

大型海藻類による環境修復効果に関する研究

- コンブによる CNP 固定効果に関して -

Study on the Effects of Environmental Restoration by Macroalgae

- CNP Fixation Effect of Laminaria Japonica -

○柴田竜馬¹, 堀田建治², 岡本強一²*Ryoma Shibata¹, Kenji Hotta², Kyoichi Okamoto²

At present, reduction of CO₂ that is the cause of global warming is the one of most important issues. Generally, CO₂ concentration in the sea is 40 to 50 times higher than the concentration of the atmospheric. If concentration of CO₂ in seawater will rise continuously, water quality is also gradually changes to acid side. If so, it might be certain to influence the ocean living habitable environment. In this paper, from the view point of CO₂ reduction and purify of sea area, assessment of CO₂, Carbon, nitrogen, phosphorus reduction by photosynthesis of the Macro-algae (Laminaria japonica as an example) as well as oxygen supply to sea water were examined. As the result, it was obtained that if the Laminaria japonica for 65ton/ha is able to be produced by culture system, carbon 2.3 tons, CO₂ 8.3 ton, nitrogen 0.23 tons and phosphorus 0.028 tons will be fixed, and in addition, 6.9 tons of oxygen will be supply to the seawater.

1. 緒言

大型藻類の光合成による有機物生産は、海洋中の CO₂ 吸収と同時に栄養塩を吸収・固定し、海水への酸素供給の働きによる水質浄化効果を有しており、物質循環において重要な役割を担っている。また、近年では温暖化の懸念から、大型藻類による CO₂ 吸収作用に注目が集まっており、大気-表面海水間の CO₂ 交換収支の働きによる大気保全効果が期待されている。

本研究では、過去のコンブ増養殖実験を事例として大型藻類増養殖の光合成作用に伴う炭素固定量および栄養塩固定量、酸素供給量の算定方法を確立し、大型藻類増養殖の有意性を明らかにすることを目的とする。

2. 研究方法

2.1. 海藻の炭素含有率

海藻に含まれる炭素の調査を行うため、房総で採取したコンブ、ワカメ、ノリ、カジメ、ホンダワラについて、Table.1 に示す測定条件で元素分析装置 (vario EL III) を使用した分析を行った。分析結果を Table.2 に示す。分析結果から、炭素含有率が比較的高く、増養殖が容易で商品価値もあるコンブを本研究の事例とした。

Table.1 C, N, P 分析の測定条件

元素分析装置 (vario EL III)					
燃焼炉温度 (°C)	還元炉温度 (°C)	ヘリウム流量 (mL/min)	酸素流量 (mL/min)	燃焼時間 (sec)	試料量 (mg)
950	500	200	30	90	2.1~2.2

Table.2 海藻に炭素含有率

試料名	コンブ	ワカメ	ノリ	カジメ	ホンダワラ
C (%)	37.61	30.49	41.16	27.84	34.63

2.1. 炭素固定量の算定法

コンブ増養殖の年間炭素固定量の算定で最も簡易な方法が生産量からの算定である。増養殖過程において、市場へ供給される生産量の他に、付着器 (仮根) などの捨てられてしまう未利用海藻が多量に存在している。そこで、本研究では未利用海藻をも考慮した生産量を全生産量として扱い、コンブ増養殖の炭素固定量算定を行った。なお、生育中に自然発生する枯死・落脱に関しては、人間の管理下にある増養殖では微量であるとし、P/B 比の考慮は行わなかった。コンブ増養殖の炭素固定量は (1) 式により求まる。なお、(1) 式より算定された炭素固定量を CO₂ に換算する場合は、CO₂ 分子量である 44 を C 原子量である 12 で割った値、44/12 を炭素固定量に乗ずることで求まる。

$$\text{炭素固定量} = \text{生産量} \times \text{全生産量係数} \times \text{炭素含有率} \quad (1)$$

2.2. 窒素・リン固定量の算定法

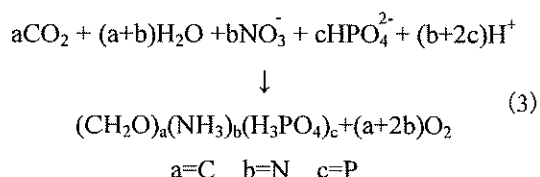
本項目では、(1) 式による算定で得られた炭素固定量から、窒素およびリンの固定量を算定する。窒素およびリンの固定量は (2) 式により求まる。

$$\text{窒素固定量} = \text{炭素固定量} \times \text{N/C (P/C)} \quad (2)$$

2.3. 酸素供給量の算定法

植物の光合成によって C, N, P は植物体へ固定され、各々の物質に結合し、消費されていた酸素の多くは体外へ放出されるため、海洋への酸素供給としての働きを持つ。植物体の C, N, P 固定による酸素供給量は、

