

動植物による陸上版 SDG_{12,15} 複合エコ養殖のすすめ

～海の森づくり推進協会「SDGs 複合養殖研究会」の発足に寄せて～

斉藤 浩・斉藤 衛・陶 敏彦（アクア・エコファーム）・門脇 秀策（鹿児島大学名誉教授）



斉藤 浩



斉藤 衛



陶 敏彦



門脇 秀策

アクア・エコファーム（有）ユアの陸上養殖は、未来の養殖システムと言われてきた動物と植物による複合 SDGs エコ養殖です。その技法は、単一養殖でなく、生物多様性による持続可能な循環再生の環境保全型養殖システムです。

私達の目標は、飼料効率が高いバナメイエビと多機能性成分を含有する海藻のミナミアオサを同一水系内で養殖し、国産で完全閉鎖循環型の養殖を普及させることです。

海藻のミナミアオサは、新型コロナウイルスや HIV ウィルスにも抗病効果があり、健康寿命を延ばすといわれるラムナン硫酸を含有しています（鈴木：2020、海藻で健康寿命を延ばす、産学社）。本事業の概要は、図 1 に示しました。ミナミアオサの増養殖事業は、21 世紀の人類が生き残るための生命維持産業となり得ます。

2021（令和 3）年、任意団体「海の森づくり推進協会」の「SDGs 複合養殖研究会」発足に伴い、会員の皆様には、協会のホームページを通して本稿を掲載させていただきますことを心から感謝申し上げます。これよりは、現会員と未来の会員の皆様のご理解とご協力を賜り、手を取り合って「陸上版 SDG_{12,15} 複合エコ養殖」への道を見出して、共に前進して参りたいと存じます。

1. 海藻による水質浄化機能を活用

一般に、陸上の養殖水槽は、①飼育水槽、②生物ろ過槽（硝化槽）及び③脱窒槽の各水槽から構成されています。一方、本技法は、飼育水槽のみで硝化・脱窒を図り、残餌や飼育動物の排水を海藻の飼育水槽と循環させることで、海藻がアンモニア態窒素やリン酸態磷等の栄養塩類を吸収し水質を浄化する。

すなわち、本技法は、生物の生産性を高めるのみならず、水質浄化による環境保全に寄与し、地域経済を活性化する循環再生型の地球創生事業となり、地球温暖化対策にも貢献する SDGs に合致した新しい養殖技法といえます。

2. 病気対策の検疫規制

国連は、「太平洋沿岸沖合域で漁獲可能な魚は、今世紀半ばに激減する。」と報告している（2018 年 3 月 23 日 生物多様性及び生態系サービスに関する政府間科学政策プラットフォーム IPBES）。東南アジアにおけるバナメイエビの陸上養殖は、薬剤を投与した流水が大勢です。しかし、日本でバナメイエビを養殖生産するには、病気対策として検疫規制があり、水産庁の許認可が必要です。本法の病気対策は無投薬で、次の点に注目している。

