

Preliminary results examining factors affecting bycatch of black-browed albatross and wandering albatross: relationship between distribution probability and bycatch probability

マユグロアホウドリとワタリアホウドリの混獲要因の予備的な解析：分布確率と混獲率の関連性について

Yukiko Inoue, Makoto Okazaki, Maria Dias and Hiroshi Minami

摘要

混獲率(BPUE 鉤数の海鳥の混獲数)が、どのように、漁船の周囲に集まる海鳥の数および海鳥の推定分布確率に影響されているかについて検討した。MaxEnt を用いて、マユグロアホウドリとワタリアホウドリの生息地モデリングを行い、要因を説明変数に含んだゼロインフレイテッドモデルを用いて、モデル選択を行った。海鳥の推定分布確率および漁船の周囲に集まる海鳥の数は、混獲率と関連しており、前者は負の影響を、後者は正の影響を与えていた。このことから、大スケールでの海鳥の推定分布確率は直接的に混獲率に影響しないこと、局所的に漁船の周囲に集まる要因は別にあり、漁船の周囲に海鳥が集まった時にのみ、混獲率が高くなることが示唆された。本結果は、予備的な解析であり、今後、コロニーサイズ、年および季節の効果を考慮した生息地モデリングを行い、混獲回避措置や二次攻撃を行う他種の影響を考慮した要因を含める必要がある。

Abstract

How bycatch rate (BPUE; birds caught per 1000 hooks) is affected by the seabird probability distribution and/or the number of seabird around longliners in setting was examined. Habitat models of black-browed albatross and wandering albatross were examined by MaxEnt, and then modeling selection was done with zero-inflated model including these factors. Both the seabird probability distribution and the number of seabird around longliners in setting were affected to bycatch rate; the former had negative effect while the latter had positive effect. The result suggested that bycatch rates were not directly related to the species distribution in our study, that there are other factors that cause albatrosses to gather around fishing boats locally and that the bycatch rates become high only when the albatrosses are in high densities during setting. These outputs were preliminary ones and habitat modeling is needed to consider colony size, year and season and factors affecting bycatch rate is need to include bycatch mitigation measure effects or/and probability distribution of petrel species which cause secondary attack in future analysis.

はじめに

外洋の延縄漁船が、漁業の際に、周囲に集まる海鳥を偶発的に捕獲する混獲は、海鳥類の個体群の減少に影響すると考えられている(Brothers 1991, Weimerskirch et al. 1997, Wanless et al. 2009)。特に南半球のアホウドリ類は、個体数の危険な種が多く(IUCN 2012)、各地域漁業管理機関で、混獲回避措置の履行などの保全管理が求められている(WCPFC 2007, CCSBT 2011, IOTC 2010, ICCAT 2007, 2011)。どのように混獲が起きているのかといった実態や、高リスクの地域や季節を知ることは、混獲を減少させるために重要な知見である。

これまで、生態学的リスク評価を用いることによって、種ごとの混獲され易さを考慮して、海鳥の分布が漁船とオーバーラップしている部分を示し、空間的に混獲リスクの高い地域の議論が行われてきた(Hobday et al. 2011, Waugh et al. 2012, Small et al. 2013)。生態学的リスク評価は、混獲情報が限られているが広域においてリスクの高い地域を評価する必要がある場合に、特に有効である。一方で、比較的広域にわたる混獲情報を用いることによって、混獲の要因を検討したり、生態学的リスク評価を修正したりすることができる。

混獲データは、これまで、局所的なデータに限られていた(reviewed by Lewison et al. 2005, Brothers et al. 1999, Bugoni et al. 2008)。Lewison et al. (2005)は、長期的広範囲のデータを用いることによって混獲率に影響する要因を示すことができることを提案している。これまでの日本の長期科学オブザーバー事業における、写真撮影、サンプリング、解剖などを用いた種判別を用いることにより、種別の広域の混獲分布を用いた解析をすることができる。

混獲される頻度の高い(Inoue et al. 2011)、広域を移動する外洋の海鳥の分布を検討するためには、衛星追跡データや目視データを使用する必要がある。しかし、南半球全域の海鳥の分布を検討するには、衛星追跡データのみでは不十分である。本研究では、生息地モデルを用いて、衛星追跡データより得られた海鳥の分布と海洋環境との関連性をモデリングし、海鳥の分布確率を推定する(Wakefield et al. 2011, Arcos et al. 2012, Corre et al. 2012)。これによって、衛星追跡データが不足している集団繁殖地周辺の分布も、推定出来ることが期待される。

本研究では、混獲がどのような要因によって起きているかを検討するために、次の仮説を調べた。1)海鳥の推定分布確率が高いほど、混獲率が高い。2)漁船の周囲に集まる海鳥の数が多いほど、混獲率が高い。これらの仮説を検討するため、まず、ハビタットモデリングを用いて、海鳥の推定を行った。次に、上記の要因を説明変数に含んだゼロインフレイテッドモデルを用いて、モデル選択を行った。

Introduction

Seabird bycatch, in which seabirds are accidentally caught in pelagic longline fisheries, has been linked to the decline of seabird populations (Brothers 1991, Weimerskirch et al. 1997, Wanless et al. 2009), especially many albatross species in the southern hemisphere, many of whom are listed as threatened (IUCN 2012). All tRFMOs have adopted conservation management measures

introducing appropriate mitigation measures (WCPFC 2007, CCSBT 2011, IOTC 2010, ICCAT 2007, 2011). Understanding the factors affecting bycatch, the areas and seasons in which there is high risk, is essential information to reducing bycatch.

High risk areas of bycatch has been assessed by identifying overlap between seabird distribution and fishing effort distribution and considering the vulnerability of each species to bycatch using ecological risk assessment (ERA) techniques (Hobday et al. 2011, Waugh et al. 2012, Small et al. 2013). ERA is effective especially in situations where risk has to be evaluated over broad areas with limited bycatch information. On the other hand, the availability of bycatch information across broad areas could enable further understanding of factors affecting bycatch, and evaluation and revision of ERAs.

Spatial occurrence data of bycatch has been reported only in local area (reviewed by Lewison et al. 2005, Brothers et al. 1999, Bugoni et al. 2008) Lewison et al. (2005) suggested that bycatch data of large range allow to examine factors affecting bycatch rate. Using Japanese scientific observer data with photo taking, sampling and autopsy classification, we can test large scale bycatch distribution in each species.

To estimate the distribution of broad-ranged pelagic seabirds, which have been frequently caught in accident, (Inoue et al. 2011), it is crucial to use tracking data. However, tracking data are not available for the distribution of all colonies of southern hemisphere seabird vulnerable to bycatch. In our study, we model the relationship between oceanic environment and seabird distribution from tracking data using habitat modeling (Wakefield et al. 2011, Arcos et al. 2012, Corre et al. 2012) to create an estimated seabird spatial probability distribution. This allows an estimate of seabird spatial distribution for colonies where tracking data is lacking.

In our study, to identify factors affecting bycatch, we test the following hypotheses:1) bycatch rate (birds caught per 1000 hooks) is high when the seabird probability distribution is high. 2) bycatch rate is high when the number of seabirds around the fishing boat during the set is high. To examine these hypotheses firstly we estimate seabird distribution with habitat modeling. Secondly, we select the best model to explain the hypotheses above using zero-inflated models.

