

放射線育種により育成された コメについて事実を知ろう

「コシヒカリ環1号」を取りまく
ネガティブキャンペーンについて

2023年8月24日 第144回学習会
食のコミュニケーション円卓会議

本日の内容

1) お話；小林さん

放射線育種の原理を説明、カドミウム/ヒ素の同時低減という課題を踏まえた品種改良の狙いと成果を紹介

- イネの放射線育種は1966年の「レイメイ」から
- カドミウムを吸収しない変異体が得られた！

2) お話；田部井さん

カドミウム極低吸収性をもたらした変異のメカニズムと「コシヒカリ環1号」を用いた育種の広がりを紹介

- ブレークスルーとなった遺伝子
- 「コシヒカリ環1号」由来の新品種

3) ネガティブキャンペーンの発信源と「作り話」

4) 質疑応答と参加者を含めた意見交換

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）

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			

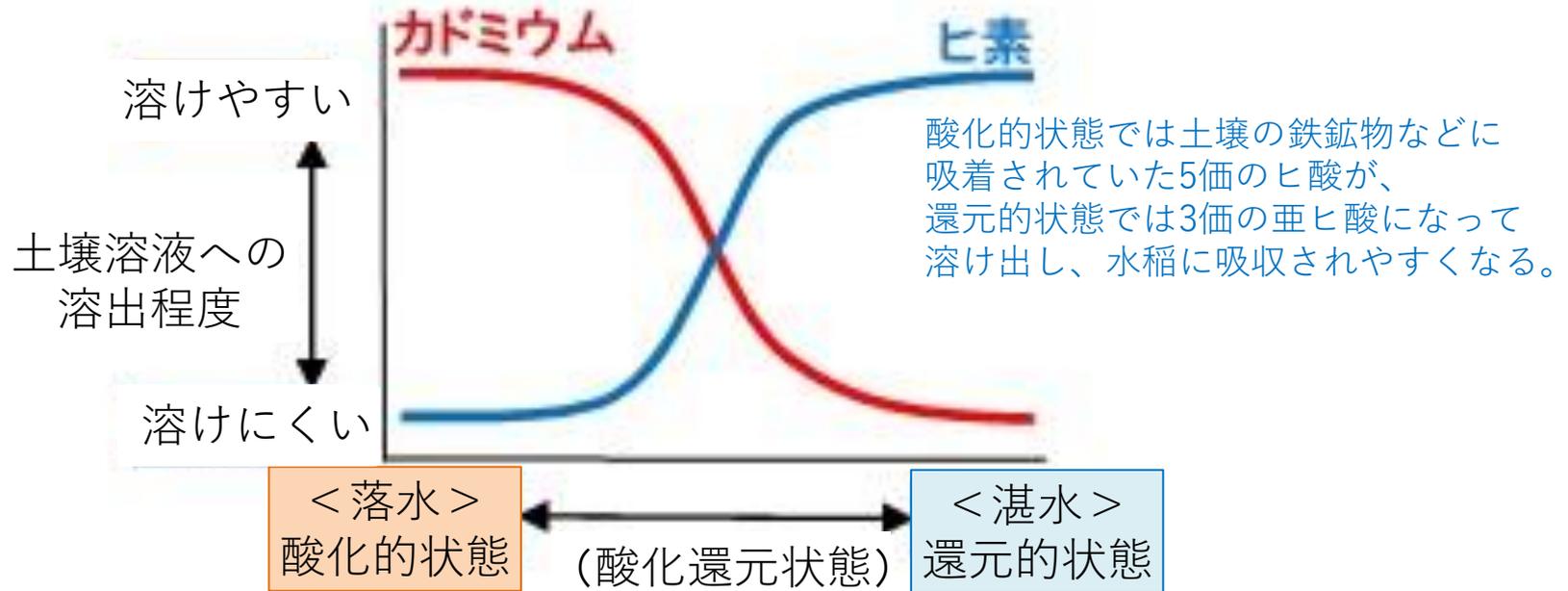
* 放射線変異直接利用品種。他の半分は「フジミノリ」へのガンマ線照射で草丈を低くした「レイメイ」の半矮性遺伝子を受け継ぐ子孫

