカンジキウサギの数も少なくなるはずで

す。この考え方をもっともシンプルに数学的に表現すると、「捕まるカンジキウサギの数は、リンクスの数に比例する」となります。

【97】リンクスの数が一定だと仮定して考えて、「捕まるカンジキウサギの数は、カンジキウサギの数に比例する」という法則性を考える

◇次に、リンクスの数が一定の場合を仮定して考えてみます。

この地域に大量のカンジキウサギが発生した場合、リンクスは苦労しないでたくさんの獲物を捕まえられます。

カンジキウサギの数が激減した場合、リンクスはなかなか獲物を捕まえることができません。

ここから導かれる法則は、「捕まるカンジキウサギの数は、カンジキウサギの数に比例する」となります。

【98】二つの法則性を合体させると、「捕まるカンジキウサギの数は、リンクスの数とカンジキウサギの数の両方に比例する」となり、これを数式にすると、 cHL になるので、指数関数モデルの微分方程式は、 $dH/dt = rH - cHL$ と表すことができる

◇見つかった二つの法則を合体させると、「捕まるカンジキウサギの数は、リンクスの数とカンジキウサギの数の両方に比例する」となります。

これを数式にすると、

cHL (式1)・・・ c は定数(パラメーター)でモデル内では一定の数。

この式の値は、カンジキウサギの数とリンクスの数の両方に比例しています。

これを、最初に出てきた指数関数モデルの微分方程式に、引き算の記号を使ってくっつけます。

$$dH/dt = rH - cHL$$

この数式を言葉で表すと、「カンジキウサギの数の変化は、繁殖で増える個体数から、リンクスに捕まる個体数を引き算したものである」となります。

【99】「リンクスはカンジキウサギをたくさん食べるほど、子どもをたくさん産む」と仮定して、「リンクスが産む子どもの数は、食べたカンジキウサギの数に比例する」を、 eHL で表すと、「一定時間でのリンクスの数の変化は、リンクスが産む子どもの数である」の微分方程式は、 $dL/dt = eHL$ で表すことができる

◇この章の群集生態学のモデルでは、2種類の生物の数の変化を同時に考えることに挑戦しています。

カンジキウサギの数の変化をモデル化しましたので、次はリンクスの数の変化を数式にします。

ここでは、「リンクスはカンジキウサギをたくさん食べるほど、子どもをたくさん産む」と仮定してみましょう。

この仮定を最も単純に数学的に表現すると、「リンクスが産む子どもの数は、食べたカンジキウサギの数に比例する」となります。

(式1)により、リンクスが捕食するカンジキウサギの数は、 cHL です。リンクスが産む子どもの数はこれに比例するので、この式に比例定数を掛け算するだけで表現ができます。

$g \times cHL$ g も c も定数なので、 g と c をかけたものも、やはり定数になります。

$$g \times c = e \quad \text{とすると、} \quad g \times cHL = eHL$$

ここで、「リンクスが産む子どもの数は、食べたカンジキウサギの数に比例する」を微分方程式の形で書くと、

$$dL/dt = eHL \quad \text{になります。}$$

カンジキウサギの微分方程式と同じように、左辺は「一定時間でのリンクスの数の変化」を表し、右辺は「リンクスが産む子どもの数」を表しますので、合わせると、「一定時間でのリンクスの数の変化は、リンクスが産む子どもの数である」となります。

【100】もしもカンジキウサギが絶滅してしまったら、 $dL/dt = 0$ になり、「カンジキウサギが絶滅すると、リンクスの数の変化はゼロだ」となってしまう

◇ここまでで一応、リンクスの数の変化を微分方程式に表すことができました。それでは、もしもカンジキウサギが絶滅してしまったらどうなるでしょうか。この微分方程式の H がゼロになるので、右辺はゼロになってしまいます。

$dL/dt = 0$ になり、「カンジキウサギが絶滅すると、リンクスの数の変化はゼロだ」となります。

【101】しかし、主食が絶滅したのだから、変化がマイナスにならなければ、つまり減少しなければ筋が通らない。そこで、リンクスの数の減少を表現するために、リンクスは常に一定の割合で自然死すると仮定してみる

◇しかし、主食が絶滅したのに、変化がプラスマイナスゼロになるというのは、おかしいのです。

この場合は、変化がマイナス、つまり減少しなければおかしいのです。

というわけで、ここではなんらかの手段で、リンクスの数が減るメカニズムを入れなければ、モデルが成り立たなくなってしまう。

もっとも単純なメカニズムで、リンクスの数の減少を表現するために、リンクスは常に一定の割合で自然死すると仮定してみましょう。

リンクスの自然死を表す式を、 fL とします。この式の f が自然死する確率です。

たとえば、毎年10%のリンクスが自然死するとすれば、 f は0.1となります。

リンクスの微分方程式に、自然死の部分を入れると、

$$dL/dt = eHL - fL \quad \text{となります。}$$

この式なら、状況によっては繁殖数が自然死の数を上回ることもあり、状況が変われば繁殖数が自然死の数を下回ることもあります。

前者の場合は数が増加し、後者は減少します。

【102】 $dL/dt = eHL - fL$ では、リンクスを食べるさらに強い肉食動物はおらず、リンクスが食物連鎖の頂点であることを、暗黙のうちに仮定しており、また、自然死しそうなカンジキウサギは、ほぼ例外なくリンクスに食べられてしまうことを、暗黙のうちに仮定している

◇この例では、リンクスを食べるさらに強い肉食動物はおらず、リンクスが食物連鎖の頂点であることを、暗黙のうちに仮定しています。

そして、これがリンクスの自然死を数式に表す必要のある理由です。

一方、このモデルでは、加齢や病気などで弱ったために自然死しそうなカンジキウサギは、ほぼ例外なくリンクスに捕まって食べられてしまうことを、暗黙のうちに仮定しているので、自然死を数式にしなくてもよいのです。

【103】食う・食われるの関係を理解するためには、カンジキウサ

ギの微分方程式とリンクスの微分方程式を、「同時に」検討することがポイントになる

◇食う・食われるの関係を理解するためには、カンジキウサギの微分方程式とリンクスの微分方程式を、「同時に」検討することがポイントになります。

「別々に」検討するのなら、それは第4章で学んだ個体群生態学のモデルと同じで、動物1種類の変化だけを相手にして、もう1種類の変化を無視することになってしまいます。実際には、カンジキウサギが少し増えるとリンクスも少し増える、するとカンジキウサギはちょっと多めに食べられてしまう、というような複雑で流動的な関係があるため、この2種類の動物の数の変化は切っても切れないものなのです。

(式2)

$$dH/dt = rH - cHL \quad \dots(1)$$

$$dL/dt = eHL - fL \quad \dots(2)$$

【104】コンピュータの力を借りて方程式を解き、グラフに表すと、カナダの毛皮業者による記録のグラフとは、基本的な挙動がよく似ていて、カンジキウサギの数もリンクスの数も、周期的に変動していて落ち着くことがない。また、カンジキウサギの数のピークがきて少し時間が経ってから、リンクスのピークがくることもわかる

◇ここで検討している微分方程式は、紙と鉛筆の計算で解くのは難しいので、コンピュータの力を借りて方程式を検討するのが主流になっています。

「Populus」というフリーソフトに解いてもらって、グラフに表すと、カナダの毛皮業者による、年ごとのリンクスとカンジキウサギの毛皮の納入量の記録のグラフとは、基本的な挙動がとても似ています。

カンジキウサギの数もリンクスの数も、周期的に変動していて落ち着くことはありません。さらに、カンジキウサギの数のピークがきて少し時間が経ってから、リンクスのピークがくることもわかります。

【105】(式2)の(1)(2)をさらに検討して、なぜこのような周期性が生じるのかを調べる。ここで用いる変形テクニックでは、「一定時間あたりの変化量がゼロの場合」を作ってみる

◇次に(式2)をさらに検討して、なぜこのような周期性が生じるのかを調べます。

微分方程式とは一定時間あたりの変化量を数式に表したものですが、ここで用いる変形テクニックでは、「一定時間あたりの変化量がゼロの場合」を作ってみるのです。

そうすると、微分方程式は驚くくらい簡単な形になります。

(式2)の(1)の式は、「一定時間あたりのカンジキウサギの数の変化量」を表しますが、「一定時間あたりの変化量がゼロの場合」は、

$$dH/dt = 0 \quad \text{なので、} \quad cHL = rH$$

$$L = rH / cH$$

$$L = r / c \quad \dots \quad (\text{式3}) \quad \text{となつて、}$$

「カンジキウサギの変化量がゼロのとき、リンクスの数は r / c である」となります。

【106】縦軸にリンクスの数、横軸にカンジキウサギの数を表すグラフを考えると、 $L = r / c$ の直線は、縦軸の上の点 r / c を通る横軸に平行なアイソクラインと呼ばれる直線になる。そして、リンクスの数が、このアイソラインに重なる場合、カンジキウサギの変化量がゼロになる

◇縦軸にリンクスの数、横軸にカンジキウサギの数を表すグラフを考えてみます。 $L = r / c$ の直線は、縦軸の上の点 r / c を通る横軸に平行な直線です。リンクスの数が、この直線に重なる場合、カンジキウサギの変化量がゼロになるのです。この直線のことを専門用語でアイソクライン (isocline) と言います。グラフのなかで、変化量がゼロになる部分を表す線という意味です。

【107】このアイソラインよりリンクスの数が多い場合は、エサであるカンジキウサギの数は減っていくはずであり、このアイソラインよりリンクスの数が少ない場合は、カンジキウサギは増えていくはずである

◇ここで生態学の大局観を發揮してみましよう。この直線よりリンクスの数が多い場合はどうなるでしょうか。カンジキウサギを捕まえて食べるリンクスが多くなると、エサであるカンジキウサギの数は減っていくはずです。逆に、リンクスの数が直線より少ない場合は、カンジキウサギは増えていくはずです。カンジキウサギの数は横軸なので、数が増えるのは右向きの矢印、数が減るのは左向きの矢印で表すことができます。

【108】 $H = f / e$ の直線は、横軸の上の点 f / e を通る縦軸に平行なアイソクラインと呼ばれる直線になる。そして、カンジキウサギの数が、このアイソラインに重なる場合、リンクスの変化量がゼロになる。そして、カンジキウサギの数がこのアイソラインより多いと、リンクスの数は増えていくはずであり、カンジキウサギの数がこのアイソラインより少ない場合は、リンクスの数は減っていくはずである

