

## FNCA2025 年度 放射線育種プロジェクトワークショップ 各国発表サマリー

2025 年 10 月 28 日～30 日

チビノン（インドネシア）

### バングラデシュ

#### バングラデシュ原子力委員会 A. N. K Mamun 氏

BINA dhan 25 は BRRI dhan 29 の突然変異体であり、高級米、高い市場価格、輸出品質、早生、中日性、高収量（7.14～8.50t/ha）であることから、農家の人気が高まっている。1,000 粒あたりの平均重量は 19.7g、アミロース含有量は 25.1%、タンパク質含有量は 6.6%である。さらに、比較的少なめの肥料と灌漑システムで栽培可能であり、炭素イオンビーム照射によって開発されたものである。この品種は、商業的栽培に向けて 2022 年にリリースされた。そうした中で、さらなる研究に向けて、相当数の先進的な突然変異系統の選択が進められている。それらの中には、圃場試験が進められているものや、商業的栽培に向けたリリースの途上にあるものもある。

### 中国

#### 浙江大学 Tan Yuanyuan 氏

次世代シーケンシングは突然変異育種に広く利用されてきた。本発表では、土壌からイネの根へのカドミウム（Cd）の吸収に関与する *OsNramp5* 遺伝子の突然変異を特定するために、多重アンプリコンシーケンシングを用いた。プライマーは、増幅する断片が *OsNramp5* の CDS 領域全体をカバーできるように設計された。ここでは、M<sub>1</sub> 止葉または M<sub>2</sub> 種子をプールしてシーケンシングするという 2 つの戦略を試みた。それぞれの植物の止葉を 3 枚選択し、90 枚の葉をプールして DNA 抽出とシーケンシングを行った。止葉の配列を解析することによって約 27,000 本の植物から 1 つの突然変異体を特定したが、その突然変異を次世代に受け継ぐことはできなかった。80～100 個の種子から胚乳部分を切り出し、シーケンシングのためにプールした。種子のシーケンシングによって約 45,000 個の種子から突然変異体を 1 つだけ特定し、その突然変異を次世代に受け継ぐことができた。M<sub>3</sub> 植物は Cd に汚染された鉢植えの土壌または圃場で栽培した。種子中の Cd 濃度は 0.2mg/kg 未満であり、野生型と比較して突然変異体では大幅に減少していることが判明した。この突然変異をイネの育種に利用するために、遺伝子型に向けた CADMA-HRM マーカーも開発された。

### インドネシア

#### インドネシア国立研究革新庁 Winda Puspitasari 氏

FNCA ネットワークに基づく e-Asia アジア共同研究プログラムを通じて、インドネシアは、リモートセンシング技術を突然変異育種プログラムに組み込み、改良されたイネの突然変異品種の開発を加速させる機会を得た。初期段階では、無人航空機（UAV）で取得したデータと圃場の観察データを使用して包括的なデータベースを構築し、予測モデルを開発した。次の段階では、このモデルをイネの突然変異系統の初期世代と後世代の選択に適用し、育種プロセスの効率と精度を向上させる予定

である。さらに、人為的突然変異から生じる新しい形質の遺伝子型を判定し特徴付けるために、突然変異品種とその親品種との交配が行われた。加えて、ソルガムの突然変異育種プログラムでは3種類の突然変異系統の開発に成功し、それらの系統は Sorgamma、Gamma Sorbico 1、Gamma Sorbico 2 という名称で公式に登録された。

