

LECTURE & TALK

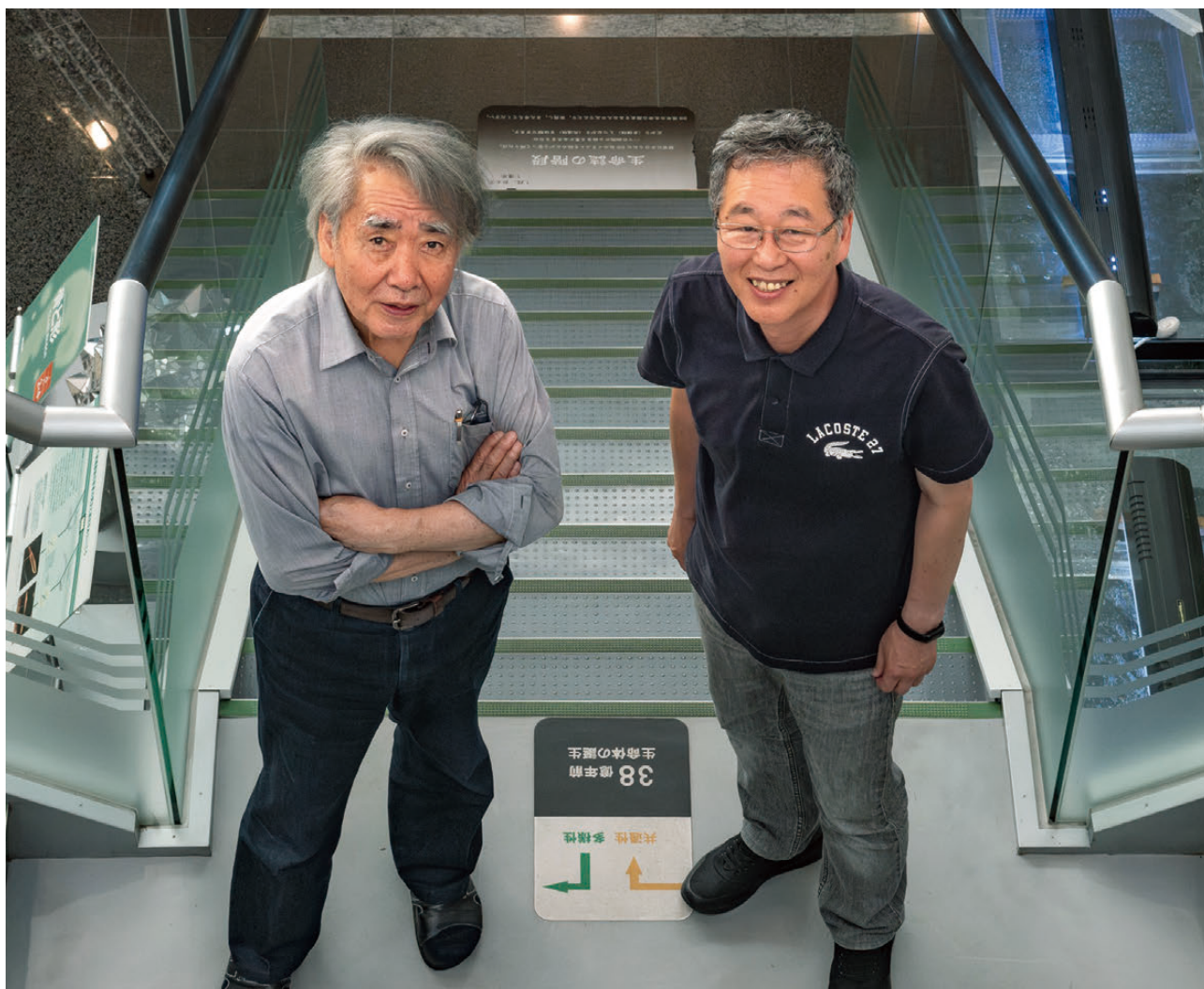
生命科学から味わう謎解きの楽しさ —面白い「問い」に出会うには—

近藤 滋

国立遺伝学研究所所長

永田和宏

JT生命誌研究館館長



撮影：コジマスタジオ

LECTURE & TALK

生命科学から味わう
謎解きの楽しさ

講演

近藤 滋

国立遺伝学研究所所長



CHAPTER

1. はじめに

2. 生命現象のほとんどは「謎」

3. 貝の形

4. 貝殻はどうしてこの形?

5. 熱帯魚の模様

1. はじめに

生命科学は謎を解いているという感覚が好きでやっていました。パズル、ミステリーなどは謎があるから楽しい。謎解きは楽しむための重要な要素です。サイエンスもその謎解きの範疇で語れるのではないのでしょうか。

なぜ謎解きは楽しいのでしょうか? 謎を解くために頭を悩ませ、あるとき閃いて謎が解けるとすっきりする。この悩んで解決する過程が楽しいわけです。ではどんな謎が魅力的だと思いますか?

人類史上最も魅力的で最も人を不幸にしたパズルは『フェルマーの最終定理』だと思います。1637年ごろにフェルマーが考案し、証明されたのは約360年後。その間この問題に取り組んで結局解けなかった、人生を棒に振った数学者は約5万人いると言われています。

誰にも解けなかった謎というのは魅力的ですよね。でも難し過ぎて人生を棒に振るのは嫌だし、そうでなくとも難し過ぎて解けなかったら腹が立ったりもします。

簡単過ぎて解き甲斐がない。そこで僕は生命科学をおすすめします。



2. 生命現象のほとんどは「謎」

生命科学には非常に魅力的な謎に対して鮮やかに回答した例というのがいくつかあります。

一つの例として、抗体遺伝子を紹介します。

人の体には日夜いろんな病原菌、異物が侵入してきます。それに対して、人間の体は抗体を作ります。新しい病原菌が入ってきたら新しくそれにピッタリ合う抗体を作る必要がある。この抗体というのは遺伝子から作られます。でも、遺伝子の数は全部で2万個ほど。なのに、そこから何億通りもの抗体を作ることができます。

どんな抗体が必要になるかわからないし、未知のウイルスもあるはずなのに、我々の体はちゃんと対応できる。それはなぜなのか、長年科学者たちの頭を悩ませた大きな謎でした。

実は、抗体を作る遺伝子の一部が、一つの完成した塊ではなく、バラバラに分かれた状態になっていて、それらを組み合わせると約1万個のパターンの抗体遺伝子を作ることができます。抗体は抗体遺伝子を2個組み合わせて作るので、1万×1万で1億個のパターンを作り出すことができるのです。

これは長年の謎が、構造一つですっきり解かれたわけで、みんな度肝を抜かれました。ちなみに、解明した研究者はノーベル賞を取りました。

このように綺麗に謎が解けると非常に楽しいわけです。

でも、ほとんどの科学本やセミナーでは、謎や疑問とそれに対する答えしかわからず、肝心の「謎解きの仮定」が説明されないの、科学者が味わっている楽しさを味わえないんですよね。今回の講演では、その楽しい謎解きの過程の部分を強調して話していきます。みなさん楽しんで聞いていただければ幸いです。

3. 貝の形

貝にはいろんな種類があります。形は様々あるのに、とても規則的で、どこか共通性がありそうですね。どうすればこんな形が作れるのか、どうしてこの形なのか、見ただけではわからない。これからご紹介する「どうして貝はこんな形が作れるのか?」というお話は、僕ではなく主に愛媛大学の岡本隆先生が行われた研究です。

まず、貝殻の成分の性質を考える必要があります。

貝殻は炭酸カルシウムという、硬くて変形しない性質のものでできています。この硬い殻は体の防御のために必要です。

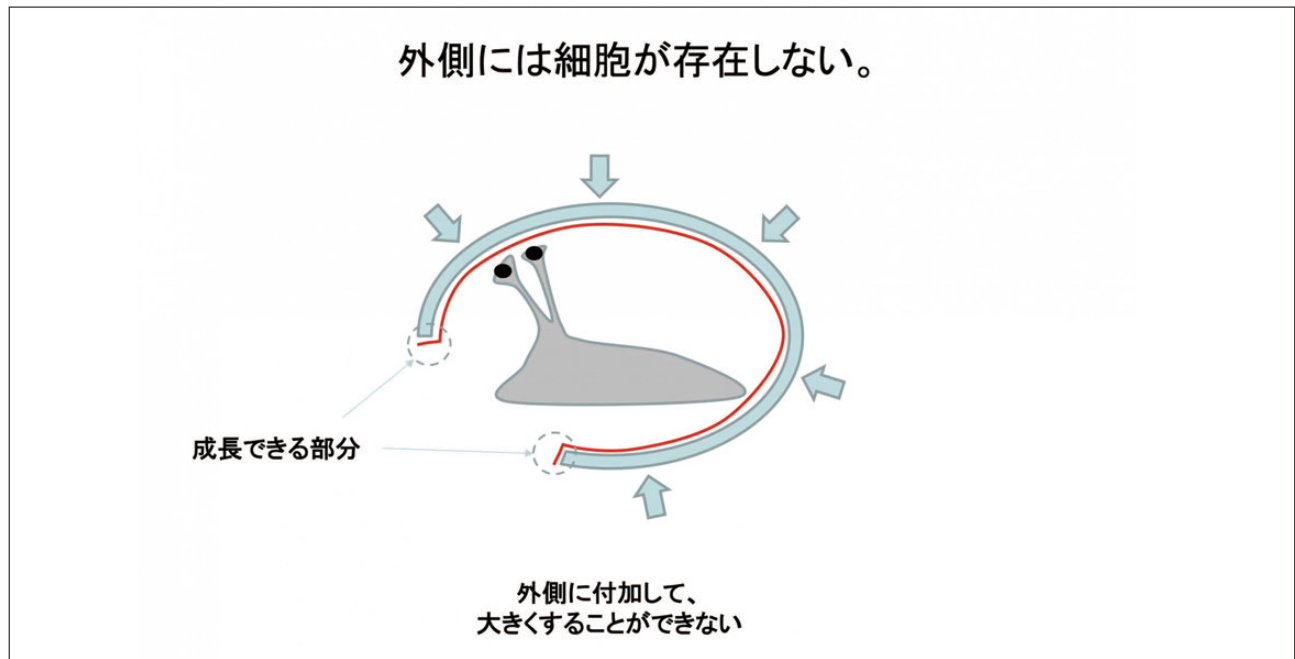
でも、硬い構造だと貝にとって困ることがあります。それは体が成長した時です。

人間などの脊椎動物は、体の成長に合わせて骨を大きくします。骨は内側を削って外側を足していくという技が使えます。内側に骨を削る細胞と、外側に骨を足す細胞があるからです。

