

食料・農業の新技術

AI・ITとGE

キャノングローバル戦略研究所研究主幹
経済産業研究所 上席研究員
農学博士 山下 一仁

夢の裏側



- 過去にも熱狂～80年代のバイオテクノロジー（今残っているのは？）
や最近の**植物工場**。



- AI農業～最新のセンシング技術やITを活用し、本人すら自覚していない『暗黙知』を『見える化』し、『**匠の技**』の**継承をICTで支援**（農水省）
- しかし、このような暗黙知や匠の技があったとしても、農業の限定された分野。穀物や畜産に匠の技のようなものはあるのか？センサーやロボットが活躍する園芸農業で昭和の匠の技の有効性があるのか？
- センサーもドローンもロボットもAIも自動走行もありますと言うだけ？

AIとICTの有効性



- 生物や自然を相手にする農業は工業よりも複雑な要素と判断が必要。
- 価格等の市場情報や気象、土壌、病害虫の発生などの生産情報をもとに、当該農家の収益を極大化できるような適切な農産物・品種の選択とその生産方法の決定をこれら相互の関連を考慮しながら同時に決定できるようになるか？

このような複雑な意思決定にこそAIやICTは有効ではないか？
それには質量ともに多くの情報が必要。



ビッグ・データが要る！

農業経営の意思決定



市場（価格）情報

- 短期、長期
（嗜好の変化、人口動態等）
- 国内、国際

生産農産物

- 米、麦等穀物（一年一作が基本）
- 野菜（一年多作）
- 果樹（成木になるのに長い年月を要する）

⇒品種

- 価格関連—品質（食味、外観、大小、均一性）
- 販売量関連—平均単収、耐病性
- 生産方法関連—早生、中生、晩生

生産方法（コスト）

2つの課題

- ① 生物・自然相手から生じる生産平準化の困難性
- ② 農場規模の零細性。零細分散錯圃。

⇒解決策

- A) 単一農場・経営内または複数の農場・経営間での大規模複合経営
- B) GPS、ドローン、センサー、ロボット、気象ビッグデータの活用→機械利用の合理化、圃場の施肥管理、病害虫発生のコントロール、適切な収穫時期の選定

生産関連情報

- 気象データ、土壌データ
- 傾斜、大きさ等圃場状況等
- 地域雇用情報
- 金融情報（政策金融等）

AI・ビッグデータへの国の取り組み



AIで農水省が最初に考えたのは、匠の技の継承



AIとそのビッグデータのアイデア

	山下	国
2016.8	“TPPが日本農業を強くする”P307~308	
2017.6	“IT・AI 技術と新しい農業経営学” RIETI Policy Discussion Paper Series 17-P-017	
2017.8		農業データ連携基盤 (WAGRI) 設立
2019.4		農業データ連携基盤 (WAGRI) 稼働

AI農業の仕組み



センサー、GPS、ドローン等⇒農家経営、気象、土壌、土地形状等のデータ収集



ICT技術⇒データ伝達

ビッグ・データ⇒データ集積



AI(マシーンラーニング等) ⇒解析

個別農家への経営・技術情報やアドバイスの提供



ビッグデータの課題



- ① Bigであるほど、データの種類（説明変数）が多いほど効果的。
データ収集機関の相互流通性、互換性（interoperability）。
- ② 米は一年一作。40回しか収穫できない。自然等に影響される農業では
多数年、多数の農家のデータが望ましい。しかし、
Garbage in, Garbage out. 正確さ。
- ③ 規模の大きい農家でないと、正確でBigなデータは収集できない。
しかし、農家に分析能力は？



