

委託プロジェクト研究課題評価個票（終了時評価）

研究課題名	養殖ブリ類の輸出促進のための低コスト・安定生産技術の開発	担当開発官等名	研究開発官(基礎・基盤、環境)						
		連携する行政部局	水産庁増殖推進部 研究指導課 栽培養殖課						
研究期間	H26～H30（5年間）	総事業費（億円）	3億円（見込）						
研究開発の段階	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; text-align: center;">基礎</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">応用</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">開発</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">  </td> </tr> </table>	基礎	応用	開発				関連する研究基本計画の重点目標	重点目標 15、17、31
	基礎	応用	開発						
									

研究課題の概要

＜養殖ブリ類の輸出促進のための低コスト・安定生産技術の開発（平成26～30年度）＞
我が国の農林水産物の需要を拡大するため、水産物の輸出重点化品目である養殖ブリ類の低コスト・安定生産技術を開発する。具体的には、養殖ブリ類の支出や被害の軽減により所得を5%以上改善するため、ゲノム情報(※1)を利用してブリ類の病害虫耐性品種等を短期間で育成する技術を開発する。

1. 委託プロジェクト研究課題の主な目標

養殖ブリ類の病害虫耐性品種（家系）を作出する。

2. 事後に測定可能な委託プロジェクト研究課題としてのアウトカム目標（H32年～）

本技術の導入により、養殖ブリ類の所得を5%以上改善する（平成32年～）。

【項目別評価】

1. 研究成果の意義

ランク：A

①研究成果の科学的・技術的な意義、社会・経済等に及ぼす効果の面での重要性

- ・ 今までブリ類の養殖はほとんど天然種苗に依存した形態であった。本研究はゲノム情報を利用したブリ類の短期育種の技術を開発するという、今までにない先導的な研究である。
- ・ 我が国ではブリ類に対する需要が高く、平成27年の養殖生産額は1,201億円であり、流通・販売段階の乗数効果を考慮すると、6,000億円以上の波及効果を持つと推定される。国内市場への供給を確保しつつ、輸出に積極的に取り組むことにより、さらに大きな経済効果を発揮すると期待される。農林水産省では、ブリを「農林水産物の輸出戦略」の重点品目に掲げており、平成28年の輸出額は北米向けを中心に約135億円（財務省貿易統計）であった。また、TPP農林水産物市場アクセス交渉の結果、ベトナム向けの全ての生鮮魚・冷凍魚について、協定発効後、即時の関税撤廃を獲得しており、今後、周年出荷体制の確立及び輸出先の多角化による成長産業化が期待される。
- ・ しかし、農畜産物と大きく異なり、我が国の水産物における品種改良は、一部の観賞魚やノリ類を除き、ほとんど進められておらず、ブリ類でも、養殖する稚魚の調達を野生の稚魚の採捕に頼ってきた。一方、海外ではサーモンの品種改良が進み、より少ない飼料で早く育つなど生産性の高い家系が作出されたことにより、水産物の国際市場における高い競争力をもたらしめている。我が国ではブリ全ゲノム解析を行い、遺伝子連鎖地図を平成26年に作成しており、これらの知見を活用し、養殖業の国際競争力を高めるため、飼育下で高いパフォーマンスを発揮する養殖魚の品種開発が必要である。
- ・ 野生の稚魚を養殖に使用することは、魚の成長における生産性が劣るだけでなく、感染症の原因生物を養殖場に持ち込む危険を常に伴う。ブリ類に寄生する代表的な原虫であるハダムシ(※2)が付着すると、魚が体を生け簀の網にこすりつけることで表皮が傷つき、致死的な細菌等が体内に侵入する二次感染によって、養殖ブリ類が大量に死亡し、多大な漁業被害を発生させている。細菌やウイルスとは異なり、原虫類にはワクチンが効かないため、ハダムシの寄生を予防するには、魚の淡水浴処理を頻繁に行ったり、ハダムシの卵が付着することで常在的な寄生源になる生け簀の網を定期的に交換したりする以外に効果的な対策が無く、多くの費用と人手を要している。このため、ハダムシが寄生しにくい養殖ブリ類の育種が強く求められている。

