

**New aspects of catch rate: Estimating catch and bycatch rate in fish and seabirds at each setting time from sunrise and sunset**

Yukiko Inoue, Kotaro Yokawa, Tomoyuki Ito and Kazuhiro Oshima  
National Research Institute of Far Seas Fisheries, Fisheries Research Agency

**漁獲率に対する新たな考え方：日出および日の入りからの投縄時間帯における海鳥と魚類の漁獲及び混獲率の推定**

井上裕紀子, 余川浩太郎, 伊藤智幸, 大島和浩  
国立研究開発法人 水産研究・教育機構 国際水産資源研究所

Summary

Hourly CPUE pattern of target and non-target species were estimated by the data collected by longline observers in relation to the time of sun rise and sun set, to investigate the effect of time zone of longline gear setting on the catches of target and bycatch species. The catch rate of southern bluefin tuna peaked in time bins of 5 – 6 hours after sunrise, while no large differences were observed in the CPUE level in time bins of -4 - +4 hours from sun rise. The catch rate of bigeye tunas and albacores peaked at daytime, catch rate of swordfish increased around sunset. Non-target species caught in various timing, especially the catch rate of non-target species tended to remain certain level after sunset. Bycatch rate of seabirds dramatically decreased in the nighttime from that in the day time including nautical dawn. Especially, bycatch rate remained low level after one hour before sunrise. From these results indicated that efficient setting operation timing varied between target species and that the night setting would very effective for seabird mitigation.

要旨

はえ縄漁船におけるターゲット種および混獲種の漁獲に対する、投縄時間帯の効果を検証するために、はえ縄オブザーバーデータを用いて、日の出と日の入りに関連したターゲット種および非ターゲット種の一時間ごとの CPUE を推定した。ミナミマグロは日の出 5–6 時間後の時間帯にピークがある一方で、日の出から–4 時間から+4 時間の時間帯には、大きな変化のない CPUE の水準を観察した。メバチおよびビンナガは、昼間に漁獲率がピークとなった一方で、メカジキは、日の入り前後で漁獲される率が高かった。非ターゲット種とされるものは、様々な時間帯に漁獲される傾向にあり、特に日の入り後に漁獲率が下がらない傾向にあった。海鳥は、夜間に混獲率が急減した。特に、日の出の 1 時間以前

には、低い水準を示した。これら結果より、ターゲットとする種によって、効率の良い時間帯が異なること、夜間投縄が非常に有効であることが示唆された。

## Introduction

Setting fishing operation at an appropriate time of the day for catch would be efficient and result in a minimum negative effect on the ecosystem. On the other hand, seabird bycatch mitigation measure such as setting at a time when seabird is rarely caught is one of recommended measure. It is crucial to consider a variation of catch/bycatch rate among setting the time zone for managing fisheries.

In our study, setting time zone when catch rate of a target and non-target species is high, or when bycatch rate of seabird is high was examined. In particular, the setting time of a hook was estimated from hauling time of the hook, difference time from sunrise and sunset in the day to the setting time of the hook was calculated, and catch and bycatch numbers of each hook were hourly aggregated. Operated hooks numbers were estimated from observed time and catch and bycatch rate was calculated.

## 緒言

漁獲に最適な時間帯に投縄を行うことが、効率よくまた生態系にも最小の影響を与えると考えられる。一方で、海鳥が混獲されにくいとされる時間帯に投縄を行う回避措置は推奨されている措置のひとつである。漁業を管理するうえで、投縄時間による漁獲率および混獲率の変異の検討は、必要不可欠である。

本研究では、ターゲット種・非ターゲット種がかかりやすい投縄時間はいつか、また、海鳥がかかりやすい投縄時間はいつかを検討した。具体的には、ある鉤が揚げられた時間より、その鉤が投縄された時間を推定し、その時間の日の出から／日の入りからの時間を算出し、一時間ごとに漁獲数・混獲数を集計した。また、観察時間より、投縄鉤数を推定し、漁獲率・混獲率を算出した。

## Materials and methods

Japanese scientific observer data of south of 25° S in 2014 was used for analysis. Area and season were combined and examined.

Assuming hauling each hook at a constant time interval, the setting time of each hook were estimated from hauling time of the hook. We considered which end of the line was started to haul for the estimation. Sunrise time and sunset time were calculated in each setting date, a difference to set time for each caught species from the sunrise/sunset time were calculated and catch number and bycatch number were hourly aggregated.

Observation start and end time in setting period were estimated observation start and end time of observer in hauling period as the same manner of estimation of catch number. Observation duration in the setting period was calculated hourly. Also, to obtain hook number per time unit, total hooks number were divided by total setting time. Observed hook number for each hour was calculated by multiplying hook number per time unit and observation duration for each hour.

