

オーストラリアの海草とマリンボール

Kuo. John*・相生啓子**

John Kuo and Keiko Aioi: Australian seagrasses and marine balls.

Abstract: The coastlines of Australia and Japan are rich in seagrass species, and contain about 30 and 17 species respectively, in a total of 55 described species in the world. Seagrasses can be separated as either tropical or temperate species. Most of the Australian and Japanese tropical seagrasses, occur also in other East Indo-West Pacific regions, and only two tropic seagrasses are endemic to Australia. On the other hand, the majority of Australian and Japanese temperate species show rich in the endemics. All together up to fifteen species, including eight species of *Posidonia*, two of *Amphibolis*, one of *Thalassodendron*, three of *Zostera* and one of *Halophila*, representing a half of total Australian species, are endemic to Australia. Whereas three species of *Zostera* and two of *Phyllospadix* species, representing about one-third of the total Japanese species, are endemic to Japan and its adjacent region. There are two types of marine balls occur in temperate Australian coastlines. Firstly, large coarse balls as large as soccer balls, mainly consists of erect stems of *Amphibolis* species. Secondly, with different shape and size, some of which as large as a tennis or baseball balls, with compacted fine marine fibres, mainly originated from the fibre bundles of leaf sheaths of various Australian *Posidonia* species.

はじめに

Den Hartog (1970) により、「世界の海草」という本が出版されてからというもの、海草の研究論文が次々発表されるようになった。オーストラリアでも、最近になって、海草に関する詳細な生物学の研究がなされるようになった (Larkum et al., 1989)。マリンボールに関しては、本誌、水草研究会報に掲載された興味深い報告 (中沢, 1991) のなかに、シドニーの *Posidonia australis* のマリンボールについて1950年の文献が引用されていたので、さらに詳しい報告を書く必要があると考え、紹介することにした。東インド-西太平洋における日本の海草とオーストラリアの海草の分布についてもあわせて比較する。さらに太平洋における海草の種組成と分布 (Mukai, 1993; Coles and Kuo, 1995) に関し考察する。

I-1. 海草とは

海草とは、北極から南極までの全世界の沿岸の浅海にみられる、草のような単子葉植物のグループのことである。海草は海藻とは明らかに異なり、根、根茎、葉、花、果実といった構造と機能をもった維管束植物である。海草は、古生物学的には、古い時代からの顕花植物と考えられている。白亜紀の淡水あるいは、汽水の水生植物から分化したと示唆されている (Den Hartog, 1970)。しかし、現生の淡水の水生植物にも、汽水の水生植物にも海草と良く似ているものは見当たらない。化石の記録では、アメリカのフロリダ州中央部から発見された第三紀中新世の後期のものがあり (Lumbert et al., 1984)、これ以外には、日本から、白亜紀の古代アマモ (*Archaeozostera*) として記録されたものがある (Koriba and Miki, 1931) が、これには疑問が残されている (Kuo et al., 1989)。海洋の環境が形成される速度と

*Centre for Microscopy and Microanalysis, University of Western Australia ; **東京大学海洋研究所・海洋生物生態部門

関連するので、海産の顕花植物の進化の速度は大変遅いものと考えられる (Den Hartog, 1970; Phillips and Menez, 1988)。したがって、海草は、4科12属に属し現在全世界で約60種のみが記載されている。

I-2. 海草の適応と生物学

海草は、潮流や波浪に耐えられるように錨のように植物体を固定する役割をする根や根茎をもっているため、海水中での開花、受粉、結実と種子形成、そして発芽といった一連の生長過程と生活史を完結できるのである。陸上とは異なる海中の環境に適応するために、組織や形態を変えなければならなかった。例えば、大変薄いクチクラ層、葉面に気孔がないこと、クロロプラストが葉の表皮細胞に集合していること、顕著な通気組織があること、二次的に形成された薄い細胞内壁部があること、木部要素が木化していること、そして糸状の花粉や鎖のように繋がった花粉粒のことである。

