

学位論文全文に代わる要約 Extended Summary in Lieu of Dissertation

氏名： 山本宗一郎
Name

学位論文題目： 生息南限海域に分布するマコガレイの生態に関する研究
Title of Dissertation

学位論文要約： Dissertation Summary

マコガレイは北海道南部から大分県まで広く分布する重要な漁業資源であるが、近年、全国的に漁獲量の減少が著しい。近年の研究により、マコガレイの再生産を阻害している要因は主に海水温上昇、低酸素水塊、底質悪化等の環境によるものであることが示され、資源の維持・増大させるためには生活史に対応した良好な生息環境の保全・創出が重要であるとされている。生息南限付近に位置する大分県の主なマコガレイ産地である周防灘および別府湾では近年水温が上昇傾向にあるため、当該海域でマコガレイの生態を把握することは将来の資源動態を予測する上で重要である。さらに各生活史で利用する海域の環境特性を把握することで生息域の保全や漁場造成に関する有用な知見を得ることができる。本研究ではまず、周防灘において産卵場を特定し環境特性を把握した。次に、当該産卵場に蟄集した成魚の行動をモニタリングした。さらに、周防灘に生息する成魚に水温・深度ロガーを装着することにより、夏季-冬季の経験水温・深度について明らかにした。最後に周防灘と別府湾に生息する稚魚の初期生態の一部を明らかにした。本研究で明らかになった生態的特性をもとに、生息域の保全や造成、資源管理の手法を提示した。

産卵場と成熟状況

マコガレイは沈性粘着卵を産むことから、天然海域で卵を採集することができれば、産卵場を特定するための重要な情報となる。しかし、周防灘においてはこれまでに採集例がなく、本種の産卵生態に関する知見は乏しい。そこで本研究では、周防灘南部海域におけるマコガレイの産卵場の特定と当該海域に蟄集する成魚の成熟過程の把握を目的として、調査海域においてスキューバ潜水による卵の採集を試み、定置網で漁獲された成魚の生物測定を行った。当該海域では調査定点 21 定点のうち 8 定点で卵が確認され、最大 340 粒/m²であった(Fig. 1, Table 1)。よって、当該海域ではマコガレイが産卵場を形成していたと判断した。調査海域は周囲に岩石が点在しており、最大卵密度が確認された定点の底質は粗砂帯であった。当該海域における成魚の成熟は底層水温約 16°C以下で認められた。マコガレイ卵のふ化適水温は 6.0- 16.0°C であることから本調査海域において卵は適水温の上限付近で産み落とされていることが明らかになった。また、成魚は雌雄共に大型魚かつ高齢魚から順に本調査海域に移入していた。未熟個体を除く成魚の性比(雌/雌+雄)は産卵期前では 0.5 以上となり有意に雌が多かったが($p < 0.05$)、成熟個体の割合が高まる産卵期前期では 0.5 以下となり有意に雄に偏り ($p < 0.01$)、産卵期中期から後期にかけては 0.5 程度の値で推移した。この結果は産卵期における雌雄の回遊行動の違いを表していると考えられた。

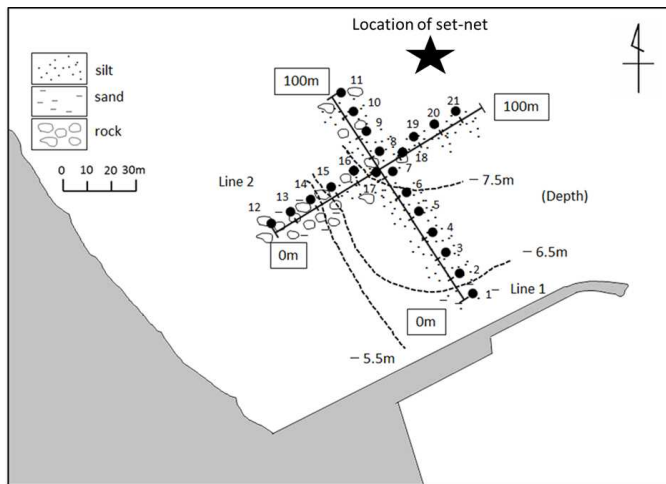


Fig. 1 Survey line and bottom sediments sampling stations in the spawning ground of marbled flounder near Nagasaki point. Small numerals indicate station number. Numerals in boxes show the distance from the starting point of the lines. Star shows location of the set-net, where samples of marbled flounder were collected.

