

Zostera marina L. アマモの教材化に関する基礎的研究

高橋ちぐさ*・北垣雅大**

Basic research of creating new teaching materials in biological education
using *Zostera marina* L.

TAKAHASHI Chigusa*, KITAGAKI Masahiro**

キーワード：アマモ，海草，生物教育，教材

Key Words: *Zostera marina* L., Seagrass, Biological education, Teaching materials

I. はじめに

「生物多様性の理解」は生物分野における重要な柱の一つであるが，学校教育においても，現行の学習指導要領から，その重要性が叫ばれるようになってきた。

例えば，中学校学習指導要領理科では，単元「植物の生活と種類」の，「生物の観察について」では，植物の花，葉，茎，根についての観察，実験を通して，植物の体のつくりの多様性と共通性に気付かせることがねらいとして掲げられている。

高等学校「生物基礎」は，より多くの生徒が履修することを前提として設置された科目であるが，科目の導入として，小項目「生物の共通性と多様性」が新設され，「生物の多様性と共通性」という見方を，生物学の学習を通じて一貫して重視することが図られている。

一方，現場では，子どもたちに「生物多様性の理解」を図るための授業づくりは難しいというイメージを抱いている教師も多く，その実践は敬遠されがちであり，教授の視点や教授法，教材の検討や提案が求められている。「多様性」の理解には，「共通性」の理解が欠かせない。よって，授業づくり・授業実践は，「共通性」に裏打ちされたものとするのが肝要となる。また，多様性を具体的かつ効果的に理解させる教材や取り扱う生物材料の工夫も欠かせない。

そこで，本研究では，「生物多様性の理解」を図る授業づくりへ向けて，効果的な教材植物を検討する。生物材料として，海草に着目した。海草の中でもアマモは，アマモ科アマモ属の多年草植物で，日本に生育している海草の中で最も分布域が広く(図1)，沿岸部の波の穏やかな浅い砂泥底に繁茂している(北村・村田・小山(1984)，Ohwi(1984)，Shin and Choi(1998)，Hartog and Kuo(2006)，大場・宮田(2007))。

*鳥取大学地域学部地域教育学科

**むくのき学園大阪市立中島中学校

アマモ場は、魚介類の餌場としての役割、魚介類の産卵場や稚魚の成育の場としての役割、栄養塩を吸収し酸素を供給することで水質を浄化する役割を担っていることから、ゆたかな海・漁場の指標とされ、近年、アマモ場の維持や復元を目指す試験や運動が全国的に行われており（藤澤ほか(2002)、吉田ほか(2004)、西垣ほか(2005)、Moore and Short(2006)、八谷(2007)、宮本ほか(2008)、松井ほか(2010)）、その一環として環境教育や地域教育に活用される場合があるが、理科の授業に取り入れた報告はまだ無い。

海藻は、ワカメなどの海藻と同様に、海水中で生活史を完結させる。ところが、孢子で増える海藻とは異なり、水中にあっても、陸上植物と同様に、葉、茎、根の区別があり、花を咲かせて種子をつくり繁殖する(新崎(1950a, 1950b)、月館・高森(1977)、川崎ほか(1986)、Nakaoka and Aioi(2001)、De Cock(1980)、那須・松江(1984)、小見山(2002a))。一度陸上に適応してから再び生活圏を海中に戻したユニークな進化のプロセスを辿ったとされる、海中に生える種子植物単子葉類なのである。

本研究では、アマモの生物学的特性のうち、形態、解剖学的特徴および生活史について、学校現場で日常的に使用している実験道具や機器を使って、観察をおこなう。繁殖様式を含めアマモの生活過程が水中でどのように行われているのか、観察・実験により事実を科学的に把握する。また、観察・実験が、技術的に子どもたちにとって実践可能であるか、得られた結果の理解や、結果に基づく考察が可能であるか、興味・関心を喚起するものであるかという視点からも検討する。

II. 観察および実験方法

1. 材料の採集

調査および材料植物の採集は、広島県尾道市因島(図2A)と兵庫県明石市江井ヶ島海水浴場(図2B)の2地域のアマモ場で行った。

調査・採集は大潮の干潮時におこなった。大潮の干潮時には、アマモ場は海水面より完全に露出、または一部が露出した状態になるため、採集は、安全かつ容易に行えた。

種の同定は、分類基準に従っておこなった(北村・村田・小山(1984)、Ohwi(1984)、Shin and Choi(1998)、Hartog and Kuo(2006)、大場・宮田(2007))。

