

室戸海洋深層水による海藻とアワビの多段養殖 —海藻養殖排水、アワビ養殖排水の有効利用—

*岡 直宏・高知県海洋深層水研究所 (*愛媛大学連合大学院)

目 的

前年度では、室戸海洋深層水によるコンブ、ワカメの周年大量培養技術、また培養後の海藻を連続的にアワビに給餌するという養殖システムを確立した。しかしながら、この養殖システムは基礎学術的な要素が多く、起業化を視野にいたした場合、養殖にかかる経費コストを削減するようなシステムを再検討する必要がある。これまでの研究では、海藻大量培養とアワビ養殖には独立した深層水を用いていた。アワビ養殖排水を海藻養殖に、また海藻養殖排水をアワビ養殖に利用できれば、深層水にかかる経費を大幅に削減できる。

そこで本研究では、養殖に用いる海洋深層水の有効利用及び養殖コスト削減を考え、海藻培養排水を用いたアワビ養殖の可否、アワビ養殖排水を用いた海藻大量培養の可否を確かめる。またアワビの生残率及び海藻の生長率の測定、各水槽の水質分析を行い、排水による養殖への影響を把握する。さらに養殖排水で培養した海藻と深層水のみで培養した海藻の成分比較を行い、アワビ餌料としての有効性について検討する。これらの結果から、室戸海洋深層水による海藻とアワビの多段養殖システムの確立を目指す。

材料と方法

屋外タンクにて、海藻養殖水槽（以下：第1水槽）⇒アワビ養殖水槽⇒海藻養殖水槽（以下：第2水槽）へと段階的に深層水を流水する工程を設計した（Fig. 1）。養殖に用いる海藻は *Undaria pinnatifida*（和名：ワカメ）及び *Laminaria religiosa*（和名：ホソメコンブ）とし、アワビは

Hariotis seiboldii（和名：メガイアワビ）とする。注水は深層水のみで、初め海藻養殖水槽へ3t/dayの流量を設定した。全ての水槽には十分なエアレーションを施した。ワカメの養殖期間は2003年10月27日～11月16日の20日間、ホソメコンブの養殖期間は2004年2月10日～3月1日の20日間とした。注水、排水水槽へそれぞれ約10gの海藻種苗を投入して養殖を開始した。各海藻の質重量の測定を4日毎に行い、日間生長率を算出した。

日間生長率の算出式を下記する。

日間生長率(%) = $[(W_t/W_0)^{1/t} - 1] \times 100$ (Peniman *et al.* 1986)

W_t : t日後の重量 W_0 : 培養開始時の重量 t: 培養日数

養殖終了後の海藻は、乾燥後に一般成分の分析を行った。

アワビ養殖はワカメ養殖と同時に開始し、殻長30～40mmのアワビを125個体、総重量約500gを用いた（Fig. 2）。別水槽にて深層水で養殖したホソメコンブを、3日毎に100gと十分量給餌し、同時に残餌の回収を行った。給餌量から残餌量を差し引くことで摂餌量を算出した。海藻養殖を行わない期間（12月から1月）においても、アワビへの給餌は継続した。アワビ重量の測定は2週間から1ヶ月間隔で行った。

各水槽内水温は、MDSデータロガー（Arec electronics Ltd.）により連続計測し、4日毎の平均水温を算出した。また注水する深層水及び各水槽の排水を、正午において4日毎にサンプリングし、孔径0.45 μmのメンブランフィルターで濾過後、溶存無機栄養塩濃度測定用に-20℃の凍結保存をした。測定時に解凍し、TRACCS800を用いてアンモニウム塩、硝酸塩、亜硝酸塩濃度及びリン酸塩濃度を測定した。測定方法は、海洋観測指針に準拠し

