

# 植物内の「対話」を探る

## 02 植物ホルモン「ブラシノステロイド」を解明 農作物の収量アップをめざして!

発芽、茎や葉の成長、開花、結実など、生育段階すべてに「植物ホルモン」が関わっている。東京大学の浅見忠男教授と理化学研究所の中野雄司専任研究者らは、伸長を制御する植物ホルモン「ブラシノステロイド」が働くメカニズムを解明し、農作物の収量増加や空気中の二酸化炭素削減に貢献する可能性を示した。

### 成長を促す植物ホルモン

植物ホルモンとは、植物自身が作り出し、微量で作用する生理活性物質（発生や成長を制御する物質）である。

主なものに、伸長を制御するオーキシン、ストリゴラクトン、ブラシノステロイド、ジベレリン、発芽や開花を制御するエチレン、細胞分裂に関わるサイトカイニンがある。ジベレリンは、種なしブドウを作る植物ホルモンとしてよく知られている。ジベレリンで茎を伸ばして密生を防いで粒を大きくしようとしたところ、ブドウの花が咲き終わって実が成長し始めるときに、房をジベレリンの水溶液に浸すことで、種なしにすると同時に、粒を大きくできることがわかった。

研究チームは、ストリゴラクトン、ブラシノステロイド、ジベレリンの3つに絞り、植物ホルモンで成長を制御して、農作物の収量を上げたり、空気中の二酸化炭素の吸収量を増大させることをめざしている。

### 「交配育種」から「ホルモン療法」へ

地球の人口は70億人を超え、国連は今世紀中頃に100億人に達すると推計している。食糧の増産は人類の大きな課題だ。これまで遺伝子操作だけでなく、植物ホルモンなどの化学物質をうまく活用し、作物の収量を高めてきた。

穀物生産量の増加には、最適な草丈に制御する技術が必要だ。従来の小麦は、窒素肥料を与えすぎると、草丈ばかりが伸びて倒れてしまう。メキシコでは、草丈が低い小麦から見いだされたジベレリン情報伝達遺伝子を交配により普通の小麦に導入し、茎に供給されていた栄養が穂に届くように改良できた。風が吹いても倒れにくくなり、栄養が穂の成長に使われて、メキシコの小麦の収量は7～8倍にも増えた。

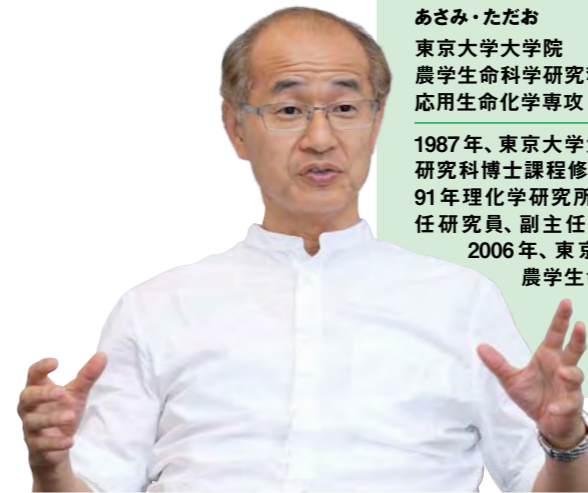
ヨーロッパでは、プロヘキサジオンというジベレリンの生合成を阻害する化合物を

使って小麦の草丈を低くした。現在、ヨーロッパでは小麦の約8割、大麦の約6割にこの化合物が使われ、1970年以降、ヨーロッパの小麦の収量はおよそ2倍に増えている。

このような農業技術の画期的な進歩は「緑の革命」をもたらし、私たちの豊かな食生活の礎になっている。その1つが植物の「ホルモン療法」である。

研究チームは、プロヘキサジオンのような収量を増やす化合物を作ることを目的の1つとしている。植物ホルモンのクロストーク（情報を伝えるときに他の伝達経路と影響しあう相互作用）、つまり植物内の「対話」を利用しようというものだ。

