

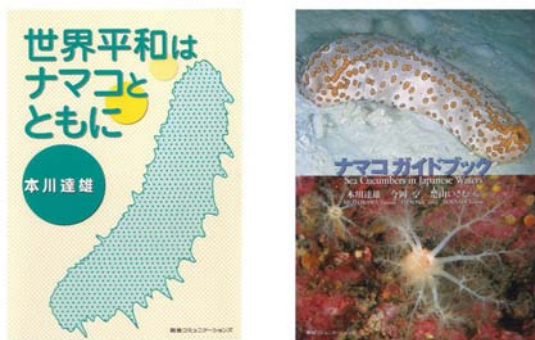
第14回 環境サイエンスカフェ

テーマ ナマコ天国 —ナマコに学ぶ究極の省エネ生活—
講師 本川 達雄さん (東京工業大学大学院 生命理工学研究科 教授)
日時 2013年4月3日(水) 18:30~20:00
会場 サロン・ド・富山房 Folio
参加者 47名



本川さん：なんと満席じゃないですか！日立環境カフェはいつも人気があるとうかがっていたのですが、よもやナマコの話で満席になるうとは、想定外です。ありがとうございます。

ナマコ天国—ナマコに学ぶ究極の省エネ生活



ここに『世界平和はナマコとともに』という何だかわけの分からないタイトルの本と、『ナマコガイドブック』という本があります(図1)。これらに書いたことをもとに、本日はお話しします。この『ナマコガイドブック』を出しませんかという話があった時に、「そんな本。出しても売れるわけ、ないでしょ。誰が買うんですか」と申しました。本の1ページ目にもそう書いておきました。それはそうですよ。「ナマコの何が面白いのですか」と、こちらから逆に聞きたいぐらいです。ナマコなん

て、可愛くもない、見ていても何にもしない。これほど魅力のなさそうな生物もめずらしい。ところが、「???'ということから私はナマコの研究をはじめたわけです。

「ナマコのことを話してください」と日立環境財団から言われたときに、そんなことを頼む人は大変にめずらしいですから、大喜びしました。でも「お客さんは来ないよ」と釘を刺しておいたのですが、案に相違して、これほどたくさんのご来場。ありがとうございます。

一般の方がナマコと接点があるとすれば食べることでしょ。私は食えないナマコの研究をしておりますので、食う話はいたしません。学問としてナマコ学をお話しさせていただきます。

◎ナマコは海に住んでいる

ナマコは海にだけ住んでいます。熱帯の海にたくさんいます。沖縄にもたくさんいる。それから寒いところにもいますし、深い海にもたくさんいます。世界に約1,500種、日本には約200種のナマコがいます。

◎ナマコは動かない

ナマコは見るからに変な動物です(図2)。あまり動かないし、目や頭がどこかわからない。だから動物としては大変おかしい。動かない動物なのだ

から、自己矛盾的でなんとなく存在として滑稽。俳句はそういうものが好きですから、ナマコを詠んだ俳句はたくさんあります。

ナマコはへんな動物

・あまり動かない

ころりと渚に海鼠浜晴天 (高澤良一)
瓦とも石ともさては海鼠かな (来山)

・目がどこかわからない

そこごと見れど目のなき海鼠かな (太祇)

・どっちが頭か尻かわからない

→「どちくち」

尾頭(かしら)のころもとなき海鼠哉 (去来)

じつは目、耳、鼻のような感覚器官がない

脳がない →頭がはっきりしない

目が大きく、おでこが出ている=可愛い(ディズニー)→可愛くない
動かない→可愛い動作なし)

2

「ころりと渚に海鼠浜晴天」(高澤良一)。ころんと石みたいに存在しているわけです。

「瓦とも石ともさては海鼠かな」(来山)。何だか石みたいなのです。そして目がどこかわからないから、

「そこごと見れど目のなき海鼠かな」(炭太祇)。目がないのですから、どちらが頭かお尻かわからない。どちらが口だというので、「どちくち」とナマコをよぶ地方もあります。結局

「尾頭のころもとなき海鼠かな」(去来)です。

なんと言ってもナマコはかわいくない。ナマコには、目とか耳とか鼻のような感覚器官はなく、実は脳みそもない。ですから頭がはっきりしない。目が大きくておでこが出ているディズニーや手塚漫画のような顔だと、かわいいわけでした、ナマコは全然かわいくない。動かないから、芸もしないので、ますます愛嬌がなくかわいくない。そんな変な動物がナマコなのです。

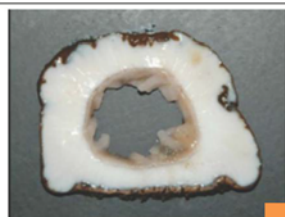
ナマコの体の不思議

・ないないづくし

- ・目がない
- ・耳がない
- ・鼻・舌がない
- ・脳がない
- ・心臓がない
- ・筋肉があまりない

・どこか違う

- ・尻で呼吸する(呼吸樹)
- ・足が3000本
- ・ナマコは皮ばかりの生物



| | ナマコ | 哺乳類 |
|----|-----|-----|
| 皮 | 60% | 14 |
| 筋肉 | 7 | 45 |

3

◎ナマコは無い無い尽く

ナマコの体は非常に不思議で、無い無い尽くしです(図3)。目がないですし、耳がありません。鼻や舌が無く、脳がありません。心臓がありません。呼吸器官の肺やエラに対応するもの(呼吸樹)はもっていますが、肺や魚は口で呼吸するのに対して、ナマコはお尻で呼吸するのです。

ナマコには筋肉が少ししかありません。逆に皮ばかりです。図3の写真はナマコの輪切りですが、輪切りにするとちくわみたいです。真ん中のちくわの穴に水が詰まっています、そこに腸や生殖巣が浮いています。ちくわの穴の縁に茶色くビラビラに見えているところが筋肉で、これしか筋肉はないのです。周りの白い部分は全部皮です。ナマコは皮が体重の60%です(我々哺乳類は14%)。我々と体の半分近くが筋肉ですが、ナマコには7%しかありません。ナマコはまさに皮ばかりで、筋肉はほとんど無い。我々と随分違うものだということが分かると思います。

ナマコは無い無い尽くしと言いましたが、たくさんあるものもあります。足は3,000本。骨は、私たちの場合では200個ほどありますが、ナマコには2千万個。ただしどれも顕微鏡で見なければ見えないほど小さい骨で、骨片とよばれています。

◎ナマコの生活様式

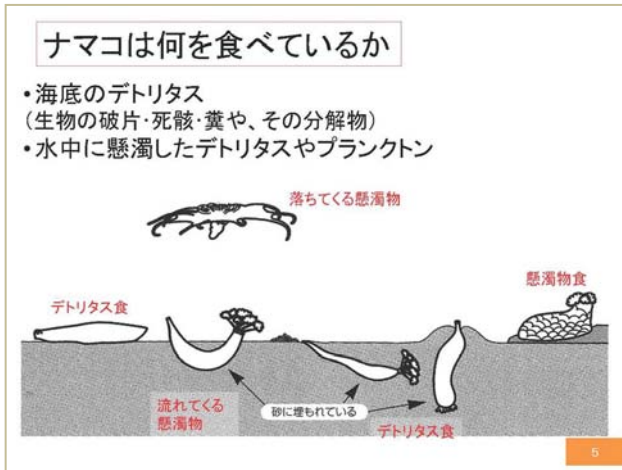
ナマコの多くは砂の上にごろんといるか、砂に埋もれています(図4)。埋もれ方もU字型に埋もれているやつも、尻だけ出しているやつもいます。岩の上にガチガチにくっついて動かないやつもいます。ただ一種だけぷかぷか浮いているクラゲナマコというのがいますが、あとは海底の砂の上や中や、岩の上においてほとんど動きません。

キヤッチ結合組織 =硬さの変わる結合組織

- ★キヤッチ=かけがね
- ★カチカチからドロドロまで
- ★棘皮動物だけ
- ★細胞外成分の硬さがかかる
コラーゲン繊維・プロテオグリカン・水
(筋収縮は無関係)
- ★神経支配
- ★エネルギーをあまり使わずに硬さや姿勢を保つ

7

◎ナマコの食べもの



ナマコは何を食べているかという、海底のデトリタス（生物の破片とか死骸とかふんとかそういうのが分解したもの）です（図5）。砂の中に、そういう生物の死骸や卵があるわけです。それを砂ごと掬い取って食べます。砂に埋もれているナマコも、砂を食べています。別のものは岩の上に陣取っていて触手を流れの中に伸ばし、流れのってくる有機物の粒子やプランクトンなどをつかまえて食べます。



これは私の研究しているシカクナマコです（図6）。サンゴ礁に結構たくさんいます。辺の砂を食いながら少しずつ動いています。そして時々尻からふんをします。矢印で示した、ちょうど腸の形をした砂の固まりがふんです。

◎ナマコは食われない

ナマコは他の動物には、あまり食われません。あまりナマコは動かず、それでいて、ころんと目に付くところにいます。捕まえても暴れもしない、

逃げもしません。（もちろんサンゴみたいに石の殻の中に入っているものは、目に付くところにいて逃げなくてもいいのですが）ナマコは石の鎧を着ているわけではありません。だからそんなことをしていたら食われてしまいそうなものですが、他の動物に食われないのです。沖縄にはナマコがたくさんいます。グアムあたりに行くと海岸はナマコだらけでして、ナマコを踏まなければ岸から海に入れないほどです。そんなにいるということは食われていない証拠でしょう。