## 日本

### 量子科学技術研究開発機構 長谷純宏氏

突然変異育種には、効率的な突然変異生成が重要である。しかしながら、新たな人為的突然変異の大部分は成長にとって有害であるため、本来の成長能力を損なうことなく有益な突然変異を積み上げることは非常に困難である。この点について、我々は根粒菌の高温耐性をモデルケースとして検討を行った。野生型の細胞の成長には 32~34℃の温度が最適であるが、36℃になると成長が明らかに遅くなる。野生型細胞に対して、ガンマ線照射を反復しつつ実験進化を行った。温度は 32℃から 37℃へ段階的に上昇させ、3 か月間継代培養を継続した。さらにこれらの細胞は、当実験期間中に合計 10 回ガンマ線に曝露された。その結果、高温耐性を有する新たな突然変異系統の確保に成功した。突然変異系統は、32℃で野生型に匹敵する良好な成長を示す一方で、36℃でコロニーを形成したが、野生型はその温度では目視可能なコロニーを形成できなかった。我々の実験条件では、高温環境への適応を促進するのに最も効果的な線量は 40Gy であった。最も高温耐性のある 2 つの系統は同じ遺伝子に突然変異を有しており、このことは高温耐性との強い関係を反映している可能性がある。これらの結果は、適切に増加させた突然変異頻度を伴う実験的進化が、本来の成長能力を損なうことなく有益な突然変異を積み上げるのに有効であることを示唆している。

## マレーシア

### マレーシア原子力庁 Faiz Bin Ahmad 氏

マレーシアにおけるイネの育種は、国家の食糧安全保障の強化、生産性の向上、気候変動に適したレジリエントな品種の開発に重要な役割を果たしている。マレーシアの米の自給率が 2023 年には約 56.2%に低下している事実は、気候変動にレジリエントな新たな米の品種を開発することが急務であることを浮き彫りにしている。突然変異育種は、先進的な分子生物学的手法とバイオテクノロジー的手法とを組み合わせ、そうした品種を開発するために使用される主要なアプローチの 1 つである。イオンビームとガンマ線は、遺伝的变化を作り出し、改良されたイネの突然変異系統を開発するために突然変異育種に広く適用されている 2 つの強力な物理的突然変異原である。直接的な突然変異（イオンビームまたはガンマ線を使用）と、突然変異品種と一般的なメガ品種を交雑させることによる間接的な突然変異を通じて、いくつかの先進的なイネの突然変異系統が開発されてきた。これらの有望な突然変異系統は、マレーシアの主要な穀倉地域に渡る複数カ所での試験で評価され、そのうちのいくつかの系統が全国でのさらなる現地検証試験のために選定されている。さらに、標的となる形質に関連する遺伝子を特定するために、これらの突然変異系統とその親品種に先進的なゲノムシーケンシングを適用した。病気の検出における技術革新は、イネの突然変異体の遺伝子型のスクリーニング、選択、および圃場でのモニタリングにとっても重要である。今後は、種子認証企業との連携を通じて、突然変異品種 NMR152 の普及と商品化を拡大していく計画である。

## モンゴル

### 植物農業科学研究所 Bayarsukh Noov 氏

人為的突然変異は、収量、ストレス耐性、耐病性、品質など、植物の特定の形質を改良し、育種の効率を高めるための有用かつ効率的なツールであると考えられている。したがって、安定した食糧生産のためには、変異技術の応用を通じて、変動する気候条件の下でも安定した収量が期待される、早生で干ばつや暑さへの耐性のあるコムギ品種の開発が必要とされている。

モンゴルには、コムギやオオムギの突然変異誘発に用いられるイオンビーム（320MeV 炭素イオン）やガンマ線（コバルト 60）などの突然変異原の線源が存在していない。コムギ品種の Darkhan-181、Darkhsn-222、Buryatskii Ostitya は、生育期間を短縮し、干ばつへの耐性、穀物品質、収量の安定性を高めるために炭素イオンビームとガンマ線で処理されたものである。5、10、20、30 Gy のイオンビーム処理が、日本の量子科学技術研究開発機構で行われた。