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>

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



- ・ 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
- ・ 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！

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

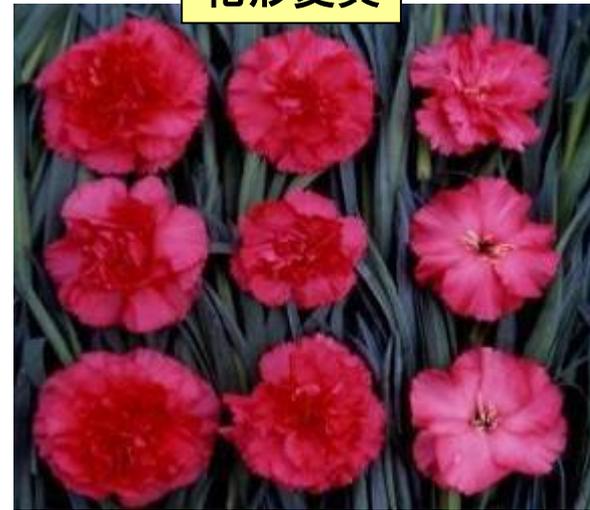
花色・花形変異スペクトルの比較

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

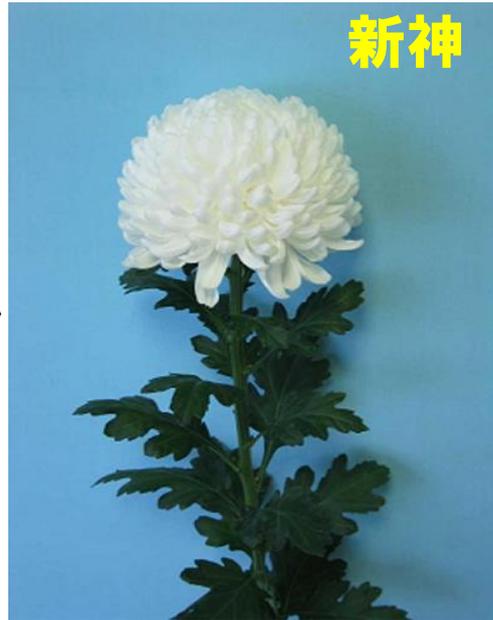
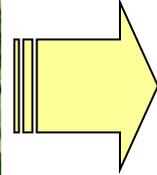


究極の輪ギク品種の創成へ



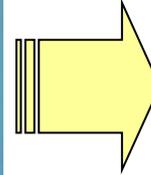
神馬

イオン
ビーム



新神

再照射



新神2

在来品種(摘蕾前)

無側枝性

無側枝性

+

低温開花性

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

平成18年3月

品種登録出願

平成19年6月

品種登録出願

全国30余りの団体から許諾申請

イオンビーム育種の成果

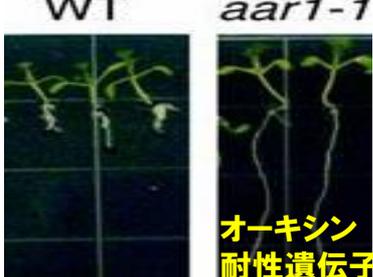
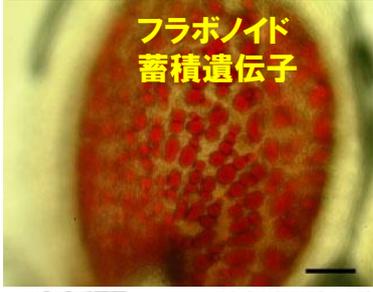
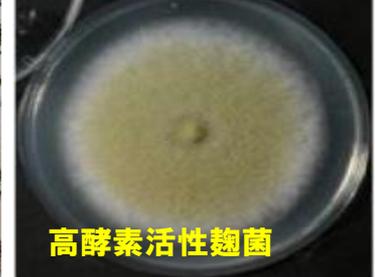
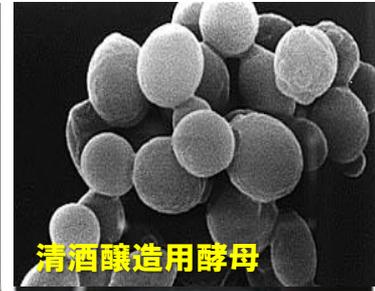
基礎研究から応用まで、植物から微生物まで

