



平成13年度（第10回）ブループラネット賞
受賞者記念講演会

財団法人 旭硝子財団

THE ASAHI GLASS FOUNDATION

目次

受賞者紹介

ロバート・メイ卿.....	1
---------------	---

記念講演

「生物多様性：その由来と重要性、および保全について」.....	3
---------------------------------	---

受賞者紹介

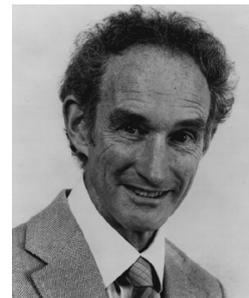
ノーマン・マイアーズ博士.....	17
-------------------	----

記念講演

「環境科学の新領域を開拓して」.....	19
----------------------	----

受賞者紹介

ロバート・メイ卿 (オーストラリア)
Lord (Robert) May of Oxford



英国王立協会会長

受賞業績

『数理生物学を発展させ、生態系保全策のための基盤を提供してきた業績』

略歴

1936 1月8日オーストラリアで生まれる
1956 シドニー大学卒業
1959 博士号取得 (シドニー大学、理論物理学)
1959-61 米国ハーバード大学研究員
1962-72 シドニー大学教授 (物理学)
1973-88 米国プリンストン大学教授 (動物学)
1988-95 英国オックスフォード大学、インペリアル校教授
1995-2000 英国政府主席科学顧問
2000- 12月英国王立協会会長に就任 (現在に至る)

主な受賞歴等

1979 Fellow of the Royal Society of London
1980 Weldon Memorial Prize (Oxford University)
1984 MacArthur Award
1991 The Linnean Society's Linnean Medal
1991 Overseas Member, Australian Academy of Sciences
1992 The Inaugural Christian Marsh Prize
1992 Foreign Member of the US National Academy of Science
1995 Zoological Society Frink Medal
1996 Crafoord Prize in Biosciences (Sweden)
1998 Balzan Prize (awarded by the President of Italy)

ロバート・メイ卿はシドニー大学で理論物理学の研究を進めた後、研究領域を数理生物学に移して、米国プリンストン大学で研究業績をあげ、現在は英国オックスフォード大学で世界をリードする学者として活躍しています。

理論物理学で培った数理的思考法を生物の世界に適用して、メイ卿は、1973年に食物連鎖を手掛かりに生物社会の安定性と複雑さについて数理モデルを用いて考察する“Stability and Complexity in Model Ecosystems”を著しました。一般に複雑な群集の中では生物の動態はより安定になると考えられていましたが、この考察によって、群集の動態モデルにおいて種数を増やしたりランダムに種間相互作用を付け加えると、系が安定になる確率はむしろ小さくなることを明らかにしました。この研究以来、メイ卿は数理生物学の分野で目覚ましい成果を積み上げることとなりました。

さらに、1次元非線形微分方程式が、安定状態から、一見不規則で乱雑に見えてもある傾向を示す‘カオス的’な変動までを含む動的状態をよく表すことを初めて見出しました。そして、1976年に“Nature”に発表した論文をはじめとする一連の研究により、生物学において‘カオスの動力学’と呼ぶ新たな領域を構築したのです。

また、環境の平衡状態に対して、‘ゆらぎ’とよばれる変動や環境の不均一性を対比させ、個体数変動を予測するモデルを最初に作成して解明し、環境政策の立案に貢献しています。

最近の10年間に、メイ卿は次の二つの領域で指導的な立場に立っています。

一つは、熱帯が生物多様性に富んでいる理由を詳細に調査し、生物多様性の時間的、地理的な変化を明らかにしています。開発した数理生物学的手法は、生物多様性の基盤である種の多様度を計測し、その変動を推量することを可能とし、生物多様性の構成や滅失についての理解を助けています。そして、これらの解析から現在を歴史上最大の種絶滅の危機の時代であると警告し、早急な対応の必要性を強く訴え続けています。

二つ目には、環境変化により種を越えて伝播したエイズや現在問題とされる伝染性疾患をとりあげ、単純化した解析モデルとコンピューターシミュレーションとを組み合わせることで、伝染の予測と対策に必要なデータを明確にし、有効な提言をしています。

上述の多くの成果はすでに内外から高く評価されており、1995年には英国政府主席科学顧問を委嘱され、また2000年からは、英国王立協会会長に就いています。これらの立場からも、生態系の保全、地球温暖化などの緊急な環境問題や、各種の医学・生物学上の問題について幅広く考察し、積極的に対策を提言しています。

生物多様性：その由来と重要性、および保全について

ロバート・メイ卿

はじめに

2001年度ブループラネット賞を頂き、光栄に思います。近年、多くの科学者によって、生物多様性の由来と重要性、ならびに生物多様性への増大する脅威についての理解が深められています。今回、私がこの賞を頂いたのは、こうした科学者たちの学界（コミュニティ）の象徴的な代表者としてであるということ、強く自覚しております。また環境科学と保全科学の重要性を認識してこのような賞を創設された旭硝子財団に対し、特に敬意を表したいと思います。

今日の豊かで多様な動植物の生命がどのようにして存在するに至ったかを的確に理解するためには、その根底にある生態系についての様々な疑問に答える必要があります。例えば、生物種の相互作用の仕組みは、生態系の攪乱から回復し、侵入に抵抗する生物群集の能力にどのような影響を及ぼしているのでしょうか？ また、種の豊かさ、普遍性、稀少性には様々な様式が見られますが、このような様式を決定する要因は何なのでしょう？ より一般的に言えば、何によって、各地の種の数決定されるのでしょうか？ そして何よりも、種の絶滅はどのような原因が組み合わされて生じるのでしょうか？ また絶滅の速度は現在、どの程度まで加速されているのでしょうか？ 以下に、これらの疑問の一部に対する回答を示すとともに、いまま不明確である領域についてもご紹介したいと思います。

生態系の構造

初期の考え方

1970年頃には、生態学者の先駆けである Charles Elton と Evelyn Hutchinson の研究結果を受けて、「複雑な」生物社会（種数の多いもの、および/または種間のつながりが、より豊かな社会）の方が「安定性」が高い（人間や自然による攪乱への抵抗力や回復力に優れている）というのが、教科書にも記載されている常識でした。ですが私は、種数が少ない生態系の数理モデルを、種数が多い生態系の数理モデルと比較することによって、このような単純な一般的法則など有り得ないことを明らかにしました。同じ条件のもとでは、かえって複雑なシステムの方が、変動に弱い可能性があるのです。この点およびその他の関連研究を、“Stability and Complexity in Model Ecosystems”と題する研究論文にまとめました（1973年、1974年に第二版）。2001年にはプリンストン大学の出版部が、この私の著書を“Landmarks in Biology”シリーズの一冊として、“記憶に残されるべき思考”との紹介を付して復刊しています。