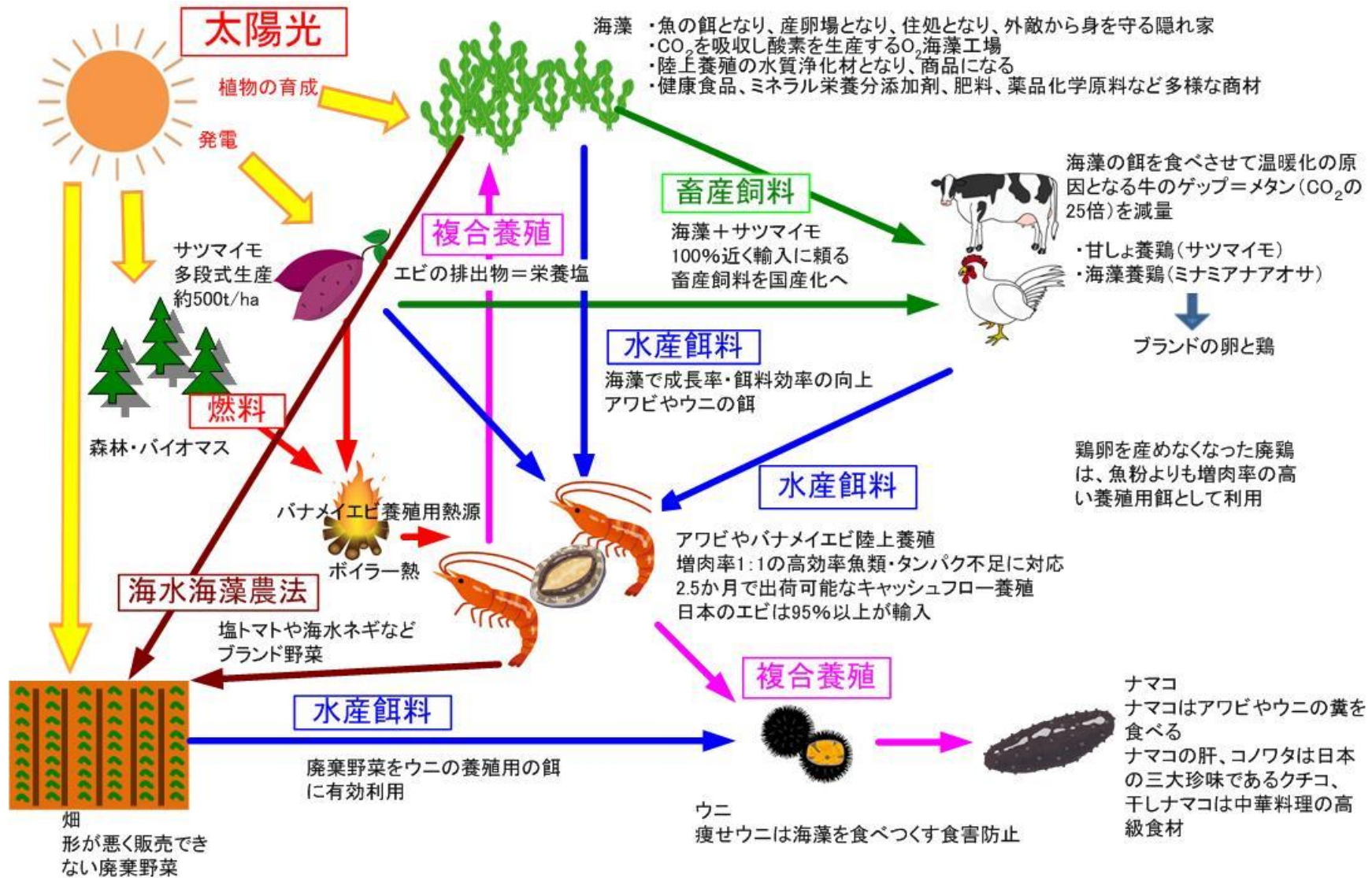


図1. 閉鎖循環再生型の動植物生産システムによる食の防人構想

① 海藻による水質浄化

バナメイエビの飼育水は海藻との共生によって、CO₂ やアンモニアや硝酸塩類、リン酸塩等の栄養塩類を吸収します。

② 適水温の維持

バナメイエビおよびミナミアオサの適水温の範囲はいずれも 26～30℃です。飼育水を流水式にすることはランニングコストが高くなるので、加温した飼育水を維持・保温するために循環の方がより経済的です。

事業化を目的とした稚エビの最小限必要尾数は、10 万尾の大型設備が必要です。国内で大量種苗生産を確立し、出荷までの養殖管理が完全養殖となれば、稚エビ市場が形成され、日本から東南アジア諸国への稚エビ種苗生産と陸上養殖の技術移転が可能となります。

3. 水質浄化法

本システムは、バナメイエビの飼育水をミナミアオサの栽培水との共生循環による水質浄化です。バナメイエビの飼育は、次の技法を用います。

① 硝化細菌と付着器

飼育水中に分解者としての硝化細菌を増殖させる水温環境は、26～30℃です。バナメイエビの憩場となる海藻の付着器は、稚エビの共食い防止になる人工海藻も併用します。その人工海藻は、微細な空隙があり、高酸素条件下で硝化作用を促進する好気性付着微生物群集の生息場ともなります。

② 脱窒作用

バナメイエビの飼育水は O₂ が高く好気的環境が必要条件ですが、飼育水槽の一部にバイパスを設けて嫌気的環境を組み合わせて、嫌気性細菌による脱窒作用が可能になるよう工夫をしています。

③ 懸濁物質の除去

一般に、飼育水中の浮遊懸濁有機物は、泡沫分離装置を使用して除去する例が多いですが、装置が高額です。本法では、吸着材を活用し、残餌や糞などの懸濁有機物を回収します。ただし、定期的に濾過材を取り出して洗浄するメンテナンスが必要です。

