

一 般 財 団 法 人 油 脂 工 業 会 館

第 4 9 回 表 彰

油 脂 産 業 優 秀 論 文

優 秀 賞

日本の農業に対する油脂産業の貢献

γ -オリザノール含有油糧植物マコモを活用したRice-
Oil-Fish Cultureによる持続可能な農業システムの実現

花 王 株 式 会 社

さかもと まさ き
坂 本 雅 基

目 次

はじめに	1
第1章 日本の農業の課題	1
1-1 食糧増産、インフラ強化、生物多様性の確保、水環境改善の必要性	1
1-2 農村地域の活性化の必要性	2
第2章 機能性油脂を活用した「稲田養魚」の再興と水産業との連携	2
2-1 循環型生態農法「稲田養魚」	2
2-2 Rice-Oil-Fish Culture による持続可能な農業システムの構築	3
2-3 海面養殖漁業における人工稚魚生産技術の課題	3
2-4 γ -オリザノールによる人工稚魚の生産性向上	4
2-5 γ -オリザノール油のマイクロカプセル化と初期餌料への応用	5
第3章 γ -オリザノール含有油糧作物の選定と水産飼料生産プロセス	5
3-1 γ -オリザノール含有油糧植物マコモ	5
3-2 亜臨界水プロセスを用いた γ -オリザノール油抽出	6
3-3 γ -オリザノール油マイクロカプセル製造プロセス	7
第4章 地域交流による食糧生産・環境保全への関心の共有	8
4-1 食育・環境教育・地域交流	8
4-2 グリーンサイエンスツーリズム	8
第5章 海の魚のゆりかごプロジェクト構想	8
5-1 産業連携ネットワークの創出	8
5-2 フィジビリティ・スタディ（供給可能量，経済効果、収益性）	9
5-3 克服すべき課題	10
5-4 Rice-Oil-Fish Culture による世界の農業問題への貢献	10
おわりに	11
注釈	12
参考文献	15

はじめに

2050年に世界の人口は92億人に達し、穀物需要は2000年比で1.7倍に増加すると予想されている^{1) 2)} (図1)。これまでは肥料や農薬、エネルギーの大量消費を前提とする「緑の革命」^{※1}による農業の生産性向上が世界の穀物生産を支えてきたが³⁾、近年では生産性の向上率が低下しつつあり、将来の食糧需給のひっ迫が懸念されている⁴⁾。

このような状況は日本農業も同様であり、農業生産性の向上は長期的に低下傾向にある食料自給率⁵⁾を回復させるためにも国策上重要な課題である。加えて近年では荒廃農地や耕作放棄地の増大といった農業インフラの劣化、生物多様性の減少、水環境の劣化など生態系の課題も同時に浮き彫りになってきている。

そこで著者は、相互に複雑に関連している上記の課題を一体的に解決する方法が必要と考え、良好な生物連鎖の利用により極めて効率的な農法として知られている、伝統的循環型生態農法「稲田養魚」に着目した。そしてこれを現代の日本農業の課題解決に活用するために、「稲田養魚」に耕作放棄地での油糧作物栽培と製油・油脂加工技術を組み合わせ水産業と連携する「Rice-Oil-Fish Culture」を構想した。本論文では、農業の生産性と健全な生態系が両立する持続可能な新しい農業システムを提案する。この構想は、世界の農業問題の解決策にも展開でき、日本を含めた世界の農業の新たな成長戦略にもなりうる。

第1章 日本の農業の課題

1-1 食糧増産、インフラ強化、生物多様性の確保、水環境改善の必要性

日本経済再生本部が策定した「未来投資戦略2017」では成長戦略の対象分野の一つとして農業を掲げているが⁶⁾、近年、日本農業のインフラは劣化が著しく進行している。2016年現在の荒廃農地面積は27.6万ha、作付予定のない耕作放棄地を加えると42.3万haにも達している⁷⁾ (図2)。その対策として圃場整備や耕作放棄地対策等の取り組みは進められているものの、その増加傾向はとどまりを見せない。また、「緑の革命」による農業の生産性向上の一方で、その負の側面として生物多様性の減少や水環境劣化といった問題も顕在化してきている。1880年に約4000種あったイネの品種は2000年には160種まで減少しており⁸⁾、農地地下水の無機窒素濃度^{※2}の環境基準超過率は20%近いとも言われている^{9) 10)}。

現在の日本農業が抱えている食糧増産、インフラ強化、生物多様性維持、水環境保全等

の課題は、それぞれが互いの課題に複雑に関わりあっている。農地整備は必要条件の一つではあるが、この複合的課題を一体的に解決する取り組みが必要と考える。

1-2 農村地域の活性化の必要性

「平成27年度 食料・農業・農村白書」では農村人口の減少や高齢化の進行が農業生産活動や地域活動の脆弱化、地域資源の荒廃等へ影響していると指摘している¹¹⁾。その対策として農業関連産業の導入や多面的機能支払の制度化^{*3}などの施策が講じられているが、前述の複合的課題に対する明確な解決策にはなっていない。これを解決するためには、農業分野を超えた連携を促し、かつ未来の農業を担う人材の獲得・育成にも資する取り組みを通して、持続的な農村地域の活性化を図ることこそが必要である。

第2章 機能性油脂を活用した「稲田養魚」の再興と水産業との連携

2-1 循環型生態農法「稲田養魚」

そこで著者は、現在の日本農業の複合的課題を一体的に解決すると同時に農村の活性化を実現する方法として、伝統的な循環型農業である「稲田養魚」^{12) 13)}（図3）に着目した。稲田養魚は水田で魚を養殖しながら稲作を行うという循環型生態農法である。イネは魚に日よけを与え、エサとなる有機物を生み出す。一方魚はイネの害虫を食べ、その活動により水に酸素を与えて雑草の発生を抑制し、その排泄物はイネの肥料となる。そして農家は米と魚の両方を収穫する¹⁴⁾（図4）。良好な生物連鎖に基づく極めて効率的な農法であり、現在もアジア各地で行われていて、中華人民共和国・青田の稲田養魚（Rice-Fish Culture）は世界農業遺産にも認定されている¹⁵⁾。

かつては日本各地でも稲田養魚は盛んに行われていた。なかでも長野県佐久地方で行われていた稲田養魚は、単に水田で魚を養殖するだけでなく、養蚕業と組み合わせて、製糸産業との産業連携を図っていた。農家は水田で特産である佐久鯉を育てながら、桑を栽培して蚕を育て繭を得ていた。そして蚕のサナギを鯉の餌料として利用しつつ繭を製糸産業に供給するという、農業を起点とする産業連携を構築していた¹⁶⁾（図5）。一時は農薬の普及、鯉・生糸需要の減少等の影響で衰退したが、近年はその多面的価値が見直されてきている¹⁷⁾。

鮒ずしを特産とする滋賀県では、現在「魚の水田プロジェクト」として稲田養魚の普及に取り組んでいる（図6）。鮒の雑草や動植物プランクトン類の捕食による除草・除虫

効果と、その排泄物の施肥効果で、農薬・化学肥料の使用量をそれぞれ通常の50%以下に削減することに成功している¹⁸⁾。農薬使用量の削減は水田に生物多様性を復活させ、収穫した米に安全・安心という付加価値を与えることができる。

しかし最近では鯉や鮒の消費主体である家庭での需要減少の影響で、各地で活動の停滞が課題になっている^{19) 20)}。よって、稲田養魚を現在の日本農業の複合的課題の解決策として活用するためには、生物多様性の確保や安全・安心面の価値に加えて、稲田養魚に新たな社会的な役割と経済上の価値を与えることが必要であると考えた。

2-2 Rice-Oil-Fish Culture による持続可能な農業システムの構築

そこで将来の世界的な食糧需給問題の解決手段として注目されている海面養殖漁業^{21) 22)}に着目し、油脂産業の技術を活用して水産業との連携を図る新しい稲田養魚システム「Rice-Oil-Fish Culture」を構想した(図7)。

Rice-Oil-Fish Culture では、海面養殖漁業に対して人工稚魚と水産飼料を供給するために、荒廃農地や耕作放棄地で油糧作物の栽培と魚の養殖を行う。また水田でも魚の養殖を行う。そして得られた油糧作物を原料にして機能性油脂^{※4}を抽出し、さらにその機能性油脂をマイクロカプセル飼料^{※5}に加工して、餌料生物^{※6}・人工稚魚を生産するサイクルを確立する。魚は魚粉^{※7}に加工することで成魚養殖用の飼料として利用できる。このシステムで得られる各種生産物は海面養殖漁業にとって付加価値の高い原料となるため、農家はこれらの生産物を供給することで、経済上の利益を得ることができる。

また、荒廃農地や耕作放棄地で栽培する油糧作物に水質浄化機能を持つ植物を選定することで、水環境の改善と生物多様性保全を同時に実現することが可能になる。水田で魚を養殖することにより、肥料や農薬の使用量を減らすことができるため、生物多様性を復活させながら、食の安全・安心という価値をも提供できる。さらに、稲田養魚の活動を地域の食育や環境教育、余暇活動の場として利用することで、農村地域の活性化も図ることが可能である。

2-3 海面養殖漁業における人工稚魚生産技術の課題

海面養殖漁業の大きな課題の一つは生産性の向上である。Rice-Oil-Fish Culture では機能性油脂によって人工稚魚の生産性を高めることが可能になると考えている。

通常の養殖漁業では、海で天然稚魚を捕獲し、生餌や魚粉飼料を給餌して成魚まで育てる²³⁾。しかし、天然稚魚は海面養殖漁業の大きなコストの一つである上、捕獲量の不安

定性や疾病の持ち込みリスクなどの課題があるため、養殖した成魚から採卵して稚魚を得る人工稚魚の生産技術が求められている²⁴⁾。

人工稚魚の生産性を高めるには、初期餌料の高機能化が重要である。一般的には、稚魚にはワムシと呼ばれる体長200～300 μm の動物プランクトンを餌として与えるが²⁵⁾（図8）、ワムシのみでは十分な栄養が賄えないため、生存率やコスト、健全性に問題が出る。そこでこれまでDHA^{※8}やビタミン類を用いてワムシの栄養を強化し、人工稚魚の生産性を高めようとする検討が進められてきた²⁶⁾。しかし、魚種によっては人工稚魚の生産性は十分高いとは言えず、例えば、クロマグロの場合は受精卵から幼魚になるまでの生残率はわずかに約3%²⁷⁾、カンパチは、コスト面で天然稚魚には太刀打ちができない²⁸⁾。

2-4 γ -オリザノールによる人工稚魚の生産性向上

そこでワムシの栄養を強化する素材として、魚類に対する生理活性機能で最近注目を集めている γ -オリザノールに着目した。 γ -オリザノールは米油に特有の生理活性物質で、単一物質ではなく、フェルラ酸に数種のトリテルペンアルコールがエステル結合した物質の混合物である（図9）。 γ -オリザノールには様々な生理作用が報告されており、医薬品や化粧品、食品添加物等で幅広く利用されている²⁹⁾。近年では魚類に対しても様々な対象研究が進められている。

魚類に対する生理作用としては、生体防御活性^{※9}の賦活作用やストレス耐性の増強作用が注目されている。 γ -オリザノールを投与した金魚では非特異的生体防御機能^{※10}の上昇が確認されている。 γ -オリザノールの抗酸化作用や自律神経機能の安定化作用が、慢性的なストレス付加による生体防御活性の低下を軽減している可能性がある³⁰⁾。幼魚や稚魚でも同様な効果が確認されており、マダイの幼魚では酸化ストレスの低減³¹⁾、クロマグロの稚魚では生存数そのものの増加³²⁾、トラフグ稚魚では噛み合いや共食いの減少などの効果が報告されている³³⁾。このように、 γ -オリザノールには稚魚の健全な成長を助ける効果がある。

さらに最近では、魚類に対する脂質代謝の亢進作用が明らかになってきた。 γ -オリザノールを投与した魚類は脂質を代謝しやすくなるため飼料効率が向上し、より早く成長するようになる。トラフグ稚魚では20%の飼料効率向上が³³⁾、成魚ではニジマスで10～20%の体重増加が確認されており、ブリ、マダイ、クロマグロでも同様の効果が得られている³⁴⁾。

魚類に対する生体防御活性の賦活作用やストレス耐性の増強作用は、ビタミン類、ラク

トフェリン、フコイダイン等でも確認されているが、脂質代謝も同時に改善する素材は γ -オリザノールのみである。よって孵化後の稚魚の生残率、健全性、成長性の向上を同時に達成するためには、ワムシの栄養を強化する素材に γ -オリザノールを利用することが最も有効である。

2-5 γ -オリザノール油のマイクロカプセル化と初期餌料への応用

γ -オリザノールは水にほとんど溶けない上、ワムシは $5 \sim 20 \mu\text{m}$ の大きさのものしか体内に取り込めないため、ワムシに γ -オリザノールを効率的に取り込ませることは容易ではない。 γ -オリザノール含有油脂（以下、 γ -オリザノール油）を微細乳化^{※11}して、その乳化物を与える方法も考えられるが、乳化した油滴の安定性や、水溶性の必須栄養成分を含有させにくい等の課題が想定される。

この課題を解決するには、マイクロカプセル³⁵⁾（図10）の利用が有効である。直径 $1 \mu\text{m}$ 以下に微細乳化した γ -オリザノールの油滴を生分解性ポリマー^{※12}や脂質二重膜^{※13}、固体脂等^{※14}で包むことによって、乳化安定性が向上し、水溶性栄養成分の含有も容易になる。さらに直径 $1 \mu\text{m}$ 以下のマイクロカプセルであればワムシに限らず、稚魚も容易に捕食することもでき、この場合には飼料の力価^{※15}の向上効果も期待できる。加えて、マウスへ γ -オリザノールそのものとマイクロカプセル化 γ -オリザノールを投与した比較研究では力価が $100 \sim 1000$ 倍高まることが確認されており³⁶⁾、魚類でも同様の効果が期待される。

第3章 γ -オリザノール含有油糧作物の選定と水産飼料生産プロセス

Rice-Oil-Fish Culture を実現するためには、荒廃農地や耕作放棄地で簡易に栽培ができる γ -オリザノールを高含有する油糧作物と、国内各地に広範囲に生育した油糧作物から少ない環境負荷で効率的に γ -オリザノール油を抽出するプロセス、そして得られた油をマイクロカプセルに加工する技術が必要である。

3-1 γ -オリザノール含有油糧植物マコモ

荒廃農地や耕作放棄地で栽培が容易な油糧作物としてはヒエ、ハトムギ等の雑穀があるが³⁷⁾、これらは γ -オリザノールを含まない³⁸⁾。これに対して、マコモの子実であるワイルドライスは、玄米の約2倍量の γ -オリザノールを含んでいる³⁹⁾（表1）。

マコモはイネ科マコモ属の大型の多年生草本であり、北海道から九州、東アジアから東南アジアに分布する⁴⁰⁾ (図1 1)。ため池の湖岸、沼沢地、流れの緩やかな河川などに生育しており、子実、新芽はそれぞれワイルドライス、マコモダケと呼ばれ食用されている。水田への植付けも可能で栽培が容易なため、耕作放棄地での転作作物としても各地で栽培が広がっている^{41) 42)}。

マコモの子実であるワイルドライスは栄養的価値が高く、健康食品としても注目されており、雑穀飯、サラダ、スープなどに利用されている⁴³⁾ (図1 2)。その収量は1 4 1 k g / 1 0 a と多く、関東地方では二期作の可能性も検討されるほどの注目すべき植物である⁴⁴⁾。

また、マコモには水質浄化作用があることも確認されている。マコモを植生した人工湿地には生活排水中の窒素、リン等を低減する効果があり⁴⁵⁾ (図1 3)、ゴルフ場の修景池や湖沼の水質浄化にも利用されている^{46) 47)}。よって、マコモ栽培地と水田を連結することで水田の水環境を改善できる可能性があり、本提案のRice-Oil-Fish Cultureに最も相応しい植物と考えられる。

3-2 亜臨界水プロセスを用いたγ-オリザノール油抽出

ワイルドライスからγ-オリザノール油を抽出する方法としては、植物油の一般的な製造法である圧抽法^{*16}が考えられる(図1 4)。しかしこの方法は有機溶剤を使用するため環境負荷が大きく⁴⁸⁾、また元来低コスト大量生産と高効率化を追求してきたために集約化された大型設備が多い⁴⁹⁾。本提案のマコモ栽培は、耕作放棄地や荒廃農地で行うことを想定しており、その集荷基地は日本全国に広く点在する可能性があるため、従来の大型設備は必ずしも効率的ではない。

そこで、有機溶媒不使用、設備のコンパクトさを特徴とする亜臨界水プロセスを用いる方法を考えた。亜臨界水とは温度が1 0 0 ~ 3 7 4 °C、圧力が1 ~ 2 1 8 気圧までの間の特殊な状態の水である(図1 5)。大気圧(1 気圧)下では水は1 0 0 °Cで沸騰して水蒸気になるが、亜臨界水は液体の状態を保っており、普通の状態の水にはない油脂を溶解する性質^{*17}と強い反応性^{*18}を併せ持つようになる。この性質を利用した環境に優しい化学プロセスとして、廃棄物のバイオマス資源化^{50) 51)}や魚残滓からの有機酸の回収^{52) 53)}、米糠からの油脂抽出^{54) 55) 56)}(図1 6)といった各種プロセスに亜臨界水プロセスを利用する検討が進められている。ワイルドライスからの油脂抽出にも十分利用可能であると考ええる。

