



(題字：相良祐輔学長)

国立大学法人 高知大学学報

高知大学学位授与記録第二十九号

総務課広報室発行

本学は、次の者に博士（学術）の学位を授与したので、高知大学学位規則第15条に基づき、その論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

目次

学位記番号	氏名	学位論文の題目	ページ
甲黒博第7号	黄 秉益	A direction towards sustainable feeding fish culture with least material loading in semi-enclosed seas (閉鎖性海域における物質負荷を抑えた持続型の給餌魚類養殖の方向)	1
甲黒博第8号	布部 淳一	土佐湾におけるイサキの初期生活史に関する研究	18

ふりがな	こう へいえき
氏名(本籍)	黄 秉益 (台湾)
学位の種類	博士(学術)
学位記番号	甲黒博第7号
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位授与年月日	平成20年9月19日
学位論文題目	A direction towards sustainable feeding fish culture with least material loading in semi-enclosed seas (閉鎖性海域における物質負荷を抑えた持続型の給餌魚類養殖の方向)
発表誌名	PY. Huang, H. Andoh, M. Takahashi (2005) Organic loading derived from marine feeding fish aquaculture by using floating net cages in a fjord-type inlet. Submitted to the "Fisheries Oceanography"
	<p style="text-align: right;">審査委員 主査 教授 奥田 一雄 副査 教授 諸岡 慶昇 副査 教授 木下 泉 副査 名誉教授 高橋 正征 (高知大学)</p>

論文の内容の要旨

1. Introduction

Even though aquatic organisms have been important for animal protein supply even in the seas with high productivity, but they have never been extensively utilized compared to terrestrial animals. However, fish for human foods has recently been recognized the importance in the world because of newly found diseases of terrestrial animals such as bird flu and mad cow disease which are extremely difficult for curing by current medical treatments, and of recently being pointed out the superiority of fish for human nutrition.

Wild fishes have mainly been utilized, and the increased fish demands have been supported with the improvement of fishing technologies which has resulted into a great decrease of useful wild fish resources. It has now been demonstrated that the current world fishery industry might be collapsed by 2050 if we leave the current situation with no special care. Therefore, it is then urgent to develop ways for supporting fish supply other than

論文の内容の要旨

wild fish catch.

Cultured fishes have already been recognized for substituting the wild fish catch, and the percentage share of fish made by aquaculture in total fish supply is increasing in the recent years. For example, cultured fish in Japan shared only 2.5 % of total fish supply before 1991 but increased to 8 % in 2005, although actual fish production by aquaculture did not change during the last 15 years. Since feeding fish culture has several fundamental problems, cultured fish could be difficult even to maintain the current production. Two major difficulties are (1) obtaining feed for culture and (2) material loading due to feeding fish farming. Since most of feed for fish culture are supplied by wild fishes, possible collapse of fisheries industry due to over-fishing in the near future could make feeding fish culture unsustainable. On the other hand, material loadings due to feed wastes, excretes and metabolites for feeding fish culture, could cause water deterioration such as eutrophication and forming red tides. Farming grounds for feeding fish culture are usually chosen semi-enclosed areas having poor water exchange because of easy access and preventing from rough weather, which could accelerate water deterioration in those seas.

The present study was aimed to solve one of the above mentioned two difficulties, namely material loading due to feeding fish culture. Uranouchi Inlet in Kochi Prefecture, a typical semi-enclosed sea, and feeding fish culture under operation, was chosen as the model site to determine the material loading derived from feeding fish culture, and an acceleration of oxygen depletion was evaluated. Under through understanding of material loading due to feeding fish culture, a zero-emission feeding fish culture was challenged to propose by recovering materials with the help of useful organisms (Fig. 1).