浅見さんは言う。「植物ホルモンが働くとき、遺伝子や化学物質などの因子が組織や細胞の中で情報（シグナル）を伝達します。シグナルを伝達する因子を見つけ、個別の因子同士の相互作用（クロストーク）に着目して研究しています。見つけた因子



### 浅見 忠男

あさみ・ただお  
東京大学大学院  
農学生命科学研究科  
応用生命化学専攻 教授

1987年、東京大学大学院農学系研究科博士課程修了、農学博士。91年理化学研究所研究員、同主任研究員、副主任研究員を経て2006年、東京大学大学院農学生命科学研究科教授。12年よりCREST研究代表者。

### 中野 雄司

なかの・たけし  
理化学研究所  
環境資源科学研究センター  
専任研究員

1994年、京都大学大学院農学研究科農芸化学専攻博士課程修了、博士（農学）。95年、理化学研究所基礎科学特別研究員、前任研究員を経て現職。2007年さきがけ「ブラシノステロイド情報伝達による発生と自然免疫制御の分子機構」研究者。12年よりCREST共同研究者。



を利用して植物ホルモンの働きを制御して、イネやサトウキビの増産をめざします」。

### ブラシノステロイドのメカニズムを解明

研究チームの強みは「ケミカルバイオロジー（化学生物学）」と呼ばれる研究方法である。有機合成化学で作った合成物を利用してたんぱく質の働きなど生物現象を解明するもので、合成化学に強い浅見さんと分子生物学に強い中野さんが協力して研究を進めている。

今年2月、研究チームはブラシノステロイドを制御するたんぱく質を発見し、そのシグナルが伝達されるメカニズムを解明した。これは、発芽・発根や器官の伸長、授精結実を促進し、病害抵抗性を向上させる働きを持つ植物ホルモンである。植物体の内部で生合成されるため、人工的に合成するのが難しく高価で、これまで農業やバイオマス生産には利用されていなかった。

ブラシノステロイドのシグナル伝達を促進するのが、2002年に浅見さんと中野さんが発見した新しい遺伝子、BIL1に由来する「BIL1たんぱく質」だ。BIL1たんぱく質は細胞質から細胞核に移行してブラシノステロイドの情報を伝え、細胞核内ではブラシノステロイドに反応する遺伝子の発現（たんぱく質の合成を通じて遺伝子が持つ遺伝情報が細胞の構造や機能に具体的に変換されること）が活性化して植物が成長す

る。研究チームは、BSS1という遺伝子に由来する「BSS1たんぱく質」が高発現すると、BIL1たんぱく質を細胞質に引き留めて細胞核に移行させず、茎の成長を抑えることを明らかにした。

シロイヌナズナのBSS1活性化型変異体（野生型のシロイヌナズナよりもBSS1たんぱく質が高発現した変異体）とBSS1活性化型形質転換体（BSS1たんぱく質

が高発現するように遺伝子組み換えした個体）は、野生型のシロイヌナズナと比べて茎がほとんど伸びていない（図1）。これに対し、BSS1欠損型変異体（BSS1を欠損させてBSS1たんぱく質を作れないようにした個体）は、野生型よりも草丈が長くなった（図2）。草丈が低くなる原因がBSS1たんぱく質の高発現であることがわかる。

