雑学講座

一連の脳不全症と内部同期撹乱波仮説[6]

作・光藤　裕之　岡山理科大学　理学部応用物理学科　教授
〒700-0005　岡山市理大町1番1号　TEL/086-252-3161　FAX/086-255-7700

第3章　心の健康物理学 =振動系の相互作用モデル=

◎似て非なるもの

工業は,巨大な規模でエネルギーと物質・資源を生産し消費するだけでなく,天然にはない人工化学物質を生み出した.DDTを始めとする種々の殺虫剤・除草剤等の残留農薬について警告が発せられてすでに久しい[36].さらに,微量でも内分泌を撹乱する人工化学物質が注目されている.生命活動の制御,特に種々の器官の発生・発達の制御のために必要な極微量物質のうち,体内でつくられる(内分泌される)ものがホルモン,体外から摂取されるものがビタミンとよばれる.しかし,体外からダイオキシンを始めホルモンに**似て非なる物質**が摂取されるとき,内分泌が撹乱される[37].

立花隆・T.コルボーン「脳を侵す環境ホルモン」[38],T.コルボーン他「環境化学物質の神経毒性作用」[39]は,胎児期の脳発達に対する影響を危惧している.たとえ小さくとも,撹乱が自己組織化の初期過程で与えられると,予測を超える影響を残す恐れがある.通常,毒物(poison)は,無機の低分子物質を含み,日本薬局方で指定された劇薬と毒薬に相当する.これらと区別される毒素(toxin)は,ヘビ毒などの動物毒素,キノコ毒などの植物毒素からなる.これら生物が作る有機物毒素は,無機系の劇毒物に比べて軽視できない.最近は有機水銀・有機錫等に加えて,劇毒物ではないが微量でも生体機能を撹乱する有機系の化学物質が注目されるに至った.生体を構成する有機物質に**近親性の高い異物質**つまり**似て非なる物質**は,要注意である.

「色不異空・空不異色,色即是空・空即是色」(般若心経)は,色(実体のあるもの)と空(実体のない場)の同等・互換性を述べている.A.アインシュタインは,場のエネルギーEと質量mが,光速cにより,$E=mc^2$で結ばれることを示した.しかし,明治時代「エネルギーは物ではないから,“盗電”は窃盗罪に該当しない」との主張が確定的に覆るためには大審院の判例を要したというエピソードもある.物である化学物質を原因とする因果関係は,人々に判り易く受け入れられ易い.今日人々が,地球環境と体内環境のいづれにも不安をもっているのは化学物質である.薬物信仰・投薬願望の強さに反して,“実体”のない物理学的な場の作用は軽視され易い.

コンピュータは,画期的に有能な**道具**である.それは,言語によって機能するように作られているからである.その結果,コンピュータは,それを使う人と対話する能力をもち,人にとって**近親性の高い**擬人的性格を帯びる.そこで,人と,人に**似て非なる道具**の間に生じる“Failure to Connect”は,発達期の人間脳つまり子どもの心に影響を残す[28].言語を最小要素に分解するとbit(=binary digit,2進法の0と1)になる.この要素言語を使ってコンピュータは働いている.

目は心の窓であるが,鼓膜や内耳も脳幹の近くに位置する.そのため,遠赤外線センサを利用した耳式の熱放射体温計では体の深部温度が測れる.人間の可聴音域は,16～20Hz(下限)と16～20kHz(上限)の範囲にある.環境庁は,低周波側の**聴こえない音**の測定法の統一規格を定め,被害実態の全国調査を2000年度に始める.低周波騒音の被害者は2万人にのぼり,特に車のエンジン,エアコン,エレベータの機械室に関する苦情が増えているという[40].これらは周期的な人工音である.自然音のうち周期性をもつのは,胎内で聴く母親の心鼓動だけであろう.その振動数は1Hz余であり,“やすらぎ”をもたらす.**聴こえない不快音**は,6～15Hz帯にあると思われる.もちろん,可聴音域にある一定周期の人工騒音も不快感と疲れをもたらす.

脳神経系はネットワークを構成し,その中を6～120Hzの電位パルス信号が自律的に駆け巡っている.6～120Hzの周期性環境刺激は,動物の脳神経系に強い**近親性をもつ物理刺激**である.ここで,脳内の自律振動と入力振動(感覚器により電位パルスに変換される)の相互作用を考えるために,複数の振動系間の相互作用の特徴に触れておきたい[13,41~44].以下で用いる物理量の記号は,ランダウ/リフシッツ=理論物理学教程“力学”第5章微小振動に準じた[41].

