

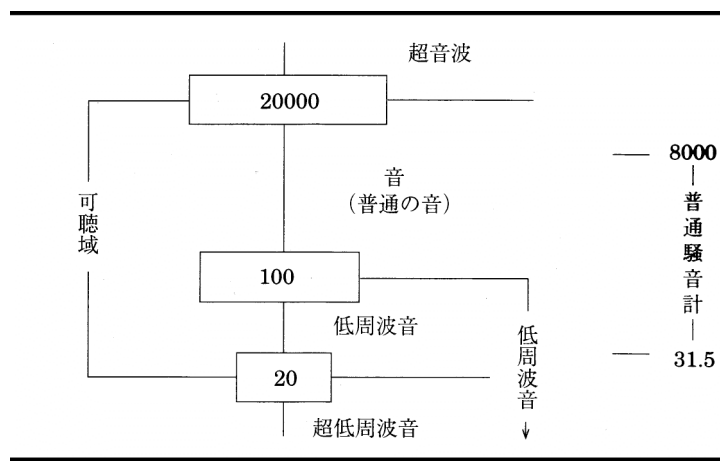
#### 4. 脳神経系 — 聴覚・運動フィードバック経路と脳のスイッチ機構 —

入力刺激の時間パターンが、連合学習の鍵であった。それでは、時間パターンとして、音情報がどのように聴覚系で処理されているのだろうか。そこで、東京医科歯科大学の角田忠信（角田、1978; 1985; 1992）が生涯をかけて行った一連の実験を見てみよう。

##### 4-1. 大脳半球の機能分担

角田の考案した聴覚・運動フィードバック経路に着目した実験は、次の点でユニークである。つまり、日常の会話では、単に‘聴く’という一方的な刺激条件に限定されていた。しかし、日常の会話について考えてみれば明らかなように、私たちは‘話しながら聴く’という二分しえない機能を働かせている。その意味では、聴覚・運動フィードバック経路に着目した実験は、日常の会話の場面により近い条件を設定している。

ヒトが聞き取れる音は、20Hz~20000Hzの範囲とされている。会話は、通常500~2000Hzの範囲である。ただし、男性の低音は100Hz程度で、それ以下の周波数音は基本的に言語音とは関係なく、また聴覚感度も急激に低下するので、聴覚計から除外されてきた。数十年前では、騒音対策として音の大きさを下げることが困難な場合は、周波数を下げればよいとさえ考えられていたほど、低周波音に対する認識はなかったのである。



(汐見文隆『低周波公害のはなし』より)

実験では、サンプル音として、1回0.05秒の細切れした音を、ヘッドホンか

ら被験者の両耳に聴かせる。このとき、サンプル音としてヒトの声、雑音、あるいは純音などを用いる。サンプル音の持続時間が 0.05 秒と短いために、被験者にはその音の違いをいっさい判断することはできない。従って、以下に説明するサンプル音に対する反応は、無意識レベルで行われていると考えられる。

実験では、‘♪♪♪\_\_♪♪♪\_\_’という繰り返し音を聴かせ、指を同調して運動するように被験者に指示を与える。例えば、ヘッドホンから母音‘あ’を 0.05 秒の細切れにして、先のリズムで被験者に 30dB の強さで聴かせておき、指の動きが同調していることを確認する。その上で、右耳のヘッドホンの音を 0.2 秒遅延させる。この場合には、指先のリズムは乱れない。しかし、音圧を次第にあげて 35dB にすると、指の同調が乱れるようになる。次に、左右を逆にして、右耳に 30dB の同期音を聴かせる。左耳の遅延音が 75dB になったとき、はじめて指先の動きが乱れた。

この場合、右耳が同期音を聞いたときの方が、遅延音によって妨害を受けにくかったことから、右耳の方が 40dB (= 75dB - 35dB) 優位であると言える。一般に、左右の耳が聴覚刺激に対して競合状態におかれた時には、聴覚刺激は交差して大脳半球に伝えられる。つまり、優位な耳の反対側の脳半球が優位な脳と言える。サンプル音として、母音の‘あ’以外に、西洋音楽、機械音、純音などを用いて、同様の実験を繰り返していく。このようにして、次表に示すように、聴覚刺激の物理的性質に従って、左右の大脳半球に聴覚情報が振り分けられていることが明らかになった。

