

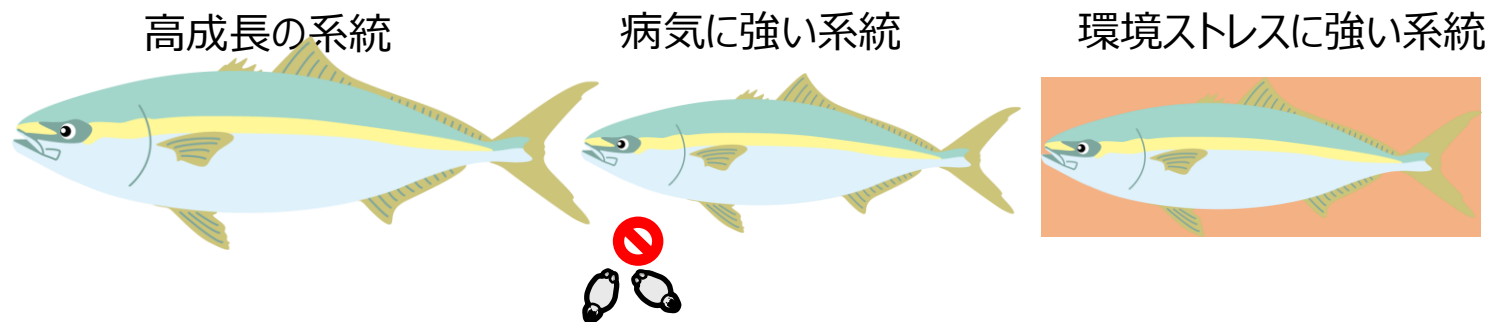
水産動物における優良系統の作出の現状

令和 4 年 7 月
水産庁

1. 育種の目的

- 育種の目的は、優良な表現形質（生物の特徴で遺伝するもの）に改善すること。
- 養殖業の成長産業化を推進するうえで、優良な系統を作出し、活用することは重要。

- ▶ 「育種」は、「遺伝育種」の省略である。
※「育＋種（種を育てる）」という人工種苗の生産を目的としたものではない。
- ▶ 遺伝育種の目的は、生産性の向上に資する表現形質（高成長、耐病性又は環境ストレス耐性＝表現型（※））を改善することである。
※ 形質が実際に表現されたもの



養殖業における育種は重要

今後の養殖生産の主軸となることに期待

2. 水産物の育種の状況

- 水産動物のゲノム情報を利用した育種は、近年、民間企業や国で取組が開始。
- ブリ、サーモン、マダイ等の研究開発。

現 状

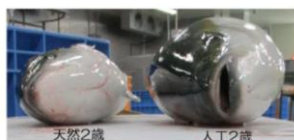
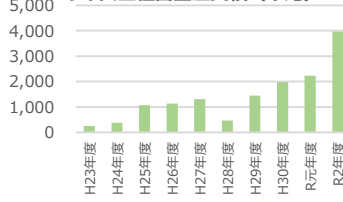
ブリ

- ・ 人工種苗の需要の高まりや、種苗生産業者の増加等により、生産は増加傾向

- ・ 人工種苗比率は1～2割程度

- ・ 選抜育種による出荷サイズの大型化や、養殖期間の短縮

ブリ人工種苗生産実績（千尾）



写真：第8回ブリ類養殖振興勉強会

サーモン

- ・ ほぼ100%が人工種苗（多くが輸入）
- ・ 海面及び陸上のサーモン養殖が活発化
- ・ 冬季の海面養殖時における高成長種苗や、大型化する種苗の育種ニーズ

マダイ

- ・ ほぼ100%が人工種苗
- ・ 天然マダイは、体重1kgになるまで3年かかるが、人工種苗は約1年半

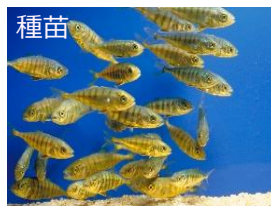
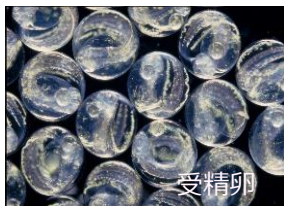
ブリ

【概要】

（国研）水研機構が、人工種苗の周年供給システムを構築に取組み、養殖生産及び供給の安定化、国際競争力を強化

【取組内容】

- ・ 育種プログラム：3世代の選抜育種を実施 → 高成長の系統を作出
- ・ 種苗供給プログラム：様々な時期に受精卵や人工種苗を供給
- ・ 技術移転プログラム：親魚養成・採卵と種苗生産の技術を移転