POS情報の成功理由

- ① 市場共通のバーコードがinteroperabilityを確保
- ② POS情報提供者（スーパー）・管理者とPOS情報利用者（市場分析者）が別

ビッグデータに関連する重要な要素



農業は完全競争の社会、寡占的な競争状況にない

⇒農家は技術や経営内容についてよく話す。「農業には秘密がない」

個々の農家を束ねるIT企業同士が市場で寡占的に競争する場合には、共有のビッグデータの実現は容易ではない。

⇒農業データ連携基盤協議会WAGRIは失敗する

アメリカではオープンなビッグデータを管理しているのは公的機関。利用するのは民間。しかし、データは限定的、～Open Agriculture Data Alliance by Purdue Univ. モンサントの子会社 Climate Corporation

ユーザー企業にいるIT/ICT技術者の割合は日本24.1%、アメリカ51.0%。
残りはICT企業（2016年6月総務省）

日本農業のDigital Disruption提言



情報を収集・分析・提供する機関として「**農業IT協同組合**」を支援。IT専門家を置き、農家へのコンサル業務による収入により運営。
(協同組合なので情報のロックイン回避)

農業ビッグデータ (様々な組織が持っている気象情報、地図情報、農地情報) を集約管理する**公的組織**を設置。**分析・提供は民間** (IT農協等)
農業IT協同組合は、収量、地力など個々の農家から収集したパーソナルデータを匿名化・一次処理して**農業ビッグデータ**に提供。**農業ビッグデータ**は全国のデータを公表・オープン化。

農業IT協同組合は**農業ビッグデータ**の分析結果と個々の農家のその時々のパーソナルデータを組み合わせて、選択する作物、施肥、田植えや収穫のタイミング等を農家に教示する。

図解



オープン・データ（分析含む）

気象ビッグデータ
土壌データ

個々の農業経営のパーソナル・データの集合



適時適切な
農作業の選択

個別のパーソナル・データ

GPS、ドローン、センサー等を活用した圃場の地力分布、作物の生育状況等

食の安全・トレーサビリティ



トレーサビリティとは？

農畜産物の生産者や生産過程の情報、食品の加工・流通に関する情報を記録・管理することによって食品の履歴や所在についての情報を、川上、川下の双方から追跡可能とするシステム。

トレーサビリティで何ができる？

トレーサビリティがなされていれば、問題が発生したときに原因を速やかに特定できるし、問題の商品だけを迅速に回収でき、他の商品は安全なルートで供給することが可能。

ブロックチェーンのメリット



ブロックチェーンの特徴

1. 中央集中型ではなく、誰でも参加できる**分散型の台帳**技術 (A decentralized, distributed digital ledger or data store)
2. **取引が時系列的に記録**される(records transactions in chronological order across a network of computers)
3. **前後の取引が記録**されるので、**不正ができない**
書き込むと**修正・削除できない**、改ざんできない
(Transactions can be added but cannot be edited or deleted retroactively without the alteration of the subsequent blocks and the collusion of the network.)
4. **誰もが閲覧**できる**公開型**のデータ



トレーサビリティに活用可能なのでは？

2018.5 山下一仁 第3章

“IT・AI技術と新しい農業・フードチェーン”

