

イオンビーム照射で作出されたカドミウム 低吸収米「コシヒカリ環1号」と、SNS などで拡散されている誤情報について

*放射線を照射して突然変異したお米、
食べたいですか、育てたいですか？*

なぜ今になって急に、放射線育種に対する
ネガティブキャンペーンが始まったのか？

小林 泰彦

kobayashi.yasuhiko@qst.go.jp

QST 高崎量子応用研究所

変異誘発育種とは

自然界での進化を加速し、交雑育種の限界を超える！

- 呼吸に伴う活性酸素などでDNAに傷ができる
- 細胞はDNAを元どおりに修復しようとする
 - ・ 完全に修復→ 元どおりで何も変化なし
 - ・ 修復に失敗→ 細胞分裂・増殖できない（細胞死）
 - ・ 修復後、分裂・増殖できるが、遺伝情報が変化（変異）
- 性質が子孫に伝わり人間にとって都合の良い変異体を選抜して、作物の品種改良に利用（伝統的農業技術）
- このプロセスを、化学変異原や放射線などを用いて人工的に加速する！（遺伝子資源の積極的な創出）

ガンマ線照射で生まれた耐病性の梨

1962年からガンマフィールドで照射試験開始

1981年、黒斑病に全く罹っていない1枝を発見！

→1990年、耐病性のある「ゴールド二十世紀」誕生



黒斑病に罹った「二十世紀」



耐病性梨「ゴールド二十世紀」



2001年からの5年間に栽培面積が上位の放射線変異由来イネ品種

品種名	用途	栽培面積 (ha)	品種名	用途	栽培面積 (ha)
キヌヒカリ		263,223	どまんなか		3,207
はえぬき		219,734	ゆめおうみ		3,104
つがるロマン		106,423	みえのえみ		2,747
ゆめあかり		66,491	あわみのり		2,697
夢つくし		58,893	ほほえみ		2,686
あいちのかおり		53,697	ナツヒカリ		2,665
あさひの夢		51,049	きぬのはだ	糯性	2,465
むつほまれ		46,959	大地の風		2,257
祭り晴		35,410	アキヒカリ		2,211
どんとこい		17,008	つくし早生		2,120
夢しずく		14,076	はたじるし		1,954
ミネアサヒ		10,698	こいもみじ		1,889
ゆめひたち		10,440	バンバンザイ		1,882
ゆめみのり		9,957	ではひかり		1,726
あきげしき		7,510	みえのゆめ		1,442
あきろまん		7,450	彩		1,432
美山錦*	酒造用	7,242	むつかおり		1,353
つくしろまん		5,533	はなぶさ		1,268
まいひめ		4,514	カグヤモチ	糯性	1,100
ふくみらい		4,458	いただき		1,075
あいちのかおりSBL		3,662	出羽燦々	酒造用	1,009
たつこもち	糯性	3,322			

* 放射線変異直接利用品種。他の半分は「フジミノリ」へのガンマ線照射で草丈を低くした「レイメイ」の半矮性遺伝子を受け継ぐ子孫

出典：林 徹「食品・農業分野の放射線利用」表3-4. 幸書房（2008年）

水稻「レイメイ」が告げた放射線育種の黎明

<http://rada.or.jp/database/home4/normal/ht-docs/member/synopsis/020140.html>

イオンビーム育種技術の特長

ガンマ線などを用いる従来の放射線育種と比べて

(1) 突然変異率が高い

高頻度で変異が起こるため、少ない試料、狭い圃場でも選抜・育成できる。

(2) 変異の幅が広い

従来法では作出が困難だった新しい形質が得られる。

(3) 品質が良い

少ない線量で確実に変異を生じるため、目的とする形質だけが変化したワンポイント改良が可能！

イオンビームは幅広い変異を高頻度で誘発

花色・花形変異スペクトルの比較

変異原	変異誘発率 ($\times 10^{-1}$ %)											
	花色									花形		
	薄桃	桃	濃桃	赤	サーモン	黄クリーム	条斑	微細斑	複色	丸弁	ナデシコ弁	
化学変異剤	0	5.2	0	1.0	0	0	0	3.1	0	0	0	0
軟X線	1.7	8.4	0	3.4	0	0	0	0	0	0	0	0
ガンマ線	1.7	2.6	0	1.7	0	0	0	0	11.3	0	0.9	0
炭素イオン	2.4	4.7	2.4	3.5	2.4	2.4	1.2	3.5	0	2.4	4.7	2.4

