

国立研究開発法人

量子科学技術研究開発機構（量研）

高崎量子応用研究所

第52号

高崎研だより

役立つ科学

イチゴが甘くなる仕組み

My favorite

某和菓子屋（の箱）が好き！

日本/世界見聞録

「歴史を刻む都」ローマを歩く

研究装置紹介

X線小角散乱装置



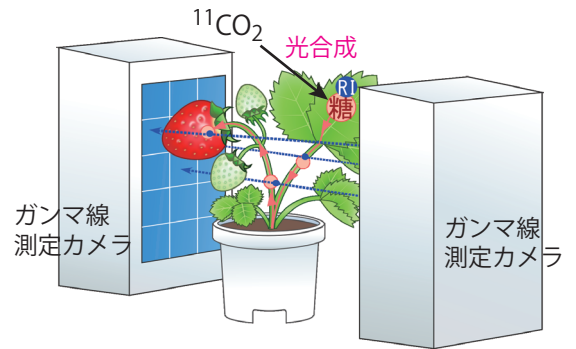
Q1. どうしてイチゴは甘くなるのでしょうか？

植物は葉の光合成によって二酸化炭素と水から糖分を作ります。作られた糖分の一部はデンプンとなり葉に蓄えられますが、残りの一部は茎を移動して果実や根、新芽など、成長のために栄養を必要とする場所に送られます。この現象を糖分の転流と呼びます。転流は、作物の肥大成長を左右し、収穫量や品質に直接影響する重要な機能です。世界的な人口増加と気候変動が進行する中、食料の安定供給が重要な課題です。これを解決するためには、いかに効率よく収穫部位に糖分を送るか、つまり転流させるかが重要です。

日本はイチゴ大国で、品種は 300 種と世界全体の品種の半分以上を占め、生食での消費量は世界一と言われています。世界のイチゴ需要に対する日本の果たす役割は大きくなっています。イチゴは、NASA や JAXA が主導する火星や月面での宇宙農業プロジェクトで主要栽培品目に挙げられています。

Q2. どのようにして、転流の様子を調べるのですか？

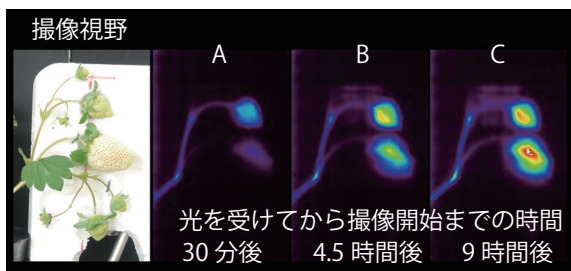
外から観察できない植物の糖分の動きを、RI イメージングという技術を使って可視化します。RI イメージングでは、放射線同位元素 (RI) で記しを付けた二酸化炭素 ($^{11}\text{CO}_2$) を植物に与えます。すると、植物は光合成によって $^{11}\text{CO}_2$ から糖分を作り、作られた糖は葉から他の器官へと転流します。その際、 $^{11}\text{CO}_2$ より発せられるガンマ線を特殊なカメラで捉えることで、糖分が植物体内を転流する様子をビデオカメラのように撮像することができます。がん検診等に用いる PET と同じ原理です。リアルタイムに植物体内の糖分の転流の観察が可能で、 $^{11}\text{CO}_2$ は半減期が約 20 分と非常に短いため、同じ植物を使って繰り返し実験ができます。



^{11}C から同時に 180 度反対方向に放出されるガンマ線をカメラで測定

Q3. どのような画像が撮れるのですか？

例えば、左下の像では、植物の光を受けて時間が長くなるにつれて糖分の転流が活発になることを捉えた画像です。画像 A は、RI イメージング装置の撮像視野にイチゴの果実をセットし、植物が夜寝ているような暗闇の状態から光を受けて（明るくなって）30 分経過した後、1 枚の葉に $^{11}\text{CO}_2$ を与え、3 時間連続撮像したものを積算した画像です。画像 B は 4.5 時間後に、画像 C は 9 時間後にそれぞれ同様な操作を行っています。画像の明るいところほど、 $^{11}\text{CO}_2$ からつくった糖分が多く含まれている場所となります。この実験から、光を受けた時間が長くなり、光合成によって葉の中に蓄えられる糖分やデンプンの量が増えるほど、糖分の転流が活発になることが分かりました。