写真：水産研究・教育機構

サーモン

【概要】

水研機構を中心としたコンソーシアムが、サーモン（ニジマス・サクラマス）について、高成長等の系統を選抜育種するため、基礎集団の構築や系統の作出



ニジマス



サクラマス

【取組内容】

- ・ 海面養殖に適した種苗を選抜するための基礎集団を構築
- ・ 選抜するための集団の育成と育種価（※）の推定
- ・ 育種価を用いた親魚の選抜

※親から子に伝える能力（遺伝的能力）を数値で示したもの

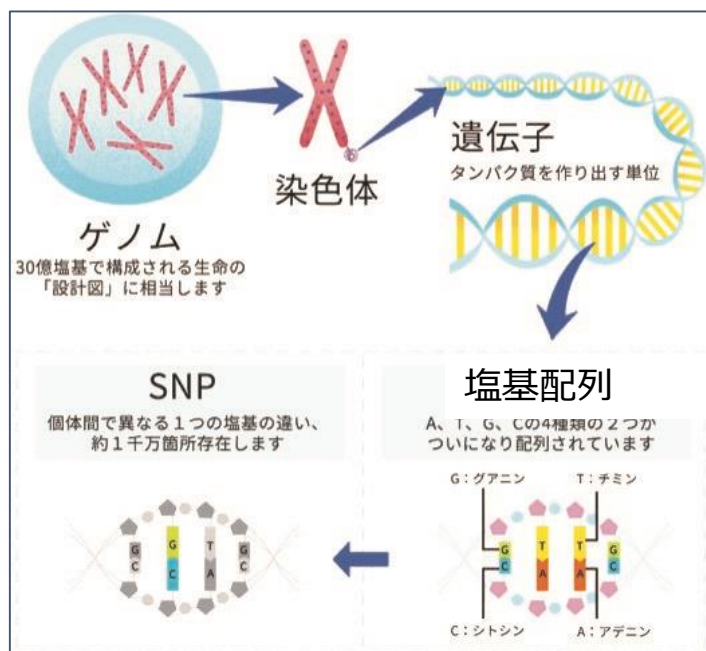
マダイ

- ・ 大きさや病気に強いなど、経験に基づいた主観による選抜改良
- ・ 血縁関係を考慮した遺伝育種や、低魚粉飼料で育つ系統等の開発を実施
- ・ マーカーアシスト選抜を用いた、耐病性に関する育種が民間企業により実用化
- ・ ゲノム編集魚について、大学発ベンチャーによる高成長系統の開発の取組

3. 育種に必要な情報

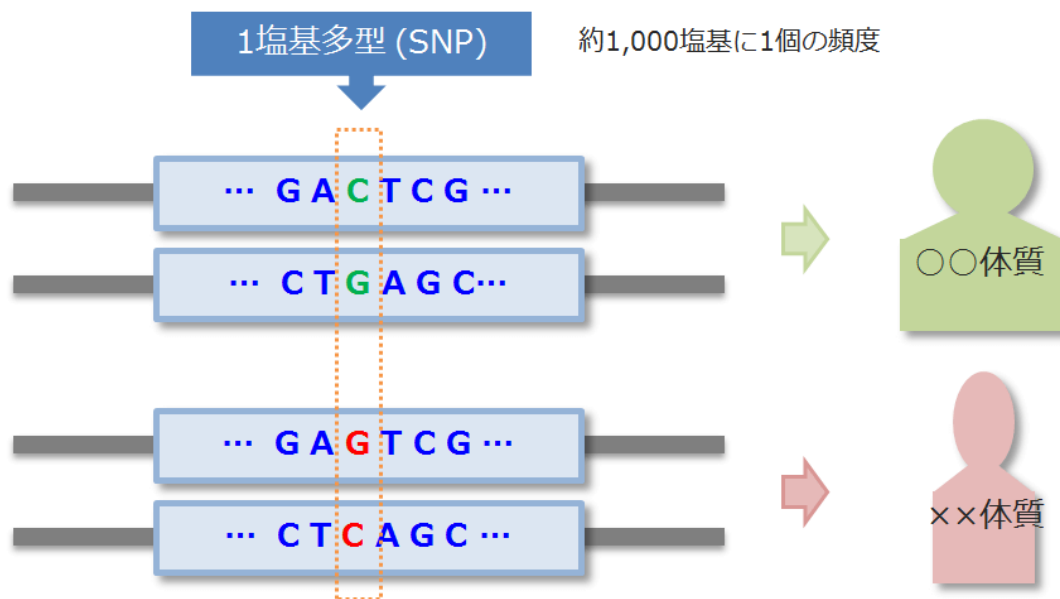
- 古くは交配記録を基に血縁関係の情報を利用、近代ではDNA情報による親子鑑定を実施。
- 遺伝形質の原因がDNAの変異でないこともある：ON/OFF機能（エピジェネティクス）
- 現在は個体の持つゲノム情報の「一塩基多型（SNPs: Single Nucleotide Polymorphisms）」を利用し、目的の形質を持った親（祖先）の染色体を受け継いでいること確認して優良個体を選抜している。

- ▶ 遺伝子を構成している塩基配列（デオキシリボ核酸：DNA）の個体差をDNA多型という
- ▶ ある集団において、1%以上の頻度で存在する塩基配列
- ▶ SNP、マイクロサテライト多型 など



一塩基多型 SNP (Single Nucleotide Polymorphisms) (イメージ)

- ▶ DNA多型のひとつ
- ▶ 約1,000塩基に1個の頻度
- ▶ 異なる個体間の塩基の違いにより、個体を特徴付ける目印



4. 育種の留意点（植物と動物の違い）

- 動物は、受精卵や細胞培養からコピーを作成することは不可能。
- 動物は、植物と異なり、「区分性」（他品種と異なった形質であること）、「均一性」（基本的に同じ形質になること）及び「安定性」（世代が代わっても同じであること）の確保ができない。

植物品種と動物品種の違い

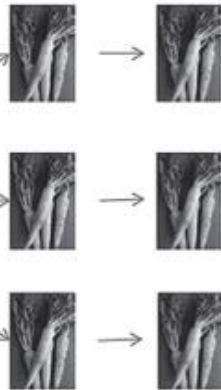
<植物>



区別性

均一性

安定性



植物品種の場合、同じ品種の種子は、同じ遺伝子型を持ち、基本的に同じ形質となり(均一性)、他の品種と異なった形質を示し(区分性)、世代が変わっても同じ(安定性)。

<動物>



全兄弟(同じ父母)であっても



親よりも小さい



親よりも肉質が悪い



親よりも肉質が良い

動物品種の場合、品種間の能力にばらつきがあり、その産子に現れる結果もばらつく。

⇒区分性、均一性、安定性が確保できない。

(農水省 HP から転載)

