

サンショウウオの胚で光合成！ こんな驚きの発見が報告されました。なんと胚細胞に藻類が共生していたのです。発表によると、藻類は胚の排泄物を利用し、胚は藻類の光合成による酸素と炭水化物を利用しているというのです。遠い未来、これが進化して、動物細胞も光合成できるようになる、なんてことが起こりうるかもしれません。



サンショウウオの卵の内部で、胚と藻類が共生している。藻類との共生関係は、胚細胞の内部でも成立している。

## nature news

語数：503words 分野：生態学・微生物学・発生生物学・生理学

Published online 4 August 2010 | Nature 466, 675 (2010) | doi:10.1038/466675a

<http://www.nature.com/news/2010/100804/full/466675a.html>

# Salamander's egg surprise

Algae enjoy symbiotic relationship with embryos.

Anna Petherick

- Scientists have **stumbled across** the first example of a **photosynthetic organism** living inside a **vertebrate's** cells. The discovery is a surprise because the **adaptive immune** systems of vertebrates generally destroy foreign biological material. In this case, however, a symbiotic alga seems to be surviving unchallenged — and might be giving its host a solar-powered **metabolic** boost.
- The embryos of the **spotted salamander** (*Ambystoma maculatum*) have long been known to enjoy a **mutualistic relationship** with the **single-celled alga** *Oophila amblystomatis*. The salamanders' **viridescent** eggs are coloured by algae living in the jelly-like material that surrounds the embryo. The embryos produce nitrogen-rich waste that is useful to the algae, which, in turn, supply the developing embryos with extra oxygen. The algae clearly benefit their salamander **hosts**: Lynda Goff, a molecular marine biologist at the University of California, Santa Cruz, showed 30 years ago that salamander embryos lacking algae in their surrounding jelly are slower to **hatch**.
- Ryan Kerney of Dalhousie University in Halifax, Nova Scotia, Canada, has now found that these algae also live inside the embryo's cells. Such a close coexistence with a photosynthetic organism has previously been found only in **invertebrates**, such as corals. Kerney took long-exposure **fluorescent images** of pre-hatchling salamander embryos, and saw **scattered** dots in the **unstained tissue** — an indicator that it might contain **chlorophyll**. **Transmission electron microscopy** (TEM) images showed mitochondria in the salamander cells clustering close to the algae. Reporting the discovery on 28 July at the Ninth International Congress of Vertebrate **Morphology** in Punta del Este, Kerney suggested that the **mitochondria** might be **taking advantage** of both oxygen and **carbohydrate** generated by the alga's **photosynthesis**.
- So when do the algae enter the embryos' cells? A **time-lapse** video made by Roger Hangarter at Indiana University in Bloomington, and presented by Kerney at the meeting, reveals a fluorescent green flash — an algal bloom — next to each embryo just as its **nervous system** begins to form. Most research on spotted salamander embryos has focused on earlier periods of development, which might explain why algae have not been seen inside the cells before.
- One of Kerney's most curious discoveries suggests that the algae may be a **maternal** gift. He has found the same algae in the **oviducts** of adult female spotted salamanders, where the embryo-**encompassing** jelly sacs first form.
- David Wake, an **emeritus professor** at the University of California, Berkeley, who watched Kerney's presentation, wonders whether algae could be getting into the **reproductive cells**. This would "really challenge the **dogma**" that vertebrates' **immune systems** ban such close relationships, he says. Both Wake and David Buckley, who studies salamander development at the National Museum of Natural Sciences in Madrid, agree that the work might tell us more about how vertebrate cells learn to identify **intruders**.
- "It makes me wonder if other species of salamander that have known symbiotic relationships with algae also **harbour** algae inside their cells," adds Daniel Buchholz, a developmental biologist at the University of Cincinnati in Ohio. "I think that if people start looking we may see many more examples."

## TOPICS

## 共生 (coexistence, symbiosis)

共生とは、異なる生物種が、相互関係を常に保ちながら共に生活していることをいう。双方の生物種が利益を得る相利共生、片方のみが利益を得る片利共生があり、一方のみが利益を得てもう一方は害を被る寄生も共生の一種である。以下に相利共生の例を挙げる。

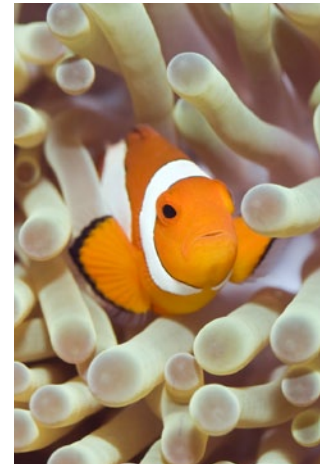
- ・ **マメ科の植物と根粒菌**：根粒菌は植物から栄養分をもらい、植物は根粒菌が固定した窒素をもらう。
- ・ **動物と腸内細菌**：腸内細菌は外部からの病原菌の繁殖を防ぎ、消化を助ける。腸内細菌は動物から栄養分をもらう。
- ・ **サンゴと褐虫藻**：褐虫藻はサンゴの細胞内に共