日本人と欧米人に共通	
左脳 (右耳)	右脳 (左耳)
言語音	西洋音楽、機械音、雑音、純音

日本人	欧米人
左脳 (右耳)	右脳 (左耳)
感情音 (泣き、笑い、嘆き、甘え)、ハミング 鳴き声 (虫、鳥、動物) 邦楽器音 (琵琶、尺八) 自然音 (小川のせせらぎ、波の音、風の音)	

つまり、ヒトの脳には、聴覚神経が左右の大脳半球に分かれる手前に精密なスイッチ機構があり、外界から入ってくる聴覚情報を、その物理的特性に応じて、無意識的に左右の大脳半球に振り分けているのである。

## 4 - 2 . 40 ・ 60 Hz 系

角田は、20~200Hz の純音を、1Hz 刻みで被験者に聴かせ、左右両耳の優位性を詳しく調べた。その結果、100~200Hz の範囲の純音では、120、160、180、200Hz という 4 つの周波数の純音以外の周波数帯で、左耳優位となり、それまでの研究と一致していることが確認された。ただし、上記の 4 つの周波数では、0.0001Hz の精度で、正確に右耳優位であった。また、99Hz 以下の低域の純音について調べてみると、今度は 40、60、80Hz という 3 つの周波数の純音以外の周波数帯で、右耳優位であった。そして、上記の 3 つの周波数では、やはり、0.0001Hz の精度で、正確に左耳優位であった。

これらの実験から、次の二点が明らかになった。第一点は、ヒト聴覚系の純音に対する反応は、100Hz を境にして、それより高周波数側の音声帯域と、それより低周波数側の低音域とに明確に二分されているということである。第二点は、40Hz と 60Hz を基底周波数として、その倍音に対して、左右両耳の優位性が逆転するようにスイッチが働くことである。

ここで観察されている優位性の逆転は、耳のレベルで大脳半球レベルではないと思われる。おそらく、交叉的な聴覚情報の経路が同側的な経路へと、切り替わっているだけで、大脳半球の役割分担は変わっていないのではないか、と角田は考えている。

100Hz 以下の低周波音は、聴き取りにくいことは先に述べた通りである。ところが、この 100Hz 以下の低周波音を用いて両耳の競合実験を長期間続けているうちに、頭痛、不眠、胸の圧迫感、吐き気、不安、頻脈、注意力の低下といったいわゆる‘不定愁訴’や、‘自律神経失調症’といった不快な症状のいくつかを被験者が訴えるようになった。

低周波音の人体への影響を長年研究してきた医師の汐見文隆によれば、こうした低周波音は、脳や身体の細胞が直接感受できる周波数帯であり、本人が気づくか気づかないかにかかわらず、‘不定愁訴’や‘自律神経失調症’を発症しているということである。言語帯域よりも低音域は、細胞に直接感受されると考えるならば、人間に限らずさまざまな生物において、低周波音の影響を詳細に調べることができるに違いない。そして、こうして明らかになったメカニズムと、他の物理学的刺激である電磁波、あるいは化学的刺激である化学物質の作用メカニズムには、生物学的に何らかの共通性があるのではないだろうか。

### 4-3. 40・60Hz系から情報統合機能を探る

角田は1983年に、40・60Hz系の報告をし、それ以来、次々と興味深い事実を発見した。例えば、この40・60Hz系が、聴覚以外に視覚、皮膚振動覚、触感、味覚などにも共通した一種の情報統合機能を持つことを明らかにしてきたことである。サンプル音として1つの純音を用いるかわりに、50~8200Hzの範囲の適当な周波数を中心として、±10Hzのバンドノイズを発生させる。こうして、作成したバンドノイズを2個から100個まで組み合わせて合成音を構成する。この合成音は、一般的には非言語音に特徴的な右耳優位を示した。ところが、40、60、80個—すなわち、40・60系—の組み合わせに限って、特異的に右耳優位を示したのである。

