



平成27年6月1日

静岡県庁社会部
各報道機関 御中

国立大学法人静岡大学長 伊 東 幸 宏

お茶の香りの貯蔵メカニズムを解明 ～香り成分の安定的な貯蔵の鍵を握る酵素遺伝子を発見～

静岡大学大学院農学領域 大西利幸准教授とサントリーグローバルイノベーションセンター株式会社 小埜栄一郎研究員はサントリー生命科学財団、山口大学、神戸大学との共同研究を通じ、チャノキ（チャ; *Camellia sinensis*）の香り成分を安定的に貯蔵する二糖配糖体「プリメベロシド」を作り出す二つの酵素遺伝子を世界で初めて発見し、茶の香り成分を細胞内に貯蔵するメカニズムを明らかにしました。本研究の成果により、香気を引き出す新たな技術開発や、香りの異なるチャの育種や茶製品の開発に繋がると期待されます。

本成果は、2015年6月1日に米国植物生物学会誌 *Plant Physiology* のオンライン版に掲載され、近日中に本誌にも掲載されます。

＜ポイント＞

- チャの香りの成分を細胞内に貯蔵するメカニズムを明らかにしました。
- チャの香り成分を安定的に貯蔵する配糖体を作り出す酵素遺伝子を発見しました。
- 香気を引き出す新たな技術開発、香りの異なるチャの育種や新たな加工技術や茶製品の開発が期待されます。

＜今後、どのように発展していくか＞

香りは茶の品質を決定する要因の一つです、したがって、香り成分の貯蔵メカニズムが明らかになったことにより、香り成分のバラエティーや強弱の異なる茶製品の開発、香りを引き出す新しい茶葉加工技術開発、さらにこれまでにない新しい香気のチャ品種の開発が期待されます。

＜本共同研究グループについて＞

本研究は、静岡大学大学院農学領域 大西利幸准教授と、サントリーグローバルイノベーションセンター株式会社 小埜栄一郎研究員を中心とし、サントリー生命科学財団 堀川学研究員、村田純研究員、山口大学大学院医学系研究科（農学系）松井健二教授、神戸大学院農学研究科 水谷正治准教授との共同研究として実施されました。

【研究の背景】

お茶は世界三大ノンアルコール飲料の一つであり、緑茶、烏龍茶、紅茶がよく飲用されています（世界生産高 390 万トン、国内生産高 8.5 万トン；平成 24 年度 *1）（図 1）。香りはお茶の品質を決定付ける重要な要素です。紅茶や烏龍茶は、600 種類以上の香り成分が知られており、花香や果実様の香りなどに例えられるベンジルアルコール、2-フェニルアルコール、リナロール、ゲラニオールなどの華やかな香りが特徴です。緑茶の香りは紅茶や烏龍茶と比べて少ないものの、グリーンノートに例えられる (Z)-3-ヘキセノール、(Z)-3-ヘキセニルアセテートなどの爽やかな香りが特徴です。しかし、このように香りのバラエティーが異なる緑茶、烏龍茶、紅茶ですが、ただ一種のチャノキ（チャ；*Camellia sinensis*）から製造されています。つまり、緑茶、烏龍茶、紅茶のいずれも香り成分の“源”は同じです。チャノキにおいて香り成分は、「配糖体」と呼ばれる物質として貯蔵されています。これがチャノキの香り成分の“源”です。チャノキの配糖体はグルコースの 6 位にさらにキシロースが結合した二糖配糖体「プリメベロシド」が主要な貯蔵形態です。他の植物の多くが香り成分を単糖の形で貯蔵しているのに対して、プリメベロシドで貯蔵することはチャノキの大きな特徴と言えます（図 2）。プリメベロシドに香りはほとんどありません。チャノキに内在する糖加水分解酵素によって配糖体は香り成分と糖部分に切断され、香り成分が遊離します。緑茶、烏龍茶、紅茶のそれぞれの加工工程において巧みに糖加水分解酵素の働きが調節され、バラエティーに富んだ香りを放つお茶が作り出されます（図 3）。

