

どの食品添加物などにPは多く含まれるので、むしろ過剰摂取に注意を払う必要がある。

**ナトリウム (Na)** Naは細胞外液の浸透圧やpHの調節、細胞への物質の取り込みなどに関与する。Naは食塩(調味料)として頻繁に用いられるため、摂取不足よりも過剰摂取が問題となる。Naの摂取過剰は高血圧のリスクを増加させる。日常の食事、特に加工食品にはかなりの量の食塩が含まれているので、注意が必要である。

**カリウム (K)** Kは細胞の浸透圧やpHの調節の機能、神経の興奮などの役割をもつ。野菜などの植物性の食品に多く含まれ、高血圧の予防効果がある。

**鉄 (Fe)** Feは血液のヘモグロビンや筋肉のミオグロビンの成分、エネルギー代謝に重要なシトクロムcの成分として機能している。Feの不足はヘモグロビンの構成成分であることから貧血の原因となり、若い女性の貧血は鉄欠乏によることが多い。Feは微量元素であり、必要量も少ないが、摂取量も少なく、Caとならぶ摂取不足傾向のあるミネラルである。肉類、海藻、ホウレンソウなどに多く含まれる(表2-10)。

表2-10 食品中の鉄含量

食品名	含量 (mg/可食部100g)
牛肉(ひき肉)	2.4
牛肉(国産牛ロース赤肉)	2.4
豚肝臓	13.0
鶏肉(もも)	2.1
生卵	1.8
アユ(天然焼き)	5.5
ウルメイワシ(丸干し)	4.5
サンマ(皮つき焼き)	1.7
マグロ(きはだ生)	2.0
ワカメ(素干し)	2.6
切り干しダイコン(乾)	3.1
ホウレンソウ(生)	2.0
干しブドウ	2.3

「日本食品標準成分表2015」より

3価のFe( $Fe^{3+}$ )は小腸内で不溶化しやすく吸収されにくい。アスコルビン酸(ビタミンC)により2価( $Fe^{2+}$ )に還元すると吸収されやすくなるので、野菜などのアスコルビン酸はFeの吸収を促進する。また、ミオグロビンやヘモグロビンのような肉類に含まれるFe(ヘム鉄)は植物のFe(非ヘム鉄)に比べると吸収されやすい。

大豆など豆類に含まれるフィチン酸(図2-26)はFeと強く結合し小腸からの吸収を低下させる。また卵黄に含まれるPを多く含むホスビ

チンというタンパク質も、Feと強く結合してFeの吸収を阻害する。

**亜鉛 (Zn)** 種々の酵素の構成成分として含まれる。食品では肉類、卵類、魚介類に多く含まれる。Znは通常の食生活を営んでいる限り欠乏の恐れはないが、かつて中心静脈栄養のような人工栄養にZnが添加されなかった際に欠乏が認められたことがある。Znの欠乏により、味覚異常や食欲不振が起こる。

**その他のミネラル** その他のミネラルの分布、必要量、給源については表2-8に示した。微量元素は通常の食生活で不足することはないが、植物の生育土壌によっては欠乏植物が生育し、その摂取で欠乏症状を示すことがある(例えば、セレン欠乏による<sup>けしやん</sup>克山病)。一方、微量元素には過剰障害も起こりうるので注意が必要である。

#### (4) 酸性食品とアルカリ性食品

食品の一般分析では、総ミネラル量を「粗灰分」として表す。粗灰分は食品を550℃で加熱し有機物を燃やした残りをいう。この加熱残さを水に溶かすと酸性を示すものを「酸性食品」、アルカリ性を示すものを「アルカリ性食品」という。食品中に硫黄(S)、リン(P)、塩素(Cl)が多く存在(例えばタンパク質や核酸)すると酸性食品となることが多い。一方、CaやMgなどの金属が相対的に多く含まれる食品(野菜類など)の灰分を溶かした溶液はアルカリ性を示す。酸性食品を摂取し過ぎると血液が酸性になり体に悪いので、アルカリ性食品を摂取すべきであるという俗説もあるが、これは明らかな間違いである。血液のpHは約7.4であるが、きわめて緩衝能が高く、食品の摂取でpHが変化することはない。しかし、CaやMgの補給、これらが多く含まれる野菜類の食物繊維、ビタミンの摂取を促すためにアルカリ性食品の摂取を多くするように心掛けることは大切である。

