

農業の起源

農業が始まった動機（狩猟採集から農業に移行した理由）は種々の議論があり、明確な結論に至ってはいない。

通常よく考えられている農業の開始の動機とは....

農耕以前（狩猟採集）はギャンブルだったのか？

多くの狩猟採集民を調査した結果、食事内容は、植物食 60-70%、肉・魚：30-40%でほぼ共通で、狩猟への依存度は高くない。採集される植物種数は極めて多く、栄養的にも優れる。

農業の発祥の時期と場所

農業の起源は今から約1万2000年前頃と考えられている(少し古い文献では9000-1万年前とされている)。また、農業の起源地は散在していて、1つまたはごく数少ない起源地から伝播したのではないと考古学的には考えられている。

農業の起源地

西アジア（イスラエル地方） ・小麦栽培と牧畜の複合農業 約 12000 年前

中国の雲南地方 約 5000 年前

中国の揚子江（長江）の中・下流域 約 7000 年前とされてきたが、近年、12000 年前とされるようになってきた

人間と土壌とのかかわり（文明と土壌）

古代文明発祥地 メソポタミア、ギリシャ

これらはなぜ減んでいったのか？

畑作に基盤を置いた両文明の共通点は？

稲作文明（長江文明）

農業システムの崩壊で滅亡したのではなく、他の文明（黄河文明）に軍事的に滅ぼされた：畑作文明とは異なる。稲作文明は畑作文明に比べ、持続的であったと見られる。それはなぜか？

栽培の歴史

ヨーロッパの場合

畑作では地力（土地の生産力）維持が最も問題になる。畑地の地力低下の要因：土壌酸性化

生産力低下を防ぐ手段：石灰施用、緑肥施用、農法の発達

ローマ時代以後の最も古い栽培様式

- ・古三圃式農業
 - ・三圃式農業（西暦初期頃、ゲルマン民族）
 - この様式の変形として、3年目を放牧とするものもある（厩肥による地力増進）
 - ・改良三圃式農業（中世にかけてドイツ中心に）
 - 休閑なし（土地利用効率を上げる）←人口増加
 - ・四圃式農業（イギリス）

改良三圃式農業や四圃式農業が9C～16,7C（産業革命のころ）まで続く

その後、肥料工業の発達に伴い、化学肥料が作られるようになると、休閑は行なわれなくなる。

畑作では、地力維持のために各種の作物を組合わせて次々栽培する、「輪作」という農法が非常に重要。輪作（crop rotation）の農法は800年間くらい持続した。

一方、稲作ではイネだけの栽培を毎年繰り返す、「連作」（同一種の作物の栽培：continuous cropping, sequential cropping）が行われるのが普通で、数千年持続している。その最大の理由は、稲作（水田作）では大量の水が使われ、水に溶け込んだ栄養分が土地に補給されるから。

日本の稲作

10a 当たりの収量は奈良時代はおよそ 100kg 程度。その後、鎌倉時代に 150kg を越えるようになり、約 200kg になったのは江戸時代になってから。

明治初期（1880 年代）は江戸時代と同じ 200kg 程度で、大正時代半ば（1915 年）までの 30 年間で 40% 程度増加して 280kg に。この後、昭和 30 年（1955 年）頃まで伸びがやや鈍ったが、その後の 23 年間で 330kg 程度から現在の水準と同じほぼ 500kg（昭和 53 年：1978 年）にまで約 50% 増加。

