

## ものづくりと観察眼

——一九三二（昭和六）年、東京・向島のお生まれ、下町っ子ですね。ご両親について教えて下さい。

武者 父は、ゴム引きの布——布地などの表面にゴムを塗って防水性を高めた生地を作る会社を営んでいました。徳川好敏大尉が日本で初めて飛ばした飛行機の翼布は自分が作ったんだと、よく私に言っていました。向島の町工場としては、かなり大きな会社でした。

——お母さんはどんな方でしたか。

武者 普通の母ですよ。

武者 父はエンジニアタイプで自分でいろいろな開発をしていたので、子供の頃にそういう現場をよく見に行きました。私は女五人・男二人の七人きょうだいの末っ子なんですが、七つ違いの兄が「ものづくり」が好きで、小学生のころ模型飛行機や蒸気機関を作っているのをそばで見たり手伝

ったりしていました。この兄は戦争で亡くなりましたが、今でも兄のことを折につけて思い出します。

近くにはいろいろな職人がいました。鍛冶屋で、真つ赤に焼けた蹄鉄を蹄にあてても馬は暴れもせずじっとしているのを不思議に

聞き手  
本誌 常川 幹也

## 第442回 私の生き方

# 1/f ゆらぎの心地よさ 統計物理学の盲点に迫る

思いました。また、牛車の牛が反芻するのを飽きずに見ていたものです。

私はどうもそういう癖があつて、それに思いついて思い出すことがあります。東大の建築学科の教授と一緒に奈良・京都の古建築を見学する旅行に参加して法隆寺を訪れたとき、火

災で焼けた金堂の修復をしていたのですが、宮大王が使っている「鎗鉋」の使い方が面白いので見ていましたら、大工の一人が「やっでござらん」と言つて鎗鉋を渡してくれました。金堂の柱の一部分には私が削つたところが残っているはずですよ。

——戦争中の体験をお話しく下さい。

武者 高射砲弾がB29のそばで炸裂し、その破片が舗装道路に落ちてカーンという音を響かせるのを屋根に寝そべつて聞いたり、空中戦で飛行機が市街地に落下していくのをハラハラしながら見ていました。焼け跡の死体を間近に見たりすると、死に対する恐怖感が麻痺するのでしょうか。

親の言うことも聞かず、まさに「怖いもの見たさ」でした。

——戦争中は疎開されましたか。

武者 三月十日の大空襲で、向島から本所・浅草一帯が焼け野原になりました。まだ煙の上がっている焼け跡を自転車に乗って見て回



脳機能研究所社長、東京工業大学名誉教授

## 武者 利光

むしゃ としみつ：1931年東京生まれ。54年東京大学理学部物理学科卒。日本電信電話公社電気通信研究所に勤務。マサチューセッツ工科大学研究員、スウェーデン王立工科大学研究員などを経て東京工業大学教授。94年脳機能研究所、ゆらぎ研究所を設立。著書に『ゆらぎの科学』『ひとが快・不快を感じる理由』等。

焼夷弾の直撃を受けずに残りました。

中学校は地元府立七中（現・墨田川高校）でしたが、この大空襲のショックで、母と二歳年上の姉と私の三人が父の生まれ故郷である茨城県境町に疎開しました。父と二人の姉



で、原先生の愛読書でした。それをお借りして読んでいたら、「僕が勉強した本だけどあげるよ」と言われて小躍りしました。各章に問題がついているので、それを解いてゆくの快感がありました。

また、生意気にも高木貞治の『解析概論』などが仲間との議論の話題になるので、背伸びをして読んだものです。日比谷のCIA図書館に行って、まだ誰も手を触れていないアメリカの新刊本のきれいな図や写真に魅せられました。そこでPsychoanalysis(精神分析)という学問のあることを知りました。これは心の動きの原因を推理するもので、「これがサイエンスと言えるのか」と驚きました。

——文系の人間から言うと、物理学が面白いというのはちょっとわからないのですが、やはり先生の影響は大きいかもしれませんね。

**武者** 大きいですね。今で言うところのNHKの『課外授業 ようこそ先輩』という感じでした。ああいう教育の仕方は良いですね。私はあの番組を見ると感動します。各分野で業績のある方が専門の話を魅力的に語るのので、子供達の潜在的な好奇心に火がついていくのがわかりますね。子供は非常に大きな可能性を秘めています。

は東京に残りました。疎開先の中学では、先に東京から疎開していた男が地元の生徒を従えて私を子分にしようと迫ってきたのです。今で言う「いじめ」の一種でしょうか。授業が終わってから桑畑に來いというのです。母から「負けずに行きなさい」と言われて意を決して出かけました。相手は集団でした。何を言われても無言で相手をにらみつけていましたが、それで決着がついたようで、その後は何も言っても来ませんでした。母の一言が効きましたね。そのガキ大将の顔も名前もまだ良く覚えています。二年生のときに疎開先の境中学校で終戦になり、七中へ戻りました。