何故食われないのでしょうか。その一つは毒です。ホロスリンという毒があります。これはサポニン的一种です。サポニンはステロイドのオリゴ配合体で、チョウセンニンジンや、痰を切る薬の成分です。サポというはシャボンやソープの元になった言葉で、泡立ちます。そういうのを体の中に持っているのですが、これが魚に対して非常に毒なのです（人間には無害）。

もう一つの食われないための仕掛けはキュービエ器官です。これは粘りつく糸の束です。鳥もちみたいなものです。魚に食い付かれると、その方向にお尻をキュッと曲げてこの糸をお尻から発射します。これで粘りつかせて敵を絡め、そうやって身を守ります。

究極の捕食者対策は、食べたいと思わせないことでしょう。ナマコがそれをやっています。何せナマコというのは6割が皮で筋肉は、たったの7%。ナマコの皮の中には0.1ミリぐらいの非常に小さい骨が何千万個と入っています。ですからナマコは骨と皮ばかりです。これでは食べてもあまり栄養になりません。ナマコを食べたいと思うものは、限られてくるでしょう。皮の中にたくさん入っている骨片の存在理由は、食べてもジャリジャリして感じが良くなるという意味と、皮の中に小さな石の粒を入れれば皮全体がより硬くなり（ゴムに炭素の粉を混ぜると丈夫なタイヤになるのが良い例）、よりかみつかれにくくなるという意味があると思われ（ちなみに酢ナマコにすると、骨片は炭酸カルシウムでできていますから、酢で溶けてしまいます）。

◎キャッチ結合組織

さらに体を守る秘密兵器があります。これが、体の皮を硬くしたり軟らかくしたりできるキャッチ

結合組織です。ナマコは、皮の硬さを瞬時に変えられるのです。皮は、組織学では、結合組織という組織に属しています（動物の組織としては、他に上皮組織、神経組織、筋肉組織があり、結合組織には、皮膚、靭帯、腱、軟骨があります；骨や血液も広い意味の結合組織です）。キャッチというのは掛け金の意味で、掛け金をかけると、いくら扉を押しても開かなくなるように、キャッチ結合組織も、硬くなると、いくら外部から押されても変形しないくらい硬くなります。こういう意味を込めてキャッチ結合組織という名前を私は付けました（図7）。

キャッチ結合組織 ＝硬さの変わる結合組織

- ★キャッチ＝かけがね
- ★カチカチからドロドロまで
- ★棘皮動物だけ
- ★細胞外成分の硬さが変わる
コラーゲン繊維・プロテオグリカン・水
(筋収縮は無関係)
- ★神経支配
- ★エネルギーをあまり使わずに硬さや姿勢を保つ

キャッチ結合組織は硬くなるだけでなく、ものすごく軟らかくもなります。皮の硬さが瞬時に（1分以内）変わるのです。（ここでNHK教育テレビの「人間大学」において、私が沖縄の瀬底島（せそこしま）の海岸で、シカクナマコを「いじめて」皮を硬くしたり軟らかくしたりしている様子のVTRを上映した）

これはシカクナマコですが、つかむと、皮がゴリッと硬くなります（図8上左）。ナマコが油断しているとき、皮は結構軟らかいので、ギュッと握るとへこむのですが、そのまますぐに硬くなるので、私の指の形がボコボコとついたまま、皮が固まることになります。ところがそうなったナマコをしごき続けると、皮が非常に軟らかくなって流れてしまうほどになります（図8上右）。触ると硬くなるのは身を守る反応です。溶けるほど軟らかくなるのも防衛反応ですが、これの意味は後ほど説明しましょう。

図8中左はナマコの輪切りで、硬さが変化するのは、この白く光っている分厚い皮の部分です。

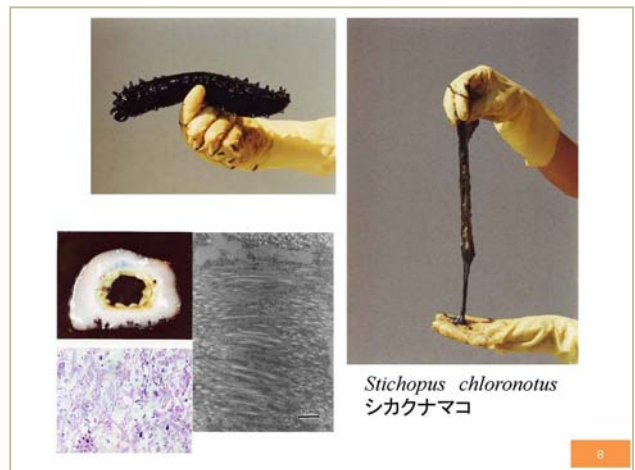
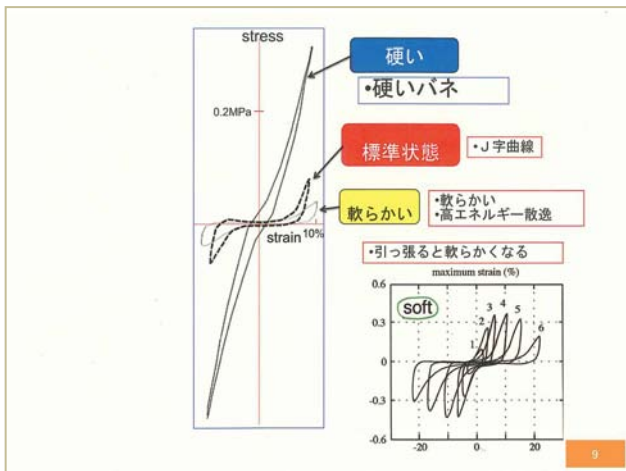


図8左下は皮の部分の顕微鏡写真です。たくさんうねうねとした繊維状のもので皮ができていることがわかるでしょう。これがコラーゲン繊維です。結合組織の主成分はコラーゲンで、ナマコの皮も例外ではありません。電子顕微鏡で見ると、コラーゲン繊維がビッチリ詰まっているのがみえます（図8下中）。細胞はほとんどみえません。コラーゲン繊維の間に何か黒いてんてんのようものがみえますが、これがコラーゲン繊維同士を貼り合わせている「のり」で、こののりがぐずぐずになるといくらでも繊維同士がスルスル動くようになるし、のりが硬くなればガチッと固まりって変形しにくくなり、皮全体が硬くなります。こののりとはどういう分子なのか（複数あることがわかっている）；その分子がどうやって硬さを変えるのか；のりは細胞から分泌されるのですが、それはどんな分泌細胞なのか；分泌細胞の活動は神経によって支配されていますが、それはどんな神経か、等々、私は30年の間研究してきました。それら、分子レベル、細胞レベル、神経レベル、どのレベルにおいても、他の動物とは、ナマコはまったく異なっており、キャッチ結合組織については、まだ分からないところだらけです。

キャッチ結合組織は、かちかちの状態からどろどろの状態まで硬さを変えます。ただ硬くなるだけではありません。外界から加わる力を判断し、それに見合うように硬さを変えます。材料自体が、ものすごく「頭の良い」材料なのです。そんな素早く硬さを変える工業材料は世の中には存在しませんし、そんなに頭の良い工業材料もありません。ですから「ナマコの皮のような人工材料を作れたら、ものすごく使い道があるよ」と、昔から宣伝

してきました。その甲斐あってか、そういうものを何とか作ろうとする技術者たちが、日本でも海外でも出てきました。

◎ナマコの硬さを測る



硬さが変わると言ってきましたが、硬さはどうやったらわかるのでしょうか。バネの硬さを考えてみましょう。引っ張った時に、小さな力で大きく引き伸ばせれば、これは軟らかいバネだ、同じ力をかけてもちょっとしか伸びなければ硬いバネだと言いますね。触ったときに小さな力で変形してくれば、軟らかいと感じるものです。そこで、ナマコの皮を切って柱状のサンプルをつくり、その両端を引っ張ってやり、どれだけの力を加えたらどれだけ伸びるかを記録します。変形(=ひずみ)と力(=応力)の関係を描いた曲線を、応力-ひずみ曲線と呼びます。引っ張ったり押ししたりして、ナマコの皮の応力-ひずみ曲線を描くわけです。引っ張って行って長さが10%伸びるまで引っ張ったら、それから力をゆるめて元にもどし、今度は逆に押し縮めてやって、そしてまた緩めて元に戻しを繰り返しました。(図9)の左図では、横軸がひずみ(サンプルの長さをどれだけ変えたか)、縦軸が応力(断面積あたりの力)です。破線の曲線を見て下さい。これはナマコが普通の状態(硬くもなく軟らかくもなく、休んでいる時の状態=標準状態)の応力-ひずみ曲線です。どんどん引っ張っていくと、最初のうちは、あまり力を入れなくても引っ張れるのですが、5%ぐらい引き伸ばしたところから、ぐーっと大きな力が必要になってきます。それから長さを戻してやると、引っ張った時より曲線が下に来ますが、これは、引っ

張った時に皮に注ぎ込んだエネルギーが、ある程度失われてしまう(つまりエネルギーの散逸が起こる)ことを意味しています。標準状態のナマコの皮は、バネのような完全弾性体とは異なり、粘性も合わせもっている、つまり粘弾性体としてふるまっていることがわかります。押して長さを短くすると、伸ばしたときの曲線を、180°回転させた曲線が得られます。

少しの変形にはほとんど抵抗しないが、大きく変形させようとする、強い力で抵抗する。つまり応力-ひずみ曲線は、最初が寝ていて、あるところから急に立ち上がる・・・曲線はちょうどアルファベットのJの字に似てきます。だからこういう曲線をJ字曲線と呼びます。こういうふるまいは、僕らの耳たぶを引っ張った時でも、お腹の皮を引っ張った時でも同じですね。これは生体材料の一般的な特徴なのです。何かに引っ掛かったときに、すっと変形すればさっと力をいやすことができます。「柳に風」、「柳に雪折れなし」です。