花色変異



花形変異



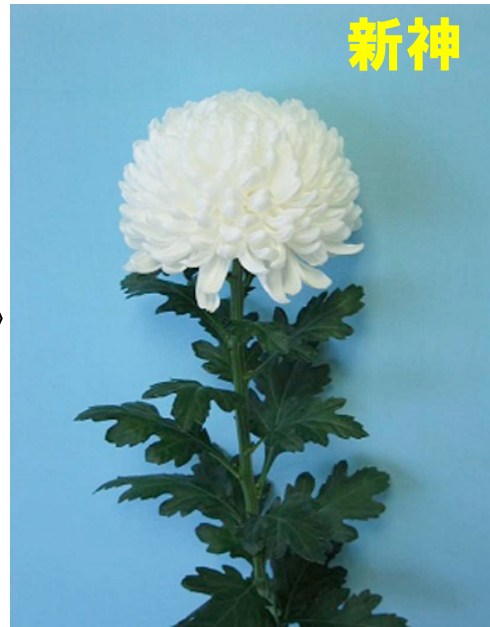
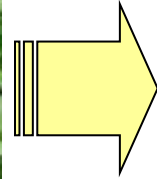
省労働・省エネルギー生産のキクの開発

究極の輪ギク品種の創成へ



在来品種(摘蕾前)

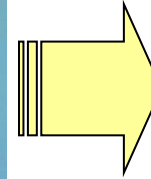
イオン
ビーム



無側枝性

平成18年3月
品種登録出願

再照射



無側枝性

+

低温開花性

平成19年6月
品種登録出願

長所

- ・切花の品質に優れる

短所

- ・側枝の発生が多い
- ・低温で開花が遅れる

全国30余りの団体から許諾申請

園芸学研究(2013)

イオンビーム育種の成果

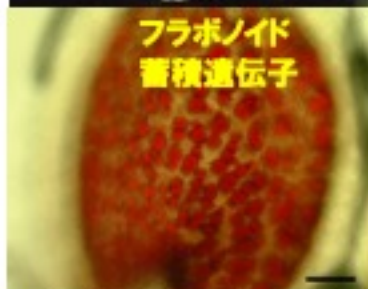
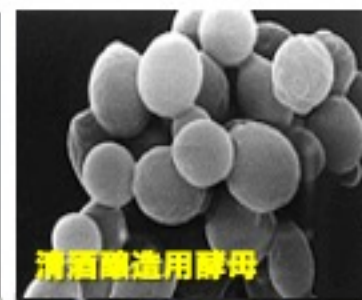
基礎研究から応用まで、植物から微生物まで

