

人工種苗放流に係る遺伝的多様性への 影響リスクを低減するための技術的な指針

独立行政法人 水産総合研究センター
水産庁

平成 27 年 3 月作成

目 次

1. はじめに
2. 人工種苗放流が遺伝的多様性に与えるリスク
 - 1) 野生集団の遺伝的多様性の低下リスク
 - 2) 近交弱勢の発生リスク
3. リスクへの対処
 - 1) 対象資源の遺伝的多様性の把握と管理単位の設定
 - 2) 親魚の遺伝的管理
 - 3) 遺伝的リスクの簡易チェック
4. 具体的な対応
 - 1) マダイ
 - 2) ヒラメ
 - 3) ホシガレイ
 - 4) クルマエビ
 - 5) マツカワ
 - 6) トラフグ
5. モニタリングと管理体制
 - 1) モニタリング
 - 2) 管理体制
6. 今後の方向性

1. はじめに

栽培漁業は、減少傾向にある魚種の資源量を人為的に回復させる仕組みとしてスタートし、その母体であった社団法人瀬戸内海栽培漁業協会が発足してから50年が経ったところである。その間、国や都道府県の栽培漁業センターを基盤に技術開発が進み、現在では70種を超える魚介類が、全国各地で約15億尾放流されている。¹⁾ その結果、神奈川県や鹿児島県のマダイでは、放流魚が安定して漁獲の40%以上を占めていることが確認された。また、漁獲量が著しく減少した北海道のマツカワや東北海域のホシガレイでは、ごく短期間の放流によって、水揚げ量を回復させた。さらに、親魚の養成や採卵技術、人工種苗を生産する飼育技術、質の高い放流種苗を育成する技術、生き残りを向上させる放流技術など、栽培漁業工程全体を検討、改善したことにより、人工放流種苗が成熟年齢まで生き残り、再生産に関与する二次的な資源造成の可能性が示されている。具体的には、マダイ、マツカワ、ホシガレイでは天然の海域において人工放流種苗の成熟が明らかとなっており、同様のことは、他の魚種でも把握されている。

このように栽培漁業は多くの成果を挙げてきた一方、天然の海域に大量の人工種苗を放流することについて、様々な生物学的リスクがあることも指摘されている。²⁾ 特に遺伝的な攪乱は大きな問題として検討を求められてきた。これは、放流される人工種苗が天然の稚魚に比べ親魚の絶対数が極めて少なく、それらが人為的に管理された環境で生き残ってきたものであることを考えると当然の

懸念と言える。遺伝的多様性は、環境適応や種の分化など生物進化の基であり、低下すれば対象種の存続のみならず関係する生態系に大きな危険をもたらす可能性（遺伝的リスク）があるとされている。遺伝的リスクの問題提起は、1980年代以降、アイソザイムやDNAの分析技術が進展するのに伴って大きく取り上げられるようになってきた。²⁾ 我が国の栽培漁業の対象種においても、クロダイ³⁾ やマダイ⁴⁾、ホシガレイ⁵⁾ について人工種苗の遺伝的多様性が野生魚に比べると明らかに低いことが示された例もある。

このような状況を受けこれまでも、種苗生産に際して遺伝的多様性を担保するのに必要な親魚尾数や継代飼育した人工生産親魚の危険性について議論や検討は行われて来たが、必ずしも十分浸透したとは言えない。さらに、今後も栽培漁業による沿岸資源の造成・回復を「安心安全な事業」として社会的な合意のもと推進して行くには、様々な分野からの遺伝的リスクの指摘をしっかりと受け止め、整理・対応することが求められる。

本指針は、上記の背景を踏まえつつ、栽培漁業の第6次基本方針に盛り込まれている遺伝的多様性への影響リスクを低減するための技術的な指針として作成したものである。内容は、2007～2011年度に実施された「種苗放流が遺伝的多様性に与えるリスクの評価と低減技術の開発」（先端技術を活用した農林水産研究高度化事業：農林水産省農林水産技術会議）で得られた成果をもとに、2012年に開催されたシンポジウム「沿岸資源の増殖・管理と分子生物学的手法によるモニタリング」の議論をふまえ、現在事業を実施している地方自治体、業界団体等が理解、納得できるよう、人工種苗の放流における遺伝的リスクとは何か、遺伝的リスクを低減するにはどのようにすればよいのかを概説した後に、

栽培漁業のモデルとなる 6 魚種の具体的な事例や遺伝的リスクのモニタリングを含めた管理体制及び今後の方向性について示したものである。

なお、本指針に係る現場での具体的な実行にあたっては、対象としている魚種、施設の規模や能力、人員、予算等の状況により、一律的な対応が難しい場合も想定されるが、その場合には、“2. 人工種苗放流が遺伝的多様性に与えるリスク”及び“3. リスクへの対処”を参考にし、現状に応じた段階的な対応を行うよう努めることが重要である。

参考文献

- 1) (独) 水産総合研究センター. 平成 24 年度 栽培漁業種苗生産, 入手・放流実績. 東京, 2014.
- 2) 北田修一. 「栽培漁業と統計モデル分析」 共立出版, 東京. 2001.
- 3) 谷口順彦. 種苗生産における遺伝学的諸問題. 「マダイの資源培養技術」(田中 克・松宮義晴編) 恒星社厚生閣, 東京. 1986 ; pp. 37-58.
- 4) 一色竜也, 櫻井 繁. 神奈川県におけるマダイ栽培漁業. 「沿岸魚介類資源の増殖とリスク管理」(有瀧真人編) 恒星社厚生閣, 東京. 2013 ; pp. 96-109.
- 5) 関野正志. ホシガレイ栽培漁業における遺伝的リスク. 「沿岸魚介類資源の増殖とリスク管理」(有瀧真人編) 恒星社厚生閣, 東京. 2013 ; pp. 86-95.

