

一般財団法人 油脂工業会館
第53回表彰
油脂産業優秀論文

審査委員特別賞

2050年温室効果ガス排出ゼロへの油脂産業の貢献

アカモクの活用による一気通貫ビジネスと藻場形成への貢献

株式会社資生堂

つかはら あんな
塚原 杏奈

目次

はじめに	1
第1章 温室効果ガスとブルーカーボンへの期待	2
1-1 温室効果ガスについて	2
1-2 国内における二酸化炭素を取り巻く現状	3
1-3 ブルーカーボンへの期待	3
1-4 国内のブルーカーボン	5
第2章 藻場について	6
2-1 藻場の役割	6
2-2 藻場減少に対する仮説と解決策	7
第3章 油脂産業の海藻の活用	8
3-1 健康志向のニーズ	8
3-2 企業イメージアップのために	9
第4章 アカモクの魅力	10
4-1 アカモクとは	10
4-2 提案におけるアカモクのメリット	10
4-3 フコキサンチンの魅力	12
第5章 アカモクを用いた一気通貫ビジネスの提案	16
5-1 提案Ⅰ：アカモク養殖の推進	16
5-2 提案Ⅱ：アカモクを用いたフコキサンチンサプリメントの生産	17
5-3 提案Ⅲ：アカモクを用いたバイオエタノールの生産	18
5-4 提案Ⅰ～Ⅲの一気通貫ビジネスの経済性評価	21
5-5 提案Ⅰ～Ⅲの一気通貫ビジネスのCO ₂ 吸収量へのインパクト試算	23
5-6 提案Ⅰ～Ⅲの波及効果	24
おわりに	25
参考文献	26

はじめに

2020年10月、臨時国会の所信表明演説において、菅義偉内閣総理大臣は「2050年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする」ことを宣言した[1]。この宣言以来「カーボンニュートラル」という言葉は、より私たちの身近なキーワードとなり、そのための取り組みは個人・企業を含む社会全体に求められている。

「カーボンニュートラル」という言葉には、温室効果ガスの排出を完全にゼロに抑えることは現実的には難しいため、排出せざるを得なかった分については同じ量を「吸収」または「除去」することで正味ゼロを目指すという意図がある。

一方で、温室効果ガスのうちの一つである二酸化炭素（以下CO₂）の吸収について、近年衝撃的な報告がなされた。「世界の肺」と呼ばれCO₂を吸収する上で重大な役割を担っているアマゾン川流域の熱帯雨林の2010年から2019年までのCO₂排出量が吸収量を約20%上回ったというのだ[2]。この原因としては、人為的な森林破壊や火災が挙げられる。そして自然発火の原因には、地球温暖化による気温上昇・気候変動による乾燥化がある。そして、CO₂のような温室効果気体の増加はさらなる気温上昇につながることから、どんどんCO₂吸収量が低下するという悪循環が生まれてしまっている。

このように、気温が上昇し続けている状況を鑑みれば、陸上の樹木によってCO₂吸収量を増加させることは難しいと思われる。そこで筆者は、陸域ではなく海域に着目し、藻場（海藻や海草が生い茂る場所）によるCO₂の吸収量の促進を図りたいと考えた。

本論文は油脂産業が海藻の利用価値を高めることで、結果として温室効果ガスの削減につなげることを目的としている。そのうえで「健康志向に沿った海藻由来の有効成分の抽出と提供」と「海藻を用いたバイオエタノールの生産」をアカモクという海藻により実現する一気通貫ビジネスを提案する。

第1章 温室効果ガスとブルーカーボンへの期待

1-1 温室効果ガスについて

温室効果ガスとは、地表から宇宙空間に逃げる赤外線の一部を吸収し、大気と地表を温める効果を持つ気体のことである。その中でも人間活動によって増加した主なものにはCO₂、メタン、一酸化炭素、フロンガスがあり、CO₂は化石燃料由来のものと森林減少や土地利用変化によるものを合わせて76%、次いでメタンが15.8%となっている(図1-1)[3]。この中でもCO₂の大気中濃度は他の温室効果ガスよりけた違いに大きく、最も温室効果に対し責任が大きい物質であると考えられている。そのため本論文でも温室効果ガスの中で特にCO₂に着目する。

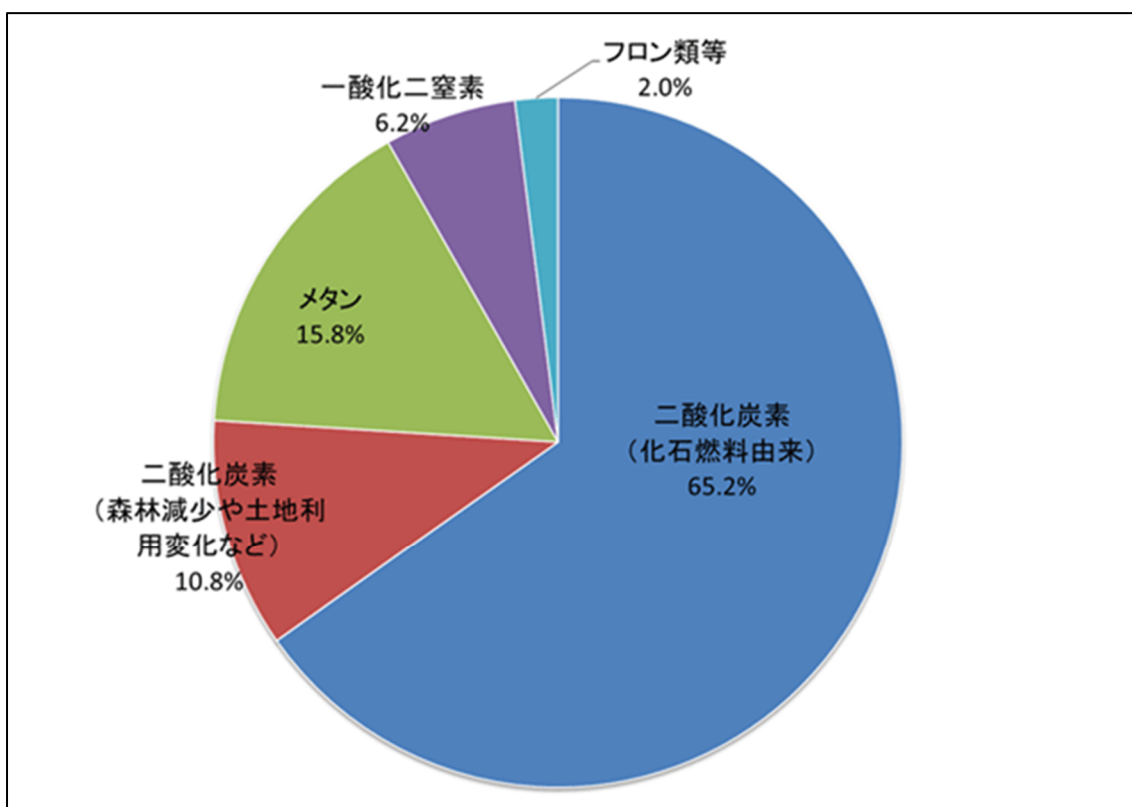


図1-1. 人為起源の温室効果ガスの内訳

1-2 国内における二酸化炭素を取り巻く現状

近年の国内のCO₂の状況について、2018年の総排出量（124,700万トン）に対し、2019年度の総排出量はエネルギー消費量の減少や、電力の低炭素化に伴う電力由来のCO₂排出量の減少等から、2.9%（3,600万トン）減少した。また2013年度の総排出量（140,800万トン）と比較すると、エネルギー消費量の減少や、電力の低炭素化に伴う電力由来のCO₂排出量の減少等から、14.0%（19,700万トン）減少が見られた。一方、2019年度吸収量（京都議定書に基づく吸収源活動によるもの）は、4,590万トン（森林吸収源対策により4,290万トン、農地管理・牧草地管理・都市緑化活動の推進により300万トン）であった[4]。このように、2013年以降CO₂の排出量は減少傾向にあるものの、吸収量は排出量全体の3.7%程度にとどまっている状態であり、カーボンニュートラルに向けて更なる取り組みが求められる。