——日比谷高校へ行った理由は？

**武者** 旧制中学は五年制でしたが、四年終了時に旧制高校を受験するチャンスがありました。私は四年生のときに旧制一高を受験しましたが受かりませんでした。これは私が経験した初めての挫折で、結果の発表を見た帰りには気落ちのあまり電車の踏み切りで降りてくる鉄の遮断機に気がつかずに頭に大きな衝撃を受けました。この挫折感が大きくて、これからどうしたらよいかを真剣に考え続けました。そして、ぬるま湯的な生活環境から脱

出するためにトップレベルの府立一中の編入試験に挑戦する決心をしました。府立一中はその後日比谷高校と名を改めましたが、入ってみると噂に違わず今までの環境と全く異なっており、その後の私の人間形成と人脈形成に大きな影響を与えました。

### 原先生から物理の楽しさを教わる

——高校に入ってから興味分野がはっきりしてきたのですが、具体的には？

**武者** 日比谷高校の仲間達はいわば小さな専門家集団で、ものすごく刺激されましたね。先生もずいぶんいろんな先生がいました。東大の物理の大学院特待生だった若くて活気にあふれた原重義先生は、物理実験の指導をされていましたが、折に触れて物理と数学の面白さを具体的な例で教えてもらいました。夏休みに原先生の別荘を訪ねたことがあるのです。そこでいろいろ話を聞きながらわくわくしたのを今でも覚えています。スレーターとフランクが書いた『Introduction to Theoretical Physics (理論物理学入門、一九三三年)』という分厚い英語の本は、非常にわかりやすい本

ですので、刺激を与えるのは大事なことです。

——向島から通われたんですか。

**武者** そうです。通学時間が長かったのですが、電車の中でもずいぶんいろんな本を読みましたよ。『今昔物語』『平家物語』『土佐日記』などは面白かった。また受験のために読んで面白かった。『徒然草』は、受験を離れて読んでみると面白かった。また、落語や狂言や幼い頃に読んだ昔話のネタが、『今昔物語』にたくさんあることを発見して驚きました。電車通学は非常に楽しい思い出です。

——日比谷高校から東大というのは……。

**武者** まあ、あそこへ行くと自然の流れなんですよ。現役から確か八十人くらい東大へ行きましたからね。OBを入れると日比谷出身は百五十人くらい東大に入っていたんですよ。みんなそこへ行くもんだということでした。東大以外の大学を受験すると、「どうして？」ということになります。

東大の教養学部に入ってから数学と物理の講義はすでに高校で学んだ内容が多くて退屈でした。私が駒場の図書館で借りた本は、フロイトの精神分析全集だけです。教養学部の生活で今でも印象深いのは、フランス語の



田辺貞之助先生のダンスの練習です。「君たちは将来エリートとして国外へ出ることが必ずある。そのときに必ずダンスをしなければならぬ。そのときがあるから、少なくともワルツのステップだけは勉強しろ」と言うんです。それがまた後で役に立ったんですよ。

のちの話になりますが、スウェーデンのストックホルムの王立工科大学にいるとき（一九六五～六六年）に朝永振一郎先生がノーベル物理学賞を受賞されました。王立工科大学の私のホスト教授と私は、日本大使館からノーベル賞授賞式とグスタフ国王主催の晩餐会の招待状をいただきました。晩餐会では各界の名士が男女交互にテーブルに着き、食事の会話と食後の初めのダンス三曲のお相手を右側に席を取ったご婦人としなければならぬのですが、そのときに田辺先生の教えが役に立ちました。田辺先生は先の読める偉い先生だったなあ、と感心しましたね。それから、ソコロフというロシア人講師からロシア語の基礎を勉強したのですが、後になって頻繁にロシアに行くようになったときにずいぶん役に立ちました。

――電電公社に就職した理由は何ですか。

るか、放電管を使ってやるか、二つのグループに分かれて研究していました。私は放電管のグループに入りました。

――それは採用されなかったほうですね。

武者 そのかわり放電現象の基礎に関して二つのパイオニア・ワークができました。放電というのは非常に複雑で理論的にキレイに解けないんです。そこで、そのころ開発されたわが国独自の技術であるパラメトロン計算機を使って放電ガスの中の電子とイオンの運動を「モンテカルロ法」を使って解明しました。この研究は後に東大の宇宙科学研究所の教授になった伊藤富造さんとの共同研究で、パイオニア研究として、この方面の書物で紹介されています。また、ホロー陰極放電が増幅作用を持つメカニズムを実験的に明らかにした研究で博士号を授与されました。

さらに、進行波管の増幅理論の研究から、運動する誘電体の中を伝播する電磁波は負のエネルギーを持つことを理論的に証明することができましたが、この研究がM.I.Tで研究するきっかけとなったのです。後でM.I.Tへ行ったときに、その講義で私の理論を取り上げているのを知ったときは嬉しかったね。

