

宇田賞受賞記念講演

沿岸域における漁業資源生産過程の解明と生態系機能の評価

小路 淳

Elucidation of production process of fishery resource and evaluation of ecosystem function in coastal area

Jun SHOJI

Coastal zones composed of a variety of ecosystems such as seagrass and macroalgal beds, tidal flats, coral reefs and estuaries have high biodiversity and biological productivity. These ecosystems provide high ecosystem services, the economic value of which is estimated to be the highest among all the ecosystems on the planet, including terrestrial ecosystems. On the other hand, degradation of coastal ecosystems is progressing throughout the world. The development and disappearance of coastal ecosystems affect fishery production because coastal ecosystems are important as a habitat for many fishery resources. However, to date, there has been limited information on quantitative evaluation of the impact of each ecosystem on fishery resources. Clarification of the process of biological production in each ecosystem is essential for appropriate conservation of the ecosystems and efficient management and restoration of the fishery resources living there. Recently, it has been recognized that many species of fishery resources inhabit single multiple ecosystems throughout their lifetime. Coastal zones are exactly aggregates of heterogeneous ecosystems. Therefore, it will be increasingly important to evaluate the connectivity of different ecosystems and contribution of each ecosystem to fishery production. Perspectives based on large-spatial and comprehensive viewpoints that clarify the real status of migration of substances and organisms among different ecosystems, in addition to quantitative evaluation of biological production process in each ecosystem, are indispensable. To attain sustainable use of the ecosystem services, including fishery resources, social practices according to characteristics of the various functions of ecosystems, environmental and local social conditions are indispensable. This paper summarizes a couple of results from research made by the author on evaluation of fish production, spatial variability of fish community structures, and ecosystem services and their annual fluctuations in coastal ecosystems.

Key words: fish production, fish community, seagrass bed, ecosystem service

キーワード：魚類生産，魚類群集，藻場，生態系サービス

はじめに

藻場，干潟，岩礁，珊瑚礁，河口域など多様な生態系で構成される沿岸域は，高い生物多様性と生物生産力を発揮する。それぞれの生態系がうみだす自然の恵み（生態系サービス）も豊かであり，その経済価値は陸域を含めた地球上の全生態系のなかで最高と見積もられている（Costanza et al., 1997; TEEB, 2010）。しかしその一方で，世界各地で沿岸生態系の劣化が進行しており，たとえばアマモ場の面積は全球的に減少を続けている（Waycott et al., 2009）。瀬戸

内海におけるアマモ場の面積は，環境省の統計によれば1960年度から1990年度の間約30%にまで低下した（岡市ほか，1996）。沿岸生態系は多数の漁業資源の生息場として重要であるため（Fig. 1），これらの開発・消失が漁業生産に影響を及ぼすことは明白である。しかしながら，各生態系が漁業資源に与える影響を定量評価した事例は現在でも少ない。沿岸域を構成する生態系を適切に保全・管理し，そこに生息する漁業資源の効率的な維持・回復をはかるためには，各生態系における生物生産のプロセスを明らかにすることが必須である。

近年は，水産生物が一生を通じて利用する生態系は1つではなく，多くの種が複数の生態系を利用するとの認識が広がっている（水産海洋学会，2014）。沿岸海域はまさに異質な生態系の集合体であり，異なる生態系の連結性，各生態系の貢献度等を評価することが今後ますます重要とな

2018年3月20日受付，2018年4月19日受理
広島大学大学院生物圏科学研究科
〒739-8528 広島県東広島市鏡山1-4-4
Graduate School of Biosphere Science, Hiroshima University, 1-4-4
Kagamiyama, Higashi-hiroshima, Hiroshima 739-8528, Japan
E-mail: jshoji@hiroshima-u.ac.jp



Figure 1. Fish that are major components of biological production of seagrass and macroalgal beds.

