

—堀川先生は「クマムシ博士」として、かわいいぬいぐるみと共にテレビをはじめ様々なメディアにも出演されるなどご活躍です。その「クマムシ」とは、どんな生物なのでしょうか。

先ほど「地上最強」と言いましたが、強いクマムシは陸上に生息している種類です。

—随分変わった生物のようですが、多細胞生物なのですか。

堀川 はい、多細胞生物で、脳も神経も筋肉もある、わりと高等な生物なのです。

クマムシは、動物に特徴的な器官や組織など複雑な生物システムや体制をもっています。ひとつの細胞でできている細菌などとは全く違い、むしろ我々人間に近い生物なのです。

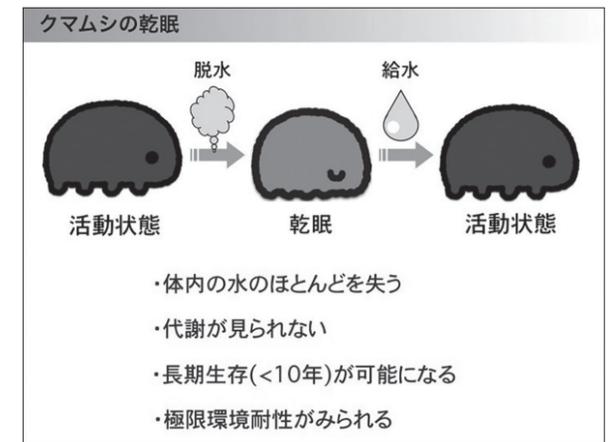
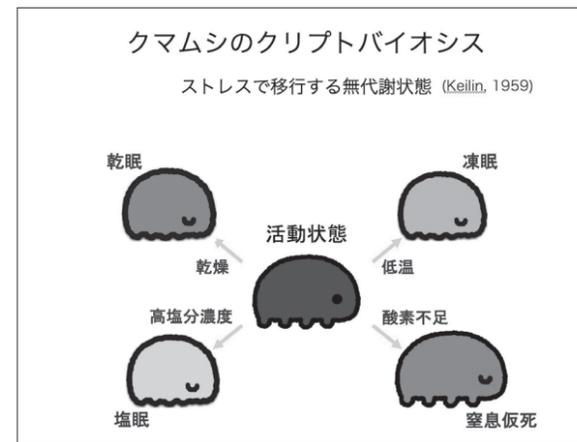
—クマムシが「最強」といわれる理由はどんなことでしょうか。

堀川 クマムシには、非常に面白い「クリプトバイオシス（無代謝の仮死状態）」という特徴があります。これは、生きるのに困難なストレスが多い極限状態になると一種の仮死状態になり、生息環境が戻ると「復活」するのです。

例えば、水がなくて乾燥すると「乾眠」、低温になると「凍眠」、塩分が高くなると「塩眠」、酸素不足になると「窒息仮死」といった状態になります。この時、クマムシは代謝をやめて言わば死んだような状態になります。しかし死んだように見えて、実はそうではなく、ストレスをなくしてやると、また復活して元通りに生きるのです。

—クマムシは、仮死状態になっても復活するのですか。

堀川 特に興味深いのが「乾眠」です。どの種類のクマムシも周りに水分がないと生きていけません。陸にいるクマムシはカラカラの乾燥状態になると乾眠しますが、この時、クマムシの体からもほとんど水分がなくなるのです。人間の体のおよそ70%が水分であるのと似ていて、クマムシも普段は体の70%~80%を水分が占めていますが、乾眠の時は水分が2%くらいになります。この状態がどのくらい例えると、カツオを干した鰹



地上最強の生物「クマムシ」から探る、生物を保存する「テクノロジー」

科学の萌芽 04

慶應義塾大学先端生命科学研究所 特認講師 “クマムシ博士” 堀川 大樹 先生



堀川 大樹 先生のプロフィール

〈経歴〉

- 2002年3月 神奈川大学理学部応用生物科学科 卒業
- 2004年3月 北海道大学大学院地球環境科学研究科 修士課程 修了
- 2005年4月 日本学術振興会特別研究員 DC
- 2007年4月 北海道大学大学院環境科学研究科 博士研究員
- 2007年6月 東京大学大学院理学系研究科 客員共同研究員
- 2007年9月 東京工科大学応用生物学部 非常勤講師
- 2008年4月 東京大学大学院理学系研究科 産学官連携研究員
- 2008年6月 NASA Ames Research Center NASA Postdoctoral Program Fellow
- 2011年4月 Paris University 5 / INSERM Postdoctoral Research Fellow / AXA Research Fund Fellow
- 2014年10月 慶應義塾大学 SFC研究所 上席所員
- 2015年10月 慶應義塾大学 先端生命科学研究所 特任講師

