

生態系に学ぶ 資源循環型養殖餌料の開発

- 小川 順、安藤晃規、岸野重信（京大院農・応用生命）
有田 誠（慶應大学薬学部・理研）
畑中晃昌（日本水産株式会社）

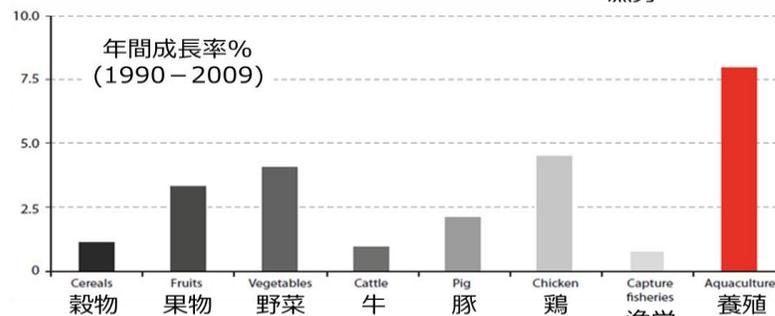
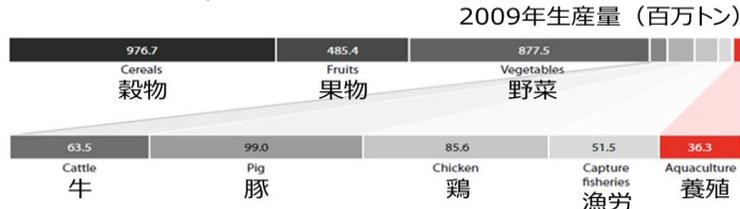
未来社会のタンパク資源として、水産資源に期待がよせられている。

2016年、水産資源は世界人口の動物性タンパク質摂取量の約17%を担った。

水産資源のポテンシャルは高く
生産効率は畜産資源を上回る

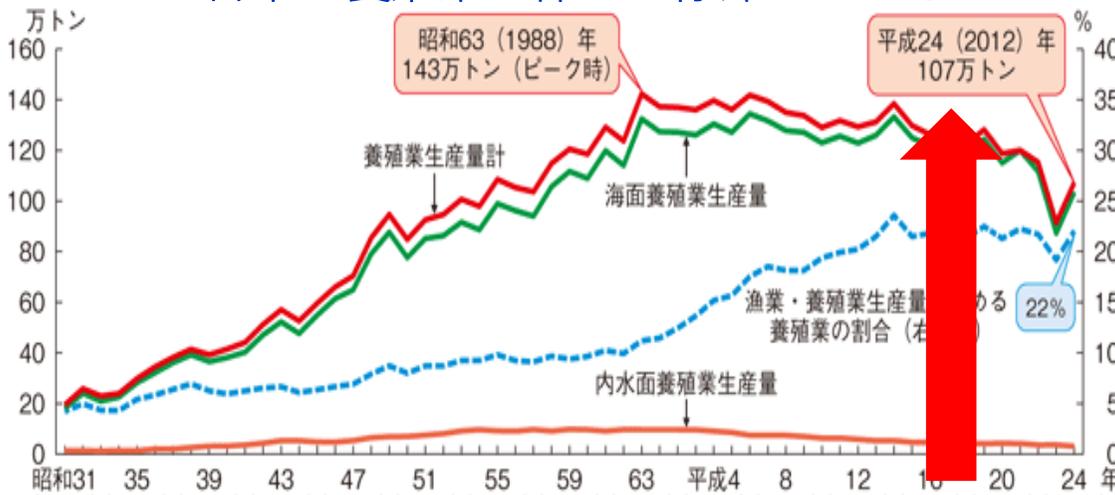
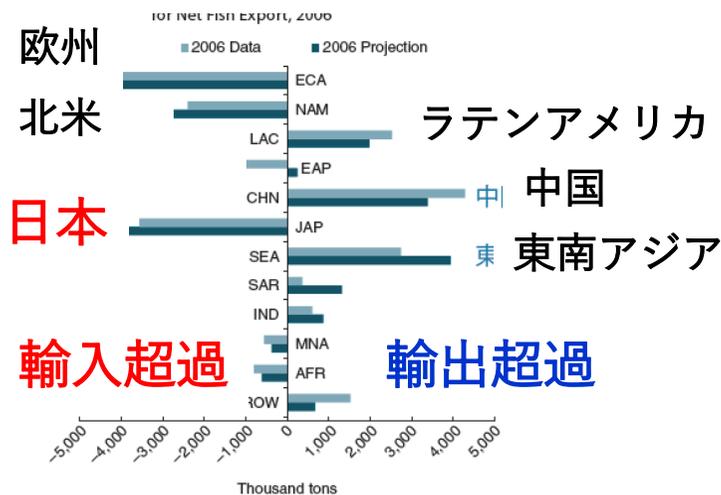
畜産資源、漁業生産量の伸びは
期待できず、養殖業への依存度が増す

項目	鶏	ブリ	ニジマス
体重1kg増体に要 する穀物飼料	2.2kg~ 2.3kg	2.8kg	1.5kg
水資源必要量1kg あたり*	4300 L	1400 L	1400 L
CO ₂ 排出量1kgあ たり*	3.4 kg	2.9 kg	2.9 kg



日本の養殖業の伸びは停滞している

日本は輸入超過
食の安全保障が不十分

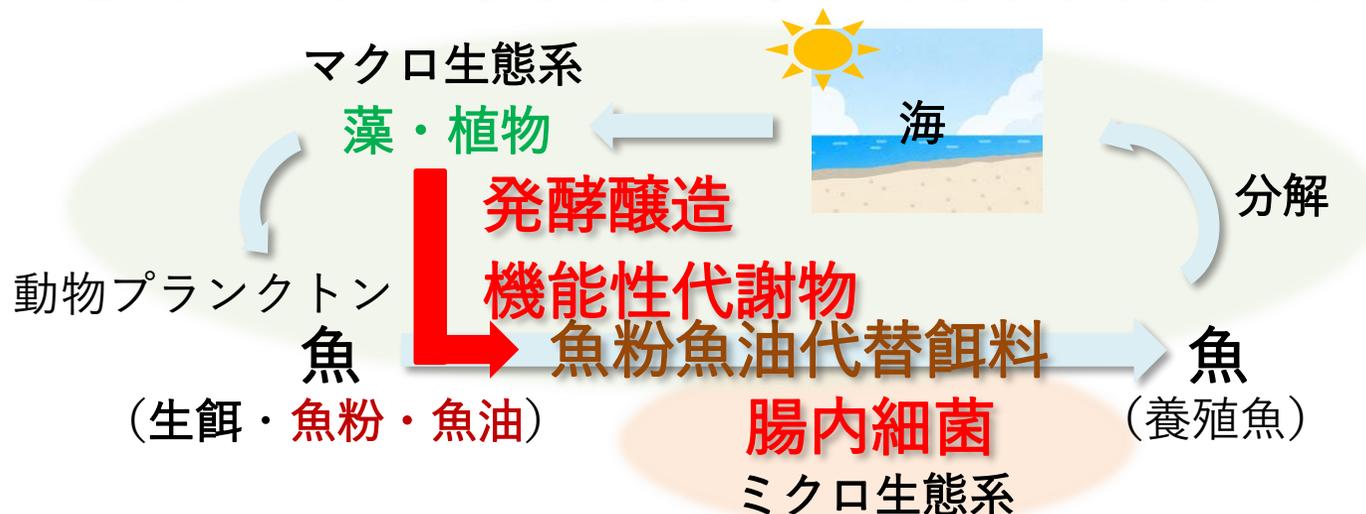


養殖生産を伸ばす取り組みは
きわめて重要

養殖業が抱える問題点

- 1、非循環型養殖（魚を魚で育てる状態）
- 2、餌料代の割合が高い（7-8割） 養殖業者への高い経済的負担
- 3、環境付加低減、食品安全性、動物福祉への対応の遅れ

