

学 位 論 文 要 旨 Summary of Dissertation (Japanese)	
氏 名 Name	リカルド パミットン ババラン
題 目 Title	魚類の行動とパヤオの集魚メカニズムに関する研究 (Studies on Fish Behaviour and Association Mechanisms to Payao)
<p>本学位論文は、東南アジアの沿岸漁業において重要な役割を担う浮魚礁（パヤオ）における魚類謂集メカニズム解明への寄与を目的とする。研究は、第一に、実海域において、①魚礁周辺での魚群分布状況の音響観測機器による評価、②バイオテレメトリーによるキハダ <i>Thunnus albacares</i> 幼魚の魚礁周辺での遊泳行動と魚礁周辺での滞留期間の評価、③魚礁周辺部および非周辺部で採捕した魚群（マルバラシマガツオ, <i>Brama orcini</i>）の摂餌状況の比較による謂集要因仮説「摂餌説」の検証を実施した。また、研究室レベルにおいては、魚群が魚礁へ謂集する際に不可欠となる魚礁位置を知るための感覚刺激とそれらの刺激に対応する感覚能力を知るために、④流体中での浮魚礁構造が発生する振動、渦、および音（フィールド計測）の計測と分析、⑤魚礁謂集魚種であるマアジ <i>Trachurus japonicus</i> の対渦行動、⑥マアジの音および振動に対する感覚器の構造と機能の組織学的・電気生理学的評価を行った。</p> <p>計量魚群探知機による浮魚礁周辺海域の調査から、小型魚群は魚礁に近接し、大型個体は遠距離でかつ遊泳深度も深いことを明らかにした。テレメトリー実験からは、キハダ幼魚は魚礁周辺域に数日間滞留しその後移動することを明らかにした。遊泳深度の分析からはキハダ幼魚は昼夜で遊泳深度を変化させることを示し、夜間には表層付近にまで浮上することを明らかにした。魚礁周辺域および非周辺域で採捕したマルバラシマガツオの胃内容物の分析からは、魚礁周辺域での採捕個体で非周辺域採捕個体よりも空胃率が高く、かつ、両海域で採捕された個体の胃内容物組成が異なったことより、摂餌を目的として魚礁周辺へ謂集するとする仮説を棄却する結果を得た。</p> <p>研究室およびフィールドでの計測により、浮魚礁構造は流体中において振動、渦、音等の機械的な刺激を発生させることを明らかにし、音源となる構造は、水面に浮体として設置される竹筏、筏を固定するために装着されているアンカーロープ、筏下に集魚を目的として装着されるヤシの葉と考えた。魚礁の発生する振動や音の主成分は80Hz以下の比較的低い周波数帯であった。アンカーロープは最も主要な音源となることを示し、浮体となる筏の運動にともなうロープの緊張により、固有振動数に従った40Hz以上の振動を生じさせることを示唆した。浮魚礁により発生する振動・音刺激のエネルギーとマアジの聴覚感度との比較からは、最大感度を示す周波数帯が発生音と相違することを示し、音を手掛かりとして魚礁位置を認識することは困難であると考えた。一方、マアジにおいて、側線器や前庭感覚は発達しているものと考えられ、低周波数の水の振動を手掛かりとして魚礁位置を認識する可能性が示唆できた。</p>	

(学位第3号様式)
(Form 3)