以上のことから、研究成果の科学的・技術的な意義及び水産行政、漁業従事者及び社会経済的ニーズ上の重要性は極めて高い。

2. 研究目標（アウトプット目標）の達成度及び今後の達成可能性

ランク：A

①最終の到達目標に対する達成度

以下のとおり、ハダムシが寄生しにくいブリの品種（家系）の作出、ハダムシが寄生しにくいカンパチを選抜するためのDNAマーカー（※3）の開発が順調に行われてきた。

- ハダムシの寄生に対する抵抗性を持つブリ品種（家系）の作出に向けては、天然ブリ新魚から選抜育種・交配を重ね第二世代の抵抗性家系候補を作出するとともに、天然ブリから選抜したハダムシの寄生が少ない個体を親にして平成29年度に次世代を作出し、さらなる選抜用の親魚候補を特定した。また、ハダムシ抵抗性と機能的な関連があると予想される遺伝子に、アミノ酸（ロイシンとプロリン）の置換を伴う多型性が見られることを明らかにした。ハダムシ抵抗性に関するDNAマーカーの候補として、約1,000個のSNPを特定しており、研究終了時まで抵抗性マーカーを5個以上開発できる見込みである。以上のように、ハダムシ抵抗性品種（家系）の候補が作出される見通しである。また、開発された品種（家系）の保護や、育種された個体が洋上飼育における偶発的な逃避によって生態系への影響を少なくすることを目的とした不妊化技術の開発にも成功している。
- ハダムシが寄生しにくいカンパチを選抜するDNAマーカーの開発については、雌雄を一对一で交配させる技術を確認して解析用家系を作出した。また、生け簀で3歳魚のハダムシ寄生数の変化を追跡し、ブリの場合と同様に、カンパチでもハダムシの寄生に個体差が見られることを明らかにした。さらに、上記の解析用家系のハダムシ抵抗性家系を用いた人為寄生実験の結果等をもとに、マーカー候補となる複数のSNPが選定され、これらの中から抵抗性マーカーが開発できる見込みであるなど、研究は着実に進んでいる。

以上のことから、ハダムシ抵抗性品種（家系）の候補が作出されており、最終年度の養殖適正試験の結果を受けて品種（家系）が作出され、抵抗性マーカーも開発される見込みであり、計画通り進捗し、順調に成果をあげており、達成度は非常に高い。

②最終の到達目標に対する今後の達成可能性とその具体的な根拠

- ハダムシ抵抗性品種（家系）の候補の作出、ハダムシの寄生が少ない選抜用のブリ親魚候補の特定、ハダムシ抵抗性に関するDNAマーカー候補の特定など、ブリの品種（家系）の作出、カンパチのDNAマーカーの開発は計画通り進捗しており、最終的に養殖適正の結果によりハダムシ抵抗性品種（家系）が作出されるため、到達目標の達成は確実である。

3. 研究が社会・経済等に及ぼす効果（アウトカム）の目標の今後の達成可能性とその実現に向けた研究成果の普及・実用化の道筋（ロードマップ）の妥当性

ランク：A

①アウトカム目標の今後の達成の可能性とその具体的な根拠

- ブリ養殖業では、近年の飼料価格の高騰により支出と収入が拮抗する状態が続いており、所得の数の改善が経営の安定性にとって大きな意義を持つ養殖現場では、養殖ブリ類の突発的な大量死亡を回避するためのハダムシ予防対策として、魚の淡水浴処理を頻繁に行ったり、生け簀の網を定期的に変換したりしている。このため、ハダムシ抵抗性を持つ養殖品種（家系）を作出し、その種苗（稚魚）を養殖現場に普及させることにより、ハダムシ付着が要因となるブリ類の死亡を削減するとともに、予防対策の必要頻度を軽減することで、平成32年から養殖ブリ類の所得を5%以上改善させることに取り組むことをアウトカム目標としている。
- この目標の達成に向けて、研究コンソーシアムには種苗生産施設を有する養殖民間企業が参画し、また、研究機関や民間企業による育種プログラムも予定しており、平成30年度に作出されたブリの病害虫耐性品種（家系）が生産現場へ広く普及することが見込まれている。病害虫耐性品種（家系）はハダムシ付着数が30%軽減することを目標としているが、普及によってハダムシによる死亡の被害額約9,300万円の30%減少（約2,800万円）、ハダムシを起因とする成長阻害等によるその他疾病による死亡の被害額約60億円の3%減少（約1億8,000万円）、雇用労賃・油代約21億6,000万円の1%削減（約2,100万円）と推定される。これにより、養殖ブリ類の過去10年の平均所得約17億円のうち約2億3,000万円が軽減されることになる。これは所得13.5%に相当し、当初目標の所得5%以上改善が達成される見込みが大きいと見られ、アウトカム目標達成は可能である。

