

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 24 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26450269

研究課題名(和文) ICT技術を用いたマグロ類のまき網漁業における漁獲過程とそのメカニズムの解明

研究課題名(英文) Elucidation of capture process and mechanism of purse seine tuna fishing by using ICT

研究代表者

高木 力 (Takagi, Tsutomu)

北海道大学・水産科学研究院・教授

研究者番号：80319657

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：旋網漁具の動態を数値シミュレーション技術を用いて解析するとともに、対象魚類の三次元行動軌跡を構築することにより、カツオ・マグロ類を対象とした旋網漁業の漁獲メカニズムを評価した。メバチ3個体の操業中の行動軌跡を取得した。投網後、個体が旋網に取り巻かれてからは個体の移動ベクトルの方向は鉛直・水平方向に短時間で大きく変動した。漁具の動態解析結果から網裾の最大到達深度は200mに達する一方で個体は100m以浅を遊泳し、網を締め巻き始めてからは遊泳速度は30%減少した。投網後1500秒経過すると、網地目合が縦方向に伸長されるため、メバチの若齢魚は身網の半分以上で通過不可能となることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：To assess the capture process during purse seine fishing of tuna species, the dynamic geometries of the purse seine fishing net under some operations were investigated by using a numerical simulation technique as well as by obtaining three-dimensional swimming paths of three bigeye tuna individuals during the purse seine fishing operation through dead-reckoning algorithms. The vectors of the swimming paths showed great variations in the vertical and horizontal directions. The hem of the purse seine net reached up to 200 m in depth, whereas the tuna individuals swam at depths shallower than 100 m and their swimming speeds decreased by 30% after pursing. The simulation results revealed that by 1500 s after casting the net, immature bigeye tunas could not pass through the body net because of the meshes of the net stretching in the longitudinal direction.

研究分野：水産物理

キーワード：マグロ類 旋網 行動解析 数値シミュレーション ICT

1. 研究開始当初の背景

カツオ・マグロ類の主要な漁法となっている旋網漁業は 70 年代から大規模に導入されはじめ、太平洋中西部におけるカツオ、キハダ等の主要漁法として定着している。旋網漁法は、魚群を本船から投網された網地で取り巻き、締め網で巾着の口を締めるように網地を引き絞り魚群を漁獲する漁法で、一度に大量の魚群を漁獲できることから効率の良い漁法として世界各国で導入されている。高度な漁労技術を必要とする一方で、若齢の小型個体の大量漁獲や対象種以外の混獲などが問題視されている。また、太平洋中西部のカツオ・マグロ類は強い漁獲圧により資源量低下が懸念されており、資源管理に対応した漁具漁法技術の開発が求められている。旋網漁具は大型のもので全長は 2000m にも達し、操業中の全体形状を把握することが殆ど不可能となっていることから、漁具のダイナミックな形状変化を把握することはできず、魚群をどのように取り巻き漁獲しているのかその詳細は把握できていない。一方、対象魚が操業中にどのような行動をとっているのかも評価できない状況にあり、こうした問題が資源管理に配慮した旋網漁業技術の開発にとって大きな関心事となっている。

2. 研究の目的

本研究は、旋網漁法におけるカツオ・マグロ類の漁獲過程と漁獲時の逃避・生残と混獲の問題に対して、旋網漁具の動態を把握するシミュレーション解析技術と魚類行動計測技術を統合的に活用することにより、操業時の漁獲過程を評価し、効果的な旋網漁業技術の最適化方策に資することを目的としている。漁具の動態を把握するシミュレーション技術は、解析対象とする漁具設計図面と操業データから、実際の網漁具の水中動態をコンピュータ上で数値計算により三次元的に再現するもので、操業時における旋網形状を詳細に捉えることを可能とする。これにより、操業条件と海象条件を入力すれば旋網漁具の動態をダイナミックに分析できるようになり、漁具の漁獲過程時における状態を分析できる。一方、漁獲過程の問題を総合的に捉えるために、操業時における個体行動を把握する技術が必要である。そこで、申請者らは磁気、深度、速度センサーを持つ複数の小型記録計を組み合わせた複合型の行動記録計を対象個体に装着し、個体の遊泳位置情報を三次元的に再構築することにより、操業時の個体遊泳行動軌跡を再現する。