◇(式2)の(2)の微分方程式も、同様のやり方で、

$$H = f / e \quad \dots \quad (\text{式4}) \quad \text{となります。}$$

この式は、「リンクスの変化量がゼロのとき、カンジキウサギの数は f / e である」となります。

$H = f / e$ の直線は、横軸上の点 $H = f / e$ を通る縦軸に平行な直線です。

カンジキウサギの数が、この直線に重なる場合、リンクスの変化量がゼロになるのです。カンジキウサギの数がこの直線より多いと、エサが豊富にあるためリンクスの数は増えていくはずですが、

逆に、カンジキウサギの数が直線より少ない場合は、リンクスの数は減っていくはずですが、リンクスの数は縦軸なので、数が増えるのは上向きの矢印、数が減るのは下向きの矢印で表すことができます。

【109】縦軸にリンクスの数、横軸にカンジキウサギの数を表す2つのグラフを合成することができる。合成グラフは、十字に交わる2本のアイソクラインで4つのエリアに分割されて、それぞれのエリアに、斜めの矢印が示される

◇縦軸にリンクスの数、横軸にカンジキウサギの数を表す2つのグラフを合成することができます。

ここで注目したいのは、2つのグラフで表現された矢印の合成です。

縦の矢印と横の矢印を合成するので、その結果は斜めの矢印になります。

合成グラフは、十字に交わる2本のアイソクラインで4つのエリアに分割されて、それぞれのエリアに、斜めの矢印が示されます。

【110】右下のエリア（フェイズ1）では、カンジキウサギは増えるが、リンクスも増える

◇右下のエリアには、右上向きの矢印があります。・・・（フェイズ1）

これは、「このエリアでは、カンジキウサギは増えるが、リンクスも増える」という意味です。

【111】右上のエリア（フェイズ2）では、カンジキウサギは減るが、リンクスが増える

◇右上のエリアには、左上向きの矢印があります。・・・（フェイズ2）

これは、「このエリアでは、カンジキウサギは減るが、リンクスが増える」という意味です。

【112】左上のエリア（フェイズ3）では、カンジキウサギは減るが、リンクスも減る

◇左上のエリアには、左下向きの矢印があります。・・・（フェイズ3）

これは、「このエリアでは、カンジキウサギは減るが、リンクスも減る」という意味です。

【113】左下のエリア（フェイズ4）では、カンジキウサギは増えるが、リンクスが減る

◇左下のエリアには、右下向きの矢印があります。・・・（フェイズ4）
これは、「このエリアでは、カンジキウサギは増えるが、リンクスが減る」という意味です。

【114】4つの斜めの矢印をスムーズにつなぐと、反時計回りの楕円になることがわかるが、この楕円が、カンジキウサギとリンクスの数の周期性を表している

◇ここで、4つの斜めの矢印をスムーズにつなぐと、反時計回りの楕円になることがわかります。
じつはこの楕円が、カンジキウサギとリンクスの数の周期性を表しているのです。

【115】（フェイズ1）では、リンクスが少ないので、カンジキウサギはどんどん子どもを増やせるが、これが指数関数的な増加である

◇（フェイズ1）は、リンクスが比較的少なく、カンジキウサギが比較的多い場合です。
リンクスが少ないので、カンジキウサギは肉食動物の妨害を受けずにどんどん子どもを増やせます。
カンジキウサギが多いほど、生まれる子どもの数も多くなります。
これが第4章で学んだ指数関数的な増加です。

【116】カンジキウサギがどんどん増えると、リンクスに捕まるカンジキウサギはだんだん増えていくので、カンジキウサギの増加が鈍っていき、ついにマイナスに転じると、（フェイズ2）に入る

◇カンジキウサギがどんどん増えると、リンクスのエサが豊富になるので、今度はリンクスもどんどん増えていきます。
するとリンクスに捕まるカンジキウサギはだんだん増えていくので、カンジキウサギの増加が鈍っていきます。
そして、ついにマイナスに転じると、（フェイズ2）に入ります。

【117】（フェイズ2）ではリンクスの数が多いので、どんどんカンジキウサギを食べていき、カンジキウサギの数が減ってついにリンクスを支えきれなくなったとき、リンクスは飢えて数を減らし始めて、（フェイズ3）に入る

◇（フェイズ2）ではリンクスの数が多いので、どんどんカンジキウサギを食べていきます。
カンジキウサギの数が減っていき、ついにリンクスを支えきれなくなったとき、リンクス

は飢えて数を減らし始めます。
これが（フェイズ3）です。

【118】（フェイズ3）では、両者とも数を減らしていくが、ついに多くのリンクスが飢死にしてしまうと、（フェイズ4）に入って、カンジキウサギは再び増加を始める

◇（フェイズ3）では、カンジキウサギの数は少ないのにリンクスはまだ多いので、両者とも数を減らしていきます。
ついに多くのリンクスが飢死にってしまうと、カンジキウサギは再び増加を始めます。これが（フェイズ4）です。

【119】群集生態学の数式を使って検討してみると、肉食動物と草食動物は増えたり減ったりしながらも、うまい具合に数のバランスを保っていることがわかる

◇以上の説明は便宜上（フェイズ1）から始めましたが、どのフェイズから始めても、結局は同じ形のサイクルに入ることになります。
群集生態学の数式を使って検討してみると、肉食動物と草食動物は増えたり減ったりしながらも、うまい具合に数のバランスを保っていることがわかりました。

【120】生態学者はこのような基本的なモデルを応用して、生態系に生きる生物の暮らしを研究したり、希少な生物を保護する方法を提案したりしている

◇生態学者はこのような基本的なモデルを応用して、生態系に生きる生物の暮らしを研究したり、希少な生物を保護する方法を提案したりしています。
たとえば、コウノトリやトキを野生に戻す際に、その地域で生き延びられるか・10年後に数はどのくらい増えているか、といった重要な予測をするために、数学モデルが使われます。

【121】人間を相手にした社会科学でも、高齢化や年金の問題をきちんと理解するには、30年後の日本の総人口・そのなかに占める高齢者の割合といった、人間の数を予測することが不可欠になる

◇人間を相手にした社会科学でも、やはり数が基本になることがあります。
たとえば、いま日本で問題になっている高齢化や年金の問題をきちんと理解するには、30年後の日本の総人口・そのなかに占める高齢者の割合といった、人間の数を予測するのが不可欠になります。

【122】数学モデルは生態学の強力なツールだが、だからといって

フィールドでの研究をおろそかにしてはならない。生態学者は、例えば、ひとつの動物の群れを長い期間にわたって追いつけることで、その動物がどのくらいのペースで繁殖するかを調べ、その結果としてわかった繁殖率をパラメーターとして代入して、数学モデルを解いているのだ

◇数学モデルは生態学の強力なツールですが、だからといってフィールドでの研究をおろそかにしてはいけません。

この章では、 $c \cdot e \cdot f$ のようなパラメーターがいくつか出てきました。

じつは、このパラメーターに入る数字を決めるために、生態学者はフィールドに出て、雨のなか長時間の観測を続けたりしているのです。

たとえば、ひとつの動物の群れを長い期間にわたって追いつけることで、その動物がどのくらいのペースで繁殖するかを調べます。

その結果としてわかった繁殖率をパラメーターとして代入して、数学モデルを解くのです。

数学モデルを解くのは慣れてしまうとすぐですが、野生動物を相手にする観測にはとても時間がかかります。

数学モデルなら計算を間違えてもやり直すことができますが、精度の低い観測をしてしまうと、そこから入り込んだ誤差のせいで数学モデルの結果がでたらめになってしまいます。この間違いはなかなか修正できません。

生態学では、モデル研究とフィールド研究をバランスよく行うのがとても大事なのです。

■第6章 ライバル関係 ——群集生態学2■

【123】森のように背の高い木がとなり合っているような環境では、背が高くなることで自分だけ日光を浴びて成長しようと競争をしている

◇サバンナには、それほどの高木は見当たらず、世界一背の高い木は、アメリカ西海岸のレッドウッドというセコイア的一种で、まわりにも背の高い木が茂る森の中で生息しています

うっそうと茂った森のように背の高い木がとなり合っているような環境では、背が高くなることで自分だけ日光を浴びて成長しようと競争をしているのです。

競争に負けた木は日陰になって、うまく光合成ができませんから、やがて死んでしまいます。

【124】こうした環境では、背が高くなる遺伝子をもった種が有利なので、自然淘汰によって背の高い子孫が生き残り、繁殖していく。このように競争が原動力になって進化がすすんでいくことを、「軍拡競争」と呼ぶことがある

◇このような環境では、背が高くなる遺伝子をもった種が有利なので、自然淘汰によって

背の高い子孫が生き残り、繁殖していきます。

そうすると、別の種の樹木でもやはり背が高い遺伝子が選ばれていくので、時間が経って進化が進んでいくと、背の高いもの同士の競争がどんどん激化していきます。

このように、競争が原動力になって進化がすすんでいくことを、「軍拡競争」と呼ぶことができます。

競争に負ければ死んでしまうので、軍拡競争は死活問題です。

そのため、ときには「収入の大部分を軍備に費やす」ようなやり方が意味をもつ場合も出てきます。

光合成をつかさどる葉っぱは少ししか作らず、となりの木との競争のための武器である大きな幹を維持しているような巨木がそうです。

【125】背が低い植物も、私たちの身の回りで多く栄えている。植物の世界では、真正面からの競争を避けて、うまく住み分けしているものも存在する。いろんな場所でいろいろな生き方をする植物がいるのは、「ニッチ」がいろいろあるからだ

◇すべての植物がこんな競争をしていたら、地球に残っている植物は巨木ばかり、という状態になってしまうかもしれませんが、実際にはそうでもないようです。

背が低い植物も、私たちの身の回りで多く栄えています。

植物の世界では、真正面からの競争を避けて、うまく住み分けしているものも存在します。巨木が生えている森は、植物にとって特に恵まれた環境なので競争が激しいのですが、それほど環境のよくない場所、たとえば水の少ない乾燥地帯とか、気温の低いツンドラなどなら競争がそれほど激しくないで、そこに生きる木は、背が低くても日光をめぐる競争をしないで生きています。

