

養成技術者の研究・研修成果等

1. 養成技術者氏名： 平岡 雅規

2. 養成カリキュラム名： 海洋深層水に適した海藻品種の選抜と複合培養システムに関する研究

3. 養成カリキュラムの達成状況

室戸岬で300m以深から汲み上げられている海洋深層水は、これまで事業レベルの水産物生産には利用されてこなかった。本カリキュラムでは事業レベルの海藻養殖及び海藻と魚介類の複合養殖の方法を確立することを目的としていた。3年間のカリキュラムでその目的はほぼ達成され、深層水を使ったアオノリ養殖およびコンブ・アワビ複合養殖について方法を確立した。特にアオノリ養殖については利益を上げられるシステムを構築し、実用化に至った。このシステムは地元室戸市の高岡漁協に採用され、水産庁、高知県、室戸市の予算1億数千万円が投じられ平成16年5月までに、世界初の大規模なアオノリ養殖施設(8トンタンク60基、1.5トンタンク6基、種苗生産棟を備える)が完成する。また、この施設の2次排水の利用として、本カリキュラムで開発したコンブ・アワビ複合養殖システムも採用される予定である。

4. 成果(A4版3枚程度)

海藻の収集・選抜

- ・ 海洋深層水養殖に適した各種有用海藻を、北海道、関東、四国で採集、または大学等試験研究機関から譲渡を受け、収集・選抜した。
- ・ 低温でもよく生長し、食品として付加価値の高いスジアオノリ株を分離した。スジアオノリの品種には、雌雄配偶子の接合を経て藻体が生じる有性生殖型生活史をもつものと、胞子を放出してそれが単独で発芽して新しい藻体を生じる無性生殖型生活史をもつものがあり、高知県四万十川河口からは有性生殖型、徳島県吉野川河口からは無性生殖型を分離した。また、藻体の分枝が激しいものとほとんど分枝しないものがあり、四万十川、吉野川から分枝する株、吉野川から分枝しない株を分離した。タンク養殖では分枝がないもののほうがからまりにくく、養殖しやすい利点があった。
- ・ アワビの餌に利用できる褐藻類、ワカメ、コンブ、カヤモノリ、ハバノリを収集、分離した。ワカメ、コンブについては、徳島と北海道からそれぞれの雌雄配偶体を収集し、北海道産カヤモノリ、千葉産ハバノリについては遊走細胞を放出させて分離し盤状体の形で維持培養した。
- ・ 他の有用海藻として、高知産アマノリの糸状体を分離した。アマノリは甘みのあるノリで高価で取引されるが、冬の非常に限られた時期にしか生育しない。また、静岡県からはアナアオサとりボンアオサ、高知県では新種ミナミアオサやコツブアオサなどを採取分離した。アオサは日本各地の富栄養化した内湾でグリーンタイドと呼ばれる大量発生を起こしており、きわめて高い生産力を持ち、トコブシやサザエに餌としての利用が考えられた。

海藻タンク養殖試験

- ・ 海藻を浮遊状態でタンク養殖する新しい方法「胞子および発芽体の集塊化による海藻養殖法」を世界で初めて導入し、アオノリ、アオサ、アマノリ、カヤモノリ、ワカメ、コンブ等の有用海藻で深層水を使った陸上タンク養殖を成功させた。
- ・ 4月～5月にかけて行なわれた野外1トンタンクを使用した養殖では、アマノリで日間生長率43%、カヤモノリで30%であった。
- ・ アオノリ養殖については、一年中タンク養殖が可能であることを確認した。野外1トンタンクに深層水を日量3トン程度連続的に注水して浮遊養殖すると周年の平均日間生長率は43%で、これは100gのアオノリを一週間で1kgに増殖させられる生長率であった。深層水は周年水温が安定しており11～12度であるが、野外タンク内の水温は外気温度に影響され、冬季は8度、夏季は25度程度になる。そのため、日間生長率は低温期に最低27%、高温期に60%を記録した。
- ・ アオノリをタンク養殖する過程において、タンク容量の1000分の1の湿重量までアオノリが増殖すると生長率が落ちることが示された。例えば、1トンタンクでアオノリを養殖した場合、それまで日間生長率