実験では、40Hzという1秒間に40個の正弦波からなる時間情報と、40個という空間的に組み合わせられた音が、正確に同じ数で左右両耳優位性の逆転現象を示すことが明らかになった。このような現象が生じるためには、人間の脳には正確に1秒という基準の時間単位があつて、1秒に含まれる40個の正弦波の数を検知することが可能であると同時に、40個の空間的な構成数に対しても、同様に特異的に反応することが可能なためと考えられる。すなわち、この40・60系が存在しているということは、人間の脳には無意識のうちに時間情報と空間情報を統合する精密かつ高度な機構があるということである。

情報統合機構が、さまざまな入力情報によって無意識的に働くならば、異なる感覚系への刺激にも同様な反応が見られるに違いない。実際に、視覚系において、次のような実験事実が明らかになった。被験者の眼前に広げた白紙上に無作為に黒い碁石をばらまいて眺めてもらう。この負荷条件下で、非言語音のホワイトノイズの優位性を調べると、碁石の数が正確に40、60個あるいはその整数倍—280個、360個—の時には、優位性は逆転する。ところが、360個ではなく359個や361個の時には、逆転は起こらない。

視覚刺激装置を用いて、赤色光源を点滅させた場合は、数十Hz以上になると、光源は固定して見えるようになる。また、その点滅周波数をいろいろと高周波数に変えてみても、その違いを意識的に把握することは困難である。ところが、40・60系に一致した周波数の時に、聴覚刺激として、例えばホワイトノイズを用いると、左耳優位であるべきところが右耳優位へと逆転してしまう。無意識的にスイッチ機構が働いているのである。

皮膚の振動感覚の刺激においても、40・60系が確認されている。例えば、左手の指先に振動刺激を与えながら、ホワイトノイズに対する左右両耳優位性を調べると、指先に与える振動数が、正確に40Hz、60Hzおよびその整数倍の周波数の時に逆転現象が見られている。

触覚の分解能の検出を行うには、神経学的に皮膚上の2点を同時に刺激して、その2点を識別できる距離を求める方法がある(ゲルタード、シュリック、1986)。皮膚上に3ミリ感覚で1~100個の堅いプラスチック棒で、全体が接触するように軽く圧迫しておく。プラスチック棒の数が40、60、80個の時に限って、聴覚の優位性が逆転していることも確認されている。

このように、脳のスイッチ機構は、外部環境に含まれるさまざまな物理刺激に対して、無意識的に40・60系に基づいて鋭敏に反応することが明らかにされている。ところが、さらに興味深いことに、化学物質を用いて味覚刺激を行った場合にも、分子量が40と60およびその整数倍の分子量をもつ化学物質の場合に限って、ホワイトノイズによる聴覚系における左右両耳優位性の逆転現象が確認されている。例えば、分子量160のサリチル酸、分子量180のグルコース、果糖、ガラクトースなどは、それぞれ40と60の倍数に相当する。こうした一連の化学物質を舌先につけ、1分後に優位性テストを行うことで、40・60系の存在が確認されている。

#### 4-4. 年輪系

生物の中で、一年周期で刻まれる痕跡として、樹木の年輪をはじめとして、魚類のうろこや耳石が知られている。40・60Hz系における純音の左右両耳競合実験を繰り返していく内に、角田は意外な周波数帯での逆転現象を発見した。その周波数帯とは、被験者の年齢を基底周波数とした整数倍の周波数帯である。

年輪系の研究では、不快な症状を起こす低周波数の純音を使うかわりに、1~100個までの合成音が用いられた。そして、少なくとも6名の被験者の8年以上の追跡の結果、年輪系の加齢が閏年を除けば全員が、誕生日の午前中に新しい年輪系に移行することが確認された。つまり、人間の脳には誕生日を境として、地球の公転と正確に一致する一年周期の年輪様の変化がある。この年輪系には、人種・性・年齢による差はないということから、角田は、「人間は明らかに天体の運行に組み込まれた宇宙の子である」と述べている。

