

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25340113

研究課題名(和文)海-運河-河川を通し回遊する生物の動的な生息場適正を評価するシステムの開発

研究課題名(英文) System development on dynamic habitat suitability assessment for migratory species in Sea-Canal-River

研究代表者

古川 恵太 (Furukawa, Keita)

横浜国立大学・統合的海洋教育研究センター・客員教授

研究者番号：00356031

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：海水と淡水が交わる汽水域(内湾、運河、河口など)の環境について、そこを行き来しながら成長するマハゼを指標として、評価し改善策を検討した。検討には、市民参加型の生き物調査と汽水域の水質環境を再現する数値モデル(MEL1D-MBモデル)解析を組み合わせた。東京湾での観測と京浜運河を対象としたモデル解析により、春生まれのマハゼと夏生まれのマハゼで生き残り戦略が異なることが見いだされた。春生まれの群の保全のためには、夏場の酸素欠乏の水塊からの避難地が必要であり、夏生まれの群の保全のためには冬場の餌供給が必要であることが示唆され、浅場・運河域での浅場造成による棲み処づくりが有効であることがわかった。

研究成果の概要(英文)：Goby (*Acanthogobius flavimanus*) has nest in soft saline bed in 6-8m deep water in winter, and hatched larvae swim up to upstream limit of estuarine environment and settle on sandy shallow bed in spring. It becomes 6-8cm in early summer and growing up to 15-20cm in autumn. Public participated census for Gobies and numerical hydraulic simulation of canal network in Tokyo bay reveals severe environmental condition in summer prevent proper succession and growth of gobies. Based on the monitoring results and simulated circulation, a conceptual model for the habitat restoration is proposed. One measure suggested is a construction of a small scale habitat in canal network. That is one of typical hardware type countermeasures. The effects of the construction have been tested by monitoring at constructed tidal-flats. It seems tidal-flats are acting as considerable habitat for Gobies.

研究分野：沿岸域生態系保全

キーワード：マハゼの生活史 生物生息場 東京湾 閉鎖性海域 環境評価 数値モデル 観測 市民参加

1. 研究開始当初の背景

本研究課題では、河口域および湾内に広く分布し、遊漁・釣りの対象魚として広く親しまれてきた魚であるマハゼおよびウナギに着目した。マハゼは内湾の環境変化を受け1950-1955年のピーク時には、東京都内で年間500tを超える漁獲があったが、現在ではその1/20まで減少している。これは、水質・底質などの変化に加え、地形などで規定される生息空間の減少もその一端であると言われている(檜山, 1996)。ウナギはさらに広域の環境変化を受けていると考えられており、1969年には3200tあった天然ウナギの漁獲は、1985年ごろには2000tを割り、1999年には817tにまで減少し、その後も減少傾向に歯止めがかからない状況である(井田, 2007)。

2. 研究の目的

沿岸域における生物多様性の減少および生態系サービスの劣化の一因として、海-運河・河口域-河川を通し回遊する生物(マハゼ・ウナギ)の減少が挙げられる。その原因としては、生息条件としての水質環境の変化と生息場の喪失などが指摘されているが、定量的な関係の把握や、問題解決のための具体的な対応策の検討は、ほとんど行われていない。それは、汽水域として時空間的に多様に変化する環境特性と対象生物の移動範囲の広さから、その間の因果律を推定するに足る観測データのセットを得ることが困難であることが一つの要因であると考えられる。そこで、本課題では、その弱点を解決する手法として、流域環境を広く利用する生物の成長を指標としてモニタリングする調査と汽水域網水理シミュレーションを組み合わせることで、対象生物の生活史を考慮した環境評価手法を開発することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) MEL1Dモデルの改良

国総研で開発されたMEL1D-MBモデル(古川ら, 2001)を元にしてバロトロピック過程に潮汐増幅率を導入した。当初、マングローブクリークなどでの水循環の計算実績がある豪州海洋科学研究所のFlow2D(古川, 2000)の組み込みを予定していたが、対象とする水域延長が短いこともあり、計算結果に大きな差は無く、より単純な関数により潮汐振幅の増幅を再現する手法を採用した。