図1 野生型とBSS1たんぱく質が高発現した個体の比較（シロイヌナズナ、発芽3週間後）



野生型(左)に比べて、BSS1たんぱく質が高発現した個体(中央・右)は草丈がほとんど伸びていない。

BSS1たんぱく質を作れないようにした個体(右)は、野生型(左)に比べて草丈が大きく伸びている。▶

図2 野生型とBSS1欠損型たんぱく質の発現を抑えた個体の比較（シロイヌナズナ、発芽5週間後）



野生型 BSS1欠損型変異体

図3 細胞質内のBSS1たんぱく質の「集合」と「拡散」

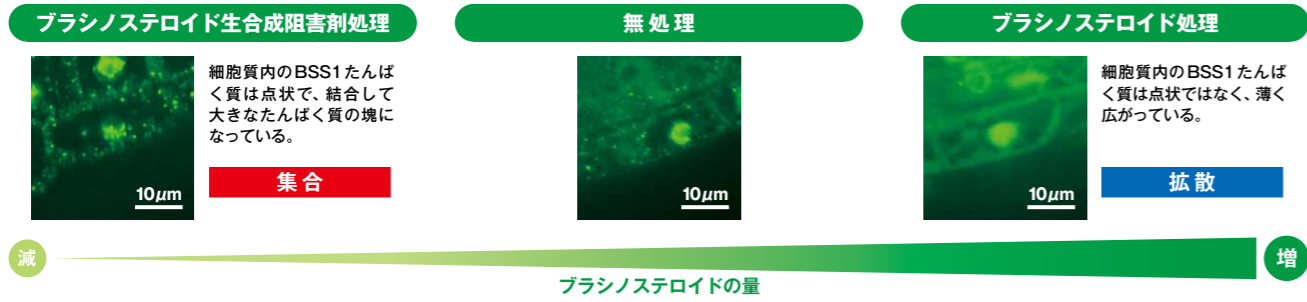
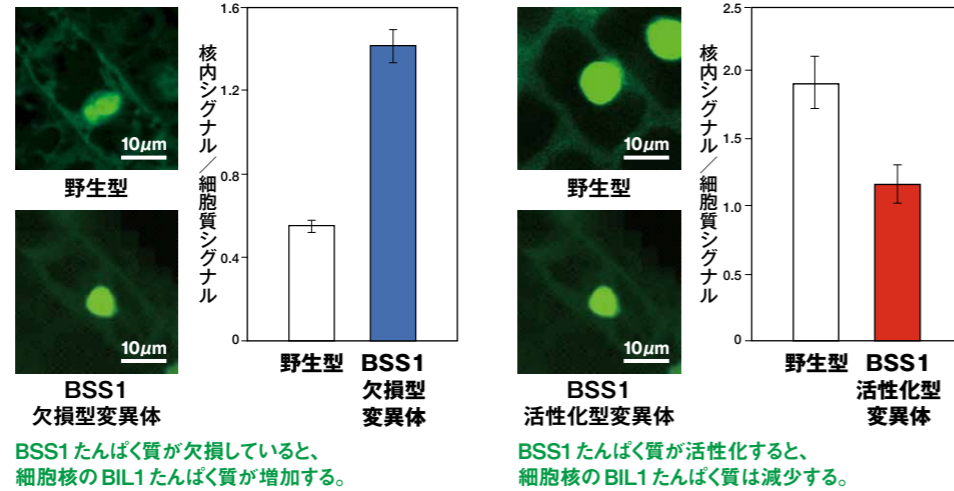


図4 細胞核内のBIL1たんぱく質

棒グラフの縦軸は細胞質の蛍光シグナル数に対する核内の蛍光シグナル数の比で、1より大きいと核内のBIL1たんぱく質の量が多いことを表す。写真の蛍光シグナルの明るさから量が推定され、蛍光が明るいとはBIL1たんぱく質が多いことを表す。



(図1~4の写真提供: 中野先生)

BSS1たんぱく質の細胞内での動きを緑色蛍光たんぱく質で調べた。すると、ブラシノステロイドの増減に伴って、BSS1たんぱく質が集合または拡散するという珍しい動きを示した。ブラシノステロイドがない状態では、細胞質に点状の蛍光シグナルが増え、BSS1たんぱく質は「集合」して大きなたんぱく質の塊を作った。一方、ブラシノステロイドを加えると、点状の蛍光シグナルは消えて細胞質に薄く広がり、BSS1たんぱく質は「拡散」して、たんぱく質単体になった(図3)。

BIL1たんぱく質とBSS1たんぱく質の共通点は、通常は細胞質にあるが、ブラシノステロイドを加えると、細胞質から細胞核内に移行することだ。そこで両者の関係を調べたところ、BSS1欠損型変異体では細胞核内のBIL1たんぱく質が増加し、BSS1活性化型形質転換体ではBIL1たんぱく質が減少しており、両者が互いに結合する性質を持つことが示された(図4)。

