

私立大学研究ブランディング事業

「瀬戸内海 しまなみ沿岸生態系に眠る多面的機能の解明と産業支援・教育」

テーマ③持続可能性 2017年度進捗報告

1. テーマ名 プロジェクト2「瀬戸内の里山・里海における生態系機能の解明に向けた研究拠点の形成」

テーマ③：集団構造 芸予諸島周辺に生息する干潟の魚類（トビハゼ）、藻場の藻類（アカモク）や魚類（アミメハギなど）を対象に、ミトコンドリア DNA およびマイクロサテライト DNA を用いて、集団構造の解明を目指す。陸と海のつながり 地球観測衛星画像データを用いて因島周辺海域の藻場分布の定量解析を行う。

2. 研究目的

【担当：阪本憲司】

「瀬戸内海沿岸の干潟・藻場および河川に生息する魚類の
遺伝的集団構造および遺伝的多様性の解明」

(1) 日本産トビハゼのミトコンドリア DNA 非遺伝子領域(D-loop)に基づく遺伝的集団構造の解析

トビハゼ (*Periophthalmus modestus*) はハゼ科トビハゼ属に分類され、トビハゼ属魚類は現在、国内外で17種類確認されている (Larson & Takita 2004)。日本国内では東京湾以南、沖縄本島以北の泥干潟に生息している。

本種が生息の場としている干潟は、そこに生息している生物の生育、繁殖等の場として生態的に重要であるだけでなく、漁業、水質浄化、レクリエーションの場など様々な生態系サービスを我々に提供している貴重な地位にある海洋環境の一つである。一方で、高度経済成長期には港湾施設やコンビナート造成、農地造成の為に大規模な埋め立てが行われ、1990年代においても港湾や都市の拡大に伴い、住宅団地や流通基地、廃棄処分場などが造成され減少している (花輪 2006)。そのため、本種は汽水・淡水魚レッドリストでは準絶滅危惧種 (NT: Near Threatened) として指定されており、さらに関東地方、静岡県、三重県、大阪府、兵庫県、徳島県、沖縄県に生息する本種は、都道府県レッドリストにおいて絶滅危惧 I 類に相当するカテゴリーに分類されている (環境省 2017)。このような危機的状況にある本種の遺伝的集団構造を明らかにすることは、今後

の遺伝的多様性をモニタリングし、保全・管理する上で非常に重要である。

ミトコンドリア DNA は、多くの生物で母系遺伝することから、生物種の母系を検出することで個体群の遺伝的多様性を評価することに利用される。また、ミトコンドリア DNA の D-loop 領域は、非遺伝子領域であるため塩基に変異が入りやすく、蓄積しやすい。本研究では、瀬戸内海を中心に、日本各地に生息する本種のミトコンドリア DNA 非遺伝子領域(D-loop 領域)における遺伝的集団構造を明らかにし、保全単位の設定および絶滅リスク評価に重要な情報を得ることを目的とした。

(2) 日本産トビハゼのミトコンドリア DNA 遺伝子(ND5)領域に基づく遺伝的集団構造の解析

上述の D-loop 領域の他に、ミトコンドリア DNA の遺伝子領域である ND5 領域にも着目した。ND5 領域は、非遺伝子領域である D-Loop 領域と異なり、塩基配列の変異が比較的少なく、地理的分化の解析に適している。また、本種における遺伝的集団構造の知見は、ND5 領域に基づく解析が向井と杉本(2006)によって報告されたに過ぎず、瀬戸内海における遺伝的集団構造の解析は未だ報告はない。本研究では、本種の地域個体群の保全とリスク評価に必要な知見を得るために、瀬戸内海を中心とした日本各地に生息している本種の ND5 遺伝子領域における部分塩基配列の分析を行い、遺伝的集団構造の解明を目的とした。

(3) 瀬戸内海におけるアミメハギのミトコンドリア DNA 非遺伝子領域(D-loop)に基づく遺伝的集団構造の解析

藻場は沿岸の浅海域において一次生産の場であり、光合成の生産量は植物プランクトンを上回ることもある程で、その高い生産力は沿岸域の生態系に大きく貢献している。また、藻場は様々な生物の生育場、産卵場、索餌場、隠れ場所としての役割も担っている(小路 2009)。

沿岸域の藻場において、生物相や魚類相の調査が行われており、広島県倉橋島においては、周年で見られる種としてメバル類やハオコゼ、アミメハギ、カサゴなどが知られ(清水ら 2010)、なかでもアミメハギは瀬戸内海において流れ藻に付随する魚類の優占種としても知られている(山本ら 2002)。

アミメハギ *Rudarius ercodes* はフグ目カワハギ科の魚で、房総半島から九州、朝鮮半島以南に分布している(中坊 2000)。本種については古くから研究されており、繁殖期は 6 月初めから 9 月初・中旬で、カジメなどの付着基質に産卵し、雌親は産卵後最短 5 日で再び産卵を行う(赤川 1995)。稚魚は、稚魚期に流れ藻に付随する習性があり、20mm 前後で沿岸の藻場へと移動する(内田 1927)。

本種は1個体の雌に複数の雄が生殖に関わる逆ハレム形式で繁殖を行う為、1つの母系集団が本種の集団構造にどの程度影響しているかを評価する際に、ミトコンドリア DNA は解析対象として適している。また、変異が蓄積しやすい D-loop 領域の塩基配列を分析することにより、地域間の遺伝的集団構造や地域内の遺伝的多様性を明らかにすることができる。

本種は付着卵を産むことにより、卵で拡散せず、遊泳力も低く、水産利用されておらず、種苗生産や放流などがされていないため、人為的な遺伝的攪乱の可能性が低い。本研究では、本種の D-loop 領域における塩基配列を分析することにより、瀬戸内海における遺伝的集団構造の解明を試みた。供試魚は、瀬戸内海・芸予諸島東部海域を中心とし、広島県の「因島、生口島、高根島」、愛媛県の「伯方島、大島、大三島」における各島の藻場で採集した。これらの地点において採集した本種の D-loop 領域におけるハプロタイプ構成の解析から、遺伝的集団構造の解明を目的とした。

(4) 広島県備後地域におけるカワムツのミトコンドリア DNA 非遺伝子領域 (D-loop) に基づく遺伝的集団構造の解析

里山は、原始的な自然と都市の中間に位置し集落とそれを取り巻く二次林、それらと混在する農地、ため池、草原などで構成される地域であり、生物の生息場所として重要な役割を果たしている（環境省 HP）。しかし、近代になり開発による環境変化などで荒廃傾向にあり生態系への影響が懸念されている。

カワムツ（学名：*Candidia temminckii*）は本州中部以西、四国、九州に分布している。主に湖沼、河川の中流域から上流域の流れが緩やかな淵や植物が水面に垂れ下がっている河川環境に生息しているため、河川改修による河岸沿いの植物の消失、流路の直線化などの環境の変化に弱い（川の生物図典 1996）。また、水質の悪化にも弱く水質汚濁の指標生物として利用されている。

本種は、河川の優占種であるため里山を代表する魚類であり、里山の河川における生態系を構成する重要な種である。従来同一種とされ「カワムツ A」あるいは「カワムツ B」と区別されていた本種だが、2003年に別種であることが確認され、「カワムツ A」はヌマムツ、「カワムツ B」はカワムツと再分類された。ヌマムツは10府県でレッドリストに登録されており、主な減少要因は河川改修による生息場所の減少や、水質の悪化、外来魚による捕食などが挙げられる。一方、本種もヌマムツ程ではないが局所的に減少傾向にあり、その例としては名古屋市レッドデータブックなごや 2015 で絶滅危惧 IB 類に指定された。減少要因としてはヌマムツと同じで河川改修による環境の変化、生息場所の減少や水質の悪化が挙げられているため、今後は名古屋市だけではなく他の市町村でも絶滅危惧に指定される可能性があると考えられる。

本種の遺伝的集団構造は、「ヌマムツとカワムツの遺伝的集団構造」の研究により、静岡県以西の本州、四国、九州北部の広域で 37 地点、計 107 個体を用いて調べられた（松岡ら 2015）。その結果、①東海、②近畿・中国・四国の一部、③中国・四国・九州の 3 つのグループに大別された。しかし、狭域での河川間や河川内の遺伝的集団構造の調査はほとんど行われておらず、備後地域においてもその報告例は無い。本研究では、広島県備後地域におけるカワムツのミトコンドリア DNA D-loop 領域に基づき、河川ごとの遺伝的集団構造を解析し、各地点における遺伝的多様性の評価を目的とした。

（5）環境 DNA 分析による藻場の魚類相予備調査

瀬戸内海芸予諸島東部海域に分布する藻場において海水をサンプリングし、次世代シーケンサーを用いた環境 DNA 解析により、魚類相の網羅的把握のための、予備調査を行った。

【担当：山岸幸正】

「瀬戸内海沿岸域の藻場生態系における海藻類の種構成および系統地理的解析」

海藻類はいわゆる「藻場」を形成し、多様な海洋生物の生育場・産卵場となるなど、沿岸の生物多様性の維持に重要な機能を持つと考えられている。またある種の海藻は、もともと生育していた藻場において基質から脱落しても、流れ藻となって異なる場所へと移動しながら種々の海洋生物に生活場所を提供する。瀬戸内海における藻場の構成種を把握し、さらに各地の藻場間の海藻集団にどの程度交流があり、どのような地理的系統群が存在しているのかを把握することは、藻場の保全や利用のために必要である。本研究では、瀬戸内海における藻場の調査を継続的に行い、藻場を構成する海藻種およびその経年変化を明らかにする。また、流れ藻優占種である褐藻アカモクを対象として、流れ藻がどの海岸に由来するのかを推定するために有効な分子マーカーの探索を行う。

【担当：関田隆一】

「衛星画像藻場分布」

里海の豊かさを、持続可能性を伴って維持するには、海の状態やその植生を表すパラメータについて季節や経年化変化を計測することが不可欠となる。本研究は地球観測衛星によるリモートセンシングデータから瀬戸内海の藻場の分布状況を精度付きで観測し、里海の豊さを定量的に把握するものである。

里海の豊かさを藻場の状態（色や面積）で地球観測衛星によるリモートセンシングデータを使って定量化し、持続的な状態モニターにより藻場の経年変化

を把握する技術の確立が本研究の目的である。特に本研究では、藻場が海岸周辺の人の活動により受ける影響及び里山から河川を伝って排出する砂等で受ける影響をモデル化する技術の確立まで踏み込む計画であり、これは従来研究にないもので意義が大きいと言える。

3. 29年度の実施目標及び実施計画

【担当：阪本憲司】

「瀬戸内海沿岸の干潟・藻場および河川に生息する魚類の 遺伝的集団構造および遺伝的多様性の解明」

- (1) 日本産トビハゼのミトコンドリア DNA 非遺伝子領域(D-loop)に基づく遺伝的集団構造の解析
- (2) 日本産トビハゼのミトコンドリア DNA 遺伝子(ND5)領域に基づく遺伝的集団構造の解析
- (3) 瀬戸内海におけるアミメハギのミトコンドリア DNA 非遺伝子領域(D-loop)に基づく遺伝的集団構造の解析
- (4) 広島県備後地域におけるカワムツのミトコンドリア DNA 非遺伝子領域(D-loop)に基づく遺伝的集団構造の解析
- (5) 環境 DNA 分析による藻場の魚類相予備調査

【担当：山岸幸正】

「瀬戸内海沿岸域の藻場生態系における海藻類の種構成および 系統地理的解析」

- (1) 福山・因島の藻場の構成種と経年変化
- (2) 流れ藻優占種アカモクの起源推定に有効な分子マーカーの探索

【担当：関田隆一】

「衛星画像藻場分布」

瀬戸内の藻場の現状及び地球観測衛星による海洋観測と藻場観測の研究について現状を知ることを実施目標とした。

具体的にこれを達成する実施計画は、平成 29 年 9 月から国内外の先行研究サーベイを開始し、30 年度上期まで継続することとしている。またリモートセンシングの原理、陸域と海域の観測、最新ハードウェアとセンサー及び最新のデータ処理ソフトウェアを調査し、リモートセンシング研究の専門家と本研究の進め方について討議し、当該研究者のネットワーク構築を開始することとした。

4. 研究成果

【担当：阪本憲司】

「瀬戸内海沿岸の干潟・藻場および河川に生息する魚類の
遺伝的集団構造および遺伝的多様性の解明」

(1) 日本産トビハゼのミトコンドリア DNA 非遺伝子領域(D-loop)に基づく遺伝的集団構造の解析

今年度採集した個体と、前年度以前の結果をまとめ、本種の遺伝的集団構造を解析した。

今年度の解析の結果、高梁川(n=10)、本郷川(n=6)、木屋川(n=9)、鹿島(n=6)、伊万里湾(n=5)の計 36 サンプルから、25 種類のハプロタイプが検出された(図1)。「高梁川・本郷川・木屋川」に共通するハプロタイプと、「高梁川・伊万里湾」に共通するハプロタイプが検出された。また、各地点に固有のハプロタイプが複数検出された。

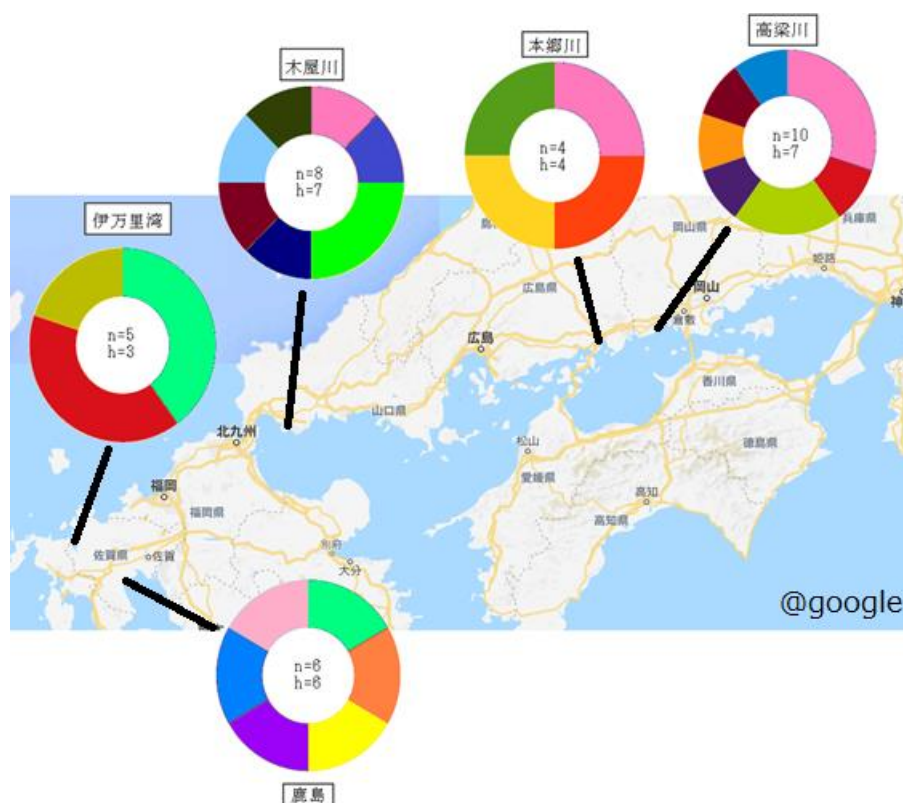


図1 各地点で検出されたトビハゼのハプロタイプ
(n=個体数, h=ハプロタイプ数)

前年度までに行った全地点の解析結果から、高梁川(n=10)、本郷川(n=6)、木屋川(n=9)、鹿島(n=6)、伊万里湾(n=5)、芦田川(n=17)、江戸川(n=10)、藤井川