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



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

低カドミウム米開発

農環研

人体に有害なカドミウムを土壌からほとんど吸収しないコシヒカリを開発したと農業環境技術研究所（つくば市）などの研究グループが8日までに発表された。3～4年後の品種登録を目指している。市場に出る時期は未定だが、汚染土壌に悩む農家への朗報となる。

研究グループは、加速器で作り出した炭素イオンビームをコシヒカリに照射、突然変異を起こさせた。さらに開発したイネと通常の

通常玄米より大幅に下回る



コシヒカリをカドミウム濃度の高い土壌の3試験場で栽培。通常のコシヒカリのカドミウム含有量は玄米1kg当たり1.86〜0.57mgであったが、新品種は最高でも1.0mg以下で、0.03mg以下で、食品衛生法の基準値（1.0mg当たり0.4mg）を大幅に下回った。イオと、日本人が食品から摂取するカドミウム摂取量は46.5%はコメ作物ではないとされに由来している。

農環研の石川寛主任は「食品ではコメ由来のカドミウムが約半分を占める。低カドミウムのコメを使うことによって、日常的な食品由来のカドミウム摂取量を減らした」と話した。

研究成果は17日、京都産業大学で開かれる日本植物生理学会で発表される。

（富岡良一）

コシヒカリのイネと開発したカドミウムをほとんど吸収しないイネ（右）を示す農業環境技術研究所の石川寛主任研究員（つくば市観音台）



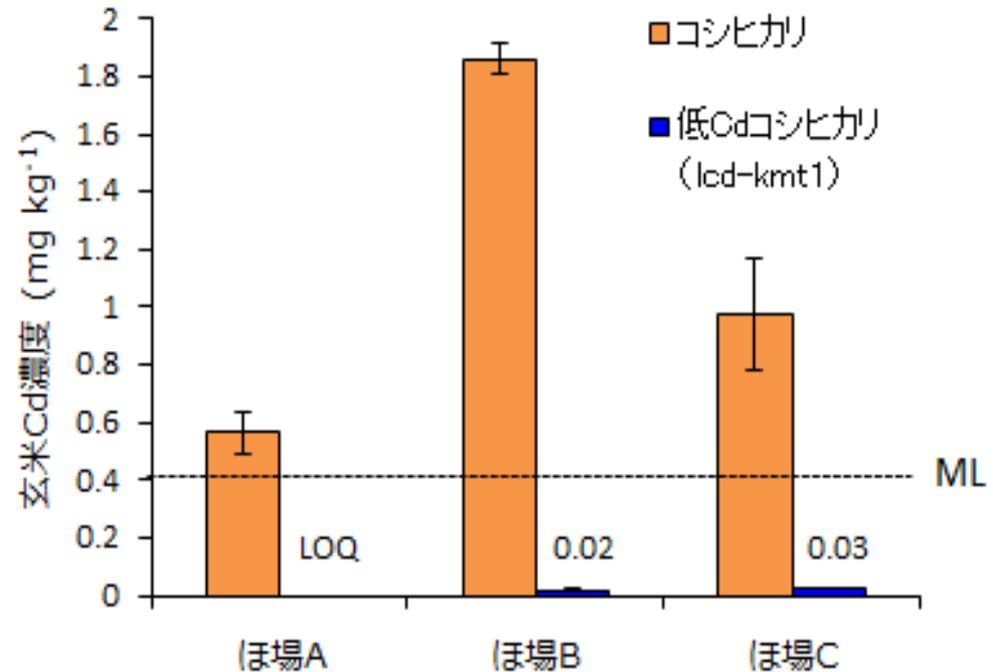
■ コシヒカリ

■ 低Cdコシヒカリ (lcd-kmt1)

