

## 本からではなく自然に学べ



随 筆

田 澤 仁\*

## STUDY NATURE NOT BOOKS

Key Words : Biological Clock, Bünning, Cell Motility, Creative Work, Kamiya

これはアメリカの地質学者、動物学者ルイ・アガシーの言葉である。彼はアメリカで最初の臨海実習を行った人として有名である。この言葉の書かれた額がアメリカ東海岸のWoods HoleにあるMarine Biological Station付属図書館の壁に掛っているのは、皮肉な気がする。実は、私は上のタイトルで昨年11月阪大理学部の1 - 2年生を対象に特別講義を行った。この題を選んだのは、既成の知識に捉われず新鮮な眼で自然現象に直面することで、新しい学問分野が開けるのだ、画期的な研究は必ずしも実験装置を完備した研究室から生まれたのではない、ということ伝えたかったからである。1965年ノーベル賞を受賞した朝永振一郎は1974年、子供たちのために次の言葉を記している。「ふしぎだと思うことこれが科学の芽です よく観察してたしかめ そして考えること これが科学の茎です そうして最後になぞがとける これが科学の花です」本稿では、私の尊敬する二人の科学者を例に、アガシーと朝永の言葉の肉付けをしてみたい。一人は阪大時代の恩師、神谷宣郎教授、植物の細胞運動の研究で世界をリードした。もう一人は私の留学先ドイツのチュービンゲン大学のエルヴィン・ピュニング教授、生物時計の発見者で今日の時間生物学の基礎を築いた。

神谷は1938年25歳のとき、日独交換学生としてドイツに留学し、1939年9月第二次世界大戦勃発

のため、アメリカに渡り、ペンシルバニア大学のサイフリッツ教授の下で、1941年12月日米戦争勃発後、翌年6月日米交換船で帰国するまで米国で研究した。ここで、神谷は生涯の研究材料である粘菌に出会う。粘菌の一種モジホコリカビの栄養体は多核で、形を変えながら這って移動するので、変形体とよばれる(図1)。

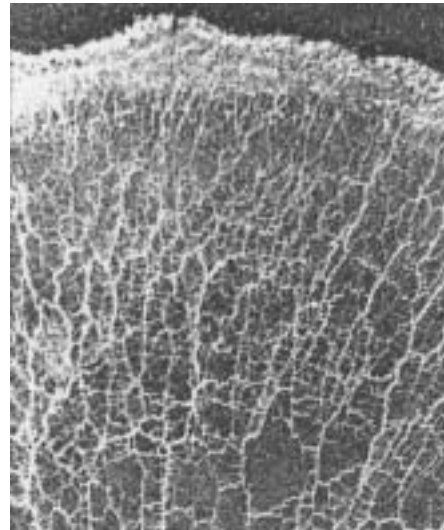


図1 粘菌モジホコリカビの変形体。網目構造は変形体の糸で、その中を原形質が流れる。

移動は原形質(細胞質)が流動することによる。神谷によると、「変形体の表面はでこぼこだが、カバーガラスの上から針で軽くおさえると、一番出っ張ったところがカバーガラスの表面に当たり、中の流動性の原形質がそこから強制的にぱっと圧のかからない所に流れる。圧を除くと又元にもどる。そういう現象がくり返し観察されますが、私にはそれが非常に奇異に見えました。要するに、機械的に押し戻したりすることが、粘菌に害を与えないで、それでいて流動のほうは非常に鋭敏に反応します。それならば、空気を使ったほうが制御しやすいと思い



\* Masashi TAZAWA

1930年1月生  
大阪大学、理学部、生物学科修了(1953年)  
現在、東京大学名誉教授  
理学博士、植物生理学  
TEL : 077-524-9221  
FAX : 077-524-9221  
E-mail : mtazawa@kjd.biglobe.ne.jp

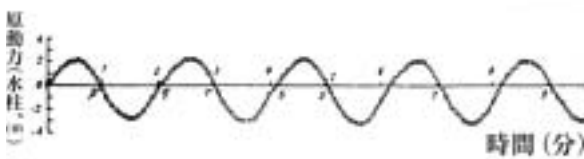
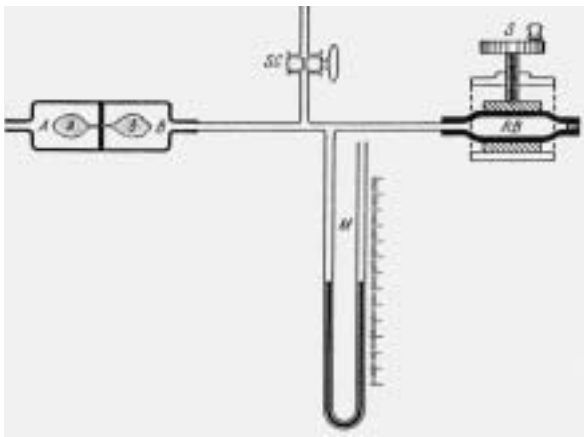


