

環境教育で取り組むべき新しい課題 —内分泌攪乱物質（環境ホルモン）—

八 田 明 夫*
(1998年10月15日 受理)

New Difficult Problem of Environment Education — Endocrine Disruptors —

Akio HATTA *

1. はじめに

内分泌攪乱物質（環境ホルモン）が自然界の動物に異変をを起こしヒトに対しても生殖器官に影響を与え、子ども達に異変を起していると言われている。大気汚染や海洋汚染そして河川や地下水の汚染に関する環境教育は、現在広く使われている「環境教育指導資料」の示す内容を、指導する側が充実していくことで十分に可能である。これを拡大していけば本論で扱う内分泌攪乱物質（環境ホルモン：以下環境ホルモンの言葉は略す）に関する教育についても実践することはできるし、現に実践している人も多いであろう。しかし、この新しい課題の重要性から考えると自然発生的な広まりを待つのでは内分泌攪乱物質の危険性に関する情報量が不十分で時代の要請に答えられない。現在の状況はいわゆる環境ホルモンの問題点や不安が不正確な形で広まりつつあるといえる。こうした状況に答えるために本論の目的は、現在までにどのようなことが起こり、どのように解釈されてきたのか、どのような問題点が指摘されてきたのか引用を明らかにして紹介することである。特に教育学部に席を置く者として、児童生徒に現われている現象も内分泌攪乱物質の影響が疑われており、こうした新しい事態に対して旧来の解釈と方法論で対応することが児童生徒にとっても教師にとっても不幸な結果を産み出している可能性があると感じている。こうした危惧が「無用なものであった」という評価を将来受けることであれば幸いなことである。

2. 「奪われし未来」と「メス化する自然」

内分泌攪乱物質に対する最初の本格的で系統的な指摘は、次の2つの文献、「奪われし未来」と「メス化する自然」を上げれば充分であろう（シーア・コルボーン・他、1966；デボラ・キャドバリー、1997）。1960年代にレイチェル・カーソンの「沈黙の春」が際限のない農薬や殺虫剤の開発とその乱用に対して警告を発し、彼女の主張が今日では常識になっているが、前述の2つの文献は

*鹿児島大学教育学部理科教育学

今日の「沈黙の春」であろう。

コルボーン・他(1996)が指摘した現象は、野生生物の甲状腺機能不全、生殖能力の減退、孵化率の低下、重篤な先天性欠損、新陳代謝異常、雌雄の異常行動、オスにおける「メス化」メスにおける「オス化」及び免疫不全などである。野生動物に見られる現象は動物実験でも同様の結果が見られた。彼らはヒトについても言及し合成治療薬 DES (ジエチルスチルベストロール) で、膈の明細胞腺がん、生殖器異常、妊娠異常、などの生殖系の異常や生殖能力の低下が現われているとしている。また、病気や先天性欠損を起こさないまでも「学習障害や多動症、運動機能障害」などの行動面での変化を生じさせているとしている。米国では5-10%の児童が多動や注意散漫などで学習障害をきたしていることを紹介している。こうした現象を引き起こすメカニズムとして PCB が神経細胞の増殖を促す甲状腺ホルモンの作用を攪乱し脳に損傷を与えるという例を紹介している。このように内分泌攪乱物質が引き起こす現象を多岐に渡って紹介している。

キャドバリー (1997) はコルボーンらの仕事を引用するとともに、イギリスでの魚の「雌性化」の例などを引用し、内分泌攪乱物質は天然の物質と同様に人間を含む動物の内分泌系を攪乱し、すでに多くの野性生物が殺虫剤や工業化学製品である残留性の化合物の影響を受けていることを述べた。

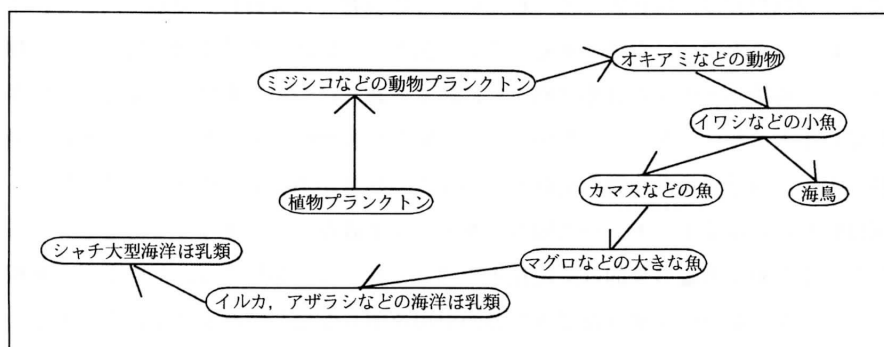


図1 海洋における物質循環（生物濃縮）

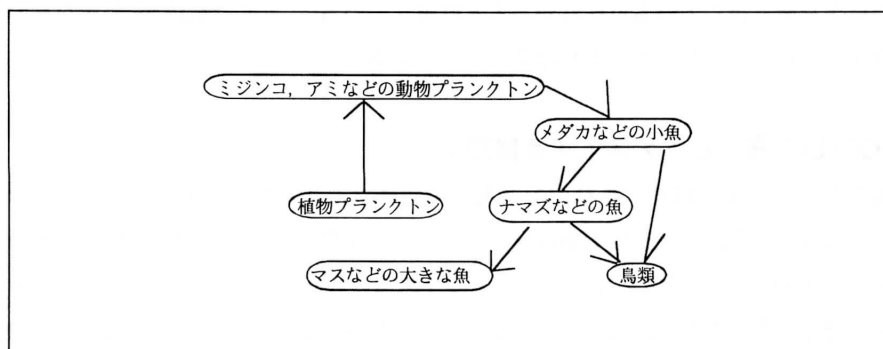


図2 湖における物質循環（生物濃縮）

3. 自然界での異変

自然界に出された環境汚染物質は微量であっても生物による濃縮でその濃度は飛躍的に増加する。図1及び図2に海洋と湖での物質循環を示す。海、湖いずれにおいても異常を示す動物は食物連鎖の上位の動物である。

1988年北ヨーロッパ、デンマークから発生したゴマフアザラシの大量死は、北海、バルト海のアザラシに伝播し、DIETZ *et al.* (1989) のデータで18,000頭ものアザラシの大量死が確認された。これらの異変はその後スペイン、地中海に広がった。AGULAR & RAGA (1993) は、東北スペインのシマイルカの脂肪から健康なイルカの2-3倍のPCBを検出した。AGULIAR & BORRELL (1994) は、1990-1992年の地中海にPCB汚染の影響を受けたシマイルカのいることを報告した。

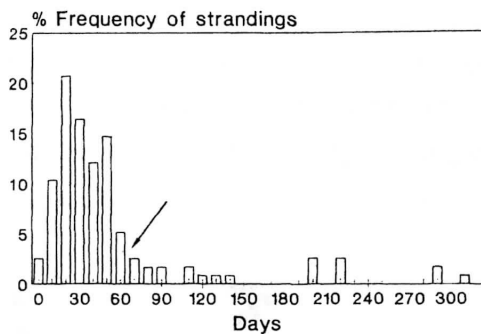


Fig. 2. Distribution of the frequency of striped dolphin strandings during the first outbreak of the Mediterranean epizootic. The arrow shows the estimated cutpoint between the two phases of the event.