Zostera や *Posidonia* は雌雄同株であるが、*Phyllo-*

spadix や *Cymodocea* (ベニアマモ属) は雌雄異株である。*Zostera* と *Phyllospadix* の種子には休眠期があるが、*Posidonia*、*Enhalus* (ウミシヨウブ属)、*Thalassia* (リュウキユウスガモ属) は、種子が落下して直後に発芽する。*Thalassodendron* と *Amphibolis* は、マングローブのように、胎生で、種子が成熟すると、母木に着いたまま発芽し生長する。発芽して4から6ヶ月ほど過ぎると、成熟した実生は、母木から離れて着底し、海底で独立して生活するようになる。

I-3. 海洋生態系における海草の役割

海草は海洋における重要な資源である。海底に広々とした草原を形成し、複雑な生態系の基盤として、海洋の食物網における重要な役割を果たしている。海草の生長は速く、その生産力は、1平方メートルあたり100gから600g(乾燥重量/1年)に達し、陸上のとうもろこしや米は、それぞれ約400gCと500gC(炭素量/1年/1平方メートル)であるから、これらの農産物に匹敵するぐ

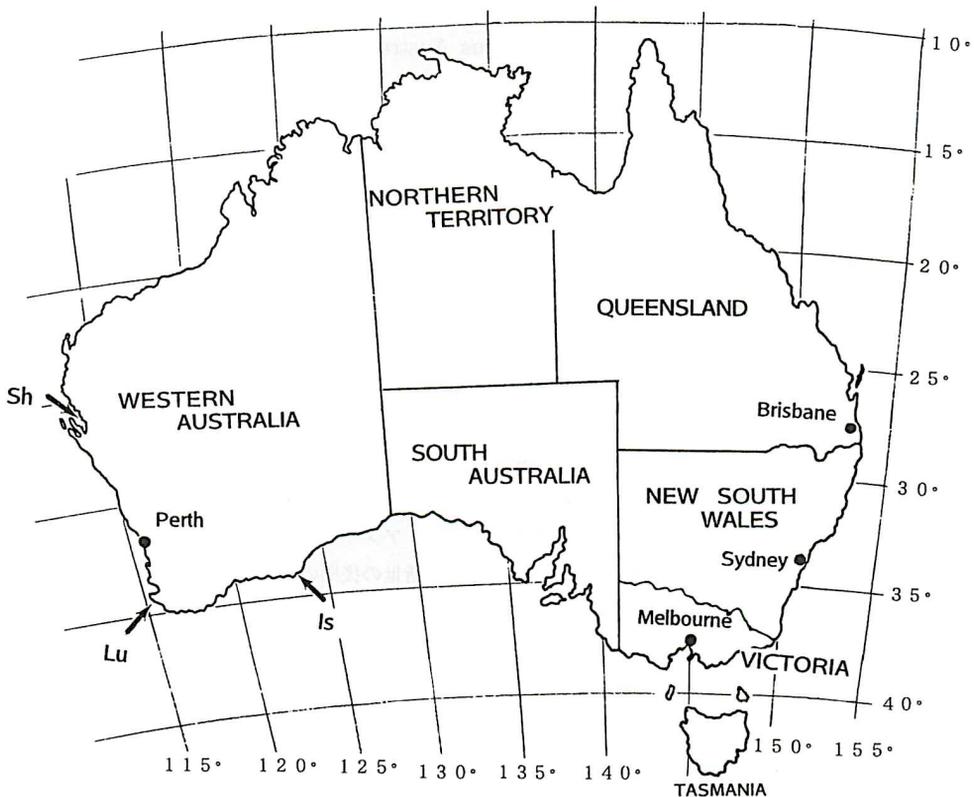


図1. オーストラリア大陸の地図と地名。Sh: Shark Bay Lu: Lueewins 岬 Is: Israelite 湾

らの生産力があるといえる。

また海草群落は、海底の堆積物を安定させ、小動物の格好の隠れ家となったり、一時期滞留するための棲み家となったり、微小動物にとっての生息場を形成する。動物にとっての養育の場であり揺り籠のような場所でもある。葉や茎は、多くの付着藻類や他の微生物にとっての基質としても重要である。海草は枯死するとデトリタスや有機分解物質となり、微生物の分解により栄養塩のサイクルに入っていく。また、ジュゴンや海亀の餌として直接食べられる場合には、二次生産のサイクルへと組み込まれていく。