図2 粘菌変形体の原形質流動の流動力測定装置と流動リズムの記録 (Kamiya 1959)

ました。」そこで考案したのが複室法である(図2上)。

二つの部屋A、Bのそれぞれに小さな変形体a、bの塊をおき、それらを変形体の糸(図1)で繋ぐ。すると糸は小変形体と融合し、やがて糸の中を原形質が流れ出す。片方の部屋Aを大気に解放し、もう一方の部屋BにマノメーターMを接続する。糸の中を流れる流動はゴム球RBを介してB室に正または負の圧力を加えることにより停止させることができる。この平衡圧は流動の原動力に相当する。ここに世界で始めて、筋肉運動以外で、細胞運動の原動力が測定された。1939年末のことであった。流動力の波形は単純なものは正弦波だが(図2下)、複雑なものは幾つかの正弦波の合成されたものとなる。この成果は1940年11月のScienceに掲載され、Timeにも取り上げられた。神谷は1999年亡くなったが、動物の細胞分裂の世界的権威平本幸男教授は追悼文で、「神谷の流動力測定法は筋肉の等尺収縮における張力測定法と原理的には同じだが、時々刻々に形の変る変形体の中の曲がりくねって分岐する管を流れる流動というつかみどころの無い現象を一次元の運動に還元した発想は天才的である」と述べている。

“Study Nature”の別の例を同じく神谷の研究から見てみよう。植物は移動しないが、植物細胞の内部の原形質は活発に流動する。この流動の研究材料として、神谷が目にしたのは藻類の一つ、車軸藻

類の細胞だった。この円柱状の細胞も多核で、種類によっては直径1mm、長さ10cmにも達する。中央には水溶液性の細胞液が詰った液胞があり、その外側にあるゾル原形質(内質)が細胞の周辺に沿って、毎秒50μmの速さで流動している(図3)。その直ぐ外側の葉緑体のある部分は、動かないゲル原形質で外質と呼ばれる。問題は、流動力の発生場所はどこか、その力の性質はどのようなものであった。神谷は考えた。流動力の発生している場所では、速度勾配が一番大きいはずである。そこで、彼は単刀直入に、内質の半径方向の速度分布を測定するこ

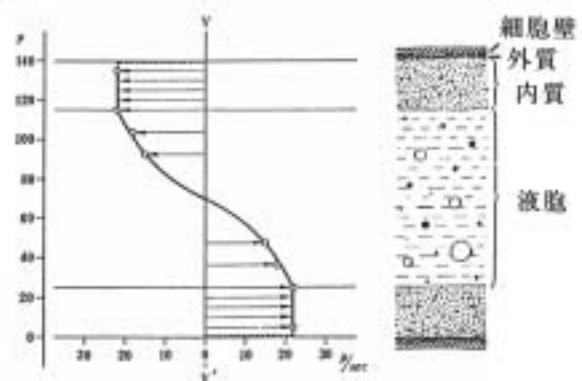


図3 車軸藻類ヒメフラスモの若い細胞の原形質および液胞の流動の速度分布 (Kamiya, Kuroda 1956)

とにした。結果は、内質の何処を取っても速度は同じで、急激な速度勾配は外質と動く内質の界面で発生していることがわかった(図3)。1956年の黒田との共著論文は「内質は実は流れているのではなく、ただ全体として外質の表面を滑っているだけである」と述べている。「原形質流動の滑り説」である。この説は1954年、イギリスのハクスリとハンソンによって発表された筋収縮の「滑り説」と軌を一にしている。その後、動植物とも滑り運動はアクチンとミオシンという二つのタンパク質間の相互作用によることが明らかにされた。

