

## 8-2. 細胞膜における「内」と「外」の情報統合の分子機構 -G-タンパク質、プロテインキナーゼ (PKC) を介した連合学習、過敏性、発がん、ホルモン作用に見られる相同原理-

本節の副題にある、連合学習、過敏性、発がん、ホルモン作用は、一見何の関係も内容に思われる。しかし、私たちは「ゾウを前にした盲人」のごとく、それぞれが「紐のようだ」、「扇子のようだ」、「丸太のようだ」と主張しているようなものなのかもしれない。ストレスタンパク質が産生される条件は、7節で述べたように、環境ストレスをはじめ、悪性腫瘍、さらには‘細胞記憶’ (Murase, 1996) が関与する分化や発生といった正常な生理的条件も含まれている。

ストレスタンパク質のいくつかは、‘分子シャペロン’として知られていたタンパク質で、生成されたタンパク質の折りたたみ、輸送などに関与している。また、この種のストレスタンパク質が産生される条件下では、他のタンパク質の産生が抑えられるというフィードバック機構が働いている。

細胞が受け取る「外」からの情報は、分子運動としての温度であったり、神経伝達物質やホルモンのような化学物質であったり、光をはじめとするさまざまな周波数の電磁波など、実に多様である。ところが、細胞「内」で行われる情報の伝達には、カルシウムイオン、細胞膜の代謝、cAMP や cGMP などのセカンド・メッセンジャー、タンパク質リン酸化酵素やタンパク質脱リン酸化酵素といった共通のイオン、分子、あるいは酵素タンパク質が働いている。

各細胞が、特定の外来刺激に対して受容体を分化させた専門の細胞へと特殊化しているとともに、1つの細胞膜レベルでも複数の受容体が共存し、それぞれの受容体が特殊化している。7-1節で述べたように、複数の細胞「間」レベル、あるいは、それらを組み合わせたより高次の「超」細胞レベルでの情報は、大脳辺縁系レベルで、神経活動を介して情報の統合が図られている。

1つの細胞「内」レベルでは、特殊化した受容体への情報は、G-タンパク質、タンパク質リン酸化酵素やタンパク質脱リン酸化酵素などの共通の情報統合酵素に集約される。そのために、それぞれの情報「間」の‘クロス・トーク’が可能となり、多様な「外」の情報を認識・学習できることになる。しかし、同じ分子機構が、環境病の発症をも招いてしまう。‘細胞記憶’ (Murase, 1996) の効果が学習、分化に必要であるが、この機構が、逆に、すでに消失してしまった刺激の残存効果をもたらし、‘両刃の剣’ (村瀬雅俊, 2000) となってしまうのである。

三重大学医学部の富永真琴が分子レベルおよびノックアウトマウスを用いた

研究によって、‘痛覚過敏症’およびその対極にある‘無痛・無覚症’における、G-タンパク質を介した情報受容・伝達経路において、反応閾値がダイナミックに変化することが示されている。

国立環境研究所の兜真徳、石堂正美（2002、2004）の低周波電磁場の発がんへの影響に関する研究では、電磁場がG-タンパク質においてメラトニンと呼ばれる細胞増殖抑制効果をさらに抑制—つまり、二重否定による強い肯定—の結果、細胞増殖が引き起こされることを報告している。

ウミウシの連合学習に関しては、アルコン（1983、1987）の研究によって、G-タンパク質およびリン酸化酵素のダイナミックな変化が寄与していることが明らかにされている。

そして、ストレスタンパク質の産生といった、電磁波を含めたストレス反応における、ホルモン作用においても、G-タンパク質およびリン酸化酵素が関与している。

### 8-3. 電磁波の生体作用

#### —情報増幅系としての生命へのホルモン作用—

本報告書の‘はじめに’で、私は電磁波の作用として、電磁波エネルギーの準位から、電離作用、熱作用、そして非熱作用が存在することを述べた。微弱エネルギー電磁波の非熱作用として、本稿ではホルモン作用が存在することを論考してきた。ここで、これまでの非熱作用を‘生体作用’と呼び、その具体的影響を‘ホルモン作用’と明言したいと思う。

