

表1 (4) - 1 漁獲努力量の比較

日時	日数	曳網回数	曳網時間				曳網距離			
			1回目	2回目	3回目	合計	1回目	2回目	3回目	合計
2021/10/3	1	3	50	65	75	190	4.2	5.4	6.3	15.8
2021/10/4	1	2	70	125		195	5.8	10.4	0.0	16.3
2021/10/5	1	1	55			55	4.6	0.0	0.0	4.6
2021/10/6	1	2	80	60		140	6.7	5.0	0.0	11.7
2021/10/7	1	2	85	70		155	7.1	5.8	0.0	12.9
2021/10/10	1	2	70	80		150	5.8	6.7	0.0	12.5
2021/10/21	1	2	55	75		130	4.6	6.3	0.0	10.8
2021/10/22	1	2	75	80		155	6.3	6.7	0.0	12.9
2021/10/24	1	2	85	65		150	7.1	5.4	0.0	12.5
標準偏差		0.5								3.2
平均		2.0								12.2
変動係数		0.2								0.3

[今後の課題]

- ・ ロガーの設置やタブレット操作が必要な調査は、本県沿岸における小型底びき網の操業形態から、継続的な継続が困難である。
- ・ ロガーの種類にかかわらず、エラーチェック等、収集したデータの確認作業が必要である。
- ・ 観測ブイに想定以上の水圧および振動がかかることにより電子機器に不調が生じ、十分にデータの取得が出来なかった。
- ・ 遠隔的なデータ収集に失敗した場合に備え、メモリー機能が必要である。

[資源調査評価事業に受け渡す事項]

すずき類、マダイ、イボダイ、アカカマス、ハモ、タチウオ、クマエビ、クルマエビ、こえび、アオリイカ、シリヤケイカ他

[成果の発表] なし

(5) 高知県海城

[参画機関] 高知県水産試験場

[対象魚種] マルソウダ、ハモ、ニギス、アオメエソ、イボダイ、カイワリ

[対象漁業] 曳縄漁業 (メジカ曳縄)、底曳網漁業 (一艘曳沖合底曳網)

[実施計画]

小課題1： 操業情報収集

① 漁船等による操業情報、環境情報の収集

沖合底曳網漁業対象魚種のCPUE (1日 (1曳網) あたりの漁獲量) は、操業水深の違いや水温変動等の影響により、漁獲物組成、漁獲量が異なることから、漁場環境の違い

を反映できるよう CPUE の高度化に取り組む。具体的には、沖合底曳網漁船に導入したリアルタイム発信データロガーを活用し、曳網場所、水深や水温等のデータを収集するとともに、水揚データと組み合わせて水深や水温等の漁場環境の違いを反映した CPUE を算出する。データロガーの活用にあたっては、本県の沖合底曳網漁業の操業実態に合う仕様や使用方法を検討する。

小課題 2： 操業情報取得による資源評価手法の改良

① 曳縄漁船等の操業情報の収集

高知県土佐清水市周辺で行われるメジカ（マルソウダ）曳縄漁業では、CPUE を魚群の来遊水準の指標として用いている。現在の CPUE は 1 日 1 隻あたりの漁獲量を算出しているが、近年、不漁傾向が続いたことにより、来遊情報を得てから漁場を絞った出漁をすることや、操業時間を延長することなどにより、1 操業あたりの努力量となる操業時間が変化していることが推察されている。そこでメジカの来遊水準をより正確に反映させるため、今後は操業時間あたりの漁獲量を求めることを検討する。具体的には、画像解析手法等を用いた漁獲情報（釣獲尾数等）計数システムを開発し、時刻ごとの漁獲尾数を推定する。また、同日の漁獲尾数と水揚量から平均体重（≒平均体長）を算出し、発生群¹別の資源動向の解明、資源評価の高度化に取り組む。