生態系に学ぶ資源循環型養殖餌料の開発



現状の科学的課題

- 魚の必須栄養素に由来する機能性代謝物が特定されていない。
- 魚の消化管研究は極めて少なく腸内細菌機能の解明や活用が不十分。
- 魚の必須栄養素を魚で供給。

解決手段

- 必須栄養素に由来する代謝物を同定し、その生理機能を活用する。
- 必須栄養素を産生・変換する腸内細菌を単離し、そのプロバイオティクス機能を活用する。
- 植物素材から必須栄養素（脂肪酸・アミノ酸）を充分量含有する発酵物を生産する。

生態系に学ぶ資源循環型養殖餌料の開発

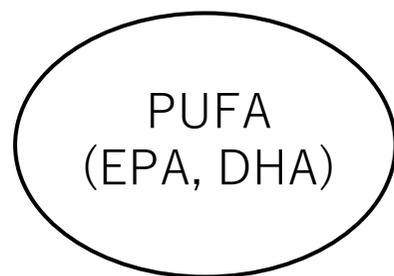
解決手段

- ・ 必須栄養素に由来する代謝物を同定し、その生理機能を活用する。
探索研究POC 1：新規代謝物の検討
- ・ 必須栄養素を産生・変換する腸内細菌を単離し、そのプロバイオティクス機能を活用する。
探索研究POC 2：腸内細菌の検討
- ・ 植物素材から必須栄養素（脂肪酸・アミノ酸）を充分量含有する発酵物を生産する。
探索研究POC 3：植物資源を活用したEPA・DHA含有餌料の生産



探索研究POC 1：新規代謝物の検討

コンセプト



Physiological function

Active form

Membrane structure

EPA, DHA

Growth promotion

Metabolite X

Organ development

Metabolite Y

Anti-oxidation etc...

Metabolite Z...



+
Metabolite X

Physiological function

Active form

Membrane structure

EPA, DHA

Growth promotion

Metabolite X

Organ development

Metabolite Y

Anti-oxidation etc...

Metabolite Z...

