

現代動物学

石田 寿老 八杉 龍一

菅 原 浩 大滝 哲也

共 著

現代動物学

埼玉大学教授 理学博士

石 田 寿 老

東京大学教授 理学博士

菅 原 浩

早稲田大学教授 文学博士

八 杉 龍 一

国立予研室長 医学博士

大 滝 哲 也

共 著

裳 華 房

著者略歴

石田 寿老 1908 年 (明治 41 年) 島根県出身 東大理学部動物学科卒, 名
大理想学部助教授, 東大理学部助教授, 教養学部教授, 理学部教授, 名誉教授。
1968 年より埼玉大教授, 米国バシフィック大学大学院客員教授 (1 カ年), 埼玉
大理工学部長 理博

主な著書 解化酵素 (北隆館), 生物の実験法 (共編 裳華房), 発生生化学
(編 裳華房), 生化学原理 (監訳 岩崎書店)

八 杉 龍一 1911 年 (明治 44 年) 東京に生 旧制東京高校, 東大理学部動
物学科卒, 動物学のほか科学史・科学哲学専攻, 東京工大教授を経て現在早稲
田大学教授 文博

主な著書・訳書 進化学序論, 進化論の歴史, ダーウィン「種の起原」, ハン
ソン「動物の分類と進化」(以上 岩波書店), 近代進化思想史 (中央公論社)

菅 原 浩 1913 年 (大正 2 年) 東京都出身 東大理学部動物学科卒, 東大
助手, 武蔵高校教授, 東大助教授を経て, 現在東大教養学部生物学教室教授
理博

主な著書 生物の科学 (共著 朝倉書店), 生物学 (共著 東大出版会)

大 滝 哲也 1926 年 (大正 15 年) 東京都出身, 東大理学部動物学科卒,
現在国立予防衛生研究所衛生昆虫室長, ハーバード大学で在外研究ののち東京
大学農学部農業生物学講師兼任, 医博

主な著書・訳書 生物学大系第 14 巻 (共著 中山書店), 現代の生物学 (共著
明治図書), 現代人間学 (共著 みすず書房), 人間のからだ (訳書 理融社)

現 代 動 物 学

定 価 1500 円

昭和 47 年 4 月 25 日 第 1 版印刷
昭和 47 年 4 月 30 日 第 1 版発行 ©

著 作 者 石田 寿老 八杉 龍一
菅 原 浩 大滝 哲也

発 行 者 安 孫 子 貞 次

発 行 所 東京都千代田区四番町 8 番地
電話 東京 262-9166 (代)
郵便番号 102

株式会社 裳 華 房

印 刷 所 東京都青橋市根ヶ布 1-385 番地
株式会社 精 興 社

製 本 所 東京都江東区深川 森下 3-5-5
謙 文 社 製 本 株 式 有 限 公 司

は し が き

動物学は動物に関する生物学であるが、現代の動物学は近來の生物科学の発展の歴史とともに著しい展開の時代にさしかかっているといえよう。

もともと、動物学においては、かつて重要な地位を占めた分類学も世界地域の開発が一段落をつけるとともに、珍しい種類の発見も少なくなり、また、顕微鏡の発明によって発達した微細構造研究の分野も、固定した材料を多く用いていたために、生物学ではなくて死物学であるなどの汚名をも受ける状態となった。

その後、生物学には実験という新しい方法論が導入されて飛躍的發展がみられたが、その後かなりの期間いきづまりの感があった。

20世紀前半に發展してきた生化学は、その後半に入ると、生物物理学の進出によってともに生物現象の基本を解きあかす原理を発見したかにみえ、生物学をまなぶものに異常な興奮と激励とをもたらした。動物学、植物学、微生物学として發展してきたそれぞれの学問は、生物学というまったく1つの学問体系として理解されることが必要となった。そして、生物学の骨格として分子生物学がうまれてきた。動物学もまた分子生物学を骨格として花咲く時期がきたようにみえる。

さて、われわれが動物学の問題を考えるばあいには、2つの大きな問題をもつようである。1つは無生物からどのような手づきで細胞が生じたかであり、他の1つは1つの細胞から出発してわれわれ人間がいかにして進化してきたかという問題である。分子生物学は前者に対してはかなりの解答を与えるが、第2の疑問にはまだまだ十分に答ええない。このように、動物学には分子生物学の立場からだけでは容易に解明できない複雑な生物現象の存在が指摘され、このなかには神経・ホルモンの協調による恒常性維持などがふくまれている。