論文の内容の要旨

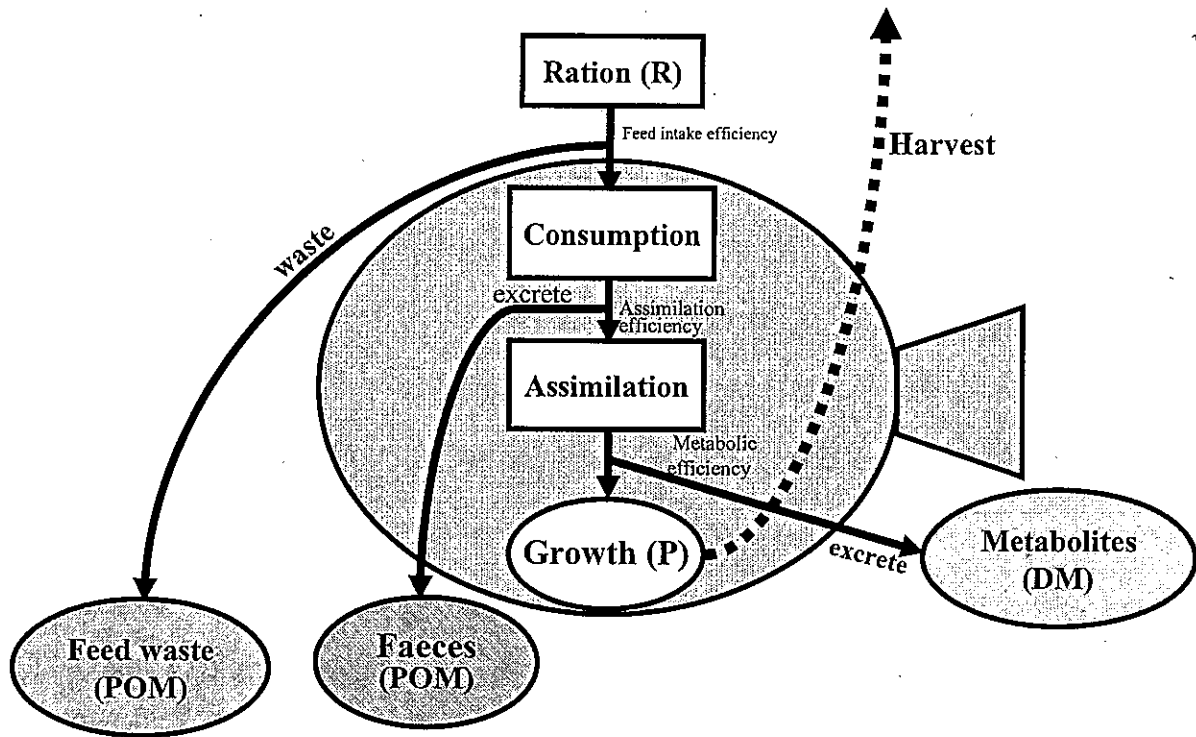


Fig. 1. Schematic presentation of material loadings due to feeding fish culture and a possible “zero-emission feeding fish culture” by recovering loaded materials with the help of useful organisms. (DM, loaded dissolved matter; POM, loaded particulate organic matter)

2. Uranouchi Inlet and feeding fish culture activity

Uranouchi Inlet located in the middle of Kochi Prefecture in Shikoku is a narrow fiord type estuary having a surface area of 9.74 km², depths of 23 – 24 m at the center of main basin, an average depth of 7.8 m, and depths less than 5 m at the east end with a 0.26 km wide opening to the outside sea. Total volume of the inlet is 75.6 x 10⁶ m³, and volumes of shallower and deeper depths than 5 m are 38.9 x 10⁶ m³ and 36.7 x 10⁶ m³, respectively. Water mass become stratified by the middle to the end of May having a thermocline at 1-5 m in depth, and started to mixed vertically in the middle October along with losing stratification structure due to temperature drop down to ca 25 °C. There are 9 small streams flowing into the inlet although total freshet is limited because of limited water catchment

論文の内容の要旨

area due to the steep hills around the inlet. Water exchange is limited only to surface by tidal current as affected by freshet in the inlet. On the other hand, water containing rich dissolved oxygen with higher density could be occasionally intruded into the hypolimnion of inlet from outside sea.

Feeding culture of yellowtail was started from 1950s and that of red sea bream joined in 1974 in Uranouchi Inlet. Yellowtail and red sea bream are now cultured by feeding in the inlet. In 2005, 6 small culture areas for fish cages of 9,477 m² covering 0.1 % of total inlet area were set in the main basin having depths of 15 m. Fish production per unit culture area was ca 0.6 t fresh weight (fw)·year⁻¹.

3. Yearly based material loading due to feeding fish culture in Uranouchi Inlet

In Uranouchi inlet, yellowtail culture was started by introducing individual juveniles of ca 10 g (fw) into the cages from April to June and finished in November. Raw fish was originally used as feed followed with a recent change to extruded pellets (EP). Red sea bream culture was started by introducing individual juveniles of ca 10 g (fw) in May by feeding dry pellets (DP) and finished in December of second year. Cultured individual numbers of yellowtail and red sea bream in 2005 were 168,000 and 620,000, respectively.

Material loading in dissolved (DM) and particulate organic (POM) forms due to feeding fish culture was estimated based upon mass balances originated from ration (Fig. 2). A part of ration absorbed by cultured fish is used for fish growth, and the rest of excretes (faeces), metabolites and feed waste becomes material loadings to the environment. POM of feed waste and faeces are settling out to the bottom followed with utilization by animals and heterotrophic microorganisms. Metabolites mostly in dissolved inorganic nutrient could be diluted and diffused into surface water immediately after the discharge from net cages.

