

令和 5（2023）年度マダラ北海道日本海の資源評価
 沖合底びき網漁業（かけまわし漁法）の CPUE 標準化について

概要

データ	北海道沖合底びき網漁業漁獲成績報告書（日別・漁区別・船別データ）
対象	1 網あたりのマダラ漁獲量（kg／網）。 有限混合分布モデル（Finite mixture モデル）にて観察不可能な「狙い」情報を考慮するため、補助的にホッケ、スケトウダラ、およびソウハチの操業日ごとの有漁確率についてもモデルに入れる。
データの利用可能な期間	1996～2022 年漁期（漁期は 4 月～翌年 3 月）
標準化に使用した期間	1996～2022 年漁期
データの抽出	全レコードのうち北海道日本海（中海区 12）でのかけまわし漁法のデータを抽出した後、Biseau（1998）の 90%説明レベルでマダラが主対象の操業日の情報に限定（16,242 操業日、102,366 操業）。
使用した統計ソフト・パッケージ	R（ver. 4.3.0）にて flexmix（Finite mixture モデル）、tidyverse（作図およびデータ処理）、marmap（海図作成）、ggplot2（作図）を使用。
統計モデル	一般化線形モデル、Finite mixture モデル
フルモデル	[マダラ CPUE を応答変数とした GLM]： （誤差構造に対数正規分布を仮定） [ホッケの有漁確率を応答変数とした GLM]： （誤差構造に二項分布を仮定） [スケトウダラの有漁確率を応答変数とした GLM]： （誤差構造に二項分布を仮定） [ソウハチの有漁確率を応答変数とした GLM]： （誤差構造に二項分布を仮定） ※ モデルに含める説明変数・交互作用項は上記 3 モデルで共通とした。 フルモデルの変数は以下の通り； 説明変数： 漁期年*、馬力階層*、季節、陸揚港、漁船の集中度 ※ 混合分布の要素： 「狙い」情報として扱った。「狙い」の要素数は 1 から 5 の間で探索した。 *漁期年および馬力階層の説明変数の推定パラメータは、「狙い」で分け

	られたモデルで共通とした。その他、季節の説明変数については「狙い」で分けられたモデルでパラメータ推定を別々にするか共通とするか、両者の BIC での比較も行った。
最終モデルの 選択方法	BIC 総当たり法を使用した。なお、Finite mixture モデルは局所解に収束する場合があるため、候補となるモデルの計算はそれぞれ 20 回実施して BIC が最小のものを使用した。
選択された説明変数	※ マダラ CPUE、ホッケ有漁確率、スケトウダラ有漁確率、ソウハチ有漁確率の 3 モデルについて、選択された説明変数は以下の通り； 説明変数： 漁期年*、馬力階層*、季節、陸揚港 ※ 「狙い」： Finite mixture モデルにて要素数を 5 クラスとした場合に BIC 最小となった。 *漁期年および馬力階層の説明変数の推定パラメータは、「狙い」で分けられたモデルで共通とした。季節の説明変数は「狙い」で分けられたモデルで別々にパラメータ推定する方法が選択された。
年トレンドの 抽出方法	クラスタごとに各漁期年の最小二乗平均値 (Lsmean) を求め、それらの年平均値を標準化 CPUE とした。
標準化の結果	Finite mixture モデルを用いることで、観察できない「狙い効果」をモデル内部で推定することが出来たと考えられる。推定された標準化 CPUE はノミナル CPUE に類似するが、近年のマダラ CPUE には、狙い効果を反映した傾向の違いがみられた。

1. 背景

マダラ北海道日本海では 2015 年漁期から漁獲量の顕著な増加がみられる。漁獲の 20～60%を占める沖合底びき網漁業（以下、沖底）では、沖合域から沿岸域まで広域にわたり漁獲報告がみられるが、特に漁獲が多い海域は稚内ノース場、島周辺、および雄冬沖など比較的沿岸に近い海域となる（図 1）。資源評価に使用している沖底のかけまわし漁法の漁獲データでは、漁獲量の増加と共にゼロキャッチ操業日の減少と有漁操業 CPUE の急激な上昇が見られている（図 2 および 3）。有漁操業日における漁獲物は多くの年でスケトウダラとホッケが大部分を占め、マダラの占める割合は 2016 年までは 10%以下であったが、2017 年以降は 19～30%に増加している（図 4a）。このような傾向の変化が資源量の変化をどこまで反映したものか適切に評価するには、本資源の漁獲における操業パターン（狙い）の影響を踏まえた CPUE の標準化が必要と考えられる。

漁業データから対象資源の「狙い」の傾向を把握する方法として、各操業の漁獲物に対象資源が占める割合（占有率）の順に年ごとに漁獲量を累積したグラフの形から狙いの有無を判断する手法がある（Biseau 1998）。また、その狙いの効果を考慮した CPUE として、年ごとに漁獲量の一定の割合までを説明する操業データに限定した CPUE を用いる方法がある（例えば年間の漁獲量の 90%を構成するデータに限定する場合は、90%説明レベルの

Directed CPUE という ; Biseau 1998)。本資源における各操業での占有率と漁獲量の累積グラフは、多くの場合で左上に凸のグラフ形状となり（図 5）、本資源が多く年で混獲魚であることが示唆されるが、近年は狙い操業に近い形状のパターンも見られている。

このような漁獲データに基づき、「狙い」を考慮した本資源の標準化 CPUE を得るため、マダラの漁獲の 90%説明レベルで漁獲データをフィルタリングした後、漁獲データでは直接観察されない「狙い」の効果をモデル内で推定するため有限混合モデル（Finite Mixture Model）を用いた標準化を行った。有限混合モデル内でマダラ CPUE の標準化に用いるモデルには、誤差分布に対数正規分布を仮定した一般化線形モデル（GLM）を用いた。有限混合モデル内では「狙い」効果の推定のため、ホッケ、スケトウダラ、およびソウハチの有漁確率モデルも同時に解析した。陸揚港ごとの各漁船の漁場は重複があるものの大まかに分けられるため（図 6）、漁場の空間的な影響は陸揚港を説明変数の候補に加えることで検討した。

2. 方法

解析には北海道を根拠とする沖合底びき網漁業のかけまわし漁法での漁獲成績報告書を用いた。漁獲成績報告書では、日別・漁区別・船別の解像度で漁獲重量が概ね種別で記録されている。ここで本資源の分布域にデータを限定するため、北海道日本海（中海区 12）のデータを抽出した（291,225 操業）。さらに、Biseau（1998）に従い 90%説明レベルのデータに限定して（102,366 操業）、本海域のマダラ資源の動向に特に関係すると考えられるデータにフィルタリングした（表 1）。フィルタリング後のデータの漁獲物組成でもホッケおよびスケトウダラが漁獲量の多くを占め（図 4b）、また両魚種のゼロキャッチ率はそれぞれ 5～20%および 50～90%で推移していることから（図 7）、マダラの漁獲は複数の狙い操業により構成されていると考えられる。そのため、本解析では、フィルタリング後のデータの解析に有限混合モデル（Finite Mixture Model）を採用し、直接観測できない「狙い」の効果をモデル内で推定することを試みた。有限混合モデルでは、漁獲情報の背景には観察されない漁業の戦略（すなわち「狙い」）があると仮定し、2 つ以上の確率密度関数を組み合わせて対象種の CPUE の年変動パターンと同時に、漁業の戦略の効果（「狙い」効果）も推定する（Shibano et al. 2021）。

有限混合モデルではマダラ CPUE に対数正規分布を仮定した GLM を適用した。説明変数の候補には漁期年（Year）、季節（Season）、陸揚港（Port）、馬力階層（Hp）がカテゴリカル変数、漁船集中度（ShipDensity）を連続変数として用いた。ここで季節は 1～3 月、4～6 月、7～9 月、および 10～12 月の 4 季と定義した。また陸揚港については、小樽、留萌、稚内の 3 カテゴリとした。本データセットには 2 件だけ枝幸での陸揚げが記録されているが、これは稚内を水揚港とするカテゴリに含めた。馬力階層は 3 カテゴリである。漁船集中度は、日別・漁区別に、同じ日に同じ漁区での操業報告があった隻数を計算したものである。例えば、同じ日に同じ漁区で 10 隻から操業報告があれば、その操業での漁船集中度は 10 となる。有限混合モデルでは上記の GLM について、同時推定される「狙い」でグループ化されたデ

ータ (Cluster) ごとにパラメータが推定される。モデルの検討にあたり、漁期年 (Year) の推定パラメータは、同一の資源動態の年変化を反映しているものと考え、各 Cluster で共通とした。また、狙いごとに漁船馬力の能力に起因した効果は変わらないものと考え、馬力階層 (Hp) も各 Cluster で共通とした。季節 (Season) の効果は狙いにより変わることも想定し、各 Cluster で共通とする場合と Cluster ごとに推定する場合との両方を検討した。Cluster の同時推定にあたり、有限混合モデル内でホッケ、スケトウダラ、ソウハチの有漁確率モデルも同じデータと Cluster の下でパラメータ推定した。有漁確率は二項分布を用いた GLM で推定し、説明変数はマダラ CPUE のモデルと同一とした。Cluster 数の上限は 6 要素とした。

フルモデル：

- [マダラ CPUE]： 応答変数： $\log(\text{CPUE}_{\text{COD}})$
 説明変数：Year*、Hp*、Season**、Port、Ship Density
- [ホッケ有漁確率]： 応答変数： $\text{Prop}^{\text{non-zero}}_{\text{AG}}$
 説明変数：Year*、Hp*、Season**、Port、Ship Density
- [スケトウダラ有漁確率]： 応答変数： $\text{Prop}^{\text{non-zero}}_{\text{WP}}$
 説明変数：Year*、Hp*、Season**、Port、Ship Density
- [ソウハチ有漁確率]： 応答変数： $\text{Prop}^{\text{non-zero}}_{\text{PF}}$
 説明変数：Year*、Hp*、Season**、Port、Ship Density

*漁期年 (Year) および馬力階層 (Hp) の説明変数の推定パラメータは、「狙い」 (Cluster) で分けられたモデルで共通とした。

**季節 (Season) の説明変数の推定パラメータは、「狙い」 Cluster で分けられたモデル毎に推定する場合と、モデル間で共通とする場合の両者を候補とした。

有限混合モデルによる解析は、R (ver.4.3.0) にて flexmix パッケージを用いて実施した。有限混合モデルのパラメータ推定は局所解に収束する場合があるため、各計算試行はそれぞれ 20 回行い、BIC が最小になったものを採用した。漁期年以外の説明変数の組み合わせの試行を総当たりで行い、BIC が最小となる説明変数および Cluster 数のモデルを標準化モデルとして採用した。マダラの標準化 CPUE は、狙い効果 (Cluster) ごとに求めた最小二乗平均 (Lsmean) の年平均値として求めた。

3. 結果と考察

BIC が最小となるモデルは以下の通りであり、説明変数として漁期年 (Year) のほか、季節 (Season) および陸揚港 (Port) が選択された。BIC が最小となるのは季節 (Season) の説明変数を「狙い」 Cluster ごとにパラメータ推定した場合であった。「狙い」効果の Cluster 数

は 5 であった (表 2)。

標準化モデル：

[マダラ CPUE]：	応答変数： $\log(\text{CPUE}_{\text{COD}})$ 説明変数：Year*、Hp*、Port、Season
[ホッケ有漁確率]：	応答変数： $\text{Prop}^{\text{non-zero}}_{\text{AG}}$ 説明変数：Year*、Hp*、Port、Season
[スケトウダラ有漁確率]：	応答変数： $\text{Prop}^{\text{non-zero}}_{\text{WP}}$ 説明変数：Year*、Hp*、Port、Season
[ソウハチ有漁確率]：	応答変数： $\text{Prop}^{\text{non-zero}}_{\text{WP}}$ 説明変数：Year*、Hp*、Port、Season

*漁期年 (Year) および馬力階層 (Hp) の説明変数の推定パラメータは、「狙い」 (Cluster) で分けられたモデルで共通とした。季節 (Season) のパラメータは「狙い」 (Cluster) ごとに推定した。

