

佐渡島両津湾における海草群落の分布下限水深（短報）

坂西芳彦^{1*}・阿部信一郎^{1,2}・小松輝久^{3,4}

¹ 国立研究開発法人水産総合研究センター日本海区水産研究所（〒951-8121 新潟県新潟市中央区水道町 1-5939-22）

² 現所属：茨城大学教育学部（〒310-8512 茨城県水戸市文京 2-1-1）

³ 東京大学大気海洋研究所（〒277-8564 千葉県柏市柏の葉 5-1-5）

⁴ JST・CREST（〒332-0012 埼玉県川口市本町 4-1-8）

Yoshihiko Sakanishi^{1*}, Shin-ichiro Abe^{1,2} and Teruhisa Komatsu^{3,4}: Lower depth limit of a seagrass bed in Ryotsu Bay, Sado Island, Japan Sea. Jpn. J. Phycol. (Sôru) 63: 85-89, July 10, 2015

Lower depth limit of a seagrass bed was determined using SCUBA in Ryotsu Bay, Sado Island, Japan Sea. The seagrass bed covered the bottom of 6–24 m depth, and consisted of three *Zostera* species. From the shallower parts of the bed, *Zostera marina* L., *Zostera caespitosa* Miki and *Zostera caulescens* Miki occurred. The observed growing depth limit (22–24 m) of *Z. caulescens* was close to the estimated depth limit, which was estimated from the measured light attenuation coefficient in the study site by using the estimate equation made by a regression analysis based on the data for the depth limit of seagrass communities distributed worldwide and the light attenuation coefficient of overlying seawater. Since the estimate equation describes the strong and universal relationship between seagrass depth limit and light, lower depth limit of a seagrass bed is probably limited by light in this area. Unusual lower depth limit of the seagrass bed observed in Ryotsu Bay is largely attributable to low light attenuation.

Key Index Words: attenuation coefficient, lower depth limit, Japan Sea, light, Sado Island, seagrass, *Zostera caulescens*

¹ Japan Sea National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency, Suido-cho 1-5939-22, Chuo-ku, Niigata, Niigata 951-8121, Japan

² Present address: College of Education, Ibaraki University, Bunkyo 2-1-1, Mito, Ibaraki 310-8512, Japan

³ Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, Kashiwanoha 5-1-5, Kashiwa, Chiba 277-8564, Japan

⁴ Japan Science and Technology Agency, CREST, Honcho 4-1-8, Kawaguchi, Saitama 332-0012, Japan

*Author for correspondence: sakani@fra.affrc.go.jp

光は潮下帯に生育する海産大型植物の分布を制限する物理化学的要因のうちで、最も重要な制限要因の1つである (Lüning & Dring 1979, Dennison 1987, Maegawa *et al.* 1988, Duarte 1991, Dennison *et al.* 1993, Murase *et al.* 2000, Abe *et al.* 2003, 2010)。Duarte (1991) は海草の生育限界水深に関する文献データを基に、世界の様々な海域における海草の生育限界と消散係数との関係を経験式として定式化し、海草の生育限界が概ね水中の光環境によって説明できることを明らかにした。また、この経験式を使い、水中の光環境から海草の生育限界を推定できる可能性や光以外の要因で潜在的な生育限界まで分布を広げられない海域を特定できる可能性も論じている。最近では、水中の光環境データを使ったモデル解析により、群落の受光量が光要求量をどれだけ満たしているか、いわば海草にとっての光の充足度が求められ、群落の維持管理に活用されている (Moore *et al.* 2012)。

このような重要性は認識されているものの、海産大型植物の群落形成されるような沿岸浅海域の光環境データ、特に日本沿岸の周年にわたる水中光の実測データは、褐藻ナガコンブ *Saccharina longissima* (Miyabe) Lane, Mayes, Druehl et Saunders を主体とするコンブ目

の群落やアマモ *Zostera marina* L., オオアマモ *Zostera asiatica* Miki の群落形成される北海道東部沿岸 (坂西・飯泉 2004, Watanabe *et al.* 2005)、褐藻ノコギリモク *Sargassum macrocarpum* C. Agardh の群落形成される山口県長門市沿岸 (村瀬 2001) に限られており、日本海側については、山口県のデータのみである。

