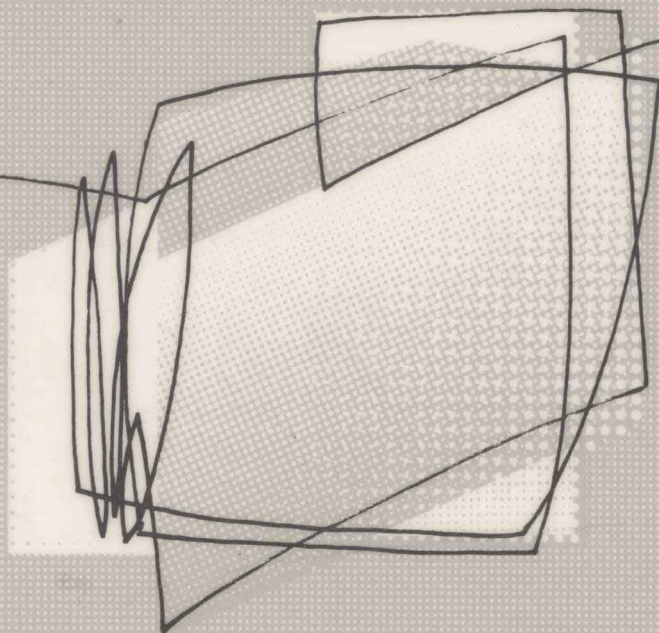


生物科学入門

(改訂改題)

石川 統 著



裳華房

生物科学入門

東京大学教授

理学博士

石川 統 著



裳 華 房

著者略歴

いしかわ はじめ
石川 統

1940 年（昭和 15）東京都に生まれる

1963 年（昭和 38）東京大学理学部生物学科卒業

現在 東京大学・大学院理学系研究科・教授・理学博士

主著 「細胞内共生」（東京大学出版会）

「分子進化」（裳華房）

「共生と進化」（培風館）

「バイオサイエンスへの招待」（岩波書店）

「DNA から遺伝子へ」（東京化学同人）

「遺伝子の生物学」（岩波書店）

「昆虫を操るバクテリア」（平凡社）

など

生物学入門（改訂改題）

1987 年 4 月 10 日 第 1 版 発行©

1996 年 2 月 20 日 第 15 版 発行

1997 年 1 月 20 日 改訂第16版発行

検 印
省 略

著 作 者 石 川 統

発 行 者 吉 野 達 治

東京都千代田区四番町8番地

電 話 03-3262-9166（代）

郵便番号 102

発 行 所

株式会社 裳 華 房

印 刷 所 株式会社 真 興 社

製 本 所 板倉製本印刷株式会社

定価はカバーに表示してあります。



社団法人

自然科学書協会会員

[R] <日本複写権センター委託出版物>

本書の全部または一部を無断で複写複製（コピー）することは、著作権法上での例外を除き、禁じられています。くわしくは日本複写権センター（☎ 03-3401-2382）にご相談ください。

ISBN 4-7853-5034-2

Printed in Japan

Fundamental Biology

revised edition

by

HAJIME ISHIKAWA DR. SC.

SHOKABO

TOKYO

改訂改題 ま え が き

時のたつのは速いもので、旧著「一般教養 生物学」を世に問うてからすでに10年の月日が流れた。旧著は1986年の夏休みに、ほぼ40日間で一気に書き上げた記憶がある。その年はことのほかセミの多い夏で、書き疲れると外へ出て、駒場（東大・教養学部）の野球場の周囲を一周すると、手づかみでミンミンゼミがおもしろいようにとれた夏でもあった。時は経て、もはやセミとりに興ずる時間も心の余裕もなく、今回の旧著の改訂・改題には半年近くを要してしまった。

