

# 化学者から見た技術の画期的成果

## IV. 食品と農業

化学者とケミカルエンジニアは、食品と農業に対して多大なる貢献をしてきた。これにより、農作物の収穫量は増大し、栄養価の高い食品を豊富に消費できるようになった。

19世紀から20世紀にかけて、一般の食卓では、地下貯蔵庫や家庭菜園、近隣の農場から食材を調達していました。たとえば、ミルクを攪拌してバターを作ったり、裏庭で飼っている鶏から卵をとったり、家庭菜園から野菜を採ったりしていた。また、肉は氷を使った冷蔵庫で保存し、石炭や木を燃料として調理していた。

この一世紀の間に、農場での生産性が向上し、食料品と水は容易に手に入るようになり、私たちが食卓に食べ物を得る方法は大きく変化した。現代の農家では、化学肥料や農薬を使うことで生産性を上げたり、また、食糧を豊富に供給したりするため、進歩した化学技術を利用している。この新しい技術により、食品の味や外観、入手しやすさ、栄養価が改善され、私たち消費者はその恩恵を受けている。

これら化学技術の進歩は、世界規模での爆発的な人口増加に対して食料を供給するという点でも貢献している。

### IV.1. 肥料と土壌の栄養

窒素の固定化

Haber-Bosch (ハーバー - ボッシュ) 法

化学肥料の進歩

緑の革命と交雑植物

### IV.2. 作物保護と害虫管理

ボルドー法と殺菌剤

DDT と農薬

家畜の保護

農業の機械化

### IV.3. 食品の加工と取扱い技術、および安全性

サッカリンと甘味料

ビタミンとミネラル

保存と製造技術の進歩

食品の安全性と品質管理

### IV.4. 食品の保存

食品の包装

冷却剤とフロン

電子レンジ

清浄な水



## IV.食品と農業における化学技術の画期的な成果

### 年表

**1881** フランスの科学者Louis Pasteur (ルイ パスツール)は、羊や豚に効果のある炭疽菌ワクチンを発見した。

**1883** デンマークの化学者Johan Gustav Kjeldahl (ヨハン グスタフ ケルダール)は、有機化合物の窒素含有量を分析する方法を開発した。

**1884** フランスの植物学者Pierre M. A. Millardet (ピエール M. A. ミラルデ) は、ブドウベト病に対抗するためのボルドー液を考案した。

**1901** Monsanto (モンサント) 社の創設者John F. Queeny (ジョン F. クイニー) は、サッカリンの製造を始めた。

**1913** 二人のドイツの化学者 Fritz Haber (フリッツ ハーバー) と Carl Bosch (カール ボッシュ) は、アンモニアを産業レベルで大量に製造する方法を開発した。

**1913** Elmer V. McCollum (エルマー V. マッカラム) と Marguerite David (マルグリット デイビッド)は、バターと卵黄中にビタミンAを発見した。

**1918** Kelvinator (ケルビネーター) 社は家庭用として最初のコンプレッサ駆動の冷蔵庫を発売した。

**1933** ビタミンDを補強したミルクが発売された。

**1939** スイスの化学者 Paul Mueller (ポール ミューラー)は、DDT農薬の殺虫特性を発見した。

**1943** アメリカ農務省の化学者は、殺虫剤や農薬のためのエアゾール分散剤を開発した。

**1953** 家庭用のサランラップがDow (ダウ) 社により発売された。

**1964** ‘緑の革命’:新しい交雑植物や液体土壌肥料の活用が、発展途上国における栄養問題の解決に役立った。

**1972** アメリカでDDTの使用が禁止された。(1968年にハンガリーが世界で最初に禁止した。)

**1974** モンサント社は、広範囲での不耕起栽培を可能にするRoundup (ラウンドアップ) 除草剤を発売した。

**1990** 新規な栄養強化食品や‘栄養補助食品’が市場で一般的になった。



動物にワクチン注射する  
ルイ パスツール



ケルダール法による有機物の  
窒素含有量の測定装置



ピエール M. A. ミラルデ



ビタミンAを含む卵黄



当時のサッカリンの  
パッケージ