では貝ではどうかというと、骨とは違って貝殻の外側に細胞が存在しません。内側に足したらどんどん

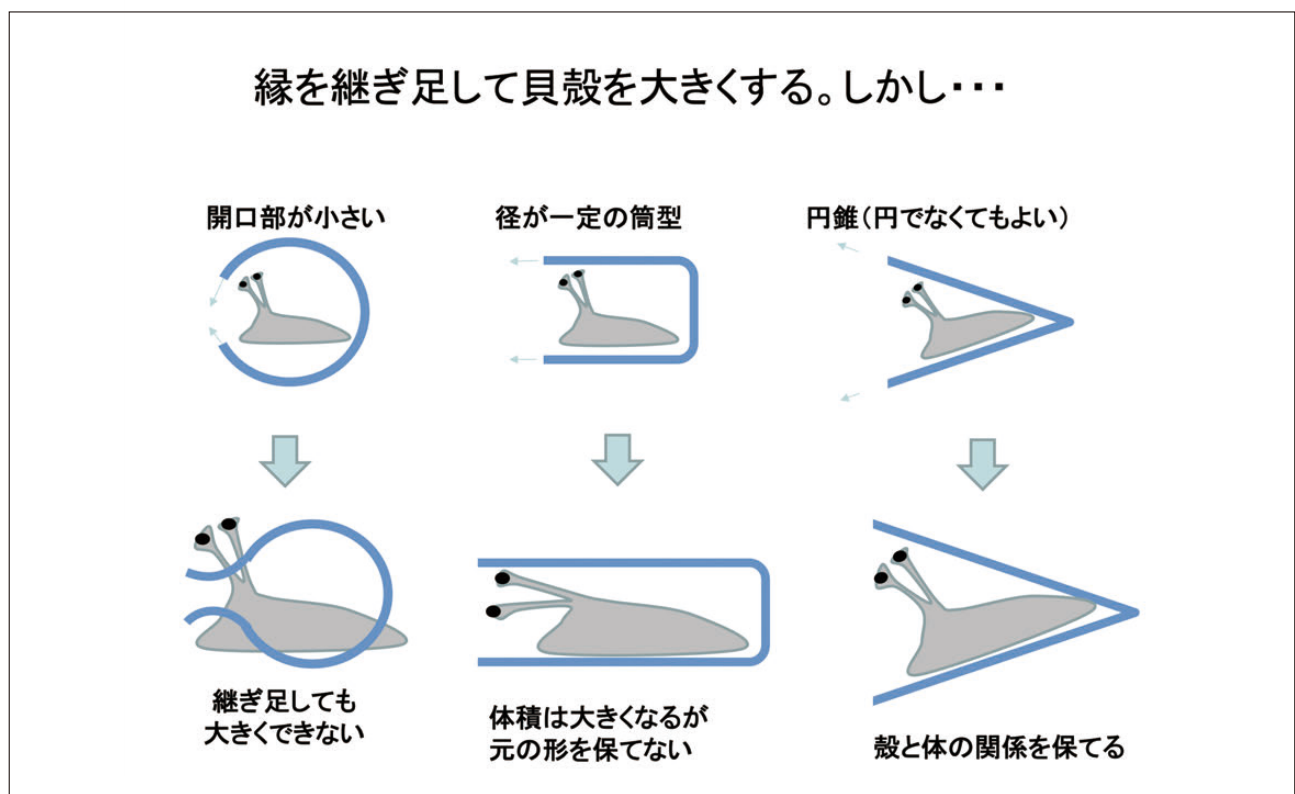
窮屈になってしまう。これでは困ってしまいますね。

この図の青い部分が貝殻で、赤い部分が細胞のある部分です。殻を足そうと思ったらこの破線で囲んだ部分にしかできません。だからフチを伸ばすという方法で解決しました。



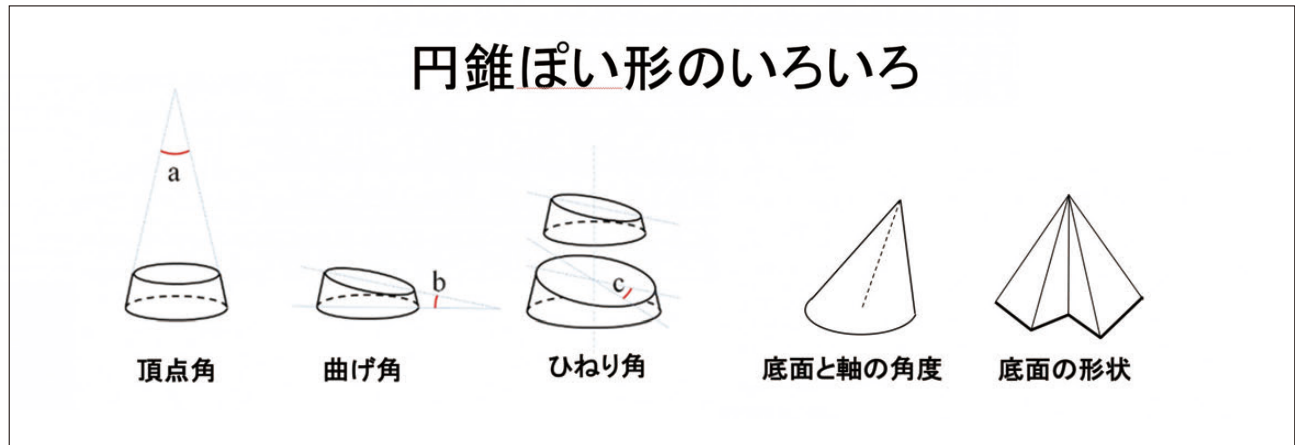
でも、ただフチを伸ばすだけではうまくいきません。軟体動物といえど体の形は変えずに大きくなりたいのです。でも形によっては、フチを伸ばした場合殻の形の縦横比が変わってしまう、つまり体の比率も変わってしまう。どんな形なら都合がいいのでしょうか？

それは円錐のような形なのです。



貝の基本形は円錐です。でも世の中にはいろんな形の貝殻がありますよね。円錐を基本形に、バリエーションを出すためにはどうしたら良いのか。

フチを伸ばすときに、たくさん伸ばす部分とちょっとしか伸ばさない部分を作る。すると少し傾きます。さらに、伸びる角度を少し捻ることもできます。他にも軸の角度を変えたり、底面の形状を変えることもできます。ここは頭の中で考えるのは難しい部分ですね。でもこの5つが円錐っぽい形で体の形を変えずに大きくできる変異のパターンです。



これを組み合わせるとどんな形ができるのでしょうか。それを計算して数理モデルを作ったのが岡本先生です。その数理モデルを基にシミュレーターを作りました。先ほど紹介した5つのパラメーターを変化させることで、このようにあらゆる貝殻の形を再現できるものです。