情報化によるフードチェーン農業の構築 21世紀政策研究所



克服すべき大きな課題



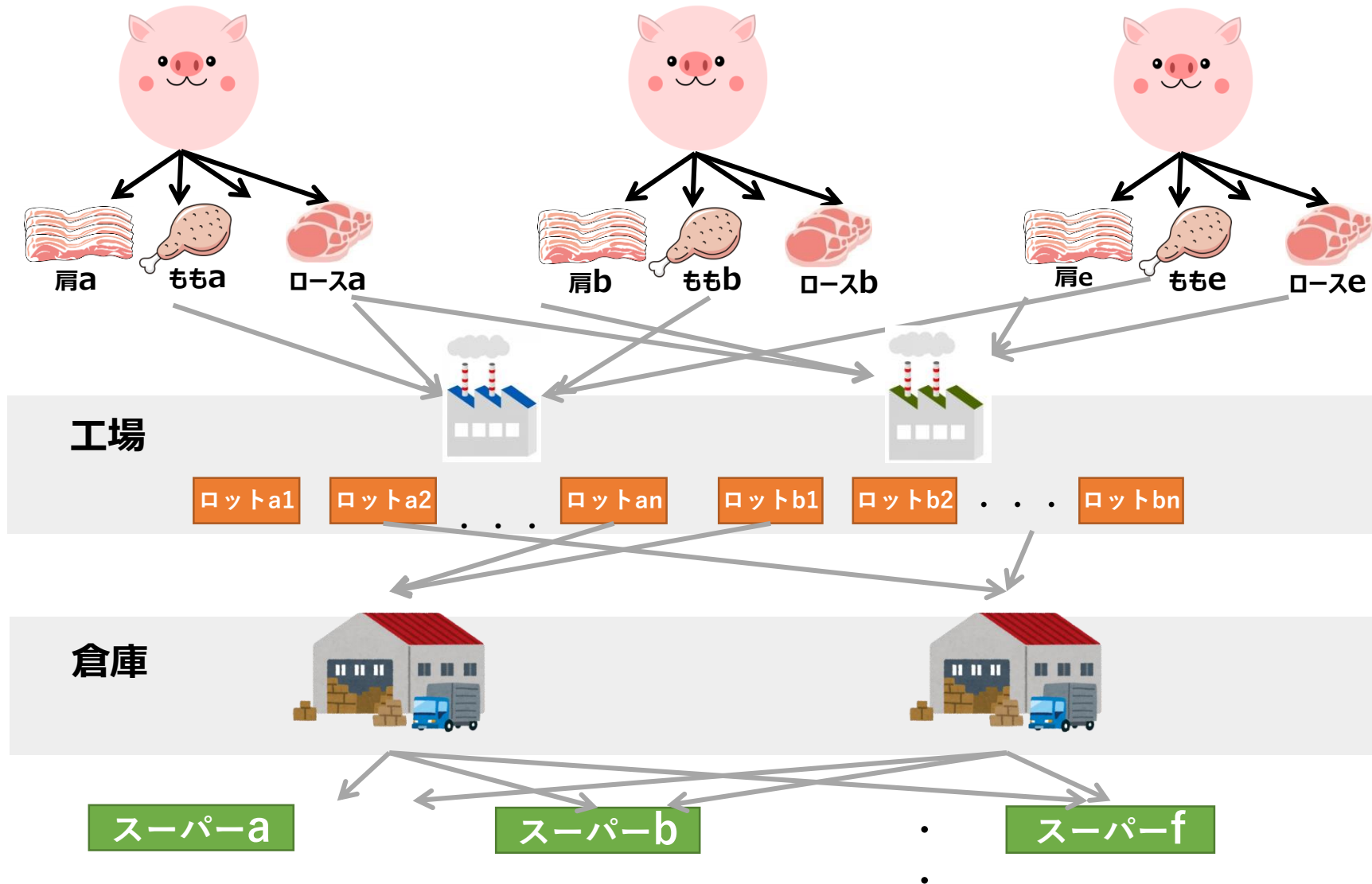
- ・農業・食料新技術に関する海外のシンポジウムでは、ブロックチェーンのトレーサビリティへの応用を饒舌にかたる専門家群が出現。
- ・しかし、具体論になると、答えられない。これらの専門家で実際に行っている人は、ほとんどいない。
- ・実際には、実験段階。Walmartなどが特定の野菜等で行っている程度。Walmartの目的は、商品の由来（“provenance”）を明らかにすることによる付加価値の向上。国全体の食の安全の向上のためではない。

