

## 福井県若狭湾海岸から取得した球状藻類の特性について

高山 勝己\*, 上山 遼大, 後反 克典  
福井工業高等専門学校 物質工学科 (〒916-8507 福井県鯖江市下司町)  
\*takayama@fukui-nct.ac.jp

## Characteristics of Spherical Algae Collected from the Coastal Area of Wakasa Bay, Fukui Prefecture

Katsumi TAKAYAMA, Ryota UEYAMA and Katsunori GOTAN  
Department of Chemistry & Biology Engineering, National Institute of Technology, Fukui College  
(Geshi-cho, Sabae 916-8507, Japan)

(Received January 16, 2026; Accepted February 20, 2026)

### Abstract

Algae that grow in a spherical form were isolated from the coastal area of the Ogawa district in Wakasa Town, Mikata-Kaminaka County, Fukui Prefecture. The spherical algae are estimated to be a species closely related to *Ulvella leptochaete*. They grow to approximately 5–10 mm in diameter, are soft and elastic overall, have a smooth green surface, and possess a small cavity and ring-like structures resembling growth rings in the center. Optimal growth conditions were observed when cultured in Daigo IMK artificial seawater medium at a temperature of 20 °C, pH 7.9, under white light with an intensity of about PPF 50  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ , and at a 2% NaCl concentration. A comparison of the mineral content of spherical algae with that of wakame seaweed (*Undaria pinnatifida*) revealed that the former contains higher levels of potassium, calcium, and magnesium.

**Keywords:** Spherical algae, *Ulvella leptochaete*, Marine environment

### 1. はじめに

我々は福井県内の海域からの微細藻類のスクリーニングを行ってきた。その過程で福井県若狭町小川地区海岸(図 1(a))から単離した微細藻類の中に、適当な条件で培養すると成長に伴い直径数ミリ程度の球体に成長するものを発見した(図 1(b))。現時点で、福井県立大学・海洋資源学部・吉川伸哉教授 による 18s rDNA 解析及び光学顕微鏡を用いた形態観察(図 1(c))さらに関連文献[1-4]の精査によって、*Ulvella leptochaete* の近縁種であると推定されている。

そこで我々は、この球状藻類の増殖特性(pH, 温度, 光強度, 光周期, 塩分濃度の影響)と成分組成(炭水化物, 灰分, タンパク質, 水分含有量等)について分析を実施することに

した。

### 2. 実験

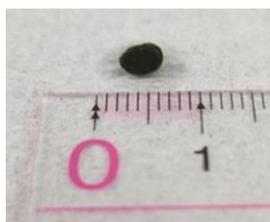
#### 2.1 最適生育条件の検討

培地は市販のダイゴ人工海水調整粉末 SP (塩谷エムエス(株)) 36 gと、ダイゴ IMK 培地(塩谷エムエス(株)) 0.252 g を蒸留水 1 L に溶解して作成した(組成を付録 1 に示す)。培地の pH, 温度, 光強度, 光周期, 塩分濃度, そしてリン添加等による増殖に対する影響を以下の要領で検討した。

培地の pH, 温度, 光強度, 光周期, 塩分濃度, そしてリン添加等による増殖に対する影響を以下の要領で検討した。



(a)



(b)



(c)

図1 球状藻類の取得場所とその観察像  
(a) 採種地点, (b) 実物写真, (c) 顕微鏡写真

### 2.1.1 pHの増殖への影響調査

pHの増殖への影響は、培地のpHを1N HClまたは1N NaOHいずれかを用いて4.9, 5.9, 6.9, 7.9, 8.9に調整し、温度20℃、光強度PPFD 46  $\mu$  mol/m<sup>2</sup>sに固定して比較した。

### 2.1.2 温度の増殖への影響調査

温度の増殖への影響は、20℃、25℃、30℃で比較した。pHは7.9、光の強度はPPFD 46  $\mu$  mol/m<sup>2</sup>sに固定した。

### 2.1.3 光強度の増殖への影響調査

光強度の増殖に対する影響は、PPFD 9, 18, 46, 109  $\mu$  mol/m<sup>2</sup>sの4つの強度で比較した。pHは7.9、温度は20℃に固定した。

