

イカ釣り漁業解析のための釣獲タイミング検出

川本 一彦^{1,a)} 高山 剛^{2,b)}

概要：本稿では、イカ釣り漁船上に設置したカメラを用いてイカの釣獲タイミングを検出する画像処理技術について報告する。釣獲タイミングは、灯光でイカが釣獲されるメカニズムを解明するための基礎データの一つとして重要であると考えられている。漁船上の画像処理では、船体動揺による不規則な振動や波しぶきなどによる外乱やイカの形状や体色の変化に対処しなければならない。このような変化に頑健な画像特徴量として二値画像における連結領域の最大面積を用いる。この特徴量に基づく二値分類のしきい値は、釣機の制御信号より容易に収集できる負サンプルの分布を用いて決定する。さらに、釣獲タイミング検出の結果から釣獲尾数を算出する方法についても述べる。日本海沖で収集されたイカ釣り操業映像を用いて、検出率、誤検出率、および釣獲尾数の観点から性能を評価し、その有効性を示している。

1. はじめに

イカ釣り漁業では、夜間に船上漁灯で海面を照らし、イカを誘集し釣獲する。これまで船上漁灯としてメタルハイド灯が用いられてきたが、近年では発光ダイオードの導入が進められている [1]。発行ダイオードの利点は、従来の漁灯に比べて省エネルギーであること [2] やイカの視感度特性に適した波長域 [3] の発光が可能なためより効果的な調光計画が期待されること [4], [5] などが挙げられる。

しかし、発光ダイオード漁灯による釣獲尾数はメタルハイド灯のものよりも劣ることが実証されており [5]、現状では両漁灯の併用による操業 [6], [7] が、省エネルギーと釣獲高のバランスをとった現実的な技術と考えられている [8]。より省エネルギーである発光ダイオード漁灯単独によるイカ釣り漁業の実現化のためには、詳細が明らかになっていない灯光でイカが釣獲されるメカニズムを解明し、その知見に基づいた技術改良が必要である。そのための試みとして、漁灯による誘集から釣獲までのイカの一連の行動データを収集し分析する研究が進められている [9], [10]。従来の調査では、操業途中の 1 時間毎に手作業で釣獲尾数を計測していたが、先行研究 [10] では釣機周辺を撮影したビデオ映像を目視することにより釣獲タイミング（漁船上に釣りあげられた瞬間）や釣獲尾数を計測している。この

ビデオ導入により時間分解能は飛躍的に高くなったが、一方でビデオ目視では詳細な調査の拡大に限界があり、画像処理技術による自動化が望まれている。

本稿では、このようなイカ行動データの収集のなかで、とくに釣獲タイミングを検出する画像処理技術について報告する。漁船上の画像処理は、船揺れによる不規則な振動や波しぶきなどによる外乱やイカの形状と体色が大きく変化することを考えると難しいと思われるかも知れない。しかし実際には、ROI (Region of Interest) の設定、フレーム間差分、二値化、そして面積特徴量によるしきい値処理など基本的な画像処理を組み合わせるだけで、十分な性能を達成することを実際の映像を用いて示す。また、検出に用いるしきい値の決定は実用上大きな問題になるが、イカ釣機がテグスを巻き下げているときは釣獲が発生しないことを利用し、この間のデータを負サンプルとして収集し、その特徴量分布を用いてしきい値を決定する方法を示す。さらに、釣獲タイミング検出の結果から釣獲尾数^{*1}を算出する方法についても述べる。

評価実験では、図 1 に示す漁業調査指導船を用いて、先行研究 [10] で収集された映像のうち、夜間、日没直後、日出前に操業中の 3 つの映像を用いて、検出率 (true positive rate)、誤検出率 (false positive rate)、および釣獲尾数の観点から評価する。

2. 画像特徴量に基づく釣獲タイミング検出

本節では、まず釣獲タイミング検出に用いる画像特徴量およびその算出のために必要な画像処理について述べる。

^{*1} 釣機 1 台の単位時間あたりの釣獲尾数は、CPUE (Catch Per Unit Effort) と呼ばれ、釣獲の基本指標として広く用いられている。

¹ 千葉大学統合情報センター
Institute of Management and Information Technologies,
Chiba University