以上の事実から現代の動物学は分子レベルの問題と生物レベルとの問題をふくまざるをえない状態である。前者が後者の骨格としてどこまで役立つかが現

在の課題である。

生物が地球上の環境のなかにあることは古くから認識され、環境の重要性についても十分論議されていたはずであるが、近来、産業の急激な発展のために生じた公害の問題が人間をふくむ動物学に重要な課題を提出してきた。これが現代動物学における第3の問題である。

本書は上記の理念をふまえ、第1部を分子生物学的構想をもとにして個体成立の原理をさぐる個体の生物学とし、第2部は個体を単位とする種の生物学とに大別し、今までに見ない新しい体系として記述された。執筆にあたっては、このような新たな構想の下に4人の著者がそれぞれ専攻の分野を分担しつつ、しかも密接な意見交換の下に編集をすすめたもので、今後の生物学の総合教育に1つの方向を示すものと考ええる。

また、本書はすでに発行された、佐藤・木村・宝月・八巻4氏による「現代植物学」の姉妹編として企画され、現代のもっとも先端的問題を論ずるのではあるが、執筆の方針として単に最新の結果のみを追うことをせず、如何なる方法や動機によって研究がなされたかに焦点を合わせることにつとめた。

本書の発刊は著者らの都合によっていちじるしくおくれてしまった。この間編集のために予想外に多大の労をとられた裳華房の羽生啓作氏に深い感謝の意を表したいと思う。

昭和47年4月

著 者

本書の分担

結論～4, 6, 10 (石田)	10～12 (八杉)
5, 7, 8 (菅原)	6, 9 (大滝)

目 次

緒 論

ベルセリウスと触媒概念	2	調節機能の解明	6
結晶酵素から酵素有機		個体の統合	7
体制系への発展	4	生物と環境との相関性	8
遺伝現象の解析	4	種の成立	9
構造と機能との関連	5	進化という考え方の有効性	10

I. 個体の生物学

1. 生物現象の物質的基礎

§1. 基礎物質	11	b. 解 糖	24
a. 炭水化物	11	c. 五炭糖リン酸経路	27
b. 脂 質	14	d. 呼吸—細胞呼吸	29
c. タンパク質	16	§3. エネルギー利用系	46
d. 核 酸	19	a. 化学合成	46
§2. エネルギー供与系	21	b. 運 動	51
a. ATP とリン原質	21	c. 能動輸送	51

2. 生物現象の遺伝的基礎

§1. メンデルの法則と遺伝子説	54	合成	63
§2. 遺伝子の分子的実在	54	a. リボソームとタンパク質合成	64
§3. 遺伝子の複製	55	b. アミノ酸活性酵素	64
§4. 遺伝子と形質発現との対応	60	c. 転移 RNA	64
a. ヒトにおける代謝異常の遺伝	60	d. 伝令 RNA	66
b. 1 遺伝子 1 酵素説	60	e. 伝令 RNA の三連子	68
c. 鎌状細胞貧血とヘモグロビン	61	f. タンパク質合成のしくみ	69
d. 遺伝情報の単位	63	§6. 遺伝子調節	71
§5. 形質の発現—特殊タンパク質の			

3. 生体の構造と機能の単位—細胞

§1. 原形質膜	73	§2. 核	76
--------------------	----	-----------------	----

a. 体細胞の細胞分裂	77
b. 減数分裂	80
c. 染色体	81
§3. ミトコンドリア	83

§4. 小胞体	86
§5. ゴルジ体	86
§6. リゾソーム	87

4. 組織の構造と機能

§1. 上皮組織	88
a. 被覆上皮	88
b. 腺上皮	89
§2. 結合組織	90
§3. 軟骨	95
§4. 骨	96
§5. 筋組織	98
a. 筋タンパク質	98
b. 収縮・弛緩とATP	99
c. 筋収縮と構造変化	100

d. 筋のミトコンドリアと小胞体	102
e. 筋肉の仕事のエネルギー源	104
§6. 神経組織	105
a. 神経細胞	106
b. 神経膠	108
c. 神経組織の化学	108
§7. 血液およびリンパ	112
a. 基質としての血しょう	112
b. 有形成分	113
c. 血球の発生	114