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

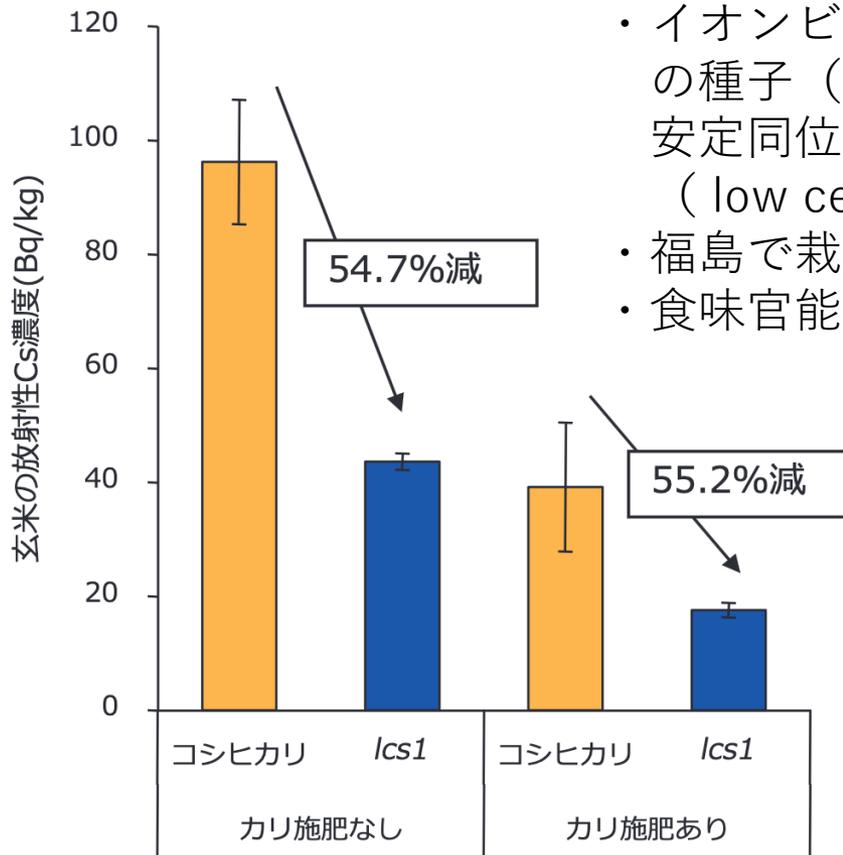


高カドミウム土壌で栽培した時の玄米中のカドミウム (Cd) 濃度
LOQ: 定量限界値 (0.01 mg/kg) 未満
ML: 食品衛生法で定められた米のカドミウム濃度基準値



続いて、イオンビーム照射で 放射性セシウムを吸収しにくい水稻を開発！

→ 「コシヒカリ環2号」として2022年7月種苗登録



- ・イオンビーム照射したコシヒカリ種子の第2世代の種子 (M2) から育てた3000個体の苗の中から、安定同位体¹³³Csの玄米中濃度が半減した変異体 (low cesium 1: *lcs1*) の選抜に成功！
- ・福島で栽培して放射性セシウムの吸収抑制を確認
- ・食味官能検査の結果や栽培特性はコシヒカリと同等



図1 現地圃場における玄米の放射性Cs濃度の比較

放射性Csは¹³⁴Csと¹³⁷Csの合計。土壌の交換性カリ(K₂O)含量はカリ施肥なしで7.0 mg/100 g、カリ施肥ありで12 mg/100 gに増加した。現地圃場は東京電力福島第一原発から北西約60 kmに位置する。