生態系の安定性と複雑性

この私の研究は、生態系の構造と機能に関する重要な研究テーマを見直す上で役立つのではないかと思います。まず1つには、相互に作用する動植物の集団全体としての生産性を、この集団を構成する各個体群内の生産性と変動性から、より慎重に区別するようになりました。Tilman ら（1996年、1998年）、Naeem および Li（1997年）らによる最近の研究では、私の過去の提案「集団を構成する種数が増加する（「種の豊かさ」が増す）」という意味での複雑性または多様性の増加は、全体としての生産性を安定化させる傾向にあるが、そのような集団の中での個々の種は、その個体数が変動しやすくなるとの意見を、支持する傾向が見られます。またもう1つには、食物連鎖網における種間の相互作用の増加（「結びつき」の増加）は、外部攪乱に対する抵抗力を自動的に高めるわけではないことも明らかになっています。そして現在は、特定の生態系において複雑性と安定性を両立させる、種の部分集合間の特殊な結びつきについて理解しようとする努

力がなされています (McCann ら、1998 年)。

現代の総合化された視点

私は次のように、より広く考えています。進化の過程で、生態系は2つの相反する力の間で拮抗状態に置かれています。一方では、進化はあらゆる機会や生態的地位を好んで活用し、多様性を増す方向へと進む傾向にあります。他方では、種がより豊かな集団は一般的に変動に対してより弱く、多様化を限定する傾向にあります。環境的に比較的予測しやすい状況下では、例えば熱帯雨林や一部の珊瑚礁などにおいては、これら2つの相殺する圧力は、種の豊かさに富んだ集団寄りに存在します。より厳しく、予測がより難しい環境、例えば寒帯の森林や河口域などでは、比較的単純な構成の集団寄りとなっています。どちらの場合にも、落ち着く地点は各個体群の変動に対する平均的な許容程度によって決定されますが、その程度は長期的に見ると、どの場合にも、広く似通っています。上述の通り、このことは過去の常識とは矛盾しますが、熱帯の集団における変動のレベルに関する観察結果や様々な分野の実験結果とは、合致することが多くなっているようです。

種の分布と豊かさのパターン

種の相対的豊かさ

集団内や生態系内の種の相対的豊かさには様々な傾向が見られます。古くから存在する集団においては、種が相対的に豊かな状況のパターンは、初期の世代を更新してゆく状況あるいは外乱を多く受ける状況において見られるパターンよりも均一になる(多くの場合、対数正規型分布の部分集合によって表される)傾向があります。このような「標準の」対数正規型パターンは、多数の生態学のおよび進化的な要因が一層多く相互作用を及ぼしあって生じているものと解釈することができます。こうしたパターンは、異なった種類の「希少性」について理解する上で、とりわけ示唆を与えます。(Rabinowitz 1986年、Gaston 1994年)(表1参照)。特に、「希少である」ことが、必ずしも絶滅の危機にあるわけではないことを明確に教えています。この後者の「絶滅の危機」に関しては、しばしば誤解されているように思われます。例えば「絶滅の危機にある植物」の現在の IUCN (国際自然保護連合) レッドリスト (Walter および Gillett 1997年) には、不思議なことに、これに相当する動物についてのレッドリストとは異なり、あらゆる「希少な」植物を絶滅の危機にあるとして載せています。

表 1 *Biological Flora of the British Isles*に掲載された160の植物種の分布。地理的分布(広範囲または小規模)、生息地の特異性(広範または限定的)、及び、局地的数度(限られた場所に群生、あるいは、場所は問わないが少ない植生量)によって、8つのグループに分類される。丸で囲まれたグループ(広範囲な地理的分布、広範な生息地、限られた場所に群生)を「一般」とし、残りの7グループを「7稀種」とする(Rabinowitzら1986年)。

地域個体群規模	地理的分布			
	生息地の特異性 (広範囲)		生息地の特異性 (小規模)	
	広 範	限 定 的	広 範	限 定 的
限られた場所に群生	58	71	6	14
場所は問わないが少ない植生量	2	6	0	3

種の数と生息面積との関係

地域の面積とそこに見られる種の数には、その他の条件が同じ場合、相関関係があります。面積が10分の1に減少すると(保護区が確立され、その周囲の環境が変わった場合など)種数はほぼ半分になります。より一般的には、 $S=cA^z$ という指数法則の関係があります。ここでSは種の数、Aは面積を、cは群毎に異なる定数を表しており、べき指数zは通常、0.2から0.3の範囲にあります。図1にその例を示します。おもしろいことにこの関係は、上述の種の相対的豊かさの「標準の」対数正規型分布に、個体の総数は面積とほぼ直線的に比例するとの仮定を組み合わせることによって、導き出されています(最近の検討内容については、May および Stumpf, 2000 年を参照)。これらの理論上の仮定の不確かさを考慮すると、種の数と面積とのこの関係が自然界の中で極めて広範囲に見られることは、驚くべきことかも知れません。このことには重要な意味合いがあります。特に、将来の絶滅速度を試算するにあたってどうしてこのような考えが適用できるのかについて、以下に見てみることにしましょう。