実際の設備イメージとしては、内閣府が主導する「チーム水・日本」の取り組みの中で

「亜臨界水技術活用・資源循環産業チーム (TeamSCW)」が採用している亜臨界水プロセス設備が想定される。高温高压の水蒸気を供給するボイラーと攪拌機を備えたラグビーボール形状の圧力容器で構成されており、簡便でコンパクトな設備であるため⁵⁷⁾ (図17)、点在する集荷基地ごとに設置でき、効率的に γ -オリザノール油を抽出できる。なお本プロセスはマコモ栽培地と水田で養殖した淡水魚から、DHA・EPA^{※19}を抽出する場合にも利用可能である。

以上の特徴から、ワイルドライスからの γ -オリザノール油の抽出方法として、亜臨界水プロセスを選定した。

3-3 γ -オリザノール油マイクロカプセル製造プロセス

γ -オリザノール油をカプセル化する方法としては、生分解性ポリマーを用いるナノスフェア^{※20}やリン脂質二重膜を用いるリポソーム^{※21}、脂質一重膜で液油を内包するリピッドマイクロスフェア^{※22}等が挙げられるが^{58) 59)} (図18)、ナノスフェア、リポソームは生産性が低く、コストの高さが課題である。リピッドマイクロスフェアは大量生産が可能であるが、液油中の内包成分の漏えいが課題である⁶⁰⁾。

リピッドマイクロスフェアの内包成分の漏えいを抑制する技術として、近年ドラッグデリバリーシステム^{※23}の分野で内包液油を固体脂に換えたソリッドリピッドナノパーティクル(SLN)や、液油と固体脂の混合物に換えたナノストラクチャードリピッドキャリア(NLC)の技術が提案されている^{61) 62) 63)} (図19)。SLNやNLCは高温下で微細乳化して得た乳化物を急速冷却することによって固体脂で内包成分をカプセル化する方法で、微細乳化装置と冷却装置を組み合わせた製造プロセスで大量生産が可能である。以上の特徴から、 γ -オリザノール油をマイクロカプセル化する方法として、SLNやNLCのマイクロカプセル製造プロセスを選定した。

このように、マコモ栽培に亜臨界水プロセス、マイクロカプセル製造プロセスを組み合わせることにより、マイクロカプセル飼料、餌料生物、人工稚魚の生産が可能となる。このときマコモ栽培地や水田で養殖した淡水魚からは、DHA・EPAや魚粉を得ることもできる。これらの水産飼料、人工稚魚を水産業に供給することにより、水産業との連携という新しい価値連鎖を作り出すことができるようになる(図20)。

第4章 地域交流による食糧生産・環境保全への関心の共有

4-1 食育・環境教育・地域交流

Rice-Oil-Fish Culture を持続可能な形で実現するためには、地域住民や都市住民と協力関係を構築して農村地域を活性化することが必要である。特に水環境を共有する地域住民と食糧生産・環境保全への関心を共有することは大切である。

そこで Rice-Oil-Fish Culture の価値連鎖を地域交流の中で可視化して、地域住民と関心を共有する活動として、小中学校で行われる食育・環境教育の中で紹介する活動を行う。これまで小中学校の授業の中で行われてきた田植え、収穫などの農業体験に加えて、生き物観察や水質検査などの科学体験、肥料や飼料などのモノづくり体験、稚魚の放流や魚の収穫などの養殖体験を一体的に提供する（図2-1）。子供たちが食糧生産・環境保全とモノづくりの関わりを体験することは地域住民と関心を共有することにつながり、またこれらの体験活動を農村の高齢者に担ってもらうことで、世代間交流、次世代教育、農業に対する高齢者の新たなモチベーションの創出にもつながると考えている。

4-2 グリーンサイエンスツーリズム

さらにこの活動を広く行うために、農山漁村に滞在し人々との交流や体験を楽しむグリーンツーリズムの考え方を拡張した「グリーンサイエンスツーリズム」を立ち上げる。グリーンツーリズムで取り入れられている米作り体験や養殖体験⁶⁴⁾、米や魚のオーナー制度に、科学体験やモノづくり体験を組み合わせる。オーナーには米や魚などの収穫物を提供するだけでなく、稲作や養殖、水質検査のレポートなどを SNS 等のソーシャルメディアを用いて即時配信する（図2-2）。このような活動を通じて、農村と都市住民との間のコミュニケーションを活発化させ、都市住民の主体的な参加を促すことによって、農村と都市住民との間で食糧生産・環境保全に対する関心を共有できるようになる。

第5章 海の魚のゆりかごプロジェクト構想

5-1 産業連携ネットワークの創出

Rice-Oil-Fish Culture の実現には多種多様な技術開発が必要なため、多くの関連機関が参加する研究活動を長期間継続でき、その成果をスムーズに事業に結び付けることが

できる仕組みが必要である。

この仕組みを実現する制度として「技術研究組合制度」がある⁶⁵⁾。関連機関が共同して試験研究を行うことを目的とする制度で、組合員の賦課金で運営するために長期にわたって研究開発基盤を維持しやすく、得られた成果を事業化に結び付けやすい。

そこでまず、技術開発段階では Rice-Oil-Fish Culture のコア技術を持つ油脂産業が主体となって関連企業、団体、大学、研究機関、行政に参加を呼びかけて「海の魚のゆりかご (Cradle for Marine Fishes : CMF) 技術研究組合」を設立し (図 2 3)、オープンイノベーションを推進する。CMF 技術研究組合の拠点は、現在「魚のゆりかご水田プロジェクト」を推進している滋賀県におく。滋賀県は海面養殖が盛んな中国・四国、九州地区にも近く、関連研究を行っている大阪大学、京都大学、近畿大学にも近い。

そして次に、事業化段階では「六次産業化・地産地消法」で用意されている産業連携ネットワーク^{※24}を活用する^{66) 67)} (図 2 4)。CMF 技術研究組合で事業化段階に移行できると判断した研究成果は、まず近畿産業連携ネットワークで圧倒的に生産性の高い事業モデルを確立する。次に養殖業の盛んな東海、中国・四国、九州の各ネットワークと連携して、ブリ、マダイ、ハマチなどの生産量が大きい魚種で事業モデルを展開し、水産業の生産性向上を進める。そしてさらに事業モデルを全国展開し、最大の養殖魚種であるサケ・サーモン類での展開を目指しながら、稚魚生産に課題を持つクロマグロ、カンパチ、ウナギなどの量産化技術を進める (図 2 5)。

5-2 フィジビリティ・スタディ (供給可能量, 経済効果, 収益性)

全国の荒廃農地と耕作放棄地のうち元・水田でマコモ栽培を行うと仮定した場合、γ-オリザノールの供給可能量は 8 6 2 トンとなった。これをマイクロカプセル化した場合、投与可能な養殖魚の年間生産量は 2, 9 5 2 千トン、現在の海面養殖年間漁獲量の約 1 2, 0 0 0 倍に相当する (表 2)。

経済効果は、全国のマコモ栽培地・水田で養殖を行うと仮定し、魚の収穫量を 7 0 k g / 1 0 a / 年として試算した⁶⁸⁾。その結果、農業分野で 5, 0 3 8 億円、漁業分野で 2, 8 8 4 億円、合計 7, 9 2 2 億円の経済効果が見込まれた (表 3 ~ 6)。

収益性は、事業化の第一段階を想定して滋賀県での農業分野を対象として試算した。亜臨界水抽出設備、マイクロカプセル製造設備、人工稚魚生産設備^{※25}はそれぞれ新設とし、新たに発生する労務は新規雇用で賄うこととした。試算の結果、収益は滋賀県の生産農業所得⁶⁹⁾の 2 2 % に相当する、約 6 9 億円となった (表 7 ~ 1 3)。この利益は一農業経営体あたりの平均可処分所得⁷⁰⁾を 1 1 % 向上させる効果があり、十分な収益性がある

と判断した。なお雇用面では125人の新規雇用が可能で、全国では4,686人に上る規模になると推定される。これらの人材によって、地域活性化と次世代人材の育成を図ることも可能になる。

5-3 克服すべき課題

Rice-Oil-Fish Culture の生産性を高めるためには、ワイルドライスの品種改良、栽培方法の改善が必要である。これらの課題にはこれまで培われてきた米の生産技術が活用できるが、加えて農機開発や直播き栽培^{*26}、ICT の活用等による一層の省力化が望まれる。水田養殖についても魚種の検討や養殖方法の改善が必要である。たとえば稲の畦間で水草を同時に栽培して養殖魚の餌とする方法^{*27}は養殖コストを大幅に削減できる^{71) 72)}。

圃場、漁場の整備には、地権者や漁業組合、近隣住民との緊密なコミュニケーションと、調整や法整備のための関連機関への働きかけが必要である。本提案を推進するためには、多様なステークホルダーとのビジョンの共有、情報・技術の流通とコーディネートが重要であり、この研究開発型ベンチャーのマネジメントを油脂産業界が中心となって積極的に推進してゆく。

5-4 Rice-Oil-Fish Culture による世界の農業問題への貢献

世界の農業が抱える課題は、多くの点で日本の農業が抱える複合的課題と共通である。世界人口の増加、そして生活水準の向上による食生活の変化は、世界の穀物需要と窒素肥料使用量の大幅な増加を引き起こしている⁷³⁾ (図26)。近年、特にアジアは化学肥料の使用量増加が最も多い地域であり、地下水の硝酸汚染や河川・湖沼・海岸域の富栄養化などの環境悪化が著しい⁷⁴⁾。窒素汚染は農業生産性を低下させ、生物多様性を損ない、漁業に悪影響を与える。

これに対して、現在アジアを中心に行われている稲田養魚⁶⁸⁾ (図27)には農業生産性と健全な生態系を両立できる可能性が秘められている。これまでの稲田養魚はかつての日本での歴史的経緯や、中国・青田の世界遺産に対するFAOの懸念に見られるように、急激な市場環境の変化に対して脆弱な面があるが^{15) 16)}、本提案のRice-Oil-Fish Cultureは海面養殖漁業と産業連携することによって今後の世界的な食糧需給のニーズに適合するため、システムとしての頑健性に優れていると考えられる。さらにマコモの水質改善機能は、水環境の改善と生物多様性の保全を実現でき、また、亜臨界水プロセスとマイクロカプセル製造プロセスは分散型資源の付加価値向上の点で優れている。

以上の特徴より、日本農業の新たな成長戦略として Rice-Oil-Fish Culture を位置づけ、現在稲田養魚が行われている世界各国・地域にビジネスモデルとして輸出することによって、世界の農業・食糧・水資源問題の解決にも貢献できるものとする（図 2 8）。

おわりに

12,000 年前にナイル河や黄河のような大河川流域で始まった農業は、人口の増加による食糧不足に対応するために幾度も生産性の革新を繰り返してきたが、現在我々は前例のない新たな状況に直面している。これまでは肥料やエネルギーの不足を解消すればよかったが、「緑の革命」後、人類は肥料や農薬、エネルギーの“過剰”が引き起こす新たな問題——環境問題、生物多様性の喪失——を併せ持つようになった⁷⁵⁾。さらに生活の中心を都市に移したため、これらの課題に対する関心が薄くなった。日本農業が抱える複合的課題もこのような状況の一事象として捉えることができる。肥料や農薬、エネルギーの大量消費を前提とする現在の農業生産はそのあり方そのものが問われている。

本論文では伝統的な循環型生態農法である稲田養魚に着目し、油脂産業の技術を核として新たな生態循環を創出して水産業と連携する、新しい農業システムを提案した。本提案は農業生産性と健全な生態系を両立する農業を実現可能とするものである。本提案の実現には、これまで磨いてきたさまざまな知識や技能、これから積み上げるあらゆる創意工夫とともに、多くのステークホルダーの協力、そして油脂産業のリーダーシップが必要である。我々は歴史的な転換点に立ち会っている。新しい農業システムの実現に向けて、今その第一歩を踏み出そうではないか。

注 釈

- ※1 1940年代から1960年代にかけて、高収量品種の導入や化学肥料の大量投入、灌漑設備の整備、病虫害の防除技術の向上、農作業の機械化などにより小麦や米の生産性が向上し、穀物の大量増産を達成したこと。一方では化学肥料や農薬の大量投入なしに維持できなくなり、持続可能性が問われてもいる。1970年代に入った頃から一部では生産量増加が緩やかになった例や、病虫害や塩類集積によって逆に生産量を減らした例も見られる。
- ※2 井戸水の硝酸態窒素および亜硝酸態窒素の濃度。硝酸態窒素および亜硝酸態窒素をヒトが一定以上摂取すると酸欠症状を発症する。体内で発がん性物質に変化する可能性も指摘されている。河川や湖沼等の富栄養化の原因でもある。環境基準濃度は10mg N/L以下。
- ※3 地域活動や農業生産活動、環境保全に効果の高い営農を財政的に支援する制度。農業・農村が有する多面的機能の維持・発揮を図るために行われる。
- ※4 油脂のうち、特に生理作用をもつもの。代表的な機能性油脂として、ドコサヘキサエン酸（DHA）、エイコサペンタエン酸（EPA）、 ω 3脂肪酸、セラミド、ジアシルグリセロール、中鎖脂肪酸含有トリアシルグリセロールなどがある。
- ※5 マイクロカプセルを利用した飼料。マイクロカプセルは、物質をマイクロメートル単位の小さな粒子にし、その一粒一粒を薄い皮膜で包んだもの。
- ※6 魚のエサになる生物で、稚魚生産には植物プランクトンや動物プランクトンが用いられる。代表的なものとして、ナンノクロロプシス、ワムシ、アルテミア、などが挙げられる。
- ※7 魚を煮熟したあとに圧搾機で脂と水を分離して、乾燥して、砕き、粉状にしたもの。養殖用飼料として用いられる。
- ※8 ドコサヘキサエン酸。必須脂肪酸の一つで、脊椎動物では体内でほとんどつくられないため、外部から補う必要がある。
- ※9 免疫反応などにより生体を守る機能の活発さの程度。
- ※10 免疫応答の前に、体内に入ってきた病原体を除去しようとする防御機構。皮膚、唾液、粘膜などが物理的バリアとなって行われる。
- ※11 微細乳化を行う化学プロセス。水と油のように本来まじりあわないものが混じり合う現象を乳化といい、水と油のうちどちらか一方が微粒子化し、液状のもう一方の中に浮いている状態になる。1 μ m以下の粒子径に乳化することを微細乳化といふことが多い。

- ※12 微生物などによって、最終的に水と二酸化炭素に分解する高分子。
- ※13 リン脂質を主とする膜で、細胞膜は脂質二重膜で構成されている。隙間なく並んだリン脂質が疎水性部分を内側、親水性部分を外側に向けて二重の層を形成する。
- ※14 常温で固体の脂質。
- ※15 生物学における検体の濃度（活性）の測定法の一つ。検体を段階的に希釈して、陽性/陰性評価が陽性となる限界の希釈度（最も濃度が低い／最も希釈係数が高い）を力価とする。
- ※16 圧搾と溶剤抽出によって油糧原料から油分を抽出する方法。
- ※17 分子内の電荷の偏りが似ているものどうしは互いに溶解しやすい性質があり、電荷の偏りの大きさを極性という。通常の水は極性が大きい、亜臨界水になると極性が小さくなる。油脂は極性が小さいので、通常の水には溶解しにくい、亜臨界水には溶解しやすくなる。極性の程度は比誘電率で表され、通常の水が80であるのに対して、亜臨界水はメタノール、アセトンなどの有機溶媒に近い20～30程度、油脂は2～3である。したがって亜臨界水と油脂は極性が近いので、亜臨界水は油脂を溶解する性質を示す。
- ※18 水素イオン H^+ や水酸化物イオン OH^- は酸化や還元反応を引き起こす。通常の水もわずかに解離して水素イオン H^+ と水酸化物イオン OH^- を含んでいるが、亜臨界水になると解離の程度が大きくなり、 H^+ 、 OH^- のイオン濃度が通常の水の約30倍になる。したがって亜臨界水は強い反応性を持つ。
- ※19 エンコサペンタエン酸。必須脂肪酸の一つ。
- ※20 合成高分子や天然高分子に薬物を内包させた、粒子径が $1\mu m$ 以下の球状の製剤。生分解性高分子を用いたナノスフェアは医薬製剤、化粧品などに利用されている。
- ※21 細胞膜や生体膜の構成成分であるリン脂質を使って水中でつくることができるカプセル。医薬製剤、化粧品などに利用されている。
- ※22 大豆油と卵黄レシチンから構成される油脂微粒子で、乳化物の一種。脂質の栄養補給剤（点滴など）として利用されている。
- ※23 必要な薬物を必要な時間、適切な場所に届けるために、医薬品の有効時間を長くしたり、吸収を改善したりすることによって、体内での薬の動きを制御する仕組み。
- ※24 六次産業化・地産地消法で採択されたテーマが利用できるネットワーク。農林水産業界に加え、産業、金融、消費者、シンクタンク、研究等の多様かつ広範な関係者の知恵を集め、相互に連携する場の役割を果たす。全国に9つの地区ネットワークが用意されている。
- ※25 人工的に稚魚を生産するための設備。今回の試算では飼育槽、循環水浄化装置、