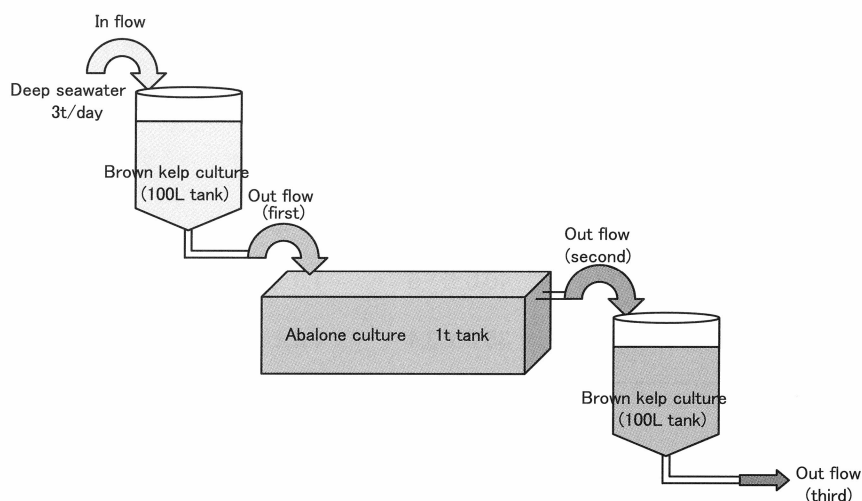


Fig.1 Diagram showing the culture tanks of multistage culture method.

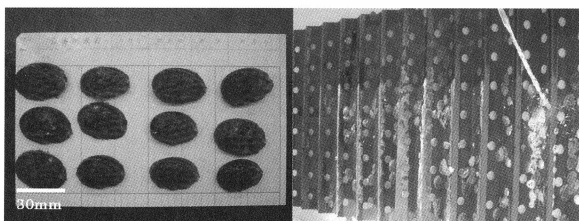


Fig.2 Photo showing 125 juvenile shells (size range from 30 to 40 mm of shell length) (left), *H. sieboldii*, were in the outdoor 1t tank, together with corrugated plates (right).

行った。

結 果

第1水槽及び第2水槽でのワカメ及びホソメコンブの湿重量と水温の遷移をFig. 3に示した。ワカメの養殖期間中における平均日間生長率は、第1水槽で14.7%、第2水槽で12.9%と約2%の差異が、また養殖期間中の水温も第1水槽で14.9℃、第2水槽で16.9℃と2℃の差異が確認された。ホソメコンブの平均日間生長率は第1水槽で22.0%、第2水槽で20.3%であり、ワカメと同様、水槽間には約2%の生長率の差異が、また平均水温は、第1水槽で12.3℃、第2水槽で12.1℃と大差はなかった。第1水槽と第2水槽の増重には、常に第1水槽での生長が良かったが、第2水槽でも十分な海藻の生長がみられた。このことから、アワビ養殖排水でも十分に海藻が養殖できることが分かつ

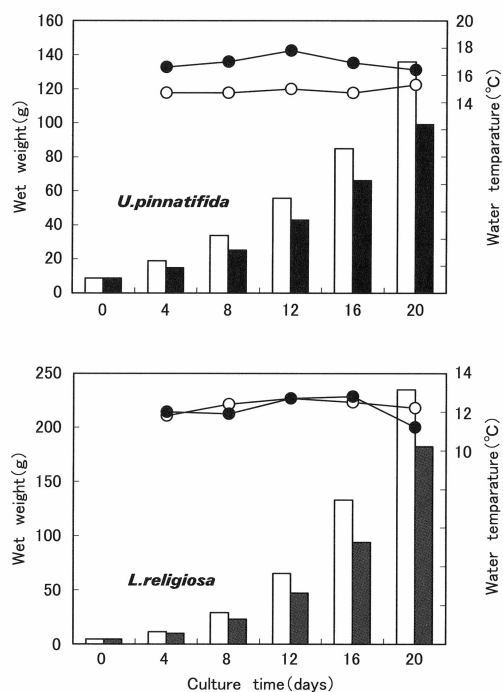


Fig. 3 Changes of the average water temperature (line) and the wet weight (bars) for *U. pinnatifida* and *L. religiosa*. Open symbol were first tank and closed symbol were second tank.

た。

試験終了後の海藻成分を、Table 1に示した。ワカメ、ホソメコンブ共に、タンパク質含量が20%と多かった。また海藻種間及び同種における水槽間での各成分の検定を行ったが、有意差はみられなかった。また海藻の形態は、特にワカメにおいて水槽間に違いが見られ、第1水槽では第2水槽

Table 1 Analytical data of *U. pinnatifida* and *L. religiosa* in the culture using deep seawater (first tank) and abalone drain seawater (second tank).