しかし、チャノキにおいてプリメベロシドがどのように作られるかはわかりませんでした。プリメベロシドがどのように作られるかを明らかにすれば、香りのバラエティーや強弱の異なるチャノキの選別や、これまでとは異なった香りを放つチャノキの品種開発が期待されます。

そこで、共同研究チームは、チャノキの香り成分の源であるプリメベロシドがどのようにできるかを調べることを計画しました。

【研究の内容】

本研究では、チャノキのヤブキタ品種を用いて、プリメベロシドを作り出す酵素遺伝子の探索を行いました。まず、遺伝子発現データベース解析の結果、香り成分の一つ目の糖（単糖）を結合させると予想される配糖体化酵素遺伝子を見出しました。この遺伝子がコードする酵素を大腸菌発現系によって作り出し、酵素活性試験をおこなったところ、香り成分がグルコシド（単糖）に変換されていることを確認しました。そこで、この酵素を「CsGT1」と名付けました（図 4）。CsGT1 はベンジルアルコールや (Z)-3-ヘキセノールよりもゲラニオールに対する活性が高いこと。次にグルコシドに二つ目の糖を結合させる酵素を探索するために、チャノキの新鮮葉から酵素の精製を行いました。その結果、グルコシドからプリメベロシドを生み出す酵素を見出すことに成功しました。この酵素も CsGT1 と同様に、大腸菌発現系によって酵素を作り出し、その酵素機能を調べた結果、ゲラニオールとグルコースが結合した二糖を最も良い基質とすること、また二糖目にキシロースを結合させてプリメベロシドを生み出すこと。そこで、この酵素を「CsGT2」と名付けました（図 4）。チャノキにはなぜ二糖目にキシロースを持つプリメベロシドが多く存在するのかを調べるため、CsGT2 のモデルリング解析とアミノ酸置換を施した CsGT2 変異体の酵素解析 CsGT2 の 141 番目のアミノ酸であるセリンがプリメベロシドを生成するために必要であることがわかりました（図 5）。CsGT1 は幼若葉や成熟葉でも発現していますが、CsGT2 は幼若葉

で最も高く発現していました。また質量顕微鏡で調べた結果、葉の表面にプリメベロシドが貯まっていることがわかりました。

香り成分は病虫害に対する忌避成分や抗菌活性を持っています。これらの活性を抑えるため、チャノキは香り成分を安定的に貯蔵するため配糖体にします。ひとたびチャノキが外的ストレスを受けると、糖加水分解が起こり、香り成分が遊離して外敵昆虫や菌から身を守ります。そのため幼若葉や葉の表面にプリメベロシドが多く含まれていると考えられています。さらに、詳細な成分分析からチャノキの代表的な香気成分である花のような香りのゲラニオールと蜂蜜のような香りのリナロールは蓄積している部位が異なることが明らかになり、チャノキにはそれぞれの香り成分の担っている役割が異なることが示唆されました。チャノキに限らず植物は部位や器官で異なる香気を蓄積していることが類推され、茶産業のみならず植物加工物に関わる産業に広く影響を与えると考えられます。

【今後の展開】

香りは茶の品質を決定する重要な要因の一つです。したがって、香り成分の貯蔵メカニズムが明らかになったことにより、香り成分のバラエティーや強弱の異なる茶製品の開発、またチャノキ品種の開発が期待されます。本研究では、チャノキの香気配糖体の生合成に関わる二つの配糖体化酵素 CsGT1 と CsGT2 の機能を明らかにすることができました。これらの二つの酵素によって香り成分は、チャ葉に貯蔵されることから、二つの酵素が強く働いているチャノキ品種や特定の部位を見つけ出すことで、香り成分に富んだお茶を生み出すことも期待できます。また CsGT1 や CsGT2 の働く時期や部位を詳細に調べることで、目的に合った茶を製造するための刈り入れのタイミングや部位を見極めることができます。さらに香りに注目した新たなチャノキ品種を開発する際に、CsGT1 や CsGT2 が指標（遺伝子マーカー）の一つとして役立つことを期待しています。