1000 was multiplied to catch/bycatch number for each hour and the number was divided by observed hook number for each hour to obtain catch and bycatch rate (CPUE) in each hour.

## 方法

2014年の南緯25度以南の日本の科学オブザーバーデータを使用した。地域・季節をプールして解析を行った。

各鉤に対して等間隔の時間で揚縄を行っていると仮定して、各鉤における揚縄時間より投縄時間の推定を行った。縄回りがあった場合は、推定時に考慮した。各操業における日出時間および日の入り時間を算出し、各漁獲物の投縄時間と差し引きし、投縄された時間との差分を算出し、日の出からの時間もしくは、日の入りからの時間とした。日の出・日の入りからの時間において、一時間ごとに各種の漁獲数・混獲数を集計した。

揚げ縄の調査開始時間と終了時間から、投縄時における調査開始時間と終了時間を推定し、投縄時間における一時間ごとの調査時間を集計した。また、総投縄鉤数を総投縄時間で割り、時間単位当たりの投縄鉤数を算出し、一時間ごとの調査時間にかけて、一時間ごとの観察した投縄鉤数を算出した。

一時間ごとの各種の漁獲数・混獲数に1000をかけて、一時間ごとの調査時間で割ったものを、時間単位当たりの漁獲率・混獲率(CPUE)とした。

## Results

Figure 1 shows catch rate of target species for each hour. The catch rate of southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*) remained constant high level from four hours before sunrise. And it presented relatively high level from one hour before sunset to sunset. The catch rate of the bigeye tuna (*Thunnus obesus*) increased from three hours before sunset and it peaked at two-three hours after sunrise. It remained low level after sunset. The catch rate of the albacore (*Thunnus alalunga*) was similar to that of bigeye, increased from three hours before sunrise, peaked at three hours after sunrise and decreased. It remained low level after sunset. The catch rate of striped marlin (*Tetrapturus audax*) was varied regardless of sunrise or sunset except became high level at one-two hours after sunset. Catch rate of swordfish (*Xiphias gladius*) indicated low level around sunset while it indicated high level during three hours before sunset to nighttime.

Figure 2 shows catch and bycatch rate of non-target species for each hour. Bycatch rate of

seabirds remained low level at a few hours before sunrise and suddenly increased at one hour before sunrise; nautical dawn. Also, it remained low level or zero after sunset. The catch rate of blue shark (*Prionace glauca*) remained constant level regardless of day and night and tended to decrease at six hours after sunset. The catch rate of shortfin mako (*Isurus oxyrinchus*) stayed low level from a few hours before and after sunset but increased from three hours before sunset, peaked at one-two hours after sunset and decreased after that. Catch rate of escolar (*Lepidocybium flavobrunneum*) was higher level during three hours before sunset to after sunset than that during a few hours before to after sunrise. The catch rate of oilfish (*Ruvettus pretiosus*) appear both in a day and at a night, but especially, high level at two to four hours after sunrise and one hour after sunset.

Figure 3 shows bycatch rate of seabirds in each species group for each hour. Bycatch rate of the Buller's albatross group (*Thalassarche bulleri bulleri* and *Thalassarche bulleri platei*), the grey-headed albatross (*Thalassarche chrysostoma*), the giant petrels (*Macronectes halli* and *Macronectes giganteus*) and the white-chinned petrel (*Procellaria aequinoctialis*) increased in one hour before sunrise; nautical dawn or/and sunrise and after that gradually decreased. On the other hand, bycatch rate of the Indian yellow-nosed albatross (*Thalassarche carteri*) peaked at four hours after sunrise and after that, rapidly decreased. Bycatch rate of black-browed albatross group (*Thalassarche melanophrys* and *Thalassarche impavida*) shy-type albatross (*Thalassarche cauta steadi* and *Thalassarche cauta cauta*) and wandering albatross group (*Diomedea exulans*, *Diomedea dabbenena*, *Diomedea gibsoni* and *Diomedea antipodensis*) remained constant level from nautical dawn to five hours after sunrise.

