

青いバラの育種とバイオテク育種の今後の方向

サントリー株式会社先進技術応用研究所 田中良和

要旨

園芸種のバラ(*Rosa hybrida*)は野生種のバラを交配することにより作出された。これらの種は、青色色素(デルフィニジン)を合成するために必要な酵素(フラボノイド 3',5'-水酸化酵素、F3'5'H)の遺伝子を持っていないため、交配により青いバラを育種することは不可能であった。植物バイオテクノロジーの技術を駆使し、パンジー由来のF3'5'H遺伝子をバラに導入・発現することにより、花卉の色素のほとんどが青色色素となった青いバラを作ることに成功した。このように、植物バイオテクノロジーを利用すると今までは得ることができなかった性質を持つ植物を育種することができるので、この技術は近い将来に直面する食糧危機や悪化する環境問題を解決する一助になると期待されている。

1.はじめに

バラ(*Rosa hybrida*)は、花の女王とも呼ばれ、世界中で最も愛されている植物である。バラの栽培の歴史は 5,000 年以上前の古代文明にさかのぼるともいわれ、また、クレオパトラが宮殿の床一面にバラの花弁を敷き詰めたり、ナポレオンの王妃ジョゼフィーヌがバラ園を運営したりといった逸話に事欠かない。ベストセラー「ダビンチコード」では、秘密結社のシンボルがバラ(と言っても原種のバラなので花びらは 5 枚)であるとされ、神秘的なイメージもあるようだ。商業的にも、キク・カーネーションなどとともに、主要な切花であり世界市場は卸値ベースで 3,000 から 4,000 億円程度と推定される。もちろん、庭用の苗としても販売されている。

ヨーロッパを中心に栽培されてきたバラに、コウシンバラ(*Rosa chinensis*)やノイバラ(*Rosa multiflora*)といったアジアのバラの形質が導入され、現在の栽培バラが誕生した。交配を繰り返すことにより、現在までに 2 万 5 千種もの品種が作られたと言われている。

その結果、今では赤・白・ピンク・黄色など、さまざまな色のバラが得られており、近年では、青についても、赤みを押さえたグレー系のバラなどがいわゆる青色系バラとして市販されている。品種名にブルーのついたもの(ブルームーン、ブルーリボンなど)も多い。しかしながら、現在まで十分な青い色のバラは作られていない。

2.花の色の決まる仕組み

花色の成分はおもに黄色のカロテノイド(たとえば、バラ、キクの黄色)と、黄色～青までの広いスペクトルを持つフラボノイド/アントシアニン、一部の植物に含まれる黄色から赤のベタレイン(オシロイバナ、サポテンなど)などがある。ここでは、アントシアニンについて述べる。アントシアニンから糖を除いた発色団はアントシア

ニジンと呼ばれる。おもなアントシアニジンには橙色から赤色のペラルゴニジン、赤色から紅色のシアニジン、紫から青色の色素デルフィニジンがある（図1）。

デルフィニジンを合成するために必要な酵素がフラボノイド 3',5'-酸水酸化酵素 (F3'5'H)である。バラ、カーネーション、キクなどの花卉にデルフィニジンを蓄積しない植物には、F3'5'H 遺伝子が欠損しているため、これらの植物はデルフィニジンを合成できず、青い色の品種がない。従って、交配を繰り返しても青い品種を作ることはできない。

1980年代から盛んになった植物バイオテクノロジーの技術を用いると、交配では利用できない遠縁種の植物の遺伝資源も、種の壁を超えて利用できる。サントリーと Florigene 社（オーストラリア）は、バイオテクノロジーを利用して、F3'5'H 遺伝子を異種植物で発現させデルフィニジンを生産させるという方法で、青い花の創出に取り組んできた。1995年には、カーネーションで F3'5'H 遺伝子を発現させることにより、デルフィニジンがほぼ 100%の青色カーネーション「ムーンダスト」を開発した。ムーンダストは現在、計6品種あり、日本（サントリーフラワーズ社が販売）、アメリカ、オーストラリア、ヨーロッパで市販されていて、国内で市販されている唯一の遺伝子組換え植物である。ムーンダストの生産はコストと品質などの問題から、大規模なカーネーション生産農家が集約しているコロンビア、エクアドルで行っている。