残差ヒストグラムについて全年でまとめたもの、これを年ごとに分けたものを Cluster ごと色分けして示したもの、および QQ プロットの結果からは、残差の正規性に関して特段の問題は無いと考えられた (図 8、9、および 10)。各説明変数やクラスターでの残差にも、特定の説明変数での残差の偏りは確認されず、モデルの当てはまりには不具合はないものと考えられた (図 11)。

推定されたマダラ CPUE の Cluster 別の最小二乗平均値 (Lsmean) と、それらから算出した標準化 CPUE を図 12 に示す。併せて、同時推定したホッケ、スケトウダラ、およびソウハチの有漁確率の最小二乗平均値を図 13 に示す。漁期年の説明変数の推定パラメータは各 Cluster で共通であるため、マダラ CPUE の Cluster 別の最小二乗平均値は、スケールが変わる以外は類似した年トレンドを示す。若干の年トレンドの違いは、CPUE を対数値から真数に変換する際の標準誤差の違いに起因したバイアス補正の影響である。各 Cluster への操業データのグループ分けにおいて、最も多くのデータ (38%) が含まれた Cluster1 では、マダラ CPUE は 5 つの Cluster のなかでは中間的であった。また、2 番目および 3 番目に多くのデータが含まれた Cluster3 (26%) および 4 (20%) はそれぞれ Cluster1 に比べてやや高い・やや低い CPUE を示す傾向となった。Cluster1 ではホッケおよびソウハチの有漁確率が高い傾向がある。Cluster3 は Cluster4 に比べてホッケおよびソウハチ有漁確率が低い。マダラ CPUE が極端に高い Cluster2 ではソウハチおよびスケトウダラの有漁確率が低い傾向がある。マダラ CPUE が極端に低い Cluster5 ではホッケの有漁確率が低くスケトウダラの有漁確率が高い傾向がある。なお、これらの Cluster2 および Cluster5 はそれぞれ全体の 9% と 7% であり他の Cluster に含まれるデータよりは少ない。

漁期年別に見ると、マダラ CPUE がやや高い Cluster3 の操業データに占める割合が増加傾向にあるのに対し、マダラ CPUE がやや低い Cluster4 および非常に低い Cluster5 の占める割合が近年は大きく変化せずに推移している（図 14a）。陸揚港別に各 Cluster の割合の年変化を見ると、小樽を陸揚港とする操業での各 Cluster の割合は、近年、マダラ CPUE がやや高い Cluster3 が増加し、CPUE がやや低い Cluster4 および非常に低い Cluster5 の減少が顕著である。Cluster3 は 4～6 月にスケトウダラの有漁確率が高く、その後 7 月以降はホッケの有漁確率が高い傾向がある（図 16）。一方、稚内を陸揚港とする操業では依然として Cluster1 の割合が高く、近年では Cluster5 の割合が増加している。Cluster1 では年間を通してホッケの有漁確率が高いほか、4～6 月と 1～3 月にスケトウダラの有漁確率の高い操業が推定される。このように今回の解析結果は陸揚港による操業の傾向の違いをモデル化する点で妥当な結果になっていると考えられる。

季節別に見ると、2022 年漁期は 7～9 月のほとんどの操業が Cluster4 に分類され、また 10～12 月に Cluster2 の割合が増加するなど、操業パターンに明確に変化があったことが推察される（図 13d、e）。7～9 月の Cluster4 ではホッケおよびソウハチの有漁確率が高いが、ソウハチの有漁確率は陸揚港が小樽であれば高く稚内であれば低い傾向も推定されている（図 17）。

各 Cluster にグループ化された操業データの地理的な分布を 2017 年漁期以降の 6 年間とその前 5 年間（2012～2016 年漁期）について季節別に確認したところ（図 15）、近年 6 年間はその前 5 年間に比べて利礼周辺および稚内ノース場で 4～6 月にホッケの有漁確率の高い Cluster4 に含まれる操業が多い傾向がみられる。また 1～3 月は、近年 6 年間はその前 5 年間に比べて特にマダラ CPUE がやや高い Cluster3 の割合が海域全体で多いことが示された。これらの結果は、本解析での Cluster での操業のグループ分けは操業戦略の地理的な違いや経年的な変化を柔軟に反映していると解釈できる。以上のことから、有限混合モデルで推定された「狙い」効果は現実の操業実態と矛盾するものではなく、当該漁業での操業実態をモデル化することが出来たと考えられた。

標準化においては各 Cluster で予測される値を等しい重みで平均して標準化 CPUE が算出される。得られた標準化 CPUE について、平均値を 1 として規格化したものをノミナル CPUE と併せて図 15 に示す。標準化 CPUE とノミナル CPUE とでは概ね傾向が一致したが、ノミナル CPUE に対し 2020 年漁期以降に異なる傾向がみられる。これは上記の通り有限混合モデルによる標準化によって、様々な操業パターンやその変化の影響が除かれることによりノミナル CPUE と標準化 CPUE とでの傾向の違いが表れたものと考えられる。なお、2022 年漁期はノミナル CPUE および標準化 CPUE のいずれにおいても前年から CPUE の上昇がみられるが、これは漁獲物に占める大型銘柄の増加が影響しているものと考えられる（中央水産試験場・稚内水産試験場 印刷中）。

本手法により CPUE 標準化において「狙い」効果を組み込むことが出来たと考える。ただし、どの「狙い」（Cluster）での操業でもマダラ CPUE の近年の上昇傾向は顕著であり、2015 年漁期以降の CPUE の上昇はマダラ資源が大きく増加していることを示すと考えられる。

この CPUE の上昇時期には、マダラの CPUE が高めになる「狙い」(Cluster)の操業も増加しており、資源増加と共に“マダラ狙い”の操業戦略の拡大も起きていたと考えられるが、ノミナル CPUE と標準化 CPUE との差が小さいことを考えると、操業戦略の影響はマダラ資源の増大と比べると小さかったと解釈される。それでも、いくつかの漁期年では標準化によりノミナル CPUE との傾向の違いもあり、最終的に得られた標準化 CPUE は、操業戦略の変化の影響を除いたマダラ資源の増減の年変化の情報を捉えていると考えられる。

引用文献

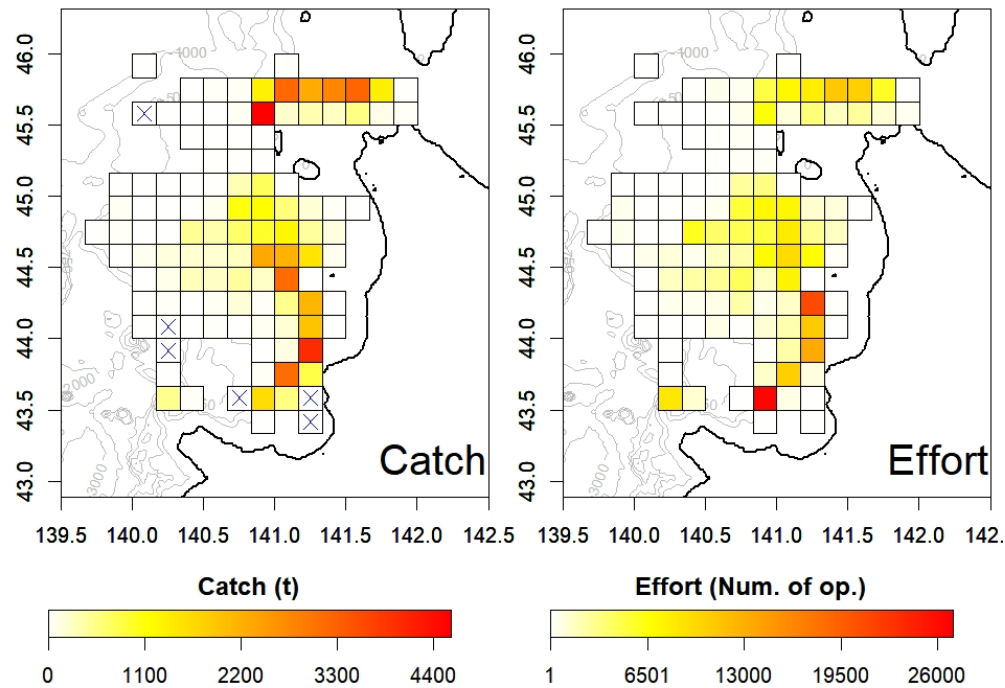
Biseau, A (1998) Definition of a directed fishing effort in a mixed-species trawl fishery, and its impact on stock assessments. *Aquat. Living Resour.* **11**: 119–136.

中央水産試験場・稚内水産試験場 (印刷中) マダラ 日本海海域. 2023 年度北海道周辺海域における主要魚種の資源評価書, 北海道立総合研究機構水産研究本部.

Shibano, A., M. Kanaiwa, M. Kai (2021) Performance of a finite mixture model in CPUE standardization for a longline fishery with target change. *Fish. Sci.* **87**, 465-477

(執筆者：境 磨、千村昌之、千葉 悟、濱津友紀)

