

# ミドリイシサンゴ一斉産卵の謎はいまだに闇の中

The mystery of coral mass-spawning is still in the dark

服田昌之

お茶の水女子大学

沿岸生物教育研究センター

M. Hatta

## ●事の発端

2007年10月末、「満月の光が合図 サンゴの一斉産卵の謎とけた」という見出しの新聞記事が大手新聞社の紙面を大きく占めた。「新月から満月まで光が強くなるにしたがってサンゴの体内にあるセンサー役の遺伝子がじょじょに活性化し、満月に合わせて産卵の引き金を引くとわかった。」と書かれており、記事を読む限り、サンゴの産卵が満月の夜に同調するメカニズムが解明されたと受け取れる。もしもこれが本当であるならば生物学の歴史に残る大発見である。サンゴの一斉産卵の謎もさることながら、月齢に応じた生物の行動は古くからいくつも知られているものの、生物が月齢を感じする仕組みは全くわかっていない。月齢感知の機構は生物学における最大級の未解明課題なのである。新聞記事が参照したのは、アメリカの科学誌 SCIENCE に掲載された論文 (Levy et al. 2007) であり、SCIENCE 誌の日本語版ホームページの「今週号のハイライト」欄にはこの論文が取り上げられていた (<http://www.sciencemag.jp/highlights/20071019.html>)。その紹介文には「グレートバリアリーフのサンゴ（ハイマツミドリイシ）が、年に1度、真夜中に同調産卵を行う原因については、これまで謎であった。」そして論文で扱った遺伝子がその同調産卵に「関与している可能性が明らかになった。」とある。「可能性」と、新聞記事に較べてトーンは低い。実際のところはどうなのか。原著論文を読んだ結果、上述の新聞記事と論文紹介文は明らかな誤報と判明した。大手新聞と SCIENCE 誌であり、鵜呑みにした人も多いことが憂慮される。影響力の大きな情報源による誤報ゆえに、少しでも事態収拾を図るべくこの小文をまとめるにいたった。

## ●ミドリイシサンゴ一斉産卵の要因

真偽の検証をする前に、亜熱帯地域におけるミドリイシサンゴの一斉産卵のタイミングが決まる要因を段階的に整理してみたい。いずれも状況証拠からの推定ではあ

るもの、問題を整理しておくことは有益なはずである。

## 第1段階：産卵季節

沖縄では4—7月にミドリイシサンゴの一斉産卵がある。地域ごとの傾向としては、八重山では4—5月、慶良間では5—6月、沖縄島では6—7月と、南方ほど早い。これらの地域の日射量の違いを思えば、この原因として最も考えられるのは水温の違いであろう。生殖巣は春から急速に発達するため、その成熟が積算水温に依存することは考えやすい。沖縄では8月に産卵する種類のサンゴも少なくないが、これらは積算水温に対する反応性が異なると考えれば無理がない。

## 第2段階：産卵月齢

グレートバリアリーフと同様に沖縄でも、ミドリイシの一斉産卵は満月周辺に起こる。例えば慶良間では、5月の満月に一部のミドリイシ群体による産卵があつて残りが6月の満月に産卵することがしばしばある。このような状況証拠から、ミドリイシは月齢を感じて産卵タイミングを同調させていると考えられている。忘れてならないのは、天候が悪い時には雲によって月光が遮られるため、月齢感知は光に関係しないはずであるということである。

## 第3段階：産卵日

一斉産卵は必ず満月その夜に起こるわけではなく、数日は前後する。経験的には、産卵直前数日の天候や水温の推移によって産卵日がずれるようである。沖縄では一斉産卵の時期は梅雨と重なることも多く、日射量や降雨によって水温も変動する。このような産卵直前の気象海況に応じて産卵日を微調整する機構があるように思われる。しかも、同じ島の隣のビーチで一斉産卵が1日異なることもよくある。水温が微妙に違うのだろうか。それでもビーチごとに同調して一斉に産卵が行われることから、フェロモンのような同調シグ

ナル物質の関与も想定されている。

#### 第4段階：産卵時刻

ミドリイシの一斉産卵は午後10時頃である。毎年の観察では、若干の時刻のずれはあるものの、おおよそ安定している。雨天や曇天でも産卵時刻は大きくずれないことから、光量の相対的な差を感じできるのかも知れない。実験的には、産卵予想日の午後に群体を水槽内に置いて暗幕をかけたところ約3時間後に産卵が起こったという例がある(岩尾 2000)。このことから、産卵は日没による暗転から一定の時間後に起こるものと考えられる。種類によっては産卵時刻が異なり、産卵時刻は遺伝的に決まっているようである(Fukami et al. 2003)。