操業時間当たりの CPUE の把握のために、画像解析手法等を用いた漁獲情報（釣獲尾数等）計数システム開発に向けた基本設計（令和 2 年度県単再委託：システム開発の参考とするプログラム）を活用し、以下のとおり、当該システム（撮影装置及び画像から尾数を計数するためのソフト）の開発に取り組む。

- （1）事業者や関係機関からの情報収集を踏まえ、システムの仕様書を作成する。
- （2）撮影装置を搭載するための曳縄漁船を選定し、装置の設置場所等の検討を進める。
- （3）システムの試作機を作成する。
- （4）現場漁場での実操業において、システムの性能を検証する。
- （5）尾数計数プログラムの物体検出能力を向上させる。

令和 3 年度当初は（4）まで進める予定だったが、予定を変更し（5）物体検出能力の向上を進めることとし、プログラムの改良に取り組む。令和 3 年度中に、マルソウダ画像を新たに撮影し、機械学習用の資料を追加する。

[令和 3 年度の成果]

小課題 1 ①： 船等による操業情報、環境情報の収集

¹ マルソウダはこれまでの知見から、南方海域での冬季発生群と日本周辺での夏季発生群が存在し、発生群により体長が異なることがわかっている。

- ・令和3年10月からの漁期中に、月別の調査日数およびデータを収集し、アオメエソ、ニギス、カイワリ及びハモを対象としての水深・水温別に曳網時のCPUEを比較した（図1（5）-1～4）。なおイボダイは漁獲がなかった。
- ・アオメエソは水深250～300mで水温10～12℃、水深350m前後の水温8～10℃でCPUEが高い値であった。
- ・ニギスの漁獲は水深250m前後、水温12～13℃に集中していた。水深300m以深でも漁獲されたが、漁獲はごくわずか（10kg程度）であり、揚網時に入網した可能性も考えられる。
- ・カイワリの漁獲は水深100m前後に集中しており、水温は15～20℃と幅広いが、CPUEは15～30kgとニギスやアオメエソと比べると高い値ではない。なお、150m以浅ではキダイやチダイ、ハモと混獲されることが多い。
- ・ハモの漁獲は水深100m前後と250m前後に分かれるが、CPUEは15～30kgとニギスやアオメエソと比べ高い値ではない。なお、水深100m前後ではキダイ、チダイ及びカイワリと混獲されている。また、水深250m前後ではニギスやオオメハタと混獲されているが、ハモの生息水深は100m程度であることから、網揚げの途中に入網した可能性がある。
- ・アオメエソ及びニギスについて、時間帯・水深別のCPUEを図化した（図1（5）-5）。
- ・ニギスは夜明け前の3～4時台及び日没前の17～18時台に多く漁獲される傾向があった。アオメエソは夜明け後の6時台から日没前の16時台までに漁獲されているが、6～7時台は水深250～300mで、日中は水深300m以深で漁獲される傾向が見られた。

小課題2①： 曳縄漁船等の操業情報の収集

- ・メジカ曳縄漁業が盛んな高知県土佐清水市下ノ加江地区において漁業者と協議し、メジカ撮影の協力漁船を選定した。
- ・2月22、25、26日に協力漁船上でマルソウダ画像の撮影に取り組んだ。
- ・期間中に、釣獲個体は得られなかったため、冷凍保管していた標本魚を漁場に持参し、船上でのマルソウダ画像を撮影した。さらに、マルソウダに体型が似たサバ類を釣獲して、画像を撮影した。これらの画像から教師データを作成し、プログラムを改良した。

[事業期間全体の成果]

- ・令和2年度にデータロガーを購入し、令和3年3月に沖合底曳網船1隻で調査を試みたが、操業中に漁網に設置したロガーが破損したためにデータは取得できなかった。令和3年度には破損したロガーを修理し、更にもう一台ロガーを購入して2台体制とした。沖合底曳網の漁期が開始される10月から調査を開始した。

