

「遺伝子組換え農作物」について

農林水産省

遺伝子組換え農作物について

目次

—はじめに—	1
1 遺伝子組換え技術	1
2 遺伝子組換え技術と従来の変配による育種の違い	1
3 遺伝子組換え農作物などに対する期待と懸念	3
4 我が国における安全性評価の仕組み (1) 生物多様性への影響の評価 (2) 食品としての安全性評価 (3) 飼料としての安全性評価	5
5 遺伝子組換え農産物・食品の表示制度	15
6 世界における遺伝子組換え農作物の栽培状況	19
7 海外で実用化されている遺伝子組換え農作物	21

参考

1. 食べ物/生き物	23
(1) 食べ物と生き物	
(2) 生き物と細胞・栄養素・DNA・遺伝子など	
(3) 食べ物の消化	
(4) 食べ物と植物との関係	
(5) 農作物(植物)の品種改良	
2. 生き物の形質とタンパク質・遺伝子	27
(1) タンパク質で生き物の形質が決まる	
(2) 遺伝子でタンパク質のアミノ酸配列が決まる	

－ はじめに－

- ・ 遺伝子組換え農作物の開発は、1980年代から行われるようになりました。
- ・ 現在、我が国においては、飼料用のトウモロコシ、油糧用のダイズ、ナタネなど、海外で生産された遺伝子組換え農作物が輸入され利用されるとともに、国内での研究開発も行われています。
- ・ この冊子は、遺伝子組換え農作物に利用されている技術の科学的な背景、期待と懸念、利用するにあたっての安全性評価の仕組みなどの、基礎的情報を整理したものです。

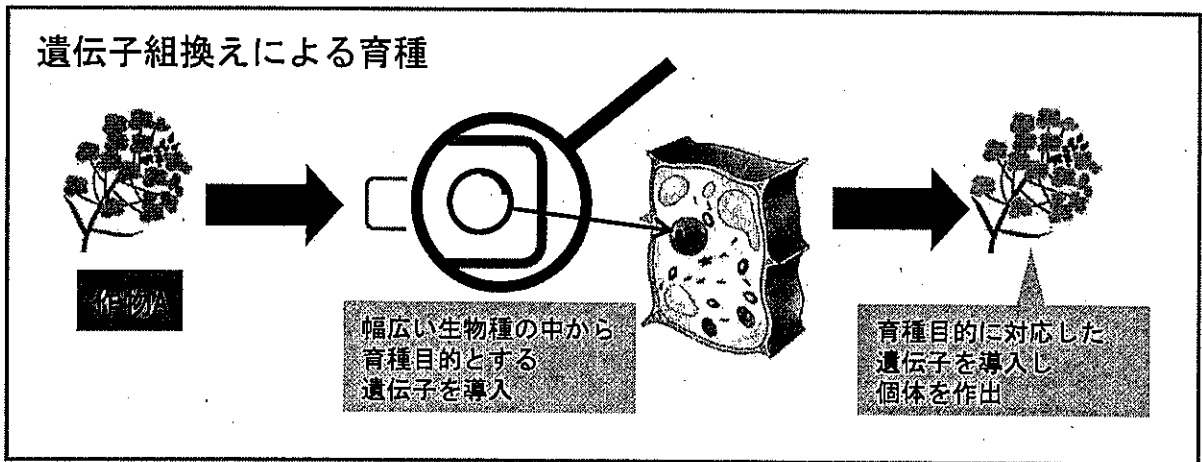
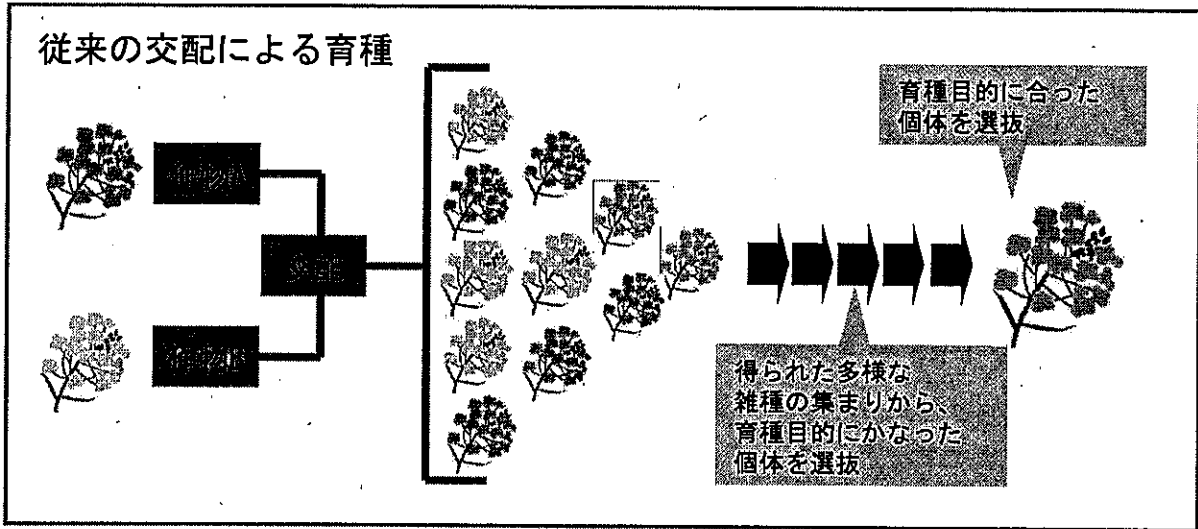
1. 遺伝子組換え技術

- ・ 品種改良の一つの方法として用いられている遺伝子組換え技術とは、次のような技術です。
 - a. ある生き物から特定のタンパク質に対応する遺伝子を取りだし、
 - b. 改良しようとする生き物の細胞の中に遺伝子を導入し、
 - c. 細胞がタンパク質を合成するようになる。
(結果として、細胞はタンパク質がもたらす新たな形質を有するようになる。)
- ・ あらゆる生き物において、遺伝子(DNA)・タンパク質は共通性の高い化学構造をしているので、理論的には、あらゆる生き物の間で遺伝子を組み換えることができます。

2. 遺伝子組換え技術と従来の交配による育種の違い(図1)

- ・ 従来からの育種技術である、交配・選抜による農作物の品種改良では、交配可能な同種または近縁種の間で交配を行いますが、交配ごとに両親の遺伝子の半分ずつを受け継ぐとともに、遺伝子の組み合わせは偶然にまかせられるため、新たに組み合わさった遺伝子が品種改良の目的とする形質を示すものを選抜し、かつ目的に合わない形質を排除することを繰り返し行い、最終的に目的とする個体を獲得します。
- ・ 一方、遺伝子組換えによる品種改良では、生物の種にとらわれることなく、幅広い生物種の中から目的とする機能を持つ遺伝子を選んで、その遺伝子のみを改良する作物に直接組み込むことにより、品種改良の目的とする形質を示す個体を獲得します。
- ・ このことから、従来の育種技術では、品種改良の成果は、交配が可能な遺伝子間での遺伝子の組み合わせによって得られる形質に限られますが、遺伝子組換え技術では、品種改良の可能性が広がることとなります。
- ・ しかし、遺伝子組換え技術により、自然界では得られない組み合わせの遺伝子を人為的に作り出すことを懸念する意見もあります。

図1 従来の交配による育種と遺伝子組換えによる育種



3. 遺伝子組換え農作物などに対する期待と懸念

①期待

遺伝子組換え技術は、医療、工業など様々な分野でその利用が期待されていますが、農業に関連する分野としては次のようなものがあります。

- ・現在でも世界で10億人以上の人々が栄養不足や飢餓状態にあり、今後ますます深刻化すると予測されることから、食料問題の解決に向けた、乾燥や塩害など不良環境でも栽培できる作物などの開発。
- ・農薬使用量の減少につながる、害虫に対する抵抗性を持った作物などの開発。
- ・除草作業の効率化につながる、特定の除草剤に抵抗性を持った作物などの開発。
- ・環境の保全や修復に役立つ、汚染物質を吸収する植物などの開発。
- ・石油価格の上昇などに対応した、低コストなバイオ燃料・バイオマテリアルの生産に使われる植物などの開発。

②懸念

一方、遺伝子組換え技術によって作出された農作物が利用されることについては、次のような懸念や意見が表明されています。

(生物多様性への影響)

- ・遺伝子組換え農作物が有害物質を産生し、他の生物に影響を与えることはないか。
- ・遺伝子組換えにより、元の農作物よりも繁殖力が強まったり雑草化しやすくなるか。
- ・遺伝子組換え作物で自生したものが、同種の植物と交雑し、生物多様性に影響することはないのか (p. 18<メモ>参照)。
- ・害虫抵抗性の遺伝子組換え農作物を栽培し続けると、抵抗力の強い害虫が発生しないか。

(食品として摂取した場合の人体への影響)

- ・遺伝子組換え食品がアレルギーを引き起こさないのか (p. 26<メモ>参照)。
- ・遺伝子組換え食品を食べ続けても大丈夫か、子や孫の代で影響はないのか。
- ・害虫が死んでしまうような遺伝子組換え農作物はヒトに対して影響はないのか。
- ・遺伝子組換え農作物を含んだ飼料を与えられた動物の肉や乳、卵を食べても健康に影響はないのか。

- ③ このため、我が国においては、一つ一つの遺伝子組換え農作物ごとに、その用途に応じて生物多様性への影響や、食品や飼料としての安全性について、最新の科学的知見により評価を行い、安全性が確認されたものみの使用を認める仕組みを導入しています (p. 6 図2 参照)。

我が国における取り組みの状況

○遺伝子組換えに関する研究

・農林水産省では、遺伝子組換え技術は、その技術を用いなければ実現できないものや達成できないものに利用するとの考えのもとに、次のようなものに重点をおいて研究開発を推進しています。