1-3 ブルーカーボンへの期待

「ブルーカーボン」とは2009年に国連環境計画（UNEP）の報告書に盛り込まれた言葉である[5]。これは海洋生物によって大気中のCO₂が取り込まれた後、海域で貯留される炭素のことを指し、CO₂の吸収源として期待が高まっている。地球全体の炭素の流れ（図1-2）をみると、年間の炭素貯留量は、陸域2,300±700（百万トン）に対し、海域は2,400±500（百万トン）と、陸域と同程度の炭素貯留が行われている[6]。さらに、海域のうち浅海域は1,071（百万トン）と、高い割合を占めており、浅海域の炭素貯留の役割が重大であることがわかる。ブルーカーボンにはメリットが多々ある。まずは、吸収速度の速さである。例えば、藻場がCO₂をため込む量は、面積当たりで森林の25倍にもあたる[7]ともいわれており、これは生育の速い海洋生物ならではの特性であるといえる。

次にブルーカーボンのメリットに挙げられるのは、海域の海底泥中に貯留されたブルーカーボンが長期間（数千年程度）分解されずに貯留される

点である[8]。これは、海底泥内が基本的に無酸素状態にあり、バクテリアによる有機物の分解が抑制されるためである。

ところで、世界人口は100年～300年後にピークに達すると予想されており、それに伴ってCO₂濃度もこの時期にピークに達すると考えられる。CO₂濃度のピーク時はこれまで以上に気温上昇や異常気象による多大な被害が予想される。目前のCO₂量の削減だけでなく、100年～300年後のピーク時のCO₂をいかに減らせるかという観点において、ブルーカーボンが数千年単位で貯留されることには大きな意義があることが分かる。

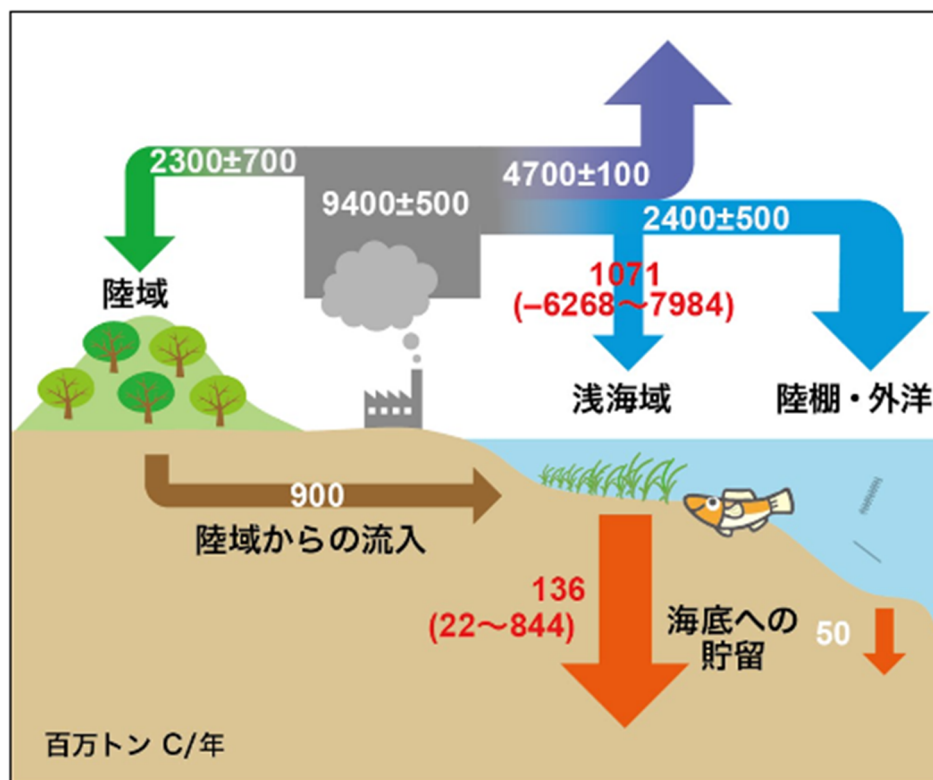


図 1-2. 地球全体の炭素の流れ

1-4 国内のブルーカーボン

上述のようにブルーカーボンは地球規模かつ長期的にCO₂の貯留源としての効果が期待できる。そして我が国は、四方を海に囲まれており世界で領海及び排他的経済水域の面積は第6位であることから、ブルーカーボンとの親和性が非常に高い。実際に、国内のブルーカーボンに着目すると、浅海域において、もっともCO₂を吸収しているのは海藻藻場であり、続いて海草藻場、マングローブ林、干潟の順となっている[6]。

本論文でも国内においてブルーカーボンへのインパクトの大きい海藻藻場に着目する。

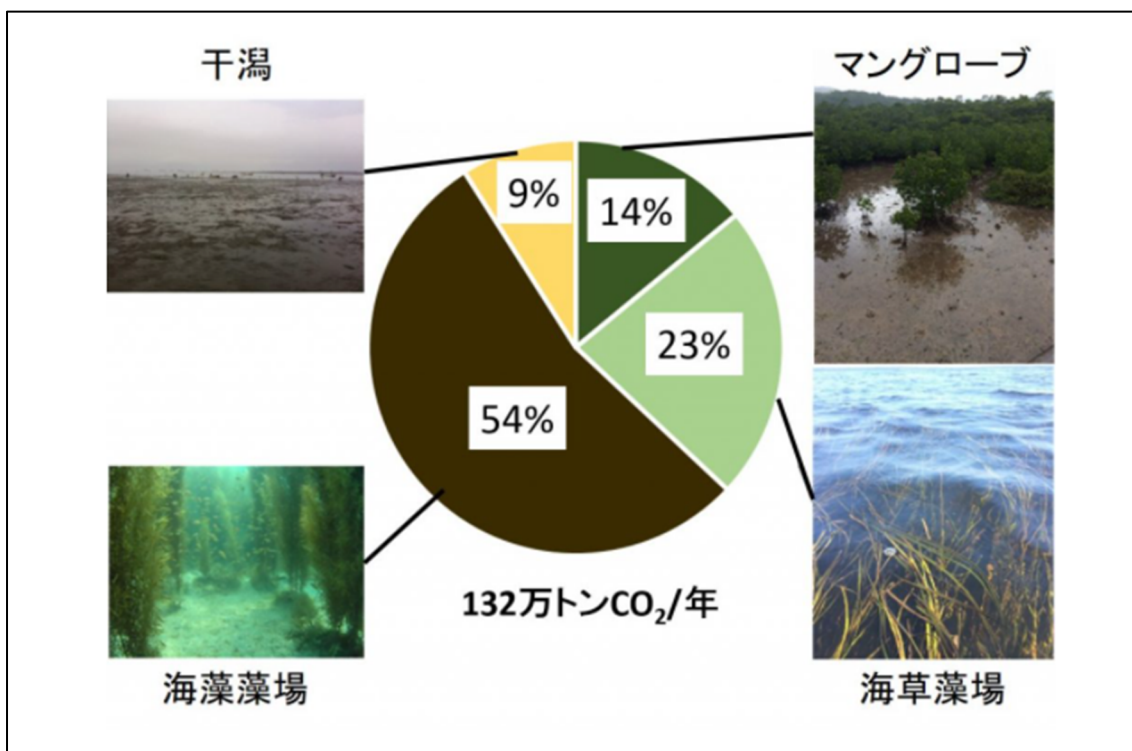


図 1-3. 国内の浅海域による二酸化炭素吸収速度

第2章 藻場について

2-1 藻場の役割

藻場とは水深十数 m ほどの浅い海に生息する大型の海藻および海草の群集を指す。藻場は多くの水生生物の生活を支え、産卵や幼稚仔魚に成育の場を提供する以外にも、水中の有機物を分解し、栄養塩類や炭酸ガスを吸収し、酸素を供給するなど海水の浄化に大きな役割を果たしている [9]。本論文で以降記載する藻場は海藻藻場を指すものとする。

日本の藻場は、高度経済成長とともに減少し始め、各地で藻場の保全・再生を目的とした藻場造成が行われてきた。しかし、昭和 53 年から平成 10 年の間に 62,000 ha もの藻場が消滅し、この傾向は現在も続いている状況にある (図 2-1) [10]。