科学の発見には、非連続的な飛躍が介在する。朝永の“良く考える”の次に来るのが飛躍であろう。今までは全く関係が無いと思われていたものが、一寸した機縁でつながるのである。朝永と同年ノーベル賞(医学生理学)を受けたフランスのフランソワ・ジャコブの云う「思考がいつもの道から逸脱して、それまで是一緒になる理由がありえなかったものたちを一つにむすびつけるのである。」その例をビュニングによる生物時計の発見に見ることができ

る。

生物の日周現象には、外界の時間情報(明暗周期)を絶っても、ほぼ24時間の周期で継続するものが数多く知られており、概日リズムと呼ばれている。典型的な例はマメ科植物の葉の就眠運動である。ベ

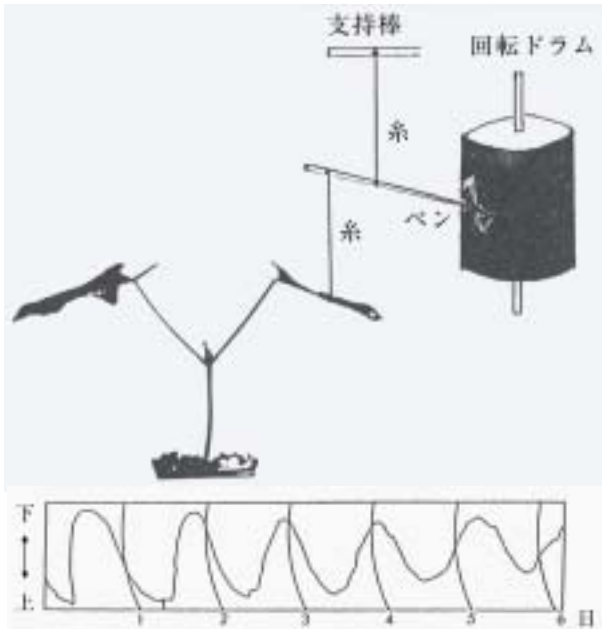


図4 ベニバナインゲンの葉の就眠運動記録装置と運動リズムの記録 (Bünning, Tazawa 1957)

ニバナインゲンの葉は昼間は上に向き、夜は下に垂れ下がる(図4)。すでに1729年、フランスのド・メランはオジギソウの就眠運動リズムが恒暗下でも持続することを報告している。ようやく200年後、この現象のもつ生物学的意味の解析にビュニングが取り組んだのであった。

ビュニングは1906年ハンブルグで生まれ、1929年ベルリン大学で博士号を取得した。丁度このころ、フランクフルトの“医学の物理学的基礎研究所”から求人があり、彼は、“大気の帯電と人間の特定の病気(気管支炎、癲癇)との相関”についての研究に取り組むことになった。ビュニングは手始めにベニバナインゲンの葉の就眠運動が大気の帯電と関係があるかどうかを調べることにした。ところが、大気のイオン濃度を変えても、葉の運動の周期と位相には何の影響もなかった。ところが、恒暗条件下で定刻に光パルスを与えると、マメの葉はいつもそれから一定時刻後に最上位に達することがわかった。即ち、概日リズムの位相は単一の光パルスにより、リセットされる。これは概日リズムの重要な特性の

一つである。このほかビュニングが見つけた概日リズムの特性は、概日リズムは外界の明暗周期に同調できること、生理的な温度範囲では周期はほぼ一定であること、即ち温度補償能をもっていることなどである。更に彼は、概日リズムの周期が遺伝することを示して、このリズムが内因性のものであることを決定的なものとした。ビュニングは、生物に普遍的な概日リズムなるものが、進化的適応を経ることなしに、遺伝形質として固定されることはないという信念を持ったが、残念ながら概日リズムが淘汰に有利である証拠は当時見つかっていなかった。ビュニングがそのための入り口を見つけたのは偶然だった。

1934年ビュニングは就職先のイエナから、母校ベルリン大学の光合成専門家ノアック教授を訪ねた。ノアックは「発見の中には俄かには信じがたいほど目立つものがある。その一つが光周性である。」という話をした。光周性とは生物の成長分化が日長に依存する現象である。例えば、ある植物は日が長くなる春に花を咲かせるのに、別の植物は日が短くなる秋に開花する。前者は長日植物、後者は短日植物である。光周性はアメリカのワシントンの東の片田舎にあった農業研究所の研究者ガーナーとアラードによって1920年に発見されていた。ビュニングも当然14年前に発表されていた二人の論文を知っていた。ノアックと別れ、ベルリンからイエナに帰るための汽車の中でのことだった。突如彼にインスピレーションが湧いた。「そうだ！一日のうちのどの時間に光が当たるのかということが、開花するかしないかの違いを生むのかもしれない。光合成では何時光が当たっても同じかもしれないが、しかし植物の成長と分化にとっては同じではないのだ。」ここで、二つの全く別の現象、概日リズムと光周性が結びついたのである。両者を結びつける生物時計概念の誕生である。