### 2.1.4 塩分濃度の増殖への影響調査

塩分濃度の増殖に対する影響は、人工海水に含まれるNaCl濃度を2, 4, 6, 8, 10 wt%に調整して比較した。なお0%の場合は溶媒として蒸留水を用いた。pHは7.9、温度は20℃、光強度はPPFD 46  $\mu$  mol/m<sup>2</sup>sに固定した。

### 2.1.5 リン添加の増殖への影響調査

リン添加の増殖への影響は、基礎培地に含まれるリン濃度を10倍に(IMK培地100 mlに対してNa<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 1.4 mgとK<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 5.0 mgを添加)したとき、増殖に対する影響を検討

した。pHは7.9、温度は20℃、光強度はPPFD 46  $\mu$  mol/m<sup>2</sup>sに固定した。

### 2.1.6 光照射明暗サイクルの増殖への影響調査

光照射パターンの増殖に対する効果を調べるために、12 hr明暗サイクル(12 hr D/L)と24 hr連続光照射(24 hr L)を比較した。培地のpHは7.9、温度は20℃、光強度はPPFD 46  $\mu$  mol/m<sup>2</sup>sに固定した。

## 2.2 増殖曲線の作成

増殖曲線の作成は、500 ml三角フラスコに培地を100 ml注入し(5:1)、2.1で得られた最適培養条件下で、増殖が肉眼で観察され始めてから定常状態となるまでの間、3~4 dayごとに、球状藻類をポリエチレン網ふるい(83メッシュ×64メッシュ)を用いて回収し、湿重量を測定し、再び培地に戻すという要領で、増殖曲線(時間-球状藻類湿重量)を作成した。

## 2.3 球状藻類中に含まれる各種成分分析

球状藻類に含まれる成分分析は、最適培養条件下において定常状態まで培養したものをポリエチレン網ふるい(83メッシュ×64メッシュ)で回収し、炭水化物含有率(セルロース換算)、水分含有率、灰分含有率、タンパク質含有率、各種元素分析測定を以下の方法により行った。

### 2.3.1 水分含有率の測定

水分含有率は、食品分析法に記載の常圧加熱乾燥法に基づいて下記に示した方法で見積もった[5]。

まず水分含有率測定は、秤量びん(恒量(W<sub>0</sub>(g)))に球状藻類を入れ秤量(W<sub>1</sub>(g))した。これを105℃で2hr乾燥した。この操作を恒量(W<sub>2</sub>(g))になるまで繰り返した。水分含有率は下式で求めた。

$$\text{水分含有率 [wt\%]} = ((W_1 - W_2) / (W_1 - W_0)) \times 100$$

### 2.3.2 炭水化物含有率測定

炭水化物含有率(セルロース換算)は 30 ml バイアル瓶に乾燥球状藻類 25mg をとり、濃硫酸 250 μl 加え、恒温槽で 30℃、1 hr インキュベートした(10 min 経過ごとにボルテックス処理)。その後、蒸留水 7.0 ml を加えて、121℃で 1 hr オートクレーブを行った。オートクレーブ終了後、リトマス試験紙を用いて、おおよそ中和が確認されるまで炭酸カルシウムを適量添加した。5,000 rpm、10 min、25℃で遠心分離後、ピペッターを用いて上清を回収した。上清に含まれるグルコースをムタロターゼ・GOD キット(富士フィルム和光純薬、ラボアッセイ TM グルコース)を使用し見積もった。測定キットのプロトコルを以下に示した。

まず 96 穴ウェルプレートの各ウェルに発色試薬 150 μl 添加した。各ウェルに測定サンプル上清 1 μl または検量線作成用として濃度 50~500 mg/dl のグルコース標準液 1 μl を添加して、37℃で 5 min インキュベートした。マイクロプレートリーダーを用いて、505 nm の吸光度を測定し、上清中に含まれるグルコース濃度を得られた検量線から見積もった。菌体の炭水化物含有率を下式に代入して算出した。

$$\text{グルコース含有率 [wt\%]} = ((\text{グルコース濃度 [mg/mL]} \times 7 [\text{mL}]) / (\text{乾燥球状藻類重量 [mg]})) \times 100$$

$$\text{炭水化物含有率 [wt\%]} = \text{グルコース含有率 [wt\%]} \times 162.14/180.2$$

### 2.3.3 タンパク質含有率測定

窒素含有率は、Dumas Nitrogen Analyzers(VELP Scientifica 製, NDA701)を用いて改良デュマ法[6]により測定を行った。なお分析はすべて食品加工研究所にサンプルを移譲し委託した。窒素含有率の測定値に 6.25 を乗じてタンパク質含有率とした[7]。