- ・ロガーデータは順調に取得できたが、メーカーのサーバーから転送されてくるデータに一部欠損があることが判明したため、生データから解析する必要があることが判明した。
- ・尾数計数システムの開発において、令和2年7月2日、11月26日、12月11日に、曳縄漁船上でマルソウダの画像を撮影し、その画像から4,559枚の教師データを作成した。これをもとに、物体検出プログラムを作成した。この検出精度は約8割だった。令和3年度は、前述の通り、2月22、25、26日に船上画像を取得して、新たに1,500枚の教師データを作成した。これに加え、昨年度の教師データのうち3,000枚を用いて、プログラムを改良した。検証用データ765枚を用いて検出精度を検証したところ、精度は98%まで向上した。

[実施概要]

小課題1①： 船等による操業情報、環境情報の収集

令和3年10月からの漁期中に実施した月別の調査日数と収集されたデータ数を表1(5)-1に示した。なお、データ数は1曳網あたりのロガーデータ及び漁獲データである。得られたデータについて、アオメエソ、ニギス、カイワリ及びハモを対象としての水深・水温別に曳網時のCPUEを比較した(図1(5)-1~4)。なおイボダイは漁獲がなかった。

水揚げデータを入力するアプリ「操業日誌」について、メーカーに依頼し、初期設定の魚種リストを高知県底曳網漁業の魚種に合わせたリストに変更した。しかしながら、漁業者から使用に関する改善すべき点も指摘されており、今後のデータ入力はまだ課題も残されている。

10月に2台目のロガーを導入し、調査中の電池切れにも対応できるよう2台を併用することで、船上での継続的なデータ収集にも支障はなくなった。

令和2年度の調査中にはロガーが破損したため、設置場所を検討した結果、網口に変更したところ、損傷等なく使用できるようになった。一方で、荒天時の船が動揺する中で揚網する際に、甲板にロガーがぶつかることがまれに起こっているため、小さな傷や欠損が散見されている。このため損傷を防ぐため防御カバーを探索しているが、今後の課題となっている。

小課題2①： 曳縄漁船等の操業情報の収集

撮影機材

撮影については、画像解析システムに対応可能な画質や設置位置の検討のため、4つのカメラ機種(A機、B機、C機、D機)を通常の本船作業時に設置可能な位置に設置し、映像の取得を行った。全ての機器は設置時に電波時計を用いて、時刻合わせを行い、撮影の都度、時刻に狂いがいないかを確認した。カメラ設置位置については、協力漁船の船長と相談した結果、ブリッジ側に位置する右舷の金属製の手すり及び、ブリッジの天

井部分とした。各カメラの設置位置を図1（5）-6、7に示す。

撮影結果

A機については、メジカかどうかの魚種判別は画像を拡大して確認しなければ難しいと考えられた。また、メジカ操業における反時計回りの周回操船を行った際に、カメラ本体はしっかりと固定されているにも関わらず、映像が左右に振られるように画角がスイングする現象が確認された。これは詳細な原因は不明であるが、手振れ防止の電子制御がカメラ内で作動していると考えられた。

次にB機については、4K画質による撮影に加え光学3~4倍程度のズームをすることによりスロープ上を流れるメジカの魚体を明瞭に捉えることができた。

C機についてはフルHD画質による撮影であるため、A機やB機と比較して画質は低下した。

D機についても、フルHD画質での撮影を行った。スロープ上を流れる魚体について確認可能であったが、サバかメジカかなどの魚種判別は難しいと考えられた。

以上の調査結果から、今回使用した4機種の中では、B機による4K画質の映像取得が本画像解析調査に適していると考えられる。

なお、今回の調査では比較的天候も良く、海況も穏やかであったため、安定した撮影が可能であったが、今後より海況が悪い状況においても機器への影響や得られた映像に問題が無いかなど、継続した検証が必要になると考えられる。