②アウトカム目標達成に向け研究成果の活用のために実施した具体的な取組内容の妥当性

研究成果の活用については、養殖を主業とする民間企業が当初より研究コンソーシアムに参画しており、また、平成29年度からは人工種苗を生産販売している県との情報共有を実施し、本課題で開発した品種（家系）を速やかに生産現場で利用できる体制としているため、取組内容の妥当性は高い。

③他の研究や他分野の技術の確立への具体的貢献度

本課題で取り組んでいる広汎な遺伝子の解析、ブリのゲノム編集技術、ブリの不妊化技術等はブリ類以外の魚類にも応用可能であり、魚類の育種技術等の研究に広く波及する可能性が高い。

4. 研究推進方法の妥当性

ランク：A

①研究計画（的確な見直しが行われてきたか等）の妥当性

当初、本事業は3つの中課題で構成されていたが、高成長のブリを選抜するDNAマーカーの開発に係る中課題については、高成長という優良形質は水産動物全般に関わるテーマであり、魚種横断的な育種技術開発に活用することが適切と判断した。このため、この中課題を平成27年度末で中止し、平成28年度から「革新的技術開発・緊急展開事業」において、これまでの当該プロジェクト研究の成果を活用し取り組んでいる。

一方、ブリ類特有の形質に係る育種として、ハダムシ抵抗性品種（家系）に係る2課題に重点化することにより、中課題を3課題から2課題に整理し、研究開発の効率化をはかった。研究は順調に進捗しており、平成30年度も研究計画通り実施し、最終目標を達成できる見込みである。

②研究推進体制の妥当性

学識経験者と産業界の代表者を含む外部有識者4名及び関係する行政部局で構成する「委託プロジェクト研究運営委員会」を年2～3回開催し、研究の進捗状況を踏まえた適切な進行管理を行った。さらに、本プロジェクト研究を含む水産関係のプロジェクト研究においては、年1回合同運営委員会を開催し、研究成果と行政・産業界からのニーズを幅広く共有することに努めた。最終の到達目標の達成の可能性も高いことから、研究推進体制は妥当である。

③研究の進捗状況を踏まえた重点配分等、予算配分の妥当性

予算配分に当たっては、当初の年度計画と研究成果、次年度の研究計画を精査し、研究の進捗状況と次年度計画の内容を反映した予算の選択と集中に努めた。

【総括評価】

ランク：A

1. 委託プロジェクト研究課題全体の実績に関する所見

・養殖業の国際競争力を強化するため、養殖ブリ類の病害虫耐性品種（家系）の作出について、非常に優れた研究成果が得られていることを評価する。

2. 今後検討を要する事項に関する所見

・本研究で得られた研究成果を基に、他魚種の病害虫耐性品種（家系）の作出技術について開発を進めるよう期待する。

[研究課題名] 養殖ブリ類の輸出促進のための低コスト・安定生産技術の開発

用語	用語の意味	※ 番号
ゲノム情報	ある生物のDNA全ての遺伝情報のこと。対象とする生物の全ての遺伝子配列を解読し、その機能を明らかにすることによって、その情報が対象生物の育種改良などに利用されている。	1
病害虫（ハダムシ）	ハダムシ (<i>Benedenia seriolae</i> , <i>Neobenedeniagirellae</i>) とは、養殖のブリなどの体表面に付着する体長1cm弱の寄生虫のこと。ハダムシの寄生は養殖魚の成長不良や細菌感染症を引き起こす原因になっている。ハダムシの駆除対策として過酸化水素水製剤による薬浴や淡水浴が行われているが、養殖業者にとって大きな負担となっている。	2
DNAマーカー	ゲノムDNA上で位置が特定された特別な塩基配列を持つDNA領域のこと。品種識別などに利用されている。	3