旧著は限られた紙数のなかで、しかも単独の著者で生物学のおもな基礎的知見を網羅しようという、大学向け教科書としてはやや無謀な試みであったが、それにもかかわらず10年にわたって版を重ねることができたのは、筆者にとって望外の喜びである。しかし、やはり10年はひと昔である。ここで旧著に手を加え、装いを新たにして再出発を思い立ったのには3つの理由がある。その1つはもちろん、この間の生物科学の進歩である。このような入門書は、必ずしも時々刻々進歩する学問の最先端を追うことを要求されているわけではないが、基礎的知見のなかにも、やはり最先端にひっぱられて少しずつ記述を変えなければならない部分があるのは確かである。第2の理由は、学問の進歩ほどではないにしても、10年の歳月の間には筆者自身も少しは進歩したことである。ただし、筆者は自らの進歩に基づくと信じて変えた部分が、読者にとってはかえって「退歩」と映ったり、単なる趣味の変化に思えたりしないとは限らない。そのような批判があれば、筆者としてはそれを甘受するしかない。第3の理由はもっとも現実的な、大学教育課程の「大綱化」という制度の変更である。この本も旧著と同様に、生物科学を体系的に学ぶのはこれが最後の機会になる人々をおもな読者対象と想定していることには変りないが、囲み記事などを中心に、より専門的な知見への興味をも喚起できるよう若干の工夫を加え

ることにした。

この本は旧著「一般教養 生物学」の内容に平均して 30% 程度の変更を加えたものである。この 10 年間でとくに進歩の著しかった生物科学の領域は分子系統学と発生生物学であることを反映させて、第 3 章および第 7 章の記述はかなり大幅に改め、第 3 章ではそれにふさわしいよう、表題も「生物の多様性」へ変更した。また、第 5 章では、わずかではあるが記述のレベルを高くし、第 9 章も最新の知見に即してかなりの部分を書き改めた。その他の章でも全体にわたって細かい修正を随所でおこなったが、全体の紙数を抑える必要もあって、旧著第 8 章の記述を簡略化し、「学習」の節は全面的に割愛した。最後に「囲み記事」については、旧著では断片的に過ぎたことを反省し、項目数を絞ると同時に入れ替えも行い、平均して各記事の記述をより詳しくした。

旧著に引き続き、また今回新たに貴重な写真などをご提供下さった先生方へ、ここで心よりお礼を申し上げる。さらに、出版に尽力された裳華房の野田昌宏氏へ厚く謝意を表したい。今回も数枚の図を描いてくれた妻幸子にも感謝したい。

1996 年 12 月

石 川 統

初版 ま え が き

大学の一般教養課程における生物学の講義は高等学校のむしかえしではなく、特定の分野に焦点を絞ったものであるべきだとの考え方がある。しかし、一見むしかえしに思えても、大学に入ったところで、もう一度全般的に生物学を学び返すのは決してむだではないと筆者は考えている。理由は2つある。1つは当然のことだが、学生諸君はものを忘れる名人だということである。とくに、試験でいじめられればいじめられるほど、その反動のように、試験が済むといともあっさりすべてを忘れてしまう。まるで頭が小さな物置で、古いものを放り出さないと新しい知識が詰め込めないとでも考えているようである。第2はこれよりずっと重要な理由である。生物学は総合科学であるために、いつそれを学ぶかによって理解の程度がまったく違って来るからである。同じようにダーウィンの進化論の話聞いても社会をみる目が育つ前と後では、理解度もおもしろさもまったく違うはずである。その意味があって、この本では生物学の重要な分野をあえて網羅的に解説してみた。したがって、例外的にも覚えのよい学生諸君にとっては退屈な部分が多いかもしれない。その場合には、生物学の分野ではこんなこともわかっていないのかという、これまでとは逆の目で学ぶことを心懸けてもらいたい。そうすれば、それまでの知識がどんなに表面的なものに過ぎなかったかがみえてくるであろう。それでこそ、大学で学んだかいがあるというものである。

研究の現場にいるものがこのような教科書を書く、どんなにやさしく書いたつもりでも難しすぎるという批判をうけるのが常である。それは著者が本来念頭に置くべき若い読者のことをつい忘れてしまい、シニカルな先輩やあちらこちらの同僚研究者の目を意識するからである。あまり大ざっぱで、やさしいことばかり書いてはこけんにかかわると思ってしまうからである。しかし、本来の読者にとってはこれほど迷惑なことはない。そこで、この本の執筆にあた

