

2007年8月2日

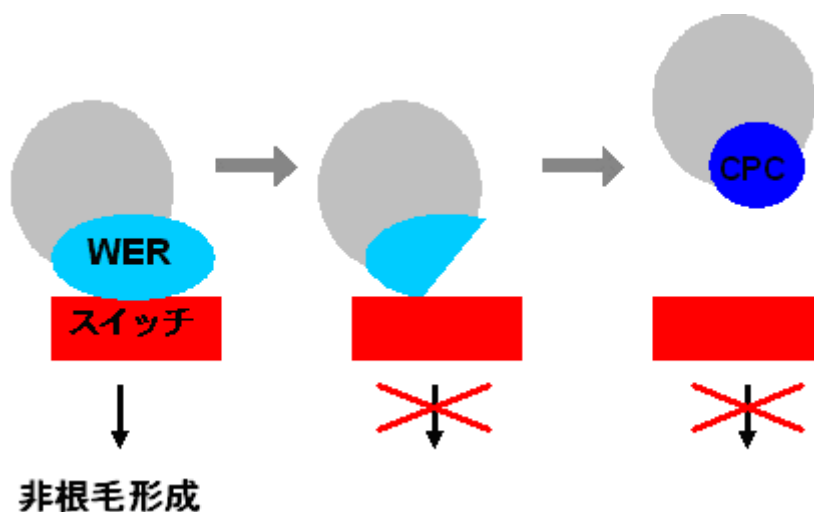
独立行政法人 理化学研究所

根毛をつくる遺伝子は、根毛をなくす遺伝子が進化したものと判明

- シロイヌナズナの根毛形成を制御するメカニズムを世界で初めて進化的に検証 -

イネやムギ、ナスやキュウリなどの作物をはじめとする植物は、太陽のめぐみを受け、土壌からミネラルなどの栄養分や水分をとりながら育ちます。土壌から養分を吸収するために、植物の根には根毛がつけられます。この根毛は、根の表皮細胞が外側に伸びた器官で、モデル植物の代表選手、シロイヌナズナでは、断面で見たとき8個の根毛細胞から規則的に並んでいます。ところが、植物の生命に重要な役割を果たしているこの根毛が、どのようなメカニズムによって形成されるのか、詳細はナゾのままでした。

理研植物科学研究センター機能開発研究グループ機能発現研究チームは、シロイヌナズナを使って、根毛をつくる遺伝子は、根毛をなくす遺伝子が進化してつくられたことを明らかにしました。根毛の形成に関与している遺伝子には、根毛をつくる遺伝子と根毛をなくす遺伝子の2種類があることがすでに知られていました。両方の遺伝子は、いずれも約50残基のアミノ酸配列「Myb (ミブ)」という領域を持っています。研究チームは、このMyb領域を入れ替えた12種類のキメラ遺伝子を作成して、それぞれの遺伝子とキメラタンパク質の働きを比べました。その結果、根毛を作る遺伝子は根毛をなくす遺伝子のMybで代用できることや、根毛をつくるタンパク質は根毛をなくすタンパク質の一部が欠損していること、それによって根毛をなくす細胞をつくる遺伝子のスイッチを押すことができないこと、などが判明しました。これらの遺伝子を制御できれば、環境に応じた根毛を作る植物の開発や、アントシアニンなどの有用物質の生産向上が可能になります。



根毛をなくす WER から根毛をつくる CPC への進化

2007年8月2日

独立行政法人 理化学研究所

根毛をつくる遺伝子は、根毛をなくす遺伝子が進化したものと判明 -シロイヌナズナの根毛形成を制御するメカニズムを世界で初めて進化的に検証 -

◇ポイント◇

- ・根毛をなくす遺伝子と根毛をつくる遺伝子のキメラをつくって解明
- ・根毛をなくす遺伝子が遺伝子スイッチを押せなくなると、根毛がつけられる
- ・表皮細胞に蓄積されるアントシアニン等の有用物質の産生向上に貢献