a) 全操業



b) 90%説明レベルで抽出した操業

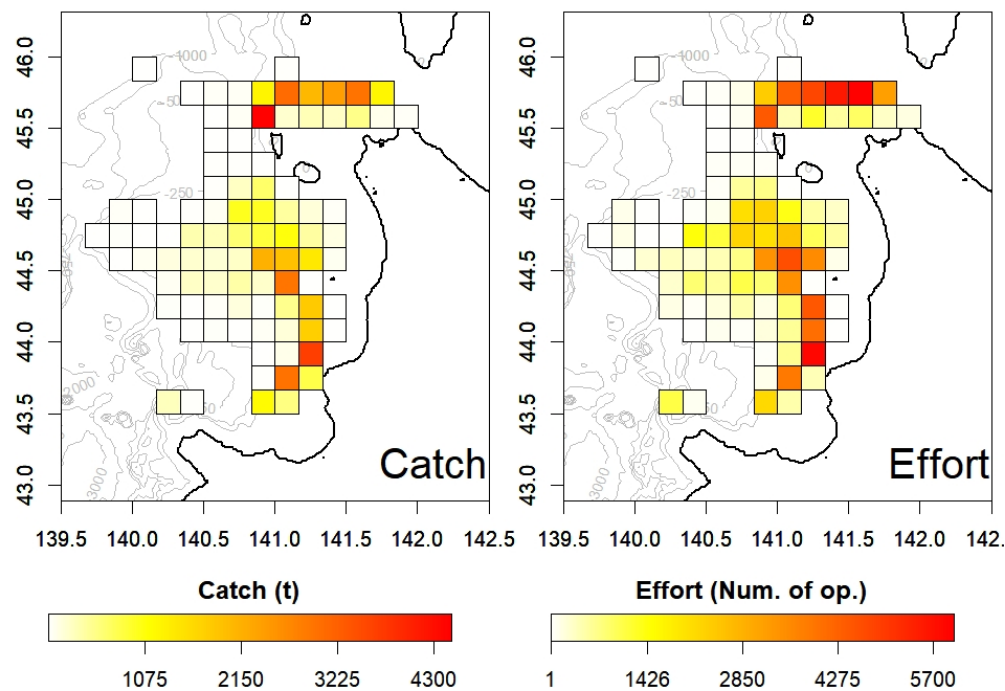


図1. 北海道日本海の沖合底びき網漁業（かけまわし漁法）での漁区別のマダラの漁獲報告量（左段）および曳網数（右段）

全操業（a; 上段）と 90%説明レベルでの抽出操業（b; 下段）との比較

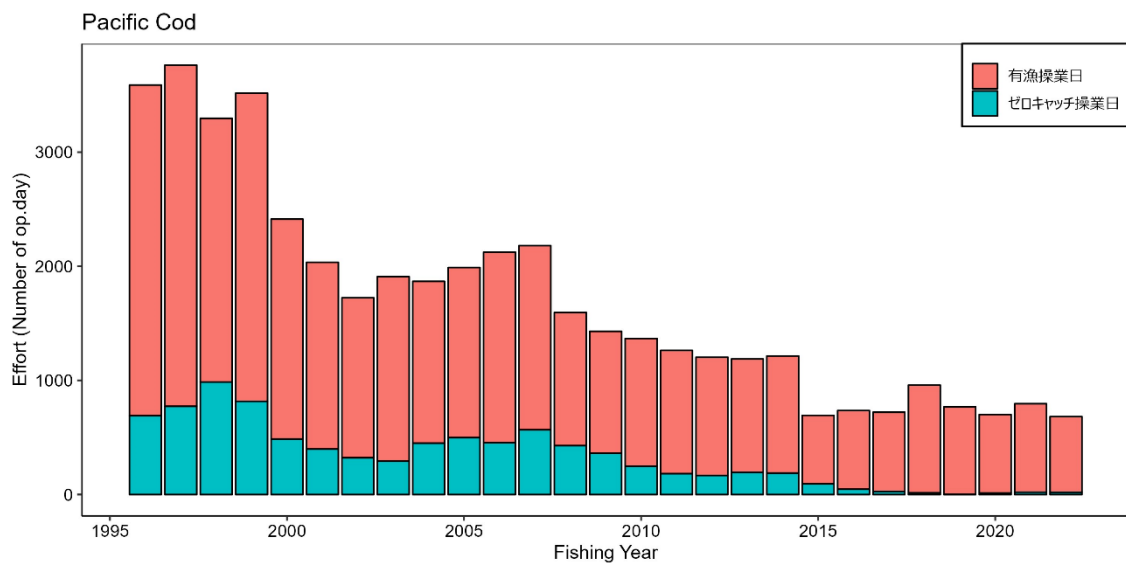


図 2. 北海道日本海の沖合底びき網漁業（かけまわし漁法）でのマダラの漁獲がある操業日（有漁操業日）と無い操業日（ゼロキャッチ操業日）の推移

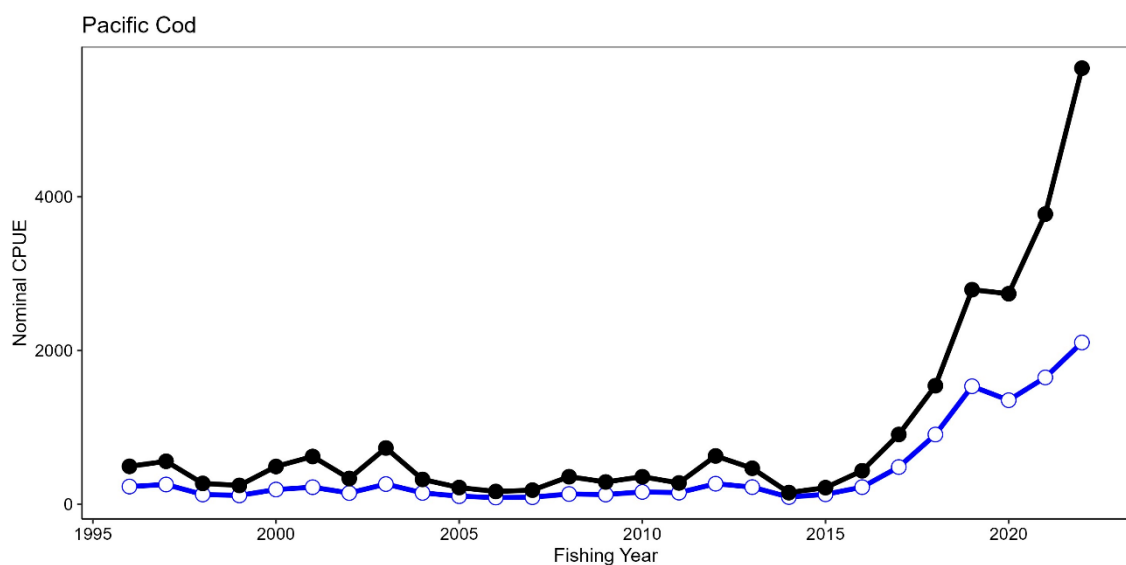
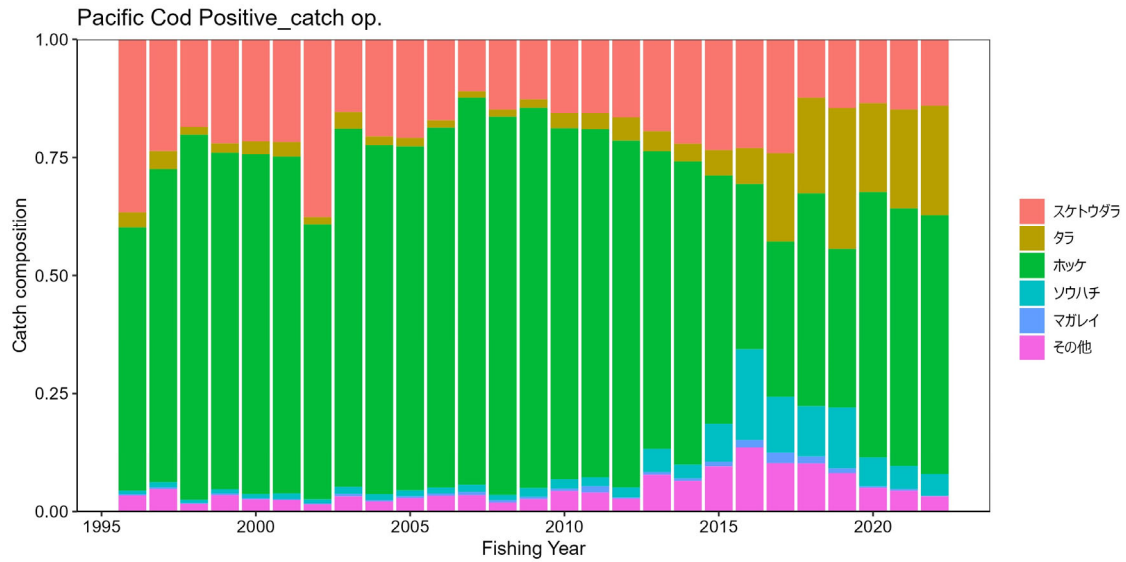


図 3. 北海道日本海の沖合底びき網漁業（かけまわし漁法）でのマダラのノミナル CPUE（マダラ漁獲量/曳網数）。青線は有漁操業日におけるノミナル CPUE、黒線は 90%説明レベル（Biseau 1998）でデータを抽出した場合のノミナル CPUE

a) マダラ有漁操業日における漁獲物の組成



b) マダラ漁獲の 90%説明レベルで抽出した操業における漁獲物の組成

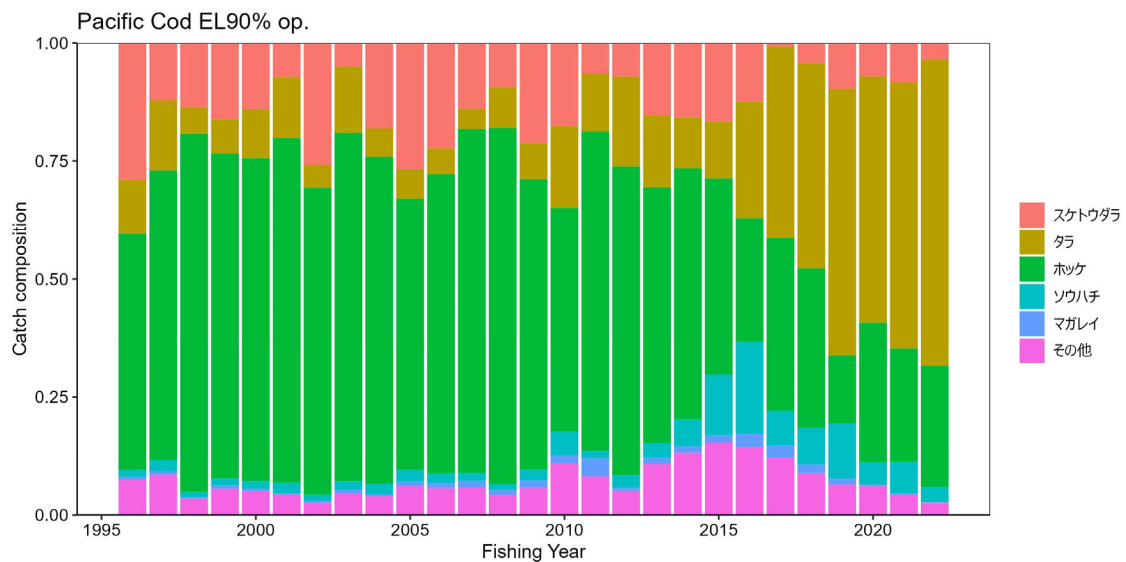


図 4. 北海道日本海の沖合底びき網漁業（かけまわし漁法）でのマダラ有漁操業日および 90%説明レベルで抽出した操業における漁獲物の組成

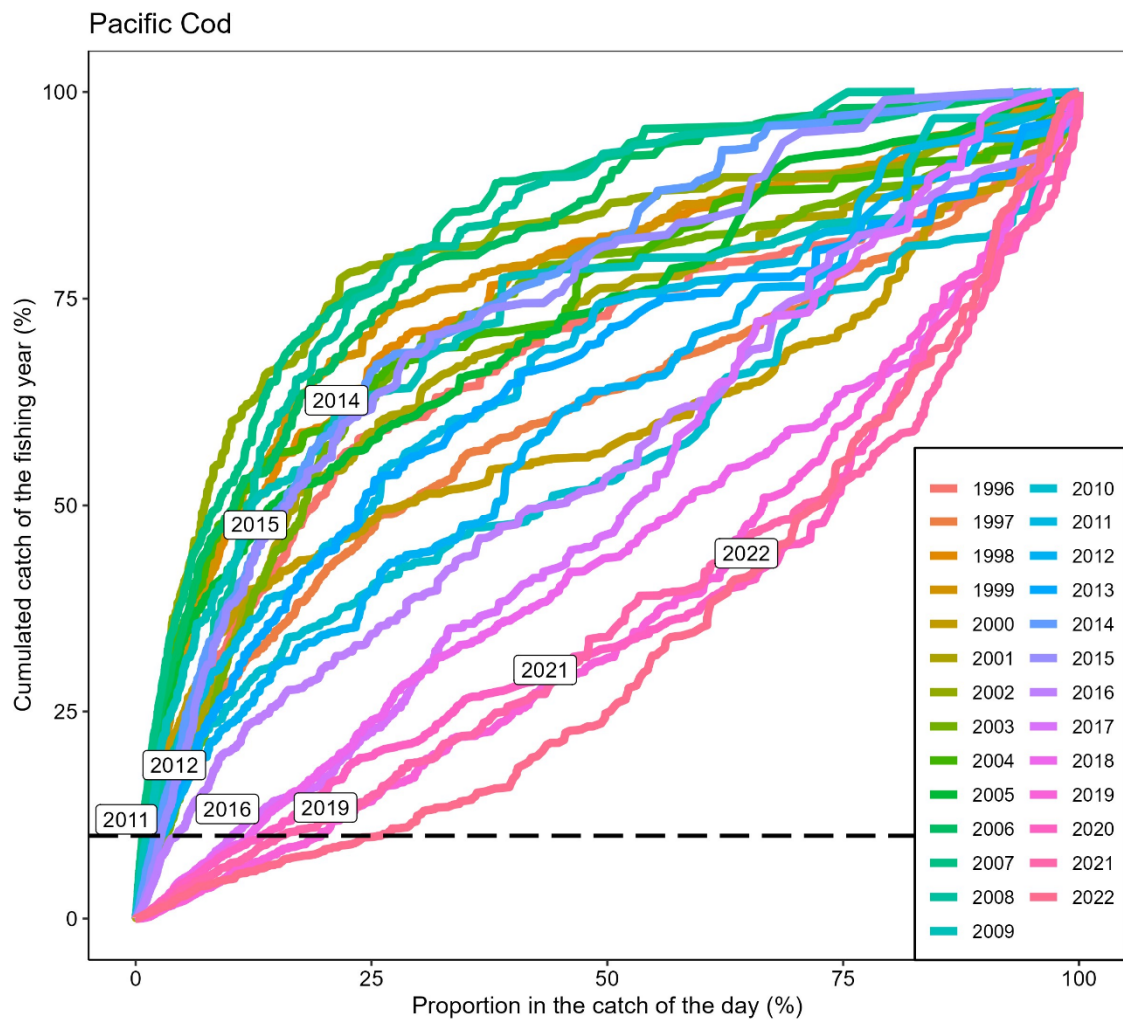


図 5. 北海道日本海の沖合底びき網漁業（かけまわし漁法）について Biseau（1998）の手法による各年のマダラの漁獲傾向（狙い）の判別

各操業の漁獲物に対象資源が占める割合（占有率）の順に年ごとに漁獲量を累積した。グラフ形状が左上に凸であるほど、混獲魚種である傾向が強いと考えられている。黒破線より上に位置するデータが 90%説明レベルで抽出される操業である。