栽培技術はどのような技術で構成されているか

- ・ 土壌に対する技術
- ・ 植物に対する技術
- ・ 生育環境に対する技術

栽培技術の目指すものはなに？

作物の分類

1) 利用目的による分類

2) 生態学的特性による分類

1. 生存年限による分類

2. 温度適応性による分類

3. 繁殖様式による分類

有性繁殖 sexual reproduction

無性繁殖 asexual reproduction

4. 受粉様式による分類

自家受粉 self pollination

自殖性作物 autogamous crop

他家受粉 cross pollination

他殖性作物 allogamous crop

種物（たねもの） 栽培の出発点

有性生殖作物：種子 or 果実

無性（栄養）生殖作物：栄養体

作物の栽培方法

移植と直播

直播とは

移植とは

移植と直播の選択は何に基づくか

移植のメリット（移植の目的）は何か

1) 土地の利用率を高め、生産性を高める

2) 栽培管理上のメリットが得られる

3) 作物の特性上、移植がよい

作物によっては、移植した方が、生育や収量が良いものがある

移植に強い作物の特性

直播が有利な場合

作物の特性を考えると、直播が有利な場合が多い。

例) 栄養器官 (vegetative organ) である茎葉部や根を収穫する作物

作物の根系と移植・直播適応性

例) 牧草や禾穀類は栽培面積が広大なので移植が困難

これらの作物は通常栽培面積が大だから、一般に直播が有利。

世界の稲作

地域別栽培面積割合：アジアに集中している

単収：東アジアと欧米・オセアニアで高い

移植と直播

地域により、いずれが主流となっているかは異なる

イネはなぜ移植されるのか？

理由1 植え痛み (transplanting damage) が出にくい

理由2 雑草との競合を有利にし、収量増加が得られる

他の食用作物 (畑作物) ではこの様な効果は小さい

水田という特殊な環境で栽培されることが、他の食用作物では選択されない移植を選択可能にしている

イネにも植え痛みはある

症状、原因、植え痛みが出やすくなる条件

イネの植え痛みのメカニズム

- 1) 含水率の低下
- 2) ホルモン生成への悪影響
- 3) 養分吸収阻害

植え痛みから活着の過程

- ・糖とデンプンの含有率の変化が重要

植え痛みを軽減するには

- 移植後早く多くの新根が出る良い苗を作ることが重要
- 移植後早く発根するために重要なことは葉齢
- ・イネには出葉と発根との間に規則性がある

選種 (seed selection)

選種の意義や効果と方法

予措 (seed pretreatment)

発芽とその後の生育をよくするための一連の作業

- 1) 浸種、2) 種子消毒、3) 休眠打破

休眠のメカニズム

・胚などの形態的・生理的未成熟　・種皮等の物質透過性が低い　・発芽阻害物質の存在などがある

播種方法

散播 (broadcast seeding)、点播 (hill seeding)、条播 (row seeding)、リル播き (密条播 drilling)

播種密度 (seeding density, seeding rate)：単位面積あたりの播種種子重、あるいは種子数

覆土：種に土かけること

通常は播種後、覆土される (例外：水稻の湛水直播、牧草)

覆土は播種深度 (seeding depth) を決める。普通は 2-3cm 程度だが、種子の大きさにより異なる。

鎮圧の効果

・心土と耕土との毛管連絡を復活　・種子と土壌を密着させ、種子の吸水を促すなど

主要作物の発芽条件と発芽形態

イネ

種子の寿命、発芽条件：

ムギ類

発芽条件、発芽形態

ダイズ

発芽条件、発芽形態

イネの生育（一生：田植えから稲刈りまで）の概略を解説する

移植期・活着期

分けつ期 (tillering stage)

- ・分けつ (tiller) とはイネ科作物の分枝 (branch)
- ・分けつ数 (茎数ともいう) は一般に、増加して最高値に達した後、減少して一定値に落ちつく
分けつ数が増減する時期 (分けつ期) はいくつかの時期に分けられる
- ・分けつが増えることの生産性へのプラス面
- ・分けつが増えることの生産性へのマイナス面

イネでは一つの分けつに一つの穂がつく。穂に籾がつくのとから、分けつの増減の過程は、籾の数、ひいては収量に大きな影響を与える重要な過程

有効分けつ (productive tiller) と無効分けつ (non-productive tiller)

すべての分けつに穂がつく訳ではない...