いろんな場所でいろいろな生き方をする植物がいるのは、「ニッチ」がいろいろあるからです。

【126】激戦区であるはずの森の中にも、うまく競争を避けて生き抜いている植物がいる

◇激戦区であるはずの森の中にも、うまく競争を避けて生き抜いている植物がいます。

日本に広く見られる落葉広葉樹林の冬場の森には陽の光が多く差し込みます。

こんな森をよく観察すると、冬でも緑色の葉をつけた、常緑の灌木（背の低い木）が生えていることがあります。

そのような灌木は、夏場には背の高い落葉樹によって日光をさえぎられてしまうのですが、冬場は少ないながらも日光を使って光合成をして生きながらえることができるのです。

この灌木も落葉樹だったならば、きっと生きていけないことでしょう。

【127】競争関係にある2種類の生物は、それぞれの戦略によって、激しい競争をしたり、あるいは競争を避けたりする

◇このように、競争関係にある2種類の生物は、それぞれの戦略（生物の暮らしのスタイル）によって、激しい競争をしたり、あるいは競争を避けたりします。

【128】まったく同じ戦略をもつ生物が同じ場所に暮らしていれば、結局はどちらかが絶滅するまで、激しい競争を続けることになる。まったく同じニッチに暮らす2種類の生物は、競争的排除によって共存できないのだ

◇もしも、まったく同じ戦略をもつ生物が同じ場所に暮らしていたらどうなるでしょうか。その場合、結局はどちらかが絶滅するまで、激しい競争を続けることとなります。言い換えると、まったく同じニッチに暮らす2種類の生物は、共存できないということです。これを競争的排除 (competitive exclusion) といいます。

【129】生物には、できれば競争を回避しようとする傾向があって、競争をうまく回避できた個体が生き残り、子孫を残していく。クチバシの大きさなどが転換していく、形質転換と呼ばれる現象は、進化の一種である

◇競争は、それに負けた種は絶滅してしまうというような、生物にとって重大な影響をもつことがわかりました。同じエサを食べるもの同士が近くにいると、ある程度の競争は避けられませんが、生物には、できることなら競争を回避しようとする傾向があります。そして競争をうまく回避できた個体が生き残り、子孫を残していくのです。これも進化の一種で、特に形質転換 (character displacement) と呼ばれる現象です。形質とは生物のもつ特徴のことで、たとえばクチバシの大きさなどがこれにあたります。

【130】面積の大きな Santa Cruz 島には、*G.fortis* と *G.fuliginosa* という、よく似た種類のエサを食べる2種類のフィンチがいるが、面積の小さな Daphne Major 島と Los Hermanos 島には、このタイプのフィンチは1種類ずつしか住んでいない

◇ガラパゴス諸島の Santa Cruz 島 は比較的大きな島ですが、その周囲には小さな島がたくさんあります。ここでは、Daphne Major 島と Los Hermanos 島という小島に注目してみます。Santa Cruz 島には *G.fortis* と *G.fuliginosa* という、よく似た種類のエサを食べる2種類のフィンチがいます。一方、Daphne Major 島と Los Hermanos 島は面積が小さく、このタイプのフィンチは1種類ずつしか住んでいません (Daphne Major 島には *G.fortis* が、Los Hermanos 島には *G.fuliginosa* が住んでいます)。それぞれの島のフィンチのクチバシのサイズを測定してみると、興味深いことがわかりました。

【131】2種と一緒に住んでいる Santa Cruz 島で調べたところ、

G.fortis のクチバシは予想より大きく、G.fuliginosa のクチバシは予想より小さくなっていった。Santa Cruz 島で長年一緒に暮らしてきたこの2種のフィンチは、自然淘汰の結果、競争を回避するため異なるサイズのクチバシをもつように進化していたのである

◇カナダのシュルターラが調べたところ、Los Hermanos 島の G.fuliginosa のクチバシは、Daphne Major 島の G.fortis のクチバシより若干小さめでした。

しかし、この2種のクチバシのサイズは重なっていることも多く、もしこの2種が一緒に住めば、激しい競争が起こることが予想されました。

ところが、実際にこの2種が一緒に住んでいる Santa Cruz 島で調べたところ、G.fortis のクチバシは予想より大きく、G.fuliginosa のクチバシは予想より小さくなっていました。

Santa Cruz 島で長年一緒に暮らしてきたこの2種のフィンチは、自然淘汰の結果、競争を回避するため異なるサイズのクチバシをもつように進化していたのです。

これは形質置換の好例です。

この例は生物が知能をもって競争を避けようとした結果ではありません。

それぞれの種のフィンチにはクチバシのサイズにばらつきがあり、たまたまその場所に適したサイズを持った個体が生き残り、子孫を残した結果です。

■第7章 なぜ世界にはいろいろな生物がいるの？—生物多様性■

【132】生命の誕生から長い時間をかけて地球上のさまざまな環境に適応するうちに、それぞれのニッチに適応した生物は、多種多様な種に分化してきた。また、大陸移動などで大昔に切り離された場所には、まったく違う系統の生物が栄えるようになった。これらが生物多様性の生じる原動力である。

◇現在の地球上には数え切れないほどの多種多様な生物が生息していますが、元をたどれば、すべて30数億年前に生まれた共通の祖先に行きつきます。

生命の誕生から長い時間をかけて地球上のさまざまな環境に適応するうちに、生物はいろいろな種類に分かれていきました。

これを「種分化」といいます。

地球上には変化に富んだニッチがあるので、それぞれのニッチに適応した生物は、多種多様な種に分化してきたわけです。

大陸移動などで大昔に切り離された場所には、まったく違う系統の生物が栄えるようになりました。

これらが生物多様性の生じる原動力です。

【133】白亜紀のおわりごろに恐竜が大絶滅したように、種の数が減って生物多様性が低くなることもある。また、地球全体で考える

生物多様性のほかに、地域ごとの生物多様性を考えることも重要である

◇一方、白亜紀のおわりごろに恐竜が大絶滅したように、種の数が減って生物多様性が低くなることもあります。

また、地球全体で考える生物多様性のほかに、地域ごとの生物多様性を考えることも重要です。

たとえば、熱帯雨林に生きる生物は多彩なため、非常に生物多様性が高いということができます。

一方、ツンドラに生きる生物の数は少ないため、熱帯と比べて生物多様性は低くなります。さらに、同じような気候帯にある地域でも、場所によって生物多様性が大きく違うこともあります。

【134】シーラカンスという種は4億年前ごろに登場し、その後脈々と現代まで生き続けているが、4億年もひとつの生物種が存続しているのは、たいへんにめずらしいことである

◇シーラカンスという種は4億年前ごろに登場し、その後脈々と現代まで生き続けています。

4億年もひとつの生物種が存続しているのは、たいへんにめずらしいことです。

シーラカンスの生息する深海は比較的環境が安定した場所なので、いちどその場所に適応してしまえば、その後はそのままの形でずっと生きてこられたのでしょう。

【135】通常、生物種が種分化によって生まれて絶滅するまでのサイクルは、シーラカンスが存続してきた時間よりずっと短い

◇シーラカンスは例外中の例外で、ほとんどの生物種は種分化によって生まれ、そしてさまざまな事情でやがて絶滅していくサイクルに飲み込まれてきました。

通常、種が生まれて絶滅するまでの時間は、シーラカンスが存続してきた時間よりずっと短いのです。

【136】このサイクルの長さは、生物のタイプによって大きな違いがあるが、大雑把に見積もって200~300万年程度のものが多いようだ

◇このサイクルの長さは、化石の記録から推定することができます。

発見されている化石のうち最も古いものと、最も新しいものの年代を調べることで、その生物種が存在していた期間が推定されます。

生物のタイプによって大きな違いがありますが、大雑把に見積もって200~300万年程度のものが多いようです。

【137】化石の記録を使って、これまで地球上に存在してきた生物

の属の数をまとめたグラフがあるが、そのグラフは「カンブリア大爆発」のあった、約5億4千万年前から始まっている

◇化石の記録を使って、これまで地球上に存在してきた生物の属の数をまとめたグラフがありますが、そのグラフは約5億4千万年前から始まっています。

このころ「カンブリア大爆発」という生物学上のイベントが起こりました。

これはカンブリア紀に爆発的に生物のタイプが増えたことを比喩的に表した言葉です。

この時代より前に生息していたほとんどの生物は微生物なので、肉眼で見てわかるような化石はあまり存在しません。

顕微鏡の発達していなかった時代の研究者にとっては、まさにカンブリア紀にとつぜん多種多様な生物が登場してきたように見えたのです。

【138】 そのグラフからは、生物多様性は何億年もかけてだんだん高まっていっていることがわかるが、その増加は常に一定のペースというわけではなく、ときどき「大絶滅」が起こっている

◇そのグラフからは、生物多様性は何億年もかけてだんだん高まっていっていることがわかります。

しかし、その増加は常に一定のペースというわけではなく、ときどき「大絶滅」が起こっています。

大絶滅が起こると、生物の属の数が一時的には減りますが、やがて回復して、だんだん属の数が増えています。

全体的に見て、絶滅する属の数より生まれる属の数が少し多いので、右肩上がりのグラフになっているのです。

【139】 シーラカンスのような種はまれで、ほとんどの種は、数百万年以内のサイクルで生まれては消え、その種が消えると入れ替わりに新しい種が生まれてきている

◇そのグラフで表されている時間にわたって存続しているシーラカンスのような種はまれで、ほとんどの種は、数百万年以内のサイクルで生まれては消え、その種が消えると入れ替わりに新しい種が生まれ、現在に至っているのです。

【140】 生物の多様性は、生物の暮らす地球の環境の歴史的な変化（気温・酸素濃度・日射量・大陸の位置など）によって大きく左右される。また、種分化によって生物種が生まれるペースは、その時点ですでに存在している生物のタイプにも大きく依存する

◇種分化によって生物種はどのくらいのペースで生まれるのか、という法則のようなものはあるのでしょうか。

これに答えるのが難しい理由は、生物多様性が生物の暮らす地球の環境の歴史的変化（気温・酸素濃度・日射量・大陸の位置など）によって大きく左右されるのに加えて、種分化

は、その時点ですでに存在している生物のタイプに大きく依存するからです。

【141】存在している生物種が少ないときは、それを母体にして新たに生まれる生物種も少なく、存在する生物種が多くなると、新たに生まれる生物種も増えていく。しかし、新たに生まれる生物種はどこまでも多くなるわけではなく、ある程度のレベルで頭打ちになる。母体の数がいくら多くても、存在するニッチがあらかじめ満室になっているような状況では、新種は生まれにくくなるのだ