本研究では、20 m を超える水深帯まで海草の生育が確認されている佐渡島の両津湾において、海草群落の潜水観察と水中光の観測を行い、その結果をもとに海草の生育限界水深と水中の光環境との関係を検討し、主に国内の他の海域との比較を行った。

新潟県佐渡市白瀬地先の海域 (Fig. 1) において、光環境の測定と海草群落の観察を行った。2011年5月から2012年4月にかけての1年間、毎月1回、11:00–13:00の時間帯に、D (38°08'35.2"N, 138°27'13.7"E) 周辺の水深が20–25 mの海域において、地上用および水中用光量子センサー (LI-190SA および LI-192SA, LI-COR) を接続したライトメーター (LI-185, LI-COR) を用いて、船上から水面上と水中 (0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20 m) の光量子束密度を同時に測定した。深度毎の測定は、6, 8, 10月については1回、7月は3回、他の月は2回ずつ行っ

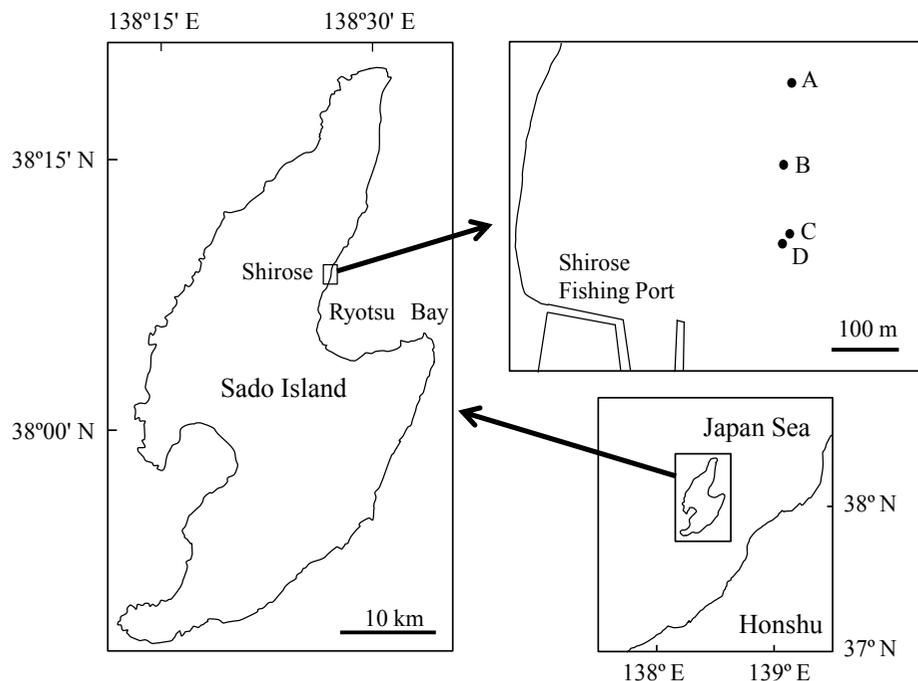


Fig. 1. Map showing the study site (closed circle), Ryotsu Bay, Sado Island, Niigata, Japan. The lower depth limits of *Zostera caulescens* were observed at points of A, B, C and D. Underwater irradiance was measured at point D.

た。同時に測定した水面上および水中の値から計算した相対光量子束密度と水深との関係を指数関数に近似して、消散係数を求めた。2011年6月から種組成と限界水深帯に関する予備的な観察を行った後、2012年12月5日に3地点(A, B, C)、2013年2月17日に1地点(D)で、SCUBA潜水による植生の目視観察を行い、海草の生育限界を明らかにした。目視観察では、SCUBA潜水で着底後、浅所から深所方向に進み、徐々に草体密度が低下するのを確認しながら、最後に草体が出現した水深を生育限界水深とした。目視観察で得られた海草の生育限界水深と周辺海域の消散係数の年平均値を、Duarte (1991) の散布図にプロットし、海草の生育限界と水中の光環境との関係を検討した。