最大の課題は・・・

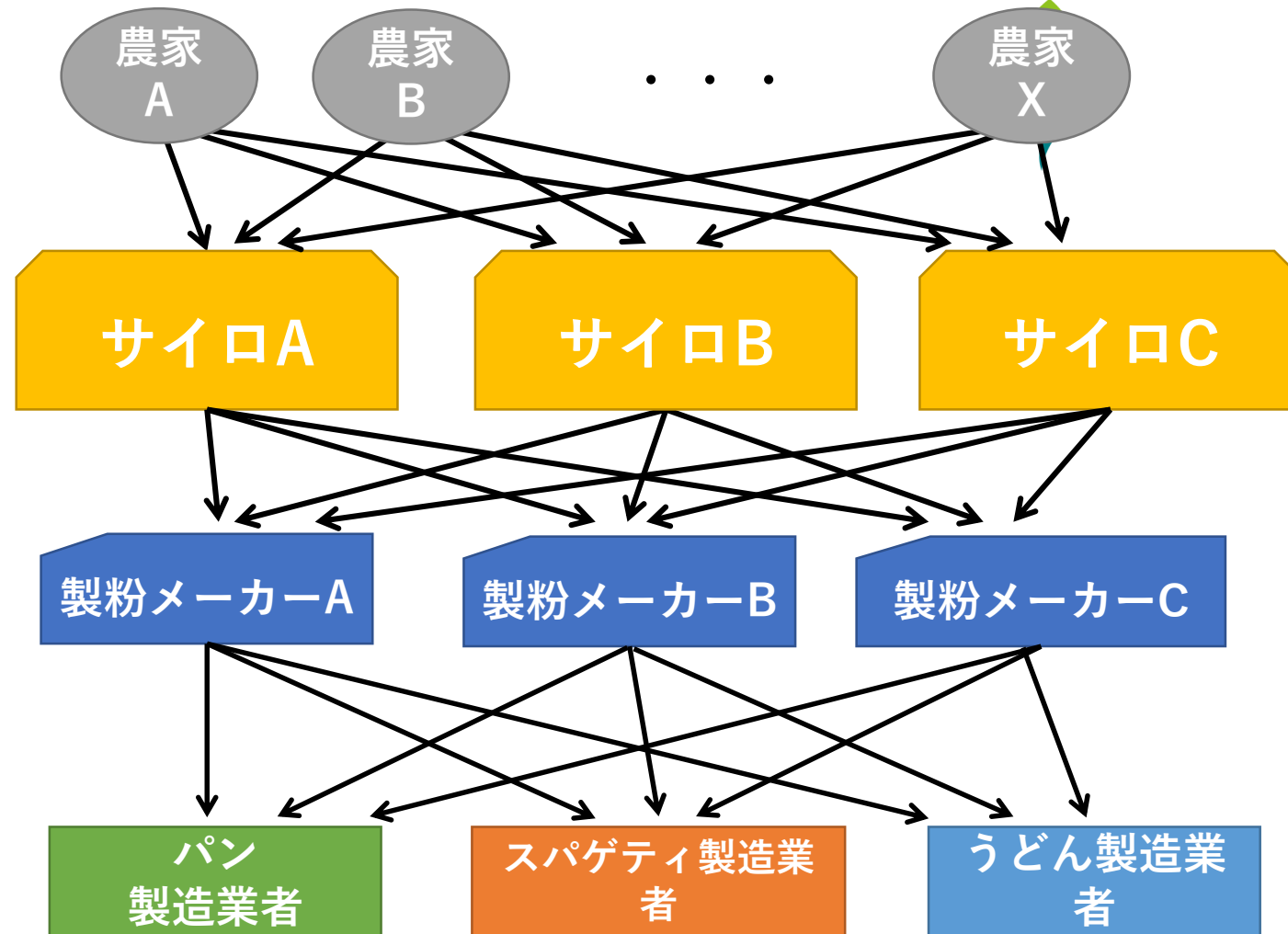
我々は牛や豚を食べているのではない

仮想通貨は姿を変えないし、あなたの1万円も私の1万円も同じ価値。1万円に個性はない。食品は、多数の農家が生産する農産物から様々な加工・流通業者の手を経て様々な形に姿を変えるし、混在する。あなたが食べようとしているその食品つまり個性が重要。正しく記帳するためには、膨大な労力が必要。

