

植物の CDKA が太陽光の情報を伝達していることを発見

～コケ植物 CDKA の新たな機能の発見がヒトの病気の治療や予防にも新たな道を拓く～

ポイント

- ・細胞分裂に関与する重要なタンパク質が、光合成や光屈性などの光応答にも重要であることを発見。
- ・このタンパク質は細胞骨格を制御することにより光応答も制御していることを解明。
- ・植物の光応答における受容体から細胞骨格までの未知の情報伝達経路の一部を解明。

概要

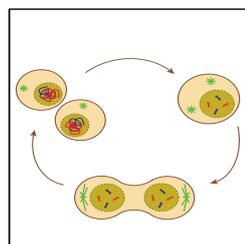
北海道大学大学院理学研究院の藤田知道教授、同大学院生命科学院博士後期課程の包 亮氏（当時）及び井上夏実氏、石川県立大学の関根政実教授、基礎生物学研究所の長谷部光泰教授、石川雅樹助教、九州大学、理化学研究所、宮城大学らの研究グループは、コケ植物を用いて細胞分裂に重要なタンパク質の新たな機能を発見することに成功しました。

私たちの体は細胞分裂を正しく繰り返して出来上がりますが、細胞分裂は時々ミスを起こし、異常な細胞を産み出します。このような異常な細胞が、がん細胞として増殖を繰り返し死に至ります。体の中に 2 万種類以上もあるタンパク質の中でも PSTAIRE 型サイクリン依存性キナーゼ*¹（動物では CDK1、植物では CDKA）は、細胞分裂を正しく行うために特に重要なタンパク質であり、この働きの異常は細胞のがん化など個体の死に直結するものです。

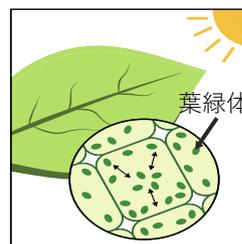
本研究では、コケ植物は CDKA を欠損させても死なないことを発見したため、従来行えなかったタンパク質の細胞分裂以外の働きの調査が可能になりました。調査の結果、CDKA は細胞骨格*²を制御しながら光情報の伝達にも関与することを発見しました。またコケ植物だけでなく、アブラナ科の雑草であるシロイヌナズナでも同様の働きを持つことが判明したため、コケ植物に限らず多くの植物で共通した重要な機能である可能性が考えられます。

動物の CDK1 と植物の CDKA は、両者でアミノ酸配列がよく似ておりそれぞれの働きもよく似ていることから、研究グループでは、動物においても CDK1 が細胞骨格を制御し、細胞分裂以外の細胞内の様々な応答に重要な機能を持っている可能性が高いと考えています。従って、今後ヒトの研究においても CDK1 の新たな機能の発見や、CDK1 が関わる病気の新たな治療法への可能性を広げることにつながると期待されます。

なお、本研究成果は、2022 年 1 月 29 日（土）に Science Advances 誌にオンライン掲載されました。



細胞分裂



光応答

コケ植物を用いることで、CDKA タンパク質が細胞骨格を調節しながら細胞分裂と光応答の両方を制御していることが明らかになった。

【背景】

私たちの体は約 60 兆個の細胞で出来ており、そのうちの 2%、つまり約 1.2 兆個が 1 日で新しく入れ替わっているといわれています。このような細胞の入れ替えは細胞分裂によって行われており、生命の維持に大切なものです。細胞分裂が起こるまでには複雑なシステムが細胞内で働いており、多数のタンパク質によって異常が起こらないように管理されています。

ヒトや植物はゲノムの中に 2 万種類以上もの遺伝子を持ちます。それぞれの遺伝子から情報が読み取られ、2 万種類以上ものタンパク質が作られて細胞の中で働いています。このように、たくさんあるタンパク質の中でも研究グループは、細胞分裂の進行に極めて重要なタンパク質である PSTAIRE 型 CDK (CDKA または CDK1) に着目しました。このタンパク質は細胞分裂の過程で細胞骨格を制御しながら働くもので、無くなると細胞分裂が起こらなくなります。また、細胞のがん化の一因にもなります。一般的に、タンパク質の働きを調べるためには、そのタンパク質が存在しない状態で、異常をきたしている部分を調べる方法が有効です。しかし、PSTAIRE 型 CDK は無くなると細胞が正しく分裂できなくなり、その生物が死んでしまうため、これまで詳しい実験は行われていませんでした。

【研究手法】

コケ植物を用いて、CDKA タンパク質をコードする CDKA 遺伝子を取り除き、CDKA を持たないコケ植物の作成に成功しました。この植物は光が当たった際に、異常な反応を示したことから、光の強さや色、光を受けた時に起こると知られている反応をさらに詳しく観察しました。

【研究成果】

本研究は、コケ植物は CDKA がなくても生存できるというこれまででは考えられなかった発見を端緒とし、このような CDKA を欠いたコケ植物を用いることで CDKA の細胞分裂以外の働きを調べられると考え、さらに研究を進めました。