3.青バラの開発のプロセス

まず、遺伝学的な知見が蓄積されていたペチュニアの青い花から F3'5'H 遺伝子をクローニングした。この遺伝子をアグロバクテリウム法によりバラに導入し、形質転換バラを取得したが、F3'5'H 遺伝子の発現もデルフィニジンの蓄積も見られなかった。そこで、いくつかの青い花（リンドウ、チョウマメ、ラベンダー、パンジーなど）の F3'5'H 遺伝子を、ペチュニアの F3'5'H 遺伝子をプローブすることにより取得した。これらをバラに導入したところ、パンジーの F3'5'H 遺伝子を導入したバラが大量のデルフィニジンを生産したので、以後、パンジーの F3'5'H 遺伝子を利用した。

遺伝子組換え植物を作製する場合、導入遺伝子がどの程度良好に植物体の中で機能するかは、形質転換植物体ごとに大きく異なる。実用化を目指すためには、多くの独立した形質転換植物を得て、その中から優良な系統を選抜する必要がある。また、バラといっても遺伝的に多様であるため、デルフィニジンがどの程度蓄積されるか、デルフィニジンが蓄積した場合にどの程度青く見えるかは、バラの品種に依存する。その上、形質転換の容易さも品種に大きく依存する。

したがって、品種に依存しない効率のよい形質転換系を開発する必要があった。サントリーではエンブリオジェニックカルスを用いるバラの形質転換系を開発することにより、40品種以上のバラにパンジーの F3'5'H 遺伝子を導入し、のべ10,000系統以上の形質転換バラを開花させた（図2）。これらの中からデルフィニジンの含量がほぼ100%のバラを取得することができた（図3）。花色は大きく変化し、従来のバラの品種にはない青い色を呈していたこのバラを閉鎖系温室（遺伝子組換え植物を栽培するために必要な温室）で約2年間栽培したところ、花の色は安定していた。栄養増殖を繰り返してもやはり安定な形質を示した。

ちなみに、形質転換系の開発は、バラに限らず、植物バイオテクノロジーの実用化の律速となっていることが多い。また、実用植物では遺伝子の発現などについてもアラビドプシスやタバコなどのモデル植物と大きく異なり、有用な植物の作出する際の障害となっている。

4. 青いバラの今後の課題

今後は得られた青いバラは遺伝子組換え植物であるので、「遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律（カルタヘナ法）」に従い、生物の多様性などへの影響を調べた上で、問題がなければ商業生産と販売を行いたい。なお、4倍体の栽培バラと2倍体の野生バラの間に自然条件で交雑が起こることはあまりないと考えられる。また、交雑が行われた場合であっても交雑種は稔性が低いと考えられる（岐阜大学 福井博一教授、私信）。

花の色が青くなるためには、デルフィニジンの合成のほかに、①アシル基などにより複雑に修飾されたアントシアニンを蓄積させる、②コピグメントと呼ばれるフラボンなどの他の化合物を共存させて青くする、③アントシアニンが局在する液胞のpHを上昇させるなどの工夫が必要であろうが、バラはどの要件も満たしていない。①と②に必要な酵素遺伝子についてはすでに取得しているため、これらを利用して、さらにバラを青くする研究も継続して行っていきたい。また、今回取得したバラのデルフィニジンを合成する能力は、次世代に伝わる。従って、今後はバラの花色がもっと多様になることが期待される。

5. 植物バイオテクノロジーの将来

遺伝子組換え植物は、世界中で6,000-7,000万ヘクタールほど栽培されていると推定される（日本の耕地面積は500万ヘクタール未満）。収量の向上、使用農薬や化石燃料の現象、肥沃な土壌の保護などの生産者メリットは大きいようで、栽培面積は右肩上がり、中国では、遺伝子組換えイネが実用化されようとしている。大豆、ナタネ、トウモロコシの国内自給率はわずかであるため、我々は遺伝子組換え植物をすでに直接あるいは間接（油などの加工品として）にすでに消費しているし、消費せざるを得ない状況である。しかしながら、遺伝子組換え植物に対しては、一部に根強い反対・反感・不安があり、国が安全である承認した植物の栽培を地方自治体が条例でさらに規制する場合もある。

植物は再生可能であることから、現在は石油に頼っている工業原料を植物で生産させたり、医薬品蛋白を植物で生産させたりする研究も盛んに行われているが、これらの研究開発・商業化を国内で行う必然性はあまりなく、植物バイオテクノロジーの展開には、グローバルな視野が必要である。

