

国立研究開発法人

量子科学技術研究開発機構

高崎量子応用研究所

第70号

# 高崎研だより

役立つ科学

放射線を利用した微生物の突然変異に関する研究

日本/世界見聞録

バンクーバーでの国際会議に参加して

My favorite

最近始めた料理

研究装置紹介

四重極型質量分析計



Q1. 突然変異について教えてください

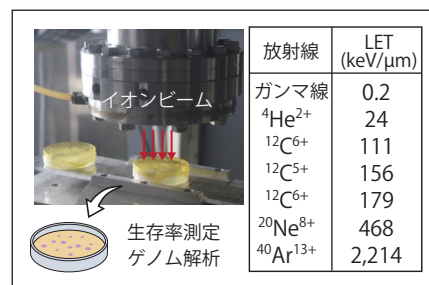
生物は、遺伝情報の担い手である DNA が損傷を被る環境下に常にありますが、その損傷を完全に修復し、元通りの性質にする能力があります。しかし、完全に修復できず僅かに誤りがあった場合、DNA に突然変異を生じます。突然変異は自然界でも起こる現象で、進化の原動力となっています。

近年、DNA を意図的に改変して目的の性質を持つ品種を効率的に創出できる遺伝子組み換えやゲノム編集などの育種技術がありますが、目的の性質を担う遺伝情報が分からないと利用できません。一方、放射線突然変異育種は、新たな性質を担う遺伝情報(品種)の創出に有効な方法です。

我々は、新たにイオンビームを利用することで、植物だけでなく、微生物においても大きな成果をあげています。しかし、植物同様、微生物も放射線照射で生じる突然変異はランダムで偶発的で、その特徴は十分に解明されていません。そこで、工業、環境、食品等で広く利用され、産業的にも重要な微生物である枯草菌を用いて、放射線で生じる突然変異の分子機構を詳しく調べることにしました。

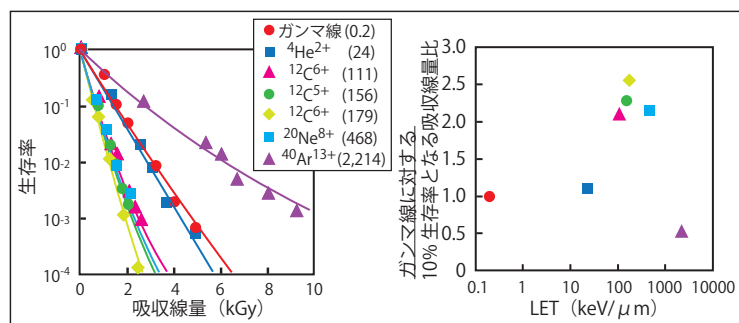
Q2. どのようにして、枯草菌に対する放射線影響を調べるのでしょうか？

放射線特性として最も利用される単位長さあたりに付与するエネルギー量、線エネルギー付与 (LET: Liner Energy Transfer) を指標として、7種の異なる LET の放射線、ガンマ線 (0.2 keV/μm、単位以下同様)、 $^4\text{He}^{2+}$ (24)、 $^{12}\text{C}^{6+}$ (111)、 $^{12}\text{C}^{5+}$ (156)、 $^{12}\text{C}^{6+}$ (179)、 $^{20}\text{Ne}^{8+}$ (468)、 $^{40}\text{Ar}^{13+}$ (2,214) を枯草菌の孢子に照射し、各放射線照射に対する致死効果を解析しました。さらに、既に解読されている枯草菌の全ゲノムの塩基配列を参照として、突然変異頻度が高い生存率約 1% 付近の菌体と比較ゲノム解析を行いました。



枯草菌へのイオンビーム照射

Q3. 枯草菌に対する異なる LET 放射線の影響について教えてください

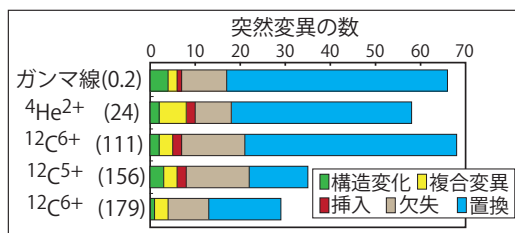


異なる LET 放射線に対する枯草菌への致死効果

放射線のガンマ線の約 2.6 倍でした。 $^{20}\text{Ne}^{8+}$ (468) と  $^{40}\text{Ar}^{13+}$ (2,214) における致死効果の低下は、致死に必要なエネルギーよりも高いエネルギーの付与によるオーバーキル効果と考えられます。