穂をつけるか、つけないで無駄になってしまうかの分かれ道はなに？

幼穂分化期 panicle initiation stage

幼穂形成期 panicle formation stage

穂の元ができて生長していく時期

出穂期 (穂 (ear) が葉鞘の外部に出ること) heading stage

登熟期 ripening stage, grain filling stage

- ・籾にデンプンが蓄積される時期
米が実するにはどれくらいの日数かかる？

成熟期 maturing stage

刈り取り適期とは、刈り取り時期の目安

収量構成要素

作物の収量は、いくつかの要素のかけ算によって成立するという考え方。

例えば、会社の収益 = セールスマンの数 × 顧客の数 × 商品価格 × 収益率 というような感じ

会社の収益を向上するにはどの要素を増やせばよいか、と考えるように、収量構成要素は、収量のコントロールを図る上で重要な見方

イネ科穀類の収量構成要素

マメ類の収量構成要素

収量構成要素は生長過程でどのような順番で決定していくのか

収量を形態的な要素に分解するのが収量構成要素による収量の見方

・各構成要素は生育に伴い順次決定 / ・各構成要素を増大させるような時期の施肥で収量増大を図る

イネの収量構成要素は下記の順に決まる

穂数: m^2 当たり穂数 (m^2 当たり株数: 栽植密度と1株穂数で決まる)

一穂籾数: 穂の大きさ(長さ)で決定: 幼穂形成期の窒素栄養が影響

登熟歩合: 全籾数のうち登熟(完全に実った)籾の数の割合(%)

千粒重: 品種によりほぼ一定

収量 = 単位面積あたり全乾物重 × 収穫指数

乾物 (dry matter): 植物体重から水分の重さを引いたもの

収穫指数 (harvest index) = 収穫部位の乾物重 / 全乾物重

全乾物重は生物学的収量 (biological yield)、収量は経済学的収量 (economic yield) と呼ばれ、収穫指数は経済学的収量が形成される効率

単位面積あたり全乾物重 = 1 日あたり単位面積あたり乾物重増加 × 生育期間長 = 個体群生長速度 × 生育期間長
= CGR (crop growth rate) × 生育期間長

同一作物種では晩生品種の方が早生品種より収量が高い傾向にある。品種が固定された場合 (例えばコシヒカリ)、生育期間長は通常は栽培技術的には変えられない。

CGR は 2 つの要素に分解される

$$\text{CGR} = \text{NAR} \times \text{LAI}$$

[g/m²/day] [g/m²/day] [m²/m²]

NAR = 純同化率 (単位葉面積あたり 1 日あたりの乾物重増加量: net assimilation rate)

LAI = 葉面積指数: leaf area index 1m² の耕地に生育している作物の全葉面積が何 m² かを示す値

NAR はどういう意味を持つか?: 単位葉面積あたりの乾物重増加速度だから、光合成の能率の尺度の一つ。ただし、NAR は葉の光合成速度*そのものではではない。

乾物重増加速度 = 光合成速度 - 呼吸速度

$$= (\text{真の光合成速度} - \text{葉の昼間の呼吸速度}) - (\text{葉の夜間の呼吸速度} + \text{葉以外の呼吸速度})$$

$$= \text{純光合成速度} - \text{植物体の呼吸速度}^{**} \quad (**\text{葉の昼間の呼吸速度は含まない})$$

よって、NAR ≠ 純光合成速度であり、NAR は葉の純光合成速度が高いほど、また、植物体の呼吸速度が小さいほど大きくなる。

* 一般に、葉の光合成速度という場合、葉の純光合成速度 (見かけの光合成速度ともいう) のことを指す。

純光合成速度 net photosynthetic rate (見かけの光合成速度 apparent photosynthetic rate)

$$= \text{真の光合成速度 (true photosynthetic rate)} - \text{暗呼吸速度 (dark respiration rate)} - \text{光呼吸速度 (photorespiration rate)}$$

である。

作物の生産を向上させる上で、光合成を向上させることが重要だが、それを実現するには光合成がどのような要因によってコントロールされているのかを知る必要がある。

光合成生産を増加させるには...

光合成生産＝葉面積×光合成能力 だから

葉面積と光合成能力を増大させればよいが... 以下のような制約をクリアーしなければならない

■相互遮蔽（そうごしゃへい：mutual shading）

■受光態勢（light-intercepting characteristics）

■倒伏（とうふく：lodging）

全乾物重を大きくして収量の増加に結びつけるには

多量に窒素を施肥しても

1. 受光態勢が悪くならない
2. 倒伏しない

特性を持った品種でなければならない。多肥条件下でも受光態勢が悪くならない品種の特性とは？

窒素施肥量と作物生産の関係

- ・窒素施肥量の増加に伴って、あるところまでは作物の純生産は増加するが、それ以上の施肥量では収量はかえって減少する。
- ・純生産が最大（ピーク）になる時の施肥量を**最適施肥量**（optimum fertilization rate）というが、最適施肥量はどのようにして決まるのか？
- ・作物による最適施肥量の違いは何によるのか？

