

綜 説

環 境 に 対 す る 順 応

上 田 五 雨

信州大学医学部順応医学研究施設順応生理学部門

ADAPTATION TO THE ENVIRONMENT

Gou UEDA

Department of Adaptation Physiology and Biophysics,
Institute of Adaptation Medicine, Faculty of Medicine,
Shinshu University

Key words: Adaptation, Acclimatization, Acclimation, Environment

I まえがき

自然科学の研究は一般に因果関係の観測とその記述に端を発する。そこで、先ず原因として、生体を取りまく環境因子の変化をとり上げ、結果として、生体に起る反応を考慮すると、そこには環境生理学的な考え方が成立すると言えよう。ここでは、普通の生理学で問題とする刺激と反応の代りに、環境変化と生体の順応とが関心の的となってくる。ところで、生体の反応が、環境変化に対し、概ね、順応するように起るという事実は、生命現象の観察に際して、極めて明かに認められる法則であり、丁度、物理学において、熱力学の第一法則が極めてよくあてはまり、かつ包括的な法則である事実と、よく似ている事柄である。⁽¹⁾

勿論、順応という術語は、生命現象の維持に、有利に働く変化に対してよばれ、逆に、不利になる場合には順応不全であり、その研究は病態生理学の領域に属する。

また、環境順応の問題を、環境因子の方に重点をおいて考える場合は、環境衛生学の問題となる。

II 環境について

生体のまわりには、個体を取りまく外部環境と個体の構成要素である細胞を取りまく体液、即ち内部環境とが存在する。普通によばれている環境とは、前者を意味している。

また、環境は大きく分ければ、自然環境と人工的環境に分けられる。前者を特徴づける要因には、物理的なもの、化学的なもの、および生物学的なものと考えられる。刺激生理学という刺激も、環境因

子が短時間、限局性に働いたものと考えれば、環境条件の一種とみなされるであろう。

刺激となり得る環境因子の変化は、負荷(load) ストレス(stress)、ストレスァー(stressor)、引金(trigger) 作用または励振(excitation) 等と呼ばれる。ただし、ストレスとは刺激に対して生じたひずみ(strain) に対して用いられていることも多い。

環境の定量的条件について考慮すべき点は、各々の種類につき、その強さと、強まり方と、その作用する時間とである。いま、作用する個々の時間を t 、その合計時間を Σt 、間隔の時間を t_i 、その合計時間を Σt_i とし、作用回数を n とすると、平均作用時間は $\frac{1}{n} \Sigma t$ で、平均間隔時間は $\frac{1}{n-1} \Sigma t_i$ である。

環境の物理的または化学的要因が完全に一定であつても、それをうけ入れる側の年齢、性、体質、健康状態等によって、反応はそれぞれ異なるし、さらに、その要因が生体に加わる際の季節、昼夜、食物摂取との関係、女子の場合には性周期等との関係等が異なるに応じ、影響の度合もまた決して一様なものとはならない。

また、環境因子は単独で作用する場合はむしろ稀であり、総合的に作用することが多い。いま、温度を例にとって考えると、実際に感ずる温度は、物理的な温度の他に、湿度、気流等の影響した温度が関係していることが知られている。

III 順応の概念

環境変化に対する生理学的な変化は順応(adaptation) とよばれているが、その際、人為的な方法で環

境変化に対応している場合には適応という言葉も用いられている。ただし、両者は区別されずに使われていることもあるし、逆に、生理学的な反応を適応と呼んでいる者もあるので、各々の場合に適宜判断して解釈せざるを得ない。

また、気候の変化に対するなれを、馴化又は順化とよび、acclimatization という英語がそれに相当する。特に人工気象室等で条件を、コントロールして作用させた場合の生体の変化に対してはacclimation という英語が用いられている。

また、別の見地から、反応の現われるはやさに基づいて考えると、adaptation とは、acclimatization の初期に現われる一過性の変化に対してのみ用いられることもある。ただし、動物学者のいうadaptation とは、数世代を経て、進化の途上において形質が固定し、新しい環境に適した種族の保存が全うされる状態をいう。

