

PRESS RELEASE



報道機関 関係者各位

令和3年11月18日

植物が水環境を感知する仕組みを解明

～乾燥と冠水の両方に対応可能な作物育種に期待～

研究のポイント

- ・植物が水利用環境の変化を統合的に感知する遺伝子を発見
- ・この遺伝子は植物ホルモンのシグナル伝達を制御する
- ・乾燥と冠水どちらにも対応可能な作物育種に期待

概要

地球温暖化は、日照りによる干ばつと洪水による冠水が同じ地域で引き起こされる可能性を高めることが知られており、農業生産への影響が懸念されています。学校法人東京農業大学大学院生命科学研究科の坂田洋一教授と埼玉大学大学院理工学研究科の竹澤大輔教授を中心とする共同研究グループ*1は、乾燥にも冠水にも対応可能なコケ植物に着目し、植物が乾燥と冠水という極端な水利用環境の変化を統合的に感知し、生存に最適な応答を導く遺伝子を明らかにしました。この遺伝子は作物を含め陸上植物に共通して存在することから、本研究成果は乾燥と冠水どちらにも柔軟に対応し、その回復力を高めた作物の育種への応用が期待されます。

*本研究は JSPS 科研費（18H04774 および 19K06713）の助成を受けたものです。

本研究成果は、米国科学雑誌「カレント・バイオロジー」（電子版）に掲載されます。
(プレス解禁日時：日本時間11月19日(金)午前1時以降)

*1 研究体制

東京農業大学大学院生命科学研究科

坂田洋一教授、太治輝昭教授、四井いずみ助教

東京農業大学大学院農学研究科博士前期課程

鳥山士（当時）

東京農業大学生物資源ゲノム解析センター

篠澤章久研究員

東京農業大学大学院農学研究科

馬場正教授および吉田実花助教

埼玉大学大学院理工学研究科

竹澤大輔教授、博士後期課程 猿橋正史（当時） 博士前期課程 平出真由佳（当時）

東京農工大グローバル教育院

安村友紀講師

北海道大学大学院農学研究院

松浦英幸教授、博士前期課程 伊藤詩織（当時）

名古屋大学トランスフォーマティブ生命分子研究所

桑田啓子特任助教（当時）

研究背景

近年、地球規模で起こる極端な気候変動が大規模な干ばつの発生や、洪水による冠水を引き起こし、農業に深刻な影響を与えています。また気温の上昇は、同じ地域において「雨の降らない日照りの日々」と「長く降り続く雨」の両方を増加させることが知られています。これまで、水の利用が制限される「乾燥」と植物体が水没する「冠水」という、両極端な水環境への植物の応答機構はそれぞれ独立に制御されていると考えられてきました。乾燥応答は、主に植物ホルモンであるアブシジン酸（ABA）^{注1}を介して行われ、冠水応答は植物ホルモンであるエチレン^{注2}を介して行われることが知られています。

研究グループでは、乾燥と冠水に繰り返し晒されるコケ植物（ヒメツリガネゴケ：図1）に着目し、この両極端な水利用環境情報を統合し生存に最適な応答を導く仕組みの解明に取り組んできました。これまでの研究において、乾燥と冠水の両応答に関わる因子として RAF キナーゼ^{注3}を見出していました。しかしながら、RAF キナーゼが水環境に応じて ABA とエチレンという2つのシグナル伝達系の切り替えをどのように制御するのかについては不明でした。

研究成果

今回、研究グループは、バクテリアにおいて環境センサーとして働くヒスチジンキナーゼ (HK)^{注4} と類似した構造を持つエチレン受容体型ヒスチジンキナーゼ (ETR-HK)が、RAF キナーゼと小胞体で相互作用し (図2)、エチレンにより制御される冠水応答のみならず、ABAにより制御される乾燥応答をも制御するマスター因子であることを明らかにしました。ヒメツリガネゴケが持つ4つのエチレン受容体型ヒスチジンキナーゼ遺伝子を遺伝子ターゲティングにより破壊した形質転換体 (HKQKO)では、エチレンが制御する冠水応答が恒常的に活性化され、一方で、ABAが制御する乾燥や浸透圧ストレス応答を消失することが明らかとなりました (図3)。RAF キナーゼはABAに応答して、その自己リン酸化活性により自身のセリン残基をリン酸化することにより活性化しますが、遺伝子破壊株ではこのリン酸化が消失することが示されました (図4)。以上の結果から、これらのヒスチジンキナーゼはRAF キナーゼと複合体を形成し、RAF キナーゼの自己リン酸化活性の調節を通じて、水環境情報を統合し生存に最適な応答を引き起こすセンシングユニットとして働いていると結論付けました (図5)。

