

## 不稔性アオサの成長と成熟に及ぼす温度, 塩分, 光強度の 複合影響

岸田智穂・馬場将輔

### Combined Effects of Temperature, Salinity and Light Intensity on Growth and Maturation of Sterile Green Alga, *Ulva* sp.

Chiho Kishida\*<sup>§</sup> and Masasuke Baba\*

**要約:** 不稔性アオサ (*Ulva* sp.) の成長と成熟に及ぼす温度, 塩分, 光強度の複合影響を室内培養試験により調べた。温度10~35°C, 光強度40~120  $\mu$  E/m<sup>2</sup>/s, 塩分8~48の範囲で合計108の試験区を設定した。このうち温度20および25°C, 塩分24~40, 光強度120  $\mu$  E/m<sup>2</sup>/sで, 日間成長率が39.3~43.9%と高い値を示した。また, 20および25°C, 光強度80および120  $\mu$  E/m<sup>2</sup>/s, 塩分16および48の条件では成熟率が50~83%であったが, 塩分24~40の条件下では成熟率が低かった。

**キーワード:** *Ulva*, 不稔性アオサ, 成長, 光強度, 成熟, 塩分, 温度

**Abstract:** The combined effects of temperature (10, 15, 20, 25, 30 and 35°C), salinity (8, 16, 24, 32, 40 and 48) and light intensity (40, 80 and 120  $\mu$  E/m<sup>2</sup>/s) on growth and maturation of sterile green alga *Ulva* sp. were studied in laboratory culture. The higher daily growth rates of *Ulva* sp., 39.3 - 43.9%, were observed at 20 and 25°C and at salinities of 24 - 40 under light intensity of 120  $\mu$  E/m<sup>2</sup>/s. The higher maturation rates of *Ulva* sp., 50 - 83%, were observed at 20 and 25°C and at salinities of 16 and 48 under light intensities of 80 and 120  $\mu$  E/m<sup>2</sup>/s. In contrast, the lower maturation rates, 0 - 33%, were observed at salinities of 24 - 40 under same temperatures and light conditions.

**Keywords:** *Ulva*, sterile green alga, growth, light intensity, maturation, salinity, temperature.

#### まえがき

右田 (1985) は1973年に長崎県大村湾で採集したアオサが室内通気培養下でよく成長し, 10年以上成熟することなく栄養繁殖を続けたこと, また, このアオサは不稔性の異変株と考えられることを報告した。通常, アオサやボタンアオサなどは野外から採集し, 室内で数日間培養すると葉状体の大部分が成熟して小さな断片となって崩れてしまうことが多い (能登谷, 1999)。しかし最近アオサ類の中でも培養水温や葉片の切断によって

も成熟することなく長期間成長する種が知られている (能登谷, 1999)。これらは, 不稔の性質が強いという意味で不稔性アオサと呼ばれている。このアオサ (以下, 不稔性アオサ) は, 上記の性質を利用し, 環境調和型養殖法に関する試みのなかで養殖漁場の環境浄化機能を持つ餌料として使用されているほか (内山ら, 1994), アワビ等の種苗生産における餌料としても利用されている (中村ら, 1983)。

一方では, この不稔性アオサが日本各地の沿岸, 特に関東以南の温暖な海域の内湾や河口域で大発

(2002年5月27日受付, 2002年11月14日受理)

\* 財団法人 海洋生物環境研究所 実証試験場 (〒945-0322 新潟県柏崎市荒浜4-7-17)

§ E-Mail : kishida@kaiseiken.or.jp

生し、海岸に打ち上げられ腐敗すると異臭を発するため社会的な問題を引き起こす場合があり、その大発生の要因として外部環境要因の関与が指摘されている（大野，1999）。

この報告では外部環境要因が不稔性アオサに及ぼす影響を解明することを目的として、大村湾産不稔性アオサの室内培養試験を行い、成長に及ぼす温度、塩分、光強度の複合影響を調べた結果について述べる。さらに不稔性アオサの成熟と環境要因の関係を把握するために、成熟状況の観察結果を報告する。