### 2.3.4 灰分含有率測定

灰分含有率は、食品分析法に記載の乾式灰化法に従った[7]。恒量 (W<sub>0</sub> (g)) のるつぼに、乾燥球状藻類をいれ、

秤量 (W<sub>1</sub> (g)) した。これを 200℃で予備炭化してから 550℃で 5 hr 灼熱し、30 min 放冷した。さらに 550℃で 2 hr 灼熱し、30 min 放冷し秤量する操作を恒量 (W<sub>2</sub> (g)) に到達するまで繰り返し、灰分含有率を下式で求めた。

$$\text{灰分含有率 [wt\%]} = ((W_1 - W_2) / (W_1 - W_0)) \times 100$$

### 3.3.5 元素分析測定

原子吸光光度法を用いて球状藻類の含有元素分析を行った。測定装置は原子吸光分光光度計 (SHIMADZU, AA-7000) を用いた。

乾燥球状藻類を木槌で細かく粉砕した。粉砕藻類サンプル 100 mg に、濃 HNO<sub>3</sub> 8 ml と H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 2 ml を加えて、マイクロ波装置 (Perkin Elmer 製, Titan MPS) を用いて分解した。分解溶液に 0.1M HNO<sub>3</sub> を加えて 500 または 5,000 倍まで希釈し、Na, K, Mg, Fe, Ca の 5 元素を測定した。各元素の測定波長は、Na : 589.0 nm, K : 766.5 nm, Mg : 285.2 nm, Fe : 248.3 nm, Ca : 422.7 nm で行った。

## 3. 結果と考察

### 3.1 最適生育条件の検討結果

最適生育条件の検討結果を以下に示した。全ての図中のデータは平均値と標準誤差を示した。

#### 3.1.1 pHの増殖への影響

図2に球状藻類の増殖に及ぼす培地の pH の影響を調べた結果を示した。球状藻類の最適 pH は海水と同じ約 8.0 付近にあることが分かった[8]。ここで培養温度は 20℃、光強度は PPFD 46 μmol/m<sup>2</sup>s、NaCl 濃度は 2 % である。

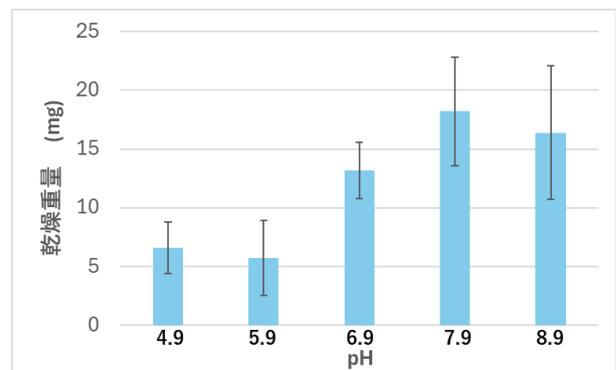


図2 増殖に及ぼす pH 効果 (n=5)

### 3.1.2 温度の増殖への影響

図3に球状藻類の増殖に及ぼす培地の温度の影響を調べた結果を示した。最適培養温度は20℃付近であることが分かった。ここで、pH 7.9, 光強度は PPFD 46  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ , NaCl 濃度は 2 %であり、一般的な温帯性の海洋藻類の最適温度に一致した[9]。

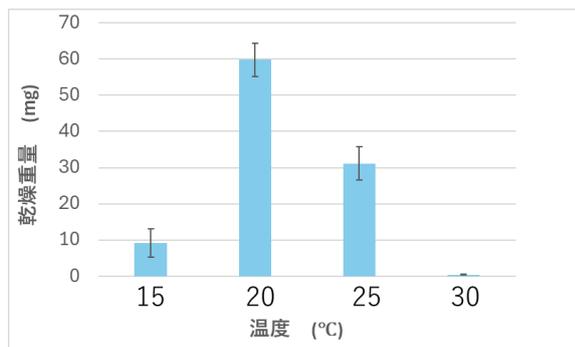


図3 増殖に及ぼす温度効果 (n=5)