有用遺伝子

耐病性・耐環境性作物 実用花卉品種

樹木・果樹

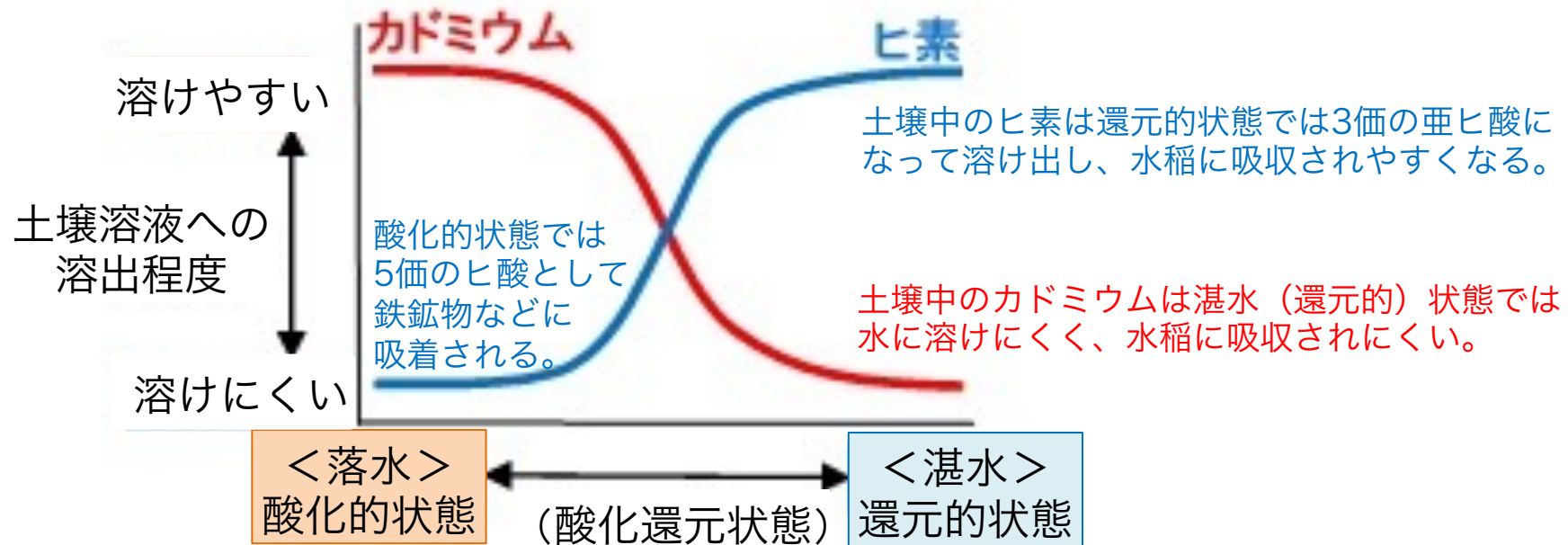
産業微生物



コメに含まれる天然由来の無機ヒ素の低減と カドミウムの低減のトレードオフ関係

9

- ・日本人が食品から摂取するカドミウムの約4割はコメから摂取。
- ・農地土壌中のカドミウム濃度が特に高い地域がある。



- ・発がん性が懸念される無機ヒ素のコーデックス国際基準値は精米で 0.2 mg/kg
- ・EUでは、乳幼児向け食品についての基準値はさらに厳しく 0.1 mg/kg (0.1ppm)
- ・日本の食安委は2013年「健康への悪影響の評価は困難」として基準値を定めず
- ・農水省の2018年の調査で精米の平均値：0.098 mg/kg、最高値：0.25 mg/kg
- ・無機ヒ素とカドミウムの同時低減が喫緊の課題！

世界初！ カドミウムをほとんど含まないコシヒカリ、 高崎研 TIARAの炭素イオンビーム照射で作出に成功

農業環境技術研究所・東京大学・
原子力機構の共同研究

2012年 3月プレス掲載
2012年11月プレス掲載



決定的な結果

- イネで実用的な品種を実現：
収穫量も、良い食味も、コシヒカリと同じ
- 遺伝子も同定
イオンビームならではの突然変異：
照射後代 3,000 個体から同じ遺伝子に
3つの独立した突然変異体を獲得（高効率）
 - ・ *lcd-kmt1* : 433bpトランスポゾン挿入
 - ・ *lcd-kmt2* : 1塩基欠損
 - ・ *lcd-kmt3* : 277kbp大規模欠失

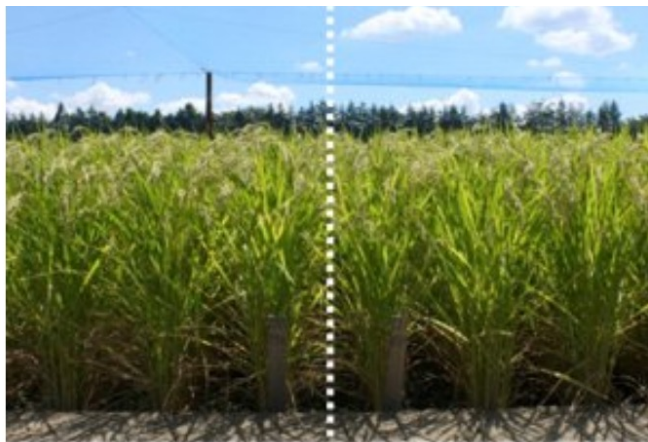


Ion-beam irradiation, gene identification, and marker-assisted breeding in the development of low-cadmium rice.
Ishikawa *et al. Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 109(47),19166-19171 (2012)
<https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.1211132109>