(n=26)、グリーンパーク (n=21)、羽原川 (n=22)、羽地内海 (n=4)、揖斐川 (n=7)、加茂川 (n=8)、国領川 (n=7)、笠岡 (n=10)、沼田川 (n=7)、佐敷干潟 (n=8)、曾根干潟 (n=7)、佐波川 (n=10)、四万十川 (n=5)、中山川 (n=26)、新川 (n=16) の 23 地点、計 256 サンプルから、78 種類のハプロタイプが検出された(表 1-①②, 図 2-6)。このうち 19 地点で固有のハプロタイプが 1 つ以上検出され、20 種類の共通ハプロタイプが検出された。

表 1-② 各地点で検出されたハプロタイプ

	中山川	木屋川	高梁川	新川	加茂川	御荘湾	鹿島	損斐川	伊万里湾	羽地内海	佐敷干潟
Hap1	6	2	4	5							
Hap2											
Hap3	2			1	2						
Hap4		1			1						
Hap5				1							
Hap6											
Hap7						5	1				
Hap8											
Hap9			2					3	1		
Hap10											
Hap11											
Hap12				1	1						
Hap13	3		1	3	1						
Hap14	4			1							
Hap15	2			1							
Hap16											
Hap17											
Hap18				1							
Hap19	1			2							
Hap20		1									
Hap21											
Hap22											
Hap23				1							
Hap24										2	
Hap25										1	
Hap26										1	
Hap27											
Hap28											
Hap29								1			
Hap30							1	1	2		
Hap31								1			
Hap32								1			
Hap33					1						
Hap34					1						
Hap35					1						
Hap36					1						
Hap37				3	1						
Hap38											
Hap39				2							
Hap40											
Hap41											
Hap42											
Hap43											
Hap44											
Hap45											
Hap46											
Hap47						2					
Hap48											
Hap49											
Hap50											
Hap51											
Hap52											7
Hap53											1
Hap54											
Hap55											
Hap56											
Hap57											
Hap58											
Hap59											
Hap60											
Hap61			1								
Hap62											
Hap63											
Hap64	1										
Hap65	1										
Hap66	1										
Hap67											
Hap68											
Hap69							1				
Hap70							1				
Hap71							1				
Hap72							1				
Hap73		3									
Hap74		1									
Hap75			1								
Hap76			1								
Hap77				1							
Hap78				1							

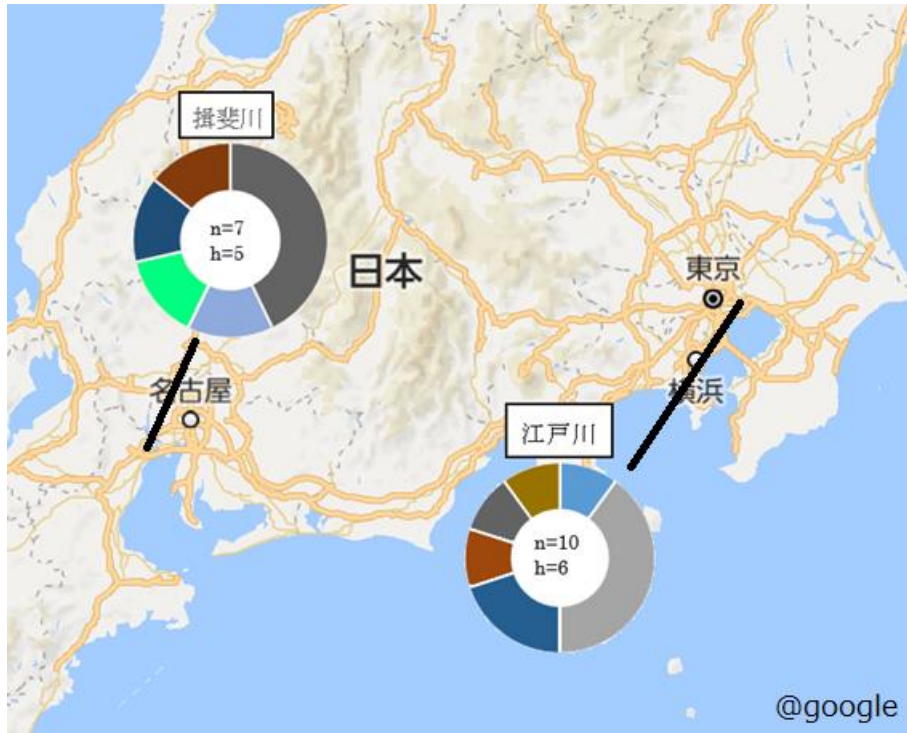


図2 関東・中部地方で検出されたトビハゼのハプロタイプ (n=個体数, h=ハプロタイプ数)

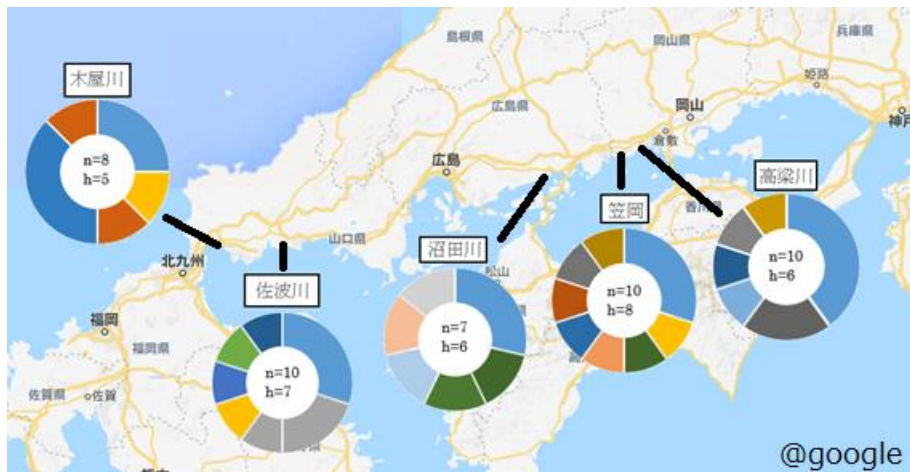


図3 中国地方で検出されたトビハゼのハプロタイプ (n=個体数, h=ハプロタイプ数)

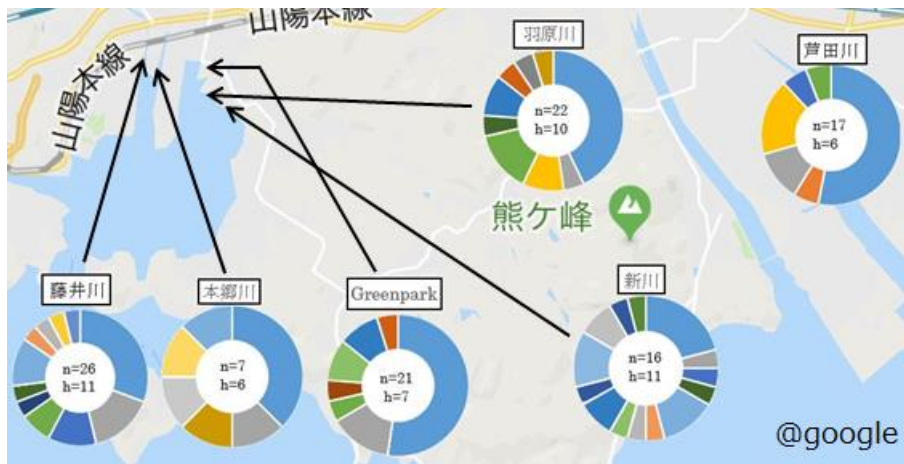


図4 福山市で検出されたトビハゼのハプロタイプ (n=個体数, h=ハプロタイプ数)

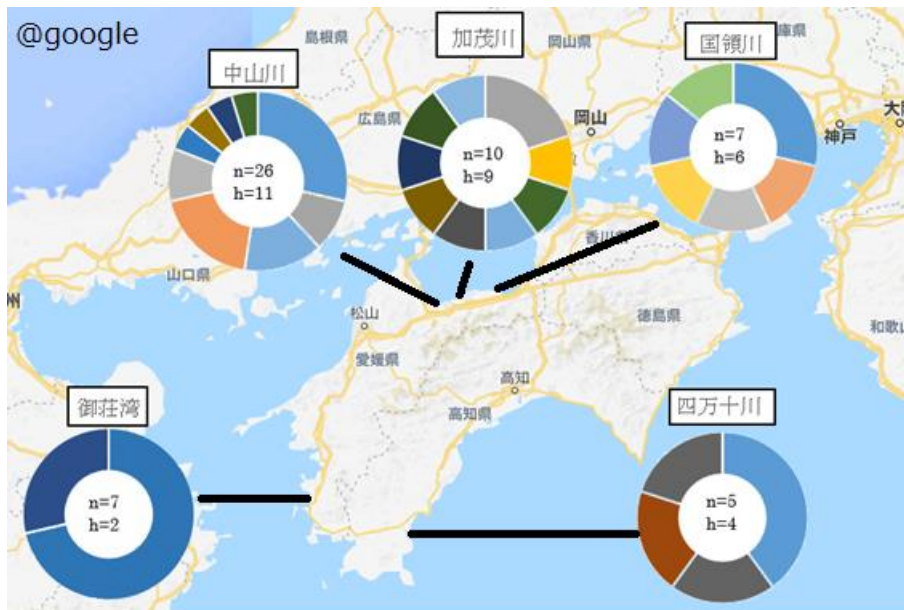


図5 福山市で検出されたトビハゼのハプロタイプ (n=個体数, h=ハプロタイプ数)

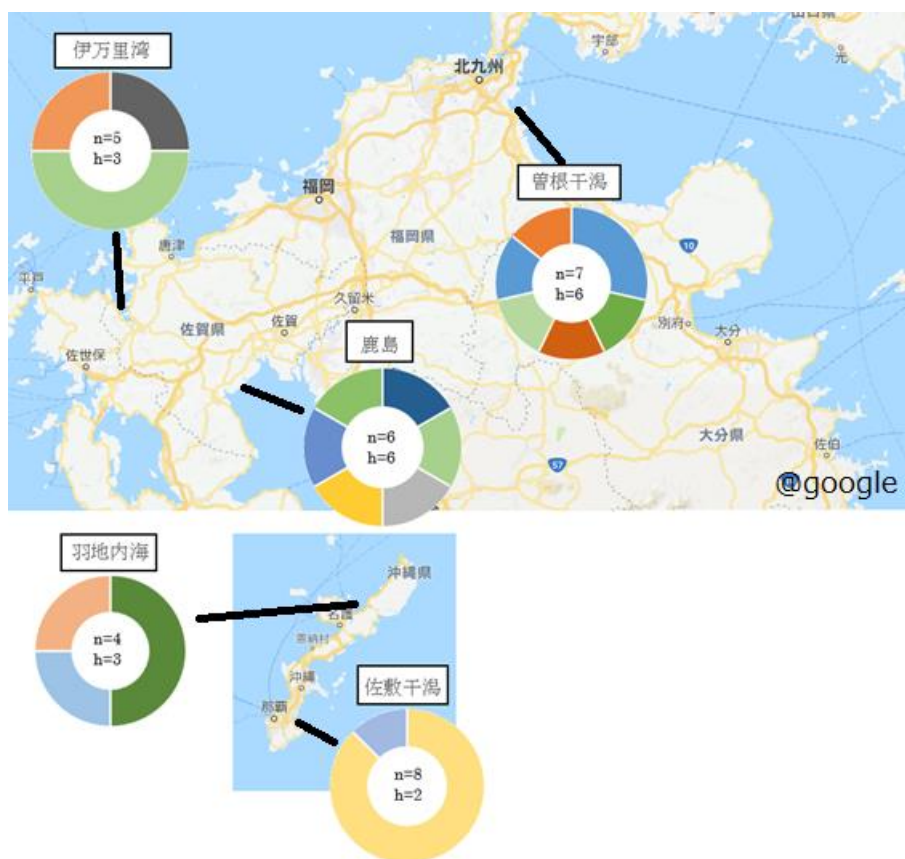


図6 九州・沖縄で検出されたトビハゼのハプロタイプ
(n=個体数, h=ハプロタイプ数)

ハプロタイプ多様度は平均 0.9084 と非常に高く、多くの地点で 0.8 以上の高い数値を示したが、芦田川・グリーンパーク・御荘湾・佐敷干潟の 4 地点では 0.7 以下であった (表 3)。

表 3 各所のハプロタイプ多様度

地点	芦田川	江戸川	藤井川	Greenpark	国領川	笠岡	沼田川	曾根干潟	佐波川	四万十川	中山川	本郷川
ハプロタイプ多様度	0.7059	0.8444	0.8739	0.7142	0.9524	0.9333	0.9524	0.9524	0.9111	0.9	0.9077	0.9524
	木屋川	高梁川	新川	羽原川	加茂川	御荘湾	鹿島	摺斐川	伊万里湾	羽地内海	佐敷干潟	平均
	0.8571	0.8444	0.9083	0.8225	0.9778	0.4762	1	0.8571	0.8	0.8333	0.25	0.9083

Fst 値は伊万里湾・鹿島・佐敷干潟・江戸川・羽地内海・揖斐川・御荘湾の7地点において、他の多くの地点と比較して遺伝的分化の程度が非常に大きいことが明らかとなった(表4)。

表4 各地点間における Fst 値

本州	本郷川	伊万里湾	鹿島	木屋川	高梁川	緑井川	Greenpark	羽洲川	新川	江戸川	佐敷干潟	曾根干潟	中山川	岸田川	旭川	国後川	笠岡	沼田川	佐波川	羽地内海	揖斐川	御荘湾	四万十川
伊万里湾	0.12	-																					0
鹿島	0.04	-0.08	-																				0.009
木屋川	0.05	0.44	0.38	-																			0
高梁川	-0.008	-0.002	0.26	0.02	-																		0
緑井川	-0.003	0.38	0.29	0.08	-0.03	-																	0
Greenpark	-0.04	0.31	0.22	-0.01	-0.02	0.02	-																0
羽洲川	-0.003	0.38	0.29	-0.01	-0.01	0.01	0.01	-															0
新川	-0.02	0.38	0.29	0.02	-0.01	0.005	-0.02	-0.03	-														0
江戸川	0.03	0.08	-0.004	0.407	0.31	0.33	0.2	0.33	0.22	-													0
佐敷干潟	0.38	0.68	0.62	0.608	0.64	0.58	0.57	0.55	0.68	-													0
曾根干潟	-0.02	0.35	0.26	-0.02	-0.07	-0.05	-0.04	-0.05	0.01	0.25	0.51	-											0
中山川	0.04	0.45	0.36	0.12	-0.002	-0.007	0.04	0.04	0.05	0.39	0.61	-0.02	-										0
岸田川	-0.02	0.38	0.28	0.01	-0.05	-0.01	-0.01	-0.03	-0.03	0.304	0.57	-0.07	0.01	-									0
旭川	-0.05	0.19	0.11	0.05	-0.02	-0.009	-0.03	0.002	-0.03	0.11	0.39	-0.02	0.01	-0.02	-								0
国後川	-0.02	0.308	0.14	-0.03	-0.02	-0.006	-0.03	-0.06	-0.03	0.23	0.406	-0.08	0.01	-0.06	-0.03	-							0
笠岡	0.02	0.43	0.35	0.007	0.009	0.03	0.02	-0.02	0.0002	0.36	0.57	-0.03	0.03	-0.01	0.01	-0.06	-						0
沼田川	0.02	0.36	0.361	0.07	-0.02	-0.01	0.03	0.02	0.04	0.33	0.54	-0.03	0.002	-0.0004	-0.009	-0.02	-0.009	-					0
佐波川	-0.06	0.27	0.15	0.05	0.008	0.03	-0.05	0.01	-0.01	0.13	0.48	-0.02	0.05	-0.02	-0.04	-0.06	0.01	0.04	-				0
羽地内海	0.41	0.64	0.59	0.55	0.52	0.54	0.51	0.53	0.64	0.68	0.48	0.57	0.54	0.42	0.42	0.54	0.52	0.501	-			0.009	
揖斐川	0.25	0.21	0.109	0.6	0.49	0.55	0.42	0.53	0.44	0.13	0.88	0.48	0.51	0.52	0.27	0.4	0.57	0.53	0.34	0.53	-	0	
御荘湾	0.42	0.44	0.42	0.71	0.68	0.69	0.68	0.68	0.705	0.61	0.95	0.66	0.75	0.71	0.47	0.69	0.71	0.66	0.61	0.65	-	0.96	
四万十川	-0.11	0.14	0.04	0.06	-0.03	0.01	-0.08	-0.005	-0.04	0.03	0.47	-0.04	0.06	-0.04	-0.07	-0.06	0.01	0.04	-0.08	0.48	0.16	0.56	-