採集した個体は持ち帰り、実験園で飼育し、経過観察をおこなうと共に、実験に用いた。

2. 形態および解剖学的特徴の観察

観察は、実体顕微鏡および光学顕微鏡を用いておこなった。

葉、茎、根の内部形態は、ミクロトームで徒手切片を作成し、光学顕微鏡で観察した(Kuo and Hartog(2006))。

花・果実・種子の観察は、花期に花穂を付けた生殖株を採集して持ち帰り、開花の過程を詳細に観察すると共に(De Cock(1980)、那須・松江(1984)、小見山(2002a)、Ackerman(2006))、果実を成熟させ、種子の採取をおこなった(高場(1985))。アマモの種子は、根からの養分に頼らず、光合成により花穂の中で成熟するため、種子の採取には根のついた完全個体は必要ではない。よって、植物体から花枝の部分のみを刈り取るかまたは浜に打ち上げられた花枝を集めて持ち帰り、海水を満たしたコンテナに沈めて果実の成熟を待ち、種子を採取する方法をとった。

採取した種子は、比重選別した後、低温で保存し（草加（2009））、発芽実験をおこなった（小見山（2002b）、Wyllie-Echeverria et al.（2003）、Robert et al.（2006）、山木ほか（2006）、相田（2006）、阿部ほか（2009）、Morita et al.（2010））。

3. 生活史の調査

植物体の観察および生活史の調査は、年間を通じて生育地で行うと共に、個体を採集して持ち帰り、実験園で飼育し、観察した。

Ⅲ. 観察および実験結果

1. 形態および解剖学的特徴

1.1 植物体の外部形態

植物体は、根、茎、葉の区別があった（図3、図4）。栄養株（図3）の葉は、平たい葉鞘とその先の葉身で構成された。茎（地下茎）は、砂の中を横に這い、節があり、節から根が出ていた。無数の地下茎が縦横に走っていることが観察され、波に洗われやすい砂泥地でも、豊かな茂みを成すアマモ場が形成される理由がわかった。生殖株（図4）には、花を咲かせる花穂がみられた。

1.2 栄養器官

1.2.1 葉

葉は葉鞘と葉身からなり、葉身は、長さ20~100cm、幅3~5mm、葉の先端は鈍く尖り、葉の縁はなめらかで鋸歯は無く、表皮の表面は、陸上の単子葉植物に比べてクチクラが非常に薄く、毛は観察されなかった。葉には5~7本の平行脈がみられた（図5A、B）。表皮細胞には、気孔が存在しなかった（図5C、図6B）。

図6に、葉身の内部形態を示す。

葉身は、表皮、葉肉、葉脈から構成されていた。表皮は1層の細胞で構成され、葉肉部には大きな通気組織が列をなして並び（図6A）、通気組織5、6個毎に、維管束が観察された（図6B）。葉には陸上植物の多くの種にみられる表面・裏面の区別は無く、柵状組織、海綿状組織といった組織構成はみられなかった。通気組織が多数みられた。

1.2.2 茎（地下茎）

地下茎内部は、中央に小さな中心柱が観察され、中心柱を取り囲む内皮は周りの組織からはっきりと区別でき、内皮と表皮の間を構成する皮層組織は比較的均質で、皮層組織の相対する位置に1個ずつ計2個の維管束が観察された（図7）。

維管束は、並立維管束で、形成層を持たない閉鎖維管束であった。師管に付随して伴細胞が観察された（図8）。

1.2.3 根

根は、外側から中央に向かって、順に、表皮、皮層、内皮、中心柱で構成された(図9)。表皮細胞は一層の小さな細胞からなり、厚い細胞壁を持ち、いくつかの細胞からは根毛の形成が観察された。皮層の細胞は、表皮細胞より大きな細胞が同心円状に並んでいた。表皮に近い領域と内皮に近い領域の細胞に比べ、その間の領域は、大きい細胞で構成されていた。内皮に囲まれた中心柱には木部、師部、柔組織が観察された。

1.3 生殖器官

1.3.1 花

アマモの花序は、穂状花序が特殊化した肉穂花序で、開花前は葉鞘に包まれていた(図10)。葉鞘の片側は、2層のフィルム状の皮膜が被さっており、この被膜が薄いため、鞘の内部にある雄花や雌花の蕾が外から見える状態で、2列の花序が、確認された(図10A)。花序の各列は、おしべ、おしべ、めしべの順、すなわち、おしべ2個とめしべ1個の並びが規則正しく繰り返されていた。

花穂の経過観察から、アマモはめしべが先に成熟する雌性先熟であることが確認された。開花期には、葉鞘の薄い膜の間からめしべとおしべが現れた。まずめしべが、鞘から立ち上がり、花穂から出て開花となる(図10B)。この時点で、雄花はまだ開花していない。めしべの柱頭は、先が二股に分かれていて(図10B、矢印)、柱頭へ他の株の花粉が巻き付き受粉がおこなわれると、柱頭は脱落し、その後めしべは再び鞘の中へ収納された。次いで、おしべが成熟して立ち上がり(図10C)、花粉囊(図10C、矢印)から花粉が海中へと放出された。放出された花粉は海中を漂い、別の雌花に受粉する仕組みとなっている(De Cock (1980), 那須・松江 (1984), 小見山 (2002a), Ackerman (2006))。図11Aに、花粉囊から花粉が放出される瞬間を示す。図11Bは、放出された花粉の顕微鏡写真である。花粉は糸状であった。花粉放出後、花粉囊は脱落した。