2. 人工種苗放流が遺伝的多様性に与えるリスク

1) 野生集団の遺伝的多様性の低下リスク

一般に、ある生物種は分布域全体に均一に存在しているわけではなく、幾つかの個体群が互いに離れた地域に生息している。^{1,2)} このとき、各個体群はそれぞれの環境下での自然選択によって生存に有利な遺伝子を蓄積し、独自の遺伝的特性を有することが可能である。このことは、子孫の適応度を高く保ち、個体群が世代を超えて安定して存続する上で非常に重要と考えられている。³⁾

また、多くの場合、各個体群は他の個体群から完全には分断されておらず、互いにある程度交流し、個体数を安定的に維持している。^{1,2)} 近年では、こうした交流による遺伝的多様性の補完が、生物種の新たな環境への適応に有利に働く可能性が示されている。^{4,5)}

以上のように、各海域の個体群が独自の遺伝的特性を持ち、それらが組み合わせられて種全体の遺伝的多様性が保たれていることは、生物種が永続的に繁栄する上で非常に重要である。水産生物においても、ホシガレイ⁶⁾、ニシン⁷⁾、大西洋タラ⁸⁾等で海域特有の遺伝的特性が確認されており、遺伝的な多様性が種の存続に重要な役割を果たしてきた可能性が示されている。

一方、各個体群の遺伝的特性は、自然選択、突然変異、再生産及び個体の移出入のバランスによって動的に保たれており⁹⁾、外部から遺伝的に異質な個体が大量に導入された場合には容易に乱され得る。実際に、サケやマス類、及びコイでは、異なる河川や海域に由来する種苗の放流によって遺伝的多様性が攪乱されるリスクが指摘されている。^{10,11)} さらに、人工種苗は野生集団に比べて親の数が少なく、遺伝的多様性が低くなっている。¹¹⁾ このため、無計画な人工種苗の放流が各海域の遺伝的多様性を低下させる可能性があり、対応が求められている。^{12,13)}

以上のように、栽培漁業は野生集団の遺伝的多様性を攪乱し、低下させるリスクを潜在的に有しており、十分な対策が必要である。

2) 近交弱勢の発生リスク

近交弱勢とは、遺伝的に近い個体の交配（近親交配）が繰り返されたことによって子孫の生存能力や繁殖能力が低下する現象である。継代を繰り返した隔離集団に多く観察され、最初の世代の遺伝的多様性が低いほど発生しやすい。¹⁾ 水産生物においても、ニジマス¹⁴⁾、クルマエビ¹⁵⁾ 及びカキ¹⁶⁾ 等で近交弱勢による成熟及び成長の鈍化や生残率の低下が報告されている。これらのことから、栽培漁業においても継代飼育によって人工種苗に近交弱勢が発生するリスクが懸念されており¹²⁾、対策が求められている。

また、野生生物においても、個体数が著しく減少した集団では近交弱勢が観察されることがあり、生存能力の低下が個体数の減少を加速し、更なる遺伝的多様性の低下と近交弱勢の発生を促す“絶滅の渦”に陥るリスクが指摘されている。¹⁷⁾ このことは、栽培漁業においても、野生個体を含めた対象種の資源全体の遺伝的多様性に留意する必要があることを示しており、中長期的な視点に立った遺伝的リスクの回避に向けた取り組みが必要であることを示している。特に、それらの再生産によって資源造成を行おうとする場合は、再生産個体の近親交配が進まないように配慮しなければならない。

参考文献

- 1) 鷲谷いづみ, 矢原徹一. 種内の遺伝的変異とメタ個体群の動態. 「保全生態学入門 -遺伝子から景観まで」文一総合出版, 東京. 1996; 129-194.

- 2) Hanski I. Metapopulation dynamics. *Nature* 1998; **396**: 41-49.
- 3) Kawecki TJ. Conceptual issues in local adaptation. *Ecol. Lett.* 2004; **7**: 1225-1241.
- 4) Sexton JP, Strauss SY, Rice KJ. Gene flow increases fitness at the warm edge of a species' range. *PNAS* 2011; **108**: 11704-11709.
- 5) Caprio MA, Tabashnik BE. Gene Flow Accelerates Local Adaptation Among Finite Populations: Simulating the Evolution of Insecticide Resistance. *J. Econ. Entomol.* 1992; **85**: 611-620.
- 6) Ortega-Villaizán Romo MDM, Aritaki M, Suzuki S, Ikeda M, Asahida T, Taniguchi N. Genetic population evaluation of two closely related flatfish species, the rare barfin flounder and spotted halibut, along the Japanese coast. *Fish. Sci.* 2006; **72**: 556-567.
- 7) Sugaya T, Sato M, Yokoyama E, Nemoto Y, Fujita T, Okouchi H, Hamasaki K, Kitada S. Population genetic structure and variability of Pacific herring *Clupea pallasii* in the stocking area along the Pacific coast of northern Japan. *Fish. Sci.* 2008; **74**: 579-588.
- 8) Knutsen H, Jorde PE, André C, Stenseth NCHR. Fine-scaled geographical population structuring in a highly mobile marine species: the Atlantic cod. *Mole. Ecol.* 2003; **12**: 385–394.
- 9) Frankham R, Ballou JD, Briscoe DA. Evolution in large populations. I. Natural selection and adaptation. In: *Introduction to Conservation Genetics*. Cambridge University Press, Cambridge. 2002; 126-174.

- 10) Rhymer JM, Simberloff D. Extinction by hybridization and introgression. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 1996; **27**: 83-109.
- 11) Mabuchi K, Senou H, Nishida M. Mitochondrial DNA analysis reveals cryptic large-scale invasion of non-native genotypes of common carp (*Cyprinus carpio*) in Japan. *Mol. Ecol.* 2008; **17**: 796–809.
- 12) 谷口順彦. 人工種苗の生産と親魚集団の遺伝的管理. 「水産資源の増殖と保全」(北田修一, 帰山雅秀, 浜崎活幸, 谷口順彦編) 成山堂書店, 東京, 2008; 214-229.
- 13) 北田修一. 種苗放流の遺伝的影響. 「水産資源の増殖と保全」(北田修一, 帰山雅秀, 浜崎活幸, 谷口順彦編) 成山堂書店, 東京, 2008; 190-213.
- 14) Su GS, Liljedahl LE, Gall GAE. Effects of inbreeding on growth and reproductive traits in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 1996; **142**: 139-148.
- 15) Keys SJ, Crocos PJ, Burrige CY, Coman GJ, Davis GP, Preston NP. Comparative growth and survival of inbred and outbred *Penaeus (marsupenaeus) japonicus*, reared under controlled environment conditions: indications of inbreeding depression. *Aquaculture* 2004; **241**: 151-168.
- 16) Evans F, Matson S, Brake J, Langdon C. The effects of inbreeding on performance traits of adult Pacific oysters (*Crassostrea gigas*). *Aquaculture* 2004; **230**: 89-98.
- 17) Frankham R, Ballou JD, Briscoe DA. Genetics and extinction. In:

Introduction to Conservation Genetics. Cambridge University Press,
Cambridge. 2002; 23-41.