材料と方法

材料

調査に用いた海鳥類は、マユグロアホウドリとワタリアホウドリである。これら 2 種は、外洋延縄漁船における混獲が認められ (Inoue et al. 2011)、また、個体数が危惧されている海鳥として知られている(IUCN 2012)。

トラッキングデータ

本研究で使用された衛星追跡データは、トラッキングデータベース Global Procellariiform

Tracking Database(www.seabirdtracking.org)に集約されているもので、データ所持者の許可を得て使用している。

世界のミズナギドリ目トラッキングデータベース (バードライフインターナショナル)にあるトラッキングデータを使用し、マユグロアホウドリおよびワタリアホウドリの両種における繁殖期・非繁殖期の分布を推定した。これらのデータは、各種の主な繁殖においてGPS、PTT、GLS 機器を装着することによって得られた (マユグロアホウドリ：フォークランド諸島、サウスジョージア島、マッコリー島、ケルゲレン島、ハード島、マクドナルド島、ディエゴ・デ・アルマグロ島、ディエゴ・ラミレス諸島、イルデフォンソ島、計 1675 軌跡；ワタリアホウドリ：サウスジョージア島、クローゼ島、ケルゲレン島、マッコリー島、プリンスエドワード諸島、計 588 軌跡)。PTT、GPS、GLS のデータは、非現実的な位置を削除するために、BirdLife(2004)に基づいて速度フィルターをかけた。まず、同じ距離の異なる隣接した 4 ラインに基づいて、それぞれの点についての平均速度を計算した (MacConnell et al. 1992)。最大実速度を決め (アホウドリおよびミズナギドリにおいては 100km/h)、それぞれの点の速度とこの値とを比較して、もっとも非現実的な地点を削除するということを繰り返し行った。PTT の付随的な衛星メタデータを用いて、速度フィルターの精度向上を行った。トラッキングデータは、フィルタリングを行った後、時間的に均一な位置をとるように標準化された。PTT と GPS データは、一時間ごとの位置をあらわすようにリサンプリングされ、GLS データは、24 時間に 2 点の位置をあらわすようにリサンプリングされた。

カーネル解析を用いて各種の分布を推定した。各コロニーと繁殖ステージの利用可能なデータを用い、密度マップ(0.1×0.1 度格子の分布確率)を作製し、それぞれのコロニーにおける繁殖つがい数の相対的な寄与率を重みづけして、すべてのコロニーのデータを統合した。

混獲データ

ミナミマグロ科学オブザーバープログラムによって 1997-2009 年に収集されたオブザーバーデータを使用した。オブザーバーは、データ採集のための講習を受け、マニュアルに基づいて(NRIFS 2013)、漁獲された海鳥の種類と数を分類し、写真を撮影した。種の決定については、オブザーバーの収集した写真より、専門家(南浩史、ピーター・ライアン、ポール・スコフィールド、井上裕紀子)が種判別を行った。マユグロアホウドリの成鳥については、キャンベルアホウドリと分類したが、幼鳥・亜成鳥については、マユグロアホウドリとキャンベルアホウドリの両方を含む場合の数を使用した。また、ワタリアホウドリグループは、分類できる限り 4 種に分類し、ワタリアホウドリ(*Diomedea exulans*)を含むすべての場合の数を使用した。

解析

1) 海鳥の分布確率の推定

海鳥の分布確率の推定には、MaxEnt を用いた。1 度の解像度でカーネル法で算出されたアホウドリ類各種の分布密度(図 2)を 99%の密度における範囲の 40%分りサンプリングし、これを応答変数とした。説明変数として、水温、水温の空間的勾配、クロロフィル a、クロロフィル a の空間的勾配、海面高度、渦力学的エネルギー、水深、底斜度、集団繁殖地からの距離、フロントからの距離を使用して(図 1)、MaxEnt で推定を行った。これら変数は、マユグロアホウドリにおいて繁殖期と非繁殖期の二つの時期に分けた。このリサンプリングののち MaxEnt による推定という工程は、マユグロアホウドリおよびワタリアホウドリの繁殖個体および非繁殖個体でそれぞれ 100 回繰り返され、推定された分布確率は、1 度ごとに平均化された。

2) 混獲率に影響している要因

応答変数にマユグロアホウドリもしくはワタリアホウドリの混獲数、説明変数に、年、シーズン(繁殖期—非繁殖期)、投縄時の夜間の割合、その種の推定分布確率、漁船の周囲に集まったアホウドリ類の数、オフセットに鉤数を使用した、ゼロインフレイテッドモデルを用い、モデル選択を行った。

Materials and Methods

Materials

We used black-browed albatross (*Thalassarche melanophris*) and wandering albatross (*Diomedea exulans*) in our analysis. These two species are known to be bycaught by pelagic longliners (Inoue et al. 2011), and are species listed as Endangered and Vulnerable, respectively, on the IUCN Red List (IUCN 2012).

Tracking data

Tracking data used in this analysis were provided with permission of the data owners for the relevant data sets held with Global Procellariiform Tracking Database (www.seabirdtracking.org).

We used tracking data of Black-browed and Wandering albatrosses held in the Global Procellariiform Tracking Database (BirdLife International) to estimate the breeding and non-breeding distributions of both species. These data were collected using GPS, PTT or GLS devices, deployed in the main breeding sites of each species (Black-browed albatross: Islands of Falklands/Malvinas, South Georgia, Macquarie, Kerguelen, Heard and McDonald, Diego de Almagro, Diego Ramirez and Ildefonso, 1675 tracks in total; Wandering Albatross: South Georgia, Crozet, Kerguelen, Macquarie and Prince Edward Islands, 588 tracks in total). PTT, GPS and GLS data were speed filtered in order to remove unrealistic positions as per the methods described in BirdLife (2004). Mean velocities were calculated for each point based on a 4 point rolling window (following McConnell et al, 1992). A maximum realistic velocity was set (100 km.hr⁻¹ for

albatrosses and petrels) and, using the comparison of this value with the velocity of each point, the least realistic positions are removed iteratively. For PTT data additional satellite quality metadata was included in the speed filter to improve accuracy. Once filtered, tracking data were standardized to provide temporally regular positions. PTT and GPS data were resampled to represent hourly positions, while GLS data were resampled to provide two positions per 24 hours.

The distribution of each species was estimated using kernel analysis. The available data for each colony and breeding stage were used to produce a density map (probability of distribution for each 0.1x0.1 o grid cell), and then the maps for all the colonies were combined by weighing the relative contribution of each colony (in terms of number of breeding pairs).

Bycatch data

We used observer data gathered from 1997 to 2009 by the southern bluefin tuna Japanese scientific observer program. Before sailing, observers were trained via a lecture on data gathering protocols. Observers recorded data on all caught fish and bycaught seabirds and took photographs based on instructions in a manual (NRIFSF 2013). Using the photos taken by observers, experts (Hiroshi Minami, Peter Ryan, Paul Scofield, and Yukiko Inoue) identified the species of all bycaught seabirds. Adults of black-browed albatross can be identified from Campbell albatross, though we used both Campbell albatross and black-browed albatross young and immature individuals for the analysis because these cannot be distinguished by photo. Similarly, we used the number of all possible wandering albatross (*Diomedea exulans*) for analysis after identifying the wandering group as precisely as possible using photos.

Sample sizes of bycatch data from observer program were attached in Table 1.

Analysis

1) Estimation of seabird probability distribution

To estimate seabird probability distribution, MaxEnt was used. A dependent variable was created by randomly resampling 40% of the area of the 99% UD for each species. We defined sea surface temperature, spatial gradient of sea surface temperature, chlorophyll a, spatial gradient of chlorophyll a, sea surface height, eddy kinetic energy, bathymetry, bottom slope, distance from colony, and distance from front as environmental independent variables (Figure 1). These variables were divided by season (breeding-nonbreeding) in black-browed albatrosses. This process, both resampling and the MaxEnt modeling, was replicated 100 times, and the predicted probability distributions of black-browed albatross and wandering albatross were averaged using a resolution of 1x1 degree. We analyze map of breeder and non-breeder separately (Figure 3). Then, we multiplied them by approximate ratio of breeder/non-breeder and add them for using for zero-inflated model.