## 結果

Fig. 1 に、ターゲット種における時間帯ごとの漁獲率を示した。ミナミマグロ (*Thunnus maccoyii*)は、日の出の4時間前から一定の水準の漁獲率の高さを示した。また、日の入り一時間前から日の入り時間に比較的高い漁獲率を示した。メバチ(*Thunnus obesus*)は、日の出3時間前から漁獲率が増加し、日の出2-3時間後に最大の漁獲率を示した。日の入り後は、低い漁獲率を示した。ビンナガ(*Thunnus alalunga*)はメバチの推移と類似しており、日の出3時間前から漁獲率が増加し、日の出3時間後にピークを示してその後、減少した。日の入り後は、低い水準を示した。マカジキ(*Tetrapturus audax*)の時間帯別漁獲率は、日の入り1-2時間後に高い値を示したほかは、ばらついていた。メカジキ(*Xiphias gladius*)は、日の出前後には低い漁獲率を示した一方で、日の入り3時間前から夜間に漁獲率が高まった。

Fig. 2 に、非ターゲット種における時間帯ごとの漁獲率・混獲率を示した。海鳥の混獲率は、日の出前数時間は低い水準を推移し、日の出一時間前、つまり航海薄明時および日の出時に高まった。また、日の入り後は0か低い水準を示した。ヨシキリザメ(*Prionace glauca*)は、昼夜にかかわらず、一定の水準を示したが、日の入りの6時間後には減少傾向が認められた。アオザメ(*Isurus oxyrinchus*)は、日の出前数時間から日の出後数時間は、低い漁獲率を示し、一方で、日の入り3時間前から漁獲率が上昇し、日の入りの一時間から二時間

後に漁獲率はピークとなり、その後、減少した。アブラソコムツ(*Lepidocybium flavobrunneum*)は、日の入りの3時間前から日の入り後3時間の間は、日の出前数時間から日の出後数時間よりも高い水準を示した。バラムツ(*Ruvettus pretiosus*)は、夜間にも昼間にも漁獲されていたが、特に日の出の2時間後—4時間後と日の入りの一時間後に高い水準を示した。

Fig.3 に、鳥種ごとの時間帯ごとの混獲率を示した。ニュージーランドアホウドリグループ(*Thalassarche bulleri bulleri* および *Thalassarche bulleri platei*)、ハイガシラアホウドリ(*Thalassarche chrysostoma*)、オオフルマカモメ類(*Macronectes halli* および *Macronectes giganteus*)、そしてノドジロクロミズナギドリ(*Procellaria aequinoctialis*)の混獲率は、日の出前一時間、つまり、航海薄明か、もしくは日の出の時間に混獲率が高まり、その後、減少する傾向があった。一方で、ニシキバナアホウドリ(*Thalassarche carteri*)は、日の出4時間後に、混獲率のピークがあり、その後、急減した。マユグロアホウドリグループ(*Thalassarche melanophris* および *Thalassarche impavida*)、ハジロタイプアホウドリ(*Thalassarche cauta steadi* および *Thalassarche cauta cauta*)、ワタリアアホウドリグループ(*Diomedea exulans*, *Diomedea dabbenena*, *Diomedea gibsoni* および *Diomedea antipodensis*)の混獲率は、今回薄明から日の出後5時間まで、一定の値を保って推移した。

## Discussion

In our study, catch rate for each setting hour was estimated. In our study, catch rates of target and bycatch species were calculated by one hour bins of time of hook casted to the sea. Because time of hook casting was adjusted to sun rise/sun set, effect of season and latitude of operational point, which may change the time of sun rise and sun set, can be canceled. The estimation of casted time of hook was conducted using simple proportional equation of start and end time of gear setting and retrieving, and time of fish unloaded. In this estimation, hooks were assumed to be casted and retrieved at regular interval. Thus, when accidents during operation such as entanglements of lines and/or retrieving of active large fishes, which usually take long time, were occurred, estimated casting time of hook with fish would be biased. Also, the data used in this study is collected in 2014 only which may not cover all fishing area and season with sufficient number of data. This indicate the fact that the general trend of the estimated CPUE pattern by relative time bins to the sun rise/sun set should reflect the actual event occurred in the fishery, but small scale patterns like subtle increase/decrease of CPUEs should be taken as noise derived from insufficient coverage of data.

Because fish remain to have potential to be hooked from the setting time of the hook to the hauling time of the hook, our result does not indicate direct hooking time but we consider that it would show potential high catch rate time zone. Young et al. (1997) indicated from stomach contents analysis of southern bluefin tuna that feeding activity peaked at the morning and the evening in the offshore area, though lacking the data from midnight to 8 a.m. Our result of southern bluefin

tuna indicated that this species could be anticipated a certain amount of catch rate even in the four hours before sunrise, which is a new finding. Ito and Sakai (2016) indicated that southern bluefin tuna foraged fish and squid at about fifty percents from stomach contents analysis obtained from Japanese longline fisheries and they would forage this food from 4 hours before sunrise to daytime.