環境制御装置、循環ポンプからなる閉鎖循環式養殖設備を仮定した。

※26 育てた苗を植える方法（移植栽培）に対し、直接種をまいていく栽培方法。育苗、田植作業を省略することにより、大規模化・低コスト化・省力化を図ることができる。

※27 たとえば、養殖魚に対して直接給餌しないでイネの畦間でアゾラ（アカウキクサ）を育て、これを魚の餌として与える方法が知られている。魚の収穫量は減少するが、飼料コストがかからないメリットがある。アゾラは浮遊性の水草（水生シダ植物）で、その窒素固定化能力と高い窒素含有用のため、古くからアジア各地で水田の緑肥として利用されてきた。

参 考 文 献

- 1) Department of Economic and Social Affairs / Population Division, *World Population Prospects The 2015 Revision*, United Nations, 2015
- 2) Nikos Alexandratos, et al. , *WORLD AGRICULTURE TOWARDS 2030/2050 The 2012 Revision*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2012
- 3) 岩本純明, 「『緑の革命』から学ぶもの」, 『東京大学農学部公開セミナー第 29 回 どこまで食糧増産は可能か?』, 1-9, 2005
- 4) Luts Goedde ら, “日本における農業の発展、生産性改善に向けて”, マッキンゼー・アンド・カンパニー日本支社,
<http://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/global%20themes/asia%20pacific/strengthening%20japanese%20agriculture%20to%20maximize%20global%20reach/empowering-japanese-agriculture-report-ja.ashx>, 2017/5 月参照
- 5) 農林水産省, “知ってる? 日本の食料事情 ～日本の食料自給率・食糧自給力と食糧安全保障～”, 農林水産省,
http://www.maff.go.jp/j/zyukyu/zikyu_ritu/attach/pdf/panfu1-27.pdf. 2017 年 6 月参照
- 6) 日本経済再生本部, “未来投資戦略 2017 ―Society5.0 に実現に向けた改革―”, 首相官邸,
www.kantei.go.jp/jp/headline/pdf/seicho_senryaku/2017_all.pdf, 2017/7 月参照
- 7) 農林水産省, “荒廃農地の現状と対策について”, 荒廃農地の発生防止・解消等,
http://www.maff.go.jp/j/nousin/tikei/houkiti/pdf/2804_genjo.pdf, 2017/3 月参照
- 8) 佐藤洋一郎, “緑の革命と遺伝的多様性”, 総合地球環境学研究所,
<http://www.chikyu.ac.jp/ecohistory/abstract.pdf>, 2017 年 9 月参照
- 9) 福島宏和, “過剰な窒素肥料が及ぼす環境負荷の低減に向けて ―地下水汚染と農作物中の硝酸塩の低減―”, 『科学技術動向』, 2006 年 12 月, 11-21, 2016
- 10) 江口定夫, “窒素負荷から見た日本の耕種農業の特徴”, 『農業と環境』, 180, 11-18, 2015
- 11) 農林水産省, 『平成 27 年度 食料・農業・農村白書』, 農林水産省, 2016
- 12) 松井佳一, 『水田養魚』, 富書店, 1948
- 13) HuabinZheng, et al., “Traditional symbiotic farming technology in China

promotes the sustainability of a flooded rice production system”,
“*Sustainability Science*”, 12, 155-161, 2017

- 14) 王攀, 「発展と保護が叫ばれる竜現村の「稻田養魚」」, 『人民中国』, 632, 50-53, 2006
- 15) FAO, “The Rice-Fish Culture System in China”, Globally Important Agricultural Heritage System(GIAHS),
<http://www.fao.org/docrep/016/ap203e/ap203e.pdf>, 2017/5 月参照
- 16) 井口恵一朗ほか, 「長野県佐久地方における稻田フナ養殖の現状」, 『水産技術』, Vol.4, No.1, 1-6, 2011
- 17) 池上甲一, 「環境保全に果たす農業の社会的役割—長野県佐久市水田養鯉の事例研究—」, 『環境科学総合研究所年報』, Vol.12, 105-118, 1993
- 18) 滋賀県農政水産部農村振興課, 「魚のゆりかご水田の取組について」, 『RIVER FRONT』, Vol.83, 20-24, 2016
- 19) 長野県水産試験場, “水田フナ養殖の手引き”, 長野県水産試験場,
www.pref.nagano.lg.jp/suisan/joho/documents/tebiki.pdf, 2017/5 月参照
- 20) 中西悠ら, 「魚のゆりかご水田プロジェクト実施地域の類型化と実施水田面積拡大のための方策の考察」, 『土木工学会論文集 G (環境)』, Vol.70, No.6, II_151-II_158, 2014
- 21) 農林水産省, “世界の食料需給の見通し”, 2007 年度「食料・農業協力講演会」,
http://www.jaica.or.jp/news/lecture_6_2007-2.pdf, 2017/7 月参照
- 22) THE WORLD BANK, “FISH TO 2030 Prospects for Fisheries and Aquaculture”,
“*WORLD BANK REPORT*”, 83177-GLB, 1-80, 2013
- 23) 一社) 全国海水養魚協会, 『絵で見る養殖業』, 一社) 全国海水養魚協会, 2016
- 24) 水産庁, “養殖業の現状と課題について”, 養殖業のあり方検討会,
<http://www.jfa.maff.go.jp/j/saibai/yousyoku/arikata/pdf/1-2docu.pdf>,
2017/3 月参照
- 25) 吉岡孝治, 「ワムシの培養技術について」, 『水産と海洋』, No.21, 2012
- 26) 竹内俊郎, 「海産魚介類種苗の健全性向上に関する栄養学的研究」, 『日本水産学会誌』, Vol.75, No.4, 623-635, 2009
- 27) 水産庁, 「コラム 天然資源に依存しないクロマグロの完全養殖技術を目指して」,
『平成 21 年度 水産白書』, 57-58, 2009
- 28) 虫明敬一, 「カンパチ種苗の国産化への挑戦: プロローグ」, 『第 11 回ジャパン・インターナショナル・シーフードショーセミナー 輸入種苗に頼らないカンパチ養

殖技術』，1-2，2009

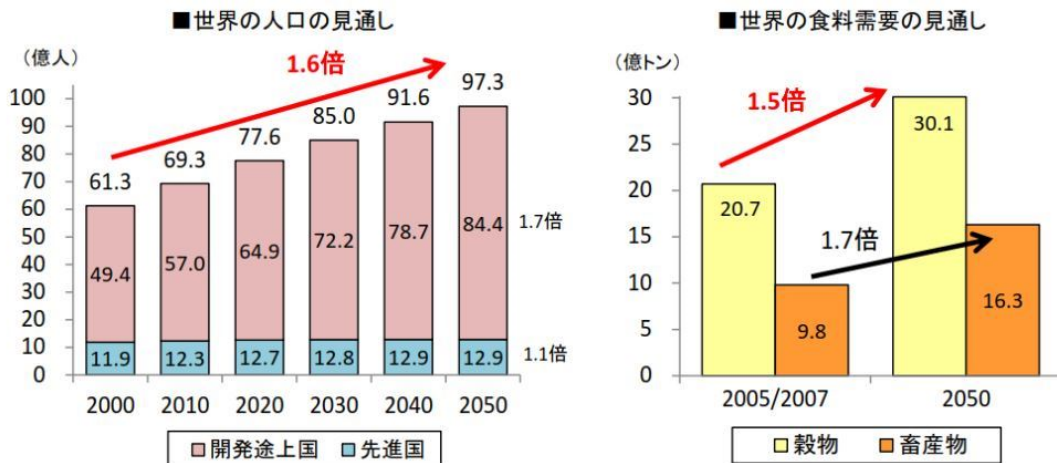
- 29) オリザ油化株式会社，“製品案内 γ -オリザノール”，オリザ油化株式会社 HP，
http://www.oryza.co.jp/product/detail/oryzanol_igai，2017/2月
- 30) 角田出，「米糠由来物質の投与による魚類の非特異的生体防御能の増強」，『水産増殖』，Vol.56，No.1，105-111，2008
- 31) Takashi Maoka, et al., “Effects of Dietary Supplementation of Ferulic Acid and γ -Oryzanol on Integument Color and Suppression of Oxidative Stress in Cultured Red Sea Bream, *Pagrus major*,” *Journal of Oleo Science*, Vol.57, No.2, 133-137, 2008
- 32) 特開 2013-158275（養殖魚死亡抑制剤）
- 33) 特開 2007-68527（養殖フグのストレス抑制剤）
- 34) 長阪玲子，「魚類代謝制御経路の解明と養殖魚品質向上への適用に関する研究」，『日本水産学会誌』，Vol.79，No.4，627-629，2013
- 35) 特許第 4189860（飼料用マイクロカプセル）
- 36) 一社）沖縄総合科学研究所，“沖縄発 玄米由来健康成分（ γ -オリザノール）封入ナノ粒子製剤を用いた高機能高付加価値の健康食品・医薬品の研究開発”，沖縄県ライフサイエンスネットワーク形成事業，
http://www.pref.okinawa.jp/site/kikaku/kagaku/shinko/project_lifesciensenetwork/documents/h26_theme_2_iyakuhin2.pdf，2017年2月参照
- 37) 郷田和夫，『育てて楽しむ雑穀 栽培・加工・利用』，明昌堂，2009
- 38) 富山県農林水産総合技術センター，“とやまの農産物の機能性成分データ集”，
http://taffrc.pref.toyama.jp/nsgc/shokuhin/webfile/t1_8ab7bc57fc6c3d9242659bbf210e2ccf.pdf，2017/4月参照
- 39) Aladedunye Felix, et al., “ γ -Oryzanols of North American Wild Rice (*Zizania palustris*)”，*J Am Oil Chem Soc*，Vol.90，1101-1109，2013
- 40) Y.HADA，“マコモ *Zizania latifolia*（イネ科 マコモ属）”，岡山理科大学 生物地球学部 生物地球学科 植物生態研究室（波田研），
<http://had0.big.ous.ac.jp/plantsdic/angiospermae/monocotyledoneae/graminaeae/makomo/makomo.htm>，2017/7月参照
- 41) 北陸農政局，“耕作放棄地への導入作物事例”，北陸農政局，
http://www.maff.go.jp/hokuriku/nouson/kousaku_houki/pdf/h2303torikumi_jirei1.pdf，2017/3月参照
- 42) 和歌山県農業試験場，“マコモの特性と栽培”，和歌山県，

<http://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/070109/gaiyou/001/documents/makomo.pdf>, 2017/3 月参照

- 43) アメリカ大使館農産物貿易事務所, “ワイルドライス”, アメリカ食材辞典 myfood.jp, http://www.myfood.jp/usfood_dic/grain/wild_rice.html, 2017/7 月参照
- 44) 穴澤拓未ほか, 「ワイルドライスの生育および収量」, 『日本作物学会記事』, Vol. 76, No. 1, 52-58, 2007
- 45) 阿部薫ほか, 「人工湿地の水質浄化機能の評価ならびにビオトープにおける生物相の変化と管理手法の検討」, 『農業環境技術研究所報告』, No. 33, 2015
- 46) 株式会社フジタ, “維持管理不要でアオコの発生抑制と水質改善可能な浄化技術を確立 ～流入負荷の多い修景池で維持管理不要型フェスタ工法を実証～”, 株式会社フジタ HP, http://www.fujita.co.jp/information/2013/post_67.html, 2017/5 月参照
- 47) 江成敬次郎ほか, 「伊豆沼に設置された植物浄化田における窒素・リン除去」, 『環境システム研究』, Vol. 23, 478-482, 1995
- 48) 一社) 日本植物油協会, “植物油の道”, 一社) 日本植物油協会, http://www.oil.or.jp/kiso/seisan/seisan06_01.html, 2017/7 月参照
- 49) 西尾公男, 「油脂の抽出装置」, 『油化学』, Vol. 16, No. 5, 224-234, 1967
- 50) 佐古猛ほか, 「亜臨界水を用いるバイオマス廃棄物からの高効率エネルギー生産技術」, 『高圧力の科学と技術』, Vol. 20, No. 1, 26-32, 2010
- 51) 吉村和就, 「亜臨界水処理技術による地域創生」, 下水道情報, No. 1814, 6-8, 2016
- 52) 特開 2002-18393 (魚滓処理装置及び魚滓処理方法)
- 53) Hiroyuki Yoshida, et al., “Production of Organic Acids and Amino Acids from Fish Meat by Sub-Critical Water Hydrolysis”, “*Biotechnology Progress*”, Vol. 15, No. 6, 1090-1094, 1999
- 54) 安達司, 「亜臨界流体の特徴と利用」, 『化学と生物』, Vol. 47, No. 10, 697-702, 2009
- 55) 特許第 5400308 (米ぬか油の製造方法)
- 56) 吉田弘之, “有機性廃棄物及び未利用バイオマスの資源・エネルギー化. 新技術説明会”, https://shingi.jst.go.jp/past_abst/abst/p/12/1230/osaka1-12.pdf, 2017/3 月参照
- 57) 松下潤ほか, “亜臨界水技術による地域創生の可能性”, チーム水・日本, www.waterforum.jp/twj/wscj/mtg/doc/20160523_10.pdf, 2017/5 月参照

- 58) 小川泰亮, 「生体内分解性高分子の DDS 製剤への応用」, 『Drug Delivery System』, Vol.15, No.5, 429-436, 2000
- 59) 水島裕ほか, 「薬物のターゲティング ―基礎および臨床での証明―」, 『Drug Delivery System』, Vol.10, No.5, 337-343, 1995
- 60) 田端泰彦, 『絵で見てわかるナノ DDS』, メディカルドゥ, 2007
- 61) Jana Pardeike, et al., "Lipid nanoparticles (SLN, NLC) in cosmetic and pharmaceutical dermal products", *"International Journal of Pharmaceutics"*, 366, 170-184, 2009
- 62) Anthony A.Attama, et al., "Lipid Nanoparticulate Drug Delivery Systems: A Revolution in Dosage Form Design and Development", *"Recent Advances in Novel Drug Carrier Systems"*, Intech, 107-140, 2012
- 63) Phatsapong Yingchoncharoen, et al., "Lipid-Based Drug Delivery Systems in Cancer Therapy : What Is Available and What Is Yet to Come", *"PHARMACOLOGICAL REVIEWS"*, Vol.68, 701-787, 2016
- 64) 八木宏典, 「グリーン・ツーリズムの現状と課題」, 『最新 世界の農業と食料問題のすべてがわかる本』, ナツメ社, 180, 2013
- 65) 経済産業省, "技術研究組合制度 研究開発パートナーシップ", 経済産業省, http://www.meti.go.jp/policy/tech_promotion/kenkyuu/kenkyuindex.html, 2017/5 月参照
- 66) 農林水産省, "農林漁業の 6 次産業化", 農林水産省, <http://www.maff.go.jp/j/shokusan/sanki/6jika.html>, 2017/5 月参照
- 67) 農林水産省, "産業連携ネットワークについて", 農林水産省, <http://www.maff.go.jp/j/shokusan/sanki/sanren.html>, 2017/5 月参照
- 68) Matthias Halwart, et al., "Culture of fish in rice fields", FAO <http://www.fao.org/3/a-a0823e.pdf>, 2017/5 月参照
- 69) 農林水産省近畿農政局, "平成 27 年農業産出額及び生産農業所得(近畿)", 近畿農政局, <http://www.maff.go.jp/kinki/press/toukei/toukeikikaku/161222.html>, 2017/6 月参照
- 70) 農林水産省, "平成 26 年営農類型別経営統計 1-4 水田作経営(経営全体) 全国農業地域別一経営の概況と分析指標", e-Stat 政府統計の総合窓口, <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001155719>, 2017/6 月参照
- 71) 渡辺巖, 「ラン藻とアゾラの共生 共生的窒素固定の機構とその利用」, 『化学と生物』, Vol.30, No.12, 820-829, 1992

- 72) 渡辺 巖, 「熱帯水田農業での低投入持続型農業 (Low Input Sustainable Agriculture-LISA) を求めて」, 『熱帯農業』, Vol. 37, No. 2, 146-149, 1993
- 73) 新藤純子, 「食料増産と資源・環境問題としての肥料」, 農業環境技術研究所,
<http://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/magazine/123/mgzn12301.html>,
2017/5 月参照
- 74) 新藤純子, 「東アジアの食料の生産と消費拡大が水質を変える」, 農業研究機構,
http://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/magazine/pdf/seika06_21.pdf,
2017/5 月参照
- 75) ルース・ドフリース, 『食糧と人類 飢餓を克服した大增産の文明史』, (訳)小川
敏子, 日本経済新聞出版社, 2016

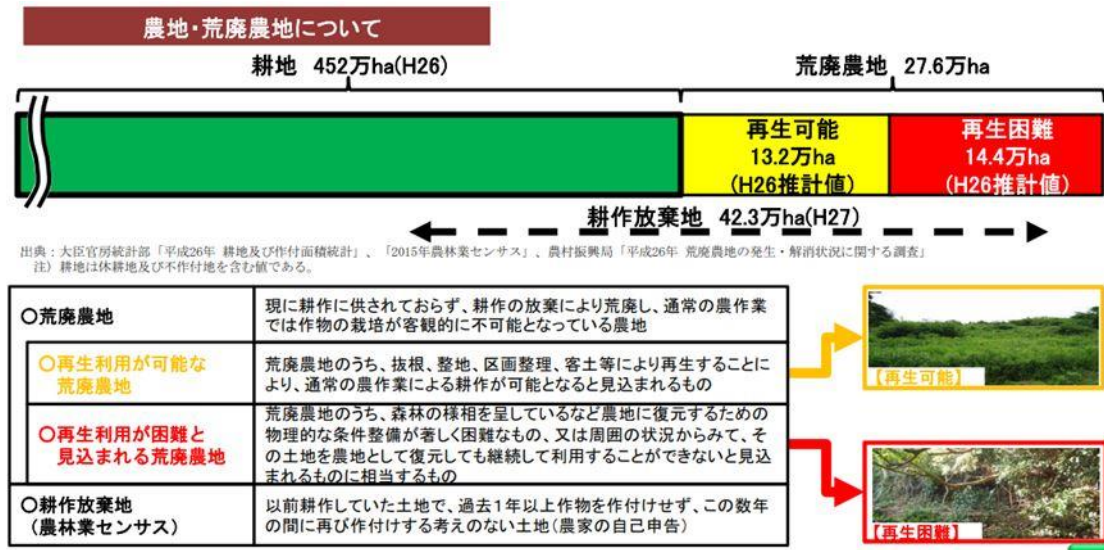


資料：国連「World Population Prospects」(2015)、FAO(国連食糧農業機関)「World Agriculture Towards 2030/2050」(2012)