以上のように、産卵タイミングの決定には4段階の異質な機構があり、それらのすべてが同調してはじめて一斉産卵が実現するものと推測される。

#### ●問題の論文の中身

くだんの論文の内容を、著者らの主張を脇に置きつつ、データに忠実に読み解いてみたい。論文の著者らは、まずクリプトクロムというタンパク質に注目した。クリプトクロムとは、光を直接受け取って細胞の応答を

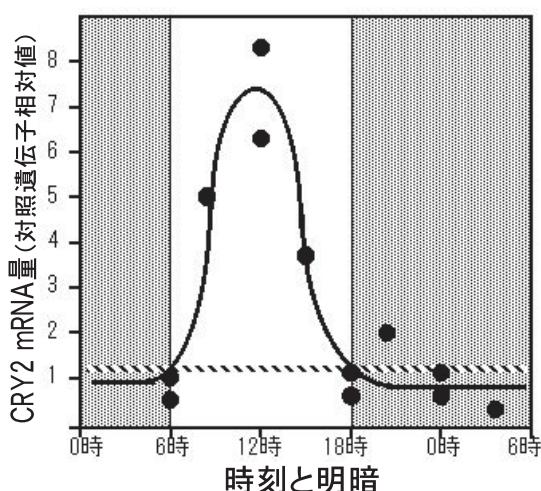


図1 CRY2 mRNA量の日周変動の模式図

対照遺伝子mRNAとの相対値の概要。影の部分は日射がない時間帯を表す。点線は、実験的に暗黒下に置いたサンゴにおけるmRNAレベルを示す。

引き起こす、細胞内の光受容体タンパク質である。植物において最初に発見され、単細胞生物を含めて多くの生物で見つかっている。そこで著者らは、種々の生物のクリプトクロム遺伝子の情報を元にして、ミドリイシサンゴから類似の遺伝子を3つ見つけ出した。そしてまず、昼夜の明暗サイクルに応じてクリプトクロム遺伝子がサンゴ群体の中で読み出される量(mRNA量)の変化を調べた。3つの遺伝子のうちのひとつ、CRY1と名付けられた遺伝子は、明るくなってから急速にmRNA量が増えて4時間後に最も多くなり、その後減少するという結果が示されている。しかし、オンラインだけで提供される補足データでは全く異なる結果である。すなわち再現性が無いのである。論文の中では「明確な周期性が認められた」と高らかに宣言されているが、CRY1は検討対象にならない。次、2つめのCRY2と名付けられた遺伝子は、暗い時間帯にはmRNAはほとんど検出されず、明るくなってから約6時間後の正午あたりに夜間の約8倍のmRNA量のピークがあり、その後は急速に低いレベルに戻った(図1)。実験としてサンゴ群体を静置した水槽を暗幕で覆った場合には、CRY2 mRNAはほとんど検出されなかった。これらの結果が示しているのは、CRY2遺伝子は光に反応して読み出されるということである。原因は光量で、結果はCRY2遺伝子の読み出し量である。しかしながら論文では、この原因と結果の関係を明確にしていないどころか、CRY2が生物時計のペースメーカーであり産卵タイミングを決めるものであると、原因と結果を逆転させた論を述べている。しかも、それは産卵期ではない季節における測定結果であり、月齢との関連も示されていないにもかかわらず、である。産卵と関係があるならば、産卵直前で活性化する遺伝子でなければおかしい。そして、月齢感知であるならば光量に左右されてはいけないのである。これらの、最も基本的な点が無視されている。なお3つめの遺伝子については調べていない。

次に著者らは、満月と新月の夜0時に、野外から採取したサンゴ組織内におけるCRY1とCRY2遺伝子のmRNA量を計測した。CRY1は満月時でも新月時でも低レベルで違いが無かったが、CRY2は満月時のほうが新月時よりも2倍ほど多かった。そして、夕方18時には