論文の内容の要旨

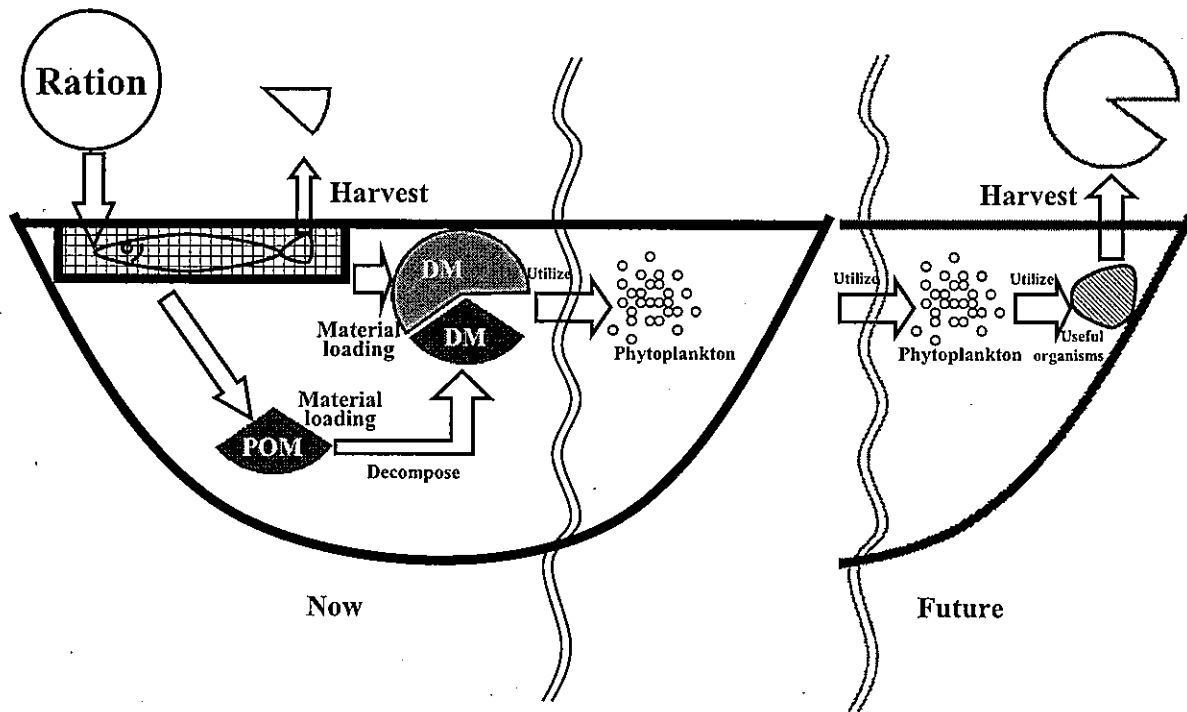


Fig. 2. Schematic diagram of mass balance starting from ration for fish in feeding fish culture.

Production over ration (P/R ratios) obtained from the yearly fish growth (P, the same as production) and ration (R) was used for estimating the proportion of growth in total ration. The rests of excluding the growth, material loadings, were estimated in dissolved and particulate organic forms, separately, by using efficiencies of feeding, assimilation and metabolism. Yearly total ration for yellowtail culture from 1970 to 2005 were 43.3 – 2694 t dry weight (dw) · year⁻¹ of raw fish, and 116 – 479 t(dw) · year⁻¹ of EP. P/R ratios in dry basis were 14 – 15 % for raw fish and 11 – 12 % for EP. Respective POM loading for raw fish and EP were 36 % and 25 %, and DM loading were 49 – 50 % and 63 – 64 %, respectively. Material loading reared by EP was ca 1/3 smaller, but DM loading was 13– 15 % greater than those reared by raw fish. Yearly ration of red sea bream culture in 1974 – 2005 were 1.19 – 1108 t(dw) · year⁻¹ with DP. Ten percent of total ration was used to growth, the rest became material loadings with 30 % for POM and 60 % for DM.

論文の内容の要旨

Since water exchange in the inlet of semi-enclosed type is limited due to its morphological characteristics, material loadings by feeding fish culture are apt to be serious. Particularly loaded POM settling out to the bottom could cause oxygen depleted water in the hypolimnion due to oxygen consumption during the stratification period, and could supply reducing substances eluted from the bottom sediment under oxygen depletion.

4. Seasonal changes of material loading due to feeding fish culture in Uranouchi Inlet

Understanding of seasonal changes of material loading is essential in considering the problems caused by material loading. Since ration changes depending on growth stage of fish and fish growth changes seasonally, material loading is then expected to be seasonally changed. Seasonal changes of material loading due to feeding fish culture in Uranouchi Inlet were then elucidated.

Since material loading can be estimated from ration after subtraction of growth, monthly growth and ration were concerned. Applying growth curves of yellowtail and red sea bream for determining daily growth, daily ration was then estimated by using the relation between the fish body weight and approximated recommended daily ration, because ration data are only available by year. Monthly growth and ration were calculated by monthly summations of daily growth and ration. Assuming a constant proportion of DM and POM in material loading throughout the growth period of fishes, material loadings by ration minus monthly growth were estimated separately for DM and POM forms.

Since the proportions of growth in ration was large in the early period of cultivation, the share of material loadings became small, and no significant effects were recognized as well as being affected by extremely small biomass. Monthly ration of yellowtail and red sea bream changed greatly according to temperature changes. Monthly material loading shared 79 – 95 % of monthly ration except for the initial month of cultivation. Material loadings

論文の内容の要旨

during May to October made 86 % of the yearly ration showed a share of 75 % of the yearly material loading, and POM was 31 %. Consequently, it has been concluded that material loadings were concentrated during the water stratification period with high temperature, and particularly the oxygen consumption in hypolimnion could be accelerated by gradual organic loadings.

5. Acceleration of oxygen depletion due to loaded POM in the hypolimnion of Uranouchi Inlet

Since semi-enclosed seas have poor water exchange and no vertical mixing during stratification period, material loadings due to feeding fish culture settling out to the hypolimnion accelerate oxygen consumption which could lead oxygen depletion. POM due to feeding fish culture was intensively loaded during warm temperature period in Uranouchi Inlet, and thus acceleration of oxygen depletion was expected. Then, acceleration of oxygen depletion in hypolimnion due to feeding fish culture was evaluated by using apparent oxygen consumption which was estimated based upon saturated oxygen and the *in situ* oxygen at a fixed point, and oxygen consumption by loaded POM.

Amounts of saturated oxygen and the *in situ* oxygen in the hypolimnion of the inlet were estimated, in which saturated oxygen was calculated based upon the *in situ* salinity and temperature. Oxygen consumption by loaded POM decomposition was estimated according to Richard et al. (1965).