3. 研究の方法

(1) 旋網漁具の水中動態の解析

解析対象とした旋網漁船はカツオ・マグロ大型旋網漁船 (349t) で、夏季には太平洋西部海域を、秋・冬季はインド洋東部海域を主な操業海域としている。操業時における旋網の漁具の全体形状と漁獲量との関係の評価す

るため、実際に使用された漁具の水中動態を数値シミュレーションにより再現した。図 1 は本船に使用されたまき網漁具の模式図である。全長はおよそ 1600m で、身網部分の目合は 300mm となっている。この網地設計図面に基づき、数値シミュレーションに供する漁具の計算モデルの模式図を図 2 に示すようなバネ-質点モデルで構築した。網脚と質点に作用する重力、浮力および流体力と質点間に作用する張力を見積もることにより次に示す運動方程式を構築する。

$$\frac{1}{2} \sum_{j \in I(i)} (\mathbf{m}_j + \mathbf{C}_j \cdot \Delta \mathbf{m}_j' \cdot \mathbf{C}_j') \ddot{\mathbf{x}}_i = \sum_{j \in I(i)} \left[\mathbf{T}_{ij}^s + \frac{1}{2} (\mathbf{C}_j \cdot \mathbf{F}_j^s + \mathbf{W}_j^s + \mathbf{B}_j^s) \right]$$

ここで、 \mathbf{C} は座標変換マトリックス、 \mathbf{m} は質量、 $\Delta \mathbf{m}$ は負荷質量、 \mathbf{F} は流体力、 \mathbf{W} は重力、 \mathbf{B} は浮力を表している。図 2 に示すとおり脚に作用する流体力は局所座標系上で表現されるため脚の接線方向と法線方向のみを考慮すれば良いようになっており、絶対座標系への変換は式中の座標変換マトリックスによって質点の流体力と統合されるようになっている。これにより、ロープや網地など大変形する柔軟な構造物の形状や作用荷重推定を一般化できるようになる。質点の位置と速度は運動方程式を数値的に解くことによって求められる。

操業時の漁具の動態と漁獲量の多寡との関係の評価するため、数値シミュレーションにより算定された漁具形状から旋網による包囲容積を算出した。また、網地を構成する身網の目の展開の経時変化をアスペクト比を用いて評価し、尾叉長 40cm の若齢魚のメバチをモデルとして網地を通過できるか、漁具の数値シミュレーション結果から評価した。

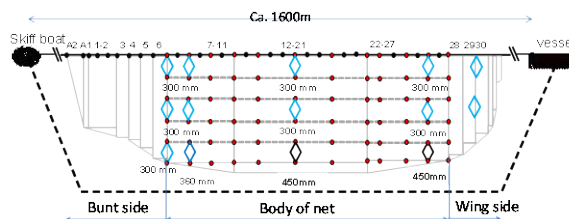


図 1：旋網漁具の模式図

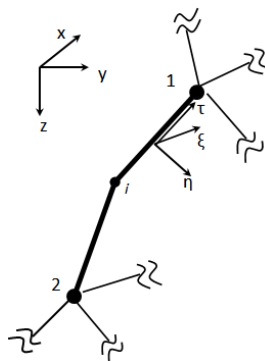


図 2：漁具の計算モデルの模式図

(2) 個体の三次元遊泳行動軌跡の構築

Dead Reckoning (推測航法技術：以下 DR) を応用することにより、個体の三次元遊泳行動軌跡を構築することができる。方位、深度、速度センサーを組み合わせた複合型記録計を漁獲制限対象魚となっているメバチの若齢魚に装着し、操業時の三次元行動軌跡の構築を試みた。図 3 は実験に用いた記録計である。記録計はメバチの背ビレ基部の体側面に装着した。DR を用いた三次元行動軌跡の構築では誤差が蓄積する。そのため誤差トレンドを取り除く処理が必要となる。本実験では誤差を取り除くために、記録計のパッケージに超音波発信器 (VEMCO 社製 V16) を装着して、個体の正確な位置情報を取得することを試みた。発信器による個体の位置情報は超音波受信機 (VEMCO 社製 VR2W) の受信到達時間差から算出した。受信機は旋網漁具の浮子綱と本船および小型艇に合計 4 機取り付け、受信機の位置は GPS 記録計を用いて記録した。実験は 2016/10/25~10/28 にかけて東部インド洋海域で操業した同船によるカツオ・マグロ旋網漁で実施した。操業前に FAD (浮魚礁) に唼集したメバチ (尾叉長 62-65cm) 3 個体に複合型記録計を装着後、放流した。



