

令和 6 年 6 月 5 日現在

機関番号：32607

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K06189

研究課題名（和文）高価格海藻マツモの効率的で安定した周年生産を目指した閉鎖式陸上生産システムの確立

研究課題名（英文）Land-based cultivation of *Analipus japonicus*

研究代表者

難波 信由（Nanba, Nobuyoshi）

北里大学・海洋生命科学部・准教授

研究者番号：20296429

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、褐藻マツモの3次元的な「無基質陸上生産システム（無基質：付着していない状態）」における細胞塊株（細胞塊：マツモ糸状体の一部分）、種苗（芽胞体：直立枝を発芽させた細胞塊）、成体（成体：直立枝、側枝、付着器から成るマツモ直立体）の主要な形成・生長条件（水温、光量、光周期、細胞塊サイズ）を明らかにした。そして、半乾燥法が養殖株（細胞塊）の低温保存に有効であることも明らかになった。これらの結果から、本研究で開発を進めた3次元的な「無基質陸上生産システム」を用いた本種養殖生産体制の確立が可能であることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

長期化する気候変動などにより海の環境は激減しており、海藻類の生産量も減少傾向を示している。そこで本研究は、東北太平洋三陸特産の高価格海藻マツモを対象種とし、その養殖生産の全行程（細胞塊株生産、種苗生産、成体生産）に、3次元的な「無基質陸上生産システム」を用いるとともに、養殖株の保存を試みることで、効率的で安定した本種の周年生産技術の確立を目指した。

研究成果の概要（英文）：In the present study, we proved that optimal temperature, irradiance, photo period and cell mass size for formation and growth of the cell masses, seedlings and full-grown thalli of brown macroalga *Analipus japonicus* in the Land-based cultivation under three-dimensional (free-living) conditions. In addition, partially drying of the cell masses was an effective method for their low temperature storage. These findings indicate that the Land-based cultivation system using the methods described above is applicable for the *Analipus* cultivation.

研究分野：水圏生産科学

キーワード：褐藻マツモ 周年生産 無基質陸上生産

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

我が国は世界有数の食用海藻生産国であり、その品質は国内外で高い評価を受けているが、その需要に対する供給量不足が続いており、国内養殖生産量の増加が望まれている。しかし、単一種による2次元的な海面養殖を主体とする現在の海藻生産システムによるこの問題の解決は困難であった。

2. 研究の目的

本研究は、東北太平洋三陸特産の高価格海藻マツモを対象種とし、その養殖生産の全行程（細胞塊株生産、種苗生産、成体生産）に3次元的な「無基質陸上生産システム（図1）」を用いるとともに、無基質糸状体と細胞塊株の保存を試みることで、効率的で安定した本種の周年生産技術の確立を目指した。

なお、「無基質」は、対象海藻が付着していない状態を示す。

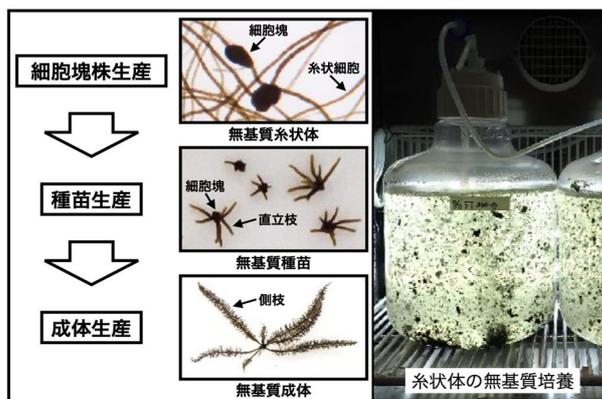


図1 無基質陸上生産システム（細胞塊株生産、種苗生産、成体生産工程）。

3. 研究の方法

(1) 細胞塊株生産：本研究において水温 20℃、光量 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、長日（明期 14 時間、暗期 10 時間）下で、無基質糸状体の高密度培養と、糸状体からの細胞塊株生産が可能であることが確認された（2022 年度実施報告書）。そこで、細胞塊株の生産量増加を目指して、重量 1g/L の無基質糸状体を光量 100、200、300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 下で 10L 容器を用いて 4 週間培養した後、糸状体を細断して得られた細胞塊株の重量、面積、個数を比較した。