武者 戦災で父の工場は焼けてしまい、再建ができませんでしたので、大学院に進学する気にもならず、大学院と同じような雰囲気の研究所に就職しようと考えました。いくつもの会社を見て歩きましたが、電電公社の研究所が一番自分に合っているという印象でした。ただ、当時の電電公社の初任給は九千六百円だったんですよ。一方で、初任給七万円という会社もありました。もちろん日本の会社です。それを就職斡旋の教授に言ったら「そういう会社は危ないから、絶対に行くなよ」とクギを刺されました。だけど、電電公社の給料はあまりにも安かったですね。家内が医者をしている兄に私の給料を言ったら、「それは日給か？」と言われたそうです。しかし、電電公社の電気通信研究所に入ってみると、期待していた通りまるで大学みたいな雰囲気、環境としては非常に満足でした。

## 二つのパイオニア・ワーク

――通研に入って基礎研究に従事されますね。

武者 電話会社ですから、電子交換機の研究が主でした。それをトランジスタを使ってや

――それが「プラズマ（電離によって生じた荷電粒子を含む気体）中の電波伝搬」の研究につながるんですか。

武者 そうです。気体放電から、電離層中の電波伝播がどうなるかという宇宙通信の話になります。プラズマの研究のために大きなスペースチェンバーという装置を作ったのですが、通研は実用化研究に主眼を置くようになってきて基礎研究が縮小され、その装置も使われないまま放置されました。そして、プラズマ研究に従事していた優秀な研究者が一人、二人と大学に移り始めました。このような研究所では将来は研究ができなくなるのではないかと思いつめ、思い切って所長のところへ掛け合いに行きました。「基礎研究を潰すのは簡単だけれども、再建するのは容易なことではない」と。でも、一介の若造の意見を聞くわけはありません。それで、もうダメだと思いい、十年間いた通研を脱出しようと考え始めました。

当時、東大の斎藤成文教授が進行波管の中の電子波のダイナミクスについて通研に講演に来られました。そのときのレクチャーで電子ビーム雑音に関する話が非常に面白く

で、講演が終わってから先生にいろいろな質問をしたら、興味があるんだったら私のゼミに來なさいと言って下さったので、通研にいながら東大の斎藤先生のゼミに通いました。

——就業時間にですか！

**武者** そう昼間から（笑）。東大の研究室はすごく面白くて、岡村総吾教授（のち東京電機大学学長）や斎藤教授と話しているうちに、お二人ともMIIT（マサチューセッツ工科大学）に行っていたことがわかりました。私がおどこかに脱出したんですが、と言いますと、斎藤先生がMIITがいいんじゃないかと言っているので、どうせ脱出するなら最高のところに行こうと思ってMIITのHAUS教授に手紙を出しました。岡村先生と斎藤先生の推薦ということでSMULLIN教授とHAUS教授から受け入れOKの手紙が来ました。それで旅費を工面するためにフルブライト交換研究員の募集に応募して合格したんですけど、それから一悶着ありましてね。

### MIIT留学までの試練

——当時、電電公社を途中で辞める人は減多に

リカ西海岸が見えたときには、思わず家内と手を握り合いました。

MIITへ行つたときに、NHKの技術研究所から来た人に「あなたが武者さんですか」と言われて驚きました。あの「大通研」を飛び出した人がいると、噂になっていたみたいですね。通研は米国のベル研に匹敵する規模で三千人くらいいました。私は職を絶って行きましたから必死なわけです。日本から來ている人のほとんどは出張扱いで、戻る場所が保障されています。

——MIITへ背水の陣で行かれたという噂と同時に「武者」という大変珍しい苗字も印象に残っていたのかもしれませんが、由来などはご存じですか。

**武者** 両親が亡くなってから、武者家について調べ始めました。武者というのは母方の姓で、祖先の墓は越後の「コウアンジ」にあるという記憶をたどって、いくつかの寺に家内が電話をして探してくれました。越後高田の高安寺に電話をすると、武者家の墓があるという返事をもたらしたので直ちにこの寺を訪れました。過去帳を紐解くと、元禄七年（一六九四年）に寺が火災にあったときまでたどることができました。高田城へ行って古文書

なかったのでしょうか。

**武者** あそこは飛ぶ鳥を落とす勢いでしたからね。フルブライトの委員長から私の家に夜分電話があり「研究所の所長はあなたをやめさせないと言っているが、どうしますか」と言うのです。これは大変なことになった、と思いましたが、即座に「私はMIITに行くつもりですが、委員長はどうされますか」と聞き返したところ、「これはあなたに対する決定ですから、あなたの意向を尊重します」という返事を聞いて「救われた！」と心中で叫びました。そのときは私は膝がガクガクと震えていた感じで、このような経験は初めてでした。

翌日から関係部長に円満退職ができるようをお願いに行きましたが、結果としてはうまく事が運びませんでした。しかし、この話が所内に伝わって応援をしてくれる人が出て来て、後押しをしてくれました。辞令は出ないし、フルブライトのグループの出発日は迫って来るし、進退窮まりました。応援団の人たちから知恵を授かり、技師長宛に内容証明付の退職願を出して日本を飛び立ちました。日本を出るのは初めてで、飛行機の窓からアメ