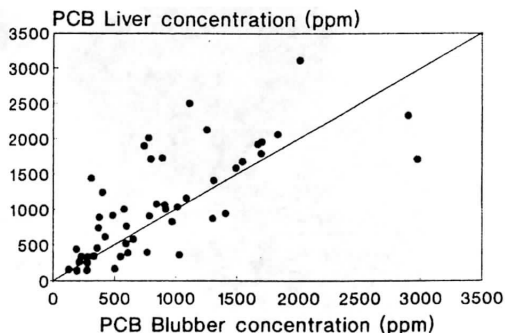


Fig. 3. Relationship between PCB concentrations (expressed as ppm calculated on a lipid basis) in the blubber and in the liver of striped dolphins which died during the epizootic.

図3 地中海におけるイルカの打ち上げられた頻度と脂肪や肝臓へのPCBの濃集 (Aguliar & Borrell, 1994より)

図3に地中海で打ち上げられたイルカの頻度と脂肪や肝臓のPCB汚染の数値を示す。数千ppmという高濃度の汚染状況である。DIETZ *et al.* (1989)は、Ambience (環境) 誌に、1988年の北ヨーロッパ、北海、バルト海のアザラシの大量死は、免疫系が抑制され、ウィルスに感染しやすくなっていたからと報告した。

鳥類における異変は繁殖行動における異変と更に深刻な欠損を伴う病変である。NORSTROM *et al.* (1978) は、PCBがオンタリオ湖からセグロカモメの体内に達するまでの間に2500万倍に濃縮されることを明らかにした。

FRY & TOONE (1981) は、カモメの胎児に対しDDTが作用して引き起こしたメス化を明らかにした。FRY *et al.* (1987) は、カモメの性比の歪みと繁殖パターンを研究した。人口統計学的毒物学的考察成長過程でエストロゲンに暴露したオスの脳と生殖器官に異常が現われたことを明らかにした。DIAMOND (1989) は、1950年代以前には見られなかったメス同士のつがいの例を報告している。

GILBERTSON *et al.* (1991) は、1970年オンタリオ湖に棲むセグロカモメを研究し、雛の80%が孵化する前に死んでいることを明らかにした。

Fox (1993) は、五大湖の水鳥の先天的な欠損の例を示した。特にクロスビル（嘴がクロスしているので餌が取れない）などの生存機能を奪われた変異や胴体の癒着や目や脳の部分欠損のため孵化できなかった例などを紹介し、これらの異常は我々に何を訴えているのかを問うた（図4）。

1980年に湖岸から400mの所にあるタワー化学会社が殺虫剤を流出させる事故を起こした。その結果90%以上のアリゲータが死滅した。その後アポプカ湖にアリゲータを戻したが、1980年代、アリゲータの減少が起こった。

WOODWARD *et al.* (1993) は、フロリダのアポプカ湖のアリゲータの卵の孵化率が低いということを報告している。他の湖の卵は90%が孵化するが、アポプカ湖では18%であり、孵化しても半数が10日で死ぬという事態が起こっている（図5、図6）。

GUILLETTE *et al.* (1995) は、中央フロリダの湖に生息するアリゲータに含まれる生殖腺ステロイド起源について研究した。彼らは汚染された湖と比較の為の湖から手にいれた幼いアリゲータから取り出した生殖腺のステロイド起源の活動性を試験した結果を記述した。エストロイド-17B（E2と略す）の合成物は、汚染湖と比較湖からの卵巣を比較したとき、重大な違いがあった。加

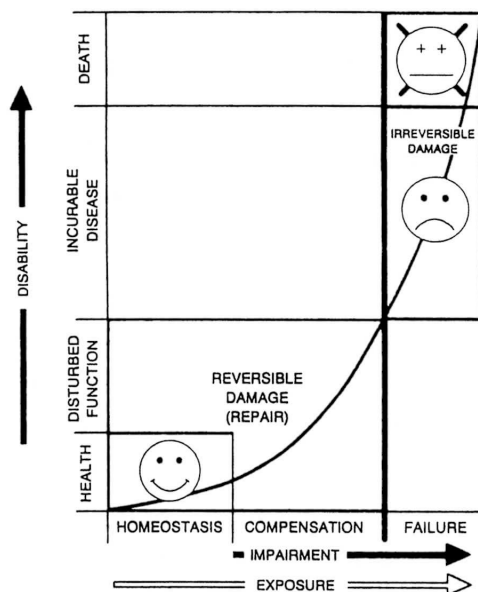


FIG. 1. The exposure-response curve.

図4 暴露が進行すると障害の状況が増大することを示す（Fox, 1993 より）

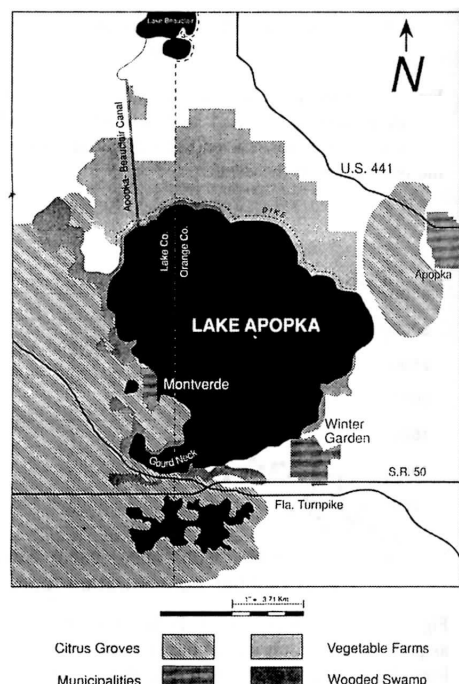


FIG. 1. Lake Apopka, Florida and surrounding agricultural operations during the early 1980s.

