

# 種子のはたらき

## 育種について

2002年6月総会時において、生井兵治氏=特別講演



基調講演 ストップ遺伝子組み換え汚染種子ネット 第一回定期総会  
(2002年6月23日  
かながわ県民活動サポートセンター)

## 高等植物の「浮気っぽさ」と遺伝子組換え品種

生井兵治

近年、遺伝子組換えトウモロコシ品種スターリンクなどの花粉飛散による遺伝子汚染が世界的に問題となっています。ところで、高等植物の花粉がどこまでどのように運ばれ遺伝子汚染を引き起こし得るのかということを考える際には、まず、高等植物の生と性の本質、すなわち、高等植物の浮気っぽさについて知る必要があります。

そこで本日は、遺伝子組換え品種による遺伝子汚染問題について、植物育種学と受粉生物学の専門家としての立場から、OHPも使いながらお話したいと思います。

第一部では、高等植物の浮気っぽさの全容を一瞥するために、「植物育種における受粉生物学の体系化」と題して私の研究史をお話します。植物の生と性を総合的に把握する上で、受粉生物学や生殖生物学が基礎となることを、ご理解いただけるでしょう。

第二部では、まず、生物界を総合的に見るための基礎として、(1) 全生物に共通する根源的な二つの矛盾(個体維持と種族維持の矛盾、遺伝性と変異性の矛盾)ならびに、問題の所在を共通認識するための基礎として、(2) 高等植物の遺伝体系における遺伝子組換え技術の位置づけについて述べ、つぎに(3) 高等植物の巧みな生活史戦略と有性生殖過程の意義として、とくに遺伝子汚染の主要因となる花粉流動に関連して、①生活史の各段階における適応戦略に力点を置き、生殖様式の連続性と可変性、生殖様式に関係する諸々の花器形質、花粉媒介者と生殖様式、雌蕊と雄蕊の寿命、花粉流動の範囲、生殖的隔離機構の可変性などについて言及してから、②有性生殖過程の意義を論じ、③自然の有性生殖と人為的な遺伝子組換えとの根本的差異について言及します。そして最後に、これらの基礎知識のうえに立って、(4) 隔離採種の方法について、採種圃場で異品種との混交をゼロにすることの困難性を訴えます。

なお、全体を通じて強調したいことは、生物現象を考えたり追究する際の基本としての「あご・ほっぺ理論」(生井 1998, 2002)です。顔には、可変性に富む「あご」(ピン)と「ほっぺ」(キリ)がありますが、両者の間に境目はありません。事ほど左様に、本来、生物現象は、「あご・ほっぺ理論」に基づいて、ピンからキリまでが連続的な系であるという大前提に立つべきです。この理論は、あらゆる生物現象が両極端のピンとキリだけしか存在しないのではなく、ピンからキリまで連続的であり、ピンとキリ自身にしても固定的ではなく可変性に富むという基本認識を持って欲しいと思い、生物現象を「あご」と「ほっぺ」の関係になぞらえて私が提起しました。残念ながら、初等中等教育におけるすべての教科書や、高等教育における多くの専門書は、いわば「ピン・キリ理論」に基づいてピンとキリのことしか述べていません。このような教科書や専門書を使った教育では、いくら学習しても生物現象を総合的かつ動的にみる力はつきません。まずは、「あご・ほっぺ理論」で柔軟な頭を養いましょう。

(『たね』3号に掲載)

載)