調べたところ、武者家がどこに住んでいて祿高はいくらだったかなどもわかり、母から聞いていた親戚との血縁関係もわかりました。その足で市役所に行き、武者という姓の戸籍をすべて出してもらい、ルーツの確認ができました。自分のルーツを知ることとは非常に豊かな気持ちになりますね。

——MIITでの「武者修業」が始まります。

**武者** MIITと留学の交渉をしているとき（一九六三年）に、東京でURSI（国際電波科学連合）の第十四回総会があって、それに参加したスウェーデン王立工科大学のAGDUR教授が通研を訪ねてきました。その折に私の研究室での私の研究についての説明が終わりますと、いきなり「ぜひスウェーデンに來ないか」と言うわけです。脱出を考えているときですから、「行ってもいいですよ」と軽い気持ちで答えました。そうしたら、「一緒に帰ろう」と言い出すので、「今MIITと交渉をしているから、MIITが終わってからの話なので、それまで待って欲しい」と言うと、「いつでも來られるように準備をしておきます」ということになり、MIITに一年滞在してから家族を連れてストックホル

内容証明付きの退職願を出して日本を飛び立ちました。



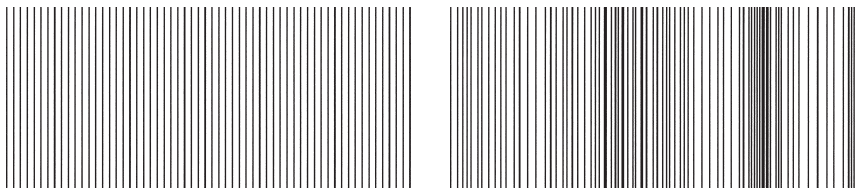
したらこの変動が限りなく小さくできるかどうかを試してみるために、東京天文台の原子時計との比較実験をしました。極限的な温度安定状態では温度ゆらぎの影響は消えて、不思議なことに、 $1/f$ だけが残るんですよ。

このような実験結果を発表するために、一九七六年にアメリカで開かれた時間標準に関する国際会議（時間周波数諮問委員会）に出席しました。このとき私はまだ若輩で外国出張をする旅費がなかったのですが、東京工大・精密工学研究所で水晶振動子の研究をしておられた福与人八教授がボンと旅費を出してくれました。その後の国際会議の開催にも先生にはいろいろと援助をしていただきました。国際会議を創出して、それが継続的に世界で持ち回りで動き出すと、それが国際的な活動にとって大変な信用になることが後でわかりました。

その会議のコーヒープレークの時間に、研究者仲間の輪ができて立ち話が始まりましたので、「 $1/f$ ゆらぎは、水晶振動子だけでなく、自然界に瀰漫している現象だから、学際的な研究をしなければ解けない問題だ」という話をしました。そして、いろいろな専門

分野の研究者を集めて「 $1/f$ ゆらぎに関する国際会議をやらなにか」と提案したところ、そこにいた皆さんは賛成してくれました。だけど、誰がやるかということになると、誰も手を挙げないんですよ。言い出しっぺですから、結局、「私が来年やる」と言って帰国しました。ところが後が大変でした。国際会議を開くには学会にスポンサーになってもらわないとできないのです。いくつかの学会へ頼みに行きましたが、すべて断られてしまいました。途方にくれて、また福与先生に頼ったところ、電気学会の会長が「電気学会の名前を使ってもよろしい」と許可してくれましたので、一件落着。資金がないので、東京工大の仲間が開催準備をすべて手伝ってくれました。

$1/f$ ゆらぎに関する国際会議に、カリフォルニア大学の大学院を卒業してIBMワトソン研究所に入ったばかりのリチャード・ボスという物理学者が、会議の数日前に私の研究室にやって来ました。「音楽のメロディーのゆらぎを調べたら、調べた範囲ではすべての楽曲の演奏音のピッチゆらぎは $1/f$ ゆらぎになることがわかった。またアナウンサー



等間隔の直線（左）と $1/f$ ゆらぎの間隔の直線

ムへ行きました。

——どのような研究をされたのですか。

**武者** MITで三人の教授と研究をするこ  
とになりました。SMULLIN先生は核融  
合関係のプラズマ発生装置の運転を、BER  
S先生は半導体プラズマの不安定性に関する  
理論的研究を、HAUS先生は光通信関係の  
理論的研究を行っていました。SMULLI  
N先生は私の給料を工面してくれたボス教授  
でなかなか含蓄とユーモアがあり、私とウマ  
が合った先生です。BERS先生は私と同じ  
年で接触が一番多かった人。深夜まで一週間  
連続で激論をし、彼が先にダウンしたことが  
あります。HAUS先生は非常に洞察力があ  
り研究上の啓発を受けました。