図5 フロリダ、アポプカ湖とその周辺植生（Woodward *et al.*, 1993 より）

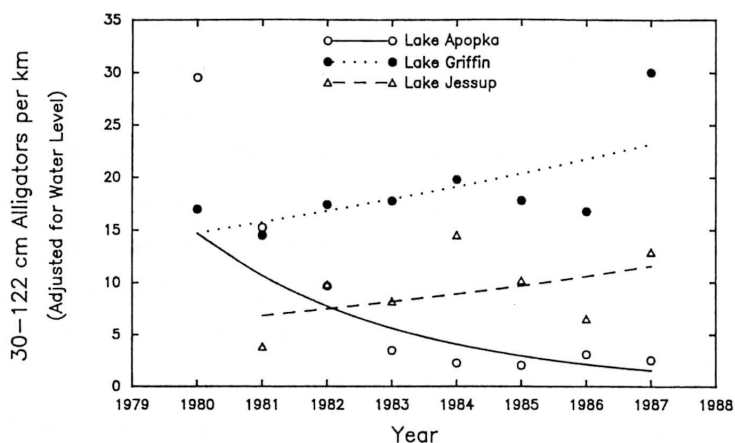


FIG. 2. Estimated trends of juvenile (30-122 cm) alligator populations on lakes Apopka, Griffin, and Jessup during 1980-87. Estimates were derived from log-transformed night-light counts, adjusted for water level, and presented on an untransformed scale.

図6 アポプカ湖の若いアリゲータの個体数周辺のグリフィン湖、ジェサップ湖と比較して減少していることが示されている (Woodward et al., 1993 より)

えてアポプカ湖の汚染された湖から手にいれたオスの精巣も比較のオスに比較した時、E2の高い濃縮を示していた。この研究で実験されたすべての精巣からのテストステロンの合成物質は、比較の湖から手にいれた精巣を調べたものより少ないことを示した。

生殖、内分泌、免疫システムに関連する多くの汚染の世界的分布と汚染の多量発生が、野性の世界に影響している。この原因と結果が幾つか解明されているけれども、汚染の原因が生殖の加減に影響する基本的な生理学上のメカニズムはまだほとんど理解されておらず研究の拡大を必要としている。

4. 動物に見られるホルモンの性発達への影響の研究

ラットのメスの性的発達へのエストロゲンの影響の研究は、すでに戦前にノースウエスタン大学で行なわれていた (GREENE *et al.*, 1939)。CLARK *et al.* (1993) は、スナネズミの胎内の発育位置による影響を調べている。PHOENIX *et al.* (1959) は、出生前に与えられたテストステロンの組織的働きをテンジクネズミ (モルモット) で研究した。胎児の発生のある時期に間違ったホルモンメッセージが出されるとメスにおけるつがい行動に影響するなど、性が混乱してしまうことを明かにした。

Missouri-Columbia大学のBiological Science DivisionのF.S. Vom SAAL教授は、胎生期のホルモン量の変化が遺伝子以外の強力な力となり、性への影響を及ぼすというホルモン作用攪乱物質の危険性を指摘した。彼はテキサス大学で1976年にテストステロンが胎児に及ぼす影響の研究

で、メスに見られる攻撃性に注目し、尻尾での威嚇や追いかけや噛みつきなどを行うメスは子宮内でオスに挟まれていたメスであることを見いだした。この研究で胎児の子宮内の位置は帝王切開で測定された。子宮内でオスに挟まれていたメスはオスに選ばれる確率が5分の1になり、メスに挟まれていたメスよりも成熟が遅く、他のマウスの攻撃や子殺しから子どもを守れるという特徴を持っていた (SAAL & BRONSON, 1980; SAAL *et al.*, 1990)。SAAL *et al.* (1990) は、マウスの子宮は角状の2本の筒からなり、子宮内の雌の胎児の配置は両側が雌 (0M)、片側が雄 (1M)、両側が雄 (2M) のいずれかであるので (図7)、肛門と性器の小乳頭状突起の距離や、体重や、成熟期における性周期の長さ、エストラジオールとテストステロンの濃度や割合を調べた。2匹の雄に囲まれた雌はより高いテストステロンの値を示し、性周期は長くなるという結果などを見い出した。Von Saal らの研究でオス、メスとしての完成はXX, XY 染色体だけでなく発生の途中のテストステロンやエストロゲンが決定的な役割を果たしていることが一般的に知られること

Intrauterine Position

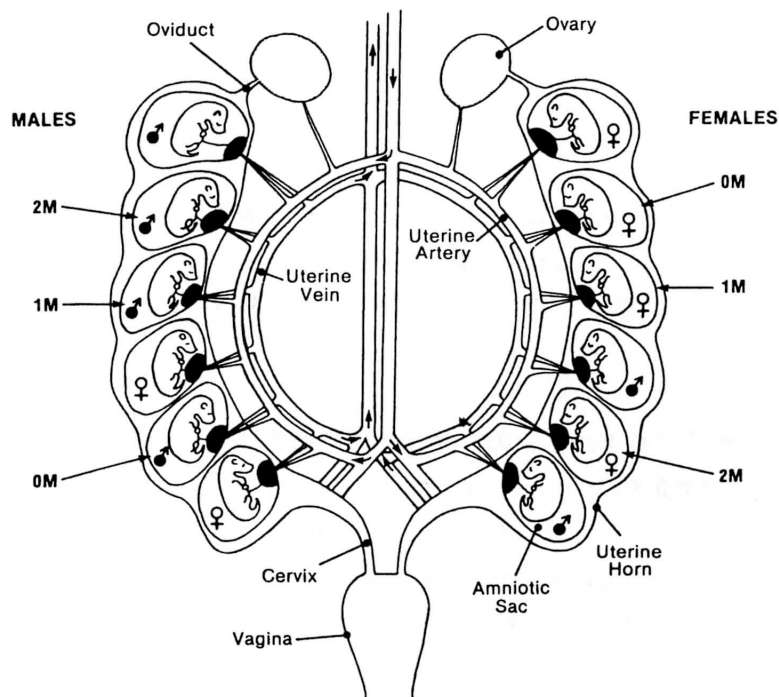


FIG. 1. The uterine horns and uterine loop arteries and veins of a pregnant mouse at term. Intrauterine position of fetuses was determined at cesarean delivery. The labels 0M, 1M, and 2M refer to the number of male fetuses to which an individual was contiguous (2M = between 2 males, 1M = between a male and a female, and 0M = between 2 females). The same classification scheme was used for both males and females. Arrows within the loop artery and vein feeding each uterine horn indicate the direction of blood flow as revealed by injecting carbon dye into the maternal heart (for arterial flow) and into individual placentae (for venous flow).