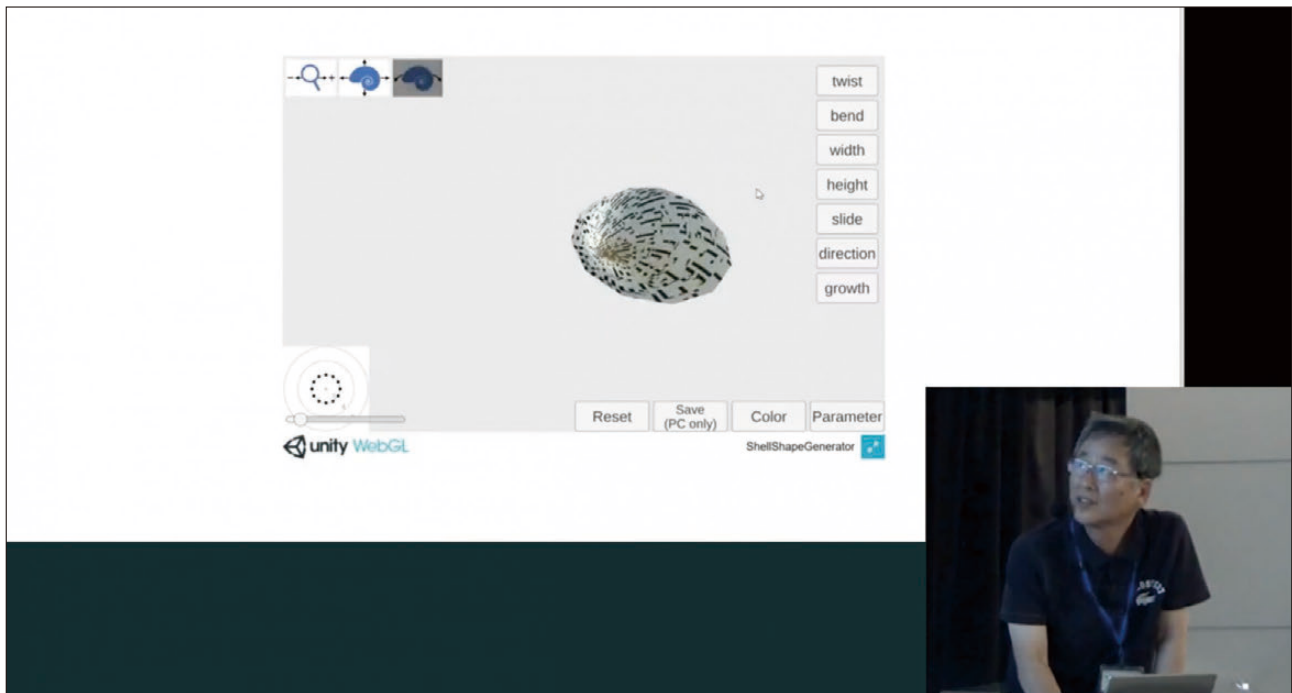


このシミュレーターは誰でも自由に使うことができるので、ぜひパラメーターをいじって遊んでみてください。



講演の記録動画では、近藤先生が様々な貝の形を再現する実演をご覧いただけます。



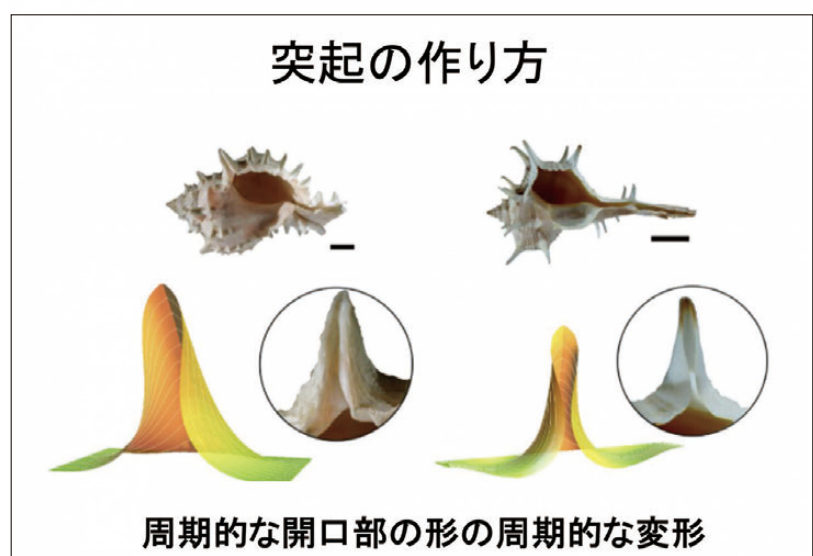


どうでしょうか。ハマグリっぽい形になりましたね。

このシミュレーターの凄いところは、巻貝はもちろん、二枚貝も作れるところです。みなさんは二枚貝と巻貝は全然違う形だと思っていたのではないのでしょうか。実は体の形を変えずに成長するには5つのパラメーターしかいじれなくて、どの貝にも共通している、というのがこのシミュレーターでわかってもらえたと思います。なかなかすっきりしませんか？

僕が初めてこれを聞いた時は本当にびっくりしました。

さて、これでほとんどの貝は説明できたように思えます。では、サザエのような突起のある貝はどのようなになっているのでしょうか。



実は成長するときに、一瞬だけフチの一部をピュンと変えているんですね。

いつもは丸い開口部を、たまに尖らせる、それを周期的に行うということで説明できます。

それでは、一度わかったことをまとめましょう。

貝殻の材質は硬いカルシウムの結晶でできています。それは物理的な制約のため、形態は錐体を基にして、そこから貝は5つのパラメーターをいじることができます。どの貝もそのルールの中で殻を作っているの、1つの数理モデルで再現が可能、ということです。

4. 貝殻はどうしてこの形？

では、ここからは貝の形の意味を考えてみましょう。

二枚貝は砂の中に潜って生活しているので、砂が入り込まないようにピッタリ蓋をしているわけです。カサガイは、岩に張り付いて生活しているので弱点である体が見えないようになっています。巻貝と違ってひねりのない平面的な殻を持つオウムガイ。あの独特な形は海を自由に泳ぎ回る浮遊生活をするのに適しています。

では、サザエのような巻貝はなぜ、ひねりが必要なのでしょう？

それは、見比べてみると一目瞭然です。

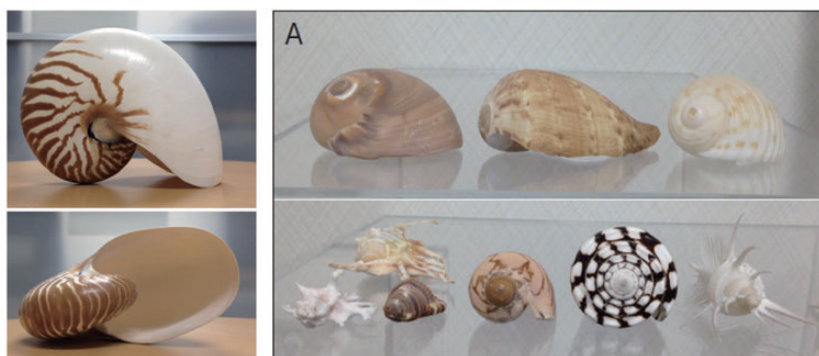
巻貝というのは海の底や岩場にくっついて生活しています。オウムガイの殻を机に置いてみると、どう工夫しても必ず殻と机の間に隙間ができてしまいます。貝殻というのは外敵から身を守るために必要なものなので、隙間があると困るわけです。オウムガイ自身は泳いで逃げられるから困りません。でも這って進む貝は足が遅いので襲われてしまったら逃げられない。

ではどうすればいいのか？

貝殻をひねればいいのか。

オウムガイと巻き貝を比べると、巻貝は開口部が見事にピッタリと地面にくっつく形になっているのがわかります。

底棲の巻貝に、何故ひねりが必要か？

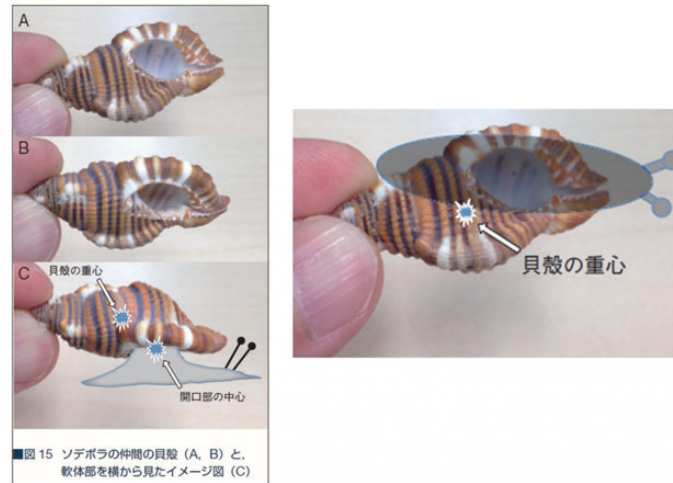


防御のため、開口部を海底に密着させるがある

でもひねると困ることもあります。

貝殻の形が左右非対称になってしまう。そうすると重心がズレるわけです。

ひねりには代償がある

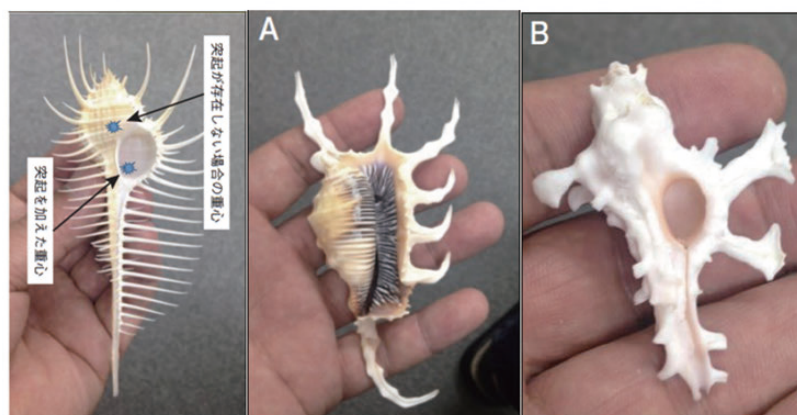


■図 15 ソデボラの仲間の貝殻 (A, B) と、軟体部を横から見たイメージ図 (C)

こういった貝の場合、移動するときは貝殻を持ち上げて歩くわけですが、貝殻の重心が前後にも左右にもズレています。これがどういうことかということ、片側だけめちゃくちゃ重いランドセルを背負うような感じです。それではバランスが悪いし背負いにくいと思いませんか？ ではどうすればいいのでしょうか。