つついたりして刺激して皮が硬くなったときには、皮のふるまいが変わります(黒の線)。赤と比べて、同じ長さまで引き伸ばしても非常に大きな力で抵抗します。引っ張れば引っ張るほど大きな力で抵抗し、グラフは傾きの大きな直線的なグラフになります。逆に緩めていくと、元の直線とほぼ同じ道をたどって戻ります。つまり硬いときのナマコの皮は、とても硬いばねみたいな、完全弾性体に近い性質を示しています。こういう状態だと、しっかり身を守ることできるし、よそから力が加わっても、加わった力に、いつも見合うだけの頑張りで姿勢を維持できます。

では、軟らかい状態だとどうなるかという(灰色の、一番低い曲線)、小さな力で大きく引き伸ばされるのですが、戻していく時には、元来た曲線より、ずいぶん下を戻っていきます。つまりエネルギー散逸が大きくなっています。右下の図を見て下さい。これは軟らかい状態の皮を、少し引っ張っては元に戻し、次にもう少したくさん引っ張っては元に戻しと、どんどん引っ張る最大の量を増やしていった実験の結果です。普通は引き伸ばしていけばより大きな力が出るのですが、引っ張る量が10%を超えてさらに引き伸ばすことを繰り返すと、どんどん力は下がってくるのです。つまり引っ張られれば引っ張られるほど皮が軟らか

なくなってしまうのです。皮がこういう性質をもっているから、手で皮をもむことを繰り返してやると、皮が溶けるほど軟らかくなってしまいます。

この溶ける反応は、いったいどういう意味があるのでしょうか。魚がナマコにかみついてグイグイと引っ張ったときには、(皮は何度も大きく引き伸ばされますから) その部分がものすごく軟らかくなり、そこだけに穴があきます。ナマコはその穴から腸を放出します。ナマコの腸は「このわた」ですからうまい。それを魚が食べている間にナマコは逃げていくといわれています。身を捨てて、身を守るのですね。腸は失いますが、体には小さな孔が開くだけですから、そこはすぐにふさがります。ナマコにはサポニンがありますから、食う魚は多くはないのですが、サメとかフグとか、タデ食う虫のような魚も幾つかいるみたいです(じつは魚のかみつくところを、私は見たことがありません)。一部のカニやヒトデもナマコを食います。

ナマコの一番の天敵はウズラガイという大きな巻き貝です。これはナマコに遭遇すると、外套膜でナマコを包み込むように覆って丸飲みにします。これは私も水槽中で観察しました。一晩に大きなナマコを3匹も食ってしまったのですが、翌々日には、その貝は死んでしまいました。食べ過ぎだったのでしょう。

水槽の中だと逃げられないからナマコは食われたのですが、海の中では、そうやすやすとは食われません。ナマコは貝に触られると、その触られた部分の皮を硬くします。そしてその触られた部分のちょっと内側の部分の皮を軟らかくして身をグッと縮めると、軟らかくしたところから、皮はパリッとをはがれてしまいます。だからナマコは外側の硬くなった皮だけを脱いですると抜けて、貝から逃れる出ることができます。貝は(しょうがないから)残された外側の皮を食べ、ナマコは(貝が皮を食べている間に)先へと逃げます。貝はナマコに劣らずのそのそしていますから、ちょっとだけでも逃げられたらもう大丈夫です。(シカクナマコが全身の皮をむく反応は、ナマコの放射神経を刺激することによっても引き起こすことができます。)むけてしまった皮はすぐに再生します。このように、ナマコにとって皮が硬くなったり軟らかくなったりするのは、非常に意味のある反応です。硬くなって身を守り、それでも駄目なやつ

には皮を軟らかくして体の一部を与えて身を守ります。硬さ自由自在の皮を持っているから、ナマコはそのそしていても大丈夫なのです。

◎ナマコのものすごい再生力(図10)

皮はすぐに再生しますが、腸を魚に与えてしまった場合にも、3カ月ぐらいで腸は再生します。その間は腸がないから飲まず食わずですが、ちゃんと回復します。私たちが好んで食べるマナマコも、強い腸の再生能力をもっています。マナマコから腸を取り出して、それからこのわたをつくり、ナマコは海に帰して腸を再生させ、またその腸をとってこのわたをつくりと、ナマコを殺さずにこのわたを作っているところもあるようです。

軟らかくなる→切れやすくなる→自切

- 防御のために
 - 内蔵を吐き出す
 - 自分で皮を剥ぐ(ウズラガイの攻撃)
- 自分で二つに切れて増える

すさまじい再生力

- 二つに切っても再生(3ヶ月)
- 腸を抜いても再生(1ヶ月)

腸ぬいてさあらぬさまの海鼠かな (阿波野青畝)

10

シカクナマコは季節によっては、自分の体を2つに割って2匹になります。この様子も水槽の中で観察したことがあります。体の中央部が軟らかくなって、一匹の前と後ろの部分が反対方向に歩いていく。すると真ん中は、糸みたい細長くなってスーッと2匹になります。分かれた体の前半部は体の後半部を再生し、体の後半部は前半部をすべて再生します。これは無性生殖です。わたしたちがナマコを二つに切った時も同じことが見られます。これも俳句にあります。

「^{わた}腸ぬいてさあらぬさまの海鼠かな」(阿波野青畝)

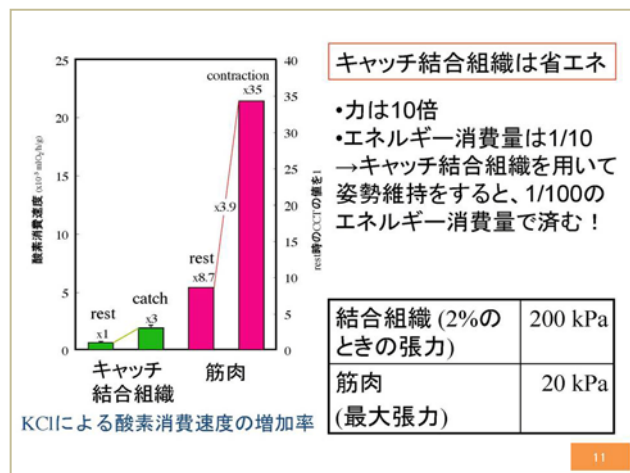
ナマコの俳句は、結構あるのです。ナマコの句ばかり1,000句集めて、ぶ厚い本を英語で出版したロビン・ギルさんという人がいます。

ナマコの短歌というのはほとんどないようです。これよく分かりますね。短歌は雅やかでなければ

駄目なのです。一方、俳句は俳味がなければいけない。「何だかよく分からないけれど存在している、これは不思議ね、変ね」と言って、アハハと笑うところが俳句の材料になりやすい。それにしても、1,000 句に目を通してみると、日本人はよくナマコのことを観察しているなどと思います。

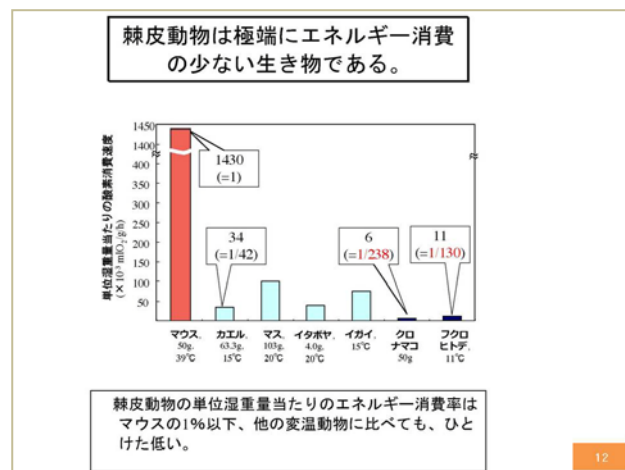
◎キャッチ結合組織は省エネである

キャッチ結合組織のすごさは、早く硬さが変わるところや、賢いところだけではありません。あまりエネルギーを使わずに、硬さを変え、しかもその硬さをずっと維持し続けられるところです。ナマコはどんな姿勢もとれますが、その姿勢をずっと、あまりエネルギーを使わずに保持できます。非常に省エネなのです。ここで、なぜナマコの話の日立環境カフェでやるのか、環境とナマコの接点が出てきます。



このキャッチ結合組織というのは非常に省エネなのです。私たちは体を硬くするときは、筋肉を収縮させて身を硬くします。硬くするということは、外部から力が加わっても、それに抵抗して変形しない、そのままの姿勢を保つということです。では筋肉を縮めて体を硬くした硬い状態で、どれだけの力に対抗できるのでしょうか。それと、キャッチ結合組織で身を固めているときとを比べてみました。実はキャッチ結合組織のほうがずっと大きな力に対抗できます (図 1 1 右下)。大体 10 倍ぐらいの力に抵抗します。また、筋肉と同じ力で抵抗する際に、キャッチ結合組織の必要とするエネルギーは筋肉の 1/10 です (図 1 1 左)。ですから、力の利得とエネルギーの利得を合わせると、キャッチ結合組織を使えば、筋肉を使う時より、

1/100 のエネルギーで姿勢が保てることになりま。さらにキャッチ結合組織の省エネなところは、休んでいる時のエネルギー消費量が、筋肉が休んでいる時の 1/3 で済むところです (図 1 1 左)。だからキャッチ結合組織で姿勢を維持したり身を守ったりするのは、ものすごく省エネだということになりますね。



