

2018 年度（第 54 回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 18-B-4

水産研究と内湾・内海域における沿岸環境問題
～学会間連携が必要なワケ～

瀬戸内水研・干潟生産グループ長

浜口昌己

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2018 年 9 月

水産研究と内湾・内海域における沿岸環境問題

～学会間連携が必要なワケ～

The management of coastal ecosystems think in terms of the fisheries science

浜口 昌巳

Masami Hamaguchi

1.はじめに

沿岸環境問題と水産研究との関係は多岐に渡る。例えば、高度経済成長期に顕著となった化学物質による沿岸環境の汚染、いわゆる公害問題や、富栄養化の進行による赤潮の多発により、多くの魚介類がへい死した事例などが挙げられる。しかし、ここでは、このような化学物質などによる汚染によって生じる問題を除外して、土木工学と水産研究との関連について解説する。水産研究とは魚を釣ったり、獲ったりする内容を研究する分野もあるが、大部分は生物学や生態学に関わる研究内容が多い。そのため、生態系保全の観点が強く、開発する側とみなされる土木、工学関係学会に対する視線は冷ややかである、ということをもまずは認識していただきたい。

2.それでも学会連携は必要

とはいえ、水産研究でも土木、工学関連の学会との連携が必要な部分は多々ある。その代表的な事例は、沿岸域の代表的な水産対象種であるアサリに見ることが出来る。そこで、まずアサリについて解説する。全国的に見ると、アサリの生産量は1980年代の半ばにピークに達し、それ以降は激減している(図1)。アサリの減少原因については多くの研究がある(例えば、浜口2004; 浜口他2009; 浜口2010; 浜口2013他多数)

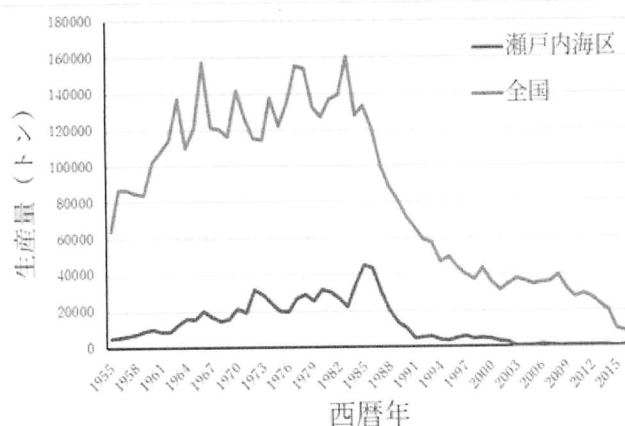


図1.瀬戸内海と全国のアサリの生産量の変遷

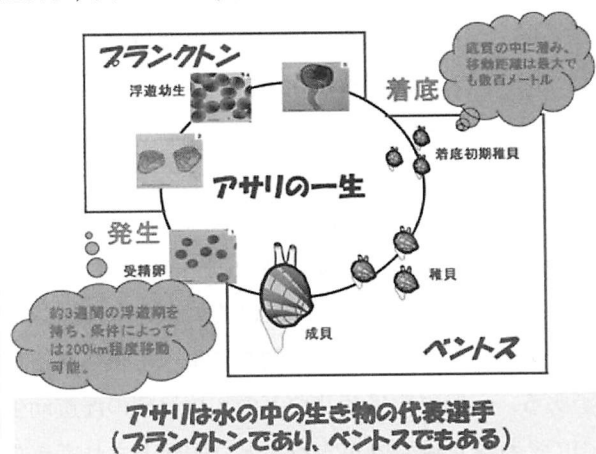


図2.アサリの生活史

アサリの生産量の変遷を詳細に見ると、1970年代初めに東京湾奥部の埋め立てにより、それまで6～8万トンの生産量が2万トンにまで減少し、国内で10万トンほど消費されていたアサリの約8割を供給していた東京湾のアサリが獲れなくなった。そこで、それを補償するために東京湾以外の漁獲圧が高まることになり、九州、瀬戸内海が生産量が次々に伸びたが、1990年代に入るといずれの地域でもアサリの生産量は激減し、現在では、最盛期の5%程度となってしまっている。そのため、各地ではアサリ資源再生を望む声が多いが、一方で、アサリは干潟のシンボルとも言うべき存在であるため、干潟生態系保全の面でも研究ニーズが高く、そのため数多くの調