教師データの作成方法

アノテーション作業の対象とする画像ファイルは以下の条件を満たすものとした。

1. スロープ状に魚体が存在するもの
2. 魚体が半分以上見えているもの
3. 2の場合でも、頭部が完全に隠れている画像は対象外

条件を満たさない魚体が1尾でも含まれる画像は対象外とした。作業の結果、1574枚の教師データを作成した。これに左右反転を加えることにより、3148枚相当の教師データに変換した。また、令和2年度漁獲尾数等自動計測技術開発委託業務（以下、前年度業務）の教師データを精査し、アノテーションの精度が悪く魚体からずれているものは修正した。

検証用データの作成

検証用データには、後述する魚体検出モデルの評価データと漁獲尾数等自動計数システム（以下、自動計数システム）の精度検証に用いる動画データの2種類がある。前者については、今年度の調査で撮影した動画ファイルと前年度業務の検証用動画ファイルから切り出した画像ファイルを用いてアノテーション作業を実施した。作業の結果、855個の魚体検出モデル用の検証用データを作成した。後者の自動計数システムの精度検証

に用いる動画データは、前年度業務の検証用動画ファイルに加え、今年度の調査で撮影した動画ファイルを使用した。

自動計数システムでは、動画ファイルを変換することなくそのまま入力が可能であるため、アノテーション作業は必要ない。

漁獲尾数等自動計数システムの概要

自動計数システムの操作フローは図1(5)-8の通りである。前年度業務の6つのプログラム(step1.py~step5.py, video.py)を1つのプログラム(fishcounter.py)に集約した。また、魚体検出モデルおよび同一個体判別機能を改修し、精度およびユーザビリティを向上させた。スロープ以外の部分を解析対象から排除して精度を向上させる対象領域設定機能を新たに追加した。

魚体検出モデルの構造

魚体検出モデルは画像中から魚体を検出し、Bounding Box(矩形)で囲むモデルである(図1(5)-9)。本画像解析調査では、前年度業務で用いた深層物体検出モデルYOLOv3よりも精度が高いFaster R-CNN ResNet-50 FPN モデル(以下、Faster-RCNN モデル)を用いることとする。

Faster-RCNN モデルはwebサイト(<https://www.slideshare.net/windmdk/mask-rcnn>)を参照した。Backbone の複数の畳み込み層で画像の特徴を抽出する。RPN (Region Proposal Network) では、Backbone で抽出されたFeature Map から物体の候補領域の絞り込みを行う。Head で魚体か背景かのクラス分類と物体の領域を求める。

魚体検出モデルの学習

修正した前年度業務の教師データ3096枚と本年度撮影したエブリオRの動画から作成した教師データ1574枚の合計4670枚を用いて魚体検出モデルの学習を行った。

学習した魚体検出モデルの精度を、魚体検出モデルの検証用データ855個を用いて検証した。検証の結果、精度(AP(IoU=0.5))は98.6%であった。この結果により、魚体検出モデルが十分な精度を有していることが示された。

トラッキングモデルによるフレーム間同一個体判別

魚体検出モデルだけでは、異なる画像(フレーム)間の個体識別はできず、多重カウントを防ぐためにフレーム間で同一個体を判別する仕組みが必要となる。前年度業務で検討した「矩形の軌跡(位置座標系列)のピークピッキングによる尾数カウント」は、閾値である魚体通過時間の設定が一度動画を視聴しないと困難であることから現実的ではない。そこで、魚体検出モデルで検出した魚の動きから同一個体の判別を行うSORT(Simple Online and Realtime Tracking)を用いたトラッキングにより同一個体判別を行い、多重カウントを防ぐこととした。SORTの詳細については、論文(<https://arxiv.org/abs/1602.00763>)を参照されたい。SORTの計算コードは

https://github.com/cfotache/pytorch_objectdetecttrack にあるコードを利用した。SORT による同一個体判別結果の例を図 1 (5) -10 に示す。判定の結果、同じ番号(個体 ID)が割り振られた場合は同一個体として扱われる。