やじろべえみたいに重さでバランスが取れたらいいのです。貝殻の重心が真ん中に来るようにするために、あのトゲがあるわけなんですね。

開口部の外側に突起を伸ばすと、 左右のバランスも緩和

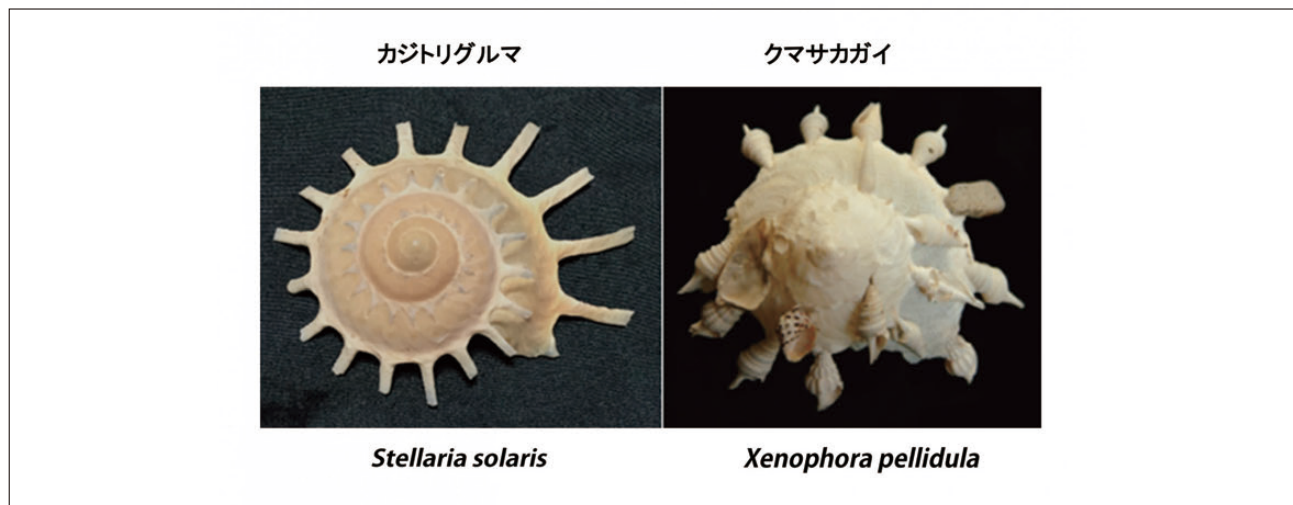


では次に、どうやってトゲを作っているのか、見てみましょう。

殻を作っているのは外套膜(がいとまく)という部分です。ホタテガイで言うとヒモの部分です。

珍味として食べますよね。ここは筋肉で、貝が自分の意思で自由にぐにやぐにや動かせるのです。だから人で言うと手で粘土をこねて陶器を作るようなものだと言えます。

面白い例をご紹介します。カジトリグルマとクマサカガイです。似たようなトゲのあるシルエットですが、クマサカガイの方はただのトゲではなく、別の小さな貝がくっついていきます。



これは人工的に作られたものではありません。クマサカガイ自身が周りに落ちている手頃な貝殻を使って、角度を調整してくっつけているんです。

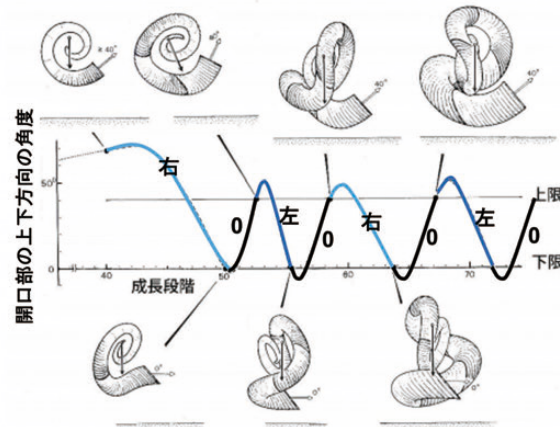
結合部分をみると、非常に見事にくっついているので、これが人の手による物ではないことがわかります。

面白いことに、カジトリグルマとクマサカガイは近縁種なんです。クマサカガイがどう考えても意図的にトゲを作り出しているので、トゲを作る方法は違えどカジトリグルマも意図的にトゲを伸ばしていると考えて良さそうです。

貝殻のトゲが意図的に作られたことはわかりましたが、ではひねりについてはどうでしょうか？

みなさんは、異常巻きアンモナイトというアンモナイトをご存知でしょうか？ アンモナイトというと、ひねりのない貝殻を持つものが一般的ですが、異常巻きアンモナイトはこんがらがったような貝殻を持ちます。あまりにも複雑な形なので、見つかった当初はただぐちゃぐちゃに巻かれているのだと思われていました。しかしその後、何個も同じ形の貝殻が見つかったので、これはちゃんと規則性があるということがわかりました。そのルールを調べてみるとひねりの規則性が見えてきました。右にひねって、左にひねって、また右にひねって……これを交互に繰り返しながら巻いていくと、正確にあの形になります。そして、そのひねりを行ったことで、海中を泳ぐ時に体の水平のバランスがうまくキープできるのです。ここから体の成長に合わせてひねりのパラメーターをいじっているということがわかりました。この研究も岡本隆先生によるものです。

開口部の角度とひねり角の関係



Okamoto, T. (1988) Developmental regulation and morphological saltation in the heteromorph ammonite *Nipponites*. *Paleobiology* 14: 272–286.

アンモナイトは絶滅してしまいましたが、現代にも面白いひねり方をする貝は存在しています。ここからわかることは、成長に合わせてそのつど貝自身が調整してトゲを伸ばしたりひねったりしているということです。遺伝子情報に組み込まれていて自動的に成長しているわけでは無いのです。

ということで、それを証明するための実験を行いました。

正常な貝に無理やりサンゴをくっつけて、強制的に殻の重心をずらしました。バランスを崩した貝の多くは死んでしまいましたが、一部生き残ったものもあります。

それらの貝殻を観察してみると、巻きが上向きになっていたり、下向きになっていたり、変な角度になっていました。まだデータが少しか無いので、結果は出せませんが、やはり意図して貝殻を形成していそうですね。

実験

貝は意図的に巻きを変えられるか？



結果

少し巻きが上向きに



巻きが下向きに



残念ながら、95%以上が成長せずに死亡(+_+)

結果はまだ出ていない.....

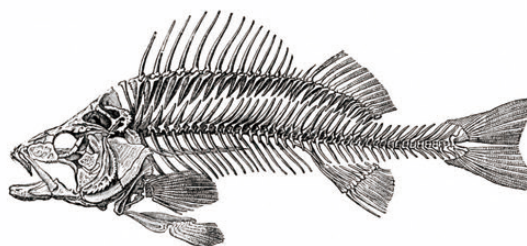
結論。貝殻の形は、明確な意思を持って外套膜が作る、手作業の工作物。貝殻の形を決めるのは、個体のバランス。というお話でした。

5. 熱帯魚の模様

もう一つ、細胞は模様をどう作るのかというお話です。

熱帯魚は派手な模様を持つイメージがありますよね。近縁種の魚でそれぞれ違った派手な模様を持っていても、体の構造を見てみると骨の形や内臓などの体の仕組みにはあまり差がなく、大体同じようなものです。