2) Factors affecting seabird bycatch rate

We used black-browed albatross bycatch rate and wandering albatross bycatch rate as dependent variables. Independent variables were year, season (breeding-nonbreeding), night time ratio in setting, which is total duration of setting time divided by duration of night time during set, probability distribution of the species, number of albatrosses around the boat during set, with observed hooks as an offset. Zero-inflated models were used for model selection and the best model was selected from AIC with stepwise method.

結果

1) マユグロアホウドリ・ワタリアホウドリの分布推定

海洋環境(図 1)とカーネル法で算出された分布密度(図 2)を用いて推定された、マユグロアホウドリおよびワタリアホウドリの繁殖個体および非繁殖個体の推定分布確率を図 3 に示す。両推定とも、データの不足していた集団繁殖地周辺の分布確率の推定が行われている。また、カーネル法で高密度と推定されている地域に、高確率に分布している(図 3)。これらより、これら 2 種の推定分布確率として使用するのには妥当であると判断した。

2) 混獲率に影響している要因

マユグロアホウドリにおいて、年、シーズン(繁殖期—非繁殖期)、その種の分布確率、漁船の周囲に集まるアホウドリ類の数が選択された(表 1)。シーズンの係数は正で、繁殖期の方が混獲率が高いことを示した。その種の分布確率の係数は負の一方で(図 4)、漁船の周囲に集まるアホウドリ類の数の係数は正であり、小スケールで見た場合、アホウドリ類が漁船の周囲に多いときに、混獲率が高まる傾向を示した。

ワタリアホウドリにおいて、年、夜間の割合、その種の分布確率、漁船の周囲に集まるアホウドリ類の数が選択された(表 1)。ワタリアホウドリもマユグロアホウドリと同様に、その種の分布確率の係数は負であり(図 4)、漁船の周囲に集まるアホウドリ類の数の係数が正であった。同様に、小スケールで見た場合、アホウドリ類が漁船の周囲に多いときに、混獲率が高まる傾向を示した。

Result

1) Estimation of distribution of black-browed albatross and wandering albatross

Figure 3 illustrates the probability distributions of black-browed albatross and wandering albatross estimated by Maxent models. The areas with high predicted distribution generally agreed with the areas with high utilization distribution calculated from the tracking data(Figure 2, 3). In addition, for colonies in which no tracking data were available, both the black-browed and wandering albatross models identified areas of predicted distribution around these colonies. On this basis, we concluded that the probability distribution of these two species would be appropriate to use for evaluation of factors affecting BPUE.

2) Factors affecting BPUE

In the black-browed albatross model, the factors selected were year, season (breeding-nonbreeding), probability distribution of black-browed albatross, number of albatrosses around the boat during setting (Table 2). The coefficient for season was positive, suggesting that higher bycatch rates are associated with distribution during the breeding season. Coefficient of distribution of black-browed albatross was negative (Figure 4) while number of albatrosses around the boat in setting was positive, suggesting that the BPUE is high when many seabird gather around the fishing boat in setting, at small scale.

For wandering albatross, year, night time ratio during setting, probability distribution of wandering albatross, number of albatrosses around the boat in setting were selected (Table 2). Similar to black-browed albatross, the relationship to probability distribution was negative (Figure 4), and the relationship with number of albatrosses around the boat during setting was positive. Similarly, this suggests that BPUE seems to be high when the albatrosses gather around the longliners.

考察

マユグロアホウドリにおいても、ワタリアホウドリにおいても、小スケールの海鳥の分布が、混獲率に影響していた。投縄の際に、漁船の周囲にアホウドリ類が多い場合は混獲率が高まることから、本研究により、長期データからも示された。

大スケールで算出された分布確率は、アホウドリ類の混獲率に正の影響を与えていなかった。この結果は、分布確率が高かったとしても、局所的に漁船の周囲に集まる要因は別であり、漁船の周囲に海鳥が集まった時にのみ、混獲率が高くなることを示唆する。ERAでは、海鳥の分布密度を混獲されやすさ(catchability)や脆弱さ(vulnerability)リスクに関連させているが、直接的に影響がないことが本研究では示された。今後とも、時間的空間的に混獲率が高くなる要因について、再検討する必要があると考えられる。一方で、本結果は予備的なものであり、年・季節変動およびコロニーサイズが考慮されていないために分布確率の推定にエラーがある可能性も否定できない。今後、コロニーサイズなど分布に強く影響する要因を考慮し、さらなる解析をする必要がある。

マユグロアホウドリにおいては、繁殖期間の方が非繁殖期よりも混獲数が高い傾向が示された。親鳥の餌要求量が高まる繁殖期に、延縄漁船において捕食する個体がいるのかもしれない。今後、混獲される個体の生活史ステージなどを調査する必要があると考えられる。

Discussion

Bycatch rates of both black-browed albatross and wandering albatross were affected by seabird distribution at the small scale. The data from the southern bluefin tuna Japanese scientific observer program suggest that the BPUE increases when many albatross are present around longliners during setting.

At the large scale, our results indicate that seabird probability distribution was not positively related with bycatch rates. This result suggests that there are other factors that cause albatrosses to gather around fishing boats locally and that the bycatch rates become high only when the albatrosses are in high densities during setting. In Ecological Risk Assessments for seabirds, there is an assumption that risk is related to seabird distribution density along with a ‘catchability’ or ‘vulnerability’ factor per species. However, in contrast the bycatch rates were not directly related to the species distribution in our study, indicating the need for further identification and definition of factors which increase bycatch risk and bycatch rates. On the other hand, these results are currently preliminary: further data need to be incorporated on seabird distribution for black-browed albatross and wandering albatross colonies for which tracking data were not available for this analysis. In addition, bycatch rates will be affected by vessel specific factors such as use of bycatch mitigation measures, which have not yet been assessed. Farther estimation is needed to consider other factor strongly affect to distribution density in near future.

In black-browed albatross, the number of bycatch was higher in breeding season than in non-breeding season. Adult might forage baited hooks in the season when adult energy demand gets high. It is needed that the developmental stage of bycaught seabirds should be tested in prospect.

将来の解析

本結果は新たな結果を含んではいるが、予備的な解析である。今後、コロニーサイズ、年、汽船の考慮をしたハビタットモデリングを行う、GAMM や GLM をハビタットモデルに適用する、混獲回避措置や潜水性ミズナギドリを考慮して、BPUE に関連する要因を特定するなどの解析を行う予定である。

Future plan

The results so far are preliminary though there is some new information. In the future, we plan next process; 1) Considering variation of colony sizes, years and seasons in habitat modeling, 2) applying other habitat modeling such as GAMM or GLM, 3) considering mitigation measures, diving seabird distribution which cause secondary attack in examining factors affecting BPUE.

謝辞

データ所有者の許可の収集および本ドキュメントの草案に有用なコメントを与えてくださった Cleo Small (BirdLife International)、トラッキングデータの整理方法に関して、コメントをいただいた Mark Millar (BirdLife International) に感謝する。また、データ所有者に、謝辞を述べる。トラッキングデータは、本解析を目的として、Richard Phillips (British Antarctic Survey) Graham Robertson (Australian Antarctic Division), Henri Weimerskirch (CEB CNRS, France), Javier Arata (Instituto Antartico Chileno), David Gremillet (CEFE, CNRS CNRS, France)

からの許可を得て使用している。

Acknowledgements

We thank for Cleo Small (BirdLife International) who manage collecting the permission from data holders and gave useful comments to draft of this document and Mark Miller (BirdLife International) who help to expressing the method of tracking data processing. We also thank for tracking data holders. The tracking data were provided for the purposes of this analysis with permission from Richard Phillips (British Antarctic Survey) Graham Robertson (Australian Antarctic Division), Henri Weimerskirch (CEB CNRS, France), Javier Arata (Instituto Antartico Chileno), David Gremillet (CEFE, CNRS CNRS, France).