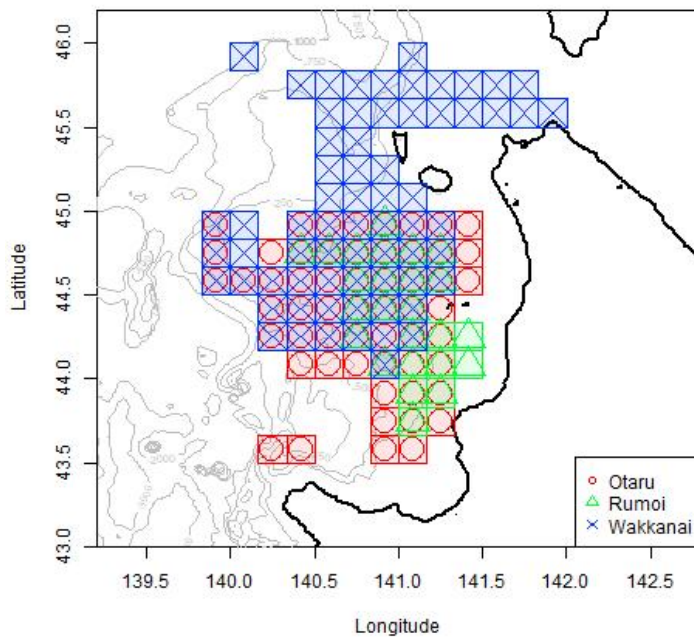


図 6. 水揚げ港別の漁獲報告位置

青×は稚内で水揚げした場合の操業報告位置、緑△は留萌で水揚げした場合の操業報告位置、赤○は小樽で水揚げした場合の操業報告位置を示す。

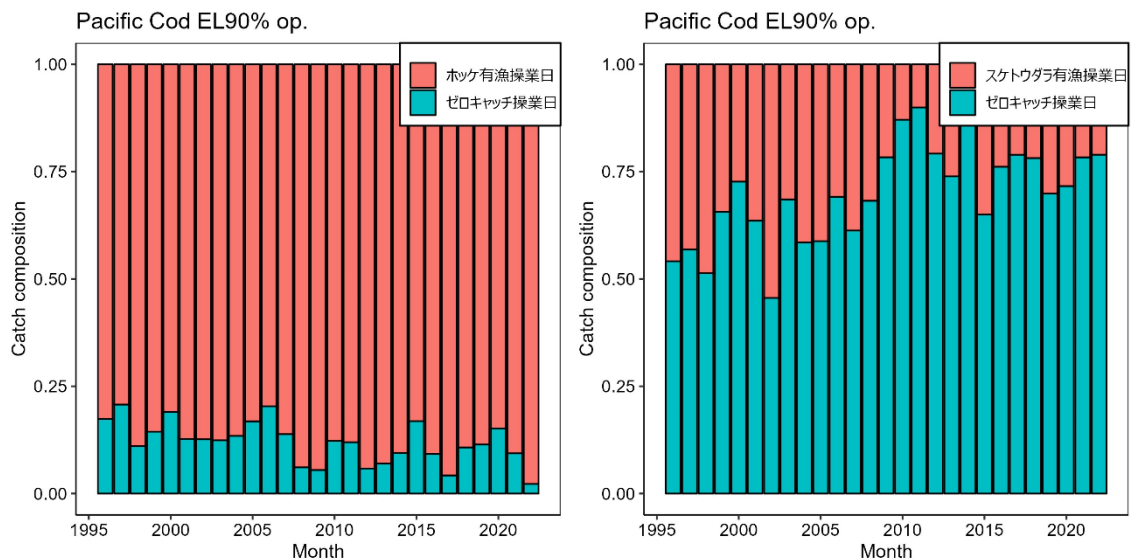


図 7. 北海道日本海の沖合底びき網漁業（かけまわし漁法）について、マダラ漁獲の 90% 説明レベルで抽出した操業での、ホッケ（左）およびスケトウダラ（右）の有漁操業日の割合

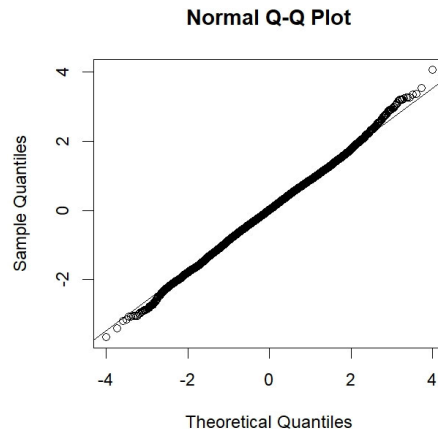
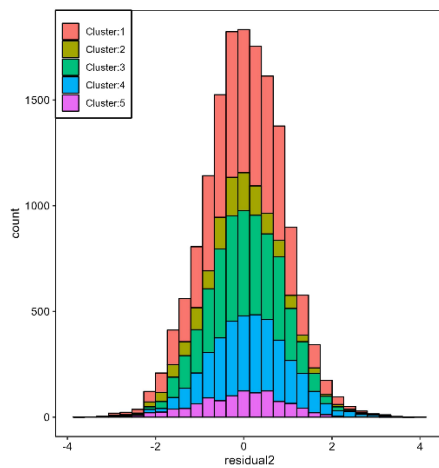


図 8. 有限混合モデルにて推定された狙い効

果 (Cluster) ごとに色分けした残差ヒストグラム

図 9. QQ プロット

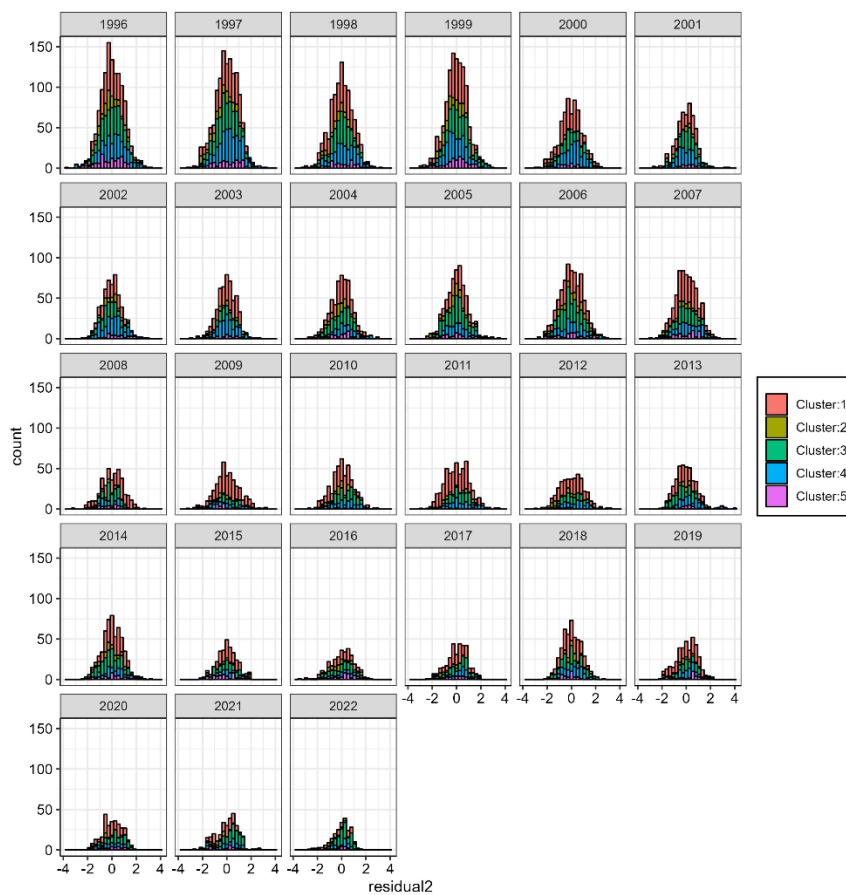
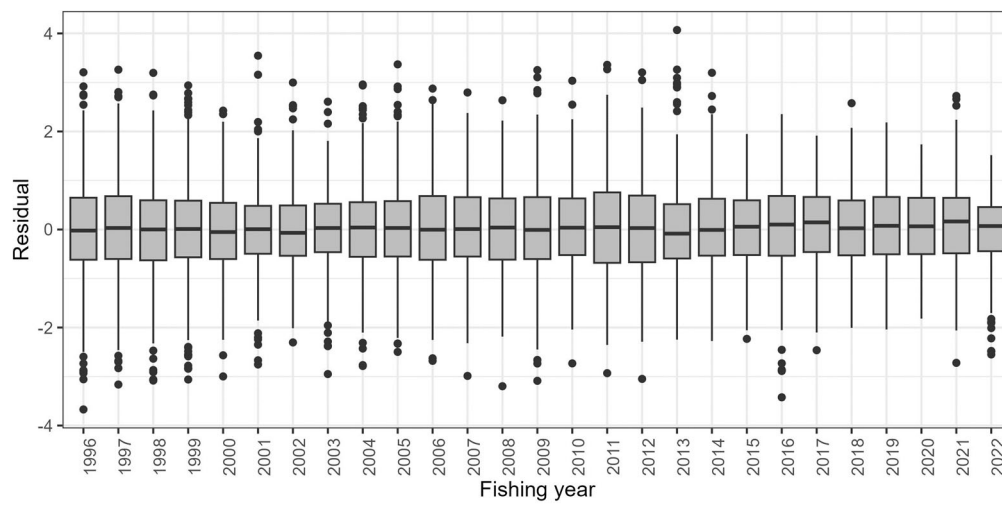


