
ERAプロジェクト調査報告

February 2012

バイオテクノロジー研究部会



特定非営利活動法人

国際生命科学研究機構

International Life Sciences Institute Japan

International Life Sciences Institute, ILSI は、1978 年にアメリカで設立された非営利の団体です。

ILSI は、科学的な視点で、健康・栄養・安全・環境に関わる問題の解決および正しい理解を目指すとともに、今後発生する恐れのある問題を事前に予測して対応していくなど、活発な活動を行っています。現在、世界中の 400 社以上の企業が会員となって、その活動を支えています。

多くの人々にとって重大な関心事であるこれらの問題の解決には、しっかりとした科学的アプローチが不可欠です。ILSI はこれらに関連する科学研究を行い、あるいは支援し、その成果を会合や出版物を通じて公表しています。そしてその活動の内容は世界の各方面から高く評価されています。

また、ILSI は、非政府機関（NGO）の一つとして、世界保健機関（WHO）とも密接な関係にあり、国連食糧農業機関（FAO）に対しては特別アドバイザーの立場にあります。アメリカ、ヨーロッパをはじめ各国で、国際協調を目指した政策を決定する際には、科学的データの提供者としても国際的に高い信頼を得ています。

特定非営利活動法人国際生命科学研究機構（ILSI Japan）は、ILSI の日本支部として 1981 年に設立されました。ILSI の一員として世界的な活動の一翼を担うとともに、日本独自の問題にも積極的に取り組んでいます。

ERA プロジェクト調査報告

2012. 2

バイオテクノロジー研究部会

2011年12月に発刊したERAプロジェクト調査報告ですが、第2号の発刊となりました。

第1報はCry1Acタンパク質の環境安全性に関するモノグラフです。前号に掲載したCP4 EPSPSタンパク質に続く、ILSI CERAによる総合レビューとなっています。これに続き、ダイズやトウモロコシ等特定の作物にフォーカスした交雑・ジーンフローに関する報告、GM植物から微生物への影響について調査・考察した論文や欧州委員会（EC）の傘下であるJoint Research Centre（JRC）による今後予測される新規GM作物の国際情勢を予想したものなど、今回も幅広くERA関連の情報を提供できると確信しております。

最後に、本号の第3報は近年ERAのグローバルスタンダードとなりつつあるプロブレム・フォーミュレーションを紹介しています。プロブレム・フォーミュレーションにつきましては次号に、より深い情報の提供を予定しております。

目次

No.11	Cry1Ac タンパク質の環境安全性に関するレビュー A review of the environmental safety of the Cry1Ac protein	1
No.12	日本自然植生における野生ダイズと栽培ダイズとの間の形態的中間型の 由来と成り行き The origin and fate of morphological intermediates between wild and cultivated soybeans in their natural habitats in Japan	2
No.13	アフリカにおける生物学的強化ソルガムを事例とするプロブレム・ フォーミュレーションによるリスク評価 Biofortified sorghum in Africa : using problem formulation to inform risk assessment	3
No.14	多年生穀類による食糧及び生態系セキュリティの増強 Increased food and ecosystem security via perennial grains	4
No.15	GM トウモロコシと慣行（非 GM） トウモロコシとの交配を制限するために 必要な隔離距離—欧州での例証— Distances needed to limit cross-fertilization between GM and conventional maize in Europe	5
No.16	新規 GM 作物の国際貿易及び世界的開発・市場化の動向 International trade and the global pipeline of new GM crops	6
No.17	遺伝子組換え植物からのジーンフロー：評価とバイオテクノロジー Gene flow from transgenic plants : evaluation and biotechnology	7
No.18	圃場栽培における除草剤耐性 4 種の GM カノーラの土壌微生物の多様性 に及ぼす影響 Influence of field site on the diversity of soil bacterial communities associated with four varieties of genetically-modified, herbicide-tolerant canola	8
No.19	圃場生育の GM 赤マツ (<i>Pinus radiata</i>) が、その根圏細菌叢及び 糸状菌類叢に及ぼすインパクト Bacterial and fungal communities in the rhizosphere of field-grown genetically modified pine trees (<i>Pinus radiata</i> D.)	9
No.20	手強い危険者（病害・雑草） Armed and Dangerous	10