① 寒冷、乾燥、塩害など不良な生育環境に強い作物

将来の国際的な貢献も見据え、寒冷地や乾燥地、塩分が蓄積した土地など、これまで農作物が栽培できなかった土地でも育つ農作物などの開発が進められています。

② 土壌中の有害物質を吸収する環境修復植物

カドミウムや残留性有機汚染物質を吸収し、蓄積能力が極めて高い植物の開発が行われています。これにより、農地土壌のカドミウムなどの汚染対策への利用が考えられています。

③ 病気に強く収量の多い作物

家畜の飼料用やバイオエネルギー用に使うことを目的に、複数の病気に抵抗性があり、収量も多い作物の開発が進められています。これにより画期的な減農薬・省力化技術も可能となり、飼料自給率の向上やエネルギー需要増への対応が考えられます。

④ 健康の増進や病気の予防のための作物

血中の善玉コレステロールはそのままにして悪玉コレステロールだけを下げオレイン酸を多く含むダイズの開発が行われています。

また、中性脂肪や血圧を調整する作用のあるタンパク質を多く含む作物や、作物にもともと含まれているアレルギーの原因になる成分を少なくして、アレルギーのある人でも安心して食べることができる農作物の開発が行われています。

○懸念に対応した研究

・農林水産省では、遺伝子組換え農作物に対する懸念があることに対応し、実態の確認や懸念を軽減するための研究開発を行っています。

花粉が飛散しない品種の育成

開花せずに受粉する（閉花受粉性）植物を発見し、原因遺伝子を同定しました。この特性を利用することで、花粉の飛散しない遺伝子組換え農作物が作出できます。これにより、花粉の飛散による遺伝子組換え農作物と一般農作物との交雑を低減または防止することが可能となります。

4. 我が国における安全性評価の仕組み

我が国で遺伝子組換え農作物を栽培したり、食用や飼料用として利用するためには、図2のように生物多様性への影響と食品および飼料の安全性を評価(チェック)することが法律で定められています。

評価にあたっては、以下の考え方を基本としています。

a. <国際ルール準拠>

様々な国際機関で十分に検討・合意され、示された考え方に基づくこと。

b. <個別の評価>

使用の申請のあった1つ1つの品目(品種)ごとに、個別に評価すること。

c. <評価主体>

第三者の専門家により審査を行うこと。

d. <実用化>

安全性が確認されたものだけが、商品化され、市場に流通すること。

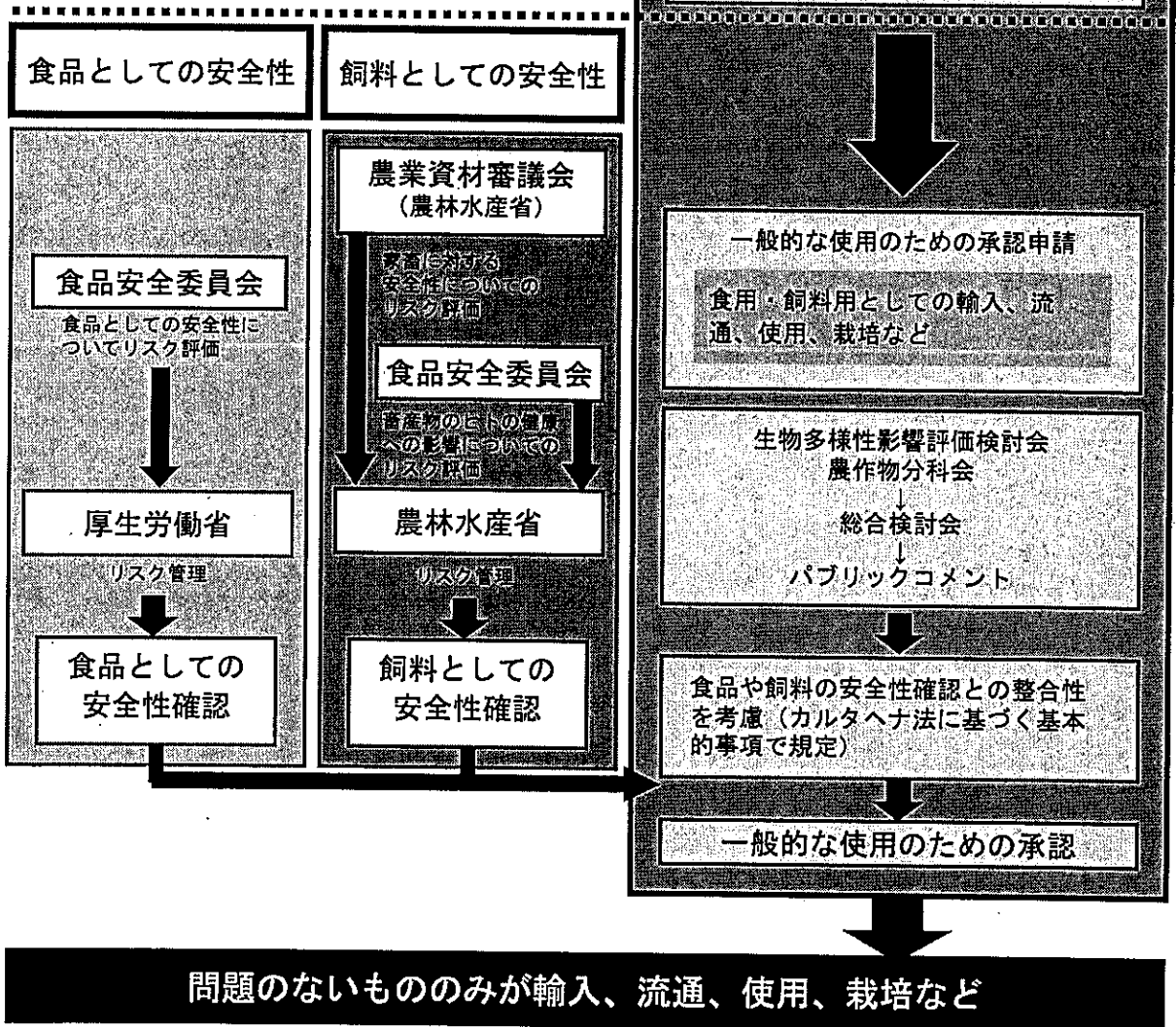
図2 遺伝子組換え農作物の安全性を確保する仕組み

遺伝子組換え作物に関しては、

- ①生物多様性への影響は「カルタヘナ法」
- ②食品としての安全性は「食品安全基本法」および「食品衛生法」
- ③飼料としての安全性は「飼料安全法」および「食品安全基本法」

に基づいて、それぞれ科学的な評価を行い、全てについて問題のないもののみが栽培、流通される仕組みとなっている。

隔離ほ場における使用や観賞用の花きなど食品、飼料として利用しない場合は、①のみ



(1) 生物多様性への影響の評価

○生物多様性への影響とは

遺伝子組換え生物の使用などによって、野生動植物や微生物の種または個体群の維持に支障を及ぼすなど、生物の多様性を損なうおそれのあることを指しており、具体的には、次のような状態が想定されます（図3参照）。

- ・ 遺伝子組換え生物が生態系に侵入して、その繁殖力の強さなどにより、在来の野生生物を駆逐してしまうこと
- ・ 遺伝子組換え生物が近縁の野生種と交雑して、野生種が交雑したものに置き換わってしまうこと
- ・ 遺伝子組換え生物が作り出す有害物質によって周辺の野生動植物や微生物が影響を受けたり、死滅してしまうこと

○評価の方法

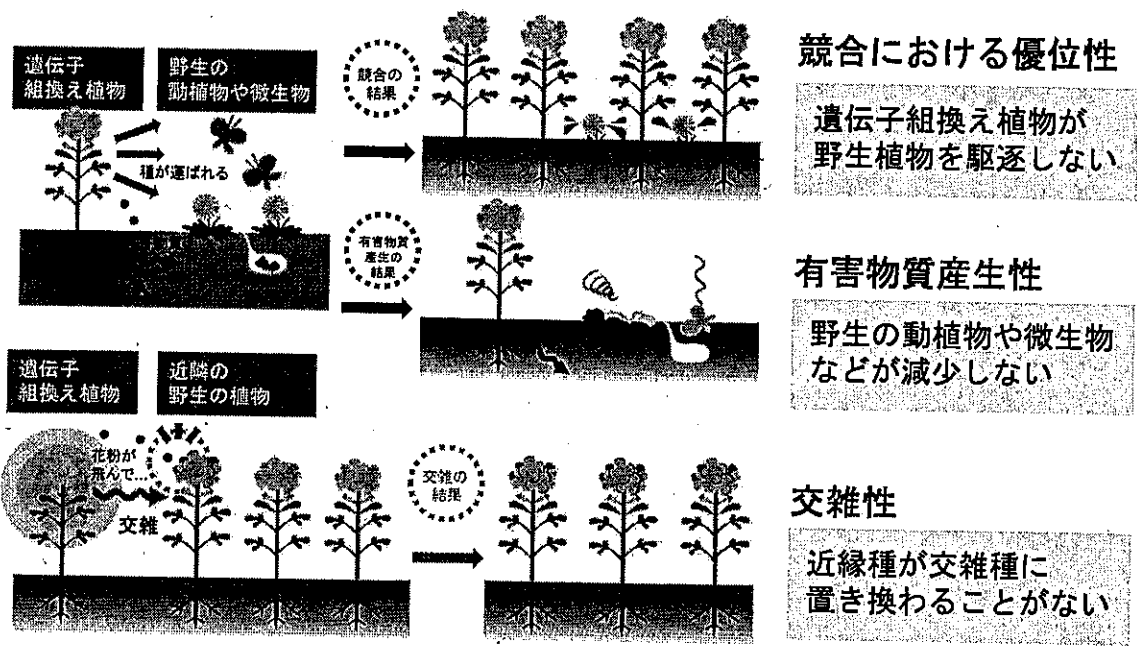
遺伝子組換え農作物などの栽培試験や一般的な使用（栽培、食用・飼料用などの輸入や流通）を行うためには、生物多様性への影響を評価する必要があり、カルタヘナ法に基づいて、図4のように試験段階、一般的な使用の段階のそれぞれの前に、農林水産省および環境省に承認申請をすることが義務づけられています。