◎自由振動と強制振動,固有振動数と共鳴(線形振動の場合)

振り子,バネ振動あるいは電気的振動等の微小振動の系(振動子)が独立して運動する自由振動は,固有の振動数ω_0(固有周期$T=2\pi/\omega_0$)をもつ.復元力の大きさが変位に比例する通常の振動を調和振動(線形振動)という.振動が1次元に限定されず多くの自由度をもつときの振動の組は基準振動として扱われる.実際の振動では摩擦力が働きエネルギーが散逸されるので,振動振幅は時間の経過とともに衰退する(減衰振動).

固有周期の振動子に外力を作用させたときの振動を強制振動という.周期的な強制力(振動数γ)のもとでの系の振動は,振動数ω_0の振動と振動数γの振動の合成で与えられる.ただし,エネルギー散逸のためにω_0振動は減衰し,時間が経つとγ振動だけが残る.いま,γがω_0に一致するとき,強制された振動の振動数はω_0であるが,振幅は時間とともに線形に増大する.この現象を共振(共鳴)という.振動系は強制力がする仕事からエネルギーを吸収する.このエネルギー吸収率は,振動数に依存し,ω_0を中心として,ある幅で分布する(分散的吸収).つまり,共鳴は$\gamma \quad \omega_0$で生じる.

共鳴では,強制力の振幅が微弱であっても,時間経過とともに振幅は著しく大きくなる.例えば重さ1トンの釣り鐘であっても,揺れの向きに合わせて(同じ位相で)繰り返し力を加えれば,指一本でも次第に大きな振幅の揺れを起すことができる.また,釣り鐘の固有振動の2往復に1回だけ押すという工合に間引き作業をしても,釣り鐘の揺れを拡大させることができる.頑丈に造られた橋などの建造物も共振外力,例えば風によって容易に破壊される.

近年,高精度の地震計が多数設置され,その記録のコンピューター解析が進んできた.その結果,地震ではない原因による地球の振動が見い出された.大気の上昇・下降の運動が地表を叩いているが,このうちで地球の固有振動数に同期する周波数の大気の流れが原因とみなされている[45,46].“ 共鳴恐るべし ”である.

当然のことながら,共鳴は有効利用される.並列共振型電気回路の端子電圧は共振周波数で極大になる.これはアナログ放送電波の選別(選局)に利用される.

それぞれに固有の振動数をもつ複数の振動系が相互に作用し合うとき,一方は他方に強制力(外力)を及ぼす.振動系の固有振動数が互いに等しいとき,複数の振動系が共振する.勿論,振動系群以外の外力の作用による場合も含めて,共振または引き込み(後述)を起す現象を総合して同期という.オッシロスコープで波形観察するとき,その波に同期して(一定の位相で整数倍の周期で)時間軸掃引の信号が与えられる.テレビの場合には,これに加えて,送信側と受信側間の同期が必要であるため,画像信号に同期信号が乗せてある.振動数がわずかに異なるときには,“ うなり ”が生じる.

◎非線形振動における共鳴,引き込み,確率共鳴

非調和振動(非線形振動)では,復元力の大きさが変位に比例しないので,固有振動数が振幅に依存する.そのため振動波形は,一定振動数ω_0だけの正弦波ではなく,nを整数(1,2,…n)とするとき,振動数$n\omega_0$の正弦波成分を含む歪波になる.ただし,周期は基本波の振動数ω_0を使って$T=2\pi/\omega_0$で表す.$n\omega_0$($n\geqq2$)の成分は高調波とよばれる.固有振動数ω_0の振動系に外力(振動数γ,振幅f)が加えらたとき,強制された共鳴振動の振幅bの振る舞いは次のようである.

$\gamma\fallingdotseq\omega_0$のときの共鳴には,線形振動にはない特徴が現れる.外力の振幅fが十分に弱いときにω_0附近にあった共鳴振動は,fが増すにつれてω_0からずれる.さらにfが強くなり臨界値f_kを越すと,外力の振動数γのある領域で,振幅bが大小2つの値に分岐する.すなわち,γが増すとき,bは次第に大きくなるが,γのある値で振幅の“ 崩壊 ”が起こり,不連続に小さいb値に遷移した後,さらに連続的に減少する.次に,γを減少に転じると振幅崩壊を起した値よりも小さいγまでbは徐々に増加した後,不連続に大きいb値を回復する.つまりγの変化に対してbはヒステリシス曲線を描く.ここで,f_kの大きさは,ω_0と(減衰率)$^{3/2}$に比例して増し,非線形の度合いが大きいと減少する.つまり,**固有振動数が低いか,減衰率が小さいか,非線形の度合いの大きい振動系は,弱い外力でも共振振幅の分岐を生じやすい**.ここで,固有振動数が近いが等しくはない複数の振動系を相互作用させると,それぞれの固有振動は放棄されて,共通の振動数の振動が生じる.分岐した2状態の中間はカオス状態であり,いずれかの状態を選ぶ**引き込み**は,**自己組織化による秩序形成**と言える.