対象領域設定機能

カメラ設置場所の制約により、メジカの通過するスロープ以外の部分や人物の動画への映り込みを避けることは困難である。教師データには存在しない未知の物体が映り込んだ場合に魚体検出モデルが誤検出することがある。また、魚体が大きく飛び跳ねて不規則な動きをしたとき、壁などの障害物に遮られたときなどに同一個体判別ができず、多重カウントが発生する。そこで、事前にスロープの一部に解析対象領域を設定し、魚体検出および同一個体判別はこの領域内でのみ行うようにする(図 1 (5) -11)。これにより上述の問題を回避して精度よく魚体検出および個体識別ができる。

自動計数システムの精度検証結果

精度検証の方法

検証用動画を自動計数システムに入力し、出力されたメジカ等の漁獲尾数（以下、予測尾数）と目視で尾数計数した結果（以下、正解尾数）を比較し、精度を検証した。精度は以下の 4 つの指標で評価する。

- 誤差率
- 再現率
- 適合率
- F 値

誤差率は以下の式で定義される。

$$(\text{予測尾数} - \text{正解尾数}) / \text{正解尾数} \times 100\%$$

例えば、予測尾数が 45 尾、正解尾数が 50 尾であった場合、誤差率は

$$(45-50) / 50 \times 100 = -10\%$$

となる。再現率は以下の式で定義される。

$$\text{正解のうちシステムで検出できた尾数} / \text{正解尾数} \times 100\%$$

「正解のうちシステムで予測できた尾数」とは、システムで予測した尾数のうち、異物の誤検出や多重検出を除いた尾数である。例えば、正解尾数 50 尾のうち、システムで予測できた尾数が 45 尾であった場合、再現率は $45 \div 50 \times 100 = 90\%$ となる。

適合率は以下の式で定義される。

$$\text{正解であったものの尾数} / \text{システムで検出できた尾数} \times 100\%$$

「システムで予測した尾数」とは、誤検出や多重検出も含む尾数である。例えば、予測尾数 50 尾のうち、40 尾が正解であった場合、適合率は $40 \div 50 \times 100 = 80\%$ となる。

F 値は以下の式で定義される

$$(2 \times \text{再現率} \times \text{適合率}) / (\text{再現率} + \text{適合率})$$

誤差率に加え、再現率と適合率を求めるのは、誤差率だけではシステムの精度評価が難しいためである。例えば以下の場合、

(ア) 正解尾数が 50 尾、予測尾数が誤検出と見逃しなしで 50 尾であった場合

(イ) 正解尾数が 50 尾、予測尾数も 50 尾であるが、誤検出が 10 尾、見逃しが 10 尾であった場合

(ア)と(イ)いずれの場合も誤差率は 0%となり、誤差率だけでは誤検出と見逃しによる影響が評価できない。

また、F 値を計算するのは、再現率と適合率という 2 つの評価指標があると、どちらのシステムの性能が良いのか評価が難しいためである。例えば、

(ウ) 再現率が 100%、適合率が 60%のシステム

(エ) 再現率が 80%、適合率が 80%のシステム

があった場合、再現率と適合率 2 つの評価指標があるため、(ウ)と(エ)どちらの性能が優れているか判断が難しい。F 値を計算することで、1 つの統一した指標で評価ができるため、優劣の判断が容易になる。(ウ)と(エ)の例であれば、(ウ)の F 値は 75、(エ)は 80 となるため、(エ)のシステムの性能が良いという評価ができる。

今年度の調査で撮影した動画を用いた精度検証結果

停泊中の魚船上で撮影した動画を用いた精度検証結果

静止した魚船上で撮影した動画を用いて自動計数システムで求めた漁獲尾数の精度を検証した。この動画はメジカの冷凍標本を停泊中の魚船上のスロープに流して撮影したものである。解析の結果、予測尾数は正解尾数と一致した。