Table 1 Density of marbled flounder eggs and the grain size composition of sediments in each sampling station

Sampling Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Number of Eggs/m ²	340	20	80	20	60	0	0	20	0	0	20
Depth (m)	6.5	6.5	6.8	7.0	7.2	7.5	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7
Grain Size Composition	Silt·Clay	2.2	2.9	4.7	84.3	83.0	81.6	71.2	88.2	88.0	—
	Sand	97.8	96.6	94.4	15.7	17.0	18.4	28.8	11.8	12.0	—
	Gravel	0.0	0.5	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	—
Median Diameter (mm)	0.604	0.635	0.720	<0.063	<0.063	<0.063	<0.063	<0.063	<0.063	<0.063	<0.063
Ignition Loss (%)	2.7	3.6	2.5	2.9	3.0	3.5	4.3	4.8	5.4	—	4.6

Sampling Station	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Number of Eggs/m ²	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0
Depth (m)	5.0	5.3	5.3	6.2	7.0	7.2	7.5	7.5	7.5	7.5
Grain Size Composition	Silt·Clay	0.0	0.0	10.9	0.0	0.0	81.4	96.2	82.4	1.5
	Sand	98.2	99.5	89.0	99.6	98.2	18.6	3.8	17.6	96.3
	Gravel	1.8	0.5	0.1	0.4	1.8	0.0	0.0	0.0	2.2
Median Diameter (mm)	0.670	0.763	0.777	0.867	1.177	<0.063	<0.063	<0.063	0.987	0.780
Ignition Loss (%)	3.4	1.9	2.2	2.0	3.5	5.3	4.9	5.1	3.5	2.9

産卵場における滞留期間と行動

産卵場においてマコガレイ成魚の行動解析はこれまで実施された例がない。バイオテレメトリー技術を用いて産卵場に訪れたマコガレイの行動を観測すれば、産卵場で滞留期間、行動パターン、底質の嗜好性を明らかにすることができ、資源管理や産卵場造成における重要な知見を得ることができる。そこで本研究では、周防灘南部海域における産卵場にて、マコガレイ 20 尾 (雌 9 尾, 雄 11 尾) に超音波発信機を装着後、産卵盛期(12 月中-下旬)前の 11 月 29 日に放流し、設置型受信機により追跡した。18 尾は調査海域内を徘徊したり、一時的な移出後に再び現れたりし、12 月中旬までに完全に移出した。2 尾は 1 月中旬まで滞留し、産卵盛期にシルト・クレイ帯を中心としたシルト・クレイ帯-極粗砂帯で昼夜問わず徘徊していた(Fig. 2, 3)。よって、18 尾のほとんどは調査海域および周辺で産卵場所を探していたが調査海域では産卵・放精せずに移出し、2 尾は調査海域内で産卵・放精していたと考えられた。また、産卵場を移出した個体のうち 1 尾は推定産卵場である福岡県沿岸で、1 尾は山口県の沖合で採捕された。それぞれの個体の成熟状況はそれぞれ放卵後、成熟途中であった。この 2 個体について前者は福岡県沿岸で産卵し、後者は他の産卵場へ向かう途中であったと推測された。これらの結果から、マコガレイの大半は特定の産卵場に固執せず、一部の個体は広域に移動して産卵を行うことが示された。このような産卵行動には仔魚の拡散や局所的に産卵場が機能しなかった際のリスク分散のメリットがあると考えられた。