実践研究に基づく = 生井氏の提言 = 遺伝子組み換え技術は未完  
「高等生物の浮気っぼさ」と「あご・ほっぺ理論」

★ 植物の生と性を総合的に把握 ← 植物育種学と受粉生物学

<教科書的な植物の二分はあり得ない>

有性生殖 = = 無性生殖

教科書的には無性生殖だけを行う植物とされていても、実際には有性生殖も行う場合が多いので、交雑による遺伝子の移動（遺伝子流動）が起こり得るのが現実です。

●栄養繁殖植物の一部では、種子も形成します。しかも、有性生殖による種子を結ぶ植物（サツマイモ）もあれば、無性的種子形成による種子を結ぶ植物もあります。

●受粉を必要としない植物には、ドクダミやセイヨウタンポポ、シロバナタンポポなどがあります。

セイヨウタンポポは三倍体（ $2n=24$ ）、シロバナタンポポは五倍体（ $2n=40$ ）です。これらの植物では、胚珠（卵）の形成過程で減数分裂を途中でやめてしまい、体細胞と同じ元の染色体数にもどって、受精なしに分裂を始めて種子となります。ただし、セイヨウタンポポの調査によれば、まれには二倍体の胚珠と同様の $n=8$ の卵も形成することがあり、これが在来の他殖性植物である二倍体のカントウタンポポ（ $2n=16$ ）の花粉を受け入れて、二倍体の種間雑種が形成される可能性があります。また、花粉の形成過程では、減数分裂がうまくいかず不稔花粉が多いのですが、なかには稔性花粉（ $n=16$ または $24$ ）も形成され、これがカントウタンポポの雌蕊に他家受粉されて種間雑種ができることがあります。このようにして、現在では両種の中間的なタンポポが各地に見られるようになっています。

自殖性 = = 他殖性

自殖性の高い植物（イネなど）でも、数%の他殖種子が混じることが多いのです。

農林水産省のジーンバンク（在つくば市）で遺伝資源として保存されている在来イネ品種の種子を調べてみると、品種名はモチ米なのに全種子がウルチ米だったり、モチ米とウルチ米が混在したりしている場合があります（表1）。これは、作物としては自殖性の高い植物に分類されているイネでさえ、知らぬ間に品種間で遺伝子の移動が起こっていることの動かぬ証拠です。

同名保存品種内の系統におけるモチ・ウルチ性	該当品種数	調査系統数	系統数		
			モチ	混合	ウルチ
モチ系統のみ	7	20	20		
ウルチ系統のみ	9	29			29
モチ・ウルチ系統が混在	8	25	14		11
同上および混合系統が混在	3	11	4	3	4
合計	27	85	38	3	44

表1. 在来イネ遺伝資源とくにモチ米品種における混交事例（加藤・生井 1987a）

種間雑種は起こるもの！

通常は生殖的隔離機構が働く種間でも、例えばハクサイとキャベツやダイコンとキャベツなどのような近縁種間では受粉の様態によって生殖的隔離機構が弱まり種間雑種を生じることがあります。

●ダイコンとキャベツの混合受粉による雑種獲得率の向上など、受粉の様態による生殖的隔離機構の可変性も、自然界においてハクサイの祖先種とキャベツの祖先種が地中海西方で出会い、両種の間で種間雑種ができてしまいナタネ（菜種）が成立したのも、両祖先種が個体維持にあまり適さない不良環境下で育った上に、両種の花粉が混合受粉したことによるものと考えられます。同様に、カラシナ類もハクサイ・カブの祖先種（AA）とクロガラシ（BB）との種間雑種としてトルコか中近東で成立し、中国大陸で多様な分化をみたものと推定されています

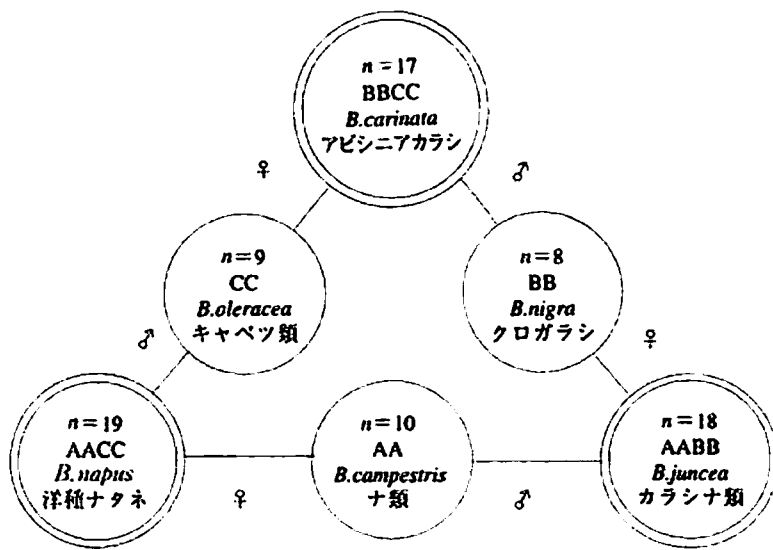


図11. アブラナ属作物における6種の間の種類関係(U 1934)