図5左のように、ブラシノステロイドが減

少すると、細胞質のBSS1たんぱく質が集合した大きな塊にBIL1たんぱく質は捕捉されて細胞核へ移行できなくなる。その結果、細胞核内ではブラシノステロイドに反応する遺伝子が発現せず、植物の茎の伸長は低下し、草丈が短く抑えられる。一方、図5右のように、ブラシノステロイドが増加すると、BSS1たんぱく質の塊は拡散して単体となるので、BIL1たんぱく質を捕捉する力が弱まる。そのため、BIL1たんぱく質は細胞核へ移行できるようになり、細胞核内ではブラシノステロイドに反応する遺伝子が発現して、植物の茎の伸長は促進し、草丈が長くなる。草丈の伸長に関わるブラシノステロイドの伝達が、BSS1たんぱく質の集合と拡散によって制御されるというメカニズムを明らかにし、植物の草丈を自在に制御する技術に道を開いた。

二酸化炭素の削減にも貢献

BSS1遺伝子は、イネやトウモロコシ、サトウキビにもあり、同様のメカニズムが広く

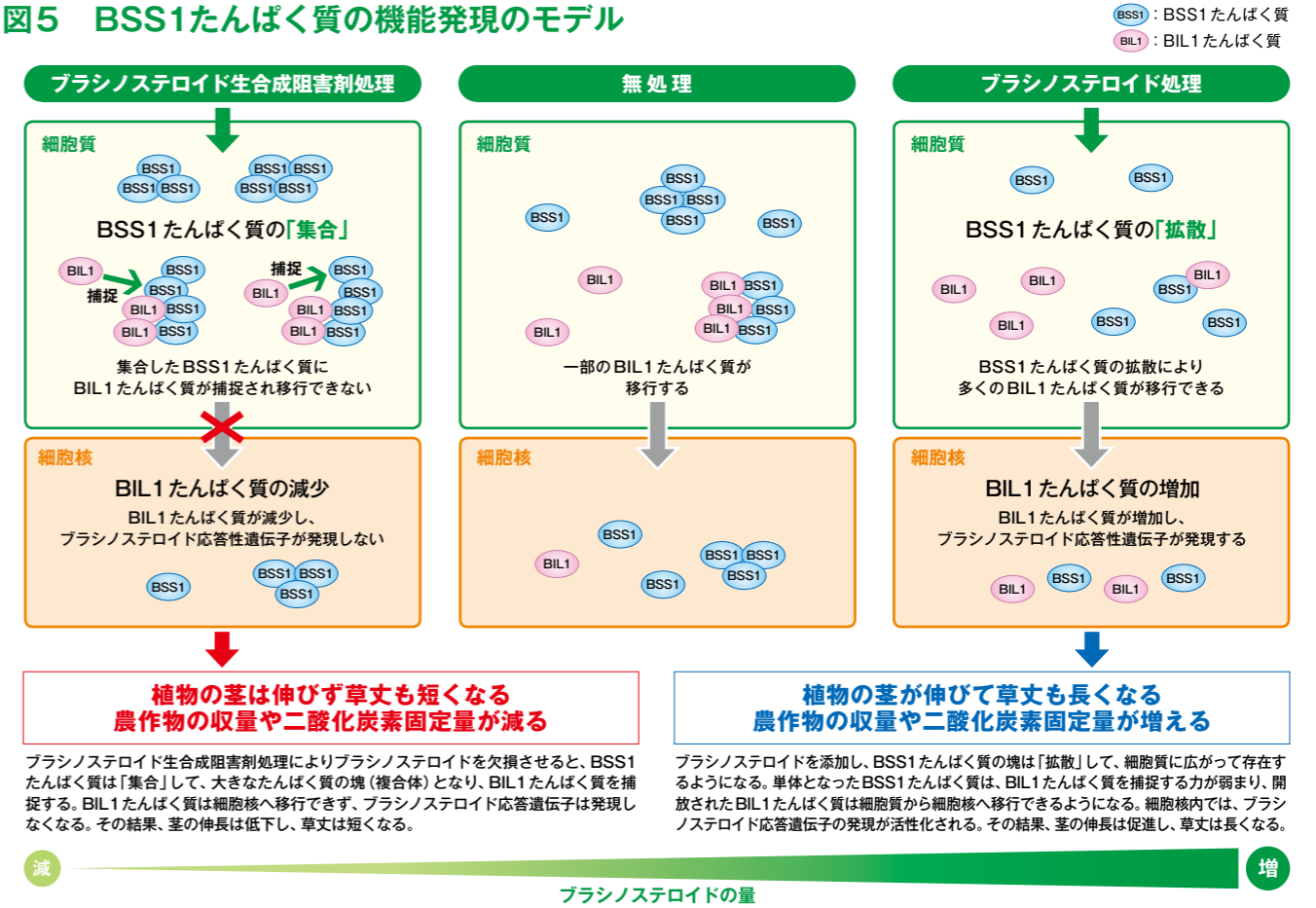
存在する可能性は大きい。中野さんはブラシノステロイド関連遺伝子の実験をさらに重ねている。