養殖ブリ類の輸出促進のための低コスト・安定生産技術の開発

背景

- 「水産物輸出戦略」において、ブリ類は重点品目として位置づけられている
- 養殖ブリ類の輸出を促進するためには、生産コスト(病害虫対策費)の削減による生産基盤の強化が必要

研究内容

これまでの成果

- ブリ類の完全養殖技術を開発
→人工種苗による生産時期の調整が可能に
- 育種の基盤となる技術シーズの蓄積
→病害虫耐性形質のDNAマーカーを開発

ゲノム情報を利用した ブリ類の短期育種技術の開発

- (1)ブリの病害虫耐性品種(家系)の作出と養殖適性の実証
- (2)ブリのゲノム情報を応用した、カンパチの病害虫耐性品種(家系)作出技術の開発



達成目標 (H30)

- 養殖ブリ類の病害虫耐性品種(家系)を作出

アウトカム目標

養殖ブリ類の生産コストを5%以上削減(H32)

【ロードマップ（終了時評価段階）】

養殖ブリ類の輸出促進のための低コスト・安定生産技術の開発

～H28	H29	H30	H31	H32～
委託プロジェクト研究			実証・普及、産業利用	
1. ブリの病害虫耐性品種（家系）の作出と養殖適性の実証			産業的規模での生産による実証 ・成果のPR（広報誌、研究会等の活用） ・実証に必要な枠組みの構築（新たなブリ育種プログラム（仮称）の創設を検討中）	民間企業や公的機関で種苗生産～民間養殖場で生産の全工程を実証 ・トータルコスト・品質・生産能力の評価 ・評価結果に基づくさらなる育種目標の設定等
	<ul style="list-style-type: none"> DNA マーカーの候補となる SNP の同定 選抜家系 F2 の作出 養殖適正試験に着手 三倍体化させる不妊化技術開発 	<ul style="list-style-type: none"> 抵抗性責任遺伝子候補の推定 DNA マーカーの特定 選抜家系 F2 の養殖適性の評価 次世代作出用親魚候補の保有 		<ul style="list-style-type: none"> 全国のブリ類生産 19 県のうち主要 3 県以上で生産 年間生産尾数 200 万尾以上（天然種苗由来の約 1 割に相当）
		<ul style="list-style-type: none"> 三倍体の不妊性と養殖特性の確認 		
		水産庁と連携した普及計画の検討・策定		
2. ブリのゲノム情報を応用したカンパチの病害虫耐性品種（家系）作出技術の開発			家系作出、実証	
	<ul style="list-style-type: none"> DNA マーカーの候補となる SNP の同定 解析家系 F1 のハダムシ寄生数確認 新魚選抜に着手 	<ul style="list-style-type: none"> 優良家系作出用親魚の選抜 	民間企業や公的機関で優良家系を作出 ・養殖適性を評価 ・遺伝的側面からの裏付け	産業的規模での生産による実証 ・成果のPR（広報誌、研究会等の活用）
		民間企業等と連携した家系作出のための枠組みの構築と計画の策定構築		