3. リスクへの対処

1) 対象資源の遺伝的多様性の把握と管理単位の設定

人工種苗を放流する栽培漁業において遺伝的多様性が低下するリスクを最小限に抑えるには、対象種の遺伝的な集団構造に基づいて放流計画を策定することが重要である。また、遺伝的な管理は、少なくとも放流事業が展開されている期間中は継続されなければならない。このため、管理単位は放流海域周辺の栽培漁業関係者の情報共有と合意形成が無理なく実施できる範囲で設定することが望ましい。加えて、現状の技術で遺伝的な差異が把握できていない可能性も考慮する必要がある。従って、日本沿岸の海域間に遺伝的な違いが認められない場合でも、これら全体を一つの管理単位とするのではなく、既存の資源管理体制に準じた設定が有効と考えられる。

2) 親魚の遺伝的管理

人工種苗の個体群が持ち得る遺伝的多様性の最大値は、種苗生産に用いられた親魚の数や質によって決定される。このため、親魚の遺伝的管理を適切に行うことは人工種苗の放流による遺伝的多様性低下のリスクを低減する上で非常に重要である。特に、①十分な遺伝的多様性を保持した親魚群を構成するための尾数と由来の管理、②親魚の遺伝的多様性を最大限人工種苗に反映させるた

めの採卵と受精卵の管理は適切に実施されなければならない。以下に、各項目の具体的な内容について示す。

(1) 尾数と由来の管理

人工種苗の遺伝的多様性は、親魚の個体数と由来に強く依存する。このため、各種苗生産機関が一定数以上の親魚を保有することは遺伝的多様性低下のリスクを低減する上で非常に重要である。種苗生産に必要とされる親魚の個体数について、FAO（国際連合食料農業機関）及びUNEP（国連環境計画）は野生個体であれば50、継代された個体であれば500としている。¹⁾ただし、これらの値は雌雄が同数で全ての個体がほぼ均等に次世代に関与することを前提としており、実際にはより多くの親魚を確保しなければならないことが多い。例えば、雌雄比が1:2である場合には、推奨される尾数は計算上約60尾となる。加えて、産卵や受精に寄与する個体が全数でなく一部に限られる場合も、より多くの親魚が必要となる。このため、種苗生産に用いる親魚は、推奨される尾数を基本とし、実現可能な雌雄比や産卵関与個体数を踏まえて管理単位毎に決定することが理想的である。また、単一の種苗生産機関では理想的な数の親魚の確保が難しい場合は、管理単位内の他の生産機関と連携して親魚群を構成することが望ましい。

さらに、遺伝的多様性の攪乱におけるリスク低減の観点から、野生集団が絶滅に瀕している等の特別な理由が無い限り、親魚は各管理単位内で採集された野生個体を用いるべきである。入手した個体は、それぞれ採集場所や時期等の履歴を記録し、管理単位外で採集された野生個体や人工種苗の混入を防ぐことが重要である。

(2) 採卵と受精卵の管理

現在、人工種苗の生産現場では、自然産卵と人工授精の2種類の方法によって採卵が行われている。前者は、多数の親魚を一つの水槽に収容し、水槽内で自発的な産卵と受精によって受精卵を入手する方法である。自然産卵は親魚への負担が少なく、産卵の盛期に良質な卵を大量に入手できるものの、常に全ての親魚が産卵や放精を行うわけではなく、繁殖への寄与の程度が個体によって異なることから、生産された人工種苗が親魚群の遺伝的多様性を反映していない事例が多い。^{2,3)} このため、自然産卵を行う場合には可能な限り多数の親魚群を用いるとともに、各群で複数回の採卵を行い、より多くの親魚を関与させることが望ましい。また、それぞれの親魚群は、体サイズや成熟段階、雌雄の割合に留意し、より多くの個体間で交配が行われるよう飼育環境を整えることが有効と考える。

一方、人工授精では、できるだけ多くの親魚から卵及び精子を採取するとともに、雌雄の各ペアが同数の子孫を残すよう、授精前の卵を雄の数に従って均等に分け、それぞれ異なる雄の精子で授精させることが望ましい。また、親魚間の血縁関係が明らかになっている場合には、近親交配を回避するため、近縁な個体同士の授精は避けるべきである。このことは、継代された親魚を用いざるを得ない状況では特に重要である。