参考文献

- ・大場秀章(1997)、バラの誕生、中公新書
- ・最相葉月(2004)、青いバラ、新潮文庫
- ・植物色素の生化学と遺伝学、蛋白質核酸酵素、2002年3月号

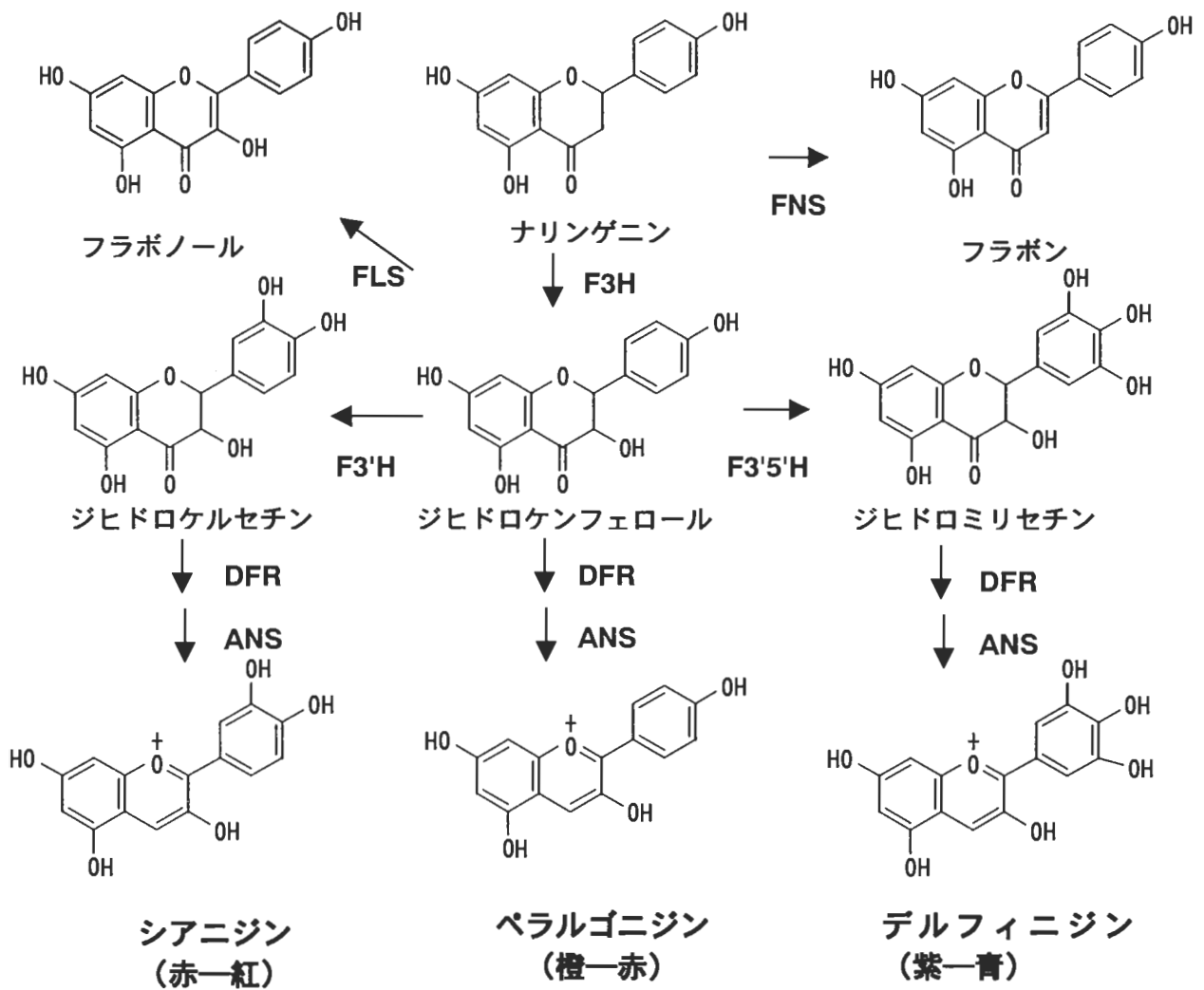


図1. フラボノイド生合成経路の一部。F3' HとF3' 5' Hは、フラボノイドの水酸化パターンを決定し、これらの酵素の有無が花色に大きな影響を与える。多くの青い花では、F3' 5' Hが発現しており、その結果、デルフィニジンを蓄積している。F3H, フラバノン 3-水酸化酵素; F3' H, フラボノイド 3'-水酸化酵素; F3' 5' H, フラボノイド 3', 5'-水酸化酵素; FLS, フラボノール合成酵素; FNS, フラボン合成酵素; DFR, ジヒドロフラボノール 4-還元酵素; ANS, アントシアニン合成酵素。