Cry1Ac タンパク質の環境安全性に関するレビュー

A review of the environmental safety of the Cry1Ac protein

Center for Environmental Risk Assessment (CERA),
ILSI Research Foundation
CERA Monograph, 2010

本論文は、既報の除草剤耐性 CP4 EPSPS タンパク質の環境安全性に関するモノグラフ（本調査報告第1号 No.4 で紹介）に続いて、Bt タンパク質の1つである Cry1Ac タンパク質に関する広範囲な科学的論文・資料（109 編）に基づいて、その環境安全性を例証したものである。その内容は、Cry1Ac 導入作物の世界 11 ヶ国における認可の状況、Cry1Ac タンパク質の由来、特性及び殺虫機作、植物体中の発現、環境中での他生物への水平拡散、鱗翅目非標的生物（含オオカバマダラ）に対する生態毒学的試験、雑草性、交配可能な近縁種への遺伝子伝播、Cry1Ac 導入作物の表現型及び構成成分、などの多くの領域を含んでいる。その結果、Cry1Ac 導入作物（トウモロコシ及びワタ）は、表現型及び構成成分などにおいて組換え以前の特性を維持し、雑草性・侵入性の増強もなく、慣行作物と比べて、生態系へのリスクの増加は無視し得る程度に小さいと結論された。また付表として、代表的な Cry1Ac 導入トウモロコシ・ワタの発達段階・器官別発現量、表現型特性、構成成分の数値例が添付されている。この論文は、CP4 EPSPS に関するモノグラフとともに、OECD 作業部会プロジェクトである LLP（low-level presence：未承認 GMO の微量混入）総括文書にも、参考文献として引用されている。

本論文の索引：http://cera-gmc.org/docs/cera_publications/pub_02_2010.pdf

No.12

日本自然植生における野生ダイズと栽培ダイズとの間の形態的中間型の 由来と成り行き

The origin and fate of morphological intermediates between
wild and cultivated soybeans in their natural habitats in Japan

Kuroda Y, Kaga A, Tomooka N, Vaughan D.
Molecular Ecology 19 : 2346-2360, 2010

農業生物資源研究所（つくば市）の研究グループが、野生種ダイズ（ツルマメ）に関する従来の研究成果を、分子レベルでさらに発展させた。2003-2006年に、秋田、茨城、愛知、兵庫、広島、高知、佐賀の7地域189地点のなかで、2地域6地点（秋田1、佐賀5）に野生種の自然植生が存在していた、この6地点から、野生ダイズ468個体、形態的「中間型」(intermediate)17個体、栽培ダイズ12個体を収集し、核DNA及び葉緑体DNAそれぞれの多型マーカーによる分析により、これらの個体間の遺伝的多様性を調査した。その結果、i) 中間体は野生種より葉が大きく、茎が太く、莢・種子が大きく、明らかな形態的特徴を有する、ii) 中間体は野生種と栽培種との間のF1あるいは分離初期世代である、iii) 中間体の両親は特定の野生種と晩生栽培種とに帰着できる、iv) ジーンフローの方向はすべて栽培種から野生種への一方向のみであった、v) 中間体は自然植生から速やかに消失する、vi) 中間体から野生種への2次的ジーンフローは検出されなかった、などが解明された。以上を総括して、GMダイズから野生種へのジーンフローは起りうるが、日本の自然植生における野生種への遺伝子移入は極めて稀であろうと結論された。本論文は栽培ダイズから野生種へのジーンフローを分子レベルで解明した最初の報告であり、仮定・空想ではなく、科学的データに基づくリスク評価の基盤を与えるものとして、極めて価値が高いと考えられる。