(3) その他の管理技術

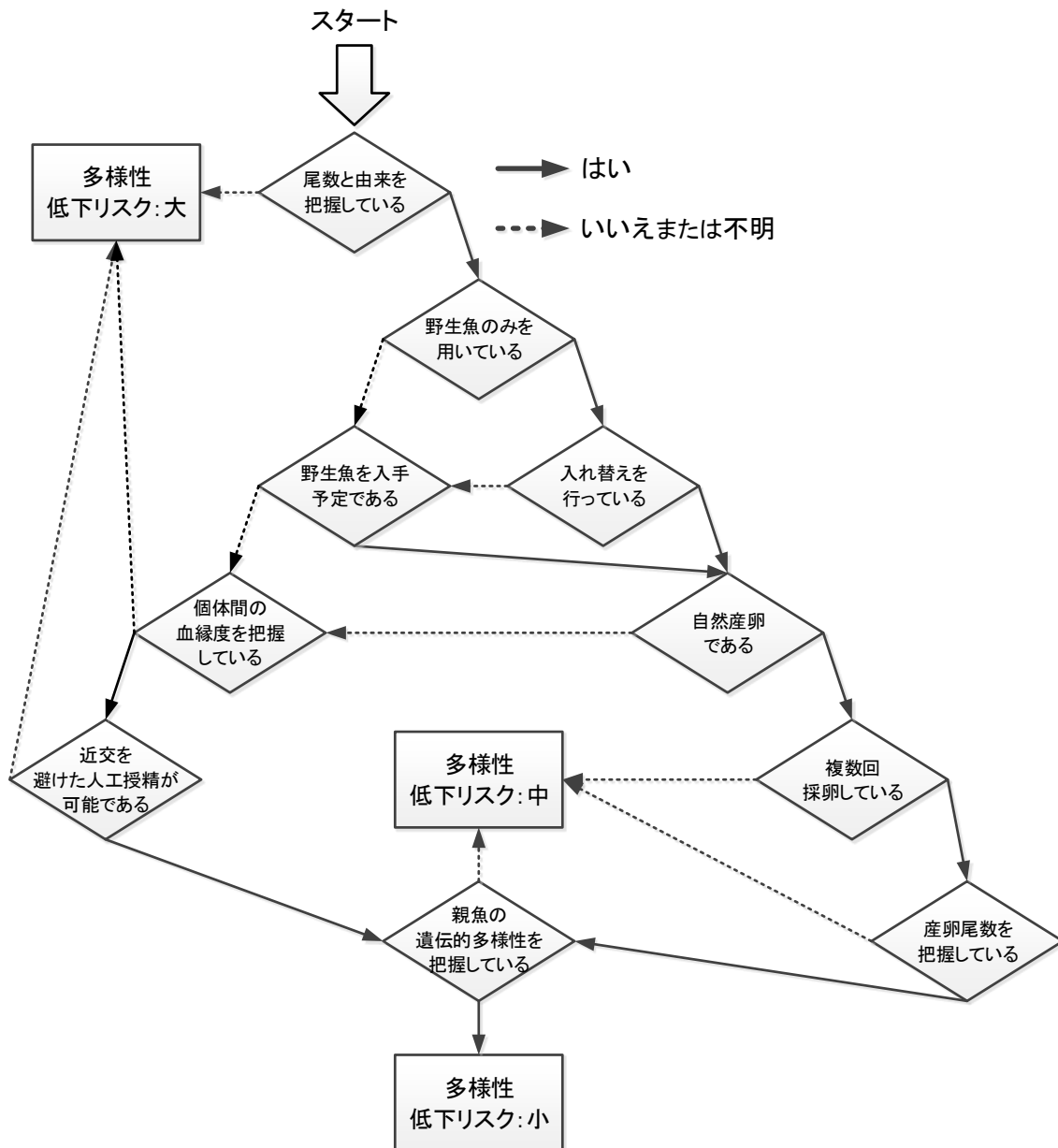
一般的に、同じ親魚群を長期間用いて遺伝的に同質の人工種苗を放流し続けることは、放流を行う期間全体の遺伝的多様性を高く保つうえで不利と考えられる。このため、ある時点で十分に遺伝的多様性の高い親魚群を構成できた場

合でも、定期的に野生個体を入手し、親魚を入れ替えることが望ましい。また、これら親魚については、必要に応じて遺伝的な特性を把握できるよう、入手履歴と併せて鰭、筋肉あるいは血液の一部などを DNA 分析用の試料として保存しておくことが重要である。さらに、希少種等では、遺伝的資源保存の観点からも精子を保存しておくことが望まれる。

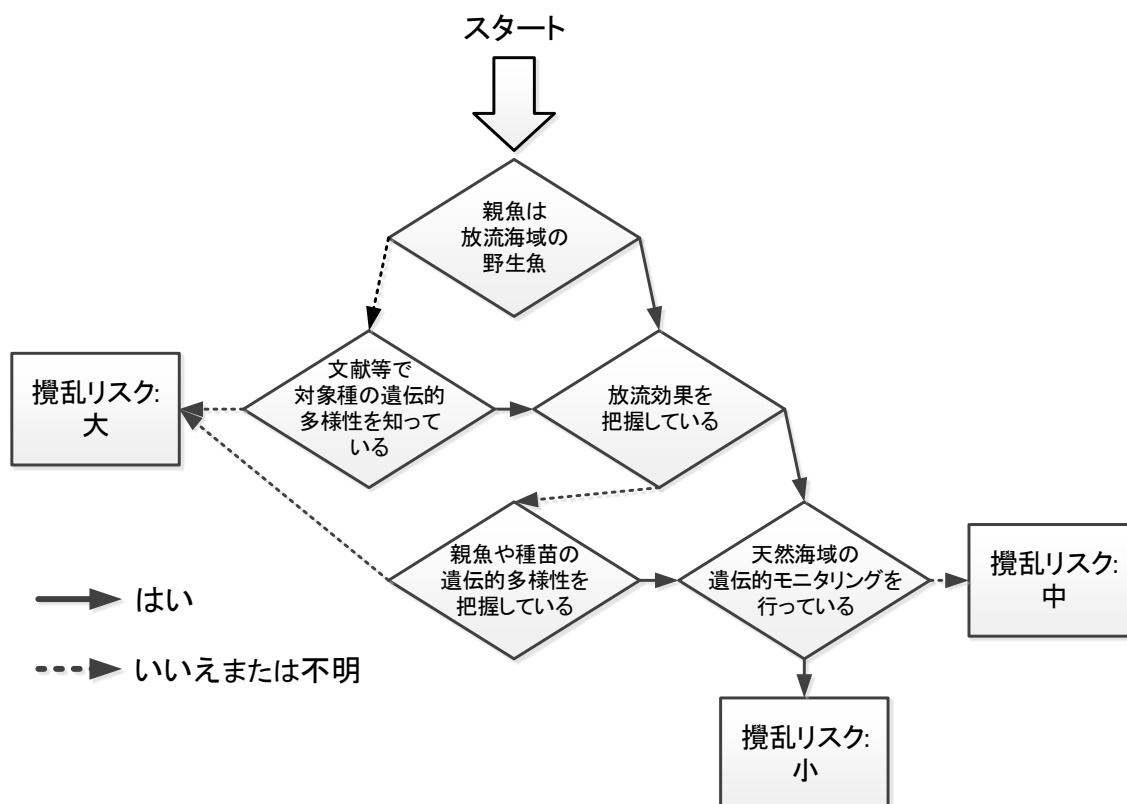
3) 遺伝的リスクの簡易チェック

ある対象種での人工種苗放流が、遺伝的多様性の低下リスクや遺伝的攪乱リスクをどの程度有しているかは、野生集団と人工放流種苗の長期間の遺伝的モニタリングに基づいて評価されなければならない。しかし、遺伝的リスクの大きさは、親魚管理や人工種苗生産の体制によって大きく左右されるため、人工種苗放流に先駆けて、できるだけリスクの少ない体制を構築しておくことが重要である。以下のフローチャートに従って現状を分析し、大きなリスクが見込まれる点については改善に努めることが望ましい。

・親魚管理（遺伝的多様性の低下リスク）に関するチェックフロー



・放流体制（遺伝的攪乱のリスク）に関するチェックフロー



参考文献

- 1) 水産庁増殖推進部漁場資源課，独立行政法人水産総合研究センター（2014）
我が国周辺水域の漁業資源評価（平成25年度），東京
- 2) Franklin I A. 1980. Evolutionary changes in small populations. in Soule M E & Wilcox B A, editors. Conservation Biology: an evolutionary-ecological perspective:pp.135-150. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.
- 3) Soule M E. 1980. Thresholds for survival: maintaining fitness and

evolutionary potential. in Soule M E & Wilcox B A, editors. Conservation biology: evolutionary-ecological perspective;pp.151-169. Sinauer, Sunderland, Massachusetts.