魚油・魚粉への依存度が
下がれば、植物資源由来の
代替飼料の参入機会が増す。

代謝物_全体

12000

幽門垂
化合物D

10000

肝臓
化合物C

肝臓
化合物E

8000

肝臓
化合物F

6000

幽門垂
化合物B

脂肪
化合物G

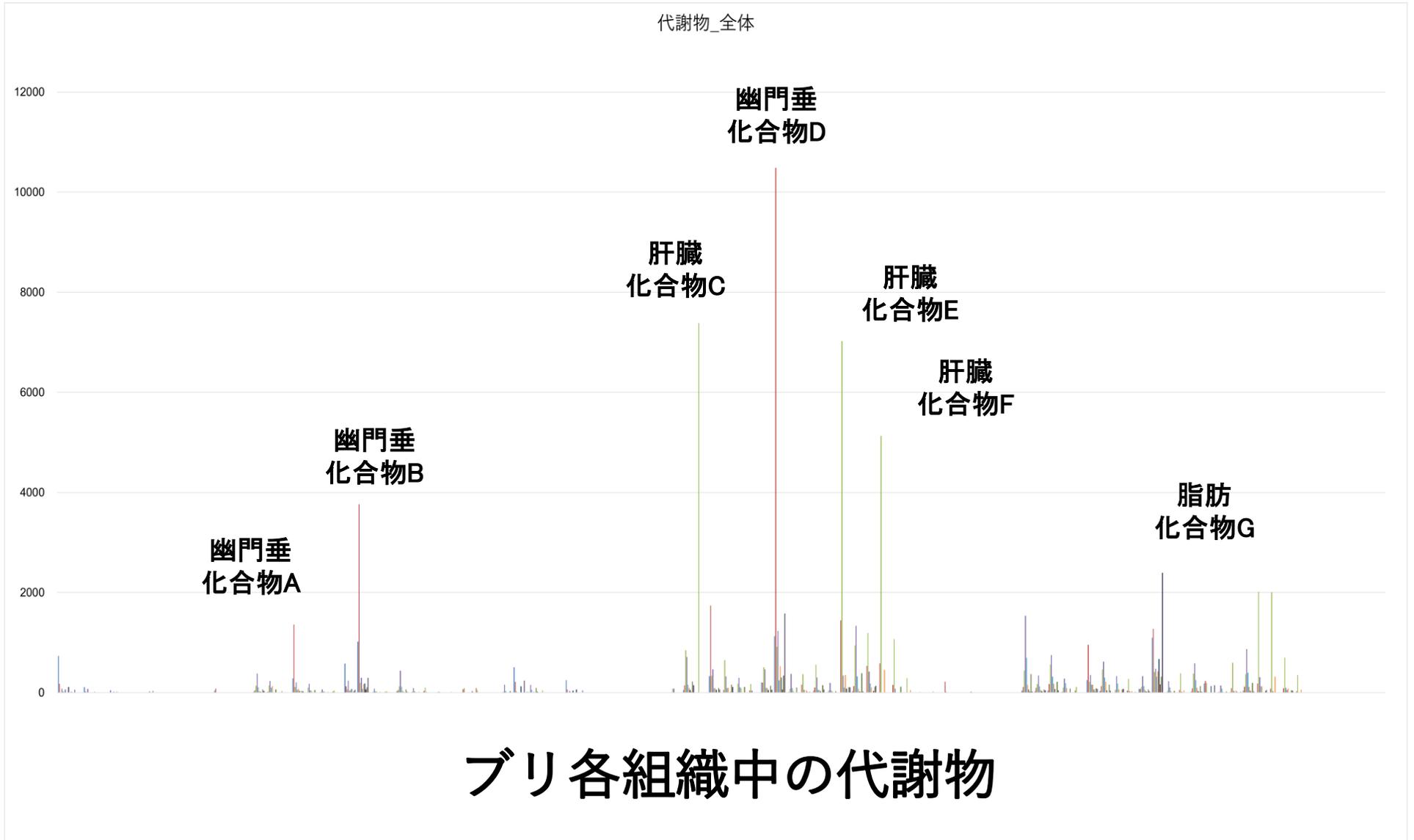
4000

幽門垂
化合物A

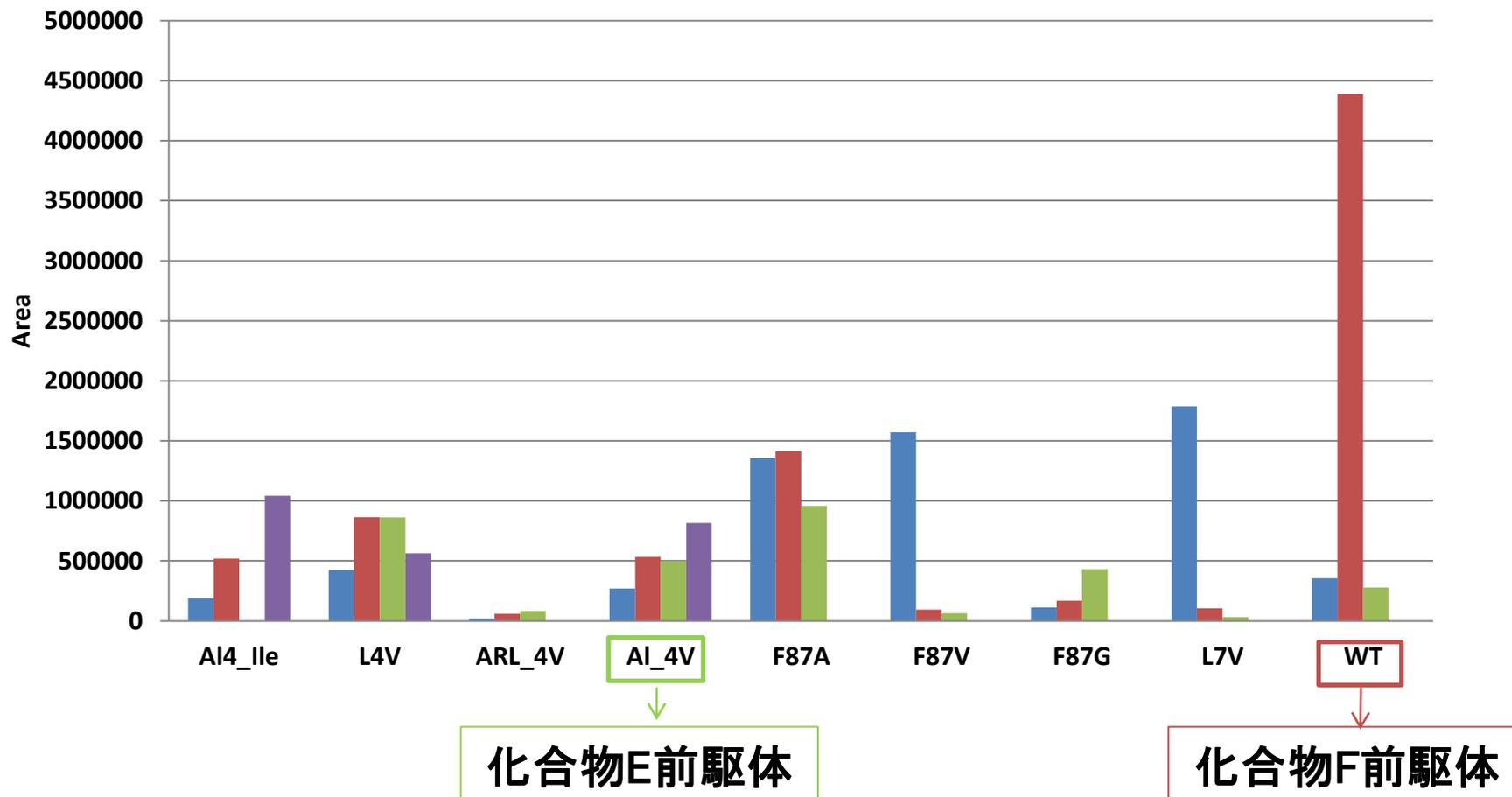
2000

0

ブリ各組織中の代謝物



微生物酵素によるグリ必須脂肪酸代謝物関連化合物の合成

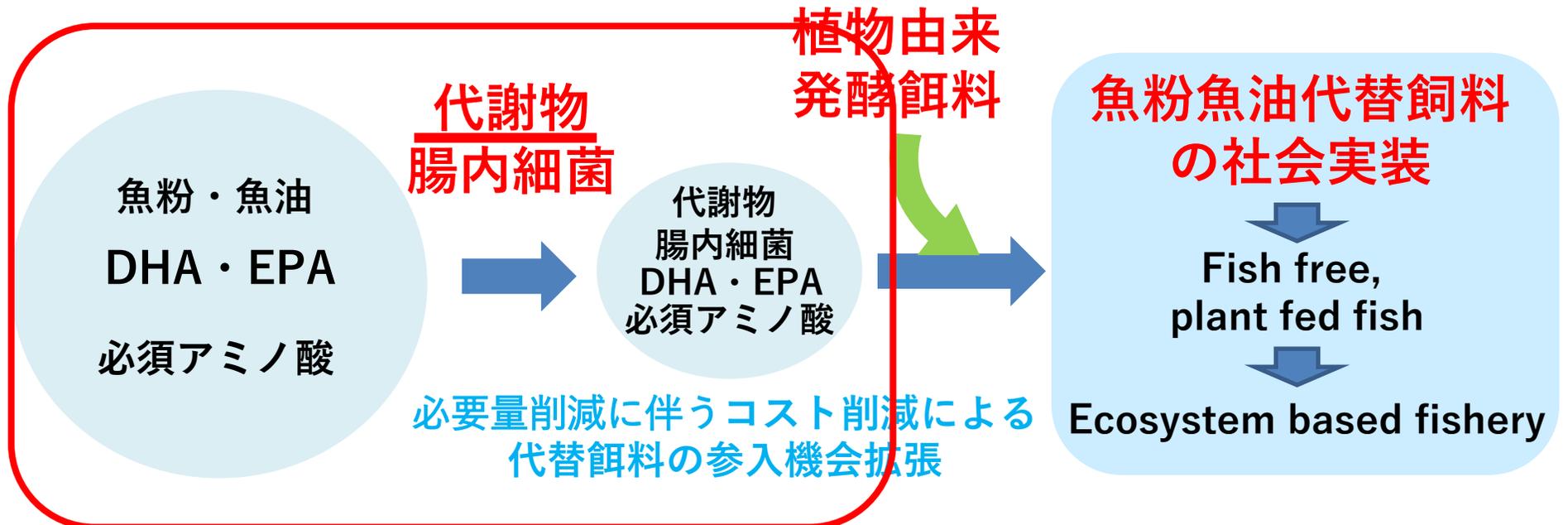


生態系に学ぶ資源循環型養殖餌料の開発

必須栄養素に由来する代謝物を同定し、その生理機能を活用する。

探索研究POC 1：新規代謝物の検討

- ✓ 魚（ブリ）臓器の脂肪酸代謝物を詳細に解明。
- ✓ 餌料試験において代謝物前駆体である化合物F1にDHA/EPA削減効果、
ならびに、肥満向上効果を見いだす。
(低用量の化合物F1で、DHA/EPA量を削減できる可能性)