#### 4-5. 月齢に伴う優位性の逆転および地殻ストレスによる異常現象

満月や新月のときに、動物の性行動、攻撃性、代謝活性などが亢進することは、古くから経験的に知られている。ところが、ヒトの脳スイッチ機構も、月齢に伴って変化することが明らかになった。つまり、正常ならば言語音が右耳

優位、非言語音が左耳優位となるパターンが、満月、新月、上弦、下弦という月齢の変化に応じて、逆転することが明らかになったのである。

さらに、この月齢変化による逆転現象を追跡中に、それとは全く無関係に左右両耳優位性が逆転する現象が確認された。角田によれば、「逆転中は頭重感を伴い、不快で、ルーチンの作業や慣れた実験はできるが、執筆はとてもしる状態ではなかった」と述べている。その原因の1つとして、その当時のハレー彗星の地球への接近が考えられると角田は指摘している。

さらに、不思議なことに、それまで正確であった年輪系が減少し始めた。年輪系は加速度的に減少していき、1に達し、その後ただちに100に戻るという繰り返しを示した。こうした状況が続いた後、東京で震度5の数十年ぶりの強い地震が発生した。その直後から、年輪系の異常は消失し、正常に復帰した。こうした経験から、角田は‘脳センサー’による地震予知の可能性も指摘している。

実際に、このスイッチ機構は500mGの直流磁場にも鋭敏に反応する。しかも、その鋭敏な反応性は、正常期にも異常期にも見られている。

また、前額中央に骨導レシーバをあて、1.0000Hzの三角波を20dBの強さで与えながら、ホワイトノイズと母音の優位性テストを行った。この実験で、外部環境は正常である場合には、正常な優位性が確認された。ところが、この状態で負荷音の周波数を1.0001Hzあるいは0.9999Hzにすると、ホワイトノイズと母音の優位性が決められず、両耳がどちらもテスト音に過敏に反応する—いわゆる、‘発振現象’—が見られた。つまり、人間の脳には正確に1.0000Hzに対して鋭敏に反応する脳センサーが存在しているということを示している。そして、角田は「これは多分、人間だけに限ったことではないだろう。人の脳内にある太陽系と同期して無意識で働く機構は、すべての生物にとっても共通するはずである」と述べている。

## 5. 進化的脳構築の解明に向けて

### 5-1. 環境センサーとしての脳幹レベルのスイッチ機構

ヒト脳の高次構造と統合機能を理解する方法として、その進化生物学に注目することは意義深い。ヒト脳の最下層—すなわち、脳の中で最も古く、約5億年以上も前から存在していた‘爬虫類脳’と呼ばれている領域—には、運動を司る小脳と、脊柱を伝って身体からのびる神経からなる‘脳幹’がある。角田は、脳のスイッチ機構は脳幹にあると考えている。この脳幹は、身体と脳の情

報交換を担っている。その機能は極めて複雑である。

先にのべたように、脳幹は外部環境からのさまざまな外来刺激—すなわち、聴覚、視覚、味覚、振動覚など—を統合する機能がある。それとともに、脳幹は内部環境を決定づけ、例えば、レム睡眠と呼ばれる身体を動かさないでおくだけの休息状態を実現する機能がある(井上、1988; 1989)。このレム睡眠では、大脳皮質の活動は完全に抑えられないために、夢を見る機会が多くなる。

逆に、脳の覚醒状態が脳幹の活動にも影響を与えている。脳幹にはセロトニンと呼ばれる神経伝達物質を放出する神経細胞がある。このセロトニン分泌神経細胞の軸索は中枢神経系—脳と脊髄—のすべての部分に、セロトニンを放出し、そこで、ほぼすべての神経細胞が他の神経伝達物質に対する反応性を変調している(オールマン、1999)。このように、一般的に、セロトニンは他の神経細胞を直接興奮させるのではなく、神経細胞の活動状態に影響を与えている。ただし、大脳皮質内の錐体細胞は、セロトニンによって興奮する細胞である。このように脳幹のセロトニン神経細胞から分泌されるセロトニンは、脳の広範囲に影響を与えることから、精神状態ばかりでなくさまざまな行動の統合にも関与していると考えられる。