II. オーストラリアの海草

オーストラリアは大変海草の種類が豊富なところである。Phyllospadixを除いた全ての属にわたり、約30種の海草が分布している。そのうち多くの温帯種は、オーストラリア大陸の固有種である(表1)。緯度、経度による広義な区分をすれば、オーストラリア大陸の西では、Shark Bay (26°S; 113°E) 付近で、東では、シドニーの北 (28°S; 153°E) 付近で分けられる(図1)。

Halophilaでは、*H. ovalis*と*H. minor* (*H. ovata*)の分類に若干問題が残されているが、この属は、熱帯と温帯の両方に分布している。グレート・バリア・リーフの固有種である*Halophila tricostata*は、Shark Bay付近に分布が限られている。Cymodocea *angustata*を除いて、オーストラリアに産する熱帯種(*Enhalus*, *Thalassia*, *Cymodocea*, *Halodule*, *Syringodium*, *Thalassodendron*, *Halophila*)の多くはインド洋—西太平洋の広い海域に渡り分布している。日本の亜熱帯海域である琉球列島の西表島、石垣島、宮古島、先端列島も含まれている(Miki, 1934a, b; Tanaka et al., 1962)。そしてこの海域は、これらの熱帯種のあるものにとっては北限でもある。ごく最近になって、沖縄本島に、*Halophila decipiens* (ヒメウミヒルモ)が分布していることが確認され、この種の北限であることが報告された(Kuo et al., 1995)。他方、インド洋—西太平洋の共通種である*Thalassodendron ciliatum*および*Halophila spinulosa*の2種類は、かつて日本の領土であった当時に報告されているが、太平洋においては、パラワンとフィリッピン島のルソンがこれら2種の北限である(Menez et al., 1983)。

オーストラリアの温帯種の海草が、すべて固有種であ

ることは、大変興味深い事である。これらの温帯種は、Posidonia科の*Posidonia*属8種、アマモ科の*Zostera*属3種、および*Heterozostera tasmanica*、ベニアマモ科の*Amphibolis*属2種、および*Thalassodendron pachyrhizome*、トチカガミ科の*Halophila*属2種である(表1)。

世界中の*Posidonia*属は9種類あるが、二極に分化した分布をしている。地中海に*P. oceanica*が1種類だけ分布していて、他の8種は全部オーストラリアの温帯域の固有種である。これら8種のうち、*P. australis*を含む3種類の第一グループと、*P. ostenfeldii*を含む5種類の第二グループに分けられる。第一グループは、内湾の静かな環境に適応し、汽水域にも分布を広げている温帯海草の代表種である。単一種の純群落、あるいは他種と混合した大群落を形成する。第二グループは、波浪のあるところや深いところにパッチ状の群落を形成する。南西オーストラリアのLueewins岬(34°S, 115°E)とIsraelite湾(34°S, 123°E)の間の海岸線には、8種類の*Posidonia*属が分布していて、オーストラリアの*Posidonia*属の種分化の中心である。Shark Bayまで北上するにつれて、*Posidonia*属の種数は減少していき、3種(*P. australis*, *P. coriacea*, *P. sinuosa*)だけになる。南から東方の海岸線に沿っても同様に種数は減っていく。南オーストラリアには、5種類の海草が分布しているが、ヴィクトリア、ニュー・サウス・ウエルズおよびタスマニアには、*P. australis* 1種類だけが分布している。

オーストラリアの*Zostera*属3種は、亜属*Zosterella*に属しているが、すべて固有種である。*Zostera*属は、砂泥底を好み、閉鎖的な内湾の浅海に分布している。*Z. capricornii*は、オーストラリア東部が分布の中心であるが、熱帯にまで分布を広げ、クィーンズランド北部まで分布している。*Z. muelleri*は、オーストラリアの東部温帯域に、*Z. mucronata*は、西部温帯域にそれぞれ分布している。既に述べたように、日本には、亜属*Zostera*が4種と、亜属*Zostèrella*が1種、合計5種類が分布している。そのうちの3種、*Z. asiatica* (オオアマモ)、*Z. caulescens* (タチアマモ)、*Z. caespitosa*は、日本と韓国、中国北部にかけての固有種である。世界共通種である*Z. marina*は、太平洋西部および北アメリカ、ヨーロッパにも分布している。他方、亜属*Zosterella*の*Z. japonica* (コアマモ)は、サハリン