### 3.1.3 光照射強度の増殖に対する影響

図4に球状藻類の増殖に及ぼす光強度の効果を調べた結果を示した。光強度の最適強度は、表層型微細藻類の培養に十分な中光条件である PPFD 50  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$  付近であることが分かった。培養温度は 20℃, pH 7.9, NaCl 濃度は 2 %である。

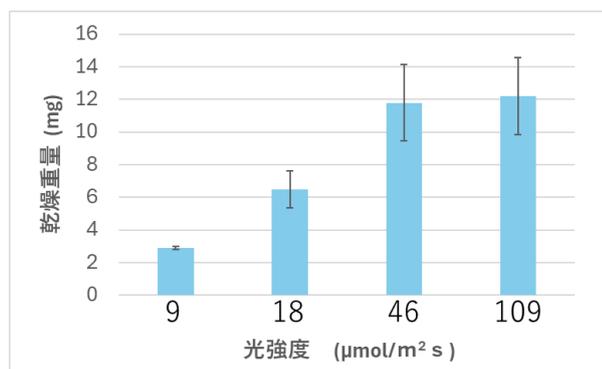


図4 増殖に及ぼす光強度効果 (n=5)

### 3.1.4 塩分濃度の増殖に対する影響

図5は球状藻類の増殖に及ぼす培地の NaCl 濃度 (塩分は NaCl の添加により調整) の効果を調べた結果である。NaCl 濃度が 0 < ~ < 8 %の範囲で増殖できると考えられるが、最適濃度は海水の塩分濃度 (3.5 %)に近い

2%であることが分かった。ただし、溶媒に蒸留水を用いた NaCl 濃度 0 %条件で球状藻類が増殖しないのは、本研究で使用した人工海水に含まれる Mg, Li, W, Mn などの微量成分が含まれていないためである可能性も考えられる。

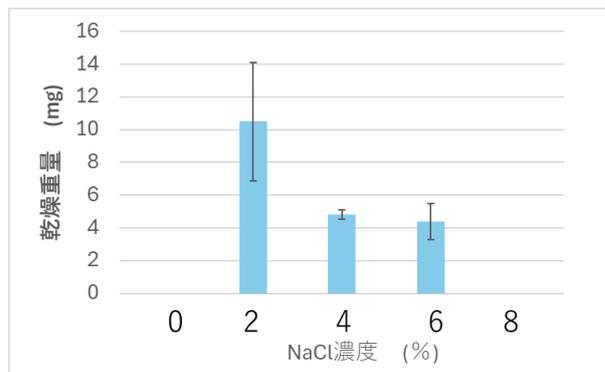


図5 増殖に及ぼす塩濃度効果 (n=5)

### 3.1.5 リン酸塩添加の増殖への効果

pH 7.9 温度 20℃, 光強度 PPFD 46  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ , NaCl 濃度 2 %として、培地に追加でリンを添加したときの効果を調べた結果を図6に示した。球状藻類に対する追加のリン添加有無の増殖に対する明確な有意差はなく ( $P(T<t)$ 両側 = 0.23 > 0.05), 培地は増殖に必要とされるリン要求量を充分満たしていると判断された。

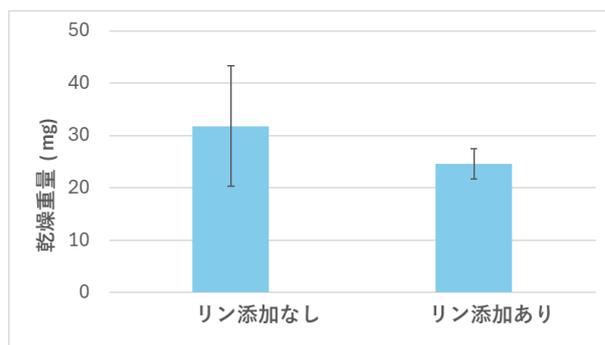


図6 増殖に及ぼすリン添加効果 (n=5)