In situ oxygen amount decreased to 1/2 of the saturated oxygen from February to June during low temperature period, kept a constant level until September, and then increased towards the oxygen saturation to December. *In situ* oxygen decreased significantly from June to September, in which percentage share due to oxygen consumption by POM decomposition was expected as large as 41 % – 89 %, and became over 100 % in October and November. It has been observed that oxygen rich outside water intruded into the

論文の内容の要旨

hypolimnion once or more times per month in Uranouchi Inlet, and the apparent oxygen consumption was then less than the actual consumption. Therefore, oxygen consumption due to feeding fish culture in Uranouchi Inlet could be lower percentages than the estimates mentioned above, but actual acceleration of oxygen depletion due to loaded POM could be indispensable. In addition, oxygen depletion by feeding fish culture could be accelerated more, because some organic matter produced by loaded DM and bio-fouling of net cages were supplied to hypolimnion and consume oxygen. As the results, material loading by feeding fish culture could affect significantly on oxygen depletion in hypolimnion, and should be minimized such as by recovery of loaded materials.

6. A direction towards feeding fish culture with least material loading in semi-enclosed seas

In the semi-enclosed Uranouchi Inlet, 10 % – 15 % of total ration were recovered by harvesting fish, but the rests became a material loading to the environment. Dissolved matter of material loading, inorganic nutrients, were diluted and diffused into water following with subsequent absorption by phytoplankton to cause a secondary material loading in organic form. Primary and the secondary organic loadings could accelerate oxygen depletion in hypolimnion. Present feeding fish culture has been carried out with a sacrifice of environmental deterioration due to oxygen depletion, and the effects could be accumulated year after year. Then a new feeding fish culture should be established with a great sustainability having zero material loading or recovery the loading. Therefore, possible recovery of loaded materials with the help of useful organisms was challenged. Considering the most of loaded materials were inorganic nutrients and POM were also supplied to epilimnion from hypolimnion as inorganic nutrients after decomposition in Uranouchi inlet, uptake of nutrients by phytoplankton having rapid absorption activity was assumed following

論文の内容の要旨

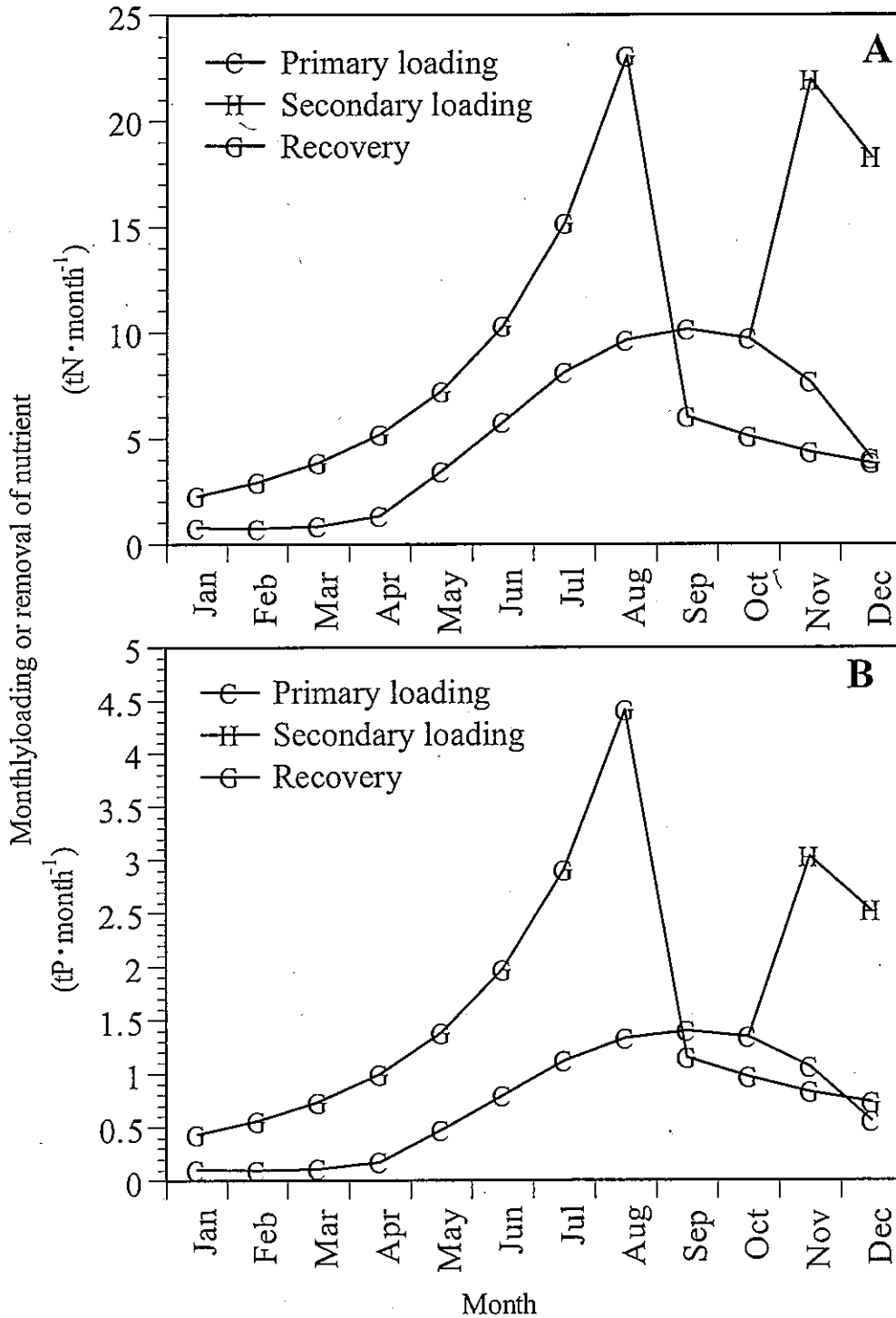
with a recovery by a filter feeder, Japanese littleneck clam.