両省では承認にあたって、学識経験者から意見を聴取しており、専門家によるそれぞれ二段階（分野ごとの分科会と総合検討会）の評価が行われます。また、評価にあたっては、以下のような観点から、100以上の項目について最新の科学的な知見によりチェックが行われます。

(主な評価項目)

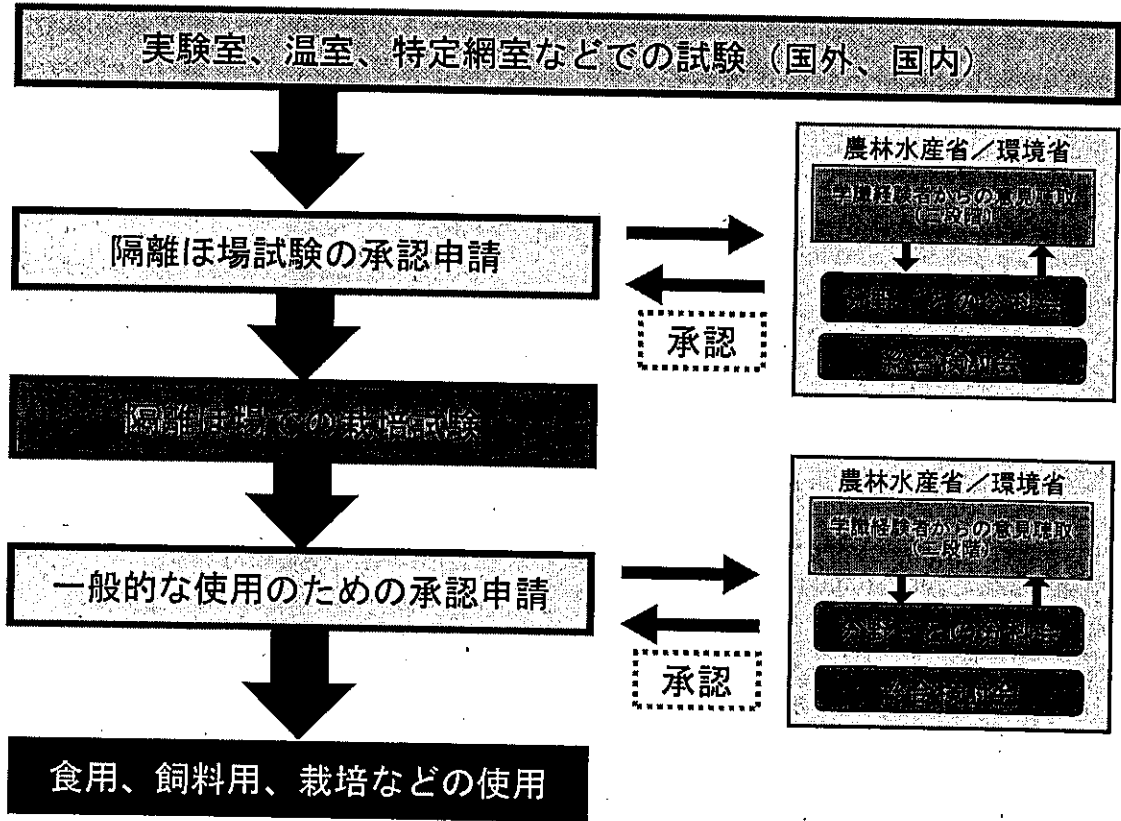
- ・ 影響を受ける可能性のある近縁野生植物の有無
(植物分類学、植物生態学の知見)
- ・ 近縁野生種の交雑性、花粉などの飛散割合程度
(植物育種学、植物生理学、植物生態学の知見)
- ・ 日照、栄養分、生育場所などの資源を巡る競合程度
(植物生態学、植物生理学の知見)
- ・ 野生動植物や微生物の生息、生育に支障を及ぼす有害物質の産生程度
(応用昆虫学、応用微生物学、植物生理学、植物生態学の知見)

図3 生物多様性への影響とは



資料：バイオテック情報普及会

図4 生物多様性影響評価の流れ(農作物などの場合)



○隔離ほ場における交雑防止の手段

申請のあった遺伝子組換え作物ごとに、作物種、隔離ほ場などの組み合わせに応じ、我が国の生物多様性への影響を科学的に評価し、交雑防止措置などを講じています。

試験実施者は、隔離ほ場試験の前に、近隣住民に対し、説明会を開催しています。

・隔離ほ場における交雑防止のため、以下の措置を行います。

①防風林、防風・防虫網などの設備設置

②交雑防止措置の実施

周辺ほ場との距離設定、雄しべの除去（除雄）、袋がけなど

【交雑防止措置の検討に必要な主な作物特性例】

- a 花粉が飛散するか否か：自家受粉、他家受粉
- b 花粉の媒介方法：虫媒、風媒など
- c 交雑可能な近縁植物の有無など

・モニタリングの実施

花粉が飛ぶ範囲において、ほ場周辺の近縁の野生種との交雑の有無についてモニタリングを実施します。

さらに、農林水産省関係の独立行政法人（研究機関）においては、次の要件を義務づけています。

- ・隔離距離設定（イネ30m、トウモロコシ600mなど）
- ・開花期の平均風速（3m/秒以下）、台風時などの除雄
- ・隔離距離によらない場合、開花前の除雄又は袋がけなど

なお、万一、生物多様性への影響が生じる恐れがある場合には、カルタヘナ法に基づき、農林水産大臣および環境大臣は試験の中止などの措置を命ずることができます。

○承認の状況

上記のような評価と審査を経て、我が国では、2012年（平成24年）5月末現在で、イネ、トウモロコシ、ダイズ、セイヨウナタネ、ワタ、テンサイ、クリーピングベントグラス、バラ、カーネーションの9作物、計74件の隔離ほ場での栽培実験が承認されました（すでに栽培試験を終えたものを含む）（表1参照）。

また、一般的な使用として、栽培、流通、加工などが認められている農作物は、2012年（平成24年）5月末現在、トウモロコシ、ダイズ、セイヨウナタネ、ワタ、パイア、アルファルファ、テンサイ、バラ、カーネーションの9作物の99品種となっています（表2参照）。

※なお、日本では「バラ」のみが商業栽培されています。

表1

国内でこれまでに隔離ほ場での栽培試験が承認された遺伝子組換え農作物

作物名	主な導入形質
イネ	高トリプトファン含量、草丈改良、耐病性、鉄欠乏耐性、アレルギー症状緩和など
トウモロコシ	害虫抵抗性、除草剤耐性、加工特性改良、乾燥耐性など
ダイズ	害虫抵抗性、除草剤耐性、高オレイン酸含有など
セイヨウナタネ	除草剤耐性
ワタ	害虫抵抗性、除草剤耐性
テンサイ	除草剤耐性
クリーピングベントグラス	除草剤耐性
バラ	花色変化
カーネーション	花色変化

※現在はすでに栽培試験を終えているものを含む。

表2

国内で一般的な使用として栽培などが承認された遺伝子組換え農作物

作物名	主な導入形質
トウモロコシ	害虫抵抗性、除草剤耐性、高リジン含有
ダイズ	除草剤耐性、高オレイン酸含有
セイヨウナタネ	除草剤耐性、稔性回復性、雄性不稔性
ワタ	害虫抵抗性、除草剤耐性
パパイヤ	ウイルス抵抗性
アルファルファ	除草剤耐性
テンサイ	除草剤耐性
バラ	花色変化
カーネーション	花色変化

(2) 食品としての安全性評価

食品としての利用を行うためには、食品安全基本法および食品衛生法に基づいて、内閣府食品安全委員会による安全性の評価とそれを踏まえた厚生労働省による安全性審査を受けることが義務づけられています。その結果、従来食品と同じように食べても安全であることが確認された遺伝子組換え食品だけが日本での販売や輸入が許可されます(p. 6 図2 参照)。

○評価の考え方

既存の食品と遺伝子組換え食品を比較することによって評価しており、具体的には、

- ・ 遺伝子組換え技術によって導入された遺伝子は安全か（遺伝子自体が有害物質でないか）。
- ・ 遺伝子組換え技術によって導入された遺伝子により作られるタンパク質には有害性がないか。
- ・ 作られたタンパク質がアレルギーを誘発する可能性はないか（体内（胃や腸）における分解性の確認、熱に対する分解性の確認）。
- ・ 遺伝子組換え技術によって導入された遺伝子が間接的に作用し、他の有害物質を作る可能性はないか。
- ・ 遺伝子を導入したことにより、食品成分が大きく変化する可能性はないか（食品中に含有されている成分の確認）。

などの項目について、更に詳細な評価項目が設定されています。

○承認の状況

上記の評価と審査を経て、我が国で販売や輸入が認められている遺伝子組換え食品は、2012年(平成24年)5月末現在、トウモロコシ、ダイズ、セイヨウナタネ、ワタ、アルファルファ、テンサイ、ジャガイモ、パパイヤの8作物186品種となっています(表3 参照)。

○国際機関における安全性評価などの検討

近年、遺伝子組換え食品や飼料は、世界的に流通が拡大している一方で、その安全性に対する国際的な関心が高まっていることに対応して、国際機関において安全性評価の概念の整理やガイドラインなどの検討が行われました。我が国においても、これに即して安全性評価が行われています。

具体的には、

- ・ 遺伝子組換え食品を既存の食品と比較することによって、その安全性を評価する「実質的同等性」という概念が、1993年(平成5年)にOECD(経済協力開発機構)において約60人の専門家による2年以上の検討を経て発表されました。
この「同等と見なし得る」かどうかの判断は、(a) 遺伝的素材、(b) 広範囲なヒトの安全な食経験、(c) 食品の構成成分、(d) 既存種と新品種の使用法の違い、の各要素について検討し、当該植物と既存のものが全体として食品としての同等性を失っていないと客観的に判断できるかどうかによって行う必要があります。
- ・ 上記概念を踏まえ、CODEX(国際的な食品規格を策定するためにFAO(国連食糧農業機関)とWHO(世界保健機関)が合同で設立した組織)において、1999年(平成11年)に遺伝子組換え食品に関する規格や指針などを専門的に検討を行う部会を設定して科学的な知見およびリスク分析に基づいて策定することが決定され、また、その後の同部会の検討により「遺伝子組換え植物由来食品の安全性を評価するためのガイドライン」、「リスク分析の原則」などが2003年(平成15年)に採択されました。