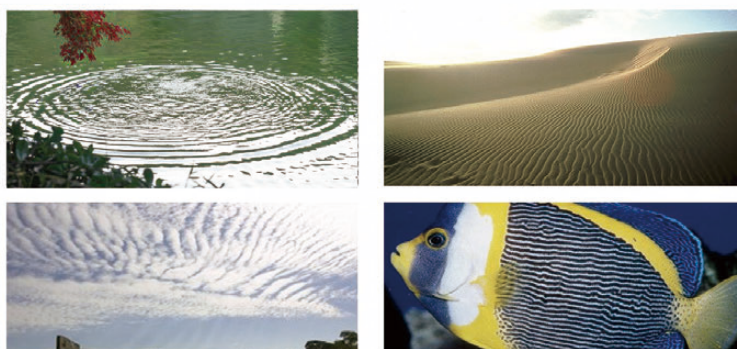
皮膚模様は種ごとに異なる
しかし、内部構造はほぼ同じ



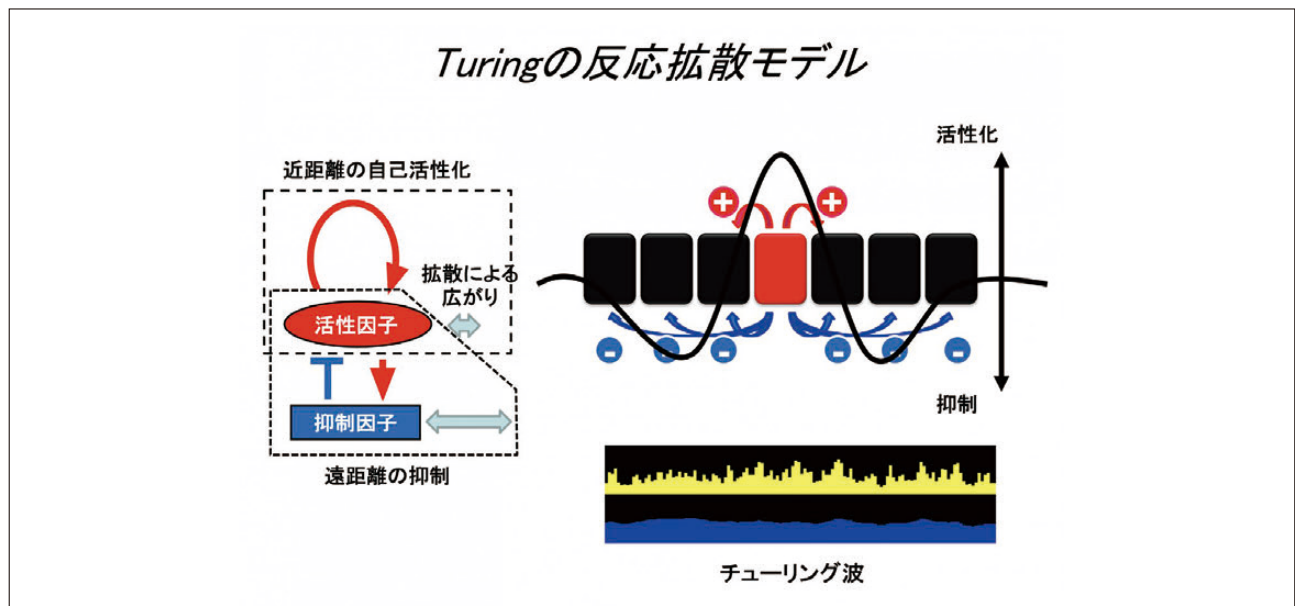
だから模様というのは皮膚の上で勝手に現れるものだと推測できます。さらに、模様に注目してみると様々な模様がありますが、これは点や線などの等間隔の並びであることに気が付きませんか？

等間隔のパターンが自然にできる現象。生きものから離れて考えてみると、身近にたくさんあります。それは「波」です。

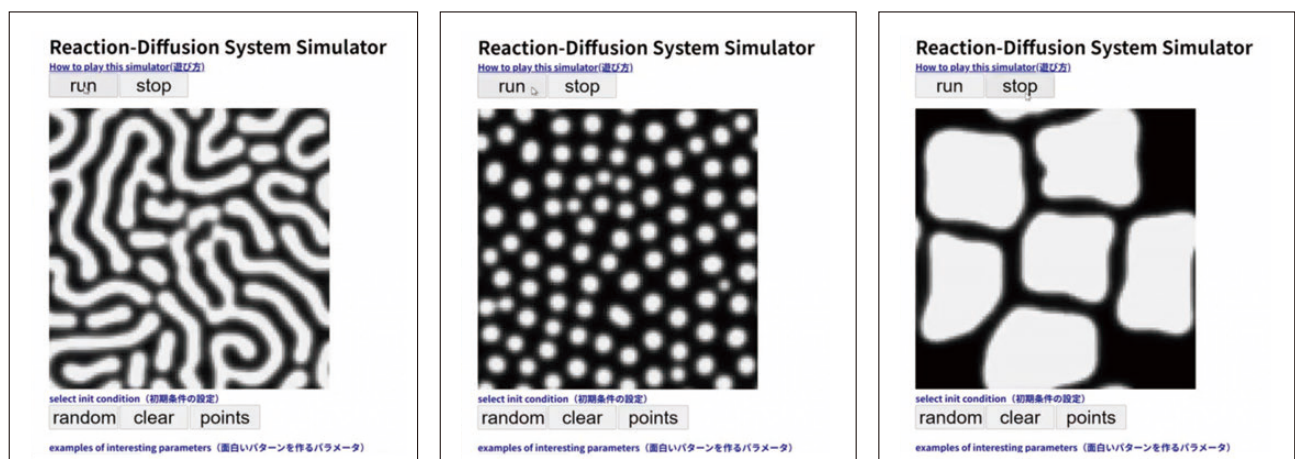
等間隔パターンを作る自然現象



こうして並べてみると、そっくりですよ。だから模様も体の中で波のような現象が起きているのかもしれない、という仮説です。この仮説はアラン・チューリングという天才数学者が約70年前に書いた難しい論文によるものです。二種類の化学分子が互いに干渉しながら作ったり壊したりする時、ある条件下で波ができると、チューリングは考えました。この反応による波のことを、「チューリング波」と言います。



チューリングが考えた数理モデル「反応拡散モデル」からシミュレーションを作ってみました。試しに動かしてみると面白いことに、何も無いところから動物の模様ができます。模様を壊しても自然と治るし、いろいろなパターンを作ることができます。



講演の記録動画では、近藤先生が様々な模様を再現する実演をご覧いただけます。

このシミュレーターも誰でも自由に使うことができるので、ぜひ遊んでみてください。



と、いうわけで、このチューリングの理論を使うと、我々が知っているすべての動物の模様が再現できます。先ほどお見せした貝殻のように、一つの原理ですべての説明ができる。とても興味深いですよ。

しかし、チューリングが発表した当時は生物学者のほとんどがこの理論を信じませんでした。なぜなら、「体の中に波ができる」という聞いたことのないアイデアで、シミュレーションのみ。誰も実験で証明していない、つまり証拠が無いので疑われてしまったのです。

僕としてはあまりに美しく楽しかったので、証明したくなりました。

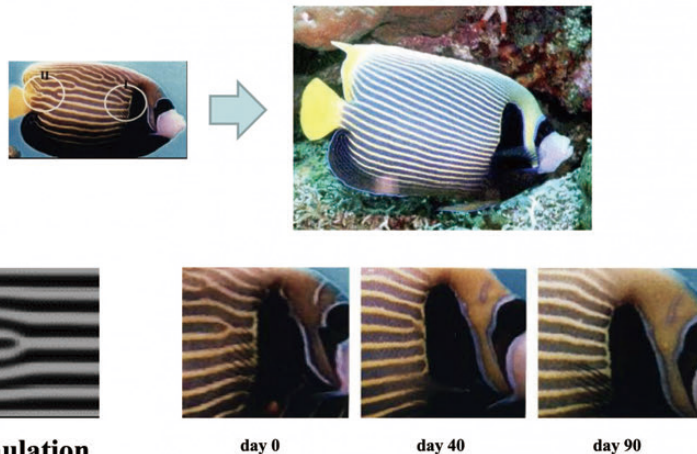
じゃあどうしたら証明になるのだろう？ どうしたら信じてもらえるのだろう？ と考えました。波というのは動きですよ。水があれば波になるわけではなく、水の表面が動くから波になる。だから「動き」を見つけたらいいのではないかと思います。

タテジマキンチャクダイという魚の模様を見ているうちに、模様の変化に気がつきました。小さい時には縞模様に枝分かれがあるけれど、大人になると無くなります。それに気がついた時に「あ、やっぱり模様は動いているな」と思いました。

縞模様の間隔を変えずに縞の数を増やしている。波とは等間隔を刻むことなので、やはり関係がありそうです。

シミュレーションしてみると、まるでジッパーが開くような動きで枝分かれの分岐点がスライドし、一本の線が二本に分かれました。タテジマキンチャクダイを育てて観察すると、まさにシミュレーションの通り、枝分かれが動いていきました！僕の生涯で最も美しい実験結果だと思います。この実験によって、無事チューリングの理論を実証することができました。

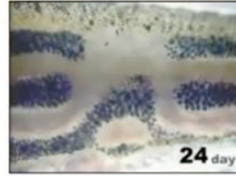
模様パターンのダイナミックな変化



Nature 1995; Kondo

このシミュレーターは模様の予測もできます。縞模様の一部の縞を繋がらないように操作すると、下の縞が上に引っ張られると予測されました。実際にゼブラフィッシュという魚で実験してみると、予想されていた通りの模様になりました。

模様パターンのダイナミックな変化



experiment



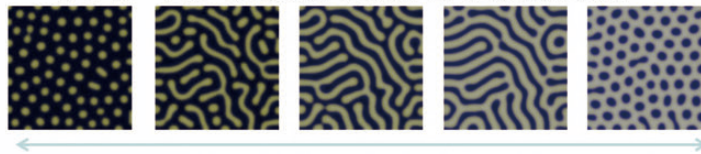
simulation

PNAS 2007, Yamaguchi and Kondo

また、シミュレーションによって、暗い斑点と明るい斑点は中間に迷路模様を挟んでこのようにグラデーションしていることがわかりました。それが本当なのか、同じ魚で模様が暗い斑点のものと明るい斑点のものを掛け合わせると、予測通りに迷路模様の子供が産まれました。