Sample	Moisture(%)	Ash(%)	Lipid(%)	Protein(%)	Carbohydrate(%)
<i>U. pinnatifida</i> (first tank)	9.0±0.2	38.6±0.3	0.4±0.01	20.1±0.2	31.9±0.1
<i>U. pinnatifida</i> (second tank)	9.8±0.1	45.0±4.4	0.7±0.3	17.9±0.6	26.6±4.4
<i>L. religiosa</i> (first tank)	9.6±0.1	40.0±1.5	1.0±0.2	18.1±0.5	31.3±2.2
<i>L. religiosa</i> (second tank)	10.7±0.2	35.3±3.4	1.0±0.2	18.1±0.4	35.0±2.1

Average ± Standard Deviation (n=3)

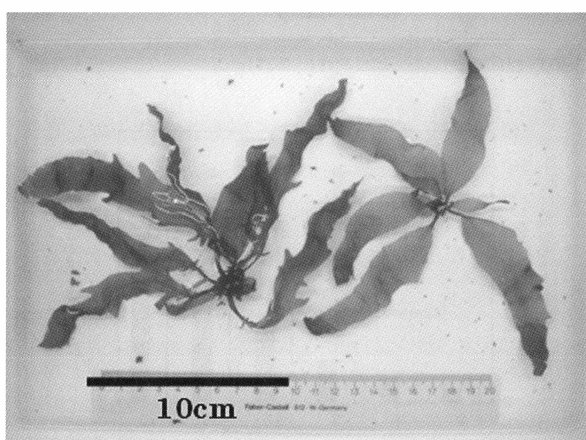


Fig. 4 *U. pinnatifida* cultivated in first tank (left) and second tank (right).

よりも側葉が多分枝する傾向があった (Fig. 4)。

両海藻種の養殖時の栄養塩濃度は、硝酸塩、リン酸塩濃度が養殖日数を追うごとに減少し、培養終了時で最も少なくなる傾向があった (Table 2)。アンモニウム塩及び亜硝酸塩については、1 μM以下の濃度で推移したため、本試験では影響がないものとした。また海藻養殖水槽での栄養塩の減少だけではなく、アワビ水槽での栄養塩の減少がみられた。

本試験でのアワビは、試験終了時までには一個体も斃死することなく、健全に育成され、殻長は60mm

に成長した (Fig. 5)。養殖期間133日でのアワビ重量の推移をFig. 6に示す。養殖期間中のアワビのホソメコンブ摂餌量は4680.7gであり、500gのアワビは1500g以上に成長した。一般的には、1kgの増重には15kgの海藻が必要とされているが、本試験では約5kgの摂餌量で達成された。

考 察

ワカメとアワビの多段養殖試験において、2つのワカメ養殖水槽の水温には、平均で2℃の差異がみられた (Fig. 3)。ワカメの養殖期間は10月から11月であり、外気温は約15~20℃であった。ホソメコンブの養殖期間は2月から3月であり、外気温は深層水の水温 (約12℃) よりも低かった。これら外気温による影響から、ワカメ養殖水槽では水温が上昇し、ホソメコンブ養殖水槽では水温差がみられなかったものと考えられる。また両海藻種の生長量は深層水の注水水槽がアワビ排水水槽よりも多く、生長率も高かった。本試験での海藻の生長に与える主要因として考えられるのは、養殖水温と溶存無機栄養塩量である。ワカメにお

Table 2 Nutrient (PO₄-P and NO₃-N) concentration of the poured deep seawater (DSW) and the all tanks drain seawater at the end of culture.