が40%であったものが、アオノリの湿重量が1kgを超えると日間生長率が10~20%に低下した。このような知見から、アオノリを連続的に養殖するには、異なる容量のタンクを用意しておき、アオノリが増殖するにつれて、次々と容量の大きなタンクに移していく方法を考案した。

海藻と魚介類の複合養殖試験

- ・ アワビの餌としてコンブとワカメを、発芽体集塊化養殖法を用いて、深層水で大量養殖したところ、一年中養殖が可能で、周年の日間生長率はコンブで10~20%、ワカメで15~20%であることが明らかになった。
- ・ アワビ養殖研究では、海藻養殖の排水でも問題なくアワビ養殖が行えた。歩留まりもよく、ほぼ100%の生残率であった。
- ・ 深層水で養殖されたコンブとワカメの両海藻を、単独または混合給餌してアワビの成長と一般成分(水分、灰分、脂質、たんぱく質)を調べたが、有意差は認められなかった。しかし、アワビの摂食量はコンブのほうが少なかったため、コンブはアワビの餌料効果が高いという結論に至った。
- ・ 深層水を他段階で利用する目的で、コンブ-アワビ-コンブの3段階の複合養殖を行なった。第1段階は新鮮な深層水を供給して人の食品としてのコンブを、第2段階は第1段階の排水でアワビを、第3段階は第2段階の排水でアワビの餌用コンブを、それぞれ養殖した。第1、第3段階のコンブはどちらも同程度の生長率を示したが、第3段階のコンブは第1段階のコンブに比べて藻体の色が薄い傾向にあった。アワビは斃死するものもなく養殖できた。

栄養塩分析

- ・ 深層水は表層水に比較して5~10倍の溶存態窒素、溶存態リンを含んでいる。深層水を未処理のまま天然海域に放水すると赤潮が発生する可能性が指摘されている。海藻養殖によって深層水中の窒素やリンがどの程度除去(吸収)されているのかを調査した。その結果、深層水が3回転/日で注水されており、タンク容量の1000~10000分の1の湿重量のアオノリが養殖されていると、窒素とリンが90%以上除去されて深層水が排出されることがわかった。
- ・ アオノリのタンク養殖で、鉄分を添加すると生長率と収量が共に増大することが明らかになった。アオノリの最適生長水温25になる夏季に、100リットルタンク2基並べ養殖実験を行なった。一方のタンクに鉄分溶出剤を入れておくと、入れていないタンクでは日間生長率が71%であったのに対し、鉄分溶出剤入りのタンクでは101%になった。つまり最適時期に鉄分溶出剤をタンクに入れておくとアオノリの重量が毎日2倍ずつ増えるということである。これは非常に早い増殖速度であるといえる。