生態系に学ぶ資源循環型養殖餌料の開発

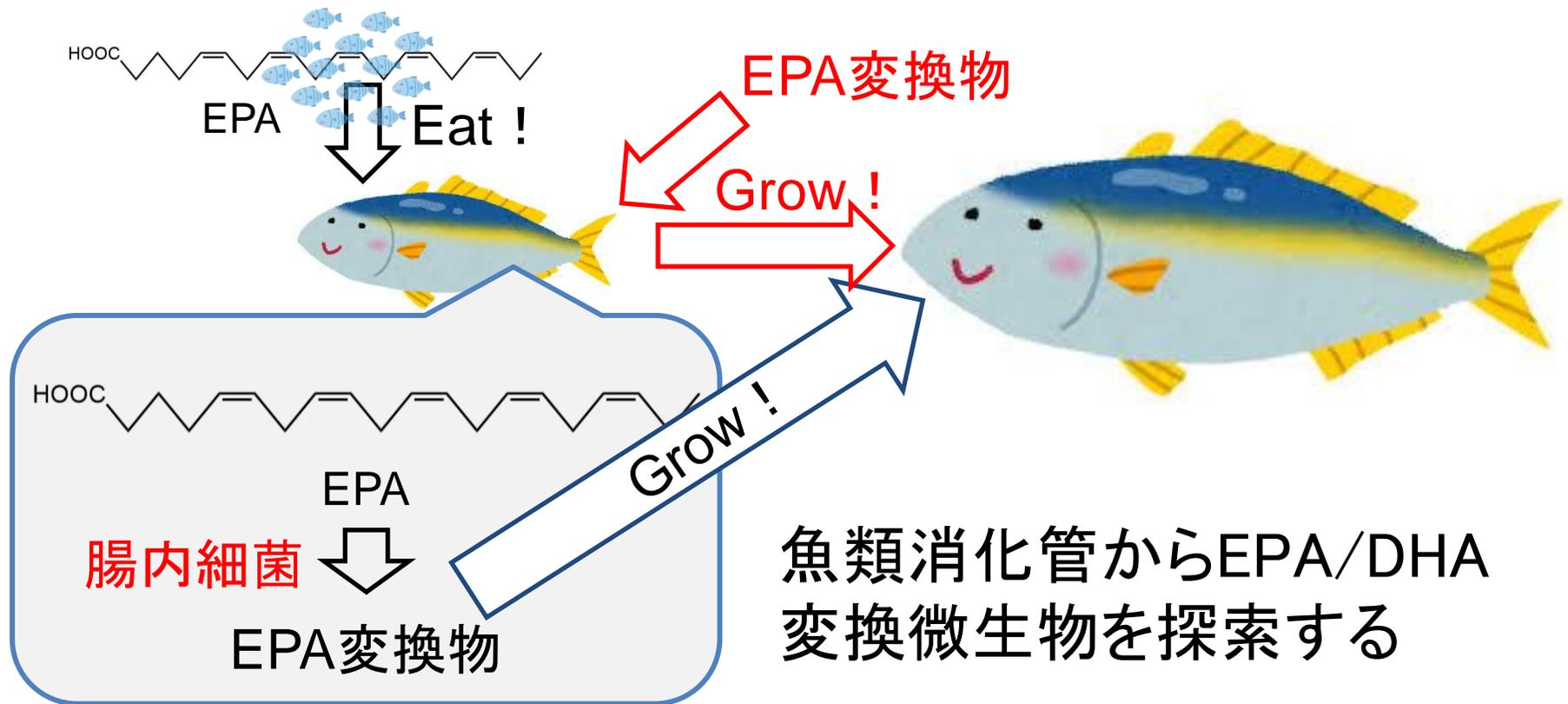
解決手段

- ・ 必須栄養素に由来する代謝物を同定し、その生理機能を活用する。
探索研究POC 1：新規代謝物の検討
- ・ 必須栄養素を産生・変換する腸内細菌を単離し、そのプロバイオティクス機能を活用する。探索研究POC 2：腸内細菌の検討
- ・ 植物素材から必須栄養素（脂肪酸・アミノ酸）を充分量含有する発酵物を生産する。
探索研究POC 3：植物資源を活用した EPA・DHA含有餌料の生産