◇マコーサーという生物学者は 1960 年代に、ものごとを大胆に単純化することで、種の分化と絶滅のモデル化に成功しました。

一定の期間に新種として生まれる生物種の数縦軸に、そのときすでに存在している生物種の数横軸に表します。

すでに存在している生物種は、分化によって新たに生まれる生物種の母体になるので、存在している生物種が少ないときは、新たに生まれる生物種も少ないのです。

存在する生物種が多くなると、それを母体にして新たに生まれる生物種も増えていきます。しかし、新たに生まれる生物種はどこまでも多くなるわけではなく、ある程度のレベルで頭打ちになります。

母体の数がいくら多くても、存在するニッチがあらかじめ満室になっているような状況では、新種は生まれにくくなるからです。

【142】存在している生物種が多ければ、絶滅する数も増えていくが、それは直線ではなく、存在している種数が多くなると傾きがきつくなるカーブになっている。種数が多くなると競争が激しくなり、ひとつひとつの種が生息しているニッチは細分化され、少しでも生息環境に問題が生じると、絶滅する確率が高くなる

◇次に、一定期間のあいだに絶滅する生物種の数縦軸に、そのときすでに存在している生物種の数横軸に表します。

すでに存在している生物種が多ければ、絶滅する数も増えていきますが、それは直線ではなく、存在している種数が多くなると傾きがきつくなるカーブになっています。

このカーブを言葉で説明すると、存在している種数が増えるほど、絶滅する確率が高まっていくことになります。

存続している種数が少ないときは生物同士の競争がゆるやかで、どの種も余裕のあるニッチを持っているので絶滅しにくいのですが、種数が多くなると競争が激しくなり、ひとつひとつの種が生息しているニッチは細分化され、少しでも生息環境に問題が生じると、絶滅する確率が高くなるというわけです。

【143】横軸は「存在している種数」を表し、縦軸は「一定時間の種数の変化」を表すものとして上の2つのグラフを重ね合わせると、「新たに生まれる種の数」の曲線と、「絶滅する種の数」の曲線が交

わる点では、種の数が増えもしないし減りもしない。このようにプラスとマイナスが釣り合っている状態を、平衡状態と呼ぶこともある

◇以上の2つの座標を重ね合わせてみることにします。

横軸は全く同じで、すでに存在している種数を表し、縦軸は「一定時間の種数の変化」を表すものとします。

縦軸側に凸の「新たに生まれる種の数」の曲線と、横軸側に凸の「絶滅する種の数」の曲線が交わる点がありますが、この点では、一定期間に生まれる新種の数と絶滅する種の数と同じになります。

この点では、種数は減りもしないし増えもしないので、このようにプラスとマイナスが釣り合っている状態を、平衡状態と呼ぶこともあります。

【144】平衡状態では、トータルの種数は同じでも、その中身を構成している個々の種は、一定の割合で入れ替わっている。地球上の種は、長い目で見れば、新種として生まれてやがて絶滅するというサイクルから逃れることはできない

◇「種数が減りもしないし増えもしない」というと、「存在している生物すべてが安定していて、新種が生まれずに絶滅する種もない」ようなイメージをもってしまうのですが、長い目でみると新種の発生と種の絶滅は常に起こっているのです。

トータルの種数は同じでも、その中身を構成している個々の種は、一定の割合で入れ替わっていることになります。

地球上の種は、長い目で見れば、新種として生まれてやがて絶滅するというサイクルから逃れることはできません。

【145】地球では、場所によって生物多様性が大きく異なっている

◇地球では、場所によって生物多様性が大きく異なっています。

赤道付近の熱帯雨林にはさまざまな動植物が暮らしていますが、北極・南極の方向に向かうにしたがって、生物多様性が下がっていくようです。

いちばん端のツンドラでは、限られた数の生物種しか存在していません。

【146】熱帯の生物多様性が高い理由について、いろいろな説が発表されてきたが、説得力のあるもののひとつは、熱帯は面積が広いからニッチが多く生物多様性が高いという説明である

◇熱帯の生物多様性が高い理由について、いろいろな説が発表されてきました。

気温が高いから生物の新陳代謝が高くなること、生態系の生産者である植物の生産量が多いことなどです。

諸説があるなかで、説得力のあるもののひとつは、熱帯は面積が広いからニッチが多く生物多様性が高いという説明です。

【147】熱帯は面積が広くニッチの数が多いため、新種の生まれる確率は温帯より高く、すでに存在している種数が増えてもなかなか頭打ちにはならない。また、同様の理由で、熱帯では種が絶滅する可能性が低くなる。熱帯の種数の平衡点は温帯の種数の平衡点よりも大きくなるので、より多くの種数で安定するのだ。生物多様性はその場所の面積によって大きく異なるという考え方は、生態学の基本のひとつである。

◇先の2つの座標を重ね合わせて作った座標の考え方を応用して、熱帯の生物多様性が高い理由を説明することができます。

その座標を作るときに考えたコンセプト自体は熱帯にも温帯にもツンドラにも使えるのですが、地域が変わると座標の曲線の位置が変わってきます。

熱帯は面積が広くニッチの数が多いため、新種の生まれる確率は温帯より高く、すでに存在している種数が増えてもなかなか頭打ちにはなりません。

同様の理由で、熱帯では種が絶滅する可能性が低くなります。

というわけで、熱帯の種数の平衡点は温帯の種数の平衡点よりも大きくなるので、より多くの種数で安定するのです。

このように、生物多様性はその場所の面積によって大きく異なるという考え方は、生態学の基本のひとつです。

【148】ガラパゴス諸島のような絶海の孤島では、大陸から生物がやってくることは極めてまれなため、島内の生物多様性の大部分は、島内で独自に進化した生物によって生じていた

◇場所によって生物多様性が異なることについて、時間のスケールは、進化で新種が生まれるほどは長くない程度で、空間のスケールは、瀬戸内海に浮かぶ島々程度の大きさを念頭に考えましょう。

ガラパゴス諸島のような絶海の孤島では、南アメリカ大陸から生物がやってくることは極めてまれなため、島内の生物多様性の大部分は、島内で独自に進化した生物によって生じていました。

【149】瀬戸内海の島の生物は、しばしば本土の生物と「交流」しているのですが、その島独自の生物というのはあまり存在しない

◇ところが、瀬戸内海の島々のように本州や四国といった本土から近い場所では、何かの拍子で本土から生物が島にやってくることはそれほど珍しくありません。

台風などの強い風に乗って多くの種類の昆虫が本土からやってくることは容易に想像できます。

瀬戸内海の島の生物は、しばしば本土の生物と「交流」しているのですが、その島独自の生物というのはあまり存在しません。

【150】瀬戸内海の島のような条件下での生物多様性も、新たにやってくる種数と、絶滅する種数とのバランスで成り立っている。新たにやってくる種の数、すでに存在している生物種が多いときは、少なく、すでに存在している生物種が少なくなると増え方の傾きがきつくなるカーブ-----絶滅する種の数と逆の動き-----で表す

◇この瀬戸内海の島のような条件下での生物多様性を座標で表すことにします。

「一定期間での種数の変化」を縦軸に、そのときすでに存在している生物種数を横軸に表します。

やはり、島の生物多様性も、新たにやってくる種数と、絶滅する種数とのバランスで成り立っています。

絶滅する種数は、先ほどと同じように、すでに存在している生物種が多くなると傾きがきつくなるカーブで表します。

新たにやってくる種数は、すでに存在している生物種が多いときは、少なく、すでに存在している生物種が少なくなると増え方の傾きがきつくなるカーブで表します。

【151】カナブンが生息していない島に、本土から風に乗ってカナブンが飛来してくると、新たな種になり、カナブンが生息している島に、本土から飛来してくることがあっても、新たな種にはカウントされない

◇カナブンが生息していない島に、本土から風に乗ってカナブンが飛来してくると、新たな種になります。

すでにカナブンが生息している島に本土からカナブンが飛来してくることがあっても、新たな種にはカウントされません。

座標の左側のように、すでに存在している種数が少ないときは、新たな種がたくさんカウントされ、座標の右側のように、すでに存在している種数が多いときは、新たな種はあまりカウントされません。

【152】絶滅する種数のカーブと、新たにやってくる種数のカーブの交わったところが、新たにやってくる種数と絶滅する種数が釣り合った平衡点になり、環境が長い間一定に保たれると、この島に存在する種数は、この点の値になる

◇絶滅する種数のカーブと、新たにやってくる種数のカーブの交わったところが、新たにやってくる種数と絶滅する種数が釣り合ったところ、つまり平衡点になります。長い間環境が一定に保たれるとすると、この島に存在する種数は、この点の値になるということです。

島のトータルの種数は一定になりますが、それを構成する個々の種は、絶えず絶滅と飛来を繰り返して入れ替わっていることになります。

【153】 本土からやってくる新たな種の数と同じだとすると、大きい島では、何か環境の変化が起こったときの逃げ場所が多いために、小さい島より絶滅する確率が低くなる。そうすると、平衡点が動いて、大きい島の生物多様性は小さい島より高くなるのだ

◇では、瀬戸内海にふたつの島があったとしましょう。

ひとつは大きい島、もうひとつは小さい島です。

本土からやってくる新たな種の数と同じだとしますが、大きい島では、何か環境の変化が起こったときの逃げ場所が多いために、小さい島より絶滅する確率が低くなります。

絶滅する種の数カーブの位置が下方に変わるので、新たにやってくる種の数と絶滅する種の数との平衡点が変わります。

大きい島の生物多様性は小さい島より高くなるのです。

【154】 瀬戸内海と同面積の島のうち、本土から近いものと遠いもののふたつを比較すると、本土から近い島のほうが遠い島より生物多様性が高くなる。絶滅する種の数カーブは同じだが、本土から近い島のほうが、新たな種がやってくる可能性が高くなるので、平衡点が動いて、本土から近い島のほうが生物多様性が高くなること