独立行政法人理化学研究所（野依良治理事長）は、シロイヌナズナの根毛をつくる働きを持つ *CPC* 遺伝子が、根毛をなくす働きを持つ *WER* 遺伝子から進化してできたものであることを明らかにしました。これは理研植物科学研究センター（篠崎一雄センター長）機能開発研究グループ 機能発現研究チームの和田拓治チームリーダー、富永るみ研究員らの研究成果です。

植物の根には、土中から水や栄養を吸収するために根毛が形成されます。シロイヌナズナの根毛の形成を制御する遺伝子として、*CPC* と *WER* という 2 種類の遺伝子が知られています。*CPC* と *WER* は同じ Myb（ミブ）^{*1} ファミリーに属する遺伝子ですが、*CPC* 遺伝子は根毛を作り、*WER* 遺伝子は逆に根毛をなくす働きを持っています。両方とも約 50 残基のアミノ酸配列をもつ Myb と呼ばれる似た部分（領域）を持っています。

研究チームは、*CPC* 遺伝子と *WER* 遺伝子の機能の違いが、どのアミノ酸配列の違いに由来するものかを明らかにするために、*CPC* と *WER* の Myb 領域を入れ換えた 12 種類のキメラ遺伝子^{*2} を作り、それぞれの遺伝子の根毛形成における働きを調べました。その結果、*WER* 遺伝子の機能を発現するには厳密なアミノ酸配列が必要であるのに対し、*CPC* 遺伝子の機能は *WER* 遺伝子の Myb 配列でも代用できることがわかりました。また、キメラタンパク質^{*3} の実験から、*CPC* タンパク質は *WER* タンパク質の一部が欠損しているため、非根毛細胞をつくるための遺伝子スイッチを押すことができず、根毛が形成されるという機構が明らかとなりました。これらのことから、*CPC* 遺伝子は *WER* 遺伝子の一部（約半分）が欠失した後、アミノ酸置換により、DNA への結合能力を失い、新たな機能（*WER* 遺伝子と逆の根毛形成能）を獲得するよう進化したものと推察できました。

本研究は、未だ明らかにされていない根毛、トライコーム^{*4}、気孔などの複雑な表皮細胞の分化のしくみを理解するのに役立ちます。将来、これらの遺伝子の発現を変化させることにより、環境に応じた根毛を持つ植物を作出できると考えられます。また、これらの遺伝子は植物全体の表皮細胞分化を制御することが知られており、表皮細胞に蓄積されるアントシアニン等の有用物質の産生向上にも役立つと期待されます。

本研究成果は、米国の科学雑誌『*THE PLANT CELL*』（7月号）に掲載されます。

1. 背景

表皮細胞は、植物が外界に接する最前線です。動物のように自ら動けない植物は、

環境に応じて細胞の形を変える必要があります。根毛は表皮細胞が外側に伸長した器官で、水分や栄養の吸収といった生命に重要な役割を果たします。根毛は通常8個の根毛細胞（根を輪切りにしたとき）から規則的に形成されます（図1）。このとき、Myb、bHLH、WD-40等のファミリーに属する様々な転写因子が複合体を作り、根毛形成を制御していることがわかってきました。

研究チームではこれまでに根毛の少ないシロイヌナズナ突然変異体の原因遺伝子として、Mybファミリーに属する *CPC* 遺伝子を発見しました (*Wada et al., 1997, Science 277, 1113-1116*)。この *CPC* 遺伝子は、非根毛細胞で発現し、根毛細胞へ移行後、非根毛細胞形成のスイッチである *GL2* 遺伝子の発現を抑制し根毛をつくることが知られています。その後、根毛の多い突然変異体の原因遺伝子として同じく Myb ファミリーに属する *WER* 遺伝子の存在が報告され、*CPC* 遺伝子とは転写因子複合体への結合において拮抗的に働くと考えられています。研究チームは、*WER* 遺伝子と *CPC* 遺伝子の機能の違いがどの配列の違いに由来するかを明らかにすることにより、根毛形成制御機構の解明を目指しました。