表3 遺伝子組換え食品の承認実績

作物名	導入形質	実際使用されている 主な用途
トウモロコシ	害虫抵抗性、除草剤耐性、 高リジン含有、乾燥耐性	液糖、水飴
ダイズ	除草剤耐性、高オレイン酸含有	食用油
セイヨウナタネ	除草剤耐性、稔性回復性、 雄性不稔性	食用油
ワタ	害虫抵抗性、除草剤耐性	食用油（綿実油）
アルファルファ	除草剤耐性	
テンサイ	除草剤耐性	
ジャガイモ	害虫抵抗性	
パパイヤ	ウイルス抵抗性	生食

<メモ>

・「リスク」とは

日本語の「危険」という意味ではなく、「好ましくないことが起きる可能性」であり、起きる程度が極めて低い可能性までをも含めて「リスク」といいます。「リスク」は、何にでも必ずあります。食品の「リスク評価」は、食品中に含まれる危害要因（ハザード）を摂取することによって、どのくらいの確率で、どの程度の健康への影響が起きるかを科学的に評価することです。

(3) 飼料としての安全性評価

飼料として利用する遺伝子組換え農作物については、飼料安全法および食品安全基本法に基づいて、安全性確認を行うことが義務付けられています(p. 6 図2 参照)。

この際、

- ①家畜に対する安全性については農林水産省の農業資材審議会から、
 - ②畜産物のヒトの健康への影響評価については食品安全委員会から、
- それぞれ専門家の意見を聴取した上で、農林水産省による承認の可否が検討されます。

これらの評価についても、食品と同様に、国際機関において検討された考え方に則して安全性評価が行われます。

○遺伝子組換え飼料の家畜などに対する安全性の評価

農業資材審議会において、遺伝子組換え飼料の安全性評価を行うにあたっては、既存の非組換え飼料と比較して、

- ・ 遺伝子組換え技術によって導入された遺伝子の安全性
 - ・ 遺伝子組換え技術によって導入された遺伝子により産生されるタンパク質の有害性の有無
 - ・ 遺伝子組換えで生成された産物の物理化学的処理に対する感受性
 - ・ 栄養素や有害生理活性物質などに関する既存の飼料との差異
- などについて専門家による評価が行われます。

○遺伝子組換え飼料を家畜が摂取することによる畜産物の人の健康への影響評価

食品安全委員会において、遺伝子組換え飼料に関する安全性評価を行うにあたっては、遺伝子組換え食品と同様に既存の非組換え飼料と比較して、新たに加わる可能性のある次のリスクについて評価されます。

- ・ 遺伝子組換え飼料中に組換えによって新たな有害物質が生成され、これが肉、乳、卵などの畜産物中に移行する可能性
- ・ 遺伝子組換え飼料中に組換えによって生成された成分が畜産物中で有害物質に変換・蓄積される可能性
- ・ 遺伝子組換え飼料中に組換えに起因する成分が家畜の代謝系に作用し、新たな有害物質を産生する可能性

このような可能性が想定される場合に、その畜産物を摂取することにより、ヒトの健康に影響を及ぼす可能性が無いかどうかについて評価が行われます。

○承認の状況

上記の評価を経て、我が国で飼料として利用が認められている遺伝子組換え農作物は、2012年(平成24年)5月末現在、トウモロコシ、ダイズ、セイヨウナタネ、ワタ、アルファルファ、テンサイの6作物61品種となっています(表4参照)。

表4 遺伝子組換え飼料の承認実績

作物名	導入形質
トウモロコシ	害虫抵抗性、除草剤耐性、高リジン含有、乾燥耐性
ダイズ	除草剤耐性、高オレイン酸含有
セイヨウナタネ	除草剤耐性、稔性回復性、雄性不稔性
ワタ	害虫抵抗性、除草剤耐性
アルファルファ	除草剤耐性
テンサイ	除草剤耐性

5. 遺伝子組換え農産物・食品の表示制度

1996年(平成8年)、厚生省(現 厚生労働省)は、遺伝子組換え農作物について食品としての安全性を、ダイズ、トウモロコシ、ジャガイモ、ナタネの4作物で初めて確認しました。それ以来、輸入した遺伝子組換えダイズを原料とした豆腐などの遺伝子組換え食品が、製造・販売されるようになりました。

そのような中、遺伝子組換え食品と遺伝子組換えでない食品とを区別して購入できるようにしたいという消費者からの要請を受け、農林水産省は、消費者・製造/流通関係者・学識経験者などからなる諮問機関を設置し検討を行いました(1997年(平成9年)5月~1999年(平成11年)8月)。その最終報告書を踏まえ、農林水産省は、JAS法に基づく品質表示としての表示方法を定め、2000年(平成12年)3月に告示し、2001年(平成13年)4月から実施しています(JAS法:「農林物資の規格化及び品質表示の適正化に関する法律」の略称)。その内容を表5にまとめました。

表示は消費者の商品選択上重要な情報であり、信頼性・実行可能性のある情報提供を行うため、化学的な性質に基づき分類し、指定食品を明確にしたうえで、表示方法が定められています。厚生労働省も、食品としての安全性が日本で未審査のものが国内で流通しないようにするため、食品衛生法に基づいて、表示基準を定めました。その内容は、上記JAS法に基づく表示方法と基本的に同一になっています。

なお、2009年(平成21年)からJAS法、食品衛生法、健康増進法の食品表示規制にかかる事務については、消費者庁が一元的に所掌しています。

義務表示:

- ・ 分別生産流通管理(p18図5参照)された遺伝子組換え農作物を原材料とする場合
→ 「遺伝子組換え」
- ・ 組換え、非組換えを分別していない農作物を原材料とする場合
→ 「遺伝子組換え不分別」
- ・ 従来のもとの組成、栄養価などが著しく異なるもの
→ 例「高オレイン酸遺伝子組換え」

表示不要または任意表示:

- ・ 分別生産流通管理された非遺伝子組換え農作物を原材料とする場合
→ 表示不要 または「遺伝子組換えでない」
- ・ 加工後に組み換えられたDNAおよびこれによって生じたタンパク質が、広く認められた最新の技術によっても検出できない加工食品(大豆油、醤油など)
→ 表示不要(任意表示)

<メモ>

・ 表示のモニタリング

農林水産省および厚生労働省は、それぞれ遺伝子組換え食品に関する表示基準を定めたことにより、国内で流通している対象農産物(8作物目:大豆、とうもろこし、ばれいしょ、なたね、綿実、アルファルファ、てん菜、パパイア)およびその加工食品(33食品群)について、正しく表示がなされているかなどを調べるため、科学的分析によるモニタリングや分別生産流通管理が正しく行われたかのチェックを実施するようになりました。モニタリングの結果は、(独)農林水産消費安全技術センターなどで公表されています。行政によるモニタリングなど、農産物輸出入業者・食品加工業界によるチェックなどが強化されていき、表示や分別生産流通管理が適切に行われるようになると考えられます。

表5 遺伝子組換え農産物とその加工食品の表示制度

2012年(平成24年)5月現在
赤字：表示義務 青字：任意表示

食品の分類		表示方法(「」内は記載例)
従来のもとの組成・栄養素・用途などが著しく異なる遺伝子組換え農産物および、これを原材料とする加工食品	A. 高オレイン酸大豆 高リンとうもろこし B. Aを主な原材料とするもの (除：脱脂加工大豆) C. Bを主な原材料とするもの	「大豆(高オレイン酸遺伝子組換え)」 意図的混合の場合 「大豆(高オレイン酸遺伝子組換えのものを混合)」 [これらの場合食用油でも義務表示]
従来のもとの組成・栄養素・用途などが同等である遺伝子組換え農産物がある作目	農産物 [指定農産物] a. 大豆(含：枝豆・大豆もやし) b. とうもろこし c. ばれいしょ d. なたね e. 綿実 f. アルファルファ g. てん菜 h. パパイヤ	・分別された遺伝子組換え農産物 →「大豆(遺伝子組換え)」 ・分別されていない農産物 →「大豆(遺伝子組換え不分別)」 ・分別された非遺伝子組換え農産物 →単に「大豆」(表示不要の意) or「大豆(遺伝子組換えでない)」
	加工食品 導入DNAまたはそれによって生じたタンパク質が残存する	・分別生産流通管理が行われた遺伝子組換え農産物を原材料とする場合 →「大豆(遺伝子組換え)」 ・遺伝子組換え農産物と非遺伝子組換え農産物とが分別されていない農産物を原材料とする場合 →「大豆(遺伝子組換え不分別)」 ・分別生産流通管理が行われた非遺伝子組換え農産物を原材料とする場合 →単に「大豆」(表示不要の意) or →「大豆(遺伝子組換えでない)」
	導入DNAおよびそれによって生じたタンパク質が残存しない	[例] 大豆油、コーン油、なたね油、綿実油、醤油、異性化液糖、デキストリン、水飴、コーンフレーク、砂糖(てん菜を主な原材料とするもの) これらを主な原材料とする食品

【注】

- 加工食品の表示義務が不要となる場合：
 - 「主な原材料」ではない場合：「主な原材料」とは、全原材料中重量で上位3品目で、かつ、全原材料中に占める重量が5%以上のもの
 - 包装・容器の面積 $\leq 30\text{cm}^2$ の場合
 - いわゆる「対面販売」の場合：「対面販売」とは、加工・調理しその場で消費者に販売する総菜屋など、または、飲食店
- 対象作物・指定食品の見直し：1年ごとに行う。
- 基準自体の見直し：遺伝子組換え農産物およびその加工食品の取扱い状況、国際基準などを踏まえて、行う。
 <具体例>ばれいしょ加工食品(上記25~30)については、分析技術の向上により導入DNAを検出できるようになったので、【指定加工食品】に組み入れられた。