カドミウムをほとんど含まない水稻品種「コシヒカリ環1号」

ポイント

- ・ カドミウムをほとんど含まないコシヒカリ突然変異体を「コシヒカリ環(かん)1号」として品種登録出願しました。
- ・ 「コシヒカリ環1号」のコメ中にはカドミウムがほとんど含まれない上、その他の形質と栽培方法は「コシヒカリ」とほとんど変わりません。
- ・ 「コシヒカリ環1号」との交配で育種されたカドミウムをほとんど含まない品種が普及すれば、我が国でヒトが摂取するカドミウムがさらに減ることが期待できます。
- ・ 現在、65の水稻品種及び系統に「コシヒカリ環1号」が交配されているところです。



コシヒカリ環1号

コシヒカリ

図2 圃場での草姿



コシヒカリ環1号

コシヒカリ

図3 粳と玄米の外観形質

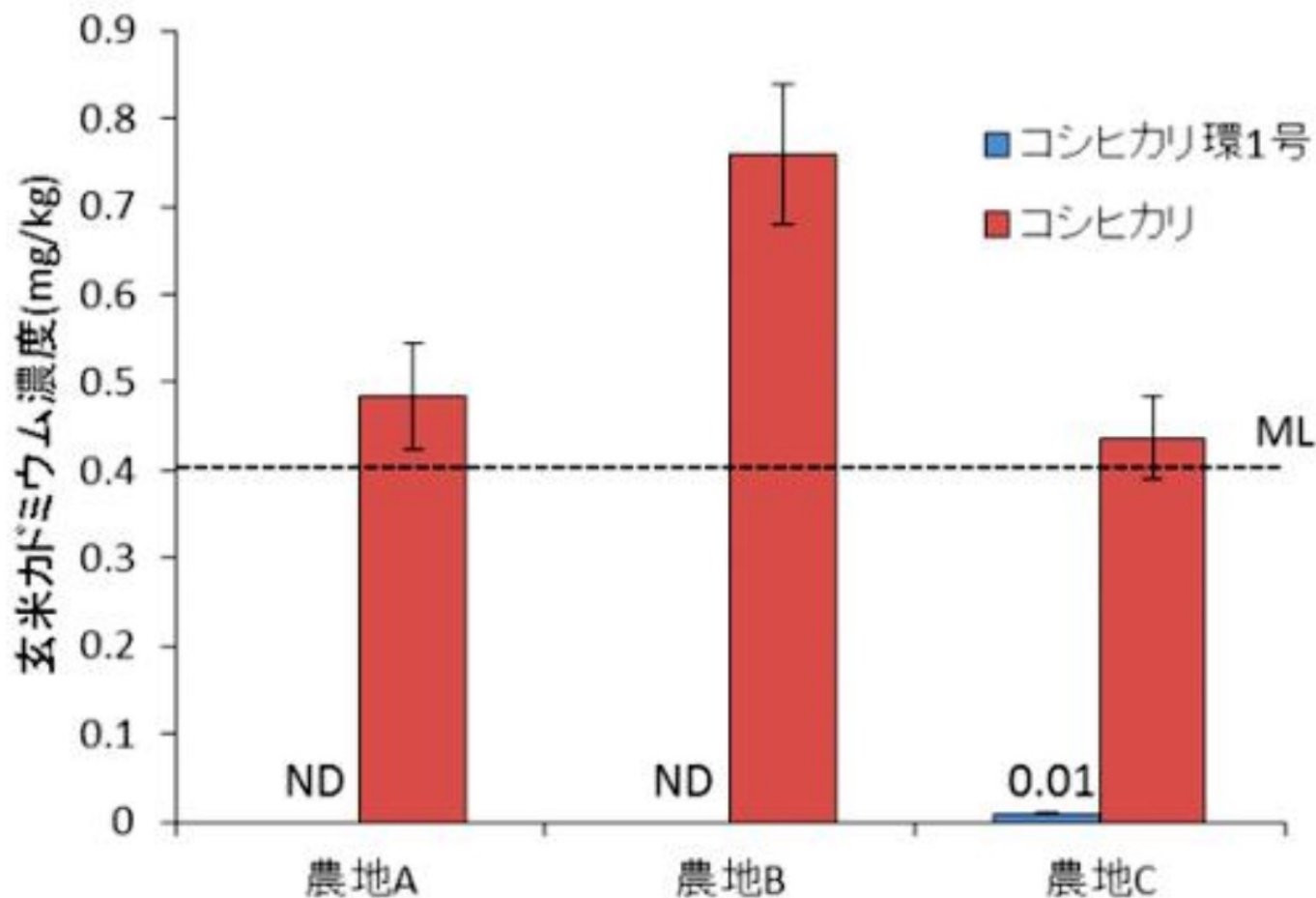


図1 高カドミウム土壌で栽培した時の玄米カドミウム濃度

2012 年栽培。出穂前に落水し、稲のカドミウム吸収が促進されやすい条件で栽培。

ND: 定量限界値 (0.01 mg/kg) 未満

ML: 食品衛生法で定められたコメのカドミウム濃度基準値

土壌のカドミウム濃度 (0.1 モル塩酸抽出): 農地A (1.35 mg/kg)、農地B (1.21 mg/kg)、農地C (0.35 mg/kg)

農研機構プレスリリース (2014.1.30)

カドミウムをほとんど含まない水稻品種「コシヒカリ環1号」

<https://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/techdoc/press/140130/>

「コシヒカリ環1号」由来の カドミウム低吸収性遺伝子を保有するコメ新品種の例

品種名	公表日	概要
あきたこまちR	2023年5月19日	「あきたこまち」に、国が育成したカドミウム低吸収性品種「コシヒカリ環1号」を交配し、得られた個体に「あきたこまち」を7回戻し交配することで育成した品種です。「あきたこまちR」は、「あきたこまち」と形質や品質に差がないため、産地品種銘柄を品種群として設定し、「あきたこまち」として表示できるように手続きを進めております。