ナマコは棘皮 (きょくひ) 動物の仲間です。棘皮動物には5つの仲間がいます。ヒトデ、ナマコ、ウニ、クモヒトデ、ウミユリです。図 1 2 は体が同じぐらいの大きさの、いろいろな動物個体のエネルギー消費量を比べたものです。マウス (ハツカネズミ) は恒温動物 (体温が一定の動物) ですが、他のものは変温動物 (周りの海水温度が変わったら、それに従って体温が変わる動物) です。エネルギー消費量は、変温動物と恒温動物とで、大きく異なります。変温動物は恒温動物の 1/10 以下。そして変温動物の中でもナマコやヒトデは例外的で、他の変温動物の大体 1/10 ぐらいしかエネルギーを使いません。だからマウスと比べると、なんとナマコのエネルギー消費量は 1/1430。ごくわずかのエネルギーしか使わないで、暮らしていけるのが、ナマコをはじめとする棘皮動物なのです。

これだけ低いエネルギーで生きていけるのは動物としては異例のこと。エネルギーを使わないということは、あまり食べなくてもいいということです。量を食べなくてもいいということにもなりますし、同じ量を食べるとするなら、栄養価の低いものも食べものになることを意味します。つまりは、他の動物が食べものだとみなさないものまでが食べものになる。ナマコのように、砂などと

いう栄養価の低いものを食べても生きていけるようになります。だから食べものをめぐっての争いに身を置く必要がなくなります。

この意味するところは、きわめて大きいでしょう。ナマコは砂の上にすんでいます。食べものの上にすんでいるのです。砂は逃げていかない、そこらにいくらでもあります。餌を探してウロウロする必要は全くない。他のものと餌を奪い合うことも起こらない。結局、食う心配がなくなります。

◎ナマコも人間も、地上に天国をつくった？

私たちは毎日忙しく働いていますけれども、これは食うためです。食う心配がなかったら働かなくてもいい。働かなくていい・食う心配がないというのはまさに天国の生活でしょう。つまりナマコは地上に天国を実現してしまったのです。

食う心配がなくなる——これは長い間の人類の夢でした。賢治の時代でも、寒さの夏（米のとれないことを意味する）は、おろおろ歩いていたのです。戦後の70年で夢がかなったかのようにも見えます。でもそれは食糧生産国からいっぱい食料を輸入しているから。食糧生産国では、米をつくるにも麦をつくるにも、工業的に合成された窒素肥料を与え、農薬を撒き、遠くから灌漑用水を持ってきたり深い井戸を掘って水を汲み上げ、耕耘機で耕し、機械を使って種を蒔き刈り入れ、それを車や船で運ぶ。ものすごいエネルギーを投入しているのです。農産物といえど、工業的につくったエネルギーのバケモノみたいなものなのです。そうしなければ、食卓を豊かにし、これだけ増えや人口を養えません。私たちがこれほど豊かな食生活をしているということは、エネルギーをふんだんに使っているということなのです。もちろん食生活だけではありません。私たちは機械に取り囲まれた暮らしをしています。だから暑さ寒さも気にしなくていいし、欲しい物も情報も即座に手に入る、行きたいところにはすぐに行ける。不自由のない生活を送っています。もちろんこういう生活は、機械によって可能になっているのであり、機械は作るのにも動かすのにも、厩大なエネルギーを使います。ということは、現代社会はエネルギー無制限という条件の下に、地上に天国を実現したのだと私は思います。ナマコは省エネに徹して地上に天国を実現した。人類はエネルギーをど

しどし使って地上に天国を築いた。天国のつくり方がまったく逆です。

3.11 は、天国への道だと思っていたものが、実は地獄への道だったかもしれないと思わせる出来事だったでしょう。私たちが安全に手に入れられるエネルギーには限りがあります。エネルギー多消費で天国を目指そうという生き方が、今後とも成り立つかどうかは非常に問題な話です——と、そういうことを考えさせてくれるのがナマコなのです。

◎生活の質を問う

ナマコを見ていると何もしないわけですから、いくら食うに困らないと言っても、「そんな生活が面白いか」という疑問も、もちろん出るでしょう。「砂をかむような人生、どこがいいのよ」という言い方もできるでしょう。つまり、生きることの質を問わねばならないことになります。

ナマコはエネルギーをあまり使いません。エネルギーは物理学的には仕事と言えますから、ナマコはあんまり仕事をしていないことになります。私たちはせかせかといろいろな仕事をやっています。私は動物の時間も人間の時間も、時間の進む速度はエネルギー消費量に比例すると考えています。エネルギーを大量に使ってせっせと仕事をしている現代人の時間は、極めて速い、だから忙しい。それに対して、エネルギーをあまり使わないナマコの時間はゆったりと進む。時間の速度がエネルギー消費量に単純に正比例すると仮定すると、ナマコの1日は、ヒトという恒温動物の30分に対応し、現代人（という機械を駆使してエネルギーを大量に消費する生きもの）のたった1分にしか相当しません。我々現代人の1分ぶんを、1日かけて生きているのがナマコ。われわれがよく食べるマナコの寿命は3-4年ですが、それを現代人の時間に換算すれば1日程度なのです。ナマコなんて、われわれの目からみれば、何もやっていない、つまりは生きていないということになるのかもしれない。

でも、でもです。私たち現代人が、機械を駆使し、エネルギーを大量消費してどんな生活をしているかというのは、やはり考えなければいけないでしょう。仕事のほとんどは機械がやってくれているのです。エネルギーを使って働いているのは

機械。体を動かさず、脳みそを働かさず、機械に仕事をさせ、機械に考えさせているのが現代人の生活とも言えるかもしれません。みかけはいろいろやっているように見えても、その実、どれほどのことをやっているのかと、問うことはできそうな気がします。ただただ忙しく駆け回っているだけで、本当に仕事をしていることになるのか、世の中をちゃんとエンジョイしているのか。寿命は長くなったが、生きいき働いているのは機械の方で、われわれはただそれに乗っかってぼーっとしているだけではないのか。額に汗して働き、脳みそを絞って考えてはじめて、自分のやったことが身に付くのではないか。ならば、現代人の人生は、うわつつらだけの、いわば借り物人生ではないのか。焦がれ焦がれて、待って待って、やっと手に入れたものだからこそ大事に思うのであって、簡単に手に入れば、簡単にすぐに捨ててしまう。結局、それほど大切に思わないものたちで自分のまわりを埋め尽くして天国を作った気になっているのではないか。大切にないものをどんどん手に入れるために、そして借り物の人生を生きるために、環境をこれだけ悪くし、資源をこれほど食い尽くし、赤字国債をどんどん発行している。これでは次世代は地獄の生活になってしまう。本来、次世代のことを気にするのが生物であり、生物は子供をつくってなんぼのものなのに、現代日本は少子化社会。それに対してナマコの雌は一生に20万個もの卵を生む。どっちが生物として充実した生を送っているのか、生物として真っ当なのはどちらなのか・・・などと、ナマコを観察しているとさまざまな妄想が湧いてきます。(なにせ相手はほとんど何もしないので、研究している方も、そのペースに合わせる必要があるから、ナマコの研究は、じつに暇なんですね。暇ならばぼーっとしていればいいのに、その間に、へたな考えをいろいろしてしまうのが、いそがし好きの現代人というものです。) いずれにせよ、我々とは全く違ったナマコというものの世界に身を置くことによって、僕らの世界はこれでいいのかと考えさせられます。これは貴重なことだと思っています。こういうのが、役に立たない学問の存在意義です。

◎なぜナマコは脳や心臓がなくても生きていけるのか？

相当脱線しました。生物学に戻ります。ナマコは餌を探さなくてすみます。だからあくせく動く必要がなく、筋肉がほとんど必要なくなってきました。餌を探さなくていいから、感覚器官も必要なく、(感覚器官からの情報処理の中枢である)脳もいらなんでしょう。エネルギー消費量が少ないため、(われわれだったら酸素や栄養という、細胞がエネルギーをつくり出すのに必要なものを、せっせと血液にのせて送らねばなりません)血液も、それを送るための心臓も血管(これらを合わせて循環器系とよぶ)も、なくてやっていけます。循環器系のかわりをするのが、体の真ん中にある体腔という大きな空間(図3のちくわの穴の部分)です。この中に体液が入っていて、その液体を通してジワジワと酸素や栄養が細胞まで拡散していけばそれで済みます。筋肉も脳も心臓も眼も耳も必要ないとなれば(結局こういうものをつくるのにも維持するのもにも、ものすごくエネルギーがいるわけですから)、ますます省エネになります。必要なのは身を守り姿勢を維持するための皮ばかり。省エネに徹すれば徹するほど、ナマコは皮ばかりになり、ますます捕食者にとって魅力のない食べ物になっていくわけです(図13)。

省エネに徹すると

砂でも食べものになる
→食べものの上に住む

=この世は天国！

あくせく動かなくてよい→筋肉がいない
食物を探さなくてよい→感覚器官・脳がない
エネルギー使わない→心臓・血管がない

→ますます省エネ
→ますます皮だけ
→捕食者に魅力的でなくなる

しんじょう

徹頭徹尾せぬを身上海鼠かな (成瀬桜桃子)
世の中をかしこくらす海鼠哉 (正岡子規)

動物は皆、軍拡競争をやっているのですね。餌になる方の動物は、なるべく足を早くして捕まらないようにする。すると、ますます筋肉もりもりになるから捕食者の目には、さらにおいしい食べ物に見えてくる。そこで捕食者の方も足をもっと早くして捕まえようとする。それに対抗して、被捕食者はさらに足を早くする。とめどのない軍拡競争です。この連鎖から逃れるには、美味しくなくしてしまえばいい、そうすれば捕食者もあき