突然変異には、塩基対の種類が変化する塩基置換、塩基対が失われる欠失、塩基対が増える挿入、さらに構造変化である一定の領域の塩基配列が反転する逆位、及びゲノム上の異なる場所に移動する転座があります。低い致死効果を示した低 LET 放射線は、突然変異頻度が高い傾向にあり、特に塩基置換が多く誘発されました。一方、高い致死効果を示した高 LET 放射線は

左図のように、7種の放射線のいずれも吸収線量が増加すると生存率が低下しました。致死効果の比較によく用いられる生存率が 10% となる線量で比べると、 $^{12}\text{C}^{6+}$ (179) >  $^{12}\text{C}^{5+}$ (156) >  $^{20}\text{Ne}^{8+}$ (468) >  $^{12}\text{C}^{6+}$ (111) >  $^4\text{He}^{2+}$ (24) > ガンマ線 (0.2) >  $^{40}\text{Ar}^{13+}$ (2,214) となり、LET が 179 keV/μm 以上では致死効果が低下しました。 $^{12}\text{C}^{6+}$ (179) イオンビームの致死効果は、低 LET



異なる LET 放射線による遺伝子変異の特徴

突然変異頻度は低いものの、遺伝情報に大きな影響を示す欠失変異などが優位に誘発されていました。微生物のゲノムに対して、放射線による突然変異誘発効果を初めて体系的に示すことができました。

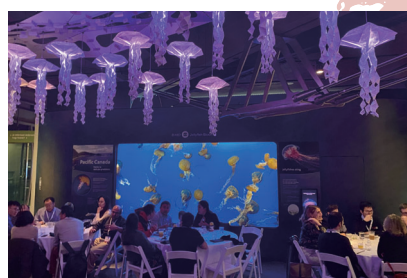
2023年11月にカナダのバンクーバーで開催された、医学イメージング分野の国際会議に参加しました。コンプトンカメラの医学応用について発表しましたが、多くの研究者に興味を持って頂き、貴重な情報交換ができました。

11月のバンクーバーは10℃前後のかなりの寒さで、会議期間中は曇り空や霧雨の日が多かったのですが、たまに訪れる天気の良い日に会場の周りを散策しました。バンクーバーは世界の住みたい街ランキングで上位に入るカナダ第三の都市で、交通機関も整備されており、店舗も多く賑やかで、少し足を伸ばすと大自然に触れることもできます。初夏の気候の良い時期にまた訪れたいです。



バンクーバー市街の風景

この国際会議では自費のディナーが準備されており、なるべく参加するようにしています。開催年により当たり外れがあるのですが、今回はバンクーバー水族館を貸切ったの豪華なディナーでした！



バンクーバー水族館でのディナー

きれいな展示を見ながら美味しい食事を取ると会話も弾み、とても楽しいひとときでした。日本でも水族館ディナーが開催されているようですので、皆さん参加してみたいはいかがでしょうか。

今回はカナダの国際会議参加の後、ドイツの大学に直行するという強行スケジュールに挑みました。飛行機の長距離移動を無事こなせるか少し心配していたのですが、無事乗り切ることができ、以外とタフな自分に少々驚きながら帰国の途に就きました。

量子バイオ基盤研究部 山口 充孝

## My favorite

私の趣味は料理です。始めたきっかけは、次男が生まれたことでした。外食が難しくなったため、週末の食事準備を担当するようになりました。それが、私の料理人生の始まりです。

それまで全く料理をしてこなかったのが、当初は何もわからない状態でした。そこで、私は書店でレシピ本を購入し、それに載っている手順や写真を参考に、同じように料理を作ることになりました。レシピ本にしたがって料理を作ると、驚くべきことが起こります。それは、「料理が美味しい」ということです。

私は、自分の料理に自信がなかったのが、最初は信じられませんでした。しかし、家族の反応を見ると、本当においしいと言ってくれるのです。どうやら余計なアレンジをする知識が無かったのが、功を奏したようです。特に嬉しかったのは、長男の反応でした。長男は普段野菜を食べないのですが、私の作ったニンジンと玉ねぎがたっぷり入ったミートソースパスタは文句も言わず完食してくれます。それを見たときは、本当に感動します。