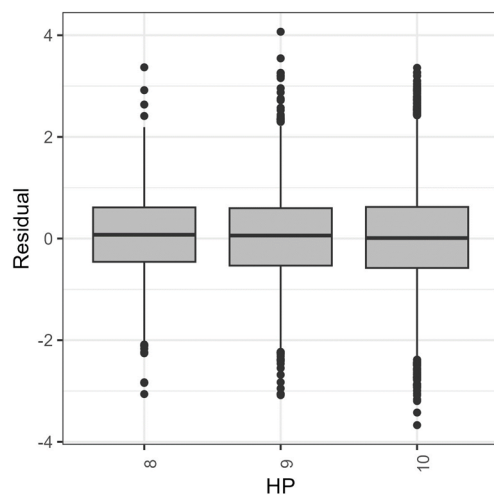
図 10. 漁期年ごとの残差ヒストグラム

有限混合モデルにて推定された狙い効果 (Cluster) ごとに色分けした。

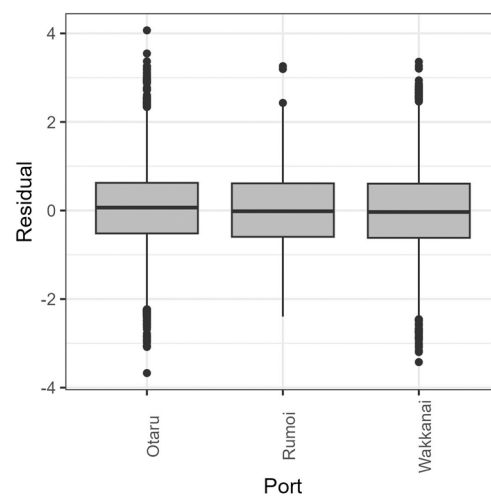
a) 漁期年



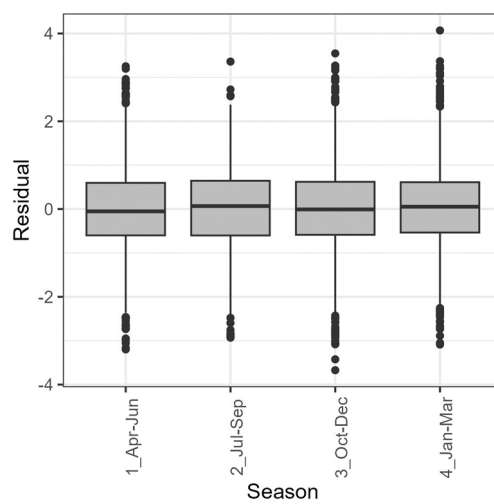
b) 馬力階層



c) 陸揚港



d) 季節



e) クラス

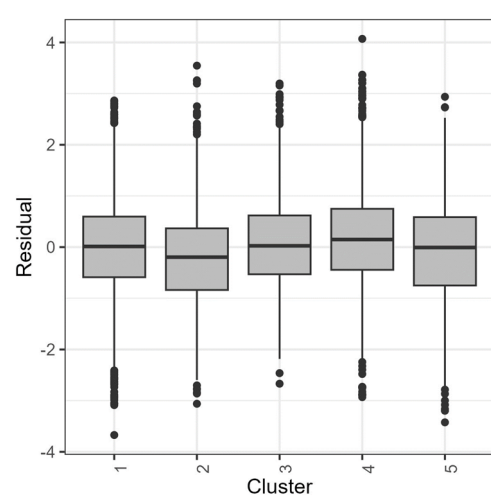


図 11. 説明変数ごとの残差プロット

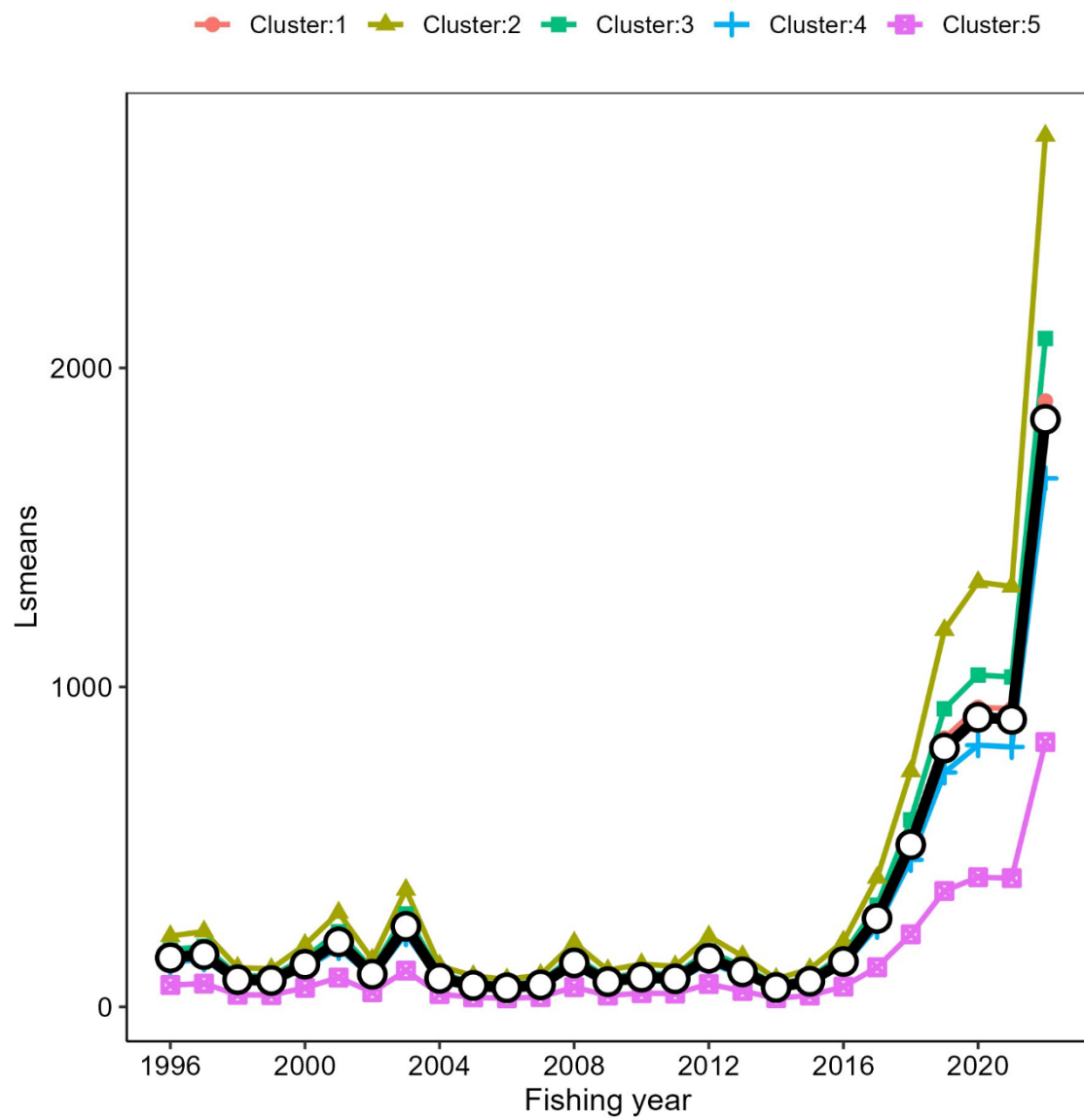
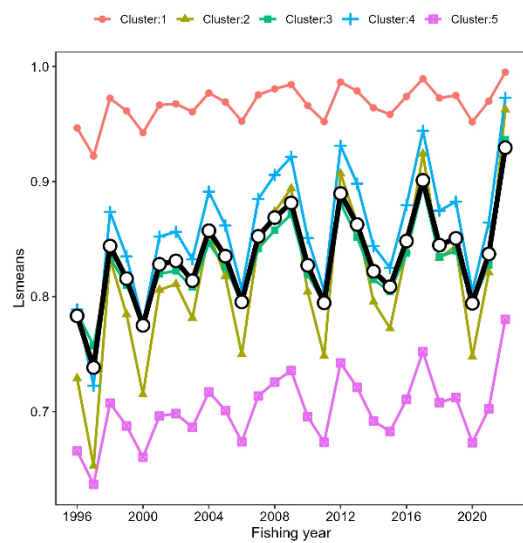
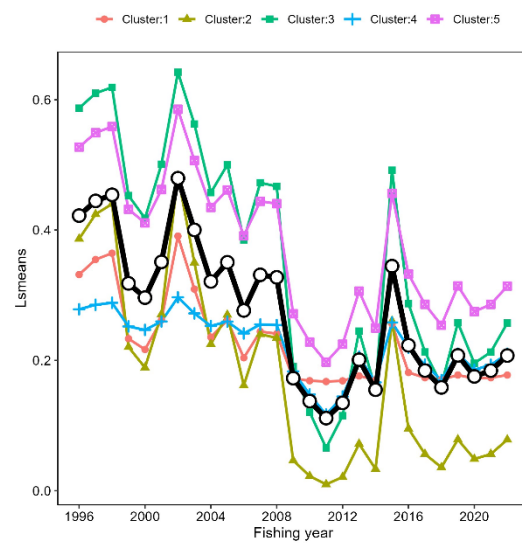


図 12. 「狙い」効果 (Cluster) 別に求めた最小二乗平均値と、それらの年平均により求めたマダラの標準化 CPUE (黒線)

a) ホッケ有漁操業



b) スケトウダラ有漁操業



c) ソウハチ有漁操業

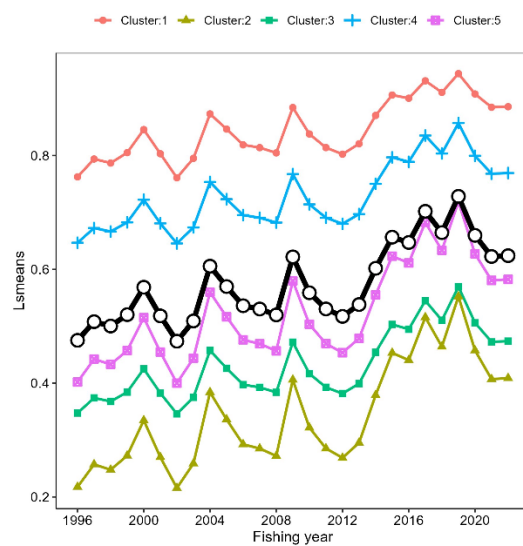
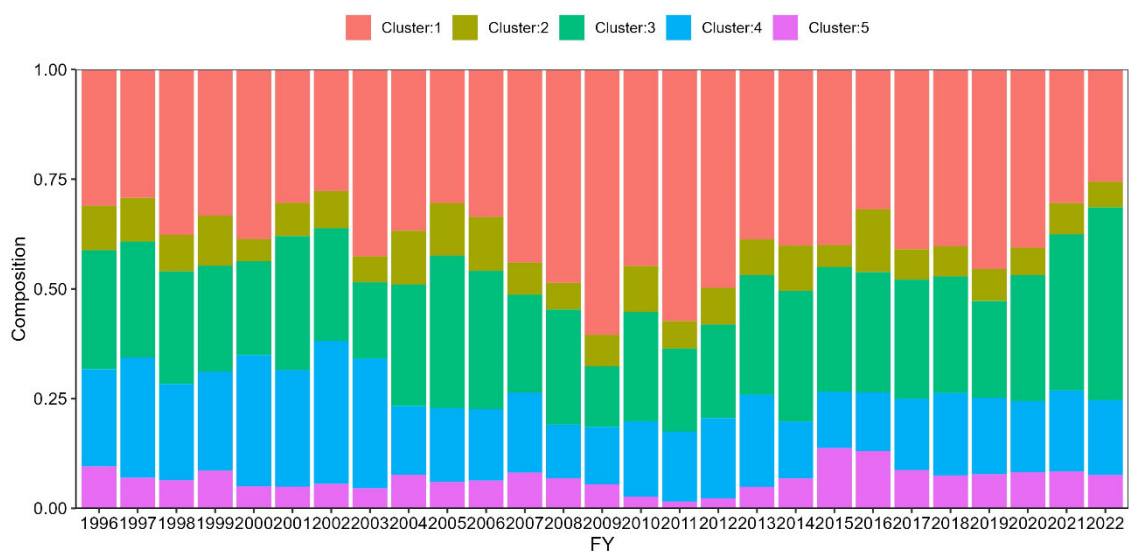
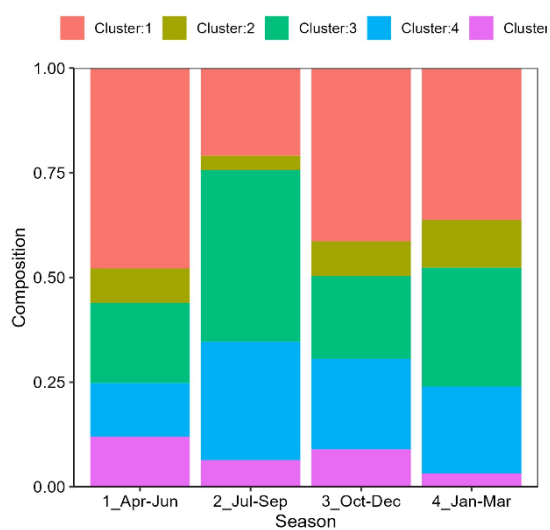