植物

- ・自殖性が基本
- ・親から受け継ぐ遺伝子が同じ (ホモ接合)
→種子や細胞培養からコピーが可能

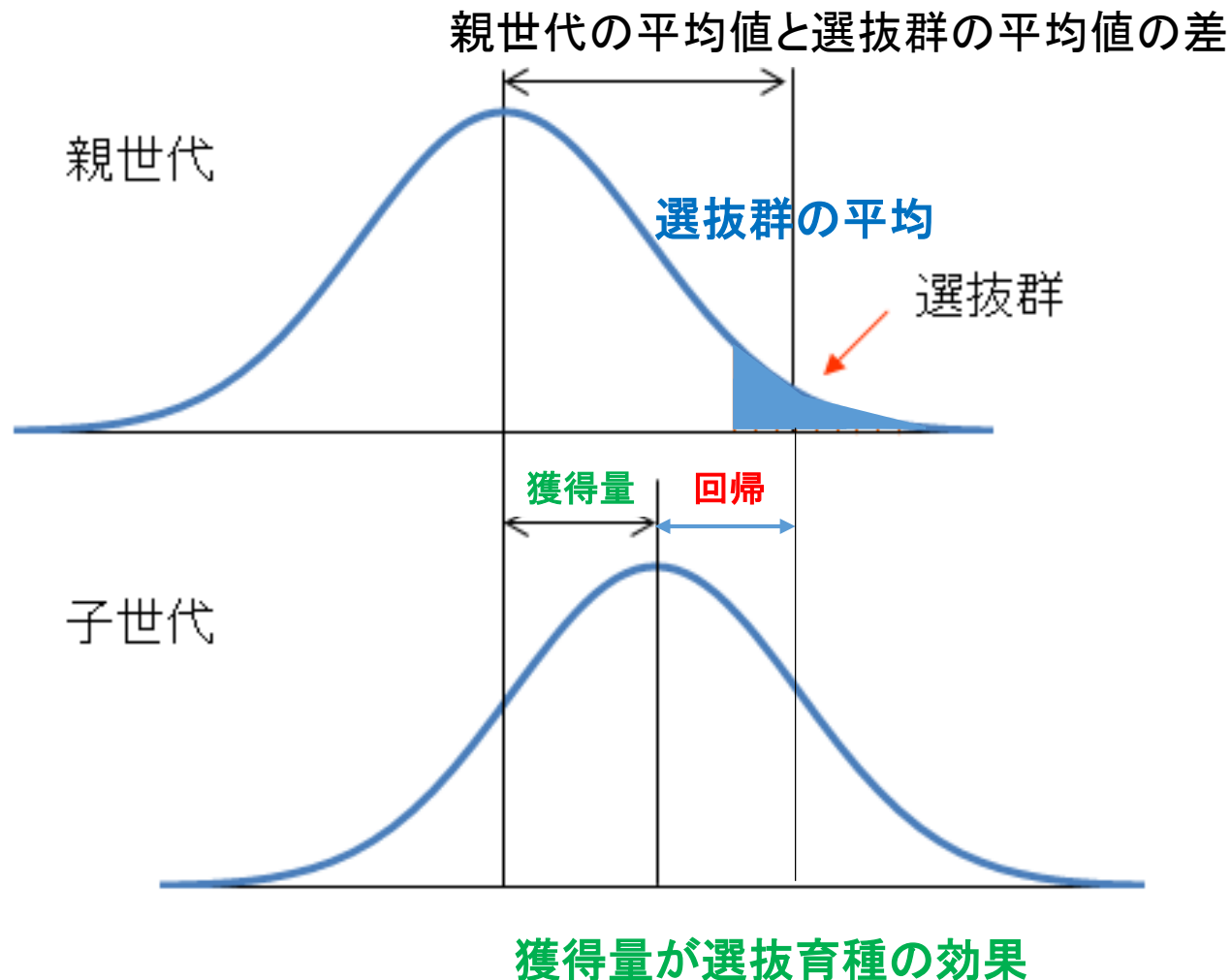
動物

- ・他殖性が基本
- ・両親から受け継ぐ遺伝子がそれぞれ異なる (ヘテロ接合)
→精子や卵ではコピーは不可能

- ・両親から受け継ぐそれぞれの遺伝子により、より効果的な形質が発揮されることがあり、その積み重ねによって形質が改良される。

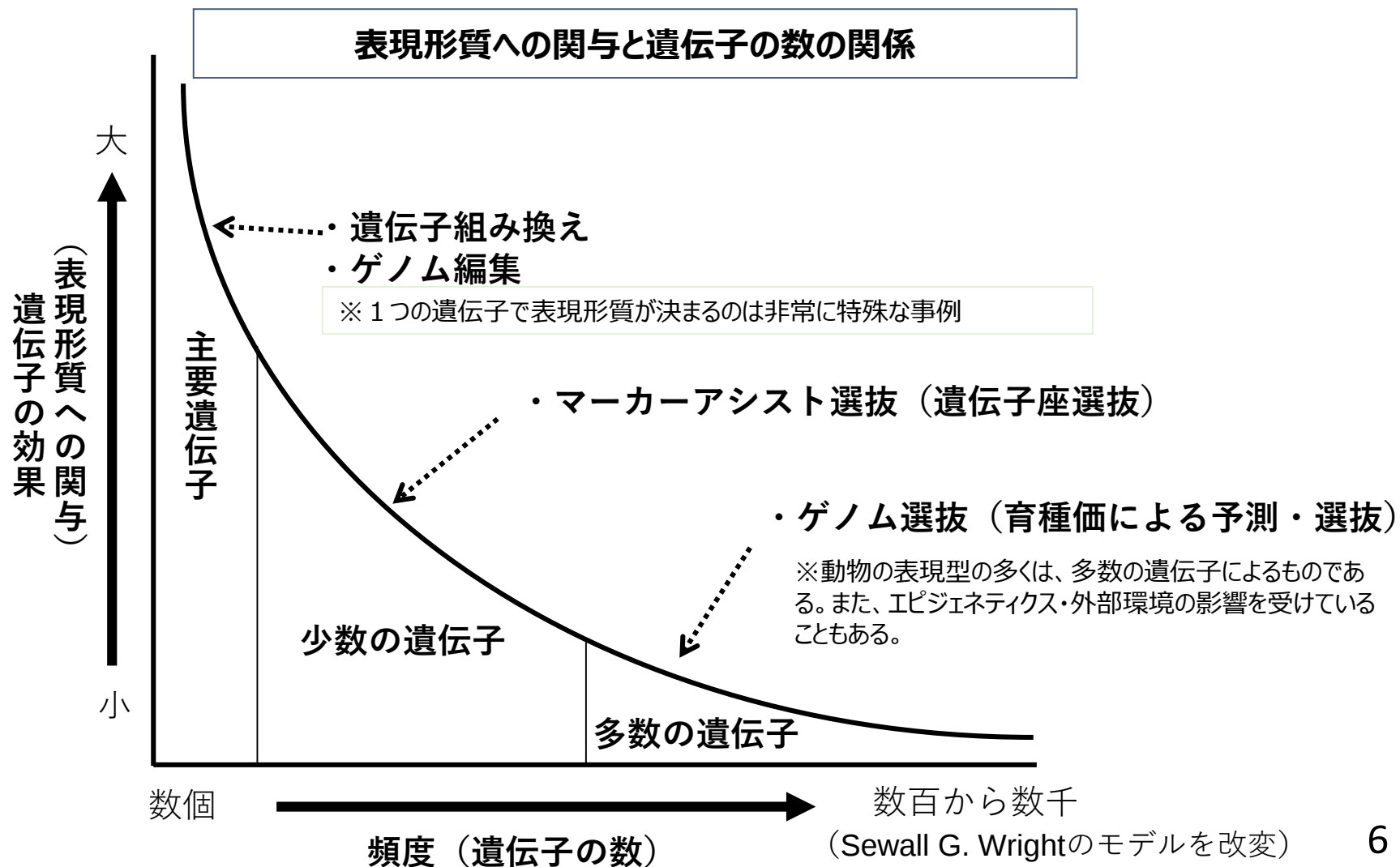
5. 育種の留意点（表現型分散、平均値、親子回帰、遺伝的獲得量）

- 育種が成功しているかどうかは集団の平均と分散で評価する。
- 親世代で大きな個体を選抜交配しても子世代では親世代の選抜群の平均値にはならない
- 子世代の平均値は親世代の平均値に回帰する、世代の平均値の差分が遺伝的獲得量
- 継代しても平均値が向上しなくなった→選抜限界に達した→すなわちこれ以上改良ができない