² 水産総合研究センター水産工学研究所
National Research Institute of Fisheries Engineering

a) kawa@faculty.chiba-u.jp

b) golgo13@affrc.go.jp



図 1 左：漁業調査指導船（白山丸），右：釣獲検出用カメラ



図 2 釣獲タイミング検出用画像の例．赤枠は ROI．

2.1 ROI 設定とフレーム間差分

まず，図 1 右のビデオカメラで撮影された釣獲タイミング検出用の画像例を図 2 に示す．この画像が示すように，撮影範囲にはイカ釣機だけでなく背景（海面や空）や網が含まれる．ビデオカメラは，図 1 右のように漁船上に固定されているが，船体動揺の影響をうけ，背景が変動するだけでなくカメラ自体も不規則に振動するため固定カメラと見なすことができない．したがって，イカ領域の検出に背景差分はそのままでは適用できない．

そこで，イカ釣機や船上網が画像に入らないように，図 2 の赤枠で示した領域を ROI に設定し，この ROI 内でフレーム間差分を適用する．この ROI はすべての画像で共通とする．フレーム間差分には，現時刻とその前後の 3 フレームを用いる標準的な方法を採用する．この差分で用いるしきい値は，後続する処理に悪影響をなるべく与えないことを優先し，未検出率が高くなるように低めに設定する．実験では 5（階調）に設定した．フレーム間差分により，図 3 中段に示すように，イカの候補領域を前景（白），それ以外を背景（黒）とした二値画像が得られる．

2.2 縮小処理と最大面積特徴量の算出

前節のフレーム間差分の結果に基づいて，イカ検出に用いる画像特徴量を算出する．イカはその生物学的特性により色や形状が大きく変化するため，そのような変化に頑健な特徴が望ましい．さらに，図 4 に示すような波しぶきなどの外乱に対しても頑健な特徴量が求められる．

そのような特徴量として，本研究では二値画像における前景連結領域の最大面積を特徴量として用いる．すなわち，フレーム間差分によって得られる二値画像に対してラベリング処理を行い，最大面積を持つ連結領域の面積（画素）を特徴量とする．ここで，図 4 上段のような波しぶきなどのランダム雑音の影響を抑制するために，前処理としてモ