って、筆者は研究者としての見栄を一切捨ててみることにした。徹頭徹尾、若い読者のことだけを念頭に置いて、この上なくやさしく書くことを心懸けた。そうすることで、一般教養としての生物学の必要十分な範囲がどこまでかについても、1つの見解を示したつもりである。したがってこの本は、将来筆者の同僚の1人に加わるかもしれないような読者ではなく、むしろ、文科系の学生や短大生で、生物学を体系的に学ぶのはこれが最後の機会になるであろう人々を対象と考えている。

この本の内容を充実させるために、何人かの方々からは貴重な写真などをお貸しいただいた。また、執筆にあたっては内外の諸先生のご高著を、ときには細部にもわたって参考にさせていただいた、これらの方々にこの場で心からお礼を申し上げる。さらに、出版に尽力された裳華房の方々、とくに岡五十氏ならびに山崎公子さんに厚く謝意を表したい。最後に、図の一部を描いてくれた妻幸子にも感謝したい。

1987年2月

石川 統

目 次

1. 生物と生物科学

1・1 生物の特質……………3	1・2・3 分子生物学・細胞生物学…………8
1・1・1 構造の階層性……………3	1・2・4 生理学・内分泌学・免疫学…………9
1・1・2 エネルギー要求性……………4	1・2・5 遺伝学 ……………10
1・1・3 調節と整合性……………5	1・2・6 発生学・発生生物学 ……………11
1・1・4 生殖と発生……………5	1・2・7 形態学・解剖学 ……………11
1・1・5 遺 伝……………6	1・2・8 分類学・系統学 ……………12
1・1・6 進 化……………6	1・2・9 生態学・社会生物学・ 行動生物学 ……………13
1・2 生物科学の方法……………7	まとめの問題……………14
1・2・1 生気論と機械論……………7	
1・2・2 生化学……………8	

2. 生物の歴史

2・1 生命の起源 ……………17	2・3 進化の思想 ……………25
2・1・1 化学進化 ……………17	2・3・1 アリストテレス ……………25
2・1・2 原始大気 ……………17	2・3・2 ラマルク ……………26
2・1・3 ミラーの実験 ……………18	2・3・3 ダーウィン ……………28
2・1・4 生体高分子と細胞の出現 ……19	2・3・4 進化の総合説 ……………30
2・2 生物のたどった道 ……………20	2・3・5 分子進化と中立説 ……………32
2・2・1 原核生物の化石 ……………20	2・3・6 進化学：今後の課題 ……………35
2・2・2 真核生物の化石 ……………21	まとめの問題……………35
2・2・3 酸素濃度と生物進化 ……………23	

3. 生物の多様性

3・1 生物の分類法	38	3・5 菌類界	50
3・1・1 系統樹	38	3・5・1 菌類の分類	50
3・1・2 分類の体系	39	3・5・2 地衣類	51
3・1・3 超生物界と真核生物の 起源	39	3・6 植物界	51
3・1・4 5界説	40	3・6・1 シダ植物	51
3・2 真正細菌界	41	3・6・2 コケ植物	52
3・2・1 原核生物	41	3・6・3 種子植物	54
3・2・2 グラム陽性菌とプロテオ バクテリア	42	3・7 動物界	54
3・2・3 細菌の多様性	44	3・7・1 後生動物の起源	54
3・3 古細菌（アーケア）界	45	3・7・2 海綿動物	55
3・3・1 古細菌の系統	45	3・7・3 放射相称動物	56
3・3・2 古細菌と真核細胞の関係	47	3・7・4 原体腔類	56
3・4 原生生物界	48	3・7・5 真体腔類	57
3・4・1 プロティスタ	48	3・8 非細胞性増殖単位	60
3・4・2 藻類	48	3・8・1 ウイルス	60
3・4・3 粘菌と卵菌	49	3・8・2 プラスミド	61
		3・8・3 ウイロイド	61
		まとめの問題	61

4. 生物のつくり

4・1 細胞の構造	63	4・1・6 リソソーム	68
4・1・1 細胞の形態	63	4・1・7 ミトコンドリア	69
4・1・2 細胞の内部構造	66	4・1・8 葉緑体	69
4・1・3 細胞膜（原形質膜）	66	4・1・9 リボソーム	70
4・1・4 小胞体	67	4・1・10 微小管・微小繊維	70
4・1・5 ゴルジ体	67	4・1・11 細胞核	71