るであろう。そのためには、各生態系内における生物生産プロセスの定量評価に加えて、異なる生態系間の物質・生物の移動実態の解明など広域的・包括的な視点も不可欠である。漁業資源を含めた生態系サービスを持続的に活用するためには、生態系が有する様々な機能をよく理解し、環境特性や地域の社会状況に応じた対策を講じる必要がある。

本稿では、著者がこれまで藻場等の沿岸生態系において実施してきた魚類生産の評価、魚類群集と生態系サービスの広域比較、経年変動に関する研究成果を中心に総括する。

瀬戸内海での研究

世界の閉鎖性海域のなかでも高い漁業生産をほこる瀬戸内海（岡市ほか、1996）の中央部付近に、現在の職場である広島大学大学院生物圏科学研究科竹原ステーション（旧水産実験所）は位置する。周辺には多くの島が点在し、瀬戸内海のなかでも自然海岸が比較的多く残されたエリアである。2006年2月に赴任してからおよそ12年間、フィールド調査、飼育実験などを実施してきた。自身の研究と海のつながりを初めて実感したのは、1993年夏にさかのぼる。卒業研究の指導教員（田中 克教授、京都大学農学部水産生物学研究室、当時）から「まずは現場を経験するのがよい」と勧められたのが、種苗生産の実習生（現在の長期インターンシップ制度のようなもの）であった。水産世界の右も左もわからなかった著者を受け入れていただいた日本栽培漁業協会伯方島事業場（現、瀬戸内海区水産研究所伯方島庁舎）の福永辰広場長（当時）と事業場スタッフの暖かい指導のもと、マダイ、キジハタ、オニオコゼ等の種苗生産をお手伝いした。期間中に百島実験地（現、百島庁舎）でのマダイ種苗放流・追跡調査に参加し、山本義久さん



Figure 2. Survey for distribution and recapture rate of cultured juvenile red sea bream *Pagrus major* after release at Momoshima Island, Hiroshima Prefecture.

（現水大校）から海鮮料理の手ほどきも受けた。百島で経験した地曳網によるマダイ追跡調査（Fig. 2）は、自分にとって研究と水産の現場を結びつける原体験となり、大学院進学を決心する動機づけとなった。また、後述するアマモ場での魚類調査のアイデアへも繋がった。自分の研究室から遠く離れ、異なる水産系大学から派遣された「実習生」と呼ばれるスタイルの学生らと寝食を共にしながら将来を語り合った時間は、多感な時期のかけがえのない経験となった。

大学院に進学して研究テーマに選んだのが、サワラの初期生残・資源加入機構であった。美味で高価なため瀬戸内海の重要資源であるが、当時はサワラの漁獲量が激減しており、資源回復に期待がかけられていた。瀬戸内海各地で調査航海を実施していた南西海区水産研究所（現、瀬戸内海区水産研究所）しらふじ丸にアルバイトとして乗船させていただくとともに、カタクチシラス漁船で混獲されるサワラ稚魚を、各地の漁協をまわって集めるなどして、データを収集した。福田雅明さん（当時）、河野悌昌さん、さらには当時漁場生産力モデル等のプロジェクトで連携されていた広島県の高場 稔さん、大内 晟さん、愛媛県の前原 務さん、塩田浩二さん、武智昭彦さんをはじめとする皆様の助けもあり、瀬戸内海をフィールドとした研究で博士号を取得することができた。

チェサピーク湾の物理-生物相互作用

2001年秋から日本学術振興会特別研究員の制度を利用して米国メリーランド大学に滞在した経験は、その後の研究への取り組み方に大きな影響を与えた。受入研究室のEdward Houde教授は、魚類の初期生態分野を代表する研究者で、研究室はいつも多くの院生、ポスドクで溢れていた。調査航海では、野外における卵稚仔の分布密度や死亡率を定量的に推定するためにあらゆる手段を尽くす、たいへん粘り



Figure 3. Research cruise for Bio-physical Interaction of Chesapeake Bay Turbidity Maximum (BITMAX Project). Left to right: Drs. Lawrence Sanford (oceanography), Elizabeth North (model), Edward Houde (fisheries ecology), Jun SHOJI (author).