生。サンゴは褐虫藻の光合成産物を栄養として受け取り、褐虫藻はサンゴの代謝産物を光合成の基質として利用する。

このほか、藻類どうしの細胞内共生もある。

このように相利共生の場合、生理的に強く結びついていることが多く、どちらかが欠けてしまうと生存の危機にさらされる。例えば、水温上昇などにより褐虫藻が死滅すると、サンゴは白化して死に至る。

今回、脊椎動物のサンショウウオの細胞内に共生する藻類が初めて発見された。脊椎動物は高度な免疫系を持っており、外部からの異物は排除されてしまう。このため、藻類がどのようにして免疫系をかわして細胞内共生を可能にしたのか、非常に興味深い研究である。



クマノミとイソギンチャクも共生。

ISTOCKPHOTO

## SCIENCE KEY WORDS

タイトル **salamander**: サンショウウオ

両生類。4本の四肢をもつ。多くは体長20cm以下だが、オオサンショウウオは50cmに達する。湿った所に生息する。

リード **algae**: 藻類 **alga** の複数形

酸素発生型の光合成を行う生物から、陸上植物（コケ植物、シダ植物、種子植物）を除いたものの総称。

リード **symbiotic relationship**: 共生関係リード **embryo**: 胚

多細胞生物で卵割後の発生過程の個体。

1. **photosynthetic organism**: 光合成生物  
光合成を行う生物。1. **vertebrate**: 脊椎動物

動物分類上の1つ、脊椎動物亜門に属するもの。脊椎と中枢神経をもち、一般に左右対称の形態。

1. **adaptive immune**: 適応免疫

体内に侵入した異物を特異的に攻撃する免疫。抗体など。

1. **metabolic**: 代謝の

代謝 (metabolism) とは、生物が外界から物質を取り込んで、生命活動のために必要な物質を合成あるいは分解する反応。

2. **spotted salamander**: スポテッドサラマンダー (キボシサンショウウオ)

黒い体に黄色い斑点が特徴のサンショウウオ。カナダ東部、米国東部～中西部の落葉樹森林地帯の池や川の近くに生息。

2. **mutualistic relationship**: 相利関係2. **single-celled alga**: 単細胞藻類2. **host**: 宿主