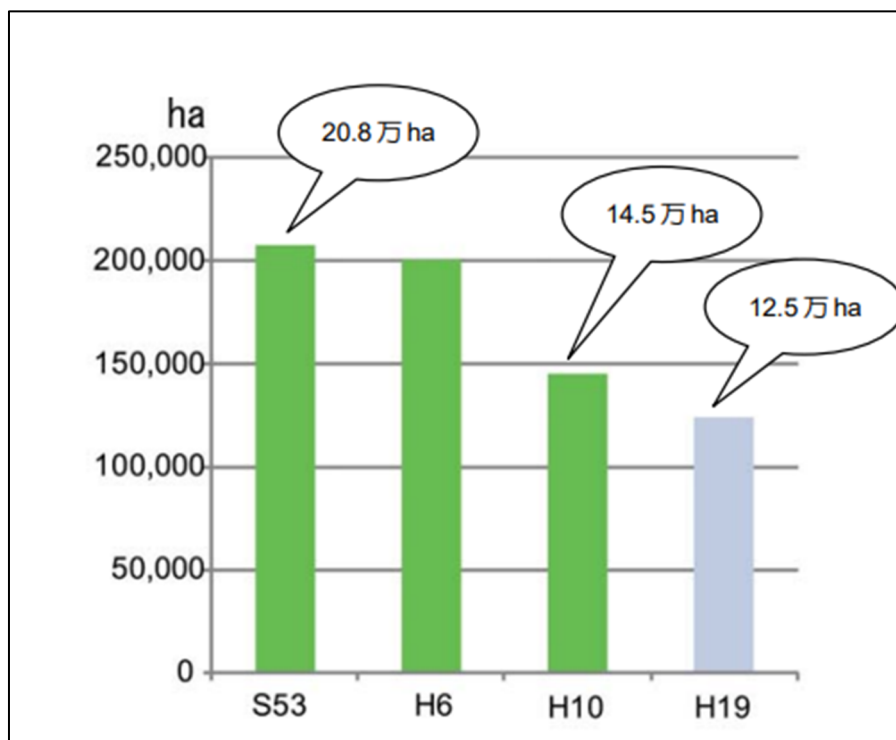


図 2-1. 高度経済成長以降の藻場の減少

藻場減少の原因として、埋め立てなどの直接的な地形改変、磯焼け、海況変化等が挙げられるものの、直接的な地形改変以外、7割以上は原因が特定されていないのが現状である [10]。

2-2 藻場減少に対する仮説と解決策

コンブのような経済価値の高い海藻は漁業者や沿岸域の人々の資源管理への意識が高く、藻場がしっかり形成されている [10]。一方で経済的価値の高くない海藻については価格が下がり、また過去には肥料としての用途もあったが、それも安価な化学肥料の台頭により、藻場の管理がおろそかになったようである。そして、次第に、漁業者や沿岸域の人々の藻場を管理する意識は希薄になり、同時に藻場に関する知識も失われてきたと思われる。

本論文ではこのような海藻の利用価値と藻場形成の関連性から後述の提案内容の着想を得ている。すなわち、コンブのような経済的価値の高い海藻のように、他の海藻についても油脂産業が利用価値を見出し、ビジネス化につなげることで、活発な養殖や資源管理につながり、ひいては藻場形成につながられるのではないかと考えている。

第3章 油脂産業の海藻の活用

本章では、海藻の利用価値を高めるために、油脂産業が海藻をソリューションとして実施すべきだと考えていることを2点挙げる。また、それを推挙する理由について述べる。

- ①健康志向に沿った海藻由来の有効成分の抽出と提供
- ②海藻を用いたバイオエタノールの生産

3-1 健康志向のニーズ

①「健康志向に沿った有効成分の抽出と提供」を推挙する理由は、新型コロナウイルス感染症新型（COVID-19）の影響により、人々の健康に対する意識の高まりが予想され、そのニーズに海藻をソリューションとして商品を提供することで海藻の利用価値を高めることができると考えるからである。また、ニーズがビジネスに合致することで収益性も見込める。

COVID-19は2019年の終わりごろに発生したのを皮切りに、世界中に感染が拡大した。そして2021年9月においても本ウイルスは猛威をふるっており、世界中の人々が命を落としている。

厚生労働省が「重症化しやすい方」の例として高齢者、糖尿病、心不全、呼吸器疾患（COPD等）等の基礎疾患がある方や透析を受けている方、免疫抑制剤や抗がん剤等を用いている方、をあげている。[11]また、株式会社JMDCによって、新型コロナの重症化の関連のあるリスクファクターとして糖尿病、肥満、喫煙、高血圧があげられており、特に糖尿病については重症化リスクが3.4倍に上昇した、という結果が示されている。（表3-1）これらのことから、COVID-19の影響により今まで以上に、健康に対し人々の関心が向けられていることが予想され、リスクファクターを改善する商品を提供できれば多くの人々が抱える不安の解消に寄与できると云える [12][13]。

表 3-1. 各リスクファクターと新型コロナ重症化の関連

糖尿病	重症化リスクは3.4倍に上昇 (P値 <0.001)
糖尿病治療薬の服薬者。対照群は非服薬者。	
肥 満	重症化リスクは1.8倍に上昇 (P値 0.013)
体格指数(BMI)が25以上。対照群はBMI 18.5~24.9の普通体重。	
喫 煙	重症化リスクは1.6倍に上昇 (P値 0.042)
喫煙指数(1日の喫煙本数×喫煙年数)400以上。対照群は喫煙指数0~399。	
高血圧	重症化リスクは1.6倍に上昇 (P値 0.007)
高血圧治療薬の服薬者。対照群は非服薬者。	

3-2 企業イメージアップのために

海藻を用いたバイオエタノールの生産を推挙する理由は、環境にやさしいエタノールの生産により油脂産業の企業のイメージをアップすることが、消費者に選ばれるモノづくりを行う上で有効であると考えためである。

近年の消費意識は大きく変化している。自然環境に対する人々の関心は過去5年間で著しく上昇し、持続可能な商品の需要は71%も増加したことが、WWFの報告によりわかっている[14]。また、化粧品業界では、生物多様性の保全に配慮した原料調達に取り組む企業が、2016年から2020年にかけて45%増加している[14]。このように今後のB to C企業は、消費者に選ばれるために、環境配慮の姿勢がその商品を通じて見えるモノづくりへとシフトしていく必要があるだろう。

ところで、バイオ燃料は、カーボンニュートラルという観点から大気中のCO₂を増やさない燃料として期待されている反面、コスト面や食糧とのバランスが懸念点として挙げられる。実際に、アメリカではトウモロコシの全生産量37,000万トンのうち38%にあたる14,000万トンが[15]、ブラジルではサトウキビの全生産量58,000万トン(砂糖換算)のうち66%にあたる38,000万トンがエタノール生産のために使用されており[16]、これらは農地を食糧用の用途から奪うことで、間接的に環境破壊につながっていることも危惧される。その点、海藻由来のバイオエタノールであれ

ば、農地を奪わず、さらに海を浄化しながら生産できるため、植物由来のバイオエタノールを生産する以上の環境配慮活動として消費者への訴求につながられると考える。

本論文では、「健康志向に沿った海藻由来の有効成分の抽出と提供」および「海藻を用いたバイオエタノールの生産によるイメージアップ」をかなえるものとしてアカモクという海藻に着目した。

第4章 アカモクの魅力

今回ソリューションとして着目したアカモクには多くのメリットがある一方で、一年生の海藻であるが故に年毎の生育量の変動が大きく、そのことが安定生産や販路を拡大するための障害となってきた[17]。しかし、養殖環境が整い、資源管理を行われることで安定供給が見込めると考える。以降ではアカモクの魅力とさらに後述のアカモク由来の有効成分についての機能を紹介することで、第5章の提案において、なぜアカモクが有利であるかを証明する。

4-1 アカモクとは

アカモクはヒバマタ目ホンダワラ科の褐藻であり、生体の長さは1mから大きいものでは10mもの長さにも及ぶ[17]。東部を除く北海道、本州、四国、九州、と国内での分布域は広い。成熟期は一般的に冬～春季である。秋田県では「ギバサ」、山形県では「銀葉藻（ギンバソウ）」、新潟県では「長藻（ナガモ）」と呼び食用とされている。