4. 具体的な対応

本項は、6 魚種を栽培漁業のモデルとしてピックアップし、①資源状況と管理単位、②放流効果と遺伝的リスク、③遺伝的リスクを低減するには、の3項目についてまとめたものであるが、以下の点に留意する必要がある。

今回提示した魚種は、複数県を跨がって移動するような魚種を取り上げているが、移動範囲が小さい、または定着性が強い栽培対象種についても、管理単位を絞ることにより、同様の手法を活用できるものであることから、本指針を参考にして積極的に取り組むことが重要である。

また、受精卵や人工種苗を購入して生産・放流する場合には、それらの親魚構成（野生魚の使用状況や継代魚の有無）をしっかりと確認した上で使用する必要がある。特に、選抜育種等により養殖用として生産された種苗は、遺伝的多様性が顕著に低下しているため、用いるべきではない。

1) マダイ

(1) 資源状況と管理単位

マダイの分布は、北海道～九州南岸の日本海・東シナ海・太平洋沿岸の広範囲に及んでいる。近年の漁獲量は1.5万トン程度で安定し、九州及び四国で多く水揚げされている。

日本沿岸域におけるマダイは、日本海西・東シナ海、日本海北・中部、瀬戸内海中・西部、瀬戸内海東部、太平洋南部、太平洋中部の6系群で資源が評価されている。マイクロサテライト多型分析によると、海域間に顕著な遺伝的差異は認められておらず、全国的に一つの大きな遺伝的集団であると考えられている。しかし、マダイの管理単位については、遺伝的リスクを含め資源を管理するといった観点からも上記6系群を元に設定することが望ましい。

(2) 放流効果と遺伝的リスク

マダイの栽培漁業は、都道府県栽培漁業センターもしくは財団法人等によって

人工種苗生産が実施され、毎年 1,100 万尾に及ぶ人工種苗が放流されている。漁獲に対する放流魚の混入率は海域によっても異なっているが、50%に及んでいることもある。そのため、人工種苗放流による野生集団への遺伝的影響が問題視され、農林水産省農林水産技術会議における「新たな農林水産施策を推進する実用技術開発事業委託事業」により、2007～2011 年度の 5 年間で遺伝的リスクの研究を実施した。これらにより、人工種苗は野生集団に比べ、遺伝的多様性が低下している傾向があり、広域で詳細なモニタリングを実施し、実態把握を行う必要がある。

(3) 遺伝的リスクを低減するには

- ① 遺伝的攪乱の回避：本種の遺伝的集団構造は、全国的に単一の集団とされているが、僅かに地理的な分化がみられる。そのため、同じ管理単位内の親魚・受精卵もしくは種苗を用いて、遺伝的攪乱が生じないように配慮することが求められる。
- ② 遺伝的多様性の確保：それぞれの種苗生産施設では 100～200 尾程度の親魚を 1 水槽もしくは複数の水槽に収容し、自然産卵により受精卵を得ている。これらの親魚から生産する人工放流種苗については、年 1 回ではなく複数回の種苗生産を実行することで野生集団に近いレベルまで遺伝的多様性が高まることが報告されている。また、同じ管理単位に属する複数の近隣県の親魚から得られた受精卵を使用することでも遺伝的多様性が高まることが確かめられているため、各機関で連携して人工種苗生産を実施することが望ましい。

養殖用種苗については、採卵親魚を継代飼育するだけでなく、成長の良いもの、形が良いものなどの選抜を受けているため、野生集団と比べ近親交配が進んでおり、遺伝的多様性が顕著に低下している。したがって、人工放流種苗として用いるべきではない。

2) ヒラメ

(1) 資源状況と管理単位

ヒラメは北海道から九州が主な生息海域となっている。近年漁獲量は7,000トン前後で安定しており、本州の北部太平洋沿岸と日本海～九州西岸で多く水揚げされている。我が国周辺海域において本種の遺伝的多様性について検討が行われているものの、管理単位を提示するには至っておらず今後の課題となっている。

(2) 放流効果と遺伝的リスク

ヒラメは栽培漁業の代表種として事業が進められてきた。近年も、1,500万尾を超える人工種苗が各海域で放流されている。漁獲量に対する放流魚の混入率が20%を越える海域も認められ、減少が続く沿岸漁業の対象種の中では、資源の底支えに貢献していると評価されている。人工種苗生産過程での多様性の減少など、遺伝的リスクの可能性は指摘されているが、広域で詳細なモニタリングは実施されておらず、実態の把握が求められる。

(3) 遺伝的リスクを低減するには

- ① **遺伝的攪乱の回避**：本種の遺伝的な管理単位は未定であるため、海域間で親魚、卵、種苗の安易な交流はさけるべきであろう。具体的には調査体制が構築されている資源評価の系群を基本に、増殖事業を進行管理することが求められる。
- ② **遺伝的多様性の確保**：概ね本種の人工種苗生産は自然産卵で卵を得ていることから、計画的な遺伝的多様性の管理は困難である。従って、親魚は個体（雌雄）識別をした上で野生魚を用い、可能な限り雌雄比を1：1とした上で50尾以上保有することを基本とする。さらに、放流ロット、放流年度により親魚群を変える、一定間隔で親魚を更新するなど、遺伝的多様性の高い人工種苗の生産・放流を心がけることが求められる。一方、親魚の年齢やサイズが産卵にどのように関わるのか、また、一産卵期でこれらがどのように変化するのかなど、遺伝的多様性の確保に向けヒラメの産卵生態に関する基礎的な知見の収集が望まれる。