④ フルボ酸の添加

フルボ酸をバナメイエビの飼育水に添加します。フルボ酸は、多孔質なので、ガスや有機物を吸着する作用があると同時に、pH調整をします。(石渡・米林・宮島：2011、環境中の腐食物質その特徴と研究法、三共出版)

⑤ 純酸素の供給

バナメイの呼吸代謝による酸素消費に加えて、好気性硝化細菌が活性化し、有機物の分解作用のためには、飼育水中の十分な溶存酸素が必要です。そこで、溶存酸素濃度を高めるために「高濃度酸素の溶解装置」を導入します。本装置は、飼育水中に O₂ を溶解させると同時に、アンモニア態窒素の硝化作用と N₂ ガスとして空気中に放出する脱窒の両作用を促進します。一方、ミナミアオサは、バナメイエビの排出する CO₂ やアンモニア等の栄養塩類を吸収し、十分な O₂ を供給することによって、物質を循環させ上記①～⑤の、水質浄化機能が作用し、バナメイエビ養殖生産を安定させる機能があります。

4. バナメイエビと海藻の陸上複合 SDGs エコ養殖による省エネの具体策

養殖水槽に省エネ対策として導入している資機材の特長と活用法は、次のとおりです。

① バイオマスによる加温とガス化燃焼方式による適水温の維持管理

省エネ対策として、飼育水の加温・冷却の熱源としてカーボンニュートラルとなる廃棄性バイオマスの熱源を目指します。すなわち、間伐材、剪定枝、もみ殻、農業残渣、建築製材、おが屑及び木製パレット等を原料として、燃料費を節約する工夫をします。

これによって環境負荷が少なく、設備費とランニングコストが安価となります。木材を直接燃料として使用するだけでは人件費が必要です。廃棄する木材を利用して燃焼させるバイオマス温水器を導入することにより、木材量は 1/3 に削減でき、人件費も節約できる。さらに、昼夜を通して施設設備の長時間稼働が可能になり、自動化により夜間の人件費が不要となります。

ボイラーの設定温度は 80~90℃とし、熱交換器で飼育水を再加熱することにより、ボイラーに負荷をかけずに加温できる。燃焼気体は海藻栽培の CO₂ 源として循環再利用できる。

② 断熱・保温の省エネヒーター

飼育水を保温、維持するために、低コストの省エネヒーターを海水、淡水の両用できるよう図 2 のように改良した。即ち、省エネヒーターは水槽底面に敷設することにより、効率的に保温できるので、一般の投げ込み式加熱ヒーターと比較して設備費が 1/10 となります。

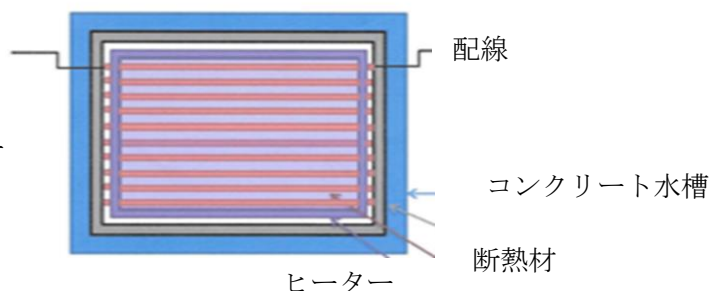


図 2. 断熱保温の省エネヒーター

③ 建屋および水槽の断熱保温

建屋および水槽は断熱仕様なので、暖房費は従来約 1/10 の燃料に節約できます。また、水槽や建屋は仮設であるため建築許可申請は不要です。また、建設費用はスレート建築の 1/3 以下、農業用ハウスの 1/2 以下です。建屋は、風速 50m にも積雪 1m にも対応できる設置が可能です。さらに、設備の建設時間は大幅に削減できます。

④ 焼却灰を植林や農業用肥料として利活用

バイオマス燃焼後の木灰は山林づくりの肥料として利用する。もみ殻を焼却した後の灰は、粉塵化すると優良堆肥になります。また、草木灰は農業用の肥料となると同時に、害虫や病気の予防、植樹や農産物の成長促進ミネラルともなります（農文協：2006 年 1 月号、現代農業）。まさに、地域資源が循環する SDG12,15 養殖産業の創出が可能です。