検出された78種類のハプロタイプのうち、Hap1が江戸川から木屋川までの本州及び四国地方の15地点のサンプルに共通し、Hap9が江戸川、四万十川、高梁川、揖斐川、伊万里湾の6地点に共通することが明らかとなった。本州、四国における各地点間のFst値をみると、多くの地点で遺伝的分化の程度は小さいか、あるいは中程度であった。このことから、最終氷期後に現在の東京湾から九州西部沿岸にかけて広大な干潟が形成され、この時期に本種が現在生息する地域まで分布域を拡大したと考えられ、地質年代的に比較的最近まで各地点間で遺伝的交流があったものと考えられる。

地域ごとに結果を見てみると、関東・中部地方の2地点(江戸川、揖斐川)では17サンプルから11種類のハプロタイプが検出され、うちHap7が共通していた。両地点間のFst値は0.13と遺伝的分化の程度は中程度であった(図6)。ハプロタイプ多様度は江戸川が0.8444、揖斐川が0.8571と両地点とも高く、各地点に固有のハプロタイプが多数検出されたことから、今後両地点において遺伝的分化がさらに進行していくものと思われる。

中国地方(福山市を除く)の5地点(高梁川、笠岡、沼田川、佐波川、木屋川)45サンプルから32種類のハプロタイプが検出され、うち3種類が共通ハプロタイプであった。ハプロタイプ多様度は0.8444から0.9524と高く、各地点間のFst値はから-0.02から0.07と遺伝的分化の程度は小さかった。これは、中国地方は各地点間の距離があまり地理的に離れておらず、比較的最近まで遺伝的交流があったためと考えられる。ただし、各地点に固有のハプロタイプが数多くみられることから、遺伝的分化が進行していると考えられる。

木屋川河口には広大な干潟があり、トビハゼの営巣に適した粒子の細かい泥が厚く堆積しており、多数のトビハゼが生息していた。サンプリングの際には仔稚魚も多くみられ、再生産の状況も良好であるといえる。

福山市の6地点（芦田川、新川、羽原川、グリーンパーク、本郷川、藤井川）の109サンプルから51種類のハプロタイプが検出され、うち14種類が共通ハプロタイプであった。各地点間のFst値は-0.04から0.02と遺伝的分化の程度は小さかった。芦田川以外の5地点が隣接しており、芦田川もこの5地点と近い位置にあるため、ごく最近まで遺伝的に交流があったと考えられる。また、固有のハプロタイプも各地点に分布していることから、今後、遺伝的分化が進行していくものと考えられる。

四国地方の5地点（国領川、中山川、加茂川、御荘湾、四万十川）では55サンプルから32種類のハプロタイプが検出され、うち3種類が共通ハプロタイプであった。Fst値は御荘湾と他の4地点間のみ非常に高かったが、それ以外の地点間では-0.07から0.06と低く、遺伝的分化の程度は小さかった。ハプロタイプ多様度は御荘湾のみ0.4762と低かったが、それ以外の地点は0.9から0.9778と全地点で非常に高く、各地点に固有のハプロタイプが多数存在することから、四国地方の個体群は今後遺伝的分化が進行していくものと思われる。御荘湾のサンプルから検出されたハプロタイプは2種類のみで、他の4地点と共通するハプロタイプはなく、どちらも固有のものであったことから、地理的隔離により遺伝的分化が進行していることが窺えた。

九州・沖縄地方の5地点（曾根干潟、伊万里湾、鹿島、羽地内海、佐敷干潟）30サンプルから20種類のハプロタイプが検出され、うちHap30が共通していた。共通のハプロタイプが1種類しかなく、ほとんどが地点ごとに固有のハプロタイプであったのは、それぞれの地点が地理的に隔離されているためと考えられる。ハプロタイプ多様度は佐敷干潟以外の4地点では0.8333から1と非常に高かったが、佐敷干潟は0.25と非常に低かった。鹿島ではトビハゼが数多く生息していることが確認でき、解析個体数が少ないながらも、6種類中4種類の固有のハプロタイプが検出され、ハプロタイプ多様度も1と非常に高かった。これらことから、鹿島におけるトビハゼの生息及び再生産の状況は良好であると考えられる。一方、伊万里湾ではトビハゼの営巣が確認できず、また生息を確認できた個体も採集した成魚5個体のみであり、仔稚魚がみられず再生産の見込みが少ないことから、伊万里湾の個体群は危機的状況にあると考えられる。佐敷干潟の個体群についてはハプロタイプが10個体中2種類しか検出されず、ハプロタイプ多様度も0.25と極端に低く、遺伝的に危機的状況にあると考えられる。

トビハゼと同じく国内の沿岸域に生息するマダイのD-loop領域を解析した「mDNA D-ループのRFLP分析による太平洋中区マダイの集団構造(矢富・沼知1998)」の解析結果では、太平洋中区におけるマダイのハプロタイプ多様度は平均 $h=0.927$ であり、離島である神津島以外の8地点では、ある程度の地理的局

所性を持つとしても明らかな遺伝的分化は認められなかったと結論づけられている。全国のとびはぜのハプロタイプ多様度の平均は $h=0.9083$ であり、地点により差はあるものの、全国の個体群がおおむね高い遺伝的多様性をもつことが明らかとなった。また、とびはぜと同じく準絶滅危惧に指定されている、台湾ヒライソモドキの日本沿岸における遺伝的集団構造(川根・和田 2015)と結果を比較すると、ハプロタイプ多様度の平均は $h=0.713$ であり、各地点の F_{st} 値の比較より本州・九州の個体群間では遺伝的分化の程度が小さく、鹿児島県や沖縄県の離島などの個体群では地理的隔離による遺伝的分化が大きいことがわかる。とびはぜも今回の結果から、離島など地理的に隔離された生息地における個体群では遺伝的分化の程度が大きいことが明らかとなった。今回の解析結果から、多くの地点で固有のハプロタイプが複数検出されたことから、国内のとびはぜの保全を実施する際には、各生息地点に固有の個体群が形成されていることを考慮し、生息地点ごとに適切な保全が行われるべきだと考えられる。

(2) 日本産とびはぜのミトコンドリア DNA 遺伝子 (ND5) 領域に基づく遺伝的集団構造の解析

本研究で検出されたハプロタイプ数とハプロタイプ多様度を、表 5 に示した。また、各地点におけるハプロタイプ数と解析個体数を図 7、8 に示した。今回解析を行った 5 地点 39 個体のほかに、解析済みの芦田川 10 個体、グリーンパーク 8 個体、羽原川 6 個体、新川 8 個体、藤井川 10 個体、中山川(禎瑞)6 個体の 6 地点 48 個体のデータを用い、本研究の結果に加えた。その結果、11 地点 87 個体から 33 種類のハプロタイプが検出された。

共通ハプロタイプとして、瀬戸内海のみ共通ハプロタイプ「Hap2 と Hap5」、瀬戸内海から佐賀県にかけての共通ハプロタイプ「Hap1 と Hap6」が検出された。佐賀県鹿島では、共通ハプロタイプである「Hap1 と Hap6」以外は固有のハプロタイプが分布しているが、佐賀県伊万里湾では「Hap1 と Hap6」のみ分布していた。また、各地点において分布している固有ハプロタイプ数は、芦田川 1 種類、藤井川 5 種類、グリーンパーク 1 種類、羽原川 4 種類、中山川(禎瑞)3 種類、本郷川 1 種類、鹿島 5 種類、木屋川 1 種類、高梁川 3 種類であった。今回の解析では、羽原川と伊万里湾における固有ハプロタイプは検出されなかった。全体のハプロタイプ多様度は 0.906 であり、ほとんどの地点で 0.800 以上と高い値であったが、佐賀県伊万里湾のみ 0.600 と低い値であった。

表5 各地点で検出されたハプロタイプとハプロタイプ多様度

	出現個体数	芦田川	藤井川	グリーンパーク	羽原川	柳津	中山川	本郷川	伊万里湾	鹿島	木屋川	高梁川
Hap 1	13	2		1		1			3	3	1	2
Hap 2	20	3	2	2		2	3	2			3	2
Hap 3	3	2										1
Hap 4	1	1										
Hap 5	12	1	1	2	1	1		1			4	1
Hap 6	5		1					1	2	1		
Hap 7	1		1									
Hap 8	1		1									
Hap 9	3		1	1		1						
Hap 10	1		1									
Hap 11	1		1									
Hap 12	1		1									
Hap 13	1			1								
Hap 14	2			1		1						
Hap 15	1				1							
Hap 16	3				1	2						
Hap 17	1				1							
Hap 18	1				1							
Hap 19	1				1							
Hap 20	1						1					
Hap 21	1						1					
Hap 22	1						1					
Hap 23	1							1				
Hap 24	1									1		
Hap 25	1									1		
Hap 26	1									1		
Hap 27	1									1		
Hap 28	1									1		
Hap 29	1										1	
Hap 30	2										1	1
Hap 31	1											1
Hap 32	1											1
Hap 33	1											1
ハプロタイプ多様度	0.822	0.977	0.928	1	0.928	0.8	0.9	0.6	0.916	0.8	0.955	

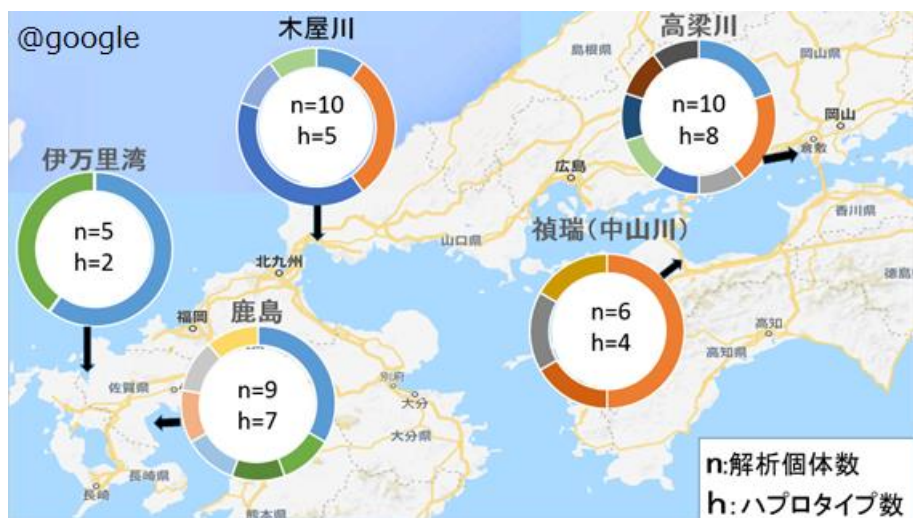


図7 中四国・九州で検出されたトビハゼのハプロタイプ



図8 福山市で検出されたトビハゼのハプロタイプ

表6 各地点間における Fst 値

	広島県 福山市 芦田川	広島県 福山市 藤井川	広島県 福山市 グリーン パーク	広島県 福山市 羽原川	広島県 福山市 柳津	広島県 福山市 本郷川	愛媛県 西条市 禎瑞	佐賀県 伊万里市 伊万里湾	佐賀県 有明海 鹿島	山口県 下関市 木屋川	岡山県 倉敷市 高梁川
芦田川	—	-0.04	-0.02	-0.07	0.1	-0.01	-0.06	0.32	0.15	0	-0.06
藤井川	—	—	-0.03	-0.06	0.06	-0.66	-0.04	0.25	0.14	0	-0.02
グリーン パーク	—	—	—	-0.06	-0.09	-0.05	0.06	0.18	0.13	-0.07	-0.01
羽原川	—	—	—	—	0	-0.05	-0.03	0.26	0.15	-0.05	-0.04
柳津	—	—	—	—	—	0.02	0.22	0.18	0.13	-0.02	0.1
本郷川	—	—	—	—	—	—	0.02	0.06	0.11	-0.05	0
禎瑞	—	—	—	—	—	—	—	0.39	0.17	0.09	-0.03
伊万里湾	—	—	—	—	—	—	—	—	0.09	0.21	0.29
鹿島	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.13	0.15
木屋川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	-0.01
高梁川	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

検出されたハプロタイプの分布状況をもとに、地点間における遺伝的分化の程度を表した Fst 値を算出した結果(表6)、Fst 値は Min=-0.09、Max=0.36 であり、佐賀県伊万里湾を基準とした[伊万里湾—芦田川]、[伊万里湾—藤井川]、[伊万里湾—グリーンパーク]、[伊万里湾—羽原川]、[伊万里湾—柳津]、[伊万里湾—中山川(禎瑞)]、[伊万里湾—木屋川]、[伊万里湾—高梁川]と、佐賀県鹿島を起点とした[鹿島—芦田川]、[鹿島—羽原川]、[鹿島—中山川(禎瑞)]、[鹿島—高梁川]において、Fst=0.15以上の大きな遺伝的分化を確認した。しかし、[伊万里湾—本郷川]では地理的に大きく離れているにも関わらず、Fst=0.06と中程

度の分化にとどまった。また、[柳津—藤井川]においては同じ湾内にも関わらず $F_{st}=0.06$ であった。

本研究の解析より、各地点から固有ハプロタイプが確認されたこと、佐賀県伊万里湾を除く全ての地点でハプロタイプ多様度が 0.8 以上と高い値であることから、ほとんどの地点において遺伝的多様性が高いことが明らかとなった。 F_{st} 値は、伊万里湾を基準とした地点間において、ほとんどが $F_{st}=0.15$ 以上の大きな分化であった。しかし、その他の瀬戸内海域の干潟においては大きな遺伝的分化は確認されなかった。地理的に大きく離れている[伊万里湾—本郷川]で $F_{st}=0.06$ と中程度の分化となったのは、本郷川における解析数が少なく十分な比較が行えなかったことも影響していると考えられることから、今後は本郷川の解析数を増やして比較する必要がある。

本研究で瀬戸内海東部から九州北西部にかけて共通ハプロタイプの分布が確認されたことから、本種はかつて日本列島が陸続きであった時代に広範囲に渡って遺伝的交流があり、その個体群が分化していったものと考えられた。しかし、本種と同様に干潟に生息するハゼ科のムツゴロウ *Boleophthalmus pectinirostris* の mtDNA 調節領域における遺伝的集団構造の解析(兼森ら 2006)によると、日本産ムツゴロウの固有ハプロタイプは最終氷期(1.5~1.8 万年前)で出現したのではなく、以前に大陸から分化したと推察している。トミヨ属個体群の分岐年代推定に用いられた mtDNA 調節領域の進化速度 0.98–2.71%/100 万年(Takahashi & Goto 2011)をムツゴロウに適用すると、大陸分岐から 96–265 万年経過したことになる。推定分岐年代に大陸から分岐したとすると、7–8 万年周期で起きていた海岸線の進退に伴って分布域を移動させながら個体群が維持されたと推察している。トビハゼもムツゴロウ同様の環境に生息し、中国大陸や朝鮮半島にも分布していることから、トビハゼもまた、最終氷期に大陸個体群から分化した個体群が日本各地に取り残され分化したのではなく、最終氷期以前に分化した可能性も考えられる。