Reference

- Arcos J.M., Becares J., Villero D., Brotons L., Rodriguez B., Ruiz A.(2012) Assessing the location and stability of foraging hotspots for pelagic seabirds: An approach to identify marine Important Bird Areas (IBAs) in Spain. *Biological Conservation* 156: 30-42.
- BirdLife International, (2004) Tracking ocean wanderers: the global distribution of albatrosses and petrels. Results from the Global Procellariiform Tracking Workshop, 1– 5 September, 2003, Gordon’s Bay, South Africa. Cambridge, UK: BirdLife International.
- Brothers N. (1991) Albatross mortality and associated bait loss in the Japanese Longline Fishery in the Southern Ocean. *Biological Conservation* 55: 255-268
- Brothers N., Gales R., Reid T.(1999) The influence of environmental variables and mitigation measures on seabird catch rates in the Japanese tuna longline fishery within the Australian Fishing Zone, 1991–1995. *Biological Conservation* 88: 85-101.
- Bugoni L., Mancini P.L., Monteiro D.S., Nascimento L., Neves T.S.(2008) Seabird bycatch in the Brazilian pelagic longline fishery and a review of capture rates in the southwestern Atlantic Ocean. *Endangered Species Research* 5: 137-147.
- CCSBT (2011) Recommendation to mitigate the impact on ecologically related species of fishing for southern bluefin tuna.
- Corre M.L., Jaeger A., Pinet P., Kappes M.A., Weimerskirch H., Catry T., Ramos J.A., Russell J.C., Shah N., Jaquemet S.(2012) Tracking seabirds to identify potential Marine Protected Areas in the tropical western Indian Ocean. *Biological Conservation*. 156: 83-93.
- Hobday A.J., Smith A.D.M., Stobutzki I.C., Bulman C., Daley R., Dambacher J.M., Deng R.A., Dowdney J., Fuller M., Furlani D., Griffiths S.P., Johnson D., Kenyon R., Knuckey I.A., Ling S.D., Pitcher R., Sainsbury K.J., Sporcic M., Smith T., Turnbull C., Walker T.I., Wayne S.E., Webb H., Williams A., Wise B.S., Zhou S.(2011) Ecological risk assesment for the effects of fishing. *Fisheries Research* 108: 372-384

- ICCAT(2007) Rec07-07 recommendation by ICCAT on reducing incidental by-catch of seabirds in longline fisheries
- ICCAT(2011) Rec11-09 supplemental recommendation by ICCAT on reducing incidental bycatch of seabirds in ICCAT longline fisheries
- IOTC(2010) Resolution 10/06 On reducing the incidental bycatch of seabirds in longline fisheries
- Inoue Y., Yokawa K., Minami H., Ochi D., Sato N., Katsumata N.(2011) Distribution of seabird bycatch at WCPFC and the neighboring area of the southern hemisphere. WCPFC-SC7-2011/EB-WP-07. 22pp.
- IUCN(2012) IUCN Red List of Threatened Species. <http://www.iucnredlist.org/>
- Lewison R.L., Neil D.C., Taylor F., Croxall J.P., Rivera K.S. (2005) Thinking big - taking a large-scale approach to seabird bycatch. *Marine Ornithology* 33: 1-5.
- McConnell, B. J., Chambers, C. & Fedak, M. A. (1992) Foraging ecology of southern elephant seals in relation to bathymetry and productivity of the Southern Ocean. *Antarctic Science* 4: 393 – 398.
- NRIFSF (2013) Southern Bluefin tuna Japanese scientific observer manual.
- Small C., Waugh S.M., Phillips R.A.(2013) The justification, design and implementation of Ecological Risk Assessments of the effects of fishing on seabirds. *Marine Policy* 37: 192-199
- Wakefield E.D., Phillips R.A.; Trathan P.N., Arata J., Gales R., Huin N., Robertson G., Waugh S.M., Weimerskirch H., Matthiopoulos J.(2011) Habitat preference, accessibility, and competition limit the global distribution of breeding Black-browed Albatrosses. *Ecological Monograph* 81: 141-167.
- Wanless R.M., Ryan, P.G., Altwegg R., Angel A., Cooper J., Cuthbert R., Hilton G.M.(2009) From both sides: Dire demographic consequences of carnivorous mice and longlining for the critically endangered Tristan albatrosses on Gough Island. *Biological Conservation* 142: 1710-1718
- Waugh S.M., Filippi D.P., Kirby D.S., Abraham E., Walker N.(2012) Ecological Risk Assessment for seabird interaction in Western and Central Pacific longline fisheries. *Marine Policy* 36: 933-946
- WCPFC(2007) CMM07-04 conservation and management measure to mitigate the impact of fishing for highly migratory fish stocks on seabirds.
- Weimerskirch H., Brothers N., Jouventin P.(1997) Population dynamics of wandering albatross *Diomedea exulans* and Amsterdam albatross *D. amsterdamensis* in the Indian Ocean and their relationships with long-line fisheries: conservation implications. *Biological Conservation* 79: 257-270

Table 1. Sample size of observer data

Observed hooks

Area	-2°-80°		80°-150°		150°-180°	
Season	Non-breeding	Breeding	Non-breeding	Breeding	Non-breeding	Breeding
1997		332332	344144	330896	23391	104583
1998		237266	73956	398308		261323
1999		187383		231600		284902
2000		241978	57138	14255	7553	147973
2001		307244	47619	246536	13609	23984
2002		268603	4693	151214	6831	110256
2003		234377	114537	184433	29310	165391
2004		527764	70109	11794	28684	187230
2005	5353	365401	284036	46626		74167
2006		478797	30546	209389	5997	10413
2007	4581	281125	45728	328115		
2008		72419	20826	84256		138454
2009		112330	64793	87607		84169

BPUE ofBBA

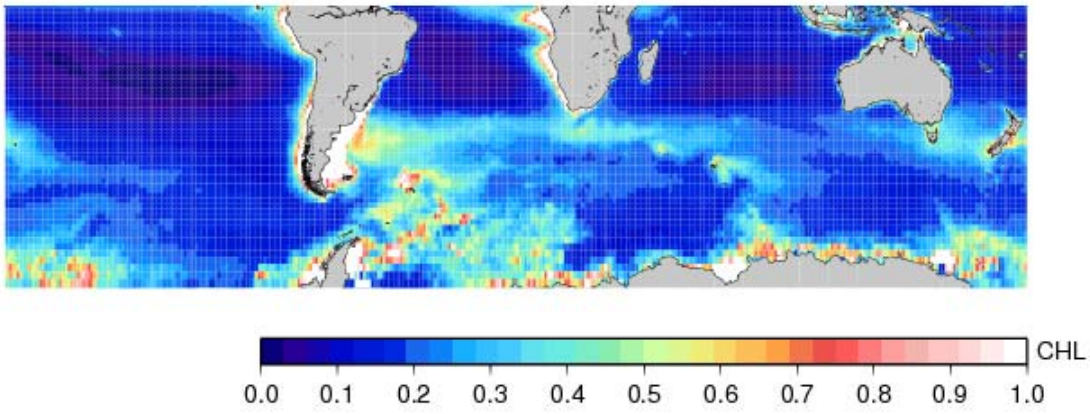
Area	-2°-80°		80°-150°		150°-180°	
Season	Non-breeding	Breeding	Non-breeding	Breeding	Non-breeding	Breeding
1997		0.021	0.026	0.024	0.000	0.000
1998		0.008	0.014	0.018		0.000
1999		0.016		0.056		0.035
2000		0.037	0.035	0.000	0.000	0.007
2001		0.007	0.042	0.000	0.000	0.000
2002		0.034	0.213	0.026	0.000	0.027
2003		0.004	0.009	0.005	0.000	0.000
2004		0.006	0.000	0.000	0.000	0.000
2005	0	0.011	0.007	0.021		0.013
2006		0.010	0.131	0.029	0.000	0.000
2007	0	0.014	0.000	0.030		
2008		0.014	0.048	0.036		0.036
2009		0.018	0.000	0.023		0.000