模様の予測

シミュレーションで変数を徐々に変えていくと、模様が変わる

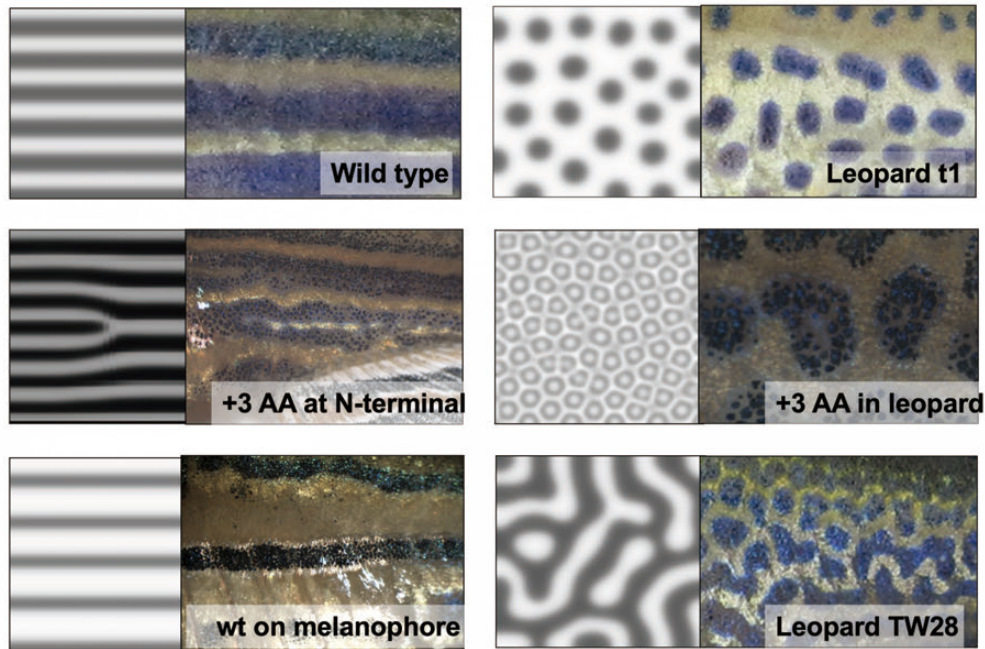


Nature communication 2010; Miyazawa and Kondo

このように、ありとあらゆる模様の予測ができましたが、その後は15年ほどかけて様々な実験を泥臭く行いました。僕のところのラボメンバーに力を尽くしてもらって、最終的に模様を作る分子的原理の発見に至りました。そのおかげでゼブラフィッシュの黄色と黒色の色素細胞がチューリングの言っていた分子の波を生む関係と一致していることが解明できました。

チューリングの理論によって説明できる模様なら、自由に動物の模様を変化させることも理論上可能なので、やってみました。左上 (wild type) が本来のゼブラフィッシュの模様です。それをこのように斑点模様やヒョウ柄など様々な模様に変化させることができました。

全ての模様が、一つの遺伝子の操作で作れる



Pigment cell melanoma Res.. 2012 Watanabe et al.

現在は非常に多くの学者がチューリングの理論を認めています。

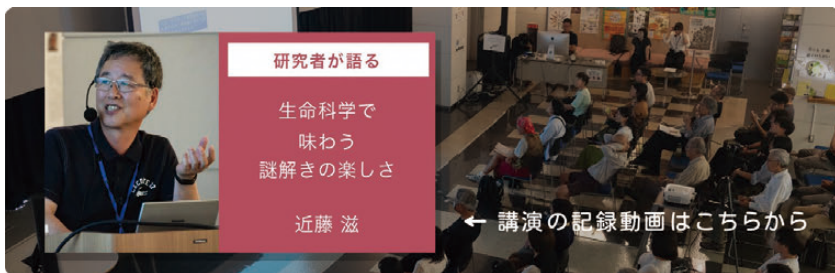
例えば、マウスの指を使った実験。従来、指は一本いっぽん個別に作られていると考えられていました。しかし、手ができる範囲を大きくするとなぜか指の数が増えることがわかりました。これは従来の考え方では説明できなかったのですが、「波ができる範囲が広がったから指の数が増えた」とすれば説明がつきます。つまり指の形成は波によって引き起こされていたのです。そのほかにも鳥の羽根ができる間隔が等間隔であることも波の理論だし、指の関節の間隔も波だし、脊椎が等間隔なのも波。指紋だって波。今の発生学者のほとんどは体の中に見つかる等間隔の構造は全部波によるものだと考えています。

結論。模様は波が作ると考えると、すべての種類の模様を同じ原理で説明することができる。観察してみると、魚の模様はシミュレーションの通りに変形し、模様の予測もできる。実験してみると、ゼブラフィッシュの模様を自在に変えることができました。

パズルを解いたような快感がありましたが、実験がこんなにうまくいくことはそうそう無いです。たまたまうまく行ったのだと思います。

これまでに研究を一緒に行なってくださった皆様には心より感謝しております。

ご清聴ありがとうございました。



公演の記録動画はこちらから



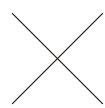
近藤 滋 (こんどう・しげる)

1959年東京都生まれ。1982年東京大学理学部を卒業。1988年京都大学大学院 医学研究科博士課程修了。2001年理化学研究所発生・再生科学総合研究センター チームリーダー。2003年名古屋大学大学院理学研究科生命理学専攻教授。2008年大阪大学大学院 生命機能研究科教授を経て、2024年に国立遺伝学研究所所長就任。主書に『波紋と螺旋とフィボナッチ』(学研メディカル秀潤社)

対談

近藤 滋

国立遺伝学研究所所長



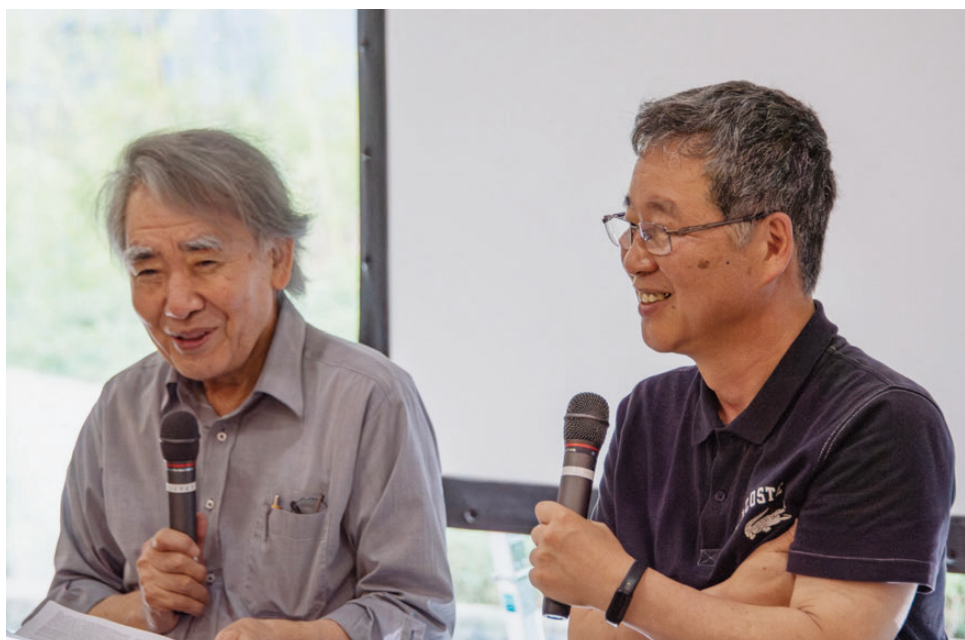
永田和宏

JT生命誌研究館館長



CHAPTER

1. 物理の世界から生き物を見る
 2. 天才物理学者 アラン・チューリング
 3. 「サイエンティストの使命の一つ
 4. 面白い「問い」に出会うには
 5. 秘密の研究
 6. 生命科学に数学は必要か
- ・ 質問タイム



1. 物理の世界から生き物を見る

永田

僕は今、生命科学の研究をやっていますが、実は近藤さんと同じでもともと物理を研究していました。だから一見複雑な現象を単純な原理で説明できると、パズルを解いた時のような快感を覚えます。今日の近藤さんの講演内容はまさにそういう内容でした。生き物の体にある複雑な構造を見ていると、なぜこんな物が作れるのかと不思議に思います。でも実は原理自体は非常にシンプル。それがわかると改めて美しいと感じます。

まず今日話された魚の模様の原理はアラン・チューリングの簡単な偏微分方程式から来ていますね。近藤さんが出された論文がこれです。1995年の『Nature』に載った

ものですが、すごく単純な論文で、たったの4ページ。どのくらいの文字数で書かれたか、わかりますか？

近藤 1000ワードちょっとぐらいじゃないですかね。

永田 よく知ってるなあ。僕、あんまり単純な論文だからつい、よせばいいのに文字数を数えました。(笑) 1053ワード。多分ワトソン、クリックの書いた有名なDNAの論文よりも文字数が少ないですね。

近藤 絵が多いですから、文字はいらないです。だって、魚の模様がジッパーが開くように変化していくという写真があれば誰にでも言いたいことが伝わるので、文字で説明しなくていい。

永田 われわれ研究者っていうのは生涯1度か2度は『Nature』、『Science』という雑誌に論文を載せてみたいと思うもので、文字数が少なければ少ないほどインパクトが高くてより良いという感覚があるんです。これはまさにそういう論文になっていると思っています。

2. 天才物理学者 アラン・チューリング

永田 それで、この研究にはアラン・チューリングの研究が関わっていますね。チューリングって非常に不思議な人ですよ。

近藤 アラン・チューリングはコンピューターの生みの親として有名な人です。コンピューターという概念を生み出したのがチューリング。とにかく天才でした。中学生の時に自分のお母さんに、「アインシュタインの論文を読んだんだけどこの論文のこの辺りの説明がよろしくなくて、俺だったら修正してこういうふうを書く」という手紙を書いています。お母さんも困ったでしょうね。