表1. オーストラリアと日本沿岸域, および東インド洋 (E. Indian O.) と西太平洋 (W. Pacific O.) における海草の種類. Te: 温帯種 Tr: 熱帯種

Genus/Species	Australia	Japan	E.Indian O.	W.Pacific O.	
Hydrocharitaceae					
<i>Enhalus acoridis</i>	X	X	X	X	Tr
<i>Halophila australis</i>	X	-	-	-	Te
<i>H. beccarii</i>	-	-	X	X	Tr
<i>H. decipiens</i>	X	X	X	X	Tr
<i>H. minor</i>	X	X	X	X	Tr
<i>H. ovalis</i>	X	X	X	X	Tr/Te
<i>H. spinulosa</i>	X	-	X	X	Tr
<i>H. tricostata</i>	X	-	-	-	Tr
<i>Thalassia hemprichii</i>	X	X	X	X	Tr
Cymodoceaceae					
<i>Amphibolis antarctica</i>	X	-	-	-	Te
<i>A. griffithii</i>	X	-	-	-	Te
<i>Cymodocea angustata</i>	X	-	-	-	Tr
<i>C. rotundata</i>	X	X	X	X	Tr
<i>C. serrulata</i>	X	-	X	X	Tr
<i>Halodule pinifolia</i>	X	X	X	X	Tr
<i>H. uninervis</i>	X	X	X	X	Tr
<i>Syringodium isoetifolium</i>	X	X	X	X	Tr
<i>Thalassodendron ciliatum</i>	X	-	X	X	Tr
<i>T. pachyrhizum</i>	X	-	-	-	Te
Zosteraceae					
<i>Phyllospadix iwatensis</i>	-	X	-	-	Te
<i>P. japonicus</i>	-	X	-	-	Te
<i>Heterozostera tasmanica</i>	X	-	-	-	Te
<i>Zostera asiatica</i>	-	X	-	-	Te
<i>Z. caespitosa</i>	-	X	-	-	Te
<i>Z. capricornii</i>	X	-	-	-	Te/Tr
<i>Z. caulescens</i>	-	X	-	-	Te
<i>Z. japonica</i>	-	X	-	X	Te/Tr
<i>Z. marina</i>	-	X	-	-	Te
<i>Z. mucronata</i>	X	-	-	-	Te
<i>Z. mulleri</i>	X	-	-	-	Te
Posidoniaceae					
<i>Posidonia australis</i>	X	-	-	-	Te
<i>P. angustifolia</i>	X	-	-	-	Te
<i>P. coriacea</i>	X	-	-	-	Te
<i>P. denhartogii</i>	X	-	-	-	Te
<i>P. kirkmanii</i>	X	-	-	-	Te
<i>P. robertsonae</i>	X	-	-	-	Te
<i>P. ostenfeldii</i>	X	-	-	-	Te
<i>P. sinuosa</i>	X	-	-	-	Te
Total	30	17	12	14	

からヴェトナムまでの広い範囲に分布している。*Zostera* は、南北に二極分化していると考えられる。その根拠としては、南半球に分布している種の染色体の数が、北半球の種の染色体数の2倍であることを記しておく (Kuo, 未発表)。*Zostera* 属に関しては、さらに注意深い分類学的研究が必要である。たぶん *Zostera* 属の種類数は増えることになるであろう。

Heterozostera tasmanica は、単一種で広い範囲に飛散して分布している。オーストラリアの温帯域とチリの北部海岸線の狭い範囲に分布がみられる。しかし、ニュー・ジーランドでは発見されていない。形態学的研究によると、*H. tasmanica* の分類群は、増える可能性がある (Kuo, 未発表)。*H. tasmanica* は、*Zostera* とは対象的に、海洋性の種で汽水域には出現しない。

アマモ科 (Zosteraceae) の3番目の属、*Phyllospadix* はオーストラリアには出現しない唯一の種類で、北太平洋にだけ5種類が分布している。*P. iwatensis*

(スガモ) と *P. japonicus* (エビアマモ) の2種は、日本、韓国、中国北部の固有種である。他の3種は、北アメリカの西海岸に沿ってアラスカから南カリフォルニアまで分布している。*Phyllospadix* は、他のアマモ科の海草とは違って岩礁に群落を形成する。