BPUE of WAA

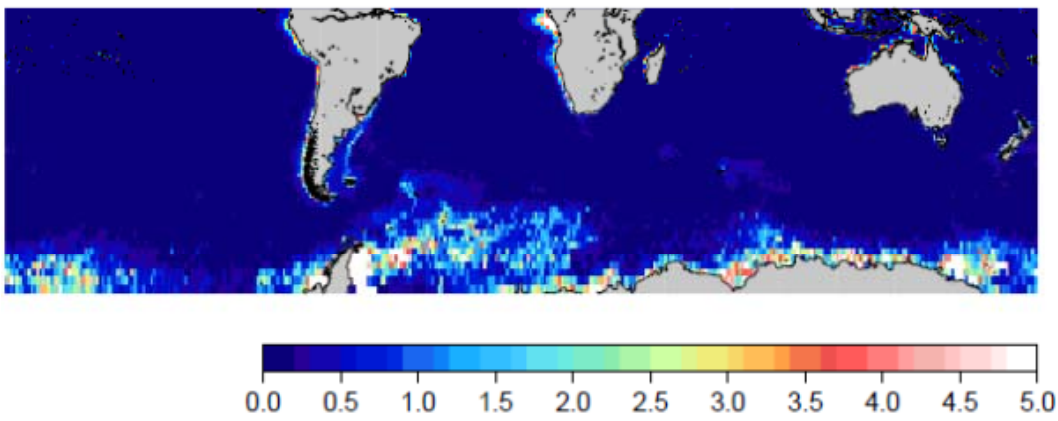
Area	-2°-80°	80°-150°	150°-180°
	a year	a year	a year
1997	0.000	0.010	0.000
1998	0.008	0.004	0.000
1999	0.005	0.013	0.007
2000	0.012	0.000	0.013
2001	0.003	0.000	0.027
2002	0.004	0.000	0.000
2003	0.004	0.010	0.005
2004	0.008	0.000	0.005
2005	0.019	0.000	0.000
2006	0.019	0.021	0.000
2007	0.007	0.005	
2008	0.000	0.010	0.022
2009	0.009	0.007	0.000

Table 2 Factors affecting bycatch number of black-browed albatross(BBA) and wandering albatross(WAA)

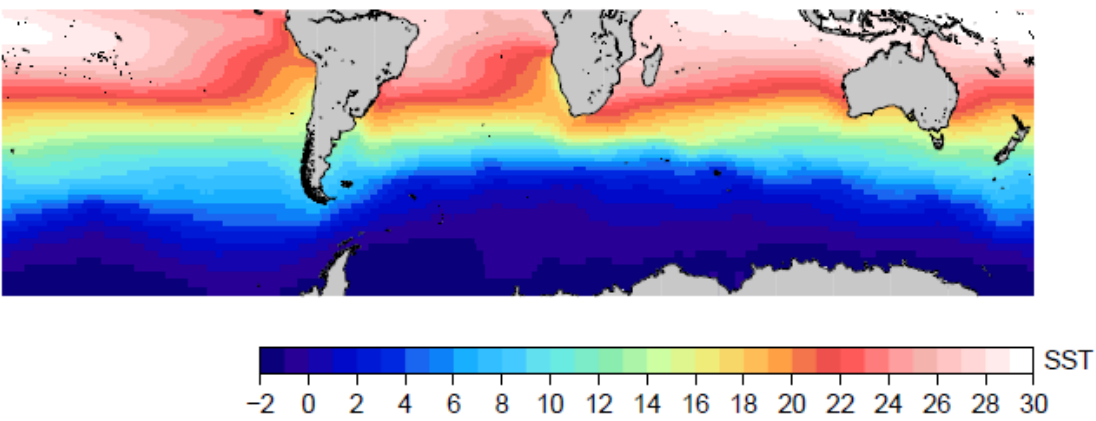
Black-browed albatross	
Selected factors	Coefficient
Year(category variables)	
Season (breeding-non-breeding)	0.073
Estimated probability of distribution in BBA	-0.434
Number of albatross around longliners in setting	0.02
Wandering albatross	
Selected factors	Coefficient
Year(category variables)	
night time ratio	1.77
Estimated probability of distribution in WAA	-0.78
Number of albatross around longliners in setting	0.14



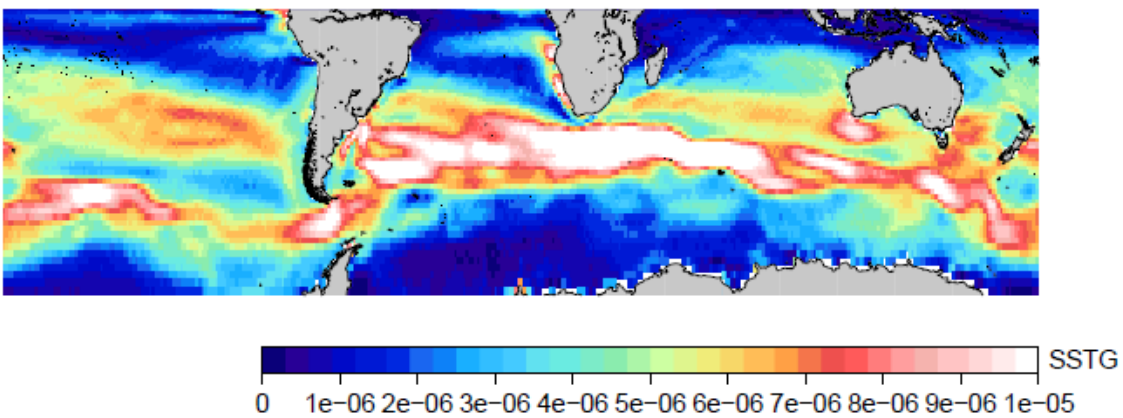
1) Chlorophyll a



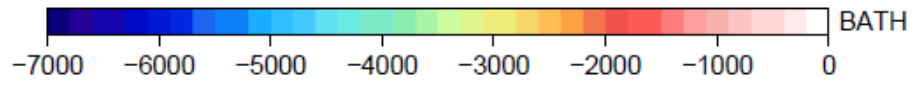
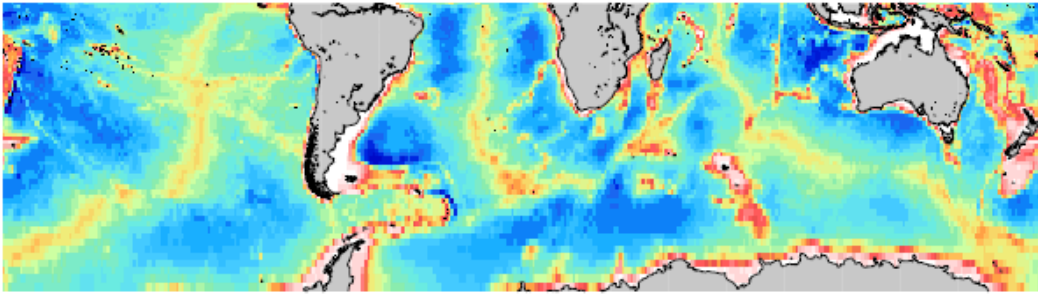
2) Spatial gradient of chlorophyll a



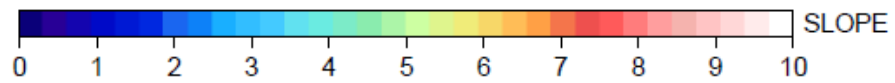
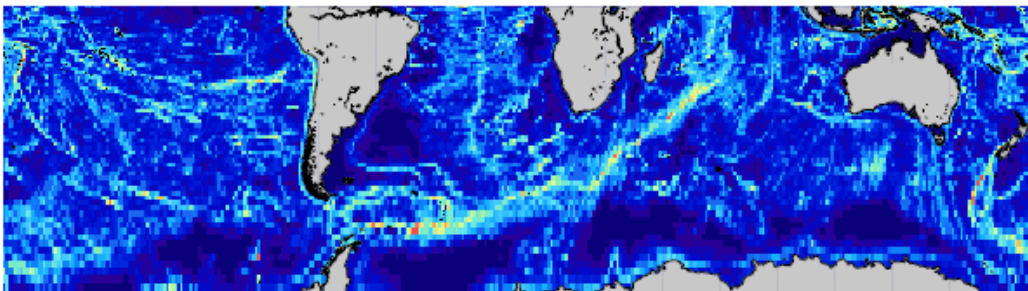
3) Sea surface temperature