Sift of catch rate among sunrise and sunset of bigeye tuna was similar to albacore. Since those two species would be hooked during daytime, while they would be not hooked during nighttime. This indicated that these species would forage daytime at the depth range where Japanese longliners set their gear. Young et. al. (2010) showed that albacores were hooked at daytime while bigeye tunas were hooked at nighttime from the information of hook timer. Thus, our result disagreed with the result from Young et al. (2010). As an exploratory analysis, we checked the effect of area and season and these did not change the trend of the CPUE among each hour. Also, since a number of observed hooks was enough to examination around 4 hours before and after sunrise, it is unlikely to the result from the error from few observations. Kobayashi and Yamaguchi (1971) shows that bigeye tuna catch rate is high in morning setting in the equatorial area of eastern Pacific. Not only albacores but also bigeye tunas would forage prey item during daytime from our result.

On the other hand, catch rate of swordfish had high during before and after sunset. This result agreed with hooking time observed in Young et al. (2010). These results indicated that active foraging time would be day time in bigeye tuna and albacore and would be night time in swordfish.

Reviewing of our result would provide the comparison of the foraging ecology of several tunas, and collaboration with stomach content analysis of our results would promote discussion whether there is feeding segregation among tuna species.

Non-target species was tended to catch in any time zone and catch rate of them did not decrease after sunset. Because catch rate of non-target species increases before and after sunset, fish masters would rarely select setting operation timing in this time zone.

The catch rate of seabirds was suddenly decreased at night time, especially it stayed in low level from one hour before sunrise. Different from fishes, almost seabirds caught right after casting of hook, hooking time of seabirds can be approximated by the casting time of hooks. Consequently, the hourly pattern of seabird BPUE and amount of effort obtained in this study apparently indicates that almost seabird hooking occurred during day time. This indicated that night setting should be the promising measure for the reduction of seabird bycatch if gear setting correctly finished before the nautical dawn. Albatrosses were discussed that they decreased flight bout during night time and sit on the water from the information of the loggers, might forage squids from on the water during nighttime (Phalan et al. 2007). Our result that bycatch rate largely decreased during the night despite a large number of observed hooks deployed in these times, and this indicated that albatross would not forage during nighttime even if there is a chance to forage baited hooks. This suggested the limitation of visual ability would affect the foraging pattern through a day.

Also, there are patterns in the peak of bycatch rate among species and most species increased bycatch rate after nautical dawn, which indicates they would increase foraging activity just after nautical dawn. As species specific CPUE pattern revealed, bycatch rate of Indian yellow-nosed albatross peaked at 4 hours after sunrise, which indicated that it would differ the foraging activity from other species. Weimerskirch and Guionnet (2002) showed that the grey-headed albatross and black-browed albatross increased landing frequency in beginning of the night, indicating forage on the water while yellow-nosed albatross increased landing frequency during daytime indicating concentrate the foraging activity during the daytime. From these results, it is indicated that foraging activity pattern through the day would affect to peaks of bycatch rate in our study.

Our study used only 2014 data, so it is needed to increase data set with using multiple year data. Also, it would be needed to consider the effect of area, depth of the line, fish master's target.

## 議論

本研究では、投縄時間帯ごとの漁獲率を算出した。本研究では、洋上へ鉤が投げられた時間における一時間単位によるターゲット種と混獲種の漁獲率を計算した。鉤が投げられた時間は、日の出もしくは日の入りに対して調整されているため、日の出・日の入りの時間に影響する操業場所の季節や緯度の影響は、相殺される。鉤の投げられた時間は、投縄開始時間と終了時間および揚縄開始時間と終了時間、魚類が漁獲された時間の単純な比例式を使って得られている。この推定において、鉤は一定の時間間隔で投縄され、揚縄されることが仮定されている。よって、縄の絡まりや生きた大きな魚類がかかるような、一般的に時間がかかるような出来事が起きたとき、魚が鉤に挙げられる時間は偏りが出ると考えられる。また、本研究で使われたデータは 2014 年に集められたもののみであり、すべての漁獲エリアや季節を十分な観察鉤数でカバーできるようなものではないかもしれない。これは揚縄の日の出・日の入りからの時間単位によって得られる推定 CPUE パターンの一般的なトレンドは、漁業における実際の出来事を反映するが、CPUE の微妙な上昇や減少のような小さなスケールのパターンは、不十分なデータカバー率から起きているノイズとしてとらえるべきである。

浸漬時間中、魚が鉤にかかる可能性が持続するので、本結果が、鉤にかかった直接的な時間を示しているわけではないが、間接的に、漁獲率が高ければ鉤にかかりやすい投縄時間帯を示していると考えて考察を行う。