強い姿勢を学んだ。チェサピーク湾の物理・生物過程を解明するための大型プロジェクトには、魚類以外に海洋物理、モデル、貝類、プランクトンなど様々な分野の研究者が参画していた (Fig. 3)。異分野の研究者たちが議論しながら目的達成のために様々な手法、角度でアプローチする様子から非常に多くのことを吸収できたように感じる。著者は、チェサピーク湾奥部における物理・生物環境変動がスズキ類（ストライプトバス、ホワイトパーチ）の資源加入機構に与える影響の解明に、長期データ解析と現場観測を通じて取り組んだ。その成果の一部として、河口域に形成される高濁度水塊の物理・生物環境がホワイトパーチ仔魚の摂餌・成長に強い影響力を持つ一方で、照度がほとんどない条件下においても仔魚が摂餌を行っていることを明らかにした (Shoji et al., 2005)。Houde教授はプライベートにおいても釣り、カヌー、料理、ワイン、DIYなどを共に楽しむ仲間であり、すばらしい師匠でもあった。

魚類生産の研究

沿岸域は魚類生産にとって重要な場であり、なかでも藻場は「海のゆりかご」、「魚のゆりかご」などとよばれ、魚類の生息場として重要であると広く認識されている。しかし、魚類の生産にどれほど貢献しているかを定量評価した研究事例は現在でも非常に少ない。近年では、魚類生産を評価するためには、分布量や成長を調べるだけでは不十分であり、個体群としての生残率、資源加入への貢献度を評価する必要があるとの認識も広まっている (Beck et al., 2001)。

2006年に広島に赴任した直後は、魚類生産を評価することを研究の柱として、多くのフィールド調査と飼育実験を



Figure 4. Survey at seagrass bed in Norway in summer with mountains in the back covered with ice and snow.

行った。漁業資源として重要で、長く研究が行われてきた種でも不明な点が多く残されているケースも多かった。幸運にも、明るく積極的な学生が研究室への配属を希望してくれたおかげで、メバル類、スズキ、カレイ類などの研究で成果をいくつか残すことができた (小路, 2009)。京都大学の山下 洋先生・笠井亮秀先生 (現, 北大)・益田玲爾先生、田川正朋先生、中山耕至先生、広島大の富山 毅さん、香川県の山本昌幸さんをはじめとする先輩がた、同僚、研究仲間にも大変お世話になった。

2006年度に始まった藻場の生物生産に関するプロジェクトに瀬戸内海区水産研究所の浜口昌巳さん、吉田吾郎さん、堀 正和さんらと参加させていただいたことも後押しとなった。堀さんとは、その後を開始したアマモ場の広域調査 (国内30ヶ所以上、海外約10ヶ国) でも協働するなかで、調査・研究についていろいろ教えていただいた。仲岡雅裕さん (北大) にはタイ、米国、フランスなど海外でのアマモ場調査にも連れて行っていただいた。ノルウェーのアマモ場では、真夏であるにもかかわらず身を切るように水が冷たかったが、魚類が元気に生息していた (Fig. 4)。白夜の時期には、一日じゅう明るい光景も印象に残った。アマモ *Zostera marina* は亜熱帯から寒帯まで広域分布することを背景に、同じアマモ場であっても、生息する魚類の種構成や分布量、種間関係などが地域によって大きく異なることが明らかになった (Fukuta et al., 2016)。当時はまだ30歳代で現在よりも体力があったので、春～夏のアマモ繁茂期には毎週のようにどこかの調査地へと遠征し、家を不在にしがちであったが、各地の生態系サービス (海の恵み) に関する見識を深めることもできた。藻場に生息する魚類は水産資源として重要な種を多く含むため、これらを捕獲するには採捕許可が必要となる。多くの場合、各地で調査・研究をされているかたや漁業者にサポートしていただ

いて野外調査を実施することができた。

生態系サービス

2010年に生物多様性条約第10回締約国会議（COP10）が名古屋で開催されたことを受け、マスコミでも生物多様性や生態系サービスという語句がとりあげられる機会が増えた。生態系サービスは自然の恵みとも解釈でき、生態系に備わった様々な機能のうち、人間が享受できる恩恵の部分をさす。我々の食用となる漁業資源は生態系サービスのうち供給サービスに相当する。水産海洋学会においてもCOP10に関連する情報収集の窓口が設けられ、著者は担当委員の一人として会議に出席した。人類が将来においても持続的に自然の恵みを利用するためには、生態系サービスが生み出される仕組みを明らかにするとともに、生態系サービスの質的・量的側面や人間による利用特性の地域差を明らかにし、さらには将来予測される地球温暖化などの環境変動に対する対策を考案することが重要であると考えた。手はじめに瀬戸内海の藻場における優占種であるメバル類の生産過程の解明と経済価値の試算を行った（Kamimura et al., 2011; Kamimura and Shoji, 2013）。運良く環境省推進費による助成を得て、北海道と瀬戸内海のアマモ場を中心とする生態系の生産構造、生態系サービスの評価、地域間比較などを実施した（小路ほか, 2011）。