図2 現地圃場における草姿

続いて、イオンビーム照射で 放射性セシウムを吸収しにくい水稻を開発！ → 「コシヒカリ環2号」として2022年7月種苗登録

*lsc1*変異によりSOS2の酵素機能が失われ、セシウムの運び手であるカリウムトランスポーター遺伝子群の発現が低下した結果、根のセシウム吸収を阻害

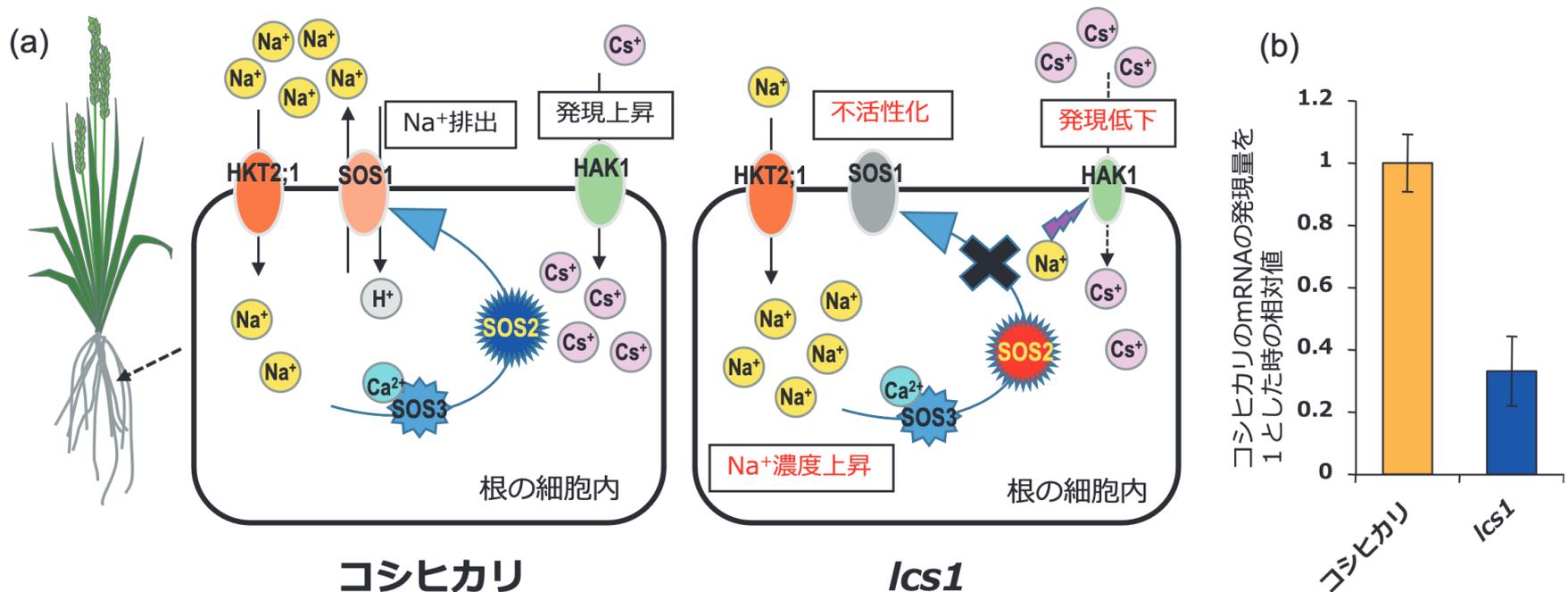


図4 *lsc1* 変異体の Cs 吸収抑制モデル (a) と *OsHAK1* の遺伝子発現 (b)