◇こんどは、瀬戸内海の島のうち、本土から近いものと遠いもののふたつを比較してみましよう。

このふたつの島の面積は同じくらいと仮定すれば、絶滅する種の数カーブは同じになります。

一方、新たにやってくる種の数カーブの位置は変わります。

本土から近い島のほうが、少しの風でも本土から生物が飛来してくるため、新たな種がやってくる可能性が高くなるからです。

そうすると平衡点の位置が変わり、本土から近い島のほうが遠い島より生物多様性が高くなることわかります。

このように、島の生物多様性は、島の面積と本土からの距離というふたつの条件によって決まっているということが出来ます。

【155】 自然の広葉樹林は、生物多様性が高く、人工の針葉樹林は、生物多様性が低いといわれている

◇この章では、これまで「生物の種類が多い」イコール「生物多様性が高い」という前提で、進化のメカニズムや種の拡散・絶滅のメカニズムを学んできました。

ここでは、そう言い切ってしまうのかを検討します。

人間がまったく手を加えなければ、日本の国土の多くの部分は広葉樹を主体とした森になると考えられています。

温帯の広葉樹の森は生物多様性が比較的高いといわれます。

まず、森を作っている広葉樹の種類が多いので、樹木の多様性は高いのです。

特に落葉広葉樹林は、森の地面にまで光が届きやすいため灌木や雑草なども多く育ちます。さらに、広葉樹の葉や果実・種子などは動物のエサに適したものが多いため、哺乳類・鳥類・昆虫などの動物の多様性も高くなります。

一方、材木として売るために植林されたスギ・ヒノキなどの針葉樹によって構成された森は、樹木の多様性が低いことに加えて、森が暗いため雑草が少なく、エサが見つからないため動物もあまりいません。

このように、自然の広葉樹林と、人工の針葉樹林を比べると、生物多様性は大きく違うといえます。

【156】村全体に広葉樹の森が広がっている A 村と、森の大部分が針葉樹の植林地になっていて、ごく一部の広葉樹林が残っている地域を自然保護区にしている B 村、を比較する

◇山あいのふたつの村を比較します。

A 村では、村内の自然に手をつけていないため、村全体に広葉樹の森が広がっていて、たくさんの生物が暮らしています。

B 村では、森の大部分が針葉樹の植林地になっていますが、ごく一部の地域を自然保護区に設定し、そこには広葉樹林が残っています。

【157】調べた村じゅうの種数を合計すると、A 村と B 村の種数は、だいたい同じになった

◇このふたつの村に生物の分類学者が調査に入りました。

村じゅうで見つかる植物や動物の種数をカウントしていくのです。

予想通り A 村ではたくさんの種が見つかりました。

B 村では、大部分の地域では生物種の数が高かったのですが、自然保護区の広葉樹林だけにはたくさんの種が住んでいました。

調べた村じゅうの種数を合計すると、A 村と B 村の種数は、だいたい同じになりました。たとえば、A 村ではギフチョウという近年数の減ってきたチョウが村のいたるところで飛んでいましたが、B 村では、自然保護区でほんの数匹見つかっただけでした。

それでも、種数のカウントとしては、どちらの村でも1種類になるのです。

【158】生態学者は、単なる種数だけではなく、個体数に偏りがみられないかを知るために、「種の均等性 (species evenness)」という生物多様性の評価方法を使うことにしている

◇この結果をみて、はたして「A 村と B 村の生物多様性は同じである」と結論してよいのでしょうか。

そこで生態学者は、単なる種数だけではなく、個体数に偏りがみられないか（たとえば村のほとんどがスギ林になっていないか）を知るために、「種の均等性 (species evenness)」という生物多様性の評価方法を使うことにしています。

ここではわかりやすい例としてシャノン指数 (Shannon index) を紹介しておきます。

【159】いま、人間の活動のために、世界中の多くの種の生息範囲がせばめられ、あるものは絶滅し、あるものは絶滅危惧種になっている。このペースでいくと今後 100 年のうちに、人間のために世界中の生物種のうちの半分以上が絶滅する危険性があるともいわれる。いま私たちは、生物多様性の保護について、真剣に、早急に考えなければならぬ時期にきている

◇この章では、新種として現れた生物種はやがて絶滅することや、島にやってきた生物種もやがて絶滅することを学んできました。

生物多様性の維持のために大事なものは、新種が発生するペースと、種が絶滅するペースの比較です。

いま、人間の活動のため、世界中の多くの種の生息範囲がせばめられ、あるものは絶滅し、あるものは絶滅危惧種になっています。

E・O・ウィルソンによると、このままのペースでいくと今後 100 年のうちに、人間のせいでも世界中の生物種のうちの半分以上が絶滅する危険性があるとのこと。

このペースは、自然に新種が生まれるペースの百倍から千倍ものスピードです。

表現を変えると、いま人類は、1 億年に 1 回くらいしか起こらないはずの大絶滅をまさに引き起こしているともいえるのです。

そうなれば、地球の自然環境は大幅に変わってしまうことでしょう。

そして、生物多様性がこのような大絶滅から回復するには、数千万年から数億年が必要になるかもしれません。

いま私たちは、生物多様性の保護について、真剣に、早急に考えなければならぬ時期にきています。

そのために、いま学んでいる生態学の基礎知識が役立つことを願っています。

■第8章 動物の不思議な習性をサイエンスする一行動生物学■

【160】ハトが群れになっていると大勢の目で敵を見張ることができるので、オオタカが危険な距離に近づく前に発見し、余裕を持って逃げ出すことができる

◇イギリスの鳥類学者のケンワードは、1978 年の論文で興味深い研究結果を発表しました。

オオタカがハトを襲う様子を観察したところ、ハトが単独行動をしていた場合はオオタカの狩りの成功率は 8 割近かったのに対し、ハトの群れが大きくなると、狩りの成功率は 2 割以下になったのです。

ハトが群れになっていると大勢の目で敵を見張ることができるので、オオタカが危険な距離に近づく前に発見し、余裕を持って逃げ出すことができるのです。

【161】群れを作る傾向をもった遺伝子のあるものばかりが生き延びて繁殖するので、ハトやイワシはすばらしい団体行動ができてい

るのだ

◇このような研究結果をみると、個体のバリエーションとして団体行動の上手・下手に差があったとすると、第3章で学んだ自然淘汰の原理によって、上手に団体行動をとれる個体が生き残り、一匹でさまよい出るような個体は淘汰されてしまったと考えられます。群れを作る傾向をもった遺伝子のあるものばかりが生き延びて繁殖するので、ハトやイワシはすばらしい団体行動ができているのです。

【162】突然変異などによってまわりの仲間と違う個性的な見た目になってしまうと、敵に捕まりやすいため淘汰されやすいことになる。だから、ハトやイワシなど群れを作る動物は個体同士がたいへんよく似ていて、お互いを区別しにくくなっている

◇ラッツによる2012年の研究では、ハトの群れのなかでも特に、羽の色や模様が独特のものがオオタカにねらわれやすいことがわかりました。

ラッツはこれを「oddity effect」（風変わり効果）と呼びました。

見た目が「風変わり」だと、オオタカにとって個体を識別しやすいため、追いかけている途中で獲物を見失わずに捕まえることができるのです。

突然変異などによってまわりの仲間と違う個性的な見た目になってしまうと、敵に捕まりやすいため淘汰されやすいこととなります。

だから、ハトやイワシなど群れを作る動物は個体同士がとてもよく似ていて、お互いを区別しにくくなっているのです。

【163】将来、ライフスタイルの違う新種が分化するようなことがあれば、現在は自然淘汰で不利な立場にある「単独行動派」の遺伝子や「風変わりな」遺伝子が、有利なものとして日の目を見ることもあるかもしれない

◇ところで、すべての動物の暮らしにおいて、団体行動に適さないと絶対にダメ、個性的な見た目は絶対にダメというわけではありません。

例えば、トラのライフスタイルでは、広い縄張りのなかで単独行動をするのが適しています。

ヒラメのライフスタイルでは、海底の砂地に単独でひそむのが適しています。

もしも将来、ハトやイワシからライフスタイルの違う新種が分化するようなことがあれば、現在は自然淘汰で不利な立場にある「単独行動派」の遺伝子や「風変わりな」遺伝子が、有利なものとして日の目を見ることもあるかもしれません。

【164】動物の行動には「絶対の正解」というのはあまりなく、常にメリットとデメリットがつきまとうものなので、群れを作ることの費用対効果を分析しなければならない

◇ハトやイワシの例では、群れを作ることは敵から身を守るのに有利だということがわか

りました。

しかし、動物の行動には「絶対の正解」というのはあまりなく、常にメリットとデメリットがつきまとうものなのです。

つまり、群れを作ること得をすることもありますが、損をすることもあつたのです。

動物の行動についても、第1章で学んだ経済感覚で、群れを作ることの費用対効果进行分析しなければなりません。

【165】群れを作るメリットでは、襲ってくる敵に早く気づけることは大きなメリットの一つである

◇群れを作るメリットでは、襲ってくる敵に早く気づけることは大きなメリットです。

動物の種類によっては集団で敵に立ち向かったりするものもあります。

敵に襲われた場合、「希釈」という効果もあります。

オオタカとハトのように、襲う側が単独で、襲われる側が集団の場合、万一誰かが犠牲になるとしても、集団が大きければ自分がやられる確率が下がる、つまり希釈と表現される効果です。

集団で縄張りを見張ったり、ライバルと戦ったりする動物もいます。

肉食動物の場合は、群れで狩りをするのもメリットです。

極寒の南極大陸でヒナを育てるコウテイペンギンは密度の高い群れを作ります。

ダンゴ状に寄り添った集団を作ること、少しでも暖かくなるようにしているのです。

寒い地域に暮らすニホンザルも、サルダンゴという集団を作ること寒さをしのいでいます。

さらには、なかまと暮らすことで、役に立つ知識を他の個体から教えてもらえるという利点もあります。

学習は、一般的に高い知能をもった動物にみられる行動です。

【166】デメリットとしては、群れているとエサをひとり占めできないということである。群れのなかで暮らす個体は、エサの奪い合いやいじめなどのさまざまなストレスにさらされている

◇デメリットとしては、群れているとエサをひとり占めできないということです。

オオタカという敵がいるから、ハトは仕方なく群れていると考えることもできるのです。

群れのなかで暮らす個体は、エサの奪い合いやいじめなどのさまざまなストレスにさらされています。

さらに、動物が群れていると、単独行動の場合よりも伝染病が広がりやすいというデメリットもあります。

【167】「見張りに費やす時間」は、群れの大きさが大きいときは、少なく、群れの大きさが小さくなると増え方の傾きがきつくなるカーブで表す

◇アメリカの生物学者キャラコは1979年に、群れの最適なサイズについてのシンプルで説得力のあるモデルを発表しました。

そのモデルは動物の時間の使い方を最適化するというアイデアで作られています。
時間の配分を縦軸に、群れの大きさを横軸に表します。

「見張りに費やす時間」は、群れの大きさが大きいときは、少なく、群れの大きさが小さくなると増え方の傾きがきつくなるカーブで表します。

単独行動のハトはつねにオオタカを警戒していなくてはいけないので、ゆっくりエサを食べていられませんが、群れのサイズが大きくなると、その群れのなかの個体が見張りに費やす時間は少なくてすむようになります。