○分別生産流通管理の仕組み（図5）

1999年（平成11年）8月に、遺伝子組換え食品の義務表示の方向が示されたのを契機に、義務表示の対象となる加工食品の原料となるものについては、日本の食品製造業者は、遺伝子組換えではないものを仕分けして輸入するようになりました。

これは、消費者の遺伝子組換え食品に対する懸念が根強いと判断したからです。

遺伝子組換えでないものを仕分けして輸入したことの保証は、アメリカおよび日本における栽培・集荷・保管・輸送・加工などの各段階で、仕分けされたことの証明書により行っています。

そのため、各段階におけるチェック項目が細かく定められています。種子の播種・収穫時の混入防止・農機具/輸送機器（トラック・貨車・船など）/保管施設などのクリーニングなどです。

これを「分別生産流通管理（IPハンドリング）」といいます。

（IPハンドリング：Identity Preserved Handling）

「分別生産流通管理」とは、遺伝子組換え農産物と非遺伝子組換え農産物とが混ざらないように、それぞれの生産・流通・加工の各段階で、善良な管理者の注意をもって分別管理し、その内容を証明する書類により明確にした管理の方法です（日本の品質表示基準）。

<メモ>

・意図せざる混入の許容混入率

現実の農産物および加工食品の取引の実態として、分別生産流通管理を適切に行うことにより、最大限の努力をもって非遺伝子組換え農産物を分別しようとした場合でも、その完全な分別は困難であり、遺伝子組換えのものが最大で5%程度混入する可能性は否定できないことから、我が国では、分別生産流通管理が適切に行われていれば、大豆およびとうもろこしについて、5%以下の意図せざる混入を認めています。（消費者庁：食品表示に関する共通Q&Aより）

○各国の表示基準

表示のルールは国によってさまざまで、表示の実態も異なります。

【米国】

遺伝子組換えについての表示の義務付けは、特段定められていません。しかし、高オレイン酸含有ダイズのように従来のもものと著しく組成・栄養に変化がある場合には、その成分を表示することになっています。

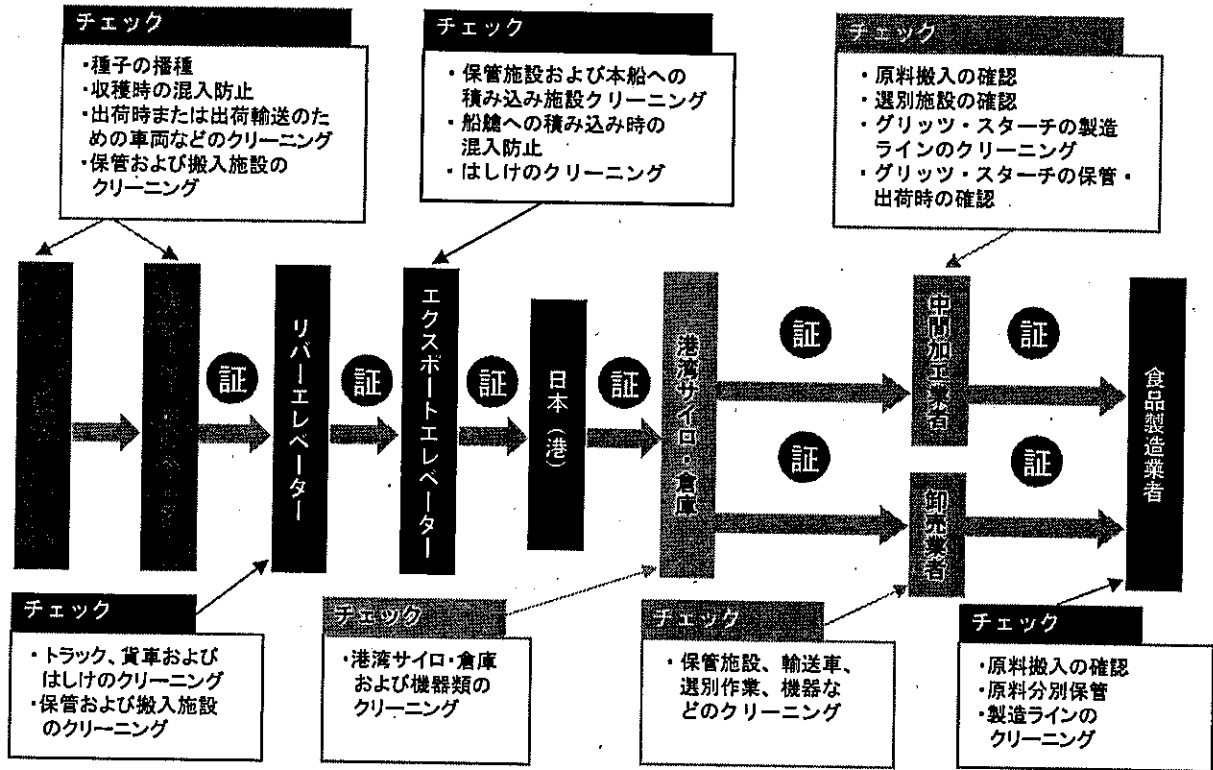
【EU】

遺伝子組換えに関する表示は、2003年（平成15年）に制定された「食品・飼料規則」により、最終製品にDNAを含むか否かに関わらず、遺伝子組換え作物から製造された食品・飼料に表示義務が課せられています。

また、食品・飼料中における非意図的な混入率が0.9%未満の場合に、表示が免除されます。加えて、上記規則と共に制定された「表示・トレーサビリティ規則」により、事業者は遺伝子組換え関連製品の取扱いに関する記録を、フードチェーン全ての段階で5年間保持することが求められています。

図5

米国および日本におけるトウモロコシ、ダイズの流通形態 分別生産流通管理 (IPハンドリング)



カントリーエレベーター：生産域に多数あり、生産農家から農産物を搬入する第一次集荷場
 リバーエレベーター：カントリーエレベーターから集められた農産物を、輸入港まで輸送するための荷積み拠点
 エクスポートエレベーター：輸出用の大型貨物船に農産物を積み込むための港湾荷役施設

<メモ>

○輸入セイヨウナタネのこぼれ落ち調査

農林水産省および環境省では、一般の環境中における遺伝子組換え生物の状況を把握していく観点から、遺伝子組換えナタネや遺伝子組換えダイズの生育状況などの調査（モニタリング調査）を実施しています（農水省：遺伝子組換え植物実態調査【H18～H22】、環境省：遺伝子組換え生物による影響監視調査【H15～H22】）。

これまでの調査によれば、ナタネの輸入港周辺の道路沿いで遺伝子組換えセイヨウナタネの生育が確認されています。

我が国に輸入される遺伝子組換えセイヨウナタネは、「カルタヘナ法」に基づき生物多様性への影響評価が行われてますが、この評価では、何らかの原因で環境に逸出したとしても、生物多様性への影響がないことが確認されています。



セイヨウナタネのこぼれ落ちによる自生

6. 世界における遺伝子組換え農作物の栽培状況

①北米

2011年（平成23年）の時点で、アメリカは世界第1位の6,900万ヘクタールで栽培しており、世界全体における遺伝子組換え農作物の栽培面積の約43%を占めています。

2011年（平成23年）のデータによると、アメリカ国内の作物別栽培面積に占める遺伝子組換え農作物の割合は、ダイズが94%、トウモロコシが88%、ワタが90%、テンサイが95%となっています。

カナダは世界第5位の栽培国であり、ナタネ、トウモロコシ、ダイズ、テンサイ合計で1,040万ヘクタール栽培しています。

②ヨーロッパ

2011年（平成23年）の時点で、EU加盟国27カ国のうち8カ国（スペイン、ポルトガル、チェコ共和国、ポーランド、スロバキア、ルーマニア、スウェーデン、ドイツ）で栽培しており、8カ国の栽培面積は合計で約11万4,507ヘクタールとなっています。そのうち、6カ国（スペイン、ポルトガル、チェコ共和国、ポーランド、スロバキア、ルーマニア）ではトウモロコシを合計で11万4,490ヘクタール栽培しており、2カ国（スウェーデン、ドイツ）ではジャガイモを合計で17ヘクタール栽培しています。

③中南米

2011年（平成23年）の時点で、ブラジルは世界第2位の3,030万ヘクタール、アルゼンチンは世界第3位の2,370万ヘクタール、パラグアイは世界第7位の280万ヘクタール、ウルグアイは世界第10位の130万ヘクタール、ボリビアが世界第11位の90万ヘクタールとなっています。

これら5カ国の栽培面積は合計で5,810万ヘクタールとなり、世界全体における遺伝子組換え農作物の栽培面積の約36%を占めています。

④アジア

2011年（平成23年）の時点で、インドは世界第4位の1,060万ヘクタールでワタを栽培し、中国は世界第6位の390万ヘクタール、パキスタンが世界第8位の260万ヘクタール、ミャンマーが世界第14位の30万ヘクタールとなっています。また、フィリピンは世界第13位の60万ヘクタールでトウモロコシを栽培しています。

⑤アフリカ

2011年（平成23年）の時点で、南アフリカは世界第9位の栽培国であり、トウモロコシ、ダイズ、ワタ合計で230万ヘクタール栽培しており、ブルキナファソはワタを30万ヘクタール、エジプトではトウモロコシを2,800ヘクタール栽培しています。

<メモ>

・遺伝子組換えBt農作物

害虫抵抗性農作物は、もともと土壤に生息しているバチルスチューリンゲンシス (*Bacillus thuringiensis*) という細菌 (Bt菌) が持つ、特定の害虫に対して、殺虫効果を示すタンパク質を作る遺伝子が導入されたものです。このタンパク質は、チョウやガ、またはコウチュウ類の幼虫などに対して選択的に殺虫効果を示しますが、その他の昆虫や、ほ乳類、鳥などの脊椎動物には無害です。