佐渡市白瀬地先の海域で観測した水中光の減衰から求めた消散係数は 0.13 ± 0.05 (mean \pm SD, $n=12$) であり、ブルージミングの影響をうける春季(3–5月)に高い傾向を示した。親潮の影響を強く受ける北海道東部沿岸の根室市歯舞地先と厚岸湾(北海道厚岸郡厚岸町地先)では、それぞれ 0.44 ± 0.07 (mean \pm SD, $n=11$) (坂西・飯泉 2004)、 0.65 ± 0.28 (mean \pm SD, $n=12$) (Watanabe *et al.* 2005 のデータから計算)、都市部に近い小田和湾(神奈川県横須賀市地先)では 0.38 , 0.77 (Duarte 1991), 0.35 (工藤 1999 の水中光データから計算) であり、これらの海域に比べると、両津湾の値は低く、より深い水深帯まで光が到達する海域と考えられた。一方、両津湾同様、対馬暖流の影響を受けると考えられる日本海沿岸の深川湾(山口県長門市日置上字黄波戸地先)では 0.15 ± 0.02 (mean \pm SD, $n=12$) と低い値

が報告されている(村瀬 2001)。深川湾とともに、両津湾で得られた低い消散係数の値は、対馬暖流の影響を受ける日本海沿岸の特徴と言えるのかもしれない。

佐渡市白瀬地先では6–20 mの水深帯に海草群落が形成され、浅い方から順にアマモ、スゲアマモ *Zostera caespitosa* Miki, タチアマモ *Zostera caulescens* Miki の生育が確認された。それぞれの生育水深帯の詳細については明らかにできなかったが、水深10 m付近ではアマモのみが確認される場合とアマモとスゲアマモの混生が確認される場合があること、この海域で最も深い水深帯まで生育するのはタチアマモであり、水深22–24 m (22.6 ± 0.9 m, mean \pm SD, $n=4$) まで生育することが明らかになった(Fig. 2)。この生育限界水深については、2013年7月にも調査を行い、同様の結果を確認している(坂西ら 2014)。Duarte (1991) が報告した、世界の様々な海域におけるアマモ属を含む9属16種の生育限界と生育海域の消散係数との関係を示す散布図(72プロット)に、本研究で得られた両津湾の値を重ねてプロットしたのがFig. 3である。国内の他の海域との比較を行うため、工藤(1999)、Watanabe *et al.* (2005) の水中光データを基に計算した小田和湾(神奈川県横須賀市地先)のタチアマモ、厚岸湾(北海道厚岸郡厚岸町地先)のオオアマモについての値を加え、Duarte (1991) の散布図に引用された小田和湾のアマモの値(Mukai *et al.* 1980) とともに国内のデータを区別して散布図にプロットした。

今回、潜水調査で確かめられた両津湾の海草の生育限界



Fig. 2. *Zostera caulescens* at 20 m depth (left) and the growing depth limit (right) in Ryotsu Bay, Sado Island, Japan Sea.