まず原子比を Atkinson and Smith の式¹⁾に応用し、酸素分子として算定する。C, N, P に対する酸素分子は (3) 式により求まる。



(3) 式より算定された酸素分子を用いて C, N, P 固定による海水中への酸素供給量を算定する。酸素供給量の算定は、酸素分子を分子量から重量に換算し、(4) 式により求まる。

$$\text{酸素供給量} = \text{炭素固定量} \times \text{O}_2/\text{C} \quad (4)$$

3. 算定結果

3.1 C, N, P 固定量

本研究での増養殖実験は千葉県房総半島沿岸で実施されたものであり、増養殖期間は海水温や商品価値の観点から 4 ヶ月間としている。増養殖は延縄式養殖法で行い、実験で使用した施設の概念図を Fig.1 に示す。本養殖法は 100m の幹綱（飼育ロープ）を 2m 間隔で 50 本設置したものであり、増養殖の規模を 1ha とすると生産量は 33.3t-ww (16,650 株) となる。さらにこれに 0.15 を乗じることで、乾燥重量に換算することができ、最終的な生産量は 5.0t-dw となった。増養殖の生産過程には、仮根などの未利用海藻が大量に存在するため、市場へ供給される生産量の他に未利用海藻分を含めて炭素固定量を算定する必要がある。採取後のコンブ付着器は北海道全体で年間 1,000t-dw にもおよび、北海道の年間生産量 5,000t-dw のおよそ 20% である。そこで、本研究では増養殖での全生産量係数を 1.20 とし、生産量に乘じることで全生産量の算定を行った。また C, N, P 含有率に関しては、本研究で採取した房総産コンブを試料として分析を行った結果、Table.3 の結果が得られた。

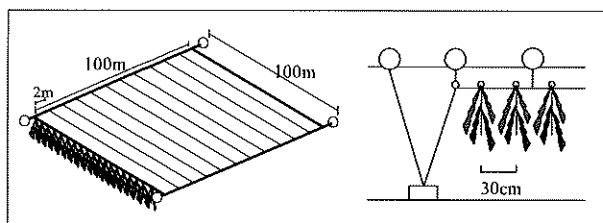


Fig.1 延縄式養殖法

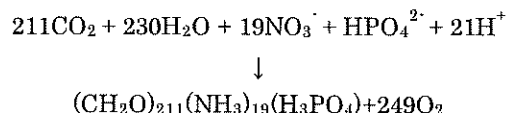
Table.3 元素分析結果

	含有率 (%)		
	C	N	P
平均値	37.61	3.85	0.46

これらの条件を全て踏まえ、(1) 式により炭素固定量を算定した結果、1ha あたり 2.3t-C となり、CO₂ に換算すると 8.3t-CO₂ に相当する。次に、重量比および原子比の算定を行った結果、重量比は 82C : 8N : 1P、原子比は 211C : 19N : 1P となった。なお、既存資料²⁾に記載される数種のコンブ原子比は、183C : 9N : 1P ~ 384C : 25N : 1P であり、房総産コンブの原子比はその平均的な値を示している。炭素固定量と原子比を使用し、(2) 式により窒素およびリン固定量の算定を行った結果、0.23t-N、0.028t-P となった。

3.2. 酸素供給量の算定

房総産コンブの原子比を植物プランクトンのレッドフィールド比である 106C : 16N : 1P と比較すると、房総産コンブの C に対する N, P は、およそ 2 分の 1 程度であった。この原子比を用いて、(3) 式から C, N, P 固定による酸素分子の算定を行い以下の結果を得た。



上式から、房総産マコンブの栽培期間である 4 ヶ月の C, N, P 固定は、P1 原子につき N19 原子が固定され、N1 原子を固定するのに 11 分子の CO₂ が消費され、13 分子の O₂ が放出されていることがわかった。4 ヶ月の増養殖期間で C, N, P 固定によって海水中へ供給する酸素量は (4) 式から、1ha 当たり 3.5t-O₂ となった。

4. 結言

本研究では、関東近海におけるコンブ増養殖の環境修復効果の算定を行い、増養殖規模 1ha あたりで 2.3t-C、0.23t-N、0.028t-P の C, N, P 固定が可能であることが示された。炭素固定量に着目すると、4 ヶ月間のコンブ増養殖で、50 年杉³⁾の年間炭素固定量を上回る炭素固定が可能であることがわかった。今後は本研究で示された大型藻類増養殖の有意性を基礎とし、大型藻類を用いた海洋環境修復や沿岸域利用に関する研究を飛躍させていきたいと考えている。

5. 参考文献

- [1] Atkinson, M. J. and Smith, S. V.: 「C:N:P ratios of benthic marine plants」, Limnol. Oceanogr., 28(3), pp.568-574, 1983
- [2] 村岡大祐: 「三陸沿岸の藻場における炭素吸収量把握の試み」, 東北水研ニュース, NO.65, 2004
- [3] (独) 森林総合研究所: 「森林による炭素吸収量をどのように捉えるか ~ 京都議定書報告に必要な森林吸収量の算定・報告体制の開発 ~」, 2003

養殖スサビノリ (*Porphyra yezoensis*) 葉体の 炭素, 窒素, リン含有量

川口 修・山本 民次・橋本 俊也

広島大学大学院生物圏科学研究科, 東広島市 739-8528

要 旨 有明海佐賀県沿岸で採取された紅藻スサビノリを用いて, 炭素, 窒素, リン含有量を測定した。炭素, 窒素, リンの含有量は, それぞれ $42.6 \pm 2.3 \mu\text{g-at mg DW}^{-1}$, $8.6 \pm 0.8 \mu\text{g-at mg DW}^{-1}$, $0.32 \pm 0.01 \mu\text{g-at mg DW}^{-1}$ であり, それらの比は C:N:P=132:26:1 であった。

