

振動反応の創始者 アナトール・M. ジャボチンスキー博士

聞き手：吉川研一



ある奇妙な化学反応がある。反応液をかくはんすると、赤→青、青→赤とネオンサインのように周期的に色が変化し、反応液を静置しておくと、今度は赤、青からなる縞模様が出現し、それが時間とともに広がっていくといった反応である (p. 27 参照)。これは、ソ連の科学者 B. P. Belousov によって 1958 年に発見され、A. M. Zhabotinsky が反応条件を詳しく調べたので、二人の名をとって、Belousov-Zhabotinsky 反応 (BZ 反応)、あるいは単に、

Anatol M. Zhabotinsky ソ連国立血液センター輸血研究所低温血流物理研究室長。1938 年モスクワに生まれ、1961 年モスクワ大学を卒業 (生物物理学専攻)。ペロゾフ (B. Belousov) が発見した振動反応の反応条件を詳しく調べ、ペロゾフ-ジャボチンスキー反応 (BZ 反応) へと発展させた。1980 年、ペロゾフ (故人)、ザイキン (A. Zaikin)、クリンスキー (V. Krinsky)、イワンニツキー (G. Ivanitsky) とともに、BZ 反応に関する研究でレーニン賞を受賞した。

吉川研一 (よしかわ・けんいち) 名古屋大学教養部教授。工学博士。1948 年兵庫県に生まれ、1971 年京都大学工学部石油化学科を卒業。徳島大学教養部助教授、名古屋大学教養部助教授を経て、1990 年より現職。徳島大学在職時から非線形非平衡の化学的現象に関する研究を開始し、現在に至る。このほか病態解析への NMR の応用や生体膜への薬物の作用機構などの研究も進めている。趣味は音楽、読書、山歩き。

ジャボチンスキー反応と呼ばれている。

BZ 反応はカラフルな反応として数多くの化学者を魅了するだけでなく、化学反応系における自己組織化現象として、興味深い研究テーマを提出してくれる。

この BZ 反応の創始者の一人、ジャボチンスキー博士が、初めて来日した。そこで、吉川研一教授 (名古屋大学) に、BZ 反応発見当時の話や、これからの研究課題などを伺っていた。

研究のきっかけ

吉川 Belousov-Zhabotinsky 反応 (BZ 反応) は、たいへん美しい反応ですが、博士がこの化学振動反応に取組まれたきっかけはなんだったのでしょうか？

ジャボチンスキー それは私の指導教官だった生化学教授シュノール (S. E. Schnoll) の提案によるのです。1961 年も終わりに近づいたころのことでした。

吉川 指導教授はペロゾフではなかったのですか。

ジャボチンスキー いえ、違います。私は当時ペロゾフとは一面識もありませんでした。私はまだ学生でした。日本やアメリカとソ連とは大学の仕組みが多少異なりますけれども、私はモスクワ大学で生物物理を専攻し、学部を終えてちょうど新しいテーマを捜していたところでした。

吉川 博士自身は、そのころ何をテーマにしようと考えていたのですか？

ジャボチンスキー 当時、解糖系や光合成の代謝回路などに振動現象が見いだされていまして、私は酵素反応の速度論をテーマに研究しようと思い、シュノール教授に相談しました。しかし、そのころの生化学教室の環境では、私の考えるような実験を行うことは不可能だとわかりました。酵素を取扱う技術が貧弱で、そのうえスタッフも不足していたのです。

吉川 そこでシュノール教授が代替案としてペロゾフの反応を提案されたわけですね。

ジャボチンスキー シュノール教授はペロゾフの反応に言及し、その振動メカニズムを研究するようにと私に勧めました。彼は、1~2 ヶ月もあれば反応機構を解明することができるだろうから、といました。私はそれに同意してペロゾフの反応を研究し始めたのですが、それが結局一生の仕事になったようです。シュノール教授はペロゾフの反応に必要な試薬である硫酸セリウムや臭素酸カリウム、クエン酸などをなぜか一通りもっていて、まず実験を開始するように促しました。ペロゾフの処方私にシュノール教授から受取ったのはそれからしばらく後のことでした。