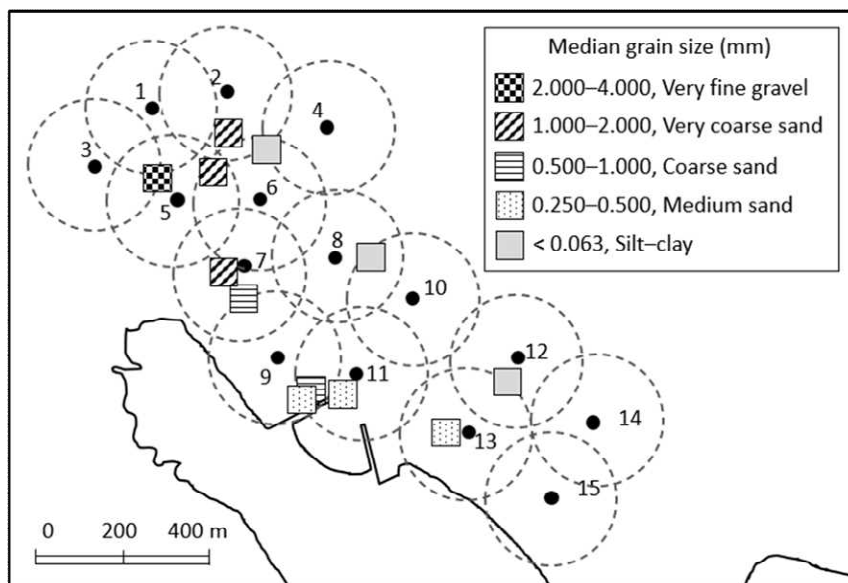


Fig. 2 Median grain size of bottom sediments in the study site. Squares denote the sampling points where bottom sediments were collected. Solid black circles with numbers denote the location of each receiver. Dashed gray circles represent the 150-m-radius detection ranges of each receiver.

(様式5) (Style5)