図－１ 世界の人口及び食料需要の見通し

出典；農林水産省，「知ってる？日本の食料事情」
～日本の食料自給率・食料自給力と食料安全保障～

http://www.maff.go.jp/j/zyukyu/zikyu_ritu/attach/pdf/panful-27.pdf



図－２ 農地・荒廃農地について

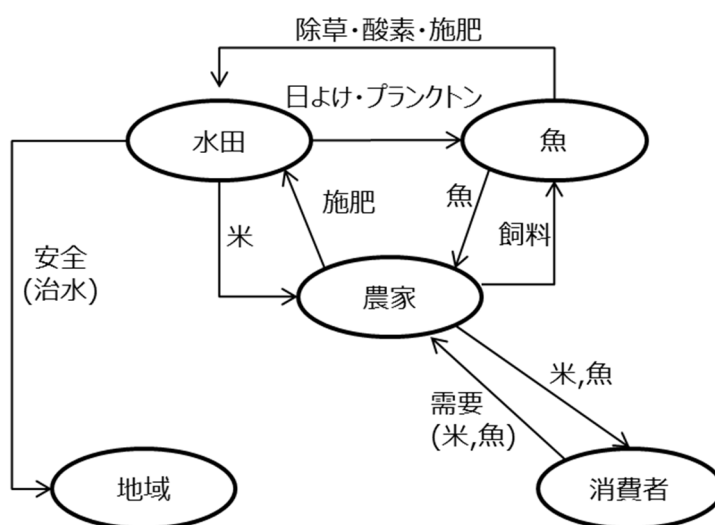
出典；農林水産省，荒廃農地の現状と対策について

http://www.maff.go.jp/j/nousin/tikei/houkiti/pdf/2804_genjo.pdf

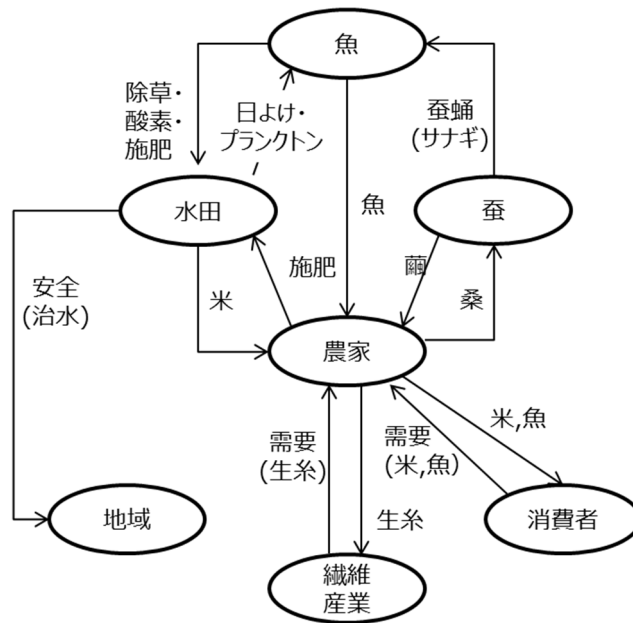


図－３ 稲田養魚

出典 ; GIAHS Pilot Site 1: Qingtian Rice-Fish Culture, Zhejiang
http://english.agri.gov.cn/hottopics/fa/giahs/201307/t20130717_19969.htm



図－４ 稲田養魚の価値連鎖



図－５ 長野県佐久地方の稲田養魚の価値連鎖

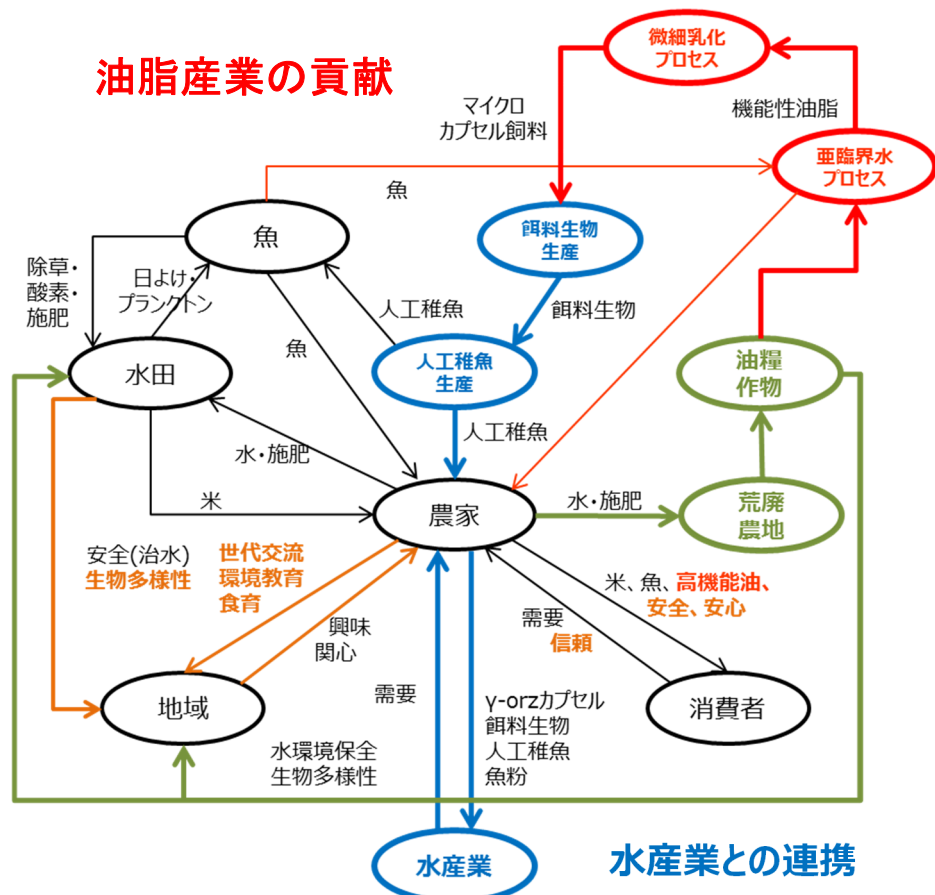
魚のゆりかご水田プロジェクト！！



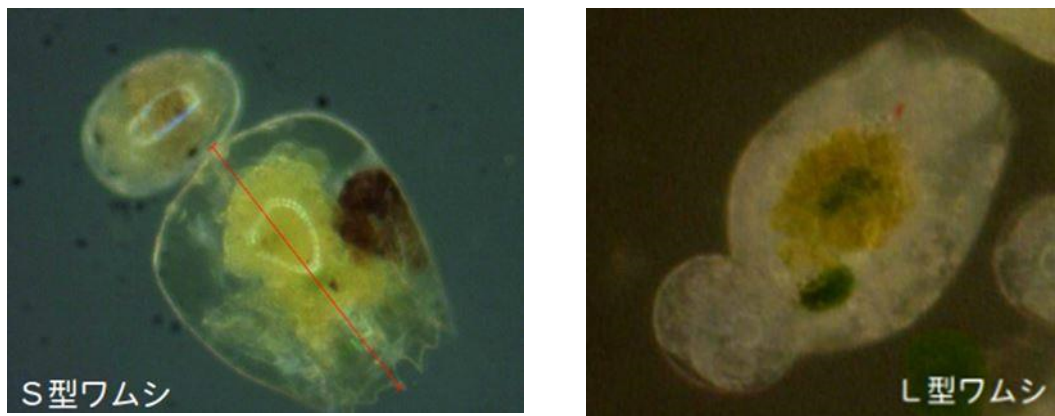
図－６ 魚のゆりかご水田プロジェクト

出典；エコプロ 2016, 「魚のゆりかご水田」とは？

<https://eco-pro.biz/files/EP39/4-201609121208270303.pdf>



図－7 Rice-Oil-Fish Culture system



図－8 ワムシ

出典；広島県立総合技術研究所 水産海洋技術センター，ワムシの培養技術について
<https://www.pref.hiroshima.lg.jp/uploaded/attachment/91406.pdf>

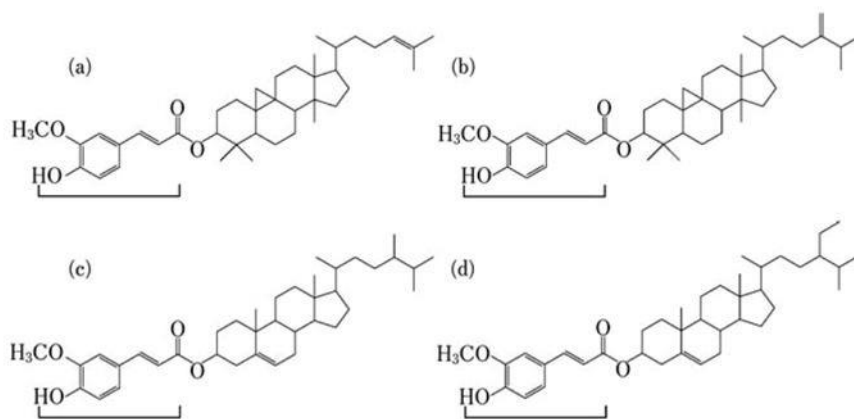
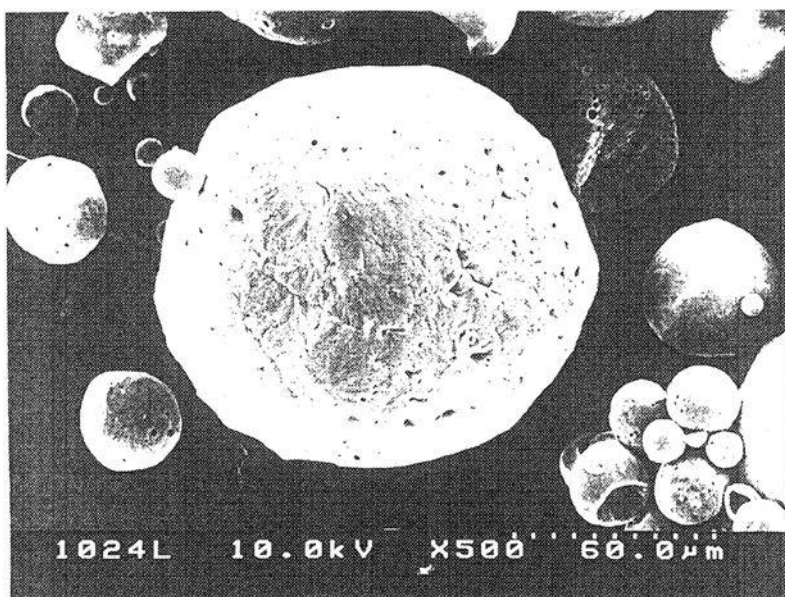


図 4 γ -オリザノールの主な分子種

(a) シクロアルテルニルフェルラ酸 (分子量 602)；(b) 24-メチレンシクロアルタニルフェルラ酸 (616)；(c) カンベステリルフェルラ酸 (576)；(d) β -シトステリルフェルラ酸 (590)。―はフェルラ酸。

図－9 γ -オリザノールの主な分子種

出典；谷口ら，米糠含有成分の機能性とその向上，日本食品科学工学会誌，59，7，301-308，2012



図－１０ マイクロカプセル飼料

出典；幡手泰雄ほか，飼料用マイクロカプセル，特許第 4189860 号



マコモ群落



マコモの花序

図－１１ マコモ (*Zizania latifolia*)

出典；岡山理科大学 総合情報学部 生物地球システム学科 植物生態研究室（波田研）HP，
マコモ *Zizania latifolia* （イネ科 マコモ属），
<http://had0.big.ous.ac.jp/plantsdic/angiospermae/monocotyledoneae/gramineae/makomo/makomo.htm>

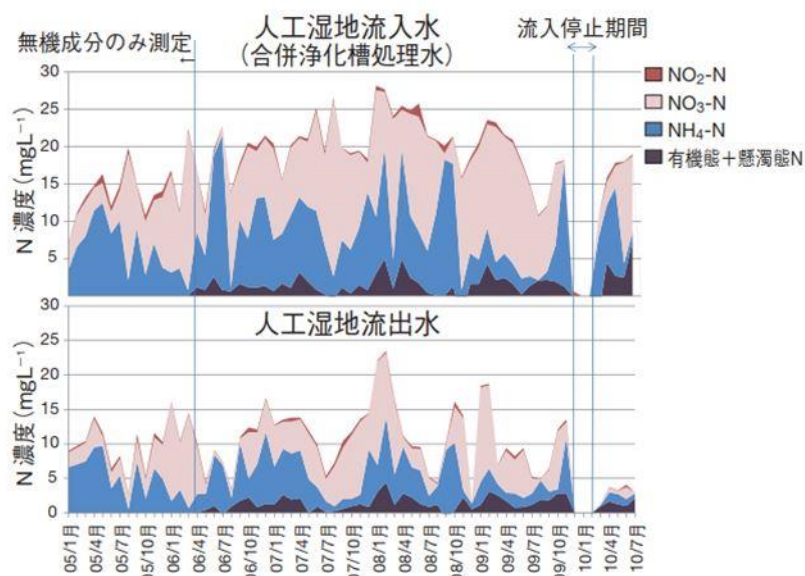
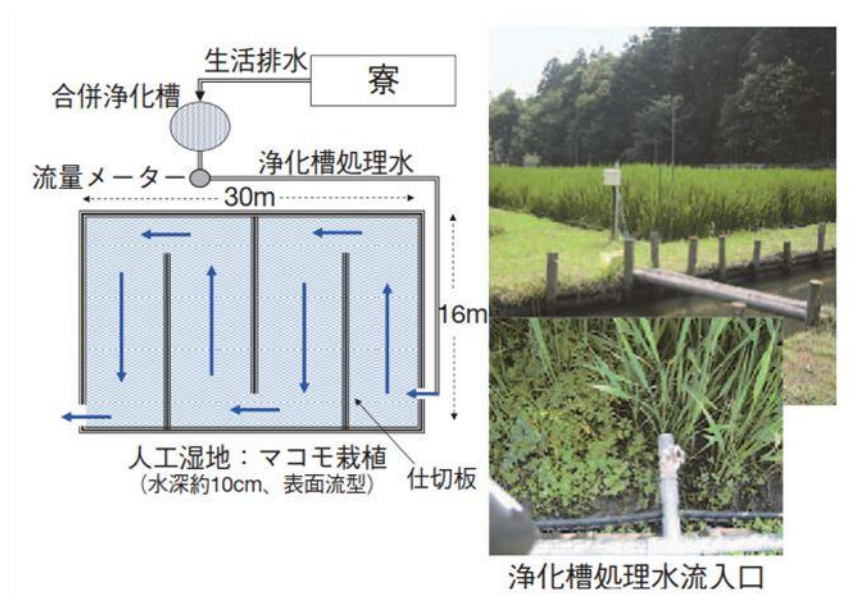