〈専門分野〉

クマムシ研究者。極限環境生物学、乾燥生物学、宇宙生物学、放射線生物学

〈著書〉

「クマムシ博士の クマムシへんてこ最強伝説」他、多数



聞き手：

- | | | |
|-------|----------|--------|
| 南 明則 | 日本科学機器協会 | 広報副委員長 |
| 夏目知佳子 | 同 | 広報委員 |
| 鈴木 裕之 | 同 | 〃 |
| 藏満 邦弘 | 同 | 編集長 |
| 岡田 康弘 | 同 | 事務局長 |

(取材・撮影・編集協力：クリエイティブ・レイ(株) 安井久雄)

「科学の萌芽」とは

各分野で活躍する次世代の科学技術の担い手にご登壇いただき、成功までの軌跡や知られざるエピソードなど、サイエンスの“今”と“未来”が見えてくる企画です。

取材日：2016年4月25日
日本科学機器協会 会議室

ではないかと思うのです。

— 水分は欲しいが競争しても負けるから、乾眠という能力を身につけて、乾いた場所で雨が降るのを待つ、というわけですか。

堀川 今話したことは、クマムシの卵の数の少なさも裏付けになると思っています。乾燥した場所で見つかるクマムシは産む卵が非常に少なく、生涯で10個か20個ほどしか卵を産みません。生存する能力に長けているので、そこに特化しているわけです。天敵に食べられてしまう可能性が相対的に低いからでしょう。逆に、川で生息する種類のクマムシは、非常に多くの卵を産みます。それだけ住みよい環境は、天敵に食べられるリスクが高いということでしょう。

— クマムシの繁殖方法は、オスとメスの交尾なのでしょうか。

堀川 これもクマムシの種類によります。川や海に生息するクマムシ

は交尾をする種類もありますが、メスだけの単為生殖で子孫を残していく種類もいるのです。言わばクローンを作るわけですね。ですから採取していてもメスばかりが見つかるのです。

クマムシから発見!DNAをシールドするたんぱく質

— 本当に我が道を行くユニークな生き方ですね。そのクマムシは温度変化にも強いのでしょうか。

堀川 強いです。クマムシの極限環境耐性を見てみると、高温は100度まで、低温はマイナス273度まで耐えるのです。

そして注目すべきが放射線への耐性です。人間の致死量よりも遙かに強いのです。そして驚いたのが、普通、放射線を浴びるとDNAはズタズタに破壊されてしまうのですが、クマムシはそうならないのです。これは、東京大学の國枝武和助教のグループとの共同研究から明らかになりました。

クマムシの極限環境耐性

・高温	: +100°C	(Hengherr, 2009)
・低温	: -273°C	(Bequerel, 1950)
・高圧	: 7.5 GPa (≒ 75,000気圧)	(Ono et al., 2008)
・化学物質	: アルコール	(Ramlov & Westh, 2001)
	: 臭化メチル	(Jonsson & Guidetti, 2001)
・放射線	: X線	10,000 Gy (May et al., 1964)
	: γ線	7,000 Gy (Jonsson et al., 2005)
	: 重イオン線	8,000 Gy (Horikawa et al., 2006)

採取するときは、カラカラのコケを封筒に入れて持ち帰り、水をかけて一晩おきます。そして顕微鏡を覗くと、乾眠状態だったクマムシが復活してコケの中から出て来るのです。

— クマムシは水分が必要なのですよ?なぜコケが乾いてしまうような場所を住処にするのですか。

堀川 それは非常に的を射た質問ですね。水がないとエサも食べられない、繁殖も出来ないのに、なぜ乾いたところにいるのか?私は弱くて競争を避けた結果だと思うのです。

水が多いところには、クマムシ以外の生物も多くいて資源を奪い合わないといけませんし、天敵も多いのです。一方でカラカラに乾燥した場所には、バクテリアやカビといった他の微少な動物でさえもなかなか生息することが出来ません。そうした場所で、資源を奪い合う競争相手を避けて、のんびり生きていくことを選んだ結果



ヨコヅナクマムシの電子顕微鏡写真 (撮影: 堀川大樹・行弘文子先生)

何かしら方法はあると思うのです。

— もしかしたら、いつかは人の記憶も仮死状態を経て、遠い未来に復活させる方法が出来るかもしれない…と思うと、夢が広がりますね。

弱いから逆に、最強の特性を身につけたのか?