広島県福山市内の芦田川と、松永湾内の 5 地点(藤井川、本郷川、Green Park、羽原川、柳津)において固有ハプロタイプが確認され、6 地点のハプロタイプ多様度が 0.822~1 と極めて高いことから遺伝的多様性は高いといえる。松永湾の各地点間における F_{st} 値では大きな遺伝的分化は認められなかったが、固有ハプロタイプ数が藤井川で 5 種類(9 種類中)、グリーンパークで 1 種類(6 種類中)、羽原川で 4 種類(6 種類中)、本郷川で 1 種類(4 種類中)の合計 11 種類(21 種類中)と半数近く検出されたことから、今後、松永湾における遺伝的分化は進行するものと思われる。また、トビハゼの生息も多く確認できることから、松永湾におけるトビハゼの生息状況および再生産状況は良好だと考えられる。

佐賀県の 2 地点(伊万里湾、鹿島)では、鹿島は伊万里湾との共通ハプロタイ

ブ以外は固有ハプロタイプが分布していた。これは、鹿島の立地が有明海・島原湾の入り組んだ地形の最奥にあるため、他地域との隔離が要因であると考えられる。鹿島ではトビハゼの生息が多く確認され、ハプロタイプ多様度も 0.916 と高く、鹿島においてもトビハゼの生息状況は良好だと考えられる。しかし、伊万里湾ではハプロタイプ多様度が 0.06 と他地域と比較して低かったことから、遺伝的多様性が他地点と比較して低いだけでなく、トビハゼの生息、営巣を殆ど確認できず、また、伊万里湾にて採集できた 5 個体全てが 6 cm を超える大型個体であり、仔稚魚が確認できなかった。これらのことから、伊万里湾におけるトビハゼの生息状況および再生産の状況は危機的な状況であると言える。さらに、伊万里湾では港湾整備工事が行われており、生息環境の消失による再生産悪化を促進しているものと思われる。

今年度のサンプリング地点として候補に挙がっていたうちの 2 地点(香川県高松市、兵庫県高砂市)では、トビハゼの生息が確認できなかった。兵庫県高砂市のホームページ上の情報ではあるが、同市加古川でトビハゼの生息確認地と思われる写真が掲載されており(高砂市 2015)、現地調査したところ河口域で港湾整備工事が行われており、また、付近の泥を確認してみると土砂が堆積しており、トビハゼが営巣できる適当な泥環境ではなかった。本種の生息が確認できた地点の泥質は、いずれも柔らかい。また、生息が確認できた岡山県高梁川でも一帯の干潟で生息確認ができたわけではなく、ごく一部の泥質が柔らかい区画でのみ生息が確認されたことから、トビハゼの生息環境は限定的なものであることが分かった。

今回の mtDNA 遺伝子領域 ND5 領域による解析の結果、ほとんどの地点でハプロタイプ多様度が高く、固有ハプロタイプの分布が多く確認されたことから、伊万里湾を除く全地点の遺伝的多様性は高いといえる。また、九州地方と中国・四国地方間において F_{st} 値が 0.15 以上の地点が確認されたことから、本種の遺伝的分化は高いと考えられる。とくに、ほとんどの地点間で大きな遺伝的分化を示した九州地方の地理的分化は進行しているものと考えられ、今後、九州地方における個体群の独立の可能性が推察された。これらのことから、本種における地域個体群の保全が重要であることが示唆された。とくに、今回の解析で危機的な生息状況であると判明した佐賀県伊万里湾における地域個体群保全は、急務であると考ええる。トビハゼは準絶滅危惧種とされているが、都府県ごとではなく各生息地ごとの生息状況、再生産状況を調査したうえで保全単位の設定を行い、都府県における保全活動の細分化を行う必要があるものと思われる。

(3) 瀬戸内海におけるアミメハギのミトコンドリア DNA 非遺伝子領域(D-loop)に基づく遺伝的集団構造の解析

大浜 (n=4)、生口島 (n=4)、高根島 (n=4)、伯方島 (n=9)、大島 (n=8)、大三島 (n=10) の計 39 個体における解析の結果、34 個のハプロタイプが検出された (表 7)。共通するハプロタイプは Hap1、2、8、21 のみであった。隣り合う島である「伯方島と大三島 (Hap1, 8)」、「伯方島と大島 (Hap2)」、島間の距離が比較的離れている「大浜と大島 (Hap21)」においても、同じハプロタイプが検出された。

表 7 各地点において解析された個体のハプロタイプ

	伯方島	生口島	高根島	大浜	大三島	大島
Hap 1	1				2	
Hap 2	1					1
Hap 3	1					
Hap 4	1					
Hap 5	1					
Hap 6	1					
Hap 7	1					
Hap 8	1				1	
Hap 9	1					
Hap 10		1				
Hap 11		1				
Hap 12		1				
Hap 13		1				
Hap 14			1			
Hap 15			1			
Hap 16			1			
Hap 17			1			
Hap 18				1		
Hap 19				1		
Hap 20				1		
Hap 21				1		1
Hap 22					1	
Hap 23					1	
Hap 24					1	
Hap 25					1	
Hap 26					1	
Hap 27					1	
Hap 28					1	
Hap 29						1
Hap 30						1
Hap 31						1
Hap 32						1
Hap 33						1
Hap 34						1

Hap1 のみ、大三島の 1 地点で 2 個体みられた。Hap1、2、8、21 以外のハプロタイプは、1 個体からのみ検出された (図 9)。

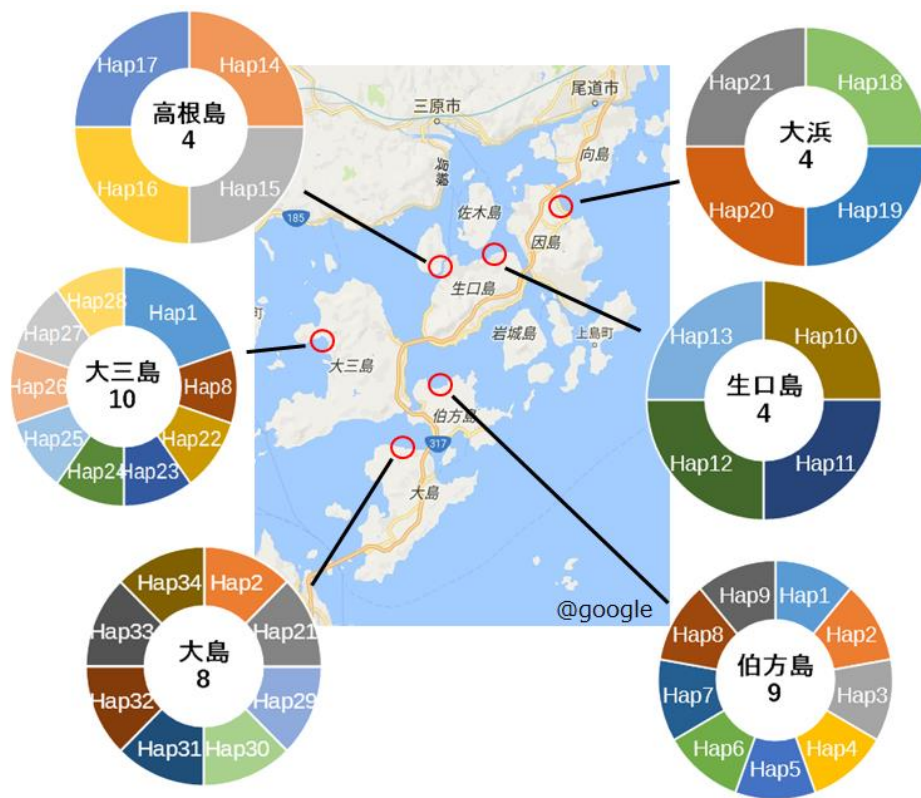


図9 各地点で検出されたハプロタイプ
(円グラフ内の数字は、個体数)

ハプロタイプは 3 つのクラスターに分類され、それぞれの地点で異なるクラスターに含まれるハプロタイプがみられた (図 10)。

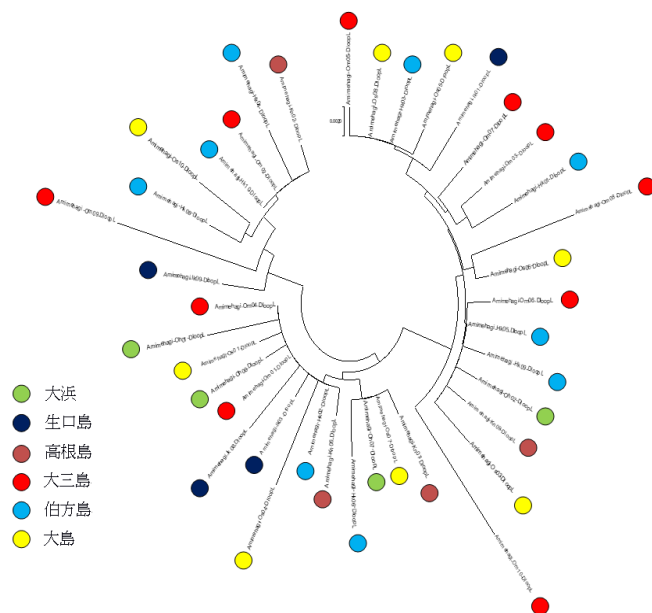


図 10 各島で検出されたハプロタイプネットワーク

ハプロタイプ多様度 (h) は大三島で 0.9778、その他の地点では 1.000 で、全体平均は 0.9919 で、非常に多様であり、島ごとに特異的なハプロタイプがみられた。しかし、遺伝的分化を示す F_{st} 値はすべての地点間において 0.05 以下と低く、遺伝的分化は認められなかった (表 8)。

表 8 各地点間における F_{st} 値 (対角線左下側) と P 値

	大浜	生口島	高根島	大三島	伯方島	大島
大浜		0.991	0.991	0.4595	0.0213	0.6577
生口島	-0.0923		0.991	0.7478	0.6487	0.8108
高根島	-0.0958	-0.1472		0.7297	0.7838	0.6847
大三島	0.0283	-0.0367	-0.0294		0.6577	0.991
伯方島	0.0372	-0.0772	-0.0874	-0.0288		0.6937
大島	-0.0941	-0.0724	-0.0427	-0.0559	-0.038	

本種の芸予諸島東部海域におけるハプロタイプ多様度 ($h=0.9919$) は、同じく沿岸の藻場の優占種とされているメバル類 ($h=0.9661$) (奥谷 2015) と比較すると同等に高い値であった。これは他の生息域の魚種であるカサゴ ($h=0.8121\sim 0.9035$) (矢富ら 2005) や、ハモ ($h=0.963\sim 0.982$) (北西ら 2013) と比較しても同等であり、高い遺伝的変異性がみられ、地域ごとに特異性がみられた。倉橋島 (清水ら 2010) や小田和湾 (Ishida and Tanaka 1980) での調査では、アミメハギの成魚が周年観察され、移動しない個体がいると報告されており、このことから地域間での交流が少ないことが推察される。今回の解析結果から地域ごとに特異性がみられたのは、本種が粘着卵を産み、藻場から大きく移動しないとされていることが要因ではないかと考えられる。

しかし、同地点において同じハプロタイプの割合は少なく、様々なハプロタイプで構成されている。共通するハプロタイプのうち、距離の離れた「大島と大浜」で Hap21 が検出された。本種は遊泳力が低いが、稚魚期に流れ藻に付随し、全長 20 mm を越える頃から流れ藻を離れ、直ちに沿岸のアマモ場などに移動することが知られている (内田 1927)。今回唯一のデータではあるが、「大島と大浜」の地理的に距離のある 2 地点において一致するハプロタイプが検出されたことから、流れ藻に起因する地域間交流の可能性が示唆された。

今後は、本種の D-loop 領域の解析個体数を増やすことにより、より詳細な遺伝的集団構造を明らかにする必要がある。また、より感度の高いマイクロサテライト DNA や SNP (一塩基多型) 解析を行うことで、各島の藻場と、流れ藻に付随している個体の解析を併せて行うことで、流れ藻に付随する稚魚の起源を探ることが可能になると考えられる。

(4) 広島県備後地域におけるカワムツのミトコンドリア DNA 非遺伝子領域 (D-loop) に基づく遺伝的集団構造の解析

2017年8月2日から同年9月28日までの期間に、広島県福山市の芦田川水系有地川 (1地点)、山南川 (2地点)、羽原川 (1地点)、本郷川 (3地点) で、さらに尾道市の藤井川 (4地点) において、タモ網と釣りによりカワムツを採集した。

解析の結果、有地川:大字柞磨付近 (Ari) …8 個体、山南川:善徳寺付近 (Za-z) …8 個体、山南川:沼隈特別支援学校付近 (Za-n) …3 個体、羽原川:山陽自動車道高架下 (Ha) …7 個体、本郷川:妙皇寺付近 (Ho-m) …8 個体、本郷川:ひかり苑養護老人ホーム付近 (Ho-h) …9 個体、藤井川:158号線 光林寺付近 (Fu-1) …5 個体、藤井川:木ノ庄町木門田付近 (Fu-k) …8 個体、藤井川:深町上組公民館付近 (Fu-h) …8 個体の計 64 個体より Hap 1 および Hap 2 の 2 つのハプロタイプが検出され、ハプロタイプ多様度は 0.2892 となった (図 1 1)。

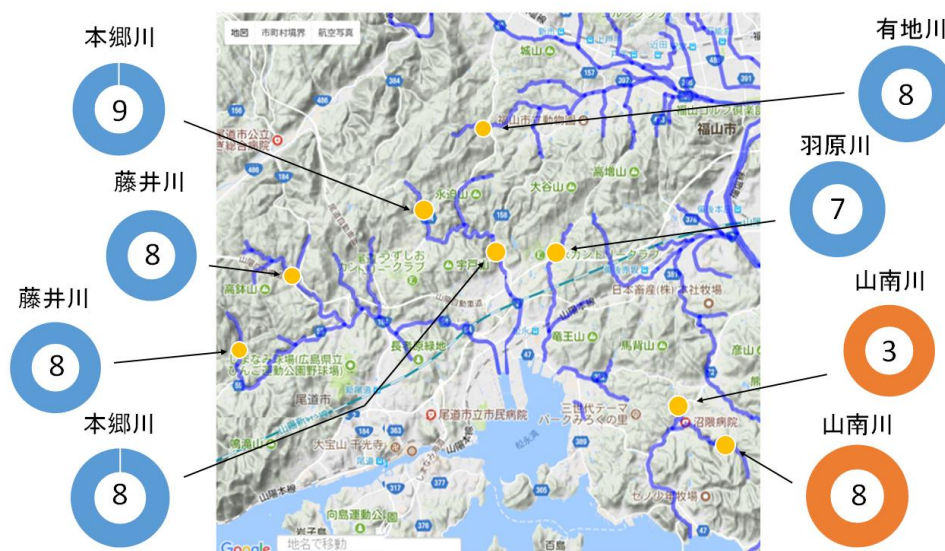


図 1 1 各地点で検出されたハプロタイプ

有地川 (Ari)、羽原川 (Ha)、本郷川 (Ho-m・Ho-h)、藤井川 (Fu-1・Fu-k・Fu-h) の計 7 地点からは Hap 1 のみが検出され、有地川・羽原川・本郷川・藤井川の 4 河川におけるカワムツ集団は、同一の母系集団であることが明らかとなった。