## 2-1-6 ビタミン

### (1) ビタミンとは

ビタミン(vitamin)は、炭水化物、タンパク質、脂質のようにエネルギー源や体組織の構成に直接関与しないが、微量で種々の生体反応の調節に関与する有機物質である。また、ヒト(動物)の体で全く、あるいは大部分を合成することができないので、その欠乏が疾病として現れる必須栄養素である。例えば、ビタミンPとよばれるルチン、ヘスペリジンは微量で種々の生理作用があるが、欠乏症状がないのでビタミンではない。

ビタミンは大別して水溶性ビタミンと脂溶性ビタミンがある。水溶性

ビタミンは水に溶ける化合物で、ビタミン B<sub>1</sub>、ビタミン B<sub>2</sub>、ビタミン B<sub>6</sub>、ビタミン B<sub>12</sub>、ナイアシン、パントテン酸、ビオチン、葉酸、ビタミン C などがある。水溶性ビタミンの多くは、生体の種々の代謝反応（酵素反応）における補酵素の成分となる。したがって、その酵素反応にとってはビタミンが必須成分である。脂溶性ビタミンは水に溶けず、脂質に溶けやすい。ビタミン A、ビタミン D、ビタミン E、ビタミン K がこれに相当する。

一般に水溶性ビタミンは水に溶けやすいので尿へ排泄されやすく、欠乏症が起こりやすいが、脂溶性ビタミンは生体膜などの脂質に溶けて蓄積されやすいので欠乏は起こりにくく、逆に過剰症が認められる。また、アルコール依存症や激しい運動、疲労時にはビタミンの需要量が増加し、欠乏が起こりやすい。

## (2) 水溶性ビタミン (表 2-11)

表 2-11 水溶性ビタミン

名称	化学名	反応	欠乏症	摂取推奨量 (mg/日)
ビタミン B <sub>1</sub>	チアミン	酸化的脱炭酸など	脚気、多発性神経炎	1.4
ビタミン B <sub>2</sub>	リボフラビン	酸化還元反応	成長停止、口内炎	1.6
ナイアシン	ニコチン酸、ニコチン酸アミド	酸化還元反応	ペラグラ	15
ビタミン B <sub>6</sub>	ピリドキシンなど	アミノ基転移反応など	皮膚炎	1.4
パントテン酸		CoA が関わる反応	皮膚過敏症	5
ビオチン		カルボキシル基転移反応	皮膚の紅斑炎症	0.05
葉酸		C1 転移	巨赤芽球性貧血	0.24
ビタミン B <sub>12</sub>		アミノ酸代謝	悪性貧血	0.0024
ビタミン C	アスコルビン酸	水酸化反応、抗酸化	壊血病	100

推奨量は 18~29 歳男性の値。青字は目安量「日本人の食事摂取基準 (2015)」より

ビタミン B<sub>1</sub> (図 2-27) はハト脚気防止因子として、1910 年にわが国の鈴木梅太郎が米ぬかから発見し、オリザニンと命名した。1912 年にイギリスの Funk も脚気防止因子として別途発見し、これがビタミン研究の始めとなった。

ビタミン B<sub>1</sub> はチアミン (サイアミン, thiamin) ともよばれ、通常チアミン二リン酸 (TPP) の形で 2-オキソ酸の酸化的脱炭酸反応 (ピルビン酸還元酵素, 2-オキソグルタル酸還元酵素, 分岐鎖ケト酸還元酵素など)、ペントースリン酸回路 (トランスケトラーゼ) の補酵素として働く。