図 3：複合型行動記録計。

4. 研究成果

(1) 旋網漁具の水中動態の解析

旋網漁具は投網後に旋網の網裾をパースワイヤとよばれる締め綱で巻き締める。そのため、投網後のパースワイヤの繰り出し長さは網地の形状を決定づける重要なパラメータとなる。また、操業海域の流動環境も漁具の水中形状に大きな影響を与える。本実験ではパースワイヤの繰り出し長さは、ウィンチに装着した加速度ロガーによって推定した。また、操業海域の潮流による流動環境はドップラー流速計により計測した。本船の位置、針路、速度を記録し、数値シミュレーションの計算条件として供した。シミュレーション精度を評価するため、漁具の網裾に深度センサーを装着して操業時の網裾深度を記録し、シミュレーション結果と比較した。

図 4 は、当該旋網漁具の投網後の漁具の水中形状を数値シミュレーションにより可視化した画像である。本シミュレーションの妥当性を評価するため網裾に装着した深度センサーと数値シミュレーションで得られた同部位の深度の時系列プロファイルと比較した (図 5)。図が示すように数値シミュレ

ーションと実測値の一致度が高いことが分かる。

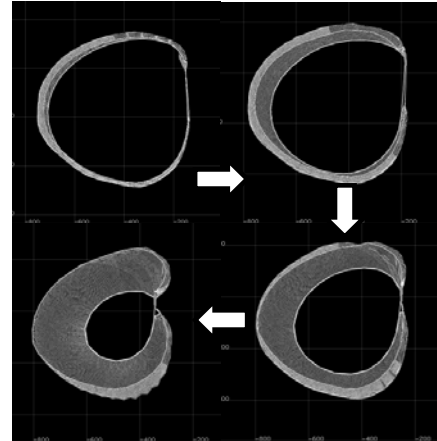


図 4：数値シミュレーションにより得られた操業時の旋網漁具の水中形状。

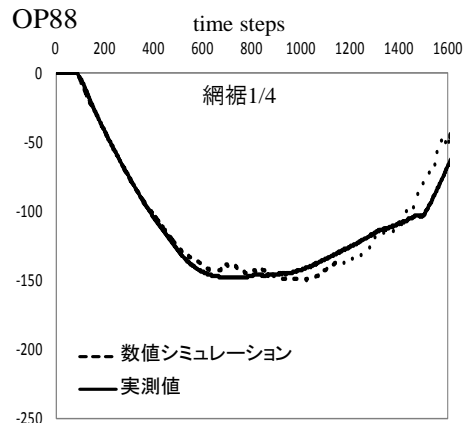


図 5：網裾に取り付けた深度計の実測値と数値シミュレーション結果の比較。

漁獲量の多寡と操業時の漁具形状との関係の評価するため、シミュレーションにより算定された漁具形状から旋網の包囲容積と操業時の旋網漁具の水平投影面積を算出し、漁獲量が皆無のときの失敗操業と漁獲があったときの一般操業時の漁具形状を調べた。図 6 は包囲容積の時間変化を失敗操業時と一般操業時で比較した図である。どの時間変化においても失敗操業時では包囲容積が一般操業時よりも小さいことが分かる。また、他の操業においても同様の傾向が確認された。包囲容積が失敗操業時に小さくなるのは、旋網漁具の投網後の形状とそのときの潮流の相対的な流速流向によるところが大きく、展開後の漁具の身網中央に、潮流の流向が本船側から差し込むような場合は包囲容積が大きく保たれるが、流向がこの方向から大きくずれる場合は包囲容積が小さくなる傾向が確認された。これらの結果から、一般操業では操業時に網地を大きく展開しながら魚群を取り巻いている操業形態であるが、失敗操業では魚群が網地に取り巻かれるときに、潮流が旋網の開口部に向かって流れるために、魚群が旋網内に留まりにくい状況が作り出されているためではないかと推察された。