らめるだろう——これがナマコの戦略。逆転の発想ですね。

より速いものが勝つというのが現代社会。経済もまさに軍拡競争だと思います。ただし軍備ではなくて、時間の速さで競争しているのが経済戦争だと私は思っています。軍備にしても大量生産にしても情報戦にしても、全部大量のエネルギーを使う。軍拡競争、経済競争になけなしの資源をどんどん使って地球環境をこれだけ悪くしてきました。環境が悪くなり、我々の生存そのものを脅かす事態になろうとしています。生きていなければ話になりません。砂を食べていても、死に絶えるよりよっぽどいいのですから、ナマコを参考に、我々の在り方を考えるのは意味があるのではないのでしょうか。

「徹頭徹尾せぬを身^{しんじょう}上海鼠かな」(成瀬桜桃子)。
ナマコは何もしない。だからこそ生きていけるのです。

「世の中をかしこく暮らす海鼠哉」(正岡子規)。
あくせくせずに生きていければ、これが一番賢いやり方でしょう。

いやあ、ナマコは賢い、頭がいい！ でもナマコには脳はなかったなあ。ということで最後にナマコの褒め歌「ナマコ天国」をうたいます。

♪ナマコ天国♪

見ない耳ない鼻もない 筋肉あるけど超少ない
見てもさっぱり動かない これでもナマコは「動」物かい？
なんでこんなで生きてられるか
なんでこんなで生きてられるか
なんだかさっぱり分からない

見ない耳ない鼻もない 心臓もなければ脳もない
脳死が死ならば生きてない それでもナマコは「生」物かい？
なんでこんなで生きてられるか
なんでこんなで生きてられるか
なんだかさっぱり分からない

ナマコはごろんと砂の上 砂に住まって砂を食う
砂ならそこらにいくらもある
きよろきよろうろろ探すこたあない

見ざる聞かざる動かざるでも
見ざる聞かざる動かざるでも なんにも都合は悪くない

逃げも隠れもしなくても 心配ないんだホロスロリン
キャッチ結合組織でできた 皮もガチッとガードする
食べる心配 逃げる心配 そんな心配 関係ない
関係ない そんなの関係ない！

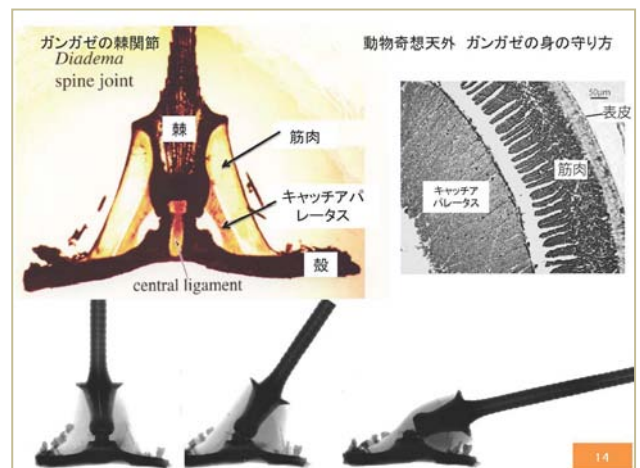
省エネに撤すれば 砂もたちまち食べものに
砂をかむような人生は この世のものとも思われず

砂を食べてりゃ 砂を食べてりゃ
砂を食べてりゃ この世は天国
ナマコ天国 ナマコ天国
ナマコのパラダイス
(拍手)

質問事項をあらかじめたくさんいただいていますので、まず、いくつかにお答えします。

◎ナマコの皮以外にキャッチ結合組織がありますか？

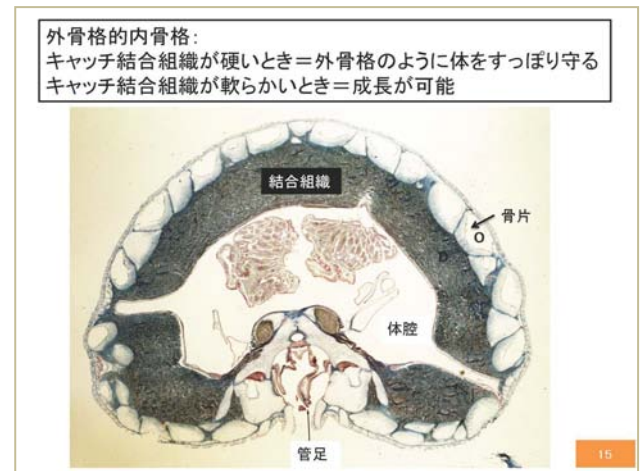
あります。例えばウニの棘。棘の根元に、キャッチアパレータスというキャッチ結合組織があるのです。ガンガゼは多数のするどい棘で身を守っていますが、それでも守りきれないことも多く、昼間は岩穴の中に隠れたり、(適当な穴がないときには) 群れをつくって身を守っています。



岩穴に入っている時ですが、穴の入り口に向けて棘を倒し、槍ぶすまをつくって入口を防いでいます。ガンガゼの棘は殻の表面にある小さな突起の上ののってあり、殻と関節をつくっています(図14、左上:関節部を中央で縦に切った写真)。この関節はボールジョイントの形をしており、ガンガゼは棘を360°の方角にも、そして垂直から水平まで、どんな角度にも自由に倒せ(図14下:関節部のX線写真)、その倒した棘の姿勢をずっと保つことができます。関節部に棘を動かす筋肉と、棘の姿勢を保つキャッチ結合組織(キャッチアパレータス)があります(図14上右:関節部の輪切りの写真の一部)。我々が腕を斜めに挙げ続けるなんてことをやっていたら、疲れ果ててしまいます。疲れるのは、ずっと筋肉を収縮しっぱなしにすると、エネルギーを使うので乳酸がたまってきて、それ以上収縮を続けられなくなるからです。ところがガンガゼは疲れません。キャッチアパレータスがエネルギーをあまり使わずに硬くなって、棘の姿勢を保つからです。

ガンガゼが棘をどう使って身を守っているかを、映像でご覧に入れましょう(ここで本川の出演した「どうぶつ奇想天外」のガンガゼの映像を流した)。隠れる場所がない時には、ガンガゼは群れています。群れていないと危険なんです。長い棘で無敵に見えるガンガゼにも実は弱点があります。それは地面に向けた側(ここの中央に口がある)には、ごく少数の短い棘があるだけで無防備なのです。イソモンガラという魚は、口から水をピューッと噴いて、水流でガンガゼをひっくり返し、無防備な口側からムシャムシャと食べてしまいます。別の魚は、ガンガゼの棘の先端を口にくわえて、上の方まで泳いでいき、そこでガンガゼを放します。不運にもガンガゼが口を上にして着地すると、すかさずそこに食らいついて食べます。こんなことができるのは、みな力の強い大形の魚たちです。群れになると、吹かれても引っ繰り返らず、簡単には持ち上げられないから安全です。群れをつくる場合、群れの周辺のガンガゼたちは、棘を水平に倒し、群れの中央のものたちは、棘を上に向けて立て、さらに隣のガンガゼ同士の接している部分では、隣の棘と交叉するように棘を倒しています。こうすると、大きな剣山のようになり、上も横も安全だし、棘が交叉しているから、

吹かれても隣のウニに棘がひっかかって引っ繰り返されることもなく、一匹だけ持ち上げられることもなくなります。群れのガンガゼは、昼の間、ずっとこの棘の角度を保っており、夜になると群れを解いて、藻類を食べにでかけます。



ヒトデにもキャッチ結合組織があります。これはヒトデの腕の輪切りです(図15)。外側に並んでいるのは骨片とよばれる小さな骨で、1ミリぐらいです。骨が外表面全部に重なり合いながら敷き詰められ、ちょうど屋根瓦で屋根がふかれたようになっています。この骨同士は関節をつくっており、関節部で、筋肉とキャッチ結合組織によってつながっています。さらに骨の内側の組織層は、みなキャッチ結合組織です。キャッチ結合組織が硬くなると、骨同士はがっちり固定され、硬い鎧を着たようになりますから、安全です。キャッチ結合組織が軟らかくなると、骨の関節は自由に動くことができます。この小さな骨の数だけ関節があるわけですから、ヒトデはどんな形にもなれます。そしてその形でキャッチ結合組織を硬くすれば、その形のままでずっといることができます。

この性質を使って面白い実験ができます(と言って、本川の出演した「トリビアの泉」の「ヒトデは縛れない」の映像を流した)。ヒトデを縄でがんじがらめに縛ってやります。縛ろうとすればヒトデは硬くなり、その姿勢のまま縛られてしまいます。縛ってそのまましばらく置いておくと、ヒトデは関節部のキャッチ結合組織を軟らかくして自由自在に姿勢を変え、縄からするりと抜け出します。からだじゅうが関節みたいなものですから、どんなにきつく縛られても、縄から抜けることができます。ヒトデを縛ることはできないのです。

◎ナマコは何を食べているのですか？

これはもうお答えしました。砂です。ナマコはほとんど動きませんが、少しだけは動きます。同じところだけにいたら、その砂を食い尽くしてしまえばお終いですから。



私は棘皮動物とは、「少しだけ動く動物」だと考えています(図16)。これは動物としては、きわめてユニークです。たいていの動物は、動かないか、よく動くかのどちらかです。動かないやつは海綿だとかサンゴとかフジツボとか、みな、立派な鎧を身にまとい、水底の岩の上などにくっついていて、そして向こうから流れに乗って来るプランクトンなどを捕まえて食べています。自分では移動しません。それに対してよく動く動物は、自分からでかけて行って餌を捕まえます。こういうやつらは身を守る鎧は着ていません(ガチガチの鎧を着込んでしまったら、素早くは動きません。体がしなやかでなければ早い運動は無理です)。動物というのはよく動くか、よく動かないかのどちらかであり、つまりは重い鎧を着込んでいるか、無防備か(防備は速い足)かのどちらかなのです。動かないやつらは、一ところにとどまっていて餌を採ります(なにせ動けませんから、遊泳能力の大きな動物を餌にはできないことになります)。動くやつらは一ところに留まることはなく、動き回って餌を採ります(体が無防備ですから、同じ場所にずっと留まっていなくて食べないような、食うのに手間のかかるものは、餌にはできません)。それに対して、棘皮動物は、ゆっくりと少しだけ動いて、逃げない餌を少しずつ食べていきます。