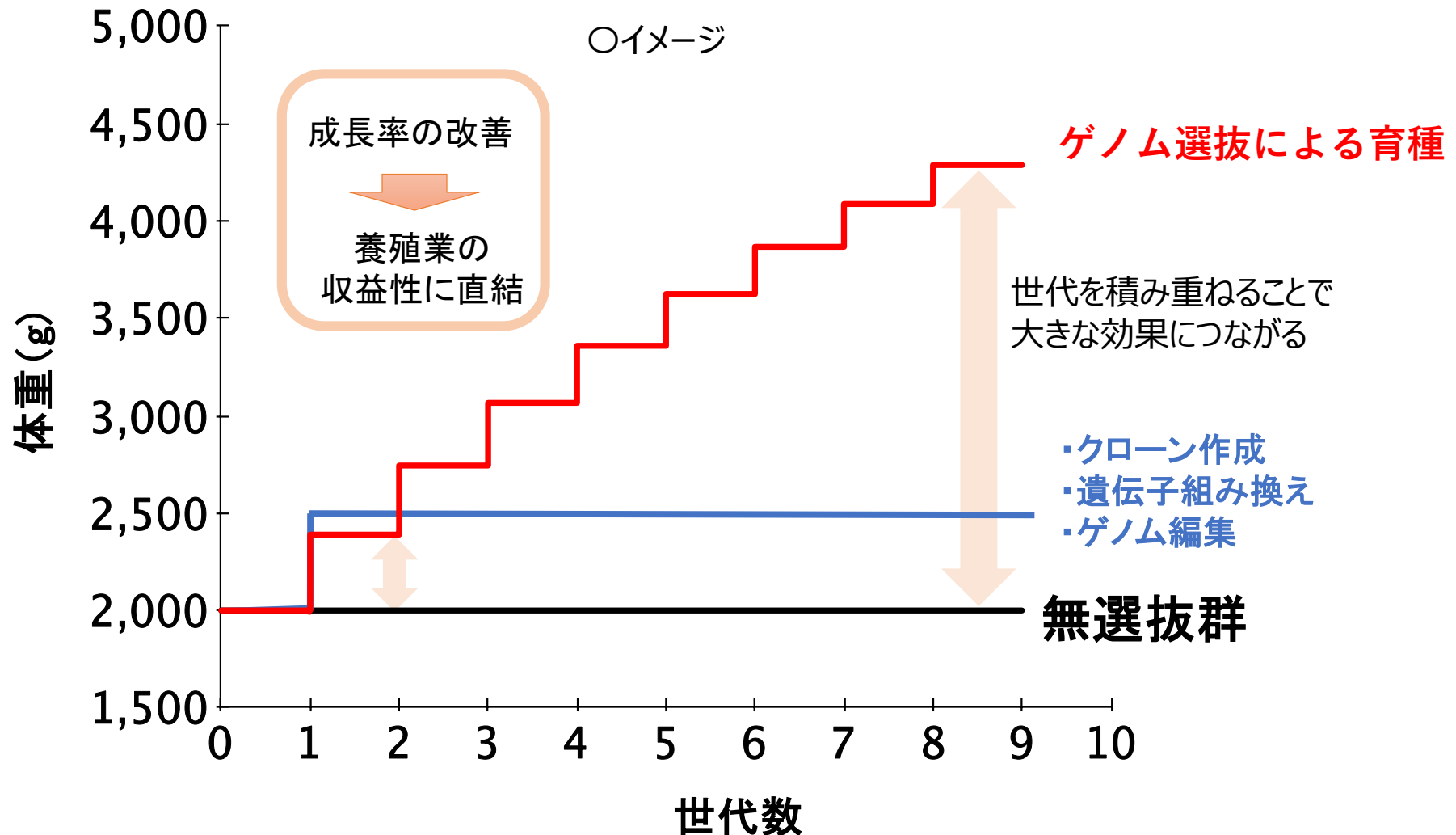
6. 育種の留意点（遺伝子の効果と数の関係①）

- 遺伝子組み換えやゲノム編集は、表現形質を支配する遺伝子そのものの変異や切断により改良。
- マーカーアシスト選抜は、目的の表現形質を支配する遺伝子の近傍のマーカーを指標に選抜。
- ゲノム選抜（育種価（※）による予測・選抜）は、多数の遺伝子を評価しており、次世代に形質が受け継がれたことを数値で確認することが可能。※親から子に伝える能力（遺伝的能力）を数値で示したもの



7. 育種の留意点（遺伝子の効果と数の関係②）

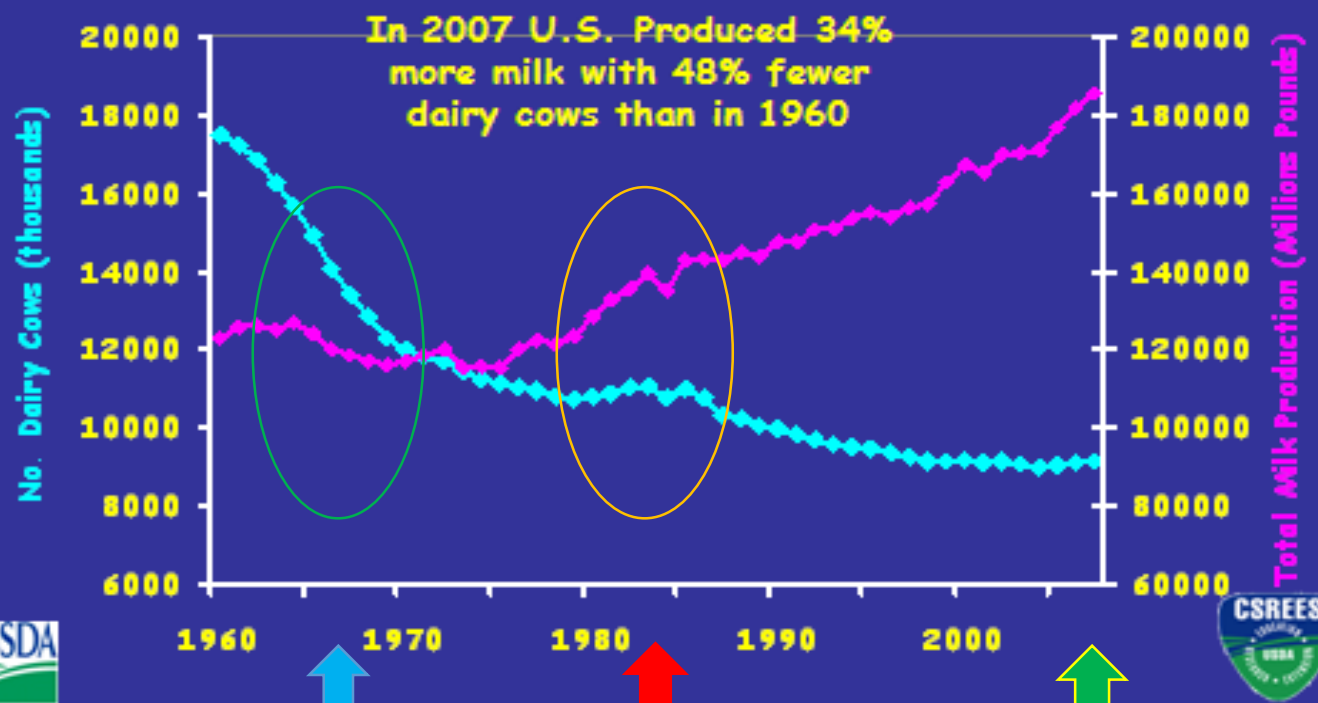
- ゲノム選抜による育種は、持続性を持った改良が可能であり、長期的には費用対効果を発揮。
- クローン作成、遺伝子組み換えやゲノム編集は、基本的には一代限りの形質改善。また、継代により近交弱勢が加速化。
- 選抜育種は、交配の仕方によって生産性の向上を持続させることが可能。