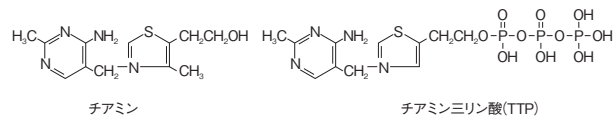


図 2-27 ビタミン B<sub>1</sub> の構造

ビタミン B<sub>1</sub> の欠乏症として脚気が良く知られている。脚気は腱反射消失が特徴であるが、全身倦怠感、食欲不振、運動失調から知覚減退、多発性神経炎と進展する疾病であり、中枢神経系においては眼球運動障害、運動失調、精神障害を特徴とするウェルニッケ脳症を発症する。ビタミン B<sub>1</sub> は炭水化物代謝に必要であるため、激しい運動や炭水化物の過剰摂取により欠乏症状が現れやすくなる。

ビタミン B<sub>1</sub> は穀類、豆類、酵母などに多く含まれる。米の場合ぬかの部分に多く含まれ、白米には少ない。

リボフラビンともいう (図 2-28)。フラビンアデニンジスクレオチド (FAD) およびフラビンモノヌクレオチド (FMN) の構成成分として、生体内の種々の酸化還元反応の補酵素として働くことから、炭水化物の代謝においては重要なビタミンである。欠乏症状としては口内炎、口唇炎、脂漏性湿疹、成長障害 (小児) が起こる。

ビタミン B<sub>2</sub> は多くの食品に含まれているが、牛レバー、卵、納豆、チーズ緑黄色野菜、海藻などに比較的多く含まれている。

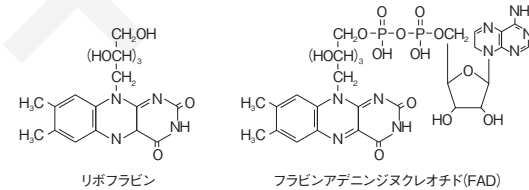


図 2-28 ビタミン B<sub>2</sub> の構造

ニコチン酸とニコチン酸アミドをあわせてナイアシンと (図 2-29)。生体においてはニコチンアミドアデニンジスクレオチド (NAD) およびニコチンアミドアデニンジスクレオチドリドリン酸 (NADP) として、多くの生体物質の酸化、還元反応の補酵素として機能する。これらを補酵素とする酸化還元酵素は非常に多い。

ナイアシンは他のビタミンと異なり、トリプトファンから合成できる。トリプトファン 60 mg から 1 mg のナイアシンが合成できるが、トリプトファン自体必須アミノ酸であり、トリプトファンからの合成よりも食品としてナイアシンを摂取する必要がある。また、トウモロコシのタンパク質であるツェインはトリプトファン残基を含んでいないため、トウモロコシの常食地域ではナイアシン欠乏が起こることがあった。

欠乏症としては、紅斑性皮膚炎 (日光が当たる部分に発赤、水疱が生

# 3

## 食品成分の化学

### 3-1 酸化

#### 3-1-1 酵素的酸化

食品における脂質の酵素的酸化は、トマト、キュウリや茶葉などの新鮮な香りにみられるような緑葉香気の形成に関与している。一方、酵素的酸化によって生成されるヒドロペルオキシドは次項で述べる非酵素的酸化反応の基質ともなりえる。

緑葉香気に関与する脂質としてはリノール酸および $\alpha$ -リノレン酸を含む脂質があげられる。リノール酸は酸素添加酵素であるリポキシゲナーゼによって9-あるいは13-ヒドロペルオキシドとなる(図3-1)。また、リノレン酸( $\alpha$ -リノレン酸)も同様に9-あるいは13-ヒドロペルオキシドとなる(図3-2)。