査・研究が行われている。そのなかで、国土政策総合研究所と当所が共同で実施した東京湾アサリ浮遊幼生動態調査などは水産研究と土木・工学関係分野との連携の好例として挙げられる。さて、ここでアサリの調査研究事例として“浮遊幼生”という言葉が出てきたがこれについて説明する。一般に、沿岸環境の代表として干潟域が挙げられる。そこに生息する生物はアサリなどが代表的であるが、これらはベントス類と呼ばれる生物群である。ベントス類に共通する特徴としては、卵から孵化後、しばらくは海水中を漂う浮遊幼生として生活することである。ベントス類の浮遊幼生は遊泳力が乏しく、海流によって移送される（図 2）。そのため、流れの解析や、それらを集積させるような地形等の影響評価、それぞれのベントス類について浮遊幼生期を終えて底生期に移行する際の微細環境の評価が必要となるが、この部分は水産研究というより土木・工学分野である。そのため、アサリ資源の保護や再生には、土木・海洋工学の観点からの調査・研究が不可欠であるといえる。また、先に述べたようにアサリだけでなく、その他の二枚貝類、ゴカイ類、ヒトデ類、ナマコ類、ウニ類、巻貝類、ホヤ類など多くのベントス類が浮遊幼生期を持つので、アサリと同様に水産研究と土木や工学分野との連携が必要である。

3.生態系という言葉と連結性評価

近年の沿岸域における水産研究においては、再生産可能な自立的な資源再生を目指している。そのためには生活史を完結させる必要があり、先に述べたように流れの解析など土木・工学分野との連携が必要である。一方で、浮遊幼生が流れによって運ばれるとすると、どの程度の範囲まで移送されるのであろうか？それには後述する親子判別などの遺伝子解析によって調べることが出来るが、瀬戸内海の東部、中部では 20-30km、西部の周防灘では 70km と海域によって異なる。しかし、このことは特定の干潟で生まれた浮遊幼生は瀬戸内海では少なくとも 20-30km は拡散する可能性が高いことを示しており、この範囲の中に生息するアサリは互いに浮遊幼生を介した繋がりが生じることになる。このような繋がりを個体群の連結性（connectivity）と表現する。さて、生態系という言葉には“系”という字が含まれるが、この意味するところの一つに連結性も含まれる。つまり、アサリの資源再生の目的で生活史完結型の干潟造成などを行う際には、その場所にはどこからアサリの浮遊幼生が流れ着き、そしてどこに流れてゆくのか？を評価する必要がある。このような繋がりを無視した干潟造成は沿岸生態系保全や再生のためには全く意味を成さない。また、海岸構造物の構築や海上空港などの大規模な土木開発を行う際には、本来ある沿岸の流れにどのような影響を及ぼすのかを正確に評価する必要がある。では、このようなベントス類の浮遊幼生を介した連結性をどのように評価すればよいのであろうか？