5. 小型水槽のメリットとデメリット

① 容易なバナメイ飼育管理

海外のバナメイエビの養殖池は数 10 ha もの広大な面積が必要ですが、小型水槽を用いることによってきめの細かい飼育管理が容易になり、作業量が軽減され、設備費や補修費が節約できるので、リスクを分散管理できます。また、飼育密度、給餌や水質などを池ごとに調整して飼育管理することができます。

② 販売ローテーションを考慮した飼育水槽の運用

バナメイエビ飼育槽を 6 槽にすることにより、半月毎に稚エビの池入れを行い、2 週間毎の出荷が可能です。飼育回転を縮小できることから、これまでバナメイエビは冷凍で出荷していましたが、高鮮度の活出荷が可能となり、高価格での販売が可能となります。

しかし、高密度飼育は基礎知識と高度な水質管理技術が必要であるので、飼育者の研修教育と技術の習熟が必要です。

③ 水質の制御

システムを小型化することによって設備投資は軽減されます。ランニングコストを節約するために、飼育水の循環装置は、図3に示したように、25Wで約900t/hの水量の水流を作る流速の変更が可能な「バイオフィン」という水流制御装置（特許）で水流を調整します。（境：1997、磯焼けの海を救う―海の医者のエコロジー、農山漁村文化協会）

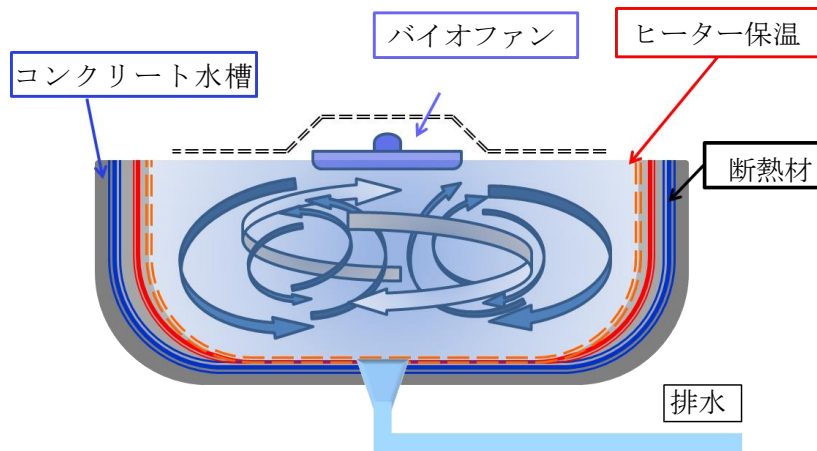


図3. バイオフィンによる水流制御装置の導入

6. 小型施設による陸上養殖 SDGs 特区づくり

現在、海面漁業の漁獲量が年々減少傾向にあるなかで、陸上養殖産業は養殖生産の向上に繋がることは無いありません。陸上養殖のランニングコストは、光熱費、人件費並びに清浄海水の調達費です。沿岸域から離れた地域では海水の輸送コストがかかりますので、海洋深層水の利用も良いです。他方、沿岸域に清浄海水がある場所で、これまで沿岸漁船漁業に携わってこられた漁民自らが陸上養殖に取り組むのが地の利を得ていると考えます。

① 漁民のための、漁民による陸上複合 SDGs 養殖

海面養殖の優秀事例は、鹿児島県東町漁業協同組合があります。漁協では資材を一括購入し、配合飼料や生産方法を統一した養殖魚を組合員から買い上げて、最先端の HACCP 対応加工場を備えて海外にも輸出しています。漁協が組合員と協同して、技術改善や研究開発・生産・加工・販売を実践しています。

陸上養殖でも、同様に、生産協同組合をつくり組合員が小型施設を管理し、協同組合が養殖生産魚介類を加工、販売、流通する事業をリードすることを期待しています。

② 国の制度資金で協働連携体制づくり

国民金融公庫は、無担保、無保証で2年間据置き、最長20年間、最大7,200万円の融資制度があります（国民政策金融公庫：女性や若者、シニアの起業家を支援する資金制度

https://www.jfc.go.jp/n/finance/search/02_zyoseikigyoka_m.html）。

漁協と漁民が協働して連携すれば、女性や高齢者対象の融資制度を利用したソーシャルビジネスとなる新しい協働連携体制が創出できます。こうした陸上養殖の取り組みは、「陸上養殖 SDGs 特区」を指定して、漁協が一括して加工販売、流通することで、バナメイエビと海藻の複合養殖は組合員による経営管理が可能です。現在、人手不足や働き方改革が進むなか、協働体制として新規事業を立ち上げませんか。