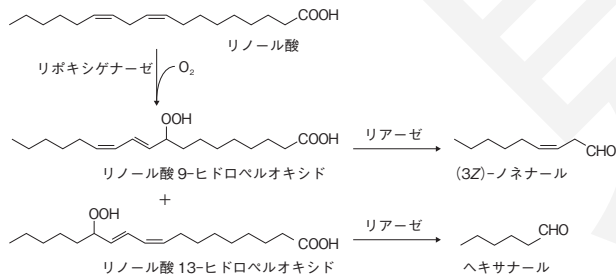


図3-1 リノール酸の酵素的酸化

リノール酸 9-ヒドロペルオキシドからは開裂酵素であるリアーゼによって、(3Z)-ノネナルが生成する。一方、リノール酸 13-ヒドロペルオキシドからはヘキサナルが生成する(図3-1)。同様にリノレン酸 9-ヒドロペルオキシドから(3Z,6Z)-ノナジエナルが、リノレン酸 13-ヒドロペルオキシドからは(3Z)-ヘキセナルがそれぞれ生成する(図3-2)。

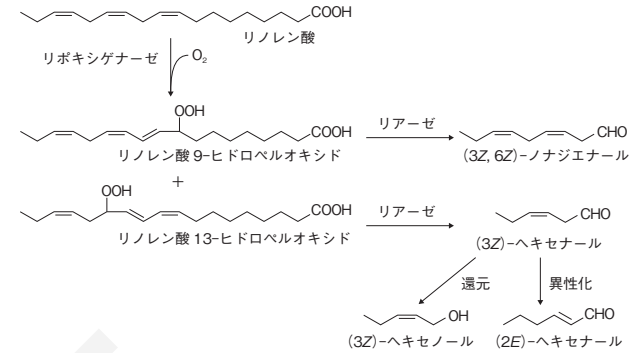


図3-2 リノレン酸の酵素的酸化

このように生成した炭素6あるいは9個のアルデヒド類からは、アルコールデヒドロゲナーゼ(ADH)や異性化酵素(異性化因子)により同じ炭素数のアルコール類やアルデヒドの異性体がそれぞれ生成し、「みどりの香り」を与える。例えばリノレン酸由来の(3Z)-ヘキセナルからは、(3Z)-ヘキセノール(青葉アルコールと呼ばれる)や(2E)-ヘキセナル(青葉アルデヒドと呼ばれる)などが生じる(図3-2)。

#### 3-1-2 自動酸化(図3-3)

脂質が自動酸化すると食品では酸化臭が生成したり、食品成分や生体成分に影響を与える。脂質の酸化によって生体成分の変化や組織の損傷が、老化、発がん、糖尿病、動脈硬化などに深く関わっている。

##### (1) ラジカル連鎖反応機構

自動酸化はまず開始反応(initiation)から始まる。これは系内に何らかの原因でラジカル( $I\cdot$ )が発生する(式1)。 $I\cdot$ は引き抜かれる水素を有している脂質中の脂肪酸LHから水素を引き抜く(式2)。次に増殖反応(propagation)に進む。 $L\cdot$ は酸素と結合し、 $LOO\cdot$ (lipid peroxy radical)となる(式3)。 $LOO\cdot$ は別のLHから水素を引き抜き、 $LOOH$ (lipid hydroperoxide)となる(式4)。この式(4)で生じた $L\cdot$ は再び式(3)に戻る。開始反応で1個のラジカルが系内に生じると、通常は数十回以上式(3)~式(4)を繰り返し、それに相当する数のLHが $LOOH$ に酸化される。これを連鎖反応(chain reaction)という。