学 位 論 文 要 旨 Summary of Dissertation (English)	
氏 名 Name	Ricardo Pamittan Babaran
題 目 Title	Studies on Fish Behaviour and Association Mechanisms to Payao (魚類の行動とパヤオの集魚メカニズムに関する研究)
<p>This dissertation seeks to explain the mechanisms of fish association with anchored bamboo fish aggregating devices, or payaos. It combines several complementary studies on the abundance and distribution of payao-associated fish in general, the swimming behavior of juvenile yellowfin tuna <i>Thunnus albacares</i>, food intake of pomfret <i>Brama orcini</i>, and hearing threshold and the lateral line morphology of Japanese jack mackerel <i>Trachurus japonicus</i> with field observations of payao-generated sound and vibrations of the payao components.</p> <p>The hydroacoustic survey near payao revealed that the sizes of associated fish are small and that these generally swim closer to the payao whereas bigger sized fish stay at farther distances and in deeper waters during the daytime. Tagging experiments involving juvenile yellowfin tuna indicated that their association with payao lasted for several days. Daytime swimming behavior of juvenile yellowfin tuna near payaos is similar to the observed behavior of adult tuna in open waters but stay closer to the surface at nighttime. Based on an analysis of the gut contents of pomfret, the proportion with empty stomachs in associated individuals was higher than unassociated fish, and the dominant diet items of individuals of the two groups with non-empty stomachs were different, which indicated that the motivation to associate with the payao seemed not related to feeding. Although these foregoing results are consistent with previous studies, they do not adequately explain the association of fish with payaos.</p> <p>The mechanosensory environment near the payao is rich in acoustic and hydrodynamic signals generally caused by the vibrations of its component parts such as the anchor rope, bamboo raft, and palm frond, and this condition apparently provides the sensory basis of the associations when fish detects the signals either through their inner ear or lateral line. Payao sounds have frequencies below 80 Hz, which indicates that the generated signals are dipole-like in nature and that these are detectible by the inner ear through the process mechano-reception instead of hearing. The anchor rope is the most dominant source and its signals are mainly due to its resonant vibrations at frequencies > 40 Hz, which varies depending on rope tension. However, the rope also produces two other discrete signals of the same frequency due to the shedding of vortices, which also induces its resonant vibrations in rough seas. The profuse distribution of canal pores typically observed in associated pelagic fish like jack mackerel allows them to adapt to the environment near the payao. The resonant vibrations of individual bamboos are induced whenever the raft strikes the sea surface due to wave actions. The influence of water current apparently moves the suspended leaves and enables them to generate even lower frequencies signals (< 2 Hz). These signals are detectible through the superficial neuromasts, which indicates that the leaves probably enhance the rheotactic orientation of fish and its function is probably related to fish attraction.</p>	

学位論文審査結果の要旨

学位申請者 氏名	リカルド パミッタン ババラン
審査委員	主査 鹿児島大学 教授 松岡達郎
	主査 鹿児島大学 教授 不破 茂
	主査 鹿児島大学 教授 小山次朗
	主査 鹿児島大学 准教授 安樂和彦
	主査 鹿児島大学 教授 中西良孝
審査協力者	
題 目	Studies on Fish Behaviour and Association Mechanisms to Payao (魚類の行動とパヤオの集魚メカニズムに関する研究)
<p>本研究は、東南アジアの沿岸漁業で重要な役割を担う浮き魚礁（パヤオ）の魚類謂集メカニズムの解明に寄与することを目的とする。</p> <p>研究は、まず実海面で、①魚礁周辺での魚類分布状況の音響計測器による評価、②キハダ <i>Thunnus albacares</i> 幼魚の魚礁周辺での遊泳行動と魚礁周辺での滞留期間のバイオテレメトリによる評価、③謂集要因仮説「摂餌説」の検証を魚礁周辺部及び遠隔水域で採捕した魚群（マルバラシマガツオ <i>Brama orcini</i>）の摂餌状況の比較によって行った。研究室レベルでは、魚群が魚礁へ謂集する際に不可欠となる魚礁位置を知るための感覚刺激とそれらの刺激に対応する感覚能力を明らかにするため、④浮き魚礁構造が流れの中で発生する振動、渦、及び音（フィールド計測）の計測と分析、⑤魚礁謂集魚種であるマアジ <i>Trachurus japonicas</i> の対渦行動の分析、⑥マアジの音及び振動に対する感覚器の構造と機能の組織学的・電気生理学的評価を行った。</p>	