ビタミンDを  
添加したミルク



ケルビネーター社製  
家庭用 冷蔵庫



モンサント社のポスター



当時のDDTの  
パッケージ

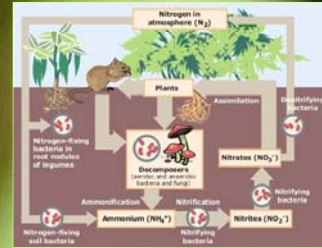


## IV. 食品と農業における化学技術の画期的な成果

### IV.1. 肥料と土壌の栄養

#### 窒素の固定化

窒素の固定化とは、化学的な反応性に乏しい窒素ガスを微生物が無機窒素化合物に変換する自然界における重要なプロセスである。その無機窒素化合物は、植物に含まれるタンパク質のような窒素有機化合物として、栄養物質の循環系に、はじめて取り込まれるようになる。植物が利用可能な土壌中の窒素、特に硝酸塩は大量の作物を生産する農地では、通常不足する。そのため、窒素肥料を生産するため、多くの工業プロセスが開発された。中でもアンモニアを合成するHaber-Bosch (ハーバー-ボッシュ)法は最も良く知られている。また、土壌中の化学組成をバランスの取れた状態にするため、1956年に開発されたケルダール法により、有機化合物に含まれる窒素量を自動的に分析できるようになった。



窒素の循環



根粒



フリッツ ハーバー)

#### ハーバー - ボッシュ法

19世紀末、世界の人口増加により、食糧供給の限界が懸念されていた。農地に含まれる窒素は使い果たされ、窒素肥料を工業的に生産するという課題は未解決のままであった。世界規模の飢餓を予想する科学者もいた。このため、空気中の窒素を利用した窒素化合物の生産が緊急の課題だった。1908年、その解決策はドイツで生み出された。Fritz Haber (フリッツ ハーバー) は、当時利用できたあらゆる物理的・化学的手法を活用して、アンモニア合成の基本原理を見出した。アンモニア合成は、高温・高圧下の鉄触媒により行われる。Carl Bosch (カール ボッシュ) は、BASF (Badische Anilin- & Soda-Fabrik) 社の化学者で、1913年に最新技術によって産業レベルでのアンモニア合成プロセスの商業化に成功した。そしてこのプロセスが、二十世紀における農業生産と人口の増大を可能にした。

#### 化学肥料の進歩

1913年のはじめに化学肥料が商業的に生産され、作物の収率や生産性が劇的に向上した。それ以降、化学肥料の基礎的な生産技術の革新が進められ、アメリカ市場においては、1930年に顆粒肥料の販売、1965年に液体肥料の販売が行われた。1970年代には、家庭用肥料の販売に向け、顆粒肥料の技術はさらに洗練されていった。

最近の業務用肥料における技術革新には、徐々に肥料が放出されるカプセル型肥料があげられる。この技術により、過剰施肥による望ましくない環境負荷を避けることができる。



#### 緑の革命と交雑植物

1870年代から、食料の生産性とその質を向上する望ましい形質をもった交雑植物が作られてきた。有機化学により、望ましい植物の形質が特定され、交雑によりそれらの形質が後に続く交雑植物へと引き継がれる。さらに、化学肥料を使うことで窒素取り込みを最大限に向上させる。

これらの進歩は「緑の革命」をもたらし、1943年にメキシコでコムギの自給自足が初めて可能となった。また、新しい交雑植物と土壌栄養化学の恩恵により、アジアでは1964年までに、ほぼ全人口に相当する食料が供給されるようになった。現在、アメリカの農業従事者は、葉や茎に農薬を分泌するトウモロコシやジャガイモなどの新しい交雑植物を使用している。





## IV.食品と農業における化学技術の画期的な成果

### IV.2. 作物保護と害虫管理

#### ボルドー法と殺菌剤

1882年、フランスの植物学者 Pierre M.A. Millardet (ピエール M.A. ミラルデ) は、フランスのブドウ園でブドウベト病を効果的に対処するため、硫酸銅と消石灰を水に溶かした水溶液 (Bordeaux (ボルドー) 液) を使用した。このボルドー液は、現在でも作物に害を与える多くの菌類に対処することができる。ボルドー液は最初の広範囲に使用された殺菌剤となり、作物の化学的な保護に大改革をもたらした。農業用殺菌剤における化学的な革新は1934年のジチオカルバメート系殺菌剤の発売や、1996年のストロビルリン系殺菌剤の発売へと続いた。