8. 選抜育種の効果の例（乳牛）

- 統一した検定法を採用するたびに、乳用牛の改良が急速に進展。
- 凍結精液の急速な普及とともに、遺伝育種（BLUP法）が可能となり、さらに改良が加速。
- 一頭当たりの乳量の増加に伴い、飼育頭数が減少。

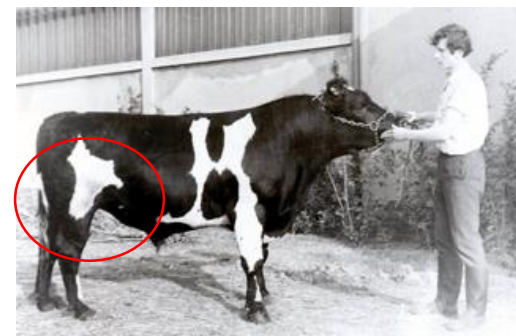
Trends in U.S. Milk Production



後代・牛群検定

遺伝育種
(BLUP法)

ゲノム選抜
(GBLUP法)



インターブル（※）による世界的な育種改良への理解と協力により発展

※ 国際種雄牛評価サービス。乳用牛の遺伝的能力の国際的な比較を促進することを目的に設立された組織。

9. 海外企業の育種産物の販売方法

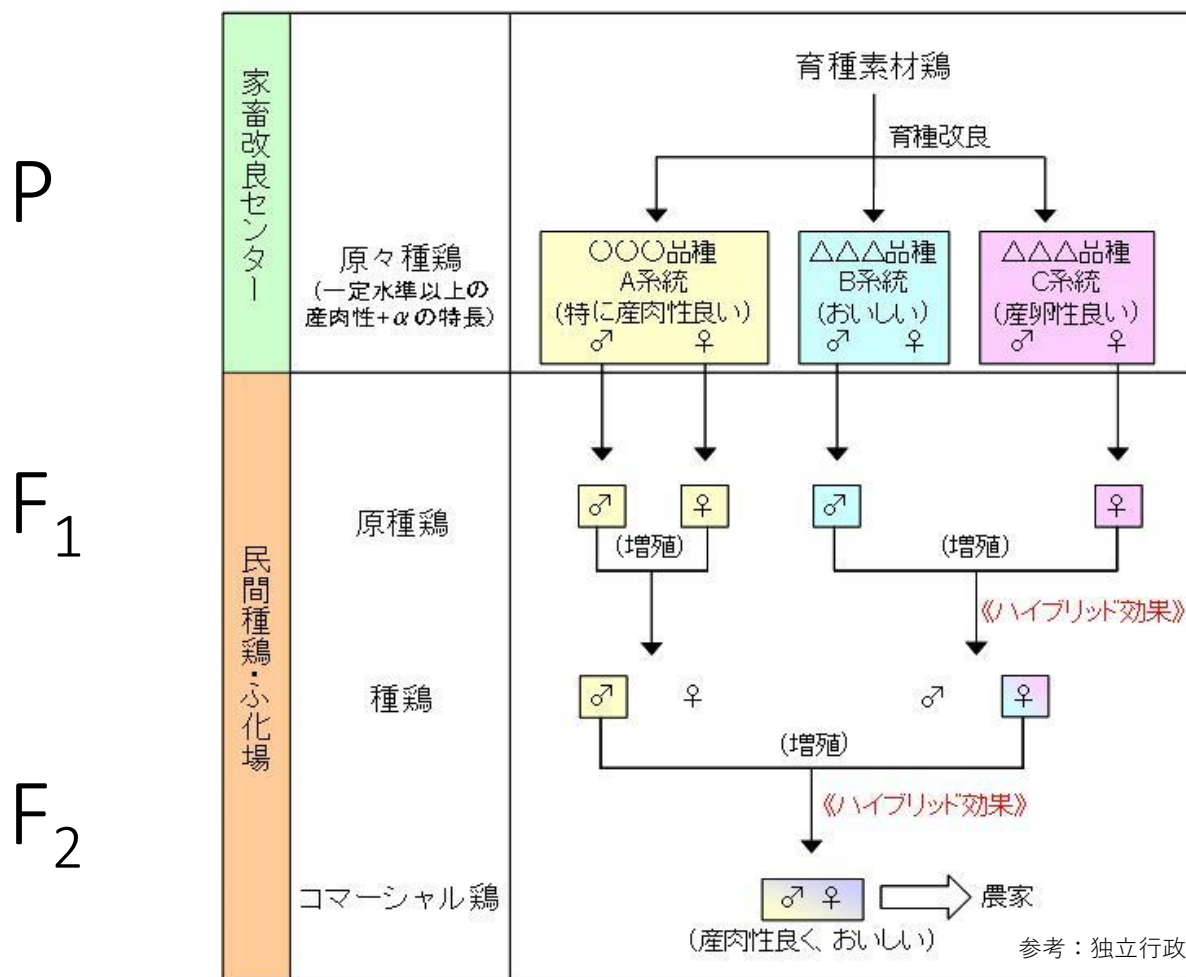
- 魚類は高成長といった表現形質への遺伝的効果が明確でない。このため出荷ロットごとに近い血縁による交配を行い、後代を改良しても、遺伝的獲得量の低下と近交弱勢が出やすいようにして受精卵を供給。
- 世代ごとにより良いものに改良（最新が最高）、より生産性のあるものに改善を進めているため、次も自社の受精卵を買ってもらえるという自信。