山南川 (Za-z・Za-n) の 2 地点からは Hap 2 のみが検出され、山南川におけるカワムツ集団は有地川・羽原川・本郷川・藤井川の集団とは別の集団である

ことが明らかとなった。

Hap 1 は、有地川 (Ari)、羽原川 (Ha)、本郷川 (Ho-m・Ho-h)、藤井川 (Fu-1・Fu-k・Fu-h) の計 53 個体で検出され、有地川・羽原川・本郷川・藤井川のカワムツは同一の母系集団であった。これは、過去に 4 河川が繋がっていたか、または一時的に繋がっていた可能性が考えられる。現在でも各河川の支流が非常に近くまで接している地域があり、その間には多数の池が存在するためその名残ではないかと考えられる。また、池の他に水田も多くあり、河川の想定される氾濫水域が重なっている地域もあることから、大雨が降った際には河川の一部が繋がっていた可能性は大きいと考えられる。

Hap 2 は山南川 (Za-z・Za-n) の計 11 個体で検出され、他の 4 河川とは別の集団であった。これは山南川が流れる沼隈半島が、3~4 千年前は神辺平野一帯が「穴の海」と称され海水が流入していた (国土交通省河川局 2004) ため、より細長く独立性が高い半島であったこと、現在も 3 方を海に囲まれ、平野部とは接しているが彦山や馬背山などにより分断されており、他の集団と交流がなかったことが、遺伝的分化の起因であると考えられる。

ハプロタイプが 2 種類しか検出されなかったが、他の淡水魚と比較しても、「大阪府石津川水系のヌマムツ集団の遺伝解析」(松岡ら 2016) では計 7 ハプロタイプが、「流域の連続性と分断がホトケドジョウの遺伝的構造・多様性に与える影響」(西田ら 2012) においても計 30 ハプロタイプが検出されているため、非常に少ない。この要因としては、サンプリング地を備後地域という狭域に限定したためであることが考えられる。よって今後は、沼隈半島の芦田川水系論田川や岡山方面、日本海側、沼田川水系の河川や広島市方面にサンプリング地域を拡大する必要がある。

また今回は、ミトコンドリア DNA を用いて母系の遺伝解析を行ったが、本種には雄が雌を巡る順位関係や縄張りがあり、順位が高い雄から優先的に産卵行動をとる。そのため、父系遺伝は本種の遺伝的集団構造に大きく影響を与えていると考えられる。そこで今後は、核 DNA に着目し、マイクロサテライト DNA 解析や SNP (一塩基多型) 解析など、他の解析方法を試み、父系遺伝の影響を鑑みてさらに解析を行う必要がある。これにより、河川内におけるカワムツの遺伝的集団構造がより詳細に明らかとなり、さらに河川間や地域間の集団構造が一層明確になるであろう。

(5) 環境 DNA 分析による藻場の魚類相予備調査

瀬戸内海の芸予諸島の一つである広島県因島の藻場における魚類相を、環境 DNA 分析による予備調査を試みた。

海水の採集は、因島の北東部に位置する大浜海岸と、因島の北西部に位置す

る重井海岸にて、2017年の8月と11月に行った。その結果、8月においては、大浜海岸において「ボラ、ミナミメダカ、ニホンウナギ、サヨリ、マアジ属の1種、スズキ、クサフグ、アベハゼ、シロギス、ニジマス、クロダイ、シマイサキ、キチヌ、チチブ」の14種が検出された。重井海岸においては、「ボラ、コショウダイ、キュウセン、メバル属の1種、クサフグ、マダイ、アカオビシマハゼ、クロダイ、ウミタナゴ」の9種が検出された。これらの内、共通する種は「ボラ、クサフグ、クロダイ」の3種であった。大浜海岸において、ミナミメダカとニジマスが検出された。ミナミメダカにおいては、大浜海岸の直ぐそばにある福山大学附属内海生物資源研究所裏の水路に生息している本種のDNAを検出したものと考えられる。また、ニジマスにおいては、同研究所で飼育していた本種のDNAを検出したものと考えられる。

11月においては、大浜海岸において「クサフグ、コノシロ、キジハタ、メバル類、アミメハギ、クロダイ、ハオコゼ、マダイ、ボラ、ウミタナゴ、イワシの1種、イソギンポ、アゴハゼ、ハゼの1種、カタクチイワシ」の15種が検出された。重井海岸においては、「クサフグ、コノシロ、カワハギ、コチ属の1種、サッパ、メナダ、ドロメ、シロギス、クロダイ、コブダイ、ボラ、ウミタナゴ、アゴハゼ、ハゼの1種、ヒメハゼ、カタクチイワシ」の16種が検出された。これらの内、共通する種は「クサフグ、コノシロ、クロダイ、ボラ、ウミタナゴ、アゴハゼ、ハゼの1種、カタクチイワシ」の8種であった。

当研究室では、長年にわたって大浜海岸と重井海岸の藻場において、サデ網やタモ網等によるサンプリングを続けている。その採集結果と照らし合わせた場合、今回の環境DNA分析によって検出された魚種は、これまでに採集された魚種と一致した。今後は、瀬戸内海芸予諸島の各藻場における魚類相を、環境DNA分析によって明らかにしていきたい。

【担当：山岸幸正】

「瀬戸内海沿岸域の藻場生態系における海藻類の種構成および 系統地理的解析」

(1) 福山・因島の藻場の構成種と経年変化

これまで広島県尾道市因島八重子島、福山市鞆町玉津島などの海岸において海藻種の調査を行った。2017年度は鞆町玉津島において調査を行い、過去に鞆町および因島で行った調査結果と比較して、各地の海藻相の違いや約10年間の変化について考察した。

海藻種の調査は、大潮の干潮時に胴付長靴を着用して潮間帯に生育する海藻種を採集し、後で形態観察を行って種同定を行った。因島八重子島では2005年度

および 2007 年度～2016 年度に調査を行い、2005 年度および 2007 年 3 月～2011 年 4 月までは毎月調査を行い、2011 年 6 月～2016 年 12 月までは偶数月のみ調査を行った。海藻種の解析において、因島における年度は本研究では 2 月から翌年 1 月までとした。福山市鞆町玉津島では 2006 年度および 2017 年度に調査を行った。なお、2006 年度は 2006 年 2 月～2007 年 1 月まで毎月調査を行い、2017 年度は 4 月～8 月まで偶数月、9 月以降は毎月調査を行った。

本研究の結果、調査期間全体で確認された海藻種は、因島八重子島では緑藻 43 種、褐藻 61 種、紅藻 137 種、合計 241 種であり (Table 1)、鞆町玉津島では緑藻 26 種、褐藻 35 種、紅藻 84 種、合計 145 種であった (Table 2)。2 地点の合計は、緑藻 44 種、褐藻 65 種、紅藻 141 種、合計 250 種であった。

因島の経年変化として、年度ごとの種数では、2009 年度の 194 種をピークに 2016 年度の最小 139 種まで減少傾向がみられた (Table 1, Fig. 1)。緑藻、褐藻に比べて紅藻の減少が大きく、このことが全体の種数減少に強く影響している。季節的には、春の種数は年度によってあまり変わらないが、夏の減少は顕著であった。八重子島で近年採集されなくなった種として紅藻はニクムカデ、ホシガタイバラ、ヒロハフシツナギ、ウブゲグサ、ジャバラノリ、シンカイユナなど多くの種があげられる。また、瀬戸内海の代表的な藻場構成種である褐藻クロメは、八重子島では 2005 年から 5～6 年間は非常に多く生育していたが、次第に衰退して 2013 年以降はほとんどみつからずクロメ場は消滅した。

鞆の経年変化としては、海藻種数は 2006 年度の 129 種から 2017 年度の 114 種に減少していた (Fig. 1)。一方の年度のみ確認された種は、2006 年度のみ種が 31 種あるのに対して 2017 年度のみ種は 16 種と少ないことなどから、約 10 年間で種数が減少している傾向が認められた。2006 年度と 2017 年度で、緑藻の種数 (それぞれ 20 種、22 種) と褐藻の種数 (それぞれ 29 種、29 種) はほぼ同じであるのに対し、紅藻は 80 種から 63 種となり、因島と同様に特に紅藻種が減少していることが明らかとなった (Fig. 1)。2006 年度には岩礁域に紅藻マクサ、ムカデノリ、フダラク、カズノイバラ、カバノリ、ミゾオゴノリなどが多くみられた一方、2017 年度にはこれらの紅藻はわずかしみられなかった。その一方で 2017 年度に増加した種も一部あり、2006 年度にあまり目立たなかった紅藻ショウジョウケノリが、2017 年度春には玉津島の海岸線の広範囲にわたって非常に多く生育していた。ガラモ場を形成する褐藻ホンダワラ属を比較すると、2006 年度にはヒジキが潮間帯に普通に生育しており、潮下帯にはアカモク、シダモク、タマハハキモクが生育していた一方、2017 年度にはヒジキの数はまばらで藻体も短いものが多く、潮下帯にみられたのはタマハハキモクのみでアカモクやシダモクの着生は確認できなかった。こうした海藻種の減少傾向は、近年の高水温 (Table 3) の影響が考えられるが、詳しい要因についてはさ

らに検討が必要である。

因島に生育する海藻種のうち、紅藻ホソヤナギノリの分類について北海道大学大学院理学研究科のメンバーと共同研究を行い、以下のとおり分類学的成果が得られたので報告する。ホソヤナギノリは日本各地に分布する海藻種で、これまで分類はイギス目フジマツモ科ヤナギノリ属 *Chondria* に所属する *Chondria tenuissima* (Wetherling) C. Agardh とされていたが、本研究により、日本各地の本種藻体を材料として *rbcL*、small subunit rRNA および *cox1* 遺伝子を用いた分子系統解析および形態観察の結果から、本種はヤナギノリ属とは系統的に異なる属であることが明らかとなり、ホソヤナギノリをタイプ種とする新属 *Neochondria* 属を作り、ホソヤナギノリの学名は新たに *Neochondria ammophila* S. Sutti, M. Tani, Y. Yamagishi, T. Abe & K. Kogame として発表した (Sutti *et al.* 2018、研究成果発表原著論文の欄に記載)。

Table 1. 続き.

			年度										
			05	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16
105	紅藻	ベニシロ目	ベニシロ目	ベニシロ目	<i>Stylosoma chabii</i>								
106					<i>Stylosoma ceras-carot</i>								
107	藻類	ホシノ目	ホシノ目	ホシノ目	<i>Erythrotrichia carnea</i>								
108					<i>Erythrotrichia incrassata</i>								
109					<i>Erythrotrichia purpurina</i>								
110					<i>Schlegelia subnigra</i>								
111	ウツク目	ウツク目	ウツク目	ウツク目	<i>Bangia fasciculata</i>								
112					<i>Bangia glaucothalassia</i>								
113					<i>Pyramis subuloceras</i>								
114					<i>Pyramis yezoensis</i>								
115	アノカサ目	アノカサ目	アノカサ目	アノカサ目	<i>Acanthella kawai</i>								
116					<i>Acanthella sp.</i>								
117	ベニマサ目	ベニマサ目	ベニマサ目	ベニマサ目	<i>Miktonetia rubra</i>								
118	サンゴ目	サンゴ目	サンゴ目	サンゴ目	<i>Amphioxus ornata</i>								
119					<i>Corallina pilulifera</i>								
120					<i>Jania sp.</i>								
121					<i>Lithothamnion okamurae</i>								
122					<i>Spongites yamadae</i>								
123					<i>Metabothrodion sp.</i>								
124	サンゴ目	サンゴ目	サンゴ目	サンゴ目	<i>Galathea japonica</i>								
125					<i>Galathea oryzae</i>								
126					<i>Galathea elegans</i>								
127					<i>Pterodactylia tenax</i>								
128	カサガイ目	カサガイ目	カサガイ目	カサガイ目	<i>Asparagopsis tunicata</i>								
129					<i>Bonania japonica</i>								
130					<i>Delina japonica</i>								
131	スモ目	スモ目	スモ目	スモ目	<i>Chaetoceros socialis</i>								
132					<i>Hyalococcus ruyshuisii</i>								
133					<i>Gracilaria furcata</i>								
134					<i>Gracilaria tenax</i>								
135					<i>Haloschidium latissimum</i>								
136					<i>Chaetoceros kishinouyei</i>								
137					<i>Chaetoceros latissimus</i>								
138					<i>Chaetoceros giganteus</i>								
139					<i>Chaetoceros ocellatus</i>								
140					<i>Gracilaria leptolepis</i>								
141					<i>Cryptomonas yonsei</i>								
142					<i>Gracilaria sinensis</i>								
143					<i>Gracilaria carinata</i>								
144					<i>Gracilaria sinensis</i>								
145					<i>Gracilaria elliptica</i>								
146					<i>Gracilaria imbricata</i>								
147					<i>Gracilaria lanceolata</i>								
148					<i>Gracilaria tenax</i>								
149					<i>Polysiphonia affinis</i>								
150					<i>Polysiphonia lanceolata</i>								
151					<i>Rhynchospora sinensis</i>								
152					<i>Rhynchospora carinata</i>								
153					<i>Rhynchospora sinensis</i>								
154					<i>Rhynchospora sinensis</i>								
155					<i>Rhynchospora sinensis</i>								
156					<i>Rhynchospora sinensis</i>								
157					<i>Rhynchospora sinensis</i>								
158					<i>Rhynchospora sinensis</i>								
159					<i>Rhynchospora sinensis</i>								
160					<i>Rhynchospora sinensis</i>								
161					<i>Rhynchospora sinensis</i>								
162					<i>Rhynchospora sinensis</i>								
163					<i>Rhynchospora sinensis</i>								
164					<i>Rhynchospora sinensis</i>								
165					<i>Rhynchospora sinensis</i>								
166					<i>Rhynchospora sinensis</i>								
167					<i>Rhynchospora sinensis</i>								
168					<i>Rhynchospora sinensis</i>								
169					<i>Rhynchospora sinensis</i>								
170					<i>Rhynchospora sinensis</i>								
171					<i>Rhynchospora sinensis</i>								
172					<i>Rhynchospora sinensis</i>								
173	マコソ目	マコソ目	マコソ目	マコソ目	<i>Champia parvula</i>								
174					<i>Lomentaria sinensis</i>								
175					<i>Lomentaria kishinouyei</i>								
176					<i>Lomentaria sinensis</i>								
177					<i>Chrysiopsis wrightii</i>								
178					<i>Rhizoclonium sinense</i>								
179					<i>Rhizoclonium sinense</i>								
180					<i>Callithamnion corymbosum</i>								
181					<i>Ceramium sinense</i>								
182					<i>Antithamnion sinense</i>								
183					<i>Antithamnion sinense</i>								
184					<i>Antithamnion sinense</i>								
185					<i>Antithamnion sinense</i>								
186					<i>Antithamnion sinense</i>								
187					<i>Antithamnion sinense</i>								
188					<i>Antithamnion sinense</i>								
189					<i>Antithamnion sinense</i>								
190					<i>Antithamnion sinense</i>								
191					<i>Antithamnion sinense</i>								
192					<i>Antithamnion sinense</i>								
193					<i>Antithamnion sinense</i>								
194					<i>Antithamnion sinense</i>								
195					<i>Antithamnion sinense</i>								
196					<i>Antithamnion sinense</i>								
197					<i>Antithamnion sinense</i>								
198					<i>Antithamnion sinense</i>								
199					<i>Antithamnion sinense</i>								
200					<i>Antithamnion sinense</i>								
201					<i>Antithamnion sinense</i>								
202					<i>Antithamnion sinense</i>								
203					<i>Antithamnion sinense</i>								
204					<i>Antithamnion sinense</i>								
205					<i>Antithamnion sinense</i>								
206					<i>Antithamnion sinense</i>								
207					<i>Antithamnion sinense</i>								
208					<i>Antithamnion sinense</i>								
209					<i>Antithamnion sinense</i>								
210					<i>Antithamnion sinense</i>								
211					<i>Antithamnion sinense</i>								
212					<i>Antithamnion sinense</i>								
213					<i>Antithamnion sinense</i>								
214					<i>Antithamnion sinense</i>								
215					<i>Antithamnion sinense</i>								
216					<i>Antithamnion sinense</i>								
217					<i>Antithamnion sinense</i>								
218					<i>Antithamnion sinense</i>								
219					<i>Antithamnion sinense</i>								
220					<i>Antithamnion sinense</i>								
221					<i>Antithamnion sinense</i>								
222					<i>Antithamnion sinense</i>								
223					<i>Antithamnion sinense</i>								
224					<i>Antithamnion sinense</i>								
225					<i>Antithamnion sinense</i>								
226					<i>Antithamnion sinense</i>								
227					<i>Antithamnion sinense</i>								
228					<i>Antithamnion sinense</i>								
229					<i>Antithamnion sinense</i>								
230					<i>Antithamnion sinense</i>								
231					<i>Antithamnion sinense</i>								
232					<i>Antithamnion sinense</i>								
233					<i>Antithamnion sinense</i>								
234					<i>Antithamnion sinense</i>								
235					<i>Antithamnion sinense</i>								
236					<i>Antithamnion sinense</i>								
237					<i>Antithamnion sinense</i>								
238					<i>Antithamnion sinense</i>								
239					<i>Antithamnion sinense</i>								
240					<i>Antithamnion sinense</i>								
241					<i>Antithamnion sinense</i>								
242					<i>Antithamnion sinense</i>								

Table 2. 鞆町玉津島の海藻種リスト (2006 年度および 2017 年度).