自然界に存在する天然化学物質にしても、人類が作り出してきた人工化学物質にしても、その濃度の高低にかかわらず、生体への影響—薬理効果、急性毒性効果、慢性毒性効果—が存在していることが明らかにされてきたことは、20世紀の科学史に示されているとおりである。同じように、自然界に存在する自然電磁波にしても、人類が作り出してきた人工電磁波にしても、そのエネルギーの大小にかかわらず、生体への影響—ホルモン作用に基づく、例えば骨折の癒合欠如に対する治療効果、あるいは発がん、過敏症などをまねてしまう生体障害効果—が存在していることが、動物実験、疫学研究、臨床医学研究、分子・細胞生物学研究によって明らかにされてきている。

これまで、物理学者の多くが微弱エネルギー電磁波の生体影響を受け入れてこなかった背景には、‘物質の科学’に慣れ親しんできた自然観の弊害があることをここで、再度指摘したい。それは、いわゆる‘kT問題’である（Blank、1995）。ここで、kはボルツマン定数、Tは絶対温度である。従って、kTは、

自然界に存在する熱運動—すなわち、熱ゆらぎ—に相当する(ラベンダ、1985)。そして、生体作用を起こす電磁波のエネルギーレベルは、この自然界の熱ゆらぎである  $kT$  よりも大きくなければならないと考えてきた。この物理学者の自然観に従うと、微弱エネルギー電磁波は生体への影響を及ぼさないことになる。

そこで、具体例としてイオンチャネルを考えてみたい。(Kobayashi and Kirshvink, 1995)。聴覚や平衡感覚を司る内耳の受容器官(パーカー、1981)で中心的な役割を果たしているのが有毛細胞(ハッドスペース、1983)である。

この有毛細胞の‘機械刺激受容体’(Findl, 1987)にあるイオンチャネルの研究から、次のような事実が明らかにされた。つまり、イオンチャネルには、分子が出入りを許されるゲートが存在しており、そのゲートの移動距離はおおよそ  $4\text{nm}$ 、そのゲートの開閉に必要な力学的な力は、約  $1\text{pN}$  である。従って、このゲートの開閉に必要なエネルギー(つまり、力 $\times$ 距離)は、おおよそ  $4 \times 10^{-21}\text{J}$  となる。この値は、ほぼ  $kT$  に相当する。‘マグネタイト’と呼ばれる磁石が結合していると考えられるイオンチャネルの場合には、 $50 \sim 60\text{Hz}$  の電磁波が、強度  $1\text{G}$  でほぼ  $kT$  に相当するエネルギーなのである(Kobayashi and Kirshvink, 1995)。この計算は、マグネタイト結合イオンチャネルの場合であった。例えば、このマグネタイト結合イオンチャネルが、複数の刺激因子に対して反応性を変えるならば、電磁波の生体への影響がさらに低レベルでも生じることになる。富永真琴の痛覚過敏症の研究は、こうした可能性が否定できないことを示唆している。

チャネルゲートの移動距離	4 nm
ゲートの開閉に必要な力	1 pN

ゲートの開閉に必要なエネルギー	$4 \times 10^{-21}\text{J} (\sim kT)$
-----------------	---------------------------------------

別の例を挙げてみたい。一般に、住宅街での送電線からの電力周波数電磁波曝露によって誘導される生体内の電場勾配は、 $1\text{V/m}$  程度である。これに対して、多くの哺乳類細胞の膜電位ポテンシャルは  $10^7\text{V/m}$  (Adey, 1983; Luben, 1995) である。このことから、人工環境電磁波の影響は、無視できると言われてきた。しかし、多くの生物—例えば、水生生物(Becker, 1990; オールマン、1999)やカモノハシ(グリフィス、1988)—は、 $1\text{V/m}$  の電場勾配を感知できるのである。

生体それ自体が、一種の情報増幅系であり、その本質は、私が‘構成的認識論’を提唱した際に提示した、入出力の入れ子的構成過程を表現した‘生命マンダラ’に凝縮されている。生命は、さまざまな環境の変化を認識し、学習してきたからこそ、その起源以来、数十億年にわたり進化を続けてきたのである。この環境認識・学習機能が、環境病発症過程へと転化してしまうところに、問題の本質と、その解明への難しさが秘められている。

人工化学物質の内分泌攪乱作用を発見したシーア・コルボーンは、自らが一見バラバラな現象を統合していった過程を、ジグソーパズルのピースを構成していく過程と見立てて回想している。私の‘生命マンダラ’の視点とは、こうして構成されたジグソーパズルが、より高次のジグソーパズルのピースになる—すなわち、おわりが新たな展開のはじまりである—という視点である。