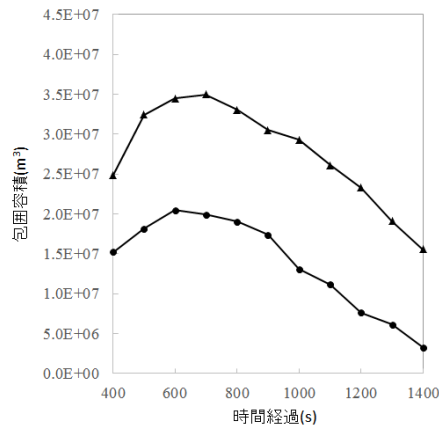


図6：投網後の旋網の包囲容積の変化。一般操業時(上)と失敗操業時(下)で差があることがわかる。

(2) 網地の目合の時間的变化

旋網漁具は全体形状の時間的变化にともなう、網地を構成する目合の形状も変化する。縦や横方向に伸長された網地の目を魚は通過することができない。そのため操業時の目合の状態を把握することは選択的漁業技術を開発する上で重要となる。そこで、本研究では数値シミュレーションにより漁具の全体形状のほか、旋網の網地の目合の状態の時間的变化を評価した。図7は身網を構成する網地の目合のアスペクト比の投網後の時間的变化を表したものである。目合のアスペクト比は網目の菱形の横方向の対角線長さを縦方向の対角線長さで除した値とした。図に示したように投網直後に目合は横方向一杯に伸長しているため大きな値を取っており、その後、網地を絞り込み始めてから縦方向に伸長して0に近い値に漸近していることが分かる。この結果から尾叉長40cmのメバチが網地面に対して垂直方向に進入すると仮定してその体高と体幅から身網を通過できるか解析したところ、投網後500sまでは身網の鉛直方向の中央部付近はアスペクト比が大きすぎるために通過できないが、500s-1000s経過後は身網のほぼ全ての部分で通過可能となった。しかしながら1000s経過後では網裾部分の目合いが縦方向に伸長するため、この部分から通過することは困難となり、1500s経過後には身網の半分以上の領域で通過が不可能となった。

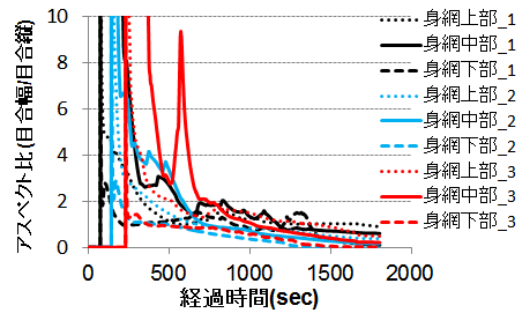


図7：旋網の網地目合のアスペクト比の時間的变化。投網後は網地が横方向に伸長し、時間経過とともに0に漸近している。

(3) メバチの三次元遊泳行動解析

2016/10/25-2016/10/28に東部インド洋海域でFADに唼集したメバチ(尾叉長62-65cm)3個体に複合型記録計を装着し、旋網により装着個体を採捕した。2016/10/25の装着個体(#1)は尾叉長が63cmで、放流から回収までの経過時間は2時間12分、2016/10/25の装着個体(#2)は尾叉長が65cmで、放流から回収までの経過時間は5時間20分、2016/10/27の装着個体(#3)は尾叉長が62cmで、放流から回収までの経過時間は15時間27分であった。いずれの個体についても記録計による速度、深度、方位データを取得することができた。最も放流時間の長かった#3個体の行動をみると、放流後、急潜行し150m付近の深度で遊泳する行動が2.5時間程度観察された。その後水面付近を遊泳していた。水面付近での遊泳はFAD付近を遊泳していたと予想された。個体がFAD近傍に接近しているかどうかを判断するため、FADに受信機を設置し、放流個体に装着した超音波発信器からの信号をモニタリングしたところ、表層付近の遊泳時間帯の多くで個体からの信号を受信した。表層付近での遊泳は放流当日の18:43から翌未明の2:04までであった。その後、個体は急潜行し、ほぼ100m付近を深度をあまり変化せず遊泳したのち、遊泳ベクトルの方向は激しく変動した。この時間から操業が開始されたことから、表層付近での遊泳から深い深度で遊泳した行動の変化は本船のFADへの接近が影響している可能性が考えられた。投網開始時刻後の#3個体の行動の三次元軌跡を作成した(図8)。投網後、図のように移動ベクトルの変化は大きかったが、投網後の行動範囲は南北方向におよそ700m、東西方向に約500mの範囲内を遊泳していた。同時に行った漁具動態のシミュレーション解析結果によれば、環締め作業時(網を巻き取り始める作業)の魚群を取り囲んだ旋網の水平方向の最大径はおよそ700mとなっており、魚群を取り囲んだ後、個体は網内の端から端までの範囲を遊泳していることが推察された。個体の行動軌跡は超音波発信器による精度の高い位置推定技術と複合型ロガーを用いた詳細な行動記録を統合することにより三次元行動軌跡を構築できたが、今後はカルマン