同じ生理学の中でも、感覚生理学でいう順応とは accommodation のことで、時間的にも極めて短い経過のものが多い。

くり返し刺激に対し、反応が次第に弱くなっていく現象は、慣れ (habituation) と呼ばれている。

環境と生体の反応の関係を模式的に示すと次のようになる。⁽²⁾ いま、環境因子を adaptagent とよび、順応状態を adaptate とよぶと、両者の間には adaptagent-adaptate の反応が成立し、その変化量 ΔA は反応量の差 $\Delta \text{response}$ と等しい。即ち

$$\Delta A = \Delta \text{response} \quad (1)$$

となる。

IV 順応の度合の量的表現

順応の度合を示す指数 IA を考えると、次のような表現が考えられる。即ち、順応量を ΔA で示し環境因子の変化を ΔE_n で示すと、

$$IA = \frac{\Delta A}{\Delta E_n} \quad (2)$$

となる。この指数は、一定期間、ストレッサーにさらした後、どれだけ生体が環境に順応したかを示すのに役立つ。また、順応が完了した時点を見当づけるのにも用いられる。また、各種の動物での順応の度合を比較するのにも用いられる。ただし、 ΔA 即ち生体内の歪みをどのように測定するかは、必ずしも容易ではない。例えば、寒冷曝露に対し、吉村ら⁽³⁾ は耐寒性を測る点数表示法を実用化している。

一般に順応現象は単一の過程ではなく、反応群または症候群とみなされるので、総合的な順応状態の判定は、個々の現象の順応状態の組合わせとして

みなしなければならない。

V 順応の時間的経過

少なくとも2種類の経過が代表的なものとして認められる。その一つは指数関数的に変化するもので順応の量を A とし、 t を時間、 a 、 b を定数とすると

$$A = a \exp(bt) \quad (3')$$

で表わされると記されているが、むしろ

$$A = a [1 - \exp(-bt)] \quad (3)$$

と考えるべきである。次に、直線的に経過するものでは c を定数とすると、

$$A = ct \quad (4)$$

と記される。これらをまとめると、

$$A = a [1 - \exp(-bt)] + ct \quad (5)$$

となり、(3) は $c=0$ 、(4) は $a=0$ の場合に相当する。

また、脱順応の経過は、 d を定数とすると

$$A = a \exp(-dt) \quad (6)$$

のように示される。

そこで、順応または脱順応の半増期または半減期 (half-time) を実測すると、順応または脱順応速度のある程度の目安が得られる。

例えば、低 O_2 刺激に対しラットのヘマトクリット値上昇は6日目、直腸温の上昇は1日目、体重の減少は8日目、睪丸重量の減少は18日目に定常値の半分量に到達した。またヘマトクリット値の脱順応の半減期は17日だが、直腸温のそれは4日である。⁽⁴⁾

VI 順応現象の成立機序

刺激生理学で刺激に対する反射が成立するためには、受容器、反射弓、奏効器等が存在しなければならない。同じように、順応を誘起するための外界変化に対し、受入れ部分は局在的に、あるいは非局在的に存在する。例えば低 O_2 分圧に曝露した際の過呼吸に対しては、頸動脈体が考えられる。実験的に頸動脈体、大動脈体等を除去した兎では、過呼吸は抑制できても、赤血球の増加は抑制できない。そこで、赤血球の増加に対する受容器は別の部位を考えなければならぬことになる。⁽²⁾

また、各種の受容器からの求心性刺激にもとづいて、身体に現われる基本的な反応は、交感神経、副腎髓質系の活動、あるいは、下垂体前葉、副腎皮質系の賦活作用である。その結果として、生体には防衛的な反応が現われ、身体の内環境の恒常性の維持が保たれるにいたる。この際、他の内分泌機能にも大なり小なり、影響される事実は見逃がせないが、それらの中、比較的まとまった全身的な反応を示すものに、Selye⁽⁵⁾ は汎適応症候群の名称を与え

た。

これらの内分泌系と、神経系の間の連絡部位として注目されている場所は、下垂体門脈系と呼ばれる特別な血管系である。この部分は、下垂体前葉と視床下部を密接に結びつけて、神経に代って両者の連絡にあずかっている。また、後葉は神経組織に由来するから、ここには豊富な神経分布があり、その神経の大部分は視床下部の神経分泌核から出たものである。即ち、内分泌系は視床下部を介して、中枢性のコントロールを受けていることになる。⁽⁶⁾ また、自律神経系に対する刺激効果は放散し易いので、刺激に対する反応は非特異的となり、交叉順応(cross-acclimatization)の現象も現われ易い。これには陽性の効果を及ぼすものと、陰性の効果を及ぼすものとが認められる。⁽⁷⁾