そういう餌としては、砂があります。それから海底に生えている海藻、岩にくっついている貝やサンゴなどがあります。貝やサンゴのように、石の鎧で身を固めているものたちも、時間をかけて攻撃して攻め落とします。これができるのは、棘皮動物自身が、よい防御の鎧を着込んでいるからです。ただしこの鎧は、サンゴやフジツボのように、がちがちで身動きのできない石の塊のような鎧ではありません。小さな骨がキャッチ結合組織でつなぎあわされてできた鎧です。キャッチ結合組織が硬くなれば、立派な鎧になりますが、キャッチ結合組織が軟らかくなれば、それなりに体はしなやかになり、ある程度の運動が可能になります。ウニは海底を掃除機のように、藻類をバリバリ刈り取っていきます。ナマコは砂を食べます。ヒトデは岩の上にくっついている貝をこじ開けます。すべて開けっぴろげなどところにある餌を食べているわけです。ヒトデが食べるのは、きわめて手強く、食うのに時間のかかるものたち(サンゴや貝)です。貝の上にヒトデが乗って胃袋を口から吐き出し、そうやって貝を溶かしてしまうわけです。胃袋を出して、消化液かけて溶けるまで待っている。胃袋を出したまま何日もそのまま貝を溶かし続けます。自分の捕食者が来たからといって、胃袋を出したまま逃げるなんてことは不可能です。逃げなくてもいいキャッチ結合組織の鎧をもっているから、そういう食べ方が可能になっているのです。

棘皮動物は他の動物が餌にできないものを餌にできるようになりました。栄養価の低いものや、食うのに手間のかかるものです。これは、すき間産業みたいなものですね。他のものたちの目をつけなかったところに、自分の世界をつくり上げてしまったのです。

餌だけではありません。棘皮動物は体のつくりも、生活の仕方も、他の動物とは極端に異なっています。昔、リビー・ハイマン(Libbie Hyman)という有名な動物学者がこう言いました。「棘皮動物は、動物学者を不思議がらせるために、神様が特別にデザインした高貴な動物群である」。それほどわけのわからない動物が棘皮動物だと思われていたのです。私がキャッチ結合組織の研究を始めた時にも、この言葉は生きていました。それから30年。棘皮動物はちょっとだけ動くということコン

セプトの下に、独自の世界を築き上げたのだ、それを可能にしたのがキャッチ結合組織なのだ、こう考えれば棘皮動物の不思議な点はすべて理解可能だ、というストーリーを私は組み立ててきました。このストーリーは、今や広く受け入れられ、無脊椎動物や動物生理学の、世界の標準的な教科書に、私の仕事が引用されています。

棘皮動物はすき間産業なんです、私の研究もすき間産業でして、だれもナマコやヒトデなど研究しようと思わない。だから競争がない。そこで研究したものはみなオリジナリティーあふれたものになりますし、ゆったりとやっても負けることがない。サイエンスカフェで歌なんかうたっている余裕があるわけです。動物学者は自分の研究対象に似てくるとは、よく言われるのですが、確かにそうですね。

私も今年限りで定年です。定年後はナマコに倣った生活をしようかと思っています。今はビジネスの時代です。ビジネス＝ビジー＋ネス＝忙しいこと、これが今の時代。忙しいとは時間が速いことでしょう。時間を速めるために、わたしたちはお金をかけている、つまりは大量のエネルギーや資源を使っています。忙しくしなければ負けてしまうのがビジネスの世界で、こういう速い時間が生活のすみずみまで行き渡っており、ビジネスを離れた休みの時でも・定年後でも、なんとなく速い＝便利な生活を手放したくないと思いがちです。だからお金がかかってしまう。でも、そんなに便利に・忙しくする必要があるのでしょいか。忙しいとは心が亡びると書きますね。心が亡んでしまえば、それは天国とは言えないでしょう。機械にたよらずゆったりやっていくなら、(機械を買わなくてよいから)それほどお金がかからず、(機械を使わないから)体も頭も衰えにくい。心は亡びない。そういう生活から天国が生まれてくるのかもしれない。そもそも天国とはどんなところなのか、天国のイメージを、一度きちんとつくる作業をすべきだと思いますね。

最後にもう1曲やりましょう。棘皮動物には5つの仲間がいます。彼らがキャッチ結合組織をどう使っているかを歌ったものです。

♪棘皮動物音頭♪

いったい全体なんだねこれは

星の化身か5本も腕が
足の数なら数えも切れぬ
それでも　それでも
こんがらがらずに歩いてく
さてさてヒトデは不思議な奴よ

昼の日なかにごろんと横に
逃げも隠れもしないというに
それでも　それでも
魚に食われることもない
さてさてナマコは不思議な奴よ

針の山かと見まがうばかり
とげをもたげて夜昼くらす
それでも　それでも
疲れた様子をしたことない
さてさてウニとは不思議な奴よ

ちょっとさわればポロツと落ちる
隣にさわればまた腕切れる
それでも　それでも
ちょっと待ってりゃまた生える
さてクモヒトデは不思議な奴よ

巻枝　茎とも　筋肉もたぬ
腕にはあっても口側だけよ
それでも　それでも
器用に岩をよじ登る
さてウミユリとは不思議なやつよ

一体全体なんだねこれは

<歌終了> (拍手)

【質疑応答】

会場：先生がなぜこのナマコを研究しようと思われたか、その動機を伺いたいです。

本川さん：私は「人のやりたがることはやらない」というのが基本です。私は団塊の世代です。一所懸命働いて物質的に豊かになろうという、そういう世代です。高校1年の時、ちょうど東京オリンピック。新幹線もできました。そういう時代です

から、僕らの世代は、算数ができる子はみんな工学部に行きましたし、数学はどうも・・・、という人たちは法学部・経済・商学部に行きました。ものをたくさんつくって売ろう、豊かになろうという、そういう時代です。

でも、このぐらい豊かになったのだから、これ以上豊かにならなくてもいいのではないかという気が私はしたのです。みんなが工学部に行ってもものをつくるというなら、なるべくお役に立たないことをやろうと思いました。そうして選んだのが動物学です。研究対象として、動物の中でも、やり手のないものを選びました。普通、動物学科にくる学生は、動物が好きなんですね。好きになるには、可愛い、きれい、行動が面白い、暮らしの役に立つ（病気を直す・食糧を増産する）、人間の理解に役立つ、などという点がないといけない。人気のあるのは哺乳類、昆虫、魚のたぐいです。でもナマコは皆さんグロテスクと言いますし、見ても面白い行動は示さない。（水産業以外には）役に立たない。だれもやりそうもない動物です。だからこれを選んだのです。

会場：先ほど感覚器官も脳もないというお話があったのですが、環境変化、例えば水温とか光とか、そういう季節変化みたいなものをキャッチするセンサーはありますか？

本川さん：あります。ただし感覚器官としてまとまったものは存在しないということです。神経の末端が、光や温度を感じます。ガンガゼが群れをつくる映像をお見せしましたが、ガンガゼには眼はありません。殻や棘に分布している神経が光を感じて、暗い方に歩いて行くから、黒い塊である群れに合流できるわけです。面白い説がありましてね、殻の表面が網膜のように機能するという説です。ガンガゼの殻には棘がいっぱい生えており、殻の表面は棘で囲まれた小さな区画に分かれていることになります。殻の表面の神経は光を感じますから、こっちの区画は明るい、こっちの区画は暗いという区別がつくのです。つまり、殻の表面に、まわりの景色の明暗が投射されていることになります。この景色を「見て」（誰が見るのかは問題ですが）、ガンガゼは黒い塊の方に歩いて行く。すると群れに合流できることになります。殻

（という身を守る道具）を網膜の代わりに使ってしまうという、きわめて奇抜な（まことに棘皮動物らしい）発想です。もちろん空間の分解能は悪いのですが、暗い方なら仲間であれ岩であれ、そちらに行けば身を隠すことができるのですから、これで十分なのでしょう。眼をつくるよりは省エネです。

ガンガゼは体の上に影が落ちると、棘を激しく振り動かします。殻や棘が、急に暗くなったことを感じているのです。魚が上から来たら影が落ちます。危険信号ですね。棘を振り動かせば、魚が棘を口でくわえることができなくなり、持ち上げられて食われる心配がなくなります。これも眼がないのに光を感じる例です。

特別の感覚器官ではないものを、感じることに棘皮動物は使っているのですが、その代表が管足です。ナマコもウニもヒトデも、歩くのには、管足という非常に細い水の詰まった管を使います。数百本、ナマコだったら数千本の管足が体の下面から突き出しています。これは万能の器官です。歩くだけではなく、ものをつかむのにも使います。管足は触ったこと（触覚）のセンサーになりますし、味（アミノ酸）も感じます。光を感じるものもあるようです。管足の薄い壁を通してそこから酸素も入ってきますから呼吸器官としても働きます（ウニの場合は、特別な形をした呼吸専用の管足があります）。排せつ物も管足の薄い壁を通して出ていきます。

ウニの場合、管足は体の表面全体にありますから、体中が足であり、体中が手であり舌であり呼吸器であり排せつ器官なのです。まさに地方分散。体中にすべての機能が分散しているシステムです。中枢がない。