4.2 細胞分裂	72	4.3.3 筋組織	77
4.2.1 細胞周期	73	4.3.4 神経組織	79
4.2.2 核分裂	73	4.4 植物の組織と組織系	79
4.2.3 細胞質分裂	75	4.4.1 表皮系	80
4.3 動物の組織	76	4.4.2 基本組織系	80
4.3.1 上皮組織	76	4.4.3 維管束系	80
4.3.2 結合組織	76	まとめの問題	81

5. 生物のはたらき I. 細胞のいとなみ

5.1 生体を構成する物質	82	ATP 合成	94
5.1.1 小さな分子	82	5.3.3 炭酸固定	95
5.1.2 炭水化物	83	5.4 解糖系と呼吸	96
5.1.3 脂 質	84	5.4.1 解糖と解糖系	96
5.1.4 タンパク質	85	5.4.2 クエン酸回路	97
5.1.5 核 酸	87	5.4.3 電子伝達系	98
5.2 酵 素	89	5.5 遺伝子の発現	99
5.2.1 酵素の本体	89	5.5.1 転 写	100
5.2.2 酵素の作用	91	5.5.2 スプライシング	101
5.2.3 酵素の調節	92	5.5.3 遺伝暗号	103
5.3 光合成	93	5.5.4 tRNA の役割	104
5.3.1 ATP	93	5.5.5 タンパク質合成の場	105
5.3.2 光エネルギーによる		まとめの問題	107

6. 生物のはたらき II. 個体のいとなみ

6.1 植物のいとなみ	108	6.1.4 春化と光周性	111
6.1.1 蒸 散	109	6.2 動物の器官系	111
6.1.2 水分と有機物の移動	109	6.2.1 消化系	112
6.1.3 植物ホルモン	109	6.2.2 呼吸系	112

6・2・3 循環系	113	6・4・1 内分泌腺と標的器官	121
6・2・4 排出系	114	6・4・2 ホルモンの種類	121
6・2・5 生殖系	115	6・4・3 脳下垂体	124
6・3 神経系	116	6・4・4 ホルモンの作用機構	126
6・3・1 神経細胞	116	6・5 免疫系	127
6・3・2 刺激と興奮の伝導	117	6・5・1 抗原と抗体	127
6・3・3 興奮の伝達	118	6・5・2 抗体の構造	128
6・3・4 中枢神経	119	6・5・3 細胞性免疫	129
6・3・5 自律神経系	120	6・5・4 免疫細胞の相互作用	130
6・4 内分泌系	120	まとめの問題	130

7. 生物の殖えかた

7・1 性と生殖	132	7・4・5 誘導とオーガナイザー	149
7・1・1 無性生殖	132	7・4・6 中胚葉誘導因子	150
7・1・2 有性生殖	133	7・4・7 勾配説	151
7・1・3 雌と雄	134	7・5 細胞分化と遺伝子	152
7・2 配偶子形成	135	7・5・1 細胞分化とタンパク質	152
7・2・1 形成過程のあらまし	136	7・5・2 染色体削減と放棄	153
7・2・2 染色体と減数分裂	137	7・5・3 植物細胞の全能性	153
7・2・3 減数分裂の遺伝的意義	139	7・5・4 核の全能性	154
7・3 受精	140	7・5・5 調節遺伝子	155
7・3・1 植物における受精	140	7・6 遺伝	157
7・3・2 ウニの受精	142	7・6・1 対立遺伝子	157
7・3・3 哺乳類の受精	143	7・6・2 優性の法則	157
7・4 胚発生	144	7・6・3 分離の法則	158
7・4・1 卵割	144	7・6・4 独立の法則	158
7・4・2 ウニの初期発生	145	7・6・5 連鎖	159
7・4・3 モザイク卵と調節卵	147	7・6・6 突然変異	160
7・4・4 発生能と発生運命	148	7・6・7 遺伝子の優劣関係	161