### 3.1.6 光照射明暗サイクルの増殖への影響

図 7 に光サイクルの増殖に対する影響を検討した結果を示した。本実験では 12 hr 明暗サイクル(12 hr D/L)と 24 hr 連続光照射 (24 hr L) 培養の比較を行った。一般に明暗サイクルは藻類の増殖に影響を与えるとされるが今回の実験では明確な有意差 ( $P(T<t)$ 両側:0.78>0.05)はなかった。

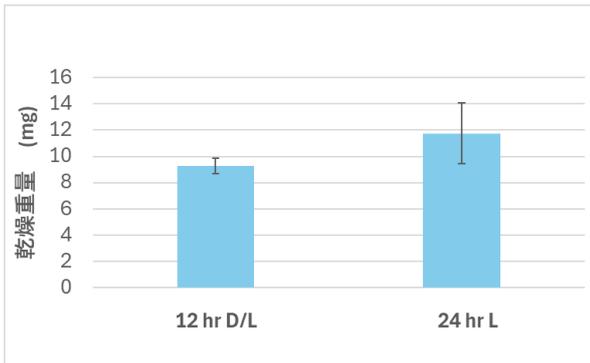


図 7 光サイクルの増殖に対する影響 (n=5)

### 3.2 球状藻類の増殖曲線

図 8 に最適な培養条件下 (pH 7.9, 温度 20°C, 光強度 PPFD 46  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ , NaCl 濃度 2 %) での球状藻類の増殖曲線を示した。球状藻類は、最適培養条件下において、約 3 週間経過後に視覚で増殖が確認できるようになり(球状藻類の個数が増え、大きくなり始める), 6 週間程度で定常状態に達した。図 9 に定常時のフラスコの外観(a)と球状藻類の断面(b)写真を示した。球状藻類は最大で直径 5~10 mm 程度まで成長し、全体に柔らかく弾力性があり、表面は滑らかで緑色をしており、中心部に小さな空洞や、一本の年輪(白色)のような構造が確認された。

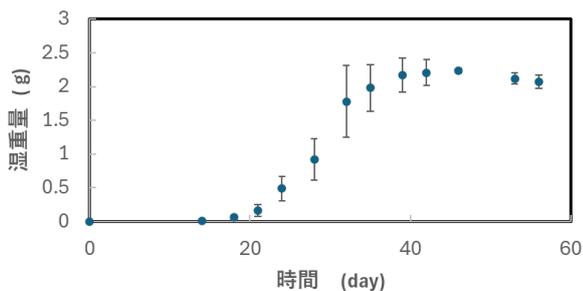
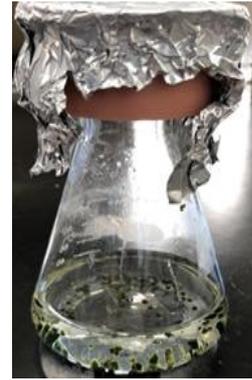
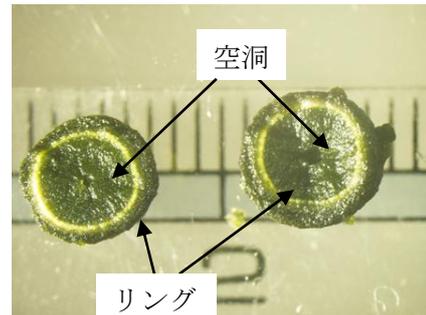


図 8 最適条件における増殖曲線 (n=5)



(a)



(b)

図 9 定常状態での球状藻類 (a) 増殖後の状態 (b) 断面構造 (実体顕微鏡観察)