- 左上
ワイルドライス
- 右上
コーンバター
ワイルドライス
ひき肉サルサのせ
- 左下
ワイルドライス・
サラダ
- 右下
ワイルドライス・
スープ

図－１２ ワイルドライス料理

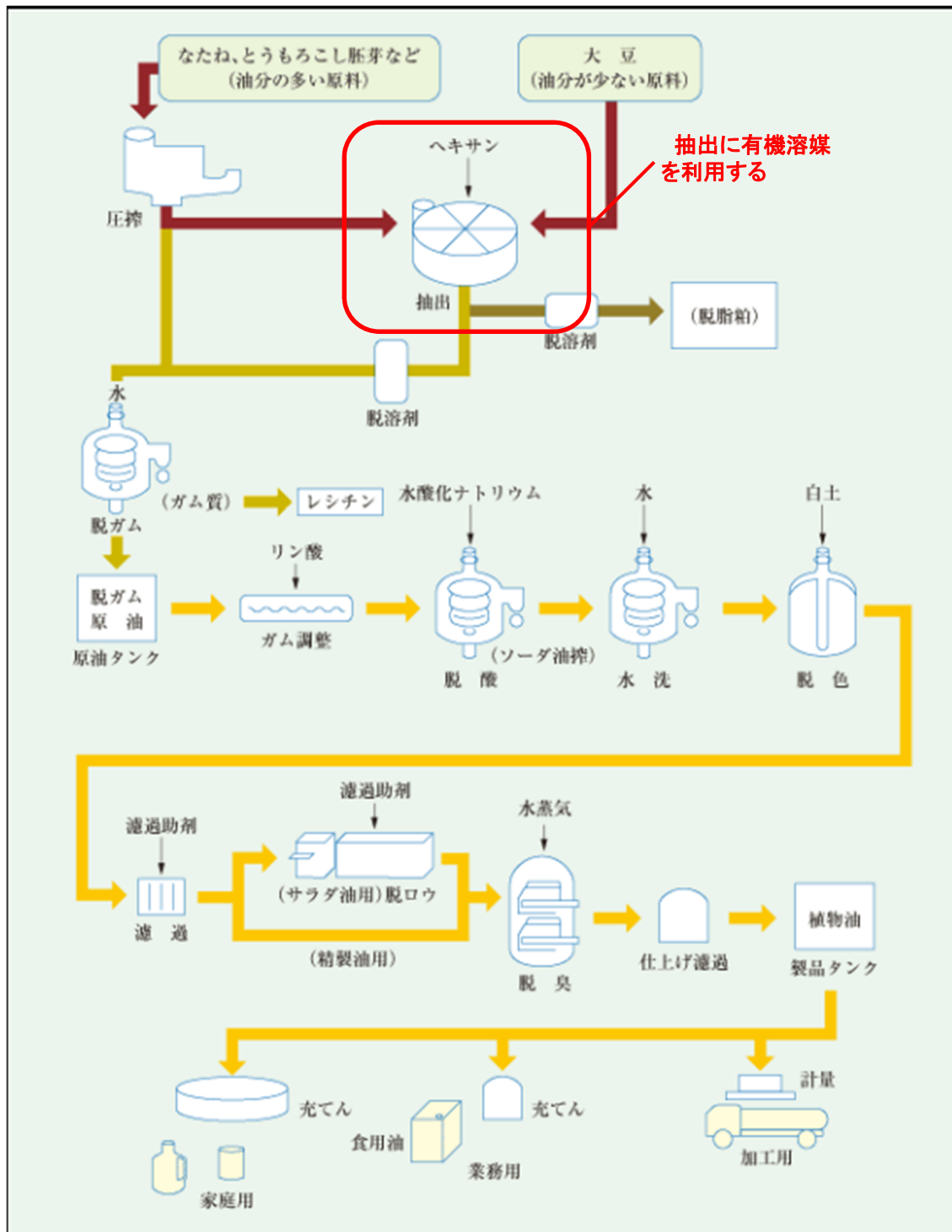
出典(①) ; アメリカ大使館農産物貿易事務所, ワイルドライス, アメリカ食材辞典 myfood.jp
http://www.myfood.jp/us_recipe/wildrice_celery.html

出典(②) ; 毎日の料理を楽しみに cookpad, 簡単ワイルドライスたっぷりスープ
[http:// https://cookpad.com/recipe/2069844](http://https://cookpad.com/recipe/2069844)



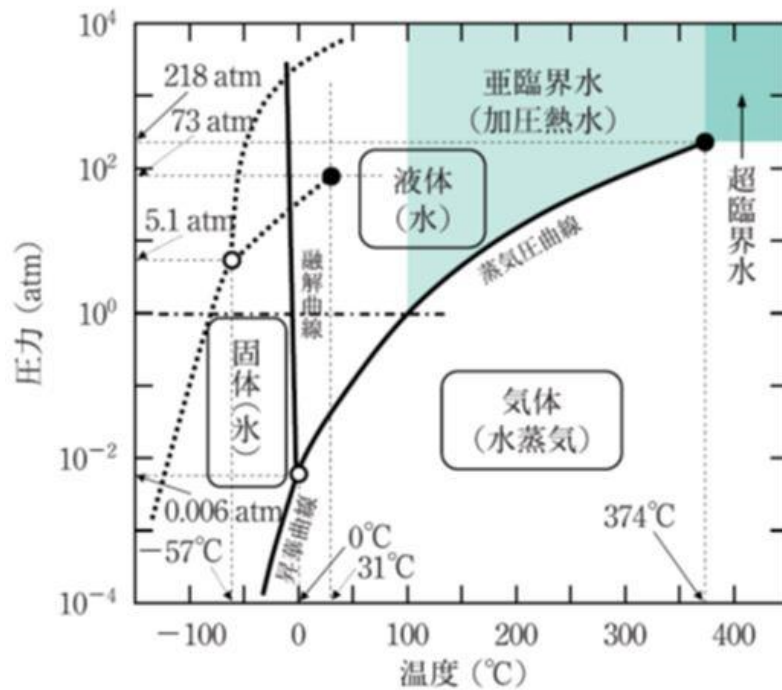
図－１３ マコモを用いた浄化用人工湿地による窒素濃度低減

出典；阿部ら，人工湿地の水質浄化機能の評価ならびにビオトープにおける生物相の変化と管理手法の検討，農業環境技術研究所報告，33，2014



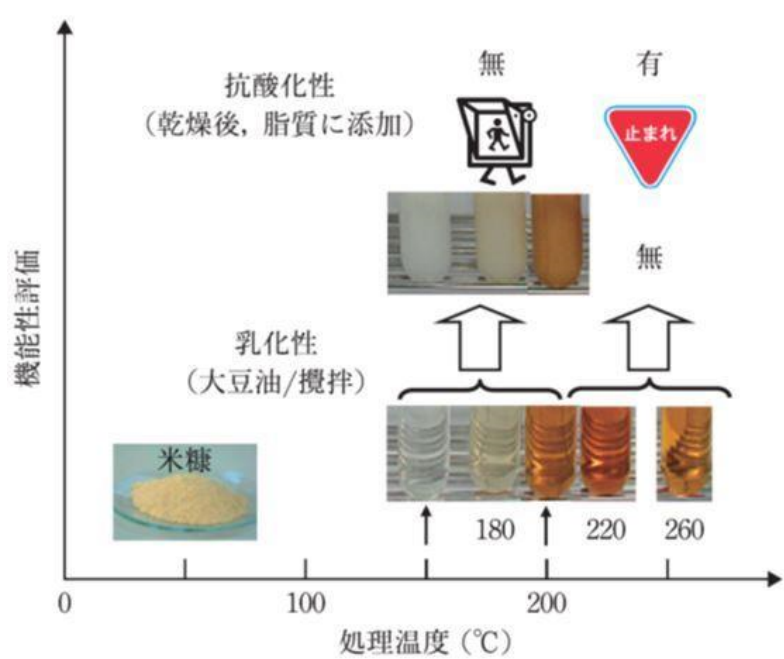
図－１４ 植物油の製造方法

出典；一社）日本植物油協会，6-(1)植物油の製造，植物油の基礎知識，日本植物油協会 HP
http://www.oil.or.jp/kiso/seisan/seisan06_01.html に追記



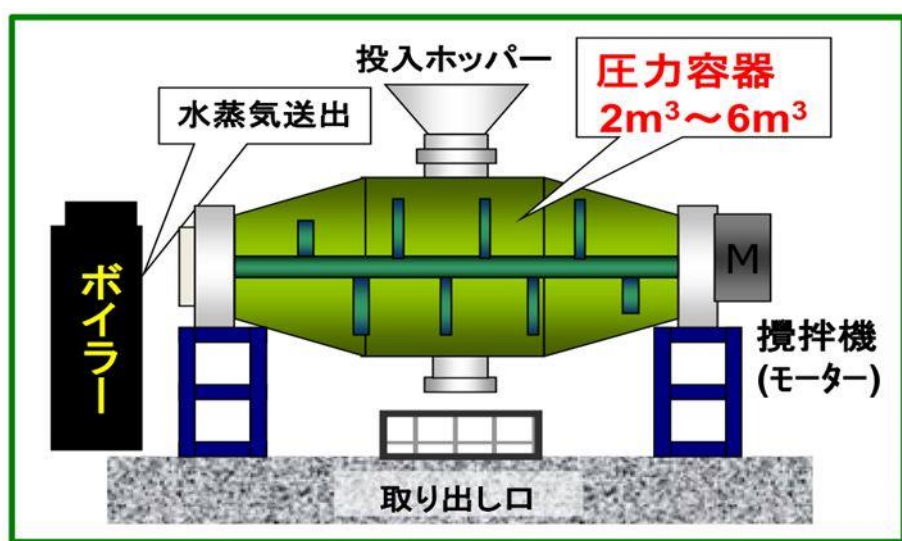
図－１５ 水（実線）と二酸化炭素（破線）の状態図

出典；安達修二，亜臨界流体の特徴と利用，化学と生物，47，10，697-702，2009



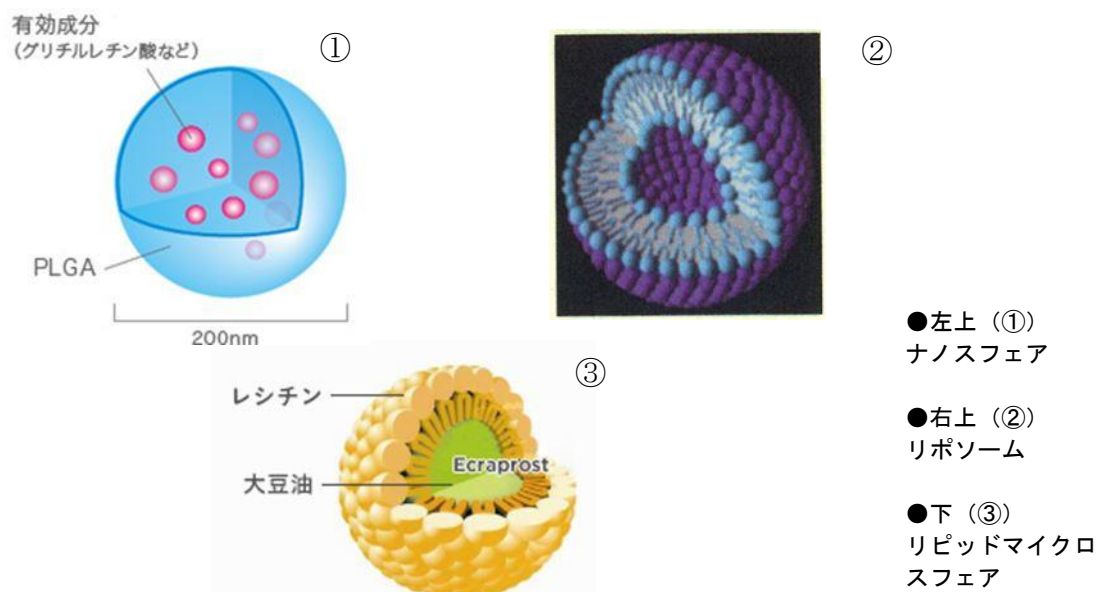
図－１６ 脱脂米糠の亜臨界抽出物の特性と処理温度

出典；安達修二，亜臨界流体の特徴と利用，化学と生物，47，10，697-702，2009



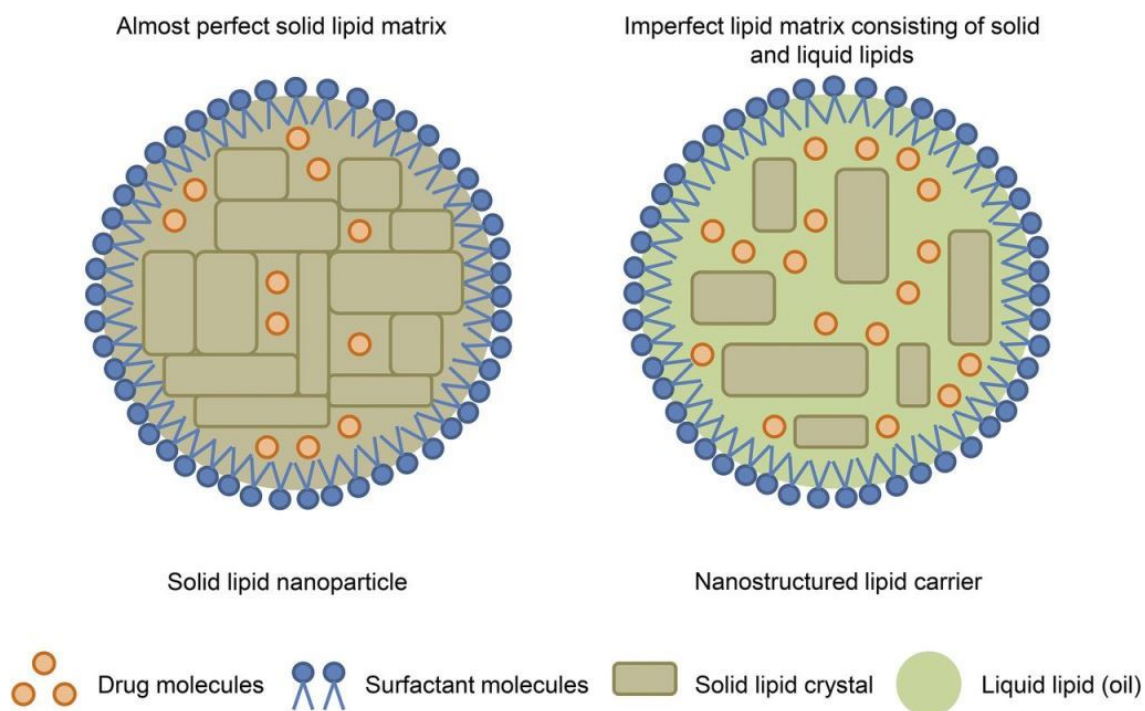
図－１７ バッチ式亜臨界水反応装置

出典；中央大学研究開発機構チーム，亜臨界水技術が支える地域の環境産業，
水の安全保障戦略機構 第14回基本戦略委員会開催報告，チーム水・日本
www.waterforum.jp/twj/wscj/mtg/doc/20160523_09.pdf



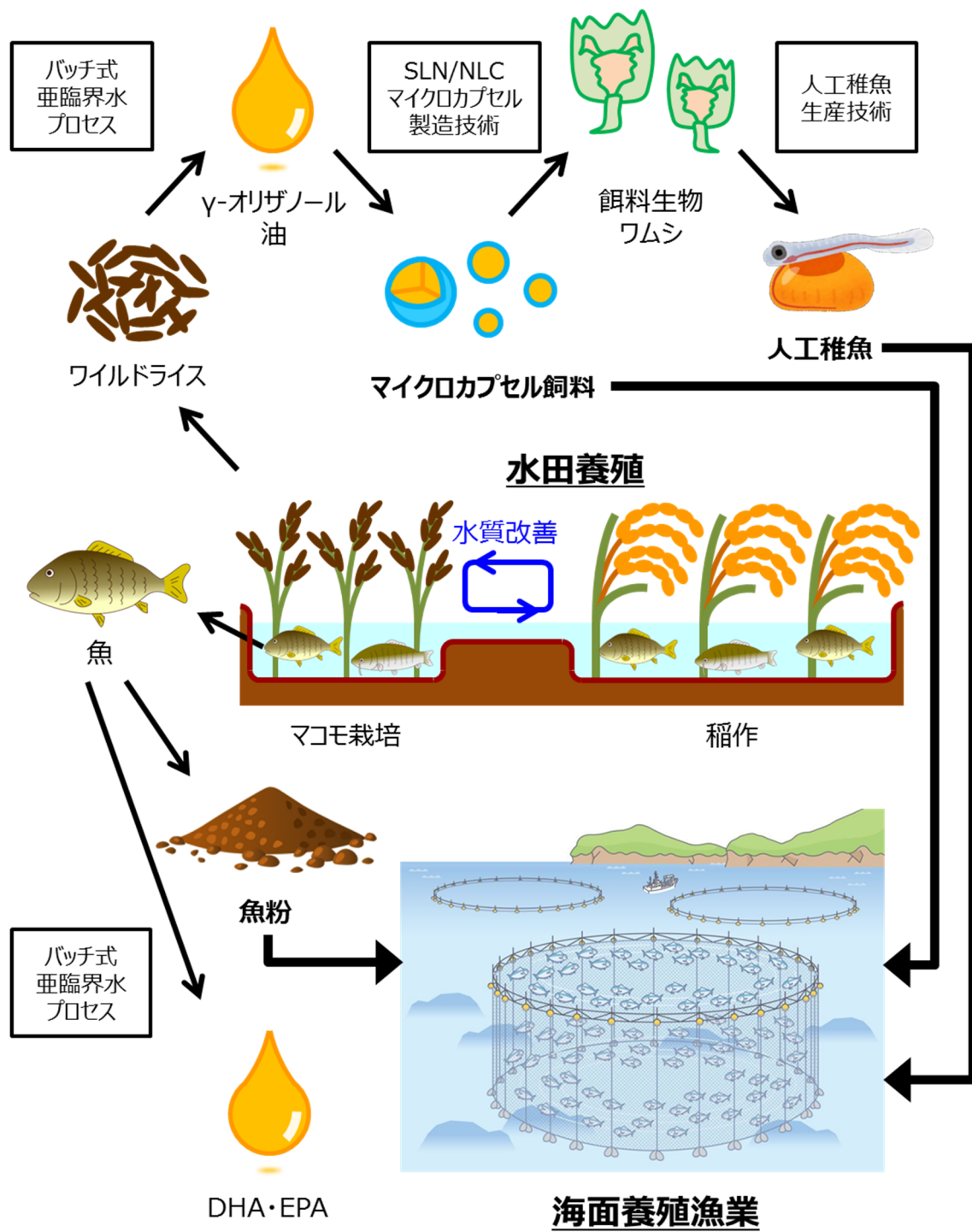
図－１８ 各種カプセル化技術

出典①；ホソカワミクロン株式会社，PLGA ナノ粒子とは，PLGA ナノ粒子の特性，
<https://www.hosokawamicon.co.jp/material/labo/technic/chara.html>
出典②；橋田充ほか，微粒子キャリア製剤を利用した薬物ターゲティング，
図解で学ぶ DDS，じほう，108-121，2010
出典③；株式会社 LTT バイオファーマ，DDS（ドラッグデリバリーシステム），
<http://www.ltt.co.jp/rd/dds.html>