※Bt菌は生物農薬としても既に利用されており、有機農業でも使用が認められています。

表6

2011年(平成23年)に遺伝子組換え作物を栽培した29カ国の栽培状況

2011年(平成23年)度 遺伝子組換え作物総栽培面積 1億6,000万ha

順位	国名	栽培面積	栽培作物
1	米国	6,900万ha	ダイズ、トウモロコシ、ワタ、ナタネ、テンサイ、アルファルファ、パパイヤ、スカッシュ
2	ブラジル	3,030万ha	ダイズ、トウモロコシ、ワタ
3	アルゼンチン	2,370万ha	ダイズ、トウモロコシ、ワタ
4	インド	1,080万ha	ワタ
5	カナダ	1,040万ha	ナタネ、トウモロコシ、ダイズ、テンサイ
6	中国	390万ha	ワタ、パパイヤ、ポプラ、トマト、アマトウガラシ
7	パラグアイ	280万ha	ダイズ
8	パキスタン	260万ha	ワタ
9	南アフリカ	230万ha	トウモロコシ、ダイズ、ワタ
10	ウルグアイ	130万ha	ダイズ、トウモロコシ
11	ボリビア	90万ha	ダイズ
12	オーストラリア	70万ha	ワタ、ナタネ
13	フィリピン	60万ha	トウモロコシ
14	ミャンマー	30万ha	ワタ
15	ブルキナファソ	30万ha	ワタ
16	メキシコ	20万ha	ワタ、ダイズ
17	スペイン	10万ha	トウモロコシ
18	コロンビア	10万ha未満	ワタ
19	チリ	10万ha未満	トウモロコシ、ダイズ、ナタネ
20	ホンジュラス	10万ha未満	トウモロコシ
21	ポルトガル	10万ha未満	トウモロコシ
22	チェコ共和国	10万ha未満	トウモロコシ
23	ポーランド	10万ha未満	トウモロコシ
24	エジプト	10万ha未満	トウモロコシ
25	スロバキア	10万ha未満	トウモロコシ
26	ルーマニア	10万ha未満	トウモロコシ
27	スウェーデン	10万ha未満	ジャガイモ
28	コスタリカ	10万ha未満	ワタ、ダイズ
29	ドイツ	10万ha未満	ジャガイモ

出典：ISAAA（国際アグリバイオ事業団）Brief 43-2011:Executive Summary (2011)

表7

主な作物別遺伝子組換え農作物の栽培面積の推移

	総面積	ダイズ	トウモロコシ	ワタ	ナタネ
1996年(平成8年)	170万ha	50万ha	30万ha	80万ha	10万ha
1997年(平成9年)	1,100万ha	510万ha	320万ha	140万ha	120万ha
1998年(平成10年)	2,780万ha	1,450万ha	830万ha	250万ha	240万ha
1999年(平成11年)	3,900万ha	2,160万ha	1,110万ha	370万ha	340万ha
2000年(平成12年)	4,300万ha	2,580万ha	1,030万ha	530万ha	280万ha
2001年(平成13年)	5,260万ha	3,330万ha	980万ha	680万ha	270万ha
2002年(平成14年)	5,870万ha	3,650万ha	1,240万ha	680万ha	300万ha
2003年(平成15年)	6,770万ha	4,140万ha	1,550万ha	720万ha	360万ha
2004年(平成16年)	8,100万ha	4,840万ha	1,930万ha	900万ha	430万ha
2005年(平成17年)	9,000万ha	5,440万ha	2,120万ha	980万ha	460万ha
2006年(平成18年)	1億200万ha	5,860万ha	2,520万ha	1,340万ha	480万ha
2007年(平成19年)	1億1,430万ha	5,860万ha	3,520万ha	1,500万ha	550万ha
2008年(平成20年)	1億2,500万ha	6,580万ha	3,730万ha	1,550万ha	590万ha
2009年(平成21年)	1億3,400万ha	6,920万ha	4,170万ha	1,610万ha	640万ha
2010年(平成22年)	1億4,800万ha	7,330万ha	4,600万ha	2,100万ha	700万ha
2011年(平成23年)	1億6,000万ha	7,540万ha	5,100万ha	2,470万ha	820万ha

出典：ISAAA（国際アグリバイオ事業団）Brief (2011)

※ 遺伝子組換え農作物の世界における栽培面積

ISAAA（国際アグリバイオ事業団）によれば、2011年（平成23年）における遺伝子組換え農作物の世界の栽培面積は、1億6,000万ヘクタール、栽培国は米国を筆頭に世界29カ国となっています。

7. 海外で実用化されている遺伝子組換え農作物

(1) 生産性向上を目的として

- ①病気に強い トウモロコシ、トマト、パパイヤ、ジャガイモ、プラム、アマトウガラシ、スカッシュ、インゲンマメ
- ②除草剤耐性の ダイズ、トウモロコシ、ワタ、ナタネ、アルファルファ、カーネーション、テンサイ、アマニ、イネ、クリーピングベントグラス、コムギ、ジャガイモ、タバコ、チコリ
- ③害虫抵抗性の ダイズ、トウモロコシ、ワタ、ポプラ、イネ、ジャガイモ、トマト
- ④乾燥耐性の トウモロコシ

が承認されている。

これらのうち、トマト、アマトウガラシ、スカッシュ、パパイヤ、ダイズ、トウモロコシ、ワタ、ナタネ、テンサイ、アルファルファ、カーネーション及びポプラについては、これまでに商業栽培がされている。

(2) 成分や機能などの改変を目的として

- ①有用成分高含有 ダイズ（高オレイン酸）、トウモロコシ（高リジン、耐熱性 α アミラーゼ）、ナタネ（油含量改変）、ジャガイモ（デンプン組成の改変）
- ②有害成分低含有 タバコ（低ニコチン）
- ③日持ち性の良い トマト、カーネーション、メロン
- ④花の色を改変した カーネーション、ペチュニア、バラ

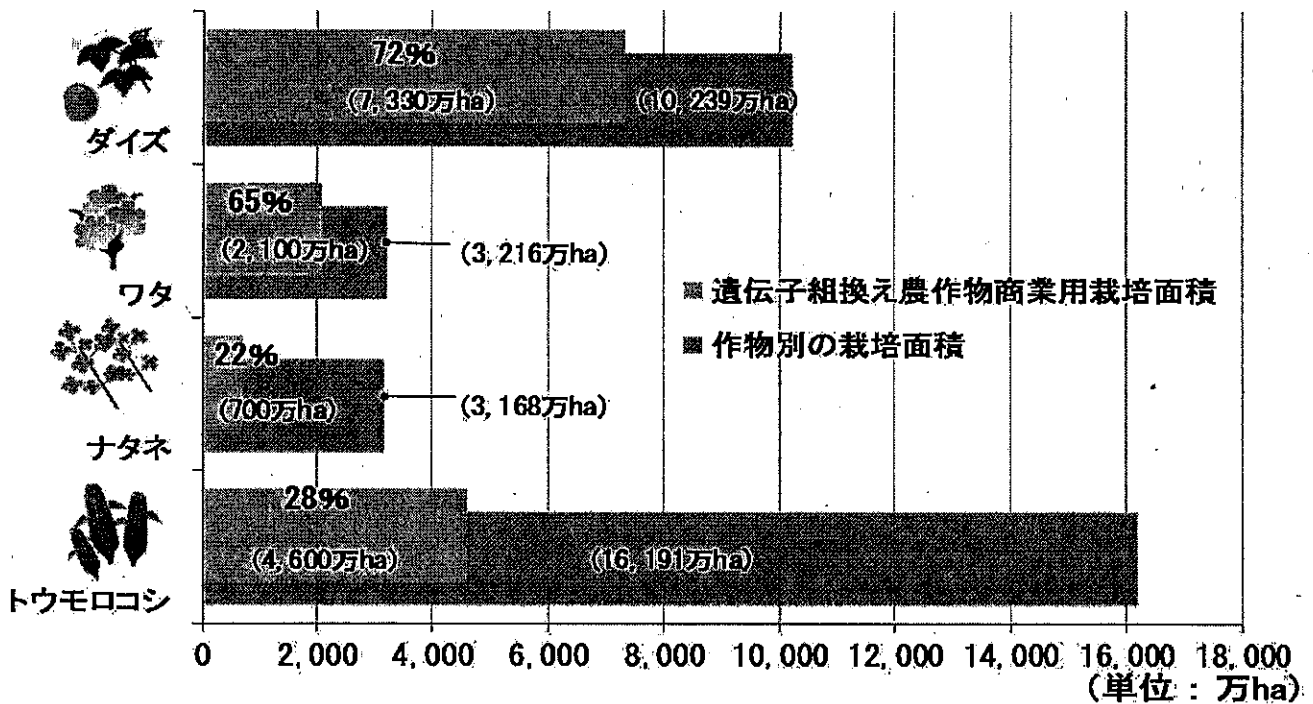
が承認されている。

これらのうち、ジャガイモ、トマト、カーネーション、ペチュニア及びバラについては、これまでに商業栽培がされている。

※ISAAA（国際アグリバイオ事業団）発表の2011年（平成23年）までに各国で食品、飼料又は栽培が承認された農作物を掲載。

図6

主な遺伝子組換え農作物の栽培面積とその割合



出典：ISAAA/FAOSTAT (2010)

表8

我が国のトウモロコシおよびダイズの主要輸入国と当該国における栽培状況

トウモロコシ

我が国への輸入状況 (2011年)

(単位：千トン、%)

生産国	輸入量	シェア
米国	13,768	90.0
ブラジル	888	5.8
アルゼンチン	424	2.8
その他	213	1.4
合計	15,293	100.0

米国国内におけるGMトウモロコシの栽培率 **88%**

ダイズ

我が国への輸入状況 (2011年)