このプロジェクトでは、漁業資源以外の生態系サービスとしてアマモによる光合成（調整サービス）や、漁業資源としてはほとんど経済価値をもたない底生生物群集の評価も行った（小路, 2014; Sonoki et al., 2016）。さらには社会科学的な手法も取り入れて、北海道と瀬戸内海の地域社会や漁業の形態、資源の利用方法にみられる特性にまでふみこんで地域間比較へと議論を拡げた。共同研究メンバーの千葉 晋さん（東京農大）、堀 正和さん（瀬戸内水研）、牧野光琢さん（中央水研）、宮下和士さん（北大）らと多くのデータ、意見を交わし合いながら、文理融合型の分野横断研究へと発展させるプロセスも経験することができた（小路ほか, 2011）。プロジェクト開始当初は、北海道では瀬戸内海に比べて漁業資源が豊かであり（Fig. 5）、地球温暖化による影響はそれほど深刻ではないと予想した。しかし研究を進めるうち、北海道では生態系サービスの利用形態が瀬戸内海に比べて単純であり、少ない種数の供給サービスに強く依存するという社会構造の特徴が浮かびあがった。環境変動に対して柔軟に社会が対応できるかどうかは、単に漁業資源が豊かであるかで決まるものではなく、そこには生態系サービスの量・質さらには自然と社会の関わり方が影響する可能性が高いとの示唆を得た。

長期モニタリング

漁業資源の変動の背景にあるメカニズムを明らかにするためには、長期的視野で調査を継続することも重要である。

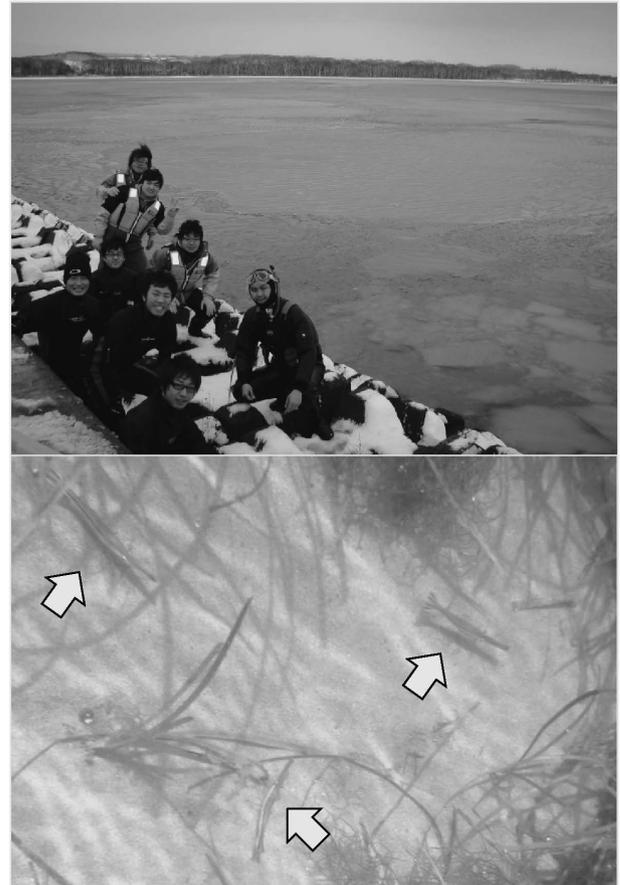


Figure 5. Survey at seagrass bed in eastern Hokkaido, Japan, in winter with ice covering surface water (top). Protandric shrimp *Pandalus latirostris* (arrows in bottom) inhabit the seagrass bed and is one of the most important ecosystem services (provisioning service) in this area.