Young et al. (1997) は、ミナミマグロの胃内容物分析より、沖合では、朝と夕方に採食のピークが認められることが示唆されたが、この結果では 0 時から 8 時までの情報が示されていない。ミナミマグロにおける本結果は、本種は日出の 4 時間前に投縄を行うと、漁獲が見込めることを示しており、新たな知見となる。Itoh and Sakai (2016) によると、日本のはえ縄漁船で収集されたミナミマグロ胃内容物サンプルでは、中深層性の頭足類と魚類が半分ずつの割合を占めることが示されており、日出の 4 時間前から日中にかけてこれ

らの餌を食べていることが考えられる。

メバチ・ビンナガの漁獲率の推移は、似通っていた。これら二種は、日中に、鉤にかかっている一方で、夜間にはほとんどかかっていなかった。これは、これら種は、日本延縄漁船が漁具を入れる水深において昼間捕食していることが示唆された。Young et al. (2010)において、フックタイマーによってビンナガは日中に釣られており、メバチは夜間に釣られていることが示されている。本調査では、ビンナガは同じ傾向が示されたが、メバチも日中に漁獲されており、Young et al. (2010)と異なる結果が示された。本結果の予備解析として、エリア・季節を分けても、日中に漁獲率が高まったので、それらの影響はないと考えられる。また、日中の鉤数は多く、観察数が少ないことによるエラーとは考えにくい。小林・山口(1971)では、東部太平洋赤道域において、朝縄におけるメバチの漁獲率が高いことが示されている。本結果より、メバチも、ビンナガ同様、日中採食している可能性が考えられた。

メカジキは、日の入り前後で漁獲される率が高かった。これについては、Young et al. (2010)で示された、釣られた時間と一致した。これらのことから、採食が活発な時間帯がメバチ・ビンナガは昼、メカジキは夜である可能性が考えられる。

本結果を精査することにより、マグロ類間の摂餌生態の比較を行えることができ、また、胃内容物分析と合わせて分析することにより、すみわけが起きているかどうかについても議論できると考えられる。

非ターゲット種とされるものは、比較的どんな時間帯にも漁獲される傾向にあり、特に日の入り後に漁獲率が下がらない傾向にあった。特に、日の入り前後の時間帯には、非ターゲット種の割合が高くなってしまったために、このような時間帯に投縄する漁業者が少ないと考えられた。

海鳥は、夜間に混獲率が急減した。魚と違って、海鳥の釣り掛かりのほとんどは釣り針が投下された直後に起こるので、海鳥の釣り係時刻は釣り針の投下時刻によって近似することが出来る。したがって、本研究で得た1時間毎の海鳥 BPUE パターン及び努力量パターンの結果は、海鳥の釣り係のほとんどが日中に起きていた事を示している。特に、日の出の1時間以前には、低い水準を示した。この結果は、夜間投縄は、漁具が投縄が正しく航海薄明以前に終了していれば、海鳥の混獲の減少に対する成功の見込みの高い措置であることを示唆している。アホウドリ類は、夜間は飛翔バウトが少なく、水面に滞在しているということが示されており、夜間は水面でイカ類などをついばんで採食しているためかもしれないことが議論されている (Phalan et al. 2007)。本調査では、夜間に操業しているにもかかわらず、混獲が大きく減少したことより、アホウドリ類は、採食機会があっても夜間に鉤餌を捕食しようとしなかったことが示唆され、視覚的な制限が一日の採食パターンに影響している可能性が考えられた。また、種ごとに混獲のピーク時間にパターンがあり、多くの種では航海薄明以降に混獲率が高まることが示され、航海薄明後すぐに採食活動が高まる可能性が示唆された。種特異的なパターンとして、ヒガシキバナアホウドリでは、日の出4時間後に混獲率のピークが来ており、他種と異なる採食活動であることが示唆された。



Weimerskirch and Guionnet (2002) は、ハイガシラアホウドリとマユグロアホウドリは夜間のはじめにも着水回数が多く、水面の餌を捕食している一方で、キバナアホウドリの着水回数は昼間に集中しており、昼間に集中して餌を捕食していることを議論している。このようなことから、種間の活動時間の違いが、本結果の、混獲率のピークの違いに影響したと考えられる。

本結果は、2014 年の単年の結果を示しており、今後、複数年のデータを用いて、例数を増やす必要があると考えられる。また、地域の効果、水深効果、漁業者がどの種をターゲットとしているかなどについて、検討する必要があると考えられる。

## Reference

### 参考文献

Itoh, T., & Sakai, O. (2016). Open-ocean foraging ecology of southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii* based on stomach contents. *Marine Ecology Progress Series*, 555, 203-219.