Amphibolis は、オーストラリアの温帯域に分布しているが、ニュー・サウス・ウェールズにはみられない。細長く伸びたしなやかな茎の頭部に、定期的に集合した葉鞘が房のような樹冠を形成する。その茎には、多様な付着藻類の群集構造がみられる。*Thalassodendron* は2種類あって、*T. ciliatum* は、熱帯のインド洋—西太平洋に広く分布していて、浅いところにみられるが、シナイ湾では35メートルより深いところにみられる。もう一種類の *T. pachyrhizum* の分布は、南西オーストラリアに限られていて、8メートル以深の流れの強い海底にみられる。*Amphibolis* も *Thalassodendron* も、いずれもマングローブのように胎生の再生産をおこなう。

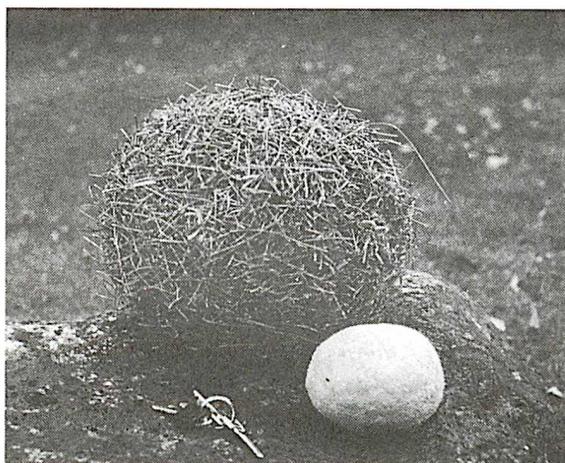
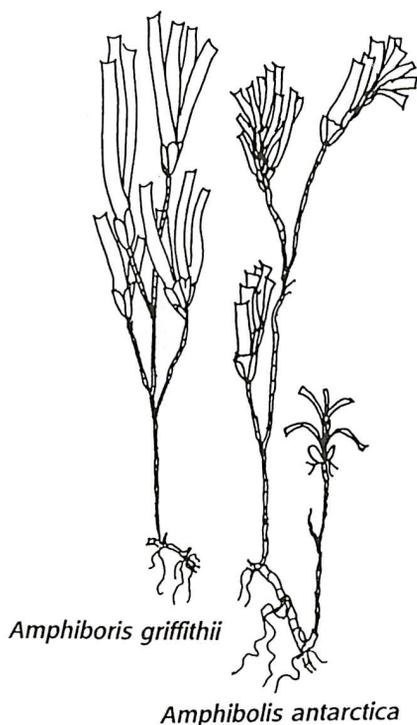


図2. オーストラリアの海岸で見られる二つのタイプのマリンボール。大きい方は、*Amphibolis* の荒くて尖った茎と海藻が混ざりあってできたもので、サッカーボールほどの大きさになる。小さい方は、細かく滑らかな *Posidonia* の繊維が集まってできたもので、テニスか野球のボールぐらいの大きさのマリンボール。自動車の鍵と比べてみたところ。左のイラストは、*Amphibolis griffithii* および *A. antarctica*。

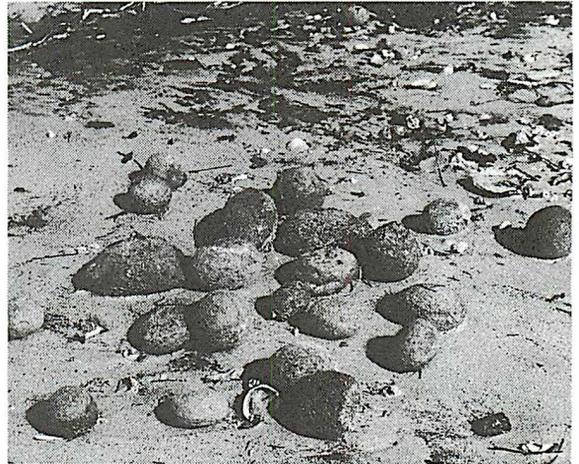
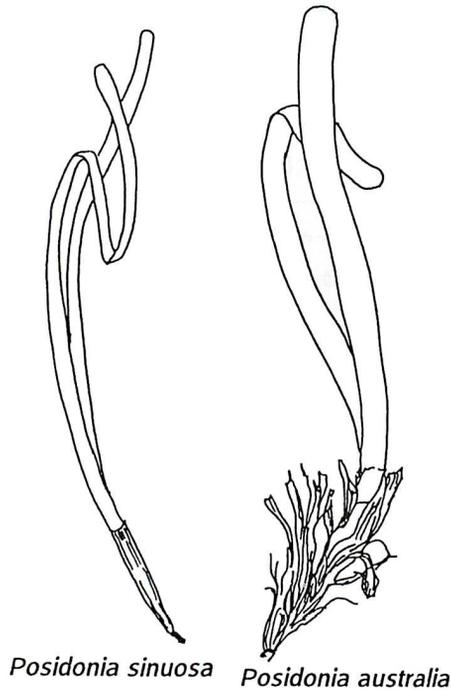