我々は、2006年に瀬戸内海、2009年に全国数ヶ所のアマモ場で調査を開始し、可能な限りフィールドに足を運んでいる。まだ10年程度の期間ではあるが、この間にも藻場の植生の大きな変化や、南方に分布する魚種が数年続けて出現するなど、水温や、その他の海洋環境の変化に関連すると考えられる現象が確認されている。これらを地球温暖化と直結させるのは性急かもしれないが、今後も可能な限りモニタリングを継続したい。また、温暖化により分布域が北上しやすい種としにくい魚種が存在するという仮説（Shoji et al., 2011）も今後検証してゆきたい。

2011年3月に発生した津波は、東北太平洋沿岸域に大きな影響を与えた。津波発生前から我々が調査を実施していたサイトも強い攪乱を受けた（Fig. 6）。東北沿岸域の住民ではない我々が、調査をするだけの目的で現地を訪問することは差し控えるべきだとも感じた。地域の人たちにとっては生活するだけでも大変に違いない状況のもと、大竹二雄さん・河村知彦さん・早川 淳さん（東大気海洋研）、



Figure 6. Underwater view of seagrass bed at Sanriku Coast, Japan, before (top) and after (bottom) the disturbance by the tsunami following the 2011 earthquake off the Pacific coast of Tohoku.

森本 充さん（宮城県水産高校）、藤浪祐一郎さん・野田勉さん・清水大輔さん・田中庸介さん・白藤徳夫さん（東北区水産研究所宮古庁舎）、和田敏裕さん（福島大）らから力強いサポートを得て、津波発生前に開始した東北沿岸での調査を現在まで途切れることなく継続することができている。攪乱の程度は湾や地域によって大きく異なり、藻場と魚類群集の遷移に影響を与えていることが明らかになりつつある（Shoji and Morimoto, 2016; Noda et al., 2017）。

生態系間のつながり

藻場で調査をするうちに、魚類群集が昼夜間で大きく異なることがわかってきた。夜間には魚食性魚類がアマモ場・ガラモ場を訪問し、稚魚や小型魚類をさかんに捕食していることを明らかにできた一方で（Kinoshita et al., 2014）、大きな衝撃も受けた。稚魚や小型魚にとって「ゆりかご」であるはずの藻場が、夜間には捕食者（魚食性魚類）の摂餌場となっているのだ（Fig. 7）。調査を通じてこのような現



Figure 7. Piscivorous fishes collected by nighttime survey at seagrass bed in Seto Inland Sea, Japan.

象が明らかとなった際には、これまで抱いていた藻場のイメージ（「魚のゆりかご」として機能する）が一機に覆った。飼育実験を通じて、瀬戸内海の藻場で春～夏に優占種となるメバル属稚魚の遊泳速度や群れ形成による対捕食者行動が夜間に低下することを確認した（Nakano et al., 2015）。さらに、野外で捕獲した魚食性魚類（メバル類、マアナゴ等）に発信器を付けて追跡したところ、日没後に規則正しくアマモ場へ来遊する夜間訪問型の移動パターンが明らかとなった（Shoji et al., 2017）。これらの結果は、アマモ場とそれ以外の生態系を1日という短いタイムスパンで魚食性魚類が利用することの裏づけとなると同時に、複数の生態系のつながりが漁業資源の生産にとって重要であることを示すものである。これらバイオテレメトリーによる捕食者の行動追跡は三田村啓理さん・市川光太郎さん・荒井修亮さん（京都大学）のグループと共同で実施した。皆さんと小さな島でキャンプしながら、自然のなかで藻場のナイト・ライフに昼も夜も思いを馳せていた。

水と食料のつながり

2013年度から2つのプロジェクトで水-漁業資源のつながりに関する研究に参加した（水-エネルギー-食料（水産資源）ネクサス：総合地球環境学研究所，生態系ネットワーク再生に関する研究：農林水産省）。そのなかで、沿岸海域の海底に湧出する地下水（海底湧水）が漁業資源の生産に与える影響を評価した。地下水は河川水に比べて量が少ないが、豊富な栄養を含むため、沿岸海域の生物生産に高く寄与すると近年考えられるようになってきている（Sugimoto et al., 2017; 小路ほか, 2017）。湧出域とその周辺では、魚類の種類数、分布密度、生物量、出現頻度が大きく、海底湧水を介して供給される陸起源栄養が食物網に利用されていることが、国内のいくつかのサイトで明らかとなった（Hata et al., 2016; Utsunomiya et al., 2017）。さらに、日本とは気候



Figure 8. Survey for Water–Energy–Food Nexus Project of Research Institute for Humanity and Nature at Obama Bay, Japan.