4-2 提案におけるアカモクのメリット

①褐藻類特有のCO₂吸収能の高さ：アカモクは1年で全長10m程度に成長する例もあり、非常に成長速度が早い。これは養殖面においても、CO₂吸収効率の高さという面においても有利である。

②資源量ポテンシャルの高さと収穫時期の多様さ：分布域が全国的であり、資源量のポテンシャルが高い。また収穫時期が2～3月、4月、5月に成熟する3タイプがあり[18]、さらには瀬戸内海では春に成熟する個体群と秋に成熟する個体群が見られる[19]など、収穫時期を分けることができる。

③バイオエタノール生産に必要なアルギン酸の配合量の多さ・季節変動の少なさ：多糖類であるアルギン酸は褐藻に多く含まれている。またアカモクについてはコンブなどと比較してアルギン酸含有量の季節変動が少なく[20]、安定的に確保できるという点で有利である。

④油溶性有効成分であるフコキサンチンの配合量の多さ：油溶性有効成分のフコキサンチンは褐藻に多く含まれている。特にアカモクは、ワカメやコンブと比較しても非常に多いことが分かっている [21]。

⑤藻場形成におけるメリット：アカモクをはじめとするホンダワラ類は、主枝が多数に枝分かれし、食害により短くなってもそこから再生できる。すなわち、魚の食圧の強い晩夏～初冬は根（付着器）のみとなって過ごし、魚の食圧が弱くなる冬から成長が始まる生態的特性を有し、魚の食害の強い場所でも再生産が可能となる[22]。また成長・成熟すると流れ藻となって海面を漂い広範囲を移動することができる。この特色によりアラメ・カジメ類に比べて種の供給範囲が広いというメリットがある[22]。

これらの特色は将来的に養殖だけでなく、天然の資源量も増やしやすいう点で有利である。また、先述のように、流れ藻が最終的に海底泥中に沈降すれば、長期間にわたってCO₂を海底に貯留する効果も期待できる。

4-3 フコキサンチンの魅力

アカモクに多く含まれているフコキサンチンは、炭素数 40 のイソプレノイド構造を骨格とするテトラテルペン類で、自然界に 600 種類余り存在するカロテノイドの一つである [23]。また以降に記載するように、メカニズムを含めて抗肥満作用と抗糖尿病作用が証明されている。

4-3-1 フコキサンチンの抗肥満作用に対する知見

脂肪組織には白色脂肪組織 (WAT) と褐色脂肪組織 (BAT) が存在し、それぞれ異なった機能を有する。WAT は過剰に摂取したカロリーを脂質として溜め込む役割を持つ。この WAT が増加した状態が肥満である。一方、BAT は脂肪を分解し熱を産出することで体温を保持すると共に、余分なカロリーを消費する組織である。この効果は BAT のミトコンドリア内膜に特異的に存在する脱共役タンパク質 (UCP1) によるものである。マウスを用いた実験では、コントロール群の WAT では UCP1 の発現が見られないのに対し、フコキサンチン投与群において UCP1 蛋白質が確認された。また、その発現量もフコキサンチンの投与濃度依存的に増加した。(図4-1) 以上のようにフコキサンチンは、WAT 中において UCP1 発現を介した抗肥満作用を示すことが明らかにされている。また、白人肥満者を対象にした実験でも 2.4 mg/日のフコキサンチンの摂取で体重・体脂肪・肝臓脂質・血液脂質について減少が見られる (図4-2) など、人体でも知見が得られている [24]。

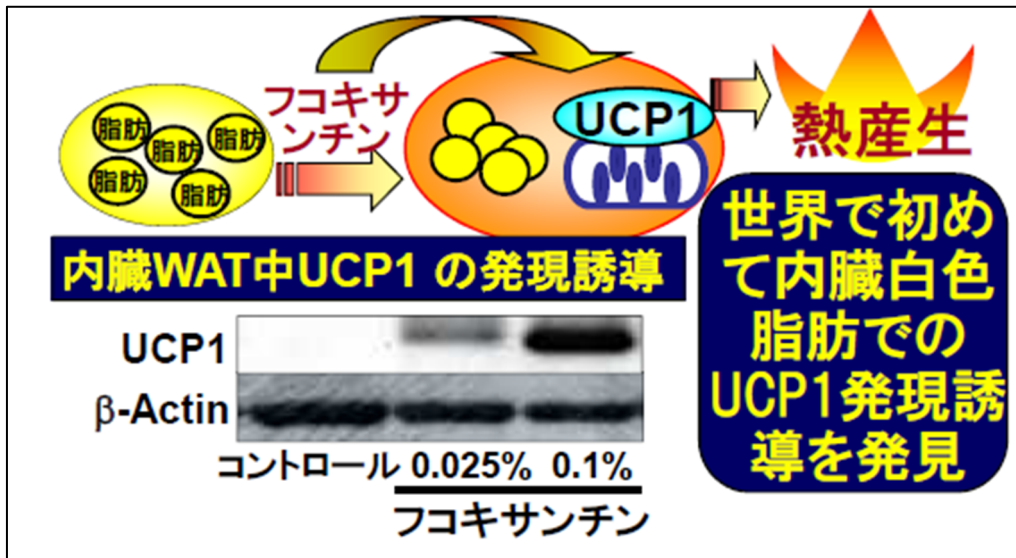


図 4-1. フコキシサンチンの抗肥満作用メカニズム

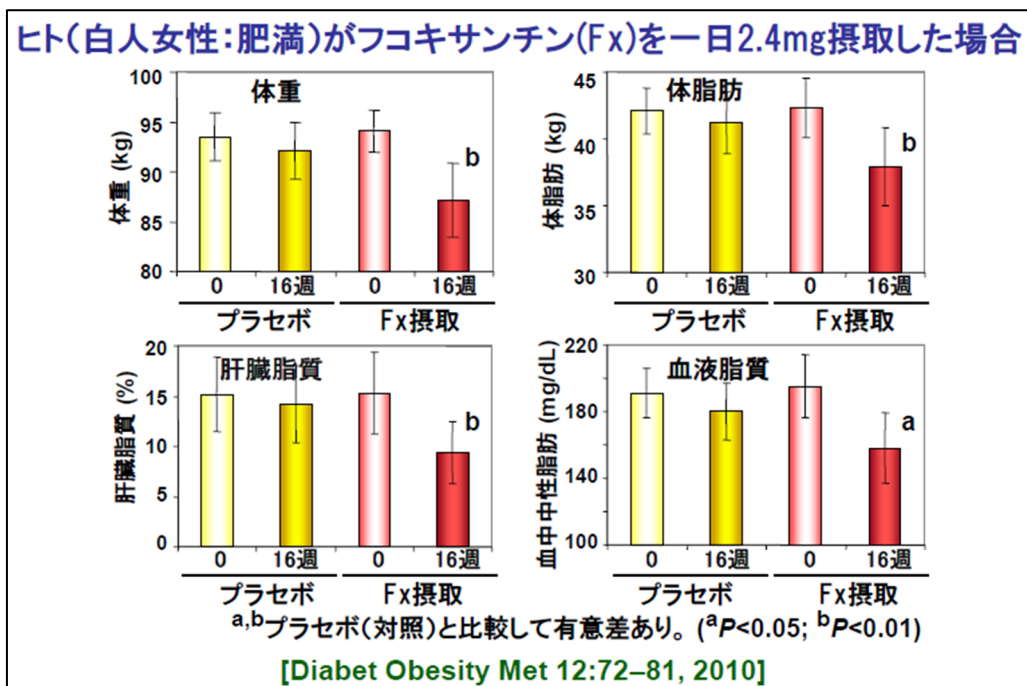


図 4-2. ヒトでのフコキシサンチンの抗肥満効果

4-3-2 フコキサンチンの抗糖尿病作用に対する知見

フコキサンチンの糖尿病病態マウスへの投与実験では、コントロールと比較して、血糖値の有意な減少が認められた。(図4-3) この際、血糖値上昇関連アディポサイトカイン(脂肪細胞から分泌される生理活性物質)の分泌低下も起こり、さらに、筋肉細胞中のグルコーストランスポーター(GLUT)の発現と筋肉細胞膜へのトランスロケーションが増大した。GLUTは、グルコースの代謝を行う上で重要な生体因子であり、II型糖尿病ではこの活性が低下している。フコキサンチンによるGLUT遺伝子発現の向上は、フコキサンチンによる糖代謝の促進効果を示している。