ちほみのり環1号	2022年9月8日	「ちほみのり環1号」は、寒冷地中部では出穂期および成熟期が"かなり早"に属する粳種である。「コシヒカリ環1号」由来のカドミウム低吸収性遺伝子 <i>osnramp5-2</i> を保有し、「ちほみのり」と同程度の多収で良食味である。
萌えみのり環1号	2022年9月8日	「萌えみのり環1号」は、寒冷地中部では出穂期および成熟期が"中"に属する粳種である。「コシヒカリ環1号」由来のカドミウム低吸収性遺伝子 <i>osnramp5-2</i> を保有し、「萌えみのり」と同程度の多収で良食味である。
ふくひびき環1号	2021年8月5日	「ふくひびき環1号」は、カドミウム低吸収性をもつ東北地域中部向け多収水稻品種です。カドミウム低吸収性遺伝子 <i>osnramp5-2</i> を保有する「コシヒカリ」の突然変異系統「lcd-kmt2」(後の「コシヒカリ環1号」)に、東北地域において出穂期および成熟期が"やや早"で多収品種である「ふくひびき」を戻し交配して育成された粳系統です。
えみのあき環1号	2021年8月5日	「えみのあき環1号」は、寒冷地中部では出穂期および成熟期が"中"に属する粳種水稻です。「コシヒカリ環1号」由来のカドミウム低吸収性遺伝子 <i>osnramp5-2</i> を保有し、「えみのあき」、「ひとめばれ」と同程度の良質良食味です。
きぬむすめ環1号	2020年7月16日	「きぬむすめ環1号」は、良質・良食味品種「きぬむすめ」にカドミウム低吸収性遺伝子を導入した品種です。カドミウム吸収性以外の特性は「きぬむすめ」とほぼ同等です。
たちはるか環1号	2019年8月30日	「たちはるか環1号」は、業務加工用の多収良食味品種「たちはるか」にカドミウム低吸収性遺伝子を導入した品種です。カドミウム吸収性以外の特性は「たちはるか」とほぼ同等です。
にこまる環1号	2019年8月30日	「にこまる環1号」は、極良食味で良質の品種「にこまる」にカドミウム低吸収性遺伝子を導入した品種です。カドミウム吸収性以外の特性は「にこまる」とほぼ同等です。

あきたこまちR：秋田県 「あきたこまちR」について 美の国あきたネット <https://www.pref.akita.lg.jp/pages/archive/73119>
 環1号シリーズ：農研機構 稲種(Oryza sativa L.)の品種一覧 <https://www.naro.go.jp/collab/breed/0100/0107/index.html>