図－１９ SLN、NLCのカプセル化技術

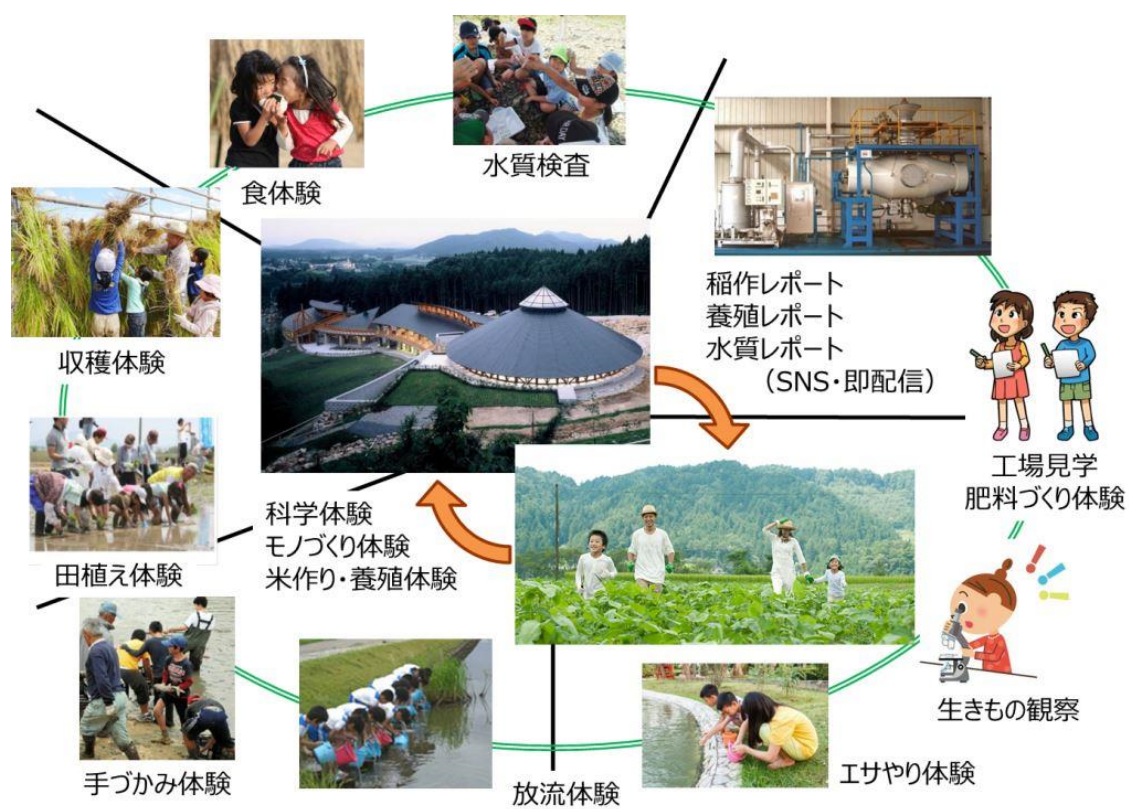
出典 ; Phatsapong, Y., et al, Lipid-Based Drug Delivery System in Cancer Therapy
 :What Is Available and What Is Yet to Come, Pharmacological Reviews July, 68, 3, 701-787, 2016



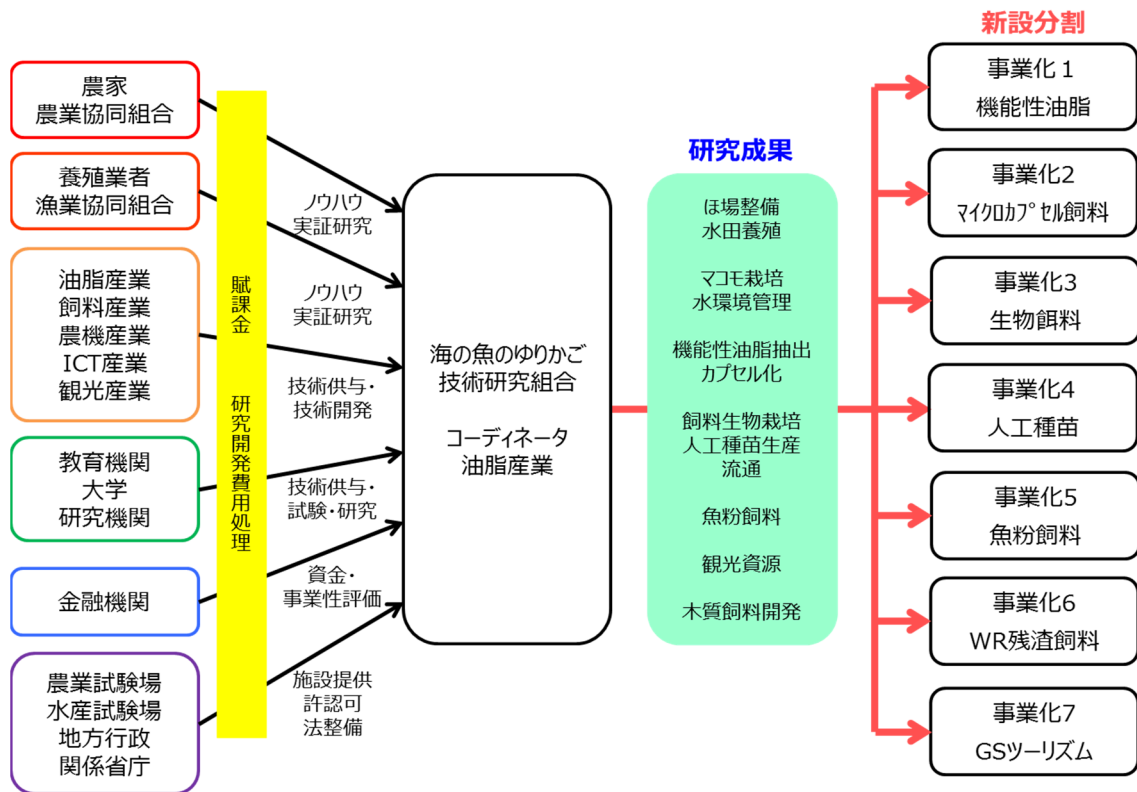
図－２０ Rice-Oil-Fish Culture による水産業との産業連携



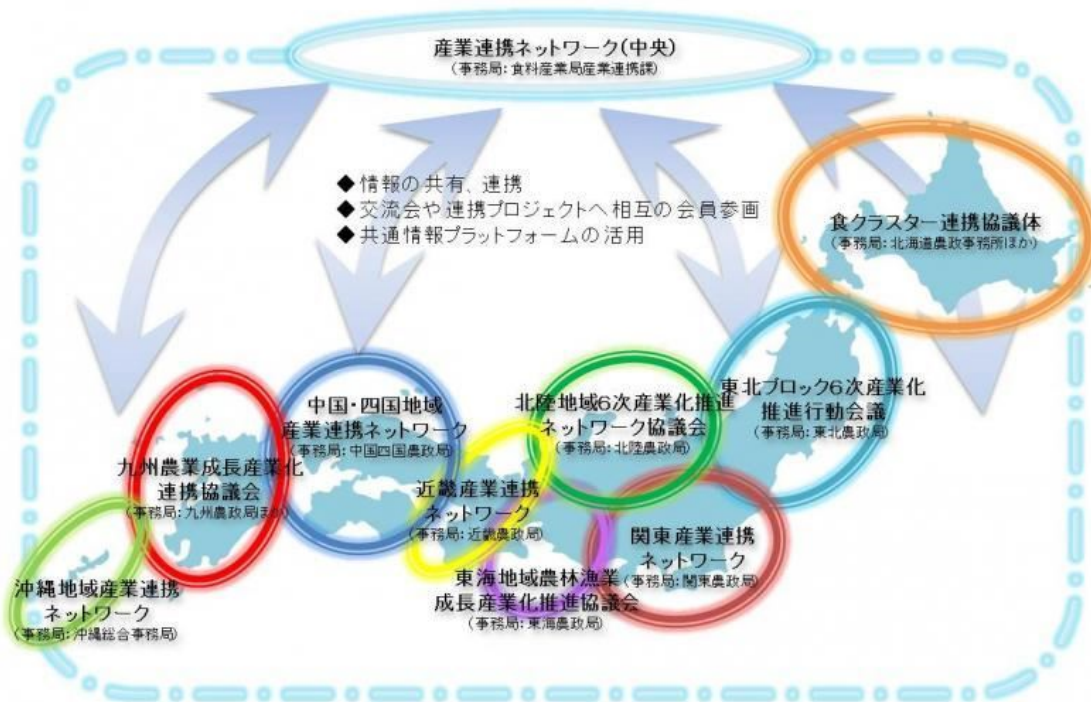
図－２１ Rice-Oil-Fish Culture による食育・環境教育・地域交流



図ー２２ グリーンサイエンスツーリズム

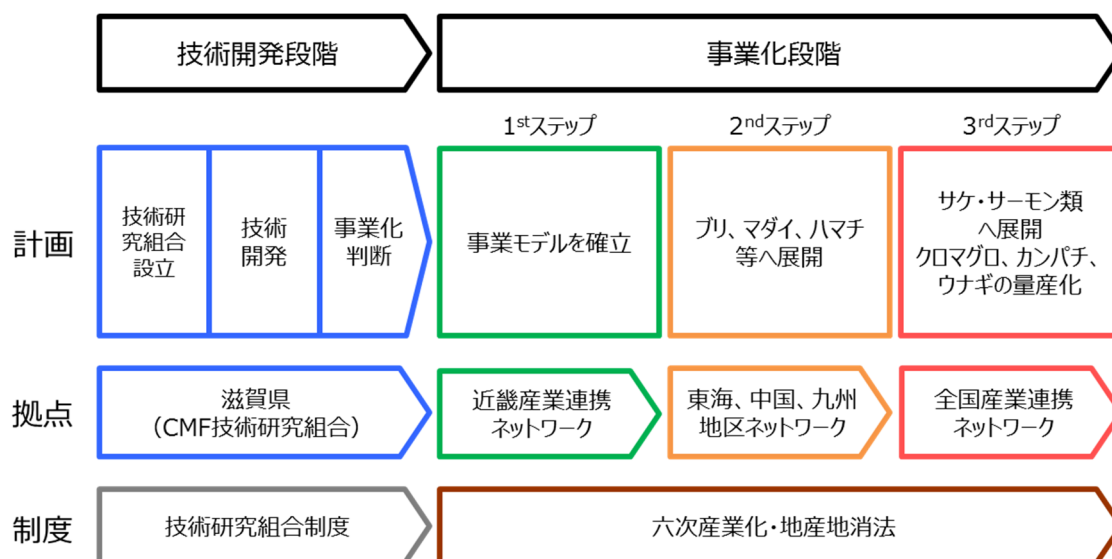


図－２３ 海の魚のゆりかご（Cradle for Marine Fishes）技術研究組合

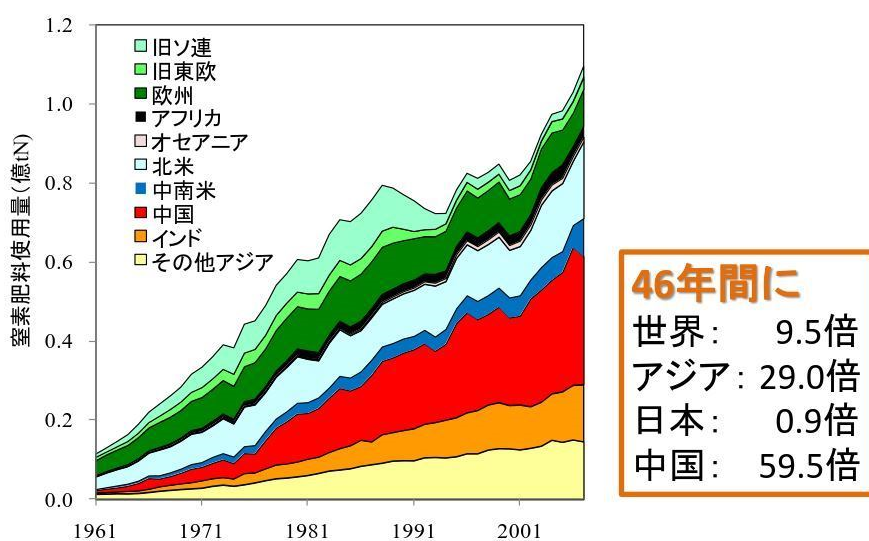


図－２４ 産業連携ネットワーク

出典；農林水産省，産業連携ネットワークについて，農林漁業の６次産業化
<http://www.maff.go.jp/j/shokusan/sanki/sanren.html>



図－２５ 「海の魚のゆりかごプロジェクト」事業化ロードマップ



FAOSTAT (<http://faostat.fao.org/site/291/default.aspx>) データに基づいて作図

図－２６ 世界の窒素肥料使用量（1961～2007年）

出典；新藤純子，食料増産と資源・環境問題としての肥料，
 第32回農業環境シンポジウム「21世紀の農業と環境問題を考える」，2010
[www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/magazine/pdf/mgzn12301\(13\).pdf](http://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/magazine/pdf/mgzn12301(13).pdf)

Table 17. Distribution of rice and rice-fish area, by environment (Halwart 1999).

Country	Rice					Rice-fish
	Total	Irrigated	Rainfed Lowland	Floodprone	Upland	
	('000 ha)					('000 ha)
Bangladesh	10 245	22	47	23	8	?
Cambodia	1 910	8	48	42	2	?
P.R. China	33 019	93	5	-	2	1204.9
Egypt	462	100	-	-	-	172.8
India	42 308	45	33	7	15	?
Indonesia	10 282	72	7	10	11	138.3
Korea, Rep.	1208	91	8	-	1	0.1
Lao PDR	557	2	61	-	37	?
Madagascar	1 140	10	74	2	14	13.4 (highlands)
Malaysia	691	66	21	1	12	?
Philippines	3 425	61	35	2	2	?
Sri Lanka	791	37	53	3	7	?
Thailand	9 271	7	86	7	1	25.5 (culture) 2966.7 (capture)
Vietnam	6 303	53	28	11	8	40.0 (Mekong delta)

図－２７ 稲作(Rice)、稲田養魚(Rice-fish)が行われている地域

出典 ; Matthias.H, et al., Culture of Fish in Rice Fields, FAO, p.77, 2004
www.fao.org/3/a-a0823e.pdf

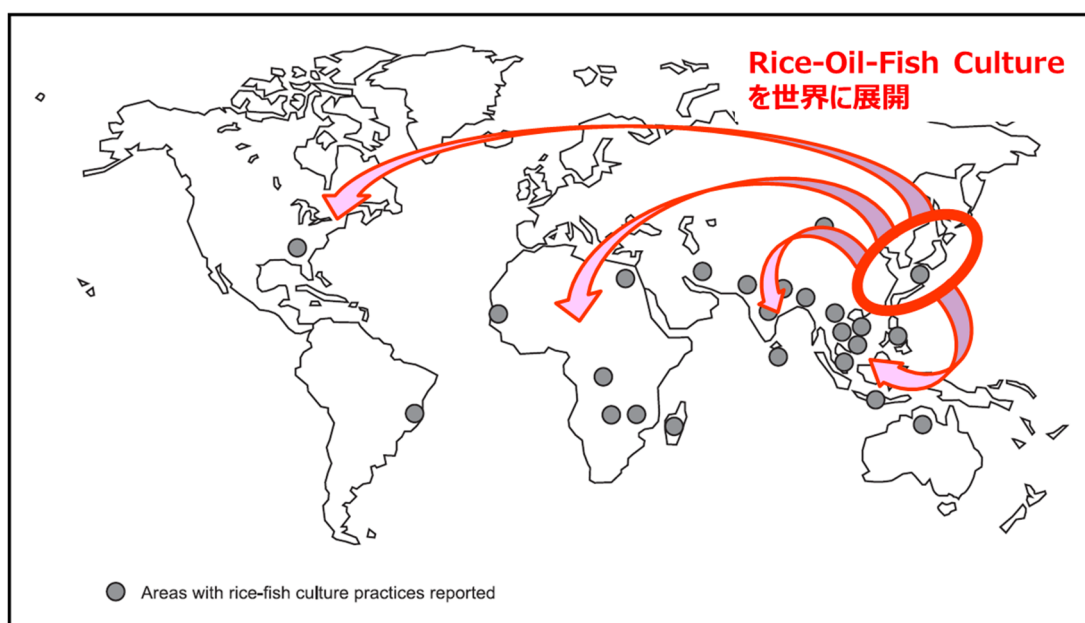


Figure 20. Map of the world showing areas where rice-fish and/or rice-crustacean farming is practiced.