1.3.2 果実と種子

受粉・受精した雌花の子房は、成長に伴って雄花の脱落による穂の内部の隙間を埋めるように膨らんでいった(図10D)。果実が成熟すると、果皮が破れて、花穂から放出された。

種子は淡褐色から黒みを帯びた褐色で、3~5mm 径、俵のような形状で、表面には縦に稜があった(図12A)。

種子を播き、発芽ならびに成長を観察した。発芽については、条件検定の結果、温度 15°C、淡水処理 14 日間という条件の基で、85%の発芽率が得られ、種子発芽促進に有効であると判断した。

500ml ビーカーに海岸で採取した砂を敷き詰め、発芽した種子を深さ 3cm に埋土し、海水を満たし静置して、実生および成長を確認した。図12Bに発芽種子、図12Cに種子から育てた植物体を示す。白い針状に見えているのが、子葉鞘である。子葉鞘は単子葉類のイネ科などに独特の胚的器官で、発芽時に最初に地上へ現れた。

鳥取県では、現在では中海の限られた地域でしかアマモは確認されず、保全を要する環境にあることから、アマモの植物体の採集は控えている。そんな中、鳥取市気高町の海岸へ5月から7月にかけて打ち上げられる花枝から種子が得られることが確認できた。

2. 生活史

年間を通じた現地での調査・観察、実験園における移植植物の継続した観察、および播種からの植物の育成を通じて把握したアマモの生活史は以下の通りであった。

観察結果1で述べたように、アマモは、花を咲かせて種子をつくる生殖株による有性生殖と、花を咲かせることなく、地下茎を伸ばして生長する栄養株による無性生殖の2通りの生活史を持つことが確認された。

生殖株(図4, 図13 B)は、成熟期である春に、群落内の一部の栄養株(図3, 図13 A)から分枝して形成され、5月から7月にかけて花穂(図13 B, 矢印)をつけ、開花し、受粉、受精という有性生殖の過程を経て、果実を実らせ、種子を生産した(図13 C → D → E → F)。海底に放出された成熟種子は、暑い夏の間は休眠状態で過ごし、秋から冬にかけて発芽し、新しい栄養株を形成した(図13 F → G → A)。

一方、栄養株は、冬から春にかけて盛んに地下茎の伸長による無性生殖により群落を拡大する様子が確認された(図13 A → A)。

なお、アマモは一般的に、一年で枯れずに成長が続く多年生植物とされるが、夏場などに、高水温や光量不足などの環境ストレスが高まる海域では、一年生アマモもみられる(Van Lent et al. (1994), 藤澤ほか(2002), 森田ほか(2009))。一年生アマモは、夏場、種子を残してすべての株が枯死し、秋以降にその種子が発芽して、新たにアマモ場を再形成する。このように、一年生アマモは、生殖株の有性生殖のみで増殖するとされている。

IV 考察

観察および実験結果から、アマモの教材としての有効性について検討した。

まず、入手しやすい、飼育(維持、成長)が容易である、子供にとって観察が容易である等、一般的に教材に求められる条件を満たしていた。

材料の扱いやすさという点から検討すると、多年草であること、種子で殖やせること、分布域が広いこと、浅瀬で手に入ること等の利点があげられた。多年草であるということは、材料植物の維持やデータの蓄積が可能であることを意味する。種子を蒔いて殖やせるという特性は、材料確保や増殖が容易であることに繋がる。特に今回の調査・観察により、鳥取県では中海の限られた地域にしかアマモの生育場所が確認されず、しかも保全を必要としている状況にある中、鳥取市の海岸に打ち上げられた花枝から種子を入手できることは、教材化を検討する上で大きなメリットとなった。

広く全国的に分布域を持つことは、各地の教育現場にとって、観察場所や材料の採集場所が得やすいことに繋がる。波の穏やかな浅瀬で手に入るという生態的特徴は、観察・採集が安全におこなえたと共に、子どもたちが参加した野外学習の実現の可能性を持つ。

また、今回の実験から、アマモは水槽で飼育可能なことがわかった。閉鎖系の環境で飼育可能な材料で、学内で簡便な飼育装置で維持できるので、観察や実験の選択枝も広がる。身近に水槽があれば、生徒達に、開花・結実等、断片的ではなくプロセスも観察させることができる。