(2) 種苗生産：本研究において水温 5~15℃、光量 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、短日（明期 10 時間、暗期 14 時間）下で、細胞塊株の高い種苗生産能力（直立枝形成率 70%以上）が確認された（2022 年度実施報告書）。そこで、最適光量条件の把握を目的として、前述（1）の実験で得られた細胞塊株を低密度（100 個/L）、水温 10℃、短日、光量 100、200、300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 下で 1L 容器を用いて 3 週間無基質培養し、直立枝形成率、最長直立枝長を比較した。さらに、直立枝を形成して生長した細胞塊株を低密度（25 個/L）下で 2 週間培養し、最長直立枝長を比較した。

この実験結果を踏まえ、種苗の高密度生産を目指して、重量 0.5g/L（個数 6,000 個/L）の細胞塊株を、水温 10℃、短日、光量 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 下で 10L 容器を用いて 6 週間無基質培養し、直立枝形成率、最長直立枝長、細胞塊株面積を測定した。

(3) 成体生産：成体生産における最適な光量、光周期条件の把握を目的として、前述（2）の実験で得られた種苗を低密度（10 個/L）、光量 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、水温 5℃ と 10℃、光周期短日と長日下で 10L 容器を用いて 12 週間無基質培養し、最長直立枝長と側枝面積を比較した。そして、培養後の藻体重量を測定した。

(4) 糸状体と細胞塊株の保存：水温 20℃、長日、光量 25 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、無基質培養条件下で 10L 容器を用いて糸状体を半年間保存した後、前述（1）の細胞塊株生産に使用した。

無基質糸状体の高密度培養で得られた大型細胞塊株（平均面積 0.6 mm^2 ）を、半乾燥状態（表面の海水を取り除いた後、キムワイプで包み、密閉した状態；図2）で温度 5℃、暗所において 4 週間保存した。そして、2 週間毎に低密度（100 個/L）、水温 10℃、短日、光量 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 下で 1L 容器を用いて 2 週間無基質培養し、直立枝形成率を比較した。



図2 半乾燥した無基質細胞塊株。

(5) 研究成果の発信と実証試験：2020 年度には（株）阿部伊組と理研食品（株）が本研究の実証試験先として参加した。そこで、高密度培養で作成した無基質種苗を（株）阿部伊組に提供し、100L 水槽を用いて中間育成した後、理研食品（株）の 30t 大型屋外水槽を用いて成体生産を実施した。

4. 研究成果

(1) 細胞塊株生産：光量は無基質細胞塊株の生産（重量、面積、個数）に大きな影響を与え、 $300\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 下で最も良い結果（平均重量 $1.0\text{g}/\text{L}$ 、面積 0.12mm^2 、個数 $20,000$ 個/L）が得られた（図3）。また、細胞塊株の面積が 0.2mm^2 （後述の「種苗生産実験」において直立枝を形成した最小面積）を超えたのは全体の 14.5% （平均 $2,900$ 個/L）、 0.5mm^2 （後述の「糸状体と細胞塊株の保存」に使用した大型細胞塊株の面積）を超えたのは 1.8% （平均 350 個/L）であった。

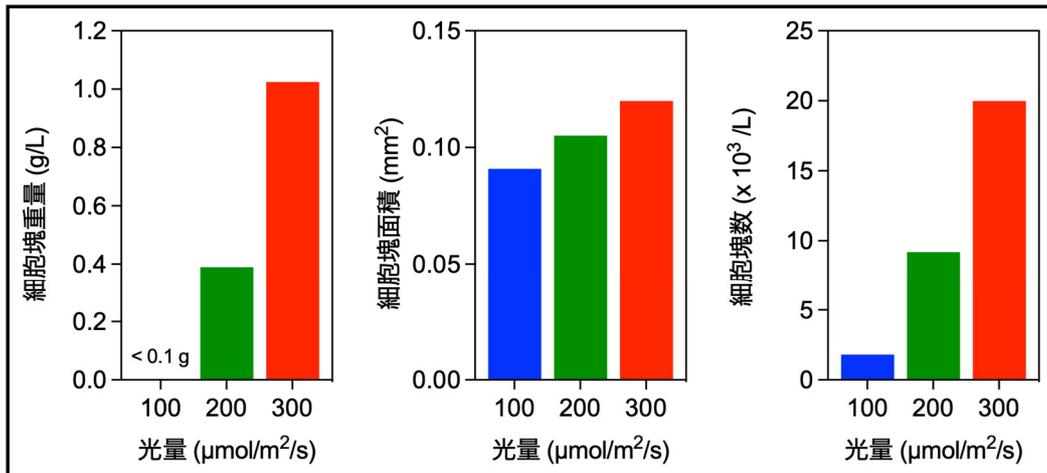


図3 細胞塊株生産：光量100、200、 $300\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ で高密度培養した無基質糸状体から形成された細胞塊株の重量、面積と個数。