No.13

アフリカにおける生物学的強化ソルガムを事例とするプロブレム・フォーミュレーションによるリスク評価

Biofortified sorghum in Africa : using problem formulation to inform risk assessment

Hokanson KE, Ellstrand NC, Ouedraogo JT,
Olweny PA, Schaal BA, Raybould AF
Nature Biotechnology 28 : 900-903, 2010

GM作物のリスク評価に要求されるデータの正当性の判断に関して、「Problem Formulation (PF; プロブレム・フォーミュレーション)」が広い関心を集めている。米・ケニア、英の研究者パネルが、栄養価改善（低タンニン含量）のGMソルガムを例に、その原産地であるアフリカ、高い他殖率などを考慮して、「gene flow」を対象に、case studyを公表した。PFの過程は、protection goalの設定（例：生物多様性の保護）、その達成のための具体的な評価項目（例：有用種の存在度）への有害な影響（harm）、harm形成に想定されるリスクシナリオの設定、検証可能な仮定設定とその実証のため試験計画の立案、によって構成されている。本論文では具体的に1)貴重な遺伝的多様性の消失、2)価値ある植生の存在度あるいは多様性の消失および減少、3)作物の顕著な収量低下、などGMソルガムによるharmを想定し、その各々にリスクシナリオ、リスク仮説、検証試験計画をマトリックスとして表示している。重要なことは、全ての仮定を羅列に検証することではなく、harmを形成しうるリスクシナリオが実際には存在する可能性が極めて低いことを最も確実に実証するための検証を行うことである。これにより、特定された各シナリオについて、“no harm”の仮説を実証しようとするものである。本論文のPFは、他の特性、他の作物にも応用可能と考えられている。これは途上国の不十分な経験・資金の有効活用にも貢献すると考えられている。最近、OECD作業部会において、ソルガムのコンセンサス・ドキュメントの執筆を南アフリカ共和国が担当することが合意された。

多年生穀類による食糧及び生態系セキュリティの増強

Increased food and ecosystem security via perennial grains

Glover JD, Reganold JP, Bell LW, *et al.*
Science 328 : 1638-1639, 2010

米国、スウェーデン、中国、アルゼンチン、オーストラリア、CIMMYT（国際トウモロコシ・コムギ改良センター、在メキシコ）など29名の連名による論説である。1950年代以来の主要作物の収量倍増にもかかわらず、今なお7人に1人以上の人々が低栄養状態に瀕しており、2050年までの世界食料生産倍増の方策は不明確である。将来の食糧確保のためには、農耕地としての適性がこれまでより劣る地域にも適応する作物を作出し、その生産力を増強する必要がある。一つの方策は、主要作物への多年生の付与である。1960年代の米国・旧ソ連による多年生コムギ計画は失敗したが、近年復活し、アルゼンチン、オーストラリア、中国、インド、スウェーデン、米国で再び推進されている。一年生作物と近縁の多年生作物との交雑により、多年生作物を作出する目的で、イネ、コムギ、トウモロコシ、ソルガム、キマメ、油糧種子作物などが供試されており、2000年代の文献も若干報告されている。これらの多年生作物のポイントは、太陽エネルギーをより長期間受光することにより、子実収量を一年生作物と同程度に保ちつつ、より多量の光合成産物を肥大化した根部に蓄積し、不良環境下での養水分の吸収効率を向上させることにより、複数作期に及ぶ全体の収量を増大させることである。このため、バイオテクノロジーの利用が期待されている。従来の減収軽減（除草剤耐性・害虫抵抗性）とは異なり、多年生作物は積極的に光合成産物の蓄積を増大させることによる増収方策として注目される。筆者らは研究組織、資金の充実のもとに、20年以内の実現を視野に入れている。