解剖学的特徴のうち、葉・茎・根の区別がある、葉は平行脈である、葉や地下茎に維管束組織が

ある等は、陸上に生育している種子植物単子葉類と共通していた。一方、葉に気孔が無い、葉や地下茎に発達した通気組織を持つ等、海水中の環境に適応したと考えられる特徴も見いだされた。教材として提案された場合、生徒たちは、まず、既習の知識から、陸上あるいは水中のどちらの仲間に振り分けるのが的確かと考えるであろう。単純にどちらかにおさまりきらない状況を設定することで、生徒たちにたくさんの矛盾や疑問を生じさせ、固定概念を揺さぶる授業、興味・関心を喚起する授業、思考の深化へつながる授業が構築できるのではないかと考える。

「水中で花が咲く」と伝えると、生徒達はどのような反応を示すであろうか。観たことがある陸上植物の開花のイメージを、水中ではそのしくみはどうなっているのだろうかという興味、疑問および予想に繋げさせたい。花が咲くことに端を発して、花の役割である水中での受粉・受精のしくみ、それを司る生殖器官の構造へと、既習事項を基に、予想したり、比較したり、発展的に思考させる授業が構築できるのではないかと考える。

今回の観察・実験で、葉・茎・根のつくり、海中で開花し結実する花から実への一連の過程、共に生徒たちでも観察可能であることが確認されたので、実際に観察・実験で確認させることも含め、生物の多様性と共通性の理解を基盤とする教材化が有効と判断した。今後は、今回得られた成果を活用した授業づくり、授業実践および評価をおこなう。

文献

- Ackerman, J.D., (2006) Sexual Reproduction of Seagrasses: Pollination in the Marine Context. In: Larkum A. W.D., Orth R.J., Duarte, C.M., ed. Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation. Springer, pp. 89-109.
- 阿部真比古ほか (2009) アマモ種子の水中での姿勢と発芽の関係. 水産増殖 57: 249-253.
- 相田聡 (2006) 砂質及び砂泥底質におけるアマモ *Zostera marina* L. 実生苗の生育の違い. 広島県立水産海洋技術センター研究報告 1:33-34.
- 新崎盛敏 (1950a) アマモ, コアマモの生態 (I). 日本水産学会誌 15 (10); 567-572.
- 新崎盛敏 (1950b) アマモ, コアマモの生態 (II). 日本水産学会誌 16 (2); 70-76.
- Wyllie-Echeverria S. et al. (2003) Seed size variation within *Zostera marina* L. (Zosteraceae) Botanical Journal of the Linnean Society 142: 281-288.
- Ohwi, J., (1984) Flora of Japan. Smithsonian Inst. Washington, D.C. pp. 124-125.
- 大場達之, 宮田昌彦 (2007) 日本海草図譜. 北海道大学出版会.
- 川崎保夫ほか (1986) アマモへの温度の影響 II. 栄養株の生長と有性生殖. 電力中央研究所研究報告.
- 北村四郎, 村田源, 小山鐵夫 (1984) 原色日本植物図鑑 草本編III 単子葉類. 保育社, 大阪. pp. 402-405.
- Kuo, J., Hartog, C. den, (2006) Seagrass Morphology, Anatomy, and Ultrastructure. In: Larkum A. W.D., Orth R.J., Duarte, C.M., ed. Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation. Springer, pp. 51-87.
- 草加耕司 (2009) 水温管理によるアマモ種子短期保存. 岡山水試報 24: 40-43
- 小見山秀樹 (2002a) アマモの花枝形成と水温の関係. 岡山水試報 17: 66-69.
- 小見山秀樹 (2002b) シルト土壌に播種したアマモ種子の出芽限界深度. 岡山県水試報 17: 70-72.
- Shin, H., Choi, H.K. (1998) Taxonomy and distribution of *Zostera* (Zosteraceae) in eastern Asia, with special reference to Korea. Aquatic Botany 60: 49-66.
- 高場稔 (1985) アマモ種子の採集と時期別, 播種深度別発芽率. 広水試研報 15:23-30.