このようにフコキサンチンは、インシュリン抵抗性に関わるアディポサイトカインの分泌抑制と、グルコースの代謝促進作用の二つの側面から糖尿病のリスクを軽減することが明らかにされている。(図4-4) [25]

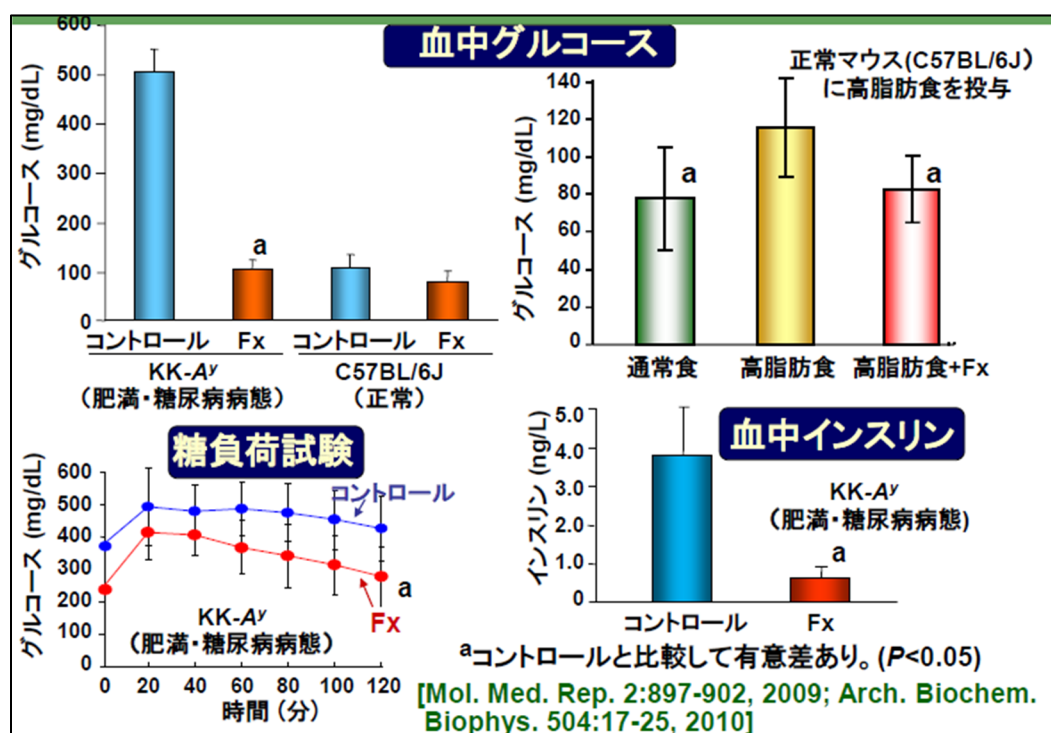


図 4-3. マウスでのフコキサンチンの抗糖尿病効果

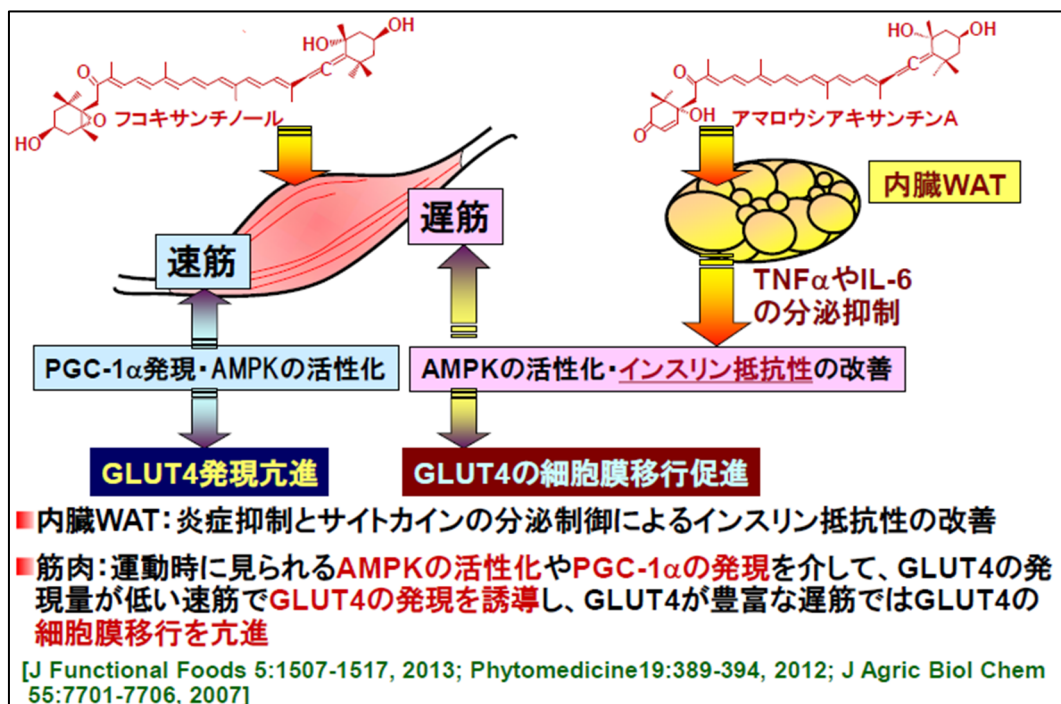


図4-4. フコキサンチンの抗糖尿病作用のメカニズム

第5章 アカモクを用いた一気通貫ビジネスの提案

本章では、提案Ⅰにてアカモクの養殖方法を、提案Ⅱにてフコキサンチン配合オイルを生産しサプリメントとしての販売まで、提案Ⅲでは提案Ⅱのフコキサンチン抽出後のアカモク残渣を用いたバイオエタノール生産についての提案を行う。さらに提案Ⅰ～Ⅲを一気通貫で一つのビジネスとして行い、(図5-1) その場合のコストと経済性評価とCO₂の吸収量を試算する。さらにその他の波及効果についても言及する。