が異なる海外のサイト（地中海，モンスーンアジア等）においても地下水・湧水と沿岸域の漁業資源とのつながりの研究を開始したところである。これまで考えられてきた以上に，地下水・湧水が沿岸海域の生物生産に高く寄与していることを明らかにできるのではないかと期待している。これらの課題では，杉本 亮さん・富永 修さん（福井県大），谷口真人さん・遠藤愛子さん・本田尚美さん（地球研），山田 誠さん（龍谷大），小林志保さん（京都大），藤井賢彦さん（北大），馬場健司さん（東京都市大）らと協働し，これまで縁の無かった地球惑星科学・水文学・エネルギー・環境政策・合意形成などの分野と水産学の間を見いだしながら，さらには自然・人文科学およびステークホルダーを含めた超学際的な研究展開へと挑戦している（Fig. 8）。

おわりに

以上の研究成果の多くは，著者が広島大学に赴任して以降に実施したものです。これまでお世話になった方々全員のお名前を紙面の都合で挙げることはできませんが，皆様の御協力なしに研究を行うことは到底できませんでした。研究室に在籍した歴代の学生・院生はみな明るく，海や生物，そして仲間と遊ぶのが大好きでした。私のこれまでの研究は，何より，すばらしい先輩，研究仲間，院生・学生さん達と出会えた幸運で成り立っています。今まで本当にありがとうございました。沿岸域の豊かな漁業資源，生態系サービスを我々がいつまでも享受できるように，自分が自然や社会に対して研究を通じてできることに，これからも精一杯とりくんでゆきたく思います。