- De Cock, A.W.A.M., (1980) Flowering, pollination and fruiting in *Zostera Marina* L. *Aquatic Botany* 9: 201-220.
- 月館潤一, 高森茂樹 (1977) アマモの生長様式について. *Bull. Nansei Reg. Fish. Res. Lab.* 10: 123-130.
- Nakaoka M. and Aioi K. (2001) Ecology of seagrasses *Zostera* spp. (Zosteraceae) in Japanese waters: A review. *Otsuchi Marine Science* 26: 7-22.
- 那須孝悌, 松江実千代(1984) 海産単子葉植物アマモ属の花粉形態 *Bull. Osaka Mus. Nat. Hist.*, 37: 17-24.
- 西垣友和ほか (2005) 京都府沿岸における水中の光環境とアマモの分布下限水深の関係について (短報). *京都府立海洋センター研究報告* 27: 35-36.
- Hartog, C. den, Kuo, J. (2006) Taxonomy and Biogeography of Seagrasses. In: Larkum A. W.D., Orth R.J., Duarte, C.M., ed. *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*. Springer, pp. 1-23.
- Van Lent F. et al. (1994) Intraspecific variability of *Zostera marina* L. (eelgrass) in the estuaries and lagoons of the southwestern Netherlands. I. Population dynamics. *Aquatic Botany* 48: 31-58
- 藤澤邦康ほか (2002) 高水温と水中光量が移植アマモの成長・生残に及ぼす影響. *岡山水試報* 17:41-45.
- 吉田司ら (2004) アマモ場造成に必要な生育環境条件に関する研究. *水産工学* 40(3): 205-210.
- Robert J. Orth, R.J., Matthew C. Harwell, M.C., Graeme J. Inglis, G.J., (2006) Ecology of Seagrass Seeds and Seagrass Dispersal Processes. In: Larkum A. W.D., Orth R.J., Duarte, C.M., ed. *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*. Springer, pp. 111-133.
- 松井繁明, 山本克則, 中本崇, 秋本恒基 (2010) アマモ場造成技術開発に関する研究. *福岡水海技セ研報* 20: 61-66.
- 宮本康ほか (2008) 中海におけるコアマモ (*Zostera japonica*) の移植技術の検討 (予報). *Laguna* 15: 83-89.
- Moore, K.A., Short, F.T., (2006) *Zostera*: Biology, Ecology, and Management. In: Larkum A. W.D., Orth R.J., Duarte, C.M., ed. *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*. Springer, pp. 361-386.
- 森田晃央ほか (2009) 一年生アマモの生殖株上部における栄養株の形成. *水産増殖* 57:141-142.
- Morita, T. et al. (2010) Morphological characteristics of annual *Zostera marina* shoots at various germination temperatures. *Aquatic Botany* 92: 49-54.
- 八谷光介 (2007) 京都府沿岸におけるアマモ場の分布について (資料) -2004~2006 年の調査より-. *京都府立海洋センター研究報告* 29: 27-32.
- 山木克則ほか (2006) アマモ種子における塩分および温度制御による発芽促進効果. *水産増殖* 54(3): 347-351.

(2016年1月29日受付, 2016年2月3日受理)

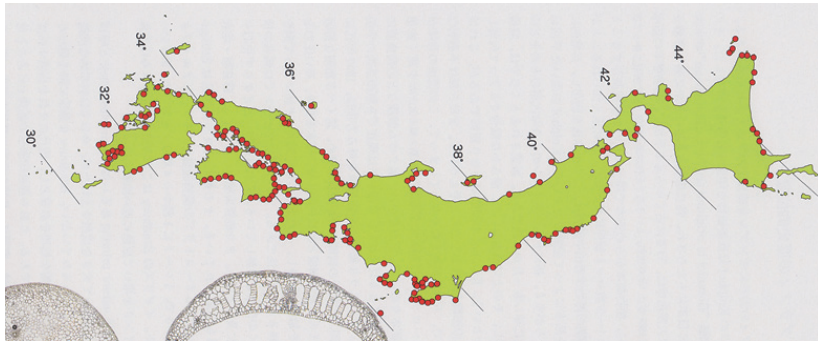


図1. 日本におけるアマモの生育地. (大場・宮田(2007) 「日本海草図譜」より引用)

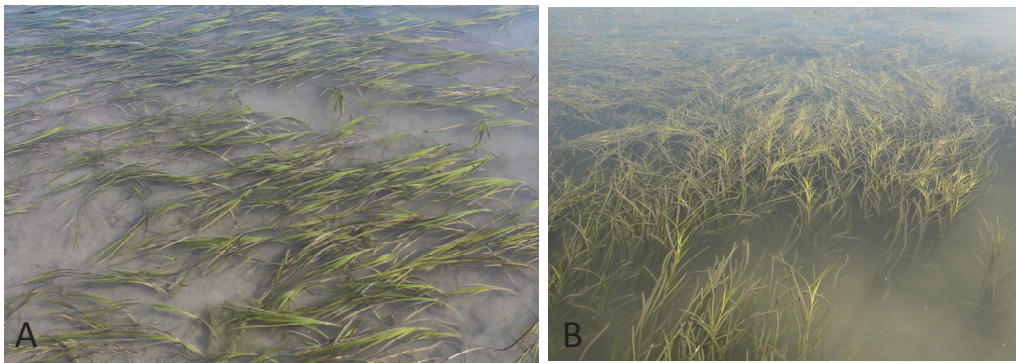


図2. 観察および材料を採集したアマモ場.

A: 栄養株成長期のアマモ場 広島県因島 2013年3月. B: 花期のアマモ場 兵庫県明石市 2013年5月.