### 3.3 球状藻類に含まれる各種成分の分析

球状藻類の各種成分(水分, 炭水化物, タンパク質, 金属類, その他)の分析結果を以下に示した。

#### 3.3.1 水分含有率

球状藻類の水分含有率は 93.5 wt% (標準偏差: 0.2%, n=5) であった。この結果から球状藻類の水分と固形分の重量割合を図 10 に示した。

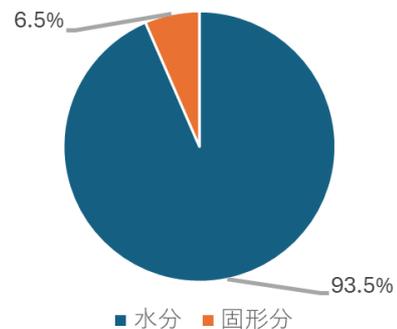


図 10 水分と固形成分割合

### 3.3.2 炭水化物含有率

球状藻類の炭水化物含有率は 5.8 wt% (標準偏差: 1.3 %, n=5) であった。

### 3.3.3 タンパク質含有率

球状藻類の窒素含有率は 4.9 % (標準偏差: 0.11 wt. %, n=5) であった。この窒素含有率に定数 6.25 を乗じて、タンパク質含有率 30.6 wt% と見積もられた。

### 3.3.4 灰分含有率

灰分含有率は 34.2 wt. % (標準偏差: 3.4 %, n=5) であることがわかった。

3.3.2 から 3.3.4 の分析結果から水分を除いた固形分に含まれる各成分の割合を図 11 に示した。図中のその他の成分の一つに脂質 (未定量) が考えられる。

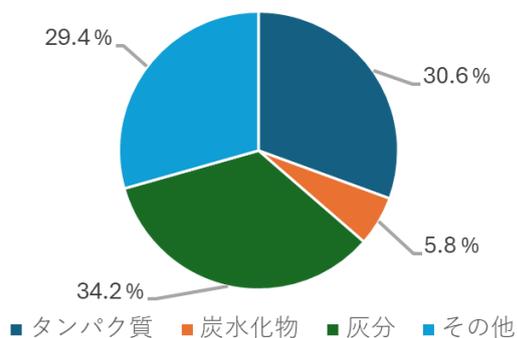


図 11 固形分 (6.5%) 中に含まれる各種成分割合

### 3.3.5 灰分中に含まれる各種金属含有量

原子吸光分析装置を用いて代表的金属元素の測定を行った。球状藻類 1 g (乾重量) あたりに鉄は微量で 0.10 mg (標準偏差: 0.019, n=5), カルシウムは 66.0 mg (標準偏差: 10.18, n=5), マグネシウムは 25.0 mg (標準偏差: 2.53, n=5), カリウムは 67.0 mg (標準偏差: 4.69, n=5), ナトリウムは 66.8 mg (標準偏差: 14.8, n=5) 含有されていることが分かった。各元素の灰分に占める割合を図 12 に示した。

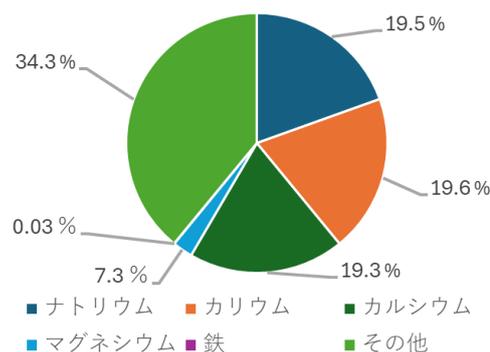


図 12 灰分に占める各種金属元素の割合

最後に参考として、球状藻類に含まれる各種成分含有量をワカメ (*Undaria pinnatifida*) [10] と比較した場合を表 1 に示した。ここで、一例として、文部科学省が提供しているワカメに関するデータに基づいて 100 g の乾燥菌体あたりに含まれる各種成分に換算し比較を行ったところ、球状藻類はワカメより炭水化物量は少なく、測定対象とした範囲の金属に限ればカリウム、カルシウム、マグネシウム等の含有量が高いと言える。このように球状藻類は、ミネラル補給健康食として有用性が示唆されるが、その他に含まれる重金属の含有量 (カドミウム、水銀、鉛等) や様々な有害物質を測定していないことから安全性の保障に問題が残されている。

表 1 乾燥菌体 100 g あたりの成分含有量比較

注) 脂質等の一部主要成分除く

	球状藻類	ワカメ
タンパク質	30.6 g	22.4 g
炭水化物	5.7 g	50.7 g
灰分	34.2 g	20.9 g
ナトリウム	6680 mg	7897 mg
カリウム	6700 mg	149 mg
カルシウム	6600 mg	745 mg
マグネシウム	2500 mg	238 mg
鉄	10 mg	7.5 mg