					2006	2017	
					年度	年度	
					緑藻	20	22
					褐藻	29	29
					紅藻	80	63
					合計	129	114
1	緑藻	ヒビヅロ目	カブサアオリ科	カブサアオリ属 sp.	<i>Capsosiphon</i> sp.	■	■
2			カイミドリ科	ヒトエグサ	<i>Monostroma nitidum</i>	■	■
3			ヒビヅロ科	ウロスリックスインフレクサ	<i>Ullothrix implexa</i>	■	■
4	アオサ目	モツギヒトエグサ科	ヒメアオリ		<i>Blidingia minima</i>	■	■
5		アオサ科	タレツアオリ		<i>Ulva clathrata</i>	■	■
6			ヒラアオリ		<i>Ulva compressa</i>	■	■
7			キヌイトアオリ		<i>Ulva flexuosa</i>	■	■
8			ウスバアオリ		<i>Ulva linza</i>	■	■
9			アナアオサ		<i>Ulva pertusa</i>	■	■
10			アオサ属 sp.		<i>Ulva</i> sp.	■	■
11	シオグサ目	シオグサ科	ジュズモ属 sp.		<i>Chaetomorpha</i> sp.	■	■
12			ミヤビシオグサ		<i>Cladophora flexuosa</i>	■	■
13			ツヤナシシオグサ		<i>Cladophora opaca</i>	■	■
14			アサミドリシオグサ		<i>Cladophora sakaii</i>	■	■
15			ホソネダシグサ		<i>Rhizoclonium riparium</i>	■	■
16		カイゴロモ科	カイゴロモ		<i>Pseudocladophora conchopheria</i>	■	■
17	ミル目	ミル科	ミル		<i>Codium fragile</i>	■	■
18			ハイミル		<i>Codium lucasii</i>	■	■
19			クロミル		<i>Codium subtubulosum</i>	■	■
20			エゾミル		<i>Codium zezoense</i>	■	■
21	ハネモ目	ハネモ科	ネザシハネモ		<i>Bryopsis corticulans</i>	■	■
22			オバナハネモ		<i>Bryopsis hypnoides</i>	■	■
23			ナガホノハネモ		<i>Bryopsis muscosa</i>	■	■
24			ハネモ		<i>Bryopsis plumosa</i>	■	■
25		ツユノイト科	ボソツユノイト		<i>Derbesia marina</i>	■	■
26			ツユノイトクバ		<i>Derbesia tenuissima</i>	■	■
27	褐藻	シオミドリ目	シオミドリ科	アキネトスポラ属 sp.	<i>Acinetospora</i> sp.	■	■
28			シオミドリ		<i>Ectocarpus siliculosus</i>	■	■
29			タワラガタシオミドリ		<i>Hinckelia mitchellae</i>	■	■
30		イソブドウ科	キダシオミドリ		<i>Botrytella reinboldii</i>	■	■
31	イソガラ目	ニセイシノカワ科	ニセイシノカワ		<i>Pseudolithoderma subextensum</i>	■	■
32		イソガラ科	イソガラ		<i>Ralfsia fungiformis</i>	■	■
33			イソイワタケ		<i>Ralfsia verrucosa</i>	■	■
34	クロガシラ目	クロガシラ科	ヨツデクロガシラ		<i>Sphacelaria didichotoma</i>	■	■
35			ミツデクロガシラ		<i>Sphacelaria fusca</i>	■	■
36	アミジグサ目	アミジグサ科	ヤハズグサ		<i>Dictyopteris latiuscula</i>	■	■
37			アミジグサ		<i>Dictyota dichotoma</i>	■	■
38	ナガマツモ目	ナガマツモ科	フトモズク		<i>Tinocladia crassa</i>	■	■
39		ナミマクラ科	ヒルナミマクラ		<i>Blachista taeniaeformis</i>	■	■
40		ネバリモ科	ネバリモ		<i>Leathesia difformis</i>	■	■
41		シワノカワ科	シワノカワ		<i>Petrospongium rugosum</i>	■	■
42		モズク科	モズク		<i>Nemacystus decipiens</i>	■	■
43	ウイキョウモ目	ハバモドキ科	ハバモドキ		<i>Punctaria latifolia</i>	■	■
44		ヨコジマノ科	ヨコジマノ		<i>Striaria attenuata</i>	■	■
45	カヤモノ目	カヤモノ科	ウスカリフクロノリ		<i>Colpomenia peregrina</i>	■	■
46			カゴメノリ		<i>Hydroclathrus clathratus</i>	■	■
47			ウツロイワヒゲ		<i>Myelophycus cavus</i>	■	■
48			セイヨウハバノリ		<i>Petalonia fascia</i>	■	■
49			ウスカヤモ		<i>Scytosiphon gracilis</i>	■	■
50			カヤモノノリ		<i>Scytosiphon lomentaria</i>	■	■
51	ムチモ目	ムチモ科	ムチモ		<i>Mutimo cylindricus</i>	■	■
52	ウルシグサ目	ウルシグサ科	ケウルシグサ		<i>Desmarestia viridis</i>	■	■
53	エンブ目	チガイン科	ワカメ		<i>Undaria pinnatifida</i>	■	■
54	イシグ目	イシグ科	イロロ		<i>Ishige foliacea</i>	■	■
55	ヒバマタ目	ホンダワラ科	シヨロモク		<i>Myagropsis myagroides</i>	■	■
56			シダモク		<i>Sargassum filicinum</i>	■	■
57			ヒジキ		<i>Sargassum fusiforme</i>	■	■
58			アカモク		<i>Sargassum hornei</i>	■	■
59			タマハハキモク		<i>Sargassum muticum</i>	■	■
60			ウミトラノ		<i>Sargassum thunbergii</i>	■	■
61			エンドウモク		<i>Sargassum yendoi</i>	■	■

Table 2. 続き.

				2006	2017		
				年度	年度		
62	紅藻	ベニシロ目	ベニシロ科	ベニシロ	<i>Sylonema alsidii</i>	■	■
63		エリスロペルテイス目	ホシノト科	ホシノト	<i>Erythrotrichia carnea</i>	■	■
64				イトリボン	<i>Erythrotrichia parvatais</i>	■	■
65				イソハナビ	<i>Sahlbingia subintegra</i>	■	■
66		ウシケリ目	ウシケリ科	マルバアマノリ	<i>Pyropia suborbiculata</i>	■	■
67				スサビノリ	<i>Pyropia yezoensis</i>	■	■
68		アケロカエティウム目	アケロカエティウム科	ミルノベニ	<i>Audouinella howei</i>	■	■
69		サンゴモ目	サンゴモ科	ウスカリカニノテ	<i>Amphiroa zonata</i>	■	■
70				ピリヒバ	<i>Corallina pilulifera</i>	■	■
71				ヒライボ	<i>Lithophilum okamurae</i>	■	■
72				ウミサビ	<i>Spongites yendoi</i>	■	■
73				サビ属科sp.	<i>Melobesioideae sp.</i>	■	■
74		テングサ目	テングサ科	ヒメテングサ	<i>Gelidium divaricatum</i>	■	■
75				ハイテングサ	<i>Gelidium crinale</i>	■	■
76				マクサ	<i>Gelidium elegans</i>	■	■
77				ヨレクサ	<i>Gelidium vagum</i>	■	■
78			オバクサ科	オバクサ	<i>Pterocladia tenuis</i>	■	■
79		スキリ目	イソマツカ科	イソダンツウ	<i>Caulacanthus usutulus</i>	■	■
80			フノ科	フクロフノリ	<i>Giropeltis furcata</i>	■	■
81				マフノリ	<i>Giropeltis tenax</i>	■	■
82			ススカケベニ科	ススカケベニ	<i>Halarachnion latissimum</i>	■	■
83			スキリ科	シキンノリ	<i>Chondracanthus chamissoi</i>	■	■
84				カイノリ	<i>Chondracanthus intermedius</i>	■	■
85				ツノマダ	<i>Chondrus ocellatus</i>	■	■
86			イトフノ科	イトフノリ	<i>Geliosiphonia capillaris</i>	■	■
87			ムカデノ科	ムカデノリ	<i>Grateloupia asiatica</i>	■	■
88				ニグムカデ	<i>Grateloupia carnea</i>	■	■
89				ウツロムカデ	<i>Grateloupia catenata</i>	■	■
90				タンバノリ	<i>Grateloupia elliptica</i>	■	■
91				サクラノリ	<i>Grateloupia imbricata</i>	■	■
92				フダラク	<i>Grateloupia lanceolata</i>	■	■
93				ツルツル	<i>Grateloupia turururu</i>	■	■
94				キョウノヒモ	<i>Polyopes lanceolata</i>	■	■
95			イバラノ科	イバラノリ	<i>Hypnea asiatica</i>	■	■
96				カズノイバラ	<i>Hypnea flexicaulis</i>	■	■
97				フサガイバラ	<i>Hypnea sp.</i>	■	■
98			オキツノ科	ホノバノヒラサヤミ	<i>Amygdalopsis catenata</i>	■	■
99				オキツノリ	<i>Amygdalopsis flabelliformis</i>	■	■
100			ベニスナゴ科	ベニスナゴ	<i>Schizymenia duby</i>	■	■
101			ミリン科	ミリン	<i>Solieria pacifica</i>	■	■
102				ホノバミリン	<i>Solieria tenuis</i>	■	■
103		オゴノ目	オゴノ科	ミゾオゴノリ	<i>Gracilaria incurvata</i>	■	■
104				シラモ	<i>Gracilaria parvispora</i>	■	■
105				カバノリ	<i>Gracilaria textorii</i>	■	■
106				オゴノリ	<i>Gracilaria vermiculophylla</i>	■	■
107		マサゴシノ目	ウツノギソウ科	ウツノギソウ	<i>Champia parvula</i>	■	■
108			フシツナギ科	カエルデグサ	<i>Binghamia californica</i>	■	■
109				フシツナギ	<i>Lomentaria catenata</i>	■	■
110				コスジフシツナギ	<i>Lomentaria hakodatensis</i>	■	■
111			マサゴシノ科	タオヤギソウ	<i>Chrysmenia wrighthii</i>	■	■
112		イギス目	カリタムニオン科	キヌイトグサ	<i>Aglaothamnion callophyllidicola</i>	■	■
113				オイワケキヌイトグサ	<i>Callithamnion corymbosum</i>	■	■
114			イギス科	キヌイトフタツガサネ	<i>Antithamnion densum</i>	■	■
115				フタツガサネ	<i>Antithamnion hubbsii</i>	■	■
116				ホノガサネ	<i>Irtugovia spirographidis</i>	■	■
117				トゲイギス	<i>Centroceras gasparinii</i>	■	■
118				アミクサ	<i>Ceramium boydii</i>	■	■
119				トガリイギス	<i>Ceramium codii</i>	■	■
120				キヌイトイギス	<i>Ceramium diaphanum</i>	■	■
121				ハネイギス	<i>Ceramium japonicum</i>	■	■
122				イギス	<i>Ceramium kondoi</i>	■	■
123				ケイギス	<i>Ceramium tenerrimum</i>	■	■
124				ハイイギス	<i>Gavilella flaccida</i>	■	■
125			ランゲリア科	ケカザシグサ	<i>Anotrichium tenue</i>	■	■
126				スエヒロヒビダマ	<i>Tiffaniella suyehtroi</i>	■	■
127				ランゲリア	<i>Wrangellia tanegana</i>	■	■
128			ダジヤ科	エナシダジヤ	<i>Dasya sessilis</i>	■	■
129				ダジヤsp.4	<i>Dasya sp.4</i>	■	■
130				イソハギ	<i>Dasydiphonia japonica</i>	■	■
131				シマダジヤ	<i>Heterosiphonia pulchra</i>	■	■
132			コノハノ科	ヤレウスバノリ	<i>Acrosorium flabellatum</i>	■	■
133				スジウスバノリ	<i>Acrosorium polymyurum</i>	■	■
134				アヤニシキ	<i>Martensia jejuensis</i>	■	■
135				ウスベニ	<i>Sorella repens</i>	■	■
136			フジマツモ科	ユナ	<i>Chondria crassicaulis</i>	■	■
137				ホノヤナギノリ	<i>Chondria tenuissima</i>	■	■
138				クモノスヒメコケ	<i>Herposiphonia parca</i>	■	■
139				ミツデソソ	<i>Laurencia okamurae</i>	■	■
140				マギレソソ	<i>Laurencia saitoi</i>	■	■
141				イトフジマツ	<i>Neorhodomeia munita</i>	■	■
142				キブリイトグサ	<i>Neosiphonia japonica</i>	■	■
143				エンドウイトグサ	<i>Neosiphonia yendoi</i>	■	■
144				シヨウジヨウケノリ	<i>Polysiphonia senticlosa</i>	■	■
145				コザネモ	<i>Symphocladia marchantioides</i>	■	■

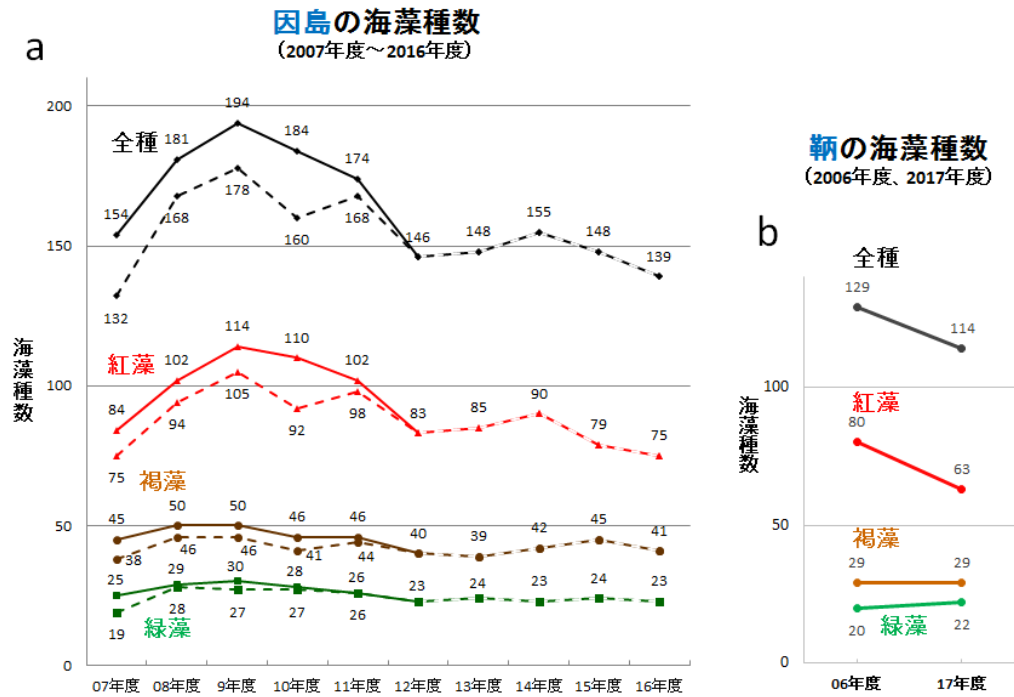


Fig. 1. 因島八重子島および靱町玉津島の海藻種数の経年変化。
 a: 因島の海藻種数. 各年度の種数は、毎月の調査による種数（実線）、および偶数月の調査による種数（点線）を示した. b: 靱の海藻種数.