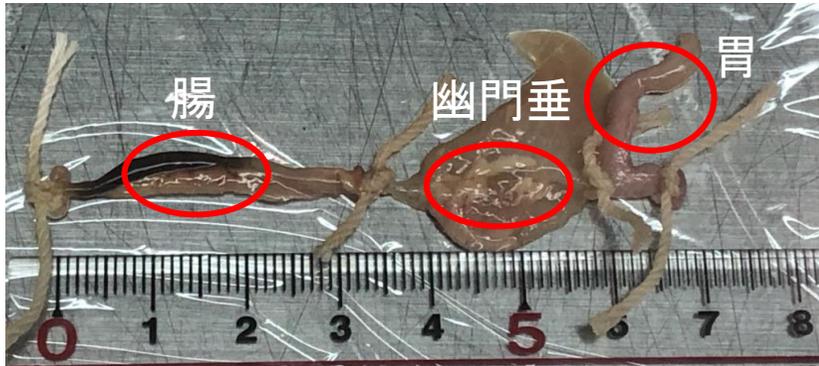
探索研究POC 2：腸内細菌の検討

摂取したEPA/DHAが腸内細菌によって変換
→EPA/DHA変換物が生育に機能的な役割を持つ



魚の消化管からのスクリーニング

スマ 1 消化管



カンパチ 1 消化管



マサバ 1 消化管



トラフグ 1 消化管



腸内細菌を約1,000株収集し、EPA/DHAの生産能や変換能を解析

⇒ EPAを変換する腸内細菌を取得

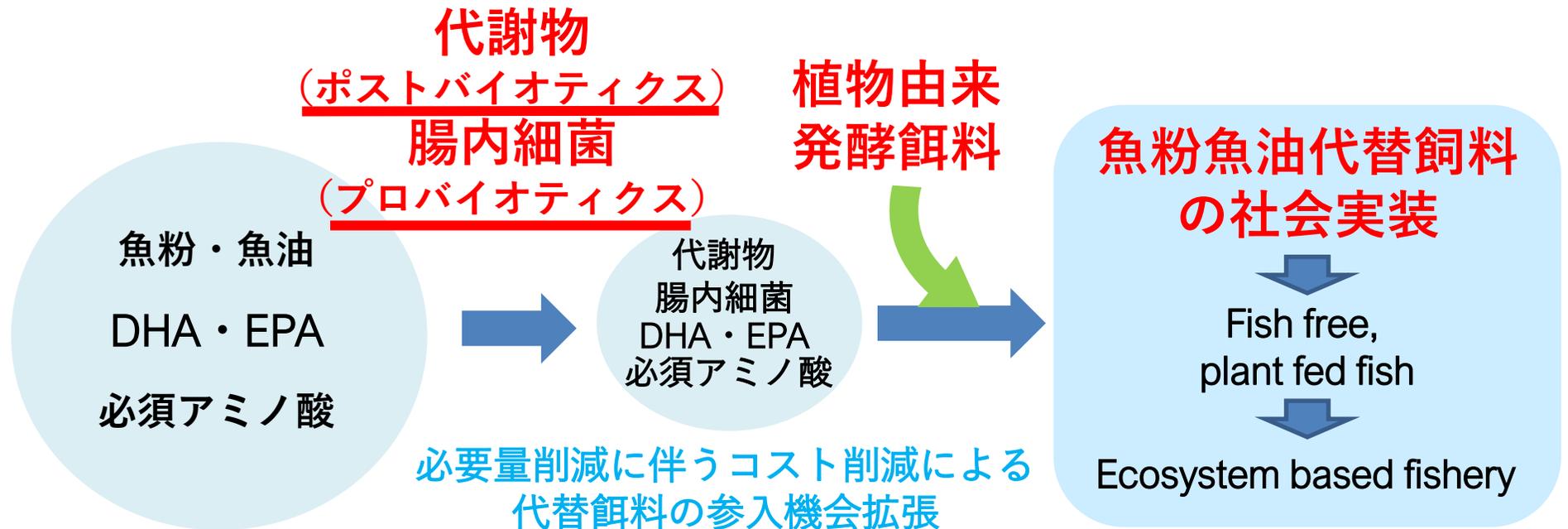
生態系に学ぶ資源循環型養殖餌料の開発

- 必須栄養素を産生・変換する腸内細菌を単離し、そのプロバイオティクス機能を活用する。

探索研究POC 2：腸内細菌の検討

- ✓ 腸内細菌を約1,000株収集。
- ✓ 魚類消化管細菌がEPAを共役型EPAに変換することを見いだした。
- ✓ 本菌は多様な代謝物を生産。

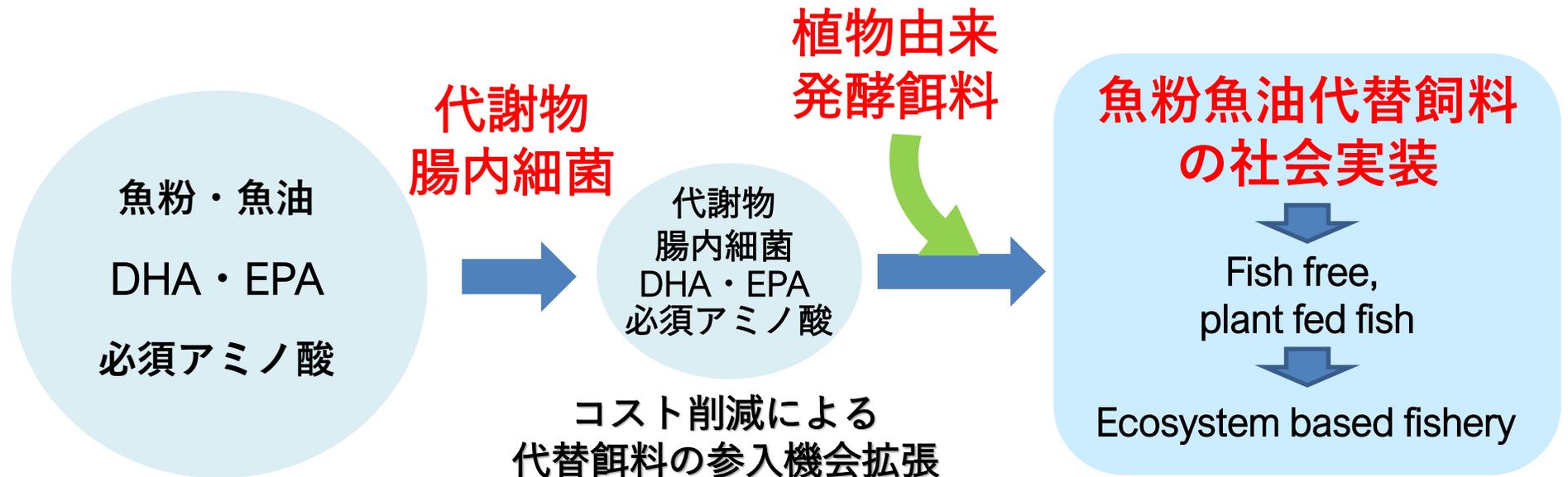
(養殖餌料プロバイオティクス、ポストバイオティクスの候補を発見)



生態系に学ぶ資源循環型養殖餌料の開発

解決手段

- ・ 必須栄養素に由来する代謝物を同定し、その生理機能を活用する。
探索研究POC 1：新規代謝物の検討
- ・ 必須栄養素を産生・変換する腸内細菌を単離し、そのプロバイオティクス機能を活用する。
探索研究POC 2：腸内細菌の検討
- ・ 植物素材から必須栄養素（脂肪酸・アミノ酸）を充分量含有する発酵物を生産する。探索研究POC 3：植物資源を活用した必須脂肪酸含有餌料の生産



魚油以外のEPA/DHA開発状況

No.	製品名	開発企業名	起源	商品形態	脂質含量(%)	EPA(%)	DHA(%)
1	<i>Yarrowia Lipolytica</i>	DuPont	GM 酵母 <i>Yarrowia Lipolytica</i>	酵母バイオマス, オイル	<50	<50	0
2	DHAgold	DSM Nutritional Products	微細藻類 <i>Schizochytrium</i>	藻類バイオマス	49	1	44.4
3	Life's DHA	DSM Nutritional Products	微細藻類 <i>Schizochytrium</i>	オイル	100	< 2	>35
4	DHA Natur	ADM Animal Nutrition	微細藻類 <i>Aurantiochytrium</i>	藻類バイオマス	50-60	0.25	34
5	ForPlus	Alltech Coppens	微細藻類 <i>Schizochytrium</i>	藻類バイオマス	61	0.3	29
6	Veramaris Oil	Veramaris(DSM/Evonik)	微細藻類 <i>Schizochytrium</i>	オイル	100	<16	<43
7	<i>Camelina sativa</i> (開発段階)	Rothamsted Research/UoS	GM camelina 遺伝子組み換えアマナズナ	オイル	100	20	0
8	<i>Camelina sativa</i> (開発段階)	Rothamsted Research/UoS	GM camelina	オイル	100	9	11
9	Latitude(開発段階)	BASF/Cargill	GM canola 遺伝子組み換えキャノーラ	オイル	100	7	1
10	Aquaterra/Nutrierra (商業化段階)	Nuseed	GM canola	オイル	100	0.5	10