育種素材として、M<sub>1</sub>~M<sub>4</sub> 世代の 50 種の後代を、合計で 1,764 列植えた。

収量試験では、早生系統の Darkhan-247、晩生系統の Darkhan-245、246、243 を含む 4 つの突然変異体を 3 反復で試験し、グリーン形質、品質、病虫害抵抗性について評価した。新しいいくつかの世代を重ねた突然変異体 Darkhan-247 は、対照品種となる Darkhan-131 と Khalkh gol-1 のいずれよりも、1.0t/ha 高い収量をもたらした。晩生の Darkhan-243、245、246 は、コントロールとなる Darkhan-144 よりも 0.3~1.0t/ha 高い収量をもたらした。

気候変動は、病原体の拡散と深刻度にさらなる影響を及ぼすと思われる。ダルハン・オール県ではコムギに 1 種類の葉さび病の菌種が確認されたが、これはモンゴルにおける収量損失のリスクが増大することを示している。実証試験と収量試験において研究された、いくつかの世代を重ねたコムギ品種では、茎のさび病の特定菌種に対する感受性が 90%~95%に及ぶことが観察された。耐性を持っていたのは、ロシア原産の品種である Lider-80 と Yunion の 2 品種のみと、いくつかの世代を重ねた育種系統である Darkhan-242 だけであった。したがって、コムギの突然変異育種においては、収量そのものだけでなく、安定した収量のための生物学的ストレスにも焦点を当てる必要がある。

## フィリピン

### フィリピン稲研究所 Christopher C. Cabusora 氏

本年の報告書では、フィリピンのイネの生態系における洪水という課題への対処を目指した、「Next Submarino」品種と呼ばれる冠水耐性を有する新たなイネの突然変異体の開発に焦点が当てられている。FR13A からの *Sub1* 遺伝子を持つ NSIC Rc194 (*Submarino 1*) と NSIC Rc590 (*Submarino 2*) の成功を基盤として、本研究では、農家と消費者の収量と穀物品質に対する嗜好を満たしながら、レジリエンス、生育、収量の安定性を改良するために、突然変異育種を適用する。

合計 15 の有望な突然変異系統が、管理された条件と圃場の冠水条件の下で評価された。結果として、PR38560-SM-2、PR48421-IVM-2-5-6、PR42837-SM-18-B-RTD-1-23-DRT2-Sub1 など、耐性が非常に高いいくつかの系統が、90~100%の生存率と、耐性の対照品種である NSIC Rc 590 と比較して、最大 20%の収量優位性を示した。分子マーカー分析により、選択された系統に *Sub1* 遺伝子が存在することが確認されたが、他の系統にも新しい冠水耐性遺伝子が存在する可能性がある。これらの突然

変異体はまた、イネのいもち病に対する耐性と、ストレス下での安定した収量を示した。

この研究は、穀物と栄養品質の評価、全国共同試験、新規性を確認するための遺伝子シーケンシングなど、将来を見越した戦略で締めくくられている。「Next Submarino」系統は、フィリピンの洪水に晒されがちな環境や複合的なストレスのある環境に適応したイネの育種に向けて、将来の品種となるように、寄与するものとなるように構想されている。

## タイ

### タイ米作局 Kakanang Punyalue 氏

ガンマ放射線を用いたイネノシントメタマバエに対するイネの耐性の改良は 2017 年に開始された。RD53 種子には、タイ原子力平和利用事務局において、300Gy の線量率での照射が行われた。M<sub>1</sub> から M<sub>7</sub> までの種子が植えられ、プレー米作研究センター (Phare Rice Research Center) におけるスクリーニングを介して、表現型特性とイネノシントメタマバエへの耐性に基づいて選択が行われた。M<sub>8</sub> から M<sub>9</sub> の観察収量試験において、44 のイネの系統が選択された。選択された有望な系統 RD53' 17CoG<sub>300</sub>-PRE-380-1-1-1-1-1-1 は、2022 年から 2024 年にかけてイネ育種プログラムの段階に移行した。その結果、RD53' 17CoG<sub>300</sub>-PRE-380-1-1-1-1-1-1 は、光周期に鈍感で粘りがあり、1 ヘクタールあたり 5,750 kg の収量の可能性があることが判明した。その平均穀物収量は、1 ヘクタールあたり 4,745kg であった。その生育期間は 132 日で、高さは 118cm である。その優れた特徴は、プレーイネノシントメタマバエに対する高い耐性、中程度の脱粒性、柔らかい食感と香りを伴う良好な調理性にある。

