

1. はじめに

石油は 20 世紀の文明を支えてきたと言っても過言ではないが、その重要性が高まる一方で、資源として可能性は枯渇を目前とするに至り、これに替わる新たなエネルギー源を早急に確保することが求められている、その中で、原子力を別にすれば、原油高騰或いは地球温暖化の対策として、トウモロコシ、大豆、アブラナ、アブラヤシ、ナンヨウアブラギリ（ジャトロファ）等を原料としたバイオマスエネルギーが注目を集め、特に熱帯地域での新たな耕作地の確保等が論じられている。これらの中には、荒れ地や乾燥にも強く、砂漠緑化や産業の乏しい地域での雇用対策が期待されるものもあり、また高い油分を含有し、しかも成長が早いことから、航空機や自動車のバイオディーゼル燃料としての切り札とも期待されている。しかし、これらの多くは重要な食用作物でもあり、食料生産との競合、特に生産国における食糧不足を招くと批判も生じている。さらに、これらの主たる生産地での新たな耕作地の確保のために、熱帯多雨林の破壊がさらに進んでいる。これらの熱帯多雨林は、熱帯地球温暖化の防止にとって大きな役割を果たし、生物多様性の宝庫でもあり、その将来的な利用価値を考えれば、人類にとって保全すべき貴重な財産と考えられるものである。

このようなバイオマスエネルギー源として考えられているものの中で、我々のごく身近な池沼等に生育する緑藻類、藍藻類等の植物プランクトンも注目されている。これらは、細胞中に多量の炭化水素、つまり石油を作り出すものがあり、これを大量培養することで、石油を取り出そうとするものである。その代表種は緑藻類のボトリオコッカス ブラウニー（*Botryococcus braunii* Kutzing）といい、石油成分を有することはすでに 1800 年代にドイツで報告されていた。今日まで、石油を取り出す研究が本格化しなかったのは、今日のような資源の枯渇が現実的ではなく、また化石資源が容易に得られるものであったことにつきて。

また、我国ではこの種の国内の分布が明らかになったのは、筆者が「本報湖沼の富栄養化の現状」を雑誌『水』に 30 年余りにわたって連載したが、この中に各地の植物プランクトンの出現種として記載したことによるものである。その分類学的位置付けについても緑藻類、或いは黄緑色藻類とする等、現在でも研究者によって諸説があり、さらに顕微鏡下で出現しても、慣れた研究者以外には藻類というよりもむしろ塵と判別され、今日でも見落とされている例が少なくない。

今日、我国においても何人かの研究者が、大量培養についての研究を行っており、渡邊信筑波大教授(生命環境科学)等の本種を使った燃料生産プラントの実用化に向けた研究等が大きな成果をあげている。

今回、筆者は三重県北勢地域を中心として、これらの地域の溜池、ダム等におけるボトリオコッカスの分布状況と、石油成分を多く含んだ培養に適した株を探すことを目的に調査を実施した。

さらに、この中で比較的良好と思われた試料については、実験室において培養を試みた。

2. 方法

三重県北勢地域に点在する溜池において、ボトリオコッカスの分布を確認するために口径 22cm、NXX16 番製のプランクトンネットを用い、水平曳網採集によって試料を集めた。

採集された試料は、生のまま持ち帰り本種の出現の有無を確認した。

また、出現が確認された試料の中で、本種の群体が比較的大きく、量的にも多く、さらに顕微鏡下の観察で群体周辺に認められる油球が大きく、はっきりしたものを取り出して、培養液に移し約 1 ヶ月間の培養を行った。

培養に用いた培地は *ch*u 培地で、これに産出した溜池の池水をろ過滅菌したものを適宜加えて使用した。

3. 結果及び考察

(1) 出現状況

調査した三重県北勢地域の溜池は合計 102 か所であるが、この内でボトリオコッカスの出現が確認された池沼は 35 か所で、34.3%に達した。調査対象とした溜池では、2 月から 3 月（冬春期）と 8 月から 9 月（夏期）のほぼ 2 季を調査時期に区分されるが、両方の調査時期に共通して認められたのは 1 か所（中溜）にすぎない。