大勢のなかまが少しずつの時間と労力で敵を見つければいからです。

【168】「けんかに費やす時間」は、群れの大きさが小さいときは、少なく、群れの大きさが大きくなると増え方の傾きがきつくなるカーブで表す

◇同じく、時間の配分を縦軸に、群れの大きさを横軸に表します。

「けんかに費やす時間」は、群れの大きさが小さいときは、少なく、群れの大きさが大きくなると増え方の傾きがきつくなるカーブで表します。

群れが大きくなると、それだけなかま同士でエサの奪い合いが起こったり、多くのストレスが生じたりすることになります。

【169】「見張りに費やす時間」のカーブと、「けんかに費やす時間」のカーブは、群れのサイズが中くらいのところで交わる。その交点は、見張りに費やす時間とけんかに費やす時間の合計が最小の点なので、その動物が最も多くの時間をエサを食べるのに使える群れのサイズだといえる

◇以上の2つのグラフを重ね合わせてみることにします。

「見張りに費やす時間」のカーブと、「けんかに費やす時間」のカーブは、群れのサイズが中くらいのところで交わります。

群れのなかの個体は、群れが小さい場合は見張りに費やす時間が多く、群れが大きくなるとけんかに費やす時間が多くなります。

この動物がエサを食べるのに使える時間は、エサ場にいる総時間から、見張りに費やす時間とけんかに費やす時間を引き算した余りになります。

群れのサイズが中くらいのときが最も多くの時間をエサを食べるのに使えるので、これがベストな群れのサイズであるといえます。

【170】オオタカの数が増える場所にエサ場が存在したら、この場所のハトは、ほかの場所よりオオタカに対する見張りを厳重にする必要がある。群れのなかの個体が見張りに費やす時間のカーブは、ほかの場所の場合よりも上にシフトするので、最も多くの時間をエサの時間に使える群れの大きさは、これまでの場合よりも大きくなる

◇状況が変わったときにベストな群れのサイズがどのように変化するかを調べてみましょう。

もしも、オオタカの数が増える場所にエサ場が存在したら、そこに行くハトの群れのサイズはどうなるでしょうか。

この場所のハトは、ほかの場所よりオオタカに対する見張りを厳重にする必要があります。そのために、群れのなかの個体が見張りに費やす時間のカーブは、ほかの場所の場合よりも上にシフトします。

見張りの時間が増えると、エサの時間は減るわけですが、最も多くの時間をエサの時間に使える群れの大きさを読み取ると、これまでの場合よりも群れのサイズが大きくなります。

【171】ある種のメリットを重視するとほかのデメリットが増える状況を「トレードオフ」という。トレードオフがある状況では、いつでも当てはまる完璧な答えはないので、状況によって刻々と変わるメリットとデメリットを何らかの経済感覚で判断しなければならない

◇大きな群れにも小さな群れにも、それぞれの長所と短所があります。

ある種のメリットを重視するとほかのデメリットが増える状況を「トレードオフ」といいます。

トレードオフがある状況では、いつでも当てはまる完璧な答えというのはありません。

状況によって刻々と変わるメリットとデメリットを何らかの経済感覚で判断することが、動物の暮らしにも人間の暮らしにも求められます。

【172】ハトの繁殖の時期で、彼らがいつもより攻撃的になり、けんかがより頻繁に起こる状況では、けんかに費やす時間のカーブが上にシフトすることになる。最も多くの時間をエサの時間に使える群れの大きさは、これまでの場合よりもサイズが小さくなる

◇また状況を少し変えてみましょう。

今度はハトの繁殖の時期で、彼らがいつもより攻撃的になり、けんかがより頻繁に起こる状況を想定します。

そうすると、けんかに費やす時間のカーブが上にシフトすることになります。

そして、最も多くの時間をエサの時間に使える群れの大きさを読み取ると、これまでの場合よりも群れのサイズが小さくなります。

【173】このような費用対効果分析は、経済学などで私たち人間のベストな行動を推測するのによく用いられる方法だが、人間だけではなく、動物にも使うことができる

◇このような費用対効果分析は、経済学などで私たち人間のベストな行動を推測するのによく用いられる方法ですが、人間だけではなく、動物にも使うことができます。

人間向けの費用対効果分析は、メリットとデメリットを単純明快に表現する基準として「お金」を使うことができるのでシンプルです。

たとえば店を経営する場合、売上から費用を引き算したものが利益ですから、利益が最大になるやり方がベストになります。

ここで基準として用いた「お金」は、種類の違うものを比較するのにとても便利なものです。

たとえば店の経営に必要な費用として上げられる仕入れ・家賃・人件費などは、すべてタイプの違う費用ですが、お金に置き換えると足し算も引き算も簡単です。

【174】アメリカの生物学者キャラコが、上のようなモデル化に成功したのは、単純明解な「時間」という基準を使って、オオタカに捕まることとハト同士のけんかとを比較することができたからである

◇動物の場合、お金のよう単純明解な基準を決めるのはなかなか難しいことです。

たとえば、ハトはオオタカに捕まると命を落とします。

一方、ハト同士のけんかでは、ストレスがたまったり少々痛い思いをしたりするかもしれませんが、すぐに死ぬほどではありません。

オオタカに捕まることとハト同士のけんかは、どちらもネガティブなイベントですが、タイプがぜんぜん違うので、その影響を直接比較するのは困難です。

そこで、キャラコはとても冴えたやり方を考案しました。

彼がモデル化に成功したのは、単純明解な「時間」という基準を使って、オオタカに捕まることとハト同士のけんかとを比較することができたからです。

【175】何かと何かを比較してベストな行動を決定するには、「お金」や「時間」のような明解な基準が必要になる

◇何かと何かを比較してベストな行動を決定するには、「お金」や「時間」のような明解な基準が必要です。

英語圏の生態学者は、このような基準のことを currency（日本語では「通貨」）と呼んでいます。

動物の行動を人間にたとえて、「最も得をする」行動をベストとみなすわけです。

ハトの群れのサイズの例では、時間が currency に相当します。

最も長時間エサを食べていられる群れのサイズがベストだというわけです。

■第9章 微生物が取り持つ地球環境——物質循環■

【176】たとえば、糖類・タンパク質・脂肪などの有機物の骨組みを作っている炭素は、植物の光合成によって大気から生物に取り込まれ、その植物を動物が食べ、植物や動物が死ぬと、微生物に分解されて大気にかえるというサイクルのなかを循環している

◇生命を形作るのに欠かせない元素の代表的なものに、炭素・水素・酸素・窒素などがあります。

私たち人間もサクラの木もバクテリアも、みんなこういう元素でできています。

基本的に地球上の元素は新たに作られることも消えてしまうこともないので、生物は何十億年もの間、必要な元素を何度も何度も繰り返して使ってきました。

たとえば、糖類・タンパク質・脂肪などの有機物の骨組みを作っている炭素は、植物の光合成によって大気から生物に取り込まれ、その植物を動物が食べ、植物や動物が死ぬと、微生物に分解されて大気にかえるというサイクルのなかを循環しています。

ほかにも、窒素やリンなどの元素や、水などの化合物（水は水素原子と酸素原子でできている化合物）も、生命と深いかわりを持ちながら、地球上を循環しています。

【177】物質循環の研究では、特定の種類の植物や微生物にはあまり着目せず、マクロな視点から地球全体・地域全体としてどういう活動をしているかを推測することに重点が置かれている

◇このようなサイクルを物質循環といい、生態学の主要な研究分野のひとつとなっています。

物質循環を行なっている生物の主役のひとつは植物で、もうひとつは土の中や水の中などで暮らす微生物です。

そして物質循環の研究では、特定の種類の植物や微生物にはあまり着目せず、マクロな視点から地球全体・地域全体としてどういう活動をしているかを推測することに重点が置かれています。

【178】地表面に近い土壌には、比較的最近に死んだ生物に由来する有機物、「土壌炭素」が含まれている。その土壌には、土壌炭素をエネルギー源とする微生物が住んでいて、土壌炭素を分解し、二酸化炭素として大気に放出している。このようなはたらきを「呼吸」という

◇陸上の植物や水中の植物プランクトンは、光合成によって二酸化炭素を取り込んで有機物を作ります。

有機物とは、糖類・タンパク質・脂肪など、炭素を骨組みにもつ物質のことです。

このような有機物は、すべての生物になくはないだけでなく、地球上のいろいろな場所に存在し、重要なはたらきをしています。

地下深くに蓄積されている石油・石炭・天然ガスなどの化石燃料も、炭素が主体の有機物です。

化石燃料は太古のむかしに死んだ生物がもとになってできています。

地表面に近い土壌には、比較的最近に死んだ生物に由来する有機物、「土壌炭素」が含まれています。

その土壌には、土壌炭素をエネルギー源とする微生物が住んでいて、土壌炭素を分解し、二酸化炭素として大気に放出しています。

このようなはたらきを「呼吸」といいます。

【179】「呼吸」の量は、「総一次生産」すなわち植物の光合成の量とほとんど同じで、うまくバランスがとれていることがわかる。そして、地球上の炭素は、生物のはたらきによって循環していることがよくわかる

◇「地球の炭素循環の模式図」を見ると、大気から陸上の生態系に入っている「総一次生産」（1200 億トン／年）という矢印は光合成のことで、この植物のはたらきによって、炭素は大気から生態系に取り込まれています。

逆に、陸上の生態系から大気に入っている「呼吸」（1196 億トン／年）という矢印が微生物と植物が主役の呼吸による炭素のことで、

そして「呼吸」の量は、「総一次生産」すなわち植物の光合成の量とほとんど同じで、うまくバランスがとれていることがわかります。

こうしてみると、地球上の炭素は生物のはたらきによって循環していることがよくわかります。

【180】炭素循環の主体は植物と微生物であり、生態系が自然に出している量のほうが、人間が化石燃料を燃やして排出している量（64 億トン／年）よりも、ずっと大きいことがわかる