最終的には停止反応(termination)で終結する。これはラジカル同士が反応し、ラジカルが消滅する反応である。その他に阻害物質とラジ

カルが反応して、反応性の低いラジカルに変わる反応もある。この反応は上記の増殖反応の系外に出る。

### (2) 開始反応機構

通常の炭化水素のCH結合が自然に開裂してラジカルを発生する反応(自発的なラジカル発生)は高温でなければ起こらない。また、酸素分子と不飽和脂肪酸が直接反応してラジカルが生じるのも極めて遅い反応である。フェノールやアスコルビン酸などはアルカリ性で陰イオンに解離するが、その陰イオンが分子状酸素に電子を移動して、ラジカルを生じる例は良く知られている(式5)。これは、フェノールがアルカリ性で空気酸化するときの基本的な反応と考えられているが、不飽和脂肪酸の活性メチレンが陰イオンになって酸素分子と結合する可能性はない。

さらに系内に混入する微量の重金属が作用している可能性については、 $\text{Co}^{3+}$  など酸化力の強い重金属が無水の環境において不安定なラジカルを生じる例がある(式6)。逆に還元力の強いイオンである $\text{Cu}^+$ などが分子状の酸素をラジカルイオンにして開始反応に働くことも考えられている(式7)。

しかし、式(6)でも式(7)にしても微量の金属が連続的にラジカルを生じ続けることは可能性が低い。そこで、不飽和脂肪酸の自動酸化生成物による自動触媒の開始反応という考えが仮定されている。重金属が存在しない場合、ヒドロペルオキシドが式(8)のように反応すると考えられている。

自動触媒の開始反応にはヒドロペルオキシドが関与せず、2つのhydroperoxide基が結合した二量体が関与するとの報告もある。これは高度に精製されたリノール酸メチルの酸化では、自動触媒的経過を示さず、初めから直線的に酸化度が增大するという結果に基づいている。

一方、 $\text{Fe}^{2+}$  ( $\text{Fe}^{3+}$  に比較して不安定) や  $\text{Cu}^+$  ( $\text{Cu}^{2+}$  に比較して不安定) のような重金属が共存する系では、式(9)に示すようなヒドロペルオキシドが関与する自動触媒の開始反応が働いていると考えられる。

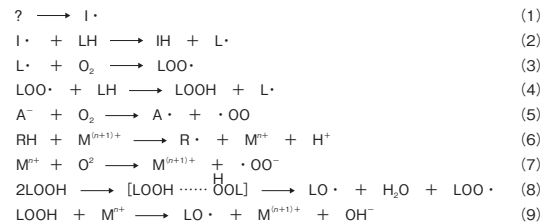


図 3-3 脂肪酸の自動酸化

### (3) 脂肪酸とヒドロペルオキシド

脂肪酸の中で引き抜かれやすい水素は、両側を二重結合で挟まれたメチレンの水素(-CH=CH-CH<sub>2</sub>-CH=CH-)である。青で示した構造を活性メチレンという。二重結合を2個以上もつ天然の脂肪酸(リノール酸、リノレン酸、アラキドン酸、エイコサペンタエン酸、ドコサヘキサエン酸など)はすべてこのような水素をもっている。自動酸化が問題になるのは二重結合を2個以上もった脂肪酸に限られ、1個のオレイン酸では酸化速度は数十分の1、飽和脂肪酸ではさらにその数十分の1以下である。

リノール酸の例で自動酸化の化学変化を図3-4に示した。図の(LH)は、リノール酸の9~13番目(カルボキシル基末端より)の炭素の部分を示したもので、活性メチレンは11位に存在する。(L·)は11位の水素が引き抜かれたものであり、ラジカルが9位か13位に移動し、これらが(LOO·)を経て、(LOOH)になる。したがって、リノール酸からは9位と13位に-OOH基の結合したlipid hydroperoxideの異性体が生じる。

二重結合がさらに多い脂肪酸の場合では活性メチレン基は二重結合数よりひとつ少ない個数あるのでLOOHの異性体数もその分多くなる。リノール酸の単純なエステル(トリグリセリドやメチルエステルなど)では、酸化が過度に進まない限り、生成物はほとんどヒドロペルオキシドである。しかし、二重結合が3個以上の脂肪酸や、リン脂質の中の脂肪酸ではヒドロペルオキシド以外の生成物が多量に認められる。