スウェーデンではBERSさんとの研究の  
継続を行いました。王立工科大学の教授とい  
う申し出がありました。辞退して東京工大  
からお誘いを受けて帰国しました。

**学際的な国際会議を開く**

——「 $1/f$ ゆらぎ（エフ分の二）」とは何かにつ  
いてご説明いただけますか。

**武者** これは簡単には説明ができないので  
す。今までジャーナリズム関係者にいろいろ  
な説明を試みましたが、結局理解してもらえ  
ないのですね。統計数学がわからないと $1/f$   
ゆらぎの意味はわからないので、説明は勘  
弁してください（注1）。

—— $1/f$ とは、 $f$ 周波数（frequency）に反比  
例するというのですが、 $f$ は何の周波数ですか。

**武者** 雑音です。半導体中の雑音には四種類  
あり、そのうち三つは発生の仕組みが物理的  
にわかっていますが、第四の雑音の正体が不  
明なのです。この種のゆらぎが初めて報告さ  
れたのは一九二五年で、六六年当時、すでに  
発見から四十年以上も経っていたのに、この  
雑音のメカニズムがわからないなんて信じら  
れなかった。だから、自分で解いてやるとい  
う思いでこの研究に集中したんです。「 $1/f$   
ゆらぎ」というのは自然界のいろいろなと  
ころで起きることがわかってきました。

一秒という時間の長さの標準は、当時は水  
晶時計で与えられていましたが、温度が変化  
すると水晶の結晶の寸法が変化するので、そ  
の振動周期から決める一秒の長さも変化し  
てしまうのです。そこで極限まで温度を安定化

注1 「ゆらぎ」を、予測できない空間的・時間的変化や動きと定義すると、「 $1/f$ ゆらぎ」は放送終了後のテレビのザーというノイズと、メトロノームの規則正しい音とのちょうど中間にあたり、不規則さと規則正しさがちょうどいい具合に調和している状態だと考える。ろうそくの炎、そよ風、小川のせせらぎなどの様々な自然現象や、人の心拍の間隔、クラシック音楽、手作りのモノなども $1/f$ ゆらぎになっていることが発見されている。



の話す声も音楽と同じ結果だったことを発表していいか」と言うのです。今回の会議は学際的だから、そういう話も面白いと思うね、と激励してやりました。その研究発表を聞いてみんなキョトンとしていたんですよ。しかし、この発表は私の好奇心をいたく刺激しました。他人の発表を鷄呑みにすると危険な事があるので、われわれも試してみることにしました。

東京工大のオーケストラでチェロを弾いていた井上君という私の研究室の学生に「この実験をやって真偽の程を確かめてみないか」と誘いをかけたところ、彼も大いに興味を示したので、これを彼の修士論文のテーマにしました。そして日本の音楽でも同じ結果が得られることがわかり、この妙な発表は、本物<sup>①</sup>だったのです。しかし、この謎を解く糸口が偶然の出会いから得られました。

東京工大のすずかけ台キャンパスは昭和五十一年に田園都市線のすずかけ台駅の近くに開設されましたが、その前年に同じ路線の藤が丘駅の近くに昭和大学の藤が丘病院が開設されました。電車の中で私の研究室の関根松夫助教と藤が丘病院循環器内科の長田洋文

助教がたまたま隣り合わせに席を取ったのです。関根助教が電磁気の本を読んでいたのを見て、「うちの教授が心電図の研究で悩んでいることがあるので相談に乗ってくれないか」と言ってきたのです。そこで私と春見建一教授が会うことになったのですが、この出会いが、その後の私の研究の進展に決定的な影響を与えることになったのです。

春見先生は、心電図の波形を見てどこに心筋梗塞があるかを経験から診断できるのだけれども、それを弟子たちに伝授するのが非常に難しいと悩んでいた。なんとかコンピュータを使って簡単にわかるようにならないだろうかという相談でした。詳しく状況を聞きますと、私が半導体の表面に電極を立ててゆらぎ電位を計測する構想とまったく同じで、ただ違うのは対象が半導体か人体かというだけです。そこで、「体表面電位表示装置」の開発プロジェクトし、成功裏に終わり東京で国際会議を開くまでになりました。さらに体表面に現れた電位分布から心筋梗塞の部位を推定する研究に発展しました。これは結果からその原因を推定する逆問題で、因果律の鎖を逆方向にたどる技術で

す。これは現在千葉工大の教授をしている岡本良夫君の学位論文になり、『逆問題とその解き方』（オーム社）という本にまとめました。

この間の研究を通して循環器関係の教授達との交流が生まれ、「脳波から脳内の情報処理過程を逆推定する」という大きな研究プロジェクトに発展し、認知症の早期診断法が誕生したのです。そして、心電現象にこだわることができ、心拍間隔はどのようにゆらいでいるのか解析をしたところ、きれいな1/fゆらぎをしていることを発見しました。この論文が世に出るから、アメリカ、イタリア、ロシアで心拍ゆらぎから心臓病を診断する研究が現れてきました。心拍間隔ゆらぎの研究から、快適性の謎が解けてきて、第一回の国際会議で発表された「音楽のゆらぎ」の謎解きができたのです。心拍を制御するのは「ペースメーカー細胞」から発射される電気信号なのです。この発射間隔はほぼ一定ですが、ここからのズレが1/fゆらぎをしています。