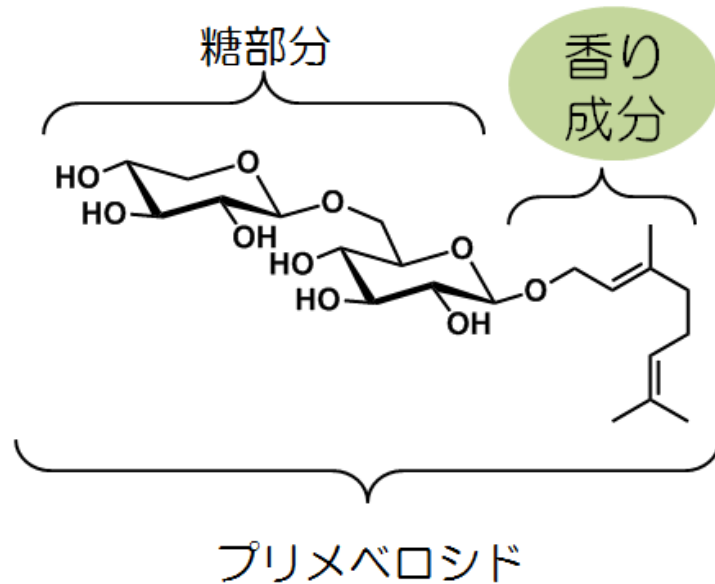
*1: 国際連合食糧農業機関 (Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database (FAOSTAT)) の発表データ

【参考図】



図 1. チャノキの新芽

(静岡大学農学部附属地域フィールド科学教育研究センター藤枝フィールドにて撮影)