Since inorganic nutrients are usually absorbed rapidly by phytoplankton, and increased phytoplankton are fed by Japanese littleneck clams. Japanese littleneck clam is harvested commercially in Uranouchi Inlet, furthermore the clam born in autumn has low mortality and their large shell of 30 mm at the 3rd year grow fast and absorb nutrient actively from spring to autumn, corresponding the period of material loading made by feeding fish culture. By harvesting large size clams from autumn to the following spring sequentially, loaded materials could be recovered effectively. From the present study, it has been expected that recovery of loaded materials by the current feeding fish culture could be made with the 2nd year or older clams with individual density such as about 1,000 ind·m⁻² (Fig. 3). The expected density to be about 4 times larger than the yearly maximum yield of clam in record, but it is realistic level such as the clam density reported in the western part of Japan. However, special treatments are highly required to maintain this density in Uranouchi Inlet including artificial supply of juvenile clams. Japanese littleneck clams with the proposed density can be recovered most of loaded materials with 83 % of nitrogen and 111 % of phosphorus, but, as shown in Fig. 3, there occurred a large discrepancy between loading and recovery of material such that Japanese littleneck clam absorb ca 2 times more than the material loading before autumn, and the recovery by clams greatly decreased after autumn. In the present study, the discrepancy between material loading and recovery of clams is expected to be taken bare by averaging with natural productivity in Uranouchi Inlet. If useful organisms are found to absorb nutrients effectively form autumn to winter, better removal of loaded materials can be made with concomitant use along with clams. In that case, clam density can be reducing to a half.

Fish production has only be considered in the feeding fish culture currently carried out and environmental deterioration due to feeding fish culture has never been concerned. This

論文の内容の要旨

kind of trend does not only occur in the feeding fish culture but also in many other human activities. Recently, zero emission has been paid much attention in many human activities, and it should be concerned urgently in feeding fish culture. Important point is to include useful activities as much as possible, and the present study could be a guide for such trial.



論文の内容の要旨

Fig. 3. Monthly changes of nutrient loadings in nitrogen and phosphorus, and those absorption by later age of 2nd year and 3rd year Japanese littleneck clam under the assumption of individual clam density of 1,000 ind·m⁻² in the sandy/mud bottom area of 1.26 km² with shallower depth than 5 m. A and B represent nitrogen and phosphorus, respectively.

論文審査の結果の要旨

食料としての動物たんぱく質の確保は人類社会の誕生以来の重要課題の一つである。20世紀後半には、世界の先進諸国を中心として自国内生産と輸出入によって動物たんぱく質の確保はほぼ達成された。しかし、動物たんぱく質源となる畜産肉類と魚介類のそれぞれにおいて、将来的な不安要素が認識され始めている。魚介類は天然と養殖によって供給されているが、天然魚介類は乱獲などが原因となり、現状の漁獲を維持することが困難であるということが世界的に認識されている。それゆえ、養殖による魚介類の生産の重要性が高まっている。しかし、養殖生産では、主力の給餌養殖に、(1)使われている天然魚の餌の確保、および(2)給餌による養殖水域への物質負荷の2つの根本課題を抱えている。一方、従来の人間活動は「必要なものの確保」を目的としていたが、現在では、人間活動による環境影響の問題が認識されるようになり、活動によって起こる問題を最小化するLCA (Life Cycle Assessment) が重要であるという認識が高まっている。

申請者は、人類が必要とする動物たんぱく質を確保するため、給餌魚類養殖の重要性を認識し、実際の給餌養殖現場を対象フィールドとして取り上げ、給餌養殖による物質負荷を詳細に調査・検討した。それらの結果に基づき、給餌養殖による物質負荷の問題の解決は、環境負荷物質を有用水産生物が回収することによって実現する可能性を検討した。

申請者が選んだ対象フィールドは高知県中部に位置する浦ノ内湾で、表面積約 9.74 km²、湾央部の水深は 23~24 m で平均水深 7.8 m である。湾は、東側に位置する水深 5 m、幅約 0.26 km の開口部で海とつながり、奥行き約 6.25 km のフィヨルド型の細長い入り江となった地形である。湾全体の容積は 75.7×10⁶ m³ で、5m 以浅と以深層の容積はそれぞれ 38.9×10⁶ m³ と 36.7×10⁶ m³ である。

5 月中~下旬には成層し、1~5 m に温度・密度躍層が発達する。秋の気温の低下に伴い 10 月中旬に表層水温が 25 °C 程度に下がると、成層構造は崩れて水塊の鉛直混合が起こる。湾周囲から 9 小河川が流入するが、周辺が急峻で流域面積が少ないために流入淡水量は限られている。また、湾口部は浅くて狭いために深水層の水交換が悪く、雨水の流入や

論文審査の結果の要旨

潮汐流による表層水の交換が主である。しかし一方で、浦ノ内湾には不定期に酸素を多く含んだ深水層への湾外海水の浸入が知られている。

浦ノ内湾では、1950年代に給餌ハマチ養殖が始まり、1974年にはマダイ養殖が加わって現在では、ハマチとマダイの給餌養殖が行われている。浦ノ内湾における給餌魚類養殖は湾中央部の15m水深付近に集中し、海面養殖区画漁業権は6区に分けられ、2005年には総面積9477 m²の網生簀の単位面積あたり生産量は0.6 t(生重)・年⁻¹であった。