ネコを用いた実験によると、セロトニン分泌神経細胞の活動は、動物の覚醒状態と密接に関係していることが明らかになった。活動的な歩行状態では、セロトニン分泌神経細胞の発火頻度は高い。ところが、ゆっくりとした歩き、寝入りばなの徐波睡眠、そしてレム睡眠へと移行するにつれて、セロトニン分泌神経細胞の発火頻度は低下してくる。

脳内のセロトニンは、必須アミノ酸の1つトリプトファンから作られる。私たちは、トリプトファンを体内で合成することができないため、食べ物からとらなければならない。トリプトファンは肉類に多く含まれ、胃でタンパク質が消化され、消化管から吸収される。その後、血管で脳へ運ばれ、そこでセロトニンが作られる。従って、トリプトファンが欠乏すると、脳内の化学的環境が変わり、その結果、精神状態も変わってしまう。

ヒトの脳には、セロトニン分泌神経細胞は10万個程度—これは中枢神経系にある神経細胞総数の約100万分の1程度—存在している。これに対して、標的神経細胞のセロトニン受容体は多様で、これまで14種類が哺乳類の脳で発見されている。これらセロトニン受容体は、真核単細胞生物である酵母にもある‘G-タンパク質結合受容体’という大きなグループの一員で、約5億年前に脳が初めて出現するよりずっと以前に、すでに生物界に存在していたのである。G-タンパク質は、さまざまな細胞応答の鍵として重要な機能を果たしている(3節参照)。

私たちの身体においては、セロトニン受容体は、血管や消化管にある。セロ

トニンの語源自体、その作用が血管の収縮であることから、血をあらわす **serum** と引っ張るを意味する **tonus** からきている。しかし、その後、セロトニンには血管や消化管の拡張作用も見いだされ、単一分子の多様な機能の存在を、この時も見せつけられたのである。

霊長類の研究から、セロトニン量の多いサルは落ち着いており社会的地位が高いが、危険や好機には敏感でないことが明らかになった。逆に、セロトニン量の少ないサルでは、動機付け刺激がより強くなり、周囲にある危険や好機により敏感になることで、グループ全体の生存率を高めている。これは、進化的に意味をもってきたように思われる。セロトニン量が少ない個体が、進化的意味を持つからこそ、人間においてもセロトニン量が少ないことに起因する気分障害が珍しくないのかもしれない。危険・好機の敏感な認識機構が、ストレスの多い現代社会にあって、病気発症機構に転化してしまっているのは、皮肉なことである。そして、現代では、神経細胞のシナプスレベルで、セロトニン量を増やすような薬が、うつ、不安、強迫神経症などの治療に役立っている。

## 5 - 2 . 大脳辺縁系

進化によって、脳幹の上位に、さらにモジュールが構築された。それが大脳辺縁系である。具体的には、記憶を担う海馬、恐怖を感じる扁桃体、外界からの刺激—聴覚、視覚、味覚など—や身体からの体性感覚を脳の適切な領域に振り分ける視床、その下の視床下部、そしてメラトニンを合成分泌する松果体などから、大脳辺縁系は構成されている。

ヒトの松果体は、**0.2g** 程で形が松ぼっくりに似ていることから、この名がついた。ヒトを含む高等動物の松果体は、神経組織に特有な神経細胞がないという特徴がある。4億**5000** 万年前に海岸近くの海に生息していたサバンバスピスと呼ばれる、最も初期の脊椎動物には、頭頂眼—いわゆる、第三の眼—があり、光に感受性を示し、それが私たちの松果体へと進化したと考えられている。そして、今日でも、この松果体が昼夜のリズムに対応してメラトニンを分泌し、睡眠と覚醒のサイクルを調整している（オールマン、1999）。