プリメベロシドは
チャノキの葉に存在する“香り成分”の源

図 2. プリメベロシドの化学構造

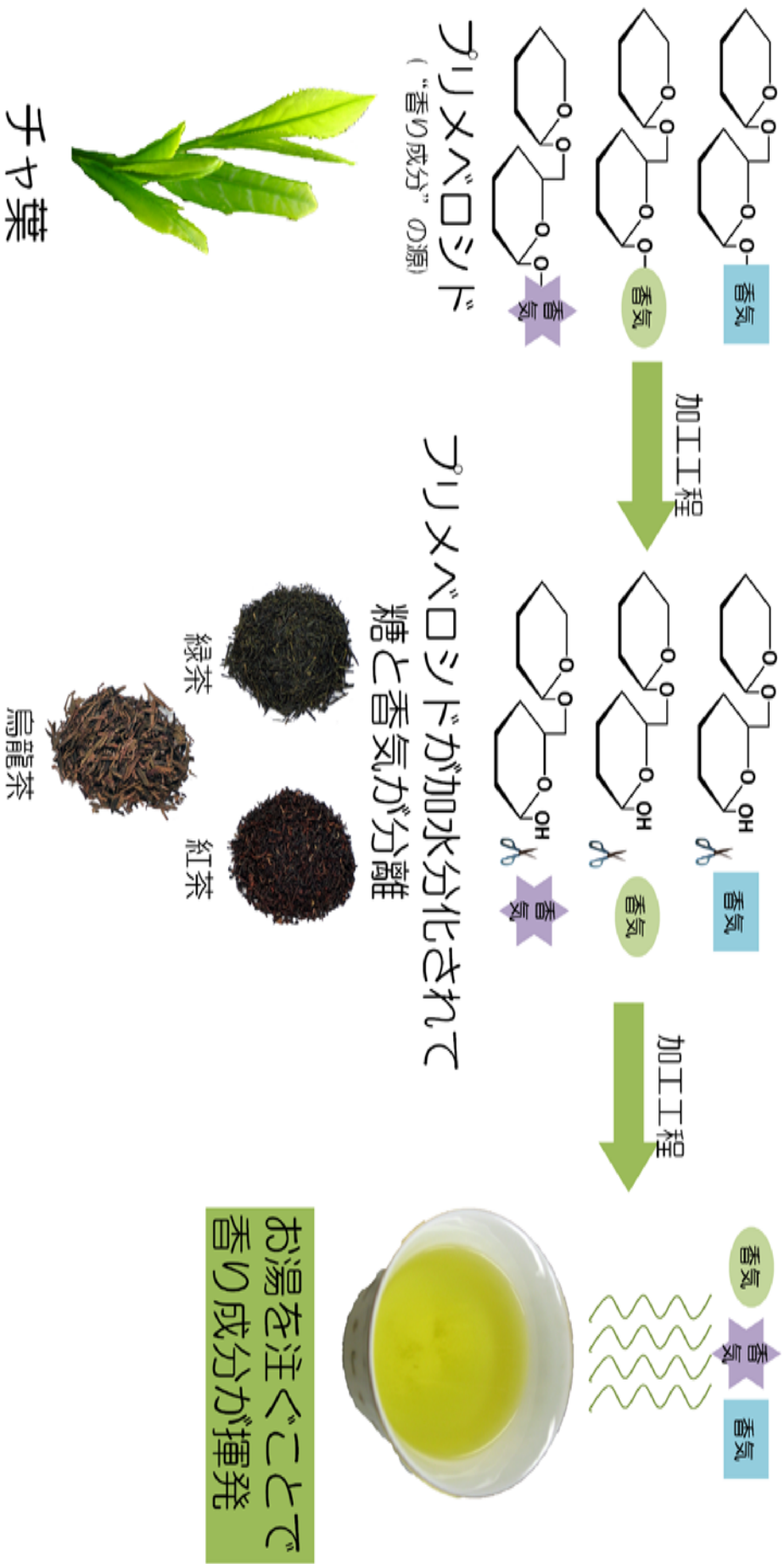


図3. 茶の香りが生じる仕組み

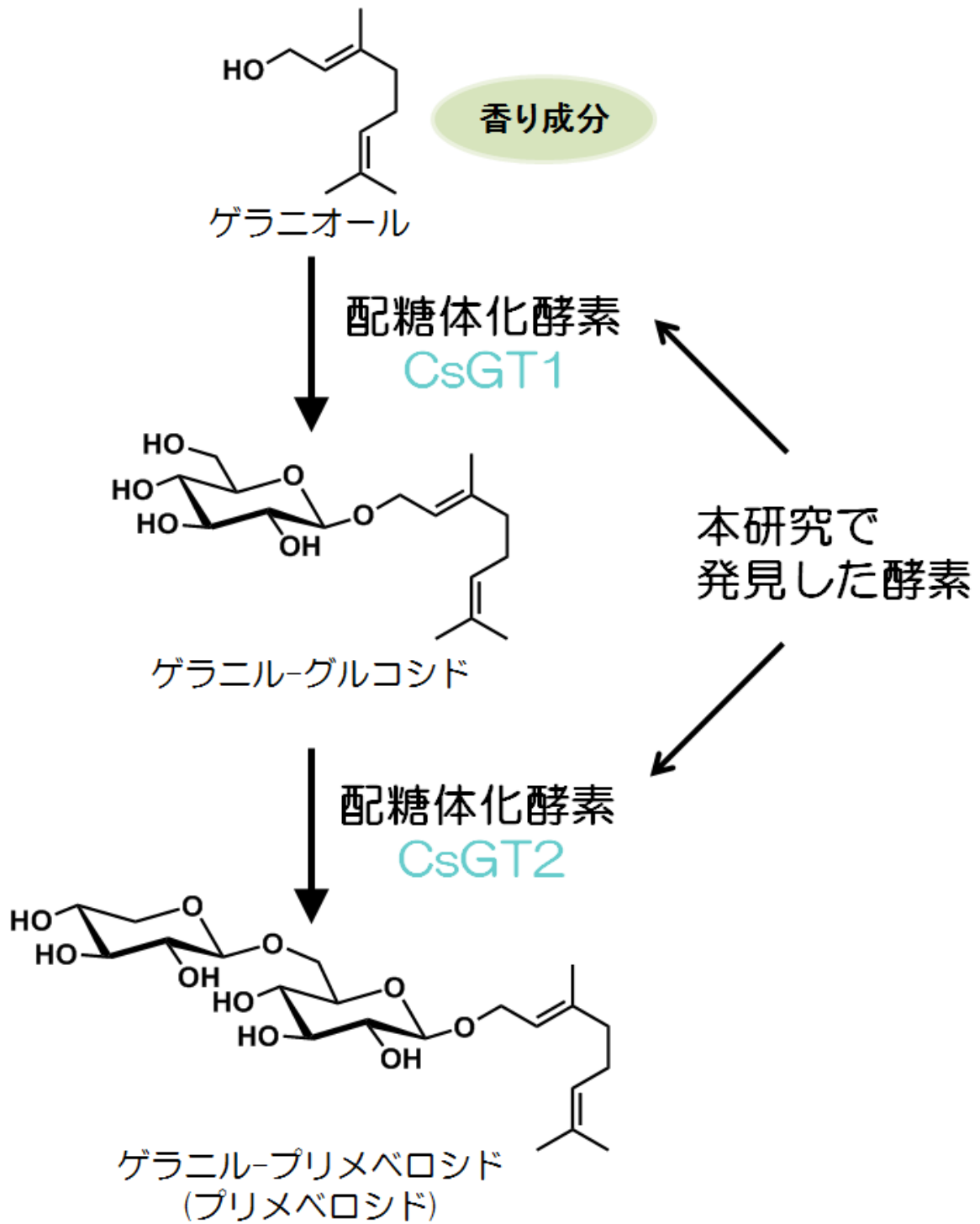


図4. プリメベロシドの生合成経路

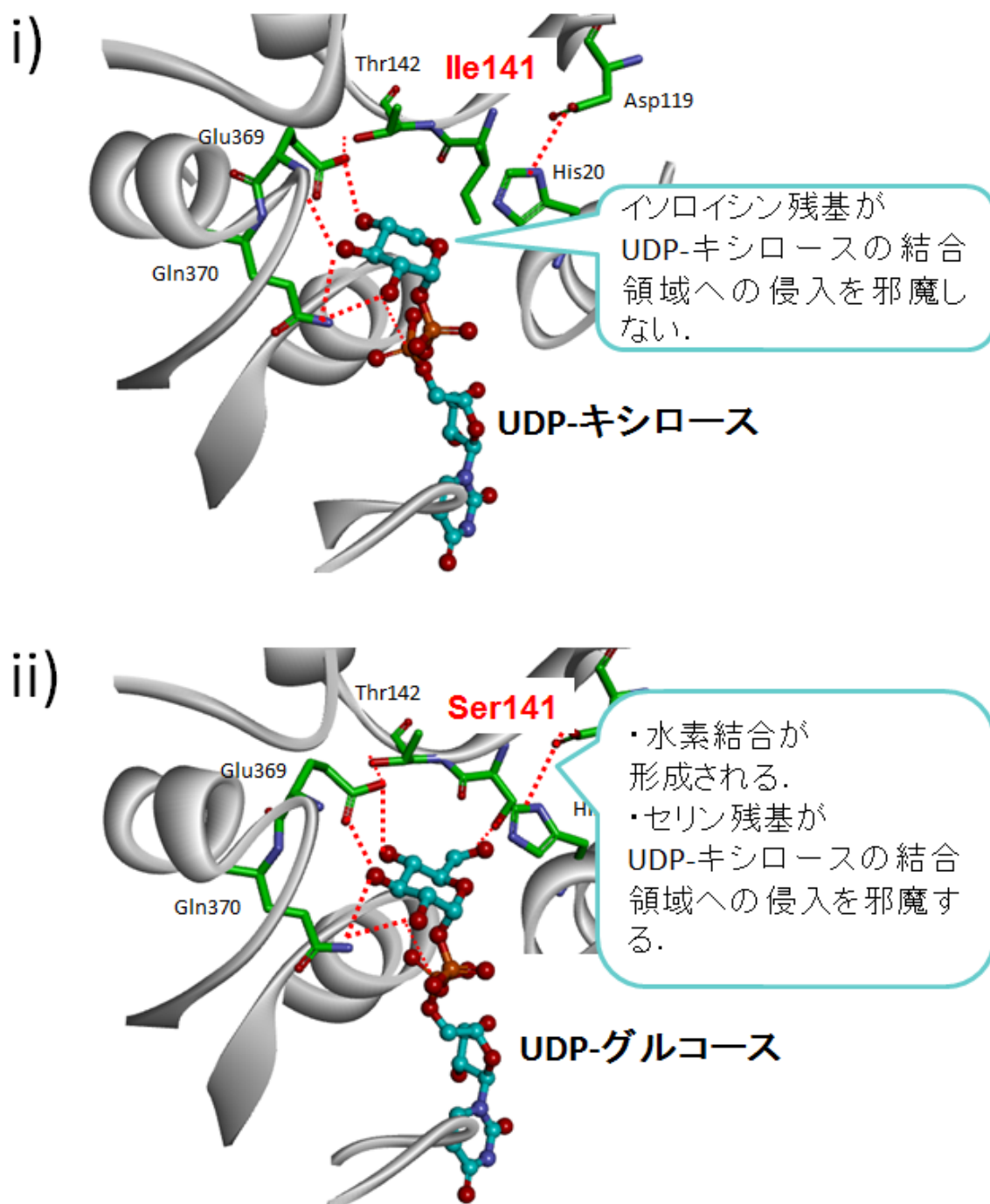


図 5. CsGT2 酵素の立体構造モデル図

(赤点線は水素結合を示す)

【用語解説】

配糖体

糖類（還元糖）の C-1 位と非糖部分（アグリコン）がグリコシド結合した化合物。

糖の C-1 位との結合するアグリコンの種類によって O-グリコシド（糖類，アルコール，など），N-グリコシド（核酸，抗生物質など），S-グリコシド，C-グリコシドに分けられる。本研究のプリメベロシドは O-グリコシドである。

CsGT1 と CsGT2