5. 比較生理学・比較生化学

§1. 浸透圧の調節	116
§2. 窒素の排出	121
§3. リン原質	126
§4. 呼吸色素	129

§5. 網膜の感光色素	134
§6. 生物発光	138
§7. 発電器官	140

6. 内分泌による調節

§1. 脊椎動物	145
a. 脳下垂体	145
b. 甲状腺	153
c. 副甲状腺	155
d. 睪腺のホルモン	155
e. 性ホルモン	158
f. 副腎皮質	160
g. 副腎髄質	162
§2. 無脊椎動物	163
a. 甲殻類のホルモン	164
b. 昆虫のホルモン	165

§3. 協関	169
a. 視床下部を中心とする協関	169
b. ホルモン同志による内分泌の協関	171
§4. 作用機作	173
a. タンパク質合成の促進	173
b. 核酸合成の促進	175
c. リボソームの活性化	175
d. 転移RNA合成の促進	175
e. 原形質膜の透過性の促進	176
f. 核またはクロマチンにおける	

活性化	177
g. 染色体の活性化	177
§ 5. フェロモン	178
a. フェロモンの種類	178

b. マウスのフェロモン	179
c. 女王物質	180
d. カイコの性フェロモン	180
e. アリの足あと物質	181

7. 神経系による調節

§ 1. 興奮の成立と伝導	184
a. ニューロン	184
b. 刺激と興奮の量的関係	186
c. 膜電位	189
d. 神経繊維における興奮の伝導	193
e. シナプスにおける伝達	195
§ 2. 中枢神経の機能	199
a. 神経系の発達	199

b. 反射の統合	204
c. 脳の機能	208
§ 3. 行 動	215
a. 走 性	215
b. 反射による行動	217
c. 本能的行動	218
d. 学 習	221
e. 高度に発達した行動	223
f. 渡りと回遊	224

8. 発 生

§ 1. 生殖と性	226
§ 2. 受 精	229
a. 卵と精子	230
b. 受精の過程	232
c. 人工単為発生	234
d. 受精の意義	235
§ 3. 発生の過程	235
a. ウニの発生	236
b. カエルの発生	238
§ 4. 形成体による誘導	243
a. 前成と後成	243
b. 誘 導	245
c. 勾配説	249

§ 5. 細胞間および組織間の相互作用	251
a. 解離細胞の組織再構成	252
b. 組織間の相互作用	253
c. 培養細胞の分化	254
d. 核の分化の問題	255
§ 6. 遺伝子の活性化と組織の分化	256
a. バフの形成	257
b. ウニの初期胚のタンパク質合 成	258
c. 発生に伴う酵素合成の調節	259

II. 種の生物学

9. 動物の生態

§ 1. 生態学の成り立ち	261
§ 2. 動物と環境	262

a. 温度と動物	262
b. 光と動物	263

c. 水と動物	265
d. 無性物的物質環境と動物	266
§ 3. 動物の種個体群	267
a. 個体群密度	267
b. 自然増加と環境抵抗	269
c. 個体群の振動と分散	270
d. 個体群の構造	273

e. なわばりと順位制	273
f. リーダー制と動物の社会	275
§ 4. 異種個体群どうしの関係	276
§ 5. 生態系と応用生物学	279
a. 生態系のなりたち	279
b. 応用生態学	281

10. 進化の過程

§ 1. 生命の起原	283
a. 問題の歴史	283
b. 有機物の出現	283
c. コアセルベートの生成	284
d. 代謝能と自己増殖能の発達	285
e. ビールスの存在意義	285
f. 原始生物の出現	285
g. 光合成能の出現	286
h. 動物の出現	286
§ 2. 化石と進化	287

a. 化石	287
b. 生物界の変遷と進化	289
c. 化石系列と進化進程の法則	292
§ 3. 進化と系統	293
a. 生物界の一元性	294
b. 形態学と系統構成	294
c. 生理学および生化学と系統の問題	300
§ 4. 系統と分類	304

11. 進化の要因

§ 1. 進化と適応	307
a. 適応の生成	307
b. 定方向性と適応	310
c. 前適応	312
§ 2. 自然選択	313
a. 自然選択説の基本概念	314
b. 自然選択の分析	314

c. 自然選択の実証	316
d. 自然選択のいろいろな効果	317
e. 隔離	318
§ 3. 新形質の起源	319
a. 新器官の起原	319
b. 新遺伝子の起原	320