SOS1: Na⁺/H⁺ アンチポーター, SOS2: タンパク質リン酸化酵素, SOS3: カルシウム結合タンパク質

HKT2;1: Na⁺ トランスポーター, HAK1: K⁺ トランスポーター

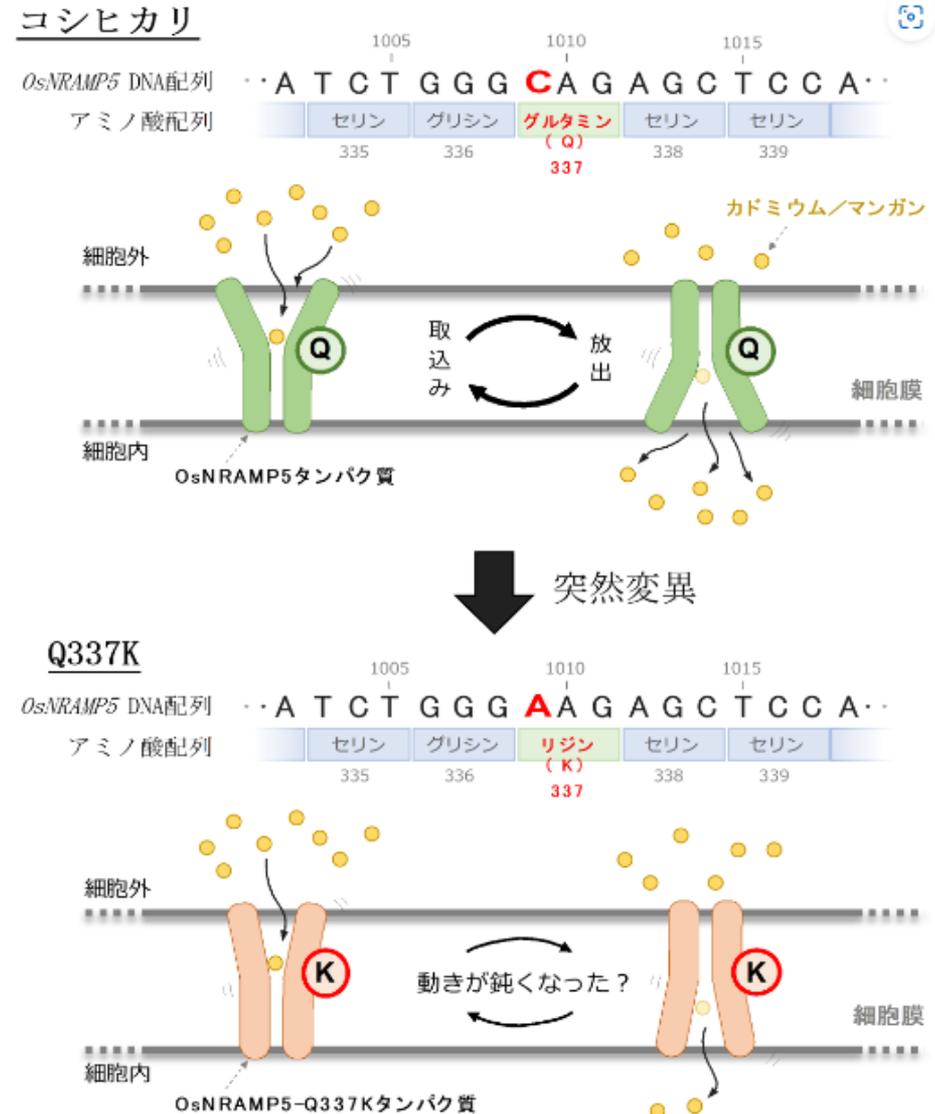
低カリウム (0.02 mM K⁺) 培地に 10 mM Na⁺ を添加して 24 時間後の根の *HAK1* 遺伝子の発現

石川 覚, Isotope News No.757, 6-9 (2018)

https://www.jrias.or.jp/books/pdf/201806_TENBO_ISHIKAWA.pdf

水稻品種「コシヒカリ環1号」の変異

- マップベースクローニング法によって原因遺伝子を含む染色体領域を絞り込み、1つの遺伝子を特定することに成功した。
- 第7染色体上に座乗する遺伝子。
- 原因遺伝子である *OsNRAMP5* は、細胞膜上に存在する重金属トランスポーターをコードする。
- Mn, Cdともに、コシヒカリとコシヒカリ環1号の中間的な濃度になる変異体を選抜
- *OsNRAMP5-Q337K* アリルは、Mn不足による生育への負の影響を回避しつつ、コメのカドミウム濃度を減らせる有望な遺伝子