Kobayashi, H. and Yamaguchi, Y. (1971) Feeding ecology and hooking tendency of tunas and marlins in the eastern equatorial Pacific. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries* 37, 83-89.

Phalan, B., Phillips, R. A., Silk, J. R., Afanasyev, V., Fukuda, A., Fox, J., Paulo, C., Higuni H. & Croxall, J. P. (2007). Foraging behaviour of four albatross species by night and day. *Marine Ecology Progress Series*, 271-286.

Weimerskirch, H., & Guionnet, T. (2002). Comparative activity pattern during foraging of four albatross species. *Ibis*, 144(1), 40-50.

Young, J. W., Lamb, T. D., Le, D., Bradford, R. W., & Whitelaw, A. W. (1997). Feeding ecology and interannual variations in diet of southern bluefin tuna, *Thunnus maccoyii*, in relation to coastal and oceanic waters off eastern Tasmania, Australia. *Environmental Biology of Fishes*, 50(3), 275-291.

Young, J. W., Lansdell, M. J., Campbell, R. A., Cooper, S. P., Juanes, F., & Guest, M. A. (2010). Feeding ecology and niche segregation in oceanic top predators off eastern Australia. *Marine Biology*, 157(11), 2347-2368.

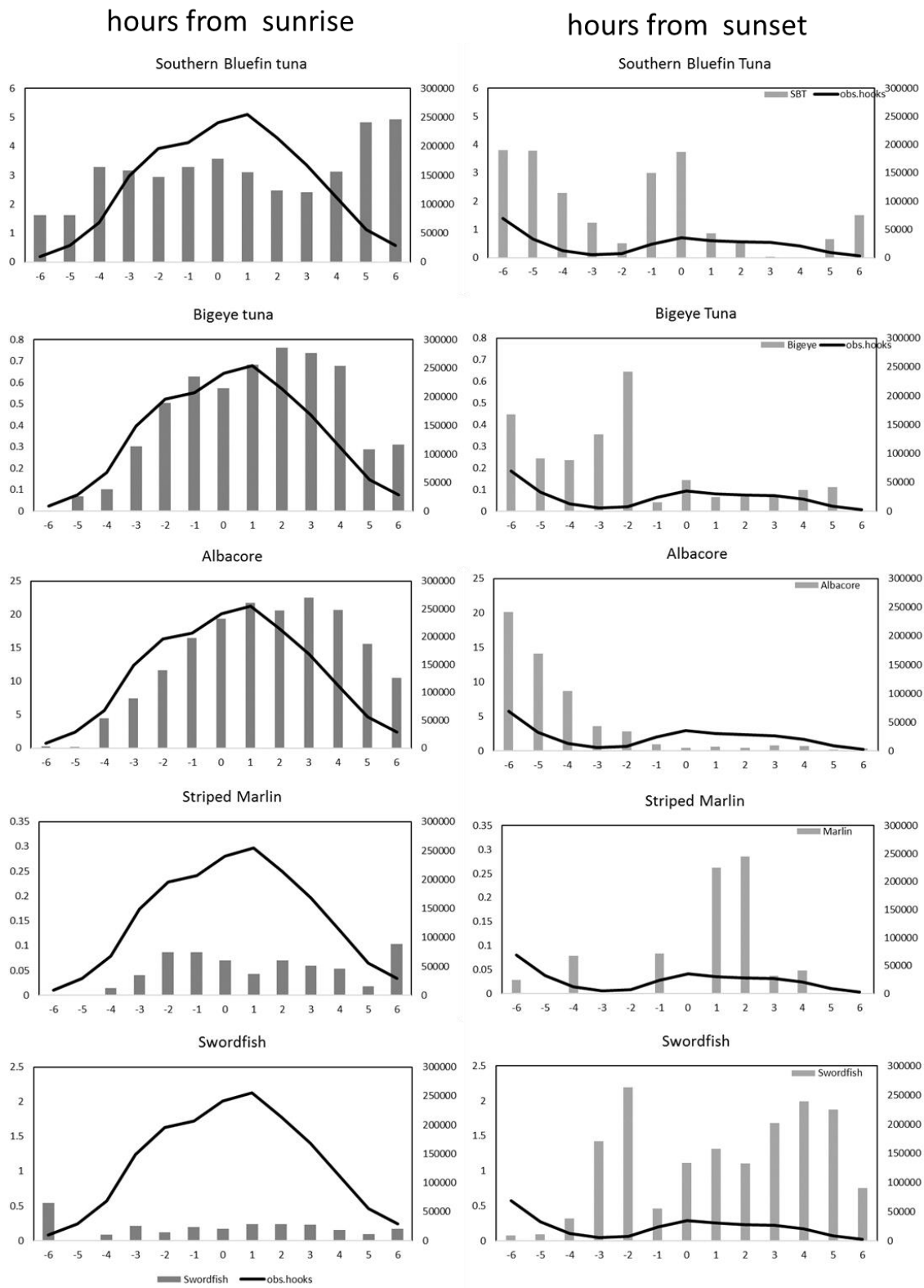


Fig 1. Number of observed hooks (black lines) and CPUE (grey bars) of target species, Southern Bluefin Tuna, Bigeye tuna, albacore striped marlin and swordfish in each time area from sunrise(left) and sunset(right).

### hours from sunrise

### hours from sunset

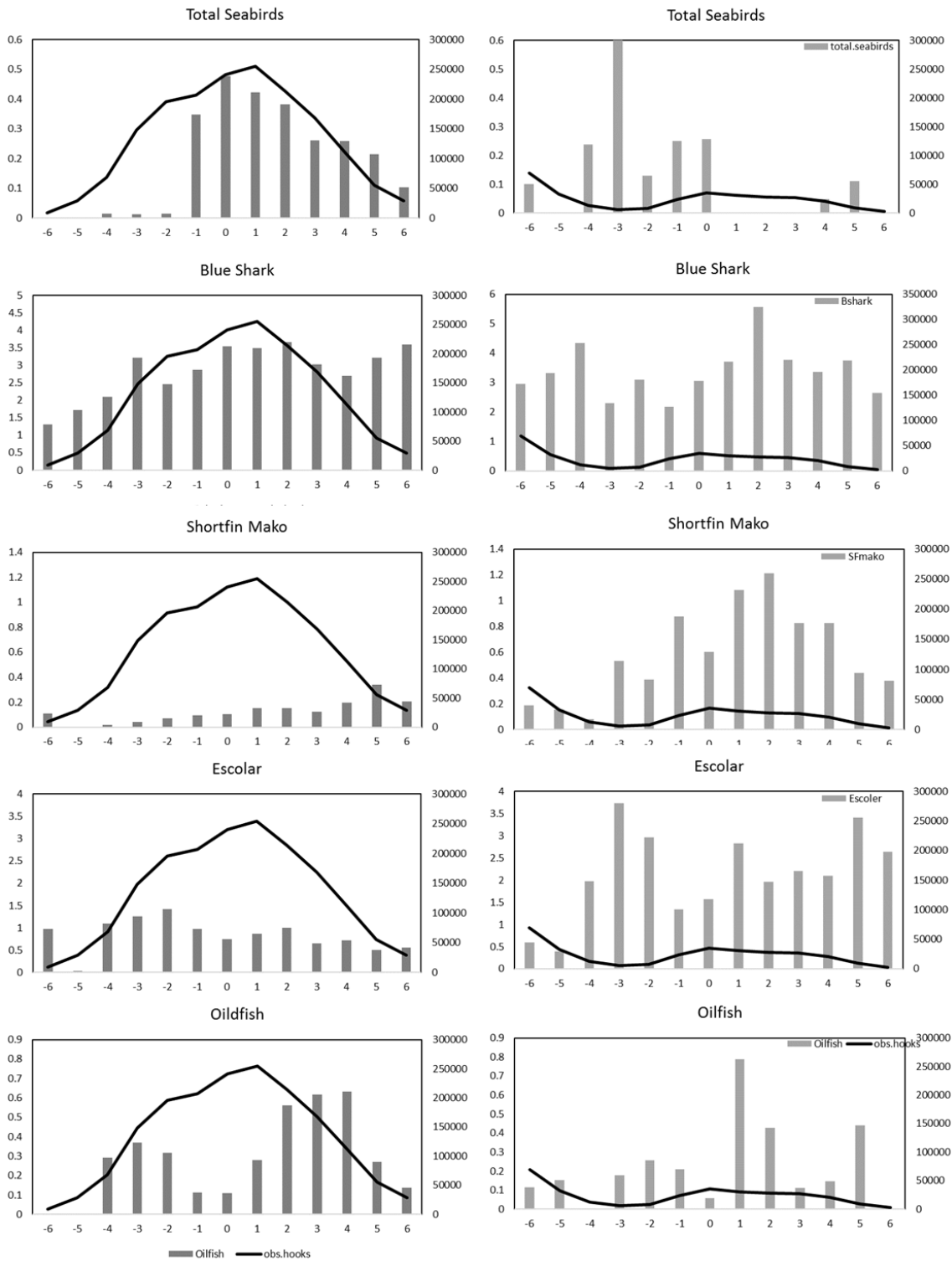


Fig 2. Number of observed hooks (black lines) and CPUE (grey bars) of non-target species, seabirds, blue shark, shortfin mako, escolar and oilfish, in each time area from sunrise(left) and sunset(right).