航行中の魚船上で撮影した動画を用いた精度検証結果（冷凍標本を用いた場合）

航行中の魚船上で撮影した動画を用いて自動計数システムで求めた漁獲尾数の精度を検証した。この動画はメジカ冷凍標本を航行中の魚船上のスロープに流して撮影したものである。漁船の動揺と水の流れにより標本とスロープの位置が不規則に動くため、難易度が高いと考えられる。

解析結果から同じ個体の多重検出した事例、人物など異物を誤検出した事例も見られた。標本を容器に戻すところを検出した事例もあり、実際に運用する際には起こりえない事例であるため、評価対象からは除外した。

予測尾数は正解尾数よりも多くなった。誤差率は 11.7%であり、仕様書記載の目標値±20%以内であった。多重検出の原因は、魚体の移動速度と方向の急激な変化による同一個体判別の失敗である。

この結果から魚体の運動が大きく変化すると考えられる場所は、解析対象領域から除外する必要がある。

航行中の魚船上で撮影した動画を用いた精度検証結果（生体標本を用いた場合）

航行中の魚船上で撮影した動画を用いて自動計数システムで求めた漁獲尾数の精度を検証した。メジカの生態標本を漁獲することができなかつたため、代わりに漁獲したサバとカイワリをスロープ上に流して検証した。漁船の動揺に加え、標本が飛び跳ねるため、難易度が高いと考えられる。解析結果から、同じ個体の多重検出した事例、人物など異物を誤検出した事例も見られた。

予測尾数は正解尾数よりもかなり多くなった。誤差率は66%であり、目標値±20%を大幅に超過した。原因は魚体の移動速度と方向の急激な変化による同一個体判別の失敗である。

そこで、解析対象領域をより狭く設定し直し再検証したところ、見逃しが5件発生したために再現率は90.6%に低下したが、誤検出が大幅に減少したために適合率が88.9%に改善した。それに伴い誤差率は1.8%となり、目標値±20%以内となった。F値からも修正後の方が性能がよいと判断できる。この結果から、解析対象領域の設定は、魚体の動きを基に設定する必要があると考える。

[図表など]

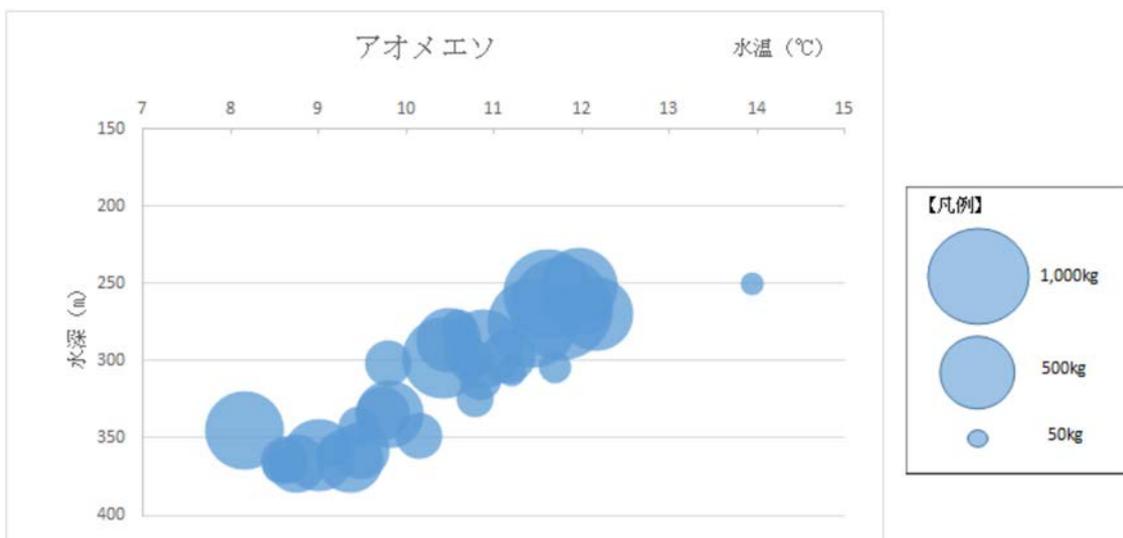


図1 (5) -1 水温と水深の違いによるアオメエソのCPUE (kg/曳網)