(2) マハゼの資源量の簡易測定法の開発

東京湾におけるマハゼの分布を調査するために、市民参加型の調査を実施した。できるだけ簡単かつ有意なデータとするために、調査項目を絞り込み、調査者情報(連絡先等)、調査地点(河川名・運河名や住所や橋の名前等)、調査時間(開始から終了まで分単位)、釣法(竿、仕掛け、針の大きさ等)、釣果(マハゼの匹数)、全長(釣ったマハゼについて、

mm単位)、水温、気温とした。

調査項目を記入し、事務局(東京水産振興会)にFAXすることで報告できる調査シートを準備し、調査のお知らせと共にインターネットで配布するとともに、イベントでの配布、関係機関への送付・手渡しを行い、調査への協力を依頼した。

回収された情報は、事務局において、調査地点データ群(調査地点、調査時間、釣果)と釣果データ群(釣法、種、全長)を関係付けてデータベースに整理・収録し、任意の情報により抽出できるようにした。本調査は、2012年は7-9月、2013年7-11月、2014年は6-12月を調査期間として情報の提供をお願いした。

上記の調査では、多くの情報を集めることができる一方、水質や底質などの環境情報の収集や、同じ場所での繰り返し調査を実施することが難しい。そこで、横十間川、朝潮運河、有明北地区の3領域に絞り、釣り船による調査を実施した。

釣り船には10名程度調査員が乗り、各領域内で地形の変化などから2-3か所の調査地点を設定し、調査地点毎に水質をAAQ多項目水質計等で測定するとともに、1か所20分の釣り調査を実施した。本調査は、2013年と2014年に実施され、2013年には8, 9, 10月、2014年には7, 8, 9, 10, 11月に実施した。

(3) 動的な環境と生物の連環の検討

得られたマハゼの全長データを採取時期、場所毎に整理し、成長の様子を地点毎に類型化した。即ち、1)全長変化の少ない(見かけ上成長速度が遅い)地点、2)全長変化も平均全長も大きな地点、3)全長変化が大きい平均全長が小さい地点の3パターンである。

一方動的な環境については、モデル解析を参考に海域を浅場、運河、湾内、深場の4区分に再整理し、水質特性、場の連関などから環境的な制限要因を抽出することで評価することとした。主な制限要因としては、貧酸素化、低水温、生息場の欠如、餌不足、釣りによる取上げ等が抽出された。

こうして得られた全長データと制限要因を概念図として重ね合わせることで、マハゼの生存戦略を可視化する模式図を作成し、産卵群ごとの現状と対応策を検討するツールとした。

4. 研究成果

(1) マハゼの棲み処調査

マハゼ(*Acanthogobius flavimanus*)は、一年魚として深場での発生、稚仔魚の汽水域への遡上、浅場砂泥域への移動、成熟といった内湾-汽水域を行動範囲とする生活史を繰り返す(図-1参照)。マハゼは、底生魚類として底質・ベントスへの強い選好性を持っており(宮崎, 1940; 道津ら, 1953; 星野ら, 1993)、また、貧酸素水塊の忌避(中瀬ら,

2010) や水温による昼夜の活動期の変化 (宮崎, 1940) といった水質要因によるマハゼの行動様式の変化が観察されており、環境の指標性が高い生物である。

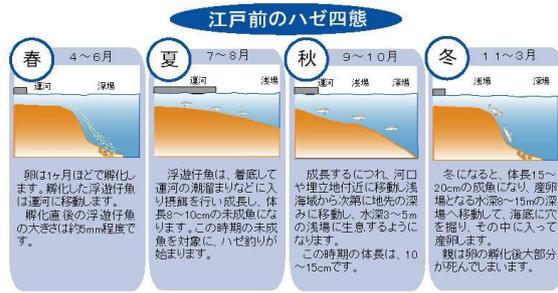


図-1 マハゼの生活史

マハゼの棲み処調査において得られたデ

ータを表1にまとめて示す。2012年から2014年の各データには、延べ135人、115人、102人の参加、137か所、116か所、120か所での調査結果が含まれている。

これらのデータのうち、7-9月の3か月分の平均全長を場所ごとに再整理すると、図2のようになる。それぞれの空間的な特徴を抽出するために、全長変化の大小(成長速度の速い遅い)と平均全長をその年の平均値と比較して、パターン分けした。すなわち、1) 全長変化の少ない(見かけ上成長速度が遅い)地点●、2) 全長変化も平均全長も大きな地点●、3) 全長変化が大きい平均全長が小さい地点●の3パターンである。河口干潟の存在する河口域などには2か3のパターン、都市型の運河に1のパターンが多い傾向が見