	手法	概要	留意点
保護方法	継続的な アップグレード	・ 育種を継続的に実施し、高いパフォーマンスを有する受精卵を供給	・ 販売先による繁殖を止められない
	系統間交配 近親交配	・ 異なる系統で交配することにより遺伝的効果を不透明化する ・ 近交弱勢の顕在化	・ 子孫のDNAを調べればすれば、血縁の傾向はわかる
	不妊化 不稔化	・ 染色体を操作して3倍体化（妊性がない）	・ 頑健性のない種苗になることや、成長が鈍化 ・ アニマルウェルフェアの観点から減少傾向

10. 卵用種（レイヤー）及び肉用種（ブロイラー）の育種と生産

- 育種をするためには親の飼育が必要になるが、コスト高。このため、経営基盤を確保できるよう、鶏は世界的な企業が中心となって種苗を供給。
- 国内においては、（独）家畜改良センターが鶏の系統の作出を行い、これを利用して都道府県や民間において、組合せ検定等の能力検定を行い実用（コマーシャル）鶏を作出。採卵用の鶏は、産卵能力等に優れた純粋種の系統を交雑して作出。

《育種改良からコマーシャル鶏作出までのイメージ図（肉用鶏）》



・日本国内は、公的機関が中心に改良を推進
・民間団体が実用鶏を量産

1.1. 育種成果物の普及

- コストを踏まえれば、自社で系統を開発するより、育種された受精卵を買った方が効率的。
- 孫世代までは、許可なく親魚として使わないという契約を設定するなどして管理する方法もありうる。
- 活魚、鮮魚、フィレ等の流通実態を踏まえた検討が必要。

1 育種された（基礎）集団：

親世代

2 育種された個体を使って生産した

子世代

3 子世代を使って生産した

孫世代

育種系統
(現在進行形)