また、研究分担者が実施したクロスチェックにおいて、細胞塊株面積では本実験と同等の結果が得られたが、個数は50%であった。

(2) 種苗生産：無基質細胞塊株の直立枝形成に対して光量は大きな影響を与え、 $200\sim 300\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 下で良い結果（培養3週間後の直立枝形成率80%以上）が得られた。一方、形成後の直立枝の生長に光量の影響はみられなかった（図4）。

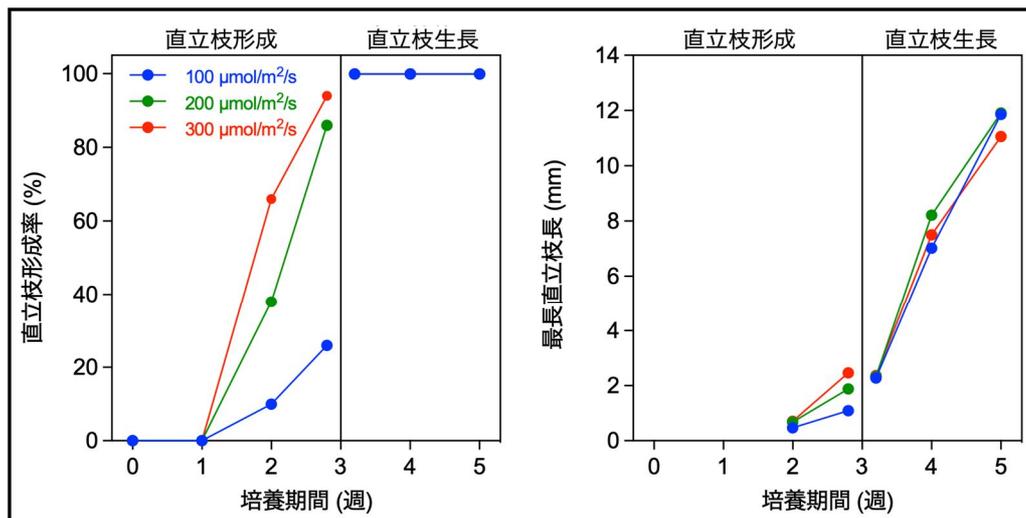


図4 種苗生産：光量100、200、 $300\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ で低密度培養した無基質細胞塊株からの直立枝の形成と生長。

なお、研究分担者が実施したクロスチェックにおいて直立枝形成率が80%を超えたのは培養5週間後であった。

前述の実験結果を踏まえ、光量 $200\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 下で高密度培養した無基質細胞塊株からの直立枝形成率は5週間後に80%を超え、6週間後の最長直立枝長は 1.2mm であったが、低密度下に比べて直立枝の形成と生長ともに遅れた。また、直立枝を形成した細胞塊株の平均面積は 0.8mm^2 、最小面積は 0.2mm^2 であった（図5）。

