

秋季藻類シンポジウム(2004. 11. 26) 「海藻産業の海外事情－現状と展望－」要旨

笠原文善：アルギン酸の原料事情～チリ沿岸の資源調査と中国の実情～

1. はじめに

アルギン酸は、コンブ、ワカメに代表される褐藻類から抽出される高分子多糖類である。世界のアルギン酸市場はおおよそ30,000～35,000トン/年と推定され、うち2割が食品用途に消費される。その他8割は医薬品、化粧品、繊維染色、水産、畜産、農業、鉄鋼、建築、製紙、排水処理など幅広い分野で利用されており、特に繊維染色用(捺染用糊料)として利用されるものが半数以上を占めている。食品以外の用途が圧倒的に多いというのは、海藻由来のハイドロコロイドの中でもアルギン酸独特のものと言える。

本講演ではアルギン酸について簡単な紹介をするとともに、その原料となる海藻の現状についていくつか事例を挙げて解説したい。なお、以下単に「アルギン」と呼ぶ場合は、アルギン酸、アルギン酸塩、アルギン酸エステルを含めたアルギン酸関連製品一般の総称とご理解いただきたい。

2. アルギン酸の構造と特徴

アルギン酸は、マンヌロン酸(M)とグルロン酸(G)という2種類のウロン酸が直鎖状に重合したポリマーである。重合度の大小は水溶液の粘性を左右し、MとGの量比(M/G比)およびその配列は、ゲル化したときの性質に大きな影響を及ぼす。

アルギン酸は水に不溶であるが、Na⁺などの一価金属とイオン交換して塩をつくると水溶性になる。アルギン酸塩の水溶液は、他の天然ガム質に比べ極めてなめらかな流動性を示す特徴を持つ。

この水溶液にCa²⁺などの多価金属イオンを加えると、瞬時にイオン交換して不溶性の塩をつくる。このときCa²⁺イオンの量と添加方法を適切にコントロールすることで、良好なゲルを形成することができる。寒天やカラギーナンなど、加熱・冷却によってゲル化する多糖類と異なり、アルギンのゲル化はCa²⁺によるイオン架橋によって行われる。この反応には加熱も冷却も必要なく、任意の温度条件下で進行させることができる。また得られたゲルは加熱・冷却しても溶解しない、熱不可逆性のゲルとなる。

さらに、アルギン酸にプロピレングリコール基を導入した、アルギン酸エステルという誘導体も食品用途で広く用いられている。アルギン酸エステルは、通常アルギン酸塩を溶解することができない低pHあるいは高Caの条件でも水溶性を維持できるため、ドレッシングや果汁飲料のような酸性食品、あるいは乳製品のような高Caの食品に対する増粘・安定剤として活発に利用されている。

3. アルギン酸の製造工程

アルギン酸を海藻から抽出する工程は、アルギン酸がイオ

ン交換によって水溶性へ、あるいは不溶性へと変化する独特の性質を最大限に利用して行われる。

天然の海藻の中で、アルギンは海水に含まれる様々なミネラルとイオン交換し、塩を作って存在している。その大半はCa塩のような水に溶けない塩をつくり、ゼリー状になって細胞間隙を充填しながら、海藻のしなやかなボディを支える役割を果たしている。このアルギンを海藻の組織の外へ抽出するためには、Na⁺でイオン交換させてCa²⁺によるイオン架橋を解き、水溶性のNa塩に置換してやればよい。

Na塩へのイオン交換で十分に抽出を進めた後、抽出液をろ過して海藻の組織とアルギンを分別する。ろ過については様々な方法が考案され、各メーカーそれぞれにノウハウを積み重ねているが、いずれの場合も非常に粘度の高い液体をろ過することになるため、ろ過の前に大量の水を加えて希釈し、粘度を落とす工程が必要である。

続いて、ろ過によって得られたろ液に酸あるいはCaを加えてアルギンを再び不溶化させ、析出した固形分を取り出す。海外メーカーではCa凝固法、日本国内では酸凝固法が使われることが多い。いずれの方法でも凝固析出させたものは粘性のないパルプ状になり、容易に脱水することができる。

こうして得られたパルプ状のアルギンを元に、再びイオン交換を行い、あるいは洗浄したりエステル化反応を行ったりして、アルギン酸ナトリウムやアルギン酸エステルなどに加工し、最終的には乾燥・粉碎した粉末として製品化されている。