図 1 の A 及び B からわかるように、CDKA を持たないコケ植物は、CDKA を持つ普通のコケ植物と比べて成長や形に異常は見られませんでした。しかし、コケ植物がストレスを感じるような光を当てると、変化が見られました。強すぎる光や弱すぎる光を当てた場合に、普通のコケは光の来る方向から逃げる、または向かうように成長します (光屈性)。CDKA を持たない植物は、光の強さに関わらず常に光の来る方に成長しました。よって、CDKA は光の強さと方向を認識するのに関わる可能性があることがわかりました (図 1C)。

また、植物が緑色に見える原因の葉緑体^{*3}は光合成に大切な細胞小器官であり、1 細胞内に約 50 個存在します。葉緑体は、植物が適度な光を吸収し光合成を効率よく行うために細胞内を頻りに移動します (葉緑体の光定位運動)。光が弱い時は光を最大限利用できるように葉緑体が光に当たりやすい位置に移動します。一方、光が強い時には植物のダメージを少なくするため、光の当たりにくい位置に葉緑体は逃げるように移動します。

このような葉緑体の光定位運動には細胞骨格が重要な働きをしますが、CDKA が無い植物では細胞骨格が正しく働かず、葉緑体の移動が起こらなくなりました。このことから、CDKA が細胞骨格の制御を行いながら、葉緑体の動きの制御に関わり、光合成の最適化に影響を与えることが判明しました (図 1D)。

さらに、モデル植物として代表的なアブラナ科のシロイヌナズナでも同様の実験を行い、コケ植物の CDKA と同じ働きをしていることがわかりました。

これらの結果から、細胞分裂に重要であることでよく知られていた CDKA は細胞分裂以外に、光合成に大切な光屈性や葉緑体の光定位運動という光の情報を伝達する部分でも極めて重要な役割をもつこ

とが実証されました。

【今後への期待】

PSTAIRE 型 CDK では植物 (CDKA) と動物 (CDK1) のそれぞれにおいて、細胞骨格を調節しながら細胞分裂を制御するという働きが大変よく似ています。従って今後はヒトでも CDK1 が細胞骨格を調節しながら細胞分裂以外にも細胞内で大切な働きをしており、それらがヒトの健康に重要な役割を持つような新しい例が多く見つかることが期待されます。このことは CDKA を標的とした病気の新しい治療法や予防法の開発につながるものです。また植物においては、CDKA が光の伝達にどう関わるのかをさらに詳しく研究することで、今まで解明されていなかった植物の光応答の仕組みを明らかにし、より効率的な光合成や植物の光利用技術の発展にも貢献できると考えています。

論文情報

論文名 A PSTAIRE-type cyclin-dependent kinase controls light responses in land plants (陸上植物における PSTAIRE 型サイクリン依存性キナーゼの光応答制御機構)

著者名 Liang Bao¹, 井上夏実¹, 石川雅樹^{2,3}, 後藤栄治⁴, Ooi-Kock Teh⁵, 比嘉 毅⁶, 森本智郎¹, Eggie Febrianto Ginanjar¹, 原島洋文⁷, 野田なつみ⁸, 綿引雅昭⁸, 日渡祐二⁹, 関根政実¹⁰, 長谷部光泰^{2,3}, 和田正三⁶, 藤田知道⁸ (¹北海道大学大学院生命科学院, ²基礎生物学研究所, ³総合研究大学院大学, ⁴九州大学大学院農学研究院, ⁵北海道大学高等教育推進機構, ⁶九州大学大学院理学院, ⁷理化学研究所環境資源科学研究センター, ⁸北海道大学大学院理学研究院, ⁹宮城大学食産業学群, ¹⁰石川県立大学生物資源環境学部)

雑誌名 Science Advances (アメリカ科学振興協会のオープンアクセスジャーナル)

DOI 10.1126/sciadv.abk2116

公表日 2022 年 1 月 29 日 (土) (オンライン公開)

お問い合わせ先

北海道大学大学院理学研究院 教授 藤田知道 (ふじたともみち)

T E L 011-706-2740 メール tfujita@sci.hokudai.ac.jp

U R L <https://www.sci.hokudai.ac.jp/PlantSUGOIne/>

配信元

北海道大学総務企画部広報課 (〒060-0808 札幌市北区北 8 条西 5 丁目)

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール jp-press@general.hokudai.ac.jp

石川県立大学総務課 (〒921-8836 石川県野々市市末松 1 丁目 308 番地)

T E L 076-227-7220 F A X 076-227-7410 メール jimmu@ishikawa-pu.ac.jp

自然科学研究機構基礎生物学研究所 (〒444-8585 愛知県岡崎市明大寺町字西郷中 38)