図7 マウスの2本の角状(枝豆状)の子宮内のオス、メスの配置と血液循環 (Saal *et al.*, 1990 より)

となった。メリーランド大学のスー・カーターの研究でホルモン暴露の違いでネズミには家族行動型と単独行動型があることが知られている (COLBORN *et al.*, 1996)。

5. 内分泌攪乱物質のヒトへの影響

(1) 生殖への影響

PHOENIX *et al.* (1959) は、胎児は発生のある時期に脳が間違ったホルモン・メッセージを出すとその性が混乱してしまうということを明らかにしている。THOMAS & COLBORN (1992) 母乳に含まれる化学物質についての研究を行った。McFADDEN (1993) は、男女の双子に関する研究で胎内におけるホルモンの影響を研究している。CARLSEN *et al.* (1992) は、精子の数の激減と精子の奇形についての報告をした。スキャケバックらはヒトの不妊治療の経験から精子の数の減少、睪丸体内停留の増加、精巣癌の増加、尿道下裂などの生殖にかかわる異変が起こっていることを明らかにしている (図8, 図9)。

精子の減少などが起こるメカニズムは次の様に考えられている。受精後35日の胎児には、8ミリ

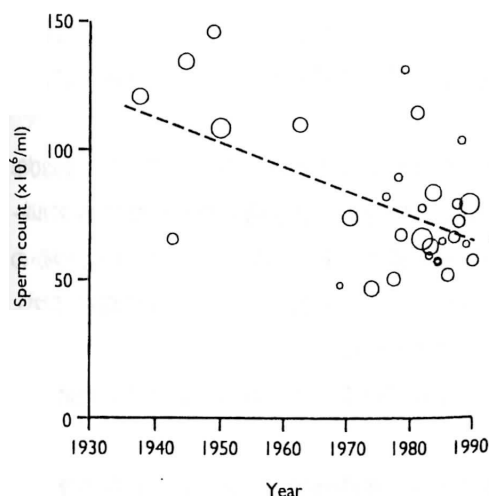


FIG 1—Linear regression of mean sperm density reported in 61 publications (represented by circles whose area is proportional to the logarithm of the number of subjects in study) each weighted according to number of subjects, 1938-90

図8 過去50年間の精子数減少を示すグラフ (Carlsen *et al.*, 1992 より)

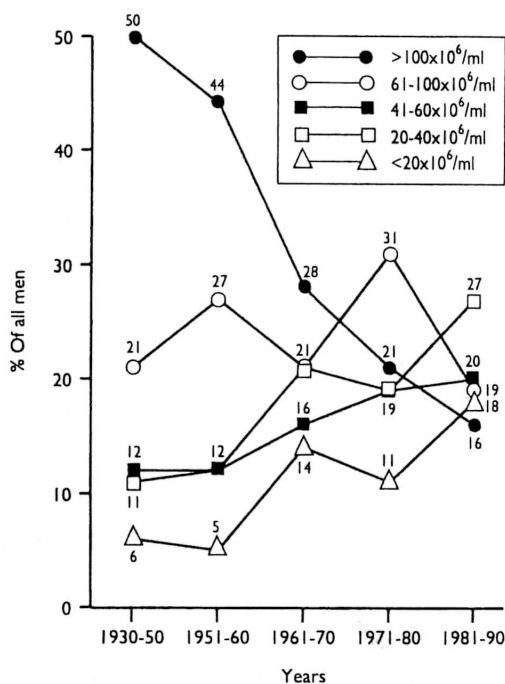


FIG 2—Number (percentage) of men with sperm densities in the different concentration bands: <20 × 10⁶/ml, 20-40 × 10⁶/ml, 41-60 × 10⁶/ml, 61-100 × 10⁶/ml, >100 × 10⁶/ml (data from 27 publications)

図9 過去50年間の精子数変動 1億匹以上のヒトは50%から16%に減少し2千万匹以上のヒトは6%から18%に増加している (Carlsen *et al.*, 1992 より)

程度の大きさで未完成の「始原生殖細胞」がある。この細胞は精子になるか卵子になるかまだ決まっていない。受精後6週間、胎児は雌雄いずれにも分化しうる。男性生殖器の原形はヴォルフ管、女性生殖器の原形はミュラー管である。

XY染色体を持っている場合、受精後7週目、Y染色体上の遺伝子がいずれにも成りうる生殖腺を精巣に分化させる。精巣から特殊なホルモンが出されるとミュラー管は萎縮していく。Y染色体上の遺伝子の働きが無ければ、受精後3-4カ月(12-16週)で生殖腺が卵巣に分化する。ヴォルフ管が萎縮し消える。ヴォルフ管は精巣から指令が出なければ受精後14週目までに自然に消滅してしまう。この「消えるな」という指令がテストステロン(男性ホルモン)である。「消えるな」という指令が出されなければミュラー管は成長する。

胎児が暮らす胎盤への働きの中に母親からのジェット流という血流がある。そこに含まれる自然界の女性ホルモンはタンパク質と結合して大きい粒子となり胎盤を通過できない。しかしDESなどは通過して胎児に影響を与えてしまう。

精巣の中のセルトリ細胞は精子に栄養を与える役割をしている。セルトリ細胞が少ないと栄養が少ないので育つ精子が少なくなる。精巣からの指令が内分泌攪乱物質で乱されれば精巣が十分発達せずにセルトリ細胞が少なくなる。精子の数の減少はこの様にして引き起こされるとされている。

(2) 合成女性ホルモンによる被害

アメリカにおける1940年代のDES (Diethyl Stilvestrol): (ジ・エチル・スチルベストロール)の暴露は1970年代の若い人の膣ガン、睾丸の体内停留、精巣ガンの多発などの社会問題化している。

DIECKMANN *et al.* (1953) は、DESの被害を研究した。合成女性ホルモンであるDESによる被害で、胎児の時のホルモン暴露の重大さが明らかになっている。

キヤドバリー (1997) によるとこれらの物質が内分泌を攪乱することは予想されており、1930年代にDESを発見したチャールズ・ドッズがネイチャー誌に「関連する化学構造を持つ物質のグループ全体が発情を起こさせる特質を持つ」と述べ「発情状態の特質である細胞の増殖は、いくつかの点で悪性腫瘍の初期を連想させる」とし、1936年に「ジフェニル」と名付けた。これは現在ビフェニルと呼ばれ、DES、ビスフェノールA、PCB類などが含まれる。