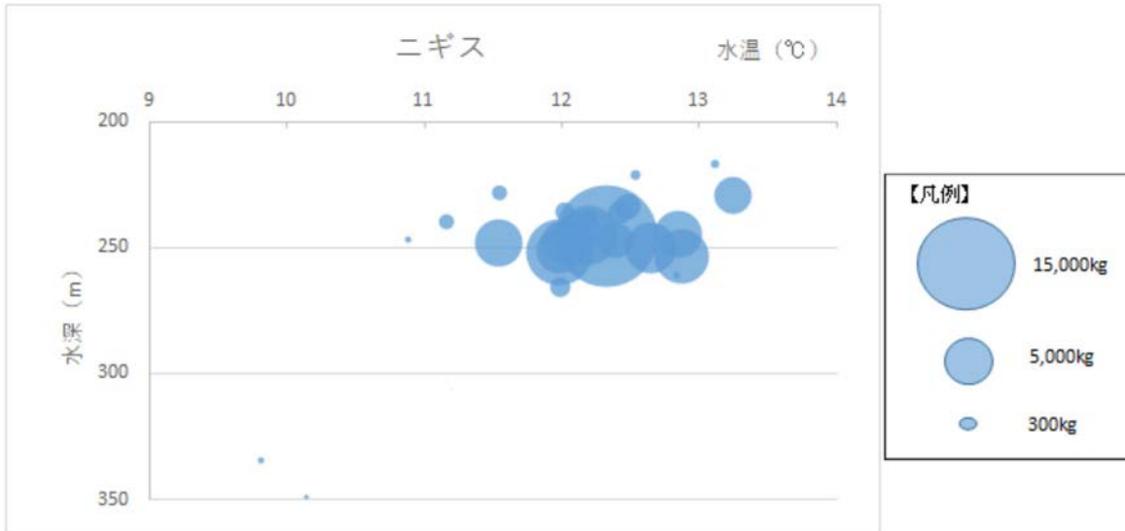


図1 (5) -2 水温と水深の違いによるニギスのCPUE (kg/曳網)