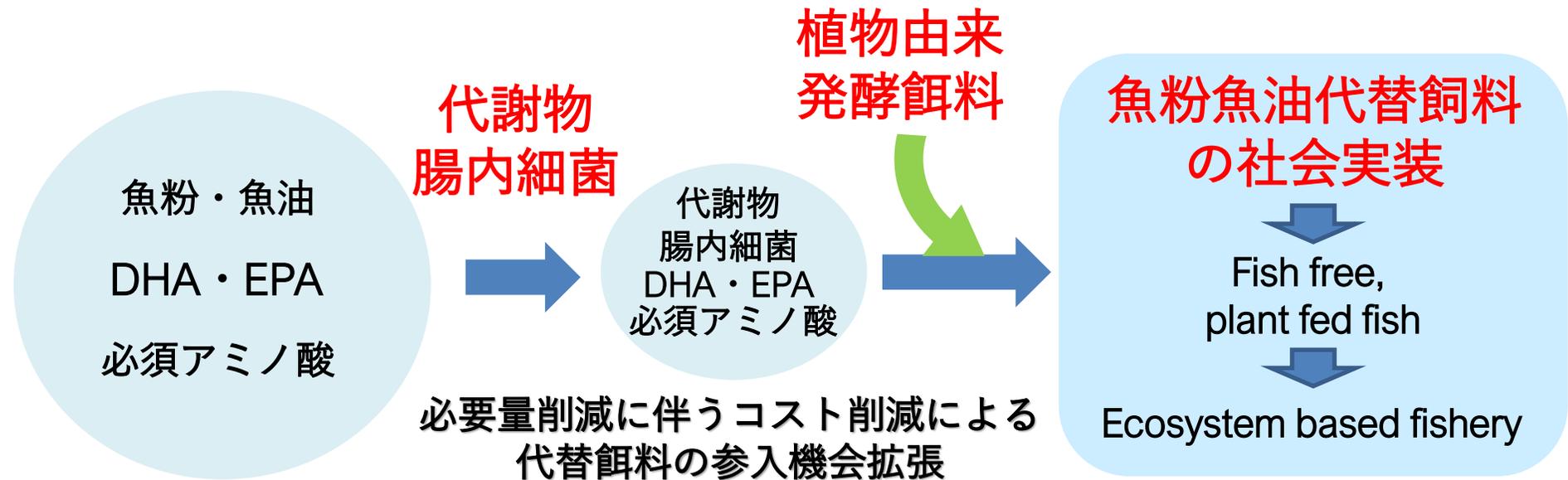
Tocher et al. (2019) Nutrients

各国で魚油に依存しないDHAやEPA商業生産の研究開発が進んでいる
しかし、液体培養であること、油の抽出が必要なことなど、コスト面で問題あり。

**日本型発酵技術を駆使し、植物原料から固体培養にて直接摂取可能
(抽出不要) な魚粉魚油代替餌料を発酵生産する。**

探索研究POC 3：植物資源を活用したEPA・DHA含有餌料の生産

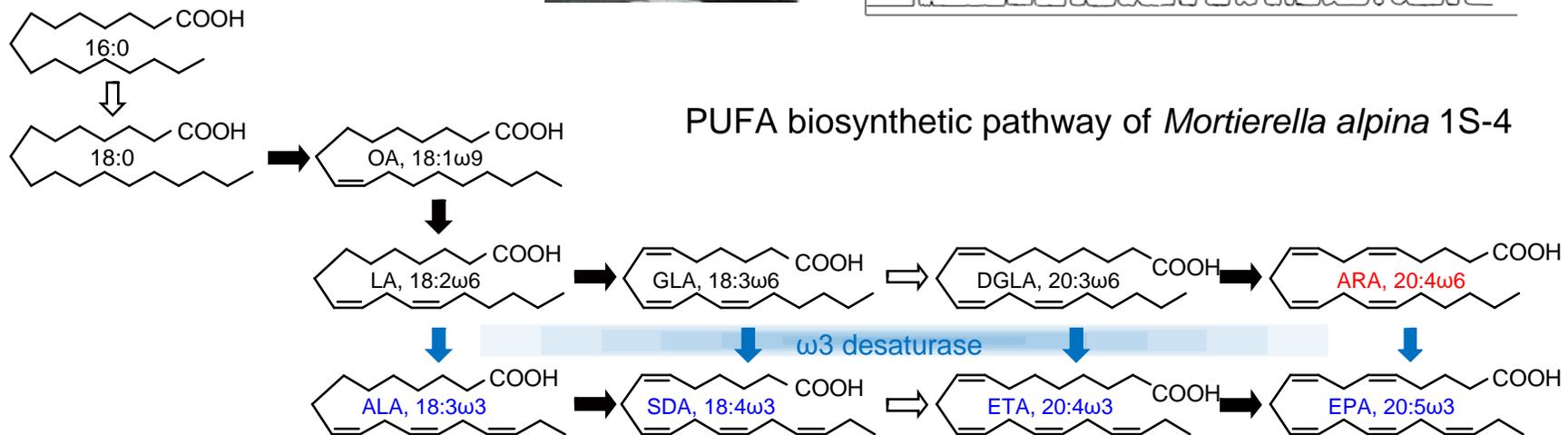
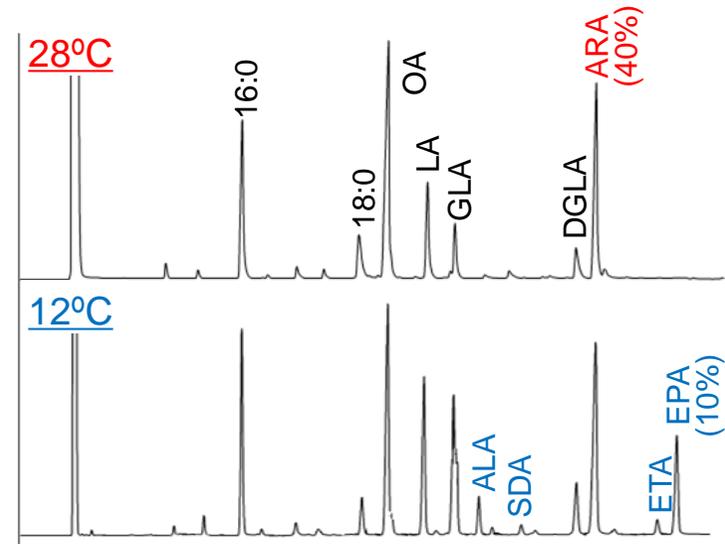
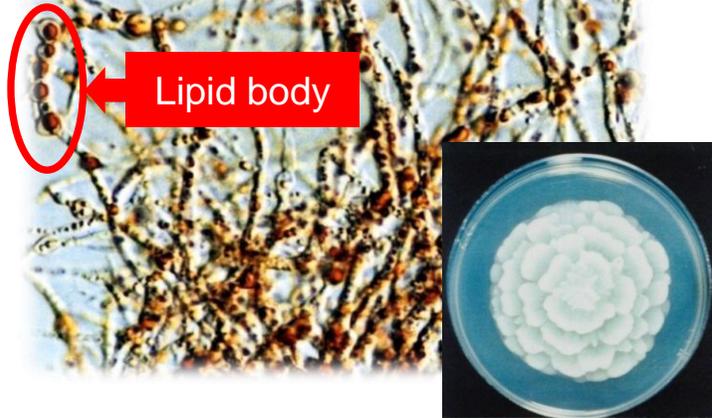
本研究の成果により、目指すべき魚粉魚油代替餌料の姿が明確に。