図－２８ Rice-Oil-Fish Culture を日本から世界へ展開

出典 ; Matthias.H, et al., Culture of Fish in Rice Fields, FAO, p. 56, 2004 に追記
www.fao.org/3/a-a0823e.pdf

表－１ 雑穀類の脂質， γ -オリザノール含有量

	玄米	ヒエ	ハトムギ	アマランサス	ワイルドライス (マコモ子実)	備考
脂質 (g/100g)	2.7 ^{*1)}	5.7 ^{*2)}	8.7 ^{*2)}	6.0 ^{*1)}	1.4 ^{*3)}	
γ -オリザノール (μ g/g)	688	－	－	－	1,352	参考文献39)より
水田利用	できる (水田)	できない (畑地)	できない (畑地)	できない (畑地)	できる (湿地・湖沼)	
栽培の容易さ	手間がかかる	容易	容易	容易	容易	
水質改善効果	あり	なし	なし	なし	あり	

出典*1)；文部科学省，日本食品標準成分表 2015 年版（七訂），2015

出典*2)；平，穀類の脂質含量と脂肪酸組成の変動要因，化学と生物，27，3，168-175，1989

出典*3)；相沢ら，ワイルドライス (*Zizania palustris*) に含まれる脂質とポリフェノールの特性，帯広畜産大学学術研究報告，28，30-34，2007

表－２ γ－オリザノール供給可能量試算

試算前提

調整水田等面積	200,000	[ha]	*4)より
耕作放棄地面積	144,000	[ha]	参考文献 7)より
耕作放棄地の元・水田の割合	50	[%]	*5)より
マコモ栽培地面積	272,000	[ha]	
水田面積（全国）	2,469,000	[ha]	*6)より
水田面積（北海道・東北）	834,000	[ha]	*6)より
水田面積（関東以南）	1,635,000	[ha]	*6)より
ワイルドライス生産回数	1.66	[回/年]	
10aあたりワイルドライス収量	141	[kg/10a]	参考文献 44)より
γ-オリザノール含有量	1,352	[μg/g]	参考文献 39)より
魚類1kgに投与する1日のγ-オリザノール量	8	[μg/kg/日]	参考文献 34)より
飼育期間	365	[日/年]	
マイクロカプセル化によるγ-orz力価向上	10	[倍]	参考文献 36)を参考に、10倍を仮定

試算結果

ワイルドライス収量	636,643	[t/年]	
γ-オリザノール抽出量	861	[t/年]	
魚類1kgに投与する年間γ-オリザノール量	292	[μg/kg/年]	
γ-オリザノールを投与できる養殖魚の年間生産量	2,947,745	[千t/年]	
海面養殖漁業（魚類）の年間収穫量	248,200	[t/年]	*7)より
海面養殖漁業（魚類）の年間収穫量に対する γ-オリザノールを投与できる養殖魚の年間生産量の倍	12,000	[倍]	

マコモ栽培地面積＝調整水田等面積＋耕作放棄地面積×耕作放棄地の元・水田の割合
 $= 200,000[\text{ha}] + 144,000[\text{ha}] \times 50[\%] = 272,000[\text{ha}]$

注）マコモ栽培地として調整水田は100%使用可能、耕作放棄地は元・水田の50%使用可能と仮定

ワイルドライス生産回数

$= (\text{水田面積（北海道・東北）} \times \text{単作} + \text{水田面積（関東以南）} \times \text{二期作}) / \text{水田面積（全国）}$
 $= (834,000[\text{ha}] \times 1[\text{回/年}] + 1,635,000[\text{ha}] \times 2[\text{回/年}]) / 2,469,000[\text{ha}] = 1.66 [\text{回/年}]$

ワイルドライス収量＝マコモ栽培地面積×ワイルドライス生産回数×10aあたりワイルドライス収量
 $= 272,000[\text{ha}] \times 1.66[\text{回/年}] \times 141[\text{kg}/10\text{a}/\text{回}] \times 10/1000 = 636,643 [\text{t/年}]$

γ-オリザノール抽出量＝ワイルドライス収量×γ-オリザノール含有量
 $= 636,643[\text{t/年}] \times 1,352[\mu\text{g}/\text{g}] \times 0.000001 = 861[\text{t/年}]$

魚類1kgに投与する年間γ-オリザノール量

$= \text{魚類1kgに投与する1日のγ-オリザノール量} \times \text{飼育期間} \times 1/\text{力価向上効果}$
 $= 8.0[\mu\text{g}/\text{kg}/\text{日}] \times 365[\text{日/年}] \times 1/10 = 292[\mu\text{g}/\text{kg}/\text{年}]$

γ-オリザノールを投与できる養殖魚の年間生産量

$= \gamma\text{-オリザノール抽出量} / \text{魚類1kgに投与する年間γ-オリザノール量} = 2,947,745[\text{千t/年}]$

出典 *4)；農林水産省，第1章 （2）食料自給率の動向とその向上への取組，平成21年度 食料・農業・農村白書 概要，17-19，2016

出典 *5)；農林水産省，平成28年度 農業構造動態調査結果 概要，e-Stat 政府統計の総合窓口HP（オンライン），<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001171363>

出典 *6)；農林水産省，平成28年 耕地及び作付面積統計，e-Stat 政府統計の総合窓口HP（オンライン），<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001172509>

出典 *7)；農林水産省，平成28年 漁業・養殖業生産統計，海面漁業生産統計調査HP（オンライン），http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kaimen_gyosei/

表－３ 経済効果の試算条件（１）

10a当たりワイルドライス収量	141	[kg/10a]	参考文献 44)より
ワイルドライスの油脂含有量	1.4	[g/100g]	*3) より
マイクロカプセルへのワイルドライス油 配合比率	15	[%]	参考文献 61)を参考に、15%を仮定
ワイルドライスのγ-オリザノール含有量	1,352	[μg/g]	参考文献 39)より
ワイルドライス子実の水分量	15	[%]	参考文献 44)より
ワイルドライス残滓飼料生産時の歩留まり	95	[%]	
調整水田＋耕作放棄地での養殖フナ収穫量	70	[kg/10a/年]	稲作田と同等と仮定
稲作田での水田フナ収穫量	70	[kg/10a/年]	参考文献 68)より 70[kg/10a/年]と仮定
フナの脂質含有量（可食部）	2.5	[g/100g]	*8)より
フナのエPA含有量（可食部）	190	[mg/100g]	*8)より
フナのDHA含有量（可食部）	110	[mg/100g]	*8)より
EPA・DHAが普通肉に存在する比率	30	[%]	*9)より
魚粉製造収率	20	[%]	*10)より
10a当たりコメの収量（主食用米）	531	[kg/10a]	*11)より
コメの年間生産量	7,989,000	[t/年]	*11)より
水田養殖によるコメ収量増	20	[%]	*12)より
10a当たりコメの収量（飼料用米）	700	[kg/10a]	*13)より
水田養殖での肥料・農薬使用率（現行比）	50	[%]	参考文献 18)より
γ-オリザノールの単位投与量	8	[μg/kg/day]	参考文献 34)より
養殖魚の飼育期間	365	[day]	
マイクロカプセル化によるγ-オリザノール 力価向上	10	[倍]	参考文献 36)を参考に、10倍を仮定
γ-オリザノール投与による養殖魚の 飼料効率向上効果	20	[%]	参考文献 34)より
養魚飼料への魚粉配合比率	55	[%]	*14)より
水産物の増肉係数	2.8	[倍]	*15)より、ブリの増肉係数と同等と仮定

出典*8) ；文部科学省，食品番号 10238 ふな（なま），日本食品標準成分表 2015 年版（七訂），2015
出典*9) ；財）東京水産振興会，日常的な水産物の摂食とその効果に関する食生態学的研究 最終報告書，2007

出典*10) ；戸沢ら，魚粉の製造条件と揮発性ニトロサミンの生成，日本水産学会誌，53，8，1449-1456，1987

出典*11) ；農林水産省，平成 27 年産 作物統計 調査結果の概要，e-Stat 政府統計の窓口 HP，<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001145339>

出典*12) ；Tetsuya,T, et al., Effect of fish in rice-fish culture on the rice yield, Fishries Science, 77, 95-106, 2011

出典*13) ；農林水産省，多収米品種パンフレット，農林水産省 HP（オンライン），http://www.maff.go.jp/j/seisan/sien/tasyumai/t_manual/pdf/panph.pdf

出典*14) ；出村雅晴，魚粉価格の動向と養殖漁業への影響，農林金融，63，10，45-49，2010

出典*15) ；水産庁，第 1 節 これまでの養殖業の展開，平成 25 年度水産白書，水産庁 HP（オンライン），http://www.maff.go.jp/j/seisan/sien/tasyumai/t_manual/pdf/panph.pdf

表－４ 経済効果の試算条件（２）

ワイルドライス油単価	2,000	[円/kg]	*16)より、米油単価と同等と仮定
ワイルドライス油マイクロカプセル単価	2,000	[円/kg]	ワイルドライス油単価と同等と仮定
γ-オリザノール単価	7,475	[円/kg]	*16)より
飼料単価	35,000	[円/t]	参考文献 57)より、新木質飼料単価と同等と仮定
種苗価格	100	[円/尾]	*17)を参考に、100[円/尾]と仮定
魚粉価格	173,408	[円/t]	*18)より
DHA・EPA単価	8,000	[円/kg]	*19)より
飼料用米価格	30	[円/kg]	*20)より
インプットコスト（肥料・農薬代）	1,972	[円/60kg]	参考文献 4)より

出典*16)；森垣篤典，「米」を活用した日本らしい持続可能な社会づくり，油脂工業会館 HP（オンライン），<http://www.yushikaikan.or.jp/content/files/48-3.pdf>

出典*17)；独法）水産総合研究センター，栽培漁業シリーズ No.12 ブリの種苗生産技術開発，独法）水産総合研究センター 栽培漁業センターHP（オンライン），
<http://ncse.fra.affrc.go.jp/03kankou/034series/series-no12.pdf>

出典*18)；水産庁，第2節 我が国水産業をめぐる動き，平成27年度水産白書，水産庁 HP（オンライン），<http://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/wpaper/H27/pdf/27suisan1-2-2.pdf>

出典*19)；原料・受託バンク，原料「DHA（ドコサヘキサエン酸）」原料の取り扱い会社，原料・受託バンク HP（オンライン），<http://www.genryoubank.com/material/118>

出典*20)；恒川磯雄，飼料用米の価格条件からみたコスト低減の課題と展望，農業・食品産業技術総合研究機構 HP（オンライン），https://www.naro.affrc.go.jp/nilgs/kenkyukai/files/naro-sympo2015_koen04.pdf

経済効果については、以下の項目について産出した。

【農業分野】

ワイルドライス油マイクロカプセル生産額
ワイルドライス残滓から得られる機能性飼料生産額
人工種苗の生産額
マコモ栽培地および水田の養殖魚から亜臨界水抽出で得られる DHA・EPA 生産額
マコモ栽培地および水田の養殖魚から製造される魚粉生産額
水田養殖による米の収量増分を飼料用米生産に用いた場合の飼料用米の生産額
水田養殖による肥料・農薬のインプットコスト減

【漁業分野】

γ-オリザノール投与による飼料効率向上効果による養殖魚生産額増分
水田養殖魚粉を用いた飼料で新たに養殖できる養殖魚の生産額

表－５ 経済効果（生産量）

	日本	滋賀県	単位	
対象耕作地				
主食用米用水田面積	1,600,000	42,684	[ha]	日本・・*21) , 滋賀県・・*23) より
調整水田等面積	200,000		[ha]	*21) より
水田率	50	96	[%]	日本・・*22) , 滋賀県・・*23) より
耕作放棄地面積	144,000	2,276	[ha]	日本・・参考文献 7) , 滋賀県・・*23)より
マコモ栽培地	272,000	2,178	[ha]	※1
ワイルドライス生産回数	1.7	2.0	[回/年]	
ワイルドライス油				
ワイルドライス収量	636,643	6,142	[t/年]	※2
ワイルドライス油抽出量	8,913	86	[t/年]	※3
ワイルドライス油マイクロカプセル				
ワイルドライス油マイクロカプセル生産量	59,420	573	[t/年]	
γ-オリザノール				
γ-オリザノール抽出量	861	8	[t/年]	
ワイルドライス残滓飼料				
ワイルドライス残滓	635,782	6,134	[t/年]	
ワイルドライス残滓飼料生産量	513,394	4,953	[t/年]	
人工種苗				
人工種苗生産量	222,400,000	4,400,000	[尾/年]	日本・・全国に設置する設備 数(556設備)から算出 滋賀県・・表－９ ※22より
水田養殖魚による魚粉生産				
主食用水田での養殖魚（①）収穫量	1,120,000	29,879	[t/年]	
マコモ栽培地での養殖魚（②）収穫量	190,400	1,525	[t/年]	
水田養殖魚（①+②）収穫量合計	1,310,400	31,403	[t/年]	※4
水田養殖魚による魚粉生産量	262,080	6,281	[t/年]	
水田養殖魚からのEPA・DHA生産				
水田養殖魚からのEPA抽出量	8,299	199	[t/年]	
水田養殖魚からのDHA抽出量	4,805	115	[t/年]	
水田養殖魚からのEPA・DHA抽出量合計	13,104	314	[t/年]	
コメ収穫量増				
水田養殖によるコメ生産高増分 （飼料用米）	2,106,328	59,758	[t/年]	
γ-オリザノール投与による魚類生産増				
魚類1kgに投与する年間γ-オリザノール量	292	292	[μg/kg/年]	
γ-オリザノールを投与できる 養殖魚の年間生産量	2,947,745	28,440	[千t/年]	
γ-オリザノール投与の飼料効率向上効果 による生産量増分	49,640	5,688	[t/年]	
水田養殖魚粉による魚類生産				
水田養殖魚粉を用いた飼料の生産量	476,509	11,419	[t/年]	
水田養殖魚粉を用いた飼料で養殖できる 魚類の生産量	204,218	4,894	[t/年]	
Cf：海面養殖業（魚類）の収穫量	248,200	－	[t/年]	*7) より

出典*21)；農林水産省，第1章（2）食料自給率の動向とその向上への取組，平成21年度 食料・農業・農村白書 概要，17-19，2016

出典*22)；農林水産省，平成28年度 農業構造動態調査結果 概要，e-Stat 政府統計の総合窓口HP（オンライン），<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001171363>

出典*23)；滋賀県総合政策部統計課，2015年農林業センサス結果概要（滋賀県概数値）－農林業経営体調査－，滋賀県HP（オンライン）<http://www.pref.shiga.lg.jp/hodo/e-shinbun/cv00/files/2015nosen.pdf>

表－6 経済効果（生産額）

	日本	滋賀県	単位	
ワイルドライス油				
ワイルドライス油生産額	17,826	172	[MM円/年]	※5
ワイルドライス油マイクロカプセル				
WR油マイクロカプセル生産額	118,840	1,147	[MM円/年]	※6
γ-オリザノール				
γ-オリザノール生産額	6,434	62	[MM円/年]	※7
ワイルドライス残滓飼料生産				
飼料生産額	17,969	173	[MM円/年]	※8
人工種苗生産				
種苗生産額	22,240	440	[MM円/年]	※9
水田養殖魚による魚粉生産				
魚粉生産額	45,447	1,068	[MM円/年]	※10
水田養殖魚からのEPA・DHA生産				
EPA・DHA生産額	104,832	2,512	[MM円/年]	※11
コメ収穫量増／インプットコスト減				
水田養殖による生産額増分（飼料用米）	63,190	1,793	[MM円/年]	※12
インプットコスト（肥料・農薬代）	262,572	7,435	[MM円/年]	
水田養殖によるインプットコスト減分	131,286	3,718	[MM円/年]	※13
経済効果（農業分）				
小計（※6, ※8～※13の合計）	503,803	10,850	[MM円/年]	※14
γ-オリザノール投与による魚類生産増				
γ-オリザノール投与の飼料効率向上効果による生産額増分	56,400	6,463	[MM円/年]	※15
水田養殖魚粉による魚類生産				
水田養殖魚粉を用いた飼料で養殖できる魚類の生産額	232,029	5,561	[MM円/年]	※16
経済効果（漁業分）				
小計（※15, ※16の合計）	288,429	12,023	[MM円/年]	※17
経済効果（農業分＋漁業分）				
合計（※14, ※17の合計）	792,232	22,873	[MM円/年]	※18

表－７ 収益性（事業化第一段階：滋賀県）

収入	売上	ワイルドライス油生産額	172	[MM円/年]	表－６ ※５（滋賀県）より
		WR油マイクロカプセル生産額	1,147	[MM円/年]	表－６ ※６（滋賀県）より
		飼料生産高	173	[MM円/年]	表－６ ※８（滋賀県）より
		種苗生産額	440	[MM円/年]	表－６ ※９（滋賀県）より
		魚粉生産高	1,068	[MM円/年]	表－６ ※１０（滋賀県）より
		EPA・DHA生産額	2,512	[MM円/年]	表－６ ※１１（滋賀県）より
		水田養殖による生産額増分	1,793	[MM円/年]	表－６ ※１２（滋賀県）より
		水田養殖によるインプットコスト減分	3,718	[MM円/年]	表－６ ※１３（滋賀県）より
		売上計	10,850	[MM円/年]	表－６ ※１４（滋賀県）より
	収入計		10,850	[MM円/年]	
支出	原材料費	亜臨界水プロセス	2,287	[MM円/年]	表－１ ０ ※２４より
		マイクロカプセル製造プロセス	203	[MM円/年]	表－１ ０ ※２５より
		人工種苗生産設備	86	[MM円/年]	表－１ ０ ※２６より
		原材料費計	2,575	[MM円/年]	
	運転費	亜臨界水プロセス	147	[MM円/年]	表－１ １ ※２７より
		マイクロカプセル製造プロセス	2	[MM円/年]	表－１ １ ※２８より
		人工種苗生産設備	139	[MM円/年]	表－１ １ ※２９より
		運転費計	288	[MM円/年]	
	人件費	亜臨界水プロセス	405	[MM円/年]	表－１ ２ ※３０より
		マイクロカプセル製造プロセス	18	[MM円/年]	表－１ ２ ※３１より
		人工種苗生産設備	152	[MM円/年]	表－１ ２ ※３２より
		人件費計	575	[MM円/年]	
	減価償却費	亜臨界水プロセス	225	[MM円/年]	表－１ ３ ※３３より
		マイクロカプセル製造プロセス	15	[MM円/年]	表－１ ３ ※３４より
		人工種苗生産設備	290	[MM円/年]	表－１ ３ ※３５より
		減価償却費計	530	[MM円/年]	
	支出計		3,969	[MM円/年]	
収益		6,882	[MM円/年]		