中枢がない、脳がない。そんなやつでもちゃんと記憶しているのです。今、私が面白がってやっているのがウニの記憶の研究で、ウニは方向を記憶できるのです。でもウニには脳はありません。脳がないのにどうやって覚えられるのか、これを調べています。

会場：先ほどどろどろになってしまったナマコは、あれはシカクナマコと言われたのですが、ああいった能力はどのナマコにもあるのですか。

本川さん：あのくらいすさまじい反応を示すやつは、日本では（私の知っている限り）3種だけです。シカクナマコとタマナマコと、もう一つは学名しか付いていません。それらは溶けます。特にタマナマコは水から出すだけでパーッと目の前で溶けてしまいます。

これほどではありませんが、マナマコ（私たちがよく食べるナマコ）にも、比較的溶けやすいやつがあります。マナマコには、色が赤・青・黒の3つタイプがあります。普通、魚屋で売られているのは青と赤です。黒（三河地方には結構いる）は皮が溶けやすく、だから商品になりにくいので、魚屋でお目にかかることはほとんどありません。

会場：ナマコはどうやって生まれてどうやって死んでいくのですか。生まれると死ぬというのはすごく不思議な感じがしたのです。分裂ですか？普通、人間は母親から人間の形をして生まれるし、鳥は卵ですが、やはり卵ですか？

本川さん：ナマコも卵と精子を出します。ナマコは雌雄異体ですが、外見では雌雄の区別は、つきません。ナマコはある時期になると、体をL字形にして体の前端を持ち上げてそこからパーッと精子を出します。近くにいる雌もやはりパーッと卵を出します。精子と卵が海中で合体して、小さなオーリクラリアという浮遊性の幼生になり、さらにドリオラリア幼生、ペンタクツラ幼生を経て、変態して稚ナマコ（大きさは0.5-1mm）になります。マナマコの場合、ここまで1ヶ月ほどかかります。

ナマコが死ぬときどうなるかという、いかにもナマコらしい死に方をします。ナマコは皮の硬さが変わりますので、死ぬ間際になると、皮の硬さを支配している神経がおかしくなってしまう、体がどろどろに溶けて、結局なくなってしまう。

ナマコの寿命はどれくらいですかとよく聞かれます。マナマコの場合は、4年は生きると言われています。ただしはっきりとはわかっていません。普通、寿命を調べたいと思ったら、個体にしるしを付けて、その個体をずっと追跡するのですが、ナマコにはしるしが付けられないのです。しるしとしては、体に焼き印を押したり、タグをつけた

りするのが普通です。ところが、焼き印を押したら、そこの皮膚を剥ぎ落とすし、タグを付けた部分も、皮を軟らかくしてタグごと捨ててしまうし、管足や触手を切ってしるしにしようとしても、すぐに再生するしで、ナマコにはしるしがつけられないのです。だから正確な寿命の分かっているナマコはほとんどいません。かなりいいかげんな推定ですが、種によっては30年近く生きるものがあるとは言われています。

会場：ありがとうございます。もう一つ。どろどろに溶けて腸とか出て、1カ月ぐらいで再生するということですが、出たら消化器官はなくなってしまうと思うのですが、再生するまでの間は どうやって栄養を取るのですか。

本川さん：皮の一部を壊して材料にして、それを腸につくり替えてしまいます（皮ぐらいしか残っている部分がないのですから、これは当然といえば当然でしょう）。だから腸は再生しますが、体全体は小さくなります。ナマコに餌をやらずに飼うと、どんどん小さくなります。口からではない栄養のとり方としては、皮膚を通して、海水中に溶けている有機物を吸収することも行っています。

会場：ウニ、ヒトデ、ナマコとも棘皮動物というご説明がありました。いずれもキャッチ結合組織を持っています。棘皮というから「とげ皮」です。ところが見てくれはナマコだけ何か全然違うような感じがしまして、一体どうしてこれが同じ仲間に入るのかという質問です。

本川さん：進化の過程から言うと、今いるものの中で、もっとも古いのがウミユリです、そこからまずヒトデが出てきて、それからクモヒトデとウニが出てきて、ウニからナマコが出てきたという順番になると考えられています。

ナマコ以外のものはみんな硬い殻をもっており、棘もあり、そしてはつきりとした5放射相称（星形）をしています。これらは砂の上や岩の上に住んでいるのですが、ナマコは進化の過程でいったん砂の中に潜ってしまったらしい。砂に潜れば、あんな硬い殻で身を守る必要はありません。石灰の大きかった板状の骨は、みんな小さくなって皮

の中に分散してしまいました。棘の必要もなくなりました。また、砂の中を掘り進むには、ウニのように丸っこい体では、抵抗が大きくなってしまいます。体は細長くなった方が、抵抗が少なくすすみますから、口を前にして体が伸びて芋虫形になりました。今でも砂に埋もれて生活しているナマコがいます。しかし多くのものは、再度砂から外にでて生活するようになりました。でも体の形は芋虫形を保っています。だから他の棘皮動物とは、まったく見かけが異なって見えるのです。——とまあ、見てきたようなことを申しましたが、こんな風だったろうと想像されています。

会場：先生、五放射相称とおっしゃっていて、ナマコは一体どこが五放射ですか。

本川さん：ナマコの輪切りした図（図 3）を見ると分かりますが、ちくわの穴のへりに、縦走筋という（ナマコでもっとも強力な筋肉）が 5 対、口から肛門へと、穴を取り囲むように走っているのが分かると思います。また、口のまわりに触手が生えていますが、この数は 5 や 5 の倍数（15 や 25 など）です。肛門に歯をもっているナマコの場合、歯の数は 5 枚です。棘皮動物は口と肛門を通る軸の回りに 5 回の回転対称をしているので 5 放射なのですが、これはナマコにおいても同じです。

会場：ヒトデは口のまわりから腕が 5 本生えていますね。

本川さん：ええ、ヒトデが 5 放射相称なのはわかりやすいですね。ヒトデは下の面の真ん中に口があります。反対側の面の中央に肛門があります。ヒトデにポンプで空気を入れてふくらませれば、丸いウニみたいになるでしょう。そして、そういうウニを口と肛門のところをつまんでびゅーっと引き伸ばし、ころんと横にすればナマコになります。そんな感じです。

会場：食べられるナマコには、サポニンはないのですね。

本川さん：あります。でも、人間に対しては毒ではありません。それに中華料理にするときには一

度ゆでますから、サポニンは出てしまい、問題になりません。（味の上で）問題になるとすれば、生で食べるものですが、生で食べるナマコは、マナマコをはじめほんの少数の種に限られています。マナマコは、どうもサポニン含量は少なめのようなのです。

会場：酢を入れたら？

本川：酸性にするとキャッチ結合組織は非常に硬くなります。酢でサポニンが抜けるとは考えられません。

会場：食べたときの感触のために酢につけてるのですか。

本川さん：感触もあるでしょうね、それに酢で味付けしたほうが美味しいということもあるでしょう。

会場：マナマコは我々が食べる時硬いですよね。さっきの話ですと、もう切ってしまうとすぐ溶けてしまいそうな気がします。なぜ硬いままなのですか。

本川さん：シカクナマコは切れれば溶けます。ただし、マナマコはそんなに溶けるナマコではないので、切っても簡単には溶けません。もちろんこれはナマコの状況によりまして、ナマコの調子が悪くなっていると神経がおかしくなって、触っただけでどろどろ溶けたりします。ですから魚屋に行って溶けかけているナマコ見たら買わない方がいい。

会場：ナマコは人類よりももっと前からいると思うのですが、いつぐらいからいるのかということと、それとあれだけ省エネで、多分環境適応もすごいのだらうと思うので、温暖化で海水温が上がるのが生き延びるのだらうと思うのですが、先生はその辺のところはどうですか。

本川さん：一番古いナマコの化石は 4 億年ほど前のものです。ナマコは死ねば体が溶けてしまうから、体全体の化石はまれなのですが、小さい骨片

は化石になって出てきます。4億年前のものはそういう化石です。もちろん人類よりずっと古いですね。

会場：これから先は？

きっと環境変化の適応能力はすごく高いのですよね。

海水温度が上がっても大丈夫ですか。

本川さん：ナマコは熱帯の海にもいますし寒冷の海にもいますし、深海にもいますので、どこかで生き延びるでしょう。

会場：酸性化しても大丈夫ですか。

本川さん：そうですね、骨片が溶けるとか、皮ががちがちに硬くなって身動きができないということはあるかもしれません。海水の酸性化が今、問題になっていますが、心配されているのは、ナマコの体がガチガチになってしまうほど海水が酸性になるのではなく、ほんの少しだけ酸性に傾くという程度のことです。その程度でも、石灰質の殻（骨）をつくる生物にとっては、殻をつくりにくくなり、殻が弱くなって、たとえばサンゴなどはちょっとした台風で壊されてしまう、貝は身を守れなくなるのではないかと心配されているのです。他の棘皮動物にとっては、これは大いに心配なところですが、ナマコはまともな骨がないですから、大丈夫だろうと思いますね。

会場：さきほど、ヒトデを縛ることはできないというお話がありました。

しかし、彼らの歴史の中で、そういう縛られるというような体験はなかつただろうと思うのですが。

本川さん：ないです。

会場：そうすると、どうしてそんな能力ができたのでしょうか。

本川さん：あれはテレビ向けに縛ってみせただけです。ヒトデはどんな体型でも自由にとれ、そのままガチガチに固まっていることができる、ということのデモンストレーションです。この能力は