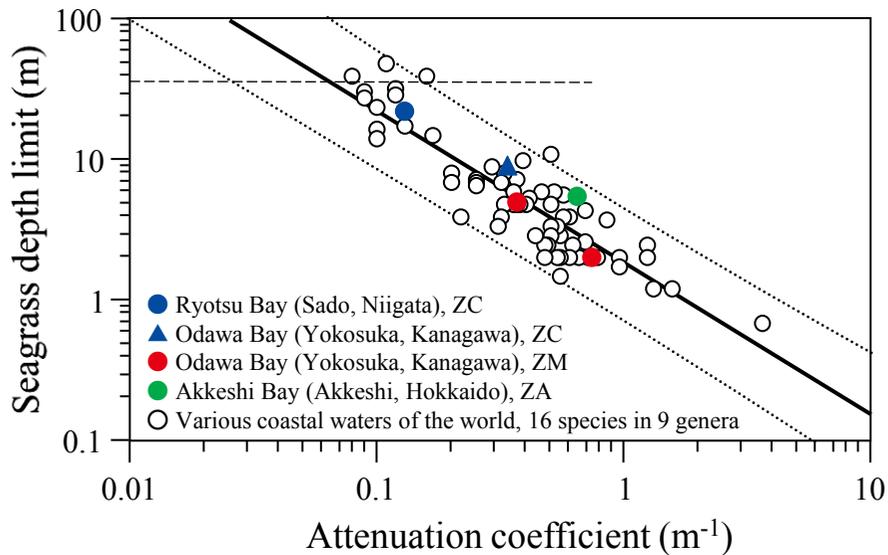


Fig. 3. The relationship between the growing depth limits of seagrasses and the light attenuation coefficients of the overlying seawater. Solid and dotted lines indicate the regression equation and 95% CI of the estimated values after Duarte (1991). Blue circle, present study; blue triangle, Kudo (1999); red circle, Duarte (1991), data reported by Mukai *et al.* (1980); green circle, Watanabe *et al.* (2005); open circle, Duarte (1991), data reported for 16 species in 9 genera containing the genus *Zostera* by the other authors. ZC, *Zostera caulescens*; ZM, *Zostera marina*; ZA, *Zostera asiatica*. A dashed line indicates the lower depth limit of *Zostera* spp (Dennison 1987, Duarte 1991).

は、Duarte (1991) の回帰式を使い、調査海域における消散係数（年平均値）から求めた予測値と比較的良く一致した (Fig. 3)。回帰式は、海草の生育限界と水中の光環境との強い相関を表していることから、両津湾においても海草

の生育限界は、光によって制限されていると考えられ、厚岸湾 (Watanabe *et al.* 2005) についても同様と考えられる。また、両津湾のタチアマモの生育限界水深が小田和湾のそれに比べて深いことは、小田和湾に比べ、両津湾の消

散係数が低く、より深い水深帯まで光が到達することを反映した結果である。生育する種の違いはあるものの、厚岸湾に比べ、両津湾における海草の生育限界水深が深いことも、同様の理由によると考えられる。

潮下帯に生育する植物の分布下限における光量は、生育のための必要最低限の光量として、植物の光要求性を特徴づける指標の1つであり、海表面の光量に対する相対値 (% surface irradiance = %SI) として表される (Spalding *et al.* 2003)。消散係数から両津湾と小田和湾におけるタチアマモの生育下限 (22.6 m, 8 m) における光量を求めると、下限水深に大きな違いがあるにもかかわらず、両津湾では 3.5%SI、小田和湾では 5.2%SI とほぼ同じ値になった。このことから両海域における水中の光環境の違いは明らかである。また、両津湾と小田和湾におけるタチアマモの値 (3.5–5.2%SI) は、アマモで報告されている値 (18±5.6 %SI, mean±SD, n=9) (Lee *et al.* 2007) に比べて低く、より深く、光量が少ない環境で生育できるタチアマモの特徴をよく表している。

消散係数のデータがないため Fig. 3 にプロットできなかった他の海域におけるタチアマモの生育下限水深や生育水深の指標となる標本の採集水深と比較しても、船越湾の 16 m (岩手県上閉伊郡大槌町吉里吉里地先の生育下限, 立川ら 1996, Aioi *et al.* 1998)、隠岐の島沿岸の 15 m (島根県隠岐の島町蛸木地先の採集水深, Tanaka *et al.* 2009b)、佐渡島多田港沖の 15 m (新潟県佐渡市多田地先の生育下限, 石川 2009) に比べ、今回の調査で明らかになった両津湾の生育下限は明らかに深く、池森ら (2012) が報告した能登半島沿岸 (石川県鳳珠郡能登町地先) における値 (24 m) とほぼ同じであった。

スゲアマモとの競合の影響を受けているものの、両津湾のアマモの生育下限と考えられる水深 (10 m) は、小田和湾を含む世界の様々な海域で得られた 29 データの最大値、デンマーク沿岸で記録された 9 m (Duarte 1991)、能登半島飯田湾 (石川県珠洲市宝立町鶴飼地先, 4 m 付近からスゲアマモと混生) の 10 m (谷口・山田 1979) とほぼ同じであった。また、2004–2006 年に北海道から鹿児島県に至る国内 606 か所で実施されたアマモの調査記録では、北海道余市郡余市町大川町、新潟県岩船郡粟島浦村 (粟島)、新潟県佐渡市二見、同多田 (ともに佐渡島) の 4 ヶ所の採集水深だけが 10 m 以上 (10.0–11.1 m) であった (Tanaka *et al.* 2009a)。これらの採集水深は、すでに報告されているアマモの生育下限の値を考慮すれば、いずれも、それぞれの海域の生育下限水深に近い値と考えられる。アマモが水深 10 m 付近まで生育できる海域は、国内では日本海沿岸に限られているが、両津湾もその中の 1 つと言える。