4.ベントス類の個体群連結性評価手法

一般に、ベントス類の連結性を調べる方法は図 3 に示すように 2 つの方法がある（浜口他 2005）。ひとつは、海域で多数の調査定点を設定して調査対象となるベントス種の浮遊幼生の分布や流れなどの海洋環境を詳細に調べる方法がある。この方法では調査によって得られる莫大な浮遊幼生試料中の特定種の浮遊幼生を同定計数する必要がある。一般に、アサリなどの二枚貝類の浮遊幼生や 0.2mm 程度と小さく、また、種による形態の差が小さいのでそれを正確に同定することは困難とされてきた。そこで、私たちはアサリに種特異的なエピトープ（抗体認識部位）分子を探索して細胞工学的手法によりアサリ浮遊幼生特異的モノクローナル抗体（特許第 2913026 号）を開発した（図 4）。これにより従来法では熟練を要したアサリ浮遊幼生の同定・計数が誰でもできるようになり、大量の試料の処理が可能となった（松村他 2003；浜口 2005a；2005b；浜口 2009）。前述した国土政策総合研究所と当所が共同で実施した東京湾アサリ浮遊幼生動態調査ではこの技術を活用した多定点の浮遊幼生調査と HF レーダーによる東京湾の流れのリアルタイムモニタリングにより、羽田周辺干潟のアサリと東京湾内のアサリ個体群の連結性を評価することができた（粕谷他 2003a, 2003b；Kasuya et al 2004；浜口他 2004a, 2004b；田中他 2004）。

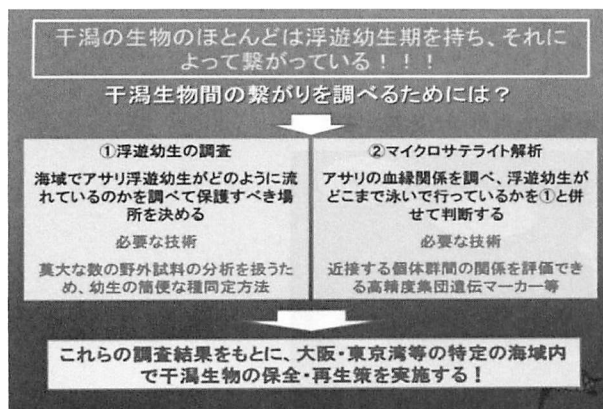


図 3.アサリ等のベントス類の連結性を評価する方法

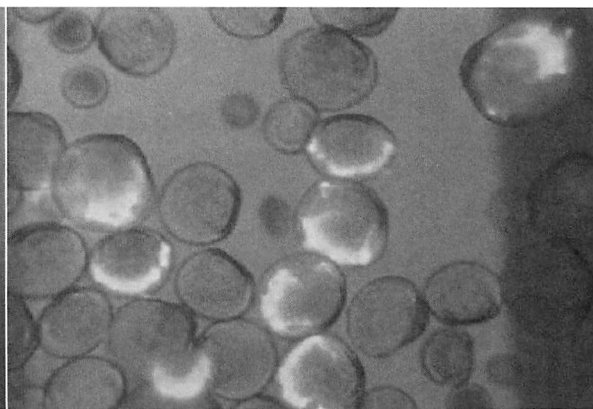


図 4.アサリ浮遊幼生特異的モノクローナル抗体により染色したアサリ浮遊幼生

しかしながら、浮遊幼生の動態解析だけでは、個体群間の連結性の可能性を示すことができて、直接的な証明にはならない。そこで、図 3 の②に示すもう一つの方法、マイクロサテライト解析がある。マイクロサテライト解析とは遺伝子解析手法のひとつであり、親子関係の評価のような高精度の解析に用いられている。しかし、このような高精度の遺伝子マーカーとしては、現在では次世代シーケンサーの普及に伴って、様々な遺伝子領域を網羅的に比較検討することができるようになっているが、少し前までは核 DNA のマイクロサテライト領域が使用されることが多かった。アサリのマイクロサテライトマーカーの開発は困難であり、2005 年までは情報がなかった所以我々のグループで特定した (Yasuda et al, 2005) し、それ以降、浮遊幼生の動態調査とマイクロサテライトマーカーを用いた解析が可能となった。そのため、図 3 に示した手法によるアサリ個体群間の連結性評価ができるようになり、近年の調査では両方の手法が活用されている (八木他 2011; 浜口・川根 2013)。