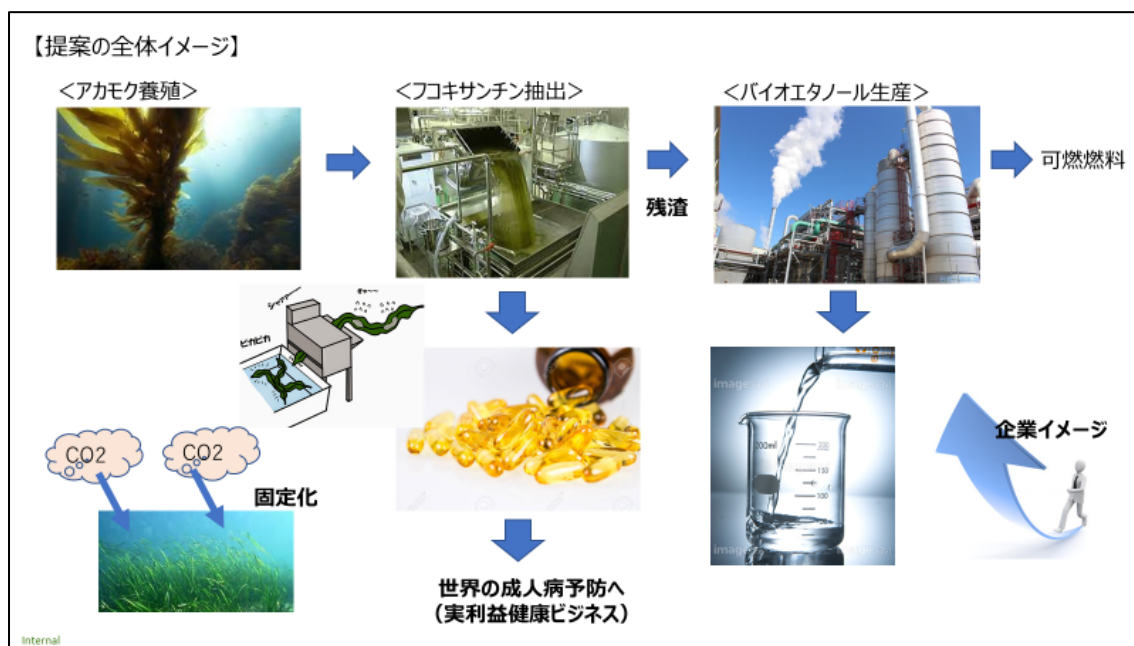


図 5-1. 提案全容のイメージ図

5-1 提案Ⅰ：アカモク養殖の推進

アカモクの養殖については、京都府が特許を取得している海藻種苗の生産方法を活用することとする[18]。この特許技術を施した種苗を用いて、養殖をおこなうが、養殖施設自身はコンブやワカメ養殖に使用されているものと同じものを用いることができる。種苗をつけたロープ(50 m)を張り、ブイ、アンカーで固定化したものを1基として、アカモクは種苗設置から約4か月で750 kgの収穫量を得ることができる。1基あたり90分/1人で容易に収穫できる特徴を生かし、年間に3度の育成、収穫(2.2トン/基)を目指したいと考えている。

本来アカモクは種から育成まで1年かかる海藻であるが、最も時間がかかるのは培養を含めた種苗生産の8か月間である。一方、海における本養殖期間は前述した通り4か月であることから、本養殖時期に合わせて五月雨式の種苗生産を室内で行うことによって、年3度の収穫を実現するスケジュールが可能となる。上述のようにアカモクは分布域が広く、比較的水温変動にも高い適応性があることや、瀬戸内海では春に成熟する個体群と秋に成熟する個体群が見られる事から、適切な個体群の選定により年間3度の収穫が実現可能であると考えている。

1つ懸念として京都府の種苗生産特許があるが、種苗生産の特許を所持している京都府の「農林水産技術センター海洋センター」のなかで一手に種苗育成を依頼し、それを買い取り、全国に配送する形をとることで、京都府に利益が落ちるようにする。種苗育成規模次第では、海洋センターに追加投資いただき、種苗単価にのせていただくことで対応したい。

5-2 提案Ⅱ：アカモクを用いたフコキサンチンサプリメントの生産

上述のようにアカモクに含まれるフコキサンチンは日々の摂取により、抗肥満・抗糖尿病の効が見込める。しかし海藻特有の風味や食感は食品としての価値はあるものの、飽きや調理の手間を考えると日々の食事に取り入れ続けるのは現実的ではない。そのため我々はサプリメントという形でフコキサンチンを安定的に供給したいと考えている。

アカモクからのフコキサンチンの効果的な抽出方法として、北海道大学大学院水産科学研究院の「脂溶性機能成分を低コストで容易に抽出する方法」[25]を参考にする。本法はアカモクを粉末素材とした後、食用の油分にて一定時間加温するというものであり、従来の抽出法（有機溶媒により機能性脂質成分を抽出する方法）と比較すると、有機溶媒の完全な除去や、目的成分への精製と安全性試験といった工程を省けることがメリットとして考えられる。

中鎖脂肪酸トリアシルグリセロール（以下MCT）を用いると、カロテノイドが効率よく抽出できたという知見から、MCTをフコキサンチンの抽出に用いる。またMCT自体も心疾患予防、抗肥満、脳機能改善といった生理作用が

報告されており、今回提案するサプリメントの訴求（抗肥満・抗糖尿病）に対してもポジティブにはたらくことが予想される。

アカモクをボイル洗浄・乾燥後に粉砕することで、150 μm 以下程度の大きさに粉末化し、MCTにて40～70℃の温度で12～36時間抽出する。（粉末化時サイズを150～250 μm とすると抽出効率は半減してしまう。また抽出温度は20℃～80℃のうち40～70℃の温度帯での抽出が効率的であることが分かっている。）

以上の条件で抽出を行うと、アカモク粉末1.0 gに対し0.8 mg以上の効率でフコキサンチンを抽出することができる。2.4 mg/日のフコキサンチンの摂取で抗肥満効果が見られることから、1日の摂取量を2.4 mgとしてサプリメントを設計する。カプセル状にした際の飲みやすさからも、1粒約1 gのMCTカプセル（0.8 mgのフコキサンチン含有）を1日3錠服用するものとして商品化する。

5-3 提案Ⅲ：アカモクを用いたバイオエタノールの生産

バイオエタノールの生産について陸上バイオマスと海藻を比較すると、多くのメリットがある。単位面積当たりのCO₂吸収量は農産物の3～7倍、森林の約8倍にも及ぶ。また生産条件についても海藻では、日光、CO₂、海水だけでの生産が可能である。さらに農産物は食糧と競合するのに対し、海藻は穀物のようなエネルギー源という意味では食糧との競合はない。

一方で、海藻を用いたバイオエタノール生産は収益性・効率の面で課題があり、未だ事業化に至った例はない。今回は提案Ⅱの有効成分により収益を確保したうえで、アカモク残渣によるバイオエタノールの生産・商品化により企業のイメージアップにつなげ、さらに採算性も確保するためのアイデアを提案する。

5-3-1 アカモク残渣を使用したエタノールの生産方法

提案Ⅱにてフコキサンチンを抽出したアカモク残渣を用いたバイオエタノールの生産方法を紹介する。株式会社キミカの抽出方法を参考にする[26]。提案Ⅱにてすでに粉砕され、MCTに浸漬されたアカモク残渣を使用

するため、スタート時の粉碎作業を省略することができる。そこに水、炭酸ナトリウムを加えイオン交換により水溶性のアルギン酸ナトリウムを藻体外へ抽出する。その後抽出液からアルギン酸ナトリウムと海藻成分を分け、ろ過してアルギン酸ナトリウム水溶液を得る。そしてろ液中のアルギン酸ナトリウムに酸を加え、不溶性のアルギン酸として凝固析出させる。アカモクからは 26.7~34.1 g (乾燥藻体 100 g あたり) のアルギン酸が精製できる [20]。

5-3-2 アルギン酸からバイオエタノールを生産する方法

アルギン酸からのバイオエタノール生産の方法は京都大農学研究科の例を参考とする[27]。アカモク残渣から採取したアルギン酸を、スフィンゴモナス属細菌 A1 株と呼ばれる細菌とともに培養する。ラボスケールでは 1L の培養液に対し 13 g のエタノールが 72 時間の培養時間で得られている。上記の方法にてアルギン酸 1 kg あたりからは 250 g 精製することができる。実際にアカモク粉末からのエタノール生産を試算すると以下のようになる。1 kg のアカモク粉末をフコキサンチンの抽出に使用し、残渣は 900 g とする(ロスを見越しても残渣が 90%回収できると仮定)。アカモクの乾燥藻体 100 g に対し 30 g 程度のアルギン酸が得られる為、残渣から 270 g のアルギン酸が得られる。さらにそこから得られるエタノール量は 67.5 g (80 mL) と算出される。

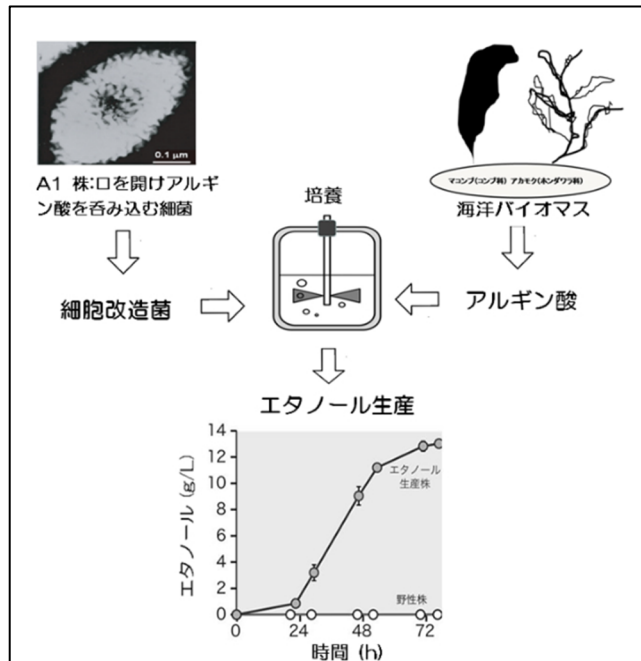


図 5-2. アルギン酸からのエタノール生産

5-3-3 海藻由来のバイオエタノールのブランド化

上述のように海藻からのバイオエタノールの生産は収率に課題があり（900 g のアカモク残渣から 80 mL）従来のバイオエタノールと同等の金額では採算性は確保できない。そこで、環境配慮活動をおしだして商品化することで、人々の消費意識に訴えかけることが有効であると考えられる。

