

動植物に共通の精子形成メカニズムの発見 ～DNAのひずみをほどく酵素が正常な精子の形成に機能～

【発表のポイント】

- ・コケ植物ヒメツリガネゴケにおける精子形成の過程で細胞核が同調的に収縮
- ・DNAのひずみをほどく酵素が精子細胞核の同調的な収縮に必要な不可欠
- ・DNAのひずみをほどく酵素は動物の精子形成にも機能することが知られており、動植物に共通の精子形成メカニズムを発見
- ・植物の雄性不稔・動物の雄性不妊メカニズム解明への貢献が期待される

■研究概要

宇都宮大学の顧南（顧南、グナン）日本学術振興会外国人特別研究員、玉田洋介准教授は、基礎生物学研究所の長谷部光泰教授、華中農業大学の陳春麗（陳春麗、チェンチュンリイ）教授らとの国際共同研究によって、DNA 2重らせん構造のひずみをほどく酵素 DNA トポイソメラーゼ1がコケ植物ヒメツリガネゴケにおける正常な精子の形成に機能することを発見いたしました。

研究グループはヒメツリガネゴケにおける精子形成過程をバイオイメージングによって詳細に観察し、3次元画像解析を行った結果、DNAが存在する球形の細胞核が精子形成の過程で同調的に著しく収縮し、ひも状の細胞核となることを解明しました（図1左）。このひも状の精子細胞核は、水などの液体中を泳いで卵細胞に到達するために適したコンパクトな精子胴体部を形成するために必要不可欠であると考えられます。さらに、DNA トポイソメラーゼ1遺伝子をなくしたヒメツリガネゴケでは、この同調的な細胞核の収縮が起こらないことがわかりました。その結果、精子が放出される段階でも、ひも状の細胞核を持つ精子はごく一部にとどまり、ほとんどの精子は球形か不完全に収縮した細胞核を持っていました（図1右）。そして、受精効率は著しく低下しました（図2）。

動物の精子形成過程においても DNA トポイソメラーゼ1が精子細胞核の収縮に機能することが示唆されていましたが、はっきりとはわかっていませんでした。本研究によって、動植物に共通の精子形成メカニズムが発見され、さらに植物の精子形成過程における DNA トポイソメラーゼ1の機能を詳細に明らかにすることができました。この結果は、動植物に共通するコンパクトな精子細胞核の形成機構の解明に寄与するとともに、植物の雄性不稔・動物の雄性不妊メカニズム解明への貢献が期待されます。