マラリアに対する  
DDT散布



DDTにより殻が  
薄くなった卵

#### DDTと農薬

農薬は、農作物を菌や虫の害、そして他の植物との競争から守る。1939年、Paul Mueller (ポール ミューラー) は、ジャガイモの害虫であるコロラドハムシや他の害虫を駆除する安価な殺虫剤 DDT (ジクロロジフェニルトリクロロエタン) を開発した。DDTおよび類似の農薬は、作物の害虫や害虫によって引き起こされる病気を20年以上にわたって防止し続けた。1960年代、環境汚染とDDTの人体への蓄積が社会問題となった。また、害虫の農薬への耐性が強まったために新たな農薬が開発され、これと共に、DDTの利用は減少した。今日の低農薬農法は、農家の経済的な負担を軽減すると共に安全な農作業環境をもたらし、以前よりも環境にやさしい農法となっている。



#### 家畜の保護

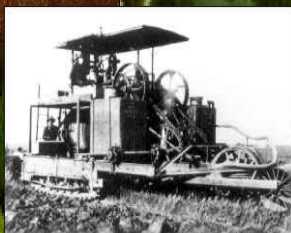
ワクチン接種や薬物療法で家畜の病気に対処することで、より質の良い食品をより多く供給できるようになってきている。1881年にLouis Pasteur (ルイ パスツール) は、家畜にワクチン接種することで炭疽病を引き起こす微生物に対する免疫力を高める技術の開発に成功した。1981年には、抗寄生虫物質であるイベルメクチンが発売され、家畜の健康を損なうダニや害虫や寄生虫に対して幅広い防御ができるようになった。近年、ウシ海綿状脳症(BSE)、すなわち、家畜の飼料に含まれる病原性タンパク質によって引き起こされると考えられているいわゆる「狂牛病」を防ぐ研究が進められている。



ルイ パスツール)



現代のコンバ  
イン収穫機



ホルトによって開発された  
クローラー式(無限軌道式)  
トラクター

#### 農業の機械化

農薬(肥料、殺虫剤)と水を効率的に利用する技術の必要性から、農業分野での化学技術と農業の機械化は、過去1世紀に渡り共に発展してきている。これにより、農業の効率と生産性は劇的に高まっている。

1904年、アメリカの発明家であるBenjamin Holt (ベンジャミン ホルト) によって、ディーゼル油を燃料としたトラクタが開発された。今日では、化石燃料や構造材料(合金と先進のプラスチック)、タイヤの技術やコンピュータ電子工学などの化学技術の進歩により、トラクターや耕作機、コンバイン刈取り機、灌漑用機械、コンピュータベースの利用技術、精巧なGPSの機能の搭載が可能になっている。



## IV.食品と農業における化学技術の画期的な成果

### IV.3. 食品の加工と取扱い技術、および安全性

#### サッカリンと甘味料

化学技術により創られた人工甘味料は、糖尿病患者とダイエット中の人の砂糖の摂取量を制御するのに役立つ。1901年John F. Quenny (ジョン F. クイニー) は、人工甘味料サッカリンを製造した。1967年特許化された酵素を使って果糖の濃度を14%から42%に高めた果糖高含有コーンシロップの製造が始まり、主要なソフトドリンクの甘味料として急速にその利用が広がった。1985年にアメリカで最初にアスパルテムが販売された。NutraSweetとして売り出されたこの低カロリー甘味料は、1955年に抗潰瘍薬の候補として開発されたものである。

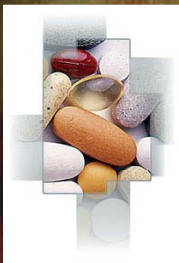


#### ビタミン添加物

食品生化学の進歩により、ビタミン不足によって引き起こされた食事性欠乏症と栄養障害に対する治療法が見出された。

発見された最初のビタミンから明らかなように、この分野において化学は大きな進歩を遂げた。ビタミンA(ベータ-カロテン)は、1913年にバターと卵黄から単離された。ビタミンAは、視覚のための必須栄養素であり、上皮を保護する。その化学構造は1931年に解明され、1947年にはじめて化学合成された。ハンガリーの生化学者Albert Szent-Györgyi (アルバート セント-ジェルジ) は1928年に副腎からヘキサロン酸(アスコルビン酸)を単離した。それは、現在ビタミンCとして知られている。