No.15

GM トウモロコシと慣行（非 GM） トウモロコシとの交配を制限するために必要な隔離距離—欧州での例証—

Distances needed to limit cross-fertilization between GM and conventional maize in Europe

Riesgo L, Areal FJ, Sanvido O, Rodriguez-Cerezo E
Nature Biotechnology 28 : 780-782, 2010

欧州委員会（EC）傘下の Joint Research Centre とスイスの研究者が、GM トウモロコシと非 GM トウモロコシの隔離距離と交配率との実測値に基づいて、交配を制限するために必要な隔離距離についてとりまとめを行った。EU では共存政策を採用し、収穫物中の承認済み GM 作物の意図しない混入の閾値を、トウモロコシでは 0.9% と定めている。しかし、0.9% を維持するための隔離距離には科学的根拠が明確ではない場合が多い。このため、2001-2006 年にわたり、ドイツ、イタリア、スペイン、フランスで実施された 1,174 の圃場試験のデータを収集した。試験例は、受粉区が風下の直下、両区の開花期が同調するという最悪シナリオだけを選び、統計的処理を行った。

その結果、隔離距離が 0 ~ 10、10 ~ 20、20 ~ 30、30 ~ 40、40 ~ 50、50 ~ 70、70 ~ 90、90m 以上の場合に、交配率が閾値 1.5%、0.9%、0.5%、0.3% を下回る確率が算出され、表として提示された。用語の説明として、交配率は収穫物中の交雑種子の出現率（%）、隔離距離は花粉源の外縁から受粉区の外縁までとされた。この表を用いると、隔離距離の実効性が明確となる。例えば、閾値 0.9% を下回る確率は隔離距離 0 ~ 10 m では 37.80 ~ 44.62% と低いが、30 ~ 40 m では 98.76 ~ 100% となり、90 m 以上の 99.86 ~ 100% と同程度の確率となることが示されている。これらに基づいて、隔離距離 40 m により法的に要求されている非 GM トウモロコシの意図しない混入の閾値 0.9% が維持できると結論されている。

新規 GM 作物の国際貿易及び世界的開発・市場化の動向

International trade and the global pipeline of new GM crops

Stein AJ, Rodriguez-Cerego E
Nature Biotechnology 28 : 23-25, 2010

欧州委員会（EC）傘下の Joint Research Centre（JRC）の研究者が、今後の新しい GM 作物の開発・市場化の予測を行った。背景には、EU における栽培認可の停滞及びゼロ・トレランス政策による EU 圏内への農作物輸入に対する悪影響への憂慮が存在している。2008 年 11 月に JRC は、規制当局、開発者、研究者、世界的な食料業者によるワークショップを開催した。その結果、2015 年までに次の予測が集約された。1)120 以上の GM イベントが新たに市場化される、2)害虫抵抗性イベント及び除草剤耐性イベントが依然として主流を占める、3)成分改変イベントが増加する、4)ダイズ、トウモロコシ、ワタ、カノーラの 4 大 GM 作物が維持される、5)新規開発の半分は新規参入者（アジア及びラテンアメリカ）であり、残り半分はアメリカ及び欧州が占める、6)新規参入者が開発する GM 作物は、巨大人口を有する自国と周辺地域での市場化が主要であり、世界的貿易へのインパクトは相対的に小さい。これらを総合して、2008 年から 2015 年への市場化 GM 作物の予測イベント数が特性ごとに列記された。すなわち、害虫抵抗性：21 → 59、除草剤耐性：11 → 33、成分改変：2 → 20、ウイルス抵抗性：5 → 10、環境ストレス耐性：0 → 7、その他：0 → 13、と予測されている。しかし、LLP（low-level presence：未承認 GMO の微量混入）問題は国によって対応が異なる現状から、農業バイテク作物の開発と認可の推移にも注意深い関心を維持する必要があるとされている。

遺伝子組換え植物からのジーンフロー：評価とバイオテクノロジー

Gene flow from transgenic plants : evaluation and biotechnology

Vogel TM (コーディネーター)