Table 3. 香川県三豊市詫間町（燧灘）の月平均海水温（℃）. 下表は10年平均値からの偏差を示す. データは香川県水産試験場HPより.

月平均値	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
2007年	11.1	10.1	10.9	13.7	17.8	22.0	24.8	28.1	27.8	24.2	19.1	13.6
2008年	10.6	8.5	10.3	13.3	17.1	21.1	27.8	28.6	26.4	23.3	18.6	13.7
2009年	10.5	10.1	10.7	14.0	16.9	22.3	26.1	27.1	25.8	23.0	18.7	13.8
2010年	9.3	9.0	10.4	12.4	16.9	21.1	26.8	29.0	28.0	23.8	18.2	13.4
2011年	9.2	8.0	9.7	12.4	16.5	21.3	26.3	28.4	25.5	22.9	20.0	14.4
2012年	9.8	8.0	9.8	13.1	17.1	20.5	26.3	27.9	27.5	23.9	18.0	12.4
2013年	9.2	8.9	10.7	13.0	17.7	23.1	27.8	30.0	26.1	23.6	18.6	12.9
2014年	10.0	9.2	10.2	13.0	18.2	22.3	26.2	26.1	26.2	22.9	18.8	12.7
2015年	9.6	8.8	9.8	13.5	19.2	21.3	24.2	28.4	25.3	22.7	19.5	14.6
2016年	11.1	9.6	10.9	14.5	18.8	21.7	27.1	29.1	26.4	24.3	19.3	14.8
10年平均	10.0	9.0	10.3	13.3	17.6	21.7	26.3	28.3	26.5	23.5	18.9	13.6

偏差	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
2007年	1.05	1.10	0.56	0.43	0.18	0.35	-1.55	-0.16	1.30	0.73	0.23	-0.04
2008年	0.55	-0.51	-0.04	0.03	-0.52	-0.55	1.45	0.34	-0.10	-0.17	-0.27	0.06
2009年	0.45	1.10	0.36	0.73	-0.72	0.65	-0.25	-1.16	-0.70	-0.47	-0.17	0.16
2010年	-0.78	-0.04	0.05	-0.91	-0.76	-0.57	0.49	0.74	1.51	0.37	-0.65	-0.21
2011年	-0.87	-1.06	-0.61	-0.92	-1.10	-0.37	-0.06	0.10	-1.00	-0.53	1.08	0.79
2012年	-0.25	-1.05	-0.53	-0.22	-0.50	-1.18	-0.02	-0.40	1.01	0.45	-0.92	-1.24
2013年	-0.81	-0.15	0.32	-0.29	0.09	1.41	1.44	1.70	-0.45	0.12	-0.32	-0.73
2014年	-0.03	0.17	-0.10	-0.31	0.59	0.62	-0.11	-2.14	-0.27	-0.53	-0.07	-0.95
2015年	-0.43	-0.21	-0.54	0.21	1.58	-0.36	-2.16	0.17	-1.21	-0.75	0.63	0.99
2016年	1.08	0.64	0.54	1.24	1.17	0.02	0.74	0.82	-0.12	0.79	0.46	1.18

(2) 流れ藻優占種アカモクの起源推定に有効な分子マーカーの探索

本研究の材料となる褐藻アカモク藻体は、海岸固着藻体は前年度に採集した因島の八重子島および大三島の古城島に加えて、新たに竹原、生口島の弁天小島、大三島の宗方、台、愛媛県松山の海岸から採集し、流れ藻藻体は調査船第二爽風丸を用いて大三島周辺の多々羅大橋付近と鼻栗瀬戸から採集した。採集した藻体は個体ごとにサンプル番号をつけて区別し、DNA 解析用に枝先部を -80°C で保存した。DNA 解析では、湿重量 25 mg のアカモク冷凍藻体をミキサーミル MM300 (QIAGEN) により破碎して DNeasy Plant Mini Kit (QIAGEN) を用いて DNA 抽出を行った。今回アカモクの DNA 解析に用いた領域はミトコンドリアの *cox3* 遺伝子 (Uwai *et al.* 2009) であり、特異的なプライマーを設計して PCR 増幅を行い、3130 オートシーケンサーにより塩基配列を決定した。

本研究では、固着藻体 58 個体、流れ藻藻体 22 個体の計 80 個体の DNA 抽出を行い、*cox3* 塩基配列を決定した。その結果、これらのサンプルの多くは Uwai *et al.* (2009) により瀬戸内海から報告されたハプロタイプ No. 1、13、18 のいずれかと一致した (Table 4, Fig. 2) が、以下に示すように地域によってアカモク集団に優占するハプロタイプが異なることが明らかとなった。因島ではハプロタイプ 13 が優占しており、近隣の向島で解析された 17 個体すべてハプロタイプ 13 であるとの報告 (Uwai *et al.* 2009) に一致した。一方大三島では、宗像はハプロタイプ 13 が優占したが、台と古城島ではハプロタイプ 18 が優占していた。さらに愛媛県松山ではハプロタイプ 1 が優占し、竹原でも 1 個体のみであるがハプロタイプ 1 が検出された。松山からは新規ハプロタイプが見つかった。この結果から、しまなみ諸島の中で因島と大三島の間で優占するハプロタイプが違っていること、また大三島の中で宗像と台・古城島間でハプロタイプが違っていること、そしてしまなみ諸島と四国でハプロタイプが違っていることが示され、これらの地域のアカモクには異なる系統集団が存在する可能性が示唆された。これまでの調査で、因島および大三島周辺海域では冬～春にかけて流れ藻の優占種がアカモクであるという共通点があることがわかっているが、これらの地域では流れ藻により海岸のアカモクが自由に交流しているのではなく、地域間のアカモクの交流が制限されている可能性も考えられ、瀬戸内海の藻場の維持機構を考える上で興味深い結果である。

流れ藻アカモクの解析の結果、大三島周辺から採集した 22 個体のうち 15 個体がハプロタイプ 18、2 個体がハプロタイプ 1、1 個体がハプロタイプ 13 であり、4 個体が新規ハプロタイプ (松山の新規ハプロタイプとは別) であった。ハプロタイプ 18 が多いのは、採集地点近くの古城島の優占タイプと一致しておりこれを反映している可能性もある。しかし、新規ハプロタイプの起源は今のところ不明である。

Table 4. 解析を行ったアカモクの固着および流れ藻の *cox3* ハプロタイプ.

サンプル名	藻体	ハプロタイプ	サンプル名	藻体	ハプロタイプ	
120227八重子島アカモク	-1 海岸固着藻体	18	170314宗方アカモク	-7 海岸固着藻体	13	
	-2 海岸固着藻体	13		-8 海岸固着藻体	13	
	-3 海岸固着藻体	13		-9 海岸固着藻体	1	
	-4 海岸固着藻体	13		-10 海岸固着藻体	13	
	-5 海岸固着藻体	13		-11 海岸固着藻体	13	
	-6 海岸固着藻体	13		-12 海岸固着藻体	13	
161218古城島アカモク	-1 海岸固着藻体	18	170313弁天小島アカモク	-1 海岸固着藻体	13	
	-2 海岸固着藻体	18		-2 海岸固着藻体	1	
	-3 海岸固着藻体	18		170510竹原アカモク	-1 海岸固着藻体	1
	-4 海岸固着藻体	18			-2 海岸固着藻体	1
	-5 海岸固着藻体	18			-3 海岸固着藻体	新規A
	-6 海岸固着藻体	18			-4 海岸固着藻体	1
	-7 海岸固着藻体	18			-5 海岸固着藻体	1
	-8 海岸固着藻体	18			-6 海岸固着藻体	1
	-9 海岸固着藻体	18			-7 海岸固着藻体	1
	-10 海岸固着藻体	18			-8 海岸固着藻体	1
	-11 海岸固着藻体	13	-9 海岸固着藻体		1	
	-12 海岸固着藻体	18	-10 海岸固着藻体		1	
	-13 海岸固着藻体	18	170420 st.1Aアカモク	-1 流れ藻	18	
	-14 海岸固着藻体	18		-2 流れ藻	18	
170227八重子島アカモク	-2 海岸固着藻体	13		-3 流れ藻	18	
	-4 海岸固着藻体	13		170420 st.1Bアカモク	-1 流れ藻	18
	-5 海岸固着藻体	13	-2 流れ藻		18	
	-6 海岸固着藻体	13	-3 流れ藻		18	
	-7 海岸固着藻体	13	-4 流れ藻		18	
170313合アカモク	-1 海岸固着藻体	18	170420 st.1Cアカモク	-1 流れ藻	18	
	-2 海岸固着藻体	18		-2 流れ藻	18	
	-3 海岸固着藻体	18	170420 st.1Dアカモク	-1 流れ藻	1	
	-4 海岸固着藻体	18		-2 流れ藻	新規B	
	-5 海岸固着藻体	18	170420 st.2Aアカモク	-1 流れ藻	1	
	-6 海岸固着藻体	18		170420 st.2Bアカモク	-1 流れ藻	新規B
	-7 海岸固着藻体	18	-2 流れ藻		新規B	
	-8 海岸固着藻体	18	-3 流れ藻		新規B	
	-9 海岸固着藻体	18	170420 st.2Cアカモク	-1 流れ藻	18	
	-10 海岸固着藻体	18		-1 流れ藻	18	
	-11 海岸固着藻体	18		-1 流れ藻	18	
170313宗方アカモク	-1 海岸固着藻体	13	170420 st.2Eアカモク	-1 流れ藻	18	
	-2 海岸固着藻体	13		-1 流れ藻	18	
	-3 海岸固着藻体	13		-1 流れ藻	18	
	-4 海岸固着藻体	13	170420 st.2Fアカモク	-2 流れ藻	18	
	-5 海岸固着藻体	13		-3 流れ藻	18	
	-6 海岸固着藻体	13		-1 流れ藻	18	
171128 St.1アカモク			-1 流れ藻	18		
			-1 流れ藻	13		

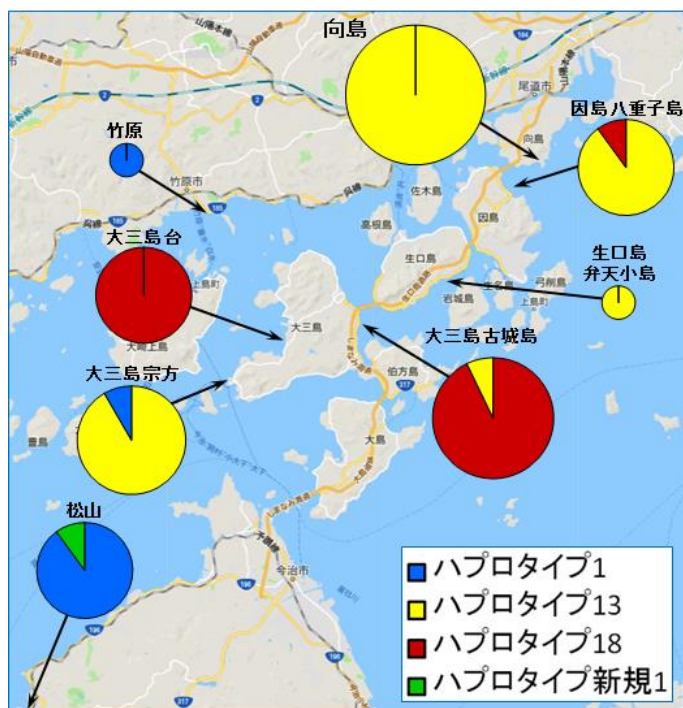


Fig. 2. 各地のアカモク集団の *cox3* ハプロタイプ. 向島のデータは Uwai *et al.* (2009) による.