アウトカム
【H32～】

養殖ブリ類の所得を5%以上改善

輸出額を当初より約7割増加させ、ブリ類の輸出拡大で百億円規模の市場を創出

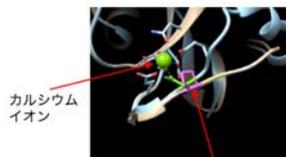
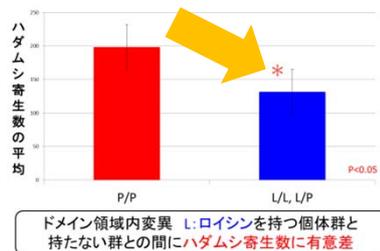
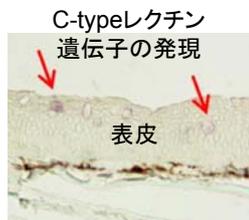
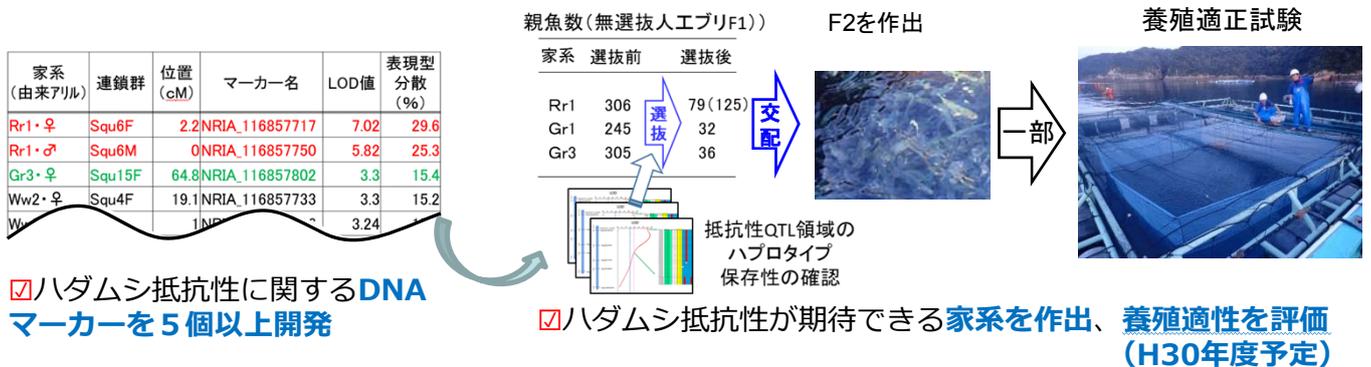
中課題1. ブリの病害虫耐性品種（家系）の作出と 養殖適性の実証

研究概要

ハダムシ抵抗性DNAマーカーを開発して抵抗性家系を作出し、養殖適性を評価、抵抗性関連遺伝子の機能を解明。また、知財保護の観点や育種家系を海域で安心して養殖するために不妊化技術を開発。

主要成果

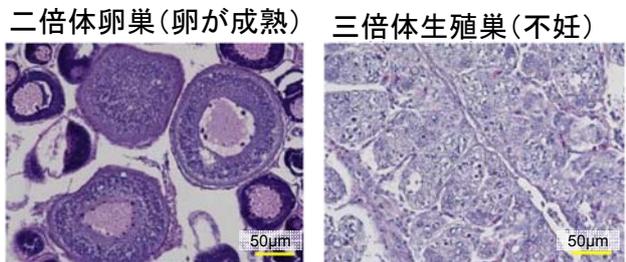
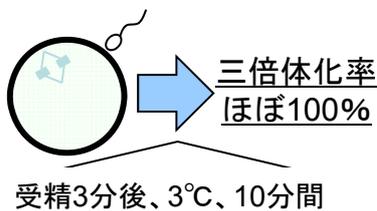
DNAマーカーを5個以上開発し、抵抗性が期待できる家系を作出して養殖適性を評価。表皮で発現するC-typeレクチン遺伝子が抵抗性と関連していることを解明。三倍体を作成し不妊であることを確認。



ハダムシ寄生数と相関がみられたアミノ酸残基



- ☑ 抵抗性関連遺伝子を推定し、それが表皮で発現され、アミノ酸置換が抵抗性機能を左右することを解明
- ☑ 受精卵への人工ヌクレアーゼの顕微注入により抵抗性関連遺伝子が編集された試験魚を作出



- ☑ 低温処理による受精卵の倍数化条件を特定し、三倍体(2歳魚)が不妊であることを確認

今後の方針

- ・さらなる抵抗性が期待できるDNAマーカーの開発 (実施期間内)
- ・民間企業等参加の育種プログラムによる作出家系の社会実装
- ・三倍体の養殖特性の評価と実用化