図 13. マダラ CPUE と同時解析されたホッケ、スケトウダラ、およびソウハチの有漁確率について「狙い」効果 (Cluster) 別に求めた最小二乗平均値と、それらの年平均 (黒線)。

a) 各「狙い」(Cluster) にグループ化された操業データ数の漁期年別の割合



b) 各「狙い」(Cluster) にグループ化された操業データ数の季節別の割合



c) 各「狙い」(Cluster) にグループ化された操業データ数の陸揚港別の割合

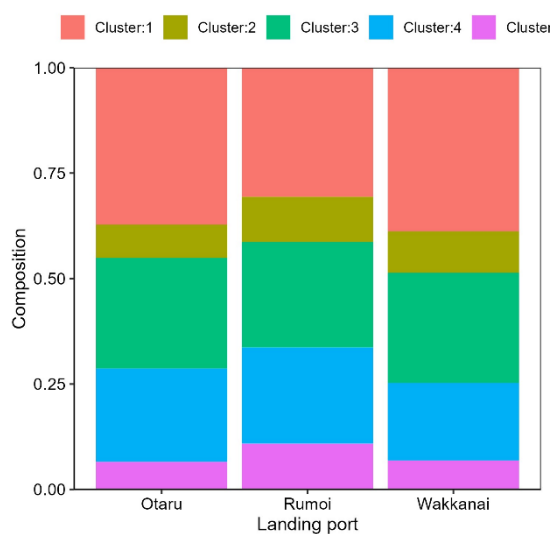


図 14. 各「狙い」(Cluster) にグループ化された操業データ数
漁期年別、季節別、および陸揚港別に組成を示す。

d) 各「狙い」(Cluster) にグループ化された操業データ数の陸揚港・漁期年別の割合

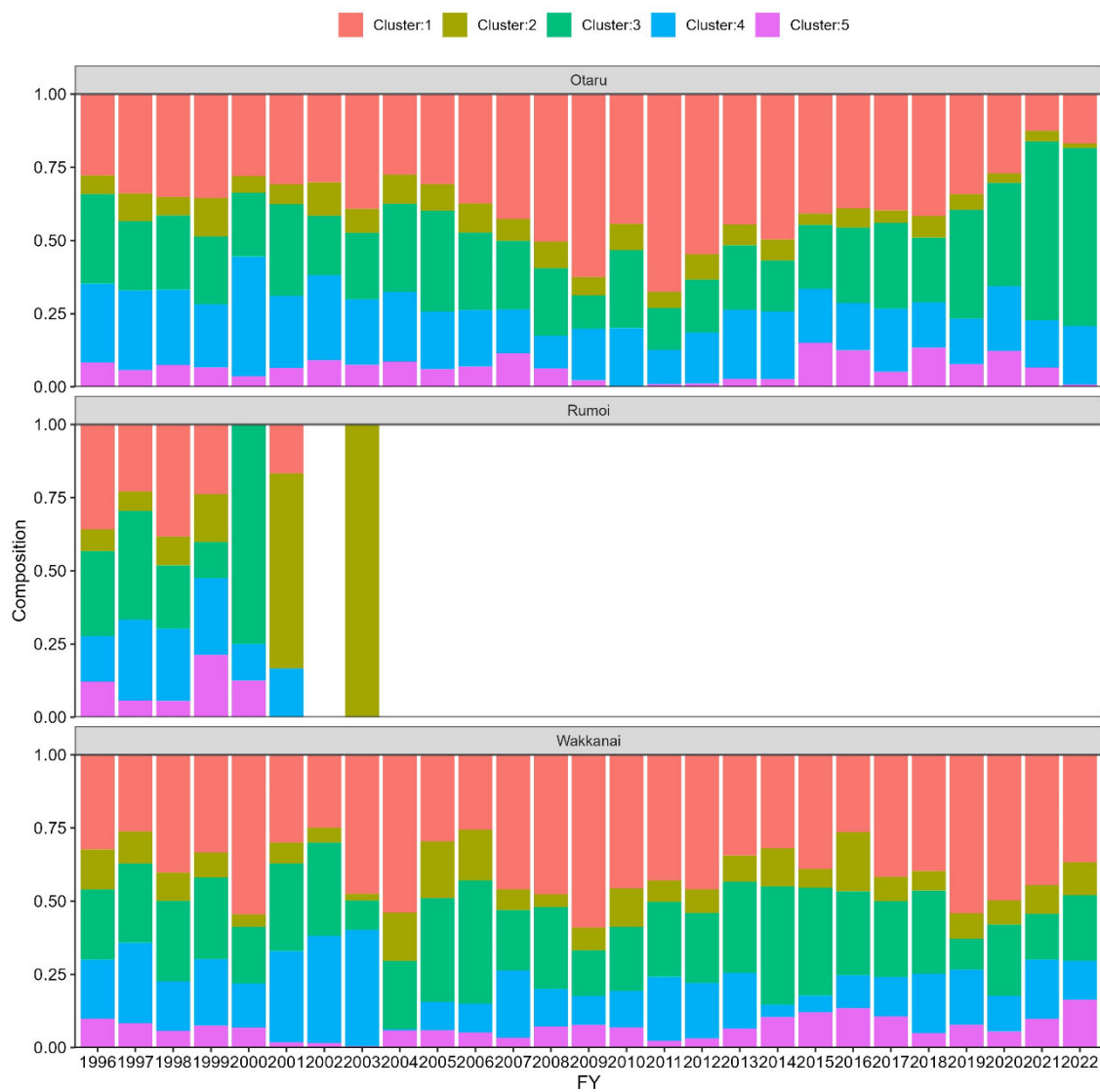


図 14. 各「狙い」(Cluster) にグループ化された操業データ数 (続き)

e) 各「狙い」(Cluster) にグループ化された操業データ数の季節・漁期年別の割合

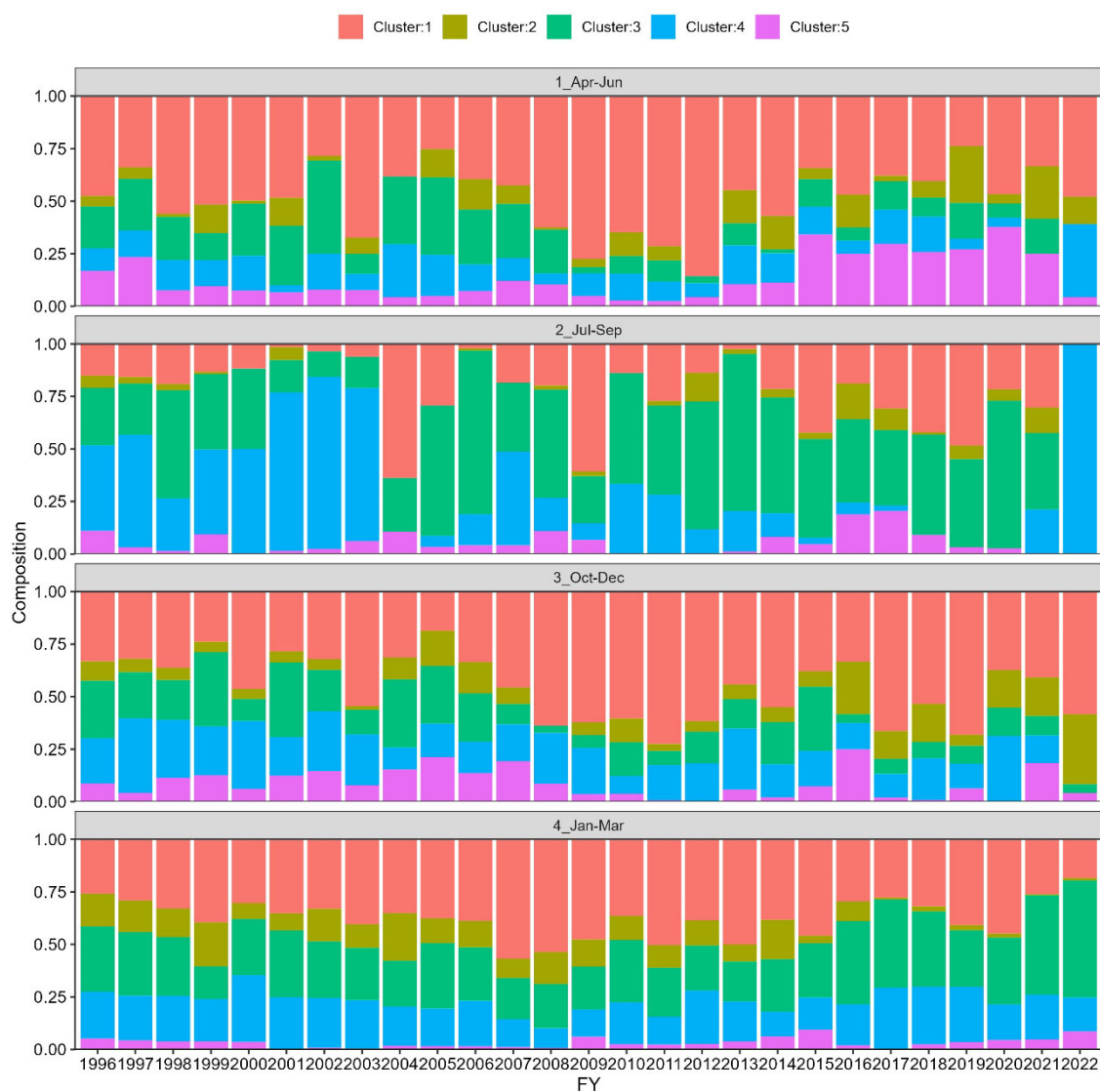
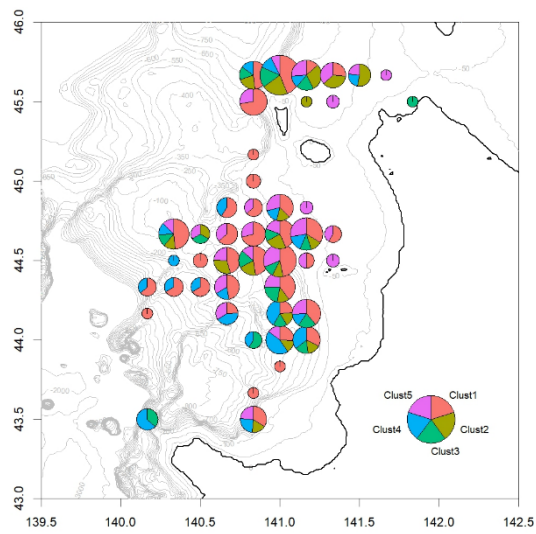
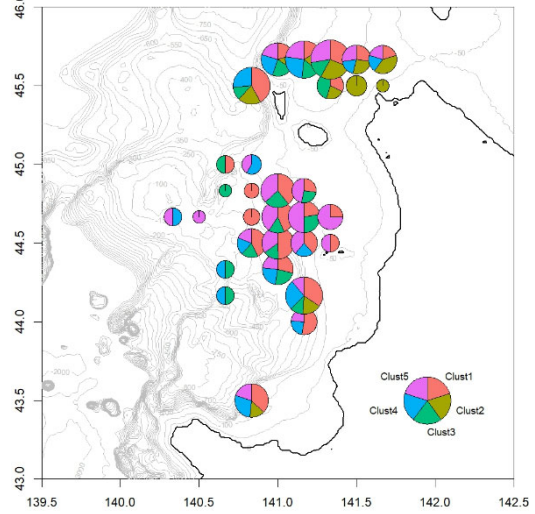


図 14. 各「狙い」(Cluster) にグループ化された操業データ数 (続き)

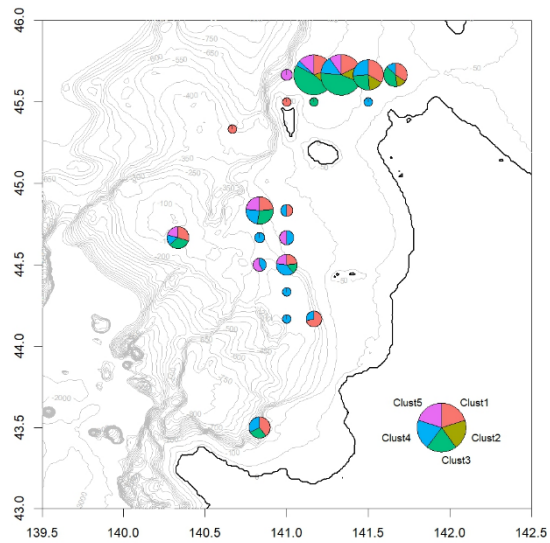
a-1) 4～6 月 (2012～2016 年漁期)



a-2) 4～6 月 (2017～2022 年漁期)



b-1) 7～9 月 (2012～2016 年漁期)



b-2) 7～9 月 (2017～2022 年漁期)