本研究成果は、1月25日、学術誌「New Phytologist」に掲載されました（オンライン版で公開されました）。

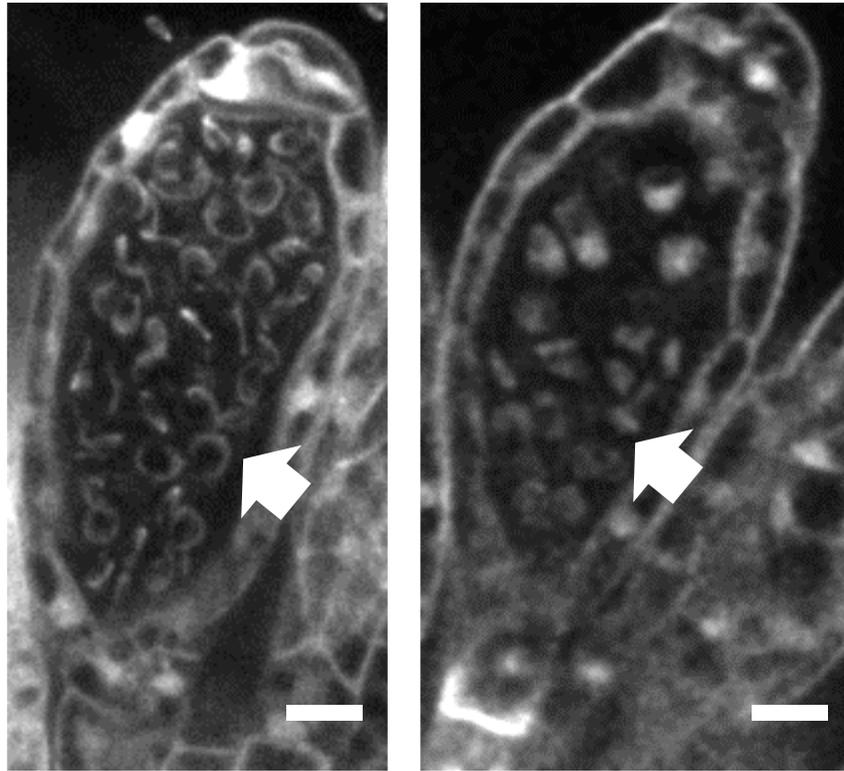


図1：ヒメツリガネゴケ野生株（左）と DNA トポイソメラーゼ1 遺伝子をなくした株（右）の精子細胞核

造精器被覆層細胞に囲まれた内部（白矢印の部分）に観察されるのが精子の細胞核。野生株（左）ではほとんどの細胞核がひも状に収縮していた。一方、DNA トポイソメラーゼ1 遺伝子をなくした株（右）ではひも状に収縮した細胞核はほとんど観察されなかった。バー：10 μm （1 m の十万分の一）。

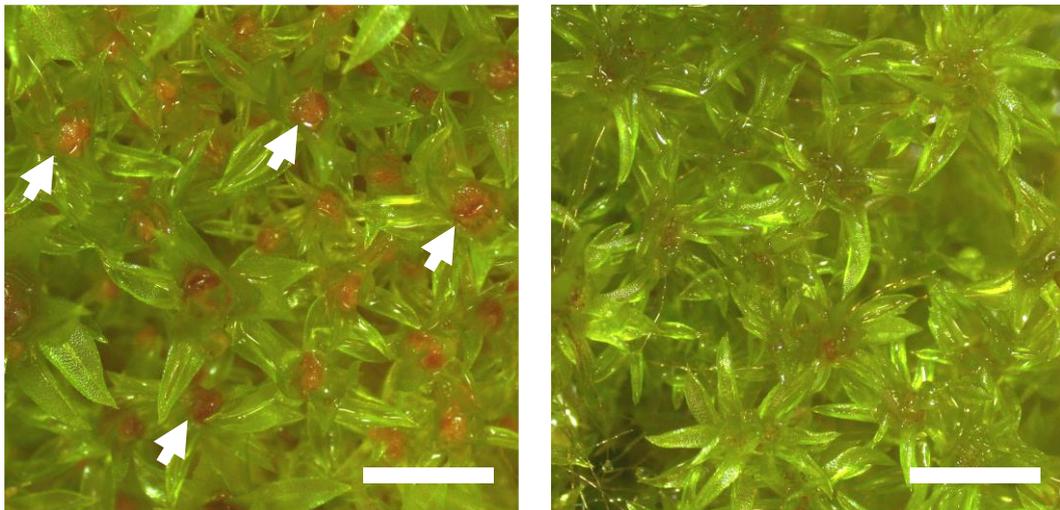


図2：受精を誘導した後のヒメツリガネゴケ野生株（左）と DNA トポイソメラーゼ1 遺伝子をなくした株（右）

野生株（左）ではほとんどの茎葉体に受精の結果形成される孢子のう（一部を白矢印で示す）が観察された。一方、DNA トポイソメラーゼ1 遺伝子をなくした株（右）ではほとんど孢子のうは観察されず、受精が失敗した結果形成される多数の造卵器が観察された。バー：2 mm。

■研究の背景

コケ植物、シダ植物などの非種子植物では、動物と同様に精子を形成し、水などの液体中を泳いで卵細胞に到達して受精を行います。精子の形や鞭毛の数は生物種ごとに大きく異なりますが、DNAを含む細胞核（注1）が精子形成過程で著しく収縮して、精子の頭部や胴体部が泳ぐのに適したコンパクトな形になることは多くの生物種で共通しています。しかしながら、植物における精子細胞核の収縮メカニズムについてはよくわかっていませんでした。

DNAトポイソメラーゼ1（DNA Topoisomerase 1; TOP1）はDNAのひずみをほどく酵素として知られています。TOP1はDNAの複製（注2）や転写（注3）などの基本的な生命活動に必要不可欠であり、TOP1をなくしてしまうと細胞は生きていけません。研究グループは、コケ植物ヒメツリガネゴケがTOP1遺伝子を2つ持つ（TOP1 α 、TOP1 β ）ことを利用して、それぞれの遺伝子をなくすことでその機能を研究しました。