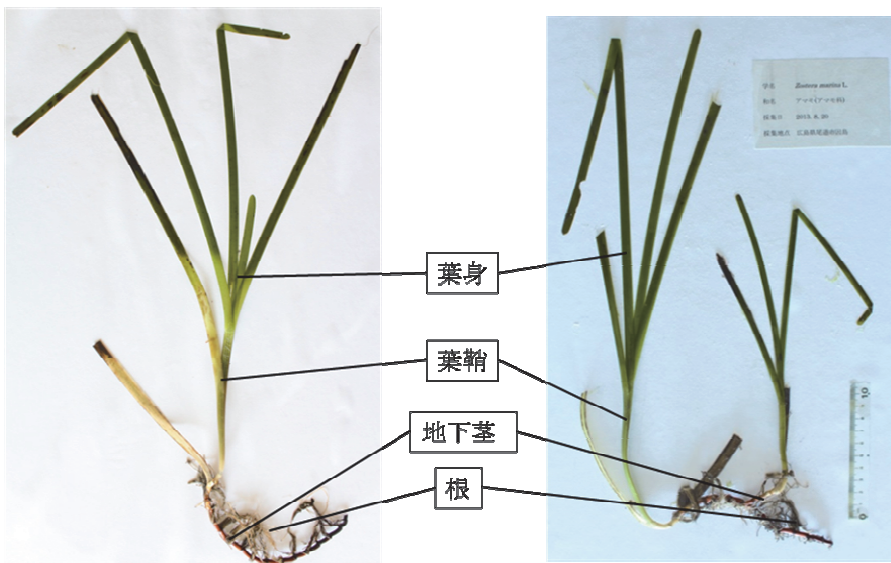


図3. アマモ 栄養株 生標本写真. スケールは10cm.

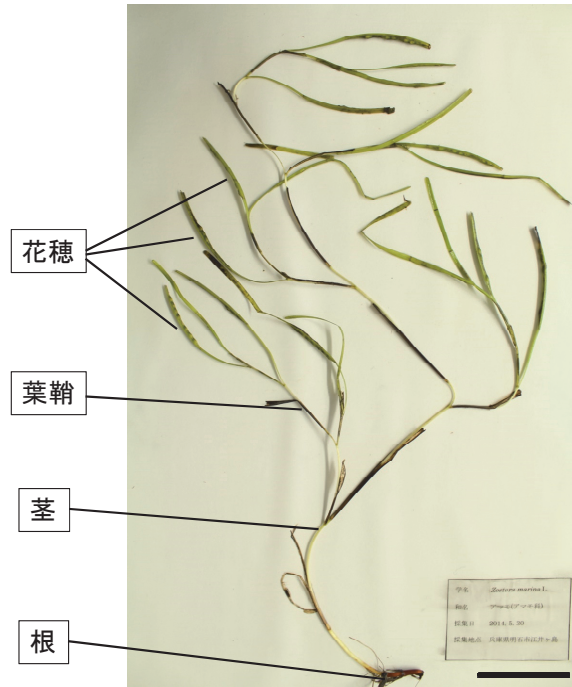


図4. アマモ 生殖株（花枝株）標本写真. スケールは10cm.

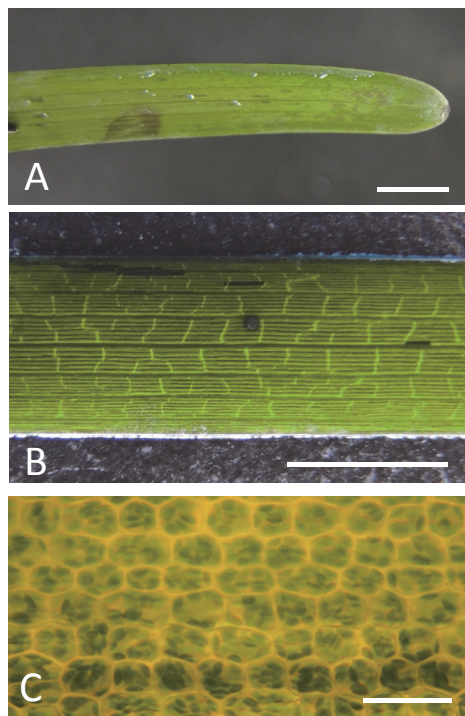


図5. 葉身の形態. A: 葉身. B: 葉身の拡大像. C: 表皮細胞. スケールは A, B は 1cm, C は 20 μ m.