図2. 青いバラ開発のプ
ロセス

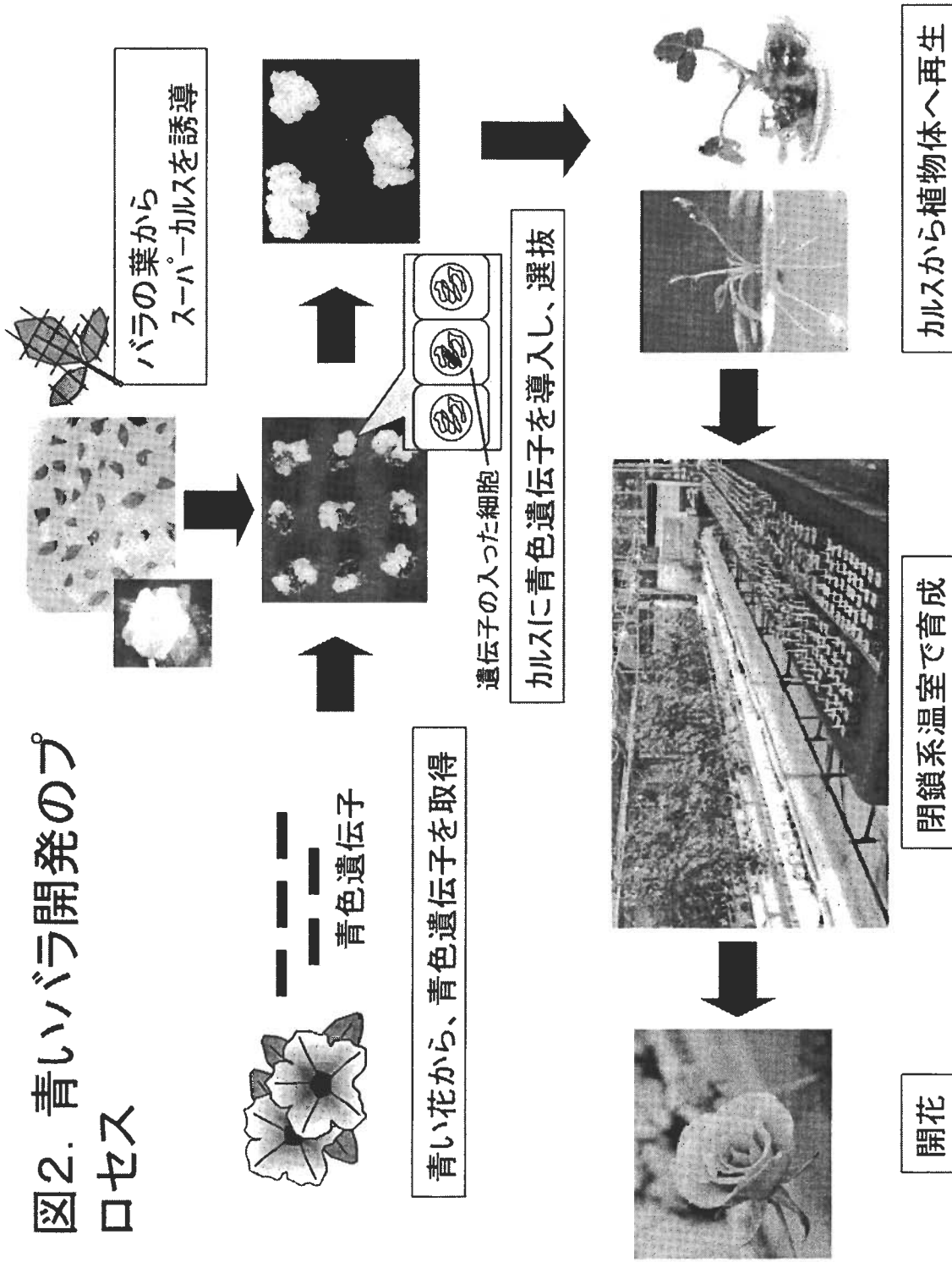