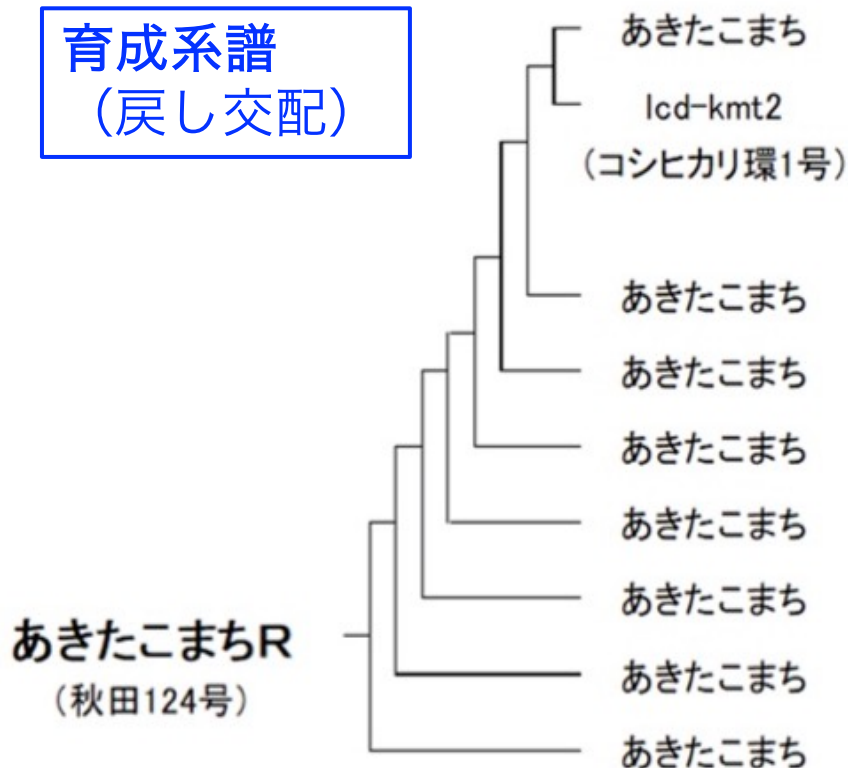
水稻新品種「あきたこまちR」を紹介します！

<https://www.pref.akita.lg.jp/pages/archive/73119>（秋田県公式サイト/美の国あきたネット）

「あきたこまち」に、国が育成したカドミウム低吸収性品種「コシヒカリ環1号」を交配し、得られた個体に「あきたこまち」を7回戻し交配することで育成した品種です。

「あきたこまちR」は、「あきたこまち」と形質や品質に差がないため、産地品種銘柄を品種群として設定し、「あきたこまち」として表示できるように手続きを進めております。

育成系譜 (戻し交配)



奨励品種への採用

出穂期、成熟期、収量、玄米品質、食味等が「あきたこまち」と同等で、カドミウム吸収性は極めて低い特性が認められたことから奨励品種に採用しました。

導入スケジュール

- ・ 令和5年度 原種生産開始
- ・ 令和6年度 一般種子生産開始
- ・ 令和7年度 一般作付け開始（全面切替）

ここまでのまとめ

伝統的な育種

- ・ 有用な変異体を発見し、交配して品種改良を進める



化学変異原や放射線による変異の加速で遺伝子資源を獲得

変異誘発育種

- ・ 交雑育種の限界を打破、ただし変異体獲得は偶然頼み
- ・ 連続戻し交配で、狙った特性だけを付与できる



ゲノムの構造と機能の情報を利用

ゲノム編集

- ・ 狙った場所だけを正確に切断して変異を導入できる！
- ・ 多数の染色体セットを持つため、従来の交雑育種では品種改良が困難な作物でも、迅速な品種育成が可能に！

「コシヒカリ環1号」の意義

- ✓ 日本のコメのカドミウム基準値は0.4ppm（EUでは0.15ppm）、無機ヒ素の基準値（EUでは精米 0.2ppm、乳幼児向け 0.1ppm）は設定されていない。
- ✓ 海外への輸出にはカドミウムや無機ヒ素の厳しい基準に合わせる必要がある。また今後、国内基準が見直された場合には、直ちに対応しなければならない。
- ✓ 「コシヒカリ環1号」の遺伝子と形質を受け継いだカドミウム低吸収性品種の導入で、コメのカドミウムと無機ヒ素の同時低減が可能となった。