寄生虫や細菌、菌類などが、寄生あるいは共生する生物。

3. **invertebrate**: 無脊椎動物

脊椎動物以外の動物。動物全体の95%以上を占める。

3. **fluorescent image**: 蛍光画像

ある特定の波長の光を試料に当てて励起させ、撮影した画像。

3. **tissue**: 組織

多細胞生物で、同じ形態・機能をもつ細胞の秩序立った集合体。

3. **chlorophyll**: クロロフィル

葉緑素。緑色植物やシアノバクテリア、光合成細菌に含まれる色素。光合成反応で光を吸収する役割を果たす。

3. **Transmission electron microscopy**: 透過型電子顕微鏡

試料に電子線を照射し、透過した電子を結像して観察する顕微鏡。

3. **mitochondria**: ミトコンドリア

細胞小器官の1つ。呼吸反応の電子伝達系を担い、エネルギーを生産する。

3. **carbohydrate**: 炭水化物、糖質

単糖で構成された有機化合物で、多くは  $C_nH_{2m}O_m$  で表される。

3. **photosynthesis**: 光合成

光エネルギーを利用して、 $CO_2$  の同化、有機物合成を行うこと。

4. **nervous system**: 神経系

情報の伝達と処理を行う、動物に特有な器官系。

5. **oviduct**: 卵管、輸卵管

卵巣と子宮を結ぶ管で、卵を受け取り排出する。

6. **reproductive cell**: 生殖細胞

生殖のために分化した細胞。卵や精子、花粉、孢子など。

6. **immune system**: 免疫系

体内に侵入した異物を認識し、排除しようとする生体防衛機構。

## WORDS AND PHRASES

1. **stumble across** ~ : 「～を偶然に見出す」

2. **viridescent**: 「淡緑色の」、「緑がかった」

2. **hatch**: 「孵化する」、「卵がかえる」

3. **scatter**: 「散在する」

3. **unstained**: 「無染色の」、「染色していない」

3. **morphology**: 「形態学」

3. **take advantage of** ~ : 「～を利用する」、「～を活用する」

4. **time-lapse**: 「微速度撮影の」

5. **maternal**: 「母体からの」、「母体由来の」

5. ~ **encompassing**: 「～を取り囲む」

6. **emeritus professor**: 「名誉教授」

6. **dogma**: 「定説」

6. **intruder**: 「侵入者」

7. **harbour** ~ : 「～を寄生させている」、「～を内部にもっている」

## 参考訳

## サンショウウオのびっくり卵

サンショウウオ胚との共生関係を満喫する藻類がいる。

アンナ・ペザリック



スポテッドサラマンダーの成体。

JOHN CANCALOSI/ALAMY

- 脊椎動物の細胞内で生きる光合成生物の初めての事例が、偶然発見された。これは驚くべき発見である。脊椎動物の体内に外来の生体物質があると、通常は、適応免疫系によって破壊されてしまうからだ。今回、脊椎動物の体内での共生が明らかになった藻類は、宿主から攻撃を受けずに生き延びているように見え、光合成の産物を与えることで宿主を支援している可能性がある。
- スポテッドサラマンダー（キボシサンショウウオ）(*Ambystoma maculatum*) の胚が、単細胞藻類の *Oophila amblystomatis* と相対的関係にあることは、ずっと以前から知られていた。スポテッドサラマンダーの卵は淡緑色をしているが、これは、胚を包み込むゼリー状物質の中にある藻類の色である。藻類は、胚から出る窒素を多く含む排泄物を利用する一方で、発生中の胚に酸素を多めに供給している。この藻類が宿主に利益をもたらしていることは明らかで、カリフォルニア大学サンタクルーズ校（米国）に所属する分子海洋生物学者の Lynda Goff は、スポテッドサラマンダー胚の周囲のゼリー状物質中に藻類がないと孵化が遅くなることを、今から 30 年も前に明らかにしている。
- 今回、ダルハウジー大学（カナダ・ノバスコシア州ハリファックス）の Ryan Kerney は、この藻が胚細胞の内部にもいることを発見した。光合成生物とのこれほど密接な共存は、これまで、サンゴのような無脊椎動物でしか見つかっていなかった。Kerney は、孵化前のスポテッドサラマンダー胚の長時間露出蛍光画像を撮影し、無染色の組織中に点状のしみが散在していることを明らかにした。これは、組織中にクロロフィルが含まれている可能性を示唆している。透過型電子顕微鏡（TEM）の画像からは、胚細胞中のミトコンドリアが藻類の近くに集まっていることがわかった。7月28日、Kerney は、プンタ・デル・エステ（ウルグアイ）で開催された第9回国際脊椎動物形態学会議で今回の発見について報告し、このミトコンドリアが藻類の光合成により生成した酸素と炭水化物を利用している可能性を提示した。
- それでは、この藻類はいつスポテッドサラマンダーの胚細胞に入り込んだのだろうか。Kerney は会議でインディアナ大学ブルーミントン校（米国）の Roger Hangarter による微速度撮影映像を発表したが、その映像では、それぞれの胚で神経系の形成が始まる時に、胚の近くで、藻類の爆発的な増殖を示唆する蛍光緑色の閃光が見られた。胚細胞の内部の藻類がこれまで見つかっていなかったのは、スポテッドサラマンダー胚に関する従来の研究のほとんどが、これより早い発生段階に焦点を当てていたせいかもしれない。
- 今回の発見の中で特に興味深いのは、この藻類が母体からの贈り物である可能性を示唆するものである。Kerney は、スポテッドサラマンダーの雌の成体の卵管中で同じ藻類を発見したが、ここは、胚を包むゼリー状の嚢が最初に形成される場所なのだ。
- Kerney の発表を見たカリフォルニア大学パークレー校（米国）の David Wake 名誉教授は、藻類は生殖細胞に侵入するのではないかと考えている。そうすると、こうした密接な関係は脊椎動物の免疫系によって禁じられているとするドグマに対する「正真正銘の挑戦」となる、と Wake は話す。Wake も、国立自然科学博物館（スペイン・マドリード）でサンショウウオの発生について研究している David Buckley も、今回の研究により、脊椎動物の細胞が侵入者を識別できるようになる過程について解明が進むかもしれない、と考えている。
- シンシナティ大学（米国オハイオ州）の発生物学者 Daniel Buchholz は、「今回の研究をみると、藻類との共生関係が知られている他のサンショウウオ種でも、細胞内に藻類がいるのではないかと考えてきます」と付言する。「探してみれば、もっとたくさんの事例が見つかるかもしれません」。

（翻訳：菊川要）