(単位：千トン、%)

生産国	輸入量	シェア
米国	1,894	66.9
ブラジル	533	18.8
カナダ	355	12.5
その他	49	1.8
合計	2,831	100.0

米国国内におけるGMダイズの栽培率 **94%**

資料：財務省貿易統計、ISAAA

参 考

1. 食べ物/生き物

(1) 食べ物と生き物

- ・私たちの食べ物は、元来、すべて生き物から作られます（図7参照）。
- ・ご飯やパンや豆腐などは植物から、ハムやかまぼこやチーズなどは動物から作ります。
納豆やヨーグルトのように生きている微生物をそのまま食べるものもあります。
- ・したがって、栽培・飼育による食料生産とは、生き物を生産することにほかなりません。
- ・食べ物や食料生産について考えるには、生き物そのものを知っておく必要があります。

(2) 生き物と細胞・栄養素・DNA・遺伝子など

- ・あらゆる生き物は、細胞でできています。細胞は、生き物の最小単位です。
- ・細胞の標準的な大きさは、動物・植物では10数 μm （マイクロメートル）、細菌（バクテリア）では1～3 μm 程度です。（1 μm は1mmの1000分の1の長さです。）
私たちの体の1 cm^3 の中には、およそ10億の細胞があります。
- ・細胞の中には、核・ミトコンドリア（以上、動植物とも）・葉緑体（植物のみ）などの細胞内小器官があって、これらが密接な連携のもとにそれぞれの働きをして、細胞としての生命活動を営んでいます（図8参照）。
- ・細胞に含まれる物質としては、水が一番多く、タンパク質・炭水化物・脂質・ビタミンなどがあります（図9参照）。
これらはいずれも、水なら H_2O のように、化学構造式で表すことができる物質です。
- ・核の中には、DNA（デオキシリボ核酸）と呼ばれる物質があり、DNA中でタンパク質を作り出す部分を「遺伝子」と呼びます（p.28図13参照）。
- ・したがって、遺伝子は、DNAという物質であり、生き物ではありません。
また、遺伝子はあらゆる動植物などの細胞中に存在するので、毎日の食べ物の中にも含まれています。

図7

「食べ物」の生産とは「生き物」の生産

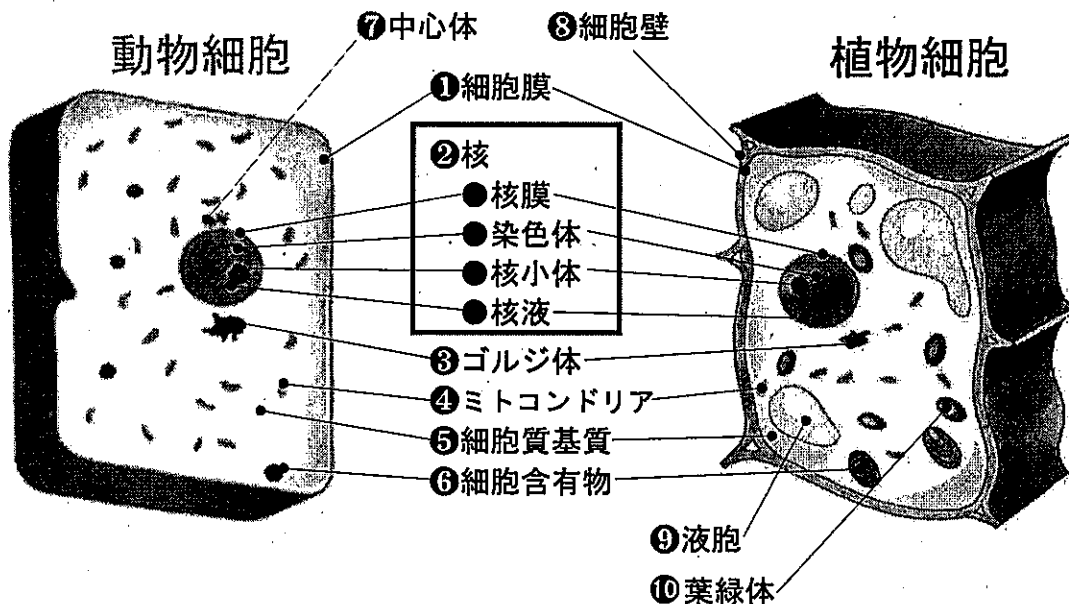
イネという植物(生き物)からご飯になるまで。



図8

細胞の構造

生き物の最小単位:細胞には、様々な細胞小器官がある。

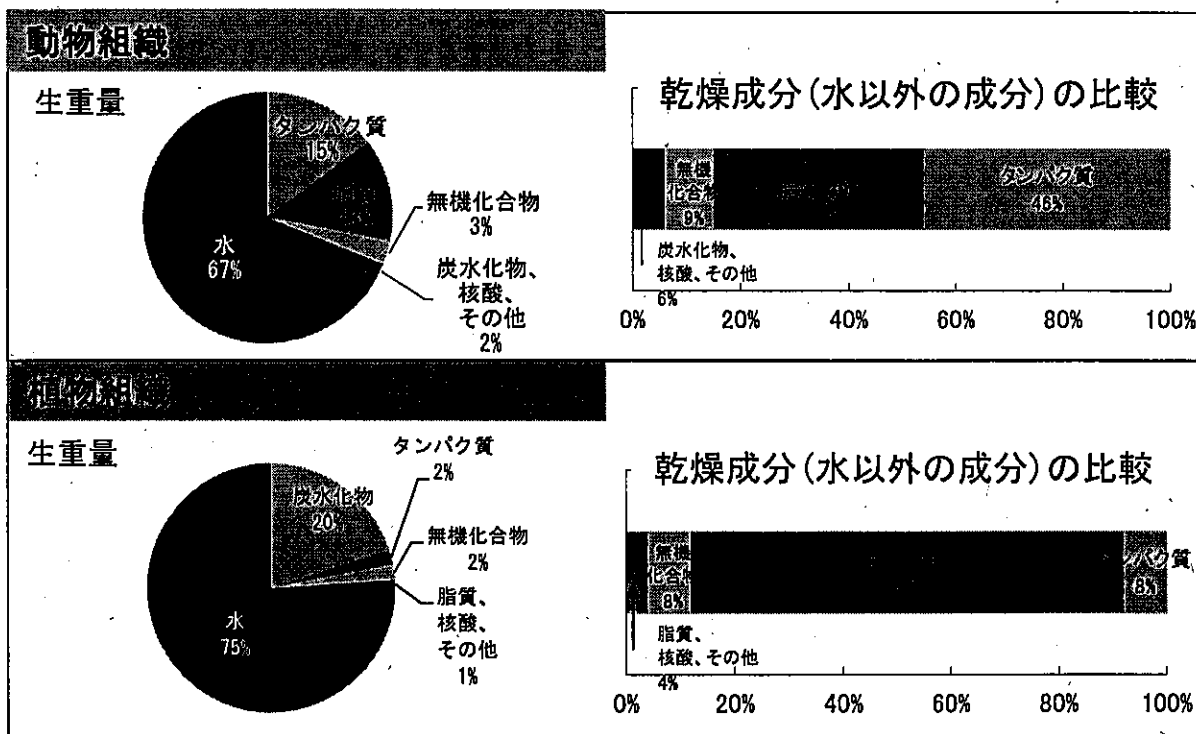


● 動物細胞・植物細胞に共通する器官 ● 動物細胞のみの器官 ● 植物細胞のみの器官

図9

動物組織と植物組織の平均的な化学組成

動物と植物を比較すると、植物では炭水化物が、動物ではタンパク質が主となっている。



(3) 食べ物の消化

- ・食べ物の中に含まれるタンパク質・デンプン（炭水化物）などの栄養素は、消化管の中を移動していく間に、色々な消化酵素によって、次々に分解されていきます（図10参照）。
- ・タンパク質を例にとると次のようになります。
 - ①タンパク質は、20種類のアミノ酸が多数鎖状に結合した物質です。すべての生き物で、同じ20種類のアミノ酸が使われています。
 - ②図10に示したように、ペプシン・トリプシンという消化酵素により段階的に分解され、最終的にはペプチダーゼという消化酵素により、アミノ酸にまで分解されます。
 - ③分解されてできたアミノ酸は、小腸の表面から吸収されて、初めて体内に入ります。そして、血管を通過して細胞に運ばれ、新たに作るタンパク質の材料などになります。
 - ④ほとんどの種類のタンパク質は、消化管の中でアミノ酸にまで分解され、栄養素として吸収されます。

(4) 食べ物と植物との関係

- ・植物は光合成を行い、水や二酸化炭素などから、炭水化物を作り出します。
- ・光合成とは、大気中に約0.03%存在する炭酸ガス（CO₂）と、水（H₂O）から太陽の光エネルギーを利用して糖（C₆H₁₂O₆）を合成し、酸素（O₂）を放出する反応です。
- ・植物は、さらにこの糖（C₆H₁₂O₆）と窒素源（-NO₃, -NH₄など）・ミネラル・水などから、タンパク質・炭水化物・脂質・DNAなどを合成しています。