3) ホシガレイ

(1) 資源状況と管理単位

ホシガレイの分布域は、東北地方沿岸、伊勢湾、瀬戸内海、及び有明海・八代海にほぼ限定され、広域な回遊は行わない。東アジア大陸沿岸にも生息するが、黄海付近に集中している。本種の漁獲量が把握されている場所は宮城県、福島県及び長崎県と限られており、最盛期でも20トン未満、近年は放流魚を含めても10トン未満と推測される。本種の主要産地から採集された野生魚の遺伝的多様性を調べた結果、ホシガレイは生息海域ごとに遺伝的な特徴が確認でき、それぞれに管理する必要があると判断された。

(2) 放流効果と遺伝的リスク

宮城県、福島県および長崎県では1990年代以降増殖事業が進められ、毎年数万～10万尾の人工種苗が放流されてきた。天然の資源が減少しているため、漁獲物に占める放流魚の混入率は極めて高く、宮城県では50%、福島県、長崎県では70～90%となっている。一方、放流魚は野生魚に比べて遺伝的多様性が低下していることも明らかとなり、栽培漁業が天然資源に与えるリスクの存在も指摘された。

(3) 遺伝的リスクを低減するには

- ① **遺伝的攪乱の回避**：生息海域ごとに遺伝的多様性が異なっているため、海域間で親魚や卵、種苗を交流させることは遺伝的な攪乱を生じさせる。したがって、親魚は放流海域で漁獲された野生魚を用い、人工生産した種苗を遺伝的な管理単位外で放流することを慎まなくてはならない。
- ② **遺伝的多様性の確保**：遺伝的多様性は親魚の構成によって大きく左右され、野生親魚を用いることが最も効果的である。加えて、本種は人工授精で卵を得ることから、使用する親魚を個体（雌雄）識別により管理し、放流ロット、放流年度ごとに親魚構成を変えるなど、遺伝的多様性の高い人工種苗生産・放流を心がけることが必要である。また、放流魚及び野生集団に関しては、

増殖事業を実施している海域で遺伝的リスクに関する定期的なモニタリングを行うことが望ましい。

4) クルマエビ

(1) 資源状況と管理単位

日本沿岸では北海道南部から沖縄まで分布が確認されている。ただし、本州の太平洋側では仙台湾での記録が最北である。近年の漁獲量は1985年の約3,700トン进行ピークとして全国的に急減しており、現在は年間500トン前後で推移している。海区別に見ると、瀬戸内海区、東シナ海区及び太平洋中区の3海区が全国の漁獲量の9割以上を占めており、海区間で漁獲量が大きく異なっている。

また、これまでに生息域内の遺伝的差異は確認されておらず、遺伝的には全国的に均質な一つの集団と考えられている。しかし、有明海や周防灘では標識放流等により、各海域の個体群の生活範囲は比較的限られていることが示唆されている。これらのことから、クルマエビについては、各海区を一つの単位とした管理が妥当と考えられる。

(2) 放流効果と遺伝的リスク

クルマエビの人工種苗放流は秋田県沿岸から八代海までの各地で行われており、現在は全国で約1億尾が放流されている。しかし、多くは回収率（回収尾数/放流尾数）が1%前後であり、経済的に十分な効果を上げられた事例は必ずしも多くない。しかし、瀬戸内海東部での放流事例のように、20%近くの回収率を示す場合もあり、現在も海域や時期にあった放流手法の検討が続けられている。

また、一般に、人工種苗生産にはその年に漁獲された野生の成熟雌が数十～数百尾用いられており、人工種苗における遺伝的多様性の低下リスクは比較的低いものと考えられる。しかし、最近では、継代された養殖用種苗が市場に流通しており、人工種苗の入手先によっては、このようなリスクが高まってしまうことが懸念される。

(3) 遺伝的リスクを低減するには

- ① 遺伝的攪乱の回避：これまでのところ、海域間に顕著な遺伝的差異は観察されていないものの、海域によって生活範囲が比較的限られている可能性も示唆されていることから、十分に留意すべきである。具体的には、人工種苗の生産に際しては、放流海域が属する管理単位内の雌親を用いるとともに、定期的に各地の野生集団の遺伝的特性をモニタリングすることが望ましい。
- ② 遺伝的多様性の確保：各生産機関で、野生の雌親が比較的多数用いられているため、現状の体制を維持することが重要と考えられる。特に、継代が行われている養殖用種苗は用いるべきではない。

5) マツカワ

(1) 資源状態と管理単位

マツカワは、北海道周辺及び茨城県以北の東北太平洋海域を主な生息域としている。本種は、1960年代～1970年代に北海道の太平洋沿岸で年間100トン以上が水揚げされていたものと推測されている。しかし、その後漁獲量は急減し、1990年代には絶滅が危惧される様になった。現在漁獲量は(2)に示す栽培漁業の実施により、100トンを超えるなど、V字回復している。なお、近年の研究によって、マツカワは北海道太平洋（育成場）と東北南部太平洋（産卵場）の間を広く回遊することが明らかになった。そのため、管理単位はこれらの海域で一つと考えてよい。

(2) 放流効果と遺伝的リスク

マツカワの放流尾数は、取り組み開始当初の1980～90年代前半には年間5万尾程度であったものが次第に増加し、2006年からは年間100万尾以上が放流されている。漁獲量もそれに伴って増加し、2008年には100トンを超え、2010年には174トンに及んだ。このように本種の現有資源は、ほぼ放流された人工種苗で構成されており、遺伝的リスクの回

避に向けた最大限の配慮が必要である。特に親魚は、野生集団からの入手が極めて困難な状況にある。従って、現在までに収集した野生魚が保有している遺伝的多様性を可能な限り後世へ伝えるように、計画的に親魚管理することが極めて重要である。

(3) 遺伝的リスクを低減するには

- ① **遺伝的攪乱の回避**：本種の遺伝的多様性は日本沿岸の生息範囲内で単一とされている。今後、親魚の減少などにより、上記の管理単位以外から野生集団の導入等を考える場合は、十分に調査を行うなど、遺伝的な攪乱を回避する必要がある。
- ② **遺伝的多様性の確保**：本種の現有資源はほぼ栽培資源で構成されていることから、親魚各個体を雌雄別に識別・管理した上で、それらの遺伝情報に基づき人工授精により計画的に交配し、近親交配を回避するなど、遺伝的リスクを低減すべきである。マツカワの精子については、短期及び長期冷凍保存技術が確立されている。人工種苗の遺伝的多様性や親魚集団を維持するためにも、本種の精子を永久的に保存する精子バンクの設置が望まれる。なお、親魚、人工種苗並びに漁獲物の遺伝的多様性については、定期的なモニタリングを実施し、遺伝的な偏りの有無を把握する必要がある。