表1: マハゼの棲み処調査の結果概要

全長(mm)	2012年 (N = 3223)			2013年 (N = 2565)					2014年 (N = 2802)						
	7月	8月	9月	7月	8月	9月	10月	11月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
200			2			1	1		1						
190			1						1						
180						2			1						
170			5		1	4	1		1				1		
160			20		1	3	3	2	1				1		
150	6	6	78	5	14	8		5	7		3	3	13		
140	8	9	253	16	22	41			20		5	9	19	4	6
130	2	67	455	24	43	59	9	28			6	23	33	7	5
120	21	82	277	9	109	159	12	33			11	31	66	10	14
110	2	316	257	24	184	132	14	17			13	81	133	35	9
100	197	202	135	58	271	118	8	15			51	148	180	46	15
90	35	216	184	149	199	84	8	7			109	187	197	87	27
80	141	30	44	164	159	50	2			1	194	223	156	54	6
70	7	93	11	105	79	15					165	150	63	25	2
60	6	11	5	23	21	5					49	68	3		
50	31	3		3	2						2	3	4	2	
40		3		2							16	1			
30		2									4	1			
20											1				
平均 (mm)	91	101	120	88	99	109	115	124		40	82	88	98	93	116

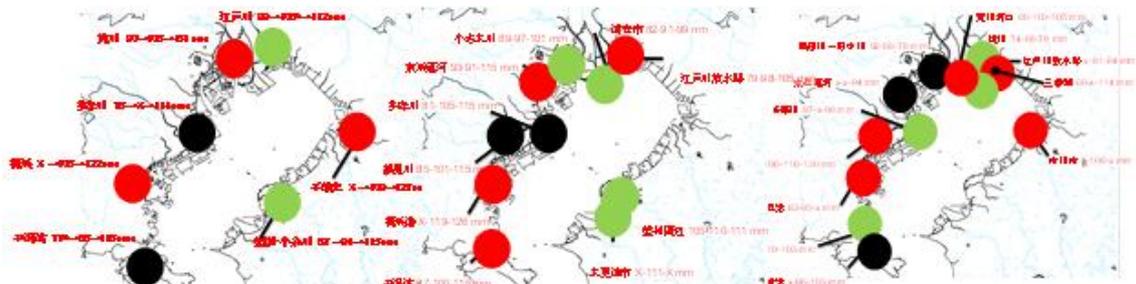


図2: マハゼの棲み処調査の結果の空間分布(7-8-9月の平均全長を図中に示す。●は全長変化の少ない地点、●は全長変化も平均全長も大きな地点、●は全長変化が大きい平均全長が小さい地点を示す: 本文参照)

られたが、毎年同じわけではなく、年ごとに变化している様子が見て取れた。

2013年および2014年の朝潮運河ハゼ釣り調査により得られたデータを表2, 3に示す。

表2: 2013年朝潮運河ハゼ釣り調査

調査点	調査月	個体数	体長(mm)	全長(mm)	湿重量(g)
横十間川	8月	94	73	87	5.46
	9月	62	70	86	4.90
	10月	21	75	91	5.81
	8月	128	71	86	5.09
朝潮運河	9月	61	75	92	6.05
	10月	36	81	98	7.59
	8月	45	75	89	6.26
有明北	9月	41	83	101	8.04
	10月	29	85	102	8.24
	8月	267	72	87	5.48
全地域	9月	164	75	92	6.12
	10月	86	81	98	7.37

表3: 2014年朝潮運河ハゼ釣り調査

調査点	調査月	個体数	体長(mm)	全長(mm)	湿重量(g)
横十間川	7月	96	67	82	5.29
	8月	91	64	79	4.32
	9月	8	94	114	10.71
	10月	54	73	90	5.67
	11月	2	90	113	10.12
朝潮運河	7月	263	62	78	3.62
	8月	194	64	79	4.20
	9月	117	71	87	4.61
	10月	115	72	88	5.19
有明北	11月	45	77	94	5.45
	7月	46	64	79	4.21
	8月	67	71	86	5.56
	9月	86	75	88	5.72
	10月	59	79	97	6.87
全地域	11月	12	74	89	4.84
	7月	405	64	79	4.08
	8月	352	65	80	4.48
	9月	211	74	88	5.47
	10月	228	74	91	5.80
11月	59	77	94	5.48	