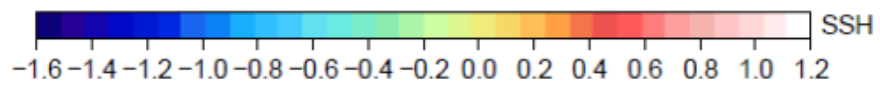
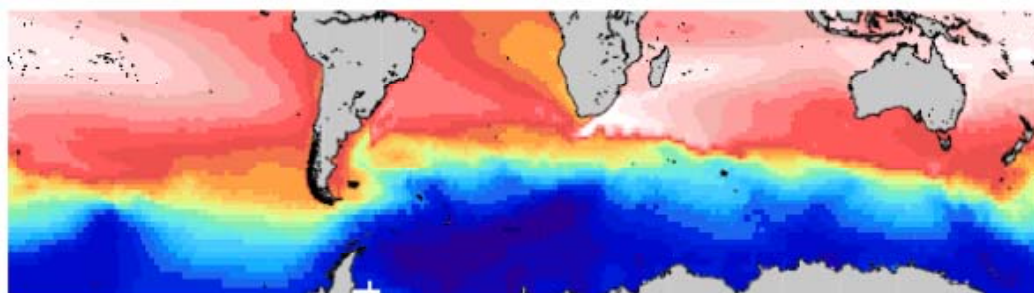
4) Spatial gradient of sea surface temperature



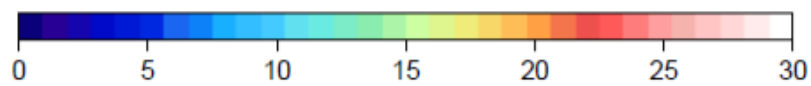
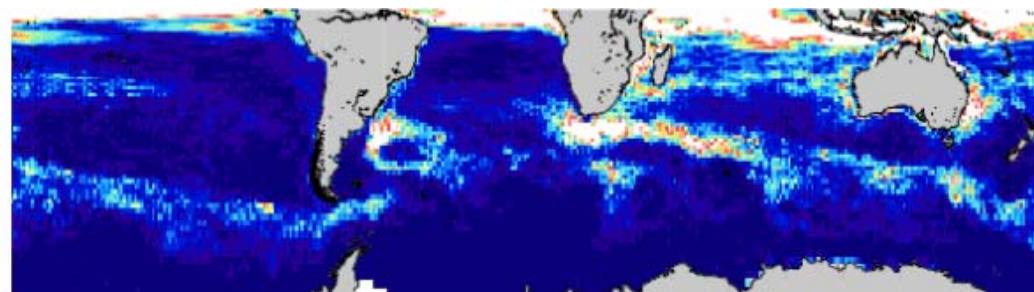
5) Bathymetry