永田 実は私も大学の4回生の時にチューリングマシンを作ろうとしたんです。うちのラボは物理の理論の部屋だったので、卒業研究として。

近藤 作ろうとしたんですか。

永田 万能チューリングマシンっていうモデルのプログラムを研究室の福留秀雄が書いて。それを本当に実現できていたら世界最初の電子計算機になっていたけれど、われわれの知識では実現できませんでした。結局ステレオデッキ1台買ってもらって、分解しただけで終わりましたね。だから僕にとってもチューリングは、思い出のある人物です。

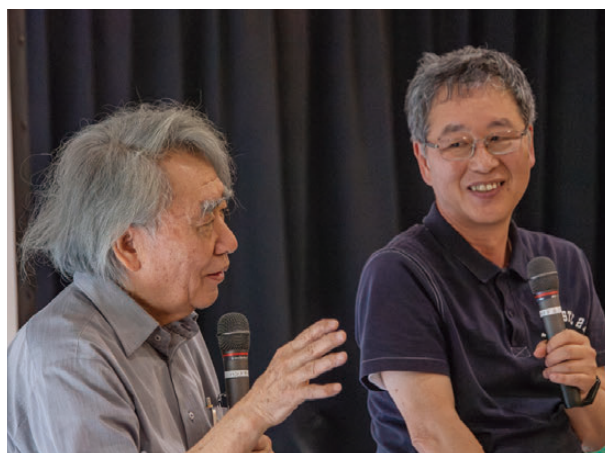
3. サイエнтиストの使命の一つ

永田 近藤さんには惚れた学者が2人いますよね。チューリングはその1人。もう1人は講演で話に出た岡本隆先生。実は、あまり知られてない方なんです。愛媛大学の准教授を務められているんですよね。

近藤 そうです。

永田 一般には知られてないけど、研究に惚れたからこの方をなんとか残したいっていう気持ちが近藤さんの活動から伝わってきますね。

近藤 講演でお見せした貝のシミュレーターの基となった岡本先生の論文は1988年に発表されましたが、僕がそれを知ったのは2010年ごろでした。彼の作ったモデルだけで、あらゆる貝の構造を説明できる。最初は理解できていませんでしたが、自分でプログラムを書いて初めてその凄さに気がつきました。



永田 研究には時の運があると感じさせられますね。個人がコンピューターを自由に使えるようになって初めて岡本さんの研究が日の目を浴びたわけで。

近藤 チューリングの方程式で全ての生き物の模様を表せるのと同じような感動がありましたね。こりゃすごいと。こんなに凄いのに当時はまだ誰もその凄さに気がついていませんでした。そこもチューリングの時と似ていますよね。それじゃあ僕はどうしたらいいのか。つまり岡本先生の作ったモデルがどれだけ素晴らしいのかってことをなんとか世間に知らしめたかった。

本当にすごい人が正当に評価されれば良いのですが、意外と見過ごされてしまい、そうでもない人が偉くなったりしますから。

永田 こんなこと言って大丈夫かな。(笑)

近藤 本当に素晴らしい発見した人は有名になってほしい。だから僕はいろんな場所で貝の話をしています。

永田 〱 われわれサイエンティストは問題を解くことも非常に大事だけれど、自分がやっている研究にはどういう歴史があるのかを意識する必要があると思います。若い研究者にはそういった意識があまりないのではないのでしょうか。

以前ある講演で私の専門分野のタンパク質研究について話す機会がありました。そこでタンパク質研究の経緯や歴史を全部しゃべりました。これだけの歴史がある上に、今、皆さんがやっている研究あるということを知ってもらいたかった。若い研究者を中心に好評でしたよ。

近藤さんが気にしているように、学者や研究が埋もれないようにすること、過去の研究があったから今このことがわかっているんだ、ということを言い続けていくのもサイエンティストの1つの大きな使命だと思います。

近藤 〱 歳を取ってくると、そういうこともしなきゃいけないなって思います。あんまり若いうちからそういったことに打ち込む必要もないと思いますけどね。

4. 面白い「問い」に出会うには

永田 〱 岡本さんの話があったから貝に興味を持ったのですか。

近藤 〱 そうですね。

永田 〱 では、チューリングについては？

近藤 〱 魚の模様に興味を持ったのは、水族館でナポレオンフィッシュの模様を見て、不思議だと思ったのがきっかけでした。どうやったら、こんなへんてこな模様が描けるのかずっと考えていたんですよ。でもひと月ぐらい思いつかなくて。諦めそうなタイミングで、チューリングが既に答えを出していることを知りました。負けたって思いましたね。でも、生物学者の誰も信じていなかった。じゃあ信じられるようにしようと思ったのが僕の研究の始まりです。

永田 〱 講演で一番初めに、謎があるから楽しい、面白いって言っていましたね。だけど、一般には謎を見つけることって難しいんですよ。

近藤 〱 自分の中で漠然とした疑問を抱いていないと、目の前に面白い謎があっ



も気がつけないんですよね。水族館で同じ魚を見る人は何百万人といる。でもそこで、この模様はどうやってできるんだろう? と、不思議に感じられないと多分駄目で。



永田

本当にそのとおりで。近藤さんは「謎」と言いますが、私は「問い」ということをよく言います。この生命

誌研究館で大事なことは、一つでも問いを持って帰ってもらうことです。来館者が、展示を見て、「わかった」と満足するだけでなく、そこで自分だけの「問い」や「謎」、「なぜ」に出会えるきっかけになるような場でなくてはなりません。でも、なかなか謎に興味を持ったり問いを見つけたりするのは難しい。

近藤

道筋を作り過ぎると、それから外れて考えられない。するとその人の科学がなくなるんですよね。その辺りは多分、見る人が疑問を持って面白さに気づく経験をしないとイケないと思うんです。

永田

これは学校教育にも同じことが言えると思っています。近藤さんはどうお考えでしょうか。

近藤

興味がなければそもそも始まらない。例えば、なんでシカは速く走れるのだろう? という疑問を持てたら理由を探することができますが、足が速いのは当たり前のことと見ていたらもうそこから発展しませんよね。当たり前ですが、その「なぜか?」という疑問を持つことによって初めて見えてくるはずですよ。

永田

なるほど。では疑問を持つにはどうすれば良いのでしょうか。

近藤

その辺りは多分、経験をしないとイケないと思います。やったことない人には想像もつかないと思いますが、考えたら答えが見付かるぞという経験を沢山すると考えるのが楽しくなるんですよ。

答えが見つからなくてモヤモヤする時間というのはきっと苦痛ですが、ゴールがあると思えば諦めずに考え続けられる。そのゴールまでたどり着いた経験がどのくらいあるかで、どこまで息を止められるのかが決まるのかなと思っていますね。

永田

どうすれば若い人に「問い」を持つことに興味を持ってもらえるのか、これは大事なことです。初等、中等教育でもそうですが、若い研究者に対しても言えます。近藤研究室に入ってくる若い人たち、大学院生も含めて、学生に対してどういう態度でその研究をサ

ポートしているのでしょうか。

近藤

僕自身が何も言われたくない人なので、学生の研究にはあまり自分から口を出しません。なので初めの頃は見守っているだけでしたが、それだと何もできずに終わってしまうか、よその道に逸れてしまう人が続出してしまいました。

それで考え直して、ちゃんと分子生物学の基礎を身に付けられるような研究を最初にやってもらうことにしました。

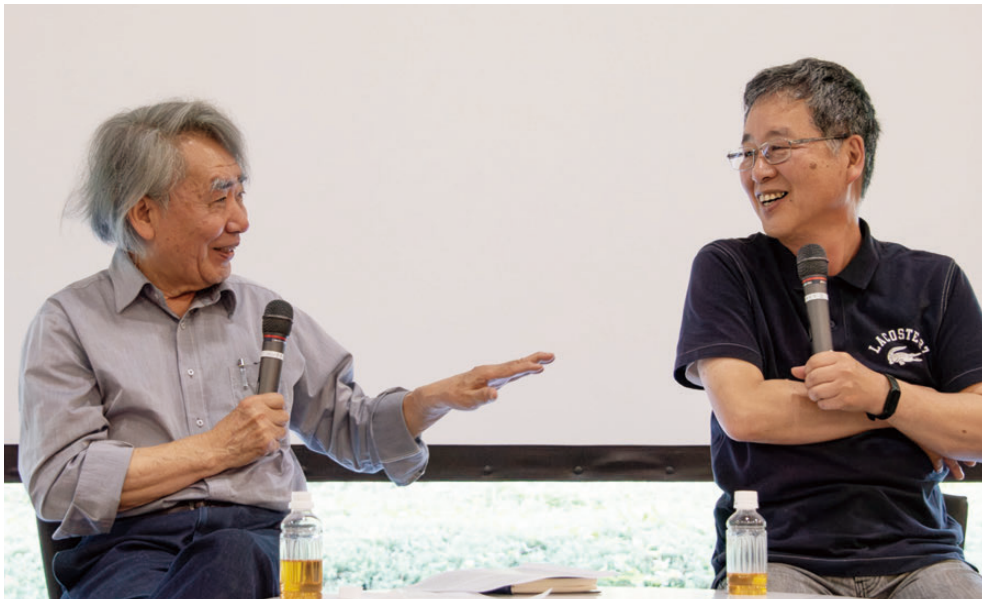
その頃には黒田純平くん（現形態発生研究室 室長）をはじめとして、ちゃんと自分の考えで遺伝子を使って研究をしているスタッフがいたので、学生には彼らから基礎を学んでもらうようにしました。