キーワード: スサビノリ, 炭素含有量, 窒素含有量, リン含有量

緒 言

2000年度, 有明海において珪藻赤潮の発生によるノリの大不作が起こった。国の諮問機関である農林水産省有明海ノリ不作対策関係調査検討委員会(第三者委員会)は, ノリ不作の原因は「異常な気象, 海象による珪藻赤潮の発生にともなう海域の栄養塩濃度低下である。」と指摘した(農林水産省有明海ノリ不作等対策関係調査検討委員会, 2001)。

珪藻が赤潮を形成し, ノリの生長に必要な海水中の栄養塩を枯渇させたことがノリの不作を招いたという一連のプロセスを解明することは, 珪藻とノリの栄養塩をめぐる競合のプロセスを解明することにほかならない。このような物質循環的な視点から研究を進めるには数値生態系モデルの構築が最適である。モデルにはスサビノリと珪藻それぞれの炭素, 窒素, リン含有量についての情報が必要であるが, 珪藻に関するデータの蓄積はあるものの, ノリに関しては, 山本・高尾(1988)が炭素, 窒素について, 大内(1981)が窒素について測定している以外, 炭素, 窒素, リンの3種について同時に測定した報告は著者が知る限りない。

そこで, 本研究では, 佐賀県沿岸で採取されたスサビノリ(*Porphyra yezoensis*)について, 炭素, 窒素, リンの含有量を測定し, それらの比を算出したので報告する。

試 料 と 方 法

解析に用いたスサビノリは有明海佐賀県沿岸で, 2002年11月にハノリ(その年度, 初めての収穫で採れるノリ)として佐賀県芦刈漁協で採取され, 乾燥されたものを用いた。試料を60℃で3時間乾燥した後, 炭素含有量および窒素含有量を CHN コーダー(YANACO, MT-5 型)を用いて測定した。測定は一つの試料について5回測定した。リン含有量については, 過塩素酸加圧分解-モリブデンブルー法(Strickland and Parsons, 1972; 角皆・乗木, 1989)によって, 一つの試料について6回測定した。

結 果

炭素含有量は $42.6 \pm 2.3 \mu\text{g-at mg DW}^{-1}$, 窒素含有量は $8.6 \pm 0.8 \mu\text{g-at mg DW}^{-1}$, リン含有量は $0.32 \pm 0.01 \mu\text{g-at mg DW}^{-1}$ であった。また, それらの元素比は C:N:P=132:26:1 であった (Table 1)。

	C ($\mu\text{g-at mg DW}^{-1}$)	N ($\mu\text{g-at mg DW}^{-1}$)	P ($\mu\text{g-at mg DW}^{-1}$)	C:N:P
Average \pm SD	42.6 ± 2.3	8.6 ± 0.8	0.32 ± 0.01	132: 26:1

Table 1. Nutrient content of cultured *Porphyra yezoensis* harvested from Saga sea region in November, 2002.

考 察

山本・高尾（1988）は愛知県沖で採取されたスサビノリについて同様の方法で炭素含有量、窒素含有量を測定した結果、それぞれ 28.5 ± 2.1 , $3.8 \pm 0.7 \mu\text{g-at mg DW}^{-1}$ といった値を得ており、これらの元素比をとると、7.8:1となる。本研究で得られた値を比較してみると、有明海のノリのほうが炭素、窒素ともに富んでおり、また、特に炭素よりも窒素の含有割合が大きかった。

また、本研究で得られたノリの元素組成比と、植物プランクトンの平均的な元素組成比であるレッドフィールド比（C:N:P=106:16:1; Redfield *et al.*, 1963）とを比較すると、ノリの方が炭素および窒素の含有量が多い。このことは、ノリ葉体がタンパク質を多く含むことによると考えられる（科学技術庁資源調査会, 1991）。

仮に、これらの元素が組成比と同じ割合で取り込まれるとすると、ノリは植物プランクトンよりも炭素と窒素の要求量が高いことになる。このことは、ノリ養殖において色落ち防止のために含窒素肥料がよく使われることと矛盾しない。2000年度ノリ漁期には、有明海において珪藻ブルームの発生により環境水中の窒素の枯渇が観測されており（水産庁増殖推進部, 2001）、珪藻よりも窒素要求量の大きなノリにとってより深刻な環境であったと想像できる。

本研究で得られた結果と現場の栄養塩濃度およびそれらの比から、有明海全域において、ノリの成長を制限している栄養塩が窒素であり、また、有明海南部（熊本県沿岸）においては珪藻類にとっても窒素が成長を制限していると結論されている（川口ほか, 受理）。筆者らはすでに今回得られたノリの炭素、窒素、リン含有量に関するデータを用いて、ノリと珪藻による窒素取り込みをめぐる競合モデルを作成した（川口ほか, 投稿中）。結果の詳細は他に譲るが、モデルの出力結果および川口ほか（受理）の現場データ解析結果との照合により、2000年度有明海で起きたノリ不作の原因が明らかになりつつある。