計量魚群探知機による浮き魚礁周辺の調査からは、小型種及び小型個体は魚礁により接近し、大型個体は遠距離を保ちかつ遊泳震度も大きいことを明らかにした。テレメトリ実験からは、キハダ幼魚は魚礁周辺に数日間滞留しその後移動することを明らかにした。遊泳深度の分析からは、キハダ幼魚は昼夜で遊泳深度を変え、夜間には表層付近まで浮上することを明らかにした。魚礁周辺及び遠隔水域で採捕したマルバラシマガツオの胃内容物の分析からは、魚礁周辺での採捕個体で空胃率が高く、かつ、両水域で採捕された個体間で胃内容物組成が異なったことから、摂餌を目的として魚礁周辺に謂集するとの仮説を棄却する結果を得た。

研究室及びフィールドでの機械的刺激の計測により、浮き魚礁は流れの中で振動、渦、音等の、主成分が80Hz以下の比較的低周波の機械的刺激を発生することを明らかにし、音源となる構造は水面に浮体として設置された竹筏、筏を固定するためのアンカーロープ、筏下に集魚を目的として懸吊されたヤシ葉であると推定した。アンカーロープが主要な音源であることを示し、風波による筏の運動に伴うロープの緊張により、筏材料である竹の固有振動数に従った40Hz以上の振動を生じることを示唆した。浮き魚礁により発生する振動・音刺激のエネルギーと聴覚閾値との比較からは、最大感度を示す周波数帯が発生音のそれと異なることを明らかにし、音を手掛かりとして魚礁位置を認識することは困難であることを示した。一方、マアジの側線器や前庭感覚は発達していると考えられることから、低周波の水の振動を手掛かりとして魚礁位置を認識する可能性を示唆した。

本研究は、浮き魚礁周辺への魚類謂集メカニズムに関し、行動・感覚及び刺激環境の実測により定量的にアプローチしたもので、従来の仮説提案とは全く異なる地平を開いたものである。特に、魚種・サイズにより謂集行動に差があることと、それに係る機械的刺激の発生メカニズムを明らかにした点は、今後の浮き魚礁利用の管理にも繋がるもので、学術への貢献に留まらず漁業管理施策への応用の上でも価値あるものであり、本研究は博士（水産学）の学位に値すると評価した。

学力確認結果の要旨	
学位申請者 氏名	リカルド パミッタマン ババラン
審査委員	主査 鹿児島大学 教授 松岡達郎
	主査 鹿児島大学 教授 不破 茂
	主査 鹿児島大学 教授 小山次朗
	主査 鹿児島大学 准教授 安樂和彦
	主査 鹿児島大学 教授 中西良孝
審査協力者	
実施年月日	平成 21 年 7 月 17 日
試験方法 (該当のものを○で囲むこと。) (口答)・筆答	
<p>主査及び副査は平成21年7月17日の公開審査会において学位申請者に対し、学位申請論文の内容について説明を求め、関連項目について試問を行った。具体的には別紙のような質疑応答がなされ、いずれも満足できる回答を得ることができた。また、口答により外国語(英語)の学力を確認した。</p> <p>以上の結果から、審査委員会は申請者が大学院博士課程修了者と同等以上の学力並びに識見を有するものと認め、博士(水産学)の学位を与えるに十分な資格を有するものと認めた。</p>	