内分泌攪乱物質がヒトへの被害という形で社会問題となっている。ヒトの体を維持するための3つの系統それぞれに合成化学物質は影響を及ぼしている。

第1は、神経系(神経による情報伝達系)への影響である。神経細胞(ニューロン)間の空隙を伝える物質、情報伝達物質には、覚醒型のドーパミン、アドレナリン、ノルアドレナリンがあり恐怖、危険、ストレスなどで分泌される。抑制型の情報制御の物質は、セロトニンである。第2は、ホルモンによる情報伝達を行う内分泌系である。第3は、免疫系である。これらいずれにも内分泌攪乱物質は、男性ホルモン(テストステロン)や女性ホルモン(エストロゲン)として、ふるまってしまう。

大人には大丈夫でも、胎児は大きな影響がある。胎盤を通じて、母乳を通じて胎児に与えられてしまう。情報系に与える複合的要因は社会的要素だけでなく化学的要素（内分泌攪乱物質）も考えられる。

6. 子どもの脳機能障害

(1) ADHD : Attention-Deficit Hyperactivity Disorder (注意力欠如 多動性 症候群)

教育学部の卒業生が勤務する学校現場から得られた情報や実際に公立学校で観察した経験から学校現場に発生している問題にこれまでと違ったタイプの問題点が現われていると考えられている。ADHD: Attention-Deficit Hyperactivity Disorder (注意力欠如 多動性 症候群) と名付けられている病気がある。情報伝達系に異常があるため物事に集中できなく勝手に動き回ってしまうなどの行動を取る児童が存在する。ただのワガママなのか異常なのか精神医学的に判定されなければ ADHD かどうか分からないが、そうした病気が存在するということ、児童の中に ADHD と診断される児童がいる可能性があるということを認識する必要がある。

医学的に ADHD と診断された児童は、我慢できない子どもと違う。親の愛情が少ないからこうなったということではない。しかしこれを病気の症状として見ないと、病気が原因の多動→先生の怒→子供に冷たく当たる→子供は不満→多動、という悪循環が成立してしまう。自分で制御できなくなり友達へ危害を加え、友達から仲間外れにされて、さらに制御できなくなる。学校や教師がこの症状を知らないと児童の親に対して最悪な場合「特別な対応が必要なら面倒は見きれない」という対応をしてしまう。

アメリカの精神医学会は DSM-IV (精神疾患の分類と診断の手引き) を作って対応している。アメリカでは ADHD の 8 割の子供 150 万人にリタリンという薬を投薬している。リタリンは集中力、落ち着きを増す。副作用として食欲不振、睡眠不足が起こる、などが知られている。注意力欠如多動性症候群への対応は、早期発見が重要であるとしている。

WENDER (1976) は、エコノモ型脳炎(嗜眠性脳炎)、嗜眠(しみん)性脳炎や鉛中毒になると大脳基底核のドーパミン含有ニューロンが侵され多動症候群と似た行動を示すとした。アドレナリンと生化学的に同じであるアンフェタミン(中枢興奮剤)は主としてドーパミンの作用増強効果があるがさらにラットやマウスの動物実験で鉛中毒を起こしたり、薬物を脳室に注入してドーパミン作用系の組織に障害を加えると人間の多動児と同じように幼い被験体は多動になるという。

SHAYWITZ *et al.* (1977) は、「小児科学誌」にドーパミンの主要代謝産物であるホモバニリック酸の髄液中の濃度を比較して、多動児は対照児の $1/2$ であることを明らかにしている。

江川 成 (1987) によると、ウエリーらは 1972 年に神経学的見地から、多動児群は神経症群や健常児に収らべて、感覚-運動の協応の障害を示す微細な神経学的なサインが目立つとしている。脳波の異常や疾病歴など粗大な異常サインは群間に差異がないとしている (WERRY, J. S. *et al.* (1972) : Studies on the hyperactive child ; VII ; Neurological status compared with neu-

rotic and normal children. *American Journal of Orthopsychiatry*, Vol.42, No.3, p.441-451. 江川, 1987による)。また, チェスは1960年に多動児の出現の性差は男児 6, 女児 1 の割合であることを示した。多動児のうち脳波所見で脳障害と診断されたのは17%であった (CHES, S. (1960) : *Diagnosis and treatment of the hyperactive child*. *New York Journal of Medicine*, Vol. 60, p. 2379-2385. 江川, 1987による)。そして, Srouf は, 1975年に覚醒水準や活動性と多動との関係はセロトニン, アラドレナリン, ドーパミンを成分とした神経伝達物質モノアミンの代謝異常に帰せられるとした (中枢神経系におけるシナプスの刺激伝導は電気的活動によるのではなく神経伝達物質によるので)。

ADHD にどう対処すればよいか。周囲の理解で対応するのがよいか, 薬で対応するのが善いか。現状では生活科の授業などで, 軽度の多動の子どもも含むクラスでの指導法を学ぶ必要がある。周囲の理解で対応できる範囲は限られており対応の方法を考えなければならない。

表 1 に, 多動児の出現率, 性差の出現率, 年齢変化を示す。

表 1 多動児の出現の実態 (江川, 1987 より作表)

多動児の出現率	スチュワートら, 1966	多動症候群37人に対し, 対照群36人の 4 %が多動児
	ウェンダーら, 1978	500万人の多動児は学齢児の約 5 %
	宮本, 1981	5,300人の児童を「教師による多動行動評定尺度」で調査し1.2%の児童が多動とした
	坂本と西岡, 1979	自作の行動尺度で1,344名の園児から中学生を学年別で調査し多動児は2.2~10.6%とした
性差の出現率	スチュワートら, 1966	男子対女子 = 6 : 1
	(オウンステッドを引用)	男子対女子 = 11 : 3
	ウェンダーら, 1978	男児に多い
	宮本, 1981	男子1.8% 女子0.4% (男子対女子 = 4.5 : 1)
	坂本と西岡, 1979	男子対女子 = 3 : 1
	チェス, 1960	男子対女子 = 6 : 1
年齢変化	スチュワート, 1970	5年後の追跡調査で45人の多動児は14人が変わらず, 5人に改善が見られた
	スチュワートら, 1973	10年後の追跡調査で, 2-5才で「多動症候群」と診断された81人の児童の自己評価では40%が自信の不足を
多動現象は年齢と共に減少する。思春期前期に症候群の幾つかは消滅する。しかし新たな二次的特徴が出現している。		