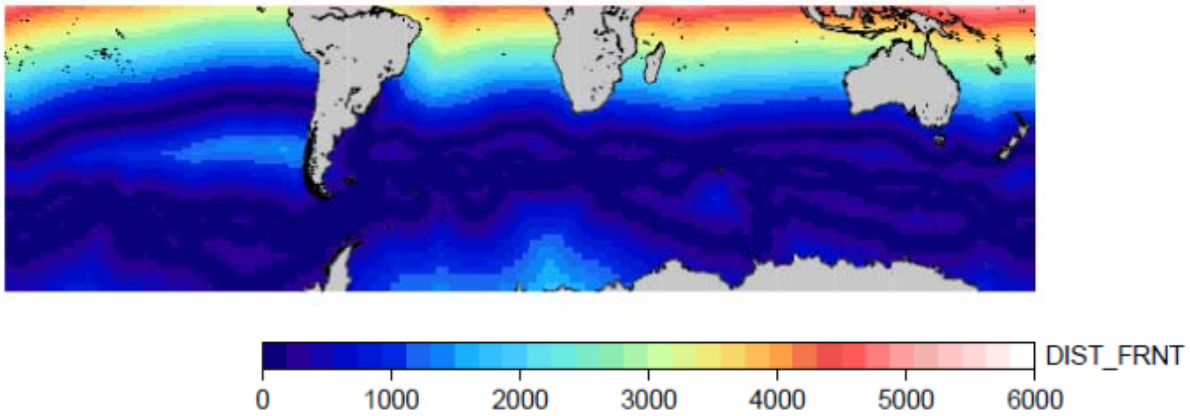
6) Bottom slope



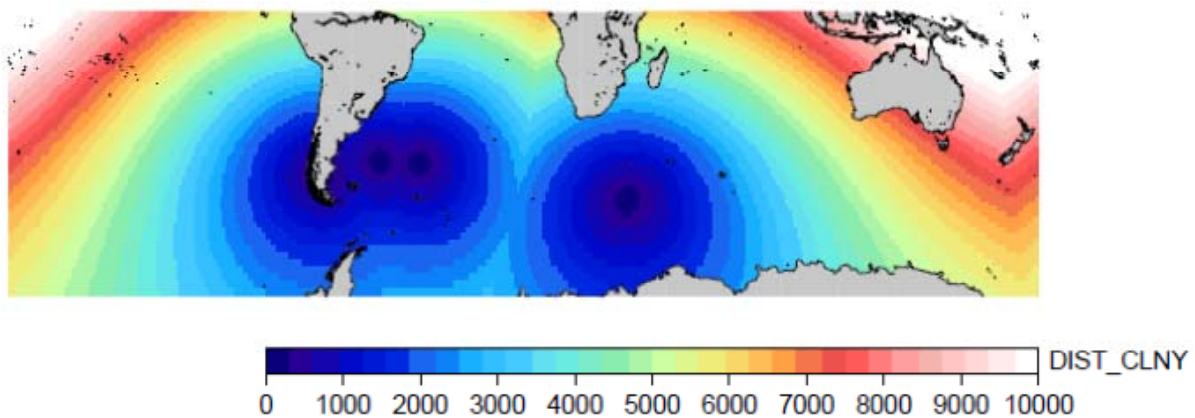
7) Sea surface height



8) Eddy kinetic energy



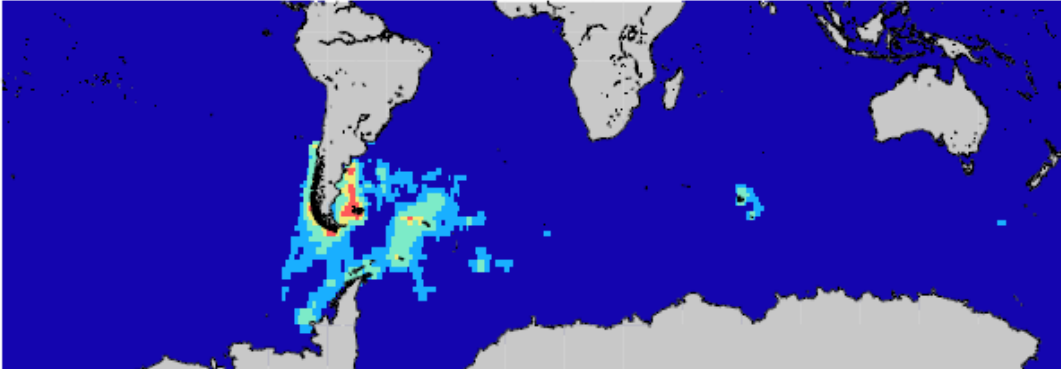
9) Distance from front



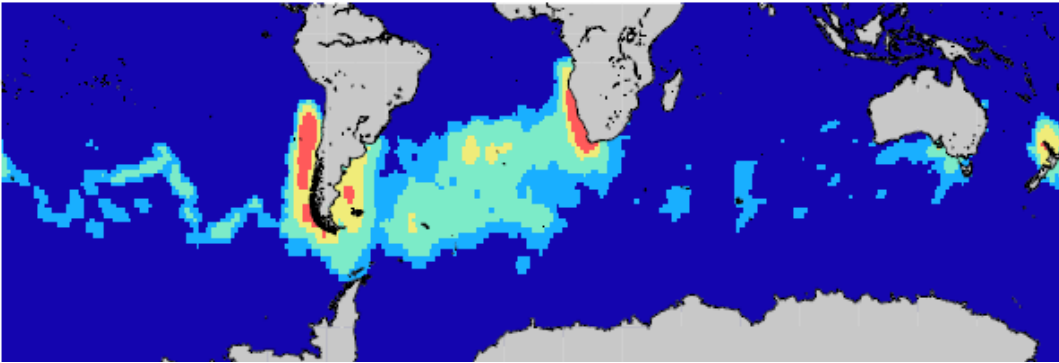
10) Distance from colony

Oceanic environment	Spatial resolution	Temporal resolution
Bathymetry	1x1	Constant
Bottom slope		Constant
SST		1981-2010
Spatial gradient of SST		1981-2010
Chlorophyll a		1997-2010
Spatial gradient of Chlorophyll a		1997-2010
Sea surface height		1993-1999
Eddy kinetic energy		1993-2010
Distance from colony		Constant
Distance from front		Constant (Orsi et al. 1995) (subtropical front, subantarctic front, Polar front, Subantarctic circumpolar current front, Antarctic continental current front, southern boundary of Antarctic continental current)

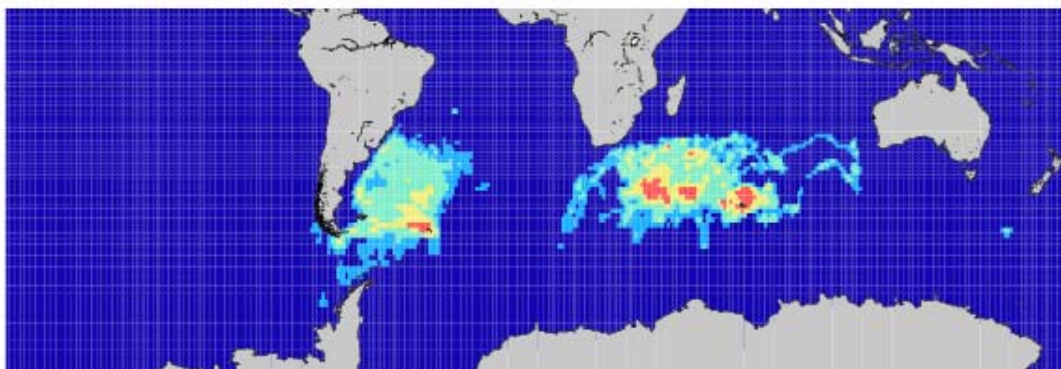
Figure 1. Environmental factors used in MaxEnt models.