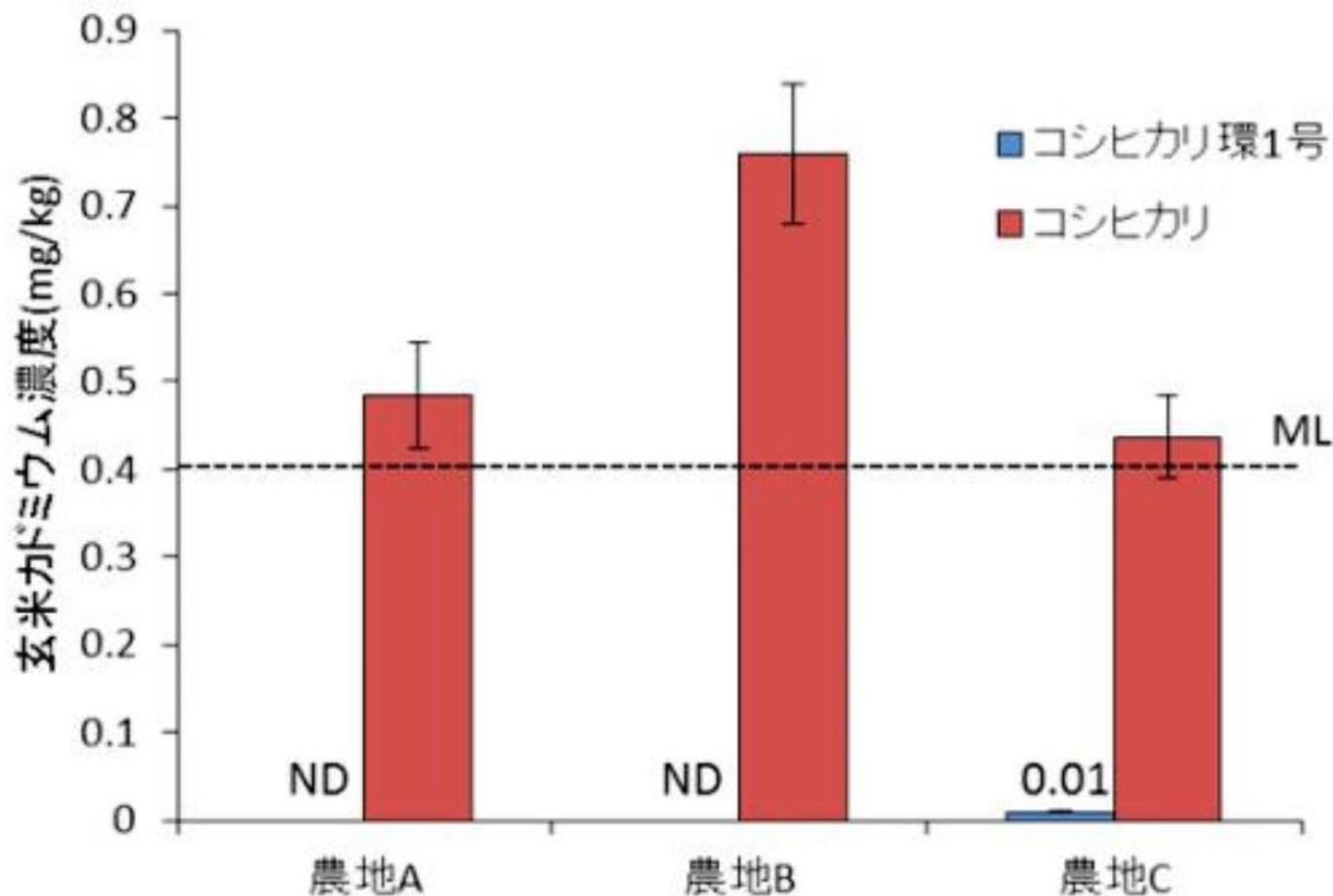


図1 高カドミウム土壌で栽培した時の玄米カドミウム濃度

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」、「ひとめぼれ」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>

誤情報、ネガティブキャンペーンの発信源？

お米のほとんどが放射線育種米に？ 2023/04/13

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？ ここ数年で日本のお米の多くが放射線かけて作った品種に代えられようとしています。

あまりに重大な問題なので、2月末から慎重に情報収集してきました。2025年から少なくとも2つの県で主力品種が放射線育種米に切り替えられ、他の道府県でもその動きが進む可能性があります。

この放射線育種米とは、稲に放射線を放射して、突然変異を引き起こさせて作ったお米です。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。実は日本ではお米だけでなく、大豆、野菜、果樹など多くの作物が放射線照射で突然変異品種が作られており(1)、米国を大幅に上回る品種が作られています(2)。