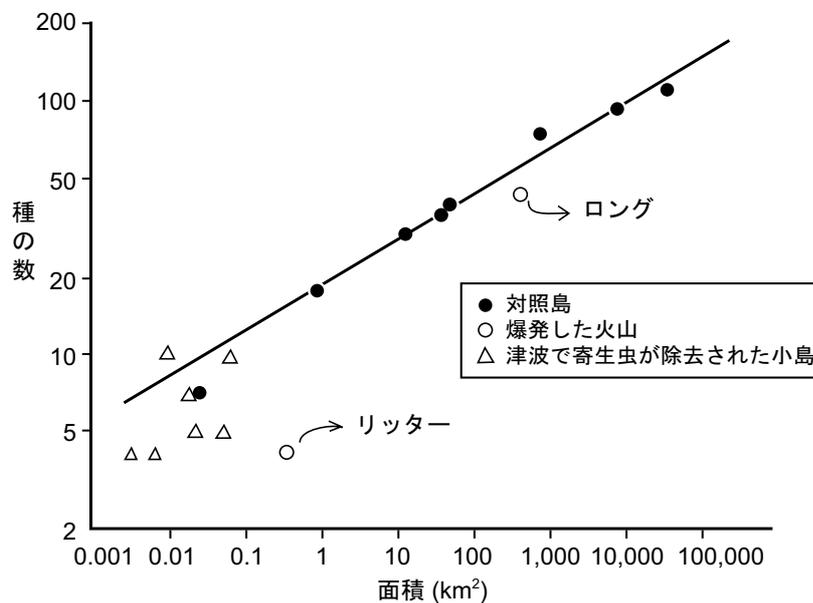


図1 諸島における、種の数と島の面積との関係を表したグラフ。ビスマルク諸島の島々に生息する非海洋低地鳥類の数 "S" を、両対数目盛で、島面積の関数としてプロットした。●は、比較的影響を受けていない島々を表し、直線 $S=18.9A^{0.18}$ は、諸島内の大きな7つの島に関するデータの最小平均二乗を示す。○は、爆発した2つの火山、リッター山とロング山を指し、これらの山々、特にリッター山では、植生が完全に再生していないために、種数が依然として平衡状態を下回っている。△は、1888年に起こったリッターの津波の被害にあった珊瑚島を表す (Diamond 1974年)。

種の数とその物理的な大きさとの関係

動物種数は、それが物理的にどの大きさの部類に属するかによって、体系的に異なります。陸生動物の場合、体長が10分の1(あるいは質量が1000分の1)に減少すると、その種数はほぼ100倍に増加します(May 1978年)(図2参照)。この大まかな法則は、数ミリメートル前後の体長の部類にまでは通用しますが、これ以下の体長になると逆に種数は減少します。このように、陸生動物では体長が4桁以上にわたる大きさの範囲で当てはまり、また海洋動物についてもほぼ同様の範囲に当てはまりますが、この大まかな法則の、生態学的あるいは進化的な起源は何なのでしょう(Fenchel 1993年)? この法則に基づく小動物の分析はどの程度まで正しく、またそれは何ゆえなのでしょう、そしてそれはどの程度まで、より小さな生

物に関する知識の不足に帰因しているのでしょうか？

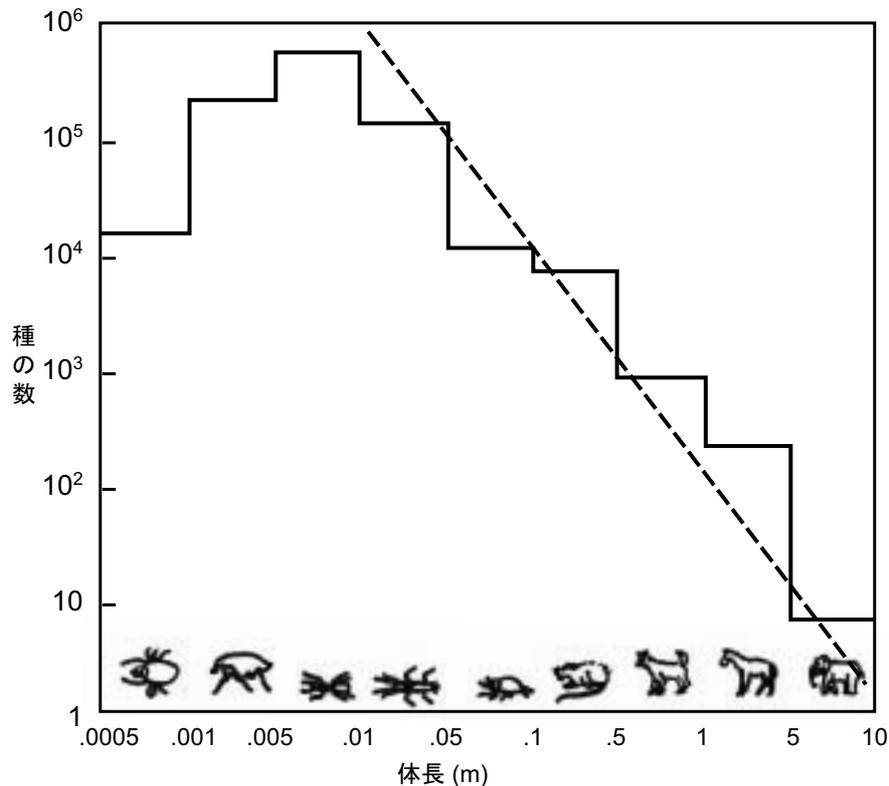


図2 体長 L によって分類された全ての陸生動物の分布に関する粗予測。破線は、図3 (S =種の数)にあるように、 S と L^{-2} との関係を表す (May 1978年)。

体の大きさと地理的範囲

種の体の大きさとその地理的分布の範囲との関係のパターンは、体系的に注目され始めたばかりです。中ぐらいの大きさの生物(昆虫)よりも比較的大きい生物や微生物(原生動物以下)の方が、その地理的分布範囲が一般に広いという可能性があります。本当にそうだとすると、このようなパターンは、つい先程述べた種の数と体長の物理的大きさの影響も絡んで、気候変動に伴う地理的分布範囲の変化の可能性とも関連させることが可能になります。

食物連鎖網の構造のパターン

ある食物連鎖網内の各動植物の種は、互いにわずか3種から5種の間で食べたり食べられたりしていると強く主張されてきました。なぜこの数はこのようにおおよそですが、ほぼ一定していて、しかもこれほどまでに少ないのでしょうか？ また、このような連鎖網における食物連鎖の長さ(つまり、一次生産植物から、これらの植物を食べる動物、そしてその動物を食べる動物という繰り返しの連鎖を通して最終捕食者までを結ぶ結合数)について、なぜわずか3から4の結合の長さが一般的とされており、しかも食物連鎖網内や食物連鎖網間には、驚くほどの差異がないのでしょうか？ 繰り返しますが、なぜこんなにほぼ一定の法則があり、なぜ食物連鎖はこれほどまでに短いのでしょうか？ これらの重要な経験的パターン(Pimm 1991年)は、複雑なデータを収集し、分析することによって引き出されたものとも言えるでしょうが、これには重大な疑問があります。このような疑問に対しては、様々な説明がなされています。食物連鎖における上位、下位レベル間のエネルギー移行の効率性、その集団の動態と構造との関係、過度に複雑な連鎖がもつ進化上の不安定性