4.人為活動による沿岸生態系の分断

このような手法の進歩によってアサリをモデル生物とした干潟間の連結性評価が進むにつれて、沿岸環境に関する様々な問題点が明らかになった。東京湾では前述したように大規模な埋め立てが行われて、アサリの生産量が激減したが、その後も開発が進み、自然干潟は盤洲や富津にわずかに残される程度にまで減少した。そのため、風呂田 (2002) は干潟に生息する巻貝ウミナナ類を対象として、東京湾の干潟間の繋がり (ネットワークと表現されている) が人為的開発によって失われたことを指摘した。一方、瀬戸内海では大阪湾では自然干潟は完全に消失した状態とされている。ところで、この東京湾の大阪湾は海域面積ではほぼ同じであるので、両海域で残存しているアサリ個体群を採取し (図 5)、マイクロサテライトマーカーによる分析を行った。

その結果は図 6 に示す。個体群間の血縁関係は矢印で表現し、矢印が太いほど近縁度が高いことを示している。このように東京湾各干潟や漁場のアサリの近縁度は高いことから、東京湾内の個体群は互いに浮遊幼生を介した繋がりがあり、メタ個体群ではないかと考えられた。メタ個体群とは、いくつかの連結性の高い個体群が集まり、あたかも一つの個体群であるかのような状態を示す。このことは、例えば、横浜市の海の公園では毎年、潮干狩り場として開放されており、多くの市民によりアサリが捕獲されるが、次の年には放流しなくてもアサリが湧く。これは、海の公園には他の場所から浮遊幼生が供給されており、市民の皆さんの潮干狩りによってアサリがほぼ取りつくさされたとしても、瞬く間に個体群が再生するからである。このように、メタ個体群では特定の個体群が消失しても、連結性があるので瞬く間に回復するという resilience が高い状態であり、今後も個体群の存続可能性は高いと考えられる。一方、大阪湾は得られた結果について東京湾と同じ処理をすると各個体群間で矢印が繋がらない状態、つまり、個体群の分断化が生じていた。これは大阪湾のアサリの各個体群が浮遊幼生を介した繋がりがないことを示している。なかでも、深刻なのは同じ神戸市内でも一の谷と芦屋では浮遊幼生

