

博多湾に生育するアオサ 2 型の生殖的隔離について

平岡雅規¹・大野正夫²・川口栄男³¹ マリン・グリーンズ株式会社 (799-3125 愛媛県伊予市森 728)² 高知大学海洋生物教育研究センター (781-1164 高知県土佐市宇佐町井尻 194)³ 九州大学農学部水産学第二教室 (812-0053 福岡県福岡市東区箱崎 6-10-1)M. Hiraoka¹, M. Ohno² and S. Kawaguchi³: A note on the reproductive isolation of two types of *Ulva* (Chlorophyta) growing in Hakata Bay. Jpn. J. Phycol. (Sôru) 46: 161-165.

Two types of *Ulva* are found in the Hakata Bay, Fukuoka Prefecture, Japan. One type has large and thin thallus, being numerous found as floating thallus deep inside the bay and becoming a "nuisance alga". The other type with smaller and thicker thallus than the former grows attached to exposed rocks on the wavy shore, showing typical *Ulva pertusa* Kjellman. Although some researchers regard that floating *Ulva* are derived from thallus pieces of *U. pertusa*, the relationship between the two types of *Ulva* has still remained unresolved. In this study, crossing experiments between the floating type of *Ulva* and *U. pertusa* from Hakata Bay were carried out using the punching method, which can induce the reproductive maturation within several days by excision of small thallus tissue. In *U. pertusa* the reproductive maturation was induced in more than 90% of excised disks within three days, whereas in the floating *Ulva* maturation was induced in only about 10% of the disks within 5 days. No copulation between male and female gametes from the two entities occurred, while fertilization within each of them was successful. These results strongly suggest that the floating type of *Ulva* belongs to a different taxon from *U. pertusa*.

Key Index Words: crossing experiment-Hakata Bay-induced maturation-nuisance alga -punching method-*Ulva pertusa*

¹ Marine Greens Co., Ltd., 728 Mori, Iyo, Ehime 799-3125, Japan² Usa Marine Biological Institute Kochi University, Usa, Tosa, Kochi 781-1164, Japan³ Department of Fisheries, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka 812-0053, Japan

近年、日本各地でアオサの異常繁殖が問題になっている。この異常繁殖するアオサは浮遊して存在するため、日本沿岸に極めて普遍的に生育する *Ulva pertusa* Kjellman (アナアオサ) の藻体断片が栄養成長したものと考えられてきた。しかし、アナアオサと浮遊型アオサは次の点で異なる。生態的にアナアオサが岩礁帯の潮間帯中部域に繁茂するのに対し、異常繁殖するアオサは内湾の干潟や砂礫帯に浮遊して存在する。また、形態的にはアナアオサ藻体は比較的厚く円形に伸長するのに対し、後者の浮遊型アオサは長方形の藻体が多く、薄くて裂けやすい不定形に伸長し、大型のものは1m以上にもなる。浮遊型アオサは、フィリピン、インドなど熱帯海域の沿岸で濃密に繁茂している *U. lactuca* (Silva et al.1996, p.745-748) と形態や生態的特性が酷似しているため、*U. lactuca* の種名をあてることが考えられている (大野 1997)。一方、右田 (1985) が大村湾産アナアオサについて報告したように、形態的

に相違があるものの、浮遊型アオサはアナアオサの変異体とする考え方もあり、両者の関係については不明な点も多い。

博多湾では初夏から秋にかけて湾内の砂礫帯に浮遊型アオサが大量に増殖する。一方、博多湾の湾口から湾中央部にかけての岩礁地帯にはアナアオサが生育する。今回、それらの典型的な形態を示す2型のアオサを博多湾の湾口岩礁帯と湾内の砂礫帯から採集し、実験室内で成熟誘導を試み、さらに交雑実験を行った。

1997年8月28日、博多湾内の砂礫地帯 (Fig. 1・A) の浮遊型アオサ5個体と博多湾口の岩礁 (Fig. 1・B) に固着していたアナアオサ5個体を採集し実験室に持ち帰った。Fig. 2に示すように、浮遊型アオサは不定形でところどころ裂開し、藻体の厚さは極めて薄く (Fig. 3) 淡緑色であった。一方、岩礁に固着していたアナアオサは扇状で厚みがあり (Fig. 4)、体色も濃緑色であった。持ち帰ったアオサは付着物を取り除き、ポン