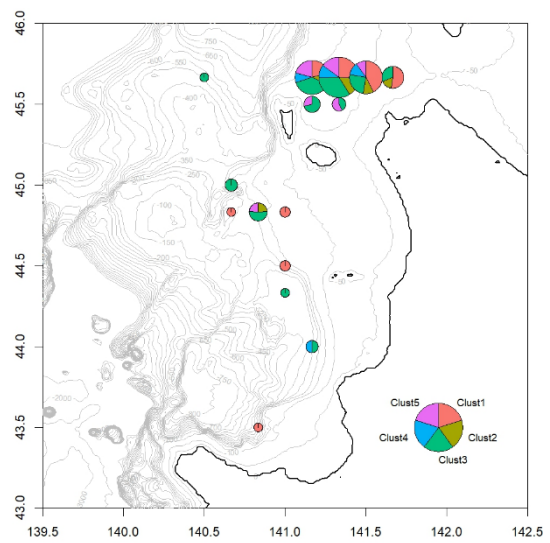
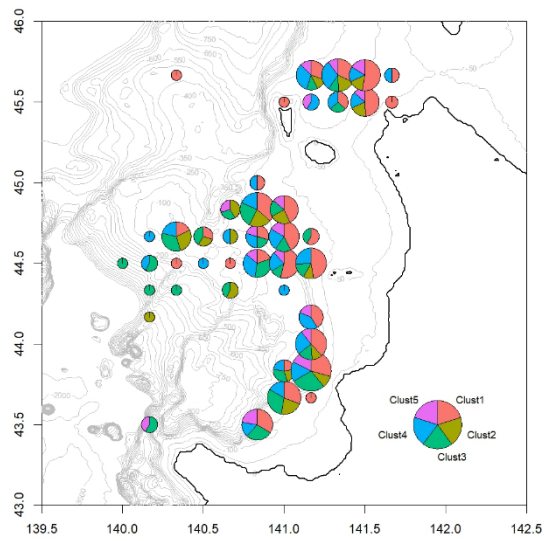
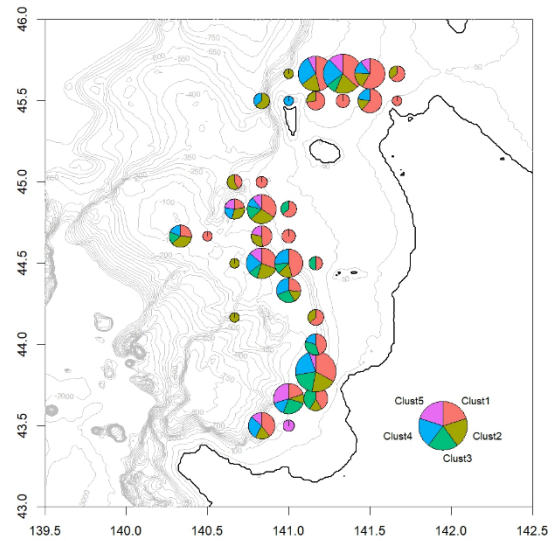


図 15. 各「狙い」(Cluster) にグループ化された操業データの空間分布 (上段 4～6 月、
下段 7～9 月)

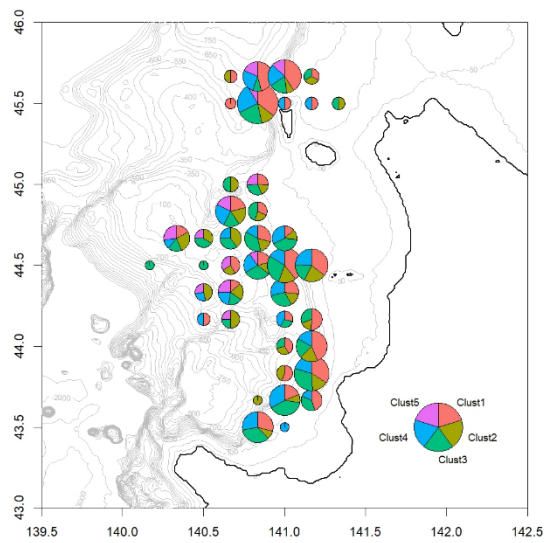
c-1) 10～12 月 (2012～2016 年漁期)



c-2) 10～12 月 (2017～2022 年漁期)



d-1) 1～3 月 (2012～2016 年漁期)



d-2) 1～3 月 (2017～2022 年漁期)

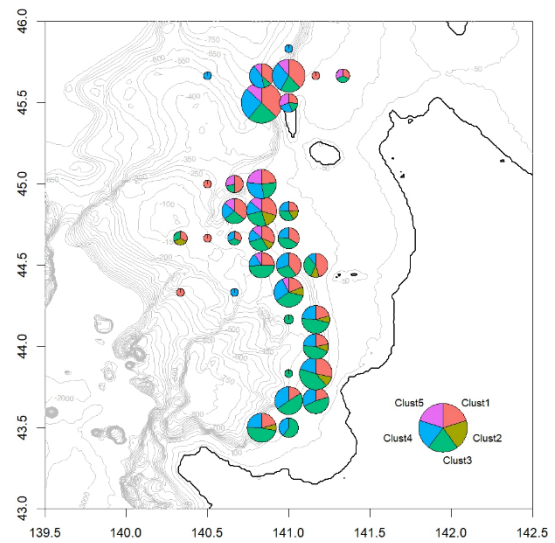
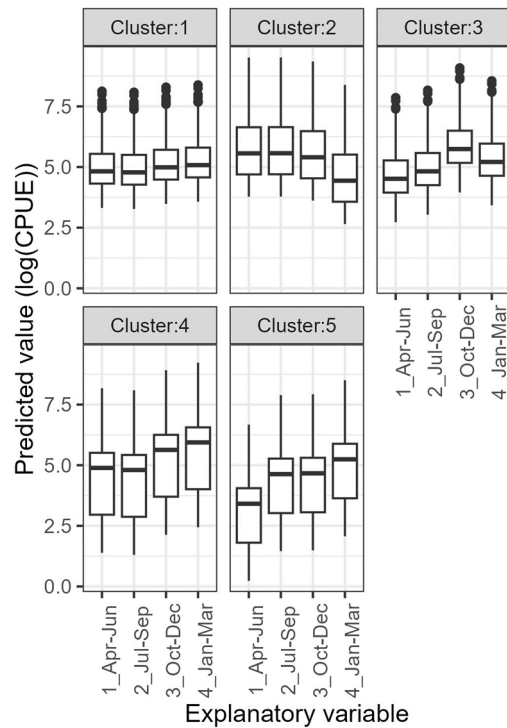
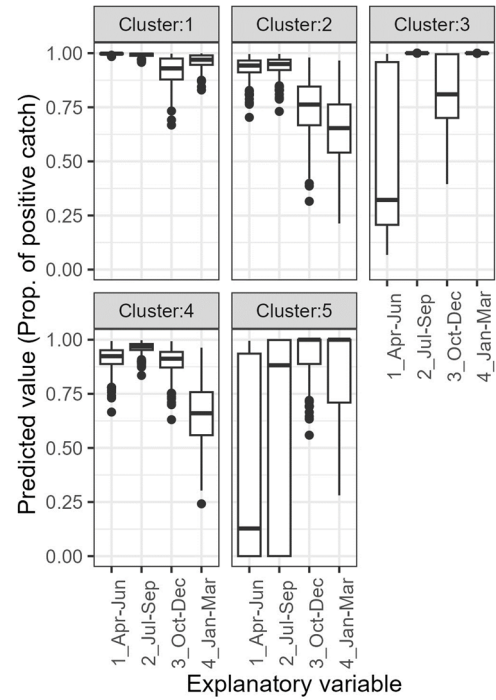


図 15. (続き) 各「狙い」(Cluster) にグループ化された操業データの空間分布 (上段 10～12 月、下段 1～3 月)

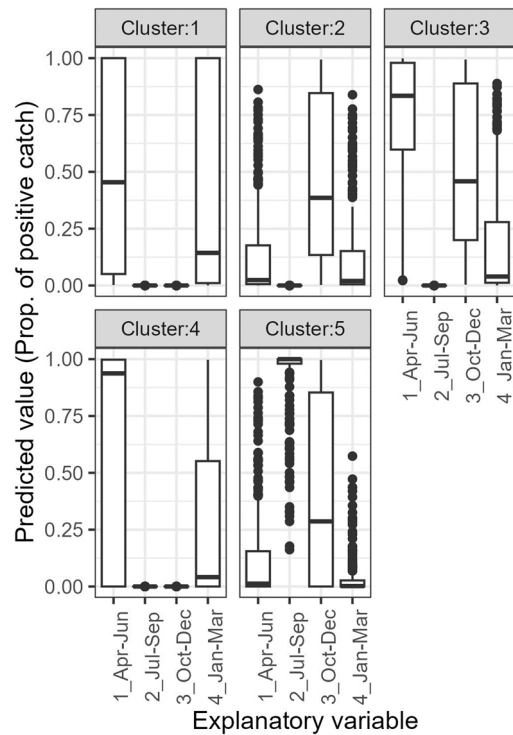
a) マダラ CPUE への効果



b) ホッケ有漁確率への効果



c) スケトウダラ有漁確率への効果



d) ソウハチ有漁確率への効果

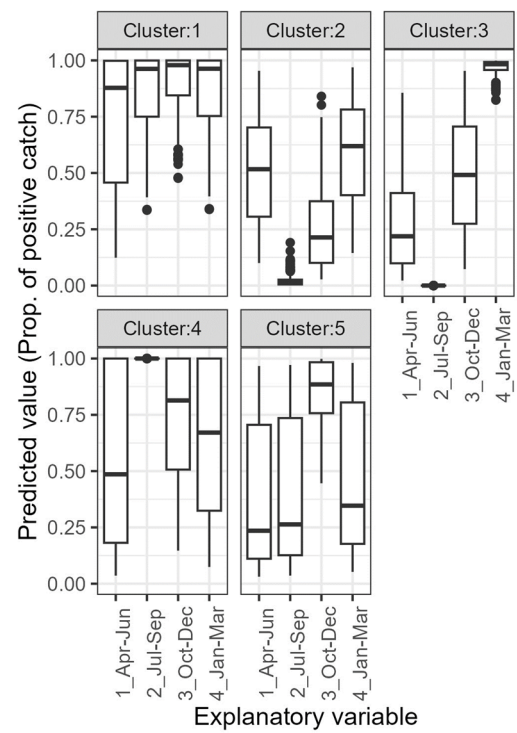
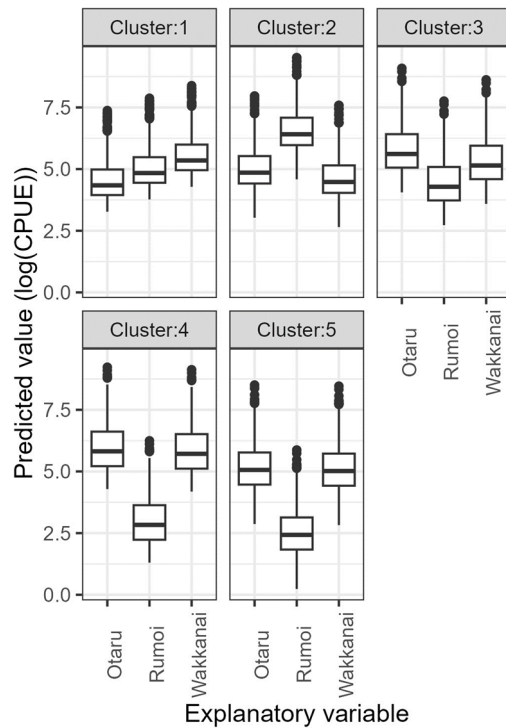
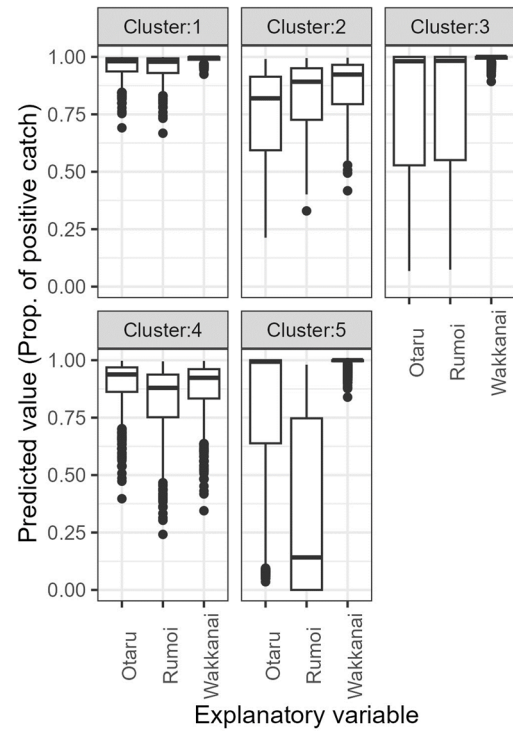