(2) 多動や注意力欠如障害の原因

WENDER ら (1978) によると多動の原因をドーパミン代謝の低下によるとしている。注意力欠如多動性症候群の原因として遺伝や環境が考えられている。前頭葉は注意力, 行動抑制などの働きをしている。神経細胞 (ニューロン) のつなぎめで使われる神経伝達物質 (ドーパミン) は信号を伝える元に戻って次の信号を伝える準備をするが, そのドーパミンが不足していると注意力が欠如したり

行動の抑制が効かなくなったりすると考えられている。ドーパミンは伝達状態の回復に必要な物質である。人間の脳は神経のつなぎめの物質が足らなければ、つなぎ目である樹状突起を増やしてその障害を克服するという機能を持っている。拗らせないで情報伝達が繰り返されると次第に新しい樹状突起ができてくる。

多動や注意力欠如障害の子どものセロトニンのレベルは低いことが知られている。PCB 被害の母親から生まれた子供に ADHD と思われる「多動」の子供が生まれていることも知られている。JACOBSON *et al.* (1985) は、視覚の認識記憶に対する子宮内の PCB 暴露の影響を研究した。JACOBSON, JACOBSON, & HUMPHREY (1990a) は、子宮内の PCB 暴露でわずかの汚染が子供の認識の機能に影響があることを明らかにした。JACOBSON, JACOBSON, & Humphrey (1990b) は、子宮内の PCB 暴露が子供の成長と活動性に対し影響があるとした。

我々の判断や行動は、視床下部と扁桃体のバランスのとれた働きにより成り立っている。視床下部から A10神経が前頭葉に繋がっていて、不安や恐れに直面した時、オキシトシンなどの「知らない相手を恐れる物質」が、視床下部から出される。扁桃体がこれらの反応を制御（コントロール）している。我々も不安な時、びっくりした時に感覚刺激が過剰に反応し衝動的になるが、多動症では不適切な抑制が原因で非選択的に反応し、時には強すぎ時には弱すぎる反応となる。充分に考える余裕も無く迅速に無差別に反応し、刺激になかなか慣れないという特徴がある。

RAPIN (1982) によると、多動や注意散漫は、何らかの周産期障害に関係した微細ではあるが構造的な脳損傷（brain damage）の主な所見であることが支持されてきた。最近の研究では、一回では中毒症状を生じない程度の低濃度の鉛を慢性的に摂取することが原因と推察されるが、まだ解明されていない。生化学的障害によって注意欠陥や学業困難が、引き起こされることがあるともされている。神経伝達物質のバランスの障害や、網様賦活系または視床の病変、計画を進めることを妨げる前頭葉辺縁系活動の障害、皮質下の中継での抑制過程の機能不全、これら上記のいずれかが覚醒機構を変化させ、選択的注意を妨害するのであろう。退屈でさえも、それは軽い感覚奪取の状態と考えられるし、睡眠に至らなければ、自己刺激かあるいは退屈な状況から逃げ出したい欲求を生ずるであろう。そのいずれもが落ち着きのなさの原因になる。通常、観察されるような症状は多くの異なった機構における機能不全に基づいているとも考えられる。多動症候群は、特別な素質によるものかもしれないし、常に脳損傷を伴うとは限らないということである。

病的な多動でさえも、環境要因で強い影響を受けているので、薬物療法のみが十分な処置であるとは決して考えられない。事実、多くの病的多動児は、薬を飲んでいなくても、環境調整によく反応する。調整は転導を刺激しないような静かな環境で勉強できるように配慮し、見通しの効くしっかりした計画を与えることである。一方、子どもには遊んだり動き回る機会を頻繁に与え、ペースをおとし、反応する前に自分で確認するようにおしえる。もちろん、古典的な行動修正的接近も有効であり、しばしば用いられている。

COLBORN, *et al.* (1996) によると、M. Yu らは1979年に台湾で PCB とフラン（2, 3, 7, 8-

TCDF, 四塩化ジベンゾフラン) に汚染された食用油を摂取した母親から生まれた子供はペニスが異常に小さい, 注意力が散漫であるなど, 身体や神経系に障害があったと報告している (M. YU, C. HSU, Y. GUO, T. LAIS, S. CHEN, and J. LUO, 1994: Disordered behavior in the early-born Taiwan Yucheng children. *Chemosphere*, Vol. 29, no. 9-11, p. 2413-22. COLBORN, *et al.*, 1996による)。

COLBORN *et al.* (1996) によると, サンドラ・ジェイコブソン, ジョセフ・ジェイコブソン夫妻は五大湖の汚染魚を食べていた女性とそうでない女性から生まれた子供を比較し, 前者の子供は体重が少ない, 頭囲が小さい, 神経障害がある, 認識能力に欠陥がある, 過剰反応があることを報告した (J. JACOBSON, S. JACOBSON, P. SCHWARTZ, G. FEIN, and J. DOWLER 1984: Prenatal exposure to an environmental Toxin; A test of the multiple effects model *Developmental Psychology*, Vol. 20, no. 4, p. 523-532.)。また, ヘレン・ダーリーは1993年にオンタリオ湖の魚を食べていた女性とラットを平行して研究しいずれもその子供に行動の異常「過剰反応」が現われていることを報告している (H. DALY 1993: Laboratory rat experiments show consumption of Lake Ontario salmon causes behavioral changes: Support for wildlife and human research results. *Journal of Great Lakes Research*, Vol. 19, no. 4, p. 784-788.)。

7. 報道された内分泌攪乱物質汚染

(1) ダイオキシンとPCB

1982年11月30日ミズーリ州タイムズビーチが洪水でダイオキシンによる汚染された。アメリカでは道路の埃よけに油を蒔く習慣があった。その油にダイオキシンが含まれていた。環境保全活動家スティーブテラーは1994年EPAに抗議。化学工場のダイオキシンがなぜ油に混入したか明らかになっていない。1200ppbの汚染状態のタイムズビーチは立入禁止となっている。

1998年, 大阪府能勢町のダイオキシン汚染8500ピコg / 1gが我が国で最も深刻な汚染の例として報道されている。こうした特異な地点は存在するが, 全国的にダイオキシン汚染は広まっているといえる。ダイオキシンの量と焼却場からの距離のグラフでは, 回帰直線に近づかないというNHK報道もある。

表2 ダイオキシン濃度と厚生省の成人摂取許容量

母乳の脂肪1gあたりのダイオキシン濃度 (1pg = 1兆分の1g)		
埼玉廃棄物処理場周辺	北海道十勝平野	厚生省の成人摂取許容量
75.8pg	10.4pg	10pg