フィルターに代表されるデータ同化手法を適用することにより、投網後の網漁具形状に対する相対的な位置関係と行動軌跡との関係を解析する。

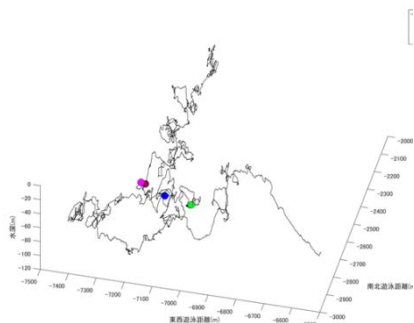


図8：2016/10/27に放流されたメバチの遊泳軌跡。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① Kazuyoshi Komeyama, Minoru Kadota, Hiroyuki Sueshige, Kazuhiko Anraku and Tsutomu Takagi, State-space Model for Estimating Three-Dimensional Fish Trajectories Based on Acoustic Telemetry in a Large Tank, Fisheries Engineering, 査読有り, 53, 2016, 1-13.
- ② Tsutomu Takagi, Shizuka Ito, Shinsuke Torisawa, Yoshinobu Inada, Energy-saving in schooling Japanese mackerel (*Scomber japonicus*) and the effect of induced velocity of wake vortices, Journal of Aero Aqua Bio-mechanisms, 査読有り, 4, 2015, 78-82.
- ③ Kazuyoshi Komeyama, Shinsuke Torisawa, Tsutomu Takagi, Using Behavioural Measurements of State Space Model to Monitor Capture Process of Fish by Fishing Gear, Contribution on the theory of fishing gears and related marine system, 査読有り, 9, 2015. 103-110.
- ④ Tsutomu Takagi, Shunsuke Suzuki, Yasuhiro Yoshimura, Shinsuke Torisawa, Kazuyoshi Komeyama, Ipppei Fusejima, Tatsuki Oshima, Seiko Wada, Akitaka Hikosaka, Takuto Kimura, Kousuke Yokota, Mitsunori Susuki, Yoshinori Nomura, Katsuya Suzuki and Takashi Shimizu, Dynamic Analysis of Tuna Purse Seine Fishing Gear for Assessing the Capture Process, Contribution on the theory of fishing gears and related marine system, 査読有り, 9, 2015. 131-140.
- ⑤ Tsutomu Takagi, Syunsuke Miyata, Ipppei Fusejima, Tatsuki Ohshima, Takayoshi

Uehara, Katsuya Suzuki, Yoshinori Nomura, Mamamichi Kanechiku and Shinsuke Torisawa, Effect of Mesh size on Sinking Characteristics of Purse Seine Net: a Parametric Study by Numerical Simulation, Fisheries Engineering, 査読有り, 51, 2014,11-19.