この大脳辺縁系は、哺乳類に最初に現れたと考えられ、情動が生まれる領域である。その中の視床下部は、より原始的な脳幹の助けを借りながら「内部環境」を調節する一方で、脳の他の領域からの神経的信号と化学的信号によって調節されているばかりでなく、身体のさまざまなシステムで生じる化学的信号によっても、逆に調節を受けている。大脳辺縁系は、「外部環境」からの刺激を受けて身体反応を起こし、さらに感情に訴えかける。こうした機能によって、



私たちは音の羅列からメロディーを感じ、線の集合や色彩のコントラストから美的感情を呼び起こすのである。

‘共感覚’は、音、視覚、触覚、味覚、臭覚という感覚が混じり合ってしまう状態で、音が見えたり、景色が匂ったり、あらゆる感覚の組み合わせが報告されている（シトーウィック、1993）。私たちの感覚器官—眼、耳、鼻、舌、皮膚の受容体—は、光、波、分子、振動という刺激に合わせて巧妙に進化・発達してきた。しかし、どの感覚器官も、特異的な刺激を非特異的に電気パルスに変換しているという共通性がある。すなわち、一見同じような電気パルスのパターンが、実際の刺激は、視覚であったり、匂いであったりするるのである。その違いは、刺激される神経細胞で決まる。一般には、入力刺激は特定の経路を経て、感覚器官から脳の特定領域に運ばれる。そこで、次に述べる大脳皮質の役割がでてくる。

### 5-3. 大脳皮質

約7000万年前に、哺乳類はヒトの祖先を含む霊長類へと進化した。その際に、大脳辺縁系の上位に、大脳皮質が構築された。大脳皮質は、それぞれの感覚を受け持っている。つまり、感覚器官からの電気パルスは途中で枝分かれして、大脳皮質のいくつかの領域で同時に処理されるのである。視覚野に送られる外からの情報は、さらに連合野というより大きな皮質領域に送られ、適切な連想と結びつけられる。

私たちの脳は、外の刺激をただ‘複製’しているのではなく、‘再構成’しているのである（エーデルマン、1992）。同じ脳が2つとない以上、この再構成のあり方も異なる。そのために、同じ刺激に対して、意識されるイメージが異なるのも当然である。‘実在しているもの’とは、客観的に存在しているということではない。それぞれ見る人が、主観的に認識しやすい要素だけを選択して、脳で再構成した像に過ぎないのである。本報告書の冒頭で、私が指摘した科学的‘真理’の主観的‘客観性’の問題が、脳科学の分野から再び提示されている。

リチャード・シトーウィック（1993）は、共感覚について非常に興味深い見解を示している。それによると、赤ん坊はみな共感覚で、皮質が発達するにつれて、その情報が大脳辺縁系によって振り分けられるように発達する。つまり、あらゆる刺激は、もともといくつもの感覚系で認識される可能性があったということである。そして、共感覚者は、その状態が大人になっても続いているという見解である。

## 6. 生体・環境汚染による‘先天的’発達障害と‘後天的’行動障害

これまでの議論から、外界からの刺激が視覚的なものであっても、聴覚的なものであっても、化学的なものであっても、情報伝達経路の中にあっては、同じような反応連鎖を伴うことが理解できる。

例えば、細胞レベルで見ると、異なる生体ホルモンは、異なる受容体を持つそれぞれの細胞によって特異的に認識される。ところが、それ以降の情報伝達は、セカンド・メッセンジャーと呼ばれる細胞内の情報伝達分子によって営まれる。そして、このセカンド・メッセンジャーは、細胞によらず、基本的に共通一すなわち、非特異的—なのである。そして、この非特異的な情報伝達の結果として引き起こされる細胞応答は、細胞の分裂であったり、別のホルモン物質の分泌であったりと特異的になるのである。従って、仮に、セカンド・メッセンジャーによる情報伝達経路のどこかが、外来の化学物質の作用部位になるとすれば、生体ホルモン作用が引き起こされてしまうことになる。ここに、化学物質の‘内分泌攪乱（いわゆる、環境ホルモン）作用’が生じる所以がある。そして、細胞増殖が引き起こされれば発がん作用が顕在化し、女性ホルモンの分泌が亢進すれば‘メス化’するといったように、さまざまな現象が顕在化する。仮に、特定周波数の電磁波も化学物質の場合と同じように、情報伝達経路に作用するならば、ホルモン作用を引き起こす危険性が考えられる。