2001年失明や他の欠乏性疾患を解消するために、遺伝子組み換えによりプロビタミンAを生産する 'ゴールデンライス' がアジアで供給されはじめた。



#### 保存と製造技術の進歩

食品化学の起源は19世紀の中頃、初めて肉エキスの抽出に成功したドイツ人のJustus Liebig (ユスタス リービッヒ) にさかのぼる。保存と生産技術の進歩により、加工食品が提供されるようになった。食品化学が産業で利用され、多くの新しい加工食品が開発された。フリーズドライ製法(凍結乾燥法) (1906年)、食品の急速冷凍法(1920年)、下ごしらえした食品の冷凍(1939年)、濃縮液の製造(1946年)などの新技術によっても、食品の保存期限が延びた。



リービッヒの肉エキスに関する昔のポスター



#### 食品の安全性と検査

原材料の農産物、あるいは調理された食品は、どんなものでも汚染されていたり、人の健康に悪影響を及ぼす可能性があり得る。この汚染は、材料の準備や調理の間に、また食品が提供される際に、あるいは保存中に起こり得る。食品の安全性を向上させる化学技術の進歩としては、迅速な検査により微生物による食品の汚染を検出したり、集団食中毒を抑制することがあげられる。アメリカでは、最も一般的な食中毒菌による疾病は1997年から1999年の間に20%減少した。



## IV.食品と農業における化学技術の画期的な成果

### IV.4. 食品の保存

#### 食品の包装

プラスチックや金属、ガラス、セラミック技術で食品が包装されるようになり、食品の販売や輸送、製造の際の食品の保存に役立っている。Ralph Wiley (ラルフ ウィリー) は、1930年代に工業用サランポリマーを開発しました。家庭用サランラップは1953年に発売され、極端な湿度や温度条件でも、酸素や水分、香り成分、化学物質に対する優れた包装材となった。サランラップは塩化ビニリデンと塩化ビニルの共重合体である。他の発明としては、食品や飲料の保存にアルミニウム缶を利用することがあげられる(1960年代)。また、このアルミニウムにかわって、PET(ポリエチレンテレフタレート)がガラスやリサイクル可能な容器として利用されている(1970年代)。



アイスボックス (1890) と  
現代の冷蔵庫

#### 冷却剤およびフロン

1918年に家庭用冷蔵庫が発売され、新鮮な食品を安全に運搬、貯蔵できるようになった。1920年代はじめ、冷却剤として使われていた二酸化硫黄が有毒であることがわかり、冷蔵庫は不人気となった。その問題を解決したのはフロン(CFC,  $\text{CCl}_2\text{F}_2$ とも呼ばれる)化合物を冷却剤としたフレオン12であり、Thomas Midgley (トマス ミジリー) と Charles Kettering (チャールズ ケタリング) によって1931年に開発された。これを用いた冷蔵庫はすぐに家庭やレストラン、食料品店に普及した。フロンは、地球のオゾン層を破壊するため、今では使われなくなっている。

#### 電子レンジ

20世紀、家庭用電気機器により、食品の調理にかかる日々の労働が軽減されてきた。化学の進歩によってもたらされた技術革新の1つが電子レンジである。1945年、Percy L. Spencer (パーシー L. スペンサー) は、Raytheon (レイセオン) 社で稼働中のレーダー発信機の近くに立っていたとき、ポケットの中のキャンディーバーが溶け始めたことに気づいた。彼はこの現象に魅了され、ポップコーンを使ってこの体験を再現し、電子レンジが考案された。その十年後、彼が開発したRadarange (レーダーレンジ) は業務用の調理器具として登場した。今でもマグネトロンと呼ばれる第二次世界大戦当時と同じ型のマイクロ波発信機が、一般的な電子レンジとして使われている。



次亜塩素酸の分子



#### 清浄な水

化学の進歩により、バクテリアやウイルス、その他の有害な汚染物質を含まない安全な水が供給されるようになった。活性炭により、嫌な味や悪臭、その他の成分を取り除いたり、水を軟水化し重金属を取り除く技術や、水の処理や供給、配送のため最新の技術が利用されている。水処理システムでの塩素消毒は、1910年から行われ、1913年には家庭用漂白剤が販売された。塩素による消毒は、調理場や食品加工設備を食中毒から守る優れた方法として現在でも利用されている。