引用文献

- Beck, M. W., K. L. Heck, K. W. Able, D. L. Childers, D. B. Eggleston, B. M. Gillanders, B. Halpern, C. G. Hays, K. Hoshino, T. J. Minello, R. J. Orth, P. F. Sheridan and M. P. Weinstein (2001) The identification, conservation, and management of estuarine and marine nurseries for fish and invertebrates. *BioSci.*, **51**, 633–641.
- Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. O'Neill, J. Paruelo, R. G. Raskin, P. Sutton and M. van den Belt (1997) The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, **387**, 253–260.
- Fukuta, A., Y. Kamimura, M. Hori, M. Nakaoka, T. Noda, Y. Yamashita, T. Otake and J. Shoji (2016) Offshore currents explain the discontinuity of fish community in seagrass bed along the Japanese archipelago. *Fish. Oceanogr.*, **25**, 65–68.
- Hata, M., R. Sugimoto, M. Hori, T. Tomiyama and J. Shoji (2016) Occurrence, distribution and prey items of juvenile marbled sole *Pseudopleuronectes yokohamae* around a submarine groundwater seepage on a tidal flat in southwestern Japan. *J. Sea. Res.*, **111**, 47–53.
- Kamimura, Y., A. Kasai and J. Shoji (2011) Production and prey source of juvenile black rockfish *Sebastes cheni* in a mixed vegetation area of seagrass and macroalgae off Aka Island, central Seto Inland Sea, Japan: an estimation of the economic value of a fish nursery. *Aquat. Ecol.*, **45**, 367–376.
- Kamimura, Y. and J. Shoji (2013) Does macroalgal vegetation cover influence post-settlement survival and recruitment potential of juvenile black rockfish *Sebastes cheni*? *Estuar. Coast. Shelf. Sci.*, **129**, 86–93.
- Kinoshita, H., Y. Kamimura, K. Mizuno and J. Shoji (2014) Night-time predation on post-settlement Japanese black rockfish *Sebastes cheni* in a macroalgal bed: effect of body length on the predation rate. *ICES J. Mar. Sci.*, **71**, 1022–1029.
- Nakano, H., K. Hirakawa and J. Shoji (2015) Development of swimming speed and schooling behavior of juvenile white rockfish (*Sebastes cheni*) in relation to ambient light intensity. *Fish. Bull.*, **113**, 121–128.
- Noda, T., M. Hamaguchi, Y. Fujinami, D. Shimizu, H. Aono, Y. Nagakura, A. Fukuta, H. Nakano, Y. Kamimura and J. Shoji (2017) Impact of the tsunami caused by the Great East Japan Earthquake on seagrass beds and fish communities in Miyako Bay, Japan. *Coast. Ecosyst.*, **4**, 12–25.
- 岡市友利・中西 弘・小森星児 (1996) 「瀬戸内海の生物資源と環境—その将来のために」. 恒星社厚生閣，東京，272 pp.
- 小路 淳 (2009) 「藻場とさかな—魚類生産学入門—」. 成山堂書店，東京，178 pp.
- 小路 淳 (2014) 藻場の資源供給サービスの定量・経済評価と時空間変動解析による沿岸管理方策の提案. 平成25年度環境研究総合推進費終了成果報告書 (4E-1102)，環境省，110 pp.
- 小路 淳・堀 正和・山下 洋 (2011) 「浅海域の生態系サービス—海の恵みと持続的利用」. 恒星社厚生閣，東京，150 pp.
- Shoji, J., H. Mitamura, K. Ichikawa, H. Kinoshita and N. Arai (2017) Increase in predation risk and trophic level induced by nocturnal visits of piscivorous fishes in a temperate seagrass bed. *Sci. Rep.*, **7**, 3895.
- Shoji, J. and M. Morimoto (2016) Changes in fish community in seagrass beds in Mangoku-ura Bay from 2009 to 2014, the period before and after the tsunami following the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake. *J. Oceanogr.*, **72**, 91–98.
- Shoji J, E. W. North and E. D. Houde (2005) The feeding ecology of *Morone americana* larvae in the Chesapeake Bay estuarine turbidity maximum: the influence of physical conditions and prey concentrations. *J. Fish. Biol.*, **66**, 1328–1341.
- 小路 淳・杉本 亮・富永 修 (2017) 「地下水・湧水を介した陸—海の間：人間社会への活用術」. 恒星社厚生閣，東京，141 pp.

- Shoji, J., S. Toshito, K. Mizuno, Y. Kamimura, M. Hori and K. Hirakawa (2011) Possible effects of global warming on fish recruitment: shifts in spawning season and latitudinal distribution can alter growth of fish early life stages through changes in daylength. *ICES J. Mar. Sci.*, **68**, 1165–1169.
- Sonoki, S., H. Shao, Y. Morita, K. Minami, J. Shoji, M. Hori and K. Miyashita (2016) Using acoustics to determine eelgrass bed distribution and to assess the seasonal variation of ecosystem service. *PloS ONE*, doi:10.1371/journal.pone.0150890.
- Sugimoto, R., K. Kitagawa, S. Nishi, H. Honda, M. Yamada, S. Kobayashi, J. Shoji, S. Ohsawa, M. Taniguchi and O. Tominaga (2017) Phytoplankton primary productivity around submarine groundwater discharge in nearshore coasts. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **563**, 25–33.
- 水産海洋学会 (2014) 「水産海洋学入門 海洋生物資源の持続的利用」. 講談社, 東京, 319 pp.
- TEEB (2010) *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature: A Synthesis of the Approach, Conclusions and Recommendations of TEEB*, <http://www.teebweb.org/>.
- Utsunomiya, T., M. Hata, R. Sugimoto, H. Honda, S. Kobayashi, Y. Miyata, M. Yamada, O. Tominaga, J. Shoji and M. Taniguchi (2017) Higher species richness and abundance of fish and benthic invertebrates around submarine groundwater discharge in Obama Bay, Japan. *J. Hydrol.*, **11**, 139–146.
- Waycott, M., C. M. Duarte, T. J. B. Carruthers, R. J. Orth, W. C. Dennison, S. Olyarnik, A. Calladine, J. W. Fourqurean, K. L. Heck, A. R. Hughes, G. A. Kendrick, W. J. Kenworthy, F. T. Short and S. L. Williams (2009) Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *PNAS*, **106**, 12377–12381.