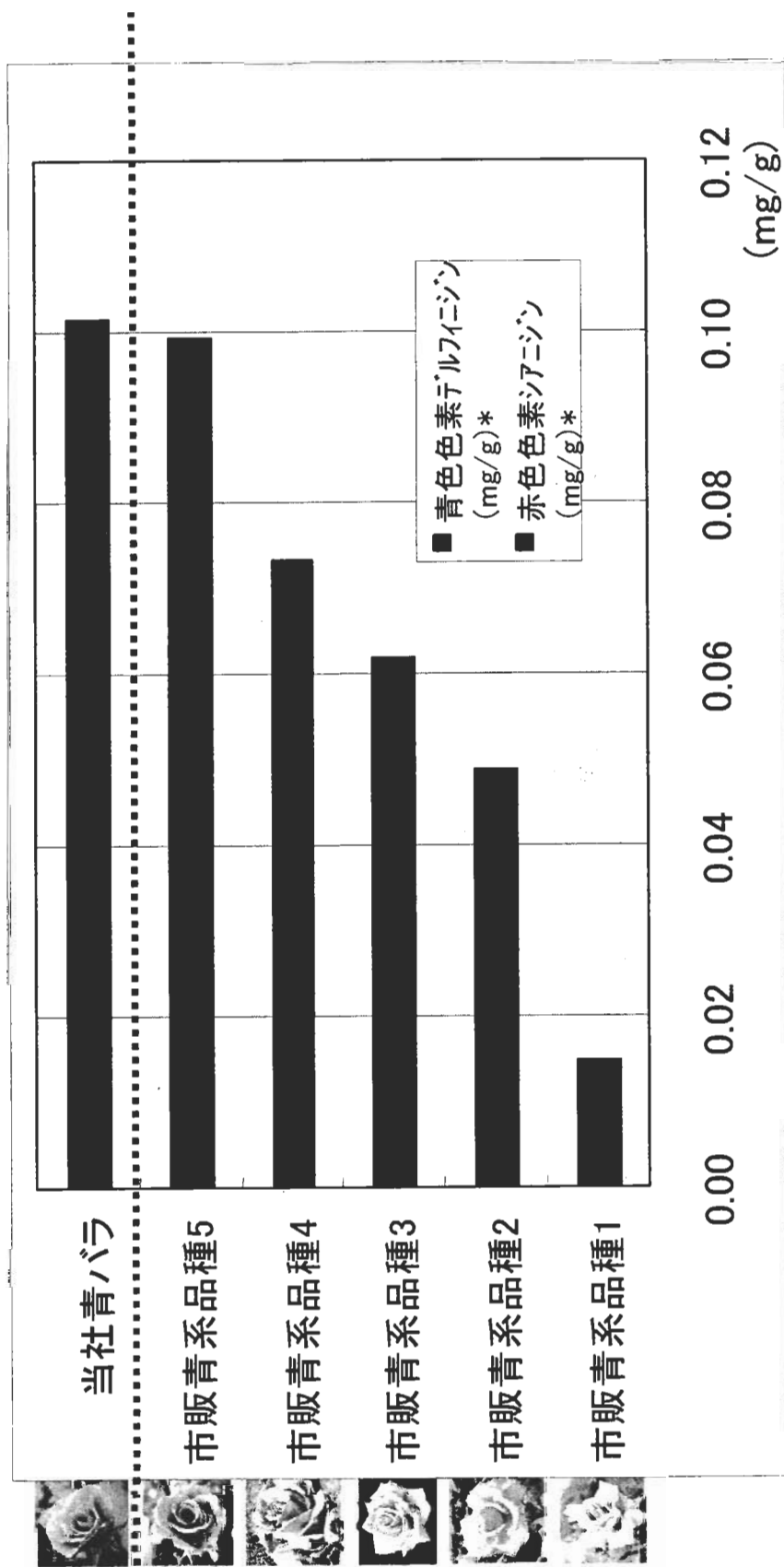


図3. バラの花色素分析結果

(従来の青系バラとの比較)



*花弁1gあたりの色素含有量