(参考①) 豚肉の例



(参考②) 小麦の例



Gene Editing



AIやIT、ロボット、センサーなどのスマート農業は分子の面積当たりのコストを低減するもの。

incremental cost reduction



これに対し、ゲノム編集技術は分母の面積当たり収量の増加を可能とする。収量が2倍になるとコストは半減。

exponential cost reduction

*しかも、規模において中立的な技術⇒面積の小さい日本により適合

ゲノム編集とは？

- ゲノムと呼ばれる **遺伝子情報を切断したり、切断したところに別の遺伝子情報を組み込むもの。**
- 2013年にこれを切断する酵素としてクリスパー・キャスナイン（CRISPR／Cas9）が開発されて、応用される分野や可能性が拡大。2020年のノーベル化学賞は、これを開発した二人の女性研究者に贈与。
- この技術の活用が期待される主な分野は、農林水産物の品種改良と医療分野における遺伝子疾患の治療法の開発

欧米での関心の高まり

- 数年前から、農業や食料に関する欧米のフォーラムに出席すると、IT、AIやロボットの農業への応用、細胞から作る培養肉などの新技術とともに、ゲノム編集技術が取り上げられるようになった。これ以外に、ゲノム編集技術だけを専門に扱うフォーラムも毎年いくつかが開催され、大学や公的機関の研究者、大企業、スタートアップ企業やベンチャー企業、エンジェルと言われる投資家、政府の規制担当者などが集まり、成果発表、情報交換、商談などを活発に行っている。
- アメリカの大学や研究所では、**中国出身の研究者が目立って活躍。**

これまでの品種改良の歴史

- 人類は**自然による遺伝子の突然変異**を**農業に利用**。これがなければ、作物の栽培や家畜の飼育という農業は成立しなかった。その典型が米や小麦などの穀物。ほんらい生物は子孫を残したいという欲求を持つ。穀物が実をつければ、それを広く飛ばして多くの子孫を持つとする（タンポポが綿毛を飛ばす）。
- この生物の習性は、穀物を食用としたい人類にとっては、はなはだ不都合。穀物の実が飛び散ってしまえば、拾い集めることは容易ではなくなる。しかし、**突然変異で実を落とさない穀物を人類は見つけ、その穀物を固定**。
- 果物や野菜も我々が食べる部分が極端に肥大化したもの、乳牛も乳房が大きくなり乳量が増大したもの。自然の摂理からすると、今我々が食べている農産物は奇形で、人類がいなければ自然界で生き残れなかった品種

20世紀の発展

- 20世紀に入り、遺伝的に優れた因子を持つ食物を交配することによって、その子孫から優れた固体を選別するという「交雑育種法」が品種改良の中心。1930年代からは放射線を活用して突然変異の幅を人為的に拡大するという「突然変異育種法」が開発。1960年代からは、バイオテクノロジーによって「組織培養技術」が進歩し、ウィルスフリー苗などが農業に使用。
- しかし、いずれも、**不利な変異が起こるかもしれないという問題。**

遺伝子組み換え農産物GMOとゲノム編集GE

- 遺伝子組み換え技術は、これまでの品種改良技術を大きく変化させた。**変えたくない部分には手をつけずに、作物の形質を左右する別の生物の遺伝子を組み込むことで、改良したい形質のみ変化させる。**
- **遺伝子組み換え技術**は、他の生物の遺伝子を挿入するという自然界では起こり得ないことを人為的に実現。
- **ゲノム編集**は、その生物自体の遺伝子を切断するだけで品種改良を実現。これは自然界に見られる突然変異や従来の作物改良と異なるものではないと主張される。