4. アルギンの原料海藻

上述の通り、アルギンの原料は褐藻類である。褐藻の中には生長力が旺盛で、短期間で巨大な藻体に生長するものが多くあり、工業原料として大変望ましい性質を持つ天然資源と言える。こうした褐藻類は、各大陸の海岸線で寒流の流れる地域を中心に広く分布しているが、工業的なアルギン酸製造原料として利用するためには、いくつかの条件を満たす必要がある。

1) アルギン酸含有量: 海藻中のアルギン酸含有量は、海藻の種類によって様々である。マコンブでは約30%、チリの*Lessonia*で約40%、タスマニアの*Durvillea*には60%ものアルギン酸が含まれている(いずれも乾燥藻体換算)。生産性の面からは、なるべく含有量の高い方が経済的である。

2) 種の均一性: アルギンのM/G比は海藻の種類によって異なり、種が同じであればM/G比の個体差は小さい。M/G比の違いはアルギンの物性に大きく影響するため、一定品質のアルギンを生産し続けるためには、特定の海藻だけを選んで使用することが必要となる。したがって同じ種類でまとまって、大量に群生するような海藻が理想的である。



図1 中国のコンブ養殖

3) 採集, 乾燥の容易さ: 原料海藻のコストは, 最終製品(アルギン)の採算性に大きく影響する。海藻のコストを抑えるためには, 容易に採集でき, また安価に乾燥できることが必要である。収穫地が, 海藻を腐敗させることなく天日乾燥できるような気候条件であることが望ましい。

4) 物流手段: いかに素晴らしい資源が存在しても, これを流通させる手段がなければ宝の持ち腐れになってしまう。適切なコストで, きちんと輸送できる物流が整っていることが不可欠である。

このような条件を満たし, 現在アルギン製造原料として利用されている代表的な海藻として, 次のようなものが挙げられる。

- 南米(チリ)の *Lessonia*
- 米国西海岸の *Macrocystis*
- 南アフリカの *Ecklonia*
- 豪タスマニアの *Durvillea*
- 北欧の *Ascophyllum*
- 中国の養殖コンブ

これらの海藻資源は, 世界のアルギンメーカー各社がそれぞれの立地条件から最も経済的で利用しやすいものを選んで利用している。その中で, いま南米チリ産の *Lessonia* は世界中のアルギンメーカーが注目する重要な原料海藻となっている。

表1 中国における養殖コンブ生産量

年	万トン
1985	25.38
1986	20.34
1987	17.89
1988	21.64
1989	27.29
1990	24.43
1991	35.67
1992	49.41
1993	60.19
1994	73.39
1995	64.45

(真道 2002)

チリは南米大陸の西岸に位置し, 長大な海岸線を持つ国で, 沿岸を北上する寒流(フンボルト海流)の恩恵により, 広い範囲に大量の褐藻類が繁殖している。チリ北部は砂漠地帯であり, 雨の降らない乾燥した気候のため, 採取した海藻は浜辺に引き上げておくだけで容易に天日乾燥することができる。海藻の加工や SHIPPING などのルートも確立しており, アルギンの原料海藻としては理想的な条件がそろっている。

このように, 安定した品質の海藻が安価に入手できることから, 今日では世界のアルギンメーカーがチリから海藻を輸入して利用する動きを強めている。当社のアルギン原料も, 現在はほとんどがチリからの輸入品である。

一方, 中国ではコンブの養殖がさかんに行われており, およそ半数が食用, 残り半分が中国国内のアルギンメーカーで使用されるアルギン原料として消費されている。

これら海藻資源の中で, 特に目立った動きを見せている事例を以下に紹介する。

5. 中国のコンブ養殖

中国におけるコンブ養殖は, 20世紀初頭に日本の養殖技術を導入するかたちで始まった。30年以上の長きにわたって試行錯誤を重ねながら人工養殖技術の開発が続けられ, 1960年代から本格的な大量生産が行われるようになった。現在, コンブの養殖は渤海湾沿岸の山東省, 遼寧省を中心に行われている(図1)。