糖分の転流の撮像画像

Q4. 今後、この研究はどのように展開するのでしょうか？

他の様々な環境要素の変化により糖分の転流がどのように変化するのか研究を進めていきます。その際、植物体内でどのような仕組みが働き転流が変化しているのか興味があり、その詳細なメカニズムを遺伝子発現といったレベルで明らかにする研究にも着手しています。また、実際の農業で収穫部への転流を最大化するような栽培を行うため、リアルタイムな転流の変化を栽培現場でも測定できる転流計測システムの開発も進めます。

突然ですが、私は、某和菓子屋（の箱）が大好きです。なぜってそりゃあ、ビジュアルがいい。例えば、干支にちなんだ動物柄の箱。あのゆるい絵柄が醸し出すえも言えぬかわいさと言ったら ...! ちなみにお正月頃は、中の箱まで干支柄で統一されていました。動物柄の外箱をパカッと開けて、これまた同じ柄の内箱をペリッと開いたら、中から端正な顔立ちをした羊羹がでてくるだなんて！ 大歓喜！

ところで、某和菓子店の箱を語るうえで忘れてはいけないのがこの「パカッとペリッと問題」ではないでしょうか。というのも、ここの箱は圧倒的にペリッとが多い。定番商品も限定商品も、みな驚くほど美しくてかわいいペリッとに包まれているのです。けれども、お菓子の箱が持つ最大の魅力は、食べ終わった後も別の何かを入れて使えるかもしれない、

という予感にあるのではないのでしょうか。そしてそれは予感であり、希望でもある。だから、あと少しだけ頑張れなかったのかなと思う。だって、あの唯一無二のイラスト、少しざらっとした箱の質感、和菓子そのものの美しさに、パカッとが追加されたなら、某和菓子屋は限りなく完璧に近い存在であることをやめ、完全無欠になれるはずだから。

そんな話を友人にしたら、パカッとペリッとにかかるコストの違いについて説明されてしまいました。曰く、移ろう季節に合わせて半月ごとに変わっていく商品とパカットの相性はよろしくないとのこと。でも、そんなことはどうでもいいなと思う。完璧とか絶対なんて確かなものは存在しないこの世のなかで、せめてお菓子の箱くらいは夢を見させてくれよと思う。だからわたしは、愛おしさと恨めしさが入り混じったまなざしで、某和菓子屋の箱を見つめる。

家に猫がない（ペンネーム）



箱も重要なアイテムの一つ

日本/世界見聞録

「歴史を刻む都」ローマを歩く

2019年5月に炭素材料に関する国際会議に出席するため、イタリアの首都ローマを訪れました。ローマはイタリアの政治、経済、文化、宗教の中心地であり、世界でも有数の観光都市です。京都市と姉妹友好都市提携を結んでいます。観光客の最も多いと言われる5月上旬を過ぎて現地入りしましたが、街中は日本人を含め予想をはるかに超える様々な国の人達であふれていました。

古代ローマ文明の発祥の地であるローマには、貴重な歴史的建造物や遺物が数えきれないほどあり、その多くは徒歩で巡ることができます。5月のローマの気温は20度前後で、散策には最適です。会議終了後、10km以上散策した日もありましたが、次から次へと現れる歴史的建造物や庭園を目の当たりにして疲れは感じませんでした。そんな数多くある観光スポットの中で私が最も心動かされたのは、古代ローマの遺跡で世界遺産に指定されているフォロ・ロマーノ（＝ローマ市民の広場）です。約2,000年前にこの地で人々がどのようなことに思い巡らせていたのかを考えると、時間という概念の不思議さを感じます。



世界遺産フォロ・ロマーノ



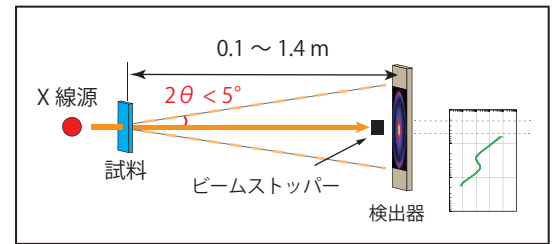
青空の下のサン・ピエトロ大聖堂

ローマの中には国土面積世界最小の独立国家、バチカン市国があります。バチカン市国はイタリアとの入出国が自由です。観光客も自由に往来できます。会議日程の都合上、歴代ローマ教皇の収集品を収蔵展示するバチカン美術館を見ることはできませんでしたが、世界最大級の教会堂建築サン・ピエトロ大聖堂では、その荘厳さと内部装飾の豪華さに魅了されました。ローマは一生に一度は訪れたい場所です。皆さんも是非訪れてみてください。