T E L 0564-55-7628 メール press@nibb.ac.jp

【参考図】

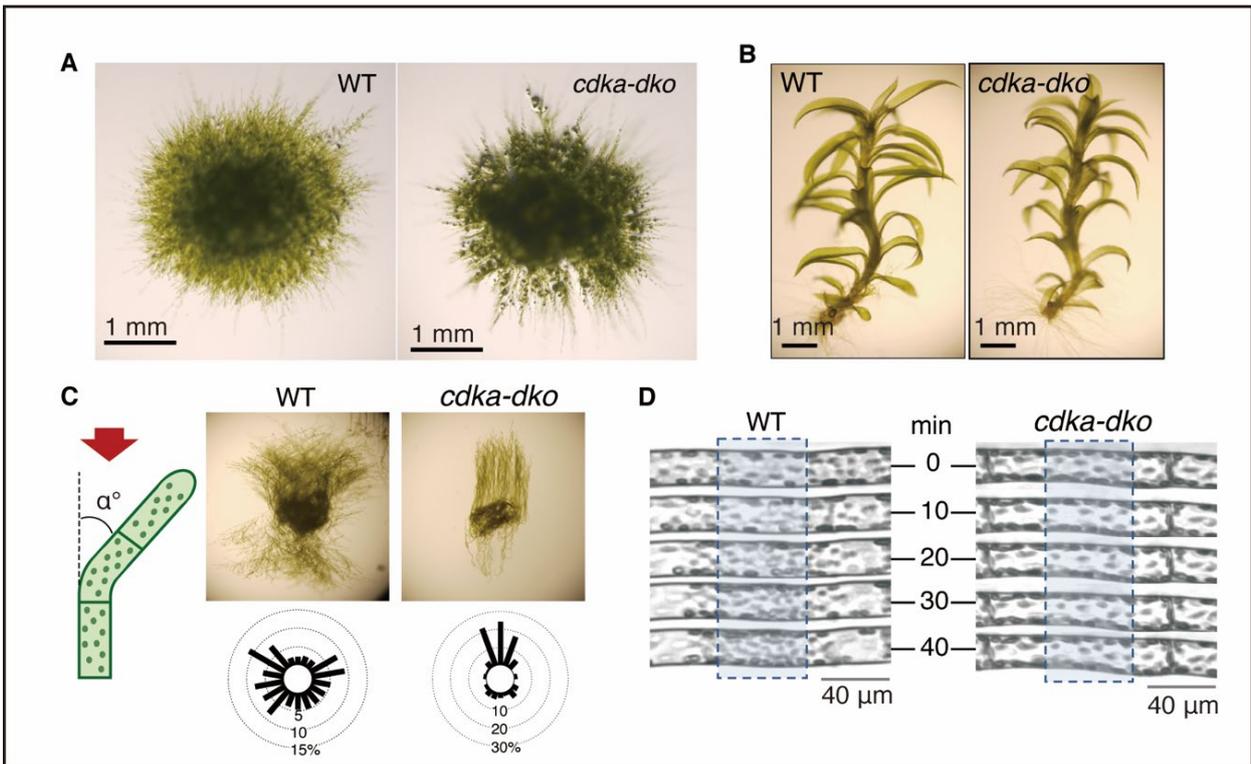


図 1. 正常な植物(WT)と CDKA が無い植物 (*cdka-dko*)の比較。(A)コケ植物の原糸体*⁴の様子。(B)コケ植物の茎葉体*⁵の様子。(C)光屈性応答が両者で異なる。(D)葉緑体が時間経過と共に光の照射部位に集まる葉緑体光定位運動が見られなくなる。青色の枠の部分に光が当たっている。

【用語解説】

- *1 PSTAIRE 型サイクリン依存性キナーゼ … サイクリン依存性キナーゼ (cyclin-dependent kinase, 略称 CDK) は細胞周期を調節する働きが初めて発見されたリン酸化酵素グループの総称。CDK の中でも PSTAIRE という連続したアミノ酸配列を持つ CDK は細胞周期の調整に必須の働きをしており、特に PSTAIRE 型 CDK として、動物では CDK1, 植物では CDKA と呼ばれ、動物から植物まで広く共通に存在している。ヒトでは抗がん剤の標的として研究が進められてきたが、細胞周期やがん化以外の役割についてはまだよくわかっていない。
- *2 細胞骨格 … 細胞の形を支えたり、細胞内の物質輸送などに用いられったりする繊維状のタンパク質。細胞分裂時の紡錘体の形成やその他、様々な細胞活動に必須であり、細胞骨格の制御の異常はがん化をはじめ様々な病気の原因になる。
- *3 葉緑体 … 緑色植物の緑色部分の細胞に特有の構造体で光合成をするために必須の細胞小器官。
- *4 原糸体 … コケ植物の胞子が発芽してできる、糸状の組織。
- *5 茎葉体 … コケ植物の原糸体が成長して作られる、茎と葉のある組織。