コスト計算

- ・ 一年以上に及ぶアオノリ養殖のデータから、1トン当たり湿重量1kgのアオノリが養殖されていると一週間で10倍に増殖することがわかった。このことから、1gの種苗を10リットル、100リットル、1トン、10トンと、順次10倍容量のタンクで一週間ずつ養殖していくと、4週間の養殖で湿重量10kgのアオノリを生産できると見積もられた。
- ・ 一日の収穫が湿重量100kgで一週間に6日収穫するという仮定で、設備を考えると、100リットルタンク6基、1トンタンク66基、10トンタンク60基が野外水槽と、日量10gの種苗を作製できる培養棟が必要となる。この施設で生産できるアオノリは年間31,300kgで、乾燥させると重量は約10分の1になるので乾重量3トンと計算できる。高級アオノリの漁協での入札価格は1万円前後なので、3000万円の収入が見込まれた。
- ・ 全容量666.6トンの野外水槽で、日量3回転の深層水を注水すると日量2000トンの深層水が必要となる。室戸市では深層水1トンあたり7円で分水しているので年間511万円の深層水代がかかる。電気代はエアレーション等に350万、人件費は種苗生産のための研究員1名で500万円、パート作業員6名で600万円の運営費がかかる。収入3000万から深層水代、電気代、人件費を差し引くと1000万円の利益となる。ただし施設建設には1億5千万かかる。
- ・ 以上のような計算から、施設建設費用は水産庁、高知県、室戸市の補助金でまかない、全タンク容量500トン規模のアオノリ養殖施設を、地元漁協を事業主体として建設することが決定された。現在、建設中で平成16年5月ごろ完成することになっている。ここでの施設設計、養殖方法は、本カリキュラムで実証された結果に基づいて構築された。
- ・ アオノリ以外の養殖では、カヤモノリ、ハバノリ、アマノリはアオノリと同程度の高い生長速度をもつことがわかり、アオノリと同様の施設で大量生産できることが示された。建設中のアオノリ養殖施設ではアオノリ1種のみを生産することになっているが、次世代の陸上海藻ファームとして多品種海藻生産を目指せる基盤が築けた。
- ・ アオノリ養殖施設で排出される2次水で、アワビ養殖を行なう計画も立てられている。ここでも本カリ

キュラムの実証結果に基づいて設計される予定である。

5 . 成果の対外的発表等

(1) 論文発表 (論文掲載済、または査読済を対象。)

大野正夫・矢野誠・平岡雅規・岡直宏・谷口道子 2002. 海洋深層水を用いた紅藻トゲキリンサイとトサカノリのタンク養殖 Bulletin of Marine Sciences and Fisheries, Kochi University. 21, 35-40

D. Sahoo, M. Ohno and M. **Hiraoka** 2002. Laboratory, field and deep seawater culture of *Eucheuma serra* a high lectin yielding red alga. Algae 17: 127-133

A. Dan, M. **Hiraoka**, M. Ohno and A. T. Critchley 2002. Observations on the effect of salinity and photon fluence rate on the induction of sporulation and rhizoid formation in the green alga, *Enteromorpha prolifera* (Muller) J. Agardh (Chlorophyta, Ulvales). Fishery Science 68: 1182-1188

M. Ohno, C.L.Werlinge, S. Shimada and M. **Hiraoka** 2003. Green tide problem caused by *Enteromorpha* sp. in Dichato, Chile. In: Proceedings of the 17th international seaweed symposium, Cape Town, 2001. A.R.O. Chapman, R.J. Anderson, V.J. Vreeland and I.R. Davison (Eds) p243-248

M. **Hiraoka**, S. Shimada, M. Ohno and Y. Serisawa 2003. Asexual life history by quadriflagellate swimmers in *Ulva spinulosa* (Ulvales, Ulvophyceae). Phycological Research 51: 29-34

M. Uchimura, G. Yoshida, M. **Hiraoka**, T. Komatsu, S. Arai and T. Terawaki 2003. Ecological studies of green tides, *Ulva* spp. in Hiroshima Bay, the Seto Inland Sea. Jpn. J. Phycol. 51: (Supplement) (印刷中)

S. Shimada, M. **Hiraoka**, S. Nabata, M. Iima and M. Masuda Molecular phylogenetic analyses of the Japanese *Ulva* and *Enteromorpha* (Ulvales, Ulvophyceae), with special reference to the free-floating *Ulva*. Phycological Research 51: 99-108(日本藻類学会論文賞受賞)

S. Shimada, M. **Hiraoka**, A. Serisawa and T. Horiguchi 2003. Phylogenetic studies in the genus *Codium* (Chlorophyta) from Japan. Jpn. J. Phycol. 51: (Supplement)(印刷中)

M. **Hiraoka**, A. Dan, S. Shimada, M. Hagihira, M. Migita and M. Ohno 2003. Different life histories of *Enteromorpha prolifera* (Ulvales, Chlorophyta) from four rivers on Shikoku Island, Japan. Phycologia 42: 275-284