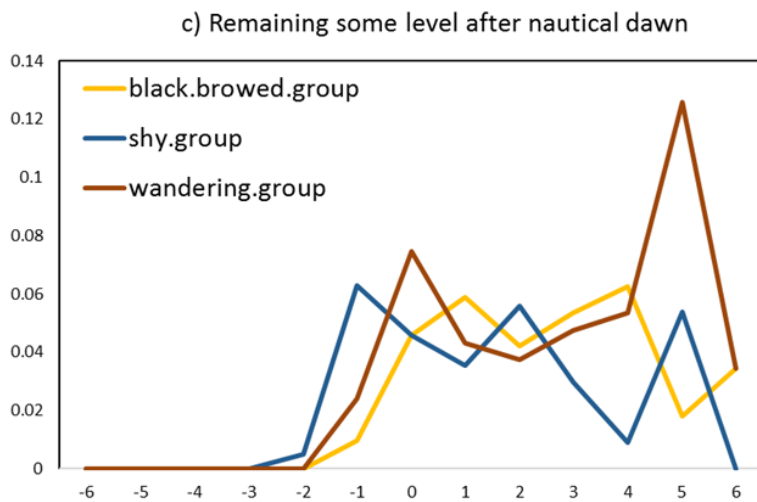
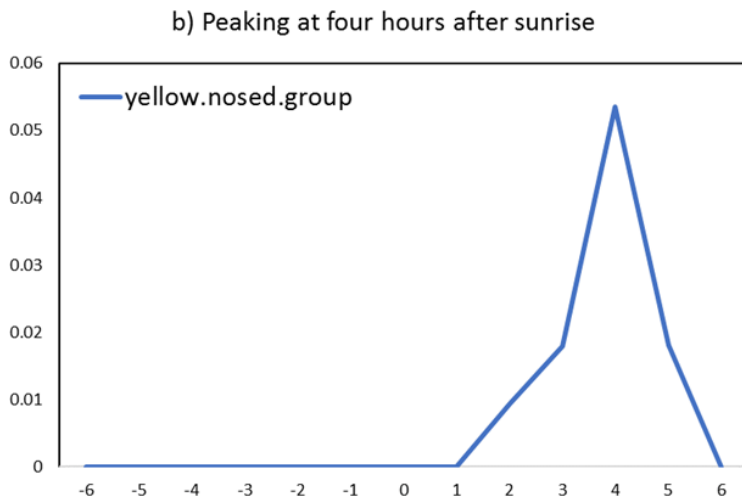
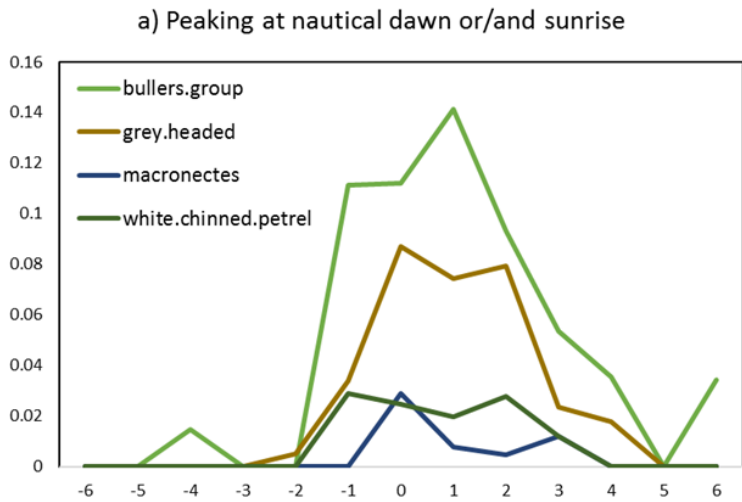


Fig 3. The bycatch rate of seabird species in each time area from sunrise. Fig. 3 - a) shows bycatch rate of the species of which bycatch rate peaked at nautical dawn. Fig.3-b) shows bycatch rate of the Indian yellow-nosed albatross of which bycatch rate peaked at four hours after sunrise. Fig.3-c) shows bycatch rate of the species of which bycatch rate remained some level after nautical dawn.