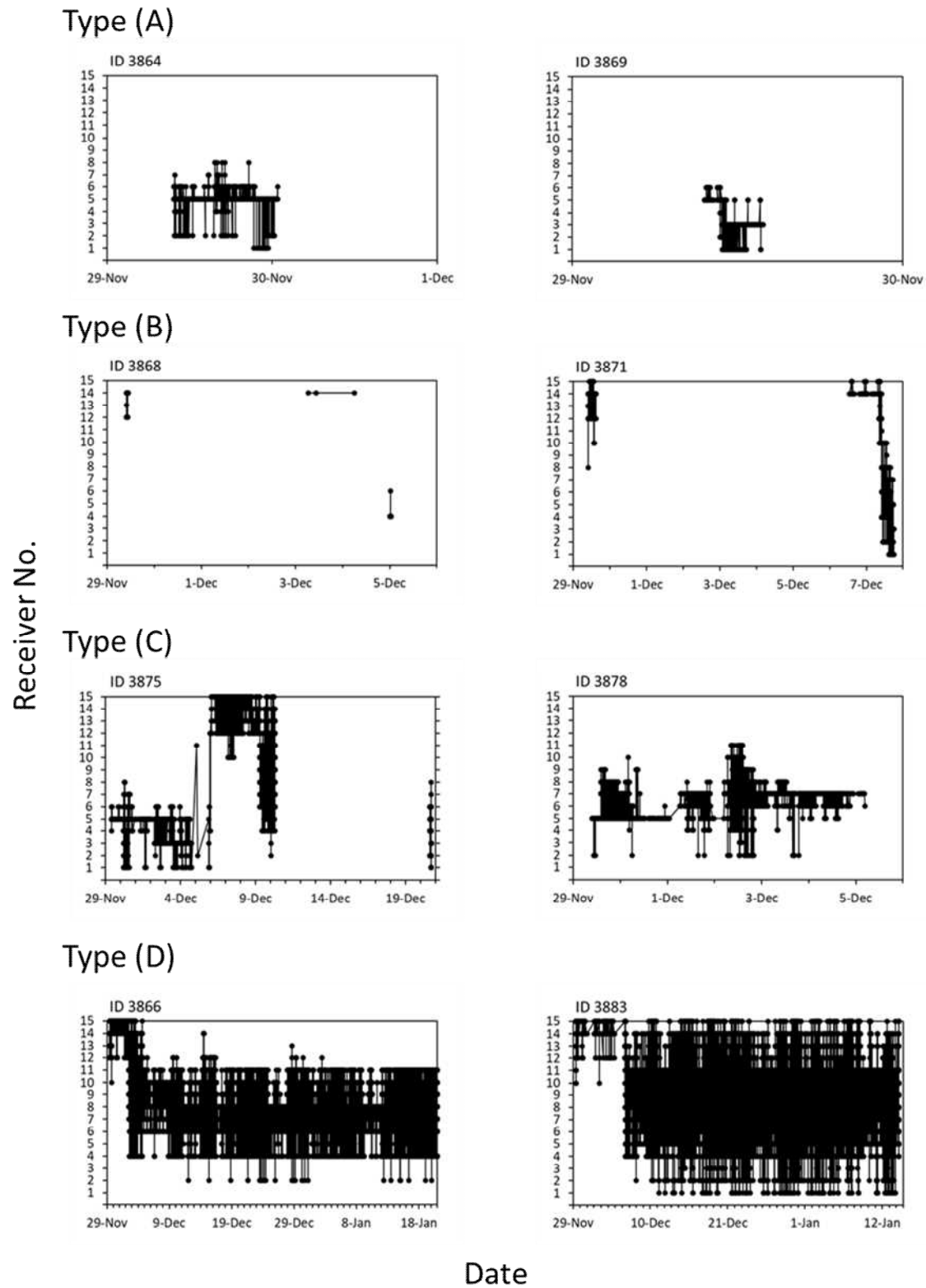


Fig. 3 A–D Typical movement patterns of released fish. Receiver numbers correspond to those in Fig. 2, and black dots indicate the dates on which the fish were detected by a receiver.

夏季から冬季にかけての経験水温・深度および離底行動の観測

マコガレイ資源の減少は高水温が一因であると考えられているため、本種の生息水温の把握は今後の資源動向を予測する上で重要となる。マコガレイの適水温は 9–22°C であり、生息限界水温は 28–30°C であると報告されている。ここで、周防灘は一部で 28°C 以上の高温水が形成されることから、周防灘において夏季のマコガレイの経験水温を連続的に観測することで実際の生息可能な水温の上限を把握することができる。そこで、本研究ではマコガレイ成魚 30 個体に水温・深度ロガーを装着し、2017 年 7 月 3 日に周防灘姫島地先で放流して 2 個体から 12–1 月までのデータを得た。高水温となる 9 月の 2 個体の経験水温の最頻値は 24–25°C (53.9–57.6%)、経験深度の最頻値は 0–5 m (44.3–73.9%) であった。最高経験水温は 27°C に達したが 26°C 以上の頻度は 3.9–4.5% と低かった (Fig. 4)。よって、夏季は適水温を上回る環境下で生息していることが明らかになり、天然海域では 26°C 未満の水温帯で生息可能であると考えられた。周防灘の底層水温と深度の水平分布図との照合により、2 尾は 9 月に国東半島北岸に分布していたと推定された。国東半島北岸は年間を通じてベントス量が多いことが報告されているため、マコガレイは摂餌目的で当該海域に生息していたと考えられた。また、深度データからは離底行動が観測され、連続した離底行動後に生息水深、生息水温、分布域等が変化したことから、離底行動は移動に関連していたと考えられた。