S. Shimada, M. **Hiraoka** and M. Notoya 2003. Morphological and molecular analyses of *Ulva* and *Enteromorpha* (Chlorophyta). National History Research (印刷中)

A. Dan, M. **Hiraoka**, M. Ohno and M. Notoya 2003. Activity of a sporulation inhibitor in the green alga, *Enteromorpha prolifera*. Jpn. J. Phycol. 51: (Supplement) (印刷中)

M. **Hiraoka**, M. Ohno, N. Oka and A. Dan 2003. Mariculture of seaweeds with deep seawater in Japan. Jpn. J. Phycol. 51: (Supplement) (印刷中)

N. Oka, M. **Hiraoka** and T. Nishijima 2003. Growth of abalone fed on *Undria pinnatifida* (Alariaceae, Phaeophyceae) cultivated as free living form "germling cluster" in deep seawater. Jpn. J. Phycol. 51: (Supplement) (印刷中)

M. **Hiraoka**, S. Shimada, Y. Serisawa, M. Ohno and H. Ebata 2003. Two different genetic strains of stalked-*Ulva* (Ulvales, Chlorophyta) grow on the intertidal rocky shore in Ebisujima, central Japan. Phycological Research 51: 161-167

團昭紀・平岡雅規・大野正夫・能登谷正浩 2003. 成長の異なるスジアオノリ藻体での孢子形成阻害活性の決定 水産増殖 51: 229-230

團昭紀・平岡雅規・大野正夫・能登谷正浩 2003. スジアオノリ藻体からの抽出液がスジアオノリ初期形態形成におよぼす影響 水産増殖 51: 165-172

M. Hiraoka, S. Shimada, M. Uenosono and M. Masuda 2004. A new green-tide-forming alga *Ulva ohnoi* (Ulvales, Ulvophyceae) from Japan. Phycological Research 52: 17-29

(2) 口頭発表 (発表済を対象。)

M. Hiraoka Tank cultivation of *Enteromorpha prolifera* using deep seawater. "Phycology toward the 21st century" International Symposium of Asian Pacific Phycological Association. Yamagata 2001 年 6 月

S. Shimada, M. Hiraoka and Masao Ohno Molecular phylogeny of genera *Ulva* and *Enteromorpha*. 7th International Phycological Congress. Greece 2001 年 8 月

木全由佳理・大井 高・楠見武徳・平岡雅規 吉野川産緑藻スジアオノリ孢子の走光性に関わる化学物質の探究. 日本化学会第 80 秋季年会. 2001 年 9 月

吉田吾郎・内村真之・平岡雅規・寺脇利信・新井章吾 広島湾奥部の人工海岸域における浮遊性アオサ類の消長と環境要因 平成 14 年度日本水産工学会学術講演会・鹿児島 2002 年 5 月

G. Yoshida, M. Uchimura, M. Hiraoka, S. Arai, Y. Ishii, H. Tamaki and T. Terawaki Ecology of *Ulva* spp. (Chlorophyta) causing 'green tides' and coastal environment of Hiroshima Bay, Seto Inland Sea. The 3rd Joint Meeting of the Coastal Environmental Science and Technology (CEST) Panel of UJNR. Yokosuka 2002 年 6 月

M. Ohno and M. Hiraoka Mariculture of seaweeds with deep seawater in Japan. Algae2002. Tsukuba 2002 年 7 月

M. Hiraoka, S. Shimada, A. Dan and M. Ohno Three strains of *Enteromorpha prolifera* (Ulvales, Chlorophyta) with different life history: Their ITS sequences and nuclear genome size estimated by microspectrophotometry. Algae2002. Tsukuba 2002 年 7 月

S. Shimada, M. Hiraoka, A. Serisawa and T. Horiguchi Phylogenetic studies in the genus *Codium* (Chlorophyta) from Japan. Algae2002. Tsukuba 2002 年 7 月 (ポスター賞受賞)

A. Dan, M. Hiraoka and M. Ohno Inhibiting substance of the sporulation from vegetative frond of the green alga *Enteromorpha prolifera* (Muller) J. Agardh. Algae2002. Tsukuba 2002 年 7 月