ニンジンと玉ねぎたっぷりのミートソーススパゲティ

料理を初めてから、私は週末になると、いろいろなメニューに挑戦しています。カレーやチャーハン、オムライスなど、子供たちが好きそうなものを作っています。次は何を作ろう、どんな味付けがいいかなど家族との会話も増え、一緒に考えたり、アドバイスをもらったりしています。料理は楽しいですし、家族の笑顔が見られるので、これからも続けていきたいと思っています。



購入したレシピ本

## 最近始めた料理

パスタマン (ペンネーム)

## 【原理と特徴】

四重極型質量分析計 (Quadrupole Mass Spectrometer : QMS) は、原子や分子で構成される物質の質量を調べる装置です。

QMS は、イオン源、平行にセットされた 4 本の棒状電極 (四重極)、検出器からなります。イオン源でイオン化された物質は、電圧を制御させた四重極の電場を通過する際、ある特定の質量電荷比 (質量数を電荷数で割った値 :  $m/z$ ) のイオンのみを選別され、検出器に送られます。その他の  $m/z$  のイオンは振幅が大きくなって電極に衝突するため、特定の質量数だけを検出することができます。

QMS は低い真空度でも作動する、小型化が可能、操作が容易といった特徴があります。このため、単独での使用の他、未知の多成分を含む試料に対しては、ガスクロマトグラフや液体クロマトグラフなどの分析装置で分離した各成分を QMS に導いて、イオン化により生じる各成分分子イオンを解析することにより、成分の定量解析が可能です。

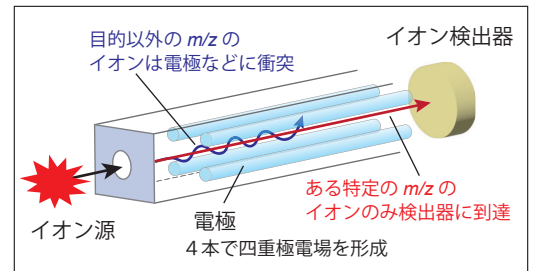
イオン化法には、電子を照射して試料分子を開裂 (フラグメンテーション) させてイオン化する電子イオン化法 (Electron Ionization : EI) や試料分子と試薬間のプロトン移動により試料をイオン化させる化学イオン化法 (Chemical Ionization : CI) などがあります。また、高分子材料の解析等には、マトリックスと呼ばれるイオン化支援剤と混合した試料に紫外線レーザーを照射することにより、試料分子のフラグメンテーションを抑制して分子量数万程度の高分子をイオン化できるマトリックス支援レーザー脱離イオン化法 (MALDI : Matrix Assisted Laser Desorption Ionization) などがあります。

QMS は、化学、農学等の基礎研究から高分子、半導体等の応用研究まで多岐にわたる分野で、化合物の成分分析などに利用することができます。

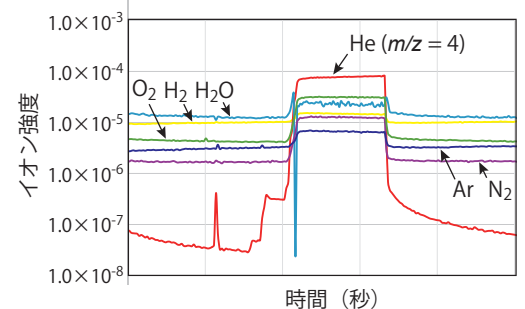
## 【実際の使用例】

QMS を接続した装置内をヘリウム (He) ガスで置換した際のガス成分分析結果を右下図に示します。装置に He ガスを注入した後、He に相当する  $m/z = 4$  のピークが出現し、時間とともにその強度が大きくなっていることが確認できます。また、装置内への He ガス注入により、水素、水分および空気成分のピークも高くなること、また注入を中止することによりこれらのピークが低くなっていることから、装置内にはこれらの成分が存在し、He ガス注入によりガスの置換が行われていることが分かります。

QMS は有機化合物の分析・同定などで使用されることが多いですが、このようなガス成分にも使用可能です。



四重極型質量分析計の原理



ガス成分のマスペクトル

## Qメッセージ

冬真っ盛りとなり、温暖化はどこに行ったと心の中で叫びながら、寒風に逆らって研究所内を歩いていると、桜の木が硬そうなたつぼみを付けていました。つぼみにとってはこの低温も必要なものらしく、春に向けて少しずつ成長を促しているのだそうです。研究、開発もなかなか成果が出ない時期もありますが、必ず前には進んでいるはず。来月は3月、あっという間に満開の桜が見られます。

(先進ビーム利用施設部長 齋藤 勇一)