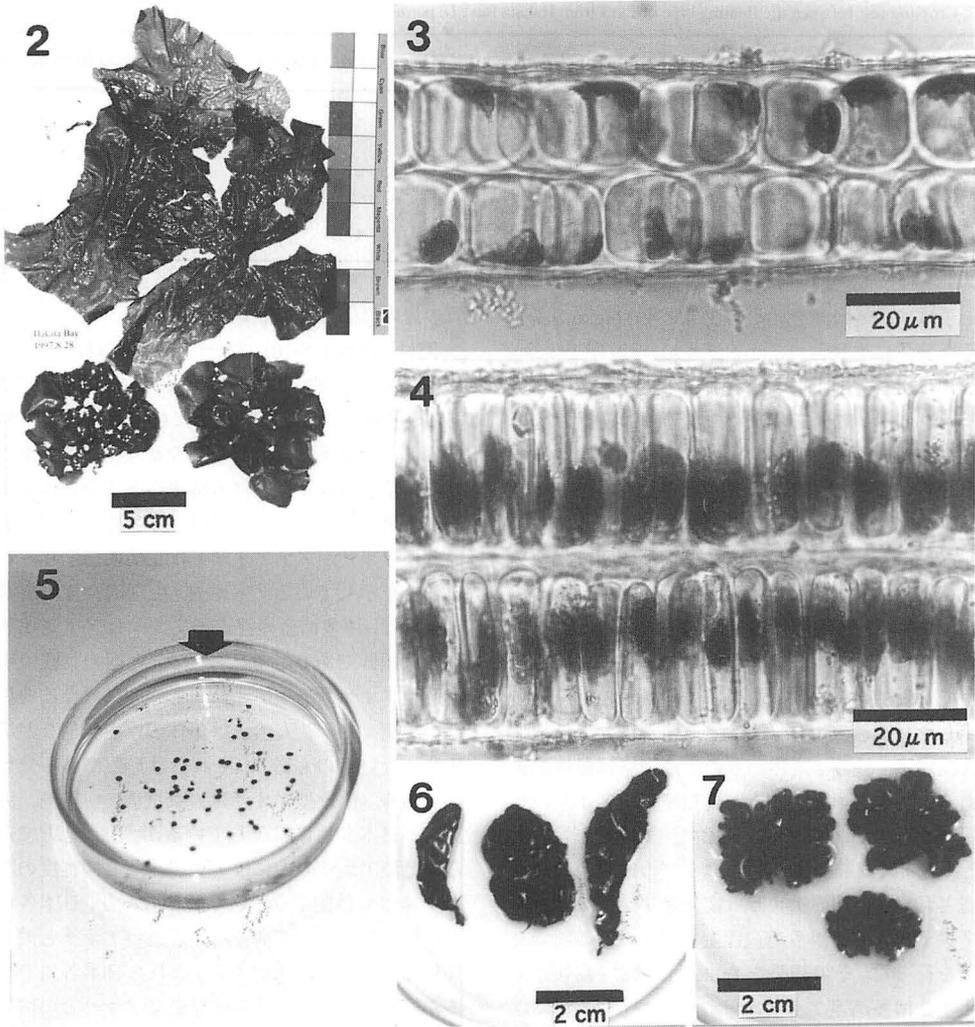
Fig. 1. Map of Hakata Bay. The floating type of *Ulva* was collected from location A, and *U. pertusa* was collected from location B.

プでくみ上げた循環海水中(約20℃)で維持した。数日後、藻体の細断化による成熟誘導(Hiraoka and Enomoto 1998)を試みた。この方法は、直径数mmの口径をもつコルクボーラーでアナアオサ藻体をディスク状に切り出し培養することで数日のうちに藻体ディスクに生殖細胞の形成を誘導できる。浮遊型アオサ5個体(サンプル番号1から5)とアナアオサ5個体(サンプル番号6から10)のそれぞれの縁辺部分から直径1.5mmの藻体ディスクを正午にコルクボーラーで50枚づつ切り出し、滅菌海水でよく洗浄した。50枚の藻体

ディスクはPES培地20mlで静置培養した。培養条件は、白色蛍光灯1000lux, 明期/暗期=12時間/12時間, 明期は6時から18時, 温度は20℃に設定した。培地交換は毎日, 正午に行い, 同時に藻体ディスクを観察し成熟率を記録した。成熟が起こり生殖細胞を形成したディスクから, 正午までに生殖細胞の放出が起こった。成熟率は, 生殖細胞が形成, 放出されたディスクの枚数(成熟ディスク数)を数え, 切り出されたディスクの枚数(50枚)に対する割合(%)で表わした。ディスク全体が成熟する場合が多く観察されたが, 1ディスクが部分的に成熟した場合には, 3分の1または3分の2のどちらか近い成熟割合に分類し, 3分の1または3分の2を成熟ディスク数に加えた。また, 部分的に成熟した場合, 自然条件下で観察される成熟と同様に未成熟部と成熟部の境界が明瞭であった。次にこの2型のアオサの雌雄配偶体株を確立するために, サンプル4(浮遊型アオサ)とサンプル7(アナアオサ)から得られた4本鞭毛の生殖細胞(遊走子)を培養した。それぞれの遊走子は20 ml PES培地入りのガラスシャーレ(幅9 cm, 高さ1.5 cm)に播種し, 上記培養条件下で培養した。PES培地は1-2週間毎に交換した。3ヵ月後, 5-10 mmに生長した10藻体をPES培地250 mlを入れた三角フラスコに移し, 上記培養条件で通気