アイディアとしては、バイオエタノールよりさらに環境に優しい（農地を使用しない・効率よく CO₂ を吸収する・海の浄化に貢献する）というイメージをのせて「シーバイオエタノール（海のバイオエタノール）」としてブランド化をはかる。そして藻場による CO₂ 吸収・海の浄化に対する支援金の寄付というかたちで企業がシーバイオエタノールを購入することで、利益は取れないまでも採算性を確保するものとしたい。

購入した企業はさわやかな海のイメージと CO₂ 吸収・海の浄化活動という謳い文句を商品（化粧品や日用品など）にのせて販売することができ、シーバイオエタノールは、企業イメージ向上に寄与すると考えられる。

5-4 提案Ⅰ～Ⅲの一気通貫ビジネスの経済性評価

提案Ⅰ～Ⅲの内容を一覧にまとめると以下のようになる。(図5-3)
 ここからは一気通貫ビジネスのコストと収益の試算により本提案の経済性を評価する。

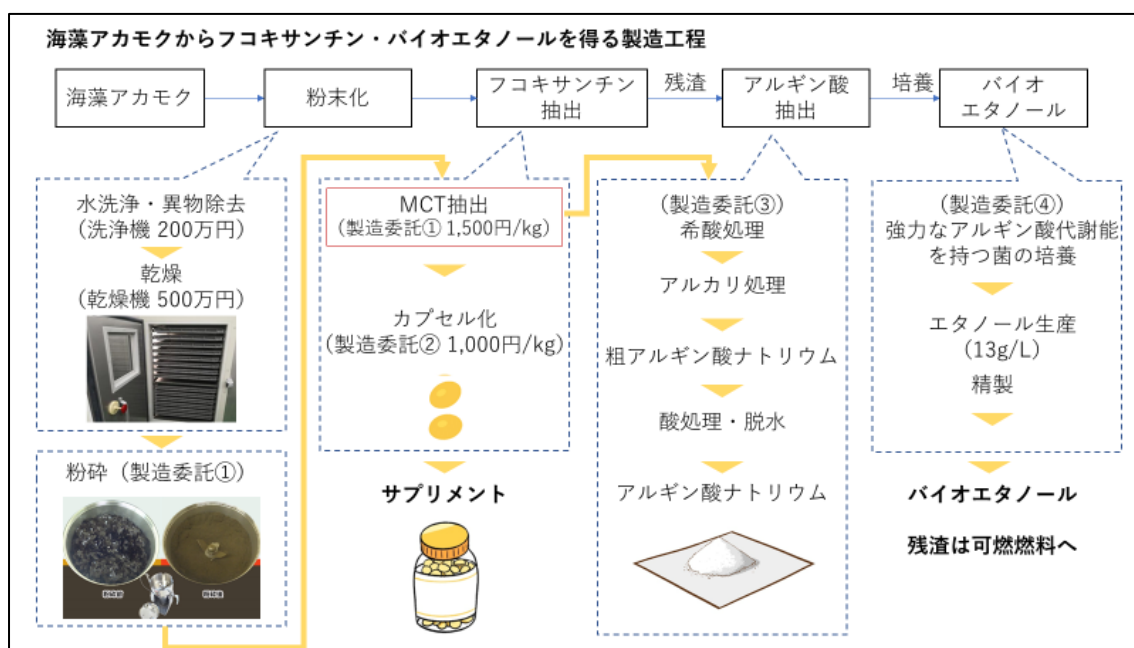


図5-3. アカモクからフコキサンチン・バイオエタノールを得る製造工程

5-4-1 一気通貫ビジネスのコスト

アカモク養殖からフコキサンチンを得るまでに初年度の総費用は約20,400万円がかかる。その内訳は以下の通りである。

アカモク養殖部分の初年度コストは前述した通り、10箇所(5基×10)と仮定すると、2,550万円が必要であり、加えて輸送費を極力最小化するためには、藻場拠点での洗浄・乾燥が求められ、洗浄、乾燥装置(約700万円/基)を各拠点に配置するため、設備ふくめて初期投資として併せて約10,000万円が必要となる。

人件費としては、効率的に作業ができるように2、3箇所をかためて設置すると仮定しても12名(約500万円/年・人)で年間6,000万円かかる。

乾燥物(収穫量の10%)を抽出メーカーに持ち込み、アカモクからフコキサンチンを抽出する際のコストは、アカモクの運送費、粉砕、抽出加工費込みで1500円/kgとして3,300万円、加えてMCTの原料費1,100万円がかかる。なお、MCT量は0.8mgのフコキサンチンに対し1.0gを使用することから、22トンのMCT量が必要であり、MCT単価を500円/kgと試算する。

一方、環境ビジネスとして抽出物油を含んだアカモク粉末残渣からバイオエタノールを得るスキームにかかる費用としては、現段階では技術が汎用化していないことから、一旦2,000円/kgの費用がかかる仮定すると4,400万円が初年度総費用の20,400万円に加えて必要となる。

5-4-2 一気通貫ビジネスの収益

提案Ⅱについて、アカモクは養殖の初年度で約220トンものアカモクを収穫でき、乾燥重量にすると22トンもの乾燥粉末が得られる。この乾燥粉末からMCTを用いることにより、1gのアカモクの粉末から、0.8mgのフコキサンチンが抽出できるため、年間17.6kgのフコキサンチンを抽出することができる。フコキサンチンの市場価値はその健康志向の高まりか、10mgあたり400円から1,700円[28]で販売されており、既存品の中でも低価格帯の、10mgあたり400円での販売を行ったとしても、年間70,400万円もの収入につなげることができる。さらに、抽出に使用するMCT自体の心疾患予防、抗肥満、脳機能改善といった生理機能をおし出すことで他製品との差別化ができれば、10mgあたり1,000円以上で販売し、年間176,000万円以上の収入も期待できる。

提案Ⅲのアカモク残渣を用いたバイオエタノール生産については、CO₂吸収・海の浄化活動を謳い、企業のイメージアップ効果を第一優先とする。そのうえで、採算性がとれる程度の値段を想定しているため、コスト設定時においた2,000円/kgの価格を目安に販売を行うと、コストと同等の4,400万円の収入となる。

今回の一気通貫ビジネス全体について、初年度でコスト 24,800 万円に対し、収益は 74,800 万円見込むことができ、十分採算性の高いビジネスになると評価できる。

5-5 提案 I ～ III の一気通貫ビジネスの CO₂吸収量へのインパクト試算

アカモク養殖による CO₂吸収量を、炭素含有量から算出する。純粋なアカモクの炭素含有量については知見が限られていたため、同じ褐藻綱ヒバマタ目ホンダワラ科に属するエゾノネジモクという海藻の値を参考にす。エゾノネジモクの炭素含有量は乾重量に対し 36.7% [29] であり、今回提案した養殖では乾重量で年間 22 トンのアカモクの生産量が見込めることから、炭素量で換算すると、年間 8 トンもの炭素を吸収していることとなる。さらにこれを CO₂ に換算すると、年間 29.6 トンもの CO₂ を吸収していることとなる。さらに 5 年後に養殖規模を 10 倍に拡大できれば 296 トンもの CO₂ の吸収が期待できる。

これは 1 ヘクタールの 36～40 年生のスギ人工林 33 か所分以上の年間 CO₂ 吸収に相当する。(36～40 年生のスギ人工林 1 ヘクタール 1 年間に吸収する CO₂ 量は約 8.8 トン [30])