共同代表 久保田 裕子（日本有機農業研究会、有機農業推進協会）

中村 陽子（メダカのがっこう）

顧問 山田 正彦（弁護士）

天笠 啓祐（日本消費者連盟、遺伝子組み換え食品いらない！キャンペーン）

河田 昌東（遺伝子組換え食品を考える中部の会）

事務局 印鑰 智哉（事務局長）、原野 好正（副事務局長）、毛利さや佳（メダカのがっこう）、橋本加奈子（広報）

誤情報、ネガティブキャンペーンの発信源？

(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グレイ照射した種子（M1）から健全に育った第2世代（M2）の種子の中から、発芽率や生育状況が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が得られた。

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。

誤情報、ネガティブキャンペーンの発信源？

(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ろ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、そんな表示は必要か？

誤情報、ネガティブキャンペーンの発信源？

(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、ごま歯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。

誤情報、ネガティブキャンペーンの発信源？

(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、放射線育種も禁止って、本当?? 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。

放射線で育種したイネ品種を元に様々な品種と交配して生まれた子孫まで全てダメとの主張は「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から遠く離れた極端な感情論。

誤情報、ネガティブキャンペーンの発信源？

(5)

カドミウム汚染はヒ素汚染も深刻な問題。実は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）

目的の品種を作るために育種法があるのだから、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。いずれにしても、不安を煽る新しいツールとして、「放射線育種」に目を付けたようだ。

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。

誤情報、ネガティブキャンペーンの発信源？

「放射線照射による品種改良 何が問題か」

原発事故など核・原子力問題や遺伝子組み換え・ゲノム編集問題での市民の立場に立った分子生物学者としての活躍が広く知られている、遺伝子組み換え食品を考える中部の会代表、河田昌東氏の学習会報告



(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、農作物は「自然の進化」で生まれたとでも？！

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、遺伝子資源の獲得

変異誘発育種 交雑育種の限界を打破、だが変異体獲得は偶然頼み



ゲノムの構造と機能の情報を利用

**遺伝子組換え
ゲノム編集**

狙った場所に確実に変異を導入できるようになった！

「コシヒカリ環1号」をめぐるネガティブキャンペーン

- ・放射線を照射！と怖がらせる一方で、化学変異育種についてはスルー
- ・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を無視
- ・マンガン低吸収性を誇張して不安を煽り、対策可能という事実を無視
- ・耐倒伏性に優れた水稻品種レイメイなどの放射線育種の実績も無視
- ・ゲノム編集は不安がられるから、まず放射線育種米で、という作り話

■ 農業の技術革新を否定する傲慢で独善的な有機・自然イデオロギーと、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。

■ いま重要な課題は、無機ヒ素・カドミウムのリスク低減など農作物と食品の安全性の向上や気候変動への対応、食料安全保障の強化では？

参考) 第143回学習会：山根精一郎氏「日本のイネの収量は世界で何番？」から
見えてくる日本の稲作 <http://food-entaku.org/posts/news39.html>

「あきたこまちを守りたい！」秋田県にパブコメを出そう！」

◆意見のサンプルを以下に掲げます。

まずは「あきたこまち」から全面切替に反対します。

その理由としては

- ・ 「あきたこまち」は秋田県が作り出し、日本中で愛され、31都道府県で生産される日本を代表するお米になりました。その「あきたこまち」を守ってください。
- ・ 遺伝子を破壊されマンガンを吸収しにくくなった稲がこの気候危機の中、生き延びるか不安であり、従来の品種を作り続けることが大事です。
- ・ 従来の「あきたこまち」を食べたいです。Rは食べたくありません。
- ・ 「風評被害」が起きるから全量転換というのであれば日本全国で一斉にやる必要があり、秋田県だけが先行するというのは拙速で、時期尚早です。
- ・ 消費者にも生産者にもほとんど情報がない中で全量転換を決めてしまったことは大問題で、期間を延期の上、議論する場を設けるべきです。
- ・ カドミウム汚染は低カドミウム米だけでは解決できません。カドミウムを未来に残さないための国や県のロードマップを県議会でも質してください。