このことを実証するための実験に彼は直ちに取りかかり、その結果を「光周性反応の基礎としての内因性日周リズム」という論文に纏めて1936年12月12日『ドイツ植物学会誌』に発表した。要点は(1)植物の光周反応は内生の概日リズムを基礎としている。(2)概日リズムは光に対する反応性の異なる二つの相からなる。周期の前半は光に親和性のある相(親明相)、後半は光を嫌う相(親暗相)



である。(3) 開花は親明相に光が当たると促進され、親暗相に当たると阻害される。(4) 短日植物と長日植物の違いは内生リズムの明相と暗相の持続時間の違いに帰せられる。(5) 内生リズムの明相と暗相の持続時間の違いは遺伝的なものである。概日リズムを使って植物は日長を測定しているなどという説は、長い間、荒唐無稽と見なされた。ようやく1960年代に入って、ビュニングの説を強力に支持する実験結果がアメリカのハムナーの研究室から次々と出されてきた。そして現在では、光周性開花の基礎に概日リズムによる時間測定があるというビュニングの仮説を疑う者はいない。

ビュニングは1990年この世を去ったが、丁度その頃から、分子生物学的手法を用いて時計遺伝子の探索が始まった。現在では生物界全てに時計遺伝子の存在が確認されており、時計機構は時計遺伝子間の転写・翻訳の正と負のフィードバック回路から成り立っているという共通の理解が生まれている。動物の時計遺伝子はショウジョウバエとネズミでよく調べられており、両者は進化的には数億年前に分かれたといわれているが、時計遺伝子およびその産物のタンパク質は驚くほど似ている。原始的な光合成を営む藍色細菌、菌類、植物、動物の時計遺伝子はそれぞれ異なるが、基本的な機構は似ている。このように、生物の概日時計機構は生命の原始から、生存に必須のものだったことがわかる。

真理も、新しい説の間は、学問の世界で認知されないことが多い。学者とて従来 of 学説に固守する傾向が強い。今までの枠組みを守っているのは安泰だが、学問、科学はそれでは成り立たない。それこそ、孟子の「悉く書を信ずれば、書無きにしかず」である。教育大の学長として朝永は、1957年の入学式で「それはわかりきったことですが、大学というと

ころは学問をするところであり、学問を通じて歴史の担い手としての人間の基礎をつちかうところだ」という事です。学問とは、言い古されたことながら、真理の探究を目的とするということです。どうか諸君のせぼねのまん中にどかんとこの考えをすえていただきたい。」と述べている。1933年に起こった滝川教授罷免に抗して、京大法学部が一致して、文部省と戦った事を、岩波茂雄は全面的に擁護激励して、学者の態度と題する寄稿を朝日によせた。「諸学説を講義する教授はざらにあるが、真理に殉ずる学徒はすくない。常に動揺せる文部当局の態度に比し、真理の忠僕、正義の使徒として、終始一貫微動だもせず、所信に生き大学のために玉砕されし京大法学部諸教授の態度に私は満腹の敬意を表し、その立派な最後に近來になき感激を覚ゆる。」これは2005年発行された松尾尊兌著の『滝川事件』からの引用だが、VI章の「滝川事件を巡る人々」の中に、松尾が聞いた桑原武夫の話が載っている。話の最後に桑原が言った言葉：「人は利害を無視して行動することがしばしばある。それが「思想」というものだ。」辞職した京大の教授、助教授たちは思想に殉じたのである。1988年、ビュニングは私にくれた手紙に自分の経歴を書いてくれた。「私は1930年からイエナに奉職。ナチの学生たちは私をイエナから追放した。ヒトラーに反対だと言ったからである。・・・1939年から6年間軍隊へ。しかし、ヒトラーの下で将校になるまいという私の目的は達成された。」自然科学者といえども時代の波にもまれて、思想を守るのに苦しむことがある。戦時中、ドイツのハイゼンベルグはナチの原爆製造計画に非協力を貫いた。朝永のいう「学問を通じて歴史の担い手」となるにしても、歴史の悪い担い手になるべきではない。