米国カリフォルニア沖とメキシコ沖では、極めて深い水深帯 (25 m, 34 m) でのアマモの生育 (Dennison 1987) が報告されているが、タチアマモに関する情報と併せて考えると、佐渡島や能登半島の沿岸は、世界的に見てもアマ

モ属植物が、より深い水深帯まで生育する海域の 1 つと言える (Fig. 3)。

能登半島 (石川県鳳珠郡能登町地先) では、アマモ場に加えノコギリモクが優占するガラモ場も水深 22 m まで形成されている (池森ら 2012)。この海域の水中の光環境は不明だが、能登半島の先端部に近く、富山湾の湾口付近に位置することから、対馬暖流の影響を強く受けると考えられ、両津湾と同様に透明度の高い海域と推察される。さらに、日本海では、アマモ属やホンダワラ属の植物以外にも、日本海の固有種である褐藻コンブ目のツルアラメ *Ecklonia stolonifera* Okamura が 30 m を超える水深帯まで生育することが知られている (能登谷 1995)。これらの深所の植物群落は、海表面付近との水温差で、今後予想される高水温を回避し、気候変動による水温上昇下ではレフュジアとしての役割を果たす可能性があることから、気候変動の影響を受けた沿岸生態系の復元力を理解し、評価する上で、重要な研究対象と言える (Graham *et al.* 2007)。

新潟県佐渡市の内浦漁業協同組合、エス・ワルド (株) には野外調査で多大な協力をいただいた。石川県水産技術センター、のと海洋ふれあいセンター、千葉県立中央博物館の宮田昌彦博士からは日本海沿岸の海草に関する貴重な情報を、(一社) 漁業情報サービスセンターの飯泉仁博士と東京海洋大学大学院の田中次郎教授からは草稿に対し有益なコメントをいただいた。ここに記して、厚く御礼申し上げる。本研究の一部は科学技術振興機構 (JST) の CREST 研究領域「海洋生物多様性および生態系の保全・再生に資する基盤技術の創出」における研究課題「ハイパー・マルチスペクトル空海リモートセンシングによる藻場 3 次元マッピング法の開発」の一環として行われた。

引用文献

- Aioi, K., Komatsu, T. & Morita, K. 1998. The world's longest seagrass, *Zostera caulescens* from northeastern Japan. *Aquat. Bot.* 61: 87–93.
- Abe, M., Hashimoto, N., Kurashima, A. & Maegawa, M. 2003. Estimation of light requirement for the growth of *Zostera marina* in central Japan. *Fish. Sci.* 69: 890–895.
- Abe, M., Yokota, K., Kurashima, A. & Maegawa, M. 2010. Estimation of light requirement for growth of *Zostera japonica* cultured seedlings based on photosynthetic properties. *Fish. Sci.* 76: 235–242.
- Dennison, W. C. 1987. Effects of light on seagrass photosynthesis, growth and depth distribution. *Aquat. Bot.* 27: 15–26.
- Dennison, W. C., Orth, R. J., Moore, K. A., Stevenson, J. C., Carter, V., Kollar, S., Bergstrom, P. W. & Batiuk, R. A. 1993. Assessing water quality with submersed aquatic vegetation. *Bioscience* 43: 86–94.
- Duarte, C. M. 1991. Seagrass depth limits. *Aquat. Bot.* 40: 363–377.
- Graham, M. H., Kinlan, B. P., Druehl, L. D., Garske, L. & Banks, S. 2007. Deep-water kelp refugia as potential hotspots of tropical marine diversity and productivity. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 104: 16576–16580.
- 池森貴彦・東出幸真・坂井恵一 2012. 能登半島珠洲市沿岸におけるガラモ場とアマモ場の分布域の再検討. のと海洋ふれあいセンター研究報告 18: 1–6.
- 石川竜子 2009. 新潟県におけるアマモ場の分布および種組成につ