	<i>U. pinnatifida</i>				<i>L. religiosa</i>			
	DSW	First tank	Abalone tank	Second tank	DSW	First tank	Abalone tank	Second tank
PO ₄ -P (μM)	1.94	1.80	1.58	1.47	1.85	1.25	1.30	0.85
NO ₃ -N (μM)	25.65	24.44	19.21	19.05	24.80	18.50	10.50	6.60

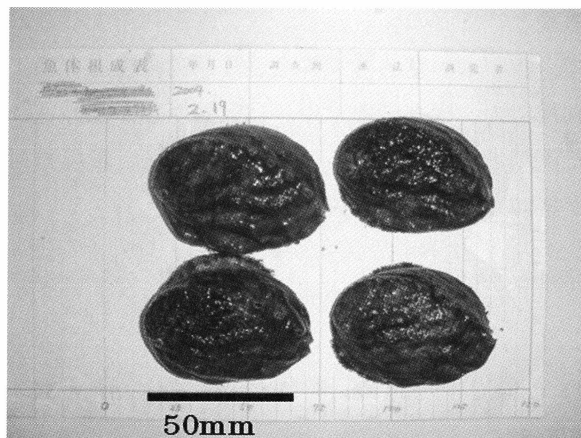


Fig. 5 Photo showing the abalone, *H. seiboldii*, at the end of culture.

いては、平均水温が約2℃異なるが、栄養塩の減少量は少なく、十分に栄養塩は海水中に含まれている (Table 2)。したがって、養殖水温の差が生長差として現れたのではないかと推察される。逆にホソメコンブでは、養殖水温には差異が見られず、栄養塩の減少量がワカメと比較して甚だしい。養殖水中の栄養塩濃度が希薄になると、それだけ吸収する効率は悪くなる。ホソメコンブに関しては栄養塩濃度が生長差に影響しているのではないかと考えられた。さらにワカメにおいて、藻体の形態が深層水注水水槽とアワビ排水水槽で大きく異なっていた。海藻の形態は、水温や水の対流によって変化することが報告されている (Rhodes 1970 ; Gerard and Mann 1979 ; van den Hoek 1981)。ホソメコンブでは形態に顕著な差は見られなかったことから、水温の差異がワカメの形態の違いとして現れたのではないかと考えられた。

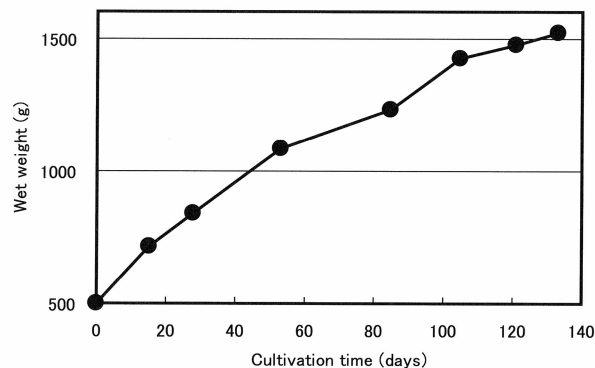


Fig. 6 Growth curve of *H. seiboldii* cultured for 133 days in 1t tank. 125 juvenile shells were grown from 500g (shell length 30mm) to 1517g (shell length 60mm).

海藻成分に関しては、両海藻種共に、水槽による差異はみられなかった。

またタンパク質含量は両海藻共に20%前後と高かった。科学技術庁資源調査会発表による五訂日本食品成分表では、それぞれタンパク質、炭水化物含量について、乾燥ワカメでは13.6%、41.3%、乾燥ホソメコンブでは6.9%、62.9%と記されている (山田 2001)。これは深層水で養殖された海藻のタンパク質含量の約半分である。一般的に海藻成分は、窒素制限下における培養でタンパク質含量が減少し、炭水化物含量が増加することが知られている (Lobban and Harrion 1994)。これらの要因としては、深層水の富栄養によるものと考えられた。