## 1 / f ゆらぎの発生メカニズム

—その細胞は水晶振動子みたいなものですね。

武者 そうです。おおもとは神経細胞から出る電気信号ですから、神経細胞を単独で取り出して実験しないと得心がいかない。でも、どうやって調べたらいいかわからなかった。またそこで幸運な偶然が起こったんですよ。平沢弥一郎教授が静岡大学から東京工大に移って来ました。彼は「足の裏先生」と呼ばれていました。遺跡の足跡から、その主の性別から年齢までわかるという先生なんです。東工大の新聞で先生が体の重心のゆらぎを測定されていることを知って、「ゆらぎ解析はこうやったほうがよい」という意見を伝えたいのがきっかけで、お付き合いが始まりました。

あるとき平沢先生から「脚の神経線維に微小電極を刺して電気パルスを記録し、体のゆれとの相関実験を浜松医科大学でやるから一緒に行かないか」と誘われて、実験を見物しました。そこにたまたま岐阜大学の竹内宏先生が、実験を担当している間野忠明先生を訪ねてこられたのです。あなたは何をやっているんですかとお聞きしましたら、「アフリカマイマイという大きなカタツムリの細胞の中に針を入れて、電気パルスを測っている」と言うんです。この人だ！というわけで、学生と

それまでは1/fゆらぎは時間的な変動に限られていましたが、家で和室の天井板の模様を眺めているときに、「この木目間隔のゆらぎはどうなっているのだろうか」という疑問がわいてきました。木目のゆらぎを調べたいと考えていたときに、京都大学木材研究所（現・生存圏研究所）所長の山田正教授から「スピーカーの音質は、スピーカーボックスの木材の構造、つまり木質部分の細胞壁の構造に関係しているようだから調べてほしい」という話が来ました。その機会に木目構造の写真を入手して年輪の間隔ゆらぎを調べたところ、予想どおりに空間図形として1/fゆらぎをしていました。多分、気温の長期にわたる変動が1/fゆらぎをしていて、それが年輪という形で残ったものだと思います。

このような発想で日本建築を見直すと、自然の形を保存した床柱、梁、畳表のイグサの太さのゆらぎ、竹製のすだれ、土壁など、目につくものはほとんど1/fゆらぎ模様を持っています。また、手作業で作ったものには1/fゆらぎが残ります。この発見から、形・配置・配色に1/fゆらぎを用いる「ゆらぎデザイン法」を開発しました。このデザ

装置を持って岐阜大学の竹内研究室に通うことになりました。神経細胞にガラスの微小電極を刺して信号発射に伴う細胞内の電位変化を記録するのは難しい実験でしたが、神経細胞からの信号発射間隔が1/fゆらぎになっていることを確認でき、これで心拍間隔ゆらぎの性質が説明できました。

生体信号のリズムは、神経細胞が発射する電気信号で決まります。したがって、生体リズムはすべて1/fゆらぎに従っているという発見です。それでは、「手拍子でリズムを刻んだら、1/fゆらぎが現れるであろうか」という疑問が学生から出されました。実験をしてみるとその通りでした。ただしメトロノームを聴きながら手拍子を打つと、このゆらぎは現れません。ある学会でこの話を聞いていたピアニストが「メトロノームを聴きながらピアノの練習をさせると、音楽性が身につかない理由がわかりました」と言うのです。音楽の面白さは1/fゆらぎにあるので、楽譜の通りにコンピュータで音楽を演奏すると、とても音楽には聞こえません。また1/fゆらぎは多様性を含んでいるので、演奏家一人ひとりが固有のゆらぎを示します。

——心拍ゆらぎが大きいと調子が悪い？

武者 そういうわけではないんです。それに関してはこの話があるんです。愛媛県の病院の産婦人科の川田先生から「妊婦が妊娠中毒になると胎児の心拍が非常に規則的になってくる。治療すると、胎児の心拍がゆらぎ始める」という手紙が来ました。川田先生を訪ねデータを調べてみると、その通りなんです。ですから、「ゆらぎはバイタリティー（生命力）を表している」ということなのです。バイタリティーがなくなってくると、ゆらぎがなくなつて規則的になることがわかってきました。毎日判で押したように同じ生活をしている人はバイタリティーがないんだということになってくる（笑）。

これは私にとつての「目から鱗」でした。「ゆらぐことは生物が生存するのに重要な役割を果たしている」という重要なメッセージです。生体リズムのゆらぎと同じような外部刺激を生体を与えるとき、生体は快感を感じるに違いないということです。乳牛に音楽を聴かせるとたくさん乳が出るとか、鶏に音楽を聴かせると卵を多く産むとか、いろいろな応用が始まりました。