12. 動物の分類

§ 1. 分類の方式	322
a. 分類の基本理念	322
b. 種とはなにか	323

c. 分類階級と命名法	323
§ 2. 動物の種類	324
§ 3. 動物界の系統図	361

索引	364
----	-----

緒 論

われわれはふつうには直観的に生物を無生物と区別することができる。このような場合、われわれが生物の特徴と考えるものには2つあって、1つは自身をまもるという性質であり、他の1つは生殖をおこなって種族を維持する性質である。この2つの性質をあわせて生物は合目的性¹⁾をもつという。この言葉はあまり人間本位にすぎるために、全機性とか全個性とかよばれることがある。

合目的性が生物の特徴であると考え、生物のおこなういろいろの現象や はたらきを合目的性という立場で説明することとなる。このような観点からは目的と手段という関係が生じ、ある生物現象は、ある目的のために、ある手段によっておこなわれることになる。目的は価値が大きく、手段はそのためのものであるから価値がひくいことになる。このように価値判断が必要になると、人によって異なる意見が出るであろう。また、人間的な価値判断をもって生物自身の問題を勝手にきめかねない。

こうしてみると、合目的性は客観的真実を追求する自然科学の方法として採用するわけにはいかない。生物学が自然科学の1つとして存在するためには、価値判断をとまなわない研究方法が必要であり、それは生物現象を原因結果²⁾の関係としてみることである。すなわち、ある生物現象はある原因がある場合にはじめてある結果として現われる、という立場でしか研究することができないのである。因果関係として理解される現象は定った条件下では、誰がどこでくりかえしても同じ結果がえられることになる。このようにして生物学は自然科学として発展してきたのである。合目的性はこれを実証することができない。

上に記したように、生物自身の認識は合目的性によるが、生物学は因果関係の上に組み立てられている。そして、個々の因果関係によって成り立っている

1) Teleologie, Zweckmässigkeit 2) causality

無数の現象がしだいに互いに深いつながりをもちつつ組み合わさって合目的性をもった生物現象が存在すると、期待される。しかし、因果関係による個々の現象と、合目的性をもった生物現象とが未だ完全に結びつかない現在では、生物現象それじしんが完全に自然科学的に理解されたとはいいがたく、生物自身の認識は生物学とは別に合目的的に認識せざるをえないのである。

こうして、生物現象のうちで、因果関係のみを追求する段階では、それは物理学や化学と本質的にかわりがない。しかし、これらの物理・化学的結果が合目的な存在としての生物の如何なる部分として存在するのか、また、問題を提起する場合にも合目的な存在としての生物を念頭に置きながら、因果関係としての生物学的問題をとらえねばならない。

これまで記した因果関係は場合によっては決定論¹⁾といわれるほどのものではなく、統計的にしかあつかえない不確定の場合もありうるかも知れないし、また、原因と結果とが同時性を持ち、なおかつ、相互的であるかも知れない。しかし、これらは因果関係の特殊な場合とみなすべきもので、これをもってただちに人間の自由意志にまで考えおよぶべきではないと思われる。

生物学の発達は見かけ上2つの相反する方向、すなわち、分析的方向と総合的方向とに向っている。しかし、興味あることは、分析がすすむにつれてそれが総合系の根幹となることが明らかになってきたことであり、その多くの例をあげうるであろう。

生物学を上記のように定義づけると、動物学は動物に関する生物学を意味する。ここでは、動物学を中心に因果関係と合目的性との関係における発展のあとをたどってみよう。

ベルセリウスと触媒概念 スウェーデンの化学者ベルセリウス (Jöns Jakob Berzelius, 1779~1848) はドルトン (J. Dalton, 1766~1844) の発見した、物質の原子説をもとに、これらの分子がそれぞれ独立して反応することから、定量的な化学反応の法則を発見した。ところが、ある種の現象にはこの法則にしたがわないものがある。たとえば、過酸化水素に白金板を浸すと水と酸

1) determinism

素とに分解する反応が著しく促進されるが、白金板の重さは反応の前後でかわりがないのである。このような現象はすでになんらの数知られていたが、ただばらばらの事実としてしか考えられていなかった。

ペルセリウスは、定量的な化学反応のほかに接触反応があって、ある物質の存在によって、その物質の変化なしに他の反応のすすむ現象が存在するとし、これを触媒反応¹⁾といい、この反応をおこす物質を触媒²⁾とよんだ。