を介した交流がないと考えられることである。これは、海岸構造物が生態に配慮することなく造成された結果ともいえる。



図 5. 東京湾と大阪湾のアサリ個体群採集場所

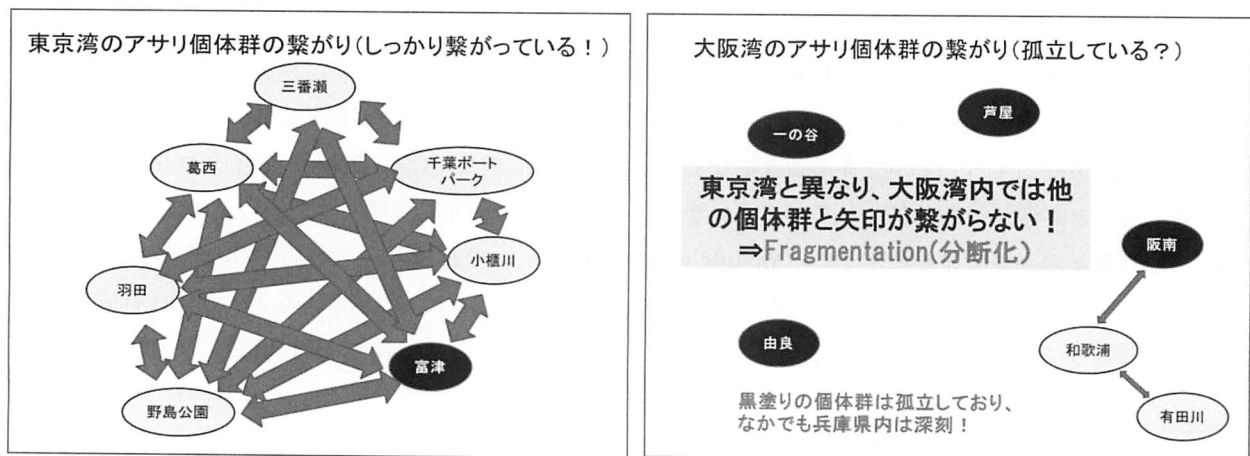


図 6. 東京湾と大阪湾のアサリマイクロサテライト解析結果

では、分断化が起こると個体群はどうなるか？であるが、東京湾では海の公園で示したようにある個体群が消失しても浮遊幼生が他所から供給されて、短時間で復活するが、大阪湾では、今回調べた個体群が仮に消失した場合、他所からの浮遊幼生の供給がないので、そのまま絶滅してしまうことになる。これらのことから、東京湾ではアサリの保全はこれ以上ハビタットを消失させなければ何とか維持できると判断できるが、大阪湾では各個体群の連結性を速やかに回復させないと、今存在するアサリ個体群が消失してしまうことを示している。そのため、大阪湾では速やかに干潟生態系の保全策が必要となる。

5. 分断された生態系の再結合

はじめに、の項で述べたが、水産研究や生態研究者は土木・工学関係学会を敵視している、と書いた理由が 4 で示したように土木工学を駆使した人為的開発によりいかに沿岸生態系や環境が痛めつけられているか、を知っているからである。しかし、これは間違った考えかもしれない。というのも、例えば、大阪湾の干潟の連結性は喫緊に回復させるべきであるが、それには土木・工学的な手法が必要となるからである。大阪湾での干潟の連結性を回復させるためには、現在の流れを解析し、それに見合った場所に分断化されている個体群を繋ぐために干潟造成を行うなどの方法が有効であると考えられる。このような解析や造成の計画などは水産研究では無理で、土木・工学関係の研究者や学会との連携がなければならない。

6. 将来の沿岸生態系保全

現在の沿岸環境では、前述したような開発による個体群の分断化などによる影響や、貧栄養の問題（浜口 2011）に加え、干潟を中心とした沿岸環境では、水産サイドの認識不足から生じる外来種の問題（浜口・大越 2005；堀他 2007）や東北大震災による影響評価や干潟環境の再生（千葉他 2013；Abe et al 2016）などの仕事もある。我々は、これまでに様々な調査結果から、沿岸域の干潟生態系の状況や必要な施策等について提案してきた（浜口 2004c；浜口・寺脇 2004；浜口 2005c；寺脇他 2005；浜口 2006；浜口・手塚 2007；浜口他 2008；浜口 2009；浜口 2011a, 浜口 2011c；浜口他 2011；浜口 2012）。しかし、これらの提案の大部分は土木・工学関係の研究者との共同研究の結果である。また、講演時に説明するが、現在、漁業者と進めるアサリ資源再生についても前述したような方法を活用し、土木・工学関連研究者にも加わっていただいて事例を増やしているところである（図 7）。そのため、今後とも両学会の研究者が協力・連携することによって沿岸環境、なかでも生態系保全の推進やアサリ等の資源回復のための方策を検討するとともに実践例を増やしてゆきたいと考えている。