— クマムシも生きていくために水分が必要ということでしたが、ジメジメした湿気のあるところで生息しているのでしょうか。

堀川 皆さんそう思いがちですが、実は逆なのです。

いかにも生命感がないような路上のコケなどに乾眠しているのです。緑のコケではなく駐車場の車止めや住宅街などのカラカラしたような“しょぼい”コケです。



節でも15%~20%の水分です。ですから石砂のようです。

ところが、乾眠状態のクマムシに水をかけると十数分で何事もなかったように復活するのです。これがどういうことかと考えると、クマムシの神経や筋肉は、乾眠の間も復活できるように“機能が保存されている”のです。このように仮死状態になったとしても、また元のメカニクスが働くというのが実に興味深いのです。

— どれぐらいの間、仮死状態が続いても復活出来るのでしょうか。

堀川 ひとつの例では、南極から採取したコケの中で30年間仮死状態だったクマムシが復活したのです。ただ、これは乾眠ではなく、体の水が凍った凍結状態(凍眠)だったと考えられています。乾眠状態のクマムシの場合、室温では9年が最長ですが、超低温に置いておけば、はるかに長いあいだ生存することが可能だと思います。

— 30年間の仮眠状態からですか…つまり、寿命を延ばせるということですね。

堀川 理論的にはずっと生き続けられるのですが、常温の空気中などでは酸素が生体の保存にダメージを与えるので、現実的にはそうはいかないのです。逆に言うと普通では考えられない極限状態、例えば真空などで乾眠し続けてい

ると、半永久的に生きられる可能性があるのです。

活動状態のクマムシの寿命は、種類や室温の条件などで違いますが、およそ1ヶ月~1年といったところで、色々とはばつきがあるのです。

乾眠から復活する時、仮死状態前の記憶は?

堀川 そうした乾眠状態から復活する時、乾眠する前の“脳の記憶”は保存されているのだろうか?ということを見ると、非常に興味深いわけですが、その点はまだ解明されていないのです。

— 仮死状態でも「記憶は保存されているのか?」解明する方法はあるのでしょうか。

堀川 考えられるのは、クマムシに何かを学習させて、乾眠から復活をした後でも、学習成果が現れるかを調べる手法です。例ですが、クマムシが嫌う紫外線のような刺激とバニラの臭いを同時に与えて覚え込ませて「紫外線がなくてもバニラの臭いをかぐと逃げていく」ことを学習させたといいます。そのクマムシが乾眠から復活の後でも、バニラの臭いをかがせると同じ反応をする、ということが見られれば、何かしら“記憶”が保存されていることになるのです。

クマムシの神経の発達具合などをみると、学習能力がある他の生物と似ているところがあるので、

産学官との連携

ということもありえるのかもしれませんが。

— そうしたクマムシの研究がさらに広がっていくよう、ますますのご活躍を期待します。最後に、こうしたクマムシのイラストやぬいぐるみは、ご自分で?

堀川 はい。自分でイラストを描き、ぬいぐるみをデザインしました。そのデザインを元に、イラストレーターの阪本かもさんに可愛く描いてもらっています。ただ、『クマムシ博士のクマムシへんてこ最強伝説』のイラストは、すべて自分で描きました。

また、研究の理解と支援のために、インターネットでクラウドファンディングを募る試みも行っています。支援くださった方には、こうしたぬいぐるみや本、クマムシ観察キットなどを送り、私や研究者仲間との食事会やイベントなどでお返しをしています。既に募集したものは目標額に達し、新たな募集も行っています。こうしたところから研究への理解と、クマムシへの興味が広がればよいと奮闘しているところです。

— 未知の能力もひめたクマムシ。堀川先生はブログなどでも随時情報発信されております。ぜひご覧になってみてはいかがでしょうか。

次号「科学の峰々」では
公益社団法人 日本分析化学会 会長
東京工業大学 理学院長
岡田 哲男 先生にお話しいただきます。

すが、環境面やエネルギーの面でも問題点があります。それを、クマムシの遺伝子をエビやカニに組み込んで乾眠させて運ぶ、そしてキッチンで塩水をかけたらピチピチッと復活する、といったことが出来ないかと思案しています。基礎研究の進み具合によりますが、5年くらい先に始められて、その実現のきっかけが出来ればよいと考えています。

— お話を聞いていると、医療分野への可能性も感じますが。

堀川 そうですね。人間の細胞や組織を乾燥保存して復活させる、という可能性も秘めています。例えば赤血球など血液中の組織が乾燥保存出来るようになったら、「血液」を乾燥して輸送し、電力がないところでも水をかけて戻して、手術や治療に使うことが出来ると