## ベトナム

### 農業遺伝学研究所 Le Due Thao 氏

2025 年には、M<sub>5</sub> から M<sub>7</sub> 世代のダイズとラッカセイの新しい系統のスクリーニング、ダイズとラッカセイの新しい突然変異品種の開発と生産、収量と品質の形質に関する突然変異を持つイネの系統のスクリーニング、上記の特性に関連する分子マーカーのシーケンシングと設計、ならびに異なる生態地域への適応能力の評価を継続する。

– ラッカセイについては、下述する 394 の突然変異ラッカセイ系統の M<sub>4</sub> 世代における青枯病や葉枯病に対する抵抗性を分子マーカーで評価した。L14 から 130 系統、L27 から 134 系統、L29 から 130 系統。これらの突然変異系統で増幅されたバンドは、元の品種で増幅されたバンドと区別不能であった。M<sub>5</sub> から M<sub>7</sub> 世代でスクリーニングし、乾燥種子への照射から 48 系統、発芽種子への照射から 51 系統を選択した。

– ダイズについては、下述する 397 の突然変異ダイズ系統の M<sub>4</sub> 世代におけるさび病とうどんこ病に対する抵抗性を分子マーカーで評価した。DT90 から 130 系統、DT95 から 132 系統、DT2008 から 135 系統。M<sub>5</sub> から M<sub>7</sub> 世代でスクリーニングし、乾燥種子への照射から 60 系統、発芽種子への照射から 54 系統を選択した。

– イネについては、照射による突然変異生成と、高収量で良質なイネ品種を選択するための分子マーカーとを組み合わせた。生育期間が短く（雨期で 105～110 日）、収量が 5.9～6.3t/ha、病害虫への耐性が良好で、粒が細く、炊いたときの品質が高く（うま味があり、柔らかく、香りがよく、適度

な粘り気がある)、透明度が高く、アミロース含有量が低い(16%未満)、4つの有望な系統が選択された。

#### [メンバー国により共有されたサマリー]

##### 韓国

##### 公州大学校 Si-Yong Kang 氏

私のプレゼンテーションの主な内容は、韓国におけるイオンビーム育種の現況と、陽子ビームを使用した自身の最近の研究結果を紹介することである。韓国では、2013年からKAERI(韓国原子力研究院)のKOMAC(陽子加速器)で陽子の照射サービスが行われている。このプロジェクトは、陽子ビーム照射のさまざまな利点を活用して、有用植物に対する突然変異誘発の効率を高めることを意図したものである。本研究は、突然変異育種の応用を目的とした、アブラナ科種、すなわち *Arabidopsis* (シロイヌナズナ) や *Brassica rapa* の亜種 *Trilocularis* (高速サイクルのアブラナ、RC-Br)、に対する陽子イオンビームとガンマ線の一連の比較研究に焦点を当てている。我々は最初に、突然変異体の表現型と遺伝子型の変化によって分析した、双方の放射線間の突然変異誘発率とゲノム情報を比較する。また、改良された形質、独自の形質、耐病性を有する有用または有望な突然変異系統を選択する。生物的耐性や非生物的耐性を有する有用な突然変異体を選択するために、我々は、種子の発芽と根の伸長におけるJA(ジャスモン酸)感受性の変化に焦点を当て、陽子ビーム照射によって生成されたRC-Br突然変異体のプールから、JA感受性を有する系統を選択する。本研究の成果は、イオンビーム照射を用いた突然変異育種や植物のゲノム研究の向上に貢献すると思われる。