◇このように、いま地球温暖化の原因物質として注目されている二酸化炭素は、人間が燃やす化石燃料からだけではなく、生態系からも放出されています。

というより、炭素循環の主体は植物と微生物であり、生態系が自然に出している量のほうが、人間が排出している量（64 億トン／年）よりも、ずっと大きいことがわかります。

【181】人間の活動は、数年間くらいでは影響がそれほど現れないが、数十年以上もずっと化石燃料を燃やし続けていると、だんだんと影響が現れてくるようになる

◇人間の活動は自然の炭素循環と比べればそれほど大きくはないので、数年間くらいでは影響がそれほど現れませんが、人間が数十年以上もずっと化石燃料を燃やし続けていると、だんだんと影響が現れてくるようになるのです。

【182】地球温暖化は、時間の観点からもスケールの大きな問題なので、問題が大きくなる前に対策をしなくてはならないタイプの環境問題だ

◇地球温暖化は、時間の観点からもスケールの大きな問題です。

温暖化の影響は、数年間程度ではあまりわからなくても、数十年以上経つとその影響がしだいにはっきりと出るようになります。

だから、問題が大きくなる前に対策をしなくてはならないタイプの環境問題です。

【183】地球温暖化は、観測によって状況を把握したり、将来を予測したりするのが難しい問題だが、生態学のモデル化の考え方が有用である

◇地球温暖化は時間的にも空間的にもスケールが大きいので、観測によって状況を把握したり、将来を予測したりするのが難しい問題です。
こういう状況では、生態学のモデル化の考え方が有用です。

【184】土壌炭素は主に、植物の葉っぱ・枝・根・茎などが枯れたり死んだりして土に入ることによって作られている。これが土壌炭素へのインプットである

◇まず、土壌炭素がどのように蓄積されているのかを考えることから始めます。
土壌炭素は主に、植物の葉っぱ・枝・根・茎などが枯れたり死んだりして土に入ることによって作られています。
これが土壌炭素へのインプットです。
植物の体に含まれる炭素は光合成によって作られているので、土壌炭素へのインプットは、元をたどれば光合成による生産だといえます。
さらに元をたどれば、土壌炭素の原料は大気中の二酸化炭素に行きつきます。

【185】生物が約三十億年間、光合成を行なって、大気中の二酸化炭素を吸い取ってきたのだが、いまだに大気中の二酸化炭素がなくなってしまうのは、光合成に釣り合うだけの微生物の呼吸があるから、二酸化炭素の大気中濃度はおよそ一定に保たれているということなのだ

◇さて、生物進化によって光合成が生まれてから、約三十億年になります。
以来、生物はさかんに光合成を行なって、大気中の二酸化炭素をせっせと吸い取ってきたのですが、いまだに大気中の二酸化炭素がなくなってしまうのはなぜでしょうか。
それは、光合成に釣り合うだけの微生物の呼吸があるから二酸化炭素はなくなり、二酸化炭素の大気中濃度はおよそ一定に保たれているということなのです。

【186】土壌炭素を呼吸によって分解して、再び大気に返す微生物は、植物と同じくらい大事な仕事をしていることになる

◇もしも微生物による呼吸がなければ、植物が成長してやがて死ぬたびに、土壌の炭素がどんどんたまっていて、大気中の二酸化炭素はすべて土壌の炭素に変わってしまうことでしょう。
土壌炭素を呼吸によって分解して、再び大気に返す微生物は、植物と同じくらい大事な仕事をしていることになります。

【187】 土壤炭素の変化を微分方程式で表すと、
 $dC/dt = \text{input} - \text{output}$ のようになる

◇土壤炭素の変化を微分方程式で表すと、次のようになります。

$dC/dt = \text{input} - \text{output}$ C は土壤炭素の量。
input は死んだり枯れたりして土壤炭素になる植物の組織。
output は微生物の呼吸。

dC/dt は一定の時間あたりの土壤炭素の変化量です。
ここでは、「一定の時間」を「一年」と考えておきます。
土壤炭素にインプットがあると変化量はプラスで、アウトプットがあると変化量はマイナスになります。
インプットとアウトプットの両方がある場合は、どちらが大きいかによって、プラスになるかマイナスになるかが変わります。
ここから式を改造していきます。

【188】 土壤炭素へのインプットは死んだり枯れたりした植物の組織ですが、これをリター (litter) と呼ぶ。ある場所に生えている植物の状態が長年にわたって安定しているならば、毎年だいたい同じくらいの量のリターが生じると考えてよい

◇土壤炭素へのインプットは死んだり枯れたりした植物の組織ですが、これをリター (litter) と呼びます。

ある場所に生えている植物の状態が長年にわたって安定しているならば、毎年だいたい同じくらいの量のリターが生じると考えてよいので、

$\text{input} = 1$ と定義してみます。リターの量は毎年一定だと仮定すると、1 は定数です。

◇次に、アウトプットを定義してみます。

$\text{output} = kC$ この式は、「土壤炭素は毎年一定の割合 k で微生物の呼吸によって分解される」ということを意味します。

【189】 上の微分方程式を書き直すと、
 $dC/dt = 1 - kC$ ……(式1) となる

◇上の微分方程式を書き直すと、

$dC/dt = 1 - kC$ ……(式1) となります。

インプットは定数そのものなので年によって変化せず、常に一定ですが、アウトプットには変数 C が入っているので、年によって変化するという事です。

【190】この微分方程式のグラフは、ヨコ軸に「時間」、タテ軸に「土壌炭素」をとって、土壌中にまったく炭素がない原点の状態からスタートし、どのようなペースで土壌炭素がたまっていくかを表すものである

◇この微分方程式をコンピュータで解いてグラフにしてみます。

このグラフは、ヨコ軸に「時間」、タテ軸に「土壌炭素」をとって、土壌中にまったく炭素がない原点の状態からスタートし、どのようなペースで土壌炭素がたまっていくかを表すものです。

【191】グラフでは、時間が経つにつれて土壌炭素はだんだん増加していくが、その増加のペースはしだいに頭打ちになって、ついには一定の量で安定することになる

◇グラフでは、時間が経つにつれて土壌炭素はだんだん増加していきますが、その増加のペースはしだいに頭打ちになって、ついには一定の量で安定することになります。

なぜこうなるかという、インプットの量は一定ですが、アウトプット（kCの部分）の量は土壌炭素がたまるにつれて大きくなるからです。

インプットとアウトプットの大きさが同じになったとき、グラフの頭打ちの部分が水平になり、土壌炭素の量は平衡状態に達して安定します。

【192】植物と微生物の存在する自然の生態系を、長年そっとしておくと、やがて土壌炭素の量は一定の値で落ち着くということである

◇このグラフからわかることは、植物と微生物の存在する自然の生態系を長年そっとしておくと、やがて土壌炭素の量は一定の値で落ち着くということです。

【193】「植物はどんどん光合成をして二酸化炭素を吸収してくれる」という人がいるが、自然の生態系は、無限に炭素を吸収してくれる魔法の箱ではない

◇「植物はどんどん光合成をして二酸化炭素を吸収してくれる」という人がいます。

このような考え方自体は事実ですが、事実の一側面しか表現していないので、誤解を招くことがあります。

自然の生態系は、無限に炭素を吸収してくれる魔法の箱ではありません。

植物が光合成で吸収した二酸化炭素については、微生物がそれと同じ量の炭素を呼吸に使って大気に放出しているわけです。

【194】二酸化炭素を増やしている一番の原因は、人間による化石

燃料の使用である。それだけではなく、人間による「土地利用の変化」、つまり森林の伐採などが、二酸化炭素を増やしている原因となっている

◇植物を使って二酸化炭素を減らす方法はないのでしょうか。

「地球の炭素循環の模式図」から、二酸化炭素が増えている一番の原因は、人間による化石燃料の使用です。

この「地球の炭素循環の模式図」には、人間による「土地利用の変化」、つまり森林の伐採などが、二酸化炭素を増やしていることも描かれています。

【195】森林の生態系は樹木や土壤に大量の有機物を蓄積しているので、伐採した樹木を燃やしても、燃やさずに使用しても、森林の伐採には、大気中の二酸化炭素を増やす働きがあることがわかる。したがって、伐採した森林を元の状態に戻すことや、いま伐採されかけている森林を保護することで、二酸化炭素の排出を減らすことは、非常に大事な対策になる

◇森林の生態系は樹木や土壤に大量の有機物を蓄積しているのですが、森林を伐採してしまうとどうなるのでしょうか。

たとえば、焼畑農業のために森を燃やしてしまうと、樹木の体を作っていた有機物は燃えてしまい、二酸化炭素として大気に出ていくことになります。

土壤の中の炭素はどうなるのでしょうか。

森林を伐採すると樹木がなくなりますから、先の（式1）において、土壤炭素の原料であるリターのインプットが入ってこなくなり、式の値は常にマイナスの状態、つまり土壤から大気へ二酸化炭素として出ていく状態になります。

このように考えてみると、森林の伐採には、大気中の二酸化炭素を増やす働きがあることがわかります。

したがって、伐採した森林を元の状態に戻すことや、いま伐採されかけている森林を保護することで、二酸化炭素の排出を減らすことは、非常に大事な対策になります。

【196】炭素は、大気・地表面付近・海洋を循環している。もし人間が化石燃料を使わないとすると、大気・地表面付近・海洋に含まれるトータルの炭素の量はほぼ一定である。森林をキープすることは、地表面付近の炭素量を増やすことになって、その分だけ大気に含まれる炭素量が減ることになるのだ

◇森林が長年にわたって安定していることが、はたして温暖化の対策になるのでしょうか。安定した森林では、炭素のインプットとアウトプットが釣り合っているため、大気中の炭素を吸収する効果はありません。

しかし、森林の樹木と土壤に炭素が蓄えられているということは、それだけ大気に含まれる炭素を減らす効果があるのです。

炭素は、大気・地表面付近・海洋を循環しています。

もし人間が化石燃料を使わないとすると、大気・地表面付近・海洋に含まれるトータルの炭素の量はほぼ一定なのです。

この一定量の炭素のうち、どのくらいの量が大气にあるかによって地球温暖化の度合いが変わります。

森林をキープするということは、地表面付近の炭素量を増やすことになって、その分だけ大気に含まれる炭素量が減ることになるのです。

【197】 人類が森林を元に戻すことができれば、樹木や土壌に以前と同じように炭素が蓄えられ、森林の伐採で生じた二酸化炭素の増加の分だけ吸収することになって、炭素の蓄積量は元に戻る。