今回明らかにした配糖体化酵素の略称

Camellia sinensis glycosyltransferase 1 (CsGT1)

Camellia sinensis glycosyltransferase 2 (CsGT2)

大腸菌発現系

大腸菌を宿主として，タンパク質を発現するシステムのこと

配糖体化酵素

天然の化合物にグルコースやキシロースなど糖を転移する酵素。疎水性の高い化合物の場合，配糖化により親水性が高まり，水溶性が良くなる。また不安定な化合物は安定性が増す。そのため化合物の蓄積に適した形態である。

ゲラニルーグルコシド

バラの香りと知られているゲラニオールを非糖部分に持つグルコシド（単糖配糖体）。

ゲラニループリメベロシド

ゲラニオールを非糖部分に持つプリメベロシド（二糖配糖体）。

【論文タイトル】

“Volatile glycosylation in tea plants: Sequential glycosylations for the biosynthesis of aroma β -primeverosides are catalyzed by two *Camellia sinensis* glycosyltransferases”

チャノキにおける香気配糖体：二つの配糖体化酵素によって触媒される連続した配糖体化反応によって生み出される香気プリメベロシド

<お問い合わせ先>

<研究内容に関する問い合わせ先>

大西 利幸 (オオニシ トシユキ)
静岡大学 大学院 農学領域 准教授
〒422-8529 静岡市駿河区大谷 836
Tel : 054-238-3082 Fax : 054-238-3082
E-mail: dtonish@ipc.shizuoka.ac.jp

<報道に関する問い合わせ先>

静岡大学総務部広報室
〒422-8529 静岡市駿河区大谷 836
秋山 和廣 (アキヤマ カズヒロ)
Tel : 054-238-5179
E-mail : koho@adb.shizuoka.ac.jp