堀川 およそ200人と推定されます。3年に1度、国際クマムシシンポジウムがあり、2003年に私が初めて参加した時は、出席者は50人程で日本からの参加者は学生の私を入れても4人でした。それが前回2015年は100人以上が参加、日本からも11人の研究者が参加しました。

世界の食糧や環境問題に貢献する可能性

— この先、具体的に描いているクマムシ研究の応用先はありますか。

堀川 まだ様々な基本研究が必要なのですが、ある程度進んできたら、エビやカニなどの乾燥保存法に役立てられないかと考えています。

今、東南アジアなどで養殖したエビやカニを冷凍して運んでいま

「30年の仮死状態から復活するクマムシは驚くほど「かっこいい」「かわいい」最強生物です!」



産学官との連携

びて動き出す姿、トランスフォーメーションですね。

世界的な功績となった「クマムシの人工繁殖」を確立

— 未知の分野であるがゆえに、大変なご苦労があったのではないのでしょうか。

堀川 当初、日本では全く理解されませんでした。それでアメリカのNASAにアピールしに行くことを思いつき、NASAの宇宙生物学会議に、クマムシを研究することで宇宙生物学が進むといった内容をアピールしに行きました。正直言って、ものすごく場違いな感じでしたが…(笑)。アメリカの面白いところは、そんな“場違い”な人間も受け入れてくれる柔軟さがあり、結果的に私は学生のコンペティションで70人中2位に選ばれたのです。そうしたことも評価されて、NASAのエイムズ研究所でクマムシを研究することが出来ました。

— 思い切った行動力と好奇心ですね。そうした一連の研究の中で、堀川先生がもっとも感動したことはなんのでしょうか。

堀川 何といっても「ヨコヅナクマムシ」が飼育出来るようになった時です。この時の喜びは最高で、この成果で博士号を取得したのです。

実は、私が飼育法を確立できたことで、クマムシの研究に参入

する人も増えて研究が進みました。例えばDNA解析ひとつをとっても、野外からその度に採取したサンプルでは実験の再現性がないために上手くいかなかったわけですが、ひとつのヨコヅナクマムシの個体から派生した“YOKOZUNA-1”の系統、といった具体的に解析が出来るのです。

ちなみに外国の研究者も「ヨコヅナーワン」という言葉を使うわけで、それは非常に優越感があるのです(笑)。

— それだけ感動が深かったということは、成功するまでにかなりのご苦労があったのでしょうか。

堀川 本当に苦労しました。ヨコヅナクマムシは藻類を食べるのですが、最初はオニクマムシという肉食のクマムシを飼育していたのです。でもこのオニクマムシは、肉食でエサにはワムシという生物をあげないといけないし、その手間たるや大変なもので…。そうして他の種類のクマムシを育てられないかと試行錯誤していた時に、北海道で採取したヨコヅナクマムシにたどり着いたわけです。

ちなみにヨコヅナクマムシは、乾眠するクマムシの中でも非常に強いので、「貴乃花」をイメージして名付けたのです。

— ヨコヅナクマムシの飼育・繁殖の成功で、研究者も増えたということですが、世界ではどれくらいの研究者がいるのですか。

調べていくとDNAを保護するたんぱく質、言わばシールドするたんぱく質が発見されたのです。この発見はメディアでも数多く取り上げられました。

ただ、強い放射線下で正常な子孫が残せるかという点はその影響があり、今後、共同研究者や他の分野と連携しながら、研究が進めばよいと思っています。

クマムシ研究のきっかけは直感的に“かっこいい!”

— 先生はなぜクマムシに興味を持ち、研究の対象にしたのでしょうか。

堀川 小学生の時から昆虫や恐竜が好きでした。また、母親の実家である沖縄に行った時は、いろんな昆虫を観察して楽しんでいました。そして、神奈川大学の学生時代に所属した関邦博教授の研究室はクマムシの高圧耐性発見していたのです。ある日、OBの方が顕微鏡でクマムシを見せてくれたのです。そのとき直感的に、かっこいい!そして、かわいいと感じました。

クマムシを研究に選んだ一番の理由は「ほとんど研究されていない分野だと聞いて、やるしかない」と思ったわけです。クマムシは仰向けになると、足をバタバタさせて起き上がれないのです。そういうところが面白くてかわいいのです。かっこいいのは乾眠になるときに縮こまり、復活するとき体が伸