図3. 色々な形とサイズのものがみられる *Posidonia* の繊維でできたマリンボール. 西オーストラリア, アルバニアの Middleton Beach にて. イラストは, *Posidonia sinuosa* および *P. australis*.

このような再生産の様式は, 生息場所の環境条件との関連を考える上で重要なヒントを与えてくれている. オーストラリア西海岸の温帯域のパス (32°S, 116°E) 付近にまで, 分布を広げている熱帯種は, *Syringodium isoetifolium* と *Halophila ovalis* である.

Ⅲ. オーストラリアのマリンボール

多くの海草は, 多年草で地下部の根茎はたいがい海底堆積物中に残るが, 地上部の葉や茎は生長と枯死を繰り返している. オーストラリアでは, 秋と冬に枯れた葉や茎が海藻と混ざりあって波に洗われ, 海岸に打ち上げられて堆積する. 南オーストラリアでは, それが2メートルも堆積することがある. 春から初夏にかけて, この植物の堆積は再び海に戻り, 最後には植物遺骸 (debris) として海洋生態系の栄養塩のサイクルに入っていく. 海草の細胞組織は, 分解されやすい物質であるが, なかには分解しにくい組織もある. 海洋の物理化学的作用で, 分解しにくいこれらの組織がマリンボールを形成する.

オーストラリアの海岸でみられるマリンボールには, 2タイプあり, その元となっている組織がそれぞれ違う.

一方は, 直径が30センチもあり, サッカーボールぐらいの大きなもので, *Amphibolis* の荒く尖った茎と海藻が混ざり合ってきたものである (図2). 他方は, もっと小さくて *Posidonia* の葉鞘の細かい繊維が集まってできたものである (図3). これらの *Posidonia* のボールは, テニスボールか野球のボールぐらいの大きさになる.

Posidonia は数枚の葉が伸びてきて, それぞれの葉ごとに葉鞘がついている. 葉鞘は葉の基部に位置していて, 若い葉および分裂組織の部分を保護する役割を果たしている. 通常, 葉鞘の一部は砂底に埋っているためクロロプラストを持たない. 葉部も葉鞘も, 厚い細胞壁をもった繊維細胞に覆われているため, 強く柔軟にできているので, 波浪に対しても耐えられる構造になっている. 葉鞘の厚い細胞壁のある繊維細胞だけが木化して根茎になりいつまでも形が残っているが, 他の柔組織は腐植し分解してしまう.

分解しにくい葉鞘の繊維は, 最終的に根茎から離れて, 細い一本ずつの繊維となり, これがマリンボールのもとになる. 南オーストラリアのスペンサーやヴィンセント

湾は、このような繊維の堆積物を多量に収穫できた地域で、ある時期(1905—1915)には、穀物袋、紙、絶縁体の資源として利用された。オーストラリアの温帯域では、色々なサイズのボールのように丸くなり打ち上げられるのである。市販の電気洗濯機の振動により、波と渦巻きに近い水流を起こさせて、人工の *Posidonia* ボールを作る実験に成功した例もある (Cannon, 1979)。 *Amphibolis* の種子は、櫛の歯状の錨のような形をしているが、この種子が他の海草や海藻、貝殻の破片と共にマリンボールの網の中に包みこまれていることがある。同じように、地中海でも *P. oceanica* の繊維でできた直径が7から10センチメートルのマリンボールに関する報告もある (Shroeder, 1920; Schmidt, 1955; Nakazawa, 1991)。