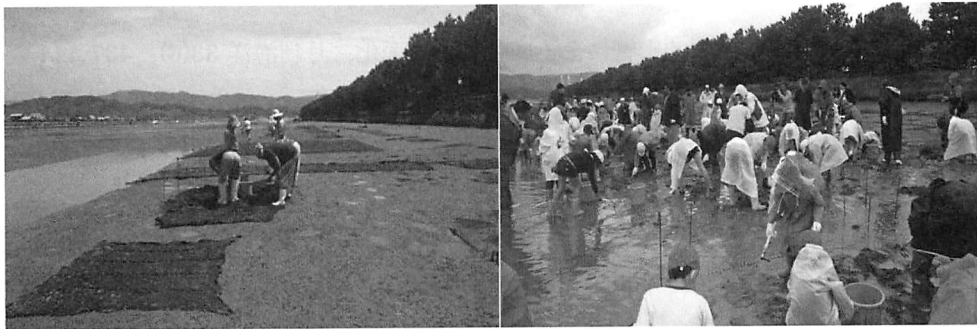


図 7. 資源再生によりアサリ漁業（左）と潮干狩り（右）を再開した事例

参考文献

- 浜口昌巳, 2004: 本邦沿岸のアサリ資源の減少とその原因解明に向けた取り組み. 水産海洋研究, 68: 165-170.
- 浜口昌巳, 堀正和, 山田勝雅, 上村了美, 2009: 周防灘におけるアサリ・ハマグリ資源と海洋環境の関係. 水産海洋研究, 73, 325-328.
- 浜口昌巳, 2010: 一次生産の変化と有用種の関係（二枚貝）. 水産総合研究センター研究報告, 34, 33-47.
- 浜口昌巳, 2013: 瀬戸内海の魚介類漁業の現状と課題. 海洋と生物, 205: 125-131.
- 浜口昌巳, 安田仁奈, 長井敏, 2005: 新たな調査手法開発によるメタ個体群動態解明. 月刊海洋, 37: 98-107.
- 松村貴晴, 岡本俊治, 黒田伸郎, 浜口昌巳, 2003: 三河湾におけるアサリ浮遊幼生の時空間分布—間接蛍光抗体法を用いた解析の試み. 日本ベントス学会誌, 56: 1-8.
- 浜口昌巳, 2005a: アサリ初期生態解明のための生化学的手法の利用. 水産総合研究センター研究報告別冊, 3, 79-82.
- 浜口昌巳, 2005b: 底生生物調査における最新の技術 —二枚貝幼生の同定を中心に—. 海洋調査の新技術, 設立 20 周年記念号, 198-204.
- 浜口昌巳, 2009: アサリ等海産ベントスの初期生態研究推進のための技術開発. 日本水産学会誌, 75: 771-774.
- 粕谷智之, 浜口昌巳, 古川恵太, 日向博文, 2003a: 夏季東京湾におけるアサリ (*Ruditapes philippinarum*) 浮遊幼生の出現密度の時空間変動. 国土技術政策総合研究所報告, 8: 1-13.
- 粕谷智之, 浜口昌巳, 古川恵太, 日向博文, 2003b: 秋季東京湾におけるアサリ (*Ruditapes philippinarum*) 浮遊幼生の出現密度の時空間変動. 国土技術政策総合研究所報告, 10: 1-12.
- Kasuya T. M. Hamaguchi, and K. Furukawa 2004: Detailed observation of spatial abundance of clam larva *Ruditapes philippinarum* in Tokyo Bay, central Japan. Journal of Oceanography, 60, 631-636.
- 浜口昌巳, 粕谷智之, 日向博文, 2004a: 東京湾におけるアサリ浮遊幼生の分散. 海洋と生物, 26: 242-250.