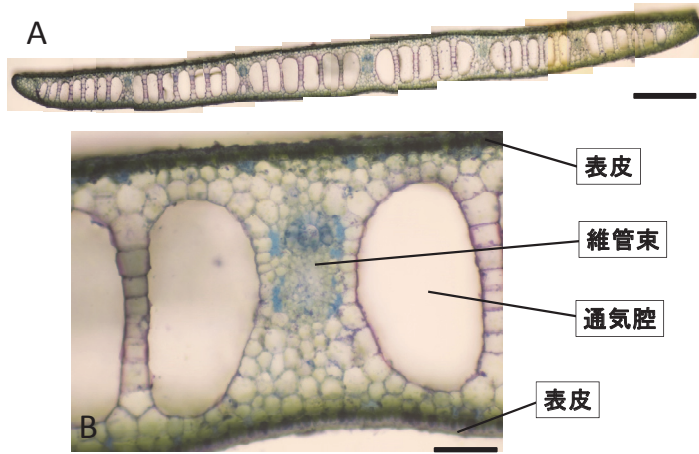


図6. アマモ 葉身の横断面. A: 横断面全体像. B: 主脈部. スケールは Aは 200 μ m, Bは 50 μ m.

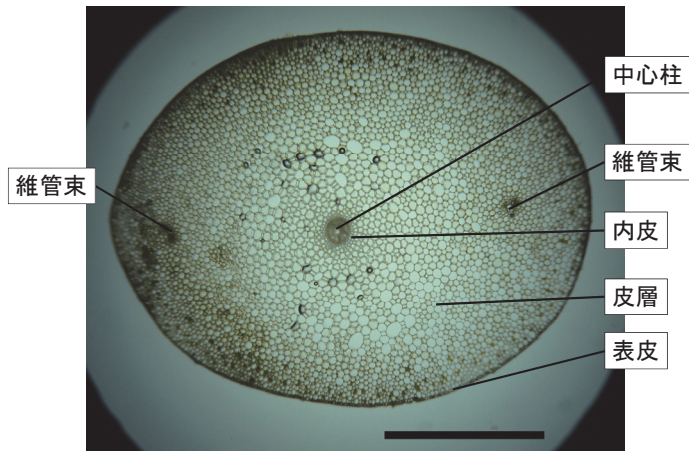


図7. アマモ 地下茎の横断面. スケールは 500 μ m.

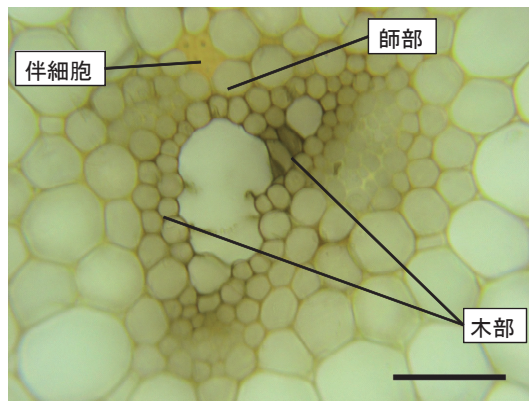


図8. アマモ 地下茎の維管束横断面. スケールは 50 μ m.

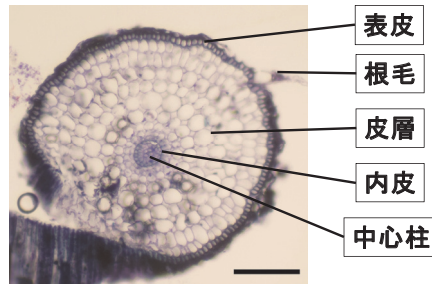


図9. アマモ 根の横断面. トルイジンブルー染色. スケールは50 μ m.

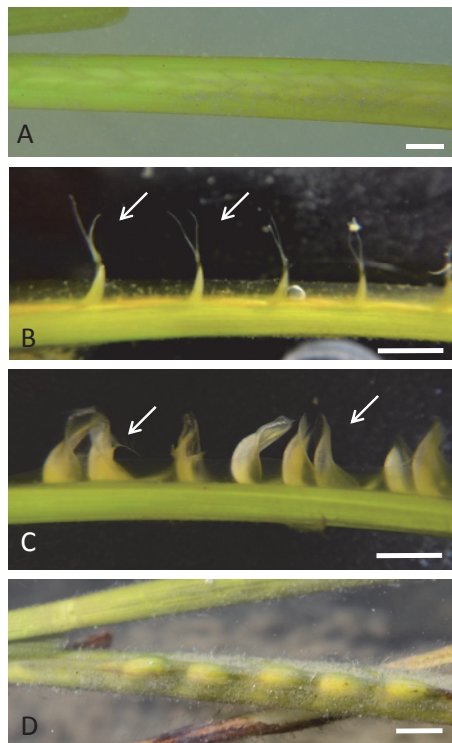


図10. アマモ 花穂の中で果実がつくられるまで. A; 花序. B; 雌花. C; 雄花. D; 果実. スケールは0.5cm.