永田

スタンダードな研究をするためのノウハウや考え方が身に付かないと、ユニークな研究なんて急には出来ないのでからね。

近藤

そうです。もっと変わった研究をしたいという人がいれば、僕と組んでやってもらいます。その時には、「ほんとうにそれでいいのか？」って問いただして。それでもやりたいという人にだけやってもらいました。



5. 秘密の研究

永田

近藤さんは、ノーベル賞を取られた本庶佑さんの元で研究していましたね。本庶さんというと、偉いのはもちろんですが、われわれの間では非常に怖い先生として有名です。近藤さんはこの本庶さんのラボにしながら全くの内緒で研究をして、まさにその論文が『Nature』に載ったんです。尊敬しますが、度胸がありますね。結局、バレて追い出されてしまいましたね。（笑）

近藤 普通はしないですよ、そんなこと。

永田 普通はしないよな、あそこにいたら。(笑)

私は学生たちに「1つでいいから俺に内緒でなんかやれ」と言っています。わざわざボスには言わなくてもいい。でもなんか1つは自分でやりたい研究を見つけてやっておくと。

近藤 それはこういった意図で？

永田 研究というのは上手いかなかつたりつまづくことがありますよね。その時1つの研究しかしていない状態だと、逃げ道がなくて何カ月か暗黒世界に閉じこもっちゃう。実際、私に知らせないで隠れて研究をしていたおかげで、うまく軌道修正できて成功した奴もいます。彼は新しい遺伝子の一つ見つけて、その機能を明らかにしました。

近藤さんのところにも「ボスに隠れて好きな研究をする」というような学生がいましたか。

近藤 僕は変なことをやったら喜ぶので、学生は隠す必要が全くないです。でも論文が仕上がってから持ってきた学生も1人だけいました。カブトムシの幼虫が穴を掘る時に大車輪回転をしながら掘るっていう内容。そんな面白い研究を隠れてしていたなんて知らなかったです。論文が書けましたので読んでくださいって、研究が全部終わってから持ってきたんですよ。面白いし、びっくりしました。論文はNatureとは行きませんでした、Scientific Reportsという雑誌に載りましたよ。

永田 それはすごいですね。

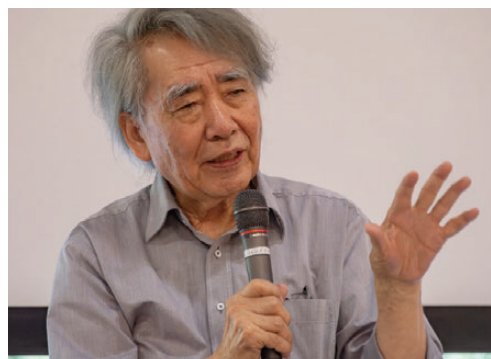
近藤 本庶先生から僕、僕からその学生。「教授の知らない研究をやった」ことが2代続いたことについて、NHKで特集されました。番組内では本庶先生がそのことについてどう思っているのかのインタビューもありましたよ。実は、その放映を本庶先生と一緒に見ました。

永田 それはいいな。その場面をカメラで撮るべきだな。

近藤 恐ろしかったですけどね。

6. 生命科学に数学は必要か

永田 「数学ができないと理系に行けない」という思い込みをしている方は非常に多いと思います。例えば子どもが理系に進みたいと



言った時に、親が「でもあんた数学苦手じゃない」と言ったりする。でも実際には、生命科学の研究で数学を使う場面ってほとんどないんですよ。近藤さんは、数学が分かってないとチューリング・パターンを理解できないので例外です。

近藤

僕は微分方程式の意味が分かってそれを計算できるぐらいなものですよ。

永田

この例外である近藤さんから、生命科学と数学の関係について聞かせてください。

近藤

実際、生命科学で使う数学なんてほぼありません。でも数学を学ぶ、問題を解くというのはやるといいです。

数学っていうのはパズルだと思っています。問題、つまり謎ですよ。解けたらうれしい。数学の問題を解いているうちに、日常で分からないことがあった時に自分で考えてみたら解けるかもしれないと思うようになる。頭を使うことがあんまり苦痛でなくなる。その訓練のためにやるのだと僕は思ってます。

永田

プロセスをいかに楽しめるかということは大事ですね。高校までの数学は大学入試を見据えて学ぶので、楽しむよりもいかに正解にたどり着くかにかたよってしまう。

近藤

入試のための数学は、ある程度解き方を覚えちゃえばいいんですよ。プロセスは意識されない。

永田

解き方を理解しただけでわかった気になる人がいますが、解き方を知ることと自力で解いて理解することは全くの別物だと知ってもらいたいです。

近藤

自分でちゃんと解いた時しか楽しくないですよ。

永田

ただ、私自身このプロセスが楽しいと言えるようになるまでには随分時間がかかりました。近藤さんは、問題を解くことの楽しさが実感できる話を中学生にする場合はどんな話をしますか。

近藤

一番適しているのは貝の話です。

僕が中学、高校生相手に講演するときはまず、紙粘土を渡します。次に、この粘土を使ってなるべく楽に巻貝の形を作るにはどうやったらいいか問いかけます。大抵の人は円錐を作って巻こうとしますが、上手くできません。巻く時にひねりながら巻かないといけないんです。それが実際に作ってみるとよくわかります。そこから貝のシミュレーションにひねりのパラメーターが必要なことを理解してもらう。自分の手で、その発見をしてもらいたい。

永田

すごくいい方法ですね。だけど、それを実感してもらえるまでこちらが待てるかという問題もあります。

近藤

そこは教え方ですかね。本当は自分でプログラムを一から組めるのが理想ですが、それもなかなかできないので、難しいですね。

永田

今日一番印象的だったのは、「この研究をすることで社会にどう貢献する」という話をしないことでした。文科省の科学研究費の配り方は「この研究によって社会にどんなメリットをもたらすのか」を大事にしているので、真逆です。

最後にメッセージとして、役に立つ研究とはどういうことだと考えておられるのか、近藤さん自身のお考えを聞かせてください。

近藤

なかなか国立遺伝学研究所の所長としては言いづらい話題ですね。(笑)



永田

でも言わないといけないことはありますから。

近藤

その研究は何に役に立つのかと言われたら僕は、「人類の英知を広げるのに役立つ」と答えます。

天文学者の方に、宇宙を理解する研究の場合、科研費の申請をする時にどう書くんですか?と聞いたことがあります。その方は「宇宙を理解することは人類の夢であると書く」と。その言葉にすごく共感しましたね。この研究してなんか文句あるのかっていうことです。

永田

物理的な豊かさに貢献するような研究もちろん大切ですが、精神生活を豊かにする研究も大事だと思います。ものごとの理(ことわり)や、純粹に「なぜ?」を問い続ける研究がいかに有意義かを多くの人に実感してほしいです。

質問タイム

会場の参加者との語り合い

Q1 アラン・チューリングが1952年に提唱し、近藤先生が実証した1995年まで、約40年ものブランクがあったことに驚きです。その間に他の研究者が誰も実証できなかったのはなぜでしょうか？



近藤

いろいろな要因が考えられますが、最も大きいのはパソコンがなかったことでしょう。最初の20年間はパソコンがありませんでした。パソコンが使えるようになって1970年代に再発見され学会で発表されましたが、当時は実証が伴っていなかったため「そんなわけあるか」と、あまり受け入れられませんでした。信じていたのは数学者と物理学者ぐらいで、生物学者は実証のない研究について理解しなかったし、見向きもしなかった。そういう不幸な時代があったためにそれだけの期間が空いたのだと思います。

Q2 お二人は科学研究とは関係のない分野にも広く興味を持たれているからこそ発見があるのかなと思いました。若い人に向けて、専門分野の他に興味を持ったり学びを得ることで、プラスに働くというお話があれば聞きたいです。



近藤

僕はそんなに多趣味じゃないと思っています。趣味といったら釣りぐらいで、魚の研究と似たような物だし。美術についても、エッシャー以外は詳しくない。強いて言えば、推理小説とかミステリーを読むのが好きで、パズルとか謎が好きなんだと思います。だから本庶先生のところで免疫の研究をしていた時に趣味で魚の模様の謎を追ったのかもしれないですね。

永田

私は研究を始めるより前に短歌を始めました。日本には「この道一筋」の美学があると思うのですが、1つのことに没頭していないことを長いこと後ろめたく思っていました。どちらにも手を抜かずにやってよかったと思えるようになったのは50代半ばを過ぎてからです。

両方やりたいと思ったわけではなく、たまたま2つのことに興味を持ち、どちらも捨てられなかっただけです。私の場合は偶然どちらも上手くいったということだと思っています。私の研究室でも「僕も先生みたいに2つのことをやりたいです」という学生がいましたが、全く勧めませんでした。

Q3 生き物の模様の話が非常に面白かったです。
近藤先生が動物、例えばヒョウやトラを見た時、先生が開発したシミュレーターになぞらえて「この模様はこうなっている」とわかるのでしょうか？



近藤

一番研究に没頭していたときはどんな模様を見ても「これはあのパラメーターが0.342ぐらいだな」とかがわかりました。生き物に限らず、何か模様を見たときにパッと考えてしまう時期があって、そこまで行くともう狂氣的なので自分でもやばいと思いました。(笑)