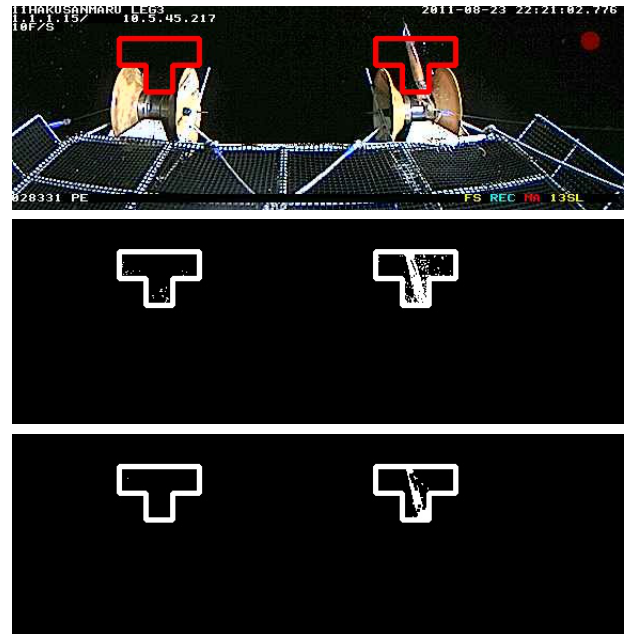


図 3 上段：入力画像（右釣機で釣獲されたイカを観測）．中段：フレーム間差分の結果．下段：縮小処理の結果

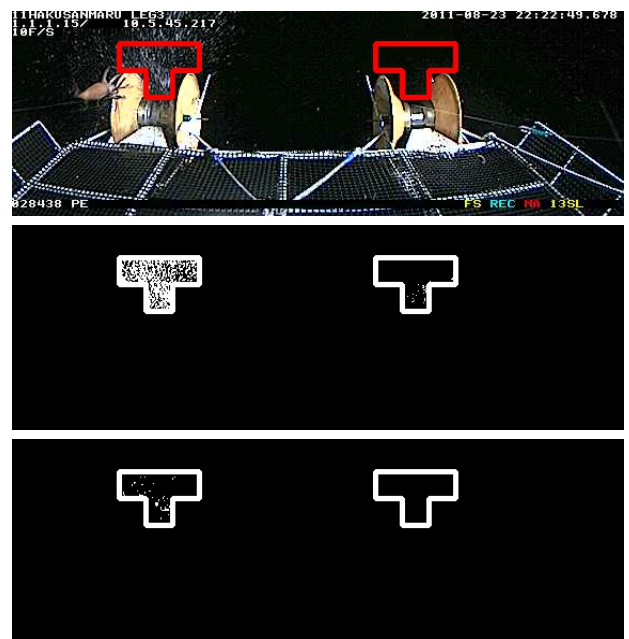


図 4 上段：入力画像（左釣機で波しぶきを観測）．中段：フレーム間差分の結果．下段：縮小処理の結果

ルフォロジー演算による縮小処理を二値画像に施す．図 4 下段は縮小処理の結果例である．なお，最大面積特徴量は，左右の釣機に設定したそれぞれの ROI 内で算出する．

2.3 しきい値処理による二値分類

最大面積特徴量に対して，しきい値処理を適用し釣獲タイミングを検出する．すなわち，時刻 t における最大面積を S_t としたとき，しきい値 S_{th} を用いて，

$$S_t > S_{th} \quad (1)$$

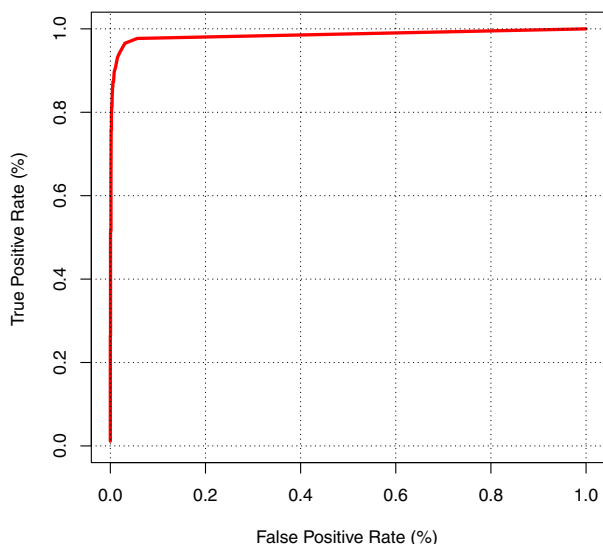


図 5 最大面積特徴量に対するしきい値処理の ROC 曲線

であれば、釣獲が発生したと決定する。

式(1)の識別性能を調べるために、手作業で正解ラベルをつけた動画を用いて、ROC (Receiver Operating Characteristic) 曲線を求めた。図 5 にしきい値 S_{th} を変化させながら、横軸に誤検出率、縦軸に検出率をプロットして描いた ROC 曲線を示す。図 5 に示す通り、この ROC 曲線下の面積は 1 に非常に近い値をとり、適切なしきい値を選択することにより、式(1)に基づく二値分類は高い性能をもつことが分かる。

3. 負サンプルに基づくしきい値決定と釣獲尾数の算出

実用的には、式(1)のしきい値 S_{th} をどのように決定するかが問題となる。ここでは、釣機がテグスを巻き下げているときは釣獲が発生しないことを利用し、しきい値を決定する。さらに、二値分類で得られた釣獲タイミングの二値系列から釣獲尾数を算出する方法について述べる。

3.1 負サンプルの収集

釣機の動作制御信号より、釣機が巻き上げているか巻き下げているかは容易に区別することができる。したがって、釣機の巻き下げ動作区間に観測される最大面積特徴量を負サンプルとして収集することができる。例えば、図 6 に最大面積特徴量の時系列プロット(実線)と巻き下げ動作区間(灰色)を示すが、この灰色区間で観測される 0 でない値は波しぶきなどの外乱によるものと考えられ負サンプルとして収集できる。実際には、巻き上げ速度とテグスのどの位置に疑似餌が取り付けられているか事前に分かっていることから、巻き上げ動作が開始してから最初の疑似餌が船上に現れるまでの区間も釣獲が発生しない区間として扱うことができる。