ただ、たとえ森林をキープしたとしても、人間が地下深くから掘り出す化石燃料から排出される二酸化炭素までを吸収しきれない訳ではない

◇人類が森林を伐採したことで樹木や土壌に蓄えられていた炭素が二酸化炭素として大気中に放出され、温暖化に一役買うことになります。

もし、人類が森林を元に戻すことができれば、樹木や土壌に以前と同じように炭素が蓄えられ、森林の伐採で生じた二酸化炭素の増加の分だけ吸収することになって、炭素の蓄積量は元に戻ります。

ただ、たとえ森林をキープしたとしても、人間が地下深くから掘り出す化石燃料から排出される二酸化炭素までを吸収しきれない訳ではありません。

【198】 温暖化問題では、炭素循環から切り離され、地下深く眠っていた炭素が、炭素循環に投げ込まれることが問題になっている。根本的な解決策としては、化石燃料を使うのをやめるか、化石燃料から生じた二酸化炭素を隔離して、再び地下深くに戻すか、ということになる

◇人間が化石燃料を掘り出さなければ、炭素は大気・地表面付近・海洋だけで循環しています。

炭素循環から切り離され、地下深く眠っていた炭素が、炭素循環に投げ込まれることが問題になっているわけですから、根本的な解決策は、化石燃料を使うのをやめるか、化石燃料から生じた二酸化炭素を隔離して、再び地下深くに戻すか、ということになります。

【199】 生態系全体と大気の間関係を見ると、吸収する量と放出する量が釣り合っているため、どれだけ時間が経っても二酸化炭素がなくなってしまうことはない。このように、二酸化炭素の吸収と排出が釣り合っている状態を、「カーボンニュートラル」という。自然の生態系は、基本的にカーボンニュートラルを保っている

◇植物が光合成で二酸化炭素を吸収した分だけ、微生物や動物は呼吸によって二酸化炭素を放出します。

生態系全体と大気の間を見ると、吸収する量と放出する量が釣り合っているため、どれだけ時間が経っても二酸化炭素がなくなってしまうことはないのです。

このように、二酸化炭素の吸収と排出が釣り合っている状態を、「カーボンニュートラル」と言います。

自然の生態系は、基本的にカーボンニュートラルを保っています。

【200】人間の暮らしを考えると、人間が食べ物を食べて二酸化炭素を排出しても、それを植物が吸収して光合成をするので、カーボンニュートラルになっている

◇人間の暮らしを考えると、私たちは、植物が光合成をしてできた炭素に由来する食べ物を食べています。

肉を食べることもありますが、その動物のエサをたどれば、やはり植物の光合成です。

人間が食べ物を食べて二酸化炭素を排出しても、それを植物が吸収して光合成をするわけですから、カーボンニュートラルになっています。

【201】ところが、人間の工業が発展すればするほど、化石燃料が消費され、大気中に二酸化炭素が放出されるので、産業革命によって人間の暮らしはカーボンニュートラルではなくなった

◇ところが、産業革命によって、人間は化石燃料を大々的に使うようになりました。

人間の工業が発展すればするほど化石燃料が消費され、大気中に二酸化炭素が放出されますから、産業革命によって人間の暮らしはカーボンニュートラルではなくなったのです。

これが地球温暖化の原因です。

昔ながらの農業・林業・漁業などはカーボンニュートラルですが、そこに化石燃料が関わると、炭素の排出源になるのです。

今日では、化石燃料に変わるエネルギー源として、太陽光・風力による発電や植物バイオマス燃料などが注目されています。

これらは、うまく使えばカーボンニュートラルになるので、温暖化の対策として有効です。

■第10章 無理せずエコしよう——生態系サービス■

【202】公害や自然破壊などの環境問題の根底には、「共有地の悲劇 (tragedy of the commons)」がある

◇そもそも、なぜ環境問題が起こるのでしょうか。

公害や自然破壊などの環境問題の根底にある原理について、アメリカの生態学者ギャレット・ハーディンは1968年の有名な論文で、「共有地の悲劇(tragedy of the commons)」というたとえを使って説明しました。

むかし、牧畜を行なうヨーロッパのある村には、村人共有の牧草地がありました。村人は皆、自分の飼っている牛を共有の牧草地で放牧して、牛に草を食べさせていました。その村ではそうして長いあいだ牛を飼っていたのですが、あるとき村人のひとりが、「ほかの村人よりたくさんの牛を放牧すればお金がもうかる」ことに気づいて、実行したのです。牛をたくさん育てた、その人はお金持ちになりました。それを見ていた近所の人たちも真似をはじめて、みんながたくさんの牛を放牧するようになりしました。その結果、共有の牧草地の草はどんどん食べ尽くされていきました。最終的には、牛たちが食べる草がなくなってしまい、この村の牧畜業は破綻するにいたったのです。

【203】牛の数を増やしていくと、共有地であろうが私有地であろうが、環境容量という制約から、やがて牛を養いきれないときがやってくる。共有地の場合には、環境容量を超えて草が足りなくなってきたことに気づいても、村人は自分から進んで自分の牛の数を減らそうとはしないのだ

◇このたとえ話から、私たちは何を学べるのでしょうか。もし、各家族ごとに私有の牧草地を持っていたらどうなったでしょうか。牛の数を増やしていくと、共有地であろうが私有地であろうが、環境容量という制約から、やがて牛を養いきれないときがやってきます。共有地と私有地で違うのは、村人のその後の反応です。もし私有地であれば、環境容量を超えたことがわかれば、牛の数を減らそうとするでしょう。ところが共有地の場合には、環境容量を超えて草が足りなくなってきたことに気づいても、村人は自分から進んで自分の牛の数を減らそうとはしないのです。

【204】牛の数が環境容量以下ならば、この村では未永く牧畜を営むことができただろう。このような人と自然の関わり方には、「持続可能性（sustainability）がある」という

◇この悲劇から学べるもうひとつの要素は、持続可能性（sustainability）という考え方です。牛の数が環境容量以下ならば、この村では未永く牧畜を営むことができたでしょう。このような人と自然の関わり方には、「持続可能性がある」といいます。この村では、みんなが短期的な目先の利益を追い求めたために悲劇が起こってしまったのです。

【205】皆が利己的な金儲けに必死になっているだけなのに、その結果は社会全体の利益になっている。これがアダム・スミスを感動させたところである

◇18世紀のイギリスの経済学者アダム・スミスは、自由な経済活動が社会全体の利益になる原理を発見し、その仕組みのあまりのすばらしさを、まるで神様が導いてくれているようだと考え、「神の見えざる手」(invisible hand)と表現しました。

市場経済において、モノのちょうどよい価格は、需要と供給のバランスによって決まります。

市場において、買い手はできるだけ安くよい品を買おうと目をぎらつかせています。

一方、売り手はできるだけ高く買ってもらおうとあの手この手を尽くします。

市場の参加者は、皆、利己的なのです。

自分が得をすればよいのであって、他人のために慈善事業をしようなどと思っはけません。

しかし、こんな状況でこそ、神の見えざる手は、すばらしい効果を生み出すのです。

モノのちょうどよい価格は、政治家などの第三者が介入しなくても、需要と供給のバランスによってひとりで決まるのです。

しかも、市場経済のシステムでは、価格や生産量は、社会の状況に応じて、リアルタイムで変動するメカニズムが働きます。

たとえば、ある商品の社会からの需要が増すと、市場での価格が上昇します。

そうすると、それを見ていた他の企業が我も我もと作り出すので、ほどなく社会に必要な分の供給が達成されます。

しかも、そのときには商品が十分行き渡っているので、価格も適正なレベルに落ち着いているのです。

皆が利己的な金儲けに必死になっているだけなのに、その結果は社会全体の利益になっている。

これがアダム・スミスを感動させたところです。

【206】神の見えざる手の原理は共有地の悲劇をカバーする力を持っていないことが、その後の環境破壊や公害問題で明らかになってきた

◇ところが、神の見えざる手の原理は共有地の悲劇をカバーする力を持っていないことが、その後の環境破壊や公害問題で明らかになってきました。

生き馬の目を抜く市場でお金を儲けるには、少しでも安くモノを作らねばなりませんので、原理的に、環境にかまっているひまがないのです。

たとえ長期的に害の及ぶことがわかっているとしても、今日のお金を儲けるためには、環境破壊もやむなしというのが、放置された市場経済のダークサイドなのです。

私たちの身の回りの空気・水・海・森のすべてが私有物なら共有地の悲劇は起きませんが、世界の空や海はつながっているので、残念ながら世界の誰かが利己的な活動をすれば、その影響が世界中に及ぶのです。

【207】何らかの強制力のあるルールを作って共有地の悲劇を防ぐというのが根本的な対策になる

◇人間は、思いのままに行動すれば、ともすれば共有地の悲劇を引き起こしてしまいます。

それゆえ、村においては、飼育できる牛の数についての厳しい掟（おきて）を作らなければなりません。

現代では、国の法律によって、公害物質の排出を規制しなくてはなりません。
さらに、魚の乱獲を防ぐために国際条約を取り決めなければなりません。
このように、何らかの強制力のあるルールを作って共有地の悲劇を防ぐというのが根本的な対策になります。
古典的な経済学の立場からすると、自由な経済活動がベストなのですから、ルールによる規制というと、不自由でネガティブなイメージが付きまといますが、ここは、私たち一人ひとりが理解しなくてはならない点です。

【208】生態系サービス（ecosystem services）というポジティブな考え方で環境保護を進めよう、ビジネスと自然保護を両立させようという動きが盛んになってきている

◇近年は、規制というネガティブな方法ではなく、生態系サービス(ecosystem services)というポジティブな考え方で環境保護を進めよう、ビジネスと自然保護を両立させようという動きが盛んになってきました。
生態系サービスとは、自然が私たち人間に与えてくれる、さまざまな利益のことです。自然の恵みという考え方は古くからありますが、生態系サービスは、これを系統的にまとめて、人間とどのように関係しているのかを具体的に示し、可能ならば人間の金銭的な価値基準に換算しようという考え方です。
自然保護にはコストがかかりますが、その結果として守られる自然の恵みには経済的な価値があることを認識するために、このような考え方は役に立ちます。