- 浜口昌巳, 粕谷智之, 日向博文, 古川恵太, 2004b: 内海・内湾域におけるベントス幼生の分散・回帰. 日本プラシクトン学会誌, 52:120-125.
- 田中崇之, 菅本裕介, 宮崎郁美, 伊藤裕太, 浜口昌巳, 野田泰一, 小林達明, 2004: 東京湾人工渚におけるアサリの個体群動態. 日本緑化工業会誌, 30:193-198.
- Yasuda, N., S. Nagai, A. Yamaguchi, C. L. Lian, M. Hamaguchi, 2007: Development of microsatellite markers for the Manila clam *Ruditapes philippinarum*. Molecular Ecology Notes, 7(1), 43-45.
- 八木 宏, 中山哲蔵, 浜口昌巳, 佐野朝昭, 藤井良昭, 杉松宏一, 2011: 瀬戸内海周防灘中津干潟周辺におけるメソスケールの流れの構造とアサリ浮遊幼生の分散特性. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 67:966-970.
- 浜口昌巳, 川根昌子, 2013: アサリをモデルとした大阪湾および周辺海域の干潟生物ネットワークの解明. 瀬戸内海, 65: 57-60.
- 風呂田利夫 2000. 内湾の貝類, 絶滅と保全ー東京湾のウミナナ類衰退からの考察ー月刊海洋号外 20, 74-82.
- 風呂田利夫 2001. 東京湾における人為的影響による底生動物の変化. 月刊海洋 33(6), 437-444.
- 浜口昌巳, 2004 c: 国産アサリの復活を目指して. 農林水産技術会議研究ジャーナル, 27: 42-47.
- 寺脇利信, 浜口昌巳, 2004: 広島湾の海岸の変遷と干潟・藻場ー特にアサリなど二枚貝資源の回復に向けてー. 瀬戸内海, 37:48-54.
- 浜口昌巳, 2005c: 干潟・藻場の保全と再生. 日本水産資源保護協会月報, 2005.5 月号:1-8.
- 寺脇利信, 吉田吾郎, 内田基晴, 浜口昌巳, 2005: 瀬戸内海の干潟・藻場の現状と順応的管理, 海洋開発論文集, 21:83-88.
- 浜口昌巳, 2006: 二枚貝生産の場としての浅場の機能と保全・再生戦略. 瀬戸内海, 47:17-20.
- 浜口昌巳, 手塚尚明, 2007: アサリ浮遊幼生の分散と着底. Sessile Organisms, 24:69-79.
- 浜口昌巳, 手塚尚明, 山崎 誠, 井関和夫, 2008: 包括的環境保全と貝類漁業のあり方についてー山・河川とアサリとの関係ー. 水産海洋研究, 72: 311-317.
- 浜口昌巳, 2009: 内湾内海域における生態系保全および持続的生産のための浮遊幼生動態調査. 水産海洋研究, 73: 311-314.
- 浜口昌巳, 2011a: 自治体連携で実現, 「里海」資源再生ー尾道市沖でアサリ復活計画が始動ー. 日経グローバル, 181, 52-55.
- 浜口昌巳, 2011b: 第4章浅海・生き物のライフサイクルと保全と再生ーアサリを例に. エコリーダー公式テキスト<食・農>エコリーダーになろう農業・漁業編 (東京商工会議所編), 中央経済社.
- 浜口昌巳, 藤浪祐一郎, 山下洋, 2011: 6 章河口・干潟域における漁業資源生産. 水産学シリーズ 169 浅海域の生態系サービスー海の恵みと持続的利用ー (小路淳・堀正和・山下洋編), 恒星社厚生閣.
- 浜口昌巳, 2012: 沿岸資源の持続的利用のための里海と海洋保護区. 研究ジャーナル, 35 (3), 16-20.
- 浜口昌巳, 大越健嗣, 2005: 輸入アサリの放流によって生じる問題について. 水環境学会誌, 28:608-613.
- 堀 正和, 浜口昌巳, 大越和加, 岩崎敬二, 2007: 生態系サービスの視点からみた移入種問題と今後の展開. 日本水産学会誌, 73:1155-1159.
- 千葉晋, 園田武, 藤浪祐一郎, 浜口昌巳, 2013: 舞根湾に蘇った干潟におけるアサリの出現と動態. 海洋と生物, 209: 575-581.
- Abe, H., Sato, T., Iwasaki, T., Wada, T., Tomiyamae, T., Sato, T., Hamaguchi, M., Kajihara, N., Kamiyama, T., 2016: Impact of the 2011 tsunami on the Manila clam *Ruditapes philippinarum* population and subsequent population recovery in Matsukawa-ura Lagoon, Fukushima, northeastern Japan. Regional Studies in Marine Science 9: 97-105.