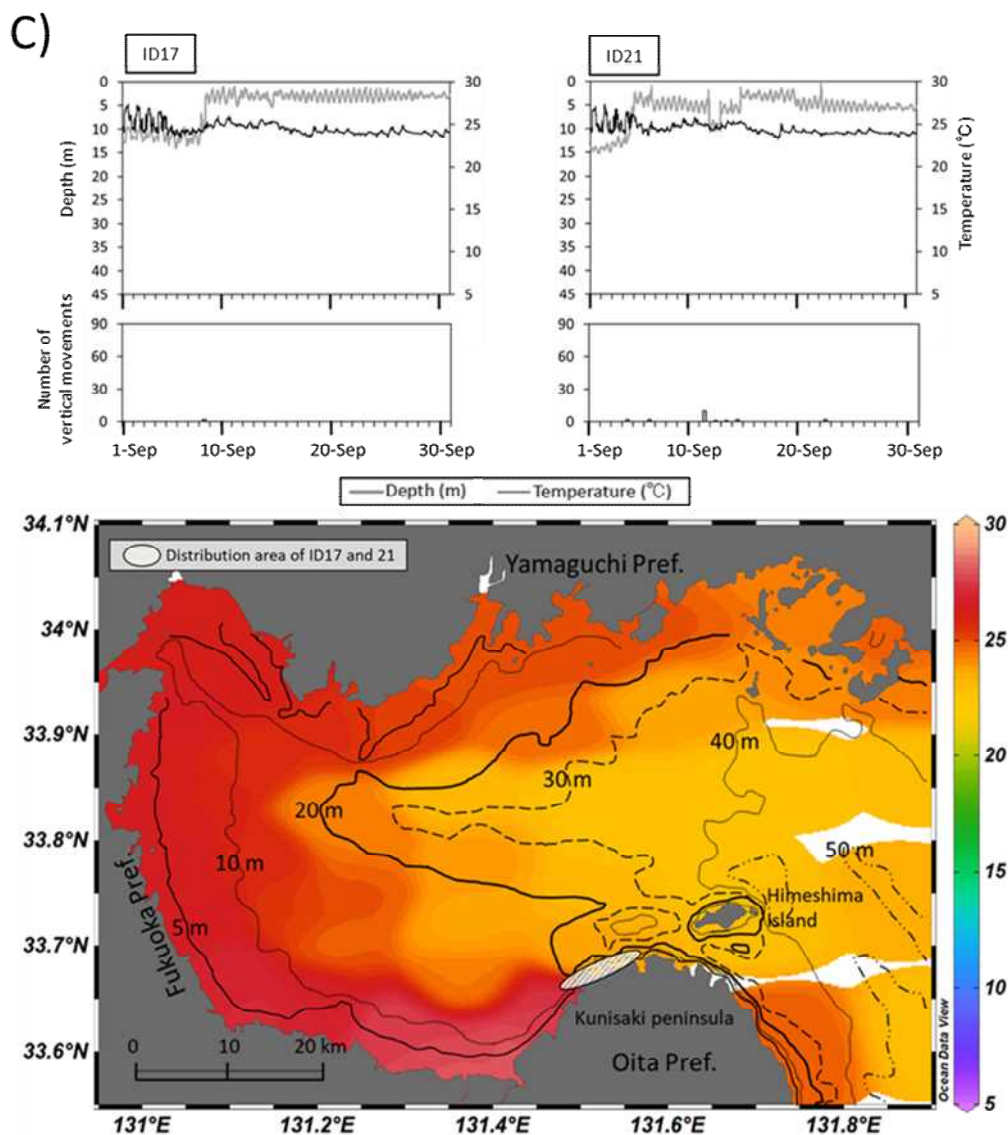


Fig. 4 (Upper figure) Depth, water temperature, and number of vertical movements for marbled flounder (ID17, ID21) obtained from temperature-depth data logger on September 2017. Depth and water temperature are plotted in 5-s intervals. (Lower figure) Contour map of bottom water temperature (°C) on September 2017 and estimated migration route for marbled flounder. Observation periods of bottom water temperature were September 4–7, 2017.