触媒には有機物質も無機物質もあり、また、触媒される反応にも両方が関係している。反応速度論 (Friedrich Wilhelm Ostwald, 1853~1932) 的にいうと、触媒のはたらきは、それがなくてもすでに存在する反応をはやくすることである。それゆえ、全く存在しない反応をひきおこすものではない。ある反応がおこるには反応系が一時的にエネルギーの高い状態を経なければならない。このエネルギーを活性化エネルギーという。触媒は反応系と一時的に複合体をつくることにより、活性化エネルギーを小さくし、したがって反応の速度を大きくするように作用する。この考えは反応速度論の基礎をなすものであるが、ペルセリウスの考え方は、後に発展したこれらの概念とは異なるものであったといわれる。

ペルセリウスは、触媒は化学反応を方向づけるもの、あるいは新しい反応をひきおこすものと考えた。この考えは、近代の触媒の概念に反している。しかし、測定できないほどのわずかな反応は、たとえ存在するとしても、これを仮定することは科学的でないとの考えの上に立っており、ドイツの触媒化学の父とよばれたミッタシュ (Alvin Mittasch, 1869~1953) は、ある反応系において、触媒の種類が異なると反応がいろいろの方向にすすむ事実から、むしろ、ペルセリウスの概念についての意義を高く評価した。

とくに生物現象においては、ペルセリウスの概念はきわめて重要であって、いろいろにすすむ化学反応のうちで、ある触媒によって、特定の方向にある反応がすすむことは、生物のなかで、現象が一定の方向におこる可能性を示すものであり、因果関係と合目的性とのつながりの第1段階をここにみるこ

1) catalysis, Katalyse 2) catalyst, Katalysator

ができる。

結晶酵素から酵素有機体制系への発展 触媒のなかで生体にのみあって重要なはたらきをなすものは酵素である。酵素はキューネ (Wilhelm Kühne, 1837~1900) によって命名され、1926年にサムナー (James Batcheller Sumner, 1887~1955) によって、ウレアーゼがはじめてタンパク質の結晶としてえられ、酵素の本体がタンパク質であることが明らかになった。

パスツール (Louis Pasteur, 1822~1895) はイーストのアルコール発酵は生細胞が必要であるとしたが、ブフナー兄弟 (Hans と Edward Buchner, 1860~1917) はイーストの水溶抽出液に発酵能力があることを発見した。マイヤホーフ (Otto Meyerhof, 1884~1951) も解糖が筋肉の水溶抽出液によっておこなわれるとしたが、呼吸は細胞をこわすと全くおこなわれないことが明らかになった。呼吸に関係した酵素は細胞内のミトコンドリアに局在し、その膜構造に体制化された系として存在することがわかった。酵素という触媒が単に溶液の状態で存在するほかに、超微細構造と密着して高度のはたらきを示していることは、分析によって明確にされたはっきりした物質を基礎にして能率のたかい総合的な系が成り立っていることを実証する好例を与えるものである。

生体のはたらきが発酵、解糖および呼吸によって遊離されるエネルギーによることはやくからわかっていたが、これらのエネルギーを与える系と、エネルギーを受けとって利用する系との間に、ある種の物質の存在が発見された。これがアデノシン三リン酸 (ATP) である。ATP の発見は全生物に共通のエネルギー転換物質の存在を示すことになった。ATP はミトコンドリアに局在する呼吸酵素の有機体制系においてもっとも能率的に生産され、この事実は生物体の基本的構造とはたらきとの関連を示すものとして重要である。

遺伝現象の解析 エネルギー代謝の系の研究が酵素からはじまって次第に体制化された高次の系へと発展していったのとは反対に、遺伝現象の研究は生物自身に関する研究から次第にその要素へと分析されていき、核心をつくにいった。すなわち、遺伝法則の発見によって親の性質が子に伝わる時、一定の秩序があることがわかり、遺伝を支配する物質である遺伝子は染色体に存

在するが、遺伝の情報がどのようにして染色体中の遺伝子に秘められているかの問題は、もっとも基本的であるとともにもっとも解決困難な生物学の課題であった。ところが、今や、遺伝子としての核酸 DNA が発見され、DNA の分子構造のなかにきわめてかんたんな記号として組み入れられていることが明らかになった。遺伝形質の発現は、DNA の分子記号に従って合成される特殊タンパク質によって可能になる。この分子記号は原則的に全生物界に共通のものであり、これこそすべての生物現象を分子水準によって説明する基礎となるものである。