育種系統のゲノム情報の
1 / 2 が受け継がれる

育種系統のゲノム情報の
1 / 4 が受け継がれる

育種系統のゲノム情報の
1 / 8 が受け継がれる

他の系統

他の系統

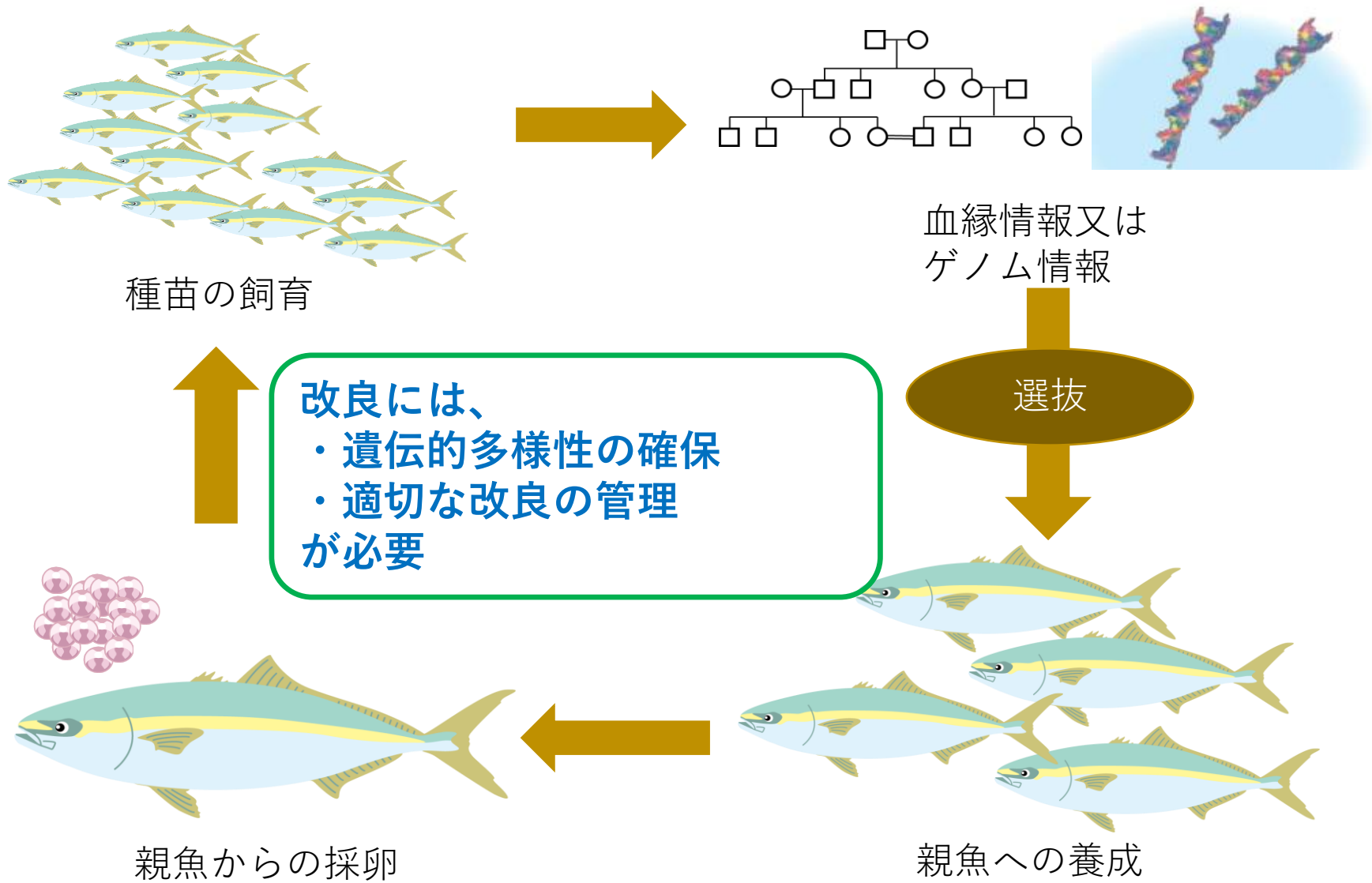
12. 優良系統の保護イメージ

- 育種により養殖の効率化が期待されるが、それを支える土台がなければ育種はできない。
- 優良系統を保護するため、データ、技術、生産のノウハウ等の管理が重要。

- 優良な親から確実に子孫を得る技術の伝承と保護(ノウハウの管理)
- 表現型データやDNAサンプルの収集・管理及び評価の実施・継続
- 育種価、ゲノム育種価の推定・公表及び情報共有の仕組み
- 外部に親魚を譲渡するときの利用契約

- 
- 個別企業等による管理、コンソーシアム内における管理、情報をオープンにして全体で育種の促進又はそれらの組み合わせが考えられる。
 - 魚種別、業態別、地域別等に区分されるか。
 - 継続的な育種体制や各機関の役割分担の検討が必要か。

(参考 1) 完全養殖と選抜育種のサイクル



(参考2) 優良系統の持続的な改良イメージ

継代サイクル

養殖魚の改良