6) トラフグ

(1) 資源状況と管理単位

トラフグは、北海道南部から黄海、東シナ海に広く分布し、広域に回遊する。主な産卵場は秋田県沿岸、七尾湾、伊勢湾、瀬戸内海、有明海、八代海などであり、高い回帰性が確認されている。一部海域の遺伝的特性の検討も行われ、大きな差異はないとされているが、広域での取り組みは未着手である。本種の資源は、日本海・東シナ海・瀬戸内海系群及び伊勢・三河湾系群の2系群に区分され、資源状態や人工種苗放流の効果が評価されている。近年の漁獲量は、前者では200

トンレベル、後者は 100 トン前後といずれもピーク時の数分の一に過ぎない。

(2) 放流効果と遺伝的リスク

先にあげたように近年漁獲が急減しているため、人工種苗による放流事業が実施されている。種苗生産は、概ね野生集団から得られた親魚を用い、人工授精で行われている。放流尾数は、主産卵場である伊勢湾、瀬戸内海、有明海等を中心に、全国で 250～350 万尾に及ぶ。また、有明海では成育場に集中放流することで平均 20%前後の混入率が認められている。本種について人工種苗の放流による遺伝的なリスクの存在は、詳細な検討が行われていないため、実態の把握が求められる。

(3) 遺伝的リスクを低減するには

- ① **遺伝的攪乱の回避**：トラフグは広い海域を移動・回遊する広域種であり、栽培漁業の重要魚種と位置づけられるため、管理単位等、遺伝的多様性の詳細な検討が求められる。一方、本種は資源評価等により 2 つの系群で管理されていること、回帰性が高いことから親魚、受精卵、精子、人工種苗等の移動にあたっては、両系群の分布・回遊範囲を考慮して、その管理単位内にとどめるべきである。また、漁協等が民間業者から人工種苗を購入し自主的に放流する場合においても、種苗の生産履歴を確認し、管理単位外や親魚の由来が不明な種苗の持ち込みが無いように指導することが重要である。
- ② **遺伝的多様性の確保**：トラフグの種苗生産では概ね漁獲物を用い、人工授精により採卵しているため、継代飼育した親魚の使用による遺伝的多様性の低下リスクは低い。しかし、近年漁獲物には成熟した人工種苗が高い割合で混入していることから、これらを排除するとともに可能な限り、親魚数や採卵ロットを増やす努力が必要である。また、継代が行われている等の養殖種苗は放流に用いるべきではない。一方、トラフグ精子は、短期及び長期の冷凍保存技術が確立されているため、積極的に利用し遺伝的多様性の確保に努めることが望まれる。

5. モニタリングと管理体制

1) モニタリング

これまで、この指針は人工種苗放流による遺伝的リスクの実態とその低減策について例を示しながら提示してきた。しかし、「4. 具体的な対応」で示したように、対象種の遺伝的特性に基づいた管理単位や種苗生産段階における多様性の低下及びそれら人工種苗を用いた放流によるリスクの詳細を明らかにした例はわずかにとどまる。今や多様性をはじめとした生態系全体の保全、保護は社会的な規範として求められており、継続的な資源の利活用という面からも人的行為に対する影響のモニタリングと評価は不可欠である。特に、人工種苗を放流する栽培漁業では、①どんな遺伝資源を対象にしているか、②どのような人工種苗を放流しているのか、③放流した人工種苗の遺伝的リスクの可能性はあるのかについて実態把握していくことが「責任ある栽培漁業」として求められる。ただし、遺伝的なモニタリングを行うには相応の予算とマンパワーの配分が必要であるため、重点種や広域種を中心に内容、対象魚種ならびに海域をしばった上で計画的にモデルとなるケースを示していかなければならない。また、種々の事情で必要なモニタリングが困難な場合は、後々に対応が可能なよう、遺伝解析用のサンプル収集は必須事項として位置づけるべきである。

一方で、このようにリスクを検証し、対策を立てるには、先にあげた遺伝的なモニタリングの遂行はもちろんのこと、どんな親を何尾使用して、どこへどれだけの人工種苗を放流し、いつ、どこでどのように漁獲されているのかという栽培漁業工程全体を実態把握していないと“何もわからない”。沿岸における増殖事業のリスクをしっかりと管理するためにも、市場調査を中心にした栽培漁業モニタリングの継続的な実行が不可欠である。

2) 管理体制

ここで述べてきたように、「責任ある栽培漁業」を進めていくには、遺伝的リスクや栽培漁業の計画的、継続的なモニタリングが必要となる。また、本指針の「3. リスクに対する対処」で記しているように、遺伝的リスク低減のためには、対象魚種の遺伝的管理単位に従った放流事業を行った上で、適正な親魚管理等を実施する必要がある。特に複数の都道府県の境を超えて移動する広域種では、単一の機関でこれらに対応することは不可能であり、遺伝的、生態的特性を考慮し、資源管理の枠組みに合致した「管理体制」の構築が求められる。現在、広域種の栽培漁業に関わる問題や課題を解決するため、全国を6海域に分けた海域栽培漁業推進協議会が設立され、関係機関、都道府県、漁業団体が連携して対応している。将来的には各海域で取り組んでいる対象種において、遺伝的リスク回避に関するモニタリングや栽培漁業の実施体制、特に親魚の使用等を含めた管理について、実態把握、問題点の抽出、検討、解決を担うワーキンググループを設置するのが望ましい。また、この枠組みを効率的、効果的に推進するには国や水産総合研究センターの指導・助言のもと資源評価など資源管理体制との一層の連携が必要である。

6. 今後の方向性

生物多様性については、もともと国民の関心事項でもあるが、近年の遺伝子判別技術の進歩により、特に遺伝的多様性に注目が集まっている。しかし、人工種苗の放流は自然界に一定の影響を与える行為であり、注目の有無にかかわらず、各種知見の蓄積を図り、必要な技術を導入し、生物多様性、特に遺伝的多様性を与えるリスクの低減に努めながら人工種苗放流を実施していくことが重要である。このため、今回策定された本指針等を基に、栽培漁業に携わる関係者で共通の認識を持って対応していく必要がある。

また、本指針については、栽培漁業の6次基本方針の基に、“1. はじめに”で触

れた事業の成果等を踏まえて取りまとめたものであり、最新の知見を基に、人工種苗放流が遺伝的多様性に与えるリスク低減に係る技術を整理したものであるが、今後、新たな技術的な知見等が蓄積された場合には、それらを踏まえた対応が必要である。

参考文献

マダイ

島田和彦. マダイ科, 日本産魚類検索 全種の同定第3版 (中坊徹次編), 東海大学出版会 2013 : **957** : 2013-2014.