今後の展望

地球温暖化により引き起こされる極端な気候変化は、干ばつや洪水の頻度を増加させ、農業へ深刻な影響を与えると予測されています。本研究により、植物には冠水と乾燥という、相反する水環境情報を統合する機構が存在することが明らかとなりました。同様の遺伝子は作物にも存在することから、ゲノム編集等を用いて、干ばつと洪水に柔軟に対応し、高い回復力を有する作物育種への応用が期待されます。

【掲載論文情報】

タイトル：Sensor histidine kinases mediate ABA and osmostress signaling in the moss *Physcomitrium patens*.
(センサーヒスチジンキナーゼはコケ植物ヒメツリガネゴケのABAおよび浸透圧ストレスシグナル伝達を仲介する)

掲載誌：Current Biology

URL：<https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.10.068>

お問い合わせ先

<研究内容に関すること>

東京農業大学大学院生命科学研究科バイオサイエンス専攻

教授 坂田 洋一（サカタ ヨウイチ）

TEL：03-5477-2753 E-mail：sakata@nodai.ac.jp

埼玉大学大学院理工学研究科生命科学部門

教授 竹澤 大輔（タケザワ ダイスケ）

TEL：048-858-3409 E-mail：takezawa@mail.saitama-u.ac.jp

<報道担当>

学校法人東京農業大学経営企画部

TEL：03-5477-2300 E-mail：koho@nodai.ac.jp

埼玉大学広報渉外室広報係

TEL：048-858-3932 E-mail：koho@gr.saitama-u.ac.jp

北海道大学総務企画部広報課

TEL：011-706-2610 E-mail：jp-press@general.hokudai.ac.jp

東京農工大学総務・経営企画部企画課広報係

TEL：042-367-5930 E-mail：koho2@cc.tuat.ac.jp

【参考図】

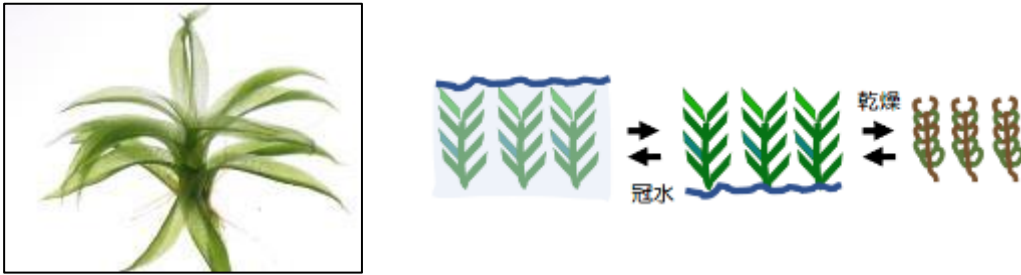


図1 ヒメツリガネゴケ（蘚綱・ヒョウタンゴケ目・ヒョウタンゴケ科）
冬から春にかけて沼地などに生育する小型の種で、その生活史は、原系体または茎葉体（写真）といった配偶体（ n 世代）が優勢です。雌雄同株で、短日下で茎葉体上に球状の孢子体（ $2n$ 世代）を形成します。乾燥に強く、水中でも生育可能という珍しい性質を有するヒメツリガネゴケは、高い相同組み換え効率で遺伝子導入が可能であり、遺伝子ターゲティング法が確立された唯一の植物です。その全ゲノム情報も解読され、代表的なモデル植物として機能ゲノミクス研究に世界中で用いられています。

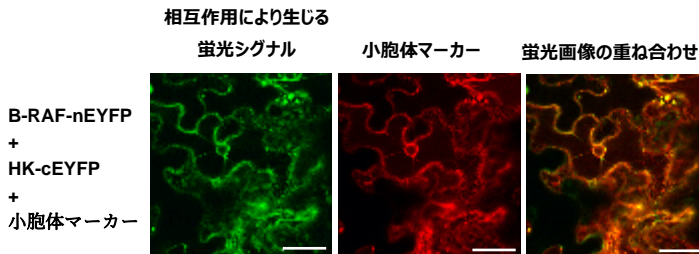


図2 B-RAF と HK は小胞体で相互作用する
植物細胞における B-RAF と ETR-HK (HK5) の相互作用を、BiFC 法により解析した実験。タバコの葉表皮細胞において、それぞれ蛍光タンパク質の部分断片を融合した B-RAF と HK5 を発現させた。緑色蛍光（写真左）は、両タンパク質が相互作用することにより生じる。赤色蛍光（写真中央）は小胞体の場所を示している。両写真を重ね合わせると（写真右）、大部分において蛍光シグナルが一致していることがわかる。© 2021 Current Biology