- ✓ 含有すべきDHA含量は2%
- ✓ 低用量の遊離EPA添加で、DHA/EPA量を削減できる可能性
⇒現状2~4割削減、コストは魚粉魚油の1.2~1.6倍程度まで許容
- ✓ 現状の発酵DHA/EPAのコスト高の原因は、エネルギー消費が大きい
液体培養であること、油脂の抽出工程が必要であること
⇒固体発酵で生産、直接給餌を可能とすることで解決

必須脂肪酸を発酵生産する微生物の開発：EPA高生産菌の開発

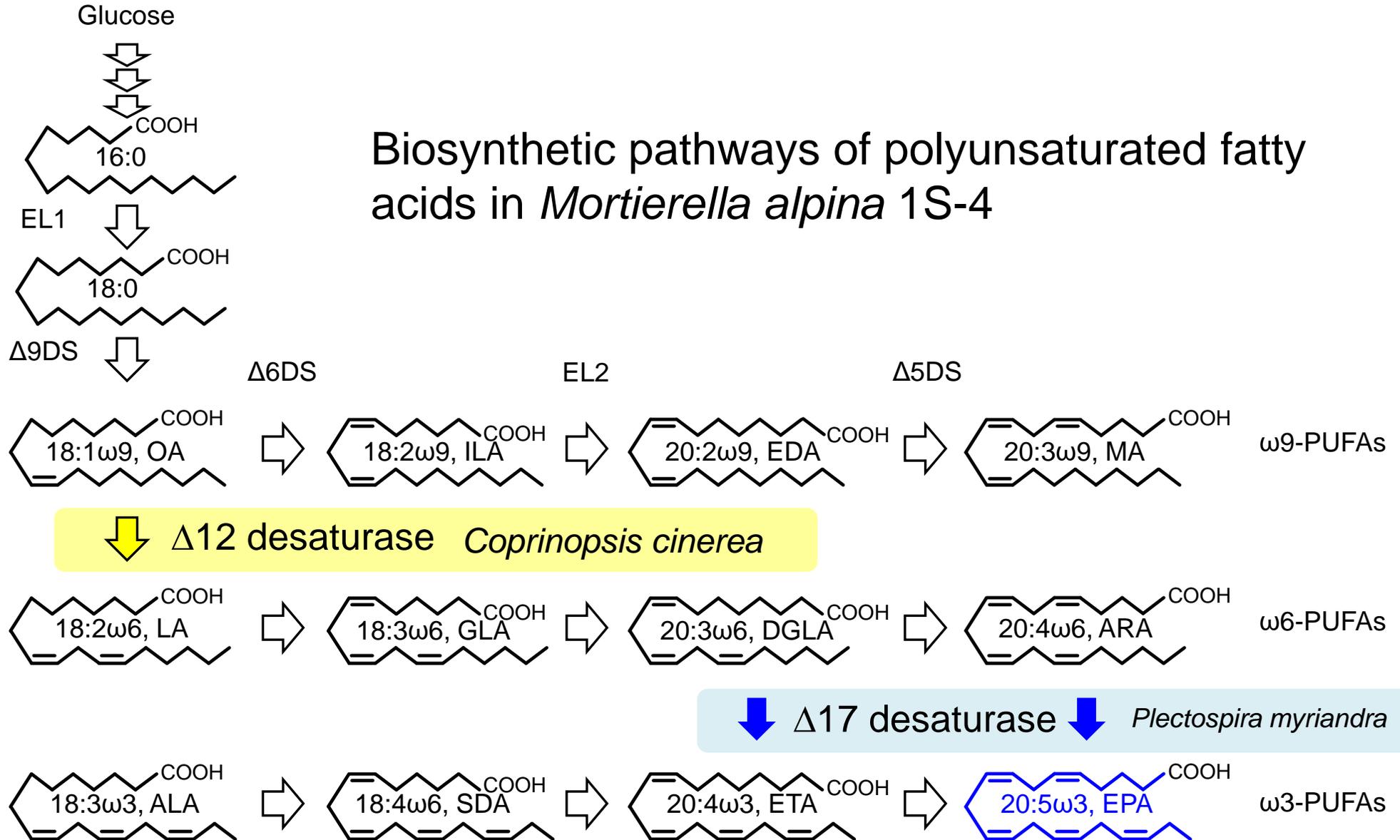
PUFA-producing fungus
Mortierella alpina 1S-4



OA, oleic acid; LA, linoleic acid; GLA, γ -linolenic acid; DGLA, dihomogamma-linolenic acid; ARA, arachidonic acid; ALA, α -linolenic acid; SDA, stearidonic acid; ETA, ω 3 eicosatetraenoic acid; EPA, eicosapentaenoic acid.