また、脳神経系レベルでは、視覚、聴覚、触覚などの入力刺激は、すべて神経細胞の活動度に‘翻訳’されてしまう。そのために、入力刺激の質的な差異は消滅してしまうのである。そこで、仮に、脳神経系における基本的な情報伝達過程そのものが、化学物質や電磁波といった入力刺激によって影響を受けるとするならば、細胞レベルで考察した場合と同じように、ホルモン様作用がより巨視的な時間・空間スケールで現れることになる。この場合は、脳神経系というより高次のシステムへの作用であるために、多様な生体反応として、学習・認識・記憶・行動への影響が懸念される。

これまでに、人工化学物質に関して捉えられてきた生体・環境汚染に対する全体的描像が、電磁波をもふくめた複合的な生体・環境汚染に対する理解を深める、ある種の‘理想モデル’として位置づけられるのではないかと私は思う。そこで、次に、化学物質汚染の歴史と現状を眺めてみたい。

20世紀の化学・技術の発展によって、人類は次々と新しい化学物質の製造と使用を続けてきた。その結果、レイチェル・カーソンが古典的名著『沈黙の春』においていち早く警鐘を鳴らしていた事態—すなわち、人工化学物質による生体・環境汚染がまねく生物の形態および行動の異常という事態—が、シーア・コルボーンの著書『奪われし未来』において決定的となり、今や、人工化学物

質の内分泌攪乱（環境ホルモン）作用による遺伝子発現の異常として捉えられるようになってきた（黒田洋一郎、2003）。

特に、複雑な構造と機能を担う脳神経系では、生来の生体ホルモンがもつ生理活性作用によって、遺伝子発現カスケードが微妙な調整を受けており、それによって、先天的な構造・機構系が決定されている。それに加えて、外界からの刺激によって生ずる神経活動変化に依存して、遺伝子発現が調節を受けており（フィッシュバック、1992）、この機序が、後天的な学習・記憶・刷り込みをはじめとする脳の高次機能の発達を決定している。

人工化学物質による内分泌攪乱作用として、化学物質がホルモン受容体を介した遺伝子発現を攪乱し、受精卵の細胞分裂にはじまる発生過程に影響を与えることが明らかになってきた。脳神経系への化学物質の影響を考える際には、上記のようなホルモン受容体を介した先天的な遺伝子発現の攪乱とともに、外界からの刺激に基づく神経活動依存性の後天的な遺伝子発現の攪乱もある。

近年、我が国でも、学習障害、注意欠陥多動性障害、自閉症などが、少子化とともに増加する傾向にあることが、報告され、社会問題となっている。ところが、従来までは、こうした社会性の低下、学習意欲の低下、学力の衰退などは、家庭のしつけ、教育制度の問題、また、少子化に至っては、育児と仕事の両立が可能となるような社会制度のあり方の問題と考えられてきた。しかし、能登春男・能登あきこ（1999）や黒田洋一郎が強調するように、環境化学物質による先天的および後天的遺伝子発現の攪乱が、発達障害・行動障害・不妊の原因とも考えられる。

黒田洋一郎によると、学習障害、注意欠陥多動性障害、自閉症などに関して、子どもによって症状が多様であるばかりでなく、異なる複数の症状を、さまざまな組み合わせで持つことから、診断に困難を極めるといった問題があった。この多様性の発現こそ、生体のもつ同一刺激に対する反応の多様性が、‘環境ホルモン作用’において増幅していることをあらわしていると言えるのではないだろうか。また、こうした視点は、電磁波の生体への影響を考える際にも、その機序の解明に向けて、光を投げかけてくれると思われる。