などです。しかし、これまでに提示されたこれらの説明には皆、重大な欠陥があります。

見掛け上異なる疑問間の結びつき

上述の疑問が、「地上には幾つの種が存在しているのか」という一見するとより単純に思われる疑問と、いかに緊密に結びついているのかを示すために、食物連鎖網のパターンと地球上の種の数との関係を考えてみましょう。個々の環境において、進化的および生態学的要因によって食物連鎖網の構造がいかにして決定されてきたのかを根本的に理解していれば、動物種の数とこれらの動物を最終的に支えている一次生産植物種の数との平均的な比率を、個々の環境状況内の食物連鎖網について予測でき、従ってこのような比率の地球規模の平均値も予測できるはずですが、植物種の地球全体の数は、10%ほどの誤差で、約30万種であることは確かです。従って、動物種の植物種に対する比率がわかれば、この生態系の構造の理解に基づく間接的な論理によって、動物種の総数を見積もることができるでしょう。ですが残念ながら、まだこのような理解には至っていません。現在入手可能な大まかな経験的データによって、食物連鎖網内の動物種対植物種の比率は、場所によって大きく異なるものの、約10:1であることが示されています。この非常に大まかな経験の見積りによると、地球上の動物種は約300万種だということになります。この点については、後でもう一度取り上げたいと思います。

植物および動物個体群の動態

私が行っている研究の全く別の部分も、究極的には生物多様性に関連しています。なぜなら生物多様性は、個体群が攪乱に対していかに反応し得るかを解明するうえで、驚くほど役立つからです。

自然界のバランス？

「自然界のバランス」に関する初期の研究は、環境の変動による影響を受けなければ、個体数はほぼ安定しており年々変わることはない、暗黙のうちに想定する傾向がありました。しかし植物および動物の個体群の密度を左右する要因(すなわち食物供給、捕食者、伝染病、巣作りの場所とその他の縄張りに関する事項、およびその他の多数の要因)は、非線形に作用する傾向があります。つまり、集団の大きさを一定に、あるいは均衡させようと働く力は、集団の大きさに左右されるので、集団が倍になったからと言って、単純に出生率や死亡率が倍増するわけではないのです。「線形」的に比例する場合より、出生率は低下し、死亡率は上昇するかも知れません。これが「非線形」の持つ意味なのです。要するに、支配するメカニズムが非線形の場合には、「2+2」の答えは必ずしも「4」にはならないということです。

カオスと他の意外性

生物個体群がフィードバックの機構によって制御されている関係を示す最も単純な非線形方程式は、驚くべきまた不思議な数々の挙動を表しています。昆虫や魚の集団を研究している様々な研究者がそのシステムを説明する方程式として提示した中で、最も単純な非線形方程式(純粋に決定論的なもので、統計的な要素を全く伴わない)でも、予想通りの一定の平衡状態の解だけでなく、安定的に自ら発生してくる増減のサイクルや、そしてさらに驚くべきことに一見すると不規則な変動さえも示します。例えば、温帯にいる多数の昆虫などの重複しない世代からなる集団では、(毎年成体が現れて、翌年に成体となる卵を産み、そして死ぬ)個体数は単純な次の式で表されます。 $X_{t+1} = r X_t (1 - X_t)$ ここで X_t は t 年における個体数で、 X が 1 に達するとその個体群は消滅するという設定です。 r は低密度の場合 (X が 0 に近い場合) の本来の成長速度です。この単純な方程式の計算を携帯用の計算機を使って繰り返し行えばわかるように、 r が 1 と 3 の間であれば、この方程式は一定の平衡値に、つまり過去の生態学上の直感的知識から予想される通りの値に落ち着きます。

r が 3 より大きく約 3.57 以下であると、自ら継続する周期が見られます。そして r が 3.57 より大きく 4 以下であると、「カオス」が生じます。カオスとは一見すると不規則な変動であり、このような普通の単純な決定論的方程式によっても生じてきます。この動態は図 3 に示されます。