Table 1. The degree of reproductive maturation in each 50 disks (1.5 mm, diam.) from 5 thalli of floating type of *Ulva* and of *U. pertusa* collected from different locations of Hakata Bay, 10 days after punching.

| <i>Ulva</i> type | Sample no. | Reproductive maturation rate (%) | | | | | | | Total |
|------------------------------|------------|--------------------------------------|-----|----|----|---|----|-----|-------|
| | | Days after excision of thallus disks | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 10 | | |
| Floating type of <i>Ulva</i> | 1 | 0 | 0 | 0 | 11 | 4 | 0 | 15 | |
| | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 3 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 4 | |
| | 4 | 0 | 0 | 0 | 15 | 0 | 0 | 15 | |
| | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| <i>U. pertusa</i> | 6 | 0 | 4 | 96 | - | - | - | 100 | |
| | 7 | 0 | 100 | - | - | - | - | 100 | |
| | 8 | 0 | 52 | 48 | - | - | - | 100 | |
| | 9 | 0 | 63 | 27 | 5 | 2 | 0 | 97 | |
| | 10 | 0 | 23 | 76 | 0 | 1 | - | 100 | |



Figs 2-7. 2. Two types of *Ulva* thalli collected from Hakata Bay. The biggest thallus is the floating type. The other small thalli are *U. pertusa*. 3. Cross-section in the apical region of the floating type of *Ulva*. 4. Cross-section in the apical region of *U. pertusa*. 5. Release of *Ulva* gametes induced by punching of thallus. Arrow shows the cloud of gametes gathering to the light. 6. Thalli of the floating type of *Ulva* cultured from zoospores. 7. Thalli of *U. pertusa* cultured from zoospores.

培養を行った。PES培地は3-4日毎に交換した。交雑実験を行うために、3-5 cmに生長した藻体4個体ずつをそれぞれの三角フラスコから取り出し上記と同じ方法で直径0.9 mmの藻体ディスクを切り出し、成熟誘導を試みた。また同時に、実験室で維持、培養されている高知県横浪半島産アナアオサの雌雄配偶体もディスクを切り出し、成熟誘導を行った。すべての交雑実験は配偶子放出直後、正の走光性により集合した配偶子を用いた。

博多湾で採集した浮遊型アオサ5個体とアナアオサ

5個体の細断法による成熟誘導の結果を Table 1 に示す。また、藻体ディスクが成熟し、生殖細胞を放出した様子を Fig. 5 に示す。サンプル6と9は2本鞭毛の生殖細胞、サンプル1, 3, 4, 7, 8及び10は4本鞭毛の生殖細胞を放出した。浮遊型アオサは4日もしくは5日目に10%前後の成熟が見られた程度で成熟はまれにしか起こらなかったが、博多湾口で採集されたアナアオサ5個体からの藻体ディスクは切り出されてから3日でほとんどすべて成熟した。

成熟誘導され、放出された2型のアオサのそれぞれ

Table 2. Crossing test between the floating type of *Ulva* from Hakata Bay, *U. pertusa* from Hakata Bay and from Kochi.

| ♂ | ♀ | Floating type of <i>Ulva</i> | <i>U. pertusa</i> from Hakata | <i>U. pertusa</i> from Kochi |
|-------------------------------|---|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Floating type of <i>Ulva</i> | | + | - | - |
| <i>U. pertusa</i> from Hakata | | - | + | + |
| <i>U. pertusa</i> from Kochi | | - | + | + |