謝 辞

試料を入手する上で便宜を計って頂いた、佐賀県、今村純子女史に感謝いたします。

引 用 文 献

- 科学技術庁資源調査会（1991）：四訂食品成分表，香川 綾 監修，東京 女子栄養大学出版部，398 pp.
- 川口 修・山本民次・松田 治・橋本俊也（2002）：水質の長期変動から見た有明海におけるノリおよび珪藻プランクトンの増殖制限元素，海の研究，受理。
- 農林水産省有明海ノリ不作等対策関係調査検討委員会（2001）：有明海のノリ不作の対策等に関する中間取りまとめ，114 pp.
- 大内 晟（1981）：乾のり中の無機物について，11，95-100.
- A. C. Redfield, B. H. Ketchum, F. A. Richard（1963）：The influence of organisms on the composition of seawater. In, *The Sea*, M. H. Hill（ed.）, vol. 2, Inter Sci., New York, 26-77.
- J.D.H. Strickland, T.R.Parsons（1972）. A practical handbook of seawater analysis, 2nd ed. *Bull. Fish. Res. Bd. Canada*, 310 pp.
- 水産庁増殖推進部（2001）：農林水産省有明海ノリ不作等対策関係調査検討委員会資料集（1），968 pp.
- 角皆静男・乗木新一郎（1989）：海洋科学－化学で海を解く，産業図書，西村雅吉編，285 pp.
- 山本民次・高尾允英（1988）：スサビノリ *Porphyra yezoensis* 葉体のアンモニア態および硝酸態窒素の取り込みに及ぼす温度の影響，藻類，36，37-42.

Carbon, nitrogen and phosphorus contents of cultured Nori (*Porphyra yezoensis*)

Osamu KAWAGUCHI, Tamiji YAMAMOTO and Toshiya HASHIMOTO

*Graduate School of Biosphere Sciences, Hiroshima University,
Higashi-Hiroshima 739-8528, Japan*

Summary

Carbon, nitrogen and phosphorus contents of cultured Nori (*Porphyra yezoensis*) that were sampled from Saga sea region of Ariake Bay, were measured. Carbon, nitrogen and phosphorus contents of the frond were 42.6 ± 2.3 , 8.6 ± 0.8 , $0.32 \pm 0.01 \mu\text{g-at mg DW}^{-1}$ respectively, and the ratio was C : N : P = 132 : 26 : 1.

Key words: laver, carbon content, nitrogen content, phosphorus content

摘採回数の異なるノリ葉体の厚さおよび自由水，含水率の変化

増田裕二・山田秀樹・横尾一成・川村嘉応

Changes of the Water Content Rate and the Thickness of Cell Wall in Nori Thalli on Every Harvest

Yuji MASUDA, Hideki YAMADA, Kazunari YOKOO and Yoshio KAWAMURA

まえがき

ノリは近年の分類体系の見直しにより、*Porphyra* 属から *Pyropia* アマノリ属と呼ぶことが提案され¹⁾、ノリ養殖に使われるアマノリ属の種は、遺伝的研究からスサビノリとされている²⁾。このノリ葉体の断面は、1 個の細胞を中心に両側を細胞壁に囲まれた薄い 1 層で構成されている。従って、葉体内の細胞壁の厚さ（以下、壁厚）や細胞の大きさ（以下、細胞径）によって葉体の厚さ（以下、葉厚）が表わされる。ノリ養殖では、葉体がある一定の長さになった時点で摘採され、乾海苔に製造されるが、葉体は摘採されたのちも同じ葉体が伸長し適正サイズになると摘採され、これが繰り返される。摘採されたノリの葉厚等の性状は、乾燥条件を決める重要な指標となる³⁾。しかし葉体の壁厚や細胞径の摘採毎の変化および生ノリが乾燥されるまでの含水量の変化など乾燥条件に影響する点については詳細に調べられていない^{4,5)}。

そこで、今回、実際のノリ養殖漁場のノリ葉体を摘採毎に採取し、壁厚、細胞径および生ノリの乾燥過程における水分量を調べたので、その結果を報告する。

材料および方法

摘採回数別や部位別のノリ葉体の壁厚や細胞径を調べるために、2011、2013 年度の秋芽網期と冷凍網期に養殖されたナラワスサビノリを採取した。2011 年度は、図 1 に示す A 地点（佐賀県有明海漁業協同組合広江支所の漁場）から定期的に葉体を摘採後、センターに持ち帰って、箆（合成樹脂製ザル）に移して 30 分間水切りした（ステップ 1）。さらに手絞りした後（ステップ 2）、吸湿性のある濾紙で海水を拭き取り（ステップ 3）、扇風機を用い

て乾燥している状態にまで水分を除去した（ステップ 4）。ここまで乾燥させたのち、一定量を冷凍保存（-25℃）した。壁厚・細胞径の変化は、2011 年度は先に冷凍保存した葉体（150～200 mm）を最大約 3 か月後に解凍し葉先、中央、根元の 3 部位に分けてカッターを用いて細断し、それを顕微鏡下で図 2 に準じてそれぞれを測定し、葉厚を表裏の壁厚と細胞径の合計で表した。同時に葉長、葉幅を測定し、葉長幅比は葉長/葉幅で表示した。