また、出現した池沼の中で、29 か所は 2 月から 3 月（冬春期）の低水温期に確認され、表層を曳網して採集されたものであった。この時の植物プランクトンの優占種は、渦鞭毛藻類である *Ceratium hirundinella* であったものが最も多く（8 か所）、これに珪藻類の代表的な浮遊性種である *Fragilaria crotonensis*（7 か所）、緑藻類の *Staurastrum dorsidentiferum* var. *ornatum*（1 か所）、*Asterionella formosa*（1 か所）であり、10 池沼は特に優占するような種は認められなかった。また、ボトリオコッカスが優占種或いは亜優占種となったり、比較的出现頻度が高かった池沼はなく、この地域においては量的には比較的小さい種といえる。

夏期の出現状況はボトリオコッカスは少なく、出現した 7 か所の全てにおいて藍藻類の *Microcystis aeruginosa* 或いは *Microcystis wesenbergii* が優占しており、4 か所では『水の華』の形成が認められた。これらの藍藻類の出現は、冬春期にボト

リオコッカスが出現した 29 か所の全てで認められ、その中の 11 か所では『水の華』の形成が認められた。

このことは、ボトリオコッカスが栄養塩に富んだ富栄養水域を好む緑藻類であることが認められるが、水温については高水温が必ずしも必要条件には成っていないことを示唆している。ただ、高水温時には *Microcystis* が大増殖しており、しかも *Microcystis* にとっては、夏期の池水表面が光条件としても良好な生育環境であることが知られるが、これに生育場所或いは栄養塩等を取られてしまい、生育できないことで高水温時期を避けているように見えることも考えられる。

この水温のことは、ボトリオコッカスの中で、現在注目されている *B. braunii* ではなく、その近縁種に *B. protuberans*, 或いは *B. sudetica* 等という種が知られているが、これらの種の国内の分布は筆者の調査によると、山形県、秋田県、青森県、北海道等で特に多く、優占種となる例もあり、さらに他の地域では冬期の記録が主で、低水温を好むのではないかと考えられる。

渡邊信教授等の研究では、沖縄県の溜池産の株が培養によいとされている。しかし筆者は、沖縄県での知見を多く持たないが、鹿児島県、宮崎県の湖沼での調査でも 1 月の採集試料に比較的多く出現したことを確認しており、従来いわれているような比較的高い水温条件を必ずしも必要としないのではないかと考えられる。

(2) 培養実験

現在国内で行われているボトリオコッカスの培養は、培地に栄養塩に富んだ下水等の生活排水を加えたものが知られ、渡邊信教授等の研究では約 35 日の培養で乾燥重量にして約 400 mg/l まで増加したことが報告されている。

今回、筆者が冬春期と夏期に出現が確認され、顕微鏡下の観察でも群体の周囲に比較的大きな油球を有していた中溜の試料について、培養を試みた。

今回の培養実験では、35 日の培養では 270mg/l が最大量であり、必ずしも良好な結果とは言い難いが、幾つかの知見を得ることができた。それは、水温条件を 8、20、35 の 3 つについて行ったが、20 のみが増殖し、8 では増加せず、35 では小型の緑藻類（属種名不明の円形細胞）が大増殖し、ボトリオコッカスは増加しなかった。このことは、夏期の高水温時に本種がほとんど認められなかったこととも一致する結果であり、培養実験では *Microcystis* ではなく緑藻類の小型種ではあったが、他の種との競争には比較的弱いことを想起させる結果であった。

また、培地にろ過し滅菌した池水を 3 分の 2、2 分の 1、3 分の 1、加えないものの 4 つについて検討したが、池水の加えた量が多いものから順に増殖量が多く、池水を加えていないものはほとんど増加が認められなかった。このことは、ボトリオコッカスが高い栄養塩濃度を必要とし、下水を始めとする生活排水を用いた実験が有効であることを裏付ける結果であった。

今回の実験では、増殖量から見て有効利用するまでにはなお一層の検討が必要であるが、三重県における将来的な利用の可能性を考えると次のような結果が得られる。

渡邊信教授等が得た実験値を基にすると、ポトリオコッカスの石油精製量は1 ha 当たり47～140 tとされている。これを、現在三重県にある休耕田（耕地面積の統計にある水田面積と米の統計にある水稲作付け面積の差から算出）が平成18年では15,800haで、年々減少傾向にあるが、ここに水を張り培養をしたとすると742,600～2,212,000 tが得られる計算になる。現在の休耕田の現状を考えると、すでに水を張って利用できるような環境にないものも少なくないことから、実際にはこの最大値を実現することは容易ではないが、休耕田以外にも、養魚池、防火用水、また米国やインドの実験施設で見られるようなジグザグに曲げたビニールチューブ等を用いる方法、さらには年間複数回の収穫が可能と考えられることから、これらを考慮することで、さらに大きな生産を期待することが可能と考えている。