2. 研究手法と成果

(1) キメラで根毛をつくる・なくす遺伝子機能を解明

根毛をつくる働きを持つ *CPC* 遺伝子と根毛をなくす働きを持つ *WER* 遺伝子の Myb 領域を入れ換えた12種類のキメラ遺伝子をつくり、根毛が少ない *cpc* 突然変異体、あるいは根毛が多い *wer* 突然変異体に導入しました。そして、突然変異体の表現型が回復したかどうかにより、キメラ遺伝子の機能を判定しました。その結果、*WER* 遺伝子の Myb 領域を *CPC* のそれと入れ換え、*wer* 突然変異体に導入しても、根毛の多い表現型は変化しませんでした。しかし、*CPC* 遺伝子の Myb 領域を *WER* のそれと入れ換え、*cpc* 突然変異体に導入すると、根毛の少なかつた *cpc* 突然変異体の根毛数が増加しました。このことから、*WER* キメラ遺伝子はわずかなアミノ酸置換でも *WER* 遺伝子の機能を失いますが、*CPC* キメラ遺伝子はほぼ全体を入れ換えても *CPC* 遺伝子として機能することがわかりました。

※通常、遺伝子の名前は3文字の斜体 (*CPC*, *WER*) で表記し、その遺伝子が破壊された突然変異株を小文字 (*cpc*, *wer*) で表記する。遺伝子産物であるタンパク質は直立体の大文字 (*WER*, *CPC*) で表記する。

(2) キメラタンパク質の比較

また、それぞれのキメラタンパク質のタンパク質間相互作用を、イースト2ハイブリッド、あるいは3ハイブリッド法^{*5}で比較しました。その結果、キメラタンパク質 (*CPC*キメラ、*WER*キメラ) は、もとのタンパク質 (*CPC*、*WER*) と同じように bHLH タンパク質に結合したため、*CPC* 遺伝子と *WER* 遺伝子の機能の違いはタンパク質への結合特性の違いに由来するものではないことがわかりました。

(3) DNA の結合力を比較

次に DNA への結合力をゲルシフト法で比較したところ、*WER* キメラタンパク

質は DNA への結合力を失うことにより *WER* としての機能を失うことがわかりました。一方 *CPC* キメラタンパク質は、DNA への結合力を付与されても、*CPC* として機能できることがわかりました。つまり、*WER* タンパク質の一部とほぼ同じ構造を持つ *CPC* キメラタンパク質は、*CPC* タンパク質と同様の機能を示すことが証明できました。

これらの結果から、*CPC* 遺伝子は、*WER* 遺伝子の一部（約半分）が欠失した後、アミノ酸置換により DNA への結合力も失い、新たな機能（*WER* 遺伝子と逆の根毛形成能）を獲得するよう進化したと推察できました（図 2）。

3. 今後の期待

本研究より、植物細胞の分化が、転写因子複合体の形成や DNA への結合によって制御されていることが示されました。さらに転写因子の細胞間移行なども関わっていることがこれまでにわかっています（*Wada et al., 2002, Development 129, 5409-5419*）。将来これらの遺伝子の発現を変化させることにより、環境に応じた根毛を持つ植物を作出できると考えられます。また、これらの遺伝子は植物全体の表皮細胞分化を制御することが知られていますので、表皮細胞に蓄積されるアントシアニン等の有用物質の産生向上にも将来役立つと期待されます。ワタの繊維細胞や柑橘類の果実のさのうも表皮細胞の突出に由来する器官であり、根毛と同様の制御機構により形成される可能性があります。このような有用作物の増収にも将来役立つと期待されます。

(問い合わせ先)

独立行政法人理化学研究所

植物科学研究センター 機能発現研究チーム

チームリーダー 和田 拓治 (わだ たくじ)

研究員 富永 るみ (とみなが るみ)

Tel : 045-503-9570 / Fax : 045-503-9591

横浜研究推進部 企画課

Tel : 045-503-9117 / Fax : 045-503-9113

(報道担当)

独立行政法人理化学研究所 広報室 報道担当

Tel : 048-467-9272 / Fax : 048-462-4715

Mail : koho@riken.jp

<補足説明>

※1 Myb(ミブ)