稚魚の着底期, 成長および生息環境

マコガレイ稚魚の適水温は 20°C あり, 天然海域では 20°C を超える水温帯では稚魚がほとんど採捕されなくなる. 近年, 瀬戸内海では沿岸域において水温が 20°C を超える時期が早まりつつあり, このような水温上昇は稚魚の生残に悪影響を与えていると考えられている. また, 大分県沿岸においては稚魚の耳石解析による着底期, 成長速度の解析は行われていない. そこで本研究では, 国東半島沿岸の周防灘および別府湾海域において, 2018 年 4–6 月にかけてマコガレイ稚魚を月に 1 度採集し, 着底期, 成長, 生息環境を調査した. 耳石の微細構造の解析により, 両海域ともに着底期の範囲は 1 月から 3 月にかけてであり, ピークは 2 月中旬であり, 着底から 51–60 日齢の成長速度は周防灘で 0.42 ± 0.11 mm/day, 守江湾で 0.38 ± 0.11 mm/day と推測された. 飽食条件での飼育実験では, 体長約 21 mm のマコガレイ稚魚は 8–20°C の範囲において 8–14°C で成長が良く, 14°C での成長速度は平均 0.30 mm/day であることが報告されていることから, 香々地地先および守江湾に生息する稚魚の成長は良好であったと考えられた. また, 経験水温と耳石輪紋幅の関係から, 着底から 60 日齢までの成長は 8.5°C 以上で良くなることが示された. 両海域では 4 月から 6 月にかけて稚魚密度が低下したが, 6 月は稚魚の至適水温かつ成育場から移出する水温の 20°C を上回る定点においても分布が確認された (Fig. 5). 5–6 月の底生生物の現存量と稚魚密度には強い正の相関が認められた (Fig. 6). よって, 稚魚の一部は高水温下においても摂餌目的で生育場に留まっていたと考えられた.

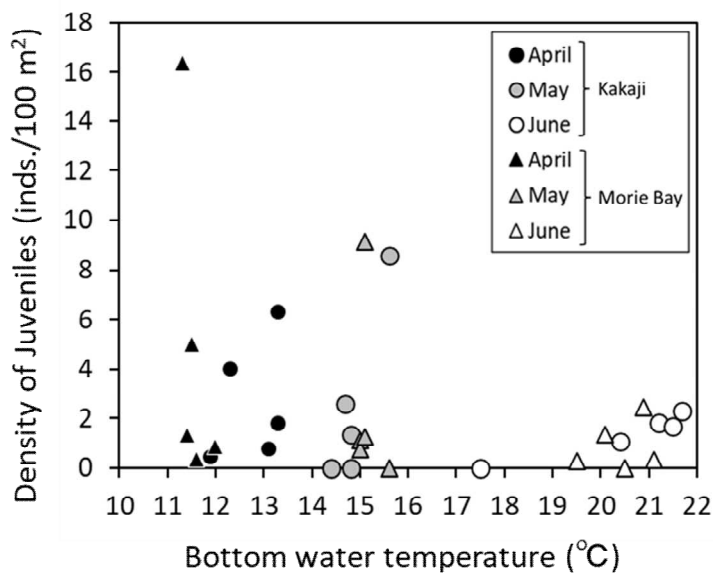


Fig. 5 Relationship between bottom water temperature and density of the juveniles.