学位論文は全体が5章で組み立てられており、第1章の研究の背景以外のそれぞれの章の内容は概略以下のとおりである。

浦ノ内湾における給餌魚類養殖による物質負荷

浦ノ内湾では、4～6月にハマチの稚魚のモジャコを網生簀に入れて給餌養殖を開始し、12月頃まで育てて収穫している。養殖開始当初は生餌が使われていたが、最近ではエクストルーデッド・ペレット(EP)給餌である。マダイは5月頃に稚魚を入れてドライ・ペレット(DP)給餌で育て、2年目の12月頃に収穫している。ハマチとマダイの2005年のそれぞれの養殖尾数は約168,000尾と620,000尾である。

給餌を起点とした物質収支の概念を基に、給餌魚類養殖による物質負荷を魚種別に溶存態物質と粒状有機物に分けて集計した。給餌飼料の一部は魚に吸収され(成長量)、残りは排泄物(糞)や代謝産物として体外に出され、これらは摂食されなかった残餌と合わせて周辺環境への物質負荷となる。残餌と糞は粒状有機物として底層に沈降して多くは動物に利用され、また、微生物によって分解されるが、代謝産物のほとんどは溶存無機栄養塩類として網生簀内に排出された後、速やかに希釈・拡散される。

年毎の成長量(P, 生産量と同じ)と給餌量(R)のデータからP/R比を算出し、飼料別の魚の成長に回る割合を推定した。成長量以外は全て物質負荷となる。1970年から2005年のハマチ養殖による年間給餌量は、生餌が43.3～2694 t(乾重)、EPが116～479 t(乾重)であり、乾燥重量ベースの給餌量(R)に対する成長量(P)の割合は、生餌が14～15%、EPが11～12%と

論文審査の結果の要旨

なり、物質負荷は粒状態有機物として生餌が 36 % と EP が 25 %、溶存物質として生餌が 49 ~ 50 % と EP が 63 ~ 64 % の結果を得ている。生餌に比較して EP では粒状有機物負荷が約 1/3 少ないが、溶存物質負荷の方は 13 ~ 15 % 多い。一方、マダイ養殖における 1974 年 ~ 2005 年の年間 DP 給餌量は 1.19 ~ 1108 t (乾重) で、そのうち成長量として 10 % が回収され、残りが物質負荷となり、その内訳は粒状有機物が 30 %、溶存物質が 60 % という結果を得ている。

浦ノ内湾における給餌魚類養殖による物質負荷の季節性

物質負荷の具体的な問題の検討には季節性の把握が不可欠である。実際、養殖魚は成長段階によって摂餌量が異なり、成長量は季節的に著しく変動するので、物質負荷にも大きな季節変動が予想される。そこで本論文では、浦ノ内湾における給餌魚類養殖による物質負荷の季節変動状況を把握している。

給餌量と成長量の差から物質負荷が求め、月給餌量と月成長量を算出している。養殖現場での公表給餌量は年単位のために、浦ノ内湾でのハマチとマダイの成長曲線から魚体重と日成長量を求め、次に魚体重と数式近似した魚の適正給餌率を基にして日給餌量を算出した。それらのデータを月毎に集計して月給餌量と月成長量を求めた。次いで、溶存物質と粒状有機物の割合を用い、月物質負荷量を溶存物質と粒状有機物に分けて月毎に算出した。

養殖初期は給餌量に占める成長量の割合が大きく、したがって物質負荷割合は小さかったが、養殖初期の生物量は著しく少ないため、月物質負荷への影響はほとんど検知できなかった。一方、水温の上下に伴ってハマチとマダイの月給餌量は増減し、それに対応して月負荷量は大きく変動した。稚魚期の養殖開始 1 ヶ月間を除いた月物質負荷量は月給餌量の 79 % ~ 95 % となり、年給餌量の 86 % の投入された 5 ~ 10 月の物質負荷は合計で年間の 75 % で、31 % は粒状有機物が占めた。これらの結果から、物質負荷は水塊が成層する高水温期に集中していることが明らかになり、特に、粒状有機物の大量の排出によって底層における貧酸素化の進行の懸念される結果を得ている。

論文審査の結果の要旨

浦ノ内湾における粒状有機物による深水層の貧酸素化の加速

閉鎖性海域は海水交換が乏しく、加えて成層すると鉛直混合がなくなるために、給餌魚類養殖による負荷粒状有機物が深水層に沈下して分解する際に酸素が消費され、深水層が貧酸素化しやすい。特に浦ノ内湾では、高水温期に給餌魚類養殖によって粒状有機物が集中的に負荷されるので、貧酸素化の加速が予想される。そこで、浦ノ内湾の深水層における飽和溶存酸素量と実測溶存酸素量から見かけの酸素消費量を求め、さらに負荷粒状有機物による酸素消費量を推定し、給餌養殖による貧酸素化の加速程度を評価している。

水温の低い2月から6月は現場の実測溶存酸素量は飽和溶存酸素量の半分まで減少したが、その後は9月まで一定量を保った後、12月に向かって増加して飽和溶存酸素量近くまで回復した。6月から9月の実測溶存酸素量の減少が著しく、また、同時期の負荷粒状有機物による酸素消費は見かけの酸素消費量の41%~89%であったが、10月と11月は100%を超えた。浦ノ内湾では、酸素を多く含んだ外洋水が深水層に月1回以上の頻度で侵入していることが現場の観測結果から推察され、見かけの溶存酸素の消費量は実際の酸素消費よりも少なくなっている可能性が高い。したがって、浦ノ内湾における給餌養殖による酸素消費は、本研究で得られた見かけの酸素の消費に対してよりも低い割合になると考えられるが、負荷粒状有機物がもたらす貧酸素化の加速は無視できない大きさになると推察している。そのために、給餌養殖による物質負荷は貧酸素化問題と直接に関係し、その解消には負荷物質を回収する必要があることを示した。