<種子の遺伝子移動は、あって不思議ではない>

種子の混入・埋土と花粉の飛散(花粉流動)による遺伝子の移動

厳密に見れば、多くの植物は自殖種子と他殖種子をある割合で結実する混殖性植物です。その上、物理的混入があります。

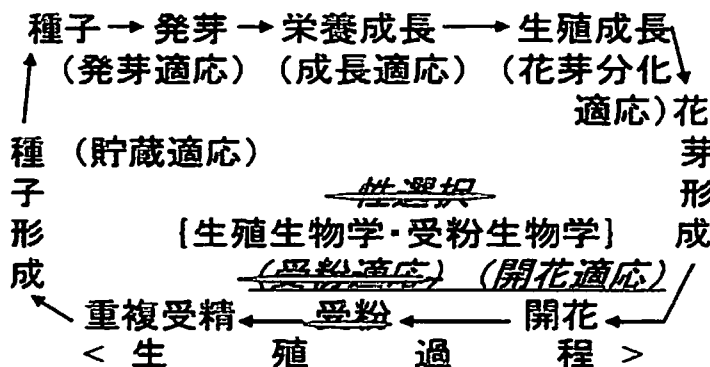
●ある植物集団の種子が他の植物集団に物理的に混入してしまうことは、種子の形成過程の如何を問わず起こり得ることで。この場合の物理的混入は、収穫までの栽培圃場ではもちろん、収穫後の種子の輸送・選別・調製中などにも起こり得ます。

いずれの場合でも、基本的には人為的または機械的な手立てによって、異品種種子の混入発生率はかなり低下させることが可能です。ただし、手立てが不十分なために異品種間で種子の混入が起こってしまった場合には、その種子ロット自身が不純となるばかりでなく、その種子を圃場に播種すれば花粉の飛散に起因する有性生殖によって品種間での遺伝子の移動が1圃場内で起こり得ますので、遺伝子汚染の波及効果が著しく拡大されます。さらに、異品種種子の物理的な混入がない純潔な種子を播種したとしても、開花中に他の圃場から異品種の花粉が飛散してくれば、交雑してしまう可能性があり、結実種子の純潔が保てないこととなります。

●採種圃場で種子が落下して土壤中に埋もれ埋土種子となった場合には、カラシナ類だと数年間は休眠しており、土が耕されて埋土種子が地表近くに移ると発芽します。このような種子休眠性を備えた植物の採種栽培を行った圃場で、二～三年後にまた同種の異品種を採種栽培すると、休眠から覚めた種子が発芽(出芽)して開花し、異品種間での花粉の飛散に起因する遺伝子の移動が起こることになります。

<高等植物は、混殖性植物>

高等植物(高等動物も同じ)は、長い進化の過程で個々に巧みな生活史戦略を構築し、有性生殖を伴う生活環(世代交代)において、「個体維持と種族維持」、「遺伝性と変異性」という二組の相対立する矛盾を、生息環境などの変化に応じて巧妙に操って統一しながら適応と分化を続け、現在に至っています。



絶対的な他殖性植物は無いといつて良いくらいです。自殖性の高い植物でも、絶対的な自殖性植物は無いといつて良いくらいで、花粉媒介昆虫の直接または間接的な助力を必要とする植物が多く、たとえ自家和合性が高くても花粉媒介昆虫を必要とする植物がほとんどです。

実際は両者の間に境目はなく、他殖性の極めて高い少数の植物から自殖性の極めて高い少数の植物まで連続的に様々な植物があるのです。それら大多数の植物は、種々の程度に不完全な他殖性あるいは自殖性を示し、いろいろな割合で他殖種子と自殖種子とを混ぜて結実する混殖性植物です。

## ☆ 遺伝子組み換え植物 ← 植物の生と性の総合的把握

### <遺伝子組み換え技術は急ぎすぎ>

#### 安全性評価

遺伝子組換え植物の安全性評価：自然界では経験のない遺伝子組換え植物の地球環境への生態的影響や人体への安全性の評価には、何世代もの長年月を要する総合的基礎研究が不可欠であり、いまだ未完の技術です。

#### ●花粉の影響

農水省によるトウモロコシ花粉飛散の調査研究：2002年1月、農林水産省は昨年度に行ったトウモロコシ花粉飛散の調査研究（中間報告）を発表しました。畜産草地研究所の調査では、受精能力をもつ花粉の飛散距離は250m地点までだということです。ただし、花粉源の植物集団から実際に放出される花粉の飛散量と飛散距離（花粉流動の大きさと距離）は、同じ地理的・気象的環境条件でも、植物集団の大きさ（個体数、個体あたり総花数、各花あたり花粉生産量などによる植物集団あたり総花粉生産量）と、花外への花粉放出が起こり易い花器特性に強く依存します。まして、外圍環境が異なれば、総花粉放出量と花粉飛散の様相は一層変異に富み複雑です。ですから、ある条件下の調査結果を普遍的な値にはできません。