(2) マハゼの生活史の解析（観測とモデル解析から）

得られたデータおよび、モデル解析から得られた水質条件を整理した（図3）。マハゼの移動形態の推定には、全長を指標とする吉田ら（2013）の手法を用いた。

パターン2, 3のように、全長変化が大きいということは、その場である程度滞留して、成長しているということである。滞留の原因としては、餌が豊富、捕食者が少ないなどといった正の環境要因によるものと、移動予定先の環境が悪い（例えば貧酸素、捕食者が居る、餌が無い）といった負の環境要因によるものが想定できる。正の環境要因が働いていると推定されるのは、平潟湾や多摩川、江戸川放水路などである。一方、京浜運河や千葉港奥、横浜、鶴見川等では、地先の東京湾内での貧酸素の襲来が顕著な地域であり、負の環境要因が働いていることが推定される。朝潮運河ハゼ釣り調査の朝潮運河のデータを見ると、個体数が月を追うごとに少なくなっており、冬産卵群が加入した後、負の環境要因が働き減耗していると説明することもできそうである。

パターン1として示されているのは、その場所に滞留せず、通過地点として機能している領域と推定することができる。すなわち、移動先に適切な生息場および環境があるということと判断できる。そうした領域として、盤州干潟や、三枚州、三番瀬が全面海域に広がっている木更津周辺、荒川河口、境川などが挙げられるとともに、都内の水門で孤立している小名木川、横十間川なども、その水系の中で独自の生活環を持っているようにも見える。このことは、朝潮運河ハゼ釣り調査の結果からも裏付けられる。例えば、2014年の横十間川の個体群の大きさが10月に9月より小さくなっているのは、新たな産卵群の加入が原因と考えられる。

このような状況を、領域（浅場、運河、湾内、深場）と時期（1-3月、4-6月、7-9月、11-12月）に分けて模式化したのが図3である。冬産卵群であれば、深場で産卵した個体群が浅場、運河、湾内に遡上する。浅場までたどり着いた群は、その後、秋から冬にかけて湾内、深場と戻ってくる。この移動途中を捉えた場合、パターン1ということとなる。しかし、運河や湾内に移動した群は、その後、海域の貧酸素水や餌の不足（ゴカイが湧くような浅場の不足が原因の一つと考えられる）等により移動先が制限され、その場で成長していくパターン2となる。

全長から、初夏産卵群と考えられる群は、可能性として深場での発生と、運河内での発生が考えられる。いずれの場合も、貧酸素水塊の発生などの環境条件の制約から、運河内に留まることとなり、パターン2と同様であるが、発生時期の違いにより小型の個体が多くなることで、パターン3が発現しているのではないかと考えられる。

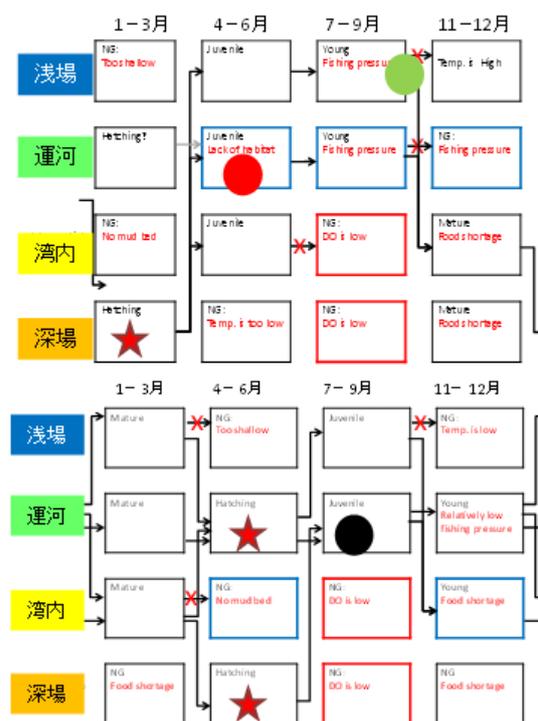


図3：マハゼの生存戦略の模式図（上：冬産卵群、下：初夏産卵群、☆が産卵時期を示し、その後矢印に従って移動する。枠内の赤字は制限要因、●、●、●は図2のパターンが現れる場合を示している：本文参照）

重用なのは、これらのパターンの中、より多くの個体が産卵群として再生産に寄与できる可能性のあるのが、パターン1と3である。産卵群を増やすことでマハゼ資源の回復を目指すならば、運河や河口付近にはハゼの稚魚が寄りつける水際線や、浅場のような貧酸素水塊からの避難場、その地先にはハゼが産卵できるような深場を作っていくことがハゼの復活につながるのではないかと考えられる。

(3) マハゼ再生に向けた示唆

朝潮運河釣り調査において見られた朝潮運河での減耗の要因の一つは底層に広がる貧酸素水塊と考えられる。運河の護岸の改修工事により深くなってしまった場所と、護岸前の水面下に、もとの浅瀬を復活させた場所を比較した場合、顕著な釣果の差が見られた。