③ 廃校を有効活用した地域活性

現在、廃校、休校、閉校は、全国で7,000校余りもあり、少子化でますます増加傾向にあります。それらの土地は地域振興と雇用拡大のために安価に借用でき、校舎、体育館、太陽光の当たる運動場及びプールなどを有効活用する地方創生の時代の到来です。

④ 陸上養殖への段階的参入ステップ

バナメイエビの養殖施設は、設備の初期投資が高いため、太陽光と清浄海水を利用するため日当たりの良い沿岸の廃校を利活用します。その第一段階は、ミナミアオサの栽培から始めて、海藻をウニやアワビ等の餌（湿・乾）として利用し事業利益を得ます。

第二段階として、バナメイエビ養殖に参入することが地域の新しい産業に繋がるステップと考えます。ミナミアオサを大量に栽培養殖することで、飼育水の浄化による飼育生物の健康を図れます。そして第三段階では、アワビやウニの糞や海藻の残渣をナマコなどの底生生物に摂餌させて、物質循環型の複合エコ陸上SDGs 養殖が可能となります。

7. ミナミアオサが人類を救う

ミナミアオサの効能は、ウィルス（インフルエンザウィルス・HIV・新型コロナ）の排除、肥満・メタボ対策、コレステロールの減少、血流の改善、血栓の防止および血糖値の低下等が知られています。ミナミアオサに含まれるラムナン硫酸は、新型コロナウィルスを排除すると報告されています（鈴木：2020、海藻で健康寿命を延ばす、産学社）。

また、アオサの効能は、神経機能の向上、血液凝固の抑制、抗アレルギー、抗炎症、抗腫瘍作用、解熱、生理作用、鎮痛、小脳失調作用および日射病の治療等と言われています（能登谷：2001、アオサの利用と環境修復、成山堂書店）。

粉末アオサは、たこ焼き、お好み焼き、焼きそば、天ぷら、揚げ物、納豆、サラダおよびとろろ等に色、香り、風味をつける食品として利活用されています。さらに、ごはん、パン、麺、ケーキ、せんべい等に添加すると、機能性食品として日常の食生活に取り入れることができます。ミナミアオサを大量栽培し、私達が食すれば、健康寿命を延ばし、ウィルスを排除し、海藻は人類を救う極めて重要な食材になると考えます。

8. ミナミアオサを鶏の餌に添加した健康卵づくり

欧米人は大豆を食べる習慣が少なく、大豆を家畜の餌として食べさせて、その肉を食してきました。一方、日本人は大豆を発酵させて数多くの健康食品を産出してきました。鶏卵はホスファチジルコリンという健康成分を含有しているので、老人性痴呆症や脳の血流改善に役立つことが知られています。鶏の餌にミナミアオサを1回の給餌当たり1~2%の乾重比で添加すると、アオサの生理活性物質が卵黄に蓄積されます（瀬川：2002、健康食品ノート、岩波新書；農研機構：2005、ヨウ素・βカロテン強化卵の生産）。

9. 漁村で養鶏のすすめ

鶏は動物タンパクの供給源として、餌料効率の良い家畜です。鶏は雑食性ですので、様々な残渣を餌として廃棄物を有効に利用できます。

我国は、新規就農者に無利子・無担保・無保証で、最長12年返済、最大3,700万円の融資制度があります。ミナミアオサと養鶏を組み合わせた事業は、機能性健康食品の産業と言えます。加えて、自然養鶏卵であれば、アニマル・ウェルフェアに対応した世界標準の飼育方法で、初期投資を1年で回収できるので、2年目以降から初期投資金額が利益となります（中島：2014、「自然卵養鶏法増補版」、農山漁村文化協会；農文協：2019、『現代農業7月号』）。さらに、ミナミアオサと鶏糞と木材チップの三種を混合し発酵させることによって難分解物質リグニンがフルボ酸に変性します。