吉川 シュノール教授はペロゾフを知っていたのでしょうか？

ジャボチンスキー ええ、1 度会ったことがあるようです。

吉川 化学振動を目の当たりにしたときはいかがでしたか。

ジャボチンスキー 当時、私は若かったものですが、与えられたテーマである振動のメカニズムを解明するのに夢中でした。研究が一段落してはじめて、純粋に化学的な反応で振動が起こることの重要性に気づいたのでした。

一度も会わなかった二人

吉川 最初の論文は 1964 年のもの (*Biofizica*, 9, 306(1964)) ですね。

ジャボチンスキー はい、仕事をまとめ始めたのは 1962 年の春です。私はシュノール教授と一緒にまとめた原稿を

ペロゾフに送り、彼の意見を仰ぎました。ペロゾフからはすぐに、自分が始めた研究が進展していることに対し満足している旨の大変いいねいな返事が届きました。彼は私の実験の細部についてもコメントしてくれました。また、彼の 1951 年の論文のコピーも添えられていました。これは彼が動いていた研究所の、いわば紀要のような本に掲載されたものなのです*。

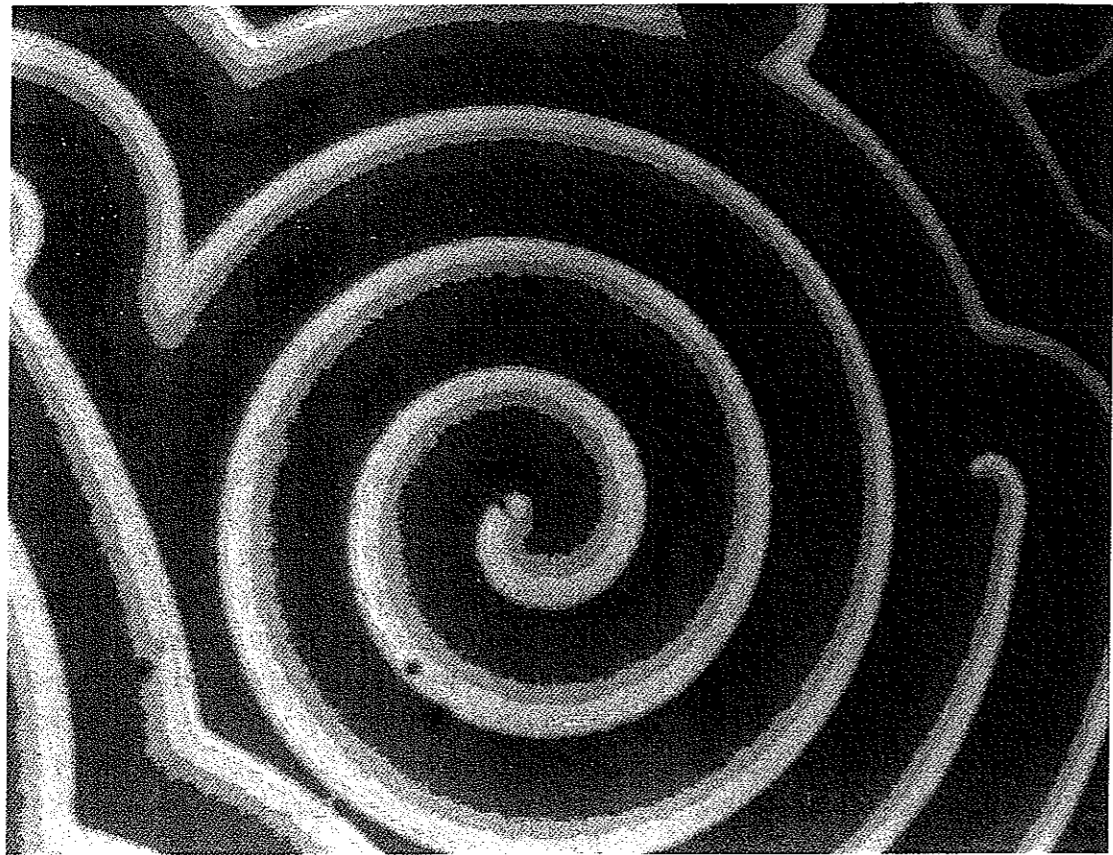
吉川 ペロゾフの論文が学術雑誌に受理されなかったという話は有名ですが、それほど、ペロゾフの見いだした振動反応は、当時の化学の常識に反する不思議な現象だったのですか。ところで、ジャボチンスキー博士自身は、その後ペロゾフとはお会いになりましたか？