### 材料および方法

試験手順をFig. 1に示す。本試験に用いた不稔性アオサは実証試験場で継代培養している長崎県大村湾産の保存株である。この保存株は、1998年1月より20℃、12時間明期：12時間暗期、50 μE/m<sup>2</sup>/sの条件でPES培地（McLachlan, 1973）を使用し、通気培養を継続して行っており、その間成熟することなく栄養繁殖している。藻体は後述の各試験温度で7日間の馴致培養を行った後、試験に供した。アオサの葉片は試験前日に1辺約1cmの正方形に切りそろえたものを使用した。この葉片を塩分調整した海水とPES培地が入った300ml三角フラスコに4枚ずつ入れ、1試験区に対してフラスコ3本を割り当てた。またガラス管による通気培養を行い、葉片がフラスコ内を緩やかに回るようにした。これらを所定の温度に設定したインキュベーター（トミー精工株式会社製、CU-350）の中に収容し試験を開始した。光源は5色発光形蛍光灯（東芝ライテック株式会社、FL20SS・EX-N/18-N）を使用した。さらにインキュベーター内部を3段に区切り、各棚の遮光の割合を変えることで3段階の光強度を設定した。光周期は12時間明期:12時間暗期とした。

温度10、15、20、25、30、35℃の6段階、光強度40、80、120 μE/m<sup>2</sup>/sの3段階、塩分8、16、24、32、40、48の6段階を組み合わせた108の試験区を設定し、温度別の実施した。試験に使用した塩分調整海水は、滅菌した高塩分海水とイオン交換水を混合することにより作成した。高塩分海水には、凍結させたろ過海水を体積の約3分の1程度解凍することにより得られる塩分濃縮水を使用した。

試験期間は6日間とし、3日目に培養液全量の

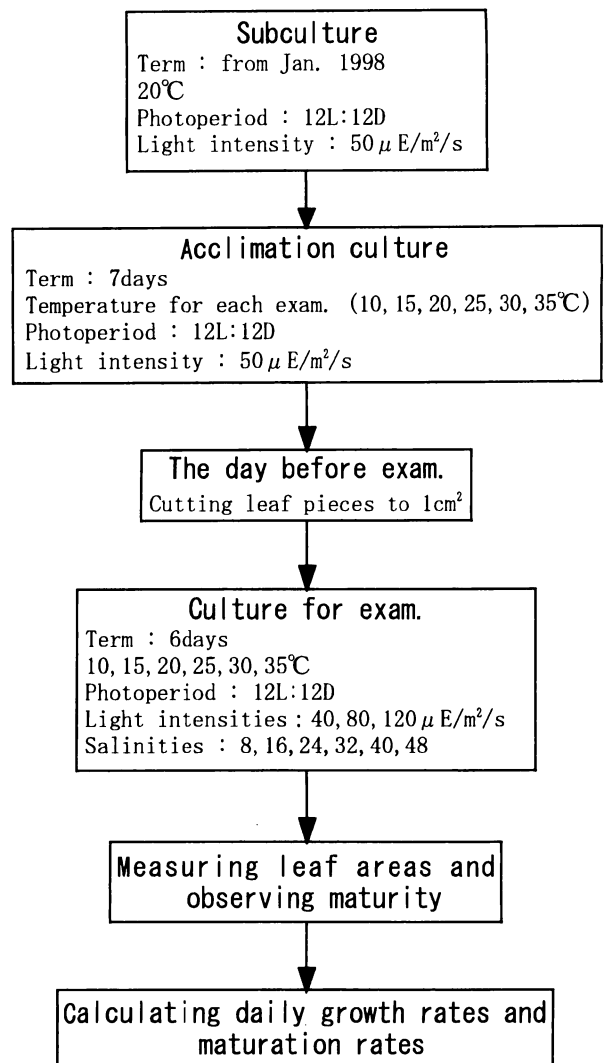


Fig.1 Process of examination

交換を行った。試験開始0日目、3日目および試験終了時の6日目に全ての藻体の写真を撮影した。この写真を画像解析ソフト（NIH Image）で処理し、葉面積を測定した。葉面積の1日当たりの成長率（日間成長率、R）は以下の式により算出し、Scheffeの多重比較による検定を実施した。