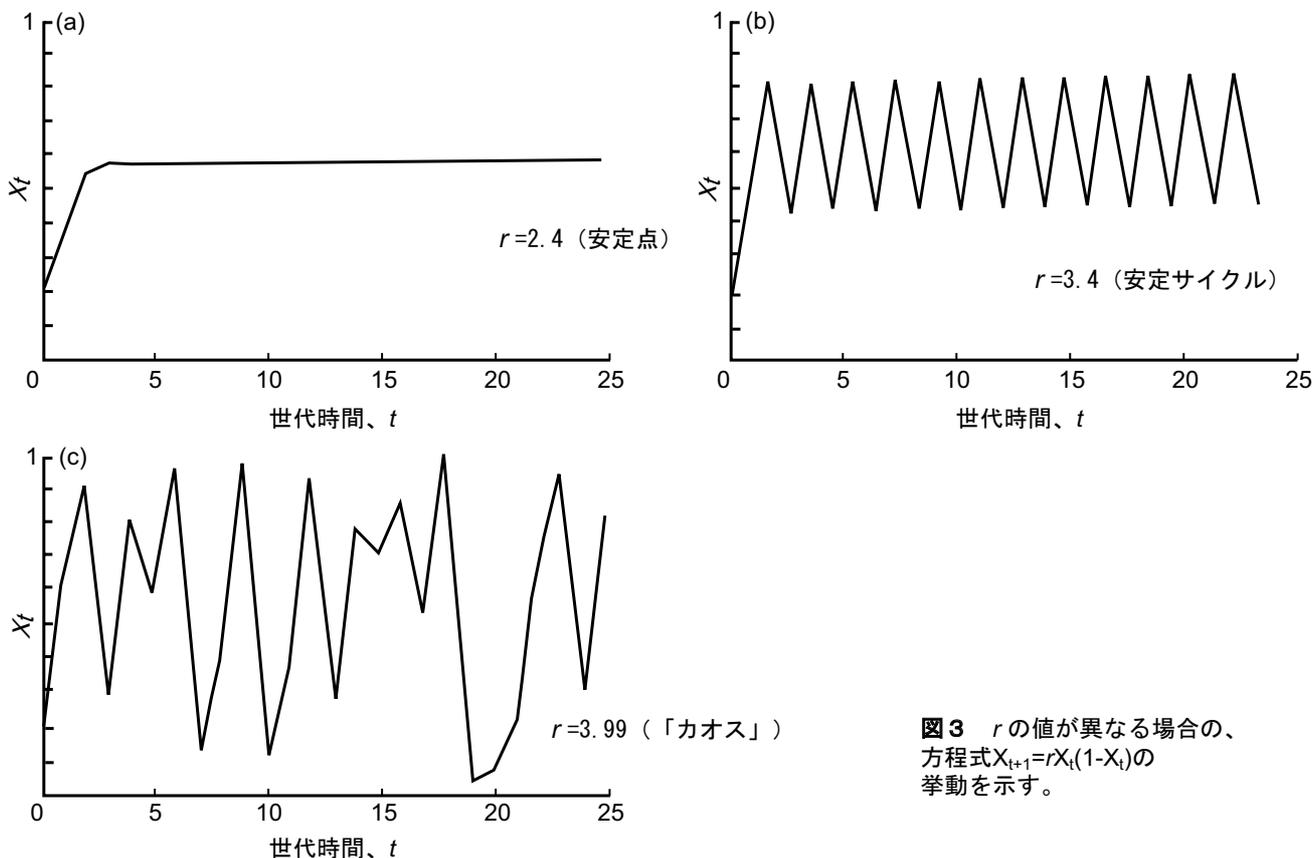


図3 r の値が異なる場合の、方程式 $X_{t+1}=rX_t(1-X_t)$ の挙動を示す。

カオスが一般的に意味するもの

純粋に生態学的な疑問に端を発したこの考察は、カオスを科学の舞台の中心に押し出した研究の 1 つとなりました (May 1974 年、1976 年；他に Lorenz のもっと複雑な 3 つの微分方程式を連立した気象学上の数式 (1963 年))。単純で十分に決定論的な法則や数式が、不規則なノイズと実際上見分けのつかない動的なパターンを表現できることを認識したことは、科学にとって極めて深い意味合いを持つものです。法則を知れば予測を行えるというニュートン学説派の夢の終わりをはっきりと示すものだからです。約 10~15 日先の地元の天気を予報することは、単に計算能力の問題ではなく、混沌とした動的システムにつきものの予測不可能性の問題でもあるのです。

カオスの生態学的意味合い

周期的な、さらにはカオス的な変動は生態系で広範囲にみられます。「自然界のバランス」が環境の変動によってしばしば攪乱されることは、以前から認識されていました。しかし「自然界のバランス」は、それ自体が調節機構を持つ非線形の動的挙動によって、周期的にあるいは不規則に変動することがよくあるのです。生物多様性の由来と重要性を理解するためのカオスをもつ意味合いについては、まだ、十分には認識されておりません。(May 1985年)

生物多様性

現在の知識レベルは？

これまでに述べたような生態学的疑問を背景として、私たちは同じ地球で一緒に暮らす植物や動物、微生物の世界について、どの程度知っているのでしょうか？ 様々な客観的な基準に照らし合わせても、その答えはきっと、「よく知らない」ということになるでしょう。まず、命名され記録された種の数に幾つあるのかについては(図書館の目録に何冊の本が含まれているかと同じく事実についての単純な質問)、140万種から180万種だと推定されています。二つ目に、現在地球に存在する種の総数が幾つなのかについては、その推定値は約300万種から多くは3,000万種、あるいは多分それ以上まで、10倍もの範囲にわたっています。そして三つ目に、生息地の破壊の他、人口増加による結果として、現在どの程度の速度で種の絶滅が進行しているのかについては、私達の知識はさらに限られています。

幾つかの個人的な推定

以下に簡単に、以上の3つの質問に対する私自身の考え得る最良の推定結果について簡単にまとめてみます。命名され記録されている明確な種の数については、同物異名に関する未解決の問題のために不確実性が残されている点を強調したいと思います。現存している種の可能な総数については、私は、これまでに発表されている推定値の中では最低の値寄りに考えており、その理由をこれから説明します。また、現在および将来の種の絶滅の可能性については、比較的正確なアプローチを紹介します。これは絶滅の比較速度に基づくもので、種の総数を扱う場合につきものの不正確さを一部ながら避けることができます。

命名された種の数：背景

種の体系的な命名と記録は、比較的最近になって始められました。1758年にリンネ式生物分類法で約9,000種を識別したのが最初です。今日では命名され、記録されている現存種の総数は170万から180万と見積もられています。驚くべきことに、全種を1つにまとめあげた目録は存在しません。よく知られた一部の群、特に鳥類と哺乳類については、通覧的でコンピューター処理された目録があります。しかし、命名されている種の半分以上(約56%)は昆虫であり、その大半はいまだに個々の博物館やその他のコレクションのカード目録に載せられたままです。例えば、命名されている甲虫種の約40%は1つの地域のみで知られているに過ぎず、またその多くは標本が1つしかありません。要するに、群によって分類学的努力の程度が大きく異なっているということです。全分類学者の約3分の1は脊椎動物を対象に、さらに3分の1は脊椎動物と比較して10倍も多い植物を対象に分類作業を行っています。そして残りの3分の1が、数では脊椎動物より少なくとも100倍以上多い無脊椎動物を分類しているのです(表2参照)。

表2 分類学者による分類：オーストラリア、米国、及び、英国の分類群間における研究作業量分布の概要（Gaston および May 1992 年）。

	植物	動物		微生物	化石
		脊椎動物	無脊椎動物		
研究作業量の割合(概算) (%)	30	25	35	2-3	5
生物種の推定総数 (単位：1,000)	300	45	3,000+	?	-

命名された種の数：問題点

IUCN のために実施され、命名され記録された明確な種の総数に関する Hammond による調査（1995 年）では、同物異名による不確実性が強調されています。彼の調査では、「毎年約 13,000 の新種が命名されているが、現在の同物異名（各コレクションで各人によって別の名前を付けられている同じ種）の解消率に基づいて同物異名分を差し引くと、約 10,000 の明確な新種が毎年、既に知られている種の総数に付加されている」と推定しています。つまりこれは、他の文献でより直接的に引用されている、命名種の代表的な同物異名率（20%）に相当します（Solow ら、1995 年）。無論、このような既知の同物異名率の推定値は全て、下限値であるはずですが、なぜならまだ発見されていない同物異名や、新たな分類作業で増えている同物異名があるからです。Solow ら（1995 年）は、この重大な問題に関する検討を開始し、真の同物異名率をもっと増えて 40% 位になるとしています。

命名された種の数：現在の推定値

こうしたこと全てを考慮したうえで、最近の私の研究（May 1999 年）では、命名され記録されている真核生物（広範囲に植物、動物、および菌類を含む）の明瞭な種数は、約 150 万種前後であると推定しています。これは Hammond（1995 年）の出した 174 万種という推定値よりも低い数値ですが、10 年前の Wilson（1988 年）の 140 万種という推定とは一致しています（10 年間、毎年 1 万種ずつの増加分を加算）（表 3 参照）。