さらに、ポトリオコッカスを始め、炭化水素を有する植物プランクトンを用いて有効利用しようとする試みの多くは、重油なり軽油なり、目的の油分を取りだして化石燃料の替わりにしようとするものであり、それを否定するものではないが、最大で乾燥重量の約70%の重油成分を有することを考えれば、それを抽出するのではなく、脱水或いは乾燥によって、そのまま燃料用としての開発を行っても有効ではないかと考えている。少なくとも、現在の問題点の一つに抽出の困難さ、或いは採算の難しさがあり、脱水と乾燥のみであれば、すでにアオコや汚泥において培った知見と技術が集積されており、応用はそれほど難しくないとと思われる。

北勢地域の池沼のボトリオコッカスの冬春期 及び 夏期の出現状況 1

	池沼名	冬春期	夏期	優占種	湖沼型	
四 日 市 市	伊坂ダム	少ない		<i>Fragilaria crotonensis</i>	中栄養	
	伊坂ダム南の小池 1	少ない		<i>Fragilaria crotonensis</i>	中栄養	
	伊坂ダム南の小池 2	少ない		特になし	富栄養	
	長池	少ない		特になし	富栄養	
	裏池	少ない		特になし	富栄養	
	山村ダム	少ない		<i>Staurostrum dorsidentiferum</i> var. <i>ornatum</i>	中栄養	
	山村ダム西の池	少ない		<i>Ceratium hirundinella</i>	中栄養	
	明治池		少ない	<i>Microcystis aeruginosa</i>	富栄養	
	樋口池	少ない		<i>Ceratium hirundinella</i>	中栄養	
	保々溜池	少ない		<i>Ceratium hirundinella</i>	中栄養	
	土取池	少ない		特になし	富栄養	
	大矢知中溜	普通		<i>Ceratium hirundinella</i>	中栄養	
				少ない	<i>Microcystis wesenbergii</i>	富栄養
	大矢知の小池 1	少ない		<i>Ceratium hirundinella</i>	中栄養	
	垂坂調整池	少ない		<i>Ceratium hirundinella</i>	中栄養	
池の谷	少ない		特になし	富栄養		

北勢地域の池沼のボトリオコッカスの冬春期 及び 夏期の出現状況 2

	池沼名	冬春期	夏期	優占種	湖沼型
四日市市	野沢御池	少ない		特になし	富栄養
	新池	少ない		<i>Ceratium hirundinella</i>	中栄養
	中谷池	少ない		<i>Fragilaria crotonensis</i>	中栄養
	市場溜	少ない		<i>Fragilaria crotonensis</i>	中栄養
	弁天池	少ない		<i>Ceratium hirundinella</i>	中栄養
	弁天下池	少ない		<i>Ceratium hirundinella</i>	中栄養
いなべ市	畑新田溜	少ない		<i>Asterionella formosa</i>	中栄養
	長溜		少ない	<i>Microcystis aeruginosa</i>	富栄養
	喜蔵池		少ない	<i>Microcystis aeruginosa</i>	富栄養
	員弁大池	少ない		<i>Fragilaria crotonensis</i>	中栄養
	中里ダム	少ない		<i>Fragilaria crotonensis</i>	中栄養
鈴鹿市	石垣池		少ない	<i>Microcystis aeruginosa</i>	富栄養
	山上池		少ない	<i>Microcystis aeruginosa</i>	富栄養
	ザル池	少ない		特になし	富栄養
	奈良池	少ない		特になし	富栄養
	浄土池	少ない		特になし	富栄養

北勢地域の池沼のボトリオコッカスの冬春期 及び 夏期の出現状況 3

	池沼名	冬春期	夏期	優占種	湖沼型
多度町	名称不明	少ない		<i>Ceratium hirundinella</i>	富栄養
	名称不明	少ない		特になし	富栄養
亀山市	名称不明		少ない	<i>Microcystis wesenbergii</i>	富栄養
	名称不明	少ない		<i>Fragilaria crotonensis</i>	中栄養