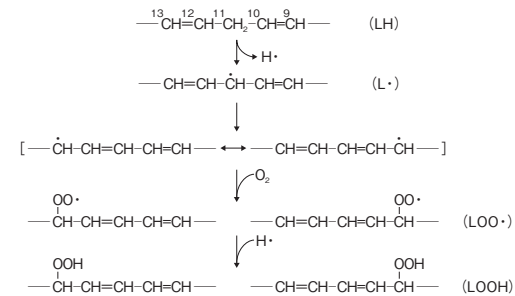


図 3-4 リノール酸の自動酸化

### (4) 酸化速度に関与する要因

酸化速度の違いは、系内のラジカルの生成と消去の早さによる。すなわち開始反応と停止反応の釣り合いによって決定する。したがって酸化を抑制するには、キレート剤などによる重金属の不活性化や、光の遮断

# 5

## 食品の安全性

近年、食品の安全性に高い関心が払われている。食品が安全であるということは、食べる人にとって有害な物質を含んでいないということであるが、一方ですべての食品から有害な物質が含まれるリスクを完全に排除することは困難である。したがって、食品の安全性をいかに確保・維持していくかが、健全な食生活を送るための重要な課題となっている。

食品の安全性を評価することはそれほど簡単ではない。まず、食品の成分が有害であるかどうかは、摂取量、摂取期間や頻度、該当成分の性質、摂取する人の年齢、性別、体質、健康状態、などによって大きく影響を受けるため、こうした要因を考慮して評価しなくてはならない。さらに食品の成分は種類が多く、また保存や加工の過程で構造や性質が変化するため、人体に及ぼす影響も複雑に変化する。また、倫理上の問題から、人を用いて安全性の評価を行うことが難しいという問題もある。したがって、組成が均一で、かつ微量で有害作用を有する化学物質（食品添加物、薬品、農薬など）については、実験動物や培養細胞、微生物を用いて毒性試験を行い、その結果から人が食べた時の安全性を推定するという方法がとられている。

化学物質以外に食品の安全性を低下させる要因として、食中毒や感染症を引き起こすような病原体による汚染がある。病原性大腸菌O(オー)157など、公衆衛生上問題となる新たなものも発生している。こうした汚染に対しては、従来から病原体を食品に混入させない、また混入した病原体を増殖させない・死滅させる、といった予防法がとられてきた。さらに近年では、こうしたリスクを回避するために、HACCP<sup>\*1</sup>(Hazard Analysis and Critical Control Points; 危害分析重要管理点)という食品の安全性を管理する方法がとられるようになり、食品中の有害物質(特に病原体)の除去に有効であると評価されている。

一方で、遺伝子組換え食品やBSE、内分泌攪乱物質など、食品の安全性の確保に関わる新たな問題もでてきている。このような問題を含

\*1 HACCP: 危害分析(HA)・重要管理点(CCP)と呼ばれる衛生管理の手法のひとつで、最終製品の検査によって安全性を保証しようとするのではなく、製造における重要な工程を連続的に管理することによって、ひとつひとつの製品の安全性を保証しようとする衛生管理の手法である。

め、われわれの食生活を取り巻く状況が大きく変化し、食品に対する不安感が高まっていることから、食品の安全性確保のために「リスク分析」という手法がとられるようになってきた。リスク分析はリスク評価<sup>\*1</sup>、リスク管理<sup>\*2</sup>、リスクコミュニケーション<sup>\*3</sup>の3要素からなり、食品による危害の発生を未然に防ぎ、リスクを最小限にする目的で用いられる手法である。さらに、リスク分析の考え方を導入した食品安全基本法<sup>\*4</sup>が制定され、これに伴い食品安全委員会が平成15年に設置された。この委員会は、規制や指導等を行う関係行政機関から独立しており、科学的知見に基づいて客観的かつ中立公正にリスク評価を行う機関である。食品安全委員会は、リスク評価の結果に基づき、食品の安全性の確保のために講ずるべき施策について内閣総理大臣を通じて関係各大臣に勧告を行うことができる(図5-1)。