■耐肥性（adaptability to heavy manuring）とは？

作物の全乾物重のうち、収穫部分の乾物重の占める割合を**収穫係数**という

収穫指数の大小は、作物が収量を生産してくれる効率的の指標

効率の良い作物生産のためには何が必要か

収穫係数の支配要因は？

登熟歩合は何に支配されるか？

1. 出穂後の光合成（乾物）生産量、2. 転流のよしあし、3. 出穂前の光合成（乾物）生産量

1. 出穂後光合成（乾物）生産量

- ・一般に収量の 60～80%を占める。よって、葉面積の減少の抑制、光合成能力の維持が重要
- ・窒素追肥が有効、根の機能低下を防止することも有効

玄米に蓄積される炭水化物は2つからなる

出穂前蓄積と出穂後生産分

出穂前蓄積の増加に限界があるとすれば、出穂後の生産量を高めることが重要になる。

具体的技術：

追肥（窒素が特に有効）

穂肥（穂の成長期（出穂前）に施す追肥）

実肥（出穂以後に施す追肥）

追肥と米の食味の関係

米の食味に関する要因

- ・アミロース含量：粘りがなくパサパサのアミロースが少ない方が食味がよい
- ・タンパク含量：タンパクが少ない米の方が良食味（栄養は劣る）。窒素追肥で米のタンパクは増える。

転流に影響する要因

■低温は転流を阻害 ■高温は転流を促進する

個葉光合成能力に関する要因

1. 葉身窒素含量と個葉光合成

- ・成熟した葉に含まれる窒素の 75-85%は葉緑体に存在し、一般に個葉光合成能力と葉身窒素濃度との間には密接な比例関係がある。

2. 葉の老化（aging）と個葉光合成速度

- ・光合成速度は老化に伴って低下する
- ・光合成速度低下は主として CO₂ 固定系の老化による

3. 葉の老化に影響を与える要因

・窒素吸収量

追肥（top dressing） 葉の老化を抑制する効果を持つ。

・ホルモン

サイトカイニン、アブシジン酸

個葉光合成能力に関する要因

1. 葉身窒素含量と個葉光合成

- ・一般に個葉光合成能力と葉身窒素濃度との間には密接な比例関係がある。
- ・葉面積あたりの窒素量は葉の厚さと関係深く、厚い葉を有する植物ほど葉面積あたりの窒素含量が多い。
- ・葉の厚さを示す指標として、比葉重（SLW: specific leaf weight）がよく使われる。

2. 葉の老化（aging）と個葉光合成速度

- ・光合成速度は老化に伴って低下する
- ・光合成速度低下は主として CO₂ 固定系の老化による

3. 葉の老化に影響を与える要因

- ・窒素吸収量 追肥（top dressing） 葉の老化を抑制する効果を持つ。
- ・ホルモン サイトカイニン サイトカイニンは根で合成されるので、根の機能を高く保つことで葉の老化も抑制される。

アブシジン酸 老化促進。葉の蛋白質分解を促進。

個葉光合成と個体群光合成の違い

個葉光合成：光飽和が存在（光飽和点には作物種間差がある）

個体群光合成：（充分発達した群落では）通常、光飽和しない

個体群光合成はなぜ光飽和しないのか？

作物個体群の葉：個体群の個々の葉は、葉の重なり具合によって、異なった強さの光を受け、ある一部の葉が光飽和しても、他の葉は光飽和していない。

- ・生育初期は葉面積が小さいので、すべての葉が光飽和しうる。

葉の空間配置とNAR

水平葉からなる葉の空間配置と傾斜葉による葉の空間配置では、NAR が異なってくる

個葉の光－光合成曲線

- ・個々の葉は、弱い光（光補償点以上）を受けた時の方が、エネルギー固定効率が高い。
- ・個体群のNARは、すべての葉に光補償点以上の弱い光がむらなく当たるような葉の空間配置の場合に高くなる。