構造と機能との関連 筋肉を 50% グリセリン中に 1 週間つけておいて、水溶性成分を抽出すると、残った筋肉成分は不溶性の構造で、もはや解糖も呼吸もしない死んだ組織といえよう。これに ATP を加えると収縮がおこる。この事実はおどろくべきことであって、それは生の重要な機能の再現を意味するからである。筋肉の収縮性タンパク質の諸成分と電子顕微鏡による超微細構造とが分子水準にまで解析され、これを出発点として、構造と機能との関係が具体的に結びついてきたことは現代動物学の 1 つの頂点といえよう。

生体の構造において、もっとも重要なものはその膜構造である。これは生体膜ともよばれ、細胞膜はもちろん、細胞質小器官などにみるように、生物現象の基本型が膜構造によって営なまれている。生体膜はリン脂質とタンパク質を主成分とし、膜の内外に対して方向性のある、特殊の物理的性状をもち、それが示す物質の選択的透過性はきわめて重要である。

たとえば、アメーバをブアン液につけると瞬間的に固定されて死ぬが、もし、ブアン液をアメーバの細胞内に注射しても、この動物は死ぬことなく運動をつづけている。また、神経繊維の細胞膜をきずつけることなく、細胞質を洗い去っても、神経繊維の一部に加えられた刺激は興奮を生じさせ、衝撃がつたわる。もちろん、これらの細胞はながく生きつづけるには細胞内部が必要であるが、生物現象に生体膜がきわめて重要であることの証左となる。生体膜の構造はレシチン、サポニン、アルブミンなどの物質を用いて人為的に模型がつくられ、成分と電子顕微鏡像との比較からしだいに分子構造もわかりつつある。

調節機能の解明 生体の代謝を調節する物質としてビタミンが知られている。ビタミンの研究は個体の水準からはじまった。高木兼寛 (1849~1920) は食物の改善によってわが国の海軍から脚気患者をなくすることに成功し、その結果を 1885 年に発表した。高木は理論的には誤っていたが、結果において脚気患者の治療に成功した点で後世の科学史家から高い評価をえている。1890 年アイクマン (Christian Eijkman, 1858~1930) はニワトリの白米病を米ぬかが治すことを発見し、米ぬかに未知の予防因子があるとした。この因子は 1911 年に鈴木梅太郎 (1874~1943) とフンク (Casimir Funk, 1884~) によって研究され、今日のビタミン B_1 にあたるものである。1906 年にホブキンス (Sir Frederick Gowland Hopkins, 1861~1947) は純化したタンパク質、脂質、糖質および塩類だけを与えた若いシロネズミでは成長がとまるが、これに少量の牛乳を与えると著しく成長がすすむことを発見し、牛乳中に微量の食物因子があるとした。これはビタミン B_2 などであろう。

このほか、いろいろのビタミンが次第に発見されていったが、これらは個体水準の問題、とくに栄養として発見されたものである。1931 年にワールブルグ (Otto Heinrich Warburg, 1883~1970) はビタミン B_2 がフラビン酵素の成分であること、また、ローマン (p. 21 参照) がビタミン B_1 がカルボキシラーゼの成分であることを発見し、さらに、一般にミトコンドリアにはビタミン B_1 がふくまれ、呼吸酵素の成分となっていることがわかり、個体水準でののはたらきが分子水準でののはたらきと直結することとなった。

ホルモンの研究もビタミンと同じ発見と発展の歴史をたどっている。1901 年に高峰譲吉 (1884~1922) は副腎からアドレナリンを抽出し、間もなく合成に成功した。チロキシンはケンドール (Edward Calvin Kendall, 1886~) によって 1914 年に分離され、ついで合成された。インシュリンは膵臓から抽出してもタンパク酵素によってすぐに分解されるために容易に分離されなかったが、膵管をむすんで外分泌組織の退化をおこさせ、ランゲルハンス島を存続させる方法によって、バンチング (Sir F. G. Banting, 1891~1941) とベスト (C. H. Best, 1899~) はこれを分離し、1955 年にサンガー (F. Sanger, 1918