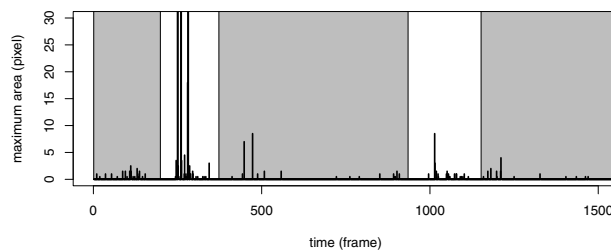


図 6 最大面積特徴量の時系列プロット。灰色は釣獲が発生しない区間(負サンプル収集の区間)。

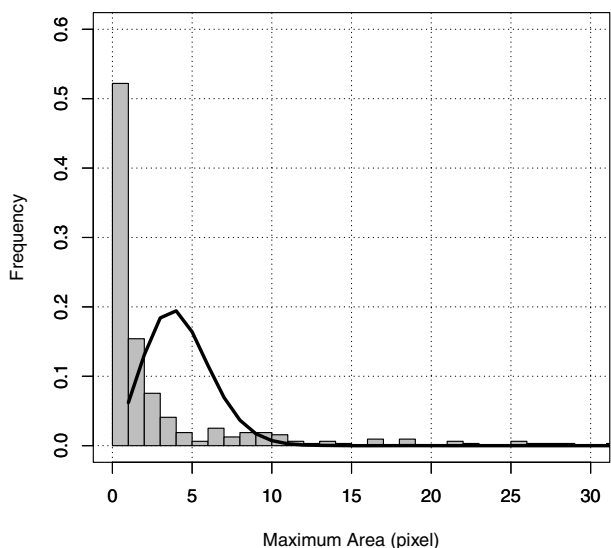


図 7 負サンプルの最大面積特徴量の分布。実線は最尤推定で求めたポアソン分布。

このような釣獲が発生しない区間の設定は、負サンプルの収集だけでなく誤検出を抑制することもでき、実際の識別には効果的である。

3.2 しきい値の決定

値が 0 でない負サンプルは波しぶきやその他さまざまな原因で現れることから確率的に変動すると仮定する。この仮定のもと、収集した負サンプルセットから、負サンプルの生成を表現する確率分布を推定し、その分布に基づいてしきい値を決定する。

ここでは、しきい値として推定した確率分布の上側 α 点を用いる。すなわち、負サンプルの確率変数 X に関して、

$$\Pr[X \leq S_{th}] = 1 - \alpha \quad (2)$$

を満たすしきい値 S_{th} を採用する。ここで、 α としては 0.05 や 0.01 が通常用いられる。誤検出率の期待値が α になることから、このしきい値決定法は誤検出率に基づく方法である。

確率分布の推定に関しては、収集した負サンプルセットの相対度数ヒストグラムを用いる。その理由は次の通りである。まず、図 7 に負サンプルとして収集した最大面積

表 1 評価実験に用いたデータセット

	収録時間帯	学習枚数	テスト枚数
ビデオ 1	22:15-22:32	5778	2192
ビデオ 2	03:45-04:01	5063	2581
ビデオ 3	18:30-18:45	5152	2046

表 2 推定結果

	釣機位置	釣獲尾数	推定尾数	誤検出率	検出率
映像 1	左	41	38	0.004	0.620
	右	40	40	0.005	0.816
映像 2	左	42	46	0.008	0.824
	右	39	38	0.004	0.791
映像 3	左	0	2	0.001	—
	右	0	5	0.004	—

特徴量の相対度数ヒストグラムの例を示す．この例では負サンプルの確率分布はポアソン分布で表現できるように見えるが，ポアソン分布よりも右側により裾を引いた分布となっている．実際，負サンプルから最尤推定法で求めたポアソン分布を図 7 の実線で示すが，値が大きくなると引きずられてヒストグラムに対する当てはまりはよくない．このように裾を引くのは，波しぶきなどのランダム事象だけでなく，他船や海鳥など一定の大きさを持つ物体が画像に写りこむために系統的に発生する負サンプルが含まれるためだと考えられる．このような系統的なサンプルのモデル化は難しいため，ここでは単純なノンパラメトリックな推定であるヒストグラムを用いている．

3.3 釣獲尾数の算出

釣獲を検出したフレーム数は，必ずしも釣獲尾数とは一致しない．なぜならば，釣機で巻き上げられてくるイカが連続したフレームで撮影されることがあるため，釣獲を二重に数えるためである．以下では，釣獲タイミングの系列から釣獲尾数を算出する方法を示す．