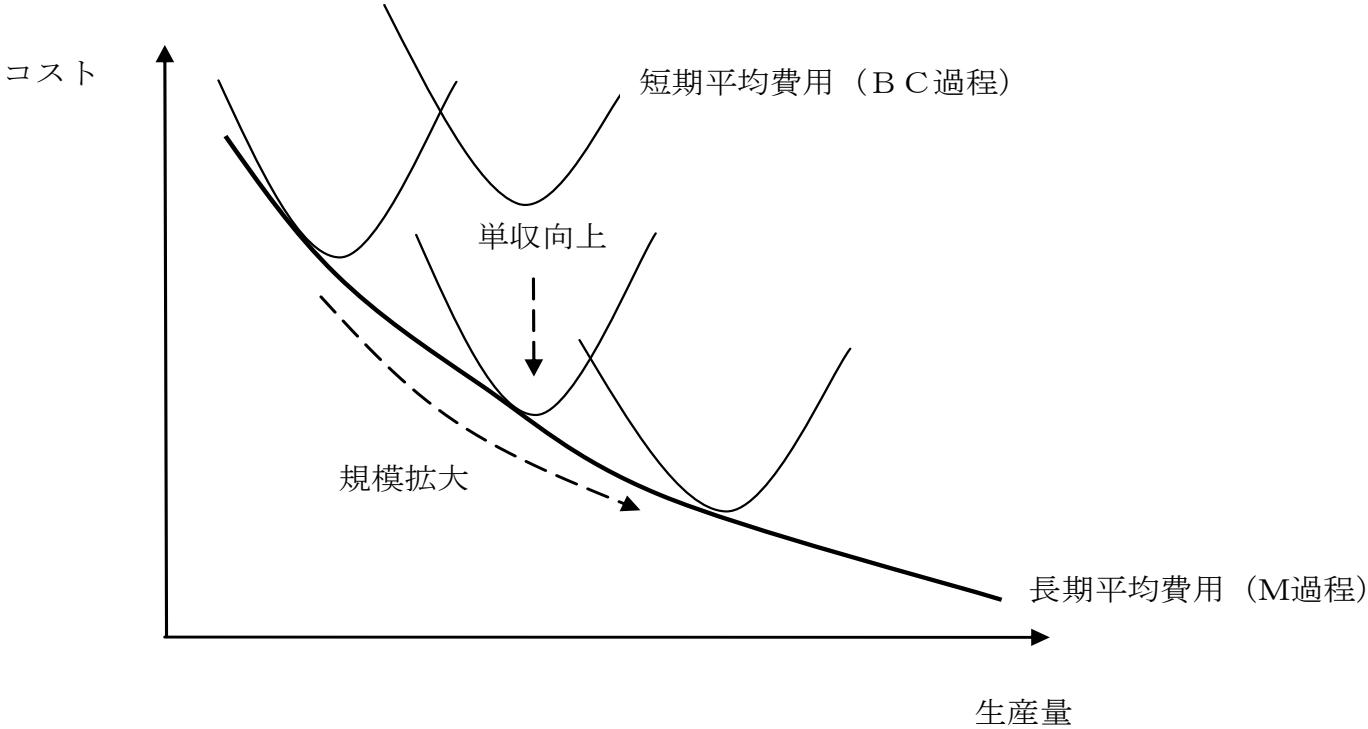
GMOが普及した理由（メリット）

- 土壌流亡を防止するため、アメリカでは、非耕法（土を掘り起こさない）、等高線耕作、作物残さの放置等の方法も実証されています。しかし、非耕法を用いれば雑草防止のため、作物残さを農地に放置すれば害虫除去のため、それぞれ農薬をより投下しなければならない。
- 遺伝子組み換え農産物が普及した理由は、土壌侵食防止にも資する**農薬や害虫に強い農産物を開発したから**。

BC過程とM過程

- 農業生産は、**生物学化的過程（BC過程）と機械学的過程（M過程）**から構成される。
- BC過程は1 haの面積でも100 haの面積でも変わるものではなく、農地の大きさとは無関係である。1 haのBC過程で用いられる種子、肥料、農薬、水を100倍すれば100 haのBC過程になり、分割可能であるという特徴。農地面積が一定であれば肥料を増加するにつれ追加的な肥料投入量一単位当たりの増収効果は減少～**収穫逡減の法則**
- これに対して、アメリカの100 haの農場で高度な生産効率を發揮する大型機械を日本の中山間地域の10 aの圃場で使うことはできない。M過程は分割不可能という特徴。M過程では農場の規模によって適正な機械が異なり、規模が大きくなればなるほど単位生産量当たりの生産費は減少し、**規模の経済が働く**。