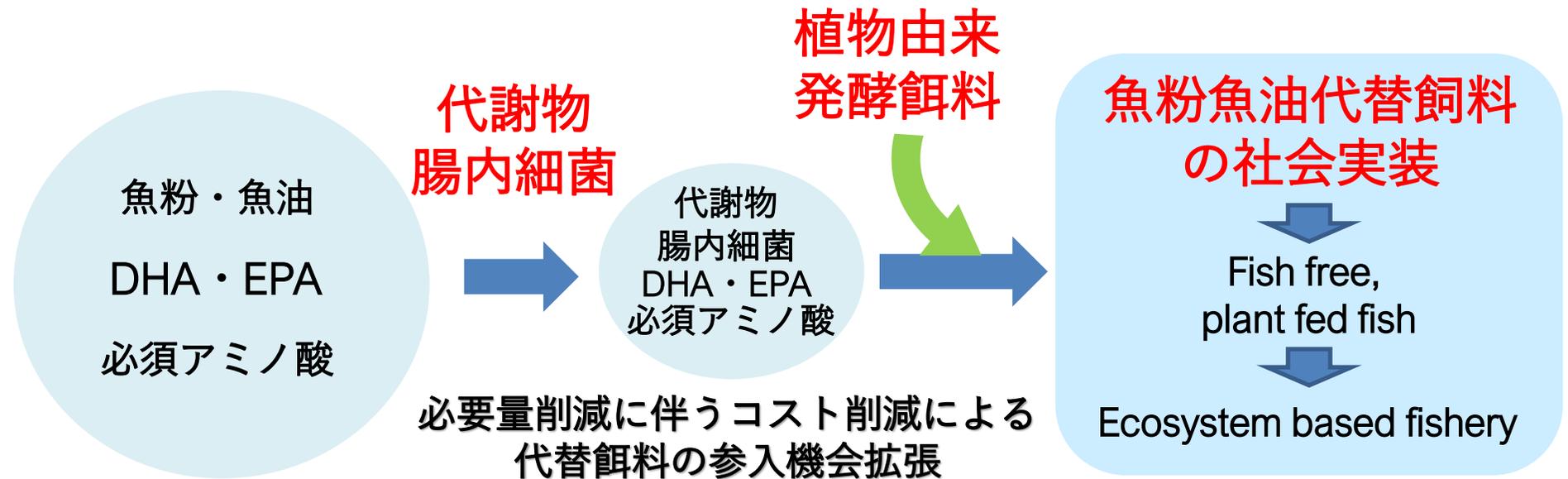
必須脂肪酸を発酵生産する微生物の開発：EPA高生産菌の開発

Biosynthetic pathways of polyunsaturated fatty acids in *Mortierella alpina* 1S-4



探索研究POC 3：植物資源を活用したEPA・DHA含有餌料の生産

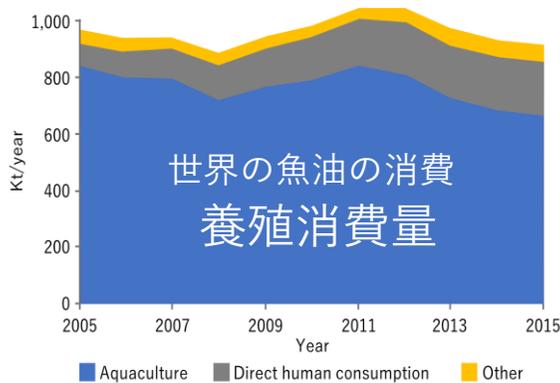
本研究の成果により、目指すべき魚粉魚油代替餌料の姿が明確に。



- ✓ 含有すべきDHA含量は2%
- ✓ 低用量の遊離EPA添加で、DHA/EPA量を削減できる可能性
⇒現状2~4割削減、コストは魚粉魚油の1.2~1.6倍程度まで許容
- ✓ 現状の発酵DHA/EPAのコスト高の原因は、エネルギー消費が大きい
液体培養であること、油脂の抽出工程が必要であること
⇒固体発酵で生産、直接給餌が可能

資源循環

世界で生産される魚油の
8割以上、養殖で消費される



飼料重量
4.3 kg

DHA 86.3 g

ブリ重量
1.5 kg

可食部重量
1 kg

DHA 8.88 g

魚の健康

課題 1、世界の魚油代替物は微生物培養オイル、成長には飼料中のDHA10%しか利用されない。

減らすと心臓病や肉質の悪化

課題 2、必須アミノ酸はケアされていない。

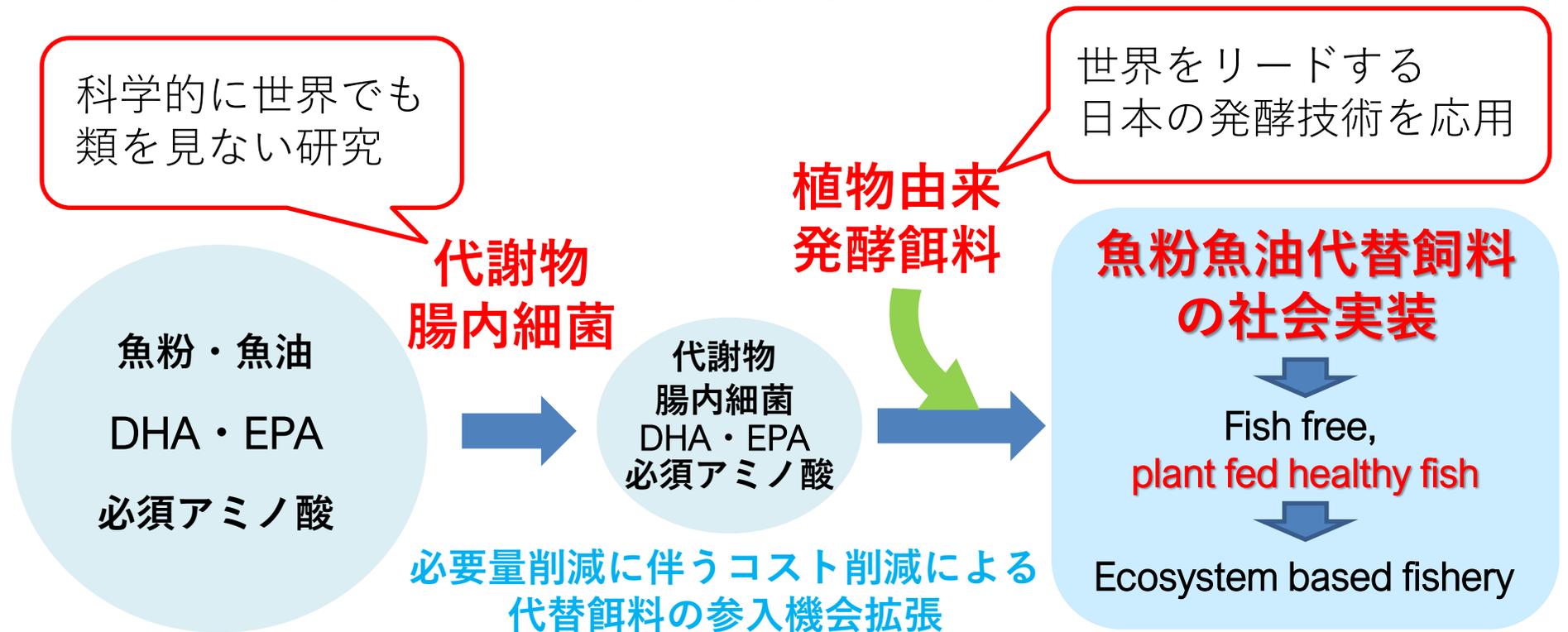
コスト

課題 3、エネルギー消費量多く高環境負荷、1/100以上のコスト低減が必要。

コア技術 1 代謝物と腸内細菌の活用により、**魚の健康維持**とDHA、EPAの削減の両立

コア技術 2 **日本にしかない醸造技術**、麴、みそ、納豆の醸造技術・サプライチェーンを活用した**固体発酵**による必須脂肪酸・アミノ酸含有発酵物の大量供給、**開放系培養**、**抽出**、**乾燥不要**でコストダウン

生態系に学ぶ資源循環型養殖餌料の開発



日本型次世代養殖が生み出す価値

- 1、環境適合性（資源循環）
- 2、安心・安全（ヒト・魚の健康増進 = おいしさ）
- 3、経済性・社会性（低コスト、
文化・嗜好の多様性への対応 = 多品種生産）