- \*1 リスク評価(リスクアセスメント): 食品または食品中に含まれる物質が人の健康に及ぼす影響の発生頻度と程度について科学的に評価すること。化学物質や微生物等の要因ごとに行われる。
- \*2 リスク管理(リスクマネジメント): リスク評価に基づいて食品の安全性の確保に関する施策を行うこと。
- \*3 リスクコミュニケーション: 食品に関する情報を正確、迅速、公平に消費者に提供すると共に、意見を聞き、対話を繰り返すことによって理解と合意を得ること。
- \*4 食品安全基本法: 食品の安全性の確保に関する施策を総合的に推進することを目的とする。リスク評価を食品安全委員会が行い、リスク管理を厚生労働省と農林水産省が行うこととしている。

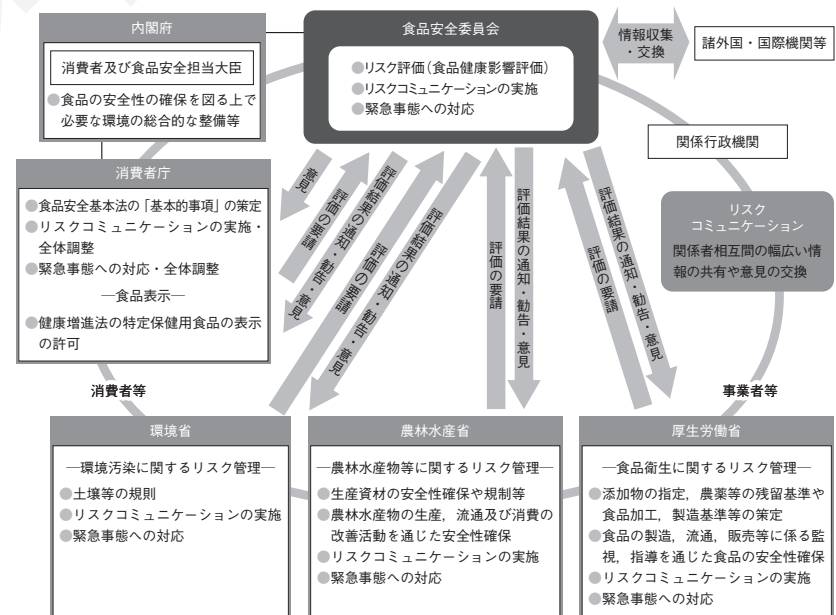


図5-1 食品安全委員会とリスク管理機関との関係について



## 5-1 遺伝子組換え食品

遺伝子組換え技術の発展に伴い、有用遺伝子を導入することによって望ましい形質を持つ動植物・微生物を作り出すことが可能になってきた。これまでに多くの作物が遺伝子組換えによって作出されている。植物の品種改良はこれまで長い年月を要して行われていたが、遺伝子組換え技術の導入によって、より速く目的の作物を作出することが可能となった。また、種の壁を越えて他の生物に遺伝子を導入することもできるようになった。遺伝子組換え作物に由来する食品を遺伝子組換え食品（あるいは Genetically Modified Food; GM 食品）とよぶ。

### 5-1-1 遺伝子組換え作物の作出法

植物へ特定の遺伝子を導入する方法で、最も多く用いられてきたのはアグロバクテリウム (*Agrobacterium tumefaciens*) を利用した方法である。アグロバクテリウムは Ti プラスミドという環状の DNA をもっており、植物に感染すると Ti プラスミド上の DNA の一部 (T-DNA 領域) が植物の染色体 DNA に組み込まれる。このプラスミドの T-DNA 領域に植物に導入したい遺伝子を組み込んでおいて、植物染色体への運び屋 (ベクター) として利用する。実際には、Ti プラスミドを2つに分け、T-DNA が植物染色体に組み込まれるのに必要な Vir 領域をもつプラスミドと、T-DNA 領域に導入したい遺伝子を組み込んだプラスミドをアグロバクテリウムに導入して、植物遺伝子導入用のアグロバクテリウムを作成する方法がよく用いられている (図5-2)。