「BSS1たんぱく質が機能しないようにしたイネでは、草丈は変わりませんが、分けつ(茎の枝分かれ)が多くなりました。予備的な結果では、籾粒数は20~30%増加し、実際に実る種子(米粒)も10%ほど多くなることが明らかになりました。茎や葉が増えれば植物バイオマスの量も増やすことができます」。

従来の育種法では、イネの収量を5%増やすことも至難の業と言われていただけに、この成果は画期的と評価され、今後の実用化に大きな期待が寄せられている。

今回の成果をサトウキビに応用する研究も進めている(図6)。植物は光合成により、空気中の二酸化炭素を使って有機物を作る。この有機物から再生可能エネルギーであるバイオエタノールを生産できる。サトウキビなどエネルギー作物の増産が可能になれば、収量が増えるのみなら

図5 BSS1たんぱく質の機能発現のモデル



ブラシノステロイド生成阻害剤処理によりブラシノステロイドを欠損させると、BSS1たんぱく質は「集合」して、大きなたんぱく質の塊(複合体)となり、BIL1たんぱく質を捕捉する。BIL1たんぱく質は細胞核へ移行できず、ブラシノステロイド応答遺伝子は発現しなくなる。その結果、茎の伸長は低下し、草丈は短くなる。

ブラシノステロイドを添加し、BSS1たんぱく質の塊は「拡散」して、細胞質に広がって存在するようになる。単体となったBSS1たんぱく質は、BIL1たんぱく質を捕捉する力が弱まり、開放されたBIL1たんぱく質は細胞質から細胞核へ移行できるようになる。細胞核内では、ブラシノステロイド応答遺伝子の発現が活性化される。その結果、茎の伸長は促進し、草丈は長くなる。

減

プラシノステロイドの量

増

ず、大気中の二酸化炭素の固定量も大きくなり、二酸化炭素の削減にも貢献する。

遺伝子組み換えによってBIL1のように植物の成長に直接作用する遺伝子を細胞核に導入する研究も進めている。BSS1たんぱく質の機能を抑える方法よりも大きな効果が期待できるという。「日本では遺伝子組み換え植物の規制が厳しいので、実用化のめどが立っても直ちに国内で栽培することは難しいと思います。アメリカやブラジルなどから栽培を広めたいと考えています」と夢を抱いている。

20世紀中頃の「緑の革命」の主役は植物ホルモン「ジベレリン」だった。浅見さんと中野さんらは、ジベレリンやブラシノステロイドなどの植物ホルモンに共通するクロストークのメカニズムを明らかにすることで、さらに農作物の増産が可能となり、空気中の二酸化炭素の削減にもつながることを示した。まさに未来を明るく照らす『新たな緑の革命』といえるのではないだろうか。



図6 無処理のサトウキビ(左)とブラシノステロイド関連遺伝子を組み換えたサトウキビ(右)とでは、同条件で育てたにもかかわらず背丈の差は2倍近い。

浅見さんと中野さん。実験植物のイネの前で。