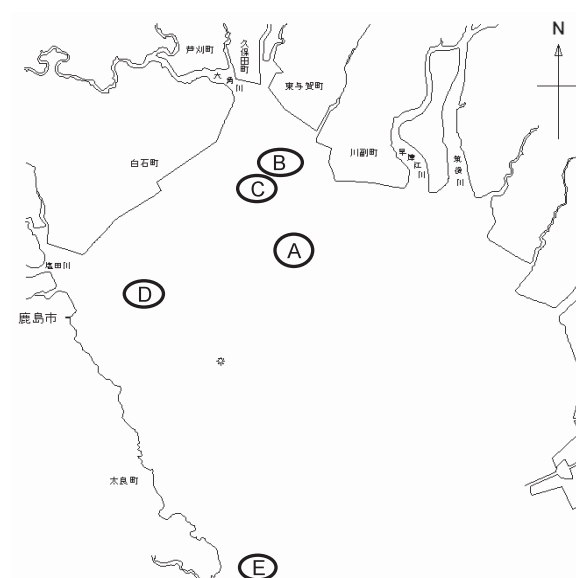


図 1 採集地点

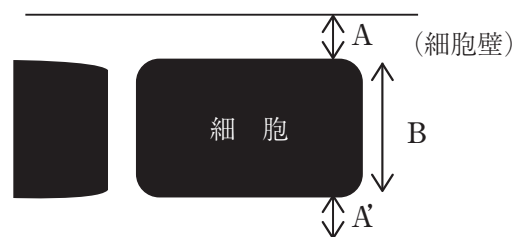


図 2 葉体の断面図と測定部位

2013 年度は図 1 に示す東部から南部までの 4 地点 (B: 同漁協東与賀支所, C: 同芦刈支所, D: 同鹿島市支所, E: 同大浦支所) で葉体を採集したのち、直ちにカッターを用いて葉先部を細断し、それを顕微鏡下で前述と同様の方法で測定した。なお、A~D 地点では支柱式養殖, E 地点では浮流式養殖が行われている。

一方、扇風機で乾燥したものは、70℃で7時間乾燥し最終の重さとして秤量した。含水率は乾燥前の重さ A を基礎とする含水率 (湿量基準含水率 (%)) = (A - B) / A, 材料の乾燥前の重さ: A, 材料の完全乾燥後の重さ: B, 蒸発した水分量: A - B) で表した。

結果および考察

1. 摘採回数ごとの壁厚・葉の厚さの変化

2011 年度にノリ葉体の壁厚と細胞径を調べた結果を、図 3 に示した。秋芽網摘採 1 回目では葉先の細胞壁は 4.9μm, 細胞径 11.8μm, 葉厚 21.6μm であった。冷凍網期 1 回目では秋芽網期とほぼ同じでそれぞれ 4.6, 15.6, 24.8μm あったが摘採回数が増えるとともにそれぞれが厚く大きくなり、8 回摘採時の葉先の壁厚は、1 回目の 2.0 倍の 9.1μm, 細胞径は同じく 1.2 倍の 18.1μm, 葉厚は同じく 1.5 倍の 36.3μm となった。

葉の部位別を比較すると、冷凍網期 1 回目の葉先の壁厚, 細胞径, 葉厚は先述のとおりで根元ではそれぞれ 5.9, 18.8, 30.6μm と根元に向かって大きくなった。摘採回数が増えてもこの傾向は同じで、8 回全ての平均値で比較してみると、冷凍網期の葉先ではそれぞれ 4.6, 17.5, 32.7μm であったが、根元では 11.3, 20.8, 52.9μm といずれも根元に向かって大きくなっていった。

また 2013 年度に地区別に葉先の壁厚と細胞径を調べた結果を図 4 に示した。各漁場の秋芽網期・冷凍網期の壁厚, 細胞径および葉厚は 2011 年度と同じように摘採回数が増えるにつれて大きい値となっていた。それぞれの値についても大差は認められなかった。地区別にみると、秋芽網期では、支柱漁場である 3 地点の摘採 3 回の平均で、壁厚 6.0~7.1μm, 細胞径 15.6~17.6μm と差がなかったが、浮流式漁場である E 地点と比較すると、壁厚は 6.1μm と大差がなかったものの、細胞径は 19.9μm と浮流式漁場の方が大きかった。冷凍網期でも秋芽網期と同様な傾向が見られたが、とくに E 地点の細胞径は摘採回数が増えるにつれて大きくなるのが顕著であった。ただ、B 地点の 6, 7 回目, C 地点の 4, 6 回目, D 地点の 4 回目では色落ちしたノリを測定しており、明らか