ジャボチンスキー その後も何度かペロゾフと手紙をやり取りしたり、電話で話をする機会があって、その都度、直接お会いしたいと申し出たのですが、彼から承諾を得ることはできませんでした。彼は、親しい友人をすべて不幸な出来事で失ってしまった、だからもう知人や友人をつくりたくはないのだ、といていました。彼を直接知る人は皆、彼がたいへん魅力的な人間だったといっています。私もまったくその通りだと思います。彼に直接会えなかったことが残念です。

吉川 ジャボチンスキー博士がペロゾフの処方を改良し、クエン酸をマロン酸に、また触媒をセリウムイオンからフェロインに置き換えることで、BZ 反応が完成したわけですが、この改良によって、時間的・空間的パターンを伴う化学振動現象が、きわめて視覚的なものになりましたね。

ジャボチンスキー フェロインについては面白い話があります。そもそもセリウムの色の変化は黄色/無色ですから、UV 吸収でも測定しない限り、空間パターンを観測するのは困難なのです。そこでわれわれは UV 領域を観測できるようなカメラを注文したのですが、そのカメラは研究所の他のグループに取上げられてしまいました。やむなく別の方法を模索して、フェロインにたどりついたというわけです。

* この論文は 1981 年にソ連で出版された本に再掲載され、英訳もされている (R. J. Field, M. Burger, ed., "Oscillations and Traveling Waves in Chemical Systems", John Wiley & Sons, New York (1985), pp. 605~613).



BZ 反応で現れる空間パターンを画像処理したもの

吉川 ほほう。

BZ 反応のその後の発展

ジャボチンスキー フェロインを初めて BZ 反応に用いたのは西ドイツのブッセ (H. Busse) で、1969 年のことです。しかしここでは依然セリウムが触媒として用いられ、フェロインは単に酸化還元指示薬として用いられたにすぎません。ところが私の同僚が、酸化還元電位の考察から、フェロインは触媒としても働くことを指摘しました。事実、薄く広げた BZ 反応溶液で、同心円状のパターンが広がる様子を鮮やかに観測することができました。その結果はザイキン (A. N. Zaikin) と共著の論文になりました (*Nature* (London), 225, 535 (1970))。

吉川 BZ 反応に関心をもつ研究者の多くは、その渦巻型の空間パターンにも強く引き付けられるようですが、これを初めて観測されたときのご感想は？

ジャボチンスキー 実は友人のクリンスキー (V. I. Krinsky) 教授が、心臓の繊維性れん縮で見られるような渦巻パターンが BZ 反応でも生じることを予言していました。そこでわれわれは、水酸化ナトリウム溶液を垂らしたり、溶液にシエアーを与えたりして同心円状の BZ 反応面

を切り、その断点を中心となって渦巻状のパターンが成長することを観測しました。渦巻パターンは、予言通り、現れるべくして現れたのです。格別の感慨はありませんでした。

吉川 米国のウインフリー (A. T. Winfree) 教授も早い時期に渦巻の 3 次元構造を研究していたようですが。

ジャボチンスキー Art (Winfree のこと) は私の古い友人です。ちょうどそのころ、彼は渦巻パターンを予測する旨の手紙を私に送っていたのですが、当時の通信事情はきわめて悪く、そのため両者がまったく独立に渦巻を発見した結果となりました。