VII 気候順応

気流に対する生体の反応は生気象学 (Biometeorology) において研究されている。ここでは、天気 (weather)、気候 (climate) の変化に対する影響等がとり扱われるが、昼夜、四季等のリズムに対する影響も考慮される。

特に、植物等では地味も考慮した気候への順応が問題になるので、その地域の土質等とも結びつけて考え、風土馴化などの概念も用いられている。⁽⁸⁾ 外界因子の中で、地質だとか、景色の如く、直接生命にかかわらぬ因子は abiotic factor とよばれることもある。人の場合には、自然の気候に対する影響だけでなく、人為的な、衣類、建造物等による環境条件の影響も問題となり得る。

また、気候順応と無関係のようにみえるが、民族の移動と、ある土地への定住による人種の分布状態等の問題は地理学的な順応のテーマであると考えられる。

次に、気候の変化に対する順応の不全、即ち、気象病の問題をとりあげてみる。この際、あたかも、順応が acclimatization と acclimation に分れたように、気象に、よる失調も、meteorotropism と climatic disease に分けられる。後者では、原因となる気象のパラメーターは、十分によく知られているのが特徴である。従って climatic disease の大部分は、管理された実験条件下で、再現することが可能である。これに反し、meteorotropism では、原因は単一ではない。

meteorotropism の発生し易さを示す指数を M

$$I \text{ とすると, } MI = \frac{N \times Kn}{n \times KN} \quad (7)$$

となる。ここで、Nは観測日数、nは異常気象の日数、KNは meteorotropic event の総数、Knは異常気象日内における meteorotropic event 発生数である。⁽⁹⁾

気候の変化は、このように、身体に対して変調を来し、ある場合には、身体条件を悪化させるが、逆に、適当な気候を選び、その中に住むようにすると、特定の病気の治癒の促進に有効ともなり得る。従って、この原理は、転地療養等に利用されている。

VIII 異常地域環境の気候への順応

高山に登ると、低圧、低温等の影響により種々の身体的変調を示すことが知られている。逆に、深海では高圧を主とした異常環境が経験される。

その他、砂漠地帯の乾燥気候、熱帯地方の温湿気候、南極の如き極寒地気候等、人類の生存にはあまり適当でない所も多いが、色々の経験がそれらの地域において集積されつつある。

また、最近では宇宙環境における無重力、その他の新しい環境順応の問題も解決されつつある。

IX 社会環境への順応

人体と他の動物の間には、生物としての類似点も数多く存在するが、人には他の動物にみられない特有の面もあり、すでに、各種の気候に順応している人類の存在も知られている。人類は、生物学的な進化だけでなく、文化的にも極めて迅速に進化している。

とくに人は、出生時には単に動物としての生物にすぎないが、次第に人間の社会に適応して、高度に発達を続ける。その発達の方向は、所属する社会環境によっても影響される。小児期にうけた刺激がいつ効果を現わしてくるかを決定することは困難な問題であり、必ずしも即効性のもののみでなく、発育の後期になって有効となるようなものも考えられる。

成人においては、職業に対する適性等も重要な問題であり、職業とか労働に対し、不適応であると能率は低下し、事故等の発生率も高まる。

精神病のあるものは、社会に対する適応の不完全さにもとずくと解釈されている。⁽¹²⁾

X 順応または適応の意義の拡張

広い意味での異状環境に対する順応又は適応の問題の中には、例えば、細菌の侵襲に対する生体の適応、即ち感染の現象、再度の感染に対する抵抗力の獲得等の問題も考えられる。

また、毒物に対する適応としては、生体に好ましくない影響を及ぼす物質がその体内に入った場合

に、そのまゝ体外に排泄されたり、解毒作用が働いて、体外に排泄されたりする現象があげられる。結局、物質は酸化、分解または合成により、無毒で排泄され易いものに変化していく。外来化合物の反復侵襲に対する適応が成立した場合には、耐性ができたといわれる。ある物質が反復投与されると、化学的あるいは薬理作用上、類似の物質が与えられても耐性の現象が現われることがある。これは交叉耐性 (cross tolerance) とよばれている。

この他、低栄養に対する順応、過剰栄養に対する順応、重労働に対する順応等の問題も、考えられるので、その領域は極めて包括的である。Ross Ashby⁽¹³⁾ は行動を non-adaptive と adaptive に分け、adaptive なものを自己保存的なものと種族保存的なものとに分けて考えたが、生活現象のほとんどすべてが、その中に含まれているといえよう。