インは実業として大いに役に立っており、全てを述べることはとてもできませんが、1/fゆらぎは快感と癒しの源なのです。

不思議なもので、「雑音」という言葉を「ゆらぎ」に置き換えただけで、もの見方が随分変わってきました。雑音は、物の真の姿を覆い隠す邪魔者なのです。雑音は常に排除されるべき対象でした。しかし、先入観にとらわれずに自然をよく見ると、一定不変の物などは存在せず、*ゆらぐ姿*が真の姿なのです。このことを、志を同じくする同士（当時の山本光璋東北大学教授、佐藤俊輔大阪大学教授）と計らって一九八九年に「1/fゆらぎ現象研究会」を発足させ、毎年講演会を始めました。この内容は森北出版社から『ゆらぎの科学一〇巻』として出版されました。その甲斐あって、「ゆらぎ」および「1/fゆらぎ」は市民権を獲得することができました。

### 「エネルギー等分配法則」は正しくない

——1/fゆらぎは、生体などの有機物でも半導体などの無機物でも関係なく見られますが……。

武者 そこが根源なんですね。なぜ自然界で

**武者** 生体中の神経を伝わる信号は最終的に  $1/f$  型で安定していくことがヤリイカの神経軸索に電気パルス列を伝送した実験（電線研在職中の松本元さんと共同研究）でわかったので、それを脊椎動物で確認するために、千葉大学の本間三郎教授と共同研究を始めたのが定年の十年前でした。

それと同時に、東大の高倉公朋教授（現・女子医科大学長）と、癲癇発作の電気的な源である焦点の位置を推定する逆問題にも取り組みました。癲癇の焦点を外科的に切除すると発作は起こらなくなります。この焦点の位置決めは、脳の硬膜の内側に多数の電極を挿入して、癲癇発作の発生源を探るのです。この目的で脳表面と硬膜との間に挿入された電極対にパルス電流を流して擬似的な焦点を作り、それによって作られる脳波から推定した位置と、X線で確認した電極の位置とを比較したのです。この実験は国内で行うのは難しいので、本間先生の友人であるスウェーデンのウプサラ大学脳神経外科の H A G B A R T H 教授と共同研究を始めました。この実験は数年続き、焦点位置の推定誤差は三〜五ミリ程度であることが確認され終了しました。

というところで定年（一九九二年）になってしまったので、このまま研究の成果を放置することはできません。そこで定年などの制限なしに自分のやりたいだけ研究のできる自前の研究所を「かながわサイエンスパーク」の支援を受けて設立しました。初めの二年間は株式会社として立ち上がるかどうかのテスト期間で法人格がなかったので、日本人の研究者を集めることができませんでした。そこで、モスクワ大学の友人に頼んで日本で研究することを望んでいる優秀な青年を数人紹介してもらい、モスクワまで出かけて面接を行い、四人の採用を決めました。それにバンダラデシユから、是非参加したいという青年が一人加わりました。

ストレスの計測はどうやってよいか全くわからないので、まず脳波から「何を考えているか」を推定する方法にチャレンジしました。代数的な問題、図形的な問題、何も考えていないという三つの思考内容に限定して、どの状態であるかを当てます。九〇%の確率で当てる技術が完成しました。このままでは商品にならないので、次のステップとして、このアルゴリズムを利用して「心の状態」が



$1/f$  ゆらぎが多いのかというのが、私が一九七七年に始めた「 $1/f$  ゆらぎに関する国際会議」の焦点なのです。私は以前から  $1/f$  ゆらぎは統計物理学の盲点なのではないかと思っていました。物理学として根源的な問題です。統計物理学の基本的な法則が少し間違っていることがわかってきました。第一回の会議のときに、 $1/f$  ゆらぎを発生する等価回路を提案しましたが、その等価回路の裏に潜む物理過程を数式化することができなかったのです。二十年以上かかってやっとそのダイナミックスを記述する方程式ができて、 $1/f$  ゆらぎの発生過程がわかりました。

これはやや現象論的な部分を含む第一論文で、現在は、第一原理から理論構成をすることの構想を練っています。簡単に言うと、モノがたくさん集まると「相互作用」が生じます。今までの統計物理学は相互作用の取り扱ひ方が単純過ぎたので、理論上  $1/f$  ゆらぎが出て来ない。相互作用に伴う微妙な反作用を考慮すると  $1/f$  ゆらぎが得られました。古典的統計物理学における「エネルギー等分法則」は正しくないという結論です。