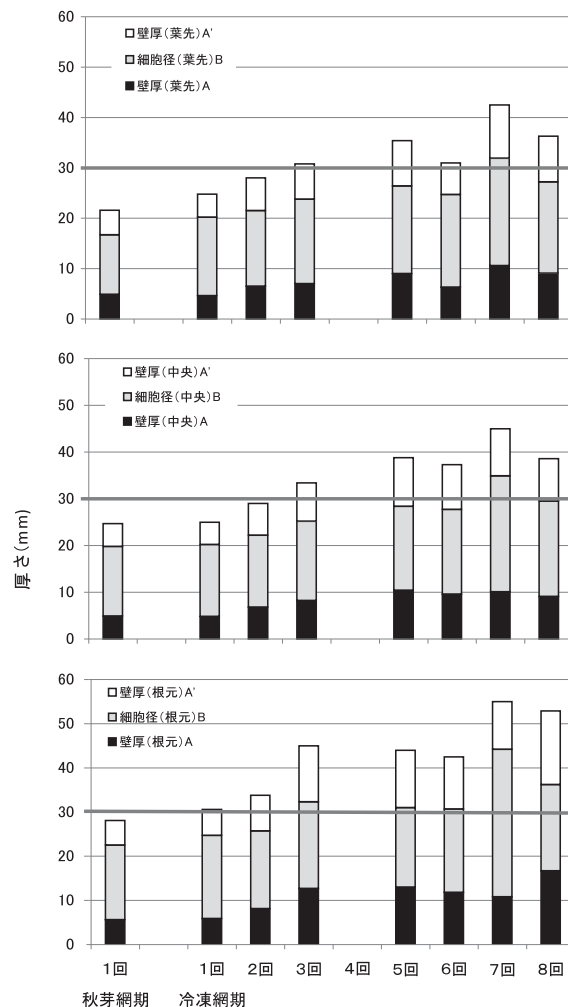


図3 A 地点におけるノリ葉体の細胞壁の厚さおよび細胞の大きさの変動

に壁厚が厚い傾向が見られていた。更に細胞径については浮流式漁場の方が支柱式漁場より大きかったのは秋芽網期と同じであった。

壁厚や細胞径については、従来からノリの種類や品種によって異なるとされてきたが、今回の調査では摘採回数が増えるにともなう支柱式養殖の壁厚, 細胞径が大きくなったことや特に壁厚に両養殖との間に差はないものの、浮流式養殖の細胞径が顕著に大きかったことなど、摘採回数や養殖方式による差が認められた。島崎・野口⁴⁾は葉体の厚さについて、三期作の漁場で葉が厚くなることについてはノリ網数が減って、流れが速くなり、また波立ちもよくなるのが一つの原因としているが、このような漁場環境との関係も含めて、ノリの種類や品種による差など今後検証すべきと思われる。

葉厚と乾海苔の硬さとの関係、硬さと化学的成分 (糖成分) との関連⁶⁾、葉厚と養殖方法との関連^{4,7)}など、葉厚は乾海苔の製造時の乾燥条件、ひいては品質に大きく

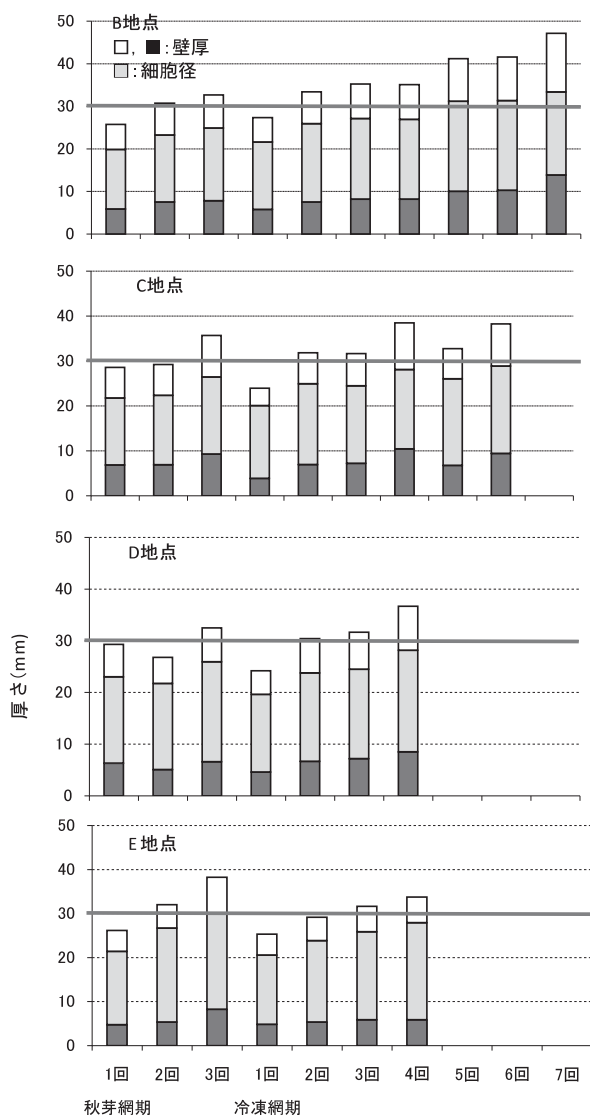


図4 B～E地点におけるノリ葉体の細胞壁の厚さおよび細胞の大きさの変動

影響している。とくに瀬古ら⁸⁾、濱ら⁶⁾は硬さと化学的成分(糖成分)との関連を求め、ポルフィラン(Por)および3,6-アノヒドロガラクトース(AG)の含量が少ない初回摘みの若い芽を用いて作られた乾海苔は、柔らかく、摘採回数が増すに従ってPorおよびAGの含量が増加する傾向にあることを報告している。今後、細胞間や細胞壁を構成する糖の組成の違いなど詳細に検討することで壁厚、細胞径および葉厚の変動の意味が理解されると思われる。