PCB汚染も深刻な状況にある。大阪府枚方市下水汚泥処分場では1.1ppm; 岡山県中央町25,000ピコg / 1gなどである。

カネミ油症事件後の対応の拙さが問題の原因となっている。行政としては、変圧器に使われている PCB について持ち主がいるということで PCB 保管リストを作っただけである。工場が倒産した場合、PCB は移動する。事業所→金属回収業者→「右から左に回す業者」→風呂屋で燃やして処理した！などの事態を生じさせている。その結果 7% (250t) が不明・紛失となっている（5 年前の厚生省の調査）。鹿児島大学の場合、PCB は変電施設に保管されている。

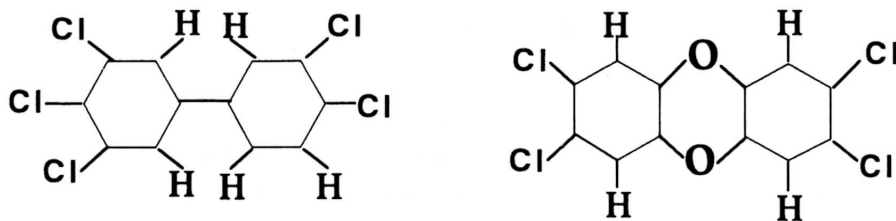


図10 PCB とダイオキシンの化学構造（極めて類似していることが分かる）

(2) DDT (ジクロロジフェニルトリクロロエタン) Dichlorodiphenyltrichloroethane

有機合成殺虫剤クロロフェノタンは1874年 O. Zeidler により合成された。1938年 P. H. Muller により殺虫力が発見される。ベンゼンに結合するクロルの位置で 4 種類の異性体がある。神経繊維に作用する神経毒である。DDT に替わる農薬としてメトキシクロルがあるがこれも環境ホルモンである。DDT は日本では生産されず使用禁止となっているが発展途上国では現在も使われている。前述のアボプカ湖のワニからは高濃度の DDT の分解物質である DDE が検出されている。

(3) その他の内分泌攪乱物質

97年7月の環境庁研究班報告で67種が「環境ホルモン」として発表されている（日本子孫基金, 1998）。DDT, ダイオキシンの他, 界面活性剤ノニルフェノール・ポリエトキシレートが分解してできるノニルフェノール, ポリカーボネート樹脂の原料のビスフェノール A, 発泡スチロールの原料のスチレン類, フタル酸化合物（塩ビ製品）などである。



図11 スチレンダイマーとスチレントリマーの化学構造式

スチレンモノマーを鎖の様に長くし、ポリスチレンを作りカップラーメンなどのカップを作る。この時スチレンダイマーやスチレントリマーが出来てしまう。

内分泌攪乱物質は、濃度を薄めたら害がないという性格の物質ではない。特に胎児の時に暴露して影響が無いという数値は確定されていない。放射能の様に自然界に存在する物質であれば、その域値を推定できるが、人工的に作られた物質だけにその影響に範囲は確定が難しい。そのため内分泌攪乱物質は1兆分の1g（1ピコg）という精度で測定されている。80ナノグラムとは1立方m当たり0.00000008g、0.1ナノグラムは100ピコg、1ppmは百万分の1、1ppbは10億分の1、1pptは1兆分の1である。報道で使われる少数以下の単位を下の表で示す。

表3 少数以下の単位

単 位 名 称	分 数 (g)	少 数	参 考
1 pc : % : per cent	100 分の 1 g	0.01	100
1 pm : ‰ : per mill	1000 分の 1 g	0.001g	1,000
1 ppm : part per million	100 万分の 1 g	0.000001g	100 万 = 1,000,000
1 ppb : part per billion 1ナノg=1000ピコg	10 億分の 1 g (1ナノg)	0.000000001g	10 億 = 1,000,000,000
1 ppt : part per trillion (=a thousand billion)	1 兆分の 1 g (1ピコg)	0.000000000001g	1兆 = 1,000,000,000,000

a trillion(米) = a thousand billion(英)

最後に本論を執筆中に報道された内分泌攪乱物質とその影響を記す。

98-6-30 NHK カップメンからスチレントリマーを10億分の62検出

98-6 大阪府能勢町焼却場付近ダイオキシン汚染8500ピコg/g

98-7 鯉の精巣の異常；精巣にビテロジェニン（卵黄タンパク質）、川の中からノニルフェノール、イボニシのメスにペニス（インポセックス）：原因として有機スズの疑い、
魚類の女性ホルモンの構造は人間の女性ホルモンと構造が類似

98-7-6 NHK ニュース：30才、前後の女性200人に1人が子宮内膜症に罹っている。

8. おわりに

野生生物に現われている異変は重要な警告である。ヒトには進化の過程で備わった毒物を浄化する高度な機能がある。多くの毒物は肝臓などで分解されると言われている。しかし、その機能以上の汚染物質を作り出しているのかも知れない。ヒトに異変が現われてからでは遅すぎる。

環境教育の課題の一つである「海洋汚染」の問題点の認識に、新たに内分泌攪乱物質（環境ホルモン）の存在を加える必要が出てきたため、最近入手できた文献を含めて緊急に本論を記した。草稿までに入手できなかった文献で重要なものは、引用する方の為に本文中にそのページ数まで示した。現在、教員養成の学部では理科教育や環境教育で汚染の問題を学ぶことができる。また、理科の専門科目で生物の発生、物質循環、生物濃縮について学ぶことができる。これらの個々の学習をまとめることを通して、内分泌攪乱物質について学び、必要な対応を期待したい。

また、心理学や教育学の分野では、内分泌攪乱物質が問題になる以前から「多動」児童についての研究が行なわれ、その対応もとられている。一方、本論で紹介した様に内分泌攪乱物質が原因と考えられる「多動児」に対する対応は、教育界で共通理解となっていない。更に研究が進まなければ明確にはならないが、親の養育態度以外の要因も考えられていることは、学校や家庭での対応の仕方について早急な共通理解を必要としている。拗らせる前の対応が必要と考えられる。