の遊走子は、通気培養を始めて3週間後、Fig. 6,7に示すような藻体に生長した。サンプル4（浮遊型アオサ）の培養体は縦長で長方形型に近い形態（Fig. 6）を示し、サンプル7（アナアオサ）の培養体は扇状で縁辺部が波打つ形態（Fig. 7）を示した。サンプル4の4培養藻体からの藻体ディスクは切り出されてから3日後に3藻体からのディスクの一部（50枚中2～5ディスク）に成熟が起こり2本鞭毛の生殖細胞を放出した。交雑実験により、2藻体からの生殖細胞が雄性配偶子、残り1藻体からの生殖細胞は雌性配偶子であると判別された。サンプル7の4培養藻体からのディスクは切り出されてから3日ですべて成熟し、2本鞭毛の生殖細胞を放出した。交雑実験により、2藻体からの生殖細胞は雄性配偶子、残り2藻体からの生殖細胞は雌性配偶子であると判別された。また、高知産アナアオサの雌雄配偶体からのディスクも3日ですべて成熟した。次に、それら交雑実験により同じタイプの雌雄間で交雑が確認された3種類のアオサ（高知産アナアオサ、博多湾産アナアオサ、博多湾産浮遊型アオサ）の間で交雑試験を行った。その結果をTable 2に示す。高知産アナアオサと博多湾産アナアオサ（サンプル7）では雌雄配偶子間で接合が確認されたが、博多産浮遊型アオサ（サンプル4）の雌雄配偶子は高知産アナアオサの雌雄配偶子とも博多産アナアオサの雌雄配偶子とも接合しなかった。以上の実験で、接合が起こり形成された接合子は正常に発芽した。

自然条件下ではアナアオサは潮汐に応じ周期的に縁辺部の成熟を繰り返し藻体を数10 cmの大きさに保っている。一方、浮遊型アオサは1 m以上の大きな藻体にまで生長し、成熟はほとんど観察されない。Table 1に示した細断法による成熟誘導の結果は、2型のアオサの生理特性をよく反映していると考えられる。2型のアオサの培養体も、採集された藻体と同様に、アナアオサでは成熟が起こりやすく、浮遊型アオサでは成熟が起こりにくかった。細断法による成熟誘導に対する2型の成熟率の違い（成熟のしやすさ）は遺伝的形

質の違いによるものと思われる。

岡村（1936, p.8-10）はアナアオサには波静かな内湾に生育する浮遊型と岩礁帯に生育する固着型の2型があると指摘し、浮遊型アオサに*Ulva lactuca*の種名を当てることを提案した。しかしながら、この2型のアオサの分類学的取り扱いは未解決のまま今日に至っている。今回の交雑試験の結果は、博多湾で異常繁殖する浮遊型アオサがアナアオサとは生殖的に隔離されていることを示している。生態的、生理的な違いを考えあわせれば、博多湾産の浮遊型アオサはアナアオサとは別の分類群であると考えられる。今回の実験で用いた浮遊型アオサはアナアオサと形態的に異なる典型的なものを選んだが、天然には藻体の厚さ、色などアナアオサに近いものもあり、それらは形態による分類は困難である。浮遊型アオサは、東京湾、伊勢湾、瀬戸内海など日本各地に繁茂しているが、関東地方で見られる浮遊型アオサの中にはアナアオサと同程度の厚さを示す藻体も存在するという情報もあり、日本各地の浮遊型アオサがすべて博多湾産浮遊型アオサと同じ分類群に属するとは考えにくい。これら日本各地で繁茂する浮遊型アオサと博多湾産浮遊型アオサとの関係については今後の調査を待たねばならない。

アオサ属は形態的な分類形質が乏しい上、形態変異が大きいので、従来の標本による分類は不可能であると指摘されてきた（Bliding 1963, Koeman and Hoek 1981）。今回の交雑実験では、容易に成熟を誘導できる藻体の細断法法を用いた。この方法を用いれば、形態的に異なるアオサ群間の交雑実験が行え、それらの群間の関係に関する知見が得られると期待される。

引用文献

- Bliding, C. 1963. A critical survey of European taxa in Ulvales. Part 1. *Capsosiphon*, *Percursaria*, *Blidingia*, *Enteromorpha*. Op. Bot. 8: 1-160
- Hiraoka, M. and Enomoto, S. 1998. The induction of reproductive cell formation of *Ulva pertusa* (Ulvales,

- Ulvophyceae). *Phycol. Res.* 46 (in press).
- Koeman, R. P. T. & Hoek, C. van den 1981. The taxonomy of *Ulva* (Chlorophyceae) in the Netherlands. *Br. Phycol. J.* 16: 9-53
- 右田清治 1985. 大村産アオサの不稔性変異種. 長崎大学水産学部研究報告 57: 33-37
- 大野正夫 1997. 日本各地に異常繁殖するアオサ類. 第1回マリンバイオテクノロジー学会大会講演要旨集 p.43.
- 岡村金太郎 1936. 日本海藻誌. 内田老鶴圃, 東京.
- Silva P. C., Basson P. W. and Moe R. L. 1996. Catalogue of the benthic marine algae of the Indian Ocean. University of California Press, Ltd. London, England.

(Received May 8 1998, Accepted July 15 1998)