畠山氏は、「森は海の恋人」の著書で、枝葉の有機堆積物は長い年月をかけて自然界で発酵し、ようやく腐植土中のフルボ酸となると記述しています。一方、ミナミアオサを添加することにより、2~3ヶ月の短期間で難分解物質リグニンが発酵分解されて、フルボ酸が生成され珪素を含んだ籾殻発酵堆肥となります（鈴木：2011、環境・健康改善の特効材、腐植土・フルボ酸の基本と応用、セルバ出版）。

10. 陸上養殖施設の屋上で太陽光発電

一般に、太陽光発電は架台の設置費はパネル代よりも高く、施設費の7~8割を占有しています。そこで、陸上養殖施設の屋根にソーラーパネルを設置することにより、自家発電の確保と同時に、養殖施設の屋根を太陽光発電の架台場所として利用すると、施設全体の断熱効果をもたらします。我が国は2021年から太陽光の発電設備費に対して、最大3/4の国庫補助をします。

(日本経済新聞社：2020、<https://www.nikkei.com/article/DGXZQODF146180U0A211C2000000>)

11. サツマイモは食の防人

今後、人類が環境を保全しながら持続的な経済活動を開発するためには、①食糧の確保、②エネルギーの確保、③O₂やCO₂の循環利用、④植物の光合成によるカーボンオフセット、⑤雇用の確保等です。これらの条件を満たす農作物の一つとしてサツマイモがあります。サツマイモは1ha当たり年間約500tの生産量なので、人口増加の食糧対策に有効です。(鈴木：2014、芋が日本を救う、WAVE出版)。また、イモ類は木材よりも水分含有率が低く燃料として活用できます。サツマイモは水耕栽培が可能なので、アクアポニックスとの併用が可能な農作物であり、人類の食糧だけでなく家畜・養魚の餌ともなるので、サツマイモの多段式栽培施設を考案し、“サツマイモと海藻による食の防人構想”を実現したいと考えています。

12. 採算

現在、私達は、海藻を利用した漁村活性と地域振興のために、バナメイエビとミナミアオサとの複合エコSDGs養殖プラントの実証化事業を試行しています。一世帯当たりの年収は500万円を目標にして、ビジネスモデルを構築しています。

ミナミアオサの生長速度は、コンブの約10倍(門脇：2017年6月3日、環境保全型複合エコ養殖のすすめ、第16回海の森づくり推進協会シンポジウム講演要旨)です。コンブの生産量は4ヶ月間で約5kg湿/m²であるのに対して、ミナミアオサの生産量は約50kg湿/m²/年です。ミナミアオサを100m²の面積で栽培した場合、ミナミアオサ乾燥の単価は2,000円/kg乾(海藻業者の単価)、ミナミアオサの含水率を90%とすると、50kg湿/m²/年×0.1(乾湿比)×100m²×2,000円/kg乾=100万円の年収と算出されます。

一方、2016年におけるヒトエグサの浜値は13,000円/kg乾、スーパーで50,000円/kg乾、百貨店で100,000円/kg乾であり、海藻業者は4,000円/kg乾で買いとります。ヒトエグサを年2回生産した場合、約500万円の収入になる。一方、国産バナメイエビの価格は、冷凍通販で約6,000円/kg湿である。

以上のことから、陸上複合養殖システムは、産業廃棄物の排熱を利用して飼育水を加温・循環利用し、ミナミアオサは水質浄化として利活用し、バナメイエビと共生飼育させる。バナメイエビの成長適水温は30℃であり、ミナミアオサの生長適水温は25~30℃とそれぞれ同程度の水温範囲にあることから、バナメイエビとミナミアオサを同一飼育水系で養殖生産が可能である。

複合エコ養殖により海藻と動物の生産収益率を増大させることによって、投資の回収期間が短縮できる。動植物による陸上循環型の複合SDGs養殖は、海面養殖と比較して台風などの天候や災害、水温変動や赤潮発生、病気に左右されずイノベーションにより管理された水質で計画的に養殖・出荷できます。ゆえに、動植物による陸上版SDG12,15複合エコ養殖業は、安全・安心・安定の環境保全型SDGs養殖として、これからの新しい養殖産業と言えます。

『動植物による陸上版SDGs複合エコ養殖』の詳細およびお問い合わせは、ホームページ(<https://www.aquaecofarm.com>)をご覧ください、下記にご連絡いただければ幸いです。

〒360-0825 埼玉県熊谷市月見町 1-104

Tel : 048-525-6103、Fax : 048-527-6236、E-mail : info@aquaecofarm.com