2. 摘採ごとのノリ葉体の葉長・葉幅の変化

摘採毎のノリ葉体の葉長と葉長幅比の変化は図5に示すとおりである。葉長はいずれの摘採でも葉長140～200mmの範囲で摘採が行われていることを示している。いっぽう葉長幅比は冷凍1,2回目ではそれぞ

れ約28.0, 31.1であったが、3回目以降摘採が進むにつれて徐々に小さくなり、8回目では7.8と葉形は幅広になっていく傾向が見られた。このように摘採回数が増えてノリ葉体の厚みが増していくと、葉体は幅広になっていくことになることが明らかとなった。しかし、幼葉の葉長幅比は水温が低いと幅広になる⁸⁾ことがわかっているものの、調査した冷凍網期は、水温条件はおおよそ12℃から9℃に低下傾向を示し、塩分は29～30と安定したときであり、葉形とこの間の環境との関係については、さらに検討する必要があるだろう。

3. 摘採回数ごとのノリ葉体の自由水量と含水率の変化

倉掛⁹⁾はノリの乾燥について恒率乾燥と減率乾燥に分け、恒率乾燥で除去される水分は物理的に材料に付着している水分が多く自由に脱水できるので自由水分、これに対し減率乾燥で除去される水分は蛋白質などと化学的に結合している水分が主となるので結合水と称している。生ノリは通常、手でつかむとベタベタ感と水分が多いというモチモチ感があり、この感触はノリ葉体の表面水分である自由水で、その量が多い場合は一般的に「水持ちが良い」、その逆として「水切りが悪い」と表現され

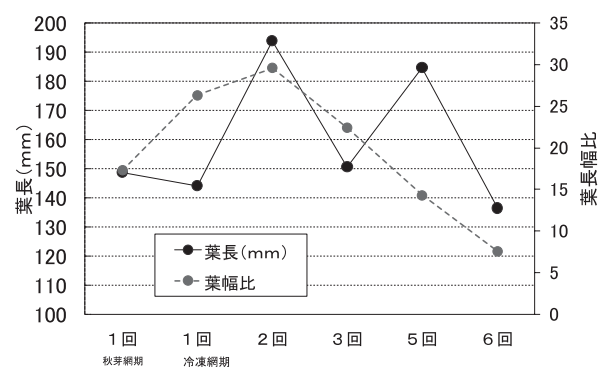


図5 ノリ葉体の生長

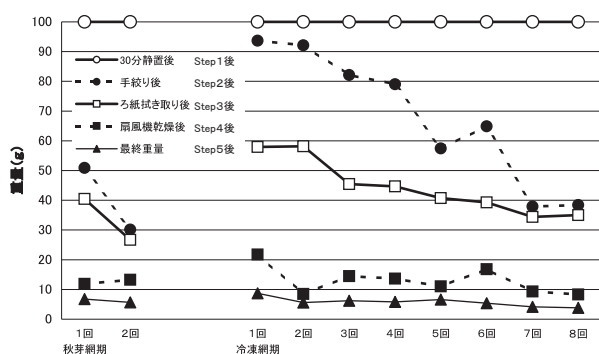


図6 生ノリの乾燥に伴う重量変化
(Step1: ノリ 30分静置後, Step2: 手揉り後, Step3: ろ紙拭き取り後, Step4: 扇風機乾燥(おおよそ乾製品)後)

る。

生ノリを乾燥していく過程で自由水の量がどのように減っていくかを脱水と乾燥に伴う重量の変化として、図6に示した。秋芽網期の1回目は手絞りによって51 g、濾紙による拭き取りで40 gまで低下した。冷凍網期の1回目は手絞りでは94 gと脱水量は少なく、更にろ紙ふき取りでも58 gであった。冷凍網期の生ノリのほうが自由水の多い「水切りの悪い」、その逆の表現として「水持ちが良い」ノリといえる。この傾向は冷凍網期では摘採回数を増すごとに減少し、冷凍網の8回摘採では手絞りで38 gに、濾紙による拭き取りで35 gまで低下した。続いて扇風機による乾燥でも同じように摘採回数が増えるにつれて、低下していく傾向は同じであった。このように生ノリは、摘採回数が少ない時には多くの水分を保持している（自由水が多い）ために、生ノリから乾海苔にまで乾燥する時間が長く必要であり、温度を高くしないと乾燥しないことになる³⁾。つまり摘採回数を増すごとに乾燥は容易になる傾向がうかがえる。「水切りの良い悪い」については、自由水分の差を示していると思われる、養殖年の水温などの環境条件により異なることを経験している。このような「水切りの良い悪い」については、乾燥条件に大きく影響する³⁾。冷凍網入庫前の生ノリの乾燥について、倉掛⁹⁾は摘採回数の少ない網を対象として研究しているため、表面脱水を終えた時の含水率は83 %と記している。今回の試験では吸水性のある濾紙での拭き取り時点で該当し、数値としてもほぼ一致する。従って自由水は扇風機による乾燥までに除去される水分であり、それ以降除去された水分が結合水となる。

ノリ葉体に含まれるノリの含水率の変化を図7に示した。各脱水の過程における含水率は、秋芽網期、冷凍網期ともに静置後は91~96 %、手絞り後は89 %~94 %で、濾紙による拭き取り後は84~90 %であった。しかし、