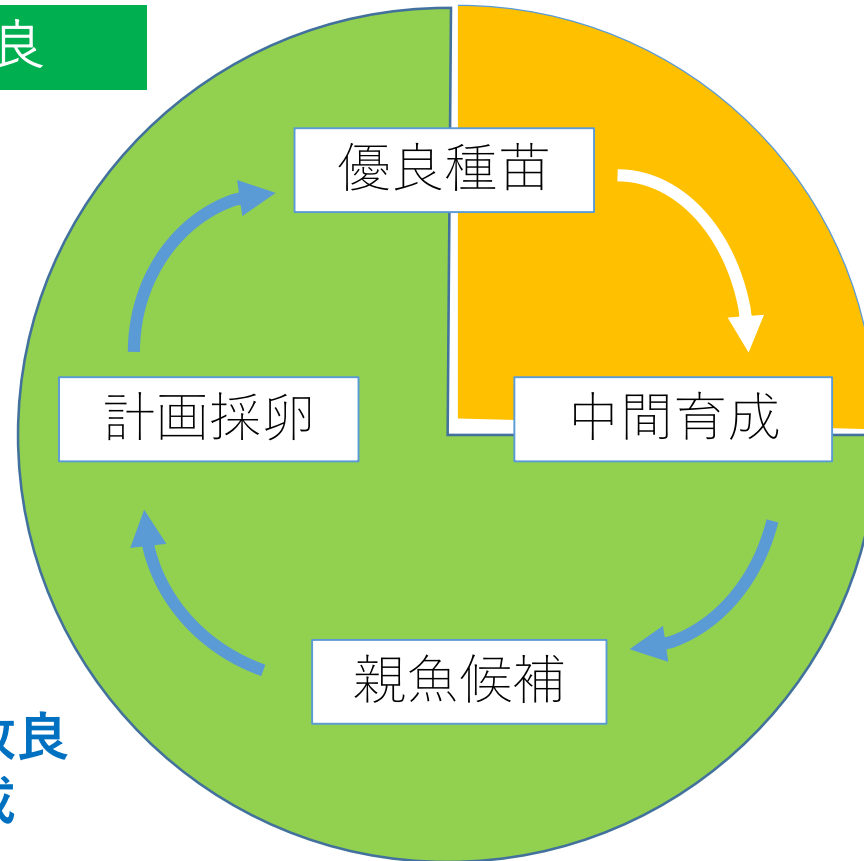
- ・ 知識及び技術
- ・ 遺伝解析
- ・ 交配計画
- ・ 成熟制御
- ・ 種苗生産

- ・ 親魚候補の改良
- ・ 選抜及び養成

養殖業者

- ・ 経済形質のニーズと選択
- ・ 育種の効果を養殖業者が実感

- ・ 養殖魚の評価及び選別



養殖魚の有用な形質に関する遺伝的能力について、持続的に向上

(参考3) 家畜における育種産物の販売方法

- ▶ 肥育豚は、品種間の交配により、F 1 ～ 2 世代で表現型の改善のみを考慮し、品種同士で交配（3 元交雑）する方法で生産。
- ▶ 家禽は、国内の種鶏の交配により、雛を供給。採卵鶏を育成し、肉用鶏の肥育をして、生産。
- ▶ 乳牛等は、インターブル（International Bull Evaluation Service）に参加することによって、国際評価に基づいた改良に貢献する種雄牛が分かる。
 - ① 国産・海外産の種雄牛の候補となる牛の効率的な選定が可能となり、現状よりもより優良な種雄牛が作出できること
 - ② 適切に輸入精液や海外の雌牛が導入できること
 - ③ 国産乳用牛の改良体制がより強化されること等が期待できる。