表 3 命名された真核生物の明瞭な種数（単位：1,000）

群名	Hammond (1995)	May (1999)
原生動物	40	40
藻類	40	40
植物	270	270
菌類	70	70
動物	1,320	1,080
脊椎動物	45	45
線虫	25	15
軟体動物	70	70
節足動物	1,085	855
(甲殻類)	(40)	(40)
(蛛形類)	(75)	(75)
(昆虫類)	(950)	(720)
(その他)	(20)	(20)
その他	95	95
総計	1,740	1,500

現存する種の総数

既に命名され記録されている種とは別に、現存する種の本当の総数については、極めて不確かです。最近の私の研究では、明らかな事実と不確実性とを勘案した結果、500万種から1,500万種の範囲が可能だとしてうえて、約700万であると推定しました（May 1999年）。これはHammond（1995年）の1,200万種の真核生物がいるとの推定よりは少ないのですが、種の総数がわずか300万程度とする他の推定値よりは高い値です。300万程度とする推定も、1億以上とする推定も、有り得ないとは言えません（表4参照）。

表4 生物種の推定総数（単位：1,000）

群名	Hammond (1995)		May (1999)
	高 - 低	設定数	
原生動物	200 - 60	200	100
藻類	1,000 - 150	400	300
植物	500 - 300	320	320
菌類	2,700 - 200	1,500	500
動物	100,000 - 3,000	9,800	5,570
脊椎動物	55 - 50	50	50
線虫	1,000 - 100	400	500
軟体動物	200 - 100	200	120
節足動物	100,000 - 2,400	8,900	4,650
(甲殻類)	(200 - 75)	(150)	(150)
(蛛形類)	(1,000 - 300)	(750)	(500)
(昆虫類)	(100,000 - 2,000)	(8,000)	(4,000)
その他	800 - 200	250	250
総計	100,000 - 3,500	12,200	6,800
範囲	:	100 - 3 × 10 ⁶	
妥当と思われる範囲	:	15 - 5 × 10 ⁶	
最善の推測	:	7 × 10 ⁶	

種の総数：補足説明

このような推定値はすべて、昆虫の数に左右されます。私は、Gaston および Hudson（1994年）によって開発された手法に基づいた、昆虫種の総数は約400万とする推定値に賛成です。これは昆虫種を800万種とするHammondの推定値よりも低い値ですが、200万前後とする他の推定値よりは高くなっており、そのいずれにも正解の可能性があります。また私は、Hawksworth（1991年）による菌類の種数の大幅な上方修正や、Grassle および Maciolek（1992年）による海洋大型動物の種数の大幅な上方修正は信用せずに、推定を行っています。これらの極めて重要な問題の詳細については、May（1990年、1994年、1999年）を参照ください。

絶滅速度

過去の絶滅速度

多細胞生物の多様性が爆発的に増したカンブリア紀以来、過去6億年にわたって化石に刻まれ続けている地球上の生命の歴史は、様々な変動や種の大量絶滅による中断があったにせよ、多様性の大幅な拡大を続けてきました（図4参照）。他の文献（Sepkoski 1992年、May 1999年）でより詳細に検討されている通り、化石に刻まれている種の起源から絶滅までの平均的な寿命は、通常、数百万年（つまり、100万年から1,000万

年のオーダー)です。しかし、この寿命は群の中でも群の間でも大きく異なっており、この寿命よりも遥かに長い群もあれば、短い群もあります(表5参照)。この数百万年という平均寿命を、化石に刻まれた6億年の長さと比較すると、これまでに出現したあらゆる種の1~2%が現存しているということになるかも知れません。ですが、カンブリア紀以降の、変動はあっても着実な(極めて大まかには線形の)種の多様性の伸びを考慮すると、2~4%の方がよい推定でしょう。さらに、現存する種の大半が陸生の無脊椎動物(主に昆虫)であり、その多様化のパターンは約4億5,000万年前に始まり、1,000万年よりも長い平均寿命を特徴とするとの認識に基づくと、今日の現存種は、これまで地球に存在した種の5%、あるいは10%さえ占めるかも知れないとの考えも成り立ちます。

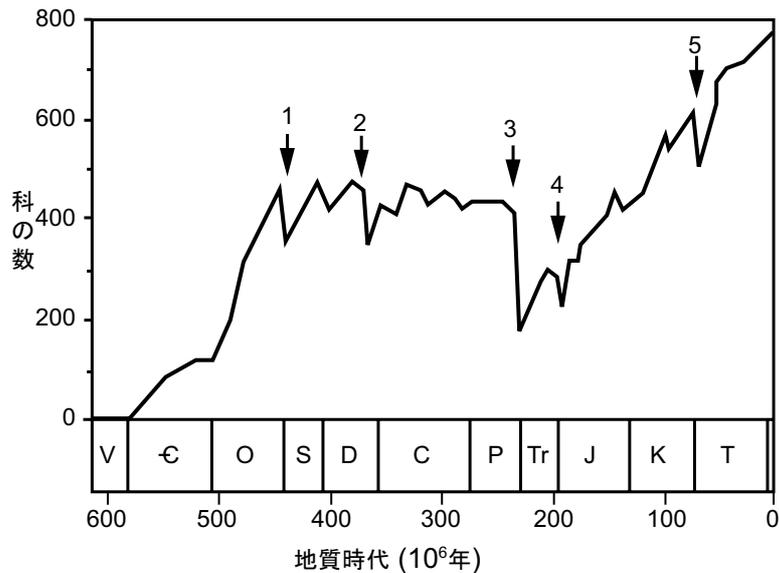


図4 長期間にわたって化石に刻まれた各種海洋動物の科の多様性の歴史。上記の曲線は、77のデータから構成され、各データは、特定の層位において良好な状態の化石が得られた科の総数を示している。5つの矢印は、大量に科が絶滅した時期を示す。時間軸に各地質時代の期間を表す(V: 原生代後期、Є: カンブリア紀、O: オルドビス紀、S: シルルル紀、D: デボン紀、C: 石炭紀、P: 二畳紀、Tr: 三畳紀、J: ジュラ紀、K: 白亜紀、T: 第三紀)。

表5 化石に刻まれている各種の起源から絶滅までの推定寿命(単位:百万年)。表の第1部は、Mayら(1995年)に基づいており、第2部は、Robin Cocks(ロンドン、自然史博物館)によって新たに編纂されたものである。