2000年3月14日に農林水産技術会議事務局が発表したプレスリリース「害虫抵抗性遺伝子組換えトウモロコシの安全性確認について」では、Btトウモロコシの「花粉による影響を受ける可能性は、実際上無視し得るほど小さいと判断される。」とありますが、花粉源となるトウモロコシ圃場の面積などの試験設計がみられません。この調査の詳細（作付面積36.3a、総個体数19,457本、圃場縁から20m以内に約82%の花粉が落下することなど）は、2002年3月発行の農業環境技術研究所報告21に掲載されていますが、上記の結論を出した技術会議の組換え体利用専門委員会や同植物小委員会では、風向や花粉生産量などを含め、どれほど詳細な情報をもとにこの結論を出したのでしょうか。

問題を抱えた遺伝子組換え品種の栽培において同様のことが生じれば、結果的には花粉の飛散に起因する有性生殖によって品種間での遺伝子の移動による遺伝子汚染をつぎつぎと引き起こすことになります。

程度の差こそあれ混殖性を基本とする有性生殖では、実った種子にはかならず両親（雌雄の配偶子）が存在するので、親子間の遺伝子移動には個体間（両親）の遺伝子の交じり合いが加味され、基本的に遺伝的変異が生じます。したがって、この種の植物の遺伝子組換え植物で生じ得る遺伝子汚染は、花粉の飛散（花粉流動）による遺伝子の移動（遺伝子流動）が極めて大きな原因となり、他殖性の高い植物はもちろん、自殖性の高い植物でも種子親または花粉親として問題となり得るわけです。

#### ●環境汚染

除草剤耐性などを付与された遺伝子組換え品種が、同種の非組換え品種や近縁種の近傍に栽培されれば、植物の種類によって難易度は異なるが組換え品種と非組換え品種との間で、花粉飛散に起因する交雑によって遺伝子移動が起こり得ます。さらに、虫媒・風媒を問わず、植物の内的・外的要因と受粉の様態とによって、交雑不親和性が弱まったり、植物個体としての生殖成功率、さらには受粉花粉の生殖成功率や受粉花胚珠の生殖成功率（結実率）が変化することがあります。ですから、近縁の種間や属間で、雑種が形成されることがあるわけです。

遺伝子組換え植物が花粉源となり、他の非組換え植物品種集団（個体）への花粉流動と遺伝子流動（集団間での遺伝子の移動）は、同一種内であれば容易に起こり環境汚染の原因となります。異種間でも、生殖的隔離機構（交雑不親和性）は諸々の要因によって変動するため交雑することがあり、環境汚染の原因となり得るわけです。

遺伝子組換え植物の花粉が活力を保ったまま花粉媒介昆虫や風に運ばれることによって、同種内の他品種や近縁種との間で遺伝子の移動が起こり得ることになり、生態系に大きな影響を与えたり、食品としての品質や安全性に不安が生まれる可能性があります。種々の作物と近縁野生種などとの間で双方向での自然交雑が起きていることは、昔から植物育種の専門家の間では良く知られたことです。

### 不定な遺伝子座（遺伝子の位置）＝ 遺伝子の相互作用

染色体上における個々の遺伝子の位置（遺伝子座）は決まっています。そして、有性生殖をおこなう際に配偶子形成の重要な過程である減数分裂において、両親からの相同染色体の間で起きる染色体の一部に乗換えが生じることによる一部の遺伝子の組換えは同一遺伝子座内の組換えを基本とします。

一方、いわゆるバイテクによる遺伝子組換え技術による組換えでは、組込まれる遺伝子の染色体上の位置が不定です。しかも、個々の遺伝子の形質発現は、個体の内的・外的環境に依存している上に、近傍などに位置する他の遺伝子座との間の遺伝子の相互作用などによって変動することがあります。ここで、遺伝子の相互作用とは、異なる遺伝子座の遺伝子の間に生じる共同の結果として、ある遺伝子が本来の形質を発現しなかったり、通常とは異なる形質を発現したりする現象のことです。

遺伝子組換え技術によって外来遺伝子を導入しても、目的形質を正常に発現しなかったり、目的形質は発現しても他の農業形質に悪影響を及ぼしたりする事例に事欠かないという現実、主として遺伝子の相互作用が原因です。したがって、今日の遺伝子組換え技術は、遺伝学的にみて未完成の技術であり、危険性を伴い得るものですから、急いで事を仕損じることにならないようにしましよう。