ネガティブキャンペーンと誤情報（1）

放射線を照射して突然変異したお米、食べたいですか？
育てたいですか？

人間にとっての致死量の閾値が1.5グレイで、7グレイで100%が死ぬと言われていますが、それをはるかに上回る放射線（40～300グレイ）を照射して、稲の遺伝子に損傷を与え、育てた中から従来にはない性格を持つ品種が生まれるというものです。

40グレイのイオンビームを照射した種子（M1）を育て、健全に育った第2世代（M2）の種子を得た。その中から、発芽率や生育状況はコシヒカリと変わらないのにカドミウム濃度が極端に低い変異体を選抜した。

この「40グレイ」を、全身に急照射されたヒトの致死線量と単純に比べることに、何の意味もない。

ネガティブキャンペーンと誤情報（2）

どの品種が放射線育種米か、表示されません。どの品種が放射線育種されているかを知らなければそのまま生産者の方も栽培してしまいかねません。

これまでも放射線育種米は作られてきました。酒米でもその割合は少なくないというのが現実です。しかし、その割合は限られていて、人びとが普段食べるお米が放射線育種米になるうという今回の動きはまったく質を異にしたものです。

1966年に放射線育種で得られた、耐倒伏性に優れた水稻品種「レイメイ」の遺伝子を受け継ぐ様々な品種が、広く栽培されて食べられてきた事実を無視している。

そもそも、放射線育種に由来する品種との表示は必要か？

ネガティブキャンペーンと誤情報（3）

「コシヒカリ環1号」はカドミウムだけでなく、稲の成長に必要なマンガンも吸収しにくくなり、ごま葉枯れ病が生まれやすい。マンガン以外の微量ミネラルも不足している可能性もある。収量も通常のコシヒカリよりも低くなりがち。ミネラル不足の米では子どもたちの発育も心配。1つの遺伝子は多くの機能を持つことが多く、1つの遺伝子の機能が損なわれればその影響は多方面に及ぶ可能性がある。

粒形がやや小さいため、玄米千粒重や玄米収量がやや少ない評価だが、統計上有意な差ではない。倒伏性や穂発芽性、いもち病抵抗性等に関してもコシヒカリと同等。

ごま葉枯れ病に罹病しやすい原因はマンガン吸収の低下と推察され、必要に応じてマンガンを肥料として与えることで対策可能。

マンガン以外の必須養分（カリウム、カルシウム、マグネシウム等）や亜鉛、鉄、銅などの金属元素の吸収には影響はなく、コメの濃度はコシヒカリと同等と確認済み。

ネガティブキャンペーンと誤情報（4）

放射線の使用は有機農業では基本的に認められていない。放射線育種でない種籾が手に入らなければ、その品種の有機農業は不可能になってしまう。農水省は有機農業を2050年までに25%にするというが、矛盾している。日本の有機認証に放射線育種を認めてしまえば、世界からも日本の有機はダメだということに。

EUの”Organic production rules”には、

- ・ prohibition of the use of GMOs;
- ・ forbidding the use of ionising radiation;

とあるが、EUでは低エネルギー電子線による種子の照射殺菌（消毒）も有機農業として認められている。

放射線や化学変異原による変異誘発は、従来の方法で育種された品種同士の細胞融合とともに、EUのGMOの定義に含まれるが、規制対象から除外されている。

放射線で育種された品種を祖先に持つ品種も、全てダメ！とは、「生物の多様性、生物的循環及び土壌の生物活性等、農業生態系の健全性を促進し強化する」（Codex委員会）という本来の有機農業の理念とかけ離れた感情論。

ネガティブキャンペーンと誤情報（5）

カドミウム汚染対策は長年取り組まれてきて、成果もあげている。しかし、今回の計画はカドミウム汚染の低い地域も含めて、全国でこの放射線育種米の利用を進めるというもの。いったい何のため？