Myb 遺伝子はがん遺伝子の 1 つであり、これと相同性を持つ転写因子を Myb ファ

ミリーと呼ぶ。通常 Myb ドメインを介して DNA に結合する。

※2 キメラ遺伝子

キメラとはギリシア神話に出てくるライオンの頭、ヤギの体、ヘビの尾を持つ仮想上の動物。ある遺伝子の一部を他の遺伝子と結合した、天然にはない遺伝子をキメラ遺伝子とよぶ。

※3 キメラタンパク質

融合タンパク質。ここでは、キメラ遺伝子の遺伝子産物のことをキメラタンパク質とする。

※4 トライコーム

突起状のものという意味で、葉、茎などの地上部の器官の表皮細胞より形成される。シロイヌナズナの場合は先端が3分枝している。害虫や紫外線から植物体を守っていると考えられる。

※5 イースト2ハイブリッド、イースト3ハイブリッド法

タンパク質間相互作用を調べる手法。実際には、ベータガラクトシダーゼ等のレポーター遺伝子の転写活性を指標に、2つ（2ハイブリッド）、あるいは3つ（3ハイブリッド）のタンパク質間の相互作用を酵母内で検出する。

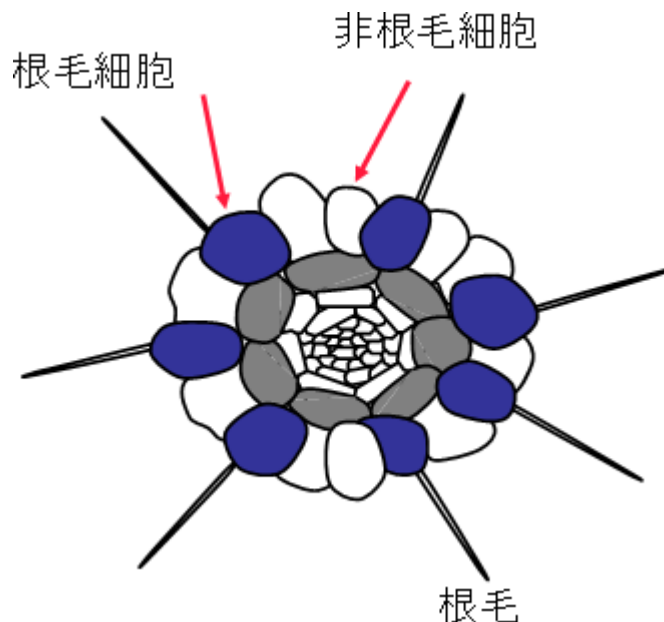


図1 シロイヌナズナの根毛形成

シロイヌナズナの根の横断面。野生型では通常8個の根毛細胞から根毛が形成される。

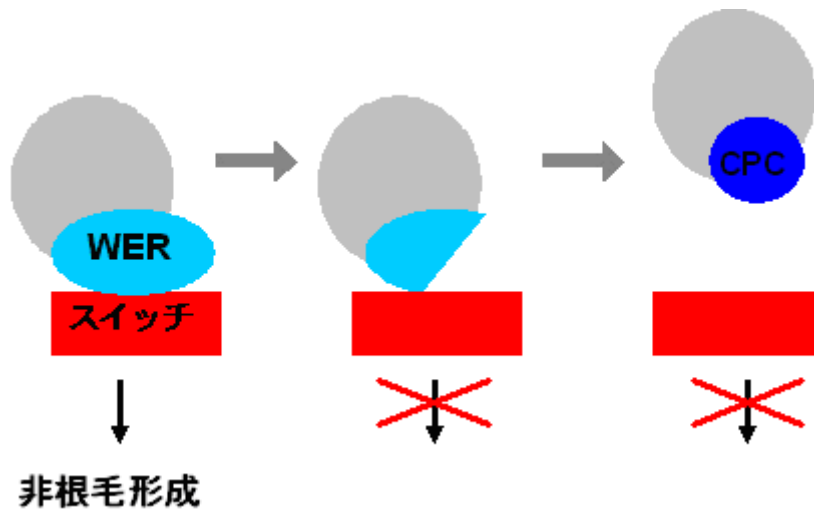


図2 WER から CPC への進化

WER が転写活性化領域を欠損し、DNA（スイッチ）への結合力を失うことにより、CPC は新たな機能を獲得した。