●**人畜に対する安全性**

異なる遺伝子座間の遺伝子の相互作用は、通常の遺伝体系のなかでも生じています。しかし、現在に生きる私たちは、長い栽培の歴史の過程で取捨選択し、人畜に有害な特性をもたない安全な植物だけを食しています。1万年以上にわたる野生植物の作物化の歴史は、人畜に対する安全性向上の歴史でもあったのです。しかるに、今日における遺伝子組換え植物の栽培化は、「実質的同等性」を確認した後、あまりにも安易に安全性のお墨付きを与え、普及・振興に急ぎ過ぎています。

●**「スターリンク」コーンは、性急応用の例**

2000年、米国と日本で問題となったトウモロコシ品種スターリンクは、遺伝子組換え技術によって殺虫性遺伝子を導入した性急さの弊害を示す好例です。わが国で栽培されるトウモロコシ種子の9割は米国からの輸入であり、昨年、飼料用トウモロコシ14品種のうち4品種の種子から、国内栽培未承認の遺伝子組換え品種のもつ導入遺伝子が混入率は1%未満と低いですが見つかり、1品種にはスターリンクも混じっていました（「ストップ遺伝子組換え汚染種子ネット」と「週刊金曜日 買ってはいけない基金」による共同調査）。昨今では、メキシコで遺伝子組み換えトウモロコシ品種の花粉飛散による在来種への遺伝子汚染が報じられるなどの事態も起きています。このような顛末は、遺伝子組換え品種の種子を異品種の種子に意図的に混入しなくても、遺伝学的ならびに受粉生物学的には起きて当然の帰結です。

したがって、持続的農業の発展を目指す植物育種の場合、個体・個体群（集団）ならびに生態系としての植物の生と性の実態に則した技術体系の発展、つまり可能な限り自然の有性生殖の原理に矛盾しない技術体系の開発と利用を進めるべきです。植物バイテク研究者たちは、やたら縁の遠い微生物から目的遺伝子を探して高等植物に導入し、短時日で実用化を図ることばかりに奔走せず、もっと地道な基礎研究や、近縁の植物からの遺伝子導入を可能とするための応用研究に精を出しましょう。

●**「実質的同等」と「隔離距離」**

鉢植え個体の花ごとあるいは花序ごとに人工授粉する場合でも、数個体から数十個体をまとめて植えて行う小規模な採種栽培でも、さらには大面積の採種圃場で行う大規模な採種栽培でも、教科書的な自殖性植物・他殖性植物の別に関係なく何らかの方法による隔離が必要です。しかも、植物の種類を問わず、屋外では集団外に花粉飛散をまったくさせない栽培法は、基本的にはありません。ですから、遺伝子組み換え品種における「実質的同等」による「安全」は、原子力利用の安全神話が東海村の民間企業によってお粗末な形で崩壊したごとく、絶対ではありません。