$$R = (\ln X - \ln X_0) \cdot 100 \cdot T^{-1}$$

ここで、 $X_0$ は開始時の葉面積、 $X$ は測定時の葉面積、 $T$ は開始から測定時までの日数を示す。

また試験終了時には、顕微鏡下で各葉片の生殖細胞の有無を観察し、生殖細胞が観察された葉片数を1試験区的全葉片数で割ることにより成熟率を算出した。

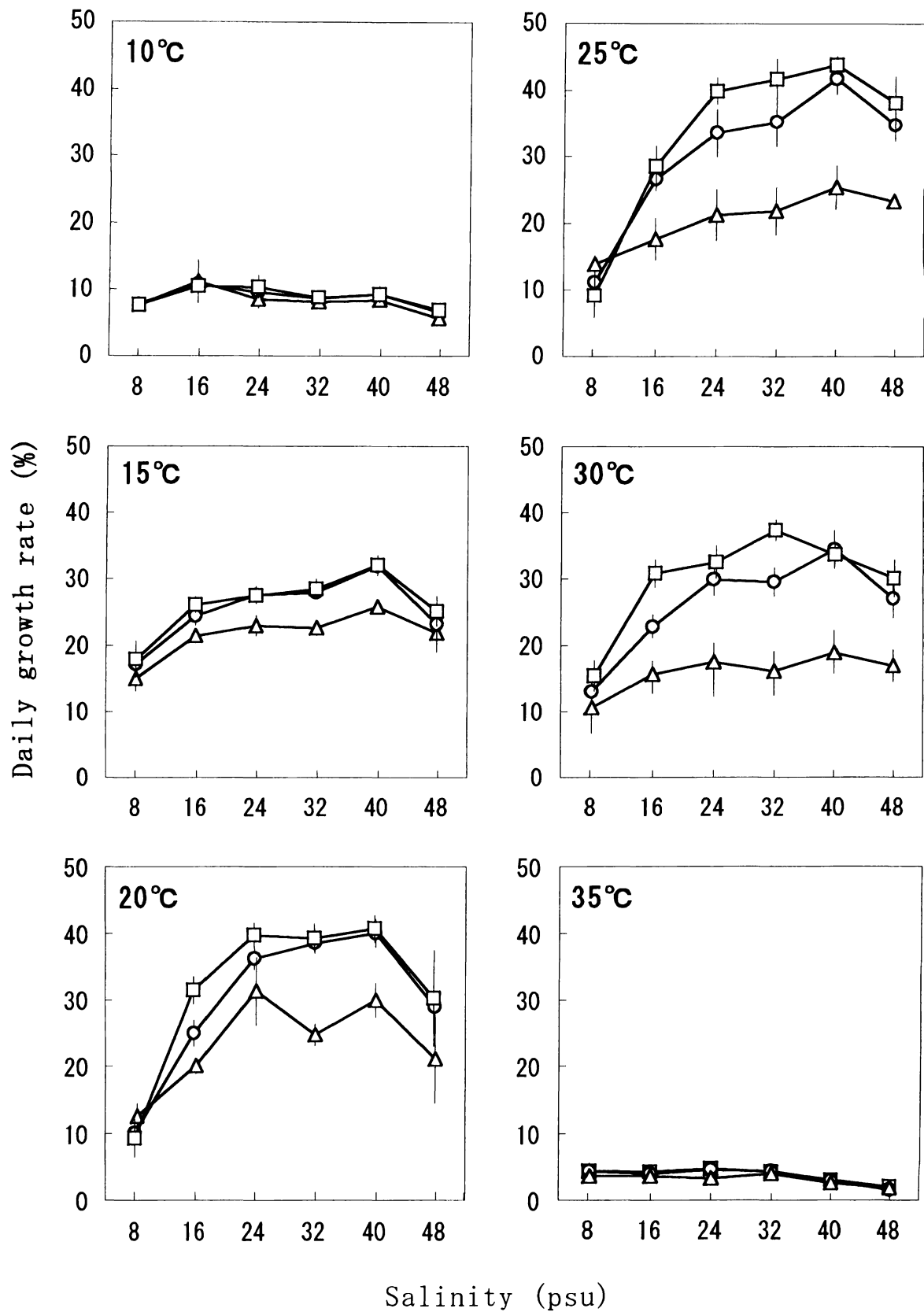


Fig.2 Daily growth rate of sterile *Ulva* sp. under light intensity of 40  $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$  ( $\Delta$ ), 80  $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$  ( $\circ$ ) and 120  $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$  ( $\square$ ) cultured at 10, 15, 20, 25, 30 and 35°C and at salinity of 8, 16, 24, 32, 40 and 48 in erlenmeyer flasks of 300 ml. Vertical bars indicate S.D.. [The experimental period is 6 days]