中国の統計データによれば, 養殖コンブの生産量は1990年頃まで年間20~30万トンで推移していたが, その後年々増加する傾向にある。1995年には年間生産量65万トンに達し, 今や世界最大のコンブ生産国に成長している。生産されたコンブはアルギン原料のみならず, 食用として, またヨードやマンニトールの原料としても, 重要な経済資源となっている(表1)。

この養殖コンブの生産に, 今年は大きな異変が生じた。もともと中国のコンブ養殖では生産量と市場価格が安定しにくく, 年間数万トンという規模で生産量が上下する。通常こうした変動は経済的な理由による場合が多く, 生産過剰による価格低下と, 不作による価格高騰を繰り返してきた。

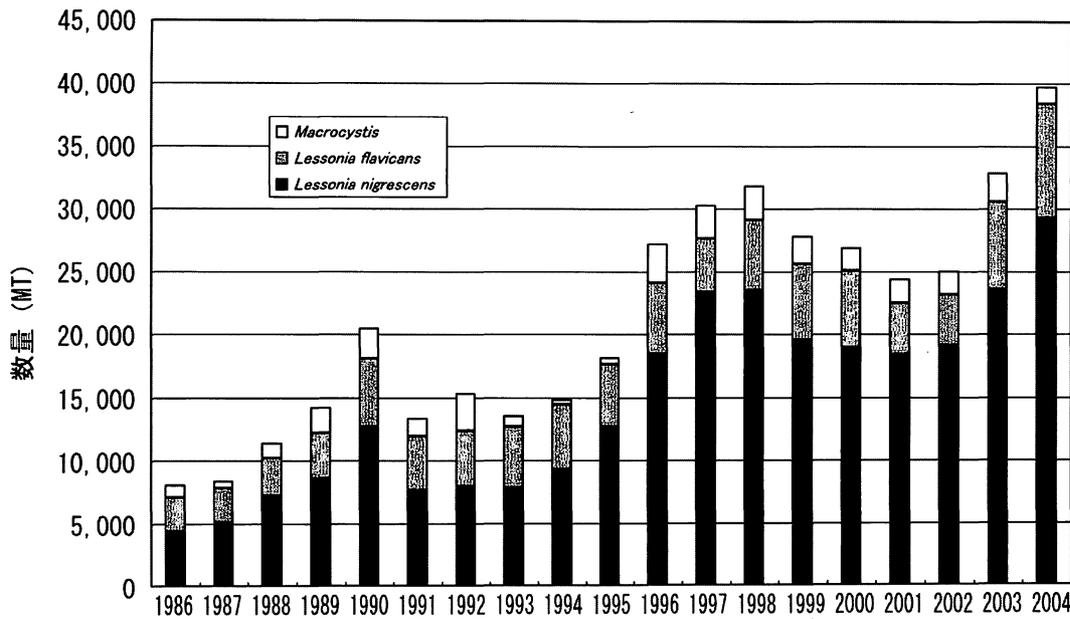


図2 チリ海藻輸出量

ところが今年はそれだけにとどまらず、天候不順が大きく影響して近年にない大不作を招いている。中国養殖コンブの主要生産地と言われる山東省の榮成地区で、収穫の最盛期である6月以降およそ2ヶ月にわたって雨や曇りの日が続き、天日に干していたコンブの大半が腐敗してしまうという異常事態が発生したのである。この地区での被害が与える影響は大きく、中国養殖コンブの総生産量を約20%減少させるものと

見積もられている。この大規模な減産により、中国養殖コンブの市場価格は例年にない高騰を見せている。

また中国全体の生活水準が向上し、中国国内での加工食品の需要も急激に伸びている。これに伴ってアルギンのアプリケーションも増え、使用量が増加してきた。この時期にコンブの不足と価格高騰が重なったことから、中国のアルギンメーカー各社は海外の原料海藻、とりわけチリ海藻を手当する動きを急速に強めている。



図3 チリ地図。(Krisle 1997)

6. チリ海藻資源

中国からの海藻買い付けは、チリ海藻資源に少なからぬ影響を及ぼしている。

チリ海藻輸出は1980年代から本格化し、以後20年近くの間、日本と欧米を中心に年間20,000トン前後の輸出を行って来た(図2)。チリ海岸での海藻の収穫は、十分に生長した個体が波浪などで離岸し、浜に漂着したものだけを拾い集めるという方式が基本であり、人為的な刈り取りを行わないため、エル・ニーニョのような気象要因を除けば海藻資源はさぶる安定で、環境への影響も少ない、良好なサイクルができていた。