図 16. 季節別に予測される効果

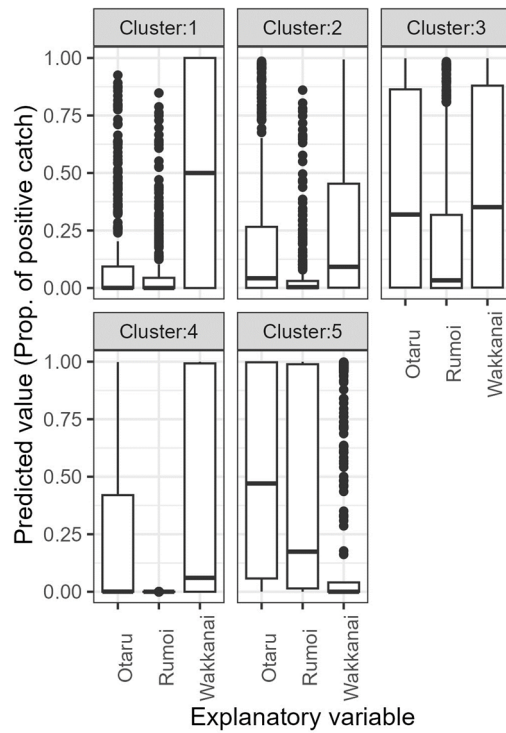
a) マダラ CPUE への効果



b) ホッケ有漁確率への効果



c) スケトウダラ有漁確率への効果



d) ソウハチ有漁確率への効果

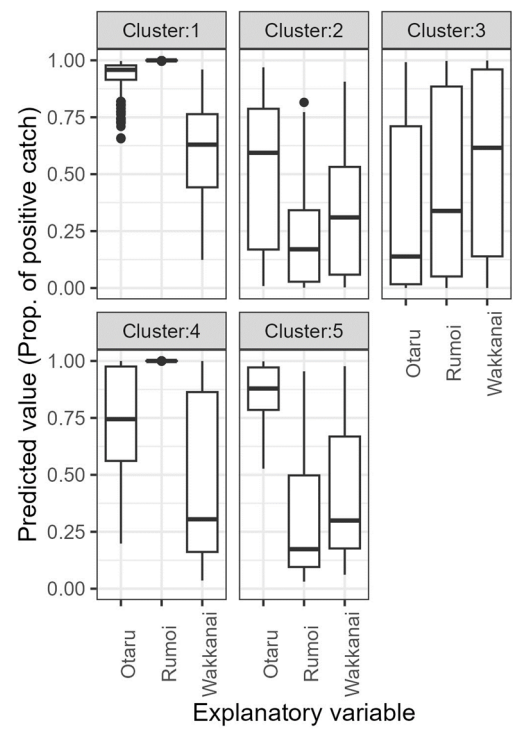


図 17. 陸揚港別に予測される効果

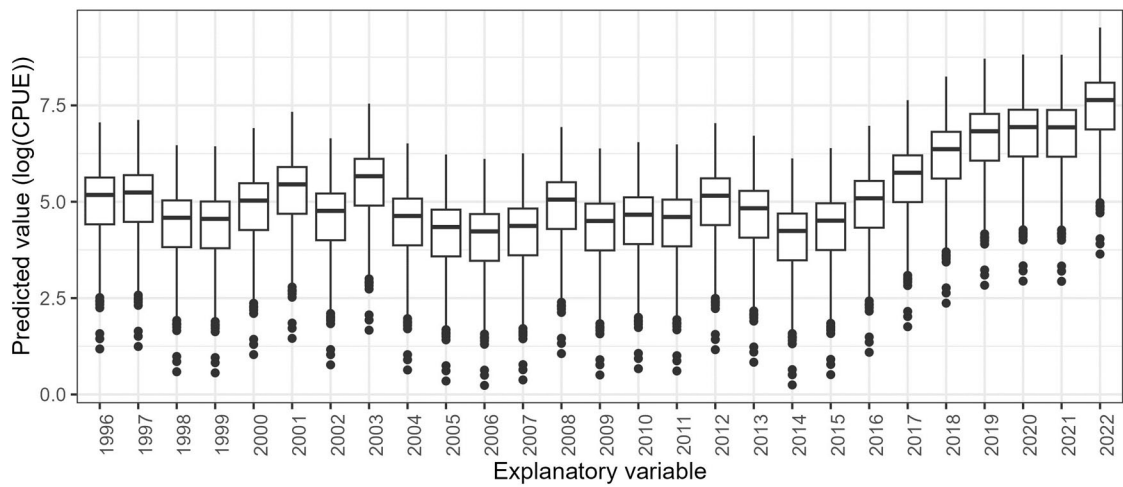


図 16. 漁期年に予測される効果

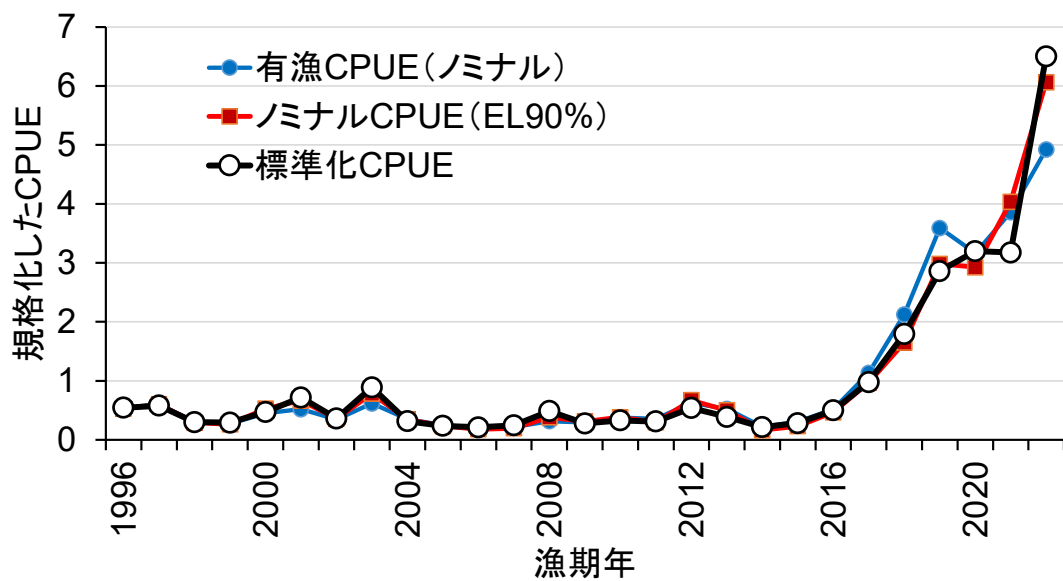


図 15. マダラの標準化 CPUE とノミナル CPUE（有漁 CPUE と 90%説明レベル操業での CPUE）との比較

表 1. 北海道日本海の沖合底びき網漁業（かけまわし漁法）での操業日数と曳網数の推移
マダラの漁獲が見られた場合（有漁操業）および Biseau（1998）の 90%説明レベルで
抽出した場合の集計値を併せて示した。

漁期年	操業日数（データ数）			努力量（曳網数）		
	全操業	有漁操業日	90%説明 レベル	全操業	有漁操業日	90%説明 レベル
1996	3,588	2,897	1,250	22,323	18,372	7,727
1997	3,762	2,989	1,338	23,191	18,866	7,745
1998	3,296	2,310	1,175	21,389	15,565	6,574
1999	3,517	2,700	1,229	23,523	18,445	7,540
2000	2,413	1,927	862	15,096	12,529	4,604
2001	2,035	1,636	718	13,662	11,409	3,734
2002	1,724	1,402	649	11,112	9,524	3,914
2003	1,909	1,616	641	13,093	11,443	3,744
2004	1,868	1,418	686	12,247	9,587	4,052
2005	1,989	1,490	695	13,150	10,279	4,567
2006	2,124	1,670	775	13,815	11,366	5,365
2007	2,181	1,614	777	13,249	10,314	4,577
2008	1,595	1,166	535	9,823	7,450	2,390
2009	1,430	1,068	560	8,937	6,979	2,644
2010	1,367	1,119	417	8,829	7,408	2,988
2011	1,263	1,080	507	8,432	7,388	3,769
2012	1,203	1,036	380	7,826	6,923	2,671
2013	1,188	993	460	7,744	6,573	3,009
2014	1,214	1,026	400	8,352	7,322	4,067
2015	694	600	278	4,872	4,277	2,333
2016	736	689	284	4,892	4,671	2,195
2017	721	694	222	4,608	4,529	2,259
2018	959	944	324	5,657	5,581	3,150
2019	768	766	306	4,611	4,595	2,274
2020	701	688	224	3,583	3,543	1,740
2021	796	775	258	3,945	3,883	1,590
2022	683	663	292	3,264	3,192	1,144

表 2. BIC を基準としたモデル選択

モデル 番号	説明変数	「狙い」要素数 (Cluster)	収束有無	尤度	df	BIC	
1	<u>Year</u> + <u>Hp</u> + Port + Season + ShipDensity	6	○	-44941.44	291	92689.896	
2	<u>Year</u> + <u>Hp</u> + Port + Season	5	○	-44962.52	241	92249.754	選択
3	<u>Year</u> + <u>Hp</u> + Season + ShipDensity	5	○	-46603.30	221	95338.380	
4	<u>Year</u> + <u>Hp</u> + Season	5	○	-46723.88	201	95386.625	
5	<u>Year</u> + Port + Season + ShipDensity	5	○	-45052.12	253	92544.701	
6	<u>Year</u> + Port + Season	5	○	-45103.66	233	92454.854	
7	<u>Year</u> + Season + ShipDensity	4	○	-46967.02	191	95776.445	
8	<u>Year</u> + Season	4	○	-47038.43	175	95764.914	
9	<u>Year</u> + <u>Hp</u> + Port + <u>Season</u> + ShipDensity	4	○	-46222.90	195	94326.791	
10	<u>Year</u> + <u>Hp</u> + Port + <u>Season</u>	3	○	-46350.11	165	94291.818	
11	<u>Year</u> + <u>Hp</u> + <u>Season</u> + ShipDensity	5	○	-47190.42	173	96049.617	
12	<u>Year</u> + <u>Hp</u> + <u>Season</u>	5	○	-47271.82	153	96019.493	
13	<u>Year</u> + Port + <u>Season</u> + ShipDensity	4	○	-46348.14	187	94500.088	
14	<u>Year</u> + Port + <u>Season</u>	4	○	-46346.53	171	94342.546	
15	<u>Year</u> + <u>Season</u> + ShipDensity	5	○	-47431.51	165	96454.623	
16	<u>Year</u> + <u>Season</u>	3	○	-47568.18	133	96419.281	
17	<u>Year</u> + <u>Hp</u> + Port + ShipDensity	6	○	-47895.28	219	97903.046	
18	<u>Year</u> + <u>Hp</u> + Port	5	○	-47976.60	181	97699.146	
19	<u>Year</u> + <u>Hp</u> + ShipDensity	5	○	-49257.62	161	100068.258	
20	<u>Year</u> + <u>Hp</u>	3	○	-49477.28	129	100198.908	
21	<u>Year</u> + Port + ShipDensity	5	○	-47949.98	193	97761.643	
22	<u>Year</u> + Port	5	○	-48051.11	173	97770.982	
23	<u>Year</u> + ShipDensity	6	○	-49499.02	163	100570.359	
24	<u>Year</u>	6	○	-49731.50	139	100803.796	

説明変数のうち、下線を付与しているのは各「狙い」要素（Cluster）で推定パラメータを共通としたものである。「漁期年（Year）」の推定パラメータは同一の資源動態の年変化を反映しているものと考え、全てのモデルにて各 Cluster で共通とした。BIC を太字で示したモデルが標準化モデルとして選択された。