BC 過程と M 過程



品種改良とBC過程

- トン当たりの生産コストは、a.面積当たりいくら肥料、農薬、労働、農業機械を使用したかというコストをb.面積当たりの収量（単収）で割ったもの。
- 肥料、農薬などの価格を下げたり、M過程を利用して規模を拡大したりして、a.を低下させれば、生産コストは減少。
- **BC過程でも、b.の単収を増加させれば、生産コストは減少。** 単収が二倍になれば、生産コストは2分の1に低下。
- 肥料等の投入を変えなくても収量は倍。“sustainability = **produce more with less**”。
- 病気に耐性がある、肥料吸収性が高い、倒伏しないなどの性質を持つ品種を開発することも、b.の単収を増加させる。

消費者への受容可能性

- GMOと同様、遺伝子を操作して新しい農産物や食品を供給することに、**消費者は大きな不安**。
- 家畜のエサや食用油採取のために生産され、欧米ではほとんど食用に向けられないトウモロコシや大豆（欧米では、大豆は食用ではなくヒマワリの種や菜種と同じく油の原料であり、穀物ではなく油糧種子oilseedsと分類される）について、遺伝子組換えを行ってきた。遺伝子組換えに反対が少ないアメリカにおいてさえ、食用の割合が高い米や小麦には、消費者の反感を考慮して開発を控えてきた。

日本のGMO実態

- これまでも生産者は遺伝子組換え大豆を作付けできるのに、してこなかったし、今後もしないだろう。
- **実際には日本の消費者は遺伝子組換え農作物を大量に摂取。** エサ用として遺伝子組換えトウモロコシが15百万トン、食用油用として遺伝子組換え大豆3百万トン、遺伝子組換え菜種2百万トンが、輸入。豆腐と違い、加工度が高い油になると、遺伝子が組み換えられたDNAが残らないので、遺伝子組換え大豆使用という表示を行う必要はないから、我々は気づかないできただけ。
- しょう油についても、当初は遺伝子組換え大豆を使用、消費者へのイメージを考慮して、今では業界として自主的に非遺伝子組換え大豆を使用。

GMO規制

- TPPに参加すると、アメリカによって、遺伝子組換えについての規制が緩和・撤廃され、これらの農産物や食品を食べさせられるのではないか、という根拠のない主張。
- アメリカでも安全性が確認されていない危険な遺伝子組換えの農産物や食品を食べさせられることはない。
- どの国も安全性が確認された遺伝子組換え食品しか流通を認めていない。各国で規制が異なるのは、安全だとして流通を認められた遺伝子組換え食品について、それを使用しているという**表示の義務付けを要求するかどうか**。

遺伝子組換え農産物(大豆の例)



- 各国とも自ら安全性を確認したものしか流通させていない

違うのは表示



アメリカ	表示の義務付けは一切不要 (近年修正⇒日本)	
日本	大豆	表示義務 (5%以下なら不要)
	豆腐	表示義務 (DNAが残る)
	醤油・大豆油	表示不要 (DNAが残らない)
EU	全ての農産物・加工品に表示義務	
オーストラリア・ ニュージーランド	日本と同様の規制	

EUのGMO規制

- 豆腐などの製品だけでなく、しょう油や大豆油など、DNAなどが残存せず、したがって検出できない製品についても、1%でも遺伝子組換え農産物が含まれていれば、遺伝子組換え食品だという表示を要求。0.9%未満であれば表示義務はない。
- 食品からDNA等が検出できない以上、製品を調べただけでは表示が正しいかどうか検証できないので、遺伝子組換え農産物とそうでない農産物について、すべての流通段階で、倉庫や帳簿の上で、分別、区分けすることを義務づけ。これを**分別生産流通管理**という。これには高いコストがかかるので、**事実上**遺伝子組換え農産物は流通から排除。