- いて, 新潟県水産海洋研究所研究報告 2: 57–61.
- 工藤孝浩 1999. 三浦半島, 小田和湾における海草群落の分布. 神奈川県水産総合研究所研究報告 4: 51–60.
- Lee, K.-S., Park, S. R. & Kim, Y. K. 2007. Effects of irradiance, temperature, and nutrients on growth dynamics of seagrasses: A review. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* 350: 144–175.
- Lüning, K. & Dring, M. J. 1979. Continuous underwater light measurement near Helgoland (North Sea) and its significance for characteristics light limits in the sublittoral region. *Helgoländer wiss. Meeresunters.* 32: 403–424.
- Maegawa, M., Yokohama, Y. & Aruga, Y. 1988. Comparative studies on critical light condition for young *Ecklonia cava* and *Eiseinia bicyclis* with reference to photosynthesis. *Jpn. J. Phycol.* 36: 166–174.
- Moore, K. A., Shields, E. C., Parrish, D. B. & Orth, R. J. 2012. Eelgrass survival in two contrasting systems: role of turbidity and summer water temperatures. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 448: 247–258.
- Mukai, H., Aioi, K. & Ishida, Y. 1980. Distribution and biomass of eelgrass (*Zostera marina* L.) and other seagrasses in Odawa Bay, central Japan. *Aquat. Bot.* 8: 337–342.
- Murase, N., Kito, H., Mizukami, Y. & Maegawa, M. 2000. Relationships between critical photon irradiance for growth and daily compensation point of juvenile *Sargassum macrocarpum*. *Fish. Sci.* 66: 1032–1038.
- 村瀬昇 2001. 褐藻ノコギリモク *Sargassum macrocarpum* C. Agardh の生態学的研究. 水産大学校研究報告 49: 131–212.
- 能登谷正浩 1995. 青森県沿岸のツルアラメ. 日本水産学会誌 61: 105–106.
- 坂西芳彦・飯泉仁 2004. 北海道根室半島沿岸の水中光量子量－コブ目藻類の生育限界水深との関係－. 藻類 52: 141–148.
- 坂西芳彦・阿部信一郎・小松輝久 2014. 佐渡市両津湾沿岸におけるアマモ場の群落構造について. 藻類 62: 57.
- Spalding, H., Foster, M. S. & Heine, J. N. 2003. Composition, distribution, and abundance of deep-water (>30 m) macroalgae in central California. *J. Phycol.* 39: 273–284.
- Tanaka, N., Aida, S., Akaike, S., Aramaki, H., Chiyokubo, T., Chow, S., Fujii, A., Fujiwara, M., Ikeuchi, H., Ishii, M., Ishikawa, R., Ito, H., Kudo, T., Muraoka, D., Nagahama, T., Nambu, T., Okumura, H., Oshino, A., Saigusa, M., Shimizu, Y., Suwa, T., Suzuki, K., Takeda, K., Tanada, N., Tanimoto, T., Tsuda, F., Urabe, S., Yatsuya, K., Yoshida, G., Yoshimatsu, T., Yoshimitsu, S., Yoshimura, K., Morita, K. & Saitoh, K. 2009a. Distribution of *Zostera* species in Japan. I. *Zostera marina* L. (Zosteraceae). *Bull. Natl. Mus. Nat. Sci., Ser. B.* 35: 23–40.
- Tanaka, N., Akaike, S., Ishii, M., Ishikawa, R., Ito, H., Kudo, T., Muraoka, D., Oshino, A., Saigusa, M., Urabe, S., Yatsuya, K., Yoshimura, K., Morita, K. & Saitoh, K. 2009b. Distribution of *Zostera* species in Japan. II. *Zostera asiatica* Miki, *Z. caespitosa* Miki and *Z. caulescens* Miki (Zosteraceae). *Bull. Natl. Mus. Nat. Sci., Ser. B* 35: 211–218.
- 谷口和也・山田悦正 1979. 能登飯田湾におけるアマモとその他海産顕花植物の垂直分布と生活史. 日本海区水産研究所研究報告 30: 111–121.
- 立川賢一・小松輝久・相生啓子・盛田孝一 1996. 船越湾の吉里吉里地先における海草類の分布. 大槌臨海研究センター報告 21: 38–47.
- Watanabe, M., Nakaoka, M. & Mukai, H. 2005. Seasonal variation in vegetative growth and production of the endemic Japanese seagrass *Zostera asiatica*: a comparison with sympatric *Zostera marina*. *Bot. Mar.* 48: 266–273.

(Received Mar. 18, 2015; Accepted May 28, 2015)