きわめて有用なものです。たとえばですね、ヒトデにしてもナマコにしても、非常に狭い岩穴の入り口を、体を大きく変形させながら通り抜けることができます。だから変形できない体のものたちより、隠れ家として使える穴が多くなる。これは良いことです。さらに良いことは、いったん穴の内部に入って、そこで身を固くすれば、もう穴の入口は通れませんから、たとえば強力な魚が口をつっこんできて啜えて引っ張り出そうとしても、それはできませんし、海がものすごく荒れても、波に洗い出されて流される心配もなくなります。ヒトデが貝をこじ開けて食べられるのも、キャッチ結合組織があればこそです。キャッチ結合組織があれば、他の動物には不可能な、いろいろなことができるようになります。

では、そもそもなぜ棘皮動物にだけキャッチ結合組織が進化してきたのが問題になりますね。棘皮動物の祖先は、海底の岩の上に固着しており、流れの中に腕を伸ばして、流れに乗ってきた有機物の粒子をつかまえて食べていたものたちでした。今いるウミユリは、その生き残りです。そういうものにおいては、小さな骨がキャッチ結合組織でつながれている体は、きわめて有利なのです。これは進化の話で、話すとき長くなりますので、今日はやめておきます。

会場：先ほどの先生のお話だと、あまり食べられないというお話がありましたけれど、食物連鎖を考えますと、イカなんていうものはイカが減ってしまったら、それを食っている上位がみんな減ってしまって、海の生物が死滅すると言われていすけれど、ナマコというのは全滅してしまったら何か影響が出ますか。

本川さん：むずかし質問ですね。ナマコの捕食者が困るかどうかがですが、分かりません。困らないような気がします。生態系への影響は、そちらではない方が大きい可能性があります。ナマコは砂を食っているから、砂の栄養循環には影響していると思います。砂の中にすんでいるものたちにとっては、ナマコによって砂をひっかきまわされていたのが止まるのですから、酸素濃度などの影響もあるでしょうし、ナマコの腸を通る前と後の砂では、砂粒の上にすむバクテリアの相も有機物含

量も、砂粒の大きさも異なってくるでしょうから、砂全体の栄養、物理的環境などにも影響が出るかもしれません。この辺が生態系の難しいところで、思わぬ所に影響が出たりしますので、こちらもわからないというのが正直な答えです。

会場：ナマコには天敵がないということですか。

本川さん：ウズラガイやヤツシロガイには食われてしまいます。ナマコを食う魚もいます。ただし魚はナマコだけを食べているわけではないですし、困るとすればウズラガイやヤツシロガイでしょうが、餌がなくなれば、別のものを餌にするというのは、動物のよくやる手ですので、正直、彼らが困るかどうかは、わかりません。

会場：ナマコは砂を食べているという話がありますけれど、砂が無機物なので、砂の中にある何か有機性のものを食べているということですか。

本川さん：はい、そうです。砂粒と砂粒の間にあるいろいろな有機物の破片があるので、それを砂ごとガサッと食べています。また、砂粒の表面にバクテリアフィルムがありますから、それも栄養になります。ただし重さから言えば、無機物のほうが断然多いですから、ものすごく栄養価の低いものを食べていることになります。

会場：今ナマコがいなくなっても生態系に影響がないかという話ですが、有機物を分解して排出しているの、ちょうど土壤にミミズがいなくなったら土の豊かさがなくなるのと同様に、海の海洋の生態の豊かさに物質循環として貢献しているのでしょうか

本川さん：やはりそこには関わっていると思います。ただし、ミミズは随分いっぱい枯れ葉なんかを引きずり込んで土壤をつくるのに役だっていますが、それほど積極性がナマコにあるかは、わかりません。もちろんナマコの腸を通過することにより、砂の表面のバクテリアの相は変わるのでしょうから、影響はあるでしょうけれど。

会場：30年間研究されていて、今の時代はいろん

な分析機器が30年前よりは発達していると思うのです。いまだに何で組織が、先ほどのグラフで硬くなったり軟らかくなったりという、それでもやはり分からないのですか。

本川さん：現在私は、硬くするタンパク質や軟らかくするタンパク質を追いかけしています。それなりに昔よりはずっと分析は楽になりました。ですが、「ナマコなんてばかだから、硬さの変わるメカニズムなんていうのは簡単ではないのか」と思っていると大間違いで、実はかなり複雑で、硬さ変化に関わっている役者がすごくたくさんあるのです。ですから、そう簡単には片が付かないです。何せ研究者がほとんどいませんし、私自身は分子メカニズムだけに興味があるわけではないし、それに歌を作りながらやっていますから、遅々とした歩みです。

もう一つ言えば、私がそれほど分子メカニズムに本腰を入れてこなかったのは、世のはやりのことはやらないという、ひねくれた性格のなせるわざです。今の世の中というのは分子メカニズムが分かったら「分かった」としてしまい、それでお終いになってしまうものです。でもそれだけで分かったことにはならないと私は思うのです。硬さが変わるということ、棘皮動物たちはどんなふうに関わっているのか、キャッチ結合組織のおかげで、どんな生き方が可能になっているのか、なぜキャッチ結合組織が進化したのか等々、生物にとっての意味・目的までが分かって、はじめて生物学的に分かったということなのだろうと思うのですが、近頃ごろの生物学は、そこは問わないで、分子メカニズムばかり追いかける。それに私は腹を立てていますから、なるべく分子メカニズムに手を着けないできました。そういうことは他の人でも興味をもつだろう、「やりたかったら是非やって！」とずっと言い続けてきたのです。でも、だれもやろうとしない。ナマコやっても全然金にならないものですから。そこでしょうがないから、ここ10年ぐらい、硬さ変化の分子メカニズムにも手を出しています。でも分子生物学には素人ですからね、遅々とした歩みでしかありません。

会場：先ほどの「ナマコ音頭」というのは何か夏の海水浴場で流したらどうでしょうか。さかなク

ンに対抗してナマコクンとかといって流行らせたらどうですか。

本川さん：さかなクンは一人でいいですよ。でも、流行ればいいですね。（ところでさかなクンって、歌をうたいましたっけ？）

会場：生体の持っている不思議な現象を工学的に応用しようとする動きが、いろいろありますけれども、ナマコを工学的に社会に応用しようとするような何かそういう研究とか、もし先生がこの性質は工学的に応用したいというようなナマコ独特の何か性質があれば。

本川さん：外から加わってくる力を判断して硬さを変える材料なんていうのはないので、そういうものが作れたらいいですね。例えばナマコの皮で壁をつくる。海鼠壁です。普段は硬いけれど、子どもがぶつかったときには、溶けてサッと包み込んでくれる。怪我をしないやさしい壁です。そっとさわるとふんわりして手触りがよく、強く触るとカチッとなって姿勢を保ち、ものすごく強くぶつかるとドロッととけてしまう材料で車のダッシュボードを作れば、エアバッグはいらなくなります。

会場：2つほどお願いします。今日は非常に面白かったのですが、一番面白かったのはこうやって溶かすところ、あのシーンです。あれをやりたいたのですが、これのために予習してやろうと思って水族館に行ったのだけでも、タッチプールの中に入ってなくてあきらめたのですが、どこへ行けばタマナマコは売ってもらえますか。

本川さん：タマナマコは石垣島に行くといいますが、売ってはいませんね。タマナマコにはどうも2種類あるらしくて、溶けるタマナマコと溶けないタマナマコがいます。シカクナマコは沖縄だったら海岸に行けばどこにでもいます。ネットで売っていることがあります。水族館のタッチプールには、ナマコを入れないようにしているようです。私の映像が有名になって、ナマコとみると、みんなが溶かそうとするらしく、そんなことをされると、溶けにくいナマコも、すぐにぼろぼろになってし

まうから、ナマコはタッチプールには入れないんだと、ある水族館では言っていました。葛西でもタッチプールにはナマコは入れていないようですね。

会場：ありがとうございます。私もやろうと思って行ったのです。

本川さん：やるなら沖縄に行ってください。

会場：はい、分かりました。もう一つお願いします。先ほどちらっと出た話ですけど、ウミユリ、ヒトデ、ウニ、ナマコというふうに形を変えてきたというお話がありましたけれど、例えばこのあと何千万年か何億年かたって、さらに進化したらどんな形に、どんな進化が、先生の期待値を込めてお聞かせください。

本川さん：それが分からないから進化が面白いというわけです。分かりませんが、ナマコは本当に省エネなので、この道をもっと行くかもしれませんね。この辺にいるマナマコというのは夏場になると代謝を止めて寝てしまうのです。夏眠といいます。普通冬眠というのはいします。冬場に餌がないから寝るのですが、ナマコの場合には体温が上がってしまうと、ほっておいても代謝が上がってしまい、そうすると食べる量が追いつかなくなるから、温度が上がってきたら代謝活動を止めて寝てしまおうなんて、そういうことをやっています。本当に省エネの道を突っ走っていて、エネルギー多消費になりそうになると、もう降りますという感じの生き方をしているのです。この道をもっと突き進んで行くことを、ナマコには期待しています。

会場：大変面白い話をありがとうございました。今のことにも関係するのですが、先生のナマコはいろいろな動物と比べて1/10とか1/100のエネルギーで生きてるといいますか、非常に省エネだとおっしゃったのですが、そのエネルギー測定はどうやってやったのですか。

本川さん：ナマコの場合には、酸素呼吸で大半のエネルギーを賄っていますので、酸素消費量を測

定してエネルギー消費量を決めています。ナマコを密閉したコンテナに入れて、コンテナ内の海水の酸素がどれだけ減るかを酸素センサーで測ります。測定そのものは簡単なのですが、実験が難しいのはナマコのご機嫌をとらなければなりません。ご機嫌によって相当酸素消費量が変わります。ナマコのご機嫌は、彼らを見ていると全然分からない。これが難しいですね。(拍手)

以上