#### 8-4. 電磁波の作用部位

##### —情報統合の成立と破綻の相同原理—

哲学者の市川浩は、著書『<身>の構造』の中で、階層的・成層的統合としての身（身体）の構成とともに、そうした階層的・成層的統合を破るような統合形式の必要性を‘身の生成モデル’を用いて論じている。生体の特徴は、「環境の刺激から相対的に自由であること」と言える。この‘自由’であるということによって、ある刺激に対していつも決まった反応が起こるのではなく、ある選択可能性を持つことになる。しかし、この選択可能性が過剰になると、逆説的に選択不能という‘不自由’に転化する。

私が本稿で繰り返し主張してきた、「環境の認識・学習過程が、環境病の発症過程である」という「対立の一致」は、こうした生命の統合形式から生じるのである。

こうした統合形式が可能になるのは、情報伝達ネットワークに、情報の集約点が存在する必要がある。脳神経系では、情動を生み出す大脳辺縁系と細胞膜レベルでは、G-タンパク質が、そうした集約点になる。そして、こうした集約点が電磁波の作用部位であるということを強調したい。

化学物質過敏症および電磁波過敏症の臨床データから、宮田幹夫（2004）によれば、大脳辺縁系は、化学物質および電磁波の共通の侵害部位に当たることを見いだしている。また、富永と兜、石堂の研究から、痛覚過敏症あるいは電磁波による発がんは、G-タンパク質における情報統合の障害として捉えられる。これらのことから考えると、電磁波過敏症においても、電磁波の作用部位はG-タンパク質ではないかと予見できる。もちろん、マグネタイト結合チャンネルも、

電磁波の作用部位である。

また、ストレスタンパク質が低エネルギーの電磁波によって、産生されることを考えると、電磁波の生体への影響を調べることは、生命現象の基本原理を探求する重要な手法となり得る。

今日、学習能力の低下、社会性の欠如、家庭内暴力、凶悪犯罪の増加、キレやすい子どもと大人、不妊、離婚率の増加、アルツハイマー病、若年性痴呆、がん、うつ病などの増加は、これまでの常識では考えられない事態になっている。こうした問題を、教育、しつけ、社会制度、家庭や社会の人間関係の問題など、従来の枠組みだけで捉えようとするのは、創造的な学問のあるべき姿とは思えない。

情報統合部位のストレス反応があらゆる選択可能性を持つことを考えるならば、教育制度や社会制度の改革を叫ぶ前に、あまりに悪化してしまった地球生命圏の人工的環境を、化学物質汚染ばかりでなく、電磁波汚染の観点からも、浄化することが先決ではないだろうか。その意味では、科学（岩波書店、2004年1月号）の特集『毒—環境中の「毒」と人の健康』は、まさに時期を得た企画と言えよう。

## 9. おわりに

20世紀を駆け抜けた高度科学・技術発展の副作用が、21世紀の環境問題としてクローズアップされている。内分泌攪乱物質が明るみになった背景には、レイチェル・カーソン、有吉佐和子、シーア・コルボーンといった専門科学者ではない、教養ある女性の活躍があった。また、今日、いまだに衰える気配のない‘狂牛病’の拡大は、人為的行為の愚かさを浮き彫りにしている。しかし、環境問題への取り組みを見ると、水質汚染、空気汚染、農薬などの化学物質汚染、そして電磁波汚染と、それぞれへの取り組みは断片的なように見受けられる。ゾウを前にした盲人の比喻のように、私たちが、バラバラな知識を再構成できるかどうか、生命存続の鍵がある。

そのためにも、科学者が自己の専門分野に捕らわれない、新しい統合科学の学問創造へ向けて、新たな一步を踏み出さなければならない。ここに、果てしない構成過程の本質があり、それこそが世界の認識を進める生命の本質なのである。ところが、この構成過程が、思いもかけない環境病の発症を引き起こしてしまう。哲学者の西田幾多郎（1936）が晩年に述べている‘場所’とは、まさにこうした生命認識の発展と病気の出現、あるいは‘生と死’の世界を表現しようとしたのではないだろうか。そして、物理学者の寺田寅彦（1936）が、

その絶筆となった『物理学序説』で論考しているのも、こうした‘生物の科学’の本質であった。こうした先人達の知恵を受け継ぎ、環境ホルモン作用が疑われる化学物質ばかりでなく、ホルモン作用が懸念される電磁波においても、今こそ‘予防原則’に従った対策が必要なのではないだろうか。

本稿が、環境問題への統合的取り組みの一助となれば幸いである。