【原理と用途】

X線小角散乱 (SAXS: Small Angle X-ray Scattering:) は、試料に X線を照射し、散乱した X線の強度を散乱角度ごとに測定して試料の内部構造を調べる分析技術です。測定は、0.1 ~ 5 度と狭い散乱角度で行われるため小角と呼ばれており、物質の会合状態や界面などの構造を 1 ~ 120 nm の範囲で解析・評価できます。

通常の X線回折は、結晶の原子配列など 1 Å 程度の解析になりますが、小角散乱はもう少し大きな構造である数 10 nm を解析するための装置です。



SAXS の測定原理

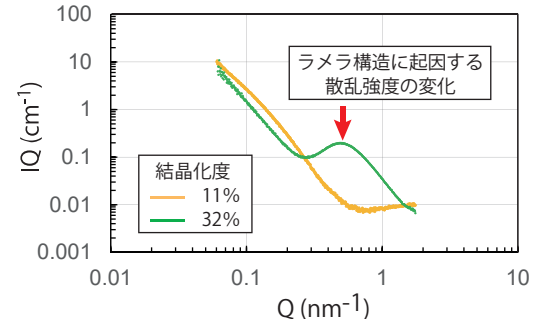
【特徴】

X線小角散乱が対象とする試料は高分子、コロイド、溶液中のタンパク質などで、試料の周期的な構造の他に、散乱体の大きさ・形状などの情報を得ることができます。1 ~ 100 nm のナノ構造の解析手段として透過型電子顕微鏡 (TEM) や原子間力顕微鏡 (AFM) がありますが、これらは試料の局所的な情報が得られるのに対し、SAXS は X線の高い透過力によってバルク構造の情報を得ることができ、電子顕微鏡とは相補的な関係にあります。

【実際の分析例】

結晶化度 11% の市販ポリエーテルエーテルケトン (PEEK) とこれに熱を加えて結晶化度を 32% とした PEEK の 2 種類の試料に対してスチレンスルホン酸エチルエステルを放射線グラフト重合した結果、結晶化度 32% の PEEK はほとんど重合しませんが、11% の試料はある程度グラフト重合が進行することが分かりました。

この理由を調べるため、グラフト重合前のこれら 2 つの試料について SAXS 測定を行いました。結果を右図に示します。横軸は散乱ベクトル、縦軸は散乱強度となります。散乱ベクトル Q は $Q = (4\pi/\lambda) \times \sin\theta$ で定義されます。この散乱ベクトルが小さくなるにしたがい、粒子内の原子・分子の構造、粒子の形状、粒子の大きさ、粒子間相互作用と、より大きなスケール情報に対応した散乱が得られます。



結晶化度の異なる 2 試料の SAXS 測定結果

測定結果から、結晶化度 32% の試料は 0.5 nm^{-1} 付近で散乱強度が高くなっていることから、この試料には 13 nm のラメラ構造 (熔融状態の高分子がゆっくりと冷却される過程でポリマー鎖が規則的に折りたたまれた構造) が周期的に存在していることが分かります。結晶化度 11% の試料にはこのラメラ構造は見られません。SAXS 測定によって試料の内部構造の違いが存在することを突き止め、この相違がグラフト重合に影響を及ぼしていることが明らかになりました。

Qメッセージ

6 月下旬の猛暑とその後の梅雨戻りの影響で、産地では急激に成長したレタスが一気に収穫時期を迎えてしまい、廃棄しているそうです。今後は、本号の「役立つ科学」でご紹介しました RI イメージング技術などの量子ビームバイオテクノロジーをさらに深化させ、例えば、天候に左右されず万遍なく収穫できる計画的な生産を可能とするような、暮らしに役立つ研究を進めてまいります。

(放射線生物応用研究部長 石岡典子)