例えば気体の分子は互いに衝突してエネルギー

ギーをやりとりします。時間的に平均すると、それぞれの分子は同じエネルギーを持っているというのが「エネルギー等分法則」です。実は「一定の平均値を持つ」という常識に誤りがあるのです。根源にあるのは、 $1/f$  ゆらぎという非常に特殊なゆらぎなんです。明星大学理工学部の鷹野致和教授に非常に均質な半導体を作って実験をしてみたら、私の理論の正しさを証明しました。プラハの国際会議で理論の骨子を説明し、二〇〇三年に『PHYSICA』に論文として発表しました。基本的なアイデアは一九七七年の国際会議で発表しましたが、ここで私なりにこの問題に決着をつけました。けれども、生体の世界において  $1/f$  ゆらぎが人間に快感を与えるのは、この理論とは違う話の筋になるのだと思います。基本的には生体も物理学的な法則で支配されているので、何らかの関連はあるのでしょうか……。

**研究は終わらない**

——東京工大を定年になったときに、脳機能研究所とゆらぎの研究所というベンチャーを作られました。

1/f ゆらぎの問題に私なりの決着がつかしました。





推定できないかを試みました。テレビの液晶モニター面には赤・緑・青の微小な発光素子が並んでいて、これら三原色の強さの組み合わせで任意の色が表現できるのです。これと同様に、心の状態は、喜・怒・哀・楽の四原色で表現できることを発見しました。そしてこれら四つの状態を、十力所以上で記録した脳波から分離することができたのです。結局「怒り」の特徴が「ストレス」を表していることがわかり、初期の目的が達成でき、「感性スペクトル解析システム」として商品化されました。このシステムは初期の目的とは違い、顧客満足度や環境の快適度の定量的な評価法として産業界で使われるようになりました。

——医療分野については？

武者 脳機能研究所は外部の研究者に開放していたので、いろいろな人が利用しにきました。その中でも東京医科歯科大学神経科の大久保先生と寺崎先生が、アルツハイマー患者は脳波の出力が少し違うことに気づきましたので、その原因を徹底的に調べることにしました。そのころ、慶応大学湘南藤沢キャンパスの学生が集団で研究所にやってくるように

なつたので、彼らのために脳研で定期的にゼミを開くことになりました。その中の原淳子という学生が特別に熱心で、彼女の大学院の研究指導をすることになり、彼女の熱意が相磯学部長を動かしたらしく、この大学の招聘教授になるように頼まれました。そこで彼女に、アルツハイマー患者の脳波の異常性が何故起こるかを脳のコンピュータシミュレーションによって徹底的に調べてもらいました。この研究の延長上として、人間の脳の中のニューロンの活性度を測る「脳機能活性度推定法DIMENTSION」が誕生したので、彼女はそれで学位を取りました。

しかし、DIMENTSIONは新しい技術なので、なかなか臨床的には使ってもらえませんでした。一九九七年に大阪商工会議所の「グローバル・ベンチャー・フォーラム」という国際ハイテク商談会に参加したときに、この技術にとって決定的に重要な出会いがあったのです。われわれの展示ブースに厚生省から内閣官房に出席していた宇野裕（現・社会保険大学校長）さんがたまたま見えて「これは重要な研究だから、国立の機関と共同研究をするように」という助言をいただき、国

立精神・神経センター武蔵病院の宇野正威先生を紹介してくれました。そこで、朝田隆先生、松田博史先生たちと九八年から二年間にわたりDIMENTSIONの精密な性能試験ができました。約六十名のアルツハイマー患者と、同年齢の正常被験者（主として患者の配偶者）についてSPECTやMRIを含む貴重なデータベースが完成しました。それ以後このデータベースを用いてさらに新しい脳疾患の診断に役立つ技術が生まれつつあります。この技術は脳機能低下に敏感に反応するので、アルツハイマー病の早期診断と治療効果の高感度モニターとして臨床的な利用が徐々に始まっています。

## ゆらぎは、心の問題

——今の日本あるいは現代社会は、ゆらぎを失っているのではないのでしょうか。

武者 そうですよ。ゆらぎというのは、ゆとりなんです。ムダとも言えますね。サイエンスをやるのでもムダがなくてはダメです。遊びがないと新しい試みはできません。ゆらぎを許容するということですね。だから

便利さだけを追求していると快適さがなくなってくるんです。便利であるということと、快適であるということは一致しない。便利さはそのようにしておいて、快適さを重視した生活をするようにしないとイケない。それをつくづく感じたのは、都市計画に参加したときです。普通は街路樹を一直線で等間隔に植えているでしょう。それは非常に反自然的だから、植樹する間隔と並び方を左右に1/fゆらぎになるようにすると、自然の林の中を歩くような感じになります。ゆらぎはわれわれが生きていく上で非常に大事なものです。効率ではない、心の問題です。やっとうらぎの重要さが認識されるようになって来たかな、と感じています。

ゆらぎがないと抜本的变化は起こらないんです。生物の進化にもゆらぎが本質な役割を果たしていると思います。半導体は全く静かだと、いくら電圧をかけても発振しないのです。ノイズを種にして発振が起こるのです。だから私がこれまでに果たしてきた役割は、ゆらぎの重要性を皆さんに認識してもらったということですかね。

——ありがとうございます。