差がなかった。この結果から著者らは、CRY2が満月を感じる遺伝子であると述べている。いや待て、原因と結果を取り違えていないか。先の結果ではCRY2は光によってmRNA量が増えるものだと分かった。新月の夜は星明かりしかないので比べて、満月の夜は月光によって明るい。そのような光の量の違いがCRY2遺伝子のmRNA量の違いとなったのではないだろうか。夕方18時は薄暮で、CRY2のmRNA量はゼロになる時間帯である（図1）。その後、満月が昇って明るくなつたことで、光に応答してCRY2mRNAがわずかに増えたのではないか。そもそも夜におけるCRY2遺伝子のmRNA量はほとんど無いくらいなのに、その2倍というのはいかほどの量だろうか。測定ごとの変動の幅に収まってしまう程度である。昼間のピーク時と比較してもたいした量ではないのに、その影響はどれほどなのだろうか。ここで、昼夜変化との量の比較を示さずに2倍という違いのみをアピールするのはフェアなことであろうか。しかも産卵の1~2ヶ月前の測定結果である。試料を採取した夜の明るさの違いには全く記述がない。しかも、一斉産卵は夜10時頃であるのに、夜0時での計測にどれほどの意味があるのかは論じていない。産卵に関係する遺伝子であるならば、産卵直前に変動するはずではないだろうか。ところが、産卵とは全く関係の無い時刻・日・月の計測である。しかもたった一回だけの試料採取であり、再現性については全く実験がなされていない。そもそも産卵直前の測定がなければ全く意味がないことは誰しも思うことだろう。

## ● 結論

クリプトクロムは、細胞が光に反応するためのアンテナであり、それ自身が光量に対応した遺伝子読み出し量の応答性を持っていてもおかしくはない。しかし、月齢感知に関係するのであれば月齢に応じた変動がなければおかしいし、一斉産卵に関係するのであれば産卵日のみに変化が見られる遺伝子でなければおかしい。また、CRY2遺伝子を強制的に発現させた結果として産卵が起こったならば、CRY2が産卵タイミングを決めていると結論できる。しかし論文では、サンゴが光に反

応した結果としてCRY2遺伝子のmRNA量が上昇することを示しているに過ぎない。ただ単にそれだけの論文である。そして、原因と結果をひっくり返した記述をしている。ゆえに、学術論文としては全く顧慮されるに値しないものであるし、今後まっとうに引用されることも無いであろう。

問題の論文のタイトルを和訳すると、「単純な多細胞動物であるサンゴから、光応答性のクリプトクロム遺伝子」である。一斉産卵という語句も月齢感知という語句も、ここには見当たらない。この論文は、産卵期とは関係無しに日周期における明暗に反応する遺伝子を見つけたという報告に過ぎない。光に応答する、すなわち受動的に反応する遺伝子。タイトルはこの結果そのままを表しており、ここに嘘は無い。ところが本文や要旨では巧妙に原因と結果の関係がすり替えられ、さも月齢に応じた一斉産卵同調に関わる遺伝子であるかのような記述がなされている。ハイライト欄の紹介文はこの要旨を踏まえたのである。日本の某大手新聞社は、プレスリリースされたこのハイライト紹介文を鵜呑みにして、第3者の関連分野研究者から裏付けを取ることなしに、記事を書いたとしか思えない。少なくとも読者の我々は、情報源を見定め、できれば原典にあたるか専門家の意見を聞くなど、賢く振る舞いたいものである。そして、SCIENCE誌だけでなくいずれの学術誌においても、誤りを含んだ論文は必ず紛れ込んでいることを忘れてはなるまい。

いずれにせよ、先に挙げた一斉産卵の同調の4段階の条件について、解明されたものはひとつとしてないのである。サンゴが月齢に応じて一斉に産卵する仕組みについては、いまだに全てが闇の中である。

## ●引用文献

- Fukami H, Omori M, Shimoike K, Hayashibara T, Hatta M (2003) Ecological and genetic aspects concerned with reproductive isolation by differential timing of spawning in *Acropora* corals. *Marine Biology* 142: 679-684  
岩尾研二 (2000) 造礁サンゴ産卵時刻のコントロール. みどりいし 11: 24-25  
Levy O, Appelbaum L, Leggat W, Gothilf Y, Hayward DC, Miller DJ, Hoegh-Guldberg O (2007) Light-responsive cryptochromes from a simple multicellular animal, the coral *Acropora millepora*. *Science* 318: 467-470