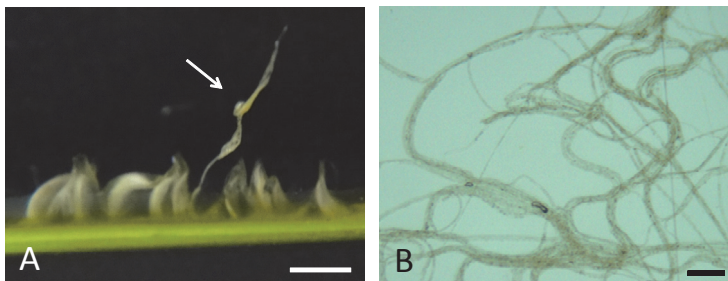


図11. アマモの花粉. A; 花粉囊から花粉が放出された瞬間. 矢印は花粉. B; 花粉の顕微鏡写真.
スケールは Aは0.5cm, Bは100 μ m.

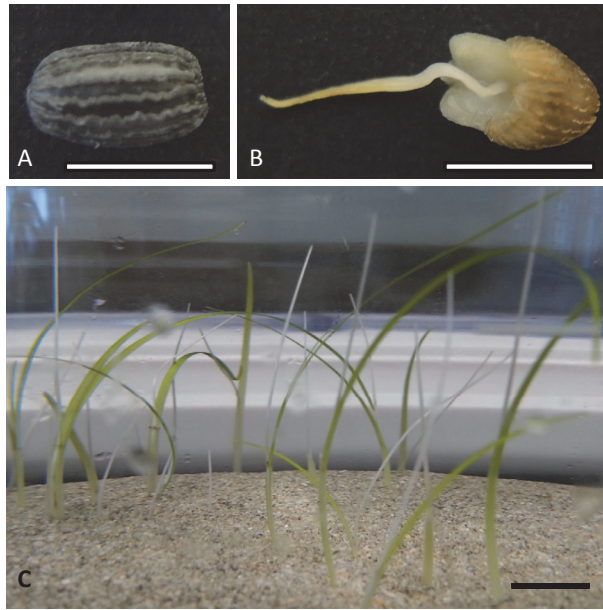


図 12. アマモ 種子の発芽. A; 種子. B; 発芽種子. C; 幼草体. スケールは 0.5cm.

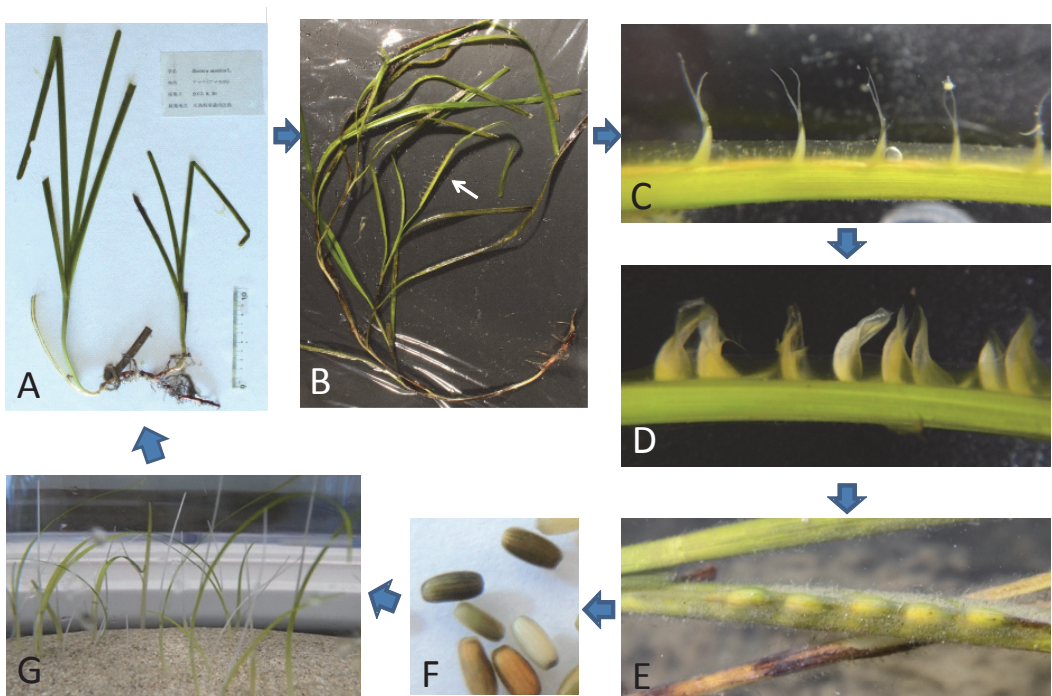


図 13. アマモの生活史. A; 栄養株. B; 生殖株. 矢印は、めしべが立ち上がった花序. C; 雌花. D; 雄花. E; 果実. F; 種子. G; 幼草体.