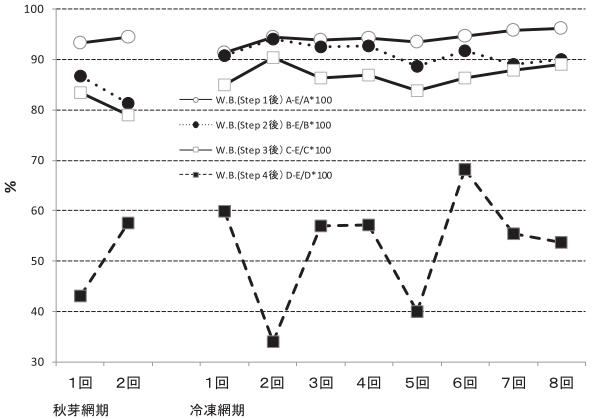


図7 ノリの含水率の変化
(Step1：ノリ 30 分 静 置 後，Step2：手 絞 り 後，
Step3：ろ 紙 拭 き 取 り 後，Step4：乾 燥（お よ そ 乾 製
品）後）

扇風機による乾燥後は34~68 %と大差があり、特に6回目は68 %と大きかった。また表1の結果から、摘採1, 2回目では乾燥にかなりの時間を要しており、また先述したようにノリが自由水を大量に含んで「水切りが悪かった」ことを示している。6回目に高くなったことについては、細胞径（図3）も薄くなっていることから、この時に芽替わりなどによってノリの質（若さ）が変化したものと思われた。さらに、今回の試験でも扇風機による乾燥の2, 5回目では30, 40 %であった。この値は冷凍入庫前にノリを乾燥させる状態である、「塩の結晶が表面に薄く粉状に出て、ノリの葉に艶があり、ノリの葉を引っ張るとゴム状にやや弾力がある乾燥状態」のノリの含水率20~40 %⁶⁾とほぼ一致する。しかし扇風機による乾燥時で34~68 %となり、差が出たことは試験者の経験による差なのか今後の課題として残る。

以上のように含水率としては差がないことから、「水切りが良くなる」すなわち摘採するたびに自由水の量が少なくなるという現象が細胞間を充填する Por 量など

表1 摘採時の枚数，乾燥時の濃度調整器の値およびゴム状にまで乾燥するのに要した時間										
摘採回数	秋芽網期		冷凍網期							
	1	2	1	2	3	4	5	6	7	8
摘採日 (2011 年)	11 月 17 日	11 月 24 日	1 月 4 日	1 月 10 日	1 月 16 日	1 月 23 日	1 月 30 日	2 月 6 日	2 月 15 日	2 月 24 日
平均値 (1 枚当たり g)	3.21	3.21	3.438	2.93	3.376	3.4	3.226	3.226	3.452	3.48
枚/網	250	250	610	650	550	500	600	800	1000 (短めに)	1000 (短めに)
濃度調整 器の値			50.7	47.5	47.3	46.8	44.5	43.8	42.1	38.3
備考	未記録	未記録	未記録	8 時間。非 常にべた べた状態	5 時間。非 常にべた べた状態	2 時間	2.5 時間	4 時間	3 時間	2 時間

の糖に起因するのかを研究する必要がある。それによって生ノリを乾燥する時の乾燥条件がきめ細かく決定されるようになり、乾燥方法などが改善され高品質海苔の生産に繋がるものと期待される。

謝 辞

佐賀県有明海漁業協同組合 広江支所の山田康之氏、東与賀支所の吉田俊幸氏、吉田剛氏、芦刈支所の橋間勝由氏、鹿島市支所の松尾徳将氏には葉体の採集に協力していただいた。厚くお礼申し上げます。

文 献

- 1) 菊池則雄 (2012) : 紅藻ウシケノリ目の属の再編について, 藻類, 60, 145-148.
- 2) 二羽恭介 (2006) : 養殖ノリの分類および遺伝・育種学的研究, 学位論文, 神戸大学, 神戸, pp. 169.
- 3) 加工海苔入門 (2001) : 日本食料新聞社, 東京, pp. 215.
- 4) 島崎大昭・野口敏春 (1980) : ノリ三期作養殖について, 佐有水研報, (7), 43-49.
- 5) 川村嘉応・中尾義房・梅田智樹・北嶋博卿・白嶋勲 (1991) : 高品質ノリ生産技術の開発に関する研究, 平成2年度地域重要新技術開発促進事業報告書, 1-52.
- 6) 濱洋一郎・常田尚正・杉本良子・中川浩毅 (2011) : 乾海苔に含まれる多糖含量とポルフィランの性質, 日本水産学会誌, 77(5), 881-886.
- 7) 川村嘉応・鷺尾真佐人・山口忠則・千々波行典・野口敏春・吉本宗央 (1996) : ノリの品質特性評価と生産管技術に関する研究, 平成8年度地域重要新技術開発促進事業報告書, 1-25.
- 8) 瀬古準之助・荻田健二・野田宏行・天野秀臣・堀口吉重 (1982) : のりの硬さについて, 三重県伊勢清水産試験場報告, 1-51.
- 9) 倉掛武雄 (1966) : 海苔網冷蔵の手引き, 全国海苔貝類漁業協同組合連合会, 東京, pp. 72.