水産庁, 独立行政法人水産総合研究センター. 平成21年度我が国周辺水域の漁業資源評価 (魚種別系群別資源評価ダイジェスト版 2010 : 134-138.

谷口順彦. マダイの人工種苗放流影響シミュレーション. 日水誌 2013 : **79** ; 87.

谷口順彦. 魚類集団の遺伝的多様性の保全と利用に関する研究. 日水誌 2007 : **73** ; 408-420.

一色竜也, 櫻井繁. 神奈川県におけるマダイの栽培漁業. 沿岸魚介類資源の増殖とリスク管理 (有瀧真人編) 恒星社厚生閣, 東京. 2013 : pp. 96-109.

Tabata, K., K. Hideshi, M. Takagi, A. Mizuta and N. Taniguchi. Genetic diversity of five strains of red sea bream *Pagrus Major* by RFLP analysis of the mtDNA D-Loop region. *Fish. Sci.* 1997: **63**; 344-348.

ヒラメ

水産庁, 独立行政法人水産総合研究センター平成25年度我が国周辺水域の漁業資源評価 (魚種別系群別資源評価ダイジェスト版) . 2013.

<http://abchan.job.affrc.go.jp/digests25/index.html>.

Sekino M and Hara M. Application of microsatellite markers to population genetic studies of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. *Mar. Biotechnol.*, 2001: **3**; 572-589.

ホシガレイ

和田敏裕・渡邊一仁. 東北海域におけるホシガレイの栽培漁業. 「沿岸魚介類資源の増殖とリスク管理」 (有瀧真人編) 恒星社厚生閣, 東京. 2013 ; pp. 73-85.

関野正志. ホシガレイ栽培漁業における遺伝的リスク. 「沿岸魚介類資源の増殖とリスク管理」 (有瀧真人編) 恒星社厚生閣, 東京. 2013 ; pp. 86-95.

クルマエビ

林健一. 日本産エビ類の分類と生態. 海洋と生物 1981 ; 17 : 452-455.

Sugaya, T., M. Ikeda, N. Taniguchi. Relatedness structure estimated by microsatellites DNA and mitochondrial DNA polymerase chain reaction-restriction fragment length polymorphisms analysis in the wild population of kuruma prawn *Penaeus japonicus*. *Fish. Sci.*, 2002: 68; 793-802.

クルマエビ栽培漁業の基礎知識. クルマエビ栽培漁業の手引き(さいばい叢書 1)
クルマエビ栽培漁業の手引き検討委員会編. 社団法人日本栽培漁業会, 東京.
1986 ; 1-30.

厚地伸・大富潤. 八代海南部におけるクルマエビの水深帯別体長組成, 分布および移動について. 水産海洋研究 2003 ; 67 : 29-36.

Hamasaki, K. and S. Kitada. A review of kuruma prawn *Penaeus japonicus* stock enhancement in Japan. *Fish. Res.*, 2006: 80; 80-90.

マツカワ

南 卓志, マツカワ. 「日本の希少な野生水生生物に関する基礎資料 (I), 分冊, II. 海産魚類」水産庁, 東京, 1994 ; 284-288.

萱場 隆昭, 北海道におけるマツカワの栽培漁業. 「沿岸魚介類資源の増殖とリスク管理」(有瀧真人編) 恒星社厚生閣, 東京. 2013 : pp. 9-21.

鈴木 重則, 遺伝的多様性の保持を目指したマツカワの親魚管理および交配技術.
「沿岸魚介類資源の増殖とリスク管理」(有瀧真人編) 恒星社厚生閣, 東京. 2013 :
pp. 22-37.

Kayaba, T., T. Wada, , K. Kamiyama, O. Murakami, H. Yoshida, S. Sawaguchi, T. Ichikawa, Y. Fujinami, S. Fukuda. Gonadal maturation and spawning migration of stocked female barfin flounder *Verasper moseri* off the Pacific coast of northern Japan. *Fish. Sci.*, 2014 ; 80 : 735-748.

トラフグ

水産庁，独立行政法人水産総合研究センター．平成 26 年度我が国周辺水域の漁業資源評価（魚種別系群別資源評価ダイジェスト版）.2014.

<http://abchan.job.affrc.go.jp/digests26/index.html>

松浦 修平．生物学的特性．「トラフグの漁業と資源管理」（多部田修編）．恒星社厚生閣，東京，1997；pp. 16-27.

伊藤 正木．移動と回遊からみた系群．「トラフグの漁業と資源管理」（多部田修編）．恒星社厚生閣，東京，1997；pp. 28-40.

佐藤 良三．集団遺伝学的手法による系群解析．「トラフグの漁業と資源管理」（多部田修編）．恒星社厚生閣，東京，1997；pp. 41-52.

人工種苗放流の遺伝的多様性に関する指針検討委員会

福山大学生命工学部	教授	有瀧 真人
神奈川県水産技術センター	主任研究員	櫻井 繁
独立行政法人水産総合研究センター 増養殖研究所	主任研究員	鈴木 重則
瀬戸内海区水産研究所	主任研究員	菅谷 琢磨
研究推進部	主幹	内田 和夫
研究推進部	研究開発コーディネーター	清水 智仁
水産庁研究指導課	研究管理官	釜石 隆

協力者

独立行政法人北海道立総合研究機構	主査	萱場 隆昭
岩手県水産技術センター	上席専門研究員	後藤 友明

事務局

水産庁栽培養殖課

人工種苗放流の遺伝的多様性に関する指針検討委員会編

人工種苗放流に係る遺伝的多様性への影響リスクを低減するための技術的な指針

平成 27 年 3 月 31 日刊行