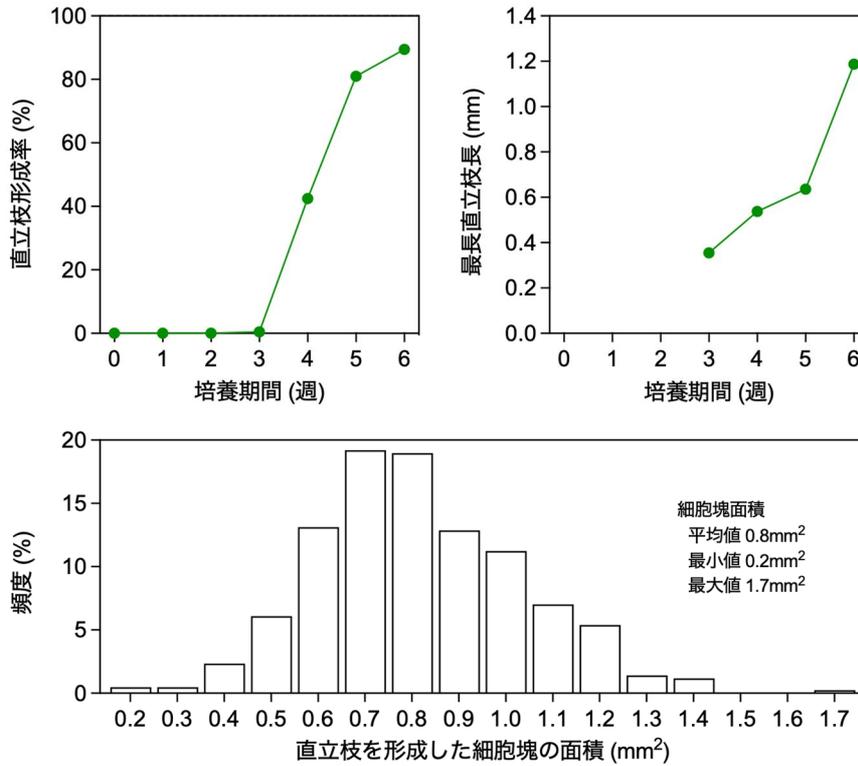


図5 種苗生産：光量 $200\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ で高密度培養した無基質細胞塊株からの直立枝の形成、生長と直立枝を形成した細胞塊株の面積。

(3) 成体生産：水温と光周期は直立枝と側枝の生長に大きな影響を与え、直立枝の生長は 5°C の長日下（平均直立枝長 110mm ）、側枝の生長は 5°C の短日下（平均側枝面積 374mm^2 ）で最も良い結果が得られた（図6）。

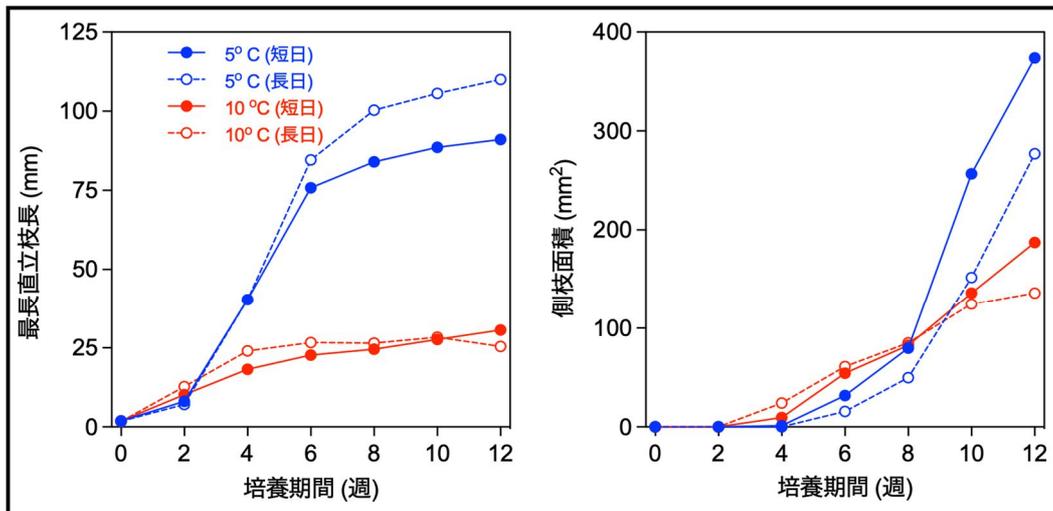


図6 成体生産：水温 5°C と 10°C の短日と長日で低密度培養した無基質種苗の直立枝と側枝の生長。

そして、無基質成体の藻体重量には水温が大きな影響を与え、培養後の藻体重量は 5°C の短日と長日下（平均重量 0.40 と 0.44g ）で良い結果が得られた（図7）。

(4) 糸状体と細胞塊株の保存：無基質培養条件下で半年間保存した糸状体は死滅しておらず、水温 20°C 、光量 $100\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、長日下で1週間予備培養した後、前述の細胞塊生産実験に使用可能な状態になった。

また、保存0、2、4週間後の大型細胞塊株の直立枝形成率に差はなく、培養2週間後には80%を超えた（図8）。この結果は、細胞塊株の活性を保った状態で4週間保存できること、そして、前述の種苗生産実験（平均面積 0.12mm^2 の細胞塊株で培養3週間後に直立枝形成率80%以