$\gamma\neq\omega_0$(ω_0の整数分の1付近あるいはω_0の整数倍付近)のときにも,系がω_0付近で励振される共鳴が生じる.例えば,$\gamma\fallingdotseq\omega_0/2$あるいは$\gamma\fallingdotseq2\omega_0$であるとき,外力の振幅$f$が臨界値$f_k$を越すと,$\omega_0$付近で振幅$b$の共鳴振動が生じる.ここで,$\gamma$と$\omega_0$が幅をもつ表現は,引き込まれる振動数に幅$\varepsilon$のあることを意味する.さらに,高次の非線形項は,整数比$\gamma/\omega_0=n/m$(n,mは整数)の場合にも引き込み共鳴をもたらす.ただし,nおよびmの大きい振動の共振は弱い,つまりbおよびεは小さい.

固有振動数の異なる非線形振動系が相互作用するとき,振幅の臨界値に依存して,引き込み共鳴する振動系は,一つの振動に共通化される.つまり,多様な振動系は連成され,より高い秩序が形成される.このとき,振動子間の相互作用が強い,つまりfが大きいと,引き込まれる周波数範囲は広くなる.また,引き込みを起こす力の臨界値f_kは,固有振動数ω_0に比例して増す.つまり,**固有振動数の低い振動系は,弱い外力でも広い周波数範囲にわたって引き込まれる.**

減衰率の大きい非線形振動において,複数の振動状態(分岐)があり,その中の一つの状態から他の状態に遷移させる周期的な振動力fが働いてはいるが,fが弱くて遷移し難い場合を考える.この系に,多様な周波数成分を含む無秩序な振動(ノイズ)が加わるとき,ノイズ中の成分がfに共鳴して遷移を助けることが起こり得る.これが**確率共鳴**とよばれる[47].

地球表面温度は,地球の公転軌道の10万年周期のわずかな変形に同期して,氷河期と間氷期を繰り返していることが,過去100万年について確かめられている.これは,日射量の変動に同期するが,その変動量は氷河期と間氷期の温度差を生み出すには桁違いに不足である.無秩序な気流と海流の運動量変動も無視できない.これらのノイズ成分は,日射量の周期変動に共鳴して,氷河期と間氷期に分岐される地表温度の遷移を可能にする.換言すれば,地表で起こっている変動状態を,公転軌道の微少な変化がトリガーして,別の変動状態に導く.あるいは,公転軌道の変動は,地表のカオスを制御する因子,ペースメーカーであるとも言える.またしても“ 共鳴恐るべし ”である.

[参考文献]

36) R.カーソン著,青木簗一訳“ 沈黙の春 ”, 新潮社, (1987).
37) T.コルボーン・D.ダマノスキ・J.P.マイヤーズ著,長尾力訳“ 奪われし未来 ”, 翔泳社, (1997).
38) 立花隆・T.コルボーン「脳を侵す環境ホルモン」, 中央公論 (1999-8).
39) T.コルボーン他「環境化学物質の神経毒性作用」中央公論 (1999-8).
40) 読売新聞 (2000.1.24).
41) ランダウ・リフシッツ著,広重徹・水戸巌訳“ 力学 ”,東京図書 (1974).
42) 武田暁著“ 脳と力学系 ”講談社サイエンティフィク, (1997).
43) 武田暁著“ 物理科学への招待 ”,裳華房 (1992).
44) 武田暁著“ 形の科学=複雑系-物理・生物から経済まで= ”,裳華房 (1997).
45) 谷本俊郎“ 地震がなくても地球はゆれる? ”パリティ **14**-04 (1999) 56~59.
46) 日本経済新聞 (2000.3.24).
47) 内山智香子,“ 確率共鳴現象に話題集中! ”,パリティ **13**-06 (1998) 20~27.

(次号につづく)