滋賀県の総経営体数 20,183 [経営体] *23) より
1経営体あたりの収益 340,956 [円/年]

表－８ 設備能力

【亜臨界水抽出設備】

試算条件	バッチ式亜臨界水反応装置	1	[基]	
	槽容量	2	[m3]	参考文献 57) より
	充填率	50	[%]	
	原材料見掛け比重	50	[%]	
	1バッチあたり処理量	0.5	[トン/bat]	
	1バッチあたり処理時間	1.0	[h/bat]	
	1時間あたり処理量	0.5	[トン/h]	
	1日の運転時間	24	[h/日]	
	設備稼働率	80	[%]	
	設備稼働日数	292	[日/年]	
処理量	1日あたり処理量	12	[トン/日]	
	年間処理量	3,504	[トン/年]	

【マイクロカプセル製造設備】

試算条件	マイクロカプセル製造装置	1	[基]	
	1時間あたり処理量	60	[kg/h]	参考文献 61)を参考に、60[kg/h]を仮定
	1日あたり運転時間	8	[h/日]	
	設備稼働率	80	[%]	
	設備稼働日数	292	[日/年]	
処理量	1日あたり処理量	480	[kg/日]	
	年間処理量	140	[トン/年]	

【人工種苗生産設備】

試算条件	種苗生産用飼育槽容量	50	[m3/面]	*24)を参考に、同様の設備を仮定
	飼育槽数	4	[面]	*24)を参考に、同様の設備を仮定
	飼育槽容量	200	[m3]	※19
	ふ化稚魚の収容密度	10,000	[尾/m3]	*17) より
	ふ化仔魚数	2,000,000	[尾]	
	最終的な生残率	10	[%]	*17) より
	種苗生産数	200,000	[尾/回]	
	生産回数	2	[回/年]	*25) を参考に、年2回を仮定
生産能力	年間種苗生産数	400,000	[尾/年]	

出典*24) ；第3章 第1節 トラフグの陸上養殖に向けた取り組み，陸上養殖 事業化・流通に向けた販売戦略・管理技術・飼育事例，情報機構，163-177，2013

出典*25) ；外菌博人，カンパチ種苗生産技術の開発と移転，鹿児島県水産技術開発センターHP（オンライン），<http://kagoshima.suigi.jp/KenkyuHoukoku/26p%20kannpati.pdf>

表－９ 必要設備数

【亜臨界水抽出設備】

処理量	ワイルドライス収量	6,142	[トン/年]	表－５ ※2（滋賀県）より
	養殖フナ収穫量合計	31,403	[トン/年]	表－５ ※4（滋賀県）より
必要設備数	γ-オリザノール含有油脂抽出用	1.8	[基]	
	EPA・DHA抽出用	9.0	[基]	
	亜臨界水抽出設備（合計）	11	[基]	※20

【マイクロカプセル製造設備】

処理量	ワイルドライス油抽出量	86	[トン/年]	表－５ ※3（滋賀県）より
	液油比率	15	[%]	
	スラリー固形分	45	[%]	
	γ-orzマイクロカプセルスラリー処理量	258	[トン/年]	
必要設備数	マイクロカプセル製造設備	2	[基]	※21

【人工種苗生産設備】

生産数	種苗生産量	4,400,000	[尾/年]	※22
必要設備数	人工種苗生産設備	11	[設備]	※23

表－１０ 原材料費

【亜臨界水抽出プロセス】

試算条件 ワイルド ライス	耕作放棄地	2,178	[ha]	表－５ ※１（滋賀県）より
	マコモ栽培経費	40,000	[円/10a]	参考文献42)を参考に、40,000円を仮定 種苗代：２回目以降不要 肥料代：淡水魚の排泄物利用のため不要
	生産回数	2	[回/年]	
試算条件 淡水魚	耕作放棄地	2,178	[ha]	表－５ ※１（滋賀県）より
	放流数	5,000	[尾/10a]	*26)を参考に、5000[尾/10a]を仮定
	仔稚魚1尾あたりの単価	5	[円/尾]	*26)より
	養殖フナ収穫量合計	31,403	[トン/年]	
	餌料代	0	[円/kg]	参考文献 68)より、マコモ・イネの畦間でアゾラを育てて餌として与える方法を仮定した。
原材料費	ワイルドライス生産費	1,743	[MM円/年]	
	種苗代（水田フナ）	545	[MM円/年]	
	餌料代（水田フナ）	0	[MM円/年]	
	亜臨界水抽出プロセス原材料費	2,287	[MM円/年]	※24

【マイクロカプセル製造プロセス】

試算条件	ワイルドライス油配合比率	15	[%]	参考文献 61)を参考に、15%を仮定
配合比率	固体脂配合比率	5	[%]	参考文献 61)を参考に、5%を仮定
	界面活性剤	0.5	[%]	脂質合計の2.5%を仮定
	水相	24.5	[%]	
	乳化相	45	[%]	45%スラリーを仮定
	連続相	55	[%]	
	合計	100	[%]	
原材料量	ワイルドライス油抽出量	86	[トン/年]	表－５ ※３（滋賀県）より
	固体脂配合量	29	[トン/年]	
	界面活性剤配合量	3	[トン/年]	
	水	456	[トン/年]	
	合計	573	[トン/年]	
単価	ワイルドライス油単価	2,000	[円/kg]	*16)より、米油と同等と仮定
	固体脂単価	1000	[円/kg]	市販ワックス単価
	界面活性剤単価	500	[円/kg]	市販活性剤単価
	水単価	1	[円/kg]	イオン交換水単価
原材料費	ワイルドライス油生産額	172	[MM円/年]	
	固体脂	29	[MM円/年]	
	界面活性剤	1	[MM円/年]	
	水	0.5	[MM円/年]	
	マイクロカプセル製造原材料費	203	[MM円/年]	※25

【人工種苗生産】

生産費	親魚購入（ふ化仔魚）	780,000	[円/20万尾]	*17)より
	餌料費（ふ化仔魚）	623,000	[円/20万尾]	*17)より
	ワムシ培養費（種苗生産）	1,204,000	[円/20万尾]	*17)より
	飼料費	1,283,000	[円/20万尾]	*17)より
	小計	3,890,000	[円/20万尾]	
原材料費	生産回数	2	[回/年]	
	種苗生産設備	11	[設備]	表－９ ※23より
	種苗生産原材料費	86	[MM円/年]	※26

出典*26)；長野県水産試験場，水田を活用したフナおよびドジョウの増殖手法開発，平成24年度 委託調査費の成果物情報 水産庁，農林水産省 HP（オンライン），
http://www.maff.go.jp/j/budget/yosan_kansi/sikkou/tokutei_keihi/seika_h24/suisan_ippa/pdf/60100419_05.pdf

表－１１ 運転費

【亜臨界水プロセス】

試算条件	バッチ式亜臨界水反応装置	1	[基]	
	攪拌機	1	[台]	参考文献 57) より (モータ容量10kW(200V))
	重油使用量	25	[l/bat]	参考文献 57) より (20～30l/bat)
	電力使用量	15	[kWh/bat]	参考文献 57) より (10～20kWh/bat)
	重油価格	67.2	[円/l]	*27) より
	電力価格	15	[円/kWh]	*28) より、高圧電力BS (その他季)
	処理時間	1.0	[h/bat]	
	1バッチあたり重油代	1680	[円/bat]	
	1バッチあたり電力代	224	[円/bat]	
	1日あたり運転時間	24	[h/日]	連続運転
	稼働率	80	[%]	
	稼働日数	292	[日/年]	
	設備数	11	[設備]	表－ 9 ※20より
	1バッチあたり運転費	1903.8	[円/bat]	
運転費	1日あたり運転費	45,691	[円/日]	
	年間運転費 (1設備)	13,341,830	[円/年]	
	亜臨界水プロセス運転費	147	[MM円/年]	※27

【マイクロカプセル製造プロセス】

試算条件	高圧乳化機	1	[基]	定格出力3.7kWモータとして
	消費電力 (高圧乳化機)	2.2	[kW]	定格出力の60%運転
	チラー	1	[基]	定格出力5.4kWモータとして
	消費電力 (チラー)	3.7	[kW]	定格出力の60%運転
	電力合計	5.9	[kW]	
	重油使用量	1	[l/h]	原料昇温のため
	電力価格	15	[円/kWh]	*28) より、高圧電力BS (その他季)
	重油価格	67.2	[円/l]	*27) より
	1時間あたり電力代	88	[円/h]	
	1時間あたり重油代	67	[円/bat]	
	1日あたり運転時間	24	[h/日]	
	稼働率	80	[%]	
	稼働日数	292	[日/年]	
	設備数	2	[設備]	表－ 9 ※21より
運転費	1バッチあたり運転費	155	[円/bat]	
	1日あたり運転費	3,725	[円/日]	
	年間運転費 (1設備)	1,087,838	[円/年]	
	マイクロカプセル製造装置運転費	2	[MM円/年]	※28

【人工種苗生産設備】

試算条件	電気 (ふ化仔魚)	4,300,000	[円/20万尾]	*17) より
	重油 (ふ化仔魚)	0	[円/20万尾]	亜臨界水プロセスの排熱回収で賄うと仮定
	消耗品費	800,000	[円/20万尾]	*17) より
	電気・燃油	25,000	[円/20万尾]	亜臨界水プロセスの排熱回収で賄うと仮定
	消耗品・資材費	10,000	[円/20万尾]	*17) より
	輸送費	80,000	[円/20万尾]	*17) より
	電気 (種苗生産)	1,050,000	[円/20万尾]	*17) より
	燃油 (種苗生産)	0	[円/20万尾]	亜臨界水プロセスの排熱回収で賄うと仮定
	資材・消耗品費	71,000	[円/20万尾]	*17) より
	年間生産回数	2	[回/年]	
	設備数	11	[設備]	表－ 9 ※23より
運転費	20万尾生産あたり運転費	6,336,000	[円/20万尾]	
	年間運転費 (1設備)	12,672,000	[円/年]	
	人工種苗生産設備運転費	139	[MM円/年]	※29

出典*27) ; 新電力ネット, A 重油単価, 新電力ネット HP (オンライン), https://pps-net.org/heavy_oil_ac
 出典*28) ; 関西電力, 料金のご案内 料金メニュー ー 高圧ー契約電力 500kW 未満ー, 関西電力 HP (オンライン), https://kepc.co.jp/biz/yakkan/high/500kw_less

表－１２ 人件費

【亜臨界面油脂抽出設備 人件費】

試算条件	運転人員（粉碎機）	0.10	[人/基]	*29) より
	運転人員（亜臨界面水反応槽）	0.50	[人/基]	*29) より
	運転人員（遠心分離機）	0.35	[人/基]	*29) より
	運転人員（ボイラー運転）	0.10	[人/基]	*29) より
	運転人員（荷役機械）	1.00	[人/基]	*29) より
	1シフトあたり運転人員	2.00	[人/基]	
	シフト数	4	[シフト]	4シフト3交代
	4シフトあたり運転人員	8	[人/基]	
	設備数（滋賀県全体）	11	[設備]	表－９ ※20より
人件費	運転人員（滋賀県全体）	88	[人]	
	全国平均給与	4,000,000	[円/人/年]	*29) より
	保険比率	15	[%]	給与の15%と仮定
	1人あたりの年間人件費	4,600,000	[円/人/年]	
	1設備あたりの年間人件費	36,800,000	[円/年]	
	年間人件費（滋賀県全体）	405	[MM円/年]	※30

【マイクロカプセル製造設備 人件費】

必要人員	運転人員（攪拌槽）	0.50	[人/基]	*29) より
	運転人員（高圧乳化機）	0.10	[人/基]	*29) より
	運転人員（熱交換器）	0.10	[人/基]	*29) より
	運転人員（攪拌槽）	0.50	[人/基]	*29) より
	運転人員（荷役機械）	1.00	[人/基]	*29) より
	1シフトあたり運転人員	2.0	[人/基]	
	シフト数	1	[シフト]	日勤
	1シフトあたり運転人員	2	[人/基]	
	設備数（滋賀県全体）	2	[設備]	表－９ ※21より
人件費	運転人員（滋賀県全体）	4	[人]	
	全国平均給与	4,000,000	[円/人/年]	*29) より
	保険比率	15	[%]	給与の15%と仮定
	1人あたりの年間人件費	4,600,000	[円/人/年]	
	年間人件費	9,200,000	[円/年]	
	年間人件費（滋賀県全体）	18	[MM円/年]	※31

【人工種苗生産設備 人件費】

必要人員	職員	3.0	[人/基]	*17)を参考に、3.0[人/基]を仮定
	1シフトあたり運転人員	3.0	[人/基]	
	シフト数	1	[シフト]	日勤
	1シフトあたり運転人員	3	[人/基]	
	設備数（滋賀県全体）	11	[設備]	表－９ ※23より
	運転人員（滋賀県全体）	33	[人]	
人件費	全国平均給与	4,000,000	[円/人/年]	*29) より
	保険比率	15	[%]	給与の15%と仮定
	1人あたりの年間人件費	4,600,000	[円/人/年]	
	年間人件費	13,800,000	[円/年]	
	年間人件費（滋賀県全体）	152	[MM円/年]	※32

【運転人員】

運転人員	運転人員（滋賀県全体）合計	125	[人]	
	運転人員（全国）	4,686	[人]	滋賀県と日本の水田面積比から概算

出典*29) ； 科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター，技術開発編 プロセス機器選定と製造コスト、環境負荷産出のための基礎データベース作成 ―製造機器・材料・コスト情報の構造化―，低炭素社会の実現に向けた技術および経済・社会の定量的シナリオに基づくイノベーション製立案のための提案書，国立研究開発法人 科学技術振興機構 HP（オンライン），
<https://www.jst.go.jp/lcs/documents/publishes/item/fy2014-pp-11.pdf>

表－１３ 減価償却費

【バッチ式亜臨界面油脂抽出設備】

試算条件	亜臨界面水反応槽	35,000,000	[円/基]	*30) より
	ボイラー	6,000,000	[円/基]	*30) より
	粉碎機	3,000,000	[円/基]	*30) より
	遠心分離機	5,000,000	[円/基]	*30) より
	建設費倍率	2.4	[倍]	*29) より
	償却	10	[年]	定額
	設備数	11	[設備]	表－９ ※20より
減価償却費	機器合計	49,000,000	[円/基]	
	建設費	68,600,000	[円/基]	
	機器費+建設費	117,600,000	[円/基]	
	減価償却費	11,760,000	[円/基/年]	
	その他年経費	8,702,400	[円/基/年]	*29) より 金利負担費(3%), 固定資産税(1.4%), 補修費(3%)
	減価償却費+経費	20,462,400	[円/基/年]	
	亜臨界面水抽出設備減価償却費	225	[MM円/年]	※33

【マイクロカプセル製造設備】

試算条件	高圧乳化機	5,000,000	[円/基]	*30) より
	チラー	1,500,000	[円/基]	*30) より
	プレート熱交換器	500,000	[円/基]	*30) より
	攪拌槽（ホモミキサー）	5,000,000	[円/基]	*30) より
	攪拌槽（バドル）	3,500,000	[円/基]	*30) より
	建設費倍率	2.8	[倍]	*29) より
	償却	10	[年]	定額
	設備数	2	[設備]	表－９ ※21より
減価償却費	機器費計	15,500,000	[円/基]	
	建設費	27,900,000		
	機器費計+建設費	43,400,000	[円/基]	
	減価償却費	4,340,000	[円/基/年]	
	その他年経費	3,211,600	[円/基/年]	*29) より 金利負担費(3%), 固定資産税(1.4%), 補修費(3%)
	減価償却費+経費	7,551,600	[円/基/年]	
	マイクロカプセル製造設備減価償却費	15	[MM円/年]	※34

【人工種苗生産設備】

試算条件	閉鎖循環式陸上養殖設備	100,000,000	[円/100m ³]	*31) より
	1設備あたりの飼育槽容量	200	[m ³ /設備]	表－８ ※19より
	0.6乗則	0.6	[乗]	*31) より
	償却	10	[年]	定額
	設備数	11	[設備]	表－９ ※23より
減価償却費	設備費	151,571,657	[円/設備]	
	減価償却費	15,157,166	[円/設備/年]	
	その他年経費	11,216,303	[円/設備/年]	*29) より 金利負担費(3%), 固定資産税(1.4%), 補修費(3%)
	減価償却費+経費	26,373,468	[円/設備/年]	
	人工種苗生産設備減価償却費	290	[MM円/年]	※35

出典*30) ;機器メーカー情報より推定

出典*31) ;閉鎖循環式陸上養殖のビジネスとしてのアプローチ 第2回 閉鎖循環式の魚工場はビジネスとして成り立つか, 月刊養殖ビジネス, 49, 11, 56-59, 2012

平成30年2月21日

〒103-0027 東京都中央区日本橋3-13-11

一般財団法人 油脂工業会館

☎東京03(3271)4307 (代表)

<http://www.yushikaikan.or.jp>