今回、アカモクの *COX3* ハプロタイプに地域差がみられたことから、DNA マーカーを用いることで流れ藻の起源を推定することの可能性が示唆された。しかし *COX3* では今回見つかった既知の報告にない新規のハプロタイプ 2 つを加えても 5 つのハプロタイプパターンしかみつかっておらず、流れ藻の起源地域を詳細に特定できるような解像度の高い DNA 領域ではないと考えられる。

【担当：関田隆一】

「衛星画像藻場分布」

瀬戸内の藻場について最新の調査結果と藻場の環境の推移を知る基盤情報として、環境省で平成 28 年度に実施した衛星データ調査結果を入手し、広島県の藻場面積は増加傾向にあり、研究対象の里海の豊かさは向上する方向にあることを確認した。ただしリモートセンシングデータからどのように藻場を特定し面積を解析したかの技法の詳細について公開されている報告書には記載がないため、本研究では独自の解析技法を構築する研究が必要である。

先行研究論文としては広く世界の地球観測衛星の技術動向をサーベイし、最新の海洋観測で使えるセンサーとデータを確認した。更に海洋観測、藻場、干潟及びサンゴについてのリモートセンシング研究論文から有用な情報を得ており、現在も特に海洋に関するデータの解析アルゴリズム関連研究を中心に論文サーベイを継続している。

これまでの論文サーベイで得た主要点は以下である。

- ✓ 地球観測衛星は、これまで陸域観測衛星が主で、グローバルな天候変動に関連して海から雲の連鎖を観測する海洋観測、大気観測が最近盛んになったところである。
- ✓ 藻場観測についての先行研究は少なく、国内では平成 17 年に広島工業大学が無人ヘリコプターと地球観測衛星 Landsat のデータで大崎上島付近の藻場分布を観測した結果と福井工業大学が平成 23 年度から 27 年度まで実施した小浜湾での藻場計測が参考になる。広島工業大学の研究は Landsat データを使い藻場識別に有効なバンドを提案している点は本研究で基盤情報となる。一方、福井工業大学の研究では、NDVI (Normalized Difference Vegetation Index: 正規化植生指数) を使い、リモートセンシングデータと地上観測分光カメラデータで藻場面積を精度付きで論じる技法の説明があり、やはり本研究での基盤情報になるが、瀬戸内海と日本海の相違により、技法の適用性の検証が必要となる。
- ✓ 藻場観測ではないが、クロロフィルについてグローバルな海洋観測をリモートセンシングデータから行っている研究は多い。それによると大気、海の植生変動をとらえる基本データは海面水温データである。このために最近の海洋観測衛星に搭載して使えるセンサーは、赤外線センサーとマイクロ波放射計であるが、両者共に一長一短がある。雲の下の計測を行えて、沿岸観測も行うためには、少なくともこの 2 つのセンサーは複合で使う必要がある。
- ✓ 更に最近では、複数の地球観測衛星の海水温データを融合する最適内挿法が広く用いられており、国際組織として NASA ジェット推進系研究所でこの融合データの公開が始まっている。

リモートセンシング技術の最新状況と今後の傾向についての情報交換は、リモートセンシング研究の第一人者である東京大学大学院岩崎教授と本研究に資する情報及び無料の地球観測衛星画像の取得と解析について討議した。無料でデータを得られる Landsat と ESA の衛星活用の具体化には、パソコン環境と外部記録装置及び画像処理ソフトなどの整備が必要と判明し、平成 30 年度から調達を開始する。岩崎先生と本研究について討議を進められるネットワークを組めたことが 29 年度の一つの大きな研究成果と言える。

地球観測衛星リモセンデータとして JAXA 地球観測研究センターから得た AQUA 衛星の MODIS (The Moderate Imaging Resolution Spectroradiometer) による晴天時の瀬戸内海の画像を図 1、2 に示すが、海水はスペクトル特性から通常画像では基本的に黒くなり、更にフリーで得られる最良画素の 250m でも未だ粗いため藻場の識別は不可能である。

数値データから海の識別に有効なバンドを抽出し、海表面の太陽光反射が大気で 90% 吸収される特性の補正をかけるなど、先行研究を参考に解析技法の研究が必要である。

また NASA ジェット推進系研究所から海水温の最適内挿法解析データで瀬戸内海を表したものを図 3 に示す太平洋側の水温に比べて瀬戸内海の水温が低いことがわかる。ただし無料で入手できる画像は 11km 画素が最良であり、本画像よりズームアップすると沿岸地形がわからなくなり、本研究で使うには精度の問題がある。本研究に適切な詳細データを NASA から得るには研究コミュニティに入ることが必要となり検討を要する。

以上、平成 29 年度に計画した研究計画はすべて実行して、目標を達成した。

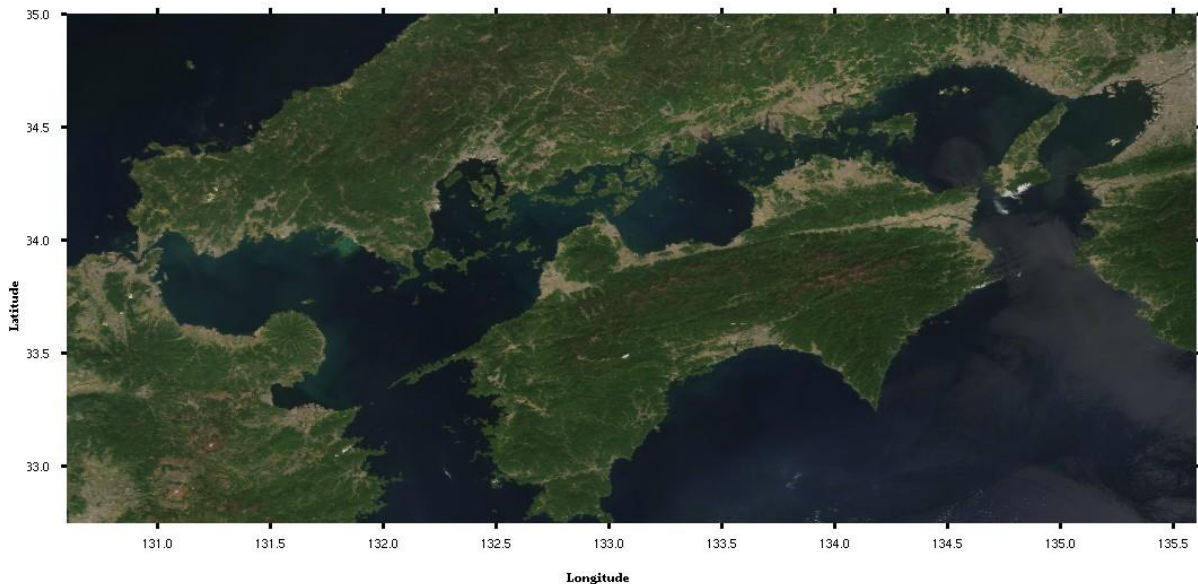


図 1 AQUA 衛星 MODIS 500m 画素 RGB 解析画像

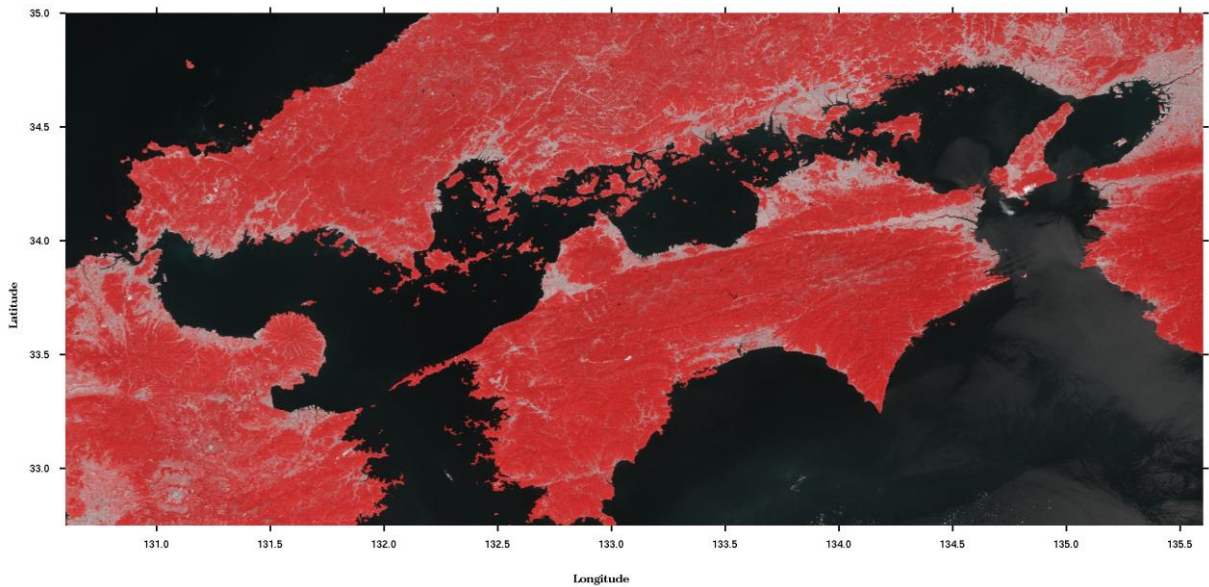


図2 AQUA衛星 MODIS 250m画素 基本画像

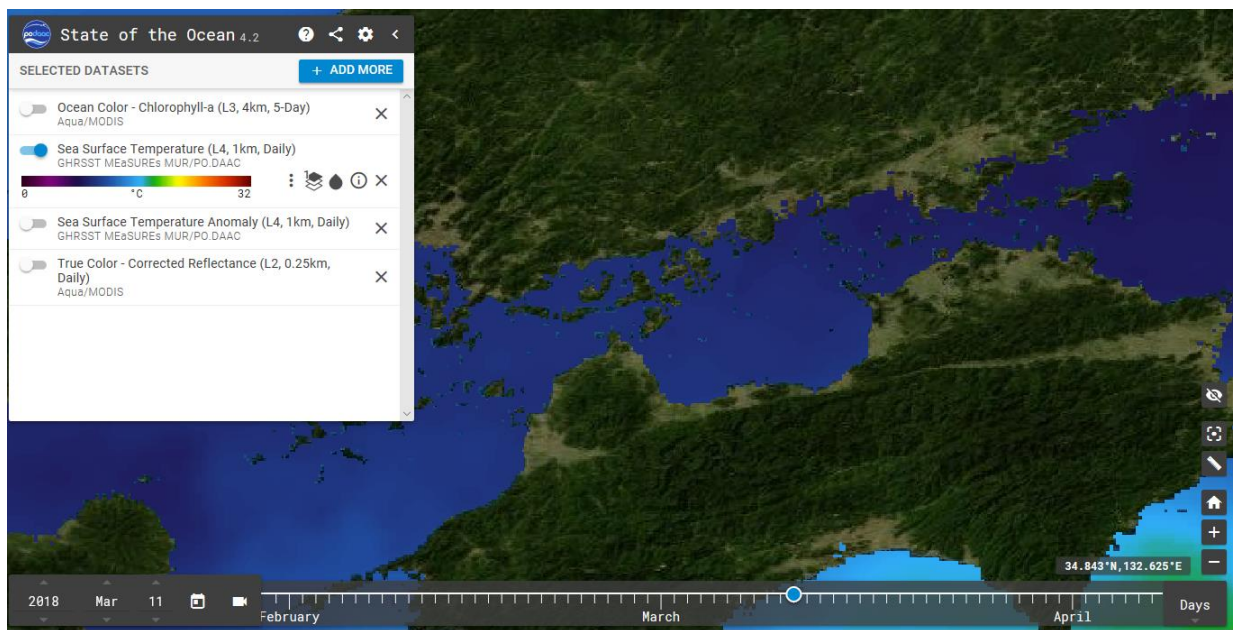


図3 NASAジェット推進系研究所から得た最適内挿法解析による海水温データ

5. 今後の研究計画

【担当：阪本憲司】

「瀬戸内海沿岸の干潟・藻場および河川に生息する魚類の 遺伝的集団構造および遺伝的多様性の解明」

瀬戸内海域において特徴的な生態系である藻場と干潟に生息する魚類を対象に、次世代シーケンサーを用いた環境 DNA 解析により魚類相の網羅的把握を目指す。また、オートシーケンサーを用いた DNA 多型解析により、干潟や藻場に生息する魚類の遺伝的集団構造を明らかにし、遺伝的多様性を評価する。さらに、流れ藻を介した魚類の集団間交流を明らかにする。以下の 3 つのテーマを同時並行で進めていく。

(1) 瀬戸内海各所の干潟と藻場において、トビハゼとアミメハギをそれぞれ採集し、オートシーケンサーを用いた DNA 多型解析により、両種の遺伝的集団構造および遺伝的多様性を評価する。

(2) 瀬戸内海芸予諸島東部海域に分布する藻場および干潟において海水や泥水等をサンプリングし、次世代シーケンサーを用いた環境 DNA 解析により、魚類相の網羅的把握と生物多様性を明らかにする。

(3) 瀬戸内海芸予諸島東部海域の「藻場」に生息する魚類と、同海域において採集された「流れ藻」に付随する稚魚集団の DNA 解析を行い、「流れ藻」を介した魚類の集団間交流を解明する。

【担当：山岸幸正】

「瀬戸内海沿岸域の藻場生態系における海藻類の種構成および 系統地理的解析」

藻場の状況を把握するために、定量的な海藻の記録を行う。因島八重子島において、調査定点を設定して、アカモクやヒジキなど藻場を形成する代表種を中心として、コドラートを用いた被度（面積）などの定量的記録を行う。

アカモクの DNA 塩基配列による系統地理的解析では、さらに詳細な地域差を検出するために、*cox3* よりも多型性が高いマイクロサテライト領域を用いる。本研究で利用可能な、これまで報告されたアカモクのマイクロサテライト領域は複数あるが、来年度は特異的プライマーを設計して塩基配列を決定して多型性を調べ、解析に有効と考えられるマイクロサテライト領域の選定を行う。また、これまで採集した地域のサンプルに加えて、因島南部や岩城島などさらに地域を増やしてアカモクサンプルを採集する。ただしアカモクは 4 月以降は枯れて

しまうため、4月までに得られなかった場合は秋以降に採集を行う。

【担当：関田隆一】

「衛星画像藻場分布」

平成 29 年度からの研究計画全体の流れを以下に示す。

- ① 現状を知る (H29、30 上期)
- ② 海岸・藻場の各種観測データによる定量化と補正の研究 (H30、31、32)
- ③ リモートセンシング、航空観測、現地観測の各解析技術と仕分けの研究 (H31)
- ④ データ収集、解析及び検証 (H31、32)
- ⑤ GIS との統合化モデル構築と考察 (H32)
- ⑥ 藻場の持続的発展に向けたデータ定量化とモデルの活用技法構築 (H32、33)

研究計画全体スケジュール図 4 に示す。

	平成29年度		平成30年度		平成31年度		平成32年度		平成33年度	
	下期	上期	下期	上期	下期	上期	下期	上期	下期	
研究マネジメントと論文										
インターフェース等調整会議		▽	▽		▽	▽	▽	▽	▽	
学会発表				▽アメリカ航空宇宙学会発表				▽アメリカ航空宇宙学会発表		
学術論文					▽		▽		▽	
研究報告書			進捗▽		中間▽		進捗▽		最終▽	
研究実施										
①現状を知る	リモセン技術		先行研究 現地調査と観測点の設定							
②海岸・藻場の各種観測データによる定量化と補正の研究				瀬戸内に適した定量化技法とデータ補正方法の創造			従来技術の応用			
③リモートセンシング、航空観測、現地観測の各解析技術と仕分けの研究				各解析技術の研究 仕分けの検討			仕分けの検討			
④データ収集、解析及び検証		フリーのリモセンデータによる解析試行		海洋観測衛星 ドローン 現地			海洋観測衛星 ドローン 現地			
⑤GISとの統合化モデル構築と考察							藻場の生成増減に影響する要因研究 GIS統合モデル構築			
⑥藻場の持続的発展に向けたデータ定量化とモデルの活用技法構築							藻場の定量化		藻場の持続的発展に向けたデータ定量化 藻場の持続的発展モデル構築	

図 4 衛星画像藻場分布 研究全体スケジュール

平成 30 年度の研究計画

平成 30 年度は、瀬戸内の藻場の現状を現地検証し、様々な観測データを活用した藻場の定量化技法を明確にすることで、持続的なデータ観測方法を明確にすることが目標である。

具体的には、海洋観測技術と大気補正法、浅瀬の藻場観測に適したセンシングと解析技法及び藻場の生育増減に影響する陸域の要因について先行研究論文サーベイを上期までに終了させる。

更に環境省の調査結果報告書をベースに、本研究の対象海岸で現地データ取得を行い環境省データの検証と今後の研究基盤として精細化を行う。

解析技法の研究としては、藻場の定量化技法とデータ補正方法を先行研究の中から適切なもの (NDVI 値活用、マルチスペクトル画像とパンクロマティック画像の活用及び大気と海洋の補正技法など) を選定するが、前述したとおり水中の藻の識別は従来から困難が多く、更に海洋観測ではセンサーに

適した大気を海中のデータ補正がキーとなり困難を伴う。瀬戸内に適した定量化技法とデータ補正方法の創造はチャレンジングな研究となる。

更に海洋観測衛星から本研究対象域が判別可能な画素でのデータ入手方法の具体化が急務であるが、前述したとおり無料で入手できるデータでは画素数が粗い。その対策としては有料データの購入及び NASA の研究コミュニティへの参加が必要になる。

今後は東大の岩崎先生から紹介いただいた広島大学工学部の作野准教授と海洋観測衛星データからの藻場分布計測をテーマに討議をできるだけ早期に開始する考えである。