～)によって構造が決定された。1931年にブーテナント(A. F. J. Butenandt, 1903～)は男子尿から雄性ホルモンのアンドロステロンを分離した。こうして動物体のいろいろのはたらきを調節するホルモンの化学的性状はわかってきたが、一般にホルモンは個体水準においてのみ有効で、細胞水準における作用機作は不明であったが、近来ようやく、膜構造に対するはたらきと、核酸-タンパク質合成系に対するはたらきが次第にわかってきて、個体におけるホルモンの調節作用の分子的基础が明らかになりつつある。

ホルモンの個体水準における調節に自動制御作用がある。脳下垂体前葉ホルモンの支配下にある卵巣の雌性ホルモン(エストロゼン)が逆に脳下垂体前葉の作用を抑制し、エストロゼンの血中濃度を一定に保っているが、この作用のすじみちが明らかになりつつある。これに関して、神経分泌の発見はホルモンの作用が著しく高次の体制に参加していることを明らかにした。間脳にある視床下部は、刺激されると神経分泌作用をおこない、いろいろの放出因子を出し、そのはたらきで、脳下垂体から各種のホルモンが分泌され、その結果、標的器官がそれぞれのホルモンを分泌して、個体における代謝調節、あるいは恒常性の維持に役立っている。

個体の統合 単細胞の原生動物が1個の個体としてはたらくためには神経系を必要としないが、高等動物へと進化するにつれて神経系がしだいに発達し、とくに中枢神経が個体としての統合を可能にする中心的役割を演じている。ヒトの脳は動物の脳の中で最高位にあり、それは、生命の座とよばれる脳幹、本能の座とよばれる旧皮質および知性の座とよばれる新皮質に分けられる。また、神経系の活動の調節に与かる網様体がある。神経細胞同志はシナプスにおいて興奮の伝達をおこない、ある1つの神経細胞には数千にもわたる他の神経細胞がここで連絡している。シナプスの構造は電子顕微鏡によってくわしく研究され、また、伝達に必要な物質も明らかになりつつある。

ウィナー(Norbert Wiener, 1894～1964)は動物および機械における情報伝達と制御の問題を、数学、エレクトロニクスおよび神経生理学を基礎として一般的理論とし、高速度電子計算機を発明した。神経系は全か無かの法則に従

って活動し、電子計算機はこれにならって、情報の報知を0（休止）か1（活動）かの二進法によって処理するが、両方のあいだの類比をさらに追求することにより、大脳のはたらきの理解と自動装置の技術とがともに発展しつつある。近來、走性や適応や記憶などのはたらきまでも機械とエレクトロニクスによっておきかえる試みがなされている。これらは、神経系のはたらきの解明に大きな貢献をなしている。

クロード・ベルナル（Claude Bernard, 1813～1878）は動物のからだの体液を内部環境¹⁾といい、体外の外部環境に対応させた。内部環境は外界の変化と関係なく独立しているとしたが、物質代謝による個体の独立を意味する。内分泌とは彼のつくった言葉である。キャノン（Walter Bradford Cannon, 1871～1945）はベルナルの意思の継承者で、精神感動時のアドレナリン分泌、交感神経系の化学的伝達物質や、創傷ショックの発見などの研究から、恒常性の維持、すなわち、ホメオスタシス²⁾の概念に到達し、のちのセリエ（Hans Selye, 1935）のストレス³⁾説の足場ともなった。

ルー（Wilhelm Roux, 1850～1924）は実験形態学⁴⁾をととなえて、発生のしくみを実験的に研究することをはじめたが、シュペーマン（Hans Spemann, 1869～1941）は形成体を発見し、原則的に受精卵には全個体をつくる性質があり、その主体をなすものが形成体であるとした。しかし、たんに形成体物質が細胞質水準だけにとどまって直接にはたらくものではなく、遺伝情報機構を通じてはたらくものと考えられるようになってきている。

こうして、われわれが最初にみた合目的性をもった個体は生物学の立場からは、実は、分子水準の物質から出発し、その構造と反応の巨大な総合的有機体制系であると理解されようとしている。そしてまた、合目的性は恒常性の維持のしくみの解明におきかえて、とりあつかわれようとしている。

生物と環境との相関性 生物はつねに外部環境に適応して変化するといわれているが、それとともに、自然が生物に対して適応しているという考え

1) internal environment, milieu intérieur 2) homeostasis 3) stress

4) experimental morphology, Entwicklungsmechanik