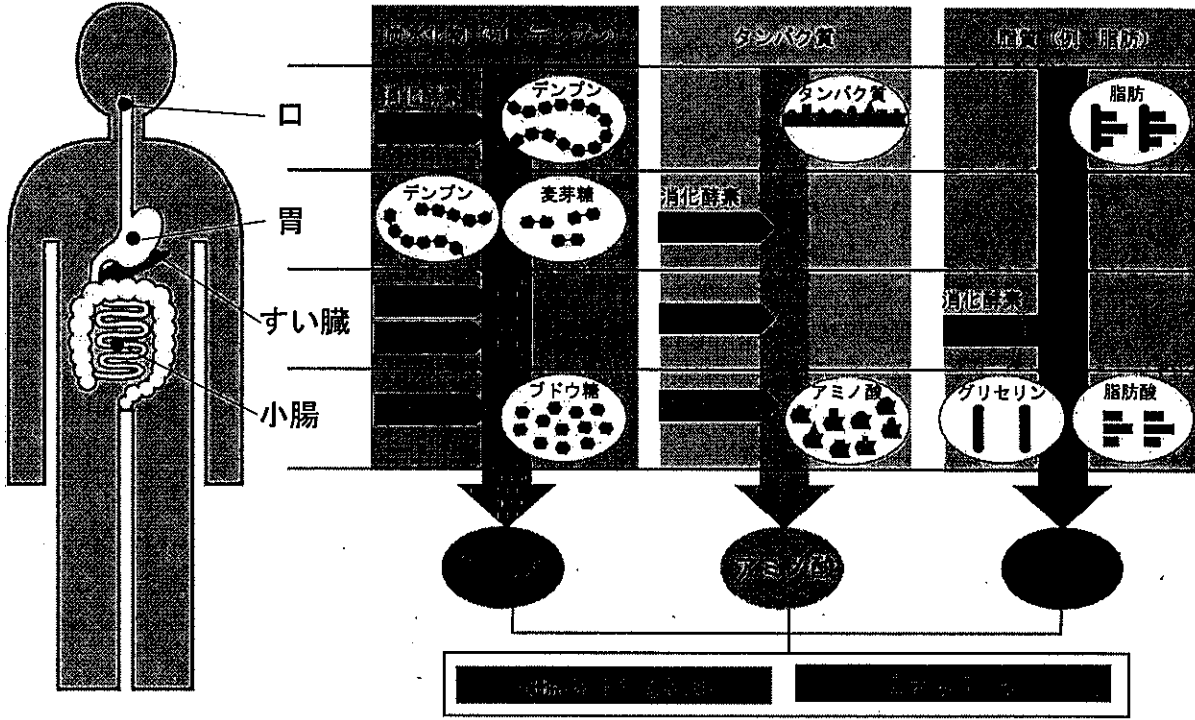
(5) 農作物（植物）の品種改良

- ・私たちの祖先は、約2万年前に原始農耕を始めました。これが、食料生産の起源です。
- ・農耕開始時は野生種を栽培していましたが、その中から選抜・交配による品種改良を行い、野生種とは形質（形状と性質）が著しく異なる栽培種を作り出してきました。
- ・野生種は生存し、子孫を残すのに都合の良い形質になっているのに対して、栽培種は人が利用するのに都合の良い形質に変えられてきています。
例えば、イネの野生種では、繁殖し易いように、穂をゆらせば種子は容易に脱落します。これでは収穫しにくいので、栽培種では種子が容易に脱落しないようになっています。
- ・栽培種のほとんどは、ヒトの手を借りずに子孫を残して生き延びることはできなくなっています。
- ・品種改良の目的はいろいろありますが、すべてなんらかの形質を変えるものです。
 - ①生産性向上：多収性、耐病性、早熟性、短茎性、耐寒性、耐塩性、耐倒伏性など
 - ②食用部分の品質向上：有害成分の低減／除去、有用成分の増加／付与、食味など
- ・品種改良ができるのは、同じ種（species）の生き物の中にも、多様な形質があるからです。

図10

消化器官と消化液による栄養素の消化

タンパク質、炭水化物、脂質は消化・吸収され、細胞の構成材料やエネルギー源になる。



<メモ>

・タンパク質とアレルギー

タンパク質の種類によっては、アミノ酸にまで分解されずに部分的分解にとどまり、その部分分解物がアレルギー（アレルギーの原因物質）になるものがあります。

これまでの研究によって、アレルギーとなるタンパク質は、ある似通ったアミノ酸配列を持ち、胃腸の中の酵素や胃酸で消化され難く、熱にも強いという特徴を持っています。そこで、遺伝子組換えによって新しく作られるタンパク質について、既知のアレルギーとアミノ酸の配列に類似点が無いか、胃腸で速やかに消化されるかなどを調べて、これらの条件に当てはまらないかどうか確認されています。

また、遺伝子組換え食品については、組換えによってこれまでの食品に比べて既知のアレルギーが増加し、アレルギーを引き起こす心配が増えないかなど、様々な角度から確認がされています。

遺伝子組換え食品に含まれるタンパク質の、食べ物としての安全性を調べる上で、アレルギー試験は重要なチェックポイントです。

2. 生き物の形質とタンパク質・遺伝子

(1) タンパク質で生き物の形質が決まる

- ・すべての生き物が持つタンパク質は、20種類のアミノ酸が多数鎖状に結合した物質です（図11参照）。
例えば、ヒトのヘモグロビンは574個のアミノ酸が一定の配列で結合しています。
- ・ヒトには、約10万種類のタンパク質があるといわれています。
- ・これらのタンパク質は、生体内でおきている非常に多種類の化学反応を触媒する酵素として、また、形態維持・輸送・調節・運動（収縮）・情報伝達・防御などに関わるタンパク質として、様々な働きをしています。
- ・これらのタンパク質の働きで、生き物の個々の形質が決まります。

(2) 遺伝子でタンパク質のアミノ酸配列が決まる

① DNA（デオキシリボ核酸）（図12参照）

- ・すべての生き物の細胞の中には、DNAという物質があります。DNAは、親から子に受け継がれます。
ヒトは約60兆個の細胞からなり、一人のヒトの各細胞には同じ化学構造（塩基配列）のDNAがあります。
- ・DNAは、図12のように糖とリン酸が交互に結合しているらせん状の2重の鎖の間を、4種類の塩基という物質が「はしご段」のように並んで結合しています。
- ・4種類の塩基は、アデニン（A）・チミン（T）・グアニン（G）・シトシン（C）です。2重らせんの間「はしご段」は、必ず [A-T] か [G-C] の組み合わせで結合します。
- ・したがって、DNAの化学構造は、ATGCの並び方（塩基配列）で表すことができます。
- ・塩基配列は生き物の種類によって異なりますが、DNAの化学構造は地球上のあらゆる生き物に共通です。

<メモ>

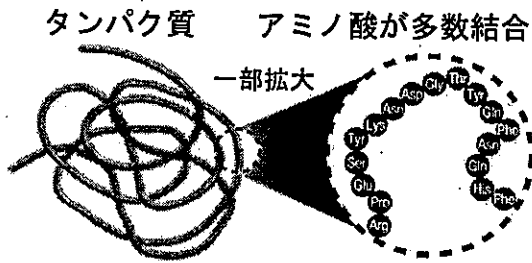
- ・ヒトの細胞
ヒトの1細胞の中には、30億塩基対のDNAが2セットあります。その長さは約2m。
60兆個の細胞全部で、1200億km。地球300万周分です。

② 遺伝子（図13参照）

- ・長いDNA鎖の所々に「遺伝子」と呼ばれる部分があります。
- ・遺伝子には、タンパク質のアミノ酸配列を決める所（構造遺伝子）があります。
3つの塩基の並び方で、ひとつのアミノ酸が決まります。例えば、ATGならメチオニンです。
ATGTGGTTAAGC---ならば、メチオニン・トリプトファン・ロイシン・セリン・---となります。
- ・遺伝子には、転写の時期や量を調節する部分（調節領域）があり、結果として、翻訳されたタンパク質を、いつ・どれくらい合成するかをこの部分がつかさどっています。
- ・調節領域・構造遺伝子・ターミネーター領域 [構造遺伝子からの転写物の終結を決める領域] は連なって存在し、これで遺伝子1個になります。ヒトの場合、1つの細胞の中に、約3万個の遺伝子があるといわれています。

図11 タンパク質とアミノ酸

すべての生き物のタンパク質は、20種類のアミノ酸が多数鎖状に結合した物質。



20種類のアミノ酸

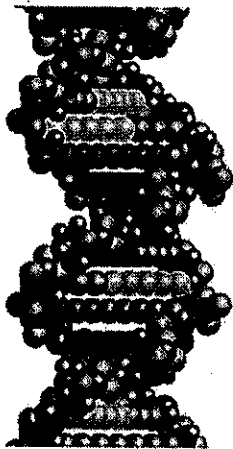
① Gly グリシン	⑥ Cys システイン	⑪ His ヒスチジン
② Ala アラニン	⑦ Met メチオニン	⑫ Asp アスパラギン酸
③ Val バリン	⑧ Pro プロピオンアミノ酸	⑬ Glu グルタミン酸
④ Leu レイチン	⑨ Tyr チロシン	⑭ Arg アルギニン
⑤ Ile イソロイシン	⑩ Trp トリプトファン	⑮ Lys リジン
⑥ Ser セリン	⑪ Asn アスパラギン酸	⑯ Pro プロリン
⑦ Thr チロニン	⑫ Gln グルタミン	

必須アミノ酸: Val Leu Ile Thr Met Phe Trp His Lys

図12 DNA(デオキシリボ核酸)

DNAは、糖とリン酸のらせん状の2重の鎖の間を、4種類の塩基が「はしご段」のように並んで結合している。

空間充てんモデル



二重らせん模式図

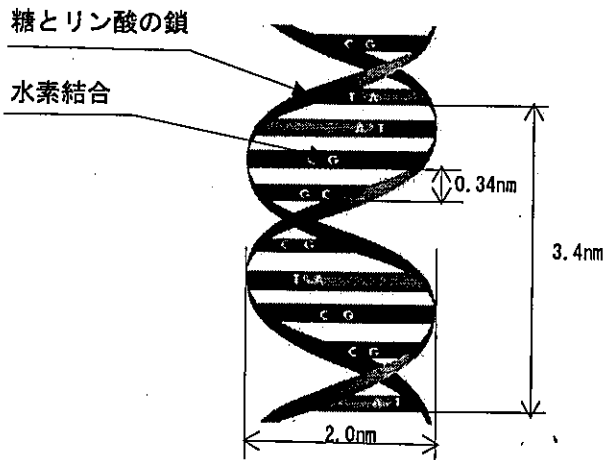


図13 遺伝子

3塩基が1個のアミノ酸に対応し、タンパク質がつくられる。