チリからの海藻輸出量は年々増加傾向にあるものの、20,000~30,000トン/年という量であれば十分安定供給できるだけの資源を有すると見られている。

ところが、ここ数年中国から10,000トン/年を超える大量の海藻買い付けが始まり、チリの安定的な資源量を上回る勢いで輸出が行われるようになった。不足を補うために浜では漁民が海に入って海藻を刈り取るようになり、その結果沿岸の海藻が減少し、大きな個体が育ちにくくなっている。

チリではウニやアワビ(ロコ貝)など、海藻食性の魚介類も重要な輸出産品であり、海藻の減少はこうした海産物の生産にも大きな打撃となる。この事態を憂慮したチリの漁業庁

は、海藻の刈り取りを禁止し、あるいは採取制限を設けるような動きを見せ始めた。

資源保護の観点から、近い将来チリでの海藻採取に対して何らかの規制がかかる可能性は高いが、これに先立って我々チリの海藻の輸出入に関わる企業が主体となり、客観的な資源量を把握すべく、地元カトリカ大学 (Universidad Catolica Del Norte) の調査グループに委託し、海藻の資源量調査を実施した。

チリは南北に細長く伸びた独特の地形をもつ国で、国内は12の州に区分されている (図3)。アルギン原料として輸出量の大半を占める *Lessonia nigrescens* は、第三州と第四州の沿岸を中心に繁殖しているが、潮間帯に生育するため乱獲されやすく、ここ数年でかなり数が減ったと言われている。今回の調査で、第三州と第四州に56,000トンを超える *L. nigrescens* が生育していることが確認され、これが順調に生長すれば需要を十分賄えるだけの量が収穫できるという予想が立てられた。しかし、調査チームの Dr. Vasquez によれば今の段階ではまだ発育不十分な若い個体が多く、これが十分に育って離岸と漂着が始まるには、来年3月まで手を着けるべきではないとの見解である。これを待たずに刈り取るようなことが行われると、収穫期には十分な海藻が得られないことになり、次世代の再生も困難になるなど、将来の海藻資源への悪影響が懸念される。

また、同じくアルギン原藻として輸出される *Lessonia flavicans* も第三州と第四州に多く繁茂している。水深の深いところに分布していることもあり、今回の調査では *L. nigrescens* より一桁多い、80万トンを超える現存量が報告されている。資源的には問題ないようであるが、自然に離岸し漂着するものが少ないため、今後潜水して機械的に収穫する

ような業者が増えるものと予想される。地元で海藻売買を産業とする漁民の生活を考慮すると、一概に禁漁を強制することもできないというのが行政の実状のようであるが、生態系に悪影響を与えないような計画的採取が望まれる。

7. おわりに

天候不順による養殖コンブ不作に端を発した海藻市場の混乱は、今後もしばらく継続すると見込まれている。チリのアルギン資源を保護するという観点から、海藻を利用する各社は現状の無秩序な乱獲を反省し、計画的採取のサイクルを取り戻すための具体的なアクションを模索する時期に来ている。定量的な調査データに基づく客観的な判断を踏まえ、さらに国際的な協調や協議も含めて、早急に対策を打たねばならない。

また同時に、利用度の低い他の海藻資源を再評価したり、あるいは海藻の増養殖を推進するなど、既存の価値観にとらわれない柔軟な考え方で、アルギン原料海藻を総合的に見直していくことも必要になるだろう。アルギンという有益な素材を将来にわたって安定的に供給し、発展させていくためには、自然環境との共存が不可欠である。海藻資源の計画的かつ有効な利用について、引き続き積極的な取り組みを進めていきたい。

参考文献

- 1) 笠原文善・宮島千尋. 2004. アルギン酸 その特性と産業への展開. 大野正夫編: 有用海藻誌, 440-454, 内田老鶴圃.
- 2) 真道重明. 2002. 統計から見た中国の水産業. 養殖, 11
- 3) Krisler Alveal. The seaweed resources of Chile. Critchly A. T. & M. Ohno 1997. Seaweed resources of the world. p.347, JICA
- 4) 中国統計年鑑. 2003.

(株式会社キミカ)