[学会発表] (計 10 件)

- ① 棚田法男・五味伸太郎・高木 力・米山和良・鳥澤真介・鈴木勝也・白木里香・西山義浩・浅海 茂, 異なる操業環境下での旋網漁具の動態特性とEKFを用いた網地動態推定精度の向上, 日本水産学会春季大会, 2017. 3. 27, 東京海洋大学(東京都, 港区) .
- ② 五味伸太郎・高木 力・棚田法男・米山和良・鳥澤真介・鈴木勝也・白木里香・西山義浩・浅海 茂, EKFを用いた網漁具の水中形状制御技術に関する基礎的研究 一意図した水中形状を実現する漁具仕様を事前に推定できるか?-, 日本水産学会春季大会, 2017. 3. 27, 東京海洋大学(東京都, 港区) .
- ③ 五味伸太郎・高木 力・棚田法男・米山和良・鳥澤真介・鈴木勝也・白木里香・西山義浩・浅海茂, EKFによるパラメータ推定技術を導入した漁具の水中動態シミュレーションシステムの開発, 電子情報通信学会, 2017. 03. 23, 名城大学(愛知県, 名古屋市) .
- ④ 高木 力・芳村泰裕・鈴木駿介・米山和良・鳥澤真介・伏島一平・大島達樹・和田聖子・彦坂明孝, 推測航法技術と超音波発信器を用いたハイブリッド法による個体の3次元遊泳軌跡推定技術の開発, 日本水産学会春季大会, 2016. 3. 28, 東京海洋大学(東京都, 港区) .
- ⑤ 棚田法男・高木 力・鈴木駿介・鳥澤真介・鈴木勝也・西山義浩・白木里香・浅海 茂, 旋網漁具の水中動態のリアルタイムシミュレーションシステムの開発とその性能評価, 日本水産学会春季大会, 2016. 3. 28, 東京海洋大学(東京都, 港区) .
- ⑥ 米山和良・麦田 尋・田丸 修・高木 力, ステレオカメラによるマサバとマアジの3次元魚群行動計測, 日本水産学会春季大会, 2016. 3. 28, 東京海洋大学(東京都, 港区) .
- ⑦ 高木 力・鈴木駿介・芳村泰裕・鳥澤真介・米山和良・伏島一平・大島達樹・和田聖子・彦坂明孝・木村拓人・横田耕介・野村芳徳・鈴木勝也・浅海 茂・清水孝士, まき網漁具の漁獲過程の解明-I: 操業のダイナミクスと行動評価技術の統合によるアプローチ, 日本水産学会春季大会, 2015. 3. 29, 東京海洋大学(東京都, 港区) .

- ⑧ 鈴木駿介・高木 力・芳村泰裕・鳥澤眞介・米山和良・伏島一平・大島達樹・和田聖子・彦坂明孝・鈴木勝也・清水孝士, まき網漁具の漁獲過程の解明-II: 流動環境が漁具形状に与える影響, 日本水産学会春季大会, 2015. 3. 29, 東京海洋大学 (東京都, 港区) .
- ⑨ 米山和良・高木 力・芳村泰裕・鈴木駿介・鳥澤眞介・伏島一平・大島達樹・和田聖子・彦坂明孝・鈴木勝也・清水孝士, まき網漁具の漁獲過程の解明-III: 操業中の魚類行動計測技術の開発, 日本水産学会春季大会, 2015. 3. 29, 東京海洋大学 (東京都, 港区) .
- ⑩ 鳥澤眞介・高木 力・鈴木駿介・芳村泰裕・米山和良・伏島一平・大島達樹・和田聖子・彦坂明孝・鈴木勝也・清水孝士, まき網漁具の漁獲過程の解明-IV: 漁具と魚群の行動の光学式3次元モニタリング技術の開発, 日本水産学会春季大会, 2015. 3. 29, 東京海洋大学 (東京都, 港区) .

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www2.fish.hokudai.ac.jp/faculty-member>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高木 力 (TAKAGI, Tsutomu)

北海道大学・大学院水産科学研究院・教授
研究者番号: 80319657

(2) 研究分担者

米山 和良 (KOMEYAMA, Kazuyoshi)

北海道大学・大学院水産科学研究院・助教
研究者番号: 30550420

(3) 連携研究者

鳥澤 眞介 (TORISAWA, Shinsuke)

近畿大学・農学部・講師
研究者番号: 80399097

光永 靖 (MITSUNAGA, Yasushi)

近畿大学・農学部・准教授
研究者番号: 90319658

河邊 玲 (KAWABE, Ryo)

長崎大学・環東シナ海環境資源研究センター・教授

研究者番号: 80380830

(4) 研究協力者

門田 実 (KADOTA Minoru)

テンプル大学ジャパンキャンパス・国際ビジネス学科・准教授