引用文献

- AGULAR, Alex, & J. Antonio RAGA (1993) : The Striped Dolphin Epizootic in the Mediterranean Sea. *Ambio*, V. 22, no. 8, p. 524-528.
- AGULIAR, Alex and Asuncion BORRELL (1994) : Abnormally high polychlorinated biphenyl levels in striped dolphins (*Stenella coeruleoalba*) affected by the 1990-1992 Mediterranean epizootic. *The Science of the Total Environment*, V. 154, p. 237-247.
- CADBURY, Deborah (1997) (古草秀子 訳, 1998) : The feminization of Nature. (メス化する自然), 356pp., 解説・訳者後書き, p. 358-371, 付図 4.
- CARLSEN, Elisabeth, Aleksander GIWERCMAN, N. KEIDING, & Niels E. SKAKKEBAEK (1992) : Evidence for decreasing quality of Semen during past 50 years. *British Medical Journal*, V. 305, p. 609-613.
- CLARK, Mertice M., Peter KARPIUK, & Bennett G. GALEF Jr. (1993) : Hormonally mediated inheritance of acquired characteristics in Mongolian Gerbils. *Nature*, V. 364, p. 712.
- COLBORN, Theo, Dianne Dumanoski & John Peterson Myers (1996) (長尾力 訳 : 1997) : Our stolen future (奪われし未来), 366pp., 付録 (ウィングスブレッド宣言), 9PP., 原注 35pp., 索引 4 pp.
- DIAMOND, Jared (1989) : Goslings of Gay Geese. *Nature*, V. 340, p. 101.
- DIECKMANN, W. J., M. E. DAVIS, L. M. RYNKIEWICZ, & R. E. Pottinger (1953) : Does the administration of Diethylstilbestrol during Pregnancy have therapeutic value? *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, V. 66, no. 5, p. 1062.
- DIETZ, Rune, Mads-Peter HEIDE-JORGENSEN, & Tero HARKONEN (1989) : Mass deaths of Harbor Seals (*Phoca vitulina*) in Europe. *Ambio*, V. 18, no. 5, p. 258-264.
- 江川玟成 (1987) : 多動・情緒不安定. 187pp. 黎明書房
- FOX, Glen A. (1993) : What have biomarkers told us about the effects of contaminants on the health of fish-eating birds in the Glate Lakes? The theory and a literature review. *Journal of Great Lakes Research*, V. 19, no. 4, p. 722-736.
- FRY, D. Michael, C. Kuehler TOONE, Steven M. SPEICH, & R. John PEARD (1987) : Sex ratio skew and breeding patterns of Gulls : Demographic and Toxicological considerations. *Studies in Avian Biology*, V. 10, p. 26-43.
- FRY, D. Michael & Kuehler TOONE (1981) : DDT-Induced feminization of Gull embryos. *Science*, V. 213, p. 922-924.
- GREENE, R. R., M. W. BURRILL, & A. C. IVY (1939) : The paradoxical effects of estrogens on the sexual development of the female Rat. *Anatomical Record*, V. 74, no. 4, p. 429-438.
- GILBERTSON, Michael, Timothy KUBIAK, James LUDWIG & Glen FOX (1991) : Great Lakes embryo mortality, edema, and deformities syndrome (GLEMEDS) in colonial fish-eating birds ; Similarity to Chick-edema disease. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, V. 33, no. 4, p. 455-520.
- GUILLETTE, Louis J. Jr., Timothy S. GROSS, Denise A. GROSS, Andrew A. ROONEY, & H. Franklin PERCIVAL (1995) : Gonadal steroidogenesis in Vitro from juvenile Alligators obtained from contaminated or control lakes. *Environmental Health Perspectives*, V. 103, no. 4, p. 31-36.
- JACOBSON, S., G. FEIN, J. JACOBSON, P. SCHWARTZ, & J. DOWLER (1985) : The effect of intrauterine

- PCB exposure on visual recognition memory. *Child Development*, V.56, p.853-860.
- JACOBSON, Joseph L., Sandra W. JACOBSON, & Harold E. B. HUMPHREY (1990a) : Effects of In Utero Exposure to Polychlorinated Biphenyls and related contamination on cognitive functioning in young children. *Journal of Pediatrics*, V.116, p.38-45.
- JACOBSON, Joseph L., Sandra W. JACOBSON, & Harold E. B. HUMPHREY (1990b) : Effects of Exposure to PCBs and related compounds on Growth and Activity in children. *Neurotoxicology and Teratology*, V.12, p.319-326.
- McFADDEN, Dennis (1993) : A Masculinizing effects on the Auditory systems of human females having male Co-Twins. *Proceedings of the National Academy of Science*, V.90, p.11900-11904.
- 日本子孫基金 (1998) : 家族を救うチェックリスト VIII 子孫を絶やす環境ホルモン (「食品と暮らしの安全」 No.107付録).
- NORSTROM, R. J., D. J. HALLETT, & R. SONSTEGARD (1978) : Coho Salmon (*Oncorhynchus kisutch*) and Herring Gulls (*Larus argentatus*) as indicators in Organochlorine contamination in Lake Ontario. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, V.35, no.11, p.1401-1409.
- PHOENIX, Charles H., Robert W. GOY, Arnold A. GERALL, & William C. YOUNG (1959) : Organizing action of prenatally administered testosterone propionate on the tissues mediating mating behavior in the female Guinea Pig. *Endocrinology*, V.65, p.369-382.
- RAPIN, Isabelle (1982) : 子どもの脳機能障害 (松本和雄監訳, 大月則子・岡田督・服部祥子・吉田てる延ほか訳) 265pp., 医歯薬出版
- SAAL, F. S. vom & F. BRONSON (1980) : Sexual characteristics of adult female mice are correlated with their blood testosterone levels during prenatal development. *Science*, V.208, p.597-599.
- SAAL, F. S. vom, D. M. QUADAGNO, M. D. EVEN, L. W. KEISLER, D. H. KEISLER, & S. KHAN (1990) : Paradoxical effects of maternal stress on fetal steroids and postnatal reproductive traits in Female Mice from different intrauterine positions. *Biology of Reproduction*, V.43, p.751-761.
- SHAYWITZ, Bennett, Donald J. COHEN & Malcolm B. BOWERS (1977) : CSF monoamine metabolites in children with minimal brain dysfunction : Evidence for alteration of brain dopamine. *Journal of Pediatrics*, Vol.97, p.67-71.
- THOMAS, K. & T. COLBORN (1992) : Organochlorine Endocrine Disruptors in Human Tissue. in "chemically Induced Alterations in Sexual and Functional Development ; The Wildlife-Human Connection. " T. Colborn & C. Clement, eds., Princeton Scientific Publishing, p.365-394.
- WOODWARD, Allan R., H. Franklin PERCIVAL, Michael L. JENNINGS, & Clinton T. MOORE (1993) : Low clutch viability of American Alligators on Lake Apopka. *Florida Science*, V.56, p.52-53.
- WENDER, P. H. & E. H. WENDER (1978) : 多動児 (宮本・中嶋訳, 1984). 226pp. 川島書店