時刻 t において，式 (1) より釣獲が検出されたときを $l_t = 1$ ，そうでないときを $l_t = 0$ とラベル付をする．このとき，釣獲タイミングの系列は二値系列 $\{l_t\}_{t=0,1,2,\dots}$ として表現できる．この二値系列のなかで連続して 1 となる部分系列は，同じイカに関する釣獲である可能性が高い．そこで，そのような部分系列は 1 (尾) と数えることにして釣獲尾数を求める．例えば，次のような二値系列 $\{0, 0, 1, 1, 0, 1, 0\}$ が与えられたとき，釣獲尾数は 2 となる．

実装では，二値系列 $\{l_t\}$ の最初から順に走査していき， $(l_t, l_{t+1}) = (0, 1)$ となったときにカウンタをインクリメントするアルゴリズムを用いた．

4. 日本海沖合におけるイカ釣り操業データを用いた評価実験

日本海沖合で図 1 の調査船によって実際に収集されたデータのうち，それぞれ 15 分程度の 3 つのビデオを用い

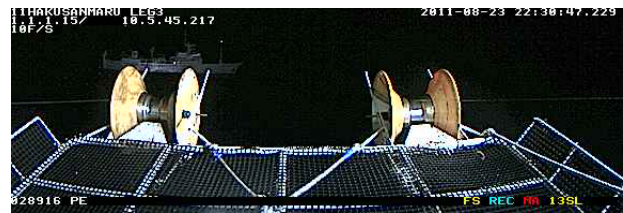


図 8 系統的な雑音の例 (左釣機の ROI に他漁船が存在)．

て提案手法を評価した．

4.1 データセット

表 1 に，評価で用いた 3 つのビデオの収録時間帯，学習枚数，およびテスト枚数を示す．収録時間帯として，背景の条件が異なる，夜間 (映像 1)，日出前 (映像 2)，そして日没後 (映像 3) を選んだ．学習枚数は，上記時間帯に収集された総フレームに対して，3.1 節で述べた負サンプルとして収集され，3.2 節のしきい値決定に用いられたフレーム数を表す．テスト枚数は，総フレームから学習に用いるフレームを除いたフレーム数であり，これらを実験に用いた．なおデータセットの詳細については，[10] を参照されたい．

4.2 推定結果

表 2 に推定結果を示す．ここで，1 列目の釣機位置は画像のなかの左右どちらの釣機を対象としているかを表す．2 列目の釣獲尾数は，目視で確認した真の釣獲尾数である．ただし，非常に稀に同時に 2 尾釣獲されることがあるが，今回はこれを無視し 1 尾として数えた．3 列目が推定した釣獲尾数である．4 列目と 5 列目に，それぞれ誤検出率と検出率を示す．誤検出率と検出率は，ビデオ目視による手作業でラベル付けした釣獲タイミングの正解に対して算出した．これらの推定に用いるしきい値 S_{th} は，式 (2) で $\alpha = 0.01$ となる値を用いた．また，映像 3 では，釣獲尾数が 0 のため検出率が算出できず示していない．

4.3 考察と議論

表 2 の結果より，釣獲尾数の誤差は平均 3.2 (尾) である．イカの釣獲メカニズムの解析を目的としたとき，CPUE の算出のための単位時間は今回のように 15 分程度あるいは 1 時間程度と従来に比べれば*2非常に高い時間分解能が求められている．したがって，推定誤差が時間進行に沿って累積されていくことはそれほど深刻な問題とならないと考える．

誤検出率は，その期待値を $\alpha = 0.01$ と設定したことから全体的に小さな値になっており，誤検出を抑制できていることが確認できる．一方，検出率は 8 割程度の値になっ

*2 従来の手作業では，例えば一晩操業して釣獲尾数を数えていたため，このときの単位時間は一晩となる．

ているが、この2割程度の未検出は釣獲尾数の推定にはそのまま現れていない。これは、検出率はあくまで各フレーム独立にイカが存在しているかしないかという基準で算出しているため、例えば、連続する複数フレームで同じイカが写っているとき、そのうち1フレームだけでも検出できれば、釣獲尾数は正しく推定できるためである。