A decade of EU-funded GMO research, European Commission : 72-75,
2010

本プロジェクトは、既報の EU 報告の一部であり、フランス、ドイツ、ノルウェー、オランダ、イタリアの研究グループの3年半の研究結果が総括されている。組換え作物としては、葉緑体ゲノム中に組換え遺伝子が導入された transplastomic plant が供試され、導入遺伝子には、抗生物質耐性、除草剤耐性、緑色蛍光タンパク質などが用いられた。葉緑体ゲノムと相同配列 (homologous sequences) を意図的に導入したモデル細菌 (*Acinetobacter* sp.) への in vitro でのジーンフローは観察されたものの、プラスミド、DNA、磨碎茎・葉のいずれからも極めて低率 ($10^{-6} \sim 10^{-8}$) であった。次に実在する土壌についての調査では、広い変異を含む抗生物質耐性遺伝子が検出されたが、導入遺伝子の土壌中への混入による土壌細菌の新しい変化は、検出されなかった。以上に基づき、「組換え植物から土壌バクテリアへのジーンフローが起こるためには、多くの障害が存在している。ジーンフローは人為的最適条件では極めて低率で検出されたが、実在の土壌では検出されなかった。いずれの場合も、両者の間には相同配列が存在することが最重要条件である」と結論されている。

(付言)：本テーマは第10回 ISBGMO (ニュージーランド、2008) の Session 5 でも報告され、議長の Kornelia SMALLA (ドイツ、この分野の第一人者) によっても、「GM 作物から細菌へのジーンフローのリスクは無視できる程度 (negligible) である」と結論されている。

No.18

圃場栽培における除草剤耐性 4 種の GM カノーラの土壤微生物の多様性に及ぼす影響

Influence of field site on the diversity of soil bacterial communities associated with four varieties of genetically-modified, herbicide-tolerant canola

Germida J, Dunfield K
SYMPOSIUM HANDBOOK,
10th International Symposium on the
Biosafety of Genetically modified organisms : 66-67, 2008

上記シンポジウム（ニュージーランド、2008）において、カナダの研究者が除草剤耐性カノーラの土壤微生物叢への影響を総括した。Roundup Ready[®]1 品種（*EPSPS* および *GOX* を有する）、および Liberty-Link[®]3 品種（*PAT* および *NPT II* を有する）のカノーラ 4 品種を用い、カナダ西部 5 ヶ所で 3 年間の圃場試験を行った。土壤バクテリアの態様は、根圏域及び根系域の 2 段階で調査された。根圏域の土壤バクテリアの生理的特性には GM 区と非 GM 区との間に相違があったが、自然条件下の通常の変動の範囲内であった。根系域での両区の差は殆ど無く、作物（カノーラ）の立毛の有無による季節的変動の範囲内であり、一時的な変化であった。別に 4 年間にわたり、除草剤耐性ダイズとトウモロコシによる作付体系の土壤生態系への影響が調査されたが、圃場の現場、土壤の物理・化学・生物的条件などが組換え DNA の土壤中の存続性に影響する主因であった。さらにこの作付体系の土壤バクテリア、菌類、原生動物、線虫などの生態系要素への影響が調査されたが、永続的あるいは広域的な変化は検出されなかった。以上の結果は、土壤微生物、GM 作物、圃場特性、季節的変動などの相互作用の複雑性を示唆すると理解された。

上記国際シンポ全体のレビュー記事（*Environ. Biosafety Res.*8 (3): 161-181, 2009）のなかで、本報告は 173 頁に記載されている。

No.19

圃場生育の GM 赤マツ (*Pinus radiata*) が、その根圏細菌叢及び糸状菌類叢に及ぼすインパクト

Bacterial and fungal communities in the rhizosphere of field-grown genetically modified pine trees (*Pinus radiata* D.)