分類名	推定年	平均寿命 (単位:100万年)
第1部: Mayら(1995年)を参照		
無脊椎動物全般	Raup (1978年)	11 *
海洋無脊椎動物	Valentine (1970年)	5-10
海洋動物	Raup (1991年)	4
海洋動物	Sepkoski (1992年)	5 *
化石群全般	Simpson (1952年)	0.5-5
哺乳類	Martin (1993年)	1
新生代哺乳物	Raup および Stanley (1978年)	1-2
珪藻	Van Valen (1973年)	8
焰色植物	Van Valen (1973年)	13
プランクトン有孔虫	Van Valen (1973年)	7
新生代二枚貝	Raup および Stanley (1978年)	10
棘皮動物	Durham (1970年)	6
シルル紀フデシ	Rickards (1977年)	2 6-7
第2部: R. Cocks 編纂による情報		
シルル紀フデシ	Koren および Rickards (1996年)	0.2
カンブリア紀三葉虫	Davidk ら (印刷中)	0.4
腕足動物	R. Cocks (私信)	0.5
げっ歯類	R. Cocks (私信)	0.3-1.0
奇蹄類	R. Cocks (私信)	0.5
食虫目	J.J. Hooker (私信)	3
珊瑚 (第3紀-現世)	Budd ら(1996年)	0.2-7 (平均 4)
有孔虫	Buzas および Culver (1984年)	14-16
コッコリス	J.R. Young (私信)	c. 10

現在の絶滅

過去1世紀にわたって、研究の進んでいる群である主に鳥類と哺乳類について正確に文書で報告されている絶滅の速度は、毎年1種となっています。熱帯種は通常、注目を集めにくいので、鳥類と哺乳類の実際の絶滅速度は、明らかにこの速度以上です。しかし、約13,000種の鳥類と哺乳類の中から毎年1種ずつ絶滅するだけでも、文書で報告されている最近の絶滅速度に基づくと、種の平均寿命は約10,000年ということになります。これは一見長い寿命に思われますが、化石に刻まれた100万年から1,000万年という平均寿命と比較すると、100分の1から1,000分の1の短さの寿命です。つまり、よく報告されている群における最近の絶滅の速度は、平均的な過去の絶滅速度と比較すると100倍から1,000倍も早いということになります。

今後の予測

直近の将来については、絶滅の差し迫った速度を四つの異なる手法で推定した結果、種の寿命は数百年から1,000年になることが示されています。これらの手法の一つは、前述の種の数と生息面積との関係に基づいており、現在の熱帯林の伐採速度やその他の生息地の消滅速度に関する推測も絡み合わされています。(熱帯

林が毎年1～2%の速度で失われるとすると、種の数と生息面積との関係に基づき、その熱帯林に住む種の0.25～0.50%が絶滅することになり、その結果として種の寿命は200～400年であると推定される。)他の二つの手法は、それぞれのやり方でIUCNの現行の「絶滅の危機にさらされている」あるいは「脆弱な」種の目録に基づいています。他の文献(Mayら、1995年)で総説されている通り、これらの手法の1つでは、研究の進んでいる群(鳥類、哺乳類、椰子の木)がIUCNの「危機にさらされている」種の目録において「より危機的な」カテゴリーへと上っていく平均的な速度を推定しており、これらの群に属する種の予想寿命は100年から800年の範囲だと示唆しています。この手法のより正確な別の方法では、種ごとの絶滅予測の分布を、時間の関数として推定しています。10の脊椎動物群(爬虫類、鳥類、哺乳類をそれぞれ3、4、3の目または科)を用いてMace(1994年)は、種の平均寿命を100から1,000年と推定し、哺乳類と鳥類については主に300年～400年の範囲にあると推定しました。四つ目の手法は、系統樹の分岐過程を示すモデルを、鳥類および哺乳類目に関する最近のデータとあわせて用い、鳥類および哺乳類目における絶滅までの平均時間を予測しています(McKinney 1998年)。分岐過程に関する想定に基づいて、これらのモデルも種の寿命は数百年程度であることを示しています(鳥類よりも哺乳類の方が特徴的に短くなっている)。このように4つの手法の全てが、それぞれに特有の推定方法については疑わしい点があるものの、種の予想寿命は約100～1,000年まで短縮されていくという点では一致しています。

絶滅の第六波

上記のような状況のもとでは、過去の1万倍の絶滅速度に相当するこのような数値は、次世紀にまでわたって、さらに最大一桁上る可能性があります。これは、絶滅の第六の大きな波を表しており、地質学的過去の5つの大量絶滅と全く同じでありながら、外部的な環境の変化によるものではなく、ある単一の種の活動から生じているという点で異なっています。

生物多様性の計算法は？

このような将来に遭遇し、私たちは次の問いかけをしなければなりません。「全哺乳類種の25%を失う方が、遥かに数の多い昆虫種の25%を失うよりも問題なのだろうか、どちらも同程度に問題なのだろうか、あるいは問題でないのだろうか」と。分類学的な情報を増やすことが必要なだけでなく、このような情報に基づいて「生物多様性を計算する方法」を確立することが必要です。このような計算方法は、理想的には個別種について、分類学上の希少性、あるいは独自の進化の過程を数量化できなければなりません(Vane-Wrightら1991年、NeeおよびMay 1997年)。保護の優先順位と「ノアの箱船」での居場所を情緒的にではなく割り当てて(感情的な要素も、確かにこのような数量化の対象に含められるべきではあるが)政治的、経済的、および社会的現実による制約事項を明白に認識した上で、こうした数量化が行われることを見たいと思っています(この問題に関する総説や考察については、Mayら(1995年)を参照)。

生物多様性はなぜ重要なのか？

狭義に実利的な主張

生物多様性の保護に関する主張として、まず狭義に実利的なものがあります。自然の産物から食物、薬などとして既に得られている恩恵を強調する意見ですが、確かにこのような指摘は当たっています。現在、薬局の棚にある薬の25%は、僅か120種類の植物から得られています。しかし、世界中を見渡してみますと、土着の人々は伝統的に、約25,000種もの植物種(植物種の総数の約10%)を用いて薬を作っています。学ぶべきことは多数あるのです。より一般的には、私たちの自然界に関する理解が深まるにつれて、新種のレベルと、あらゆる生物の構成単位である分子構造のレベルの両方で、地球上の遺伝的な多様性は、私たちの将

来を構築できる原材料となることがますます多くなっています。読む前に、そしてページに書かれている処
方から富を作り出す前に、本を燃やしてしまうのは残念なことに思われます。

広義に実利的な主張

また別の主張として、より広範囲に実利的な意見もあります。地球の生物圏は、生物学および物理学的
なプロセスの間の相互作用によって、生命が繁栄できる場所として作られ、維持されています。人間の活動
規模の拡大によって気候変動が生じようとしている今、少なくとも生物多様性が地球の生命維持システムを
守るうえで果たしている役割を理解するまでは、生物多様性の減少について懸念すべきなのです。賢い修理
の鉄則は、全ての部品をなくさずに取っておくことです。