本試験においてアワビは1個体も斃死することなく健全に育成され、1kgの増重にホソメコンブが約5kgの摂餌であり、一般的に言われる量と比

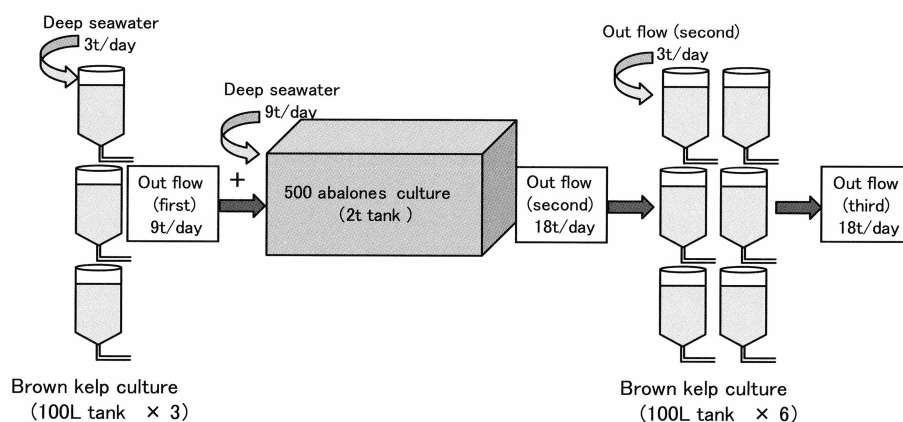


Fig. 7 Polyculture system between the abalone and the brown kelp using deep seawater.

較しても極少量であった。第二章第一節において、1 kgの増重に摂餌されたワカメは9.3kgであった。このことから、ワカメよりもホソメコンブの餌料価値が優れていると考えられる。また、アワビ水槽には若干の珪藻が繁茂していた。海藻と珪藻との混合摂餌によって、アワビの生長が良くなるという報告もみられる(松村 2004)。このことがより少ない摂餌量で高成長をみせた可能性も否定できない。さらにこの珪藻繁茂は、アワビ養殖において懸念されたアンモニウム塩の付加がみられないことやアワビ水槽を通過することで硝酸塩やリン酸塩が減少することについても、影響を与えているものと推察された (Table 2)。

本試験の知見から、深層水の注水量、アワビ飼育個体数等を検討した多段養殖システムを確立した (Fig. 7)。これまで魚類の養殖排水の浄化を目的に、海藻をバイオフィルターとして使用する例が多く報告されている (Cohen and Neori 1991; Neori 1996 ; Neori *et al.* 1996 ; Neori and Shpigel 1999)。また近年、バイオフィルターで浄化された海水を再度魚類養殖に利用し、バイオフィルターとして用いた海藻をアワビに給餌するという養殖システムを実証し、良好な結果が得られている (Neori *et al.* 2000 ; Schuenhoff *et al.* 2003)。本試験においても、海藻の養殖排水を用いたアワビ養殖には全く問題がなく、有効であると考えられる。またアワビ養殖排水による海藻養殖も、種によっては海藻の形態変異や、生長率の減少はみられるが、アワビ餌料としてはタンパク質含量の多い有用な海藻として利用可能であろう。

海藻とアワビの多段養殖システムを利用することで、深層水の富無機栄養塩性及び清浄性を有効に利用でき、また環境水中へは栄養塩類が削減された深層水が放水されることになるので、環境負荷が軽減されるものと推察された。

参考文献

- 1) Cohen, I. and Neori, A. 1991. *Bot. Mar.* 34. 475-82.
- 2) Gerard, V. A. and Mann, K. H. 1979. *J. Phycol.* 15. 33-41.
- 3) Lobban, C. S. and Harrison, P. J. 1994. *Seaweed ecology and physiology*. Cambridge University Press, 366pp.
- 4) 松村航. 2004. 第8回海洋深層水利用研究会全国大会講演要旨集. 25-6pp
- 5) Neori, A. 1996. *Isr. J. Aquac. - Bamidgeh* 48(1). 19-27.
- 6) Neori *et al.* 1996. *Aquaculture*. 141(3-4). 183-99.
- 7) Neori, A. and Shpigel, M. 1999. *World Aquac. Mag.* 30(2). 46-51.
- 8) Neori *et al.* 2000. *Aquaculture*. 186. 279-91.
- 9) Penniman, C. A., Mathieson, A. C. and Penniman, C. E. 1986. *Bot. Mar.* 29. 147-54
- 10) Rhodes, R. G. 1970. *J. Phycol.* 6. 312-4.
- 11) Schuenhoff *et al.* 2003. *Aquaculture*. 221. 167-81.
- 12) 山田信夫 2001. 海藻利用の科学. 成山堂.