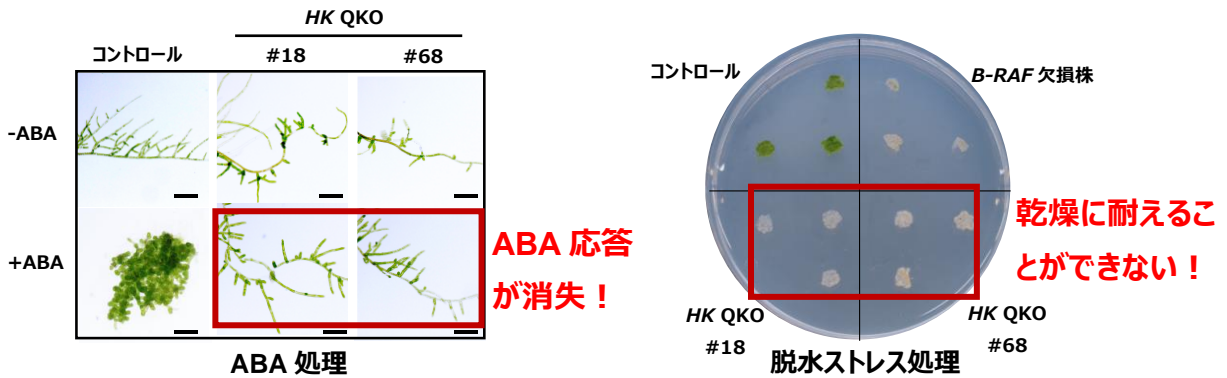


図3 エチレン受容体型ヒスチジンキナーゼを欠損すると ABA 応答と脱水耐性を消失する
(A) ヒメツリガネゴケ原系体に ABA を投与するとブルードセルと呼ばれる球形細胞に分化するが、エチレン受容体型ヒスチジンキナーゼを欠損したヒメツリガネゴケ (HK QKO) ではこの応答が見られなくなる。
(B) ヒメツリガネゴケ原系体は 24 時間脱水状態にしても生存できるが、HK QKO 株および B-RAF を欠損するヒメツリガネゴケは死滅する。© 2021 Current Biology

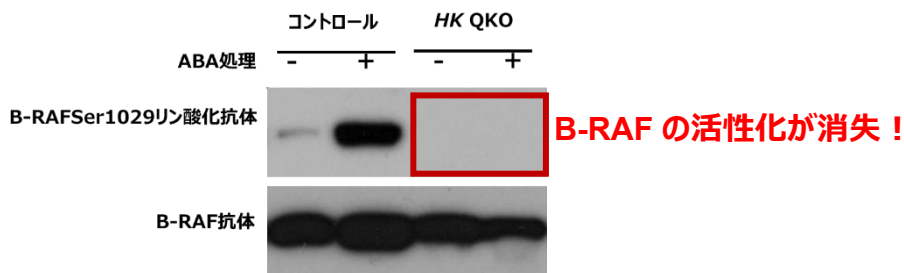


図4 エチレン受容体型ヒスチジンキナーゼはB-RAFのABAに応答した活性化を制御する。B-RAFの活性化に必須な1029番目のセリン残基のリン酸化を特異的に認識する抗体を用いてタンパク質を検出した(写真上)。コントロールのヒメツリガネゴケでは、ABA処理によりリン酸化されたB-RAFが増加するが、HK QKO株では全く検出されない。一方、B-RAFそのものを検出する抗体を用いた場合、いずれも同程度のタンパク質蓄積が確認できる(写真下)。© 2021 Current Biology