オーストラリアは自然保護、環境問題、環境教育に対する配慮を、政策にも取り入れている環境先進国である。にもかかわらず、オーストラリア沿岸の海草群落の衰退、消滅は地域レベルを越えて、広い範囲で進行しつつあり、本稿でとりあげたマリンボールの量も、最大時に比べ少なくなっている。地球規模での海草の消滅は、やがて海洋生態系における種多様性の消失にも繋がることを意味している。

引用文献

- Coles, R. and Kuo, J. (1995) Seagrasses. In: Marine and Coastal Biodiversity in the Tropical Island Pacific Region. Vol. 1. Species Systematics and Information Management Priorities. pp. 39-57. Eds. J. E. Maragos, M. N. A. Peterson, L. G. Eldredge, J. E. Bardach and H. F. Takeuchi. Program on Environment, east-West Center, Honolulu, Hawaii.
- Cannon, J. F. M. (1979) An experimental investigation of *Posidonia* balls. *Aquat. Bot.*, 6: 407-410.
- Den Hartog, C. (1970) *Seagrasses of the World*. Amsterdam, London, North Holland: 275 pp.
- Koriba, K. and Miki, S. (1931) Observation on *Archaeozostera* (new named) from upper Cretaceous Izumi sandstones. *Chikyū (The Globe)*, 15: 165-201 (in Japanese).
- Kuo, J. (1983) Notes on the biology of Australian seagrasses. *Proc. Linn. Soc. NSW.*, 106: 225-245.
- Kuo, J., Kanamoto, Z., Toma, T. and Nishihira, M. (1995) Occurrence of *Halophila decipiens* Ostenfeld (Hydrocharitaceae) in Okinawa Island, Japan. *Aquat. Bot.*, 51: 329-334.
- Kuo, J. and McComb, A. J. (1989) Seagrasses taxonomy, structure and development. In: *Biology of Seagrasses. A treatise on the biology of seagrasses with special reference to the Australian Region*. A. W. D. Larkum, A. J. McComb and S. A. Shephard (eds.). Elsevier, Amsterdam: 6-73.
- Kuo, J., Seto, K., Nasu, T., Iizumi, H. and Aioi, K. (1989) Notes on *Archaeozostera* in relation to the Zosteraceae. *Aquat. Bot.*, 34: 317-324.
- Lumbert, S. H., Den Hartog, C., Phillips, R. C. and Olsen, F. S. (1984) The occurrence of fossil seagrasses in the Avon Park formation (late middle eocene), Levy county, Florida (U. S. A.). *Aquat. Bot.*, 20: 121-129.
- Menez, E. G., Phillips, R. C. and Calumpong, H. P. (1983) Seagrasses from the Philippines. *Smithsonian Contributions to Marine Sciences*, No. 21: 40 pp.
- Miki, S. (1934a) On the sea-grasses in Japan II. Cymodoceaceae and Marine Hydrocharitaceae. *Bot. Mag. Tokyo*, 34 (566): 131-142.
- Miki, S. (1934b) On the sea-grasses in Japan III. General consideration on the Japanese sea-grasses. *Bot. Mag. Tokyo*, 34 (567): 171-178.
- Mukai, H. (1993) Biogeography of the tropical seagrasses in the Western Pacific. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, 44: 1-17.
- Nakazawa, S. (1991) Marine balls of *Zostera marina* L. *Bull. Water Plant Soc., Japan*, 43: 30 (in Japanese).
- Phillips, R. C. and Menez, E. G. (1988) Seagrasses. *Smithsonian Contributions to Marine Sciences*, No. 34: 104 pp.
- Schmidt, H. (1955) Seeballe und ihre Entstehung. *Natur und Volk*, 85: 277-283.
- Tanaka, T., Nozawa, K. and Nozawa, Y. (1962) On the sea-grasses from Southwestern Islands of Japan. *Mem. South. Indust. Sci. Inst. Kagoshima Univ.*, 3 (2): 105-111 (in Japanese).
- Schroeder, B. (1920) Uber Seeballe. *Naturwissenschaft*, 8: 799-803.