次に、このアグロバクテリウムを植物に感染させる。ディスク状に切り抜いた植物体の葉 (リーフディスク) をアグロバクテリウムの培養液に浸けて感染させる。リーフディスクの代わりに胚軸などを用いる方法もある。その後、このリーフディスクを寒天培地上で生育させてカルスとし、さらに植物にまで生育させることができる。このとき導入しようとする遺伝子と一緒に抗生物質 (カナマイシンなど) の抵抗性遺伝子を一緒に組み込んでおけば、抗生物質を含む培地で遺伝子が導入された植物体のみを生育させることができる。(図5-2)

その他、導入したい遺伝子を金やタンゲステンなどの金属粒子に塗布し、圧縮ガスなどを用いて植物細胞や組織に打ち込んで遺伝子組換え体を得るパーティクルガン法も実用的な導入法として用いられている。

さらに近年では、特定の遺伝子の破壊・導入が高効率で短時間に行えるゲノム編集技術が開発され、新たな遺伝子改変作物の作成法として注目されている。

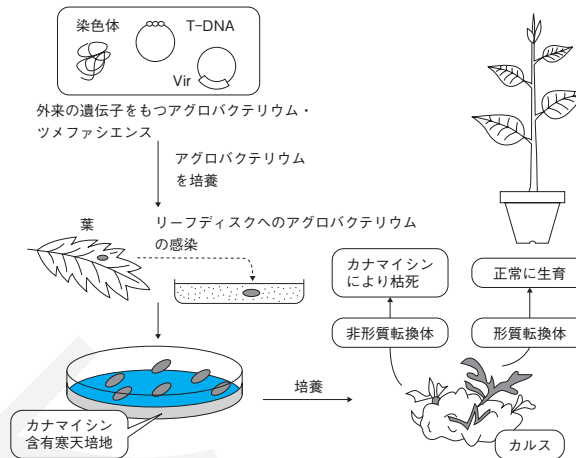


図5-2 リーフディスク法による植物の作出  
(大澤, 田中, 『遺伝子組換え食品』, 学会出版センター)

### 5-1-2 遺伝子組換え食品の開発状況

組換え DNA 技術を応用した食品は、農作物と、遺伝子組換え体そのものを食べない食品添加物等に分けられる。平成30年11月までに、農作物ではトウモロコシ、ナタネ、ジャガイモなどの319品種の食品が安全性審査を終えている (表5-1)。一方、組換え DNA 技術を利用して製造する食品添加物としては、チーズを作るときに用いられる凝乳酵素「レンネット (キモシン)」や、でんぷん糖の製造などに用いられる加水分解酵素「 $\alpha$ -アミラーゼ」など40の添加物が安全性審査を終えている (表5-2)。例えばレンネットは、仔牛の胃などに存在するが、天然のものを得ようとすると、大量の生物と複雑な精製工程が必要となる。そこで、これらの酵素を作り出す DNA を微生物に挿入し、この微生物 (組換え体) を培養することで、簡便かつ効率的に大量の酵素を得ている。培養後の精製工程において組換え体そのものは除去されるため、最終的な製品 (酵素) の中に遺伝子組換え微生物は含まれない。

### 5-1-3 主要な遺伝子組換え農作物

#### (1) 除草剤耐性植物

農作物の収量をあげるためには、除草剤を用いて雑草を除去するのが一般的であるが、この方法には作業量やコストがかかる点、作物への残留性、環境への負荷などの問題がある。除草剤耐性の遺伝子組換え農作