上)よりも大型の細胞塊株がより高い直立枝形成能力を有している(平均面積 0.6mm²の細胞塊株で培養2週間後に直立枝形成率80%以上)ことを示していた。

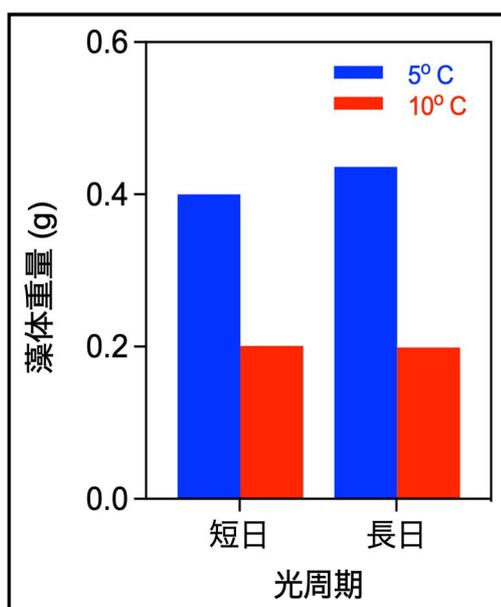


図7 成体生産：水温5°Cと10°Cの短日と長日で低密度培養した無基質種苗から形成された成体の藻体重量。

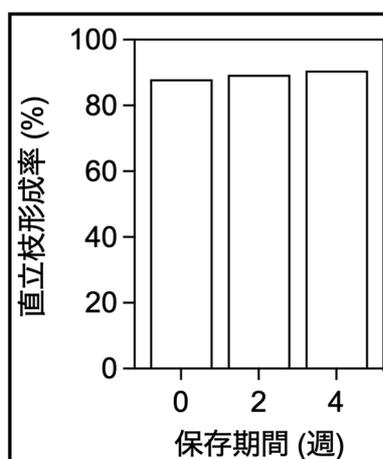


図8 無基質細胞塊株の保存：保存0、2、4週間後の無基質細胞塊株からの直立枝の形成。

(5) 研究成果の発信と実証試験：(株)阿部伊組の屋内実験室に設置された100L水槽で種苗を中間育成した後、理研食品(株)の30t大型屋外水槽において重量約80kg(約50,000藻体)の成体を収穫した。

(6) まとめ：前述(1)～(5)の成果から、本研究で開発した細胞塊株生産、種苗生産、成体生産の3工程で構成される3次元的な「無基質陸上生産システム」の事業化が可能であることが示された。

一方で、種苗生産に適した大型細胞塊株の高密度生産、成体生産工程における最適光量の把握や高密度生産、そして、各生産工程における再現性の向上など、事業化を目指した今後の課題も示された。

また、本研究では附着器の断片を株とした無基質陸上生産システムに関する実験も実施し、細胞塊株に比べ大量生産は難しいが、細胞塊株とほぼ同じ培養条件下で成体生産が可能であることも分かった(2020年度実施報告書、2021年度実施報告書)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 0件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 清水恵子・難波信由	4. 巻 8
2. 論文標題 地域連携活動 三陸特産マツモ（褐藻）の陸上養殖システム開発の共同研究	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 2021 年度北里大学海洋生命科学部附属三陸臨海教育研究センター年次報告	6. 最初と最後の頁 33
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 清水恵子・難波信由	4. 巻 9
2. 論文標題 地域連携活動 三陸特産マツモ（褐藻）の陸上養殖システム開発の共同研究	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 20212年度北里大学海洋生命科学部附属三陸臨海教育研究センター年次報告	6. 最初と最後の頁 37
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 清水恵子
2. 発表標題 三陸における地域連携活動
3. 学会等名 第6回水産海洋イノベーションコンソーシアムフォーラム「産学・地域連携の取り組みと人材育成」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 清水恵子・阿部将己
2. 発表標題 三陸特産マツモの周年安定生産システムの開発および新たな市場開拓について
3. 学会等名 第7回水産海洋イノベーションコンソーシアム・フォーラム「産学・地域連携活動とSDGs/これらからの水産海洋IOF育成プログラム」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 清水恵子
2. 発表標題 北里大学三陸キャンパスを拠点にした I O F (U R A) 活動
3. 学会等名 第8回水産海洋イノベーションコンソーシアムフォーラム「水産海洋IFO人材育成事業の成果と展望」
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 清水恵子
2. 発表標題 マツモの陸上養殖について
3. 学会等名 さんりく水産・海洋研究セミナー in 大船渡
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>競争的資金の研究課題実施 本研究の成果に基づき、下記の研究課題を実施した。 助成業者：公益財団法人さんりく基金 助成事業名：令和5年度調査研究助成事業 研究課題名：褐藻マツモの人工種苗生産に関する実証試験 研究期間：令和5年度（2023年度） 研究者名： 清水恵子（北里大学海洋生命科学部） 難波信由（北里大学海洋生命科学部） 佐藤陽一（理研食品株式会社原料事業部） 猪股英里（理研食品株式会社原料事業グループ） 篠塚美佐希（理研食品株式会社原料事業グループ）</p>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	清水 恵子 (Shimizu Keiko) (80710376)	北里大学・海洋生命科学部・助手 (32607)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------