7・6・8 集団の遺伝.....161	まとめの問題163
7・6・9 ミトコンドリアの遺伝子.....162	

8. 生物の個体と集団

8・1 動物の生得的行動.....165	8・3・2 順位とリーダー制.....171
8・1・1 回遊.....165	8・3・3 社会性昆虫.....173
8・1・2 帰巢と渡り.....165	8・4 生物群集.....176
8・1・3 ミツバチのダンス.....166	8・4・1 生態系.....176
8・2 フェロモン.....167	8・4・2 生態的地位.....177
8・2・1 レリーサー・フェロモン.....167	8・4・3 種間関係.....178
8・2・2 プライマー・フェロモン.....169	8・4・4 物質循環.....178
8・3 動物の社会.....170	まとめの問題180
8・3・1 群れとなわばり.....170	

9. 生物としての人間

9・1 人類の起源と進化.....181	9・2・1 氏と育ち.....188
9・1・1 霊長類の起源.....181	9・2・2 ヒトの染色体.....189
9・1・2 人類の進化的位置.....183	9・2・3 遺伝的多型.....189
9・1・3 現生人類への道.....184	9・2・4 染色体異常.....190
9・1・4 ミトコンドリア・イブ.....185	9・2・5 遺伝病.....191
9・1・5 人種.....186	9・2・6 遺伝子診断と治療.....193
9・2 ヒトの遺伝.....188	まとめの問題194

〈 囲 み 記 事 〉

大きい動物・小さい動物	2	遺伝子操作.....	99
生物の究極の祖先は粘土?	20	PCR 法.....	102
動植物の繁栄と酸素濃度.....	24	コドンの意味	104
ラマルクの娘.....	28	ピル（経口避妊薬）	125
肥満体質と進化.....	32	ライオニゼーション	137
進化の縦糸と横糸.....	34	メンデル	163
RNA 酵素(リボザイム)と		ヒトのフェロモン	169
RNA ワールド	90	社会性哺乳類	175
タンパク質工学.....	93	人種差別	187
化学合成細菌.....	99	血友病とラスプーチン	192
索 引.....	195		

1 生物と生物科学

人間の住むこの地球上には、同時におびただしい種類と数の他の生物たちも住んでいる。今では、その種類が10億に達するという見積りさえある。これらの生物の形や生活の方法は実に多様である。大きさだけにしぼっても、小は顕微鏡を使ってやっと見えるバクテリア（細菌）から、大は象やクジラに到るまで、その違いは1億倍にも達する。しかも、極端に大きいものを別とすれば、この間のギャップを埋めるさまざまな大きさの生物が、ほとんど切れ目なしに存在するという事実は驚嘆に値する。

そして、みかけがこのように多様であるからなおさら、これらの生物が非常に多くの統一性をもつ事実には、いっそうの驚きをおぼえる。実際、一步踏み込んでみれば細菌も象も生きているものはすべて非常によく似ている。このため、人によっては、生物の「種」の違いとは、同一人物が異なった扮装をしたようなものだと言うことさえある。この立場に立てば、あらゆる生物が共有している性質だけが重要であり、それを明らかにすることが生物科学の使命ということになる。20世紀後半になって生物科学が大きく発展した底流には、このような考え方が色濃く存在する。

一方、20世紀前半までの生物科学で主流を占めていたのは、ありとあらゆる生物を枚挙的に記載してゆく**博物学**であった。博物学は、いわば生物たちの誇示するきらびやかな扮装の違いに目を奪われるあまり、それらに横断的に存在する法則性を求める姿勢を欠いていた。自然現象に対したとき、それを論理立てて説明する法則性を探し求める姿勢こそが「科学」である。その意味で、博物学は科学ではなかったと言われても仕方がない。

しかし、生物の形や働きにみられる多様性が単なる扮装と決定的に違うのは、それが外からつけ加えられたものではなく、まぎれもなく生物そのものがつく

り出したものである点である。であるとすれば、ひと皮かふた皮むけば生物はみな同じであるという、重要ではあるが単純な事実を知っただけで、われわれは満足するわけにはいくまい。もちろん、科学以前の博物学へ立ち戻ろうというのではない。結局、生物は共通の中身をもちながら、なぜこれほど多様なみかけや働きを示すのかを調べ、そこに潜在する法則性を明らかにすることが、科学としての生物学、つまり生物科学の最大の課題なのではなかろうか。これには、生物というものを時間とともに変わりゆくもの、つまり進化する実体としてとらえる視点を絶対に欠かせない。言い方を変えれば、生物科学とは、「進化の原因と結果を探究する」学問なのである。