## 結 果

**日間成長率** 各温度区の6日間培養後の日間成長率をFig. 2に示す。全試験区中成長が最も良好であったのは25°C、塩分40、光強度120  $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ で、日間成長率は43.9%であった。20および25°C、塩分24~40、光強度120  $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ では、日間成長率が39.3~43.9%となり、他の試験区と比較して高い値を示した。15~30°C、塩分16~48、光強度80および120  $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ では、日間成長率は全て20%以上であった。また、いずれの光強度でも、15~30°Cでは塩分24~40で成長率が最も高い値を示し、これより低塩分側あるいは高塩分側で低下する傾向があった。

35°Cでは、同じ塩分および光強度の他の温度区とそれぞれ比較すると葉面積は最も小さく、日間成長率は1.5~4.8%で、15~30°Cとの間に有意な差が認められた ( $p < 0.05$ )。また35°Cでは、光強度の違いによる日間成長率の差は認められなかった。さらに35°C、塩分8では2日目から藻体の白化が観察されるようになり、試験終了時には全ての個体が枯死した。同様に35°C、塩分16の区でも4日目から藻体の白化が見られるようになり、試験終了時には一部の個体で枯死が認められた。

10°Cでは、いずれの条件でも枯死することなく成長したものの、同じ塩分および光強度の他の温度区とそれぞれ比較すると葉面積は35°Cに次いで小さく、日間成長率は5.7~11.2%で、15~30°C、塩分16~48との間に有意な差が認められた ( $p < 0.05$ )。また35°Cと同様に光強度の違いによる日間成長率の差は認められなかった。

光強度40  $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ では、15~30°C、塩分16~48において同じ温度および塩分の80および120  $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ の区とそれぞれ比較すると葉面積は最も小さく、日間成長率は15.6~31.2%で、光強度120  $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ の区との間に有意な差が認められた ( $p < 0.05$ )。

塩分8では15~30°Cにおいて同じ温度および光強度の他の塩分区とそれぞれ比較すると葉面積は最も小さく、日間成長率は9.2~18.0%で、塩分24~48の区との間に有意な差が認められた ( $p < 0.05$ )。

**成熟率** 各温度区の6日間培養後の成熟率をFig. 3に示す。温度別に見ると10°C、30°C、35°Cでは試験期間内に成熟した葉片は観察されなかった。成熟した個体が観察された15~25°Cの範囲を

光強度別に見ると、光強度が強い区(80および120  $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ )で高い成熟率を示した。光強度40  $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ で成熟個体が観察されたのは25°C・塩分16のみであった。また15~25°Cの範囲を塩分別に見ると成熟率は低塩分側の塩分8と16、あるいは高塩分側の塩分48で高い値を示した。一方、天然海域の塩分に近い塩分32では低い成熟率を示した。

## 考 察

本試験の成長に関する結果では、大村湾産の不稔性アオサは15~30°C、塩分16~48、光強度80~120  $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ の条件下で日間成長率が高く、特に20~25°C、塩分24~40、光強度120  $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ で成長率が著しく高くなった。村瀬ら(1993)はアオサ不稔株と野生株の成長に及ぼす温度の影響を検討し、不稔株では20~30°Cで良好な成長が見られたと報告している。能登谷(1999)は日本各地で大繁殖しているアオサ類について、成長に及ぼす温度、塩分の影響を検討し、これらのアオサ類は概ね15~25°Cで成長が速いこと、塩分8.4~50.6で成長することが可能であることを明らかにした。また、前川(1999)は不稔性アオサの温度と光合成速度の関係を検討し、光合成速度は15°Cでは50  $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ 以上、20°Cでは200  $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ 以上、25°Cでは400  $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ 以上でそれぞれ飽和し、30°Cでは800  $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ でも光合成速度が飽和しないことを報告している。したがって本試験の光強度は、この報告と照らし合わせると20~30°Cでは光合成速度が飽和に達しない条件下で試験を行ったことになるが、本試験の成長率の結果は村瀬ら(1993)、能登谷(1999)の報告と同様の傾向を示した。以上より、本試験で使用したアオサは海域で通常観測される水温域では光条件がある程度満たされていれば、比較的広い塩分範囲で成長することが明らかになった。