さらに残渣を用いたバイオエタノールは年間 1,760 L の精製が見込める。これを消費した場合の排出 CO₂ 量を理論値で算出すると、ガソリン 1 L の消費に対し 2,360 g、1,760 L にして 4,153 kg もの CO₂ が排出される。カーボンニュートラルの考え方から、約 4 トンもの新規 CO₂ の排出を抑えることとなる。さらに 5 年後に 10 倍量のバイオエタノール生産を行うと、40 トンもの新規 CO₂ の排出を抑えることができる。

5-6 提案Ⅰ～Ⅲの波及効果

油脂産業がアカモクを有効利用することで、海藻養殖を増やすことによって、ブルーカーボンに着目し海域にCO₂を固定化し、温室効果ガス削減に貢献することを提案した。また、養殖が盛んに行われる波及効果として、アカモクの利用価値が高まることで、コンブのように資源管理が積極的に行われること、また、養殖時に流れ藻によって種が拡散することで、藻場が増加していくことが期待できる。さらに藻場は海洋生物の隠れ家になることから、海洋生物の資源量の増加も期待できる。

今回の提案では有効成分の商品化により世界中の多くのひとの健康に貢献できるフコキサンチンをこれまでより安価に安定的に提供できる目途を立てることができた。これは糖尿病・肥満といった成人病の減少・予防に寄与するものであり、特にコロナ禍において人々の不安を和らげるものとして貢献するであろう。

また、海藻由来のバイオエタノールをブランド化し、商品の購入が、藻場形成活動の支援となるスキームを作ることで企業のイメージアップが見込める。

実はこれ以外にも波及効果があると考えている。それはコロナ禍で職を失った方への働き口の提供である。今回提案した養殖場では、1か所あたり3名程度の雇用を生み出し、これが将来何倍にでもなれば一定の効果は得られると云える。日本は海に恵まれた島国であることから、全国に本活動を広げることができるのも、本活動を活発化させる要素になると考える。

おわりに

今回の提案ではアカモクに着目したが、アカモクだけでなく種々の海藻についても、栄養面や機能性の面での期待は大きいと考える。本論文では、有効成分により健康志向のニーズへ応えることや、海藻由来のバイオエタノールを生産して企業のイメージアップにつなげることなど、海藻の有効活用の可能性を見出すことができた。今回の提案のように、油脂産業が積極的に海藻を活用するという構図がたくさん生まれることで、積極的な海藻養殖や資源管理につながり、ひいては日本の海の周りが「世界の肺」と呼ばれるほどの、豊かな藻場であふれるような未来がくることを願っている。

そして、浅海域で多くのCO₂が吸収されることで、地球温暖化が緩和され、世界人口がピークに達すると予想されている100年～300年後の世代に起きるであろう気温上昇や異常気象による被害を少しでも抑えることに貢献できればこれ以上はない喜びである。

参考文献

- [1] 環境省 “令和2年度環境省温室効果ガス排出量算定方法検討会（第1回）”
http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg-mrv/committee/r02/material/ref_02-6.pdf
- [2] AFP BB News “アマゾン熱帯雨林、CO2 排出が吸収上回る 研究論文”
<https://www.afpbb.com/articles/-/3344860>
- [3] 国土交通省 気象庁 “温室効果ガスの種類”
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/chishiki_ondanka/p04.html
- [4] 環境省 “2019年度（令和元年度）の温室効果ガス排出量（確報値）について”
<https://www.env.go.jp/press/109480.html>
- [5] 国土交通省 “ブルーカーボンとは”
https://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_tk6_000069.html
- [6] NPO 法人 国際環境経済研究所 “ブルーカーボンとは”
<https://ieei.or.jp/2019/05/special201608027/>
- [7] 西日本新聞 “ブルーカーボンで温暖化防止”
<https://www.nishinippon.co.jp/item/n/488314/>
- [8] 堀正和・桑江朝比呂,ブルーカーボン 浅海における CO₂隔離・貯留とその活用,93,2017-06
- [9] 水産庁 “藻場の働きと現状”
https://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/tamenteki/kaisetu/moba/moba_genjou/
- [10] 水産庁 “藻場資源消滅防止対策ガイドライン”
https://www.jfa.maff.go.jp/j/gyoko_gyozyo/g_hourei/pdf/sub7941.pdf
- [11] 厚生労働省 “国民の皆さまへ 関連情報（（新型コロナウイルス感染症）”
https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000121431_00094.html
- [12] 糖尿病ネットワーク
“【新型コロナ】糖尿病があると新型コロナの重症化リスクは3.4倍に上昇”
<https://dm-net.co.jp/calendar/2021/035971.php>
- [13] 株式会社 JMDC “医療データに対して機械学習を用いてコロナ重症化リスクを解析”
<https://www.jmdc.co.jp/news/news20210709/>

- [14] WWF ジャパン “持続可能な消費に対する消費者の需要が 71%増加”
<https://www.wwf.or.jp/activities/lib/4623.html>
- [15] USDA ホームページ USDA Feed Grains Database
- [16] USDA ホームページ USDA Economic Research Service
- [17] 京都府 “アカモク種苗生産・養殖技術の開発”
<http://www.fishexp.hro.or.jp/cont/jochokai/conference/hioc3b0000001eho-att/6-2KaichoushouKyouto.pdf>
- [18] 京都府農林水産技術センター海洋センター “季報 第 109 号 海藻アカモクの養殖技術”
<https://www.pref.kyoto.jp/kaiyo/documents/kiho109-3.pdf>
- [19] 近藤裕介ら, 褐藻類アカモクの着生状態と流れ藻の間の動物群集の比較,
広島大学総合博物館研究報告 Bulletin of the Hiroshima University Museum
11: 7-13, 2019-12
- [20] 木村太郎ら, 福岡県大島産アカモク *Sargassum horneri* 中に含まれる多糖類
の季節変動 日本水産学会誌, 739-744, 2007-3
- [21] 宮下和夫, 褐藻色素フコキサンチンの機能性と有効活用, 第 2 回アグリ技術セミナー:
東京 2014 年 12 月 12 日
- [22] 気候変動適応情報プラットフォーム (A-PLAT) ”水温化・魚の食害 VS 藻場造成!
地域に適した藻場回復に向けて”
https://adaptation-platform.nies.go.jp/articles/case_study/vol12_nagasaki.html
- [23] 金沢 和樹, 技術用語解説 フコキサンチン
https://www.jstage.jst.go.jp/article/nskkk/55/4/55_4_194/_article/-char/ja/
- [24] 西川翔ら, 褐藻由来フコキサンチンの抗肥満・抗糖尿病効果とその機序
https://katosei.jsbba.or.jp/download_pdf.php?aid=635
- [25] 宮下和夫, 脂溶性機能成分を低コストで容易に抽出する方法, 新技術説明会
https://shingi.jst.go.jp/var/rev0/0000/7941/2018_hokudai_2.pdf
- [26] 株式会社キミカ アルギン酸の製造プロセス
<https://www.kimica.jp/alginate/process/>
- [27] 京都大学 海洋バイオマスからバイオエタノール生産
https://www.kyoto-u.ac.jp/static/ja/news_data/h/h1/news6/2011/110428_1.htm

[28] 株式会社フジヘルスプランニング

https://acelead.jp/lp/fucoxanthin_choice.html?gclid=EAIaIQobChMI4ay-6tGk8wIVkDMqCh2sDg17EAAYASAAEgLnk_D_BwE

[29] 海区水産業研究部資源培養研究室

“三陸沿岸の藻場における炭素吸収量把握の試み”

表 2 藻場タイプ別各種データおよび三陸沿岸における推定年間生産量

<http://tnfri.fra.affrc.go.jp/tnf/news65/muraoka2.htm>

[30] 林野庁 森林はどのぐらいの量の二酸化炭素を吸収しているの？

https://www.rinya.maff.go.jp/j/sin_riyou/ondanka/20141113_topics2_2.html

令和4年2月21日

〒103-0027 東京都中央区日本橋三丁目13番11号

一般財団法人 油脂工業会館

☎東京03(3271)4307 (代表)

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