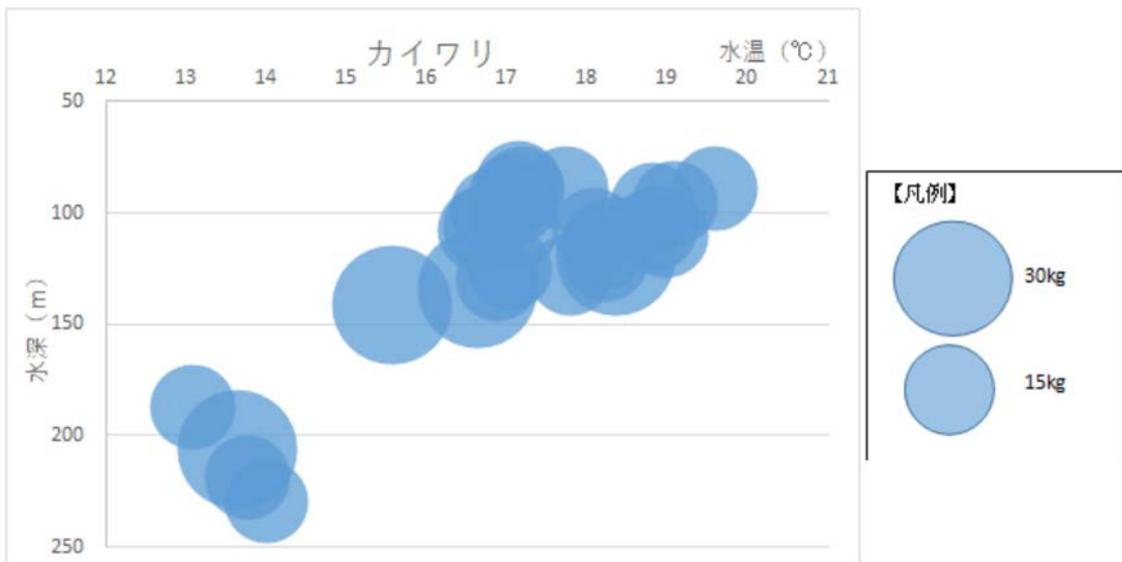


図1 (5) -3 水温と水深の違いによるカイワリのCPUE (kg/曳網)



図1 (5) -4 水温と水深の違いによるハモの CPUE (kg/曳網)

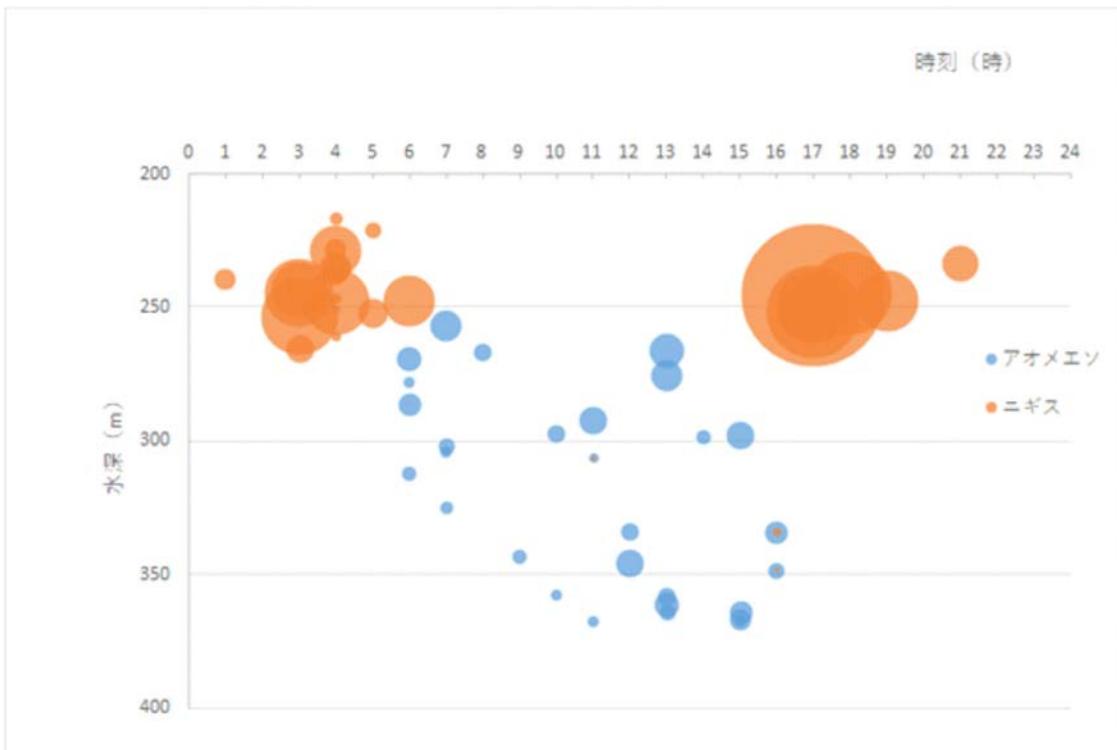


図1 (5) -5 アオメエソ及びニギスの時間帯・水深別 CPUE (kg/曳網)