閉鎖性海域における物質負荷を抑えた給餌魚類養殖の方向

閉鎖性海域の浦ノ内湾では、給餌魚類養殖の給餌量の10~15%が養殖魚の漁獲で回収されるが、残りは環境へ負荷されている。負荷物質中の溶存物質は現場水中に希釈・拡散し、植物プランクトンなどに吸収されて有機物の二次負荷の原因となる。一次負荷の粒状有機物と負荷二次有機物の一部は深水層に沈下して分解されるため、深水層の貧酸素化が加速される。現行の給餌魚類養殖は水域環境の貧酸素化の加速という犠牲の上に成り立っており、年々その水質環境の低下の影響が蓄積していくと推察している。給餌魚類養殖の継続のためには、

論文審査の結果の要旨

給餌による物質負荷の低減、あるいはゼロにする新しい給餌魚類養殖方法の確立が必要である。そこで、申請者は有用水産生物を利用した負荷物質の回収を考えた。浦ノ内湾の負荷物質の多くは無機栄養塩類で、粒状有機物も無機栄養塩類に分解されて表層に回帰することに着目し、反応の速やかな植物プランクトンによる自然吸収を想定し、それを濾過捕食性動物のアサリで回収することを検討した。

アサリは浦ノ内湾で漁獲されている有用水産生物種で、その上、秋生まれのアサリは生残率が高く、殻長 30mm 以上の大型 3 齢アサリは春から秋に活発に成長して多くの物質を吸収するので、主に夏から冬に物質負荷が集中している浦ノ内湾では、物質負荷とアサリによる物質回収のタイミングが合っている。大型アサリを秋から翌春に順次収穫することにより、負荷物質を効果的に回収することができる。現行の養殖による物質負荷の回収には 2 齢貝以上のアサリを 1,000 個体・m²程度の密度で確保する必要性を明らかにした。この想定アサリ密度は過去の浦ノ内湾の最多収穫量のアサリ密度の約 4 倍であるが、西日本で報告されているアサリ密度として現実的である。しかし、実際にこのアサリ密度を浦ノ内湾で確保するためには、養殖アサリ稚貝の散布を含めた人為的な工夫が必要である。

従来の給餌魚類養殖では、養殖魚の生産だけが考慮され、養殖行為による環境悪化などの問題はほとんど考えられてこなかった。こうした傾向は給餌魚類養殖に限らず、人類のこれまでの活動の多くで一般的に見られることである。しかし最近になり、人間活動のゼロエミッション化が様々な分野で志向されてきており、給餌魚類養殖においても、ゼロエミッション化の実現が急務である。その際に重要なことは、可能な限り有用な活動を取り込んで実現することである。申請者は本研究を通して人間活動の今後のあり方を強く社会に訴えている。

従来の研究の方向は、給餌量を少なくして環境負荷を軽減する、環境負荷物質を何らかの方法で回収する、あるいは給餌魚類養殖の環境負荷の大きさの指摘といった個別の内容が主流であった。申請者は、給餌魚類養殖の必要性を強く認識した上で、それが持っている環境負荷問題を詳細に検討し、問題解決を有用水産生物種で回収するという「マイナス問題をプラ

論文審査の結果の要旨

スに変えて対応する」ことの重要性を示すことにより、極めて新しい視点の研究を提案したといえる。本研究における有用水産生物種による負荷物質の回収はその可能性の指摘であり、それゆえに実際の実現には多くの検討課題を含んでいる。しかし、その具体的内容の検討の未着手を指摘して不完全性を問題とするのではなく、今後人類が真剣に考えるべき給餌魚類養殖の方向性を明確に指摘した申請者の慧眼を、本学位論文の核心として高く評価した。

本審査委員会は、提出された博士論文(英文)、平成 20 年 8 月 6 日の公開論文発表会における発表と質疑、並びに平成 20 年 8 月 14 日の面接による最終試験を総合し、申請論文は博士(学術)の資格を得るに十分なレベルに達していること、並びに申請者黄秉益氏は博士(学術)としての資格を持つに十分な専門知識と優れた研究能力を持っていることを確認した。
以上

ふりがな 氏名（本籍） 学位の種類 学位記番号 学位授与の要件 学位授与年月日 学位論文題目 発表誌名	ぬのべ じゅんいち 布部 淳一（兵庫県） 博士（学術） 甲黒博第8号 学位規則第4条第1項該当 平成20年9月19日 土佐湾におけるイサキの初期生活史に関する研究 土佐湾におけるイサキ仔魚の分布生態，布部淳一・木下泉・指田穰・ 村田修，水産海洋研究，72（2），2008年5月 <div style="text-align: right;"> 審査委員 主査 教授 木下 泉 副査 教授 山岡 耕作 副査 准教授 久保田 賢 副査 教授 上田 拓史 </div>
論文の内容の要旨	
<p> イサキ <i>Parapristipoma trilineatum</i> は，イサキ科 Haemulidae に属し，我国の重要な有用種であるが，近年，その漁獲高は年変動をくり返しながら，徐々に減少してきた。しかしながら，資源変動に極めて重要な初期生活史，特に浮遊期での研究はほとんどなされないまま今日に至っている。また，世界ではイサキ科魚類は約150種分布しているにも関わらず，それらの初期生態に関する研究は皆無に等しい。そこで，第1章：土佐湾に出現するイサキ仔魚の発育の記載；第2章：仔魚の出現と水平分布の時空間的変化；第3章：仔魚の鉛直分布特性ならびにその意義，および第4章：仔魚の日齢解析による産卵期の把握と成長の季節および年変動に関してそれぞれ検討を行い，本種の資源変動の要因を探る基礎知見を得るために，初期生活史の詳細を明らかにすることを目的とした。 </p> <p> 調査は，仔魚の出現および水平分布の年変動をみるために土佐湾中央部で2002，2005，2006年に，その中で2005年では地域変化をみるために同湾西部および東部において行った。仔魚の採集には，稚魚ネット（目合0.5mm）とシラスパッチ網（袋網目合2mm）を用いた。仔魚の鉛直分布をみるために，同湾中央部において稚魚ネットによる層別水平曳を行い，同時に，仔魚の鉛直分布様式の要因を探るために，水温，塩分，流向・流速および光量子束密度の測定を行った。さらに，その分布特性の意義を明らかにするために，仔魚の消化管内容物および </p>	