LAIとCGR

NAR と LAI は通常、負の相関関係（negative correlation）にある。LAI と CGR との関係は、

- 1) 最大の CGR を与える LAI(最適 LAI という)が存在する場合
- 2) 最適 LAI は認められず、LAI が増加しても CGR が一定で増加が認められなくなる場合

の 2 つの場合がある。

まとめ

- ・CGR を高め、作物生産を高めるためには、葉の空間配置の改善が重要
- ・群落の光合成は、個々の葉の光合成の積算だから、個々の葉の光合成にかかわる要因（窒素含量、老化の程度、光合成回路、ストレス状態、風速）などの面からも総合的に光合成の能力を高めることが重要

イネの冷害

冷害発生の気象パターン

気象学的には 2 パターンある 第一種型冷夏と第二種型冷害

冷夏のイネへの影響

- 1) 栄養生長期の低温による出穂遅延、それによる登熟障害
- 2) 生殖生長期の一時的低温による稔実障害

1)を遅延型冷害、2)を障害型冷害という

低温障害を受けやすい時期（低温感受性の高い時期）

1)幼穂の形成開始期、2)花粉の形成期、3)出穂開花期、4)受精直後の登熟初期。上記の 4 時期のうち特に重要なのは 2)

冷害の回避対策

遅延型冷害 品種（適切な熟期（早晩性）、耐冷性）選択など

障害型冷害

穂孕期の深水かんがい、穂孕期前の深水かんがい（前歴深水かんがい）

霜害

- ・植物の抵抗力の弱い春の晩霜期と秋の初霜期に発生
- ・霜により植物体が凍結し、凍死する

霜害の防止法

被覆法、煙霧法、加熱法、送風法、氷結法

環境保全型稲作

除草剤に頼らない水田の除草法の例

1. 米ぬかの利用（米ぬか除草法）

米ぬかを移植後の水田に散布する方法。米ぬかが微生物により分解される際に生成する有機酸が雑草種子の発芽や発芽後の根の生長を阻害する。また、米ぬかの散布により強い土壌還元が起こり、土壌表層の酸素が消費されるので、発芽時に酸素を必要とする雑草種子の土壌表層での発芽を抑制。

本方法に類似の方法として、緑肥（レンゲなど）を代かき前にすき込む方法がある。

2. 深水・濁り水

水深を深くすることにより雑草の発芽を抑制できる。また、水田の水が濁っていると光の透過が抑制されるので、雑草種子が発芽しても十分な光合成が行えず枯死する。

3. アイガモ

アイガモは雑草を食べるだけでなく、水田内を泳ぎ回ることによって水田の水が攪拌されて濁り水になることから、濁り水の効果も加わる。また、アイガモはイネにつく昆虫なども食べるので害虫防除効果も期待できる。さらに、排泄された糞による肥料効果もある。

4. その他の方法

紙マルチ、カブトエビ、コイ、ジャンボタニシ（スクミリンゴガイ）

雑草のイネへの影響

養分（特に窒素）と光の競合、雑草草種による競合の違い

土壌還元（soil reduction）とは

土壌の酸化還元は、土壌の化学的環境と同時に生物的環境による

還元土壌では、植物生育を阻害する物質の生成が起こる

米ぬか除草法では土壌還元を雑草抑制に利用するが、一般には土壌還元はイネの栽培管理上は抑制するようにする。根の障害を回避し、良好な登熟を確保するため。

不耕起移植栽培

苗の移植前に耕うんや代かきをしない移植栽培法

メリット

- ・低コスト 耕起作業の省略による
 - が、不耕起移植専用の田植え機が必要
- ・低投入型稲作 農業機械(燃料)使用の低減

不耕起移植イネの特徴

- ・茎が太く、硬い →倒伏に強い、病害虫に強い
- ・秋落ちしない
- ・根が太い
- ・根量が多い

不耕起移植イネの根の特徴には、以下のような、不耕起水田の土壌の特徴が関わっていると考えられている。

- 1) 土壌表層は耕起水田より固い
- 2) 土壌下層は耕起水田より柔らかく、根穴構造が発達

乳苗と稚苗の違い

乳苗移植栽培のメリット

- ・コスト低減
- ・経営規模拡大に有利

乳苗の特徴

- ・活着力が強い
- ・深植や冠水に強い

イネの直播栽培

直播栽培の種類

乾田直播と湛水直播