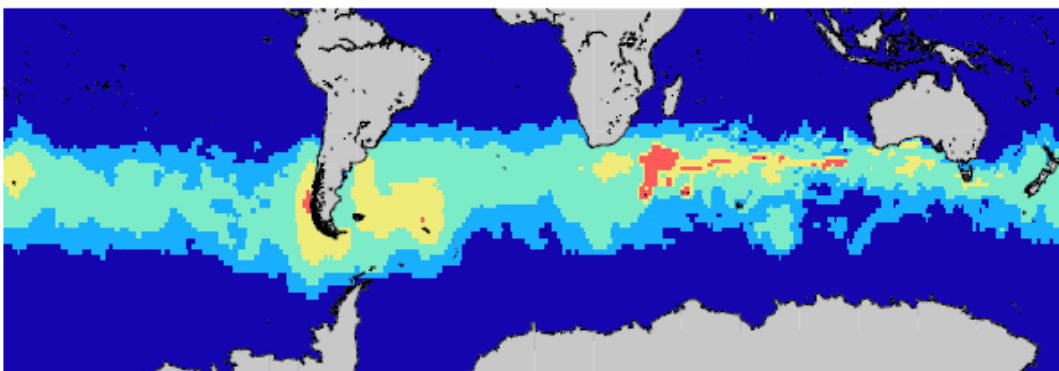
1) Black-browed albatross breeder



2) Black-browed albatross non-breeder

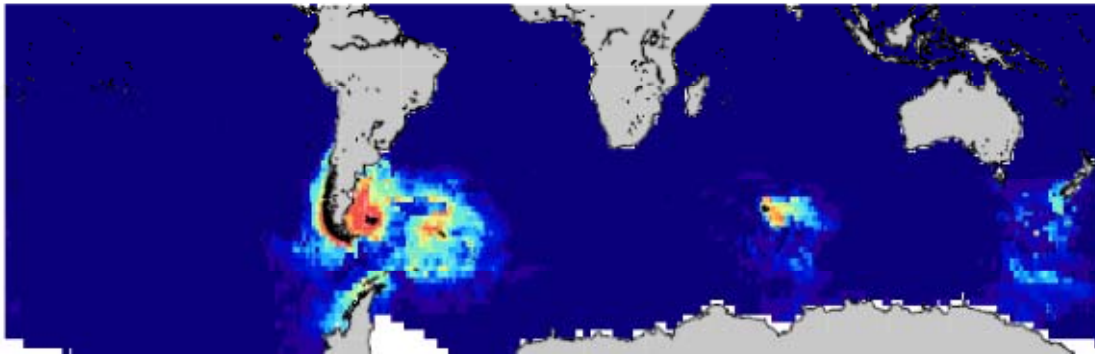


3) Wandering albatross breeder

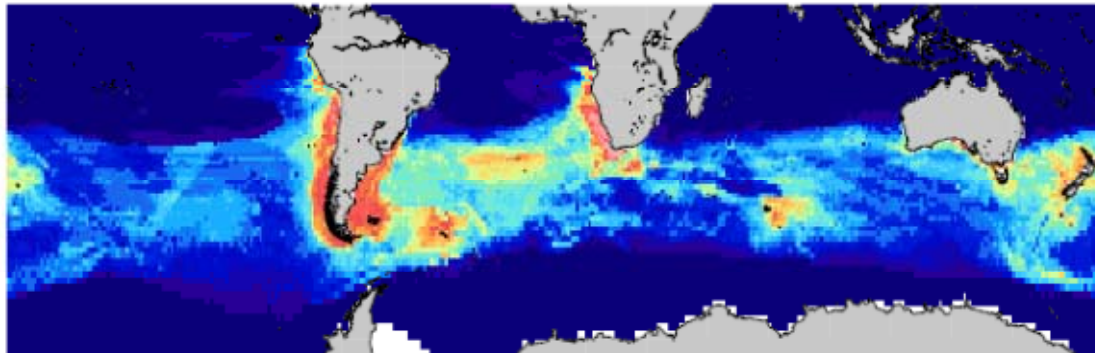


4) Wandering albatross non-breeder

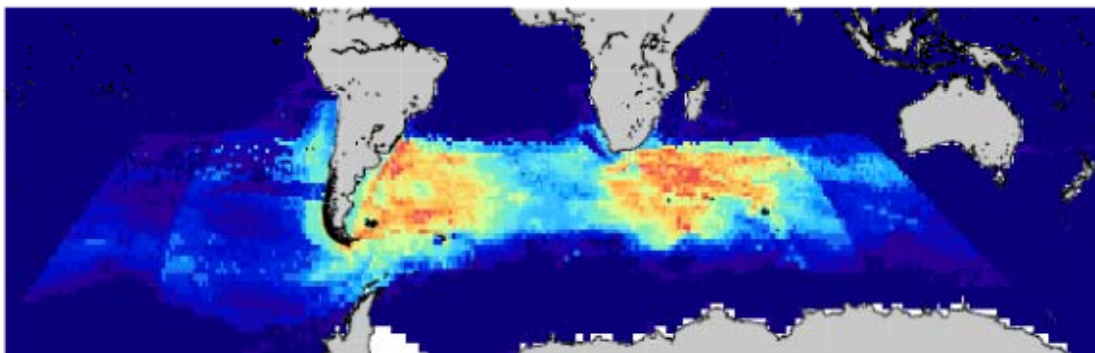
Figure 2 Estimated distribution density calculated by Kernel method. Orange area represents 50%UD, yellow area represents 75%UD light sky blue represents 95%UD and sky blue represent 99%UD. These tracking data were provided for the purposes of this analysis with permission from Richard Phillips (British Antarctic Survey) Graham Robertson (Australian Antarctic Division), Henri Weimerskirch (CEB CNRS, France), Javier Arata (Instituto Antartico Chileno), David Gremillet (CEFE, CNRS CNRS, France).



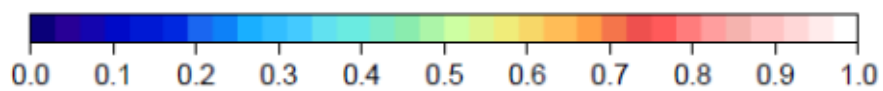
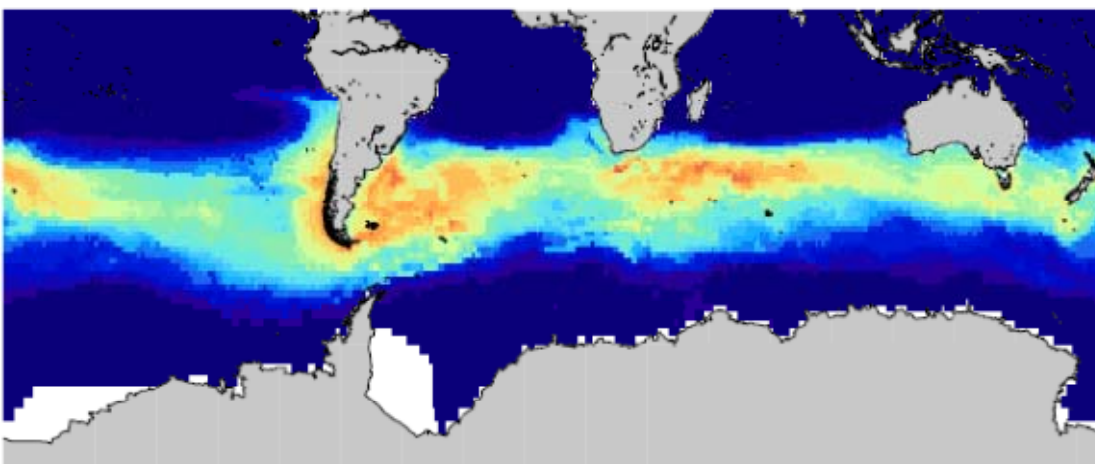
1) Black-browed albatross breeder



2) Black-browed albatross non-breeder

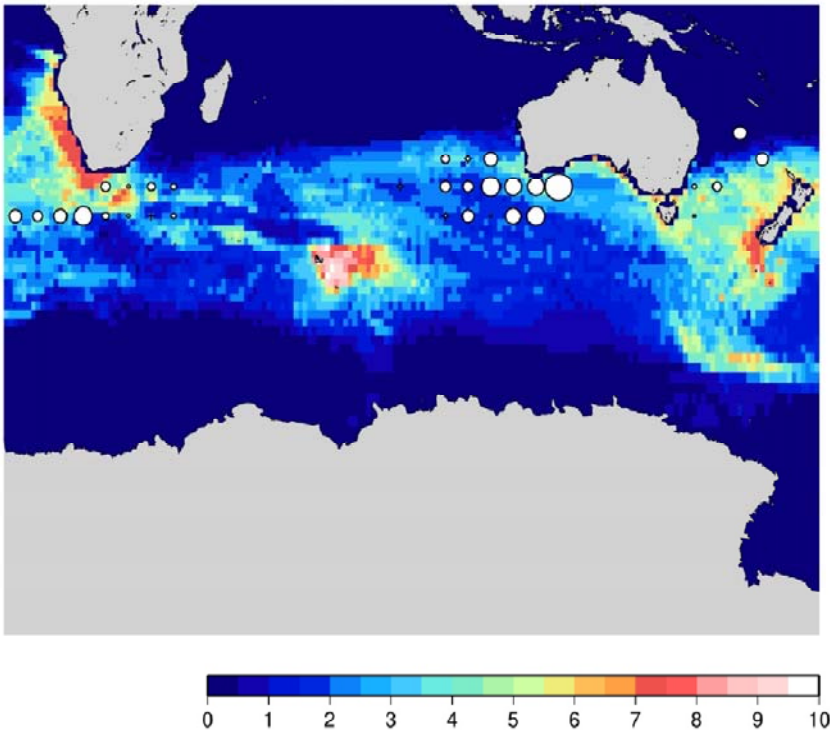


3) Wandering albatross breeder

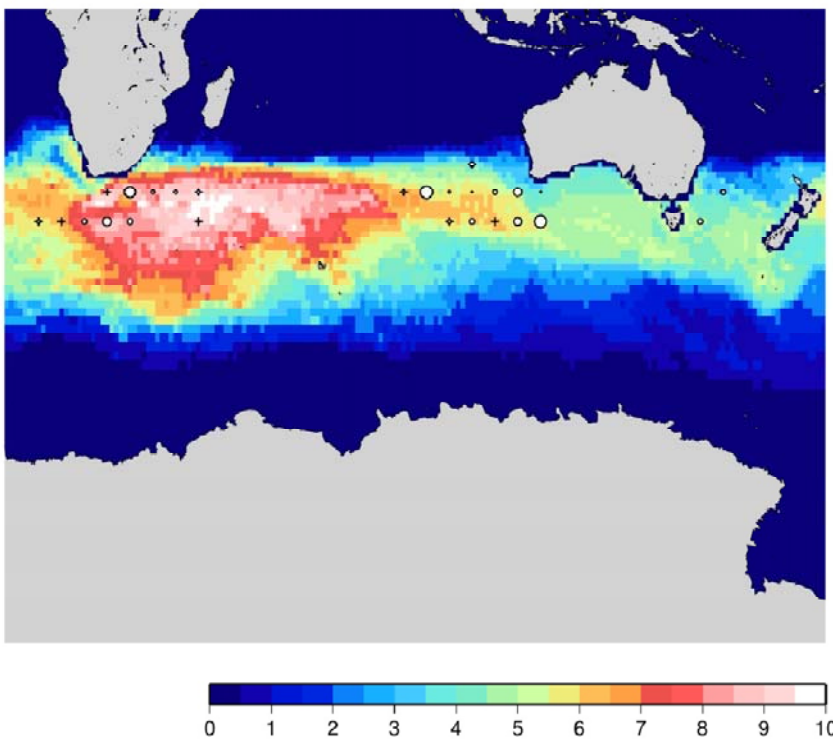


4) Wandering albatross non-breeder

Figure 3 Distribution probability estimated by MaxEnt



1) Black-browed albatross



2) Wandering albatross

Figure 4 spatial distribution probability layered by bycatch probability. White-circle showed bycatch probability, which is total bycatch number in each species divided by observed 1000 hooks in the resolution of 5x5 degree.