論文の内容の要旨

環境の動物プランクトンを観察した。仔魚の日齢は、飼育実験により日周性が証明された耳石輪紋を計数して把握した。

仔魚は、Preflexion から Flexion 期までは広く沿岸域に出現したが、Postflexion 期になると、シラス漁場のような浅海域のみに出現した。Preflexion 期では、中層に分布の中心があったが、Postflexion 期へ発育が進むにつれ、より深くなった。これらのことから、イサキ仔魚は、Flexion 期までは中層を中心に沿岸域で受動的な浮遊生活を送り、発育に伴って徐々に接岸するのではなく、Postflexion 期に達すると、一気に浅海域へ中層以深を通じて集積すると考えられた。さらに、浮遊生活後の本種の成育場は、シラス漁場のような浅海域であることが明らかとなった。

中層以深に集積するという分布特性と環境因子との関係を探ると、高密度層は、塩分躍層より下層にあることが多かったが、成層または混合時でも中層付近にあった。そこで、光との関係をみると、仔魚は、曇天および薄明時では塩分躍層があるにも関わらず、表-中層に分散していたことから、鉛直分布は光により規定されることが明らかになった。この分布特性の意義を摂餌生態から探ってみると、仔魚は環境中では比較的密度の低かった枝角類と Harpacticoida ノープリウスを主に摂餌し、その食性は特異的なものであった。仔魚は、それらを薄明時に活発に摂餌していたが、時空間的には薄明時の枝角類だけの分布が仔魚の分布と一致していた。従って、仔魚の中層分布は、摂餌戦略に関して有利とは必ずしも見受けられなかったが、薄明時に仔魚が鉛直的にやや分散することで、餌生物との遭遇の機会が増え、その結果、摂餌量の増加に結びついたものと考えられる。

仔魚の孵化日から、土佐湾での本種の産卵は、5月上旬から9月上旬に行われることが明確になった。この産卵期は、生殖腺調査による徳島県および和歌山県のものとはほぼ一致し、長崎県、三重県および神奈川県よりも1ヶ月ほど早く開始していた。このことは、土佐湾および紀伊水道の春季の水温が他海域に比べて高いことに起因していると考えられる。

仔魚の生残・減耗に関係深い初期成長を孵化月ごとに検討したところ、成長の差は孵化後約3-9日の初期仔魚ではほとんどみられなかったが、孵化後約12-17日の仔魚ではみられ、また、後者での成長量の差に水温の高低はほとんど影響していなかった。これらのことから、浮遊期での成

論文の内容の要旨

長量の差は、接岸開始以降に水温以外の要因に影響されて生じることが推測された。

以上、イサキにとって沿岸域、特にシラス漁場のような浅海域は重要な成育場であることが明らかになり、成育場への回遊前後に、成長の時間的変動が起きることが考えられた。この成長差は仔魚の特異的な食性に起因され、成育場での仔魚の生残りの大小を左右することが推測された。

論文審査結果の要旨

申請者・布部君の学位論文は、我が国沿岸漁業においてマダイ・ヒラメに匹敵する漁獲量があり、黒潮流域での重要な水産資源にも関わらず、初期生活史がほとんど明らかではなかったイサキ (*Parapristipoma trilineatum*, イサキ科) のそれを明らかにし、本種の資源変動の要因を探る基礎知見とすることを目的とした。その内容を以下に要約する。

第1章：土佐湾に出現するイサキ仔魚の発育の記載；第2章：仔魚の出現と水平分布の時空間的变化；第3章：仔魚の鉛直分布特性ならびにその意義、および第4章：仔魚の日齢解析による産卵期の把握と成長の季節および年変動に関してそれぞれ検討を行い、さらに第5章において第1～4章を踏まえて総合的に考察を行った。

以上から、イサキにとって沿岸域、特にシラス漁場のような浅海域は重要な成育場であり、成育場への回遊期前後に成長の時間的変動が起き、その要因として、特異的な食性の可能性を明らかでき、かつその成長量の差が成育場への生残りの高低を示唆することができた。当初の目的であった資源変動の要因を初期生活史から明確に見出すことはできなかったが、今まではほとんど不明であったイサキの初期生活史の全貌をほぼ明らかにできたことは、今後の本種の資源管理および栽培漁業の発展に多いに貢献することは間違いないであろう。

さらに、平成20年8月16日に開催された公開審査会で効果的な発表を行い、質問へも適切に対応できた。

また、申請者は、本論文内容の一部を査読システムのある学術雑誌に既に2008年5月に公表済みである。

以上から、申請者の提出論文は博士論文としての水準に達していると考えられた。