M. Uchimura, G. Yoshida, M. Hiraoka, T. Komatsu, S. Arai and T. Terawaki Ecological studies of *Ulva* spp. in Hiroshima Bay, the Seto Inland Sea. Algae2002. Tsukuba 2002 年 7 月

N. Oka and M. Hiraoka Growth of abalone fed on *Undria pinnatifida* cultivated as free living form "germling aggregation" in deep seawater. Algae2002. Tsukuba 2002 年 7 月

上井進也・芹澤如比古・平岡雅規・四ツ倉典滋・村岡大祐・小亀一弘 日本産ワカメにおける個体群間の遺伝的多型について 日本植物学会第 66 回大会・京都 2002 年 9 月

平岡雅規・岡直宏 室戸海洋深層水によるスジアオノリ養殖事業化実証試験 第 6 回海洋深層水利用研究

会全国大会・久米島 2002年11月

岡直宏・平岡雅規・西島敏隆 ワカメの配偶体成熟誘導と室戸海洋深層水を用いた屋外養殖 第6回海洋深層水利用研究会全国大会・久米島 2002年11月

渡辺文雄・刈谷宣政・榎本俊樹・宮本恵美・平岡雅規・加納剛太 室戸海洋深層水で養殖したスジアオノリの栄養価と機能性因子 栄養食糧学会中国四国支部例会・高知 2002年11月

森加奈未・大井高・平岡雅規・楠見武徳 褐藻カヤモノリの成分研究 第41回日本薬学会・日本病院薬剤師会中国四国支部学術大会・鳥取 2002年11月

鳶田智・平岡雅規・能登谷正浩 アオサ・アオノリ類の形態と分子情報 第14回千葉県立中央博物館自然誌シンポジウム・有用海藻における遺伝子研究の現状と課題・千葉 2002年11月

岡直宏・平岡雅規・四ツ倉典滋・西島敏隆 海洋深層水によるコンブ陸上タンク養殖 - 新しい食材としての利用 - 日本藻類学会第27回大会・三重 2003年3月

19 平岡雅規 室戸海洋深層水によるスジアオノリの養殖 公開シンポジウム高知の誇る資源海洋深層水 - 科学的特性把握ならびに新たな有効利用法の検索とその問題点の解明 - 高知大学 21世紀地域振興学術プロジェクト・高知 2003年4月

20 川井唯史・岡直宏・平岡雅規・中明幸広 ホソメコンブ配偶体の生長に及ぼす硝酸塩の影響 平成15年度日本水産工学会学術講演会・福井 2003年5月

21 M. Hayashi, T. Ikeda, K. Iwase, M. Hiraoka, H. Takeyama and T. Matsunaga Multi-layer type algal production system with CO₂ enrichment and mirror duct. Marine Biotechnology Conference, 6th International Marine Biotechnology Conference, 5th Asia Pacific Marine Biotechnology Conference, Chiba, Japan, Sept. 2003

22 M. Ohno, T. Sumida, N. Oka and M. Hiraoka Effect of Fe⁺ for *Enteromorpha* tank culture with deep seawater. The 5th Asian-Pacific Conference on Algal Biotechnology, Qingdao, P.R.China, Oct. 2003

23 川北浩久・森山貴光・平岡雅規 海洋深層水で培養した海藻の効率的乾燥法の検討 第7回海洋深層水利用研究会全国大会・焼津 2003年12月

24 荻田淑彦・川北浩久・田島健司・平岡雅規 海洋深層水多目的多段利用技術について 第7回海洋深層水利用研究会全国大会・焼津 2003年12月

25 岡直宏・平岡雅規・西嶋敏隆・四ツ倉典滋・川北浩久 室戸海洋深層水と表層水を用いたホソメコンブ大量培養と藻体成分比較 第7回海洋深層水利用研究会全国大会・焼津 2003年12月

(3) 特許等(出願番号を記載)
なし