日本の政策変更

- 2018年、日本では、消費者団体の要請を入れて規制を強化し、任意表示をより厳格化。
- 分別生産流通管理をして、意図せざる混入を5%以下に抑えている大豆及びとうもろこし等については、適切に分別生産流通管理された旨の表示を可能、
- しかし、**意図せざる混入がゼロでない限り、「遺伝子組換えでない」等の表示を認めない**こととした。
- 意味ある規制変更？

アメリカの規制変更

- 遺伝子組換え食品に対する警戒が高まってきたことを背景に、2016年遺伝子組換え食品等について情報公開を求める法律（通称"Bioengineered Food Disclosure Law"）を制定。
- この法律に基づき、分析における検出可能性を考慮して、油などの高度精製品は情報開示の対象から除外することとし、許容される混入割合として重量比5%以下を採用した。**アメリカが日本と同じ規制を採用。**

GEの表示規制

- **ゲノム編集された食品の規制についても、各国とも従来の遺伝子組換え食品と同様の考え方。** EU（欧州司法裁判所の判断による）はゲノム編集された食品も遺伝子組換え食品も同様すべてについて表示が必要。
- **EU**は食品や農産物が作られる課程・**プロセス**に応じて規制。これに対して、**日本やアメリカ**は、プロセスではなく、作られた**モノ**に着目して規制すべきだとする考え方。

GEの規制

- 2019年3月厚生労働省の専門部会は、ゲノム編集でも遺伝子組換え食品のように他の生物の遺伝子を挿入するような場合には、安全性の評価を行い、流通させるかどうかを判断するが、そうでない多くのゲノム編集された食品については、**自然界のもの**と異ならないので、**安全性の評価は不要となり、開発した企業などに届け出だけで流通させて良い**とした。届け出は任意で、違反しても罰則はない。
- 表示の規制についても、消費者庁は2019年9月、遺伝子組換え食品と同様、**他の生物の遺伝子が食品中に残存しない限り、表示の規制は不要**と判断。

GEの光と影

- 遺伝子組換え農産物を開発したのは、少数の大企業。細胞に他の遺伝子を送り込む際にゲノムのどこに入り込むかがわからないので、多数の中から良い位置に入り込んだものだけを採用。これに多大なコストが必要。
- これに対して、ゲノム編集を応用しようとしているのは、**小さな企業や大学の研究者たち**。大きなコストをかける必要がないので容易に活用できる。ただし、ゲノム編集技術が幅広く応用・活用されるという点ではプラスですが、核の拡散問題と同様、誰でも利用できるようになると、**問題が起きた場合に規制することが困難になる**というマイナス面。

世界の食料安全保障

- 生産の飛躍的な増加により、過去約100年間、人口増加は4倍を超えるのに穀物価格は低下傾向で推移。ところが、短期的には、過剰の中でも突然穀物価格は上昇~pike。
- 所得が低い国では、食料品価格が上がると、収入のほとんどを食費に支出している人は、買えなくなり、飢餓が生じる。OECDやFAOなど、世界で食料安全保障と言う場合、貧しい途上国の人たちがどうやって食料を買えるようになるかが、中心テーマ。
- 世界の食料安全保障の解決のためには、**途上国における貧困の解決、安価な食料生産の拡大が重要**。ゲノム編集はこれに大きな役割を果たすことが期待される。

GEと食料安全保障

- ゲノム編集で生産された農産物や食品は、安全性を重視するようになってきた日本やEUなどの消費者には受け入れられない？
- しかし、**途上国の消費者は、未だに量の不安**を抱える。ゲノム編集は世界の食料安全保障に貢献することができる。
- また、日本のような国でも健康や生命身体の維持に役立つ高機能ゲノム編集食品は受け入れられるかもしれない。現在糖尿病治療に使われている**インスリン**は遺伝子組み換え技術を活用したものの。