大きい動物・小さい動物

ふつう大きい動物というと、過去の恐竜を別とすればクジラや象などの哺乳類をイメージしがちだが、哺乳類にも相当小さいものがある。これまで知られている最小の哺乳類は、マレーシアのジャコウネズミで、体長3.8 cm、体重2.5 gほどであり、これより大きい昆虫はいくらでもいる。ちなみに、最大級の昆虫の1つ、タイタンオオウスバカミキリは体長15 cm、体重100 g近くに達する。一方、小さい動物というと原生動物を考えがちだが、これにも実は、けっこう大きなものがある。たとえば、アメーバの1種、*Pelomixa pallustris* では、細く伸びたときの体長が6~7 mmに達することがあり、これだと多くの昆虫類よりも大きい。

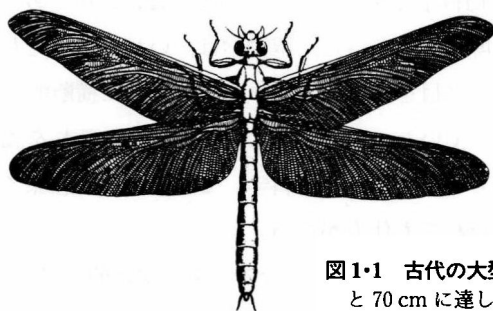


図1・1 古代の大型トンボ（石炭紀）。羽を開くと70 cmに達した（Handlirshより）

1・1 生物の特質

あらゆる生物は構造をもち、エネルギー獲得のために物質代謝を行い、またそれを調節・制御するしくみをもっている。さらに、生物には自らと同じものをつくる働きがあるが、そのためには自分のもつ形質を次へ伝えるしくみが必要となる。一方、生物はそれを取りまく環境と敵対しては生きてゆけない。しかも、環境自体が時間とともに変化するから、生物の方もそれに伴う変化、すなわち進化を受けることになる。

1・1・1 構造の階層性

生物は1つまたはそれ以上の細胞からできている。高等動植物の個体にはばく大な数の細胞が含まれるが、それらはいくつかのグループに分かれて役割分担し、たがいに補い合って機能しつつ個体を構成している。この場合、同様の働きをもち、みかけも似た細胞が多数集まり合って1つの組織を形づくり、異なる働きをもつ組織がいくつか集まって器官をつくり、さらに異なる働きの器官がいくつか集まって1つの生物体を作りあげるという階層構造をもっている。高等植物でいうと、根、茎、葉、花が器官である。そして、たとえば、茎という器官は水分や塩分を運ぶ組織、養分を運ぶ組織、貯蔵の役割をもつ組織、茎としての形を保つ組織、さらには外側からそれを包んで保護する組織など、異なる働きをするいくつかの組織によって構成されている。

高等動物の体の構成は植物の場合より複雑なので、器官の上に階層をもう1つ加えて説明することが多い。すなわち、異なる働きを

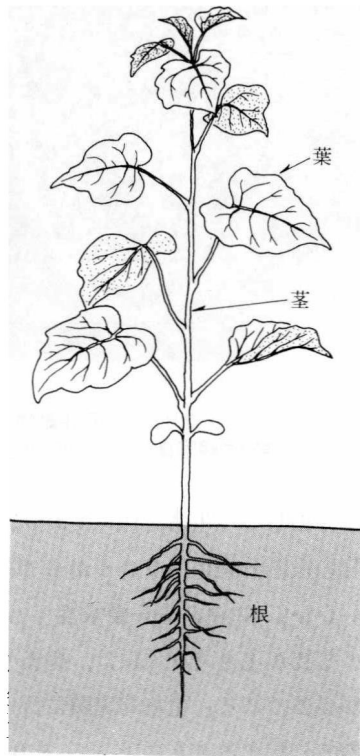


図1・2 植物のつくり