中課題2. ブリのゲノム情報を応用したカンパチの病害虫耐性品種(家系) 作出技術の開発

研究概要

カンパチの育種に必要な交配技術を開発するとともにハダムシ寄生実態調査から親魚を選定して解析家系を作出。これとブリの遺伝子情報を活用して抵抗性家系作出のためのDNAマーカーを開発。

主要成果

1対1交配を成功させて5家系の解析家系を作出し、ハダムシ抵抗性に個体差があることを確認。ハダムシ付着数と関連する一塩基多型が連鎖群19に集中することを解明し、DNAマーカーを開発。

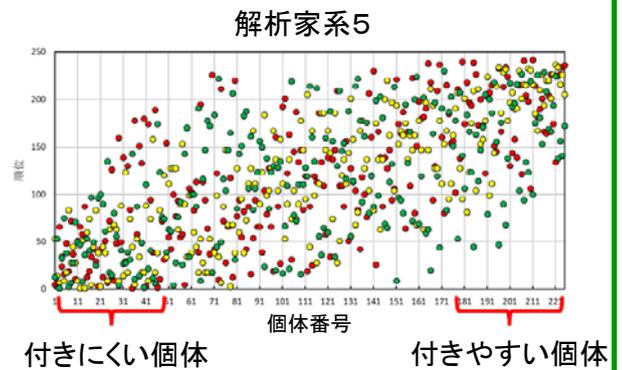


HCG投与時 卵母細胞径 (μm)	採卵数 (万粒)	受精率 (%)	ふ化率 (%)
>650	25.5	83.4	78.3
>700	59.3	87.5	92.4

☑ホルモン投与タイミングの改善により**1kl水槽での産卵成績を向上、大量採卵**

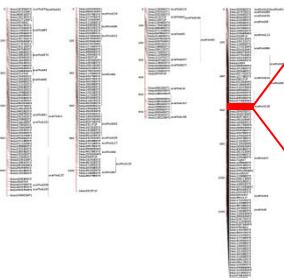


☑抵抗性2家系、感受性3家系の**解析家系を作出**



☑解析家系内でハダムシの付きやすさに**個体差があることを確認**

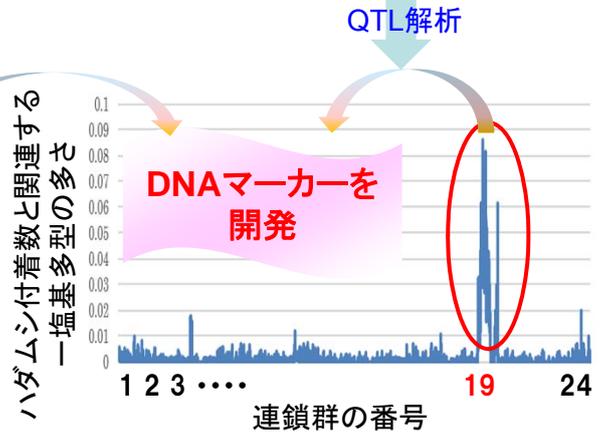
遺伝子地図



一塩基多型の位置情報

chrom	pos	ref	alt	upstream_sequence	downstream_sequence
1	5962015	GG	C	CGTTTACAGAGCATCTCTTCCGAA	GACTTTGACAAATTTTCTCCGAC
		GGAGGCACTTAAAGCTTCCGGCT		GGAGGCTTGGAGCACTTTAGAGAG	AGGCGGCTGGAGCACTTTAGAGAG
		SAGATCTTACTAGGCTAGAGAG		GCATCTTCCGAGGAGGCACTTACT	GCATCTTCCGAGGAGGCACTTACT
		CCGATCTGTAGACAGCAATTTCT		AGGCTTGGAGCTAGACTA	

☑染色体の約92%をカバーする**遺伝子地図を作成し、マーカー候補として利用可能な一塩基多型を各連鎖群で約8,000座特定**



☑ハダムシ付着数と**関連する一塩基多型が連鎖群19に集中**することを解明し、**DNAマーカーを開発** (H30年度予定)

今後の方針

- ・特定した抵抗性DNAマーカーに基づく親魚候補の選定 (実施期間内)
- ・抵抗性家系の作出と養殖適正評価