本試験の成熟に関する結果において、成熟率は20、25°C、光強度80、120  $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ の条件下で塩分16および48では高くなり、塩分24~40では低くなった。藤田(1999)は大村湾産のアオサを異なる温度や光強度で培養した結果、温度や光条件によっては部分的に成熟することが明らかになったと報告している。また、飯塚ら(1983)は1975年から1976年にかけて行われた大村湾の塩素量の観測資料により年平均塩素量は高い海域で17.9~

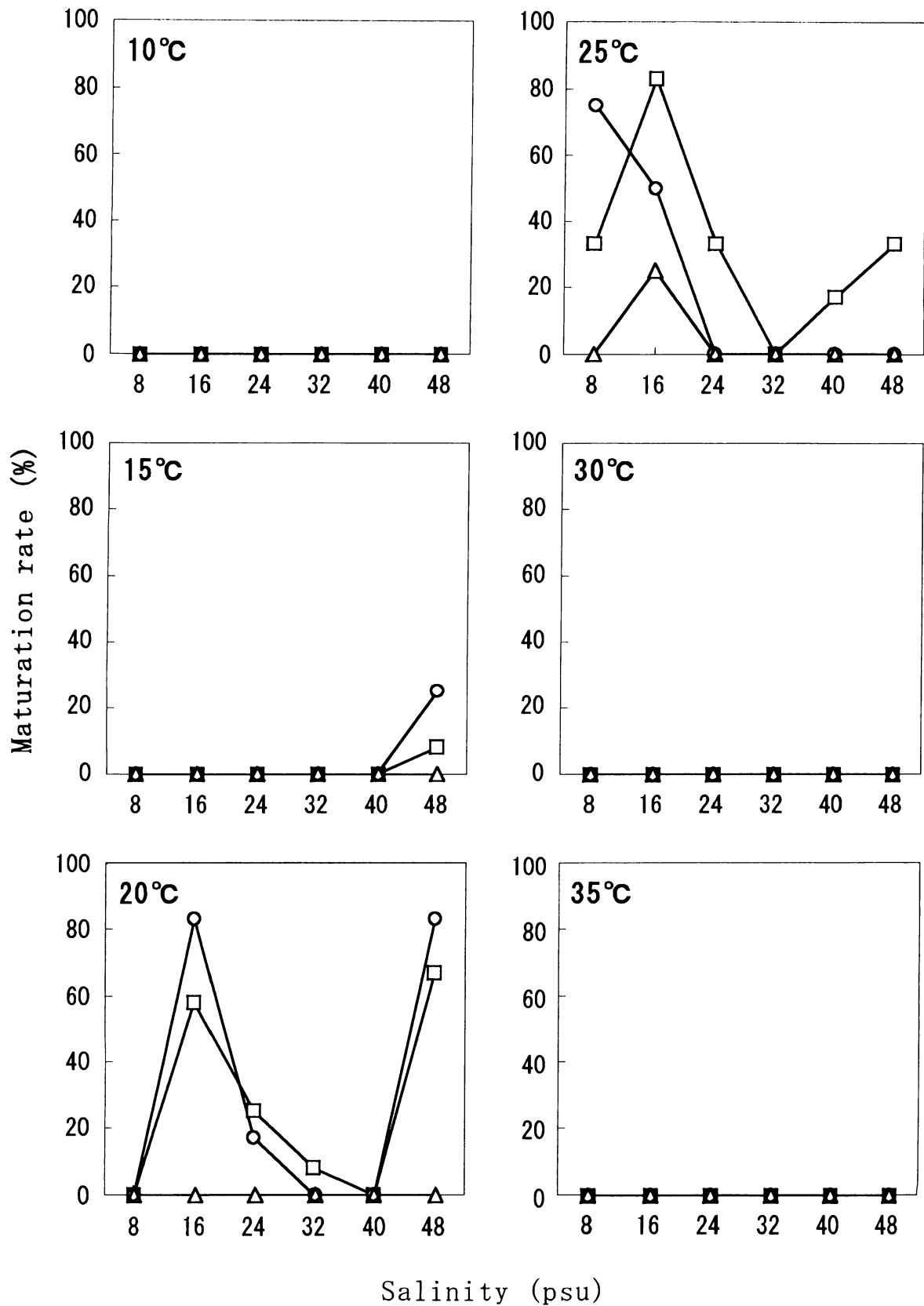


Fig.3 Maturation rate of sterile *Ulva* sp. under light intensities of 40  $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$  ( $\Delta$ ), 80  $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$  ( $\circ$ ) and 120  $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$  ( $\square$ ) cultured at 10, 15, 20, 25, 30 and 35°C and at salinities of 8, 16, 24, 32, 40 and 48 in erlenmeyer flasks of 300 ml. [The experimental period is 6 days.]

18.0%, 低い海域で16.5~17.0%であったと報告している。これは塩分に換算すると29.8~32.5の範囲であり、本試験で使用した不稔性アオサの成熟率が低くなる塩分の範囲内である。以上より、6日間の培養試験において本試験で使用したアオサの成熟は、成長より限定された水温域で誘発され、海域での塩分の通常値32前後で成熟することが少なく、むしろ過酷と思われる低塩分、高塩分で成熟することが明らかになった。またこれら成熟は15~25℃の範囲において、低水温側では高塩分域で、高水温側では低塩分側で起こる傾向がみられた。さらにこのような成熟現象は光条件が満たされていなければ発現しないことも明らかになった。このように、いわゆる不稔性アオサの成熟は水温、光、塩分の複合影響により誘発されることが明らかになった。しかし本試験の期間は6日間であり、成熟する条件の特定には、さらに長期間の試験を行う必要があると思われる。