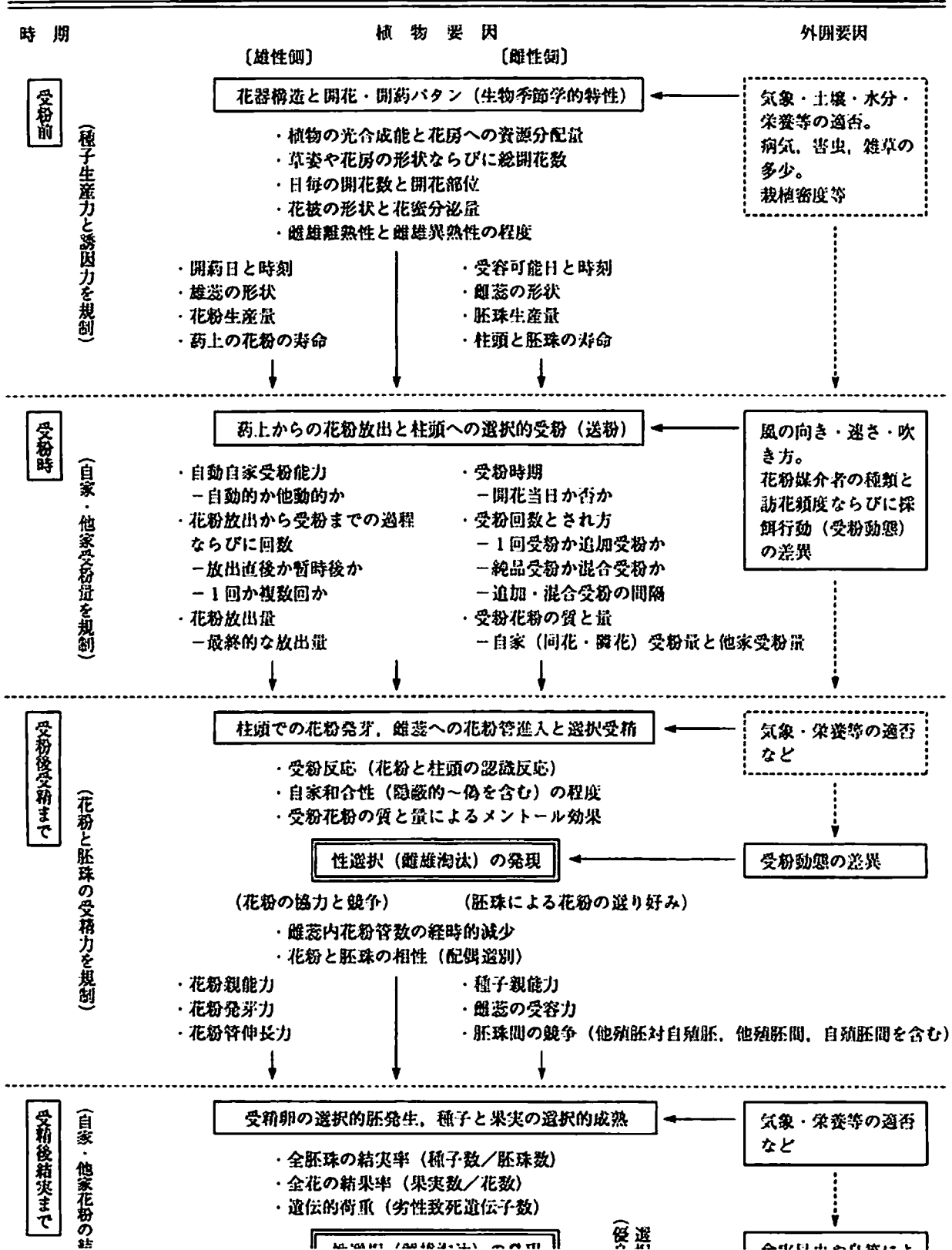
さらに、国際的あるいは各国ごとに採種栽培の指針として示している個々の栽培植物における採種圃場と他の同種集団との隔離距離は、採種栽培において隔離集団（品種）が他品種との混交による純度低下を生じる危険を削減するための目安に過ぎません。すなわち、混交の程度を商業ベースの許容範囲内（「野菜の指定種苗の生産等に関する基準」－農水省告示第1666号、1983年－では、シュンギクとニンジンの市販種子は5%以内、その他の市販種子は2.0%以内）に収めようというだけのことであり、それだけの隔離距離をとれば混交が完全に防げるということではありません。

表14. 一代雑種トウモロコシ品種の採種栽培面積に応じた隔離距離と番外区の畦数

Minimum distance from other corn	Field Size	
	1 to 20 acres	20 acres or more
-foot-	(Minimum) border rows	
410	0	0
370	2	1
330	4	2
290	6	3
245	8	4
205	10	5
165	12	6
125	14	7
85	16	8
0	-	10

<急いては事を仕損じる遺伝子組み換え植物>

遺伝子組換え植物の花粉飛散による遺伝子汚染に端を発し、採種栽培圃場の隔離距離が国際的にも再検討されています。しかし、圃場での混交を完全にゼロにすることは受粉生物学的に困難なので、正逆両方向での混交が起こり得ます。ですから、遺伝子組換え植物については、「急いては事を仕損じる」です。個々の生物現象はピンからキリまで連続的で、かつピンとキリは高い変異性を有するので、個々の生物現象を「あご」と「ほっぺ」の関係になぞらえた「あご・ほっぺ理論」(生井 1998, 2002)に基づく技術体系を構築し、農と食を守り育てましょう。



実力を規制

性選択（雌雄両性）の表現

- ・非無作為的摘果（摘花）
- ・活力旺盛な適応度の高い種子

性的結実の  
胚珠の

長官地虫で幼虫による  
選択的食害など

図10. 植物の有性生殖過程の各場面で性選択が起こり得る諸要因(概念図)(生井 1997b)

※特別講演に関して無断掲載、転載を禁じます。

[種子ネット・目次](#)