XI 遺伝的適応と淘汰⁽¹⁴⁾

生体の示すあらゆる性質、即ち形質は、遺伝的要因 G と、環境的要因 E によって決定されたものである。いま両者の割合を知るため、双生児の各組について考えると、一卵性双生児相互間の差 ΔO_t は環境差のみによるが、二卵性双生児相互間の差 ΔT_t は、遺伝と環境の両方の差による。従って、G の関与する割合は、

$$\frac{G}{E+G} = \frac{\Delta T_t - \Delta O_t}{\Delta T_t} \quad (8)$$

によって推定され、E の関与する割合は、

$$1 - \frac{G}{E+G} = \frac{\Delta O_t}{\Delta T_t} \quad (9)$$

と表現される。

このように、生物は絶えず環境因子の影響を受け、環境に不適合なものは自然淘汰を受けながら、進化していくものである。そこで、特定の遺伝子型 (genotype) をもった個体が、与えられた環境のもとで、どの程度適しているかを現わす尺度としては、それらの個体が残す子供の平均数の量を用いることができ、その値は適応度 (fitness) とよばれている。同じ遺伝子型でも、おかれる環境によって適応度に差があり、すべての環境に対する適応度に、それぞれ重みをつけた平均値が、その遺伝子型の適応度とみなされる。またある遺伝子型の適応度と、集団全体の適応度との比を、相対増殖率 f で示すと、与えられた環境に適した遺伝子型は、より多くの子孫を残すから $f > 1$ であり、逆に環境に不利な遺伝子型では $f < 1$ となり、その系統はやがて絶えてしまう。いま淘汰をうける度合、淘汰率を S とすると

$$S = 1 - f \quad (10)$$

となり、例えばある遺伝子型のものが一人も子供を残さなければ、 $f = 0$ となり、 $S = 1$ で完全淘汰が行なわれる。逆に、平均と等しい割合で子供を残す場合は、 $f = 1$ 、 $S = 0$ である。同じく、 $0 < f < 1$ なら、 $1 > S > 0$ であり、 $f > 1$ なら $S < 0$ で、その遺伝子型は却って増加する。自然淘汰は常に、集団の平均から極端に離れたものを除去するように働いている。

突然変異でできた遺伝子は大抵現在の環境にとって不利だが、進化の過程で環境の激変が起れば、過去には不利であった遺伝子が、逆に適応度が高く有利になることもあり得る。

文 献

- 1) EVANS, C. L.: Principles of human physiology, (11th ed.) p 5, J. and A. Churchill LTD, London, 1952
- 2) DILL, D. B. (Editor): Handbook of physiology, p 27, Sect 4, Am. Physiol. Soc., Washington. 1964
- 3) YOSHIMURA, H., OGATA, K., and ITOH, S. (Editors): Essential problems in climatic physiology, p 61, Nankodo Pub. Comp., Kyoto, 1960
- 4) ADOLPH, E. F.: General and specific characteristics of physiological adaptations, Am. J. Physiol., 184: 18-28, 1956
- 5) SELYE, H. (田多井吉之介訳): セリエ新内分泌学(1), p 7, 医歯薬, 東京, 1956
- (6) 伊藤真次: 神経下垂体の話, p 6, 金原, 東京 1965
- 7) LEE, D. H. K., and MINARD, D.: Physiology, environment and man, pp.158-169, Academic Press, New York and London, 1970
- 8) 能登志雄: 気候順応, p 23, 古今書院, 東京, 1966
- 9) 日本生気象学会編: 生気象学, p 175, 紀伊国屋, 東京, 1968
- 10) TROMP, S. W. (Editor): Medical biometeorology, p 28, Elsevier, Amsterdam, 1963
- 11) PHILLIPS, L.: Human adaptation and its failures, pp.26-49 Academic Press, New York and London, 1968
- 12) 村上仁: 異常心理学, p 40, 岩波, 東京, 1963
- 13) ROSS ASHBY, W.: Design for a brain, p 66, Chapman Hall LTD, London, 1954
- 14) 田中克己: 基礎人類遺伝学 (6 版), P101, P178, 裳華房, 東京, 1966 東京, 1966

(1971. 9.29 受稿)