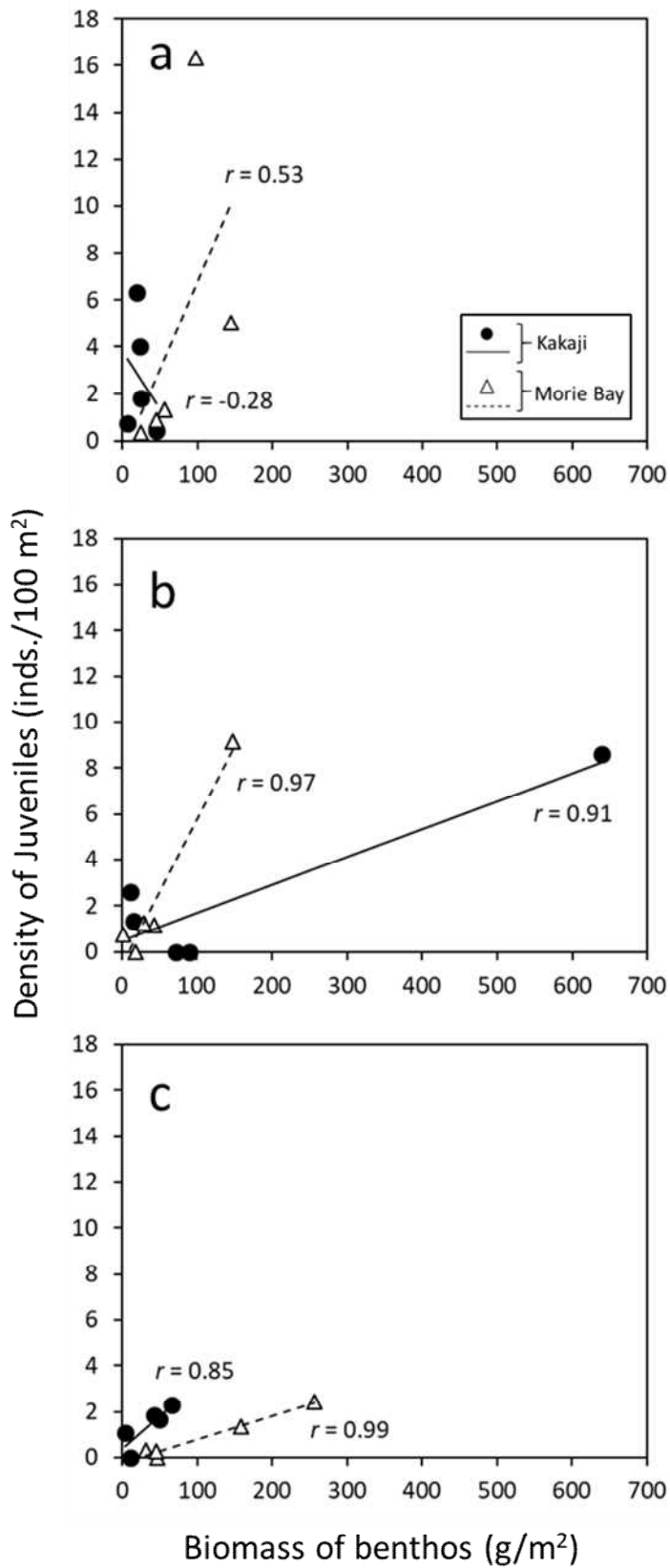


Fig. 6 Relationship between biomass of benthos and density of the juveniles (a: April, b: May, c: June).

総括

マコガレイは産卵期に岩石が点在するシルト・クレイ帯-極粗砂帯に滞留し、粗砂帯に卵を産み落とすことから、産卵場造成にはこのような海底構造が必要である。周防灘では産卵期に成魚が広域に移動すること、本研究および既往知見から大規模な産卵場が発見されにくい傾向にあることから、漁獲情報をもとに推定産卵場をマッピングし、産卵場の保全・造成および産卵魚の保護を広域に行う必要がある。マコガレイ成魚および稚魚は国東半島沿岸で適水温を上回る海域で生息していた(成魚は推定分布域)。したがって、国東半島沿岸は高水温に耐えうる生息環境を有していると考えられ、今後保全していく必要がある。また、成魚・稚魚の高水温期における生息域の特徴として良好な餌料環境を有していることが挙げられた。よって、夏季に種苗放流を行う際には放流場所の餌料環境を把握することが重要であると考えられた。本研究によって、大分県沿岸では卵、稚魚、成魚は適水温の上限付近の環境下に置かれていることが明らかになった。今後は将来の水温変化がマコガレイの生態に与える影響について研究する必要があると考えられる。

(注) 要約の文量は、学位論文の文量の約10分の1として下さい。図表や写真を含めても構いません。

(Note) The Summary should be about 10% of the entire dissertation and may include illustrations