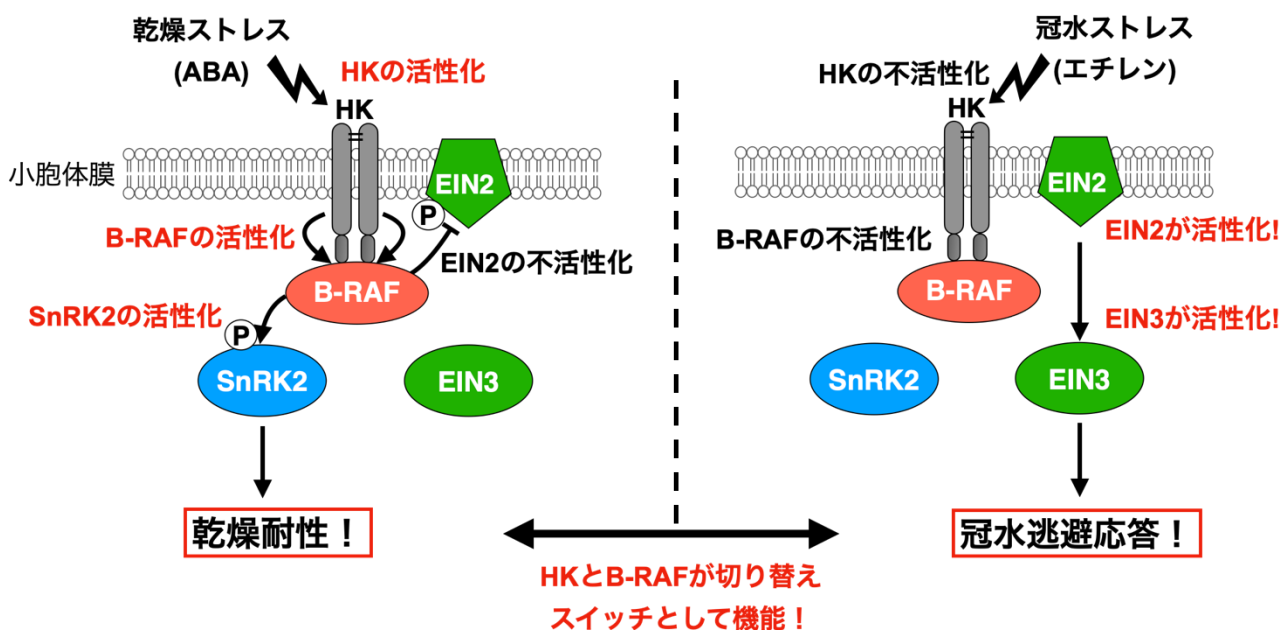


図5 今回明らかとなった水環境情報伝達のメカニズム

エチレン受容体型ヒスチジンキナーゼ(HK)は小胞体膜上で B-RAF と結合している。乾燥ストレスは未知の機構によりエチレン受容体型ヒスチジンキナーゼにより感知され、B-RAF の 1029 番目のセリン残基のリン酸化により活性化され、ABA シグナル伝達のコアであるタンパク質リン酸化酵素 SnRK2^{注5} を活性化し、ABA 応答が引き起こされ乾燥耐性を獲得する。

冠水により細胞内で濃度が高まったエチレンはヒスチジンキナーゼに結合し、その機能を抑制することで、B-RAF の不活性化を引き起こす。この結果、B-RAF により抑制されていたエチレンシグナル伝達が活性化され、冠水からの逃避応答が引き起こされる。© 2021 Current Biology

【用語解説】

注1) アブシジン酸 (ABA) は植物ホルモンの一種で、大地に固着し移動することができない陸上植物が乾燥ストレスを受けると蓄積量が高まり、シグナル伝達を通じて生存に必要な様々な乾燥適応応答を引き起こす。

注2) エチレンは気体として働く植物ホルモんで、植物の冠水応答に加え、トマトやリンゴといった果実の成熟、あるいは病原応答に重要な働きを有している。

注3) センサーヒスチジンキナーゼは、当初、バクテリアにおいて環境感知システムとして働くことが明らかとなった。自身のタンパク質リン酸化活性を通じてヒスチジン残基にリン酸基を付加し、このリン酸基が下流の因子に転移することでシグナルが伝わる。その後、植物にも同様のタンパク質が存在することが明らかとなった。植物のセンサーヒスチジンキナーゼの一部は、エチレンに加えて、別の植物ホルモンであるサイトカイニンの受容体として働くことが明らかとなっている。サイトカイニン受容体ではヒスチジンキナーゼの活性によるリン酸基転移が起こるが、エチレン受容体ではヒスチジンキナーゼ活性は必須ではないことが示されている。

注4) RAF キナーゼは動物のがん遺伝子と関連したタンパク質リン酸化酵素として研究が進んでいるが、植物にも類似のリン酸化酵素が存在し、様々なシグナル伝達系に関わると推測されている。今回研究対象となった RAF は B グループに属しており、このグループにはエチレン受容体と相互作用してエチレンシグナルを制御する CTR1 が属している。近年、B グループ RAF が陸上植物の ABA および乾燥ストレス応答にも関与することが明らかとなった。ヒメツリガネゴケでは単一の B-RAF がエチレン応答と ABA/乾燥ストレス応答の両方を制御することが示された。

注5) SnRK2 (SNF1-related protein kinase 2) はタンパク質リン酸化酵素の1種で、シロイヌナズナには9つのファミリーが存在する。ABA や浸透圧ストレスによって強く活性化し、下流因子のリン酸化を通じて ABA 応答を引き起こす。近年、B-RAF が SnRK2 の活性化因子であることが明らかとなった。