#### 4. 結論

福井県三方上中郡若狭町小川地区海岸から球状に生育する藻類を単離した。球状藻類は *Ulvella leptochaete* の近縁種と推定(福井県立大学・吉川伸哉教授)され、最大で直径 5~10 mm 程度まで成長し、全体に柔らかく弾力性があり、表面は滑らかで緑色をしており、中心部に小さな空洞や白色の1本の年輪のような構造を有している。

最適生育条件は、ダイゴ IMK 人工海水培地で培養を行った場合に、温度 20°C, pH 7.9, 白色光強度約 PPF 50  $\mu$  mol/m<sup>2</sup>s, NaCl 濃度 2 %であった。菌体固形分を構成する主要成分(脂質を除く)をワカメと比較したところ、カリウム、カルシウム、マグネシウム等のミネラル含有量が高いことがわかった。

今後の研究課題として、この藻類が球状形態を形成する理由の解明や、球状に成長する特性(成長後に菌体の回収が容易であること)を活かした利用法(観賞用、環境浄化等)を検討したいと考えている。

#### 5. 謝辞

18s rDNA 解析、顕微鏡形態観察さらに文献調査に基づいて、球状藻類の属種推定を行って頂いた福井県立大学海洋生物資源学部の吉川伸哉教授と、窒素含有率測定を実施頂いた福井県食品加工研究所の岩本啓己研究員に深く感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) Ruth Nielsen, *Nord. J. Bot.* (1983), **3**(6), 689-694
- 2) Deng Yunyan, Tang Xiaorong, Huang Bingxin, Teng Linhong and Ding Lanping, *Chinese Journal of Oceanology and Limnology* (2012), **30**(3), 476-484
- 3) RUTH NIELSEN, Gitte Petersen, Ore Seberg, Niels Daugbjerg, Charles J. O' Kelly and Briann Wysor,

*Phycologica* (2013), **52**(1), 37-56

- 4) Qiufeng Yan, Qingyu Dai, Benwen Liu, Guoxiang Liu and Huan Zhu, *Diversity* (2022), **14**, 594
- 5) 江角彰彦 食品学総論実験-実験で学ぶ食品学-, p116-119, 144-147
- 6) 長谷川美来, 津田美穂, 小林正和, 八木潤, 中山清貴, 関税中央分析所報, 第 56 号, 31-36
- 7) 満田久輝, 樋口雅子, 山本愛次郎, 中島謙二, 栄養と食糧 (1977), **30** (1), 23-28
- 8) H. Ishida, R. S. Isono, J. Kita and Y. W. Watanabe, *Scientific Reports* (2021), **11**, 5052
- 9) 渡邊信, 微細藻類の大量培養技術, 日本水産学会誌 (2000), **66** (6), 1021-1028
- 10) 文部科学省 食品成分データベース : [https://fooddb.mext.go.jp/result/result\\_top.pl?USER\\_ID=16527](https://fooddb.mext.go.jp/result/result_top.pl?USER_ID=16527)

#### 付録 1 IMK 培地と人工海水の各種成分含有量[mg/L]

IMK 培地		人工海水 SP	
NaNO <sub>3</sub>	200	MgCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	9474
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	1.4	CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	1326
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	5	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3505
NH <sub>4</sub> Cl	2.68	KCl	597
Fe-EDTA	5.2	NaHCO <sub>3</sub>	171
Mn-EDTA	0.332	KBr	85
Na <sub>2</sub> -EDTA	37.2	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·10H <sub>2</sub> O	34
ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.023	SrCl <sub>2</sub>	12
CoSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.014	NaF	3
Na <sub>2</sub> MnO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0.0073	LiCl	1
CoSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.0025	KI	0.07
Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>	0.0017	CoCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	0.0002
Thiamin-HCl	0.2	AlCl <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	0.008
Biotin	0.0015	FeCl <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	0.005
Vitamin B <sub>12</sub>	0.0015	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0.0002
MnCl <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	0.18	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> ·4H <sub>2</sub> O	0.02
		MnCl <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	0.0008
		NaCl	20747
計	252.2441	計	35955.1042
Sea water (mL)	1000	Water (mL)	1000