Lottmann J, O'Callaghan M, Baird D, Walter C
Environ. Biosafety Res. 9 : 25-40, 2010

ニュージーランドの研究者により、GM 樹木の根圏微生物叢に対する影響の圃場試験結果が報告された。供試材料は *Pinus radiata* (赤マツ)、処理区は、花芽分裂組織決定遺伝子 (*LFY*) とマーカーとして抗生物質耐性遺伝子 (*NPT II*) を導入した組換え区 (A、B 区) 及び非組換え区 (C 区) の 3 区である (各 n=5)。樹木固有の外生菌根 (ectomycorrhizal fungi) を含む根圏土壌サンプルを、2 年間に合計 19 回、合計 120 サンプルを調査した。DGGE (denaturing gradient gel electrophoresis) による 16S rRNA のプロファイルにおいて、根圏細菌叢では組換え区と非組換え区との間には顕著な差がなく (例外 1 件)、両区に共通的な季節的変動が示された。根圏糸状菌叢でも両区の間には顕著な差がなく、両区に共通的な大きな季節的変動が示された。以上から、「*Pinus radiata* の根圏微生物叢 (細菌叢及び糸状菌叢) には、GM 区と非 GM 区との間には顕著な差異はなく、いずれも季節的変動の範囲内である」と結論された。現在 GM 樹木では、スギ、ポプラ、ユーカリなどについて 700 件以上のテストが進行中であるが、根圏微生物叢について 2 年間の圃場試験により、その相対的安全性を立証したものは本論文が初めてであり、その意義は大きい。さらにこの結果は、GM ナタネで得られた結果 (既報) と共通的であることが注目される。

手強い危険者（病害・雑草）

Armed and Dangerous

Pennisi E

Science 327 : 804-805, 2010

研究者は、世界の食糧確保への深刻な生物的脅威として、菌類、ウイルス、雑草に対する対抗策を研究中である。サイエンス誌ニュース欄担当者がその主要面を報告した。

Wheat Stem Rust (コムギ黒サビ病) : 50年前に終息したと思われた本病は、1998年ウガンダで再発し、西アジア・中東全域に蔓延し、40%以上の減収をもたらしている。耐病性品種も長続きしない。

Rice Blast (イネいもち病) : イネを含む50種の禾本科を加害している。ほ場によっては100%の減収となる場合もある。全菌系に抵抗性の品種は無く、また品種の抵抗性も数年で崩壊する。

Potato Blight (バレイショ疫病) : 1845-1851年のアイルランド飢饉をもたらした本病は、現在でも世界各地で減収要因となっている。対抗する殺菌剤散布は生産費の10%に達している。

Asian Soybean Rust (アジアダイズさび病) : ダイズを含む31種のマメ科を加害する。アジア、オーストラリア、アフリカ、南米、北米、メキシコに蔓延し、10～80%の減収をもたらす。早期発見と殺菌剤散布が対抗策である。

Cassava Brown Streak Virus (キャッサバ黒すじウイルス病) : 東～サブサハラアフリカで最悪100%の減収（根部）をもたらす。キャッサバモザイクウイルス病と並ぶ難病。抵抗性品種育成中。

Witchweed (ストライガ) : アフリカ起源、全熱帯地域で、トウモロコシ、ソルガム、サトウキビ、ミレットなどを加害し、20～100%の減収をもたらす。加害作物の根から養水分を奪う寄生植物である。

世界的に、特に途上国で深刻な上記病害・雑草に対抗するGM作物の作出が待たれるところである。

ERA プロジェクト調査報告

2012年2月 印刷発行

特定非営利活動法人
国際生命科学研究機構 (ILSI JAPAN)

理事長 木村修一

〒102-0083 東京都千代田区麹町 2-6-7

麹町 R・K ビル 1階

TEL 03-5215-3535

FAX 03-5215-3537

[http:// www.ilsijapan.org](http://www.ilsijapan.org)