倫理的な主張

しかし、私にとっては、この三つ目の主張が最も心をひかれます。英国政府は“ This Common Inheritance ”
(HMSO 1990 年 ch 1.14) の中で、次の事柄を明確にしています。すなわち、「地球の乗組員としての私達の
倫理的な義務 それは、私たちの地球を守り、将来の世代に良い状態で手渡すことです。」

終わりに

20 世紀は、人類史上、自然界への理解が最も進んだ世紀でした。このような科学的な理解は、先進国と開
発途上国の両方において生活の改善に役立てられています。しかしながら今日、私たちが「良かれ」と思って
してきたことが、予想外の悪い結果をも招いていることが分かり始めています。その最たるものが、生物多
様性の加速的な損失ではないでしょうか。この世界、そしてそれを分かち合っている私達人間やその他の生
物に将来何が起きるのかは、私たちが今取る行動にかかっています。新しい世紀の幕が開けた今、必要とさ
れる地球規模の生産性の向上が、必ず持続可能で環境に優しい方法によって行われるよう確実に進めること
が、私たちの最大の挑戦であることに変わりはありません。

私は、このような事柄が、私たち全ての関心事であると信じています。しかし、私たちは、生物多様性損
失の根本的な原因と、そこから起こり得る結果の重要性を、科学的によく理解して効果的に行動しなければ
なりません。

参考文献

- Diamond, J.M. 1974. Colonization of exploded volcanic islands by birds. *Science*, **184**, 803-806.
- Fenchel, T. 1993. There are more small than large species? *Oikos*, **68**, 375-378
- Gaston, K.J. 1994. *Rarity*. Chapman and Hall; London
- Gaston, K.J. and E. Hudson. 1994. Regional patterns of diversity and estimates of global insect species richness. *Biodiv. and Conserv.*, **3**, 493-500.
- Gaston, K.J. and May, R.M. 1992. The taxonomy of taxonomists. *Nature*, **356**, 281-282.
- Grassle, J.F. and N.J. Maciolek. 1992. Deep-sea species richness: regional and local diversity estimates from quantitative bottom samples. *Amer. Natur.* **139**, 313-341.
- Hammond, P.M. 1995. The current magnitude of biodiversity. In *Global Biodiversity Assessment* (ed. V.H. Heywood). Pp. 113-128. Cambridge Univ. Press; Cambridge.
- Hawksworth, D.L. 1991. The fungal dimension of biodiversity: magnitude, significance and conservation. *Mycol. Res.*, **95**, 441-456.
- HMSO. 1992. *This Common Inheritance: Britain's Environment Strategy*. HMSO; London.
- McCann, K., Hastings, A. and Huxel, G.R. 1998. Weak trophic interactions and the balance of nature. *Nature*, **395**, 794-798.
- McKinney, M.L. 1998. Branching models predict loss of many bird and mammal orders within centuries. *Anim. Conserv.*, **1**, 159-164.
- Mace, G.M. 1994. An investigation into methods for categorizing the conservation status of species. In, *Large Scale Ecology and Conservation Biology* (eds. P.J. Edwards, R.M. May and N.R. Webb). Pp. 295-314. Blackwell; Oxford.
- May, R.M. 1973. *Stability and Complexity in Model Ecosystems*. Princeton University Press; Princeton, N.J.
- May, R.M. 1974. Biological populations with nonoverlapping generations: stable points, stable cycles, chaos. *Science*, **186**, 645-647.
- May, R.M. 1976. Simple mathematical models with very complicated dynamics. *Nature*, **262**, 459-467.
- May, R.M. 1978. The dynamics and diversity of insect faunas. In, *Diversity of Insect Faunas* (eds. L.A. Mound and N. Waloff). Pp. 188-204. Blackwell; Oxford.
- May, R.M. 1985. When two and two do not make four: nonlinear phenomena in ecology. The Croonian Lecture. *Proc. Roy. Soc.*, **B228**, 241-266.
- May, R.M. 1990. How many species? *Phil. Trans. Roy. Soc.*, **B330**, 292-304
- May, R.M. 1994. Conceptual aspects of the quantification of the extent of biological diversity. *Phil. Trans. Roy. Soc.*, **B345**, 13-20.
- May, R.M. 1999. The dimensions of life on earth. In, *Nature and Human Society*. National Academy of Sciences Press; Washington, DC.
- May, R.M., Lawton, J.H. and Stork, N.E. 1995. Assessing extinction rates. In, *Extinction Rates* (eds. J.H. Lawton and R.M. May). Pp. 1-24. Oxford University Press; Oxford.
- May, R.M. and Stumpf, M.P.H. 2000. Species area relations in tropical forests. *Science*, **290**, 2084-2086.
- Naeem, S. and Li, S. 1997. Biodiversity enhances ecosystem reliability. *Nature*, **390**, 507-509.
- Nee, S. and R.M. May. 1997. Extinction and the loss of evolutionary history. *Science*, **278**, 692-694.
- Pimm, S.L., Lawton, J.H. and Cohen, J.E. 1991. Food web patterns and their consequences. *Nature*, **350**, 660-674.
- Rabinowitz, D., Cairns, S. and Dillon, T. 1986. Seven forms of rarity. In, *Conservation Biology* (ed. M.E. Soule). Pp. 182-204. Sinauer; Sunderland, Mass.
- Sepkoski, J.J. 1992. Phylogenetic and ecologic patterns in Phanerozoic history of marine biodiversity. In, *Systematics, Ecology, and the Biodiversity Crisis* (ed. N. Eldredge). Pp. 77-1000. Columbia University; New York.
- Solow, A.R., Mound, L.A. and Gaston, K.J. 1995. Estimating the rate of synonymy. *Syst. Biol.*, **44**, 93-96.
- Tilman, D., Wedon, D. and Knops, J. 1996. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. *Nature*, **379**, 718-720.
- Tilman, D., Lehman, C.L. and Bristow, C.E. 1998. Diversity-stability relationships: statistical inevitability or ecological consequence? *Nature*, **151**, 277-282.
- Vane-Wright, R.I., Humphries, C.J. and Williams, P.H. 1991. What to protect: systematics and the agony of choice. *Biol. Conserv.*, **55**, 235-254.
- Walter, K.S. and Gillett, H.J., eds. 1997. *IUCN Red List of Threatened Plants*. IUCN, Cambridge.
- Wilson, E.O., ed. 1988. *Biodiversity*. National Academy of Press; Washington DC.