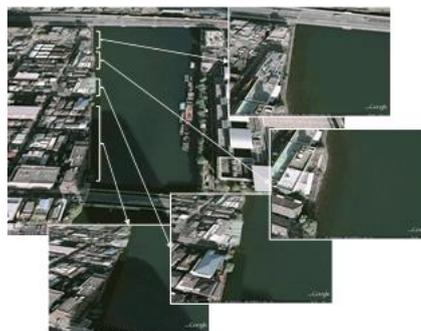


写真1：朝潮運河の護岸沿いにある浅場の様子（マハゼの資源量を回復の鍵となる領域）

深くなった場所の水深は 3-4 m 程度であり、浅場の水深は 0.5-1 m 程度である(写真1)。水中カメラで確認したところ、深場には、生物の生息孔も少なく、浮泥がたまり白色硫黄細菌なども見られた。一方、浅場では生物の生息孔が多くみられるとともに、底質表面に珪藻と見られる褐色の着色があり、餌を落とすと 0.5-1 m 四方に居るマハゼが、い集してくる様子が見て取れた。このような状況から、マハゼの棲み処づくりとして、浅場の造成が有効な手段であることが確かめられつつある。

(4)まとめ

市民参加型の調査および定点でのハゼ釣り調査といった簡易な調査手法と、汽水域の水質変化・分布を効率的に再現するモデル解析を組み合わせることで、東京湾におけるマハゼの生活史を類型化することができた。その結果、冬だけでなく夏にも産卵群のあること、内湾の貧酸素化から逃れ運河等に留まる群のあることが推察された。そうした状況に鑑み、マハゼ資源の回復のために浅場を造成することの有効性が示された。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計6件)

- ① 古川恵太、日本の沿岸域の現状と干潟・藻場再生の意義、水環境学会誌、39(A)号、2016、116-119、査読あり
- ② 古川恵太、東京湾環境一斉調査 - 主体の広がり調査の高度化、関心の高まりに向けて、雑誌港湾、93巻、2016、26-29、査読なし
- ③ 東京湾再生推進会議・九都県市首脳会議・東京湾岸自治体環境保全会議・東京湾再生官民連携フォーラム、東京湾について知っておきたい7つのこと、東京湾環境マップ、10巻、2016、1-8、査読なし
- ④ 古川恵太・渥美雅也・岡田知也、江戸前ハゼ復活プロジェクトによる東京湾のマハゼの生活史の推定とその再生への試案、日本沿岸域学会研究討論会 2015 講演概要集、2015、(9-3-1)-(9-3-4)、査読あり
- ⑤ 古川恵太、柔らかな頭で海辺づくり、ハゼも見ている東京湾、かんきょう横浜、135巻、2015、4-5、査読なし
- ⑥ 東京湾再生推進会議・九都県市首脳会議・東京湾岸自治体環境保全会議・東京湾再生官民連携フォーラム、みんなで見守る東京湾、東京湾環境マップ、9巻、2015、1-8、査読なし

[学会発表] (計7件)

- ① Keita Furukawa、Evolution of the Tokyo Bay monitoring campaign under public partnership、EMECS11、2016. 8. 22-27
- ② Keita Furukawa、Model sites exercises

for ICM implementation in Japan、EMECS11、2016. 8. 22-27

- ③ 古川恵太、都市臨海部における自然再生、横浜国立大学公開講座、2016. 6. 29
- ④ 古川恵太、港湾における自然再生事業とアマモ場造成 - ガイドラインと事例 -、沿岸環境関連学会連絡協議会、2016. 6. 3
- ⑤ 古川恵太、閉鎖性水域の総合的・海域管理と新水質基準、日本海洋学会、2016. 3. 15
- ⑥ Keita Furukawa、Challenges in Marine Environment Management in Tokyo Bay、IHO MSDI Open Forum、2016. 1. 26
- ⑦ 古川恵太・渥美雅也・岡田知也、江戸前ハゼ復活プロジェクトによる東京湾のマハゼの生活史の推定とその再生への試案、日本沿岸域学会、2015. 7. 18

[産業財産権]

○出願・取得状況 (なし)

[その他]

ホームページ

<http://www.meic.jp/mahaze>

6. 研究組織

(1)研究代表者

古川 恵太 (FURUKAWA, Keita)

横浜国立大学・統合的海洋教育・研究センター・客員教授

研究者番号：00356031