学位申請者 氏名	リカルド パミッタン ババラン
【質問 1】	本研究では音・振動による浮魚礁への謂集メカニズムについて検討されたが、例えば海底に設置される魚礁にも適用できるか？
【回答 1】	本研究はアンカーロープにより固定される浮魚礁について言及したもので、底に設置する魚礁については、生じ得る物理的な現象が異なるので、他の要因も介在するものとする。
【質問 2】	振動・音ともに海象に影響されるが、海象と謂集の関係をどのように考えるか？
【回答 2】	波・潮流速が大きいほど浮魚礁が発する刺激は大きくなるので、謂集しやすくなると思う。
【質問 3】	波浪が無く、潮止まり時に魚群は謂集するのか？
【回答 3】	謂集する。本研究で述べている、音や振動は、これまでに研究されていない謂集要因について検討したもので、その他の視覚等を使用した謂集もあると思う。
【質問 4】	聴力図と背景音との関係を詳しく説明してほしい。
【回答 4】	聴力図は本研究および他の研究により解明されている聴覚閾値、すなわち聞くことができる最小の音圧を示したもので、背景音とはパヤオ近傍で記録した音のスペクトルエネルギーを示す。つまり、一般的な魚類の聴覚から考えると、比較的静寂な海象時に計測したパヤオの発生する音は魚には刺激とならないと思う。
【質問 5】	浮魚礁の改良に関するフィリピン漁民等の考えは？
【回答 5】	1979 年代から現状の竹製のパヤオが利用されており、これまでに設計の改良は行われていない。また、有効に魚を謂集しており、特に改良を望んでいるとは考えていない。
【質問 6】	音や振動の謂集要因としての重要性をどの程度に位置づけて考えているのか？
【回答 6】	本研究で調べた刺激の重要性の位置づけについては言及できない。いかなる刺激が最重要かは現段階では分からない。
【質問 7】	パヤオ周辺での計量魚群探知機での調査時および捕食状況調査時の潮流は調べたか？パヤオ周辺では魚類に偏った捕食が行われているが、これらの被捕食生物もパヤオに謂集したものと考えてよいか？

[回答 7] 潮流の計測は行っていない。餌生物となった魚類はパヤオに謂集したものと考える。捕食者である *Brama orcinii* は日周鉛直移動を行う種で、パヤオにより表層に謂集した魚群を効率的に捕食していたものとする。

[質問 8] 研究成果よりパヤオの謂集効果範囲は非常に広いように思えるが、その距離でパヤオが発生した振動や音等の刺激を魚は受容できるのか？

[回答 8] 本研究では、候補となる感覚器として聴覚および側線を検討したが、側線は過去の研究からも魚体近傍の刺激を受容する器官であるので不可能と考える。一方、聴覚器官は音圧さらには前庭感覚により魚自らの微弱な振動も受容するので、到達する刺激の強度により受容可能と推測する。

[質問 9] パヤオは完成した設計がなされていると考えるが、フィリピンでは竹以外の材料は用いられているのか、また効果に違いはあるのか？

[回答 9] 一部ではメンテナンスの必要がより少ない鋼製のパヤオが用いられている。謂集にはパヤオ水面下の構造が関係しているとする。

[質問 10] パヤオが発生する音・振動の発生源としてパヤオ構成部のどの部分が最も有効なのか？

[回答 10] 研究成果から見るとパヤオを係留するアンカーロープの振動が主要な音源となっているとする。

[質問 11] パヤオへの謂集の目的を寄生虫の除去とする仮説が示されているがどのような意味か？

[回答 11] パヤオの構造物を利用して魚体表面の寄生虫を落とす行動を示すこと指す。ただし、謂集目的として示した仮説は全て過去の論文からの引用で、本研究は謂集メカニズムについて論じている。

[質問 12] パヤオの最適な設置間隔について言及できるか？

[回答 12] 本研究の成果からは言えない。本研究はフィリピンのパヤオに対する魚群行動に関する初めての研究であるので、将来的に資源管理につながる研究に発展させたい。

[質問 13] 本研究の将来の進展についてどのように考えるか？

[回答 13] フィリピン沿岸域での漁業は小型サイズの浮魚類の漁獲に大きく依存している。まき網やリングネットにより小型マグロなどが漁獲されており、資源管理上の問題である。現段階では、それらの魚がどのようにパヤオを利用するかを理解し始めた段階であるが、将来的には選択的な漁業技術の確立に結びつけたい。