また、映像1の左釣機の誤検出率が0.62と他と比べて低くなっているが、これは映像1には図8で示すように、他漁船による系統的な雑音を負サンプルのなかに入りこむため、しきい値が高く設定されたためである。しかし、上述したように、釣獲尾数の誤差は3(尾)であり、この4割程度の未検出が釣獲尾数に大きな悪影響を与えているわけではない。逆に、負サンプルに系統的な雑音が入っていないときは、しきい値は低く設定されやすくなり誤検出率は増加する。今回のデータに限らず一般にイカ釣り操業では、正サンプル数(釣獲)は負サンプル数(非釣獲)に比べて非常に少なく、正負サンプルのバランスが取れていない。このようなデータに対して、誤検出率がわずかでも増加すると、識別で得られる正解候補のサンプル数が大きくなりやすく、釣獲尾数も過剰に見積もられやすくなると考えられる。あるいは、最終的に目視により精密な釣獲尾数を計測することを考えたとき、確認するフレーム数が多くなるためスクリーニングとしての機能が十分に果たせないことにもなってしまう。

5. おわりに

本稿では、水産資源として重要な位置を占めるイカを対象に、その釣獲メカニズム解明に向けて、実際にイカがどのタイミングで釣獲されたかを検出する画像処理技術について報告した。利用した画像処理は基本的なものであるが、OpenCVやMatlabの画像処理ライブラリを利用すれば短期間で実装可能な利点がある。

釣獲タイミング検出を二値分類問題の観点から考えたとき、最も効果的なことは釣機の制御信号より負サンプルを容易に収集できたことだと思われる。負サンプルを手間をかけず収集できることで、単純な画像特徴量しか用いていないにも関わらず、比較的良い性能を発揮することができた。このようにカメラだけでなく複数のセンサを組み合わせることは、とくに一次産業の分野でのパターン認識では、モデル化が困難な系統的な雑音が入ることが多いと思われるため効果的であると考えられる。

参考文献

- [1] 四方 崇文他：イカ釣り LED 漁灯活用ガイド，独立行政法人水産総合研究センター水産工学研究所 (2013).
- [2] 一般社団法人マリノフォーラム21 海域総合開発研究会：青色発光ダイオード集魚灯によるイカ釣り漁業革命事業技術資料，一般社団法人マリノフォーラム21 (2007).
- [3] Seidou, M., Sugahara, M., Uchiyama, H., Hiraki, K.,

- Hamanaka, T., Michinomae, M., Yoshihara, K. and Kito, Y.: On the three visual pigments in the retina of the firefly squid, *Watasenia scintillans*, *Journal of Comparative Physiology A*, Vol. 166, No. 6, pp. 769–773 (online), DOI: 10.1007/BF00187321 (1990).
- [4] 稲田博史：イカ釣り漁業における漁獲技術に関する研究，日本水産学会誌，Vol. 71, No. 5, pp. 717–720 (2005).
 - [5] 四方崇文，山下邦治，白田光司，町田洋一：日本海沖合漁場におけるイカ釣り漁業用青色 LED 漁灯の性能評価，日本水産学会誌，Vol. 78, No. 6, pp. 1104–1111 (2012).
 - [6] Yamashita, Y., Matsushita, Y. and Azuno, T.: Catch performance of coastal squid jigging boats using LED panels in combination with metal halide lamps, *Fisheries Research*, Vol. 113, No. 1, pp. 182 – 189 (2012).
 - [7] Matsushita, Y., Azuno, T. and Yamashita, Y.: Fuel reduction in coastal squid jigging boats equipped with various combinations of conventional metal halide lamps and low-energy LED panels, *Fisheries Research*, Vol. 125–126, No. 0, pp. 14 – 19 (2012).
 - [8] 有限会社旺貴水産：中型イカ釣り操業における LED 集魚灯による省エネルギー化実証試験，平成 21 年度省エネルギー技術導入促進事業報告書，社団法人海洋水産システム協会，pp. 65–94 (2010).
 - [9] 四方崇文，島 敏明，稲田博史，三浦郁男，臺田 望，貞安一廣，渡部俊広：イカ釣り操業時に船上灯光により形成される船底下陰影部のスルメイカの誘集・釣獲過程における役割，日本水産学会誌，Vol. 77, No. 1, pp. 53–60 (2011).
 - [10] 四方崇文，三木智宏，剛，持平純一，稲田博史，渡部俊広：釣機負荷データを用いたスルメイカの釣獲状況の連続モニタリング，日本水産学会誌，Vol. 78, No. 1, pp. 1–7 (2012).