■研究方法

研究グループは、コケ植物のTOP1 α 遺伝子をなくした株、TOP1 β 遺伝子をなくした株をそれぞれ作り出し、顕微鏡を用いたバイオイメーシングと、得られた画像の3次元解析などの手法によって野生株と比較することで、TOP1遺伝子がなくなった影響やTOP1の機能を解明しました。

■研究成果

TOP1 β 遺伝子をなくした株では野生株と明瞭な違いが観察されませんでした。一方で、TOP1 α 遺伝子をなくした株では著しく受精の効率が下がり、受精の結果形成される胞子のうがほとんど形成されないことがわかりました（図2）。さらに、その原因は精子の異常にあることがわかりました。

そこで、野生株とTOP1 α 遺伝子をなくした株における精子形成過程を、顕微鏡を用いたバイオイメーシングによって詳細に観察し、3次元画像解析を行いました。その結果、野生株では球形の細胞核が精子形成の過程で同調的に著しく収縮し、成熟した精子ではひも状の細胞核となることを解明しました（図1左）。このひも状の細胞核は、泳ぐのに適したコンパクトな精子胴体部を形作るのに寄与していると考えられます。一方で、TOP1 α 遺伝子をなくした株では、この同調的な細胞核の収縮が起こらないことがわかりました。その結果、精子が放出される段階でも、ひも状の細胞核を持つ精子はごく一部にとどまり、ほとんどの精子は球形か不完全に収縮した細胞核を持っていました（図1右）。こうした精子細胞核の収縮異常によって、受精効率は著しく低下したと考えられます。

■今後の展望（研究のインパクトや波及効果など）

動物の精子形成過程においてもTOP1が精子細胞核の収縮に機能することが示唆されていましたが、はっきりとはわかっていませんでした。本研究によって、動植物の精子細胞核収縮に共通に機能する因子としてTOP1が発見され、さらに植物の精子形成過程においてTOP1が細胞核の同調的な著しい収縮に機能することを解明しました。この結果は、動植物に共通するコンパクトな精子細胞核の形成機構解明に寄与するとともに、植物の雄性不稔・動物の雄性不妊メカニズム解明への貢献が期待されます。

本研究の一部は、科学研究費助成事業、基礎生物学研究所共同利用研究の支援のもと行

われました。

■論文情報

論文名 : Topoisomerase 1 α is required for synchronous spermatogenesis in *Physcomitrium patens*

(コケ植物ヒメツリガネゴケにおいてトポイソメラーゼ I α は同調的な精子形成に必須である)

雑誌名 : New Phytologist

(Journal Impact Factor 2022, 10.151; CiteScore 2022, 14.2)

著者 : Nan Gu, Chunli Chen, Yukiko Kabeya, Mitsuyasu Hasebe, and Yosuke Tamada

DOI : 10.1111/nph.17983

URL : <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/nph.17983>

■用語説明

注1 細胞核 : 真核生物において遺伝物質である DNA のほとんどが含まれている細胞内小器官。一般的には球形。

注2 DNA の複製 : DNA (デオキシリボ核酸) は生命の設計図ともいえる遺伝物質で、多細胞真核生物においてほぼ全ての細胞が持っています。細胞は分裂する前に DNA を複製します。DNA 複製によって細胞が2コピーの DNA を持つことが、細胞が分裂するための必要条件です。

注3 転写 : DNA に存在する遺伝子の配列をもとに、DNA とよく似た物質である RNA (リボ核酸) が合成される現象。こうした RNA はメッセンジャーRNA (mRNA) と呼ばれます。mRNA が細胞核の外に出て、mRNA の配列をもとにタンパク質が合成 (翻訳) されます。大部分の生命活動はタンパク質によって担われています。

<本件に関する問い合わせ>

(研究内容について)

国立大学法人 宇都宮大学 学術院 准教授 玉田 洋介

TEL : 028-689-6133

E-mail : tamada※cc.utsunomiya-u.ac.jp

(※を半角@に置き換えてください)

(報道対応)

国立大学法人 宇都宮大学 広報室 (広報係)

TEL : 028-649-5201 FAX : 028-649-5026

E-mail : kkouhou※miya.jm.utsunomiya-u.ac.jp

(※を半角@に置き換えてください)