遺伝子を破壊する手段としては「ゲノム編集」があるのに、なぜ今、放射線育種なのか？

いずれ「ゲノム編集」に取って代わられる可能性が高い。

放射線育種問題は「ゲノム編集」とセットで考える必要がある。

カドミウムと無機ヒ素の同時低減が積年の課題であった事実を無視し、「コシヒカリ環1号」の意義を頭から否定している。

（無機ヒ素に関するリスク・コミュニケーションを怠ってきた行政にも責任がある）

放射線育種で目的を達成したことに何の問題があるのか不明。

化学変異原による育種には何も反対していないのも不思議。

ネガティブキャンペーンと誤情報（6）

放射線照射はエキソンの部分を強引に変えてしまうもので、自然の中ではまず起きない変異をつくり出している。それはむしろ自然の進化に干渉すること。

自然の中でも紫外線や自然放射線でエキソンに変異が起きている。放射線照射はエキソンのみを特異的に変異させるものではない。

エキソン部分の変異による進化の例は多数ある。例えばイネのもち性品種は、うるち性品種の *Waxy* 遺伝子の自然の変異（第2エキソン内の23bpの重複）によって生まれた劣性変異体。

1960年代の「緑の革命」に貢献した半矮性（植物体全体の背が低くなるが穂の長さへの影響が少ない性質）の短稈品種は、植物の草丈に関係する遺伝子（ジベレリン合成遺伝子）のエキソン部分が自然に変異したもので、この遺伝子が小麦やイネの品種改良に生かされた。

そもそも農作物が「自然の進化」で生まれたとでも言うのか？！

「コシヒカリ環1号」をめぐる ネガティブキャンペーンと誤情報のまとめ

放射線を照射して突然変異したお米、食べたいですか、育てたいですか？

- 人間の致死線量をはるかに上回る放射線を照射して… と不安を煽る
- 放射線照射はエキソンの部分を強引に変えてしまうもので自然の中ではまず起きない変異を作り出している、とウソ
- 放射線育種で生まれた「レイメイ」など多くの放射線変異由来の品種が何十年も前から各地で作付けされて普通に食べられている事実を無視
- カドミウムと無機ヒ素の同時低減を可能にした画期的な意義も無視
- マンガン低吸収性を誇張して、ミネラル不足で子どもの発育が心配、と不安を煽り、必要に応じた施肥で十分に対策可能という事実も無視
- 放射線育種米は有機農産物にならず、EUにも輸出できないとウソ

■ ゲノム編集を排撃するために「放射線」への不安に目をつけたようだ。

■ 農業の技術革新を否定する傲慢で独善的な有機・自然イデオロギーや、不誠実な不安商法は、まじめな生産者と消費者の双方を不幸にする。

<参考資料>

- 長谷純宏：イオンビーム育種技術の特長と産業利用. 化学と生物52(10), 659-664 (2014)
https://www.jstage.jst.go.jp/article/kagakutoseibutsu/52/10/52_659/pdf/-char/ja
- 農業環境技術研究所・農研機構：カドミウムをほとんど含まない水稻品種「コシヒカリ環1号」（プレスリリース 2014年1月30日）
<https://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/techdoc/press/140130/>
- 石川 覚：「コシヒカリ環1号」を用いたヒ素とカドミウムの同時低減技術の開発（農研機構 成果情報 2016年）
https://www.naro.go.jp/project/results/4th_laboratory/niaes/2016/niaes16_s01.html
- 安倍 匡ほか：カドミウム極低吸収品種「コシヒカリ環1号」の育成. 育種学研究, 19: 109-115 (2017)
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsbbr/19/3/19_19.109/pdf
- 農林水産省：コメ中のカドミウム低減のための実施指針, 平成30年（2018年）1月改訂
https://www.maff.go.jp/j/syouan/nouan/kome/k_cd/2_taisaku/attach/pdf/01_tec-11.pdf
- 石川 覚：カドミウムを吸収しないイネの開発と実用化に向けた挑戦. 肥料科学, 第44号, 77-104 (2022)
https://www.jstage.jst.go.jp/article/fertilizerscience/44/44/44_77/pdf
- 松永和紀：「ヤバイ」ではなくすごいコメ コシヒカリ環1号の実力. Wedge ONLINE, 2023年6月29日
<https://wedge.ismedia.jp/articles/-/30668>
- 秋田県公式サイト/美の国あきたネット：水稻新品種「あきたこまちR」を紹介します！
<https://www.pref.akita.lg.jp/pages/archive/73119>