BZ 反応の課題

吉川 BZ 反応に関連した現在の課題をお聞かせ願えませんか？

ジャボチンスキー 理論と実験の間に横たわる大きなギャップを埋めることがなによりも重要でしょう。反応のメカニズムがかなり詳細に研究され、膨大な数のモデルが提案されているにもかかわらず、実験結果のすべてをうまく説明するような理論モデルはいまのところありません。またこれとは矛盾するようですが、理論的に予測されてい

る構造が、実験的になかなか観測できていないのも事実です。

吉川 Turing (チューリング) 不安定性もその一つですね。これはそもそもは均一だった濃度分布が、わずかな濃度の揺らぎによって、やがて周期的な濃度分布へと分岐する現象ですが、その空間的なパターンは時間的に変化しない、定常的なものとなります。

ジャボチンスキー ヒドラの触手に代表される分化のモデルになっていますね。1952 年に A. Turing によって予言された Turing 構造ですが (A. M. Turing, *Philos. Trans. R. Soc. London Ser. B*, 237, 5 (1952)), 純粋に化学反応と拡散の共役した系でこれが観測されたのは、ごくごく最近のことなのです。この結果は今年のプッシーノ (ソ連) での国際学会で発表されました。

吉川 フランスのド・ケペール (P. De Kepper) らの仕事ですね。実験方法が面白いと思うのですが、ゲルを用いて対流を防ぎ、しかも反応物の濃度勾配を与えた開放系を

用いている。

ジャボチンスキー ええ、そして蜂の巣状の定常パターンを観測した。空間周期性をもつダイナミックな定常状態が、とうとう化学の実験室にも出現したのです。

吉川 彼らは BZ 反応とは異なる反応系を用いたようですが BZ 反応ではいかがでしょうか。

ジャボチンスキー BZ 反応で Turing 不安定性が観測されるかどうかについては議論の分かれるところですが、私は可能性があると思います。ロビンスキー (A. B. Robinsky) と私が検討したモデルに従えば、BZ 反応でも Turing 不安定性は起こりうるという結論を得ています。

吉川 最後に、博士はもしも化学者でなければ、どのような職業につかれていたのでしょうか？

ジャボチンスキー そうですね、西側の国に生まれていたらという条件付きですが、あるいは文学を志していたかもしれません。

(山口智彦)

+4°C—古くて新しい水の秘密に迫る

4°Cの謎

水の本質を探る

荒川 泓 著 四六判・256頁・2472円

“4°Cで密度が最大になる”という、よく知られた水の特異な性質。湖が表面から凍り、氷山が浮かぶという自然現象は、このことのあらわれである。だが、この物性の本質的解明は、いまだ誰も成功していない。——知って知らない水の世界、水の常識に潜む謎を探る。

氷の科学

前野 紀一 著 四六判・238頁・1545円

結晶構造から土星の輪の話まで、身近な存在でありながら知られることの意外に少ないその物理・化学的性質を、最新のデータにより興味深く紹介する。

北海道大学図書刊行会

低温の生物物理と生化学

F. フランクス/村勢・片桐訳 研究から技術開発まで、広範な関連分野に不可欠のテキスト A5判・3914円

ペプチド栄養

桐山・荒井編 タンパク質の消化過程で生じるペプチドのメカニズムを取り扱ったシンボの成果 A5判・3090円

フィーニー先生南極へ行く

R. フィーニー/片桐訳 卵白タンパクの材料を求めた道行をユーモアたっぷりに語りかける 四六判・1545円

雪の結晶

小林楨作著 気象条件とともに刻々と変化する六華の妙を300枚に及ぶ写真で紹介する B5判カラー・1545円

研究過程論

田中 一 著 どのように研究をすすめるか、すべての研究者とその卵たちにおくる研究ガイド 四六判・1545円

環境アセスメントの復権

21世紀の環境づくりのために 日本科学者会議編 環境アセスの実態を具体的例の中から追及、本来あるべき姿を提示する 四六判・1545円

〒060 札幌市北区北9条西8丁目北大構内 ●価格は税込 ☎011(747)2308/振替 小樽 3-17011