#### 謝 辞

本業務を進めるに当たり、ご指導とご意見を頂いた高知大学海洋生物教育研究センターの大野正夫教授に心より感謝申し上げます。

また、この論文は、経済産業省原子力安全・保安院から委託された温排水生物複合影響調査の報告のうち一部を許可を得て公表するものであり、関係各位に謝意を表する。

#### 引用文献

藤田雄二 (1999). 長崎県大村湾では、「アオサの

利用と環境修復」(能登谷正浩編著), 成山堂書店, 東京, pp.48-54.

飯塚昭二・平山和次 (1983). 大村湾. 「沿岸域保全のための海の環境科学」(平野敏行編), 恒星社厚生閣, 東京, pp.324-342.

前川行幸 (1999). 光合成と生産力. 「アオサの利用と環境修復」(能登谷正浩編著), 成山堂書店, 東京, pp.32-41.

McLachlan, J. (1973). Growth media - marine. "Handbook of phycological methods. Culture methods & growth measurements" (ed. Stein, J.), Cambridge University Press, Cambridge, pp. 25-51.

右田清治 (1985). 大村湾産アナアオサの不稔性異変種. 長崎大学水産学部研究報告, No.57, 33-37.

村瀬昇・前川行幸・松井敏夫・大貝政治・片山舒康・齋藤宗勝・横浜康継 (1994). アナアオサの不稔性異変株の成長と光合成-温度特性. 日本水産学会誌, 60, 625-630.

中村伸司, 前迫信彦, 四井敏雄 (1983). 不稔性アナアオサの増殖率とそれによるクロアワビ稚貝の飼育. 昭和57年度長崎県水産試験場事業報告, 209-212

能登谷正浩 (1999). 生長. 「アオサの利用と環境修復」(能登谷正浩編著), 成山堂書店, 東京, pp.16-25.

大野正夫 (1999). いま, 海で何が起きているか アオサの異常繁殖とグリーンタイド. ウェイスト・リソース, No.39 October 別冊, 29-31.

内山達也・松田宗之・山崎繁久・平田八郎 (1994). マダイとアナアオサ変異種の還元給餌型養殖. 養殖, 31 (12), 68-71.